

8. 将来の航空交通管理システムの見通し

航空交通管理領域 ※三垣 充彦

1. まえがき

首都圏の空域は、一極集中化と需要の増大により輻輳が一段と進み、今後もその度合いはさらに増すことが予想される。この課題に対処するために、空港の拡張、管制方式の変更、空域の再編等が検討され、実施されている。

一方、長期的にみて、もっと根本から航空交通管理システムを見直し、対策を検討して実施していく必要があると考えられる。このために、本稿では従来の管制運用システム・方式に拘らない、新しい航空交通管理システムについて検討し、一つの基本的な構成案を示している。

2. 管制システムの課題

現在、航空交通管制（以下、管制という）は大略レーダ管制が行われている。これは適当な広さの空域に区分された空域ごとに航空管制官（以下、管制官という）がレーダ表示装置（レーダ管制卓）に表示される航空機を監視し、必要に応じて管制指示等を発出する方式である。通常、レーダ管制卓を監視するレーダ管制官と主に周辺の関連空域と調整等の業務を行うもう一人の管制官により行われている。ここで、例えば10分後、30分後の空域の状況を常に先読みすることは円滑な管制には必要不可欠であり、将来に亘る航空機の情報等は、1機ずつ短冊形の紙片にその飛行計画情報を印字した運航票から読み取っている。（図1参照）

図2は、シミュレーション実験で得られた約1時間の羽田空域における航空機の飛行航跡である。この図のように多数の航空機が離着陸し、輻輳の続く主要空港のターミナル空域では、ほとんどの航空機は、管制官の指示によるいわゆるレーダーベクター等に従って飛行している。これは、管制間隔を維持し、安全に航空機を到着、出発させるために行われるもので、やむをえないものである。（エンルート空域においても同様である。）

管制官の取り扱う航空機数が多くなると、認識・判断の頻度は増大し、発出する管制指示も多くなる。管制卓の操作も頻繁になる。また、隣接する空域等との管制移管に関わる業務も当然増大する。空港の拡張等により、さらに多くの航空機が離着陸するようになると、管制官の業務はますます増大するが、現在の管制・運用システムに大きな変革がなければ、増加する業務は大体管制官の技量で吸収しなければならない。管制官の負担はより多くなることは容易に予想される。



図1 管制の様子（シミュレーション実験）



図2 飛行航跡例（シミュレーション実験）

以上より課題を整理すると、まず第一に、運用の主体は管制官であり、管制官個人の思考の中で情報が処理され、新しい情報が作られている。手動的な管制システムといえる。第二に、管制官の指示、音声はアナログ量であり、システムの多くを構成するコンピュータを流れるデジタル情報と相容れない。第三に、管制は、それぞれの空域の中で責任と権限を持った管制官により遂行されている。関連する周辺空域との調整は、それぞれ必要に応じてなされている。これは、言わば区域を限定した戦術的管制であり、局所的な混雑、円滑でない交通流を生じやすいシステムである。

一方、航空運航の安全と発展を支える基盤である通信、航法、監視に関する技術は大きく進歩しているが、管制システムへの活用は部分的で、まだ不十分である。

3. 将来システムの基本要件

将来の管制システムの検討に当たって、従来の管制システム・運用方式に拘らず、根本から見直す、ことを前提とし、先の課題を考慮して、管制官はできるだけ監視にのみ努め、航空機が飛行計画に沿って効率的に飛行できるシステム（自動管制指向システムという）を目指して検討を進めている。

すなわち、システムの基本的な要件として、個々の管制官が指示をできるだけ発出しなくて済むようなコンピュータシステムによる管制間隔の保持と、局所的な混雑を解消する柔軟な交通流管理とした。

一方、将来のシステムを検討するてがかりは情報と予測である。すなわち、航空管制に必要な情報は、第一に飛行計画、航空機の現在位置であり、将来位置の予測である。情報を別の見方をすれば、空間的な情報と時間的な情報に分類される。また、予測は非常に重要であり、システムの性能を左右する課題と考えられる。

検討事項等を以下に示す。

- ・ 先端技術の導入
- ・ 管制から監視へ
- ・ 自動管制指向システム

- ・ 飛行計画に沿った運航
- ・ 管制間隔の保持
- ・ 局所的な混雑の解消
- ・ 情報の整理
- ・ 情報の電子化
- ・ 予測処理機能

管制間隔の保持には、システムによりあらかじめ設定した複数の経路（調整経路という）から最適な経路（推奨経路という）を割り当てる方法を検討する。また、局所的な混雑の解消には、管制機関間の連携による混雑情報を活用する方法を検討する。

