航空管制情報処理システムとその将来^{*1}宮村宗明^{*2}・東福寺則保^{*3}

Key Words: Air Traffic Control, Avionics, Information Processing

1. ま え が き

航空管制(Air Traffic Control, ATC)システムは航空需要の増加とともに、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世代と発展してきた。現在はレーダ、計算機、通信網等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。

最近の国際民間航空機関の推定では、今後も航空需要の増加が続き、2010年頃には現在の2倍以上の航空交通量になるとされている。このため、世界的に航空管制システムの能力向上を図るべく、空地データリンクの導入、高密度化する空域における交通流管理手法、更には近年種々の分野で具体的な応用が検討され

ている人工知能(AI: Artificial Intelligence)技術の航空管制システムへの応用に関する研究等が進められつつある。

そこで、本稿では、まず次世代航空管制システムの構築で出発点となる管制情報処理システムの現状を説明して、次に今後のわが国の技術課題を挙げる。更に、その現状と技術課題をもとに、研究・開発・実用化の動向、およびAI技術応用の研究事例を紹介し、最後に次世代航空管制システム像について述べる。

2. 管制情報処理システムの現状

2.1 概要 第3世代の航空管制システムを、{情報取得・情報処理(航空交通の現状把握)}→{予測・判断}→{情報伝達(パイロットへの指示発出)}の制御系として第1図に示す。実線はレーダ・計算機系、破線はVHF/UHF帯無線通信を表す。管制情報処理システムは第1図の計算機の部分である。

定期旅客機や雲中を飛行する航空機は、軍用機・民間機を問わず航空管制官(以下、管制官)の承認や指示に従って飛行する。管制官は地上にあって、空港を離着陸し、航空路を巡航する航空機を安全で、秩序正しく、迅速に飛行させるために、無線電話やレーダを使用して、管制承認や管制指示の発出、各種情報の提供、緊急時の支援等を行う。管制官の作業に必要な情報としては、空港を出発する前にパイロットが航空管制機関に提出する飛行計画、レーダ情報、および気象情報等がある。

管制情報処理システムは飛行計画とレーダ情報を加工して、管制官が使用しやすい形に変換して提供することにより、管制官を支援するシステムであり、第1図に示すように3種類に分かれる^{1,2)}。

- ① 飛行計画情報処理システム(FDP: Flight Data Processing System)
- ② 航空路レーダ情報処理システム(RDP: Radar Data Processing System)
- ③ ターミナルレーダ情報処理システム(ARTS: Automated Radar Terminal System)

著者紹介

宮村 宗明

昭和6年生。熊本県出身。日本大学文理学部文学科卒業。昭和33年運輸省入省。以来、航空管制業務、および管制情報処理システムの開発・評価に従事。現在、同省航空局管制保安部管制情報処理システム室長。

東福寺則保(正会員)

昭和20年生。長野県出身。昭和47年電気通信大学大学院修士課程(電波通信学専攻)修了。同年運輸省電子航法研究所入所。以来、航空管制システムの研究に従事。現在、同所電子航法評価部航空管制研究室長。電子情報通信学会、日本航海学会、日本シミュレーション学会各会員。

^{*1} 昭和63年10月20日、第26回飛行機シンポジウムにて講演。平成元年8月2日原稿受理 Data Processing System for Air Traffic Control: Its Present and Future

^{*2} 運輸省航空局 Muneaki MIYAMURA

^{*3} 電子航法研究所 Noriyasu TOFUKUJI

2.2 飛行計画情報処理(FDP)システム わが国の航空管制は1971年の全日空機と自衛隊機が空中衝突するという墜石事故まではレーダを使用しない第1世代の「ノンレーダ管制」が主であった。ノンレーダ管制では、飛行計画に記載された便名、航空機型式、パイロットが要求する巡航高度、巡航速度、経路等をもとに、管制官が航空機毎に作成された運航票と呼ばれる紙片を経路上の位置通報点ごとに並べて、航空機

同士の位置関係や流れを把握して、管制を行っていた。

FDPシステムは、管制官が手書きで作成していた運航票を計算機で作成するため、1967年に導入された。その後、レーダの導入が急速に進められてレーダ管制が主となった現在も、ノンレーダ管制はレーダ電波のとどかない洋上空域で実施されているほか、飛行計画をもとに管制承認を発出するという管制の計画段階の基本としてレーダ管制と併用されている。

