

# 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

加 治 屋 隆 ・ 伊 藤 紘 二

## On Pilot-Controller Communication in Air Traffic Control

By

Takashi KAJIYA and Kohji ITOH

**Abstract:** This paper presents the results of an analysis made on real records of communication by VHF voice radio between pilot and controller in terminal approach control. The results serve as fundamental data for investigation into the future communication system between aircrafts and ground facilities. Referring to the data obtained, we also propose some preliminary system concepts in the near future.

### 概 要

将来の航空機と地上施設間の通信システムを検討する上に必要な基本的データを求めるために、実測により、進入管制におけるパイロットと管制官の間の音声交信の調査、分析を行なった。

又、将来の管制通信のあり方について予備的な検討も行なった。

### 1. はじめに

航空機を安全且つ円滑に運行するための航空交通管制において、航空機が航空交通管制官の指示に従って飛行する場合、管制官はレーダおよびパイロットからの位置通報によって得た航空機の位置等をもとに判断して、パイロットに指示を与えるが、パイロットと管制官との通信においては、現在音声交信に依存している。尚このような目的で用いられているレーダには、反射信号のみによる1次レーダと、航空機に搭載したトランスポンダの応答信号を利用する二次レーダがある。

一方航空交通管制業務は、航空路を対象とした管制区管制業務と空港及び空港周辺を対象

とした管制圏管制業務に分かれ、又、我が国の主要空港に於ては航空路と空港の間の航空機の受渡しを円滑にする為に進入管制業務が行なわれている。

管制区管制業務に於ては、すでに飛行計画の処理における自動化が実施され、現在レーダ情報処理システムの導入が進行している。進入管制業務については、東京及び大阪の両国際空港において、ARTS [1] (Automated Radar Terminal System) - J が導入され、管制の自動化が徐々に歩み出した。ARTS - J ではレーダデータがコンピューター処理され、レーダディスプレイ上に管制する航空機の映像及びその識別符号、高度、対地速度が同時に表示されるようになっている。識別符号と高度はトランスポンダの応答信号から得られる。さらに将来においては管制官の通信負担を軽減し、確実な情報交換を確保するために、ターミナルリンクを導入する可能性も考えていく必要がある[2] [3] [4] [11] [12] [13]。

このように近い将来における般空機と管制席の間の情報の授受には (1) 音声交信

(11) テータ通信 (111) レーダの3種のシステムが併存すると考えられる。

一方伝達すべき情報の内容は多岐にわたっており、従って、これを上述の伝達形態の間で、どのように分担すべきかを検討する事は重要である。そのような検討を行うためには管制通信の現状を調査、分析する必要がある。このような調査は文献[5] [6] においても行なわれているが、本稿においてはやや異った観点から、音声による管制通信の通報分析を行ない、交信負荷、通報カテゴリ別交信量等を調査し、それに基づいて、将来における情報伝達の分担形態に関する予備的考察を行なった。これらについては文献[7] をも参照されたい。又、現在の管制通信においては、同一周波数を送受切換えて共用している。この方式は機器構成の簡単さと傍受可能性の点においてすぐれているので今後もその方式が用いられると思われる。そこでデータ伝送の導入を容易ならしめる一つの方法として、レーダと音声と現在の音声チャンネルを時分割で共用する方式が考えられるか、その場合に於いてレーダ伝送が利用し得る時間、すなわち取扱容量の推定等を行なうために、音声交信の断続時間の分布及びすきまの合計がある時間Tになる迄に経過する時間の分布を求めた。これらはターミナルリンクを含む将来の航空機と地上施設の間の通信システムを設計する上に必要な基本的なレーダとして利用できる。

## 2. 進入管制における管制通信の現状について

### 2.1 調査の方法

東京大学宇宙航空研究所に於て、航空バンド (VHF 帯) ディスクアンテナと 119.1 MHz 受信機を用いて、東京国際空港進入管制所捜索管制席とパイロットの間の交信を受信し、音声信号、搬送波検波レベル (AGC 電圧) 及びタイムマーカをデータレコーダにより磁気テープに収録した。1例を図1に示す。

日時は1973年10月の月曜日と、1975年2月の月曜日及び1976年4月の金曜日の各1日の午前10時から午後7時頃迄である。尚1976年4月の記録のみか、ARTS-J 導入後のものである。

このようにして得られた記録から以下に述べるレーダを求めた。

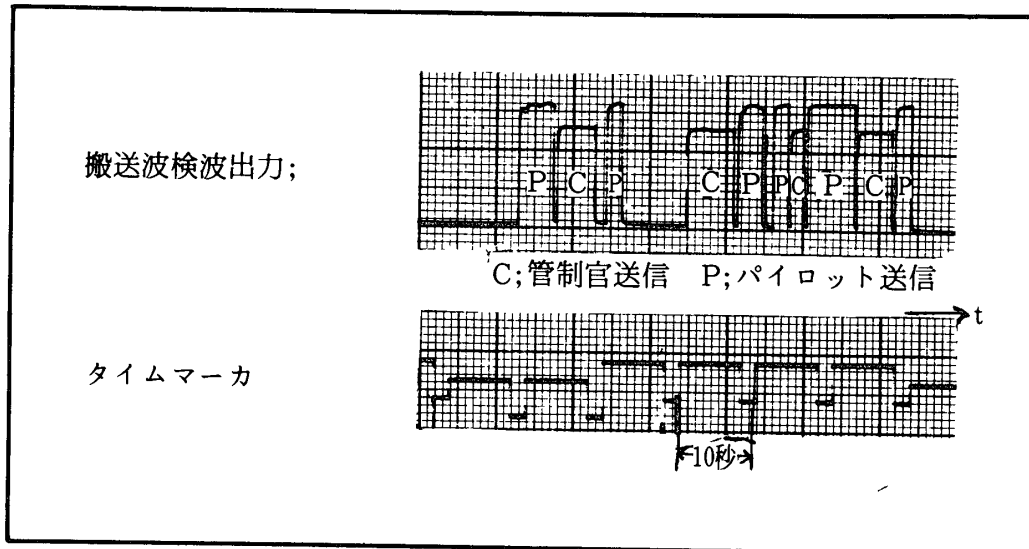


図1 収録された信号の再生出力例

## 2.2 搜索管制席と航空機との間の交信負荷について [8]

上記の方法により得られた記録のうち1973年10月分を用いて、音声通信が管制官とパイロットにどの位の負担を課しているかの目安を求めるために、図2～7のデータを求めた。尚、使用滑走路は33Rであった。

ある時間帯の「平均取扱い機数」とは、その時間帯の中で、管制席が各航空機に対して接触を保っている時間の総和を、その時間帯で割ったものである。ここでは幅が10分毎の時間帯を考えている。

「時間率」とは、10分間の中で送信に費された時間の割合を示す。なお図2, 3, 6, 7では1秒以下の送信（“Roger”等）は含まない。

結果として、管制官について言えば、トラフィックが増えてゆくと、時間率は飽和傾向を示すのに1機当たり送信頻度は10分間におよそ9回で変わらず、従って1回当りの送信時間の平均が低下してゆく傾向がみえる。図4, 5から明らかなように、パイロットと管制官をあわせた通信時間率は、高トラフィックになると80%を越える。

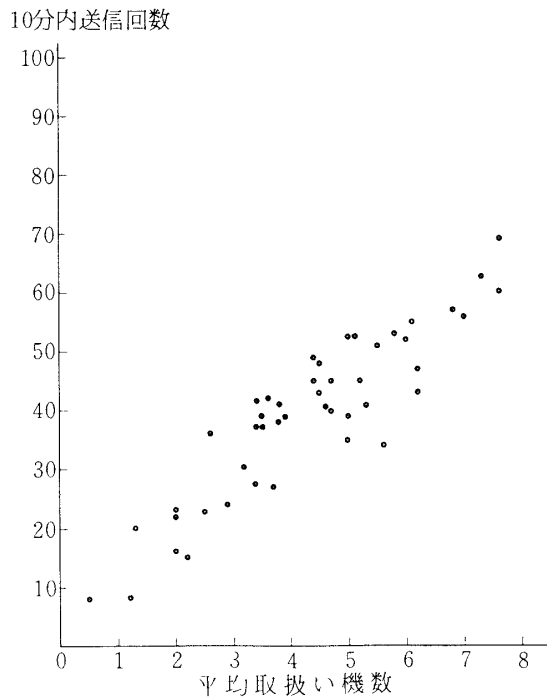


図2 送信頻度 (パイロット)

