

航空交通管制における 無線交信の為の交信制御方式の提案

伊 藤 紘 二・水 町 守 志・宮 尾 光 生

Proposal of Introducing a Communication Control Scheme into the
Mobile Radio Communication in Air Traffic Control

By

Kohji ITOH, Moriyuki MIZUMACHI, Kosei MIYAO

Abstract: This paper proposes to introduce a communication control scheme into the mobile radio communication system used by pilots and controllers in the air traffic control procedure, giving a solution to the problems posed by the voice radio system. The first two chapters are devoted to the proposal of a possible realization of the scheme employing the voice-data cochannel operation, the data mode of which is used to convey the communication control messages as well as some kinds of data to back up the voice interchange.

Chapter 3 describes the simulation system designed and constructed to evaluate the proposed realization and to make improvements of the concept. Also shown are a number of real sample displays on the controller panel of the simulator.

要 約

本稿においては、航空交通管制におけるパイロットと管制官の間の無線交信が有する問題点の解決を図る為に、交信制御方式を導入する提案を行っている。始めの2つの章では、これを音声・データ共用チャネル方式として実現する方法について、試案を示し、そのデータモードにおいては、交信制御通報の授受と共に、音声交信をバックアップする限定されたデータ伝送をも行うことを提案している。第3章では、この試案を評価し、改良を図る為に設計・作製されたシミュレーションシステムについて、概要を記し、管制官パネルでの実際の表示例を示している。

1. はじめに

現在の航空交通管制システム [1] においては、航空機の飛行する空域を適宜な広さの管制セクタに分割し、各セクタに管制官チームを配置している。各セクタには、専用の無線周波数 (VHF, UHF 帯) が割当てられ、管制官は、原則として割当られた一波を用いて、セクタ内の全ての管制対象機のパイロットと音声による無線交信を行い、パイロットからの管制承認要請ならびに位置通報、気象や飛行に関する情報を受け取ると共に、管制官は、パイロットに対し管制承認ないし指示を与え、気象や他機の航行状況などに関する情報を送る。

現在では、我国でもレーダ覆域が、大部分の管制空域を含む空域に広がり、管制席のレーダスコープには、管制を受けている航空機の位置が、識別、高度、速度と共に示されるようになった。従って、パイロットからの位置通報は、以前に比べて減少し、また、空港や航空路の状況に関する情報を、一定の周期で放送する施設も増えている。

また、レーダについても、ビーム内の異なる航空機の応答装置からの応答の重畳を防ぐ目的で、機毎に異なる個別アドレスによって、地上局から呼びかけて応答させる DABS (Discrete Address Beacon System) [2] の開発が米国の FAA によって進められており、その、地上からの個別アドレスによる呼びかけに、データ伝送を組み込む計画がある。

このように、管制官とパイロットの間の音声交信の内容の一部は、他の施設ないしシステムによる伝達でおきかえられてゆく傾向にある。然し乍ら管制における音声交信は、互いの傍受可能性と共に、肉声による交信の与える心理的な安定感と、管制の責任の問題、自由な内容を迅速に伝達できること、塔載機上装置の簡便さ、システムの経済合理性などの理由で、今後、相当な期間、存続してゆくものと思われる [3]。

そして、1 機当りの音声交信は減少するとしても、1 セクタ内の管制対象機は、増大する傾向にあるから、今後、管制官が負わなくてはならない交信負担は、さほど減少はしないと予想される。

さて、管制官とパイロットの間の音声交信の現状分析については文献 [4], [5], [6], [7] などに述べられてある。それらの内文献 [6], [7] における主な結果をふりかえってみると、まず、このシステムにおいては、主として互いに他機の交信を傍受する必要性から、単一周波数チャネルの送受切換方式を採用している。従って、交信を行おうとするパイロットは、他のパイロットの一連の交信が終了したことを傍受した交信内容から判断して割込む必要がある上、管制官側もパイロット側も交信の開始については、通常は事前打合せなしに行われる。この為、同時送出による混信の危険は、航空機トラヒックが増大すると、急速に増大し、これを避けようとする努力のもたらす心理的負担も極めて大きなものになると思われる。

また、交信の各送信の先頭に、相手側および自分のコールサインを送るのが原則であるが、実際、実質的な交信時間の約 30 % が、このコールサインに使われている。そして、コールサインの聞き間違い、言い間違いは、大変大きな危険をもたらすものであることは言うまでもない。

一方、VHF 帯での航空用音声無線チャネルを用いたデータ伝送の試みは、早くから、米国の ARINC (Aeronautical Radio Incorporation) によって、行われ [8], [9] 主

として、航空会社が、自らの有するチャンネルにおいて、自社機の運航上の情報の伝送を行うのに用いられてきた。

また ICAO (International Civil Aviation Organization) においても、地上施設と航空機間のデータ伝送が議題に上っている [10]。

さらに、洋上航空交通に関しては、1500 ~ 1600 MHz 帯において静止衛星を用いた監視ならびに通信システムとして FAA, ESA, カナダ等による AEROSAT (Aeronautical Satellite) 計画が [10], [11] 進行中で、その通信機能の中には、音声およびデータの伝送が含まれる。

DABS も含めて、航空機と管制施設の間のデータ伝送については、これだけの試みと計画があり、将来、管制が、データ伝送をベースとする方向に進む可能性もある。

そこで、我々は、少なくとも相当期間継続すると思われる音声交信による管制において、前述した問題点を緩和する為に、データ伝送の手法による制御通報のやりとりによって、

- (1) 交信・送信の終了の検知
- (2) 交信・送信の要請の受付け
- (3) 交信・送信の指名許可

という機能を行う「交信制御方式」を導入することを提案したい。

一方で、管制通信をデータの伝送という形にすることの可能性については、人間・機械系の問題が大きく、早い時期から、漸進的な方法で運用評価をしてゆかなくてはならないと考えられる。

そこで、本稿では、すでに、かなりの実績があり、機材利用効率上も有利な VHF 帯におけるデータ伝送技術を利用することを考える。そして、現在の管制用音声チャンネルを音声交信と、交信制御信号の授受に共用し、さらに、交信制御信号の授受に伴って可能となる限定されたデータの伝送の試験的運用をも行える「音声・データ共用チャンネル方式」を提案し、設計試案を示すと共に、この方式の評価を行う為に作製したシミュレータの概要を述べる。

用いる通信チャンネルとしては、VHF 航空バンド (112 ~ 146 MHz) の両側帯波振幅変調による送受切換方式の無線チャンネル (帯域幅は、指定周波数 ± 8 KHz (6 dB) [12]) を想定する。むろん方式の概念自体は、音声級以上の任意のチャンネルに適用し得る。

なお、記述の短縮の為に、次の略号を用いることがある。

C : 管制官, P : パイロット,
G : 交信制御地上系, A : 交信制御機上系

2. 交信制御方式について [13] [14]

2.1 交信制御方式における交信手順

1 に述べた考えに基づき、パイロットと管制官の間の管制通信を対象として、次のような交信手順による交信制御方式を提案する。

まず、当該管制席の管制空域に到達した航空機のパイロットが登録キーをオンにすると、機は地上に登録され、管制官にもその旨表示される。

登録された機のパイロットが、交信要請キーによって交信要請を行うと、管制官に対して

その旨が表示され、通常、自動的に一旦交信待機が指示される。管制官がこの表示にライトペン方式あるいはタッチディスプレイ方式などでアクセスした結果、交信許可の表示と音パターンがパイロットに与えられる。そして、パイロット側が送信キーを押すだけで、交信開始が表示と音によって管制官に伝えられ、「通話モード」となってパイロットからの通話送信が可能になる。そして、パイロットが送信キーを離せば、通話送信はロックアウトされ、交信制御状態は一旦、交信継続状態となる。

一方、管制官は、登録済、交信要請中、交信待機中の如何を問わず、例えばライトペンと送信キーによって、交信開始を宣言することができ、パイロットには、その旨が表示と音によって示される。これに対してパイロットが、交信聴守キーを押すと、そのことが地上に伝送されて管制官に表示と音によって示され、通話モードとなって、管制官からの通話送信が可能になる。そして管制官が送信キーを離せば、通話送信はロックアウトされ、制御はやはり、一旦、交信継続状態となる。

さて、交信継続状態に入ると、次からの送信開始については、パイロット、管制官のいずれにおいても、押した送信キーに対して、その旨が相手方に表示と音で示され、一方、自動的に受信証が返送されれば、直ちに通話送信が可能となる。

交信継続状態は、管制官が他機を呼出す操作をしたとき、または、ある制限時間以上に亘って送信のない状態が続くと、自動的に解除になり、登録済状態へ戻る。

管制官が、別チャンネルもしくは別の管制席へ機を移管する場合には、変更周波数の情報を含む移管通知を、移管指示ライトペン入力などによって伝え、パイロットから、登録キーオフによる移管了解通報を得る。

このほか、制御信号が正しく受からないまま交信制御が進行しなくなった（このことは、表示によって知らされる）場合の対策として、「非制御モード」が設けられる。このモードへ入ると、パイロット、管制官共、通話送信のロックアウトが解除され、従来の交信と同様にして通話送信のやりとりが行える。このモードへの移行は、任意時点において、パイロットもしくは管制官による「非制御モード」指示入力によって行うことができる。このモードから通常の制御モードへ戻るのは、管制官からの入力による。

2.2 交信制御スケジュール

(1) 制御信号と通話伝送

チャンネル切替え時間、あるいは器材効率を考慮すると、交信制御の為の制御信号の伝送と、通話伝送とは、同一チャンネルを共用するのが好ましい。一方、制御信号は、短時間で同時に多数の機と地上の間でやりとりされなければならない。従って、簡易な無線チャンネルの制約上、制御信号と通話伝送は、切替え方式で運用されざるを得ない。そこで、制御信号のやりとりされるモードを「制御モード」と称し、通話伝送の行われるモードを「通話モード」と称することとし、「通話モード」と「制御モード（自動的なデータ伝送をも行える）」の2つのモードの間を往き来する方式を提案する。この場合、送受切替え方式のチャンネルで、混信を避ける為には、地上が制御の主導権を握ることが必要である。

まず、音声制御信号の復号器の判断を誤らせる恐れをなくす為、通話モードに入る直前から「通話モードマーカ」を、地上から放送し、これにより全機に対して、制御信号回路

の切断と制御状態の一時凍結を指示した上で、当該パイロットまたは管制官による通話送信を許可する。

従って、再び制御モードに戻すときには、「制御モードマーカ」を地上から放送し、制御信号回路を回復させて、通話送信をロックアウトする。

一方、交信要請受付における遅延をできるだけ短くするためには、毎回の通話送信の終了のたびごとに、制御モードへ転換させる必要がある。そして地上系がこの送信の終了の検出を確実に行うことができるように、パイロットの送信の直後には、「送信終了マーカ」を地上へ伝送する。

このほか、非制御モードへ入るときには、そのことを周知し、機上制御状態を一時凍結させる為に、「非制御通話モードマーカ」が、地上から放送される。

(2) 通話モードマーカと送信終了マーカ

通話モードマーカは、管制官、パイロットいずれの側から送信する通話モードにおいても、その入口で地上から放送される。ここでこのマーカの捕捉に失敗した機にも先でこれを捕える機会を与える為に、通話モード送信中は、送信側から連続的に、通話送信と一緒に通話モードマーカを送信し続けることを提案する。従って、このマーカはベースバンドで音声フィルタ帯域外に置く必要がある。

送信終了マーカは、パイロットからの通話送信の終了（送信キーを離す）と共に当該機から送信され、地上でこれを捕えるのであるが、比較的長く一回だけ送信するに止めるのがよいと思われる。地上からの反応がなければくりかえし送信するという方式は地上が主導権をとるという原則に反し、混信の原因になり得るので採らない。地上ではP送信中、通話モードマーカ、および送信終了マーカの受信を終始チェックしているから、もし両者共に受からない時間が続いたとすると、自動的に制御モードへ移行するので問題はない。

なお、非制御通話モードマーカも、通話モードマーカに準ずるが、Pから通話送信中のマーカ送信は義務づけられない。

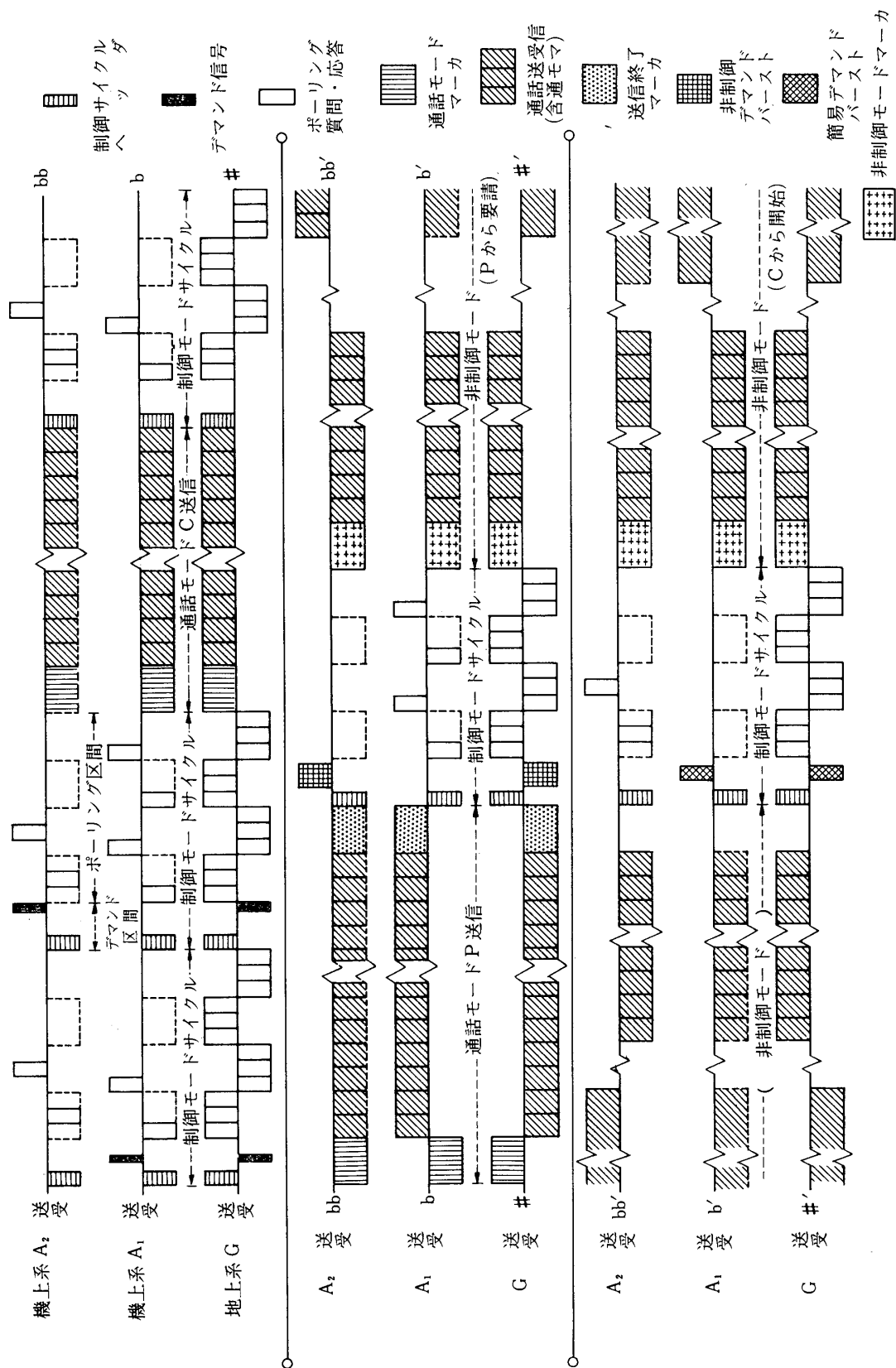
(3) 制御モード区間のスケジュール

通話モード終了後、制御モードマーカを地上から放送することによって制御モードの再開を宣言するのであるが、ここでこのマーカを捕捉し損ねても次のチャンスが与えられるよう、制御モード区間内である周期を以て繰返し、制御モードマーカを放送する必要がある。

一方、パイロットからの要請を制御モードで受け付けるので、受付遅延をなるべく短くする為には、任意の隣り合う通話モード送信の間に、交信受け付けに充分な最小単位長の制御モード区間を設けなくてはならない。

