

新たな管制作業負荷計算手法に関する調査

報告書

令和5年3月

国土交通省航空局
一般財団法人 航空保安研究センター

内容

1. 本調査の目的	3
2. 管制部空域再編後の MMBB 法の現状分析	4
2.1 管制作業負荷計算の MMBB 法	4
2.2 神戸管制部、福岡管制部のヒアリング	7
2.3 航空交通管理センターのヒアリング・検討会議	12
2.3.1 第 1 回 ATMC のヒアリング・検討会議	12
2.3.2 第 2 回 ATMC のヒアリング・検討会議	14
2.4 高高度セクターにおける課題	29
2.5 低高度セクターにおける課題	32
2.6 高高度セクターと低高度セクターの境界線における課題	32
2.7 CPDLC 等の新技術導入による MMBB 法の課題	33
3. 海外動向調査（マーストリヒト高高度管制部、及びユーロコントロール）	35
3.1 空域構成	36
3.1.1 MUAC の管轄空域	36
3.1.2 セクター構成（Sector Configuration）	39
3.1.3 軍用機の管制	39
3.2 CPDLC 等の新技術を導入した管制業務	41
3.2.1 欧州における CPDLC の運用	41
3.2.2 ATS B2 による ADS-C の運用	48
3.3 ユーロコントロールにおける管制作業負荷の計算手法	52
3.3.1 CAPAN によるセクター処理容量の算出	52
3.3.2 CAPAN の作業フロー	60
3.3.3 データリンクの導入効果の評価	61
3.3.4 巨視的ワークロードモデル（Macroscopic Workload Model）	69
3.4 交通流制御の実施手法	78
3.4.1 欧州における航空交通流容量管理（ATFCM）	78
3.4.2 交通流管理の実施段階	80
3.4.3 ATFCM システムの概要	87
3.4.4 交通流管理手法の概要	89
3.4.5 交通流制御	93
3.5 交通流制御の実績	119
3.5.1 MUAC における交通流制御の実績	119
3.5.2 欧州における交通流制御の実績	123
3.5.3 スロット遵守率	125

3.6 交通流管理における将来計画	126
3.6.1 欧州における ATM の将来計画	126
3.6.2 協調的交通管理 (Cooperative Traffic Management)	132
3.6.3 ネットワーク管理システムの将来計画	139
3.6.4 MUAC における AI の活用事例	149
3.7 略語一覧	153
3.8 参考文献	157
4. 課題分析	159
4.1 MMBB 法の課題分析	159
4.1.1 管制作業イベント項目、交信時間及び作業時間	159
4.1.2 ポイントアウトの管制作業負荷計算	160
4.1.3 CPDLC 運用の管制作業負荷計算	161
4.1.4 困難度係数	162
4.1.5 複数イベント入力 (HAS コマンド入力) の管制作業負荷計算	165
4.1.6 運航種別の通過機識別の課題	166
4.2 新たな管制作業負荷計算手法について	169
4.2.1 MMBB 法の管制作業負荷の積上げ方式	169
4.2.2 新管制作業負荷の積み上げ方式	172
4.2.3 シミュレーションを利用した管制作業負荷計算	174
5. まとめ	176
5.1 管制部上下分離の課題	176
5.2 MUAC 及びユーロコントロール	176
5.3 MMBB 法の課題分析	180
5.4 新たな管制作業負荷算出方法	181

1. 本調査の目的

交通流管理に用いる管制作業負荷値は、管制部空域再編以前の空域を縦に分離した管轄範囲において適正量になるような計算手法となっており、上下分離が行われた空域再編後においては、比較的交信量の多い上昇降下機のみが飛行する低高度セクターや比較的交信量の少ない巡航機のみが飛行する高高度セクターに対応するものとはなっておらず、航空交通量を適正に算出できない可能性がある。

また、拡大された空域容量を最大限に活用し適切な交通流管理を行うため、現在の管制作業負荷の計算手法である MMBB 法の課題分析及び見直しを実施することや新たな管制作業負荷計算手法を開発することにより交通流管理の最適化を図るものである。

2. 管制部空域再編後の MMBB 法の現状分析

2.1 管制作業負荷計算の MMBB 法

我が国の航空路管制の管制作業負荷は、ドイツの MBB 法及び英国の DORA 法の両方を利用した方式で算出している。

ドイツの MBB 法は、管制作業に要する時間は、(1)パイロットとの通信時間、(2)管制卓等の手作業時間及び(3)考慮時間の総和の作業時間であり、一定時間(6分、30分、1時間ごとに設定)内に処理できる交通量をセクターの処理容量として算定する時間換算方法である。

また、英国の DORA 法は、セクターの管制作業を 2 名の熟練した管制官が観察し、2 分毎の繁忙度を 4 段階の基準によって評価し、各評価時の交通量からシミュレーションモデルを用いて調査し、適正繁忙度に相当するセクター交通容量を決定する方法である。

処理容量値算出にあたっては、パイロットとの通信時間並びに管制卓等の作業時間については、ドイツの MBB 法に則って算定し、考慮時間については、英国の DORA 法を参考にして困難度係数を算定している。この方式を日本独自の MMBB(Modified MBB)法と呼んでいる。

2.1.1 管制作業イベント

現在、航空路管制業務において、管制官が担当セクターにおいて無線交信で行う管制タスクを管制作業イベントとして、以下の項目に分類し、各管制作業イベントについて、各セクターの航空機運航種別ごとに①交信時間②作業時間③考慮時間を調査し、1機当たりの管制作業量及び当該セクターの滞在時間を航空交通管理システム(T E A M : Trajectory Enhanced Aviation Management)に登録している。航空交通管理システムでは、航空機のスケジュール情報や飛行計画情報等から管制作業負荷を各航空機のセクター入域時刻から出域時刻まで積み上げて、関係セクターの交通量として 30 分間当たりの管制作業負荷を予測している。

- (1)システムによるレーダーハンドオフ
- (2)口頭によるレーダーハンドオフ
- (3)レーダーによらない業務移管
- (4)レーダー識別
- (5)垂直業務移管
- (6)高度変更
- (7)経路変更又は管制承認発出
- (8)直行誘導又は直行指示

- (9)機首誘導
- (10)速度調整
- (11)空中待機指示
- (12)QNH 送信
- (13)進入許可発出
- (14) 交通情報の発出

2.1.2 管制作業負荷の算出

管制作業負荷の算出は、図 2.1—1 に示すように各管制作業イベントの①パイロットとの通信時間②作業時間③考慮時間の総和で計算される。

(1) 各管制作業イベントの作業内容

① 通信時間

航空管制官と航空機間で交信される無線通信送受信時間であり、過去に調査した管制作業イベント毎のパイロットとの通信時間である。

② 手作業時間

管制作業イベント実施に伴う管制卓等の操作時間及び管制作業イベント非対応時間 (RCAG の切り替えやターゲット距離測定、経路確認、データブロックの移動などの管制作業イベントと直接関係しないもの) である。

③ 考慮時間

考慮時間としては、以下の項目が含まれる。

- (ア) 直接的に特定イベントに対して指示するための判断
- (イ) 特定目的のために判断材料 (ターゲット位置、高度など) を収集する為のレーダー監視
- (ウ) 通常の一般的なレーダー監視
- (エ) プリプランニング
- (オ) 調整席との調整

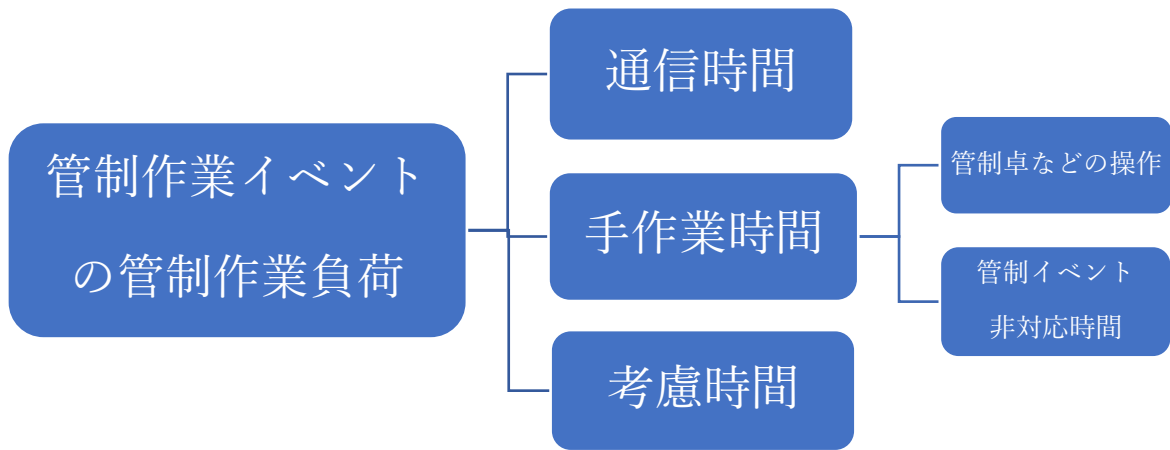


図 2.1-1 管制作業負荷の構成

- ① 考慮時間 (秒) = 通信時間 (秒) × 困難度係数
- ② 管制作業負荷(秒) = 通信時間(秒) + 手作業時間 (秒) + 考慮時間(秒)
- ③ 機数換算値(機) = 単位時間 (1800 秒) / 1 機当りの管制作業負荷(秒)
- ④ 処理容量値 (機分) = 機数換算値(機) × セクター滞在時間(分)

(2) 管制業務の流れと管制作業イベント

管制官は、担当セクター（空域）の航空機に管制業務を実施する場合、最初に航空機を移管するセクター管制官から継承するためのイベント（管制開始イベント）を実施し、次に中間イベントとして高度変更、レーダー誘導等の管制指示を実施する。最後に関係航空機を次の継承セクターへ業務移管（管制終了イベント）を行い、当該航空機の管制業務を終了することとなる。この一連の管制業務の流れ（セクターへの入域から出域）と管制作業イベントについて、表したものが図 2.1-2 である。

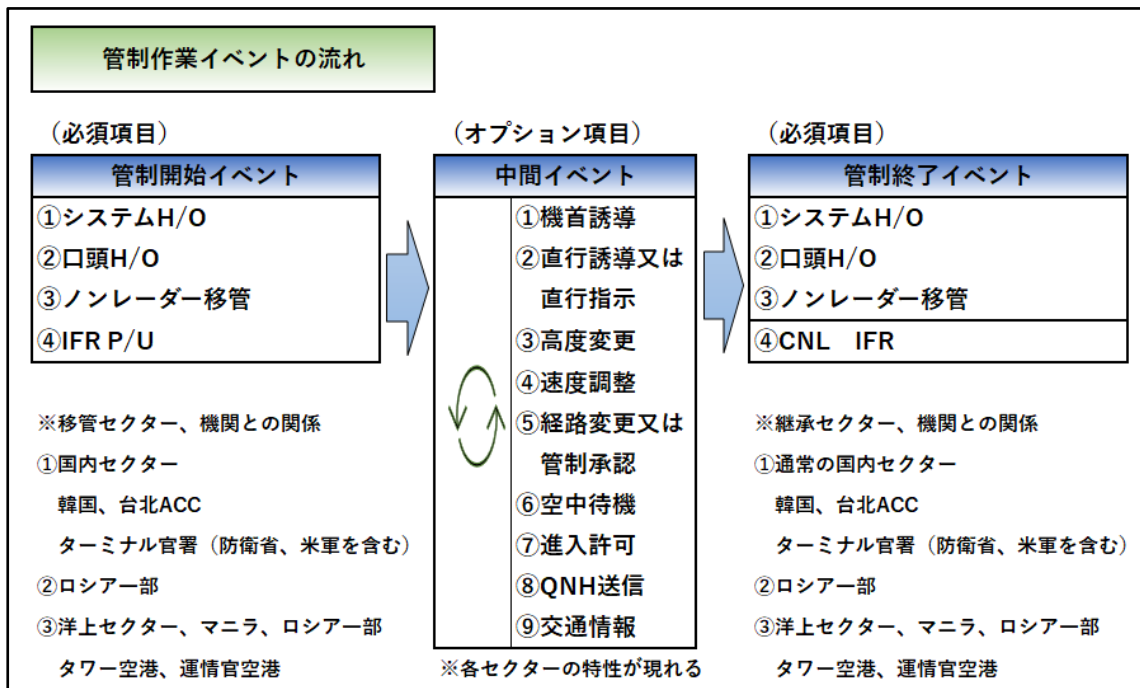


図 2.1-2 管制作業イベントの流れ

2.2 神戸管制部、福岡管制部のヒアリング

空域上下再編が完了した神戸管制部及び福岡管制部に対して、以下の項目についてヒアリングを実施した。

- (1) 管制部へ空域再編後の管制運用実態、高高度・低高度セクターの管制作業量及び管制運用上の課題等
- (2) 高高度セクターと低高度セクター間の管制移管方法、ポイントアウト作業及び低高度セクターとターミナル管制所間の移管方法など
- (3) CPDLC の運用を実施しているセクターの CPDLC に関する操作作業

神戸管制部、福岡管制部のヒアリングの内容は、以下のとおりである。

- ① 実施日 令和 5 年 2 月 TEAMS を使用したウェブ形式
- ② 参加者 管制課
 神戸管制部管制官
 福岡管制部管制官
 航空保安研究センター(ATSRI)

ATSRI	高高度・低高度セクターの境界付近での管制運用について 管制部再編（高度分離）して境界付近での管制官の作業量が想定よりも増えたと聞いているが、高度分離の境界線付近での管制移管の作業量は、想定より増加したか？
神戸（管）	高度分離の境界線付近での管制の作業量は想定よりは増加したと感じている。やはり移管に対する対応があり、その分が以前に比べると増えたと認識している。
福岡（管）	確かに境界が増えているので作業量は増加している。想定内という感じではあるが増加している。
ATSRI	管制移管において、境界高度付近における調整やポイントアウト等の作業が多くなったと聞いている。ポイントアウトは、現在管制作業負荷（レーダー対空席）の対象となっていないが、今後、管制作業負荷（レーダー対空席）の対象イベントとにすることについてどう思うか？
神戸（管）	ポイントアウトの作業は多くなったと感じている。ただ、レーダー対空席のみとなると、システム上のポイントアウトをするのみであるので、それにおいて負荷の対象とするかどうかは少し議論する必要があるかと思う。どちらかという調整席の作業負荷がポイントアウトを行うことで増えている。調整席の部分の作業負荷を対象とすることも考えていくべきと思っている。
福岡（管）	概ね神戸管制部さんと同意見である。対空席というより調整席の負荷が高くなっているので、対空席のみに着眼するのではなく、調整席にも視点を向けるほうが理想だと思われる。
ATSRI	分離高度付近での管制移管に関する業務量軽減のため、実施した又は検討している対応策はあるか？
神戸（管）	調整は口頭で行うと作業負荷になるので、略した形になるがシステムによる調整を積極的に行っているところである。 もう一つ、那覇方面の到着に対して上下間で一定の空域を設定して、那覇到着機のみに関して負荷軽減できるような対応策を取っている。
ATSRI	CPDLC の運用について EURO では CPDLC の周波数移管は、管制官作業量減少に効果があると報告があるが、CPDLC を運用してみて、対空席の業務量軽減になっているか？
福岡（管）	単純に通信量が減ることになるので、業務量の軽減にはなっている。
ATSRI	CPDLC の周波数移管に対するレスポンス時間は、大体どのくらいか？
福岡（管）	1分もかからない程度という感覚で捉えていただいていると思う。

ATSRI	CPDLC のリンクの失敗は、どの程度あるか？また、失敗（レスポンスエラーなど）する状況はどんな場合が多いか？（例えば、洋上へ出域時に多い等）
福岡（管）	詳細については分からない。
ATSRI	管制卓（TEPS）について、管制卓（IECS）から TEPS に更新されて、管制卓は入力しやすくなったか？また、入力作業は軽減されたか？
神戸（管）	以前の管制卓 IECS から TEPS に更新されて、入力自体はしやすくなったと思う。ただ、入力作業が軽減されたかどうかは、現場の方々に聞いたことはないので分からない。文字等が小さくなったということがあるので入力作業について軽減されたかどうかは不明である。
福岡（管）	個人によって感想も変わると思うが、IECS のアクションエントリーというコマンド入力が TEPS では廃止されてマウスを主に使う形になったので、作業の速さ的には落ちてしまったと感じる。大きくやり方が変わってしまい、マウス中心のやり方に慣れればそれなりに早くなると思うが、やはりキーボードメインでやっていた人からすると入力は少し難しくなった感想はある。入力作業が軽減されたかという点、アクションエントリーを使っていた者としては逆に増えたという感想が正直なところであるが、人によっては軽減されたと言う人もいる。神戸管制部と同様に字が小さくなったのはあまり良くなかった。
ATSRI	管制卓の入力量（作業量）を軽減するために、どのような機能が考えられるか？
神戸（管）	キーボードやマウスの入力に加えて、タッチパネルのような直感的に指で操作できるような機能が加わると体感的にだいぶ違うかなという印象である
神戸（管）	上下間の移管が増えたことに伴い、システムによる調整の際、誰から誰にというところが「?マーク」で示される。「?マーク」が前にあるか後ろにあるかで判別する仕様になっており非常に見づらく判別しにくいものになっている。システムの調整という部分をもう少し使いやすくしていただければと思う。また、同じセクター内の調整も、改善していただければと思う。
福岡（管）	IECS と比べて支援領域に表示する一つ一つのウィンドウの数が増えているので、ウィンドウで溢れている様な状況があり、パネルのスペースを有効活用できるように改善されるといいと思う。ウィンドウの表示の幅など、任意に変更できるようにできればよいと思う。
ATSRI	おそらく今後管制業務にも AI が入ってくることが考えられるが、皆さんは

	どう思うか？
神戸（管）	管制官が管制間隔の設定や時間や高度の制限項目などを総合的に判断する一つのツールとしてAIというものが入ってきてアドバイスしてくれるというのは今後の管制処理能力の向上にも繋がると思う。
福岡（管）	交通がスムーズな時だけなら管制官側の視点だけのAIを考えてもいいと思うが、判断に航空機からの要求が絡むことがあるので、管制官だけではなくて、気象であったり、航空機側のプランニングであったり総合的な視点が必要だと思う。スペーシング機能もそうだが、すべてがスムーズな状況の前提での計算という形になっているので、そこが課題かと思う。
ATSRI	上下分離前と後でターミナル管制所と管制移管等に関して管制作業に大きな変化はあったか？
神戸（管）	ターミナルと神戸管制部間で言えば基本的に変わっていないところはないが、業務移管に関して上下分離が関連している部分はあるかとは思う。
ATSRI	上下分離前と後でターミナル空域への到着機の順位付けやスペーシングなどを実施するにあたり、空域が広がったイメージ、狭くなったイメージのどちらか？
福岡（管）	空域が広がったか狭くなったかのイメージでいうと狭くなったイメージである。特に F16 あたりでは結構難しいスペーシングがある。管制部の空域は上下分離したけれどもターミナルとの移管については変わっていないところが課題だと思っている。以前はアプローチゲートまでに 10 マイルつけばよかったところを低高度セクターに渡すまでに 10 マイルをつけるようになったので高度帯としての空域が狭くなったと思う。ローセクターでも移管されてから新たにスペーシングを始めるので、狭くなったイメージになると思う。
ATSRI	ヒアリング項目以外だが、作業負荷の係数についてアンケートをお願いしているが、何かご意見があれば伺いたい。
福岡（管）	レーダー席のみならず調整席というところも考えて進めてもらえたらと感じている。
ATSRI	対空席より調整席の方が大変なセクターについてイメージ的にあるか？
神戸（管）	低高度セクターは高高度セクターとターミナル空域の間になるので、どちらとも調整を行わなければならない、どの空域であっても調整席は大変である。対空席、調整席どちらかというのではなく、どちらも作業量としては負荷が増えているという認識である。
福岡（管）	上下分離してどこのセクターもセクター境界が増えたので、調整業務は確

	<p>実に増えている。特に、外国と接する部分は AIDC などシステムの的に拡充されていない、例えば F17 などトラフィックが増えてくると調整席が非常に大変になる。悪天になればなおさらである。</p>
管制課	<p>ヒアリング項目の CPDLC のリンクの失敗について、例えば洋上出域機に多いというところで、必要であれば東京管制部にペーパーでのアンケートの形で問い合わせするのも一つのやり方と思う。また、レスポンス時間も統計が取りづらくデータリンクの覆域的なものもあるかもしれないので東京管制部の方がわかるかもしれない。</p> <p>管制卓の入力について、わたしのイメージだが、事務室のメンバーの感覚と現場で毎日使っているメンバーとは少し違うかもしれないという部分がある。</p> <p>最後に対空席と調整席の大変な部分というところについて、上下分離に関してだけではなく、CPDLC は調整席でメッセージが送れるという状況となり、対空席と調整席の役割を今後どうすべきか一部議論しているところである。</p>

2.3 航空交通管理センターのヒアリング・検討会議

管制部上下分離再編後も交通流管理業務の運用及び課題等についてヒアリング・検討会議を以下のとおり実施した。

2.3.1 第1回 ATMC のヒアリング・検討会議

- ① 実施日 令和4年12月 TEAMS を使用したウェブ形式
- ② 参加者 管制課
航空交通管理センター(ATMC)
航空保安研究センター(ATSRI)

ATSRI	管制作業イベントにポイントアウトを追加すること及びその他管制イベントについて、どう思うか？
ATMC	管制部再編の TEPS 訓練を見たところ、レーダーマンがポイントアウトをしたい場合に、調整が済むまで時間を要していること及びレーダーマンがポイントアウトする場合もあり、レーダーマンの負担となっているためポイントアウトを管制作業負荷の項目に入れた方がよいと思う。
ATSRI	困難度係数の見直しアンケートについて、ご意見はあるか？
ATMC	困難度指数の見直しのアンケートについては、上下分離の付近の航空機の引き込み等で「分離済管制部」と「していない管制部」とでは差が出ると思うので高度分離終了の管制部にアンケートをした方がよいと思う。
ATSRI	説明した CPDLC の管制負荷計算方法について、意見はあるか
ATMC	現在の CPDLC は管制の周波数移管のところで実施しているので、管制作業負荷は、軽減方向で検討していいと思うが、今後、ベクター等の管制指示が入ってくるとターゲットの応答を確認して運用することになるので、レスポンス時間等を考慮して考え方を考える必要があると感じている。
ATSRI	説明した非管制作業イベントについて、意見はあるか？
ATMC	特に意見なし。
ATSRI	説明した管制卓 (TEPS) の複数イベント項目の同時入力について
ATMC	特に意見なし。
ATSRI	トラジェクトリーの TEAM の「TOC」「TOD」の処理はどうなっているか？
ATMC	現在のところ、PLAN ステータスの時は、「TOC」「TOD」の情報があって、作業負荷を想定通り計算できているが IN-FLT にステータスが更新されたときに「TOC」「TOD」の情報が消えてしまう事象が発生している。

ATSRI	現在の運航種別 どのように設定しているか？
ATMC	システムでは細分化した運航種別になっているが、出発、到着、通過、域内の4数類になるように設定している。
ATSRI	高高度セクターの運航種別がすべて通過機扱いとなることについて、意見はあるか？
ATMC	特に高高度セクターがすべて通過機扱いであり、巡行だけの通過機と上昇または降下を含む通過機とで、滞在時間に対する機数の度数分布において大きな山が2つできていると思う。
ATSRI	説明した作業負荷の積み上げ方式について、意見はあるか？
ATMC	航空機別単価方式は、機数の積み上げになるのか (ATSRI) この方式は、セクターの運航種別毎の平均管制作業負荷がベースであり、管制作業負荷（秒）の積み上げである。
管制課	航空機別単価方式について、弊害はあるのか？ (ATSRI) 弊害があるかどうかはわからないが、机上シミュレーションで評価はできると思う。
ATSRI	上下分離で交通量予測が極端に偏ったセクターはあるか
ATMC	H/L分離前は、最終自セクターで完結していたものが、早めに低高度セクターが高高度セクターから移管を受けないとターミナル空域へ移管するための到着機の並べ変えができないという状況はある。到着機を早めに降下させているのでそれほど大きな作業負荷の変化とはなっていないと思う。
ATSRI	出発機、到着機の上下セクターの通過判定は、適切にできているか？
ATMC	管制運用がわかる範囲で通過判定用のアダプテーションデータを設定しているが、ATMCの管理管制官及びTMUの管理管制官がリストを見ながら通過セクターが違っている場合に報告があり、その都度修正している状況である。しかし、空港のSIDやSTAR等の変更があっても、その対応に即時に追いついていないところもある。
ATSRI	現在、作業負荷計算においてATMCが認識している課題はあるか？
ATMC	高高度セクターにおける巡行高度で通過する通過機と出発・到着部分を含む航空機の運航種別が同じ通過機扱いになっているが、これらの運航種別を異なる運航種別として処理できないか検討したい。

2.3.2 第2回 ATMC のヒアリング・検討会議

- ① 実施日時 令和5年3月
- ② 参加者 管制課
 航空交通管理センター(ATMC)
 航空保安研究センター(ATSRI)

(1) 福岡管制部の管制作業イベントの計測結果について

表 2.3-1 管制作業イベントの計測結果

	NO	管制イベント	平均通信時間(秒)		平均作業時間(秒)		データ数
			現在	今回調査	現在	今回調査	
入域	1	システムによるレーダーハンドオフ	8.0	6.1	1.0	0.8	101
	2	口頭によるレーダーハンドオフ	8.0	5.8	4.2	0.8	8
	3	レーダーによらない管制移管(RADIO,TWR)	14.0	13.8	4.1	3.4	2
	4	レーダーによらない管制移管(FIR,洋上)	14.0	15.5	4.1	1.7	11
	5	IFR P/U(レーダ識別込み)	21.0	33.2	11.5	0.4	1
中間	6	高度変更の指示	10.0	8.2	3.3	3.2	104
	7	直行誘導または直行指示	10.0	8.3	2.6	3.9	82
	8	機首誘導の指示	10.0	8.5	2.5	3.7	16
	9	速度調整の指示	10.0	7.2	2.8	2.2	6
	10	経路変更、管制承認の発出	15.0	35.3	9.5	3.1	8
	11	進入許可発出	10.0	9.4	4.5	5.2	4
	12	空中待機指示	10.0	20.5	8.0	6.7	9
	13	レーダー識別	6.0	9.2	2.6	3.3	12
	14	QNHの送信	4.0	3.6	0.0	0.0	4
15	交通情報の発出	10.0	9.5	0.0	0.0	9	
出域	16	レーダーポイントアウト(受)	×	10.2	×	0.4	3
	17	レーダーポイントアウト(送)	×	11.0	×	0.8	12
	18	システムによるレーダーハンドオフ	8.0	7.4	1.0	1.2	130
	19	口頭によるレーダーハンドオフ	8.0	8.3	4.2	0.7	3
	20	レーダーによらない管制移管(RADIO,TWR)	14.0		4.1		0
	21	レーダーによらない管制移管(FIR,洋上)	14.0	19.8	4.1	0.4	4
	22	CNL IFR	14	11.2	4.1	5.3	2

(ATSRI)

今回、管制作業イベントは上記表 2.3-1 のように細分類化して、福岡管制部の訓練シミュレーターを使用して、有資格者により複数の訓練シナリオを実施して通信時間と管制卓の作業時間について、計測した。

今までは、例えば、システム H/O の受け・送りは 1 本化して同数値で計算していたが、今回の調査は、システム H/O 受け・送りを別々に計測している。

また、レーダーによらない管制移管を (RADIO、TWR) と (外国 FIR、洋上) に分類している。データの左側が現在の設定値で、右側が今回の測定値である。

ただし、今回の調査シナリオに RADIO・TWR の到着機がなかったため、そのデータは計測できていない。

(2) 神戸管制部、福岡管制部の困難度係数のアンケート結果について

次の表が神戸管制部と福岡管制部の有資格者への管制イベントの困難度についてアンケートした結果である。

表 2.3-2 管制作業イベントの紺など係数アンケート結果

管制作業イベント困難度係数

NO	管制イベント	アンケート平均値	件数	補正值	現在の係数
1	経路変更、管制承認の発出	8.0	133	2.0	1.5
2	空中待機指示	7.7	133	1.9	1.5
3	機首誘導の指示	6.3	133	1.6	2
4	高度変更の指示	6.2	133	1.5	1.5
5	進入許可発出	5.6	131	1.4	1.25
6	速度調整の指示	5.4	133	1.4	1.5
7	レーダーによらない管制移管	5.3	133	1.3	1.25
8	直行誘導または直行指示	5.0	133	1.3	1.75
9	レーダーポイントアウト	4.8	132	1.2	
10	交通情報の発出	4.7	133	1.2	1.25
11	CPDLCを利用したレーダーによらない管制移管	4.3	90	1.1	
12	口頭によるレーダーハンドオフ	4.2	132	1.0	1
13	レーダー識別	4.0	133	1.0	1.25
14	CPDLCを利用した口頭によるレーダーハンドオフ	3.4	89	0.9	
15	システムによるレーダーハンドオフ	2.4	133	0.6	0.75
16	CPDLCを利用したシステムによるレーダーハンドオフ	2.1	90	0.5	
17	QNHの送信	1.9	132	0.5	0.25

(ATSRI)

各管制イベントの困難度係数について、10点満点としてアンケートを実施し、その結果を平均したものがアンケート平均値である。回答数は福岡管制部133名、神戸管制部90名、数が少ないところは、未記入があったためである。この表は、評価点の高い順番に上から並べてある。1番右側に現在設定している各管制イベント項目の困難度係数(最高が2.0)を記入している。今回の調査値と現在の値と比較するために調査の最高値を8.0→2.0に補正するために各困難度係数を1/4補正したものが補正值である。比較して大きく違ったのが上位3項目と「8項の直行誘導及び直行指示」である。

また、ポイントアウトとCPDLC関係の項目は、新規項目であるため現在の設定係数はない。

(ATMC)

今回の困難度係数が上がっているのは、基本的に管制官の入力でプルダウンメニューなどが増えたからか？

(ATSRI)

困難度係数が上がっているのは、プルダウンメニューが増えたからかどうかは、わからない。あくまでもアンケートの結果である。困難度係数は今の管制部管制官が各管制イベントの困難度をどう思っているかの結果である。

(3) MMBB法の管制作業負荷の計算手法の課題分析について

(ATSRI)

課題となっている次の管制作業イベントの内容を説明した。

① ポイントアウトの管制作業負荷

ポイントアウトの管制作業負荷の計算は、通常の無線通信時間がないため、通信時間に替えて調整時間を使用して考慮時間としている。(図2.3-1を参考)

ポイントアウトの管制作業負荷計算

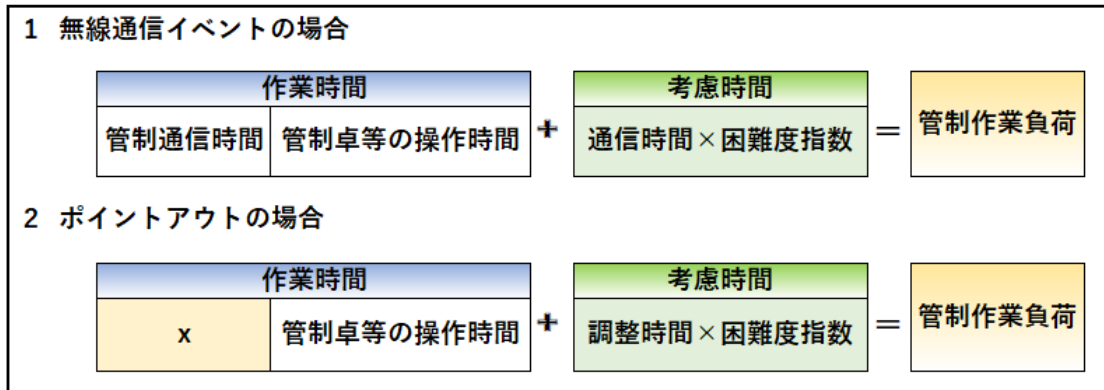


図 2.3-1 ポイントアウトの管制作業負荷

② CPDLC の管制作業負荷

CPDLC の運用時、レスポンスがエラーになる場合があるので、その場合は、音声通信で周波数移管を行う。(図 2.3-2)

このエラーの場合は、音声通信に切り替えて周波数移管が行われるため、その通信時間を考慮して、管制作業負荷の計算を行う。(図 2.3-3)

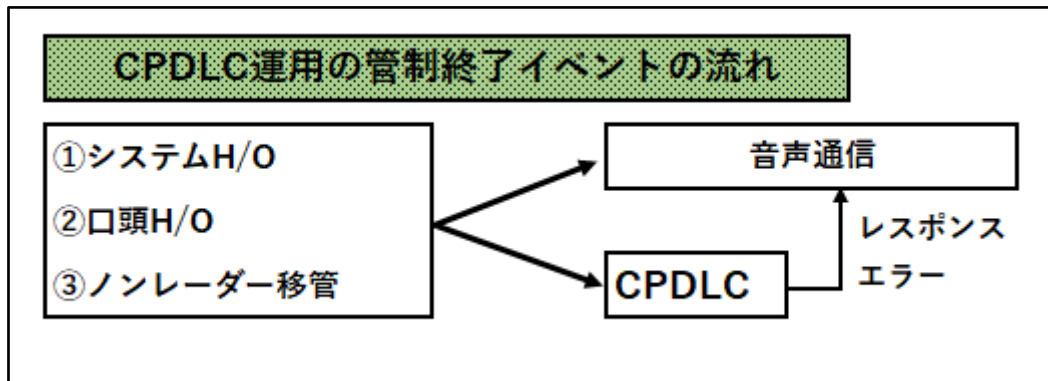


図 2.3-2 CPDLC がエラーとなった場合、音声通信に切り替え

CPDLC管制イベントの周波数移管の作業負荷計算

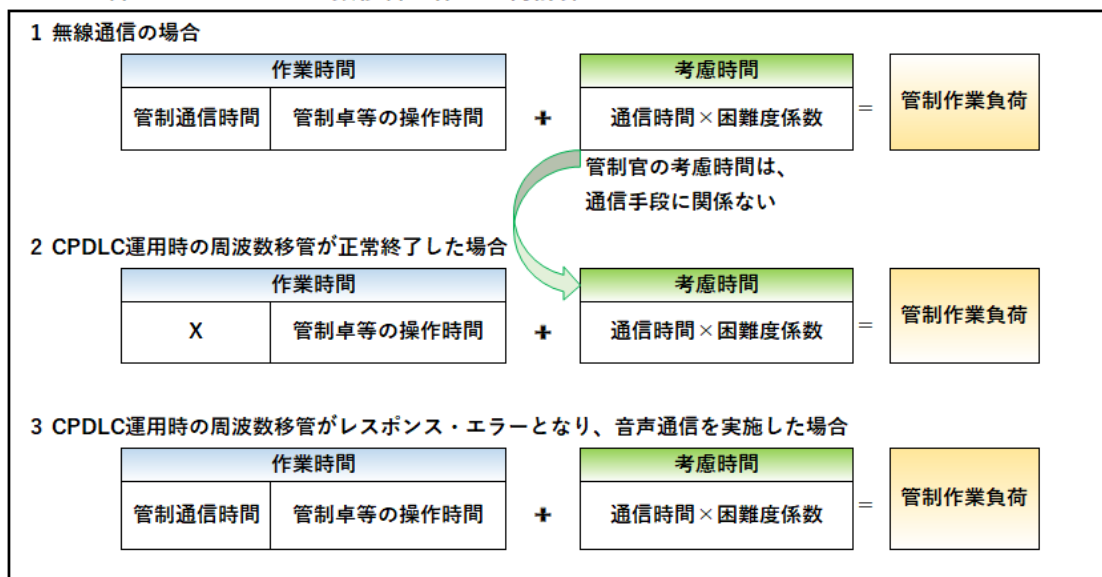


図 2.3-3

表 2.3-2

通信移管に関するCPDLCレスポンス時間

平均レスポンス時間	件数	エラー数
15.7(秒)	7	0

調査時間は約3時間

表 2.3-2 は、福岡管制部での CPDLC 運用席の約 3 時間撮影して調査した周波数移管に関するレスポンス時間のデータである。平均 15.7 秒でレスポンスが返ってきており、エラーはなかった。

(管制課)

CPDLC の管制作業負荷の計算方法は、理解したが、ATMC として正常時とエラー時の設定はどうするのか？エラー率等は考えなくてよいのか？

(ATSRI)

説明した CPDLC の管制作業負荷の計算方法は、セクターの管制作業負荷の調査を受注した業者が管制卓のジャーナルなどから管制イベントを抽出し、管制作業負荷計算を行う作業で使用するものである。基本的に管制作業負荷調査で得られたデータ（運航種別、平均滞在時間、平均作業時間等）を TEAM に設定し、交通流予測グラフに交通量を表示している。TEAM システムには、各管制イベント

の項目ごとの管制作業負荷のデータは、入っていない。もし、管制作業負荷計算ツール（シミュレーター）等を作る場合には、イベントの発生アルゴリズムが必要であり、そのイベントの管制作業負荷計算のための基礎データとなる。

③ TEPS の複数項目入力（HAS コマンド）の管制作業負荷

TEPS の HAS コマンドは「H:Heading 又は直行」「A:Alt 変更」「S:Speed 調整」の 3 項目まで同時に入力できるコマンドである。

下記の図 2.3-4 は、HAS コマンドの複数入力があった場合、各イベント項目の作業負荷の計算方法である。

「入力形式による通信及び作業時間」は、単独の入力、2 項目同時入力、3 項目同時入力の場合の平均時間である。2 項目同時入力の場合は各項目を 1/2、3 項目同時入力の場合は 1/3 として、1 項目あたりの時間に変換したのが、1 項目あたりの作業時間である。また、その 1 項目あたりの通信、作業時間、考慮時間から計算した 1 項目あたりの管制作業負荷（通信時間+考慮時間+作業時間、困難度係数 1.4）が 1 項目平均WL（ワークロード）である。1 番効率が良いのが 2 項目同時入力の 16.0 秒であった。福岡管制部の管制官から聞いたところ、パイロットとの技術交流会でパイロット側からリードバックできないので 3 指示を同時に発出しないよう要望が出ているとのことで、3 項目を同時に発出することは殆どないとのことである。

今回の調査において、3 項目同時入力の HAS コマンドは、ダミーの管制指示とリードバックを実施した結果のデータである。

入力形式による通信及び作業時間(秒)

	平均 通信時間	平均 作業時間
単独入力	8.2	3.2
2項目入力	10.7	6.3
3項目入力	18.3	10.5



1項目あたりの通信・作業時間(秒)

	通信時間	作業時間
単独入力	8.2	3.2
2項目入力	5.4	3.2
3項目入力	6.1	3.5

通信時間
+考慮時間(通信×1.4※)
+作業時間

1項目平均WL
22.9
16.0
18.1

※1.4は、平均困難度係数

図 2.3-4 HAS コマンドの複数項目入力の管制作業負荷

④ 通過機の運航種別の課題

高高度セクターでの通過機判定の課題について図 2.3-5 で説明すると、現在の運航種別の判定ではC1機もC2機も同じ通過機扱いで集計するため滞在時間と機数の度数分布グラフが大きな山が2つあるセクターがあり好ましい状況ではない。

(図 24-2 参考)

また、この状況は、図 2.3-5 の低高度セクターのB1機とB2機においても同様な状況が発生している可能性がある。したがって、これらの運航種別を分類分けして取り扱う必要があるため、通過機の運航種別を細分化する必要があると考える。図 2.3-6 は細分化した場合の例である。

実際の TEAM の管制作業負荷計算は、飛行軌道を考慮して、上昇部分、水平部分、下降部分の運航状態で作業負荷の計算を行い、その合計で滞在時間内の管制作業負荷を算出しているが、高高度セクターの上昇部分は低高度セクターとの境界高度から巡航高度 (TOC) までの上昇時間で決まると考える。例えば、境界高度が FL335、上昇率を 2,000ft/min とすると、上昇部分の滞在時間は、巡航高度 FL400 であれば 3分 15秒、巡航高度 FL340 であれば 15秒であり、巡航高度 FL400 は巡航高度 FL340 の 13 倍にもなり、この間の作業負荷に大きな差が発生することとなる。降下部分についても同様な状況が発生すると考える。

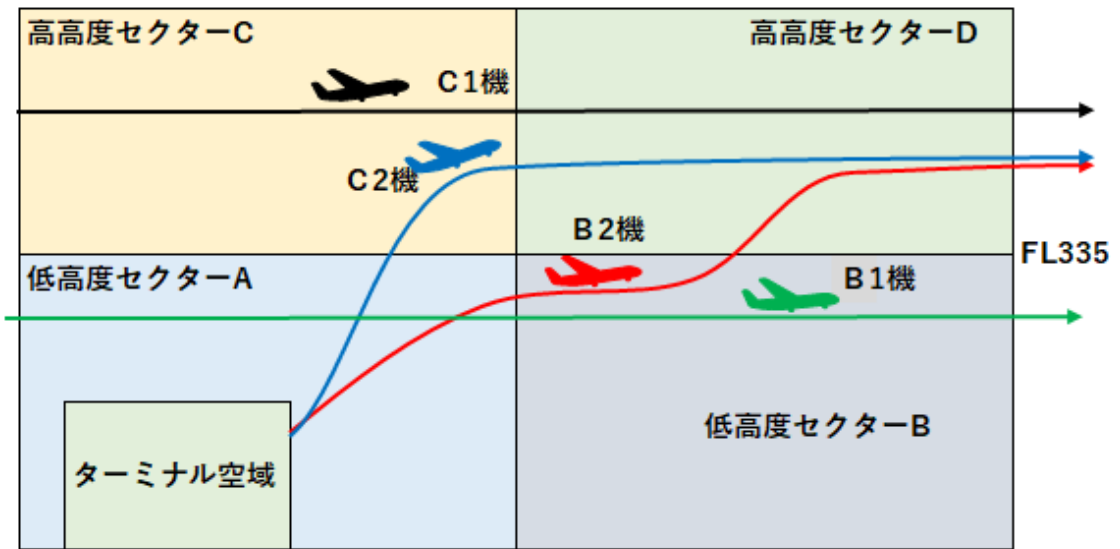


図 2.3-5 高高度・低高度セクターの通過機

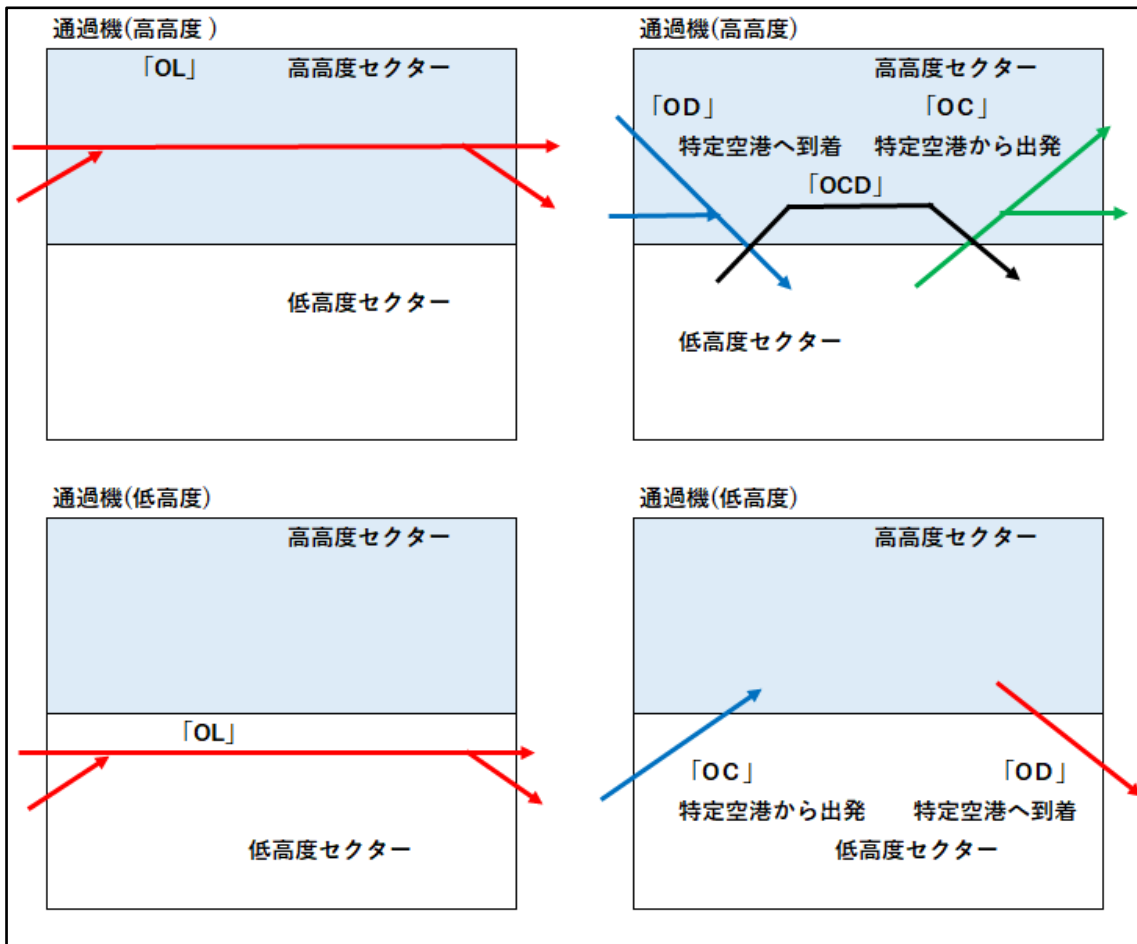


図 2.3-6 通過機の運航種別細分化

(4) MUAC とユーロコントロール

ユーロコントロールは、以下の ATFCM（交通流・容量管理）の手法を実施していることを説明した。

①セクター管理

交通需要を分散させるためにセクターを分離しセクターの構成を変更する。

②到着容量と出発容量のバランス調整

複数滑走路の運用の運用方式を検討し、空港容量を増やし遅延を最小限に抑える。

③フライトリストの評価

フライトリストにより、交通流の複雑さを予測し適切な措置を講じる。

④処理容量値の調整（監視値の見直し）

監視空域における交通量と処理容量を監視し、監視値の一時的な増加の協議や、監視値の見直しを行う。

⑤軍民調整（ATFCM/ASM）

CDMを通して、訓練空域や制限空域等の使用調整を行う。

⑥トラフィックの複雑さの軽減

航空交通を複雑にしているフライトを特定して、シナリオの使用や、STAM等により交通流の複雑さを軽減する。

⑦待機経路

混雑空域外での待機を指示することで、交通の集中を回避する。

⑧経路変更（Reroute）

空域利用者に提供される代替経路案を提供、調整する。

⑨FL管理（FL Level Capping Scenario）

混雑した空域を避けるために、上昇、または降下を制限する。

⑩フライトの前倒し

ネットワークの最適化を図るために、規制対象となったフライトの前倒し（遅延の緩和）を実施する。

⑪FMPによる戦術的交通流管理

- ・FL管理（Level Capping）
- ・経路変更（Rerouting）
- ・最小出発間隔（MDI Minimum Departure Interval）
- ・マイル・イン・トレイル（MIT Mile In Trail）

⑫交通流制御の実施

交通流制御の対象となった空域または空港に入域する航空機数の制限やスロットの割当（CTOTの発行）により実施する。

⑬チェリーピック

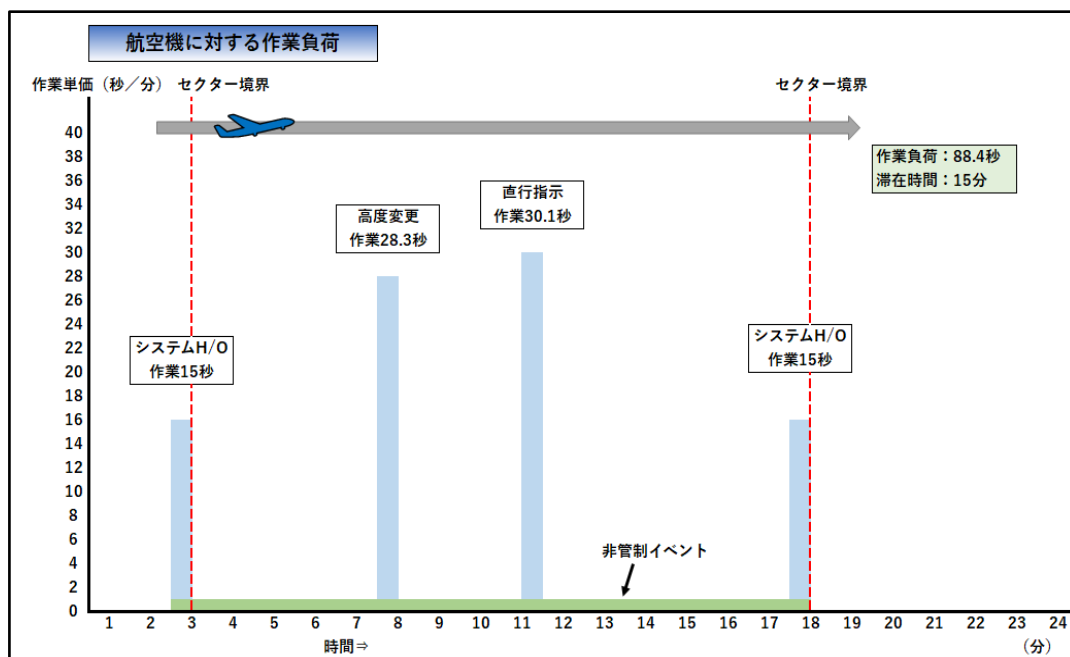
特定のフライトを選択して交通流制御を適用する。

(5) 新たな管制作業負荷算出方法

現在のMMBB法の管制作業負荷の積み上げ方式は、航空機のセクター滞在時間に運航種別（出発、到着、通過、域内）の管制作業単価を積み上げ、交通量予測グラフを作成している。

航空機があるセクターを通過する場合、管制作業イベントが発生した時刻と作業量を図示した例が図 2.3-7 である。

図 2.3-7 管制イベント発生（時系列）



この場合、管制作業負荷は図 2.3-8 のように、当該航空機（A 機）の当該セクターの入域から出域まで、平均管制作業単価で積み上げた場合、上図のグラフとなり、入域時刻や滞在時間の異なる複数の航空機を積み上げると下図のグラフのようになる。

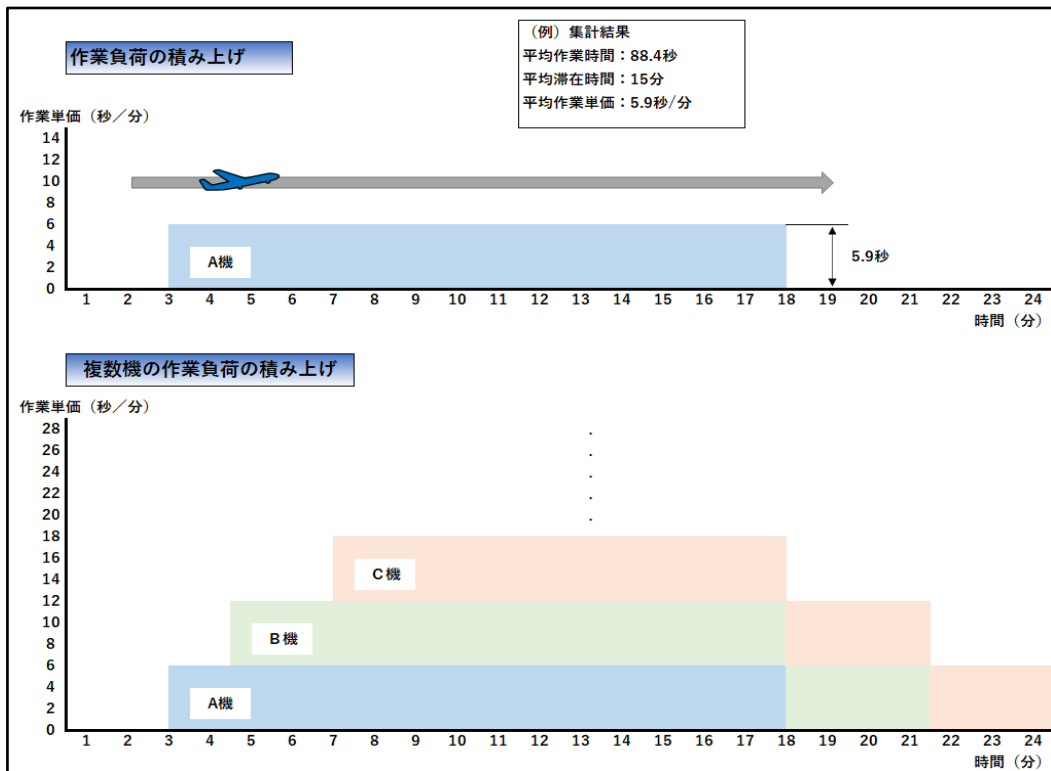


図 2.3-8 滞在時間の管制作業負荷の積み上げ

交通流予測グラフに表示する棒グラフは、30 分間（1800 秒）の管制作業負荷の割合をパーセンテージで表すため、30 分間の積み上げた管制作業負荷を 30 分（1800 秒）で割った値のパーセントを表示したものである。図 2.3-9 の上図は、1 分間間隔に管制作業負荷を積み上げた状態を表している。そのデータを 30 分間集計し、1800 秒で割ったパーセント表示を 10 分間間隔で棒グラフとして表したものが交通量予測グラフである。

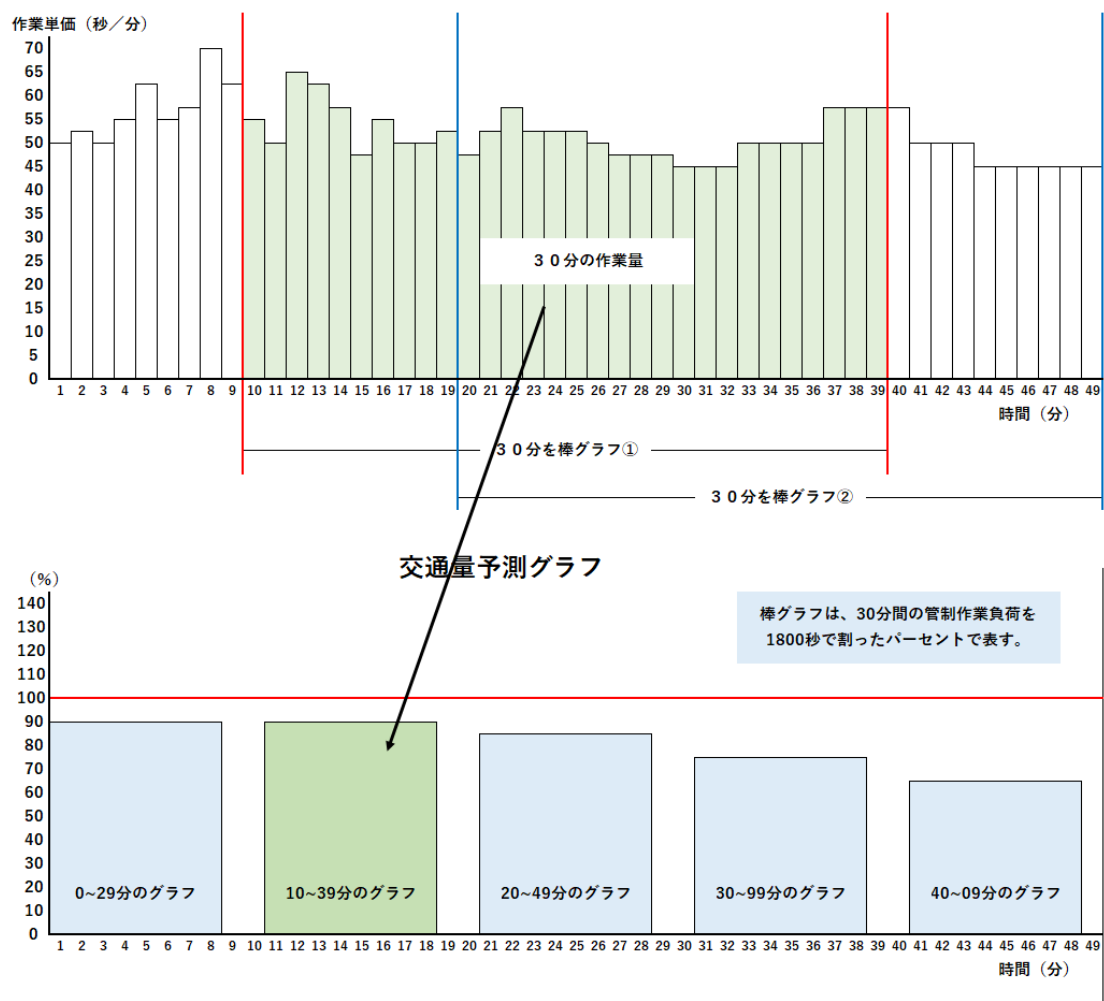


図 2.3-9 管制作業負荷の積上げと交通量予測グラフ

現在のMMBB法の管制作業負荷の積上げ方式は、関係航空機の滞在時間内に管制作業単価を積上げたものであり、滞在時間に比例して管制作業負荷は増減することになる。しかし、管制官が航空機1機に行う管制作業イベントは、滞在時間に比例しているわけではなく、特別な状況でない限りほぼ定型的なイベント作業を実施していると考えられる。

