

# 飛行計画経路の短縮実現に向けた要件調査

## 調査報告書

令和4年3月

国土交通省航空局交通管制部管制課

株式会社 航空システムサービス



## 目次

|       |                                |        |
|-------|--------------------------------|--------|
| 第1章   | 調査の概要.....                     | 1-1-1  |
| 1.1   | 調査の背景および目的.....                | 1-1-1  |
| 1.2   | 調査内容.....                      | 1-2-1  |
| 1.3   | 調査フロー.....                     | 1-3-1  |
| 1.4   | 調査結果の概括.....                   | 1-4-1  |
| 1.4.1 | AIの技術および活用に関する調査.....          | 1-4-1  |
| 1.4.2 | 最適経路対象便選定についての検討.....          | 1-4-3  |
| 1.4.3 | 最適経路対象便選定に関するシステムの導入.....      | 1-4-5  |
| 1.4.4 | システム開発および導入計画.....             | 1-4-5  |
| 1.4.5 | 費用対効果.....                     | 1-4-5  |
| 1.4.6 | 今後の航空管制におけるAI活用に関する検討.....     | 1-4-6  |
| 1.4.7 | AIC経路と最適経路の経路差調査.....          | 1-4-6  |
| 1.5   | 本調査で使用する用語、略語.....             | 1-5-1  |
| 第2章   | AIの技術および活用に関する調査.....          | 2-1-1  |
| 2.1   | 本調査におけるAIの定義.....              | 2-1-1  |
| 2.1.1 | AIとは.....                      | 2-1-1  |
| 2.1.2 | AIが実現可能な人間の知的活動.....           | 2-1-3  |
| 2.2   | 代表的なAI技術とその活用場面.....           | 2-2-1  |
| 2.2.1 | 今利用されているAI技術.....              | 2-2-1  |
| 2.2.2 | AIの説明性における課題.....              | 2-2-7  |
| 2.2.3 | 航空業界で活用が期待されるAI技術.....         | 2-2-8  |
| 2.3   | 海外の航空業界におけるAI活用動向調査.....       | 2-3-1  |
| 2.3.1 | アラスカ航空のAI活用事例.....             | 2-3-1  |
| 2.3.2 | デルタ航空のAI活用事例.....              | 2-3-4  |
| 2.4   | 他分野へのAI技術の活用事例.....            | 2-4-1  |
| 2.4.1 | 物流業における利用動向.....               | 2-4-1  |
| 2.4.2 | 流通業における利用動向.....               | 2-4-11 |
| 2.4.3 | 社会インフラにおける利用動向.....            | 2-4-18 |
| 2.5   | AIシステムの運用体制.....               | 2-5-1  |
| 2.5.1 | AIシステム導入の広がり.....              | 2-5-1  |
| 2.5.2 | AIシステム運用の課題.....               | 2-5-3  |
| 2.5.3 | 適切なAI運用に求められるもの.....           | 2-5-5  |
| 2.5.4 | MLOpsとは.....                   | 2-5-7  |
| 2.6   | 航空管制システムにおけるAI開発および運用プロセス..... | 2-6-1  |

|       |                                   |        |
|-------|-----------------------------------|--------|
| 第3章   | 最適経路対象便選定についての検討                  | 3-1-1  |
| 3.1   | 最適経路対象便選定の運用要件                    | 3-1-1  |
| 3.1.1 | 管理管制官の運用要件                        | 3-1-1  |
| 3.1.2 | 航空会社の担当者の運用要件                     | 3-1-2  |
| 3.2   | 最適経路対象便の選定方法について                  | 3-2-1  |
| 3.3   | 1stStep 予め設定された短縮経路へ変更可能な便の提案     | 3-3-1  |
| 3.3.1 | AIによる最適経路対象便の提案                   | 3-3-1  |
| 3.3.2 | ロジックによる最適経路対象便の選定方法               | 3-3-6  |
| 3.4   | 2ndStep 最適経路へ変更可能な複数便の組み合わせを提案    | 3-4-1  |
| 3.4.1 | 最適経路対象便の選定方法                      | 3-4-1  |
| 3.4.2 | 最適経路対象便の選定に必要なデータと取得方法            | 3-4-20 |
| 3.5   | 最適経路対象便選定の運用フロー                   | 3-5-1  |
| 3.6   | 最適経路対象便選定における平等性の実現方法             | 3-6-1  |
| 第4章   | 最適経路対象便選定に関するシステムの導入              | 4-1-1  |
| 4.1   | 機能要件                              | 4-1-1  |
| 4.1.1 | 管理管制官に提供すべき機能                     | 4-1-1  |
| 4.1.2 | 航空会社に提供すべき機能                      | 4-1-2  |
| 4.1.3 | AI運用に必要な機能                        | 4-1-2  |
| 4.1.4 | 機能構成図                             | 4-1-3  |
| 4.2   | システム構成                            | 4-2-1  |
| 4.2.1 | 最適経路対象便選定に関するシステム構成               | 4-2-1  |
| 4.2.2 | 航空会社における最適経路対象便の確認および調整に関するシステム構成 | 4-2-4  |
| 第5章   | システム開発および導入計画                     | 5-1-1  |
| 5.1   | 1stStep のシステム開発計画および導入計画          | 5-1-3  |
| 5.1.1 | ロジックシステムを使用する場合                   | 5-1-3  |
| 5.1.2 | AIシステムを使用する場合                     | 5-1-4  |
| 5.2   | 2ndStep のシステム開発計画および導入計画          | 5-2-1  |
| 第6章   | 費用対効果                             | 6-1-1  |
| 6.1   | 費用の検討                             | 6-1-1  |
| 6.1.1 | イニシャルコスト                          | 6-1-1  |
| 6.1.2 | ランニングコスト                          | 6-1-6  |
| 6.2   | 効果の検討                             | 6-2-1  |
| 6.2.1 | 効果の範囲と項目の整理                       | 6-2-1  |
| 6.2.2 | 便益項目の計測方法の検討                      | 6-2-4  |
| 6.3   | 費用対効果の分析                          | 6-3-1  |
| 6.3.1 | 分析項目                              | 6-3-1  |

|       |                            |        |
|-------|----------------------------|--------|
| 6.3.2 | 前提条件.....                  | 6-3-2  |
| 6.3.3 | 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等.....   | 6-3-4  |
| 6.3.4 | 費用対便益の分析.....              | 6-3-10 |
| 6.3.5 | 定量的効果・定性的効果の分析.....        | 6-3-22 |
| 6.3.6 | 分析結果のとりまとめ.....            | 6-3-23 |
| 第7章   | 今後の航空管制におけるAI活用に関する検討..... | 7-1-1  |
| 7.1   | 航空管制システムにおけるAI活用.....      | 7-1-1  |
| 7.2   | TOPSの既存機能へのAI適用.....       | 7-2-1  |
| 7.3   | AI活用の今後の展望.....            | 7-3-1  |
| 別紙1   | AIC経路と最適経路の経路差調査結果.....    | 別紙1-1  |



## 第1章 調査の概要

### 1.1 調査の背景および目的

政府は、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする脱炭素社会を目指すことを表明している。航空分野においても、運航時の消費燃料の削減を通じたCO<sub>2</sub>排出抑制に取り組んでおり、RNAV経路やRNP AR進入の導入を進めているところであるが、飛行計画経路長の短縮等さらなる効率的な運航の実現が求められている。

エアラインは飛行経路を計画する際に、AIC（Aeronautical Information Circular）によって指定される標準経路（AIC経路）に従っている。AIC経路は、円滑な交通流を形成する目的で、交差経路や上昇降下フェーズにおける対面交通の発生を抑制する等、さらには空域構成、航行援助施設や管制作業負荷等の様々な条件が考慮され、予め出発空港と到着空港を結ぶ路線毎に一律に設定されているため、最短の経路となっていない。

飛行計画経路長の短縮を行うには、AIC経路によらない最短の経路での計画が必要となるが、刻々と変化する空域の混雑状況、飛行経路上の管制官の作業負荷、エアライン間の平等性等を勘案し、最適な経路を飛行する対象便の選定をしなければならない。さらに対象便の選定は、飛行計画が提出される出発の2時間前から遅くとも出発の1時間半までに行わなければならない。短時間で複雑な条件の中から最も効果の出る組合せの対象便を選定することは、コンピュータによる計算なしでは実現できない。

昨今、各産業分野においてAI（人工知能）技術の導入が進んでいる。管制システムは、AIによらない従来のロジックで組み立てられたシステムで構成されているが、小売り分野で活用されている需要予測AI技術や物流分野で活用されている最適な配送経路提案AI技術等を応用することにより、航空管制分野においてもより効率的な運航の実現に寄与するものと考えられる。

本調査は、飛行計画経路のさらなる短縮実現へ向けた要件を調査し、特に航空管制分野においてAIを導入するにあたり必要なAI技術の整理・AI技術を用いた運用要件やシステム要件・プロトタイプを用いた可用性検証・開発/導入計画・導入コストや便益について整理することにより、今後の導入の判断の材料とすることを目的としている。

## 1.2 調査内容

通過するセクターの交通量や合流地点を飛行する航空機数が少ない時間において、AIC 経路によらず、ATMC で予め登録された AIC 経路よりも短縮されている経路（短縮経路）を柔軟に飛行させることができれば、飛行経路長の短縮に大きく寄与する。出発前の飛行計画の段階から運航者が短縮経路を計画することを前提に、セクターの交通量等を勘案し、短縮経路を飛行可能な対象便を選定する運用（将来的には、対象便選定に加え複数の短縮経路の候補から最適な経路も選定する運用）を想定し、以下の調査を実施する。

なお、本報告書では、このようなシステムのロジックや AI が、空域の混雑状況、飛行経路上の管制官の作業負荷、エアライン間の平等性等の定められた条件を考慮して選定した短縮化された経路のことを最適経路と称することとする。

### (1) 最適経路対象便選定実現に向けた技術の整理

#### (A) 従来のロジックシステムまたは AI 技術の活用場面の整理

通過するセクターの交通量や合流地点を飛行する航空機数等をもとに最適経路対象便を選定するにあたり、従来のロジックシステムを活用する選定手法と AI 技術を活用する場合の選定手法を比較し、AI が有益である場면을整理する。

#### (B) 他分野の類似 AI 技術活用にかかるケーススタディー

前項で整理した場面毎の AI 技術について、他分野への類似 AI 技術の導入事例について国内の事業者から調査し、各導入事例について AI 導入に至った経緯や目的、導入効果について調査する。

#### (C) 海外の航空業界における AI 活用動向調査

AI を航空機の運航に係る分野に導入または試験的に導入している米国の航空会社 2 社について、AI 導入経緯、導入効果等を文献等により調査し整理する。

### (2) 最適経路選定実現に向けた運用手順および要件の整理・提案

#### (A) 最適経路選定実現に向けた運用手順の整理および提案

前項までで整理した AI 活用場面およびその技術を活用することにより柔軟な最適経路運用の実現のために必要な運用手順を整理し提案する。なお、運用手順は、EOBT（移動開始予定時刻）の 1 時間 30 分前までに ATMC が運航者に対して最適経路を提示し合意を得ることを前提として、経路の選定や対象便の選定、運航者と調整するスキームにかかる一連の手順とする。

#### (B) 最適経路選定実現に向けた運用要件の整理および提案

対象便の選定や経路の選定に必要な条件を整理し、それぞれの条件の重み付けについて提案する。また、それらにおけるデータの取得方法についても整理し提案する。



### **(3) システム開発計画および導入計画の提案**

#### **(A) システム開発計画の提案**

最適経路・経路短縮化の実現について、AI を活用することで有用と思われる提案についてプロトタイプを作成し可用性検証を行った上で、実現手法および必要データとともに整理する。また実現手法については、AI を活用する提案を含め、開発するシステムにフライトオブジェクト分析装置（FO 分析装置）を活用した場合としない場合を比較検討し、開発計画を提案する。

#### **(B) システム構成・要件の整理および提案**

最適経路選定実現に必要なシステム構成・システム要件について整理し提案する。

#### **(C) 導入計画の提案**

導入後も AI を育成し精度を上げていく必要があることから、段階的フェーズ導入を前提に導入計画を策定し提案する。

#### **(D) 人的体制の提案**

導入後、AI は長期的な視点で育成が必要であることから、必要な人的体制について提案する。

### **(4) 導入コスト・維持コスト・効果の算出**

#### **(A) 整備・維持コストの算出**

前項で策定した開発・導入計画を踏まえ、整備・維持コストを算出する。

#### **(B) 導入フェーズ毎の便益算出**

前項で策定した段階的フェーズ導入におけるフェーズ毎の便益を算出する。

#### **(C) AIC 経路と最適経路の経路長比較および運航便数調査**

航空局が指定するシティーペア（185 路線）において、AIC 経路と公示されている航空路を活用した最適経路の経路および経路長差の比較を行う。また、航空局が保有する飛行計画から抽出した情報（ディプラン：1 日約 6,000 機）のデータを使用して、それらの運航便数について調査する。なお、運航便数は、新型コロナウイルスによる減便・運休の影響が無い 2019 年のディプランを使用する。

### **(5) 今後の AI 活用についての検討**

将来的に飛行中の航空機を対象とした管制システムへの AI 適用にあたり、航空管制官または航空交通管理管制官の業務において、AI による意思決定支援に適している場面および機能を検討する。なお、検討対象の業務は、航空機の運航効率（飛行時間短縮、経路長短縮、定時性、経済高度による飛行等または安全性の向上に寄与できるものとする。

### 1.3 調査フロー

前項の調査内容の項目について基本的にそれぞれ並行して進め、作業のアウトプットで他の作業に関連するものは相互に共有をはかりつつ進め、それぞれの作業結果から最終的に調査報告書としてとりまとめる。

本調査における調査フローを以下の図 1.3-1 に示す。

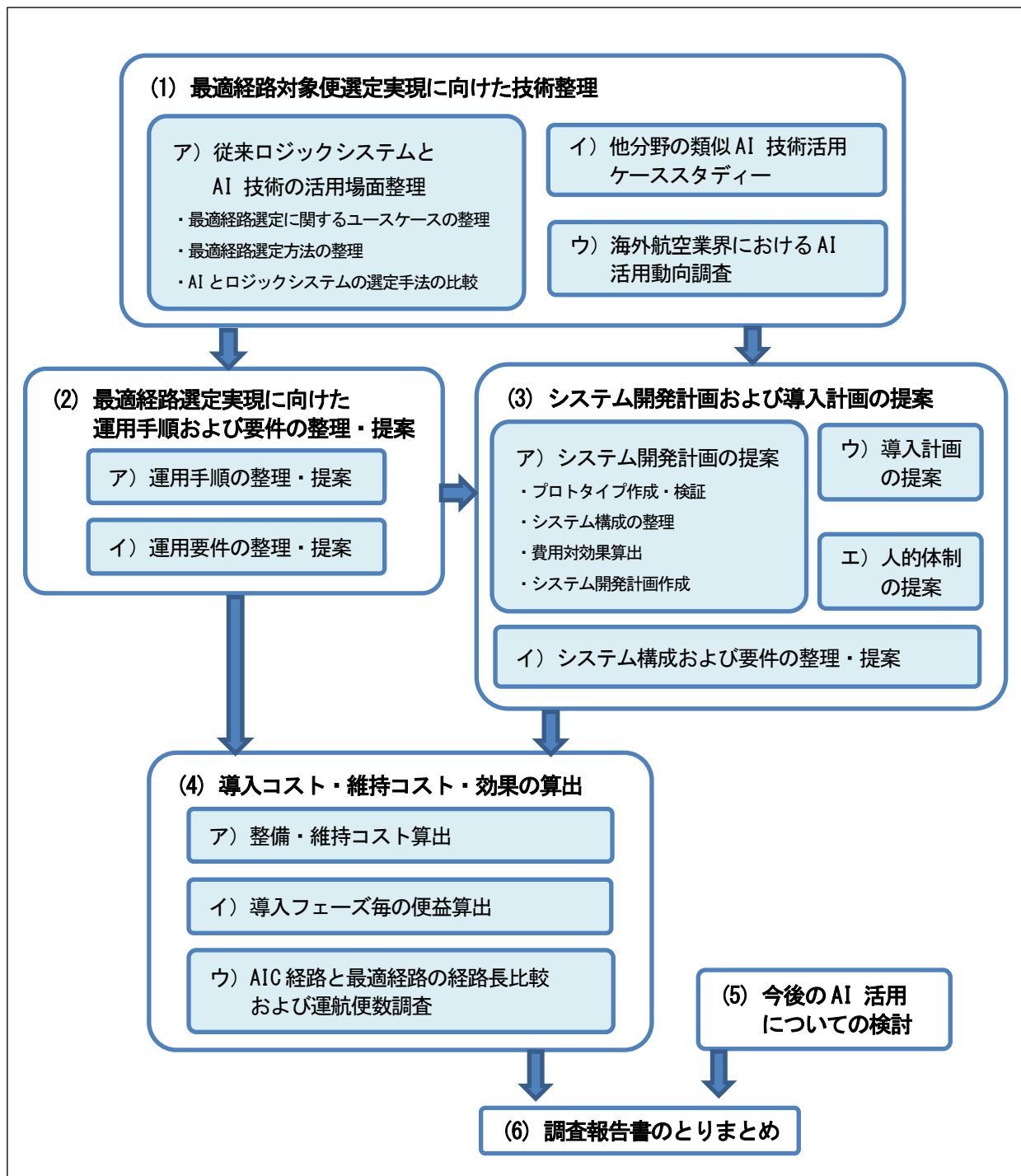


図 1.3-1 調査フロー

## 1.4 調査結果の概括

1.2 項の調査内容に対する調査結果を、以下のとおり本報告書の各章に取りまとめた。

### 1.4.1 AI の技術および活用に関する調査

第2章に調査項目のうちAIの技術動向等AIに関連する以下の内容を取りまとめた。

#### (1) 本調査におけるAIの定義

現時点のAI技術を5つの区分に整理し、それらの区分のうち人間の知的活動を模倣しデータのパターンを自ら導き出すことが可能な機械学習レベル以上の技術の本報告書における「AI」として定義した上で、AIの技術で実現可能な要素を網羅的に説明するため、人間の9つの「知的活動」(認識、理解、学習、判断、予測、言語、知識、身体、創作)に対する、AI技術の動向を整理した。

#### (2) 代表的なAI技術とその活用場面

現在利用されているディープラーニングや機械学習等のAI技術が応用されている分野やその活用場面を調査、整理した。また、「AIが導出した結果の根拠がわからない」という現在のAIが抱える「説明性」という課題の解決に向けた最新動向を調査した。

その上で、航空管制業務において活用が期待される代表的なAI技術として、最適化、音声認識、予測といった技術領域における動向を調査し、航空管制業務での活用案を検討した。

#### (3) 海外の航空業界におけるAI活用動向調査

米国の航空会社2社として、アラスカ航空のAIによる飛行ルート最適化による燃料削減等への活用事例と、デルタ航空のAIを使った運航管理の機械学習プラットフォームの導入について調査した。

#### (4) 他分野へのAI技術の活用事例

航空業界以外の他分野におけるAI技術の活用事例として、航空業界への活用に関連があると考えられる、物流業、流通業、社会インフラを対象とし、それぞれの分野動向およびAIの活用状況について調査した。また、AIの活用事例として、物流業界から、株式会社Logpose Technologies、株式会社スマートドライブの事例、社会インフラ分野から、出光グループ、日揮グループ、横河電機株式会社の事例を調査した。

#### **(5) AI システムの運用体制**

AI ビジネスの国内市場の拡大に伴い、年々増大するデータに対して複数のデータを掛け合わせた高度な分析ニーズが高まっていることを受け、常に学習とその結果となる推論の精度を検証しつつ運用する必要があることや AI 人材の不足が AI システム運用面の課題として挙げられている。このことを踏まえ、適切な AI 運用に求められる人材像や必要となるモニタリングツールについて調査し、MLOps と呼ばれる「機械学習チーム／開発チーム」と「運用チーム」が互いに協調し合うことで機械学習モデルの実装から運用までのライフサイクルを円滑に進める管理体制構築の必要性について調査した。

#### **(6) 航空管制システムにおける AI 開発および運用プロセス**

AI を導入する場合は、従来のロジックシステムの導入とは、導入プロセスが異なることから、AI の開発プロセスおよび運用プロセスについて取りまとめた。

## 1.4.2 最適経路対象便選定についての検討

第3章として、最適経路対象便の選定に関して、運用要件や最適経路へ変更する対象便の選定方法、運用フロー、公平性の実現方法について整理した。

### (1) 最適経路対象便選定の運用要件

最適経路対象便選定は、日本全体の交通流に関連するため ATMC で実施され、最適経路への変更は管理管制官が航空会社へ提案し、調整を行う運用となる。

最適経路対象便選定の運用要件について、最適経路の調整を行う管理管制官、および航空会社の担当者それぞれの観点から整理している。

### (2) 最適経路対象便の選定方法について

最適経路対象便を選定する方法としては、従来のロジックシステムを活用した選定手法と AI 技術を活用した選定手法があるが、AI 技術を活用する場合には、モデルの作成、データ収集、データ加工、学習、評価といった期間が必要であり、初期段階から正しい対象便の選定を行うことは難しいことから、2つの段階（ステップ）に分けて導入を進めることが望ましいと考えられる。最初のステップ（1stStep）では、1便単位での最適経路対象便の選定を行うこと、次の2ステップ目（2ndStep）では、本格的に AI を運用で活用し、より複雑な複数便を対象とした最適経路の選定を可能とすることをそれぞれのステップで実現すべき最適経路選定の達成目標とした上で、1stStep、2ndStep それぞれについてロジックおよび AI を用いた場合の最適経路対象便の選定方法について整理した。

### (3) 1stStep 予め設定された短縮経路へ変更可能な便の提案

1stStep として、予め設定された短縮経路へ変更可能な調整対象を1便単位と単純にした場合における最適経路対象便の選定方法と最適経路対象便の選定に必要なデータと取得方法について、AI を利用する場合とロジックによる場合それぞれについて検討した。

### (4) 2ndStep 最適経路へ変更可能な複数便の組み合わせを提案

2ndStep として、最適経路へ変更可能な対象便をより複雑な複数便の組み合わせでの提案を可能とし得られる効果の最大化を図るために AI を導入する場合について、プロトタイプによる検証を含め、最適経路対象便の選定方法と最適経路対象便の選定に必要なデータと取得方法について検討した。

### (5) 最適経路対象便選定の運用フロー

最適経路対象便となる航空機の調整に関する運用フローを、適用する短縮経路の登録や選定条件となるパラメータの設定を行う「事前作業」、最適経路対象便を選定し航空会社との調整を行う「当日作業」、調整実績を確認し選定条件となるパラメータ等の変更が必要かどうかを判断する「事後作業」に分けて整理した。

#### **(6) 最適経路対象便選定における公平性の実現方法**

最適経路対象便の選定において、各航空会社に対して考慮する必要がある平等性の実現方法について整理した。平等性を実現するために必要となる基準とする指標値やその指標値を計測する範囲等について検討した。また、指標値を集計する期間や定期的な平等性の実績確認・評価の必要性についても検討した。

### 1.4.3 最適経路対象便選定に関するシステムの導入

第4章として、前項の最適経路対象便選定における運用要件等の結果に基づき、システムの機能要件、AIの要件等を取りまとめ、システムの構成案を提示した。

#### (1) 機能要件

飛行計画経路の短縮実現に向けたシステム導入において必要となる機能について、管理管制官に対して提供すべき機能、航空会社に提供すべき機能に分けて機能要件を取りまとめた。

また、AI技術を運用に取り込む場合に必要となる機能についても整理した。

それらの結果をロジックを使用する場合とAIを使用する場合に分けて機能構成図として取りまとめた。

#### (2) システム構成

最適経路対象便を選定するために必要となるシステム構成について、ロジックを使用する場合とAIを使用する場合とに分けて検討した。また、提案された最適経路対象便について、航空会社が確認、調整するために必要なシステム構成も検討した。

### 1.4.4 システム開発および導入計画

第5章として、システムの開発計画、導入計画について、関連するシステムの整備時期やFF-ICE等の新たなサービスの開始時期等を考慮して、1stStep、2ndStepに分けて整理した。1stStepでは、最適経路対象便の選定をロジックで行う場合とAIを導入する場合に分けているが、2ndStepではAIを導入することが望ましいと考え、計画についてはAIの場合に絞って記載している。

### 1.4.5 費用対効果

第6章として、最適経路対象便選定の実現に係る以下の費用および便益を算出し、費用対効果分析を行った結果を取りまとめた。

#### (1) 費用の検討

1stStep、および、2ndStepそれぞれについて、ロジックで実現する場合とAIで実現する場合のイニシャルコストを算出した。なお、2ndStepのAIで実現する場合については、FO分析装置を使用する場合としない場合について算出している。

また、上記の実現に向けた場合分け毎に、発生するハードウェアやソフトウェアの保守費用や新たに必要と考えられるAIの運用維持の費用等ランニングコストについて見積を実施した。

#### (2) 便益の検討

最適経路対象便選定の実現により得られる社会経済的な便益として、燃料消費量の削減やCO<sub>2</sub>排出量の削減等が考えられ、それらを貨幣価値に換算した便益額を算出した。



### **(3) 費用対効果の分析**

上記(1)、(2)で算出した費用と便益に基づき、費用対便益分析を実施した。費用対効果分析は、導入 Step 毎、実現方法の場合分け毎等、様々なパターンに分けて実施し、それらを比較検討することにより最も費用対効果が高くなる整備の方向性について提案を行った。

#### **1.4.6 今後の航空管制における AI 活用に関する検討**

第7章に今後の航空管制における AI 活用に関する検討として、洋上管制業務における機械学習によるパターン認識を活用してコンフリクト回避案の効率的な提示に関する検討結果について記載している。

#### **1.4.7 AIC 経路と最適経路の経路差調査**

飛行計画経路長の短縮による便益を算出するため、航空局が指定するシティーペア（185 路線）毎に、AIC 経路の距離や運航便数、最適経路の距離等について調査を行い、以下の集計を行った結果を別紙 1 としてまとめている。

- ① AIC 経路と公示されている航空路を活用した最適経路の経路および経路長差の比較結果
- ② AIC 経路を飛行した運航便数の集計

## 1.5 本調査で使用する用語、略語

本報告書において使用する AI 関連の専門用語、略語および関連システムやサービスの名称、略語等を以下の表 1.5-1 に示す。

表 1.5-1 本調査で使用する用語・略語 (1/5)

| No.          | 用語・略語   | 正式名称、説明など                                                                                                                                                       |
|--------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AI 関連の用語・略語等 |         |                                                                                                                                                                 |
| 1-1          | AA      | Advanced Analytics :<br>機械学習といった技術をもとに、将来予測や精度検証など人間には不可能な高度な分析を自動的に行う技術。                                                                                       |
| 1-2          | AI      | Artificial Intelligence (人工知能) :<br>目や耳で何かの情報を認識する (見える化)、脳で分析する (予測)、手や足などを使い分析結果を実行する (対処) といった人間の知的活動をコンピュータ化した技術の総称。                                        |
| 1-3          | AI エンジン | AI (人工知能) の処理を行う機能を有するアルゴリズム。                                                                                                                                   |
| 1-4          | AI モデル  | 機械学習において、入力データに対して結果 (=出力) を導き出す仕組み。機械学習モデルとも呼ばれる。                                                                                                              |
| 1-5          | BA      | Business Analytics :<br>情報を見える化した結果をもとに分析を行い、次に行うべきアクションを予測することで、組織の意思決定や課題解決に役立てる手法。調査報告書においては、分析ツールで人間が行う事が可能な予測技術として記載している。                                  |
| 1-6          | BD      | Big Data :<br>ビッグデータ。                                                                                                                                           |
| 1-7          | BI      | Business Intelligence :<br>企業等の組織で収集・蓄積したデータをツール等を活用して見える化し、現状を効率的かつ迅速に把握することで、組織の意思決定や経営判断に活用する手法。                                                             |
| 1-8          | BERT    | Bidirectional Encoder Representations from Transformers :<br>Google が提供している自然言語処理モデル。                                                                           |
| 1-9          | DL      | Deep Learning ;<br>ディープラーニング。                                                                                                                                   |
| 1-10         | Duplex  | Google が提供している AI 技術であり、人間の代わりに AI がレストランなどの電話予約を代行する機能。                                                                                                        |
| 1-11         | ELMo    | 機械学習によって文脈を考慮した単語表現方法を習得する手法。                                                                                                                                   |
| 1-12         | ETL     | Extract (抽出) Transform (変換・加工) Load (読み込み) の略で、データベースなどに蓄積されたデータから必要なものを抽出 (Extract) し、目的に応じて変換 (Transform) し、データを必要とするシステムに格納 (Load) すること。また、ソフトウェアの持つそのような機能。 |
| 1-13         | GAN     | Generative Adversarial Network : 敵対的生成ネットワーク<br>データから特徴を学習することで、実在しないデータの生成や、存在するデータの特徴に沿って変換することが可能な技術。                                                        |
| 1-14         | GPT     | Generative Pre-Training :<br>OpenAI が提供している文章生成言語モデル。                                                                                                           |
| 1-15         | LOD     | Linked Open Data :<br>Web 上でデータを公開・共有するための技術。                                                                                                                   |
| 1-16         | ML      | Machine Learning :<br>機械学習。                                                                                                                                     |

表 1.5-1 本調査で使用する用語・略語 (2/5)

| No.  | 用語・略語            | 正式名称、説明など                                                                                                                                                                                                                   |
|------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1-17 | MLOps            | Machine Learning Operations (機械学習運用) :<br>機械学習のライフサイクルを管理・運用するための手法。                                                                                                                                                        |
| 1-18 | No Free Lunch 定理 | あらゆる問題を効率よく解けるような“万能”の「教師ありの機械学習モデル」や「探索/最適化のアルゴリズム」などは存在しない(理論上、実現不可能)、ということをも主張する定理。                                                                                                                                      |
| 1-19 | PoC              | Proof of Concept (概念検証) :<br>新しい概念や理論、原理などが実現可能であることを示すための簡易な試行。一通り全体を作り上げる試作(プロトタイプ)の前段階で、要となる新しいアイデアなどの実現可能性を示すためだけに行われる、不完全あるいは部分的なデモンストレーションなどを意味する。目的や問題の解決(期待するアウトプット)のために仮説を立て、使用する入力データやアルゴリズムを試行錯誤しながら小刻みに検証を繰り返す。 |
| 1-20 | POA              | Post Operation Analysis :<br>運用後解析。                                                                                                                                                                                         |
| 1-21 | Transformer      | 2017年に発表されたディープラーニングモデルであり、主に自然言語処理(NLP)の分野で使用されている。                                                                                                                                                                        |
| 1-22 | VAE              | Variational Auto-Encoder :<br>ディープラーニングによる生成モデルであり、変分ベイズ推定法の一つである。                                                                                                                                                          |
| 1-23 | アンサンブル学習         | 別々に学習させたものを融合させることによって、未学習のデータに対する予測能力を向上させるための学習。                                                                                                                                                                          |
| 1-24 | オートエンコーダー        | 機械学習の一種で、入力されたデータの重要な情報を洗い出し、それ以外の情報を削除して圧縮する手法。                                                                                                                                                                            |
| 1-25 | 可視化              | 本調査報告書では、「可視化」は、統計処理しやすい形にデータを加工し、データを集計すること。                                                                                                                                                                               |
| 1-26 | 機械学習             | Machine Learning (ML) :<br>広義には機械(コンピュータやAIなどのマシン)に学習させることを指す。機械に指示を与え、大量のデータを反復して読み込ませてパターンを見つけたり、判断したり、分析したりできるよう学習させる。機械学習には、「教師あり学習」「教師なし学習」「強化学習」の3種類の学習方法がある。                                                         |
| 1-27 | クラスタリング          | 機械学習の一種でデータ間の類似度に基づいて、データをグループ分けする手法。                                                                                                                                                                                       |
| 1-28 | セマンティックWeb       | Webページに記述された内容について、それが何を意味するかを表す「情報についての情報」(メタデータ)を一定の規則に従って付加し、コンピュータシステムによる自律的な情報の収集や加工を可能にする技術。                                                                                                                          |
| 1-29 | ソフトロボティクス        | 柔らかさに注目し、従来の「硬い」ロボットが苦手とする環境への適応を実現するロボティクス分野。                                                                                                                                                                              |
| 1-30 | ディープラーニング        | Deep Learning (DL) (深層学習) :<br>ディープラーニングは機械学習を発展させた手法であり、脳の神経回路(ニューロン)の働きをモデル化したものである。画像や音声を入力し、正解となる出力との差を小さくすることを繰り返して、判断の精度を高めていく仕組みである。                                                                                 |
| 1-31 | データサイエンティスト      | 問題設定を補助し、大量のデータを偏り無く収集し利用しやすい形への変換や整理、使用するアルゴリズム(AIエンジン)の選定などを行う。                                                                                                                                                           |
| 1-32 | データ同化            | 観測値と数理モデルを組み合わせて、実際の状態を推定する方法。                                                                                                                                                                                              |
| 1-33 | ニューラル機械翻訳(NMT)   | Neural Machine Translation :<br>ニューラルネットワークと呼ばれる脳の神経細胞のネットワーク構造を模した数理モデルを使用し、単語の意味として正しい可能性の高い訳語を予測する技術。                                                                                                                    |

表 1.5-1 本調査で使用する用語・略語 (3/5)

| No.           | 用語・略語            | 正式名称、説明など                                                                                   |
|---------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1-34          | ビッグデータ           | Big Data (BD) :<br>事業に役立つ知見を導出することを目的とした、情報の集合体。本調査報告書においては、AI 技術を活用するための情報を蓄積する器として記載している。 |
| 1-35          | ベイズ推定            | ベイズ確率の考え方にに基づき、観測事象（観測された事実）から、推定したい事柄（その起因である原因事象）を、確率的な意味で推論する方法。                         |
| 1-36          | マテリアルズ・インフォマティクス | Materials Informatics :<br>機械学習を含む情報処理技術を活用し材料開発を進めていく分野。                                   |
| 1-37          | マルチモーダル学習        | いくつかの異なる情報を用いた機械学習。                                                                         |
| 1-38          | みにくいアヒルの子の定理     | 何らかの「仮定（＝事前知識や偏向、帰納バイアス）」がないと「分類（＝類似性の判断）」は（理論上）不可能である、ということを実証する定理。                        |
| 1-39          | モビリティデータ         | 車やバイクに代表されるモビリティ（移動体）を含むヒトやモノの、移動に関するデータ。                                                   |
| 1-40          | ルールベース翻訳 (RBMT)  | Rule Base Machine Translation :<br>人間が予め定義した文法や構文の規則に基づいて、翻訳を行う技術。                          |
| 1-41          | レザバーコンピューティング    | 再帰的ニューラルネットワークの特殊なモデルを一般化した概念で、時系列情報処理に適した機械学習の一つ。                                          |
| 1-42          | 強化学習             | 機械学習の一つであり、目的関数を最大化する行動を探索、各状態に対する最適な行動を算出する手段を学習する方法。                                      |
| 1-43          | 教師あり学習           | 機械学習の一つであり、学習データに正解を与えた状態で学習する方法。                                                           |
| 1-44          | 教師なし学習           | 機械学習の一つであり、学習データに正解を与えない状態で学習する方法。                                                          |
| 1-45          | 自動交渉             | 複数の AI 間で自動的に交渉し、双方の利害を調整可能とする。                                                             |
| 1-46          | 探索アルゴリズム         | 複数のデータの中から条件に一致した値を見つけ出すアルゴリズム。                                                             |
| 1-47          | 統計的機械翻訳 (SMT)    | Statistical Machine Translation :<br>大量の対訳データをもとに単語やフレーズの間を統計的にモデル化し、出現頻度の高いパターンを採用する翻訳技術。  |
| 関連システム等の名称、略称 |                  |                                                                                             |
| 2-1           | ADEP             | 空域企画管理サーバ :<br>TEAM の空域企画管理（空域設計）サブシステムを構成するサーバの一つ。                                         |
| 2-2           | ADEW             | 空域企画管理端末 :<br>TEAM の空域企画管理（空域設計）サブシステムで使用される端末。                                             |
| 2-3           | ATFH             | 交通流管理 HMI サーバ :<br>TEAM のサブシステムを構成するサーバの一つ。                                                 |
| 2-4           | ATRP             | ATM 中継業務群 :<br>TEAM の ATM 中継サーバに実装されている機能群である。FACE と TEAM 間の橋渡しをしている。                       |
| 2-5           | EOBT             | Estimated Off Block Time :<br>移動開始予定時刻。                                                     |
| 2-6           | ETA              | Estimated Time of Arrival :<br>到着予定時刻。                                                      |

表 1.5-1 本調査で使用する用語・略語 (4/5)

| No.  | 用語・略語        | 正式名称、説明など                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2-7  | FACE         | 飛行情報管理処理システム (Flight object Administration Center system) : 統合管制情報処理システムを構成する処理系の一つ。フライトに関する情報およびその他運航に関する情報の処理・管理、ならびに国内外の関係機関との情報の授受を行う。サブシステムとして中継処理 (中継)、運航情報中央処理 (運中)、フライトオブジェクト管理 (FO 管理)、運航情報空港処理 (運空)、CNS/ATM-DB、国際対空通信で構成されており、本報告書において、サブシステムを意識して使用する場合は、FACE の後ろに上記 ( ) 内のサブシステム名を付して表現する。(例: FACE 中継処理サブシステム=FACE 中継) |
| 2-8  | FACE-DWH     | SDECC において整備されたシステム評価サブシステムの一部であり、統合システムに関する情報を蓄積する事が可能な機材を指す。                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2-9  | FO           | フライトオブジェクト (Flight object) : 統合管制情報処理システムで共有されるフライトに関する様々なデータの集合。                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2-10 | FODB         | FACE のサブシステムの一つであるフライトオブジェクト管理サブシステムが管理している FO のデータベース。                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2-11 | FOID         | Flight Object Identifier : フライトを一意に識別するための ID。                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2-12 | FO 分析装置      | フライトオブジェクト分析装置 : FACE-DWH から定期的に受け取る FO やその他オフラインデータとして登録されるデータの加工・分析・見える化を行うために ETL 機能、BI/BA 機能、AA 機能を具備した装置。                                                                                                                                                                                                                     |
| 2-13 | FPMP         | ATM-FPL 管理業務群 : TEAM の交通流管理サーバに実装されている機能群であり、TEAM において経路情報の処理を行う。                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2-14 | ICAP         | 管制支援処理システム (Integrated Control Advice Processing system) : 統合管制情報処理システムを構成する処理系の一つ。トラジェクトリをもとに算出した各種支援情報を管制官に提供する。                                                                                                                                                                                                                 |
| 2-15 | MASS         | 航空交通情報交換システム (Messaging-system for ATM as Swim Service) : 我が国の SWIM 環境を提供する基盤システム。                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2-16 | TEPS         | 航空路管制処理システム (Trajectorized En-route traffic data Processing System) : 統合管制情報処理システムを構成する処理系の一つ。管制官による航空路管制業務の実施を支援するための情報処理を行う。                                                                                                                                                                                                     |
| 2-17 | TAPS         | 空港管制処理システム (Trajectorized Airport traffic data Processing System) : 統合管制情報処理システムを構成する処理系の一つ。管制官による飛行場管制およびターミナルレーダー管制業務の実施を支援するための情報処理を行う。                                                                                                                                                                                         |
| 2-18 | TOPS         | 洋上管制処理システム (Trajectorized Oceanic traffic data Processing System) : 統合管制情報処理システムを構成する処理系の一つ。管制官による洋上管制業務の実施を支援するための情報処理を行う。                                                                                                                                                                                                        |
| 2-19 | TEAM         | 航空交通管理処理システム (Trajectorized Enhanced Aviation Management system) : 統合管制情報処理システムを構成する処理系の一つ。航空機運航のすべての段階において、安全かつ効率的な運航を確保するために必要とされる空域管理、航空交通流管理および航空交通業務を支援するための情報処理を行う。                                                                                                                                                          |
| 2-20 | SDAP         | 空域情報管理サーバ : TEAM の航空情報管理サブシステムを構成するサーバの一つ。                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2-21 | 統合管制情報処理システム | 管制情報、航空交通情報等を統合的に処理するシステム群であり、FACE、ICAP、TEPS、TAPS、TOPS、ADEX、TEAM、CRMS の各処理系で構成されている。本報告書では、単に「統合システム」と略記する場合がある。                                                                                                                                                                                                                   |

表 1.5-1 本調査で使用する用語・略語 (5/5)

| No.                 | 用語・略語  | 正式名称、説明など                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 関連業務、サービス等の名称、用語、略語 |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3-1                 | FF-ICE | <p>Flight and Flow-Information for a Collaborative Environment :</p> <p>フライトデータの交換、より正確な需要評価、適切なリソースプランニング、最適な飛行の計画および実施に貢献することを目的として、デジタル化した新飛行計画様式を利用し、航空交通業務提供機関および運航者が運航開始前の早い段階や飛行中において双方が協調した飛行経路や高度等を調整・運用する仕組み。運航開始前までに ASP および運航者が協調した飛行経路や高度等を調整する仕組み (FF-ICE/R1) と飛行中における同調整 (FF-ICE/R2) を分けて導入が検討されている。</p> |
| 3-2                 | SWIM   | <p>System-Wide Information Management :</p> <p>ATM 関係者の情報管理と相互運用可能なサービスによって有資格の当事者間でその情報を交換することを可能とする情報共有基盤としてのインフラ、ガバナンス、標準、しくみ、サービス等全体のことであり。ICAO の SWIM マニュアルのガイダンスと互換性のある環境を指す。</p>                                                                                                                                 |

## 第2章 AIの技術および活用に関する調査

### 2.1 本調査におけるAIの定義

#### 2.1.1 AIとは

近年、各産業分野においてAI（人工知能：Artificial Intelligence）技術の導入が進んでいる。しかし、このAIという文言は、歴史とともにその意味、解釈も流動的に変わってきており、専門的な研究機関や提供ベンダーで独自に解釈されている。そこで、本調査においては最初にAIの指し示すスコープを定義し、定義したスコープに基づいて調査した結果を報告する。

2000年頃から、「AI」というキーワードが新聞や技術誌、ネットメディアなどを賑わせるようになり、今では様々な領域においてAIの利活用が進んでいる。その大きな原動力は「ディープラーニング」であり、自動運転、医療、金融のファンド運用など、多くの領域において研究開発、実証実験、さらには社会実装が進んできている。また、ディープラーニングだけではなく、ルールベースや探索アルゴリズム、ディープラーニング以外の機械学習によるデータ分析手法やツールなども広く使用されている。

このような様々なAI技術について、一般的に、AIの能力に応じてレベルが設けられている。レベルは以下の表 2.1.1-1 に示すとおり1～5までの区分があり、レベルが高くなるほど、より複雑な仕組みが取り入れられている。

表 2.1.1-1 一般的なAI技術の区分

| レベル  | 技術             | 特徴                                                           |
|------|----------------|--------------------------------------------------------------|
| レベル1 | 単純制御アルゴリズム     | 単純な条件分岐で構成されている制御プログラムであり、入力に応じて単純な出力を行うなど、特定の動作を行うことが可能である。 |
| レベル2 | ルールベースの推論プログラム | 事前に設計された複数のパターン（ルール）をプログラムに取り込むことで、入力のパターンに応じた出力が可能である。      |
| レベル3 | 機械学習           | 人間が与えたデータや条件によりパターン（ルール）を検出し、検出したパターン（ルール）に基づき予測を行うことが可能である。 |
| レベル4 | ディープラーニング      | 機械学習からさらに発展し、自動的にパターン（ルール）を検出し、予測を行うことが可能である。                |
| レベル5 | 汎用AI           | 人間と同じように振舞うことが可能となる人工知能を示す。                                  |

そこで本調査報告では、図 2.1.1-1 に示すとおり、現時点の AI 技術の区分のうち、人間によって予めルールの設定が必要となるレベル1~2 を「ロジックシステム」、人間の知的活動を模倣し、データのパターンを自ら導き出すことが可能なレベル3 以降を「AI」と定義する。

この定義に基づき、航空管制分野において、効率的な航空機運航の実現に寄与する「代表的な AI 技術とその活用場面 (2.2)」、「海外の航空業界における AI 活用動向調査 (2.3)」、「他分野への AI 技術の活用事例 (2.4)」、「AI システムの運用体制 (2.5)」について整理していく。

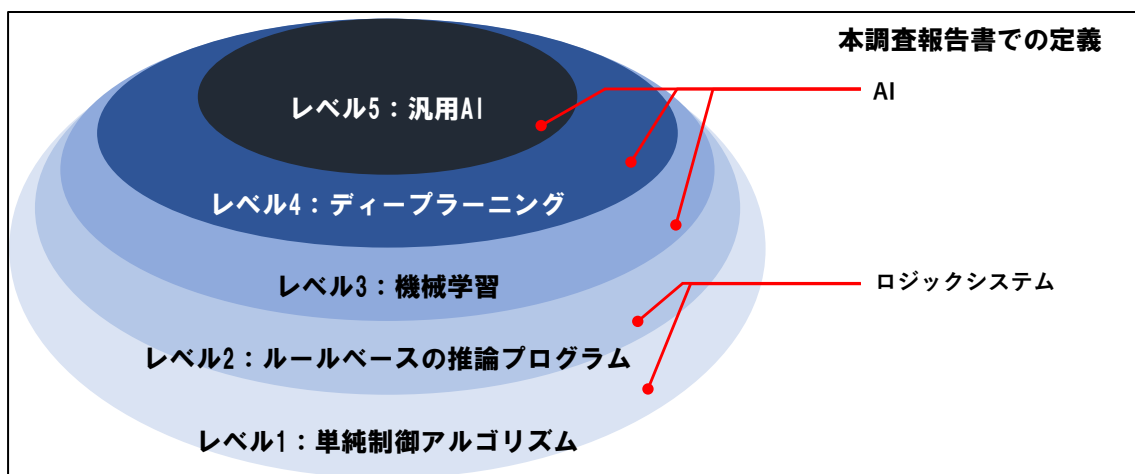


図 2.1.1-1 本調査報告書で定義する AI 技術



## 2.1.2 AIが実現可能な人間の知的活動

本項では、「2.1.1 AIとは」で定義したAIの技術で実現可能な要素を網羅的に説明するため、人間の9つの「知的活動」（認識、理解、学習、判断、予測、言語、知識、身体、創作）に対して、AI技術の動向を整理する。

### ① 認識

誰かに「ネコ」の説明をするときには「耳が三角で……」と具体的な特徴を挙げるが、実際にネコを見たときには（特徴の確認なく）瞬時に「ネコ」と認識することができる。これは、何度もネコを見かけるうちに、対象の特徴からネコを認識する仕組みが脳細胞上にできあがるためである。ロジックシステムによる認識は、個別の特徴を確認する方法が主流であったが、AIによる認識は、大量の画像を読み込ませることで、特徴から対象を認識する仕組みを、神経細胞（ニューロン）を模したモデル上で実現する機械学習が台頭してきている。

「認識」においては、物体認識、音声認識、行動認識などの技術における活用が進んでいる。

### ② 理解

人間であれば、赤い旗が海に立っていれば「遊泳禁止」であることや、相手が「あつい」と言ったときに気温が高ければ「暑い」、お茶を飲んでいけば「熱い」であることを「理解」するのは容易である。しかし、コンピュータが同様に「理解」するためには、画像や言語を「認識」するだけでなく、その背景や文脈（コンテキスト）を踏まえて分析する必要がある。

「理解」においては、言葉の意味理解、画像を介した意味理解などの主要技術や、マルチモーダル学習、比喩の理解などの分野で活用が進んでいる。

### ③ 学習

仮に顧客が10万人いれば、年齢、性別、職業などは多様であり、その行動も千差万別と考えられるが、一見共通点のない顧客が同じ購買行動を示すことがある。顧客データを収集・分析することで何らかの法則を見出せれば、同じ購買行動を示す顧客をターゲットとして広告を打つなど、ビジネスに活かすことができる可能性がある。データ分析を行うには、数学的なモデルで近似する統計学的手法が主流であったが、近年は、様々な手法でデータを分類し、法則を見出す「機械学習」も台頭している。

「学習」においては、機械学習だけでなく、近年では学習自動化など人間の作業を限りなく効率化するための技術活用が進んでいる。

#### ④ 判断

意思を決定するためには一般に複数の要素を勘案する必要がある。例えば自動運転でも、「ネコが飛び出してきた」からハンドルを切るのではなく、「路面が滑りやすい」、「対向車が来ている」などその他の状況も踏まえて総合的に「判断」する必要がある。「判断」については、ロジックシステムも有効であるが、囲碁ソフト AlphaGo で注目を浴びたように機械学習による技術が登場している。

「判断」においては、データを解析した結果に基づく判断、すなわち意思決定する技術、および自動交渉、言論マップ、議論マイニング、ディベート AI など、より複雑な人間の行為を模した活用が進んでいる。

後述するが、航空管制業務において、様々な条件・状況下において、管制官による意思決定が求められるシーンは多い。この知的活動への AI 適用の検証をいち早く進めていくことが、将来の航空管制業務の高度化に寄与する結果となるものと考えている。

#### ⑤ 予測

天気予報や景況などの予測は、生活や経済活動に欠かせないものとなっている。現在の予測はスーパーコンピュータを活用したシミュレーションなどにより行われているが、「学習」で紹介した手法などにより膨大なデータからモデルを作成し、そのモデルに現在のデータを入れることで近未来の「予測」を行うこともできる。例えば、自動運転車のカメラ映像から「子供が飛び出しそう」と予測したり、機械の音や振動と過去の故障直前の状態との類似性から故障を予測したりする用途での利用が始まっている。

「予測」においては、分類、回帰、クラスタリングなどの基本的な技術を使い、たんぱく質構造予測など、より高度な活用が進んでいる。

#### ⑥ 言語

コミュニケーションにおいては「言語」を切り離すことはできない。コンピュータが「言語」を扱えるようになれば、人間とコンピュータとのコミュニケーションが可能になる。既に音声でスマートフォンやスマートスピーカーに指示を出すことも日常風景になっている。また、機械翻訳や顧客からの問い合わせに対応するチャットボットなどの応用も進んでいる。

「言語」においては、ディープラーニングによる機械翻訳だけでなく、近年、自然言語処理分野として急速に成長しており、BERT や GPT といったエンジンによって、文書分類、文書検索、文書校正、文書要約など、意味を理解して生成するといった、より高度な活用が進んでいる。

## ⑦ 知識

知識には、「日本の首都は東京」といった明示的な知識、「ネコが顔を洗うと明日は雨」といった経験的知識、ピアノや自転車のような体で覚える身体知などがある。ディープラーニングにおける知識は、大量のデータを読み込ませることで対象の特徴を、神経細胞（ニューロン）を模したモデルに刷り込ませるものであり、知識にあたる部分の明文化も説明も難しい。モデルの学習には常にデータが必要になることを考えると、学習に用いるデータこそ知識の源泉ともいえる。

「知識」においては、セマンティック Web などに代表されるコンピュータが解釈するために必要なタグ付けに関する活用や、大量データを格納可能な基盤技術、知識を使った推論、知識グラフの補完などといった分野での活用が進んでいる。

## ⑧ 身体

「ロボティクス」というと「ロボット工学」と訳される場合が多いが、人工知能分野と同じく科学と工学の明確な区別が曖昧になっていることや、さらには、哲学、心理学、認知科学、神経科学など多様な分野との関連も深まっており、「ロボット学」と称する方が現代的である。「身体」においては、AIの象徴としてロボットが挙げられることは自然であり、一般社会ではそのように受け入れられているが、近年のネットワーク環境により、物理的な身体なしに活躍する知能システムにも活用が進んでいる。

## ⑨ 創作

作曲したり、絵を描いたりするような創作的な活動は人間だけが行えるように思われる。しかし近年、機械学習の手法により、同じミュージシャンの曲を学習することでそのミュージシャンが作った曲と類似した曲を作ったり、ネコの写真と絵画の巨匠の作風を混ぜ込んだ作画を行ったりすることが可能となっている。

「創作」においては、GAN（Generative Adversarial Network：敵対的生成ネットワーク）に代表されるような学習されたデータにない新しい画像を生成する、あるいは創薬分野など、無から生み出す技術としての活用が進んでいる。

表 2.1.2-1 9つの知的活動に対する主な技術、最新技術動向

| 知的活動 | 主な技術                                                              | 最新技術動向                                                                    |
|------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 認識   | 物体認識、行動認識、音声認識                                                    | 隠れた物体の認識、顔認識、文字認識 (AI-OCR)                                                |
| 理解   | 分散表現による意味理解、画像認識を介した理解、概念メタファーによる理解                               | マルチモーダル学習                                                                 |
| 学習   | 教師あり・なし学習、強化学習、SVM、ディープラーニング、No Free Lunch 定理、みにくいアヒルの子定理         | 学習自動化、「学習」のトレンド                                                           |
| 判断   | プランニング技術、推薦システム、マッチング、行動経済学                                       | 自動交渉、意思決定過程の可視化・自動化 (議論マップ、議論マイニング、ディベート AI)、不完全情報ゲーム解法の応用、脳の意思決定メカニズムの研究 |
| 予測   | 分類、回帰、クラスタリング、ベイズ推定、アンサンブル学習、グラフ構造データによる予測、マテリアルズ・インフォマティクス、データ同化 | タンパク質構造予測 (AlphaFold)                                                     |
| 言語   | ルールベース翻訳 (RBMT)、統計的機械翻訳 (SMT)、ニューラル機械翻訳 (NMT)、言語処理技術の応用           | Transformer による自然言語処理能力の飛躍 (BERT、ELMo、GPT)、自然な会話の実現 (Duplex)              |
| 知識   | オントロジー、セマンティック Web、LOD、共通語彙、知識獲得、データ処理基盤技術、データ保護技術、知識グラフ          | 知識を使った推論 (推論チャレンジ)、知識グラフの埋め込みと補完、データの信憑性判定、データバイアス問題                      |
| 身体   | 認知発達ロボティクス、身体性、予測学習、利他行動の創発                                       | ソフトロボティクス、レザバーコンピューティング                                                   |
| 創作   | オートエンコーダー、VAE、GAN                                                 | GAN の様々なバリエーションの提案 (BigGAN、Cycle GAN など)、マテリアルズ・インフォマティクス/創薬への応用          |

## 2.2 代表的な AI 技術とその活用場面

### 2.2.1 今利用されている AI 技術

#### (1) ディープラーニング

ディープラーニングの仕組みは、脳の神経回路（ニューロン）の働きをモデル化したものである。画像や音声を入力し、正解となる出力との差を小さくすることを繰り返して、判断の精度を高めていく仕組みである。

機械学習では、分析や予測などを行う際に必要な特徴を人間が与えていたのに対し、ディープラーニングでは、大量のデータを用いて特徴を自力で抽出することを可能にした。

ディープラーニングの登場により、画像認識や音声認識の分野で従来の精度を凌駕するなど様々な成果が得られ、今後はディープラーニングと強化学習を組み合わせ、ロボットなどへの機械の動作の学習（運動の習熟）や、言葉の意味理解などへと発展することが期待されている。

以下に、ディープラーニングの応用分野を例示する。

#### ① 画像認識

画像認識の応用は、自動運転のための走行環境の認識、医療画像の認識と診断、不良品検知、防犯・防災など、多岐にわたっている。以下の表 2.2.1-1 に代表的なユースケースを示す。

表 2.2.1-1 画像認識のユースケース

| 分野         | ユースケース      | 概要                    |
|------------|-------------|-----------------------|
| 製造業        | 品質検査        | 良品と不良品を自動的に判別         |
|            | 産業用ロボットへの搭載 | 産業用ロボットの対象物の認識など      |
| 自動車産業      | 走行環境の理解     | 車外向けのカメラ映像から走行環境を理解   |
| 農業         | 生産支援        | 作づけ・生育状況、作物の収穫量などを判断  |
|            | 自動選別        | 不良な作物を自動で除去           |
|            | 自動収穫        | カメラとロボットを利用し自動で収穫     |
| 医療・介護      | 画像診断        | 医用画像から病変、病巣を発見        |
|            | 介護ロボット      | 物体検知・自律走行型の介護ロボット     |
| 防犯・防災      | 防犯          | 不審物、不審人物、不審行動を検知      |
|            | 防災          | 河川や土石流などの状況を監視、異常を検知  |
| エネルギー      | 異常検知        | 電カプラントなどの設備の異常を検知     |
| 物流         | ピッキングロボット   | ロボットによる自動ピッキングでの画像認識  |
|            | バーコードなしの検品  | 画像認識による検品             |
| 流通業        | 店舗マーケティング   | 来店者の人数、属性などを分析        |
|            | 棚割の管理       | 小売店の陳列商品の種類や数を判別      |
|            | 混雑・空席状況の管理  | 混雑・空席状況を把握、来店者のスマホに通知 |
|            | 精算・チェックアウト  | 商品と来店者の顔の認証による決済      |
|            | 真贋判定        | 高級ブランド品などの真贋判定        |
| エンターテインメント | 映像制作支援      | アニメやゲームの映像制作支援        |
|            | カラー写真の自動生成  | モノクロ写真からカラー写真を自動生成    |
| スポーツ       | 戦術分析        | 選手のプレーを解析し、戦術に活用      |
| スマートライフ    | 見守り、防犯      | 高齢者、子供、ペットなどの見守りや防犯   |
| その他        | AI-OCR      | 自由なレイアウトの手書き文書を読み取り   |

## ② 音声・言語認識

音声・言語認識の応用には、チャットボットなどの音声認識・対話、機械翻訳、文章生成などがある。近年、企業や自治体のホームページのFAQや問い合わせ窓口にも、会話を自動的に行うチャットボットが多く活用されている。また、「Amazon Alexa」、「Google Home」、あるいはAppleの「Siri」など、音声を使った対話システムが普及し、音声認識技術の高度化が進んでいる。対話の際、機械が音声で回答するための音声合成についても、いわゆるロボットの棒読みではなく、人間らしい自然な発音や間合い、感情などを表現できるようになっている。さらに、実在する人物の音声を学習させることにより、あたかもその人が喋っているかのような発話の生成も可能になっている。

機械翻訳で使われるAI技術は、ルールベース、統計ベースと進化してきたが、ディープラーニングを使ったニューラル機械翻訳によって文章の文脈を捉えつつ、自然な文章を生成して翻訳することが可能になった。

### ③ 運動の習熟

運動の習熟の応用には、深層強化学習を用いたロボットや機械動作の習熟などがあり、ピッキングの自動化などに応用されている。また、ディープラーニングのロボットへの応用も進んでおり、産業用ロボット、サービスロボット双方に影響を与えている。ロボットの認識や判断の能力が大きく進歩しており、ロボットが対象物を見つけてそれをピックアップし、運ぶことが可能になっている。また、不定形の物体や柔らかい物体を掴んだり、複数の種類の物体を同時に扱ったりするなど、これまでのロボットにはできなかった動作の実現も進められている。

株式会社 Preferred Networks は、パーソナルロボット分野へのチャレンジを表明しており、2018年10月に開催された「CEATEC JAPAN 2018」では、「全自動お片付けロボットシステム」を出展。イノベーション性が高く、優れている技術・製品・サービスなどを表彰する「CEATEC AWARD 2018」のインダストリ／マーケット部門準グランプリを受賞している。そのほかにも、ディープラーニングを活用したデータ分析により、購買行動予測、店舗商品の需要予測、機械の故障予測や異常検知、株価予測などのソリューションが開発されている。これまでは、高度な専門性を持つ技術者が仮説を立てながら予測モデルを構築する必要があったが、ディープラーニングを活用すれば膨大なデータから短時間で結果を得ることができる。ただし現状では、データの整理や学習などに時間を要するため、それらの処理を簡素化・自動化するツールの開発も進められている。

## (2) ディープラーニング以外の機械学習

ディープラーニング以外の機械学習は、ディープラーニング普及以前から利活用が進められている歴史のある技術である。決定木、サポートベクトルマシン (SVM)、ランダムフォレスト、回帰分析など様々な手法がある。ディープラーニングが、特徴量 (分析に関係がある情報) を自動的に抽出するのに対し、これらの手法は、主として人が特徴量を選択し、コンピュータに教えるという点が異なる (教師あり学習)。教師あり学習は、確立された統計的手法がベースになっており、予測結果に対して理論的な根拠を得やすいとされる。

教師あり学習は、「回帰」 (値の予測) と「判別」 (判別の予測) に大別される。回帰と判別について、以下の表 2.2.1-2 に示す。

表 2.2.1-2 回帰と判別

| 分野 | 手法          |
|----|-------------|
| 回帰 | 線形回帰        |
|    | 決定木         |
|    | ランダムフォレスト   |
| 判別 | ロジスティック回帰   |
|    | サポートベクトルマシン |
|    | 決定木         |
|    | ランダムフォレスト   |
|    | ナイーブベイズ     |

- ・ 線形回帰  
統計学における分析で用いられる最も基本的な手法。ある事象に影響のある要因 (変動変数)  $x$  の値に基づき、目的となる変数  $y$  の値を予測する。線に沿ってデータを分布させるため、直感的に理解しやすく、売り上げ予測やリスク評価などに使用されている。
- ・ 決定木 (回帰木、分類木)  
意思決定の助けとして用いられる手法。任意の条件について「する」「しない」の分類を行う。複雑な意思決定を単純な構造に表すことができる。例えば、屋外イベントについて、開催を「する」「しない」、天候 (晴れ、曇り、雨、雪のそれぞれ) により「する」「しない」、風速により「する」「しない」、といった決定を枝分かれしたグラフで示す。
- ・ ランダムフォレスト  
多数の決定木を用いて、平均または多数決を取る際に用いられる手法。多数の決定木を用いることで、精度を高めることができる。ただし、用いる決定木に類似性があると精度が低下するため、決定木に多様性を持たせる必要がある。



- ロジスティック回帰  
任意の事象が発生する確率を求めることで、その事象が発生するかないかを分類する手法。多変量解析の一種である。また判明していない結果の予測にも、既に判明している結果の説明にも用いることができる。
- サポートベクトルマシン  
「サポートベクトル」とは、外れ値を除いた「予測に必要となる一部のデータ」のことを意味し、外れ値を除くことにより精度の高い予測を行う手法。ラベルを判別する境界線とデータとの距離を最大化する「マージン最大化」という基準を用いることで、境界に近いためにラベルが見分けにくいデータだけを判別対象に絞り込むことで、精度の高い判別を実現している。  
なお、サポートベクトルマシンでは境界が必ず直線になるため、分類毎の境界が曲線になるようなデータの分類には向かない。しかし、カーネル法（別の特徴空間を用いた線形回帰）を組み合わせることで、円形の境界を用いた分析も可能となる。
- ナイーブベイズ（単純ベイズ分類）  
確率論の定理である「ベイズの定理」に基づいた予測を行う手法。与えられたデータが任意のラベルである確率を計算し、確率が最大になるラベルに分類する。自然言語の分類に適しており、文章の分類やスパムメールの分類などに利用されている。

導入事例としては、製造業での機械の故障予測、設計支援、インフラの運用支援、劣化予測、防犯での犯罪発生予測、金融での不正検知、資金ニーズ予測、流通業での最適価格設定、行政での積算ミスの自動検知、スポーツでの観戦チケットのダイナミックプライシングなどがある。

なお、ディープラーニングも含めた機械学習の開発環境としては、AWS（Amazon Web Services）、Microsoft Azure など、大手のクラウドサービスが機械学習の API を提供しており、環境構築を行うことなく、AI 活用に取りかかることが可能である。また、ある程度学習済みのモデルも提供されており、学習データやデータサイエンティストの不足、開発コストに悩む企業にとって有効な手段となっている。

さらに、AutoML と呼ばれるデータを投入するだけで、適切な機械学習モデルを自動的に生成できるソリューションも存在し、AI やデータサイエンスの専門性を持たないビジネスの現場でも AI を使った分析を行うことが容易になる。

### (3) そのほかの AI 技術

「2.1 本調査における AI の定義」で述べたように、本調査報告書ではレベル 1～2 の技術をロジックシステムと定義しているが、一般的には AI 技術として定義されており、レベル 1～2 に該当するルールベースや探索アルゴリズムなどの技術は、広く実用化されている。具体的には知識処理技術やプランニング技術、マッチング技術などがある。以下に代表的な技術を紹介する。

「知識処理技術」は古くからある AI 技術であり、セマンティック Web や LOD (Linked Open Data) といった活動を通じてボトムアップに知識が整備されつつある。同時に知識をコンピュータで利用するための仕組みである RDF (Resource Description Format) や知識の表現形式の標準化が進み、様々な産業でも知識の利用が始まったところである。例えば、LOD は標準検索 API として SPARQL エンドポイント (データベースへのアクセスポイント) を持ち、ここから問い合わせ言語 SPARQL による検索が可能になっている。

また、宅配業者の配送ルート計画や、ロボットの複雑な動作の実行では、「プランニング技術」が活用されている。プランニングも歴史のある AI 技術であるが、最近の強化学習やディープラーニングの成果を取り入れることで、より複雑で大規模な問題にも短時間で答えることが可能となった。火星探査機や自動運転技術として活用されている。

ほかには、保育園と待機児童の組み合わせのような大規模で複雑な組み合わせ問題を高速に解く「マッチング技術」、エージェントと呼ばれるプログラムによる「自動意思決定技術」や、エージェント間の「自動交渉技術」は、一般に数理最適化やゲーム理論に分類されるが、アルゴリズムの改良による高速化や扱える規模の拡大により、広義の AI 技術としてマスコミや各種文献で紹介されている。

## 2.2.2 AIの説明性における課題

AIを業務に活用していくにあたり、壁にぶつかってしまうケースがある。その壁の一つが「AIがなぜその判断・分析結果を出したのか根拠がわからない」というものである。

現在、広く利用されているディープラーニングは、大量のデータから自動的に特徴を見つけ出す特性を活かし、画像を使った製品検査業務などの効率化で成果を上げている。しかし、その結果に至った根拠を明らかにすることが難しく、判断根拠が「ブラックボックス」化されてしまう。そのため、人の判断などの業務シーンに活用する場合などでは、判断根拠が明確ではないことが課題になる可能性がある。

そこで注目が集まっているのが、結果に至る理由（判断根拠）がわかる「説明可能なAI（Explainable AI, XAI）」＝「ホワイトボックス型AI」である。

企業の経営判断や人事採用、金融審査、医療、そして航空管制業務もそうであるが、人の意思決定が必要であったり、人がAIの判断結果から影響を受けたりするような場面において、AIには、なぜその結果を導いたのかがわかる「説明性」が求められる。その説明性を備えている技術が「ホワイトボックス型AI」である。これに対し、説明性を備えていないAIは「ブラックボックス型AI」と呼ばれる。

ブラックボックス型AIが得意なのは、製品検査業務や真贋判定、劣化診断のようにAIに任せたい判断が明確で、パフォーマンスやスピードなど効率化を優先したい領域となる。一方、ホワイトボックス型AIが適した領域としては、ゴールが一つに定まらない問題であり、分析の理由の説明が必要なケースである。既に活用が進む例では、小売・製造業における需要予測がそれに相当する。

消費者ニーズの多様化や商品ライフサイクルの短命化などによって、需要予測にはより高度な分析ノウハウが求められるようになってきている。しかも、刻々と変化するマーケットに対応し、迅速に意思決定を行うには、その分析ノウハウの獲得に許された時間はごくわずかとなる。ホワイトボックス型AIであれば、AIの予測結果と人の知見を組み合わせ、予測分析の精度を上げていくことが可能となる。また、説明性を備えているため、人にとって分析結果に対する納得感もあり、合意形成、意思決定をスムーズに行うことが可能である。

このように、AIが導き出した結果と理由を踏まえて人が考察し、意思決定や精度改善をしたり、新しい発見や示唆を得たりする「ホワイトボックス型AI」は、人と「協調」し、意思決定の高度化を行うことを得意としている。

### 2.2.3 航空業界で活用が期待される AI 技術

航空管制業務は、空域の利用制限、気象状態など多種多様でかつ時々刻々と変化する極めて複雑な制約条件を考慮した上で意思決定が行われており、管制官の業務経験や業務の負荷状況によって正確な判断が難しい場合が考えられる。また、管制官と航空機のパイロットの間では、英語を主として様々な言語で様々な会話が行われており、業務の経験年数も異なれば、母国語以外の言語習得度も異なることから、会話の中での言い間違いや聞き間違いが生じる可能性は高く、安全・安心な運航の妨げになる恐れがあると考えられる。

航空管制業務におけるこれらの課題について、以下に示す AI 技術を活用することで効率的かつ安心・安全な管制運用が実現可能であると考ええる。

- ・ 最適化
- ・ 音声認識
- ・ 予測

以下に、これら 3 つの技術について記載する。

#### (1) 最適化

最適化が得意とする意思決定業務としては、「順番決め」、「スケジューリング」、「マッチング」、「リソース配分」などがあるが、これらの実現には以下のような課題があった。

- ① 環境が不確実なため最適化に必要な情報が足りない。
- ② 現場の複雑な意図を意思決定基準に反映できない。
- ③ 問題が大規模で膨大な計算量が発生し現実的な時間で最適解を計算できない。

これらの問題に対し、「強化学習」や「逆強化学習」といった AI 技術を活用することで、解決することが可能となってきた。

「強化学習」とは、目的、目標に対して最適な解を導き出す学習であり、様々な試行を繰り返しながら最適な解を導くことが可能である。また、「逆強化学習」とは、過去の適切な解（実績）から、最適化を行うための目的、目標を導き出す学習であり、経験者の思考や意思決定基準を AI に学習させることで、経験者が持つ観点やその重要度を導き出すことが可能となる。

上記のような AI 技術の活用により「不確実な状況下でも AI が自動的に試行を繰り返しながら最適解を追求」、「人の意思決定情報の学習による、優秀な人の意思の模倣」が可能となり、さらに、量子コンピューティングによって高速計算が実現可能となったことで、大規模かつ複雑な組み合わせ問題を高速に解くことが可能である。

航空業界など、迅速に人の意思決定が求められる業務においては、このような最適化領域における AI 技術の有効性をいち早く検証し、段階的に業務適用していくことが将来の航空管制技術高度化のために必要であると考えられる。

最適化技術を活用した具体的な例を以下に示す。

### (A) 人の意思決定情報の学習による最適化

過去の意思決定情報をもとに、どの観点をもどの程度重視するかを自動的に学習することで、過去の意思決定時の意図を効率的に反映した最適化が可能となる。

例えば、以下の図 2.2.3-1 に示すように、過去の優れたシフト表からシフト作成の意図を学習し、それを最適化することにより、シフト作成のベテランが作成したようなシフト案を自動的に作成することが可能となる。

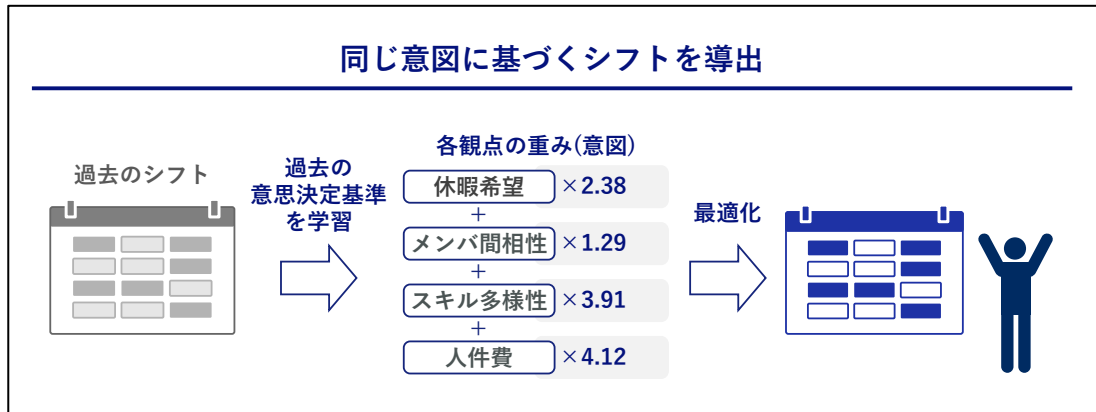


図 2.2.3-1 複雑な現場の意図を意思決定基準に反映

### (B) 大規模な課題に対しても即座に最適化を導出

最適化の対象とする問題が大規模である場合、最適解を導くための計算に非現実的な時間を要することから、これまでは AI 技術による最適化が難しいケースがあったが、量子コンピューティングによる高速計算によって、大規模かつ複雑な組み合わせの場合においても即座に解を求めることが可能となり、緊急事態や想定外の事象などが生じた際にも、迅速な意思決定を行うことが可能となっている。

