

航空管制と航空機の安全運航

坂場正保*

航空機による航空交通は、自動車や鉄道に代表される陸上交通や船舶による海上交通と比較した場合、前後左右に加え、上下の空間(三次元)を飛行する、高速度で飛行しており、パイロットの目視による視界確保には限界がある、速度の極端な増減あるいは空中での停止ができない、雲、降水、風あるいは気圧の変動といった気象現象の影響を受けやすい、離着陸できる場所が限定される、といった特徴がある。このような特徴を有する航空交通が安全に秩序正しく、かつ、効率的に運航するためには、外部からの何らかの支援が必要となる。これが航空管制業務をはじめとする航空保安業務であり、本稿では、航空管制の歴史を振り返るとともに将来システムを展望しつつ、あらためて航空の安全確保における航空管制の重要性について述べた。

Air Traffic Control and Aircraft Safety

Masayasu SAKABA*

Compared to ground transport using conventional means such as motor vehicles and rail, and marine transport using ships, there are five features that are peculiar to air transport: (1) Aircraft can travel forward and back, left and right, and up and down in a three-dimensional space; (2) The pilot's field of vision is limited when flying at high speed; (3) It is impossible to achieve extreme acceleration and deceleration or to stop in mid air; (4) Aircraft are influenced by meteorological phenomena such as cloud, precipitation, wind and changes in atmospheric pressure; and (5) There are only a limited number of places where it is possible to take off and land. Therefore, external aid in some form or other is needed so that air transport can operate safely, systematically and efficiently. This is the role of air navigation aids and air traffic control in particular. This paper traces the history of air traffic control and, while looking at systems of the future, describes the importance of air traffic control in maintaining safety.

1. 航空管制の歴史

1903年、アメリカのライト兄弟が動力飛行に初めて成功してから約100年の間に航空機の製造技術は著しく進歩し、今や300tの重量をもつジャンボ・ジェット機が時速1,000kmの速度で世界の空を飛びかう時代となった。

ライト兄弟による初飛行の成功後、航空機の数が増加し、一つの飛行場に複数の航空機が離着陸を行うようになると、安全確保のための交通整理が必要となり、1910年代には旗を持って離着陸の順番や滑走路の状態などをパイロットに伝える「Flag Man」と呼ばれる人達が出現した。これが世界で最初の航空管制業務であったといわれる。

そのころの航空機の航法は、パイロットが地上の目標物を目で見ながら飛び、いわゆる有視界飛行であった。

その後、航空機の信頼性が増し、料金を取って旅客や貨物を運ぶ産業としての航空が発達し、航空輸

* 国土交通省航空局管制保安部保安企画課長
Director of A.T.S. System Planning Division,
Air Traffic Service Dept., Civil Aviation Bureau,
Ministry of Land, Infrastructure and Transport
原稿受理 2002年2月4日

送の需要が増加してくると、それまでの天候に左右される有視界飛行ではなく、どんな天候でも飛べる全天候飛行の必要性が生じ、1928年には、レンジビーコンが開発され、航空機は天候に左右されることなく、レンジビーコンから発射される電波を頼りに雲の中でも飛行することが可能となった。

また、地上の交通整理も、Flag Manによるものでは限界に達し、やがて無線電話を使って航空機に指示を与える管制塔が出現した。

今日では当たり前になっている計器飛行方式による飛行(後述)や航空管制業務はこのようにして産声をあげたのである。

我が国における近代的航空管制は、第二次世界大戦を経て昭和34年に、米軍から航空路の管制権が引き継がれて初めて開始されることとなるが、その後、航空機の運航に必要なNDB (Non Directional Radio Beacon:無指向性無線標識)、VOR / DME (VHF Omnidirectional Radio Range : 超短波全方向式無線標識施設 / Distance Measuring Equipment : 距離情報提供装置) 等の航空保安無線施設や航空管制に必要な無線通信施設及び航空機の運航の監視に必要なレーダーが順次整備され、これらの性能も技術革新によりめざましい進歩を遂げることとなる。

以下、今日行われている航空機の飛行方式及び航空管制業務、そして次世代の航空保安システムについて述べることにする。

2. 航空機の飛行方式及び空域の種類

航空機の飛行方式には有視界飛行方式と計器飛行方式がある。

2-1 有視界飛行方式 (VFR : Visual Flight Rules)