現在のMMBB法の管制作業負荷の積上げ方式の課題は、関係機の滞在時間がセクターの平均滞在時間より短い場合は管制作業負荷が過小評価され、平均滞在時間より長い場合は管制作業負荷が過大評価されてしまうと考えられる。

図 2.3-10 は、現在の積上げ方式を表し、平均単価を滞在時間帯に一定量を積み上げる方式である。図 2.3-11 (仮称：新積み上げ方式) は、滞在時間内の管制作

業負荷が、滞在時間に関係なく平均管制作業負荷（時間）になるように積み上げる方式である。

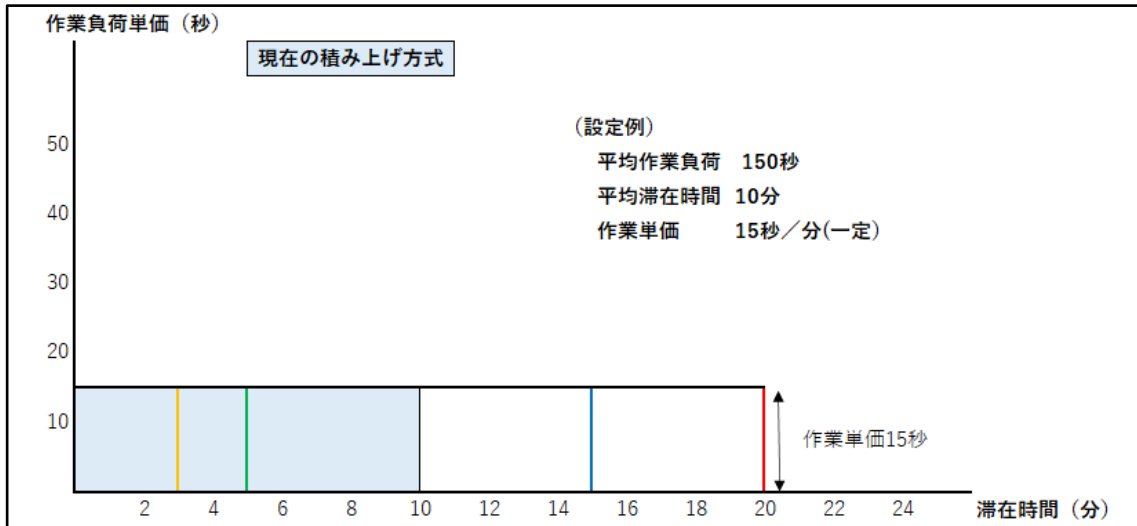


図 2.3-10 現在の管制作業負荷の積上げ方式

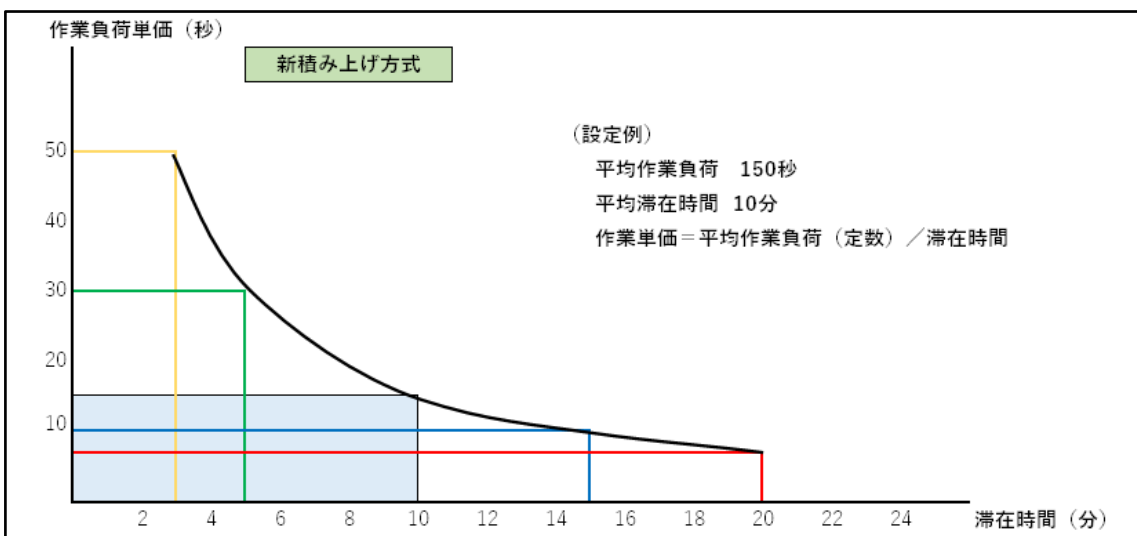


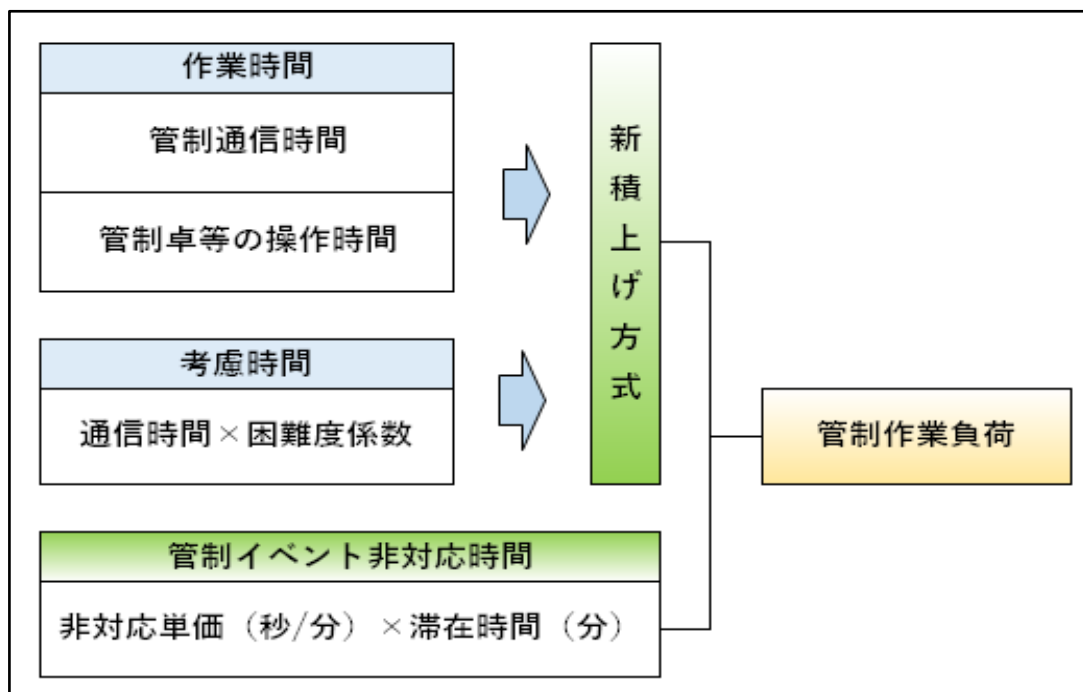
図 2.3-11 滞在時間内の総管制作業負荷が一定（新積み上げ方式）

(6) 管制イベント非対応時間

管制イベント非対応の作業（周波数サイト切り替え、経路表示、距離測定、ターゲット監視等）は、滞在時間（言い換えれば管制下機の間）に一定量の作業が発生し、この管制作業負荷は滞在時間に依存することから非対応単価を滞在時間に積み上げることを検討する。

従って、新積み上げ方式及び管制イベント非対応時間の管制作業負荷の計算は、図

2.3-12の構成になる。



図] 2.3-12 新積み上げ方式等による管制作業負荷

今後、管制作業負荷の積み上げ方式を検討する場合、同じデータで現在の積み上げ方式と新積み上げ方式の机上シミュレーションを実施し、新積み上げ方式の妥当性の確認をする必要がある。また、管制イベント非対応の非対応単価（秒/分）の値を管制卓のイベント非対応の操作時間から調査し、どの程度とするか検討する必要がある。

(管制課)

新積み上げ方式について、想像し難いが、ATMCは理解しているのか？

交通量予測グラフがどのように変化するか想像できないが。

(ATSRI)

グラフがどのように変化するかは、その時間帯に入ってくる航空機の滞在時間の長いものと短いものがどれだけの割合で入ってくるかによる。どう変化するかは、机上シミュレーションしてみないとわからない。

(管制課)

ATMCとして、新積み上げ方式の方が実態に相応しいと思っているか？意見等はないか？

時間帯でグラフは変わるのか、アダプテーションの設定等で行うのか。

(ATSRI)

時間帯でグラフが変わるのはアダプテーションではない、滞在時間の長いものと短いもの実際の割合が変わることで積み上げ方式によって変わることがあるかもしれない。机上シミュレーションしてみないと何とも言えない。

(ATMC)

新積み上げ方式の方が、たとえば、セクターT02は、東西に長いセクター形状で、北米からインチョンに抜ける東西飛行は、滞在時間が長い、一方、羽田に到着する南北の飛行の方がスペーシング等で負荷が高いことを表せるのかなと思う。新積み上げ方式の方が個人的には、管制作業負荷の実態に合っているように思う。

(管制課)

新積み上げ方式の方が、将来のフリールーティング的な運用に合っているように感じたが、どうか？

(ATSRI)

将来のフリールーティングのような、ウェイポイントからウェイポイントへ飛行するような作業負荷計算には適していると思う。

(ATSRI)

今、通過機の細分類化と新積み上げ方式のプログラム改造度について問い合わせ中である。

(ATSRI)

EUROでは、だいぶ開発を行っていると思うが、将来的にAIを使った作業負荷の計算方法を検討していく必要があると思う。今回の調査では管制作業負荷算出にAIの機能を導入し、空域の変更、セクター形状の変更などに対応する管制作業負荷算出ツールの開発が必要と考えている。また、ATM業務の中でAIを導入しやすいのはATFMの機能ではないかなと思う。特にターミナルの交通流制御においては、気象データ、滑走路運用、進入方式等の環境データが蓄積しやすいことと、着陸実績等のデータがあることから、AIを導入しやすいのではないかなと思う。

(管制課)

AIの活用については、今後、考えていかなければと思う。まずは、動的セクターを含めたセクター運用等の戦略的な所に導入していくのではと考える。

滑走路の変更の予測等の直近の予測への活用は次になるのではないかな。

(管制課)

ATMCとして今の課題と突き合わせて、今回ATSRIからの調査内容が反映できそうところが、あるかどうかという視点でATMCに参加してもらったが、何か意見はないか。

(ATMC)

レベルキャッピングの手法については、検討したが、交通量予測グラフがどうなるか検証できないため、実運用に取り込めなかった。

(ATSRI)

レベルキャッピングをする場合の交通量予測グラフの検証機能は必要と思う。

(ATMC)

リルート的なレベルキャッピングの検証ができないので相手セクターの影響がわからないので話が進まない状況になっている

以上が、ATMC のヒアリング及び課題等の検討内容である。

2.4 高高度セクターにおける課題

上下空域再編により到着については高高度セクターから低高度セクターへ管制移管する際、航空機の間隔を10マイルに設定して移管するため、交通量の多い空港への到着機が集中する場合に高高度セクターにおいて順位付け及びスペーシングがあり、管制作業量が増大している。また、低高度セクターとの管制移管に関して、高度処理や移管方法について、調整作業が増加し、調整に要する管制作業も増加している。

現在の交通流管理の取り扱いから検討すると高高度セクターは出発機の場合は2番目、到着機の場合は最後から2番目セクターとなるため、航空機の運航種別がすべて通過機扱いとなる。その状況を示しているのが図 2.4-1 であり、通常の通過機（青色の飛行）と管轄範囲下内の空港からの出発機（緑色の飛行）や到着機（赤色の飛行）の運航種別がすべて通過機扱いとなる。

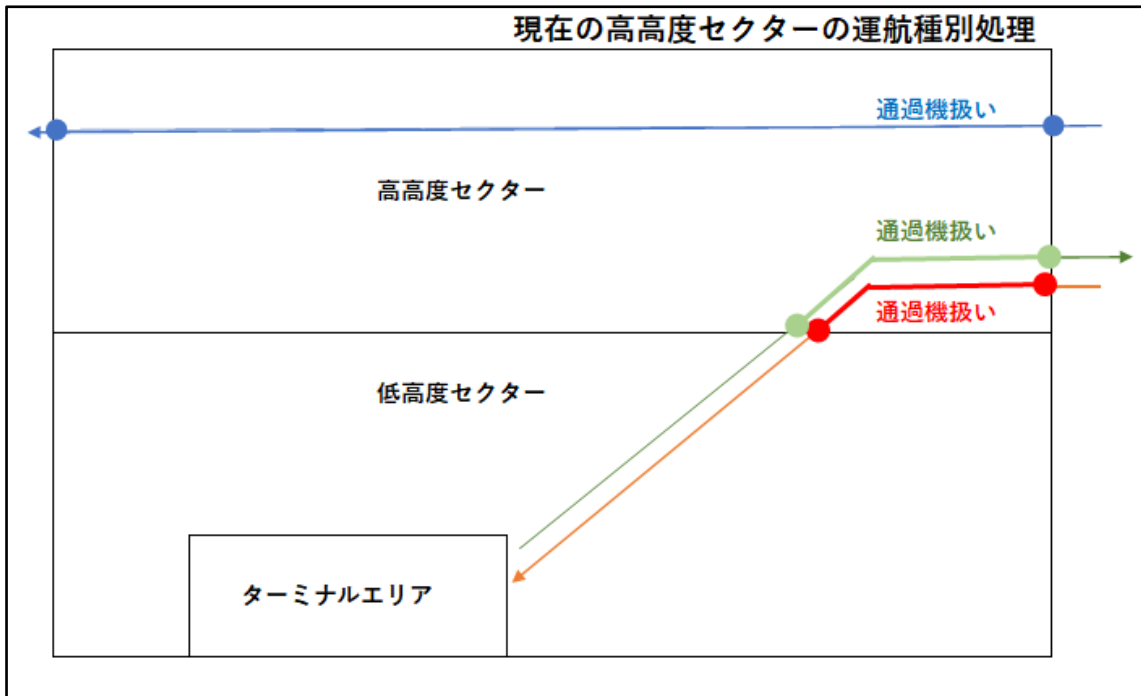
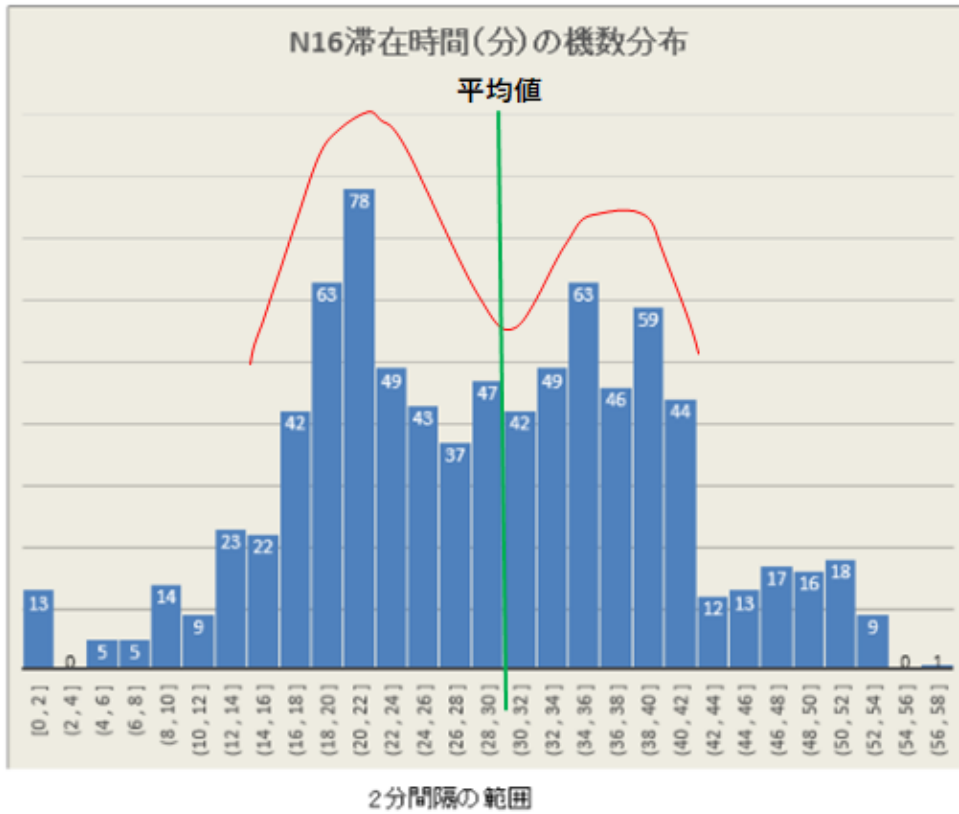


図 2.4-1 高高度セクターの通過機取り扱い

このことにより運航種別「通過機」に2つの大きな交通流を形成するセクターが形成されることになる。令和3年度調査報告の神戸管制部の上下分離再編時の高高度セクターN16（現在は、福岡管制部へ移設）の滞在時間（横軸）と航空機機数（縦軸）図2.4-2のグラフを見ると滞在時間20分と34分付近に2つのピークが存在している。このデータから分析すると20分前後の航空機は、那覇空港からの出発機と那覇空港への到着機のデータであり、34分付近のデータは、通常の通過機のデータと考えられる。

また、図2.4-2のグラフの滞在時間の平均値は、2つのピークの谷間にあり、この平均値を使用して交通予測を実施することは、好ましい状態ではない。



セクター	運航種別	容量値 (機数)	機数換算 値(機)	平均滞在 時間(分)	平均作業 負荷(秒)	種別分布 (%)	データ数
N16	A						
	D						
	I						
	O	297.9	102	29.2	176.4	100	828

図 2.4-2 令和 4 年調査 N16 の滞在時間と航空機数

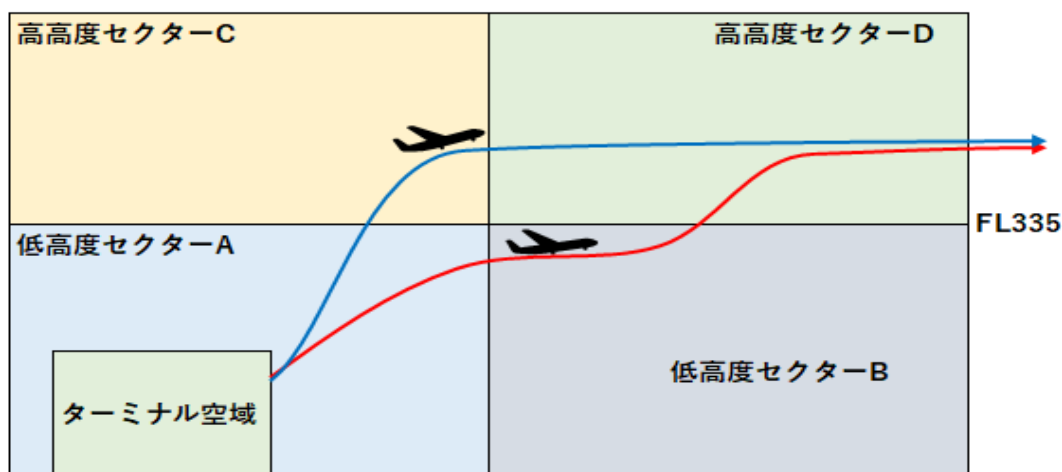
2.5 低高度セクターにおける課題

高高度セクターから低高度セクターに移管される場合、同一空港到着機は10NM間隔で移管され、その移管された航空機と自セクターに隣の低高度セクターから移管された航空機の順位付けと間隔を設定し、ターミナル管制所へ移管することとなる。今までは、ターミナル管制所に移管する管制部最終セクターが隣のセクターから移管を受け、順位付けや間隔設定を実施していたが、上下分離再編後は、高高度セクター及び隣の低高度セクターから移管された航空機との順位づけや間隔の設定を行うこととなり、高高度セクターとの移管に関する高度制限等の調整作業も増加し、レーダーポイントアウトの回数も増加している。

低高度セクターは、ターミナル空域と接続しているセクターであり、管制移管作業は発生しているが、ターミナルとの接続に係る管制運用方式等に大きな変更がないためターミナル空域とのレーダー席の業務作業負荷に大きな変化は発生していないと考えている。

2.6 高高度セクターと低高度セクターの境界線における課題

上下分離再編により空域がFL335で分離されたため、縦横に十字型の境界線となるセクター構成があり、図2.6-1に示すように出発機が出発後、出発機を扱うセクターAから隣接する低高度セクターBへ飛行する場合と高高度セクターCへ飛行する場合があります。通過セクターの予測が難しくなり、交通量予測グラフが急増、急減する事象が発生しやすくなっている。



2.6-1 上下分離再編後の出発機飛行

通過セクターについて、TEAMのアダプテーションデータで初期設定として原則的な管制運用に合わせた通過点の高度補正を行っている。しかし、多くの空港でSDC¹による出発方式が実施されており、交通状況によって航空機の上昇が原則どおりに行われない場合がある。この場合、航空機の飛行状況により予想していないセクター内に滞在することがあり、交通量予測グラフが急激に増減する事象が発生している。また、到着機についても、交通状況により原則どおりに下降できない事象が発生し、交通量予測グラフが急激に増減する事象が発生している。

2.7 CPDLC 等の新技術導入によるMMBB法の課題

現在のMMBB法の管制作業負荷算出における通信時間は、管制官とパイロットとの通信時間が基本となっている。しかし、現在の音声通信が段階的にCPDLCのデジタル通信に移行することが想定されるため、CPDLC運用実態を分析・調査し、管制作業負荷計算の項目について検討する必要がある。福岡管制部のヒアリング内容にもCPDLCの運用で周波数移管の通信がなくなり、レーダー席の管制作業が軽減されていることから、周波数移管をCPDLCのデジタル通信とした場合の管制卓等操作に関する管制作業時間を計測し、管制作業イベントの管制作業負荷計算に反映する必要がある。

図 2.7-1 は CPDLC 運用時の管制作業イベントの流れを示す。また、図 2.7-2 は CPDLC 運用時の周波数移管時にレスポンスエラーとなった場合、音声通信に変更されることを示している。

¹ SDC : Simplified Departure Clearance: ターミナル管制所又は飛行場管制所は管制区管制所との間において、特定事項に関して調整要領又は協定書に規定されている場合、ATM センター及び管制区管制所から管制承認又は管制指示がなされたものとして、航空機に対し、管制承認又は管制指示を发出することができる管制承認の簡素化のことである。

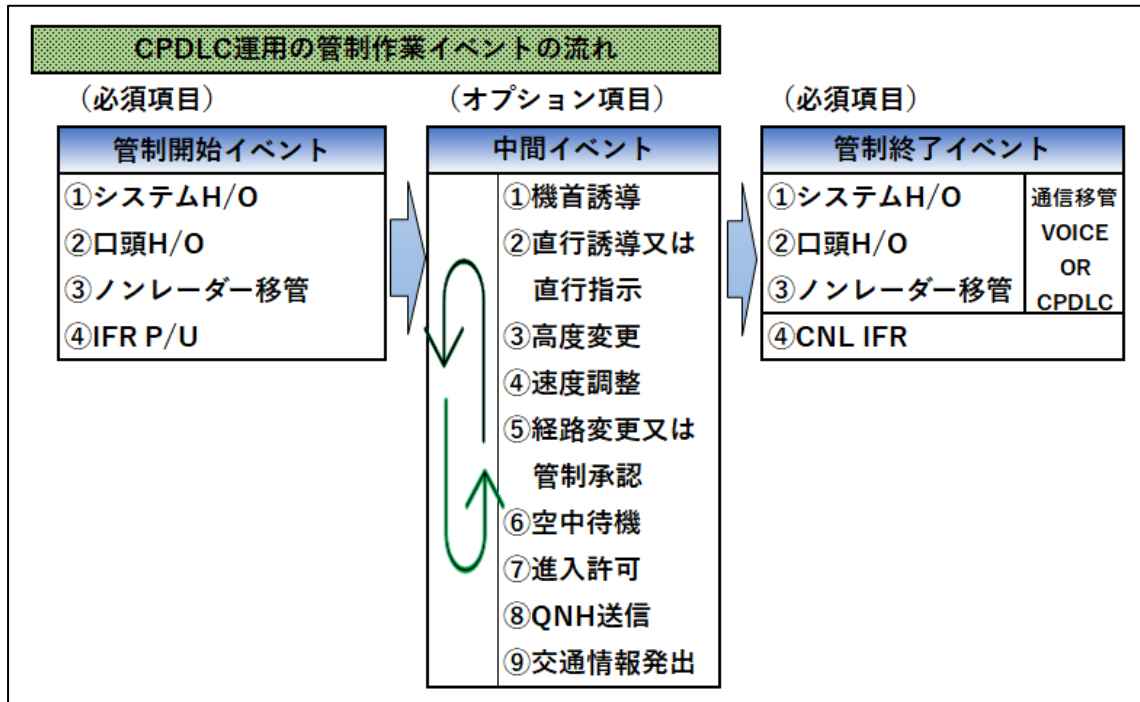


図 2.7-1 CPDLC の管制作業イベントの流れ

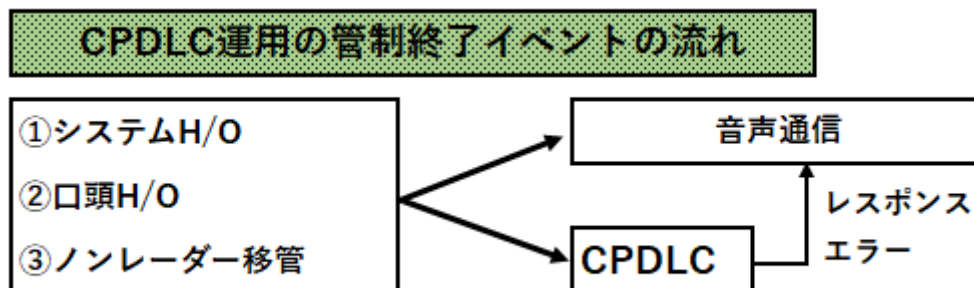


図 2.7-2 CPDLC のレスポンスエラー時の流れ

3. 海外動向調査（マーストリヒト高高度管制部、及びユーロコントロール）

マーストリヒト高高度管制部（Maastricht Upper Area Control Centre 以下、「MUAC」という。）は、EUROCONTROL（European Organisation for the Safety of Air Navigation 以下、「ユーロコントロール」という。）が運営する多国籍の組織（ANSP）で、ベルギー、ルクセンブルグ、オランダ、及びドイツ北西部の4カ国の上空 24,500フィート以上の空域において国境を越えた航空ナビゲーションサービスを提供している。MUACの管轄空域は欧州のコアエリアに位置し、アムステルダムや、ブリュッセル、コペンハーゲン、フランクフルト、ロンドン、パリ等の主要空港に近接した空域となっていて、全欧州の航空交通の17%がMUACの管轄空域を通過している。

図3.1-1にユーロコントロール加盟国の飛行情報区（FIR/UIR）を示す。赤色の線で囲まれた空域（FL245+）がMUACの管轄空域である。MUAC管轄空域は、ロンドンUIR、コペンハーゲンFIR、ラインUIR、フランスUIRに囲まれている。

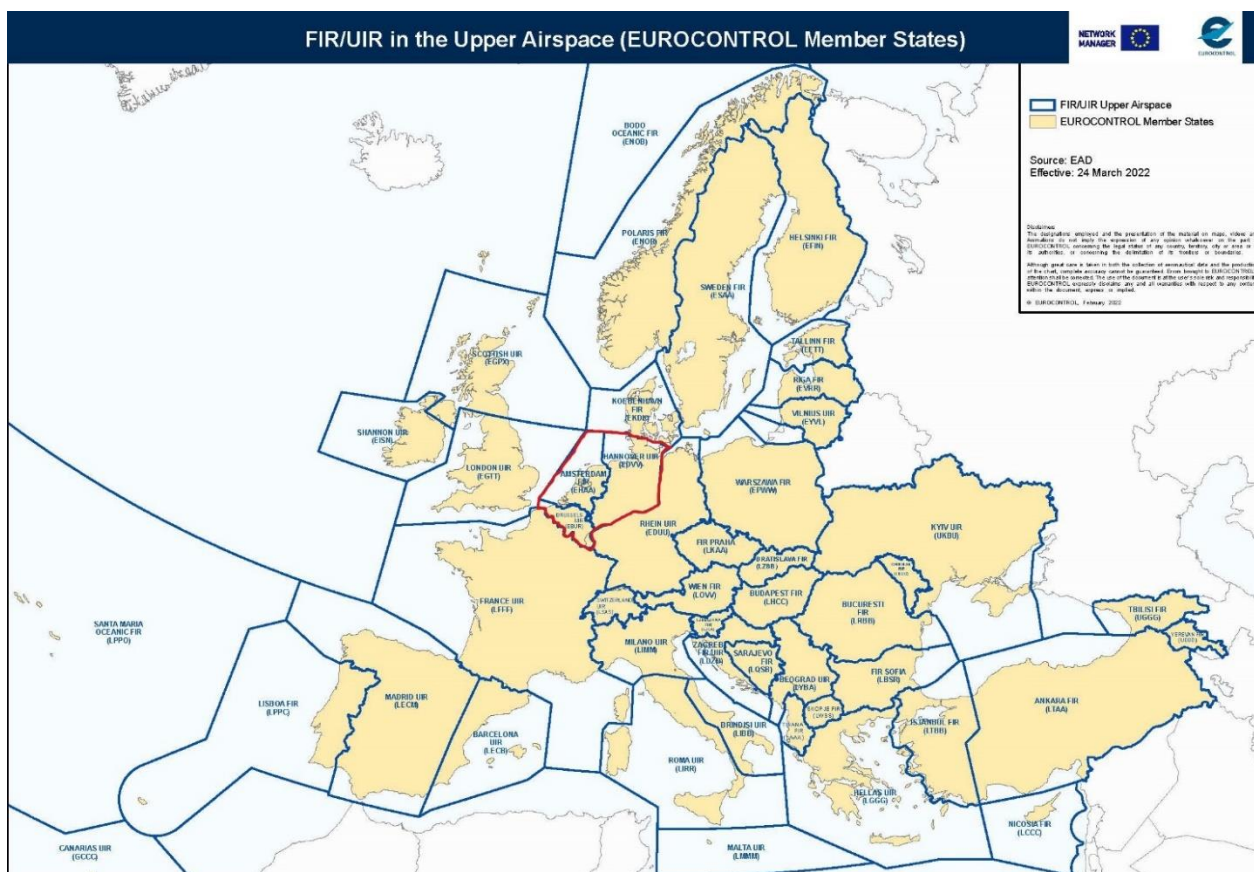


図3.1-1 ユーロコントロール加盟国の飛行情報区

(資料) EUROCONTROL Flight information region (FIR/UIR) charts - 2022

MUACは、「ユーロコントロールによるマーストリヒト高高度管制部における航空交通サービス及び施設の提供・運営に関する協定²（マーストリヒト協定）」に基づき運営されている。MUACで提供される航空航法サービスは、国際的な規制制度に加えて4カ国の規制制度が適用され、それぞれの国の領土/領空で施行される国内法規に従って提供されている。ベルギー、ドイツ、オランダはマーストリヒト協定、および該当する国内法により、ユーロコントロールを航空交通サービスプロバイダー（Air Traffic Service Provider）として指定している。

3.1 空域構成

3.1.1 MUACの管轄空域

MUACはブリュッセルUIR（Brussels UIR）,アムステルダムFIR(Amsterdam FIR)、及びハノーバーUIR(Hannover UIR)のFL245からFL660までの空域を管轄し、ブリュッセルセクターグループ、デコセクターグループ、ハノーバーセクターグループの3つのセクターグループで構成されている。各セクターグループは、複数の基本セクターから構成され、基本セクターは特定の境界高度（DFL：Division Flight Level）で上下セクターに分離されている。

表3.1-1 MUAC管轄空域とセクターグループの概要

空域	高度帯	ICAO空域クラス	MUACセクターグループ	基本セクター
ベルギー及びルクセンブルグ ：ブリュッセルUIR	FL245~FL660	C	ブリュッセル (Brussels)	8セクター KOKSY High/KOKSY NICKY High/NICKY OLNO High/OLNO LUX High/LUX
オランダ ：アムステルダムFIR	FL245~FL660	C	デコ (DECO)	7セクター DELTA High/DELTA Middle/DELTA JEVER High/JEVER HOLSTEIN/HOLSTEIN
ドイツ北西部 ：ハノーバーUIR	FL245~FL660	C	ハノーバー (Hannover)	8セクター RUHR High/RUHR MUNSTER High/MUNSTER CELLE High/CELLE SOLLING High/SOLLING

図3.1-2にMUACセクター構成の概要を示す。

² Agreement relating to the Provision and Operation of Air Traffic Services and Facilities by EUROCONTROL at the Maastricht Upper Area Control Centre

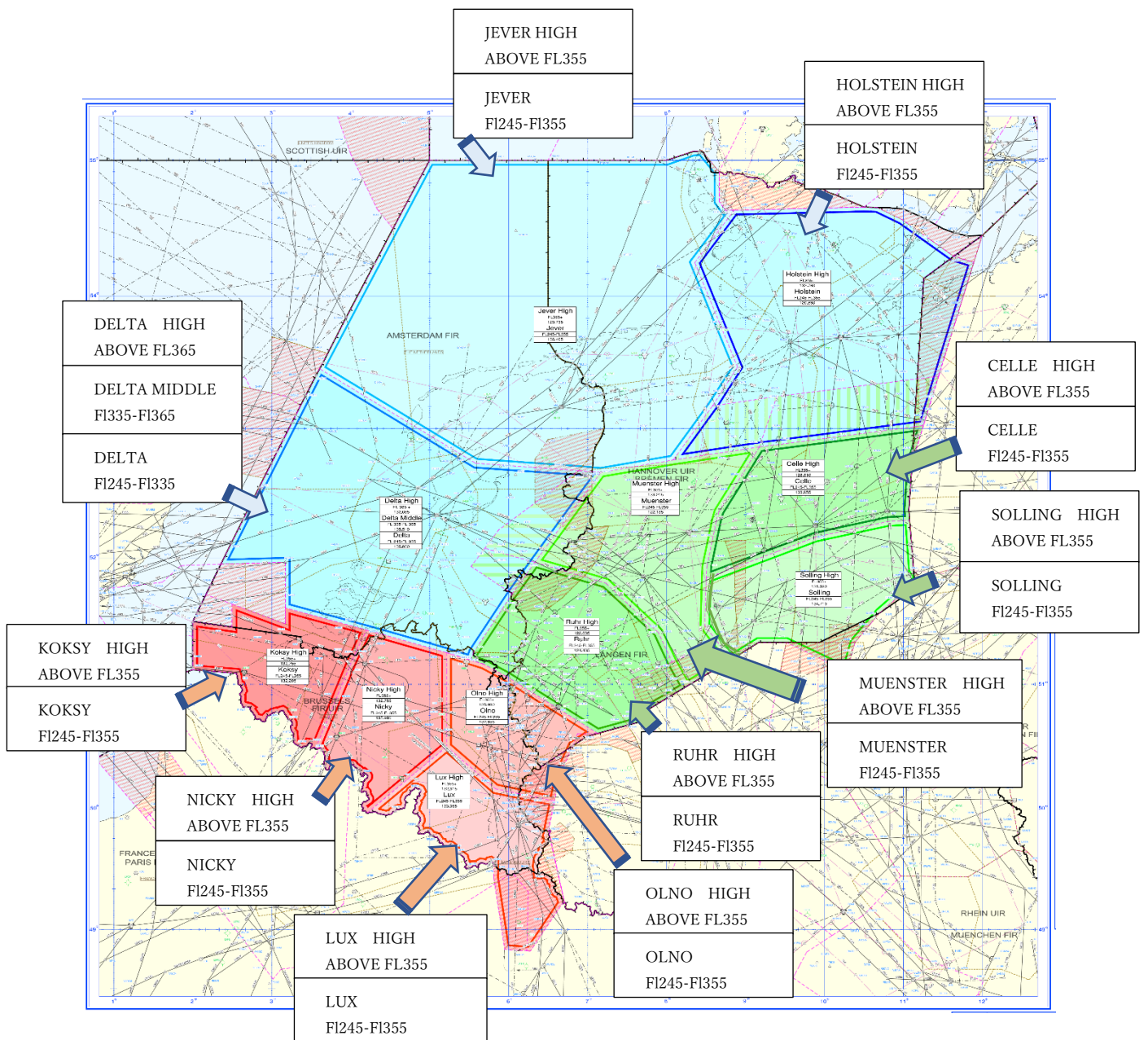


図3.1-2 MUACセクター構成

(資料) EUROCONTROL MAASTRICHT UAC SECTORISATION CHART 01-12- 2022

(*)ハノーバーセクターグループでは、基本セクターのDFLを動的に変更する(FL355⇔FL375) 可変境界高度 (VDFL: Variable Division Flight Level) を導入している。VDFLは、MUACのスーパーバイザーが交通需要に応じてセクター間の境界高度を戦術的に変更するもので、ピーク時の交通量に対して上下セクターの作業負荷を分散させ、空域容量を確保することを目的としている。

3.1.2 セクター構成 (Sector Configuration)

セクター構成とは、あらかじめ定義された、運用するセクターの特定の組み合わせのことで、ANSPはネットワーク運用計画等の中で予測される交通需要と利用可能なスタッフに合わせて最適なセクター構成を策定し管制官の要員配置に役立てている。セクター構成の策定は、1年前から始まるプレ戦術計画プロセスの中で行われ、運用の前日まで改良され、運用当日も状況に応じて戦術的な調整が行われる。MUACのセクター構成はセクターグループごとに定義され、常に3つのセクター構成が独立に決定される。図3.1-4にブリュッセルセクターグループのセクター構成の例を示す。セクター構成は、水平方向または垂直方向に隣接するセクターを組み合わせることができ、またその両方を組み合わせることもできる。

セクター構成番号	セクター構成	曜日ごとの計画使用率										
		月~金	土	日								
1	<table border="1"> <tr> <td>KOK H</td> <td>NIK H</td> <td>LNO H</td> <td>LUX H</td> </tr> <tr> <td>KOK L</td> <td>NIK L</td> <td>LNO L</td> <td>LUX L</td> </tr> </table>	KOK H	NIK H	LNO H	LUX H	KOK L	NIK L	LNO L	LUX L	5%	3%	1%
KOK H	NIK H	LNO H	LUX H									
KOK L	NIK L	LNO L	LUX L									
2	<table border="1"> <tr> <td>KOK H</td> <td>NIK H</td> <td>LNO H</td> <td>LUX H</td> </tr> <tr> <td>KOK L</td> <td>NIK L</td> <td>LNO L</td> <td>LUX L</td> </tr> </table>	KOK H	NIK H	LNO H	LUX H	KOK L	NIK L	LNO L	LUX L	4%	14%	24%
KOK H	NIK H	LNO H	LUX H									
KOK L	NIK L	LNO L	LUX L									
3	<table border="1"> <tr> <td>KOK H</td> <td>NIK H</td> <td>LNO H</td> <td>LUX H</td> </tr> <tr> <td>KOK L</td> <td>NIK L</td> <td>LNO L</td> <td>LUX L</td> </tr> </table>	KOK H	NIK H	LNO H	LUX H	KOK L	NIK L	LNO L	LUX L	55%	47%	40%
KOK H	NIK H	LNO H	LUX H									
KOK L	NIK L	LNO L	LUX L									
	⋮											

図3.1-4 セクター構成の例 (ブリュッセルセクターグループ)

(注) KOK: KOKSY High/KOKSYセクター、NIK: NICKY High/NICKYセクター
LNO: OLNO High/OLNOセクター、LUX: LUXEMBOURG High/LUXEMBOURGセクター

3.1.3 軍用機の管制

2017年以降、MUACはドイツとオランダ上空における軍用機に係るOAT⁶ (Operational Air Traffic) に対して管制業務を提供している。MUACの管制官は、ドイツの連邦航空保安監督機構 (Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung) とオランダ

⁶ ICAOの規定や方式が適用されないフライトで、軍用機の他に試験飛行等も含まれる。
(参考) <https://skybrary.aero/articles/general-air-traffic-gat>

の軍事航空局 (Militaire Luchtvaart Autoriteit) からそれぞれ与えられた権限に基づいて、ハノーバーUIRとアムステルダムFIRのFL245以上の空域でのOATに管制業務を提供している。管制官には、取り扱うOATの種類に応じて、エンルート限定のOAT能力証明書 (CoC : Certificate of Competency) またはフルOAT能力証明書が発行される。

軍事セクターグループには4つの基本セクターがあり、そのうち1つは常に他のセクターと統合される。軍事セクターグループには、さらに3つの特殊作戦用の管制席が用意されているとのことである⁷。

図3.1-5に、OATに係るMUAC空域のセクター構成を示す。

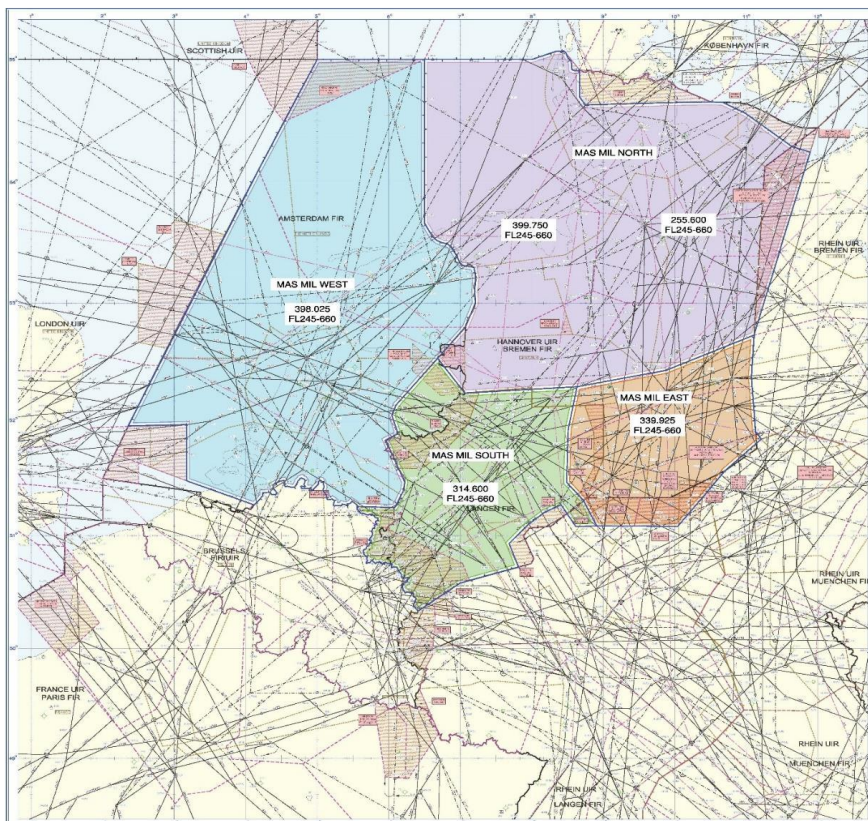


図3.1-5 軍事オペレーションに係るセクター構成 (イメージ)

(資料) EUROCONTROL LSSIP 2020 MAASTRICHT UAC LOCAL SINGLE SKY IMPLEMENTATION

⁷ (参考) LSSIP 2020 MAASTRICHT UAC Local Single Sky Implementation

3.2 CPDLC等の新技術を導入した管制業務

3.2.1 欧州における CPDLC の運用

欧州では、2020年2月5日から、IFRで飛行するFL285以上のすべての民間航空（GAT⁸）に対してCPDLC（データリンク通信機能）の搭載を義務化している⁹。

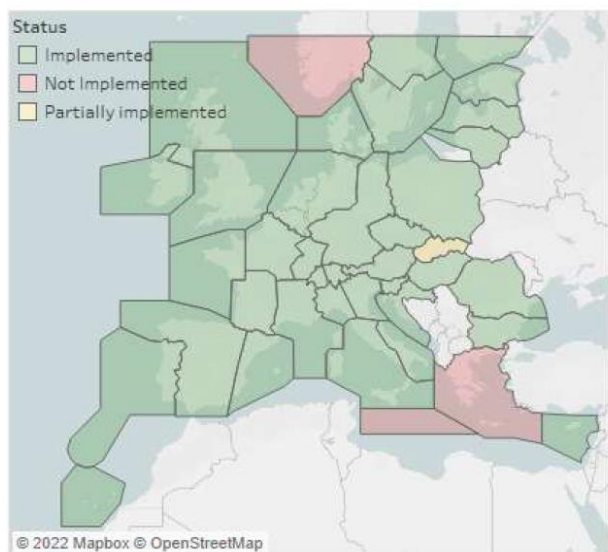
欧州におけるCPDLCの運用状況の概要を図3.2-1に示す。図3.2-1は、データリンクサービス実施規則¹⁰で規定される欧州のFIR/UIRにおける各ACCのデータリンクサービスの運用状況を表している。図の右の表は、2021年12月~2022年11月に関する月次統計で、①FL285以上のフライト数、②プロバイダーアボート率（PA Rate: Provider Abort Rate）、③ATNによるCPDLCが実施可能なフライト（飛行計画の第10項に[J1]を記載）の割合、④FL285以上のフライトの何割がATNによるCPDLCを使用しているかを示している。

⁸ General Air Traffic: ICAOの規則や方式に従って飛行する航空機。これには、ICAOの要件を満たして飛行する軍用機も含まれる。

⁹ Commission Implementing Regulation (EU) 310/2015 of 26 February 2015 amending Regulation (EC) No 29/2009. CPDLC搭載の義務化が求められるFIRに関しては、Annex 1を参照のこと。

¹⁰ データリンクサービス実施規則（DLS-IR: Data Link Service Implementing Rule）は、2009年1月16日に欧州委員会によって採択され、Commission Regulation (EC) No 29/2009 of 16 January 2009として発行されている。

Implementation Status



Statistics

ATSU Code	① Total Flights	② PA Rate	③ % J1 Capable	④ % Using..
EDUU	164146	2	83%	41%
EDYY	135264	3	84%	55%
EETT	10160		86%	
EFIN	8052		83%	
EGPX	50200	6	77%	27%
EGTT	136825	4	81%	62%
EISN	37192		55%	
EKDK	32612	6.7	87%	50%
ENOR	20881		87%	
EPWW	44678	4	90%	42%
ESMM	31626	3	90%	63%
ESOS	15425	14	88%	51%
EVRR	13451	3	86%	43%
EYVC	11029	2.1	87%	30%
GCCC	21798	23	92%	15%
LBSR	75601		78%	
LCCC	30686		74%	
LDZO	64089	10	87%	45%
LECB	72598	10	89%	42%
LECM	104806	7	89%	50%
LFBB	72958	2	88%	52%
LFEE	84054		85%	
LFFF	47881	3	81%	42%
LFMM	79156	7	86%	43%
LFRR	88610	2	87%	53%
LGGG	71941		82%	
LHCC	81694	3	82%	39%
LIBB	31534	119	83%	13%
LIMM	57974	307	88%	9%
LIPP	56474	517	87%	11%
LIRR	59103	65	87%	9%
LJLA	33477	10	87%	48%
LKAA	45184	4	83%	48%
LMMM	7280		63%	
LOVV	86982	5	84%	53%
LPPC	46406		89%	
LRBB	56326	4	78%	35%
LSAG	41088	5	85%	44%
LSAZ	48904	5	84%	42%
LZBB	42926		82%	

図3.2-1 欧州におけるデータリンクサービスの運用状況

(参考) Data link Network Operational Status Report November 2022

(注) ATSU CodeとIFR/UIRの関係については、表3.2-1を参照のこと。

CPDLCに関するメッセージはICAOの標準及び勧告方式で数百種類が定義されているが、欧州で使用されるCPDLCではこの中のごく一部のメッセージを使用している。欧州では、以下の4つのCPDLCサービス機能の実装を義務化している。

- (1) DLC (Data Link Initiation Capability) : このサービスは管制機関 (ATSU) と航空機との間でデータリンク通信を可能とするために必要な情報を提供する。DLCサービスは他のデータリンクアプリケーションを最初に使用する前に実行される。
- (2) ACM (ATC Communications Management Service) : セクター間やセンター間の通信移管 (無線及びデータ通信) に係るサービス-
- (3) ACL (ATC Clearance and Instructions) : ACLはフライトクルーが管制官に対してフライトプロファイル (経路、高度等) の変更に関する要求を送信したり、管制官がクリアランスや指示、通知を発出するために使用される。
- (4) AMC (ATC Microphone Check Service) : AMCは、管制官が特定の周波数にいるすべてのCPDLC対応航空機に (同時に) 指示を出し、音声通信機器が特定の音声チャンネルをブロックしていないことを確認するために使用される。

CPDLCの使用に際しては、ATSに係る通信の手段として音声とデータリンクが共存すること、CPDLCの実装は音声通信の使用に対する補足的な通信手段であるということが意図されている。CPDLCを使用する際には、以下の基本原則が適用される。

- ✓ CPDLCは、タイムクリティカルでない通信にのみ使用されるものとする。タイムクリティカルかどうかの判定は、主に、交通状況やエンドツーエンドの性能 (システムおよびフライトクルー/管制官の応答時間)、回復時間によって決められる。音声応答は一般に数秒以内に期待されるが、CPDLCの待ち時間は通常はるかに長い (最大数分) ことをユーザーは認識すべきである。
- ✓ 音声または CPDLCのどちらを使用するかは、関係する管制官および/またはパイロットの裁量に委ねられるものとする。
- ✓ CPDLCの使用に関して、ICAO Annex 11, Chapter 3, par.3.5.1 に規定されているとおり次の基準を尊重するものとする。「3.5.1: 航空機は、常にただ一つの航空交通管制機関の管制下におかれなければならない。¹¹⁾」

¹¹⁾ (参考) Annex11 3.5.1 Responsibility for control of individual flights 「A controlled flight shall be under the control of only one air traffic control unit at any given time.」

ユーロコントロールは、CPDLCの運用がもたらすメリットを以下のように説明している¹²。なお、CPDLCの導入による作業負荷の軽減と管制処理容量の増加については、3.3.3で説明する。

(1) 航空会社にとってのメリット

- ・ 管制機関の管制処理容量の増加と遅延の減少が期待できる：CPDLCの装備率が75%になれば、管制処理容量が11%以上向上すると試算されている。
- ・ VHF無線通信に係る通信途絶等のインシデントの軽減：インシデントの60%は、VHFによるコミュニケーションの問題が一因となっている。

(2) パイロットにとってのメリット

- ・ VHFによる通信の作業負荷の軽減
- ・ 他の優先順の高い作業に集中する時間の確保
- ・ 誤解のない明確なメッセージ
- ・ マイクのスタックや周波数のブロックの軽減
- ・ 同時送信の軽減や回避
- ・ 通信に起因する事故のリスクを低減し、安全性を向上させる

(3) 管制官にとってのメリット

- ・ ATM能力の向上
- ・ 潜在的なコンフリクション解決のための思考時間の確保
- ・ VHFによる通信作業負荷の軽減
- ・ 誤解のない明確なメッセージ
- ・ VHF音声通信チャンネルの飽和が減少することによる、“Say Again”の回数の減少

MUACにおいて使用されるCPDLCサービス機能は、DCL,ACM,ACL,AMCの4種類で、例えば、以下のようなデータリンクメッセージが使用されている¹³。

- ・ Check stuck microphone
- ・ Squawk SSR code/ident

¹² (参考) Eurocontrol_factsheet-cpdlc.pdf

http://letani.vsb.cz/wp-content/uploads/Eurocontrol_factsheet-cpdlc.pdf

¹³ データリンクメッセージの詳細については、ICAO Doc10037 Global Operational Data Link (GOLD) Manual に解説されている。

- Contact frequency
- Proceed direct flight to a point outside AOI
- Proceed to a point via several route points
- Cleared to a point via several points
- Cleared via a complete route clearance
- Maintain speed or less/greater
- When can you accept FL
- State preferred FL/Top of Descent
- Climb/Descend to FL to reach by time or distance
- Climb/Descend to FL to cross a point at FL or below/above

2022年10月現在の欧州におけるCPDLCの実施状況の一覧を表3.2-1に示す。

表3.2-1 欧州におけるCPDLCの実施状況

(資料) https://ext.eurocontrol.int/WikiLink/index.php/Implementation_Status_Table**Implementation Status Table**

Country	TYPE_CODE	Name in JSON File	ICAO_GFD	NAME_TXT	STATUS	ATN_FANS	Ops_date	Providing data to NM?	Services Offered	FL above which service is provided
Germany	UAC	EDUU	EDUU	RHEIN UIR	Implemented	ATN	Jun-14	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	245
Maastricht	UIR	EDYY	EDYY	MAASTRICHT UAC	Implemented	ATN	Jan-03	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	245
Estonia	FIR	EETT	EETT	TALLINN FIR	Implemented	ATN	Jun-18	No	DLIC, ACL,ACM,AMC	195
Finland	FIR	EFIN	EFIN	FINLAND FIR	Implemented	ATN	Dec-18	NO	DLIC, ACL,ACM,AMC	95
Scotland	UIR	EGPX	EGPX	SCOTTISH UIR	Implemented	ATN and FANS1/A	Oct-13	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	195
England	UIR	EGTT	EGTT	LONDON UIR	Implemented	ATN and FANS1/A	Oct-13	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	195
Ireland	UIR	EISN	EISN	SHANNON UIR	Implemented	ATN and FANS1/A	Jun-14	No	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Denmark	FIR	EKDK	EKDK	KOEBENHAVN FIR	Implemented	ATN	Apr-15	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Norway	FIR	ENOR	ENOR	NORWAY FIR	Not Implemented	ATN		NO	None	
Poland	FIR	EPWW	EPWW	WARSZAWA FIR	Implemented	ATN	May-18	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Sweden	FIR	ESAA	ESOS + ESMM	SWEDEN FIR	Implemented	ATN	Apr-15	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	195
Latvia	FIR	EVRR	EVRR	RIGA FIR	Implemented	ATN	Nov-19	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Lithuania	UIR	EYVL	EYVL	VILNIUS UIR	Implemented	ATN	Mar-21	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Spain	UIR	GCCC	GCCC	CANARIAS UIR	Implemented	ATN	Oct-18	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Bulgaria	FIR	LBSR	LBSR	FIR SOFIA	Implemented	ATN	Sep-19	NO	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Cyprus	UIR	LCCC	LCCC	NICOSIA UIR	Implemented	ATN	Apr-22	NO	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Croatia	FIR	LDZO	LDZO	ZAGREB FIR/UIR	Implemented	ATN	Mar-17	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	205
Spain	UIR	LECB	LECB	BARCELONA UIR	Implemented	ATN	Oct-18	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Spain	UIR	LECM	LECM	MADRID UIR	Implemented	ATN	Oct-18	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
France	FIR	LFBB	LFBB	BORDEAUX FIR	Implemented	ATN	Mar-19	YES	DLIC, ACL (no downlink requests supported), ACM,AMC	195
France	FIR	LFEE	LFEE	REIMS FIR	Implemented	ATN	May-16	YES	DLIC,ACM,AMC	195
France	FIR	LFFF	LFFF	PARIS FIR	Implemented	ATN	May-16	YES	DLIC,ACM,AMC	195

France	FIR	LFMM	LFMM	MARSEILLE FIR	Implemented	ATN	May-16	YES	DLIC,ACM, AMC	195
France	FIR	LFRR	LFRR	BREST FIR	Implemented	ATN	Apr-19	YES	DLIC, ACL (no downlink requests supported) ,ACM,AMC	195
Greece	UIR	LGGG	LGGG	HELLAS UIR	Not Implemented	ATN		NO	None	
Hungary	FIR	LHCC	LHCC	BUDAPEST FIR	Implemented	ATN	Nov-15	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Italy	UIR	LIBB	LIBB	BRINDISI UIR	Implemented	ATN	Nov-16	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Italy	UIR	LIMM	LIMM	MILANO UIR	Implemented	ATN	??-18	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Italy	UIR	LIRR	LIRR	ROMA UIR	Implemented	ATN	??-18	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Italy	UIR	LIPP	LIPP	PADOVA UIR	Implemented	ATN	??-18	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Slovenia	FIR	LJLA	LJLA	LJUBLJANA FIR	Implemented	ATN	Jan-19	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	245
Czech Republic	FIR	LKAA	LKAA	FIR PRAHA	Implemented	ATN	Feb-17	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	195
Malta	UIR	LMMM	LMMM	MALTA UIR	Not Implemented	ATN		NO	None	285
Austria	FIR	LOVV	LOVV	WIEN FIR	Implemented	ATN	Oct-14	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	195
Portugal	FIR	LPPC	LPPC	LISBOA FIR	Implemented	ATN	Oct-22	YES	DLIC, ACL, ACM, AMC	285
Romania	FIR	LRBB	LRBB	BUCURESTI FIR	Implemented	ATN and FANS1/A	Jul -20	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	285
Switzerland	UIR	LSAG	LSAG	GENEVA FIR	Implemented	ATN	Dec-12	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	145
Switzerland	UIR	LSAZ	LSAZ	ZURICH FIR	Implemented	ATN	Dec-12	YES	DLIC, ACL,ACM,AMC	145
Slovakia	FIR	LZBB	LZBB	BRATISLAVA FIR	Not Implemented	ATN		NO	None	285

Retrieved from "http://webprisme.cfm.eurocontrol.int/WikiLink/index.php?title=Implementation_Status_Table&oldid=3236"

This page was last edited on 24 October 2022, at 16:21.