この検討事項等を図式化したものを図3に示す。

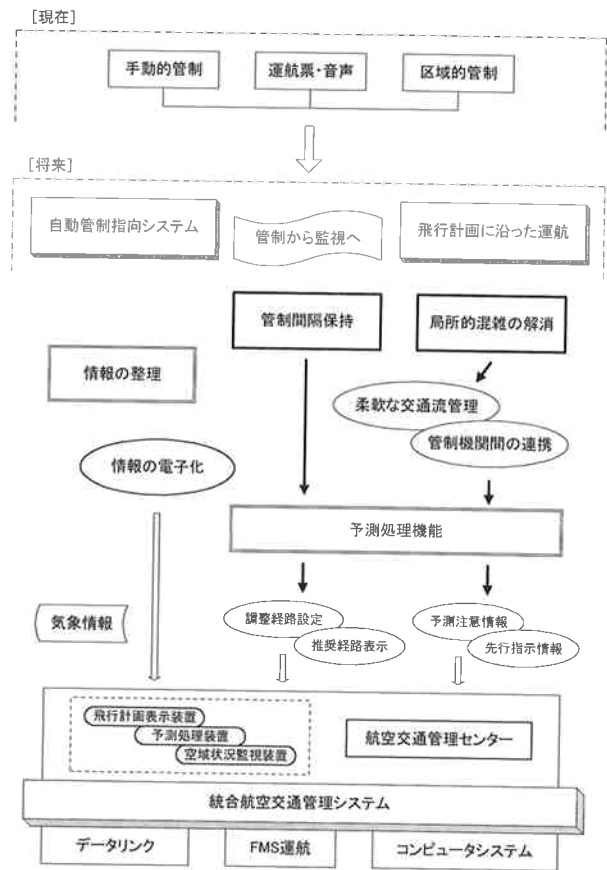


図3 将来システムの検討

4. 将来システムの概要

将来の航空交通管理システムの構成として、それぞれの空域には基本的に時間的な情報を表示

する装置（飛行計画表示装置という）と空間的情報を表示する装置（空域状況監視装置という）を設け、これに予測処理のための装置を接続する。そして全空域を統合して監視するために航空交通管理センターを設置し、それぞれの空域に設置する前述の装置と情報の送受を行う。

これらの装置で、前項で述べた飛行計画情報の電子化、短・中期の予測処理、システムによる管制間隔保持、および管制機関間の連携の諸機能を実現する。

図4に全体の基本構成を示す。

以上の構築には、空地データリンクによるデジタルデータの送受信、信頼性の高いFMS（Flight Management System、統合型航法機上装置）を搭載した航空機、広域航法方式による飛行方式の導入等を前提としている。

各装置のおもな機能等は、

- ◇ 飛行計画表示装置 — 飛行計画情報の電子表示、管制指示情報の入力機能。
- ◇ 空域状況監視装置 — 航空機位置情報の表示、調整経路（推奨経路）の表示（提示）。
- ◇ 予測処理装置 — 短・中期の予測、推奨経路の算出、混雑予測警報生成。

であり、以下にそれぞれの装置の主要機能について述べる。

4.1 飛行計画表示装置

飛行計画表示装置は、従来の紙の運航票とパイに代わるものであり、紙の運航票と同様に1機ずつ短冊形の枠内に電子化した情報を表示する形式とした。表示画面全体の構成案を図5に示す。表示に必要な情報は、詳細に検討して常時表示するものと必要に応じて随時表示するものに分ける。