以上の2つの要請を満たす為に、制御モードマーカを先頭とし、交信受け付けを含む交信制御信号のやりとりを行う最小単位として0.5～1秒の「制御サイクル」を設け、隣り合う通話モード送信の間に、1つ以上の制御サイクルからなる制御モードをはさむという形態を提案する（第1図・参照）

最もかんたんな制御モードの運用方式として、取扱機の全てに対しサイクリックなポーリングを行うことによって交信要請を受け付けると共に、他の交信制御通報のやりとりを行い、自動的にデータ伝送を併せ行うことが考えられる。しかしながら、ポーリングだけで交信要



請を受付ける方法は、制御モードの運用という面から見て柔軟性に欠ける。たとえば、再送信の必要が生じたときは、直ちに再送信を行えることが望ましいし、長いデータテキストを送る必要が生じたとき、数機分のスロットを専用することが必要になるが、そのようなことは、この方式では他機に対する交信受付遅延を増大させずには不可能である。

一方、実測によれば、東京国際空港のアプローチ席で典型的な混雑状態－10 分間平均取扱機数 10 機－において、7 回／分の交信があり、一方、パイロットからの交信要請の比率は、全交信要請の 17.2% [6] [7] である。従って、パイロットからは、合計しても 50 秒に 1 回の交信要請があるにすぎない。

そこで、ポーリング受け方式の欠点を除く為に、各制御サイクル内に、ポーリング区間と並んで限定された時間幅の「デマンド区間」を設け、ここにおいて、交信要請および登録要請を一括受け付ける方式を提案する。このような方式において要請信号が衝突する確率が、ごく小さくなるよう設計することが可能であることは 2.4 (3) に示される。

デマンド区間は、各制御サイクルの先頭におかれる「制御サイクルヘッダ」－制御モードマークに、デマンドの為のタイミング信号をつけ加えたもの (2.4 (2) 参照) －のすぐ後に置くのが好都合である。このようにすれば、パイロットからの交信／登録要請は最優先で受け付けられ、しかも、すぐつづくポーリング区間において、他機の通話モードに入る以前に受付確認情報を他上から送って貰えるからである。

(4) 交信制御信号スケジュール

以上述べてきた交信制御信号に関するスケジュールを図によって例示すると第 1 図のようになる。但し、ここに示すポーリング区間の運用は、一つの可能性にすぎない。

(5) 音声回路について

地上あるいは機上の送信機における音声変調回路は、制御通報のやりとりにより「通話モード送信」を許可された場合、あるいは、「非制御通話モード」に入ったときにのみ、作動し、それ以外のときはロックアウトされる。このことは混信を妨ぐ為に必要である。

一方、受信機音声回路は、自らの送信時以外は、常時オン状態にしておくのがよい。なぜなら、たとえば、通話モード C 送信の開始の時、通話モードマークが地上から放送されても、機上装置がこれを直ちに間違いなく受けるとは限らない。従って、もし、通話モードマークが受かってから音声回路をオンにするようにしておくと、C が話し始めても P に伝わらない懼れがあるからである。

制御モードにおいても音声回路をオンにしておくと、制御信号のスペクトルの内、音声フィルタ帯域内に落ちてくる部分が、耳に聞こえてしまうが、2.4 (1) ～ (5) に述べるような制御信号を用いると、3.4 KHZ 以下程度の音声フィルタ帯域内に落ちてくるスペクトル成分の電力は大きくない。但し、搬送波オンオフの立上り、立下りによるスイッチング音を、取除く (低減する) 必要がある。

また、本方式は、単一周波数の送受切替え方式を採用しているから、音声通話伝送について、従来方式の交信における傍受可能性という利点を保存しているが、通話の宛先などが音声では送られないこともあるので、自機に向けられたのではない制御通報をも復号し、必要な情報だけは表示することが勧められる。

2.3 交信制御の手順

(1) 交信制御状態の推移

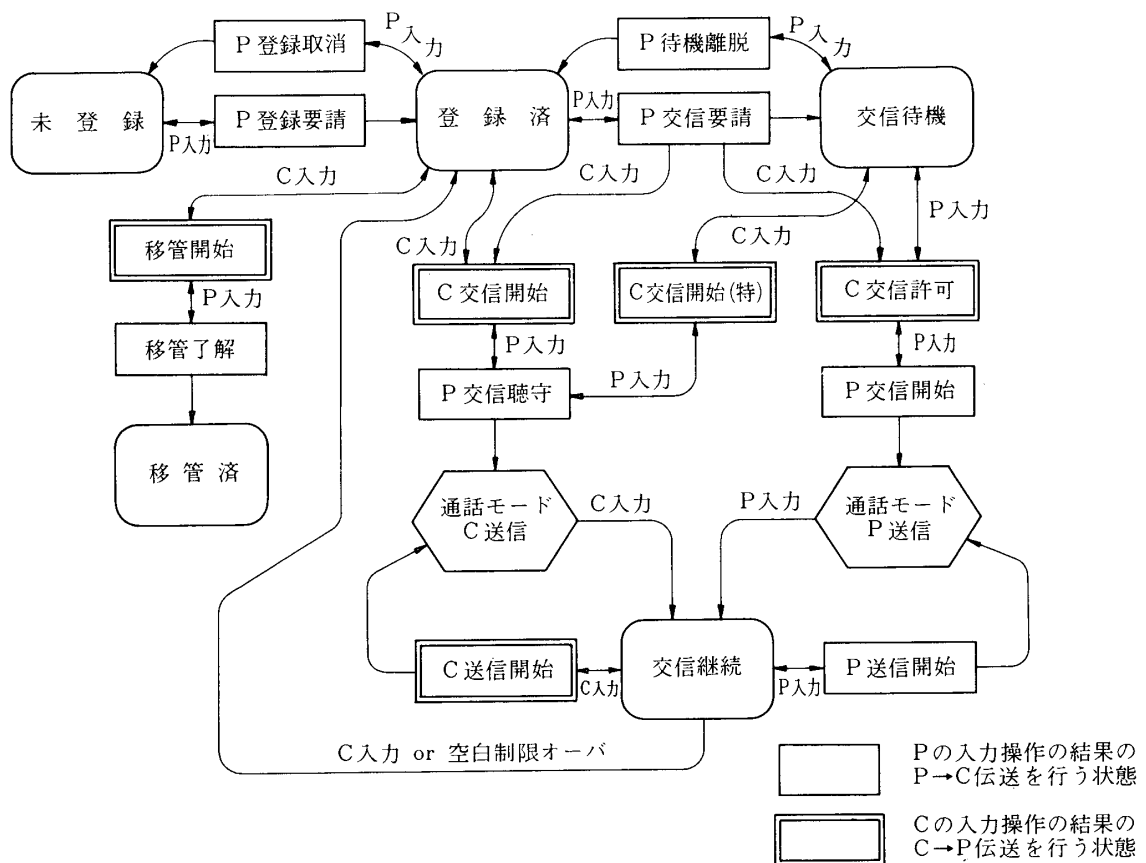
特定機と地上との間の交信制御状態の推移は、機上系、地上系共、次のように進行する。即ち、送信タイミングになると、現在の状態によって指定された制御通報を送出し、これに対して相手方から受信した制御通報によって状態を推移させる。また、管制官あるいはパイロットによる入力操作によっても状態推移が生ずる。但し、送信タイミングは、地上系では自らの時計に従うが、機上系では地上から制御信号が受かったときを基準にして決定される。

このような手順は 2.1 に述べた交信手順と 2.2 に述べた交信制御スケジュールから必然的に決まってくる。第 2 図に、基本的な交信制御状態の推移を示す。また、第 1 表は、地上系と機上系の間でやりとりされる制御通報のリストである。なお、第 2 図に示されたことのほかに考慮すべき事柄がいくつかあり、それらについて以下に述べる。

(2) 制御モードで合理的な制御通報を受からない場合

この場合、混乱を防ぐ為の大原則は、次の 2 項目である。

(i) A (機上装置) にしても G (地上装置) にしても、制御通報を (応答) 送出後、そ



第 2 図 基本的な交信制御状態推移図

第 1 表 制御通報リスト

G → A	A → G	
制御サイクルヘッダ	送信終了マーカ	交信開始受了
登録呼掛ポーリング	登録要請デマンド	交信聴守
交信受付ポーリング	登録要請応答	交信許可受了
待機指示	登録呼掛受了	交信開始
交信開始	登録取消デマンド	交信継続
交信許可	登録取消応答	送信聴守
交信継続	交信要請デマンド	送信開始
送信開始	交信要請応答	移管通知受了
移管通知	交信受付受了	移管了解
通話モードマーカ	待 機	通話モードマーカ
	待機離脱	

それに対する合理的な返答が得られない間、制御モードでの、人手による入力操作（の受けは行っても）による状態推移は行わないこと。

(ii) Aの制御はGのそれに従属すること。

実際、通報を受けた側は、それに基づいて送り側の状態を知って、自らの状態推移を行い、回答をよこすのであるから、偶々チャネル状態が悪くて、この回答が受からなかった場合、だからと言って勝手に状態推移をしてしまっても、チャネルが回復して正しく受かっても、それ自体無意味になり、混乱に陥る。これが (i) を必要とする理由である。

一方、時間長の不定な通話モードが、制御モードと同一チャネルで共存する本方式においては、混信を避ける為に、全ての送信の制御権を地上が一手に掌握する必要がある。Aは、Gからの許可なしに送信を行うことを禁止される。

そこで、Aにおいては、Gからの制御通報に対し、Pが混乱しない範囲で、できるだけ受入れてそれに従うが、しかし、Gから合理的な通報が受からない限り、状態は変えず、またA→G伝送をくりかえすことも行わない。一方、Gの方は、G→A送信に対し、合理的な通報がAから戻らない限り、同じG→A送信をくりかえす（再質問）。

以上のような努力が実りそうもないときは見切りをつける必要がある。これについては、次項に述べられる。

(3) 受信不可カウンタと応答待ちカウンタ

Gにおいては、特定の機にG→A伝送した制御通報に対して、そのAから合理的な通報が戻らないときは、受信不可フラグを立て、その機に対する受信不可カウンタで数えながら、再質問を行い、一方、合理的な通報が戻ったのであるが、G→A伝送でCがPに入力操作を指示したのに対して、Pが未だ入力操作をしないことを示している場合には、応答待ちフラグを立て、応答待ちカウンタで数えながら、再質問をくりかえす。

前者においては上記 (2) (i) の原則に従って入力操作に基く状態推移を禁止し、後者においては、これを許容する。

それぞれのカウンタには、ある閾値を設定しておき、いずれかのカウンタで閾値を越えたらその旨表示する。そして、この場合、非制御モードへ移るか否かは管制官の意志に任せられる。

A においても、合理的な通報が受からない間、受信不可フラグを立て、受信不可カウンタで計時し、応答をさし控えるが、応答待ちカウンタに相当するものは設けない。A の受信不可カウンタの閾値は、G におけるものよりも高目に設定し、閾値を越えたときの処理は G におけるのと同様である。しかし、この閾値を高目に設定することと、応答待ちカウンタを設けないことは、交信制御の進行が鈍った場合の処理の主導権も G ないし C に期待する考え方によるものである。

なお、A においては、制御サイクルヘッダが受からないときには、その制御モードサイクルのポーリングは信頼できないので、受信不可とする。

(4) 登録および交信要請の受付

登録受付は、通常、デマンド区間で扱うが、予め入域時刻のわかっている機などを G から呼出すときには、ポーリング区間を使うこともできる。

登録済状態から交信要請を受付けるには、通常はデマンド区間で行わせるが、デマンド区間での衝突が、たとえば 2 回ひきつづいて検知されたときには既登録機全機に対し、交信受付のポーリングを行う。また、既登録機のリストチェックの為に管制官の指示入力によりポーリングを行うこともある。

このほか、登録呼掛のポーリングは、登録取消の A→G 通報を受信したとき、確認の意味で、当該機に対し少なくとも 1 回行う。

また、交信受付のポーリングは、やはり、確認の意味で、登録要請あるいは待機離脱の A→G 通報を受信したとき、および、管制官入力操作 (等) により交信継続、交信開始、移管開始、もしくは非制御モードから (非制御モードにあった機より受けた終了通報により) 登録済へ戻って来たとき、当該機に対し少なくとも 1 回行う。

未登録あるいは登録済状態の機は、ポーリングを受けた直後のサイクルでは、デマンドを禁じられる。これは、ポーリングによってデマンド数を減じ、それによりデマンド区間での衝突確率を減少させる意味がある。

(5) 通話モードへの移行から復帰まで

制御モードから通話モードへの移行および制御モードへの復帰のプロセスは、当該機については今述べたことと第 2 図によって明らかであるが、当該機以外の機においては、通話モードマーカを受信すると、その交信制御状態と受信不可カウンタを凍結する。そして、再び制御モード開始の制御サイクルヘッダが受信されれば、凍結を解除する。

これと全く対応したことが、当該機以外の機に対する地上の交信制御状態についても行われる。但し、マーカとヘッダの「受信」を「送信」と読みかえる。

なお、制御モード再開後第 1 回目の制御モードサイクルポーリング区間の G→A 伝送では、通話モードに入ったとき凍結された状態が指定する制御通報を送出することとし、管制官の

入力操作による状態推移を許さないものとする。これは、通話モードが長びいたとき、その間に生じたパイロット側の態度変更を、制御モード再開時に一度打診するという意味がある。

(6) 非制御モードへの移行と、そこからの復帰

Gにて、受信不可カウンタ、もしくは応答待ちカウンタが閾値を越えるとその旨表示されるが、Cは必要と認めたら、非制御モード指示入力（ポーリング区間終了直後に受け付けられる）によって非制御モードを指示し、全機に、非制御通話モードマーカを放送することができる。こうすると、全機の交信制御状態が凍結され、その上でCは、音声により、任意の機に呼びかけることができる。機上受信機音声回路は常時オンなので、呼びかけられた機のパイロットは、これを聞いて、非制御モードキーを押し、交信制御によらない交信が可能となる。これは、とくに交信制御装置のない機に対しても可能である。また、全機への同時放送のときにも、このモードを用いるものとする。

一方、A側で、たとえば受信不可カウンタが閾値を越えたような場合、制御サイクルヘッダさえ受信できれば、Pによる非制御モードキー入力により、デマンド区間に短い無変調の無線周波バースト「非制御デマンドバースト」を送出することができる。Gは、直ちにこれをCに表示し、1ポーリング区間（この区間で、正常な被制御機に対し、非制御モードが始まることを予めアナウンスするサービスができよう）の後、自動的に、全機に「非制御通話モードマーカ」が放送されることによって、状態の凍結が行われ、その後は、Pからでも、交信制御によらない交信ができる。但し、地上側が、特定機と正に交信に入らんとするところであるか、交信継続中であるとき（これを「緊急状態」と称する）には、Cによる指示入力なしに非制御モードへ移行することはできない。なお、交信制御装置はないが、制御サイクルヘッダを検出できる機は、「簡易デマンドバースト」を用いて非制御モードによる交信を要請することができるが、この場合には、Cによる許可がない限り、交信を開始できない。

また、非制御モードからの復帰は、常にG側、Cによる「非制御モードオフ」入力によって行われ、その結果として制御サイクルヘッダが放送されれば、制御モードへ戻る。この際、実際に非制御モードによる交信を実施した当該機は、非制御モード終了後の最初の質問に対し、「非制御モード終了通報」を応答し、地上は、これを受けて、この機の状態を登録済とする。

なお、制御モード再開第1回目の制御モードサイクルにおける制限事項については、通話モードから復帰する場合（(5)項参照）に準ずる。

A側で、もし、非制御モードキー入力によって非制御デマンドバーストを出し続けても非制御モードマーカが戻らず、ある一定時を越えた場合、あるいは、マーカ受信のできない時間が永引いて上限を越えた状態で非制御モードキー入力を行った場合には、当該A側で、独自に非制御モードとなり、Pから送話が可能となる。このときは、交信制御系全体を破壊する形で割込むことになる。

(7) 強制移管

C側からの移管開始指示に対し、いつまでも移管了解通報がP側から戻らないときの為に、C側からは、「強制移管」入力により、当該機を移管済にして、交信を断つことができる。

