将来航空航法システム*1 (衛星を中心とした)

岡田 和 男*2

Key Words: Future, Communication, Navigation, Surveillance

1. 概 要

Aviation Week and Space Technology を読んでおりますと、最近の宇宙・航空の分野での急速な技術進歩とその応用に驚かされます。しかし、これはほとんど軍事関係の分野での応用でありまして、民間航空の航法システムの分野での応用は、一步立ち遅れている感じがします。言うまでもなく、これは民間航空の航法システム分野の技術が、国際的あるいはグローバルな性格を有しているところから来るもので、技術的には可能であっても、その導入には、国際的な同意を得なければ一步も前に進めないという困難な事情から来るものと思われます。私は、国際民間航空機関(ICA0)に3年間務めさせてもらいましたが、そこでは、先進国と後進国の利害の対立と経済力の格差により、なかなか前に進まない実態がありました。全世界をみわたしますと、後進国の数が多いわけで、民主的ルールに基づいて、多数の国のコンセンサスを得ることは非常にむずかしいのは当然のことかもしれません。

さて、遅ればせながら、1983年、ICA0理事会は、将来航法を検討する特別委員会(FANS委員会)を設け、4年の歳月をかけて1988年5月、民間航空に適用する将来航法システムのコンセプトをまとめました。これは大へん画期的なもので、航空の将来の発展を左右するものであるため、ICA0は、1991年9月に第10回航空会議を招集し、このコンセプトの承認

を加盟国に求めた結果、全員一致で承認されるに至りました。その意味で1991年はICA0の歴史上でもエポック・メイキングな年と言えると思います。しかし、これからの大きな問題は、どうやってこのコンセプトを全世界的に実施してゆくか、これにかかっております。ICA0は過去、新技術の導入に多くの歳月をかけすぎたにがい経験をもっております。一例としては、マイクロ波着陸装置があります。これは今から約20年以上前から始まったビッグ・プロジェクトでありまして、方式選定から国際標準に至る過程を経ているうちに、20年以上がまたたくうちに過ぎ去りました。現在の計器着陸装置であるILSに、さまざまな限界が当初あったため、新しくマイクロ波を利用した着陸装置(MLS)をICA0の主導のもとに開発しようとしたのですが、20年以上も過ぎた今日、ILSは改善され、全世界の主要空港で精密進入着陸装置としての地位を築いてきた実績は重いものがあります。現在ILSからMLSへの移行計画がICA0付属書に標準として勧告されていますが、平成4年10月のICA0総会(3年に1回定期的に開催される)において、移行計画の見直しを検討するよう、総会から理事会に指示が出されましたので1998年の移行日は、さらに延期される可能性がでてきたと言えそうです。このような状況となった最大の原因は、20年以上の間に、ILSが定着し、MLSのメリットが減少したこと、後進国の経済的理由のため、先進国の援助なくしては、高価なMLSの設置が実際的に不可能である等の理由によるものです。

もう一つの例は、航空機衝突防止装置(ACAS)の導入であります。これは昭和31年米国グランドキャニオン上空での旅客機間の空中衝突を契機として米国において研究開発が着手されました。我が国でも昭和46年の雫石上空における民間旅客機と自衛隊機との空中衝突を契機としてACASへの関心が高まり、先のマイクロ波着陸装置の場合と同様に、電子航法研究所においても研究が開始される一方、航空振興財団に委員会が設けられ検討が進められてきました。先進国

著 者 紹 介

岡田 和男

昭和19年生。高知県出身。昭和41年静岡大学工学部電気工学科卒業。昭和43年運輸省入省。航空局管制保安部無線課、同技術部航空機安全課、国際民間航空機関(通信課長)等を経て、現在航空局無線課長。

*1 平成5年7月19日原稿受理 Future Air Navigation System

*2 運輸省航空局管制保安部無線課 Kazuo OKADA

におけるこうした研究開発をうけて、航空機衝突防止装置の国際標準を作成すべく、昭和47年頃からICAOで検討が始まったわけであり、即ち、20年以上前から始まっているわけであり、これも方式について、ずい分と紆余曲折がありましたが、1989年4月のICAOのパネル(SICASP)でその国際標準を最終的に決めようとしたが残念ながら、未だ運用評価が不十分として、国際標準となりませんでした。しかし、いつまでも待つことに業を煮やした米国議会の圧力をうけ、連邦航空庁(FAA)は1994年1月1日より米国に飛来する30席以上の航空運送事業の航空機に対し、航空機衝突防止装置搭載の義務化を行いました。我が国では、現在航空3社がその対応に追われているところであり、我が国においてもACASを使用することになることから、平成4年11月から1年間実運用評価を行っているところであります。最終的な国際標準も出ていない状態で、導入を義務付けるという強引なやり方により、ACASもやっと目の目を見ることになったわけであり、何んともアメリカでは約40年近くも待望していたシステムであります。これを見てもいかに新技術の民間航空への導入が困難か理解できると思われまふ。

さて、民間航空のための航法システムの導入が困難な状況の中で、これまでのシステムの欠点を一挙に解決すべく、衛星を利用した将来システムの提案をしたのが前述のICAOのFANS委員会であり、そのコンセプトを1991年の第10回航空会議で承認したわけであり、ところで現在の通信・航法・監視(これをC・N・Sと呼びます。通信は、管制官等と航空機間との通信、航法は航空機が位置を確認しながら飛行するためのシステム、そして監視はレーダで代表されるように、航空機の位置を地上で知り管制するためのシステム)の最大の欠点は何かと申しますと、一つ一つのCNSシステムの提供するサービスカバレッジが小さいということであり、たとえば航法システムの一つでありますVOR(航空機に方位情報を与える)については、大体200kmのサービスエリアしかありません。通常このシステムは距離測定装置(DME)と一緒に設置されVOR/DMEと呼ばれる現在の代表的地上航法援助施設です。このシステムを設置するための総額として、約5億円かかります。従ってこのシステムで、全世界の航空路を形成するためには、多数の施設が必要となり、しかも莫大な費用がかかるわけであり、しかも電源設備のない砂漠とか大洋には設置できない、即ちサービスを提供できないという欠点があります。その他の通信施設・航法施設・レーダ等につきましても、同じようにサービスエリアの限界、しか