現在のFDPシステムは3代目の計算機を使用しており、運航票作成のほかにレーダ管制に使用されるRDPシステムやARTSへの飛行計画情報の提供等、飛行計画に係るすべての情報処理を行うシステムとなっている。

FDPシステムは、第2図に示すように東京航空交通管制部(ACC: Area Control Center)に設置された主計算機、札幌、福岡、那覇の各ACCの集配信装置、各ACCや空港に設置された端末装置(CRTキーボード約80台、プリンタ約90台)よりなる全国ネットワークのオンライン・リアルタイム・システムである。主な機能は次のとおりである。

① わが国の管轄する空域を計器飛行方式で飛行するすべての航空機の飛行計画をオンラインにより一括入力・処理して、関係する航空管制機関の管制席に運航票を出力する。また、出発時刻をもとに、各位置通報点毎の運航票を作成する。

② RDPシステムおよびARTSに対して、レーダ目標(航空機)の識別と追尾に必要な便名、高度、経路、2次レーダ識別符号等の情報を送信し、レーダ管制を支援する。防衛庁システムにも飛行計画情報の提供を行っている。

2.3 航空路レーダ情報処理(RDP)システム わが国の航空路は洋上空域を除いてすべて航空路監視レーダの覆域下にあり、レーダ管制が行われている。レーダ管制では、航空機の位置が常時レーダ画面上で確認できるため、航空機同士の位置関係の把握が容易であり、確実な管制が可能である。しかし、RDPシステムが導入されるまでは、レーダ画面に映る数多くの

第1図 第3世代航空管制システムの制御系

(a) FDPシステムの構成(飛行計画情報の流れも含む)

計算機番号	便名	通過予定時刻	定点名	通過予定高度	飛行計画経路
JAL372	266	04	XAC	390	RJFF TZE V17 XMQ
DC10	2443	08		280	G597 SXV W27 WSN RJTT
C487					V12 100 050 1030 1030 1030
航空機型式等 2次レーダ識別符号 真対気速度					(手書き部分は更新情報) 出力月日ー時刻

(b) 運航票の例

第2図 飛行計画情報処理(FDP)システムの構成と運航票

第3図 レーダ情報処理システムの構成

米粒のような機影のうち、どの機影がどの航空機であるかを管制官が識別し、その後は記憶に頼って機影を追尾していたため、管制官の作業負荷が高かった。

RDPシステムは、レーダ目標の識別と追尾を自動的に行うことにより管制官を支援することを目的として1978年に導入され、現在は2代目のシステムが運用されている。

RDPシステムは第3図(a)に示すように、

- ① レーダ目標検出装置とレーダ気象検出装置(レーダ地上局ごと)
- ② 追尾制御装置(レーダ地上局ごと)
- ③ 中央処理装置(各ACCごと)
- ④ 表示制御装置(管制席ごと)
- ⑤ レーダ表示装置(管制席ごと)

から構成される。主な機能は次のとおりである。

- a) レーダ目標検出装置では、航空路監視レーダ(覆域半径が約370kmで全国14個所に設置)で受信される1次レーダ信号と2次レーダ信号からレーダ目標や高度情報等を検出して、計算機で処理可能なメッセージに組み立てて追尾制御装置に送信する。
- b) 追尾制御装置では、10秒ごとに入力される2次レーダ目標の座標変換や追尾処理(目標位置の平滑化と位置予測)を行い平滑位置等のデータを中

央処理装置に送信する。

- c) 中央処理装置では、追尾処理の結果とFDPシステムから受信される飛行計画情報とを照合して、航空機の識別を行う。また、複数のレーダ地上局で取得されたレーダ目標が同一航空機か否かの識別(多重レーダ処理)、および管制席から次の管制席に航空機の管制権を受け渡すときのレーダ管制の責任移管処理等を行う。
- d) 表示制御装置では、中央処理装置で照合・識別された航空機の便名、平滑位置、高度等のデータを編集して、各管制席のレーダ表示装置に航空機位置シンボル、便名、高度、速度ベクトル等の情報を英数字、記号を用いて表示する。また、レーダ表示装置の入力操作部から管制官が入力する情報(例えば、表示半径拡大や表示中心位置の移動等)を処理して、レーダ表示の画面制御処理を行う。
- e) 以上のほか、航空機同士が一定時間後に規定の間隔以下に接近することが予測される場合、管制官に警告を出す異常接近警報機能や1次レーダ信号をデジタル処理して得られる雨域情報を表示する機能等がある。

