

解説



次世代航空管制システムの研究状況†

—新しい監視・通信システム“SSR モードS”を中心として—

東福寺 則保†† 武藤 忠雄††

1. まえがき

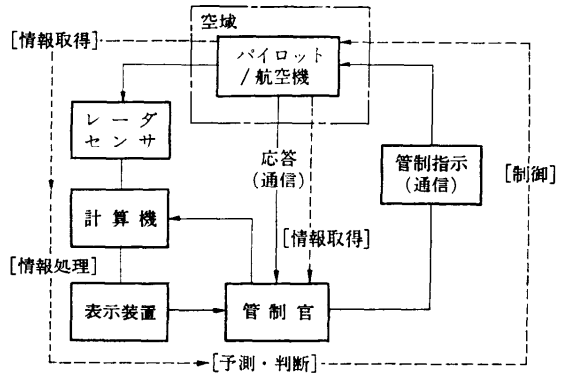
航空交通の安全で効率のよい流れを保つことを目的とする航空管制システムは地上の管制官を中心とするもので、航空機の運航や航空気象観測等のシステムとともに、航空輸送システムの重要なサブシステムである。その起源は、航空機開発の揺籃期を経て、米国で民間航空会社による定期的な運航が始められた第2次大戦以前にさかのぼる。この航空管制システムは現在に至るまで段階的に大きく発展してきたが、背景には航空管制システムの中核の機能ともなる情報処理や通信技術の発展がある。

本稿では、まず航空管制システムの発展の歴史と現状について述べる。次に航空管制システムで現在使われている2次レーダ (Secondary Surveillance Radar, SSR) を発展させたもので、次世代航空管制システムの中核となる SSR モードS、およびこれと不可分なシステムとして運用される管制情報処理システムと他の支援システムの機能や将来に向けての研究状況について解説する。最後に1990年代から21世紀にかけて考えられる航空管制システムについてまとめる。

2. 航空管制システムと情報処理

2.1 発展の歴史と情報処理<sup>1),2)</sup>

航空管制システムは空港の離発着機や進入・出発機を管制するターミナル管制、および空港と空港を結ぶ航空路を飛行する航空機を管制する航空路管制に大き



注) 実線は管制情報処理システムを用いたときのシステムで、破線は機能の流れを示す。

図-1 航空管制システムの制御系

く分かれるが、いずれも図-1 に示すように管制官を中心として、情報取得・処理・予測・判断・制御の機能をもつ系とみることができる。

第1世代の航空管制システムは一般的に“マニュアル管制”と呼ばれるものである。この場合、空地間の情報交換は管制官とパイロットとの間の無線電話による交信だけである。管制官は目視距離以遠の航空機の位置情報をすべて耳から取得していた。そして、あらかじめ作成してある航空機の飛行計画書に相当する運航票の内容に変更ある場合はすべて手作業で更新していた。すなわち、ほとんどの情報取得・処理を管制官が“マニュアル”で行っていた。

わが国の航空管制業務は大戦直後に米軍により始められたが、1955年から空港の日本政府への返還が進み、1959年には航空路管制が日本政府に移管された。この時点で、空の管制権は全面的にわが国の管轄下におかれたが、この時代における管制は一部空港を除き、マニュアル管制が主流であった。

第2世代システムはレーダ技術の開発によるところ

† Research and Development for Next Generation Air Traffic Control System—New Surveillance and Communication System “SSR Mode-S” and Related Technology—by Noriyasu TOFUKUJI and Tadao MUTO (Electronic Navigation Research Institute).

†† 運輸省電子航法研究所

が大きい。現在、航空管制用のレーダには航空機の機体表面からの反射波を直接受信・処理する1次レーダ、および地上局と航空機搭載のトランスポンダとの間で質問・応答を行う2次レーダがある。このレーダの導入により遠隔地の航空機の位置情報をレーダ指示器の画面上から得られるようになった。また、2次レーダにより航空機の識別が可能になった。わが国では1963年から1964年にかけて空港監視レーダ(ASR, Airport Surveillance Radar)や航空路監視レーダ(ARSR, Air Route Surveillance Radar)の1号機が設置されたが、これらの運用が軌道にのった1965年頃にレーダ管制、すなわち第2世代が始まったといえる。