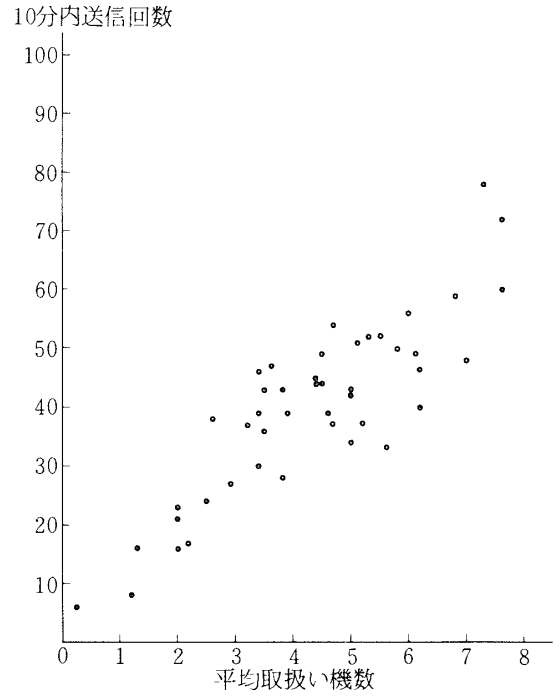


図3 送信頻度 (管制官)

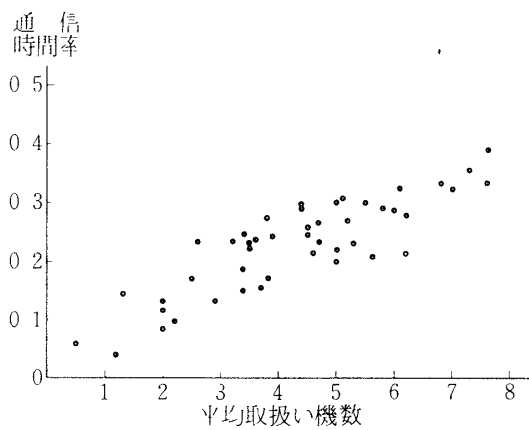


図4 通信時間率 (パイロット)

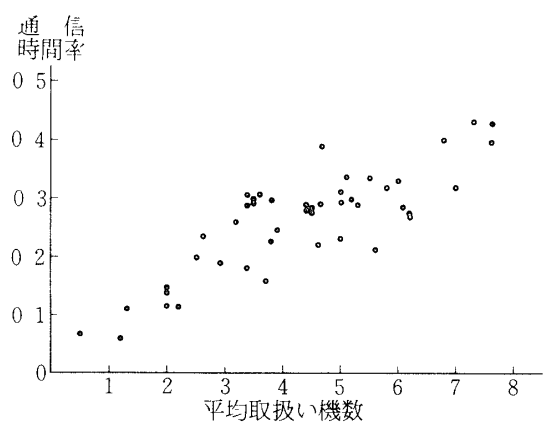


図5 通信時間率 (管制官)

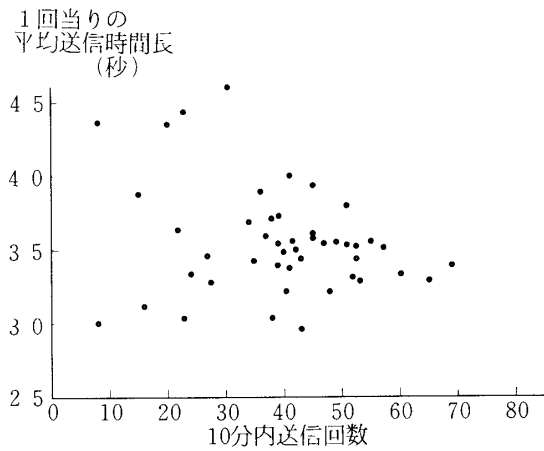


図6 送信時間長 (パイロット)

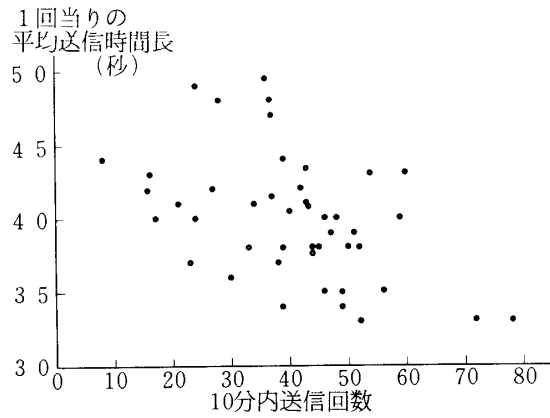


図7 送信時間長 (管制官)

### 2.3 進入管制における管制通信の通報分析

表1に示したX, Y, A, Bの4つの時間帯に於て, 管制席とパイロットとの交信を聴きとって記録, 分析し表2の14のカテゴリに分類した. 尚使用滑走路は33-Rであった.

この結果を基にして, 管制官とパイロットの両方の送信時間の合計の中で, 各カテゴリが占める割合を次の方法により求めた.

表1のように分類された通報の各カテゴリ毎の10分間当り平均個数をこの時間帯の「平均取扱い機数」で割つて, カテゴリ別「10分間1機当り通報数」を求め, 次にカテゴリ毎の「一通報当りの時間」 $t_i$ を以下のようにして求めた.

$$t_i = T \cdot \frac{m_i}{M} \cdot \frac{1}{n_i} \quad \text{但し} \quad M = \sum_{i=1}^{14} m_i$$

ここで  $n_i$  . 各カテゴリ毎の通報数  
 $m_i$         "        の文字数  
 $M$         全文字数  
 $T$         全送信時間

表1 各測定時間帯の状況

	1973年1月の1日		1975年2月の1日	
	X帯 ( $\left. \begin{matrix} 17:00 \\ \phantom{17:00} \end{matrix} \right\} \phantom{17:20}$ )	Y帯 ( $\left. \begin{matrix} 12:40 \\ \phantom{12:40} \end{matrix} \right\} \phantom{13:00}$ )	A帯 ( $\left. \begin{matrix} 11:02 \\ \phantom{11:02} \end{matrix} \right\} \phantom{11:22}$ )	B帯 ( $\left. \begin{matrix} 14:00 \\ \phantom{14:00} \end{matrix} \right\} \phantom{14:40}$ )
10分間1機当たり交信時間 (P+C)	647 秒	602 秒	621 秒	665 秒
平均取扱い機数	75 機	72 機	67 機	23 機
南 / 北 機数比	6 / 7	11 / 3	7 / 9	7 / 3

表2 通報のカテゴリ

カ テ コ リ	略 号
航空機呼出名	C A L L
高度クリアランス	A L T - C L
高度通報	A L T - R E P
速度管制	S P D
位置通報	F I X
ルート/滑走路指定	R T
機首指定	V C T R
空中待機	W A I T
移 管	T R N S F
二次レータ (識別)	S S R
トラフィックアトハイス	T R F C
航空・気象情報	I N F O
クリアランス待機	S T B
その他 (Roger, Over 等)	O T H E R S

尚, X, Y, A帯では最初の10分, B帯では最初の20分での送信時間の合計を各々の時間帯のTとして用いてある.

このようにして得られたカテゴリ別「10分間1機当たり通報数」とカテゴリ毎の「1通報当りの時間」より, 各時間帯において, カテゴリ毎に「10分間1機当たりの通報時間」の推定を行ない, これによって各カテゴリの占める時間の割合を求めた. これが図8.9である.

次に上で得られた結果についていくらかの解釈を試みる.

(1) 表3に, 各時間帯における上位4カテゴリを示す. 表から, 明らかなように, 「航空機呼出名」の占める割合はどの時間帯もかなり大きく24~32%に達している. 次には「高度クリアランス」あるいは「ヘクタリンク」が15%位, 「高度通報」は10~15%位で他は10%未満である.

