

16. 四次元航法とそれに対応する管制に関する一考察

管制システム部 矢田士郎

1. はじめに

航空交通の発達とともに通信、航法、監視（CNS）も様々な新しい技術が導入されつつある。しかし現在のままでは増大していく航空交通需要や、高度な各種サービスに対応していくことが困難になりつつある。たとえば安全で効率的なRNAV ルートの設定などは燃料費や環境保全のための緊急の課題としてとりあげられている。特に最近の精密な航法、監視のほかにデータ通信の発達が航空交通に及ぼす影響は大きい。ほぼリアルタイムで機上と地上で情報を共有化することにより、より協調的な交通管理が可能となる。このためには管制支援システムの機能をより向上させる必要がある。この結果管制官は従来業務のワークロードを軽減して、交通流の最適化などの高度の業務に専念できる。これとともに管制における地上と機上の業務や責任分担を見直し、場合によっては権限の一部を管制官から機上に権限を委譲することもありうる。

現在のシステムの問題点の1つとしては管制官のワークロードが交通流やスループットの増大を制限してしまう恐れがある。また人間による管制間隔の制御にはヒューマンエラーが伴いがちである。コンピュータによる自動監視を強化して管制官を支援していく必要がある。最初にICAOでのATMの概念について述べる。次に4次元航法を構成する要素や時間制御についてその概要や問題点について述べる。相対航法と絶対航法について検討し、4次元航法に相対的な概念を考慮した管制について述べる。

2. ATMの概念について

図1にATMの概念を模式的に示す。航空交通においては需要と供給の関係で決まる航空交通サービスを満たすことが求められている。そのために空域や空港などの必要なリソースの配置や機能の構成を行う。それらの条件のもとで最も安全性、効率性が満たされるような交通流管理を行う。これは戦略的に最適になるように運用されるものである。管制官は戦術的に局所的に最良となるように、複数の航空機をコントロールする。最終的な航空機同士の間隔管理にはASAS（航空機間隔維持支援装置；Airborne Separation Assistance System）が用いられるようになる。

航空交通の増大に伴う管制官の増員は困難であり、また必ずしもそれに比例してスループットが上がることも限らない。また運行する側からも自由度の高い効率的な運用が望まれている。そこで従来と異なる新しい概念が必要になってくる。搭載レベルの高い航空機は高度のサービスが受けられるよう差別化する。軌道選択の自由度を増やしたり、燃料効率の良い高々度を優先的に飛行できるようにする。搭載レベルに応じて空域を分けることにより、全体的な安全やスループットの向上が期待できる。特にデータリンクにより、リアルタイム的に各種のデータなどの情報の共有化が可能となり、効率的な航空交通管理に大きな役割を果たす。空地の協調化が促進されることにより、空域や空港などの各種のリソースの有効利用がはかれる。これらの実現には管制官を支援するシステムの構築が不可欠であり、管制官はより高度の業務に専念することができるようになる。

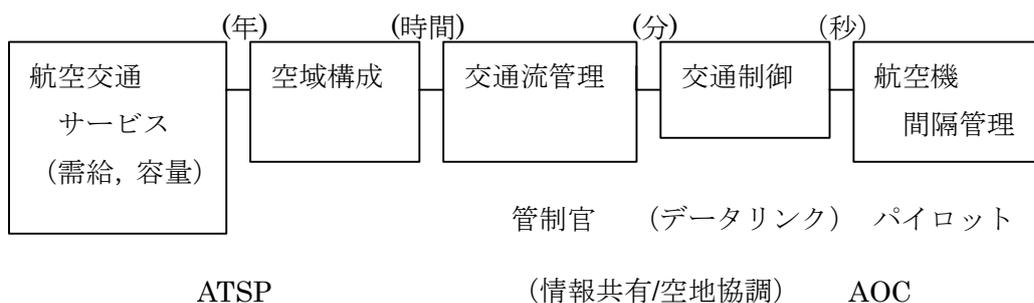


図1 ATMの概念図

3. 4次元航法について

航法においては衛星航法が全世界で高精度で、連続的に利用できるようになってきており、その信頼性も高い。RNAVにおいてはGPS進入のルートも設定されるようになってきている。また、監視に関しては放送型のADS-Bにより、周辺航空機の状況の監視に役立てることができるようになってきている。またこれとあわせて地上から交通情報のTIS-Bを利用することにより、交通状況の監視がより確実に行えるようになってきた。このADS-Bなどを利用したものがASASで、周囲の交通状況を知るのに役立つ。通信においてはデータリンクの導入により、高速で信頼性の高いデータのやり取りが可能となってきた。これにより地上やたの航空機で当該機のデータの入手が可能となる。航空機の位置、速度などの航法データや気象状況、周辺航空機状況などの把握が容易となる。

