

解説

空港における管制情報処理システム*

北野 宏久** 河野 隆一*** 荻田 正雄***

1. ま え が き

航空交通管制 (ATC; Air Traffic Control) は、航空交通の安全と秩序ある流れを確保するため、運航中の航空機の状況を、地上において総括的に把握し、各航空機に対して適切な指示を与える業務である。ATCには、空港周辺空域および空港の航空交通を扱うターミナル管制と、航空路の航空交通を扱う航空路管制とがある。前者は各空港、後者は区域により札幌、東京、福岡、那覇の各航空交通管制部 (ACC; Area Control Center) において行われる。

近時、航空交通量の増大、航空機の高性能化に伴い管制業務の負担が増して来たが、とりわけターミナルは航空機が高度および速度を変化させながら、空港に集中または空港から分散する空域であるだけに、その傾向が著しい。

1960年頃から、管制の道具としてレーダが使われるようになったが、更に最近、欧米先進諸国および日本で、第3世代の管制システムと呼ばれる航空交通管制情報処理システムの研究開発が行われ実用されはじめた。

わが国でも、東京、大阪両国際空港に対して「ターミナルレーダ情報処理システム (ARTS; Automated Radar Terminal System)」が導入され、約1年間にわたる慣熟訓練等の準備期間を以て、東京は1976年3月、大阪は同年9月から運用を開始した。ちなみに、両国際空港は、年間の計器飛行方式による航空機の離発着回数が東京約17万回、大阪約14万回と非常に多く、高度なきめの細かい管制を必要とする空港である。

以下、ターミナル管制情報処理システムの沿革と概況、効果、具体例として東京および大阪 ARTS の概

要、技術的要点、および今後の問題について述べる。

2. ターミナル管制情報処理システムの概要

2.1 ATC の沿革および現状

計算機の実現過程が素子等により、第1世代 (真空管)、第2世代 (トランジスタ)、第3世代 (IC)、第3.5世代 (MSI, LSI) と段階づけられるのと同様に、ATC システムも、第1世代 (無線機の導入)、第2世代 (レーダの導入)、第3世代 (情報処理装置の導入) と段階づけられているが、計算機の場合と異なるのは、前の世代のものが後のものでリプレースされるのではなく追加されて来ている点である。レーダ管制では、管制官は図-1に示すレーダのPPI表示画面上で航空機の機影をとらえ、これと手書きの運航票 (フライトストリップ) を見ながら、パイロットと無線交信し、衝突回避、間隔確保、着陸順位の決定、誘導管制などの業務を行っている。他管制官やACCとの間で管制移管のための通信なども行う。

現在、日本の主要空港で行われているのはこの方式である。



図-1 従来のレーダ画面

* Automated Radar Terminal System by Hirohisa KITANO (Civil Aviation Bureau), Ryuichi KONO and Masao KARITA (Computer Works, Mitsubishi Electric Corp.).

** 運輸省航空局

*** 三菱電機(株)計算機製作所

2.2 情報処理システム導入の概況と効果

情報処理システム導入の要点は、先ずレーダの情報処理によって航空状況に関するより良い表示を管制官に提供することによって、管制官が本来の管制判断に、より充分な力を注ぐようにすることである。この段階においては、2次レーダ情報の処理によって各航空機のビーコンコード、高度、位置情報を取得し、ACCとのデータ伝送により送られた飛行情報と結合した結果、**図-2**に示すように、管制機の識別符号、高度、速度を1つのブロックとして、レーダ画面に表示させる。これによって管制官は、レーダ画面上で航空状況を総合的立体的に把握することができ、識別を常時画面で維持できると同時に、高度、速度データを得るために航空機と通信する必要が減じ、この結果通信負荷を著しく軽減することができる。これら全てが管制の質の向上をもたらすものである。現在、世界各国で開発されているシステムはほとんど全て、この段階のものであって、将来このレーダ情報処理・表示技術の上に、着陸順位決定や衝突回避など更に高度な管制業務の処理が付加されて行くことになる。