例えば製品の生産計画の最適化には極めて長い時間を要してしまうため、急な生産追加の要求や予定外のライン故障などが生じた場合、AI 技術を用いて再度、最適化を行うことが難しかった。このような場合においても、追加生産やライン故障を考慮した最適化を即時に実施可能となり、迅速な意思決定を行うことが可能となる。

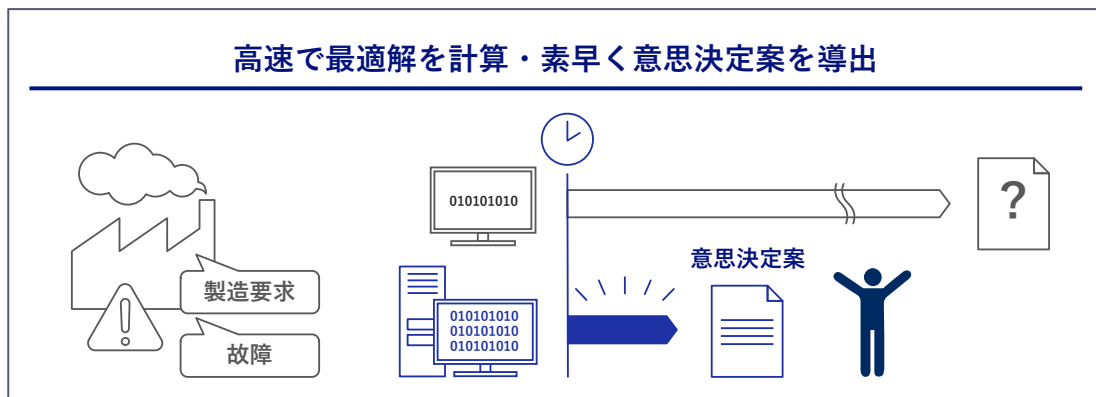


図 2.2.3-2 大規模な課題に対しても即座に最適解を導出

### **(C) 航空管制業務での活用例**

航空管制業務は、地上面の運用状況、空域の利用制限、気象状態、他運航便との関係を始めとする多種多様な、かつ時々刻々と変化する極めて複雑な制約条件を考慮した上で行われており、ロジックシステムでは支援することが困難であった。この点について、大規模かつ予定外の変化にも柔軟かつ高速に対応可能な AI を活用することで、管制官の意思決定の思考を学習し、最適化の提案を可能とし、効率的な管制運用を実現することが可能である。

## (2) 音声認識

音声は人と人との発話であり、非定型のデータである。同じ言葉であっても、文脈や状況によって異なり、言葉そのものが複数の意味を持っていたり、業界内において本来の意味とは異なる特別な語句として扱われたりすることもある。また、省略されたり、指示代名詞に置き換えられたりすることもあり、コンピュータが分析し、正確にテキストデータに書き起こすことは極めて困難であった。しかし、インターネットの発展により、分析対象となる音声サンプルを大量に、かつ迅速に収集可能になったこと、また AI 技術（ディープラーニング）が飛躍的に進化したことにより、音声認識の精度が飛躍的に高まり、様々な業務において利用可能となってきている。

音声認識技術を活用した具体的な例を以下に示す。

### (A) 発話内容のテキストデータ変換

AI 技術（ディープラーニング）が飛躍的に進化したことにより、人が話した言葉や、会話内容を自動的にテキストデータへ変換することが可能である。

例えば、議事録は人が聞き取った内容をノートに筆記する、あるいはパソコンのメモ帳などにタイピングすることで作成されており、議事録作成者の知識量やスキルにより、議事録の作成速度や内容の精度には大きな差が生じていた。この点について、AI を活用した音声認識技術を活用し、出席者の発話内容を自動的にテキストデータに変換することで、会議後すぐに精度の高い議事録を関係者間で共有することが可能となる。

### (B) 自動翻訳

他言語の正確な翻訳には極めて高いスキルが必要となり、相手の発言の意図を正確に理解するためには、文法的な理解だけでなく、歴史・文化的な理解も必要となる。この点において、AI を活用した音声認識技術では、世界中で交わされる様々なジャンルの様々な会話データを学習することで、適切な翻訳を瞬時に行うことが可能となる。また、人間であれば複数言語の翻訳が可能な人材を身近に確保することは困難であるが、AI 技術を活用した自動翻訳であればスマートフォンなどで常備することが可能となる。

### (C) 航空管制業務での活用案

航空管制においては、管制官と航空機のパイロットとの間で時々刻々と、英語を主として様々な言語で様々な会話が行われている。業務の経験年数も異なれば、母国語以外の言語の習得度も異なるため、会話の中で言い間違いや聞き間違いが生じる可能性は高く、それは安全・安心な運航の妨げになる恐れがある。そこで、会話内容を自動的にテキスト化する AI と、現場の複雑な意図を意思決定基準に反映可能な AI とを組み合わせることで、会話の際、現場の状況を踏まえた上で、その会話内容が適切なものであったか否か、言い間違いを含むものであったか否か、あるいはその会話が意思決定上重視すべきものか否か、といった様々な判断を瞬時に行うことができる。これによって、安全・安心な運用、および取り巻く状況に応じた適切かつ効率的な運用を実現することが可能である。

### (3) 予測

AIによる予測は、世の中に存在する予測の対象事象に影響を与える可能性のある多種多様なデータを与え、それらデータ同士の影響度や相関関係、規則性を自律的に分析し、将来予測を立てることが可能である。また、一見関連のないように思えるデータが持つかすかな因果関係なども考慮した上で、精度の高い予測が可能である。

一般的に、事象の予測、シミュレーション、検証、あるいは要因分析を行う場合には統計学的手法の一つである「回帰分析」が用いられる。回帰分析は、結果データと要因データの関係性を明らかにする手法であり、最も基本的なモデルが「線形回帰（単回帰）」である。

線形回帰モデルは「 $y=ax+b$ 」で示され、 $y$ が「目的変数（予測したいデータ）」、 $x$ が「説明変数（予測のために用いるデータ）」となる。 $a$ は「傾き（重み）」、 $b$ は「切片（ $y$ 軸との交点）」であり、 $a$ と $b$ が学習されるパラメータとなる。

線形回帰（単回帰）について、以下の図 2.2.3-3 に示す。

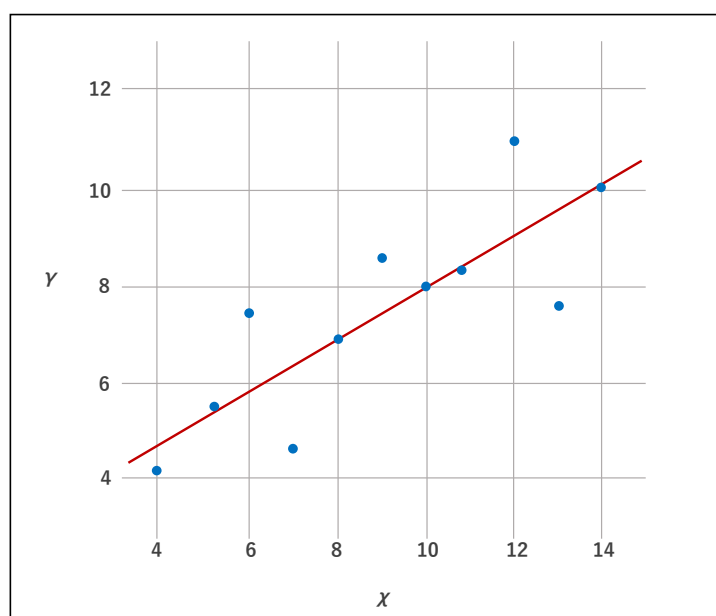


図 2.2.3-3 線形回帰（単回帰）

出典：秋庭伸也、杉山阿聖、寺田学「見て試してわかる機械学習アルゴリズムの仕組み 機械学習図鑑」（翔泳社、2019年）

例えば、ある商品について、公式 SNS への投稿数による売り上げ予測を立てるとした場合、 $y$  は商品の売上額、 $x$  は公式 SNS への投稿数となる。SNS の投稿数と商品の売り上げデータの散布図に対して、複数の直線を引くことができる。



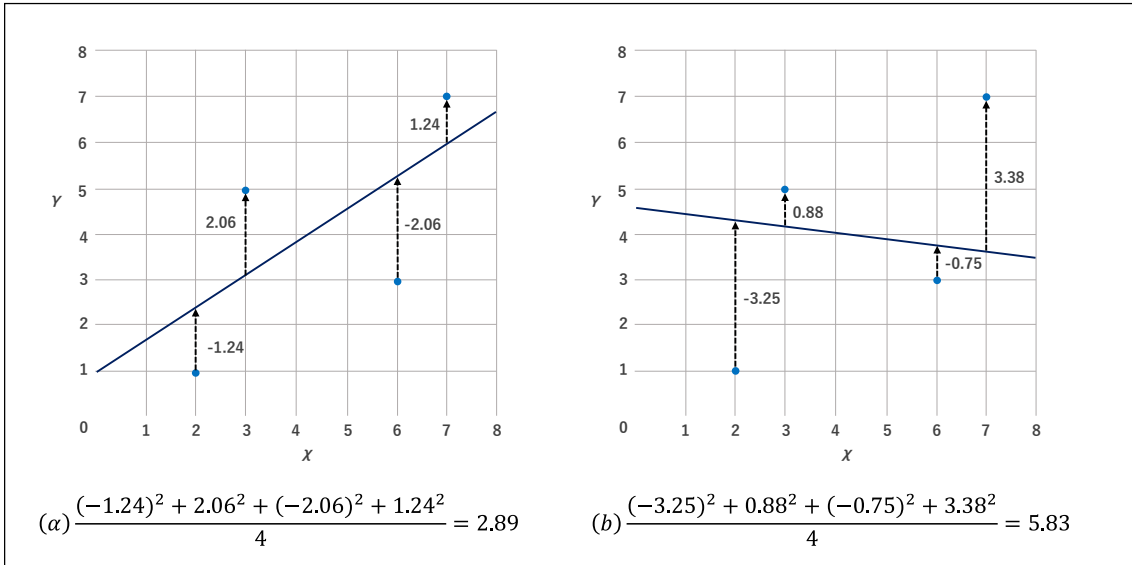


図 2.2.3-4 平均二乗誤差の比較

出典：秋庭伸也、杉山阿聖、寺田学「見て試してわかる機械学習アルゴリズムの仕組み 機械学習図鑑」(翔泳社、2019年)

図 2.2.3-4 のように、散布図に対して 2 つの直線を引いた場合、左右の直線について、どちらがよりデータの関係性を正しく表しているかを判断するために、平均二乗誤差（目的変数と直線との誤差を二乗し、その平均を計算）を利用する。図 2.2.3-4 のように、(a) は 2.89、(b) は 5.83 となることから、(a) の方がより正しい関係性を示していることになる。この誤差と学習パラメータの関係を表す関数を誤差関数（または損失関数）と呼び、線形回帰では、この誤差関数が最も小さくなるパラメータを求めている。このように、線形回帰に基づく予測は、数式によって比較、確認が可能であるため、人間にとって予測の根拠を理解しやすいモデルとなっている。

しかし、実際に売り上げ予測を立てる際には、SNS の投稿だけではなく、季節、天候、景気など様々な条件が複雑に入り組んでいるため、線形回帰に基づく予測では正確性に限界がある。この点において、ディープラーニングであれば複雑に入り組んだ条件であっても、精度の高い予測が可能となるが、一方で AI がどのような根拠に基づき予測を行ったのか、人間には理解が難しくなる。

この課題について、日本電気株式会社 (NEC) が開発している「異種混合学習」では、入力データを決定木形式のルールにより場合分けし、場合毎に異なる説明変数を組み合わせた線形モデルによる予測を行うため、高い精度を保ちつつも、人間が予測の根拠を理解しやすいモデルとなっている。

異種混合学習の予測モデルについて、以下の図 2.2.3-5 に示す。

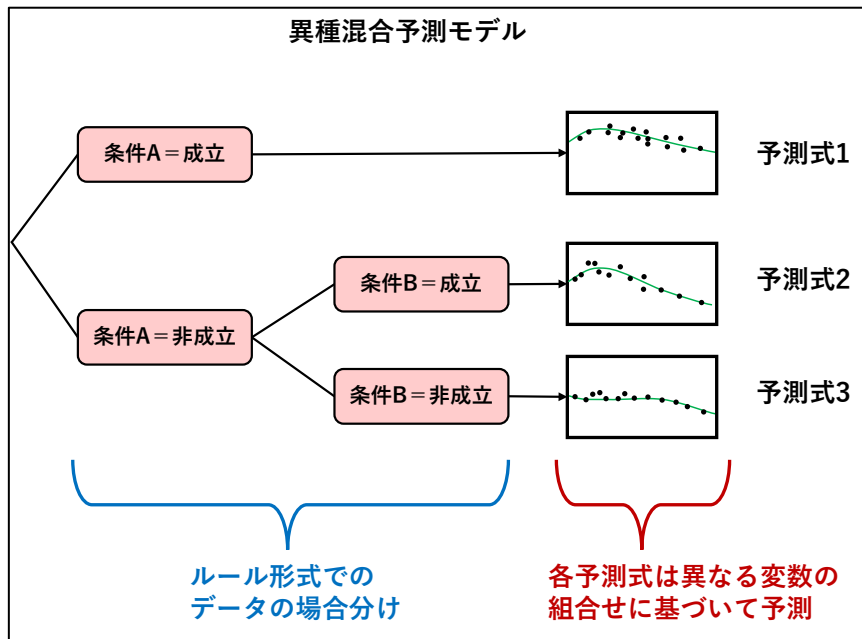


図 2.2.3-5 異種混合学習の予測モデル

予測技術を活用した具体的な例を以下に示す。

#### (A) 様々なデータを組み合わせることによる予測

AI 技術を活用することで、蓄積された過去のデータに加えて、気象条件や暦情報など、様々なデータを組み合わせることで予測を行うことが可能である。

例えば、消費者のニーズを予測する場合、蓄積された過去の売り上げデータや来客数などのデータに加え、気象情報やカレンダーの暦情報、店舗周辺でのイベント情報など、様々なデータを組み合わせることで、来週に来店客数を予測可能とし、この予測をもとに、通常販売や特別セールなどの計画を立て、商品の入荷数、スタッフのシフト計画などを立案することで、利益率の向上、売れ残りの低減による食品ロスの削減、適切な人員配分によるコストの最小化、顧客満足度の向上につなげることが可能となる。

また、工事現場や工場などでは、機器の故障にともない事故や製造ラインの停止が生じると、工事の中断や製造・出荷停止など、大きな損失を生み出すことにつながりかねないが、機器の動作音や使用年数、稼働状況などを踏まえて、機器の劣化や故障の発生を正確に予測することにより、故障による事故やラインの停止を防ぎ、損失を回避することが可能となるとともに、機器の修理、リプレースの計画を効率的に立てることが可能となる。

## **(B) 航空管制業務での活用案**

航空管制においては、飛行するためにフライトプランを事前提出しなければならない定めとなっているが、飛行の数時間前に提出されることが多く、これまで、当日より前の段階において、交通量をより正確に予測することは極めて難しかった。この点について AI 技術を活用し、蓄積された実績情報に加えてダイヤ情報や気象条件、季節など様々なデータを組み合わせ、場合毎に異なる予測モデルを作成することによって、より精度の高い交通量の予測が可能となる。さらに、予測に基づき最適化されたセクタ構成や運用計画を立案することにより、交通需要の高いセクタの容量を向上し、効率的な管制運用を実現することが可能となる。

## 2.3 海外の航空業界における AI 活用動向調査

本節では、AI 活用が進んでいるアメリカの航空会社 2 社を対象に、以下の条件に合致する航空会社を選定し、AI の活用動向について調査する。

- ① AI を導入または試験的に導入していること。
- ② AI を航空機の運航に係る分野に活用していること。

上記の条件で HP など調査した結果、アラスカ航空の AI による飛行ルート最適化による燃料削減などへの活用事例と、デルタ航空の AI を使った運航管理の機械学習プラットフォームの導入の事例について、導入経緯、導入効果などについて整理することとした。

### 2.3.1 アラスカ航空の AI 活用事例<sup>1</sup>

#### (1) AI の導入経緯と導入分野

アラスカ航空は、ディスパッチャがパイロットと協力して各フライトの安全な経路と運用を確保し、持続可能性のある目標を達成するため、今日、急速に進化する AI 機能を活用して CO<sub>2</sub> 排出量を削減することに役立つツールに投資する決定をした。

アラスカ航空は、革新、安全性、持続可能性のためにアラスカの運用環境で最高の結果をもたらすよう、エアスペースインテリジェンス社の飛行監視・ルーティングプラットフォーム「Flyways AI」を採用することとした。また、アメリカ本土全体に Flyways AI を最適に実装するために、2 年間にわたりエアスペースインテリジェンス社と協力して、アラスカのディスパッチャが A 地点から B 地点まで航空機を飛ばすための最も安全で効率的な方法を決定するための取り組みを行い、2021 年に Flyways AI の導入に至っている。この導入は、世界で初めて AI を活用した運航の効率化事例といわれている。

#### (2) AI の活用状況

ディスパッチャは、経路の選択、燃料の決定、天候の回避などに責任を負い、フライトと乗客が安全に、スムーズかつ効率的に移動できるようにする必要がある。このため、ディスパッチャは、1 つのフライトを構築するために、何年もの間レガシーコンピュータシステムに依存してきた。しかし、現在は新しいツール (AI) を使用することで、情報に基づいた意思決定をさらに正確に行うことができるようになっている。

Flyways AI は、AI を使用して、ディスパッチャがアメリカ大陸周辺の最も効率的なルートを計画し、フライトを継続的に監視できるようにするものである。AI は、ディスパッチャが複数の情報源を分類して、目的地にすばやく安全に到着するための最良の経路を計算することを支援する。これにより、利用可能なすべてのデータを最適化し、ルートをリアルタイムで計画して、乗客をよりスムーズに、より安全に、より速く目的地に到着させることができる。

---

<sup>1</sup>Alaska Airlines Blog 「Alaska dispatchers and Silicon Valley are revolutionizing more efficient, sustainable ways to fly」 2021 年、<<https://blog.alaskaair.com/alaska-airlines/revolutionizing-more-efficient-sustainable-ways-to-fly-flywaysai/>>

航空機の飛行経路を決定する際には、連邦航空局（FAA）やディスペッチャなど複数の利害関係者が関与している。彼らは、一緒になって、いくつかのデータポイントと関連する気象情報や制限空域など、最大 8 つの情報源からの情報に基づいて、経路の選択オプションと推奨経路を共有する。ディスペッチャは、出発前にこれらの FAA 承認の情報源からデータを収集し、各フライトの時間と飛行経路を作成する。

Flyways AI は、これらのプロセスを簡素化し、ディスペッチャが複雑な変数の配列をスムーズに処理できるようにするとともに、将来の予測情報を処理することができる。

また、Flyways AI は、混雑がいつどのように発生するかを理解し、予測モデリングを使用して、1 つのフライトだけでなく、ネットワーク全体を最適化するルートを推奨する。このツールは、ディスペッチャが悪天候、乱気流、制限空域、空域の混雑などを回避するルートを選択するのに役立っている。また、複数のツールを 1 つのディスペッチシステムに統合し、様々な情報源を排除する。ディスペッチャは自分の判断に基づいて、Flyways AI に最適化されたルートをいつどのように使用するかを決定し、常に安全を最優先する。

このように、Flyways AI の導入で天気、乱気流、機体性能、安全ポリシー、管制、全体的な交通量等の AI による 8 時間先までの予測を考慮し、最も効率的な飛行ルートを計画することができるようになった。さらに、飛行時間や CO<sub>2</sub> 排出量を節約しつつ、乗客により良いフライトを提供できるとしている。



### (3) AI 活用の効果

Flyways AI は、航空機が出発する前に悪天などを回避するルートを推奨し、到着時間を数分短縮することが可能である。また、フライトが降下する準備をしている時は、Flyways AI が事前に混雑が最も少ないと予測していた到着の降下経路を提示することが可能である。

1 日で計算すると、数分は取るに足りないようにみえるかもしれないが、乗客の時間価値は 1 分毎にカウントされ、毎分消費されるジェット燃料の量は驚異的な数字となる。

Flyways AI を使用した 6 か月のトライアルプログラムでは、空域の混雑や悪天候などを回避するため、飛行ルートを変更する計画、監視、推奨を行い、主要路線の 67% で飛行距離や燃料消費量を削減する機会が発見され、ディスパッチャは推奨事項の 32% を受け入れたという報告がなされた。

その結果、COVID-19 パンデミックの影響で飛行全体が大幅に落ち込んだ時期に実施されたにも関わらず、Flyways AI は、燃料使用量を 480,000 ガロン削減し、大気中への CO<sub>2</sub> 排出量を約 4,600 トン削減することに貢献している。これは、「ネットゼロ」への道のりの基本的なステップが運航効率であることを考えると、2040 年までの「炭素排出ネットゼロ」への取り組みに適合しているといえる。

## 2.3.2 デルタ航空の AI 活用事例<sup>2</sup>

### (1) AI の導入経緯と導入分野

デルタ航空は、ここ数年、顧客エクスペリエンスの変革において業界をリードしてきた。例えば、アトランタ国際空港の国際線ターミナル全体に生体認証を導入、RFID タグによる手荷物追跡、モバイル用 Fly Delta アプリによる自動チェックイン機能、機内でのシームレスなインターネット接続のための提携、保安検査レーンの自動化、パイロットが乱気流を避けるための気象予測アプリの開発などを推進してきている。

デルタ航空は、情報技術においてさらなるデジタル変革を続けており、テクノロジーが競争上の優位性になるとの考えから、2020 年春、業界初の AI を使った機械学習プラットフォームを運航管理に導入することとした。

デルタ航空は、従業員の専門知識と航空会社ではこれまで使用したことのない規模の人工知能と機械学習の力を組み合わせることで、予測不可能なことから当て推量の要素を取り除き、さらなる「定時到着」を目指していくとしている。

### (2) AI の活用状況

AI を使った独自のプラットフォームは、グローバル規模の運航に対応する本格的なデジタルシミュレーション環境である。

独自の AI 駆動型プラットフォームは、航空機の位置、運航乗務員の制約、空港の状況に至るまで、数百万もの運航データポイントを分析して、悪天候や火山噴火などの混乱状況が発生する前、最中、後に、デルタ航空の職員が下す重大な意思決定をサポートする予測結果を提示する。

また、デルタ航空の過去の履歴データから運用上の課題を迅速にシミュレーションし、乗客への影響を軽減する可能性のある結果を提示する。さらに、ある状況において、「より良い意思決定はどうあるべきだったのか」を明確にするための事後分析ツールとしても使用することができる。

また、技術チームに対しては、予知メンテナンスとして、航空機のコンポーネントで発生する障害をより正確に予測できるようにし、事前の対応によりメンテナンス関連のフライトの遅延とキャンセルを減らすことができるようになっている。

この革新的なアーキテクチャは、より多くのデータが入力されるようになり、結果が出せるようになれば、プラットフォームをより優れたものにする。特に、悪天候やその他の困難な状況下での旅行の際には、信頼性のレベルをさらに引き上げることに貢献すると思われる。

---

<sup>2</sup>DELTA NEWS HUB 「Nothing artificial about this intelligence: Delta's industry-first machine learning platform minimizes customer inconvenience during tough operation」2020 年、<<https://news.delta.com/nothing-artificial-about-intelligence-deltas-industry-first-machine-learning-platform-minimizes>>

### (3) AI 活用の効果

運航上の障害を迅速にシミュレーションし、想定される結果を提示することで意思決定を効率化、乗客への影響を軽減できるという効果が大きい。乗客は、天候に関わらず、安全かつ時間どおりに目的地に到着することを期待している。そのためには、機械学習プラットフォームを追加することで、他のデルタ航空のチームと緊密に連携し、乗客の計画が中断される可能性がある場合には、乗客に積極的に通知をするなど、よりストレスのない旅行を提供する上でさらに大きな役割を果たすことが期待されている。

2020年の春から機械学習プラットフォームが完全にオンラインになり、時間の経過とともににより多くの実データが収集、統合されるようになった。その結果、オペレーションの意思決定のための実用的なデータが生成されるようになり、複雑な意思決定のためのパラメータを微調整していくことで、冬の嵐やハリケーンなどの混乱に直面した場合でも、乗客の信頼をさらに高めることができるような意思決定が可能になると期待されている。



## 2.4 他分野への AI 技術の活用事例

本節では、航空業界以外の他分野における AI 技術の活用事例を記載する。

対象としては、航空業界への活用に関連があると考えられる、物流業、流通業、社会インフラを対象とし、それぞれの分野動向および AI の活用状況について報告する。

### 2.4.1 物流業における利用動向

#### (1) 分野動向

物流業では、EC の利用拡大などを背景に、荷物量が平成 30 年度には約 43 億個に達し、また、到着日時指定など荷主のニーズの多様化に対応するための手間が増える一方で、労働人口の減少によりドライバーや倉庫作業員が不足しており、業界の課題が顕在化している。物流業の業務効率化や省力化を目的に、自動走行技術を活用した自動輸送・配送や、AI を活用した倉庫作業の改善などが進められている。経済産業省が公表した「総合物流施策大綱（2017～2020 年度）」では、政府における物流施策や物流行政の指針が示されている。これに基づき 2018 年 1 月に発表された「総合物流施策推進プログラム」では、具体的な施策の一つに「新技術（IoT、BD（ビッグデータ）、AI 等）の活用による“物流革命”（＝革命的に変化する）が挙げられ、「近年の物流分野においては、積極的な設備投資により資本装備率が上昇傾向にあるが、IoT、BD、AI 等の新技術の活用は、物流生産性の向上を図る上で有効な手段であることから、これら新技術の積極活用により“物流革命”を目指す必要がある。このため、RFID 等の早期普及、隊列走行・自動走行、ドローン、自動運航船等の物流分野における早期社会実装を目指す」と方針が示されている。

また、「AI 戦略 2019」では、AI の社会実装の優先領域の一つとして「交通インフラ・物流」を挙げている。具体目標として「物流関連のプラットフォームから得られるデータを利活用した、物流網における生産性向上・高付加価値化」を掲げ、物流・商流データの個社・業界の垣根を越えた蓄積・解析・共有・活用に向けたデータ基盤構築や、海上物流の効率化を実現する自動運航船の実用化などが取り組み事項として挙げられている。

さらに、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」では、2018 年度から 2020 年度までの 5 年計画の SIP 第 2 期において、製造・物流・販売などの事業者が連携し、個社・業界の垣根を越えて総合的にデータを利活用することで、国内外を含めたサプライチェーン全体の効率性・生産性の向上の実現を目指す「スマート物流サービス」が対象となった。2018 年 6 月には第 1 回「スマート物流サービス」推進委員会が開催され、2018 年 8 月には「物流・商流データプラットフォームの開発」、「モノの動きの見える化技術の確立」、「商品情報の見える化技術の確立」の各研究テーマにおいて研究機関の公募を行った。

なお、中国では Alibaba グループと京東集団（JD.com）を中心とした EC 市場が拡大しており、それに伴い物流市場も成長を続けている。中国国務院は、2014 年に「物流業の発展に関する中長期計画（2014～2020 年）」を発表し、近代的かつスマートな物流システムを發展させ、物流業界を年 8% で成長させることにより、2020 年までに物流業界を対 GDP 比 7.5% の規模まで拡大することを目標として掲げている。推進対象の主要任務として、物流の IT 化や物流企業の技術・設備の現代化を挙げており、IoT とインテリジェント機器（倉庫内の配達ロボットなど）が優先すべき技術とされた。

## (2) AI の活用状況

物流における国内外の AI 活用事例を、それぞれ表 2.4.1-1、表 2.4.1-2 に示す。

日本国内では、拠点間のトラック走行の効率化（豊田通商）、配送の最適化（GROUND、スタークス）、車両の動態管理（ロジネットジャパン）、倉庫内外の仕分け作業の効率化（銀座コージーコーナー、ヤマトホールディングス）などに AI が活用されている。

拠点間では、長距離輸送におけるトラックのドライバー不足対策に貢献するとともに、交通容量増大などによる省エネルギーを期待して、「後続車無人システム（トラック隊列走行）」の開発が進められている。

拠点内外では、販売量・時期・地域の需要を予測し、全国の拠点に最適な量の荷物を事前に配置・出荷する配送の最適化、車両および運転者の状態を把握する動態管理、および棚移動ロボットや棚の配置を最適化する取り組みなどによるピッキング業務効率化が進みつつある。また、業務の効率化として、過去のデータを分析することで倉庫内の作業員数を最適化する取り組みや、ディープラーニングを活用して音声認識の精度を向上させることで作業の効率化を図る取り組みなども出ている。

中国の Alibaba グループでは、2013 年に物流子会社の菜鸟網絡を設立しており、表 2.4.1-2 に示すように AI を活用したスマート倉庫システムを導入している。顧客が購入した商品がどのサイズの段ボールに適するかを自動的に算出することで、業務の効率化と段ボールの節約につながる。また、同じく京東集団では、倉庫用ロボットや巡回用ロボット・ドローン、輸送用ドローン、無人配送車などの自社開発を進めており、2017 年 10 月には荷受、保管サービス、受注管理、ピッキング・パッキングの全工程をロボットが行う完全自動倉庫の運用を開始している。

今後も、中国では国務院が策定する計画に沿い、物流の IT 化が進むと考えられ、その中には、菜鸟網絡のように AI を活用した取り組みも増加すると考えられる。

表 2.4.1-1 物流における AI 活用事例（国内）（1/2）

| 利用分野         | 時期              | 企業名           | 概要                                                                                                                                                                                                                                               | 活用技術   |
|--------------|-----------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| トラック<br>隊列走行 | 2019年6月<br>開始   | 豊田通商          | 経済産業省の「高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業：トラックの隊列走行の社会実装に向けた実証」の一環として、2018年1月から、後続車両が有人の隊列走行について、2019年1月から、後続車無人システム（後続車有人状態）について、公道実証を開始している。                                                                                                        | DL（認識） |
| 配送の最適化       | 2019年3月<br>発表   | GROUND        | AI 物流ソフトウェア「Dynamic Allocation System」(DyAS) の中核を担うアルゴリズム「商品配置システム、商品配置方法、及び商品配置プログラム」で日本国内における特許を取得したと発表。アルゴリズムは、物流施設内の大量の商品を効率的に入庫、出庫、荷合せ、輸配送し、施設内における商品の配置最適化を計算する。アルゴリズムで演算された需要予測モデルや作業効率最適化モデルを活用することで、物流処理量の増加や作業時間の低減など、物流事業者の生産性を向上させる。 | ML（判断） |
|              | 2018年3月<br>提供開始 | スタークス         | 発送代行サービス「クラウドロジ」を提供している。新規購入データや返品データ、定期購入データ、購入者データをもとに、AI を活用して商品毎に販売量・時期・地域の需要を予測する。そして、予測に基づき全国 14 拠点到最適な量の荷物を事前に配置し、出荷する。事前に需要を予測し、倉庫の拠点を分散させることで、配送コストの低減や、長距離ドライバーの負担軽減、正確なシフト管理の構築などが期待できる。                                              | -      |
| 動態管理         | 2018年9月<br>導入開始 | ロジネット<br>ジャパン | ロジネットジャパンは、CBcloud が提供する動態管理サービス「イチマナ～AI 動態管理～」をグループ企業の一般貨物車両 870 台に導入している。スマートフォンとパソコンを活用し、車両の位置情報や配送ステータスを取得し、管理する。また、必要なステータスを AI が自動判定し、ドライバーによる入力操作を最小限にすることで、ドライバーと管理者双方の負担軽減が可能となる。                                                       | -      |

表 2.4.1-1 物流における AI 活用事例（国内）（2/2）

| 利用分野  | 時期               | 企業名             | 概要                                                                                                                                                                                                  | 活用技術   |
|-------|------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 業務効率化 | 2018年10月<br>導入開始 | 銀座コージー<br>コーナー  | 銀座コージーコーナーは、物流センターに音声認識を活用した仕分けシステムをリニューアル導入している。ディープラーニングを活用した AI 音声認識エンジンを仕分けシステムに搭載し、音声認識精度を向上させたことで、リニューアル前と比較して作業効率が20%増加し、ミス率が62%減少した。アドバンスト・メディアの音声認識開発キット「AmiVoice SDK for Android」を採用している。 | DL（認識） |
|       | 2018年10月<br>発表   | ヤマトホール<br>ディングス | ニーズに応じて招集する派遣社員の適切な配置を、前日までに予測する取り組みを行っている。機械学習エンジン「DataRobot」を活用し、同じ顧客企業を対象に行った過去の作業データ2年分を分析することで、翌日の出荷量を予測し、必要な派遣社員の人数を割り出す。化粧品やドリンク剤といった商品の特性や、季節に応じたキャンペーン情報などを考慮して分析する。                       | ML（予測） |

出典：各種公開情報をもとに作成

表 2.4.1-2 物流における AI 活用事例（海外）

| 利用分野             | 時期           | 企業名（国）               | 概要                                                                                                                                                                       | 活用技術   |
|------------------|--------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 倉庫効率化            | 2013 年       | Alibaba グループ<br>（中国） | 物流子会社の菜鸟網絡に、AI を活用したスマート倉庫システムを導入。顧客が購入した商品がどのサイズの段ボールに適するのかを自動的に算出する（詳細は本文参照）。                                                                                          | -      |
|                  | 2017 年 10 月  | 京東集団<br>（中国）         | 荷受け、保管サービス、受注管理、ピッキング・パッキングの全工程をロボットが行う完全自動倉庫の運用を開始（詳細は本文参照）。                                                                                                            | -      |
| 倉庫内作業の最適化        | Web ページで公開中  | Zalando<br>（ドイツ）     | 自社開発の OCaPi アルゴリズムを活用し、従業員の倉庫内ピッキング経路の最適化を図っている。倉庫内の一連の場所を訪れる最短ルート of の長さを、ディープラーニングによって推定することで、作業を作業者間でより効率的に分割できるようにする方法を示す。                                           | DL（判断） |
| 配送の最適化           | Web ページで公開中  | Dataiku<br>（米国）      | Dataiku DSS（Data Science Studio）を提供している。フランスの速達サービス提供会社である Chronopost と協力し、内部配達データと検索データを使用することで、生産コストと配達時間を継続的に最適化する予測モデルを作成した。                                         | ML（予測） |
| サプライチェーン寸断のリスク監視 | 2018 年 5 月発表 | DHL<br>（ドイツ）         | Resilience 360 リスク管理システムに DHL Supply Watch を導入したことを発表。機械学習と自然言語処理を組み合わせ活用し、140 以上のサプライチェーンが寸断されるリスクを監視することで、DHL のサプライチェーンへの潜在的な混乱（自然災害、交通機関の事故、犯罪、労働問題、品質の欠陥など）を早期に特定する。 | ML（判断） |

出典：各種公開情報をもとに作成

### (3) AI の活用事例①：株式会社 Logpose Technologies<sup>1</sup>

#### (A) 事業概要

株式会社 Logpose Technologies（以下、Logpose Technologies という）は、2018年に設立された物流向けソフトウェアの開発・販売を行う企業である。データサイエンスを軸としたアルゴリズム開発力を強みとしており、「世界中の荷物情報を整理し、流通を最適化する。」をミッションに掲げている。2021年には物流業界の最適化、効率化のためのAI最適化アルゴリズムを開発した。

#### (B) AI 活用について

物流業界では、EC サイトやそれを取り巻く多様なサービスの誕生によって年々市場規模が拡大している一方で、現場においてドライバーの人手不足や高齢化、営業用トラックの積載効率の低下といった大きな課題に直面している。Logpose Technologies は、このような課題の解決に向けて、車両・荷物・ドライバー情報などを基本情報として、様々な制約が存在する複雑な条件下においても、最適な配車・配送計画を全自動で高速に作成するアルゴリズム「LOG（ログ）」を開発した。

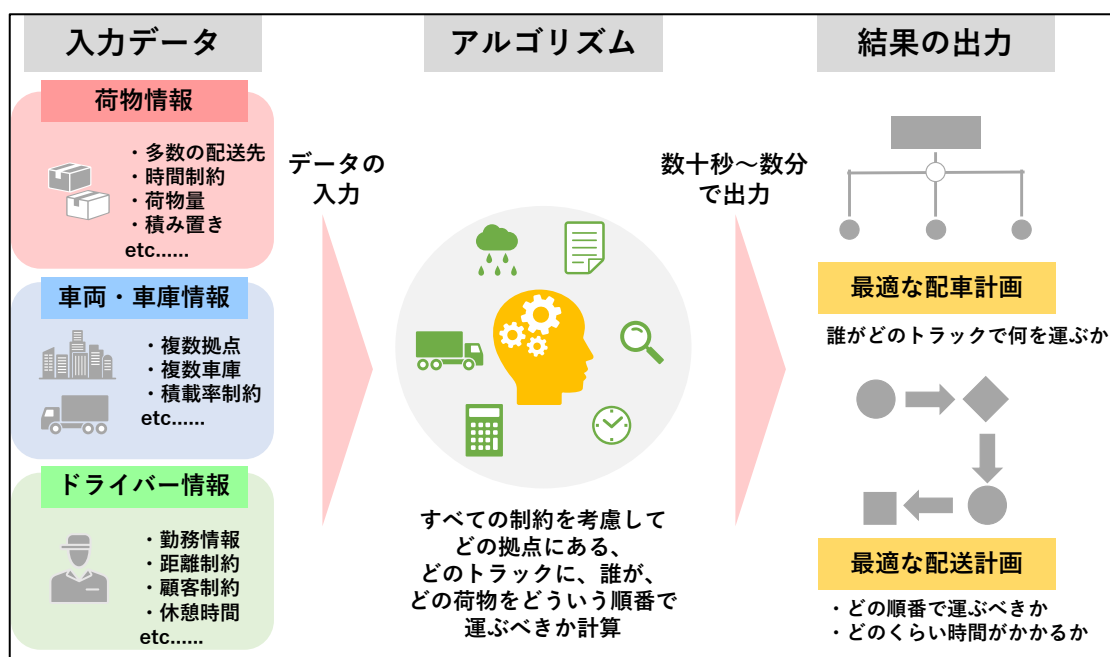


図 2.4.1-1 LOG の概要

LOG アルゴリズムを用いたサービスの特徴を以下に示す。

<sup>1</sup> 株式会社 Logpose Technologies < <https://logpose.co.jp/> >

株式会社 Logpose Technologies 「物流業界向けに、AI 技術を用いて自動で最適な配車・配送計画を作成するアルゴリズム『LOG』提供開始」2021年、< <https://prt-times.jp/main/html/rd/p/000000004.000081007.html> >

### (a) 複雑な制約を高速に処理

運送会社では配車担当者が膨大な荷物量に対して過去の経験をもとに「配車組み」を行っているが、配車を行う際にはドライバーの勤怠管理や給与計算（走行距離が給与に反映される場合）、配送時間指定、車格指定など、複雑かつ様々な制約を考慮する必要があり、多い時には1日に数時間も配車業務を行う場合がある。また、配車組みは経験を頼りに行われるため、属人的になりがちという業界特有の課題もある。LOGを用いたサービスでは、それらの複雑な制約条件を加味して、数十秒～数分程度で最適な配車計画を出力することができるため、今まで配車担当者が行っていた業務を効率化することが可能である。また、データを入力するだけで結果が出力されるため、誰にでも簡単に使うことが可能であり、属人的な業務の解消にもつながる。

### (b) 近くの車両と配送先をマッチングさせる最適化アルゴリズムを搭載

LOGには、車両を停めている拠点（車庫）と配送先（積み地／降ろし地）を近いところからマッチングさせるアルゴリズムを実装しており、複数の拠点がある場合や、複数の運送会社に配送先を割り振る場合などにも、一括で最適な計画を立てることが可能である。

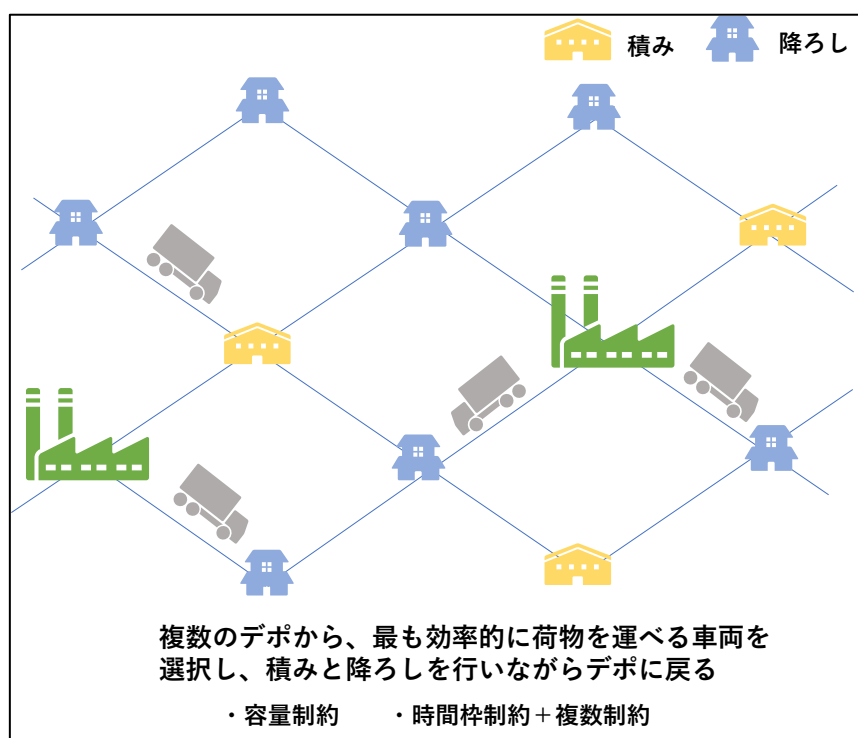


図 2.4.1-2 近くの車両と配送先をマッチングさせる最適化アルゴリズム

### **(C) 将来展望**

2021年12月にはLOGを基盤にした自動配車管理システム「AI自動配車アシスタントLOG」の提供を開始している。Logpose Technologiesは、荷物情報を主として、車両情報や倉庫情報、拠点情報など、あらゆる物流データを、インターネットを介して接続・可視化し、AI・ビッグデータの力で最適化することで、物流業界の発展に貢献するとともに、CO<sub>2</sub>削減や労働環境改善など業界に関わる社会課題の解決に貢献することを目指している。



#### (4) AI の活用事例②：株式会社スマートドライブ<sup>2</sup>

##### (A) 事業概要

株式会社スマートドライブは、モビリティデータを活用したサービスおよびプラットフォームの開発、提供を行うスタートアップ企業である（2013年に設立）。従業員約50人のうち7割がエンジニアである。

事業の中核はモビリティデータのプラットフォーム「SmartDrive Platform」(図 2.4.1-3)であり、センサー、カメラ（ドライブレコーダー）、モバイルデバイスなどのデータを収集・分析する。シガーソケットに挿すだけで車両の動態管理を行えるデバイスの開発も行っている。

同プラットフォーム事業の広がりにはモビリティデータの活用価値の創出がカギを握るため、同社は大手事業会社と業務・資本提携を行っている。アクサ損害保険株式会社とは運転の安全度によって掛け金変動するテレマティクス保険の共同開発に取り組み、住友商事株式会社とは法人向け車両管理サービス（Fleet Management）を中心としたサービス開発を行っている。ソニー株式会社とはモビリティデータのアナリティクス領域での R&D の取り組みを進めている。大手物流施設事業を行う日本 GLP 株式会社傘下の株式会社モノフルには、荷待ち時間（倉庫や荷主の都合によりトラックが待機する時間）の削減のためのシステム開発において、プラットフォームとデバイスを提供した。

また、フォックスコン・テクノロジー・グループからはアジア進出において支援を受けている。

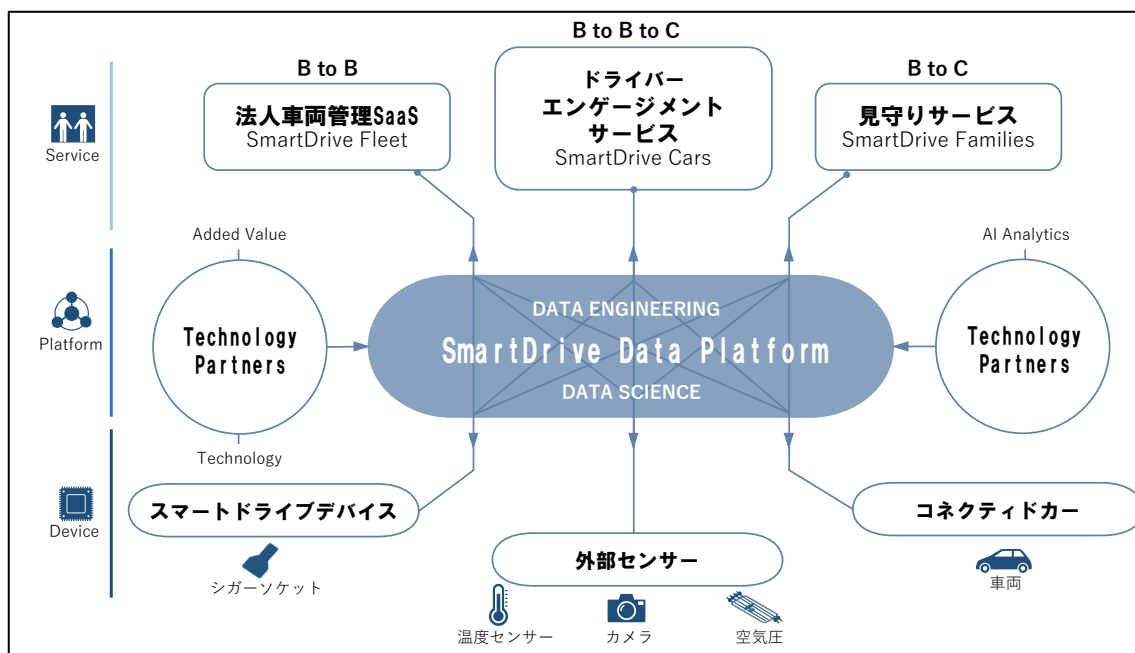


図 2.4.1-3 SmartDrive Platform の概要

<sup>2</sup> IPA 独立行政法人 情報処理推進機構「AI 白書 2020～広がる AI 化格差（ギャップ）と 5 年先を見据えた企業戦略～」(2020 年)

保険会社は運転の安全度を測るために粒度の細かいデータを求めるが、車両整備事業者はメンテナンスに行く際の車両の位置情報を必要とするなど、用途によってデータに対するニーズが異なる。このため、プラットフォームを活用する企業が、欲しいデータを追加したり、目的に応じた分析・活用ができる仕組みとなっている。

モビリティデータの活用はまだ黎明期であり、ユースケースを作ることも重要と考え、同社では自社でアプリケーションも開発し、サービス提供まで行っている。高齢者の運転見守りサービス「SmartDrive Families」や、安全運転を行うことでポイントが付与されるサービス「SmartDrive Cars」を提供している。

## **(B) AI 活用について**

モビリティデータは、AI などの高度なデータ活用はもちろんのこと、集計・可視化・自動化といった領域にもまだまだ大きなチャンスがある。さらに、今後自動車がコネクテッドカーになりデータが蓄積されていった際には、AI 活用のポテンシャルは無限に広がると見て期待をかけている。ドライブレコーダーのカメラ画像解析、センサーデータ分析による部品の劣化予測、自動運転や MaaS (Mobility as a Service) が実現した際の動的なサービス価格設定 (行先の道路状況によって料金が変わるなど) など多様な活用先がある。

## **(C) 将来展望**

特定の業界や企業、デバイスに依存しないオープンなプラットフォームの確立を進め、エコシステムの構築によって強みを発揮していきたい考えである。

モビリティデータは、車やカーナビなど大手メーカーによるユーザーの囲い込みが行われる可能性がある一方で、サードパーティのプラットフォームのニーズは高いと考えている。ほかのプラットフォームとの横のつながりを進めるとともに、自社のサービスを拡充し、データの付加価値も高め、使いやすいプラットフォームとすることを目指す。

## 2.4.2 流通業における利用動向

### (1) 分野動向

流通業ではECの拡大に伴って膨大な顧客データの入手・蓄積が可能となり、入手・蓄積したデータを活用したAIによる分析やマーケティングへの活用が進んでいる。流通業におけるAI利用の目的の一つには、マーケティングや顧客の個別対応などによる売り上げの増大がある。

流通業は元々、データマイニングによる業務分析が行われてきた分野であるが、より高い効果を期待して、今までと異なるアルゴリズムであるディープラーニングによるデータ解析に取り組む企業も出てきている。また、商品を購入しなかった顧客に対するアプローチを行うために、画像認識を活用して小売店舗内の映像を分析し、購入顧客以外の顧客の行動データを取得しようとする試みも行われている。

ただし流通業は、薄利多売であり、実店舗でのAI導入においては、「AIの利用によっていくら売り上げが上がるのか」という費用対効果が問われている。技術的に、顧客の属性把握、購買行動、位置情報（動線）など画像データを駆使した購買促進へのレコメンデーションが行えるとしても、単価が安い商品では割に合わない場合も少なくないと考えられる。

総務省が実施した「通信利用動向調査」の調査結果を表 2.4.2-1 に示す。これによると、「卸・小売」のAI導入率は、8業種の中で全体平均の14.1%を下回る12.6%であった。「金融・保険」の19.1%、「運輸業」の18.7%と比較すると「卸・小売」のAIの導入率は低くなっており、今後の普及には費用対効果を明らかにする必要があると考えられる。

表 2.4.2-1 業種・資本規模別 AI 導入率

|          | 1,000万円未満 | 1,000万~3,000万円 | 3,000万~5,000万円 | 5,000万~1億円 | 1~5億円 | 5~10億円 | 10~50億円 | 50億円以上 | 計     |
|----------|-----------|----------------|----------------|------------|-------|--------|---------|--------|-------|
| 建設業      |           | 13.0%          | 17.7%          | 14.5%      | 13.6% | 17.4%  | 7.9%    | 24.6%  | 14.5% |
| 製造業      | 10.3%     | 18.2%          | 9.7%           | 13.7%      | 7.5%  |        |         | 10.4%  | 11.2% |
| 運輸       | 33.2%     | 20.8%          | 21.1%          | 18.5%      | 16.6% |        | 5.2%    |        | 18.7% |
| 卸・小売     | 15.7%     | 15.7%          | 16.6%          | 13.3%      | 7.3%  |        | 17.2%   | 10.8%  | 12.6% |
| 金融・保険    |           |                | 54.5%          | 9.2%       | 5.8%  |        | 12.3%   | 30.9%  | 19.1% |
| 不動産      | 55.8%     | 14.5%          | 21.4%          | 10.3%      | 6.9%  | 11.0%  |         | 33.1%  | 12.0% |
| 情報通信業    | 45.0%     | 8.3%           | 7.0%           | 8.4%       | 13.9% | 18.4%  | 16.9%   | 16.6%  | 11.7% |
| サービス・その他 | 21.9%     | 16.0%          | 7.3%           | 23.1%      | 11.4% |        | 14.9%   | 30.3%  | 16.2% |
| 計        | 20.5%     | 16.8%          | 11.5%          | 15.8%      | 9.7%  | 3.9%   | 9.0%    | 16.8%  | 14.1% |

出典：IPA 独立行政法人 情報処理推進機構「AI 白書 2020～広がる AI 化格差（ギャップ）と5年先を見据えた企業戦略～」(2020年)

## (2) AI の活用状況

流通業における国内外の AI 活用事例を、それぞれ表 2.4.2-2、表 2.4.2-3 に紹介する。

流通業の実店舗では、顧客マーケティング、需要予測、顧客対応、不正防止、決済、真贋判定、在庫管理、最適な価格設定などの分野で、AI の活用が行われている。AI を活用したカメラでの属性把握による各種の効率化や無人店舗に向けた活用、各種のデータ連携（POS や仕分け、棚割りなど）といった活用に加え、マーケティングや販売促進といった分析面での AI の活用も進んでいる。各種データ連携する中で、分析手法としての AI 活用といった、フロントヤードとバックヤードの双方での AI 活用も期待される。

なお海外では、膨大なデータを分析することで、販売量を予測したり価格を動的に変更したりする取り組みが行われている。表 2.4.2-3 に示す事例の中で、米国では、2018 年 1 月にシアトルでオープンした Amazon Go を中心として流通業で AI が活用されている。Amazon Go は、スマートフォンを持っていれば、入店から支払いまで店員と接することなく、レジを通る必要もない。AI 技術としては、画像認識を全面的に採用し、「商品のパッケージ」、「利用者の手」などを識別する。そのほか、マイクによる音声認識、赤外線、圧力、重量センサーなどによる商品の数や移動のトラッキングなど、複数の技術を組み合わせる。シアトルとシカゴにそれぞれ 4 店舗、サンフランシスコに 3 店舗を出店しており、今後も 2021 年までに最大 3,000 店舗まで増やす計画を持つ。

また、Walmart が 2019 年 4 月 25 日に「IRL (Intelligent Retail Lab)」をコンセプトとする新店舗をオープンした。売り場面積 4,645 平方メートル、商品数 3 万点、スタッフ数 100 人以上の大型スーパーの目的は、無人店舗ではなく在庫管理の効率化にある。AI を活用したカメラやセンサー、プロセッサーを天井に多数設置して棚の認識を行い、欠品防止に努める。従来は、従業員が店舗の巡回を行い、棚の在庫状況を把握していたが、AI を活用することで自動化する。

ほかには、中国で流通業に AI を活用する動きが活発化している。2016 年 10 月に Alibaba のジャック・マー会長が「新小売」という新しいモデルを標榜し、中国国内ではオンラインとオフラインを融合させた新たな小売モデルや無人コンビニなどが広がっている。Alibaba が試験的な運営を行った無人コンビニ「TAOCAFE」は、店内にカメラを設置し、ディープラーニングで商品や顧客の動きを識別することでレジでの生産が不要になる仕組みである。

表 2.4.2-2 流通業における AI 活用事例（国内）（1/4）

| 利用分野      | 時期              | 企業名          | 概要                                                                                                                                                                                                                                                                     | 活用技術          |
|-----------|-----------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 店舗マーケティング | 2019年3月<br>導入開始 | 松源           | 和歌山県を中心にスーパーマーケットを展開する松源は、GMO クラウドが提供する「Diversity Insight for Retail by GMO」を導入している。特設コーナーに観測用のカメラを取り付け、リアルタイムで「Diversity Insight for Retail by GMO」の AI による画像解析を行うことで、来店客の属性推定（年齢・性別・ライフスタイルなど）や、特設コーナー付近における来店客の行動や動線を取得する。来店客分析におけるスタッフの負荷軽減や、AI による高精度な行動分析が可能となる。 | -             |
| 不正防止      | 2019年1月<br>発表   | 養老乃瀧、<br>チャオ | 養老乃瀧が展開する「一軒め酒場 新橋店」で行われた、AI 搭載のクラウドカメラ「Ciao Camera」を活用した年齢認証における実証実験結果を発表した。「AWS Rekognition Image」の顔認証機能を活用して画像上の人物の顔を判別した結果を、ディープラーニングによる画像判別技術を用いて学習する。大量のデータを AI が学習し続けることで精度を向上させ、実証実験では未成年者の検知率 96.1%を実現した。                                                     | DL（認識、<br>判断） |

表 2.4.2-2 流通業における AI 活用事例（国内）（2/4）

| 利用分野 | 時期               | 企業名         | 概要                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 活用技術      |
|------|------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 顧客対応 | 2018年9月<br>発表    | フードダイバーシティ  | フードダイバーシティはムスリム・ベジタリアン向けレストラン検索アプリ「HALAL GOURMET JAPAN」で、NTTドコモが提供する「食品判定システム」を2018年9月から12月まで試験導入した。利用者が商品棚をスマートフォンなどで撮影すると、食品判定システムは商品の原材料データと禁忌情報をもとに、特定の商品の判定を行う。NTTドコモの「商品棚画像認識エンジン」を活用する。複数の商品が写った写真から、個々の物体の位置を検出する“物体検出”と、検出した物体を画像データベースと照合させ、どの商品に該当するかを特定して認識する“特定物体認識”を活用することで、陳列商品の状況に依存することなく、正しく検出することが可能となる。 | DL（認識、判断） |
|      | 2018年12月<br>導入開始 | 大丸松坂屋百貨店札幌店 | 大丸松坂屋百貨店札幌店は、館内施設の混雑状況を、ディープラーニングを活用して認識し、リアルタイムに一覧表示するシステムを導入している。本システムは、NTT東日本とバカンが提供する。各施設に設置したカメラやセンサーから取得したデータをクラウド上のAIで解析し、混雑状況や空席情報を割り出して、「空」、「残数わずか」、「待ち時間（満席の場合）」の3段階で表示する。来店客はWebやスマートフォンアプリで混雑状況を確認でき、利便性の向上が期待できる。                                                                                              | DL（認識、判断） |

表 2.4.2-2 流通業における AI 活用事例（国内）（3/4）

| 利用分野 | 時期               | 企業名      | 概要                                                                                                                                                                                                                                                          | 活用技術   |
|------|------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 決済   | 2019年4月<br>発表    | ファミリーマート | IoT を活用した次世代型コンビニエンスストアの実現に向けた実証実験店舗として、2019年4月2日に、ファミリーマート 佐江戸店（横浜市）をオープンした。ディープラーニングを応用した顔認証技術を活用し、顔の向きや経年変化、眼鏡などに影響されにくい決済方法を導入する。                                                                                                                       | DL（認識） |
|      | 2018年10月<br>実証実験 | JR 東日本   | JR 東日本は、2018年10月17日より JR 赤羽駅のホームで AI 無人決済システム「スーパーワンダーレジ」の実証実験を実施した。サインポストが開発する AI「SPAI」による画像認識技術、物体追跡技術を活用し、AI が入店した客を追跡して手に取った商品を認識、購入金額の計算から決済まで一貫して行う。小売店舗では、店舗運営の効率化と将来的な無人化が期待できる。                                                                    | DL（認識） |
|      | 2018年5月<br>発表    | ハウステンボス  | ハウステンボスは、「変なホテル ハウステンボス」内の無人コンビニエンスストア「スマートコンビニ」に、顔認証システムと商品画像認識システムを導入している。店舗入口の端末で入店者の顔を登録し、カメラに写った顔と登録した顔を照合することで認証する。レジでは、入店者が購入した商品をカメラで撮影すると、事前登録した商品画像と照合し、購入商品リストを表示する。顔認証によって商品の購入を確認し、退店時もカメラに写った顔と登録した顔を照合し、認証する。NEC の顔認証 AI エンジン「NeoFace」を活用する。 | DL（認識） |

表 2.4.2-2 流通業における AI 活用事例（国内）（4/4）

| 利用分野 | 時期            | 企業名 | 概要                                                                                                                                                                                                                    | 活用技術 |
|------|---------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 真贋判定 | 2018年8月<br>発表 | アプレ | アプレは、真贋判定サービス「TAL グレーディングレポート発行サービス」を2018年9月より導入している。アプレの高級ブランド品の真贋判定技術と、NECの物体指紋認証技術を用いた「GAZIRU 個体識別サービス」を組み合わせる。アプレによる高級ブランド品の真贋判定結果をグレーディングレポートとして発行し、「GAZIRU 個体識別サービス」により現品の画像と関連づけて管理することで、すり替わりを防止できるレポートを提供する。 | -    |

出典：各種公開情報をもとに作成



表 2.4.2-3 流通業における AI 活用事例（海外）

| 利用分野    | 時期              | 企業名（国名）             | 概要                                                                                                                                                  | 活用技術          |
|---------|-----------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 在庫管理    | 2019年4月<br>発表   | Walmart<br>（米国）     | AIを活用した在庫分析実験「IRL（Intelligent Retail Lab）」を発表した。AIを活用したカメラやセンサー、プロセッサを導入し、データをリアルタイムで収集し、在庫管理を徹底することで、欠品をなくす取り組みを行っている（詳細は本文参照）。                    | -             |
| 需要予測    | Web ページで<br>公開中 | Otto<br>（ドイツ）       | 顧客の商品購入を予測することで、在庫を最適化させ、商品出荷のタイミングを早めようと取り組んでいる。ディープラーニングのアルゴリズムを活用し、取引情報、検索クエリ、天気予報など約30億のデータと200の変数を分析することで、今後30日以内に販売される商品を約90%の精度で予測できるようになった。 | DL（予測）        |
| 最適な価格設定 | Web ページで<br>公開中 | Pace<br>（英国）        | ホテルの管理者が需給に応じた価格設定ができるソフトウェアを開発し、提供している。既存の資産管理システムに入っている販売データと在庫データをもとに機械学習を活用することで、価格弾力性の変化に対応し、自動で部屋の価格を設定する。                                    | ML（判断）        |
|         | Web ページで<br>公開中 | Wise Athena<br>（米国） | 消費財（CPG）の最適な価格設定を行うソフトウェアを開発し、提供している。計量経済学と予測AIに基づき対象製品の最適な価格を算出する。競合他社の行動と製品パフォーマンスを分析できるため、プロモーションサイクル毎に粗利益と売上高を最大化させる最適な価格を設定できる。                | DL、ML<br>（予測） |
| レジなし店舗  | 2018年1月<br>開始   | Amazon<br>（米国）      | Amazon は、2018年1月にシアトルで Amazon Go をオープンさせた（詳細は本文参照）。                                                                                                 | -             |

出典：各種公開情報をもとに作成

## 2.4.3 社会インフラにおける利用動向

### (1) 分野動向

道路、鉄道、空港、港湾、治水、ライフライン（上下水道、ガス、電気、エネルギー）などの社会インフラ分野では、1964年の東京オリンピック前後の高度経済成長期に建設・敷設されたものが多く、老朽化やインフラ管理に係る人材不足などが喫緊の課題となっている。

国土交通省によると、建設後50年以上経過する社会資本の割合は表2.4.3-1のように増加していくと見られており、特に道路橋、河川管理施設（水門など）、港湾岸壁は2033年3月に約6割に達する見込みである。

表 2.4.3-1 建設後50年以上経過する社会資本の割合

|              | 2018年3月 | 2022年3月 | 2033年3月 |
|--------------|---------|---------|---------|
| 道路橋          | 約25%    | 約39%    | 約63%    |
| トンネル         | 約20%    | 約27%    | 約42%    |
| 河川管理施設（水門など） | 約32%    | 約42%    | 約62%    |
| 下水道管渠        | 約4%     | 約8%     | 約21%    |
| 港湾岸壁         | 約17%    | 約32%    | 約58%    |

出典：国土交通省「社会資本の老朽化の現状と将来」（平成26年度）

また、「国土交通省所管分野における社会資本の将来の維持管理・更新費の推計」で示された維持管理・更新費の推計結果を表 2.4.3-2 に示す。

国土交通省所轄 12 分野（道路、河川・ダム、砂防、海岸、下水道、港湾、空港、航路標識、公園、公営住宅、官庁施設、観測施設）での維持・管理費用は 2018 年度で 5.2 兆円、長期的な費用の増加は 20 年後（2038 年度）、30 年後（2048 年度）ともに約 1.3 倍になる見込みとなっている。さらに、今後 30 年間（2019～2048 年度）の維持管理・更新費の合計は、176.5～194.6 兆円程度になると試算している。

**表 2.4.3-2 国土交通省所管分野における維持管理・更新費の推計結果（平成 30 年度）**

単位：兆円

|                        | 最大値は 7.1 兆円（26 年後（2044 年度）時点）倍率 1.4 倍 |                   |                    |                    |                    | 30 年間 合計<br>(2019～<br>2048 年度) |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|
|                        | 2018 年度 <sup>※1</sup>                 | 5 年後<br>(2023 年度) | 10 年後<br>(2028 年度) | 20 年後<br>(2038 年度) | 30 年後<br>(2048 年度) |                                |
| 12 分野合計                | 5.2                                   | (1.2)<br>5.5～6.0  | (1.2)<br>5.8～6.4   | (1.3)<br>6.0～6.6   | (1.3)<br>5.9～6.5   | 176.5～194.6                    |
| 道路                     | 1.9                                   | (1.2)<br>2.1～2.2  | (1.4)<br>2.5～2.6   | (1.5)<br>2.6～2.7   | (1.2)<br>2.1～2.2   | 71.6～76.1                      |
| 河川等 <sup>※2</sup>      | 0.6                                   | (1.2)<br>0.6～0.7  | (1.4)<br>0.6～0.8   | (1.6)<br>0.7～0.9   | (1.6)<br>0.7～0.9   | 18.7～25.4                      |
| 下水道                    | 0.8                                   | (1.1)<br>1.0～1.0  | (1.5)<br>1.2～1.3   | (1.5)<br>1.3～1.3   | (1.6)<br>1.3～1.3   | 37.9～38.4                      |
| 港湾                     | 0.3                                   | (1.1)<br>0.3～0.3  | (1.0)<br>0.2～0.3   | (1.0)<br>0.2～0.3   | (0.9)<br>0.2～0.3   | 6.0～8.3                        |
| その他 6 分野 <sup>※3</sup> | 1.6                                   | (1.1)<br>1.6～1.8  | (0.9)<br>1.3～1.4   | (0.9)<br>1.2～1.4   | (1.1)<br>1.6～1.7   | 42.3～46.4                      |

※1 2018 年度の値は、実績値ではなく、今回実施した推計と同様の条件のもとに算出した推計値

※2 河川等は、河川・ダム、砂防、海岸の合計

※3 6 分野は、空港、航路標識、公園、公営住宅、官庁施設、観測施設

凡例：（ ）の値は 2018 年度に対する倍率

出典：国土交通省「国土交通省所管分野における社会資本の将来の維持管理・更新費の推計」（2018 年 11 月 30 日）

社会インフラの整備、運営、管理には、各分野の構造や特性などに精通した経験豊かな技術者の存在が欠かせず、現状では、依然として構造物点検を目視と経験に依存している部分が多い。このため、長らくインフラ管理に関わってきた人材の高齢化に伴う人材不足や技術力の低下が懸念されている。加えて、引き続き厳しい財政状況が続くことが予想されるため、社会インフラを更新・新設するよりも既存インフラの長寿命化を試行する流れがあり、適切で効率的な維持管理の必要性が高まっている。

「AI 戦略 2019～人・産業・地域・政府全てに AI～」では、AI の社会実装の優先領域の一つとして「国土強靱化（インフラ、防災）」を挙げている。

国内の重要インフラ・老朽化インフラの点検・診断などの業務における、ロボットやセンサーなどの新技術の開発・導入を目標として掲げる。インフラメンテナンス国民会議の取り組みなどを通じ、AI・ビッグデータなどを含む新技術の導入施設管理者の割合を 2020 年までに 20%、2030 年までに 100%とすることを目標としている。

社会インフラ分野では、センサーネットワークなどで収集した膨大なデータをクラウドやビッグデータなどの技術で集積し、解析・アナリティクス・AI などを用いて分析・判断・評価を行う遠隔監視システムが開発されているものの、モニタリングを目的とした IoT システムの導入は実証レベルがほとんどであり、実用例はまだ少ない。また、人手による作業を前提としたルールもあり、例えば、国土交通省が 2014 年 6 月に策定した定期点検要領では「トンネル、橋等の点検は近接目視により 5 年に 1 回の頻度を基本とする」とされている。

このため、国による AI による自動化・効率化に合わせた制度づくりも必要である。

## (2) AI の活用状況

インフラにおける国内外の AI 活用事例を、それぞれ表 2.4.3-3、表 2.4.3-4 に示す。

インフラでの AI 活用は、異常検知や保守運用の高度化の分野において取り組まれている。ドローンで設備の状況を撮影した画像に基づき AI が補修の必要な損傷を検出する事例（表 2.4.3-3：エヌ・ティ・ティ・コムウェア）や、撮影した動画から道路のひび割れの比率やわだち掘れの深さを評価する事例など、ディープラーニングを活用した画像認識の事例が多いのがインフラ分野の特徴である。

米国では、1930 年代にニューディール政策によって建設された橋や道路が、1980 年代になって老朽化したことで事故が頻発し、「荒廃するアメリカ」と呼ばれるほどの社会問題となった。全米土木工学協会（American Society of Civil Engineers）では、4 年毎に全米の社会インフラを A～E の 5 ランクに分けて審査し、「インフラ評価カード」として一般公開している。最新の 2017 年度版では、総体の評価が 2013 年度版と同様の「D プラス」となっており、不良という評価になっている。部門別では、道路=D、ダム=D、港湾=C プラス、飲料水=D、排水処理=D プラス、橋=C プラスなどとなっており、総じて低評価となっていることから、2010 年代になっても米国の社会インフラは状態がよくないと見受けられる。全米土木工学協会の試算によると、今後米国全体のインフラ整備・改善に 2025 年までに 4 兆 5,000 万ドルが必要だという。

この状況から、米国では AI を活用した社会インフラの異常検知ソリューションが開発されてきている。Dynam.AI は、ディープラーニングを活用して道路表面の欠陥を検出し、重大度ランク付けを行うソリューションを提供しているほか、Fracta は、機械学習を活用して水道管の劣化状況を予測するソリューションを活用している。いずれも劣化状況に応じて社会インフラを効率よく補修するための活用が期待されている。

表 2.4.3-3 インフラにおける AI 活用事例（国内）（1/3）

| 利用分野 | 時期                 | 企業名                   | 概要                                                                                                                                                                                                             | 活用技術      |
|------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 異常検知 | 2018年11月<br>実証実験開始 | 東急テクノシステム             | 2018年11月から2019年5月まで、東急池上線雪が谷大塚1号踏切で「踏切映像伝送システム」の実証実験を実施した。踏切に設置された2台の監視カメラの映像をもとに、AIを活用した映像解析システムで踏切内の異常を検知し、付近を走行中の電車の運転士や運行管理者に、警告とともに映像を2秒以内に伝送することが実証実験の目標。フューチャースタンドアードのAI映像解析プラットフォーム「SCORER」を活用する。      | -         |
|      | 2019年7月<br>提供開始    | テクノスデータサイエンス・エンジニアリング | AI 画像映像解析エンジン「scorobo for Infrastructure」を用いた社会インフラ向け劣化検知ソリューションを提供している。橋梁や道路、コンクリート建造物などの画像、映像データをディープラーニングで解析することで、劣化した箇所を自動で検知する。また、点検基準の均一化や非構造化データの集約にも役立つ。自動学習機能を持つ同社のAIエンジン「scorobo」を活用している。            | DL（認識、判断） |
|      | 2018年2月<br>発表      | 八千代エンジニアリング、ブレインパッド   | 河川のコンクリート護岸の劣化度合いをAIで自動判定するサービス「GoganGo」を共同で開発した。河川のコンクリート護岸を撮影した画像をディープラーニングで解析し、コンクリートのひび割れなどの劣化の有無を自動判定する。GoganGoに画像をアップロードすると、護岸の劣化具合が河川の上流からの位置情報とともにグラフィカルに表示される。劣化検知のためのアルゴリズムは、「TensorFlow」を使って実装している。 | DL（認識、判断） |