(注) FIR: Flight Information Region
GFD: Ground Facility Designator
JSON: JavaScript Object Notation
UAC: Upper Area Control Centre
UIR: Upper Flight Information Region

3.2.2 ATS B2によるADS-Cの運用

ATS B2 (ATS Baseline 2) は、EUROCAEとRTCA¹⁴により策定された軌道ベースの運用を見据えたATSデータリンクサービスに関する規格で、CPDLC ATN B2及びADS-C v1による4DTRAD (4D Trajectory Data Link) サービスによって軌道ベースの運用をサポートするものである。

4DTRADは、航空機と管制機関の間で常に最新の軌道情報を共有し軌道の精度を維持するためにデータリンクにより4D軌道との整合性を監視するもので、管制機関に配信されている飛行計画と航空機のFMS内のフライトプランデータ間の不整合を検出するために、地上からの要求に応じて機上から自動でデータを送信する。

ATS B2では、4DTRADをサポートする機能として、CPDLCに新規に「4DTRAD (4D Trajectory exchanges) メッセージ」が追加され、ADS-Cには以下の機能が追加されている。

(1) EPP: Extended Projected Profile

- ・最大128か所までのウェイポイント情報の取得 (Lat/Lon, Fix、Level/Speed constraints ,ETA)
- ・速度変更予定の提供 (Provision of Speed Schedule)
- ・EPPイベントコントラクト (イベントの追加)
 - 飛行計画の変更 (Flight Plan Change)
 - 次ウェイポイント (EPP Next Waypoint in horizon)
 - EPP閾値 (EPP Tolerance)

(2) ETA Min/Max

- ・指定されたウェイポイントに関するETA情報
- ・RTA (Required Time of Arrival) ステータスの変更に係るイベントコントラクト

¹⁴ RTCA (米国航空通信技術委員会)：航空に関する要求事項・技術的コンセプトの調査検討に取り組み、提言を行うことを目的とした米国の民間非営利団体。

EUROCAE (欧州民間航空用装置製造者機構)：航空に関する要求事項・技術的コンセプトの調査検討に取り組み、提言を行うことを目的とした欧州の民間非営利団体であり、RTCA 同様に航空機搭載電子装置の試験、基準作成を行っている。

POINTS	FL	ETA	SPEED	LAT	VERT
ALASA	390	12:47:17	M.77	FLYBY	
EVADI	390	13:56:11	M.77	FLYBY	
5927N02215E	390	13:58:08	M.76		ToD
RUMEP	370	13:59:02	M.77	FLYBY	

(参考) 図3.2-2 EPP (例)

(資料) EUROCONTROL MAASTRICHT UAC PRESS RELEASE 30 May 2022

欧州委員会は、EU規則「COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/116」の中で、初期の空地間の軌道上情報の共有機能 (Initial air-ground trajectory information sharing) に係るシステム要件について、「6.1.1(a) 航空機は、ATS B2サービスの一部として、ADS-CによるEPPを用いた軌道情報の自動ダウンリンク機能を装備しなければならない。航空機システムから自動的にダウンリンクされた軌道データによりATMシステムが更新されること。(b) 地上システムは、ATS B2サービスの一部としてADS-C (EPPを使用した航空機の軌道情報のダウンリンク) をサポートしなければならない。同時に、ATN-B1のみを搭載したフライトへのサービス提供を含む規則 (EC) No 29/2009で要求されるCPDLCサービスとの互換性を維持すること。(c) すべてのATSプロバイダーおよび管制システムは、ATS B2を装備した航空機からの軌道情報を受信し処理することができなければならない。(d) 管制システムは、管制官がダウンリンクされた軌道の経路を表示できるようにしなければならない。(e) 管制システムは、ダウンリンクされた航空機の軌道と飛行計画の経路情報を使用して作成された地上システムで保持する航空機の軌道との間に不一致が生じた場合に、管制官に警告を与えるものでなければならない。」と規定している。

MUACでは、2022年5月30日よりATS B2によるADS-Cの運用を開始している。ATS B2を搭載した航空機は自動的にMUACにログオンし、航空機の軌道情報等のFMSが保持する主要情報がMUACシステムにダウンリンクされ、管制官の画面に表示される。MUACでは、約150フライト (/日) がADS-Cを使用していて、ADS-CからダウンリンクされるEPPやETA Min/Max (最早ETA,最遅ETA等) を管制業務に使用しているとのことである。

管制官に対するメリットとして、以下の例が挙げられる。

(1) Top of Climbの表示と上昇パフォーマンスの予測



図 3.2-3 管制官に対する上昇プロファイルとトップオブクライムの表示 (例)

上昇中のトラフィック (WW8) のトップオブクライムの表示と、WW8とコンフリクションの可能性のあるトラフィック (GGG3) を赤枠でハイライトしている。EPPによる経路と飛行計画の経路が表示されている。

(資料) EUROCONTROL MAASTRICHT UAC PRESS RELEASE 30 May 2022

(2) トップオブディセントの表示



図 3.2-4 トップオブディセントの表示 (例)

(資料) EUROCONTROL MAASTRICHT UAC PRESS RELEASE 30 May 2022

- (3) 航空機が所定の制限に適合しているかどうかの検証
- (4) 飛行計画と実際の飛行経路との不一致の検出
- (5) 特定の地点の最早/最遅通過時刻の確認 (軍用エリアの通過判定や到着管理等)
- (6) 速度変更計画、IAS、マックナンバーのタイムリーな情報提供
- (7) 航空機の軌道の表示
- (8) 要求された飛行レベルに関する情報

ユーロコントロールは、ADS-CがANSPと航空機運航者双方にもたらす便益について、次のように説明している¹⁵。

- ✓ ADS-Cにより飛行予測精度を改善することでANSPの効率性を向上させる。飛行予測精度の改善により、セクターの交通量負荷の正確な予測が可能となり、最終的には運用の効率化と管制処理容量の増加をもたらす。
- ✓ 例えば飛行経路を自動で確認することで音声周波数に費やす時間を短縮しミスが減らすなど、安全性の向上にも貢献すると考えられる。
- ✓ 旋回開始を早期に検知することにより、管制官は航空機が早期の旋回によって軍事活動区域に入る可能性があるかどうかを認識することができる。ADS-Cの値から中期的な衝突検知も可能となる。
- ✓ ADS-Cは燃料消費量、CO2排出量、ルート延長の削減など、飛行効率にプラスの効果をもたらす。例えば、ADS-Cにより、航空機が非アクティブな軍事エリアがアクティブになる前にそのエリアを抜けることができるかどうかを識別し、航空機が可能な限り長い間最短ルートを飛行できるようにすることが可能となる。上昇率表示により、管制官は上昇率をより正確に把握することができ、その結果、より早い時期での直行経路の指示が可能となり、飛行距離の短縮につながる。また、交通状況が許す限り、早い時期に要求された高度までのクリアランスを発出することができる。
- ✓ 降下開始点と最適な降下プロファイルの表示により、管制官は航空機の降下開始時期を通常より遅らせたり、最適な降下プロファイルを飛行させることが可能となる。巡航高度での飛行が数分長くなり、最適な降下プロファイルが増えステップ降下の回数が減少する。
- ✓ ADS-Cのデータは、国境を越えた到着管理（XMAN）に係るアルゴリズムの改善に役立ち、より正確な通過予定時刻と速度を提供し、滑走路占有時間の予測の改善に役立つ可能性がある。

¹⁵ (参考) EUROCONTROL MAASTRICHT UAC PRESS RELEASE 30 May 2022

3.3 ユーロコントロールにおける管制作業負荷の計算手法

3.3.1 CAPANによるセクター処理容量の算出

CAPAN(CAPacity ANalyser)は、ユーロコントロールのネットワーク管理 (Network Manager) が開発したセクターの処理容量を算出するための手法である。ユーロコントロールは、空域構造や、航空管制方式の変更、大規模な航空管制システムの変更等がセクター処理容量に与える影響の評価や、セクター処理容量の再評価等にCAPANを使用している¹⁶。

CAPANは、シミュレーションソフトウェア (RAMS、RAMS⁺¹⁷) を使用して所定の交通量に対する管制官の作業負荷を推定するもので、作業負荷は、管制席ごとに一定期間 (例 1時間) に実施される管制官のすべてのタスクを集計し、その (集計した) タスクの実行のために消費される時間に基づいて算出される。

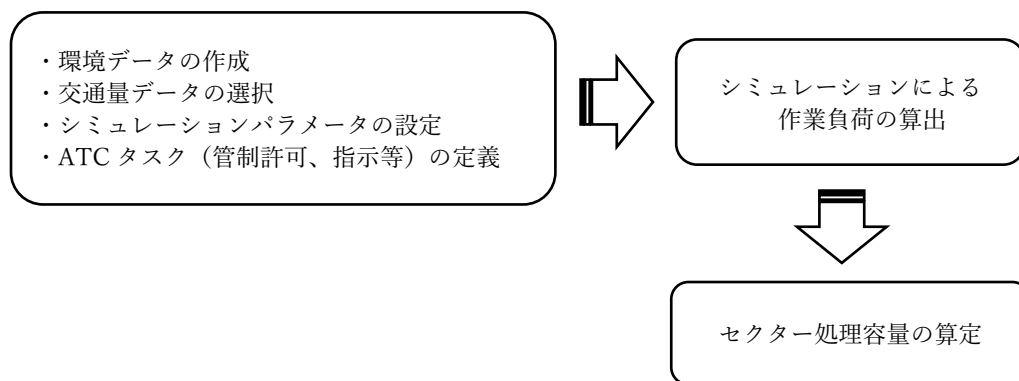


図 3.3-1 CAPANによるセクター処理容量の算定の流れ

シミュレーションによる作業負荷の計算のために、以下のようなデータを準備する必要がある。環境データや交通量データは、ユーロコントロールのネットワーク管理で保持するデータベースを利用することができる。航空機性能データは、ユーロコントロールのBADAが使用される。シミュレーションパラメータは、管制方式や手順 (管制間隔基準を遵守したコンフリクションの検出と解決のロジック等) をシミュレーター上で再現するために設定される。管制許可や管制指示のような管制官が実施する個々の作業 (以下、「ATCタスク」という。) に関する定義は、CAPANによる作業負荷の算出

¹⁶ ネットワーク運用計画の中で、CAPAN によるセクター容量の評価計画が記載されている。(例) 「European Network Operations Plan 2019-2024」

¹⁷ RAMS (Reorganised ATC Mathematical Simulator) はユーロコントロール実験センターと CACI Inc. が共同で開発した航空管制に特化したファストタイムシミュレーションツールで 1995 年に正式にリリースされている。その更新版の RAMS⁺は ISA Software (本拠地：フランス) により開発、サポートされていて、EUROCONTROL や FAA をはじめ多くのユーザーが ATM 分野の分析・将来計画の評価等に使用している。(参考) http://stri.co.jp/_simulation/ramsplus.htm

において重要な要素であり、管制官等の運用の専門家の合意を得ながら設定する必要がある。

- ✓ 環境データ
空域構造、経路構成、セクター構成等
- ✓ 基本交通量
24時間分の、交通流制御による規制の影響を受けていない飛行計画
軌道計算のための航空機性能データ (BADA¹⁸)
- ✓ シミュレーションパラメータ
管制官の合意を得た実際の管制業務を反映した管制方式、手順の設定 (例 コンフリクションの検出と解決のロジック)
- ✓ ATCタスクの定義
ATCタスクの定義と実行時間の設定

(1) ATCタスクの定義

RAMSは、シミュレーション実施中に管制指示等の様々なATCタスクを発生させるソフトウェアであり、そのため、ATCタスクの定義が必須となる。RAMSでは、事前に定義されたトリガー (例：セクター入域時) によってATCタスクが起動される。

ユーロコントロールは、ATCタスクを以下のように分類している。

- ① フライトデータ管理 (Flight Data Management) :
フライトプログレスストリップなどの読み込み、準備、廃棄などの作業と、システムによる更新が含まれる。
- ② 調整 (Co-ordination) :
ACC間 (外部) やACC内のセクター間 (内部) の調整作業
- ③ コンフリクションの検出 (Conflict Search)
コンフリクションを検出する、クリアランスを発出する前に管制間隔の欠如の有無を確認する等が含まれる。
- ④ 定型的な無線通信 (Routine R/T)
すべての定型的な無線通信タスク (通信設定、ポジションレポート、管制指示の送信など)。
- ⑤ レーダー業務 (Radar Tasks)
レーダーを使用した間隔設定や隣接セクターとの必要なレーダー調整 (ハンドオフ、ポイントアウト等) に関連するタスク

¹⁸ Base of Aircraft Data

それぞれのATCタスクにはタスクの実行時間(秒単位)が割り当てられる。なお、実行時間は、実際に要した時間ではなく、経験のある十分に訓練された管制官がそのタスクに費やす平均時間として設定されている。1つのタスクが複数の管制席に関連する場合は、該当する席ごとに実行時間が割り当てられる¹⁹。

(2) RAMS (RAMS+) シミュレーションの実施

シミュレーションの実施中、セクターへの入域等のあらかじめ定義されたイベントをトリガーとして、該当する管制席(対空席や調整席)にATCタスクが割り当てられる。

イベントには以下のようなものがある。

- ①セクターへの入域やセクターからの出域
- ②高度変更の要求
- ③コンフリクションの検出と解決
- ④調整(外部/内部) 等

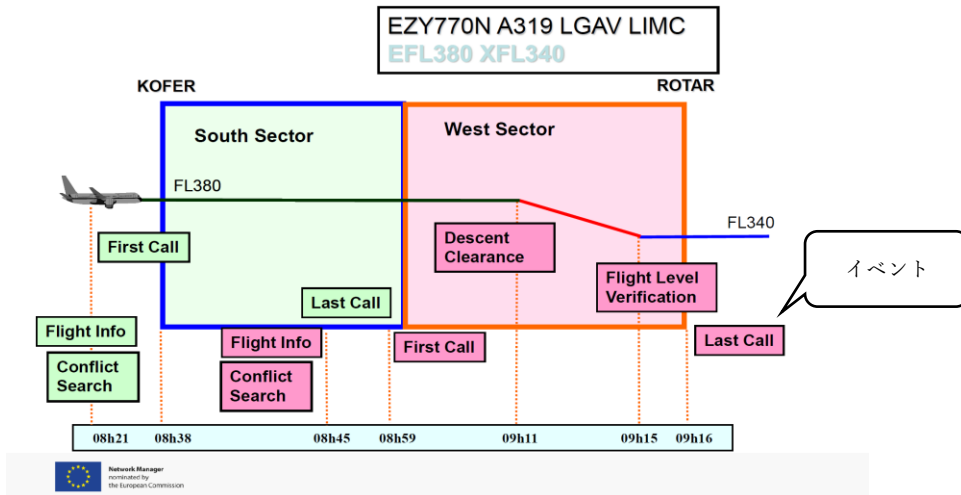
シミュレーション終了時、シミュレーションの実地中に各管制席に割り当てられたATCタスクのリストとタスク定義で設定されたタスク実行時間を使用して、管制席ごとの1時間当たりのATCタスクの実行時間の合計値(1時間当たりの作業負荷)が求められる。

シミュレーションは、サンプルとして採用した基本交通量に対してランダムに入域時刻を変更したり航空機のパフォーマンスを変更するなど、様々なシナリオを用意し複数回実行される。複数回のシミュレーションの平均値としての作業負荷を算出することで、サンプルとして採用した基準交通流に極端に依存した作業負荷の算出を避けるように実施される。

¹⁹ A T Cタスク定義の詳細な例については、例えば、「MODEL BASED SIMULATION OF OSLO AIR TRAFFIC CONTROL CENTRE ERUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTRE APPENDIX 1 : ATC Tasks」に詳しく説明されている。

(参考) https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/013_Model-based_Simulation_of_Oslo_ATC_Centre.pdf

Events and Tasks



↓ ATC タスクとタスクの実行時間の割り当て

Example of ATC Tasks recorded

GAPLI sector

EC = Executive Controller
PC = Planning Controller

TIME	TASK	Definition	WORKLOADS (Seconds)
02:47	1	Acknowledge of a new flight	PC 1
03:03	44	Receipt of a flight progress strip	PC 7
03:04	51	Routine conflict search to establish sector planning clearance	EC 5 PC 8
03:17	66	First call from an a/c entering the airspace of a new ACC	EC 10 PC 5
03:17	64	Additional R/T for a traffic entering from oceanic airspace	EC 18
03:44	72	Last R/T message to an a/c leaving the sector	EC 10 PC 5
03:44	74	Propose radar transfer	EC 3
03:44	45	Removal of the flight progress strip	PC 2

TAKAS sector

TIME	TASK	Definition	WORKLOADS (Seconds)
03:12	44	Receipt of a flight progress strip	PC 7
03:33	51	Routine conflict search to establish sector planning clearance	EC 5 PC 8
03:41	18	ACT message monitoring in the last sector	PC 4
03:43	75	Assume radar transfer from the previous sector of the same ACC	EC 3
03:44	67	First call from an a/c entering another sector of the same ACC	EC 10 PC 4
03:50	71	R/T instruction to an a/c to comply with a new planning clearance	EC 16 PC 3
03:53	69	Report of an a/c on reaching a specified level	EC 6 PC 3
03:55	72	Last R/T message to an a/c leaving the sector	EC 10 PC 5
03:55	74	Propose radar transfer	EC 3
03:54	45	Removal of the flight progress strip	PC 2

図3.3-2 ATCタスクの割り当て (イメージ)

(資料) CAPAN Methodology Air Traffic Services System Capacity Seminar/Workshop 8 – 10 June 2016

(注) EC (Executive Controller) : 対空席 PC (Planning Controller) : 調整席

(3) セクター処理容量の算定

セクター処理容量は、1時間にセクターに入域するフライト数で表現され、「過負荷」を発生させることなく管制官が安全に処理できる最大機数として定義される。

CAPANは、セクター処理容量の計算に際して、ATCタスクの実行時間が1時間に占める比率（以下、「作業負荷率」という。）を使用する。例えば、1時間におけるATCタスクの実行時間の合計が42分であれば、作業負荷率は70%(42/60)となる。図3.3-3にフライト数に対応する作業負荷率の算出プロセスの概要を示す。左上のグラフは、時間帯ごとにセクターに入域するフライト数を表している。右上のグラフは、時間帯ごとの作業負荷率を表している。下のグラフは、時間帯をキーにしてフライト数と作業負荷率の関係に整理したもので、縦軸は作業負荷率、横軸は、1時間に入域するフライト数を表している。

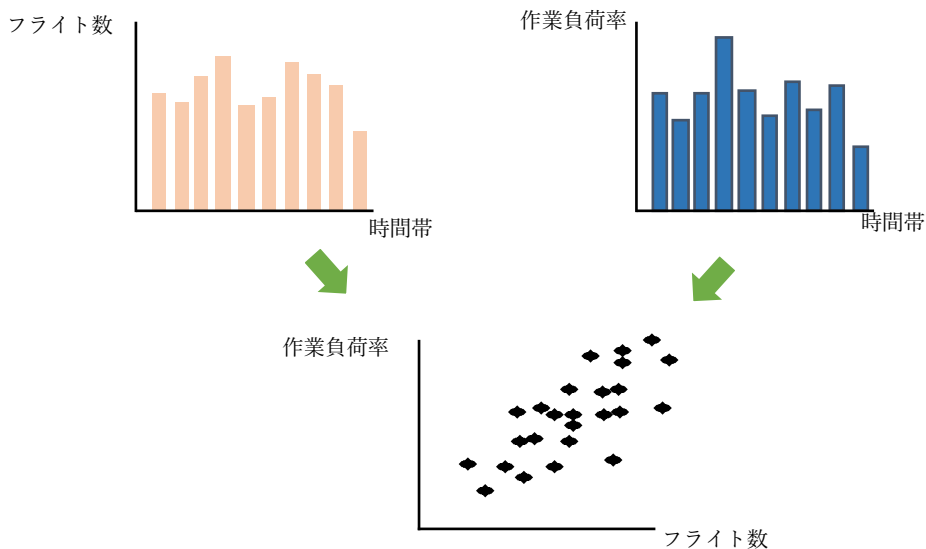


図3.3-3 フライト数に対応した作業負荷

(参考) MODEL BASED SIMULATION OF OSLO AIR TRAFFIC CONTROL CENTRE
ERUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTRE

CAPANでは、「過負荷」といった定性的な作業負荷の判定のために、「作業負荷率の閾値」を使用する。CAPANでは作業負荷と閾値の関係を表3.3-1のように整理している²⁰。

²⁰ ユーロコントロールは、「リアルタイムシミュレーションによる研究や運用トライアルのなかで、70%の閾値によるセクター処理容量の算定の妥当性を確認している。」と説明している。

表3.3-1 作業負荷の閾値
 (資料) ICAO HP DESCRIPTION OF THE CAPAN METHOD

閾値	作業負荷	記録されたタスクの実行時間(/時)
70 % or above	Overload	42 minutes +
54 % - 69 %	Heavy Load	32 - 41 minutes
30 % - 53 %	Medium Load	18 - 31 minutes
18 % - 29%	Light Load	11 - 17 minutes
0 % - 17 %	Very Light Load	0 - 10 minutes

CAPANは、セクター処理容量の算定において、70%の閾値を採用している。70%の閾値の根拠として、「シミュレーションで記録されるATCタスクは事前に定義されたものであり、例えば、事前に定義されていないセクター内の交通流全体のレーダー監視のようなものは記録されない、また、休憩時間も考慮されていない。70%の閾値は、1時間のうち42分の作業時間に相当し、残りの18分はシミュレーションモデル内で定義されていない他の作業や、管制官の回復のために利用できる時間である。」と説明している。

なお、一般的に対空席の作業負荷の方が調整席のそれよりも高いことから、セクター処理容量の算定においては、対空席の作業負荷が使用される。

図3.3-4は、多数回のシミュレーション結果に基づく回帰分析による「作業負荷に基づくセクター処理容量の評価」の例である。

図の赤色の線は、対空席に係るフライト数（x）と作業負荷率（y）に関する回帰曲線（ $y=0.0125x^2+0.766x$ $r^2=0.9785$ ）を示している。この曲線とあらかじめ設定された閾値の値（赤線 70%）との交点に対応する横軸のフライト数が理論上のセクター処理容量値となり、この例では50（機/時）という値になる。

回帰曲線の周辺のバラツキ（個々のシミュレーション結果）は、「交通状況の複雑性」を表していると考えられる。回帰曲線の左側の観測点は、平均よりも複雑性の高い交通状況であったと考えることができる。これとは逆に、右側の観測点は複雑性の低い交通状況と考えることができる。

24時間の交通量（555機）のサンプルを使用
して、20回のシミュレーションを実施

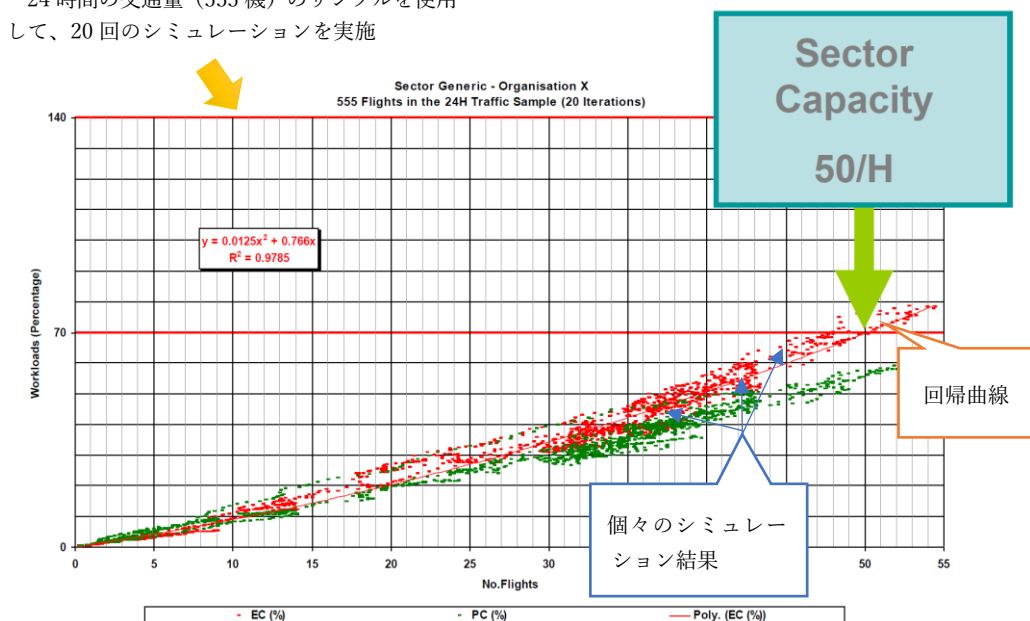
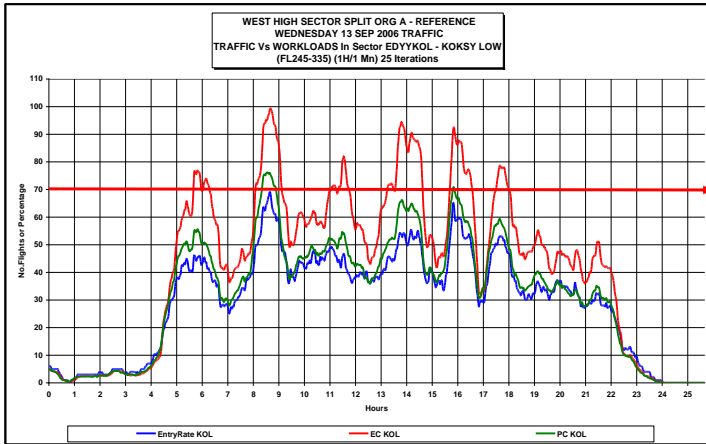


図3.3-4 回帰分析によるセクター処理容量の評価（例）

EC: 対空席（Executive Controller） PC: 調整席（Planning Controller）

（資料）CAPAN Methodology Air Traffic Services System Capacity Seminar/Workshop 8 – 10 June 2016

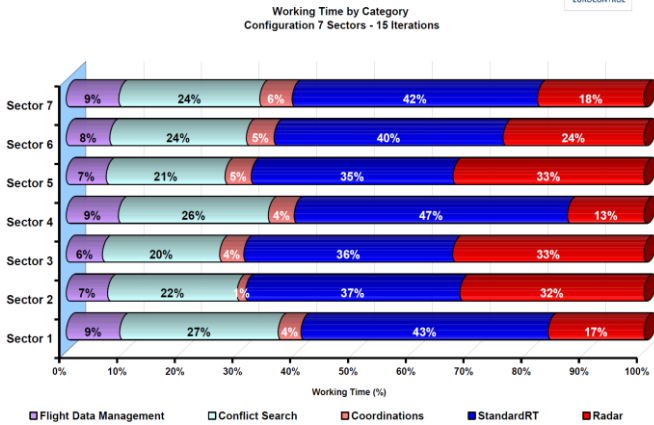
CAPANでは、回帰曲線によるセクター処理容量の算定の他に、作業負荷に関する様々な分析を行う。CAPANによる作業負荷の評価（例）を図3.3-5に示す。



特定のセクターの時間帯ごとのフライト数と作業負荷率（タスク実行時間の合計/60分）を説明したもので、青色の曲線は、時間帯ごとのセクターに入域するフライト数、赤色の曲線は対空席の作業負荷率、緑色の曲線は調整席の作業負荷率を表している。赤色の直線は、70%の閾値（Overload）を示している。

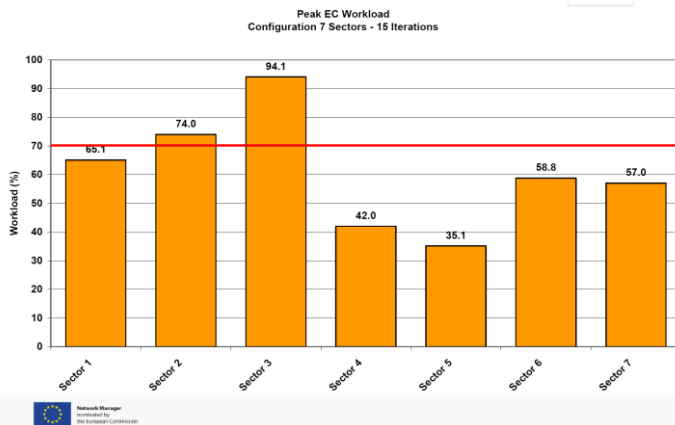
このグラフでは、調整席の作業負荷（緑色の曲線）はフライト数（青の曲線）とほぼ正比例の関係にあるが、対空席の作業負荷（赤色の曲線）はフライト数（青色の曲線）と正比例の関係になく、大きなばらつきが見て取れる。対空席の作業負荷は、フライト数だけでなく「交通状況の複雑性」に依存すると考えられる。

Results Examples – Working time by category



セクターごとに、ATC タスクの実行時間（作業負荷）を5つのカテゴリーごとに整理したもので、このグラフから、コンフリクションの検出、定型的な無線通信、レーダー業務が大きな割合を占めているのが見て取れる。

Results Examples – Peak Workload



対空席のピーク時の作業負荷率（タスク実行時間の合計/60分）を表している。特にセクター3に関して、ピーク時の作業負荷を軽減する措置（セクター構成の変更等）の検討が必要となる。

図3.3-5 作業負荷の評価（例）

(資料) CAPAN Methodology Air Traffic Services System Capacity Seminar/Workshop 8 – 10 June 2016

3.3.2 CAPANの作業フロー

CAPANによる分析では、シミュレーションの実施のために管制官の合意を得た詳細なATCタスクやタスク実行時間の定義、管制方式及び手順の設定等が必要となる。CAPANによる作業負荷の算出に係る作業フローの例を図 3.3-6に示す。

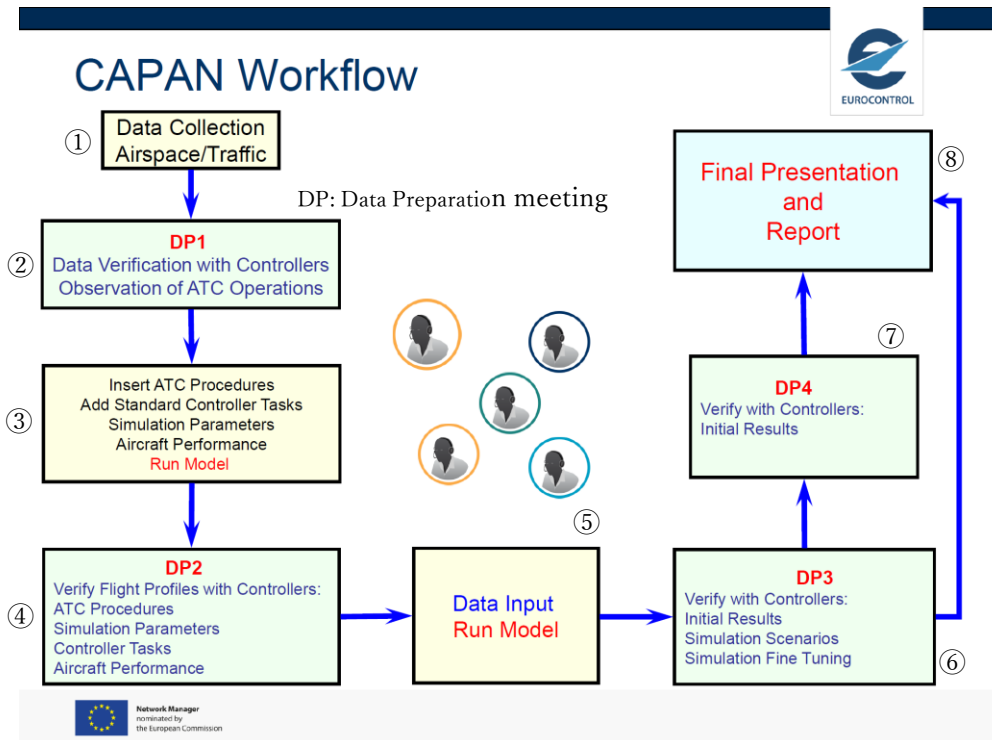


図3.3-6 CAPAN作業フロー (例)

(資料) CAPAN Methodology

Air Traffic Services System Capacity Seminar/Workshop 8 – 10 June 2016

作業フローは、以下のステップで構成され、ACCセクターの作業負荷の算出の場合、通常2~3か月を要する。

① データの収集と準備

ネットワーク管理が保有するデータベースを使用して環境データ等を準備する。

② 管制官とともに使用するデータの妥当性を検証する。

管制官へのCAPANモデルの周知や、管制運用の観察、飛行経路や移管方式等の検証、シミュレーションパラメータ及びシミュレーションで使用するATCタスクの説明を実施する。

③ RAMSシミュレーターに、シミュレーションパラメータやATCタスク、航空機性能データを実装し、RAMSによるシミュレーションを試行する。

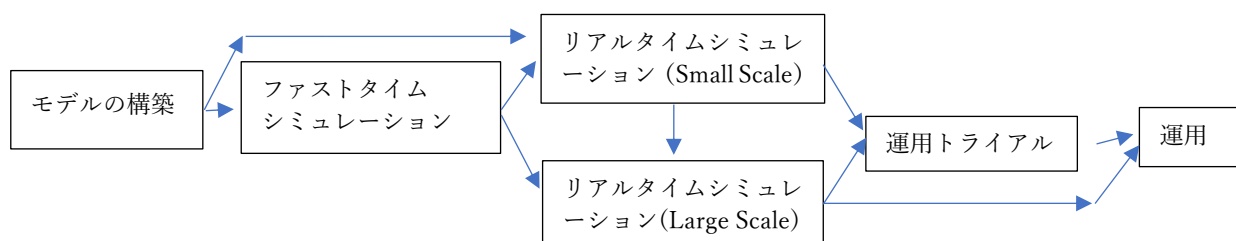
④ 管制官とともにATCタスク定義や、シミュレーションパラメータ、航空機のパフォーマンスを検証する。

- ⑤ 検証の結果を受けて必要な修正を行い、RAMSによるシミュレーションを実行する。
- ⑥ 管制官とともに、シナリオやシミュレーション結果を検証する。
- ⑦ ターミナル管制に係るシミュレーションの場合、シミュレーションシナリオの検証と微調整を実施する。
- ⑧ 最終結果の提示

3.3.3 データリンクの導入効果の評価

データリンクは管制官にパイロットとの第2の通信手段を提供するもので、無線通信への依存度を減らすことでセクターにおける周波数の混雑を緩和し、安全性を高め、最終的にセクターの処理容量を増やすことができる。データリンク技術の活用は、管制官の作業負担を軽減するための主要な手段であると考えられている。

ユーロコントロールは、DOVEプロジェクト（Datalink Operational Validation Experiment）の中で、データリンクの導入による作業負担の軽減/セクター処理容量の増加に関する様々な研究、調査²¹を実施してきている。DOVEでは、特定のデータリンクサービスが作業負担やセクター処理容量に与える影響を評価することを目的として、ファストタイムシミュレーションによるモデルに基づく分析とそれに続くリアルタイムシミュレーションによる運用評価が行われている。



DOVEプロジェクトの中で実施されたファストタイムシミュレーション²²（以下、「DOVE-1」という。）の概要を以下に示す。

ユーロコントロールは、DOVE-1のなかで、「データリンクの導入による最大のメリットは、管制官とパイロットの間の音声通信をデータリンクが代替する分野にあ

²¹DOVE の詳細については、以下の URL を参照のこと。

- (1) <https://www.eurocontrol.int/publication/dove-1-fast-time-simulation>
- (2) <https://www.eurocontrol.int/node/9860>
- (3) <https://www.eurocontrol.int/publication/dove-1-real-time-simulation>

²²DOVE-1 のファストタイムシミュレーションは、チェコ共和国（ブラハ ACC）を評価対象として、データリンク装備率（装備率 50%、75%、100%）と交通量（2002 年、2015 年）を様々なレベルで設定し、18 のシミュレーションを実施している。詳細については、<https://www.eurocontrol.int/publication/dove-1-fast-time-simulation> を参照のこと。

と思われる。その理由として、管制官の作業負荷のかなりの割合が音声通信タスクで占められていることがあげられる。対空席の音声通信に係る作業負荷はレーダー業務のそれとほぼ同じレベルであり、対空席の業務全体の約40%を占めている。この傾向は、ファストタイムおよびリアルタイムの両方のシミュレーションで繰り返し見られる。

ファストタイムシミュレーションの結果は、データリンクによる通信タスクの置き換えの領域で実質的な利益が達成されることを示唆しているが、その他のサービスでは、管制官の作業負荷の軽減はさほど大きなものではなかった。これは、CAPやPPDなどのサービスは、一般に、管制官が判断を下すための情報を提供するものであり、音声通信サービスのように通常の業務を直接的に代替することを目的としているわけではないことによる。とはいえ、どのサービスであれ管制官の作業負荷の軽減は歓迎されるべきである。このシミュレーションから得られる2つ目のポイントは、航空機の装備に関連するものである。作業負荷軽減の効果は、データリンクサービス機能をすべての機体が装備している場合に最大となる。これにより、長時間の非データリンク作業が完全になくなり、ミックスモード環境で必要とされる通信媒体を管制官が選択する必要もなくなる。」と説明している。

DOVE-1では、以下の項目についてデータリンクサービスの導入効果を評価している。

- ✓ CPDLC
 - ・ ACM (ATC Communications)
 - ・ ACL (ATC Clearance and Instructions)
- ✓ ADAP (Automatic Downlink of Aircraft Parameters)
 - ・ CAP (Controller Access Parameters)
 - ・ PPD (Pilot preference Downlinks)
 - ・ FLIPCY (Flight Plan Consistency)

以下に、各項目の評価の概要を示す。

(1) CPDLC (Controller Pilot Data Communications)

① ACM (ATC Communications)

ACMはセンター間やセクター間の通信移管（無線及びデータ通信）に係るサービスで、ACMの実施により作業負荷の大きな軽減が見込まれる。

セクター内の飛行において、航空機は通常、管制官と3～4回の通信を行うことが知られている。これらは、通信設定、通信移管、そして飛行中に通常1つか2つのクリアランスまたはリクエストで構成される。現時点では、これらのやりとりはすべて対空席の業務に属する。これらの音声通信は、対空席の作業負荷のかなりの部分を占め、時には40%に達することもある。通信設定（First Call）と通信

移管（Last Call）に係る音声通信をデータリンクメッセージに置き換えることにより、作業負荷の大きな軽減が見込まれる。

データリンクは音声通信の負荷を軽減するだけでなく、セクター内の通信負荷の一部を他の管制官に移すことができる。例えば、作業負荷の高い対空席から余力のある調整席に作業負荷をより均等に分散させることが考えられる。通信移管のタスクを調整席に割り当てることで、対空席の作業負荷がわずかに減少した。調整席の作業量は、このタスクの再配分によって多少増加するが、それでも非常に快適なレベルにとどまっていた。この種の「委譲」の責任問題が解決されれば、データリンクは、セクター内の管制席の役割を再定義して両方の管制官がより戦術的な性質を持つようにするための基盤となり得ると考えることができる。

データリンク環境では、音声環境と異なり管制官は画面に集中する中でその時に見落とした行動についての情報を補足する機会が限られている。また、タスクを他者、あるいはシステムに委譲することは、管制官の責任と義務という問題をもたらす。これらの問題はどちらもRAMSタイプのシミュレーションでは解決することできないが、適切に対処する必要がある。

図3.3-7は、通信移管をデータリンクに置き換えた場合の作業負荷を示している。図は、プラハACCの2セクターの対空席と調整席について、CPDLCの装備率を100%、75%、50%とした場合の比較をしていて、装備率に応じて65%から85%の間で対空席の通信作業負荷の軽減が図られたことを示している。

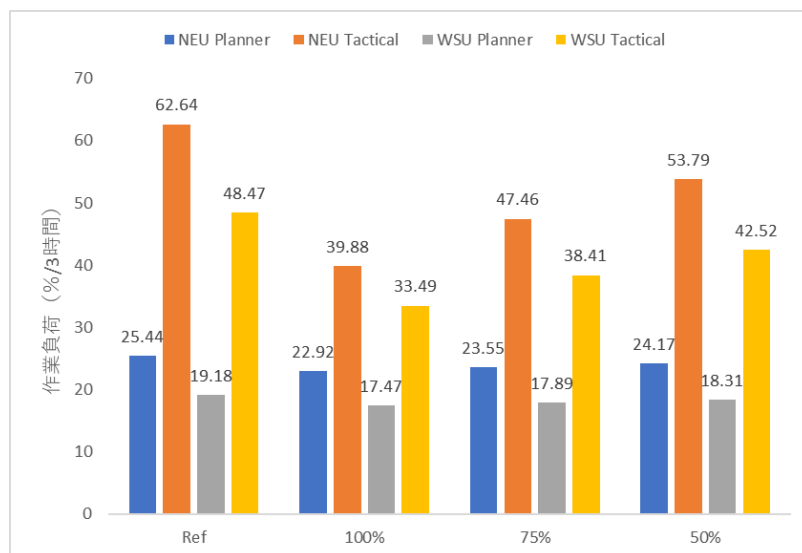


図3.3-7 CPDLCの導入による対空席の通信作業負荷の軽減

NEUとWSUは、DOVE-1で評価対象としたプラハACCの2つのセクターで、Plannerは調整席、Tacticalは対空席。データリンクサービスの装備率（100%、75%、50%）に応じたピーク時間（3時間）における作業負荷率を示している。

② ACL (ATC Clearance and Instructions)

ACLはフライトクルーが管制官に対してフライトプロファイル(経路、高度等)の変更に関する要求を送信したり、管制官がクリアランスや指示、通知を発出するために使用される。

ACLサービスには数百のメッセージが含まれており、その大部分は今回のようなRAMSシミュレーションではシミュレートできないため、このシミュレーションでは、ACLサービスの限定的な評価しか行われていない。

データリンクは、現在、タイムクリティカルでない(緊急性を要しない)方法で使用されることが想定されていて、データリンクによるクリアランスは緊急性を要しない場合に発出される。ACLによるクリアランス発出のメリットは、利用できるHMI、航空機へのクリアランス発出処理に要する時間、および任意の期間に提供されるクリアランスの数に直接関係する。例えば、「ダイレクトルート」の指示を音声で伝える場合、通常7秒程度かかるが、データリンクのHMIでクリアランスの作成と配信をこの時間以内に行うことができれば、作業負荷を削減することができる。HMIがこれを実現できない場合、少なくとも作業負荷の観点からはメリットが生じない。

ACLを使用したクリアランスの発出では、作業負荷の軽減の観点からクリアランスや指示に対する航空機からの応答時間も重要な要素となる。例えば、経路や飛行高度に係る指示の場合、少なくとも指示が遵守されるまで、あるいは「WILCO」を受信するまで、データブロックを再度確認することになる。

この種のクリアランスは一般に管制官の作業量の多くを占めてはいないため、他のレーダー業務や通信業務と比較した場合、それによって得られる利益は限定的であると思われる。

(2) ADAP (Automatic Downlink of Aircraft Parameters)

① CAP (Controller Access Parameters)

CAPは、航空機の方角、速度、上昇率、下降率などの現在の軌道に関する情報を管制官に提供するもので、ACMのように管制業務に代わるサービスではない。

シミュレーションでは、主にコンフリクションの監視と管制指示の遵守に関してCAPの表示によって管制官のどのような作業負荷が軽減されるかという観点での評価が行われた。CAPの効果は、発生するコンフリクションの数と、コンフリクションの監視や一般的な監視業務を支援するためにCAPの値をどれだけ使用したかに関係すると思われる。CAPが監視業務の削減にもたらす影響は限定的であり、ファストタイムシミュレーションでの定量化は困難であった。

② PPD (Pilot Preference Downlinks)

PPDは、CAPと同様にデータリンクによる情報提供サービスを主目的としている。パイロットは、管制官のワークステーションで、ACLによる要求とは別に希望する飛行高度や速度を要求することができる。この情報は、管制官が航空機を移動させる必要がある場合に、好ましい選択肢を決定するために使用することができる。

PPDがATCタスクに取って代わることはほとんどなく、コンフリクションサーチなどのタスク実行のために割り当てられている時間内に吸収されると思われる。

③ FLIPCY (Flight Plan Consistency)

航空機(FMS)で保持する飛行経路と地上システム (FDP) で認識している飛行経路の不一致を解消するためのデータリンクサービスで、航空機に対してFMSの経路情報を要求し、地上の経路と比較し不一致があれば管制官に警告を出す。

FLIPCYは、現在のATCタスクを直接置き換えるのではなく、飛行計画の不一致に関する情報と警告を管制官に提供するデータリンクサービスである。シミュレーションでは、FLIPCYを使用していない場合に起こりうる事態を事前に回避することにより管制官の作業負担を軽減することができる」と評価されたが、RAMSシミュレーションでは測定不可能であった。

FLIPCYを予防的な観点から見ると、航空機の経路からの逸脱の量に比例して作業負担が軽減される可能性がある。

(作業負担の評価)

ユーロコントロール実験センター (EUROCONTROL Experimental Centre、以下「EEC」という。) はDOVEのATCタスクモデルをベースに、RAMSを使用してベネルクス、フランス、ドイツの5カ国の15セクターを対象とした「データリンクが作業負担/セクター容量に与える影響」について評価を行っている²³。

EECは報告書の中で、「シミュレーションの結果は、データリンクの導入により対空席の作業負担が軽減されることを示していて、DOVEシミュレーションの結果とも一致する。対空席の作業負担の軽減はセクター処理容量の増加につながり、50%の航空機にデータリンク機能が装備されていると仮定すると、セクター処理容量の増加は約10%と評価できる。」と説明している。

図3.3-8は、MUACのWestセクター (Koksy及びNickyセクター) に係るシミュレー

²³ EECはこの報告書の中で、データリンクの導入の他に将来システムの導入が管制官の作業負担とセクター処理容量に与える影響についても、TAAM (空港) と RAMS (航空路) を使用したシミュレーションによる調査研究を実施している。

(参考) WP3 Analysis of EEC Fast-time Simulations with TAAM & RAMS 13-Jan-2003

シミュレーション結果を示したものである。データリンクの導入（装備率50%）により対空席のATCコミュニケーションタスクの実行時間が約38%減少し、全体のタスクの実行時間は約11%減少している。作業負荷の軽減により、セクター処理容量は、約13%増加している。

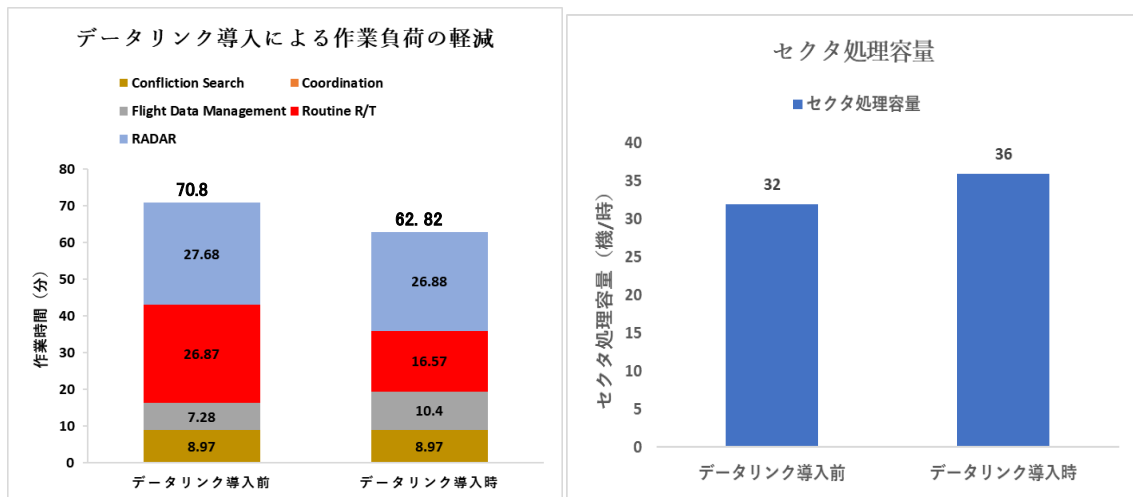


図3.3-8 データリンクの導入（装備率50%）による作業負荷の軽減とセクター処理容量の増加
 (参考) WP3 Analysis of EEC Fast-time Simulations with TAAM & RAMS 13-Jan-2003

参考までに、EECのシミュレーションの中で使用されたATCタスク定義の例を以下に示す。

Communication Task (例)

タスク	管制席	基準実行時間 (秒)	装備率50% (秒)
Receive First Call	Planner	2	1
Receive First Call	Tactical	12	6
Receive Flight Level Reached	Planner	2	2
Receive Flight Level Reached	Tactical	8	5
Transmit New Flight Level	Planner	2	2
Transmit New Flight Level	Tactical	8	6
Transmit Change of Frequency	Planner	2	2
Transmit Change of Frequency	Tactical	8	6
.....

CPDLCの装備率と作業負荷やセクター処理容量との関係について、「Projecting the effect of CPDLC on NAS Capacity²⁴」では、CPDLC装備率に応じた作業負荷とセクター処理容量の関係を表3.3-2のように整理している。前述のEECの評価では、作業負荷の軽減率（11%）と同程度のセクター処理容量の増加（13%）がみられているが、この表によれば、セクター処理容量の増加率は作業負荷の軽減率の1/2に相当するとしている。

表3.3-2 CPDLC装備率とセクター処理容量
(参考) Projecting the effect of CPDLC on NAS Capacity

Data Source	% Aircraft Equipage	% R/T Reduction	% Sector Workload Reduction	% Capacity Increase
FAA * 1	20	28	10	5
EUROCONTROL * 2	25	17	6	3
EUROCONTROL * 2	50	35	12	6
EUROCONTROL * 3	50	45	16	8
FAA * 1	70	45	16	8
EUROCONTROL * 3	75	61	21	10.5
FAA * 4	80	69	24	12
FAA * 5	90	79	28	14
EUROCONTROL * 3	100	84	29	14.5

- * 1 : FAA, Operational Evaluation of Data Link Air Traffic Control Services. Proceedings of the 9th Digital Avionics Systems Conference, IEEE/AIAA/NASA, October, 1990.
- * 2 : EUROCONTROL, Controller Pilot Data Link supported by ATN in Europe: LINK 2000+ Cost benefit Analysis Review. EUROCONTROL, May 27, 2002.
- * 3 : EUROCONTROL, LINK 2000+ Business Case Development Simulation. EUROCONTROL Experimental Centre. February 2000.
- * 4 : FAA, Controller Evaluation of Initial Data Link En Route Air Traffic Control Services: Initial Sector Suite (ISSS) Design Development Study 1. Final Report, DOT/FAA/CT-94-25, May 1994.
- * 5 : FAA Data Link Benefits Study Team, User Benefits of Two-Way Data Link ATC Communications: Aircraft Delay and Flight Efficiency in Congested En Route Airspace. Final Report, FAA Technical Center, DOT/FAA/CT-95/4, February 1995.

