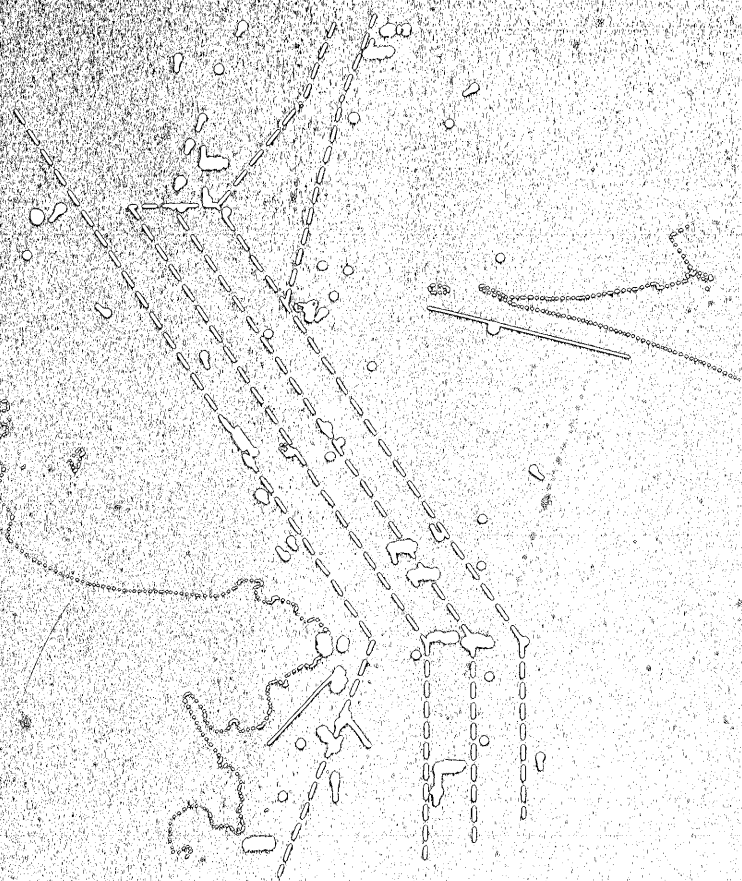


ISSN 0287-6450
Denpa kōhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN. 33

1987

電波航法研究会 発行

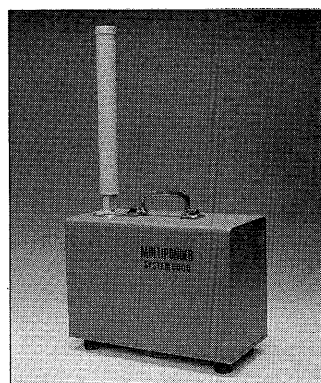
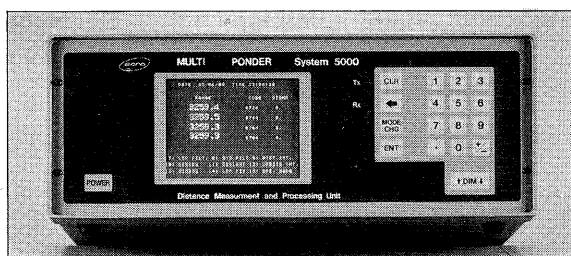
Published by the Japanese Committee-
for Radio Aids to Navigation

MULTIPONDER

マルチポンダー System 5000

マイクロ波精密位置測定システム

マルチポンダー・システム5000は、当社の運用・技術の両面にわたる豊富な経験を基に開発した、新しいマイクロ波精密位置測定システムです。



主な仕様

測定距離 100m~100km
位置測定精度 $\pm 0.5m$
マルチユーズ 主局30局迄可能
送信周波数帯 8 GHz
緯度、経度またはX、Y表示可

水深測量自動集録処理装置 SYSTEM 900

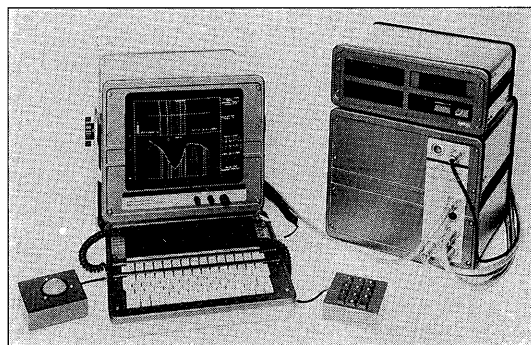
システム900は水路測量、浚渫／埋立作業のために開発されたシステムでデータ集録、処理の機能を持ち、迅速なる海図作成を実行します。

データ集録

オンライン作業として水深データの集録、及びトラックプロット、計画測線へのガイダンスを行なう。

データ処理

CRT画面を用いたデータ処理／編集、デジタイザーによる海岸線記入等の処理を経て海図を作成する。



 **セナー株式会社**

本社 〒100 東京都千代田区内幸町2-1-1(飯野ビル)
TEL (03) 506-5331(代表)