も設置困難という状況にあります。日本のような先進工業国は経済的に余裕がありますが、後進国は経済的にも非常に困難であるということは言うまでもありません。しかもシステムに電源を供給する発電システム、あるいは、機器の遠隔監視あるいは制御を行うため地上の通信システム(電話ライン等)等のインフラが整備されていないところでは設置そのものが不可能ということになります。これが後進国における最も深刻な問題であり、ICAOが経済及び技術援助を行っても、焼け石に水であります。いくら最新のCNSシステムを無償で提供しても根なし草が間もなく枯れてゆくように、一旦故障すれば、誰も修理が出来ず、故障したまま放置される状態となります。

このように、基本的なカバレッジの制約のある現在のCNSシステムは、今後も急速な普及は困難で、真に地球規模のグローバルシステムとして様なサービスを提供できる可能性は非常に少ないわけであり、従って真にグローバルなシステムとして、ICAOは衛星を利用したCNSシステムを提案したわけであり、これを主体にした将来航法システムの構想を実現すべく、現在努力しているところです。

さて、このグローバルCNSシステムは、次のような通信・航法・監視システムとなっております。ICAOとしては、この衛星を使ったグローバルシステムが最も容易に導入出来るように、贅沢な衛星システムとせず、2種類の衛星システムを利用することとしております。一つは、航法に使用する衛星であり、米国及びロシアがそれぞれ別個に導入しつつある軍事測位衛星(米国ではGPS、ロシアではGLONASS)で、それぞれ24個の周回衛星であり、グローバルカバレッジを確保して航法情報を提供するシステムであります。もう一つは、通信及び監視のための使用する静止衛星で、一つの静止衛星で地球の3分の1をカバーすることが出来ます。航空のためのこの静止衛星については、航空関係者がその国際標準を決めるべく、現在活動している衛星であります。第1図に米国のGPS衛星の配置図、第2図に赤道上空に打ち上げられた静止衛星1個のカバレッジを示しています。以上をまとめますと、

1. 航法……GPS/GLONASS: 軍事測位衛星の民間航空への利用 (利用料は無料)
2. 通信……静止衛星: 現在のところサービス提供者としては、国際海事衛星機構の衛星がある。我が国は運輸多目的衛星を独自で打ち上げる (1999年)。
3. 監視……通信と同じ静止衛星を利用する。航法については、米国の軍事測位衛星GPS及びロ

シアの軍事測位衛星 GLONASS を利用させてもらうことにより、全世界的に一律な航法精度が得られ(10 m~100 m)、世界中どこにいても GPS から発している電波を受信するだけで航空機の位置がわかります。米国 FAA 長官のステートメントによれば、米国は GPS を民間に開放し、1993 年頃から無料で 10 年以上サービスを提供すると確約いたしました(第 10 回航空会議及び平成 4 年 10 月の ICAO 総会の場合)。また米国がこのシステムを停止する場合は 6 年以上も前に通知することを約束いたしました。GPS を将来航法システムの一環として使用するに際して、各国か

ら出されていた懸念を一掃する意味でのステートメントであったわけです。正直言って、民間航空関係者は、軍事衛星を民間航空用に使用することに、相当の抵抗を感じてはいますが、その応用による経済効果は、莫大なものがあることは事実です。この GPS の位置精度は、現在の VOR/DME に比べて優れており、10 m~100 m の精度と言われております。従って現在の ILS のカテゴリー I 精密進入も可能ではないかと現在研究が進んでおります。結論が得られるまでに、あと数年はかかる見込みです。

次に通信のための静止衛星が必要であります。これは無料というわけにはいきません。静止衛星で全世界をカバーするためには、3 個の静止衛星が必要ですが、万が一故障した場合を考慮するとこの倍以上の数が必要となると思われます。現在このサービスの提供者として名乗りを挙げているのが、国際海事衛星機構(インマルサット)であります。また、我が国では、太平洋で ATC 通信及び監視を行うには、インマルサットだけでは不十分として、気象庁が打ち上げている衛星と航空ミッションを一緒にした運輸多目的衛星を独自で打ち上げる計画であります。GPS と異なり、ユーザは、使用料を払わなければなりません。しかしこれにより、これまで安定した通信が困難なエリア(たとえば太平洋上あるいは砂漠)で安定した通信が可能となります(国際電話あるいは国際テレックスのようなもの)。

さて最後に監視であります。この場合も前述の通信

第 1 図 GPS 衛星の配置図、24 衛星 (4×6 プレーン)

第 2 図 航空用静止衛星のグローバルビームのアンテナカバレッジ (通信及び監視目的に使用)

第3図 通信及びADSシステム構成図

第4図 ADSによる航跡例 (実験) (Seattle → Narita, JAL 8084)

のための静止衛星を利用します。現在航空機の位置は、レーダにより監視されています。これと同様な機能を衛星で行おうとすると大変なので衛星のデータ通信機能を利用して簡便に実現すべく、自動従属監視 (Automatic Dependent Surveillance: ADS) という方法が考えられました。航空機の位置情報を、航空機

側から衛星を介して地上に送ってもらうというシステムであります。即ち地上側は自ら航空機の位置を探知するのではなく、航空機が自機の位置を自蔵航法装置 (INS)あるいはGPS受信機で算出し、この位置情報を、静止衛星の通信機能を使用して、地上に送ってくるというシステムです。第3図に、通信衛星(この場

