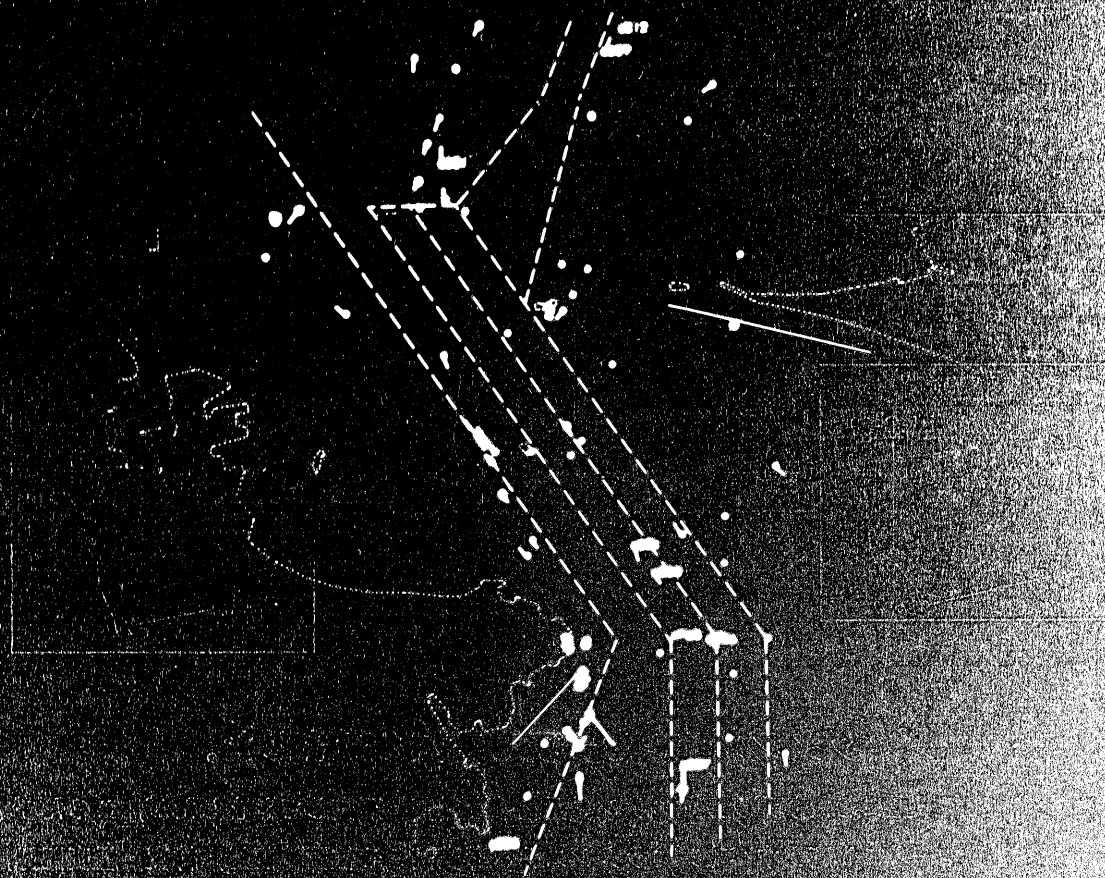


ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN. 29

1983

電波航法研究会 発行

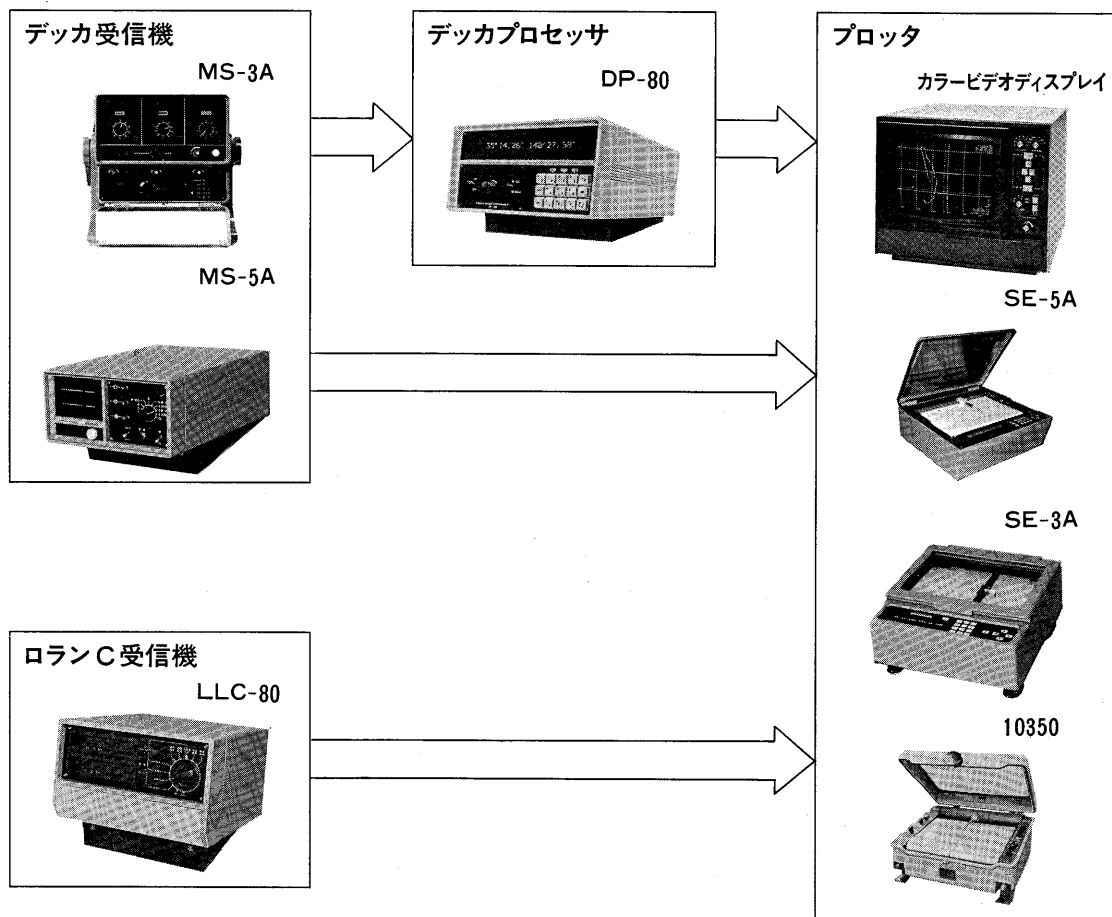
Published by the Japanese Committee
for Radio-Aids to Navigation

先に送付いたしました 電波航法 29 号に誤りがありましたので
下記のとおり訂正願います。

電波航法 JACRAN 29 正誤表

ページ	段	行	誤	正
31	左	上・3	metry,	meter
"	"	上・5	… 2 電波の地…	…電波の 2 地点
"	"	上・14	その代国内に…	その他国内に…
"	"	下・14	衛星軌の…	衛星軌道の…
"	"	下・5	信号周数や…	信号周波数や…
32	左	下・16	未知数は 8 個	未知数は 9 個
"	"	"	測定数が 8 個	測定数が 9 個
"	"	下・10	相互相関々数	相互相関々数
"	"	下・1	ビデオ帯々域	ビデオ帯々域
"	"	"	(K-3 では	(K-3 では
"	右	上・8	伝搬媒質中の…	伝搬媒質中の…
33	左	図 4 中	(3) コーラス	(3) コーコス
"	右	下・2	809。	80%
34	左	下・6	BLBI	VLBI
"	右	下・17	54 チャンネル	5 チャンネル
35	左	上・8	総同的システム	総合的システム
36	上・5 段目		周数変換部波	周波数変換部
"	下・7 段目		フレキシブルディスク X2	フレキシブルディスク X2
"	下・6 段目		データベースユーティリティルーチン	データベースユーティリティルーチン
"	"		ガードリーダー	カードリーダー
"	下・5 段目		(1800 秒)	(18000 秒)
37	右	上・6	…のソクトウニアは、	…のソフトウエアは、
"	"	下・12	地域物理学等の	地球物理学等の…
38	表・3	下・2	HP 100 シリーズ	HP 1000 シリーズ
39	左	下・6	数か国と…	20 数か国と
"	右	上・3	37 日の	37 回の
"	右	上・5	7×10^{-10}	7×10^{-9}
40	左	上・3	3か局	3局
"	左	表五 (# 2)	Westford	Westford(USA)
41	左	上・14	(IUSU)	(ICSU)
"	"	上・15	探査開発計画	探査開発計画
"	右	下・22	契機を得るのと…	契機を得ようと…
42	文 文献 12)		プレートテクニクス	プレートテクトニクス
42	文献 15)		リモートセンシング 技術センタ) 56.3)	リモートセンシング 技術センタ (56.3)
42	文献 32)		探査開発計画	探査開発計画

セナーのデッカ・ロランCシステム



プロッタシステムを一段と充実させました。

当社では10年以上にわたりデッカ・ロランC受信機を賃貸・販売してきましたが、このたびユーザ各位のニーズにお応えすべくプロッタシステムを充実させ位置線記録、緯度・経度記録、さらにカラービデオディスプレイ記録も可能となりました。

特にカラービデオディスプレイには、衛星航法装置や水温計も接続でき漁撈の能率の向上、漁獲の増大を計ることができます。



セナー株式会社

本社 東京都千代田区内幸町2-1-1
TEL (03)506-5331(代表)

札幌営業所 札幌市中央区南1条西1-1(東ビル)
TEL (011)231-8421(代表)
釧路出張所 釧路市浜町2-10
TEL (0154)22-8269(代表)
仙台営業所 仙台市中央2-8-16(仙台東京海上ビル)
TEL (0222)63-0171(代表)
神戸営業所 神戸市中央区栄町通3-6-7(大栄ビル)
TEL (078)331-7292(代表)
福岡営業所 福岡市中央区天神1-14-16(三栄ビル)
TEL (092)711-1451(代表)

一 目 次

CONTENTS

巻 頭 言.....	鈴 木 裕.....(2)
Foreword	Hiroshi SUZUKI

研究調査 Research and Investigation

情報のデジタル化とその将来.....	森 田 清.....(3)
Digitization of Informations and its Future Trends	Kiyoshi MORITA
船の自動化と将来動向.....	唐 沢 康 人.....(12)
A History and Future Trends of Ship Automation	Yasuhito KARASAWA
航空電子技術のあゆみ.....	久 木 田 実 守.....(16)
A History of Developments on Avionics	Sanemori KUKITA
VLBI と日米共同実験.....	吉 村 和 幸.....(31)
VLBI and the Japan-USA Joint Experiment	Kazuyuki YOSHIMURA

展 望 Observation

宇宙開発のこと.....	立 野 敏.....(43)
On Space Developments	Satoshi TATENO
戦後の電波技術は船舶から、一技術者の回想.....	津 田 圭 一 郎.....(50)
Reminiscences on Revivals of Maritime Radio Techniques after the 2nd World War	Keiichiro TSUDA

研究会記事.....	(11) (30) (58)
Record	

会 告.....	(42) (49)
----------	---------------

巻 頭 言

(FOREWORD)

副 会 長 鈴 木 裕*

Vice-President

Hiroshi SUZUKI

ここ数年、漁船の海難は減少傾向にあるとはいえ、昭和56年の海難統計によれば、3,959件にも上っている。このうち、衝突海難が1,581件、乗揚海難が238件となっている。漁船保険の対象となったものは、ごく小さなものも含めて7万件を超えていると聞いている。漁船は42万隻もあるから比率は少ないと考えるべきでなく、その実数に注目すべきである。

船舶の安全と人命財貨の保全、海洋環境の保護を目的として、第2次大戦後発足した現国際海事機関IMOでは、1974年国際人命安全条約を初めとし、1977年漁船の安全に関する国際条約、1972年国際海上衝突予防規則および1978年船員の訓練・資格証明及び当直維持の基準に関する国際条約(STCW条約)などを出し、それぞれの中で、電波機器について規定している。いうまでもなく、わが国ではこれらの諸条約等に基づいて関係国内諸法令を改正している。

法的な規制の重要性は論をまたないが、今や、わが電波航法研究会において、多発している漁船の海難防止のため、電波機器による援助装置の開発を強く望むものである。

漁船は一般に小型である。機器も相応に小型でなければならない。機器のおかれる環境は商船に比べ大分条件が厳しい。その上、乗組員は小人数で漁労作業に、漁船の運航に忙しく動き回っている。彼らは漁獲物に触れた手で電子機器を扱かわねばならない。このような状況下にあって、まず、最も多いと報告されている衝突海難と乗揚海難を未然に警告する電子機器から開発を手掛けるべきだと考えている。現在のARPAは小型漁船には大き過ぎる。高度集積素子の応用で小型かつ高性能のシステムが開発され、狭い船内に装備され、危険を未然に警報してくれてこそ、過労によって居眠りでも起こそうかという漁船員には朗報ではないだろうか。

* 東京水産大学教授(工博), 漁船計器学

情報のデジタル化とその将来

東京工業大学名誉教授
沖電気工業KK 顧問

森 田 清

Digitization of Informations and Its Future Trends

Emirius Professor of The Tokyo Industrial University
Oki Electric Industry Co. Ltd.

Kiyoshi MORITA

序

アナログ量をわざわざデジタル化して伝達しようという考えの根本にはおよそ以下7つの大きなより所がある。すなわち、

- 1) 2進法で浮動小数点法を用い幾桁の数でも容易に扱える。
- 2) modulo 算が発達して伝送に伴う誤差の自動訂正を行なう技法が発展した。
- 3) トランジスタの発明で電力消費（真空管での陰極加熱）の殆んど不要な演算素子があらわれた。
- 4) pulse 技術の進歩でミリマイクロ秒あるいはそれ以下の幅狭いパルスが出現しデジットを表示するのに適当になった。
- 5) 通信を含め、あらゆる情報の伝達が輻輳し、かつそのスピード化が要求され、伝送の多重化が要請されるようになった。
- 6) トランジスタ、ダイオードなどの集積回路技術が進み、超 LSI (超 Large Scale Integration) があらわれ、デジタル計算機が小型となり、これが情報の交換及び処理に重要な役を演じ、しかもスペースをあまりとらずにすみ、装置のコストが著しく低廉となった。
- 7) アナログ量そのままこれを伝送すると波形の歪みが生じ、また雑音に災いされる。デジタル化しパルス伝送すればこの難点を除去することが出来る、しかも高速化が可能である。

以下種々の情報がデジタル化されている現況と、その処

理のスピード化が、どれほどまでに要求されているかについて述べたい。

1. 通信におけるデジタル化

1.1 PCM多重

2進法は2のべき乗の和算としてあらゆる数をあらわすもので、例えば $113 = 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^0 \rightarrow 1110001$ とかき、 $3.25 = 2^1 + 2^0 + 2^{-2} = 11.01$ とかき表わす。PCM はの略で、与えられたアナログ音声、それが含む最高同波数の周期の $1/2$ より小さい時間間隔でサンプリングし、得た瞬時値を2進法で示したとき、その各ビット1又は0を、パルスの“あり”、“なし”で表現し伝送する。普通サンプリングは 8 kHz で行い、音声波瞬時振幅を最高8個のビットで表現することにきめている。そこでビット間隔は $8 \times 8 = 64\text{ kHz}$ に相応する。

Fig. 1 は簡略化して示したPCMで、ここではビットで2進符号化している例を示す。

実際の通信では多重化されたPCMが用いられている。PCM-24 とは同時に24人が通話し得る方式で、線

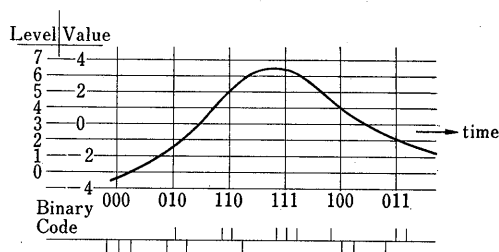


Fig. 1

路を伝わるパルスは $24 \times 8 \times 8 = 1.536 \text{ Mb/s}$ 、つまり、1 サンプル間隔 0.125 ms の間に 24 人のデータ (value) を順に並べて詰め込んだ形で伝送する。これが実用化されたのは 1965 年であった。長い市内の中継線に用いられる。

今や市外伝送の 16% は既に PCM 化されている。この多重化の傾向は更に進んで PCM-400M (同軸ケーブルにて) 方式が生まれ、昭和 55 年に 50 万回線が実用に供せられている。これらは 24 channel の複合化であり最高 $24 \times 24 = 5760$ 通話の同時伝送を行うことが出来る。このような大容量のものは主として RC (Regional Center, 総括局) と DC (District Center, 中心局) との間、または RC-RC 間の伝送方式として用いられている。

1.2 PSK

PCM は主として有線通信の分野に、そして PSK (Phase Shift Keying) が無線の分野に活用されている。PSK は Fig. 2 に見る如くで (A) は 2 相 PSK, (B)

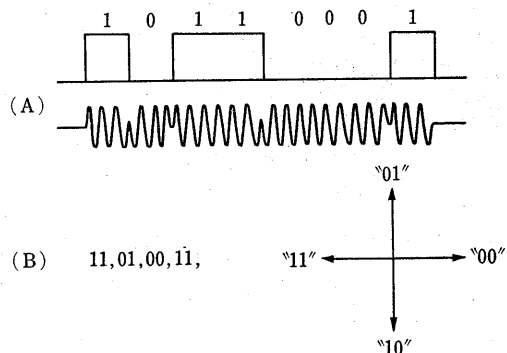


Fig. 2

は 4 相 PSK を示す。(B) ではデジットを 2 つずつ拾って読み (従って情報伝送速度が A の倍になる) これを 4 相に割当てている。振幅を 2 段に考えて処置すれば多重化も出来るが未だ実用していない。

表 1 および表 2 は我が国の現用デジタル伝送方式中主

表 1 我が国の主な有線デジタル伝送方式

	PCM-24B	DC-100M	DC-100M-R	DC-400M
適用領域	主として TC-EO 間	主として DC-TC 間	同 左	主として RC-RC RC-DC 間
適用ケーブル	市内・市外 平衡対ケーブル	標準同軸ケーブル	同 左	同 左
伝送速度	1.54 Mb/s	97.728 Mb/s	局内 97.728 Mb/s 線路 74.441 Mb/s	局内 397.2 Mb/s 線路 400.352 Mb/s
伝送容量	電話 24 CH	電話 1,440 CH 4MTV [*] 15 CH	同 左	電話 5,760 CH 4MTV [*] 60 CH
伝送符号	AMI	スクランブル付 AMI	変形 MS43 (4B-3T の一種)	スクランブル付 AMI
中継間隔	標準 2km (0.65mm 市内紙ケーブル)	標準 3.5km	標準 4.5km	標準 1.5km
誤り率	$10^{-6}/100\text{km}$ $10^{-4}/\text{REP}$	$10^{-5}/300\text{km}$ $10^{-11}/\text{REP}$	同 左	$10^{-5}/2,500\text{km}$ $10^{-12}/\text{REP}$
給電電圧電波	150 V 100 mA	$\pm 350 \text{ V}$ 250 mA	$\pm 500 \text{ V}$ 350 mA	$\pm 650 \text{ V}$ 550 mA
中継器消費電力	1.1 W/両方向	3 W/・方向	3.7 W/片方向	6.6 W/片方向
商用化時期	1972 年	1975 年	開発中	1977 年

* 6.3 Mb/s フレーム間符号化による場合

なものを示す。表 1 はみな PCM である。表中 TC は Toll Center (集中局), EO は End Office (端局)を表わす。

1.3 PCM slot exchange⁷⁾

PCM 24ch の例で述べれば、そのビット列構成は 24

名の加入者のそれぞれが音声電流を $1/8 \text{ ms}$ 毎にサンプリングさせ、その各瞬間値を 8 ビット表示で各人順送りし、1 フレームを作っている。ここではサンプリングそのものの時間幅は充分にせましくし、8 ビット $\times$ 24 の幅が $1/8 \text{ ms}$ 内に収まる必要がある。ここで 1 フレ

表 2 我が国の主なデジタル無線方式

諸元	方式名	2S-P1	2S-P2	2S-P3	11/15S-P1	11/15S-P2	20L-P1
周波数帯		2.11-2.29GHz	2.11-2.29GHz	2.11-2.29GHz	10.7-11.7GHz	14.4-14.76GHz 14.87-15.23GHz	17.7-21.2GHz
適用領域		DC-TC間 TC-EO間	DC-TC間 TC-EO間	TC-EO間 移動用 セントラリオン回線	都市内 TC-EO間	DC-TC間 TC-EO間	RC-RC間 RC-DC間 DC-TC間
伝送速度		15.8Mb/s	12.6Mb/s	3Mb/s	64Mb/s	100Mb/s	400Mb/s
伝送容量		電話 240CH	電話 192CH	電話 48CH	電話 960CH	電話 1,440CH	電話 5,760CH
システム数 (現用+予備)		9+1	11+1	4+2 (セッ卜予備)	11+1 (11S-P1) 7+1 (15S-P1)	20+1 (11S-P2) 7+1 (15S-P2)	8+1
変調方式		4PSK	4PSK	4PSK	4PSK	4PSK	4PSK
標準中継間隔		25km	25km	25km	10km (11S-P1) 6km (15S-P1)	20km (11S-P2) 8km (15S-P2)	3km
長時間規格 (平常時回転規格)		5×10 ⁻⁷ /200km	5×10 ⁻⁷ /200km	10 ⁻⁵ /50km	10 ⁻⁵ /100km	10 ⁻⁵ /300km	10 ⁻⁵ /2500km
短時間規格		フェーディングの多い1 カ月に對しBERが 10 ⁻⁴ を超える時間率 は0.005%/200km以下	フェーディングの多い1 カ月に對しBERが 10 ⁻⁴ を超える時間率 は0.005%/200km以下	フェーディングの多い1 カ月に對しBERが 10 ⁻⁴ を超える時間率 は0.006%/50km以下	BERが10 ⁻⁴ を超える 時間率が0.027%/100 km以下	BER・10 ⁻⁴ を超える 時間率が0.027%/ 300km (11S-P2), 0.037%/300km (15S- P2)以下	BERが10 ⁻⁴ を超え る時間率・0.3%/ 2,500km以下
送信部半導体素子		トランジスタ・ パラクタタ通信倍	トランジスタ発温 パラクタタ通信倍	トランジスタ発温 パラクタタ通信倍	インパットダイオード 直線増幅	インパットダイオード 増幅	インパットダイオード 直後発温
商用化時期		1969年	1975年	1978年	1975年	1978年	1976年

(注) BER: Bit Error Rate (秒間誤ビット数)

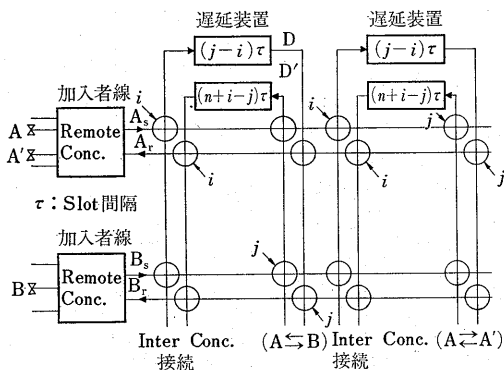


Fig. 3 3段時分割交換回路のタイムスロット交換 ($j > i$ とする)

ームとは $8 \times 24 + 1 = 193$ ビットのこと (1 は同期用ビット) であり, $193 \times 8K = 1544K$ bit が 1 秒に該当する。

時分割 PCM での交換には time slot での交換が要求される。そのやり方を Fig. 3 で説明するが, これは 8 ビット単位での交換である。

先づ A なる加入者が送りに A_s , 受けに A_r の line を使い加入者 B が送りに B_s , 受けに B_r の line を使うとする。両者の交換に共通の空き slot があつたとすれば, それを用いて交換を行う。これがないときは D, D' なる遅延装置を利用する。即ち A の発信は $(j-i)$ time slot だけこれで遅らせて B_r へつなぎ, B の発信は $n - (j-i)$ time slot だけ遅らせて A_r へつなぐ。ここで n は 1 フレームのタイムをあらわしている。

この他に 1 ビット単位で slot 交換する方法があり, これは低速のデータを高速のデータラインへ移転させるときなどに用いる。

Fig. 4 はこの例で低速側で並んでいたビットが高速側ではバラバラになってはめ込まれてゆく。

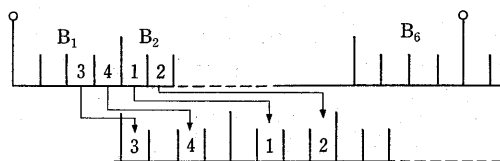


Fig. 4 slot 交換 (Bit Interleave)

1.4 ISDN¹⁾

これは Integrated Service Date Network の略でデジタル総合サービス網のことであり, 最近日本電信電話公社が第 6 次 5 年計画の中にとり上げている総合計画である。施設局が声明しているその定義は「ISDN とは同一のデジタル交換機とデジタル回線が異種のサービス (例えば電話とデータ通信) の通信路設定に使用されることのあるデジタル総合網である。デジタル伝送方式

(DDC) は昭和 53 年から特定通信回線を通じて商用化されているし, またパケット交換も公社が同年そのハードウェアを完成, 55 年から東京, 大阪, 福岡, 仙台等 7 都市でサービスが開始された。

ここでパケット交換とは特に短く区切られた bit 表示の電文で情報交換を行うもので, その特徴は packet (小包) という言葉で代表されるように各電文ごとにその初めに 80 ビット程の宛先 (加入者番号) と制御の規約を挿入してあり, 一種の郵便のようなものとも言える。局ではこの電文を一旦交換機内部記憶装置に蓄積し, 線路網の空き次第, これを高速転送して相手端末に送達する。従って通信の空白時間を縫って処理が行なわれることになり回線使用能率がよくなる。パケットの長さの一例としては 1000 ビット程度のもの迄ある。

データ伝送で公社がサービスを更に拡大化しようとしているものに

DRESS (販売在庫管理システム Dendenkosha Real-time Sales management System の略)

DEMOS-E (科学技術計算システム Dendenkosha Multiaccess Online System の略)

CAPTAIN (音声, 画像, 図表などで, リクエストされた情報を提供する Character And Pattern Telephone Access Information Network の略)

VRS (会話型画像情報システム Video Response System)

等があり, これらは郵政省の協力のもとに実現の運びとなった。

問題は伝送手段であつて初期にはモデムによる Digital-Analogue 交換により広く存在する電話用アナログ回線を利用して回線の作成が行なわれたのであつたが能率がわるい。そこで前述の DDC と共に昭和 54 年から DDX の回線交換網が商用化されたのである。既に蓄積交換装置 (STOC) は開発され, 加入ファクシミリが高速化²⁾されてデジタル回線を通るようになったので今後ファクシミリ利用はますます盛んにならう。従って回線網としては下部階梯としてアナログ網, 上部階梯としてデジタル網を用いることとなり, かつ用途の広範化と相まって頭書のデジタル総合サービス網の実現へ向つて世の中が進んでゆくと思われる。なお, 現在この ISDN はソフト INS と称している。

データ伝送利用は国際的にも発展しつつあつて国際電報は VENUS (Valuable Efficient Network Utility Service) なるシステムを開発, これが公社の DDX と結合されている。そこでパケット交換網に収容されている端末を, 例えばアメリカの TYMNET に収容されているコンピュータへアクセスする, またその逆を, というサービスが出来ることとなる。

なお一般にデータ通信には、その内容の前と後につける規約文 (protocol) が必要であり、この整備が急がれている。

2. 情報のデジタル処理⁵⁾

これにはあらゆる種類のものがあるが、ここでは電波航法研究会に関連するものとしてレーダと MTI との情報処理についての例をかかげ、コンピュータのスピード化が望まれる背景を説明したい。

2.1 レーダ

ここでは LFM (Linearly Frequency Modulated) レーダについて述べる。LFM は鋭く反射物体の位置を知るため、そのパルスはマイクロ波から成り、そのエンベロープは短形、そして周波数変調がかけられている。この波形は

$$S(t) = \cos \left[\omega_0 t + \frac{1}{2} \mu t^2 \right] \quad 0 < t < T$$

(T はパルス幅)

である。受信側は S/N 比を最大にするため Matched Filter を通して到来信号を受け付ける。この Filter のインパルスレスポンスは

$$h(t) = \cos \left[\omega_0 t + \frac{1}{2} \mu (-t)^2 \right]; \quad 0 < t < T$$

と設計しており、受信出力は反射波の到達時間遅れと、物件が動いたときに生ずる Doppler shift とを考慮しながら $S(t)$ と $h(t)$ との間の Convolution として計算する。いま f を f_0 からの Doppler shift とすると受信器出力 $A_a(t, f)$ は

$$A_a(t, f) = \begin{cases} \frac{T \sin [\pi(Wt - fT)(1 - |t|/T)]}{\pi(Wt - fT)} & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$

となる。ここで $W = \pi T / 2\pi$ である。元来 A_a のピーク値は反射物件の距離が R のとき $t_0 = 2R/C$ で与えられるべきであるが、この式では t_0 をバイアス扱いにしてある。そこで、 $t=0$ がピークを与えるはずのところ Doppler shift の影響があらわれ f を知らねば位置決定をしかねることを示している。そこで $A_a(t, f)$ を Ambiguity Function と呼ぶ。Fig. 5 は R. S. Berkowing の著書から引用した $A_a(t, f)$ である。

A_a をデジタル化するには受信波をサンプリングする。その時間幅を

$$T_s = T/M \quad (M \text{ は整数})$$

とし、また

$$TW = N \quad (N \text{ は整数}); \quad f = \nu/T; \quad t = kT_s$$

とすると k を整数で算える場合 A_a は次式の A_d になる。

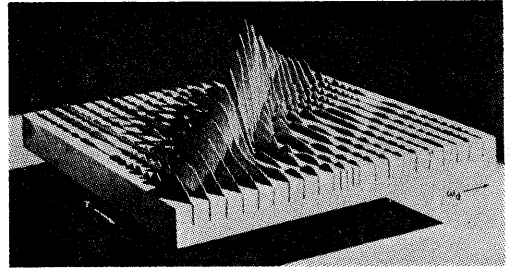


Fig. 5

$$A_d(t, \nu) = \frac{\sin \left[\pi \frac{N}{M} \left(k - \frac{M}{N} \nu \right) \left(1 - \frac{|k|}{M} \right) \right]}{\sin \left[\pi \frac{N}{M^2} \left(k - \frac{M}{N} \nu \right) \right]}; \quad |k| < M$$

Fig. 6 は全システムを示したもので M はメモリー、Detection Processor は特定目標のピーキング用、Processor は、多数反射の相互重畳分離用である。

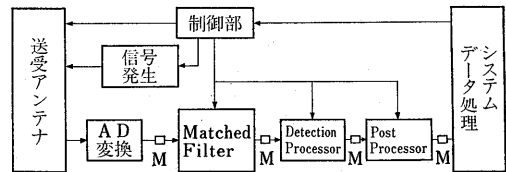


Fig. 6 レーダシステム

さて Matched Filter 部では前述の $S(t)$ と $h(t)$ をサンプリングしデジタル化し、それぞれをフーリエ変換し、この積をとって、その逆フーリエ変換をする。ここに FFT 及び逆 FFT が必要とする。高速フーリエ変換は

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j(2\pi/N)nk};$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j(2\pi/N)nk}$$

