

解説

最近の航空管制システム†



東 福 寺 則 保††

1. ま え が き

航空交通の安全性と効率のよい流れを維持することを目的とする航空管制 (Air Traffic Control, ATC) システムの発展は、航空管制官が目と耳で飛行情報を取得し、手作業で処理していた第1世代、レーダが導入されて目視以遠の航空機の位置情報をレーダ表示器上で取得できるようになった第2世代、および計算機による情報処理が導入された第3世代とさかのぼることができる。現在はレーダ、計算機、通信網などがより複雑に構成された第3世代システムが主流であり、わが国では飛行計画情報処理機能とレーダ情報処理機能を有する管制情報処理システムが使用されている。

筆者らは、航空管制用のレーダを高性能化して、航空機との質問・応答を選択的 (selective) に行える2次監視レーダ・モードSを中心とした次世代航空管制システムの研究・開発状況について解説した¹⁾。これらの研究・開発は、第3世代システムの諸機能を維持・発展させることを目的とするものである。

そこで、本稿では、次世代システムの構築に際して、その基本となる最近の航空管制システムについて解説する。まず、航空管制システムが運用される環境や航空管制官が行う交通予測・判断・制御機能の概要について説明する。次に、飛行計画情報とレーダ情報が航空管制官によりどのように利用されるかの例を挙げる。最後に、最近の技術動向について若干述べる。

2. 航空管制システムの概要²⁾

2.1 航空交通と航空管制

航空交通は飛行方式の点で、有視界飛行方式と計器飛行方式に分かれる。いずれの場合も、航空機はその飛行に際して、出発予定時刻、経路、巡航高度、巡航速度などを記載する飛行計画書を出発空港に提出する。

有視界飛行方式では、飛行計画を提出後、空港とその近傍で航空管制機関の指示を受けて飛行することがあるが、その他はパイロットの目と判断、そして航法システムにより飛行する。一方、計器飛行方式では、航空管制機関から飛行計画の承認を得る必要がある。そして、出発承認後は、目的空港に到着するまでのすべての経路上で管制を受けることになり、定期便など民間航空輸送機のはほとんどは計器飛行方式で飛行している。

2.2 空域・経路と航空管制業務

計器飛行方式で飛行する航空機は、出発空港と目的空港ごとに公示されている標準経路により飛行計画を作成する。この経路は航空路、出発経路、到着経路などで構成されるが、これらは地上に設置された航行援助無線施設を基準に設定されている。

航空管制では、わが国の国内上空と洋上の広い空域を多くの航空管制機関が分担して管制を行っている。これらを機能的に分けると、

- (1) ターミナル管制
- (2) 航空路管制

となる。

ターミナル管制は空港ごとに行われている。その空域は空港を中心におおむね半径 60 NM (NM は海里を表し、1 NM=1,852 m) で高度 15,000 ft (ft はフィートを表し、1 ft=0.3048 m) 程度の円筒に入る大きさである。航空路管制は、東京、福岡、札幌、那覇に設置されている航空交通管制部で行われており、航空路とその周辺空域の管制を行う。また、各航空交通管制部が管轄する空域はセクタと呼ばれる単位に分割されており、わが国では約 30 のセクタがある。

航空路管制の各セクタにはパイロットと交信する航空管制官 (以下、管制官)、他のセクタと連絡・調整を行う管制官、飛行計画承認の作業などを行う管制官などの複数が配置される。ターミナル管制では空港面の移動や離着陸を管制する管制塔の飛行場管制室、およびレーダで管制する計器飛行管制室に複数の管制官

† Air Traffic Control System: Its Present and Near Future by Noriyasu TOFUKUJI (Electronic Navigation Research Institute, Ministry of Transport).