合静止衛星)を利用した、ADS及び管制通信のシステム構成を示します。航空機側は、地上の管制官の要求に応じて、数分に1回という割合で自機の位置データを衛星を介して自動的に送ってきます。現在我が国と米国の協力体制のもとで、ADSについて協同で研究が進んでおりますが、第4図に、実験データではあります但しNOPACルートを飛行した場合のADSレポートを表示した例を示します。このように、あたかもレーダーで得られたかのように、航空機の飛行軌跡が得られます。このシステムが実用化すれば、洋上においても、管制間隔を減少させることが可能となり、NOPACルートの交通容量を増大させることが可能となります。余談であります但し、NOPACルートを逸脱した大韓航空機007の事故のようなケースは、ADSが実用化されれば防ぐことが可能となりますので、ADSの導入は、太平洋における、より一層の航空の安全と、交通容量の増大をもたらすと共に、最適ルートを飛行することも可能となり、エアラインにとって、大きな経済効果を得ることが期待されます。

さて、このような衛星を中心とした新しいグローバルシステムの構築を基に、FANS委員会が算出した費用対効果の見積りによりますと、新しい全世界的CNSシステムの費用は、毎年USドルで10億ドルであり、現行システムの撤去から生ずる回避費用もまたUSドルで年当たり10億ドルと見積られております。そして新システムによる経路の改善及び航空機処理の効率化等から得られる金額は、年額USドルで55億ドルと言われており、結果は、新しい全世界的CNSシステムが有利でありました。私は経済的理由

も大切だと思いますが、前に述べたように、衛星を使ったグローバルなシステムとしないと、現行システムでは、永久に全世界的カバレッジを有するCNSシステムの構築が不可能という点にも新システムの導入のメリットがあると思っております。

さて次に、個々のCNSシステムについて、詳しく見てみようと思います。

2. 衛星通信(C)

2.1 全体システム概要 航空衛星通信システムは、大きく分けて下記の4つの部分、つまり航空機地球局(AES: Aircraft Earth Station)、宇宙部分(Space Segment)、航空地球局(GES: Ground Earth Station)、網管理地球局(NCS: Network Coordination Station)より構成されます。なお、通信とは直接には関係しないが、衛星自体の各制御(姿勢制御、軌道制御、ミッション制御)を実施するために、衛星制御地球局(TTC: Telemetry, Tracking and Command System)が設置されます。第5図に航空衛星通信システムの構成図を示します。

通信の原理としては非常に簡単で、第5図にあるように航空機から1.6GHzで送信された電波が衛星で受信され、4GHzに周波数変換され地上に中継されます。また、地上からは6GHzで送信された電波が衛星で受信され、1.5GHzに周波数変換され航空機に中継されるというものです。衛星自体は、周波数を変換する中継器としての役割を果たし、衛星に採用されるLバンド・アンテナの設計により、グローバル・ビーム(地球の約1/3をカバー)とスポット・ビームの

第5図 航空衛星通信システム構成図

異なった覆域を持つものがあります。

2.2 無線周波数 航空衛星システムで利用される無線周波数は、Lバンド帯です。従来、航空移動衛星(R)業務(AMS(R)S)用の周波数は、Lバンド周波数帯に上り・下り各々14 MHz ずつありましたが、世界無線通信主管庁会議(WARC-MOB-87)において各々4 MHz ずつ削減され、現在は航空移動衛星業務用としては10 MHz ずつとなっています。また、この10 MHz 帯内において、航空安全通信が優先されることを条件に、旅客公衆通信も実施できるようになりました。なお、削減された4 MHz は、陸上移動衛星業務(LMSS)用として使用されますが、航空からも第二義的ではあるが、アクセスできるようになっています。

現在の航空移動衛星業務用の周波数は、衛星から航空機に対しては1545~1555 MHz、航空機から衛星に対しては1646.5~1656.5 MHzの周波数が利用できます。なお、この周波数はサービス・リンク(衛星と航空機の間)であります。フィーダー・リンク(地上と衛星の間)は、Cバンド(4~6 GHz)あるいは、Kuバンド(12~14 GHz)を利用することが可能であります。

サービス・リンク(Lバンド)における、各移動衛星業務用の周波数配分を第6図に示します。

2.3 通信種類(ATS, AOC, AAC, APC) 航空移動衛星業務における通信の種類としては、目的に応じてATS(Air Traffic Services)通信、AOC(Aeronau-

tical Operational Control) 通信、AAC(Aeronautical Administrative Communication) 通信、及びAPC(Aeronautical Public Correspondence) 通信の4つに細分化されます。各々の通信の定義を下記に示します。

① ATS通信(航空交通管制通信)：管制機関が航空機に対して、航空交通の安全と円滑を図るために行う通信で、管制指示又は管制許可に係わる通信を意味し、ICAOでは安全通信と定義しています。

② AOC通信(運航管理通信)：航空機の運航者の行う通信で、航空機の運航の安全、定時性に係る通信を意味し、ICAOでは安全通信と定義しています。

③ AAC通信(航空業務通信)：航空会社の業務用の通信で、機内の食事準備、機内販売品(酒、タバコ等)在庫管理、旅客のコネクション・フライトの予約等の通信を意味し、ICAOでは非安全通信と定義しています。

④ APC通信(航空旅客公衆通信)：航空旅客が使用する一般公衆通信電話で、ICAOでは非安全通信と定義しています。

従来の航空通信においては、国の実施するATS通信及び航空会社の実施するAOC通信及びAAC通信には、明確な区分(周波数による分離)がありましたが、航空移動衛星業務に関しては、コクピットで航空乗務員により実施されるATS通信、AOC通信及びAAC通信に加え、キャビンの旅客により実施される

第6図 Lバンド周波数の移動衛星業務配分

(注1)：1990年1月1日から有効。(注2)：遭難及び安全に関する運用に限る。(注3)：二次業務として低速度のデータ通信のみ陸上移動衛星業務も可能。(注4)：船舶、航空機からもアクセス可能。(注5)：航空機の安全かつ正常な運航のための通信を優先する。

APC 通信までもを含めて、一つのアンテナ、無線通信機器で周波数をも共用しながら全ての通信を実施することとなりました。これは、衛星通信の場合、アンテナ、無線機器が高価になることと、設置スペース等の関係で航空会社が強く主張したことによるものであります。