さて、第3世代となると電子計算機を用いた管制情報処理システムが登場する<sup>3)</sup>。わが国ではまず1970年に東京航空交通管制部で飛行計画情報処理(FDP, Flight Data Processing)システムが導入された。これにより、従来手作業であった1日数千枚にもおよぶ運航票の作成が自動化された。

この第3世代にはレーダ情報処理技術の導入も始まる。ターミナル管制については、1972年にわが国で初めて2次レーダ識別表示システムの試作と性能評価がなされた。従来2次レーダはビデオ信号をレーダ指示器の画面に表示するだけであった。この新しいシステムはビデオ信号をデジタル処理し、応答信号に含まれる航空機の識別符号(4桁, 12ビット)や気圧高度符号化器を介して送られる飛行高度情報を解釈・処理し、大形でデジタル表示のできるレーダ表示装置に便名や高度等を表示するものである。1975年にこのシステムと類似の機能をもつターミナル・レーダ情報処理システム(ARTS-J, Automated Radar Terminal System-J)が東京国際空港(羽田)に導入され、その後、大阪、成田、ならびに福岡空港とわが国の大型空港で運用に供されている。ARTS-Jは大型空港用に処理・表示機数や機能の面で設計の配慮がなされているが、中規模の空港については、数字表示だけに簡易化したTRN(Terminal Radar Numeric)システムが開発され、その1号機の運用が1983年仙台空港で始められた<sup>4)</sup>。なお、ARTSでは1次レーダ情報処理機能の付加により2次レーダの情報を補完し、位置情報の精度を上げることも計画されている<sup>5)</sup>。

一方、航空路管制に関しては、1978年にARSR/SSRの情報を処理する航空路レーダ情報処理(RDP, Radar Data Processing)システムの全国的規模の運

用が航空交通管制部で始められた。RDPシステムはARSR/SSR地上局で受信・処理されたビデオ信号をARTS-Jと同様にデジタル処理し、さらに専用回線を介して、各管制部へ航空機の位置情報や識別情報を送り、ARSR/SSR地上局と離れた管制部においてもレーダ表示装置の画面上で航空機の動きを見ながら管制できるシステムである。この導入に伴ってARSR/SSR地上局の増設が進められ、現在、国内全域を東京、福岡、札幌、那覇の四管制部で分割し、レーダ管制が行われている<sup>6)</sup>。このようにFDPシステムに加えて、航空路管制と主要なターミナル管制でレーダ情報処理システムが使用されるようになった。1970年代後半から現在までわが国の第3世代といえよう。

## 2.2 航空管制における情報と取得・処理方法

航空管制では多くの種類の情報が用いられる。これらを大別すると次のようになる。

### (1) 航空機の飛行計画情報

管制を受けて飛行する航空機は飛行前に便名、機種、飛行経路、目的空港、高度、巡航速度等を記載した飛行計画書を出発空港に提出する。この情報は空港からテレタイプ回線を介して航空交通管制部のFDPシステムに入力される。FDPシステムではこの情報や出発時刻をもとに航空路上の定点ごとの通過予定時刻や高度を記入した運航票を複数の管制卓に印字・出力する。この時刻データは数分程度の誤差をもつが、航空機の大まかな流れを把握するという点で、航空管制における航空機の基本情報となる。

### (2) 航空機の位置情報

航空機の位置情報はレーダ走査周期(ASR/SSRは4秒, ARSR/SSRは10秒)で更新されるレーダ表示装置の画面上や無線電話によるパイロットとの交信から得られる。管制官はこの精度のよい位置情報と上記の飛行計画情報とを照合し、情報を更新し、以下で述べる管制指示や補助的情報をパイロットに無線電話で伝達する。

### (3) 管制指示情報<sup>6)</sup>

交通流調整や離着陸許可等に関する指示である。交通流調整に関しては、航空機に対する飛行高度の指示、針路方向の指示、飛行速度の指示がある。管制官は航空機相互間が接近しすぎないように、また、飛行経路や所要時間の点でできるだけ効率よく飛行できる

\* 東京管制部のFDPシステムはNEACモデル575(3台)、RDPシステムは同モデル575(2台)を中心とするシステムである。現在このシステムの更新が計画されている。

ようにこれらの指示を無線電話によりパイロットに伝える。

離着陸等に関する指示は航空機の飛行段階に応じて必要なもので、管制官は当該航空機の前後機との間隔や管轄空域内の交通流の状態を見ながら、適切な時点で各種の許可を無線電話によりパイロットに与える。