2.4 信号形式

(1) データ変調と誤り制御方式

VHF 移動無線両側帯波振幅変調チャンネルのベースバンドの 100 Hz ~ 8 KHz を用い、しかも送受信機にかなりの個差があることから、データ変調には、次のような条件が課せられる。

- (i) ピーク制限によっても効率が悪くならない。
- (ii) 直流分、低周波分がない。
- (iii) フェージングによる振幅変動に強い。
- (iv) 帯域内線型歪に対して強い。
- (v) 帯域外スペクトル電力が小さい。(→伝送歪)
- (vi) ビット同期信号を抽出しやすい。

まず、(i) (ii) (iii) (vi) から、適当なサブキャリアに位相変調を施す方式がよく、その中でも、(iv) (v) を満たすものとしては CPFSK [15] (Continuous Phase Frequency Shift Keying) が適している。とくに MSK (Minimum Shift Keying) 変調は、容易に最適復調を行うことができ、かつ極性反転 2 値伝送と同じパフォーマンスを示す優れたものであり、すでに、VHF 航空バンドの送受信機で 4800 bps が実用化している [16]。

一方、誤り制御については、管制通信の本質上、再送要求を何度も行う余裕がないので、誤り検出だけに頼ることはできず、かと言って、誤り訂正符号はせいぜい 2 ビット訂正が実用の限界である。従って、むしろ、復調器軟判定出力を用いた最大ゆう度復号のできる実用的な唯一の方式である「たたみこみ符号の Viterbi 復調」[17] (閾値判定で再送要求も可) が有望な候補であろう。

第 3 図には MSK 変調波とその平均電力スペクトルの概形を示す [16]。

(2) 制御モードサイクル

文献 [7] で結論したように、隣り合う通話モード送信の間には 1 秒程度のすきまが許される。従って、1 制御モードサイクルの長さは 0.5 秒 ~ 1 秒程度としたい。そしてその構成は 2.2 (3) に述べたことから、

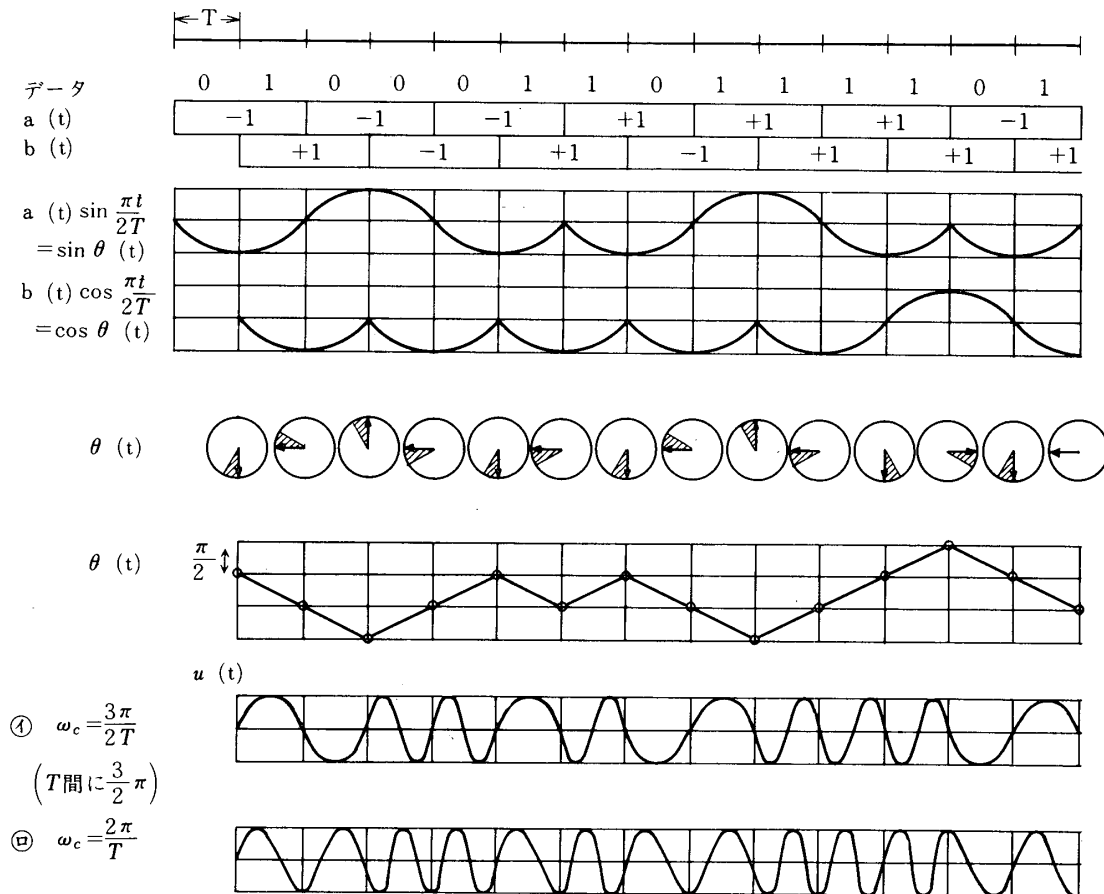
＜制御モードサイクル＞＝＜制御サイクルヘッダ＞・＜デマンド区間＞・＜ポーリング区間＞

とし、制御サイクルヘッダは通話モードからの復帰を行わせると共に、サイクル内のデータ伝送のビット同期、サブキャリア抽出の為のパイロット信号の役割を果たす制御モードマーカと、デマンド、ポーリング両区間におけるデータパケットのパケットタイミング基準を与えるサイクルプレアンプルとからなる。即ち、

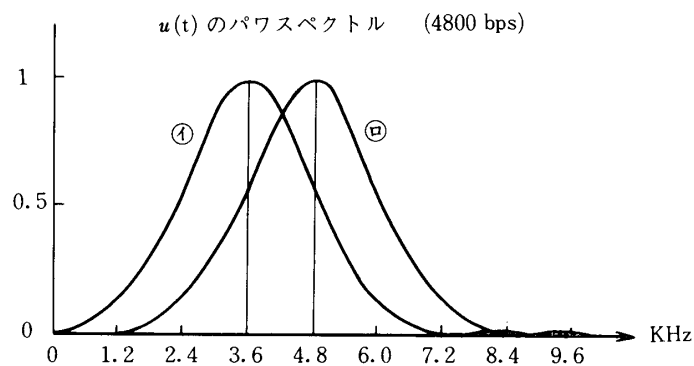
＜制御サイクルヘッダ＞＝＜制御モードマーカ＞・＜サイクルプレアンプル＞

となる。

制御モードマーカは、ベースバンドにおいて音声帯域外にある正弦波であるが、データリンク端子を備えた新しい型の送受信機だけを扱うなら、その受信機の立上り時間 10 ~ 15 ms 程度を見込んで 30 ~ 50 ms で済むが、旧式の送受信機も非制御モードで扱うとすると、100



$$\text{MSK 変調波: } u(t) = \cos \theta(t) \cos \omega_c t - \sin \theta(t) \sin \omega_c t$$



第 3 図 MSK 変調方式

第 2 表 市販の搭載用 VHF 送受信機の特性 [16]

製 品 名		送信電力立上り	受信機 AGC	
			立上り	立下り
Bendix RTA-43 A	データリンク	18 ms	13ms	76ms
Collins 618 M-2 B	"	20	15	8
King KTR-9100 A	プッシュアウトーク	78	13	70
BUEC FA-8191	"	112	36	500
King KY-195 B	"	10	32	20
Narco COM-11 A	"	14	76	138
GENAVE, ALPHA-100/360	"	23	6	14
A/N GRT-21	"	450 μ s	22	40

ms 程度を必要とする (第 2 表参照).

サイクルプレアンプルは, たとえば MSK 変調による短い擬似ランダム系列でよい.

(3) デマンド区間

交信デマンド信号および登録デマンド信号は,

<デマンド信号> = <サブキャリヤプレキー> • <パケットプレアンプル> • <デマンド通報> • <機アドレス> • <パリティ>

という構成を有する. 一例として地上受信機を引きこむ為のプレキーは 20 ms, プレアンプルは 2 バイトとし, デマンド通報は 1 バイト, 機アドレスはビットパターンで表わせば 3 バイトで充分 [2] であり, 後二者を符号化して, パリティ 4 バイト* を付する, とする. 4800 bps のビットレートを仮定すればデマンド信号の全長は 33 ms となる.

さて, デマンド区間の長さについては, もし, 旧式の送受信機も簡易デマンドで扱おうとすると, 送受切替え時間が長いので 150 ms 程欲しい.

従って, ここで, デマンド区間の長さを, デマンド信号が 5 つ入る長さ (上の例では 165 ms) と想定し, パイロットが発する通常のデマンド信号が, 衝突なく受けられる確率を計算してみた.

まず, 次の仮定を置いた.

- (i) 各機からのデマンド信号は, デマンド区間を 5 つに分けたスロットのいずれかをランダムに選んで送信される.
- (ii) パイロットによるデマンドの要求は, 全機合わせて平均頻度 λ 回/秒でポアソンの生じ, 生じた時点後最も近いデマンド区間においてデマンド信号が送信される. もし, 信号の衝突によって受けられなかった (このことは, すぐひきつづくポーリング質問で知ることができる) 場合には, 次のデマンド区間を待って再度送信する. これは, 成功するまでくりかえされる.

* 伝送速度 1/2 bit/channel bit のたたみこみ符号を想定している.

第 3 表 デマンド受付特性

λ (回 / 秒)	s_0 (秒)	\bar{N}	\bar{M}	\bar{L}	P_0
0.02007	0.5	0.0437	0.0428	0.0428	0.9903
	1.0	0.0704	0.0689	0.0689	0.9892
0.04014	0.5	0.0890	0.0856	0.0856	0.9806
	1.0	0.1439	0.1378	0.1378	0.9780
0.08028	0.5	0.1851	0.1713	0.1713	0.9607
	1.0	0.3016	0.2756	0.2756	0.9546

(iii) 音声送信と音声送信の間のすきまは、混雑状態の特徴として、交信内であろうと隣り合う交信と交信の間であろうとかわりなく、平均 0.7 秒の指数分布を幅 s_0 秒で切上量子化した分布に従う [7] とし、これを 1 制御モードサイクルの長さ s_0 秒の場合の制御モードのモデルとする。

(iv) 1 回の音声送信長は、平均 3.2 秒 4 次のアーラン分布に従う [7]。

計算結果は第 3 表に示す通りである。但し

\bar{N} : デマンド区間の前縁で待合せているデマンド数の期待値

\bar{M} : 1 デマンド区間内で受けられるデマンド数の期待値

\bar{L} : 1 つのデマンド区間と次のデマンド区間との間 (音声送信がはさまる場合がある) に生ずるデマンド数の期待値

P_0 : デマンドが 1 回のデマンド信号送信で受けられる確率

である。

$\lambda = 0.02007$ 回 / 秒は、2.2 (3) で述べた東京国際空港アプローチ席における典型的な混雑状態での実測によるパイロット交信要請頻度である。実際はこれに、登録要請が加わるが、同時取扱数 10 機で、アプローチ席により各々 10 分間管制をうけるとすると、毎分約 1 回の登録要請があるから、 λ としては上記の値の倍と考えなくてはならない。従って、1 回で受けられない確率は 2 % 程度と考えなくてはならないが、3 回以上の試みを要する確率は、およそ $(1 - P_0)^2 = 0.04\%$ となるから、2.3 (4) で述べたデマンド・ポーリング併用方式で充分運用することができよう。

デマンド区間で A → G 伝送されるものには、このほか、非制御デマンドバースト、簡易デマンドバーストがあり、これらには、適当な長さの無変調バーストを用いる。

(4) ポーリング区間

制御モードサイクルの長さが 1 秒とすると、以上述べてきたサイクルヘッダとデマンド区間の長さの見積りから、ポーリング区間に 0.7 ~ 0.8 秒を充てることができる。

ポーリング区間は、データ伝送機能を有する送受信機だけが対象なので、受信から送信への切替え時間は、20 ms 程度 (第 2 表) であり、従って柔軟な運用ができる。但し、受信通

報・データを処理して応答するまでに一定の時間が必要であり、その長さによっては、いくつかの機に対する $G \rightarrow A$ 伝送をひきつづいて行い、それに応答する $A \rightarrow G$ 伝送をひきつづいて行うという形態をとることになる。

なお、各データパケットは

〈データパケット〉=〈サブキャリヤプレキー〉・〈パケットプレアンプル〉・〈交信制御通報〉・〈航空機アドレス〉・〈データ〉・〈パリティ〉

という構成を持つ。

プレキーは 20 ms 程度で充分であり、一例としてプレアンプル 2 バイト、交信制御通報 1 バイト、アドレス 3 バイト、とし、データを仮に 10 (20) バイトとすると、後三者を符号化してパリティ 14 (24) バイトを付加する* ならば、パケット長 70 ms (103 ms) となる。

(5) その他のマーカ類

通話モードマーカ、送信終了マーカ、非制御通話モードマーカは、それぞれベースバンドで音声フィルタ帯域以外の正弦波とする。

3. 交信制御方式のシミュレーション [14]

3.1 シミュレーションの目的

第 4 表に、音声・データ共用チャネル方式管制通信システムの設計における環境項目、設計項目、評価項目と、それらの間の関連を示す。

評価項目の内、 a 、 b については、実測と解析により大体の評価を行うことができる。しかし、 $c \sim g$ の項目については、解析が容易でなく、シミュレーションの手段に訴える必要がある。

c 項は、設計した交信制御スケジュールと制御手順が、矛盾なくまた安定な推移特性を示すかどうかを、ロジカルなレベルで評価するものである。

d 項は、パイロットと管制官における交信の為のマンマシンインタフェースが適当かどうかを見る。

e 項は、交信制御スケジュールならびに制御手順と、インタフェースの下に、特定のパイロットと管制官がスムーズに、過大な負担なく交信できるか否かを見る。

f 項は、同時に多数の機が取扱われている状況において e 項を評価しなすものである。

g 項はさらに、伝送路特性の変動の影響をも考慮して f 項を評価しなすものである。

今回、 e 項のレベルの評価を第一義的な目標とし、近似的に f 、 g のレベルの評価もできる形のシミュレーションシステムを構成した。

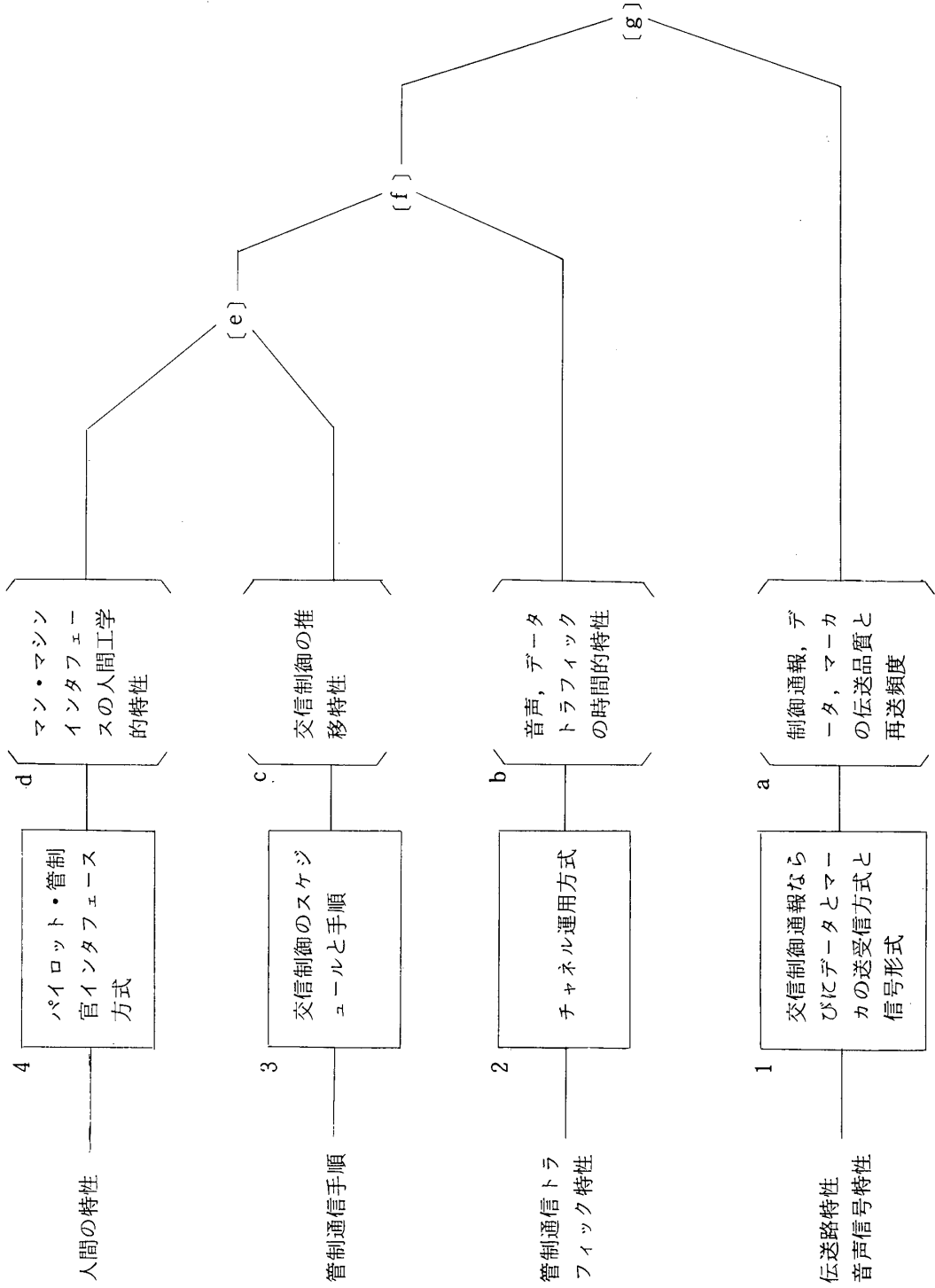
実際 2 名のパイロットに交信上の競合をさせる形態とすることにより、 f 項のレベルに近い評価を行うことができ、またメッセージの非伝達、誤伝達を模擬して、処理を行うことにより g に近い評価ができるように作られている。