†† 運輸省電子航法研究所

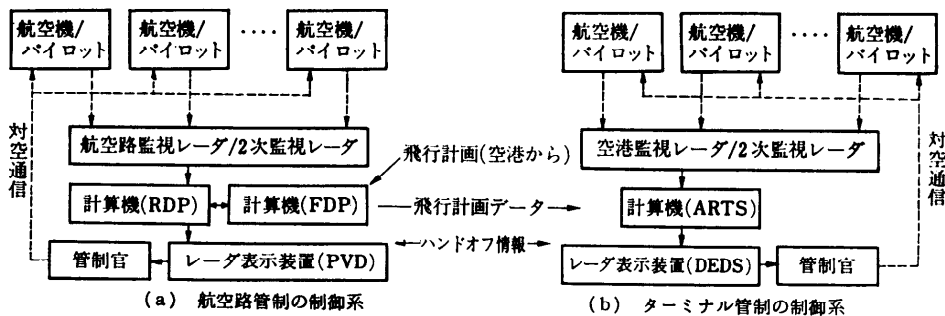


図-1 航空管制システムの制御系

が配置される。航空機は出発空港から目的空港まで複数の航空管制機関やセクタの管制を順次受ける。

2.3 制御系としての航空管制

図-1は第3世代システムにおけるターミナル管制と航空路管制を制御系として示したものである。

2.3.1 飛行計画情報処理

図-1の計算機システムFDP(Flight Data Processing system)は飛行計画を処理して、運航票と呼ばれる紙片(横20.5cm, 縦2.5cm)を印字・出力するものであり、現在、東京航空交通管制部の主計算機を中心として、他の航空交通管制部の集配信装置や各空港の端末を結ぶ大規模オンライン・リアルタイム・システムを構成する。FDPは1970年に初号機の運用が始まり、1985年からは3号機が使用されている。その運用はACOS-750の3系統を主計算機として、内2系統がデュアル・システムとして実運用、1系統は予備機とプログラム保守・開発・評価に供され、航空交通の安全を維持するための高信頼性を実現している。

運航票の印字形式は出発から到着までのどの段階で使用するかにより異なるが、

- ①航空機呼び出し符号(CS: Call Sign)、機種
- ②巡航高度、巡航速度(真対気速度*)
- ③飛行計画経路
- ④出発・到着予定時刻
- ⑤飛行計画経路上の定点の予定通過時刻
- ⑥航空機のビーコン識別符号** (B)

などが記載される。ちなみに、1日当りの飛行計画数は約2,000件であり、1計画(航空機)当りの運航票

の枚数を仮に6枚とすると、1日に12,000枚程度の運航票が作成されることになる。

運航票の記載時刻は時分の単位である。航空路管制の管制官は運航票により、航空交通を大まかに組み立てて飛行計画を承認する。この意味で、運航票に記載された飛行計画データは図-1の制御系のすべての源情報となる。

2.3.2 レーダ情報処理*

航空管制用のレーダとしては、機体表面からの反射を直接受信・処理する1次監視レーダ、および地上局と機上応答機との間で質問・応答を行う2次監視レーダがある。1次監視レーダからは航空機の位置情報(距離 ρ_1 , 方位 θ_1)、2次監視レーダからは位置情報(ρ_2 , θ_2)に加えて、ビーコン識別符号 B_r と100ft単位の飛行高度情報 h が取得できる。

(1) 航空路レーダ情報処理^{3), 4)}

図-1(a)の航空路監視レーダは覆域半径が200NM(約370km)の1次監視レーダである。わが国では現在2次監視レーダと併設された地上局が14カ所に設置されている。国内上空とその周辺洋上空域のほとんどはレーダ覆域下にあり、複数のレーダ覆域が重なる地域が多い。レーダ走査周期は10秒であり、地上局で受信・処理されたビデオ信号は多段階の処理を経て、各航空交通管制部のレーダ表示装置(Plan View Display, PVD: 有効直径20インチの表示装置)に表示される情報となる。図-1(a)の計算機システムRDP(Radar Data Processing system)はこの航空路レーダ情報を処理するものである。わが国では1978年に初号機の運用が始まり、1987年にACOS-750系を主計算機とする2号機に更新された。

RDPの中心技術は移動体であるターゲット(目標)

* かく乱されていない大気と航空機との相対速度を表す。航空機の速度計の値(指示対気速度)が同じでも空気密度により、高度が高いほど真対気速度は速くなる。真対気速度に風成分が加わって対地速度になる。管制官はパイロットに速度指示を伝達するとき、指示対気速度を用いる。

** 2次監視レーダ(米国ではレーダ・ビーコンとも呼ばれる)の応答信号に含まれる12個の情報パルスを解読して得られる4桁の数字である。この識別符号の割当はFDPで行われる。

* レーダ情報処理の概要は文献3)、詳細は文献4)、6)を参照されたい。なお、RDPとARTSではレーダ映像をデジタル表示に重量できる。レーダ映像の表示は計算機システムの障害時のバックアップとしても使用される。