有視界飛行方式は、パイロットが目視によって地表、地上の障害物、飛行中の他の航空機、雲などの間に間隔を保ちながら航空機を操縦する飛行方式であり、それらとの衝突の回避については常にパイロット自身が責任を負わねばならない。



出典) 『航空保安業務の概要2000』

Fig. 1 FIR及び管制部管轄空域

VFRによる飛行は、離着陸及び飛行中とも常に気象条件の制約を受けることから、航空法施行規則第5条に定められた有視界気象状態のもとでのみ飛行が可能であり、訓練飛行、遊覧飛行、写真撮影、農業散布等の飛行はこのVFRで行われることがほとんどである。

2-2 計器飛行方式 (IFR : Instrument Flight Rules)

計器飛行方式は、有視界飛行方式と異なり、常に管制官の指示に従って飛行する飛行方式である。

IFRによる飛行では、離着陸を除いて、飛行中気象条件の制約を受けず、例えば、雲の中で全く窓の外が見えないような状態であっても、計器によって現在位置や高度を正確に把握し、管制官の指示に従いながら航空路などの飛行経路を飛行することによって、IFRで飛行中の他の航空機や山などの障害物を避けながら安全に飛行を続けられるものであり、今日では、たとえ雲ひとつない晴天下も、旅客機はすべてこの方式で運航されている。

IFRで飛行中の航空機には、管制機関によって他のIFR機及び地表面との一定以上の間隔が確保されており、離着陸時及びパイロットによる目視間隔がとられている場合を除き、それらとの衝突予防の責任は管制官が負っている。

ただし、パイロットは、飛行中外部視認が不可能

な気象状態である場合を除き常に外部を目視により監視して衝突を避けなければならないこととされており、最終的な責任はパイロットが負っていることとなる。

2 - 3 空域の種類

世界の空域は、ほぼ全域が飛行情報区(FIR:Flight Information region)に指定されている。

FIRとは、国際民間航空機関(ICAO:International Civil Aviation Organization)により加盟国で分担するよう決められた空域のことであり、加盟国は分担空域において、航空交通管制業務に加え、航空機の航行に必要な各種の情報を提供する飛行情報業務及び搜索救難を必要とする航空機に関する情報を関係機関に通報し、当該機関を援助する警急業務を行わなければならない。なお、これらの業務を総称して航空交通業務(ATS:Air Traffic Services)という。

FIRは領空及び公海上空を含んだ空域で、領空主権よりも航空交通の円滑で安全な流れを考慮して設定されており、その名称には国名ではなく、ATSを担当する管制センターの名称が付けられている。

我が国は、現在、東京FIRと那覇FIRを札幌、東京、福岡及び那覇の4ヶ所の航空交通管制部が担当している(Fig.1)。

FIRのほとんどの空域は、ATSが提供される管制空域(Controlled Airspace)であり、この空域は「航空交通管制区(Control Area)」と「航空交通管制圏

(Control Zone)」及び「洋上管制区」から構成される。

このうち航空交通管制区は、地表または水面から200m以上の高さの空域であって、航空交通の安全のために国土交通大臣が告示で指定するものをいう。

この空域は航空路はもちろんのこと、航空機が計器飛行方式により出発上昇または降下進入するための経路を包含し、航空交通の安全を確保するために必要な空域である。

航空交通管制区のうち、出発機及び到着機の多い空港の周辺空域では、進入管制区として別途告示されている。

次に、航空交通管制圏とは、飛行場及びその上空における航空交通の安全のために国土交通大臣が告示で指定した空域をいい、一般的には、空港の標高から半径5海里(約9 km)の平面及び高さ3,000フィート(約900m)の円柱状の空域である(Fig.2)。