世界の状況を見ると、米国では、1960年12月ニューヨーク市上空での空中衝突事故を契機に、1961年3月、「プロジェクトビーコン」の名で知られている将来の航空交通管制システムについての調査研究が開始され、同年9月に、ケネディ大統領に提出されたそのレポートは、以後の米国の航空交通管制システムに大きな影響を与えた。その後、1964年にアトランタ空港に設置されたARTS-I、1968年にニューヨーク広域レーダ管制所に設置されたARTS-IAをへて、米国連邦航空局 (FAA) は、繁忙62空港に対し、スペリー・ユニパック社によって開発されたARTS-IIIシステムの整備を、1971年から開始し、1973年に完成した。更に小空港用の簡易システムARTS-IIも、1977年より設置される計画になっている。ヨーロッパでも、フランス、オランダ、ドイツ、イギリス、イタリア、スウェーデンなどにおいて鋭意開発が進められており一部実用されている。

わが国においては、1962年この分野の専門家による「ATC自動化研究会」の発足、1972年羽田に設置された評価システムARTS-Mをへて、東京および大阪にARTSが設置された。ARTSは、米国ARTS-IIIを基本とし、これにわが国の要件にあうよう冗長性を

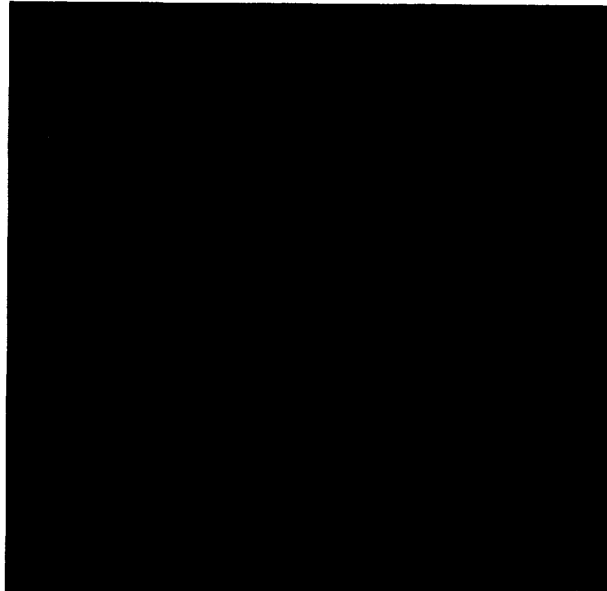


図-2 ARTS レーダ表示状況

持たせるなど、ハードウェア、ソフトウェアの開発を加え完成させたものである。

3. ARTS の概要

3.1 ARTS の機能

ARTS の表示状況を**図-3**(次頁参照)に示す。システムが実際に運用される場合の代表的な表示例、処理シーケンスを以下に述べる。

(1) 飛行計画の入力

飛行計画は、ACCからデータ伝送により、または磁気テープから自動的に主記憶装置に入力される。

(2) 予報リストへの表示

進入・出発の一定時刻前になると、自動的に当該管制席表示画面上に航空機識別符号、進入または出発予定時刻、ビーコンコードなどが表示される(**図-3**)。

(3) 自動追尾の開始

当該航空機が所定の管制空域内に入ると、割当ビーコンコードと航空機からの応答ビーコンコードをキーとして自動的に追尾が開始され、**図-4**(次頁参照)のようなデータブロックが表示される。着陸するか管制空域外に出た場合は自動的に追尾が終了しデータは除去される。