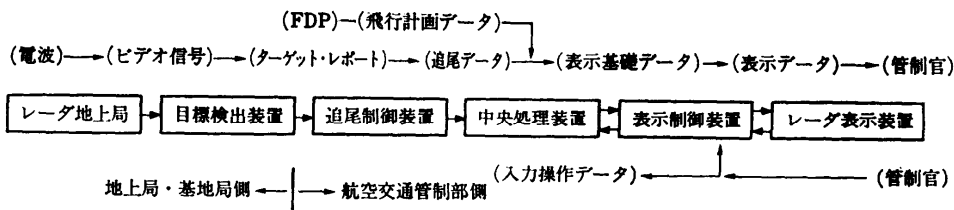


図-2 航空路レーダ情報処理システムの機能の流れ

の検出・追尾やレーダ表示制御処理である。その運用の高信頼性を実現するため、主計算機はデュアル・システムで運用されている。また、追尾制御、表示制御はそれぞれ1語16ビットの小型計算機システムで行われる分散処理を採用している。図-2にRDPの機能の流れを示す。RDPでは各航空交通管制部ごとに図-2の機能の流れが構成される。レーダ情報処理ではさらに航空交通管制部のRDP間、また、後に述べるターミナルレーダ情報処理システムが接続された全国的なネットワークが構成される。

(a) 目標検出

目標検出装置では、ビデオ信号(パルス波形)の量子化とスライディング・ウィンドウと呼ばれる目標検出方式により $\rho_1, \theta_1, \rho_2, \theta_2, h, B_r$ を抽出する。さらに (ρ_1, θ_1) と (ρ_2, θ_2) との相関処理を行い、相関が取れた場合はコモン・ターゲットとして $\rho_c = \rho_2, \theta_c = \theta_1$ 、相関が取れない場合は1次ターゲットまたは2次ターゲットとして、1走査ごとにターゲット・レポート(デジタル情報)を作成する。

(b) 追尾制御

2次ターゲットまたはコモン・ターゲットに関しては、地上局を原点とするXY座標系により追尾処理が行われる。追尾処理は相関処理、平滑処理、および予測処理に分かれ、 α, β 追尾方式を基本とする計算が行われる。

相関処理ではターゲットのトラック(航跡)情報を格納したテーブルをもとに、新しく入力されたターゲット・レポートがどの航跡のものかを判定する。

ターゲット・レポートの (ρ_c, θ_c) などを座標変換した値は観測位置であり、レーダ電波反射障害や近接機による応答電波の重畳(ガブリング)などによる誤差が生じうる。そこで、現走査の観測位置、および前走査の観測位置から計算した予測位置と予測対地速度をもとに真の位置に最も近いと推定される平滑位置、および平滑対地速度を求める。中央処理装置には、平滑位置を各航空交通管制部のシステム座標に変換した値

(x_s, y_s) 、平滑対地速度 v_s, h, B_r などの追尾データが送られる。1次ターゲットは単にシステム座標に変換した値が中央処理装置に送られる。

(c) 中央処理

中央処理装置では、FDPの情報であるCS, Bなどと照合して、追尾データのトラックがどの航空機であるか($B=B_r?$)を識別する。

さらに、中央処理装置では、PVD画面表示のためのCS, $(x_s, y_s), h, v_s$ などのターゲット・データ、およびセクタごとに異なるセクタ境界線や航空路などのマップ・データを編集・作成する。また、あるセクタから次のセクタに航空機の管制権を移管するための操作(システム・ハンドオフと呼び、以下、ハンドオフと略す)など、航空機の管制上のステータス変更に関する処理や多重レーダ覆域処理を行う。

(d) 表示制御とレーダ表示

表示制御装置とPVDで構成される表示系はセクタごとの処理となり、複数のセクタの表示系が中央処理装置に接続されている。図-3に実システムと同等の表示機能を有する航空路管制シミュレーション装置⁶⁾のPVDの外観を示す。

図-3に示すように、PVDには約70種類のスイッチ類やキーボードがある。また、ハンドオフ操作などを行うときは、どの航空機に対する操作かをPVD画面で識別するトラック・ボールが使用される。各種の入力操作のうち、ハンドオフ操作などの航空機の管制上のステータスに関係するものは中央処理装置まで送られる。中央処理装置では、この種の入力操作によりPVD画面の制御が必要なときは、ターゲット・データを再度編集・作成して、表示制御装置に送るといった情報のフィードバック処理を行う。