2.4 ターミナルレーダ情報処理システム(ARTS)

わが国の主要空港には空港監視レーダが設置されており、空港周辺のターミナル空域を飛行する航空機のレーダ管制が行われている。これらのうち特に交通量の多い空港では、管制処理能力の向上のためにARTSが導入されている。ARTS導入の目的はRDPシステムの場合と同じくレーダ目標の識別と追尾にある。現在、成田、羽田、大阪等の6空港でそれぞれ独立に運用されている。更に、宮崎空港のARTS整備計画が進められている。

ARTSは第3図(b)に示すように、

- ① レーダ目標検出装置
- ② 中央処理装置
- ③ レーダ表示装置
- ④ データ伝送装置(旧型だけ)

等から構成される。主な機能は以下のとおりである。

- a) レーダ目標検出装置では、空港監視レーダ(覆域半径約110km)で受信される1次レーダ信号と2次レーダ信号からレーダ目標や高度情報等を検出して、計算機で処理可能なメッセージに組み立てて中央処理装置に送信する。
- b) 中央処理装置では、4秒ごとに入力される1次・2次レーダ目標の座標変換、追尾処理、FDPシステムから受信される飛行計画情報と2次レーダ識別符号との照合による航空機の識別、レーダ

管制の責任移管処理, レーダ表示装置に表示する便名, 高度等のデータ編集, およびレーダ表示の画面制御処理を行う。

3. 今後の問題点と技術課題

管制承認の発出では, 運航票をもとに, 空港を出発するときどのような経路をどのような巡航高度で飛行するかを承認する。具体的には, 管制官は運航票に記載された定点(例えば, 第2図(b)の運航票の定点“XAC[大島を表す略称]”)の通過予定時刻とパイロットが要求する通過予定高度を調べて, 同定点を通過する他の航空機と規定の間隔(管制間隔と呼ばれる), すなわち,

- ① 垂直間隔(高度 28,000 ft 以下は 1000 ft 間隔, 高度 29,000 ft 以上は 2000 ft 間隔)
- ② 縦間隔(同高度の航空機のノンレーダ管制の条件における前後間隔であり, 国内航空路では 10 分, 洋上航空路では 20 分を原則とする)

が維持されるかを調べて, もし, 間隔が維持されない場合は代替高度または出発予定時刻を変更して管制承認を発出する。

1 日約 2000 件の飛行計画を処理する現在, 管制承認発出の段階ですべての経路上の定点で間隔を維持させることは困難である。このため, 上記の手順は空港を離陸して, 最初に通過する航空路上のいくつかの定点に対して行い, その後は, レーダ情報処理システムで 10 秒または 4 秒ごとに更新される航空機の位置を監視して, 規定の間隔が維持されるように管制している。

レーダ管制の条件では前後間隔を短縮できるが(最小 3 NM), 特に, 複数の航空路から主要空港に向けて進入する到着機が集中する夕方から夜の時間帯では管制官の作業負担が増加し, 一部の管制席ではその管制処理能力(管制業務上で単位時間当りに取扱い可能な機数で表される交通容量)の限界に近づきつつあるのが現状である。

一方, 空港整備に関しては, わが国では周知のように, 東京国際空港の沖合展開, 新東京国際空港の第2期工事, 関西国際空港の新設等が進められている。これらの計画が完了すると, いずれの空港も平行滑走路を含む滑走路 3 本の構成となり, これらの 3 空港で計画されている空港容量の総和は現在の羽田, 成田, 大阪の合計の 2 倍程度に増加する。

ターミナル空域に関しては, 現状でも複数の空港が近接する所では各空港の管轄空域が水平・垂直面で複雑に入り組み, 管制業務が煩雑になっている。このため, 今後, 都市部に近接し, 騒音問題等の制約により

狭い空域をいかに有効に利用し, 空港容量の増加という需要を満たすかが重要な問題である。

空港整備に加えて, コミュータ航空輸送の進展も予想され, 航空交通の質もより多様化し, 安全に対する要請や燃料節約への指向が一層強くなる。更に, 航空衛星, 2 次監視レーダ(SSR: Secondary Surveillance Radar)モード S(航空機との質問・応答を選択的“selective”に行う), マイクロ波着陸装置等の新技術が航空管制システムに適用される等, 航空管制の環境は大きく変化し, 管制情報処理システムもこのような変化に対応して進化していくことになるう。