²⁴ MITRE 社が FAA の委託を受けて取りまとめた、CPDLC の導入効果について調査した研究論文。
(参考) https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/05_0119.pdf

3.3.4 巨視的ワークロードモデル (Macroscopic Workload Model)

3.3.1で述べたようにCAPANで使用されるセクター処理容量の算定モデルは管制官の作業負荷の予測に依存しており、管制官の作業負荷は、事前に定義されたATCタスクの測定に基づいて算出される。CAPANによる分析では、シミュレーションの実施のために管制官の合意を得た詳細なATCタスクやタスク実行時間の定義、管制方式及び手順の設定等が必要となる。

一般的に、CAPANによる作業負荷の算出には多くの労力が必要とされることから、ユーロコントロールは作業負荷の算定を容易にするために、ATCタスクに係るパラメータを簡素化した作業負荷算定モデルとして巨視的ワークロードモデル(以下、「MWM」という。)を開発している。MWMは、ユーロコントロールのCOCA(Complexity and Capacity Analysis)プロジェクトの中で、セクターの複雑性を考慮した作業負荷とセクター処理容量の関係の分析に使用されている²⁵。

MWMは、シミュレーションで使用される管制官のタスクを(3つのタスクに)簡素化した作業負荷の評価モデルでRAMS (RAMS+)を使用したプロセスに比べてわずかに精度が落ちると考えられるが、セクター運用の複雑性をモデルに反映させることで質の高いセクター処理容量の算定を行うことができると考えられている。

EECは「Adaptation of workload by optimization process and sector capacity assessment 2005 (以下、「COCA評価報告書」という。)」の中で、複雑性の共通する複数セクターの作業負荷を1つのMWMで推定するための、MWMの作成の考え方を説明している。

本節では、COCA評価報告書の内容を参考にMWMの概要について説明する。

MWMでは、管制官のタスクを、以下の3つのATCタスク(以下、「マクロタスク」という。)に分類した作業負荷評価モデルを作成する。この手法は、RAMSを使用したプロセスに比べてわずかに精度が落ちるところがあるが、パラメータの調整とセクター運用の複雑性に基づいてセクターを分類することで改良することができると考えられる。

- ① 定型業務マクロタスク (AC : Routine Macro Task)
- ② コンフリクション監視/解決マクロタスク (Cnf: Conflict monitoring and resolution macro task)
- ③ 高度変更監視マクロタスク (Cl: Level change monitoring macro-task)

MWMの作業負荷モデルは以下のように表現される。

$$WL=t_{AC} * O_{AC} + t_{Cnf} * O_{Cnf} + t_{Cl} * O_{Cl}$$

²⁵ 「ADAPTATION OF WORKLOAD MODEL OF OPTIMISATION ALGORITHMS AND SECTOR CAPACITY ASSESSMENT EEC March 2005」

表 3.3-3 MWM のパラメータの説明

パラメータ	項目	内容
実行時間	t_{AC}	定型マクロタスクの実行時間
	t_{Cnf}	コンフリクション監視/解決マクロタスクの実行時間
	t_{Cl}	高度変更監視マクロタスクの実行時間
発生回数	O_{AC}	定型マクロタスクの発生回数
	O_{Cnf}	コンフリクション監視/解決マクロタスクの発生回数
	O_{Cl}	高度変更監視マクロタスクの発生回数

図3.3-9は、MWMのセクター処理容量とパラメータ値 (t_{AC} , t_{Cnf} , t_{Cl}) の関係を示している。作業負荷とセクター処理容量の関係の考え方は、CAPANのそれと同様の考え方である。図はセクターの複雑さによって異なる3種類のパラメータに応じた理論的なセクター処理容量を表わしている。たとえば、ANSPが申告するセクター処理容量 (Declared Capacity) が42機/時であった場合、青色の線分に係るパラメータ値 (52, 70, 15) が最良の推定値ということになる。

セクターをその複雑性によってクラスに分類し、(複雑性の共通する) クラスごとに MWM のパラメータを作成する。

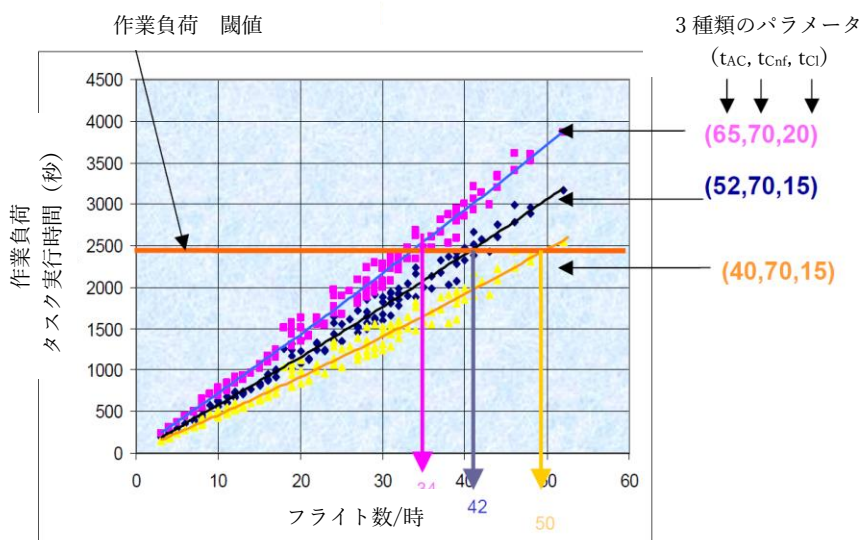


図3.3-9 パラメータによる重みづけ

(資料) ADAPTATION OF WORKLOAD MODEL OF OPTIMISATION ALGORITHMS AND SECTOR CAPACITY ASSESSMENT EEC March 2005

MWMでは、「セクター運用の複雑さ」をマクロタスクの実行時間による重みづけで表現する。表3.3-4、及び表3.3-5のようなセクター運用に複雑性をもたらす要因を考慮

してセクターをクラス分けし、分類されたクラスごとにMWMのマクロタスク実行時間が決定される。これにより、共通の複雑性を持つセクターのグループのすべてのセクターに対して特定のMWMモデルを適用して、セクター処理容量を算出しようとする。

表3.3-4 フライトの複雑性 (例)

(参考) ADAPTATION OF WORKLOAD MODEL OF OPTIMISATION ALGORITHMS AND SECTOR CAPACITY ASSESSMENT EEC March 2005

ピーク時間帯 (3時間) の交通量
上昇/降下機数
ACC境界への接近
時間帯別交通量とフライトのタイプ

表3.3-5 交通流の相互作用 (Interaction) の複雑性 (例)

(参考) ADAPTATION OF WORKLOAD MODEL OF OPTIMISATION ALGORITHMS AND SECTOR CAPACITY ASSESSMENT EEC March 2005

コンフリクションの数と種類(交差、合流、反方向)
複数地点での交通流の交差
経路の交差
航空機パフォーマンスの混在 (Jet, Prop…)
管制間隔基準 (Standard Separation)
コンフリクション検出から解決までの時間
無秩序な交通流
交通密度

セクターの複雑性によるクラス分けに関して、例えば、以下のような分類が考えられる。

表3.3-6 複雑性によるセクターのクラス分け（例）

High Complexity	Medium Complexity	Low Complexity
Class1	Class2	Class3
<ul style="list-style-type: none"> ・交通流の中で、交差（Crossing）や合流（Converging）といった異なる方向からの交通流が占める割合（DIF：Different Interacting Flows）が高い。 ・上昇/降下機の比率が巡行機よりも高い。 ・コンフリクションの発生率が平均よりも高い ・軍事関連行動で使用する空域の割合が高い ・セクターの空域容量が小さくフライトの通過時間が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ・中程度のDIFである ・上昇/降下機よりも巡行機の比率が高い ・トラフィック密度がクラス1よりも低い ・軍事空域の割合は低い ・クラス1よりも空域サイズが大きく、フライトの通過時間が長い 	<ul style="list-style-type: none"> ・巡行機が大きな割合を占める ・航空機の反方向での接近が他の2つに比べて低い ・軍事空域の割合は低い ・空域サイズが大きく、通過時間が長い

パラメータの設定に関して、EECはMWMによる複雑性の評価のためのアプリケーション（ツールボックス）として、COLA（Complexity Light Analyser）を整備している。COLAは、EECが開発したATFMのファストタイムシミュレータで、NMOCが保持する飛行計画ファイルや環境データから、特定の時間帯におけるセクター内の複雑性の指標（Complexity Indicator）を計算する。

COLAは、MWMの3つのマクロタスクの発生回数（例：10分間にセクターに入域するフライト数や、高度変更の回数、近接するフライトペアのコンフリクションの発生回数等）を出力することができる。

マクロタスクの実行時間は、管制官等の運用の専門家の意見を踏まえて決定している事例もあるが、COCA評価報告書は、マクロタスクの実行時間を推定するために、「メタヒューリスティクス-遺伝的アルゴリズムによる最適化」という手法を採用していると説明している。

遺伝的アルゴリズムは、生物の進化の仕組みを模した近似解を探索するアルゴリズムで、最適解との差が許容範囲内になるまで（満足する近似解が見つかるまで）、モデルのパラメータ値を変化させて評価を繰り返す。

MWMのマクロタスク実行時間の算定の例では、セクターのクラスごとにANSPが申告するセクター処理容量値（最適解）との誤差を最小化するようなマクロタスク実行時間のパラメータが計算（探索）される。

なお、ここではANSPが申告するセクター処理容量値に対する最良の推定値を得るために遺伝的アルゴリズムを使用してMWMのパラメータを決定しているが、例えば、比較すべきセクター処理容量値が利用できないような場合は、管制官等の専門家の合意

を得ながらマクロタスクの実行時間が決定されることになる。

図3.3-10はMWMのマクロタスクの実行時間による重みづけのプロセスを示している。特定のセクターグループごとに、算出した理論上のセクター処理容量と基準としたセクター処理容量 (Declared Capacity) の差が一定範囲内になるまで、(2)~(6)を実施する。

- (1)最初に、セクターの運用の複雑性を評価し、セクターを (共通の複雑性をもつ) 特定のグループに分類する。
- (2)3つのマクロタスクについて、タスク実行時間による重みづけを行う。
- (3)COLAシミュレーターを利用して、3つのマクロタスクの発生回数を得る。
- (4)重みづけ(実行時間)と発生回数の値を用いて作業負荷を計算する。
- (5)計算された作業負荷を使用して、グループ内のすべてセクターの理論上のセクター処理容量を評価する。
- (6)理論上のセクター処理容量と基準セクター処理容量 (Declared Capacity) の差を判定する。

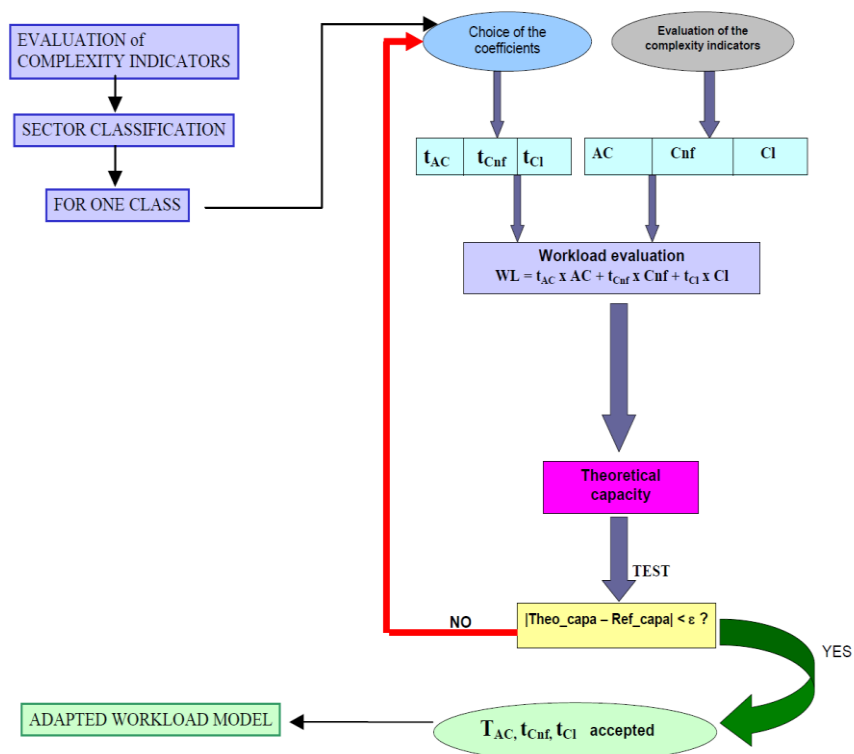


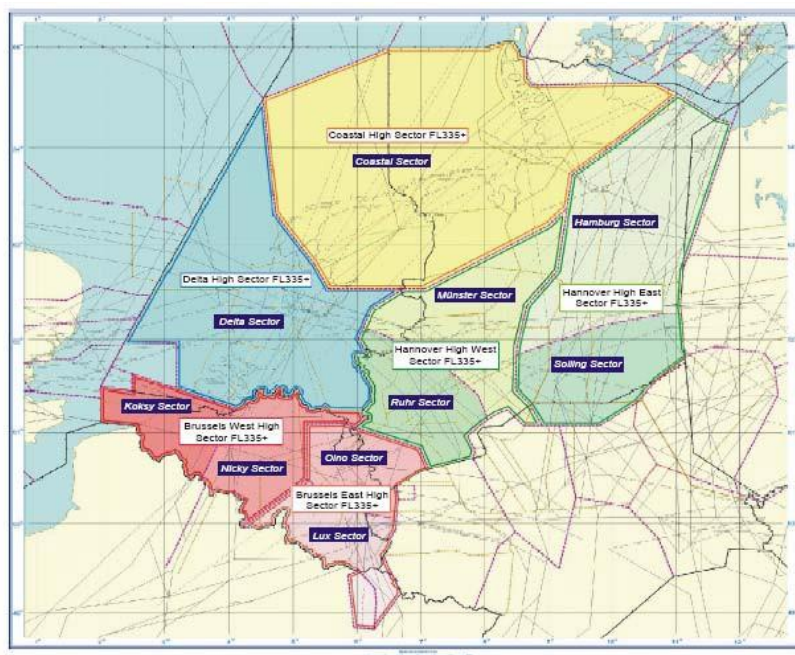
図3.3-10 MWMに係るマクロタスクの重みづけプロセス

(資料) ADAPTATION OF WORKLOAD MODEL OF OPTIMISATION
ALGORITHMS AND SECTOR CAPACITY ASSESSMENT EEC March 2005

(参考) 表3.3-7 CAPANとMWMの比較

	CAPAN	MWM
モデルの位置づけ	ファストタイムシミュレーション (RAMS) を使用した作業負荷とセクター処理容量の評価モデル	セクターの複雑性を考慮した作業負荷と処理容量の評価モデル
作業負荷の算出方法	ATCタスク (種類と実行時間) の定義に基づいて、RAMSによる多数回のシミュレーションを実施し、タスク実行時間を算出する。	ATCタスクの種類を3つに集約 (マクロタスク) し、モデルベースで作業負荷を算出する。
セクター処理容量の算定	セクター処理容量は、作業負荷の閾値(70%)を満足する、1時間当たりの入域フライト数で表現される。 多数回のシミュレーション結果に対して、回帰分析による分析を行い、理論的なセクター処理容量を算定する。	セクター処理容量は、CAPANと同様に、作業負荷の閾値(70%)を満足する、1時間当たりの入域フライト数で表現される。MWMは、複雑性の特性が共通するセクターをグループ分けし、グループ内のセクターに共通して適用することができる (1つのMWM) モデルを作成する。
モデルのパラメータ	ATCタスクの種類や実行時間については、管制官等の専門家の合意を得ながら設定される。タスクの実施回数はRAMSシミュレーションの中で計算される。	マクロタスクの実施回数は、EECのシミュレーションツールにより算出される。タスク実行時間は数学的な手法により計算されるが、管制官等の専門家の合意により設定することもある。

EECは、COCAプロジェクト²⁶の中でMUACのセクター構成を対象として、複雑性指標に基づくセクターのクラスタ分けに関する調査研究を実施している。MUACのセクター構成は現在のそれとは異なるが、複雑性に基づくセクターのクラスタ分けと、対応するMWMモデルの考え方の参考となると考えられる。



調査研究の対象としたセクター構成

(注) セクター構成は、2006年時点のものであり、現在のそれとは異なる。高高度セクター (FL335+) と低高度セクター (FL245-FL335) の境界高度として FL335 が設定されている。

調査研究においては、複雑性に基づくセクター構成のクラスタ分類のために、主にDIFを使用して図3.3-11のようなクラスタ分けを行っている。DIFは、交通流の相互作用を示す指標で、例えば、DIFが0.25ということは、4フライト毎に1回の航空交通流の相互作用 (交差、合流等) が発生することを表している²⁷。

²⁶ A COMPLEXITY STUDY OF THE MAASTRICHT UPPER AIRSPACE CENTRE
EEC Report No. 403 Project COCA 2006 セクターのクラスタ分類については、ANNEX E を参照のこと。

²⁷ 交通流の相互作用として、垂直方向 (上昇/降下、巡航) に係る相互作用、水平方向 (合流、交差等) に係る相互作用、速度差による相互作用がある。
(参考) Complexity Metrics for ANSP Benchmarking Analysis April 2006 EUROCONTROL

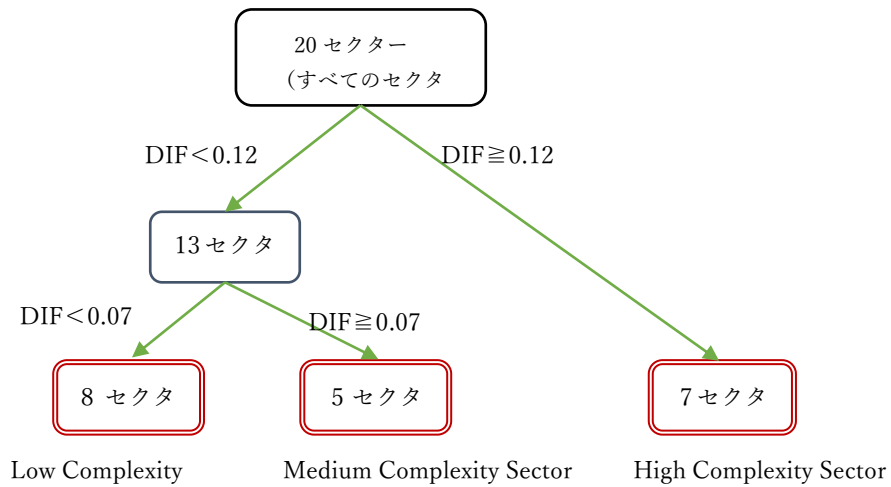


図3.3-11 複雑性指標によるセクターのクラス分け (例)

表3.3-8 複雑性に基づくクラスタ分けの結果 (例)

セクター構成の複雑性	セクターグループ	低高度/高高度セクター構成の内訳
High Complexity Sector 複雑性の高いセクターのクラスタ	ブリュッセルセクターグループ	高高度セクター：1 高高度+低高度セクター：5 低高度セクター：1
	ハノーバーセクターグループ	低高度セクター：2
Medium Complexity Sector 複雑性が中程度のセクターのクラスタ	ブリュッセルセクターグループ	高高度セクター：3 高高度+低高度セクター：2
	ハノーバーセクターグループ	高高度+低高度セクター：3 低高度セクター：2
Low Complexity Sector 複雑性の低いセクターのクラスタ	ブリュッセルセクターグループ	高高度+低高度セクター：1
	ハノーバーセクターグループ	高高度セクター：1 高高度+低高度セクター：3
	デコセクターグループ	高高度セクター：2 高高度+低高度セクター：2 低高度セクター：2

表3.3-9は、作成されたMWMモデルのマクロタスク実行時間に係るパラメータを表している。この値は、管制官の実際のタスクの実行時間を示しているものではなく、それぞれのクラスタに関連する作業負荷の違いを反映するために算出されている。

表3.3-9 クラスタに対応したMWMマクロタスク実行時間パラメータ (例)

Complexity Cluster	定型業務マクロタスク t AC	高度変更監視マクロタスク t CL	コンフリクション監視/解決マクロタスク t Cnf	MWMモデル
高い複雑性	43 (秒)	10 (秒)	51 (秒)	$WL=43 * OAC + 51 * OCnf + 10 * OC$
中程度の複雑性	39	11	48	$WL=39 * OAC + 48 * OCnf + 11 * OC$
低い複雑性	36	12	52	$WL=36 * OAC + 52 * OCnf + 12 * OC$

MWMモデルを使用して算定された各クラスタの作業負荷の概要を図3.3-12に示す。

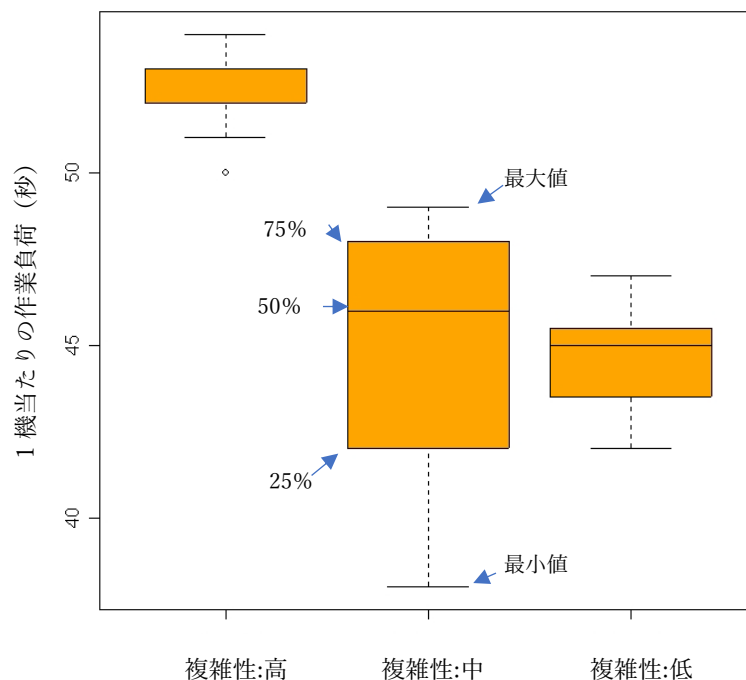


図3.3-12 クラスタに対応する作業負荷

3.4 交通流制御の実施手法

3.4.1 欧州における航空交通流容量管理（ATFCM）

欧州では、ユーロコントロールのネットワーク管理運用センター（Network Management Operations Center 以下、「NMOC」という。）が、「One single Flow Management System over Europe」の考えに基づき、41のユーロコントロール加盟国にイスラエル、モロッコを加えた43カ国に対して、国境を越えた空域データ管理や飛行計画サービス、航空交通流容量管理サービス（ATFCM²⁸：Air Traffic Flow and Capacity Management 以下、「交通流管理」という。）を提供している。

交通流管理は、航空交通管理（ATM）の構成要素の1つで、空域及び空港の容量を交通需要に合わせて最適化することを目的としている。交通量が利用可能な処理容量を超える場合には、制約による影響を最小限に抑えながら交通量を処理容量に対応させるために、例えば、出発機に対して離陸時刻を割り当てる等により、航空交通流を規制し、ACCや空港に過度の負荷がかからないようにする²⁹。

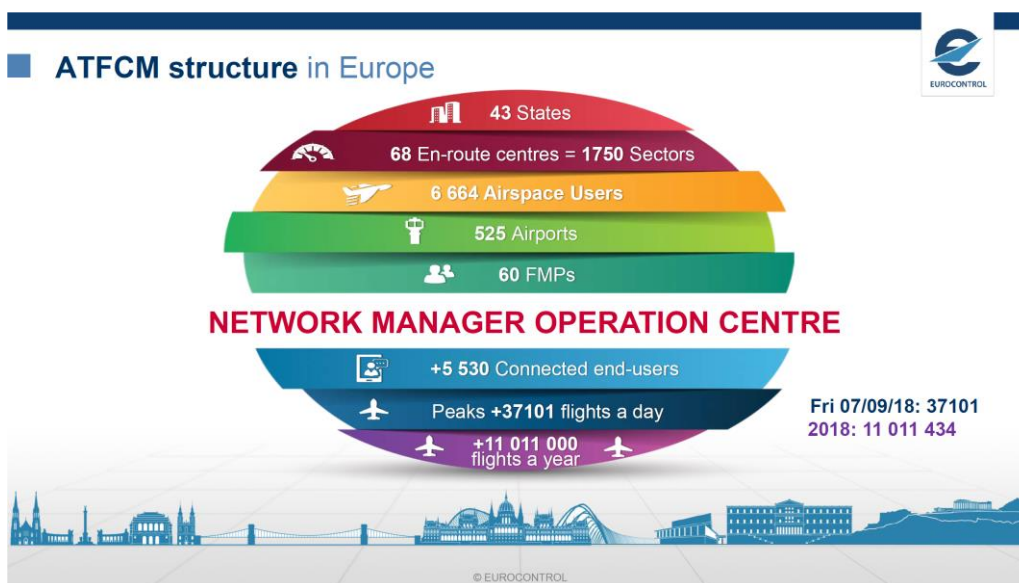


図 3.4-1 NMOCの概要

(資料) EUROCONTROL Network Management Operations Centre

²⁸ ユーロコントロールは、航空交通流管理業務を「協調的意思決定を通して需要（Demand）と容量（Capacity）のバランスを取り最適化する」という考えに基づき、従来の「ATFM」に代えて、「ATFCM」という概念で整理している。本報告書では、「交通流管理」という用語を使用する。

²⁹ 交通流の規制（ATFCM Regulation）は、交通流管理に係る手法の1つで、（我が国におけるEDCTによる交通流制御のように）規制対象の監視空域や空港等に入域する航空機の単位時間当たりの最大入域数を制限する措置等を指す。本報告書では、「交通流制御」という用語を使用する。

- NMOCは、以下のフライトに交通流管理サービスを提供している。
- ✓ NMOCのATFCM管轄エリア（43カ国）内から出発するフライト。
 - ✓ ATFCM管轄エリアに隣接する地域の隣接飛行情報区（FIR）から出発した後、ATFCM管轄エリア内に入域するフライト。

NMOCによる交通流管理サービスの提供エリアを図3.4-2に示す。ATFCM管轄エリアに隣接するアイスランド、ベラルーシ、レバノン、アルジェリア、チュニジア、エジプト内の空港から出発してATFCM管轄エリア内に入域するフライトは、交通流管理の対象となる。



図3.4-2 NMOCによるATFMサービスの提供エリア
(資料) http://www.nm.eurocontrol.int/STATIC/NM_AREA/

NMOCが提供する交通流管理サービスのように国境を越えた交通流管理においては、各国のANSPは欧州のネットワーク全体の運用方針に同意し、自ら管理する管制処理能力や空域等のリソースをそこに割り当てることが求められる。例えば、隣接するFIR内での交通量の増大により、隣接FIR内の飛行経路を自国内のセクターを通過する飛行経路に変更するといった交通流管理手法(ATFCM measures)に同意する必要がある³⁰。このような調整を円滑に進めるために、適切な参加者が情報を共有し協調的に意思決定すること（Collaborative Decision Making 以下、「CDM」という。）が重要となる。

³⁰ EUROCONTROL は、ACC 等の運用関係者と NM 協定 (Network Manager (NM) Agreements) を締結し、ネットワーク管理サービスに関する管理、法律、技術および運用事項を定めている。

ユーロコントロールは、「ATFCM Operations Manual Network Manager」（以下、「ATFCM運用マニュアル」という。）の中で、「各ACC内での交通流管理手法の実施の決定に際しては、通常、CDMプロセスが先行する。」と解説している。CDMプロセスについては、3.4.2.1で説明する。

3.4.2 交通流管理の実施段階

NMOCによる交通流管理は、以下の4つの段階で構成される。

- (1) 戦略的交通流管理 (Strategic flow management)
- (2) プレ戦術的交通流管理 (Pre-tactical flow management)
- (3) 戦術的交通流管理 (Tactical flow management)
- (4) 戦術段階終了後の分析 (Post operational analysis)

戦略的交通流管理は、運用当日の7日前まで行われ、CDMプロセスによる調査、計画、調整活動が実施される。この段階では、航空ショーや主要スポーツイベントの開催、軍事演習などによる航空需要 (Demand) と処理容量 (Capacity) の不均衡を早期に特定し必要な手順や対策を検討する。交通需要と処理容量の不均衡が確認されると、NMOCは、イベントの種類に応じて利用可能な容量を最適化しパフォーマンス目標を達成するための戦略的交通流管理計画を策定し、実行する。

戦略的交通管理段階では、ネットワーク運用計画 (NOP : Network Operations Plan) が作成される。NOPは、ATMネットワークの運用に関する短・中期的な見通しを提供するもので、ネットワーク全体および各ACCで計画されている容量や飛行効率の向上に係る対策の詳細や、大きな遅延が予想される空港におけるパフォーマンスの評価および改善措置等についての説明が提供される。

プレ戦術的交通流管理は、運用当日前の6日間の間に行われ、計画と調整活動で構成される。この段階では、運用当日の需要を調査し、当日に予測される利用可能な処理容量に基づいて、戦略段階で作成された計画に必要な調整を行う。

プレ戦術段階の主な目的は、リソースの効果的な準備 (セクター構成管理、シナリオの使用等) と適切な改善策により、効率を最適化し交通需要と処理容量のバランスをとることであり、NMOCのネットワーク管理部門 (Network Manager 以下、「NM³¹」という。) やFMP³²、航空機運航者等の利害関係者とのCDMプロセスに基づいて実施される。プレ戦術段階では、運用当日に実施される戦術的な交通流管理手法のセットを記述したATFCM日次計画 (ATFCM Daily Plan 以下、「ADP」という。) と、運用前日の

³¹ ユーロコントロールは、欧州員会よりネットワーク管理者 (Network Manager) としての指名を受けている。Network Manager (NM) は、ユーロコントロールのネットワーク管理部門が提供する業務 (function)として定義される。

³² Flight Management Position : FMP については、「3.4.2.1 CDM プロセス」で説明する。

交通流管理ネットワーク計画の詳細及び運用当日の運航や管制業務に大きな影響を与えると予測される関連イベントについての事前/追加情報を提供する「初期ネットワーク計画³³ (INP: Initial Network Plan)」が作成される。

戦術的交通流管理は運用当日に行われ、ADPに影響を与える事象にリアルタイムで反応し、必要な修正を行う。要員の配置に関連する問題や重大な気象現象、危機や特別な出来事、地上または航空インフラに関連する予期せぬ制限等により、当初の計画を修正する必要性が生じる可能性があり、この段階では、正確な情報を提供することが極めて重要である。正確な情報を入手することで短期的な予測を可能にし、安全を損なわずに既存の能力を最大限に発揮させることができる。

戦術段階終了後の分析は、交通流管理の計画・管理プロセスの最終ステップであり、戦術段階に続いて行われる。戦術段階の終了後の分析段階では、交通流管理サービスに関連する全ての領域における戦術プロセス及び活動を測定、調査、報告する分析プロセスが実施される。すべての利害関係者は、ADPの効率性（交通流管理手法と遅延の関係、事前定義シナリオの使用など）や飛行計画および空域データの問題についてフィードバックを提供する必要がある。この段階では、予想された結果と実際に測定された結果を、主に遅延や飛行経路長の増減の観点から比較する。戦術段階終了後の分析では、運用プロセスや活動を改善するためのベストプラクティスや教訓が作成される。

図3.4-3にATFCMの実施段階の概要を示す。

³³ 初期ネットワーク計画 (INP) は、NM プレ戦術チームが作成し、ATFCM ネットワークプランの詳細と、翌日の運航や管制業務に大きな影響を与えると予測される関連イベントについて、事前/追加情報を提供する。

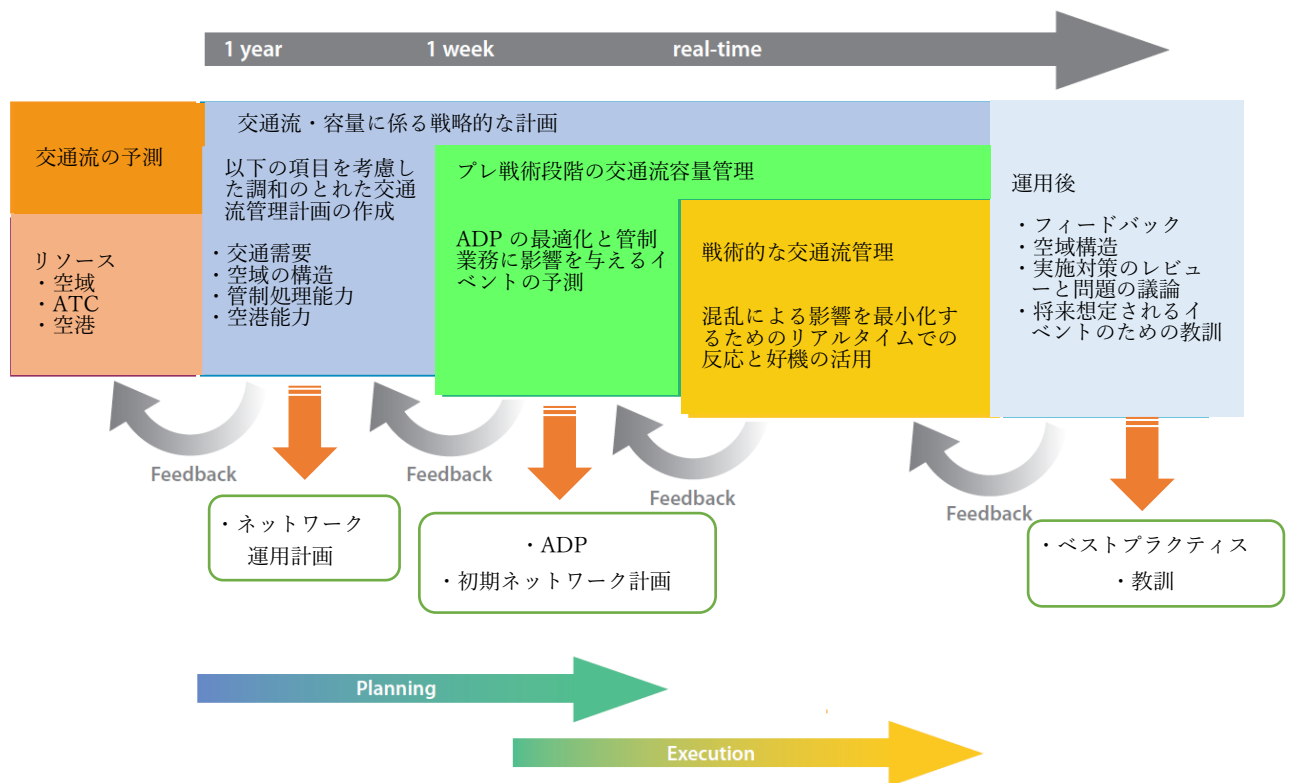


図3.4-3 ATFCM実施段階（概要）

(参考) Introducing the EUROCONTROL Network Manager Operations Centre
EUROCONTROL 2019

3.4.2.1 CDMプロセス

効率的かつ効果的な交通流管理を行うためには、多数の適切な参加者が情報を共有し協調的に意思決定することが重要となる。CDMは、最新の正確な情報に基づき、関係者全員が意思決定に影響を与える機会を与えられることを可能にするプロセスである。

CDMでは、影響を受ける関係者やサービスプロバイダー、空域利用者が、定期的なセッションを通じて空域や、処理容量と交通需要、飛行効率の問題を議論し、関連するすべての側面を考慮した計画を策定しようとする。CDMで行われる議論は、各参加者の公式なコミットメントを意味するコンセンサスと解決策を導くものでなければならない。

戦略段階では、個々のACC/空港やネットワークに関して予測される容量不足と、重要なイベントの分析に焦点が置かれる。プレ戦術段階や戦術段階での実施のために合意された交通流管理手法・解決策のセットが作成される。交通流管理に関連する

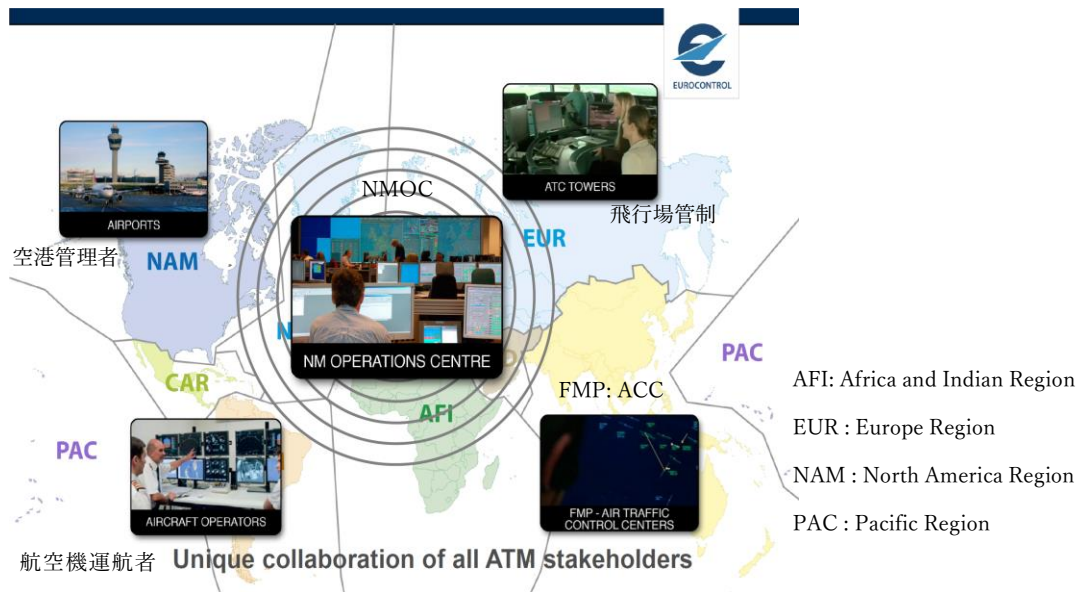
イベントを検討するための会議とブリーフィングが事前に行われる。

プレ戦術段階、および戦術段階で検討される交通流管理手法は、事前に合意された戦略的交通流管理手法から抽出されるか、あるいは交通需要や管制システムの容量の変化によって引き起こされる新しい状況に対応するためのアドホックな対策として想定される。CDMは、毎日行われ、交通量/容量の状況に応じてより頻繁に予定されることもある。これらの会議のアウトプットは、ADPである。

CDMの参加者には、関係するNMのスタッフや、ANSP (FMP、およびATSユニット)、航空機運航者、必要に応じて、影響を受ける軍当局および空港当局が含まれる。

FMPは、ATFCM管轄エリア内の60のACCに設置され、管制機関とNMOCとの間の主要なインターフェースとしての役割を担う。FMPは、担当する管轄空域における交通流管理の実地に関しての中心的存在と位置づけられ、NMOCと共に交通流管理の実施に係る責任を共有する。FMPはNMOCに対してネットワークの運用に関連する重要な情報を提供し、現場の状況を伝える重要な情報源となっている。

CDMプロセスの結果が合意に至らない場合は、FMPが交通流制御の実施の決定を判断する。交通流制御の実施の最終決定はFMPが判断するが、実施内容の詳細は、特別な指示による場合を除きNMOCと調整する必要がある。複数のFMPの管轄空域に影響を及ぼすネットワーク対策（高度制限やルート変更など）の実施の責任は、NMOCが負う。交通流制御手法の詳細については、3.4.5で説明する。



(参考) 図3.4-4 NMOC CDM (イメージ)

(資料) EUROCONTROL Workshop Asia Pacific October 2014

図3.4-5に、交通流管理の実施に係る主な関係者とその機能(役割)の概要を示す。

NMO

Flow Management (NMOC ATFCM)

Operation Manager (NM OM)

NM OM は、NMOC において日々の運用を管理する役割を担い、以下の事項等に対応する。

- ・利用可能な容量を最大化する
- ・空域利用者への制約を最小化する
- ・飛行効率を向上させる

NM OM は、ヨーロッパの航空交通流管理に係る危機管理の中心的な役割も担っている。

NM プレ戦術チーム：

プレ戦術段階での交通流管理を担当する

NM 戦術チーム：

戦術段階での交通流管理を担当する

NM AOLO (Aircraft Operator Liaison Officer 航空機運航者連絡担当)

NM AOLO は、航空交通流/容量対策について航空機運航者との主な連絡窓口となり、以下の事項を担当する。

- ・プレ戦術チームが毎日の事前計画を作成するのを支援する。
- ・毎日の戦術的運用に参加し、特に経路変更に積極的に参加する。
- ・天候がネットワークに与える影響について報告する。

NM MILO (Military Liaison Officer 軍事連絡担当)

NM MILO は、民間と軍の調整プロセスを担当する。その目的は、飛行効率を向上させ、軍事的任務の効果を高めることである。

- ・主要な軍事演習やイベントに関する国内情報を収集、調整、公表し、ネットワーク運用計画に盛り込む。
- ・これらのイベントがネットワークにスムーズに統合されるようにし、適切な対策の実施を調整することでイベントの潜在的な影響を緩和する。
- ・空域使用計画とその更新データを使って、空域の割り当てを最適化し、ネットワークへの影響評価を実施する。
- ・各国が軍事的任務の有効性を最大限に高めるのを支援する。

ACC

FMP (Flow Management Position)

・ATFCM 管轄エリア内の 60 の ACC に FMP が整備されている。

・FMP は、管制機関と NMOC との間の主要なインターフェースとして位置づけられ、実質的にその責任範囲における ATFCM 関連事項の中心的存在となる。

FMP は、ネットワークの運用に関する重要な情報を NM に提供する。

・各 FMP の責任範囲は、通常、所属する ACC の責任範囲に限定される。

・FMP は、NM に以下の情報を提供する

-セクター構成（プレ戦術および戦術段階）。

-TFV (Traffic Volume)

-フロー

-タクシー時間と滑走路の設定

-TFV の監視値

-空港や管制部の処理容量に影響を与えるようなイベントや情報の詳細

-新しい手順や 試行的な手順に対する フィードバック（運用後）

（注）TFV については、3.4.5 で説明する。

航空機運航者

軍当局

図3.4-5 交通流管理の実施に係る関係機関とその役割の概要

交通流管理手法の実施は、プレ戦術段階においてはプレ戦術チームが、戦術段階では戦術チームが担当する。プレ戦術チームと戦術チームによる交通流管理の概要を以下に示す。

- (1) プレ戦術チームは、運用当日の6日前に計画される短期的な戦略的/戦術的航空交通流管理手法を担当する。
 - ✓ 予測される需要に対して、十分な処理容量があることを確認する。
 - ✓ 遅延とコストを最小化するように需要を管理する。
 - ✓ CDMプロセスを経て、運用当日の計画を発行する。
 - ✓ ネットワークに影響を与える可能性のある事象についてシミュレーションを行い、どの程度の混乱が生じるかを確認し、その影響を軽減する方法を検討する。ネットワークイベントには、大規模なスポーツイベント、労働争議、航空管制の新システム、大規模な軍事演習など、さまざまなものがある。
 - ✓ ACC、航空機運航者連絡担当、軍事連絡担当と積極的に協力し、運用当日に先立ってネットワーク計画を作成し、ネットワークに影響を与える可能性のある問題について議論し、その影響を軽減する方法を検討する。
 - ✓ ATFCM通知メッセージ (ANM : ATFM Notification Message)、初期ネットワーク計画 (INP : Initial Network Plan)、及びネットワーク運用計画ポータル (Network Operations Plan Portal 以下、「NOPポータル」という。)を通じて、空域利用者、空港、ACCと計画を共有する。
 - ✓ ADPの作成：ADPは、翌日に実施されるATFCMの戦術的な対策のセットである。
- (2) 戦術段階において、戦術チームは処理容量と交通量のバランスをリアルタイムで最適化する。運用当日はCDMのプロセスを経て常にADPが更新される。交通パターンとその強度に応じて、戦術的なブリーフィングと会議が実施される。
 - ✓ 運用当日の交通量の負荷 (Traffic Load) と利用可能な処理容量を監視し、欧州全域のACCのFMPと連携し、欧州全体の処理容量を最大限に活用できるようにする。
 - ✓ 遅延を管理する。航空機が交通流制御の影響を受けた場合、遅延を減少させることを目的として、経路変更などの代替策を提案することができる。
 - ✓ 戦術段階での航空交通量と処理容量の状況を監視し、交通量に対する容量対策が適合していることを確認する。
 - ✓ NOPポータルのヘッドラインニュースを常に更新するなどして、すべての利害関係者と空域利用者に最新情報を公開する。
 - ✓ 関係者や空域利用者と調整を行い、交通需要に対する処理容量を最適化するために以下のような措置を講じる。
 - ・ 経路変更やFL管理 (レベルキャップ)

- ・セクターの構成管理
 - ・交通流制御による交通流の調整
- ✓ NMOCはE-Helpdesk³⁴を通じて、空域ユーザーやFMP、TWR管制官等を支援する。

3.4.3 ATFCMシステムの概要

ATFCMシステムは、ネットワーク管理 (NM) が提供するATFCMサービスの中核をなすもので、欧州空域の航空交通需要や処理容量に関する情報を提供し、交通流管理手法の計画や実行、監視を支援するツールを提供することを目的としている。

以下に、主なシステムの概要を示す。

(1) ETFMS (Enhanced Tactical Flow Management System)

ETFMSは、交通需要やそれに伴う負荷を処理容量と比較し、交通流制御や経路変更などにより需要と容量のアンバランスを解消するための措置を実施できるようにする。ETFMSは、航空機運航者と管制機関との間の相互作用の中心に位置し、出発機に離陸時刻を指定する「スロットの割り当て (CTOTの発行)」による戦術段階の交通流管理を担当している。スロットの割り当ては、ETFMS内のCASA (Computer Assisted Slot Allocation system) により自動的に実施される。「スロットの割り当て」については、3.4.5で詳しく説明する。

(2) PREDICT (Pre-tactical System)

PREDICTは、予測交通量と処理容量を比較し、翌日の負荷状況を評価するシステムである。ATFCMの交通流管理手法は、ETFMSに実装する前にこのシステムでその影響を評価することができる。PREDICTは、プレ戦術段階を担当し、運用当日の交通量の負荷、セクター構成、ATFCMの交通流管理手法をオフラインでシミュレーションすることができ、交通流管理手法が運用全体に与える影響を評価することを可能としている。PREDICTは環境データ (ENVデータ) を入力として受け取り、運用当日の1日前に発表されるADPを出力として生成する。

(3) SIMEX (SIMulation and EXperiment)

SIMEXは、戦略段階、プレ戦術段階、戦術段階で使用されるシミュレーションツールである。NM担当者はSIMEXにより、交通流管理手法や制限を適用する前のシミュレーションを行うことができる。

(4) OPTICON (OPTI-mise CON-figuration)

OPTICONは、セクター構成の選択と構成変更の影響を評価するもので、PREDICTや、ETFMS、SIMEXでも使用することができる。

(5) Network Operations Plan Portal(NOPポータル)

³⁴ E-Helpdesk は、FMP や TWR 航空機運航者等の問題解決を支援するツールで、FMP や TWR は、スロットの改善や延長等の交通流制御に係る様々な調整を、E-Helpdesk を使用して行うことができる。

NOPポータルは、ネットワーク運用計画を総合的に表示するもので、ネットワーク運用計画の普及活動を支援する一連のサービスへのアクセスを提供するインターフェースである。ネットワークの状況に関する最新の情報にアクセスすることで、さまざまな関係者がより動的にネットワークを計画・管理することを可能とする。

(6) ENV (ATS Environment)

ENVは、運用システムに供給される共通の空域データリポジトリである。すべてのユーロコントロール加盟国は NMOCに空域データを提供していて、そのデータを使って空域構造の3次元モデルが作成される。ENVには、航空路やセクター境界、空港やセクターの最大処理容量などの静的データと、使用可能な滑走路数や、管制官の稼働率などの動的データの両方が含まれている。

図3.4-6に交通流容量管理システムの概要を示す。

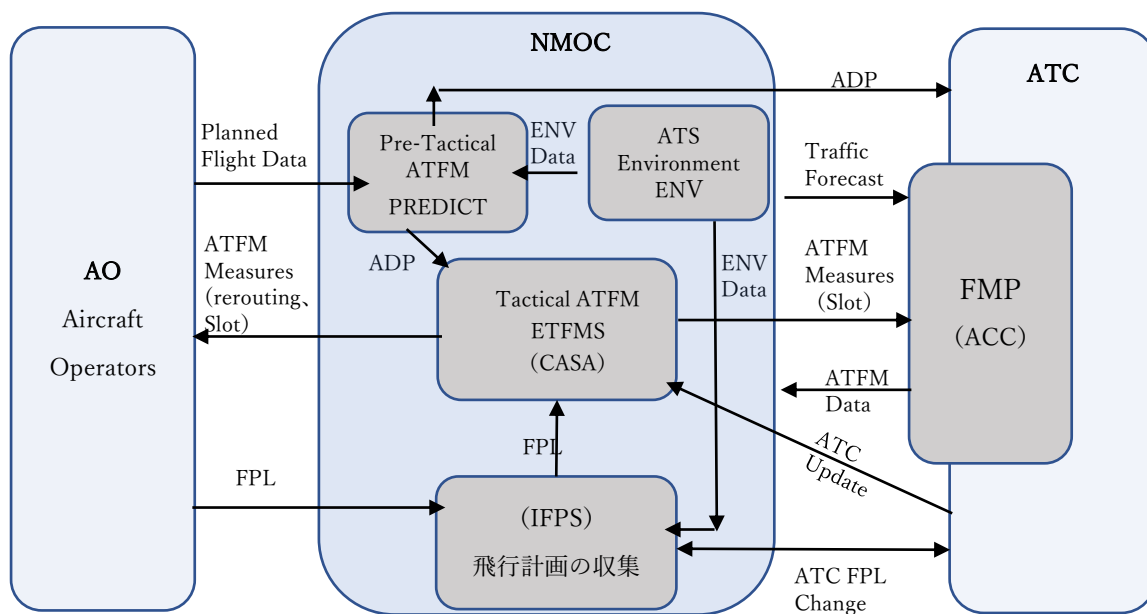


図3.4-6 交通流容量管理システムの概要

3.4.4 交通流管理手法の概要

NMOCは戦略段階における計画作成から運用までの間、実施可能な交通流管理手法（解決策）を継続して検討する。過負荷が検出され、CDMプロセスが開始されると、NMOCとFMPの間で処理容量の不足を解消し制約を最小限に抑えながらネットワーク容量を改善するための解決策が検討される。これらの解決策は、実施の決定を下す前に徹底的に評価される。

ユーロコントロールはATFCM運用マニュアルの中で、容量の不足に対する解決策を以下のように整理している。

(1) 交通需要の特性に応じて容量を最大化する。

①セクター管理：

特定のセクターにおける交通需要が処理容量を上回りそうだと確認された場合、交通需要を分散させるためにセクターを分離したり、セクターの構成を変更する等の措置が必要となる。

- ・セクター構成の変更管理
- ・運用するセクター数の管理
- ・セクターの統合・分離の管理

②到着容量と出発容量のバランスをとる：

例えば、2本の滑走路のうち、1本の滑走路を到着用に、もう1本を出発用に使用する空港（分離モード）において、混合モード（離着陸共用）での運用を検討する等により、空港容量を増やし遅延を最小限に抑える。

③フライトリストの評価

フライトリストにより、交通流の複雑さを予測し適切な措置を講じる。複雑さの評価の例として、通過機/入域機/出域機の機数や比率、高度変更が予想される航空機の数、交通流が集中するセクター、軍事行動の予定の把握等があげられる。

④処理容量の増加を協議する（監視値の見直し）：

監視空域における交通量と処理容量を監視するために使用される監視値の一時的な増加の協議や、監視値の見直しを行うことで、処理容量の増加を図る。

監視値、オキュパンシーカウントについては、3.4.5.1で説明する。

- ・監視値（MV: Monitoring Value）
- ・オキュパンシーカウント（Occupancy Counts）

⑤軍民調整（ATFCM/ASM）：

空域の柔軟な利用は、容量を増やすための効果的な方法の1つである。CDMを通して、訓練空域や制限空域等の使用調整を行い、空域容量を最適化する。空域の最適な割り当てのために、MILOと様々な調整（空域が有効となる期間や、高度帯、調整経路の閉鎖等）を行う。

⑥トラフィックの複雑さの軽減：

航空交通を複雑にしているフライトを特定して、シナリオの使用や、STAM等により交通流の複雑さを軽減する。

シナリオ、STAMについては、それぞれ3.4.5.8、3.4.5.9で説明する。

⑦待機経路：

混雑空域外での待機を指示することで、交通の集中を回避したり、悪天候が短期間に回復することが予想される場合に待機経路での待機を指示することで、天候回復後の容量の増加に速やかに対応できるようにする。

(2) 交通需要を、容量に余裕のある他の空域にシフトさせる

⑧経路変更 (Reroute)：

経路変更は、大幅な遅延や運航者が申請する飛行経路が利用できない場合に備えて、あるいは飛行効率を上げるために空域利用者に提供される代替経路案である。経路変更は通常、シナリオで計画され、強制的なものとの勧告の2種類がある。

シナリオの詳細については、3.4.5.8で説明する。

⑨FL管理 (FL Level Capping Scenario)：

このFL管理は、シナリオで計画されETFMMSによって実施される高度制限で、混雑した空域を避けるために、上昇、または降下を制限する。

⑩フライトの前倒し：

ネットワークの最適化を図るために、規制対象となったフライトの前倒し(遅延の緩和)を実施する。

⑪FMPによる戦術的交通流管理

- ・FL管理 (Level Capping)
- ・経路変更 (Rerouting)

FMPによる戦術的交通流管理については、3.4.5.9で説明する。

(3) 交通流を規制する (交通流制御)

個々の航空機に対する離陸時刻の割り当てや、ボトルネック回避のための経路変更等により、交通流を制御する。

空域や空港における交通量が利用可能な管制処理容量を超えると予測される場合、NMと関係する FMP と間で交通流制御の実施に係る調整が行われる。交通流制御の実施に関する最終決定はFMPが行うが、実施の詳細な内容については、特別な指示による場合を除き、NMと調整する必要がある。

交通流制御の実施に関して、プレ戦術段階においてはプレ戦術チームが、戦術段階では戦術チームが責任を負う。

⑫FMPによる戦術的交通流管理：

- ・最小出発間隔 (MDI Minimum Departure Interval)
- ・マイル・イン・トレイル (MIT Mile In Trail)

FMP による戦術的交通流管理については、3.4.5.9 で説明する。

⑬交通流制御の実施：

交通流制御の対象となった空域または空港に入域する航空機の数制限する。交通流制御は、スロットの割当（CTOTの発行）により実施される。

交通流制御の詳細については、「3.4.5 交通流制御」で説明する。

⑭チェリーピック（Cherry Picking）

チェリーピックは、特定のフライトを選択して交通流制御を適用する交通流管理手法である。チェリーピックの詳細については、3.4.5.6で説明する。

容量の不足に係る解決策のフレームワークを図3.4-7に示す。

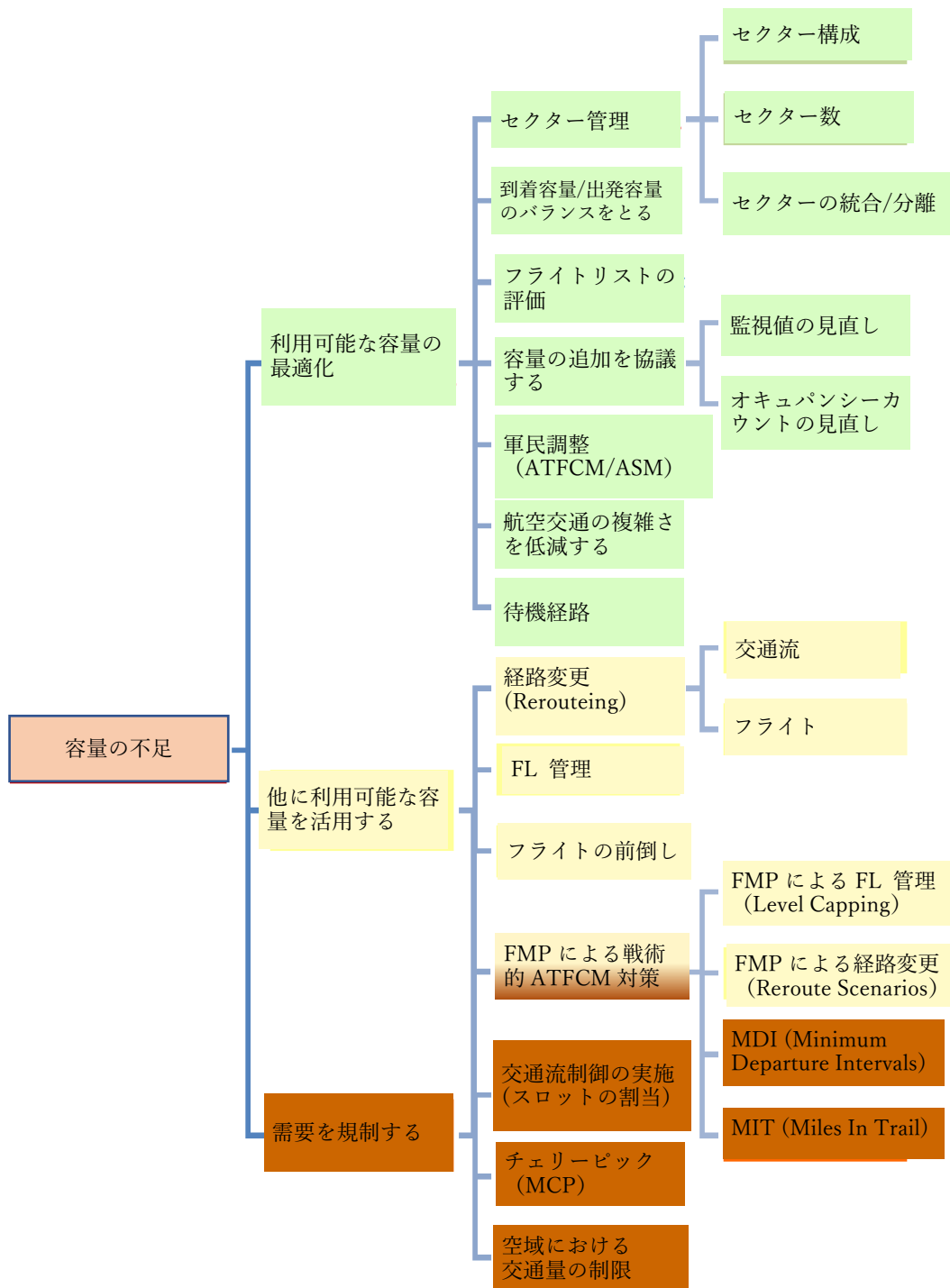


Figure 1 - ATFCM Solutions to capacity shortfalls

図3.4-7 容量不足に対する解決策（交通流管理手法）のフレームワーク
 (参考) EUROCONTRL ATFCM OPERATIONS MANUAL Network Manager

3.4.5 交通流制御

交通流制御は、交通量の超過が予測される空域へ入域する航空機に対し、最小限の制限等を付すことにより、適正な交通流を形成することを目的としている。

交通流制御の実施に係る標準的なフローは、以下のように考えられる。

- ✓ 監視空域の作業負荷の監視
- ✓ 交通流制御の実施の判断（NMとFMP間の調整）
- ✓ 交通流制御手法の選択と実施
- ✓ 交通流制御実施後の交通状況の監視