図-4はPVDのレーダ表示画面の1例である。図中の実線が航空路構成、破線がセクタ境界線などを表す。△印はそのセクタで管制中のターゲットを表し、その近傍にCS, h, v_s などがデータ・ブロックとして表示される。

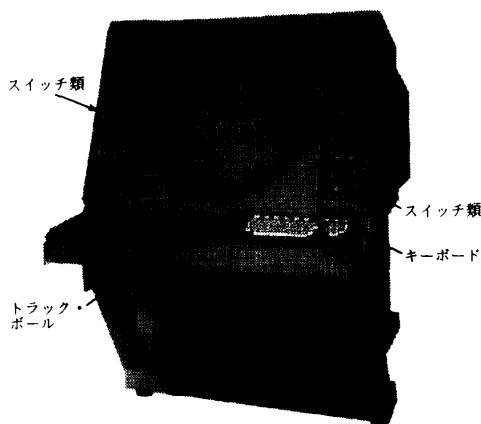


図-3 航空路管制用レーダ表示装置 (PVD)
実システムと同等の表示機能を有する航空路管制
シミュレーション装置から



図-4 レーダ表示例 (シミュレーション表示)
実線: 航空路, 破線: セクタ境界線, Δ: 管制中のターゲット

(2) ターミナルレーダ情報処理^{3),6)}

図-1(b)の空港監視レーダも同様に1次監視レーダであり、2次監視レーダと併設される。その覆域は半径70 NM (約130 km) であり、走査周期は4秒である。ターミナルレーダ情報は空港ごとに独立に処理されており、現在は羽田、成田、大阪、福岡などの6空港で運用されている。地上局で受信・処理されたビデオ信号は計算機システム ARTS (Automated Radar Terminal System) で処理されて、レーダ表示装置 (Data Entry and Display Subsystem DEDS: 有効直径20インチの表示装置) に表示される情報となる。その機能の流れは RDP と類似であり、ARTS では追尾処理と表示制御処理が中央処理装置内に統合されている。DEDS 画面には CS, h , v_g などがデータ・ブロック形式で表示される。DEDS のレーダ表示部の両側や前面にもキー・スイッチ類とトラック・ボールが配置される。

ARTS は 1975 年に2次監視レーダのデジタル

処理機能だけを有する初号機の運用が羽田空港で開始された。その後、順次機能向上と更新が行われ、最近では小型計算機 MELCOM 70 シリーズを使用し、1次監視レーダとの相関処理機能が付加されたシステムの運用が開始されている。

2.4 管制運用方式

管制運用方式のうちで最も重要なものが航空機間で維持すべき最小間隔 (管制間隔と呼ぶ) である。

管制間隔には、

- ①縦間隔: 航空機の進行方向で維持すべき最小間隔 (同高度)
- ②横間隔: 航空機の横方向 (水平面) で維持すべき間隔
- ③垂直間隔: 航空機の飛行高度間で維持すべき間隔の3種類がある。

管制間隔の値は、国内空域か洋上空域かなどにより細かく規定されている。実際の運用では3種類のうちのいずれかが維持されていれば良い。レーダを使用する場合は水平面で維持すべき間隔が短縮される。

航空機は、航空管制機関から承認された飛行計画経路により空港を出発するが、その後の飛行で航行誤差が生じる。また、飛行計画承認の時点で目的空港まで至るすべての経路上で管制間隔が保証されているわけではない。さらに、途中の気象状況や運航の経済性の点で飛行計画経路からの離脱、経路の短縮または伸長ということもありうる。

管制官は、PVD または DEDS 画面でターゲットを監視し、管制間隔が損なわれる恐れが予測されるとき、航空機の動きを制御する指示 (以下、管制指示) をパイロットに伝達する。図-1の細い破線はこの対空通信 (VHF, UHF 帯の無線電話) を表す。

管制指示では、高度、針路、速度の目標値や操縦条件を指示するが、その基本は2機間に、

- ①垂直間隔を付ける高度指示
- ②横間隔を付ける針路指示
- ③縦間隔を付ける針路指示または速度指示である。

3. 航空管制官と飛行計画情報

図-5に運航票の1例を示す。この例は航空路管制のある定点 (図中の“XAC”: 大島の定点名である) を通過して、羽田空港に向かう JAL 372 の例であり、先に述べた航空路管制シミュレーション装置による実験⁷⁾ で使用したものである。図中の印字部分は FDP