表 2.4.3-3 インフラにおける AI 活用事例（国内）（2/3）

| 利用分野    | 時期             | 企業名           | 概要                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 活用技術      |
|---------|----------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 保守運用高度化 | 2018年12月<br>発表 | 土木研究所         | 「AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」を2018年9月から2022年3月まで実施すると発表した。25者の共同研究者とともに、「点検AI（床版の土砂化）」、「点検AI（画像解析）」、「診断AI」、「データ基盤」の開発を行う。「点検AI（床版の土砂化）」では、電磁波レーダーなどの技術を活用して、床版を土砂化する水の早期検出技術の検証などを行う。「点検AI（画像解析）」では、ディープラーニングなどの画像解析技術を活用し、変状の抽出や要点検部位への誘導、採取データの分析などを行うAIの開発を行う。「診断AI」では、熟練技術者の暗黙知や既往の点検データなどをもとに、診断ロジックを可視化し、技術者の判断支援を行うAIを開発する。 | DL（認識、判断） |
|         | 2018年12月<br>発表 | 産業技術総合研究所、NEC | 社会インフラの安定運用を支援するAI技術「論理思考AI」を3者共同で開発した。マニュアルや運転規約などに記載されたリカバリープランや前提条件、設計情報などで定義されたシステムの挙動などから論理推論を用いて、正しいと思われるリカバリープランを絞り込んで学習を行う。マニュアルなどに記載された条件から大きく外れない範囲で最適なリカバリープランを探索するように制約をかけながら学習することで、性質の異なる2つの値の紐づけを可能とした。運用対象の異常時に、最適なリカバリープランを根拠も合わせて自動で提示するため、経験の浅い運用者でも手順の妥当性の判断ができ、早期復旧を支援できる。                                     | ML（判断）    |

表 2.4.3-3 インフラにおける AI 活用事例（国内）（3/3）

| 利用分野    | 時期         | 企業名           | 概要                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 活用技術      |
|---------|------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 保守運用高度化 | 2018年11月発表 | エヌ・ティ・ティコムウェア | 通信設備などの社会インフラの保守点検業務向けに、ドローンやAIなどを活用したスマートメンテナンスソリューションを2018年度末より提供している。インフラ設備の劣化状況の診断は、熟練技術者の経験やノウハウに頼る部分が多く、また、点検作業は、高所・閉所作業を伴うものが多く危険であることが課題として生じていた。ドローンで撮影した画像から熟練者がサビや剥がれなどの不具合の種類と劣化度合いを写真上に登録したものを教師データとして、ディープラーニングを活用した同社の画像認識AI「Deepctor」に繰り返し学習させることで、不具合箇所の自動検知・解析が可能になる。 | DL（認識、判断） |

出典：各種公開情報をもとに作成



表 2.4.3-4 インフラにおける AI 活用事例（海外）

| 利用分野 | 時期              | 企業名（国名）                 | 概要                                                                                                                                                                                                                    | 活用技術          |
|------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 異常検知 | 2018年12月<br>発表  | Indian Railway<br>(インド) | インドの国有鉄道会社である Indian Railway は、AI 搭載のアンダーギア監視ロボット「USTAAD」を開発したと発表。高解像度カメラを使用して、列車のアンダーギア部分をリアルタイムでチェックし、Wi-Fi で送信することで、エンジニアは直ちに障害の有無を確認できる。また、USTAAD はアンダーギア部分に障害があると判断した場合、その場所をズームして知らせる。これまでは、エンジニアによる目視検査を行っていた。 | -             |
|      | Web ページで<br>公開中 | infra.ai<br>(カナダ)       | 公共インフラのメンテナンス時期を事前に予測するソリューションを提供している。センサーを用いてリアルタイムのデータを収集し、AI アルゴリズムを使用してデータの圧縮と変換を行う。それをもとにディープラーニングモデルを活用して公共インフラのパターン認識とタグづけを行うことで、異常を検知する。オープンソースの機械学習プラットフォーム「MLDB」を活用している。                                    | DL（認識、<br>判断） |
|      | 2019年6月<br>発表   | Dynam.AI<br>(米国)        | UAS（無人航空機システム）を開発する GBA と提携し、道路表面の欠陥を検出するソリューションを開発している。GBA が赤外線サーモグラフィーを使用して UAS を活用し、道路表面の状態を評価する。評価結果を Dynam.AI の画像検出・分類アルゴリズム「Auguste」でデータストリームに変換し、道路の欠陥検出と重大度のランクづけを行う。そして、そのデータを 3D モデルに変換することで、道路表面の異常を可視化する。 | DL（認識、<br>判断） |
|      | Web ページで<br>公開中 | Fracta<br>(米国)          | 物理的検査をせずに地中の水道管の劣化状況を予測するソフトウェア「水道向け Fracta LOF」を提供している。破損／漏水確率を計算することで、水道管の更新投資を最適化する。1,000 以上の要素からなる環境データベースとアルゴリズムで、各水道管路の劣化度合（＝破損／漏水確率）を予測する。                                                                     | ML（予測）        |

出典：各種公開情報をもとに作成

### (3) AI の活用事例①：出光興産株式会社（出光グループ）<sup>3</sup>

#### (A) 事業概要

出光グループは、燃料油、潤滑油、アスファルト、石油・ガス開発、再生可能エネルギー、石炭、石油化学、電子材料、アグリバイオなどの事業をグローバルに展開している。国内では6つの製油所を保有し、エネルギーセキュリティを念頭に置いた安定供給と最適稼働を実現している。

#### (B) AI 活用の目的

石油製品のサプライチェーンは、海上と陸上にまたがるだけでなく、燃料という安全性が求められる生活必需品であることから様々な制約があり、非常に複雑になっている。そのため、天候やマーケットの変化に伴う将来的な出荷増減をコンピュータで予測することは難しく、熟練者の勘や経験に頼っている部分が多く残っていた。このようなサプライチェーンの高度化に対応するために、出光グループは、AI等のデジタル技術の活用に積極的に取り組んでいる。

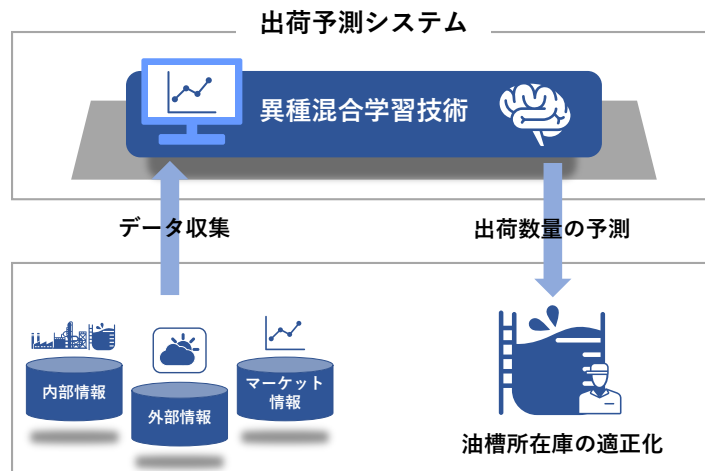
#### (C) AI 活用状況

出光グループは、AI活用の一環として、2018年に青森、八戸、塩釜、福井の各油槽所から地域のサービスステーションおよび需要家への出荷について、出荷実績、原油価格、気象（気温や降水量）などの情報をもとに、日本電気株式会社（NEC）と協同してAIを用いた各油種の出荷予測の実証実験を行い、レギュラーガソリンの出荷実績と2週間予測の誤差を5%程度に収めることができた。この結果を踏まえ、同社はNECが開発しているAI技術群「NEC the WISE」の1つである「異種混合学習技術」を活用した油槽所の出荷予測および在庫管理システムを構築し、出荷実績やマーケット情報、気象情報などのデータ学習に基づき、各油槽所の油種毎の出荷数量を予測・見える化させることで、サプライチェーンの効率化を実現している。また、同社は国内の自社油槽所36拠点と共同油槽所10拠点（合計46拠点）においてAIによる出荷予測を展開するとしている。

なお、出荷予測を行うAIは、結果に至る理由が説明可能なホワイトボックス型であり、データ学習と人の知見や経験とを効果的に組み合わせることで、予測精度をさらに高めることが可能になる。

---

<sup>3</sup> NewsRoom（NEC）「出光興産はNECのAIを活用した出荷予測を通じて、石油製品のサプライチェーンを高度化しました」2020年、<[https://jpn.nec.com/press/202002/20200207\\_01.html](https://jpn.nec.com/press/202002/20200207_01.html)>



**図 2.4.3-1 出荷予測システム**

**(D) 将来展望**

出光グループは、AI を始めとする ICT の活用に積極的に取り組み、デジタル化に対応した新事業・サービスの創出と業務の効率化を推進していく考えである。

#### (4) AI の活用事例②：日揮ホールディングス株式会社（日揮グループ）<sup>4</sup>

##### (A) 事業概要

日揮グループは、プラント・施設のEPC（Engineering, Procurement, Construction）事業をメインビジネスとしてO&M サービス事業、触媒、ファインケミカル、ファインセラミックスを中心とする機能材製造事業、エネルギー・環境コンサルティング事業など、多岐にわたって事業展開している。EPC 事業ではオイル&ガス分野を中心にインフラ分野も含めて、日本国内、アジア、中東、アフリカ、欧州、北米、南米など世界 80 か国、2 万件に及ぶプロジェクトの遂行実績を有する。

##### (B) AI 活用の目的

「2030 年までに、EPC プロジェクトを現在の 3 分の 1 の工数と 2 倍のスピードで遂行する」という大目標を掲げ、日揮グループは 2030 年までの長期 IT 戦略「IT グランドプラン 2030」を 2018 年 12 月に発表した（図 2.4.3-2）。IT グランドプラン 2030 の中心は、5 つの大きなイノベーションプログラムで構成されており、それが「AI 設計」、「プロジェクトデジタルツイン」、「3D プリンタ・建設自動化」、「標準化・Module 化プラント」、そして「スマートコミュニティ」である。5 つのイノベーションプログラムとロードマップは「プラン全体像ロードマップ図」に示されており、横軸は目標・狙いを、縦軸は難易度を示し、矢印は各イノベーションプログラムの流れを示す。イノベーションプログラムの一つである「AI 設計」では、まず着手すべきテーマとして、シニア（ベテラン技術者）のノウハウの形式知化に取り組むことを掲げ、技術を持つ企業・団体との連携を図りつつ検討を開始している。これは AI 導入を単に目的とするのではなく、これまで培ってきた技術・ノウハウを継承しつつ、コスト・スケジュールに対し、最大限の効果を得られる部分に AI を活用する、という考えに基づいている。見積もりや受注したプロジェクトをより早く、より少ない人員で遂行していくために、構造化された過去の設計・調達および建設データを有効に活用し、プロジェクト設計を進める上での類推や選択肢の提示など、設計者を支援する AI にも期待している。また知識は文書などにもあつて、設計文書はノウハウの塊ともいえる。プロジェクトは唯一無二とは言え、同じ顧客、同じプラント特性から類似性を引き出すことで、作業の効率化を図ることは可能と考えられる。文書解析やオントロジー（用語意味体系）の導入など、現状では関連図書の隅々までの読み込み・理解に時間を費やしていたが、関連図書間の相違点やその違いによる EPC へのインパクトなどを提示させることで、設計者の一助となるような AI 技術の活用も考えている。長期的な目標としては、AI によるプラント機器配置の最適設計、機器類の自動選定、革新的なプロセス機器の自動設計の実現などとなる。AI が自動的にそれなりの精度のアイデアを提示し、人が安全性、運転・維持管理のしやすさ、建設費、納期などの軸で評価できるようになれば、大きな効果が期待できる。顧客は常に、プラント完成までのスケジュール短縮と低価格化を求めており、AI 設計はその要望に応える技術である。

<sup>4</sup> IPA 独立行政法人 情報処理推進機構「AI 白書 2020～広がる AI 化格差（ギャップ）と 5 年先を見据えた企業戦略～」(2020 年)

図 2.4.3-2 に示すように、AI は設計のみではなくほかのプログラムとも関連する。とりわけ期待領域の広いデジタルツイン（サイバー空間上に実際の製品や製造工程を再現したシステム）は関連が深い。日揮グループの EPC 事業の場合は、製造設備をつくる立場であり、デジタル化の対象はできあがった製造設備をデジタル化して納入することに留まらず、製造設備を作るプロセスそのものもデジタル化してプロジェクトをコントロールすることを視野に入れている。AI による設計をデジタルツインに反映させることで、機器や配管、スケジュールやコストなどを最適化できる。プラントの EPC プロジェクトの進捗状況について、3D モデルなどを通じて見える化し、設計・調達、そして建設のそれぞれの持つデータを連携させる。これらの連携されたデータをプロジェクトの進捗状況として、デジタルツイン上で表示させ、工事完成状況から遡り、現状と計画の差異を 3D モデルに示すことで、関係者で共有化が図られ、社内関係者はもとより、プロジェクトステークホルダー間での作業認識のすり合わせ、契約上の反故なども浮き彫りにすることができる。

これにより、プロジェクト遂行上の問題を早期に発見でき問題解決の迅速化につながる。その意味では AI は短期的な実証・開発の繰り返しではなく、デジタルツインによる EPC 事業の DX（デジタルトランスフォーメーション）を実現するための長期的な技術開発や知見の蓄積であり、図 2.4.3-2 のように将来に至るほどデジタルツインとの重なりが厚くなっていく。

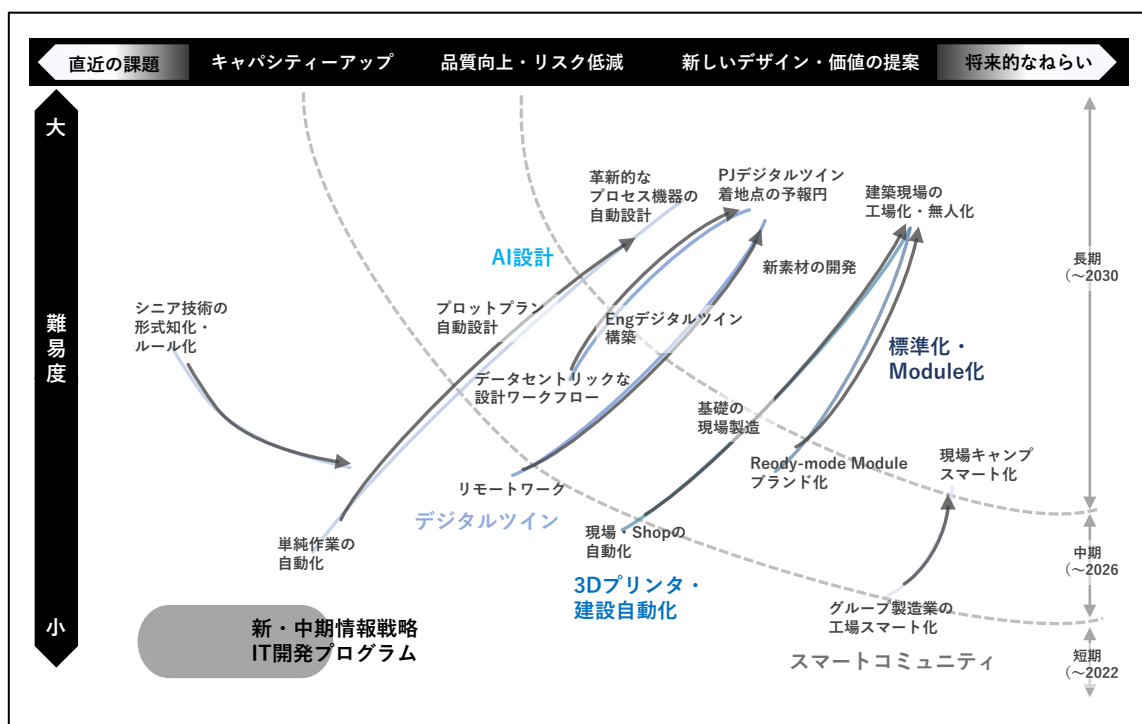


図 2.4.3-2 「IT グランドプラン 2030」全体像ロードマップ図

### **(C) 将来展望**

プランを実行するメンバーは 23 名で、様々な部門からリーダーレベルの中堅・若手のメンバーが集まって推進している。CDO (Chief Digital Officer ; 最高デジタル責任者) が EPC 業務に携わる社内の優秀な人材を集めることでこの体制が実現した。自社だけでは実現できないというスタンスを取り、プランを公開して外部の大学、スタートアップ企業、有力企業などとの「協創」を目指している。

日揮グループは、プラントエンジニアリング企業として、グローバルに様々な企業やメンバーが関わる複雑なプロジェクトをまとめるのが巧みな企業カルチャーだという自負がある。

また、現在、EPC 事業に適用できる AI 技術は画像処理と自然言語処理が中心となっているが、検討の過程の中で、この 3~5 年後には、EPC 遂行方法を抜本的に変革するものや、ビジネスモデル自体を変えるものなど、次のブレイクスルーが起こるのではないかと見ており、そのタイミングに向けて準備しておきたいと考えている。

### (5) AI の活用事例③：横河電機株式会社<sup>5</sup>

#### (A) 事業概要

横河電機株式会社（以下、横河電機という）は、国内最大手の計測・制御機器メーカーである。プラントの生産設備の制御・運転監視を行う分散型制御システムなどを開発し、石油やガス、化学など他業種にわたって提供している。コーポレート・ブランド・スローガンとして「Co-innovating tomorrow」を掲げており、競争をテーマにして顧客とともに課題解決に取り組む。同社はデータの利活用に積極的であり、データの収集から分析、サービスの提供まで一貫して取り組んでいる。

#### (B) AI 活用の目的

横河電機では、従来から圧力や温度、流量などの定量データを活用し、モデリング技術やデータ解析技術を用いて、操業改善や品質の安定化、予知保全、データの見える化などのサービスにつなげていた。

その中で、近年技術の進歩が著しい AI と同社の蓄積してきた設備保全メンテナンスやプロセス知識、運転ノウハウなどを活かしながら、新しい気づきを加えた課題解決を目指している。同社は、AI 技術を活用することが目的ではなく、課題解決のためのツールの一つとして AI があるという考え方を持っている（図 2.4.3-3）。

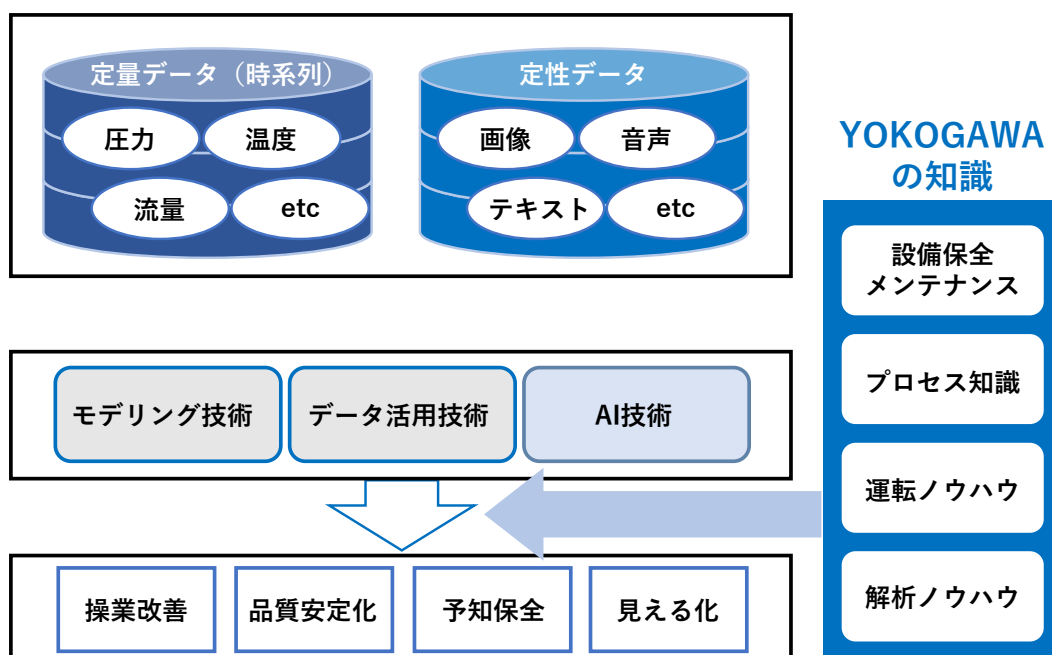


図 2.4.3-3 データ・技術・サービスの関係性と AI 技術の位置づけ

<sup>5</sup> IPA 独立行政法人 情報処理推進機構「AI 白書 2020～広がる AI 化格差（ギャップ）と 5 年先を見据えた企業戦略～」(2020 年)

### **(C) AI 活用状況**

横河電機では、顧客へのサービス提供だけでなく、自社内の工場を新しい技術の実証の場として活用している。

半導体部品である圧力センサーの制御を担う同社の駒ヶ根事業所では製造工程データの品質解析を行うために、AI ベースの高次元解析ツールを活用している。製造プロセスに多数のセンサーを取り付けてデータを取得し、特徴量を計算することで、品質に影響のある因子を顕在化させている。活用技術は機械学習を中心に、各種の統計手法やデータ解析技術を併用している。

同社のエンジニアや研究開発員は、以前よりモデリング技術やデータ解析技術などを活用してサービスを提供していた。また、駒ヶ根事業所でもセンサーを活用したデータの取得や分析を長年行ってきた。その知見やノウハウを生かすことで、社としてスムーズに AI 活用に取り組めた経緯がある。

### **(D) 課題**

顧客の困りごとを解決し、かつ、投資対効果に見合った課題を正しく設定しなければ、AI を導入しても効果を得ることはできない。また、顧客のプロセスに対して正しい課題を設定するだけでなく、いかにソリューションに持っていきかが求められている。ただし、プロセスでは起きている問題の原因が上流のプロセスに存在する場合もあり、状況は複雑である。したがって、プロセス制御や計測などの専門知識と AI 技術を併せ持つという同社の強みを生かし、個別およびトータルのプロセスを俯瞰して課題を発見していく必要がある。

### **(E) 将来展望**

現状では、温度、圧力、流量などの定量データを分析して顧客にサービスを提供しているが、今後は画像やテキスト、音声、動画といった定性データの活用にも注力する方針である。点検ログや作業員の業務日誌、設備の画像など、プロセスに含まれる様々な定性データに、AI を活用することで新たなサービスの提供につなげる。また、定量データと定性データを組み合わせて分析することで、新たな課題の解決につなげることも検討している。



## 2.5 AIシステムの運用体制

### 2.5.1 AIシステム導入の広がり

医療事業、インフラ事業小売業、環境など、多くの分野でAIは目覚ましく発展している。マーケティング&コンサルテーションの株式会社富士キメラ総研のAI（人工知能）の関連市場調査の結果を以下の図 2.5.1-1 に示す。同社の調査によると、金融業や製造業などでAIの本格的な導入が進み、市場は拡大していると分析している。また、今後は金融業や製造業だけではなく、様々な業種でAIが導入されることが予想され、市場の拡大とともにAIネイティブ化も進むと分析している。<sup>1</sup>

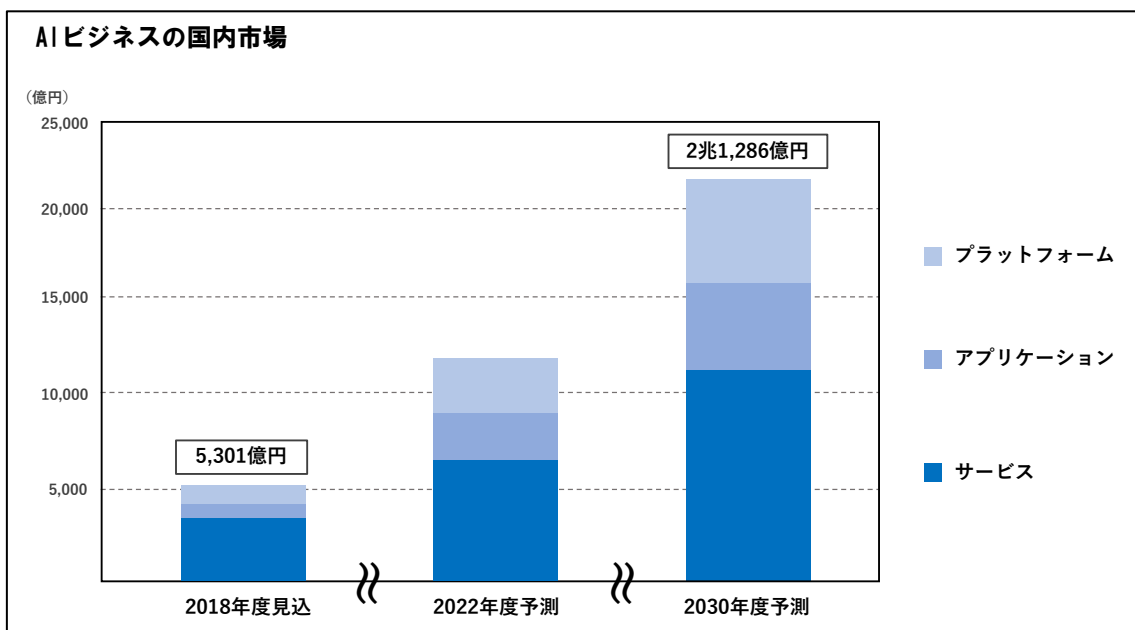


図 2.5.1-1 AIビジネスの国内市場

出典：富士経済グループ (fuji-keizai.co.jp) 「本格的な導入が進む国内のAI（人工知能）ビジネス市場を調査」マーケット情報

<sup>1</sup> 富士経済グループ (fuji-keizai.co.jp) 「本格的な導入が進む国内のAI（人工知能）ビジネス市場を調査」マーケット情報

また、ITR の市場調査レポート「ITR Market View : AI 市場 2020」では、AI 主要 8 市場を対象に、国内 63 ベンダーへの調査に基づいた 2018～2019 年度売上げ実績および 2024 年度までの売上げ予測を掲載している。中でも、画像認識、音声認識、時系列データ分析、機械学習自動化プラットフォーム市場について、以下のように記載されている。<sup>2</sup>

- ・ 画像認識市場：2019 年度は設備点検需要の拡大で 70.4%増と急伸、2020 年度も参入ベンダーの増加と活用用途の多様化から高成長を継続
- ・ 音声認識市場：2019 年度は 27.9%増と高成長、2020 年度も会議議事録向けなど適用領域の広がりにより高い伸びを維持
- ・ 時系列データ分析市場：データ量の増大と複合的な分析ニーズの拡大により 2019 年度は 33.3%増、2020 年度はさらなる伸びに
- ・ 機械学習自動化プラットフォーム市場：2019 年度は 95.0%増と躍進、2020 年度も参入ベンダーの増加により高い伸びを維持

近年の AI 市場は、技術的な進歩に加え、各種製品・サービスと組み合わせたソリューションの拡大により活用用途の多様化が市場の成長の背景となっている。年々増大するデータに対して、複数のデータを掛け合わせた高度な分析ニーズが高まっている。<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> ITR 「ITR Market View : AI 市場 2020」 (2020 年 11 月)

<sup>3</sup> ITR 「ITR Market View : AI 市場 2020」 (2020 年 11 月)

## 2.5.2 AI システム運用の課題

### (1) 運用面での課題

現在の機械学習システムは、明示的なプログラミングで機能しているのではなく、データを学習することでパラメータチューニングされたモデルにより機能している。パラメータは学習したデータにより決定されるため、学習データと異なる傾向のデータに対しては、既存のデータでチューニングされたパラメータは意味をなさなくなる危険性を内包している。そのため、AI を運用するためには、常に学習とその結果となる推論の精度をモニタリングしながら、必要に応じて再学習を行う必要がある。

また、現在の AI は万能ではないことを前提に、AI の特性を理解し、人が担う役割を明確にすることが重要となる。人が担う役割としては、AI を使用する目的や解決したい課題の明確化、AI へ与える入出力データと正解の定義、大量かつ偏りのないデータ準備、AI が導き出した答えの評価などが考えられる。

### (2) AI 人材の不足

AI システムに関する興味が高まる一方で、世界と比較すると、日本における AI システム導入状況はまだ遅れを取っている。2018 年にボストンコンサルティンググループが行った、アメリカ、オーストリア、スイス、中国、ドイツ、日本、フランスの 7 か国における AI の導入状況調査では、「一部の業務を AI に置き換えている」または「一部の業務で AI のパイロット運用を行っている」と呼ばれる「AI アクティブ・プレイヤー」は中国が 85%、次点で米国が 51% となった。一方で、日本は調査の対象となった 7 か国の中で最下位のわずか 39% にとどまっている。<sup>4</sup>

開発・運用に必要な知識を持つ人材が少ないことも課題の 1 つである。IPA が 2019 年度に実施した「企業における AI 利用動向アンケート調査」では、「AI を導入検討するに当たっての課題」について、前年度の調査結果と比較すると「自社内に AI についての理解が不足している」「導入効果が得られるか不安である」「手軽に利用できる AI のサービスや製品がない」「AI の導入事例が不足している」といった課題を抱える企業が大幅に減少していることがわかる（図 2.5.2-1）。AI のサービスや製品の増加、AI に関する情報提供が進むことで、ユーザー企業の AI 理解も深まったと推定される一方、「導入費用が高い」「運用費用が高い」「AI 人材が不足している」についてはほぼ変化がなく、コストおよび人材の課題は改善が進んでいないことがわかる。<sup>5</sup>

<sup>4</sup> 「日本が抱える AI 技術発展の課題と業界別にみる AI 活用～最新動向と 8 つの事例」 みんなの試作広場 (minsaku.com)

<sup>5</sup> 「人工知能 (AI) の導入や活用に必要な AI 人材 (コラム)」 IPA 独立行政法人 情報処理推進機構

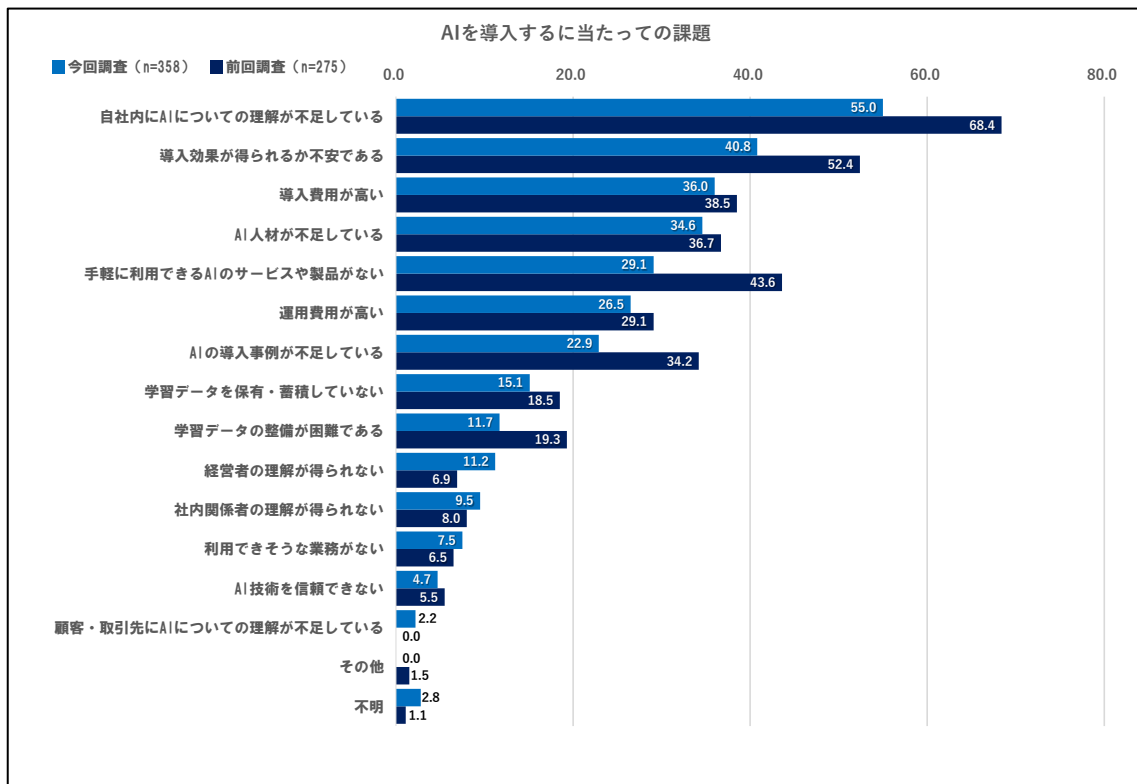


図 2.5.2-1 AIを導入検討するに当たっての課題

## 2.5.3 適切な AI 運用に求められるもの

### (1) PoC の実施による AI モデルの作成

AI を活用するためには、まず、AI モデルの作成が必要となるが、AI モデルは、使用するエンジン（アルゴリズム）や学習するデータによって解が異なるため、期待する結果を得ることができない可能性がある。そのため、AI モデルの作成にあたっては、目的や問題の解決（期待するアウトプット）のために仮説を立て、使用する学習データやアルゴリズムを試行錯誤しながら小刻みに検証を繰り返す PoC（概念検証：Proof of Concept）を実施する期間を設け、検証を行うことが望ましいと考えられる。

### (2) AI システムを扱える知識、およびそれを有する人材

AI を扱うには、それ相応の知識が必要となり、AI の特性を正しく理解し、利用できる人材の確保が欠かせない。

近年、「データサイエンティスト」と呼ばれる職種が注目を集めるようになったが、データサイエンティストとは、AI システムを構築・運用する際に、学習データの質を理解して適切に教え込むためにも欠かせない人材である。前項で示した PoC を実施するためにも、問題設定の補助や、大量のデータを偏りなく収集し使用可能な形式への変換や整理、使用するエンジン（アルゴリズム）の選定、さらに運用においては AI の導いた予測結果や使用するデータの傾向分析などを行うデータサイエンス力を備えた「データサイエンティスト」が必要である。

また、作成した AI をどのようにシステムに取り入れるか検討を行う「システムエンジニア」や、使用するデータや AI が導き出した予測結果の妥当性を判断するため、AI を適用する業務を熟知した「業務経験者」が必要である。

航空管制システムにおいて AI を活用する場合、上記の役割を担う者として適切だと考える担当者を表に示す。

| 役割名         | 主な役割                                                                      | 担当者           |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------|
| データサイエンティスト | AIにより解決する問題設定、使用するデータの整理、使用するエンジンの選定を行う。<br>AIの予測結果やデータ傾向を分析し、モデルの再学習を行う。 | 外部委託          |
| システムエンジニア   | AIモデルをどのようにシステムに取り入れるか検討を行う。                                              | 航空局職員<br>メーカー |
| 業務経験者       | 使用するデータやAIの予測した結果の妥当性を判断する。<br>作成したAIモデルを業務に適用できるかの判断を行う。                 | 航空局職員         |

表 2.5.3-1 航空管制システムにおける AI システム運用に必要な人材

なお、AI の予測精度の低さについては、指標から簡単に判断可能であるが、AI の予測精度を向上させるには、学習させるデータの試行錯誤が必要であり、この作業は専門的なスキルが必要となる。そのため、モデルの精度やデータ傾向の確認は航空局職員で実施いただくことも想定されるが、再学習を行う上では専門スキルが必要となるため、約 2 年程度で担当者が変更になる可能性のある航空局職員で担うには限界があると考えられる。以上のことから、データサイエンティストについては、外部委託することが望ましいと考える。

### (3) 機械学習基盤（モニタリングツール）の利用

AI モデルは過去のデータや作成した時点の状況に基づいているため、業務で AI モデルの利用を続けていくと、予測のズレや劣化は必然的に発生する。また、過去にない特異的なデータが新たに発生したり、データの傾向が大きく変わったりした際には、予測の精度は不可避免的に低下してしまう。

そのため、AI モデルの活用を続けていくためには、AI モデルを継続的に改善していく必要がある。具体的には、下記3点に留意する必要がある。

- ・ 常にモデルの予測精度や最新のデータをモニタリングする。
- ・ 予測にズレが生じたときには原因を調査する。
- ・ 業務環境やデータの変化に合わせてモデルを改善する、という作業を常に実施し、日々改善を積み重ねて機械学習モデルを進化させる。

AI モデルの業務適用後に、こうした改善プロセスを継続的に繰り返すことにより、環境の変化に合わせてモデルを日々進化させ、業務で活用し続けることが可能となり、ひいては業務の効率化・高度化が可能となる。<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> 「機械学習モデルを継続的に活用し続けるコツ【第4回】」DIGITAL X（デジタルクロス）（[impress.co.jp](https://impress.co.jp)）

## 2.5.4 MLOps とは

MLOps とは、「機械学習チーム (Machine Learning) /開発チーム」と「運用チーム (Operations)」がお互いに協調し合うことで、機械学習モデルの実装から運用までのライフサイクルを円滑に進めるための管理体制 (機械学習基盤) を築くこと、またはその概念全体を指す (図 2.5.4-1)。

機械学習チーム/開発チームは、最終的なソリューションの一機能となる機械学習モデルの作成とデリバリー (もしくはデプロイ) を自動化し、リリースサイクルを早める。運用チームは、刻々と変化するビジネス要求を捉えて、機械学習チームにフィードバックしながら、より付加価値の高いソリューションをエンドユーザーに届ける。MLOps は、これら一連のライフサイクルをシームレスにつなげるための基盤を構築する。<sup>7</sup>

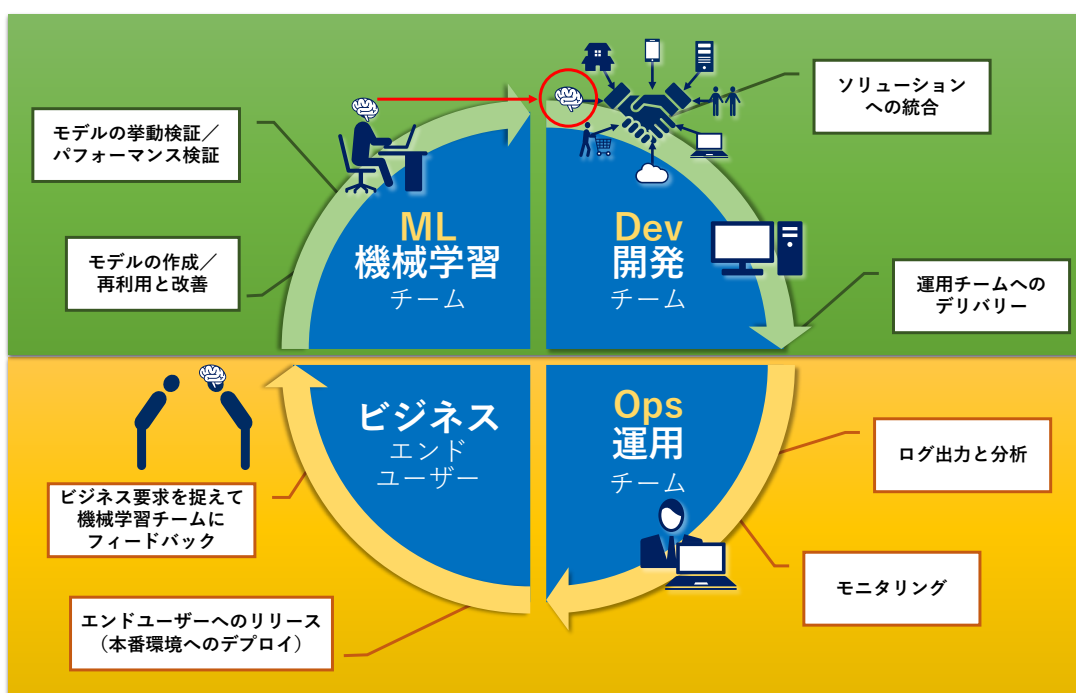


図 2.5.4-1 MLOps の概念図

出典：「MLOps (機械学習基盤) とは? AIOps との違い: AI・機械学習の用語辞典」@IT (itmedia.co.jp)

2021 年のニュースとしては、5 月に Google Cloud が、マネージド機械学習 (ML) プラットフォームである Vertex AI を公開した。AWS は「Amazon SageMaker がエンタープライズ MLOps プラットフォームの秀でたリーダーとして選出された」とアナウンスした。Azure Machine Learning も機械学習運用 (MLOps) の情報が充実してきている。このように各クラウドプラットフォームが MLOps に注力している状況である。<sup>8</sup>

<sup>7</sup> 「MLOps (機械学習基盤) とは? AIOps との違い: AI・機械学習の用語辞典」@IT (itmedia.co.jp)

<sup>8</sup> 「2022 年の「AI/機械学習」はこうなる! 8 大予測: AI・機械学習の業界動向」@IT (itmedia.co.jp)

#### ■MLOps 導入事例

- ・ヤマトホールディングスの中核事業会社で宅配便最大手のヤマト運輸が、AI の新たな実装方式とされる「MLOps」を実用化。<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> 「AI の PoC 疲れから脱却せよ！「MLOps」の導入がヤマト運輸にもたらした確かな効果」 IT Leaders (impress.co.jp)



## 2.6 航空管制システムにおける AI 開発および運用プロセス

AI の開発および運用においては、調査・企画・検証・導入・活用の 5 つのフェーズで構成される AI 活用ライフサイクルを推進する必要がある。参考として、AI 開発および運用プロセスを以下の図 2.6-1 に示す。

最初の「調査」は、現状の業務がどう実施されていて、どこに問題があるのかを分析するフェーズである。次の「企画」は、業務で発生している問題を AI によってどのように解決できるかというテーマ決めを行い、設定した課題を AI でどう解決するかという方向性を探っていくフェーズである。この 2 つのフェーズは、航空管制システムにおける整備工程の場合、「要件調査」に該当すると考える。

次に、一般的に PoC と呼ばれる、企画段階で設定した概念が実際に実装できるかという「検証」を行う。AI の開発においては、従来のシステム開発では実施されていない PoC というフェーズが必要となる。また、AI をどのようにシステムに実装するかについて検討を行う「システム設計」も必要となるため、従来の「システム設計」と並行しながら PoC を実施し、AI の検証を行う。

次のフェーズが「導入」であり、実際に AI モデルを作成し、業務システムへの組み込みを行う。また、AI モデルが運用に使用可能か評価を行うことから、従来の「製造・システム評価」に該当するフェーズと考えられる。

最後の「活用」フェーズは、実際に AI を運用するフェーズであり、従来の「サービスイン」に該当する。AI モデルを使用するだけでなく、AI が適切に動いているかをモニタリングしていく必要がある。また、モニタリング結果をもとに、AI の精度向上や、最新のデータ傾向に適合させるための確認を行い、その結果を調査・企画のフェーズにフィードバックさせるサイクルを実施することで、AI をより良いものにしていくと考えている。

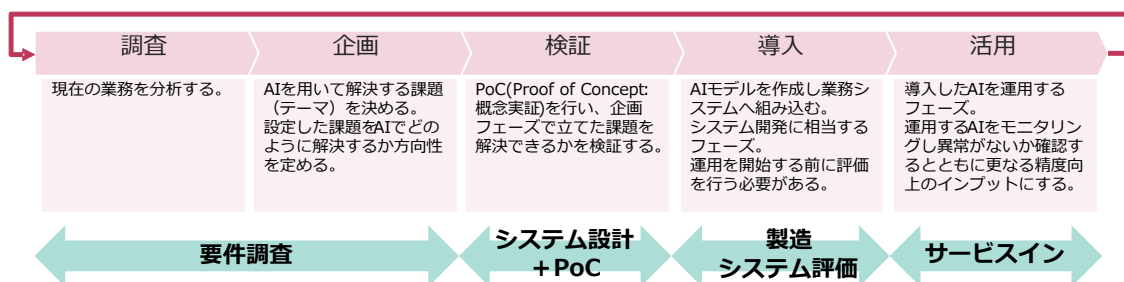


図 2.6-1 AI 開発および運用プロセス



### 第3章 最適経路対象便選定についての検討

本章では、最適経路対象便の選定に関して、運用要件や最適経路へ変更する対象便の選定方法、運用フロー、平等性の実現方法について整理する。

#### 3.1 最適経路対象便選定の運用要件

現在、ATMC では CDM（協調的意思決定：Collaborative Decision Making）の1つとして、出発前に航空会社との間で混雑回避や悪天回避を目的とした出発前経路調整が行われている。混雑回避に関する出発前経路調整は主に ATMC 発信で、悪天回避に関する出発前経路調整は主に航空会社発信で行われている。最適経路への変更に関する経路調整は混在回避に関する出発前経路調整と同様に、管理管制官が航空会社へ提案し、調整を行う運用とする必要がある。

本節では、最適経路対象便選定の運用要件について最適経路の調整を行う管理管制官、および航空会社の担当者それぞれの観点から整理する。

##### 3.1.1 管理管制官の運用要件

- ・ 航空交通管理処理システム（TEAM）の運用の一部として行うこと。
- ・ 航空会社と調整を行うための短縮経路の情報は、TEAM で実現している出発前経路調整機能で使用されている混雑回避経路、悪天回避経路と同様に、空域企画管理端末（ADEW）を用いて登録できること。
- ・ 福岡 FIR の全国内便を対象とすること。
- ・ 最適経路対象便の選定条件（航空機抽出時の交通量など）を設定、変更できること。
- ・ システム外で調整を受けた航空機については、最適経路対象として調整する必要がないため、手動で特定の航空機を最適経路の調整対象外に指定できること。また、その解除ができること。
- ・ 訓練空域など当日の状況により使用状況が変わる空域について、使用していない状態であれば飛行可能とすることが考えられるため、飛行可・不可の空域を指定できること。
- ・ より多くの航空機に対する調整を可能とするため、航空会社間の平等性を考慮する／しないを変更できること。
- ・ 最適経路として提案された航空機について、管理管制官が航空会社と経路調整ができること。
- ・ 最適経路調整を行った航空機について、調整状態（承諾、拒否、タイムアウトなど）を確認できること。
- ・ 航空会社が一定時間内に応答することが難しい場合も想定されるため、一定時間内に応答がなかった航空機についても再度調整が行えること。
- ・ 運用後解析（POA：Post Operation Analysis）を可能とするため、最適経路の調整実績を外部ファイルに出力すること。

### 3.1.2 航空会社の担当者の運用要件

- ・ 管理管制官からの経路調整依頼の確認、および経路調整依頼に対する応答（承諾／拒否）が行えること。
- ・ 一定時間内に回答を行わなかった場合、応答（承諾／拒否）が実施不可となること。
- ・ 視覚的に、元々の飛行経路と割り当てた最適経路を確認できること。

### 3.2 最適経路対象便の選定方法について

最適経路対象便を選定する際は、刻々と変化する空域の混雑状況、飛行経路上の管制官の作業負荷、航空会社間の平等性などを考慮しつつ、最適経路を飛行する対象便の選定を行わなければならない。さらに飛行計画が提出されて（EOBT 2 時間前）から、航空機の出発準備が開始される（EOBT 1 時間半前）までの短い時間の中で、航空会社と調整を実施する必要がある。

しかしながら、短時間に上記のような様々な条件を考慮した航空機を選定を人の力だけで行うことは困難であり、短時間で意思決定を行うためには、ロジックシステムおよび AI 技術による支援が必要不可欠であると考えられる。本節では、従来のロジックシステムを活用した選定手法と、AI 技術を活用した選定手法を整理する。

従来のロジックシステムを活用する場合、TEAM に最適経路対象便の選定機能を追加することで実現するのが望ましいと考える。TEAM では交通量の予測や、交通流制御の実施、また混雑回避経路や悪天回避経路の経路調整機能を有しており、最適経路対象便を選定する場合、空域の混雑状況、管制官の作業負荷を考慮して航空機を選定を行うことが可能であるためである。ただし、複数の航空機において最適経路を選定するなど、複雑な条件が必要となった場合、ロジックシステムでは短時間で結果を出すことが容易ではなく、サーバへの負荷や、既存の他機能への影響を考慮する必要がある。

一方、AI 技術を活用する場合、「判別」や「最適化」などの手法を活用することで実現可能と考える。特に、「数理最適化」と呼ばれる手法は、膨大な意思決定候補がある中で、制約条件を満たし、かつ、最も良い意思決定案を導出することが可能である。最適経路対象便選定においても、複数の制約情報を条件式として定義し、複数のパラメータで重みづけを加味することで、より最適な経路を選定することが可能であると考えられる。

ただし、AI を活用するには、モデルの作成、データ収集、データ加工、学習、評価といった期間が必要であり、初期段階から正しい対象便の選定を行うことは難しいと考えられる。

また、AI を最適に運用していくためには、リアルタイムの実データを使用し、そのモデルが正しい判断をしたかモニタリング評価し、必要に応じてモデルの更新を行うなどのサイクルを回す必要があるため、運用データを蓄積する仕組みを整備することが必要となる。そのため、AI を用いた運用サイクルを確立するためには、最適経路調整を実施した運用データを蓄積する期間と、本格的に AI を活用していく期間が必要である。

以上のことから、ロジックシステムは早い段階で運用開始が可能だが、複雑な条件下での選定は難しく、AI 技術は本格的な運用開始までには時間を要するが、複雑な条件においても選定が可能という特徴がある。

そのため、短縮距離の合計を最大化できるような複数便に対する最適経路対象便の選定については、AI 技術の活用が望ましいが、運用データの蓄積期間が必要となることから、ロジックシステムや簡易的な AI を活用し、段階的に AI を導入することが望ましいと考えられる。

具体的には、2つの段階（ステップ）に分けて導入することが考えられる。最初のステップ（1stStep）では、1 便単位での最適経路対象便の選定を行い、最適経路へ変更した対象便の運用データ（実績）を蓄積する。最適経路対象便の選定においては、従来のロジックシステムや簡易的な AI の活用が可能である。次の 2 ステップ目（2ndStep）では、本格的に AI を運用で活用し、より複雑な複数便を対象とした最適経路の選定を可能とすることが望ましいと考える。

それぞれのステップについて、次項以降では、最適経路対象便の選定方法や使用するデータなど、詳細について整理する。

### **(1) 1stStep : 予め設定された短縮経路へ変更可能な便を提案 (1 便毎の提案)**

1stStep では、調整対象を 1 便単位と単純にし、最適経路対象便選定の運用ルールについて、管理管制官、航空会社の双方で確立、定着させる。

最適経路対象便に選定については、簡易的な AI を導入するだけでなく、運用実績がある従来のロジックを用いた最適経路対象便の選定も可能であると考ええる。

本ステップにおいて AI を用いる場合、「判別分析法」と呼ばれる方法を使用することで、最適経路へ変更可能か、不可能かを判断する基準を AI に算出させ、算出された判断基準を適用することで、1 便単位の提案が可能であると考えられる。

また、ロジックにより最適経路対象便の選定する場合、既存の TEAM の機能に最適経路対象便の選定ロジックを追加することで、1 便単位の提案であれば、空域の混雑状況、管制官の作業負荷、航空会社間の平等性などを考慮して、短時間に航空機の選定を行うことが可能であると考えられる。

そのため次項以降では、AI を用いた選定と従来のロジックを用いた選定について整理する。

### **(2) 2ndStep : 最適経路へ変更可能な複数便の組み合わせを提案 (短縮距離を最大化できる組み合わせを提案)**

2ndStep では、AI を用いて最適経路対象便の選定を行い、より複雑な複数便の組み合わせを提案可能とすることで、得られる効果の最大化を図る。

この段階では、複数便の航空機の組み合わせの考慮が必要になる。そのため、ロジックにより航空機の選定を行う場合、複雑な条件を加味する必要があり、短時間で結果を出すことが容易でないこと、またサーバへの負荷、既存の他機能への影響を考えると、ロジックでの対応は難しいと考えられる。したがって、大規模で複雑な組み合わせ問題を高速に解くことができる AI を用いることが適切であると考えられる。

### 3.3 1stStep 予め設定された短縮経路へ変更可能な便の提案

本節では、1stStep として行う予め設定された短縮経路へ変更可能な便の提案に関して、AIを用いた提案方法と従来のロジックを用いた提案方法のそれぞれの方法について整理する。

#### 3.3.1 AIによる最適経路対象便の提案

AIにより最適経路対象便を選定する場合、「判別分析法」を使用することで実現可能と考える。

「判別分析法」とは、データをいくつかのグループに分類する際、新しいデータがどのグループに分類されるのかを判断するためのルール（基準）を得ることが可能であり、個々のデータを分類する目的で使用されることが多い手法である。

最適経路対象便選定においては、経路毎に「最適経路1に変更可能」、「最適経路2に変更可能」・・・「最適経路Xに変更可能」、「最適経路に変更不可」のグループに分類を行い、運用データを振り分けた状態をAIに学習させることで、対象の航空機が最適経路Xへ変更可能なか、それともいずれの最適経路へも変更できないのかを判断させることが可能である。

なお、平等性の考慮は調整可能な便をどのように優先づけるかを説明可能であることが必要であり、ロジックで実装する場合と同様の方法にて、ロジックで実装し対応することが望ましい。詳細は、「3.3.2 (1) ④画面表示の優先順による選定」を参照のこと。

最適経路対象便選定における判別分析法のイメージについて、以下の図 3.3.1-1 に示す。

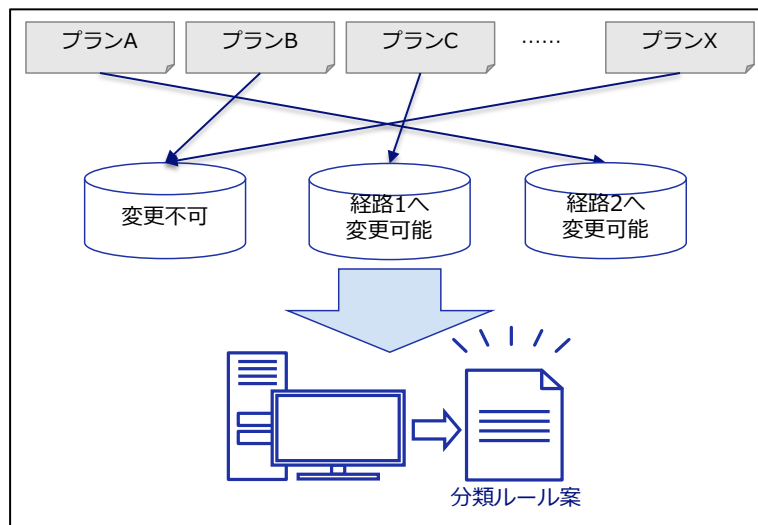


図 3.3.1-1 最適経路対象便選定における判別分析法のイメージ

AIによる具体的な選定方法と使用するデータについて、次頁以降に示す。

## (1) AIによる最適経路対象便の選定方法

最適経路対象便の選定は、以下に示す3つの段階を経て、管理管制官に提案が可能となる。

### (A) AIに学習させるためのデータ準備

最適経路対象便選定において判別分析法を使用するためには、AIにデータから最適経路への変更が可能なのか、不可なのかを学習させる必要があり、学習データの準備が非常に重要である。

現在は、出発前に管理管制官と航空会社との間で最適経路への経路変更を行う業務は実施されていないため、TEAMをはじめとする統合管制システムの運用データをもとに最適経路への変更が可能であったか分類を行い、学習データを作成する必要がある。分類を行う際には、当該プランの状況（別機能での調整有無など）や、変更対象となる短縮経路の状況（交通流制御の実施有無など）を考慮し行う必要がある。

分類作業を行う手順について、以下の図 3.3.1-2 をもとに整理する。

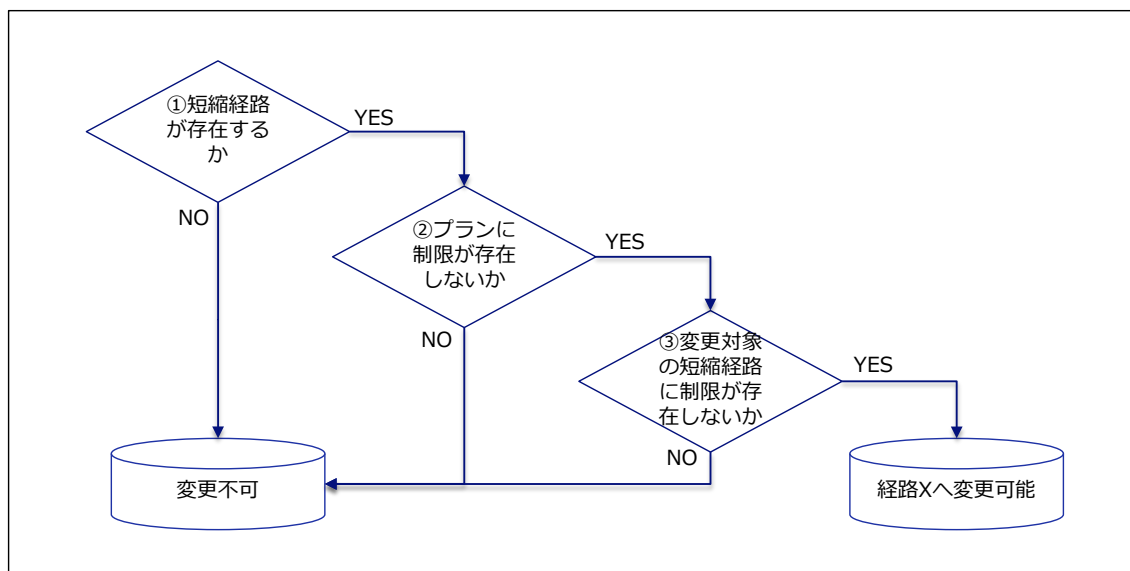


図 3.3.1-2 実績情報の分類フローについて

- ① 実績情報を経路別に分類し、経路毎に予め設定された短縮経路が存在するか確認を行う。短縮経路が存在しない場合は、その経路を飛行する全プランが変更不可に分類される。

なお、短縮経路が複数存在する場合は、短縮経路毎に②以降のフローを実施する。



- ② 変更可能な短縮経路が存在した場合、その経路を飛行するプラン毎に、他機能での調整有無など、制限が存在していないか確認を行う。制限条件として以下の内容が考えられる。
- ・ 出発前経路調整が未実施であること。
  - ・ 制御対象外機指定機ではないこと。
  - ・ その他除外条件に合致しないこと。
- ※ 除外条件は今後検討が必要となるが、フライトプラン「第 8 項 飛行の種別」や「第 18 項 ATS 特別取扱い理由」などを条件とすることが考えられる。
- ③ 制限が存在しないプランについて、変更対象となる短縮経路に、交通流制御の実施有無など、制限が存在していないか確認を行う。制限条件としては以下の内容が考えられる。
- ・ 交通流制御が実施されている空域を飛行しない経路であること。
  - ・ 訓練空域など、通過不可である空域を飛行しない経路であること。
  - ・ 最適経路に変更後、通過する空域の交通量が規定値以内であること。
- ※ 規定値は今後検討が必要となるが、最適経路に変更したことで、通過する空域の交通量が増加し、混雑してしまうことを避けるため、規定値との比較が必要であると考えられる。

上記フローにおいて、①～③の条件に合致したプランを「経路 X へ変更可能グループ」、合致しなかったプランを「変更不可グループ」へ分類を行う。

## (B) AI 学習および評価

分類を行い作成した学習データを AI に学習させることで、最適経路への経路変更が可能かを判断する AI モデルを作成する。また、作成された AI モデルに学習データでは使用していないデータを与えることで、作成した AI モデルが適切に判断できているのかを評価し、必要に応じて改善、再学習を繰り返し行うことで、精度向上を図る。

## (C) 運用

導入した AI を用いて実際に最適経路の選定を行う。AI により選定された最適経路で実際に経路変更することができない場合は調整対象外機として、変更不可グループに分類する。調整対象外機として変更不可グループに分類されたプランの割合を元に、AI が業務に適した判断を実施できているか、また使用しているデータの傾向に変化がないかをモニタリングする。また、最適経路への変更調整前後の情報蓄積し、さらなる精度向上のインプットとする。

## (2) AIによる最適経路対象便の選定に必要なデータと取得方法

AIによる最適経路対象便の選定に必要な情報を、分類別に以下に示す。

- ① 経路による分類
  - ・ 短縮経路情報
  - ・ フライト情報
- ② プランに制限が存在しないかの判定
  - ・ フライト情報
  - ・ 対象機除外情報
- ③ 変更対象の短経路に制限が存在しないかの判定
  - ・ 短縮経路情報
  - ・ 交通流制御関連情報
  - ・ 交通量関連情報
  - ・ 制限空域関連情報
  - ・ 交通量判定規定値

また、上記に記載した各情報について、取得方法を以下に示す。

- ・ 短縮経路情報（新規）  
TEAMにて登録経路と同様に短縮経路としてデータベースに登録した情報。
- ・ フライト情報  
飛行情報管理処理システム（FACE）より展開されたアクチュアルフライトプランから最適経路の選定に必要なフライト情報。  
以下に選定に必要と想定される項目を記載する。
  - ・ 航空機識別
  - ・ EOBT
  - ・ 出発空港
  - ・ 到着空港
  - ・ 飛行の種類
  - ・ 無線機器
  - ・ ATS 特別取扱い理由

- 対象機除外条件（新規）  
TEAM に新たに登録する除外条件となり得る項目であり、運用で変更される可能性があるためアップデートなど外部ファイルで定義することが望ましい。  
以下に除外対象と想定される項目を記載する。
  - 軍用機
  - 政府専用機
  - VIP 機
  
- 交通流制御関連情報  
TEAM で保持しているセクタ、空港、方面別空港、特定航空路、MINIT に対する交通流制御の開始時刻、終了時刻などの情報。
  
- 交通量関連情報  
TEAM で保持しているセクタ、空港、方面別空港に対する交通量の情報。
  
- 制限空域関連情報  
TEAM で保持している訓練空域の使用状況、調整経路の情報。
  
- 交通量判定規定値（新規）  
使用可能な短縮経路を判定するための交通量の判定基準および航空機ソートの際に使用する交通量の判定基準であり、運用で変更される可能性があるためアップデートなど外部ファイルで定義することが望ましい。

### 3.3.2 ロジックによる最適経路対象便の選定方法

ロジックにより最適経路対象便を選定する場合、既存の TEAM の機能に最適経路対象便の選定機能を追加することで実現可能と考える。

ロジックによる選定方法と使用するデータについて、以下に示す。

#### (1) ロジックによる最適経路対象便の選定方法

TEAM にて運用されている混雑回避経路と同様に、予め対象となるシティーペアについて短縮経路を作成し、それを管理管制官が確認し、航空会社との調整に使用するものとする。

また選定対象となる航空機は、現時刻が EOBT の 2 時間前から 1 時間半前のある航空機とする。

最適経路対象便の選定は、以下に示す 4 つの選定を経て、管理管制官に提案する。

##### ① シティーペアによる選定

短縮経路が登録されていないシティーペアを持つ航空機は、最適経路の調整対象から除外するため、以下の条件の判定を行う。

- ・ システムに設定された短縮経路情報のシティーペアと合致する航空機であること。

##### ② 航空機の状態による選定

システム外で調整を受けた航空機や TEAM の他機能で調整済みの航空機を除外するため、以下の判定を行い、すべての条件を満たす航空機を選定する。

- ・ フライトプランが提出済みであること。
- ・ EOBT（移動開始予定時刻）の 2 時間前～1 時間半前であること。
- ・ 出発前経路調整および最適経路調整を未実施であること。
- ・ EDCT 確定機（出発制御時刻確定機）および制御対象外機指定機ではないこと。  
（ノンシステム制御を対象外とする場合は、管理管制官の判断による手動入力が必要）
- ・ 登録された除外条件に合致しないこと。なお、除外条件はアダプテーションなど、変更可能な形式とすること。

※ 例：フライトプランの「第 8 項 飛行の種類」や「第 18 項 ATS 特別取扱い理由」などを条件として設定できることが望ましい。

③ 短縮経路の状態による選定

航空機が飛行する経路上の状態を加味するため、以下の判定を行い、すべての条件を満たす短縮経路を飛行する航空機を選定する。

- ・ 管理管制官が指定した空域を通過しない短縮経路であること。
- ・ 交通流制御が実施されている空域を飛行しない短縮経路であること。
- ・ 短縮経路を飛行した際に通過する空域の交通量が規定値以下であること。

④ 画面表示の優先順による選定

①～③の条件にて選定された対象便に対して、平等性（調整割合）と経路短縮量を考慮し、画面へ表示する優先順位を決定する。優先順位の条件を図 3.3.2-1 に示す。

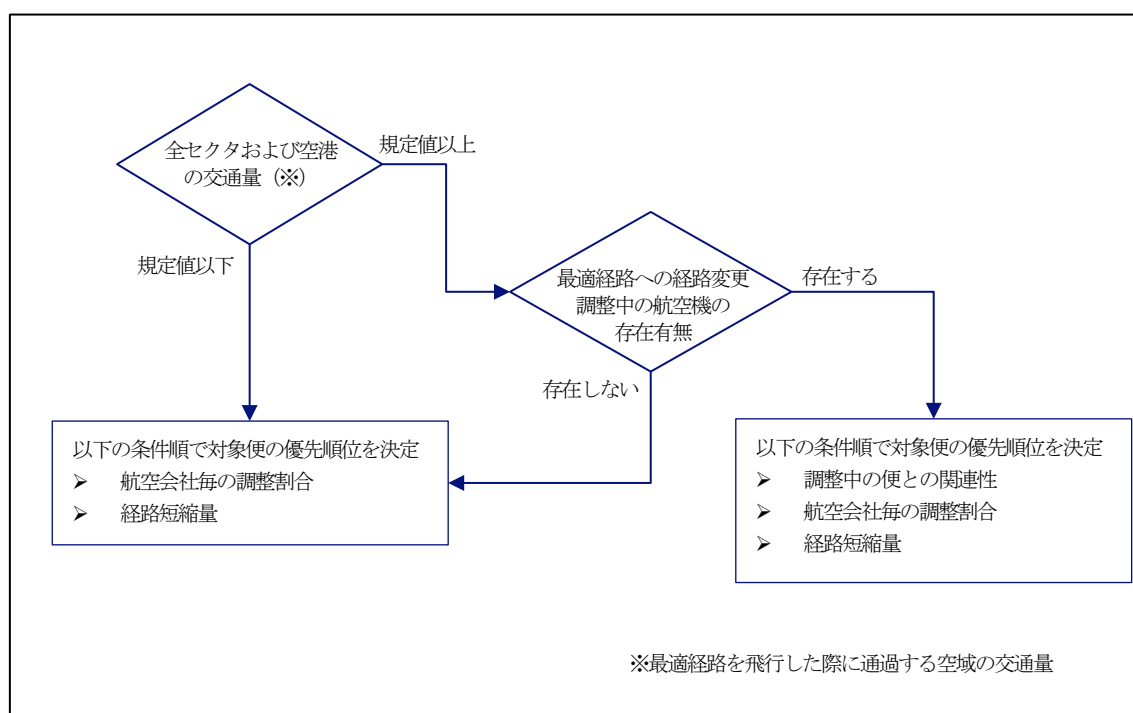


図 3.3.2-1 最適経路対象便の優先順位の条件

優先順位の条件としては、以下の条件が考えられる。なお、以下の条件すべてが同じになる航空機が存在した場合は、最終的に乱数でソートを行う。

- 調整中の航空機との関連性  
調整中の航空機の変更内容は、調整が完了していないと TEAM の交通量に取り組むことができないため、調整中の航空機と同じセクタを通過する航空機について調整を行った場合、混雑空域が発生してしまう可能性がある。そのため、調整中の航空機とは別のセクタを通過する航空機を優先する。
- 航空会社毎の調整割合  
航空会社毎の平等性を確保するため、調整割合が少ない航空会社の航空機を優先する。  
なお、調整割合については、「3.6 最適経路対象便選定における平等性の実現方法」を参照のこと。
- 経路短縮量  
CO<sub>2</sub> 削減の観点から、航空会社から提出されたフライトプランの飛行経路と最適経路との飛行距離の短縮量が多くなる航空機を優先する。

図 3.3.2-1 に示す最適経路を飛行した際に通過する空域の交通量の規定値については、TEAM にて交通流制御を行う可能性のある交通量の規定値とは異なり、抽出された航空機がすべて調整可能かどうか（他の航空機との関連を考慮しなくてもよいか）を判定するための規定値のため、交通流制御を行う可能性のある交通量の規定値よりも値は小さくなると思われる。

## (2) ロジックによる最適経路対象便の選定に必要なデータと取得方法

ロジックによる最適経路対象便の選定に必要な情報を、選定別に以下に示す。

- ① シティペアによる選定
  - ・ 短縮経路情報
  - ・ フライト情報
  
- ② 航空機の状態による選定
  - ・ フライト情報
  - ・ 対象機除外情報
  
- ③ 短縮経路の状態による選定
  - ・ 短縮経路情報
  - ・ 交通流制御関連情報
  - ・ 交通量関連情報
  - ・ 制限空域関連情報
  - ・ 交通量判定規定値
  
- ④ 平等性を考慮した画面表示の優先順による選定
  - ・ 短縮経路情報
  - ・ フライト情報
  - ・ 最適経路調整実績情報
  - ・ 交通量判定規定値

また、前ページに記載した各情報について、取得方法を以下に示す。

- 短縮経路情報（新規）  
TEAMにて登録経路と同様に短縮経路としてデータベースに登録した情報。
- フライト情報  
飛行情報管理処理システム（FACE）より展開されたアクチュアルフライトプランから最適経路の選定に必要なフライト情報。  
以下に選定に必要と想定される項目を記載する。
  - 航空機識別
  - EOBT
  - 出発空港
  - 到着空港
  - 飛行の種類
  - 無線機器
  - ATS 特別取扱い理由
- 対象機除外条件（新規）  
TEAMに新たに登録する除外条件となり得る項目であり、運用で変更される可能性があるためアダプテーションなど外部ファイルで定義することが望ましい。  
以下に除外対象と想定される項目を記載する。
  - 軍用機
  - 政府専用機
  - VIP 機
- 交通流制御関連情報  
TEAMで保持しているセクタ、空港、方面別空港、特定航空路、MINITに対する交通流制御の開始時刻、終了時刻などの情報。
- 交通量関連情報  
TEAMで保持しているセクタ、空港、方面別空港に対する交通量の情報。
- 制限空域関連情報  
TEAMで保持している訓練空域の使用状況、調整経路の情報。
- 交通量判定規定値（新規）  
使用可能な短縮経路を判定するための交通量の判定基準および航空機ソートの際に使用する交通量の判定基準であり、運用で変更される可能性があるためアダプテーションなど外部ファイルで定義することが望ましい。



- 最適経路調整実績情報（新規）  
TEAMにて保持する最適経路調整を実施した航空会社毎の短縮距離や調整割合を集計した情報。必要とする情報については、「3.6 最適経路対象便選定における平等性の実現方法」で整理する。

### 3.4 2ndStep 最適経路へ変更可能な複数便の組み合わせを提案

#### 3.4.1 最適経路対象便の選定方法

2ndStep では、1stStep と同様にセクタ交通量、空域の制限、交通流制御の実施などの制約を加味した上で、複数便に対する最適経路割当による短縮距離の合計距離を最大化できる組み合わせを算出し、提示する必要がある。

2ndStep をロジックで行う場合、膨大なパターンの中から最適解を算出する必要があり、全パターンについて検証し解を出す必要がある。しかし、算出しなければならないパターンが膨大になるため、運用システムでリアルタイムに結果を算出することは難しいと考えられる。

一方で、近年は、勤務シフトの導出など様々な制約条件を加味した上で最適解を算出するような、AI の数理最適化技術が著しく発展しており、2ndStep の最適経路へ変更可能な複数便の組み合わせを導出する際にも使用可能であると考えられる。

そこで本項では、2ndStep で目指す最適経路対象便の選定について、AI を用いた数理最適化技術により実現可能かを確認するため、プロトタイプ検証を行った結果について記載する。

AI による数理最適化技術を適用するためには、AI により導出したい問題を定式化する必要がある、以下の流れに沿ってプロトタイプ検証を実施した。

- ① 2019 年のデイトランデータの観察・可視化
- ② 観察結果をもとに、どのような種類の最適化問題に落とし込めるかを検討
- ③ 簡易的な PoC を実行することにより、AI の実現可能性を確認

なお、本検証では COVID-19 による過去に例を見ない規模での航空需要減少に対して、航空局より「航空・空港の経営基盤強化に向けた支援施策パッケージ」の 1 つとして提供されている飛行計画経路短縮に係る取り組みの中で、短縮経路への変更実績がある那覇～中部路線を対象とした。