なる一対の式で示される。ただしアナログのデータ $x(n)$ は周期 N なる反復波形を持ち、その周波数変換が $X(k)$ 、 N の基準周波数を f_0 とすると最高 $(N-1)f_0$ の周波数成分をもつとされる。この計算には N^2 回の掛算が必要だが特に $N=2^r$ (r は整数) の場合には三角関数計算上の無駄を省くと掛算回数を大幅に減らすことが出来る。これが FFT であり、今の場合逆 FFT もやらねばならず、convolution に必要な時間 T_0 は

$$T_0 \approx N(1 + \log_2 N) T_m$$

で与えられる。ここで T_m は 1 組の複素数乗算に所要の時間である。レーダのパルス間隔が 1 ms であり、ここで扱わねばならないデータ数を $2^{12} = 4096$ と考えれば (周波数バンド数 1.0 MHz、受信サンプリングは Nyquist distance として)

$T_0=1\text{s}$ のとき T_m は 20ns となる。

このような速度は先づ無理であるから、これをなし崩しに処理して余裕をもたせることを工夫する。それが Fig. 6 に示した pipe line 方式で途中に記憶装置をおく。これが為記憶装置になっていて左からの到来データを受けて Buffer Memory とし、かつ一方では右の processor へデータを送出する。この様にして結局 T_m は 80ns で差支えない様に工夫するのである。

その他に計算時間短縮の方法として 2 FFT のハードの設計に 2 進法基準でなく 4 進法または 8 進法基準でその素子を作るという考えがある。Fig. 7 はこれを示すもので、図中 (a) が 2 進法、(b) が 4 進法である。

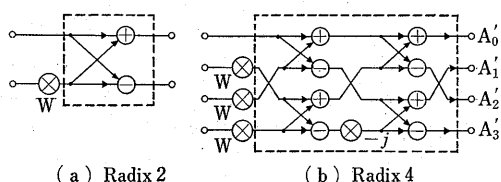


Fig. 7

一見して前者は掛算器と加算器がそれぞれ 1 個および 2 個であるのに対し、後者は 3 個および 8 個であることを知る。データ 4 つを扱うのに前者では掛算器が 2 個必要となるから 4 進の方が 50% 掛算器が多い。しかし後者の方が前者よりも同時受付のデータ数が 2 倍あるところから結局は 4 進の方が得ということになる。

アメリカ Lincoln Lab. が主唱して組上げた FFT の例では 4 進で $N=16,384$ を扱い 30MHz のクロックで convolution を $136\mu\text{s}$ で完遂している。

2.2 MTI

レーダの一種に MTI (Moving Target Indicator) がある。動目標を識別するレーダであって、技術の要点はいかに静止物件からのエコーを消してしまうかにかかっている。主体としては Doppler Frequency Sensitive Radar になっており、あらかじめ地表物件のエコーを詳細に scanning して磁気 Disc に入れておく。受信波の不変分は 1 掃引区間だけ遅延させたものと、そのままのものとの差をとれば cancel できる。これと似た考えでトランスバーサルフィルタ (磁気 Disc メモリのデータに合った回路定数をもつ) の利用により地表物件の clutter の低周波分を消してしまう。一例として前記 Lincoln Lab. で開発した MTI は次のような仕様になっている。

目標距離	60 哩	パルス繰返し周波数	1030 Hz
使用周波数	2.7~2.9 GHz	平均放射力	400~600 W
パルス幅	1 μs	アンテナ回転速度	12.5~15 rpm
ビーム幅 (水平面内)	1.4°	地物消去	3 パルス canceler

さて canceler について、これが one pulse 方式だと受信波 $V_1=k \sin(2\pi f_a t - \phi_0) \dots f_a$ はドップラー周波数 $\dots 1$ 繰返し 周期 (T) おくらせてこれを受けたら $V_2=k \sin(2\pi f_a(t-T) - \phi_0)$

であり、この差は、

$$V = V_1 - V_2 = 2k \sin(\pi f_a T) \times \cos \left[2\pi f_a \left(t - \frac{T}{2} \right) - \phi_0 \right]$$

となって $f_a = n/T = nf_p$ のとき出力は 0、従って地物のエコーが消える。しかし移動目標の映像もまたここで消える。ただし前者のスペクトルは $f_a=0$ のまわりに局限されているから f_a の大部分では Fig. 8 の如く役にたつ。この役立ちの部分をもっと広げるため 3 パルス Canceler を用い、また I & Q 方式を並用 (受信波を In Phase, Quadrature Phase に分解しそれぞれに Canceler を適用、各出力をそのあとで加算する)、更に f_p のちがう 2 波を併せ用いるなどする。

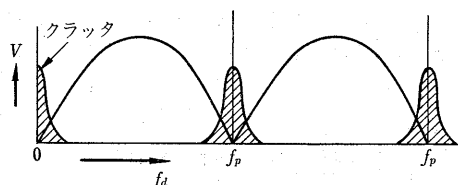


Fig. 8

さて現れた f_a が如何なる値かを知るためには $0 < f_a < f_p$ の区間をこの場合は N 等分し、その各部分波を識別するため段間に各 T の遅れを与えた N 段トランスバーサルフィルタを用意する。その i 段へ $W_{ik} = e^{-j(2\pi i-1)k/N}$ なる位相シフトの重みをつけて合成すると ($i=1-N-1$) 出力は k 番目の部分波を与える。即ち digital な doppler filter ができあがる。

この MIT の例では地上に距離 1/16 哩毎、方向角としては 3/4 度毎の分解用区画を設けている。最大距離 47.5 哩に対してこれを実施すると cell (目) の数は

$$\frac{47.5}{(1/16)} \times \frac{360^\circ}{(3/4)} = 364,800$$

となる。この 3/4 度の内に 10 回のパルスを発射、受けたエコーを前述の doppler filter で処理する。ここで $N=8$ に設計してあり、従って全データ数は上記の 8 倍と

なり 2,918,400 となる。これが 1 パルス毎に供与されるデータ数、1 秒間にはこれの 1,030 倍となる。なお実際問題としては Doppler の blind spot (frequency 領域での) を減らすため 10 個のパルス毎に f_p を変えるという操作も加えられている。

3. 情報デジタル化の将来

コンピュータの進歩により通信機器のみならず、あらゆる部門、工学、理学、医学は当然として種々の事務処理、統計処理に迄、情報のデジタル化コンピュータによる計算、整理が行なわれ、それがアナログをそのままでの処理も迅速、かつ正確であることが知られてきた。

光学分野でスペクトロメータの例をとれば従来 slit を用いた干渉計に代って赤、遠赤の領域では Fig. 9 に示す Michelson の干渉計が多用される。 M_0 は半透明

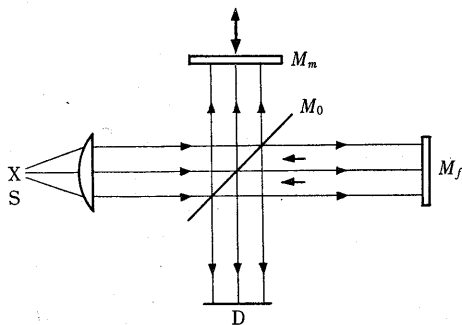


Fig. 9

境、 M_f が固定、 M_m が可動の鏡でこれを Δx 動かしたときと検波器 D の出力の変化をみ、サンプリングして D FT を行えば光源の S スペクトラムがわかる。ここではコンピュータによる FFT が役立っており、従来の slit 型に比し 1000 倍の速度で測定が完了する。

医学分野では CT (Computer Aided Tomography) が活躍している。患部を通して X 線を通せしめるのであるが、その線源と受波装置とを患部中心に回転させ、角度 180° にわたってデータをとる。角 θ の関数として得たデータはこれをサンプリングしコンピュータで Discrete FFT を行くと患部の断面映像が得られる。患部が頭ならまだよいが心臓などでは常に動いているから困る。今なお 180° 回転撮影に数秒を必要とし、肺ならば、この間、呼吸をとめておく事ができるが心臓ではそれができない。メモリーのスピード化、コンピュータ処理のスピード化が望まれている。

コンピュータでの情報検索において、採し出された情報を依頼者へ電話で自動的に通報することが出れば便利であろう。このとき音声合成という技術が必要となる。この場合あらかじめ音声素片を PCM でパルス録音してお

くことが考えられるが、更にボコーダによる分解合成の手法でビット数軽減を図る必要がある。現在 IBM 社その他本邦各社が種々発表しており、一応実用になるのではあるが、まだ声の自然性を付与するまでには至っていない。これには音源波構成の細密化と、声道口腔の adaptive なモデル化、計算処理機能のスピード化が更に要求されることとなる。

現在、宇宙開発事業団の打上げる衛星の追跡管制ではそのデータ処理系に種々計算機を使う。追跡は我国独自の方法で、衛星の出すビーコン電波 (136 MHz および 400 MHz) を地上のアンテナで自動追尾して衛星の高度、方位角を測定し、ビーコン波の Doppler 偏移より衛星の相対速度を測定するものである。追跡局としては勝浦、沖縄および内の浦宇宙空間観測所がある。この追跡局で用いられている計算機には大小種々のものがあるが、そのうち最も大型のもののサイクルタイムは $1 \mu s/2$ 語、その 2 語は 88 ビット (内 72 がデータビット、8 がフラグビット、8 が誤り自動訂正コード) からなる。従って 1 ビット 11 nano sec という処理速度である。

この処理速度の向上には世界中が互いに競っており近頃は 1 nano sec を切るものさえ現れている。しかしこれでも未だ遅い。現状では資源衛星から送ってくる画像データの処理で、縦横 20,000 画素の扱い (歪みの修正、波長別データの受付、ボスの修正、合目的の画面合成等) に数時間を要するから火急の場合間に合わない。これら問題の解決に対応しようとして近頃注目されているのは液体ヘリウムで冷却し超電導状態となった金属対間のトンネル効果を利用し、記憶、スイッチング作用をさせる計算機である。

Fig. 10 は超電導性^①をもち易い金属、例えばニオブ Nb または鉛 Pb で作った環にはじめ磁束を通しておき、

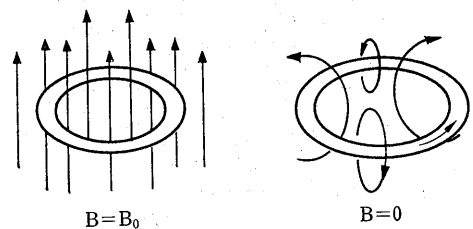


Fig. 10

さてこれを臨界温度以下に冷してから磁界をとり去ると環中に電流が流れ、その向きは今迄の磁束を保持しようとする方向であり、かつこの電流は永久 (5 年とか 10 年とか) に流れる。また Fig. 11 に示すように Pb の板 2 枚の間に PbO の薄膜を入れ、これを超低温にし外部から電流を流すと、ある電流値 J_0 までは無電圧これを過ぎると矢印で示すようなジャンプがあらわれる。この二

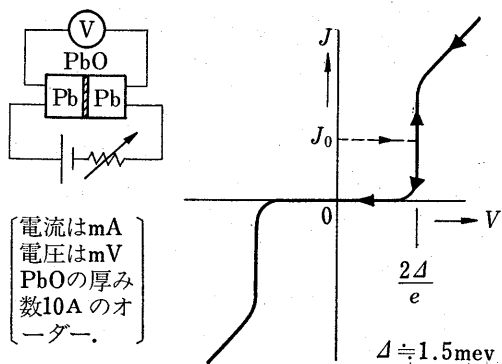


Fig. 11 (Josephson 効果)

つの性質を用いて記憶素子やスイッチング素子を作る。IBM 社は早くからこの研究開発を行い、表 3 のデータを発表している。

超低温にする時間がかかるがシステムサイズが小さく速さが現行の LSI よりも一桁半以上すぐれている点が将来への魅力である。

Fig. 12 が記憶回路でループには Josephson 素子 B_0B_1 を含む。初め J_w を流し素子を J_0 (Fig. 11) 付近におく。さて信号電流を流すと B_1 は両電流の作る磁界の和を ($-x$ 方向) うけて有限電圧となり“0”と記憶する。 J_B が逆向きなら“1”となる。しかし J_B はいずれもインスタントでよい。読み出しは J_s で行う。

表 1 市販大型コンピュータとジョセフソンコンピュータ (推定) と比較

	IBM 370/168	ジョセフソン計算機 (推定)
CPU+IO 容量	120×10^3 バイト	120×10^3 バイト
同上サイクルタイム	80 ns	4 ns
バッファ記憶容量	32×10^3 バイト	32×10^3 バイト
同上アクセスタイム	80 ns	4 ns
主記憶容量	6×10^6 バイト	16×10^5 バイト
同上アクセス・タイム	400 ns	20 ns
全系動作特性	3.5×10^4 インストラクション/s	70×10^4 インストラクション/s
システムサイズ		$15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$
発熱量		7 W
クライオスタット容積 (含液化酸)		460 l
コンプレッサー		$60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$
冷却系所要電力		15 kW

[電総研; 中村彬著 “クライオエレクトロニクス入門” より]

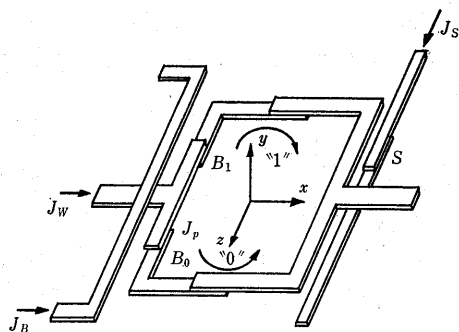


Fig. 12

なお素子にはこの外ポイントコンタクトで小型の dc SQUID がある。

さらに Josephson 効果の問題は、これが標準電圧の発生や微小磁界の検出に役立つところから、電気学会 (クライオエレクトロニクス調査専門委員会が発足) 電子通信学会誌⁹⁾などに多くの論文が出ている現状である。

4. 結 言

以上は主として科学技術関係の情報デジタル化について述べたが、今やあらゆる事務処理から各種管制機構にまで情報が氾濫し、処理のスピード化はますます必要である。そして処理機械は学皆機能と連想、予測の能力を兼備する種類のものであることが要求される。「第五世代コンピュータ」を開発する計画を立てその第一期は3年間、100億円の予算をあて明春 (57年) スタートすることになっている。今のところ3クライオジェニクは未だ我々の手の届く所がないが今後10年を要せずしてこれがコンピュータにとり入れられ、世人はこの領域におけるトンネル効果の発見者 B. D. Josephson の名をかのトランジスタの発明者 J. Bardeen の名と併せて記憶することとなるであろう。そして情報デジタル化関連の工業はいよいよ盛んとなる。

謝辞: 本稿作成にあたりクライオエレクトロニクス関

係で電総研の根本俊雄氏、中村彬氏、CT 関係では聖路加病院長、野辺地篤郎氏、データ通信関係では沖電気、只野豊治氏、江洲敏郎氏など多方面から資料の提供ならびに見学の機会をいただいた。ここに篤く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) “デジタル総合サービス網 (ISDN) に向けて” 前田光治; 施設-32-6
- 2) “通信のデジタル化と情報処理” 廣田憲一郎; 情報処理 Vol. 19 No. 6
- 3) “デジタル伝送方式の技術的背景と今後の動向” 西野孝平, 堀口孝雄; 施設-32-6
- 4) “CCITT 第 XVIII 研究委員会 (デジタル網) の活動状況” 井上伸雄, 沖貝勝也, 青山友紀; 施設-32-3
- 5) “Applications of Digital Signal Processing” Alan V. Oppenheim, editor 1978
- 6) “クライオエレクトロニクス入門” 中村 彬 著
- 7) “An Introduction to Digital Integrated Communications Systems” Hiroshi Inose 1979
- 8) “ジョセフソン素子のコンピュータへの応用” 蓮尾信也; 電子通信学会誌 昭和 56 年 5・6・7・8 月号連載
- 9) “スーパーコンピュータ” 山田 博; 同上誌 昭和 56 年 5 月号
- 10) “感覚世界を広げる高精度計測……ジョセフソン素子” 中村 彬; 日本の科学と技術 p. 88, 1981 年

電波航法研究会 昭和 56 年度会計報告

収 入 の 部			支 出 の 部		
項 目	金額 (円)	摘 要	項 目	金額 (円)	摘 要
前年度より繰越	1,025,992		会 議 費	817,660	研 究 会 6 回 記念式典祝賀会 657,060 円
会 費	1,278,000	法 人 $103\text{口} \times 12,000 =$ 1,236,000 円	資 料 費	133,110	記念講演会配布資料 133,110 円
		個 人 $16\text{口} \times 2,000 =$ 32,000 円	会誌出版費	1,472,569	第 27 号 498,090 円 第 28 号 (30 周年記念号) 974,479 円
		入会金 $2\text{口} \times 5,000 =$ 10,000 円			
雑 収 入	18,900	会誌販売等 18,900 円	事 務 編 集 費	274,225	記念行事関係 146,120 円
広 告 料	910,400	会誌第 26 号 (未収) 136,000 円	謝 金	20,000	
		会誌第 27 号 85,000 円	通 信 交 通 費	66,000	
		会誌第 28 号 (30 周年記念号) 689,400 円	雑 費	115,240	
銀 行 利 子	16,221		次 年 度 へ 繰 越	19,770	特別研究会補助
計	3,249,513		計	310,939	
			計	3,249,513	

船の自動化の変遷と将来動向

石川島播磨重工業株式会社

唐 澤 康 人

A History and Future Trends of Ship Automation

Ishikawajima-Harima

Heavy Industries Co. Ltd. (IHI)

Yasuhito KARASAWA

1. 海運界および造船界の動向

(1) 世界経済と日本経済

世界経済は、1979年の第2次石油ショックの影響を受け、'80年代に入っても予想以上の低迷が続けました。また、中長期的な'90年までの世界経済の年平均成長率は、従来の予測の4%台よりも、約3%台に低下することが考えられます。このようなことが荷動きに関係して海運市況や船舶需要に大きな影響を与えています。

一方、日本経済は、欧米に比べインフレや失業率は低く比較的安定していますが、経済成長率は鈍化しており、今後の景気の回復を考慮しても、'80年代は、約4.5%前後で推移すると予測されています。

(2) 世界とタンカーマーケット

石油は'79年以降の相次ぐ値上げにより、1バレル当り30~40ドルの水準に達し、世界的に省エネルギー、省石油、脱石油が急速に進んでいます。このため、石油の生産量、消費量、輸出入量とも大幅に減っています。このことは、表1で示すように実質GNPが増加しているにもかかわらず、原油輸入量が減っていることから明白です。世界の石油消費量は'80年には、対前年比4%減の約30億トンに減少し、'80年も7%減の約28

億トン前後と毎年減少しつづけています。

ここに一つの問題があります。すなわちタンカーを建造する、動かすという側から言えばマイナス要因となります。さらにスエズ運河の拡張、サウジアラビア横断パイプラインの完成などによる必要船腹量の減少要因もあり、現在の船腹量(約3億5000万重量トン)に対し、約30%が過剰となっています。

(3) 撒積貨物と不定期船マーケット

鉄鉱石と原料炭の海上荷動量に大きく影響する粗鋼生産については、'80年は前年に比べてOECD諸国の落込みが大きく、世界全体で約4%減少しました。

一方、石炭の需要は電力、セメント業界等を中心に活発になっており、海上輸送は日本および欧州を主要消費地として、急速に増加しています。

穀物については中国、ソ連の不作およびポーランド問題を契機として、海上輸送の流れが変わり、オーストラリアなどの遠距離ソースの輸送が増加しました。

なお、この好市況の大きな原因の一つに、アメリカ、カナダ、南アメリカ等の石炭積出港における積荷待ちの船およびパナマ運河の船混みのための通過待ち船の増加により、輸送効率が悪化し、見掛けの必要船腹量が増えたことがあげられます。

(4) 減速航海

また海運界の動向で注目すべきことの一つに減速航海の恒常化があります。これは燃料油の値上りにより、商船の経済速力が変わり、減速航海が当然になり、このスピードダウンがタンカーでは過剰船腹の一部を吸収しており、バルクキャリアでは必要船腹量を増大させています。

以上のように、世界の海運は港湾事情の悪化や輸送効率の低下等が見掛けの必要船腹量を増加させ、市況を維持させているのが現状です。

表1 原油の節約

		A	B	C
A=原油輸入量 (億キロリットル)	48年度	2.89	145	2.00
	49	2.76	145	1.90
B=実質GNP (兆円, 50年基準)	50	2.63	150	1.75
	51	2.76	157	1.76
C=GNP 1兆円あたり に必要な輸入原油量 (100万キロリットル)	52	2.77	166	1.67
	53	2.70	174	1.55
	54	2.77	184	1.50
	55	2.49	191	1.30

(5) 造船界の動向

世界の造船受注量について地域的に見ると、日本が圧倒的に多く世界全体のほぼ半分を受注しています。それに比してヨーロッパ諸国は年毎に下っています。第三造船国で注目すべきは韓国の躍進で、日本と同様、不況からの脱出が早く世界第二の受注量を獲得しています。

一方、建造量については、図1に示すように日本の建造量の底は'79年で、'80年にはすでに上昇していますが、世界の建造量は'80年が底で、'65年以来の最低であり、ピーク新であった'75年の38%にしか達していません。

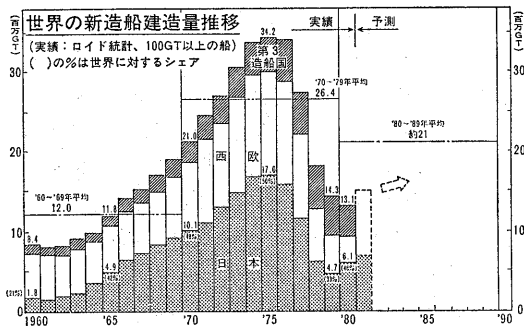


図1 世界の造船建造量推移

日本の今後の建造量については、マクロ的にみて、中長期的には建造需要は増加の傾向にあり、円レートの動向にもよりますが、日本の国際競争力の強さから世界における日本の建造量のシェアは45%前後を維持すると予測されます。

(6) 造船界における今後の課題

韓国を中心とする第三造船国の台頭に対抗して、日本が優位に立つためには、これらの国々よりすぐれている高い技術力を生かす必要があります。これにはLNG船に代表されるような、いわゆる高付加価値船の建造に力を注ぎ、量より質の船舶建造を目指すべきです。

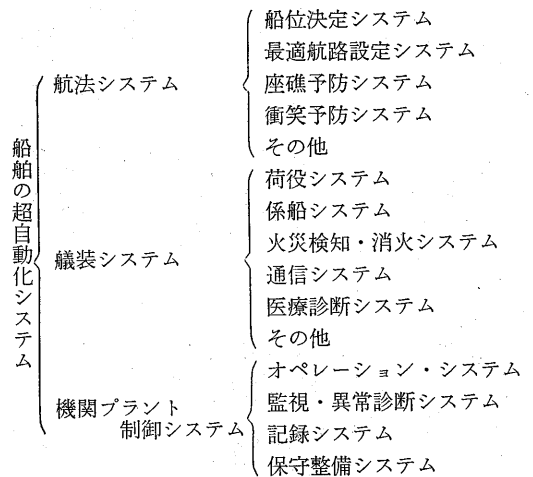
また、省エネを達成するための自動化、信頼性と安全性の向上のための電子技術の応用には、特に力を注ぐべきであります。

2. 自動化の変遷

船舶の自動化の試みは、1959年の運輸省の造船技術審議会から「船舶の自動操縦の技術的問題点とその解決策」という諮問が出され、これをベースにして'69年に世界最初の主機ブリッジコントロール商船「金華山丸」が竣工しました。それ以来、わが国は常に世界の技術をリードしてきました。

そして、信頼性の向上、安全性の向上、経済性の向上という三つのテーマのもとに、'67年の秋から、自動化

の適用範囲を船全体にまで広げ、かつコンピュータを大幅に導入して船舶を高度に集中制御しようという、いわゆる「超自動化」の研究が始められました。この研究すなわち「船舶の高度集中制御方式の研究」は海運会社、造船所、機器メーカーの他、多数の関係者の一致協力によって進められました。当新検討されたシステムは次のとおりであり、その研究成果として'70年9月に超自動化第一船「星光丸」が就航しました。



当時のコンピュータシステムは、中型のコンピュータシステム1台ですべての計算および制御を行う、いわゆる集中型システム(図2-a)を採用しました。例えば写真1は星光丸の衝突予防システムの表示装置ですが、コンピュータは、TOSBAC-3000S(コアメモリ16K語、磁気ドラム80K語)が使用されています。

しかし当時に実施した海外調査において、ミニコンピュータあるいは将来登場が予想されたマイクロコンピュータを各システムごとに使用した、いわゆる分散型システム(図2-b)に移行するであろうことが予測されました。確かに、このような経過をたどってきています。例えば、前述の写真1の後には、ミニコンを使用した装置(写真2)の登場、さらにマイクロコンピュータを使用した装置(写真3)に変遷しています。

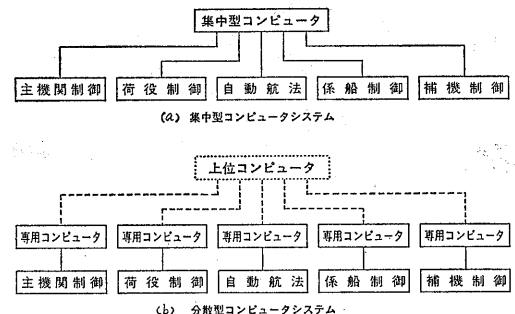


図2 コンピュータシステムの構成



写真 1 星光丸の衝突予防システム表示装置

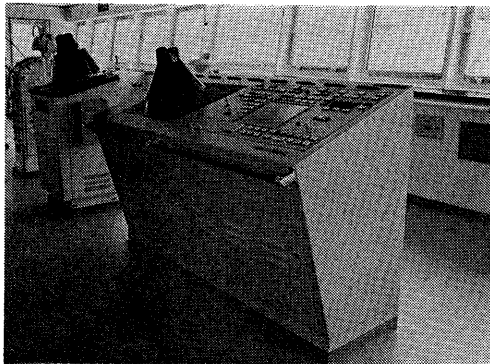


写真 2 ミニコンピュータを使用した衝突予防援助装置（データレーダ）

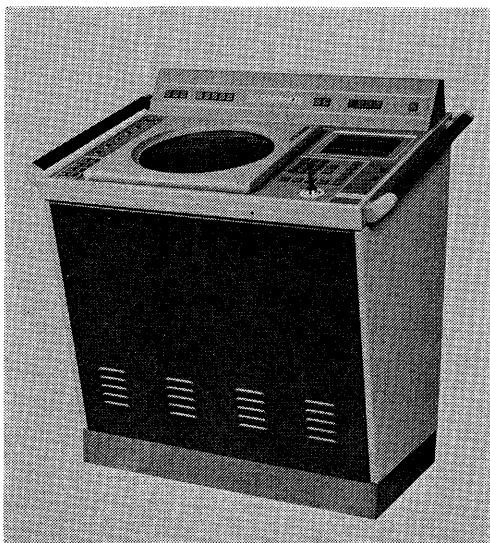


写真 3 マイクロコンピュータを使用した ARPA（レーダメイト）

写真 1-3 衝突予防援助装置の進歩

この間、コンピュータのメモリの増大にもかかわらず、価格は低下しているように、半導体技術、コンピュータ技術はたえず進歩を続けています。また、航空機用エレクトロニクスや自動車用エレクトロニクスの技術進歩による部品性能の向上に伴い、このような部品を船舶にも使用できるようになってきています。

3. 高技術船の中で見る自動化

運輸省船員局長の諮問機関である船員制度近代化委員会では、わが国海運界が国際競争力を回復、維持するためには少人数船（高度合理化船）が必要ということで、1979 年から調査を開始するとともに、現実の船を使った実験を始めました。'79 年度に総合実験船として、白馬丸、きゃんべら丸など 4 隻で実験が始まり、'80 年度には、14 隻に拡大し本格的な実験船運航が行われています。これらの船では 18 人体制で運航されています。

近い将来、現在の実験船の次の段階として、10~12 名定員の「超合理化船」時代が到来することが予想されます。この場合、乗組員による船内機器の整備業務などはほとんどなくなり、せいぜい航海中の応急措置程度で、もっぱら船が目的に沿って適切に運航されているかどうかを管理することが、乗組員の主業務となると考えられます。

ところが、現在の実験船では、従来の操舵室と機関制御室を統合して、コントロールセンタースペースを設け、集中監視制御ができるようになっていますが、従来の各機器をブリッジに集めただけであるため、計器の数が増え、従来より大きな床面積を有するブリッジになり、作業動線、さらに監視角度が増大しています。このため、小スペース形のブリッジにおいて、マイコンや CRT を有効に使用し、運航管理可能なシステムが要望されています。

図 3 および図 4 は、東京大学の小山教授が ISSOA-79（船舶自動化国際シンポジウム——1979 年）にて発表されたもので、'80 年代後半の船に影響を与える環境条件の内、乗組員定員と乗船期間の傾向を示しています。定員減少に対する下限を求める分析の多くは、10~12 名であり、トレンドから見て下限に達するのはそれほど遠

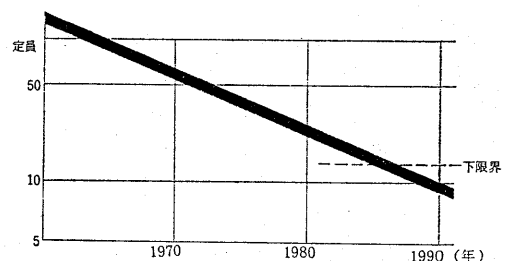


図 3 最小乗組定員船の動向

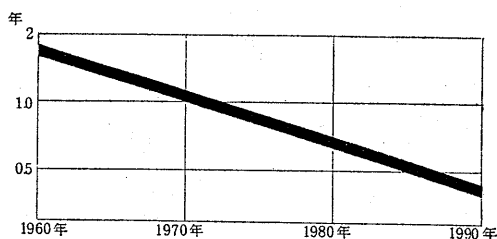


図 4 乗船期間短縮の方向

い将来ではありません。また、乗船期間が短くなるにつれて、一航海毎の交替乗組員数は相対的に多くなり、場合によっては半数以上が交替することにもなりかねません。このようなことから、次に記・「船内総合情報システム」により情報の集中化が必要といえます。

(財)日本船舶標準協会では'78年度から「装置ユニット委員会」を設け、「船内総合情報システム」の調査を実施しています。この調査では、カラーブラウン管を用い、航海、機関、荷役の情報をコンピュータを介在させて、船橋で総合的に処理するシステムを「船内総合情報システム」と名付け、このシステムの基本的事項を標準化することを目指しています。このシステムでは船内外における人間・機械間の情報交換(例えば指令、伝達、表示)の確立を設計思想として、コンピュータを中心に既存の電子技術の組合せにより標準化された設備を念頭におき、従来の個々独立の機能について、その操作、監視、警報などを CRT ディスプレイを利用して一括処理する方式を基本としています。図 5 は航海関係データの表示例です。

このように CRT を乗物の分野に利用することは、すでに航空機では実施されています。第 4 世代のジェットライナーと呼ばれるボーイング 767 のコックピットにはマルチカラー CRT が多用されています。エンジン計器、システム計器の一部を、従来型の計器に代え、CRT 表示するとともに、これらのデータをコンピュータが常時監視し、異常の際に乗員に注意喚起を自動的に行うようになっています。