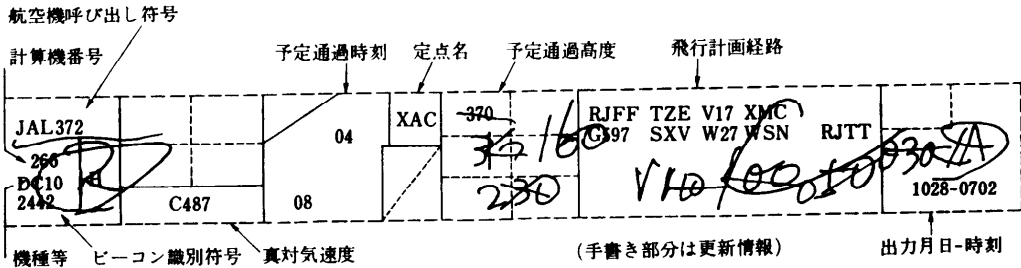


図-5 運航票の例 (航空路管制シミュレーション実験で使用したもの)

で出力した部分に相当し、手書き部分は管制官が PVD 画面を見ながら必要な情報を更新した部分である。航空路管制の管制官は運航票により航空交通を大まかに組み立てて飛行計画承認の作業を行うことを先に述べた。その組立てで最も重要な情報は、図-5 の印字部分の例で、

①組立のための基準点: “XAC”

②予定通過時刻 (T_k): 8 時 4 分 (0804)

③予定通過高度 (H_k): 370 (×100 ft) (約 11,300 m) である。当然、この時刻の前後に同じ定点を通過する他の航空機もあり、これらの運航票は PVD の横の運航票ボード (縦に約 20 枚、横 4 列程度) に並べられる。

いま、仮に図-5 の形式の運航票 ($\{(T_k, H_k)\}$ で表す) がある航空機の出発前に提出した飛行計画から作成されたものとする。また、その運航票の定点を通過する予定の航空機数が m 機とする。

運航票の出力順は必ずしも予定通過時刻順ではないが、運航票 (T_k, H_k) が出力された時点で、管制官は同じ定点の予定通過時刻順に並べ換えた系列、

$$(T_1, H_1) \cdots (T_k, H_k) \cdots (T_m, H_m) \quad (1)$$

を知ることができる。

以下では、運航票 (T_k, H_k) に対して飛行計画承認までの管制官の判断の 1 例を示す。

(a) H_k と同高度の航空機があるか否かを調べる

(b) 同高度の航空機がないときは提出どおりに飛行計画を承認する。

(c) $H_{k-j} = H_k$ とすると、この定点を通過するときに維持すべき管制間隔を S (国内上空の航空路上では縦間隔 10 分を適用) として、

$$|T_k - T_{k-j}| \geq S \quad (2)$$

か否かを調べる。

(d) $H_{k-j} = H_k$ のすべてに対して式 (2) が満足されるときは、(T_k, H_k) でその定点を通過可能として飛行計画を承認する。

(e) $H_{k-j} = H_k$ のすべてに対して式 (2) が満足されないときは、 T_k を変えないで、代替高度 $H_{k'} (\neq H_k)$ で式 (2) が満足されるか否かを調べる。

(f) (e) で式 (2) が満足されるときは、($T_k, H_{k'}$) の条件で飛行計画を承認する。

(g) (e) で式 (2) が満足されないときは、 H_k またはいずれかの $H_{k'}$ で T_k を選らせて飛行計画を承認する。

実際に空港を出発したときには、実出発時刻をもとに T_k を再計算した運航票が出力される。以後は更新された運航票をもとに他の航空機の飛行計画承認の作業を繰り返す。

4. 航空管制官とレーダ情報

本章では、ARTS 運用の福岡空港 (RJFF) から航空路管制を経て、ARTS 運用の羽田空港 (RJTT) までの飛行について、図-5 の運航票を参考にしながら、ターミナル管制の管制官 (以下、T 管制官) と航空路管制の管制官 (以下、E 管制官) がレーダ情報をどのように利用するかの 1 例を挙げる。

4.1 ターミナルレーダ情報 (出発空港)