#### (1) データ観察・可視化

図 3.4.1-1～図 3.4.1-3 は、2019 年 1 月 2 日のフライトデータの中で、那覇空港 (ROAH) 発中部国際空港 (RJGG) 着の便が通過している FIX の混雑状況を時刻毎に可視化した図である。高度の区別はせず、各 FIX を通過する便数の割合を 5 分毎に算出し、ヒートマップで可視化を実施している。

2019-01-02 07:15:00

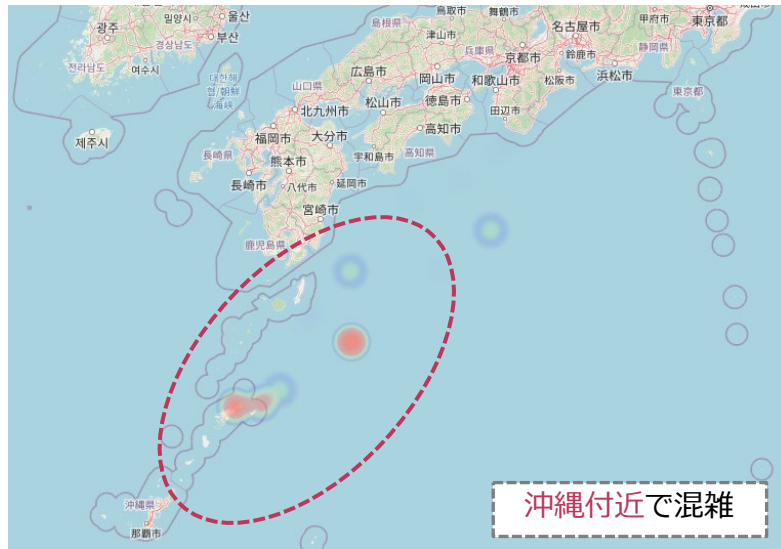


図 3.4.1-1 2019年1月2日7時15分のフライトデータ (ROAH 出発 RJGG 到着便)

2019-01-02 08:00:00



図 3.4.1-2 2019年1月2日8時00分のフライトデータ (ROAH 出発 RJGG 到着便)

2019-01-02 08:45:00



図 3.4.1-3 2019年1月2日8時45分のフライトデータ (ROAH 出発 RJGG 到着便)

図 3.4.1-1～図 3.4.1-3 より、時間帯によって混雑しているポイントが異なっていることが確認できることから、最適化を行う余地があると判断することができる。

## (2) 最適化問題の選定

2ndStep では、1stStep と同様に以下の条件を満たした上で最適経路へ変更可能な便の組み合わせを提案する必要がある。

- ① シティペア毎に短縮経路が2~3本設定されていること
- ② 最適化の対象はEOBTの2~1.5時間前の便とすること
- ③ 変更後の最適経路が混雑空域を通過しないこと
- ④ 各航空会社に対して平等に調整すること

今回のプロトタイプ検証では、2ndStepの内容を数理最適化問題として定義できるか確認し検証を行うが、限られた期間の中で検証を行うため、以下のように条件を単純化し検証を行った。

- ① シティペア毎に短縮経路は1本のみ
- ② 検証対象は任意の3時間
- ③ 時間毎に各FIXを通過する便数は上限がある

なお、「④各航空会社に対して平等に調整すること」については、数理最適化問題の制約条件の追加で対応可能なため、今回の最適化の条件には含めないこととした。

また、最適化問題を設定する目的については、単純な計算で評価を可能とするため、「短縮する距離の合計値を最大化できる組み合わせ」から「できるだけ多くの便を最適経路に変更できる組み合わせ」に変更して実施した。

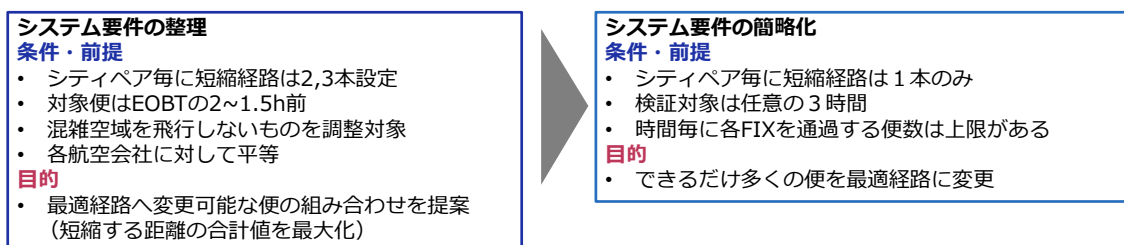


図 3.4.1-4 システム要件の整理と簡易化

次に、データ観察の結果と上記の簡略化されたシステム要件をもとに最適化問題の選定および最適化条件を設定し、定式化を行った。今回の検証で設定した最適化問題は以下のとおりである。

まず、EOBT が検証対象日時内である ROAH 出発 RJGG 到着便について、できるだけ多くの便を最適経路に変更したいという目的があったとする。このとき、管制官によって定められる短縮経路は、1つの経路のみとする。また、経路変更する際に混雑空域を避けるために、各FIXを通過する便の上限が定められており、それがN便であると仮定する。

この問題においては「できるだけ多くの便を最適経路に変更すること」が最適化の目的になっており、「各FIXを通過する便の上限数をN便とすること」が最適化の条件、すなわち「制約条件」(目的を達成する上で必ず満たさなければならない条件のこと)になっていると整理できる。

この問題の目的と制約条件を解くためには、「0-1 整数計画問題」という最適化問題を使用することが望ましいと考えられる。「0-1 整数計画問題」とは、制約条件を満たす解の中で目的関数(目標)を最大化(もしくは最小化)する解を見つける最適化問題の一つであり、定式化する際に変数が0か1に限定されるものが、「0-1 整数計画問題」と呼ばれている。具体的な例としては、「ナップサック問題」が有名であり、耐荷重の決まっているナップサックに食料を詰め込む際、どの食料を選んでナップサックに入れば合計カロリーが最大になるか、という問題を解く場合、食料を入れる・入れない、を0、1の変数を使用して定式化することが可能であるため、「0-1 整数計画問題」で解くことが可能となる。

今回の検証においては、最適経路に変更する・しない、を0、1の変数を使用して定式化することで、最適経路に変更する便を最大にする組み合わせを導き出すことが可能であると考ええる。

ROAH 出発 RJGG 到着便それぞれについて、最適経路に変更するかしないかを定める「0-1 整数計画問題」として図 3.4.1-5 のように定式化を行った。

最適化対象の便がn便あるとき

- $S[i]=0$  のとき、便*i*は最適経路に変更しない
  - $S[i]=1$  のとき、便*i*は最適経路に変更する
- と定義 ( $i=1, \dots, n$ )。

$\sum S[i]=S[1]+S[2]+\dots+S[n]$ が最大になるように最適化

図 3.4.1-5 「0-1 整数計画問題」による定式化

図 3.4.1-5 の式について、具体的な例を用いて説明する。

最適化の対象の便がn便あったとする。すなわち、5便であれば $n=5$ となる。n便それぞれについてSという変数が0のときその便は経路を変更せず、1のときは経路変更するというように定義する。なお、iは各便を示している。

今回の問題では、できるだけ多くの便を最適経路に変更することが目的であるため、Sの合計値が最大になるように最適化することになる。このSを使って目的関数(目的関数)で表現すると、以下のようになる。

$\text{maximize}(\sum S[i])$

### (3) 定式化イメージ詳細

本項では、定数化のイメージについて具体的に示す。今回の問題を簡単に図式化したものを図 3.4.1-6 に示す。

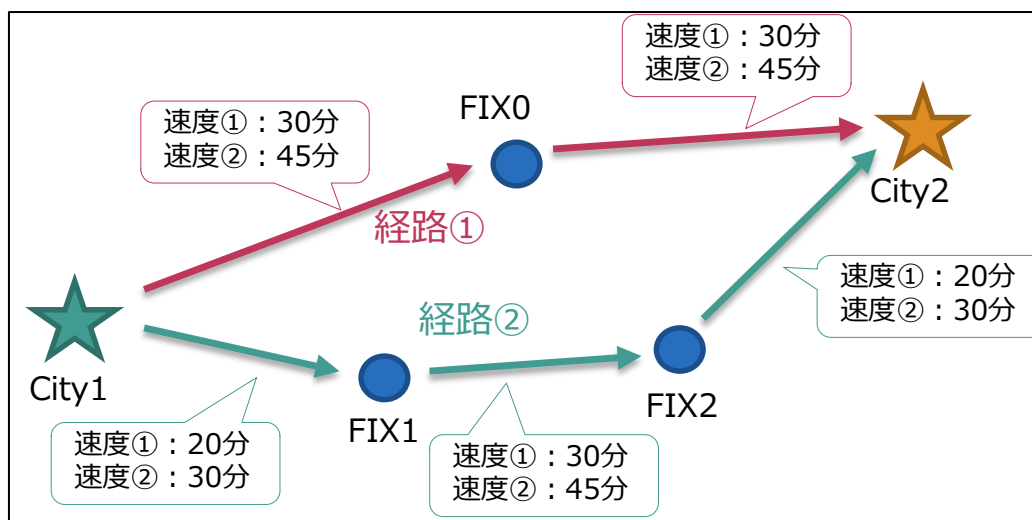


図 3.4.1-6 City1 出発 City2 到着便を最適化する場合の例

図 3.4.1-6 に示すとおり、City1 を出発し、City2 へ到着する経路は、経路①と経路②の 2 種類あり、短縮経路は経路①となる。この例では、経路②を飛行する便をできるだけ経路①に変更したいというのが最適化の目的になる。

また、経路①、経路②で通過する FIX は FIX0、FIX1、FIX2 であり、この 3 つの FIX の混雑状況を考慮しながら経路調整を行う必要がある。この問題を解く上での条件を以下に示す。

- ・ 検証対象機は EOBT が 5:00~8:00 (UTC) の航空機
- ・ 時刻は 5 分刻みで整理
- ・ 短縮経路は経路① (速度①のとき、経路①は 60 分に対し経路②は 70 分かかる)
- ・ 各 FIX を通過する便の上限数は N 便
- ・ 空港の混雑状況は考慮しない (制約条件として FIX は上限を N 機で設定するが、空港の City1、City2 については制約条件に含めない)
- ・ FIX0、FIX1、FIX2 は City1 出発 City2 到着便以外も通過する
- ・ EOBT は変更しない
- ・ 速度は変更しない
- ・ 高度は考慮しない

上記例で仮定した検証対象便を表 3.4.1-1 に示す。

表 3.4.1-1 仮定した検証対象の便

| 便      | EOBT | 予定経路 | 速度  |
|--------|------|------|-----|
| ABC001 | 5:00 | 経路②  | 速度① |
| ABC002 | 5:50 | 経路②  | 速度② |
| ABC003 | 6:50 | 経路②  | 速度① |
| ABC004 | 7:10 | 経路②  | 速度① |
| ABC005 | 7:40 | 経路②  | 速度② |

前ページに記した条件のもと、できるだけ多くの便を経路①に変更する組み合わせについて、最適化によって算出する。

最適化については、以下のような段階に分けて検討が行われる。

- (A) 問題の整理 (第1段階、第2段階)
- (B) 制約条件の設定 (第3段階)
- (C) 目的関数の設定 (第4段階)
- (D) 最適化の実行 (第5段階)

**(A) 問題の整理 (第1段階、第2段階)**

第1段階では、問題を整理するため、City1 出発 City2 到着便毎に、FIX0、FIX1、FIX2 を通過する時刻について、「経路を変更する場合」と「経路を変更しない場合」のそれぞれに分けて表に整理しており、これを「時刻×FIX 表」とする。表 3.4.1-2 の時刻×FIX 表では時間毎、FIX 毎の混雑状況を確認することが可能である。

表 3.4.1-2 City1 出発 City2 到着便における時刻×FIX 表

| 時刻   | City1 | FIX0 | FIX1 | FIX2 | City2 |
|------|-------|------|------|------|-------|
| 5:00 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:05 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:10 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:15 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:20 | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 5:25 | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 5:30 | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 5:35 | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 5:40 | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 5:45 | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 5:50 | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     |
| 5:55 | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     |
| 6:00 | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     |
| 6:05 | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     |
| 6:10 | 0     | 0    | 0    | 0    | 1     |
| 6:15 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 7:55 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 8:00 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |

| 時刻   | City1 | FIX0 | FIX1 | FIX2 | City2 |
|------|-------|------|------|------|-------|
| 5:00 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:05 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:10 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:15 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:20 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:25 | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5:30 | 0     | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 5:35 | 0     | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 5:40 | 0     | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 5:45 | 0     | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 5:50 | 0     | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 5:55 | 0     | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 6:00 | 0     | 0    | 0    | 0    | 1     |
| 6:05 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 6:10 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 6:15 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 7:55 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 8:00 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     |

時刻は 5:00→5:00～5:05 の意味(5分毎)



例えば、ABC001 便が経路変更しない場合、表 3.4.1-1 に示すように、ABC001 便はEOBT が 5:00 であり、速度が①であるため、20 分後に FIX1、その 30 分後に FIX2、そしてさらに 20 分後に City2 に到着する。これを表しているのが表 3.4.1-2 の左の表であり、5:00 に出発し、5:20 に FIX1、5:50 に FIX2 を通過、6:10 に City2 到着、となることが分かる。

同様に、経路を変更した場合を表しているのが表 3.4.1-2 の右の表であり、5:00 に出発して 5:30 に FIX0 を通過、6:00 に City2 到着、となることが分かる。

なお、表内の青枠部分は、次の FIX に移動するまでの時間においても通過した FIX 近くに滞在するものとしてカウントしている。

第 2 段階では、City1 出発 City2 到着便以外の便において、時刻毎に FIX0、FIX1、FIX2 を通過する便の件数を整理し、表 3.4.1-3 にまとめている。なお、City1 出発 City2 到着便以外の便は最適化の対象外であるため、最適化を実行することによってこの表に示される便数の変更は不可である。

**表 3.4.1-3 City1 出発 City2 到着便以外の便における時刻×FIX 表**

| 時刻   | City1 | FIX0 | FIX1 | FIX2 | City2 |
|------|-------|------|------|------|-------|
| 5:00 | 2     | 1    | 1    | 2    | 1     |
| 5:05 | 2     | 1    | 3    | 2    | 1     |
| 5:10 | 2     | 5    | 0    | 2    | 5     |
| 5:15 | 1     | 4    | 3    | 1    | 4     |
| 5:20 | 1     | 0    | 2    | 1    | 0     |
| 5:25 | 5     | 2    | 1    | 5    | 2     |
| 5:30 | 2     | 2    | 2    | 2    | 2     |
| 5:35 | 1     | 2    | 2    | 1    | 2     |
| 5:40 | 2     | 2    | 3    | 2    | 2     |
| 5:45 | 0     | 5    | 1    | 0    | 5     |
| 5:50 | 5     | 2    | 4    | 5    | 2     |
| 5:55 | 5     | 0    | 2    | 1    | 0     |
| 6:00 | 4     | 3    | 1    | 1    | 5     |
| 6:05 | 0     | 2    | 1    | 1    | 0     |
| 6:10 | 2     | 1    | 5    | 0    | 1     |
| 6:15 | 2     | 2    | 2    | 4    | 0     |
| 7:55 | 0     | 5    | 2    | 2    | 5     |
| 8:00 | 5     | 2    | 1    | 2    | 2     |

### (B) 制約条件の設定 (第3段階)

第3段階では、これまで整理した問題を確認し、制約条件の設定を行う。各FIXの混雑状況については、表3.4.1-2および表3.4.1-3に整理した最適化対象の便とそれ以外の便において、時刻毎に各FIXを通過する便数を合計することで確認が可能である。最適化対象の便は、経路変更する場合としない場合とで様々な組み合わせのパターンがあり、パターンについては、変数S(i)の組み合わせによって決定する。また、時刻毎の各FIXを通過する便数の合計値は、表内すべてのマスにおいてN(各FIXを通過する便の上限)以下とする制約条件を設定する。

表 3.4.1-4 制約条件の設定

| ABC001の表(Step1) |       |      |      |      |       | ABC005の表(Step1) |       |      |      |      |       | その他の便の表(Step2) |       |      |      |      |       |
|-----------------|-------|------|------|------|-------|-----------------|-------|------|------|------|-------|----------------|-------|------|------|------|-------|
| 時刻              | City1 | FIX0 | FIX1 | FIX2 | City2 | 時刻              | City1 | FIX0 | FIX1 | FIX2 | City2 | 時刻             | City1 | FIX0 | FIX1 | FIX2 | City2 |
| 5:00            | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:00            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:00           | 2     | 1    | 1    | 2    | 1     |
| 5:05            | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:05            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:05           | 2     | 1    | 3    | 2    | 1     |
| 5:10            | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:10            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:10           | 2     | 5    | 0    | 2    | 5     |
| 5:15            | 1     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:15            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:15           | 1     | 4    | 3    | 1    | 4     |
| 5:20            | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | 5:20            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:20           | 1     | 0    | 2    | 1    | 0     |
| 5:25            | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | 5:25            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:25           | 5     | 2    | 1    | 5    | 2     |
| 5:30            | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | 5:30            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:30           | 2     | 2    | 2    | 2    | 2     |
| 5:35            | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | 5:35            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:35           | 1     | 2    | 2    | 1    | 2     |
| 5:40            | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | 5:40            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:40           | 2     | 2    | 3    | 2    | 2     |
| 5:45            | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | 5:45            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:45           | 0     | 5    | 1    | 0    | 5     |
| 5:50            | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     | 5:50            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:50           | 5     | 2    | 4    | 5    | 2     |
| 5:55            | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     | 5:55            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 5:55           | 5     | 0    | 2    | 1    | 0     |
| 6:00            | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     | 6:00            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 6:00           | 4     | 3    | 1    | 1    | 5     |
| 6:05            | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     | 6:05            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 6:05           | 0     | 2    | 1    | 1    | 0     |
| 6:10            | 0     | 0    | 0    | 0    | 1     | 6:10            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 6:10           | 2     | 1    | 5    | 0    | 1     |
| 6:15            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 6:15            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 6:15           | 2     | 2    | 2    | 4    | 0     |
| 7:55            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 7:55            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 7:55           | 0     | 5    | 2    | 2    | 5     |
| 8:00            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 8:00            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0     | 8:00           | 5     | 2    | 1    | 2    | 2     |

+ . . . +

+ =

全てのマスが  
N以下  
となることが  
制約条件  
(空港を除く)

### (C) 目的関数の設定 (第4段階) および最適化の実行 (第5段階)

第4段階では目的関数を設定し、第5段階で最適化を実行する。

目的関数の設定においては、できるだけ多くの便を経路①に変更することが目的であるため、Sの合計値ができるだけ大きくすることを目的関数としている。

$$\begin{aligned} & \text{Maximize}(\sum S[i]) \\ & = \text{Maximize}(S[\text{ABC001}] + S[\text{ABC002}] + \dots + S[\text{ABC005}]) \end{aligned}$$

図 3.4.1-7 目的関数

#### (4) 簡易 PoC の実行

本項では、実際に簡易 PoC を実施した結果について記載する。

##### (A) 問題の整理 (第1段階、第2段階)

はじめに、今回の簡易的な PoC の実行において使用するデータを確認し、問題の整理を行う。使用するデータについては、航空局より提示されている飛行計画経路短縮に係る取り組みの中で、短縮経路への変更実績がある2019年1月2日の那覇～中部路線を対象とし、検証対象時刻は、比較的便数の多い5時台、6時台、7時台を対象とした。

また、那覇～中部路線の短縮経路は、以下と定義する。

- ROAH STERU AMAMI RURIK VEGAR LUKRA TGE MADOG MEXIR IMPAL  
ALBAT TUNAS SIRON NATCH CARDS RJGG

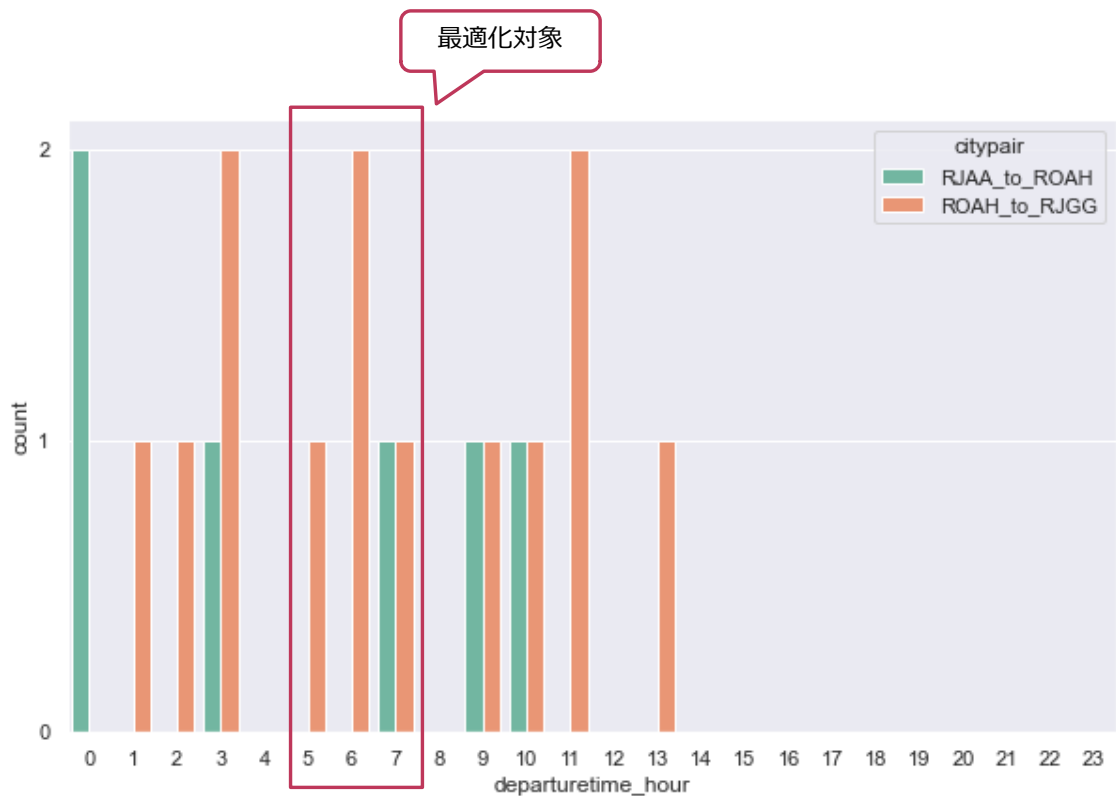


図 3.4.1-8 2019年1月2日の那覇-中部便の運航便数

検証対象日時内（2019年1月2日 5:00-8:00(UTC)）の検証対象便については、最適化対象の ROAH 出発 RJGG 到着便は表 3.4.1-5 に示す 4 便となるが、いずれの便も定義した短縮経路を飛行していなかった。また、飛行経路は経路①と経路②の 2 パターンが存在した。

**表 3.4.1-5 最適化対象の ROAH 出発 RJGG 到着便**

| コールサイン | EOBT (UTC) | TAS / MAC | RTE(SDB分解)                                                                              |     |
|--------|------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANA306 | 0505       | N0448     | ROAH STERU AMAMI ASTAK KALGU YACKL MAYVE YUUPA IMPAL ALBAT TUNAS SIRON NATCH CARDS RJGG | 経路① |
| JJP384 | 0610       | N0440     | ROAH STERU AMAMI POMAS HINJA SHIBK XY57F YULIA ALBAT TUNAS SIRON NATCH CARDS RJGG       | 経路② |
| SNJ70  | 0640       | N0458     | ROAH STERU AMAMI POMAS HINJA SHIBK XY57F YULIA ALBAT TUNAS SIRON NATCH CARDS RJGG       | 経路② |
| JTA44  | 0720       | N0460     | ROAH STERU AMAMI ASTAK KALGU YACKL MAYVE YUUPA IMPAL ALBAT TUNAS SIRON NATCH CARDS RJGG | 経路① |

時刻×FIX 表を作成するにあたり、検証対象とする FIX は、短縮経路で使用されている FIX と、実際の飛行経路で使用されている FIX とし、検証対象 FIX は、全部で 24FIX である。

なお、参考として各経路の実際の距離を表 3.4.1-6 に示す。今回の検証では前述した経路を短縮経路と定義して検証を行うが、実際は経路①の方が短かったことが分かる。そのため、将来的には、このような実際の経路の距離を考慮して最適化を行うことは望ましいと考える。

**表 3.4.1-6 各経路の実際の距離**

|      |            |
|------|------------|
| 短縮経路 | 1346.811km |
| 経路①  | 1314.606km |
| 経路②  | 1358.898km |

検証対象時刻において各 FIX を通過する便数を整理した時刻×FIX 表を表 3.4.1-7 に示す。表 3.4.1-7 より、「STERU」が特に混雑していることがわかる。また、最大通過便数は STERU の 7 便であり、STERU を除くと最大通過便数は TGE、MADOG、SHIBK の 4 便となっていることが分かる。

表 3.4.1-7 検証対象時刻と各 FIX の便数を整理した時刻×FIX 表

|               | STERU | AMAMI | RURIK | VEGAR | LUKRA | TGE | MADOG | MEXIR | IMPAL | ALBAT | TUNAS | SIRON | NATCH | CARDS | SHIBK | HINJA | XY57F | YACKL | KALGU | YULIA | YUUPA | MAYVE | POMAS | ASTAK |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2019/1/2 5:00 | 4     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:05 | 4     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:10 | 4     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:15 | 5     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:20 | 5     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 5:25 | 4     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:30 | 3     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:35 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:40 | 2     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:45 | 3     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:50 | 5     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0   | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:55 | 5     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2   | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:00 | 5     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:05 | 4     | 2     | 0     | 0     | 0     | 2   | 3     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:10 | 3     | 3     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:15 | 2     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| 2019/1/2 6:20 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| 2019/1/2 6:25 | 1     | 1     | 0     | 1     | 2     | 4   | 3     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 6:30 | 4     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:35 | 5     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:40 | 7     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 4     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 6:45 | 7     | 1     | 0     | 0     | 0     | 3   | 2     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:50 | 7     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:55 | 6     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:00 | 5     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     |
| 2019/1/2 7:05 | 4     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:10 | 5     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:15 | 2     | 3     | 1     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 7:20 | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:25 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 2     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 7:30 | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1   | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3     | 1     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:35 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:40 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:45 | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0   | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:50 | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 3     | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 3     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:55 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 2     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 8:00 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 0     | 1     | 2     | 2     | 2     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |

次に、那覇－中部便以外の便に絞った場合の時刻×FIX 表を表 3.4.1-8 に示す。これは最適化の対象外の便の混雑状況である。那覇－中部便以外の便に絞った場合でも、「STERU」の7便が最大通過便数になっていることが分かる。

表 3.4.1-8 那覇-中部便以外の便に絞った場合の時刻×FIX 表

|               | STERU | AMAMI | RURIK | VEGAR | LUKRA | TGE | MADOG | MEXIR | IMPAL | ALBAT | TUNAS | SIRON | NATCH | CARDS | SHIBK | HINJA | XY57F | YACKL | KALGU | YULIA | YUUPA | MAYVE | POMAS | ASTAK |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2019/1/2 5:00 | 4     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:05 | 4     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:10 | 4     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:15 | 5     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:20 | 5     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 5:25 | 4     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:30 | 3     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:35 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:40 | 1     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:45 | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:50 | 4     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0   | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:55 | 4     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2   | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:00 | 4     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:05 | 4     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2   | 3     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:10 | 3     | 2     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:15 | 2     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:20 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| 2019/1/2 6:25 | 1     | 1     | 0     | 1     | 2     | 4   | 3     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 6:30 | 4     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:35 | 5     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:40 | 7     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 4     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 6:45 | 7     | 1     | 0     | 0     | 0     | 3   | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:50 | 6     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:55 | 5     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:00 | 3     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     |
| 2019/1/2 7:05 | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:10 | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:15 | 1     | 2     | 1     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:20 | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:25 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:30 | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1   | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:35 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:40 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:45 | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0   | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:50 | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 3     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:55 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 8:00 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

### (B) 制約条件の設定 (第3段階)

表 3.4.1-8 から確認できるとおり、「STERU」を通過する便は、那覇—中部便以外の便であることから、最適化によって最大通過便数を7便より少なくすることはできない。そのため、今回の検証における各 FIX を通過する便の上限数を  $N=7$  で設定し、最適化を実行する。

今回の最適化実行における条件について、以下の表 3.4.1-9 にまとめて記載する。

表 3.4.1-9 今回の検証における条件

|                  |                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 検証対象機            | EOBT が 2019 年 1 月 2 日 5:00~8:00(UTC) となる航空機                                                    |
| 各 FIX を通過する便の上限数 | 7 便 ( $N=7$ )                                                                                  |
| 短縮経路             | ROAH STERU AMAMI RURIK VEGAR LUKRA TGE MADOG<br>MEXIR IMPAL ALBAT TUNAS SIRON NATCH CARDS RJGG |

### (C) 目的関数の設定 (第4段階) および最適化の実行 (第5段階)

今回の最適化では、できるだけ多くの便を最適経路に変更することが目的であるため、目的関数については以下の図 3.4.1-9 で示す関数を使用し、 $S$  の合計値ができるだけ大きくすることを最適化の目的とする。

$$\begin{aligned} & \text{Maximize}(\sum S[i]) \\ & = \text{Maximize}(S[\text{NEC001}] + S[\text{NEC002}] + \dots + S[\text{NEC005}]) \end{aligned}$$

図 3.4.1-9 目的関数

### (D) 最適化の実行 (第5段階)

最適化を実行した結果、今回の検証条件においてすべての便を最適経路に変更することが可能であることが分かった。

すべての便を最適経路に変更した場合における時刻×FIX 表を表 3.4.1-10 に示す。STERU で混雑しており、最適化のポイントとなっているが、上限の7を超えることなく最適経路へ変更できていることがわかる。なお、STERU は空港近くの FIX であるため、データの状況からも、他の FIX と比較すると特異な FIX であるということがわかる。



表 3.4.1-10 すべての便を最適経路に変更した場合

|               | STERU | AMAMI | RURIK | VEGAR | LUKRA | TGE | MADOG | MEXIR | IMPAL | ALBAT | TUNAS | SIRON | NATCH | CARDS | SHIBK | HINJA | XY57F | YACKL | KALGU | YULIA | YUUPA | MAYVE | POMAS | ASTAK |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2019/1/2 5:00 | 4     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:05 | 4     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:10 | 4     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:15 | 5     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:20 | 5     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 5:25 | 4     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:30 | 3     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:35 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:40 | 2     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:45 | 3     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 5:50 | 5     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0   | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 5:55 | 5     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2   | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:00 | 4     | 2     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:05 | 4     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2   | 3     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:10 | 3     | 2     | 1     | 0     | 0     | 2   | 2     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:15 | 2     | 2     | 1     | 1     | 1     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:20 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 2   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| 2019/1/2 6:25 | 1     | 1     | 0     | 1     | 2     | 5   | 3     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     |
| 2019/1/2 6:30 | 4     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:35 | 5     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:40 | 7     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 4     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 6:45 | 7     | 1     | 0     | 0     | 0     | 3   | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:50 | 7     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 6:55 | 6     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:00 | 5     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     |
| 2019/1/2 7:05 | 4     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:10 | 4     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:15 | 1     | 3     | 2     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:20 | 1     | 1     | 2     | 0     | 0     | 2   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:25 | 2     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:30 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 2   | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:35 | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2   | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:40 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:45 | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0   | 2     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 7:50 | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 2     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 3     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 2019/1/2 7:55 | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 3     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2019/1/2 8:00 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     | 1     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

また、STERU を除くと、最大通過便数は TGE、MADOG、SHIBK の 4 便であったことから、STERU を検証対象の FIX から除き、上限を 4 便とした場合の最適化もあわせて実施した。最適化を実施した結果、検証対象便のうち、JJP384、SNJ70、JTA44 の 3 便を最適経路に変更することが可能だとわかった。

上記の 3 便を最適経路に変更した場合における時刻×FIX 表を表 3.4.1-11 に示す。TGE や MDOG、SHIBK が混雑しており、最適化のポイントとなっているが、上限の 4 便を超えることなく変更できていることがわかる。

表 3.4.1-11 JJP384、SNJ70、JTA44 の3便を最適経路に変更した場合

|               | AMAMI | RURIK | VEGAR | LUKRA | TGE | MADOG | MEXIR | IMPAL | ALBAT | TUNAS | SIRON | NATCH | CARDS | SHIBK | HINJA | XY57F | YACKL | KALGU | YULIA | YUUPA | MAYVE | POMAS | ASTAK |   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 2019/1/2 5:00 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |   |
| 2019/1/2 5:05 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 5:10 | 0     | 0     | 1     | 0     | 0   | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 5:15 | 1     | 0     | 0     | 1     | 1   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 5:20 | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0 |
| 2019/1/2 5:25 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 5:30 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 5:35 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 5:40 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 5:45 | 0     | 2     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 5:50 | 0     | 0     | 2     | 1     | 0   | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 5:55 | 0     | 0     | 0     | 1     | 2   | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:00 | 1     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:05 | 2     | 0     | 0     | 0     | 2   | 3     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:10 | 3     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:15 | 2     | 1     | 0     | 0     | 0   | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1 |
| 2019/1/2 6:20 | 1     | 1     | 1     | 0     | 1   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1 |
| 2019/1/2 6:25 | 1     | 0     | 1     | 2     | 4   | 3     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0 |
| 2019/1/2 6:30 | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:35 | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:40 | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 4     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:45 | 1     | 0     | 0     | 0     | 3   | 2     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:50 | 2     | 0     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 6:55 | 3     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 7:00 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 1 |
| 2019/1/2 7:05 | 2     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 7:10 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 7:15 | 3     | 2     | 0     | 0     | 1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 7:20 | 1     | 2     | 0     | 0     | 2   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 7:25 | 0     | 1     | 1     | 1     | 1   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 7:30 | 1     | 1     | 1     | 0     | 2   | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 7:35 | 0     | 0     | 0     | 1     | 2   | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 7:40 | 0     | 0     | 0     | 0     | 2   | 2     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 7:45 | 0     | 1     | 0     | 0     | 0   | 2     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 7:50 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 2     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 3     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 2019/1/2 7:55 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0   | 0     | 3     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 2019/1/2 8:00 | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     | 1     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 |

## (5) 簡易 PoC 実行のまとめ

本検証では、システム要件を簡略化した限定的な場合としたものの、最適化によって空域を混雑させずに最適経路へ変更する便を選定することが可能、ということが確認できた。

また、表 3.4.1-2 に示したような、最適化対象の便を経路変更する場合、またはしない場合の「時刻」と「FIX」を掛け合わせた表の定義さえできれば、どのような便・経路でも最適化の対象とすることが可能である。例えば、「〇〇時～〇〇時台の ROAH 発着便を最適化する」といったように、対象便を増やすことが可能である。

さらに、制約条件や目的関数をより詳細に設定することにより、以下のような条件の追加も可能となる。

- CO<sub>2</sub>削減量を最大化する最短経路を選定する（目的関数のパラメータの設定）
- 最適経路に変更する航空会社に偏りが発生しないようにする（制約条件）
- FIX の通過便数の上限を FIX 毎に個別に設定する（制約条件）

なお、本検証では運航高度についての考慮は行っていないが、表 3.4.1-2 に示した時刻×FIX 表に高度の情報を加えることにより、運航高度を考慮した最適化の実行も可能となる。

本検証においては、限定的な場合ではあるものの、最適経路への変更を最適化問題として定式化が可能であることを確認できた。今後、システム要件として定義されている条件のもとで、かつ人の判断を加味した最適化を行うためには、目的関数に対して、各条件を意味する変数を追加する必要があるが、変数を追加するには各変数に『重み』を設定する必要がある。しかし、『重み』の調整については、どの観点をどれだけ重視するのか、ということを検討する必要があり難易度が高いため、「逆強化学習」と呼ばれる AI 技術を使用することによって、過去の事例から重要な観点を学習し、『重み』を調整した上で、最適化を行うことが有効であると考えられる。

### 3.4.2 最適経路対象便の選定に必要なデータと取得方法

本項では、AIを用いた最適化による最適経路対象便の選定に必要なデータと取得方法について記載する。なお、必要となるデータについては、検証を進める中で追加となる可能性がある。

必要となるデータについては、以下が想定される。

- ・ 最適経路情報
- ・ フライト情報
- ・ 対象機除外情報
- ・ 交通流制御関連情報
- ・ 交通量関連情報
- ・ 制限空域関連情報
- ・ 交通量判定規定値
- ・ 最適経路調整実績情報

また、各データについての取得方法を以下に示す。

- ・ 短縮経路情報（新規）  
TEAMにて登録経路と同様に短縮経路としてデータベースに登録した情報。
- ・ フライト情報  
飛行情報管理処理システム（FACE）より展開されたアクチュアルフライトプランから最適経路の選定に必要なフライト情報。  
以下に選定に必要と想定される項目を記載する。
  - ・ 航空機識別
  - ・ EOBT
  - ・ 出発空港
  - ・ 到着空港
  - ・ 飛行の種類
  - ・ 無線機器
  - ・ ATS 特別取扱い理由

- 対象機除外条件（新規）  
TEAM に新たに登録する除外条件となり得る項目であり、運用で変更される可能性があるため、アダプテーションなど外部ファイルで定義することが望ましい。  
以下に除外対象と想定される項目を記載する。
  - 軍用機
  - 政府専用機
  - VIP 機
  
- 交通流制御関連情報  
TEAM で保持しているセクタ、空港、方面別空港、特定航空路、MINIT に対する交通流制御の開始時刻、終了時刻などの情報。
  
- 交通量関連情報  
TEAM で保持しているセクタ、空港、方面別空港に対する交通量の情報。
  
- 制限空域関連情報  
TEAM で保持している訓練空域の使用状況、調整経路の情報。
  
- 交通量判定規定値（新規）  
使用可能な短縮経路を判定するための交通量の判定基準、および航空機ソートの際に使用する交通量の判定基準である。
  
- 最適経路調整実績情報（新規）  
TEAM にて保持する最適経路調整を実施した航空会社毎の短縮距離や、調整割合を集計した情報。

### 3.5 最適経路対象便選定の運用フロー

本節では、最適経路対象便となる航空機の調整に関する運用フローを整理する。運用フローについては、ロジックやAI、また1stStep、2ndStepに関わらず、同様のフローを想定している。最適経路対象便選定の全体の流れについて、以下の図 3.5-1 に示す。

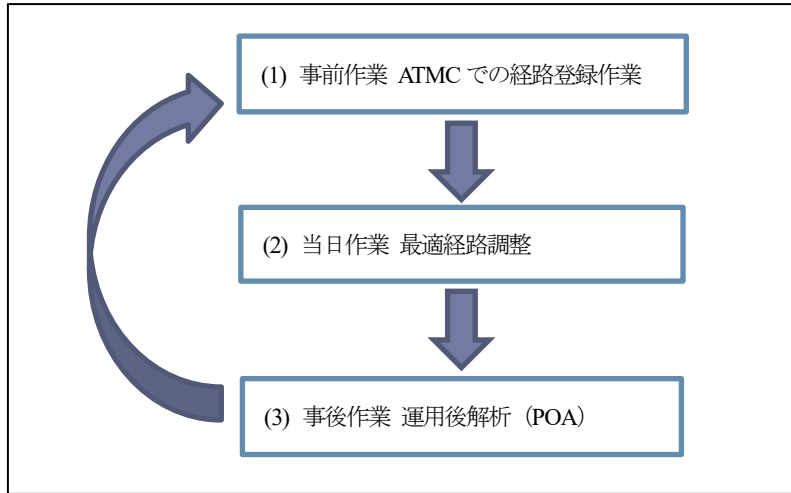


図 3.5-1 最適経路対象便選定の全体の流れ

最適経路対象便の選定では、(1)事前作業、(2)当日作業、(3)事後作業の3つの工程に分けられる。

(1)事前作業では、適用する短縮経路の登録や選定条件となるパラメータの設定を行う。

(2)当日作業では、最適経路対象便を選定し、航空会社との調整を行う。

(3)事後作業では、調整実績を確認し、選定条件となるパラメータなどの変更が必要と判断した場合、(1)事前作業の更新を行う。

それぞれの工程での具体的な運用について、以下に整理する。

#### (1) 事前作業 ATMC での経路登録

予めシティーペア毎に短縮経路を検討し、管理管制官がシステムに登録する。システムに登録する際は、悪天回避経路、混雑回避経路を登録する方法と同様に、TEAMのADEWを用いて登録する。また、最適経路対象便選定時に使用する交通量の基準値や、予め対象外とする航空機の条件、飛行不可となる空域情報などのパラメータ設定を行う。

(2) 当日作業 最適経路調整

(A) 最適経路調整の運用フロー

最適経路調整の運用フローについて、以下の図 3.5-2 に示す。

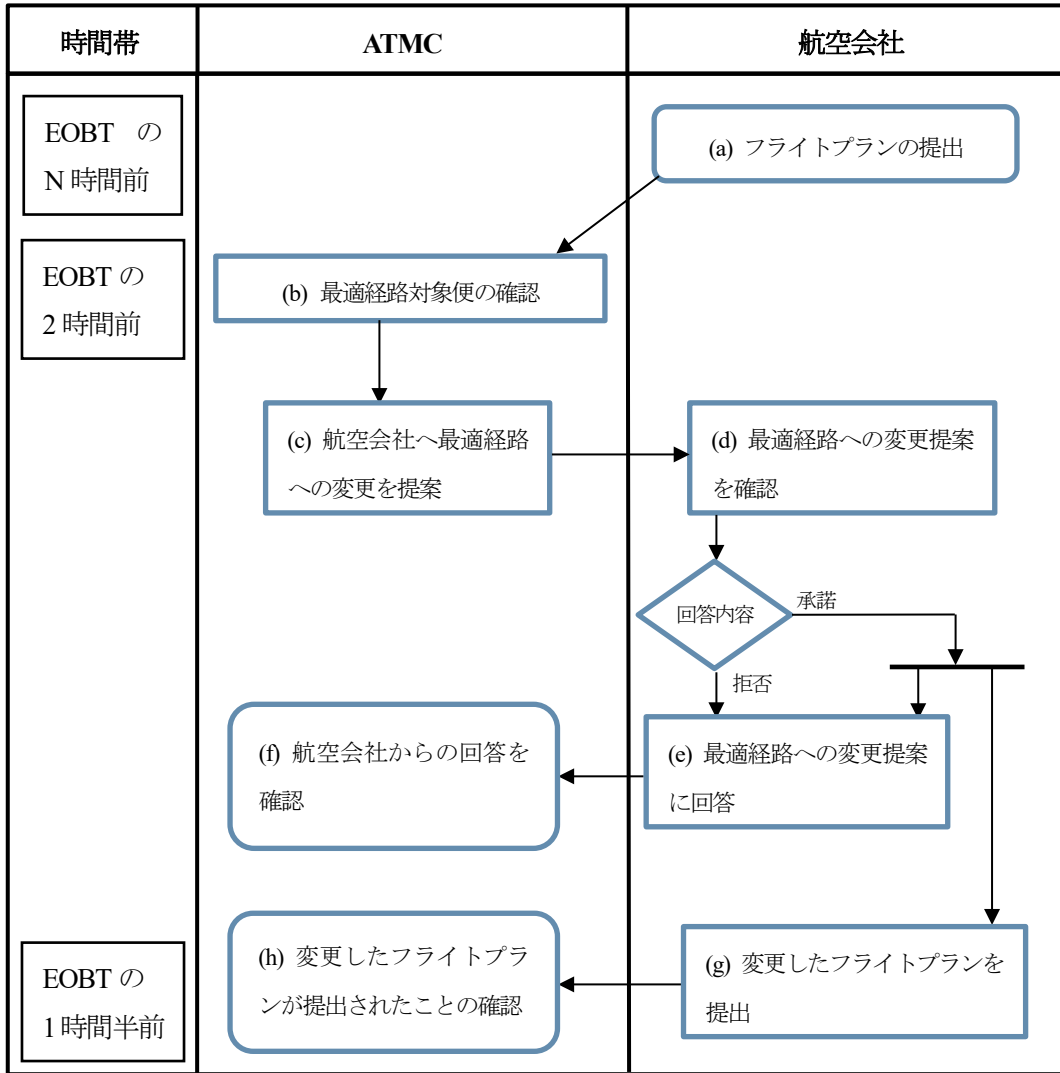


図 3.5-2 当日の最適経路調整の運用フロー



#### **(a) フライトプランの提出**

航空会社は、原則移動開始予定時刻（EOBT）の2時間前までには、フライトプランを航空局に提出する。

#### **(b) 最適経路対象便の確認**

管理管制官は、最適経路への調整が必要と判断した場合に、システムが選定した最適経路対象便を TEAM 運用端末にて確認する。

この時、システム外で調整が実施された航空機など、最適経路対象便として外したい航空機が選定された場合、対象外機として登録する。対象外機登録時の運用フローについては、「(B)対象外機登録時の運用フロー」にて説明する。

#### **(c) 航空会社へ最適経路への変更を提案**

管理管制官は、最適経路調整が可能と判断した航空機について、TEAM 運用端末の画面に表示された対象便の変更内容を確認し、航空会社へ1便毎に対象便の経路変更を提案する。この時、システムにて航空会社へ変更案の通知を送信する。

#### **(d) 最適経路への変更提案を確認**

航空会社は、システムからの変更案の通知を受け、インターネット経由の画面にて ATMC より提案された最適経路への変更提案に対し、承諾または拒否の回答を行うために提案内容を確認する。

#### **(e) 最適経路への変更提案に回答**

航空会社は変更提案を確認後、航空機に対しての最適経路への変更を承諾する場合は、インターネット経由の画面にて承諾を行う。

また、航空機に対しての最適経路変更を拒否する場合は、インターネット経由の画面にて拒否を行う。

なお、一定時間内に回答を行わなかった場合はタイムアウトとなり、承諾／拒否が実施不可となる。

#### **(f) 航空会社からの回答を確認**

管理管制官は、変更提案を行った航空機について、TEAM 運用端末の画面にて回答内容を確認する。回答内容が承諾の場合、その後変更したフライトプランが提出されていることを確認する。

この時、航空会社から一定時間内に回答を受領しなかった場合、タイムアウトとなる。タイムアウト発生時の運用フローについては、「(C)タイムアウト時の運用フロー」にて説明する。

**(g) 変更したフライトプランを提出**

航空会社は、ATMC からの最適経路への変更提案に対して承諾した場合、変更したフライトプランを提出する。

**(h) 変更したフライトプランが提出されたことを確認**

管理管制官は、航空会社から変更提案に対する回答を確認後、回答内容が承諾であれば、承諾された航空機について変更したフライトプランが提出されたことを、TEAM 運用端末の画面にて確認する。

## (B) 対象外機登録時の運用フロー

対象外機登録時の運用フローを図 3.5-3 に示す。

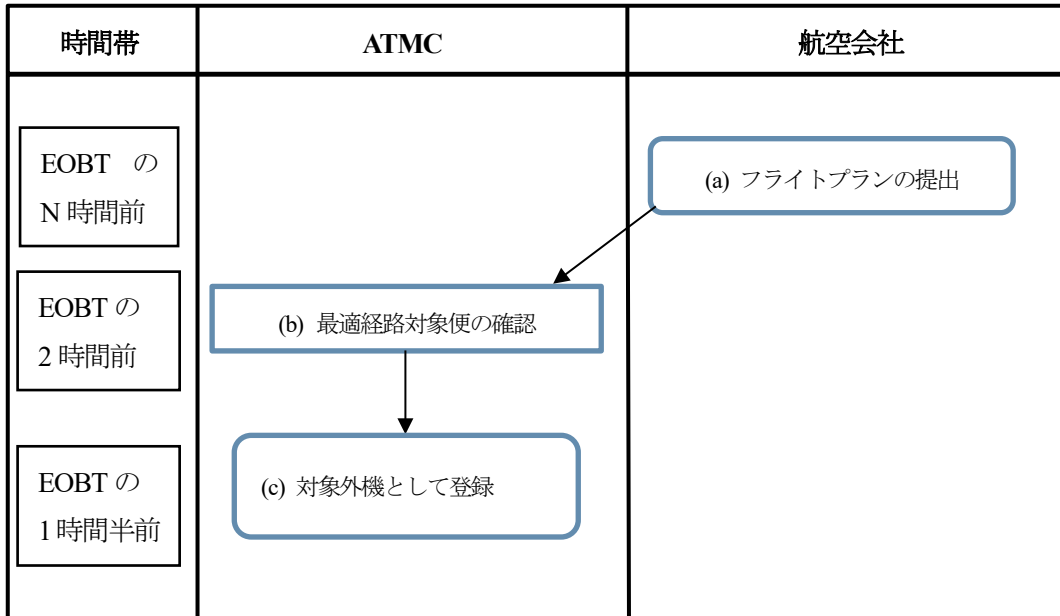


図 3.5-3 対象外機登録時の運用フロー

### (a) フライトプランの提出

航空会社は、原則移動開始予定時刻（EOBT）の2時間前までにはフライトプランを航空局に提出する。

### (b) 最適経路対象便の確認

管理管制官は、最適経路への調整実施時にシステムが選定した最適経路対象便を画面にて確認する。

### (c) 対象外機として登録

管理管制官は、確認した航空機がシステム外での調整を受けた航空機の場合、TEAM 運用端末の画面にて最適経路調整対象外の航空機として登録を行う。なお、誤って対象外として登録してしまった場合に備えて、画面上で対象外の設定を解除可能とする。

**(C) タイムアウト時の運用フロー**

タイムアウト時の運用フローを図 3.5-4 に示す。

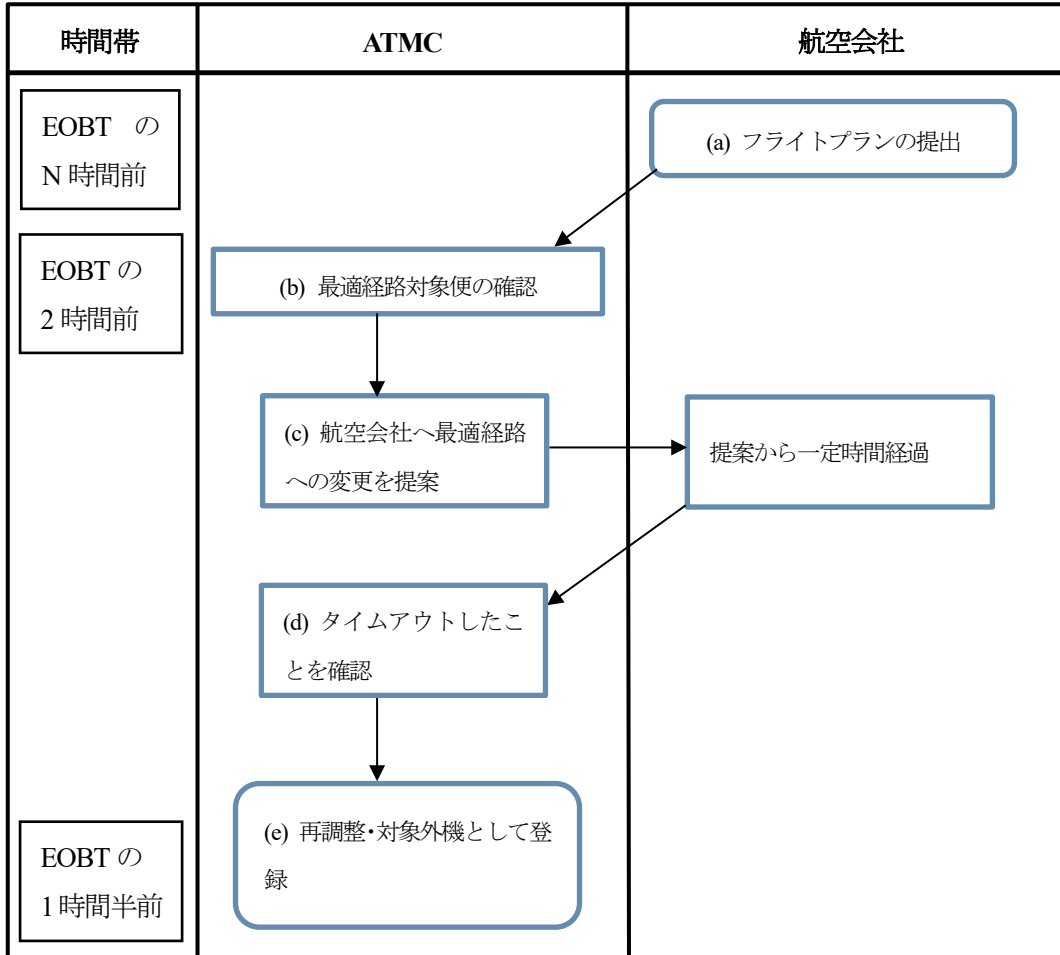


図 3.5-4 タイムアウト時の運用フロー

**(a) フライトプランの提出**

航空会社は、原則移動開始予定時刻（EOBT）の2時間前までにはフライトプランを航空局に提出する。

**(b) 最適経路対象便の確認**

管理管制官は、最適経路への調整実施時にシステムが選定した最適経路対象便を TEAM 運用端末の画面にて確認する。

**(c) 航空会社へ最適経路への変更を提案**

管理管制官は、最適経路調整が可能と判断した航空機について、TEAM 運用端末の画面に表示された対象便の変更内容を確認し、航空会社へ1便毎に対象便の経路変更を提案する。

**(d) タイムアウトしたことを確認**

一定時間航空会社から回答がない場合は、タイムアウトとして TEAM 運用端末の画面に表示する。

管理管制官は、提案を行った航空機がタイムアウトしたことを確認する。

**(e) 再調整・対象外機として登録**

管理管制官は、タイムアウトした航空機については再度航空会社と調整する。また、管理管制官が調整不要と判断した場合は、対象外機として登録を行う。

**(3) 事後作業 運用後解析 (POA)**

管理管制官は、運用後解析 (POA) のために調整実績を確認する場合、調整実績を外部ファイルに出力し、確認を行う。また、運用後の調整実績の解析の結果から、事前準備の際に設定していた条件に変更が必要であれば変更を行う。

#### (4) 最適経路対象便選定において必要な画面要素について

補足として、最適経路対象便選定時に使用する画面イメージを図 3.5-5 および図 3.5-6 に示す。

最適経路対象便選定において、管理管制官が確認を行う画面は、最適経路対象便の選定で使用する最適経路対象便一覧画面と、航空会社との調整状況を確認するための最適経路調整便一覧画面の2画面準備されることが望ましい。

■最適経路対象便一覧 残便数：10便

| 優先順 | DEP  | DEST | CS     | 調整割合 | 経路短縮量(NM) | EOBT | 対象外指定                               |
|-----|------|------|--------|------|-----------|------|-------------------------------------|
| 1   | RJCC | ROAH | ANA001 | 8%   | 30        | 1330 | <input type="checkbox"/>            |
| -   | RJFF | ROAH | ANA002 | 8%   | 20        | 1300 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| -   | RJCC | ROAH | JAL001 | 10%  | 30        | 1335 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| -   | RJFF | ROAH | JAL002 | 10%  | 20        | 1305 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| -   | RJCC | ROAH | SKY001 | 12%  | 30        | 1340 | <input checked="" type="checkbox"/> |

図 3.5-5 最適経路対象便一覧画面のイメージ

最適経路対象便一覧画面の表示項目として、航空機を特定するための情報と、航空機の選定に用いた情報を表示する必要がある。

航空機を特定するための情報としては、出発空港 (DEP)、到着空港 (DEST) およびコールサイン (CS) を表示し、航空機の選定に用いた情報としては、調整割合、経路短縮量 (NM)、EOBT を表示することが望ましい。

なお、管理管制官へ提案する際に複数の最適経路対象便が存在した場合、複数候補を同時に画面に表示すると、対象便の選定を管理管制官の判断に委ねることになり、平等性の担保が難しくなることが考えられる。そのため画面へ表示する際は、優先度が1番高い航空機のみを表示するのが望ましいと考える。ただし、管理管制官が調整残便数を把握することも必要と考えられるため、調整残便数を表示するなど優先度が2番目以降の航空機の表示方法については、今後の検討が必要である。

また、運用要件に存在するシステム外で調整を受けた特定の航空機を、手動で最適経路の調整対象外に指定するための手段が必要である。これらの他にも、調整後に航空会社から拒否された場合やタイムアウトした場合にも、調整不要と判断することが考えられる。そのような場合に備え、画面より最適経路の調整対象外とする機能が必要であるが、最適経路対象便の一覧上で実施可能とするのか、別画面で実施可能とするのかについても、今後の検討が必要である。なお、検討時は一覧画面上にチェックボックスを用いて表現している。

### ■最適経路調整便一覧

| No | DEP  | DEST | CS     | STS    |
|----|------|------|--------|--------|
| 1  | RJCC | ROAH | ANA011 | 調整中    |
| 2  | RJCC | ROAH | JAL011 | 調整中    |
| 3  | RJFF | ROAH | SKY011 | 拒否     |
| 4  | RJFF | ROAH | ANA012 | タイムアウト |
| 5  | RJCC | ROAH | JAL012 | 承諾     |
| 6  | RJFF | ROAH | SKY012 | CHG受信  |

図 3.5-6 最適経路調整便一覧のイメージ

最適経路調整便一覧画面の表示項目として、航空機を特定するための情報と航空機の調整状態を表示する必要がある。

航空機を特定するための情報として、最適経路対象便一覧画面と同様に出発空港（DEP）、到着空港（DEST）およびコールサイン（CS）を表示することが望ましい。

また航空機の調整状態として、調整ステータス（STS）（調整中、承諾、拒否、タイムアウト、変更したフライトプラン提出済み）を表示することが望ましい。

なお、1便毎の調整履歴など詳細情報も確認可能とすることが望ましいが、一覧画面から詳細画面への遷移方法や詳細画面の表示内容は、実際に使用する管理管制官の意見などを踏まえ、今後の検討が必要である。

### 3.6 最適経路対象便選定における平等性の実現方法

最適経路対象便の選定においては、各航空会社に対する平等性を考慮する必要がある。平等性の実現方法について以下のとおり整理する。

#### (1) 平等性を考慮する必要性

日本国内の航空会社は、航空会社によって規模や航空機の保有数、運航する路線、フライトプランの提出タイミングが異なり、さらに、同じ路線であっても選択する高度や経路については、各航空会社のルールや当日の気象状況によって異なる。

そのため、最適経路の選定において、CO<sub>2</sub>排出量削減を目的とした短縮距離にのみ着目して対象便を選定した場合、短距離路線を飛行する航空機に比べて、長距離路線を飛行する航空機の方が短縮可能な距離が長くなるため、最適経路対象便として選択される頻度が高くなることが想定される。この場合、長距離路線を運航する航空会社と、長距離路線を持たない航空会社とでは、調整機数に偏りが生じてしまうことが考えられる。

また、複数の航空会社で同一路線を同一時間帯に出発する場合においては、最適経路への変更が一部の航空会社に偏らないよう考慮する必要がある。

そのため最適経路対象便の選定においては、空域を有効活用しつつ、特定の航空会社に最適経路への変更調整が偏らないような透明性のある実現方法が必要である。

#### (2) システムで平等性を保つ必要性について

管理管制官が航空会社間の平等性を考慮して対象便を選定するには、過去の調整履歴を確認しながら、刻々と変わる状況の中で判断を行う必要がある。そのため、短時間で正しい判断を行うことは難しいと考えられる。さらに、複数の管理管制官が交代で選定を行う場合、ルールを決めていたとしても全く同じ判断になる保証はなく、偏りが出てしまう可能性がある。

したがって、人が平等性を考慮し航空会社と調整する便を選択するのではなく、システムが平等性を考慮し調整対象とする便を管理管制官に提示することが望ましいと考える。



### (3) 平等性の実現方法について

システムで平等性を考慮し、調整対象便を選定するには、平等性を評価するための基準となる指標値を設定する必要がある。指標値としては以下の3点が考えられる。

- (A) 航空会社毎の短縮距離の累積値
- (B) 航空会社毎の最適経路へ変更した便数の累積値
- (C) 航空会社毎の運航便数に対する最適経路を割り当てた航空機の割合

以下に、それぞれの指標値を設定した場合について詳細を記載する。

#### (A) 航空会社毎の短縮距離の累積値を設定する場合

航空会社毎の「短縮距離の累積値」を指標値と設定する場合、短縮距離を平等にするよう対象便が選定される。しかし、短距離路線は長距離路線に比べ短縮距離が少なくなると考えられるため、1回の長距離路線の短縮距離と同値にするためには、短距離路線の調整を複数回行う必要があると考えられる。航空会社によって、短距離路線のみ運航していたり、長距離路線も多く運航していたりと状況が異なる。そのため、上記のような場合、短距離路線のみ運航している航空会社に調整機数が偏ることから、短縮距離は平等であっても、長距離路線を多く運航する航空会社ほど全体の合計飛行距離も長くなり、運航にかかる燃料コストが大きくなるため、短縮距離が同じであっても運航にかけているコストに対して得られる便益が少なくなってしまう、不平等と捉えられる可能性がある。

#### (B) 航空会社毎の最適経路へ変更した便数の累積値を設定する場合

航空会社毎の最適経路へ変更した「便数の累積数」を指標と設定する場合、調整便数を平等にするよう対象便が選定される。しかし、航空会社毎に運航便数が異なるため、平等に10機調整した場合も、全運航数が10機の航空会社は、全機(100%)調整されたことになるが、全運航数が1000機の航空会社は、10機(1%)の調整となる。運航便数が多い航空会社ほど累計変更便数も多くなり、運航にかかる燃料コストが大きくなるため、累計変更便数が同じであっても運航にかけているコストに対して得られる便益が少なくなってしまう、不平等と捉えられる可能性がある。

#### (C) 航空会社毎の運航便数に対する最適経路を割り当てた航空機の割合を設定する場合

航空会社毎の運航便数に対する最適経路を割り当てた「航空機の割合」を指標として設定する場合、航空会社の規模を考慮し運航コストに対する便益の割合をおおよそ同じ値に保つことができると考えられる。このことから、航空会社毎の平等性が担保されると考えられる。

(A)、(B)のように、航空会社の規模を考慮せず、距離の累積値や変更便数の累積数といった一定値で評価してしまうと、各航空会社が運航にかけているコストに対して経路を短縮したことによる便益の割合に差が出てしまい不公平となる。

一方、(C)では、航空会社の規模を考慮した調整機数の割合を一定に保つことで、運航コストに対する便益の割合をおおよそ一定に保つことができると考えられる。そのため、平等性を実現するために考慮すべき指標としては、「(C) 航空会社毎の運航便数に対する最適経路を割り当てた航空機の割合」とすることが適切であると考えられる。

また、「(C) 航空会社毎の運航便数に対する最適経路を割り当てた航空機の割合」を指標とした場合、どのような単位の運航便数に対する調整割合を集計するのかを決定する必要がある。パターンとしては以下の2点が考えられる。

- (a) 福岡 FIR 内の運航便数に対する調整割合
- (b) 路線毎の運航便数に対する調整割合

以下に、それぞれのパターンについて詳細を記載する。

#### **(a) 福岡 FIR 内の運航便数に対する調整割合を使用する場合**

福岡 FIR 内の運航便数に対する調整割合を使用する場合、運航便数全体の割合から平等性を判断するため、単独路線であり調整可能な便であったとしても、これまで調整された運航便数の割合が高いことから、調整対象にならないケースが想定される。

また、最適経路対象便の選定条件として挙げている「調整中の航空機とは別のセクターを通過する航空機を優先する」という条件により、競合が存在しない単独路線が優先して調整対象となるケースも想定される。この場合、単独路線と基幹路線の両方を運航する航空会社は、単独路線の調整便数が多くなるため、旅客数の多い基幹路線において恩恵を受けることができないと想定される。基幹路線について特定の航空会社に調整が偏ると、調整を受けた航空会社の早着便数が増えることで顧客満足度などに影響を及ぼし、結果的に特定の航空会社にとって有利となる状況が考えられる。

上記の内容について具体例を用いて整理する。最適経路への調整前の状態を表 3.6-1 に、調整後の状態を表 3.6-2 に示す。

表 3.6-1 (a) パターンにおける最適経路調整前の状態

|              | A社  | B社  | C社  |
|--------------|-----|-----|-----|
| 福岡FIR全体便数    | 456 | 474 | 214 |
| 路線1の便数（基幹路線） | 244 | 184 | 124 |
| 路線2の便数（基幹路線） | 181 | 169 | 90  |
| 路線3の便数（単独路線） | 31  | 0   | 0   |
| 路線4の便数（単独路線） | 0   | 121 | 0   |

表 3.6-2 (a) パターンにおける最適経路調整後の状態

|                | A社      | B社      | C社      |
|----------------|---------|---------|---------|
| 全体の調整割合(調整便数)  | 10%(46) | 10%(47) | 10%(21) |
| 路線1の調整割合(調整便数) | 4%(10)  | 2%(4)   | 9%(11)  |
| 路線2の調整割合(調整便数) | 4%(8)   | 2%(3)   | 11%(10) |
| 路線3の調整割合(調整便数) | 90%(28) | -       | -       |
| 路線4の調整割合(調整便数) | -       | 33%(40) | -       |

※全体の調整割合＝全体の調整全便/FIR全体便数\*100  
 路線の調整割合＝路線の調整便数/路線の便数\*100

表 3.6-1 は、最適経路へ変更する前の A 社、B 社、C 社が運航する基幹路線（路線 1、路線 2）と単独路線（路線 3、路線 4）の運航便数と、その合計値である福岡 FIR の全運航便数を示したものである。

A 社は、B 社は単独路線をそれぞれ運航しており、C 社は基幹路線のみの運航となる。

最適経路調整後の状態を示す表 3.6-2 より、A 社、B 社ともに単独路線である路線 3 と路線 4 に多くの調整便数が割り当てられることで、他の航空会社との競合路線である路線 1 および路線 2 への割り当てが C 社に比べて少ないことが分かる。

この場合、全体の調整割合は、各社ともに 10%となり平等に見えるが、競合路線である路線 1 および路線 2 においては C 社の割り当て便数が多くなるため、A 社、B 社に比べて C 社が有利になると考えられる。

なお、路線 3 は A 社単独路線、路線 4 は B 社単独路線となるため、多く割り当てられたとしても特定の航空会社が有利となる状況はないと考えられる。

### (b) 路線毎の運航便数に対する調整割合を使用する場合

路線毎の運航便数に対する調整割合を使用する場合、単独路線のように平等性を考慮する必要のない路線の調整機数は、他の路線（基幹路線）に影響を与えることがないため、単独路線を持つ航空会社であっても、複数の航空会社が存在する競合路線においては調整割合を一定に保つことが可能である。そのため、路線単位で見た場合、単独路線の調整便数はパターン(a)、(b)とも変わらないが、基幹路線の調整便数ではパターン(b)の方が多くなると考えられ、全体の調整便数を増やすことが可能であることから、平等性の指標として本パターンの方が適していると考えられる。また、空いている空域を有効活用するという本案件のコンセプトにも適していると考ええる。

上記の内容について具体例を用いて整理する。最適経路への調整前の状態を表 3.6-3 に、調整後の状態を表 3.6-4 に示す。

表 3.6-3 (b) のパターンにおける最適経路調整前の状態

|              | A社  | B社  | C社  |
|--------------|-----|-----|-----|
| 福岡FIR全体便数    | 456 | 474 | 214 |
| 路線1の便数（基幹路線） | 244 | 184 | 124 |
| 路線2の便数（基幹路線） | 181 | 169 | 90  |
| 路線3の便数（単独路線） | 31  | 0   | 0   |
| 路線4の便数（単独路線） | 0   | 121 | 0   |

表 3.6-4 (b) のパターンにおける最適経路調整後の状態

|                | A社      | B社      | C社      |
|----------------|---------|---------|---------|
| 全体の調整割合(調整便数)  | 15%(70) | 16%(75) | 10%(21) |
| 路線1の調整割合(調整便数) | 10%(24) | 10%(18) | 10%(12) |
| 路線2の調整割合(調整便数) | 10%(18) | 10%(17) | 10%(9)  |
| 路線3の調整割合(調整便数) | 90%(28) | -       | -       |
| 路線4の調整割合(調整便数) | -       | 33%(40) | -       |

※全体の調整割合=全体の調整全便/全体便数\*100

路線の調整割合=路線の調整便数/路線の便数\*100

表 3.6-4 より、A 社、B 社ともに単独路線である路線 3 と路線 4 に多くの調整便数が割り当てられたとしても、他の航空会社との競合路線である路線 1 と路線 2 への割り当て率がすべて 10%となり、各社間での平等性が担保されていることが分かる。

この場合、全体の調整割合は、A 社、B 社は全体運航便数が多いために大きくなるが、C 社にとって他の航空会社との競合路線となる、路線 1 および路線 2 については、平等性が担保されているため、不利益と判断されることはないと考えられる。

なお、路線 1 と路線 2 に割り当てられる A 社および B 社の便数が増加するため、福岡 FIR 全体の調整便数を見ると、(a)パターンより多くの便数を最適経路へ調整することが可能であることが分かる。

以上のことから、平等性を実現するために評価の指標とすべき要素はパターン(C)かつ(b)とし、これらを一定の水準に保つように最適経路対象便を選定することで平等性を実現できると考える。

しかし、現状のフライトを考えると、便数が多い日中帯を主に飛行する航空会社が存在したり、貨物など夜間の飛行がメインとなる航空会社が存在したりと、航空会社毎に状況が異なるため、1 日の中でも時間帯を考慮する必要がある。

例えば、夜間のように調整可能な航空機が多く存在する場合でも平等性が考慮された結果、調整できないような事態が発生すると、本来の目的である飛行距離の短縮による CO<sub>2</sub> 排出量削減を最大化できないことが考えられる。そのため、交通量の少ない時間帯の航空機は、調整割合に関わらずに選定可能とすることも必要である。

#### (4) 調整割合を集計する期間について

前項で平等性を評価するための指標について記載したが、平等性を評価するための調整割合を集計する期間についても検討が必要である。

期間については 1 日単位、週単位、月単位、年単位など様々なパターンが考えられるが、最適経路対象便選定の運用開始直後は調整便数が少ないことが考えられるため、平等性を評価するためには、情報を蓄積するために長い期間集計する必要がある。そのため運用開始直後は情報を蓄積する期間を長くし、調整便数が増えてきたら情報を蓄積する期間を短くするような運用とする必要がある。

上記のことから、運用中に集計期間の検討を行い、設定変更を可能とする必要があると考えられる。そのため、集計期間をパラメータ化し、必要に応じて 1 日単位から期間を設定変更できることが望ましいと考える。

## (5) 調整実績の確認について

平等性については、定期的に調整実績を確認し、システムが正しく平等性の判定を行っているか評価する必要があると考える。そのため、航空会社との調整状況などの実績データを外部ファイルへと出力する必要がある。

路線毎に航空会社毎の調整割合が一定に保たれていることを評価するため、一定期間での調整実績として、以下のような情報を出力されることが望ましい。

- ① 一定期間での航空会社毎の調整実績  
福岡 FIR 全体、路線毎の航空会社毎の調整実績を示す。  
以下のような情報を出力する。
  - ・ 出力時刻
  - ・ 集計期間
  - ・ 航空会社名
  - ・ 運航便数
  - ・ 調整割合
  - ・ 提案機数
  - ・ 承諾機数
  - ・ 拒否機数
  - ・ タイムアウト機数

また「① 一定期間での航空会社毎の調整実績」のみでは調整経緯を把握すること難しいため、1機単位の詳細も確認可能とすることが望ましい。

- ② 航空機毎の最適経路調整履歴  
最適経路調整を行った航空機の情報を示す。  
以下のような情報を出力する。
  - ・ 調整時刻
  - ・ 調整内容（提案／承諾／拒否／タイムアウト／変更フライトプラン受信）
  - ・ コールサイン
  - ・ FOID
  - ・ 出発空港
  - ・ 到着空港
  - ・ 航空機型式
  - ・ EOBT
  - ・ 調整前後情報（経路情報、ETA、飛行距離）
  - ・ 選定条件（短縮距離、調整時の調整割合、ソート条件）