さらに、洋上管制区とは、我が国がATSを担当する東京及び那覇FIRの洋上区域である。我が国は東経165度以西の太平洋上の空域を担当している。

3 . 航空管制業務

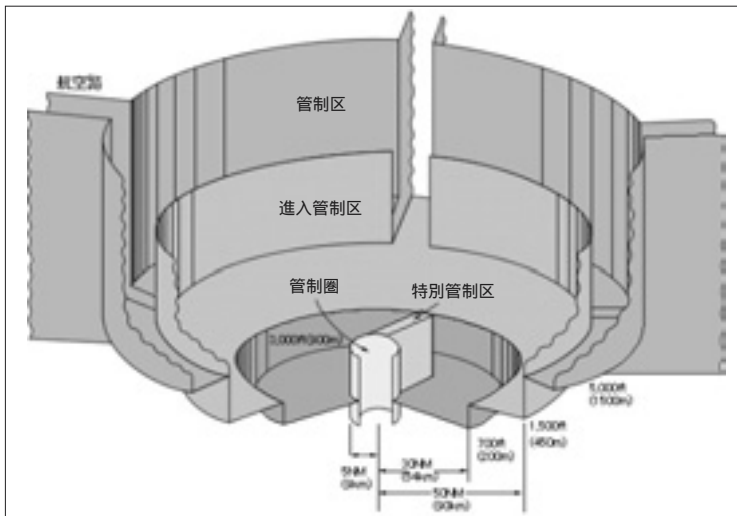
航空管制業務とは、航空交通の安全を図り、その秩序を整えることである。即ち、航空機相互間の衝突防止、飛行場及びその付近における航空機と障害物との衝突防止、航空機の秩序ある流れの促進とその維持を行うことである。

これらのことは、航空管制官から航空機のパイロットに対して発出する指示、承認等によって行われる。

航空法第96条第1項において、「航空機は、航空交通管制区または航空交通管制圏においては、国土交通大臣が航空交通の安全を考慮して、離陸若しくは着陸の順序、時期若しくは方法または飛行の方法について与える指示に従って航行しなければならない」と規定されており、この国土交通大臣が航空機に与える指示を実際に行うのが航空管制官である。

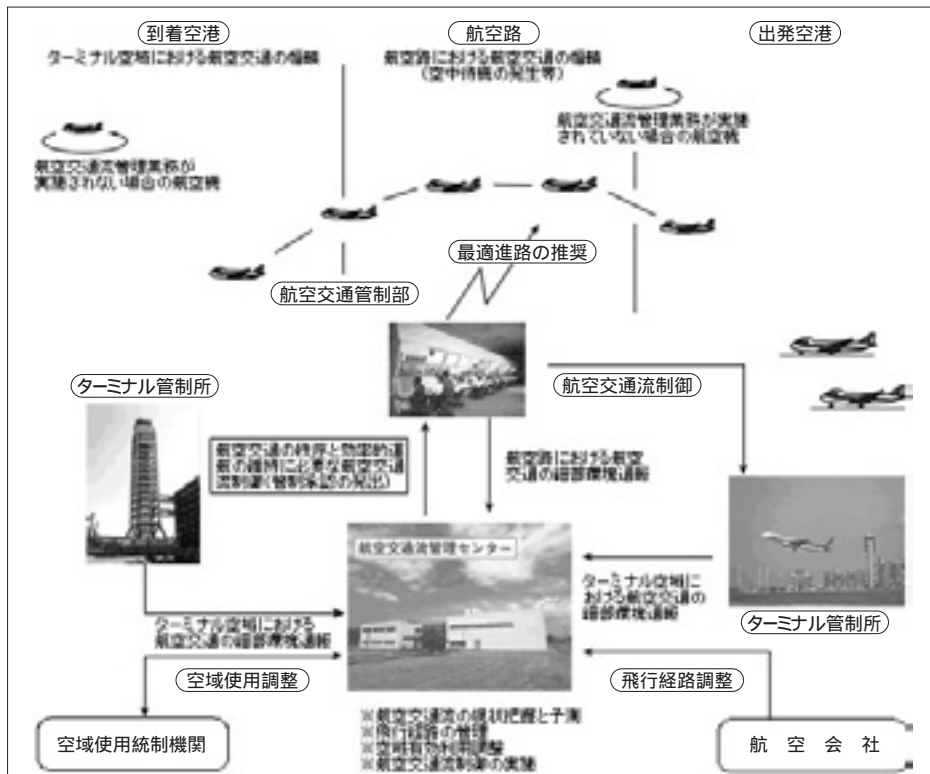
3 - 1 航空管制業務の種類 (Fig.3)