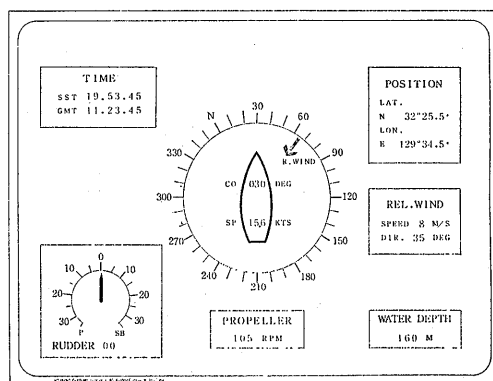


図 5 船内総合情報システム航海関係データ表示例

一方、海事衛星システム (INMARSAT) および全世界測位システム (NAVSTAR/GPS) が船の運航に大きな影響を及ぼします。INMARSAT は単に電話の機能の他に、図面やデータを送る機能、コンピュータとのリンク機能はすでに実用化されています。また GPS は大洋航行中はもとより、狭水道航行においても十分な精度が得られますので、単に測位のみにとどまらず、レーダの測位機能の代替、さらには海図情報とリンクさせ座礁予防装置としても利用可能になるでしょう。

あとがき

わが国最初の超自動化船が誕生してから、すでに 11 年以上を経過し、この間、エレクトロニクスとコンピュータ技術の進歩は目ざましいものがありました。当時の中形コンピュータと同等の機能が、現在の各装置に組込まれたマイクロコンピュータで実現できるようになっています。このような技術進歩を背景に、省人化、省エネルギーおよび安全性の向上を目指して、船の自動化が今後共進められてゆくことでしょう。

なお、当日の講演会では、多くの写真や図表をスライドにより説明しましたが、本稿では、その一部を紹介し他は省略させていただきました。

航空電子技術のあゆみ

日本航空宇宙工業会

久木田実守

A History of Development on Avionics

The Society of Japanese Aerospace Companies Inc. (SJAC)

Sanemori KUKITA

I. 電波航法研究会発足の頃

電波航法研究会が発足した 1951 年は、第二次世界大戦後、閉ざされていた日本の空が漸く日本人の手に戻った航空再開の丁度一年前にあたります。当時、日本の空を飛んでいた航空機は総て外国機で、軍用機 C-54E を改造したダグラス DC-4 や、ボーイング・ストラット・クルーザー 307、またロッキード・コンステレーションといったプロペラ航が花形として活躍しておりました。

ただ外国では、航空と電子技術（あるいは電波技術という可きかも判りませんが）の出合いがクローズ・アップされておりまして。すなわち 1948 年から 1949 年にかけて行なわれたベルリン大空輸で、ソ連を含む東欧諸国の軍隊に囲まれ陸の孤島化していたベルリンに、西側諸国の威信をかけて 1 日 8000 トン余りの食糧物資が、1 日に最高 1900 機余りの航空機を動員して空輸されたと伝えられております。この大空輸の立役者がレーダーでありまして、米空軍の管制官は大戦中活躍した MPN-1 型レーダーの GCA (Ground-Controlled Approach) システムを利用して、霧の中を次から次に飛んでくる輸送機を正確に誘導し着陸させ、レーダーを用いた航空管制の有用性を世に印象づけた出来事でありました。

この頃の民間航空機（日本の航空再開時に使用されたマーチン、DC-3、DC-4 といった航空機を含めて）では、電子技術は漸く、その導入が緒についた許りの頃で、大部分の搭載電子機器は、第二次世界大戦中に開発されたもののサブリマシナやレプリカで占められていて、通信系統では VHF、HF 等の装備がありましたが、HF 通信装置などは手動の周波数同調器付きのもので、オペレータが手廻しで操作しなければならない様な代物で、勿論、電鍵付きでした。

一方、航空装置の方は、ADF、LORAN・A、パルス

式 High Range Altimeter といった、どちらかと云えば洋上航法を中心としたものが大部分で、陸地上空で使用されていたものは ADF とレンジ・マーク位であった様です。ただ汎用の段階に迄は至っていなかったにせよ、米国では ILS や TACAN といったシステムが一般航空輸送用として開発されており、この中 TACAN は 1960 年に ICAO (国際民間航空機関) において、その距離測定部分が DME 標準方式として、方位測定用の VOR と共に、民間航空用航法援助施設として採択され、また民間の着陸援助施設として ILS が 1947 年より使用されつつありました。

航空電子技術、特に電波航法が中心となり、一つの技術として採り上げられるようになったのは、1950 年中頃で、Aviation Electronics、すなわち Avionics なる新語が生まれたのもこの頃です。欧米の大学でも航空電子工学が開講され、わが国でも更に 5 年程遅れて、航空電子工学の講座を設ける専門学校や大学が出てきております。即ち、技術から工学への発展が為されようとしておりました。

1958 年に改良型のコメット IV 型やボーイング 707 型が就航する迄、ダグラス DC-6、DC-7、ロッキード・コンステレーションといったプロペラ機の時代が続くのでありますが、この頃の日本の民間航空機の標準電子装備は、我が国の戦後初の国産機 YS-11 に代表されると思います。これと 20 年後を経た現在の航空機とを比較したものが〔表 1〕です（但し、通信航法機器についてのみ）。

ただプロペラ機後半においては、操縦装置及び飛行計器システムに電子制御技術が採り入れられ、比較的簡単なアナログ計算機を利用した自動操縦装置（オートパイロット）や総合指示計器システム（IIS; Integrated Instrument System）が装備されるようになりました。

表 1 航空電子機器装備例（日本航空宇宙学会編「航空宇宙工学便覧」より）

機 種	通 信 装 置	航 法 装 置	識 別 装 置	そ の 他
民 間 機	MU-2 VHF COMM×2 ICS×1	VOR/LOC×2, GS×1 ADF×1, マーカ×1 DME×1	ATC トランスポンダ×1	気象レーダ×1
	YS-11 VHF COMM×2 HF COMM×1 ICS PA×1	VOR/ILS×2, ADF×1 マーカ×1, DME×1 総合航法装置×1	ATC トランスポンダ×1	フライトレコーダ×1 ボイスレコーダ×1
	B-727 VHF COMM×2 ICS×2	VOR/ILS×2, マーカ×1 ADF×1 総合航法装置×2	ATC トランスポンダ×1	気象レーダ×1
	DC-10 VHF COMM×2 SELCAL×1 PA×2	DME×2, ADF×1 VOR/ILS×3 マーカ×1	ATC トランスポンダ×2	気象レーダ×1 フライトレコーダ×1 ボイスレコーダ×1
軍 用 機	F-1 UHF COMM×1	TACAN×1 電波高度計×1 UHF/DF×1, INS×1	SIF トランスポンダ×1	火器管制装置×1 光学照準装置×1 データリンク×1 レーダ警戒装置×1
	C-1 VHF COMM×1 HF COMM×1 UHF COMM×1 ICS PA×1	VOR/ILS×1, マーカ×1 ADF×1, UHF/DF×1 ドブラレーダ×1, 電波高度計×1 TACAN×1 総合航法装置×1	SIF トランスポンダ×1	

II. ジェット時代の到来

戦後約 15 年に亘るプロペラ機の時代を経て 1960 年を境に本格的なジェット機時代が始まり、1962 年頃からは、第 2 世代のジェット機である中短距離用の B-727, BAC-111, DC-9 など独特なスタイルを持つ旅客機が出現し、現在も数多く活躍しております。さらに 1970 年代に入りますと巨人機 B-747 やエアバス型の DC-10, L-1011 が登場し、大型輸送時代を迎えます。([図 1] 参照)

1. 机上計算機利用の自立航法装置登場

表 2 は、御参考迄に現在使用中の航空機の要目を示したものです。

表 2 から判るように、プロペラ機からジェット機への移行は、航空機の飛行速度を一挙に 2 倍に、また飛行高度を 1.7 倍以上にしましたが、当然の事乍ら装備システム、特に航法システムに大きな変化をもたらしました。

一般に、航空機の航法システムは推測 (Dead Reckoning or Deduced Reckoning) と確定 (Fix-Taking) の二つの基本原理のいずれかに基づくものとなっています。「推測手法」は、航空機がある既知の時刻に、何処にい

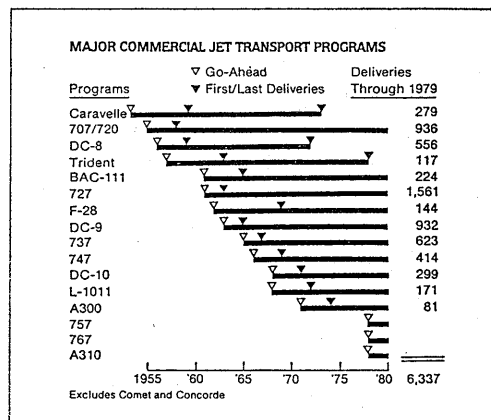


図 1 ジェット機の登場（ボーイング資料より）

るかを知り、速度ベクトルを決定し、積算して現在位置 (Dead Reckoning) を刻々更新するものです。([図 2] 参照)

一方、「確定手法」には、現在位置を一次的に決定するもので、位置線 (Line of Position) の交点として完全な位置 (Fix Position) を規定出来るものと、ある既知の点からの方位角だけのように位置の一部 (Most Prob-

表 2 航空機の要目一覧（日本航空宇

機 種		亜音速長距離, 大容量		亜音速中距離大容量	亜音速短距離大容量
製 作 会 社		ボーイング	マグダネル・ ダグラス	ロッキード・ カリフォルニア	エアバス・ インダストリ
名 称		747-200B	DC-10-30	L-1011 トライスタ	エアバス A-300B2
推 進 機 関	基数×推力 [kg]	4×21 320	3×22 226	3×19 050	2×23 130
	製 作 会 社	プラット・アンド・ ホイットニ	ゼネラル・ エレクトリック	ロールス・ロイス	ゼネラル・ エレクトリック
	名 称	JT90-7V	CF-50A	RB211-22B	CF-650C
	型 式	ターボファン	ターボファン	ターボファン	ターボファン
翼 幅 [m]		59.64	49.17	47.34	44.84
全 長 [m]		70.51	55.29	54.35	53.57
全 高 [m]		19.33	17.68	16.87	16.56
主翼面積 [m ²]		511.0	364.3	320.0	260
アスペクト比		6.96	7.21	10.09	7.71
後 退 角 (1/4 弦長)		37.5°	35°	35°	28°
最大離陸重量 [kg]		361 540	251 744	195 045	137 000
最大着陸重量 [kg]		255 825	182 798	162 386	127 500
零燃料重量 [kg]		238 815	166 922	147 415	116 500
運用自重 [kg]		163 844	119 334	106 265	85 690
最大有料搭載量 [kg]		74 971	47 587	41 150	30 810
燃 料 容 積 [lit]		193 051	135 510	88 200	43 000
客席数 (標準, 最大)		382, 500	255, 380	256, 400	281, 331
客室寸法 (長さ×幅×高さ) [m]		56.39×6.10×2.54	41.45×5.72×2.44	41.28×5.77×2.49	39.15×5.35×2.54
荷貨物室容積 [m ³]		177	106.6	91.4	137.9
離陸距離 [m] (海面上)		3 322	3 370	2 371	1 875
着陸距離 [m] (標準状態)		3 067	1 845	1 762	1 710
速 度	安全離陸速度 [km/h]	331	—	281	267
	着陸進入速度 [km/h]	261	261	255	252
	最大巡航指示速度 マッハ数 [km/h]	—	623/0.85	693/0.85	667/0.84
	超過禁止指示速度 マッハ数 [km/h]	695/0.92	649/0.88	693/0.90	—
巡 航 速 度	最 大	970 (9 150)	956 (9 450)	1 010 (7 600)	938 (7 620)
	経 済	935 (9 150)	925 (9 450)	915 (10 000)	891 (9 450)
	(高度 [m]) 長 距 離	895 (9 150)	891 (9 450)	875 (10 700)	841 (10 060)
航 続 距 離 [km] (有料搭載量 kg)		10 650 (36 114)	6 875 (45 587)	4 629 (38 203)	1 610 (30 810)
同 上 (燃料満載時)		1 1410	11 118	7 189 (18 145)	3 520
* Flight 1972/11/16 に よる他は Jane 航空年鑑 (1972-73) による					

亜音速短距離中容量	亜音速短距離小容量	超音速長距離	国 産 小 型 機	
ホーカ・シドレ トライデント 3B	日本航空機製造 YS-11A-200	ブリティッシュ・エ アクラフト, アエロ スパシアル コンコルド	三菱重工業 MU-2B-35(MU-2J)	富士重工業 FA200-180 エアロスバル
3×5 425+2 381 (ブースト) ロールス・ロイス スプイ MK512-5W ターボファン+ターボ ジェット(ブースト)	2×3 060e.s.h.p. ロールス・ロイス ダート Mk542-10K ターボプロップ	4×17 260 ロールス・ロイス スネクマ オリシパス 593 ターボジェット	2×724e.s.h.p. ギャレット・ エアリサーチ TPE331-6-251M ターボプロップ	1×180 HP ライカミング IO-360-B1B レシプロエンジン
29.87 39.89 8.61 138.7 6.43 35°	32.00 26.30 8.98 94.8 10.8 3°11'	25.60 62.17 12.19 358.25 1.7 63°(前縁)	(全幅)11.946 12.025 4.165 16.550 7.71 -0°21'	9.42 7.98 2.59 14.00 6.34 0°
68 040 58 285 52 395 37 695 14 695	24 500 24 000 22 000 15 419 6 581	174 640 108 860 90 720 70 110 11 340	4 900 4 655 — — —	1 150 1 150 — 650 —
27 366 152, 180 25.43×3.44×2.03 31.4	7 270 60 13.44×2.70×1.99 10.7	117 285 128 39.32×2.63×1.96 20.10	1 385 6, 12 5.995×1.50×1.30 1.08	204 4 1.74×1.03×1.24 0.34
2 290 1 805	1 280 668	3 340 2 710	570 510	500 350
298 265 648/0.88 —	188 170 453/0.475 —	380 296 980/2.05 —	167 220 463/— 602/—	114 128 — 2 861/—
913 (7 620) 891 (8 540) 862 (10 060)	470 (4 575) 468 (3 050) 452 (6 100)	2 180 3 180 (15 200 ~18 300) 2 180	555 (4 600) 490 (7 600) —	204 (1 524) 174 (1 524) 156 (1 524)
1 761 (14 695) 2 668 (10 660)	1 090 (6 581) 3 215	6 380 7 215 (5 352)	— 2 500	— 1 120
			製作会社提供資料による	

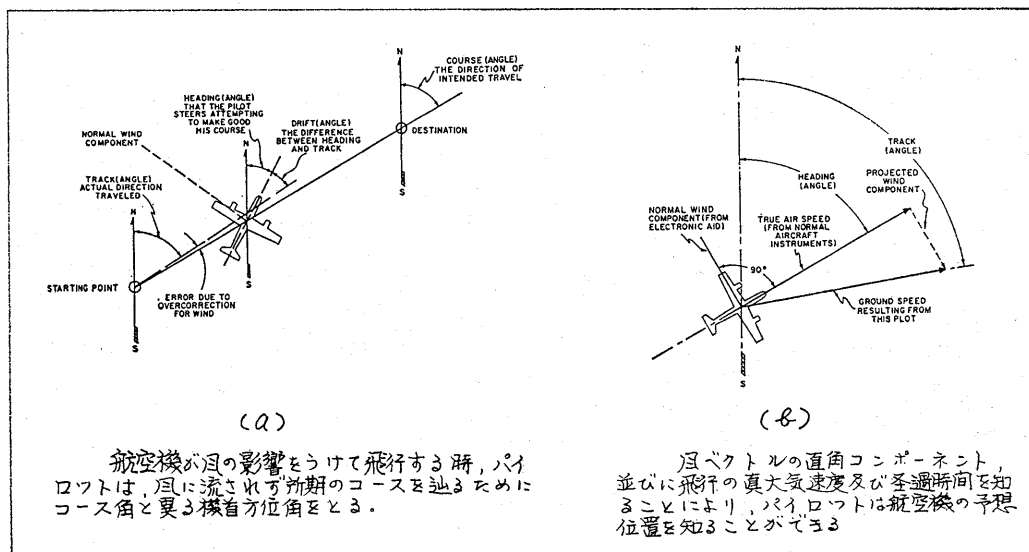


図 2 航空機における推測航法（デッド・レコニング航法）例
(Electronic Avigation Engineering by Peter C. Sandretto より)

able Position) しか規定出来ないものとの二通りがありますが、確定手法の例として、双曲線航法 (Hyperbolic Navigation), ρ - θ 航法 (Rho-Theta Navigation) 及びアジマス航法 (Azimuthal Navigation) などほとんど総て

の電波航法装置が之を利用していることは御存知の通りです。([図 3] 参照)

ところで移動体の速度が上がると、位置の計算や表示の遅れといったものに対する許容度は少くなりますが、推測航法における出力情報の劣化に対する許容度は大きくなります。一方、飛行高度が高くなるにつれて Line of Sight の範囲中に多くの地上航行援助施設が這入り、周波数分離の問題が生ずるなどのことがあって、ジェット機にドブラや慣性航法装置といった自立航法装置 (Self Contained Navigation System) の導入が容易になった訳です。勿論この背景には、機上計算機や電子回路技術、半導体素子を始めとする種々の電子構成部品の目覚ましい発達があった事は否めません。

自立航法装置のうち、先ず航空機、特に民間機に最初に導入されたのは、ドブラ航法装置で、航空機から一定角で斜めに地面に発射されたマイクロ波と、大地または海面から反射された電波とのビート周波数を測って対地速度を求めるものですが、送信周波数変化の影響、反射周波数がスペクトルを有し単一周波数でない事など数多くの困難を克服するために、色々な考慮が払われねばならず、製品の中には、3つのビームを使用するもの、或いは4つのビームを使用するもの、また電波型式もパルス、FM、FM-CW と様々で現在でも夫々のミッションに応じた製品が使用されています。

このドブラ・レーダの登場と共に、推測航法用計算機の方も大きく発達しました。1876年、ケルビン卿による「Ball-and-Disk Integrator」の発明から、一世紀に亘る各計算要素ごとの改良をもとに、簡易性、経済性、信頼性

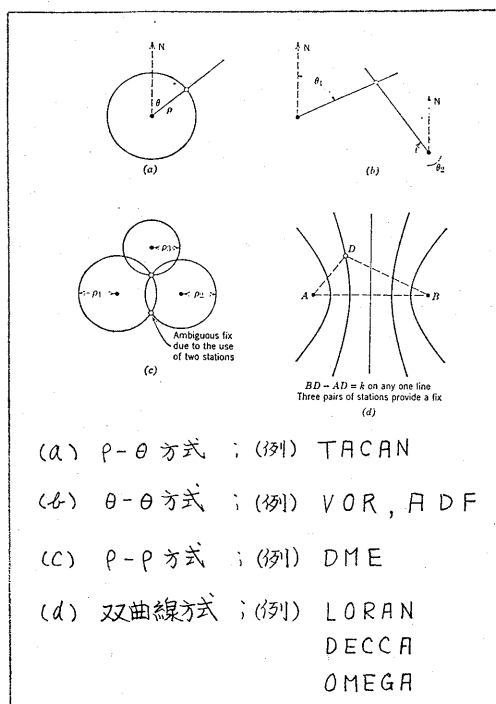


図 3 航空機における電波航法（確定航法）の形式一覧
(Avionics Navigation Systems by Sven H. Andersen, Jr. より)

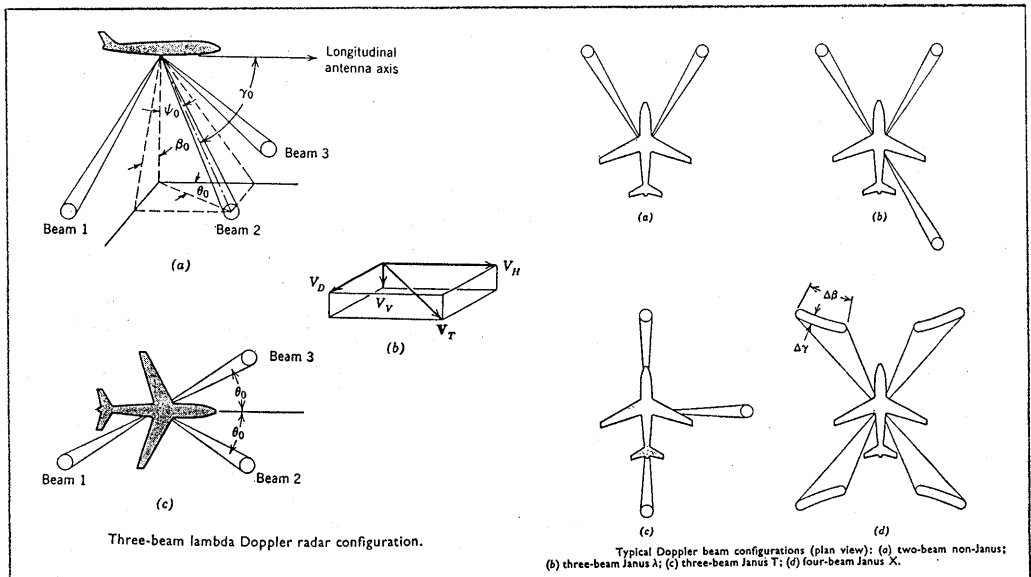


図 4 ドップラー航法方式例 (Avionic Navigation System by Walter R. Fried より)

およびスペースの有効利用による小型化が達成され、実時間 (Real Time) で動作するアナログ機上計算機となった訳です。

2. 航空管制の近代化, ATCRBS より DABS へ

ジェット機の如く高速、高々度で移動する航行体の出現と航空交通の輻輳化に応じて航空交通管制 (Air Traffic Control) の近代化が進められました。我が国でも管制分野へのコンピュータの導入について、検討が始まったのが昭和36年で、39年にはFDP (飛行計画情報処理システム) の調査が行なわれ、また箱根の大観山に ARSR (航空路監視レーダ; Air Route Surveillance Radar) が設置され、ASR (空路監視レーダ; Airport Surveillance Radar) も羽田に設置される等、ジェット化時代への準備が行なわれました。この管制近代化の中心となったのが、軍用の敵味方識別 (IFF; Identification'Friend or Foe) より派生した二次監視レーダ (SSR; Secondary Surveillance Radar) で、一般に一次レーダである ASR や ARSR と併用され、ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) の機上装置である ATC トランスポンダから信号を受けて敏速かつ正確に目標とした航空機が識別されると同時に、距離及び方位、更に飛行高度や非常信号などの航空管制に必要なデータが管制官の机の上に表示されます。

ただ、この SSR は、地上施設から質問信号を発すると、ビーム覆域内の総ての機上トランスポンダから応答信号が帰ってくるシステムなので、近接した2機からの夫々の応答信号が地上施設で重なり受信され (ガブール)、また目標喪失 (Lost Target)、目標分離 (Split)、

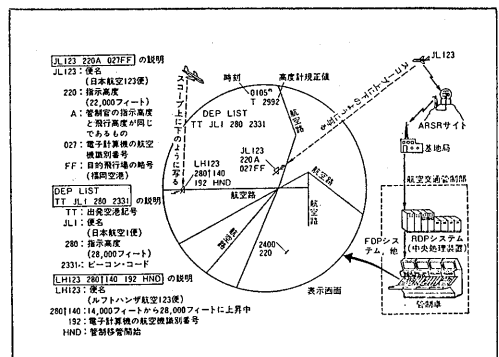


図 5 管制卓表示装置の航空機ターゲット表示例 (朝日新聞 '81 世界の翼より)

フルーツ現象 (Fruits) の問題があり、この改善策として登場したのが図6の DABS です。(現在では SSR モード S と呼ばれています)

この新しい SSR はデータ・リンク機能を有し、現用の SSR と共存運用される為に、同一周波数を使用し、新 SSR モード S 搭載機の外現用 SSR 搭載機をも監視するようになっていて、旧 SSR から新 SSR への移行が円滑に行なわれるようになっていますが、1990 年代後半には、この新しい SSR モード S のシステムが専用のものとなってゆくものと思われます。

また、現在 SSR モード S のデータリンク・サービスを利用した空中衝突防止装置が開発されようとしていることを付け加えて置きます。

3. 全天候着陸、そして ILS から MLS へ

第2世代のジェット機登場と共に、航空輸送の大衆化

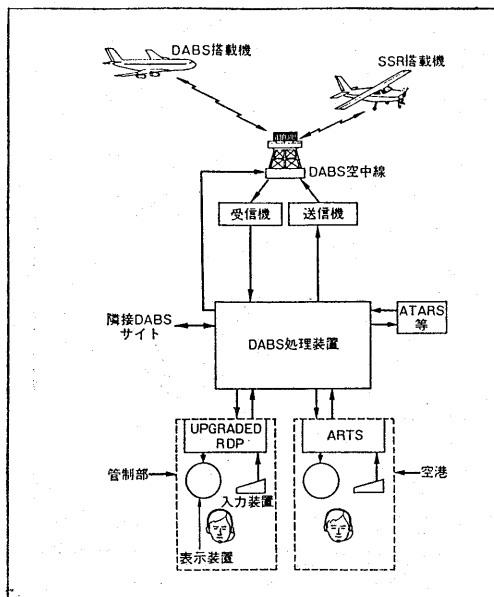
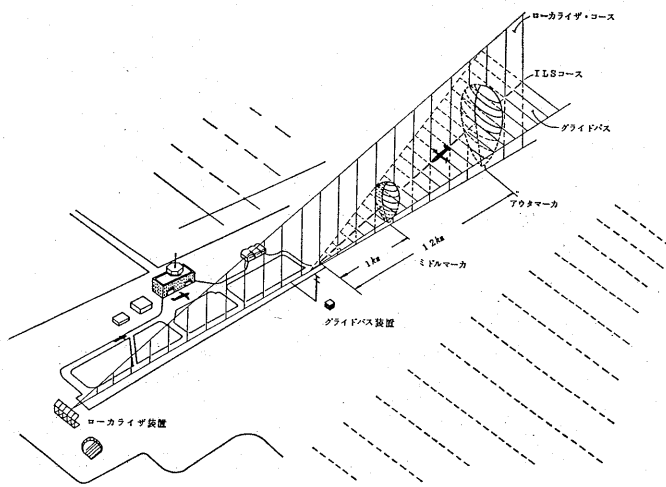


図 6 DABS 概念図
(朝日新聞「'81 世界の翼」より)

が進み、全天候着陸への要望が高まるにつれて、自動着陸装置の開発が進みました。この中心となったのが、オートパイロットで、それ迄どちらかと云えばパイロットに依る手動操縦の補助手段であったものが、飛行フェーズで最もクリティカルな段階である進入着陸をも自動化する手段としようというのですから、この事が航空機の装備設計や、機上機器の設計自身に大きな転換をもたらしました。すなわち、従来はフェイル・セーフ (Fail Safe) あるいはフェイル・パッシブ (Fail Passive) [単一の故障が発生した時、システムの動きは止まるが、安全性には影響しない] で良かったものが、フェイル・オペラティブ (Fail Operative) [単一の故障が発生した後でも、システム性能の劣化を招くことなく作動を継続し、更に、もし2番目の同種故障が生じても安全性を損なわない] である事が要求されるようになり、この為オートパイロットやフライト・ディレクタを含む飛行監視装置にも二重、三重あるいは四重の回路が組み込まれると同時に、BITE (Built-In Test Equipment) やシステム機能が正しく働いているかどうかを、作動中システム



ILS 総合図

ILS の運用上のカテゴリー

カテゴリー	Decision height*	R.V.R.**	備 考
I	60 m	800 m	
II	30 m	400 m	
III A	0 m	200 m	滑走路および誘導路上の運行は目視による
III B	0 m	50 m	誘導路上での運行は目視による
III C	0 m	0 m	目視にたよる運行はいっさいない

図 7 Instrument Landing System (ILS) の配置図と運用上のカテゴリー

自身が常時チェックし続けるイン・ライン・モニタリング回路技術の開発が進められました。

全天候着陸のもう一つの主役は ILS (Instrument Landing System) で、これは電波降下路を作る地上施設と、その電波を受けて降下路の位置を指示する機上施設とから成り、それ等両施設の組み合わせにより、最終性能が得られるものとな、ていますが、ICAO では、ILS の運用に対して大きく3つのカテゴリー (CAT) を設け、地上施設についても夫々の運用カテゴリーに対応すべき性能のカテゴリーに分類されています。([図 7] 参照)

この ILS も全天候着陸プロジェクトの推進に伴って、性能改善が進められ、米国では、主要空港の ILS は殆どカテゴリー II の性能をもつものが設置され、わが国でも 24 ケ所に設置された ILS のうち、既に新東京国際空港では CAT II 化されていますが、今後世界の表玄関となる新東京や新関西といった大空港については、短時間の空港閉鎖も大きく影響がでるので、これら空港の ILS はすべて CAT II 及び CAT III へと改善が進められて行くものとみられます。

ただ ILS には、① 大型航空機などからの反射で電波が乱れることがあり、② 広い反射地面が必要で、③ 一本の降下経路しか得られない、などの制約があり、之に代る新しいシステムの研究が 1960 年中頃から進められてきました。ICAO では国際的な統一をとるため、新システムについての提案を求め、1978 年には TRSB/Interscan 方式の MLS (Micro-Wave Landing System) が採択されました。([図 8] 参照)

MLS は、通常、高低誘導装置 (EL), 方位誘導装置 (AZ), データ送信機及び現行 DME を高精度化した M

LS 用 DME から構成され、また拡張機能型には後方位誘導装置 (Back AZ), フレー誘導装置 (FL) が付加されます。MLS の各装置は DME を除き使用電波周波数は 5000 MHz 帯で時分割で各装置から電波を放射し、MLS 角速度情報は時間を基準にして測定する方式で得られ、また方位は [図 8(a)] のように地上装置 AZ から垂直面をもった指向性ビームを一定速度で左右に走査します。また仰角については EL から水平面の指向性ビームを上下に走査し、機上装置ではビームを受信し、その時間差から方位 (仰角) 情報を得ることが出来ます。

MLS は 1995 年から ILS に代わって国際標準となる予定であり、わが国でも昭和 56 年度から実用化計画に着手し、64 年度には新東京国際空港などに設置される計画と聞いております。

4. 第3世代ジェット機の電子装備

1970 年に至り、航空機の大形化が更に進み、所謂ジャンボ機と称されるボーイング B-747 が航空輸送界に登場いたしました。この第3世代ジェット機に採用された新しい電子技術として、マルチプレキング技術と、慣性航法装置及びその中に組み込まれたアナログ/ディジタル複合電子計算機技術があります。

このマルチプレキング技術はディジタル通信技術の一つとして、この後の世代のジェット機に大幅に採用され、データ・バスの先兵となるものです。従来のアナログ・システムでは、信号毎にその発信源から受信部に専用の伝送ラインが必要で、その為、情報量や連結する機器の数が増えると、システムの重量の大半が伝送ラインで占められるといった状態さえ招き兼ねません。そこで時分割ビットにより同じ伝送ラインを使用して多くの情