札幌営業所 〒060 札幌市中央区南1条西1-1 (東ビル)
TEL (011)231-8421(代表)
仙台営業所 〒980 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 〒650 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 〒810 福岡市中央区天神1-14-16 (三栄ビル)
TEL (092)711-1451(代表)

目次

CONTENTS

巻頭言	木村小一	(2)
Foreword	Koichi KIMURA	
研究調査		
Research and Investigation		
ロランCシステムの高精度利用	小野房吉	(3)
High Accuracy Utilization of LORAN-C Systems	Fusakiti ONO	
双曲線航法の電波伝搬誤差	渡辺泰夫	(10)
Wave Propagation Error of Hyperbolic Navigation System	Yasuo WATANABE	
	原口敏通	
	Toshimichi HARAGUCHI	
	秋草英也	
	Hideya AKIKUSA	
振動ジャイロ技術とその応用および今後の動向	佐藤一輝	(15)
Applications and Trends on Vibratory Gyro	Kazuteru SATO	
アダプティブオートパイロットによる省エネルギー効果	高橋信彦	(22)
Fuel Saving of Ships Adaptive Autopilot	Nobuhiko TAKAHASHI	
展 望		
Observation		
航海機器の国際標準化の動向	飯島幸人	(30)
Trends of International Standardization of Sea Navigational Instruments	Yukito IIJIMA	
電子海図の現況	岩佐欽司	(35)
The Situation of the Electronic Chart	Kinji IWASA	
艦船用アンテナについて	高橋恵	(44)
An Overview on the Naval Shipboard Antennas	Megumi TAKAHASHI	
インマルサット衛星利用による海事通信システムとその船舶搭載用アンテナ	山田松一	(56)
Maritime Communication System Using INMARSAT Satellite and its Shipborne Antenna	Matsuichi YAMADA	
ETS-V を用いた航行援助実験計画	西 周次	(63)
Navigation Experiment Program Using ETS-V	Shuji NISHI	
研究会記事		(69)
Records		

巻 頭 言

(FOREWORD)

副会長 木 村 小 一

Vice President Koichi KIMURA

20 世紀の残りも 10 年余りとなってきたこの頃は 21 世紀へ向けての航法技術といった学会のシンポジウムが花咲りである。英国の Royal Institute of Navigation は 1986 年の集会 NAV-86 を「21 世紀へ向けての全世界的航法システム」というテーマで行っているし、1988 年 2 月にオーストラリアのシドニーで開催された国際航法学会 (IAIN) の国際航法会議のテーマは「21 世紀へ向けての航法技術とその開発」であった、また、日本航海学会はその創立 40 周年の記念シンポジウムを、1989 年 5 月に行う企画を進めておられる由であるが、その候補としてのテーマに「21 世紀へのナビゲーション技術」があがっているとのことである。

一方、航空や海上関係の国際機関でも、必ずしも 21 世紀とはうたっていないが、同じような論議が進められている。国際海事機関 (IMO) は、その航行小委員会で、数年前より衛星利用を主体とした全世界的航法システムには如何なるものがよく、それらは如何に世界的に組織されるべきかなどについての討議を進めており、GPS, GLONASS, NAVSAT, GRANAS, RDSS, NNSS, OMEGA, DIFFERENTIAL OMEGA を対象にあげて議論を進めている。国際民間航空機関 (ICAO) においても、FANS (Future Air Navigation System) と呼ばれる特別委員会を 1983 年に設置し、今後の 1/4 世紀のタイムスケールのもとにおける航空用の CNS (C は通信, N は航法, S は監視) システムの技術の開発動向を勧告する作業を行っており、この委員会は一兩年の間にその結論を導きだすことが予定されている。この FANS の動きに寄与させるためとされているが、アメリカの航空無線技術委員会 (RTCA) は、その 155 特別委員会で、2010 年の CNS 技術を予測し、それに対応する勧告などを内容とした報告書をすでにまとめている。

こうした動向とは逆に、未来予測がむずかしいという例をあげることもできる。アメリカでは 1970 年代より電波航法の国家計画を作るために、運輸・国防両省でいろいろな討議が続けられ、1980 年からは 2 年ごとに連邦電波航法プランが発行されており、その第 3 版である 1984 年版には初めて政策が示され、それは、国際的な協調をしたうえで、1987 年には国としての政策とするとして記してあった。ところが、1986 年の第 4 版では、その国としての決定は、(1) GPS の衛星の打上げがスペースシャトルの事故の結果遅れていること、(2) 電波航法の技術がまだ流動的であること、(3) 利用者の構成が変りつつあることの三つを理由にあげて、最終勧告ができなくなったとして、その方針の変更をしている。とくに (3) については、プラン各版には各システムの利用者数とその予測が年度別にのっているが、ロラン C やオメガを利用する航空機数がここ数年非常に増加していること、自動車を中心とした陸上車両やセンチメートルオーダの精密測位、時刻同期などへの電波航法の利用が新しく出てきている（その利用者数は示されていない）ことなどをあげることができよう。