## 第4章 最適経路対象便選定に関するシステムの導入

### 4.1 機能要件

飛行計画経路の短縮実現に向けたシステム導入において必要となる機能について、本節では、管理管制官に対して提供すべき機能、航空会社に提供すべき機能に分けて機能要件を記載する。また、AI 技術を活用に取り込む場合において必要となる機能について記載する。

#### 4.1.1 管理管制官に提供すべき機能

##### (1) 短縮経路情報の登録機能

本機能は、予めシティペア毎に設計された短縮経路をシステムに登録する機能である。短縮経路情報については、シティペア毎に複数の経路を登録可能とする。

また、短縮経路情報の登録画面については、航空交通管理システム (TEAM) で実現されている「出発前経路調整機能」で使用されている混雑回避経路および悪天回避経路登録画面を拡張し、登録可能とする。

##### (2) 最適経路対象便の選定および提示機能

本機能は、EOBT の 2 時間前～1 時間半前までの便を対象に、システムに登録された短縮経路に変更可能な便を管理管制官に提示する機能である。

管理管制官へ最適経路対象便を提示するにあたり、空域の混雑状況を考慮する仕組みや、軍用機や公用機など最適経路割当対象外機を管理管制官が指定可能とする仕組みを有する必要がある。また、航空会社間の平等性を考慮する必要がある。

##### (3) 航空会社との経路調整機能

本機能は、システムから提示された最適経路対象便について、管理管制官が航空会社と調整を行うための機能である。

最適経路情報については、単純なテキスト表示だけでなく、地図上で元々の経路と最適経路とを比較表示や、セクタの混雑状況を重ね合わせ表示する必要がある。

##### (4) 運用実績データの外部出力機能

本機能は、運用後解析 (POA : Post Operation Analysis) として最適経路の調整実績を確認・分析可能とするための機能である。

運用実績データとして、最適経路の調整に関する情報を外部出力可能とする必要がある。

#### 4.1.2 航空会社に提供すべき機能

##### (1) 管理管制官との経路調整機能

本機能は、管理管制官からの提案された最適経路情報を航空会社が確認し、承諾／拒否を行う機能である。

最適経路情報については、単純なテキスト表示だけでなく、地図上で元々の経路と最適経路とを比較表示する必要がある。

また、より多くの航空会社が利用可能とするために、現在 TEAM において実装されているような専用回線・専用端末ではなく、Web ブラウザから SWIM を経由して、最適経路情報の確認および承諾／拒否を可能とする必要がある。さらに、管理管制官から最適経路への経路変更調整が行われていることについて、航空会社へシステムから自動で通知される必要がある。

#### 4.1.3 AI 運用に必要な機能

##### (1) ETL (Extract (抽出) Transform (変換・加工) Load (読み込み) ) 処理機能

インプットデータを AI が使用可能な形式に加工するとともに、DB に登録するための機能が必要となる。

##### (2) 複数便を考慮した最適経路対象便の選定および提示機能

同時帯に飛行する複数の航空機の短縮経路長が最大となる組み合わせを、航空会社毎の平等性を考慮した上で提示する機能が必要である。

##### (3) AI 再学習機能

AI は学習時点のデータで予測を行うため、実際に運用していく中でデータの傾向が変化した場合、最新の運用データをもとに AI モデルの再学習 (更新) を行うための機能が必要となる。

本機能を用いて再学習を行うことで、最新のデータ傾向に AI モデルが追従可能となる。

##### (4) AI モデルの構成管理機能

AI モデルのバージョン管理を行い、使用するモデルの切り替えを行うための機能が必要となる。

本機能では、再学習機能により更新した AI モデルへの切り替えや、過去に使用したバージョンへの切り戻しを可能とする。

##### (5) AI モデルモニタリング機能

AI モデルは学習データに基づき作成されるため、学習データでは発生していない新たな傾向に対して予測することは難しい。そのため、使用するデータの傾向の変化や AI の予測精度の劣化を見える化アラートを上げる、モニタリングするための機能が必要となる。なお、AI の導入にあたっては、本機能を利用して AI をモニタリングし、維持・保守していくための専門の人材が必要となる。本機能を用いて航空局職員が変化を察知し、詳細な調査は保守サービス業者へ委託するなど AI モデルを運用する体制を築く必要がある。



#### 4.1.4 機能構成図

本項では、4.1.1～4.1.3 に示した機能要件を実現するために必要な機能構成について記載する。最適経路対象便の選定をロジックで行う場合と、AIで行う場合とに分けて機能構成図を示す。

##### (1) ロジックを使用する場合

1stStep において最適経路対象便の選定をロジックで行う場合、想定する機能構成図を図 4.1.4-1 に示す。

まず、管理管制官は、予め設計された短縮経路情報を DB に登録する。登録を行う際は、現在 TEAM に実装されている出発前経路調整機能で使用されている、混雑回避経路および悪天回避経路の登録画面から操作を可能とする。

また、DB に登録された情報を用いて最適経路対象便の選定を行う機能が必要となる。図 4.1.4-1 は、本機能をロジックで行う場合を想定した機能構成図である。さらに、選定した航空機を表示する最適経路対象便一覧画面を TEAM 運用端末に実装し、調整対象となる便を表示可能とする。

管理管制官から航空会社へ最適経路の提案操作を行うと航空会社に通知が届き、航空会社では、提案された最適経路の確認および承諾/拒否が実施可能となる。

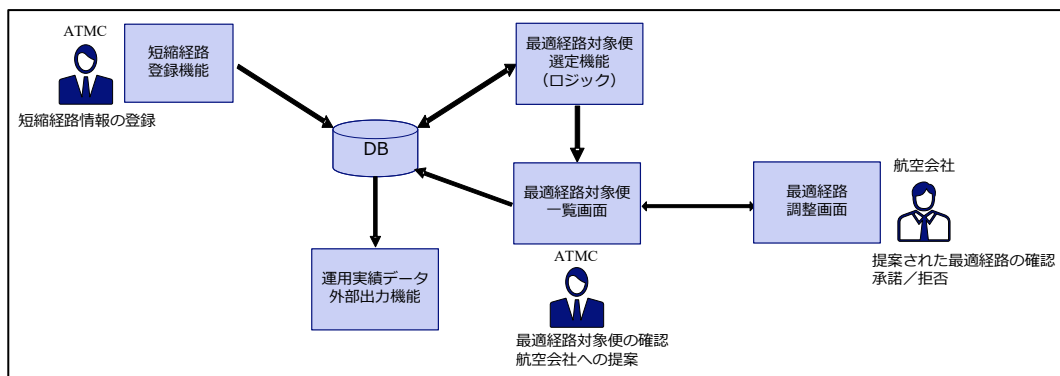


図 4.1.4-1 ロジックを使用する場合における機能構成図

## (2) AI を使用する場合

1stStep および 2stStep において AI を使用する場合、想定する機能構成を図 4.1.4-2 に示す。

1stStep と 2ndStep では、最適経路対象便の選定を 1 機単位で行う場合と、複数便を対象として行う場合とで目的が変わるため、使用する AI エンジン異なるが、必要となる機能および機能連携については大きく変わらないと考えられる。

図 4.1.4-2 に示す赤枠の部分が、AI を導入する上で必要となる機能であり、ロジックを使用する場合と比較すると、最適経路対象便選定機能（ロジック）の部分が AI に置き換わる形となる。

まず、管理管制官が短縮経路情報を DB に登録する操作については、ロジックを使用する場合と同様に、混雑回避経路および悪天回避経路の登録画面から操作を可能とする。

DB に登録された情報を用いて最適経路対象便の選定を行う際に、DB の情報を AI が扱える形式に変換・加工する ETL 機能と、変換・加工した情報を登録する AI 用 DB が必要である。また、その情報を用いて AI が最適経路対象便を選定した結果を、ロジックを使用した場合と同様に、管理管制官が使用する TEAM 運用端末に表示し、航空会社との調整を行う。

さらに、AI の運用を行っていく上では、予測精度やデータ傾向の変化を検知する AI モニタリング機能や AI の再学習を行う AI 再学習機能、AI モデルの切り替えや履歴管理を行う AI モデル構成管理機能が必要である。

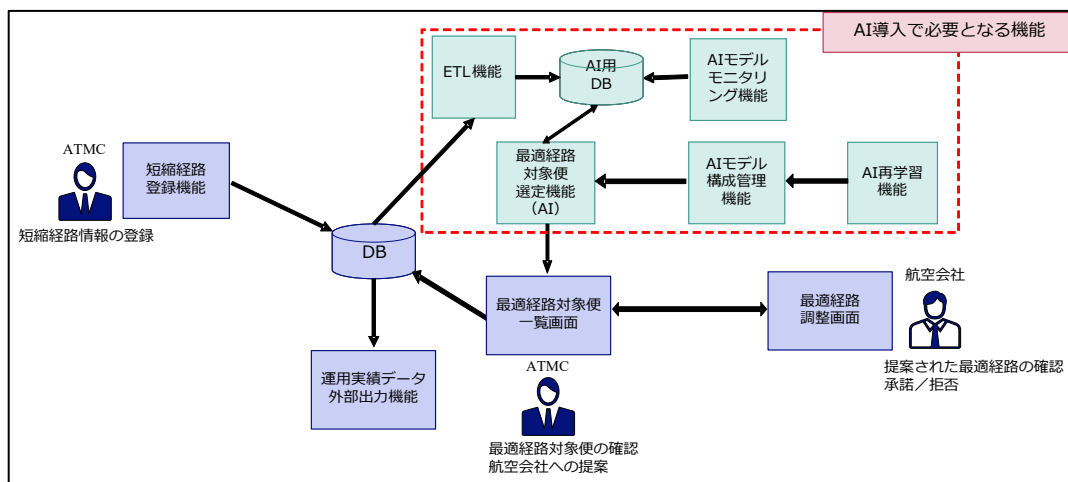


図 4.1.4-2 AI を使用する場合における機能構成図

## 4.2 システム構成

本節では、管理管制官が最適経路対象便を選定するために必要なシステム構成について、ロジックを使用する場合と AI を使用する場合とに分けて記載する。また、ATMC から提案された最適経路対象便について、航空会社が確認、調整するために必要なシステム構成を示す。

### 4.2.1 最適経路対象便選定に関するシステム構成

最適経路対象便の選定については、ロジックを使用する場合、AI を使用する場合に 2 パターンに分けられる。

#### (1) ロジックを使用する場合

1stStep においてロジックを使用する場合、想定するシステム構成図を図 4.2.1-1 に示す。

短縮経路情報の登録は、現在、TEAM に実装されている出発前経路調整機能で使用されている混雑回避経路、悪天回避経路の登録と同様に、空域企画管理端末（ADEW）から登録する。また、最適経路対象便の選定は TEAM 運用端末を使用して行う。TEAM 運用端末への情報表示は、TEAM の交通流管理 HMI サーバ（ATFH）を通して行い、最適経路対象便の選定については、TEAM において経路情報の処理を行う ATM-FPL 管理業務群（FPMP）<sup>※1</sup> に実装することが望ましい。

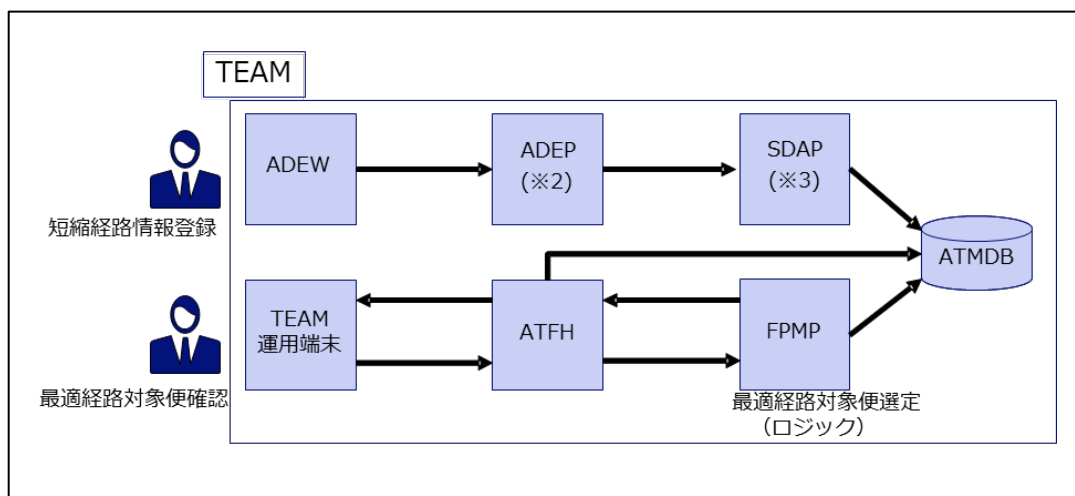


図 4.2.1-1 1stStep においてロジックを使用する場合に想定されるシステム構成図

<sup>※1</sup> ATM-FPL 管理業務群（FPMP）：TEAM の交通流管理サーバに実装されている機能群。

<sup>※2</sup> ADEP：空域企画管理サーバの略称。TEAM の空域企画管理（空域設計）サブシステムを構成するサーバの一つ。

<sup>※3</sup> SDAP：空域情報管理サーバの略称。TEAM の航空情報管理サブシステムを構成するサーバの一つ。

## (2) AI を使用する場合

1stStep および 2stStep において AI を使用する場合、想定するシステム構成図を図 4.2.1-2 に示す。

1stStep と 2ndStep では、最適経路対象便の選定を 1 機単位で行う場合と、複数便を対象として行う場合とで目的が変わるため、AI において使用するエンジンは異なるが、システム構成としては大きく変わらないと考える。また、AI 以外も含めた全体のシステム構成を記載すると複雑となるため、ここでは AI に特化したシステム構成図に絞って記載する。AI の学習環境は、現在航空局内のシステムで柔軟なデータの見える化を行うための BI 機能（Business Intelligence 機能）を備え、過去のデータを蓄積している FO 分析装置に実装するのが望ましいと考える。一方、AI 運用環境については、今後の統合航空管制システムへの AI 導入などを見据えた上で環境の共通化を行うことが望ましいと考えるが、本調査報告書では結論を出すことができないため、本機能を実装するシステムについては明言しない。

図 4.2.1-2 に「AI 運用環境」と記載している箇所が、最適経路対象便の調整案を提示する AI 機能である。最適な調整案を提示するためには、AI にインプットするデータが必要である。図中では TEAM をはじめとする統合管制システムのデータについては FODB を経由し、ETL 機能で受信し加工した上で AI が使用可能な形式で AI 用 DB に保存し、そのデータをもとに AI が最適案を提案する。

AI を運用するにあたり、予測の精度やデータ傾向の変化を確認していく必要がある。現在、FO 分析装置では、データの見える化を行うために、分析用端末に BI 機能が実装されていることから、データの確認やモニタリングをしていく上では、FO 分析装置を活用していくことが望ましいと考える。

また、運用開始後、AI の再学習などを行う際は、AI の運用環境に影響を与えずに実施する必要がある。そのため、AI 学習環境は、運用とは切り離れた環境として実装する必要があると考える。また、学習に必要なデータについても、運用で使用している AI 用 DB とは切り離し、学習環境専用の DB を設ける方法も考えられるが、現在 FO 分析装置には、リアルタイム性はないものの、航空管制で使用されているデータを保持しているため、そのデータを活用していくことが望ましいと考える。

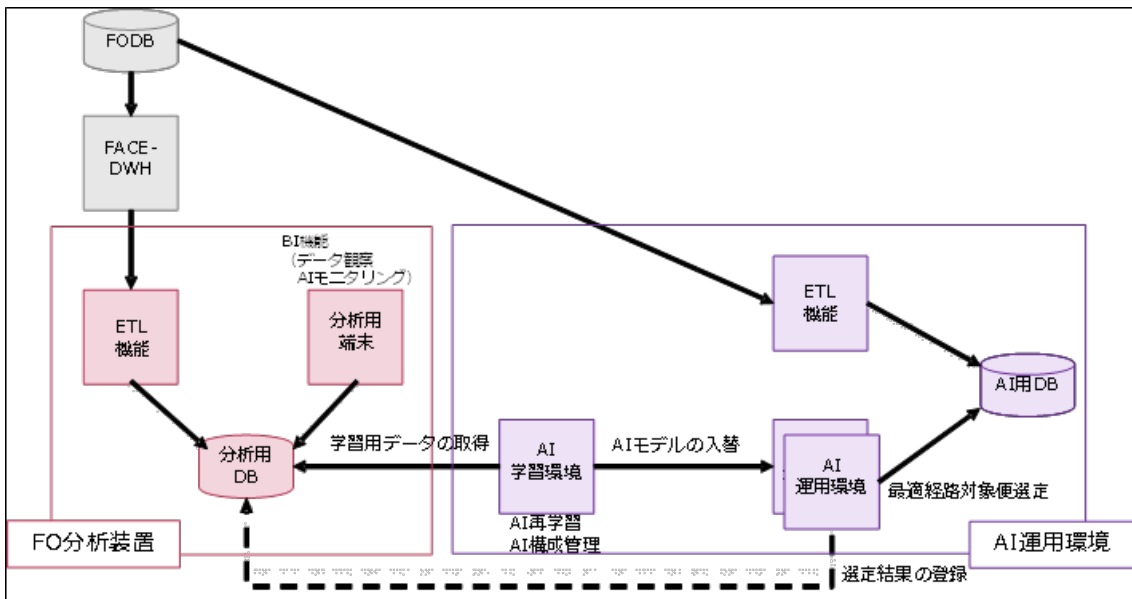


図 4.2.1-2 AI を使用する場合に想定されるシステム構成図

今後、航空管制システムにおいて新規に AI を導入する場合、システム毎に AI 環境を準備するのではなく、AI はすべて同じ環境で使用していく方が効率的、経済的であることから、環境の共通化を図っていくことが望ましい。そのため、図 4.2.1-2 の「AI 運用環境」に関しては、特定のシステムに依存させるのではなく、共通的に使用できることを想定して検討することが望ましいと考える。

#### 4.2.2 航空会社における最適経路対象便の確認および調整に関するシステム構成

ATMC から提案された最適経路対象便を航空会社が確認、調整するために必要なシステム構成について示す。現在、航空会社との経路調整機能は、TEAM の専用端末に実装されているが、より多くの航空会社が利用可能とするために、SWIM を経由して Web ブラウザや Web API を使用可能とする必要がある。本項ではこれら Web 機能を、TEAM で実装するシステム構成と、TEAM 以外のシステムに実装するシステム構成について記載する。

##### (1) TEAM で実装する場合

Web サーバを TEAM で実装する場合のシステム構成を図 4.2.2-1 に示す。TEAM で実装する場合、Web 画面の表示を行う Web サーバを新規で導入する必要があると考える。TEAM に実装されている ATFH では TEAM 運用端末用に表示するためのデータ加工などを行っており、航空会社向けの Web 画面や Web API でも同様に必要になることから、ATFH を経由し Web サーバと連携することが望ましいと考える。

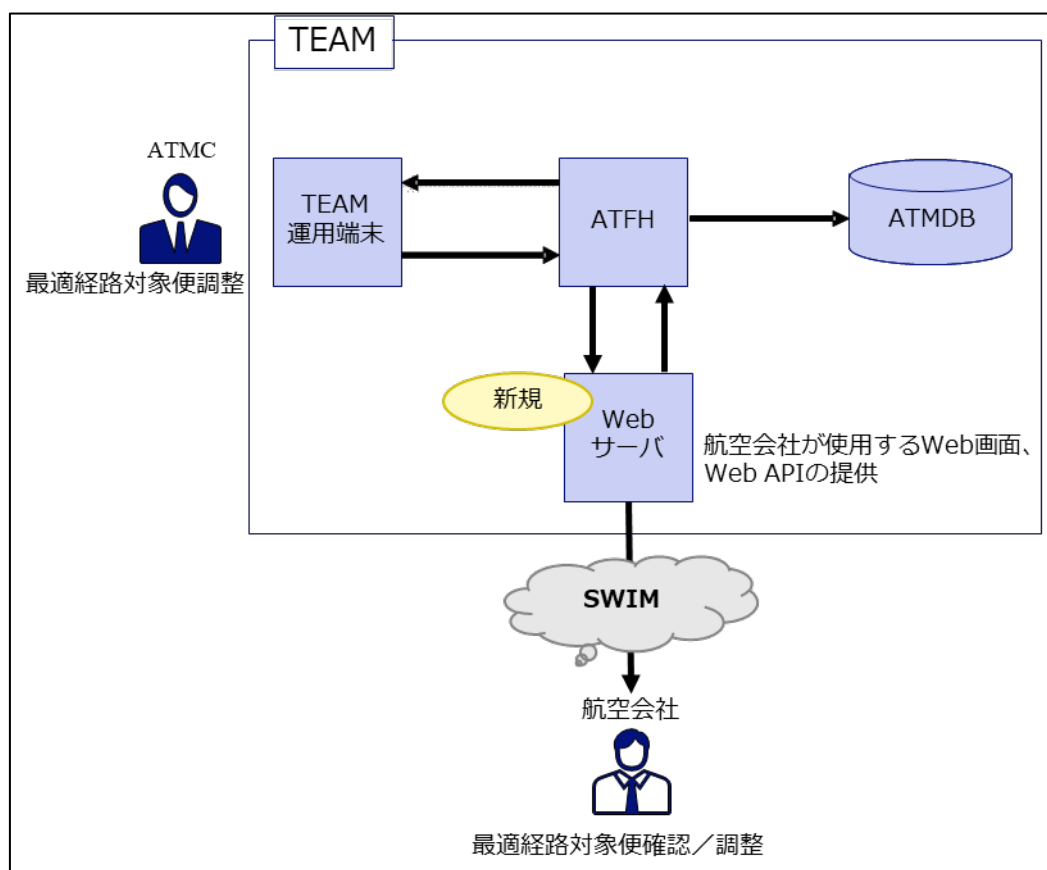


図 4.2.2-1 TEAM で実装する場合に想定されるシステム構成図

## (2) TEAM 外ですべて実装する案

Web サーバを TEAM 外で実装する場合のシステム構成を図 4.2.2-2 に示す。現在、航空交通情報交換システム (MASS) を用いた SWIM サービスとしてのフライトプラン登録サービスが整備されつつあるが、その環境と同様の環境を利用して実現することを想定している。

現在、TEAM で行われている出発前経路調整では、調整結果に基づいて航空会社から CHG 報を送る必要がある。その点を考慮すると、経路調整を実施した情報を用いて、フライトプラン登録サービスと連携し CHG 報を送信できることが、機能連携の観点でより良いと考える。そのため、フライトプラン登録サービスの動作する Web ホストサーバに実装することが望ましいと考える。

本システム構成については、FACE の FODB を経由して Web ホストサーバに情報を連携することを検討していたが、Web 機能で表示するためのデータは統管制情報処理システムで共有するような情報ではないことから FODB に登録する望ましくない。そのため、図 4.2.2-2 では、FODB とは記載せず、FACE 経由であることを記載している。また、TEAM 側における FACE の窓口としては、FACE との橋渡しをしている ATM 中継業務群 (ATRP) <sup>※4</sup> を使用することが望ましい。

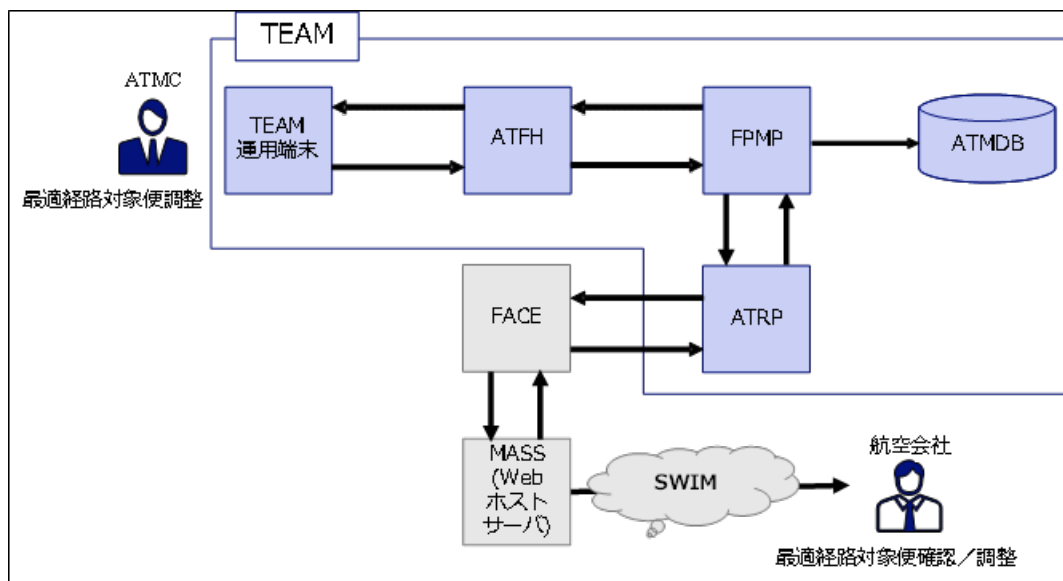


図 4.2.2-2 TEAM 外で実装する場合に想定されるシステム構成図

<sup>※4</sup> ATM 中継業務群 (ATEP) : TEAM の ATM 中継サーバに実装されている機能群。





## 第5章 システム開発および導入計画

本章では、システム開発計画および導入計画を 1stStep、2ndStep に分けて整理する。1stStep では、最適経路便の選定をロジックで行う場合と AI を導入する場合に分けて記載している。2ndStep では、複数便を考慮した最適経路の選定について全体最適化を行う必要があるが、ロジックで行う場合、総当たりチェックのような処理を実装するとシステムの負荷が高くなり、また処理時間がかかるため運用には適用できないと想定される。したがって、2ndStep については AI を導入することが望ましいと考えており、計画については AI の場合に絞って記載している。

システム開発計画および導入計画について、図 5-1 に示す。

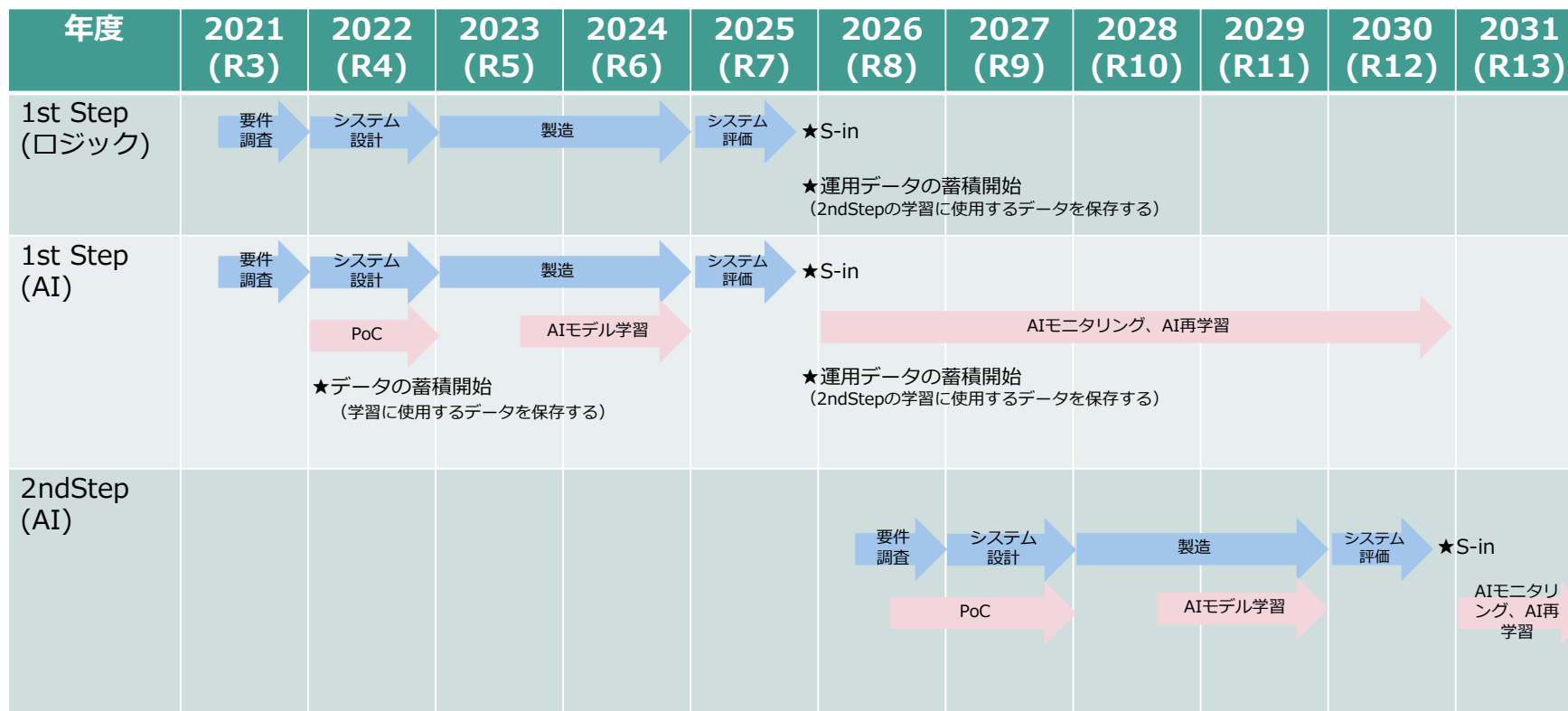


図 5-1 システム開発計画および導入計画

## 5.1 1stStep のシステム開発計画および導入計画

1stStep で想定するシステム開発計画および導入計画を以下に記す。1stStep では、ロジックシステムと AI システムの双方を対象とする。

### 5.1.1 ロジックシステムを使用する場合

#### (1) 要件調査

実施年度：2021 年度

実施概要：ロジックシステムに関し、具体的なシステム要件の調査を行う。

#### (2) システム設計

実施年度：2022 年度

実施概要：システム要件の調査結果に基づき、具体的なシステム設計を行う。

本要件には、SWIM を経由した経路調整の実現が含まれており、新たに SWIM や航空会社システムとの連携が必要となることから、航空局側システムの SWIM 対応や航空会社とのインタフェースの詳細などについて、システム設計を実施することが望ましいと考える。

#### (3) 製造

実施年度：2023～2024 年度

実施内容：システム設計に基づき、システムの実装を行う。

#### (4) システム評価

実施年度：2025 年度

実施内容：製造したシステムについての運用評価を行う。

#### (5) サービスイン

実施年度：2025 年度末以降

実施内容：システム評価を経て、実運用を開始する。実運用の開始とともに、2ndStep の AI 学習に使用するデータを保存するため、運用データの蓄積を開始する。

## 5.1.2 AI システムを使用する場合

### (1) 要件調査

実施年度：2021 年度

実施概要：AI システムに関し、具体的なシステム要件の調査を行う。

### (2) システム設計

実施年度：2022 年度

実施概要：システム要件の調査結果に基づき、具体的なシステム設計を行う。また、設計と平行して PoC（概念検証：Proof of Concept）を実施するとともに、製造フェーズでは実際に AI モデルを学習させるためのデータが必要となるため、データの蓄積を開始する。ただし、フライトに関する情報は既に FO 分析装置に蓄積しており、TEAM の運用実績データに関しては ATMC にて定期的に TEAM から出力して保管されているため、AI の学習データは既存の蓄積データで網羅できるものと考えている。そのため、計画上のマイルストーンとしてデータ蓄積開始を置いてはいるが、これに向けて必要な実作業はないと想定している。

### (3) 製造

実施年度：2023～2024 年度

実施内容：システム設計に基づき、システムの実装を行う。また、2023 年度末から AI モデル学習を開始する。

### (4) システム評価

実施年度：2025 年度

実施内容：製造したシステムについての運用評価を行う。

### (5) サービスイン

実施年度：2025 年度末以降

実施内容：システム評価を経て、実運用を開始するとともに、2ndStep の AI 学習に使用するデータを保存するため、運用データの蓄積を開始する。AI に関しては、運用していく上でデータの傾向が変化し、モデルが適合しなくなるケースがあるため、障害が起きたかという監視だけではなく、AI の予測精度や使用データの傾向の変化なども監視し、AI が適切に動いているかをモニタリングし、変化が生じた場合には、再学習を行った上で運用に使用する AI モデルの入れ替えを行う。モニタリングと再学習は 2030 年度まで実施する。

## 5.2 2ndStep のシステム開発計画および導入計画

2ndStep で想定するシステム開発計画および導入計画を以下に記す。

### (1) 要件調査

実施年度：2026 年度

実施概要：FF-ICE との連携を考慮する必要があるため、2ndStep においても具体的なシステム要件の調査を行う。また、要件調査と平行して 2026 年度半ばから、1stStep の運用データを用いて複数便を考慮した最適経路選定の PoC を実施する。

### (2) システム設計

実施年度：2027 年度

実施概要：システム要件の調査結果に基づき、具体的なシステム設計を行う。

### (3) 製造

実施年度：2028～2029 年度

実施内容：システム設計に基づき、システムの実装を行う。また、2028 年度末から AI モデル学習を開始する。

### (4) システム評価

実施年度：2030 年度

実施内容：製造したシステムについての運用評価を行う。

### (5) サービスイン

実施年度：2030 年度末以降

実施内容：システム評価を経て、実運用を開始する。2031 年度からは、予測精度やデータ傾向の変化がないかを確認するためモニタリングを行い、変化が生じた場合には、再学習を行った上で運用に使用する AI モデルの入れ替えを行う。



## 第6章 費用対効果

本章では、最適経路調整の導入に関する費用対効果について検討した結果について述べる。

### 6.1 費用の検討

本節では、イニシャルコスト、ランニングコストについて整理する。

#### 6.1.1 イニシャルコスト

本項では、1stStep、2ndStep で必要になるイニシャルコストについて整理する。

##### (1) 1stStep をロジックで実装する場合のイニシャルコスト

1stStep をロジックで実装する場合、航空交通管理処理システム (TEAM)、飛行情報管理処理システム (FACE) それぞれで以下の改修が発生する。

また、航空会社向け経路調整画面は航空交通情報交換システム (MASS) を経由しインターネットアクセス可能となるため、改修を行う TEAM、FACE に加え MASS の調整作業が発生する。

##### (A) TEAM の改修内容

TEAM では以下の改修が発生する。

- ・ 経路登録画面への短縮経路情報登録の追加
- ・ 最適経路対象便の選定および提示機能の新規実装
- ・ 管理管制官向け経路調整機能
- ・ 運用実績データ外部出力機能の新規実装

##### (B) FACE の改修内容

FACE では以下の改修が発生する。

- ・ 航空会社向け経路調整画面機能の追加  
FACE のフライト情報登録サービスに機能追加されることを前提とする。

(A)、(B)を踏まえ、必要となるイニシャルコストを表 6.1.1-1 に示す。

表 6.1.1-1 1stStep をロジックで実装した場合のイニシャルコスト

| 費目        | 費用 [千円]   |
|-----------|-----------|
| TEAM 改修   | 900,000   |
| FACE 改修   | 672,000   |
| TEAM 調整作業 | 100,000   |
| FACE 調整作業 | 45,000    |
| MASS 調整作業 | 33,000    |
| 合計        | 1,750,000 |

## (2) 1stStep をロジックで実装後に 2ndStep を AI で実装する場合のイニシャルコスト

1stStep をロジックで実装後に 2ndStep で AI を実装する場合は、AI 学習環境、AI 運用環境を構築する必要があり、新規に HW/OS/PP の調達が必要となる。

### (A) TEAM の改修内容

TEAM では以下の改修が発生する。

- ・ 複数便を考慮した最適経路対象便の確認機能の追加
- ・ 最適経路対象便選定 AI を呼び出すための改修

### (B) AI システムの内容

- ・ ETL 処理機能
- ・ 複数便を考慮した最適経路対象便の選定および提示 AI
- ・ AI 再学習機能
- ・ AI モデルの構成管理機能
- ・ AI モデルモニタリング機能

AI システムを FO 分析装置で実装する場合、ETL 処理機能は既存機能の拡張とすることができ、AI モデルモニタリング機能は BI/BA 機能を拡張することで実現ができると考える。

一方で、AI システムを新システムとして実装する場合、ETL 処理機能、AI モデルモニタリング機能の新規構築が必要になると考える。

以上を踏まえた上で、FO 分析装置を使用した場合のイニシャルコストを表 6.1.1-2、FO 分析装置を使用しない場合のイニシャルコストを表 6.1.1-3 に示す。

表 6.1.1-2 2ndStep を AI で実装した場合のイニシャルコスト (FO 分析装置を使用した場合)

| 費目                         | 費用 [千円]   | 備考                      |
|----------------------------|-----------|-------------------------|
| TEAM 改修                    | 300,000   | -                       |
| AI 用 HW/OS/PP<br>(FO 分析装置) | 240,000   | 学習環境 1 台、運用環境 2 台 (冗長化) |
| AI システム<br>(FO 分析装置)       | 500,000   | -                       |
| TEAM 調整作業                  | 30,000    | -                       |
| AI 調整作業                    | 50,000    | -                       |
| FACE 調整作業                  | 20,000    | -                       |
| 合計                         | 1,140,000 | -                       |



表 6.1.1-3 2ndStep を AI で実装した場合のイニシャルコスト (FO 分析装置を使用しない場合)

| 費目                       | 費用 [千円]   | 備考                                                     |
|--------------------------|-----------|--------------------------------------------------------|
| TEAM 改修                  | 300,000   | -                                                      |
| AI 用 HW/OS/PP<br>(新システム) | 336,000   | 学習環境 1 台、運用環境 2 台 (冗長化)、<br>ETL 装置、BI/BA 装置、AI 用 DB 装置 |
| AI システム<br>(新システム)       | 700,000   | -                                                      |
| TEAM 調整作業                | 30,000    | -                                                      |
| AI 調整作業                  | 50,000    | -                                                      |
| FACE 調整作業                | 20,000    | -                                                      |
| 合計                       | 1,436,000 | -                                                      |

### (3) 1stStep を AI で実装する場合のイニシャルコスト

1stStep の内容を AI を用いて実装するために、現在 FO 分析装置で使用されている異種混合学習エンジンを用いることを前提として検討する。

航空会社向け経路調整画面は MASS を経由しインターネットアクセス可能となるため、改修を行う TEAM、FACE に加え MASS の調整作業が発生する。

また、1stStep 導入前には最適経路対象便選定の運用を行っていないため、AI に学習させる最適経路対象便選定結果のデータが存在しない。そのため、運用データを元に最適経路対象便選定結果のデータを作成し、AI に学習させる必要がある。

さらに、1stStep を AI で実装する場合、AI システムに加え、TEAM、FACE それぞれで以下の改修が発生する。

#### (A) TEAM の改修内容

TEAM では以下の改修が発生する。

- ・ 経路登録画面への短縮経路情報登録の追加
- ・ 最適経路対象便の提示機能の新規実装
- ・ 管理管制官向け経路調整機能
- ・ 運用実績データ外部出力機能の新規実装

#### (B) FACE の改修内容

FACE では以下の改修が発生する。

- ・ 航空会社向け経路調整画面機能の追加  
FACE のフライト情報登録サービスに機能追加されることを前提とする。

### (C) AI システムの内容

- ・ ETL 処理機能
- ・ 最適経路対象便の選定 AI
- ・ AI 再学習機能
- ・ AI モデルの構成管理機能
- ・ AI モデルモニタリング機能

### (D) その他

運用データをもとに最適経路対象便選定結果データの作成を人手で行うのは非現実的である。そのため、1stStep をロジックで実装する場合と同等のプログラムを作成しデータを作成した上で、その結果が正しいのか目視確認する必要がある。

以上を踏まえた上で、FO分析装置を使用した場合のイニシャルコストを表 6.1.1-4 に示す。

表 6.1.1-4 1stStep を AI で実装した場合のイニシャルコスト (FO 分析装置を使用した場合)

| 費目                         | 費用 [千円]   | 備考             |
|----------------------------|-----------|----------------|
| TEAM 改修                    | 500,000   | -              |
| FACE 改修                    | 672,000   | -              |
| AI 用 HW/OS/PP<br>(FO 分析装置) | 150,000   | 運用環境 2 台 (冗長化) |
| AI システム<br>(FO 分析装置)       | 400,000   | -              |
| 学習用データの作成                  | 250,000   | -              |
| TEAM 調整作業                  | 50,000    | -              |
| AI 調整作業                    | 50,000    | -              |
| FACE 調整作業                  | 45,000    | -              |
| MASS 調整作業                  | 33,000    | -              |
| 合計                         | 2,150,000 | -              |

#### (4) 1stStep を AI で実装後に 2ndStep を AI で実装する場合のイニシャルコスト

2ndStep を AI で実装する場合は、1stStep の AI とは別の最適化に特化した AI エンジンを導入する必要がある。そのため、AI 学習環境、AI 運用環境をそれぞれ構築する必要があり、新規に HW/OS/PP の調達が必要となる。

また、1stStep を AI で実現する場合、最適経路対象便選定に関する AI の運用管理に必要な機能は実装済みであり、2ndStep を AI で実現する際に流用することが可能である。

##### (A) TEAM の改修内容

TEAM では以下の改修が発生する。

- ・ 複数便を考慮した最適経路対象便の確認機能の追加
- ・ 最適経路対象便選定 AI を呼び出すための改修

##### (B) AI システムの内容

- ・ 複数便を考慮した最適経路対象便の選定および提示 AI

以上を踏まえた上で、FO 分析装置を使用した場合のイニシャルコストを表 6.1.1-5 に示す。

表 6.1.1-5 2ndStep を AI で実装した場合のイニシャルコスト (FO 分析装置を使用した場合)

| 費目                         | 費用 [千円] | 備考                      |
|----------------------------|---------|-------------------------|
| TEAM 改修                    | 300,000 | -                       |
| AI 用 HW/OS/PP<br>(FO 分析装置) | 240,000 | 学習環境 1 台、運用環境 2 台 (冗長化) |
| AI システム<br>(FO 分析装置)       | 300,000 | -                       |
| TEAM 調整作業                  | 30,000  | -                       |
| AI 調整作業                    | 50,000  | -                       |
| FACE 調整作業                  | 20,000  | -                       |
| 合計                         | 940,000 | -                       |

## 6.1.2 ランニングコスト

### (1) 1stStep にかかるランニングコスト

#### (A) ロジックで実装する場合のランニングコスト

アプリケーション保守にインシヤルコストの5%かかると仮定し、1stStep にかかるランニングコストを表 6.1.2-1 に整理する。

表 6.1.2-1 1stStep にかかるランニングコスト

| 費目         | 費用 [千円] |
|------------|---------|
| アプリケーション保守 | 87,500  |
| 合計         | 87,500  |

#### (B) AI で実装する場合のランニングコスト

AI の運用では誤差率の低下を防ぐため、定期的にデータやモデルの予測結果の精度をモニタリングし、モデル更新による精度改善を行うことが望ましい。また、モデル更新のサイクルは、AI に対して求める精度に依存することから、本報告書では、季節により運航に影響があり AI の精度が低下すると仮定し、3 か月に 1 回モデル更新を行うこととし、ランニングコストを算出する。

モデル更新は、学習環境を用いて以下の作業を行う。

- ① データ観察  
AI を運用した期間のデータを分析し、AI の精度が低下した原因を調査する。  
また、AI の精度改善のため、AI の再学習に使用するデータ追加や再加工の必要性を検討する。
- ② AI の再学習  
「①データ観察」で分析した結果をもとに、AI を再学習させ AI モデルを作成する。
- ③ AI の評価  
「②AI の再学習」で作成した AI モデルに対して、検証用のデータを用いて精度の評価を行う。期待する精度に至らなかった場合は、再度①～③を行う。  
なお、1 度の再学習で期待する精度になることは少なく、試行錯誤を伴いながら繰り返し①～③を行う。
- ④ AI モデルの入れ替え  
運用環境の AI モデルを「②AI の再学習」で作成した AI モデルに入れ替える。

以上を踏まえた上で、AI 運用にかかるランニングコストを表 6.1.2-2 に示す。

表 6.1.2-2 AIの運用にかかるランニングコスト

| 作業名         | 費用 [千円] | 備考           |
|-------------|---------|--------------|
| ①データ観察      | 2,800   | -            |
| ②AIの再学習     | 3,500   | -            |
| ③AIの評価      | 2,400   | -            |
| ④AIモデルの入れ替え | 1,000   | -            |
| ⑤1回あたりの小計   | 27,100  | 3回×(①+②+③)+④ |
| 1年あたりの合計    | 108,400 | 4回×⑤         |

また、ロジックで実装する場合と同様にインシャルコストのアプリケーション開発の5%がアプリケーション保守にかかるかと仮定し、FO分析装置を使用した場合のランニングコストを表6.1.2-3に示す。

表 6.1.2-3 ランニングコスト (FO分析装置を使用する場合)

| 費目          | 費用 [千円] |
|-------------|---------|
| アプリケーション保守  | 100,000 |
| OS/PPライセンス費 | 130,000 |
| AI運用        | 108,400 |
| 合計          | 338,400 |

## (2) 2ndStepにかかるランニングコスト

AIの運用では誤差率の低下を防ぐため、定期的にデータやモデルの予測結果の精度をモニタリングし、モデル更新による精度改善を行うことが望ましい。

また、モデル更新のサイクルは、AIに対して求める精度に依存することから、本報告書では、季節により運航に影響がありAIの精度が低下すると仮定し、3か月に1回モデル更新を行うこととし、ランニングコストを算出する。

モデル更新は、学習環境を用いて以下の作業を行う。

### ① データ観察

AIを運用した期間のデータを分析し、AIの精度が低下した原因を調査する。

また、AIの精度改善のため、AIの再学習に使用するデータ追加や再加工の必要性を検討する。

### ② AIの再学習

「①データ観察」で分析した結果をもとに、AIを再学習させAIモデルを作成する。

③ AI の評価

「②AI の再学習」で作成した AI モデルに対して、検証用のデータを用いて精度の評価を行う。期待する精度に至らなかった場合は、再度①～③を行う。

なお、1 度の再学習で期待する精度になることは少なく、試行錯誤を伴いながら繰り返し①～③を行う。

④ AI モデルの入れ替え

運用環境の AI モデルを「②AI の再学習」で作成した AI モデルに入れ替える。

以上を踏まえた上で、AI 運用にかかるランニングコストを表 6.1.2-4 に示す。

表 6.1.2-4 AI の運用にかかるランニングコスト

| 作業名          | 費用 [千円] | 備考              |
|--------------|---------|-----------------|
| ①データ観察       | 2,800   | -               |
| ②AI の再学習     | 3,500   | -               |
| ③AI の評価      | 2,400   | -               |
| ④AI モデルの入れ替え | 1,000   | -               |
| ⑤1 回あたりの小計   | 27,100  | 3 回× (①+②+③) +④ |
| 1 年あたりの合計    | 108,400 | 4 回×⑤           |

また、1stStep と同様にイニシャルコストのアプリケーション開発の 5%がアプリケーション保守にかかると仮定し、FO 分析装置を使用した場合のランニングコストを表 6.1.2-5、FO 分析装置を使用しない場合のランニングコストを表 6.1.2-6 に示す。

表 6.1.2-5 ランニングコスト (FO 分析装置を使用する場合)

| 費目           | 費用 [千円] |
|--------------|---------|
| アプリケーション保守   | 45,000  |
| OS/PP ライセンス費 | 195,000 |
| AI 運用        | 108,400 |
| 合計           | 348,400 |

表 6.1.2-6 ランニングコスト (FO 分析装置を使用しない場合)

| 費目           | 費用 [千円] |
|--------------|---------|
| アプリケーション保守   | 55,000  |
| OS/PP ライセンス費 | 220,000 |
| AI 運用        | 108,400 |
| 合計           | 383,400 |

## 6.2 効果の検討

本節では最適経路調整を導入した場合の効果について検討する。

### 6.2.1 効果の範囲と項目の整理

#### (1) 効果の範囲と項目

施策の実施による効果には、施設・システムなどの整備段階に発生する「事業効果」と、施設・システムなどの整備後に発生する「施設効果」に大きく分かれる。本調査における費用対効果分析においては、施設・システム整備後の効果である「施設効果」のみを対象とする。

また、国際便についても、出発便に対しては本施策の便益享受の可能性があるが、今回の評価では国内便のみを対象とする。

最適経路調整の導入に伴う効果の発現は、以下の図 6.2.1-1 のように整理することができる。

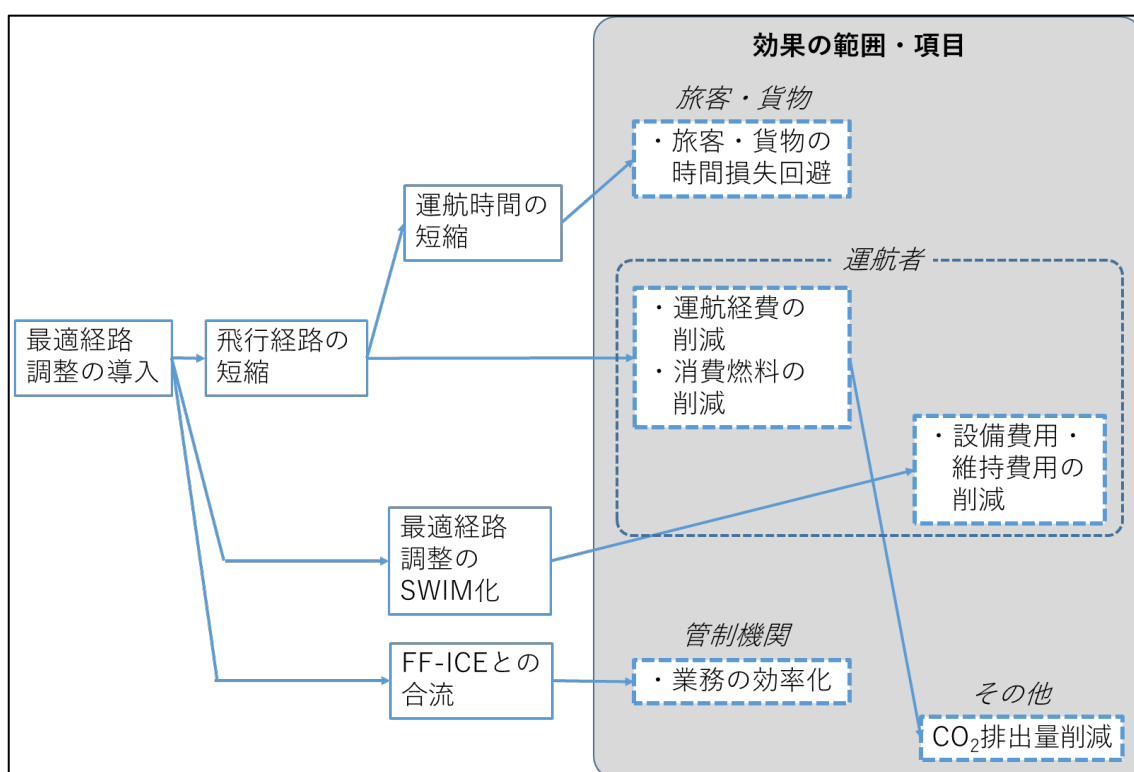


図 6.2.1-1 最適経路調整の導入に伴う効果の発現体系

### (A) 飛行経路の短縮

最適経路調整を導入することにより飛行経路が短縮され、飛行経路の短縮は、以下に示す様々な効果発現の源となる。

飛行距離の短縮は、運航時間の短縮につながり、旅客・貨物の時間損失を回避するという時間価値を生む。

また、飛行経路の短縮は、運航者にとって運航経費の削減および消費燃料の削減をもたらす、この燃料削減は、CO<sub>2</sub>排出量削減という環境影響の低減につながっていく。

本調査では、「従来の飛行経路の距離」と「最適経路の飛行経路の距離」の差を「経路長差」と定義し、また、最適経路を飛行するすべての航空機がもたらす経路長差の総和を「短縮削減長」と定義する。短縮削減長は、本調査における効果測定のための基本項目である。

### (B) 最適経路調整の SWIM 化

今回の整備では、管理管制官と運航者との間で実施されるシステムが選定した最適経路を飛行するかどうかの調整を、SWIM を介して行うこととしている。これにより、現状の出発前経路調整のような運航者側に専用端末を設置し、専用回線で接続する必要がなく、運航者は一般的な PC とインターネットへの接続で、最適経路の調整が可能となる。従って、運航者にとっては、設備費用や回線などの維持費用の削減が期待される。

### (C) FF-ICE との合流

今回の 2ndStep の整備は、我が国への FF-ICE の本格導入時期に合わせる計画としている。FF-ICE の仕組みを利用すれば、最適経路調整の自動化の可能性もあり、管理管制官の業務効率化が期待される。

## (2) 効果の項目と分類

費用便益分析対象となる効果は、貨幣換算可能な効果（便益）であり、関係者（航空局、空港管理者、航空会社、旅客など）に発生する便益の和、すなわち国民経済的な便益である。貨幣換算が難しい項目については、分析の対象から除くことが一般的であるが、本調査では、定量化可能な効果については可能な限り貨幣換算を行うこととする。

「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS) 費用対効果分析の考え方」(平成 24 年 3 月) には、様々な施策において共通的に期待される効果が整理されている。CARATS 費用対効果分析の考え方に示された効果との関連を考慮し、上記(1)で整理した効果の項目を再度、分類・整理した結果を以下の表 6.2.1-1 に示す。



表 6.2.1-1 最適経路調整の導入に伴う効果の分類と整理

| CARATSの効果測定項目の該当部分                            |                                         | 本調査における検討                                                                                                                       |                                   |                                                                                       |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CARATS<br>目標・アウトカム                            | CARATS<br>効果計測項目                        | 効果の定量化の検討                                                                                                                       | 貨幣換算の検討                           | 本調査の効果項目と分類                                                                           |
| 3. 利便性の向上<br>速達性の向上                           | (3-10)<br>旅客、貨物の移動時間<br>削減              | 今回の便益の基本項目である「短縮削減長」を「運航時間の削減」に変換すれば、平均乗客数、平易金貨物量を用いて定量化可能であるが、国内便については旅客輸送が主体であるため、今回は旅客の移動時間削減のみを対象とする。                       | 旅客の時間価値を用いて貨幣換算可能。                | (A-1) 短縮削減長<br>(定量的効果)<br><br>(B-1) 旅客移動時間削減<br>(便益)                                  |
|                                               | (3-11)<br>航空機の運航経費の削減<br>(機材費、要員費、燃料費等) | 航空会社の運航経費のうち「燃料費」は(4-1)の消費燃料削減の項目として計測し、ここでは、燃料費以外の運航経費を計測することとする。「短縮削減長」により定量化可能。                                              | 運航経費原単位を用いて貨幣換算可能。                | (B-2) 運航経費(燃料費以外)の削減<br>(便益)                                                          |
| 4. 運航の効率性<br>向上<br>燃料効率の高い経路/高度の飛行<br>搭載燃料の削減 | (4-1)<br>航空機の消費燃料削減                     | 「短縮削減長」より単位距離あたりの平均燃料消費量を用いて「燃料削減量」として定量化可能。                                                                                    | 燃料費原単位を用いて貨幣換算可能。                 | (A-2) 燃料削減量<br>(定量的効果)<br><br>(B-3) 燃料費用削減<br>(便益)                                    |
| 5. 航空保安業務の効率性向上<br>管制官等の負荷軽減                  | (5-1)<br>管制官等の生産性向上                     | 2ndSTEPは、FF-ICEと同期したサービス開始の計画があり、FF-ICEを利用した調整の自動化が実施される場合は、管理管制官の業務効率化として時間価値便益を計測することは可能である。今回は、要件が未定のため調整の自動化による生産性向上は考慮しない。 | —                                 | —                                                                                     |
| 6. 環境への配慮<br>地球環境影響ガスの削減                      | (6-1) CO <sub>2</sub> 排出量削減             | 「燃料削減量」からCO <sub>2</sub> 削減量を定量化可能。                                                                                             | CO <sub>2</sub> 貨幣価値原単位を用いて貨幣換算可能 | (A-3) CO <sub>2</sub> 削減量<br>(定量的効果)<br><br>(B-4) CO <sub>2</sub> 排出量削減<br>便益<br>(便益) |
| 7. その他                                        | 運航者設備費用、維持費用削減                          | 最適経路調整のSWIM化による、運航者の専用端末の設備費、専用回線の維持費が削減されるが、運航者の規模等により、定量化することは困難のため、定性的効果とする。                                                 | —                                 | (Z-1) 運航者設備費用・維持費用削減<br>(定性的効果)                                                       |

## 6.2.2 便益項目の計測方法の検討

前項で整理した効果の項目のうち、定量的効果項目および貨幣価値変換可能な便益項目について、その計測方法を検討する。

### (1) 短縮削減長

短縮削減長は、指定された185の路線（詳細は、「別紙1 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果」参照）毎に最適経路を飛行しない便の経路長と最適経路を飛行する便の経路長の経路長差を求め、路線毎に年間の最適経路飛行便数を想定することにより、以下の式で算出される。

$$\text{短縮削減長} = \sum_{\text{路線} 1}^{185} (\text{経路長差} \times \text{最適経路飛行便数})$$

### (A) 経路長差

経路長差は、従来の飛行経路における経路長（最適経路を飛行しない場合の経路長）と最適経路を飛行する場合の経路長の差であり、「別紙1 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果」に示す方法で2019年デイプランから計算された以下の経路長の数値を使用して求める。

「最適経路を飛行しない場合の経路長」⇒ 別紙1の「最頻実績経路長 (NM)」

「最適経路を飛行する場合の経路長」⇒ 別紙1の「最適経路の距離 (NM)」

ここで、最頻実績経路長とは、デイプランの路線毎のFPLの中で最も頻繁に使用された実績のある経路の経路長であり、最適経路が導入されていない場合に最も使用される可能性が高い経路の経路長と考えられる。したがって、経路長差は、以下のとおり、最頻実績経路長と最適経路の距離の差で求められる。

$$\text{経路長差} = \text{最頻実績経路長} - \text{最適経路の距離}$$

経路長差の計算例を以下の表 6.2.2-1 に示す。

表 6.2.2-1 経路長差の計算例（別紙1の調査結果 表7より抜粋）

| 空港① | 空港② | 01 | (A)                  | (B)                                                                                                             |             | (C)                         | (C)-(B)      |
|-----|-----|----|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------|--------------|
|     |     |    | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)<br>最適経路の飛行経路                                                      | 最適経路の距離(NM) | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) | 経路長差<br>(NM) |
| 1   | 東京  | 札幌 | 19,886               | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE HANKA VARSU<br>PEONY SAMBO JYONA CAPLY NONUT IBURI NAVER RJCC                  | 442,557     | 456,290                     | 13,733       |
| 1   | 東京  | 札幌 |                      |                                                                                                                 |             |                             |              |
| 2   | 東京  | 福岡 | 19,748               | RJTT RITLA LEBOS VENDI SUGAL TOLUM MORVA ARASI<br>GINJI WAKIT KAMMY CLOVE BASIL SUNPI RUVEK STOUT<br>KIRIN RJFF | 490,691     | 490,891                     | 0,200        |
| 2   | 東京  | 福岡 |                      |                                                                                                                 |             |                             |              |
| 2   | 東京  | 福岡 |                      |                                                                                                                 |             |                             |              |
| 2   | 東京  | 福岡 |                      |                                                                                                                 |             |                             |              |

※ 別紙1 表7の上記(C)列の距離と(B)列の距離の差を経路長差とする。

## (B) 最適経路飛行便数の想定

最適経路を飛行する航空機は、「3.3 1stStep 予め設定された短縮経路へ変更可能な便の提案」「3.4 2ndStep 最適経路へ変更可能な複数便の組み合わせを提案」で検討した条件・方法によって、最適経路対象便として選定された便である。したがって、便益としての短縮削減長を算出するためには、どの程度の割合や数の航空機が最適経路を飛行しその効果を楽しむことができるのかを想定する必要がある。

本調査では、以下のような考え方、方法により、最適経路飛行便数を想定する。

### (a) 便数想定 の 考慮事項

最適経路を飛行できる便数を想定するために、考慮する必要があると思われる事項は以下のとおりである。

- ・ 最適経路導入時点は、夜間時間帯のみなど限定的に最適経路調整を行い、段階的に最適経路調整の対象を拡大していく方針である。
- ・ 1 社単独運航路線は多くの調整が可能である（「3.6 最適経路対象便選定における平等性の実現方法」より）。
- ・ 2ndStep では AI の活用に複数便を対象とした選定を行うことから、1stStep よりも調整対象便数が増加するものと考えられる。

### (b) 最適経路選定便数を想定するための比較検討パターン

路線毎に最適経路をどの程度の割合で割り当てると、どの程度の便数になるのかを検討するために、上記の考慮事項を踏まえ、時間帯、単独路線かどうかを考慮して、以下のような9つのパターン分けによる比較を行うこととした。

- ① 夜間（21:00～6:59（JST））の便数の50%が最適経路を飛行できるとした場合
- ② 夜間便数の100%が最適経路を飛行できるとした場合
- ③ 夜間全便と1社運航路線は全便の30%が最適経路を飛行できるとした場合
- ④ 夜間全便と1社運航路線は全便の50%が最適経路を飛行できるとした場合
- ⑤ 夜間全便と1社運航路線は全便の75%が最適経路を飛行できるとした場合
- ⑥ 夜間全便と1社運航路線は全便が最適経路を飛行できるとした場合
- ⑦ 夜間全便と1社運航路線は全便の75%がそれ以外の路線は日中帯の3%が最適経路を飛行できるとした場合
- ⑧ 夜間全便と1社運航路線は全便の75%がそれ以外の路線は日中帯の6%が最適経路を飛行できるとした場合
- ⑨ 夜間全便と1社運航路線は全便の75%がそれ以外の路線は日中帯の10%が最適経路を飛行できるとした場合

上記のパターン毎に2019年のダイヤから集計した各路線の便数をもとに、最適経路が選定されると想定される便数を算出した結果を以下の表 6.2.2-2 に示す。

表 6.2.2-2 最適経路選定便数の比較検討パターン毎の調整便数の試算

| 最適経路選定便数の比較検討パターン |                           | 想定便数(年) | 全便数に対する割合 | 1時間当たりの調整便数 |         |
|-------------------|---------------------------|---------|-----------|-------------|---------|
| ①                 | 夜間(21:00~6:59(JST))便数の50% | 8823    | 1.3%      | 3           | 夜間9時間平均 |
| ②                 | 夜間便数の100%                 | 17662   | 2.6%      | 5           | 夜間9時間平均 |
| ③                 | 夜間+1社運航路線は全便の30%          | 30914   | 4.6%      | 2           | 24時間平均  |
| ④                 | 夜間+1社運航路線は全便の50%          | 40757   | 6.0%      | 3           | 24時間平均  |
| ⑤                 | 夜間+1社運航路線は全便の75%          | 53050   | 7.8%      | 4           | 24時間平均  |
| ⑥                 | 夜間+1社運航路線は全便              | 65335   | 9.6%      | 5           | 24時間平均  |
| ⑦                 | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の3%   | 64708   | 9.5%      | 5           | 24時間平均  |
| ⑧                 | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の6%   | 76350   | 11.2%     | 7           | 24時間平均  |
| ⑨                 | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10%  | 91874   | 13.5%     | 8           | 24時間平均  |

### (c) 短縮削減長[NM]の計算

前項のパターンの想定便数などを踏まえ、1stStep、2ndStep の各々5年間の評価年次毎に、各年次における調整便数のパターンを以下のとおり想定する。

- ・ 1stStep 1年目 パターン① 夜間便数の50%
- ・ 1stStep 2年目 パターン③ 夜間+1社運航路線は全便の30%
- ・ 1stStep 3年目 パターン④ 夜間+1社運航路線は全便の50%
- ・ 1stStep 4年目 パターン⑦ 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の3%
- ・ 1stStep 5年目 パターン⑦ 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の3%
- ・ 2ndStep 1年目 パターン⑨ 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10%
- ・ 2ndStep 2年目 パターン⑨ 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10%
- ・ 2ndStep 3年目 パターン⑨ 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10%
- ・ 2ndStep 4年目 パターン⑨ 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10%
- ・ 2ndStep 5年目 パターン⑨ 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10%

各整備 Step の整備年次に設定したパターンの割合で路線毎に対象便数を計算し、その路線で算定されている経路長差との積を求める。それを全路線で合計することにより、短縮削減長を求めることができる。

なお、短縮削減長の算出には、以下のような計算上のルールを適用している。

- ・ 各評価年次の対象便数には、2019年から年率0.1%の増加を考慮する。
- ・ 経路長差がマイナスになっている路線は、最適経路調整は実施されないと想定し対象便数は0とする。
- ・ 各整備 Step の6年目以降については、年率0.1%の便数増加のみ考慮する。

このようにして求めた全路線の短縮距離の合計を各年次の短縮削減長とする。

1stStep を2026~2030年度の5年間、2ndStep を2031~2035年度の5年間と想定した場合の、上記計算により求めた各年度の短縮削減長を以下の表 6.2.2-3 に示す。

表 6.2.2-3 短縮削減長の計算結果

| 年次   | 整備STEP      | 想定する調整便数パターン |                          | 短縮削減長(NM) |
|------|-------------|--------------|--------------------------|-----------|
| 2026 | 1stStep 1年目 | パターン①        | 夜間便数の50%                 | 83,020    |
| 2027 | 1stStep 2年目 | パターン③        | 夜間+1社運航路線は全便の30%         | 308,096   |
| 2028 | 1stStep 3年目 | パターン④        | 夜間+1社運航路線は全便の50%         | 406,263   |
| 2029 | 1stStep 4年目 | パターン⑦        | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の3%  | 608,142   |
| 2030 | 1stStep 5年目 | パターン⑦        | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の3%  | 608,742   |
| 2031 | 2ndStep 1年目 | パターン⑨        | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10% | 795,392   |
| 2032 | 2ndStep 2年目 | パターン⑨        | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10% | 796,184   |
| 2033 | 2ndStep 3年目 | パターン⑨        | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10% | 796,982   |
| 2034 | 2ndStep 4年目 | パターン⑨        | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10% | 797,779   |
| 2035 | 2ndStep 5年目 | パターン⑨        | 夜間+1社運航路線は全便の75%+日中帯の10% | 798,579   |

## (2) 燃料削減量、燃料費用削減

上記で求めた短縮削減長から、燃料削減量と貨幣価値としての燃料費用削減の算出が可能である。

算出に必要な単位距離あたりの消費燃料については、今回は国交省 HP の統計データ（航空輸送統計調査 2019 年）より平均値として算出した値（詳細は、「6.3.3 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等」参照）を使用する。

燃料削減量は、以下の計算式により求められる。

$$\text{燃料削減量} = \text{短縮削減長} \times \text{単位距離あたりの平均燃料消費量}$$

上記、燃料削減量とジェット燃料価格原単位（2019 年度直近 3 か年の時価平均値：「6.3.3 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等」参照）から、以下の計算式により貨幣価値としての燃料費用削減の算出が可能である。

$$\text{燃料費用削減} = \text{燃料削減量} \times \text{ジェット燃料価格原単位}$$

【燃料削減量、燃料費用削減の算出例：1stStep 1 年目の便益】

$$\begin{aligned} \text{燃料消費量} &= 83,020 \text{ (NM)} \times 1.852 \text{ (km/NM)} \times 6.016 \text{ (ℓ/km)} \\ &= 92.5 \text{ (万ℓ)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{燃料費用削減} &= 92.5 \text{ (万ℓ)} \times 47.6 \text{ (円/ℓ)} \\ &= 44.0 \text{ (百万円)} \end{aligned}$$

### (3) CO<sub>2</sub>削減量、CO<sub>2</sub>排出量削減便益

上記燃料削減量から、CO<sub>2</sub>発生原単位とCO<sub>2</sub>貨幣価値原単位（詳細は、「6.3.3 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等」参照）を用いて、以下のとおり、CO<sub>2</sub>削減量と貨幣価値としてのCO<sub>2</sub>排出量削減便益の算出が可能である。

$$\begin{aligned}\text{CO}_2\text{削減量} &= \text{燃料削減量} \times \text{CO}_2\text{発生原単位} \\ \text{CO}_2\text{排出量削減便益} &= \text{CO}_2\text{削減量} \times \text{CO}_2\text{貨幣価値原単位}\end{aligned}$$

【CO<sub>2</sub>削減量、CO<sub>2</sub>排出量削減便益の算出例：1stStep 1年目の便益】

$$\begin{aligned}\text{CO}_2\text{削減量} &= 925 \text{ (kl)} \times \underline{2.47566 \text{ (t-CO}_2\text{/kl)}} \\ &= 2.29 \text{ (千 t-CO}_2\text{)} \\ \text{CO}_2\text{排出量削減便益} &= 2.29 \text{ (千 t-CO}_2\text{)} \times 2860 \text{ (円/t-CO}_2\text{)} \\ &= 6.5 \text{ (百万円)}\end{aligned}$$

### (4) 運航経費（燃料費以外）の削減

運航経費（燃料費以外）は、短縮削減長と燃料費を除く距離あたりの平均直接運航経費原単位（詳細は、「6.3.3 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等」参照）を用いて、以下のとおり算出できる。

$$\text{運航経費（燃料費以外）} = \text{短縮削減長} \times \text{単位距離あたりの平均直接運航経費原単位}$$

【運航経費（燃料費以外）の削減の算出例：1stStep 1年目の便益】

$$\begin{aligned}\text{運航経費（燃料費以外）の削減} &= 83,020 \text{ (NM)} \times 1.852 \text{ (km/NM)} \times 470.1 \text{ (円/km)} \\ &= 72.3 \text{ (百万円)}\end{aligned}$$

### (5) 旅客移動時間削減

短縮削減長という飛行経路の短縮を運航時間の短縮として換算すれば、時間価値便益として旅客移動時間削減の計測が可能となる。

短縮削減長から運航時間の削減への換算は、今回は国交省 HP の統計データ（航空輸送統計調査 2019 年）より平均値として算出した「単位距離あたりの平均飛行時間」（詳細は、「6.3.3 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等」参照）を用いて、以下の計算で行うこととした。

$$\text{運航時間の削減} = \text{短縮削減長} \times \text{単位距離あたりの平均飛行時間}$$

上記、運航時間の削減より、旅客移動時間削減は、国内旅客時間価値原単位および国内平均旅客数（詳細は、「6.3.3 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等」参照）を用いて、以下のように算出できる。

$$\begin{aligned} \text{旅客移動時間削減} &= \text{運航時間の削減} \times \text{国内旅客時間価値原単位} \\ &\quad \times \text{国内平均旅客数} \end{aligned}$$

【運航時間の削減、旅客移動時間削減の算出例：1stStep 1年目の便益】

$$\begin{aligned} \text{運航時間の削減} &= 83,020 \text{ (NM)} \times 1.852 \text{ (km/NM)} \times 0.106 \text{ (分/km)} \\ &= 16297.8 \text{ (分)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{旅客移動時間削減} &= 16297.8 \text{ (分)} \times 52.4 \text{ (円/分)} \times 124.2 \text{ (人/便)} \\ &= 106.0 \text{ (百万円)} \end{aligned}$$

## 6.3 費用対効果の分析

本節では、最適経路調整の導入を単独の事業施策としてみた場合について、前節までに検討した費用および便益項目に対して費用対効果分析を行う。

本分析は、基本的に航空局の費用対効果分析マニュアルの中で比較的新しい「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS) 費用対効果分析の考え方 (平成 24 年 3 月)」および「CARATS 費用対効果分析の考え方の見直し結果 (平成 29 年 12 月 : CRATS 費用対効果・指標検討分科会)」(以下、両マニュアルを合わせ本報告書では「CARATS 費用対効果分析マニュアル」と称する。)に従って実施する。また、必要に応じてその他の費用対効果分析マニュアルも参照する。