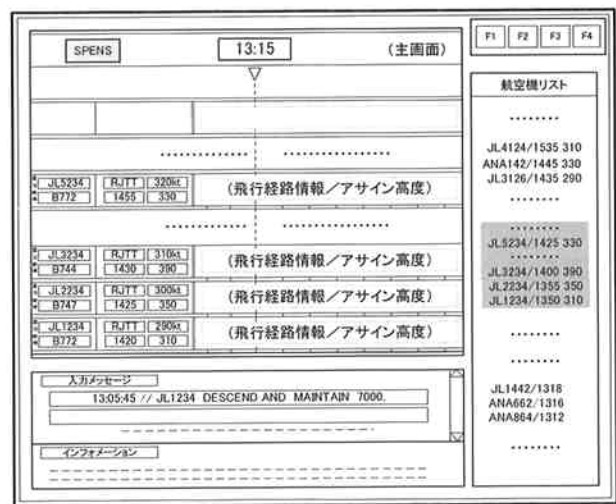


図5 表示装置の画面構成案

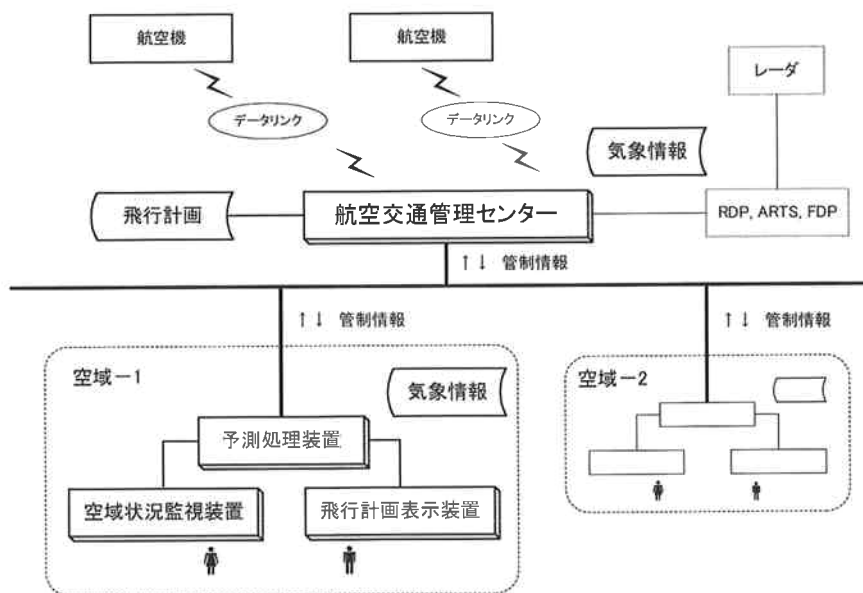


図4 統合航空交通管理システムの基本構成

飛行経路情報の表示は短冊の右側に時間軸を取り、これに沿ってフィックス名を配置する形式とする。これにより各フィックスを通過する時刻情報を直接目視で得ることができ、各航空機の将来の位置予測が容易になる。また、短冊を並置することにより、航空機間の相対的な位置関係も容易に理解できる。

飛行経路情報の表示方法を詳しく述べる。まず、記録されている飛行経路情報を時間軸に沿って視覚的に表すと、図6の下部に示すように出発空港から到着空港まで、通過予定時間に合わせてフィックス名が並ぶことになる。このうちの現在時刻を含んだ決められた時間帯の部分を取り出して短冊の右側の箇所に表示する。適当な時間間隔で表示の更新を行い、時間の進みに合わせて切り出す窓を移動する（横に滑らす）。

管制官が指示等を入力する場合のために入力機能を備える。また、次の段階では音声による入力機能の付加も考えられる。

4.2 予測処理装置

本装置は、各航空機の将来位置の予測計算・処理、情報の生成を行うものである。また、予測情報を必要に応じて表示する表示部を設ける。

予測処理機能は、管制間隔保持と柔軟な交通流管理のために必須の機能であり、短・中期(数分から数十分)の予測計算を行い、後述する情報を生成する。

短期予測ではまた、隣接する航空機間の間隔を求めて、コンフリクト警報の生成を行う。

なお、長期予測は航空交通管理センターにおいて実施する構成とする。例えば約2時間先の各空域の状況を予測し、閾値を越す混雑が予測された場合、関係する航空機に出発規制等の指示を発出する。