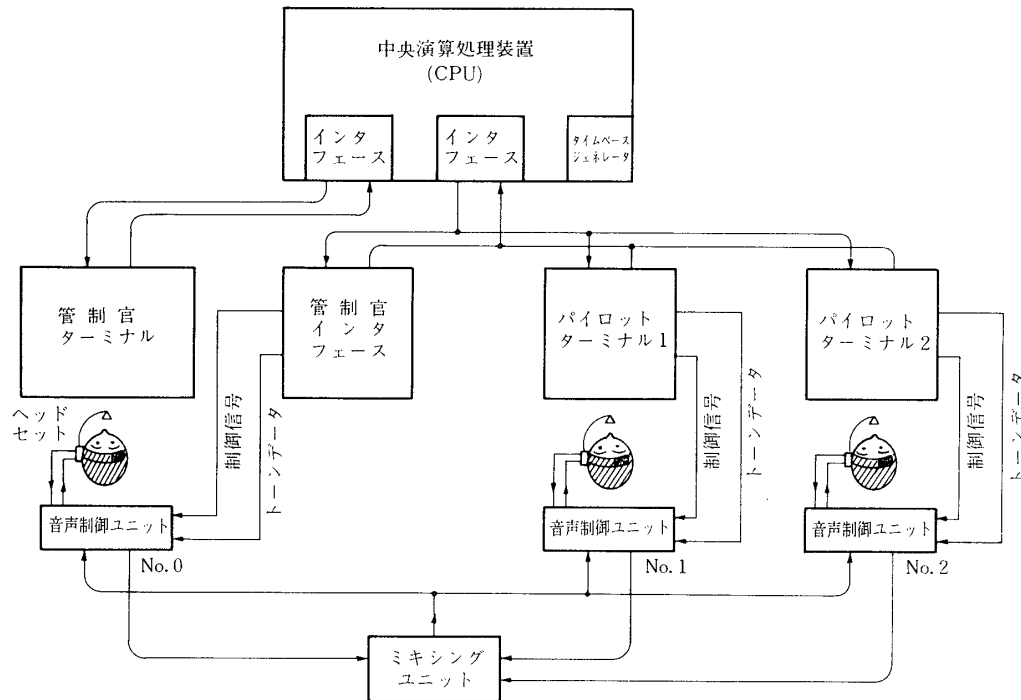
3.2 シミュレーションにおける仮定

上述の評価にとって差支えない範囲でシステムを単純化する為に、次の仮定をおく。

* 伝送速度 1/2 bit/channel bit のたたみこみ符号を想定している。

第 4 表 環境, 設計, 評価の各項目とその間の関連





第 4 図 シミュレーションシステムのハードウェア構成

1. 機上のタイミングは正しく地上に従属する。
2. パイロットターミナル 2 台，管制官ターミナル 1 台が，システムの対象とする端末の全てである。
3. ポーリングは，上述の 2 台のパイロットターミナルだけを対称とし，各制御モードサイクル毎にこの 2 台について一度だけ G→A，A→G 伝送を行う。
4. デマンド区間やポーリング区間の各区間の中での細かいタイミングは考慮しない。

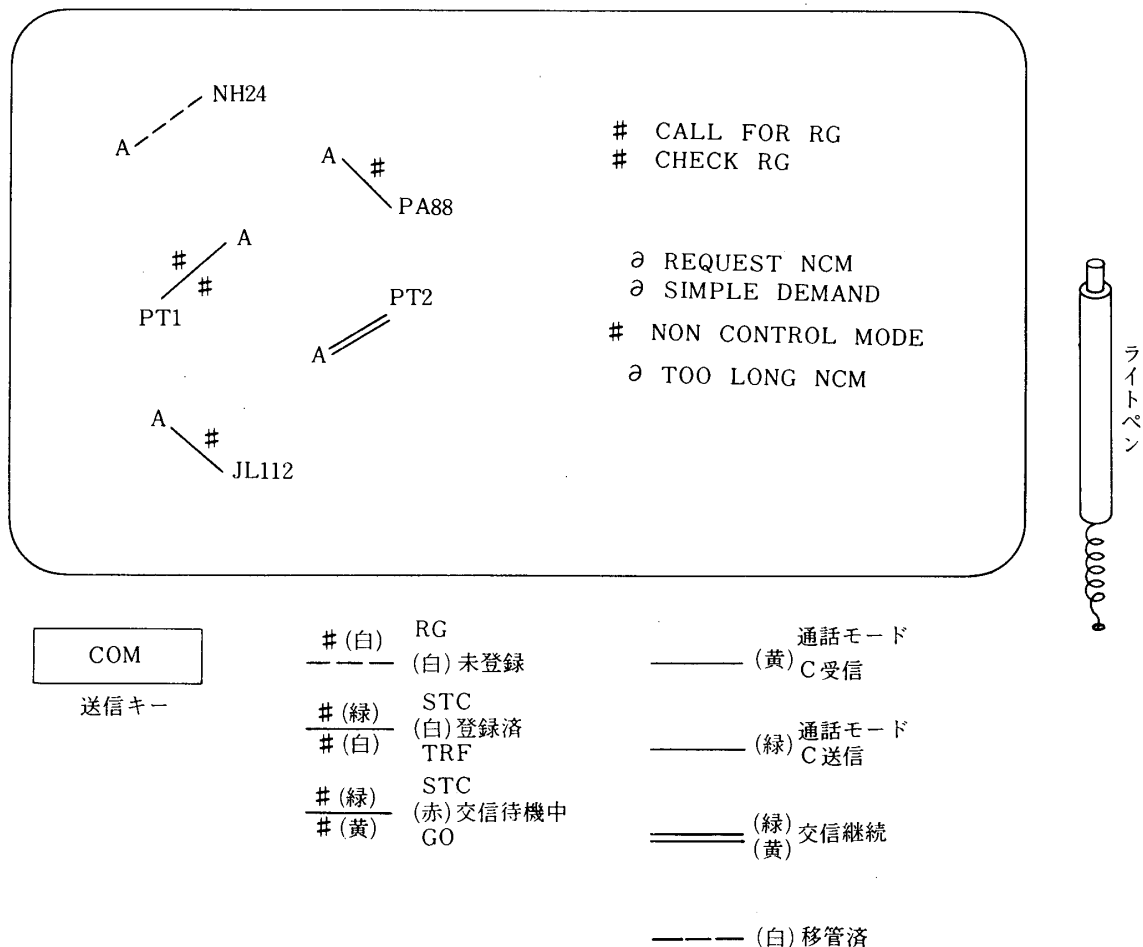
交信制御状態推移とスケジューリングのソフトウェア自体は制御信号の伝達誤り，非伝達，衝突などの順当でない受信のあらゆるケースを処理するようにつくられており，このような順当でない送受信を含むモデルを送受信モジュールに組み込みさえすれば，そのような場合の評価ができる。

3.3 シミュレーションシステムの構成

シミュレーションシステムのハードウェア構成を第 4 図に示す。

同図の中央演算処理装置（以下 CPU と略す）に置かれたタイムベースジェネレータは，シミュレーションのタイミングスケジュールの基準となるタイマであって，シミュレーションモニタプログラムによって適時，参照される。

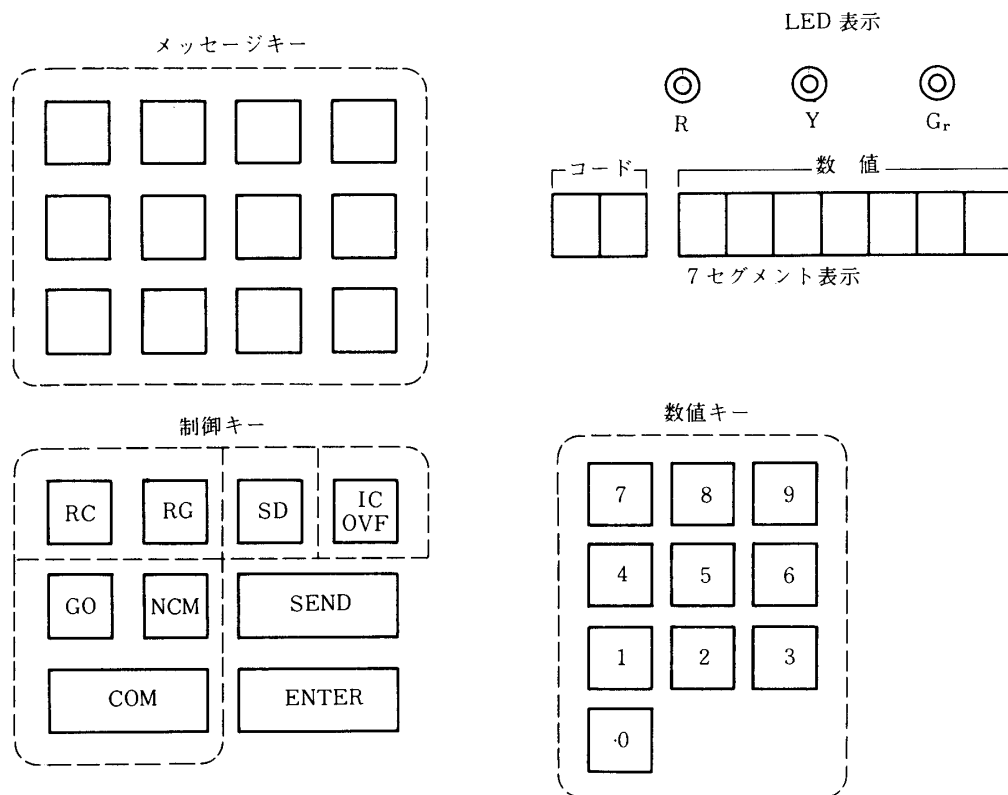
インタフェースを介して CPU につながれた 1 台の管制官ターミナルと 2 台のパイロット



第5図 管制官ターミナルのパネル

ターミナルの前には、それぞれ、模擬管制官、模擬パイロットが座り、第5、6、7図に示すパネル面のキーもしくはライトペンで入力操作を行い、表示を見る。一方、各人は、イヤピースとマイクロホンから成るヘッドセット（第7図参照）を装着し、ミキシングユニットを通して互いに音声交信を行うことができるが、各人の送受信の可、不可は、それぞれのターミナル/インタフェースからの制御信号によって働く音声制御ユニット（第8図）によって制御される。さらにターミナル/インタフェースからは、必要に応じて交信制御の状態を示して注意を喚起するトーンパターンが音声制御回路を介してイヤピースに送られる。

さて、各ターミナルには、マイクロプロセッサが組込まれているが、CPUと各ターミナルとの間の仕事の分担は、次のようになっている。即ち、各ターミナルは、パイロットもしくは管制官の行うキーあるいはライトペンによる入力操作を受け付けることおよび彼らに対する表示、トーンパターンおよび音声制御信号を出力する部分のみを受持つ。そして実際の機上、地上装置において交信制御を管理する頭脳的部分ならびに、機上装置と地上装置の間の交信制御通報のやりとりについては、全てCPUに受持たせている。



第 6 図 パイロットターミナルのパネル面

3.4 管制官とパイロットに対するインタフェースと交信手順

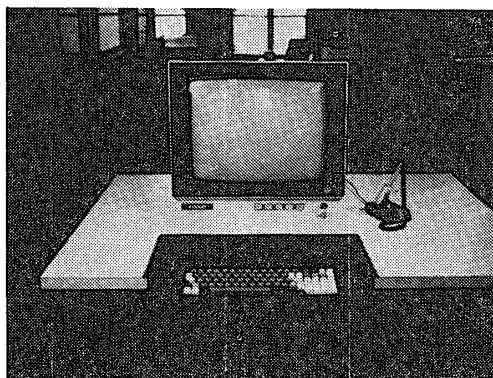
管制官ターミナルのパネル（第 5 図）において、各機毎に対する登録呼掛 RG，交通開始 S TC，移管 TRF，交信許可 GO の各入力，デジタル表示のレーダスコープをまねた CRT 表示上の当該機のタグリーダ（その色が交信制御状態を示す）の傍にある #（これに触れると受け付けられて \emptyset にかわる）又は \emptyset （これに触れると取消されて # にかわる）をライトペンで触れることによって行われる。

非制御モード NCM 入力と登録呼掛，および，登録機チェックを名指しをせずに指示する為の表示がある。

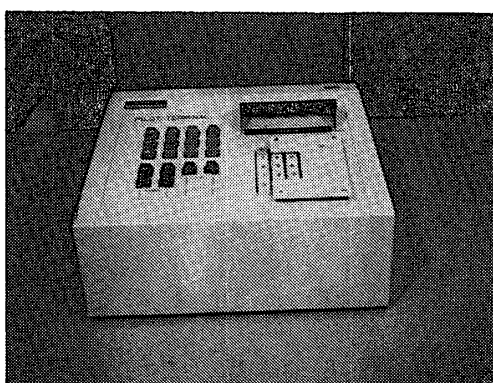
送信 COM に関しては，送信キーが設けられ，交信開始のときは，当該機の表示の指定部分（#）にライトペンで触れ（# が \emptyset にかわる）た後，送信キーを押す。キーを離せば一旦交信継続になるが，次からは送信キーを押すだけで話が始められる。

交信制御状態自体は，タグリーダの色表示により示される。

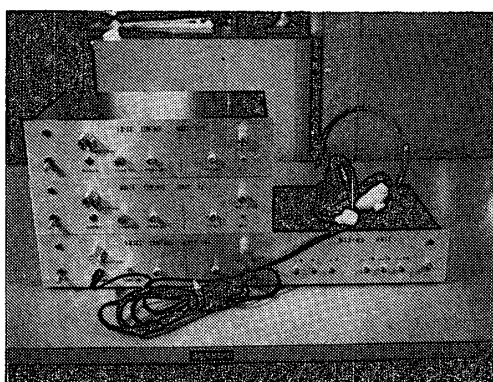
パイロットターミナルのパネル（第 6 図）において，交信要請キー RC，登録要請キー RG，および，簡易デマンドキー SD は，押せば点燈して受け付けられ，点燈しているとき押せば消燈して取消となる。一方，送信キー COM，交信聴守キー GO，非制御モードキー NCM の 3 つは，押している間だけ受け付けられ，離すと取消される。