#### (4) 管制移管情報

航空機が出発空港から目的空港に飛行する間、ターミナル管制機関と航空路管制機関の管制を受けるが、これらの管制機関のなかにはさらにいくつかの管制席に細分化されている。航空機の飛行の段階に対応して、地上でも管制席から管制席へ、また、管制機関から管制機関へと飛行に関する情報が引き継がれる。このときの情報が管制移管情報である。

#### (5) 航空交通情報

航行援助無線施設が故障停止中、また、ある空域が特殊の事情のために使用できない等の情報を航空交通情報という。これらは通常 NOTAM (Notice to Airmen) と呼ばれ、テレタイプ回線で関係者に伝達されるとともに、無線で放送もされている。

#### (6) 航空気象情報

気象情報は航空機の運航に必須のもので、その伝達は航空機の安全に直接影響する。このため、定期観測データはテレタイプ回線で関係者に伝達される。この情報は(5)と同様に無線で放送もされている。また、管制官は離着陸時の風の情報等、また、急激な気象の変化を目視またはレーダで観測した場合はその内容を無線電話でパイロットに伝えている。

### 3. SSR モード S<sup>7)~9)</sup>

モード S の基本機能は次の二つに分かれる。

- ① 航空機の監視機能 (位置情報の取得)
- ② 航空機との情報伝送 (通信)

このうち①の監視については<sup>2)</sup>で述べたように従来の2次レーダにおいても航空機の識別符号や飛行高度情報を取得して行われていたが、モード S ではこの監視機能を強化するとともに、単に識別符号や飛行高度情報だけでなく、航空機とのデジタル情報伝送機能を付加し、空地間における種々の通信に応用できるようにしたことに特徴をもつ。この情報伝送機能の付加のため、モード S では特定の航空機を選択して質問・応答を行う方法を採用した。すなわち、モード S ではあらかじめ質問信号のなかに質問対象の航空機の個別符

号 (24ビットでパリティ・ビットと重畳される) を含ませ、航空機がこの質問信号を解読し、自機の符号と一致するときに応答する方法とした。モード S の S は “Selective” の意味である。

モード S の開発は、米国運輸省航空管制諮問委員会が1969年に作成した勧告に基づき、1971年同連邦航空局が計画を立案し、MIT リンカーン研究所に基本設計を依頼したときに始まった。米国ではこのシステムを DABS (Discrete Address Beacon System) と称し、第3世代後半の主要システムと考えた。以後、リンカーン研究所は DABS の実験施設を開発し、基本設計の妥当性を調べるための実験を行った。次いで、この結果に基づき、1978年にテキサス・インスツルメント社が連邦航空局の契約を受けて実用試作機を製作した。現在は実用試作機による実験・評価が進められている。この米国の作業と併行して、英国でも類似の機能をもつ ADSEL (Address Selective System) の開発・実験・評価が行われてきた。1983年からはさらに国際民間航空機関での検討が始まり、信号形式やデータ形式等の国際標準化が進められている (この準備段階で名称が “SSR モード S” と統一された)。

#### 3.1 モード S の主要動作・機能

図-2 にモード S のシステム概念を示す<sup>\*</sup>。2次レーダからモード S に移行していくには当然地上局やトランスポンダで二つのシステムが共存する時期がある。すなわち、モード S トランスポンダを搭載した航空機 (モード S 機) が2次レーダ地上局の覆域内を飛行したり、従来の2次レーダ用のトランスポンダを搭載した航空機 (SSR 機) がモード S 地上局の覆域内を飛行することになる。このため設計の段階から二つのシ

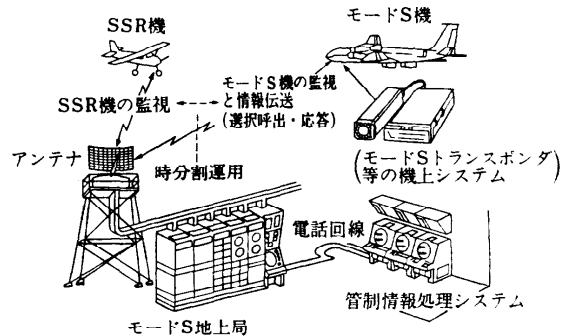


図-2 モード S の概念図

\* モード S は航空路管制とターミナル管制に用いられるが、覆域や走査周期等の相違により、一部の仕様は異なる。

システムの両立性が考慮された。以下では実用試作機の製作を終えている米国のモード S をもとに主要な動作と機能を述べる。

(1) 2次レーダとの両立性と信号形式

まずモード S では2次レーダと同じ周波数(質問: 1030 MHz, 応答: 1090 MHz)を用いることと次の信号形式が考えられた。

- ① 2次レーダだけの All Call 質問信号
- ② 2次レーダ/モード S All Call 質問信号
- ③ 2次レーダ応答信号(現在と同じ)
- ④ モード S 質問信号
- ⑤ モード S 応答信号