なお、これら異なる性格の通信を同一の通信機器で実施するため、緊急性、重要度の高い通信を保護する必要があります。従って、通信の優先度が国際電気通信条約 (ITU) 付属無線通信規則 (RR) 第 51 条に次のように定められています。

優先順位 通信の内容

- 1 遭難呼出し、遭難通報及び遭難通信
- 2 緊急信号を前置する通信
- 3 安全信号を前置する通信
- 4 無線方向探知に関する通信
- 5 搜索救助作業に従事する航空機の航行及び安全運航に関する通信
- 6 航空機及び船舶の航行、運航及び必需品に関する通信並びに公的气象機関に宛てる気象観測の通報
- 7 国際連合憲章の適用に関する無線電報
- 8 優先順位を有する無線官報及び優先順位を明白に請求した官用通信
- 9 電気通信業務の運用、又は先に交換した通信に関する業務用通信
- 10 前記 8 の官用通信以外の官用通信、通常の私

用通信、赤十字無線電報及び新聞無線電報

2.4 航空機地球局 (AES) 航空機地球局は、航空機に搭載するアンテナ、通信機器により構成されます。アンテナは、低利得アンテナ (0 dBi: 無指向性) 及び高利得アンテナ (12 dBi: 指向性) の 2 種類があり、前者はデータ通信用に後者はデータ通信及び音声通信に使用されます。

通信機器は、低雑音増幅器/ダイプレクサー (LNA/DPX)、高出力増幅器 (HPA)、高周波ユニット (RFU)、衛星データ・ユニット (SDU) 等で構成されます。なお、高利得アンテナについては、ビーム指向ユニット (BSU) が接続され、アンテナのビームを常に衛星の方向に制御します。

各機器の機能としては、LNA/DPX は衛星から受信した微弱な信号の増幅及び受信、送信の切り替えを行い、HPA は送信する信号の最終電力増幅を行い、RFU は、L バンドの周波数と中間周波数との周波数変換を行い、SDU はデータ通信の制御及び音声通信のデジタル化等を行う衛星通信の根幹をなす装置です。

航空機地球局の航空機における搭載例を第 7 図に示し、航空機地球局の構成を第 8 図に示します。

2.5 宇宙部分 (衛星本体) 航空衛星通信の中で中心的働きをするのが、宇宙部分と呼ばれる衛星本体です。通常衛星は、地球の上空 36,000 km に打ち上げられ地球の自転速度と同期して回転するため、地球から見て静止しているように見えます。

第 7 図 航空機地球局 (AES) の航空機搭載例

第8図 航空機地球局(AES)の機器構成

衛星の中でミッションと呼ばれるのが、トランス・ポンダーであり、航空機地球局(AES)と航空地球局(GES)からの信号を受信し、これを周波数変換した後に増幅して送り出すための中継装置で、TransmitterとResponderの合成語であります。

具体的には、航空機地球局から発せられるLバンド帯(1.6GHz)の信号を受信しCバンド帯(4GHz)あるいはKuバンド帯に変換し、航空地球局に向け送信する機能(リターン・リンク)、及び航空地球局から発せられたCバンド帯(6GHz)あるいはKuバンド帯の信号を受信しLバンド帯(1.5GHz)に変換し、航空機地球局に向け送信する機能(フォワード・リンク)を持ちます。第9図にトランス・ポンダーの構成を示します。

図に示すように、Cバンド共用アンテナ、フォワード・リンク系の中継器と、リターン・リンク系の中継器、及びLバンド共用アンテナで構成されます。

各中継器は、低雑音増幅器(LNA)、1.6/4GHzと6/1.5GHz周波数変換器(CONV)、高出力増幅器

(HPA)から構成されます。

2.6 衛星制御地球局(TTC) 衛星制御地球局は、通信とは直接関与しないが、衛星の軌道決定、マヌーバ運用、ハウスキーピング等衛星の位置及び姿勢を一定の範囲内に維持するために必要な設備です。衛星制御地球局は、空中線設備、無線設備、テレメトリ・コマンド設備、及び電子計算機設備で構成されます。第10図に衛星制御地球局の構成を示します。

2.7 航空地球局(GES) 航空地球局は、パラボラ・アンテナに代表される空中線設備と、送受信設備、通信制御設備、及び監視制御設備により構成されます。第11図に航空地球局の構成を示します。

空中線設備は、直径10~13mのC/Lバンド共用のカセグレン・アンテナが使用されます。Cバンド帯は衛星との間とのフィード・リンクとして使用され、Lバンド帯は回線試験あるいはGES間の通信等を行うために使用されます。

送受信設備は、Cバンド用の送受信器とLバンド用の送受信器とから構成されますが、勿論衛星通信の

第9図 トランス・ポンダーの構成

第10図 衛星制御地球局 (TTC) の構成

中心となるのはCバンド送受信器であります。送信系統は衛星と同じように周波数変換装置と高出力増幅器で構成され、また受信系統も衛星と同じように低雑音増幅器と周波数変換装置で構成されています。送受信設備と通信制御設備とは、中間周波数(70 MHz)で接続されます。

衛星通信の中で一番中心的働きをするのが通信制御設備であり、データを扱うチャンネルはPチャンネル(フォワード方向)、Rチャンネル(リターン方向)、及びTチャンネル(リターン方向)で構成され、音声を扱うチャンネルはCチャンネル(双方向)で構成されています。これらチャンネルは、アクセス・コントロール及びシグナリング装置に接続され、公衆データ網あるいは専用データ回線に接続されます。Cチャンネルだけについては、音声コーデックを経由して公衆電話網に接続されます。

監視制御設備は、空中線設備、送受信設備、通信制御設備等の動作を監視し、動作異常時には系の切り替え等を行い通信を円滑に実施するための設備です。

2.8 網管理地球局(NCS) 網管理地球局は、同一衛星システム覆域内にある複数の航空地球局(GES)間の調整を行い、周波数の再配分等を行います。航空衛星システムの導入時には、トラフィック量