以下に重要な予測処理について述べる。

(1) 推奨経路割当て情報の生成

予測計算の一つは、系統的に順次入域する航空機の管制間隔を保持するために、推奨経路を割り当てる情報を生成するものである。

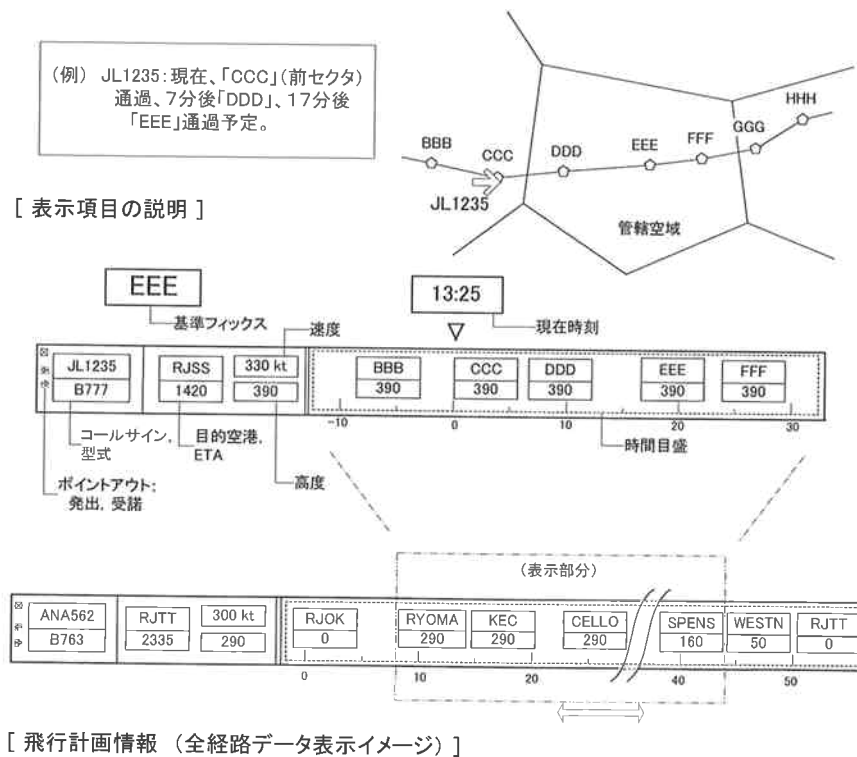


図6 飛行計画表示例 説明図

以下にその手法の概略を示すが、基本は、従来の管制官の作業を単純にコンピュータシステム上で模擬するものである。

始めに、従来管制官が個々に針路指示等を出すことにより形成された飛行経路パターンを参考に、管制官の経験、知識、運用技術を活用して適当な経路長差を持った複数の飛行経路（調整経路）を作成する。最短の経路を標準経路とする。一例を図7に示す。

次に、後続の航空機が先行の航空機に対して規定の管制間隔を維持できないとき、後続機に

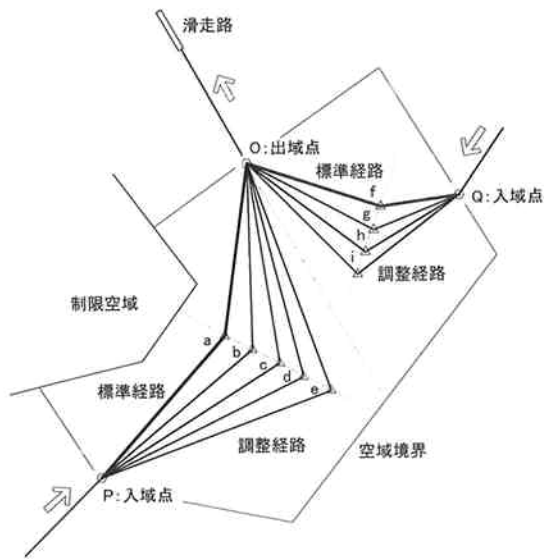


図7 調整経路設定例

必要な時間遅延量を求める。図8に時間遅延量算出のしくみを示す。

先に述べた調整経路の中からこの時間遅延量を満たす経路（推奨経路）を求め、当該航空機に飛行経路として割り当てればよい。この情報は空域状況監視装置に送られ、その表示部に表示される。

(2) 予測注意情報、先行指示情報の生成

ある一部の空域の過度の混雑を低減し、全空域の効率的な利用を実現するための一方法として、広域的に柔軟に交通流管理を行う。以下にその方法を示す。(図9参照)