3.4.5.1 監視空域の作業負荷の監視

特定のエリアにおける作業負荷を監視する目的のために、Traffic Volume（以下、「TFV」という。）が使用される。

TFVは、「特定の監視空域に関連付けられる交通量」として定義され、交通量の監視や交通流制御のために特定のTFVが選択される。監視空域として、空域や空港、空港のセット、特定の地点等を指定することができる。TFVは、対象とする交通流（入域/出域/通過）の種類や、TFVの対象から除外するフライトの指定等を行うことができる。例えば、ACCの特定のセクターを通過する交通量や、ある空港に到着する交通量をTFVとして指定することができる。

監視空域がセクターのような空域の場合はフライトの空域への入域予定時刻（ETO）が、空港の場合はETA、特定の地点の場合は当該地点のETOが、監視空域への入域時刻として交通量が集計される。

交通量の監視は、TFV内のフライト数（Counts、以下「カウント」という。）と、そのTFVに関連した監視値（Monitoring Value 以下、「MV」という。）を使用して行われる。

カウントは、ある単位期間中（例：1時間）にTFVに入域するフライト数のことで、実際に飛行中のフライト数や飛行が予定されるフライト数で表される。カウントは、監視空域内でのフライトの滞在時間は考慮していない。カウントは、例えば、10分ごとに1時間の範囲（10：00-11：00、10：10-11：10・・・）や20分ごとに1時間の範囲（10：00-11：00、10：20-11：20）など、一連のインターバル（ローリング時間）から選択することができる。

MVは、カウントと同様にローリング時間ごと（例 10:00-11:00,10:20-11:20,10:40-11:40・・・）に、特定の監視空域への入域が許可されるフライト数であり、過負荷を発生させることなく処理可能な交通量（適正交通用容量値に相当する交通量）と定義される。

MVは加盟国のANSPが作成し、その値をNMOCに通知する。カウントがMVを超えた場合、交通量の負荷のバランスを改善するために、関係者間で交通流制御に関

する調整が行われることになる³⁵。

カウントは、その用途に応じて以下のようなものがある。

- (1)需要カウント (Demand Counts) : 需要カウントは航空機運航者が提出した飛行計画に基づきETFMSが作成するカウントで、飛行計画の変更 (CHG、DLA、CNL) や、一部の空港 (CDM空港) における離陸時刻の更新の内容が反映される。
- (2)負荷カウント (Load Counts) : 負荷カウントは、ETFMSが持つ最良の情報に基づいて示される。フライトが実際に飛行しているものであれば離陸時刻と更新情報に基づいて入域時刻が計算される。交通流制御の対象となっているフライトの場合は、交通流制御による遅延の内容を考慮して入域時刻が計算される。フライトが飛行中でもなく、交通流制御の対象にもなっていない場合は、飛行計画等の情報に基づき入域時刻が計算される。NM戦術チームは、負荷カウントを使用して交通状況を監視する。
- (3)オキュパンシーカウント (Occupancy Counts) : オキュパンシーカウントは、ある時点において特定の場所に存在するフライトの数で、その時間に管制業務が提供されているフライト数 (同時管制下機数) を示している。オキュパンシーカウントは、空域内のフライトの滞在時間を考慮したもので、FMPが監視空域内の作業負荷を監視するために使用される。現在、オキュパンシーカウントの値に基づいた戦術的交通流管理が、多くのFMPにより実施されている (3.4.5.9参照)。

交通量の負荷の監視は、特に合意が定められていない限り、NMとFMPが共同で監視する。交通量の負荷の監視に係るNMとFMPの対応を、表3.4-1に示す。

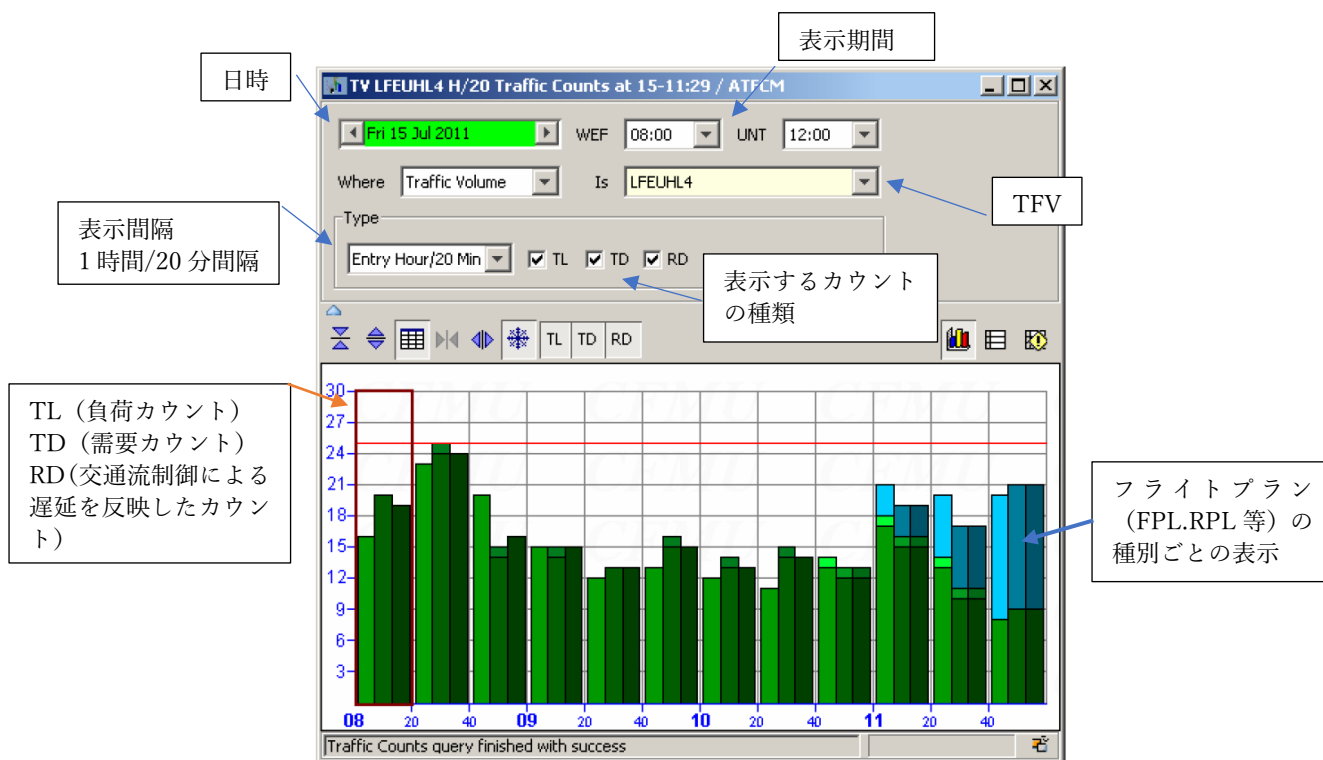
表3.4-1 負荷の監視手順 (概要)

担当	手順の概要
NM (Network Manager) : プレ戦術段階ではプレ戦術チームが、戦術段階では戦術チームが交通量の負荷を監視する。	以下のTFVに関する需要カウント (Demand Counts) とMVを監視(比較)する <ul style="list-style-type: none"> ・運用中のセクター ・空港 ・空港のセット ・重要な地点 等 負荷カウントを監視し、負荷カウントが宣言されたMVを超える場合、関係するFMPと実施する交通流管理手法につ

³⁵ 例えば、「負荷カウントがMVの110%を超えた場合、NMはFMPに対して状況の改善を図るための調整を行う」等が実施される。

担当	手順の概要
	<p>いて調整する</p> <p>FMPが、当初合意した以上の交通量を処理することに同意した場合はMVの値を更新する。</p> <p>実施した対策の効果をモニターし、必要であれば是正措置を講じる。</p>
FMP	<p>以下のTVFに関する需要カウントとMVを監視(比較)する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・運用中のセクター ・空港 ・空港のセット ・重要な地点 等 <p>MVを超える需要カウントが検出された場合、容量を増やすために以下の措置を検討する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・管制要員の配置の変更を調整する ・最適なセクター構成をNMと議論する ・追加のセクターをオープンする 等 <p>負荷カウントがMVを超える場合、必要な対策をNM戦術チーム/プレ戦術チームと調整する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シナリオの実行を戦術チームと調整する ・交通流制御の実施をNMに要請する <p>実施した対策の効果をモニターし、必要であれば是正措置を講じる。</p>

参考までに、図3.4-8にカウントの表示例を示す。



(参考) 図3.4-8 トラフィックカウント表示画面の例

(資料) EUROCONTROL Network Manager

COLLABORATION HUMAN MACHINE INTERFACE (CHMI) ATFCM Reference Guide

3.4.5.2 交通流制御手法 (ATFM Regulation)

過負荷が認識された場合、FMPとNMプレ戦術チーム/NM戦術チームとの間で予測される交通量と処理容量のバランスを図るために可能な代替案(シナリオ³⁶の実施等)を評価、検討する。より良い解決策がない場合は、交通流制御の実施をFMPからNMに要請する。NMが実施の必要性を認識した場合には関係するFMPに連絡を取り交通流制御の実施をFMPに提案する。

交通流制御の実施にあたり、対象とするTFVや、交通流制御の実施期間、レート

³⁷(単位時間内に受け入れ可能な機数)、交通流制御の実施根拠に関する調整を行う。

³⁶ 重大な影響が予想されるエリアについて、FMPやNMは、影響を与える交通流を特定して重大な影響を受けるエリアを回避する手段を提案する。これらの対策は、シナリオとして知られている。シナリオの作成に当たっては、NMと関係するFMPとの間でCDMによる調整が行われる。実施手法の詳細については、3.4.5.8を参照のこと。

³⁷ レートは、スロットの割り当てに関する数値で、例えば、30/60というレートは、1時間に30個のスロット(CTOT)が2分間隔で割り当てられることを示す。スロットについては、3.4.5.3で説明する。

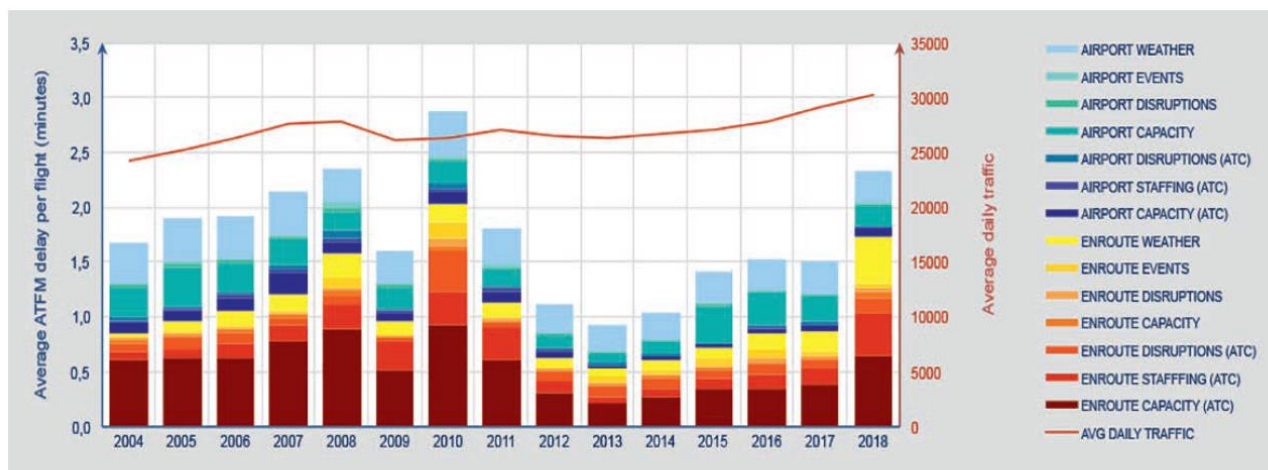
なお、ATFCMシステム（ETFMS/PREDICT）を使用して、交通流制御を適用した場合の作業負荷等のネットワークに与える影響を事前に確認することができる。

FMPは、交通流制御が負荷カウントに与える影響を監視し、NMは負荷カウントの表示を確認し交通流制御が正しく適用されていることを確認する。

NMは、AIM（ATFM Information Message）やNOPポータルにより、交通流制御により遅延が避けられないことを航空機運航者に通知する。

ATFCM運用マニュアルでは、「すべての（交通流制御による）規制（Regulation）は、外部関係者に対する説明や運用後の分析のために、その規制を説明できる根拠（Reason）を持たなければならない。規制の適用にあたり、最も適切な規制根拠を用いることが重要である。」と解説している。例えば、交通量が予想される処理容量を上回るために交通流制御が適用されるのであれば、「管制処理容量」を規制の根拠とすべきであり、ACCが予想された容量を提供できないために規制が適用されるのであれば、「管制要員の配置」が規制の根拠となる」と解説している。

図 3.4-9は、欧州における遅延の傾向を示したもので、縦軸は1日あたりの平均フライト数と1フライト当たりの平均遅延時間を表している。航空路と空港ごとに遅延の根拠が内訳表示されている。このデータから、航空路の遅延の中で、管制処理容量や要員不足、気象が大きな割合を占めているのがわかる。



Average ATFM delay per flight

図3.4-9 欧州における平均交通量（日単位）と平均遅延時間（分/機）
 (資料) Introducing the EUROCONTROL Network Manager Operations Centre
 EUROCONTROL 2019

交通流制御の実施期間中に対象となる監視空域（TFV）に入域するフライトは、以下の場合を除き、原則として交通流制御の対象となる。

- ✓ TFVの中で交通流制御の対象外として定義されたフローに属するフライト
- ✓ フライトは交通流制御の免除対象である（例：捜索救難活動、緊急避難、消火活動等）
- ✓ ATFCM管轄エリア外、及びATFCM隣接エリア外から出発するフライト
- ✓ フライトは、交通流制御が発出された時点ですでに飛行中である

3.4.5.3 スロットの割り当てとCTOT（Calculated Take Off Time）の発行

CTOTは、交通流制御の対象となった空域等（以下、「交通流制御対象地点」という。）を一定の間隔で通過させるために地上において遅延時間を割り当てるもので、出発機にスロットを割り当てることで算出される。

CTOTは、(EDCTと同様に) 航空機の離陸可能な時間を制限するもので、航空機はCTOTの5分前からCTOTの10分後までの範囲内に離陸することが求められる。航空機はこの時間帯に滑走路に到着し、出発の準備が整っていなければならない。この数分（-5分～+10分）の余裕は、航空管制官が当該出発機を他の航空交通に安全に統合させる（出発機のシーケンスに組み込む）ためのものとして設定されている。

CASAは、交通流制御対象地点ごとにスロットリストを作成し管理する。交通流制御の対象となったフライトには、CASAにより自動的にスロットリスト上の特定のスロットが割り当てられ、CTOTが発行される³⁸。

スロット割り当てのプロセスの概要を以下に示す。

- (1) CASAは交通流制御の対象となったフライトに対して、飛行計画のEOBTに基づき交通流制御対象地点の入域時刻（ETO）を算出する。
- (2) 算出したETOに基づきスロットリスト上で割り当てが可能なスロットを探す。割り当てられたスロットから制御対象地点の入域時刻としてのCTO（Calculated Time Over）を求める。
- (3) 算出したCTOから飛行計画上の経路情報に基づきCTOTが算出され、航空機運航者や管制官に送信される。

図3.4-10にスロット割り当てプロセスのイメージを示す。CASAが作成するスロットリストには、交通流制御の実施期間内に受け入れ可能な機数として「レート」が割り当てられる。例えば、1時間あたり30フライトの基本レートで4時間の期間を設定した場合、スロットリストには、120のスロットが2分間隔で配置されることになる。

³⁸ ATFCM 運用マニュアルでは、スロットを、「ネットワーク管理（NM）が発行するCTOT」と定義している。

各フライトには交通流制御対象地点の通過予定時間（ETO）に最も近い暫定的なスロットが与えられ、新規の飛行計画が入力されるたびに、スロットリストの内容が更新される。EOBTの一定時間前に、当該フライトのスロットの割り当てが確定し、CTOTが運航者と管制官に送信される。

図3.4-11にCTOTの算出プロセスの概要を示す。

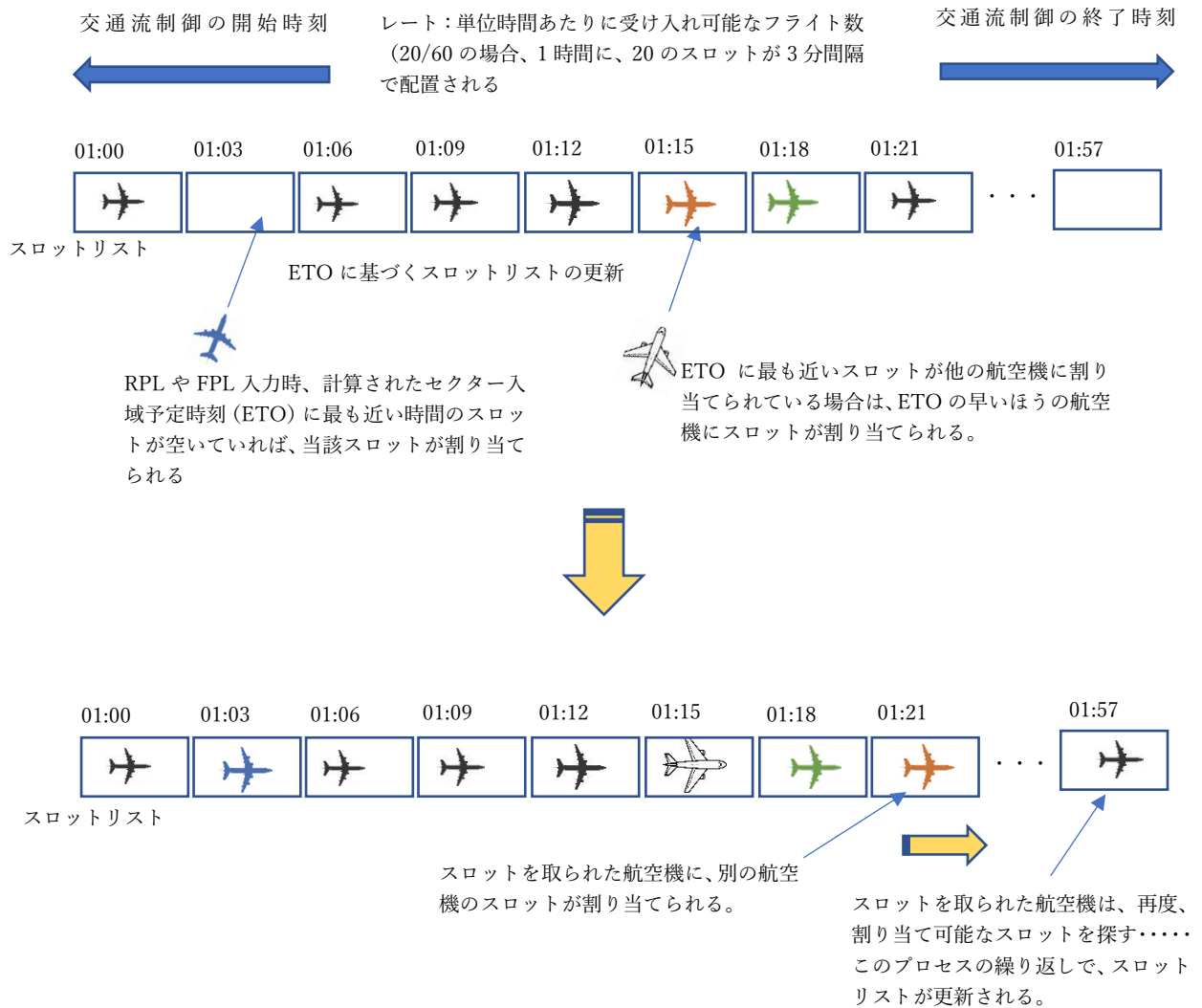
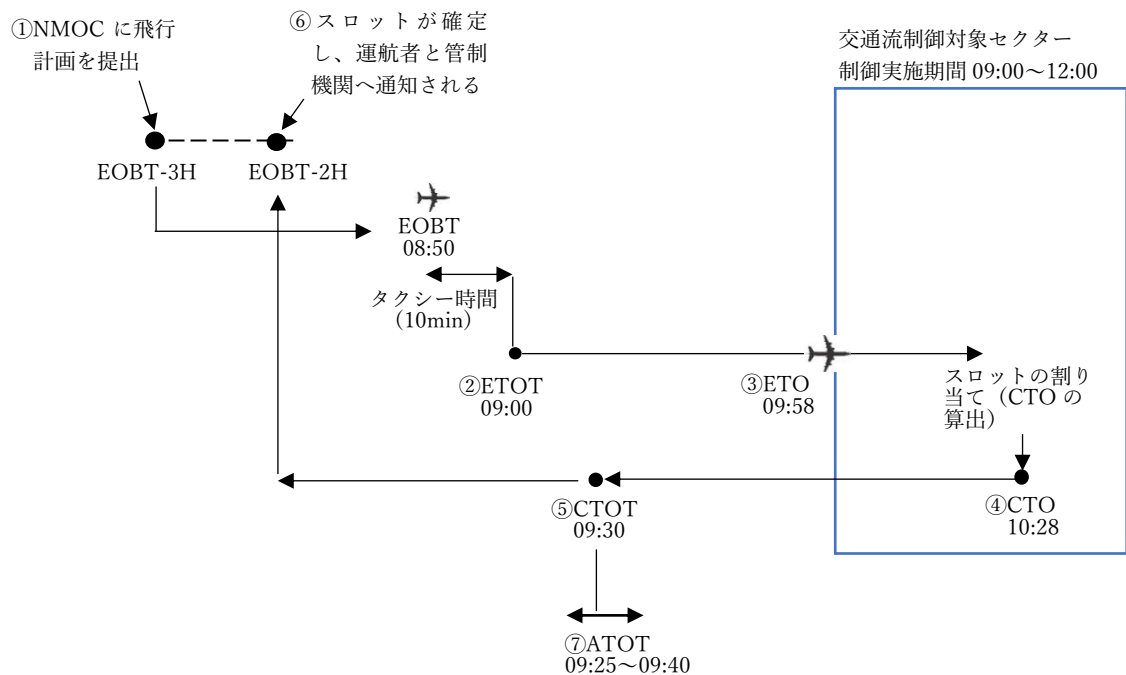


図3.4-10 スロットの割り当てプロセスのイメージ



- ① EOBT の3時間前までに、飛行計画を提出。
- ② (EOBT+タクシー時間)により、離陸予定時刻 (ETOT: Estimated Take-Off Time) を算出
例 08:50+10min=09:00
- ③ 飛行計画のプロファイルを使用して、対象空域の入域予定時刻 (ETO: Estimated Time Over) を算出
例 ETO=09:58 (所要時間=58min 09:00+58min=09:58)
- ④ ETOを使用してスロットが割り当てられ、CTO (Calculated Time Over) が算出される
例 CTO=10:28
- ⑤ CTO から、CTOT (Calculated Take-Off Time) を算出する
例 CTOT=09:30 (CTOT=10:28-58min)
- ⑥ EOBT の一定時間前 (SIT1: Slot Issue Time 1) に、割り当てられたスロットが確定し、CTOT が航空機運航者と管制機関に通知される。
- ⑦ CTOT-5min(09:25)~CTOT+10min(09:40)の間に離陸することが求められる。

* CTO と ETO の差 30 分 (=CTOT-ETOT) が、交通流制御によって割り当てられた遅延時間となる

図3.4-11 CTOTの算出プロセスのイメージ

航空機運航者はCTOTを遵守できないと思われる場合、最大10分のスロットの延長を要請することができる。延長が可能でない場合は、飛行計画の変更（DLA）によりEOBTを更新する必要がある。

TWRが運用上の理由によりCTOTの延長を要請した場合、可能な限りCTOTの延長が認められる。交通量負荷に悪影響を与える可能性がある場合は、関係するFMPと処理容量の追加を検討したり、交通量負荷の修正を検討する。大きな過負荷が避けられない場合はCTOTの延長は拒否される。

(1)CTOT の遵守

航空機運航者と管制機関は、共同でCTOTの遵守に責任を負う。

航空機運航者は、CTOTを遵守できるように、タクシー時間を考慮して余裕をもってスタートアップできるように出発計画を立てる必要がある。運航者は、その時点で実施されている交通流管理手法の内容について十分に理解しておく必要がある。

管制機関は出発空港におけるCTOTの遵守状況の監視責任を負う。監視手続きの詳細は、空港の管制組織によって異なるが、以下の要件は、全ての場合に適用される。

- ✓ 加盟国は、CTOTが適用される場合、ATCクリアランスの一部としてCTOTが含まれることを保証する。管制官はクリアランスを発出する際に、適用されるスロット、または飛行の一時停止を考慮するものとする。
- ✓ CTOTの遵守を監視する管制機関に対して、実施中の交通流管理手法やCTOTに関する必要な情報が提供されるものとする。
- ✓ 管制官は、運航者がCTOTを遵守できるよう、またCTOTの変更に係る調整に関して、可能な限りの支援を提供するものとする。
- ✓ 管制官は離陸許可の発出に際して、スロット許容範囲（-5'~+10'）を適用して離陸許可を発出することができる。
- ✓ 管制官はCTOTを満たせない航空機に対して、NMとの調整が行われCTOTが変更されるまで、当該航空機のスタートアップの許可を拒否することができる。

(2)複数の交通流制御の適用

1つのフライトが複数の交通流制御対象地点を通過することで、複数の異なる交通流制御が適用される場合がある。その場合、最も遅延時間の大きい交通流制御の規制（MPR Most Penalising Regulation）に従って、スロットが割り当てられる。図3.4-12は、3か所で交通流制御による規制を受けるフライトの例を示している。遅延時間の最も大きいCTO-2での遅延時間（30分）により、出発空港でのCTOTが計算される。

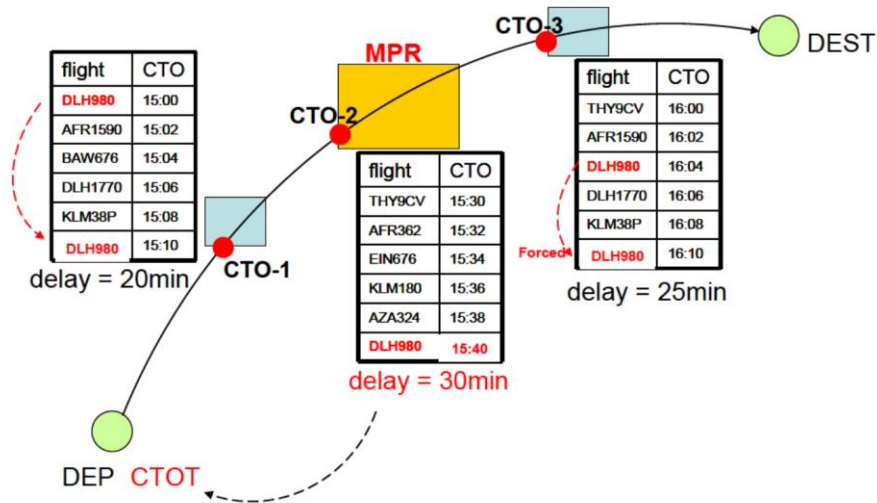


図3.4-12 複数の交通流制御を受けるフライトのCTOTの割り当て (イメージ)
 (資料) EUROCONTROL SESAR Optimised Airspace User Operations 07.06.02

(3) スロットの交換

スロットの交換は、航空機運航者またはFMP/TWRからの要請に基づいて、交通流制御の対象となっている2つのフライトのスロットを交換するものである。FMPは、同じ運航者の2つのフライト、または空港での重要なイベントがある時には任意の異なる運航者のフライトのスロットの交換を要求することができる。

航空機運航者は、自社のフライト、または双方の運航者においてフライトの交換について正式な合意がある場合にのみ、交換を要請することができる。

スロットの交換の実施条件を以下に示す。

- ✓ TWR、FMPのいずれかが航空機運航者からのスロット交換の要請を受けている。
- ✓ 関連する2つのフライトに、既にスロットが割り当てられている。
- ✓ 両機は、同一の交通流制御対象地点において、両機にとって最も遅延時間の大きい交通流制御の対象となっていること。
- ✓ 航空機運航者は2つのフライトのスロットを1度だけ交換することができる。
 (一度スロット交換されたフライトを後で他のフライトと交換することはできない。) なお、FMPからのスロット交換の要請に対しては、NMの承認が得られれば原則として1フライトにつき3回までスロットの交換が認められる。

図3.4-13にスロットの交換の例を示す。A機とB機のスロットの交換は、両機にとって最も遅延時間の大きい交通流制御対象地点（MPR）におけるCTOの交換により実施される。（CTO-AとCTO-Bの交換が行われる。）その後、A機に対してCTO-Bを使用し、B機に対してはCTO-Aを使用してそれぞれのCTOTの再計算が行なわれる。

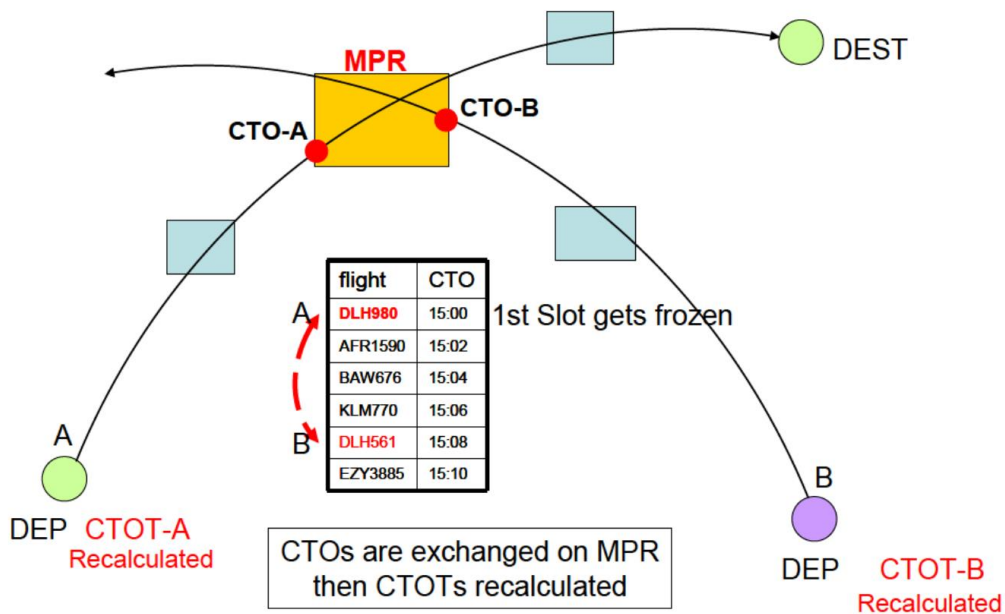


図3.4-13 スロットの交換とCTOTの再計算

(資料) EUROCONTROL SESAR Optimised Airspace User Operations 07.06.02

NM戦術チームは、航空機運航者またはFMP/TWRからスロットの交換の要請を受けた場合、スロットの交換がネットワークに与える影響を確認する。ネットワークに悪影響がある場合は、影響を受けるすべてのFMPが同意しない限りスロットの交換を拒否する。条件を満たし、ネットワークに大きな影響がない場合は、2つのフライトのスロットを交換する。

3.4.5.4 交通流制御の内容の変更（修正）

交通流制御の変更に係る決定の最終的な判断はFMPが行う。FMPがNM戦術チームに変更内容をタイムリーに通知することが、安全上のリスクを減らすために特に重要である。

規制レート（単位時間当たりのスロットの受入れ機数）や交通流制御の適用期間を修正する場合、変更による状況の改善や悪化、交通流制御終了時における交通の

集中の回避の必要性等を、交通流制御の変更に反映させる必要がある。規制レートや適用期間の変更が行われると、関連するすべてのスロットが再計算されるため、ネットワークに対して大きな影響を与える可能性があることに注意する必要がある。

FMPは、規制レートの変更や適用期間の変更について、可能な限り早くNM戦術チームに通知し、交通量の負荷とフライトリストに対する変更の影響を監視する必要がある。NM戦術チームは、関係するFMPに変更の内容を確認後、交通流制御の内容を修正する。なお、既に交通流制御が開始されている場合は、開始時刻の変更は行わない。NM戦術チームは交通流制御の内容を変更した後、交通量の負荷や遅延に係る数値、スロットの割り当て状況をチェックする。

規制レートを変更せずに、短期的に追加レート（例：1/60、2/60）を割り当てることができる。追加レートを加える場合、FMPはNM戦術チームと調整し、規制レートの値を追加レートの分だけ増やす。その後、交通量の負荷とフライトリストに及ぼす影響を監視する。

追加レートにより規制レートを上げた場合は、スロットの再計算は行われなため、容量を更新する場合、最初の期間は追加レートを使用して、規制のレートを上げることが推奨される。

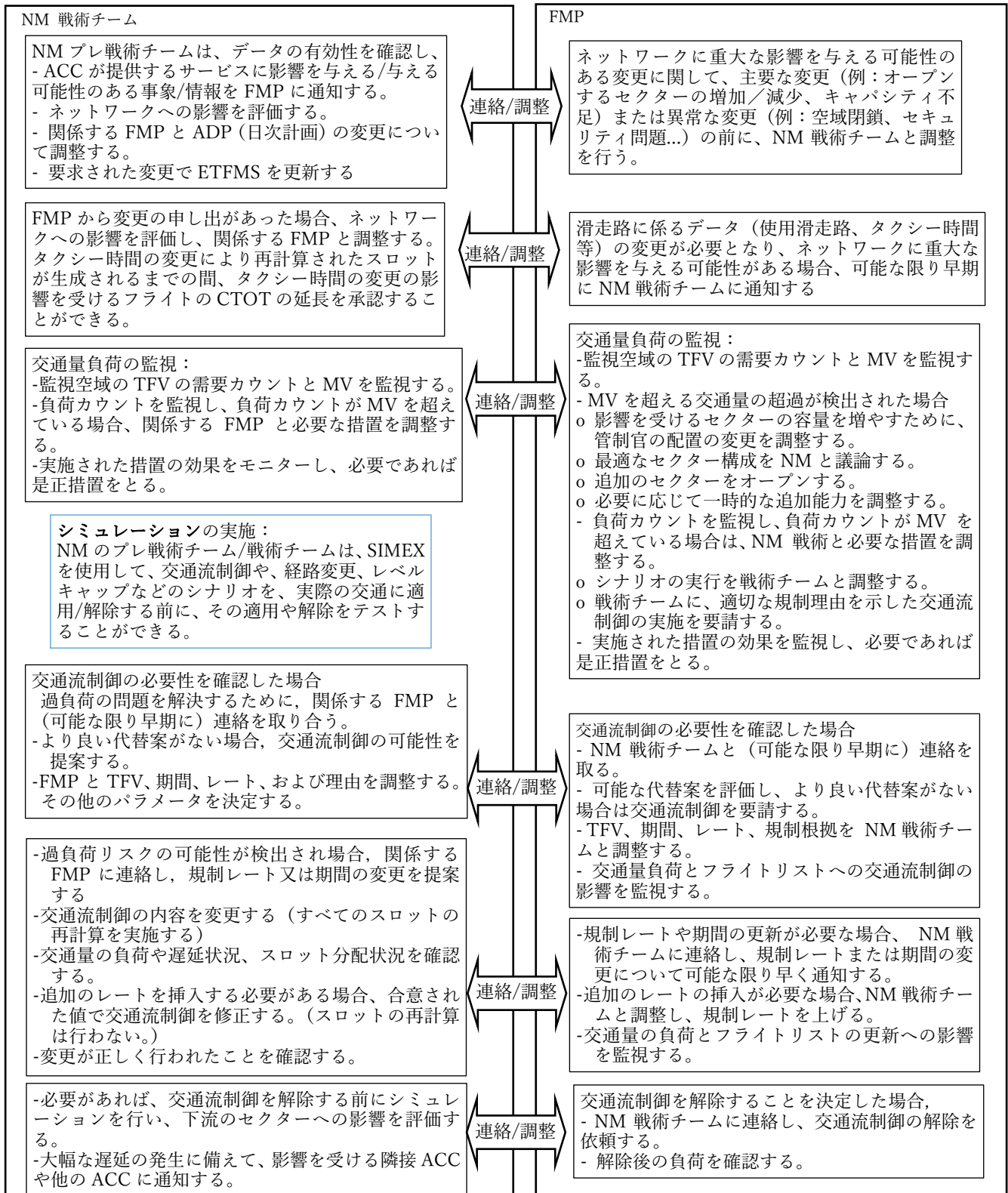
3.4.5.5 交通流制御の解除

交通流制御はその必要がなくなった場合に解除される。

交通流制御の解除が必要であると判断した場合、FMPはNM戦術チームに交通流制御の解除を依頼する。NM戦術チームは、交通流制御を解除する前にシミュレーション等を実施し、解除が下流のセクターに及ぼす影響や、隣接ACCへの遅延の影響を評価することができる。交通流制御を解除する場合、NM戦術チームはETFMSを使用して交通流制御を取り消し、その後、交通量の負荷を確認する。

表3.4-2に交通流制御の実施に係るNMとFMP間の調整の概要を示す。

表3.4-2 交通流制御の実施に係るNMとFMP間の調整の概要



3.4.5.6 チェリーピック (MCP: Mandatory Cherry Pick Regulation)

混雑するエリアの短いピーク (例えば1時間や1時間30分) を解決するための対策として、MCP (強制的なフライトの選択) を使用することができる。これは、空域内の航空交通に「複雑さ」をもたらしている特定のフライトを選択して交通流制御 (遅延の強制) を実施するものである。他の対策 (シナリオなど) や、FMPで利用可能な他のオプションと組み合わせて使用することもできる。MCPの対象となるフライトの選択はFMPが行い、フライトの遅延は20分を超えないものとする。

MCPの適用を決定した場合、FMPはフライトリストの中から複雑性を引き起こしているフライトを特定する。同一の運航者の複数のフライトが候補に挙げられる場合や、そのうちのいずれかのフライトがFL管理の候補となっているような場合には、運航者がMCPの対象となるフライトを選択することを可能とするよう検討する。FMPはMCPの適用に際して、対象となるセクター名やセクターに係るTFV、セクター内に存在するフライト (同時管制下機数) がピークとなる時間帯、MCPの対象となるフライトのコールサイン、フライトに適用するCTOT等をNM戦術チームに通知する。

NM戦術チームは、FMPからの依頼を受けて、MCPの実施により影響を受けるセクターに利用可能な容量があるか、隣接するACCにどのような影響が出るか等を評価し、MCPの対象となったフライトを安全に処理できるかどうかを確認する。安全が確認できない場合はMCPの適用は拒否され、FMPに報告される。

安全が確認できた場合、NM戦術チームはFMPから提供された情報に基づき、MCPを適用する。FMPが指定したフライトを選択し、スロットリスト上において (指定された) CTOTを当該フライトに強制的に割り当てる。

MCPは、空港における到着機のピークを解消するために使用されることもある。この規制 (ACP: Airport Cherry Pick Regulation) は、単一のACC空域内、または隣接する2つのACC間を飛行するフライトに適用され、MCPと同様のメカニズムにより、対象となったフライトに対して、スロットリスト上で特定のCTOTが強制される。

3.4.5.7 ETFMSによる経路変更 (Rerouting)

ネットワークに重大な障害が発生した場合や、特定のエリアにおいて大きな遅延が発生しているような場合、NM戦術チームはその影響を軽減するために、大幅に遅延しているフライトを特定し、より効率的な経路を提案する。

ETFMSによる経路変更は、管制処理容量の問題を解決し遅延を最小限に抑えるために、航空機運航者に代替経路/FL (飛行高度) を申請させる交通流管理手法の1つで、特定の空域における負荷を軽減するために、交通流を強制的に迂回させる。

代替経路の算出は、ETFMSを使用して行われる。ETFMSは飛行経路だけでなく

高度制限の可能性を考慮し、発生する遅延や、飛行マイル、ルートチャージ（経路通過料金）の情報を算出する。算出結果に基づき、NM戦術チームは、更新されたCTOTとともに代替経路案を運航者に照会する。なお、航空機運航者が経路案に同意した場合、更新されたCTOTを確定するために、航空機運航者はCHGメッセージや飛行計画の再提出により飛行計画を更新する必要がある。

3.4.5.8シナリオの実行

混雑が予想されるエリアについて、FMPやNMがいくつかの交通流を特定し、当該エリアを回避する経路案を提案することがある。これらの対策は、シナリオとして知られている。

シナリオは、ネットワーク容量のボトルネックの解消や、ANSPの特定の運用ニーズに対するATFCMの解決策である。NMの担当者は関係するFMPと連携して交通量を混雑するセクター／エリアから移動させて（交通を分散させて）、遅延を全体的に減少させるか、あるいは規制（交通流制御）の実施を防止することを目的として、あらかじめ定義されたいくつかのシナリオを使用することができる。

これらのシナリオは経路シナリオ（Routing Scenario）とも呼ばれ、強制的な指示を伴う義務的(mandatory)なもの、代替案としての勧告的(advisory)なものがある。利用可能なシナリオの一覧は、NOPポータルで発表される。

シナリオの実施に係る調整は、プレ戦術段階ではNMプレ戦術チームが、戦術段階ではNM戦術チームが行うが、シナリオは通常、プレ戦術の段階で調整され実行される。戦術的な段階で実施する必要性や要求があった場合、それが本当に必要なのか、または個々のフライトの選択（MCP 3.4.5.3参照）等のような他の手段では不十分なのかを検討する必要がある。

(1) 強制的な経路変更シナリオ

必要とされる経路変更の種類に応じて、以下の2つに分けられる

a) 経路変更シナリオ（RRシナリオ：Rerouting Scenario）：

特定のエリアにおける交通量の負荷を軽減するために航空機を強制的に迂回させる。RRシナリオの影響を受ける場合、運航者はRR要件を満たすように飛行計画を提出/再提出をしなければならない。

b) レベルキャッピングシナリオ（FLシナリオ：Flight Level Capping Scenarios）：

FLシナリオは、ETFMSによって実施される高度制限による経路変更シナリオである。FLシナリオの影響を受ける場合、運航者はFLシナリオの要件を満たすように飛行計画を提出/再提出しなければならない。（例：A空港からB空港へ向かうフライトをFL245以下で申請する）

(2) 勧告的な経路変更シナリオ

- c) 代替経路シナリオ (AR Alternative Routing) : 特定のセクター/エリアのトラフィックをオフロードするために例外的に用意された代替経路を提案する。

図3.4-14に、シナリオの例を示す。このシナリオは、ストックホルムの空港 (ESSA, ESSB) から出発して、ベルギー国内空港 (EB..) やオランダのアムステルダム空港 (EHAM)、フランスの一部の空港 (LFP.) に到着するフライトに対する経路変更シナリオ (RR) で、コペンハーゲンACCの東南のセクター (赤色) を回避する代替経路が提案されている。西側を通る代替経路 (緑色) と東側を通る代替経路 (黄色) が提案されていて、代替経路により負荷が増加するセクターと負荷が減少するセクターが記載されている。



代替経路の提案

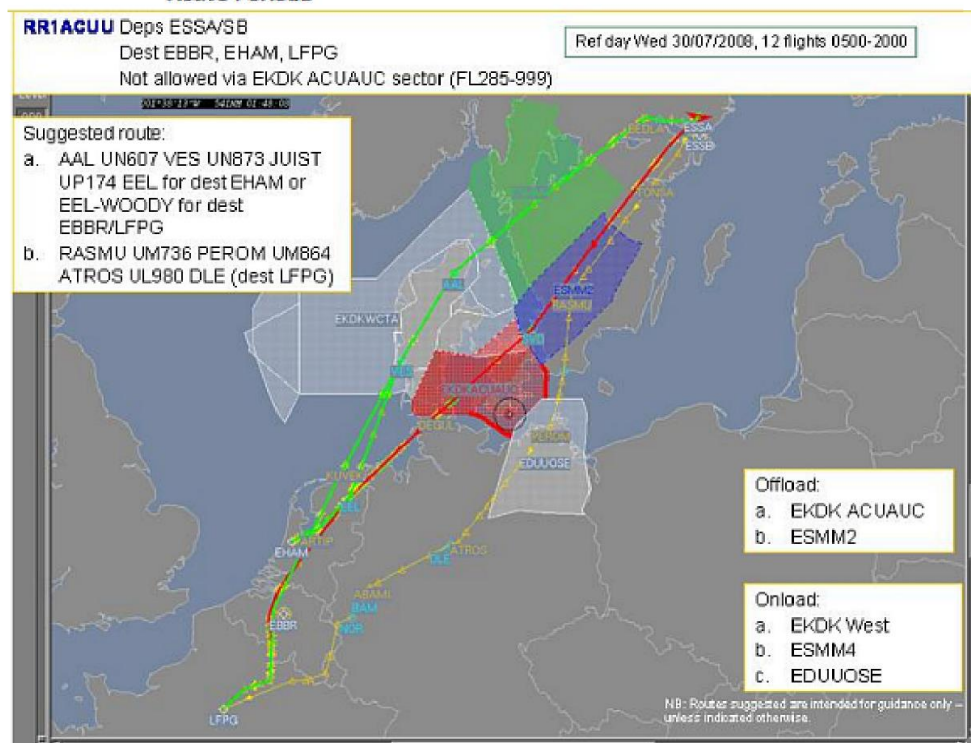


図3.4-14 RRシナリオ (例)

(資料) ユーロコントロール NOPポータル

https://www.nm.eurocontrol.int/HELP/Consuting_a_Scenario_Details.html

3.4.5.9 FMPによる戦術的交通流管理手法 (STAM)

FMPは、航空機の出発前後に、以下に示す様々な戦術的対策を行うことができる。これらの戦術的な交通流管理手法 (Short Term ATFCM Measures 以下、「STAM」という。) により、交通量のピークを下げ、セクター作業量を平準化することができる。例えば、小規模な地上での遅延、レベルキャッピング、小規模な経路変更などを限られたフライトに適用し、交通流の複雑さの軽減を図るようする。

STAMは、交通流の複雑さを軽減し、管制官の作業を合理化することで、処理容量と安全性を向上させることを目的としている。

STAMの実施により交通流制御の実施回数を減少されることが期待でき、現在、オキュパンシーカウントの値に基づいたSTAMが、多くのFMPにより実施されている。

これらの対策の実施にあたり、NMOCとの事前調整の必要はないが、事前にNM協定 (NM Agreements) を締結することが求められる。

(1) FL管理 (Level Capping)

この措置は、例えば、「X空港から出発する全てのフライトはABC地点の上空までFL XXX以下を維持しなければならない」のように、特定のフライトに高度の制限をかけるもので、目的は、フライトに対して一時的に低高度で飛行するように制約することによって、そうでなければ過負荷になる高高度セクターを保護することにある。これは、上昇を遅らせるか、最初の下降を早めることによって行われる。この措置は、自ACC内や隣接するACCの高度プロファイル (Vertical Profile) に影響を与える可能性がある。ACCは、当該措置を開始する前にACC間で必要な調整を整える必要がある。この措置が自ACCの下限高度より下 (例: 低高度ACC内) を飛行するフライトや隣接するACCのフライトに提案された場合、運航者は、IFPSに対して飛行計画を再ファイルするようACCから要請される。

(2) 経路シナリオ (Route Scenarios)

ACC内で交通流を強制的に迂回させてトラフィックを分散させ、セクターの複雑さと管制機数を減らすために、戦術的な経路変更を実施することができる。

(3) 最小出発間隔 (MDI: Minimum Departure Interval)

MDIは、特定の空港から特定方向に離陸する連続する出発機に一定の間隔を確保することを求めるもので、ACC空域内での交通流制御の必要性を回避することを目的としている。この制限はCTOTの割り当てに似ているが、この措置の適用が一時的である点が異なる。なお、この措置の適用により、EOBTやCTOTの遵守の要件が緩和されることはない。

MDIは通常、戦術段階で短期間使用され、ACCの管轄空域より低高度のACCやACCの管轄空域に隣接する主要空港に要請される。実施にあたり、隣接するFMPや空港との間で直接調整する必要がある。

(4) マイル・イン・トレイル (MIT: Miles in Trail)

MITは、特定のルートにおいて連続する航空機の間最小限のマイル・イン・トレイルの間隔設定を求めることで交通流を規制するものである。

MITは、ACC内のセクター間や隣接するACC (FMP) との間で調整される。

MITは通常、戦術段階で短期間使用される。

FMPは、NMOCが提供するCHMI³⁹を使用して、ETFMSやPREDICT、SIMEX等にアクセスし、作業負荷の監視や交通流制御の実施の判断、STAMの実施等に役立っているが、一部のANSPでは、独自のアプリケーションを整備して交通流管理に活用している。以下に、MUACとLVNL⁴⁰の例を示す。

MUACは、ATFCMに係る意思決定ツールとしてiFMP (Integrated Flow Management Position)を整備し、2016年4月から運用を開始している。iFMPSは、より正確な交通状況の予測を可能にするために、以下のような様々なデータを統合している。

- ✓ MUACの飛行データ処理システムによる予測軌道データ
- ✓ NMのETFMSが作成するフライトデータ情報 (セクター入域時刻、CTOT等)
- ✓ MUACの要員配置計画ツール (Time Zone) によるセクターのオープン計画
- ✓ 軍事エリアの使用計画
- ✓ 関連空港の気象情報

ユーロコントロールは、iFMPが提供する機能を以下のように解説している⁴¹。

- ✓ セクター構成の提案：
セクターの負荷状況を監視して過負荷/過少負荷となる期間を自動的に識別し、最適なセクター構成を提案する。
- ✓ 交通流の複雑さの予測：
経路上での上昇/降下の混在やセクター内の複数地点における交通の集中等の、「交通流の複雑さ」で重みづけしたオキュパンシーカウントを使用して、交通量と処理容量の不均衡を表示する。(iFMPに実装された複雑性の測定基準

³⁹ Collaboration Human Machine Interface (CHMI) : NMOC のネットワーク管理システムのインターフェースを提供するスタンドアロンアプリケーション

⁴⁰ Luchtvaart verbindt Nederland オランダの管制サービスプロバイダー

⁴¹ (参考) <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/factsheet-ifmp-22022017.pdf>

(Complexity metrics) を使用して、交通流の複雑性を評価する。)

- ✓ TSA(Temporary Segregated Areas)の管理：
軍事活動が交通流やセクターの処理容量に与える影響を評価する。軍事計画情報を収集し、計画の内容に応じてセクターの処理容量を調整する。
- ✓ 交通状況の地理的表示：
交通流の予測を地理的に表示することで、FMPが交通流の複雑性を把握するのを支援する。
- ✓ FL管理や経路変更シナリオ、速度制限などの短期的なATFCM対策 (STAM) をリアルタイムでテストし、NMや隣接ACCと電子的に調整することを可能にしている。

iFMPの画面イメージを図3.4.15に示す。

オキュパンシーカウント (分単位)
によるセクター負荷状況の監視

交通状況の表示

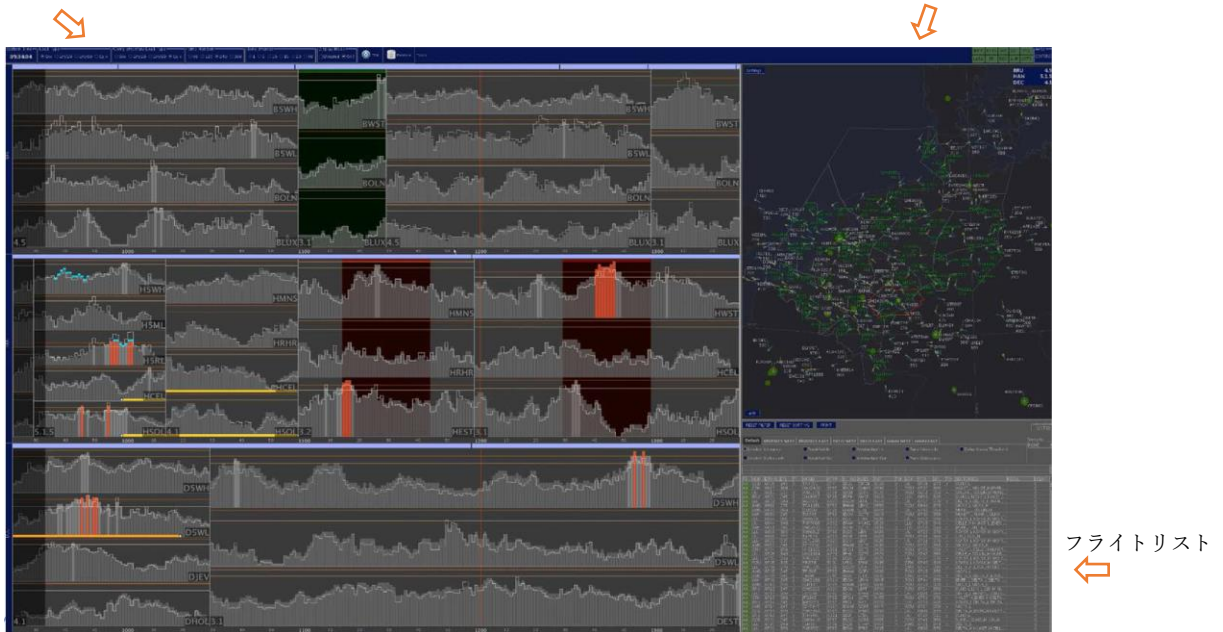


図3.4-15 iFMP画面イメージ

(資料) MUAC Flow & Capacity Management Improvements using AI FLY AI Webinar 30-Jun-2

iFMPに加えて、MUACはATMポータル⁴² (ATM Portal) と呼ばれる、関係者が協調してデータや情報を共有するプラットフォームを整備している。

ATMポータルは、航空機運航者や交通流管理システム、FMP、ネットワーク管理

⁴² (参考) <https://www.eurocontrol.int/portal/muac-atm-portal>

等の関係者のデータを（MUACの）交通予測ツールに統合することで、航空機運航者に様々なサービスを提供している。

ATMポータルが提供するサービスの概要を以下に示す。

✓ クリティカル・フライトの監視：

（交通流制御の対象となっているか、否かに関わらず）乗客のクレームにつながるような長時間の遅延を検知し自動的に表示する。また、空港のカーフェュ時間に近いフライト等を確認することもできる。

FMPは、経路変更のようなSTAMを実施したり、交通流制御の対象から除外する際の判断において、これらのフライトを考慮することができる。

✓ 優先順位の高いフライトの監視：

航空機運航者は、ATMポータルを利用して、航空機の運航に優先順位をつけることができる。これにより、MUACがどのフライトを重点的に支援すべきかを知ることができる。

✓ スロットの改善支援：

交通流制御が実施されている場合、NMと連携し最適なスロット改善策を検討する。

✓ 飛行前のチェック：

ATMポータルには、航空機運航者が提出した飛行計画の飛行経路と、利用可能な経路のデータベースを比較するシステムが組み込まれている。より短時間で効率的な経路が存在する場合は、可能であれば運航者に経路変更の提案が送信される。

LVNLは、2016年3月にアムステルダムACCに作業負荷監視モデル（Workload Model 以下、「WLM」という。）を導入し、交通量と交通の複雑性に基づく作業負荷の監視を行っている。

WLMは管制官の作業負荷を予測するツールで、以下の事項に関して、ACCスーパーバイザーやFMPの業務を支援する。

✓ セクター管理：

作業負荷を監視し、要員の配置やセクター構成の変更等に関する意思決定を支援する。

✓ 交通流管理：

交通流制御の実施の決定は、引き続き交通量カウントに基づき行われているが、WLMによる作業負荷と交通量カウントを比較することで交通流制御の実施に関するより正確な判断が期待できる。WLMの情報を使用することで、より精度の高い交通流制御の実施が見込まれる。

WLMは、ETFMSから取得するフライトデータを使用して、管制官の作業負荷を算出する。管制業務を管制移管等の「定型業務」と「コンフリクションの検出と解決」に分け、特定の飛行経路や交通流ごとにこれらのタスクがどの程度要求されるかを算出する。また、「コンフリクションの検出と解決」は、飛行する経路や経路の組み合わせに応じて以下の事項を考慮して重みづけされ、0~4の5段階の加重スコアに分類される。

- ✓ 利用可能な空域
- ✓ 経路と交差点の幾何学的な配置
- ✓ コンフリクションの解決に利用可能な時間

従来、セクターの処理容量は1時間あたりに処理可能な最大交通量として定義されているが、WMLでは、「作業負荷のピークは、(1時間よりも)もっと短い時間枠で発生する。」という考えから、20分間隔の時間枠(例 10:00-10:20,10:05-10:25・・・)で作業負荷を表示する。この時間枠に存在するフライトに対して、フライトデータの内容に対応する特定の経路が割り当てられ、経路上に分布する交通量と加重スコアを使用して、管制官の予測作業負荷が計算される。