が少ないので、個々の航空地球局に事前に割り当てられた周波数帯域のみでトラフィックの処理を行うことが可能であることから、網管理地球局の必要性はないと思われます。

しかし、取扱い量が増加し、個々の航空地球局に割り当てられた帯域内で処理出来なくなった時に、網管理地球局の管理する衛星システム内で共通的に管理する共通プール周波数を、必要に応じ各航空地球局に配分しピーク時のトラフィックを処理します。通常、網管理地球局は、同一衛星システム内に一局設置され、全ての航空地球局との調整を行います。なお、網管理地球局の技術の詳細は、まだ決定されておりません。

2.9 航空通信網(ATN) 航空移動衛星業務に限らず、SSRモードS及びVHFデータリンクにおいても、ICAOでは開放型システム間相互接続(OSI)に基づくプロトコルを定めています。これらデータリンク・システムを統合するものが、航空通信網(ATN)です。航空移動衛星業務においては、通信を開始する前にログ・オンという通信処理を行い、これから通信を行う航空地球局(GES)を宣言します。

例えば、米国の航空機は米国に設置されている航空地球局にログ・オンし、太平洋を横断する間その地球局を使用するであろうし、日本の航空機は日本に設置されている航空地球局にログ・オンし、太平洋を横断する間その航空地球局を使用することが考えられます。これは、航空会社自社との通信を実施する場合、通信が最短距離となるためであります。

しかしながら、航空管制通信に関しては、航空機がどの航空地球局にログ・オンしているかが、日本の飛

第11図 航空地球局 (GES) の構成

第12図 航空通信網 (ATN) と航空地球局 (GES) との関係

行情報区(FIR)を飛行中には日本の管制機関と、米国の飛行情報区を飛行中には米国の管制機関と通信を維持する必要があります。これを可能にするのが、航空通信網です

航空通信網は、世界中の航空地球局をネットワークし、航空機が飛行している飛行情報区を担務する管制機関と当該管制下機との通信を可能にします。航空通信網は、どの航空機がどの航空地球局にログ・オンしているかを認識し、管制機関からのメッセージを当該航空機にルーティングし、また逆に航空機からのメッセージを当該管制機関へルーティングします。その概念を第12図に示します。

2.10 航空管制施設 航空管制施設は、航空通信網(ATN)を経由して接続され、航空移動衛星業務で実現が可能となる自動従属監視(ADS)メッセージを表示する施設、管制官とパイロットが管制指示メッセージをデータリンクにより実施する施設、及び衛星通信を利用した音声通信施設等から構成されます

航空移動衛星業務は、特に洋上管制で使用されると考えられることから、現在の洋上管制施設の延長上に開発されるものとなります。したがって、ADSメッセージは、現在フライト・プランを基礎に航空機予測位置を表示する洋上航空管制データ表示器(ODP)を改造した表示器に表示されることが考えられます

データリンクによる管制指示メッセージは、管制官のワークロード軽減につながるようなマン・マシン・インターフェースの開発が必要となります。このマン・マシン・インターフェースは、前述の自動従属監視(ADS)表示と接続されるか、その中に組み込まれることが予想されます

音声通信施設については、管制官とパイロットが直接交信することができるデジタル音声通信施設が必要となります。しかし、この音声施設は通常の管制運用に使用するものではなく、通常はデータリンクで交信を行い、この音声通信施設は緊急時及び非通常運用時に使用することとなります

これらの航空移動衛星業務で使用する航空管制施設の概要を第13図に示します。

3. 衛星航法機能(N)

3.1 GNSSシステムの概要 GNSS (Global Navigation Satellite System)は、ICAOのFANS特別委員会で作出された概念で、多くの周回衛星を利用して航空機の位置を測定するためのシステムです。今のところ、既に述べたように米国が開発したGPS (Global Positioning System)と、旧ソ連が開発したGLONASS (Global Navigation Satellite System)が実用可能なシステムとなっています

第13図 航空移動衛星業務で使用する航空管制施設の概要

第15図 ADSシステムの構成要素

隔の短縮による空域の有効利用を図ることができるとともに、捜索救難にも大いに力を発揮するものと期待されています。第14図に、その概念図を示します。

4.1.2 ADSシステムの構成要素 ADSに基づく管制システムは、次の6つの要素からなる。第15図にその関連を示します。

(1) パイロット用入出力装置：パイロット用入出力装置の要件として、次のようなことを考慮する必要があります。

- ADS情報は、パイロットの操作なしに自動的に送信されること。
- 情報の送信頻度は管制システムによって決められるが、緊急メッセージは、クイック・アクション機能を取り入れることにより、パイロットが簡単な操作で送信できること。
- 定型的なメッセージを、送受信できる機能を有すること。
- パイロット-管制官の直接音声通信は、緊急及び非定型メッセージ用に使用できること。
- システムの運用状況を監視する機能を有すること。
- ログオン及び他GESへのメッセージ送信は自動とし、必要に応じていつでも割り込める機能を有すること。特にログオンは、ボタンを押すだけで簡単に設定できるよう考慮すること。
- 緊急事態に対処するために、パイロット側から優先的に呼び出せる通信機能を有すること。

(2) 航空電子機器：機上システムから航空機のデータを収集し、それをフォーマット化してデータリンクにより関連地球局に伝送する装置ですが、データの更新頻度やデータ・フィールドを決める管制官からの制御メッセージを受信することもできます。

ADS情報には、基本的な位置通報からなる義務データ・フィールドと、地上からの要求に添って作成される選択フィールドとがあります。選択フィールドは、飛行経路、方向及び速度の変更や気象情報を報告

するために使用されます。

(3) データリンク：管制機関と航空機の間でADSメッセージを送受信するための通信システムは、ADSの要件を十分に維持できるとともに、将来のADSの開発に対応できるようモジュール式的设计になっています。また、性能を上げるためにVHFデータリンク及びSSRモードSデータリンクの評価も実施されています。