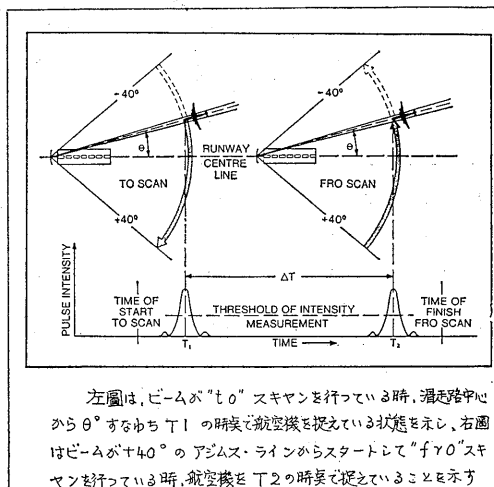


図 8 (a) ICAO 採択の TRSB 方式 MLS のアジマス面誘導原理図 (ICAO Bulletin より)

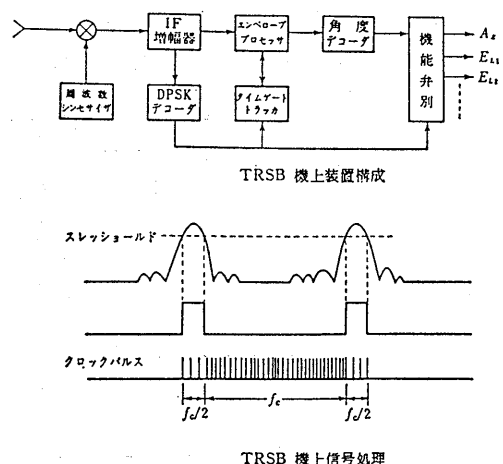


図 8 (b) ICAO 採択の TRSB 方式の MLS 機上装置

報信号を送るマルチプレキシング (Multi-Plexing) の技術が求められた訳ですが、ボーイング B-747 機では機内配線重量を軽減する為に、機内音声娯楽システムや機内通信システムの信号ライン、並びに慣性航法システム計算機の入出力信号ラインに使用されました。この技術は更に発展して今後は、航法や機内制御システムなどのデータ・バスとして大幅にその利用範囲を広げて行くものと思われます。

またこれらマルチプレキシング技術を応用したデータ・バスに、伝送系の信頼性向上を目的として光ファイバー技術を採用する動きが現在進められつつありますが、これは 1990 年代後半に出現するとみられる航空機における雷害や電磁障害の除去と超軽量化を目指したフライバイ・ファイバー (Fly-By-Fiber or Fly-By-Light) の基礎技術を形成するものとみられます。これにより、所謂電子技術と光学技術のドッキングが行なわれることになる読です。

B-747 機の出現でクローズ・アップされたもう一つのものに慣性航法装置があります。ステープル・プラットフォーム (Stable Platform) の上に載せられた加速度計により移動体の加速度を検出し、それを積分により速度を求め、更に二重積分で位置を求めるという、この完全な自立航法装置は 1 時間当り僅か 1 マイル強といら驚く程の高精度を示し、遂に洋上飛行の航空機から航空士の職場を無くして仕舞いました。

この慣性航法装置のもう一つの運用上の利点は、装置の心臓部ともいえるステープル・プラットフォームから極めて安定した、且つ精度の高い方位姿勢情報が得られるということです。之が永年航空機上に無くてはならないものとなっていた鉛直ジャイロや方位ジャイロが姿を消す所以となったのですが、ただそれは単体のジャイロ機構が組み合わされ、小型化されてプラットフォームの形をとったということで、それだけに複雑且つ精査な

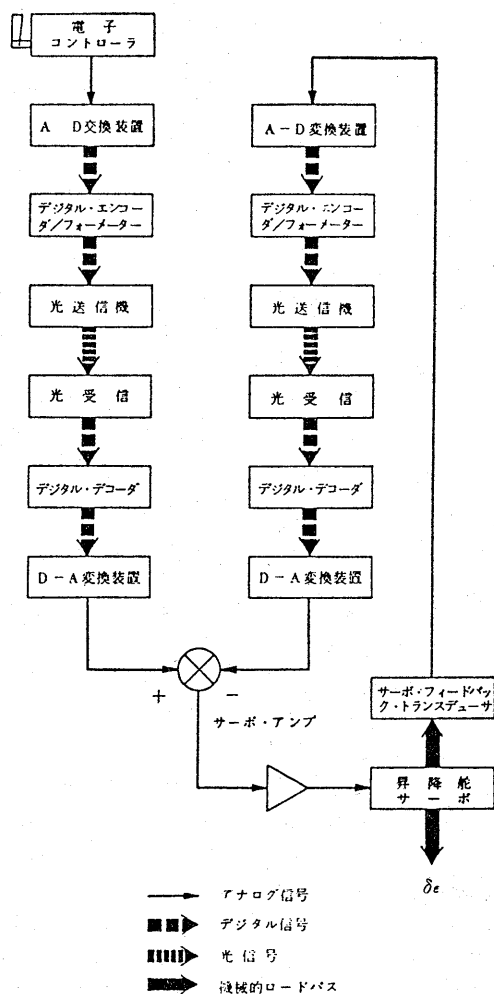


図 9 米国ロッキード・ジョージヤ社の開発による“フライ・バイ・ライト”コントロール・システム (日本航空宇宙工業会革新航空機技術開発センター「海外革新航空機技術に関する研究調査」報告書より)

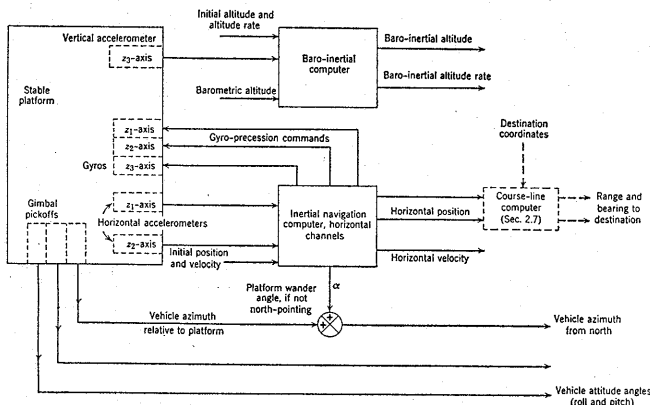


図 10 慣性航法装置のブロック・ダイアグラム (Avionic Navigation System by Myron Kayton より)

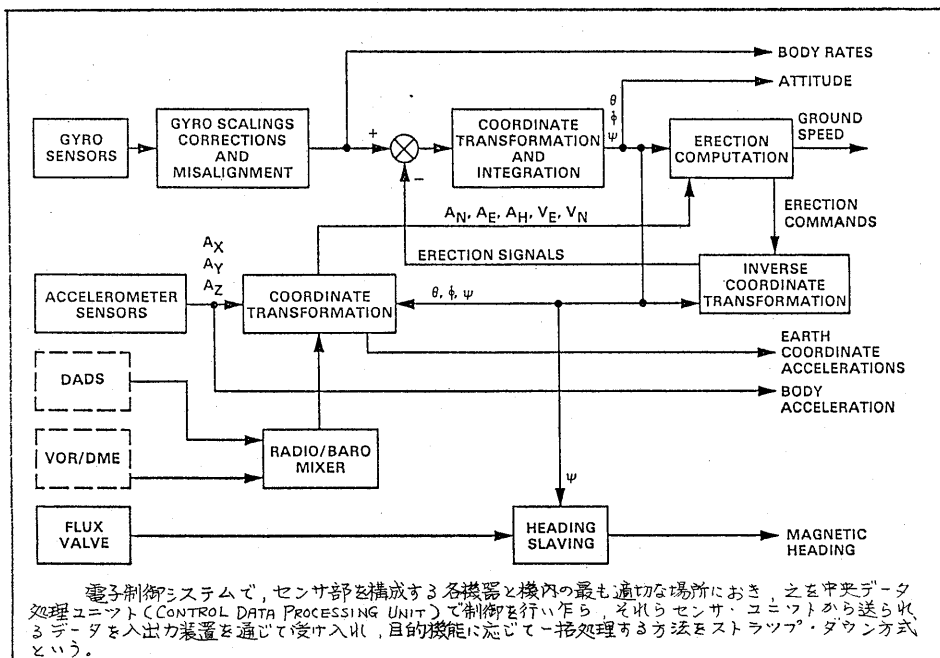


図 11 ストラップ・ダウン姿勢方位基準システム (スペアリー社 カタログより)

機械部品構成となり、装置自身の値段と保守費用を高価なものとしします。

そこで登場したのがリング・レーザ利用の慣性航法装置で、之は 1970 年代の研究から得られた 2 つの技術、即ちストラップダウン (Strap Down) 方式慣性航法技術 ([図 11] 参照) と、リング・レーザ・ジャイロ技術

([図 12] 参照) とが具体化されたものということが出来ます。

前者により、高精度の慣性航法システムにこれ迄使用されてきた高価で大型のジンバル装置が不要となり、ジャイロ部分は航空機の構造部に固定化され、一方、後者のリング・レーザ・ジャイロは、レーザ・パスを組み合わせただけの、回転機構を完全になくしたチャイロというより光学機械といった方が良いものとなっています。このリング・レーザ・ジャイロは第 4 世代のジェット機といわれ、1982 年以降にはサービスに供せられるボーイング B-767, B-757 の標準装備となっています。

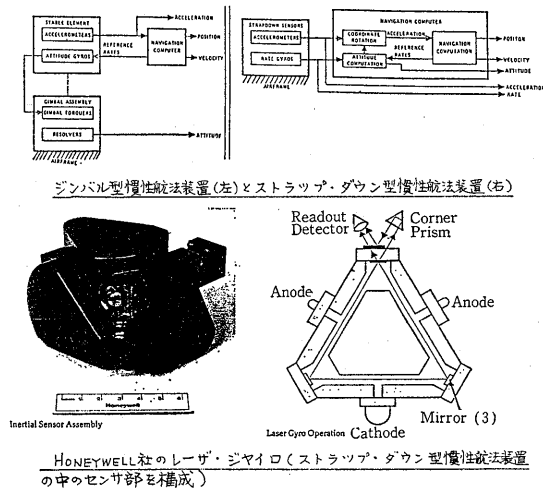
更に、現在このレーザ・ジャイロに光ファイバーを利用した、所謂ファイバー・ジャイロの研究が進められており、恐らく 1990 年代には実用化の見通しがつけられることになると思います。

III. 航空機における電子技術の動向

第 3 世代のジェット機におけるもう一つの特徴は大幅な電子制御技術の導入であり、アナログ型式の大小様々な機上計算機が搭載されました。

1. アナログからデジタルへ

近年、その機上計算機を中心に、電子制御システムはアナログ方式からデジタル方式への移行が進みつつあり、今後登場してくる第 4 世代のジェット旅客機では、通信系統、航法系統を含めて大半がデジタル方式になろうとしてをり、民間航空用/通信航法機器の標準仕様



レーザ・ジャイロは、三角キヤビティの中を同時に 2 本のレーザ・ビームを反対方向に回らせ、両ビームが閉じられた平面に垂直な軸の廻りを、ジャイロが回転した場合に共振周波数 (RESONANT FREQUENCY) に差が生ずることを利用して角速度を測定するものである。

図 12 ストラップダウン型慣性航法装置とリング・レーザ・ジャイロ (Minneapolis Honeywell 社カタログより)

図 13 に、電子制御分野における主要演算素子の変遷を示しましたが、民間ジェット航空機の開発が進められ

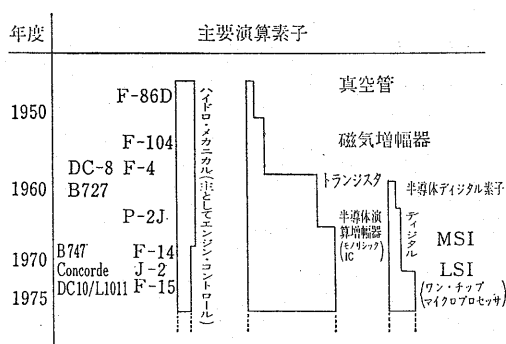


図 13 電子制御分野における主要演算素子の変遷
(計測自動制御学会“計測と制御”Vol. 20
No. 6 より)

つづあった 1950 年代後半頃までの演算素子は磁気増幅器でした。その後、半導体技術が急速に進歩し、演算素子はトランジスタから IC 化されたオペアンプ（演算増幅器；Operational Amplifier）に変わり、さらにデジタル MSI（中規模集積回路）から LSI（大規模集積回路）に発展、現在では数百のゲートをワンチップに納めたマイクロ・プロセッサが容易に入手出来る様になりました。

航空機内電子制御システムがデジタル化されてきた背景には、単にデジタル素子の入手が容易になったということ以外に、以下に述べる様な技術的要請があったと云えます。

- (1) 航空機が高速、高性能化されてくると各システムに要求される性能も高度となり、それぞれのシステムは、多くのパラメータを複雑なプログラムに従って、精度よく処理することが要求されること
- (2) 航空機の大形化、多能化につれて、多様な働きをする制御システムが装備され、しかも、それ等システム相互間の連繋が必要となって、中央計算機と各システムとのつながりも重要になってきたこと
- (3) システムの信頼性に対しての要求が強まり、システムは一般的に、多重化される傾向にあること
- (4) ある機体で開発した製品が、ソフトウェアの開発や変更だけで(勿論この為のコストは必要ですが)、ハードウェアにそれ程の追加開発費をつぎこまなくても、

デジタル・プロセッサを中心としたデジタル・システムは、アナログ・システムに比べて、① 多くの入力や変数を処理する能力が高い、② 演算精度が高く、制御方程式の組み込みを、より精妙に出来る、③ 他のシステムや中央制御計算機との両立性が求め易い、④ 同じハードウェアでも、ソフトウェアの組み込みで数種の異なる応用目的に合わせることができ、柔軟性に富む、などの点で、前に述べた要求に適合したものであると云えます。

一般に、航空機内の制御機構は RPV (Remote Piloting Vehicle) を除き、パイロットを中心としたコントロール・ループを形づくっていますが、近年の航空機では、電子技術利用範囲が通信、航法、或いは計測装置といった領域に限定されていた従来のものと異なり、制御の中枢部を電子機能にゆだねるようになってきております。

これを図で表わしますと図 14 のようになります。す

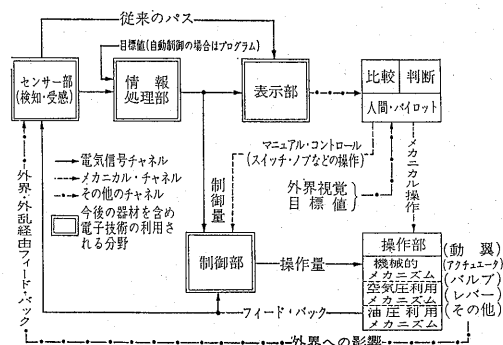


図 14 電子技術利用の制御システム
(計測自動制御学会誌“計測と制御” Vol 20
No. 6 より)

なわち、近代の航空機では、電子と油圧、あるいは、電子と機械といった、いわゆる複合技術が採り入れられており、電子技術はその中の、人間で言えば目や耳などの役目を果す受感部分と、頭脳の役目を果す情報処理ならびに制御部門、それにパイロットに航空機の飛行状態や制御システム自身の作動状況を伝える口の役目を受け持つ表示部門、さらにパイロットの意志を制御システムにとり入れる手となるコントロール・パネル類の機器に導入されてきたのであります。

ともあれ、アビオニクスという言葉が“Air Navigation Electronics”の集合語であることから判るよう

に、これ迄は軍用、民間を問わず、航空機の電子化は、まず航法装置（この場合、通信機能も含む）から始められております。しかし大半の航法システムは電波と媒体として地上航行援助施設からの情報をもとに機能するもので、図 14 で言えば、機上の受感部門に含まれることになる訳です。

以上、機上電子技術の流れについて述べましたが、以下に、航空機の主要制御システムにおける主要制御システムについて、電子技術応用の動向を紹介したいと思います。

3. 航空システム（センサ部としての）

今後開発され実用化するとみられる航法システムには、既に述べた MLS 利用の着陸誘導装置、レーザ・ジャイロ利用のストラップ・ダウン型慣性航法装置や姿勢方位基準システム、或いは SSR モード S 利用の衝突防止システムといったものの外に、例えば GPS/NAVSTAR 衛星航法装置や晴天乱気流検出システム等があります。

既に御承知のように GPS 航法システムは 1980 年代後半の実用化を目指した軍用システムですが、恐らく 1990 年代には民間用の全地球的で全天候的な衛星航法システムとしても使用されると思います。

また、晴天乱気流検出システムには、未だ赤外線利用のものか、或いはレーザ利用がよいのが定まっています。

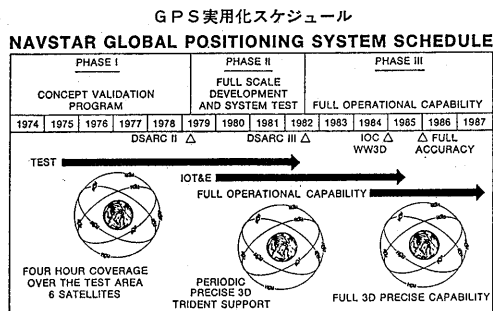
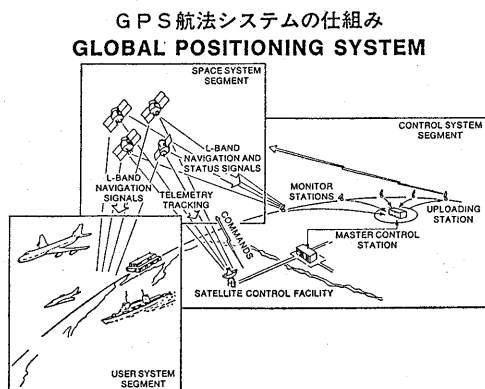


図 15 GPS 衛星航法システムの導入

んが、いずれ快適で安全な空の旅を約束するシステムが出現するでありましょう。ただ、現段階では突風の警報、あるいはエア・ウィック（大型機の後流の空気渦）の存在を知らせる装置の開発は着々進められてをり、之が晴天乱気流検出の手掛りを与えることになるかも知れません。

4. 計器・表示システム（表示部としての）

従来、航空機の計器、あるいは表示システムは、シンクロやサーボ機構などを利用して、針やダイヤルによる表示を行う電気計器が主体となっておりましたが、近年 CRT（ブラウン管）、LED（発光ダイオード）、液晶、プラズマ表示などの進歩型表示機器が次々に開発されると共に、ディジタル技術の進展に支えられて、表示も統合化され、人間工学的にもより優れたものへと脱皮しつつあります。将来の航空機には、図 16 に示すような EH SI (Electronic Horizontal Situation Indicator) や EADI (Electronic Attitude Director Indicator) といった電子飛行計器や、同じく CRT による EICAS (Engine Indication and Crew Alerting System) といったディジタル表示が数多く採用されて行くでありましょう。

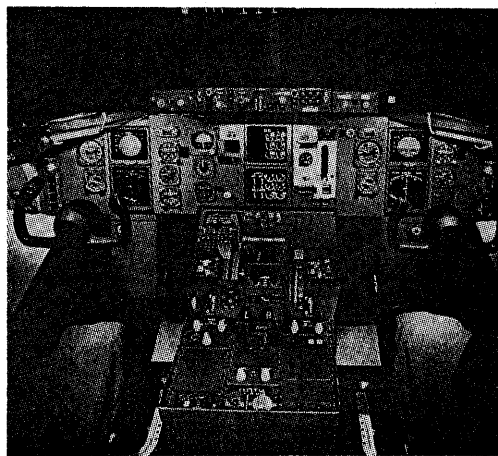
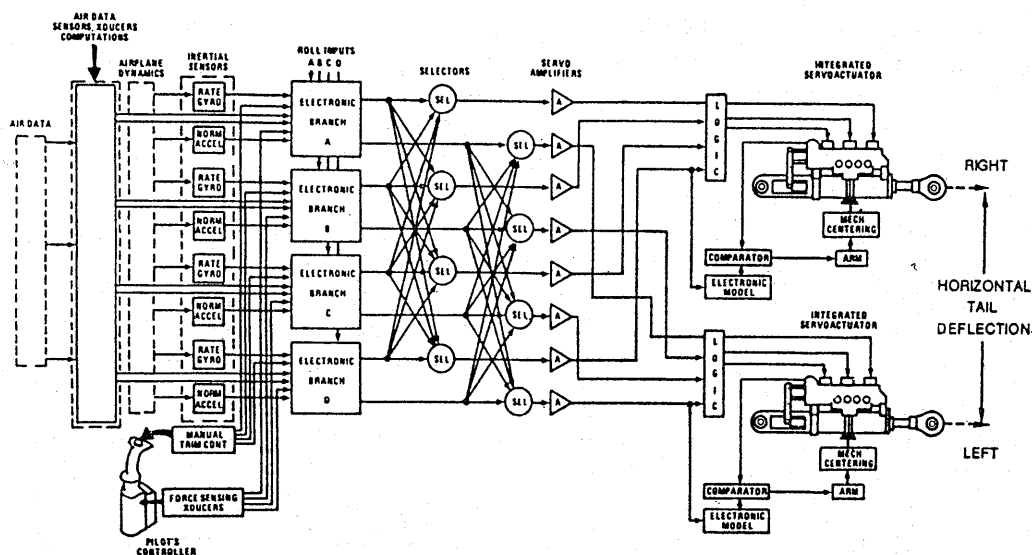


図 16 デジタル電子表示を採用した操縦室
(Aviation Week & Space Technology
Aug 17 '81 より)

5. 操縦系統（制御部、操作部としての）

操縦システムには古くから機械的のリンクが使用され、操縦士が与える入力信号はケーブルとかプーリー、カムなどの機構により、補助翼、昇降舵などの操縦舵面に、力と変位の形で伝達されるようになっていました。これら操作信号の伝達形式を、上記の機械的のリンクから完全な電気信号に置き換えたものが、フライ・バイ・ワイヤ (Fly By Wire) と呼ばれる電子飛行制御方式で、① メカニカル機構特有の摩擦、バック・ラッシュ、ヒステリシスがなく、精度の高い、応答性の優れたシス



F-16 Fly-By-Wire Control System Pitch Axis Functional Diagram

図 17 フライ・バイ・ワイヤ・システム例 (NASA の文献より)

ムを構成でき、②電気信号だけであらゆる機能ならびに作動範囲をカバーする。いわゆるフル・オーソリティーの制御が行え、他の電子制御系との連繋が容易である、といった利点をもっています。

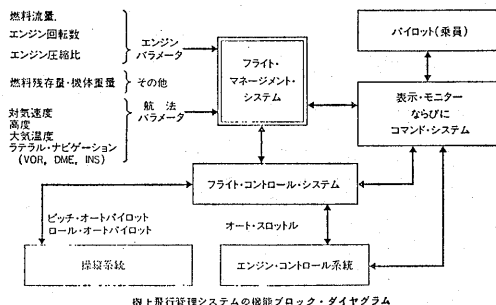
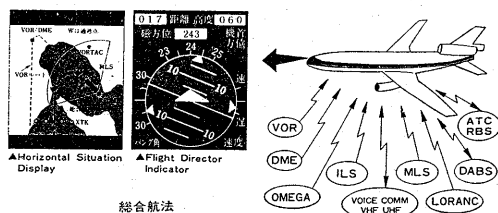
またこのシステムは、機械システムより小型軽量のものとなり、コンピュータの小型化とあいまって多重冗長系の採用が容易で、信頼性の向上と、特に軍用機では被弾による機体損傷時のシステム機能の残存率を高めることができます。

このフライ・バイ・ワイヤが実用化されたのは、近年の電子技術の進歩に支えられた信頼性の向上とデジタル技術の導入によるものであり、制御用コンピュータのソフトウェアを考えれば、従来は不可能、もしくは安全上やってはいけない、とされていたことも安全にやれるようになって参ります。この結果、これまでの航空機的设计では機体終了後に電子装備を考えてきたものが、このコンピュータ利用の制御方式に依れば、设计当初から機体の设计が制御を含めて行なわれるようになります。このように積極的に制御を採り入れる技術を ACT (Active Control Technology)、この技術で设计製作された航空機を CCV (Control Configured Vehicle) といっております。(このフライ・バイ・ワイヤが将来フライ・バイ・ファイバに進展して行くであろうことは、前に述べた通りです)

6. トータル・システムとしての考慮

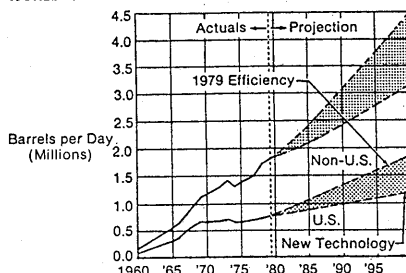
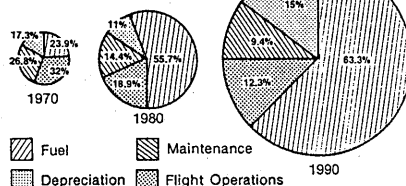
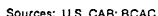
更に、近年の著しい傾向の一つとして、トータル・シ

ステムとして考慮される範囲が拡大されつつある点が挙げられると思います。技術の進展あるいは経験が蓄積されるにつれて、視野が拡大され、トータル・システムとして考慮される範囲が広がってくるのは当然ですが、最近では単に機上のシステムだけでなく、データ・リンクを通じて地上の航空交通管制 (ATC) をも含めた飛行システム全体を、一つのトータル・システムとして有効に



機上飛行管理システムの機能ブロック・ダイアグラム

図 18 総合飛行管理システム (朝日新聞 '81 世界の翼より)



*Excludes U.S.S.R. and PRC

従来航空界の念願であった空中衝突防止の為の新装置の開発が 1970 年代から米国 FAA を中心に進められてをり、SSR トランスポンダもしくはモード S トランス

図 20 制御機器開発線表
(日本航空宇宙工業会「長期構想」より)

ボンダを装備した航空機に交通警報及び衝突回避の指示を与える TCAS と呼ばれるこの新システムは、1980 年代後半には完成するものとみられています。

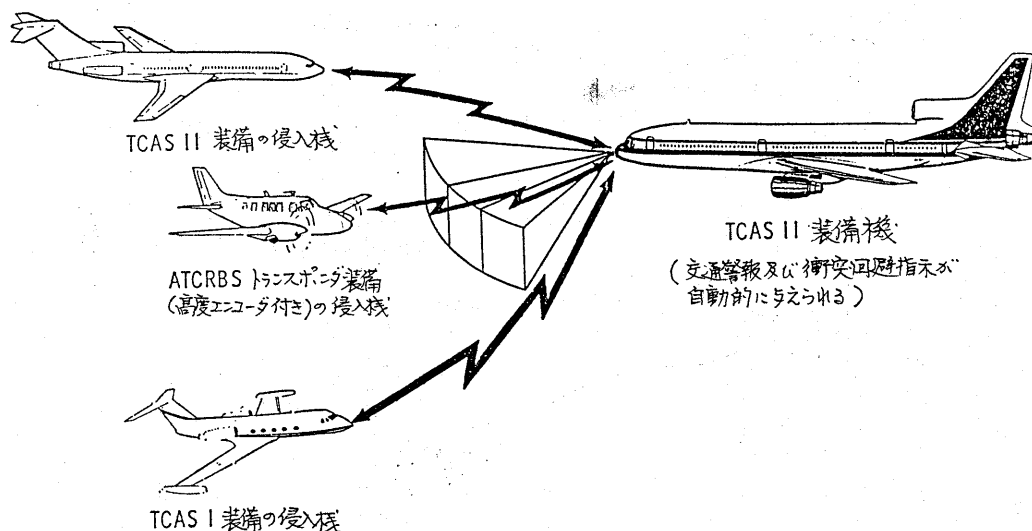


図 21 TCAS 交通警報衝突回避システム

電波航法研究会 昭和 57 年度予算

収 入 の 部			支 出 の 部		
項 目	金額 (円)	摘 要	項 目	金額 (円)	摘 要
前年度より繰越	310,939				研 究 会 10,000 × 6 = 60,000 円
			会 議 費	152,000	幹 事 会 1,000 × 6 = 6,000 円 講 演 費 2,000 × 18 = 36,000 円 専門部会 5,000 × 10 = 50,000 円
		法 人 93口 × 12,000 = 1,116,000 円	資 料 費	10,000	
		個 人 13口 × 2,000 = 26,000 円	会誌出版費	500,000	
会 費	1,142,000	56 年度未収分 0 円	事 務 費	80,000	
			編 集	20,000	
			会 計	20,000	
			謝 金	72,000	会 長 10,000 円 副 会 長 7,000 × 2 = 14,000 円 企画幹事 3,000 × 8 = 24,000 円 編集幹事 3,000 × 7 = 21,000 円 会計監査 1,500 × 2 = 3,000 円
雑 収 入	10,000		通信交通費	60,000	
広 告 料	176,000		予 備 費	729,939	
利 子	5,000		計	1,643,939	
計	1,643,939				

VLBI と 日 米 共 同 実 験

郵政省電波研究所

吉 村 和 幸

VLBI and the Japan-USA Joint Experiment

Radio Research Laboratories

Ministry of Posts and Telecommunication

Kazuyuki YOSHIMURA

1. はじめに

超長基線電波干渉計 (Very Long Baseline Interferometry, 略して VLBI と呼ぶ) とは, 電波星或いは人工衛星からの電波を遠く隔たった地点で独立に同時受信をし, 受信データを相関処理することによって 2 電波の地点への到達時間差を高精度で決定する装置またはシステムのことを言う。

郵政省電波研究所では昭和 58 年末完成を目的に 5 か年計画で VLBI システム (「K-3」システム) の開発を進めているが, これは昭和 59 年から開始される日米共同実験により日米間を含むいろいろな方向の大陸間距離を 3 cm 以下の精度 (遅延時間決定精度 0.1 nsec 以下) で測定し, いわゆる地殻プレート運動の検出を行うことを直接の目的としている。その代国内においては, 建設省国土地理院の開発する移動型システムとの間でも VLBI 実験を行い, これらの共同実験を通じて長期的地震予知, 高精度測距, 地球回転運動の観測, 大陸間高精度時刻比較, 衛星軌の高精度決定などに寄与してゆく予定である。

ここでは, VLBI の原理, 地殻プレート運動, システム, 及び日米共同実験等の概要について述べる。

2. VLBI の原理及び地殻プレート運動^{1)~15)}

2.1 原 理

VLBI は二つのアンテナに入射する天体電波源からの電波 (通常 1~10 GHz) の到達時間差 (遅延時間と言う) を測定する干渉計の一種であるが, 各受信局がそれぞれ独立に原子時計を有してローカル信号周数や時刻を供給するため, アンテナ間距離 (基線長と言う) を数千 km またはそれ以上の長さにとれるという特徴がある。このことによって大陸間にわたる距離を高精度で測定することが可能になり, また干渉計の方向性が千分の一秒角に

も鋭くなるため高分解能の電波天文観測等ができるようになった。VLBI の今一つの特徴は科学技術の進歩によって遅延時間を 0.1 ns という非常に高い精度で決定できるようになったことであるが, これが原理的に基線長に依らないため, 距離測定の相対精度は基線長に比例して高くなる。