これらの信号型式は以下で述べるように SSR 機の監視とモード S 機の登録に用いる All Call 質問・応答とモード S 機の個別質問・応答の二つの形態に分かれる。モード S では機械的に回転する一つのアンテナを用い、二つの形態をミリ秒のオーダーで交互に繰返し運用する方法が採用された。

①の信号は SSR 機の監視に用いられる。SSR 機はこの質問に対して③の信号で応答し、モード S 機は応答しない。②の信号は SSR 機の監視とモード S 機の登録に用いられる。モード S 機がモード S 地上局の覆域内に入ったとき、地上局ではどの航空機かの識別情報がなく、個別の質問・応答ができない。このため、ビーム内のすべてのモード S 機に対して質問(All Call)し、そのモード S 応答信号を解釈して当該航空機の個別符号や位置情報を取得し、モード S 機を個別に質問するための点呼(roll call)リストに登録する。登録後は点呼リストを参照し、個々のモード S 機の予測位置をもとに質問がスケジュールされるため、All Call 質問に応答する必要がなくなる(応答を抑圧できる)。②の信号に対して SSR 機は①と同様に③の信号で応答する。

モード S 機を個別に点呼し質問するとき用いられるのが④のモード S 質問信号で、前置信号とデータ部で構成される。データ部は 4 M ビット/秒の差動位相反転方式により変調される。モード S 質問信号やモード S 機への All Call 質問に対する応答に用いられるのが⑤のモード S 応答信号で、この信号も前置信号とデータ部で構成される。データ部は 1 M ビット/秒のパルス位置変調(Pulse position modulation)方式で変調される。データ部はいずれも 56 または 112 ビットの二つの形式がある\*。

なお、モード S 機が SSR 地上局の覆域内を飛行す

る場合は SSR 機と同様に③の信号で応答するため、両立性が保たれる。

(2) 監視機能の強化

2次レーダによる監視で問題となる次の三点について改善がなされている。

a) 近接航空機の同期応答干渉の軽減

2次レーダでは応答信号から航空機の方位角や地上局からの距離を求めるが、2機がビーム内にあり、かつ、地上局からの距離にあまり差がない場合は複数の応答パルス列が重なり(同期応答干渉)、どの航空機からの応答かわからなくなることがある。モード S では航空機を選択して質問するため、近接航空機による同期応答干渉を軽減できる。

b) 質問率の低減

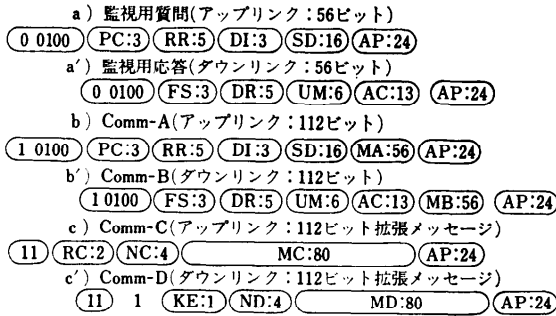
航空機の監視能力の向上の一つとして複数地上局の覆域を重畳させる(多重覆域化)ことが進められているが、この場合はトランスポンダにとって質問率が增加することになり、トランスポンダの過負荷による不応答の一因ともなる。このため、質問率の低減が望まれる。現在、航空機の方位角検出ではスライディング・ウィンドウ方式を用いており、航空機がビーム内に存在する間に得られる 10 個程度またはそれ以上の応答の中心で方位を決めている。これに対して、モード S ではモノパルス測角処理を導入し、少ない質問数で方位角を求める方式が採用された\*\*。この効果としては単に質問率の低減だけでなく、測角精度の向上も図られる。

c) 目標検出機能の向上

2次レーダではさらに地上局の近くの大地や海面による電波反射で反射波が生じ、これと直接波とが干渉して目標からの応答信号が消える場合、また、地上局

\* SSR 機のトランスポンダがモード S 質問信号を受けたとき、制御パルスにより約 35 マイクロ秒の間必要な応答をしないような工夫がされている。これは 2次レーダのアンテナ・サイドローブによる応答を抑える方法を利用したものである。もし、モード S 質問信号がこの間隔より長いと SSR 機のトランスポンダが誤動作する恐れがある。そこで、モード S ではこの間隔内で一定量の情報を送れるような設計がされた。2次レーダを含め詳しい説明は文献 19) を参照されたい。