(4) 緊急状況表示

対地速度を表示する場所に下記の緊急状況等を示す英字が明滅表示される。

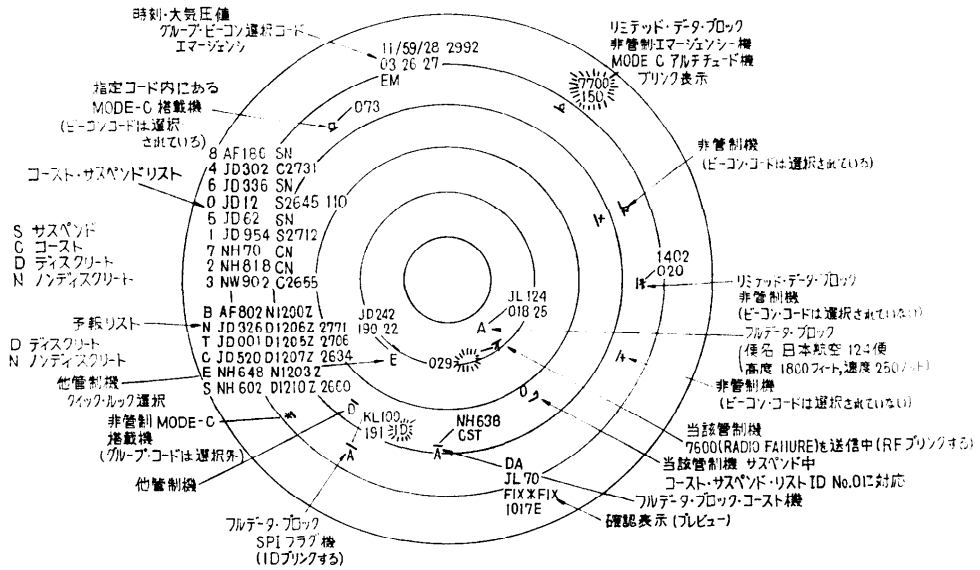


図-3 航空状況表示図

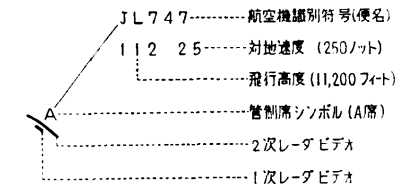


図-4 フルデータブロック表示

- [EM].....緊急状態
- [RF].....空地無線障害
- [HJ].....ハイジャック

(5) 非管制機の表示 (シンボル表示)

- 当該空港離発着機で飛行高度応答機
- △ 当該空港離発着機で飛行高度非応答機
- * 当該空港に離発着しない航空機で飛行高度応答機
- + 当該空港に離発着しない航空機で飛行高度非応答機

(6) 管制席からの入力

管制官は、管制席の入力装置を使って、他管制席および ACC との間の管制移管、手動による追尾開始/終了、飛行計画の手動入力などの操作を行うことができる。

3.2 システムの構成

ARTS は、図-5 に示すように既存のレーダに接続される 'Add-On' System であり、5つのサブシステム

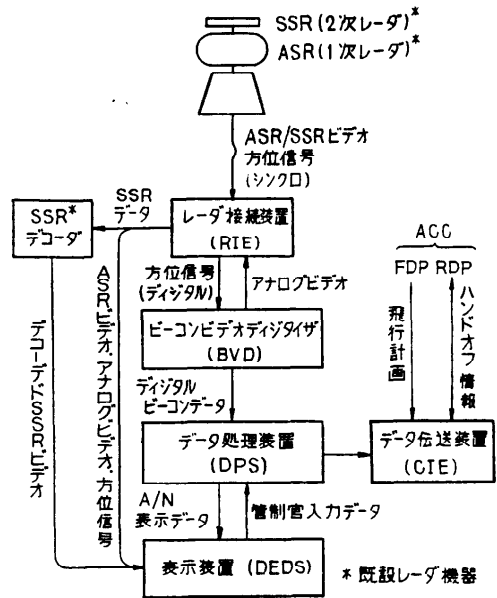


図-5 ARTS システムの構成と情報の流れ

ム、すなわち、レーダ接続装置 (RIE; Radar Interface Equipment), ビーコンビデオディジタイザ (BVD; Beacon Video Digitizer), データ処理装置 (DPS; Data Processing Subsystem), 表示装置 (DEDS; Data Entry and Display Subsystem), およびデータ伝送装置 (Communication Interface Equipment) から成る。

図-6は、システムのブロック図である。システムの信頼性をより一層高めるため重要部分はすべて冗長性を持たせている。すなわち、BVD、記憶装置、演算処理装置、システムタイプライタについては、各1台の冗長性を持たせている。DEDSは、所要台数を管制席の如何なる使用形態にも合わせて使えるようソフト/ハードの配慮が払われているので交通の状況や、装置の状態にふさわしい組合せで運用することができる。データ処理装置内のプログラムは、障害に備えて、アンテナ1スキャン(約4秒)ごとに、重要データを予備の記憶装置に退避している。障害発生時には、リカバリプログラムによりシステム各部の診断を行い、必要があれば障害機器を切離して再構成し、退避されていたデータを用いて運転を継続する。更に万が一情報処理システムに障害が発生して英数字による航空状況表示が消えても、レーダ画像だけは必ず表示されるようになっていて、従来どおりのレーダ管制は継続できるようになっている。

(1) レーダ接続装置 (RIE)