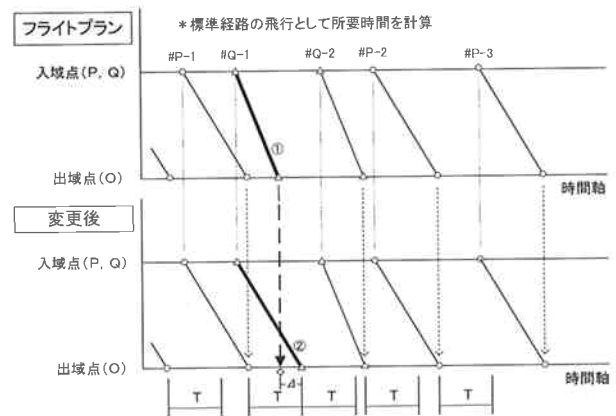


図8 時間遅延量算出方法

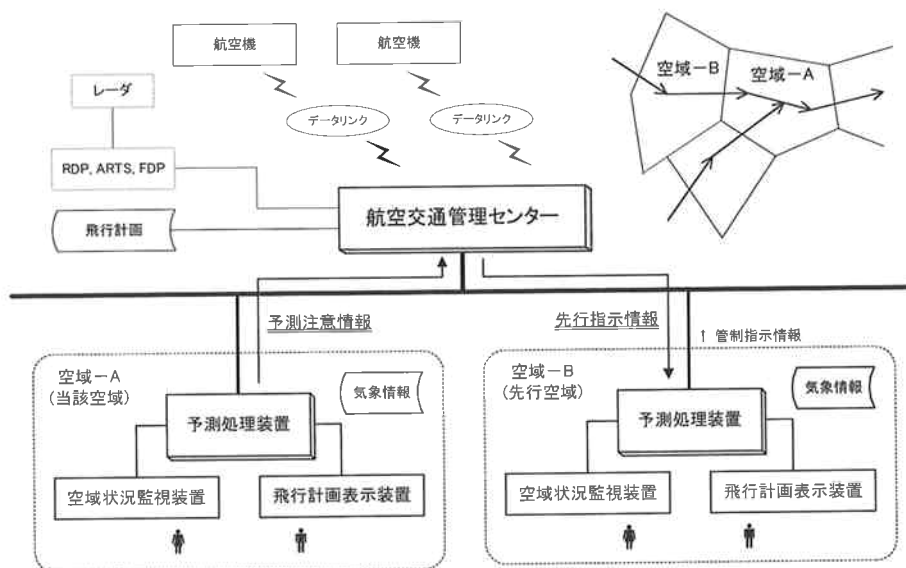


図9 広域的交通流管理のしくみ

当該空域（混雑空域という）の予測処理装置において、近い将来（約30分後）の混雑等の予測を行い、過度の混雑が見込まれたとき、航空交通管理センターに警報（予測注意情報という）を送信する。航空交通管理センターでは、周辺の関係する空域（先行空域という）に対して、混雑空域に入域予定の航空機が入域する前に、すなわち先行空域において必要な時間調整（遅延）を行わせる。このための情報（先行指示情報という）を生成し、先行空域に送信する。

これにより混雑空域において過度の混雑が緩和され、前項で述べたシステムによる推奨経路割当ての方法が広く適用できると考えられる。

この混雑空域の予測処理過程では、同時滞在機数と遅延時間の時間変動情報を用いて効果的に警報を生成する方法を検討する。また、過去の同時間帯のデータを活用することにより、予測の精度を上げることが可能と考えられる。

4.3 空域状況監視装置

従来のレーダ管制卓に代わるもので、空地データリンクを通して得られた航空機位置情報等を表示する。まず実現可能なデータリンクとして ADS-B（Automatic Dependent Surveillance-Broadcast、放送型自動位置情報伝送・監視機能）があげられる。ADS-B の導入により航空機から送出される位置情報を画面表示すれば、容易に航空機の飛行が監視でき、さらに多くの有用な情報が取得できる。この位置情報は、FMS の高精度な位置情報であり、また頻繁に取得できる。

本装置の新しい機能は、管制官の指示頻度を少なくして航空機をできる限り自動的な形で飛行させるために必要な、システムによる推奨経路の提示である。表示部には標準経路と調整経路を表示しておき、入域する航空機にそのうちの推奨経路を提示する。管制官はこの提示された推奨経路を判定し、承認または変更の指示を行う。

4.4 航空交通管理センター

従来の航空交通管理に加えて、広域交通流管理、各空域の予測処理のためのデータ収集、処理、配信を行う。すなわち、航空機の飛行計画

情報を定期的に更新して各空域に配信する。また先に述べたように、各空域から発出される予測注意情報を受信して所要の処理を行い、先行指示情報を所要の空域に送信する。これにより、柔軟な交通流管理が可能になる。

5. あとがき

本稿では、将来の航空交通管理システムの見通しについて基本部分の構成を検討した。次の段階で詳細な検討・設計を行い、試験システムを構築してシミュレーション等により種々の試験を行い、有効性等を調べる必要がある。その結果から実用化システムの開発のための資料が得られる。

いくつかの評価試験結果に従って改良・変更を行い、より進んだ技術等を取り入れることにより、必ず実用にかなうシステムが構築できると考えている。

このためには多くの費用と人材を要する。この検討が呼び水となり、一研究所規模を超えた、多くの研究機関、メーカー、利用機関等の結集したプロジェクトとして進められることを期待している。