(1) 管制官ターミナル

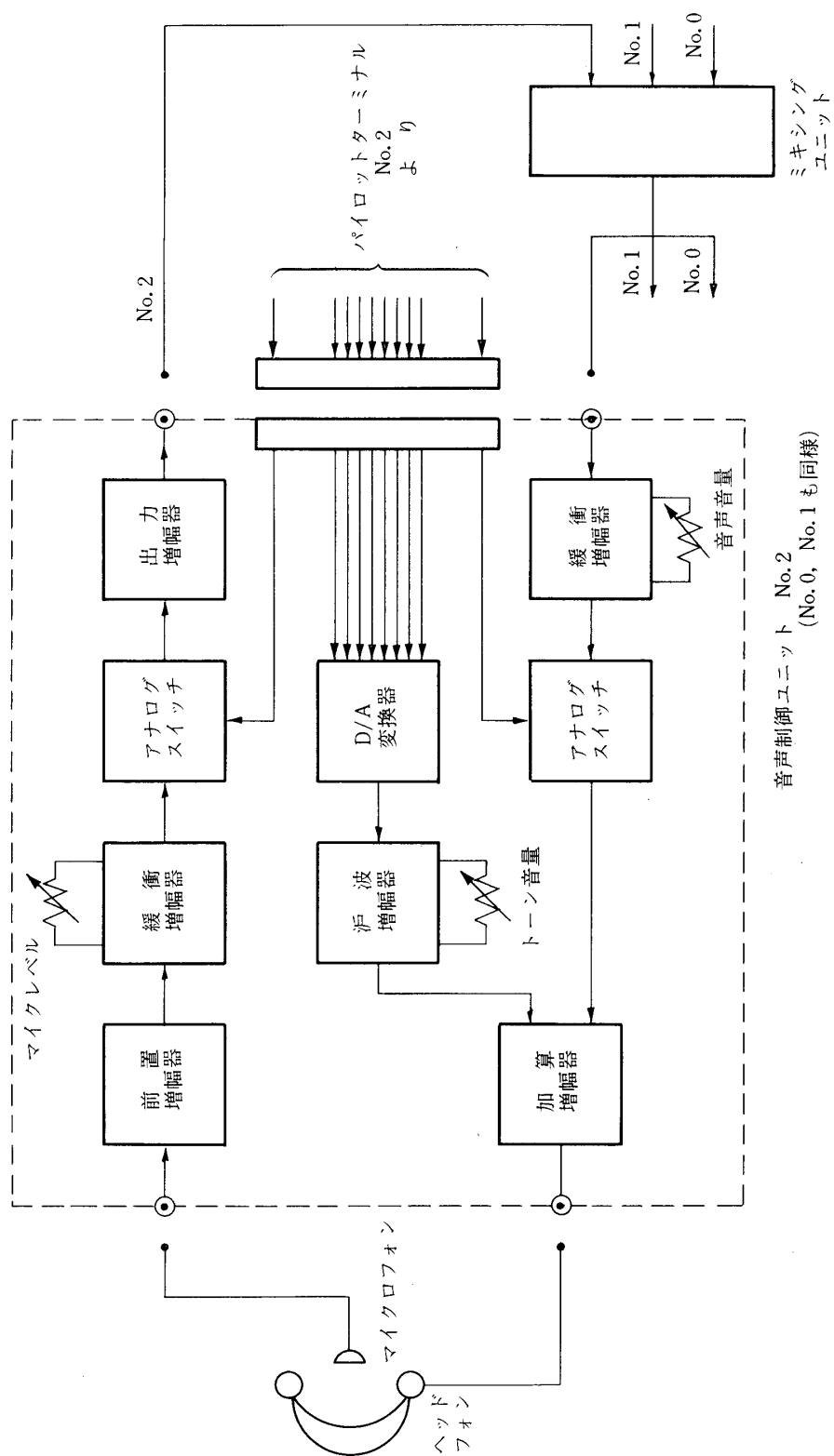


(2) パイロット・ターミナル



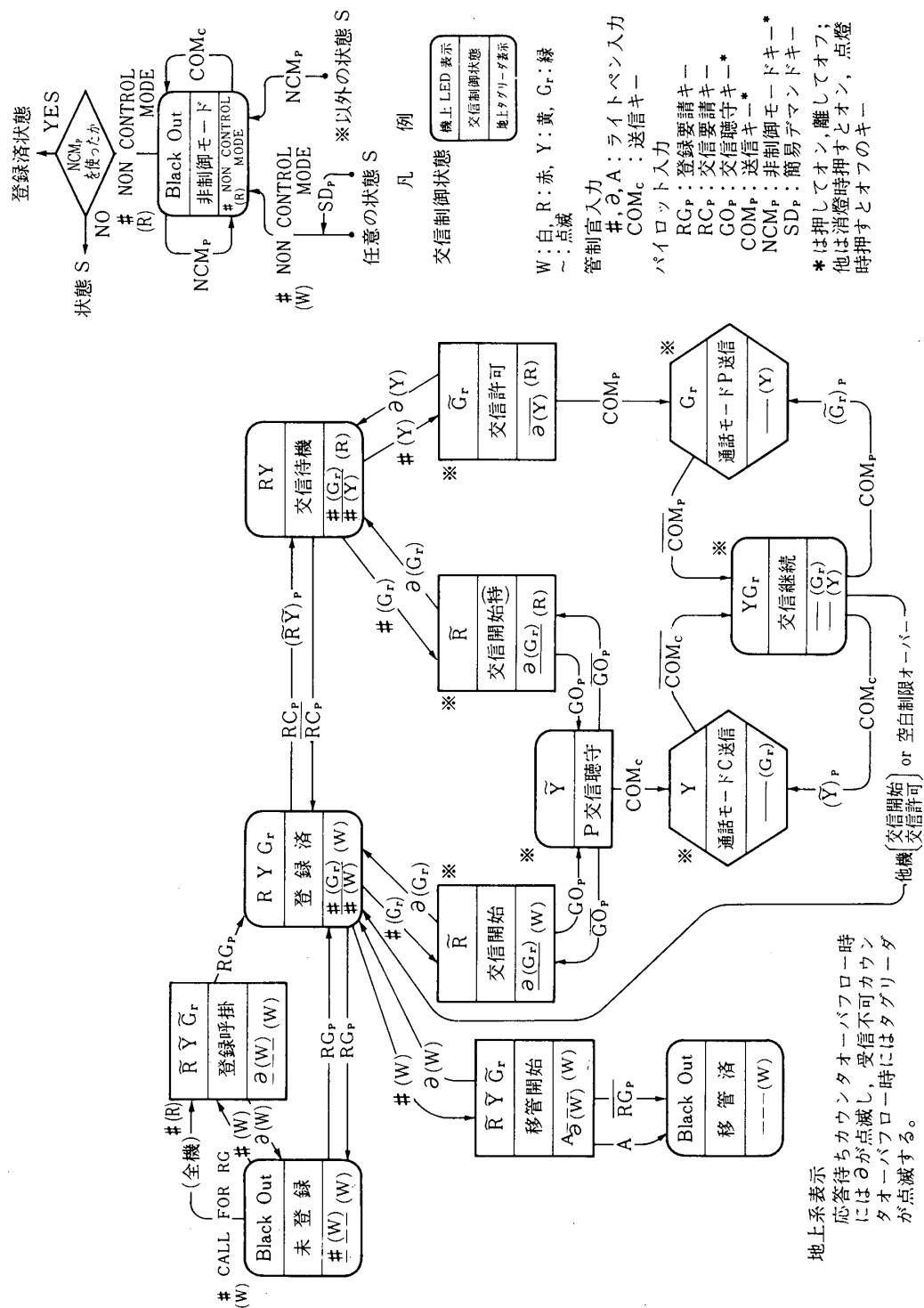
(3) 音声制御ユニットとヘッドセット

第7図 管制官とパイロットに対するインタフェース



音声制御ユニット No. 2
(No. 0, No. 1 も同様)

第 8 図 音声制御回路



第9圖 交信手順

その交信状態は、R (赤), Y (黄), Gr (緑) の 3 色の LED 表示のオン, オフと点滅の組合せで示される。メッセージキー, 数値キー, および 7 セグメント表示は, 将来, 音声交信のバックアップとして, キー入力による管制通報の伝達の試みを行うことができる為に設けられている。

音声制御ユニット (第 8 図) の送信側は, 当該ターミナルが通話モードにあるときにのみミキシングユニットへの送出を許可し, それ以外では禁止する。受信側は, 原則としては常にオンであるが, 制御状態に応じて, ターミナルのマイクロプロセッサで発生させられたトーン信号の PCM コードが送られてきて DA 変換され, 受信回路に加えられる。

以上のようなインタフェースを用いて, パイロットと管制官が 2.1 に述べたところに従って行う交信手順を第 9 図に示す。

3.5 シミュレーションのタイミングスケジュール

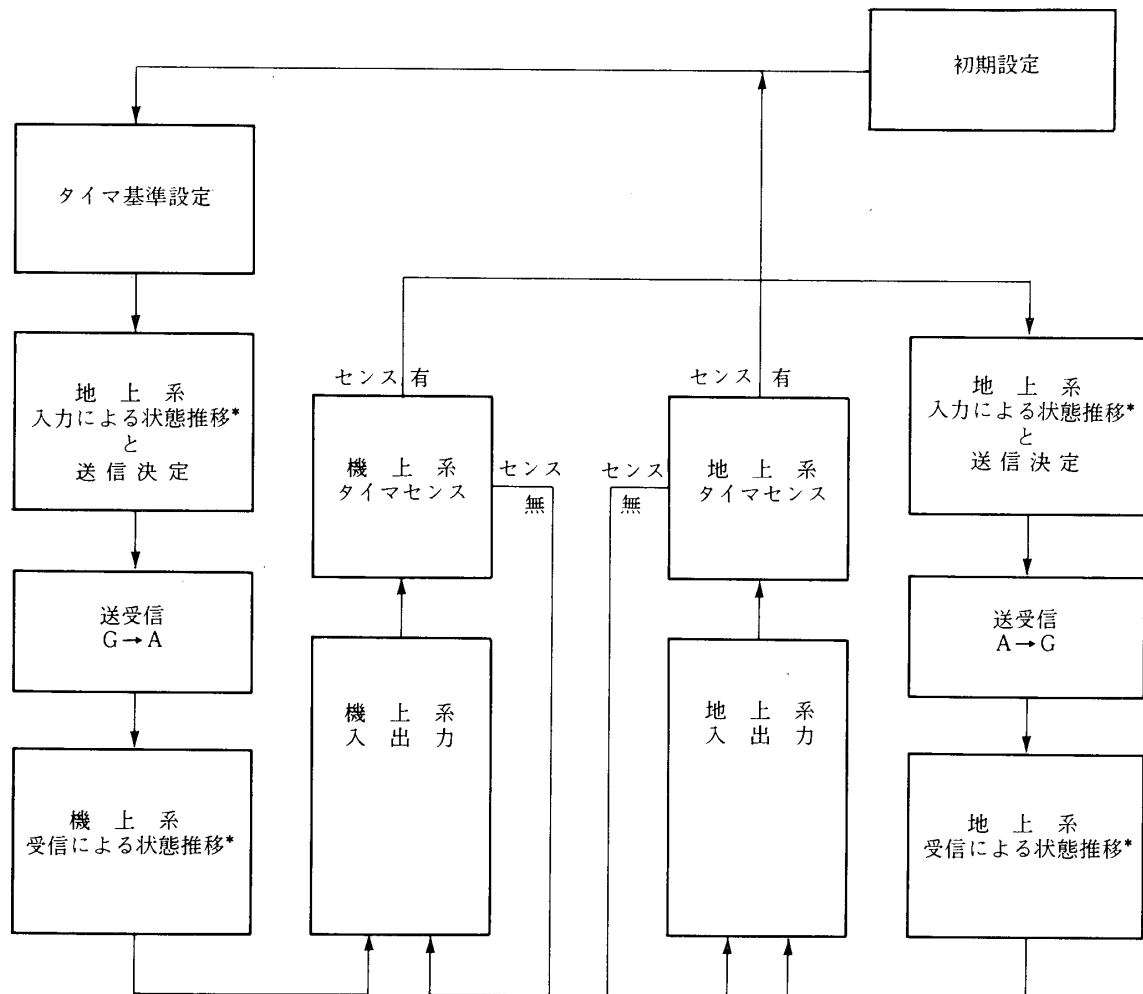
先に 3.2 で置いた仮定により, 今回のシミュレーションのタイミングは, 大まかなタイムセンス方式によって進行させることが可能である。すなわち, デマンド区間, ポーリング区間, 通話モード, 非制御モードのいずれにおいても, 制御通報あるいはマーカの G→A 送受信の直前で, タイムベースジェネレータ (以後タイマと称す) を参照してタイミングの基準を設定し, G 側送信準備, G→A 送受信, A 側受信処理を行った後, 適当なタイミングをセンスして, A 側送信準備に入り, A→G 送受信, G 側受信処理後, 次の G→A 送信のタイミングがセンスされるのを待ち, 指定された時刻がセンスされたらタイミング基準を設定し直し, 以上をくりかえす。

通話モードであっても, A, G, いずれか一方からはマーカが送られ, 他方ではこれを受信処理する必要がある。このモードでは現実には逆方向の送信はないけれども, やはり上述の手順で進める必要がある。但し, G→A~A→G のサイクルのタイミングは, 制御モードにおけるように現実のシステムの条件から与えられるのではなく, シミュレータの能力から決まってくる最小の時間幅で進められる。

さて, シミュレータにおいては, 上述の送信, 受信処理のほか, ターミナルと CPU との間の入出力 (I/O) スキャンを行わなくてはならない。この I/O スキャンは, 管制官, パイロットの全てのターミナルについて, 地上あるいは機上の交信制御状態を参照しつつ, 受け付け可能な入力操作を受け付けて CPU メモリにとりこみ, 受け付けたことを示す表示と, 交信制御状態を示す表示をターミナルに出力する。(音声制御は, この交信制御状態表示出力に基づいてターミナル/インタフェースが行う)。

従って, I/O スキャンは, できる限り頻繁に行う必要があるが, 上述のシミュレーションタイミングスケジュールの中で, 少なくとも 1 回の I/O スキャンを行う必要があるのは機上系については A 側受信処理の後, A 側送信準備の前までの期間, 地上系については G 側受信処理の後, G 側送信準備の前までの期間である。そこで, このそれぞれの期間において, 予め指定される送信準備のタイミングがセンスされるまでの間, I/O スキャンをくりかえすという方法を採用する。

I/O 入力によって交信制御状態を変えるのは, A 側も G 側もそれぞれ送信準備のタイミングがセンスされた直後に行われ, その結果に従って送信通報が準備される。