\*\* 2次レーダではアンテナのビームが航空機を補そくし応答が始まってから航空機がビームをはずれて応答しなくなるまでに得られる応答信号をもとに航空機目標を検出し、距離と方位角を求める。スライディング・ウィンドウ方式は目標検出のため応答開始と終了を調べるもので、現在の掃引(スイープ)の一定数前までの応答信号を記憶し、開始・終了のしきい値により判定する。ウィンドウはアンテナの走査とともに移動するため、スライディングと呼ばれる(文献 19) 参照)。これに対してモノパルス測角処理は一つのアンテナで形成される二つのアンテナ・パターンを利用して、応答信号の入射角を求める方法である。原理的には一つの応答から航空機の方位角を得られるが、実際は数個の応答を用いて平均値を求める。



注) アップリンク: 地上から機上へのリンク  
 ダウンリンク: 機上から地上へのリンク  
 AP: 識別符号/パリティ  
 MA, MB, MC, MD: メッセージ部  
 他の部分: リンク制御等のビット

図-3 モードSのデータ形式の例

の近くの建物等により横方向の反射が生じ、まったく異なる方向の目標からの応答信号として受信処理される場合がある。この軽減には、電波を大地面方向にできるだけ放射しない必要がある。わが国でもこの要求を実現するためにオープン・アレイ・アンテナの性能評価や複合給電方式アンテナの開発がなされた<sup>10)~12)</sup>。

### (3) 航空機との情報伝送

図-3 に代表的なデータ形式の例を示す。モードSでは前述のように56または112ビットのデータ部で情報を送る。このうちで56ビットの場合は主に航空機の監視、112ビット(Comm-AとComm-B)の場合は情報伝送に用いられる。必要に応じて、112ビットを最大16個まで連続的に伝送できる(拡張メッセージでComm-CとComm-Dと呼ばれる)。

さて、情報伝送能力に関しては、現在モードSの国際標準の指針案として、最も厳しい条件でのモードS質問率が以下のように考えられている。ここで、一走査周期は空港管制用ASR/SSRの4秒で、( )内は対応する走査角と質問の条件を示す。

① 1165 質問/秒 (360度の範囲で700機のモードS機に3回のComm-Aの質問+160機のモードS機に連続16個のComm-Cの質問)

② 1840 質問/秒 (90度の範囲で400機のモードS機に3回のComm-Aの質問+40機のモードS機に連続16個のComm-Cの質問)

③ 2400 質問/秒 (3.6度の範囲で48機のモードS機に2回のComm-Aの質問)

これらは米国の1990年代の交通量予測から決められ

たもので、わが国の現行交通量と比べて10倍以上である。

### 3.2 研究・開発状況

モードSに関する研究・開発は、米国が最も進んでおり、現在までの段階で、監視機能に関しては、評価実験により使用できるとの見通しが得られている。

しかし、国際的に標準化し、各国で実際に使用するときは、新しい技術的な問題も生じる。一例として、米国で対象とされた交通量は必ずしも他の国にはあてはまらない。3.1(3)で示した伝送能力をもたせるには送信機や質問スケジュール等を管理する計算機サブシステムの要件が厳しくなる\*。わが国のように米国程の交通量が予測されない国においては、その環境に見合い、かつ、国際的にもインタフェースのとれたモードSの研究・開発が一つの課題であろう。

さて、送るべき情報の種類や内容については、単に航空管制で必要とする情報だけでなく、機上のパイロット側で必要とするものを含み、種々のものが候補として挙げられている。これを大別すると<sup>13),14)</sup>、