### 6.3.1 分析項目

CARATS 費用対効果分析マニュアルに基づき、以下の分析を行う。

#### (1) 費用便益分析

最適経路調整の導入の目的に対応し一定精度をもって貨幣換算可能な効果として計測された便益と最適経路調整の導入に係る費用を、以下の評価指標を用いて、その社会経済的効率性を分析する。

##### (A) 純現在価値 (NPV)

最適経路調整の導入に係る「便益の現在価値 (B)」から「費用の現在価値 (C)」を差し引いた値 (B-C) で算定されるものであり、 $NPV > 0$  のとき社会経済的にみて効率的な事業施策と評価することができる。

##### (B) 経済的内部収益率 (EIRR)

投下した費用を評価期間内で生じる便益で逐次返済すると考えた場合に、返済利率がどの程度までなら計算期間末において収支が見合うかを考えたときの収支が見合う最大返済利率のことである。基準とする社会的割引率 (本調査の場合 4%) よりも高いときには、社会経済的にみて効率的な事業施策と評価することができる。

##### (C) 費用便益比 (CBR : B/C)

最適経路調整の導入に係る「便益の現在価値 (B)」の「費用の現在価値 (C)」に対する比率 (B/C) で算定されるものであり、 $CBR > 1$  のとき社会経済的にみて効率的な事業施策と評価することができる。

#### (2) 定量的効果、定性的効果の分析

便益として貨幣換算値により計測できない効果および貨幣換算値でなく物理的単位などを用いて表現することが望ましい効果のうち、定量化が可能なものについては定量的分析をする。また、定量的効果の計測対象とすべき効果のうち定量化が困難な項目については、定性的に分析する。



## 6.3.2 前提条件

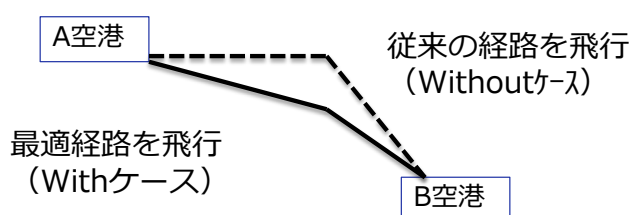
本調査の費用対効果分析は、以下の前提条件により実施する。

### (1) With/Without ケースの設定

便益の計測にあたっては、以下のような With ケース、Without ケースを設定する。

With ケース : 最適経路調整が導入され、最適経路を飛行する便が存在する場合

Without ケース : 最適経路調整が導入されず、すべての便が従来の経路を飛行する場合



### (2) 評価期間

CARATS 費用対効果分析マニュアルでは、評価期間は、整備期間、サービス提供期間、使用設備の耐用年数などを考慮して個別施策毎に設定することとなっている。

本調査における最適経路調整の実現は、1stStep および 2ndStep P の 2 段階で整備することを計画していることから、以下のように 1stStep および 2ndStep を継続して実施した全体整備の場合の評価期間を設定する。

#### ・ 1stStep、2ndStep 全体整備の評価期間

1stStep の整備期間は、2022 年度（令和 4 年度）～2025 年度（令和 7 年度）の 4 年間、サービス提供期間については、2ndStep のサービス開始までの 2026 年度（令和 8 年度）～2030 年度（令和 12 年度）の 5 年間とし、合わせて 2022 年度（令和 4 年度）～2030 年度（令和 12 年度）の 9 年間とする。

また、2ndStep は、整備期間としては、2026 年度（令和 8 年度）から整備開始することとして 2030 年度（令和 12 年度）までの 5 年間、サービス提供期間は、1stStep と同様に、2031 年度（令和 13 年度）～2035 年度（令和 17 年度）の 5 年間とし、合わせて 2026 年度（令和 8 年度）～2035 年度（令和 17 年度）の 10 年間とする。

1stStep、2ndStep の両方の継続整備全体としては、2022 年度（令和 4 年度）～2035 年度（令和 17 年度）の 14 年間とする。

### (3) 評価の基準年

評価の基準年（現在価値化の基準年）は、CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、評価を実施する年度すなわち 2021 年度（令和 3 年度）とする。

### (4) 費用、便益の発生時期

CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、費用、便益の計測は年度単位で実施し、各年度内で発生した便益、費用はすべて年度末の計上とする。

## (5) 社会的割引率

将来の費用、便益の現在価値化をはかるための社会的割引率は、CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（平成 16 年 2 月国土交通省）」に沿って 4%を採用する。

## (6) 物価変動の取り扱い

便益、費用の計測に用いる原単位等は、物価変動分を除外するため、CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、内閣府経済社会研究所により公表されている GDP デフレータを用いてデフレートする。

## (7) 航空需要予測

CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、交通政策審議会航空分科会による需要予測を使用する。交通政策審議会航空分科会による需要予測の最新は、以下の表 6.3.2-1 に示す 2007 年度時点のものである。

表 6.3.2-1 交通政策審議会第 9 回航空分科会配布資料（2007）による需要予測

| 国内便発着回数（旅客）    |               |      |       |               |               |       |       |                |                |
|----------------|---------------|------|-------|---------------|---------------|-------|-------|----------------|----------------|
|                | 予測値           |      |       |               |               | 伸び率   |       |                |                |
|                | 2005<br>(実績値) | 2012 | 2017  | 2022<br>(参考値) | 2027<br>(参考値) | 05-12 | 12-17 | 17-22<br>(参考値) | 22-27<br>(参考値) |
| 旅客便発着回数（千回）    | 143.1         | 165  | 177.5 | 178.6         | 179.5         | 2.10% | 1.50% | 0.10%          | 0.10%          |
| 国際便発着回数（旅客・貨物） |               |      |       |               |               |       |       |                |                |
|                | 予測値           |      |       |               |               | 伸び率   |       |                |                |
|                | 2005<br>(実績値) | 2012 | 2017  | 2022<br>(参考値) | 2027<br>(参考値) | 05-12 | 12-17 | 17-22<br>(参考値) | 22-27<br>(参考値) |
| 旅客便発着回数（千回）    | 287           | 363  | 396   | 424           | 471           | 3.40% | 1.80% | 1.40%          | 2.10%          |
| 貨物便発着回数（千回）    | 44            | 57   | 74    | 97            | 129           | 3.80% | 5.40% | 5.60%          | 0.10%          |

出典：交通政策審議会第 9 回航空分科会配布資料をもとに作成  
 注 1）2017 年以降の伸び率は、需要の参考値からの計算値  
 注 2）2027 年以降は伸び率 0%と想定する。

本需要予測では、本調査の評価開始年度である 2022 年度以降の予測データとしては、2022 年～2027 年の参考値である 0.1%の伸び率しかなく、また、以降の伸び率は 0%としている。

今回は、2035 年までの長期にわたる評価を行うことから、伸び率としては、2022-2027 年の伸び率（参考値）として記載されている 0.1%を 2035 年までの期間で採用して計算することとする。

## (8) 感度分析

費用便益分析結果に大きな影響を及ぼす要因については、感度分析を実施することとなっている。感度分析は、工期、需要などの変動が予想される代表的な前提条件に対して、一定の変動を想定し、費用便益評価指標への影響を評価するものであり、算出項目毎にその必要性を検討した上で実施することとなっている。

本調査においては、「6.2.2 (1) 短縮削減長」で算出した短縮削減長が便益の大きな変動要素になると考えられることから、短縮削減長に対する感度分析を実施する。

### 6.3.3 貨幣価値換算の原単位、換算パラメータ等

#### (1) 原単位<sup>1</sup>

##### (A) 国内旅客時間価値原単位

CARATS 費用対効果分析マニュアルによれば、「国内旅客時間価値」については、航空保安システムの費用対効果分析マニュアルー航空路監視レーダー整備事業編ーに掲載されている 3,148 円/時（2007 年度）を使用することになっている。

本調査では、国内旅客時間価値原単位として 2007 年度の時間価値を評価基準年度価格（2021 年度価格）に GDP デフレータを用いて基準化した値を使用することとする。

デフレートおよび分単位への変換結果は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{国内旅客時間価値（2021 年度）} &= 3,148 \text{ 円/時（2007 年度価格）} \times 101.9/102.1 \\ &= 3,142 \text{ 円/時} = \underline{52.4 \text{ 円/分}} \end{aligned}$$

##### (B) 平均直接運航経費原単位（燃料費を除く）

CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、航空保安システムの「費用対効果分析マニュアルー航空路監視レーダー整備事業編ー（平成 21 年 2 月）」に掲載されている、以下の表 6.3.3-1 に示す大手エアラインの直接運航費（燃料費を除く）の平均データ（2007 年度）を GDP デフレータで基準化して使用する。

表 6.3.3-1 平均直接運航経費原単位（燃料費を除く）

|             | 2007 年度値 | 2021 年度デフレート値 |
|-------------|----------|---------------|
| 距離あたりの直接運航費 | 471 円/km | 470.1 円/km    |

出典：費用対効果分析マニュアルー航空路監視レーダー整備事業編ー（平成 21 年 2 月）  
（大手エアラインの運航データをもとに算出した直接運航経費の平均値）

##### (C) ジェット燃料価格原単位

CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、US Gulf Coast 市場ケロシンスポット価格直近 3 年平均値を使用することとする。

米国のケロシンのスポット価格の最近約 3 年間の推移状況は、以下の図 6.3.3-1 のとおりである。

過去 3 年間（2019 年 1 月～2022 年 2 月）のデータの平均値は、1.661 \$/Gallon である。この数値に単位変換、為替レート換算（後述）を行い、ジェット燃料価格原単位を以下のとおりとした。

$$\begin{aligned} \text{ジェット燃料価格原単位} &= 1.661 \text{ \$/Gallon} / 3.7854 \text{ \ell/Gallon} \times 108.5 \text{ 円/\$} \\ &= \underline{47.6 \text{ 円/\ell}} \end{aligned}$$

<sup>1</sup> 原単位：原単位（Intensity）とは、一定量の生産物をつくるために使用するまたは排出するモノや時間などの量のこと。例えば、一定量の生産物をつくる過程で排出する CO<sub>2</sub> 排出量を排出原単位と呼ぶ。

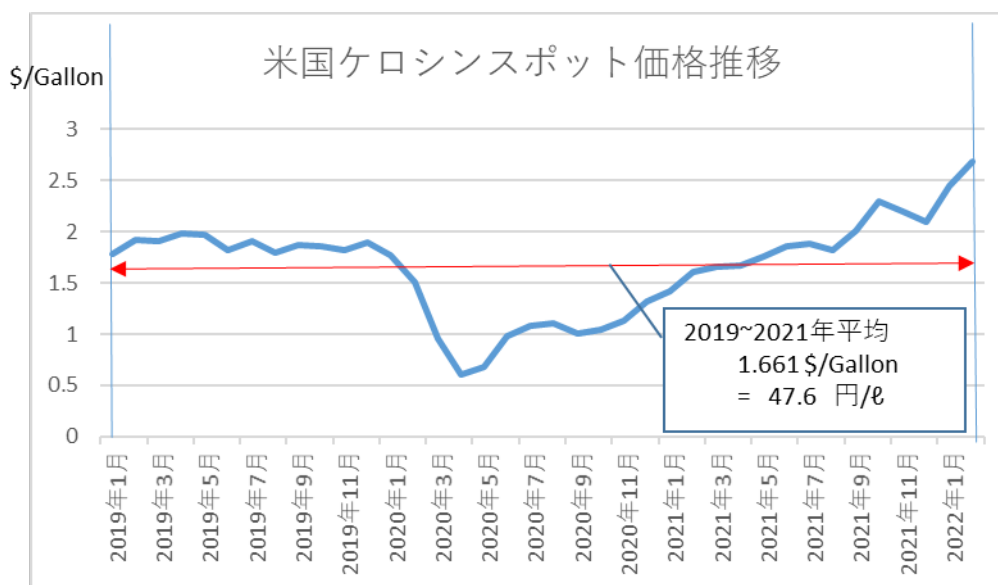


図 6.3.3-1 米国ケロシンスポット価格推移

出典：米国エネルギー省データ（US Energy Information Administration）、  
「PETROLEUM & OTHER LIQUIDS」、2022 年、  
<[https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EER\\_EPJK\\_PF4\\_RGC\\_DPG&f=M](https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EER_EPJK_PF4_RGC_DPG&f=M)>

#### (D) CO<sub>2</sub>発生原単位

CARATS 費用対効果分析マニュアルでは、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (2009 年)」をもとに計算された値 (0.6734 t-C/kℓ) を使用することとなっているが、本調査では、最新版の「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (2021 年)」をもとに再計算した値を使用することとする。

「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (2021 年)」に、以下のような算定式が示されており、本算定式を用いて、CO<sub>2</sub>発生原単位を求める。

$$E = \sum_{ij} (A_{ij} - N_{ij}) \times GCV_i \times 10^{-3} \times EF_i \times OF_i \quad (\text{※報告書掲載の式を C 換算に変更})$$

- E : 化石燃料の燃焼に伴う CO<sub>2</sub> 排出量 [t-C]
- A : エネルギー消費量 (固有単位 [t, kℓ, m<sup>3</sup>])
- N : 非エネルギー利用量 (固有単位)
- GCV : 高位発熱量 [MJ/固有単位]
- EF : 炭素排出係数 [t-C/TJ]
- OF : 酸化係数
- i : エネルギー源
- j : 部門

また、日本国温室効果ガスインベントリ報告書には、2019年度の値として、ジェット燃料について、以下のような原単位が示されている。

|        |                    |
|--------|--------------------|
| 高位発熱量  | GCV = 36.3 (MJ/l)  |
| 炭素排出係数 | EF = 18.6 (t-C/TJ) |
| 酸化係数   | OF = 1.0           |

航空における利用燃料をすべてジェット燃料とし、非エネルギー利用量（燃料として以外の利用）が無いと考えると、上記計算式より、CO<sub>2</sub>排出量は以下の様に定式化される。

$$\begin{aligned}\text{CO}_2\text{排出量(t-C)} &= \text{燃料消費量(kl)} \times 36.3(\text{MJ/l}) \times 10^{-3} \times 18.6(\text{t-C/TJ}) \times 1.0 \\ &= \text{燃料消費量(kl)} \times 0.67518 (\text{t-C/kl})\end{aligned}$$

以上より、単位燃料当たり CO<sub>2</sub>発生原単位は、0.67518 (t-C/kl)となる。

上記は、C換算したものであり、CO<sub>2</sub>の排出量として変換すると、以下のとおりである。

$$\begin{aligned}\text{CO}_2\text{排出量(t-CO}_2) &= \text{燃料消費量(kl)} \times 0.67518 (\text{t-C/kl}) \times 44/12 \\ &= \text{燃料消費量(kl)} \times \underline{2.47566 (\text{t-CO}_2/\text{kl})}\end{aligned}$$

本調査における CO<sub>2</sub>発生原単位は、2.47566 (t-CO<sub>2</sub>/kl)を使用する。

#### (E) CO<sub>2</sub>貨幣価値原単位

CARATS 費用対効果分析マニュアルに従い、「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）」（平成20年6月）に掲載されている2006年度の数値（10,600 円/t-C）をもとに、評価基準年度価格（2021年度価格）にGDPデフレーターを用いて基準化した値を使用する。

$$\begin{aligned}\text{2021年度価格 (円/t-C)} &= \text{2006年度価格 (10,600 円/t-C)} \times 101.9/103.0 \\ &= 10,487 \text{ 円/t-C}\end{aligned}$$

上記の値は、C換算した値であり、CO<sub>2</sub>に変換すると44/12で除して、以下のとおりである。

$$\text{2021年度価格 (円/t-CO}_2) = 10,487 \text{ 円/t-C} \times 44/12 = \underline{2,860 \text{ 円/t-CO}_2}$$

本調査における CO<sub>2</sub>貨幣価値原単位は、2,860 円/t-CO<sub>2</sub>を使用する。

## (2) 換算パラメータ、定数等

### (A) GDP デフレーター

便益、費用の計測に用いる時間価値等の原単位は、物価変動分を除外するため、その原単位等の算定年度（算定の基礎データ年度、調査年度）から評価基準年度の実質価格に変換（デフレート）する。その際のデフレーターとしては、以下の表 6.3.3-2 のとおり、内閣府 経済社会総合研究所で公表されている最新の「2020 年度国民経済計算（2015 暦年基準）」の GDP デフレーターの値を使用した。

ただし、評価基準年度である 2021 年度のデフレート値は未公表のため、2020 年度のデフレート値を使用して評価基準年度へのデフレートを行った。

#### 【デフレート方法】

評価基準年度以前に設定された原単位の価格を評価基準年度にデフレートする場合、以下のように計算する。

$$\begin{aligned} \text{評価基準年度価格（原単価等）} &= \text{設定年度の価格} \\ &\times (\text{評価基準年度の GDP デフレーター} / \text{当該年度の GDP デフレーター}) \end{aligned}$$

表 6.3.3-2 GDP デフレーター（2015 暦年基準）

| 年度   |        | GDPデフレーター<br>(2015暦年基準) |
|------|--------|-------------------------|
| 西暦   | 和暦     |                         |
| 2000 | H12    | 110.7                   |
| 2001 | H13    | 109.4                   |
| 2002 | H14    | 107.6                   |
| 2003 | H15    | 106.1                   |
| 2004 | H16    | 105.0                   |
| 2005 | H17    | 103.7                   |
| 2006 | H18    | 103.0                   |
| 2007 | H19    | 102.1                   |
| 2008 | H20    | 101.6                   |
| 2009 | H21    | 100.3                   |
| 2010 | H22    | 98.6                    |
| 2011 | H23    | 97.2                    |
| 2012 | H24    | 96.4                    |
| 2013 | H25    | 96.4                    |
| 2014 | H26    | 98.7                    |
| 2015 | H27    | 100.2                   |
| 2016 | H28    | 100.3                   |
| 2017 | H29    | 100.5                   |
| 2018 | H30    | 100.4                   |
| 2019 | H31/R1 | 101.2                   |
| 2020 | R2     | 101.9                   |

出典：内閣府 HP 統計情報・調査結果 国民経済計算（GDP 統計）  
2020 年度国民経済計算年次推計

## (B) ドル円為替レート

US ドルと円の為替レートについては、直近3年の為替レート（IMF データ）の平均値を使用する。

2019年～2021年の為替レートおよび平均値は、以下の表 6.3.3-3 のとおりである。

表 6.3.3-3 為替レート（円/USD）

| 2019年    | 2020年    | 2021年    | 平均       |
|----------|----------|----------|----------|
| 109.0097 | 106.7746 | 109.7543 | 108.5129 |

出典：IMF Data、IMF Exchange Rate Archives by Month

## (C) 国内定期航空の単位距離あたりの平均燃料消費量

本調査においては、2019年（暦年）のダイブランを使用して、路線毎の便数や最頻経路長を算出している。それらのデータから得られた短縮削減長から燃料消費量を求める際に使用する単位距離あたりの燃料消費量としては、以下の表 6.3.3-4 に示すように、2019年（暦年）の航空輸送統計年報の国内定期航空の運航キロメートルと燃料消費量（kl）の数値より求めた単位距離あたりの平均燃料消費量を使用することとする。

表 6.3.3-4 単位距離あたりの国内定期航空の平均燃料消費量（2019年）

| 運航キロメートル（km） | 燃料消費量（kl） | kmあたりの燃料消費量（ℓ/km） |
|--------------|-----------|-------------------|
| 703,720,834  | 4,233,431 | 6.016             |

出典：2019年航空輸送統計年報（暦年）より作成

## (D) 単位距離あたりの平均飛行時間

本調査においては、距離という尺度で短縮削減長という便益を算出している。これを運航時間の短縮という時間価値に変換するために、以下の表 6.3.3-5 に示すように、2019年の航空輸送統計年報の国内定期航空の運航キロメートルと運航時間（分）から、単位距離あたりの平均飛行時間を求め、飛行距離から飛行時間への換算に使用する。

表 6.3.3-5 単位距離あたりの国内定期航空の平均飛行時間（2019年）

| 運航キロメートル（km） | 運航時間（分）    | kmあたりの平均飛行時間（分/km） |
|--------------|------------|--------------------|
| 703,720,834  | 74,599,135 | 0.106              |

出典：2019年航空輸送統計年報（暦年）より作成

### (E) 国内平均旅客数

旅客の時間価値を求める際に想定する平均旅客数については、2019年の航空輸送統計調査から算定した、以下の表 6.3.3-6 に示す平均値を使用することとする。

表 6.3.3-6 国内平均旅客数 (2019 年)

| 旅客輸送人数 (人)  | 運航回数 (回) | 国内平均旅客数 (人/便) |
|-------------|----------|---------------|
| 106,776,792 | 859,785  | 124.2         |

出典：2019年航空輸送統計年報（暦年）より作成

### (F) その他定数

その他の定数として以下を用いる。

- ・ カロン/リットル変換 3.7854 ℓ/Gallon
- ・ ノーティカルマイル (NM) /キロメートル変換 1.852 km/NM



### 6.3.4 費用対便益の分析

費用および効果の検討結果に基づき、費用対便益を分析する。

#### (1) 分析パターンの検討

##### (A) 費用の分析パターン

「6.1 費用の検討」では、最適経路選定の実現方法として、1stStep、2ndStep それぞれをロジックで実装するか AI で実装するかにより、以下の3種類の場合を想定してコストを算出している。

- ・ 1stStep をロジックで実装後に2ndStep を AI (FO 分析装置使用) で実装する場合
- ・ 1stStep をロジックで実装後に2ndStep を AI (新規システム) で実装する場合
- ・ 1stStep を AI (FO 分析装置使用) で実装後に2ndStep も AI (FO 分析装置使用) で実装する場合

さらに、第3章において、2ndStep をロジックで実装することは困難であるとしているが、分析として費用の比較を行うため、2ndStep も1stStep で実装されたロジックを継続使用する場合も想定することとする。この場合、2ndStep で何等かのロジック改修がなされるものの AI のような最適経路選定はできないため、得られる短縮削減長は1stStep と同程度と想定する。

以上より、費用としては、以下の①～④の4種類のパターンで分析することとする。

- ① 1stStep はロジックで実装、2ndStep は AI (FO 分析装置使用) で実装する場合
- ② 1stStep はロジックで実装、2ndStep は AI (新規システム) で実装する場合
- ③ 1stStep、2ndStep とともに AI (FO 分析装置使用) で実装する場合
- ④ 1stStep、2ndStep とともにロジックで実装する場合

##### (B) 便益の分析パターン

「6.2 効果の検討」では、以下の4つの便益の計測を検討している。

- ・ 旅客移動時間削減
- ・ 運航軽視 (燃料費以外) の削減
- ・ 燃料費用削減
- ・ CO<sub>2</sub> 排出量削減便益

このうち、旅客移動時間削減は、短縮削減長という距離の短縮を運航時間の短縮という時間価値に変換したものであり、その計算過程で使用する換算パラメータによって算出結果に幅が生じ、他の便益項目に比べて精度が高くはないこと、また、算出結果が他の項目に比べてかなり大きな数値となり、費用対便益分析の結果に大きく影響することから、便益については、旅客移動時間削減という時間価値を含める場合と含めない場合の以下の2種類のパターンの分析を行うこととする。

- (パターン A) 便益として旅客移動時間短縮（時間価値）を含めない場合
- (パターン B) 便益として旅客移動時間短縮（時間価値）を含める場合

これにより、上記の費用の分析パターンと合わせて、費用対便益の分析パターンとしては、合計 8 種類のパターンで分析する。

## **(2) 分析の方法**

### **(A) 便益の計算と年次展開**

各便益項目について、「6.2.2 便益項目の計測方法の検討」で検討した計測方法に従って、1stStep、2ndStep の年次毎に便益額を算出し、便益発現年次にそれぞれ展開する。

上記の展開後、各年次の便益額の合計を社会的割引率で現在価値化する。

### **(B) 費用の年次展開**

「6.1 費用の検討」で検討した 1stStep、2ndStep のインシヤルコストを費用分析パターンに従って各整備年次の整備費用として展開する。なお、整備費用には、上記インシヤルコストの他に各整備 Step に必要な調査、設計費用も適宜計上する。

また、「6.1 費用の検討」で検討した 1stStep、2ndStep のランニングコストを、各 Step のサービスイン以降の年次に展開する。なお、1stStep で整備したソフトウェアのうち 2ndStep でも継続使用されるものについては、それに相当するランニングコストを 2ndStep サービスイン以降も計上する。

上記費用の展開後、各年次の費用の合計を社会的割引率で現在価値化する。

### **(C) 評価指標の算出**

上記の社会的割引率考慮後の便益額と費用の評価期間の合計値と、年度毎の便益と費用の差 (B-C) を用いて、NPV、EIRR、CBR の各指標を算出する。

### (3) 費用対便益の分析結果

費用分析パターン①～④毎に、費用対便益分析を実施した結果を表形式でまとめる。評価指標は、表の最下行に整理している。

- ① **1stStep はロジックで実装、2ndStep は AI (FO 分析装置使用) で実装する場合**  
時間価値を含めない場合 (パターン A) の分析結果を表 6.3.4-1 に示す。  
評価指標は、CBR 1.41、NPV 1,703 百万円、EIRR 10.7%という結果となった。

時間価値を含める場合 (パターン B) の分析結果を表 6.3.4-2 に示す。  
評価指標は、CBR 2.62、NPV 6,791 百万円、EIRR 29.1%という結果となった。

- ② **1stStep はロジックで実装、2ndStep は AI (新規システム) で実装する場合**  
時間価値を含めない場合 (パターン A) の分析結果を表 6.3.4-3 に示す。  
評価指標は、CBR 1.30、NPV 1,360 百万円、EIRR 8/8%という結果となった。

時間価値を含める場合 (パターン B) の分析結果を表 6.3.4-4 に示す。  
評価指標は、CBR 2.42、NPV 6,448 百万円、EIRR 28.0%という結果となった。

- ③ **1stStep、2ndStep ともに AI (FO 分析装置使用) で実装する場合**  
時間価値を含めない場合 (パターン A) の分析結果を表 6.3.4-5 に示す。  
評価指標は、CBR 1.08、NPV 456 百万円、EIRR 2.3%という結果となった。

時間価値を含める場合 (パターン B) の分析結果を表 6.3.4-6 に示す。  
評価指標は、CBR 2.02、NPV 5,545 百万円、EIRR 19.7%という結果となった。

- ④ **1stStep、2ndStep ともにロジックで実装する場合**  
時間価値を含めない場合 (パターン A) の分析結果を表 6.3.4-7 に示す。  
評価指標は、CBR 2.08、NPV 2,618 百万円、EIRR 15.7%という結果となった。

時間価値を含める場合 (パターン B) の分析結果を表 6.3.4-8 に示す。  
評価指標は、CBR 3.88、NPV 6,952 百万円、EIRR 31.2%という結果となった。

表 6.3.4-1 費用対便益分析結果 (①-A パターン) : (1stStep ロジック・2ndStep AI (FO 分析装置使用)・時間価値含まず)

単位(百万円)

| 1stStep ロジック、2ndStep AI (FO分析装置使用) |                                          | 評価年数→     |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             | 合計    |             |
|------------------------------------|------------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|
|                                    |                                          | 1         | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          |       |             |
| 便益                                 |                                          | 最適経路供用年数→ |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             | 合計    |             |
|                                    |                                          | 年度        | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 |       | 2034<br>R16 |
| 整備計画                               | 1stStep                                  |           |            | 設計         | 製造         | 評価         |            |            |            |             |             |             |             |             |             |       |             |
|                                    | 2ndStep                                  |           |            |            |            |            | 調査         | 設計         | 製造         | 評価          |             |             |             |             |             |       |             |
| No                                 | 定量的効果                                    |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |       |             |
| A-1                                | 短縮削減長(万NM)                               |           |            |            |            |            | 8.30       | 30.81      | 40.63      | 60.81       | 60.87       |             |             |             |             |       | 201.43      |
|                                    | 2ndStep                                  |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 79.54       | 79.62       | 79.70       | 79.78       | 79.86 | 398.49      |
| A-2                                | 燃料削減量(万リットル)                             |           |            |            |            |            | 92.5       | 343.3      | 452.6      | 677.5       | 678.2       |             |             |             |             |       | 2244.1      |
|                                    | 2ndStep                                  |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 886.2       | 887.0       | 887.9       | 888.8       | 889.7 | 4439.7      |
| A-3                                | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) |           |            |            |            |            | 2.29       | 8.50       | 11.21      | 16.77       | 16.79       |             |             |             |             |       | 55.56       |
|                                    | 2ndStep                                  |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 21.94       | 21.96       | 21.98       | 22.00       | 22.03 | 109.91      |
| No                                 | 貨幣価値変換可能効果(便益)                           |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |       |             |
|                                    | 速達性の向上                                   |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |       |             |
|                                    | 小計                                       | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 116        | 432        | 569        | 852         | 853         | 1,114       | 1,115       | 1,117       | 1,118       | 1,119 | 8,405       |
| B-2                                | 運航経費(燃料費以外)の削減                           |           |            |            |            |            | 72.3       | 268.2      | 353.7      | 529.4       | 530.0       |             |             |             |             |       | 1,753.6     |
|                                    | 2ndStep                                  |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 692.5       | 693.1       | 693.8       | 694.5       | 695.2 | 3,469.2     |
| B-3                                | 燃料費用削減                                   |           |            |            |            |            | 44.0       | 163.4      | 215.5      | 322.6       | 322.9       |             |             |             |             |       | 1,068.4     |
|                                    | 2ndStep                                  |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 421.9       | 422.3       | 422.7       | 423.2       | 423.6 | 2,113.7     |
|                                    | 環境への配慮                                   |           |            |            |            |            | 7          | 24         | 32         | 48          | 48          | 63          | 63          | 63          | 63          | 63    | 473         |
| B-4                                | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  |           |            |            |            |            | 6.5        | 24.3       | 32.0       | 48.0        | 48.0        |             |             |             |             |       | 158.9       |
|                                    | 2ndStep                                  |           |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 62.7        | 62.8        | 62.9        | 62.9        | 63.0  | 314.3       |
|                                    | 便益合計                                     | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 123        | 456        | 601        | 900         | 901         | 1,177       | 1,178       | 1,179       | 1,181       | 1,182 | 8,878       |
|                                    | 社会的割引率考慮後の便益合計                           |           | 0          | 0          | 0          | 0          | 101        | 360        | 457        | 658         | 633         | 795         | 765         | 737         | 709         | 682   | 5,898       |
| 費用                                 |                                          | 最適経路供用年数→ |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             | 合計    |             |
|                                    |                                          | 年度        | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 |       | 2034<br>R16 |
| C-1                                | 1stStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用      | 0.0        | 10.0       | 0.0        | 1,572.0    | 178.0      | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0   | 1,760.0     |
|                                    |                                          | 維持費用      | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 87.5       | 87.5       | 87.5        | 87.5        | 87.5        | 70.8        | 70.8        | 70.8        | 70.8  | 791.5       |
| C-2                                | 2ndStepの費用<br>(AI(FO分析装置使用)による実装)        | 整備費用      | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 10.0       | 20.0       | 0.0         | 1,040.0     | 100.0       | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0   | 1,170.0     |
|                                    |                                          | 維持費用      | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 195.0       | 348.4       | 348.4       | 348.4       | 348.4 | 1,937.0     |
|                                    | 費用合計                                     |           | 0          | 10         | 0          | 1,572      | 178        | 98         | 108        | 88          | 1,128       | 383         | 419         | 419         | 419         | 419   | 5,659       |
|                                    | 社会的割引率考慮後の費用合計                           |           |            | 10         | 0          | 1,398      | 152        | 80         | 85         | 66          | 824         | 269         | 283         | 272         | 262         | 242   | 4,195       |
| 各年度(B-C)                           |                                          |           | -10        | 0          | -1,398     | -152       | 21         | 275        | 390        | -166        | 364         | 512         | 493         | 475         | 457         | 440   | 1,703       |
| 各年度(B/C)                           |                                          |           | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.06       | 0.27       | 0.51       | 0.60        | 0.77        | 0.95        | 1.10        | 1.22        | 1.32        | 1.41  | 1.41        |

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV): B-C(百万) 1,703

経済的内部収益率(EIRR) 10.7%

費用便益比(GBR): B/C 1.41

表 6.3.4-2 費用対便益分析結果 (①-Bパターン) : (1stStep ロジック・2ndStep AI (FO分析装置使用)・時間価値含む)

単位(百万円)

| 1stStep ロジック、2ndStep AI (FO分析装置使用) |                                          | 評価年数→     |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          | 合計       |         |
|------------------------------------|------------------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
|                                    |                                          | 最適経路供用年数→ |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |
| 年度                                 |                                          | 2021 R3   | 2022 R4 | 2023 R5 | 2024 R6 | 2025 R7 | 2026 R8 | 2027 R9 | 2028 R10 | 2029 R11 | 2030 R12 | 2031 R13 | 2032 R14 | 2033 R15 | 2034 R16 | 2035 R17 |          |         |
| <b>便益</b>                          |                                          |           |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |
| 整備計画                               | 1stStep                                  |           |         | 設計      | 製造      | 評価      |         | 調査      | 設計       | 製造       | 評価       |          |          |          |          |          |          |         |
|                                    | 2ndStep                                  |           |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |
| No                                 | <b>定量的効果</b>                             |           |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |
| A-1                                | 短縮削減長(万NM)                               | 1stStep   |         |         |         |         | 8.30    | 30.81   | 40.63    | 60.81    | 60.87    |          |          |          |          |          | 201.43   |         |
|                                    |                                          | 2ndStep   |         |         |         |         |         |         |          |          |          | 79.54    | 79.62    | 79.70    | 79.78    | 79.86    | 398.49   |         |
| A-2                                | 燃料削減量(万リットル)                             | 1stStep   |         |         |         |         | 92.5    | 343.3   | 452.6    | 677.5    | 678.2    |          |          |          |          |          | 2244.1   |         |
|                                    |                                          | 2ndStep   |         |         |         |         |         |         |          |          |          | 886.2    | 887.0    | 887.9    | 888.8    | 889.7    | 4439.7   |         |
| A-3                                | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) | 1stStep   |         |         |         |         | 2.29    | 8.50    | 11.21    | 16.77    | 16.79    |          |          |          |          |          | 55.56    |         |
|                                    |                                          | 2ndStep   |         |         |         |         |         |         |          |          |          | 21.94    | 21.96    | 21.98    | 22.00    | 22.03    | 109.91   |         |
| No                                 | <b>貨幣価値変換可能効果(便益)</b>                    |           |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |
|                                    | 速達性の向上                                   | 小計        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 222     | 825      | 1,088    | 1,628    | 1,630    | 2,130    | 2,132    | 2,134    | 2,136    | 2,138    | 16,065  |
| B-1                                | 旅客移動時間削減                                 | 1stStep   |         |         |         |         |         | 106.0   | 393.4    | 518.7    | 776.5    | 777.3    |          |          |          |          |          | 2,571.8 |
|                                    |                                          | 2ndStep   |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          | 1,015.6  | 1,016.6  | 1,017.6  | 1,018.6  | 1,019.6  | 5,088.0 |
| B-2                                | 運航経費(燃料費以外)の削減                           | 1stStep   |         |         |         |         |         | 72.3    | 268.2    | 353.7    | 529.4    | 530.0    |          |          |          |          |          | 1,753.6 |
|                                    |                                          | 2ndStep   |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          | 692.5    | 693.1    | 693.8    | 694.5    | 695.2    | 3,469.2 |
| B-3                                | 燃料費用削減                                   | 1stStep   |         |         |         |         |         | 44.0    | 163.4    | 215.5    | 322.6    | 322.9    |          |          |          |          |          | 1,068.4 |
|                                    |                                          | 2ndStep   |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          | 421.9    | 422.3    | 422.7    | 423.2    | 423.6    | 2,113.7 |
|                                    | 環境への配慮                                   | 小計        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 7       | 24       | 32       | 48       | 48       | 63       | 63       | 63       | 63       | 63       | 473     |
| B-4                                | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  | 1stStep   |         |         |         |         |         | 6.5     | 24.3     | 32.0     | 48.0     | 48.0     |          |          |          |          |          | 158.9   |
|                                    |                                          | 2ndStep   |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          | 62.7     | 62.8     | 62.9     | 62.9     | 63.0     | 314.3   |
|                                    | <b>便益合計</b>                              |           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 229     | 849      | 1,120    | 1,676    | 1,678    | 2,193    | 2,195    | 2,197    | 2,199    | 2,201    | 16,538  |
|                                    | <b>社会的割引率考慮後の便益合計</b>                    |           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 188     | 671      | 851      | 1,225    | 1,179    | 1,481    | 1,426    | 1,372    | 1,321    | 1,271    | 10,986  |
| <b>費用</b>                          |                                          |           |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |
|                                    |                                          | 年度        | 2021 R3 | 2022 R4 | 2023 R5 | 2024 R6 | 2025 R7 | 2026 R8 | 2027 R9  | 2028 R10 | 2029 R11 | 2030 R12 | 2031 R13 | 2032 R14 | 2033 R15 | 2034 R16 | 2035 R17 | 合計      |
| C-1                                | 1stStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用      | 0.0     | 10.0    | 0.0     | 1,572.0 | 178.0   | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 1,760.0 |
|                                    |                                          | 維持費用      | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 87.5    | 87.5     | 87.5     | 87.5     | 87.5     | 70.8     | 70.8     | 70.8     | 70.8     | 70.8     | 791.5   |
| C-2                                | 2ndStepの費用<br>(AI(FO分析装置使用)による実装)        | 整備費用      | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 10.0    | 20.0     | 0.0      | 1,040.0  | 100.0    | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 1,170.0 |
|                                    |                                          | 維持費用      | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 195.0    | 348.4    | 348.4    | 348.4    | 348.4    | 348.4    | 1,937.0 |
|                                    | <b>費用合計</b>                              |           | 0       | 10      | 0       | 1,572   | 178     | 98      | 108      | 88       | 1,128    | 383      | 419      | 419      | 419      | 419      | 419      | 5,659   |
|                                    | <b>社会的割引率考慮後の費用合計</b>                    |           |         | 10      | 0       | 1,398   | 152     | 80      | 85       | 66       | 824      | 269      | 283      | 272      | 262      | 252      | 242      | 4,195   |
| <b>各年度(B-C)</b>                    |                                          |           |         | -10     | 0       | -1,398  | -152    | 108     | 586      | 785      | 401      | 910      | 1,198    | 1,153    | 1,110    | 1,069    | 1,029    | 6,791   |
| <b>各年度(B/C)</b>                    |                                          |           |         | 0.00    | 0.00    | 0.00    | 0.00    | 0.11    | 0.50     | 0.96     | 1.12     | 1.43     | 1.77     | 2.04     | 2.27     | 2.46     | 2.62     | 2.62    |

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV):B-C(百万) **6,791**

経済的内部収益率(EIRR) **29.1%**

費用便益比(GBR):B/C **2.62**

表 6.3.4-3 費用対便益分析結果 (②-A パターン) : (1stStep ロジック・2ndStep AI (新規システム)・時間価値含まず)

単位(百万円)

| 1stStep ロジック、2ndStep AI (新規システム) |                                          |         | 最適経路供用年数→  |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             | 合計          |             |
|----------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  |                                          |         | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 | 2034<br>R16 |             | 2035<br>R17 |
| <b>便益</b>                        |                                          |         | 年度         | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9  | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 | 2034<br>R16 | 2035<br>R17 |
| 整備計画                             | 1stStep                                  |         |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                                  | 2ndStep                                  |         |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| No                               | 定量的効果                                    |         |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| A-1                              | 短縮削減長(万NM)                               | 1stStep |            |            |            |            |            | 8.30       | 30.81      | 40.63       | 60.81       | 60.87       |             |             |             |             |             |             |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 79.54       | 79.62       | 79.70       | 79.78       | 79.86       |             |
| A-2                              | 燃料削減量(万リットル)                             | 1stStep |            |            |            |            |            | 92.5       | 343.3      | 452.6       | 677.5       | 678.2       |             |             |             |             |             |             |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 886.2       | 887.0       | 887.9       | 888.8       | 889.7       |             |
| A-3                              | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) | 1stStep |            |            |            |            |            | 2.29       | 8.50       | 11.21       | 16.77       | 16.79       |             |             |             |             |             |             |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 21.94       | 21.96       | 21.98       | 22.00       | 22.03       |             |
| No                               | 貨幣価値変換可能効果(便益)                           |         |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                                  | 速達性の向上                                   | 小計      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 116        | 432        | 569         | 852         | 853         | 1,114       | 1,115       | 1,117       | 1,118       | 1,119       |             |
| B-2                              | 運航経費(燃料費以外)の削減                           | 1stStep |            |            |            |            |            | 72.3       | 268.2      | 353.7       | 529.4       | 530.0       |             |             |             |             |             |             |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 692.5       | 693.1       | 693.8       | 694.5       | 695.2       |             |
| B-3                              | 燃料費用削減                                   | 1stStep |            |            |            |            |            | 44.0       | 163.4      | 215.5       | 322.6       | 322.9       |             |             |             |             |             |             |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 421.9       | 422.3       | 422.7       | 423.2       | 423.6       |             |
|                                  | 環境への配慮                                   | 小計      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 7          | 24         | 32          | 48          | 48          | 63          | 63          | 63          | 63          | 63          |             |
| B-4                              | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  | 1stStep |            |            |            |            |            | 6.5        | 24.3       | 32.0        | 48.0        | 48.0        |             |             |             |             |             |             |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 62.7        | 62.8        | 62.9        | 62.9        | 63.0        |             |
|                                  | 便益合計                                     |         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 123        | 456        | 601         | 900         | 901         | 1,177       | 1,178       | 1,179       | 1,181       | 1,182       |             |
|                                  | 社会的割引率考慮後の便益合計                           |         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 101        | 360        | 457         | 658         | 633         | 795         | 765         | 737         | 709         | 682         |             |
|                                  |                                          |         | 最適経路供用年数→  |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             | 合計          |             |
|                                  |                                          |         | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 | 2034<br>R16 |             | 2035<br>R17 |
| C-1                              | 1stStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用    | 0.0        | 10.0       | 0.0        | 1,572.0    | 178.0      | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         |             |
|                                  |                                          | 維持費用    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 87.5       | 87.5       | 87.5        | 87.5        | 87.5        | 70.8        | 70.8        | 70.8        | 70.8        | 70.8        |             |
| C-2                              | 2ndStepの費用<br>(AI(新規システム)による実装)          | 整備費用    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 10.0       | 20.0       | 0.0         | 1,336.0     | 100.0       | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         |             |
|                                  |                                          | 維持費用    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 220.0       | 383.4       | 383.4       | 383.4       | 383.4       | 383.4       |             |
|                                  | 費用合計                                     |         | 0          | 10         | 0          | 1,572      | 178        | 98         | 108        | 88          | 1,424       | 408         | 454         | 454         | 454         | 454         | 454         |             |
|                                  | 社会的割引率考慮後の費用合計                           |         |            | 10         | 0          | 1,398      | 152        | 80         | 85         | 66          | 1,040       | 286         | 307         | 295         | 284         | 273         | 262         |             |
| 各年度(B-C)                         |                                          |         |            | -10        | 0          | -1,398     | -152       | 21         | 275        | 390         | -383        | 347         | 488         | 470         | 453         | 436         | 420         |             |
| 各年度(B/C)                         |                                          |         |            | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.06       | 0.27       | 0.51        | 0.56        | 0.71        | 0.88        | 1.01        | 1.13        | 1.22        | 1.30        |             |

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV):B-C(百万) 1,360

経済的内部収益率(EIRR) 8.8%

費用便益比(CBR):B/C 1.30

表 6.3.4-4 費用対便益分析結果 (②-Bパターン) : (1stStep ロジック・2ndStep AI (新規システム)・時間価値含む)

単位(百万円)

| 1stStep ロジック、2ndStep AI (新規システム) |                                          | 評価年数→   |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             | 合計  |         |
|----------------------------------|------------------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|---------|
|                                  |                                          | 1       | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          |             |             |     |         |
| 便益                               |                                          | 年度      | 最適経路供用年数→  |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |     |         |
|                                  |                                          |         | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 | 2034<br>R16 | 2035<br>R17 |     |         |
| 整備計画                             | 1stStep                                  |         | 設計         | 製造         | 評価         |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |     |         |
|                                  | 2ndStep                                  |         |            |            |            | 調査         | 設計         | 製造         | 評価         |             |             |             |             |             |             |             |             |     |         |
| No                               | 定量的効果                                    |         |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |     |         |
| A-1                              | 短縮削減長(万NM)                               | 1stStep |            |            |            |            | 8.30       | 30.81      | 40.63      | 60.81       | 60.87       |             |             |             |             |             |             |     | 201.43  |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 79.54       | 79.62       | 79.70       | 79.78       | 79.86       |             |     | 398.49  |
| A-2                              | 燃料削減量(万リットル)                             | 1stStep |            |            |            |            | 92.5       | 343.3      | 452.6      | 677.5       | 678.2       |             |             |             |             |             |             |     | 2244.1  |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 886.2       | 887.0       | 887.9       | 888.8       | 889.7       |             |     | 4439.7  |
| A-3                              | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) | 1stStep |            |            |            |            | 2.29       | 8.50       | 11.21      | 16.77       | 16.79       |             |             |             |             |             |             |     | 55.56   |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 21.94       | 21.96       | 21.98       | 22.00       | 22.03       |             |     | 109.91  |
| No                               | 貨幣価値変換可能効果(便益)                           |         |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |     |         |
|                                  | 速達性の向上                                   | 小計      | 0          | 0          | 0          | 0          | 222        | 825        | 1,088      | 1,628       | 1,630       | 2,130       | 2,132       | 2,134       | 2,136       | 2,138       |             |     | 16,065  |
| B-1                              | 旅客移動時間削減                                 | 1stStep |            |            |            |            | 106.0      | 393.4      | 518.7      | 776.5       | 777.3       |             |             |             |             |             |             |     | 2,571.8 |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 1,015.6     | 1,016.6     | 1,017.6     | 1,018.6     | 1,019.6     |             |     | 5,088.0 |
| B-2                              | 運航経費(燃料費以外)の削減                           | 1stStep |            |            |            |            | 72.3       | 268.2      | 353.7      | 529.4       | 530.0       |             |             |             |             |             |             |     | 1,753.6 |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 692.5       | 693.1       | 693.8       | 694.5       | 695.2       |             |     | 3,469.2 |
| B-3                              | 燃料費用削減                                   | 1stStep |            |            |            |            | 44.0       | 163.4      | 215.5      | 322.6       | 322.9       |             |             |             |             |             |             |     | 1,068.4 |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 421.9       | 422.3       | 422.7       | 423.2       | 423.6       |             |     | 2,113.7 |
|                                  | 環境への配慮                                   | 小計      | 0          | 0          | 0          | 0          | 7          | 24         | 32         | 48          | 48          | 63          | 63          | 63          | 63          | 63          |             |     | 473     |
| B-4                              | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  | 1stStep |            |            |            |            | 6.5        | 24.3       | 32.0       | 48.0        | 48.0        |             |             |             |             |             |             |     | 158.9   |
|                                  |                                          | 2ndStep |            |            |            |            |            |            |            |             |             | 62.7        | 62.8        | 62.9        | 62.9        | 63.0        |             |     | 314.3   |
|                                  | 便益合計                                     |         | 0          | 0          | 0          | 0          | 229        | 849        | 1,120      | 1,676       | 1,678       | 2,193       | 2,195       | 2,197       | 2,199       | 2,201       |             |     | 16,538  |
|                                  | 社会的割引率考慮後の便益合計                           |         | 0          | 0          | 0          | 0          | 188        | 671        | 851        | 1,225       | 1,179       | 1,481       | 1,426       | 1,372       | 1,321       | 1,271       |             |     | 10,986  |
| 費用                               |                                          | 年度      | 最適経路供用年数→  |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |     | 合計      |
|                                  |                                          |         | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 | 2034<br>R16 | 2035<br>R17 |     |         |
| C-1                              | 1stStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用    | 0.0        | 10.0       | 0.0        | 1,572.0    | 178.0      | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0 | 1,760.0 |
|                                  |                                          | 維持費用    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 87.5       | 87.5       | 87.5        | 87.5        | 87.5        | 70.8        | 70.8        | 70.8        | 70.8        | 70.8        |     | 791.5   |
| C-2                              | 2ndStepの費用<br>(AI(新規システム)による実装)          | 整備費用    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 10.0       | 20.0       | 0.0         | 1,336.0     | 100.0       | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0 | 1,466.0 |
|                                  |                                          | 維持費用    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 220.0       | 383.4       | 383.4       | 383.4       | 383.4       | 383.4       |     | 2,137.0 |
|                                  | 費用合計                                     |         | 0          | 10         | 0          | 1,572      | 178        | 98         | 108        | 88          | 1,424       | 408         | 454         | 454         | 454         | 454         | 454         |     | 6,155   |
|                                  | 社会的割引率考慮後の費用合計                           |         | 0          | 10         | 0          | 1,398      | 152        | 80         | 85         | 66          | 1,040       | 286         | 307         | 295         | 284         | 273         | 262         |     | 4,538   |
| 各年度(B-C)                         |                                          |         |            | -10        | 0          | -1,398     | -152       | 108        | 586        | 785         | 185         | 893         | 1,174       | 1,131       | 1,089       | 1,048       | 1,009       |     | 6,448   |
| 各年度(B/C)                         |                                          |         |            | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.11       | 0.50       | 0.96        | 1.04        | 1.32        | 1.63        | 1.89        | 2.10        | 2.27        | 2.42        |     | 2.42    |

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV): B-C(百万) 6,448

経済的内部収益率(EIRR) 28.0%

費用便益比(CBR): B/C 2.42

表 6.3.4-5 費用対便益分析結果 (③-Aパターン) : (1stStep、2ndStep AI (FO分析装置使用)・時間価値含まず)

単位(百万円)

| 1stStep、2ndStep AI (FO分析装置使用) |                                          | 評価年数→     | 1    | 2    | 3    | 4       | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 合計      |       |
|-------------------------------|------------------------------------------|-----------|------|------|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
|                               |                                          | 最適経路供用年数→ |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |
| 年度                            |                                          | 2021      | 2022 | 2023 | 2024 | 2025    | 2026  | 2027  | 2028  | 2029  | 2030  | 2031  | 2032  | 2033  | 2034  | 2035  |         |       |
|                               |                                          | R3        | R4   | R5   | R6   | R7      | R8    | R9    | R10   | R11   | R12   | R13   | R14   | R15   | R16   | R17   |         |       |
| <b>便益</b>                     |                                          |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |
|                               | 整備計画                                     | 1stStep   |      | 設計   | 製造   | 評価      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         | 調査    | 設計    | 製造    | 評価    |       |       |       |       |       |       |         |       |
| No                            | 定量的効果                                    |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |
| A-1                           | 短縮削減長(万NM)                               | 1stStep   |      |      |      |         | 8.30  | 30.81 | 40.63 | 60.81 | 60.87 |       |       |       |       |       | 201.43  |       |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 79.54 | 79.62 | 79.70 | 79.78 | 79.86 | 398.49  |       |
| A-2                           | 燃料削減量(万リットル)                             | 1stStep   |      |      |      |         | 92.5  | 343.3 | 452.6 | 677.5 | 678.2 |       |       |       |       |       | 2244.1  |       |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 886.2 | 887.0 | 887.9 | 888.8 | 889.7 | 4439.7  |       |
| A-3                           | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) | 1stStep   |      |      |      |         | 2.29  | 8.50  | 11.21 | 16.77 | 16.79 |       |       |       |       |       | 55.56   |       |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 21.94 | 21.96 | 21.98 | 22.00 | 22.03 | 109.91  |       |
| No                            | 貨幣価値変換可能効果(便益)                           |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |
|                               | 速達性の向上                                   | 小計        | 0    | 0    | 0    | 0       | 116   | 432   | 569   | 852   | 853   | 1,114 | 1,115 | 1,117 | 1,118 | 1,119 | 8,405   |       |
| B-2                           | 運航経費(燃料費以外)の削減                           | 1stStep   |      |      |      |         | 72.3  | 268.2 | 353.7 | 529.4 | 530.0 |       |       |       |       |       | 1,753.6 |       |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 692.5 | 693.1 | 693.8 | 694.5 | 695.2 | 3,469.2 |       |
| B-3                           | 燃料費用削減                                   | 1stStep   |      |      |      |         | 44.0  | 163.4 | 215.5 | 322.6 | 322.9 |       |       |       |       |       | 1,068.4 |       |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 421.9 | 422.3 | 422.7 | 423.2 | 423.6 | 2,113.7 |       |
|                               | 環境への配慮                                   | 小計        | 0    | 0    | 0    | 0       | 7     | 24    | 32    | 48    | 48    | 63    | 63    | 63    | 63    | 63    | 473     |       |
| B-4                           | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  | 1stStep   |      |      |      |         | 6.5   | 24.3  | 32.0  | 48.0  | 48.0  |       |       |       |       |       | 158.9   |       |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 62.7  | 62.8  | 62.9  | 62.9  | 63.0  | 314.3   |       |
| 便益合計                          |                                          |           | 0    | 0    | 0    | 0       | 123   | 456   | 601   | 900   | 901   | 1,177 | 1,178 | 1,179 | 1,181 | 1,182 | 8,878   |       |
| 社会的割引率考慮後の便益合計                |                                          |           |      | 0    | 0    | 0       | 0     | 101   | 360   | 457   | 658   | 633   | 795   | 765   | 737   | 709   | 682     | 5,898 |
| <b>費用</b>                     |                                          |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |
|                               |                                          | 最適経路供用年数→ |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |
| 年度                            |                                          | 2021      | 2022 | 2023 | 2024 | 2025    | 2026  | 2027  | 2028  | 2029  | 2030  | 2031  | 2032  | 2033  | 2034  | 2035  |         |       |
|                               |                                          | R3        | R4   | R5   | R6   | R7      | R8    | R9    | R10   | R11   | R12   | R13   | R14   | R15   | R16   | R17   |         |       |
| C-1                           | 1stStepの費用<br>(AI(FO分析装置使用)による実装)        | 整備費用      | 0.0  | 20.0 | 0.0  | 1,972.0 | 178.0 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 2,170.0 |       |
|                               |                                          | 維持費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0     | 130.0 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 68.5  | 68.5  | 68.5  | 68.5  | 68.5  | 2,164.5 |       |
| C-2                           | 2ndStepの費用<br>(AI(FO分析装置使用)による実装)        | 整備費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0     | 0.0   | 10.0  | 20.0  | 0.0   | 840.0 | 100.0 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 970.0   |       |
|                               |                                          | 維持費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 195.0 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 1,887.0 |       |
| 費用合計                          |                                          |           | 0    | 20   | 0    | 1,972   | 308   | 348   | 358   | 338   | 1,178 | 633   | 407   | 407   | 407   | 407   | 7,192   |       |
| 社会的割引率考慮後の費用合計                |                                          |           |      | 19   | 0    | 1,753   | 263   | 286   | 283   | 257   | 861   | 445   | 275   | 264   | 254   | 244   | 5,441   |       |
| 各年度(B-C)                      |                                          |           |      | -19  | 0    | -1,753  | -263  | -185  | 77    | 200   | -203  | 188   | 520   | 501   | 483   | 465   | 447     | 456   |
| 各年度(B/C)                      |                                          |           |      | 0.00 | 0.00 | 0.00    | 0.00  | 0.04  | 0.18  | 0.32  | 0.42  | 0.53  | 0.68  | 0.80  | 0.91  | 1.00  | 1.08    | 1.08  |

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV): B-C(百万) 456

経済的内部収益率(EIRR) 2.3%

費用便益比(GBR): B/C 1.08



表 6.3.4-6 費用対便益分析結果 (③-Bパターン) : (1stStep、2ndStep AI (FO分析装置使用)・時間価値含む)

単位(百万円)

| 1stStep、2ndStep AI (FO分析装置使用) |                                          | 評価年数→     |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |         |         |         | 合計      |         |         |
|-------------------------------|------------------------------------------|-----------|------|------|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                               |                                          | 最適経路供用年数→ |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |         |         |         |         |         |         |
| 年度                            |                                          | 2021      | 2022 | 2023 | 2024 | 2025    | 2026  | 2027  | 2028  | 2029  | 2030  | 2031  | 2032    | 2033    | 2034    |         | 2035    |         |
|                               |                                          | R3        | R4   | R5   | R6   | R7      | R8    | R9    | R10   | R11   | R12   | R13   | R14     | R15     | R16     | R17     |         |         |
| <b>便益</b>                     |                                          |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |         |         |         |         |         |         |
|                               | 整備計画                                     | 1stStep   | 設計   | 製造   | 評価   |         | 調査    | 設計    | 製造    | 評価    |       |       |         |         |         |         |         |         |
| No                            | 定量的効果                                    |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |         |         |         |         |         |         |
| A-1                           | 短縮削減長(万NM)                               | 1stStep   |      |      |      |         | 8.30  | 30.81 | 40.63 | 60.81 | 60.87 |       |         |         |         |         | 201.43  |         |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 79.54 | 79.62   | 79.70   | 79.78   | 79.86   | 398.49  |         |
| A-2                           | 燃料削減量(万リットル)                             | 1stStep   |      |      |      |         | 92.5  | 343.3 | 452.6 | 677.5 | 678.2 |       |         |         |         |         | 2244.1  |         |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 886.2 | 887.0   | 887.9   | 888.8   | 889.7   | 4439.7  |         |
| A-3                           | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) | 1stStep   |      |      |      |         | 2.29  | 8.50  | 11.21 | 16.77 | 16.79 |       |         |         |         |         | 55.56   |         |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       | 21.94 | 21.96   | 21.98   | 22.00   | 22.03   | 109.91  |         |
| No                            | 貨幣価値変換可能効果(便益)                           |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |         |         |         |         |         |         |
|                               | 速達性の向上                                   | 小計        | 0    | 0    | 0    | 0       | 0     | 222   | 825   | 1,088 | 1,628 | 1,630 | 2,130   | 2,132   | 2,134   | 2,136   | 2,138   | 16,065  |
| B-1                           | 旅客移動時間削減                                 | 1stStep   |      |      |      |         |       | 106.0 | 393.4 | 518.7 | 776.5 | 777.3 |         |         |         |         |         | 2,571.8 |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       | 1,015.6 | 1,016.6 | 1,017.6 | 1,018.6 | 1,019.6 | 5,088.0 |
| B-2                           | 運航経費(燃料費以外)の削減                           | 1stStep   |      |      |      |         |       | 72.3  | 268.2 | 353.7 | 529.4 | 530.0 |         |         |         |         |         | 1,753.6 |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       | 692.5   | 693.1   | 693.8   | 694.5   | 695.2   | 3,469.2 |
| B-3                           | 燃料費用削減                                   | 1stStep   |      |      |      |         |       | 44.0  | 163.4 | 215.5 | 322.6 | 322.9 |         |         |         |         |         | 1,068.4 |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       | 421.9   | 422.3   | 422.7   | 423.2   | 423.6   | 2,113.7 |
|                               | 環境への配慮                                   | 小計        | 0    | 0    | 0    | 0       | 0     | 7     | 24    | 32    | 48    | 48    | 63      | 63      | 63      | 63      | 63      | 473     |
| B-4                           | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  | 1stStep   |      |      |      |         |       | 6.5   | 24.3  | 32.0  | 48.0  | 48.0  |         |         |         |         |         | 158.9   |
|                               |                                          | 2ndStep   |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       | 62.7    | 62.8    | 62.9    | 62.9    | 63.0    | 314.3   |
| 便益合計                          |                                          |           | 0    | 0    | 0    | 0       | 0     | 229   | 849   | 1,120 | 1,676 | 1,678 | 2,193   | 2,195   | 2,197   | 2,199   | 2,201   | 16,538  |
| 社会的割引率考慮後の便益合計                |                                          |           | 0    | 0    | 0    | 0       | 0     | 188   | 671   | 851   | 1,225 | 1,179 | 1,481   | 1,426   | 1,372   | 1,321   | 1,271   | 10,986  |
| <b>費用</b>                     |                                          |           |      |      |      |         |       |       |       |       |       |       |         |         |         |         |         |         |
|                               |                                          | 年度        | 2021 | 2022 | 2023 | 2024    | 2025  | 2026  | 2027  | 2028  | 2029  | 2030  | 2031    | 2032    | 2033    | 2034    | 2035    |         |
|                               |                                          |           | R3   | R4   | R5   | R6      | R7    | R8    | R9    | R10   | R11   | R12   | R13     | R14     | R15     | R16     | R17     |         |
| C-1                           | 1stStepの費用<br>(AI(FO分析装置使用)による実装)        | 整備費用      | 0.0  | 20.0 | 0.0  | 1,972.0 | 178.0 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 2,170.0 |
|                               |                                          | 維持費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0     | 130.0 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 338.4 | 68.5    | 68.5    | 68.5    | 68.5    | 68.5    | 2,164.5 |
| C-2                           | 2ndStepの費用<br>(AI(FO分析装置使用)による実装)        | 整備費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0     | 0.0   | 10.0  | 20.0  | 0.0   | 840.0 | 100.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 970.0   |
|                               |                                          | 維持費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 195.0 | 338.4   | 338.4   | 338.4   | 338.4   | 338.4   | 1,887.0 |
| 費用合計                          |                                          |           | 0    | 20   | 0    | 1,972   | 308   | 348   | 358   | 338   | 1,178 | 633   | 407     | 407     | 407     | 407     | 407     | 7,192   |
| 社会的割引率考慮後の費用合計                |                                          |           |      | 19   | 0    | 1,753   | 263   | 286   | 283   | 257   | 861   | 445   | 275     | 264     | 254     | 244     | 235     | 5,441   |
| 各年度(B-C)                      |                                          |           |      | -19  | 0    | -1,753  | -263  | -98   | 388   | 594   | 364   | 734   | 1,206   | 1,161   | 1,118   | 1,076   | 1,036   | 5,545   |
| 各年度(B/C)                      |                                          |           |      | 0.00 | 0.00 | 0.00    | 0.00  | 0.08  | 0.33  | 0.60  | 0.79  | 0.99  | 1.26    | 1.49    | 1.69    | 1.87    | 2.02    | 2.02    |

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV): B-C(百万) 5,545

経済的内部収益率(EIRR) 19.7%

費用便益比(GBR): B/C 2.02

表 6.3.4-7 費用対便益分析結果 (④-A パターン) : (1stStep、2ndStep ロジック・時間価値含まず)

単位(百万円)

| 1stStep、2ndStep ロジック |                                          | 評価年数→      |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             | 合計    |             |
|----------------------|------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|
|                      |                                          | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          |       |             |
| 便益                   |                                          | 最適経路供用年数→  |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             | 合計    |             |
|                      |                                          | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 | 2034<br>R16 |       | 2035<br>R17 |
| 整備計画                 | 1stStep                                  |            | 設計         | 製造         | 評価         |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |       |             |
|                      | 2ndStep                                  |            |            |            |            | 調査         | 設計         | 製造         | 評価          |             |             |             |             |             |             |       |             |
| No                   | 定量的効果                                    |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |       |             |
| A-1                  | 短縮削減長(万NM)                               |            |            |            |            |            | 8.30       | 30.81      | 40.63       | 60.81       | 60.87       |             |             |             |             |       | 201.43      |
|                      |                                          |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 60.94       | 61.00       | 61.06       | 61.12       | 61.18 | 305.29      |
| A-2                  | 燃料削減量(万リットル)                             |            |            |            |            |            | 92.5       | 343.3      | 452.6       | 677.5       | 678.2       |             |             |             |             |       | 2244.1      |
|                      |                                          |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 678.9       | 679.6       | 680.3       | 680.9       | 681.6 | 3401.3      |
| A-3                  | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) |            |            |            |            |            | 2.29       | 8.50       | 11.21       | 16.77       | 16.79       |             |             |             |             |       | 55.56       |
|                      |                                          |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 16.81       | 16.82       | 16.84       | 16.86       | 16.87 | 84.20       |
| No                   | 貨幣価値変換可能効果(便益)                           |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |       |             |
|                      | 速達性の向上                                   |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |       |             |
|                      | 小計                                       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 116        | 432        | 569         | 852         | 853         | 854         | 855         | 855         | 856         | 857   | 7,099       |
| B-2                  | 運航経費(燃料費以外)の削減                           |            |            |            |            |            | 72.3       | 268.2      | 353.7       | 529.4       | 530.0       |             |             |             |             |       | 1,753.6     |
|                      |                                          |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 530.5       | 531.0       | 531.6       | 532.1       | 532.6 | 2,657.8     |
| B-3                  | 燃料費用削減                                   |            |            |            |            |            | 44.0       | 163.4      | 215.5       | 322.6       | 322.9       |             |             |             |             |       | 1,068.4     |
|                      |                                          |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 323.2       | 323.5       | 323.9       | 324.2       | 324.5 | 1,619.3     |
|                      | 環境への配慮                                   |            |            |            |            |            | 7          | 24         | 32          | 48          | 48          | 48          | 48          | 48          | 48          | 48    | 400         |
| B-4                  | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  |            |            |            |            |            | 6.5        | 24.3       | 32.0        | 48.0        | 48.0        |             |             |             |             |       | 158.9       |
|                      |                                          |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             | 48.1        | 48.1        | 48.2        | 48.2        | 48.3  | 240.8       |
|                      | 便益合計                                     | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 123        | 456        | 601         | 900         | 901         | 902         | 903         | 904         | 904         | 905   | 7,499       |
|                      | 社会的割引率考慮後の便益合計                           |            | 0          | 0          | 0          | 0          | 101        | 360        | 457         | 658         | 633         | 609         | 586         | 564         | 543         | 523   | 5,035       |
| 費用                   |                                          | 最適経路供用年数→  |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             | 合計    |             |
|                      |                                          | 2021<br>R3 | 2022<br>R4 | 2023<br>R5 | 2024<br>R6 | 2025<br>R7 | 2026<br>R8 | 2027<br>R9 | 2028<br>R10 | 2029<br>R11 | 2030<br>R12 | 2031<br>R13 | 2032<br>R14 | 2033<br>R15 | 2034<br>R16 |       | 2035<br>R17 |
| C-1                  | 1stStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用       | 0.0        | 10.0       | 0.0        | 1,572.0    | 178.0      | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0   | 1,760.0     |
|                      | 維持費用                                     |            | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 87.5       | 87.5        | 87.5        | 87.5        | 87.5        | 70.8        | 70.8        | 70.8        | 70.8  | 70.8        |
| C-2                  | 2ndStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用       | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 10.0        | 0.0         | 300.0       | 33.3        | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 0.0   | 343.3       |
|                      | 維持費用                                     |            | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 0.0         | 0.0         | 16.7        | 16.7        | 16.7        | 16.7        | 16.7  | 83.5        |
|                      | 費用合計                                     | 0          | 10         | 0          | 1,572      | 178        | 88         | 98         | 88          | 388         | 121         | 88          | 88          | 88          | 88          | 88    | 2,978       |
|                      | 社会的割引率考慮後の費用合計                           |            | 10         | 0          | 1,398      | 152        | 72         | 77         | 66          | 283         | 85          | 59          | 57          | 55          | 53          | 51    | 2,416       |
| 各年度(B-C)             |                                          |            | -10        | 0          | -1,398     | -152       | 29         | 283        | 390         | 374         | 548         | 550         | 530         | 510         | 491         | 472   | 2,618       |
| 各年度(B/C)             |                                          |            | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.06       | 0.27       | 0.52        | 0.77        | 1.03        | 1.28        | 1.51        | 1.72        | 1.91        | 2.08  | 2.08        |

6-3-19

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV): B-C(百万) 2,618

経済的内部収益率(EIRR) 15.7%

費用便益比(GBR): B/C 2.08

表 6.3.4-8 費用対便益分析結果 (④-Bパターン) : (1stStep、2ndStep ロジック・時間価値含む)

単位(百万円)

| 1stStep、2ndStep ロジック |                                          | 評価年数→     |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 合計    |
|----------------------|------------------------------------------|-----------|------|------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      |                                          | 1         | 2    | 3    | 4      | 5       | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |       |
| 便益                   |                                          | 最適経路供用年数→ |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 合計    |
|                      |                                          | 1         | 2    | 3    | 4      | 5       | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |       |
| 年度                   |                                          | 2021      | 2022 | 2023 | 2024   | 2025    | 2026  | 2027  | 2028  | 2029  | 2030  | 2031  | 2032  | 2033  | 2034  | 2035  |
|                      |                                          | R3        | R4   | R5   | R6     | R7      | R8    | R9    | R10   | R11   | R12   | R13   | R14   | R15   | R16   | R17   |
| 整備計画                 | 1stStep                                  |           | 設計   | 製造   | 評価     |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                      | 2ndStep                                  |           |      |      |        | 調査      | 設計    | 製造    | 評価    |       |       |       |       |       |       |       |
| No                   | 定量的効果                                    |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A-1                  | 短縮削減長(万NM)                               | 1stStep   |      |      |        |         | 8.30  | 30.81 | 40.63 | 60.81 | 60.87 |       |       |       |       |       |
|                      | 2ndStep                                  |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       | 60.94 | 61.00 | 61.06 | 61.12 | 61.18 |
| A-2                  | 燃料削減量(万リットル)                             | 1stStep   |      |      |        |         |       | 92.5  | 343.3 | 452.6 | 677.5 | 678.2 |       |       |       |       |
|                      | 2ndStep                                  |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       | 678.9 | 679.6 | 680.3 | 680.9 |
| A-3                  | CO <sub>2</sub> 削減量(千t-CO <sub>2</sub> ) | 1stStep   |      |      |        |         |       | 2.29  | 8.50  | 11.21 | 16.77 | 16.79 |       |       |       |       |
|                      | 2ndStep                                  |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       | 16.81 | 16.82 | 16.84 | 16.86 |
| No                   | 貨幣価値変換可能効果(便益)                           |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                      | 速達性の向上                                   | 小計        | 0    | 0    | 0      | 0       | 0     | 222   | 825   | 1,088 | 1,628 | 1,630 | 1,632 | 1,633 | 1,635 | 1,637 |
| B-1                  | 旅客移動時間削減                                 | 1st Step  |      |      |        |         |       | 106.0 | 393.4 | 518.7 | 776.5 | 777.3 |       |       |       |       |
|                      | 2nd Step                                 |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       | 778.0 | 778.8 | 779.6 | 780.4 |
| B-2                  | 運航経費(燃料費以外)の削減                           | 1stStep   |      |      |        |         |       | 72.3  | 268.2 | 353.7 | 529.4 | 530.0 |       |       |       |       |
|                      | 2ndStep                                  |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       | 530.5 | 531.0 | 531.6 | 532.1 |
| B-3                  | 燃料費用削減                                   | 1stStep   |      |      |        |         |       | 44.0  | 163.4 | 215.5 | 322.6 | 322.9 |       |       |       |       |
|                      | 2ndStep                                  |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       | 323.2 | 323.5 | 323.9 | 324.2 |
|                      | 環境への配慮                                   | 小計        | 0    | 0    | 0      | 0       | 0     | 7     | 24    | 32    | 48    | 48    | 48    | 48    | 48    | 48    |
| B-4                  | CO <sub>2</sub> 排出量削減便益                  | 1stStep   |      |      |        |         |       | 6.5   | 24.3  | 32.0  | 48.0  | 48.0  |       |       |       |       |
|                      | 2ndStep                                  |           |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       | 48.1  | 48.1  | 48.2  | 48.2  |
|                      | 便益合計                                     |           | 0    | 0    | 0      | 0       | 229   | 849   | 1,120 | 1,676 | 1,678 | 1,680 | 1,681 | 1,683 | 1,685 | 1,687 |
|                      | 社会的割引率考慮後の便益合計                           |           | 0    | 0    | 0      | 0       | 188   | 671   | 851   | 1,225 | 1,179 | 1,135 | 1,092 | 1,051 | 1,012 | 974   |
| 費用                   |                                          | 最適経路供用年数→ |      |      |        |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 合計    |
|                      |                                          | 1         | 2    | 3    | 4      | 5       | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |       |
| 年度                   |                                          | 2021      | 2022 | 2023 | 2024   | 2025    | 2026  | 2027  | 2028  | 2029  | 2030  | 2031  | 2032  | 2033  | 2034  | 2035  |
|                      |                                          | R3        | R4   | R5   | R6     | R7      | R8    | R9    | R10   | R11   | R12   | R13   | R14   | R15   | R16   | R17   |
| C-1                  | 1stStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用      | 0.0  | 10.0 | 0.0    | 1,572.0 | 178.0 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
|                      |                                          | 維持費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0    | 0.0     | 0.0   | 87.5  | 87.5  | 87.5  | 87.5  | 87.5  | 70.8  | 70.8  | 70.8  | 70.8  |
| C-2                  | 2ndStepの費用<br>(ロジックによる実装)                | 整備費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0    | 0.0     | 0.0   | 0.0   | 10.0  | 0.0   | 300.0 | 33.3  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
|                      |                                          | 維持費用      | 0.0  | 0.0  | 0.0    | 0.0     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 16.7  | 16.7  | 16.7  | 16.7  | 16.7  |
|                      | 費用合計                                     |           | 0    | 10   | 0      | 1,572   | 178   | 88    | 98    | 88    | 388   | 121   | 88    | 88    | 88    | 88    |
|                      | 社会的割引率考慮後の費用合計                           |           | 0    | 10   | 0      | 1,398   | 152   | 72    | 77    | 66    | 283   | 85    | 59    | 57    | 55    | 51    |
| 各年度(B-C)             |                                          |           | -10  | 0    | -1,398 | -152    | 116   | 594   | 785   | 942   | 1,094 | 1,076 | 1,035 | 997   | 959   | 923   |
| 各年度累積(B/C)           |                                          |           | 0.00 | 0.00 | 0.00   | 0.00    | 0.12  | 0.50  | 0.96  | 1.43  | 1.92  | 2.38  | 2.81  | 3.20  | 3.55  | 3.88  |