計器飛行方式で飛行する航空機の運航の流れを見ると、まず、



注) 記載されている数値は一例であり、実際に設定されたものとは必ずしも一致しない。
出典)『航空保安業務の概要2000』。

Fig.2 管制区等概念図



出典) 『航空保安業務の概要2000』。
Fig. 3 航空交通流管理の概念

出発地の空港で航空管制官から管制承認を与えられ、さらに地上走行の許可を受けて誘導路への移動を開始、滑走路端で離陸許可を受けると滑走路に入って離陸する。離陸後は空港ごとに定められた出発方式が航空管制官に指示されるので、これに従って上昇し、やがて巡航高度に達し、指示された航空路上を目的地の空港に向かって飛行する。目的空港が近づく、航空管制官の指示で降下を始め、所定の進入方式により降下を続け、着陸許可を得て、指示された滑走路に着陸する。着陸後は管制塔からの指示どおりの誘導路を走行して指示された駐機場に入って飛行を終えることになる。

このように、旅客機などの計器飛行方式により飛行する航空機は、常に航空管制官の指示に従って飛行しており、出発、巡航、到着といった飛行のそれぞれのフェーズで異なる種類の管制業務を受けている。

管制業務には、

空港周辺の空域を除く空域を飛行する全ての計器飛行方式により飛行する航空機を対象として、飛行する経路、高度、特定地点の通過時刻等を指定し、航空機からの位置通報若しくはレーダーにより航空

機の位置を把握して航空機相互間の安全間隔を設定する「航空路管制業務」

空港周辺の一定の空域を計器飛行方式によって離陸後の上昇、または着陸のための降下を行う航空機に対して行う「進入管制業務」

進入管制業務の対象となる航空機に対してレーダーを用いて行う「ターミナル・レーダー管制業務」

航空交通管制圏内で空港に離着陸する航空機、または空港周辺を飛行する航空機に対して行う「飛行場管制業務」

着陸する航空機で主に最終進入経路上にあるものに対してレーダーを用いて誘導を行う「着陸誘導管制業務」

の五種類がある。

航空路管制業務及び進入管制業務（ターミナル管制機関に委任されている場合を除く）を行う管制機関を、「管制区管制所（ACC：Area Control Center）」といい、現在札幌、東京、福岡及び那覇の4ヶ所の航空交通管制部においてこれらの業務が行われている。

また、空港に設置されている機関であって、飛行

場管制業務、進入管制業務、ターミナル・レーダー管制業務及び着陸誘導管制業務のいずれか、または全部を実施する管制機関を「ターミナル管制機関」という。

3 - 2 航空交通流管理センター

我が国の管制機関にはこの他に、航空交通流管理センター(ATFMC: Air Traffic Flow Management Center)がある。

ATFMCにおいては、全国の航空交通状況や空域の運用状況を一元的に把握・管理し、混雑が予想される空域への航空機への進入を制限するために出発時刻を遅らせたり、代替の経路を推奨したりすることによる航空交通流管理を行っており、これにより、我が国の管制機関の取扱い機数が年々増加の一途をたどっている状況のなかで、目的空港上空での着陸の順番待ちのための空中待機や迂回等が避けられ、安全運航の確保とともに経済的な運航にも貢献している。

前述したように、計器飛行方式により飛行する航空機は、空港を出発してから目的地の空港に到着するまで常に航空管制官の指示に従って飛行する。また、管制官はこれらの航空機間に所定の安全間隔を確保することにより航空機の安全運航が確保されている。

航空管制官が航空交通の安全かつ秩序ある流れを促進するために確保すべき最小の航空機間の空間を「管制間隔」という。

例えば、飛行場管制においては、管制間隔として「目視間隔」が適用される。目視間隔とは、航空管制官が関係航空機を視認するか、または航空機が他の航空機を視認することにより確保される安全間隔である。

管制間隔はこの他に、レーダーを使用して管制業務を行っている場合に適用される「レーダー間隔」、航空機の飛行高度差により設定する「垂直間隔(上下)」、同一経路上を同一高度で飛行する航空機に時間または距離により設定する「縦間隔(前後)」、同一高度で飛行する航空機に水平面上の間隔を設定する「横間隔(左右)」があり、計器飛行方式により飛行する航空機相互間にはこれらのうち、いずれかの管制間隔が適用されており航空機の運航の安全が確保されるわけである。

4. これからの航空管制(次世代航空保安システム)