* 状態推移にはスケジューラ状態推移と交信制御状態推移とがある。

第10図 シミュレーションの流れ図

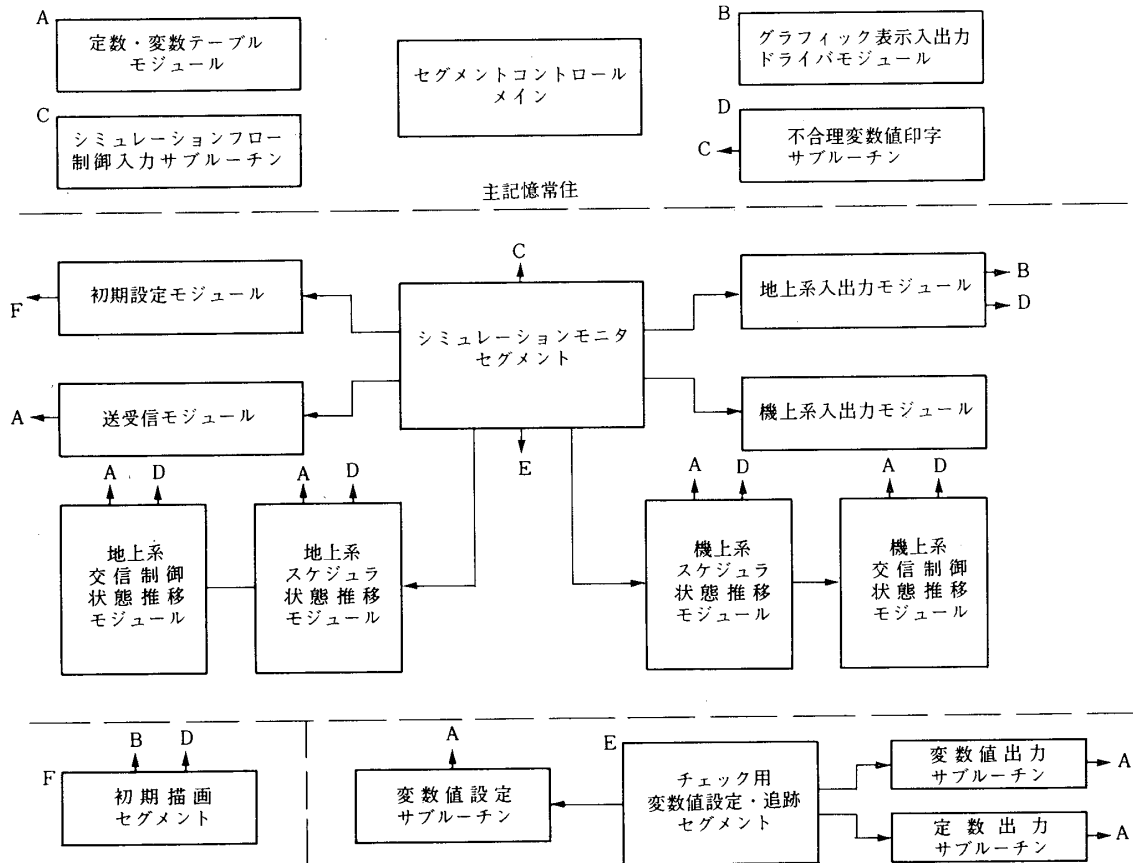
以上の考えに基くシミュレーションの流れ図を第 10 図に示す。

3.6 シミュレーションソフトウェア

3.3 で示した構成のシミュレータにおいて、CPU に置かれて模擬的な交信制御を実行するシミュレーションソフトウェアについて述べる。

(1) シミュレーションソフトウェアの構造

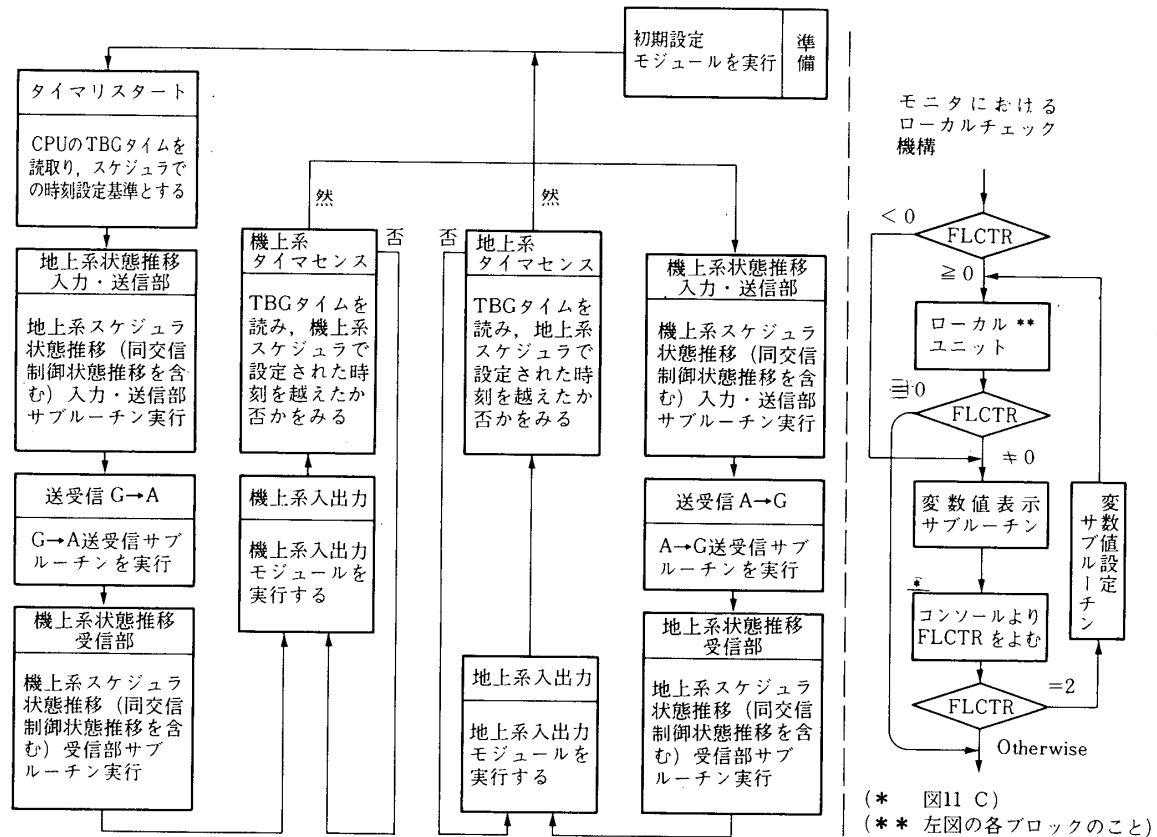
シミュレーションソフトウェアは、第 11 図のような階層構造をもち、リアルタイムでシミュレーションを行う「シミュレーションモニタセグメント」、オフラインで管制官パネルの描画を行う「初期描画セグメント」、オフラインチェックを行う「チェック用変数値設定・追跡セグメント」の 3 つのセグメントにわかれている。ディスクに格納された、これらの



第11図 シミュレーションソフトウェアの構造

セグメントは、「セグメントコントロールメイン」プログラムによって、主記憶に呼出され、実行される。「セグメントコントロールメイン」プログラムには、複数のセグメントにより参照されるテーブル類その他が従属し、つねに主記憶中におかれる。シミュレーションモニタセグメントは、リアルタイムシミュレーションの流れを管理するプログラムであり、これに対しては地上系、機上系のそれぞれにおいて通信制御スケジュールを管理するスケジューラモジュール、地上と機上間の制御通報の送受信を模擬する送受信モジュール、そして、管制官ターミナルおよびパイロットターミナルとCPUの間の入出力を扱う地上系ならびに機上系入出力モジュール、さらに、初期設定用のモジュールが従属し、モニタプログラムによって呼び出されて実行される。

他方、地上系(機上系)スケジューラモジュールは、その仕事の一部として、地上系(機上系)通信制御状態推移モジュールによる通信制御状態推移の実施をその仕事の一部として含む。初期設定モジュールは、その仕事の一部として、初期描画セグメント(セグメントコントロールプログラムで呼ぶ)による管制官パネルの描画を行う。



シミュレーションモニタは、また必要に応じ、セグメントコントロールプログラムを通じてチェック用セグメントを呼出すことができる。

(2) シミュレーションモニタ

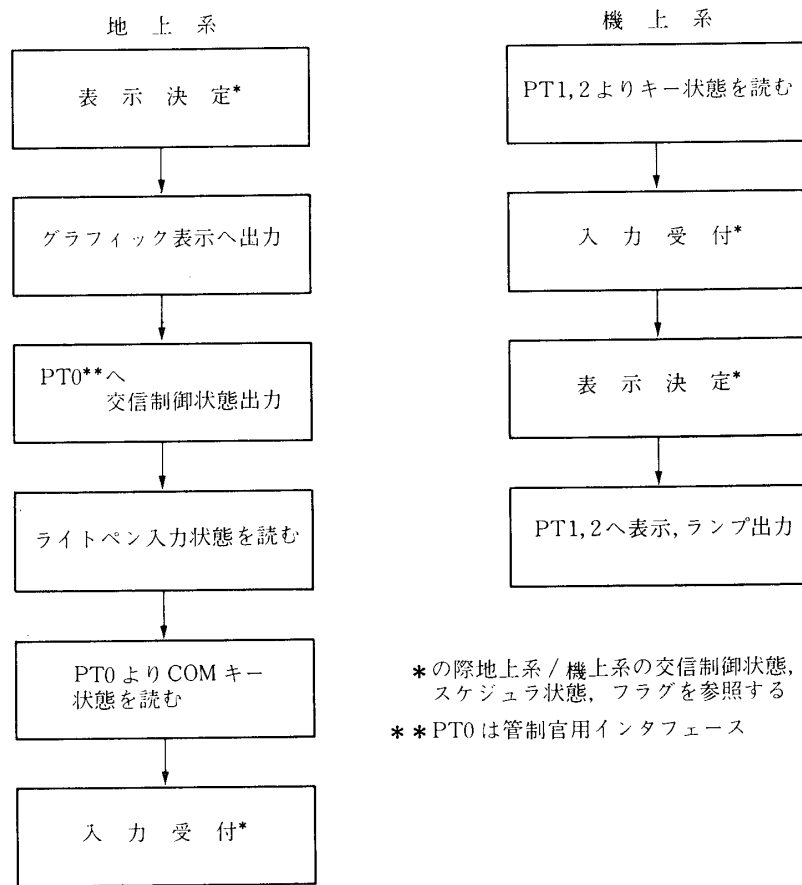
シミュレーションモニタプログラムの流れ図を第12図に示す。これは、3.5に述べたタイミングスケジュールに従って、下位モジュールを呼出す形で実現したものである。

(3) 入出力モジュール

第13図に入出力モジュールの流れ図を示す。最も問題になるのは、管制官とパイロットによる入力操作の受付方式であって、次のように設計されている。

○ 管制官ターミナルの場合

多くの機を扱うので、機別入力操作は即決タイプとし、入力操作自体は入出力モジュールによるスキャンでCPUに取込み（暫定受付表示を伴う）、その後の「入力による状態推移」で受け付けが確定したとき、新しい状態をタグリーダーの色で示すことで受付表示に代える。但し、通話モード終了ないし非制御モード終了の直後においては、機別入力操作は受け付けられない（2.3. (5). (6) 参照）



第13図 入出力モジュールの流れ図

パイロットターミナルの場合と異なり、取込まれた入力操作に対し「入力による状態推移」が通話モード終了後に持越されるというような事態は生じないから、受付確定までの遅延は、最大で1制御モードサイクル分である。

○ パイロットターミナルの場合

交信要請RC、登録要請RGの2つのキーについては、CPUに取込まれた入力操作に対し、「入力による状態推移」が、他機通話モード終了後に持越されるということがあり得るので、「入力による状態推移」ではじめて受付を確定する方式は、よくない。

従って、RC、RGキーについては、一定範囲の受付可能な状態において、入出力スキンの最中に受け付け、受付表示を行う。この場合、受け付けられたにもかかわらず、Cの入力操作により、Pの入力操作と合わない指示が来ることが考えられるが、実際には、再質問時や通話モード終了時あるいは非制御モード終了時には2.3(2),(5),(6)に述べたことに従って必ずPの入力操作を問い合わせるように設計されているから、このようなことはない。但し、通常の制御モードの場合、RCキーについては、一旦受け付けられて「交信要請」あるいは「交信待機」状態になった後、RCオフキーを受け付け

てその直後に交信許可が来ると混乱するので、その点を配慮する必要がある*。

一方、送信 COM、送信聴守 GO の 2 つのキーについては、自機が通話モードに入るところなので上述した問題点はなく、「入力による状態推移」で受け付けを確定する方法がよい。

非制御モード NCM キーについては、緊急のことゆえ、確実に受け付けられるまで押しつづけるのであり、その受け付けは、交信制御スケジューラモジュールの中で行われる。

(4) 送受信モジュール

第一段階のシミュレーションにおける送受信モジュールでは、伝達誤りや非伝達を考慮しないが、デマンドの衝突や、非制御デマンドバーストの優先扱いを含んでいる。

(5) 地上系スケジューラモジュール

地上系スケジューラモジュールの流れ図を第 14 図に示す。(略記は第 18 図参照、以下同様)

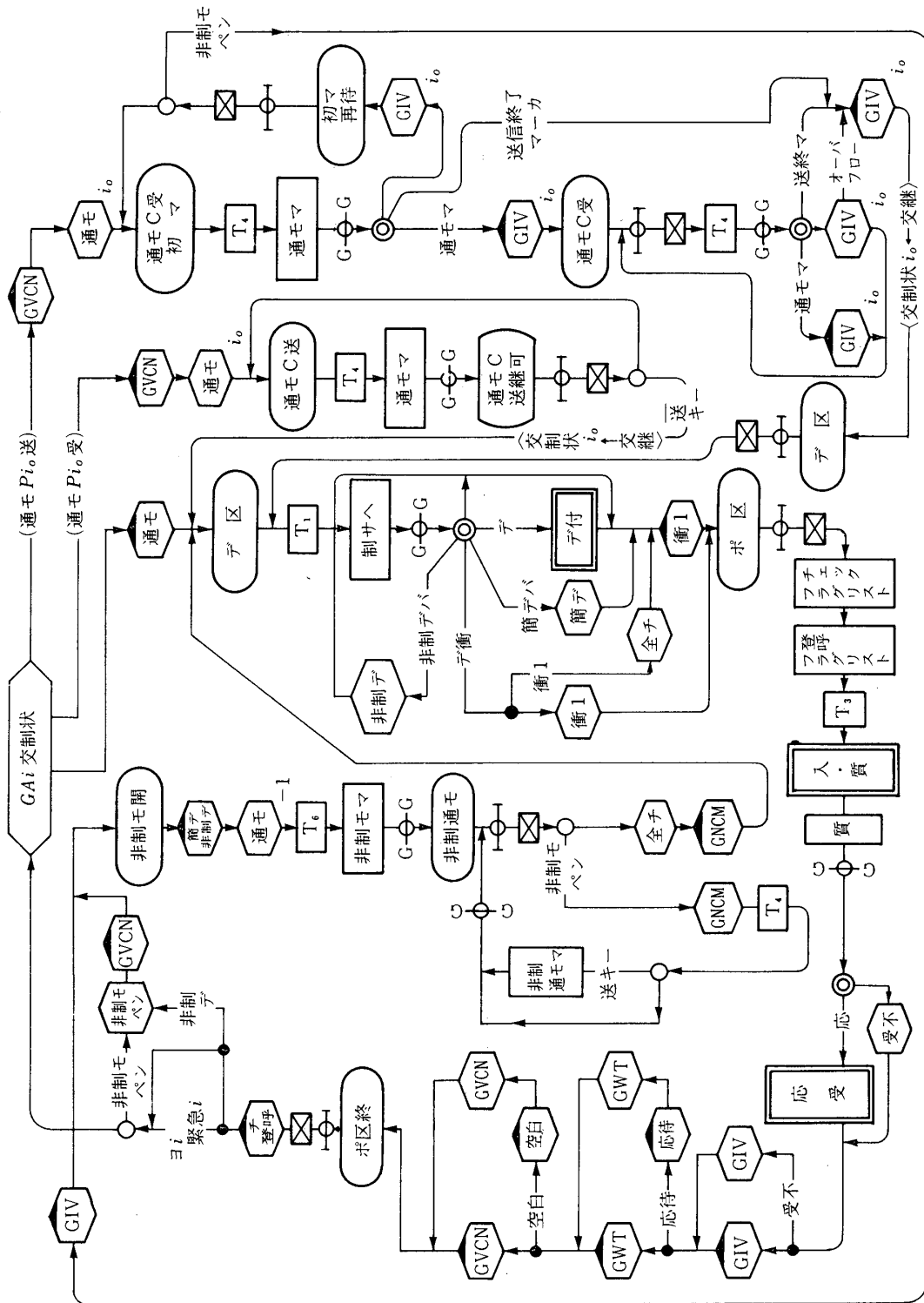
このモジュールは、3.6 (1) に述べたように、地上系(取扱機別)交信制御状態推移モジュールを従えている。そして、2 つのパイロットターミナルのそれぞれを制御する模擬機上システム A1, A2 に対応した地上システム内のイメージ GA1, GA2 の交信制御状態推移を、この下位モジュールを参照して実行する。この推移モジュールの状態推移図を第 15 図に示す。

さて、地上系スケジューラモジュールにおける大きな分岐点は、制御モードサイクルの 1 つのポーリング区間が終了した後、入力・送信部において管制官による入力操作に基づく GAi の状態を決定し了えたところにある。ここで、GAi の現状態如何によって、次のように分岐して進行する。