空港を出発後、一定距離 (約 2 NM = 3.7 km) になると ARTS による追尾処理と DEDS 画面のデータ・ブロック表示が開始される。計器飛行管制室の T 管制官は航空機の出発経路や巡航高度を運航票で知り、かつ、その動きを DEDS で監視する。

図-6 に ARTS で追尾を開始したときのデータ・ブロック表示例を示す。シンボル “D” は、計器飛行管制室の管制席 D の管制下機を表す。

空港を出発する航空機間には必要な管制間隔が維持されている。また、出発後は目的空港に向けて分散するため、出発経路に沿って上昇する場合が多い。他機との近接の恐れが予測されるとき、T 管制官は、

①巡航高度までの上昇を一時的に抑えて、近接機との垂直間隔を付ける。または

②針路指示により出発経路から一時的に離脱させて横間隔を付ける。

と判断し、パイロットに管制指示を伝達する。そして、近接状態が解除されたときは、

①'再度巡航高度まで上昇させる。または、

②'出発経路に復帰させる。

ための管制指示をパイロットに伝達する。

航空機が上昇を続け、管制運用方式で決められた場所に近づいたとき、航空路管制のセクタに管制権を移管するため、T管制官は DEDS のハンドオフ移送のキーを押し、トラック・ボールでターゲットを識別する。この情報は RDP 側に転送される。図-7 はハンドオフ前、ハンドオフ中、およびハンドオフ後の DEDS 画面のデータ・ブロック表示の推移を示す。ハンドオフ完了後、シンボル“D”は“C”に変わり、航空路管制に管制権が移管されたことを表す。

4.2 航空路レーダ情報

E管制官は、上記のターゲットの動きを PVD 画面で視認できる。また、T管制官と同様に運航票から飛行計画経路や巡航高度などを知ることができる。

ARTS からハンドオフ情報が送られると、図-8

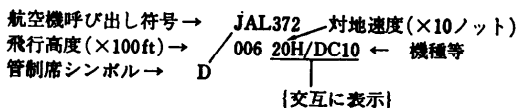


図-6 ARTS 追尾開始時の DEDS データ・ブロック表示 (空港出発後)

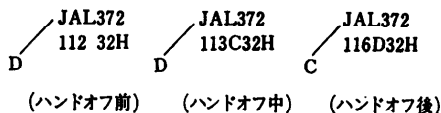


図-7 ハンドオフ時の表示の推移

ARTS から RDP へのハンドオフ: DEDS 画面

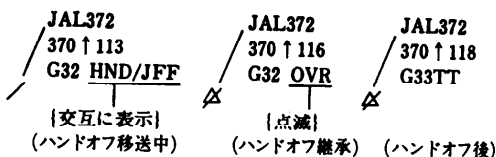
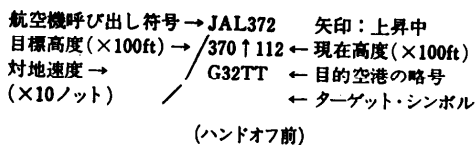


図-8 ハンドオフ時の表示の推移

ARTS から RDP へのハンドオフ: PVD 画面

に示すように PVD 画面のデータ・ブロック表示の“HND”, およびターミナル管制機関(送り側)の符号“JFF”が交互の表示される。このとき、E管制官がそのターゲットをトラック・ボールで識別し、ハンドオフ継承のスイッチを押すと、ターゲットの位置に△印が重畳され、そのセクタの管制下機となる。このとき、E管制官はレーダで確認したことを表す“R”を運航票の左側に(図-5 参照)記入する。

以後、航空機は上昇から巡航水平飛行(図の例では 37,000 ft)を続ける。航空路管制のセクタ間における管制権の移管に際しては、双方のセクタのE管制官がトラック・ボールによるターゲット識別とスイッチ操作を行い、RDP 内でハンドオフ情報を受け渡す。

航空機が目的空港に近づくと、E管制官は目的空港に向けて降下するための高度指示をパイロットに伝達するとともに、トラック・ボールでターゲットを識別し、その指示高度を入力し、データ・ブロック表示の内容を図-9 のように(指示高度: 16,000 ft=約 4,900 m)更新する。さらに、E管制官は指示高度を運航票にも記入する(図-5 の印字“370”の近くの“310 230, 160”は3段階に分けて高度指示を伝達したことを表す)。この PVD 入力や運航票の記入は、同時に多数機を扱う管制官が“現在、どの高度まで降下を承認しているか”を記憶・保持するために必須の作業となる。