我が国における航空保安システムは、昭和46年の

霰石上空における自衛隊機と民間航空機との空中衝突事故等を契機としてその近代化が始まり、その後約30年にわたって、航空交通の増大や多様化に対応して目覚ましい発展を遂げてきた。他方、現行システムには電波覆域や音声通信等による限界があるため、今後予想される航空交通の大幅な増大や多様化のニーズに適切に対応できない状態となっている。このような状況下、航空審議会は、平成6年6月に答申した「次世代の航空保安システムのあり方について(第23号答申)」の中で、ICAOの新CNS/ATM構想(CNS、ATMについては後述)に沿いつつ、我が国の航空交通の実態を勘案の上、21世紀に向けて我が国が目指すべき次世代の航空保安システムのあり方の基本方針を取りまとめた。この答申においては、運輸多目的衛星(MTSAT: Multi-functional Transport Satellite)を中核とする次世代航空保安システムの構築の必要性が提言されている。

4 - 1 航空保安システムの現状

現行の航空保安システムは、「通信」(Communications)、「航法」(Navigation)、「監視」(Surveillance)(=CNS)の分野別にみると、次のとおりである。

通信の分野においては、陸上及び沿岸空域では超短波(VHF)等を、洋上空域では短波(HF)を、それぞれ利用して音声により行われる。

次に、航法の分野においては、航空機は、国内では航空保安無線施設(VOR/DME、NDB等)の航法支援を受けて、これらの間を結んで設定された航空路を飛行し、着陸に際してはILS等の誘導支援を受けている。一方、洋上では自蔵航法装置により飛行している。

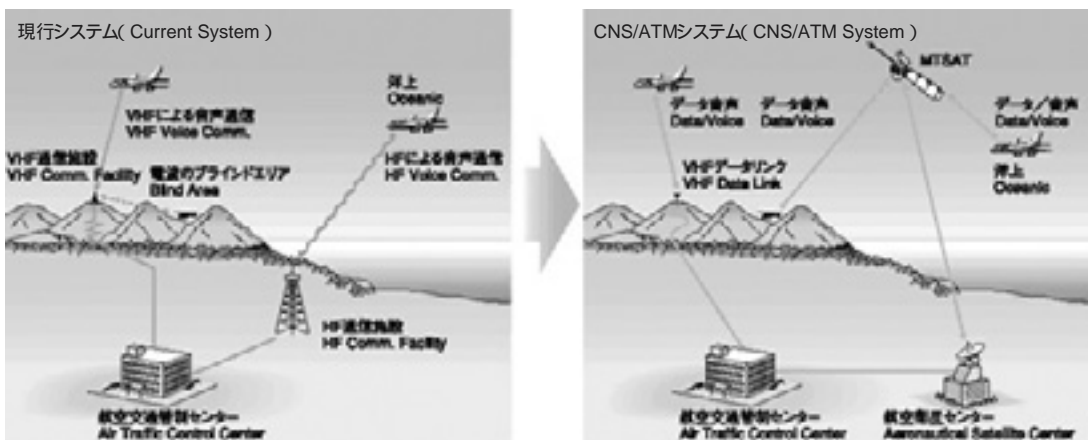
さらに、監視の分野においては、国内のレーダー覆域内の空域においてはレーダー情報をもとに、洋上においてはHFによる位置通報情報をもとに、航空機の監視が行われている。

しかしながら、このような現行システムはいずれも地上の施設にたよっており、VHF電波の覆域及びレーダー覆域の限界、HF電波の限界、音声に依存する通信の限界、現行SSR(Secondary Surveillance Radar: 二次監視レーダー)の限界等があるため、今後予想される航空交通の増大やニーズの多様化に適切に対応できない状態となっている。

4 - 2 新技術の導入による次世代航空保安システム

現行の航空保安システムの限界を克服するため、

a) 通信



管制官パイロット間データ通信 (CPDLC : Controller - Pilot Data - Link Communications)



出典) 航空局管制保安部資料。
Fig. 4 MTSATの機能 通信

ICAOは、将来予想される航空交通の増大や多様化に対応できるようにするため、CNSそれぞれについて新技術(特に最新のデジタル技術や衛星システム)を活用した新しいシステムを導入し、それらを用いて航空交通管理(ATM: Air Traffic Management)システムを構築するよう提言した。

我が国では、このICAOの新CNS/ATM構想を受けて、航空交通量の増大に対応するとともに、より安全で効率的・弾力的な運航を可能とするため、MTSATを打ち上げる等、次世代の航空保安システムの構築に取り組んでいるところである。

1) 運輸多目的衛星(MTSAT: Fig.4)

MTSATの1号機は平成15年度に、2号機は平成16年度に打ち上げられる予定である。これに対応した地上における施設については、神戸航空衛星センターは既に平成11年4月からセンターとして業務を