以上のような環境をもとに, わが国において管制情報処理システムとこれに関係する分野の技術課題を短期, 中期, 長期に分類して列挙する。なお, 短期は 1990 年から 5 年程度を目標に実運用に向けて具体的な実施計画があるもの, 中期は実用化を目指して研究・開発計画があるものと実際に研究・開発段階にあるもの, また, 長期は基礎的研究とした。

(1) 航空路管制

- (a) 航空交通流管理システム(短期)
- (b) 交通流管理手法(中・長期)

(2) ターミナルレーダ管制

- (a) 広域レーダ進入管制方式(短期)

(3) マンマシン・インタフェース等

- (a) RDP システムのレーダ表示系更新(短期)
- (b) 飛行計画情報表示方式と入力方法の改善(長期)

(4) 空地データリンク

- (a) SSR モード S の利用(中・長期)
- (b) 衛星技術の利用(中・長期)

(5) 洋上空域における位置情報取得

- (a) 衛星技術の利用(中・長期)

(6) 管制官の判断支援ソフトウェア

- (a) エキスパート・システムの応用(長期)

なお, この他に関連する重要なものとして, 航空管制システムの運用で基本となる管制間隔の短縮という技術課題がある。

これらの技術課題の目的を要約すると, 交通需要増に対して, 管制間隔短縮により空域の物理的容量の増加を図り, 現在維持している航空交通の安全性と効率を損なうことなく, かつ, 管制官の作業負担を軽減し, 管制処理能力を向上させることになる。また第1図の制御系では, 管制官がより正確な情報を取得し, 風等により動的に変化する空間を高速で移動する航空機の将来位置をより精度良く予測し, かつ, 多数機をどのように管制するか判断と情報伝達を的確に行うことを支援する技術の研究・開発・実用化といえる。

4. 研究・開発・実用化の動向

4.1 航空路管制 航空交通流管理システムは、広範囲な空域を対象として、空港や航空路の管制処理能力を越える交通の集中とこれによる遅延の増加や異常接近の発生を防ぐためのものである。基本的には飛行計画情報から1時間または数時間先の交通量を予測し、更に、レーダ情報で交通流の現状を把握して、管制処理能力を越える場合に交通流を制御する。わが国ではこの機能を有する航空交通流管理システムの設置計画、および管制処理能力の技術資料を取得するための航空路管制シミュレーション実験が進められている³⁾。シミュレーション実験結果からは、大型空港への到着機の流れを整序することにより、管制処理能力を現状に対して20%から40%程度増加できるとの目安が得られている。

交通流制御の方法としては、管制承認の発出の段階で出発予定時刻を遅らせる出発規制⁴⁾、飛行前または飛行の早い段階での経路変更や速度制御の推奨、および空中待機があり、今後、これらが徐々に実現化されて行くと考えられる。

4.2 ターミナルレーダ管制

4.2.1 広域レーダ進入管制方式 広域レーダ進入管制方式は、複数の空港(特に、ARTSが運用される主要空港)に離着陸する航空機を一元的に管制する方式であり、ターミナル空域の有効利用や効率的な運航の確保、管制業務の円滑化が期待される。具体的には、関西国際空港の開港に合わせて、関西地区に広域レーダ進入管制所を設置する計画がある。現在のARTSは単独空港用であり、レーダ覆域が広域レーダ進入管制用としては狭い。このため、複数の空港に設置した空港監視レーダで広い空港を監視できるように、多重レーダ処理機能を有する改良型ARTSの整備計画が進められている。

広域レーダ進入管制方式の導入に伴う関西空域の設計に資するため、1989年に航空路管制とターミナル管制のシミュレータを接続したシステムが構築された。本システムは管制情報処理システムの運用環境に基づき、空域・経路構成や管制運用方式の開発・評価を行える機能を備えている。

4.3 マンマシン・インタフェース

4.3.1 レーダ表示改善 レーダ表示装置は管制官と計算機との間の最も重要なインタフェースである。しかし、現在のレーダ表示装置はランダムスキャン方式であり、限られた時間の間に一筆書きで表示するため、表示容量の面で制約がある。