わが国の場合は、空港整備五箇年計画のような現実的な短期の計画はあるものの、長期の航法技術の予測のようなものはほとんど行われず、前述の IMO や ICAO のそれぞれの委員会への積極的な対処がむずかしいのではないかと感じられる。官民学の幅広い電波航法の専門家の集団であり、かつ、自由な立場に立って意見を述べ、かつ、討議ができる電波航法研究会は、ここで述べたような 21 世紀への航法技術の見通しを考える最も適した組織の一つではないかと考えられる。今後の本会の活動の一つとして、このような問題を取扱うことを提唱する次第である。



Research and Investigation

ロラン C システムの高精度利用

海上保安庁水路部

小 野 房 吉

High Accuracy Utilization of LORAN-C Systems

Maritime Safety Agency

Fusakiti ONO

1. ま え が き

ロランやオメガ・デッカ等の一般的な利用方法は双曲線方式測位であるが、システムが原子発信器等の超高安定発信器を基準に運用されている場合には、受信側にも同様な高安定発信器を備えることによって距離方式 (ρ - ρ 方式) でも利用できる。従来、これら二つの利用方式は、受信データから測地度標への変換に当たって違うものとして扱われ、利用者装置も異なっていた。しかし、筆者は両方式のデータに共通に適用できる一般解のあることを見だし、両方式が別物ではなく基本的に同じものであることを示した。そして、この考えに基づく解法を先に発表した。

新しい解法の特徴はシステムが4局以上で構成されている場合、特定の3局を選択することなく、全局の電波を有効利用する。その結果、精度向上と精度評価が可能となる他、利用局の選択が不要となり使い勝手の良い利用者装置の設計が可能となった。筆者は、実際にこの方法をロランCに適用し有効であることを確認するとともに、この実験を通じて、ロランC受信電波に含まれる陸上伝播効果の分離に成功した。それによればロランC電波は陸上を伝播するとき海上より伝播速度が100 km 当り $0.6 \mu s$ 遅くなる。この量は、小さいようで意外に大きい。ロランC北西太平洋チェーン北海道局の電波を伊豆半島から西の太平洋岸、沖縄局の電波を関東から北の太平洋岸で受信すると、それらの電波の陸上伝播分はいずれも数百キロメートルに達するから、それによる増分は数 μs 、距離にして数百メートルを超える系統的な誤差の原因となる。しかし、この誤差は地域に特有なもの

なので、あらかじめその地域の補正値を評価作成しておき、利用時に補正すれば測位精度を向上させることができる。そこで筆者等は日本周辺地域に展開するロランC北西太平洋チェーンの陸上伝播補正値を先の評価データに基づいて作成した。以下、ロランCをより高精度に利用するための新しい測位原理と陸上伝播補正、実験結果の概要について述べる。

2. 測 位 原 理

地球上の一点 A (ϕ_1, λ_1 : 測地位置) の電波発射局から、一定の繰返しでパルス電波が発射されている。この電波を別の一点 B (ϕ_x, λ_x) で受信し、同じ繰返し基準パルスに対して到来時間差 TD を測定すると、 TD は発射点の基準パルスと、受信点の基準パルスの起点が正確に同期しているとき、点Aと点Bの間の電波伝播時間 τ に等しい。しかし、一般には両点の基準パルスの同期は確立していないから、 TD は基準パルスの発射時に対する同期誤差を ΔT としたとき

$$TD = \tau + \Delta T \quad (1)$$

である。

今点Aが既知、受信点Bが未知でその推定位置を $B'(\phi_0, \lambda_0)$ とすると

$$\begin{aligned} \phi_x &= \phi_0 + \Delta\phi \\ \lambda_x &= \lambda_0 + \Delta\lambda \end{aligned} \quad (2)$$