- ① 気象情報・交通情報等の補助的情報
- ② 管制指示情報
- ③ 飛行情報

にわかれる。

①の気象情報は5.で述べるが、交通情報に関しては、監視機能で得られる航空機の位置情報を用いて、近接航空機の情報を機上へ送るATAS(Automatic Traffic Advisory System)機能が米国で開発されつつある。ATASでは位置情報と空域使用情報から航空機が誤って飛行禁止空域に侵入しないように警告を送る機能も検討されている。また、この他に空港周辺で航空機が最低安全高度以下に降下しないための警告(MSAW, Minimum Safe Altitude Warningと呼ばれる)を送ることが国際民間航空機関の会議で提案されている。②の管制指示情報としては現在のところ実現の容易性から巡航時の指示飛行高度や離陸許可の確認のための情報を空地間のデータリンクで送ること、③では機上の運航管理システムで得られる針路や速度の情報を地上に送ることが上記の会議で提案されている。

\* テキサス・インスツルメント社製の实用試作機の計算機サブシステムは990/10を用いた分散処理方式で構成されている。これは1975年頃の技術であり、その後のマイクロ・コンピュータの発展により、実用機ではこれと異なるシステムの採用が考えられる。

図-3 に示す Comm-A, -B のデータ部のうち、リンク制御用ビットや識別符号の24ビット等を除くと、残りの56ビットがメッセージをのせる部分である。もし、1符号8ビットとすると1回の質問で7符号の伝送となるが、これだけでは上記の情報を効率よく送ることが難しい。米国や欧州では航空管制で使う用語を符号化し、70文字程度の情報を56ビット内で伝送する方式を提案しているが、この方式によると最も長文のメッセージと考えられる気象情報を最高4個のComm-A質問で伝送できることが指摘されている。しかし、現段階ではこの符号化も含め、モードSでどのように情報を伝送するかは未定である。また、情報の入力方法も重要な問題であり、これらがモードS関連の今後の大きな課題である。実際、管制官やパイロットがキーボードを操作して入力するのでは、その作業負荷の増大のため、モードSの情報伝送能力の利点が著しく阻害される。出力についてはプリンタやCRTが考えられるが、入力については音声認識処理が何らかの形で必要になろう。このための研究が進められているが<sup>15), 16)</sup>、航空管制の実際の環境で用いるには現在の技術はまだ不十分であり、もう少しの年月を要しよう。

#### 4. モードSと管制情報処理

モードSの情報伝送能力をより有効に活用するためには、最終利用者である管制官とのインタフェースをとる管制情報処理の機能向上が必要になる。

わが国の管制情報処理システムは2.で述べたように現在は飛行計画やレーダ情報の処理が主であり、図-1の制御系で考えると“情報取得・処理”の部分がこれにあたる。一方、管制官の予測・判断への支援機能に関しては今後の計算機技術の発展を考えると多くの研究・開発課題がある。米国ではモードSの開発と併行して、次のような機能の研究・開発が行われてきている<sup>14), 17), 18)</sup>。

- ① 異常接近警報・解除
- ② 発達型航空路管制方式 (AERA)
- ③ メータリング・スペーシング (M & S) / 着陸順位付け
- ④ 新管制卓
- ⑤ ターミナル情報処理システム (TIPS)
- ⑥ 空港表面交通管制システム (ASTC)

管制業務のなかで中心となるのは、航空交通流の安全と秩序を保つための飛行計画の承認や交通流調整に

伴う判断と指示の発出である。このためには時間を含めた4次元上の航空機の動きを把握する必要がある。一方、航空機の動きを考えると、まず風の影響がある。これによって管制官が予測するよりも早く、または遅く、目的の場所に到着することがある。また、悪天候のために通常の飛行経路を飛行できなく、他の飛行経路を選ぶこともある。次に、航空機は高速である。もし、指示を出すのが30秒遅れると、その間に480ノットで飛行している航空機は4海里移動する。2機がこの速度で対向している場合、8海里(約14km)離れていても30秒後には衝突という危険な事態を生ずることになる。時々刻々と変化する環境のなかで複数機、多いときは10機以上の航空機を管制することは、非常に高度な判断が要求される。