最大作業負荷の閾値は、通信回数や、航空機に発出する指示の回数、(自己評価形式の)作業負荷の測定に基づいて設定されている。

(参考) 表3.4-3 タスクの難易度に基づく加重平均

荷重スコア	コンフリクションの解消に関する制約（経路上の制約）
0	<ul style="list-style-type: none"> ・ No significant lateral, vertical or time limitations コンフリクションの解決に係る水平方向/垂直方向、及び時間的な制約はない
1	<ul style="list-style-type: none"> ・ Lateral limitation along the route; 経路上の水平方向に制限がある ・ Vertical limitation along route (temporary); 経路上の垂直方向に制限がある（一時的） ・ Ample time (flight distance) along a route to adhere to procedures and to manage conflicts. コンフリクションの解決のための十二分な時間（飛行距離）がある
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ Lateral limitations along a part of the route; 経路の一部において水平方向制限がある ・ Vertical limitations along route (available flight levels limited, <9); 経路上に垂直方向の制限がある（利用可能な高度帯<9） ・ Available time sufficient (flight distance) along a route to adhere to procedures and to manage conflicts. コンフリクションの解決のための十分な時間（飛行距離）がある
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ Lateral limitations along one side (distance < 10NM); 経路上の片側に水平方向の制限がある（距離<10NM） ・ Vertical limitations along route (available flight levels limited, <6); 経路上の垂直方向に制限がある（利用可能な高度帯<6） ・ Available time limited (flight distance) along a route to adhere to procedures and to manage conflicts. コンフリクションの解決のために利用可能な時間（飛行距離）が制限される
4	<ul style="list-style-type: none"> ・ Lateral limitations on both sides of route; 経路の両側に水平方向の制限がある ・ Vertical limitations along route (available flight levels very

荷重スコア	コンフリクションの解消に関する制約（経路上の制約）
	<p>limited, <3);</p> <p>経路上、垂直方向の制限がある（利用可能な高度帯の数が非常に限られる）</p> <ul style="list-style-type: none"> Available time very limited (flight distance) along a route to adhere to procedures and to manage conflicts. <p>コンフリクションの解決のために利用可能な時間（飛行距離）がほとんどない</p>

図3.4-16にWLMの表示画面（例）を示す。「Workload View」には、特定のセクターに係る20分ごとの予測作業負荷が表示される。作業負荷はACC内の主要な交通流ごとに色分け表示される。「Traffic View」には、特定のセクターに入域するフライトが20分ごとに表示される。「Workload Dashboard」には、各セクターの予測作業負荷が表示される。「Flightlist」には「Workload View」で指定された特定の20分間のフライト情報の詳細が表示される。

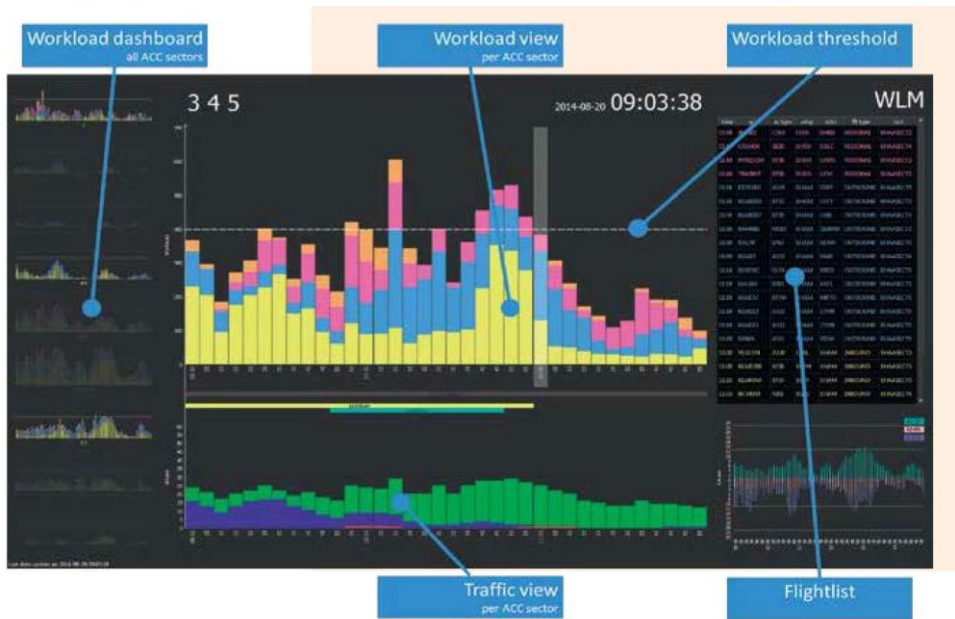


図3.4-16 ワークロードモデル表示画面（例）
 (資料) EUROCONTROL HindSight 21 Summer 2015

3.4.5.10 EU Restriction

交通流管理手法の1つとして、大規模な軍事演習や緊急時の対応等のために、NMによりEU Restriction（飛行の制限）が適用される可能性がある⁴³。

EU Restrictionには、以下の2つの特徴がある。

- ✓ 飛行計画は、IFPSによって無効とされる（拒否される）ためにETFMSによる遅延は発生しない。
- ✓ より精度の高い交通流の補足が可能となる。

NMは関係するFMPとのCDMプロセスを通して、以下の点を考慮（評価）してEU Restrictionの適用を決定する。

- ✓ 対策が効果を発揮するまでの十分なリードタイム（少なくとも2時間前）を確保する。
- ✓ 計画された大きなイベントや戦術段階における混乱があり、短期の改善が見込まれない状況という確証があること。
- ✓ 最低1時間程度の実施が必要となること。
- ✓ EU Restrictionが公式の情報（NOTAM, AIP Supplement等）に基づくものであること。

3.4.5.11 ATFCM隣接エリアにおける交通流管理手法の実施

NMOCは、隣接エリアのFMPに対して、限定的な交通流管理サービスを適用している。提供されるサービスのレベルは、NM協定に明記されていて、隣接エリアから出発しNMOC管轄エリアに入るフライトは、交通流管理手法の対象となる場合がある⁴⁴。

ATFCM隣接エリア（参考 3.4.1）のFMPは、自身のFIR内やFIR境界の重要な地点における交通流管理手法を実施することを、NMOCに要請することができる。この要請は、管制能力に問題があるような場合や、ATMに混乱が発生したような場合に限られる。

FMPから対策に実施に係る要請を受けた場合、NM戦術チームは、その対策がネットワークに与える影響を評価する。経路変更シナリオの実施のような場合は、影響を受ける他のFMPとも調整を行う。隣接エリアのFMPとNMOCが交通流管理手法の実施に関して合意した場合は、当該対策をETFMSに取り込み（ETFMSで実施できるようにし）、適切な手段（NOPポータル、運航者へのメール等）で関係者に通知する。

⁴³ EU Restriction の内容については、https://www.nm.eurocontrol.int/RAD/common/EU_EURO.html に説明されている。

⁴⁴ この措置は、ネットワークの問題を解決するためのもので、例えば、紛争地域の上空を避けるための経路変更（RR）のような例外的な措置に限られる。

3.5 交通流制御の実績

本節では、ユーロコントロールが提供している統計データに基づき、2017年~2019年の交通流制御の実績について調査した結果を示す。調査にあたり、以下のWebサイトを参考にしてている。

(1) PRU (Performance Review Unit) Data Dashboard⁴⁵

(2) EUROCONTROL Aviation Intelligence⁴⁶

3.5.1 MUACにおける交通流制御の実績

表3.5-1にMUACの交通流制御の実績を示す。2019年の交通流制御の対象となったフライト数は、2018年に比べて約73%減少し、遅延時間の合計も約78%減少している。交通流制御対象機の平均遅延時間は、約3.5分減少している。

表3.5-1 MUACに係る交通流制御の実績

(参考) <https://www.eurocontrol.int/Economics/BalancedScorecard.html>

MUAC交通流制御の実績	2017年	2018年	2019年
Number of flights 年間交通量 (機)	1,848,581	1,872,690	1,862,754
Average number of flights per day 平均交通量 (日)	5,065	5,131	5,103
Number of delayed flights 交通流制御実施機数 (機)	84,003	86,254	23,058
Share of delayed flights 交通流制御実施機数の年間交通量に対する割合 (%)	4.5%	4.6%	1.2%
En-Route ATFM delay ⁴⁷ 交通流制御による遅延時間 (航空路) の合計 (分)	1,232,634	1,482,997	316,089
En-Route ATFM delay per flight 1フライト当たりの平均遅延時間 (分)	0.67	0.79	0.17
En-Route ATFM delay per delayed flight 交通流制御対象機の平均遅延時間 (分)	14.67	17.19	13.71

⁴⁵ <https://www.eurocontrol.int/prudata/dashboard/data/>

⁴⁶ <https://www.eurocontrol.int/Economics/BalancedScorecard.html>

⁴⁷ 航空路上における制約 (過負荷) により出発機に対して実施された交通流制御

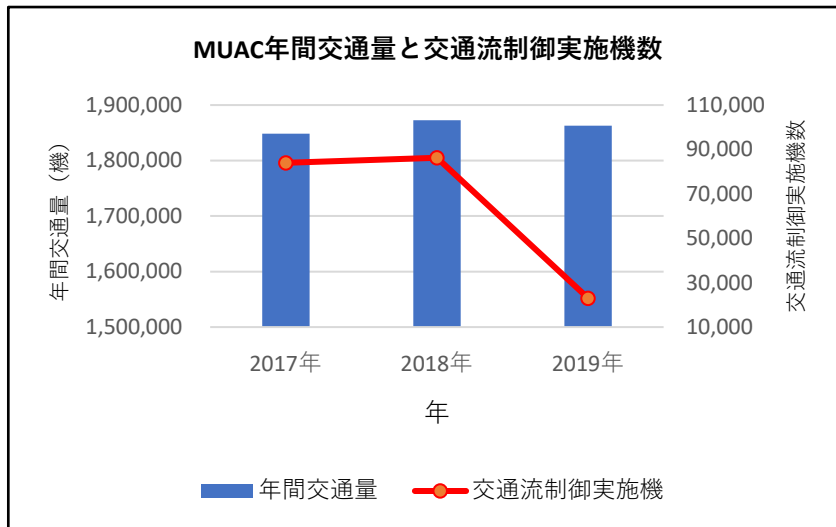


図3.5-1 年間交通量と交通流制御実施機数の推移 (2017年~2019年)

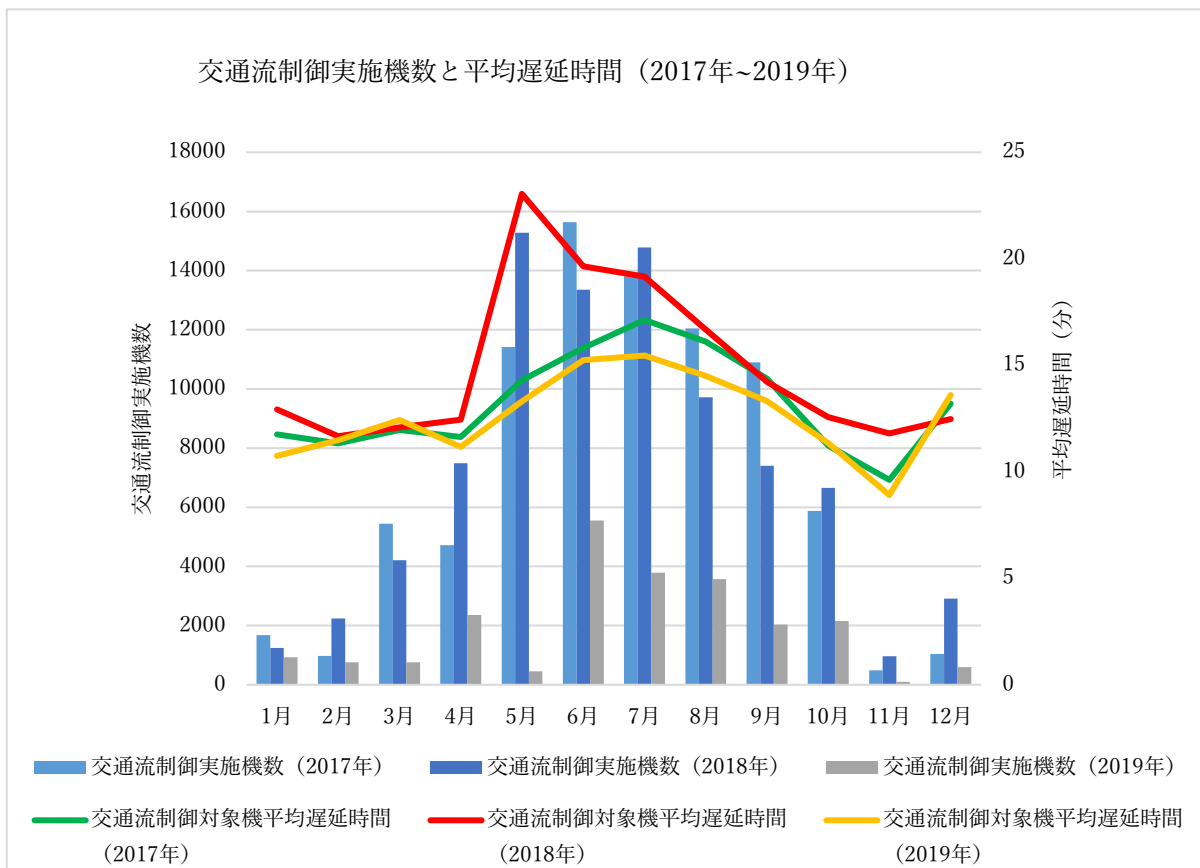


図3.5-2 交通流制御実施機数と交通流制御対象機の平均遅延時間 (2018年、2019年)

図3.5-3は、2015年~2019年のMUACにおける遅延時間の合計と交通流制御実施理由 (内訳) を示したものである。2018年に比べて2019年の遅延時間の合計は大幅に減

少している。また、遅延理由に関しては、全体をとおして管制処理容量と気象による遅延が大きな割合を占めていることがわかる。

3つのセクターグループの中でブリュッセル セクターグループが高い遅延時間を示している。特に、2018年においては、管制処理容量、要員不足、および気象により遅延遅延時間が合計が増加している。MUACは、Annual Report 2019の中で、「ブリュッセル セクターグループの東部は、様々な重要な交通の流れが交差し、ほとんどの航空機が上昇または下降の段階にある。また、この地域の空域構造は、多数の軍事訓練空域の存在によって特徴づけられている。これらすべてが、高い交通需要とともに、ブリュッセル セクターグループの東側で頻繁に起こる大きな作業負荷の原因となっている。」と解説している。

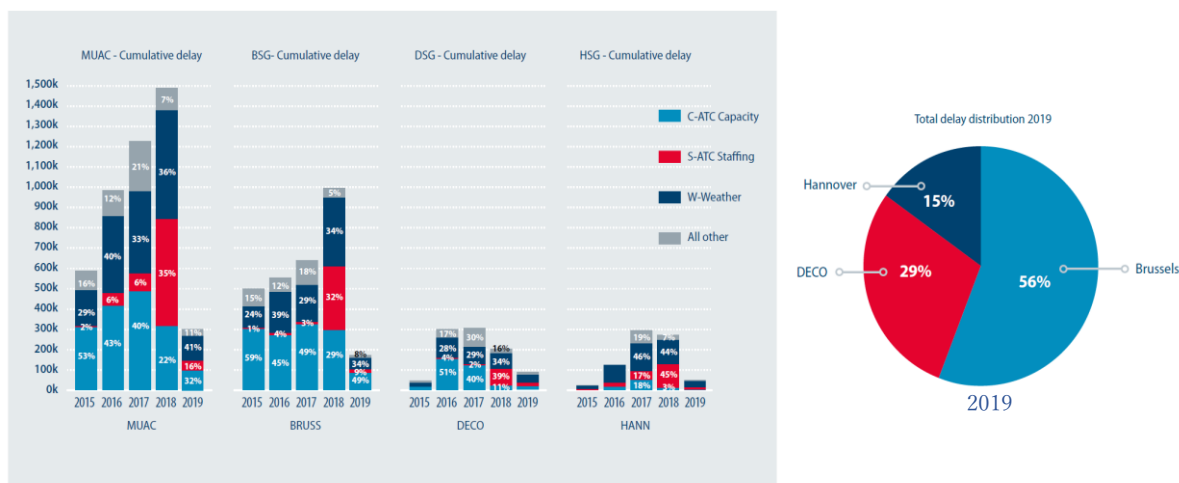


図3.5-3 遅延時間の合計と遅延理由
(資料) MUAC Annual Report 2019

表3.5-2 MUAC 遅延の内訳 (2017年~2019年)
(資料) MUAC Annual Report 2019

遅延 (航空路)	2017年	2018年	2019年
Capacity (ATC)	40%	22%	32%
Staffing (ATC)	6%	35%	16%
Weather	33%	36%	41%
All Other	21%	7%	11%

図3.5-4, 図3.5-5は、2019年の欧州における、航空路に係る遅延時間の合計 (分) と交通流制御実施対象機数をANSPごとに比較したものである。MUACは遅延時間の合

計で11番目、実施機数で10番目に位置している。

欧州の ANSP における En-Route ATFM Dealy (2019 年)

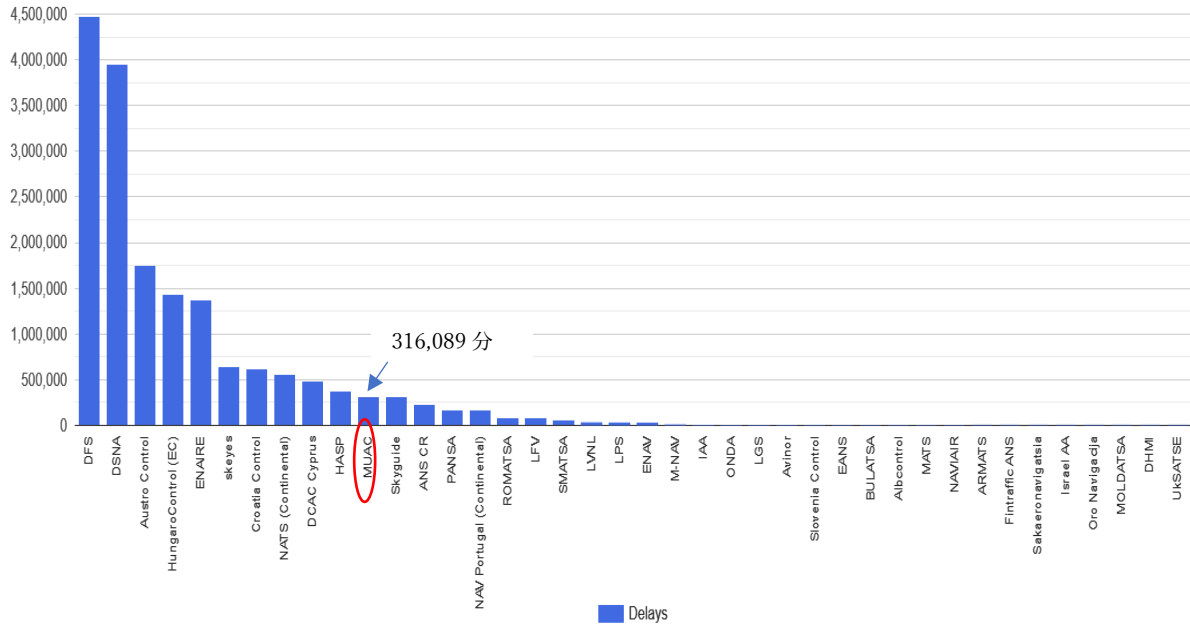


図3.5-4 欧州のANSPにおける航空路ATFM Delayの比較 (2019年)

欧州の ANSP における交通流制御実施機数 (2019 年)

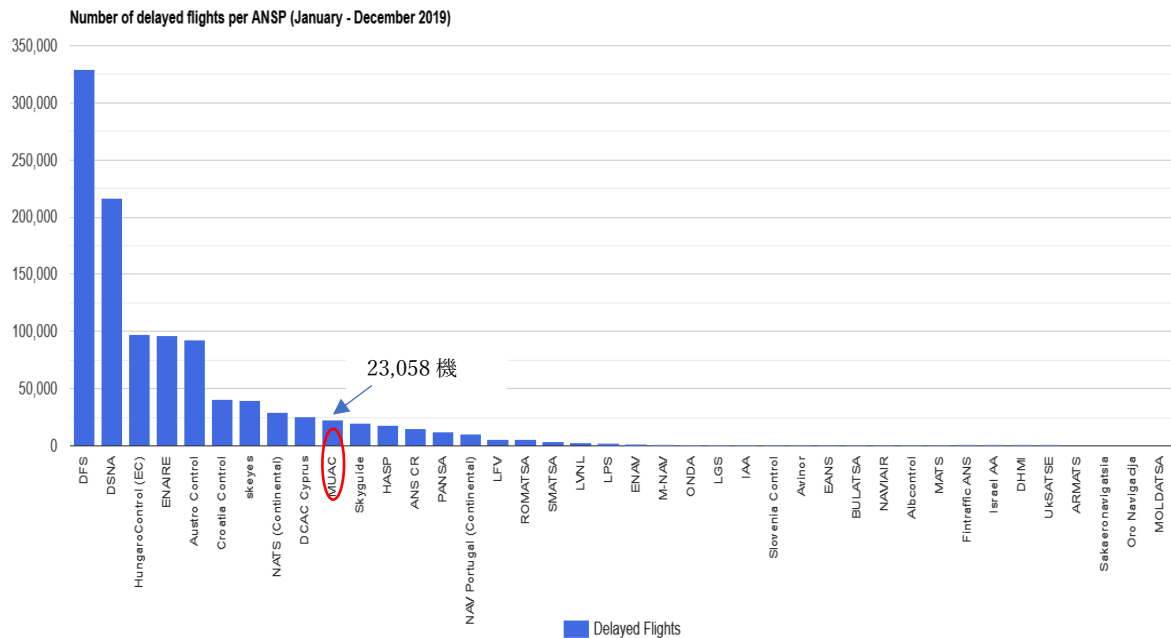


図3.5-5 欧州のANSPにおける交通流制御実施機数の比較 (2019年)

3.5.2 欧州における交通流制御の実績

ユーロコントロール加盟国における交通流制御の実績を表 3.5-3 に示す。

ユーロコントロール加盟国全体における 2019 年の交通流制御実施機は、2018 年のそれと比較して約 4 % 増加しているが、遅延時間の合計は約 7% 減少し、交通流制御対象機の平均遅延時間も約 2 分減少している。

表3.5-3 ユーロコントロール加盟国における交通流制御の実績

(参考) <https://www.eurocontrol.int/Economics/BalancedScorecard.html>

EUROCONTROL Area (MS)	2017年	2018年	2019年
Number of flights 年間交通量 (機)	10,447,411	10,725,735	10,781,931
Average Number of flights per day 平均交通量 (日)	28,623	29,386	29,540
Number of delayed flights 交通流制御実施機数 (機) ⁴⁸	545,675	1,077,830	1,116,837
Share of delayed flights 交通流制御実施機数の年間交通量に対する割合 (%)	5.2%	10.0%	10.4%
En-Route ATFM delay 航空路 ATFM Delay (分)	9,029,552	18,805,071	17,474,102
En-Route ATFM delay per flight 1フライト当たりの平均遅延時間 (分)	0.86	1.75	1.62
En-Route ATFM delay per delayed flight 交通流制御対象機の平均遅延時間 (分)	16.55	17.45	15.65

⁴⁸ 交通流制御により遅延の発生した航空機の数

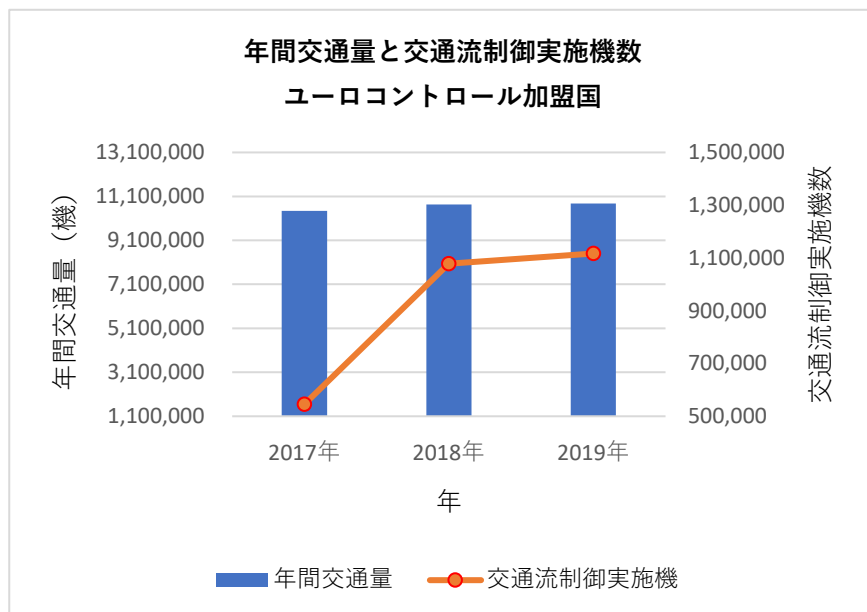


図3.5-6 年間交通量と交通流制御実施機数 (ユーロコントロール加盟国)

3.5.3 スロット遵守率

表 3.5-4 に、ユーロコントロール加盟国（2019 年の交通流制御実施機数上位 10 カ国）に係る、交通流制御実施機数とスロットの（CTOT）遵守率を示す。

表3.5-4 交通流制御実施機数とスロット遵守率（2017年~2019年）

国	2017年 スロット遵守率 (%)	2017年 交通流制御 実施機数	2018年 スロット遵守率 (%)	2018年 交通流制御 実施機数	2019年 スロット遵守率 (%)	2019年 交通流制御 実施機数
Germany	93.5%	219,693	94.6%	339,082	95.2%	350,381
Spain	94.2%	121,219	95.2%	171,599	96.0%	256,252
United Kingdom	93.5%	173,766	94.7%	213,220	94.6%	230,597
France	85.9%	157,676	86.9%	229,424	88.4%	221,237
Italy	94.1%	57,623	94.5%	91,340	94.2%	141,132
Switzerland	93.4%	46,993	93.6%	74,931	94.7%	69,926
Netherland	88.6%	52,020	95.5%	77,631	97.2%	69,009
Belgium	94.8%	41,633	94.5%	63,895	95.3%	68,864
Austria	94.3%	27,380	96.2%	47,897	97.4%	64,115
Poland	95.5%	31,864	95.8%	58,520	95.6%	59,012

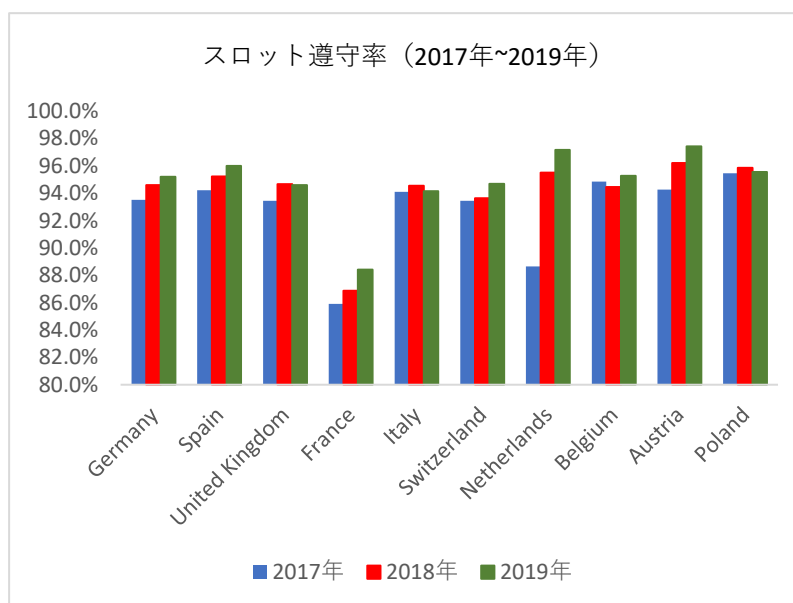


図3.5-7 スロット遵守率（2017年~2019年）

3.6 交通流管理における将来計画

3.6.1 欧州におけるATMの将来計画

ユーロコントロールは、「将来の航空ネットワークの運用コンセプトは、これまでの空域ベースの運用から、戦略段階から戦術段階をとおして全てのフライトの軌道がやり取りされる軌道ベースの運用へのパラダイムシフトに依存している。欧州における航空需要は増加傾向にあり 2029 年のピーク時には 1 日あたり 50,000 便の航空需要に対応する必要がある⁴⁹。」と解説していて、2029 年に予測される交通需要に対応するために以下の事項を整備する必要があるとしている。

- ✓ 動的な空域の編成と活用
- ✓ 国境を越えた空域構成とATS業務の（必要に応じた）委任
- ✓ 空地間のデータ交換の強化（ATN B 2 を含む）
- ✓ FF-ICE⁵⁰の導入とFF-ICE/R2⁵¹の（初期）統合
- ✓ 計画段階から飛行段階までの軌道の同期と軌道情報の共有
- ✓ フライト情報の関係者間での共有
- ✓ 拡張性とレジリエンス

表3.6-1に、ユーロコントロールが取りまとめている「欧州におけるATM最適化に向けた変化の方向性」の概要を示す。

⁴⁹ （参考） High Level Network Concept of Operations CONOPS 2029 5 July 2022

⁵⁰ ICAO Flight and Flow Information for a Collaborative Environment 飛行計画や交通流制御、空域制限などの飛行の制約となる情報をデジタル化し、飛行前及び飛行中にデジタル化されたFPLやATM関連情報を使い、効率的な飛行経路及び高度を調整・決定する仕組み

⁵¹ EUROCONTROLのネットワーク管理（NM）システムが、主にフライトの実行段階において、必要に応じてSWIMネットワークを使用してANSPとフライト情報を交換できるようにするために必要なシステムのアップグレード。

表3.6-1 変化の方向性（概要）

（参考）EUROCONTROL High Level Network Concept of Operations CONOPS

2029 5 July 2022

変化の方向性	内容	備考
ネットワークの最適化と活用	(~2025年) ・フリールート（FRA）と柔軟な空域管理（FUA）により、空域利用者が希望する軌道を実現する。 ・国境を越えたFRAが欧州全域をカバーすることを目指す。FRAをTMA境界まで拡張し、TMA内の経路構造（SID, STAR）との接続を確保し交通需要に対応できるようにする。 ・空域ユーザーの要求に応じて、より柔軟に空域を管理する。 動的な空域構成（DAC）の最初のステップとして、予め定義された空域構成を動的に管理する。 ・ASMプロセスとATFCMプロセスを統合し、リアルタイムでの空域調整を可能とする。空域の更新状況はリアルタイムで関係者に通知される。 ・FRAとの接続やPBN,GBASに基づく到着手順、TMA内のCDO/CCOにより、TMAの運用を最適化する。RECAT-EUやTBSにより更なる効率化を図る。	FRA : Free Route Airspace FUA : Flexible Use of Airspace DAC : Dynamic Airspace Configuration PBN : Performance Based Navigation CDO : Continuous Descent Operations CCO : Continuous Climb Operations TBS : Time Based Separation HAO : Higher Altitude Operation UTM : Unmanned Traffic Management
	(~2029年) ・欧州全体における国境を越えたFRAの完全な実施とTMA境界までのFRAの延長の最終ステップ ・ドローン等とのコンフリクションの解決を支援するツールの自動化 ・民間と軍の需要に対応するための動的な空域構成の全面的な適用 ・FL600以上の高高度運用（HAO）のATMネットワークへの統合 ・無人機の運用管理（UTM）のATMネットワークへの統合 ・国境を越えたデータの共有や管制機関間での空域の再配分を可能とする機能等により国境を越えたATS業務の委任を支援する。	
処理容量の最適化	(~2025年)	ATS : Air Traffic Service

変化の方向性	内容	備考
と飛行効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軌道情報の交換や管理を通して空域容量と飛行効率を向上させる。予測される交通需要と運用状況に基づき、飛行効率を確保しながら必要な時に必要な場所に、より積極的かつ動的に容量を提供する。 ・ ATS業務の提供を、能力に余裕のある他の（代替）プロバイダーに一時的に委任することを可能とすることで、混乱時におけるATS業務の継続性を確保する。 ・ 管制機関は、交通需要の形態や、飛行効率に対するニーズ、管制の技術能力レベルに基づいて、複雑性指標を考慮した動的なセクター構成（計画）を現地レベルでの計画（Local Plans）に含める必要がある。国境を越えたセクター構成や動的な高高度セクターの統合/再編成を考慮する必要がある。 ・ 交通流制御が実施されるフライトを、利用者の優先順位に従って柔軟に選択できるようにする（UDDP）。出発順序を最適化するための自動化されたスロットの交換プロセス（マルチスロットスワップ）を利用できるようにする。 ・ ATCメッセージ交換は、OLDIのトランスファー及び対話型メッセージ交換によりサポートされる。APP/TWRとACC間の電話による調整はOLDIメッセージ交換に置き換えられ、FDPSにより飛行データを共有する。 <p data-bbox="443 1328 571 1361">（～2029年）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 既存のセクター構成を統合/再構成して最適化する。予想される交通流をサポートするために、ACCセクターは国境には関係なく再設計され、動的に割り当てられる。 ・ ATFCMとATCプロセスとのギャップを埋めるために、ネットワーク運用と管制業務の統合（iNAP）を段階的に実施する。 ・ ネットワークUDPPにより、飛行の優先順位付けやパフォーマンスの最大化等に関してより大きな柔軟性を空域ユーザーに提供する。 ・ CPDLCによるメッセージ交換の更なる活用 	<p>OLDI : On Line Data Interchange（欧州における管制機関/セクター間におけるトランスファー及び調整に関するメッセージ交換機能）</p> <p>SYSCO : System Assisted Coordination</p> <p>iNAP : Integrated Network and ATC Planning</p> <p>UDPP : User Driven Prioritisation Process</p>
軌道管理と協調的交通管理	<p data-bbox="443 1856 571 1890">（～2025年）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 交通流管理（Flow Management）は、協調的交通管理（CTM）に進化し、（個々の）フライトではなくフローの管 	<p>CTM : Cooperative Traffic Management</p> <p>eFPL : Extended Flight</p>

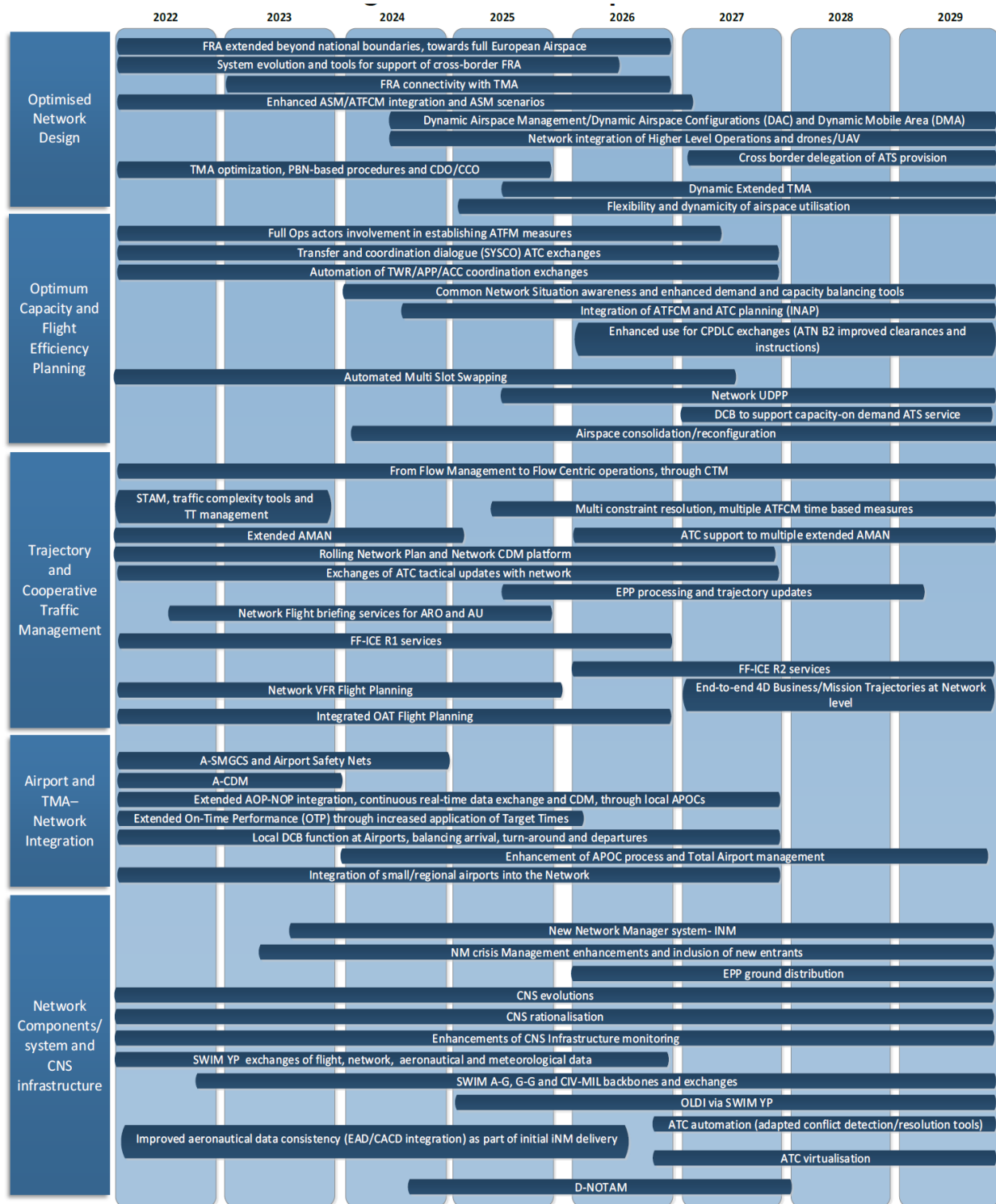
変化の方向性	内容	備考
	<p>理に焦点を当てた需要と処理容量のバランスに焦点が当てられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・4D軌道管理のため、計画4D軌道を含むICAO FF-ICE (FF-ICE/1) に基づくeFPLを実装する。4D計画軌道は、全ての関係者に伝えられる。ATFCMは利用者がFF-ICEフライトプランを使って提供するエンドツーエンド4Dビジネス/ミッション軌道に基づいて管理される。 ・OAT及びVFRの飛行計画をネットワークに統合することで、交通需要の精度を向上させる。iOAT飛行計画により、飛行計画の要件に従った軍事活動ニーズを示す手段を提供する。iOAT飛行計画は、管制空域での軍のミッションに係るIFRフライトに関連する需要を提供するもので、ATMネットワーク運用に統合され交通需要の予測に必要な情報を提供する ・関係者は、ADS-Cの地上配信を通してEPPを受信する。ANSPは管制官にEPPを提供し、軌道の遵守状況を監視する。FF-ICEやEPP、ANSPとフライト間での軌道情報の交換を通して、より高い精度で軌道情報を取得することが可能となる。 ・ネットワーク容量の監視プロセスにおいて、複雑性と作業負荷に関連した新しい指標（とその閾値）を検討する。航空路や空港の処理容量はリアルタイムで更新される。 ・隣接するACCは、下流の管制官の作業負荷を軽減するための調整手順に同意し実施する。「複雑性とオキュパンシーカウント」に基づいてホットスポット（過負荷/コンフリクション）に関する調整を行い、下流の管制官の作業負荷を軽減するために、可能な限り協力して、局所的な対策の実施を決定する。（例 STAMの実施） ・AMANの遅延を航空路上で吸収するために、AMANの範囲を拡大する。 <p>(~2029年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同一フライト/フローに適用される複数の交通流制御の影響を軽減する。 ・オンデマンドで需要と処理容量のバランスを図る (DCB)。DCBプロセスでは経路変更に関する what if分析や、ネット 	<p>Plan</p> <p>DCB : Demand Capacity Balancing</p> <p>iOAT : Improved OAT FPL (参考) A Flight Plan for military</p> <p>“Operational Air Traffic”</p>

変化の方向性	内容	備考
	<p>ワークに対する影響評価を行う</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 欧州空域全体におけるOAT飛行計画の統合 ・ VFR飛行計画の完全な統合 ・ FF-ICE/R2に基づく軌道管理 ・ 管制業務による軌道変更の最新情報をNMに提供して軌道の正確性を確保し、全ての関係者に配信する。 	
空港とターミナル	<p>(~2025年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ネットワーク運用計画（NOP）と空港運用計画（AOP）を統合して飛行計画の予測精度を向上し、航空路及び空港処理容量の改善を図る。 ・ AMANとDMANの統合による空港/TMAのスループットの向上 	<p>NOP : Network Operation Plan AOP : Airport Operation Plan</p>
	<p>(~2029年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 小規模空港や地方空港のATMネットワークへの統合 	
ネットワークシステムとCNSインフラストラクチャの進化	<p>(~2025年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 既存システムの近代化と、性能の強化 ・ 運用要件に加えて、デジタル化や自動化といった技術の導入を図る <p>(例)ネットワークのデジタル変革、ネットワーク管理システムの近代化等</p>	
	<p>(~2029年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ SWIMを介したネットワークの完全な自動化、SWIMに基づく空/地間、及び軍民の情報交換による調整を実施する。 ・ デジタルNOTAMの完全実装を含む航空情報管理の更なる強化 ・ EPPデータの地上配信 	

(参考) 表3.6-2 High Level Network Concept of Operations ロードマップ

(資料) EUROCONTROL High Level Network Concept of Operations CONOPS 2029

5 July 2022



3.6.2 協調的交通管理 (Cooperative Traffic Management)

交通流管理 (Flow Management) は、今後、協調的交通管理 (CTM) 環境に移行し、個々のフライトではなくフローの管理に焦点を当てた需要と処理容量のバランスに焦点が当てられる。

CTMは、ATMの計画段階と実行段階の両方において、すべての関係者が関与する協調プロセスと、関係者の優先事項を共有することにより、ネットワーク計画の最適化や、ATM資源の有効活用、交通流制御の必要性の低減を図ることを目的としている。

ユーロコントロールは、CTMへの移行に関連して、現在のシステムに対する以下の改善を予定している⁵²。

表3.6-3 CTMへの移行に関連する将来計画 (概要)

改善項目	概要
STAMの強化	STAMを強化し (STAMフェーズ2)、運用当日にSTAMによる交通流管理手法を適用してネットワークの最適化を図る
飛行計画の予測可能性の向上	管制機関 (欧州内および欧州域外) と空域ユーザーとの軌道情報の交換をSWIMを介して支援するとともに管制機関による「What-If 経路変更分析」や、ADS-Bデータの統合をサポートする。
目標時刻 (TT: Target Time) の運用	目標時刻はフライトに対して特定地点の通過時刻を指定するもので、航空路上の混雑への対応や空港への到着を管理するためにネットワーク管理システムが作成する。目標時刻の設定により空港と航空路における交通流制御による制約の統合をサポートする。
拡張到着管理 (Extended Arrival Management)	到着機に係る予測可能性の向上と到着順序の平滑化によって、ATCの到着順位決定プロセスをサポートする。SWIMを使用して管制機関とネットワークの需要・容量バランスング (DCB) プロセスを統合する。
ユーザー主導の優先順位付けプロセス (UDPP: User Driven Prioritisation Process)	複数のスロットの交換を可能にし、空域ユーザーがフライトに優先順位を付けることで、ネットワーク制約の影響を受けるフライトの出発順序を最適化することをサポートする。

(1) STAMの強化:

STAMの強化は、現在FMPが実施しているSTAMをネットワークレベルに拡大するもので、STAMに基づくシナリオ管理や、戦術的な交通流管理、ネットワーク影響評価、及び関係者のためのwhat-if⁵³機能などがSWIMを経由してサポートされる。STAMによる戦術的な容量管理では、管制官とネットワーク管理との連携の下で協

⁵² <https://www.eurocontrol.int/project/cooperative-traffic-management>

⁵³ What-if 分析: 「もし…したら」といった仮説を立て結果がどうなるのかを検証する分析手法。

調的な意思決定を通して、フライトが過負荷が予想されるセクターに入域する前に交通流を管理する。強化されたSTAM（Advanced STAM 以下、「STAMフェーズ2」という。）は、ネットワークレベルでのホットスポット⁵⁴の検出や、関係者との調整ツール、オキュパンシーカウント⁵⁵の監視値（OTMV :Occupancy Traffic Monitoring Vale）をサポートする自動化ツールに基づき、運用の予測可能性を向上させることに重点を置いている。

STAMフェーズ2の自動化ツールに求められるシステム要件を以下に示す。

- ✓ ネットワーク管理システムはSTAM機能を実装し、ネットワークへの影響評価機能を含めて、STAMの実施に係る調整をサポートしなければならない。
- ✓ STAMの自動化ツールには、オキュパンシーカウント監視値（OTMV）、ホットスポットの検出および他の関係者との調整機能を含む必要がある。機能強化は主に以下の点に焦点が当てられる。
 - ① 監視技術の強化（ホットスポット管理や複雑性の指標を含む）
 - ② 調整システム（現地のシステムとのインターフェースを含む）
 - ③ what-if機能（対策実施時の評価、代替案の評価等）
 - ④ ネットワークへの影響評価
- ✓ ANSPおよび空域利用者は、NMが提供するSTAMアプリケーションを使用するか、あるいは、SWIMサービスを使用してネットワーク管理システムと接続できるローカルツールを遅くとも2025年12月までに整備しなければならない。

(2) 飛行計画の予測可能性：

① FF-ICEの運用計画

ユーロコントロールは、軌道ベースの運用（TBO：Trajectory Based Operation）に向けた最初のステップとして、FF-ICEの導入を予定している。FF-ICEは、飛行計画や交通流制御、空域制限などの飛行の制約となる情報をデジタル化し、飛行前及び飛行中にデジタル化された飛行計画やATM関連情報を使い、効率的な飛行経路や高度等を調整・決定する仕組みで、デジタル化した飛行計画には航空機の運航能力や希望する飛行経路・高度・時間などを詳細に記載することができる。FF-ICEは、FF-ICE/R1（離陸前の段階）とFF-ICE/R2（離陸後の段階）に分けられる。

⁵⁴ 複雑な交通状況や短時間の高需要により、セクター内の需要・容量のバランスが崩れること。ホットスポットは、アンバランスを解決するため（例：STAM、交通流制御）のプレカーサーとして機能する。

⁵⁵ オキュパンシーカウントについては3.4.5を参照のこと。

- ✓ FF-ICE/R1：飛行計画を使用して離陸前に関係者間で様々な情報共有を図ることで運航効率の向上が期待できる。NMは運航者に対して、フライトに適用される制限や制約を通知するとともに、交通需要の評価やATMリソースに係る計画に役立てるためのフライトインテンション（飛行経路や速度、高度等の飛行データ）を取得することが可能となる。
- ✓ FF-ICE/R2：主に離陸後のフライトに関してSWIMネットワークを使用して関係者間でフライト情報を交換できるように、必要なネットワーク管理システムのアップグレードを実施する。
- ② OATに係る飛行計画：軍事ミッション等のOATとして運航するフライトの飛行計画の受信、処理、配信をネットワーク管理システムで段階的に実施する。これには、OATに関連する空域（Reserved Airspace）の使用も含まれる。
- ③ VFR飛行計画：VFRで運航するフライトの飛行計画の受信、処理、配信をネットワーク管理システムで段階的に実施する。
- ④ 拡張プロジェクトプロファイル（EPP）の統合：航空機と地上システム間において、飛行軌道に関する一致した認識を確保しネットワーク管理システムの軌道予測の精度を改善する。（EPPについては、3.2.2を参照のこと）

(3) 目標時刻（TT: Target Time）の運用：

目標時刻はフライトに対して特定地点の通過時刻を指定するもので、航空路上の混雑への対応や空港への到着を管理するためにネットワーク管理システムが作成し、空港と航空路における交通流制御による制約を統合することをサポートする。航空路上の目標通過時刻（TTO: Target Time of Over）に加えて、空港運用計画（AOP）が利用可能な場合は、目標到着時刻（TTA： Target Time of Arrival）が空港運用計画から導き出される。ネットワーク管理システムは、混雑地点（ホットスポット）に係る目標時刻とCTOTを計算し、当該CTOTに関係するユーザーに送信する。将来計画では、2025年までにAOPとNOPを統合（協調的NOP）し、SWIMを使用して運用計画とリアルタイムデータの共有を図ることが計画されている。空港とネットワーク関連情報をタイムリーに交換することで、共通の状況認識をもたらし、ネットワークと空港の両方の計画活動を改善し、運用パフォーマンスを向上させることを目指している。

ANSPの飛行データ処理システムは、ダウンリンクされた軌道データ（例 ADS-C EPP）を処理できるようにする必要がある。

CTOTとTTO/TTAの組み合わせを幅広く適用することで、空港運用と航空路運用の統合とバランスの改善が図られ、ネットワークパフォーマンスの向上が期待できる。

最初のステップとして、ネットワーク管理システムは、CTOTに加えて、最も遅

延時間の大きい交通流制御（MPR）が課せられる個所（セクター）に対する目標時刻を計算し、当該CTOTに関係するユーザーに送信する予定とのことである。

(4) 拡張到着管理（Extended Arrival Management）：

拡張到着管理（以下、「E-AMAN」という。）は、従来の AMAN の水平領域（100~120NM）を航空路まで拡大（180~200NM）するもので、予測精度の向上を図るとともに円滑な交通流を形成するために航空路上（トップオフディセント以前の段階）で交通流の順位付け及び間隔付けを実施する。

EU 規則⁵⁶は、ヨーロッパで最も交通量の多い 25 の空港に、2024 年 1 月までに E-AMAN を実装することを求めている。当該 25 空港の AMAN 水平領域を 180NM に拡張することは、40 以上の ACC が何らかの形で E-AMAN に係る支援機能（AMAN Advisor）を配備する必要があることを意味している。

2 機以上の到着機が同時に滑走路に着陸することになると予測される場合、AMAN は滑走路への着陸率や確保する間隔等の条件に基づき、到着機に係る順位付け計画を作成し、到着機の順位付けを維持するために「特定の地点に係る要求通過時刻（Required Time）」や、“Time To Lose（TTL）”、“Time To Gain（TTG）”を計算し管制官に通知する。管制官はこれらの情報に基づいて、到着機が時間の制約や順位付けの条件を満たすことができるよう、到着機に対するレーダー誘導や、経路の延長、速度変更、待機の指示等により適切に対応する責任がある。E-AMAN における航空路上での順位付けや間隔付けに際しても、既存の AMAN の機能、特に「Time to Lose」や「Time to Gain」と「Speed Advice」が使用される。

E-AMANには、以下のシステム要件が求められる。

- ✓ E-AMANを運用する管制機関は、SWIMを使用して関連セクターと連絡調整を行うことを可能にする。SWIMが利用できるようになるまでは、管制機関は、「OLDI AMA（Arrival Management message）」メッセージにより隣接セクターとの連絡調整を行うことができる⁵⁷。
- ✓ 到着機に係る順位付けをタイムリーに実施するために、管制官に対して到着管理情報（SWIM,AMAメッセージ等）を表示する。
- ✓ 到着管理情報を生成、送受信、承認、表示するために、到着空港と関係するACC（セクター）の範囲（最低180NM）をカバーできるようにシステムを更新する必要がある。
- ✓ 異なる管制機関/国に所属するセクター間で相互に協定（Bilateral agreements）を制定すること。

⁵⁶ Commission Implementing Regulation (EU) No 716/2014 of 27 June 2014

⁵⁷ 欧州における管制機関/セクター間におけるトランスファー及び調整に関するメッセージ交換機能（参考）EUROCONTROL Guidelines for On-Line Data Interchange (OLDI)

(5) ユーザー主導の優先順位付けプロセス

(UDPP : User Driven Prioritisation Process) :

航空機運航者（航空会社）は長期戦略に合わせて運航計画を立てているが、実際の運用においては需要と供給のアンバランスにより遅延が発生しフライトに大きな影響を与えることがあり、時には、フライトをキャンセルしなければならないほどの遅延が発生することもある。航空機運航者の立場からするとすべての便が同じ優先順位ではなく、ある便は乗り継ぎ客を運んでいたり、ある便では空港のスロット枠に係る時間的制約が課されていたりする。UDPPは、航空機の運航に遅延が生じたときに航空機運航者にフライトの優先順位をつける機会を与えることで運航の非効率性を軽減し、コストを削減しようとするもので、航空機運航者にフライト順位の調整に関する機会と柔軟性を提供する。

現在、航空機運航者は2つのフライトのスロットを1度だけ交換することができるが、その後は、(2つのうちの1つを)他のフライトと交換することは禁じられている。しかし、天候の悪化などにより、航空機運航者はフライトの優先順位をより柔軟に変更する必要がある場合がある。

複数回のスロット交換（以下、「マルチスワップ」という。）は、混雑状況の変化や悪化に合わせて、航空機運航者が複数回フライトを見直し、優先順位をつけ直すことを可能にする。ある特定のフライトを改善することで、他のフライトも連鎖的に改善される可能性が考えられる。

マルチスワップは既存のスロット交換方式を拡張した考え方で、スロットの交換に関して航空機運航者に対してより幅広い可能性と柔軟性を提供することを目的としている。航空機運航者は、最も遅延の大きい規制対象地点（MPR）を共有するフライト間でスロットを複数回交換できる⁵⁸。

ユーロコントロールは、マルチスワップに関して、以下の2つのコンセプトを提案している⁵⁹。

① 同一フライトに対して（独立して、）複数回のスロット交換を可能にする。

(Type 1 Independent multi-swap)

この方式では、航空機運航者は同じフライトのスロットを独立して何度も入れ替えることが可能となる。天候の悪化によりスロットの割り当て順序が変更され遅延が増加するなど、混雑状況が悪化して状況が不安定になった場合等において、より柔軟な対応が可能となる。航空機運航者は、マルチスワップの要求の管理に責任を負う。

⁵⁸ 現在のスロット交換の考え方については、3.4.5.3を参照のこと。

⁵⁹ (参考) EUROCONTROL SESAR Optimised Airspace User Operations Project ID 07.06.02

図3.6-1に、同一フライト (KL123) に対する複数回のスロット交換の例を示す。この例では、1回目のスロット交換 (KL441⇔KL123) がNM (ネットワーク管理) で承認された後に、2回目のスロット交換 (KL123⇔AF822) の要求が行われている。

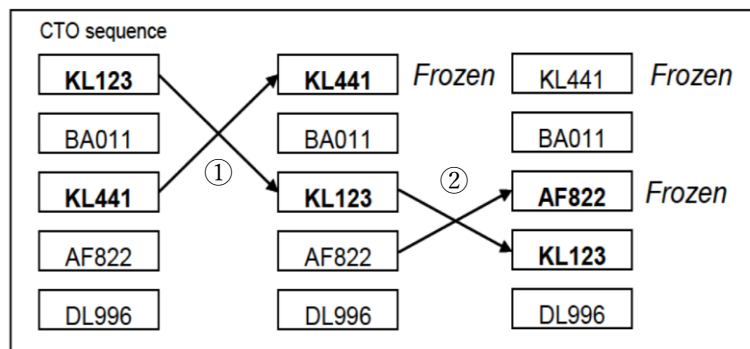


図3.6-1 マルチスワップ (Type 1)

(資料) EUROCONTROL SESAR Optimised Airspace User Operations 07.06.02

② 1回のスロット交換の要求で複数のスロット交換を実施する。

(Type 2 One-request combined multi-swap)

この方式は、1回のスロット交換では回復が困難なほどの大きな遅延が発生するような状況に対して柔軟な対応ができるようするもので、以下の効果が期待できる。

1組のスロット交換では全体の遅延を回復するのに十分でない場合に、複数のスロット交換を組み合わせることで、「定時性」の改善を図る。

航空機運航者はフライトの遅延を2~3便に分散させることができ、1つのフライトに大きな影響を与えないようにすることができる。

このマルチスワップのプロセスは、今後、適切な支援ツールと手順によってサポートされる予定である。支援ツールは、航空機運航者のビジネスニーズに合わせてフライトの順序を再編成するための「一度に交換可能なフライトの組み合わせ」を計算する。