である。そこで点Aから点B'までの電波伝播時間 τ' を計算し ($TD - \tau'$) を求めると、これが (測定値 O - 計算値 C) である。この ($O - C$) に関し、未知数 $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, ΔT を結び付ける観測方程式を立てると

$$(O - C) = \Delta\phi' \cos Z + \Delta\lambda' \sin Z + \Delta T \quad (3)$$

4. 電波伝播時間の計算

電波伝播時間は、二点の測地経緯度 (ϕ_1, λ_1) , (ϕ_2, λ_2) から、測地線の距離 d を求め、これを電波伝播時間に換算する。

$$\beta = \tan^{-1}(\tan \phi b/a) \quad (11)$$

$$\chi = \cos^{-1} \{ \sin \beta_1 \sin \beta_2 + \cos \beta_1 \cos \beta_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2) \} \quad (12)$$

$$A_0 = (\sin \beta_1 + \sin \beta_2)^2 \quad (13)$$

$$B_0 = (\sin \beta_1 - \sin \beta_2)^2 \quad (14)$$

$$P = (a-b)(\chi - \sin \chi) / \{4(1 + \cos \chi)\} \quad (15)$$

$$Q = (a-b)(\chi + \sin \chi) / \{4(1 - \cos \chi)\} \quad (16)$$

$$d = a\chi - A_0P - B_0Q \quad (17)$$

ただし、 a ; 地球の長半径

b ; " 短半径

電波伝播時間 τ は、単に電波伝播速度 ν で除しただけでは実状に合わないで、実験式を用いて換算する。

$$\tau = d/\nu + \alpha/d + \beta + \gamma/d \quad (\mu s) \quad (18)$$

ここで $\nu = 0.299712 \quad (\text{km}/\mu s)$

$\alpha = 0.002155 \quad (\mu s/\text{km})$

$\beta = -0.4076 \quad (\mu s)$

$\gamma = 38.67 \quad (\mu s \cdot \text{km})$

5. 測位精度の評価と重み計算の導入

従来の方式では、測位精度の評価は困難であったが、この方法では3局をこえる複数のデータの取得による精度評価が可能である。

多数データにより最適位置が決定されたとすると、その位置を用いて再計算した $(O-C)$ に ΔT を加えて得られる残差 δ は、すべての計算諸定数、電波伝播の異常、受信機の測定誤差が無いとき“0”となるべきである。従って、こうして求めた δ 決定位置の信頼度を示すと考えてよい。ロランC北西太平洋チェーンの場合システムは主局と4つの従局によって構成されており、5回のデータが取得でき、 δ は、5個計算できる。

次に、重み計算について考えてみる。一般に遠距離受信波は、近距離受信波より安定度が低い。このような場合データに安定度に応じた重みをつけて計算することが得策である。この方法では、こうした重み計算の導入が容易である。即ち、(7) 式で計算する係数に重み p を乗ずるだけでよい。 $[pa_1a_i], [pb_1a_i], \dots$ の如くである。

ここで p の決め方が問題であるが、実用的に次式で計算することにした。

$$p = (k/d)^n$$

ただし、 $p > 1$ のときは $p = 1$

k はその受信機で地表波が受信できる最大距離であり、 d は送受信点間の距離である。ここで、 k は受信機

の性能によって、また n は電波伝播特性によって決まるものであるから、経験的に適当な値を採用する。一般的にデータの質は近距離受信波より遠距離受信波の方が低いから、各データを同じ重みで扱えば、精度が悪いデータで足を引張られ得策ではないが、重み計算の導入でこうした問題点が自動的に回避できる。

測位値の信頼度を示す数値として標準偏差を求めておくことが有効である。その場合には、決定位置に対するそれぞれのデータの $(O-C) - \Delta T$ を計算する。すなわち、

$$\begin{aligned} \delta_M &= TD_M - \tau_M - \Delta T \\ \delta_W &= TD_W - \tau_W - \Delta T - ED_W \\ &\dots\dots\dots \\ \delta_i &= TD_i - \tau_i - \Delta T - ED_i \end{aligned} \quad (19)$$

この δ は、電波伝播や測定に誤差がなければ“0”となるべきであるから、この大きさから決定位置の信頼度が判断出来るが、さらに δ の標準偏差を次式で求めておく。

$$SD = \sqrt{(p\delta_W)^2 + (p\delta_X)^2 + \dots + (p\delta_i)^2 / N} \quad (20)$$

ただし、 p は位置計算に用いた重み、 N は個数である。通常こうして求まる個々の δ は、その局に特有な系統誤差を示すので、これを自動補正することもできる。 δ の値が大きくしかもバラツクようであれば、それに対応する測位値は、信頼度が低いことになる。

6. 実験例

ここに述べた新しい測位原理では、データは従来の双曲線方式でも、距離方式でもデータが3つ以上あれば効果が確認できる。そこで、同時に4個のデータが取得できるロランC北西太平洋チェーンについて実験した結果が表1である。 SD の欄がメートルに換算した標準偏差、REF. は主局から受信点までの電波伝播時間、SYSTEM ERROR は個々のデータの誤差 δ である。

7. 陸上伝播効果の検出

地球上を伝播する電波の速度は、海上と陸上では異なると考えられる。このことを無視して、一定の電波伝播速度を採用して測位すれば、系統的な誤差を生ずる。そこで高精度な測位のためには、この補正が不可欠である。しかし、従来この定量的な評価がなされていなかったため、この補正は無視されてきた。前述の新測位原理によれば、所定の海域で取得したデータについて、容易にこの効果の分離ができる。