E管制官の高度指示を受けて降下し、目的空港に向かう航空機について、現在の管制運用方式では、

- ①決められた定点に合流し(合流点),
- ②一定の高度で、かつ,
- ③維持すべき機間間隔 (10 NM=約 18 km)

として、ターミナル管制に渡すことが原則とされている。

航空機の航行が必ずしも運航票のとおりにならないことを先に述べた。このため、E管制官は複数の経路から飛来し、合流点を通過する航空機間で間隔が維持されるようにパイロットに管制指示を伝達する。E管制官は間隔維持のために合流点の通過時刻を予測するが、その基本は運航票の T_k である。さらに、E管制官は、

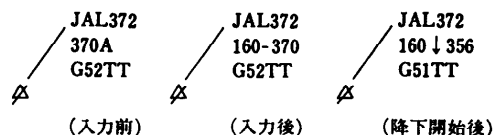


図-9 指示高度入力時の表示の変化

(a) PVD のトラック・ボールとカーサ機能、または、到着順リスト（ターゲットと定点との距離のリスト表示）を利用して、ターゲットと合流点との距離を調べるか、または、

(b) PVD のスイッチ機能でターゲット進行予測位置（1～8 分先の 4 段階）を調べるか、により合流点における機間間隔を予測する。しかし、進行予測位置は現在速度によるものであり、降下が始まると対地速度は徐々に変化するため、10 秒ごとにターゲットの位置が更新される PVD 画面の監視と E 管制官の予測・判断は必須となる。

図-5 の飛行計画経路の下側の手書き部分の“V 140, 100, 050, 030, XA”は、他機との間隔を維持するために、飛行計画経路から 140 度の方向に離脱させて、さらに、100 度、50 度、30 度と順次左旋回を指示して、最後に飛行計画経路上の定点“XA”に直行・復帰させた場合である。この手書き更新も E 管制官が指示内容を記憶・保持するために行う。

航空機がターミナル管制に渡される定点の近傍に達すると、E 管制官は、トラックボールでターゲットを識別し、ハンドオフ移送のスイッチを押す。この情報は ARTS に転送される。PVD 画面のデータ・ブロック表示は T 管制官のハンドオフ継承により図-10 のように変化する。

4.3 ターミナルレーダ情報（目的空港）

目的空港の計器飛行管制室の T 管制官は、航空機が空港監視レーダの覆域に入った時点で、ターゲット・シンボル（*印）を DEDS 画面で確認できる。さらに、空港から一定距離（約 50 NM=約 93 km）内に入った時点で追尾処理と DEDS 画面のデータ・ブ

ック表示が開始される。また、T 管制官は運航票から、どの定点からどのような高度で、おおよそ何時何分に航空機が飛来してくるかを知らることができる。

RDP からハンドオフ情報を受けると、図-11 のように DEDS 画面のデータ・ブロック表示が点滅し、さらに、T 管制官がトラック・ボールでターゲットを識別すると、管制席シンボル“C”が“E”に代わり、計器飛行管制室の管制席“E”の管制下機になる。

ターミナル管制に渡された航空機は、以後、T 管制官の管制指示を受けて、最終進入経路に向かう。最終進入経路では複数の方向からの航空機が合流するため、E 管制官がターミナル管制に渡す定点で行ったと同じ間隔維持の作業を T 管制官が行う。このときに維持すべき間隔は前後機の機種別の組合せ、離陸する航空機の有無、天候により 3 NM（約 5.5 km）またはそれ以上の間隔が用いられる。最終進入経路の近傍に達すると、計器飛行管制室から飛行場管制室に管制権が移管され、滑走路から 2 NM（約 3.7 km）程度のところで ARTS の追尾処理が終了する。

5. 最近の技術動向

国際民間航空機関によると、わが国を始め世界の交通量は 2010 年頃には現在の 2 倍以上になると推定されている。3. と 4. で述べたように、航空管制の中核である交通予測・判断・制御機能は管制官が行っている。管制官の取り扱い機数が増加すると、レーダ表示の監視、パイロットとの交信、運航票の記入、PVD や DEDS への入力操作などの作業も増加する。