社会的割引率 4.00%

純現在価値(NPV): B-C(百万) 6.962

経済的内部収益率(EIRR) 31.2%

費用便益比(GBR): B/C 3.88

#### (4) 費用対便益の評価

##### (A) 評価指標

表 6.3.4-1～表 6.3.4-8 より、8 種類のすべての分析パターンにおいて、以下のとおりである。

CBR > 1  
NPV > 0  
EIRR > 4.0

従って、最適経路調整の導入は単独の整備としてみた場合、社会経済的にみて効率的な事業施策であると評価できる。

##### (B) 感度分析の実施

評価指標の感度分析として、短縮削減長を-10%、-20%、-30%とした場合の、各評価指標の分析結果を表 6.3.4-9 に示す。なお、各感度分析の詳細な集計表は割愛する。

表 6.3.4-9 評価指標の感度分析結果

| 費用分析パターン<br>便益分析パターン | ①                                           |      |       |      | ②                                        |      |       |      | ③                                                    |      |       |      | ④                                               |      |       |      |
|----------------------|---------------------------------------------|------|-------|------|------------------------------------------|------|-------|------|------------------------------------------------------|------|-------|------|-------------------------------------------------|------|-------|------|
|                      | 1st Step : ロジック<br>2nd Step : AI (FO分析装置利用) |      |       |      | 1st Step : ロジック<br>2nd Step : AI(新規システム) |      |       |      | 1st Step : AI (FO分析装置利用)<br>2nd Step : AI (FO分析装置利用) |      |       |      | 1st Step : ロジック<br>2nd Step : ロジック (1st Step改修) |      |       |      |
| 便益分析パターンA            | CBR                                         | NPV  | EIRR  | CBR  | NPV                                      | EIRR | CBR   | NPV  | EIRR                                                 | CBR  | NPV   | EIRR | CBR                                             | NPV  | EIRR  |      |
| 感度分析                 | 短縮削減長 -10%                                  | 1.27 | 1,113 | 7.5  | 短縮削減長 -10%                               | 1.17 | 770   | 5.3  | 短縮削減長 -10%                                           | 0.98 | -133  | -0.7 | 短縮削減長 -10%                                      | 1.88 | 2,115 | 13.3 |
|                      | 短縮削減長 -20%                                  | 1.12 | 523   | 3.8  | 短縮削減長 -20%                               | 1.04 | 180   | 1.4  | 短縮削減長 -20%                                           | 0.87 | -723  | -4.2 | 短縮削減長 -20%                                      | 1.67 | 1,611 | 10.7 |
|                      | 短縮削減長 -30%                                  | 0.98 | -66   | -0.5 | 短縮削減長 -30%                               | 0.91 | -410  | -3.5 | 短縮削減長 -30%                                           | 0.76 | -1313 | -8.4 | 短縮削減長 -30%                                      | 1.46 | 1,108 | 7.8  |
| 便益分析パターンB            | CBR                                         | NPV  | EIRR  | CBR  | NPV                                      | EIRR | CBR   | NPV  | EIRR                                                 | CBR  | NPV   | EIRR | CBR                                             | NPV  | EIRR  |      |
| 感度分析                 | 短縮削減長 -10%                                  | 2.36 | 5,693 | 26.0 | 短縮削減長 -10%                               | 2.18 | 5,349 | 24.7 | 短縮削減長 -10%                                           | 1.82 | 4,446 | 16.8 | 短縮削減長 -10%                                      | 3.49 | 6,024 | 28.3 |
|                      | 短縮削減長 -20%                                  | 2.10 | 4,594 | 22.5 | 短縮削減長 -20%                               | 1.94 | 4,251 | 21.1 | 短縮削減長 -20%                                           | 1.62 | 3,347 | 13.5 | 短縮削減長 -20%                                      | 3.10 | 5,086 | 25.3 |
|                      | 短縮削減長 -30%                                  | 1.83 | 3,495 | 18.5 | 短縮削減長 -30%                               | 1.69 | 3,152 | 17.0 | 短縮削減長 -30%                                           | 1.41 | 2,249 | 9.9  | 短縮削減長 -30%                                      | 2.72 | 4,149 | 22.0 |

表 6.3.4-9 より、費用分析パターンの①と④が「6.2.2 便益項目の計測方法の検討」で想定した短縮削減長より 30%程度少ない場合であっても評価指標として影響を受け難い整備であるということが分かる。

### 6.3.5 定量的効果・定性的効果の分析

#### (1) 定量的効果

表 6.3.4-1～表 6.3.4-8 より、短縮削減長の他に最適経路調整の導入によって以下のような定量的な効果が見込まれる。

##### (A) 燃料消費量の削減

最適経路調整の導入により、年間で以下の燃料削減が可能となる。

###### (a) AI を導入する場合

- ・最小 92.5 (万ℓ) : 2026 年度
- ・最大 889.7 (万ℓ) : 2035 年度

###### (b) AI を導入しない場合

- ・最小 92.5 (万ℓ) : 2026 年度
- ・最大 681.6 (万ℓ) : 2035 年度

##### (B) CO<sub>2</sub> 排出量の削減

最適経路調整の導入により、年間で以下の CO<sub>2</sub> 排出量削減が可能となる。

###### (a) AI を導入する場合

- ・最小 2.29 (千 t-CO<sub>2</sub>) : 2026 年度
- ・最大 22.63 (千 t-CO<sub>2</sub>) : 2035 年度

###### (b) AI を導入しない場合

- ・最小 2.29 (千 t-CO<sub>2</sub>) : 2026 年度
- ・最大 16.87 (千 t-CO<sub>2</sub>) : 2035 年度

#### (2) 定性的効果

すべての分析パターンにおいて、最適経路調整の導入により、航空会社との経路調整を SWIM を介して行うことになり、現状の出発前経路調整のような運航者側の専用端末や専用回線による接続が不要なることから、最適経路調整の導入に対する運航者の敷居が低くなると想定される。また、これにより新規の加入者の増加が見込まれ、最適経路を飛行する航空機の増加、また導入効果の促進につながると考えられる。

### 6.3.6 分析結果のとりまとめ

以上の費用対便益分析の結果、定量的、定性的分析の結果を踏まえた総合的評価を表 6.3.6-1 に示す。

表 6.3.6-1 より、最適経路調整の導入においては、費用分析パターン①の 1stStep はロジックで実装し 2ndStep は AI (FO 分析装置使用) で実装する場合は総合的にみて最も効率的で推奨できる整備方法であると考ええる。

なお、AI モデルの構築を行うには、多くの学習データが揃っていることが重要である。そのため、1stStep をロジックで実装する場合であっても、2ndStep から AI 導入するための準備として、FO 分析装置と FACE や TEAM をオンラインで接続し、データ蓄積を早期に開始することが望ましいと考える。

表 6.3-6-1 費用対効果分析結果のとりまとめ (総合評価)

| 費用分析パターン            |                     | ①                                                                                   |       |       |       | ②                                                      |            |       |       | ③                                                                 |            |            |       | ④                                                                                          |       |            |            |       |       |       |      |
|---------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------------|------------|-------|-------|-------------------------------------------------------------------|------------|------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|------------|-------|-------|-------|------|
| 便益分析パターン            |                     | 1st Step : ロジック<br>2nd Step : AI (FO分析装置利用)                                         |       |       |       | 1st Step : ロジック<br>2nd Step : AI(新規システム)               |            |       |       | 1st Step : AI (FO分析装置利用)<br>2nd Step : AI (FO分析装置利用)              |            |            |       | 1st Step : ロジック<br>2nd Step ; ロジック (1st Step改修)                                            |       |            |            |       |       |       |      |
| 費用<br>便益<br>分析<br>A | 評価期間                | 2022~2035 (短縮経路供用年数10年)                                                             |       |       |       | 2022~2035 (短縮経路供用年数10年)                                |            |       |       | 2022~2035 (短縮経路供用年数10年)                                           |            |            |       | 2022~2035 (短縮経路供用年数10年)                                                                    |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 便益項目                | 運航経費削減、燃料費用削減、CO <sub>2</sub> 排出削減                                                  |       |       |       | 運航経費削減、燃料費用削減、CO <sub>2</sub> 排出削減                     |            |       |       | 運航経費削減、燃料費用削減、CO <sub>2</sub> 排出削減                                |            |            |       | 運航経費削減、燃料費用削減、CO <sub>2</sub> 排出削減                                                         |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 費用総額                | 5,659 (百万円)                                                                         |       |       |       | 6,155 (百万円)                                            |            |       |       | 7,192 (百万円)                                                       |            |            |       | 2,978 (百万円)                                                                                |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 結果<br>及び<br>感度分析    |                                                                                     |       | CBR   | NPV   | EIRR                                                   |            |       | CBR   | NPV                                                               | EIRR       |            |       | CBR                                                                                        | NPV   | EIRR       |            |       | CBR   | NPV   | EIRR |
|                     |                     | 結果                                                                                  |       | 1.41  | 1,703 | 10.7                                                   | 結果         |       | 1.30  | 1,360                                                             | 8.8        | 結果         |       | 1.08                                                                                       | 456   | 2.3        | 結果         |       | 2.08  | 2,618 | 15.7 |
| 感度分析                |                     | 短縮削減長 -10%                                                                          | 1.27  | 1,113 | 7.5   | 感度分析                                                   | 短縮削減長 -10% | 1.17  | 770   | 5.3                                                               | 感度分析       | 短縮削減長 -10% | 0.98  | -133                                                                                       | -0.7  | 感度分析       | 短縮削減長 -10% | 1.88  | 2,115 | 13.3  |      |
|                     |                     | 短縮削減長 -20%                                                                          | 1.12  | 523   | 3.8   |                                                        | 短縮削減長 -20% | 1.04  | 180   | 1.4                                                               |            | 短縮削減長 -20% | 0.87  | -723                                                                                       | -4.2  |            | 短縮削減長 -20% | 1.67  | 1,611 | 10.7  |      |
|                     | 短縮削減長 -30%          | 0.98                                                                                | -66   | -0.5  |       | 短縮削減長 -30%                                             | 0.91       | -410  | -3.5  |                                                                   | 短縮削減長 -30% | 0.76       | -1313 | -8.4                                                                                       |       | 短縮削減長 -30% | 1.46       | 1,108 | 7.8   |       |      |
|                     | ○                   |                                                                                     |       |       | △     |                                                        |            |       | ×     |                                                                   |            |            | ○     |                                                                                            |       |            |            |       |       |       |      |
| 費用<br>便益<br>分析<br>B | 評価期間                | 上記分析Aと同じ                                                                            |       |       |       | 上記分析Aと同じ                                               |            |       |       | 上記分析Aと同じ                                                          |            |            |       | 上記分析Aと同じ                                                                                   |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 便益項目                | 上記分析A+旅客移動時間削減                                                                      |       |       |       | 上記分析A+旅客移動時間削減                                         |            |       |       | 上記分析A+旅客移動時間削減                                                    |            |            |       | 上記分析A+旅客移動時間削減                                                                             |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 費用総額                | 上記分析Aと同じ                                                                            |       |       |       | 上記分析Aと同じ                                               |            |       |       | 上記分析Aと同じ                                                          |            |            |       | 上記分析Aと同じ                                                                                   |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 結果<br>及び<br>感度分析    |                                                                                     |       | CBR   | NPV   | EIRR                                                   |            |       | CBR   | NPV                                                               | EIRR       |            |       | CBR                                                                                        | NPV   | EIRR       |            |       | CBR   | NPV   | EIRR |
|                     |                     | 結果                                                                                  |       | 2.62  | 6,791 | 29.1                                                   | 結果         |       | 2.42  | 6,448                                                             | 28.0       | 結果         |       | 2.02                                                                                       | 5,545 | 19.7       | 結果         |       | 3.88  | 6,962 | 31.2 |
| 感度分析                |                     | 短縮削減長 -10%                                                                          | 2.36  | 5,693 | 26.0  | 感度分析                                                   | 短縮削減長 -10% | 2.18  | 5,349 | 24.7                                                              | 感度分析       | 短縮削減長 -10% | 1.82  | 4,446                                                                                      | 16.8  | 感度分析       | 短縮削減長 -10% | 3.49  | 6,024 | 28.3  |      |
|                     |                     | 短縮削減長 -20%                                                                          | 2.10  | 4,594 | 22.5  |                                                        | 短縮削減長 -20% | 1.94  | 4,251 | 21.1                                                              |            | 短縮削減長 -20% | 1.62  | 3,347                                                                                      | 13.5  |            | 短縮削減長 -20% | 3.10  | 5,086 | 25.3  |      |
|                     | 短縮削減長 -30%          | 1.83                                                                                | 3,495 | 18.5  |       | 短縮削減長 -30%                                             | 1.69       | 3,152 | 17.0  |                                                                   | 短縮削減長 -30% | 1.41       | 2,249 | 9.9                                                                                        |       | 短縮削減長 -30% | 2.72       | 4,149 | 22.0  |       |      |
| 定量的<br>効果           | 項目                  | 結果                                                                                  |       |       |       | 結果                                                     |            |       |       | 結果                                                                |            |            |       | 結果                                                                                         |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 短縮削減長               | 599.92 (万NM)                                                                        |       |       |       | 599.92 (万NM)                                           |            |       |       | 599.92 (万NM)                                                      |            |            |       | 506.71 (万NM)                                                                               |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 燃料削減量               | 6683.8 (万リットル)                                                                      |       |       |       | 6683.8 (万リットル)                                         |            |       |       | 6683.8 (万リットル)                                                    |            |            |       | 5645.4 (万リットル)                                                                             |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | CO <sub>2</sub> 削減量 | 165.47 (千t-CO <sub>2</sub> )                                                        |       |       |       | 165.47 (千t-CO <sub>2</sub> )                           |            |       |       | 165.47 (千t-CO <sub>2</sub> )                                      |            |            |       | 139.76 (千t-CO <sub>2</sub> )                                                               |       |            |            |       |       |       |      |
| 定性的<br>効果           |                     | ○                                                                                   |       |       |       | ○                                                      |            |       |       | ○                                                                 |            |            |       | ×                                                                                          |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | 項目                  | 内容                                                                                  |       |       |       | 内容                                                     |            |       |       | 内容                                                                |            |            |       | 内容                                                                                         |       |            |            |       |       |       |      |
|                     | A/L設備費用削減           | ・経路調整のSWIM化によるA/L費用削減<br>・A/L加入者増による最適経路導入促進                                        |       |       |       | 同左                                                     |            |       |       | 同左                                                                |            |            |       | 同左                                                                                         |       |            |            |       |       |       |      |
| 総合評価                |                     | ○                                                                                   |       |       |       | ○                                                      |            |       |       | △                                                                 |            |            |       | ×                                                                                          |       |            |            |       |       |       |      |
|                     |                     | ・1st Stepで学習データ蓄積等の準備が可能でありスムーズなAI導入が可能である。<br>・既存資産を有効活用することにより最も効率的に最適経路導入が可能である。 |       |       |       | 1st Stepで学習データ蓄積等の準備が可能でありスムーズなAI導入が可能であるが、①に比べ費用がかかる。 |            |       |       | ・1st StepからのAI導入は、学習データの準備が困難である。<br>・FO分析装置を利用しても、最も費用がかかる整備となる。 |            |            |       | ・最も安価な整備であるが、ロジックだけでは複数便の組合せによる全体最適化が不可能なため、今後益々求められるCO <sub>2</sub> 排出量の削減や、需要増加等に対応できない。 |       |            |            |       |       |       |      |





## 第7章 今後の航空管制における AI 活用に関する検討

### 7.1 航空管制システムにおける AI 活用

現在運用されている統合管制情報処理システムのうち、管制官への GUI を提供する航空管制システムとして、空港管制処理システム (TAPS)、航空路管制処理システム (TEPS)、洋上管制処理システム (TOPS) の3つのシステムが挙げられる。これらのシステムにおいて、今後導入されてくる高度な管制運用方式に対応するだけでなく、将来的には TBO (トラジェクトリベース運用) を見据え、セクタだけではなく、全体の交通流を最適化する管制指示を管制官が提供できるような管制支援機能の拡充が必要である。しかし、ある航空機に対する管制指示による影響がどの航空機まで波及するのかをロジックで判定し、最適な管制指示案を編み出すのは非常に難しい。複数の航空機に対する管制指示の組み合わせ最適化問題を解決する必要があり、システムの CPU 負荷だけでなく、算出処理時間を要するため、短時間で管制指示を出さなければならない運用に適用するのは難しいと想定される。したがって、今後の航空管制においては、高度な管制運用方式に対応し、かつ飛行中の航路最適化を行うために、これらの管制システムに向けた AI の適用が有効であると考えられる。ただし、AI はあくまで支援的な機能であり、安心、安全な航空機運航のためには、管制官がより重要な意思決定や他の関連機関との調整に注力する運用方式が求められる。

実運用へ向け、これらの3システムのうち、管制間隔が広く、かつ管制指示を比較的ロジック化しやすい TOPS への適用が最も適していると考えられる。TOPS への適用について以下に述べる。

## 7.2 TOPS の既存機能への AI 適用

現在 TOPS に実装されている機能の中で、衝突（コンフリクト）検出後に管制官へ衝突回避案を提示する回避案機能に対して、AI を適用することが有効であると考えられる。

現在の回避案機能では、将来のコンフリクト判定が行われた航空機について、周辺の航空機、および制限空域などの空域状況を考慮し、高度変更案、速度変更案それぞれで模索し、いくつかの衝突回避案を提示している。しかし、図 7.2-1 のように、現在の回避案模索ロジックでは関連する航空機が多いほど複数の管制指示を組み合わせた回避案を出す必要があり、複雑な組み合わせの最適化問題を解決するために、計算量が指数的に増大することになる。また、今後も見込まれる管制運用方式の高度化に際し、それらを踏まえた回避案をアルゴリズムで算出することが難しくなっている。そのため、図 7.2-2 のように、予め学習環境において複数の衝突回避案の中から適切な衝突回避案を AI に学習させ、これを運用環境に適用することで、航空機の状況、および空域状況から瞬時に回避案提示が可能になると考えられる。

さらに、今後の TBO を見据えると、航空機全体の燃料消費量の削減や定時性を考慮した航空管制が求められる。しかし、管制官がそのような観点で管制指示を検討するのは事実上不可能である。このような観点においても、学習環境におけるパラメータをチューニングすることでバリエーションのある管制指示を AI に学習させることにより、より最適な回避案提示が可能になると考えられる。

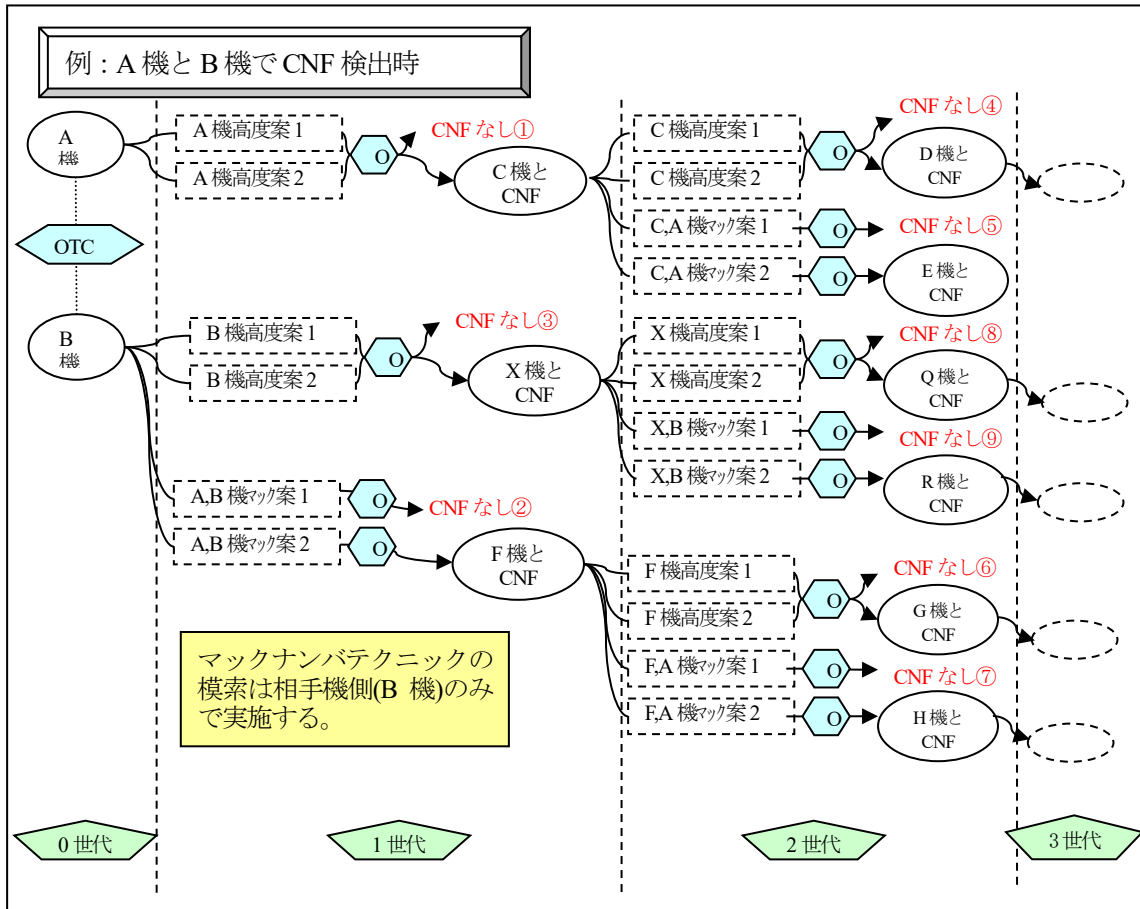


図 7.2-1 現在の回避案模索イメージ

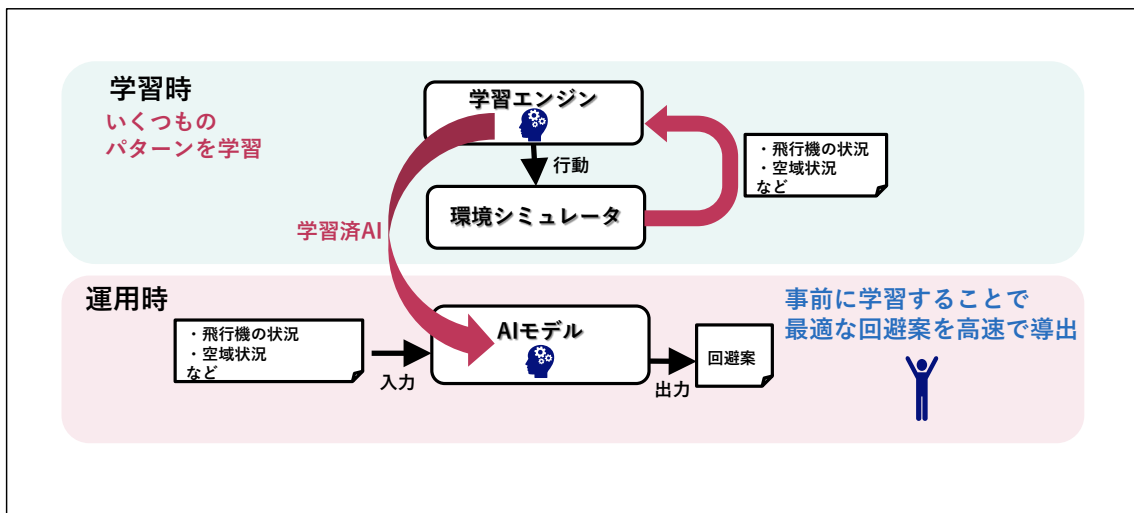


図 7.2-2 AIによる回避案導出のイメージ

### 7.3 AI 活用の今後の展望

2021 年度末より陸域 CPDLC 運用トライアルが開始したことを受け、航空路空域においてもデータリンクの運用が行われる予定である。航空路空域においては、管制指示がより複雑になるとともに、管制間隔も狭まることから、今後解決すべき課題が多くあると考えられる。しかし、AI が推奨した回避案をデータリンク機能でアップリンクするなど機能間連携を高度化することにより、より管制官が意思決定に注力できる管制支援システムの構築が可能となる。さらに、国内高高度と洋上を飛行するオーバーフライト機について、最適な交通流を考慮した管制指示をシームレスに実施することが可能となり、AI 適用により TBO に近い世界が実現できると考えられる。

## 別紙1 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果

飛行計画経路長の短縮による便益を算出するために、シティーペア毎に AIC 経路の距離や運航便数、また最適経路の距離といった情報が必要である。

そのため、航空局が指定するシティーペア（185 路線）毎に以下の調査を行った。

- ① AIC 経路と公示されている航空路を活用した最適経路の経路および経路長差の比較
- ② AIC 経路を飛行した運航便数の集計

上記①②の調査を行うにあたり、前提となる事項について以下のとおり整理する。

- ・ 対象シティーペア
- ・ 使用する公示情報
- ・ AIC 経路の定義
- ・ 距離の算出方法
- ・ AIC 経路の距離の算出方法
- ・ 公示情報を用いた最適経路の作成方法
- ・ 運航便数の算出方法

(1) 対象シティーペア

本調査の対象となるシティーペアを以下の表 1 に示す。

表 1 対象シティーペア (1/3)

| No. | 空港① | 空港②  | No. | 空港① | 空港② |
|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 1   | 東京  | 札幌   | 34  | 福岡  | 中部  |
| 2   | 東京  | 福岡   | 35  | 東京  | 秋田  |
| 3   | 東京  | 那覇   | 36  | 大阪  | 仙台  |
| 4   | 東京  | 大阪   | 37  | 札幌  | 仙台  |
| 5   | 東京  | 鹿児島  | 38  | 成田  | 那覇  |
| 6   | 東京  | 広島   | 39  | 成田  | 関西  |
| 7   | 福岡  | 那覇   | 40  | 大阪  | 鹿児島 |
| 8   | 東京  | 熊本   | 41  | 札幌  | 福岡  |
| 9   | 成田  | 札幌   | 42  | 東京  | 帯広  |
| 10  | 東京  | 長崎   | 43  | 那覇  | 神戸  |
| 11  | 札幌  | 中部   | 44  | 大阪  | 宮崎  |
| 12  | 東京  | 松山   | 45  | 東京  | 出雲  |
| 13  | 東京  | 宮崎   | 46  | 東京  | 石垣  |
| 14  | 東京  | 関西   | 47  | 大阪  | 福岡  |
| 15  | 東京  | 高松   | 48  | 東京  | 米子  |
| 16  | 成田  | 福岡   | 49  | 大阪  | 松山  |
| 17  | 那覇  | 中部   | 50  | 東京  | 青森  |
| 18  | 東京  | 大分   | 51  | 札幌  | 神戸  |
| 19  | 東京  | 北九州  | 52  | 中部  | 鹿児島 |
| 20  | 関西  | 那覇   | 53  | 東京  | 釧路  |
| 21  | 関西  | 札幌   | 54  | 東京  | 女満別 |
| 22  | 大阪  | 那覇   | 55  | 関西  | 福岡  |
| 23  | 大阪  | 札幌   | 56  | 成田  | 大阪  |
| 24  | 那覇  | 宮古   | 57  | 東京  | 佐賀  |
| 25  | 那覇  | 石垣   | 58  | 大阪  | 熊本  |
| 26  | 東京  | 神戸   | 59  | 東京  | 岩国  |
| 27  | 東京  | 小松   | 60  | 大阪  | 長崎  |
| 28  | 東京  | 函館   | 61  | 東京  | 鳥取  |
| 29  | 東京  | 徳島   | 62  | 成田  | 中部  |
| 30  | 東京  | 岡山   | 63  | 東京  | 庄内  |
| 31  | 東京  | 旭川   | 64  | 大阪  | 新潟  |
| 32  | 東京  | 高知   | 65  | 東京  | 富山  |
| 33  | 東京  | 山口宇部 | 66  | 関西  | 仙台  |

表 1 対象シティーペア (2/3)

| No. | 空港① | 空港②  | No. | 空港① | 空港②  |
|-----|-----|------|-----|-----|------|
| 67  | 鹿児島 | 奄美大島 | 104 | 東京  | 大館能代 |
| 68  | 福岡  | 宮崎   | 105 | 成田  | 宮崎   |
| 69  | 神戸  | 長崎   | 106 | 大阪  | 函館   |
| 70  | 関西  | 石垣   | 107 | 東京  | 石見   |
| 71  | 東京  | 宮古   | 108 | 那覇  | 仙台   |
| 72  | 成田  | 高松   | 109 | 成田  | 鹿児島  |
| 73  | 大阪  | 青森   | 110 | 那覇  | 広島   |
| 74  | 神戸  | 茨城   | 111 | 成田  | 佐賀   |
| 75  | 大阪  | 高知   | 112 | 鹿児島 | 徳之島  |
| 76  | 関西  | 鹿児島  | 113 | 関西  | 宮崎   |
| 77  | 成田  | 松山   | 114 | 那覇  | 高松   |
| 78  | 東京  | 中部   | 115 | 東京  | 稚内   |
| 79  | 成田  | 熊本   | 116 | 札幌  | 秋田   |
| 80  | 大阪  | 大分   | 117 | 関西  | 宮古   |
| 81  | 中部  | 仙台   | 118 | 中部  | 熊本   |
| 82  | 東京  | 三沢   | 119 | 丘珠  | 函館   |
| 83  | 大阪  | 秋田   | 120 | 大阪  | 福島   |
| 84  | 神戸  | 鹿児島  | 121 | 関西  | 長崎   |
| 85  | 成田  | 広島   | 122 | 大阪  | 山形   |
| 86  | 札幌  | 女満別  | 123 | 成田  | 長崎   |
| 87  | 神戸  | 仙台   | 124 | 関西  | 釧路   |
| 88  | 札幌  | 茨城   | 125 | 関西  | 新潟   |
| 89  | 東京  | 八丈島  | 126 | 札幌  | 中標津  |
| 90  | 福岡  | 対馬   | 127 | 関西  | 松山   |
| 91  | 那覇  | 鹿児島  | 128 | 福岡  | 茨城   |
| 92  | 東京  | 南紀白浜 | 129 | 成田  | 高知   |
| 93  | 東京  | 能登   | 130 | 東京  | 山形   |
| 94  | 札幌  | 広島   | 131 | 札幌  | 那覇   |
| 95  | 成田  | 大分   | 132 | 関西  | 熊本   |
| 96  | 札幌  | 青森   | 133 | 札幌  | 釧路   |
| 97  | 札幌  | 新潟   | 134 | 那覇  | 茨城   |
| 98  | 中部  | 宮崎   | 135 | 成田  | 奄美大島 |
| 99  | 大阪  | 出雲   | 136 | 成田  | 石垣   |
| 100 | 福岡  | 仙台   | 137 | 那覇  | 岡山   |
| 101 | 大阪  | 花巻   | 138 | 東京  | 奄美大島 |
| 102 | 福岡  | 松山   | 139 | 那覇  | 熊本   |
| 103 | 中部  | 長崎   | 140 | 札幌  | 花巻   |

表 1 対象シティーペア (3/3)

| No. | 空港① | 空港②  | No. | 空港① | 空港②  |
|-----|-----|------|-----|-----|------|
| 141 | 那覇  | 久米島  | 164 | 那覇  | 長崎   |
| 142 | 大阪  | 奄美大島 | 165 | 那覇  | 北九州  |
| 143 | 中部  | 函館   | 166 | 中部  | 新潟   |
| 144 | 那覇  | 静岡   | 167 | 福岡  | 石垣   |
| 145 | 那覇  | 宮崎   | 168 | 福岡  | 徳島   |
| 146 | 札幌  | 小松   | 169 | 関西  | 高知   |
| 147 | 中部  | 石垣   | 170 | 札幌  | 稚内   |
| 148 | 中部  | 宮古   | 171 | 札幌  | 福島   |
| 149 | 札幌  | 岡山   | 172 | 中部  | 旭川   |
| 150 | 成田  | 下地島  | 173 | 福岡  | 小松   |
| 151 | 東京  | 中標津  | 174 | 成田  | 庄内   |
| 152 | 那覇  | 松山   | 175 | 中部  | 女満別  |
| 153 | 札幌  | 函館   | 176 | 大阪  | 三沢   |
| 154 | 那覇  | 小松   | 177 | 関西  | 奄美大島 |
| 155 | 札幌  | 静岡   | 178 | 福岡  | 奄美大島 |
| 156 | 中部  | 秋田   | 179 | 大阪  | 隠岐   |
| 157 | 福岡  | 高知   | 180 | 那覇  | 新潟   |
| 158 | 成田  | 仙台   | 181 | 福岡  | 花巻   |
| 159 | 丘珠  | 釧路   | 182 | 成田  | 新潟   |
| 160 | 東京  | 紋別   | 183 | 福岡  | 新潟   |
| 161 | 那覇  | 岩国   | 184 | 福岡  | 福江   |
| 162 | 中部  | 松山   | 185 | 福岡  | 宮古   |
| 163 | 札幌  | 富山   | -   | -   | -    |



## **(2) 使用する公示情報**

調査にあたり、以下の公示情報をそれぞれ使用する。

### **(A) AIC 経路の経路長算出のために使用するアダプテーション情報**

- ・ 共通アダプテーション (2021 年 12 月 30 日より有効)
- ・ FIX 情報
- ・ 航空路情報

### **(B) 最適経路の経路作成および経路長算出のために使用するアダプテーション情報**

- ・ 共通アダプテーション (2021 年 12 月 30 日より有効)
- ・ FIX 情報
- ・ 航空路情報
- ・ SID 情報
- ・ TRANSITION 情報
- ・ STAR 情報
- ・ APPROACH 情報
- ・ 直行経路情報
- ・ 空域情報

### **(C) AIC 経路を飛行した運航便数の集計のために使用する情報**

- ・ 2019 年 1 月 1 日～12 月 31 日までの DAYPLAN 情報

DAYPLAN が保持する情報について、以下の表 2 に示す。

表 2 DAYPLAN が保持する情報 (1/2)

| 項目                             | 説明                                                 | 補足                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 日付                             | 集計対象日 (日本時間基準)                                     | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| 日またぎ                           | Y:前日出発当日到着<br>T:当日出発当日到着<br>N:当日出発翌日到着<br>(日本時間基準) | フライトの開始と終了の ID を表す。<br><br>T: 当日フライトを開始し、当日フライトが終了するもの。<br>Y: 前日フライトを開始し、当日フライトが終了するもの。<br>N: 当日フライトを開始し、翌日フライトを終了するもの。                                                                                                                       |
| 国内、<br>国際、<br>ORCAM 入域、<br>出域等 | 出発空港・到着空港<br>(国内 I、国際 O 通過)                        | 1 文字目<br>FLIGHT START ID<br>D: 国内空港を IFR で出発<br>V: 国内空域で VFR から IFR に移行<br>O: ORCAM 対象の外国空域から入域<br>I: 外国空域 (ORCAM 対象外) から入域<br><br>2 文字目<br>FLIGHT END ID<br>D: 国内空港へ IFR で到着<br>V: 国内空域で IFR から VFR に移行<br>O: 外国空域へ出域<br>I: 外国空域へ出域後 VFR に移行 |
| コールサイン                         | 7 項 コールサイン                                         | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| A/C ナンバー                       | コンピュータ No                                          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| 飛行規則                           | 8 項 飛行方式                                           | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| 航空機タイプ                         | 9 項 航空機種別                                          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| 装備                             | 10 項 搭載無線機器                                        | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| SSR/ADS コード                    | ADS コード+データリンク<br>機器                               | 18 項 DAT/以下                                                                                                                                                                                                                                   |
| DBC                            | DBC+DBCID                                          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| 出発空港                           | DEP                                                | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| EOBT                           | EOBT                                               | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| ATD                            | ATD                                                | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| ATD-EOBT                       | ATD-EOBT                                           | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| 到着空港                           | DEST                                               | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| EET                            | EET (16 項)                                         | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| ATA                            | 到着時刻                                               | -                                                                                                                                                                                                                                             |

表 2 DAYPLAN が保持する情報 (2/2)

| 項目                        | 説明                    | 補足                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 要求高度                      | 飛行計画高度 (15 項) の高度     | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 承認高度                      | FDPS 高度 (最初の) SDB の高度 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| TAS/MAC                   | TAS                   | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| REG                       | REG                   | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| SDB 情報、高度、セクター名等の経路がわかる情報 | TRACK                 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                           | SDB 部                 | <p>地点:ストリップ印字色 R or B (航空路・SID・TR・STAR 名) 通過時刻[高度] 所属セクター (高度分割や多重所属の場合セクター名を]で区切る)</p> <p>上記を SDB 数分繰り返す</p> <p>※ストリップ印字色<br/>R : 東行き<br/>B : 西行き</p> <p>例) GTC:R(Y512)1226[350]T01<br/>地点 : GTC<br/>色 : R (東行き)<br/>航空路・SID・STAR 名 : Y512<br/>通過時刻 : 12:26 (UTC)<br/>高度 : FL350 (35,000feet)<br/>セクター : T01</p> |
|                           | オリジナル飛行経路 (15 項)      | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                           | RMK (18+19 項)         | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                           | URTE 入力経路             | 最後に入力したもの 1 つのみ                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

### (3) AIC 経路の定義

AIC 経路は、TEAM にて使用されている混雑回避登録経路表および悪天回避登録経路表をもとに定義する。

- ・ 混雑回避登録経路表 (2021年12月2日適用)
- ・ 悪天回避登録経路表 (2021年12月2日適用)

上記の登録経路のうち「01～09」番で登録されている標準経路を、各シティーペアのAIC経路とする。

なお、登録経路にはその経路が有効となるETAや高度の条件等の記載があるが、本調査では考慮しないものとし、経路部分のみを使用する。またETAや高度の条件を削除した結果、標準経路番号は異なるが、同じ経路になるものがあれば、同一の経路と見なすものとする。

具体例を以下に示す。

- ・ 出発空港：成田 (RJAA)
- ・ 到着空港：関西 (RJBB)
- ・ 標準経路番号：01
- ・ 標準経路：  
PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 DANDE (ETA between 2200 and 1200UTC)
- ・ AIC経路とした経路 (ETA部分を除いたもの)：  
PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 DANDE

表 3 混雑回避登録経路表のイメージ

| 経路名称   |    | 01～09：標準<br>51～：混雑回避経路                                                                              | 通過空域<br>(太字は対象空域)               | 回避対象空域 | 通報先  |
|--------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------|------|
| JAAJBB | 01 | PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 DANDE (ETA between 2200 and 1200UTC)            | T13 <b>T24</b>                  | -      | TG-E |
|        | 02 | PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 SINGU Y542 DATIS (ETA between 2200 and 1400UTC) | T13 <b>T24</b>                  | -      | TG-E |
|        | 03 | PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 KEC Y43 KISEI Y46 CANDY                          | T13 <b>T24</b> (T25) <b>T17</b> | -      | TG-E |
|        | 51 | SAMUS Y84 HCE OTR25 TAPOP Y46 CANDY                                                                 | T10 T11 <b>T17</b>              | T24    | TG-E |

なお、上記の登録経路表には、調査対象となるすべてのシティーペア（185 路線）の標準経路が定義されていない。

そのため、以下に列挙するシティーペアに関しては、2019 年 DAYPLAN をもとに、各シティーペアで最頻となった実績経路を AIC 経路と見なすこととする。

対象シティーペアについて、以下の表 4 に示す。

**表 4 2019 年 DAYPLAN の最頻実績経路を AIC 経路と見なすシティーペア**

| No. | シティーペア | 最頻実績経路                                                   |
|-----|--------|----------------------------------------------------------|
| 119 | 丘珠－函館  | MOIWA V2 HWE                                             |
| 132 | 関西－熊本  | MAIKO WENDY SHION WASYU Y28<br>MARCO Y45 OOITA Y40 KAZMA |
| 159 | 丘珠－釧路  | KURIS V2 NUPRI                                           |

#### (4) 距離の算出方法

地点間の距離は、「ヒュベニの公式」を用いて算出する。

■ヒュベニの「ガウスの平均緯度式の改良式」の第1項のみを使用した簡易式

点  $P$  の緯度： $\Phi_p$  点  $P$  の経度： $\lambda_p$  点  $Q$  の緯度： $\Phi_q$  点  $Q$  の経度： $\lambda_q$   
(単位はラジアン)

長軸半径 (赤道半径)： $a$  離心率： $e$  緯度の平均値： $\overline{\Phi}_{pq} = \frac{\Phi_p + \Phi_q}{2}$

子午線曲率半径： $M = \frac{a(1-e^2)}{(\sqrt{1-e^2\sin^2\overline{\Phi}_{pq}})^3}$  卯酉線曲率半径： $N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2\overline{\Phi}_{pq}}}$

$$d = \sqrt{\{(\Phi_p - \Phi_q)M\}^2 + \{(\lambda_p - \lambda_q)N\cos\overline{\Phi}_{pq}\}^2}$$

ヒュベニの公式で使用する定数について、本調査では以下の値を用いる。

- ・ 長軸半径 (赤道半径)  $a$  : 6378.137 km
- ・ 離心率  $e$  : 0.081819191

### (5) AIC 経路の距離の算出方法

AIC 経路の距離の算出は、「(3)AIC 経路の定義」にて求めた標準経路、および「(2)使用する公示情報 (A)AIC 経路の経路長算出のために使用するアダプテーション情報」で示した FIX 情報、航空路情報アダプテーションを用いて算出する。

算出する手順を以下に示す。

1. AIC 経路の両端に出発空港、到着空港を付与する。  
具体例を以下に示す。

出発空港：東京 (RJTT)

到着空港：札幌 (RJCC)

AIC 経路：BRUCE AGRIS Y11 SAMBO Y119 OHMAR Y13 SIRAO Y139 NAVER

付与した AIC 経路：

RJTT BRUCE AGRIS Y11 SAMBO Y119 OHMAR Y13 SIRAO Y139 NAVER RJCC

2. 1 の経路中のルート名に対して航空路情報アダプテーションを用いて、FIX のみの経路に変換する。その際、同名のルート名が複数存在する場合は、FIR 名が「RJJJ」のものを適用する。

FIX のみに変換した経路：

RJTT BRUCE AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE HANKA VARSU PEONY SAMBO  
ELBIT OHMAR MEKAB TIKYU IDEMI SIRAO NAVER RJCC

3. 2 で FIX 情報のみにした経路に対して、FIX 情報アダプテーションをもとに FIX 名から緯度経度情報を取得し、「(4)距離の算出方法」のヒュベニの公式を用いて、各 FIX 間の距離を求める。その際、同名の FIX 名が複数存在する場合は、FIR 名が「RJJJ」のものを適用する。各 FIX 間の距離を算出したときのイメージを表 5 に示す。

表 5 各 FIX 間の距離計算

| 地点 1  | 地点 2  | 距離 (km)          |
|-------|-------|------------------|
| RJTT  | BRUCE | 73.3470922114686 |
| BRUCE | AGRIS | -                |
| ～省略～  | ～省略～  | ～省略～             |
| SIRAO | NAVER | 25.0325806872088 |
| NAVER | RJCC  | 73.1112830425829 |

4. 3で全FIX間の距離を求めたら、全FIX間の距離の合計値がそのAIC経路の距離となる。
- またヒュベニの公式の距離の単位がkm(キロメートル)のため、NM(ノータカマイル)に変換する。
- 出発空港：東京(RJTT)
- 到着空港：札幌(RJCC)
- 距離(km)：826.673904
- 距離(NM)：446.368



## (6) 公示情報を用いた最適経路の作成方法

最適経路は、グラフ理論を用いて解くことができる。

グラフ理論における最適経路問題とは、重み付きグラフの与えられた2つのノード間を結ぶ経路の中で、重みが最小の経路を求める最適化問題である。

最適経路問題を解くアルゴリズムとしては、以下にあげるものが存在するが、本調査では、一般的に使用されているダイクストラ法を用いて、最適経路を導出する。

- ・ ダイクストラ法
- ・ ベルマン-フォード法
- ・ ワーシャル-フロイド法

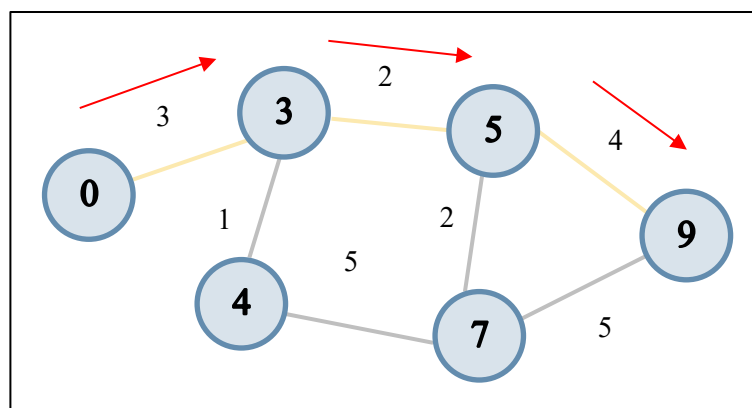


図 1 グラフのイメージ

### (A) ダイクストラ法について

ダイクストラ法とは、辺の重みが非負数の場合の単一起点最適経路問題を解くための最良優先探索によるアルゴリズムであり、カーナビや鉄道の経路案内でも利用されている。

ダイクストラ法のアルゴリズムは、以下のとおりである。

1. 始点に最短距離0を設定する。
2. まだ辿ってない点の中から最短距離が分かっていて最も距離が短い頂点に移動する。
3. その頂点から繋がっている頂点の最短距離を設定する。この時にその頂点の最短距離を更新できるなら更新する。
4. これをすべての頂点の最短距離をわかるまで行う。

## (B) ダイクストラ法を用いた最適経路の求め方

ダイクストラ法における点は、共通アダプテーションの SID 情報、TRANSITION 情報、航空路情報、直行経路情報、STAR 情報、APPROACH 情報を構成する FIX 名とし、辺の重みは、各 FIX 間の距離と定義する。

出発空港からの SID 情報、TRANSITION 情報、および航空路情報、直行経路情報、そして到着空港までの STAR 情報、APPROACH 情報でつながれた経路を辺とする。

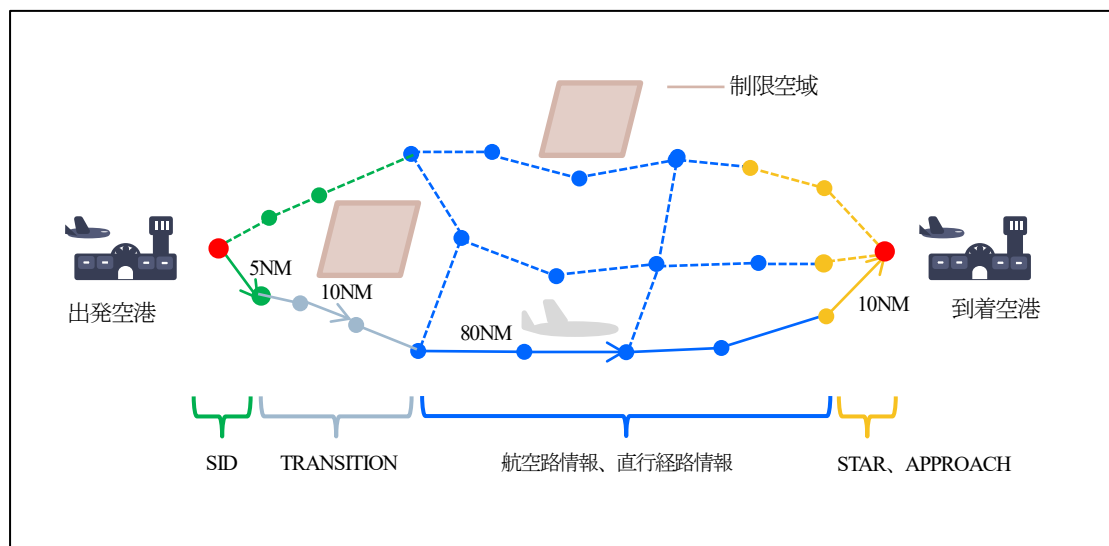


図 2 最適経路を求めるときのイメージ

また SID 情報、TRANSITION 情報、航空路情報、直行経路情報、STAR 情報、APPROACH 情報に含まれる経路のうち、表 6 に示す空域区分に属する制限空域を通過する経路について辺の対象から除外し、指定する制限空域を通過しない最適経路を求める。

表 6 最適経路作成で使用する制限空域の空域区分

| 空域区分 | 空域区分名称                   |
|------|--------------------------|
| JFRA | 自衛隊制限空域                  |
| USRA | 米軍制限空域 (RESTRICTED AREA) |
| USWA | 米軍制限空域 (WARNING AREA)    |
| LALT | 自衛隊低高度訓練/試験空域            |
| HALT | 自衛隊高高度訓練/試験空域            |
| SALT | 固定型空域留保                  |
| FREX | 射撃訓練                     |
| FRTE | 射撃試験                     |
| TMPT | 臨時訓練空域                   |
| IWO  | 硫黄島空域                    |
| EAST | 硫黄島東方臨時射場空域              |
| JSUA | 日米共同使用訓練空域               |
| STMP | 特別臨時訓練空域                 |
| AWCS | AWACS                    |

また、辺の距離については、FIX 情報アダプテーションをもとに FIX 名から緯度経度情報を取得し、「(4)距離の算出方法」のヒュベニの公式を用いて、各 FIX 間の距離を求め、各 FIX 間の距離の合計値が最適経路の距離とする。

なお、このとき経路は SID 情報や TRANSITION 情報などを考慮したつながる経路となるが、「(5)AIC 経路の距離の算出方法」にて示したとおり、AIC 経路の距離には、SID 情報、TRANSITION 情報、STA 情報、APPROACH 情報の地点が含まれておらず、出発空港から航空路に達する地点までは直線的な距離となっている。

そのため、最適経路の距離算出についても、SID 情報、TRANSITION 情報、STA 情報、APPROACH 情報の途中の経路は含めず、出発空港から最初の航空路の地点および最後の航空路から到着空港までの距離を求めることとする。

## (7) 運航便数の算出方法

AIC 経路を飛行した運航便数の集計は、2019 年の DAYPLAN 情報をもとに算出する。

運航便数は、以下の条件に合致したフライト情報をカウントする。

- ・ DAYPLAN 情報の「出発空港」、「到着空港」が AIC 経路のシティーペアと一致すること。
- ・ DAYPLAN 情報の「SDB 情報、高度、セクター名等の経路がわかる情報」－「オリジナル飛行経路（15 項）」から速度と高度および直行経路を除いたものと AIC 経路が部分一致すること

運航便数の集計対象となる DAYPLAN 情報の例を示す。

以下は BRUCE の有無が異なるが、部分一致するため集計対象となる。

出発空港：東京

到着空港：札幌

AIC 経路：

BRUCE AGRIS Y11 SAMBO Y119 OHMAR Y13 SIRAO Y139 NAVER

DAYPLAN 情報の「SDB 情報、高度、セクター名等の経路がわかる情報」－「オリジナル飛行経路（15 項）」：

N0454F390 AGRIS Y11 SAMBO Y119 OHMAR Y13 SIRAO Y139 NAVER

(8) 調査結果

AIC 経路と最適経路の経路差調査結果について表 7 に示す。

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (1/9)

| 01～標準経路<br>最頻実績経路:2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |     |                                                                        | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)                                                                                                               | AIC経路と最適経路の差(NM) | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |         |
|--------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------|---------|
| 経路No.                                | 空港① | 空港② | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                                 | 経路長(NM)              |                      | 最適経路の飛行経路                                                                                                                                                   | 最適経路の距離(NM)      | AIC経路-最適経路                  |         |
| 1                                    | 東京  | 札幌  | 01 BRUCE AGRIS Y11 SAMBO Y119 OHMAR Y13 SIRAO Y139 NAVER               | 446.368              | 9,159                | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE HANKA VARSU PEONY SAMBO JYONA CAPLY NONUT IBURI NAVER RJCC                                                                 | 442.557          | 3.811                       | 456.290 |
| 1                                    | 東京  | 札幌  | 02 BRUCE AGRIS Y11 SAMBO Y135 MRE Y13 SIRAO Y139 NAVER                 | 450.524              | 1                    |                                                                                                                                                             |                  | 7.966                       |         |
| 2                                    | 東京  | 福岡  | 01 LAYER RITLA Y20 KIRIN                                               | 491.251              | 0                    | RJTT RITLA LEBOS VENDI SUGAL TOLUM MORVA ARASI GINJI WAKIT KAMMY CLOVE BASIL SUNPI RUVEK STOUT KIRIN RJFF                                                   | 490.691          | 0.560                       | 490.691 |
| 2                                    | 東京  | 福岡  | 02 RITLA Y20 KIRIN                                                     | 490.691              | 8,553                |                                                                                                                                                             |                  | 0.000                       |         |
| 2                                    | 東京  | 福岡  | 03 TIARA RITLA Y20 KIRIN                                               | 490.917              | 0                    |                                                                                                                                                             |                  | 0.226                       |         |
| 2                                    | 東京  | 福岡  | 04 NINOX Y28 MARCO Y256 STOUT Y20 KIRIN                                | 493.077              | 41                   |                                                                                                                                                             |                  | 2.386                       |         |
| 3                                    | 東京  | 那覇  | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 AYANO Y128 LAXEL Y52 TONAR Y525 IHEYA | 875.387              | 4,833                | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME HANTO NADAR ALUYO TONAR PEPLA ONC LEXUS OKUMA ROAH                                                                             | 857.492          | 17.894                      | 879.099 |
| 4                                    | 東京  | 大阪  | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y546 AGPUK MIRAI ABENO IKOMA              | 239.244              | 0                    | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA OHDAI AGPUK RJOO                                                                                                         | 238.253          | 0.991                       | 240.195 |
| 5                                    | 東京  | 鹿児島 | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 TURFY Y24 SUC Y757 SPICA                        | 521.353              | 4                    | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA RUPAP TURFY JAKAL AZE FENIX JINGU KGE RJFK                                                                               | 520.077          | 1.277                       | 524.810 |
| 5                                    | 東京  | 鹿児島 | 02 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 KEC Y24 SUC Y757 SPICA                | 528.820              | 0                    |                                                                                                                                                             |                  | 8.743                       |         |
| 6                                    | 東京  | 広島  | 01 LAYER RITLA Y20 KAMMY Y202 AMURO                                    | 350.334              | 0                    | RJTT RITLA LEBOS VENDI SUGAL TOLUM MORVA ARASI GINJI WAKIT KAMMY LALAH BRITE AMURO RJOA                                                                     | 349.774          | 0.560                       | 349.660 |
| 6                                    | 東京  | 広島  | 02 RITLA Y20 KAMMY Y202 AMURO                                          | 349.774              | 2,841                |                                                                                                                                                             |                  | 0.000                       |         |
| 6                                    | 東京  | 広島  | 03 TIARA RITLA Y20 KAMMY Y202 AMURO                                    | 350.000              | 0                    |                                                                                                                                                             |                  | 0.226                       |         |
| 7                                    | 福岡  | 那覇  | 01 YAMGA HKC Y45 ONC Y525 IHEYA                                        | 491.194              | 7,212                | RJFF OMTA TAIME FUGEN HINAG SASIK TEMIP ADNOK IKASU ANLIK KOSHI MOMPA ATNOX BOMAP HACHA BINID ONC LEXUS OKUMA ROAH                                          | 479.581          | 11.613                      | 486.994 |
| 7                                    | 福岡  | 那覇  | 02 HKC A582 ONC Y525 IHEYA                                             | 487.248              | 0                    |                                                                                                                                                             |                  | 7.667                       |         |
| 8                                    | 東京  | 熊本  | 01 NINOX Y28 ONDOC Y452 OOITA Y40 KAZMA                                | 489.254              | 445                  | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA LABEL ANRIN PROOF KTE KOMPI SAKAI MALTA MYE SHONO OOITA WOODY IGLAT ASONO RJFT                                           | 485.203          | 4.051                       | 492.764 |
| 8                                    | 東京  | 熊本  | 02 NINOX Y28 MARCO Y45 OOITA Y40 KAZMA                                 | 493.312              | 2,389                |                                                                                                                                                             |                  | 8.109                       |         |
| 9                                    | 成田  | 札幌  | 01 KIMIN Y117 LEKOL Y119 OHMAR Y13 SIRAO Y139 NAVER                    | 432.639              | 2,936                | RJAA AKAGI JD HATRI YTE HANKA VARSU PEONY SAMBO JYONA CAPLY NONUT IBURI NAVER RJCC                                                                          | 446.649          | -14.010                     | 442.354 |
| 9                                    | 成田  | 札幌  | 02 KIMIN Y117 LEKOL Y119 SAMBO Y135 MRE Y13 SIRAO Y139 NAVER           | 436.794              | 0                    |                                                                                                                                                             |                  | -9.854                      |         |
| 10                                   | 東京  | 長崎  | 01 LAYER RITLA Y20 KAMMY Y204 OHGIE                                    | 534.837              | 0                    | RJTT NINOX BIVET KIDAX IPLES KCC BIWWA ADGUN MIDER SANDA HYOGO ASANO OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU BINGO BAMBO ONDOC MARCO CLIPA HIZET ACTIE DGC OHGIE RJFU | 531.171          | 3.666                       | 535.869 |
| 10                                   | 東京  | 長崎  | 02 RITLA Y20 KAMMY Y204 OHGIE                                          | 534.277              | 321                  |                                                                                                                                                             |                  | 3.106                       |         |
| 10                                   | 東京  | 長崎  | 03 TIARA RITLA Y20 KAMMY Y204 OHGIE                                    | 534.503              | 0                    |                                                                                                                                                             |                  | 3.332                       |         |
| 11                                   | 札幌  | 中部  | 01 DALBI Y120 TAPPI Y12 MBE Y121 SWING                                 | 539.618              | 3,477                | RJCC CHE MRE MAGGY UWE YAYOI KENSI AWASI GTC FINGA MBE RIPSU MAPLE SWING RJGG                                                                               | 530.202          | 9.416                       | 539.911 |
| 11                                   | 札幌  | 中部  | 02 CHE MKE HWE Y122 GTC Y12 MBE Y121 SWING                             | 547.320              | 3,026                |                                                                                                                                                             |                  | 17.118                      |         |
| 12                                   | 東京  | 松山  | 01 NINOX Y28 BAMBO Y283 ITUKI                                          | 380.020              | 1,968                | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA LABEL ANRIN PROOF KTE TAKMA KINOE ITUKI RJOM                                                                             | 386.174          | -6.154                      | 379.471 |
| 12                                   | 東京  | 松山  | 02 NINOX Y28 BAMBO Y283 MYE                                            | 380.400              | 0                    |                                                                                                                                                             |                  | -5.774                      |         |

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (2/9)

| 01～標準経路<br>最頻実績経路:2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |      |                                                                             | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)<br>最適経路の飛行経路 | 最適経路の距離(NM)                                                                                                                                             | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |         |
|--------------------------------------|-----|------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------|
| 経路No.                                | 空港① | 空港②  | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                                      | 経路長(NM)              |                      |                                                            |                                                                                                                                                         |                                |                             |         |
| 13                                   | 東京  | 宮崎   | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 TURFY Y24 SUC Y402 RYUGU                             | 487.127              | 2,836                | 6,503                                                      | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA RUPAP TURFY<br>JAKAL AZE RYUGU RJFM                                                                                  | 486.416                        | 0.710                       | 488.002 |
| 13                                   | 東京  | 宮崎   | 02 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 KEC Y24 SUC Y402<br>RYUGU                  | 494.593              | 48                   |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 8.177                       |         |
| 14                                   | 東京  | 関西   | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 DANDE                                     | 254.705              | 1,519                | 4,886                                                      | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA OHDAI ISPUM<br>RJBB                                                                                                  | 244.001                        | 10.704                      | 255.581 |
| 14                                   | 東京  | 関西   | 02 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 SINGU Y542 DATIS                          | 300.189              | 7                    |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 56.188                      |         |
| 14                                   | 東京  | 関西   | 03 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 KEC Y43 KISEI Y46 CANDY                    | 343.026              | 47                   |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 99.025                      |         |
| 15                                   | 東京  | 高松   | 01 NINOX Y28 IPLES Y207 ARASI Y20 WAKIT Y203 WIMPY                          | 307.975              | 2,113                | 4,704                                                      | RJTT RITLA LEBOS VENDI SUGAL TOLUM MORVA ARASI<br>GINJI WAKIT WIMPY RJOT                                                                                | 310.302                        | -2.327                      | 308.365 |
| 16                                   | 成田  | 福岡   | 01 ENPAR Y16 TEPEX Y88 SUGAL Y20 KIRIN                                      | 525.978              | 1,994                | 4,238                                                      | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU<br>SUGAL TOLUM MORVA ARASI GINJI WAKIT KAMMY CLOVE<br>BASIL SUNPI RUVEK STOUT KIRIN RJFF                 | 526.049                        | -0.070                      | 521.320 |
| 16                                   | 成田  | 福岡   | 02 ENPAR Y16 TEPEX Y88 KCC Y28 MARCO Y256 STOUT Y20<br>KIRIN                | 531.728              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 5.679                       |         |
| 17                                   | 那覇  | 中部   | 01 AMAMI Y574 SHIBK Y57 YULIA Y575 ALBAT Y755 CARDS                         | 733.669              | 3,041                | 4,649                                                      | ROAH OKUMA LEXUS ONC PECLA TONAR ALUYO KEC NATCH<br>CARDS RJGG                                                                                          | 708.314                        | 25.355                      | 733.746 |
| 18                                   | 東京  | 大分   | 01 NINOX Y28 MARCO Y45 YANAI BAIEN TFE                                      | 430.836              | 2,257                | 5,068                                                      | RJTT NINOX BIVET KIDAX IPLES KCC BIWWA ADGUN MIDER<br>SANDA HYOGO ASANO OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU<br>BINGO BAMBO ONDOC MARCO DONKO RJFO             | 430.099                        | 0.737                       | 430.288 |
| 19                                   | 東京  | 北九州  | 01 NINOX Y28 MARCO Y285 ASARI                                               | 445.989              | 2,446                | 5,787                                                      | RJTT NINOX BIVET KIDAX IPLES KCC BIWWA ADGUN MIDER<br>SANDA HYOGO ASANO OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU<br>BINGO BAMBO ONDOC MARCO SAZOH IWAYA ASARI RJFR | 445.989                        | 0.000                       | 445.441 |
| 19                                   | 東京  | 北九州  | 02 NINOX Y28 MARCO V28 UBE ASARI                                            | 446.332              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 0.342                       |         |
| 20                                   | 関西  | 那覇   | 01 LINDA GLORY Y34 SUKMO Y50 DONKY Y75 ONC Y525 IHEYA                       | 655.613              | 4,169                | 4,539                                                      | RJBB KRE OKITU SUC MADOG OMUSU LUKRA VEGAR RURIK<br>TUMGI AME YUWAN PINNE ONC LEXUS OKUMA ROAH                                                          | 636.431                        | 19.182                      | 649.647 |
| 21                                   | 関西  | 札幌   | 01 NANKO OGURA KYOTO SIGAK GUJYO Y13 SIRAO Y139 NAVER                       | 600.695              | 2,232                | 4,254                                                      | RJBB GUJYO GOHEI KROBE BASIN BENNY AKITA MRE SMELT<br>OHMAR MEKAB TIKYU KAMDO NAVER RJCC                                                                | 596.463                        | 4.232                       | 595.807 |
| 22                                   | 大阪  | 那覇   | 01 TIGER MAIKO AWAJI Y232 KRE SUKMO Y50 DONKY Y75 ONC<br>Y525 IHEYA         | 670.628              | 1,956                | 2,037                                                      | RJOO AWAJI SUNNY KRE OKITU SUC MADOG OMUSU LUKRA<br>VEGAR RURIK TUMGI AME YUWAN PINNE ONC LEXUS OKUMA<br>ROAH                                           | 657.252                        | 13.376                      | 670.466 |
| 22                                   | 大阪  | 那覇   | 02 TIGER SUMAR KTE V53 KRE SUKMO DONKY OSUZU MZE TGE<br>B597 ONC Y525 IHEYA | 682.717              | 26                   |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 25.465                      |         |
| 23                                   | 大阪  | 札幌   | 01 MINAC GUJYO Y13 SIRAO Y139 NAVER                                         | 580.371              | 2,185                | 3,930                                                      | RJOO GUJYO GOHEI KROBE BASIN BENNY AKITA MRE SMELT<br>OHMAR MEKAB TIKYU KAMDO NAVER RJCC                                                                | 575.760                        | 4.611                       | 573.831 |
| 24                                   | 那覇  | 宮古   | 01 GANJU Y576 YUTAH                                                         | 157.005              | 2                    | 5,091                                                      | ROAH GANJU GANAS YUTAH ROMY                                                                                                                             | 157.005                        | 0.000                       | 153.106 |
| 25                                   | 那覇  | 石垣   | 01 GANJU Y576 DIANA                                                         | 214.666              | 1                    | 6,056                                                      | ROAH GANJU GANAS YUTAH YUZKI DIANA ROIG                                                                                                                 | 214.666                        | 0.000                       | 215.748 |
| 26                                   | 東京  | 神戸   | 01 NINOX Y28 IPLES Y207 ARASI Y20 WAKIT Y201 TRACY                          | 287.065              | 1,499                | 3,300                                                      | RJTT RITLA LEBOS VENDI SUGAL TOLUM MORVA ARASI<br>GINJI WAKIT TRACY RJBE                                                                                | 289.391                        | -2.327                      | 287.892 |
| 27                                   | 東京  | 小松   | 01 BEKLA Y884 KMC                                                           | 173.258              | 1,648                | 3,648                                                      | RJTT BEKLA MBE KMC RJNK                                                                                                                                 | 173.258                        | -0.001                      | 173.781 |
| 27                                   | 東京  | 小松   | 02 BEKLA Y18 PIGAP Y88 KCC V52 KMC                                          | 223.881              | 7                    |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 50.622                      |         |
| 28                                   | 東京  | 函館   | 01 BRUCE AGRIS Y11 YTE Y113 TAXIR                                           | 376.591              | 0                    | 2,909                                                      | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE WAPPA ORUMU HINAI<br>YACHI MRE BYOBU HIBAR TAXIR RJCH                                                                  | 376.325                        | 0.266                       | 425.490 |
| 29                                   | 東京  | 徳島   | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 SINGU Y542 DATIS                          | 287.999              | 1,771                | 3,972                                                      | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA SINGU DINAH<br>GOBOH UBUYU DATIS RJOS                                                                                | 287.999                        | 0.000                       | 288.874 |
| 30                                   | 東京  | 岡山   | 01 NINOX Y28 IPLES Y207 ARASI Y20 WAKIT Y205 OYE                            | 298.167              | 1,646                | 3,634                                                      | RJTT RITLA LEBOS VENDI SUGAL TOLUM MORVA ARASI<br>GINJI WAKIT TRIPY MIMMY BENES RJOB                                                                    | 298.347                        | -0.181                      | 298.556 |
| 31                                   | 東京  | 旭川   | 01 BRUCE AGRIS Y11 NAVER Y139 ASIBE V7 AWE                                  | 504.919              | 1,156                | 2,552                                                      | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE HANKA VARSU PEONY<br>SAMBO JYONA CAPLY NONUT IBURI NAVER ASIBE RJEC                                                    | 504.180                        | 0.740                       | 519.434 |
| 32                                   | 東京  | 高知   | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 KEC Y24 TURFY Y242<br>PANCH                | 369.623              | 1,620                | 3,630                                                      | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA RUPAP TURFY<br>PANCH RJOK                                                                                            | 362.156                        | 7.466                       | 369.623 |
| 33                                   | 東京  | 山口宇部 | 01 NINOX Y28 MARCO Y284 UBE                                                 | 433.071              | 1,626                | 3,624                                                      | RJTT NINOX BIVET KIDAX IPLES KCC BIWWA ADGUN MIDER<br>SANDA HYOGO ASANO OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU<br>BINGO BAMBO ONDOC MARCO DEMIZ KATTA RJDC       | 432.964                        | 0.107                       | 432.523 |
| 34                                   | 福岡  | 中部   | 01 MYE Y412 TARBY Y41 NATCH Y755 CARDS                                      | 346.455              | 4,570                | 4,732                                                      | RJFF DGC ACTIE HIZET CLIPA MARCO ONDOC BAMBO BINGO                                                                                                      | 341.642                        | 4.813                       | 352.634 |
| 34                                   | 福岡  | 中部   | 02 MYE V56 KRE V37 KEC Y415 NATCH Y755 CARDS                                | 370.697              | 1                    |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 29.055                      |         |
| 35                                   | 東京  | 秋田   | 01 BRUCE AGRIS Y11 YTE Y32 CHOKA                                            | 246.589              | 1,436                | 3,269                                                      | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE MAMRO CHOKA RJSK                                                                                                       | 246.322                        | 0.266                       | 246.322 |
| 36                                   | 大阪  | 仙台   | 01 MINAC YOKKA KCC Y88 TENRU Y15 OWLET                                      | 343.242              | 4,861                | 5,460                                                      | RJOO KCC SWING NAKTU SUGAL TENRU MYOGI TADMI<br>DANDY HEIKE INAWA SHIRO NIRAX OWLET RJSS                                                                | 342.105                        | 1.137                       | 360.674 |
| 36                                   | 大阪  | 仙台   | 02 MINAC YOKKA KCC Y88 GYODA Y882 ONUMA Y883 INAWA Y15<br>OWLET             | 356.069              | 449                  |                                                            |                                                                                                                                                         |                                | 13.964                      |         |