取得データのうち、2つのデータが海面上を伝播してきた地表波のもので、他が陸上伝播を含む地表波又は空間波のとき、前者を重み1、後者を重み0として、位置を求めると、その位置は、重み1のデータで決り、重み

0のデータに含まれる誤差が分離する。この考えかたを、
所定の海域で取得したデータについて適用すれば、陸上
伝播効果による電波伝播速度の低下を検出することがで

きる。以上の方法を具体的に八丈島南方から清水港、大
吠埼東方から津軽海峡に到る海域で取得したデータにつ
いて誤差の分離に成功した。

表 1 実測データへの適用例

*CR5805, SHOYO LC P. FIX										** DATUM-BESSEL									
* (770SEC.)										* (770SEC.)									
M	D	H	M	S	U	X	Y	Z		M	D	H	M	S	U	X	Y	Z	
05	21	05	11	00	0.0	17790.9	37445.9	60938.1	86412.6	32	55.043	140	7.383	2	-3030.50	-0.18	-0.10	0.07	-0.15 30.16
05	21	05	13	00	0.0	17792.1	37446.1	60936.3	86412.2	32	55.040	140	7.051	8	-3030.76	-0.18	-0.09	0.07	-0.15 30.11
05	21	05	15	00	0.0	17793.3	37446.2	60934.6	86411.8	32	55.039	140	6.719	1	-3031.03	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 30.06
05	21	05	17	00	0.0	17794.5	37446.3	60932.8	86411.4	32	55.040	140	6.388	2	-3031.34	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 30.02
05	21	05	19	00	0.0	17795.7	37446.4	60931.0	86411.0	32	55.043	140	6.056	2	-3031.63	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 29.98
05	21	05	21	00	0.0	17796.9	37446.5	60929.2	86410.7	32	55.047	140	5.726	1	-3031.94	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 29.95
05	21	05	23	00	0.0	17798.1	37446.6	60927.4	86410.4	32	55.050	140	5.394	1	-3032.25	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 29.92
05	21	05	25	00	0.0	17799.3	37446.7	60925.6	86410.0	32	55.060	140	5.062	2	-3032.55	-0.18	-0.09	0.05	-0.15 29.89
05	21	05	27	00	0.0	17800.4	37446.8	60923.8	86409.6	32	55.069	140	4.731	2	-3032.85	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 29.85
05	21	05	29	00	0.0	17801.6	37447.0	60922.1	86409.2	32	55.075	140	4.403	1	-3033.09	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 29.82
05	21	05	31	00	0.0	17802.8	37447.0	60920.4	86408.8	32	55.084	140	4.075	3	-3033.39	-0.18	-0.09	0.06	-0.15 29.79
05	21	05	33	00	0.0	17804.0	37447.1	60918.5	86408.5	32	55.093	140	3.746	1	-3033.73	-0.18	-0.10	0.06	-0.14 29.75
05	21	05	35	00	0.0	17805.2	37447.1	60916.7	86408.1	32	55.103	140	3.417	1	-3034.05	-0.18	-0.10	0.06	-0.14 29.72
05	21	05	37	00	0.0	17806.4	37447.3	60914.9	86407.7	32	55.112	140	3.087	3	-3034.37	-0.18	-0.10	0.06	-0.15 29.69
05	21	05	39	00	0.0	17807.5	37447.3	60913.1	86407.3	32	55.122	140	2.750	5	-3034.70	-0.18	-0.10	0.06	-0.14 29.66
05	21	05	41	00	0.0	17808.8	37447.7	60911.3	86406.9	32	55.129	140	2.428	4	-3035.02	-0.17	-0.10	0.05	-0.15 29.62
05	21	05	43	00	0.0	17810.0	37448.2	60909.7	86406.5	32	55.132	140	2.100	2	-3035.36	-0.17	-0.10	0.05	-0.15 29.57
05	21	05	45	00	0.0	17811.3	37448.7	60907.8	86406.1	32	55.133	140	1.772	3	-3035.75	-0.17	-0.10	0.05	-0.15 29.53
05	21	05	47	00	0.0	17812.6	37449.2	60906.4	86405.6	32	55.129	140	1.444	1	-3036.14	-0.17	-0.10	0.05	-0.15 29.49
05	21	05	49	00	0.0	17813.8	37449.7	60904.7	86405.2	32	55.122	140	1.115	2	-3036.54	-0.17	-0.10	0.05	-0.15 29.45
05	21	05	51	00	0.0	17815.1	37450.0	60903.0	86404.8	32	55.112	140	0.786	2	-3036.95	-0.17	-0.10	0.06	-0.15 29.41
05	21	05	53	00	0.0	17816.3	37450.2	60901.3	86404.4	32	55.101	140	0.460	2	-3037.37	-0.18	-0.10	0.05	-0.14 29.37
05	21	05	55	00	0.0	17817.5	37450.4	60899.5	86404.0	32	55.089	140	0.132	1	-3037.79	-0.17	-0.10	0.05	-0.14 29.33
05	21	05	57	00	0.0	17818.8	37450.6	60897.6	86403.6	32	55.076	139	59.609	1	-3038.23	-0.17	-0.11	0.05	-0.14 29.29
05	21	05	59	00	0.0	17819.9	37450.7	60895.6	86403.2	32	55.064	139	59.167	2	-3038.69	-0.17	-0.11	0.05	-0.14 29.25
05	21	06	01	00	0.0	17821.1	37450.9	60893.4	86402.9	32	55.057	139	59.167	2	-3039.16	-0.18	-0.11	0.07	-0.14 29.22
05	21	06	03	00	0.0	17822.2	37451.0	60891.7	86402.5	32	55.052	139	58.841	4	-3039.66	-0.18	-0.11	0.07	-0.14 29.18
05	21	06	05	00	0.0	17823.3	37451.1	60891.0	86402.1	32	55.051	139	58.522	8	-3039.73	-0.18	-0.11	0.07	-0.15 29.19
05	21	06	07	00	0.0	17824.2	37451.2	60889.3	86401.7	32	55.054	139	58.205	4	-3039.67	-0.17	-0.12	0.07	-0.15 29.18
05	21	06	09	00	0.0	17825.3	37451.3	60887.6	86401.3	32	55.058	139	57.889	4	-3039.75	-0.17	-0.12	0.07	-0.15 29.17
05	21	06	11	00	0.0	17825.5	37451.3	60886.1	86401.0	32	55.061	139	57.572	0	-3039.85	-0.17	-0.12	0.08	-0.15 29.16
05	21	06	13	00	0.0	17826.7	37451.4	60884.4	86400.7	32	55.065	139	57.265	4	-3039.92	-0.17	-0.12	0.07	-0.15 29.16
05	21	06	15	00	0.0	17828.7	37452.0	60882.8	86400.3	32	55.068	139	56.956	1	-3039.80	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.17
05	21	06	17	00	0.0	17829.7	37452.1	60881.2	86399.9	32	55.071	139	56.650	3	-3039.88	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.18
05	21	06	19	00	0.0	17830.8	37452.2	60879.6	86399.5	32	55.074	139	56.344	1	-3039.95	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.18
05	21	06	21	00	0.0	17831.8	37452.3	60877.9	86399.2	32	55.078	139	56.041	2	-3039.77	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.17
05	21	06	23	00	0.0	17832.9	37452.4	60876.3	86398.8	32	55.082	139	55.739	3	-3039.73	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.16
05	21	06	25	00	0.0	17834.0	37452.5	60874.7	86398.5	32	55.085	139	55.440	2	-3040.00	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.16
05	21	06	27	00	0.0	17835.0	37452.8	60873.1	86398.1	32	55.086	139	55.143	4	-3040.22	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.16
05	21	06	29	00	0.0	17836.1	37453.2	60871.6	86397.9	32	55.086	139	54.847	1	-3040.35	-0.17	-0.12	0.07	-0.15 29.17
05	21	06	31	00	0.0	17837.2	37453.4	60870.1	86397.6	32	55.097	139	54.552	3	-3040.58	-0.17	-0.12	0.07	-0.15 29.19
05	21	06	33	00	0.0	17838.3	37453.5	60868.5	86397.3	32	55.098	139	54.258	6	-3040.83	-0.16	-0.12	0.07	-0.15 29.23
05	21	06	35	00	0.0	17839.3	37453.6	60866.9	86397.0	32	55.098	139	53.961	3	-3041.12	-0.17	-0.11	0.07	-0.15 29.27