このような予測・判断を支援するソフトウェアが前述の①～③である。航空機の異常接近警報は現在わが国の航空路管制でも使用されているが、将来的には単に警報だけでなく、航空機の数・高度情報をもとに異常接近をどのように解除するかの方策をも計算機で作成し、管制官の最終判断の参考とするものである。異常接近警報・解除は分オーダーのごく近い将来の交通状況を扱うのに対し、AERA (Automated En-Route Air Traffic Control) はより先に起こりうる交通状況を予測して、交通流の調整と飛行の許可や管制指示の発出に係る定形的業務を計算機で自動的に処理するシステムであり、この指示の発出ではモードSのデータリンクが使用される。③のM & S (Metering and Spacing) はターミナル管制に関係するARTS関連のソフトウェアで、ターミナル空域へ入る航空機の着陸時刻を予測し、順序付けを行い、かつ、航空機間の安全間隔を維持できるように飛行経路の主なポイントの通過時刻を決定し、これを実現する管制指示を作成する機能をもつ。この指示は管制官の判断材料としてARTSの表示装置に表示されるが、モードSが導入されると機上へ指示を送ることもできる。ただし、ターミナル管制の場合は航空機の動きが複雑(上昇・下降や加速・減速)であるため、異常接近警報・解除の機能とともに②の航空路管制のソフトウェアと比べて実現が難しい面がある。④～⑥はハードウェアが関係する。現在管制卓は平面表示のレーダ表示装置と運航票を載せる卓で構成されている。これに対して、新管制卓は複数の電子式表示装置を利用し、レーダ情報や飛行計画情報の表示、さらに垂直面の飛行プロファイルの表示を可能にし、管制官の交通流調整のための判断

を支援するものである。TIPS (Terminal Information Processing System) では管制塔やレーダ管制室の情報処理業務を一つのシステムに統合することが考えられている。ASTC (Airport Surface Traffic Control) はレーダを3式用いて、空港面を移動する航空機や車両の位置を検出し、かつ、誘導や通信を行うもので、この場合も管制官への情報はデジタル表示装置を介して提供される。

### 5. モードSと地上支援システム

モードSの導入と関係する地上支援システムとして重要なものに気象観測システムがある。気象情報も当然モードSの情報伝送機能の応用が可能であり、米国では次の情報の伝送が候補として考えられている<sup>14),17)</sup>。

- ① 空港面風向・風速と視程
- ② 風シャー情報 (空港面はある広がりをもっており、場所によって風向・風速の値が急激に異なる現象を風シャーと呼ぶ)
- ③ 航空気象データ
- ④ 改良型気象・交通情報放送

このうちで①と②の情報をモードSにより実時間で機上に伝送することは離着陸時の航空機の安全に役立つ。③は空港や航空路における気象情報を機上に送るシステムで、地上で気象データ・ベースやネットワー

クが必要になる。これにより、飛行中でも遠隔地の空港やこれから飛行する航空路の周辺の気象データを取得できる。④は現在放送している空港気象・交通情報をモードSで機上に送る方法であり、パイロットの要求時に最新の情報を送れ、また、要求の方法によっては特定の情報だけの伝送が可能になる。

### 6. 次世代航空管制システムの全体像

3.~5. でモードSやこれに関係するシステムとその研究・開発の状況について述べた。航空管制システムではこの他に航行援助無線システム、ならびに機上の衝突防止システムや航法システムも関係し、また、21世紀にかけては衛星システムの管制への応用(特に洋上管制)も検討されている。米国では1986年からモードS地上局の設置を始め、21世紀までには全米で197局を設置する予定である。一方、わが国では3.1で述べたアンテナ系の改善やモノパルス測角方式に関する研究がほぼ終了しようとしている。国際情勢をみると、高密度の空域をもつ米国を除くと、従来の2次レーダから直接モードSに移行するのではなく、まず監視の精度を上げるためにモノパルス測角方式を導入した2次レーダを経て、モードSへ段階的に移行する考えが主流である。しかし、いずれにしてもモードSが導入されるのは必然的な動向である。そこで、最後にモードSの導入に伴う次世代航空管制システム