RIEは既存のレーダとARTSとのインターフェースをなすもので、レーダ信号の増幅分配、方位信号の交換を行ってBVDとDEDSに供給する。

(2) ビーコンビデオディジタイザ (BVD)

BVDは2次レーダからの信号を受け、これをもとに、方位、距離、モード3/AおよびモードCビーコン情報*を抽出し、DPSへデジタル形式で情報を送出することを主な機能とする。

(3) データ処理装置 (DPS)

DPSはARTSの中核として、演算処理装置、記憶装置、周辺装置(磁気テープ装置、システムタイプライタ、データ伝送制御装置)などのハードウェアとソフトウェアから成る。航空管制システムの要件である拡張性および信頼性の見地から、システム構成として、マルチプロセッサ方式を採用しており、トラフィックの増加、機能の拡張に容易に対処できるようになっており、演算処理装置、記憶装置を独立に拡張することができる。DPSは、BVDからのビーコン情報、ACCの飛行情報処理システム(FDP)から伝送回線により送られてくる飛行計画などの情報をもとに、目標

* モード3/AおよびモードCビーコン情報: モードとは、二次レーダと航空機搭載トランスポンダ間の質問・応答の種別を表わすもので、モード3/Aビーコン情報は航空機識別、モードCビーコン情報は、航空機の高度に関する質問・応答情報である。

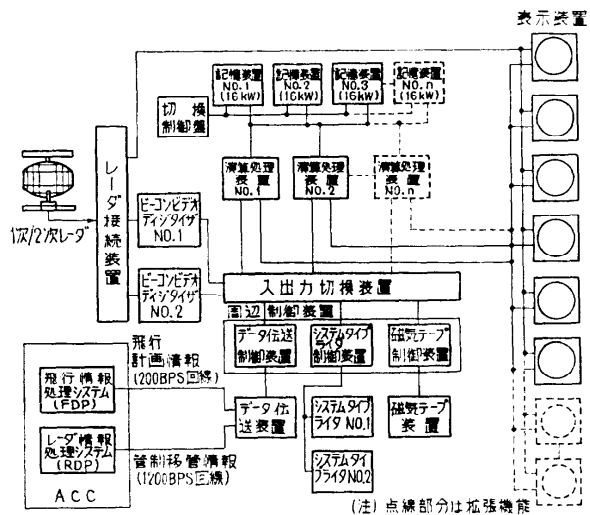


図-6 ARTS システムブロック図

検出、飛行計画との照合、自動追尾などの処理を行って、航空状況をDEDSに表示する。またACCのレーダ情報処理システム(RDP)との間で管制移管情報の授受を行う。

(4) 表示装置 (DEDS)

DEDSは管制官とシステムとのマンマシンインタフェースを提供する。レーダからのビデオとDPSで処理されたデータがCRT上で重畳表示され、管制官はデータ入力装置を用いて、システムへのデータ入力、表示の制御などを行うことができる。レーダ情報を実時間で表示し、レーダ走査の復帰時間にデジタルデータを表示するという時分割方式をとっており、デジタルデータのリフレッシュは毎秒30回である。

管制官に見やすい画面を提供するために、22インチの大形フラットフェースの高分解能CRTが使われている。データ入力装置としては英数字キーボード、クイックロックスイッチ、トラックボールが一組になっている。トラックボールはスコープ上の位置指定に用いられる。

(5) データ伝送装置

CIEはARTSのDPSと、ACCのFDPおよびRDPとの間にあって、伝送方式やメッセージ形式の変換処理を行ない、メッセージの中継を行う。

3.3 ソフトウェア

ARTSの運用プログラムの主なものは次のとおりである。

(1) 管理プログラム

- (2) ビーコン入力処理プログラム
- (3) ビーコン追尾処理プログラム
- (4) 管制席入力処理プログラム
- (5) クリティカルデータ収集処理プログラム
- (6) 磁気テープ飛行計画処理プログラム
- (7) 表示出力処理プログラム
- (8) タグ再配置処理プログラム
- (9) システムタイプライタ出力処理プログラム
- (10) ACC データ伝送入出力処理プログラム

以上の構成要素はすべての ARTS に共通であり、サイト特有のデータである航空機ファイル数、ビーコンターゲット数、空港およびフィックス数、自動追尾開始/終了領域などはサイトアダプテーションデータとして扱うことによってどのサイトにも導入しやすく、また導入後の運用条件の変化にも容易に対処できるようにになっている。また、上記運用プログラムと全ターゲットデータをすべて主記憶装置に入れて処理することにより、実時間性を確保している。