表 2 陸上伝播の影響の分離計算例 X 及び Z 局の重みを“0”とした計算

*** DATA (M SEC.) ***										*** SYSTEM ERROR (M SEC.) ***									
M	D	H	M-W	M-X	M-Y	M-Z	LAT.		LONG.	M	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
05	24	06	48	18044.8	37621.8	60624.0	86362.0	N32	43.23 E139	2.99	-0.01	-0.00	0.00	0.80	-0.01	65.15			
05	24	06	51	18045.8	37621.9	60622.0	86361.3	N32	43.25 E139	2.60	-0.01	-0.00	0.00	0.83	-0.01	65.11			
05	24	06	53	18046.9	37622.0	60620.0	86360.7	N32	43.26 E139	2.20	-0.01	-0.00	0.00	0.85	-0.01	65.05			
05	24	06	55	18048.0	37621.9	60618.0	86360.0	N32	43.27 E139	1.98	-0.02	-0.00	0.00	0.88	-0.01	64.98			
05	24	06	56	18049.0	37621.9	60615.9	86359.4	N32	43.30 E139	1.64	-0.01	0.01	0.00	0.93	-0.01	64.91			
05	24	06	59	18050.1	37621.9	60613.9	86358.8	N32	43.30 E139	1.31	-0.01	-0.00	0.00	0.95	-0.01	64.82			
05	24	07	01	18051.1	37621.9	60611.9	86358.1	N32	43.32 E139	0.97	-0.01	-0.01	0.00	0.99	-0.01	64.73			
05	24	07	02	18052.2	37621.9	60609.8	86357.6	N32	43.33 E139	0.62	-0.02	-0.00	0.00	1.02	-0.01	64.65			
05	24	07	03	18053.3	37622.0	60607.8	86356.9	N32	43.31 E139	0.28	-0.02	-0.01	0.00	1.02	-0.02	64.55			
05	24	07	04	18054.5	37622.4	60605.8	86356.3	N32	43.29 E139	59.93	-0.03	-0.01	0.01	1.01	-0.02	64.47			
05	24	07	05	18055.6	37622.6	60603.3	86355.6	N32	43.30 E139	54.59	-0.01	-0.01	0.01	1.03	-0.02	64.38			
05	24	07	06	18056.7	37623.0	60602.0	86355.0	N32	43.29 E139	51.26	-0.02	-0.01	0.01	1.06	-0.02	64.28			
05	24	07	07	18057.9	37623.4	60600.1	86354.4	N32	43.24 E139	54.92	-0.02	-0.00	0.00	1.04	-0.01	64.19			
05	24	07	08	18059.1	37623.9	60598.2	86353.8	N32	43.20 E139	58.58	-0.02	-0.00	0.00	1.03	-0.01	64.10			
05	24	07	09	18060.3	37624.3	60596.2	86353.2	N32	43.18 E139	56.24	-0.03	-0.01	0.01	1.02	-0.02	64.01			
05	24	07	10	18061.4	37624.7	60594.3	86352.6	N32	43.17 E139	57.90	-0.02	-0.01	0	1.02	-0.02	63.93			
05	24	07	20	18062.6	37625.0	60592.3	86351.9	N32	43.14 E139	57.56	-0.03	-0.01	0.01	1.01	-0.02	63.84			
05	24	07	23	18063.7	37625.0	60590.9	86351.4	N32	43.13 E139	57.20	-0.03	-0.01	0.01	0.99	-0.02	63.76			
05	24	07	24	18064.7	37624.9	60588.1	86350.7	N32	43.18 E139	56.80	-0.04	-0.01	0.01	1.01	-0.03	63.68			
05	24	07	25	18065.8	37624.9	60586.9	86350.0	N32	43.18 E139	56.42	-0.04	-0.01	0.01	1.01	-0.03	63.60			
05	24	07	29	18066.9	37624.9	60583.9	86349.5	N32	43.20 E139	56.16	-0.04	-0.01	0.01	1.05	-0.02	63.51			
05	24	07	31	18068.1	37625.2	60581.8	86348.8	N32	43.19 E139	55.80	-0.04	-0.01	0.01	1.05	-0.02	63.41			
05	24	07	37	18069.2	37625.3	60579.8	86348.2	N32	43.19 E139	55.45	-0.04	-0.01	0.01	1.06	-0.02	63.35			
05	24	07	35	18070.3	37625.4	60577.7	86347.6	N32	43.19 E139	55.09	-0.05	-0.01	0.01	1.07	-0.02	63.26			