現在のネットワーク影響表示 (NID: Network Impact Display) ツールでは、NMOC 担当者は、一度に1つのスロット交換の影響だけしか評価することができない。リクエストの半分が実行され、リクエストの後半が拒否されるようなことを防ぐために、NIDの機能を拡張する必要がある。

1回のリクエストで複数のスロットスワップを行うためには、NMOCがスロットスワップの組み合わせを同時に評価し、リクエストを受け入れるか否かを判断できるようにする必要がある。

この方式は、航空機運航者が複数のフライトを同時に見直し、優先順位をつけることを可能にする。また、特定のフライトを改善するとともに、他のフライトの優先順位を改善することも可能になる。

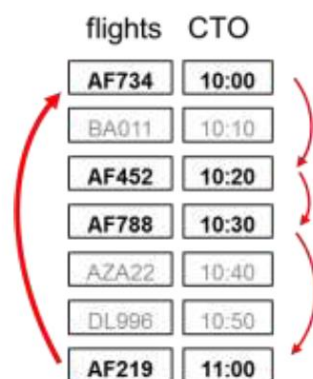


図3.6-2 マルチスワップ (Type 2)

(資料) EUROCONTROL SESAR Optimised Airspace User Operations 07.06.02

3.6.3 ネットワーク管理システムの将来計画

本節では、ユーロコントロールの「新ネットワーク管理システム アーキテクチャー⁶⁰」を参考にして、ユーロコントロールが計画している新ネットワーク管理システム（以下、「NES」という⁶¹。）の概要について調査した結果を示す。

欧州連合は、人工知能（AI: Artificial Intelligence）を重要な戦略的優先事項と位置づけており、航空交通管理の領域は、AI、特に機械学習の利点を最大限に活用できる分野の1つであると考えている。

NESでは、ネットワーク管理におけるデジタルトランスフォーメーションの導入を目的として、以下のシステムアーキテクチャー要件を定義している。

- ✓ Web: : Web技術をベースにしたヒューマンインターフェイスを提供し、様々なタイプのデバイスでサービスを提供することを可能とし、場所に依存しないモビリティをサポートする。
- ✓ API (Application Programming Interface) economy : APIはソフトウェアやプログラム、Webサービスの間をつなぐインターフェースのことで、ネットワーク管理システムは低コストのWebベースの技術に基づいてそのサービスに対するマシン・ツー・マシン・インターフェースを提供し、バリューチェーンを活用してユーザーコストを低減する。
- ✓ ビッグデータと予測分析の技術: ビッグデータと予測分析の技術は、新しいビジネス能力をサポートし、プロセスの自動化を向上させるために活用されることになる。ビッグデータは、AIを有効に活用するための前提条件となる。
- ✓ 機械学習、AI、およびビジネスインテリジェンス: 機械学習やAI、ビジネスインテリジェンス⁶²は、データベースに保存された知識を探索し、行動パターンを構築し、推論メカニズムを使って新しい知識を創造することで人間に「専門家」としてのアドバイスを提供する。
- ✓ クラウド対応技術: ソフトウェア開発ライフサイクルの全領域でクラウド対応技術を活用しインフラの独立性を実現するとともに、ネットワーク管理システムの開発、テスト、展開をクラウド上で可能にし、コスト効率とネットワーク管理サービスの拡張性、耐障害性を向上させる。
- ✓ サイバーセキュリティ: セキュリティプロセス（サイバーセキュリティを含む）をネットワーク管理システムに統合する。予防、検知、及び修復のためのサイ

⁶⁰ EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE Executive Summary Edition 1.4 20/02/2019

⁶¹ NM EcoSystem

⁶² 企業の情報システムなどで蓄積される膨大な業務データを、利用者が自らの必要に応じて分析・加工し、業務や経営の意思決定に活用する手法。（BI: Business Intelligence）

バーセキュリティツールとプロセスがネットワーク管理システムの設計、実装、及び運用に含まれる。

3.6.3.1 システム構成の概要

NESの業務アプリケーションは、図3.6-3に示すように、以下の、3つの業務領域 (Application Domain) と1つの技術領域 (Enabler Domain) で構成されている。

- ✓ 環境領域 (Environment Domain) : 他のすべての領域で共有される環境データを取り扱う領域
- ✓ 飛行領域 (Flight Domain) : すべてのフライトの開始から終了までの状態を管理する。
- ✓ 交通流領域 (Flow Domain) : 個別のフライトではなく、全体の航空交通流を管理する。
- ✓ イネーブラ領域 (Enabler Domain) : エンドユーザーにサービスを提供するために必要な技術的な構成要素からなる領域。イネーブラ領域は上記の3つの領域で使用される。

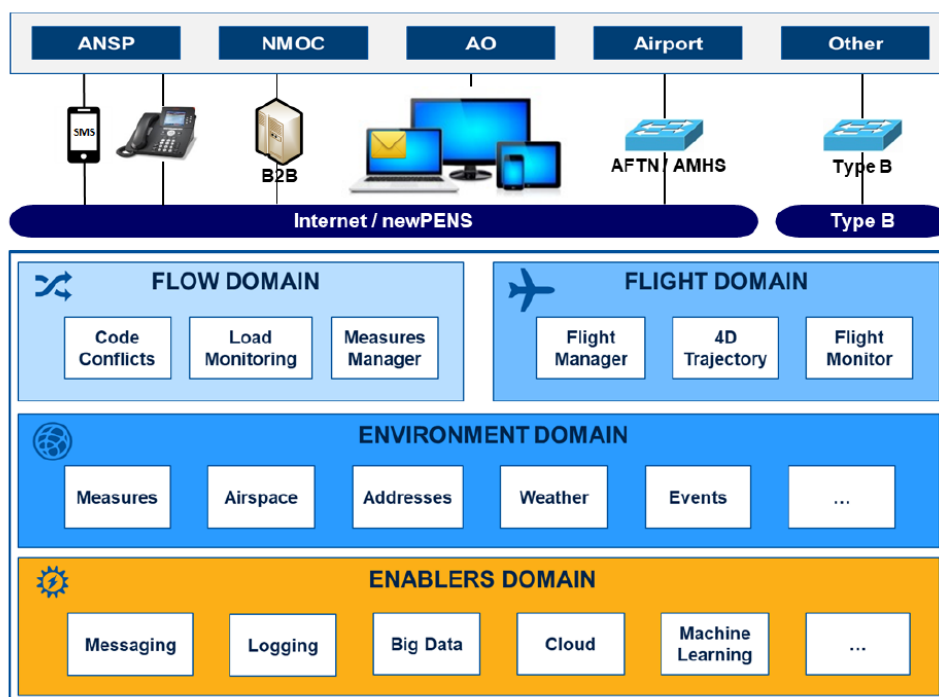


図3.6-3 NESの業務アプリケーションの構成
(資料) EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE

(1) 環境領域

環境領域は、他の領域で使用される環境データを管理する。環境領域は以下の10

の要素 (Building Block) で構成される。NESでは、プログラムのモジュール構造を採用することで、将来的に、必要に応じて他のデータセットを容易に追加できるようにしている。環境領域は、人間と機械のインターフェースを通してユーザーにサービスを提供するとともに、データへのアクセスや管理を可能とする。

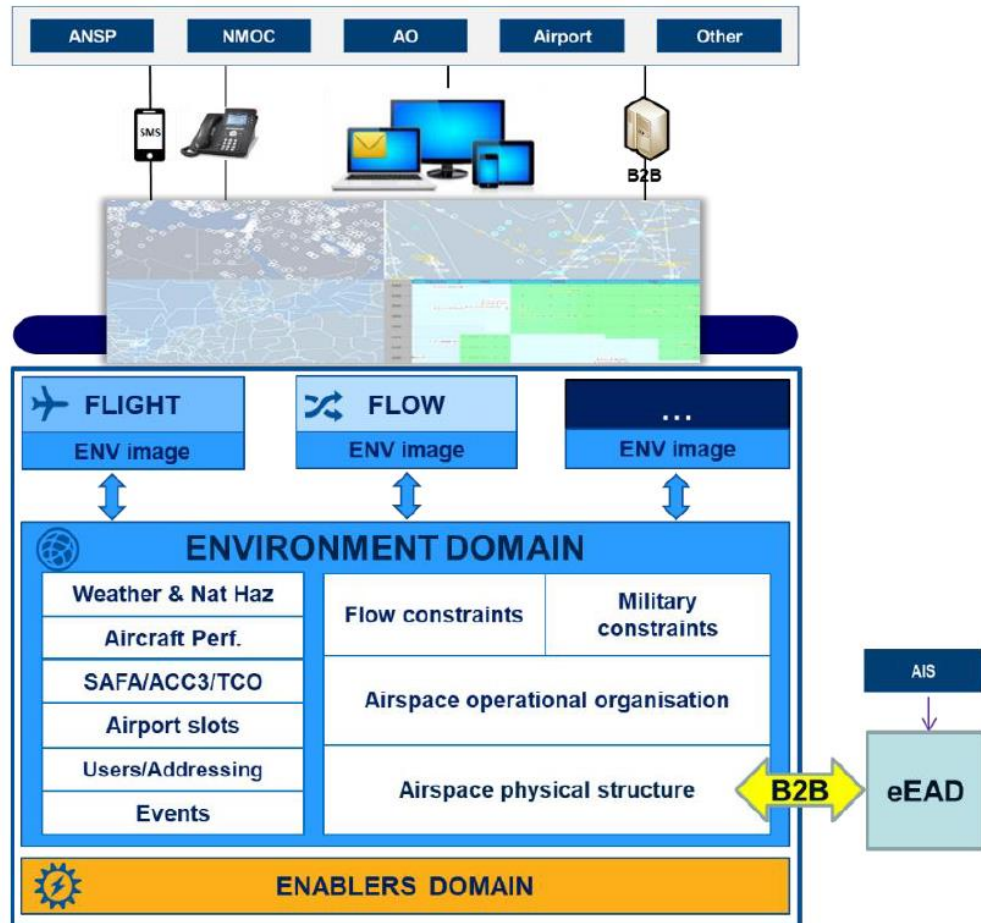


図3.6-4 -環境領域

(資料) EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE

- ① 物理的な空域構造 (The Airspace Physical Structure) : 物理的な空域構造はICAO附属書15に対応する実際の空域構造を表していて、各国のAIPで公表されている。NESでは、世界中の空域構造に対応するために空域構造を拡大/縮小する機能が求められる。これにより、IFPS対象エリアを容易に拡張することができるようになる。このデータはeEAD (Enhanced European ATS Database) データベースシステムで管理されネットワーク管理システムに供給される。

- ② 運用構成 (The Airspace Operational Organization) : 運用構成は物理的な空域構造に基づいて構築され、トラフィックパターンに応じて動的に変更可能な空域要素を表している。運用構成はATSプロバイダーの能力とその運用体制に応じて、トラフィックフローと空域利用の最適化や軍のニーズに対応するために使用される。(例 セクター構成、滑走路構成)
- ③ 交通流の制限 (The Flow Constraints) : 交通流の制限は、実際の (または予想される) 交通状況に応じて実施される交通流管理手法を反映したもので、すべてのフライトや個々のフライト、フライトのグループに適用される。(例 交通流制御、ルート変更、レベルキャッピング、シナリオ、STAM、チェリーピック)
- ④ 軍事制約 (The Military Constraints) : 軍事制約は、空域の利用に関する軍のニーズを反映したものである。軍事ミッションの軌道に直接関連する動的移動空域 (Dynamic mobile Areas) への支援などのより動的な要素が含まれる。
- ⑤ 気象と自然災害 (The Weather and Natural Hazard) : 気象と自然災害は、軌道計算に使用される気象データ、および危機管理に使用される気象データ (火山灰など) である。このデータは、1つまたは複数の外部の気象提機関者から受信される。
- ⑥ 航空機性能 (The Aircraft Performance) : 航空機性能は、軌道計算に必要なすべての航空機の種類と航空機の性能を表す。これには、BADAなどの外部ソースから受け取ったデータと、機械学習により特定の機体に合わせて調整されたより精度の高い (追加的な) モデルが含まれる。
- ⑦ FASA (Flight plan Assessment and Alert System) : SAFA, ACC3, TCOリスト⁶³上のFASAデータを使用して問題のある飛行計画を特定し、外部当局へのアラートを生成する。リストは欧州委員会から受け取る。
- ⑧ 空港のスロット (The Airport Slots) : 空港のスロットは、飛行計画に対するスロットが存在する (確保されている) ことを確認し、必要に応じて警告、飛行計画の無効化等を行うために必要となる。このデータは、EUACA⁶⁴等の外部ソースから提供される。
- ⑨ ユーザーとアドレス指定 (The Users and Addressing) : ユーザーとアドレス指定は、すべてのユーザープロファイルとすべてのアドレス指定 (AFTN/Type B/...、メール、SMSなど) で構成される。このデータは、認証、フライトメッセージの配信、警告/通知などに使用される。

⁶³ SAFA (Safety assessment of Foreign Aircraft) : 外国航空機の安全性評価
ACC3 (Air Cargo or Mail Carrier operating into the Union from a Third Country) : 第三国空港から EU に乗り入れる航空貨物輸送会社 TCO (Third-Country Operator) : 第三国航空会社

⁶⁴ EUACA: European Association of Airport Slot Coordination

- ⑩ イベント (Event)：イベントは、ネットワークに影響を与える可能性のあるすべてのイベントを表す。このデータは、NMと外部ユーザーにより作成される。

(2) 飛行領域

飛行領域は、個々のフライトをカバーするもので、以下の3つの要素で構成される。飛行領域は、レガシーメッセージシステム (AFTN / AMHS⁶⁵ / Type B) とのインターフェースも持っており、ICAO FPLもサポートする。

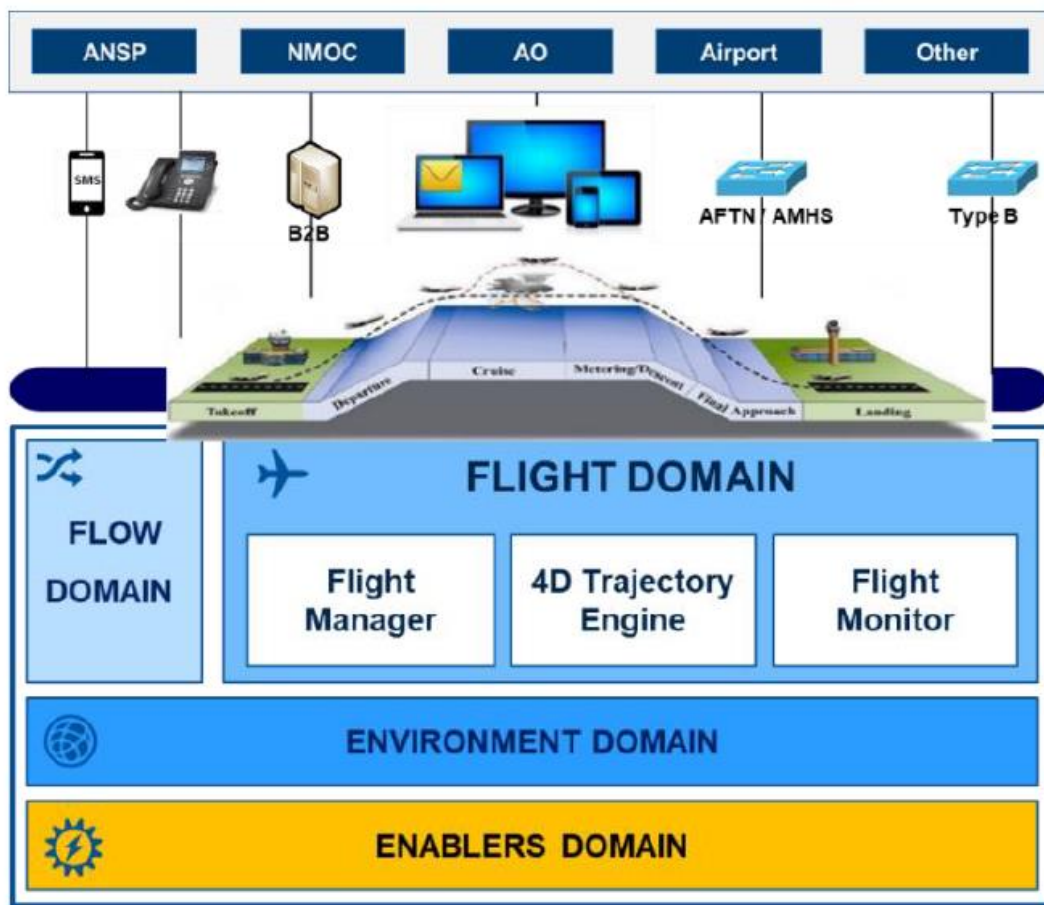


図3.6-5 飛行領域

(資料) EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE

- ① 飛行管理 (Flight Manager)：飛行管理は、飛行計画の作成から終了までフライトのステータスを管理し、飛行計画に加えてDPIやAPI、CPR (およびそ

⁶⁵ AMHS: ATS Message Handling System

の他の監視データ)などのフライトに影響を与える他のすべてのイベントを受信して処理する。フライトの状態は、交通流領域の交通流管理対策の結果から直接変更することができ、現在、IFPSとETFMSが送信するフライト関連の送信メッセージ (ACK、SAM、EFDなど) も送信する。

② 4D軌道生成システム (4D Trajectory Engine) : 4D軌道生成システムは、他のプロセスが4D軌道を計算または生成するためのコンポーネントである。4D軌道生成システムは、使用される状況や使用される環境データによって、異なるレベルの精度で軌道を生成することが可能となっている。4D軌道生成システムにより、以下の効果が期待できる。

- ・ 出発空港から到着空港までの4D軌道を、管制業務で使用するのに十分な精度で作成することができるようになる

- ・ 飛行軌道が計画ルートから外れたことをシステムが検知した場合、飛行段階における軌道の再生成を可能とする。

- ・ 欧州空域への入域を正確に予測するため、全世界の空域での軌道計算を行う (利用可能な情報により精度は異なる)。

- ・ 4D軌道生成システムは、航空機運航者がファイルする軌道に加えて、航空機運航者の傾向/習慣 (Habit) や、航空機の種類 (Specific Aircraft)、天候や自然災害を含むネットワークの状況などを考慮して機械学習技術により算出した最も確かな軌道も生成する。

③ 飛行監視 (Flight Monitor) : 飛行監視は、外国航空機の安全性評価 (SAFA)、および第三国航空会社や第三国空港からEUに乗り入れる航空貨物輸送会社等に関するフライトの評価とアラートサービスを実施する。

(3) 交通流領域 (Flow Domain)

交通流領域は、個々のフライトの状態ではなく、全体的なトラフィック管理をカバーする。

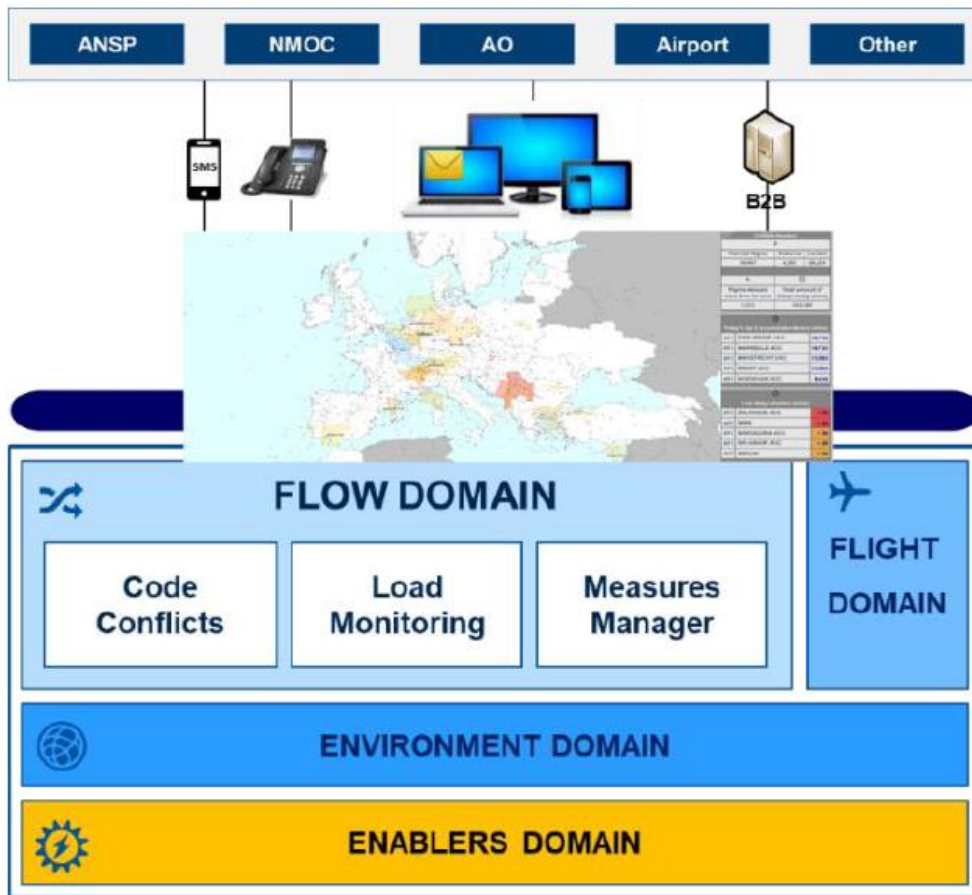


図3.6-6 交通流領域

(資料) EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE

- ① 作業負荷監視 (Load Monitoring) : 作業負荷監視は、監視空域内の特定のフローに関して、空域（特にセクター）に進入または飛行するフライトをカウントし、フライト数、交通流の複雑さ、管制官の作業負荷などを考慮して作業負荷を監視する。
- ② 手法管理 (Measures Manager) : 手法管理は、交通流対策の必要性を特定し、全てのフライトや、個々のフライト、フライトのグループに対して交通流管理手法を適用する機能を備えている。また、遅延時間等の特定のKPI (Key Performance Indicator) を使用して、ネットワーク全体への交通流管理の影響を判断する機能も備えている。機械学習アルゴリズムが業務プロセスに統合されていて、交通量や、天候、イベントなどに特定のパターンが存在する場合、(機械学習アルゴリズムを使用して) システムが積極的に対策を提案することを可能としている。

③ コードコンフリクト (Code Conflicts) : コードコンフリクトは、空域内におけるフライトのSSRコードの競合を防止、検出、解決することを目的としている。競合しないSSRコードをフライトに割り当てるCCAMSと、ICAO/IATAのフライトID (コールサイン) の競合を検出、解決するCSSTをサポートする⁶⁶。

(4) イネーブラ領域 (Enabler Domain)

イネーブラ領域はネットワーク管理システムの技術的側面を取り扱う領域で、以下の技術革新を取り取り込んだネットワーク管理システムの基礎となるソフトウェアを提供する。

① ビッグデータ : ビッグデータは、業務プロセスで生成される膨大なデータを活用 (作成、操作、管理) する技術的な概念である。NESでは、運用データを分析目的のために活用するだけでなく、リアルタイムまたはそれに近い形で (運用データを) 運用システムに再投入するプロセスを導入する。

② 機械学習 : 機械学習は、AIを支える技術の1つで、大量のデータを分析し、繰り返し学習することで、パターンやルールを発見し、アルゴリズムやモデルを自動的に構築する。機械学習によりデータのパターンを抽出し、意思決定のメカニズムを開発し、ATMネットワークの管理をサポートすることを可能とする。

③ クラウド : クラウドコンピューティング (cloud computing) は、インターネットなどのコンピュータネットワークを経由して、コンピュータ資源をサービスの形で提供する利用形態である。クラウドコンピューティングにより、拡張性のある効率的で耐障害性の高いサービスを低コストで提供できる。

イネーブラによって提供される最も重要な機能に1つとして、「ワークスペース」がある。ワークスペースは利用者が様々な設定を行うことができるネットワーク管理システムのインスタンス (プログラム) で、利用者は、運用データや、利用者が作成したテストデータ、シミュレーションデータ等を使用してネットワークへの影響の評価やWhat-if分析を行うことが可能となる。

3.6.3.2 導入目標 (Major Milestones)

ユーロコントロールは、NES の導入に係るマイルストーンを図 3.6-7 のように示

⁶⁶ CCAMS: Centralised (SSR) Code Assignment and Management System 機能の詳細については、<https://www.eurocontrol.int/tool/centralised-code-assignment-and-management-system> を参照のこと。

CSST: Call Sign Similarity Tool 機能の詳細については、<https://www.eurocontrol.int/publication/call-sign-similarity-tool-csst-user-guide> を参照のこと。

している。なお、このロードマップは、初期のドラフトであり、今後の関連するプロジェクトの実施過程の中で調整される可能性がある」と説明している。

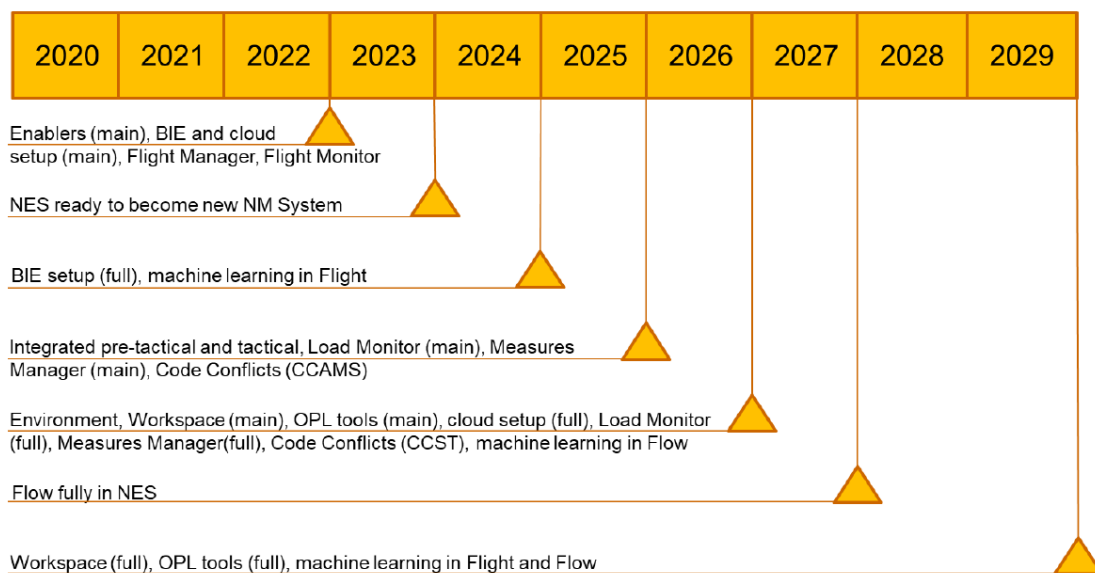


図3.6-7 NES マイルストーン

(資料) EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE

主要な技術的イネーブラは2022年までに利用可能となる。変革技術として、クラウド技術とともに、ビジネスインテリジェンス(BIE: Business Intelligence Ecosystem)が利用可能となる。飛行領域や交通流領域をサポートするために、プロジェクト全体をとおして機械学習の手法が活用される。(機械学習の)主たるマイルストーンは、「軌道予測(2024年)」と、「交通流管理をサポートするためのインテリジェントアルゴリズム⁶⁷(2026年)」の整備である。

2022年以降、すべての飛行関連機能と交通流関連機能はETFMSに集約され、現在のIFPSの飛行計画機能をETFMSに移行する。新しい飛行計画機能にはVFR、およびOATに関するものが含まれる。

2022年~2027年にかけて、飛行領域と交通流領域を新しいシステム構成に合わせて段階的に進化させ、新しい業務要件(例:オキュパンシーカウントや複雑性を考慮した交通流制御、FF-ICEの対応等)の実装に対応していく。

2023年に新しいネットワーク管理システムとしてNESの準備が整い、以降、プロジェクト期間を通して必要な業務アプリケーションをNESに統合する。

⁶⁷ ファジーシステムやニューラルネットワーク(ディープラーニング)等のように、不確実な状況下での意思決定を最適化するためのアルゴリズム

2025年には、プレ戦術段階と戦術段階の交通流管理が統合され、スムーズなネットワーク計画の作成を可能にする。

2026年には新しい環境領域のコンポーネントが完全に利用可能となり、他のコンポーネントで使用されるようになる。また、2026年には、コードコンフリクトコンポーネントがCSSTの機能をサポートするようになる。

2027年はすべてのソフトウェアがNESに完全に組み込まれる大きな節目となる。次の2年間は、ワークスペースのサポートや運用計画(OPL: Operations Planning)ツールのサポートを完成させ、機械学習アルゴリズムをさらに進化させる。

図3.6-8は、現行ネットワーク管理システム(Legacy System)から新ネットワーク管理システム(NES)への移行段階を示したもので、2027年から2029年にかけてすべてのバーがオレンジ色になっているのは、2026年以降のソフトウェア開発がすべて新しいネットワーク管理システムで行われ、現行システムではもう行われなことを表している。

現行システムのうち飛行計画に関連するシステム(IFPS等)は2024年末に廃止される予定となっている。交通流管理に関連するシステム(ETFMS、PREDICT等)は、新システムが数年間運用された後に廃止される予定としている。

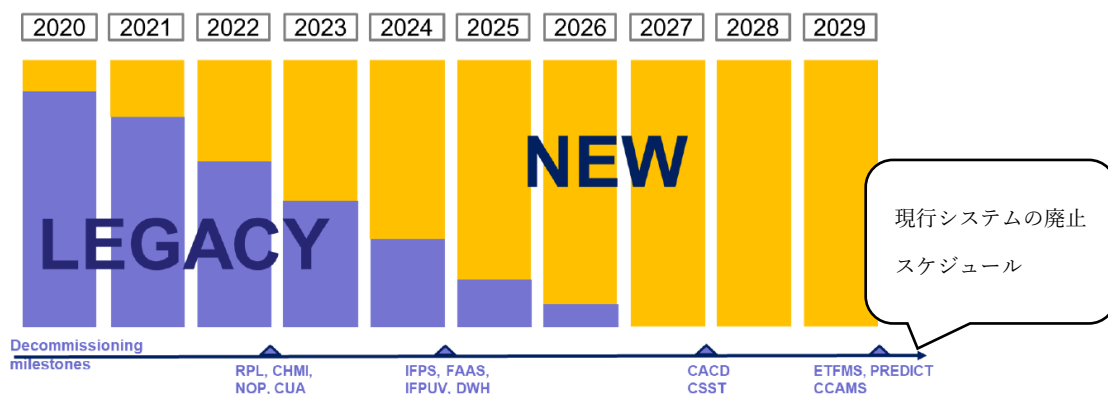


図3.6-8 新システムへの移行段階 (レガシーシステムの廃止)

(資料) EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE 20/02/20193.6.4

3.6.4 MUACにおけるAIの活用事例

MUACでは、AI（機械学習）アルゴリズムを使用して飛行軌道を予測し、FMPが実施する交通流管理（例 セクター作業負荷の予測等）に活用している⁶⁸。図3.6-9は、AIアルゴリズムを使用した作業負荷の予測のイメージを示したもので、離陸時刻の予測や、飛行軌道の予測等に関して、既存のロジックをAIアルゴリズムで補強することで、飛行軌道の精度の向上を図っている。

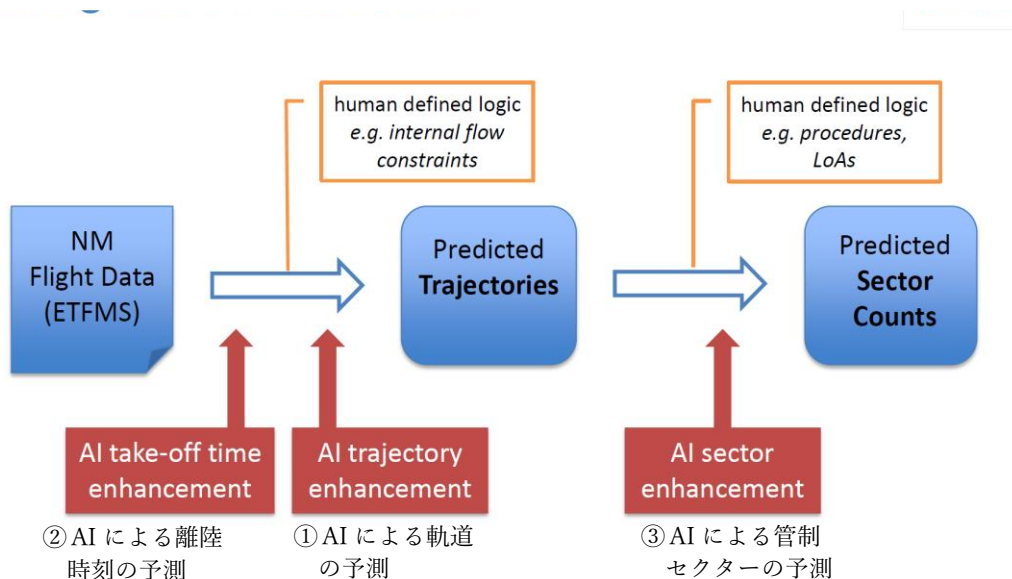


図3.6-9 AIアルゴリズムの活用（例）

（資料）MUAC Flow & Capacity Management Improvements using AI FLY AI Webinar 30-Jun-21

(1) 飛行軌道の予測

飛行軌道の予測はATMシステムの基盤であり、戦術段階（管制業務）やプレ戦術段階（航空交通流及び容量管理）において使用される。

既存のシステムは、予め定義されたルールやモデルを使用して、軌道を予測しているが、軌道の予測精度は完璧とは言えず、ATMシステムのパフォーマンスを低下させている。例えば、管制官がショートカット等のクリアランスを発出することで、飛行計画通りのフライトが行われず経路の不確実性が発生する。管制官の指示は、様々な要因によって発出され、時間とともに変化する。

図3.6-10は、ロンドンからローマへのフライトの飛行経路（ブリュッセルセクターグループ）の例を示している。黄色の線分は、パイロットが提出した飛行計画に基づくものでファイルされたウェイポイントで構成される。青色の線分は実際

⁶⁸ 大規模な軍事エリアがセクターの運用に大きな影響を与えているブリュッセルセクタを対象として、英国から南/南東方面に飛行するフライトに関する飛行軌道の予測を行っている。（2020年時点）

に飛行した飛行経路で、予想される入域地点より南側で MUAC 空域に入域し、ドイツ南部のウェイポイントへの直行経路が指示されている例である。



図3.6-10 飛行計画の飛行経路と実際の飛行軌道（経路の逸脱）

(資料) MUAC Flow & Capacity Management Improvements using AI FLY AI
Webinar 30-Jun-21

飛行計画の経路からの逸脱は、例えば、飛行計画とは異なるセクターを通過することでセクターに対する作業負荷の計画に影響を与えたり、ホットスポットや中期的なコンフリクションの予測精度を低下させ、下流の ACC にも影響を及ぼす。

MUAC では、このような飛行経路の逸脱を事前に把握することで軌道予測に大きなメリットがもたらされるという考えから、2018 年 1 月にプロジェクト (TPI: Traffic Prediction Improvement) を立ち上げ、過去に記録された膨大なデータを活用して、飛行軌道を予測する機械学習アルゴリズム⁶⁹を開発している。

MUAC の機械学習アルゴリズムは、ディープニューラルネットワーク (ニューラルネットワークを多層構造に階層化した機械学習モデル 以下、「DNN」という。) という手法により、航空機の速度や上昇/降下率、降下開始点を含む 4 次元軌道の予測を行う。

DNN を使用した軌道予測は、航空機が MUAC の空域に入域する前のプレ戦術段階において多くのメリットがもたらされると考えられている。DNN による軌道予測により、「航空機が、何時、どのセクターに入域するかを 1~2 時間前に

⁶⁹ TPI プロジェクト立ち上げ時は水平方向のみの軌道予測を行うものであったが、2019 年に 4 次元軌道の予測に拡張されている。

予測し、予測軌道から予想される作業負荷を FMP に提供して最適な交通流制御手法の決定を支援する。また、30分という短期間の時間軸の中での交通量の集中による渋滞（Clusters or bunching points）の予測に基づく交通流管理計画を可能にする」と考えられている。

MUAC のシステムは、従来の飛行軌道の予測ロジックと機械学習によるアルゴリズムを融合させたもので、MUAC は、機械学習アルゴリズムによるこれまでに成果について、「予測軌道の水平方向の精度が 47%以上、垂直方向の精度は 27%以上向上しており、MUAC 空域に入域する前のフライトの予測軌道の不確実性の改善が図られている。」と説明している。

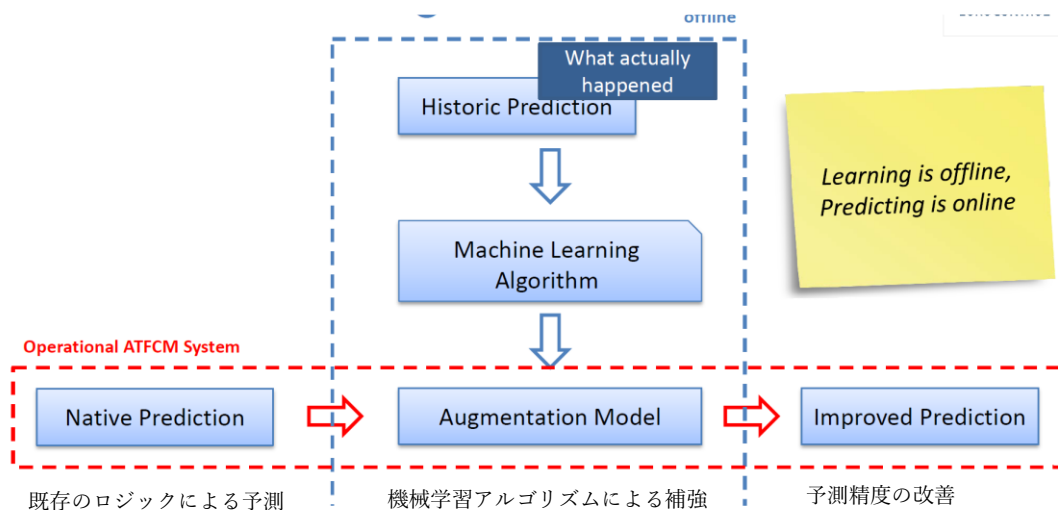


図3.6-11 既存の予測ロジックと機械学習アルゴリズムの融合

(資料) MUAC Flow & Capacity Management Improvements using AI FLY AI Webinar
30-Jun-21



prediction (red), flight plan (orange), reality (blue)

prediction for same flight with active military areas

図 3.6-12 機械学習アルゴリズムによる予測飛行軌道の改善

(資料) MUAC Flow & Capacity Management Improvements using AI FLY AI Webinar
30-Jun-21

図の黄色の線分は飛行計画に基づく飛行経路を示している。青色の線分は実際の飛行経路、赤色の線分は AI により予測された飛行経路を表している。右の図は、軍事空域が設定されている場合の飛行経路の例である。

(2) 離陸時刻の予測

現在、各フライトの離陸予定時刻 (ETOT) は、ETFMS のフライトデータから取得され、飛行計画の提出から実際の離陸まで間、定期的に更新されている。しかし、ETFMS から取得する ETOT は、許容できる軌道予測精度を提供するのに十分な精度は有していないと考えられている。また、空港の混雑や悪天候、交通流制御による遅延等により、ETOT と実際の離陸時刻は一致しない。

MUAC は、ADS-B を使用して地上における航空機の状態を評価し、平均タクシー時間を使用して離陸時刻の推定値を調整する方法を実装しているが、この方法では離陸前の 0~20 分という狭い範囲での予測は改善されるが、それ以上の時間には対応できず、また、飛行中のフライトのセクター入域時刻の予測に使用することはできない。

4D 軌道の精度 (セクター入域時刻の精度) を向上させるために、MUAC は、航空機の離陸時刻を予測する機械学習アルゴリズムを ECC (ユーロコントロール実験センター) と共同で開発し、2021 年から実装している。このアルゴリズムは、航空機の空港でのターンアラウンドタイムや、混雑状況、フライトに割り当てられた遅延等の影響のパターンを検知することで、離陸時刻の予測を現状のロジックに比べて、1 時間から 6 時間の予測範囲の中で最大約 30% 改善しているとのことである。

(3) 通過セクターの予測 (スキップセクター)

フライトが通過するセクターとフライトを管制するセクターの間には、文書化された取り決め (LoA によるハンドオーバー手順等) を考慮しても、差異が存在する。この違いは、管制官の仕事の習慣に起因する。

このアルゴリズムは、どのセクターが管制し、どのセクターがスキップされるかを予測するもので、フライトの飛行経路に沿って管制官がどのようにセクターをスキップしたり、セクターに業務を委譲するかをモデル化するもので、セクターの作業負荷の予測の改善を目的としている。

3.7 略語一覽

略語	內容
4DTRAD	4D Trajectory Data Link
ACC3	Air Cargo or Mail Carrier operating into the Union from a Third Country
ACK	Acknowledge Message
ACL	ATC Clearance and Instructions
ACM	ATC Communications Management Service
ACP	Airport Cherry Pick Regulation
ADAP	Automatic Downlink of Aircraft (Airborne) Parameters
ADP	ATFCM Daily Plan
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance - Contract
AI	Artificial Intellegence
ANM	ATFM Notification Message
ANSP	Air Navigation Service Provider
AO	Aircraft Operator
AOI	Area of Interest
AOLO	Aircraft Operator Liaison Officer
AOP	Airport Operation Plan
AOR	Area of Responsibility
API	Application Programming Interface
API	Arrival Planning Information
API	Arrival Planning Information
AR(Scenario)	Alternative Routeing
ATFCM	Air Traffic Flow and Capacity Management
ATN	Aeronautical Telecommunication Network
ATS	Air Traffic Service
ATS B2	ATS Baseline 2
ATSP	Air Traffic Service Provider
ATSU	Air Traffic Service Unit
AUA	ATC Unit Airspace
BADA	Base of Aircraft Data
CAP	Controller Access Parameters
CAPAN	CAPacity ANalyser

略語	内容
CASA	Computer Assisted Slot Allocation system
CCAMS	Centralised (SSR) Code Assignment and Management System
CCO	Continuous Climb Operations
CCO	Continuous Climb Operations
CDM	Collaborative Decision Making
CDO	Continuous Descent Operations
CDO	Continuous Descent Operations
COBT	Calculated Off-Block Time
COCA	Complexity and Capacity Analysis
COLA	Complexity Light Analyser
COP	Co-ordination Point
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communications
CPR	Correlated Position Report
CSST	Call Sign Similarity Tool
CTM	Cooperative Traffic Management
CTO	Calculated Time Over
CTOT	Calculated Take Off Time
DAC	Dynamic Airspace Configuration
DCB	Demand Capacity Balancing
DFL	Division Flight Level
DLC	Data Link Initiation Capability
DOVE	Datalink Operational Validation Experiment
DPI	Departure Planning Information
DPI	Departure Planning Information
EAD	European AIS Database
ECAC	European Civil Aviation Conference
EFD	ETFMS Flight Data
ENV	ATS Environment (Environment System)
EOBT	Estimated Off-Block Time
EPP	Extended Projected Profile
ETFMS	Enhanced Tactical Flow Management System
ETO	Estimated Time Over
EUACA	European Association of Airport Slot Coordination
FF-ICE	ICAO Flight and Flow Information for a Collaborative

略語	内容
	Environment
FL(Scenario)	Flight Level Capping Scenario
FLIPCY	Flight Plan Consistency
FMP	Flight Management Positions
FRA	Free Route Airspace
FUA	Flexible Use of Airspace
GAT	General Air Traffic
GFD	Ground Facility Designator
HAO	Higher Altitude Operation
IFPS	Integrated Initial Flight Plan Processing System
INAP	Integrated Network-ATC Planning
INP	Initial Network Plan
JSON	JavaScript Object Notation
LSSIP	Local Single Sky Implementation
MCP	Mandatory Cherry Pick Regulation
MDI	Minimum Departure Interval
MILO	Military Liaison Officer
MIT	Miles in Trail
MPR	Most Penalising Regulation
MUAC	Maastricht Upper Area Control Centre
MV	Monitoring Value
MWM	Macroscopic Workload Model
NM	Network Manager
NMOC	Network Management Operations Centre
NOP	Network Operations Plan
NOP Portal	Network Operations Plan Portal
OLDI	On Line Data Interchange
OPTICON	OPTI-mise CON-figuration
PA rate	Provider Abort rate
PBN	Performance Based Navigation
PC	Planning Controller
PPD	Pilot Preference Downlink
PREDICT	Pre-tactical System
RAMS	Reorganised ATC Mathematical Simulator

略語	内容
RR(Scenario)	Rerouting Scenario
SAFA	Safety assessment of Foreign Aircraft
SAM	Slot Allocation Message
SAM	Slot Allocation Message
SESAR	Single European Sky ATM Research (Program)
SIMEX	SIMulation and EXperiment
SJU	SESAR Joint Undertaking
STAM	Short Term ATFCM Measures
SYSCO	System Assisted Coordination
TBO	Trajectory Base Operation
TBS	Time Based Separation
TC	Tactical Controller
TCO	Third-Country Operator
TFV	Traffic Volume
TRA	Temporary Reserved Area:
TSA	Temporary Segregated Area:
TTA	Target Time of Arrival
TTG	Time To Gain
TTL	Time To Lose
TTO	Target Time of Over
UAC	Upper Area Control Centre
UDPP	User Driven Prioritisation Process
UIR	Upper Flight Information Region
UTM	Unmanned Traffic Management
VDFL	Variable Division Flight Level
WML	Workload Model
eEAD	Enhanced European ATS Database
eFPL	Extended Flight Plan (FF-ICE Flight Plan)
iFMP	Integrated Flow Management Position
iNAP	Integrated Network and ATC Planning
iNM	Integrated Network Management
iOAT	Improved OAT FPL (A Flight Plan for military Operational Air Traffic)

3.8 参考文献

- 1 EUROCONTROL ATFCM OPERATIONS MANUAL Network Manager Edition: 26.0
26-04-2022
- 2 EUROCONTROL LSSIP 2020 MAASTRICHT UAC LOCAL SINGLE SKY
IMPLEMENTATION
- 3 Commission Implementing Regulation (EU) 310/2015 of 26 February 2015 amending
Regulation (EC) No 29/2009
- 4 Commission Regulation (EC) No 29/2009 of 16 January 2009
- 5 EUROCONTROL Data link Network Operational Status Report November 2022
- 6 EUROCONTROL MAASTRICHT Upper Area Control Centre 「Don't text while
driving. Text while flying! 」 [http://letani.vsb.cz/wp-
content/uploads/Eurocontrol_factsheet-cpdlc.pdf](http://letani.vsb.cz/wp-content/uploads/Eurocontrol_factsheet-cpdlc.pdf)
- 7 Commission Implementing Regulation (EU) 2021/116 of February 2021
- 8 Commission Implementing Regulation (EU) No 716/2014 of 27 June 2014
- 9 ICAO DESCRIPTION OF THE CAPAN METHOD
- 10 EUROCONTROL Methodology Sector Capacity Assessment
Air Traffic Services System Capacity Seminar/Workshop Nairobi, Kenya, 8 – 10 June 2016
- 11 EUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTRE DOVE 1 FAST-TIME SIMULATION
EEC Report No. 381
- 12 WP3 Analysis of EEC Fast-time Simulations with TAAM & RAMS 13-Jan-2003
- 13 PROJECTING THE EFFECT OF CPDLC ON NAS CAPACITY
Clark Singledecker, NTI, ClarkNTI@aol.com, Dayton, Ohio , Stephen Giles, MITRE
CAASD, SGiles@mitre.org, McLean, VA , Evan R. Darby, Jr., FAA,
Evan.Darby@faa.gov, Atlantic City, NJ , Joseph Pino, FAA, Joseph.Pino@faa.gov,
Washington, DC , Timothy R. Hancock, FAA, Timothy.Hancock@faa.gov, Washington,
DC
- 14 EUROCONTROL ADAPTATION OF WORKLOAD MODEL OF OPTIMISATION
ALGORITHMS AND SECTOR CAPACITY ASSESSMENT EEC Note No. 07/05
March 2005
- 15 EUROCONTROL A COMPLEXITY STUDY OF THE MAASTRICHT UPPER
AIRSPACE CENTRE
EEC Report No. 403 Project COCA 2006
- 16 EUROCONTROL Introducing the EUROCONTROL Network Manager Operations
Centre September 2019

- 17 EUROCONTROL Network Manager COLLABORATION HUMAN MACHINE INTERFACE (CHMI) ATFCM Reference Guide Edition: 8.5 25-06-2021
- 18 EUROCONTROL SESAR Optimised Airspace User Operations Project ID 07.06.02
- 19 EUROCONTROL HindSight 21 Summer 2015
- 20 EUROCONTROL High Level Network Concept of Operations CONOPS 2029 - 5 July 2022
- 21 EUROCONTROL NEW NM SYSTEM ARCHITECTURE Executive summary 20/02/2019
- 22 MUAC Flow & Capacity Management Improvements using AI FLY AI Webinar 30-Jun-21

4. 課題分析

4.1 MMBB 法の課題分析

4.1.1 管制作業イベント項目、交信時間及び作業時間

現在の各管制作業イベントの交信時間は、MMBB 法の初期導入時に調査した値であり、その後、管制運用方式等の変化や新たな管制機器等の導入により、交信時間も変化していると推測されるので、見直しが必要と考えられる。

上下高度分離した高高度セクターと低高度セクター間及び隣接するセクター間において、再編前より頻繁に関係航空機の情報に関係セクターに伝える（ポイントアウト作業等）回数が増加していることから、ポイントアウトの管制作業時間を反映するために、ポイントアウトを管制作業イベントに追加することを検討する。

また、現在の管制作業イベントは、例えば、レーダーによらない管制移管において、相手側が「TWR・RADIO 空港」と「外国 FIR、洋上管制」では、無線交信の回数及び交信時間に違いがあり、相手側が同一管制機関であっても入域機と出域機で管制作業負荷が異なる場合がある。

したがって、本調査で管制作業イベントを細分化し、福岡管制部の訓練シミュレーターを利用し、有資格の管制官により複数の訓練シナリオの管制業務を行い、通信時間や作業時間の測定を実施した。

各管制作業イベント項目、通信時間及び作業時間の調査結果を表 4.1-1 にとりまとめ、調査結果と現在の設定時間を比較するため、現在の設定値を参考に記述している。

表 4.1-1 管制作業イベントの作業時間

	NO	管制イベント	平均通信時間(秒)		平均作業時間(秒)		データ数
			現在	今回調査	現在	今回調査	
入域	1	システムによるレーダーハンドオフ	8.0	6.1	1.0	0.8	101
	2	口頭によるレーダーハンドオフ	8.0	5.8	4.2	0.8	8
	3	レーダーによらない管制移管(RADIO,TWR)	14.0	13.8	4.1	3.4	2
	4	レーダーによらない管制移管(FIR,洋上)	14.0	15.5	4.1	1.7	11
	5	IFR P/U(レーダ識別込み)	21.0	33.2	11.5	0.4	1
中間	6	高度変更の指示	10.0	8.2	3.3	3.2	104
	7	直行誘導または直行指示	10.0	8.3	2.6	3.9	82
	8	機首誘導の指示	10.0	8.5	2.5	3.7	16
	9	速度調整の指示	10.0	7.2	2.8	2.2	6
	10	経路変更、管制承認の発出	15.0	35.3	9.5	3.1	8
	11	進入許可発出	10.0	9.4	4.5	5.2	4
	12	空中待機指示	10.0	20.5	8.0	6.7	9
	13	レーダー識別	6.0	9.2	2.6	3.3	12
	14	QNHの送信	4.0	3.6	0.0	0.0	4
15	交通情報の発出	10.0	9.5	0.0	0.0	9	
出域	16	レーダーポイントアウト(受)	×	10.2	×	0.4	3
	17	レーダーポイントアウト(送)	×	11.0	×	0.8	12
	18	システムによるレーダーハンドオフ	8.0	7.4	1.0	1.2	130
	19	口頭によるレーダーハンドオフ	8.0	8.3	4.2	0.7	3
	20	レーダーによらない管制移管(RADIO,TWR)	14.0		4.1		0
	21	レーダーによらない管制移管(FIR,洋上)	14.0	19.8	4.1	0.4	4
	22	CNL IFR	14	11.2	4.1	5.3	2

4.1.2 ポイントアウトの管制作業負荷計算

ポイントアウトを管制作業イベントの対象とした場合の管制作業負荷の計算は、図 4.1-1 に示す。無線通信時間は 0 とするが、考慮時間計算は、無線通信時間を調整に要した時間に置き換えて管制作業負荷を計算することとする。

ポイントアウトの管制作業負荷計算

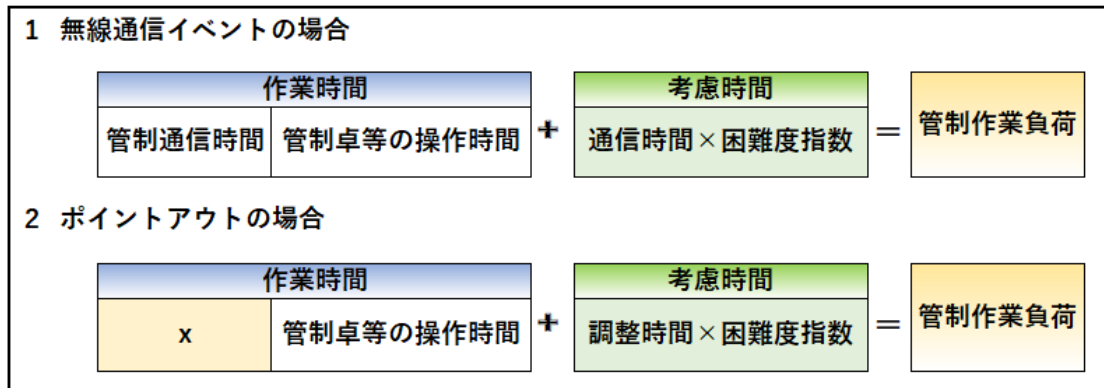


図 4.1-1 ポイントアウト時の管制作業負荷計算

4.1.3 CPDLC 運用の管制作業負荷計算

現在の管制作業負荷に関する CPDLC 運用は、FL335 以上空域で他のセクターへ管制移管する場合、音声通信による周波数移管をデータリンクによるデジタル通信に置き換えることである。図 4.1-2 は、CPDLC による周波数移管がレスポンスがエラーとなり、音声通信で周波数移管を行う場合の流れを示している。

したがって、管制作業負荷の計算においては、CPDLC の正常終了の場合とレスポンスエラーの場合との場合分けが必要となる。

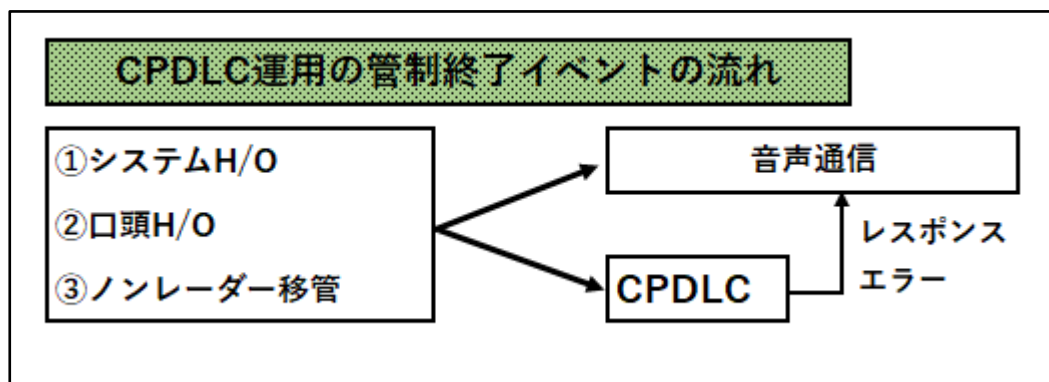


図 4.1-2 CPDLC のレスポンスエラー時の作業の流れ

表 4.1-2 は、福岡管制部において、連続約 3 時間調査した通信移管に関する CPDLC 運用のレスポンス時間のデータである。レスポンスの平均時間は 15.7 秒、エラーは 0 件であった。