表3 交信時間に占める上位4カテゴリの比率

時間帯 順位	X	Y	A	B
1	CALL (29%)	CALL (26%)	CALL (32%)	CALL (24%)
2	ALT-CL (20%)	ALT-CL (18%)	VCTR (18%)	ALT-CL (15%)
3	VCTR (10%)	ALT-REP (16%)	ALT-CL (12%)	VCTR (14%)
4	ALT-REP (9%)	WAIT (7%)	ALT-REP (10%)	ALT-REP (12%)

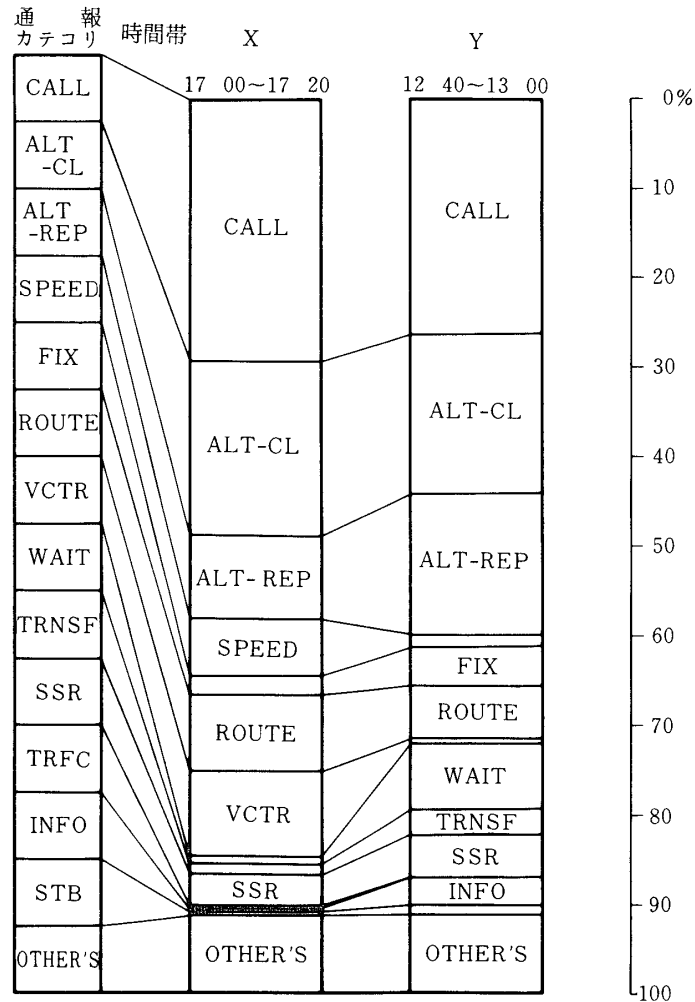


図8 交信時間の比率1973年10月

(2) A帯における「航空機呼出名」のうち同一航空機との一連の交信の開始—交信設定—に用いられた回数と、交信中に用いられた回数の比較を表4に示す。「航空機呼出名」のうち約50%が交信設定に用いられている。またパイロットからの交信設定は、ほとんどが「高度通報」と「位置通報」に関するものである。この比率は他の時間帯もだいたい同じ傾向を示している。

表4 交信設定と交信中に用いられた「航空機呼出名」の回数の比較

	交 信 設 定	交 信 中
P	16	66
C	77	29

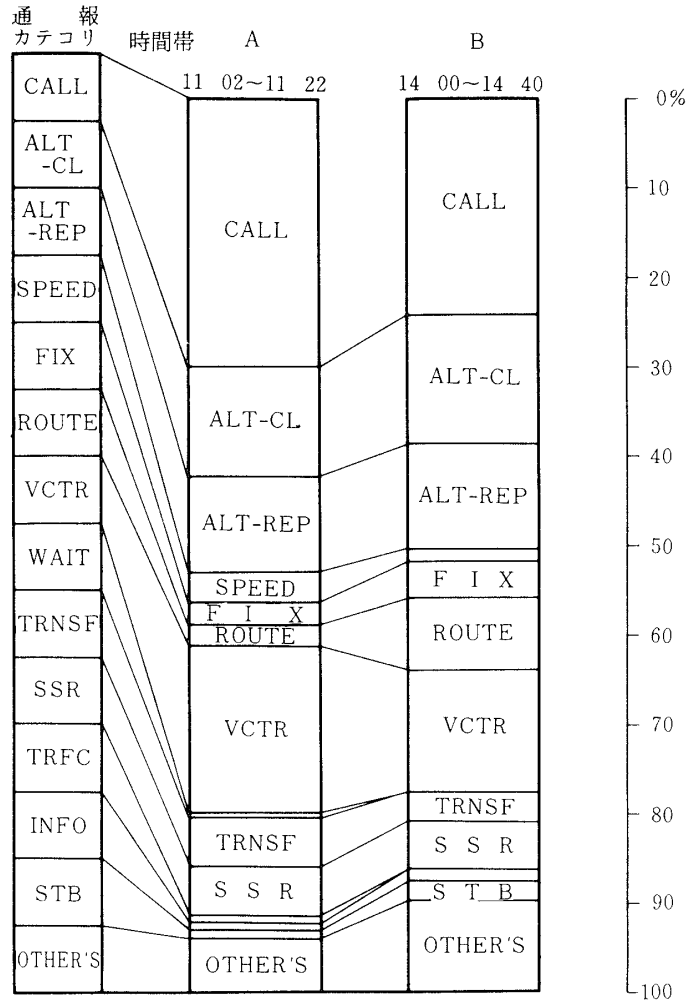


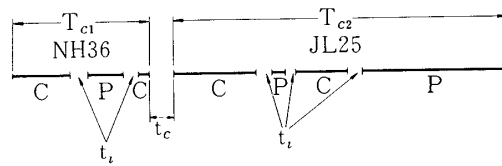
図9 交信時間の比率1975年2月

2.4 音声交信の断続時間の分布について [9]

音声チャンネルにおいてデータ伝送を行なう方式の評価のために必要な基本的データとして、管制席とパイロットとの音声交信における「送信時間長の分布」「トランザクション長の分布」「トランザクション間のすきまの長さの分布」「トランザクション内のすきまの長さの分布」「トランザクション内送信回数の分布」について調べた。ここで1件の「トランザクション」とは管制席と同一の航空機との間における一連の交信の事であり、「すきまとは、搬送波が途切れている時間を言う。そのほかの用語の定義を図10に示す。

なおデータは1976年4月の金曜日の1日の混んでいる時間帯（平均取扱い機数5～6機）の10分間あるいは20分間を単位として抽出した合計100分間（平均取扱い機数約52機）に関するものである。





$T_{c1}, T_{c2}$  , トランザクション長  
 $t_c$  , トランザクション間すきま長  
 $t_i$  , トランザクション内すきま長  
 C , 管制官の送信時間長  
 P , パイロットの送信時間長  
 P , パイロット NH36 , 航空機名  
 C , 管制管 JL 25 , 航空機名

図10 トランザクション等の用語の定義

(1) 測定方法

図11に示すような構成により、磁気テープに収録された交信記録をデータレコータにより再生し、搬送波検波出力のパルス幅を電圧レベルに変換した後ペンレコーダーに記録した。

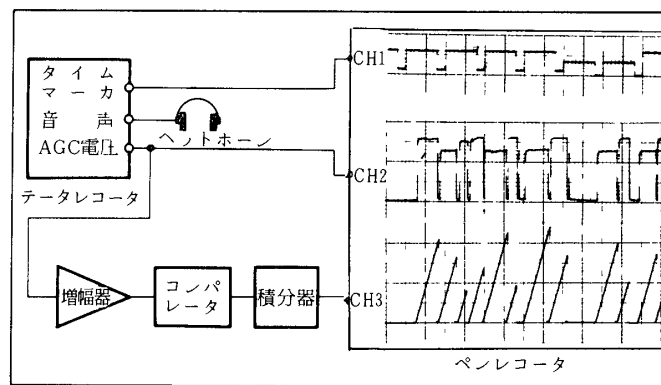


図11 送信時間長の測定の構成図ならびに出力波形の一例

一方これと同時に音声は耳で聴取し、トランザクションの初めと終りの識別等を行なって、これに基づいて上記の5つの項目に関する統計処理を行なった。これによって得られた結果が図12～19である。

(2) 「送信時間長の分布」について

パイロットと管制官では、送信時間長の分布に多少の違いはあるが、モデルの簡単化のために、パイロット、管制官別なく一緒にして求めた実験分布に対して適当な分布のあてはめを行なった。