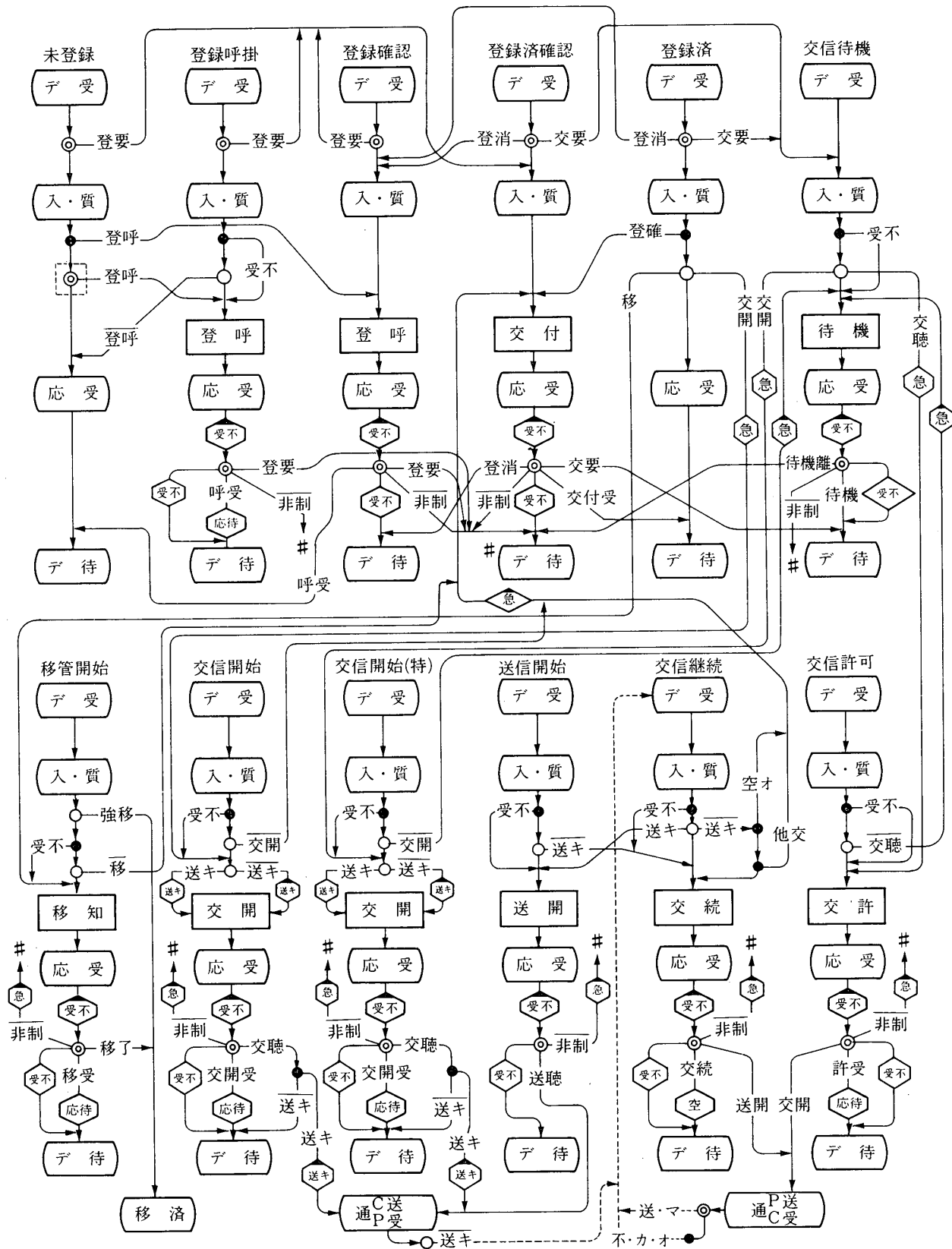
- (イ) ある GAi で「通話モード Pi 送信」—このとき、スケジュールは「通話モード C 受信初期マーカ」状態となり、通話モードマーカを全機宛放送する。これに対して同マーカが Ai → GAi と戻ってくれば「通話モード C 受信」に入り、送信終了マーカが受かるまでこの状態にあり、それが受かれば次は「デマンド区間」である。
- (ロ) ある GAi で「通話モード Pi 受信」—このときスケジュールは「通話モード C 送信」となり、通話モードマーカをくりかえし全機宛放送しつづけるが、送信 (COM) キーがオフになれば、次は「デマンド区間」である。
- (ハ) GAi のいずれもが上記状態以外の状態にある—これは、GA1, GA2 が共に制御モードにあることを意味し、早速「デマンド区間」となる。

「デマンド区間」では、制御サイクルヘッダを全機宛放送する。その結果、非制御デマンドバーストが受かれば、非制御デマンドフラグを立てる。それ以外のデマンドが受かるかあるいは受からない場合、それに応じた GAi の状態決定が行われ、2 回以上デマンドの衝突が検知されれば、登録機リストに従って、全機ポーリングの準備をし、いずれの場合も、次は「ポーリング区間」となる。

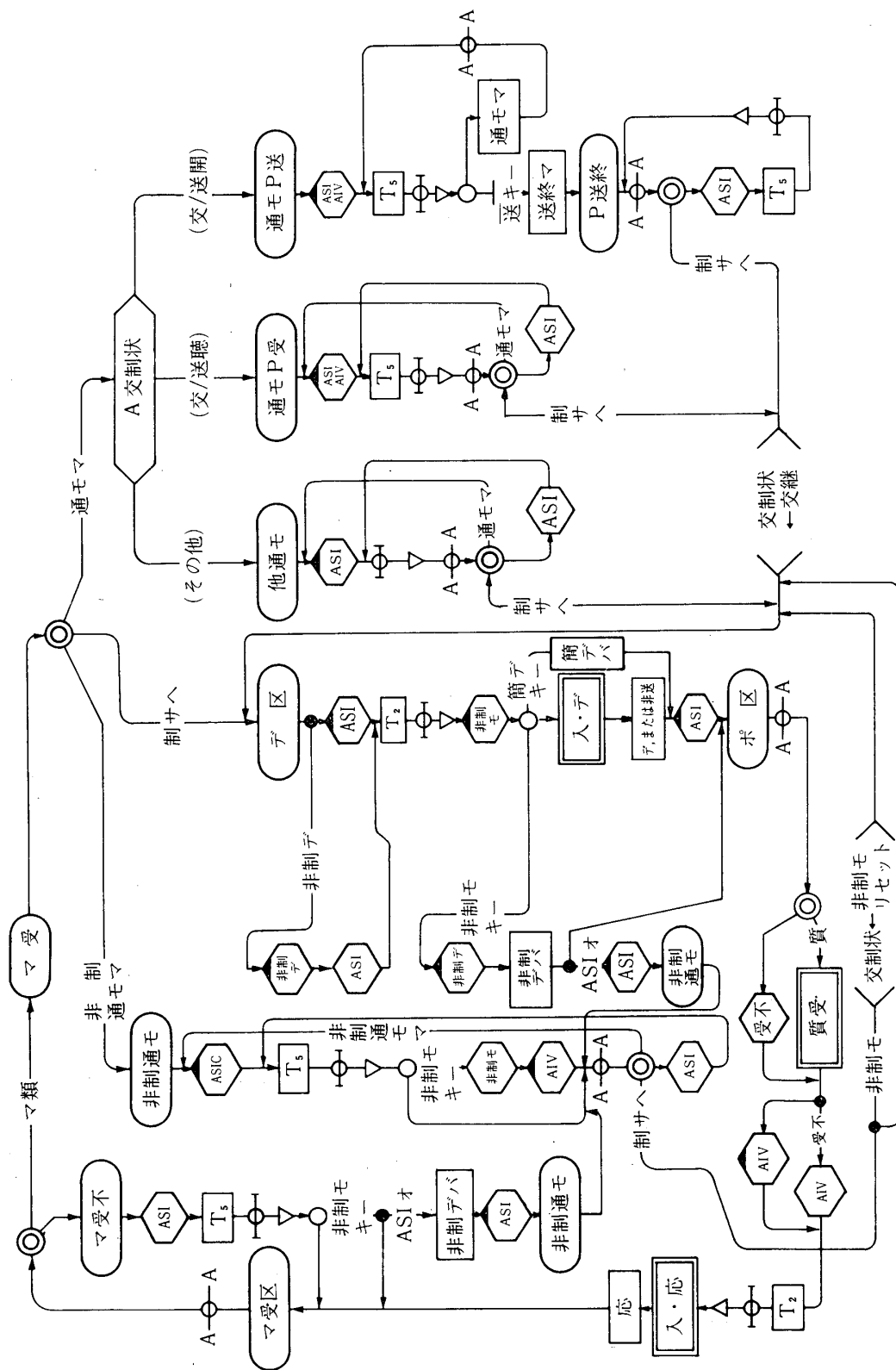
* ポーリングへの応答終了から次のポーリング質問受信までの間、この 2 状態では、RC キー受付を禁ずる。



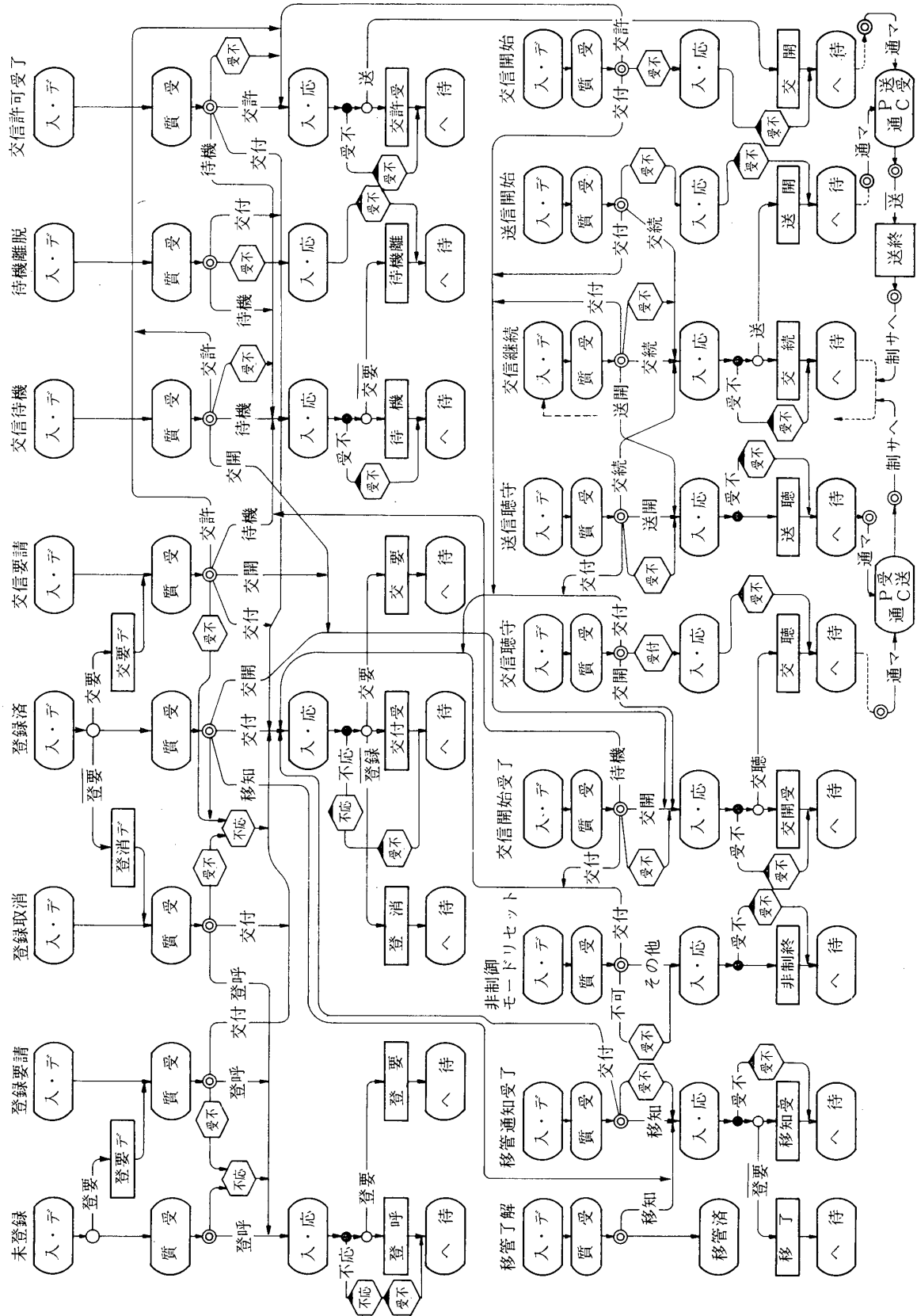
第14図 地上系スケジューラモジュール



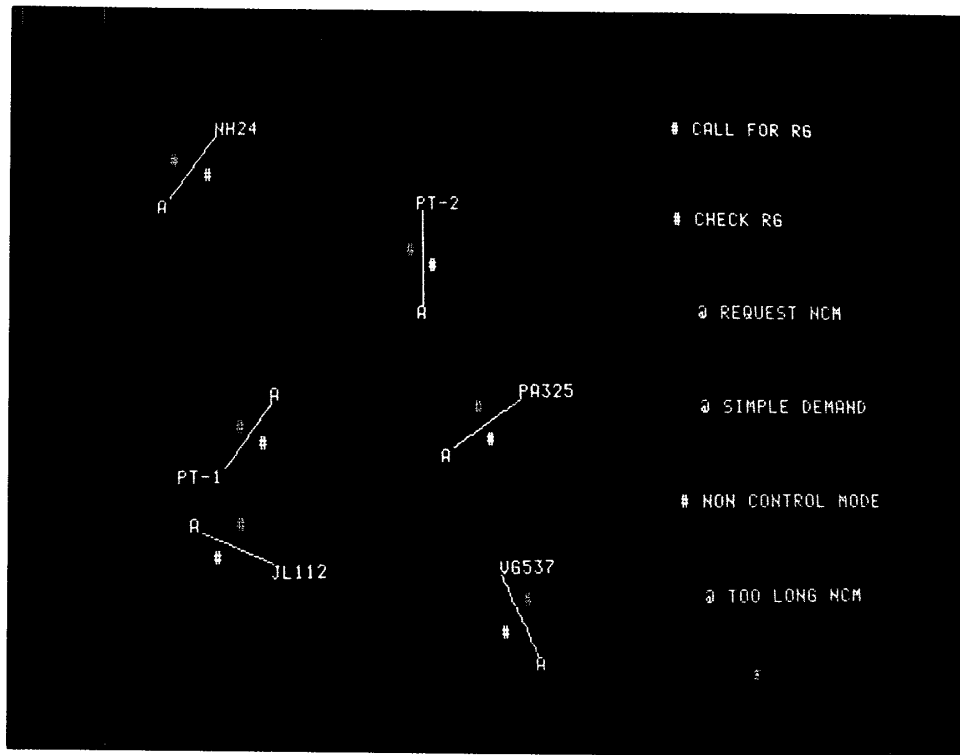
第15図 地上系交信制御状態推移



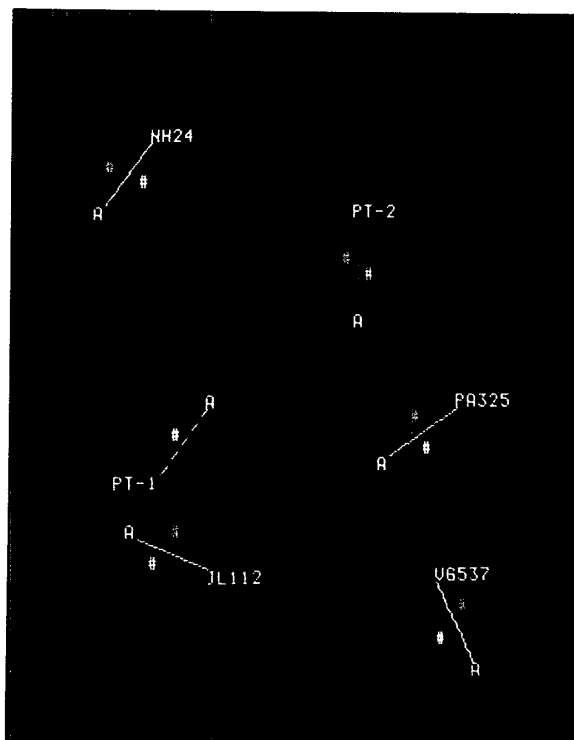
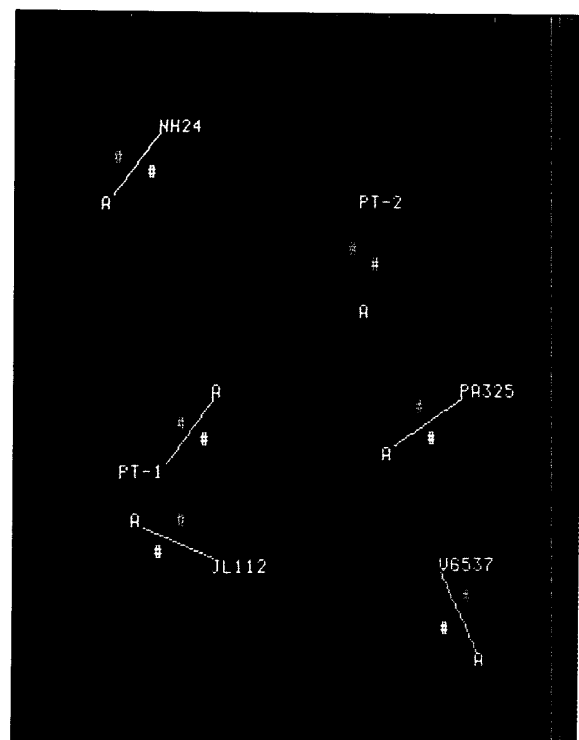
第16図 機上系スケジューモジュール