表 4.1-2 CPDCL の平均レスポンス時間

通信移管に関するCPDCLレスポンス時間

平均レスポンス時間	件数	エラー数
15.7(秒)	7	0

調査時間は約3時間

図 4.1-3 は、CPDLC 運用の周波数移管時の正常終了の場合とレスポンスエラーとなり音声通信で周波数移管を行った場合の管制作業負荷計算である。レスポンスエラー時の音声通信時間は、周波数移管（送）時の管制作業イベントの通信時間を使用する。CPDLC 運用時の周波数移管に関する考慮時間は、考慮時間を計算するために必要な音声通信がないが、考慮時間は通信方法にかかわらず発生することから、音声通信の場合と同じ値を採用する。

CPDLC管制イベントの周波数移管の作業負荷計算

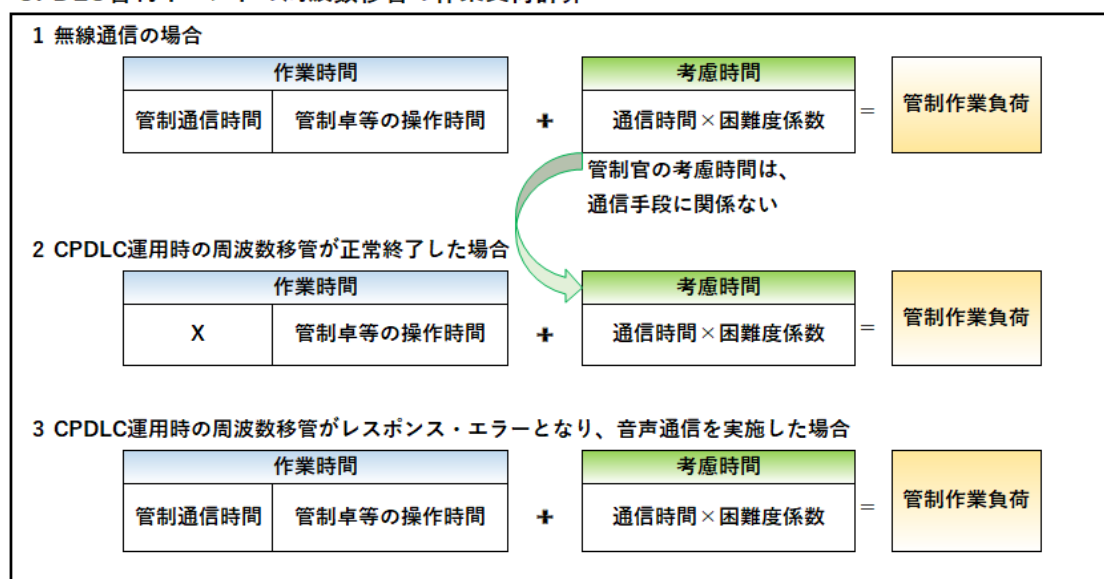


図 4.1-3 CPDLC の正常時とエラー時の作業負荷計算

4.1.4 困難度係数

管制作業負荷の構成となる「考慮時間」の計算は、各管制作業イベントの通信時間に困難度係数を乗じて計算しているが、この困難度係数についても MMBB 法の初期導入時に調査した値であり、その後、新しい管制卓の更新及び管制支援機能の導入等で困難度係数は変化していると推測される。

本調査においては、セクターの高度分離再編が完了した神戸管制部及び福岡管制部

のフルレーティング管制官に管制作業イベントの困難度アンケートを実施した。

表 4.1-3 は、アンケートを実施した管制イベント項目と各管制作業イベントに対するアンケートの結果である。

① アンケート平均値

各管制作業イベントの困難度を 10 点満点で評価した平均値である。

② 件数

神戸管制部から回答 43 件、福岡管制部から回答 90 件があった。

現在、CPDLC の運用は、高度 F L 335 以上の空域で実施しているため、項番 11, 14, 16 は、福岡管制部のみのアンケートとした。

③ 補正值

現在の困難度係数が 0~2.0 の間の設定となっているので、アンケート結果の最大値が 2.0 になるように補正した値である。

④ 現在の係数

現在の管制作業負荷の考慮時間を計算するためにしようしている困難度係数である。

表 4.1-3 困難度係数のアンケート結果

管制作業イベント困難度係数

NO	管制イベント	アンケート平均値	件数	補正值	現在の係数
1	経路変更、管制承認の発出	8.0	133	2.0	1.5
2	空中待機指示	7.7	133	1.9	1.5
3	機首誘導の指示	6.3	133	1.6	2
4	高度変更の指示	6.2	133	1.5	1.5
5	進入許可発出	5.6	131	1.4	1.25
6	速度調整の指示	5.4	133	1.4	1.5
7	レーダーによらない管制移管	5.3	133	1.3	1.25
8	直行誘導または直行指示	5.0	133	1.3	1.75
9	レーダーポイントアウト	4.8	132	1.2	
10	交通情報の発出	4.7	133	1.2	1.25
11	CPDLCを利用したレーダーによらない管制移管	4.3	90	1.1	
12	口頭によるレーダーハンドオフ	4.2	132	1.0	1
13	レーダー識別	4.0	133	1.0	1.25
14	CPDLCを利用した口頭によるレーダーハンドオフ	3.4	89	0.9	
15	システムによるレーダーハンドオフ	2.4	133	0.6	0.75
16	CPDLCを利用したシステムによるレーダーハンドオフ	2.1	90	0.5	
17	QNHの送信	1.9	132	0.5	0.25

また、神戸管制部、福岡管制部の管制官に管制作業イベントとして追加したいほうが

よいと思われる管制作業イベントについて問い合わせた結果が表 4.1-4 及び表 4.1-5 である。

現在の管制作業負荷計算は、悪天や特別な状況でない通常状態の日の管制卓のジャーナル情報から管制作業イベントを抽出しているため、悪天回避対応やデビエーションなどの特別な日の管制作業イベントは、反映されていないので当日の適正容量値の調整により対応しているものと思われる。

交通流管理の観点から、交通流制御を実施するか否かの判断指数として対空席管制官の作業負荷を用いているものであるが、管制部管制官の要望項目に調整席の作業負荷の検討も多く挙げられているため、調整席の管制作業負荷を考慮すべきかどうかは、議論が必要なところである。

表 4.1-4 管制作業イベントの追加要望項目（神戸管制部）

神戸管制部	
1	自衛隊機等・外国航空機との交信の難しさ
2	悪天回避のための対応
3	高度の制限の業務負荷
4	デビエーションの対応
5	他セクターや他機関との調整作業
6	RCAG サイトの切り替え作業
7	調整席の負荷も考慮すべきである
8	VFR 機のレーダーモニターにおける情報提供
9	高度変更の指示は、自セクターのみの場合と、上下隣接セクターを跨ぐ場合とで異なるので状況を考慮すべきである
10	TEPS の CDN 機能（調整機能）による調整作業
11	同時呼び込みや不明瞭な送信
12	飛行計画の作成作業
13	指示を発出するために「考える」ことやスキヤニングは作業負荷として考慮すべきでないのか
14	隠れているタブ画面のチェック

※レーダー席に関わる内容と考えられる項目は、緑色のハイライト

表 4.1-5 管制作業イベントの追加要望イベント

神戸管制部	
1	誘導・直行は航空機からのリクエストなのか自分から指示しているのかで考慮時間は異なる。

2	AIDC によらない移管情報の送信 (口頭 TFR)
3	NO PLN 時の対応
4	TEPS 端末 (データブロック等) の入力・操作
5	ハウリング等、通信状況が悪く聞き取れない際の対応
6	悪天等による空域侵入に対する対応
7	訓練空域・制限空域の回避
8	対面交通による到着機、出発機の高度処理及び誘導
9	特定 FIX 通過予定時刻の取得、位置通報取得のための指示、通過時刻のリスト入力
10	飛行計画の検索・入力
11	自衛隊機等への対応 (IFR pick up、特殊フライト、非 RVSM)
12	離島空港など、ACC が進入管制業務を実施している空港からの出発機に対する管制承認発出
13	RCAG サイトの切り替え
14	類似コールサインの対応
15	通信設定ができない航空機の対応
16	Say Again 等、一度では完了しなかった通信にかかる業務
17	キャンセル IFR
18	セクター間調整及び防衛省からの問い合わせの対応
19	緊急機の取り扱い
20	訓練空域の入出域にかかる作業
21	分離高度付近の通過機は、他の高度の通過機と比べて、負荷が高い。
22	高高度でのスペーシング
23	高度制限の付加
24	イベントはそれぞれ単独での評価なので、例えば 1 機に対して複数・同時に行う場合は、より負荷が上がると思う。
25	不具合事例の大多数が通信の聞き間違い等のコミュニケーションエラーに起因しているので通信の負荷を適切に算出することこそがエラー減少の鍵となる。

※レーダー席に関わる内容と考えられる項目は、緑色のハイライト

4.1.5 複数イベント入力 (HAS コマンド入力) の管制作業負荷計算

管制卓 (TEPS) の「HAS」コマンドは、①H: Heading 又は直行、②A: ALT 変更、③S: Speed 調整の 3 項目までの複数入力が可能なコマンドであり、複数入力された場合は①②③の個別コマンドに変換して、管制作業負荷の計算をする必要がある。HAS コマンドに入力可能な「機首誘導、直行誘導、直行指示」、「高度変更」及び「速度調整」の各項目の組み合わせで検討すると複雑になるため、1 項目あたり通

信時間及び作業時間の加重平均から計算すると、これらの平均通信時間は8.2秒、平均作業時間は3.2秒となる。図4.1-4は、単独入力、2項目入力、3項目入力の場合のそれぞれの1項目あたりの平均管制作業負荷を計算した場合のデータである。今回の調査結果として1項目あたりの管制作業負荷の値は、2項目指示・入力の形式が16.0秒で1番効率が良い結果となった。

シミュレーションに協力した管制官に3項目指示・入力の経験を訪ねたところ、経験者はいなかった。また、管制官からは「パイロットとの技術交流会においてパイロット側からリードバックが難しいので、3項目同時指示はしないでほしい旨の要望が出ている」とのことであった。

入力形式による通信及び作業時間(秒)

	平均通信時間	平均作業時間
単独入力	8.2	3.2
2項目入力	10.7	6.3
3項目入力	18.3	10.5



1項目あたりの通信・作業時間(秒)

	通信時間	作業時間		1項目平均WL
単独入力	8.2	3.2	通信時間	22.9
2項目入力	5.4	3.2	+考慮時間(通信×1.4※)	16.0
3項目入力	6.1	3.5	+作業時間	18.1

※1.4は、平均困難度係数

図4.1-4 HAS コマンドの管制作業負荷計算

4.1.6 運航種別の通過機識別の課題

図4.1-5はターミナル空域から出発して、高高度セクター又は出発セクターの隣接低高度セクターの通過機判定について示したものである。各航空機は以下の状況で飛行する。

- ① C1機は、高高度セクターC（通過機扱い）を水平飛行で通過する。
- ② C2機は、ターミナル空域から出発して、低高度セクターA（出発機扱い）を通過し、上昇して高高度セクターC（通過機扱い）を通過する。
- ③ B1機は、低高度セクターB（通過機扱い）を水平飛行で通過する。
- ④ B2機は、ターミナル空域から出発して、低高度セクターA（出発機扱い）を通過し、低高度セクターB（通過機扱い）入域後、高高度セクターD（通過機

扱い)へ出域する。

現在、この状況で、高高度セクターにおいて、通常の通過機C1と低高度セクターから上昇して高高度セクターCに入域する航空機C2は、現在同じ通過機扱いとなっている。2.4項でも説明したが、これらの運航種別の航空機の流れが主流を形成する場合、平均滞在時間がどちらも交通流の滞在時間から離れたものとなり、適切な管制作業負担を交通量予測グラフに反映できない事象が発生する。

また、図4.1-5の低高度セクターにおいて、航空機B1と航空機B2の通過機についても同様の事象が発生するセクターが存在する可能性がある。これらの高高度セクター及び低高度セクターで発生する事象は、到着機についても同様の事象が発生する。

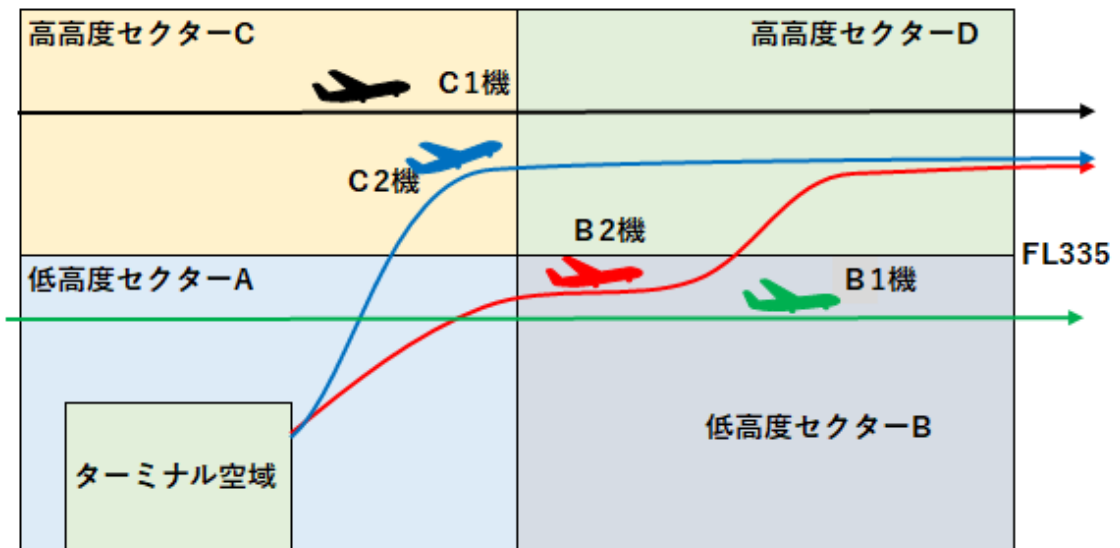


図 4.1-5 高高度・低高度セクターの通過機

この対応策として、図4.1-5のC1機及びC2機のような運航形式の異なる通過機の識別を分けて集計する必要がある。

例として、高高度セクター及び低高度セクターの通過機識別を異なる識別として分類をしてみると、図4.1-6のようになる。

① 高高度セクターの通過機識別 ID(仮)

- ・ [OL]隣接するセクターから入域し、隣接するセクターへ出域する航空機。
- ・ [OD]隣接するセクターから入域し、高度分離境界高度を通過して低高度セクターへ出域した後、システムで設定した空港へ到着する航空機。
- ・ [OC]システムで設定した空港から出発し、高度分離境界高度を通過して、隣接するセクターへ出域する航空機
- ・ [OCD]低高度セクターから入域し、低高度セクターへ出域する航空機

② 低高度セクターの通過機識別 ID(仮)

- ・ [OL]隣接するセクターから入域し、隣接するセクターへ出域する航空機。
- ・ [OD]システムで設定した空港を出発して隣接するセクターから入域し、上昇して高高度セクターへ出域する航空機
- ・ [OL]高高度セクターから降下して、低高度セクター入域してシステムで設定した空港へ到着する航空機。

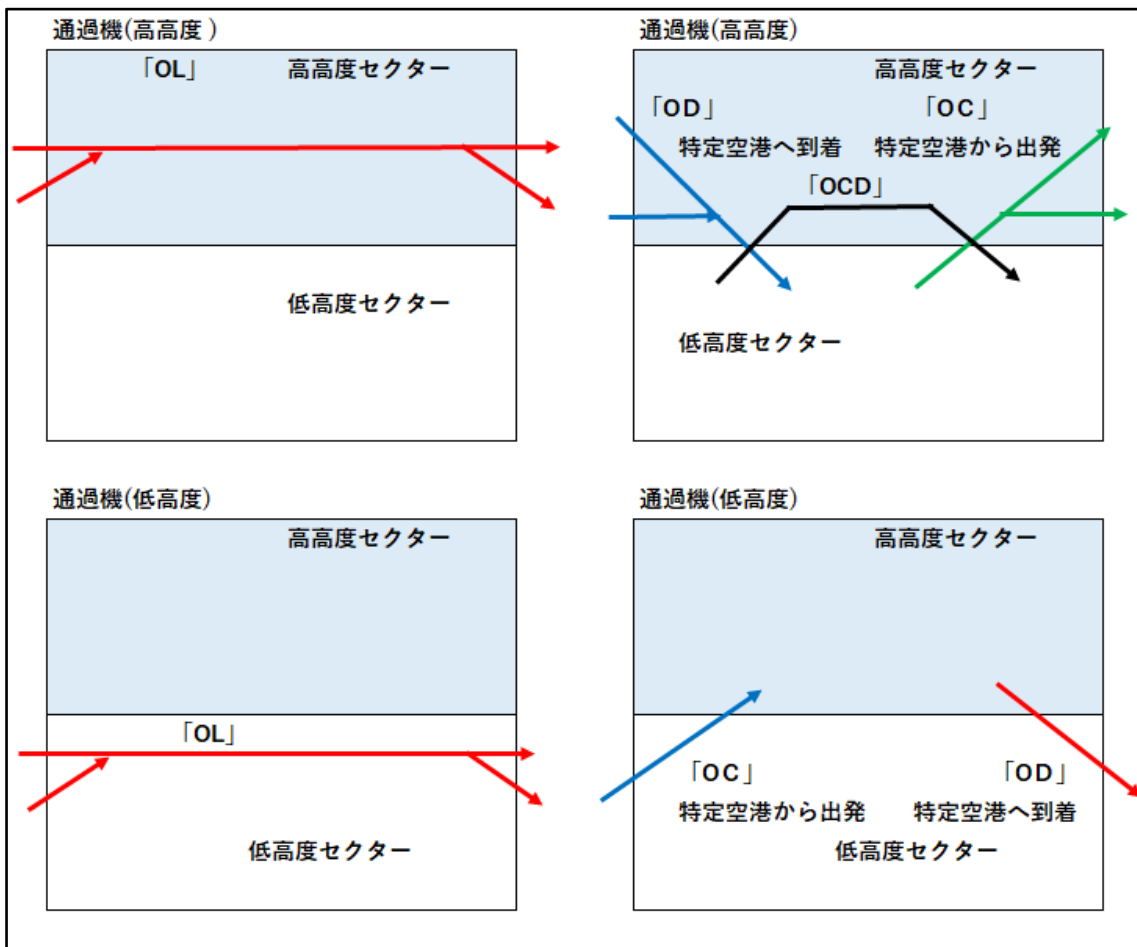


図 4.1-6 通過機の識別の細分化

4.2 新たな管制作業負荷計算手法について

4.2.1 MMB B法の管制作業負荷の積上げ方式

現在のMMB B法の管制作業負荷の積み上げ方式は、航空機のセクター滞在時間に運航種別（出発、到着、通過、域内）の管制作業単価を積み上げ、交通量予測グラフを作成している。

航空機があるセクターを通過する場合、管制作業イベントが発生した時刻と作業量を図示した例が図 4.2-1 である。

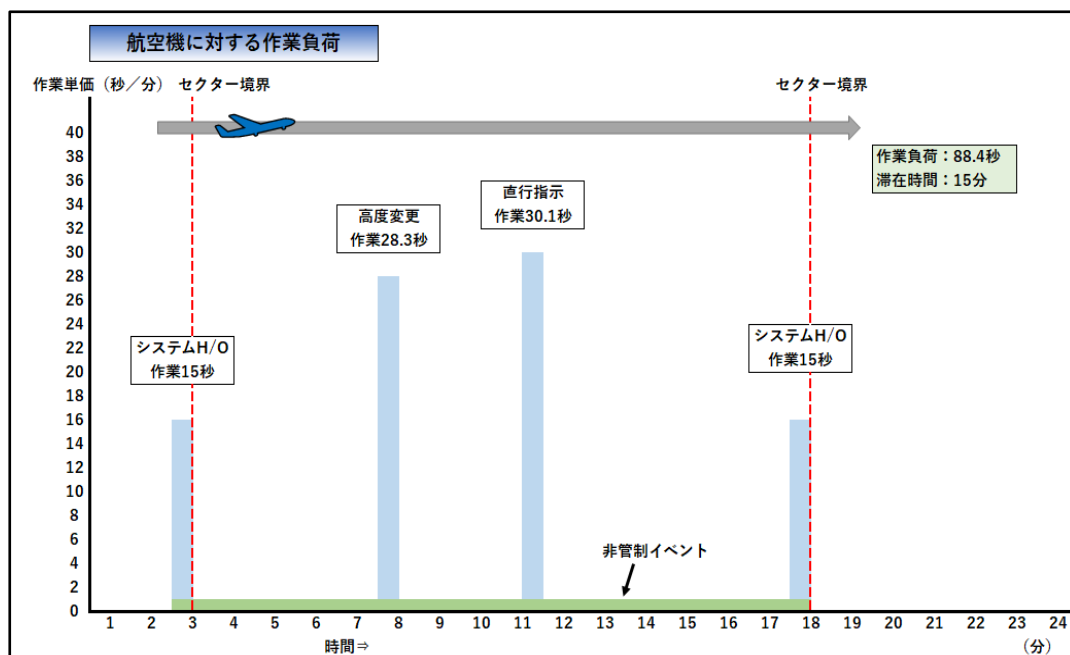


図 4.2-1 管制イベント発生（時系列）

この例の場合、現在の管制作業イベントの管制作業負荷の設定値を使用すると以下のとおりである。

- | | |
|----------------|--------|
| ① システムハンドオフ（受） | 15.0 秒 |
| ② 高度変更 | 28.3 秒 |
| ③ 直行指示 | 31.1 秒 |
| ④ システムハンドオフ（送） | 15.0 秒 |

この場合、管制作業負荷は図 4.2-2 のように、当該航空機（A 機）の当該セクターの入域から出域まで、平均管制作業単価 5.9 秒で積み上げた場合、上図のグラフとなり、入域時刻や滞在時間の異なる複数の航空機を積み上げると下図のグラフのようになる。

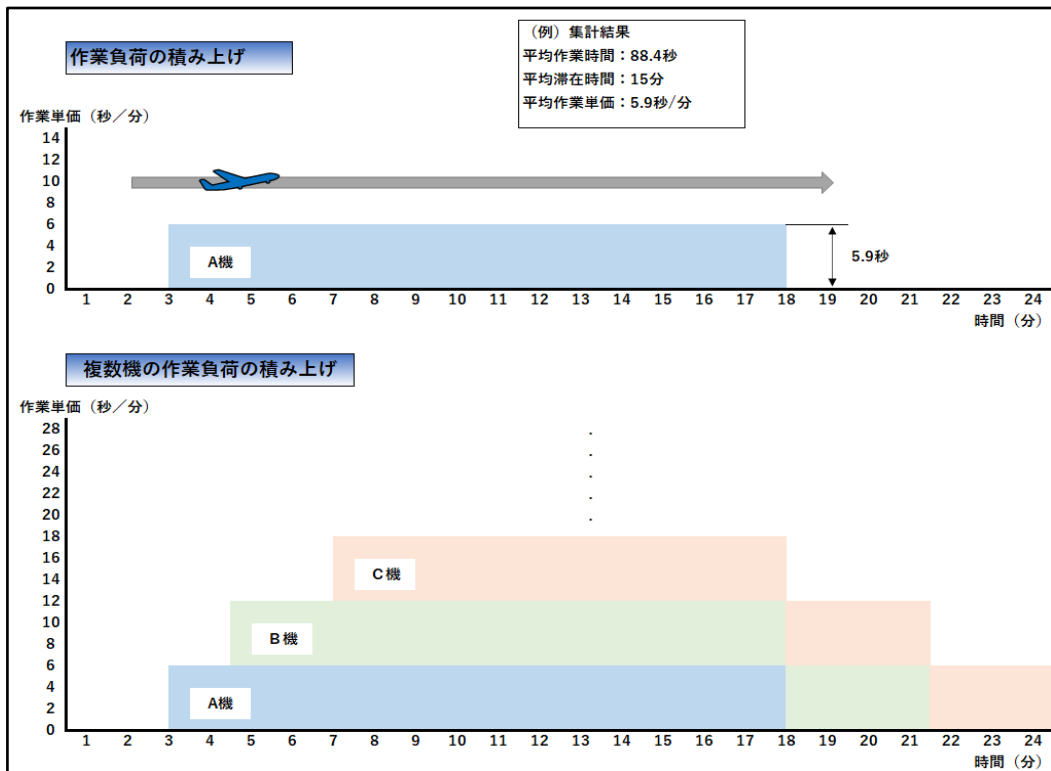


図 4.2-2 滞在時間の管制作業負荷の積上げ

交通流予測グラフに表示する棒グラフは、30分間（1800秒）の管制作業負荷の割合をパーセンテージで表すため、30分間の積み上げた管制作業負荷を30分（1800秒）で割った値のパーセントを表示したものである。図4.2-3の上図は、1分間隔に管制作業負荷を積み上げた状態を表している。そのデータを30分間集計し、1800秒で割ったパーセント表示を10分間隔で棒グラフとして表したものが交通量予測グラフである。

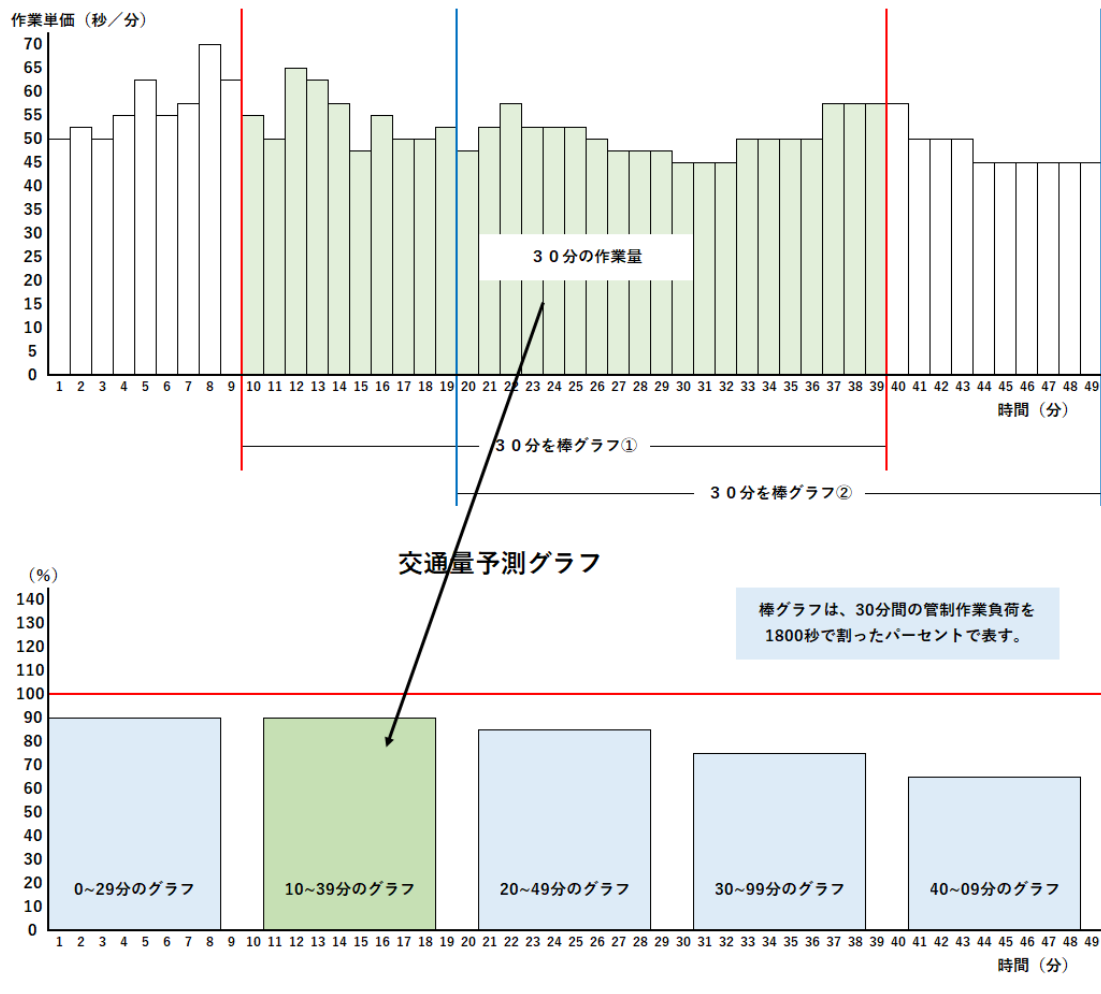


図 4.2-3 管制作業負荷の積上げと交通量予測グラフ

現在のMMBB法の管制作業負荷の積上げ方式は、関係航空機の滞在時間内に管制作業単価を積上げたものであり、滞在時間に比例して管制作業負荷は増加することになる。しかし、管制官が航空機1機に行う管制作業は、滞在時間に比例しているわけではなく、特別な状況でない限りほぼ定型的な作業を実施していると考えられる。

現在のMMBB法の管制作業負荷の積上げ方式の課題は、関係機の滞在時間がセクターの平均滞在時間より短い場合は管制作業負荷が過小評価され、平均滞在時間より長い場合は管制作業負荷が過大評価されてしまうところにある。

過去の管制作業負荷調査において、例えば、あるセクターに滞在時間10分の航空機と15分の航空機があった場合、入域から出域までのそれぞれの管制官が実施する管制作業イベントの基本的な流れは、入域時のレーダーハンドオフ(受)、高度変更等の中間イベント、そして出域時のレーダーハンドオフ(送)であり、滞在時間は異なるが、滞在時

間内で行っている管制作業イベントにそれほど大きな違いは見当たらない。現在の MMBB 法の交通量予測グラフは、滞在時間 15 分の航空機は滞在時間 10 分の航空機の 1.5 倍の管制作業負荷になるように表示している。しかし、管制官は、滞在時間 15 分の航空機と 10 分の航空機に対して定型的な作業をすることが多く、特別な作業が発生しない限り管制作業負荷に大きな差はないと考えられる。

4.2.2 新管制作業負荷の積み上げ方式

現在の管制作業負荷の積み上げ方式は、入域から出域までの管制作業負荷の一定の単価を滞在時間に積み上げている方式であるが、新しい管制作業負荷積み上げ方式は、航空機 1 機に対する管制作業負荷は滞在時間に関係しないものとして、当該セクターの運航種別の平均管制作業負荷を基準にどの航空機にも適用する管制作業負荷の積立て方式（仮称：新積み上げ方式）である。

新積み上げ方式では、作業負荷単価に滞在時間を乗じた作業負荷は一定とすることから、以下の式で表される。

$$\text{管制作業負荷（定数）} = \text{作業負荷単価} \times \text{滞在時間} \cdots \text{①}$$

① 式を変形して

$$\text{作業負荷単価} = \text{管制作業負荷（定数）} \div \text{滞在時間} \cdots \text{②}$$

横軸に滞在時間、縦軸に作業負荷単価として滞在時間 3 分、5 分、10 分、15 分、20 分の積み上げについて、現在の管制作業負荷の積み上げ方式で示したのが図 4.2-4 であり、新積み上げ方式で示したが図 4.2-5 である。滞在時間と作業負荷単価で作られた長方形の面積が管制官の作業量を表している。現在の積み上げ方式は、滞在時間に比例してグラフの面積が横に大きくなっていくのに対して新積み上げ方式は、滞在時間が増加しても、その分上記②の式に従って作業負荷の単価は減少する。

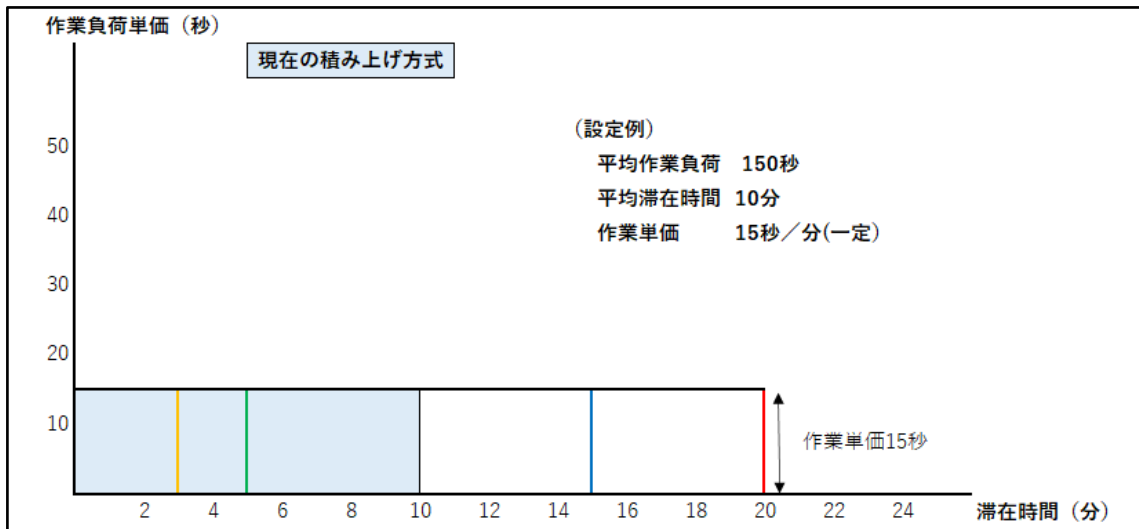


図 4.2-4 MMBB 法の管制作業負荷の積上げ方式

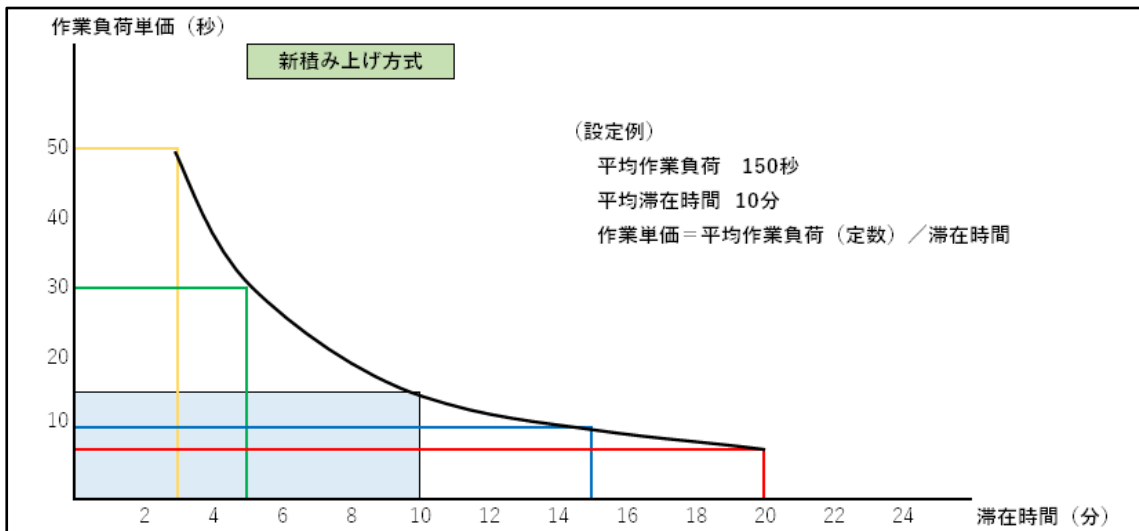


図 4.2-5 新積上げ方式

また、管制イベント非対応の作業（周波数サイト切り替え、経路表示、距離測定、ターゲット監視等）は、滞在時間（言い換えれば管制下機の間）に一定量の作業が発生することから、管制作業負荷は滞在時間に単価を積み上げることを検討する。管制イベント非対応の作業量単価については、別途、設定値を調査する必要がある。

従って、新積上げ方式及び管制イベント非対応時間の管制作業負荷の計算は、図 4.2-6 の構成になる。

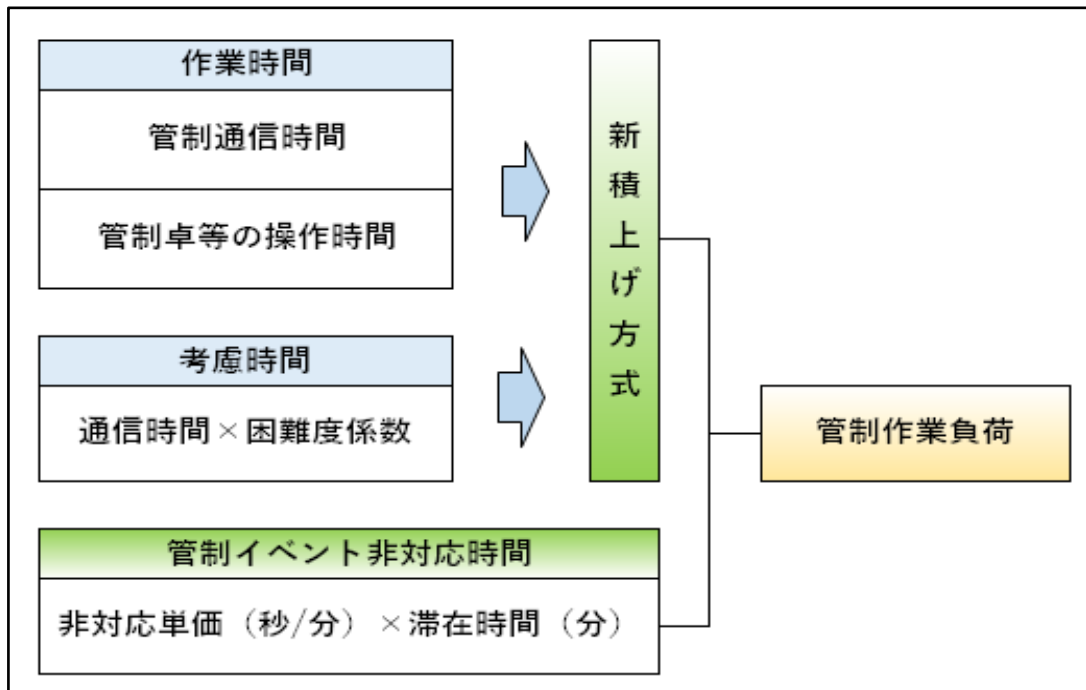


図 4.2-6 新積上げ方式と管制イベント非対応作業の管制作業負荷の構成

4.2.3 シミュレーションを利用した管制作業負荷計算

現在の MMBB 法の管制作業負荷算出方法は、運用実態データから算出しているものであり、大きな管制運用の変更や大きな空域再編が行われる場合、事前に空域容量の評価や管制作業負荷を算出することができない。

ユーロコントロールでは、空域容量の算出手法として CAPAN という分析システムを開発し、空域構造、管制方式の変更、大規模な航空管制システムの変更などに対応して、事前にセクター容量に与える影響を評価している。

我が国においても、ユーロコントロールで実施している管制作業評価手法の CAPAN 法等を参考に日本の管制業務の各管制作業イベントの工程を分析し、新たな管制作業計算手法を検討する必要がある。具体的には疑似的に航空機の飛行情報を発生させ、セクター内で発生する管制作業イベントをシミュレーションする。また、シミュレーションにおいてはコンフリクト検知を行うとともに、そのコンフリクトを解消するため、状況に応じて管制処理（高度変更、レーダー誘導、スピード調整など管制作業イベント）を発生させる必要がある。これらの発生した管制作業イベントを集計することにより管制作業負荷を検証・評価するツールが必要と考えている。また、経路の変更、巡航高度の変更、出発時刻をランダムに変更させる機能など、色々なパターンのシナリオを自動的に実施し、空域容量を検証・評価する必要がある。

このようなシミュレーションを実施し、管制作業負荷を計算するためには、以下のようデータが必要となる。

- ① 環境データ
空域構造データ、経路情報、ポイント（FIX）情報等
- ② 交通量データ
過去の航空機の飛行実績、スケジュール便などの情報を登録、変更、削除できる飛行データなど
- ③ 管制ルール
管制業務を反映する管制方式や管制作業イベントの発生ルールなど
- ④ 管制処理の手順ロジック
コンフリクトの検出及びその回避ロジック、将来は AI(人工知能)を導入して機能の向上を図る
- ⑤ 航空機の性能情報
航空機の軌道を計算するための航空機の性能情報
- ⑤ ATC タスクの定義
管制官のタスクの定義と実行時間（管制作業イベントのデータなど）

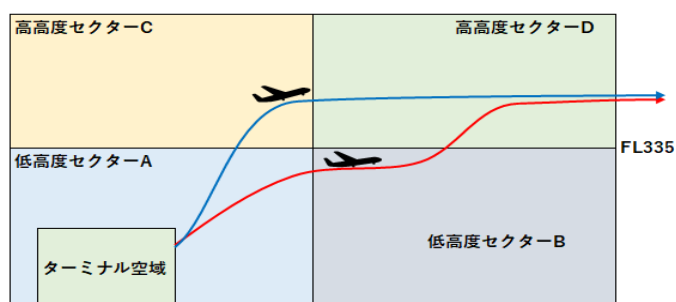
MUAC は、AI（機械学習）のアルゴリズムを利用して、飛行軌道の予測や、離陸時刻の予測及び通過セクターの予測に係る予測精度の向上を図り、セクターの管制作業負荷の予測に活用している。

今後、我が国においても、レーダーデータやフライトデータ等のビッグデータを活用した AI（機械学習）技術を利用して、飛行軌道の予測、離陸時刻の予測、複雑なセクター構造の通過セクターの予測などの精度向上を図る必要があると考える。将来的には、管制作業イベント、コンフリクト検知及びコンフリクト解消処理などに近年性能が大きく進化している AI(機械学習)の導入を検討する必要があると思慮する。

5. まとめ

5.1 管制部上下分離の課題

本調査は、空域上下分離再編後の管制業務上の課題を抽出するため、神戸管制部、福岡管制部の管制官へ聞き取り調査を実施した。その結果、神戸管制部及び福岡管制部高高度セクター及び低高度セクターの管制官から分離高度付近の関係機の調整業務が増加しており、調整席の業務量が増加しているため、レーダー席管制官の管制作業負荷と調整席管制官の業務量も交通流管理の対象としたほうがよいとの意見があった。現在の交通流管理の容量値として、レーダー席（対空席）の管制作業負荷を使用しているが、調整席まで対象とするか否かは議論が必要と思われる。



また、交通流管理の運用上の課題を抽出するため、航空交通管理センターの管理管制官へ聞き取り調査を実施した。

この調査の結果、左図のように出発機が出発を扱う低高度セクターから次のセクターが高高度セクターCになるのか隣接する

低高度セクターBとなるのかの予測が難しく、原則的な運用に合わせた高度補正を行っても予期しないセクターを通過することにより交通量予測グラフが急増、急減する事象が発生している。

現在のところ、離陸後の飛行計画と異なる高度、経路により変化する通過セクターを予測することは難しいが、航空機からの4Dトラジェクトリー情報が地上システムにダウンリンクされるようになれば、航空機の動向を正確に把握できるようになり、セクター通過判定の精度が向上するものと思われる。また、将来、AI（機械学習）技術を利用することにより、周りの交通状況を判断して飛行軌道の予測、複雑なセクター構造の通過セクターの予測などの精度の向上が図れるものと期待する。

5.2 MUAC 及びユーロコントロール

海外文献調査では、マーストリヒト高高度管制部及びユーロコントロールにおけるセクター構成、交通流管理手法及びCPDLC等の新技術を導入した管制運用などについて調査した。

マーストリヒト高高度管制部（MUAC）は、ユーロコントロールが運営する多国籍の組織で、ベルギー、ルクセンブルグ、オランダ、及びドイツ北西部の4カ国の上空のブリュッセルUIR、アムステルダムFIR、及びハノーバーUIRのFL245からFL660までの空域を管轄し、ブリュッセルセクターグループ、デコセクターグループ、ハノーバーセクターグループの3つのセクターグループで構成されている。また、MUACは上下セクタ

一境界高度を動的に変更する可変境界高度 (FL355⇔FL375) をハノーバーセクターグループに導入し、交通需要に応じてセクター間の境界高度を戦術的に変更することで、上下セクターの作業負荷の分散を図っている。

MUAC では、2019 年 12 月からフリールート空域の 24 時間運用を行っており、航空機運航者は、標準的な ATS ルートに代えて、いくつかの制限 (制限空域などの回避) の下で、飛行経路を自由に選択することができる。

欧州の CPDLC の運用は、2020 年 2 月 5 日から、IFR で飛行する FL285 以上のすべての民間航空に対して CPDLC (データリンク通信機能) の搭載を義務化し、以下の 4 つのサービス機能の実装を義務化している。

- (1) DLC (Data Link Initiation Capability) : 管制機関と航空機との間でデータリンク通信を可能とする機能
- (2) ACM (ATC Communications Management Service) : セクター間やセンター間の通信移管に係る機能
- (3) ACL (ATC Clearance and Instructions) : フライトクルーが管制官に対してフライトプロファイル (経路、高度等) の変更に関する要求及び管制官がクリアランスや指示、通知を発出するための機能
- (4) AMC (ATC Microphone Check Service) : 管制官が CPDLC 対応航空機に音声通信機器が特定の音声チャンネルをブロックしていないかを確認するための機能

ATS データリンクサービスに関する規格である ATS B2 (ATS Baseline 2) は、4DTRAD (4D Trajectory Data Link) サービスによって軌道ベースの運用をサポートするものである。4DTRAD は、航空機と管制機関の間で常に最新の軌道情報を共有し軌道の精度を維持するため 4D 軌道との整合性を監視するものである。

データリンク技術の活用は、管制官とパイロットとの第 2 の通信手段を提供するもので、無線通信への依存度を減らすことでセクターにおける周波数の混雑を緩和し、安全性を高め、管制官の作業負荷を軽減するための主要な手段であると考えられている。

ユーロコントロールは、DOVE プロジェクト (Datalink Operational Validation Experiment) の中で、データリンクの導入による作業負荷の軽減/セクター処理容量の増加に関する様々な研究、調査 を実施してきている。

CAPAN (CAPacity ANalyser) は、ユーロコントロールのネットワーク管理 (Network Manager) が開発したセクターの処理容量を算出するための手法である。空域構造、航空管制方式の変更、大規模な航空管制システムの変更等がセクター処理容量に与える影響の評価及びセクター処理容量の再評価等に使用している。また、CAPAN は、シミュレーションソフトウェア (RAMS、RAMS+) を使用して所定の交通量に対する管制官

の作業負荷を推定し、セクター毎に一定期間に実施される管制官のすべてのタスクを集計し、そのタスクの実行のために消費される時間に基づいて管制作業負荷を算出している。一般的に、CAPAN による作業負荷の算出には多くの労力が必要とされることから、ユーロコントロールは作業負荷の算定を容易にするために、ATC タスクに係るパラメータを簡素化した作業負荷算定モデルとして MWM を開発している。MWM は、セクターの複雑性を考慮した作業負荷とセクター処理容量の関係の分析に使用されている。

欧州では、ユーロコントロールのネットワーク管理運用センター (NMOC) が、「One single Flow Management System over Europe」の考えに基づき、国境を越えた空域データ管理や飛行計画サービス、航空交通流容量管理サービスを提供している。

NMOC による交通流管理は、以下の 4 つの段階で構成される。

- (1) 戦略的交通流管理 (Strategic flow management)
- (2) プレ戦術的交通流管理 (Pre-tactical flow management)
- (3) 戦術的交通流管理 (Tactical flow management)
- (4) 戦術段階終了後の分析 (Post operational analysis)

ユーロコントロールは ATFCM 運用マニュアルの中で、容量の不足の解決策として以下の手法を実施している。

①セクター管理

交通需要を分散させるためにセクターを分離しセクターの構成を変更する。

②到着容量と出発容量のバランス調整

複数滑走路の運用の運用方式を検討し、空港容量を増やし遅延を最小限に抑える。

③フライトリストの評価

フライトリストにより、交通流の複雑さを予測し適切な措置を講じる。

④処理容量値の調整 (監視値の見直し)

監視空域における交通量と処理容量を監視し、監視値の一時的な増加の協議や、監視値の見直しを行う。

⑤軍民調整 (ATFCM/ASM)

CDMを通して、訓練空域や制限空域等の使用調整を行う。

⑥トラフィックの複雑さの軽減

航空交通を複雑にしているフライトを特定して、シナリオの使用や、STAM等により交通流の複雑さを軽減する。

⑦待機経路

混雑空域外での待機を指示することで、交通の集中を回避する。

⑧経路変更 (Reroute)

空域利用者に提供される代替経路案を提供、調整する。

⑨FL管理 (FL Level Capping Scenario)

混雑した空域を避けるために、上昇、または降下を制限する。

⑩フライトの前倒し

ネットワークの最適化を図るために、規制対象となったフライトの前倒し(遅延の緩和)を実施する。

⑪FMPによる戦術的交通流管理

- ・FL管理 (Level Capping)
- ・経路変更 (Rerouting)
- ・最小出発間隔 (MDI Minimum Departure Interval)
- ・マイル・イン・トレイル (MIT Mile In Trail)

⑫交通流制御の実施

交通流制御の対象となった空域または空港に入域する航空機数の制限やスロットの割当 (CTOTの発行) により実施する。

⑬チェリーピック

特定のフライトを選択して交通流制御を適用する。

交通流管理の将来計画については、3.6項のATM将来計画の中で説明しているが、その中から交通流管理に関係する項目について、取りまとめると以下のとおりとなる。

(~2025年)

- ① 空域容量と飛行効率の向上
- ② ATS業務の委任
- ③ 動的セクター構成
- ④ 利用者の優先順位を考慮したスロット交換 (UDDP)
- ⑤ 交通流管理から協調的交通管理への進化
- ⑥ ICAO FF-ICE (FF-ICE/1) に基づくeFPLの実装
- ⑦ OAT及びVFRの飛行計画をネットワークに統合
- ⑧ ADS-CのEPPを管制官に提供し、軌道の遵守状況を監視
- ⑨ 複雑性と作業負荷に関連した新しい指標の検討
- ⑩ 航空路や空港の処理容量のリアルタイムでの更新
- ⑪ AMANの範囲を航空路まで拡大
- ⑫ 飛行計画の予測精度を向上させ航空路、空港処理の改善
- ⑬ AMAN/DMANを統合し、空港/TMAのスループットの向上

(~2029年)

- ① セクターの再設定
- ② ネットワーク運用と管制業務の統合

- ③ 飛行優先順位及びパフォーマンスの最大化
- ④ CPDLCのメッセージ拡大
- ⑤ 複数の交通流制御の影響の軽減
- ⑥ FF-ICE/R2に基づく軌道管理
- ⑦ 管制業務による軌道変更の最新情報をNMに提供
- ⑧ 小規模空港や地方空港をATMネットワークへ統合

今後、交通流管理は協調的交通管理(Cooperative Traffic Management)環境に移行し、個々のフライトではなくフローの管理に焦点を当て、需要と処理容量のバランスを図る。CTM への移行に際して、以下の改善が計画されている。

- ① STAMの強化
- ② 飛行計画の予測可能性の向上
- ③ 目標時刻の運用 (Target Time)
- ④ 拡張到着管理 (Extended Arrival Management)
- ⑤ ユーザー主導の優先順位付け (UDPP)

現在のネットワーク管理システムは段階的に廃止され、2030年に、新システムに完全に移行することが計画されている。

欧州連合は、航空交通管理の領域をAI、特に機械学習の利点を最大限に活用できる分野の1つと考えていて、ユーロコントロールは、新ネットワーク管理システムの設計概念にビッグデータの活用や、機械学習による行動パターンの予測等を取り入れている。

MUACは、2018年にプロジェクトを立ち上げ、飛行軌道を予測する機械学習アルゴリズムを整備していてセクターの作業負荷の予測等に活用している。

5.3 MMBB法の課題分析

(1) 通過機の運航種別

運航種別の識別に関しては、セクターを上下分離し、水平方向に空域を広げたことにより、4.1.1(6)で説明したように高高度セクター及び低高度セクターにおいて異なる特性の通過機が同一に取り扱われることとなり、適切な管制作業負荷の計算になっていない可能性がある。そのため、通過機の識別を再分類する必要がある。

(2) 管制作業イベント項目

管制部のヒアリングで上下分離後調整業務が増加し、それに伴いポイントアウトの機会も増えたとの意見もあり、レーダーポイントアウトを管制作業イベントに追加することを検討することとした。また、管制作業イベントの細分化による通信時間や作業時間の測定及び新デジタル技術のCPDLCによる通信移管に関する作業等

を計測し、今後の管制作業負荷計算方法の考え方をまとめることとした。

(3) 通信時間及び困難度係数

管制作業イベントの交信時間及び考慮時間を算出する困難度係数は、MMBB 法導入時の調査値から変化している可能性があるため、管制部訓練シミュレーターを使用して有資格者による管制業務の模擬を実施し、各管制作業イベントの通信時間及び作業時間の測定を行った。また、各管制作業イベントの困難度係数については、神戸・福岡管制部のフルレーティング管制官にアンケートを実施した。

5.4 新たな管制作業負荷算出方法

(1) 新積み上げ方式と管制イベント非対応時間

現在のMMBB法の管制作業負荷の積み上げ方式は、滞在時間に比例して全体的な管制作業負荷は増減することになるが、管制官が航空機1機に行う管制作業は、特別な状況でない限りほぼ定型的な作業となることが多いことから、管制官の1機に対する管制作業負荷（管制作業量）を一定とし、滞在時間に対応して作業単価が変化する「新積み上げ方式」を検討した。また、管制イベント非対応作業（周波数サイト切り替え、経路表示、距離測定、ターゲット監視等の作業）は滞在時間に依存する項目が多いことから滞在時間に一定量を積上げる方式を検討した。

ただし、管制イベント非対応作業については、空域が上下分離され大きく変わっていることや管制卓が替わったことなどから、別途、調査が必要と考えている。図 5.4-1 は、これらの管制作業負荷計算に関する内容の概要を示したものである。

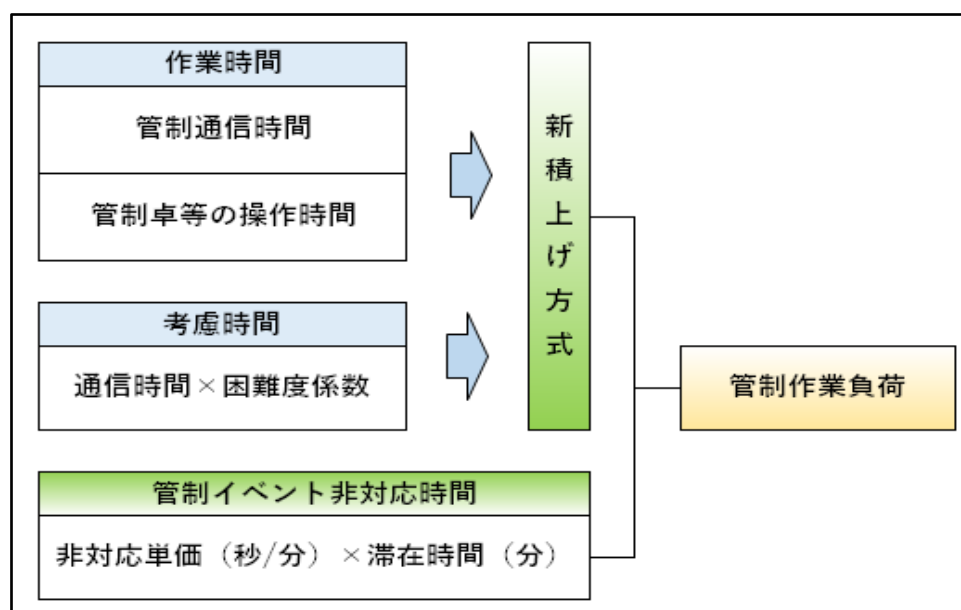


図 5.4-1 新積み上げ方式の管制作業負荷計算の概要

(2) AI(機械学習) を利用した管制作業負荷計算方法

MUAC は、AI (機械学習) のアルゴリズムを利用して、飛行軌道の予測や、離陸時刻の予測及び通過セクターの予測に係る予測精度の向上を図り、セクターの作業負荷の予測に活用している。

今後、我が国においても、レーダーデータやフライトデータ等のビッグデータを活用した AI 技術 (機械学習) を利用して、飛行軌道の予測、離陸時刻の予測、複雑なセクター構造の通過セクターの予測などの精度向上を図る必要があると考える。実運用に AI の機能を導入する際には、飛行軌道や通過セクターの予測及びコンフリクションの検知・回避等を予測し、セクター内で発生する管制作業負荷を計算・評価するツールの開発が必要と考える。この AI 技術を導入した空域容量・管制作業負荷等の評価ツール (システム) を使いながら、飛行軌道等の予測精度を向上させるように AI 技術を育てていく必要がある。

今後、AI 技術はいろいろなビジネス分野や社会生活などの中に取り込まれていくことから、交通流管理を含む ATM 業務においても AI 技術の導入を検討する必要があると考える。