通信の設定と完了は、パイロットの初期設定により自動的に取扱われます。

FANS委員会は、衛星利用のADS業務が次の4つのモードいずれかをを用いて提供されることを承認しています。

- 契約モード(Contract Mode) 航空機は、管制機関に対して予め調整された間隔、又は予め決められた航法装置の限度に達するまで自動的にADS通報を行う。
- 要求/応答モード(Request/Reply Mode) 航空機は、管制機関から要求が有り次第直ちにADS通報を行う。
- 時系列ポーリング・モード(Time-ordered polling Mode) 航空機は、管制機関に対して一定間隔でADS通報を行う。
- ランダム・アクセス(Random Access) 航空機は、管制機関に対して自由にADS通報を行う。

(4) 地上通信システム：管制機関とデータリンク地球局との間で、ADSメッセージを送受信するための地上通信設備で、メッセージは複数の管制機関に直接伝送されるため管制官による中間処理を必要としません。

(5) 管制情報処理システム：ADSに基づく管制情報処理システムの目的は、次のことを自動化することにあります。

- 機上航法システムに記録されている飛行計画経路と承認飛行経路の比較
- 航空機の現在位置と承認飛行経路の比較
- 管制システムによる追尾
- 異常接近の探知
- 異常接近のシステムの解決策の提示
- 関連情報の管制官への表示

(6) 管制官用入出力装置：管制官の業務量を削減することを目的として設計され、現行管制システムに集大成される必要があります。必要な機能としては、

- 管制官が最小限の労力で自セクターの航空機を監視できるような表示機能
- 管制官に潜在的な異常接近を知らせる機能

- c) 管制官が予め決められたフォーマット又は自由なフォーマットで ATS メッセージを作成し、データリンクで伝送できる機能
- d) パイロットからのデータ・メッセージの表示機能
- e) 緊急用音声チャンネル及びパイロットとの非定型通信への迅速な切替え手段

4.1.3 監視原理 ADS システムは、航空機からデータリンクを通して自動的に送られてくる頻繁な位置情報を処理し、飛行状況を連続的に監視する機能ですが、航空機の位置情報を機上の航法センサーに依存していることから、自動従属監視システムと呼ばれます。従って、ADS システムにより管制官が、個々の機上航法装置の性能に起因する経路からの逸脱を必ずしも発見できる訳ではないが、航空機の識別、位置及び高度情報を含んだ頻繁に更新される従属監視データを利用することにより、ヒューマン・エラーに起因する承認飛行経路からの潜在的な逸脱、或いは実際の逸脱を管制官が早期に発見することが可能となります。

4.1.4 ADS 情報の内容 ADS 情報には、最低限航空機の識別及び三次元の位置情報が含まれており、その他の情報も必要に応じて提供されます。

- (1) 位置：緯度/経度で表示される航空機の現在位置
- (2) 高度：フィートで表示される機上の気圧高度
- (3) 時間：UTC 時間で表示される位置通報のタイムスタンプ時刻
- (4) 航法性能指針：ADS 位置通報の質及び航法装置の冗長性の情報
- (5) フィールドの活用状況/ADS 性能：要求フィールドのどの部分が ADS 通報の中に含まれているかを示す情報、及び航空機への要求メッセージに対する応答の ADS 性能の情報
- (6) 航空機の識別：ICAO の飛行計画による航空機呼出符号又は航空機登録番号を用いた航空機の識別符号
- (7) 次の位置通報点：ADS 通報の瞬間において、航空機の進行方向にある位置通報点(動的な位置通報点)
- (8) 次の位置通報点の高度：航空電子機器によって予定されている次の位置通報点における高度
- (9) 次の次の位置通報点：次の動的な位置通報点となる位置通報点
- (10) 次の次の位置通報点高度：航空電子機器によって予定されている次の動的な位置通報点における高度
- (11) 航跡/機首方位：実際の航跡又は機首方位

- (12) 計器速度/マッハ数：実際の計器速度(ノット)又はマッハ数による速度
- (13) 垂直速度：実際の上昇/降下速度
- (14) 風速/風向：航空電子機器から得られる風速及び風向
- (15) 温度：航空電子機器から得られる外気温度

5. 将来航法システム導入の課題

最初に、現在急速に導入が進んでいる GPS についてその課題を述べたいと思います。現在 GPS の受信機が日本のメーカーにより市販されている状況であります。いずれも陸・海用が主であり、簡単に自分の位置が緯度・経度で表示されるものですが、航空機用としては未だこれからという感じがします。陸・海用の最も簡単な受信機は、最も安いもので、20 万円程度の価格ですが、航空機用はいろいろな機能/条件を満足させる必要があるためジェネラル・アビエーション用の安いものでも数百万円のオーダーであろうと現在言われております。いずれにしても低価格でありますので、特に小型機用に急速に普及する傾向にあります。この GPS 受信機を搭載しておれば、地球上どこに居ても自分の位置がたちどころにわかるわけですので、現在の地上施設である VOR/DME よりはるかに便利であることは間違いありません。エアライン機についても、GPS 受信機を搭載し、現在使用している自蔵航法装置(INS)と合わせて使用することにより、世界中を正確に、効率的に飛行することが可能となります。地上施設 VOR/DME は、次第にその位置を奪われていく運命にあることは否定できません。しかし、それがいつ頃であるかと言えば意外に遠い先のように思えてなりません。第 16 図は、米国の航空関係団体 RTCA が予測したもので、航空機側が新システムへ移行してゆく移行図を示しますが、この移行期間がどの程度になるのか現在のところはっきりはしません。それには、下記のいくつかの理由があります。

- 1) 航法システムが軍事測位衛星であることに対する不安
- 2) GPS の信頼性に対する運用実績の必要性
- 3) カバレッジの確認(不感地帯はないか)
- 4) 機上受信機の搭載期間(全世界的)
- 5) RNAV ルートの確立
- 6) 妨害電波等に対する安全上の保障…等々

一言で言えば、単に VFR で飛行する場合は、非常に便利なものとなり得るので、小型機が GPS 受信機を搭載することは、急速に促進されると思われますが、悪天候下で、管制指示に従って飛行する航空機の場合には、従来の航法装置と同等以上の信頼性が保証され