そこで、わが国では、RDPシステムのレーダ表示

第4図 新しい角型レーダ表示装置

(注) 評価試験用プロトタイプである。表示部と操作パネルの配置構成等は実機では異なる。

装置(有効直径20インチ)をラスタスキャン方式の角型表示装置(表示面積20インチ角、2048×2048画素：第4図参照)に更新するため、また、レーダ表示装置が配置されるレーダ管制卓の機能向上を図るための評価試験(1988年)が行われた⁵⁾。その結果、角型ラスタスキャン方式の採用が決まり、1990年からはその更新が始まる。

角形ラスタスキャン方式は単に表示容量の制約がないことや表示面積が約1.3倍に拡大される利点だけではなく、表示画面の機能的分割等のレーダ表示内容の改善につながる研究・開発への第一歩として期待される。

4.3.2 飛行計画情報表示方式と入力方法の改善 ラスタスキャン方式の大型表示装置の出現により、運航票の電子表示化が技術的に可能な時代になった。しかし、問題は、管制官が行っている運航票への手書き記入に代わる入力をどのようにするかである。手書きの内容は、管制官がパイロットに伝達した高度、針路、速度指示の値等であり、管制官が行った作業を記憶・保持するために必須のものである。電子表示化に伴いキーボードや機能スイッチ類から情報を入力した場合、手書きよりも時間がかかると、逆に、管制処理能力を低下させかねない。運航票の電子表示化は運航票記入事項の再検討を含めて、今後の大きな課題である。

他の入力手段として、管制官が音声で直接計算機に

入力する方法があり、欧米では音声認識技術の管制情報処理や航空管制シミュレーションへの応用研究がなされている。わが国でも航空管制シミュレーションへの応用、すなわち、パイロット役が端末から操縦指示を入力するのに代わり、管制官の発出する管制指示を計算機で認識・解読して、ターゲットを制御する試みがなされた⁶⁾。しかし、この時点(1985年)での管制指示(英文)の単語単位の認識率は約90%であった。実運用への応用研究では単語認識率のより高い装置の出現が待たれる。

4.4 空地データリンク SSRモードSは、現用のSSRと同じ質問(1030 MHz)・応答周波数(1090 MHz)を使用して、高速パルス変調機能により、航空機の監視と空地データリンクを行うものであり、現在、国際民間航空機関で国際標準化の作業が進められている。また、航空会社の運航管理用のVHFデータリンクが実用化されたことや衛星技術を利用したデータリンクの研究・開発が進められていることにより、今後、航空輸送で複数のデータリンクが使用される時代が来る。このため、利用者(管制官等の地上の運用担当者とパイロット)がどのデータリンクを使用しているかを意識しないで利用できるように、異なるデータリンク・システムを国際標準化機構で検討されている開放型システム間相互接続(OSI: Open Systems Interconnection)で統合・利用するための検討も進められている⁷⁾。

利用者にとって、どのような情報が伝送できるか、また、どのようなマンマシン・インタフェースであるかは重要な関心事である。1988年に欧州で開催された21世紀における航空管制に関するセミナーの資料によると、利用者と計算機の組合せで、

- ① 利用者から計算機へ
- ② 計算機から計算機へ
- ③ 利用者から利用者へ
- ④ 計算機から利用者へ

に分類されている⁸⁾。ここで、地上側の計算機は管制情報処理システムの中央処理装置や気象情報処理システムであり、機上側は飛行管理システムや航法システムであろう。

伝送する情報の候補を列举すると、

- a) アップリンク(地上側から機上側へ)
 - (i) 管制指示(高度・針路・速度・経路指示), 航空路逸脱警報, 気象情報等
- b) ダウンリンク(機上側から地上側へ)
 - (i) 航空機識別, 搭載機器能力, 針路, 速度, 航空路上の定点通過時刻, マッハ数, 昇降率, 気象情報等

(ii) パイロットの高度・経路変更要求等となる。上記の①～④の分類で最もデータリンクに載せやすいものは、②の計算機間の情報交換(具体的には、ダウンリンク(i)に相当する情報やアップ・ダウンリンクの気象情報)と考えられる。なぜならば、送るべき情報を計算機で加工できるからである。③の利用者間の情報交換も利用者の入力操作をできるだけ簡略化し、計算機で加工する方法の検討が必要になる。その意味でレーダ表示画面や入力操作部の機能の工夫や活用が望まれる。