05	24	07	36	18071.4	37625.6	60575.6	86347.0	N32	43.18 E139	54.74	-0.05	-0.01	0.01	1.07	-0.02	63.18			
05	24	07	38	18072.5	37625.7	60573.5	86346.4	N32	43.18 E139	54.38	-0.05	-0.01	0.01	1.12	-0.03	63.15			
05	24	07	41	18073.8	37626.1	60571.3	86345.7	N32	43.15 E139	54.01	-0.05	-0.02	0.01	1.11	-0.03	63.05			
05	24	07	42	18075.0	37626.3	60569.1	86345.1	N32	43.17 E139	53.64	-0.05	-0.02	0.02	1.12	-0.03	63.03			
05	24	07	45	18076.2	37626.1	60566.9	86344.5	N32	43.18 E139	53.26	-0.05	-0.02	0.01	1.10	-0.01	62.94			
05	24	07	46	18077.2	37625.9	60564.6	86343.8	N32	43.21 E139	52.89	-0.05	-0.02	0.01	1.11	-0.02	62.86			
05	24	07	47	18078.3	37625.8	60562.4	86343.2	N32	43.21 E139	52.52	-0.05	-0.02	0.01	1.11	-0.02	62.78			
05	24	07	51	18079.4	37625.8	60560.2	86342.6	N32	43.25 E139	52.17	-0.05	-0.02	0.01	1.13	-0.03	62.82			
05	24	07	53	18080.5	37626.0	60558.1	86342.0	N32	43.23 E139	51.82	-0.06	-0.02	0.02	1.14	-0.03	62.77			
05	24	07	55	18081.7	37626.2	60556.0	86341.4	N32	43.24 E139	51.45	-0.06	-0.02	0.02	1.14	-0.03	62.71			
05	24	07	56	18082.8	37626.3	60553.9	86340.8	N32	43.24 E139	51.10	-0.05	-0.02	0.02	1.14	-0.03	62.65			
05	24	07	59	18084.0	37626.5	60551.8	86340.2	N32	43.24 E139	50.75	-0.05	-0.02	0.02	1.14	-0.03	62.59			
05	24	08	01	18085.1	37626.7	60549.7	86339.6	N32	43.23 E139	50.39	-0.07	-0.02	0.02	1.21	-0.04	62.56			
05	24	08	03	18086.1	37626.8	60547.6	86339.0	N32	43.23 E139	50.06	-0.07	-0.02	0.02	1.24	-0.04	62.55			
05	24	08	05	18087.2	37626.9	60545.5	86338.4	N32	43.23 E139	49.71	-0.07	-0.02	0.02	1.24	-0.04	62.44			
05	24	08	06	18088.2	37627.0	60543.4	86337.8	N32	43.24 E139	49.38	-0.07	-0.02	0.02	1.24	-0.04	62.41			
05	24	08	09	18089.3	37626.9	60541.6	86337.2	N32	43.25 E139	49.03	-0.08	-0.02	0.02	1.24	-0.04	62.33			
05	24	08	11	18090.4	37627.0	60539.5	86336.6	N32	43.25 E139	48.68	-0.08	-0.02	0.02	1.24	-0.04	62.26			
05	24	08	13	18091.4	37627.0	60537.3	86336.0	N32	43.26 E139	48.33	-0.08	-0.03	0.03	1.32	-0.04	62.21			
05	24	08	15	18092.5	37627.2	60535.3	86335.4	N32	43.27 E139	47.98	-0.08	-0.03	0.03	1.35	-0.04	62.23			
05	24	08	17	18093.7	37627.4	60533.2	86334.8	N32	43.25 E139	47.63	-0.08	-0.03	0.03	1.35	-0.05	62.15			
05	24	08	19	18094.8	37627.6	60531.1	86334.2	N32	43.25 E139	47.27	-0.09	-0.03	0.03	1.39	-0.05	62.14			
05	24	08	21	18095.9	37627.8	60529.0	86333.6	N32	43.25 E139	46.92	-0.09	-0.03	0.03	1.40	-0.05	62.11			
05	24	08	23	18097.1	37628.0	60526.8	86333.0	N32	43.23 E139	46.55	-0.08	-0.03	0.03	1.44	-0.04	62.05			
05	24	08	25	18098.2	37628.3	60524.8	86332.4	N32	43.23 E139	46.20	-0.08	-0.03	0.03	1.45	-0.04	62.05			