第16図 GPS移行プロファイル(RTCAによる)(航空機への搭載)

ない限り、GPSに移行するのは危険であると言わざるを得ません。たとえば、万が一、GPS衛星が故障した場合、その影響範囲は広範な空域にわたって、危険な大混乱が生ずることになります。船や自動車であれば、そのような大混乱は生じないと思われませんが、航空機の場合は、万が一の場合の危険を回避できるシステムでなければ、航法システムとしては失格と言わざるを得ません。この意味でGPSだけの航法が確立するのは相当先の話となるのではないかと思います。個人的な推測では、GPSが1994年から24個体制となりますから、急速に小型機/ヘリコプターから搭載が始まり、最初アメリカ大陸、ヨーロッパ等で使用されると思われます。エアライン機についても、地上のVOR/DMEのカバレッジが完備されていない地域でINS+GPSとして使用されるものと思われます。この間を通じて、GPSシステムの信頼性を十分検証した後、現在のVOR/DMEシステムを撤去してゆくことになろうかと思いますが、航空の場合、冗長あるシステムとして、航法の一層の信頼性を高めることが、一方では要求されますので、GPSが導入されたからといってVOR/DME等の地上施設を撤去するという性格のものではないかと思います。むしろ、これまでの地上航法援助施設では、サービスが提供されていない空白をGPSを使用して埋めてゆく方向で急速に展開してゆくものと予想しております。ILSとの関係においてもGPSによってカテゴリーIの精密進入が可能となったとしても、一旦GPSが故障した場合の影響の範囲(多数の空港が同時に精密進入できなくなる)を考えると、ILSを撤去することは相当慎重にならざるを得ないと思われます。

さて次に通信及び監視の分野での衛星の導入を見えます。全体システムを前述の第3図に示します。衛星を介して、航空機との通信及び位置情報の提供を同じ静止衛星で行っております。

まず航空のための静止衛星が必要となります。我が国にとって、日本のFIRはもちろんのこと太平洋、

東南アジアをカバーする静止衛星が必要となりますが、現在のところインマルサット(国際海事衛星機構)による衛星だけしかありません。第17図は、現時点でのインマルサット衛星のカバレッジを示しますが、これを見ると明らかなように、太平洋には、1個の衛星しかありません。しかも航空バンドは、10MHzの割り当ての内3MHzしかなく、十分ではありません。1995年以降、第三世代と称して新しく衛星を打ち上げる計画がありますが未確定であります。そもそもインマルサットは船舶を対象とした海事衛星サービスを行う国際衛星機構であります。その後、1985年に開催された第4回総会において、航空通信サービスも提供できるようにするためインマルサット条約を改訂してまで、航空の分野に参入してきた経緯があります。国際民間航空機関(ICAO)としては、最初一種の不快感を示しましたが、ITUで衛星航空バンドが次第に他のユーザ(陸、海)に割り当てられ、削減される状況を見て、なんとか早く衛星の航空バンドを使用することにより、それを阻止しようとする目的で、インマルサットもやむなしとしたわけでありました。アメリカを始めヨーロッパ諸国の航空先進国は残念ながら、衛星の打ち上げにかかる莫大な経済負担のため、自ら衛星を上げることは困難な状態です。今のところインマルサットしかないという状況の中で推移しておりますが、ここに大きな問題があります。結論的に言えば太平洋においては、現在及び近い将来のインマルサット衛星だけでは、安全通信である管制通信及び監視を行うことは、安全性及び容量の点から不十分であると思われます。衛星による通信の中身には、電話のような非安全通信も含まれます。電話のような通信であれば、太平洋においてインマル衛星1個で十分と言えるでしょうが、ATC通信のような安全通信を扱うとなれば1個の衛星が万が一故障した場合、広大な空域においてサービスを行っていた通信と監視の両方が故障したと同じ、即ち現在のシステムで言えば、VHF通信とレーダの両方が同時に故障したと同じことになるので1個では不十分です。つまり現在の通信システムでは、あるVHF通信の一波が故障しても、他の周波数でバックアップが可能であります。またあるサイトでVHF送受信機が故障しても、他のサイトのVHF送受信機を利用すれば航空機との交信は継続して行えます。このように現在の通信システムは二重、三重のバックアップにより、故障の場合、航空機との通信を保障しております。また、監視のためのレーダ情報にしても、現在では、重要な航空路はほぼ二重のカバレッジで航空機の位置情報がとれるようになっておりますので、一つのレーダシステムが故障して

第17図 インマルサット衛星のカバレッジ

も、他のレーダでバックアップができます。そして、これらの地上システムは、装置及び回線を含めたシステム自体が二重化されている装置であり、非常に信頼性の高いものとなっていると共に、故障の場合には、待機している保守者が、ただちに修理する体制をとっております。このようにして、現在の通信・監視システムのサービスの信頼性を確保していると共に、さらに非常に重要なことは、通信システムと監視システムが独立しており(即ち VHF 通信とレーダ)、レーダがすべて故障して、航空機の位置がわからなくなったとしても、通信システムが生きておれば航空機に対して、適切な管制指示を与えることが可能でありますのでパニック状態になることはなく、飛行している航空機がただちに危険にさらされることはありません。……この点が非常に大切なところであります。

一方衛星システムの故障はどのような重大なインパクトを与えるかと申しますと、まず通信と監視が独立でないため、衛星の故障は、ただちに通信と監視の両方が使用できなくなります。衛星のカバレッジは、地球の3分の1ありますので、そのカバレッジ内にあるすべての航空機に対して通信が出来なくなると共に、航空機の位置もわからなくなります。管制官は、緊急指示を行おうにも、何らその手段がないと言う重大な状態に陥り、言うまでもなく、これはパニック状態になることであります。1個の衛星に対して、高い信頼性が要求されますが重量等の制約から、搭載機器の信頼性を地上の機器ほど上げるわけにはいきません。また故障した際、ただちに修理が出来ません。新しく衛