図 1 に VLBI の概念を示す。準星などからの電波は二つのアンテナに対し平行に入射すると仮定できるので, 基線長, 遅延時間に相当する光路長, 電波星の方向などは, 図に示したように簡単な三角形で結ばれる。従って,

$$\tau_g = (D/c_0) \sin \theta \quad (1)$$

ただし, τ_g は図に示すような幾何学的遅延時間, c_0 は光速, θ は南中から電波星までの角度である。

基線ベクトルの赤経, 赤緯を (α_b, δ_b) , 電波星のそれ

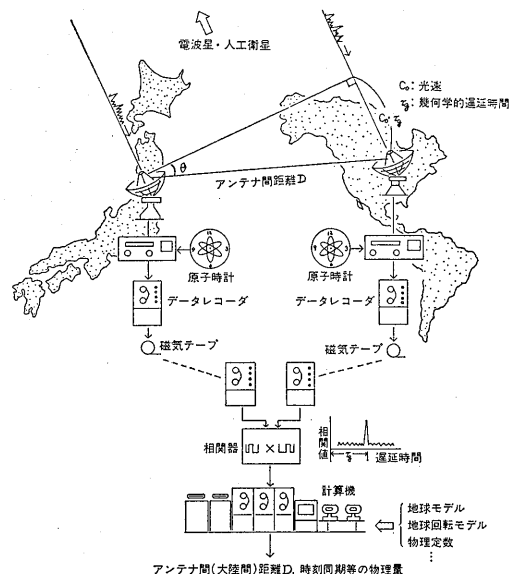


図 1 VLBI の原理

を (α_s, δ_s) とすると, (1) 式は次のように書ける。

$$\tau_g = (D/c_0) [\sin \delta_b \sin \delta_s + \cos \delta_b \cos \delta_s \cos (\alpha_b - \alpha_s)] \quad (2)$$

α_b は地球の自転と共に変る量である。(2) は更に地心座標で表わせる。基線ベクトルの成分を (X, Y, Z) とし, 時刻におけるグリニッチの赤経を $\alpha_G(t)$ とすると,

$$\begin{aligned} \tau_g = & (1/c_0) [Z \sin \delta_s \\ & + \cos \delta_s \{X \cos (\alpha_G(t) - \alpha_s) \\ & - Y \sin (\alpha_G(t) - \alpha_s)\}] \quad (3) \end{aligned}$$

VLBI を測地に応用する場合, (2) または (3) 式からそれぞれ D, α_b, δ_b , または X, Y, Z を求めることになる。ところで (3) 式には未知数が $\alpha_G(t) - \alpha_s$ を 1 個として 5 個ある。一方, (2) または (3) 式を書き変えると,

$$\tau_g = A \cos (\omega_e t + B) + C \quad (4)$$

のようになる。ただし, ω_e は地球の自転角速度であり, C には原子時計の時刻オフセットが含まれていてよい。

(4) 式から, 一個の電波星の一日以上の観測で A, B, C , の 3 個が定まる。従って, 最小限 3 個の電波星を観測すると, 未知数は 8 個, 測定量が 8 個となって全未知数が定まる。実際には遅延時間に影響するパラメータのモデルの立て方により未知数はいくらかでも大きくなりうるから, それにつれて観測する電波星の数も増していく必要がある。

VLBI において受信データから遅延時間を決定するには, 先ず 2 つの局で得られたデータから相互相関々数を計算し, そのフーリエ変換から相互相関スペクトルを求める。そして, 相互相関スペクトルの虚数部と実数部の比の $\arctan$ として位相スペクトル $\theta(\omega)$ を求め, この周波数勾配 $\tau_g = d\theta(\omega)/d\omega$ から遅延時間を決定する。従って, 遅延時間の決定精度はデータの周波数帯域が広い程高くなるが, 記録装置 (ビデオレコーダを用いる) の制約から数 MHz 程度にしかできない。そこで, 図 2 に示すように, 100 MHz 又はそれ以上 (K-3 システムの場合, 420 MHz) の帯域の中からビデオ帯域 (K-3 で

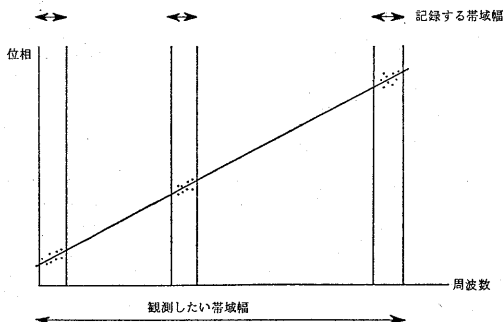


図 2 帯域幅合成⁵⁾

2 MHz 標準) を何チャンネルか選んでサンプルし, 実効的に広帯域受信とすることができる。これを帯域幅合成と呼んでいるが, これによって電子計算機で処理する膨大なデータ量を現実的なものに軽減する効果もあり, 重要な技法となっている。

VLBI システムで実際に測定される遅延時間 τ には, 図 1 の幾何学的遅延時間 τ_g の他に時刻同期誤差 τ_s , 受信システムの遅延 τ_r , 伝搬媒層中の遅延 τ_p などが含まれることになる。従って,

$$\tau = \tau_g + \tau_s + \tau_r + \tau_p \quad (5)$$

また, τ_g 自身は基線長その他, 電波星の構造 (広がり), 地球回転運動 (極運動, 自転速度の変動等), 地球潮汐などの影響が入ってくる。この為, VLBI を測地に利用する場合は基線長を未知数として他の全てのパラメータを既知とするわけであるが, この既知とするパラメータを現在の科学技術の粋を決集して高精度で決定していく必要がある。また未知数を電波星の広がりとし, 基線長を含む他の全てのパラメータを既知とすれば電波天文への応用になるように, VLBI は様々な分野に高度で重要な利用の道を開いている。

図 3 に PPME 計画 (Pacific Plate Motion Experiment) において検討された観測誤差の要因と大きさを示す。

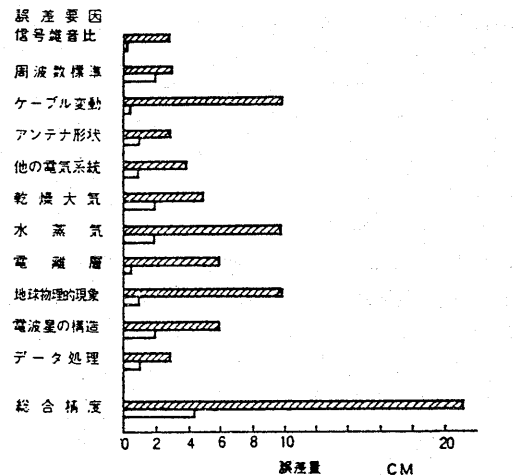


図 3 PPME 計画における測定誤差要因の検討⁵⁾

2.2 地殻プレート運動

電波研究所は VLBI を用いて米国の航空宇宙局 (NASA) と協同して地球上のいろいろな方向の距離を測り, 地殻プレート運動を検出しようとしている。図 4 に地球上を覆う地殻プレートの主なものを示す。地殻プレート

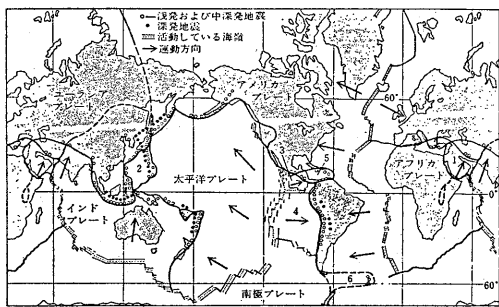


図4 プレートによる地殻の分割⁹⁾。6個の大きなプレートには名前をのせてあり、6個の小さなものには番号をつけてある。この6個の名前は(1)アラビア、(2)フィリピン、(3)コーラス、(4)ナスカ、(5)カリブ、(6)スコティアである。(F. J. Vine による)

は地球内部のマントルからの物質(岩石の一種)が海嶺から地表面に噴出して固まったもので、厚さが100~150 km 程度で、主にマントルの上部とほぼ同じかんらん石($(\text{MgFe})_2\text{-SiO}_4$)からなる(図5)。そして図4の矢印で示す方向に移動するが、この時厚さ5~10 km 程度の海洋性地殻や平均高40 km の大陸がその上に乗って運ばれると言われている。これがプレート理論の基本的考え方であり、大陸移動説や海洋底拡大説などが中心になっている。

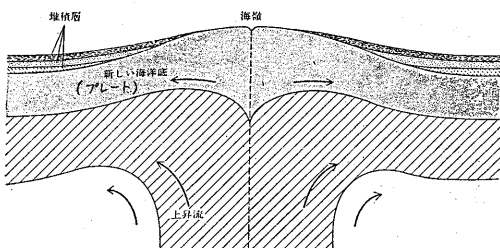


図5 海洋底拡大のモデル⁹⁾

大陸移動説は17世紀の古くからあったが、その考えの発端となったのはアフリカ大陸と南アメリカ大陸の向かい合う海洋線が極めて類似していることによる。これに地質学や古生物学などから学問的裏付けを与えて、単なるアイデアから科学的論争の舞台に引き出したのが、今世紀初めのドイツ人ウエゲナーであった。

ウエゲナーによって唱えられた大陸移動説は、大陸を動かす原動力に弱点があって一時退けられていたが、1960年代にプレート理論として復活し確立した。これによればアフリカ大陸、ヨーロッパ大陸などは、約二億年前は図6に示すようにひとつになっていたが(ウエゲナーによってパンゲアと呼ばれた)、アフリカと米国の中央にある海嶺などから噴出し、左右に移動するプレ

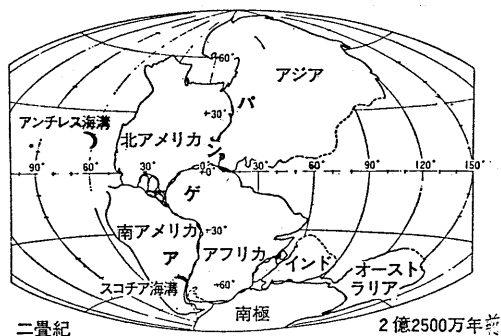


図6 パンゲア¹¹⁾

トによって次第に離れ離れになったと言われる。

プレートの移動する速さは1~10 cm/year 程度であるが、これは地磁気の逆転の様子からも大雑把に見積もることができる。地磁気は平均40数万年ごとにその方向を変えるが、マントルから噴出する岩石が冷えて固まる時、その方向が残留磁場として記録される。それがプレートの動きと共に縞状に方向を記録するので、それからプレートの動く速さが推定できる(図7)。

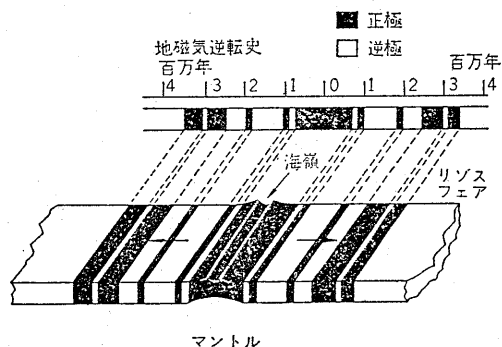


図7 海嶺附近の地磁気異常の縞模様と地磁気逆転史¹⁰⁾

海嶺から噴出して移動するプレートは結局海溝に沈みこむ。すなわち海洋性のプレートが大陸性のプレートの下にもぐりこむ形になり、約700 km 程下のマントル中で再び溶けてしまう(図8a)。(或いは、プレートの移動速度の遅いときは図8bに示すように褶曲によって山脈ができる。)海洋プレートが沈みこむとき、大陸プレートを引きこむが、やがて反発して元に戻るとき大規模な逆断層型の地震を起こす。日本列島はこの典型であり、太平洋プレート、フィリピン海プレートが日本海溝などで、日本列島を乗せているユーラシアプレートの下にもぐり込んでいる(図9)。そして東海大地震や三陸沖地震などに見られる逆断層型の地震を発生している。また、世界の地震の809.は環太平洋地震帯と言われる、太平洋の海溝やプレートとプレートの境目である山脈

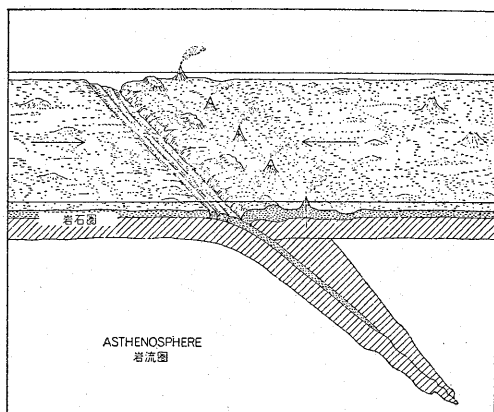


図 8a 海溝の形成 (プレートの移動が速い場合)¹⁸⁾

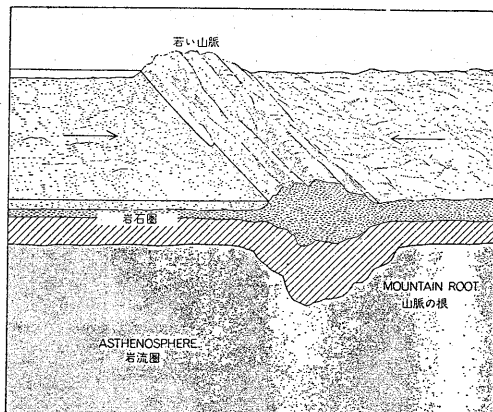


図 8b 山岳の形成 (プレートの移動が遅い場合)¹⁸⁾

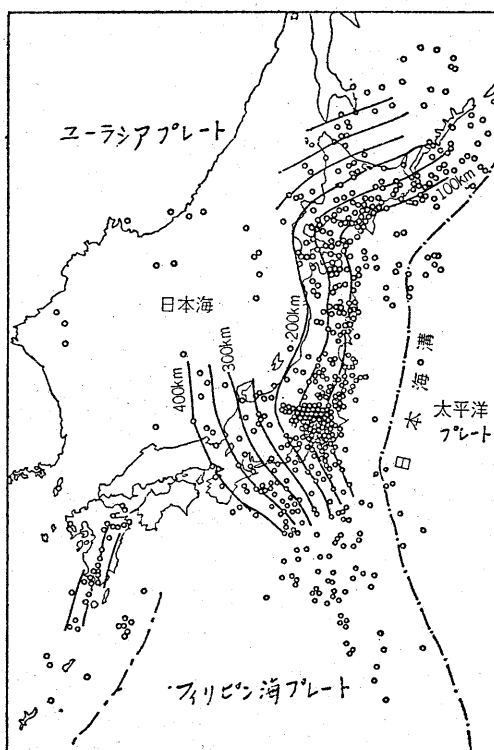


図 9 日本島弧付近の 90 キロ以深の地震の震央分布 (気象庁による)¹⁹⁾

に集中している (図 4)。

3. VLBI システム^{15~24)}

3.1 電波研究所における BLBI システム開発の経緯

電波研究所は宇宙通信、電波伝搬、周波数標準、データ処理など VLBI のシステム開発に必要な技術を総合的に備えた国内唯一の国立研究機関として、比較的早くから同システムの開発に取り組んできた。すなわち、当所が最初の VLBI システム (K-1) の開発に着手したの

は昭和 49 年であり、米国やカナダに遅れること 7 年であった。K-1 システムは米国の開発した Mark-II を一応参考にしており、これによって昭和 52 年 1 月には鹿島支所 26m アンテナと電々公社横須賀電気通信研究所 12.8m アンテナとの間で、4GHz 帯 2MHz 幅で我が国初めての VLBI 実験を行った。電波源としては ATS-1 からの雑音を用い、遅延時間決定誤差 ± 5 ns、相対位相決定精度 $\pm 6^\circ$ を得ると共に、電波星 3C273 のデータ処理からフリンジストップ技術を用いて相関のピークを検出することができた。

次いで、実験用静止通信衛星 (ECS) 実験計画の一環として、衛星からの電波の位相シンチレーションを測定する目的で K-2 システムを鹿島支所、平磯副所の両局間に設置した。これによって、両局間を結ぶマイクロ波回線を通じてデータ伝送をして実時間処理を行ったこと、4GHz 帯 100MHz 帯域を 54 チャンネル (各 2MHz 帯域) の帯域幅合成を行って、遅延時間決定精度 ± 0.1 ns を得たことなどが特徴として挙げられる。

一方、K-2 システム開発の時期と並行して、文部大臣の諮問機関である測地学審議会において第 4 次地震予知 5 か年計画に関する答申がなされ、新たに「宇宙技術によるプレート及び地殻変動観測」という項目が採択された。これを受けて当所でも、これらの観測目的に耐える高精度で総合的な VLBI システムを開発する為の「超高精度電波干渉計システムの開発研究」計画を策定し、昭和 54 年度を初年度とする 5 か年計画によって K-3 システムの開発に着手した。しかし、後に述べるように米国 NASA と当所との間で日米間の VLBI 実験を行うことがその後合意されたため、K-3 システムは米国の Mark-III システムと両立性を計ることが必要となり、56 年度以降の予算計画も含めてシステム的大幅な見直しを行い今日に至っている。

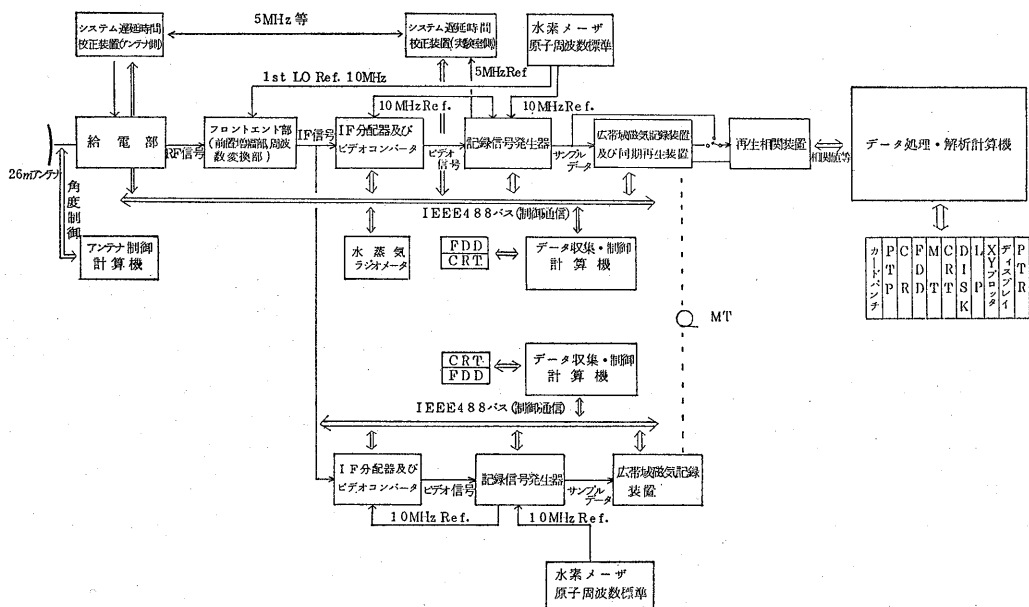


図 10 K-3 システムの構成¹⁶⁾

3.2 K-3 システムの概要

図 10 に K-3 システムの構成を示す。本システムは、日米共同実験の為米国側の Mark-III システムと両立性 (Compatibility) を有しており、アンテナから計算機に至るハードウェアは勿論、観測量である遅延時間、フリンジレート (遅延時間の変化率) 及びコヒーレンスから、測地学、地球物理学等に関係した各種物理量を算出し、解析を行うソフトウェアをも含む総同的システムである。本システムによって遅延時間決定精度 0.1 ns (基線長決定精度 3 cm) 以下をうることを目標にしている。

システムは、フロントエンド部 (アンテナ、給電部、前置増幅部、周波数変換部)、バックエンド部 (IF 分配器、ビデオコンバータ、記録信号発生器)、広帯域磁気記録装置、再生相関装置、電子計算機、水素メーザ原子周波数標準、水蒸気ラジオメータ、遅延校正装置などから構成される。フロントエンド部を除く殆んど全ての機器及びソフトウェアが 57 年度末までに開発整備され、58 年度の 10 月にはシステムが完成して総合テストを行う予定である。

図 11 に日米共同実験に用いられる鹿島支所 26 m アンテナの写真を示す。表 1 は K-3 システムの機能及び性能の概略である。フロントエンド部は、電離層による遅延が周波数の 2 乗に逆比例する性質を利用してこれを補正するため、S バンドと X バンドを同時に受信できるようにになっている。また、X バンド自身も将来の複数受信機による超広帯域・バンド幅合成実験のため、2 系統 (広帯域系、簡易系) 備えている。

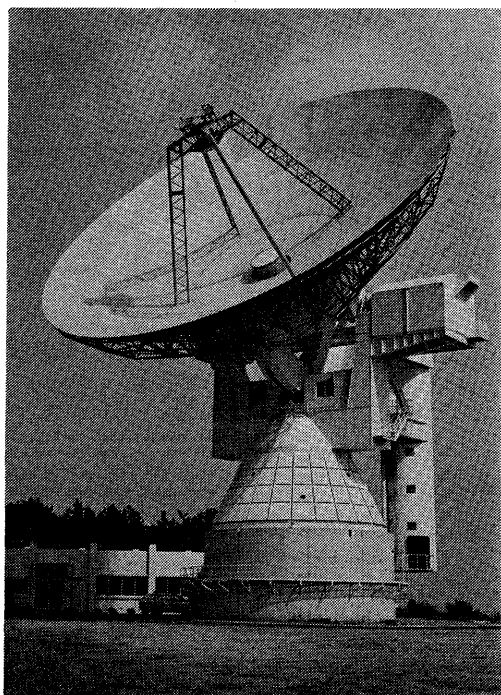


図 11 VLBI 用鹿島 26 m アンテナ

バックエンド部は、X 及び S バンドそれぞれ 100~520 MHz の IF 帯信号を IF 分配器で各 14 分配し、各々についてビデオ変換器でビデオ帯 (標準 2 MHz) に変換する。これは 420 MHz 帯域の受信々号を帯域幅合成するためのものである。各ビデオ帯の信号は記録信号発生器

表 1 K-3 の機能及び性能¹⁶⁾

	機 能 及 び 性 能
アンテナ	直径 26m, ホーンリフレクタ給電カセグレン, Az-El 駆動 利得; 53.3dB (2.26 GHz), 63.6dB (8.3 GHz)
給電部	周波数; 2.2~2.3 GHz, 8.05~8.55 GHz 群分波 VSWR; 1.25 偏波; Xバンド右左円偏波, Sバンド右円偏波
前置増幅部	Sバンド広帯域系; 周波数 2.20~2.32 GHz, 利得 30 dB, 雑音温度 120 K 以下 Xバンド広帯域系; 周波数 8.18~8.60 GHz, 利得 50 dB, 雑音温度 75 K 以下 Xバンド簡易系; 周波数 8.18~8.28 GHz, 利得 50 dB, 雑音温度 150 K 以下
周数変換部波	Sバンド LO; 周波数 2020 MHz, 10 MHz 基準信号の PLO Xバンド LO; 周波数 8080 MHz, Sバンドローカル信号の 4 通倍
IF 分配部	IF 周波数; Low IF 100~224 MHz, High IF 216~500 MHz チャンネル数; 28
ビデオコンバータ	ビデオ周波数変換器; イメージリジェクションミキサ ビデオ周波数帯域; 2 MHz 標準 (最大 4 MHz 可変) チャンネル数; USB 7, LSB 7 LO; 10 KHz ステップシンセサイザ
記録信号発生器	チャンネル数; 7 サンプル; 4 MHz て 1 ビットサンプル標準 (最大 8 MHz 可変) データ出力レート; 4.5 Mbps (1 バイトごとにパリティビット付加標準 (最大 9 Mbps 可変)
広帯域磁気記録装置	記録; NRZM, 全 28 トラック, 4.5 Mbps/トラック (135 ips) 再生; 9 又は 4.5 Mbps/トラック (270 ips 又は 135 ips)
デコーダー	2 チャンネルパリティエーテ, シンクエラー検出, 1 M ビットデータ格納
再生相関装置	チャンネル数; 4 クレート 28 チャンネル予備 4, sin 成分 28, cos 成分 28 相関部; 複素 8 ビット相関器, 時間領域フリンジ回転 その他の機能; 実時間システム遅延時間校正信号検出, 1 ビットバッファ時間領域 部分ビット補正
データ収集制御計算機	IEEE488 バスによる各機器との通信・制御 HP1000 モデル 10L 周辺装置; ディスプレイ, DS1000 プロ追 (予定), フシキシブルディスク X2
データ処理・解析計算機	HP1000 モデル 45F 主要機能; 1024KB メモリ, 実時間マルチタスク, グラフィックプロットイング, プリンタプロッタ, データベースユーティリティルーチン, 高速演算 周辺装置; ガードリーダ, FDD×2, DS1000 (予定), 120MB ディスク×2 プロッ タ×2, ターミナルディスプレイ×4
水素メーザ型原子周波数標準	周波数安定度; 2.8×10^{-14} (1800 秒) より小, 1×10^{-14} (600 秒) より小
システム遅延時間校正装置	校正用パルス信号; 1 パルス/ μ s, パルス幅 <50 ps ケーブル遅延測定; 片道 ± 0.5 ps, 短期安定度 ± 5 ps, 長期安定度 ± 10 ps/hour
水蒸気ラジオメータ	多周波ラジオメータ 測定精度; excess path にして ± 1 cm 以下 (天頂方向)
総合位相安定度	$\pm$ 数度/数分 (全チャンネルにつき)
総合遅延時間誤差	± 0.1 ns (5 時間)

でサンプルされ、水素メーザ標準から得られる同期用符号や時刻符号などと共に広帯域磁気記録装置に記録される。K-3 システムの特徴は、これらの全機器が IEEE-488 バスで統一的にインターフェースがとられて制御されることであり、システムの診断・点検も容易に行えるようになっている。

再生相関装置は、現在稼動中のものは米国ヘイスタック電波観測所のものだけであり、K-3 システムのが完成すれば西ドイツのボンなどと並んで世界で 2 番目のものとなる。K-3 相関器は、時間領域で地球回転による遅延時間の変化の補正やドプラーの補正を行う方式を採っているが、処理速度は Mark-III の 2 倍又は 4 倍（使用する帯域合成のチャンネル数による）となっている。

VLBI において、遠く隔たった 2 地点での電波の受信には同時性が要求されるが、これを可能にしたのは原子周波数標準又は原子時計の発達である。現在の所、VLBI 観測に要求される分オーダでの周波数安定度が最も優れているのは水素メーザ周波数標準であり、100 秒で 5×10^{-15} 以下が実現されている。K-3 システムに使用される水素メーザは、電波研究所が長年にわたって研究開発してきたものと殆んど同一の設計であり、VLBI 用のは運搬しやすいように比較的小型になっている。

電波星からの電波は電離層及び対流層を通過するときその影響を受けるが、前者については既に述べたように S 及び X の 2 つの周波数帯で同時受信をすることによって充分補正ができる。また、対流層でも乾燥大気は遅延量そのものは 8 ns 程度と大きい、気圧等の観測により数 ps 以下の精度で補正が可能である。しかし、水蒸気の影響は遅延量は約 1 ns と小さいが、変動も激しく補正が簡単でないため、20 GHz 及び 30 GHz 帯の 2 周波の水蒸気ラジオメータによって水蒸気の放射雑音温度を測定して補正する。

表 2 は川口らが計算した日米実験における遅延時間決

表 2 日米実験の測定誤差の推定²⁸⁾

誤差要因	誤差	誤差の種別
アンテナ・受信系	54 psec	ランダム
周波数標準器	4 psec	システムティック (積分時間に依存)
遅延校正器	10 psec	システムティック (温度変化に依存)
水蒸気ラジオメータ	38 psec	ランダム
地上気象測器	11 psec	システムティック (観測仰角に依存)
位相シンチレーション	6 psec	システムティック (観測仰角及び温度、 積分時間に依存)
総合精度	68 psec (=2 cm)	

定精度である。相手局はオーエンズバレー電波観測所とし、S バンド 2 チャンネル、X バンド 5 チャンネルの帯域幅合成で、強度 1 Jy (ジャンスキー) の電波源を 5 分間観測するとしている。総合精度 68 ps (長さで 2 cm) の実現が期待される。

K-3 システムのソフトウェアは、実験・観測計画、データ取得、処理及び解析を総合的に与う約 20 万ステップの膨大なものであるが (図 12)、これらのソフトウェアを有機的に結合するためにデータベースを採用しているのが特徴である。このことによって、プログラムの

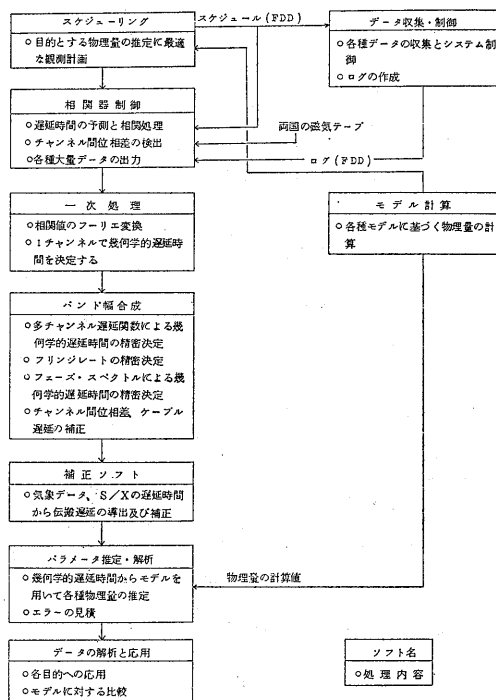


図 12 K-3 システムのデータ処理の流れ¹⁶⁾

Version up 等のための改修が容易になっていることも重要である。パラメータ推定・解析のためのソフトウェアでは、地域物理学等のモデルのソフトウェアに関し、文部省緯度観測所の協力を得て日本における最高水準の成果を取り入れている。

3.3 Mark-III システムとの両立性

Mark-III システムは米国における最新の VLBI システムであるが、これは Mark-I 及び II などを基に NASA のゴダード宇宙飛行センタ (GSFC) とヘイスタック電波観測所が共同で開発したものである。表 3 に Mark システムの特性の推移を示す。Mark-III システムの測定精度は、24 時間観測により数千 Km の基線を数 cm 以下、極運動を 10 cm 以下、UT1 の変化を 0.1 ms 以下の誤差で測定することを目標にしている。

表 3 Mark システムの特性¹⁵⁾

	Mark I	Mark II	Mark III
目 的	測地、極運動／地球回転	電波天文、測地 (ARIES)	測地、プレート運動、極運動／地球回転、(Polaris ARIES)、電波天文
観 測 周 波 数	7850 MHz	S (2.3 GHz)	S (2.2~2.3 GHz) X (8.1~8.6 GHz)
帯 域 幅 (合 成 用)	23, 39, 46, 69 MHz	40 MHz (ARIES)	300 MHz
受 信 チ ャ ン ネ ル 数	6 (Max 8)	1~2	1, 7, 14, 28
1 チャンネル周波数幅	360 KHz	2 MHz	125 KHz~4 MHz (2 MHz が普通)
記 録	IBM compatible デジタル	デジタル	デジタル
レ コ ー ダ	Ampex TM-12	V { Ampex VR660C T { IVC 825 R { RCAVDT 501	Honeywell M-96
導 入 年	1966	{ 1971 1975 1979	1978
再 生 処 理	Haystack	NRAO CIT Bonn	Haystack (JPL/CIT) (Bonn)
電 子 計 算 機	CDC 3300 IBM 360 モデル 50	HP 2100 シリーズ	HP 100 シリーズ (VAX 11/780)
現 状	1978 年 5 月廃止	電波天文目的で使用続行	現在 10 カ所拡大の一途