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (3/9)

| 01～標準経路<br>最頻実績経路:2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |     |                                                                                                             | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)<br>最適経路の飛行経路 | 最適経路の距離(NM)                                                                                                                             | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |          |
|--------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| 経路No.                                | 空港① | 空港② | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                                                                      | 経路長(NM)              |                      |                                                            |                                                                                                                                         |                                |                             |          |
| 37                                   | 札幌  | 仙台  | 01 TOBBY Y10 HPE Y102 SDE                                                                                   | 282.702              | 4,674                | 5,538                                                      | RJCC CHE NAVER IBURI NONUT CAPLY JYONA HPE METEL SDE RJSS                                                                               | 281.346                        | 1.356                       | 282.702  |
| 37                                   | 札幌  | 仙台  | 02 DALBI Y120 RURUD Y125 METEL Y102 SDE                                                                     | 307.753              | 471                  |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 26.407                      |          |
| 38                                   | 成田  | 那覇  | 01 SAMUS Y84 HCE Y86 YULIA Y293 TONAR Y525 IHEYA                                                            | 939.249              | 784                  | 2,126                                                      | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU                                                                                          | 907.625                        | 31.623                      | 960.089  |
| 39                                   | 成田  | 関西  | 01 PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 DANDE                                                | 285.868              | 729                  | 2,874                                                      | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NAKTU KOHWA OHDAI ISPUM RJBB                                                       | 290.997                        | -5.129                      | 282.042  |
| 39                                   | 成田  | 関西  | 02 PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y544 SINGU Y542 DATIS                                     | 331.352              | 159                  |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 40.355                      |          |
| 39                                   | 成田  | 関西  | 03 PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 KEC Y43 KISEI Y46 CANDY                               | 374.189              | 178                  |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 83.192                      |          |
| 40                                   | 大阪  | 鹿児島 | 01 TIGER MAIKO AWAJI Y232 KRE SUKMO Y50 DONKY Y75 VEKVO Y757 SPICA                                          | 305.036              | 0                    | 4,770                                                      | RJOO AWAJI SUNNY KRE OKITU SUC FENIX JINGU KGE RJFK                                                                                     | 302.809                        | 2.227                       | 304.368  |
| 41                                   | 札幌  | 福岡  | 01 DALBI Y120 TAPPI Y12 ARIKA Y14 STOUT Y20 KIRIN                                                           | 803.359              | 873                  | 1,986                                                      | RJCC CHE ESANN HWE TAPPI SKIPE GNITS TAXUK SPIDR MIHOU BESMU OLTUN STOUT KIRIN RJFF                                                     | 773.407                        | 29.952                      | 811.805  |
| 41                                   | 札幌  | 福岡  | 02 DALBI Y120 TAPPI Y12 GTC Y45 MIHOU Y14 STOUT Y20 KIRIN                                                   | 829.746              | 1                    |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 56.338                      |          |
| 41                                   | 札幌  | 福岡  | 03 DALBI Y120 TAPPI Y12 GTC Y45 MARCO Y256 STOUT Y20 KIRIN                                                  | 854.939              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 81.532                      |          |
| 42                                   | 東京  | 帯広  | 01 BRUCE AGRIS Y11 YTE Y111 ERIMO Y110 OBE                                                                  | 505.316              | 906                  | 2,535                                                      | RJTT SYE OKUJI FKE HERON SDE MQE LIDEL ALICE ERIMO HIROO RACKO TAIKI RJCB                                                               | 497.335                        | 7.981                       | 505.097  |
| 43                                   | 那覇  | 神戸  | 01 AMAMI Y53 BECKY                                                                                          | 641.679              | 2,139                | 2,166                                                      | ROAH OKUMA LEXUS ONC PINNE YUWAN AME TUMGI RURIK VEGAR LUKRA OMUSU MADOG AZE BECKY RJBE                                                 | 642.511                        | -0.832                      | 664.167  |
| 44                                   | 大阪  | 宮崎  | 01 TIGER MAIKO AWAJI Y232 SIROK Y402 RYUGU                                                                  | 270.510              | 4,016                | 4,046                                                      | RJOO AWAJI SUNNY KRE SATKI AGRUM SIROK RYUGU RJFM                                                                                       | 268.866                        | 1.644                       | 268.866  |
| 45                                   | 東京  | 出雲  | 01 BEKLA Y18 RAKDA                                                                                          | 343.576              | 787                  | 1,815                                                      | RJTT BEKLA OLBER PIGAP VERUG ELKOT OVMAX YME RAKDA RJOC                                                                                 | 343.576                        | 0.000                       | 342.470  |
| 45                                   | 東京  | 出雲  | 02 BEKLA Y18 YME Y186 TRE G597 XZE                                                                          | 343.919              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 0.342                       |          |
| 46                                   | 東京  | 石垣  | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 AYANO Y128 LAXEL Y52 TONAR Y525 ONC KXC DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576 DIANA | 1079.605             | 0                    | 1,437                                                      | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME HANTO NADAR ALUYO TONAR PECLA ONC AZAMA VELNO GEMNI FREED MJC SHUJI UMAKI KAMPU GUSUK ROIG                 | 1075.159                       | 4.446                       | 1101.815 |
| 47                                   | 大阪  | 福岡  | 01 TIGER SUMAR AYAME SETOH SOUJA Y281 STOUT Y20 KIRIN                                                       | 272.879              | 2,748                | 3,548                                                      | RJOO BUMER AYAYA OLIVE BIZEN PIONE SOUJA UKELI CARPS UNSOB ELNEB STOUT KIRIN RJFF                                                       | 270.276                        | 2.603                       | 269.936  |
| 47                                   | 大阪  | 福岡  | 02 TIGER SUMAR AYAME SETOH WASYU Y28 MARCO Y256 STOUT Y20 KIRIN                                             | 274.934              | 776                  |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 4.659                       |          |
| 48                                   | 東京  | 米子  | 01 BEKLA Y18 RAKDA                                                                                          | 325.973              | 912                  | 2,057                                                      | RJTT BEKLA OLBER PIGAP VERUG ELKOT OVMAX YME RAKDA RJOH                                                                                 | 325.973                        | 0.000                       | 324.867  |
| 49                                   | 大阪  | 松山  | 01 TIGER SUMAR AYAME SETOH WASYU Y28 BAMBO Y283 ITUKI                                                       | 161.877              | 2,337                | 4,345                                                      | RJOO WASYU BINGO BAMBO ITUKI RJOM                                                                                                       | 160.596                        | 1.280                       | 160.596  |
| 49                                   | 大阪  | 松山  | 02 TIGER SUMAR AYAME SETOH WASYU Y28 BAMBO Y283 MYE                                                         | 162.257              | 2,007                |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 1.660                       |          |
| 50                                   | 東京  | 青森  | 01 BRUCE AGRIS Y11 YTE Y113 MRE                                                                             | 315.355              | 977                  | 2,169                                                      | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE WAPPA ORUMU HINAI YACHI RJSA                                                                           | 313.864                        | 1.491                       | 364.256  |
| 51                                   | 札幌  | 神戸  | 01 DALBI Y120 TAPPI Y12 ARIKA Y14 GOLDO Y381 KMC Y382 WAKIT Y201 TRACY                                      | 621.883              | 1,167                | 2,189                                                      | RJCC CHE ESANN HWE ARIKA NYUDO GOLDO HIMMY KMC SOTOM WAKIT TRACY RJBE                                                                   | 614.853                        | 7.030                       | 622.618  |
| 52                                   | 中部  | 鹿児島 | 01 ESPAN KEC Y24 SUC Y757 SPICA                                                                             | 378.575              | 0                    | 2,854                                                      | RJGG KEC HALON TURFY JAKAL KAZTO AZE FENIX JINGU KGE RJFK                                                                               | 374.611                        | 3.964                       | 378.472  |
| 52                                   | 中部  | 鹿児島 | 02 ESPAN KEC Y24 SUC MZE JINGU KGE                                                                          | 381.152              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 6.541                       |          |
| 53                                   | 東京  | 釧路  | 01 BRUCE AGRIS Y11 YTE Y111 CRANE                                                                           | 520.742              | 758                  | 2,177                                                      | RJTT SYE OKUJI FKE HERON SDE MQE LIDEL ALICE ERIMO AKESI CRANE RJCK                                                                     | 512.895                        | 7.847                       | 520.523  |
| 54                                   | 東京  | 女満別 | 01 BRUCE AGRIS Y11 YTE Y111 OZORA                                                                           | 571.256              | 629                  | 1,822                                                      | RJTT SYE OKUJI FKE HERON SDE MQE LIDEL ALICE ERIMO AKESI CRANE KSE OZORA RJCM                                                           | 563.409                        | 7.847                       | 571.037  |
| 55                                   | 関西  | 福岡  | 01 MAIKO WENDY SHION SOUJA Y281 STOUT Y20 KIRIN                                                             | 267.936              | 1,650                | 1,682                                                      | RJBB KRE OMOGO ROCKY MYE MARCO HASSY RISRU CARRY STOUT KIRIN RJFF                                                                       | 281.888                        | -13.952                     | 260.256  |
| 55                                   | 関西  | 福岡  | 02 MAIKO WENDY SHION HABAR Y602 MARCO Y256 STOUT Y20 KIRIN                                                  | 265.753              | 19                   |                                                            |                                                                                                                                         |                                | -16.136                     |          |
| 55                                   | 関西  | 福岡  | 03 MAIKO WENDY SHION WASYU Y28 MARCO Y256 STOUT Y20 KIRIN                                                   | 268.005              | 1                    |                                                            |                                                                                                                                         |                                | -13.883                     |          |
| 56                                   | 成田  | 大阪  | 01 PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y546 AGPUK MIRAI ABENO IKOMA                              | 270.406              | 0                    | 1,534                                                      | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NAKTU SWING CBE HISAI MEETS AGPUK RJOO                                             | 280.605                        | -10.198                     | 270.482  |
| 57                                   | 東京  | 佐賀  | 01 NINOX Y28 ONDOC Y452 OOITA Y40 MILEP UGAMU SGE                                                           | 536.602              | 0                    | 1,856                                                      | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA LABEL ANRIN PROOF KTE KOMPI SAKAI MALTA MYE SHONO OOITA WOODY IGLAT ASONO KAZMA TUJUN KUE OHMIS RJFS | 527.198                        | 9.404                       | 527.381  |
| 57                                   | 東京  | 佐賀  | 02 NINOX Y28 MARCO Y45 OOITA Y40 MILEP UGAMU SGE                                                            | 540.660              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                         |                                | 13.462                      |          |

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (4/9)

| 01～: 標準経路<br>最頻実績経路: 2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |      |                                                                                                             | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)<br>最適経路の飛行経路 | 最適経路の距離(NM)                                                                                                                                                                       | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |          |
|-----------------------------------------|-----|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| 経路No.                                   | 空港① | 空港②  | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                                                                      | 経路長(NM)              |                      |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                |                             |          |
| 58                                      | 大阪  | 熊本   | 01 TIGER SUMAR AYAME SETOH WASYU Y28 ONDOC Y452 OOITA Y40 KAZMA                                             | 271.111              | 231                  | 3,447                                                      | RJOO KTE KOMPI SAKAI MALTA MYE SHONO OOITA WOODY IGLAT ASONO RJFT                                                                                                                 | 258.510                        | 12.601                      | 273.888  |
| 58                                      | 大阪  | 熊本   | 02 TIGER SUMAR AYAME SETOH WASYU Y28 MARCO Y45 OOITA Y40 KAZMA                                              | 275.169              | 3,190                |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 16.659                      |          |
| 58                                      | 大阪  | 熊本   | 03 TIGER BUMER V28 MARCO DONKO TFE V40 KUE                                                                  | 280.464              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 21.954                      |          |
| 59                                      | 東京  | 岩国   | 01 NINOX Y28 MARCO                                                                                          | 395.049              | 818                  | 1,812                                                      | RJTT NINOX BIVET KIDAX IPLES KCC BIWWA ADGUN MIDER SANDA HYOGO ASANO OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU BINGO BAMBO ONDOC RJOI                                                         | 382.788                        | 12.261                      | 394.501  |
| 60                                      | 大阪  | 長崎   | 01 TIGER SUMAR AYAME SETOH SOUJA Y281 UKELI Y204 OHGIE                                                      | 316.008              | 188                  | 2,540                                                      | RJOO WASYU BINGO BAMBO ONDOC MARCO CLIPA HIZET ACTIE DGC OHGIE RJFU                                                                                                               | 311.748                        | 4.260                       | 318.854  |
| 60                                      | 大阪  | 長崎   | 02 TIGER SUMAR AYAME SETOH WASYU Y28 DGC Y204 OHGIE TAKEO OLE                                               | 314.281              | 41                   |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 2.533                       |          |
| 61                                      | 東京  | 鳥取   | 01 BEKLA Y18 YME Y186 TRE                                                                                   | 280.766              | 823                  | 1,807                                                      | RJTT BEKLA OLBER PIGAP VERUG ELKOT OVMAX YME KANNA RJOR                                                                                                                           | 280.608                        | 0.158                       | 279.563  |
| 62                                      | 成田  | 中部   | 01 PIGOK Y50 OLTOM                                                                                          | 192.661              | 955                  | 2,007                                                      | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NEZAM SLIDE RJGG                                                                                                             | 198.933                        | -6.272                      | 188.752  |
| 63                                      | 東京  | 庄内   | 01 BRUCE AGRIS Y11 SHIRO Y115 USUBA YSE                                                                     | 204.858              | 659                  | 1,449                                                      | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO GASAN USUBA RJSY                                                                                                                                     | 204.490                        | 0.368                       | 204.591  |
| 64                                      | 大阪  | 新潟   | 01 MINAC YOKKA KCC Y312 MAGNA                                                                               | 272.358              | 0                    | 3,586                                                      | RJOO KCC AZUMI PAPNA NAEBI MAGNA RJSN                                                                                                                                             | 271.221                        | 1.137                       | 274.446  |
| 65                                      | 東京  | 富山   | 01 BEKLA Y885 URUSI                                                                                         | 160.027              | 663                  | 1,453                                                      | RJTT BEKLA MBE TOE MEDIC RJNT                                                                                                                                                     | 167.222                        | -7.194                      | 164.620  |
| 65                                      | 東京  | 富山   | 02 BEKLA Y18 PIGAP Y88 KCC V52 KMC Y45 URUSI                                                                | 277.563              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 110.342                     |          |
| 66                                      | 関西  | 仙台   | 01 ISPUM NARAH UENOH KCC Y88 TENRU Y15 OWLET                                                                | 362.833              | 0                    | 1,096                                                      | RJBB KCC SWING NAKTU SUGAL TENRU MYOGI TADMI DANDY HEIKE INAWA SHIRO NIRAX OWLET RJSS                                                                                             | 360.731                        | 2.102                       | 381.311  |
| 67                                      | 鹿児島 | 奄美大島 | 01 HKC Y45 BOMAP Y25 KANAH                                                                                  | 212.763              | 3,272                | 3,495                                                      | RJFK HKC AKASE RURIK TUMGI RJKA                                                                                                                                                   | 212.560                        | 0.203                       | 212.756  |
| 67                                      | 鹿児島 | 奄美大島 | 02 HKC A582 ANOXA AME                                                                                       | 221.047              | 64                   |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 8.488                       |          |
| 67                                      | 鹿児島 | 奄美大島 | 03 HKC Y45 ANOXA AME                                                                                        | 221.047              | 142                  |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 8.488                       |          |
| 68                                      | 福岡  | 宮崎   | 01 YAMGA KUE ESKAP KROMA ENBEN MZE                                                                          | 114.566              | 0                    | 4,673                                                      | RJFF KUE ESLIL HIGOH KROMA ENBEN RJFM                                                                                                                                             | 146.410                        | -31.844                     | 114.337  |
| 68                                      | 福岡  | 宮崎   | 02 KUE ESKAP KROMA ENBEN MZE                                                                                | 114.337              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | -32.072                     |          |
| 69                                      | 神戸  | 長崎   | 01 MAIKO WENDY SHION SOUJA Y281 UKELI Y204 OHGIE                                                            | 306.600              | 77                   | 1,170                                                      | RJBE OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU BINGO BAMBO ONDOC MARCO CLIPA HIZET ACTIE DGC OHGIE RJFU                                                                                       | 302.826                        | 3.775                       | 307.748  |
| 69                                      | 神戸  | 長崎   | 02 MAIKO WENDY SHION WASYU V28 DGC OHGIE TAKEO OLE                                                          | 304.267              | 8                    |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 1.441                       |          |
| 70                                      | 関西  | 石垣   | 01 LINDA GLORY Y34 SUKMO Y50 DONKY Y75 ONC KXC DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576 DIANA                           | 859.832              | 0                    | 1,084                                                      | RJBB KRE OKITU SUC MADOG OMUSU LUKRA VEGAR RURIK TUMGI AME YUWAN PINNE ONC AZAMA VELNO GEMNI FREED MJC SHUJI UMAKI KAMPU GUSUK ROIG                                               | 854.098                        | 5.733                       | 872.363  |
| 71                                      | 東京  | 宮古   | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 AYANO Y128 LAXEL Y52 TONAR Y525 ONC KXC DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576 YUTAH | 1021.944             | 0                    | 716                                                        | RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME HANTO NADAR ALUYO TONAR PECLA ONC AZAMA NHC KAKDA GANAS YUTAH ROMY                                                                                   | 1027.502                       | -5.558                      | 1043.448 |
| 72                                      | 成田  | 高松   | 01 ENPAR Y16 TEPEX Y88 SUGAL Y20 WAKIT Y203 WIMPY                                                           | 345.589              | 386                  | 832                                                        | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL TOLUM MORVA ARASI GINJI WAKIT WIMPY RJOT                                                                                     | 345.660                        | -0.070                      | 345.589  |
| 73                                      | 大阪  | 青森   | 01 MINAC GUJYO Y13 AKITA Y131 HINAI Y113 MRE                                                                | 452.043              | 2,111                | 2,134                                                      | RJOO GUJYO GOHEI KROBE BASIN BENNY AKITA HINAI YACHI RJSA                                                                                                                         | 446.521                        | 5.523                       | 445.503  |
| 74                                      | 神戸  | 茨城   | 01 MAIKO STEEL REVUE HYOGO SANDA MIDER Y28 KCC Y88 DAIGO Y887 TATSU NAKAH                                   | 362.701              | 0                    | 875                                                        | RJBE OLIVE ASANO HYOGO SANDA MIDER ADGUN BIWWA KCC SWING NAKTU SUGAL TENRU PIGAP OSPAN TEPEX GYODA AKAGI JD NAKAH RJAH                                                            | 366.781                        | -4.079                      | 327.378  |
| 75                                      | 大阪  | 高知   | 01 TIGER SUMAR AYAME Y282 POPPY                                                                             | 125.802              | 2,164                | 2,173                                                      | RJOO AWAJI SUNNY KRE RJOK                                                                                                                                                         | 115.529                        | 10.273                      | 124.709  |
| 75                                      | 大阪  | 高知   | 02 TIGER SUMAR KTE V53 KRE                                                                                  | 124.267              | 3                    |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 8.739                       |          |
| 76                                      | 関西  | 鹿児島  | 01 LINDA GLORY Y34 SUKMO Y50 DONKY Y75 VEKVO Y757 SPICA                                                     | 290.022              | 0                    | 766                                                        | RJBB KRE OKITU SUC FENIX JINGU KGE RJFK                                                                                                                                           | 281.988                        | 8.034                       | 283.548  |
| 77                                      | 成田  | 松山   | 01 REDEK Y60 TOKOM Y604 WASYU Y28 BAMBO Y283 ITUKI                                                          | 416.564              | 360                  | 785                                                        | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NAKTU SWING KCC BIWWA ADGUN MIDER SANDA HYOGO ASANO OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU BINGO BAMBO ITUKI RJOM                     | 418.741                        | -2.177                      | 416.057  |
| 77                                      | 成田  | 松山   | 02 REDEK Y60 TOKOM Y604 WASYU Y28 BAMBO Y283 MYE                                                            | 416.944              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | -1.797                      |          |
| 78                                      | 東京  | 中部   | 01 BEKLA Y18 PIGAP Y88 SUGAL Y881 SLIDE                                                                     | 169.658              | 537                  | 1,261                                                      | RJTT RITLA LEBOS VENDI SUGAL NEZAM SLIDE RJGG                                                                                                                                     | 163.575                        | 6.083                       | 173.479  |
| 79                                      | 成田  | 熊本   | 01 REDEK Y60 BALIE Y452 OOITA Y40 KAZMA                                                                     | 520.627              | 61                   | 709                                                        | RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NAKTU SWING KCC BIWWA ADGUN MIDER SANDA HYOGO ASANO AYAME SHION KTE KOMPI SAKAI MALTA MYE SHONO OOITA WOODY IGLAT ASONO RJFT | 523.014                        | -2.387                      | 527.775  |
| 80                                      | 大阪  | 大分   | 01 TIGER SUMAR AYAME SETOH WASYU Y28 MARCO Y45 YANAI BAIEN TFE                                              | 212.694              | 2,521                | 2,522                                                      | RJOO WASYU BINGO BAMBO ONDOC MARCO DONKO RJFO                                                                                                                                     | 210.676                        | 2.018                       | 211.413  |
| 80                                      | 大阪  | 大分   | 02 TIGER BUMER V28 MARCO DONKO TFE                                                                          | 218.518              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 7.842                       |          |
| 81                                      | 中部  | 仙台   | 03 MORIZ TSUGU CHAUS Y151 MYOGI Y15 OWLET                                                                   | 285.838              | 1,205                | 2,379                                                      | RJGG KCC SWING NAKTU SUGAL TENRU MYOGI TADMI DANDY HEIKE INAWA SHIRO NIRAX OWLET RJSS                                                                                             | 288.856                        | -3.018                      | 285.837  |
| 81                                      | 中部  | 仙台   | 04 MORIZ TSUGU CHAUS TENRU Y88 GYODA Y882 ONUMA Y883 INAWA Y15 OWLET                                        | 301.846              | 1,115                |                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                | 12.990                      |          |



表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (5/9)

| 01～: 標準経路<br>最頻実績経路: 2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |      |                                                                                          | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)<br>最適経路の飛行経路                                                                                                                    | 最適経路の距離(NM) | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |
|-----------------------------------------|-----|------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 経路No.                                   | 空港① | 空港②  | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                                                   | 経路長(NM)              |                      |                                                                                                                                                                               |             |                                |                             |
| 82                                      | 東京  | 三沢   | 01 BRUCE AGRIS Y11 SAMBO V10 MIS                                                         | 321.323              | 485                  | 1,075 RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE HANKA VARSU PEONY SAMBO RJSM                                                                                                           | 320.122     | 1.202                          | 333.857                     |
| 83                                      | 大阪  | 秋田   | 01 MINAC YOKKA KCC Y312 GTC Y312 YAYOI                                                   | 384.617              | 0                    | 2,179 RJOO KCC AZUMI PAPNA NAEBGA GTC AWASI KENSI YAYOI RJSK                                                                                                                  | 383.480     | 1.137                          | 386.286                     |
| 83                                      | 大阪  | 秋田   | 01 MINAC YOKKA KCC Y312 YAYOI                                                            | 384.617              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | 1.137                          |                             |
| 84                                      | 神戸  | 鹿児島  | 01 MAIKO WENDY Y34 SUKMO Y50 DONKY Y75 VEKVO Y757 SPICA                                  | 291.502              | 0                    | 790 RJBE MAIKO WENDY GLORY TANTA BUGGY POPPY OSUGO SUKMO AVKAM DONKY LEONA HKC RJFK                                                                                           | 304.398     | -12.896                        | 291.182                     |
| 84                                      | 神戸  | 鹿児島  | 02 MAIKO WENDY Y34 SUKMO Y50 DONKY OSUZU MZE JINGU KGE                                   | 293.350              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | -11.048                        |                             |
| 85                                      | 成田  | 広島   | 01 ENPAR Y16 TEPEX Y88 SUGAL Y20 KAMMY Y202 AMURO                                        | 385.062              | 488                  | 1,076 RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL TOLUM MORVA ARASI GINJI WAKIT KAMMY LALAH BRITE AMURO RJOA                                                         | 385.132     | -0.070                         | 380.662                     |
| 86                                      | 札幌  | 女満別  | 01 RAKNO V6 OBE V4 GINGA                                                                 | 147.978              | 2,165                | 2,166 RJCC BOKSO NOTAK OSABU EATAK GINGA RJCM                                                                                                                                 | 141.903     | 6.074                          | 147.978                     |
| 87                                      | 神戸  | 仙台   | 01 MAIKO STEEL REVUE HYOGO SANDA MIDER Y28 KCC Y88 TENRU Y15 OWLET                       | 392.428              | 0                    | 728 RJBE OLIVE YME KMC ZUWAI ETIGO VIKET AIZUH LANCE RJSS                                                                                                                     | 417.736     | -25.308                        | 375.674                     |
| 87                                      | 神戸  | 仙台   | 02 MAIKO STEEL REVUE HYOGO SANDA MIDER Y28 KCC Y88 GYODA Y882 ONUMA Y883 INAWA Y15 OWLET | 405.256              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | -12.480                        |                             |
| 88                                      | 札幌  | 茨城   | 01 TOBBY Y10 DAIGO Y887 TATSU NAKAH                                                      | 413.756              | 726                  | 727 RJCC CHE NAVER IBURI NONUT CAPLY JYONA HPE METEL SDE IXE TATSU RJAH                                                                                                       | 405.328     | 8.428                          | 413.756                     |
| 88                                      | 札幌  | 茨城   | 02 DALBI Y120 RURUD Y125 METEL Y102 SDE Y106 RUBIS Y10 DAIGO Y887 TATSU NAKAH            | 440.409              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | 35.081                         |                             |
| 89                                      | 東京  | 八丈島  | 01 VAMOS XAC Y588 MOE V18 HCE                                                            | 153.949              | 473                  | 1,070 RJTT XAC NIVIL MOE GYOGN SANGO RJTH                                                                                                                                     | 152.263     | 1.686                          | 146.250                     |
| 89                                      | 東京  | 八丈島  | 02 VADAR XAC V18 HCE                                                                     | 158.440              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | 6.177                          |                             |
| 90                                      | 福岡  | 対馬   | 01 DGC A595 IKE HASMA AGATA                                                              | 77.208               | 1,488                | 1,779 RJFF DGC IKE HASMA AGATA RJDT                                                                                                                                           | 77.208      | 0.000                          | 77.208                      |
| 91                                      | 那覇  | 鹿児島  | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y455 KINKO                                                            | 384.533              | 724                  | 738 ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP OLSER ENPAD SAZMA MAKRA ISKID RJFK                                                                                                 | 376.088     | 8.444                          | 384.606                     |
| 92                                      | 東京  | 南紀白浜 | 01 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 RAYJO                                                   | 262.768              | 488                  | 1,085 RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME KOHWA SHIMA AYANO RAYJO RJBD                                                                                                               | 262.768     | 0.000                          | 263.643                     |
| 92                                      | 東京  | 南紀白浜 | 02 LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 KEC Y43 KISEI NKE                                       | 286.619              | 1                    |                                                                                                                                                                               |             | 23.851                         |                             |
| 93                                      | 東京  | 能登   | 01 BEKLA Y885 AZUMI V57 HAPPO                                                            | 189.869              | 331                  | 726 RJTT BEKLA AZUMI HAPPO RJNW                                                                                                                                               | 189.869     | 0.000                          | 194.462                     |
| 93                                      | 東京  | 能登   | 02 BEKLA Y18 PIGAP Y88 KCC V52 KMC Y45 URUSI NTE                                         | 296.528              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | 106.659                        |                             |
| 94                                      | 札幌  | 広島   | 01 DALBI Y120 TAPPI Y12 ARIKA Y14 GOLDO Y381 KMC Y382 WAKIT Y20 KAMMY Y202 AMURO         | 682.266              | 382                  | 724 RJCC CHE ESANN HWE ARIKA NYUDO GOLDO HIMMY KMC SOTOM WAKIT KAMMY LALAH BRITE AMURO RJOA                                                                                   | 675.236     | 7.030                          | 674.883                     |
| 95                                      | 成田  | 大分   | 01 REDEK Y60 TOKOM Y604 WASYU Y28 MARCO Y45 YANAI BAIEN TFE                              | 467.381              | 226                  | 504 RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NAKTU SWING KCC BIWWA ADGUN MIDER SANDA HYOGO ASANO OLIVE BIZEN PIONE DANGO WASYU BINGO BAMBO ONDOC MARCO DONKO RJFO | 468.821     | -1.440                         | 467.381                     |
| 96                                      | 札幌  | 青森   | 01 DALBI Y146 HIBAR Y113 BYOBU                                                           | 148.829              | 948                  | 1,772 RJCC CHE ESANN HWE TAXIR HIBAR BYOBU RJSA                                                                                                                               | 134.609     | 14.220                         | 133.994                     |
| 97                                      | 札幌  | 新潟   | 01 DALBI Y120 OBAKO Y122 INAHO                                                           | 323.976              | 217                  | 1,572 RJCC CHE ESANN HWE TSURU OBAKO YOHKO ATUMI BUDOH INAHO RJSN                                                                                                             | 314.164     | 9.812                          | 316.728                     |
| 98                                      | 中部  | 宮崎   | 01 ESPAN KEC Y24 SUC Y402 RYUGU                                                          | 344.348              | 1,090                | 1,112 RJGG KEC HALON TURFY JAKAL KAZTO AZE RYUGU RJFM                                                                                                                         | 340.951     | 3.397                          | 341.664                     |
| 99                                      | 大阪  | 出雲   | 01 TIGER ASAGI TOZAN Y188 RAKDA                                                          | 144.912              | 0                    | 1,448 RJOO TOZAN RAKDA RJOC                                                                                                                                                   | 136.658     | 8.254                          | 136.658                     |
| 99                                      | 大阪  | 出雲   | 02 TIGER ASAGI TOZAN TRE G597 XZE                                                        | 148.852              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | 12.194                         |                             |
| 100                                     | 福岡  | 仙台   | 01 MARCO Y45 KMC Y515 LANCE                                                              | 598.961              | 2,486                | 2,525 RJFF DGC STOUT OLTUN BESMU MIHOU SAKYU MADUL SONBU KMC ZUWAI ETIGO VIKET AIZUH LANCE RJSS                                                                               | 590.930     | 8.031                          | 598.961                     |
| 100                                     | 福岡  | 仙台   | 02 MARCO Y45 GTC R217 SDE                                                                | 604.574              | 4                    |                                                                                                                                                                               |             | 13.644                         |                             |
| 101                                     | 大阪  | 花巻   | 01 MINAC YOKKA KCC Y312 GTC YTE Y153 SIOMO                                               | 408.978              | 0                    | 1,445 RJOO KCC AZUMI PAPNA NAEBGA GTC MAMRO HANKA TOLEK HPE RJSI                                                                                                              | 401.371     | 7.606                          | 410.647                     |
| 101                                     | 大阪  | 花巻   | 02 MINAC YOKKA KCC Y312 GTC YTE Y153 HPE                                                 | 409.477              | 0                    |                                                                                                                                                                               |             | 8.105                          |                             |
| 102                                     | 福岡  | 松山   | 01 MYE                                                                                   | 113.523              | 1,435                | 1,445 RJFF DGC ACTIE HIZET CLIPA MARCO RJOM                                                                                                                                   | 128.817     | -15.294                        | 113.462                     |
| 103                                     | 中部  | 長崎   | 01 HIKNE Y207 ARASI Y20 KAMMY Y204 OHGIE                                                 | 392.469              | 58                   | 758 RJGG HIKNE KRAMA ARASI GINJI WAKIT KAMMY UKELI MINTO IBIPI DGC OHGIE RJFU                                                                                                 | 392.469     | 0.000                          | 394.434                     |
| 103                                     | 中部  | 長崎   | 02 PIONE Y28 DGC Y204 OHGIE TAKEO OLE                                                    | 381.391              | 2                    |                                                                                                                                                                               |             | -11.078                        |                             |
| 104                                     | 東京  | 大館能代 | 01 BRUCE AGRIS Y11 YTE Y32 UWE BONJI ODE                                                 | 283.150              | 331                  | 725 RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE MAMRO CHOKA RJSK MAGGY RJSR                                                                                                              | 281.673     | 1.477                          | 283.139                     |
| 105                                     | 成田  | 宮崎   | 01 PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 TURFY Y24 SUC Y402 RYUGU                     | 518.289              | 213                  | 476 RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NAKTU SWING CBE HISAI MEETS IZUMI KAINA MIRIO BECKY BRAVE SUC RYUGU RJFM                                             | 533.095     | -14.805                        | 514.463                     |
| 106                                     | 大阪  | 函館   | 01 MINAC GUJYO Y13 AKITA Y131 HINAI Y113 TAXIR                                           | 513.280              | 0                    | 735 RJOO GUJYO GOHEI KROBE BASIN BENNY AKITA MRE BYOBU HIBAR TAXIR RJCH                                                                                                       | 506.548     | 6.731                          | 504.305                     |

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (6/9)

| 01～: 標準経路<br>最頻実績経路: 2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |     |                                                                                              | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)                                                                                                 | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |          |
|-----------------------------------------|-----|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| 経路No.                                   | 空港① | 空港② | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                                                       | 経路長(NM)              |                      | 最適経路の飛行経路                                                                                                                                     | 最適経路の距離(NM)                    |                             |          |
| 107                                     | 東京  | 石見  | 01 BEKLA Y18 ORUDA Y143 SAMBA BLUES                                                          | 417.223              | 329                  | 724 RJTT BEKLA OLBER PIGAP VERUG ELKOT OVMAX YME RAKDA ORUDA ADLEB DULOK LATOR VIBEL OSPEL SAMBA BLUES RJOW                                   | 417.223                        | 0.000                       | 416.117  |
| 108                                     | 那覇  | 仙台  | 01 AMAMI Y574 SHIBK Y57 YULIA Y575 ALBAT Y755 CARDS HIOTI CBE Y121 SWING Y88 TENRU Y15 OWLET | 1018.008             | 342                  | 365 ROAH OKUMA LEXUS ONC PEBLA TONAR ALUYO KEC RAYJO AYANO SHIMA KOHWA NAKTU SUGAL TENRU MYOGI TADMI DANDY HEIKE INAWA SHIRO NIRAX OWLET RJSS | 990.785                        | 27.224                      | 1036.626 |
| 109                                     | 成田  | 鹿児島 | 01 PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 TURFY Y24 SUC Y757 SPICA                         | 552.516              | 1                    | 446 RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL NAKTU SWING CBE LABEL BALSA SUKMO AVKAM DONKY LEONA HKC RJFK                         | 576.647                        | -24.131                     | 551.271  |
| 110                                     | 那覇  | 広島  | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y45 MARCO Y453 SUNFL MISEN HGE                                            | 585.759              | 362                  | 364 ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP OLSER ENPAD SAZMA MAKRA ISKID HKC HIGOH KROMA ORAMO BARBA WOODY TFE MARCO SUNFL MISEN RJOA         | 578.900                        | 6.859                       | 586.735  |
| 110                                     | 那覇  | 広島  | 02 LAVON NHC A582 HKC V54 WOODY V40 TFE DONKO MARCO V28 HGE                                  | 603.393              | 0                    |                                                                                                                                               |                                | 24.492                      |          |
| 111                                     | 成田  | 佐賀  | 01 REDEK Y60 BALIE Y452 OOITA Y40 MILEP UGAMU SGE                                            | 567.975              | 0                    | 421 RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL TOLUM MORVA ARASI GINJI WAKIT KAMMY UKELI MINTO IBIPI DGC SGE RJFS                   | 550.687                        | 17.288                      | 562.392  |
| 112                                     | 鹿児島 | 徳之島 | 01 HKC Y45 ANOXA                                                                             | 257.028              | 1,430                | 1,456 RJFK HKC ISKID MAKRA SAZMA ENPAD OLSER BOMAP LEMEG ANOXA RJKN                                                                           | 257.028                        | 0.000                       | 257.011  |
| 112                                     | 鹿児島 | 徳之島 | 02 HKC A582 HACHA TKE                                                                        | 258.363              | 21                   |                                                                                                                                               |                                | 1.336                       |          |
| 113                                     | 関西  | 宮崎  | 01 LINDA GLORY Y34 POPPY V53 KRE Y232 SIROK Y402 RYUGU                                       | 257.225              | 378                  | 381 RJBB KRE SATKI AGRUM SIROK RYUGU RJFM                                                                                                     | 248.045                        | 9.180                       | 251.337  |
| 114                                     | 那覇  | 高松  | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y45 OOITA Y40 MYE Y283 KINOE Y288 TAKMA KTE                               | 623.730              | 352                  | 361 ROAH OKUMA LEXUS ONC PINNE YUWAN AME TUMGI RURIK VEGAR LUKRA OMUSU MADOG SUC OKITU KRE POPPY OBOKE KTE UTAZU RJOT                         | 609.677                        | 14.054                      | 623.797  |
| 114                                     | 那覇  | 高松  | 02 LAVON NHC A582 HKC V54 WOODY V40 MYE V56 KRE V53 KTE                                      | 666.795              | 0                    |                                                                                                                                               |                                | 57.118                      |          |
| 115                                     | 東京  | 稚内  | 01 BRUCE AGRIS Y11 CHE Y10 YOROI V1 WKE                                                      | 601.084              | 230                  | 470 RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE HANKA VARSU PEONY SAMBO JYONA CAPLY NONUT IBURI NAVER CHE RUMOI YOROI RJCW                               | 600.410                        | 0.673                       | 614.550  |
| 116                                     | 札幌  | 秋田  | 01 DALBI Y120 RURUD Y125 IWASE Y144 MAGGY                                                    | 217.316              | 774                  | 1,447 RJCC CHE MRE MAGGY RJSK                                                                                                                 | 201.131                        | 16.186                      | 203.688  |
| 117                                     | 関西  | 宮古  | 01 LINDA GLORY Y34 SUKMO Y50 DONKY Y75 ONC KXC DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576 YUTAH            | 802.171              | 0                    | 430 RJBB KRE OKITU SUC MADOG OMUSU LUKRA VEGAR RURIK TUMGI AME YUWAN PINNE ONC AZAMA NHC KAKDA GANAS YUTAH ROMY                               | 806.441                        | -4.270                      | 813.997  |
| 118                                     | 中部  | 熊本  | 01 PIONE Y28 ONDOC Y452 OOITA Y40 KAZMA                                                      | 338.221              | 72                   | 804 RJGG HIKNE KRAMA ARASI GINJI WAKIT ASANO AYAME SHION KTE KOMPI SAKAI MALTA MYE SHONO OOITA WOODY IGLAT ASONO RJFT                         | 348.037                        | -9.816                      | 342.279  |
| 118                                     | 中部  | 熊本  | 02 PIONE Y28 MARCO Y45 OOITA Y40 KAZMA                                                       | 342.279              | 727                  |                                                                                                                                               |                                | -5.758                      |          |
| 119                                     | 丘珠  | 函館  | 最頻実績経路 MOIWA V2 HWE                                                                          | 85.283               | 2,051                | 2,056 RJCO SPE MOIWA TEKKO HWE RJCH                                                                                                           | 91.962                         | -6.678                      | 85.283   |
| 120                                     | 大阪  | 福島  | 01 MINAC YOKKA KCC Y88 DAIGO                                                                 | 298.564              | 972                  | 1,432 RJOO KCC SWING NAKTU SUGAL TENRU PIGAP OSPAN TEPEX GYODA AKAGI JD HAGAR OKUJI RJSF                                                      | 296.768                        | 1.796                       | 297.427  |
| 120                                     | 大阪  | 福島  | 02 MINAC YOKKA KCC Y88 JD HAGAR OKUJI FKE                                                    | 298.251              | 446                  |                                                                                                                                               |                                | 1.483                       |          |
| 121                                     | 関西  | 長崎  | 01 MAIKO WENDY SHION SOUJA Y281 UKELI Y204 OHGIE                                             | 311.065              | 26                   | 364 RJBB KRE DONAR OOITA WOODY IGLAT ASONO KAZMA TUJUN KUE TAIME IRPIN MILEP MNE RJFU                                                         | 291.752                        | 19.314                      | 309.174  |
| 121                                     | 関西  | 長崎  | 02 MAIKO WENDY SHION HABAR Y602 MARCO Y28 DGC Y204 OHGIE TAKEO OLE                           | 305.099              | 6                    |                                                                                                                                               |                                | 13.348                      |          |
| 122                                     | 大阪  | 山形  | 01 MINAC YOKKA KCC Y312 GTC Y512 ELDAK                                                       | 340.455              | 0                    | 1,086 RJOO KCC AZUMI PAPNA NAEBG GTC ELDAK RJSC                                                                                               | 339.319                        | 1.137                       | 342.124  |
| 122                                     | 大阪  | 山形  | 02 MINAC YOKKA KCC Y312 GTC YTE                                                              | 338.315              | 0                    |                                                                                                                                               |                                | -1.003                      |          |
| 123                                     | 成田  | 長崎  | 01 ENPAR Y16 TEPEX Y88 SUGAL Y20 KAMMY Y204 OHGIE                                            | 569.564              | 29                   | 365 RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU SUGAL TOLUM MORVA ARASI GINJI WAKIT KAMMY UKELI MINTO IBIPI DGC OHGIE RJFU                 | 569.635                        | -0.070                      | 566.871  |
| 123                                     | 成田  | 長崎  | 02 ENPAR Y16 TEPEX Y88 KCC Y28 DGC Y204 OHGIE TAKEO OLE                                      | 571.075              | 0                    |                                                                                                                                               |                                | 1.440                       |          |
| 124                                     | 関西  | 釧路  | 01 ISPUM NARAH UENOH KCC Y312 GTC Y124 MQE Y111 CRANE                                        | 700.096              | 0                    | 357 RJBB KCC AZUMI PAPNA NAEBG GTC MAMRO HANKA TOLEK HPE MQE LIDEL ALICE ERIMO AKESI CRANE RJCK                                               | 697.995                        | 2.102                       | 751.543  |
| 125                                     | 関西  | 新潟  | 01 NANKO OGURA KYOTO SIGAK KCC Y312 MAGNA                                                    | 293.200              | 0                    | 382 RJBB KCC AZUMI PAPNA NAEBG MAGNA RJSN                                                                                                     | 289.847                        | 3.353                       | 293.073  |
| 126                                     | 札幌  | 中標津 | 01 RAKNO V6 OBE SHORO KSE V2 MASHU                                                           | 164.241              | 1,078                | 1,084 RJCC BOKSO BISEI IKEDA KOTAN KSE MASHU RJCN                                                                                             | 161.606                        | 2.635                       | 164.241  |
| 127                                     | 関西  | 松山  | 01 MAIKO WENDY SHION WASYU Y28 BAMBO Y283 ITUKI                                              | 154.948              | 364                  | 364 RJBB KRE OMOGO ROCKY MYE RJOM                                                                                                             | 146.914                        | 8.034                       | 148.885  |
| 127                                     | 関西  | 松山  | 02 MAIKO WENDY SHION WASYU Y28 BAMBO Y283 MYE                                                | 155.328              | 0                    |                                                                                                                                               |                                | 8.414                       |          |
| 128                                     | 福岡  | 茨城  | 01 MYE Y33 LABEL Y121 SWING Y88 DAIGO Y887 TATSU NAKAH                                       | 582.254              | 358                  | 362 RJFF DGC IBIPI MINTO UKELI KAMMY WAKIT GINJI ARASI MORVA TOLUM SUGAL TENRU PIGAP OSPAN TEPEX GYODA AKAGI JD NAKAH RJA                     | 546.319                        | 35.935                      | 594.489  |

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (7/9)

| 01～: 標準経路<br>最頻実績経路: 2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |      |                                                                                                           | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)                                                                                                                                                         | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |          |
|-----------------------------------------|-----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| 経路No.                                   | 空港① | 空港②  | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                                                                    | 経路長(NM)              |                      | 最適経路の飛行経路                                                                                                                                                                                             | 最適経路の距離(NM)                    |                             |          |
| 129                                     | 成田  | 高知   | 01<br>PIGOK Y50 ELNIS Y564 IBENO Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12<br>KEC Y24 TURFY Y242 PANCH                      | 400.785              | 159                  | 358<br>RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU<br>SUGAL NAKTU SWING KCC BIWWA ADGUN MIDER SANDA<br>HYOGO ASANO AYAME SHION HIBIS OBOKE POPPY RJOK                                              | 385.758                        | 15.027                      | 400.785  |
| 130                                     | 東京  | 山形   | 01<br>ROVER AKAGI Y88 JD MIKRA HATRI IBELU                                                                | 179.307              | 328                  | 717                                                                                                                                                                                                   |                                | 5.329                       | 178.164  |
| 130                                     | 東京  | 山形   | 02<br>ROVER AKAGI Y88 JD MIKRA HATRI IBELU YONEX YTE                                                      | 179.356              | 0                    |                                                                                                                                                                                                       | 173.978                        | 5.378                       |          |
| 131                                     | 札幌  | 那覇   | 01<br>DALBI Y120 TAPPI Y12 ARIKA Y14 MIHOU Y45 ONC Y525 IHEYA                                             | 1261.774             | 127                  | 373<br>RJCC CHE ESANN HWE ARIKA NYUDO GOLDO HIMMY KMC<br>SOTOM WAKIT ASANO AYAME SHION HIBIS OBOKE POPPY<br>KRE OKITU SUC MADOG OMUSU LUKRA VEGAR RURIK TUMGI<br>AME YUWAN PINNE ONC LEXUS OKUMA ROAH | 1220.389                       | 41.385                      | 1253.880 |
| 132                                     | 関西  | 熊本   | 最頻実績経路<br>MAIKO WENDY SHION WASYU Y28 MARCO Y45 OOITA Y40<br>KAZMA                                        | 269.101              | 322                  | 349<br>RJBB KRE DONAR OOITA WOODY IGLAT ASONO RJFT                                                                                                                                                    | 243.823                        | 25.278                      | 262.177  |
| 133                                     | 札幌  | 釧路   | 01<br>RAKNO V6 OBE SHORO                                                                                  | 114.420              | 1,067                | 1,070<br>RJCC BOKSO BISEI IKEDA KOTAN RJCK                                                                                                                                                            | 111.668                        | 2.752                       | 114.420  |
| 134                                     | 那覇  | 茨城   | 01<br>AMAMI Y574 SHIBK Y57 YULIA Y575 ALBAT Y755 CARDS HIOTI<br>CBE Y121 SWING Y88 DAIGO Y887 TATSU NAKAH | 988.282              | 354                  | 367<br>ROAH OKUMA LEXUS ONC PEPLA TONAR ALUYO KEC RAYJO<br>AYANO SHIMA KOHWA NAKTU SUGAL TENRU PIGAP OSPAN<br>TEPEX GYODA AKAGI JD NAKAH RJAH                                                         | 929.385                        | 58.897                      | 988.331  |
| 135                                     | 成田  | 奄美大島 | 01<br>SAMUS Y84 HCE Y86 YULIA Y293 TONAR Y521 TUMGI B597<br>AME                                           | 761.621              | 0                    | 333<br>RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU<br>SUGAL NAKTU KOHWA SHIMA AYANO RAYJO KEC ALUYO<br>TONAR ESTRA TUMGI RJKA                                                                      | 736.923                        | 24.698                      | 783.417  |
| 136                                     | 成田  | 石垣   | 01<br>SAMUS Y84 HCE Y86 YULIA Y293 TONAR Y525 ONC KXC<br>DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576 DIANA               | 1143.467             | 0                    | 273<br>RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU<br>SUGAL NAKTU KOHWA SHIMA AYANO RAYJO KEC ALUYO<br>TONAR PEPLA ONC AZAMA VELNO GEMNI FREED MJC SHUJI<br>UMAKI KAMPU GUSUK ROIG                 | 1125.293                       | 18.174                      | 1182.805 |
| 137                                     | 那覇  | 岡山   | 01<br>AMAMI Y25 BOMAP Y45 OOITA Y40 MYE Y283 KINOE Y288<br>INOOK OYE                                      | 630.511              | 0                    | 383<br>ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP OLSER<br>ENPAD SAZMA MAKRA ISKID HKC MOCOS RAFUL AKLEM<br>SOBOH OOITA SHONO MYE ITUKI KINOE TAKMA INOOK<br>RJOB                                         | 624.412                        | 6.100                       | 625.909  |
| 137                                     | 那覇  | 岡山   | 02<br>LAVON NHC A582 HKC V54 WOODY V40 MYE V56 KRE V53 KTE<br>OYE                                         | 701.040              | 0                    |                                                                                                                                                                                                       |                                | 76.628                      | 625.909  |
| 138                                     | 東京  | 奄美大島 | 01<br>LAXAS Y56 TOHME Y54 KOHWA Y12 AYANO Y128 LAXEL Y52<br>TONAR Y521 TUMGI B597 AME                     | 697.759              | 0                    | 370<br>RJTT LAXAS KAGNA IBENO TOHME HANTO NADAR ALUYO<br>TONAR ESTRA TUMGI RJKA                                                                                                                       | 686.790                        | 10.970                      | 698.491  |
| 139                                     | 那覇  | 熊本   | 01<br>AMAMI Y25 KOSHI Y501 SASIK Y14 HINAG                                                                | 445.752              | 0                    | 379<br>ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP ATNOX<br>MOMPA KOSHI ANLIK IKASU ADNOK TEMP SASIK HINAG<br>RJFT                                                                                         | 439.822                        | 5.930                       | 462.607  |
| 139                                     | 那覇  | 熊本   | 02<br>LAVON NHC A582 HKC G339 HINAG                                                                       | 469.490              | 0                    |                                                                                                                                                                                                       |                                | 29.668                      |          |
| 140                                     | 札幌  | 花巻   | 01<br>DALBI Y146 HIBAR Y113 MRE Y100 ESBEL                                                                | 229.425              | 577                  | 1,080<br>RJCC CHE MRE ESBEL RJSI                                                                                                                                                                      | 211.135                        | 18.290                      | 220.878  |
| 140                                     | 札幌  | 花巻   | 02<br>DALBI Y146 HIBAR Y113 MRE Y100 HPE                                                                  | 229.425              | 0                    |                                                                                                                                                                                                       |                                | 18.290                      |          |
| 141                                     | 那覇  | 久米島  | 01<br>DORIS                                                                                               | 68.610               | 2,495                | 2,495<br>ROAH OLVAL NHC DORIS ROKJ                                                                                                                                                                    | 98.283                         | -29.673                     | 69.684   |
| 141                                     | 那覇  | 久米島  | 02<br>LAVON GURUX DORIS                                                                                   | 68.629               | 0                    |                                                                                                                                                                                                       |                                | -29.655                     |          |
| 142                                     | 大阪  | 奄美大島 | 01<br>TIGER MAIKO AWAJI Y232 KRE SUKMO DONKY OSUZU MZE<br>TGE B597 AME                                    | 494.878              | 394                  | 401<br>RJOO AWAJI SUNNY KRE OKITU SUC MADOG OMUSU LUKRA<br>VEGAR RURIK TUMGI RJKA                                                                                                                     | 483.432                        | 11.446                      | 493.236  |
| 143                                     | 中部  | 函館   | 01<br>KCC KROBE Y13 AKITA Y131 HINAI Y113 TAXIR                                                           | 464.353              | 0                    | 463<br>RJGG KCC AZUMI PAPNA NAEBA GTC AWASI KENSI YAYOI<br>UWE MAGGY MRE BYOBU HIBAR TAXIR RJCH                                                                                                       | 463.023                        | 1.330                       | 463.811  |
| 144                                     | 那覇  | 静岡   | 01<br>AMAMI Y574 SHIBK Y57 MOSLO                                                                          | 785.219              | 157                  | 368<br>ROAH OKUMA LEXUS ONC PEPLA TONAR ALUYO NADAR<br>HANTO GAKKI SZE RJNS                                                                                                                           | 759.068                        | 26.151                      | 819.669  |
| 145                                     | 那覇  | 宮崎   | 01<br>AMAMI Y53 RURIK B597 JACKY MZE                                                                      | 421.309              | 368                  | 370<br>ROAH OKUMA LEXUS ONC NOGEL SWANO SEPIA ANREM TGE<br>MZE OYODO RJFM                                                                                                                             | 425.375                        | -4.066                      | 421.383  |
| 145                                     | 那覇  | 宮崎   | 02<br>LAVON NHC A582 ONC B597 JACKY MZE                                                                   | 451.236              | 0                    |                                                                                                                                                                                                       |                                | 25.861                      |          |
| 146                                     | 札幌  | 小松   | 01<br>DALBI Y120 TAPPI Y12 ARIKA Y14 GOLDO Y381 HIMMY                                                     | 466.437              | 195                  | 365<br>RJCC CHE ESANN HWE ARIKA NYUDO GOLDO HIMMY KMC<br>RJNK                                                                                                                                         | 459.622                        | 6.815                       | 466.734  |
| 147                                     | 中部  | 石垣   | 01<br>ESPAN KEC Y12 LAXEL Y52 TONAR Y525 ONC KXC DUFFY<br>KAKDA SOARA GANAS Y576 DIANA                    | 930.534              | 0                    | 360<br>RJGG KEC ALUYO TONAR PEPLA ONC AZAMA VELNO GEMNI<br>FREED MJC SHUJI UMAKI KAMPU GUSUK ROIG                                                                                                     | 925.368                        | 5.166                       | 951.052  |
| 148                                     | 中部  | 宮古   | 01<br>ESPAN KEC Y12 LAXEL Y52 TONAR Y525 ONC KXC DUFFY<br>KAKDA SOARA GANAS Y576 YUTAH                    | 872.873              | 0                    | 362<br>RJGG KEC ALUYO TONAR PEPLA ONC AZAMA NHC KAKDA<br>GANAS YUTAH ROMY                                                                                                                             | 877.711                        | -4.838                      | 892.685  |
| 149                                     | 札幌  | 岡山   | 01<br>DALBI Y120 TAPPI Y12 ARIKA Y14 GOLDO Y381 KMC Y382<br>WAKIT Y205 OYE                                | 632.985              | 192                  | 363<br>RJCC CHE ESANN HWE ARIKA NYUDO GOLDO HIMMY KMC<br>SOTOM WAKIT TRIPY MIMMY BENES RJOB                                                                                                           | 623.809                        | 9.176                       | 633.282  |
| 150                                     | 成田  | 下地島  | 01<br>SAMUS Y84 HCE Y86 YULIA Y293 TONAR Y525 ONC KXC<br>DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576 DIANA               | 1095.142             | 0                    | 221<br>RJAA TETRA ENPAR NIXIS TEPEX OSPAN PIGAP TENRU<br>SUGAL NAKTU KOHWA SHIMA AYANO RAYJO KEC ALUYO<br>TONAR PEPLA ONC AZAMA NHC KAKDA GANAS YUTAH YUZKI<br>DIANA RORS                             | 1086.971                       | 8.171                       | 1114.550 |
| 151                                     | 東京  | 中標津  | 01<br>BRUCE AGRIS Y11 YTE Y111 KSE V2 MASHU                                                               | 569.955              | 128                  | 362<br>RJTT SYE OKUJI FKE HERON SDE MQE LIDEL ALICE ERIMO<br>AKESI CRANE KSE MASHU RJCN                                                                                                               | 562.108                        | 7.847                       | 569.736  |

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (8/9)

| 01～：標準経路<br>最頻実績経路：2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |     |                                                                   | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)<br>最適経路の飛行経路 | 最適経路の距離(NM)                                                                                                                                              | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |         |
|---------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------|
| 経路No.                                 | 空港① | 空港② | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                            | 経路長(NM)              |                      |                                                            |                                                                                                                                                          |                                |                             |         |
| 152                                   | 那覇  | 松山  | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y45 OOITA Y40 MYE                              | 542.488              | 362                  | 364                                                        | ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP OLSER<br>ENPAD SAZMA MAKRA ISKID HKC HIGOH KROMA ORAMO<br>BARBA WOODY TFE MARCO RJOM                              | 561.589                        | -19.101                     | 542.554 |
| 152                                   | 那覇  | 松山  | 02 LAVON NHC A582 HKC V54 WOODY V40 MYE                           | 570.793              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 9.204                          |                             |         |
| 153                                   | 札幌  | 函館  | 01 HWE                                                            | 71.758               | 735                  | 737                                                        | RJCC CHE ESANN HWE RJCH                                                                                                                                  | 72.372                         | -0.615                      | 71.758  |
| 153                                   | 札幌  | 函館  | 02 TEKKO V2 HWE                                                   | 77.381               | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 5.008                          |                             |         |
| 154                                   | 那覇  | 小松  | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y45 SONBU                                      | 804.717              | 321                  | 378                                                        | ROAH OKUMA LEXUS ONC PINNE YUWAN AME TUMGI RURIK<br>VEGAR LUKRA OMUSU MADOG SUC OKITU KRE POPPY<br>OBOKE HIBIS SHION AYAME ASANO WAKIT SOTOM KMC<br>RJNK | 761.208                        | 43.509                      | 804.783 |
| 155                                   | 札幌  | 静岡  | 01 DALBI Y120 TAPPI Y12 NAKTU Y126 KIKOL Y295 GAKKI Y551<br>ENSYU | 576.378              | 165                  | 367                                                        | RJCC CHE NAVER IBURI NONUT CAPLY JYONA SAMBO<br>PEONY VARSU HANKA YTE HATRI JD OMIYA EDARR KOSKA<br>DALMA SZE RJNS                                       | 537.319                        | 39.059                      | 666.766 |
| 156                                   | 中部  | 秋田  | 01 KCC Y312 YAYOI                                                 | 330.231              | 0                    | 726                                                        | RJGG KCC AZUMI PAPNA NAEB A GTC AWASI KENSI YAYOI<br>RJSK                                                                                                | 330.231                        | 0.000                       | 333.037 |
| 157                                   | 福岡  | 高知  | 01 MYE BOTAN KABIL                                                | 170.839              | 556                  | 724                                                        | RJFF DGC ACTIE HIZET CLIPA MARCO MYE ROCKY OMOGO<br>KRE RJOK                                                                                             | 181.392                        | -10.554                     | 170.839 |
| 157                                   | 福岡  | 高知  | 02 TFE V40 MYE BOTAN KABIL KRE                                    | 175.486              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | -5.906                         |                             |         |
| 157                                   | 福岡  | 高知  | 03 DGC V28 MARCO V56 MYE BOTAN KABIL KRE                          | 187.404              | 1                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 6.012                          |                             |         |
| 158                                   | 成田  | 仙台  | 01 KIMIN Y117 NIRAX Y15 OWLET                                     | 156.119              | 501                  | 915                                                        | RJAA AKAGI JD NASNO NIRAX OWLET RJSS                                                                                                                     | 175.334                        | -19.215                     | 156.119 |
| 159                                   | 丘珠  | 釧路  | 最頻実績経路<br>KURIS V2 NUPRI                                          | 123.992              | 1,343                | 1,347                                                      | RJCO KURIS TOMAM NOTAK OSABU EATAK NUPRI RJCK                                                                                                            | 123.992                        | 0.000                       | 123.992 |
| 160                                   | 東京  | 紋別  | 01 BRUCE AGRIS Y11 NAVER Y139 ASIBE Y116 LUBEK V8 MVE             | 560.686              | 163                  | 360                                                        | RJTT AGRIS YAITA SYOEN SHIRO YTE HANKA VARSU PEONY<br>SAMBO JYONA CAPLY NONUT IBURI NAVER ASIBE AWE<br>LUBEK RJEB                                        | 560.265                        | 0.421                       | 575.200 |
| 161                                   | 那覇  | 岩国  | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y45 OOITA Y40 MYE                              | 571.217              | 358                  | 373                                                        | ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP OLSER<br>ENPAD SAZMA MAKRA ISKID HKC MOCOS RAFUL AKLEM<br>SOBOH OOITA SHONO RJOI                                  | 541.155                        | 30.062                      | 571.283 |
| 162                                   | 中部  | 松山  | 01 PIONE Y28 BAMBO Y283 ITUKI                                     | 228.987              | 306                  | 1,084                                                      | RJGG HIKNE KRAMA ARASI GINJI WAKIT TRIPY MIMMY OYE<br>WASYU BINGO BAMBO ITUKI RJOM                                                                       | 242.626                        | -13.639                     | 229.367 |
| 162                                   | 中部  | 松山  | 02 PIONE Y28 BAMBO Y283 MYE                                       | 229.367              | 773                  |                                                            |                                                                                                                                                          | -13.259                        |                             |         |
| 163                                   | 札幌  | 富山  | 01 DALBI Y120 TAPPI Y12 GTC HISUI GENGE OHANA                     | 457.124              | 0                    | 364                                                        | RJCC CHE ESANN HWE ARIKA NYUDO GOLDO HISUI GENGE<br>RJNT                                                                                                 | 425.796                        | 31.328                      | 451.790 |
| 163                                   | 札幌  | 富山  | 02 DALBI Y120 TAPPI Y12 GTC HISUI Y311 GENGE                      | 451.497              | 194                  |                                                            |                                                                                                                                                          | 25.701                         |                             |         |
| 164                                   | 那覇  | 長崎  | 01 AMAMI Y25 KOSHI Y501 ADNOK Y504 HONDO OLE                      | 448.847              | 0                    | 370                                                        | ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP ATNOX<br>MOMPA KOSHI ANLIK IKASU ADNOK HONDO MNE RJFU                                                             | 443.271                        | 5.576                       | 453.991 |
| 164                                   | 那覇  | 長崎  | 02 LAVON NHC A582 HKC HONDO OLE                                   | 476.541              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 33.270                         |                             |         |
| 165                                   | 那覇  | 北九州 | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y45 HKC Y14 DGC V28 SWE                        | 526.390              | 300                  | 376                                                        | ROAH OKUMA LEXUS ONC BINID HACHA BOMAP ATNOX<br>MOMPA KOSHI ANLIK IKASU ADNOK TEMIP SASIK HINAG<br>FUGEN TAIME OMUTA OSTEP DGC ONGHA SWE ASARI RJFR      | 537.927                        | -11.537                     | 526.455 |
| 165                                   | 那覇  | 北九州 | 02 LAVON NHC A582 HKC G339 DGC V28 SWE                            | 549.366              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 11.439                         |                             |         |
| 166                                   | 中部  | 新潟  | 01 KCC Y312 MAGNA                                                 | 217.972              | 0                    | 727                                                        | RJGG KCC AZUMI PAPNA NAEB A MAGNA RJSN                                                                                                                   | 217.972                        | 0.000                       | 221.197 |
| 167                                   | 福岡  | 石垣  | 01 YAMGA HKC Y45 ONC KXC DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576<br>DIANA    | 695.412              | 0                    | 358                                                        | RJFF OMUTA TAIME FUGEN HINAG SASIK TEMIP ADNOK<br>IKASU ANLIK KOSHI MOMPA ATNOX BOMAP YURIX KAORU<br>LILRA IGE GUSUK ROIG                                | 693.815                        | 1.597                       | 709.711 |
| 167                                   | 福岡  | 石垣  | 02 HKC A582 ONC KXC DUFFY KAKDA SOARA GANAS MJC V90<br>IGE        | 695.754              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 1.938                          |                             |         |
| 168                                   | 福岡  | 徳島  | 01 MYE Y33 KTE KULUL TSC                                          | 213.058              | 717                  | 722                                                        | RJFF SALTY RANDY BERTH TSC RJOS                                                                                                                          | 211.527                        | 1.530                       | 225.292 |
| 168                                   | 福岡  | 徳島  | 02 DGC V28 MARCO V56 MYE Y33 KTE KULUL TSC                        | 228.548              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 17.020                         |                             |         |
| 168                                   | 福岡  | 徳島  | 03 TFE V40 MYE V56 KRE V37 TOSAR TSC                              | 253.048              | 0                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 41.521                         |                             |         |
| 169                                   | 関西  | 高知  | 01 LINDA GLORY Y34 POPPY                                          | 103.273              | 319                  | 325                                                        | RJBB KRE RJOK                                                                                                                                            | 94.708                         | 8.565                       | 97.385  |
| 170                                   | 札幌  | 稚内  | 01 KURIS V1 RUMOI Y10 YOROI V1 WKE                                | 158.220              | 685                  | 692                                                        | RJCC KURIS BEEBA SUIKA RUMOI YOROI RJCW                                                                                                                  | 157.814                        | 0.407                       | 167.278 |
| 170                                   | 札幌  | 稚内  | 02 KURIS V1 WKE                                                   | 158.220              | 3                    |                                                            |                                                                                                                                                          | 0.407                          |                             |         |

表 7 AIC 経路と最適経路の経路差調査結果 (9/9)

| 01～: 標準経路<br>最頻実績経路: 2019年DAYPLAN最頻実績経路 |     |      |                                                                | 2019年AIC経路毎の<br>運航便数 | 2019年シティペア毎の<br>運航便数 | ロジックでの制限空域を通過しない最適経路(2021年12月30日から有効な共通ADP使用)<br>最適経路の飛行経路                                                                                                                                         | 最適経路の距離(NM) | AIC経路と最適経路の差(NM)<br>AIC経路-最適経路 | 2019年DAYPLAN<br>最頻実績経路長(NM) |
|-----------------------------------------|-----|------|----------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 経路No.                                   | 空港① | 空港②  | AIC経路(2021年12月30日から有効)                                         | 経路長(NM)              |                      |                                                                                                                                                                                                    |             |                                |                             |
| 171                                     | 札幌  | 福島   | 01 TOBBY Y10 HPE Y102 HERON                                    | 341.924              | 318                  | RJCC CHE NAVER IBURI NONUT CAPLY JYONA HPE METEL<br>SDE HERON RJSF                                                                                                                                 | 340.568     | 1.356                          | 341.924                     |
| 171                                     | 札幌  | 福島   | 02 DALBI Y120 RURUD Y125 METEL Y102 HERON                      | 366.975              | 3                    |                                                                                                                                                                                                    | 26.407      |                                |                             |
| 171                                     | 札幌  | 福島   | 03 TOBBY Y10 HPE Y102 FKE                                      | 342.401              | 38                   |                                                                                                                                                                                                    | 1.833       |                                |                             |
| 171                                     | 札幌  | 福島   | 04 DALBI Y120 RURUD Y125 METEL Y102 FKE                        | 367.452              | 2                    |                                                                                                                                                                                                    | 26.884      |                                |                             |
| 172                                     | 中部  | 旭川   | 01 KCC KROBE Y13 CHE V7 AWE                                    | 593.080              | 346                  | RJGG KCC AZUMI PAPNA NAEB A GTC AWASI KENSI YAYOI<br>UWE MAGGY MRE CHE TOMAM ASIBE RJEC                                                                                                            | 593.711     | -0.631                         | 592.543                     |
| 173                                     | 福岡  | 小松   | 01 MARCO Y45 SONBU                                             | 357.984              | 1,441                | RJFF DGC STOUT OLTUN BESMU MIHOU SAKYU MADUL<br>SONBU KMC RJNK                                                                                                                                     | 350.068     | 7.917                          | 357.985                     |
| 174                                     | 成田  | 庄内   | 01 KIMIN Y117 NISEP Y304 YTE USUBA YSE                         | 200.414              | 148                  | RJAA AKAGI JD HATRI SHIRO GASAN USUBA RJSY                                                                                                                                                         | 208.821     | -8.407                         | 200.414                     |
| 175                                     | 中部  | 女満別  | 01 KCC Y312 GTC Y124 MQE Y111 OZORA                            | 676.633              | 0                    | RJGG KCC AZUMI PAPNA NAEB A GTC INAHO BUDOH ATUMI<br>YOHKO OBAKO TSURU HWE MKE EATAK GINGA RJCM                                                                                                    | 660.330     | 16.303                         | 728.172                     |
| 176                                     | 大阪  | 三沢   | 01 MINAC YOKKA KCC Y312 GTC Y124 HANKA Y11 SAMBO V10<br>MIS    | 475.407              | 0                    | RJOO KCC AZUMI PAPNA NAEB A GTC WAPPA SAMBO RJSM                                                                                                                                                   | 466.573     | 8.834                          | 489.829                     |
| 177                                     | 関西  | 奄美大島 | 01 LINDA GLORY Y34 SUKMO Y50 DONKY OSUZU MZE TGE B597<br>AME   | 479.863              | 6                    | RJBB KRE OKITU SUC MADOG OMUSU LUKRA VEGAR RURIK<br>TUMGI RJKA                                                                                                                                     | 462.611     | 17.252                         | 472.665                     |
| 178                                     | 福岡  | 奄美大島 | 01 YAMGA HKC Y45 BOMAP Y25 KANAH                               | 320.471              | 362                  | RJFF OMTA TAIME FUGEN HINAG SASIK TEMIP ADNOK<br>IKASU ANLIK KOSHI MOMPA ATNOX BOMAP IGREK KANAH<br>RJKA                                                                                           | 315.849     | 4.621                          | 316.518                     |
| 179                                     | 大阪  | 隠岐   | 01 TIGER ASAGI TOZAN Y38 TSUNO                                 | 145.144              | 0                    | RJOO TOZAN TSUNO RJNO                                                                                                                                                                              | 136.890     | 8.254                          | 136.890                     |
| 179                                     | 大阪  | 隠岐   | 02 TIGER ASAGI TOZAN TRE G597 XZE V29 DOZEN                    | 198.821              | 0                    |                                                                                                                                                                                                    |             | 61.932                         |                             |
| 180                                     | 那覇  | 新潟   | 01 AMAMI Y25 BOMAP Y45 MIHOU Y14 SAMON Y142 GTC                | 960.361              | 43                   | ROAH OKUMA LEXUS ONC PINNE YUWAN AME TUMGI RURIK<br>VEGAR LUKRA OMUSU MADOG SUC OKITU KRE POPPY<br>OBOKE HIBIS SHION AYAME ASANO WAKIT SOTOM KMC<br>OYABE IMIZU URUSI IKUJI GORYU HAKBA TERAD RJSN | 920.945     | 39.416                         | 958.099                     |
| 181                                     | 福岡  | 花巻   | 01 MARCO Y45 MIHOU Y14 SAMON Y142 GTC YTE Y153 SIOMO           | 649.829              | 357                  | RJFF DGC STOUT OLTUN BESMU MIHOU SUGNO SAMON<br>NESKO GTC MAMRO HANKA TOLEK HPE RJSI                                                                                                               | 635.329     | 14.501                         | 649.829                     |
| 181                                     | 福岡  | 花巻   | 02 MARCO Y45 MIHOU Y14 SAMON Y142 GTC YTE Y153 HPE             | 650.328              | 0                    |                                                                                                                                                                                                    | 15.000      |                                |                             |
| 181                                     | 福岡  | 花巻   | 03 MARCO Y45 GTC YTE Y153 SIOMO                                | 654.458              | 1                    |                                                                                                                                                                                                    | 19.130      |                                |                             |
| 181                                     | 福岡  | 花巻   | 04 MARCO Y45 GTC YTE Y153 HPE                                  | 654.957              | 0                    |                                                                                                                                                                                                    | 19.629      |                                |                             |
| 182                                     | 成田  | 新潟   | 01 AGRIS Y37 GOSEN                                             | 150.679              | 162                  | RJAA AKAGI KALON MAUKA TAGOK GOSEN RJSN                                                                                                                                                            | 148.113     | 2.566                          | 148.186                     |
| 183                                     | 福岡  | 新潟   | 01 MARCO Y45 MIHOU Y14 SAMON Y142 GTC                          | 513.629              | 703                  | RJFF DGC STOUT OLTUN BESMU MIHOU SAKYU MADUL<br>SONBU KMC OYABE IMIZU URUSI IKUJI GORYU HAKBA<br>TERAD RJSN                                                                                        | 509.805     | 3.824                          | 513.629                     |
| 183                                     | 福岡  | 新潟   | 02 MARCO Y45 TERAD                                             | 517.836              | 360                  |                                                                                                                                                                                                    | 8.031       |                                |                             |
| 184                                     | 福岡  | 福江   | 01 SGE OLE V40 FUE                                             | 108.489              | 747                  | RJFF DGC OHGIE MNE OSETO AGRIT CARCO RJFE                                                                                                                                                          | 114.401     | -5.912                         | 108.489                     |
| 184                                     | 福岡  | 福江   | 02 YAMEK SGE OLE V40 FUE                                       | 116.308              | 0                    |                                                                                                                                                                                                    |             | 1.907                          |                             |
| 185                                     | 福岡  | 宮古   | 01 YAMGA HKC Y45 ONC KXC DUFFY KAKDA SOARA GANAS Y576<br>YUTAH | 637.751              | 0                    | RJFF OMTA TAIME FUGEN HINAG SASIK TEMIP ADNOK<br>IKASU ANLIK KOSHI MOMPA ATNOX BOMAP HACHA BINID<br>ONC AZAMA NHC KAKDA GANAS YUTAH ROMY                                                           | 649.591     | -11.839                        | 651.344                     |