管制官の作業軽減は、航空管制システムが今後の航空需要の増加に対処するために最も重要な課題である。前稿で紹介した 2 次監視レーダ・モード S などの空地データリンク導入目標の一つはその作業軽減にある。空地データリンクにより、飛行管理システムなどの機上計算機へのアクセスが可能になる。そして、現在はパイロットとの交信により取得し、交通予測・判断に役立てている速度情報や針路情報などを自動的に取得できるようになる。しかし、この種の情報要求のために管制官が新しいデータリンク端末を操作するのではデータリンクの長所を損ないかねない。

空地データリンクにおける最も効果的な管制官のインタフェースは本稿で述べたレーダ表示制御処理技術の延長線上にあると考える。なぜならば、管制官はレーダ画面でターゲットを識別し、スイッチ類により、そのターゲットに対する何らかの処理要求を計算

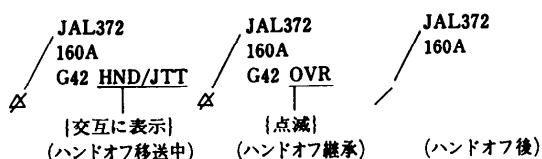


図-10 ハンドオフ時の表示の推移
RDP から ARTS へのハンドオフ：PVD 画面

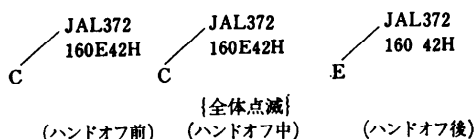


図-11 ハンドオフ時の表示の推移
RDP から ARTS へのハンドオフ：DEDS 画面

機に入力できるからである。4.で述べたハンドオフ情報や指示高度の入力内容を加工して、機上送ることもできる。すなわち、管制官が最も習熟している方法により、地上の計算機を介して機上計算機とのインタフェースを構築できる。

このような将来への第一歩として、わが国の航空路管制では 1990 年から、図-3 の丸形ランダムスキャン方式 PVD を組み込んだ管制卓から 20×20 インチ角形ラスタスキャン方式の新 PVD を組み込んだ管制卓への更新が始まる⁹⁾。新 PVD は、従来の PVD におけるリフレッシュ率による表示量制限がなく、表示画面も角型のため約 1.3 倍に広がる。今後、この新 PVD の機能を最大限に活用し、管制官の作業軽減を図り、その予測・判断をより効果的に支援できる計算機ソフトウェアの研究・開発が重要と考える。このための一つの方法として、管制情報処理システムの実時間処理で得られた情報をデータ・ベース化し、管制官が行う予測・判断に必要な情報を抽出して、実時間処理にフィード・バックする機能が必要になろう。空地データリンク機能の導入はレーダ目標の追尾精度の向上にも有効であるといわれており、前述のレーダ表示制御処理技術とともにその利用方法の研究を進めていく必要がある。

6. おわりに

複雑で大規模な航空管制システムのすべてを本稿で述べることは困難であるが、その機能や航空管制官が計算機システムの情報をどのように利用しているのかについて理解いただければ幸いである。

筆者らは、図-1 で示した航空管制システムの制御系と類似の試験・研究用ダイナミック・シミュレーション・システムを試作し、現在、航空管制官の参加による空域設計・評価や新しい管制運用方式の開発を目的とした実験を行っている。本稿をまとめるに際しては、同システムの試作で協力をいただいた日本電気(株)、三菱電機(株)、ならびに NTT データ通信(株)の多くの技術者諸氏、また、実験に協力いただいている航空管制官諸氏のご教示によるところが多い。おわりに、関係各位に厚く感謝したい。

参考文献

- 1) 東福寺則保, 武藤忠雄: 次世代航空管制システムの研究状況, 情報処理, Vol. 25, No. 7, pp. 661-668 (1984).
- 2) 航空交通管制協会編: 航空管制入門, (1984).
- 3) 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. 75-92 (1983).
- 4) 航空振興財団編: 航空路レーダ情報処理システム概論, (1978).
- 5) 東福寺則保, 上野, 吉岡, 佐藤: 航空路管制の解析・評価用シミュレーション装置の試作, 信学技報, SANE 87-6 (1987).
- 6) 航空振興財団編: ターミナルレーダ情報処理システム概論 (1978).
- 7) 東福寺, 上野, 山口: 航空路管制シミュレーション実験データの解析法, 第 21 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 29-32 (1989).
- 8) 三吉, 工藤, 上野他: 航空路管制卓の評価試験について, 第 21 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 13-16 (1989).

(平成元年 6 月 26 日受付)