4.5 洋上空域における位置情報取得 衛星技術に関しては、わが国や欧州で航行援助と洋上管制への応用計画が進められている。方法としては、航空機の慣性航法装置等で取得される位置情報を地上の航空管制機関に伝達する自動従属監視方式と呼ばれるシステム、および航空機に搭載する航法装置の情報を利用しないで、2個以上の衛星を使用して地上で測位・測距を行う協調独立監視と呼ばれるシステムがある。

わが国では1987年に打ち上げられた技術試験衛星V型を用いた航行援助実験の一環として、1988年に音声、データ通信、監視機能のデモンストレーション実験が行われた^{9,10)}。衛星技術の洋上管制への導入により、レーダ情報処理と類似の洋上管制情報処理システムが構築されて、管制の道具として使用されるとともに、洋上空域における管制間隔の短縮が期待される。

4.6 管制官の判断支援ソフトウェア わが国では管制情報処理システムに関係する異常接近回避や管制承認発出への応用の基礎的研究が行われている。

4.6.1 異常接近回避¹¹⁾ 2.3で述べたようにRDPシステムには異常接近警報機能があるが、異常接近を回避する方法の判断はすべて管制官に委ねられている。以下では、航空管制に用いるエキスパート・システム(並列駆動、推論機構、実時間処理)の実現性を確かめる第一段階として行われた衝突回避の方法を探索する研究について紹介する。

本研究では、航空路管制を想定して、AI言語の一つであるLISP言語を用いて、危険の予知、危険形態の判断、回避指示の作成を行うシステムを構築している。そのシステムの全体構成を第5図に示す。

外部機構であるレーダ・データはオフラインで作成される。システム本体の事実データベースの内容は航空機の位置座標と速度ベクトルであり、これらは2分間隔で外部機構により自動的に書き換えられる。システム本体では事実データベースの内容の書換えにより、回避の処理が開始される。その処理時間は2分、指示伝達時間は30秒、回避操作時間は30秒で、書換

えから回避操作完了までの所要時間は3分とされている。

システム本体の回避処理の手順は以下のようになっている。

- (手順1) 航空機ごとに予測される危険の検出を並列処理で行う。
- (手順2) 航空機ごとに検出された危険の形態を総合判断し、衝突ごとにグループに分ける。
- (手順3) 上記手順2で得たグループに対し並列処理を行い、優先度を決定し、優先度の高い航空機の回避指示を作成する。
- (手順4) 上記手順3で得た回避指示と相補的に、優先度の低い航空機の回避指示を作成する(グループごとの並列処理として行う)。

第5図 衝突回避システムの全体構成¹¹⁾

(a) 航空機の位置関係

(b) 衝突回避システムの作成した指示

第6図 回避指示のシミュレーション結果の一例¹¹⁾

危険の判定は水平距離と高度差が一定値以下の場合に回避操作が必要であるとし、回避操作の種類は左・右旋回、上昇・降下の4種類で、それぞれ2種類の固定された数値(計8種類の変化率)を選択できるとしている。

回避操作の探索では、時刻に関して再帰的な後戻り戦略(backtrack)を使用し、1機ごとに後戻り戦略を並列処理で行い、上記の操作に直進を加えた運動オペレータを対象として、その選択の順序を付ける手続きを実施している。並列処理で相補的な回避指示を得るため、回避操作の意志決定における優先度で工夫がなされている。

第6図は本システムの動作が意図どおりに行われることを検証するために行ったシミュレーションの結果の1例である。図(a)は2グループの衝突が生じる場合の処理開始時点における航空機の位置関係、図(b)は本システムが与えた回避指示を表している。これらのシミュレーションの結果から本システムは妥当と思われる動作を行うことが確認されている。今後の課題としては、解の良さの尺度がなく、成功か失敗の結果しか得られないこと、危険の2次発生への対策、管制官との質問・応答機能等が挙げられている。

4.6.2 管制承認発出 管制承認発出を支援するソフトウェアは、計画段階で飛行経路上の通過予定定点で他機との管制間隔が維持できる管制承認を探索し、管制官に提案するシステムである。対象となる空域は広範囲であり、通常の手続き型処理では管制間隔が維持できる解を探索する途中で計算処理のオーバーフローが生じうる。エキスパート・システムでは推論機能を有し、探索すべき状態の数を減少させて、探索にかかる時間を少なくすることが可能であるため、この支援ソフトウェアとして期待されている。この種の考え方は前述のセミナーで“conflict-free planning”の概念で提唱されており¹²⁾、わが国でもその試みがなされつつある¹³⁾。