図14か混んでいる時間帯において求めた実験分布である。実線（●点）が累積相対度数分布で、ヒストグラムが相対度数密度分布である。

実験分布の形からアーラン分布をあてはめる事とし、位相  $k$  が1から10迄のアーラン分布の各々について計算を行ない、その中から最も近似の分布として次に示すような  $k = 4$  のアーラン分布を選した。

$$\text{累積相対度数分布 } F(t) = e^{-k\mu t} \cdot \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(k\mu t)^n}{n!}$$

$$\text{但し } F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

$$\text{相対度数密度分布 } f(t) = \frac{(k\mu)^k}{(k-1)!} \cdot e^{-k\mu t} \cdot t^{k-1}$$

$$\text{但し } k = 4, \mu = 1 / \text{平均値} = 1 / 32 \text{ 秒}$$

上式で与えられる分布が点線（×点）で示したグラフである。

なお、参考迄に空いている時間帯（平均取扱機数 23 機、110 分間）についてのデータを図15に示しておく。

### (3) 「トランザクション内すきまの長さの分布」

図16には「トランザクション内すきまの長さの分布」を示す。この分布においては、95%が0.2秒以上であるので、0.2秒以下のすきまを無視し、0.2秒をオフセットと考えれば、下に示す指数分布で近似できる。

$$P(t) = e^{-20(t-0.2)}$$

平均長 0.70 秒（実験値 0.72 秒）

ここに、すきまの長さが  $t$  秒以上である確率を  $P(t)$  とおいた。

### (4) 「トランザクション内送信回数」の分布

図17には「トランザクション内送信回数」の分布を示す。図から明らかなように、送信回数 2 回の所で大きな値（0.73）をとり、3 回以上では、およそ  $1/2$  のへき乗で減少している。送信回数が  $k$  回である確率を  $P_m(k)$  とし、これを式で表わすと次のように書ける。

$$P_m(k) = 0.49 \delta(k-2) + 0.24 (1/2)^{k-2} \quad \text{但し } k \geq 2$$

$$P_m(1) = 0.03$$

平均送信回数 2.4 回 ( $\delta(j)$  は  $j=0$  で 1,  $j \neq 0$  で 0)

### (5) 「トランザクション間のすきまの長さの分布」

図18には「トランザクション間のすきまの長さの分布」を示す。この分布は当然取扱機数によって変わるものであるか、得られた実験分布に対しては2つの指数分布の和の形をあてはめたら、実験分布とほぼ一致する。尚 0.2 秒はオフセットと考えた。

$$P(t) = 0.78 e^{-0.13(t-0.2)} + 0.22 e^{-2.0(t-0.2)}$$

平均すきま長 6.3 秒

ここに、すきまの長さ  $t$  秒以上である確率を  $P(t)$  とおいた。

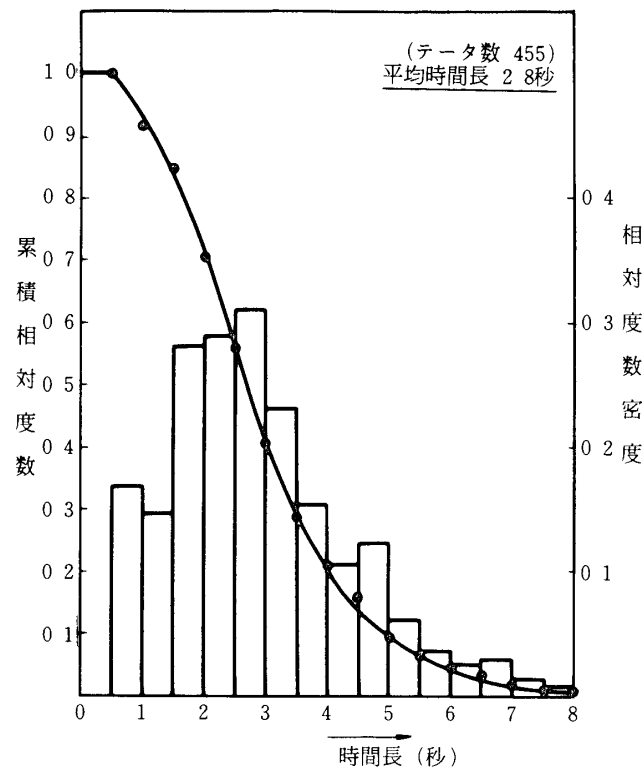


図12 送信時間長の分布 (パイロット)

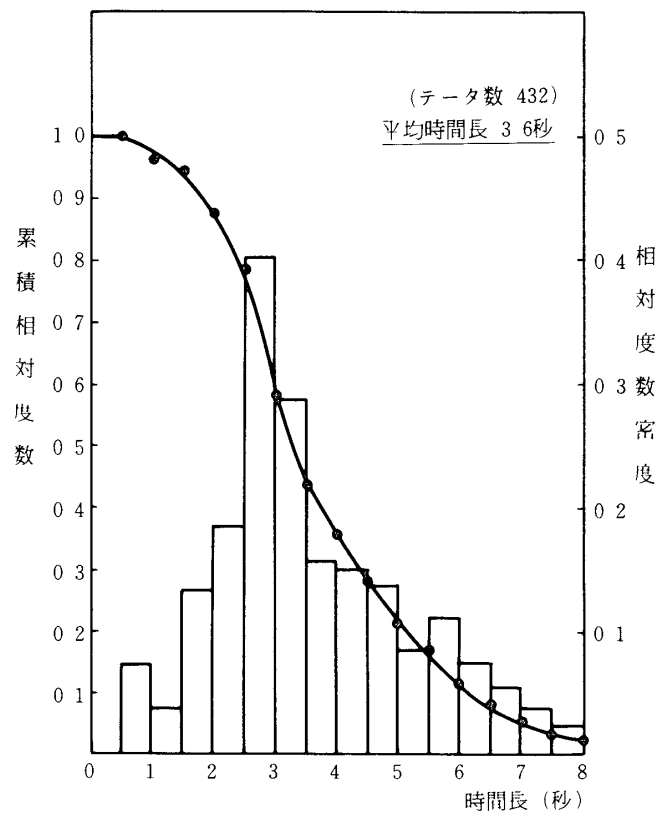


図13 送信時間長の分布 (管制官)

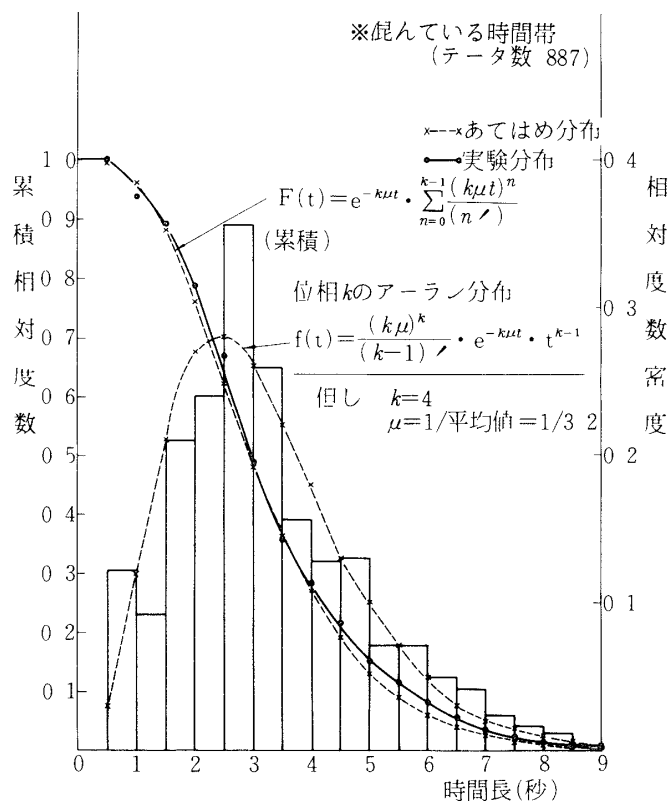


図14 送信時間長の分布(パイロット・管制官の別なく求めたもの)