表 4 Mark-III システムとの両立性のために考慮すべき事項¹⁶⁾

給電部及び フロントエンド部	1) 受信周波数の一致 2) 偏波面の一致 3) 位相雑音が数度以下 4) データ収集・制御計算機による自動遠隔制御及び通信 5) 周波数帯域が 400 MHz 以上	水 素 メ ー ザ 原子周波数標準	特になし
		水 蒸 気 線 ラジオメータ	1) 出力データフォーマットの一致 2) プログラム追尾が可能であること 3) データ収集・制御計算機による自動遠隔制御及び通信
IF 分配器及び ビデオコンバータ	1) IRM 使用 2) 10 KHz ステップシンセサイザ使用 3) 位相雑音が数度以下 4) チャンネル数の一致 5) データ収集・制御計算機による自動遠隔制御及び通信	シ ス テ ム 遅 延 時間校正装置	1) パルスをを用いた校正法の一致 2) 測定値の出力フォーマットの一致 3) データ収集・制御計算機による自動遠隔制御及び通信
		デ ー タ 収 集・ 制 御 計 算 機	1) 各システムとのデータ通信及び制御 2) スケジューリングフォーマットの一致 3) ログギングフォーマットの一致
記録信号発生器	1) 出力データフォーマットの一致 2) スケジューリングフォーマットの一致 3) ログギングフォーマットの一致 4) サンプル速度の一致 5) データ収集・制御計算機による自動遠隔制御及び通信	デ ー タ 処 理・ 解 析 計 算 機	処理チャンネル数
広帯域磁気記録装置及び同期再生装置	1) 磁気テープ記録密度・記録方式の一致 2) 記録速度の一致 3) CRC テストパターンの一致 4) 同時記録チャンネル数 5) 計算機による自動遠隔制御	デ ー タ 収 集・制 御 ソ フ ト ウ ェ ア	1) ログギングフォーマットの一致 2) スケジューリングフォーマットの一致 3) データ収集、システム制御の一致
	1) システム遅延時間校正信号の検出 2) 処理チャンネル数の一致 3) スケジュール及びログの処理	デ ー タ 処 理・解 析 ソ フ ト ウ ェ ア	基本定数の一致など多数
再生相関装置			

表4に K-3 システムと Mark-III システムの両立性を計るために考慮すべき項目を示す。

4. 実験計画の概要^{15)~33)}

4.1 日米共同実験

米国 NASA と我が国の宇宙開発委員会との間で進められた「宇宙分野における日米合同調査計画」において、1979年6月第3回専門家会議は17項目の合同調査項目をまとめたが、この中の一項目として「Study of Crustal Plate Motion」があり、地殻プレート運動の研究に VLBI を含む宇宙技術を適用していくことが合意された。これにもとづいて、当所々長と NASA 国際部長との往復書簡で、1987年から日米間で VLBI 実験を行うことが確認された(1980年2月)。一方、「日米間の非エネルギー分野の科学技術協力協定」が両国政府間で1980年5月に調印・発効したが、上記の合同調査項目は形式上この協定の傘の下に置かれ、VLBI 日米共同実験は協定の第1項目「地球力学」に含まれることとなった。これらの事実を踏まえて、既に始まっていた K-3 システム開発5か年計画は、米国側の Mark-3 と両立性を計るべく大幅な見直しを行ったことは前述した通りである。

(1) 地殻プレート運動等の測定

上記の日米 VLBI 共同実験の背景には、米国 NASA の主導する「Geodynamic Program」の一項目である「Crustal Dynamics Project」があるが、これらは米国の地震災害軽減法の一環として推進されているものである。Crustal Dynamics Project の目的は以下の様であるが、これは日米共同実験の目的と内容に当然含まれることになる。

- ①米国西部のプレート周縁部に発生する地震に関連した地域的変形の歪みの蓄積の調査。
- ②同時期における北米、太平洋、南米、ユーラシア及びオーストラリアの各プレート間の相対的運動の測定。
- ③北米と太平洋の大陸的及び海洋的地殻プレートの内部変形の調査。
- ④地球回転の力学と、それらの地殻プレート運動や他の地球物理学的現象との相関。
- ⑤地震多発地帯で発生する運動及び変形の調査。

この為、米国10か所以上の VLBI 局及びレーザ測距局を観測に動員すると共に、移動形システムにより約30の候補地をあげている。又、汎世界的規模の観測網を敷くために数か国と協議していると言われる。

米国における実験は、西海岸の Owens Valley 電波観測所 (OVRO) やジェット推進研究所 (JPL)、東海岸の Haystack 観測所などとの間の基線で、またこれらの局とスウェーデンの Onsala 観測所、西ドイツの Effelsberg などとの間で行われているが、基線長変化としては年間

HAYSTACK-OWENS VALLEY VLBI BASELINE LENGTH RESULTS

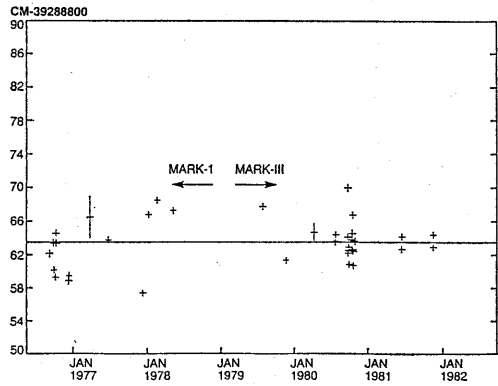


図13 米国における VLBI 実験データ例²⁶⁾

1~5 cm を得ている。図13は Haystack Obs と OVRO との間の基線で行われた長期間にわたる実験結果で、前半は Mark-I、後半は Mark-III を用いている。37日の観測の平均値の廻りのばらつき (rms) は 2.9 cm であり、基線長 3928 km に対して 7×10^{-19} の相対精度となっている。ただしこの場合は、観測期間における基線長の有意な変化は検出されていない。

図14は、日米共同実験に参加する主な VLBI 局の配

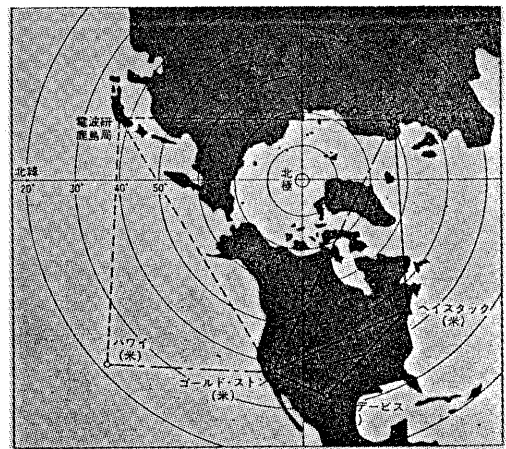


図14 VLBI 主要観測局の地理的分布²²⁾

置を示している。従来の北米、ヨーロッパ間の基線に加えて当所の鹿島局が参加したことにより、基線が極めて多様になって大きな広がりを見せるようになったことがわかる。

1982年5月、東京で国際測地学総会 (IAG) が開かれたのを機会に、NASA の VLBI 関係者との間で日米特別会議が当所で開かれた。この会議において実験スケジュールが討議され、1984年初めにシステムレベル実験を日米間で1回 (又は2回) 行い、続いて同年中頃に本実験を開始することが決まった。本実験は取り敢えずか5

年間継続される。システムレベル実験には、米国の PO LARIS 計画(極運動, 地球回転の観測を目的とする)の VLBI 局の少なくとも 3 か局 (Westford, Ft. Davis など) が相手局として参加する予定である。また, 1984 年の本実験は表 5 に示すような局の組み合わせで行う。即ち, 1 回の実験は 3 組から成り, それぞれが 1~3 日間同じ電波星群を観測し, 全体で 1~2 週間を要する。更に, 実験後のデータ処理解析を含めると, 一回の実験に約 3 か月かかることになる。

表 5 日米 VLBI 本実験における参加局と組み合わせ²³⁾

# 1	# 2	# 3
Kashima (Japan)	Kashima	Westford
Alaska (USA)	Onsala (Sweden)	Bonn
Tidbinbilla (Australia)	Bonn (West Germany)	Onsala
Hawaii (USA)	Wetzell (West Germany)	Wetzell
Mojave (USA)	Westford	Ft. Davis (USA)

(2) 国際時刻同期実験

原子時計の著しい性能向上と多様な比較手段の出現により, 遠く離れた原子時計の時刻を高精度に合わせる時刻同期が容易になってきた。これは国際原子時の決定や各国標準時の同期のみならず, 電波航法, 超多重高速通信, 衛星トラッキングなどにも必要であり, 一次周波数標準器間の国際比較に見られるように, 今後更に高精度の時刻同期システムの確立が要求されることになる。現在, 世界的規模で行われている時刻同期手段は, ロラン C 電波航法網, 運搬時計, 人工衛星等があるが, システムとして確立しているのは前 2 者のみであり, 人工衛星による方法は高精度の有望な手段として様々な実験が行われているところである。比較精度は, ロラン C, 運搬時計は約 $0.1 \mu s$, 衛星については使用する衛星の種類や比較方法により異なるが, 静止衛星による双方向伝送で数 ns 以下の結果が得られている。

VLBI による時刻同期は衛星による方法と類似しており, 高精度で世界的規模の比較手段として有望である。比較精度は遅延時間決定精度の $0.1 ns$ と同程度が期待できるが, 衛星による比較と同様, これが時刻の絶対値の比較精度(確度)を必ずしも意味しないことに注意する必要がある。即ち, 局内遅延量の絶対値などの評価が確度に影響してくる。VLBI による方法は, 比較地点間の距離に無関係に高精度を実現できるところに魅力がある。

図 15 は, 米国西海岸の海軍天文台 (NRL) と国立電

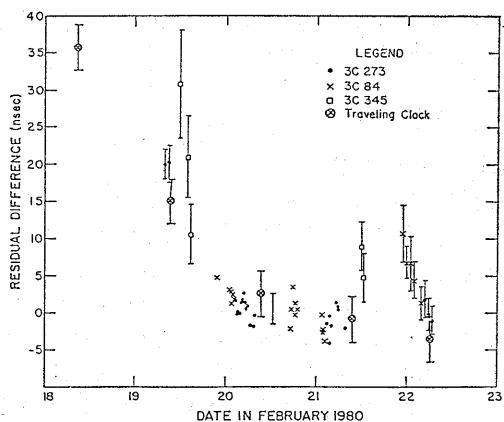


図 15 NRL-NRAO 間の VLBI による時刻比較実験例²⁷⁾

波天文台 (NRAO) との比較的近距离で, Mark-II システムによって行われた時刻比較実験の例である。 3σ で約 5 ns の精度を得ている。

VLBI による時刻同期実験は, NASA によって年数回行う計画が立てられており, 日本, スウェーデン, 西独, 英国, スペイン, オーストラリア, 米国 (USNO, NRL など) が参加していくことになっている。

4.2 国内実験

(1) 国土地理院との共同実験

建設省国土地理院は, 国内測地網規正や外国の座標系との結合を得る目的で, 昭和 56 年度から 3 か年計画で 5 m アンテナ可動型 VLBI システムの製作を進めている。この為, 55 年度末に当所との間でシステム開発の為の技術協力に関する覚え書きが交換され, 当所は全面的に技術援助をしているところである。

国土地理院の VLBI システムは K-3 システムと両立性を有し, 開発後は両者の間で測地網規正などに関する共同実験を行っていく。即ち, 先ず鹿島-筑波間の約 54 km の基線で昭和 59 年頃より実験を開始し, その後は年 1 回くらいの割合で 5 m アンテナを移動して行う予定である。表 6 に測地網規正を行った場合と行わない場合の測定誤差の比較を示す。本 VLBI 共同実験は, 測地網の規正に止まらず, 国内の地殻変動の解明, 地震或いは火山噴火の予知など, 災害軽減にも大きく寄与し

表 6 測距の相対精度の比較¹⁵⁾

測定距離	100km 以内	100~1000km	1000km 以上
辺長測定	50×10^{-8}	—	—
測地網 (網規正なし)	100	$100 \sim 200 \times 10^{-8}$	$> 200 \times 10^{-8}$
測地網 (網規正あり)	70	10~70	~10
宇宙技術	50	5~50	<5

ていくことになると思われる。

(2) 静止衛星軌道の高精度決定

VLBI の電波源として人工衛星からの電波を用いると衛星の軌道が決定できる。これは電波天文で星の位置を高分解能で決めるのと同じ応用であるが、静止衛星の中継器などからの雑音を受信するだけで行えるので、宇宙監視の有力な手段となろう。現在は、鹿島-平磯間のミリ波 10m アンテナと K-2 システムによって予備実験を行っているところであるが、将来は VLBI 車載局と鹿島 26m 局との間で様々な方向の基線を設置して、宇宙監視実用化のための実験を行っていくことを計画している。

4.3 その他の計画への寄与

1981年9月、国際学術連合 (IUSU) 総会において、国際リソスフェア探査開発計画=DELP (Dynamics and Evolution of the Lithosphere Project—the framework for earth resources and the reduction of hazard) が決定された。これは、1960年代の国際地球内部開発計画 (UMP)、1970年代の国際地球内部ダイナミックス計画 (GDP) の期間に達成された大陸移動、海洋底拡大などの確立及びプレートテクトニクスの確立という著しい成果をうけて、1980年代においても国際的学際的研究計画が実施されるべきとの認識により合意されたものである。本計画は日本学術会議より政府に対して、計画の推進に必要な予算的措置をとるよう勧告が出されたが (1981年11月)、電波研究所は VLBI による国内外の共同実験を通じて DELP に参加し、寄与していく予定である。

MERIT (Monitoring of Earth—Rotation and Inter-comparison of the Techniques of observation and analysis) 計画は、1979年8月の国際天文学連合 (IAU) 及び同年12月の国際測地学地球物理学連合 (IUGG) の各総会で承認されたもので、地球回転の観測とそれに用いられる各技術間の比較・評価などを内容としている。第1段階の Short Campaign は1980年に行われ、第2段階の Main Campaign が1983~1984年の少なくとも1年間行われる予定である。結果は、1985年8月の IAU 総会における新たな国際事業の提案に反映される。当所としても、何等かの形で本計画に寄与していく考えである。

5. む す び

VLBI の原理、地殻プレート運動、VLBI システム、日米共同実験等について概説した。電波研究所における K-3 システムの開発整備は、現在の厳しい社会情勢を反映している制約された条件の下で、また Mark-III との両立性を計らねばならないという一定の技術的困難

性の下で進められているが、幸い担当者の創意と努力で一応順調に進んでおり、1984年からの日米共同実験をスケジュール通り遂行できる予定である。

VLBI の将来的課題としては、先ず精度の向上が挙げられる。それには受信帯域の高帯域化やデータを記録するレコーダの高密度化が必要であるが、後者については取得データを衛星回線などで実時間伝送して相関処理すれば、制約は取り除かれうる。前者については、K-3 システムでは既に広帯域化の準備をしており、近い将来に測定精度を現在の 3cm から 1cm に改善できる見通しをもっている。その他では、小型車載局の開発の課題がある。既に述べたように、日本は三つの地殻プレートが相接する位置にあるため、地震の頻発する国である。従って地震予知は特に重要になるわけだが、それには大小様々な基線で観測する必要がある。米国には大型トレーラ二台で運ぶ、5m アンテナの移動型 VLBI システムがあるが、狭隘な日本の国情には適さないと思われる。もっと自由に移動できて、しかも高性能の小型車載局が必要であり、当所の担当者によって技術的検討が進められている。

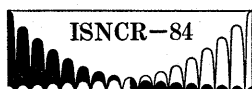
VLBI 実験の主眼である地殻プレート運動の観測は、新しい時代にふさわしい創造的で汎地球的規模の大事業であり、その理論の完成と実験観測体制の確立は、今後長い年月をかけて進めてゆくべき課題である。そして、VLBI やレーザレンジングなどの宇宙技術による実験観測を通じて、地震予知、測地、地球回転運動の観測などについても、高度に発達した科学技術の社会にふさわしい総合的で新しい概念の下に観測システムを確立してゆく重要な契機を得るのとしているように思われる。

(電波研 VLBI システム研究開発推進本部主幹)

参 考 文 献

- 1) 超長基線電波干渉計 (VLBI) 実験特集号、電波研季報、24、130 (Sept. 1978)
- 2) 河野：超長基線電波干渉計 (VLBI)、現代測量学——測量計測概論、p. 356~p. 368
- 3) 測地・地球物理学における VLBI 利用に関するシンポジウム集録、於電波研 (56. 6)
- 4) P. F. McDoran: Radio Interferometry for International Study of the Earthquakes Mechanism, Acta Astronautica, 1 (1974)
- 5) M. H. Cohen: Introduction to Very Long Baseline Interferometry, Proc. IEEE, 61, 9 (Sept. 1973)
- 6) A. E. E. Rogers: Very Long Baseline Interferometry with Large Effective Bandwidth for Phase—Delay Measurements, Radio Science, 5, 10 (Oct. (1970))
- 7) 別冊サイエンス、進化する宇宙、日本経済新聞社
- 8) 森本：電波で見た宇宙、講談社ブルーバックス
- 9) D. York: 新しい地球像、日本地学教育学会訳編、秀潤社

- 10) 萩原: 地震への挑戦, 講談社ブルーバックス
- 11) アーサ・クライン (竹内均 訳): 大陸は移動する, 講談社ブルーバックス
- 12) 別冊サイエンス, プレートテクニクス, 日本経済新聞社
- 13) 別冊サイエンス, 地球の再発見, 日本経済新聞社
- 14) 小嶋: 地球史, 岩波新書
- 15) 宇宙技術を用いた広域地殻変動観測システムの調査研究, リモートセンシング技術センタ) 56. 3)
- 16) 超高精度電波干渉計システム概念書, 電波研 (56)
- 17) 超高精度電波干渉計 (VLBI) システムの開発 (その1)~(その7), 57年度電通学会全大 2396~2402 (57. 3. 26)
- 18) 川尻: Introduction of the VLBI Systems Developed in RRL, 電子東京, 19 (1980)
- 19) 測地・地球物理学における宇宙電波技術利用に関するシンポジウム集録, 於緯度観測所 (57.2, 1~3)
- 20) 川尻, 尾嶋, 河野, 高橋, 吉野, 小池: The First VLBI Experiment in RRL, J. Radio Res. Lab., 26, 119 (March 1979)
- 21) 河野, 高橋, 吉野, 小池, 熊谷, 川尻: Development of Real-Time VLBI System and Measurements of Scintillation, J. Radio Res. Lab., 29, 127 (July 1982)
- 22) 佐分利, 吉村, 加藤, 塚本, 山下, 川尻, 河野: Development of VLBI System and Future Experimental Plan in RRL, Proc. of IAG Symp. (May 1982), to be published
- 23) 超長基線電波干渉計システムの開発 (1) 計画の概要 吉村, (2) システムの概要 河野, 電波研々究発表会 (57. 6)
- 24) 吉村: 超長基線電波干渉計, 日経産業新聞「未来技術」, (57. 10, 19~22)
- 25) EOS Transactions, American Geophysical Union, 63, 19 (May 11, 1982)
- 26) Abstract of 3rd Crustal Dynamics Working Group Meeting, NASA/GSFC (Oct. 29~29, 1982)
- 27) J. H. Spacer et al.: Comparison of VLBI, TV and Traveling Clock Techniques for Time Transfer, 私信
- 28) 佐分利: 時間・周波数の精密遠隔比較, 信学誌, 64, 4 (April 1981)
- 29) 山本, 原田, 佐分利: A Time Comparison Experiment Performed by SSRA System via AST-1, J. Radio Res. Lab., 23, 110 (May 1976)
- 30) 今江, 岡沢, 佐藤, 浦塚, 吉村, 安田: Time-Comparison Experiments with a Small K-band Antenna SSRA System via a Domestic Geostationary Satellite, IEEE Trans. Instrum. Meas., to be published
- 31) 地球物理学の展望と課題, 測地学審議会 (56. 7)
- 32) 国際リソスフェア探査開発計画, 日本学術会議国際協力事業特別委員会 DELP 分科会 (56. 6)
- 33) MERIT 計画の提案, 国際天文連合総会, モントリオール (Aug. 1979)



レーダおよびイメージ・センサの雑音およびクラッタ 除去に関する国際シンポジウム (ISNCR-84)

本会の協賛によって標記のシンポジウムが 1984 年 10 月 22~24 日笹川記念会館 (東京都港区三田 3-12-12) で開催されます。現在, 発表論文の募集中ですから奮ってご応募下さい。(会議用語は英語)

(1) つぎの分野の新しい論文であること。

A) レーダとソナー技術, B) 医用電子技術, C) リモート・センシング技術, の下記のトピックス

1) 雑音とクラッタの性質, 2) 雑音とクラッタ除去のためのアナログおよびデジタル処理とシミュレーション, 3) 特定対象物の認識と弁別, 4) 画像表示技術の改善

(2) 投稿のスケジュール

概要 (英文 200 語, ダブルスペースのタイプ印字のもの 3 部) を 1984 年 2 月 10 日までに 〒606 京都市左京区松崎 京都工芸繊維大学工学芸学部 小倉久直教授まで送ること。採否は同年 4 月 10 日までに著者に通知され, 本原稿の締切は同年 7 月 10 日です。(参加費は 3 万円程度の予定)

主催: 電子通信学会・電気学会電磁界理論研究専門委員会, 電子通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究専門委員会

共催: IEEE Aerospace and Electronics System Society, The Institution of Electric Engineers

協賛: 計測自動制御学会, 日本リモートセンシング学会, 日本ME学会, 電波航法研究会, 日本電子機械工業会



Observation

宇宙開発のこと

郵政省電波監理局
宇宙通信開発課長

立 野 敏

On Space Developments

Ministry of Posts and
Telecommunication

Satoshi TATENO

1月下旬から2月上旬にかけて、人工衛星のことが二つの側面で大きな話題になった。ひとつは、ソ連の原子力衛星落下に関連してであり、いまひとつは、わが国初の実用通信衛星 CS-2a の打上げをめぐってのものであった。

平和目的に限定した宇宙開発を推進している日本に、実用通信衛星時代の到来を告げるタイミングに合わせるかのように、ソ連の軍用衛星落下のニュースであった。国連の宇宙空間平和利用委員会等の場で、宇宙空間の平和利用が叫ばれている一方で、米ソ超大国の軍事目的の衛星が、我々の頭上を徘徊していることを強烈な事実をもって教えたことにもなる。

こういった時期に執筆の機会を与えられたので、宇宙開発に伴ういくつかのトピックを以下に追ってみたい。

〈宇宙の軍事利用〉

昨年の夏、オーストリアのウィーンで開かれた UNISPACE-82 (United Nations conference on the exploration and peaceful uses outer space) でも参加した多くの国は、宇宙の軍事利用に対して懸念を表明した。しかしながら、超大国の意向もあり、宇宙空間における兵器利用の禁止に関する具体的提案はまともらなかったのである。

軍事目的とはいっても幅のあることは事実ではあるが、宇宙空間に打上げられる 10 個の衛星のうち、7 個はこのためのものであるともいわれている。

軍事衛星にもいろいろなタイプがあるけれど、最も重要とされているのは偵察衛星 (reconnaissance craft) であ

- り、四つの種類からなるとされている。すなわち、
 - テレビカメラ、レーダ等によって特定地点にある 15~30 cm 程度の標的まで撮影するもの。(photographic satellite)
 - 特定地点で発生する電気信号をモニタするもの。信号傍受型。(electronic satellite)
 - レーダによる海洋監視用のもの。船舶 (特に潜水艦)、海面の状況等をモニタするためだという。例のフォークランド紛争でも利用されたそうである。(ocean surveillance satellite)
 - ミサイル発射時の赤外線をキャッチするためのもの。(early warning satellite)

これらはいずれも低高度の極軌道も含めて周回するタイプのものであろう。例のコスモス 1402 号も上記いずれかの種類のものであったろうと思われる。

大雑把の数字ではあるが、毎年 130~140 個の衛星が空間に打上げられているが、そのうち 120 個位は軍用のものでありその半分は偵察衛星だともいわれている。なかでもソ連のものが圧倒的に多いそうである。

あるペーパーによると、アメリカでは写真撮影用 (photographic satellite) を毎年約 3 個打上げるのに、ソ連は約 35 個も打上げるという。その理由として、アメリカの衛星は 2~3 年の寿命であるのに、ソ連のものは極めて寿命が短く、せいぜい 40 日程度で大気圏で燃えつきるものだそうである。コスモス 1402 号もそれらのひとつであったのだろうか。必ずしも燃えつきるものではないことを今回の事故は教えてもくれた。

なにもこの問題に深入りするつもりはない。しかし、

コスモス落下騒動の経験から、宇宙の平和利用という理想を堅持しつつも、現実を直視する目を我々日本人は持たねばならないということを強調したかったのである。そうでなければ、あの人騒がせな落下問題も一過性の話でお終いになるからである。

〈わが国の宇宙開発予算〉

本稿執筆中に国会で審議中の 58 年度予算案のなかに含まれている宇宙関係予算は表 1 のとおりである。1970 年度以降の宇宙関係予算の推移をまとめてみたのが表 2 である。すなわち、1980 年度から 1,000 億円を突破しているものの、財政逼迫もあり伸び率は低下していることは事実である。

日本の宇宙関係予算も 1000 億円をこそ定着したという評価と、これしかないのかという評価があろう。日本航空宇宙工業会では、昨年 7 月、「我が国の宇宙開発推

進のための宇宙産業振興に関する要望」をまとめ関係省庁に提出した。そのなかで、我が国の宇宙産業の基盤を確立するために、少なくとも年間予算 3,000 億円 (GNP の 0.1%) を早急に確保されたいと唱っている。立場からするものとの観方もあるうが、ひとつの貴重な提言であることは確かである。

アメリカにおける予算規模は桁違いに大きい。国防省と NASA それぞれが毎年 50 億ドル注ぎ込んでいる。両者併せると日本円 (250 円換算) で約 2 兆 5000 億円にもなっている。ここでまた、宇宙開発を論ずる際に軍事利用の側面の大きいことを忘れてはいけないことになる。したがって、予算規模を増やさんがための議論をするときに慎重でなければいけない。もっとも、平和利用されている衛星技術の多くは軍事目的に原点のあることも事実である。航行関係の衛星等にその例が多い。

いずれにしても、アメリカの宇宙開発は軍事サイドか

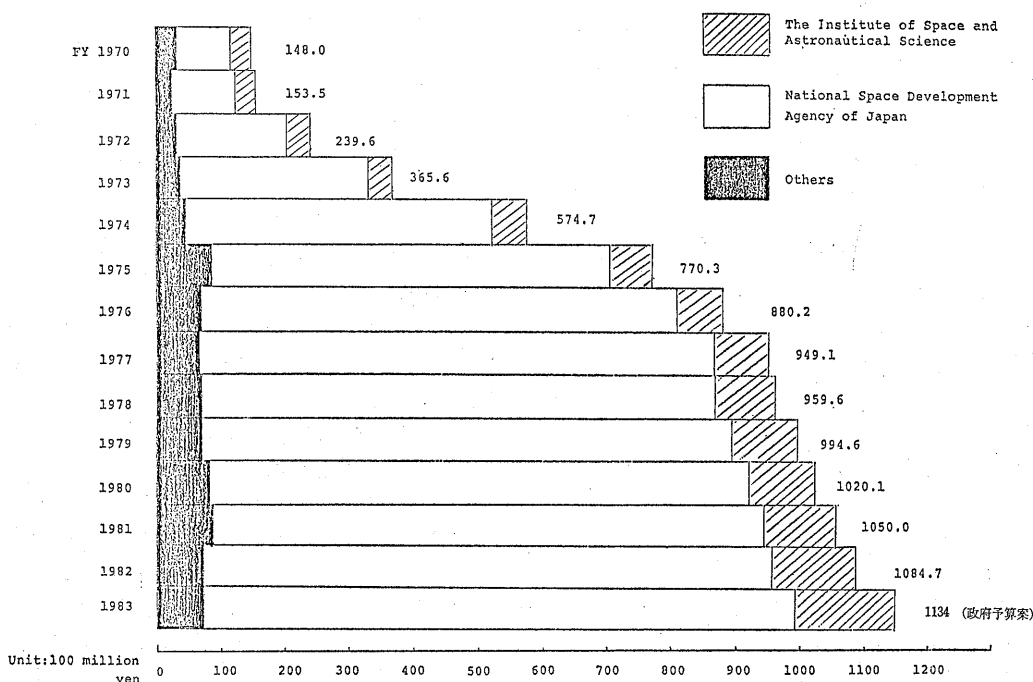
表 1 昭和 58 年度宇宙関係政府予算案

⑤ 国庫債務負担行為 (単位: 百万円)

省 庁	昭和 57 年度 予 算 額	昭和 58 年度 政府 予算案	対前年度比 (%)	備 考
科学技術庁	⑤ 42,105 87,666	⑤ 42,105 87,666	99.7	通信衛星 2 号・3 号, 放送衛星 2 号, 静止気象衛星 3 号, 海洋観測衛星 1 号, 技術試験衛星 V 型, N-II ロケット及び H-I ロケットの開発並びに第一次材料実験計画の推進, 後段階 H-I ロケットの研究, 宇宙基地計画の調査研究, 次世代放送衛星技術の研究, 合成開口レーダー等センサの試作試験等
警 察 庁	⑤ 272 0	467	—	衛星通信地上設備の整備等
文 部 省	⑤ 14,650 12,926	⑤ 7,582 15,182	117.5	科学衛星研究 (EXOS-C, PLANET-A 及び ASTRO-C の開発等) M ロケット開発 (M-3S 及び M-3S II の開発等), スペースラブ計画参加, 一般ロケット観測等
通商産業省	1,404	1,471	104.8	石油資源遠隔探知技術の研究開発, 宇宙電子技術の研究等
運 輸 省	⑤ 10,502 4,538	⑤ 935 7,078	156.7	静止気象衛星 3 号の開発, 気象衛星業務, 気象ロケット観測業務, 衛星を利用した海洋測地の推進, 航行援助衛星技術 (ETS-V 搭載用中継器) の研究開発等
郵 政 省	⑤ 76 1,938	⑤ 463 1,588	82.1	放送衛星 3 号の開発研究, 航空・海上衛星技術 (ETS-V 搭載用中継器) の研究開発, 通信衛星の実験研究, 衛星利用の搜索救難システムの研究, 通信・放送衛星機構出資等
建 設 省	2	2	95.0	衛星を利用した測地の推進
自 治 省	3	⑤ 197 172	5371.9	衛星通信地上設備の整備
総 計	⑤ 67,605 108,474	⑤ 54,288 113,389	104.5	

上記の表には、宇宙開発事業団の国庫支出金以外の収入 (事業収入等) は含まれていないが、これを含めて合計した場合の昭和 58 年度予算案の総計は、133,012 百万円となり、対前年度 (130,903 百万円) 比 101.6 % となる。

表2 宇宙関係予算の推移



ら始ったことは誰でも知っている。海軍の技術研究所がバンガード・ロケットを開発したのは 1950 年代後半であった。しかし、1957 年のソ連のスプートニクのほうがアメリカに先んじて軌道にのった。アメリカのものではエクスポーラが 1 年遅れの 1958 年になってであった。

そして、1958 年ソ連に追いつき追い越せの掛け声のもとに、1958 年に NASA が組織された。中核の人材は軍の研究所から集められた。

わが国で宇宙開発事業団 (NASDA) が作られたのは、さらに 11 年遅れの 1969 年であった。実利用を旨とした宇宙開発はスタートにおいて約 10 年の差がついていたのである。しかも技術の蓄積も乏しかった。