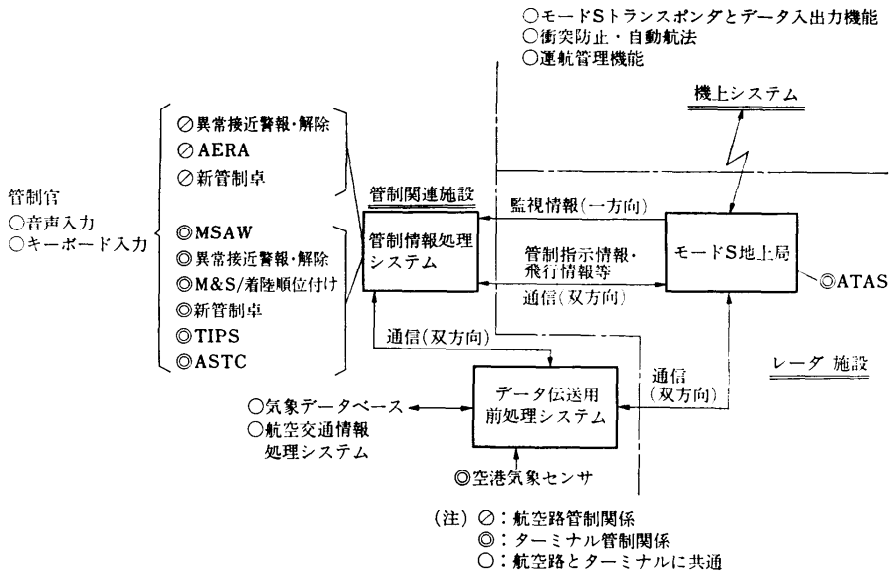


図-4 モードSを中心とした次世代航空管制システムの構成

の全体像を図-4 にまとめてみた。

## 7. む す び

次世代航空管制システムは、管制情報処理システムを利用したレーダ管制である第3世代のシステムに航空機を選択して情報を送れるモードSが導入され、さらに管制情報処理や支援システムの機能が段階的に整備・向上されて行く時代のシステムといえよう。

航空管制システムは管制官を中心として人間要素が深く関係するシステムである。今後の計算機や通信技術の発展とともに本稿で述べた多くの機能やシステムが実現され、航空交通の安全性の向上がより一層図られていくと考えられるが、いずれにしても人間要素は21世紀においても残り、その人間と機械とが調和したシステムの構築が必要であろう。本稿でシステムのすべてを述べることは難しいが、航空管制における情報処理とこれに関する研究・開発の一端をご理解いただければ幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) 航空交通管制協会編：新航空管制入門，鳳文書林，東京（1979）。
- 2) Gilbert, G. A.: Historical Development of Air Traffic Control System, IEEE Trans. Comm., Vol. COM-21, No. 5, pp. 364-375 (1973).
- 3) 運輸省航空局：管制情報処理システムの概要，運輸省航空局管制情報処理システム室。
- 4) 田嶋，三谷：ターミナルレーダーニューメリック表示システム，電子航法研究所報告，No. 42, pp. 15-29 (1983)。
- 5) 東福寺他：ターミナル・レーダ情報処理における1次レーダ処理機能の付加効果について，信学技報，SANE 83-27 (1983)。
- 6) 東福寺則保：管制官・パイロット通信の問題点，人間工学，Vol. 18, No. 2, pp. 71-74 (1982)。
- 7) Orlando, V. A. et al.: DABS: Functional Description, FAA-RD-80-41 (1980)。
- 8) FAA: Discrete Address Beacon System (DABS) Sensor, FAA-ER-240-26 A (1980)。
- 9) ICAO: SSR Improvements and Collision Avoidance Systems Panel—1st meeting, WP/2 (1983)。
- 10) 塩地，吉岡他：SSR用オープンアレイアンテナの試作と評価試験，電子航法研究所報告，No. 24, pp. 11-30 (1980)。
- 11) 塩地，板野他：ARSR/SSR複合給電方式アンテナの試作と評価，電子航法研究所報告，No. 41, pp. 1-19 (1983)。
- 12) 板野，塩地他：センター型複合給電方式ARSR/SSRアンテナについて，電子航法研究所報告，No. 43, pp. 21-33 (1983)。
- 13) Canniff, J. et al.: Functional Utilization of DABS Data Link, FAA-RA-78-159 (1978)。
- 14) FAA: Systems Research and Development Service Report of R & D Activity, FAA-RD-80-54 (1980)。
- 15) Connolly, D. W.: Test/Demonstration Plan: Connected Speech Recognition System, FAA/NAFEC (1979)。
- 16) 沖重，東福寺：航空管制シミュレーションへの音声入力処理の応用について，第21回飛行機シンポジウム講演集，pp. 98-101 (1983)。
- 17) FAA: Systems Research and Development Service Progress Report, FAA-RD-78-90 (1978)。
- 18) Goldmuntz, L. et al.: The AERA Concept, FAA-EM-81-3 (1981)。
- 19) 航空電子システム編集委員会編：航空電子システム，日刊工業新聞社，pp. 59-103 (1983)。  
(昭和58年12月22日受付)