運用プログラムの中で処理の中心となるのは、ビーコン入力処理とビーコン追尾処理であり、BVD の機能と協力して、2次レーダのデータからのターゲットの検出、追尾という重要な機能を果たしている。

レーダデータ処理の方式や、ハードとソフトの処理分担などにはいろいろな方式がある。本システムでは、2次レーダの各スイープごとの応答信号からブラケットの検出によってその距離と方位とモード 3/A ビーコンコード、モード C 高度の抽出までを BVD により、スイープ間の相関処理によるターゲットの検出をビーコン入力処理プログラムで行い、最後にレーダスキャン間の相関処理、平滑予測による追尾処理をビーコン追尾処理プログラムで行っている。ビーコン追尾処理は、ビーコン入力データと航空機の英数字データブロック表示との結びつけを正確に維持する作業を行うもので、自動追尾の開始および終了処理なども行う。追尾処理における平滑、予測の処理においては、 α - β トラッカ*を用いている。追尾データには確かさを示す尺度として複数個の段階の確度を設定し、初期状態から入力データとの相関がとれるにつれて確度を増し、相関がとれない場合は確度が減少する。平滑パラメータ α , β および相関のためのゲートサイズはこの確度に応じて定められている。

4. 主要技術と留意事項

前章で述べた事から明らかなように、現在のターミナルレーダ情報処理システムの主要技術は、レーダ情報の処理(ハードウェア、ソフトウェア)と表示(性能、マンマシンインタフェース)の技術であるといえる。

特に前者については、高速に入力される確率的性質をもったデータ(位置情報のバラツキ、データの抜け、疑似情報の存在など)からターゲットを検出し、加減速、旋回などの運動を行う航空機の追尾を行う技術は、理論面での裏付けだけでなく、経験の積み重ねを必要とする。同様の事が後者の表示技術についてもいえる。

4.1 技術的留意点

航空交通管制システムにおいて、特に留意されるべきハードウェア、ソフトウェア上の特色について記す。

(1) 実時間性: 約 4 秒ごとに更新されていくレーダ情報を処理した結果、最小時間おくれをもって、航空状況表示内容を更新していかねばならない。

(2) 高信頼性: 航空機事故のもたらす社会的インパクトは極めて大きい。このため、システムには、高い信頼性、保守性が要求される。

(3) 人間機械協調性: 航空交通管制システムほどきびしいマンマシンシステムはあまり例がないであろう。すなわち正確性や迅速性にすぐれる機械と、判断にすぐれる人間(管制官)がループをなし、航空状況の変化に素早く対応することを要求されるリアルタイムシステムである。このため、表示の方法、管制卓の設計など適切なインタフェースをもたせる配慮が必要である。

(4) 拡張容易性: 基本的な機能に対する高度な機能の追加、取扱う航空機数の増加など、環境と開発段階の変化に適応した拡張が容易でなければならない。

(5) 導入容易性: 従来のシステムが運用されている状況下で情報処理システムが容易に導入されること、またどの空港にも適応し易いシステムであることが望ましい。

4.2 レーダとの接続

情報処理システムの自動追尾性能は接続されるセンサとしてのレーダの性能に負う所大である。したがって、接続に当たっては、レーダインタフェースの条件(波形、振幅など)、ビーム幅の安定性などが重要であり相互の十分な調整が必要である。

* α - β トラッカ: 位置平滑定数を α 、速度平滑定数を β とする直線平滑予測方式。

4.3 ACC との接続

ACC との接続に当たっては、システム障害時、伝送エラー発生時の他、管制移管時、同一航空機に対し、双方の管制官が同時にアクションを行った場合とか、航空機が追尾不能になった場合などに、危険な状態が発生しないよう設計上の配慮と十分なテストが必要である。