アメリカからの導入技術に多くを依存しながらであるとはいえ、去る 2 月 4 日打上げの CS-2a (さくら 2 号-a と命名された。) は、下旬には静止軌道上東経 132 度の位置に止まった。打上げに使われた N-II ロケットの国産化率は 60%、衛星は 64% である。チャンネル容量は電話換算で C バンド (6/4 GHz 帯) が 1000 回線、K バンド (30/20 GHz 帯) で 3000 回線である。なりは小さいが世界で初めての K バンド (準ミリ波) の実用化という自慢のミッション機器も搭載している。

さくら 2 号-a の費用 (直接経費) は 205 億円 (人工衛星 100 億、ロケット 70 億、打上げ 20 億、追跡管制 15 億) である。総費用の 4 割は国が負担し、残りの 6 割は電々公社等の実利用者が負担した。国の 4 割負担が無け

れば回線利用コストはアメリカに打上げてもらったほうが断然安いということになる。国として自主技術の蓄積のための支出ともいえよう。さらにはアメリカのものが安えのは歴史の違いと、軍事目的等で注ぎ込まれた金額、人材等からの当然の帰結ともいえよう。

しかし、逆にいえば、それだけのハンデを背負いながらも、まがりなりにも自主技術を基本として実用通信衛星を保有するに至ったことを誇りたい。そして、軌道予備機である CS-2b の 8 月の打上げ成功も祈りたい。

とはいっても、わが国の宇宙開発がアメリカの後追いであってはならない。アメリカのやることを全部フォローする必要はないわけで、得意の分野を確立し、早期にコマーシャルベースに持ち込むことも忘れてはなるまい。現下の財政状況からすると、パイの大きさに限度がありしかも各種の要求が多いなかでのゼロサムゲームにおける選択問題である。

〈主要国における宇宙開発政策〉

次に主要国においてはどのようにして宇宙開発政策なるものが確立されるのであろうか。詳細は必ずしも把握しきっていないが、概略は以下のようになっているとされる。(衛星通信に関するものに限定する。)

アメリカの場合

国家安全保障会議で宇宙開発の基本方針案が作成され、その下部機関である Policy Review Committee の

SPACE 部門で決定される。宇宙開発の主な実施機関としては、NASA（航空宇宙局）と国防省があり、衛星の打上げ、平和利用関係の研究開発は NASA が実施する。

NASA においては、各センターで開発に関するスタディを行い、その結果を本部が取りまとめて開発に着手する2年前から予算要求を行う。要求された予算は、大統領府の管理予算局、議会を経て決定され開発に着手する。

FCC（連邦通信委員会）は、通信・放送衛星について製造、打上げを認可しており、1980年10月に国内衛星事業の将来パターン（いわゆる open sky policy）の決定を行った。民間機関においては、FCC の認可を受けたものについて、NASA と打上げ契約を結び打上げることができる。

国際衛星通信については、インテルサット協定によりインテルサットに技術的、経済的な害を及ぼすような衛星通信への参加は禁止されている。

カナダの場合

科学技術省が、宇宙政策及び宇宙開発の主導官庁となっており、省間宇宙委員会の事務局となっている。そして、この省は、国家宇宙開発計画を策定する責任と権限ならびに優先順位、スケジュール及び支出について勧告する権限等を有する。

省間宇宙委員会で作成された5か年計画（提案）を基礎として、科学技術省は1981～1984年度に着手される新規宇宙プロジェクトを集大成し、予算を明示した新宇宙計画を81年4月に発表した。

省間宇宙委員会は、閣議の要請を受けて、各省から提出された新計画ならびに宇宙産業の役割を将来見通しについてレビューし宇宙計画のための長期戦略を勧告している。

国内衛星通信は、テレサットカナダ社（カナダ政府と通信事業社との共同出資会社）が提供しており、国際衛星通信はテレグローブ・カナダ社（国営会社）が提供している。

フランスの場合

電気通信は国家独占であり、民間組織が行う場合には政府の認可が必要である。衛星通信については、郵便電気通信省がサービスの運営、計画に対し責任を負う。

ロケット開発計画の責任を負う国立宇宙研究センター（CNES）と文化通信省との協力により、郵便電気通信省は西ドイツと共同で、非商業的な衛星通信システムであるシンフォニー計画を行っている。

国際通信用の衛星については、インテルサットの承認のほかに暫定ユーテルサットの調整が必要である。

イギリスの場合

衛星通信システムは産業省と内務省の認可が必要であ

り、英国電気通信公社が長期計画、短期計画を作成している。産業省は、省庁間の利害関係の調整や国家政策を策定する責任を有している。

いずれにしても国の政策は、国情、国民性、歴史等のしがらみの中で確立されるものであろうから、他国がこうだからわが国でもという論理は真におかしいものであることに留意したい。

〈周波数スペクトラムと静止衛星軌道〉

宇宙空間に人工衛星を飛翔させ地球上の人類が利用するのに絶対必要なものに電波がある。さらには、地球上から常時アクセスできる衛星利用ともなれば静止衛星軌道でなければならない。

電波利用、静止軌道利用の問題は国際的調整が必要であり、国連の専門機関である国際電気連合（ITU）がその衝に当たっている。各主管庁間の調整でもある。

昨年9月28日から11月6日までケニアのナイロビにおいて、ITU の最高意志決定会議である全権委員会会議が開かれた。この会議で電気通信条約第33条（無線周波数スペクトル及び対地静止衛星軌道の合理的使用）の改訂が再度なされた。再度というのは、約10年前の1973年にスペインのマラガートレモリノスで開かれた前回の全権委員会会議において、電波、静止軌道に対する equitable access を主張する開発途上国の強い要望により追加された条約第33条第2項、つまり、

「連合員は、宇宙無線通信のための周波数帯の使用に当たっては、無線周波数及び対地静止衛星軌道が有限な天然資源であること並びにそれらが、国及び国の集合がその必要及び使用可能技術的手段に応じかつ無線規則に従ってそれらを公平に使用することができるように、能率的かつ経済的に使用されなければならないことに留意する。」

が、さらに開発途上国の主張で書き換えられたのである。

条約の文言のなかに「開発途上国の特別な要求云々」が入れられ次のようになったのである。（アンダーラインの部分）

「連合員は、宇宙無線通信のための周波数帯の使用に当たっては、無線周波数及び対地静止衛星軌道が有限な天然資源であること、並びに開発途上国の特別な要求及び特定の国の特殊な地理的事情を考慮しつつ無線通信規則に従ってそれらを公平に使用することができるように、能率的かつ経済的に使用されなければならないことに留意する。」

宇宙開発が先進国を中心に進められている規定に対して途上国のいらだちがあることになる。さらには、コロンビア共和国等の赤道直下国が「静止衛星軌道のうち赤

道諸国の地球上の領域に一致する軌道アークには、それぞれの国の主権がある。」とする立場からの主張が下敷きになって「特定の国の特殊な地理的事情」という文言も含まれたのである。この静止軌道に対する主権の主張に対しては、わが国を含む西側先進国、ソ連等の東側諸国も留保したのは当然である。

だいぶ長々と記してきたが、ここでいいたいことは、宇宙開発推進に不可欠な電波、静止軌道の二つについて開発途上国の主張が極めてし烈であるということである。かかる状況下における国際調整というのは、したがって極めて難しいものがある

開発途上国のこのような主張は具体的にどのような要求になって現われているかといえば、国際的な周波数割当計画を作るべしというものである。(途上国のなかでも、コロンビア共和国等主権を主張するグループは別のニュアンスでの対応にはなるはずだが。)

現にそのための世界無線通信主管庁会議が、1985年6月末～8月(6週間; 第一会期)と1988年6月末～8月(同じく6週間; 第二会期)の2回にわたって開催されることも先的全権委員会議で決まった。

第一会期では

- 計画を作成すべき宇宙業務及び周波数帯の決定。
- 計画の作成に適用される原則、技術的パラメータ及び基準の設定。
- 監理手続のためのガイドラインの作成。

等が審議され、第二会期では、具体的に静止軌道位置を含めた周波数割当計画を作成することになるはずである。

これらの二つの会期がどういった進展をするのか、今の段階で予想することは至難のわざである。ただし、周波数割当計画作成ということに対して、次のようなメリット、デメリットのあることを一般的にはいえる。

一条約第33条第2項で唱っているように、全ての国の要求に基いた equitable access が可能になることであり、軌道位置等が決まっておればその後の関係国との調整が不要か容易になることである。

— しかし反面、具体的利用の計画もないのに架空の計画のもとに座席確保という問題も生じてくるだろうし、計画の有効期間設定のいかんによっては技術進歩(計画策定時点の技術がベースになるからである。)を阻害する要因にもなるだろうということである。

郵政省としてもこの問題は極めて重要であるとの判断のもとに、昨年10月、電波監理局長をヘッドに「静止衛星軌道の使用及びこの軌道を使用する宇宙業務の計画作成に関する世界無線通信主管庁会議対策協議会」を局内に設置して鋭意対策検討を進めているところである。

〈海上移動通信系への衛星導入〉

海上移動通信の現状

大洋上を航行する船舶には無線通信は不可欠の通信手段である。マルコニーにより無線電が發明(1895年)された後逸早くこれを取り入れたのも船舶であった(我が国では1900年に船舶通信実験が行なわれ、1908年銚子海岸局が開設された。)

その後、タイタニック号の遭難(1918年)で5,000名に及ぶ尊い人命が失なわれたのを契機に無線通信設備を遭難安全のために船舶に義務付ける制度、いわゆる SOLAS 体制が確立した(1929年最初の SOLAS 条約が成立)。以後、海上における無線通信は、もっぱら遭難安全を究極の目的として発展してきたのである。陸上における無線通信とは根本的に異なるところである。

さて、現在の海上移動通信を周波数帯毎に分類すると中波・中短波帯、短波帯、VHF 師及び 1.6/1.5 GHz 帯に大別され、それぞれ以下のとおりである。

— 中波・中短波帯

200～300 Km の範囲の中距離通信用。主として、中波師はモールス電信、中短波帯は電話に使用されている。500 KHz (モールス電信)、2182 KHz (電話) が世界共通の呼出し及び遭難安全周波数に指定されている。

SOLAS 条約では国際航海に従事する 300 トン以上の船舶には 500 KHz 又は 2182 KHz が義務付けられている。

— 短波帯

電離層反射による遠距離通信用。条件さえ良ければ地球の裏側とでも通信できる。しかし、逆に同一周波数による混信の可能性が高い。このため無線通信規則では海岸局用周波数を国際的にプラン化している。静止衛星軌道のプラン化の原型ともいえる。我が国では、電電公社が銚子及び長崎海岸局(電信)、KDD が東京海岸局(電話)を開き、公衆通信サービスを実施している。

フェージングの発生等のため通信品質は衛星通信には到底及ばないが、後述するインマルサット衛星通信システムに比べ格安(10分間電話で話す場合、短波帯では3,500円、インマルサットでは19,000円)であるためか需要は多い。

— VHF 帯 (国際 VHF)

50 Km 程度の近距離通信用。港湾内やその周辺での通信に使用されている。港湾管理、水先案内、曳船、検疫海上保安等々使われ方は多彩である。この周波数では 156.8 MHz (ch 16) が世界共通の呼出し及び遭難安全周波数に指定されている。最近では、一部の国

々でルールを無視した Ch 16 の使用が横行しており、呼出し又は遭難通信の障害になっている。国際海事機関 (IMO) もルール通りの運用を加盟国に勧告している。

なお、我が国においては、世界に先がけて自動接続方式の公衆通信サービス (250MHz 帯沿岸無線電話) を実施しているが無線通信規則では国際的に UHF 帯を使用する海上移動自動無線通信方式の導入を勧告している (勧告第 310)。北欧諸国は、このための周波数帯としては 900MHz 帯が良いとして世界無線通信主管庁会議 (WARC-M) (1983 年 2 月～3 月開催) に提案している。

—1.6/1.5GHz 帯

国際的な海事衛星通信システムであるインマルサットシステムが使用している。3 個の衛星で全世界をカバーしているが静止衛星をながめる仰角が 5 度以下になる南極及び北極の周辺は不感地帯となる。

インマルサットの動向

国際海事衛星機構 (インマルサット) は、昭和 54 年 7 月に発足し、昭和 54 年 2 月 1 日、従来米国の民間会社 4 社から成るマリサット・ジョイント・ベンチャーが運営していたマリサットシステムを引き継ぎインマルサットシステムの運用を開始した。

インマルサット加盟国は、昭和 57 年末現在、37 ケ国であり、海事衛星通信装置を設置している船舶の数は全世界で 1,491 隻である。この内、我が国の船舶は 186 隻であり、12% を占め、米国 (23%)、リベリア (20%) に次いで世界第 3 位である。これらの海事衛星通信装置の 36% は我が国製のものである。

海事衛星通信装置を設置している我が国の船舶をトン数別に見ると 5,000 トン以上が約 96%、5,000 トン未満が約 4% である。インマルサットシステムはまだ大型船にしか普及していないのである。経費面や設備の大きさがネックになっていると思われる。

インマルサットシステムでは、電話、テレタイプだけでなくデータ通信も可能である。これらは、従来のモース電信等と比べて高品質、高信頼性が確保されるためこれを機会に船舶の通信は伝統的な遭難安全通信から船舶の運航の効率化、省力化のための通信へと比重が移っていくものと思われる。

インマルサットは、もともと海事衛星通信を目的として設立されたものであるが、インマルサット地球局に比べて小型簡易な装置であるため砂漠等の他の通信手段がない地域で使用したいという要望もありインマルサットは過去数例その使用を認めている。さしずめ、砂漠の海にラクダの船ということか。これは、インマルサットの財政基盤をより堅固にする点ではうなずけるが、イン

マルサット条約又は無線通信規則に照してみると、今のまま野放図に認めて良いものか若干の疑問がある。しかし、周波数有効利用の見地から発想を変えることも必要であるかもしれない。陸上でのトラヒックをそのままというわけにもいくまいが、なんらかの条件を加すれば使われもない電波を生かせることにもなろうと思われる。

FGMDSS のこと

FGMDSS (Future Global Maritime Distress and Safety System) は、現在の海上における捜索救難通信を抜本的に改革し、その高信頼化、効率化、迅速化を図ることを目的としている。IMO は FGMDSS の導入を 1990 年と予定している。技術的には、衛星通信技術、デジタル選択呼出技術及び狭帯域直接印刷電信技術を三本柱としている。従来、通信士個人の能力に依存していた海上通信も、これら新技術の導入により自動化が図られ、通信士の負担の軽減にもつながることになる。海上通信制度の変革の起爆剤となる可能性がある。

国際電気通信連合では FGMDSS の導入に備え無線通信規則の改正を行なうため、本年 2 月から 3 月にかけて世界無線通信主管庁会議 (WARC-M) を開催したところである。いよいよ FGMDSS も本格的に動き始める。我が国においてもこの円滑な導入のために技術開発、関係規定の整備に向けて官民あげて取り組まなければならない。

AMES への期待

郵政省は AMES (Aeronautical Maritime Engineering Satellite) の実現を目指し、昭和 54 年度から衛星を利用した航空・海上通信技術の研究開発を行なってきたところである。その結果、昭和 62 年度打上げられる技術試験衛星 (ETS-V) に AMES ミッション機器を搭載し、衛星を使用して実験を行なうことが宇宙開発計画の中に取り入れられ、その予算的裏付けもできた (昭和 58 年度予算、表 1 参照) ところである。いよいよ、国内海上移動通信衛星の実現が夢から現実のものになり始めたのである。

小型船舶が多く、かつ、その大部分が我が国近海を航行している我が国においては、国内海上移動通信衛星に対する期待は大きい。

従来、海上分野は陸上分野に比べて通信技術の発展の恩恵に必ずしも浴してはなかった。また、海上関係の人々は、海は陸とは本質的に違うのだという思い込みにより技術の発展に期待することなく、ひたすら自分の通信技術の腕を磨いてきた。しかし、人間の活動の分野が今後ますます海へと発展し、船舶の航行の効率性を尊ぶとき、我々は技術の力に期待することになる。

ともあれ、AMES 計画の成否は今後の国内海上通信に

大きな影響を及ぼす。国内の海上通信関係者は AMES 計画に熱い視線を送っている。

〈む す び〉

以上宇宙開発に関連するトピックスを追ってみた。去る 12 月 3 日電波航法研究会でおしゃべりしたことをま

とめるようにとの編集子からの要望であったが内容は全く別のものになってしまった感はある。現実には早いテンポで動いていることでもある。この雑文をまとめるに当って、当局若手ホープ航空海上課の松井房樹君にも一部お手伝い願った。ここに記して同君に謝意を表したい。

「レーダおよびイメージ・センサの雑音およびクラッタ除去に関する国際シンポジウム (ISNCR-84) のための国内プレシンポジウム」に関する御案内

42 ページでお知らせした ISNCR-82 の主旨に沿った国内討論会が下記により開催されますので関心のある方はご参加下さい。参加希望の方は 8 月末までに 〒227 横浜市緑区長津田町 4259 東京工業大学大学院総合理工学研究科 武者利光 (TEL. 045-922-1111 EX. 2546) まで はがき でお申込み下さい。

日 時： 昭和 58 年 10 月 14 日 (金) 10.00~17.00

会 場： 東京工業大学 長津田キャンパス 大学院 4 号館 2 階大会議室

1. 開会の挨拶 (武者利光・東 工 大)
2. 福田守道 (札幌医大) Bモードシグナルプロセッシングと臨床
3. 尾上守夫 (東大・生研) 医用画像情報処理 (このあと昼休)
4. 土屋 清 (千葉 大) パッシブリモートセンシングにおける雑音除去の手法
5. 竹内延夫 (国立公害研) アクティブリモートセンシングにおける雑音除去の手法
6. 関根松夫 (東 工 大) レーダ・クラッタ雑音の除去
7. 鈴木 務 (電 通 大) レーダの信号処理について
8. 総合討論 (50 分間、各講演は 40 分、質疑 10 分)

戦後の電波は船舶から

—技術者の回想—

日本無線株式会社一社友

津田圭一郎・源之 清一

Reminiscences on Revivals of Maritime of Radio Techniques after 2nd World War

Japan Radio Co., Ltd.

Keiichiro TSUDA

1. 戦前におけるレーダの研究開発

(1) ウルツブルグ・レーダ

昭和14年6月に始った第二次世界大戦に先立って、ドイツのヒットラー総統はレーダの生産に量産の考えを導入した。部下の将軍がウルツブルグ・レーダの信頼度が80%のため、生産台数を30台に押えたのを一挙に5,000台とし、信頼度を生産過程で向上させよと緊急生産を命令した。このレーダは、威力を遺憾なく発揮し勇敢に突入する英機を撃墜し英空軍を恐怖のどん底に陥し入れたものであった。

(2) ウルツブルグ・レーダの国産化

昭和15年9月、山下奉文中将を団長とする軍事視察団が訪独し、翌16年1月海軍視察団が海路訪独して3月ベルリンで団長野村直邦中将と合流し、ここでウルツブルグC型（信頼度99%となった）を陸海軍共同で導入することになった。

山下中将は帰国して半年後にマレー軍司令官となり、

英軍が東洋のジブラルタル要塞と誇るシンガポールを昭和17年2月攻略した。

海軍は昭和17年春竣工した大型潜水艦伊30号をドイツに派遣しウルツブルグの図面や機材を積んでシンガポールまで戻り、日本に向ったとき触雷して沈没した。そこでこんどは昭和18年秋、ドイツの潜水艦で佐竹大佐とフオダス技師が図面を積んで出港したが、図面を積んだ潜水艦が木原、権藤中佐とともに戦没した。三度目に図面を積んだ伊8号潜水艦が日本に帰港し、昭和18年より国産化し終戦の直前完成したが終戦に際して軍命令で完全に破壊せざるを得なかった。

(3) 陸軍レーダの研究

昭和17年4月18日米空軍機の東京空襲に慌てた陸軍が、テレビ技術を持つ日電と東芝両社にレーダの緊急生産を命じた。

当時は、マイクロ波技術が無く、1.5m波長のため、巨大な八木空中線を振り廻すと、ふらつき高速で飛来する敵機目標に対しては方向に高低、距離などの精度が悪

表1 戦前のレーダー開発、因、縁、果

	昭和14年	昭和15年	昭和16年	昭和17年	昭和18年	昭和19年	昭和20年
独軍	テレシグナール レーダ	近距離用 レーダ	ウルツブルグ レーダ	ウルツブルグ レーダ	ウルツブルグ レーダ	ウルツブルグ レーダ	ウルツブルグ レーダ
陸軍	加藤正弘大尉 研究	佐竹中佐 研究	佐竹中佐 研究	佐竹中佐 研究	佐竹中佐 研究	佐竹中佐 研究	佐竹中佐 研究
海軍	伊藤中佐 研究	伊藤中佐 研究	伊藤中佐 研究	伊藤中佐 研究	伊藤中佐 研究	伊藤中佐 研究	伊藤中佐 研究
その他	主計主任 研究	主計主任 研究	主計主任 研究	主計主任 研究	主計主任 研究	主計主任 研究	主計主任 研究

く改造を繰返していた。18年秋、佐竹大佐が帰国しフオダス技師とウルツブルグ・レーダの技術を注入し、浜田成徳東芝研究所長の指導によって、信頼度の高いレーダが、昭19年末完成し翌年より量産された。

(4) 海軍レーダの研究

昭3年10月谷恵志郎少佐(後に少将)は、5kW 短波送信機や空中線を完成し、依佐美送信所(KDD)に設置しベルリンと通信をさせた偉大な技術将校だった。この谷中佐は昭11年にレーダの研究を提案したが、当時の海軍の主脳は『電波の提灯をかざして物を探す如きレーダは、伝統の夜襲攻撃を不能にする』と禁止した。

昭16年1月15日浅香丸による40余名の訪独視察団が3月10日ベルリンに着き、視察団の伊藤海軍中佐が陸軍中佐よりウルツブルグのマイクロ波レーダの威力を聞き、海軍省に打電した情報が4月28日に届き、その結果、日本無線(JRC)に研究内示が下り、12月3日始めてエコーがブラウン管に映った。艦政本部から試作103号として命じられ10万円の試作費と統制資材切符が渡された。

それまでに日本無線が掛けた試作費200万円は大倉喜七郎会長の私費であり、研究資材は統制物資のため河野広水専務が闇で買い集めた。このため河野専務は25日間投獄されることになったが、海軍の機密兵器マイクロ波レーダ研究のことについては、一言も口を割らなかった。

海軍技術研究所の水間正一郎技師(技師)は、このレーダの伊藤庸二中佐の代行で電気部長佐々木少将の許しを得、NHK高柳博士、日電の大沢博士、東北大渡辺教授、早大岩片教授、阪大浅田教授がたの協力により日本無線中島技部長以下の努力で103号の10センチ波レーダを完成した。

しかし受信回路が超再生検波のため、松村海軍技手や金井課長が使うと素晴らしい性能を発揮するけれど、将兵が使うと性能が悪くなったり良くなったり不安定だった。

昭19年3月着任した桂井少佐が、緒方大尉が研究したレーボック水晶に霜田研究員が研究した鉱石検波とスーパー回路を合体して2号2型改2を完成した。これにより、始めて兵士が自信を持って使えるレーダとなった。矢島彌太郎大佐の指導によりJRCはこの兵器を、300台生産し各軍港に発送したが、装備する主力艦隊は無く、倉庫に格納されて終戦となり米軍に占領された。

(5) 若し海軍が禁止せず、陸軍と共同でレーダを研究したら

(i) 若し海軍が昭11年の谷提案を採用し、昭15年6月米内首相と代った近衛首相が嶋田海相、東条陸相、松岡外相と決定した基本国策(日独伊同盟、日ソ不可侵条約を結ぶ、東亜に新秩序を創造する)に従い、海陸軍が共同でレーダを研究したら表2に示した兵器が、昭16年秋には完成したと思う。

(ii) 何故、鈴木技手(技師)を使わない。

鈴木海軍技手(技師)はベルリンにおける陸海軍随一の技術者で、ウルツブルグ導入のためレーダ技術習得にテレフンケンやレーダ学校で、特別な教育を受けて昭17年8月ウルツブルグの図面や機材と一諸に伊30号潜水艦に乗せられ帰国した。松井登兵中佐(大佐)の話によると、技手の身分のため第二類最高機密のウルツブルグ図面など知らせられぬ掟を守った。

シンガポール潜水艦が沈み鈴木技手は助かったが、箝口令がしかれて監禁された。

私が山口直文陸軍大尉(少佐)と海軍技術研究所にウルツブルグの図面を受取りに行った時、第二類軍極秘のため各部門が触れられぬ神に祟なしと逃げて判らず閉口した。その時鈴木技師が広い部内から探がし出してくれた。

この鈴木技師を海軍のレーダ研究に昭17年秋帰国させて使えば、スーパー化やレーボックなどの設計ができ昭18年春には生産し、兵器化が二年も早く完成したであろう。

(iii) 鈴木技師をウルツブルグの国産化に何故使わな

表2 若し、海軍主脳が谷提案を取挙げ、陸海軍が協力しレーダー開発したら

	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年
政情	龍井野郎	龍井野郎	龍井野郎	龍井野郎	龍井野郎	龍井野郎	龍井野郎
陸軍	松村海軍技手	松村海軍技手	松村海軍技手	松村海軍技手	松村海軍技手	松村海軍技手	松村海軍技手
海軍	谷中佐	谷中佐	谷中佐	谷中佐	谷中佐	谷中佐	谷中佐

表2は、14年から20年までの年表形式で、政治情勢、陸軍、海軍の動きを示している。14年から15年までは龍井野郎が主役で、16年から17年までは松村海軍技手が主役で、18年から20年までは谷中佐が主役で、レーダーの開発と生産が進んでいる。16年には「レーダーが完成した」と記載されている。17年には「レーダーが完成した」と記載されている。18年には「レーダーが完成した」と記載されている。19年には「レーダーが完成した」と記載されている。20年には「レーダーが完成した」と記載されている。

かった？

最後の駐独海軍武官田丸直吉中佐が沖電気（株）の重役、ウルツブルグ責任者山口直文少佐が同社の技師長となり昔話しをした時、田丸中佐が、どうして海軍技術研究所が鈴木技師を陸軍のウルツブルグ国産化に協力させなかったのか？ 若し協力させたら国産化は半年は早く、昭19年末には完成して東京や大阪などの防空に役立ったであろう。もっとも、海軍のみならず陸軍も軍極秘を隠れ蓑となし、自分の都合が悪い事は国民に知らせなかった。

国の防衛などの機密は守らねばならぬが、そのため田丸中佐が残念がったようにウルツブルグの国産化を遅らせたならば、まことに遺憾なことだと思う。

2. 戦後の電波技術は漁船から

（1）戦後の混乱と餓死百万人の恐怖

終戦の年は凶作で食糧は不足し、北方領土や南方諸国から数百万人の引揚者を迎え、食糧危機に陥った。それに加えてインフレがひどく、昨日のパン 20 銭は今日は 30 銭となるひどさだった。

裁判所の判事のこともあったが、その前年に亀尾東京高等師範教授は闇買いせず、配給だけで生活して餓死され夫人も危険だと 10 月 8 日の朝刊は報じた。そして 11 月 8 日の朝日新聞が大活字で「餓死は全国の街々に」そして上野駅の地下道に毎朝 6 名、大阪駅で 42 名、京都の行倒れ死者既に 300 名、神戸は 148 名、博多港から引揚者が 14 日間で 100 名も餓死し、寒さが厳しくなると更に増えるだろう。そして UP 通信は餓死者は 100 万人に達し、GHQ の占領は 25 年続くだろうと報道し又、流言に惑わされた人々が俺だけ生残ろうと礼儀も誇りも忘れて人と争い、醜悪な鬣行爲に走った。

新橋駅西側には盛大な闇市場が開かれて、盗られた片方の靴は翌日売られていた。八紘一字真善美の理想を仰いだ人々が一転し、偽、醜、悪の暗い世に落ちていった姿だった。

（2）餓死の恐怖を除く漁船無線の創造

戦前 15,000 隻の動力漁船が 300 隻と減ったが、漁船の働きで鰯 5 尾が特配されて喜んだ。政府が水産庁に漁船の緊急増産を命じるも資材値上り電力不足、個人船主は動かず、悪条件が重なり生産計画は進まない。

少い漁船で多く獲るため漁船の合理化を行えと、高木漁船課長（後東大教授）が個人船主に説得しメーカに電波技術の研究を頼んだ。喜んだメーカは合目的な無線機を開発し、漁船に売込んだが売れなかった。

個人船主は永年肉眼漁法で育ったため、海軍がレーダーを嫌った如く無線機を嫌った。

高木課長が根気よく船主に説き、洪々無線機を使うと

魚獲効率が高まり次第に普及し、1 噸の漁船も装備し漁船無線は約 4 万局、海岸無線局約 400、電波標識局約 100 局に発展した。

（3）南水洋捕鯨十二船団 3 カ月で創造

小魚より鯨肉 12,000 噸、鯨油 4,000 噸をと日本水産と大洋漁業の両社が計画し、GHQ が英、豪、ノルウェイ、ニュージーランドと交渉すると「俺達全部で 9 船団だ、敗戦国は 2 船賠償によこせ」と猛烈に反対され、許可されたのが 8 月 7 日だった。

出港は 11 月始めて半年分の食糧や器材などの積み込み日数を差引くと、工期は三カ月弱で JRC は、昭 11 年から 3 回の経験を見込まれ、両社の社長から二船団分 18 隻の無線装置を生産し装備し終らねばならなかった。

大洋漁業の日新、天洋丸は原爆を受けた長崎三菱造船所、日本水産は尾道因島日立造船所、一万噸のタンカーを橋立丸母船や多度津丸鯨肉船に改造する突貫工事が昼夜兼行で始まった。祖国の飢餓を救う大仕事を反対捕鯨国を説得した GHQ に対し、是非とも 3 カ月で完成せんと資材、電力不足を克服しつつ突入した。

三鷹の工場では受注して前渡金 200 万円を貰ったが、主力を投入したラジオ多量生産が始まったばかりだった。気の強い中島社長が会議を開くも重役、部長、労働組合らの猛烈な反対で弱り果て「君が責任者となり、設計部員と岡田電機を使い神戸出張所員だけで完成して呉れ！」と頼まれて承知した。

棚橋、飯田、三谷、筒井、田中亀、岸野、石橋、福田、玉木、三宅、湯浅、小池、田中孝、荒木、藤沢、岩井課長が丸となり設計検査し、長崎、因島、大阪港に送り監理局の電波検定に合格したのは出港の前日だった。

昭 21 年 11 月 7 日の大阪港は焼野原、その果に新装成った一万噸の橋立丸と多度津丸とが、巨大な姿を横たえていた。橋立丸母船の高い船橋の無線局から大阪市内を見降ろすと、焼野原の其処彼処に焼ビルが骸骨のように立っていた。その背後には箕面や河内の山々が美しい姿を裾野まで現わし、さながら神武の昔に還ったようだ