現在飛行している精密な軌道がリアルタイム的に把握できるようになると、それに対応して将来軌道の予測の精度の向上が見込めるようになってきた。また機上の飛行管理システム(FMS)が高性能化しつつあり、時間基準の飛行も可能になってきた。これによりコンフリクトの無い4D軌道の設定が現実のものになりつつある。FMSは航空機の位置、速度、高度、方位などの航法データや重量、燃料などの航空機の状態を保持するだけでなく、将来にわたる軌道の変更点(TCP:Trajectory Change Point)を保持してい

る。いわゆるINTENT（意図情報）をもち、これを伝達することにより将来の軌道をより正確に予想することができる。INTENTにはTCPの位置、高度、速度、旋回角、上昇/下降率などの情報が含まれる。

航法、通信、監視、FMSなどを総合して時間基準の飛行が行えるものを4D能力のある航空機という。4次元航法においては、航空機から飛行したい軌道を地上にリクエストを出すと、地上からはそれぞれの空域に対応した高度、速度、気象、関連航空機などの拘束条件を満足するかどうかチェックする。もし満足しない場合はその拘束条件を航空機に送る。そこで航空機側ではそれらの拘束条件のもとに再計算した希望軌道を地上に送る。もし、それが拘束条件を満たすものであれば、地上から各TCPに対応したRTA(Required Time of Arrival)を送り、その軌道を飛行することに許可を与える。航空機は確認応答を返して、FMSがRTAに対応して飛行するようにディスプレイに表示し、パイロットはその軌道上を飛行する。必要に応じてFMSが自動操縦装置をコントロールする。図2に4次元航法の概念を示す。

80年代から4次元航法に関連した各種のプロジェクトが計画されるようになってきた。その主なものとして下記のようなものがある。

CTAS(Center TRACON Automation System)