5. 拡張機能および今後の動向

すでに述べたように、世界各国で開発されているターミナル管制情報処理システムの機能は未だ基本的なものであるが、今後はこれをベースに、更に他の基礎的あるいは定形的作業が機械化されていく一方で、衝突検知、安全間隔の設定など、質的により高度な管制業務の分野にも計算機が活用されていくと考えられる。また、システムのセンサであるレーダ系についていえば、米国では、現在の2次レーダの欠点を補い、同時に地対空のデータリンクを実現する手段として、DABS (Discrete Address Beacon System) の研究開発が行われている。各航空機ごとにディスクリットにアドレスコードを割当て順次質問を発して応答を得る方式をとるので、航空機が混雑しても、応答信号がガブル*することもなく確実な信号を常に得ることができる。また管制指示や報告などのデータを授受できるデータリンクとしても使用できる。このDABSと情報処理システムとの結合によって、米国では、1980年代、IPC (Intermittent Positive Control) の実現を目指している。この方式によれば、IFR (計器飛行) 機間のみならず、VFR (有視界飛行) 機とIFR機間にも衝突検知が行われ、必要に応じて衝突回避の管制指示がVFR機にも発出される。この場合、取扱機数が多くても、迅速なる連繫を地対空に維持するため、データリンクによる管制指示の伝送と、これを表示する機上装置が必要と考えられている。なお、この衝突回避、DABS、IPCなどが導入されたATCシステムは、Upgraded Third Generation Systemと呼ばれている。

東京および大阪に整備されたARTSの将来の拡張機能として考えられているものに、

- (1) タワー用高輝度表示装置の導入
- (2) 運用データの連続記録
- (3) 1次レーダ処理

(4) 最低飛行高度警報

(5) 最適進入着陸順位の選定と制御

(6) 自動安全間隔の設定

などがある。

(4)は、航空機の一定時間後の高度を予測し、あらかじめ記憶されている地形と比較し、危険と判定されたならば、管制官に警報を発するものである。

(5)は、複数個の進入点から入って来た多数の航空機の性能、気象条件などを考慮して、最適着陸順位を決定することであり、全体の遅れ時間を最少にするのがねらいである。さらに、決定された順位と、到着予定時刻を保持できるように、航空機をきめこまかく誘導することに計算機を援助させる試みもある。

(6)は、管制機同志、または管制機と非管制機の間で所定の安全間隔が保持されているかどうかの検知と、それが満たされなくなる可能性が予測されたとき、その状況を回避するための解決策を計算機が提案するようなシステムである。(5)、(6)はともに、管制官本来の重要な業務であるが、実現までには、更に研究開発と条件整備が必要である。

以上の他、空港表面を対象とした空港面レーダ情報処理システムも各国で考えられている。

6. むすび

以上、ターミナル管制情報処理システムの概要について述べた。今後ますます増大が予想される航空交通に対処するため、航空交通管制情報処理システムは、より普及し、より高度化して行くであろう。しかし、航空管制システムにおいては、新システムの導入や、機能拡張に当たって、安全性維持のため、既存システムからの連続的発展が必要である。

また、たとえば、すべての機上設備を一挙に更新することなどは不可能であるから、既存システムとの共存性ということも重要である。安全性の確認や、運用保守面の慣熟のための期間を十分に確保することも大切である。

おわりに、わが国のターミナル管制情報処理システムの研究、開発、整備等を進めてこられた関係各位に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 山上、橋ヶ谷、落合、武藤、河野、荻田：ターミナル管制情報処理システム—その評価システムについて—、電子通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会資料 SANE 73-13

* ガブル：複数の航空機トランスポンダからの応答信号が重なって識別できない状態。

- 2) 河野, 荻田, 林, 青野: ARTS-M のソフトウェア, 電子通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会資料 SANE 74-34
- 3) 北野, 河野: ターミナルレーダ情報処理システム (ARTS) の計画とシステム 概要, 電子通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会資料 SANE 76-7
- 4) 荻田, 橋本, 花輪: ターミナルレーダ情報処理システム (ARTS) のソフトウェアとハードウェア, 電子通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会資料 SANE 76-8
- 5) 北野, 中田: 航空管制のコンピュータ化, 国際電気通信連合と日本, VOL. 7, NO. 3, pp. 1~15 (1977.3)
- 6) G. A. Gilbert: Historical Development of the Air Traffic Control System, IEEE Trans. COM-21, No. 5, pp. 364~374 (1973)
- 7) P. R. Drouilhet, Jr.: The Development of the ATC Radar Beacon System: Past, Present, and Future, IEEE Trans. COM-21, No. 5, pp. 408~421 (1973)

(昭和52年6月7日受付)
(昭和52年8月11日再受付)