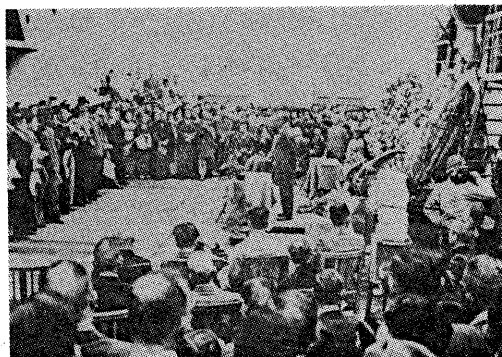


図 1 植木日水社長の橋立丸出港の激励



図 2 昭和 21 年 11 月 7 日出港する第 1 次捕鯨母船
橋立丸

った。

広い甲板を見降すと別れを惜む人々が一様だった。出港式が始まり図 1 の如き日本水産社長の壮行の辞が終り、岩壁に降りて出港を見送ると鯨を撃つ大砲を備えた小さな船が先頭に 7 隻進み、戦艦大和の如き橋立丸が多次度津丸を従え、威風堂々南極目指して出港した。

竹原部長（後に社長）が「世界に国多しといえども戦い破れて僅か一年、焦土の中から立上りあれだけの大船団を創造した民族は日本以外にあるまい」と語った感激は忘れられない。

長崎の日新丸母船を訪れると船長と同じ金筋つけた並木監督が、無線局長に早代りしていたのに驚いた。「津田さん！江戸から長崎へ何しに来られた。見送りなんか止めて江戸に帰り、全部無線機を来年変えるから米ソらが相談している新しい技術基準を先取る優秀な無線機を考えろ！」とウキスキーを頂き東京に帰った。出港は翌 18 日だった由。

(4) GHQ 海軍レーダを捕鯨母船団に装備

南水洋では氷山の間を縫い鯨の多いところへ移動する。日本人は昔から肉眼航法で平気だったが、監督の米人は氷山や流水の危険に恐怖し震えあがり、レーダを装備せねば下船すると GHQ に申し入れた。

占領した各国はレーダは 10 年装備させぬ方針だったが、GHQ は反対を抑えて日本海軍の 2 号 2 型改レーダの装備を考え、JRC と三波工業とが担当した。JRC は津村海軍中佐、三波は矢島海軍大佐が責任者となり各軍港倉庫からレーダを受取り、手入を行い第二次南水洋出港までに装備を完了した。

このレーダは直径 7 cm の太く丸い導波管や空中線を手動回転させる軸などで装備は難工事、そして取扱いも大変だが、始めて使うレーダにより流水や氷山が霧の中でも見え、船長、航海士は非常に喜び帰国して再三 GHQ にレーダ装備を出願し、捕鯨船にまで海軍レーダを装備した。そして昭和 24 年の四次出港から米、英国の自動回転 PPI 表現の輸入が許された。翌年 12 月国産が許さ

れ 27 年海上保安庁北斗に JRC 製を納入した。

昭和 34 年に JRC は独自の空中線方式や小型レーダを開発し、現在では商船用に衝突防止レーダ JAS800 型などを開発するに到った。

(5) 方向探知機、鯨ラジオバイ、流水山探知機

方向探知機（方探）、大正元年国際条約の通信省型式証明 1 号を JRC が得て以来、商船に装備し捕鯨船には不可欠の電波航法機だった、鯨の流失防止にラジオバイを開発し、これが流し網や延縄の流失防止に発展した。

海上に頭を出さぬ氷山や流水を発見するため、横向け測深儀を開発しこれが横向き魚群探知機やソーナに発展した。(注)

3. 輸出船舶無線（政府が仰天した AC 条約）

(1) デンマーク船（フィリッピン、ブラジル等）

昭和 23 年春、岡山県三井玉造船所に東芝と JRC が呼ばれ、「デンマーク貨客船 8,000 噸 3 隻の無線機が船長より我が社に決った。テレフンケンと南水洋捕鯨無線の実績を船長が、評価した」と造船所の資材部長は語り、無線装置は、(1) 中波 750 W, (2) 短波 500 W, (3) 50 W 送信機, (4) 受信機 3 台内 1 台 SOS 自動受信機, (5) 自動電鍵, (6) 方向探知機, (7) 電動発電機 3 台, (8) アンテナと自動切換、納期は 1 カ年、日本政府の電波検定を船上で合格することだった。

(2) 始めて知る AC 条約の厳しさ

午後、技術仕様の打合に入ったが船長は電動発電機の 400 Hz と自動式を絶対に譲らない。(日本は 50 Hz, 手動式)、また短波送信機の呼出通信切替時間は 4 秒の自動式、電波の質の規格受信機の局発からの洩れも日本通信省の規格と異なる仕様だった。

船長から貴国政府の電波技術規格は、昭和 13 年カイロ無線条約で今は AC 条約に変わっている。これを読んで細部を設計しろと借りた部厚い条約を見ると、昭和 22 年に戦勝国が米国アトランテック・シティに集まり電波技術基準を根本から改正し、昭和 23 年公布したものだった。

私、「船長！こんな厳しい技術規準の無線機を一年で完成するのは無理だ！」と断わると「契約したではないか！」三井資材部長の憶測では、船長が英国マルコニや米国レセオン社と一年前から交渉したが、納期は 4 年と云われ、船が出来ても無線が無ければ出航できぬため日本に注文したらしい！これを聞いて私は、船長に一杯喰わされたと思ったが後の祭りだった。

三鷹に帰れば河野社長は大喜びだが、技術重役はとんでもない仕事だと皆んな逃げ腰だ。一諸に出張した進藤重役は私の兄貴分、頼むと云われて全責任を引受け藤井機器工場長が生産を担当した。無線機の段取りはついた

(注) 船舶電子装置、東京電機大学出版部

が電動発電機の納期は明電舎3年その他も同じでハタと困った。すると棚橋君が研究を引受けて茅野の原電気社長が製造を引受け、宮坂英夫技師長、前川技師の努力により完成した。

無線機の設計は発明の苦勞があっても、心ある設計部員の努力と藤井機器工場長の指揮により、図3(右)に示した無線機が船長と約束通り一年で船上に装備できた。

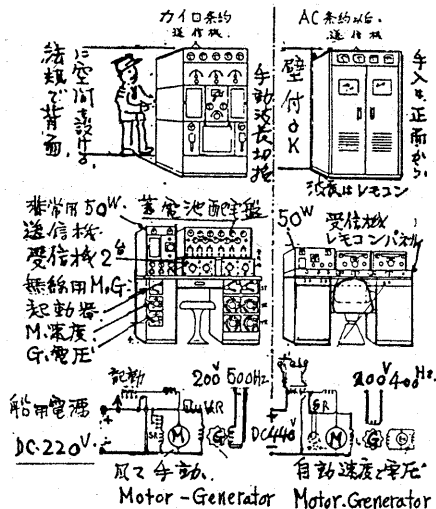


図3 戦前(左)戦後(右)の船舶無線

通信省に電波検定受験の願書を提出したら、技術基準がデタラメだと真赤に訂正されて帰ってきた。本省に出かけて事情を説明しAC条約の写しを差上げると非常に喜ばれ電波検定は苦もなく片づき、デンマーク船は出港して行った。

二船目が火災を起こし、無線機を40日間で製造した仕事も良き思い出となった。

昭25年2月長崎三菱造船所からヒリッピン大統領の一萬噸豪華船三隻、AC規格で設計し各国を巡航したのが縁となって米国マッケイ社と結ばれた。

輸出船舶無線はリベリア、ブラジル11隻とAC技術基準で製造し、ブラジルには浅野課長が昭25年から29年末まで保証技師として駐在した。

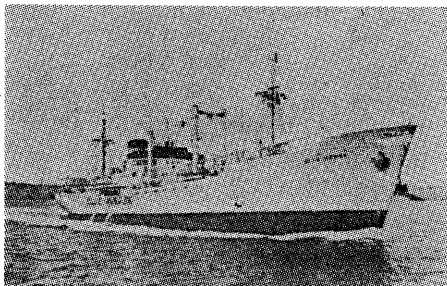


図4 デンマーク輸出優秀船7800トン3隻

(3) 漁, 商船無線のJIS規格を創った

JIS規格の商船無線B型250Wは、昭14年制定され放しだった。JIS規格は3年毎改正する掟だったが其儘で、技術院から、昭24年水洋会(小屋良吉安立電気社長創設)に漁, 商船無線規格の制定を頼んできた。

私が技術委員長でJRC 浅野と安立石川君が幹事となり、メーカ27社、船主、造船所の代表者を委員とし、河野社長の許しを得てAC条約で設計したデータを提供し、漁船, 商船無線の規格を創った。GHQから解散されていた機械工業会が再開し、私が技術委員長となり水洋会と同じメンバーで草案を創り、安田工業会事務局長より技術院に提出した。

4. 超短波の見通し外FM電話こと始め

(1) 北陸電力の要望

北陸電力は富山電気ビルの二階と下が本社で上は米軍将校が進駐していた。

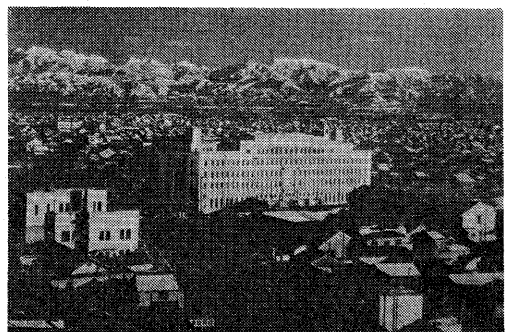


図5 富山電気ビル, 北陸電力本社, 五階はホテル

進駐米軍将校が本国の米軍の研究資料から推論し、富山、金沢、福井の間、雪の深い山頂に無線中継所を設けず山麓と山麓とで超短波の良質なFM電話がてきる!と山田社長に話した。社長は富山の織田信長と云われた人、直ぐ白石常務や長坂通信課長に命じて図6の如き計画を立てさせた。指定電気会社、H社、N社、T社、F電機、M電機に相談すると超短波の性質上不可能だと断わられた。独りT社が子会社の独創力が勝れた技術者と昭27年夏、実験したら富山-金沢は困難で一年位研究を要するが、金沢-福井は苦もなく出来ると云う。しかし肝腎のT社技術者は、たとえ夏可能でも雪深い冬はダメになるだろうと引受けな。

そこへJRCが乗込み終戦以来、超短波を研究し続けたY課長がアドバルーンに空中線を取り付けて、垂直定在波の波腹を測定し図6の設計を行い北陸電力に提出したら喜ばれ、成功したら超短波は全部JRCに発注する内示を貰い三鷹に帰ると会長、社長は大喜びでY課長を賞讃した。

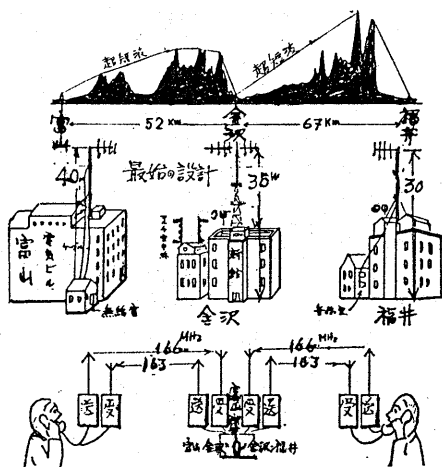


図 6 北陸電力の要望と最初的设计

そしてY課長は空中線や無線機材を北陸に送り、指示を与えて部下を派遣し、工事をさせ12月始め現地で指揮する目的で出張した。

12月15日富山、金沢、福井の開通式の招待状が、北陸電力社長から来てT常務が礼服を持って富山に出張した。15日早朝T常務が三鷹に血相変えて怒鳴りこんできた。

富山に着いたら全然聞えず、開通式取止めで北陸電力は大騒ぎ、山田社長から油を絞られ「三鷹本社から優秀な技師を派遣し必ず開通させます！」と帰ってきた。直ぐY課長より「優れた技師を派遣せよ！」と叫ばれた。

会長、社長が幹部を集めて協議したが、誰も発言しない。中島博士独り「だから理論上無理な注文とるなと云ったでしょう！進藤、藤井重役は終戦以来、Y課長は超短波を研究している。彼より優れた人はいないから彼に頑張って貰うより仕方ない」となった。

この方針でY課長からの実験機材を昼作り夜行て届けて23日になった。倉科工務課長が「どうも怪しい。津田さん現場を見て善処しないと、JRCの信用が台なしになる」と忠告されて24日朝、富山に着いたら大雪だ。

北電の階下に在る通信所に行くと無線機が無い。親切な藤田所長に案内さた、六階の劇場観客席の一番上の無線機からスケルチ脱して雑音がガッガ鳥っていた。その前にY課長が居り「津田さん、金沢の小鳥の声が聞えるでしょう！」私はY課長は責任感と疲れて頭が変になったと思った。

私は長坂通信課長から心臓が痛くなるほど叱られ、今度は白石常務からと覚悟したら常務は優しく『津田さん不可能を可能にするのが本当の技術者です、どうぞよろしく』この言葉を伺い私は『超短波の機械は判るが伝播は素人ですが、必ず開通して責任を果します。どうか半

年の時間をお与え下さい』と誓った。

昭28年正月、五十嵐君を残し全員、次の見通し外回線、日本通運の仕事に専念させた。北電の研究には新人鈴木光雄、辻村克巳、松原金治、金岡隆夫、畑尾正弘それにベテラン五十嵐惣平君を北陸実験班とし、送信機の改善には北山一男課長、大塚、三沢君、受信機改善は岩井享課長三佐保君が根本から見直して貰った。

私は富山電気ビル五階のホテルに泊り、金沢、福井支店を飛廻り、3月21日雨の中、金沢で午後8時富山-金沢-福井と同時に送受信のFM電話が開通し、4月3日北陸電力に引渡した。そして細部の仕上を鈴木、五十嵐、高橋倫三君たちが行い開通式6月1日には、私の代りにY課長を派遣した。

北陸で試みた実験概要と成功した方法は

1. 水平偏波はダメで垂直偏波が良かった。
2. 富山金沢回線は図7の点線はダメ、立山連峰三千米の反射利用もダメ、図示の迂回で成功した。
3. 送りと受けの空中線位置は別々の方が良い。
4. 垂直定在波腹と水平定在波腹の位置と空中線の方角とは、高いS/Nを得るため細かく測定を行い、低い位置を求めると低価格だ。
5. 富山-金沢-福井各局の空中線位置は、互に関係しているため、片方の空中線を動かしたら必ず他局のS/Nが変動するから要注意。
6. 同時送受信の時は、送受空中線の廻り込みに注意すること。

又、S/Nは、夏も冬も変化はなかった。

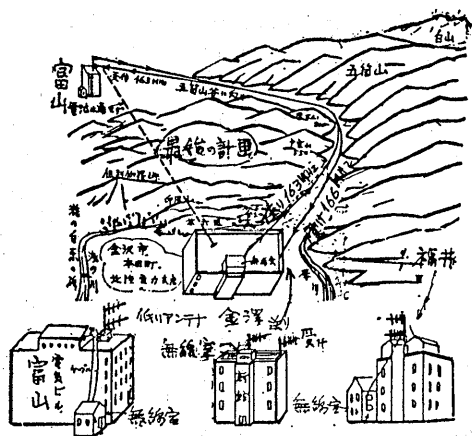


図 7 VHF の迂回方式

5. 戦後 JRC の彰往考来

ご承知の如く“彰往考来”は往事を彰え将に将来に役立てよ！の意味合で戦後を回顧し経営理念の変転と社員発明的仕事を述べる。

(1) 経営について

経営者は赤字を出しても研究に投資し、μ波多重通信、超短波、方探、ラジオブイ、レーダ、ロランA、魚探など開発し、昭26年6月網代での魚探実験は、“読売新聞”が大きく報道した。

主力を投入したラジオと受信管は、故障続出し表3の如く売行落ち大赤字を出した。その借金から銀行重役が2名乗込み、気弱な社長を圧迫し入金が多くを吸上げられ月給遅配が拾年も続いた。

昭28年大倉会長となったが発展の見込なしと判断し、自分の持株を凍結し女婿の社長以下を切り、日清紡桜田社長に経営を譲った。その月から月給が確実に払われて従業員は喜こんだ。そして JRC の経営理念は図10の

企業は公器の心で、経営者、従業員と勤労し、仕事を通じて教育し合い、職場の灯を社会に照らす。

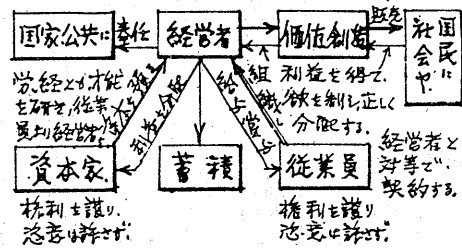


図10 JRCの経営理念

如く“企業公器”となり資本と経営を分離する方向に変転した。将来益々繁栄すると確信する。

表3 戦後 JRC の彰往考来

	20 ^年	21 ^年	22 ^年	23 ^年	24 ^年	25 ^年	26 ^年	27 ^年	28 ^年	29 ^年	30 ^年 ～	38 ^年 ～	45 ^年
経営	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長
研究部	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長
資金人村方	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長
設計部	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長	大倉会長

(2) 社員について

当時はラジオの量産主流から異端視され月給遅配や残業徹夜続きで、食糧買出し休暇もとれぬ窮乏生活の中で、南水洋捕鯨船団や輸出船舶の仕事を行なった心情を述べる。

それは銀行の悪口を叩きながらも“仕事は自己表現だ。困難な発明を伴う仕事ほど自己を気高くすると確信する心構えだ。この心が受注した仕事には、言い訳せず成吉競社長が教えた”結果責任を果す心が心ある社員に伝承され、将来もまた伝承され続けると信ずるものである。

(3) 発明について

(i) 発明のライフサイクル

これは図11の如くノーベル受賞水準の発明は32才と45才にピークあり、ネステル教授がテレフンケンの発明は才がピークがあり、私の体験は図示の如く歴史に残るような発明はできぬが、将来出現する人工知能を備えたコンピュータがする(演繹帰納による推論的発明)程度を天国に昇る才まで行い得ると思う。

(ii) 欲こそ発明の原動力

科学は知識が名誉欲。工学は知識が名誉欲。創作が物

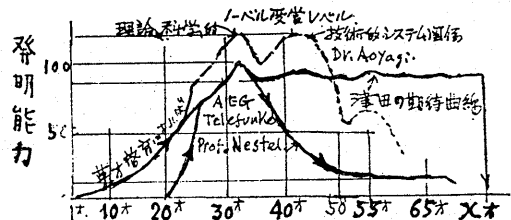


図11 発明のライフサイクル

欲。技術は創作欲。物欲が競争欲だ。又、人間の三大本能は (1) 生体保存の物欲、(2) 種族保存の性欲、(3) 自己表現の目立ちたい欲である。

二宮尊徳先生は、人は欲に従い勤労し、欲を制して分

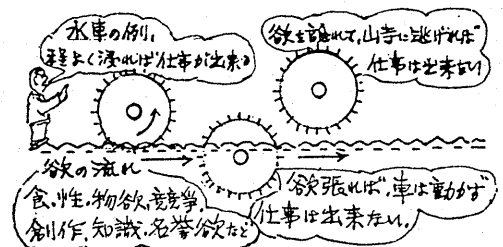


図12 欲に従って仕事をする

困難な仕事の最大なのが独創であり発明だった。それで私は発明に論及し、メカニズムから発明の機能など紹介した。そして10月16日でヌメオになった欠点の“老爺心”が出て、心や気について述べ始め、頁数超過に気が付き尻切れトンボに終わった。若し次の機会が与えられれば、どんな人工知能のコンピュータが出現してもできない発明、人間でなければ出来ない独創的発明について長年研究したことを紹介し、庄司会長はじめ研究会の人々、特に海上保安庁の諸官そして当社の萩野部長の好意に答えたい。

電波航法研究会 昭和56年事業報告

電波航法研究会事務局

総 会

昭和56年度総会は、昭和56年6月10日14時から海上保安庁第一会議室で開催された。出席者48名、委任状提出者45名で、当会規約第10条第4項により本総会は成立した。

各議題の審議決果は次のとおりであった。

1. 昭和55年度事業報告が事務局により行われ、承認された。
2. 昭和55年度会計報告が会計幹事より行われ、会計監査森川卓氏、倉繁貴志子氏の監査報告（書面）があげて承認された。
3. 昭和56年度会長、副会長の選出は、柴田幸二郎氏が仮議長となり、飯島幸人氏、山越芳郎氏、萩野芳造氏、荒三男氏、吉田茂氏が選考委員となって行われ、会長に庄司和民氏（再）が副会長には、木村小一氏（再）、鈴木裕氏（再）が選出された。
また、各幹事の委嘱については原案どおり了承された。
4. 昭和56年度予算案について、会計幹事より説明が行われ、案どおり承認された。

研 究 会

1. 昭和56年度第1回研究会は、昭和56年6月10日、海上保安庁第一会議室で、総会に引続いて開催され、海上保安庁電波標識課長 山越芳郎氏の「最近の電波標識の動向」と題する講演が行われ、次いで日本船用機器開発協会製作の映画「帆装商船 新愛徳丸」及び「SSC MESA 80」が上映された。
出席者は、60名であった。
2. 第2回研究会は、昭和56年8月21日、海上保安庁第一会議室で開催され、東京商船大学 今津隼馬氏の「可能衝突危険度とレーダ避航」、運輸省航空局 安部憲治氏の「航空機衝突防止装置の概要」及び電気通信大学 鈴木務氏の「電磁環境と生体における問題につ

ば、どんな人工知能のコンピュータが出現してもできない発明、人間でなければ出来ない独創的発明について長年研究したことを紹介し、庄司会長はじめ研究会の人々、特に海上保安庁の諸官そして当社の萩野部長の好意に答えたい。

いて」と題する講演が行われた。

出席者は、46名であった。

3. 第3回研究会は、30周年記念講演会（後述）をかねて開催された。
4. 第4回研究会は、昭和56年12月16日、海上保安庁第一会議室で開催され、運輸省電子航法研究所 片野忠夫氏の「マイクロ波着陸システムについて」、郵政省電波研究所 大塩光夫氏の「電離圏冬期異常とその長波、超長波電波による測距への影響」及び東京商船大学 庄司和民氏の「中国雑感」と題する講演が行われた。

出席者は49名であった。

5. 第5回研究会は、昭和57年2月1日、海上保安庁第一会議室で開催され、本田技研工業(株) 高橋常夫氏の「自動車用慣性航法について」、富士通(株) 只野暢氏の「海洋架橋調査会海外調査団に参加して」及び東京大学 東口実氏の「光ファイバーレーザージャイロについて」と題する講演が行われた。

出席者は、68名であった。

6. 第6回研究会は、昭和57年3月8日、海上保安庁第一会議室で開催され、富士通(株) 山本達二氏、喜多一機氏の「プラズマディスプレイについて」、東京水産大学 鈴木裕氏の「英国における漁船計器の現状」及び東京大学 菊地和朗氏の「光通信の動向」と題する講演が行われた。

出席者は、45名であった。

30周年記念行事

1. 記念講演会

記念講演会は、昭和56年10月5日、運輸省共用大会議室において開催され、日本航空宇宙工業会 久木田実守氏の「航空電子技術の歩み」、石川島播磨重工業(株) 唐沢康人氏の「船舶の自動化の変遷と将来動向」及び沖電気工業(株) 森田清氏の「情報のデジタル化とその将来」と題する講演が行われた。

出席者は、153名であった。

2. 会誌記念号の発行

会誌「電波航法」第28号(30周年記念号)を昭和56年11月に発行した。

3. 記念式典・祝賀会

30周年記念式典祝賀会は、昭和56年10月5日夜運輸省共用大会議室で開催された。記念式典において、飯島幸人氏、岡田高氏、岡田実氏、清野浩氏、真田良氏、柴田幸二郎氏、鈴木務氏、只野暢氏、水洋会(会長 阿部英二氏)、全日空(社長 安西正道氏)、日本航空(社長 高木養根氏)の諸氏に対して会長より感謝状が贈呈された。また、祝賀会は多数の来賓並びに会員の出席のもとに盛大裏に終了した。

当夜の出席者は、118名であった。

見学会・特別研究会

昭和56年度見学会・特別研究会は、昭和56年11月13日及び14日に大三島において開催され、本州四国連絡橋公団「大三島橋航行安全対策用レーダシステム」及び同公団作業船とう載の「偽像調査用レーダシステム」を見学した。

参加者は、22名であった。

専門部会

1. 船舶用衝突防止レーダの最低基準に関する専門部会

IMCOで決議された衝突予防援助装置(自動レーダプロットング援助装置)性能基準に対応した研究を行うことを目的とし、運営委員会(委員長 鈴木裕氏以下10名)により、昭和56年4月20日、9月21日及び12月21日に検討会を開催した。

2. オメガ受信機の技術基準に関する専門部会

本専門部会のワーキンググループ(部会長 木村小一氏以下10名)により「オメガ受信機の技術基準」に対応したオメガ受信機性能試験方法(案)について、昭和56年4月28日及び57年1月27日に検討を行い、専門部会の審議(郵送による審議)を経て、成案とした。

幹事会

企画及び編集幹事会は、合同で昭和56年5月8日、6月10日、7月24日、8月18日、9月29日、12月16日及び昭和57年3月8日に開催され、予算案、事業計画、30周年記念行事計画、研究会テーマ、専門部会の運営、行事計画及び会誌「電波航法」編集刊行等についての審議が行われた。

会誌発行

会誌「電波航法」第27号を昭和56年6月及び第28号を30周年記念号として11月に発行した。

会員移動

退会 T・I・Cシチズン(株)
三波工業(株)

会員数

昭和57年4月1日現在

正会員	40社	93口
個人会員	20人	
推薦会員	11人	
特別会員	37人	

——電波航法——ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW——

昭和58年3月10日 印刷 1983

昭和58年3月15日 発行 No. 29

編集 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 運輸省9階

発行 海上保安庁燈台部電波標識課気付

電波航法研究会

Japanese Committee for Radio

Aids to Navigation

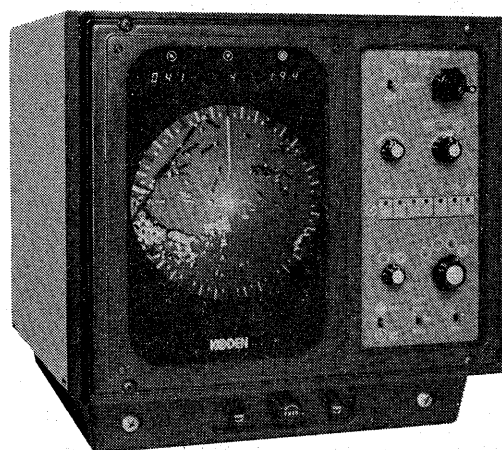
c/o Radio Navigation Aids Division
of Maritime Safety Agency

2-1-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo, Japan

印刷 東京都新宿区早稲田鶴巻町 251 啓文ビル
(有) 啓文堂 松本印刷

豊かな情報を、見やすく
正確に伝える
コデンのカラーレーダー

- フードなしで
どこでも見られます
- 他船や港に近づくと警報の
る自動監視
- 他船や港の距離と方向を正確
に測定する電子マーカ
- 他船の進路と相対スピードを
自動的にプロット
- 郵政省型式認定・米国FCC
検定に合格



MDC-407

産業・海洋エレクトロニクス
各種コンピュータシステム・周辺機器

株式会社 光電製作所

本社 東京都品川区上大崎2-10-45 TEL 03-441-1131(代)

躍進するエレクトロニクスのホープ

営業品目

テレメータシステム
NC制御装置
遠隔制御装置
コンピュータ周辺機器
防災無線装置
VHF,SSB無線装置

機内交話装置
指令通信装置
無停電電源装置
スイッチングレギュレータ
DC-DCコンバータ
各種電子部品



長野日本無線株式会社

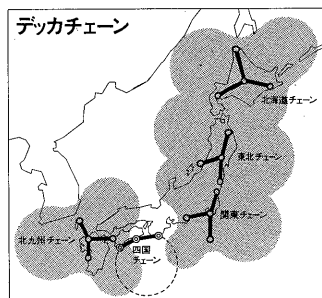
本社・工場 長野市稲里町下氷鉋1163番地 〒381-21
TEL(0262)85-2525(代) 加入電信3322-119
東京事務所 東京都港区虎ノ門1丁目17番地1号 第五森ビル内 〒105
TEL(03)502-7021(代) 加入電信222-3068



デジタル表示の小形・高性能タイプ

さらに使いやすくなった第三世代のデッカ受信機です。マイクロプロセッサを導入し、主要機能の約半分をソフトウェア化。より軽量、小形化した扱いやすいタイプです。操作も簡単で、しかも表示は読み取りやすいデジタル式。海上での位置決定は一段とスムーズになりました。航行の安全と効率化に高信頼性で応える第三世代のMS-5A形。省スペースサイズですから、20トン以下の小形船にもラクラク搭載できます。

- 容積14l、重量10kg、消費電力25W
- ゾーン値の設定以外はすべて自動式。
- 表示は字画の大きいデジタル式の数値表示。
- 従来形の周辺設備がそのまま使用可能。



MS-5A デッカ受信機

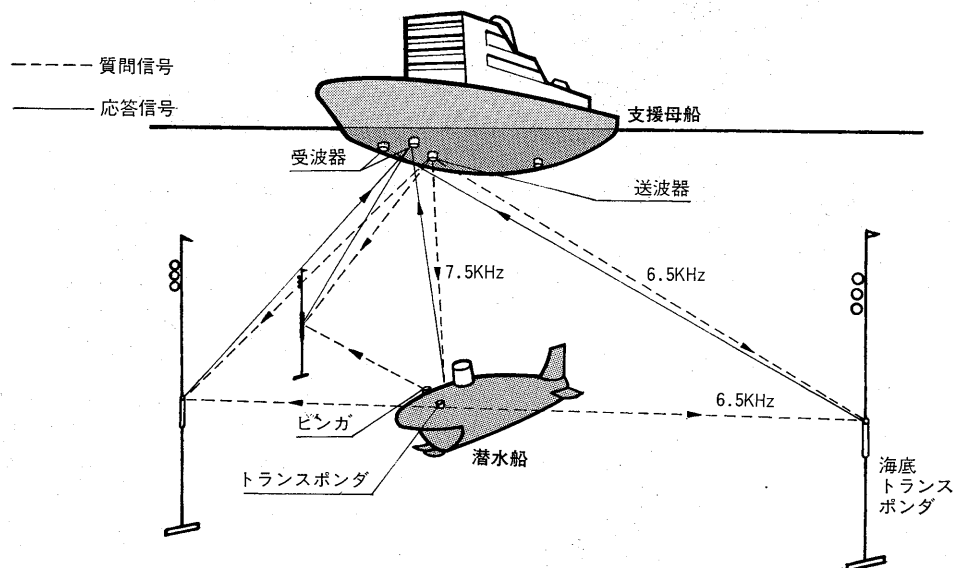
富士通

深海のベールを剥ぐ。

海は豊富な資源を含む第二の宝庫

これまで謎とされていた深海の実態を解き明し、今後の本格的調査が待たれる専用支援船「なつしま」と潜水調査船「しんかい2000」による深海潜水調査船システム。このシステムには潜水船と母船の位置情報を音響的に求め、

処理する沖電気の音響航法装置が採用されました。海底地形調査、海洋鉱物資源の分布調査、深海域での海洋調査など多方面にわたる研究開発の成果が期待されています。



深海潜水調査船システム 音響航法装置

科学技術庁
川崎重工業株式会社

海洋科学技術センター
沖電気工業株式会社

お問合せは—沖電気工業株式会社 官公庁営業本部 ☎(03)454-2111(代)まで

エレクトロニクスの
沖電気