NASAで行われているコンフリクトの無い順序付けや間隔付けを行う管制官支援システム

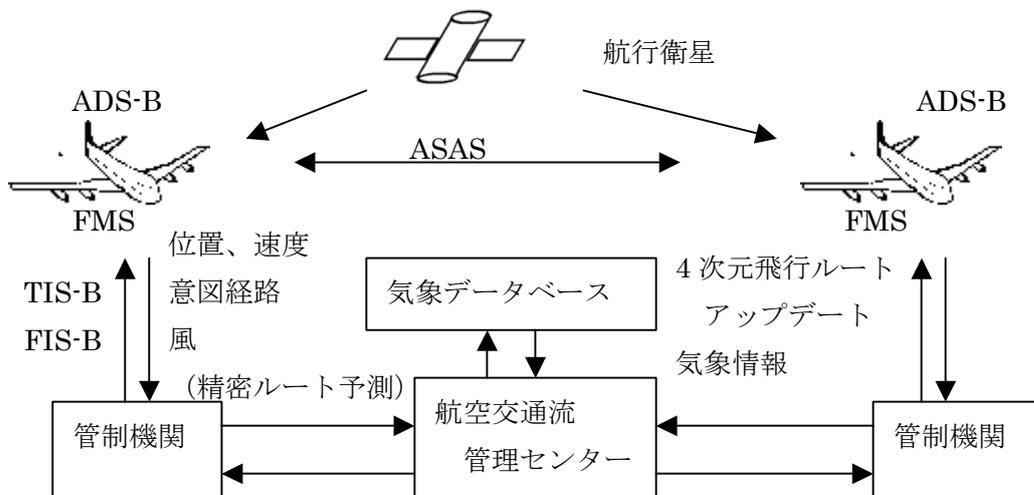


図2 4次元航法

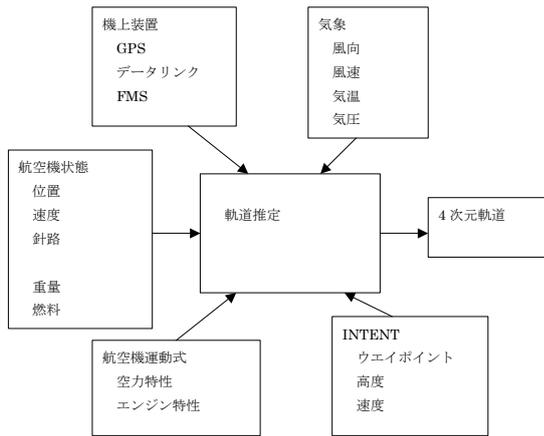


図3 軌道推定

PHARE(Program for Harmonized ATM Research in Europe)

ユーロコントロールで研究されている管制官支援システムで、コンフリクト解消などに用いる。図3に軌道推定のブロック図を示す。4次元航法の構成要素としてはFMSが重要な役割をはたす。たとえば燃料消費の少ない連続的なアイドリング降下を行うために、BODからFMSにより逆算してTODを決定するのも容易となる。RTAを守る手法（遅延を吸収する場合）としては速度調整、ベクタリング、パスストレッチングなどがある。4次元航法は時間基準管制(RTA-4D)に基づく協調的な航空交通管理システムである。

4. 4次元航法の誤差について

4次元航法の誤差の要因としては、航空機モデ

て、2つの予測とは異なる場合がある。従ってRTAを決めるにあたっては機上のFMSの予測軌道を利用するのがよい。4次元航法の誤差について図4に示す。水平面内の誤差としてはalong-trackとcross-trackがある。RTAにおける時間誤差としては現在のETAよりは数倍良い15~30secが想定される。

4次元航法はターミナルの混雑領域で効率良く処理するのに役立つ。またそこでは地上からのレーダーによる独立監視が行えるのでコンフリクトの防止も可能であろう

5. 絶対航法と相対航法について

現在行われているレーダ管制は管制官がレーダ画面をみながら間隔付けを行う一種の相対航法に基づく管制である。放送型の監視通信システムであるADS-Bの登場によりASASとして相対航法に利用が可能となってきた。ASASは周辺航空機の位置、高度、速度などの状況を知る役割のほかに、接近により保護空域が干渉する恐れのある関連航空機間隔を保たせる役割をもたせられる。関連航空機との間の間隔付け、および権限の委譲をどのように行なうか、その手順、時間範囲について決定するやりとりの方法が重要である。装備が十分な飛行機同士では互いの間隔は機上で監視しながら飛行するのが効率的であるので、必要に応じて権限やタスクを機上で地上で分散して分担するが、どのような責任をどう分担して

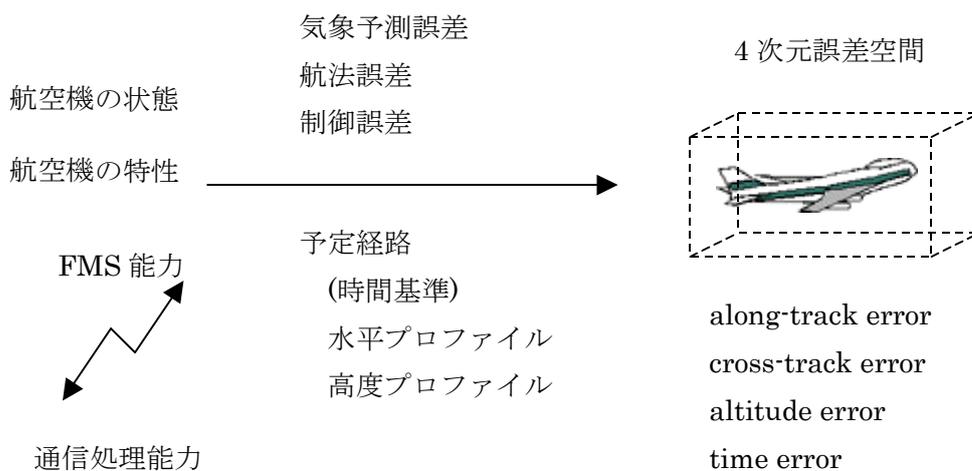


図4 4次元航法の誤差

ルの誤差、気象特に風の誤差などがある。また機上と地上ではモデルの違いや情報伝達に起因し

いくかが、今後の検討課題である。機上での航空機の搭載レベルに応じた監視能力及びそれに関

連した航空機の制御能力に応じた方法で決められるべきであろう。

部分的であっても権限委譲ができれば管制官のワークロードを軽減することが可能である。セパレーションのルールは高頻度で監視が可能なパイロットと低頻度の管制官のルールに分離することができる。ASASにおける権限委譲に関連して、機上と地上の仕事の分担の見直しが必要になってくる。