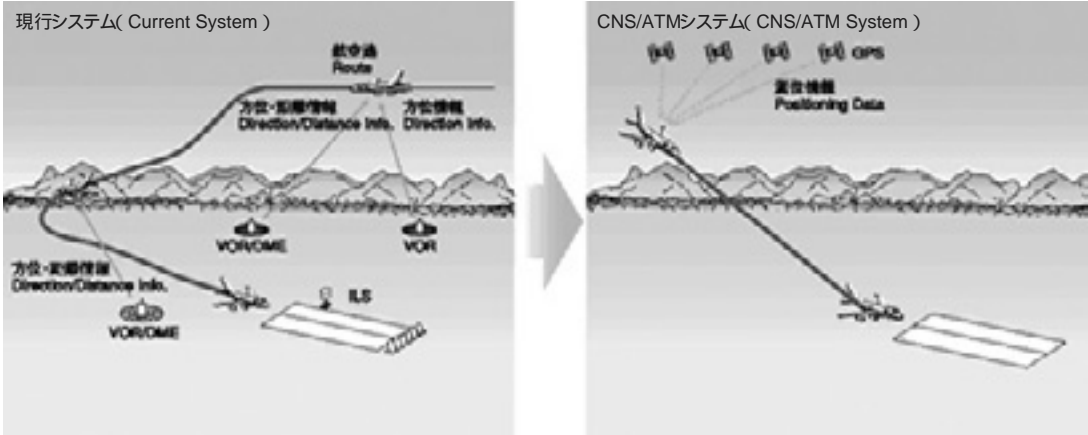
開始しており、常陸太田航空衛星センターについても1号機の打ち上げに合わせて業務を開始する予定であることから、1号機打ち上げの時点で地上施設のバックアップ体制が確保されていることとなる。

MTSATのミッションは気象ミッションと航空ミッションがあり、このうち、航空ミッションを通信(C)、航法(N)、監視(S)の分野別にみると以下のとおりである。

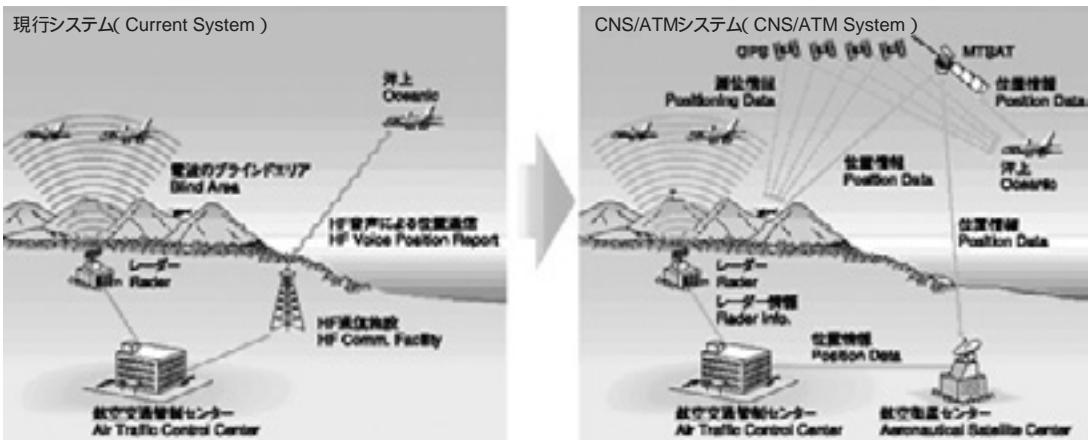
(1)通信

洋上空域を飛行する航空機と地上の管制機関の通信は、現在はHFを利用した音声により行われているため、電離層の状態により通信が不安定で音質もよくないが、MTSATの通信機能を利用することにより、航空機と地上が衛星通信で結ばれ、これまでの音声通信をデータ通信で行うことにより通信時間が短縮され、信頼性の高い通信が可能となる。

b) 航法



c) 監視



出典) 航空局管制保安部資料。

Fig. 4 MTSATの機能 航法、監視

また、航空管制通信に加えて、航空機と航空会社との間の航空機運航に関する通信や航空機の乗客が地上の一般電話との間で行う衛星電話通信も可能となる。

(2)航法

現在、洋上空域を飛行する航空機は、自蔵航法装置により飛行するのが一般的であるが、GPSも利用されてきており、将来はGPSが航法に広く利用されるようになる。GPSを主たる航法手段として利用するためには、GPSの位置制度をさらに高めるとともに、GPS信号が正しくないときにはそのことをパイロットに知らせる機能（GPS補強信号提供機能）が必要となる。MTSATはGPS補強信号を送信する機能を有しており、より効率的で確実な運航が可能となる。