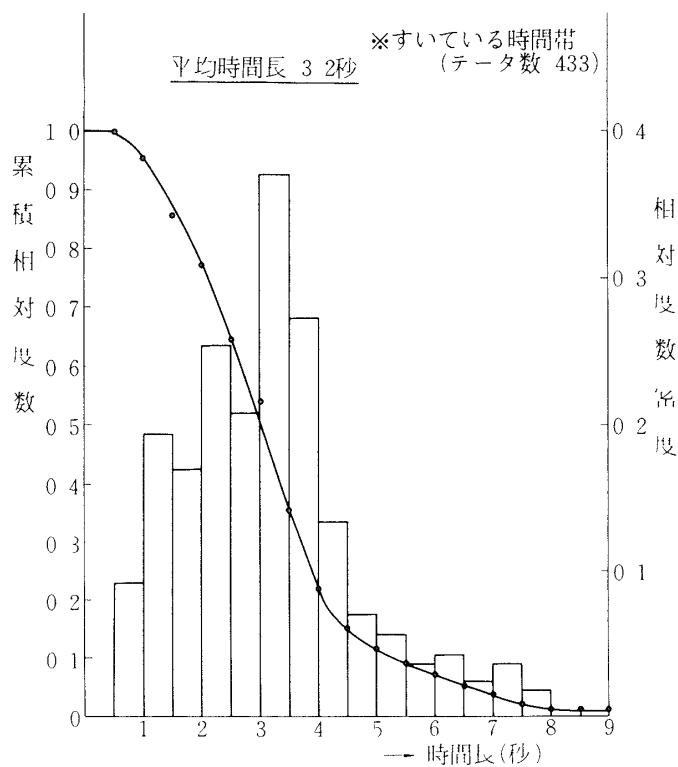


図15 送信時間長の分布(パイロット・管制官の別なく求めたもの)

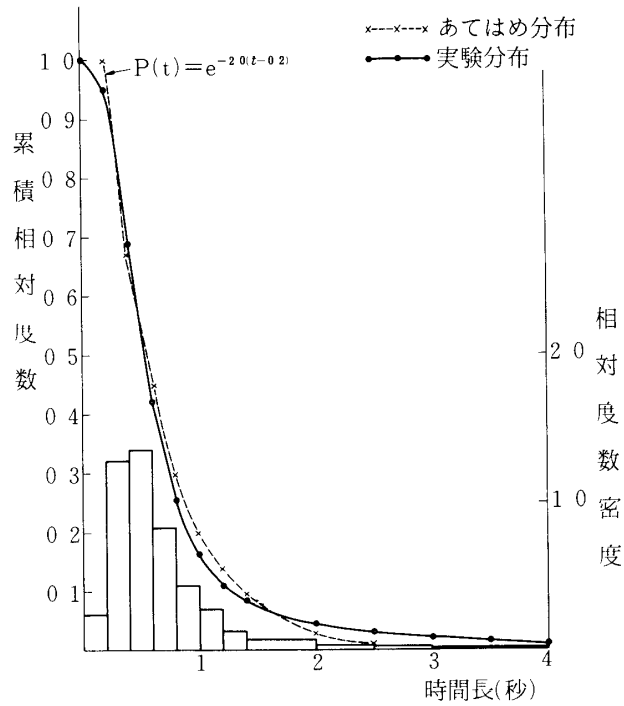


図16 トランザクション内のすきまの長さの分布 (データ数 592)

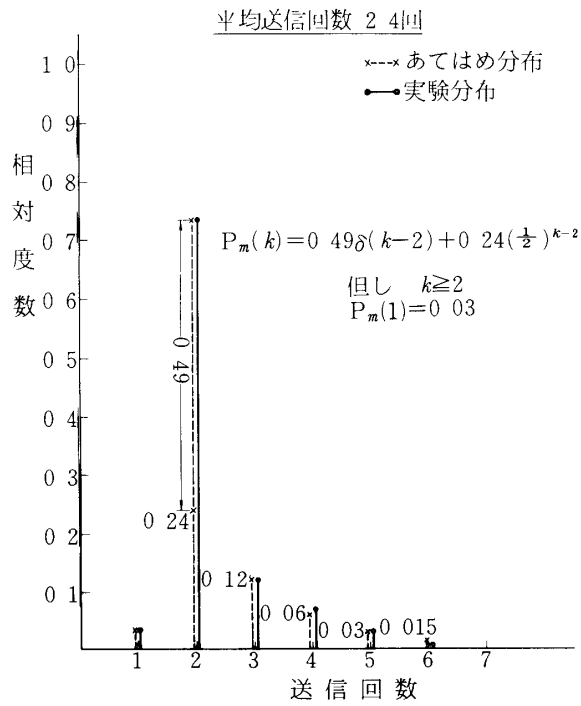


図17 トランザクション内送信回数の分布 (データ数 371)

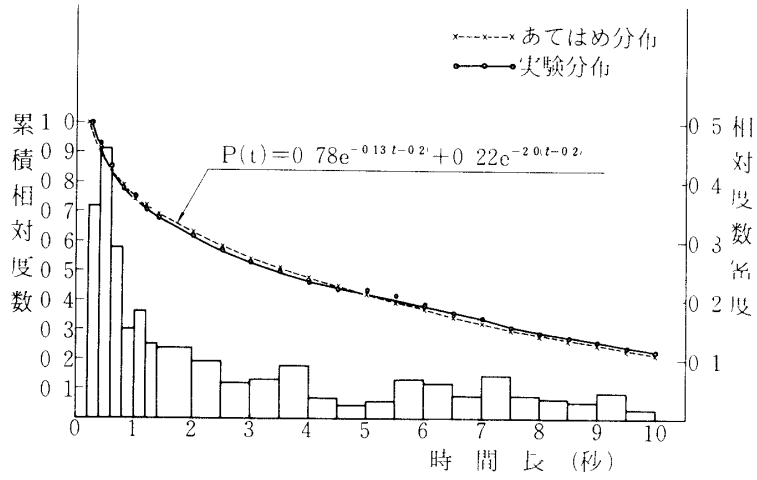
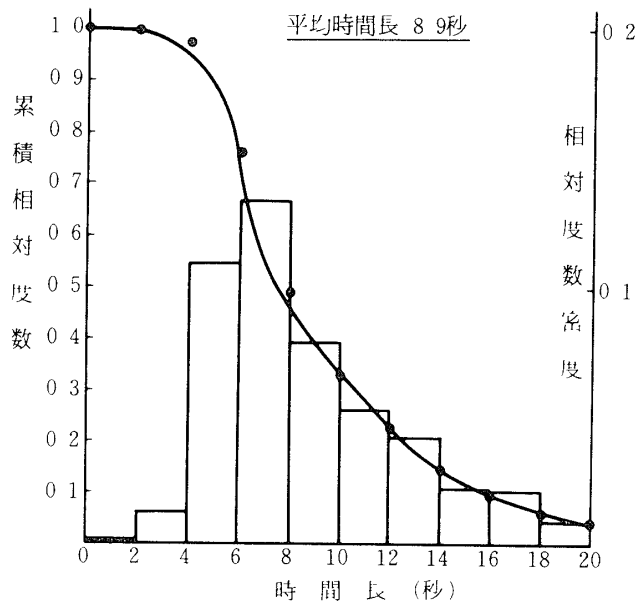


図18 トランザクション間のすきまの長さの分布 (データ数 363)



※横軸目盛 $t_k$ に対する・点の縦軸の値は  $t_k$ 以上の累積相対度数を表わす。

※横軸目盛 $t_{k-1}$ から $t_k$ 迄のヒストグラムの値は時間長 $t_k$  ( $t_{k-1} \leq t < t_k$ ) での相対度数密度である。

図19 トランザクション長の分布 (データ数 363)

### 3. 将来の航空機と地上施設の間の通信システムについて

#### 3.1 管制通信の高度化に伴う音声交信負担の軽減の可能性について

(1) 地上の二次レーダ(SSR-Secondary Surveillance Radar)からのモードA及びモードCの質問に対し、航空機の呼出符号及び飛行高度をコードパルス列に変換して応答するトランスポンダが普及し、レーダ処理、表示系が確立した段階で「高度通報」、「二次レーダ」の2つのカテゴリは、音声交信では扱わないとした場合、音声交信時間の22~28%を軽減できる。但し、この場合に於て、「航空機呼出名」と「その他」に関しては、上記2カテゴリの通報がなくなった分だけ比例配分で減じてある。