しかし ASAS は万能で、これだけでよいというわけではなく、あくまでもローカルであるという点に注意すべきである。グローバルには4Dの管制が全体の航空交通の安全確保、効率の向上の役割を担っている。つまり戦略的には4次元、戦術的にはASASではあるが、この2つをどのように結びつけば最もよいか重要である。

ASASは飛行中は常時使用するが、航空機の密度を向上させるには距離で航空機間隔を設定するのではなく、時間間隔で設定するのが望ましい。

全体的な最適化は4Dが担当し、個々の最適化、最終的な安全確認はASASが受け持つ。ASASの導入により間隔保持の冗長性が増し、安全性が向上する。

6. おわりに

近年の通信、航法、監視機能の大幅な向上は交通の安全と効率の向上のために飛躍的な発展をとげるものと考えられる。多くの種類の精度の高

調、分散タスクが重要となっていく。

まとめると

(a) 軌道指向の運用として時間基準の交通流制御により交通流の密度を制御してコンフリクトがおこらないよう最適な軌道を設定する

(b) 軌道基準の管制運用のために空地の協調による軌道の管理は時間制御に順番制御を入れる。RTAによる時間での管制を行うが、必要に応じて順番制御の管制を行う。

(c) 機上における間隔監視、維持
大局的には4次元航法で交通流は管理されるが、局所的にはASASによる相対航法を利用して安全性の向上と効率の増大をはかる。

さらにより具体的な4次元航法とASASのあり方について検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] Erzberger, VAMS-TIM4(2004)
- [2] RTCA/DO-242A
- [3] PO-ASAS Eurocontrol June,2001
- [4] 小瀬木,電子航法研究所内資料(2004)

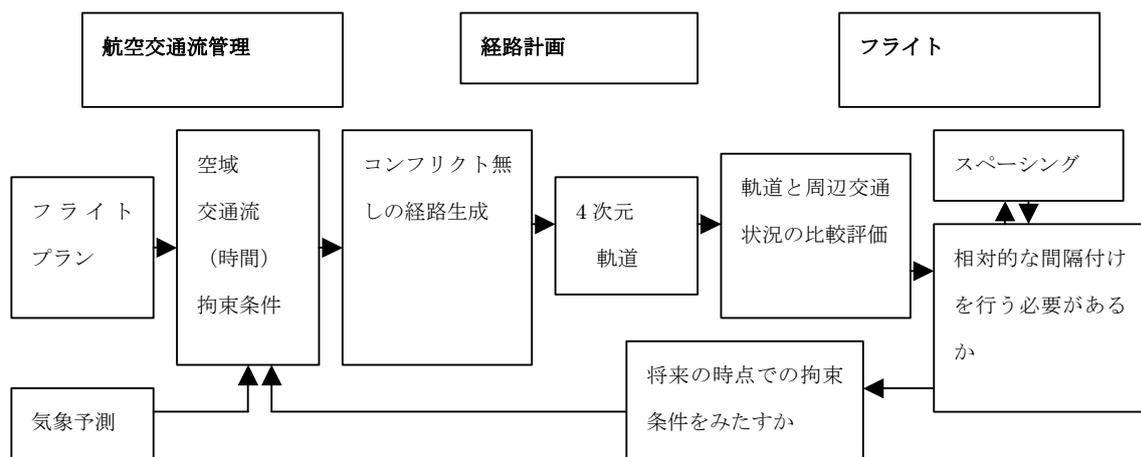


図5 限定的にASASを間隔付けに利用した場合の運用

い情報をほぼリアルタイムでやりとりすることで高度の管制が可能となる。情報の共有、空地協