5. 次世代航空管制システム像について

4章で述べた研究・開発・実用化の結果で予想される次世代航空管制システム像を第1図の制御系と対比させて、第7図に示す。SSRモードSはレーダ覆域下の国内空域、衛星は洋上空域を対象として、一つの図に表した。

データリンクの導入により、2章で述べたレーダ情報処理におけるレーダ目標検出は地上局(センサー)側に吸収され、管制情報処理計算機では従来の情報処理に加えて、アップリンク情報の前処理、地上局から送られる位置情報やダウンリンク・メッセージの表示処

第7図 次世代システムで想定される航空管制の制御系

理等を行う複数の計算機システムが想定される。リンク処理計算機は管制情報処理計算機や気象情報システム等と接続し、データリンク・メッセージの総合的処理を行うことになる。

第7図ではデータリンクを特徴づけるため、双方向の実線でサブシステムを結んだ。太い実線はアップリンク情報、細い実線はダウンリンク情報の流れを示す。管制官Tはレーダ管制または洋上管制を行う管制官、管制官Fは航空交通流管理を行う管制官を表す。

欧米ではすでに航空交通流管理システムのプロトタイプが運用されている。データリンクを含む第7図のようなシステムの実用は1990年代の中頃から後半にかけて本格的になると予想される。

6. む す び

現在、1日2000機を越す航空機がわが国の上空を飛行している。その安全を支えているのは、約1500名の管制官であり、また、管制官の必要な情報を提供しているのが管制情報処理システムである。わが国の

航空管制のシステムの中核となる管制情報処理システムは本稿で紹介した方向で発展していくであろうが、そこには常に航空交通の安全性と効率の維持という大前提がある。将来に向けてのシステム構築では、管制官が使いやすく、かつ、その予測・判断機能を最大限に発揮できるよう、研究・開発に従事する者と管制官とのより密接な連携が必要である。

本稿は、管制情報処理システムの開発・運用、および航空管制のシステム研究を行っている立場からまとめた。おわりに、日頃航空管制の諸問題でご教示頂いている東京大学工学部の水町守志教授と運輸省電子航法研究所の関係各位に厚く感謝します。

参考文献

- 1) 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，1983，pp. 75-92.
- 2) 宮村宗明：航空路レーダー情報処理システムの概要，行政とADP，25，3(1989)，pp. 3-12.
- 3) 東福寺則保，上野 徹，山口昌孝：航空路管制シミュレーション実験データの解析，第20回電子航法研究所研究発表会講演概要，1988，pp. 53-56.
- 4) 村尾 武，本山澄夫，水町守志：交通流管理に関する検討，信学技報，SANE 88-61(1989)，pp. 35-42.
- 5) 三吉 襄，工藤正博，上野 徹他：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，1989，pp. 13-16.
- 6) 沖重芳久，東福寺則保：航空管制シミュレーションへの音声処理技術の応用について，電子航法研究所報告 No. 50 (1985)，pp. 11-26.
- 7) 矢田士郎：空地データ通信について，第20回電子航法研究所研究発表会講演概要，1988，pp. 17-20.
- 8) Hughes, A. J.: Exploiting the Mode S Data Link, Eurocontrol-ATC 2000 2. A. 2(1988).
- 9) 板野 賢，高橋 賢，新井芳雄，星野尾一明，新美賢治，伊藤 憲：ETS-Vを用いた航空管制実験，第21回電子航法研究所研究発表会講演概要，1989，pp. 49-52.
- 10) 高橋 賢，板野 賢，新井芳雄，山口昌孝，藤田光紘，三垣充彦，伊藤 実：ETS-Vを用いた航空管制通信実験，第21回電子航法研究所研究発表会講演概要，1989，pp. 53-56.
- 11) 水町守志：航空管制エキスパート・システムのこころみ，第26回飛行機シンポジウム講演集，1988，pp. 360-363.
- 12) MacKenzie, R. N.: The Application of Expert Systems to Advanced Air Traffic Management in the 2000s, Eurocontrol-ATC2000 2. C. 3(1988).
- 13) 仁科光雄：知識情報処理による管制承認の作成について，第21回電子航法研究所研究発表会講演概要，1989，pp. 17-20.