この段階は、最近、東京、大阪両国際空港に導入されたようなARTSのシステムによって可能となる。

(2) 音声チャンネルにおける、音声交信のすきまに於て、データ伝送の手法を用いて、音声交信のチャンネルマネジメントを行う事により、混信と誤りを防ぎ、確実さを増す事ができよう。この場合、音声交信負担の軽減について言えば、「クリアランス待機」は省け、「航空機呼出名」は交信設定時のみで十分であろう。この場合に於ては音声交信時間の14~17%を軽減できる。この場合「その他」に関しては、上記2カテゴリの通報がなくなった分だけ比例配分で減じてある。

又このシステムに於て、一定の通報のデータ伝送も考えられるが、これは3-2において検討する。

(3) 上記(1)、(2)が完備し、「高度通報」、「二次レーダ」「クリアランス待機」無しで「航空機呼出名」を管制席からの交信設定時のみとすると音声交信時間を33~37%軽減できる。その他は上記カテゴリのなくなった分だけ比例配分で減じてある。

(4) データ通信を二次レーダの拡張(例えばDABS-Discrete Address Beacon System<sup>※</sup>)により行う方式が、アメリカにおいて提案されている。この方式においては、管制に関するあらゆる情報のデータ伝送が可能と考えられているが、これにより音声交信を軽減できるかどうかは、マン・マシンインターフェース等の人間工学的問題もあり、検討を深めていく必要がある。

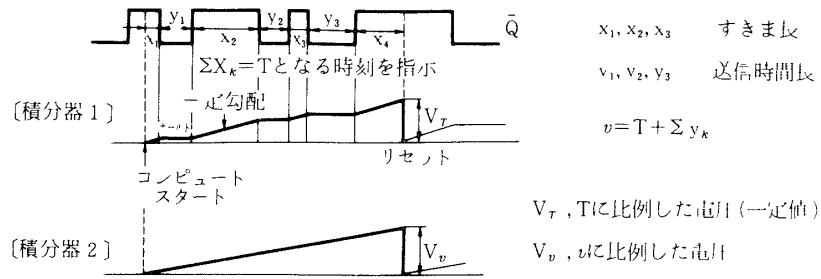
#### 3.2 音声、データ共用チャンネル方式について

現在の管制通信の伝達手段としての音声交信は、肉声の与える心理的安定感、傍受可能性ですぐれている反面、交信量が増えると、同時送信による混信や無応答が生じ、交信維持のための管制官の負担が急増し、通信内容の誤受が生じ易くなる。これらの問題を解決するために、管制通信へ、データ伝送を導入し、3-1で述べたようなチャンネルマネジメントを行ない、さらには通報のデータ伝送によって音声交信をバックアップする方法が考えられる。ここでは、音声チャンネルの音声交信のすきまを使ってデータ伝送を行なう方法を検討するために、実測に基づいて、そのすきまの合計が、ある値Tになる迄に経過する時間 $\eta$ を求めた。

※ 従来の二次レーダは、レーダヒーム内に入った航空機に対し、一括呼出方式を取っているが、DABSは航空機に与えられた固有のアドレスにより点呼を行うことができる。

(1) 測定方法

磁気テープに収録された搬送波検波出力（AGC電圧）を音声交信の断続時間の分布を求めた時間帯（100分間）において再生し，図20に示す方法により， $v$ を求めた。Tとしては2秒，10秒により行なった



回路構成

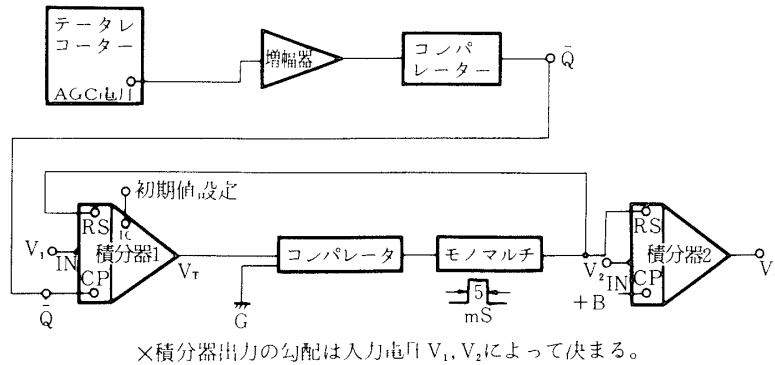


図20 すきまの合計がある値Tになるまでに経過する時間の測定法

(2) 結果及び検討

(1)の方法により求めた  $v/T$  の分布が図21～22である。一方  $v/T$  の期待値が毎分当たりのトランザクション数，あるいは平均取扱い機数と共に，どう変わるかを理論計算(附録2)に実測パラメータを入れて求めた結果を図23に示す。但し，1機当たり10分間に平均7回のトランザクションを発生するとしてある。これは図2,3により求めたパイロットと管制官の10分間1機当たり送信回数(17回)を，トランザクション内平均送信回数(24回)で割る事によって求められる

図23によれば，10分間平均機数か6機辺りから， $v/T$ は急上昇をはじめる事が知られる。

また，図21によれば  $T = 2$  秒に対して， $v$  が10秒以上である確率は10%程ある。

音声，データ共用チャンネル方式に於て，航空機（Aと略す）から地上施設（Gと略す）への伝送は，混信を完全に防ぐために，音声もデータも地上から制御信号による指名があった場合にのみ A-G送信が行える方式—ポーリング方式—が必要になる。これに伴って，



制御信号により，A-G伝送要請を受付ける必要が生じる．このA-G伝送要請受付のためのサイクリックポーリングでは，毎回の音声送信の直後に1秒間のすきまをとるようにして，10機まとめて行うことができる（附録1参照）ようにすると20機迄は間に高々1回の送信が入るだけなので，図14に示した送信時間長の分布（平均3.2秒，1%値8秒）から見て，実際の所要時間が10秒を越える確率は1%より小さい．

次に図22によれば  $T=10$ 秒に対して  $v$  が38秒以上である確率は10%程である．又  $v$  の平均は20秒であり， $T=10$ 秒を用いるデータ伝送は，待ち時間が平均20秒でも問題のない情報の伝送に於いてのみ用いる事が出来る．

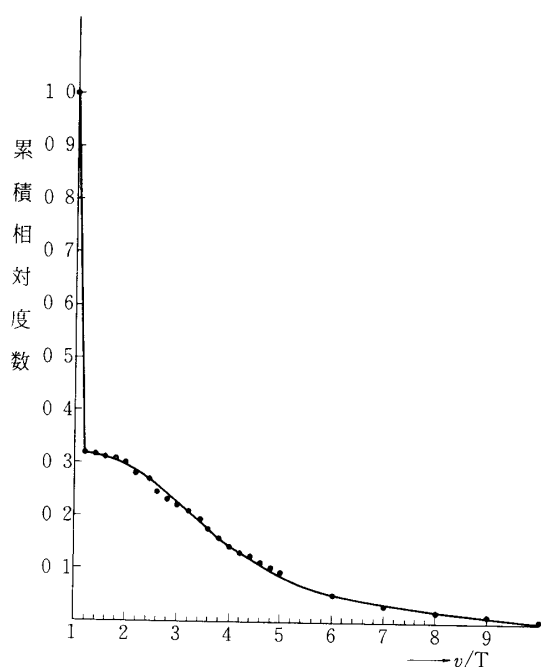


図21 すきまの和が2秒となるのに要する時間長の分布

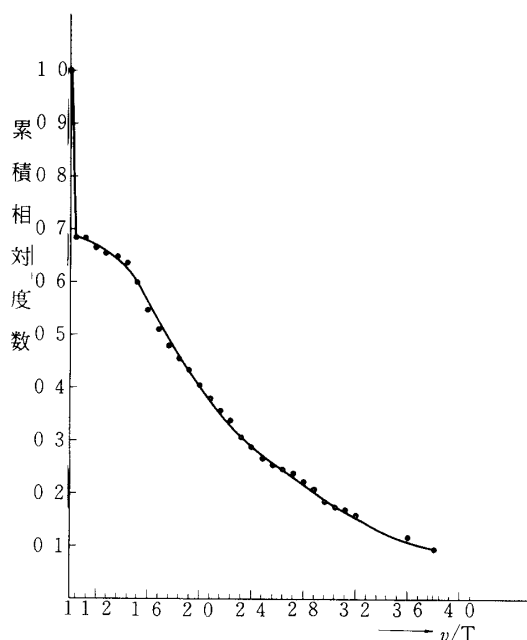


図22 すきまの和が10秒となるのに要する時間長の分布

### むすび

本研究により得られた結果は，航空機と地上施設間の通信システムを設計する上で，その見通しを立てるための基礎資料として用いることができる．

尚1973年10月と1975年2月の記録はARTS-J導入以前のものであるため，それによって得られた交信負荷，基礎カテゴリ別交信量等のデータは，ARTS-J導入以後とは，ある程度異なると予想されるが，ARTSシステムを何らかの理由で用いることができない場合に関する評価のために利用することができる．（ARTS-J導入以前にも，ARTSシステムの慣熟試験運用が行なわれたが，当時のデータは，そのような時間帯を避けてとってある）ARTSシステム運用時の交信負荷とカテゴリ別交信量については，今後の課題としたい．