星を打ち上げるには、数年はかかると思われるし、また打ち上げが成功するとは限りません。従って、1個の衛星ではとうてい、管制通信及びADSを行うことは出来ないと思われます。それでは冗長性をもたせ、信頼性を向上するために何個衛星があれば良いのか考えてみますと、まず2個の場合、1個が故障すれば、もう1個でバックアップするとします。これでパニックは避けられるのですが、この状態で1個の衛星の状態になります。従って、このままの状態を長く放置するわけにはいかず、もう1個打ち上げる必要があります。しかし、それには、ある程度の期間が必要となることは言うまでもありません。また打ち上げが1回で成功するとは限りません。従って、非常に危険な1個の状態が長期間運用することになりますが、これは避けなければなりません。従って、2個ではまだ十分ではないと思われます。

単純な考察ではありますが結論として従属監視(ADS)を導入して、管制間隔をレーダ間隔並みに縮めるにより、交通容量を増大するためには、少なくとも2個の衛星(と言うより地上施設の冗長性も合わせて、2つの完全なバックアップ体制を持つ衛星システム)が必要となると思われます。経済的には大へんですが、安全を担保するためには不可欠であると思われます。米国では、最近衛星システムの信頼性が0.999あれば、ADSを導入できそうだと考えているようですが(この背景にはインマルサット衛星だけでADSの導入を考えていると思われる)、この程度の信頼性でADSを導入することは、まことに危険で

あると言わざるを得ません。通信と監視の両方が使えなくなることは絶対避けなければなりません。過去ニューヨークマンハッタンの突然の停電でオフィスのコンピュータを始めエレベータ等の大混乱が生じました。太平洋上の静止衛星の故障は、それ以上に危険を伴う大混乱を生ずる可能性があることを忘れてはならないと思います。さらに詳しく言えば、衛星ばかりでなく、地上の施設、回線等を含めた複雑な衛星システムすべてについて言えることで、衛星システム全体の信頼性を論じた上で、慎重に衛星システムの導入(ATC通信及びADS)を考えなければならないと思われます。現在エアラインを中心に衛星通信の導入が先行しておりますが、この中身は非安全通信(電話及びエアラインの業務通信)に限ったことであり、衛星の故障がただちに航空機の安全に結びつかない点で、導入が容易であるわけであります。しかし、ひとたび管制通信及びADSを導入しようとすれば、故障の場合の安全性を保証する必要がある、急に導入が困難となるわけであります。

現在運輸省は、運輸多目的衛星を打ち上げる計画であります。近い将来3大プロジェクトが完成し、太平洋、特にNOPACルートにおける航空交通は飛躍的に増大することが見込まれております。即ち21世紀には、現在の約1.7倍～2倍の交通量になるものと予想されております。これに対処するためには、衛星利用による、ADSを行って、管制間隔を縮小することが不可欠となってくると考えられます。しかし、既に述べたように、太平洋に計画されているインマルサット衛星だけでは、信頼性の点で不十分と考えられることがその理由の一つです。

さて、21世紀初頭に、静止衛星のシステムが構築され日本のFIRを含む、太平洋において、管制通信及びADSによる監視が実現したとしますと、既存の通信システム及び監視システム(レーダ)のその後の運命が気になるところです。通信について言えば、現在のVHF通信は継続して使用されます。なぜなら衛星を経由して行う通信は、長距離となるため、時間がかかり、会話には不適当という性格によるためです(国際電話をかけられた方は、理解できると思います)。しかし現在、管制通信官を介して洋上飛行中の航空機との長距離通信を行っているHF通信(国際対空通信)は、雑音が発生し易く、品質が低いため、衛星による管制通信におき換わることにより、大きく品質が向上するものと思われます。しかし、長距離路線就航機がすべて衛星通信機を搭載するようになるのは、少なくとも2010年頃のことと思われるので、この間

HFを撤去するわけにはいきません。

次にレーダであります。もともと洋上は、レーダのカバレッジ外の空域であり、この空域でのADSの導入は、航空交通量の増大につながることをすでに述べました。では現在のレーダのカバレッジ内において、どうかという点ですが、ADSの精度と、レーダの精度あるいは、位置情報の得られる時間間隔(データレート)あるいはコスト等を比較してみますと、中でもデータ・レート(数分に1回航空機のデータが送られてくる)の点で、レーダに劣ると思われます。このデータ・レートを上げようとすると、コストの点から割が合わなくなります。ただオーストラリアのように、オーストラリア全域のレーダカバレッジを得ることが困難(砂漠等のため)である国では、レーダの代替としての監視システムとして、導入されるものと思われます。我が国のようにレーダにより主要航空路が二重化されており、レーダによる高度な情報処理を行って、レーダ管制を行っている国では、レーダは継続して使用されるものと考えています。

このように見てきますと、衛星によるCNSの導入は、まず、現在のCNSの不備(カバレッジ等)を補うものであります。即ち洋上や砂漠といった地上施設の設置が困難なところ、あるいは、後進国のように、経済的な理由により地上施設の設置が困難なところで、導入が進むものと思われます。そして、現在のCNSのカバレッジ内では、これらのシステムにとってかわるというよりは、現在のCNSの冗長性を高め、衛星を含めた全体CNSシステムにより、一層の安全性を高めるという方向にあると思われます。

衛星を使ったCNSシステムの導入には、さらにいくつかの困難な課題がありますが、中でも、得られたデータ(通信データ、ADSデータ)を全世界的に交換するためのネットワークを構築することが、含まれております。これ等すべてのシステムの信頼性を確認しつつ、慎重に導入してゆく必要があると思われます。現在エアラインを中心にインマルサットを使った非安全通信の分野での導入が先行しております。現時点での衛星通信機搭載価格は約50万ドルと言われておりますが、ボーイング社の調査では、21世紀までに長距離路線の航空機の50%以上は、衛星通信機搭載になると予想しております。このように現在は民間主導で非安全通信の分野における導入が先行しておりますが、更に衛星を使って、安全通信を行うことにより、今以上に大きなもろもろのメリットが生ずるわけであり、これからの航空当局にとって正念場を迎えるわけであります。