(3)監視

現在、洋上空域を飛行する航空機の監視は、一定

時間毎にHFによる音声通信で自機の位置を地上の管制機関に通報することによって行われており、航空管制官はこの航空機からの位置通報に基づいて交通状況を確認している。

MTSATは、航空機に搭載された航法コンピュータの位置情報を自動的に地上管制機関に中継する機能を有しており、地上の管制機関においては、自動的に送信された位置情報をレーダー表示画面と同様に表示することが可能となる。

このように、MTSATを中核とした次世代航空保安システムにより、航空機と管制機関との通信性能、航空機の航法性能、航空機の監視性能がそれぞれ向上することにより、必要な安全性を損なうことなく、管制間隔の短縮が可能となる。

具体的には、平成17年度のMTSAT 2機体制において、太平洋上の一部航空路で、30マイルの最低縦間隔基準を適用する予定であり、さらに平成20年度

を目処にこの30マイルの最低縦間隔基準を全面的に適用する予定である。

これにより、洋上における空域容量が段階的に増大することから、より経済的な高度での飛行が可能となる。

2) 航空交通管理(ATM)

ATMの目的は、航空機運航者が、全世界的に継ぎ目なく、予定する出発・到着時刻と希望する飛行経路、高度等で飛行することを、最低限の制約で、かつ、安全性を損なうことなく実現することであり、主として空域管理(ASM)、航空交通業務(ATS)及び航空交通流管理(ATFM: Air Traffic Flow Management)の三つの機能により実現されるものである。

現在、新CNS / ATMシステムの環境下において最もATMがその効果を発揮する空域は、航空交通量が增大しつつありながら、電波覆域等の現行システムの問題を抱える洋上空域である。他方、超過密な航空交通量を抱える国内空域等においては、既存のCNSを用いた現行システムは現在でも効果的である。したがって、洋上空域における業務は今後次世代システムへと大きく変貌していくが、国内空域等においては現行システムと次世代システムが暫く併存することが予想される。

我が国においては、航空交通管理を行う機関として、平成6年に運用を開始した航空交通流管理センターの機能を大幅に拡充して、平成17年に航空交通管理センター(ATMセンター)として整備する計画である。

前述したように、次世代航空保安システムにより、洋上の空域容量は増大するものの、空港周辺の空域容量は、滑走路の本数に大きく左右されることから、洋上の空域容量増大に伴う空港周辺空域における過剰な混雑や到着遅延を避けるため、国内便に加え国

際便も対象とした航空交通流管理を開始することとしている。

5. 航空の安全確保

前述したように、わが国の航空保安システムは、昭和46年の雫石上空の空中衝突事故等を契機としてその近代化が始まり、その後30年にわたって、航空交通の増大や多様化に対応して、航空管制官の増員等管制業務実施体制の強化、管制卓等管制業務実施施設の整備、航空路等空域の調整を行うことにより、航空の安全の確保を図ってきたところである。

しかしながら、昨年1月31日、日本航空907便事故が発生した。事故原因については、現在、航空事故調査委員会において調査中であるが、当該航空機を担当していた航空管制官が指示対象機を取り違えていたという事実が判明しているところである。このことは、きわめて憂慮すべき事実であり、一刻も早く、より適正な管制業務の実施により、航空の安全を確保し、管制業務に対する国民の信頼を回復することが急務となっている。

このため事故の再発を防止するための管制業務全般に関する対応策の検討を行うため航空局長を委員長とする「航空管制システム検討委員会」を設置し、人間からミスを完全に無くすことはできないという前提に立った上でなお、管制業務がどうあるべきかを議論するとともに、現場からの改善要望事項や航空保安システムを取り巻く環境の変化を踏まえ、管制業務を行う「ヒト」のあり方、管制業務に用いられる「モノ」のあり方、航空交通の「場」のあり方等を抜本的に見直すという観点から、あらゆる角度から検討を行い、航空管制官の訓練・研修体制の充実や管制支援システム等の整備などの再発防止策等のとりまとめを行い、順次これらを実施しているところである。