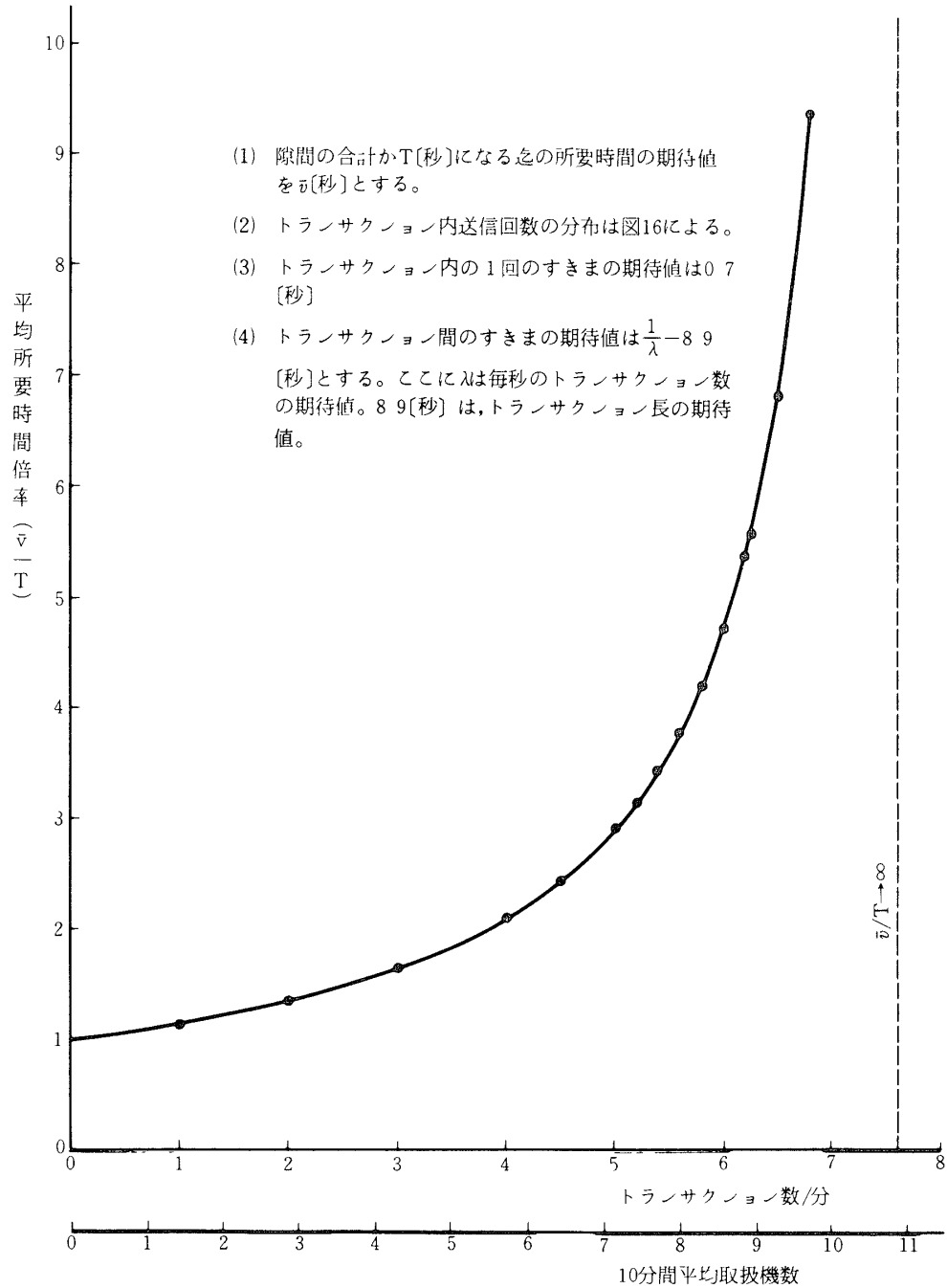


図23 音声交信の隙間によるデータ伝送の所要時間の期待値

### 謝 辞

おわりに当り，日頃御指導頂く，本研究所の水町守志助教授に感謝すると共に，文献についてお世話になった電子航法研究所の武藤忠雄氏，御討論頂いた電子航法研究所の東福寺則保氏，御協力頂いた全日空の竹本英徳氏並びに本研究所の水町研究室，特に受信機についてお世話になった山本登夫氏，そして計測部の方々に謝意を表する。

1977年1月10日 計測部

### 参 考 文 献

- [1] 岡田実編 “航空電子装置” 日刊工業新聞社，1972
- [2] “Proposed U S National Aviation Standard for the VHF Air-Ground Communication System”, SC-120, RTCA Paper 12-8-72/ED-671, Aug 1972.
- [3] “Automated Interchange of Air-Ground Data”, Report on Agenda Item 1, the 7-th Air. Navigation Conference, ICAO Doc 9004, AN-CONF/7 April, 1972
- [4] “Future Air-Ground-Air Communication Subsystem Investigation”, Communication System, Inc, for FAA, Report No RD-66-16, July, 1966.
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 加治屋，伊藤，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
- [8] 伊藤，本山，宮尾，加治屋「空港進入管制所と航空機間の交信負荷について」電子通信学会全国大会講演予稿集
- [9] 加治屋，伊藤「航空交通管制通信における音声交信の断続時間の分布について」電子通信学会全国大会講演予稿集
- [10] P. R Drouilhet “DABS A System Description,” FAA-RA-74-189, ATC-42 (MIT), Nov., 1974.
- [11] F. C. White “Air-Ground Communications History and Expectations, IEEE Trans. COM-21, 5, p. 398, May, 197 .
- [12] “Universal Air-Ground Digital Communication System Standards.”, SC-110/111. RTCA Document No. DO-136, March, 1968.
- [13] “Air-Ground Communications – Operational Considerations for 1980 and Beyond”, SC-120, RTCA Document No. DO-162, Oct., 1975.

附録1 音声・データ共用チャンネル方法における、データ伝送速度ポーリングサイクルの一例

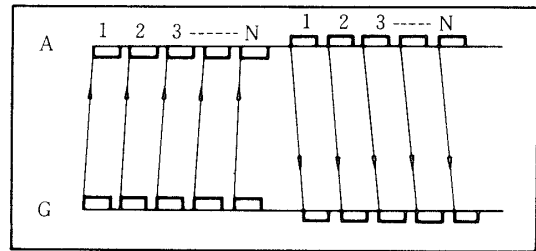
文献 [1], [11] によれば, VHF 航空バンド1チャンネルに於いて, ベースバンドMSK (Minimum Frequency Shift Keying) 変調で, ビットレート 2400 bps かすてに実用化されており, 4800 bps が充分可能とされている。又送受切換時間 + A G C 立上がり時間 = ターンアラウンドタイムは現在, 最大 250 ms のものがあるが, R T C A [12] (Radio Technical Commission for Aeronautics) S C - 120 の勧告は, およそ 25 ms を勧めている。さらに 100 nm の半径の覆域を考えると, 電波伝搬往復時間は最大で 12 ms となる。