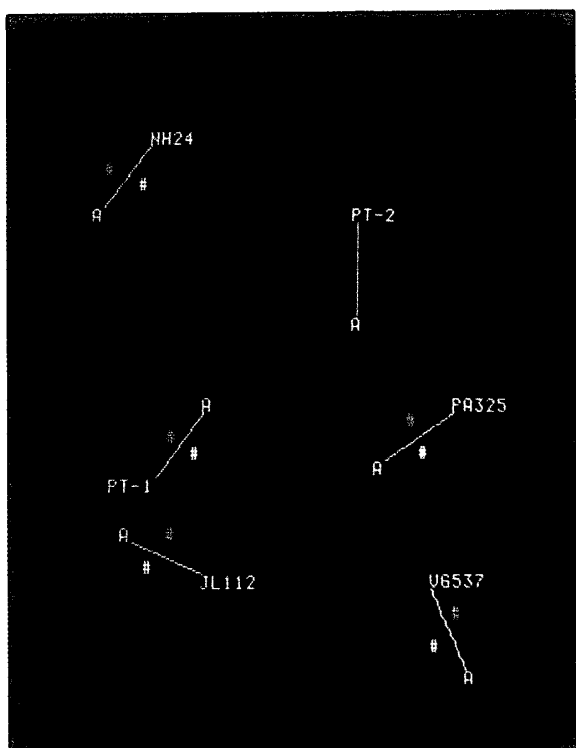
第17図 機上系交信制御状態推移



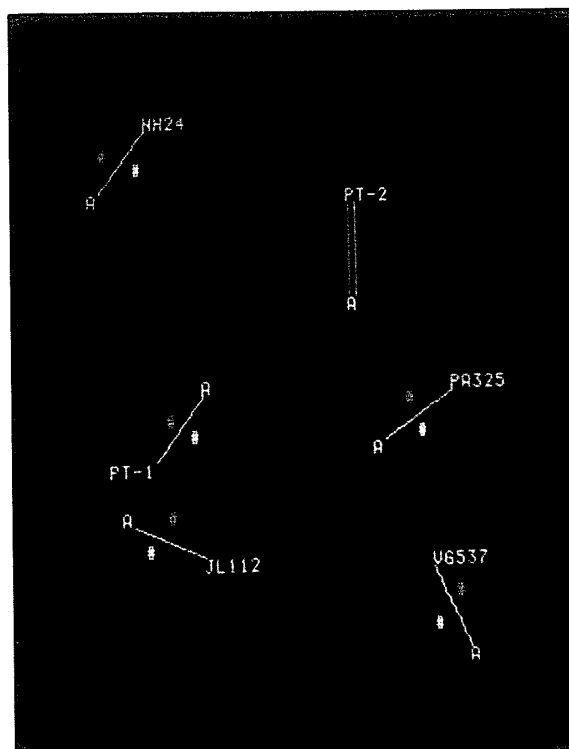
全機登録済


 PT-1 未登録
 PT-2 交信待機

 PT-1 登録済
 PT-2 交信待機

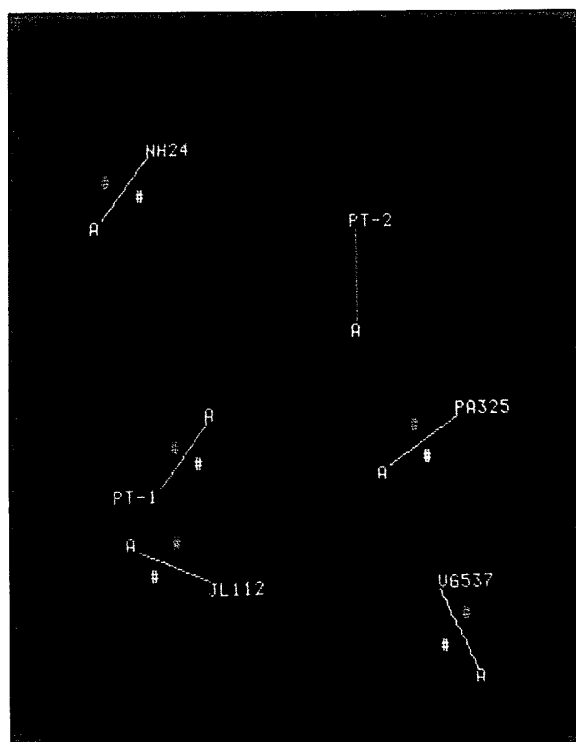
第19図 シミュレータ管制官パネル表示例



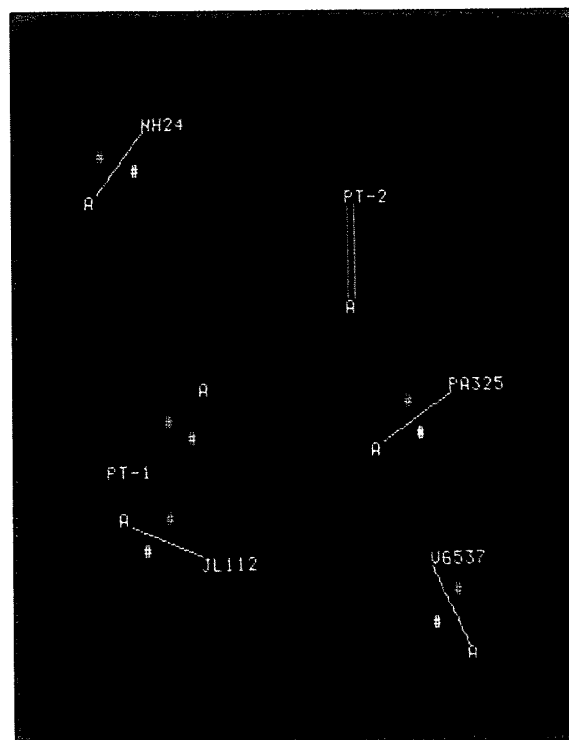
PT-1 登録済
PT-2 通話モードP送信



PT-1 登録済
PT-2 交信継続



PT-1 登録済
PT-2 通信モードC送信



PT-1 交信待機
PT-2 交信継続

「ポーリング区間」では、まず、管制官入力操作を参照し、 G_{Ai} 状態を推移する。次いでポーリング質問を決定して送出し、それに対する A_i からの応答をもとに G_{Ai} の状態を決定する。この際、合理的な通報が受からないときには受信不可フラグ、パイロットからのマニュアルな応答を期待していて得られないときは応答待ちフラグを立てる。そして、スケジューラは、前回につづいてフラグが立つ時に限って、それぞれ受信不可カウンタ (G_{IVi})、応答待ちカウンタ (G_{WTi}) で数え、これで「ポーリング区間終了」となる。受信不可フラグが立ったときは、これにつづく「入力による G_{Ai} 状態推移」を行わない (2.3 (3) 参照)。なお、 G_{IVi} , G_{WTi} が一定の閾値を越えるとオーバーフローフラグが立ち、表示出力される。

このほか、「通話モードC受信初期マーカ」において、 A_i から通話モードマーカがなかなか戻らないとき、管制官入力で非制御モードへ移行するケースがあり、さらに、任意の「ポーリング区間終了」状態から、非制御モード入力 (NCM) 操作により、非制御モードへ入ることができる。非制御モードからぬけ出るのは、管制官が、NCM オフ入力操作をしたときである。

(6) 機上系スケジューラモジュール

機上系スケジューラモジュールの流れ図を第 16 図に示す。

このモジュールは 3.6 (1) に述べたように、機上系交信制御状態推移モジュールを従えており、模擬機上システム A_1 , A_2 の交信制御状態推移を、この下位モジュールを参照して実行する。機上系交信制御状態推移モジュールの状態推移図を第 17 図に示す。

さて、機上系スケジューラモジュールにおける大きな分岐点は、ポーリング区間終了後、マーカ類を受信したところにあり、受信したマーカによって、次のように分岐して進行する。

(イ) 通話モードマーカが受信された場合—そのときの交信制御状態によって、次のように分かれる。

(イ) - 1. 「交 / 送信開始」—このとき、スケジューラは、「通話モードP送信」となり、送信キーがオンである限り、くりかえし、通話モードマーカを送出しつづける。送信キーがオフになれば、送信終了マーカを送出して、スケジューラは「P送信終了」となり、制御サイクルヘッダを待って、これが受かれば、「デマンド区間」となる。

(イ) - 2. 「交 / 送信聴守」状態—このときスケジューラは「通話モードP受信」となり、制御サイクルヘッダが来るまでこの状態にあるが、通話モードマーカが長いこと受からないと警告のフラグが立つ。制御サイクルヘッダが受かったら「デマンド区間」である。

(イ) - 3. その他の状態—このときは「他機通話モード」であって、(イ) - 2 と同様、通話モードマーカの受信のチェックをしつつ、制御サイクルヘッダが来れば、「デマンド区間」である。

(ロ) 制御サイクルヘッダが受信された場合—このときは「デマンド区間」であって、デマンド区間に入ったことによる交信制御状態推移を行う。もし、ここで非制御モードキーがオンであれば「非制御デマンドフラグ」を立て非制御デマンドバーストを送信する。また、簡易デマンドキーがオンならば、簡易デマンドバーストを送信する。これらのいずれもオフであれば、他のキー入力による交信制御状態推移を行い、送るべきデマンドがあれば、これを送信し、スケジューラは「ポーリング区間」となる。ポーリング区間では、質問

受信による状態推移を行い、合理的通報の受からないときは、受信不可フラグを立てる。そして、スケジューラは、前回に続いてフラグが立つときには、受信不可カウンタ (AIVi) で数え、さらに入力による状態推移を行って応答通報を決定する。AIVi が一定値を越えるとオーバーフローフラグが表示される。

- (ハ) 非制御通話モードマーカが受信されたとき—このときは「非制御通話モード」に入り、交信制御状態は、凍結され、制御サイクルヘッドが来て「デマンド区間」になるまで、このモードにある。このモードは、自機に対するものも他機に対するものも区別がないのであって、音声で機名を呼びかけられれば、非制御モードキーで応ずる。そして、このモードの終結は、3.6 (5) で述べたように、管制官によるキー操作を行ったとき、制御サイクルヘッドが放送されることによるが、一度でも非制御モードキーで通話を行った機は、このとき、交信制御状態を「非制御モードリセット」にし、次のポーリング区間で、交信要請受付通報が送られたとき、(もし伝送路状態が回復していれば)、これらの機は、「非制御モードリセット」通報を送り、これを受けた地上の GAI と共に自らも「登録済状態」となる。その他の機は、凍結されていた状態へ復帰する。
- (ニ) マーカ類が受信されなかったとき—このときは「マーカ受信不可」であって、その後、マーカが受信されるのを待つ。

3.7 シミュレータの動作例

第 19 図に、シミュレータの動作中における管制官パネルの表示例を示す。

3.8 む す び

本稿においては、航空交通管制における管制官とパイロットの間の無線交信に対し、交信制御方式を導入する提案を行った。とくに、現在の管制用音声チャンネルを音声交信と交信制御信号の授受に共用し、さらに、交信制御信号の授受に伴って可能となる限定されたデータ伝送をも行える「音声・データ共用チャンネル方式」について設計試案を示すと共に、交信制御方式の評価を行う為に作製したシミュレータの概要を述べた。

今後は、このシミュレータを用いて、人間・機械系としての評価をも行ってゆきたい。

謝 辞

日頃ご指導いただく岡田實先生ならびに本研究所東口實教授に感謝します。また、ご討論いただいた航空保安システム技術委員会情報処理方式小委員会委員各位、殊に、色々とお世話になった同小委員会ワーキンググループの堀川勇壮、武藤忠雄、伊藤益敏、浅野正一郎、東福寺則保の諸氏、そして、航空振興財団羽田総合センタの諸氏に謝意を表します。

最後に、本研究の初期の段階において、管制通信の現状調査に、多大の労を惜しまれなかった加治屋隆氏、ご協力載いた竹本英徳氏、音声制御ユニットを製作された丹下甫澄氏、更に、シミュレータのソフトウェアの作製にオペレータとして、また関連ドキュメントの作製に、多大のご協力を戴いた平沢雅子嬢、そして何かとお世話になった計測部の諸氏に感謝します。

1980 年 12 月 24 日 (計測部)

参 考 文 献

- [1] 岡田實編 “航空電子装置” 改訂版 日刊工業新聞社 1978 年
- [2] P.R.Drouilhet, “DABS: A system description,” FAA—RD—74—189, ATC—42 (MIT), 1974 年 11 月
- [3] “Air ground communications—operational considerations for 1980 and beyond,” SC—120 RTCA Document No. DO—162, 1975 年 10 月
- [4] 東福寺, 武藤, 吉岡, 長岡, “管制通信の実態について” 電子通信学会 宇宙航行エレクトロニクス研究会資料 SANE 74—16 1974 年 10 月
- [5] 東福寺, “管制通信の実態について, その 2—ターミナル管制通信” 電子通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会資料 SANE 75—22 1975 年
- [6] 伊藤, 加治屋, 竹本, “進入管制における管制通信について” 電子通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会資料 SANE 75—23, 1975 年 11 月
- [7] 加治屋, 伊藤, “航空交通管制におけるパイロットと管制官の間の無線通信について” 東京大学 宇宙航空研究所報告 第 13 巻 第 1 号 (A) pp. 83—106 1977 年 2 月
- [8] F. C. White “Air—ground Communications: History and expectations,” IEEE Trans. on Communication Technology, vol. COM—21, no. 5. pp. 398—407 1973 年 5 月
- [9] “Universal air-ground digital communication system standard,” (SC—110/111) RCTA Document no. DO—136, 1968 年 3 月
- [10] “Automated interchange of air-ground data” Report on Agenda Item 1, the 7—th Air Navigation Conference, ICAO, Doc 9004, AN—CONF/7, 1972 年 4 月
- [11] 木村 “航空衛星システム” 昭和 51 年 電気四学会連合大会講演文集 228 pp. 6—21~6—24 1976 年 10 月
- [12] “Mark 3 VHF communication transceiver, ARINC characteristic 566A” ARINC Spec. 1972 年 8 月
- [13] 伊藤, 加治屋 “航空交通管制の為の無線通信における音声・データ共用チャネル方式の提案” 昭和 53 年度 電子通信学会総合全国大会講演論文集 1904 1978 年 3 月
- [14] 伊藤, 宮尾 “航空交通管制の為の無線通信における音声・データ共用チャネル方式について” 昭和 55 年度 電子通信学会総合全国大会講演論文集 2097 1980 年 4 月
- [15] “Special issue on digital radio,” Ed. by K. Feher, IEEE Trans. on Communications, vol. COM—27, no. 12, 1979 年 12 月
- [16] D. F. Collins et al., “VHF data link communication characteristics,” FAA—RD—76—171, 1976 年 11 月
- [17] “A. J. Viterbi, “Convolutional codes and their performance in communication systems, IEEE Trans. on Communication Technology, vol. COM—19, no. 5, pp. 751—772, 1971 年 10 月