さて, 航空機 (A と略す) から地上施設 (G と略す) に対する管制のための通報の伝送要求を受け, 同時にデータを伝送するためのサイクリックポーリングは, 交信の隙間として許容される最小単位——本文に述べた実測から 1 秒は許容されるとする——ごとにまとめることかできる。その際, 付図1に示すようにまず N 機に対して G - A 呼出伝送を完了した後, 同 N 機からの A - G 応答を返させるようにすれば, ターンアラウンドタイム影響を除くことかできる。

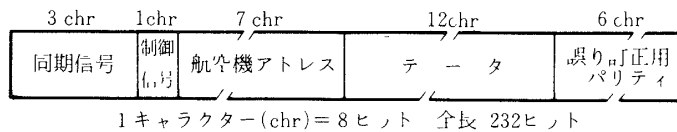
従って一例として, 付図2の信号フォーマット (R T C A スタンドアード [12] を参考にした。) でビットレート 4800 bps のデータ伝送を行う場合, 1 機当りの所要時間は,

$$(2 \times 232^{\text{bits}} / 48 \text{ Kbps}) + 12 \text{ ms} = 979 \text{ ms}$$

であるから, 1 秒間に 10 機を 1 まとめに, ポーリングサイクルを形成できる。



付図1 サイクリックポーリングの一例



付図2 信号フォーマットの一例

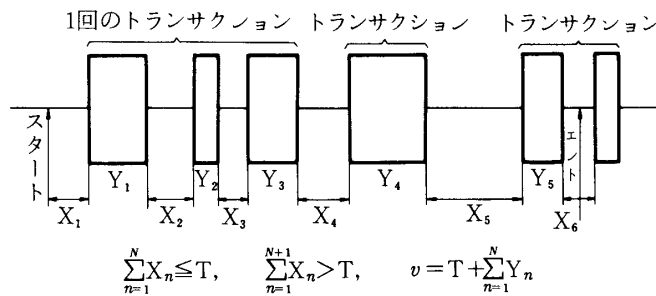
附録2 音声交信のすきまによるデータ伝送の所要時間の期待値について

付図3に示すような, 音声交信の搬送波の断続系列において, 搬送波が切断されている区間をすきまと称することとし, ここでデータ伝送が行なわれるとする。そのようなすきまの或る時刻から始まり, すきま Xn の合計がはじめて T 秒を越える迄に行われる音声搬送波送出の回数を N (T), またその間に経過する時間を v 秒とし, 毎回の音声搬送波送出時間長

$Y_k$  は、同一の分布を有すると仮定し、すきまとは独立であるとする。これらの期待値を  $\bar{N}(T)$ ,  $\bar{v}$ ,  $\bar{Y}$  とすれば、明らかに

$$\bar{v} = T + \bar{Y} \bar{N}(T) \tag{附2-1}$$

が成立する。



付図3 すきまの合計がTになるまでに経過する時間vの説明

そこで、 $\bar{N}(T)$  を求めよう。充分な個数の次々のすきま  $X_i$  をつなげて書き、これを一定時間中T秒毎に切ることができるK個の区間を考え、各区間での  $N(T)$  に相当するサンプルを  $n_k(T)$  とし、さらに  $t = KT$  とすれば、

$$E \left\{ \frac{N(T)}{T} \right\} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K n_k(T) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{t} \tag{附2-2}$$

を得る。

さて、1回のトランザクション中の送信回数をMとし、 $M = m$ である確率はトランザクション毎に独立に、 $P_M(m)$ とする。また、トランザクション内の1つのすきまの長さ、トランザクション間のすきまの長さの期待値を夫々  $\bar{\tau}$ ,  $\bar{\tau}_s$  とする。今、充分長い時間の間に、L個のトランザクションがあったとすると、それらの中にはL個のトランザクション間すきまがある。一方、ほぼ  $L P_M(m)$  個のトランザクションは  $m$  回の送信からなるので、それらの各々は  $m-1$  回のトランザクション内すきまを含む。従って、この場合、全てのすきま長の合計  $t$  は、(大数の法則により)

$$t = \sum_{m \geq 2} \bar{\tau} (m-1) L P_M(m) + \bar{\tau}_s L + o(L)$$

であり、(ただし  $L \rightarrow \infty$  のとき  $o(L)/L \rightarrow 0$ ) 一方、すべてのすきまの個数  $N(t)$  は

$$N(t) = L + \sum_{m \geq 2} (m-1) L P_M(m) + o(L)$$

となる。従って、次式を得る。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{t} = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\frac{N(t)}{L}}{\frac{t}{L}} = \frac{1 + \sum_{m \geq 2} (m-1) P_M(m)}{\bar{\tau} \sum_{m \geq 2} (m-1) P_M(m) + \bar{\tau}_s} \quad (\text{附2-3})$$

(附2-1)(附2-2)(附2-3)より

$$\frac{\bar{v}}{T} = 1 + \frac{\bar{Y}}{\bar{\tau} (1 - P_s) + \bar{\tau}_s P_s} \quad (\text{附2-4})$$

を得る。但し

$$P_s = \frac{1}{1 + \sum_{m \geq 2} (m-1) P_M(m)}$$

数値例として、本文の実測によれば、取扱い機数にかかわらず  $P_M(m)$  はほぼ同一であり、  
図17のデータをを用いて、 $P_s$  を計算すると

$$P_s = 0.408$$

となる。一方、図16のデータから

$$\bar{\tau} = 0.7 \text{ [秒]}$$

であり、また、

$$\bar{\tau}_s = (1/\lambda) - 8.9 \text{ [秒]}$$

とおいてよい。ここに、 $\lambda$  は、毎秒のトランザクション数の期待値であり、8.9 [秒] はトランザクション長の期待値である。これを用いて (附2-4) を計算した結果、

$$\frac{\bar{v}}{T} = 1 + \frac{32}{(24.48/x) - 3.217}$$

( $x = 60\lambda$ , 1 分間当りの平均トランザクション数)

を得る。本文、図23に、これを示してある。

### 附録3 進入管制席(Cと記す)とパイロット(Pと記す)の交信における通報文例

航空機呼出名

All nippon 32      Toa-domes 234

Japan air 904      Clipper 8700

高度クリアランス

C : <Descend and maintain / Descend to / Maintain > 4000.

P <To / Cleared to > 4000.

高度通報

C : Say altitude. Report on passing 7000.

P : <Approaching/Leaving/Out of > 5000. Check 7

## 速度管制

C : Speed control required. Say air speed. <Slow down/Hold > airspeed to 180 (Kt)

P : Speed control required ? 180 (Kt)

## 位置通報

C : Position 13 miles north of Aso. Report on Onjuku. Say Sakura estimate.

P : Check Onjuku. <Approaching/Now/Over/Departed > Onjuku. Estimating Sakura 04.

Departed Daigo 36.

## ルート/滑走路指定

C : Cleared to Kisarazu via Rice arrival. Cleared I.L.S approach to runway 33 right.

P : Cleared to Kisarazu via Rice arrival. 33 right

## 機首指定

C : After Mobarra, right turn, heading 240 to intercept Localizer, for spacing purpose. Right turn to Kisarazu direct.

P : Heading 240 to Kisarazu.

## 空中待機

C : (Expect one time) hold over Onjuku (south east). Upon reaching Onjuku <make one 360 to right/hold >.

P : Upon reaching Onjuku hold. Start holding over Sakura.

## 移管

C : Contact <tower 1181/Tokyo Radar 1195 >.

P : <Switch to/Change to > <1181 / 1195 >.

## 二次レーダ

C : Squawk 2700 (ident). Rader contact.

P : (2700) ident

## トラフィックアドバイス

C : Traffic 727, five miles ahead Traffic jambo, 2 O'clock, 10 miles, north east bound, low.

P : In sight. Negative in sight.

## 航空. 気象情報

C : QNH 2996.

P : 2996. Information Rima.

## クリアランス待機

C : Stand by <clearance/lowering/squawk >

P Stand by.

その他

再送要求 Say again (altitude).

確認要求 Confirmation (250 ?).

「了解」など Roger. Wilco. Break. Go ahead. That is correct. Affirmative  
Negative. Correction

あいさつ Thank you. Good morning.

その他 Tokyo approach.

(注)  $A < B / C >$  は, "AB" または "AC" を意味し  $< A / B > < C / D >$  は "AC" または "AD" または "BC" または "BD" を意味する。