表2にその計算結果の一例を示した。この例では、従局X及びZの重みを0としている。その結果分離された電波伝播時間の増加が ΔX , ΔZ の欄に現れている。ここで、 ΔZ の欄の異常に大きな数値は、送受信点間の距離が2500 kmを超えており受信データが、明らかに空間波であることを示している。これに対し、 ΔX の欄に現れた数値は、送受信点間の距離が1000 km程度であるから地表波の受信であり、陸上伝播効果による増加と考えられる。そこで、代表的な受信点について、送受信点間の測地線に含まれる陸上伝播距離を計算し、単位陸上距離当りの増加率を計算したのが表3である。以上は、実際に海上を航行する船舶で取得した実測データに基づく評価である。この評価の妥当性を正確に位置の分った陸上固定点でのデータで検定する必要がある。

海上保安庁の下里水路観測所(SHO: 和歌山県那智勝浦町)は、ロランC北西太平洋チェーン5局のうち1局のみ、大きく陸上伝播部分が含まれる受信点に位置し、陸上伝播の影響を評価するのに都合のよい場所に位置している。現在の、この観測所の主たる業務は、測地用人工衛星をレーザー測距装置により国際協同観測し、日本測地系の世界測地系に対する偏差を、正確に求めることである。この偏差は具体的には、世界各国の観測所が共通の時刻系に対して、人工衛星の時間的位置を正確に求め、これと、軌道上の人工衛星の時間的位置の差として求める。このため各観測所は、協定世界時に対して、少なくとも百万分の1秒の精度で標準時を維持する

表3 東北地方海上における陸上伝搬の影響の評価例(Y局)

緯度	経度	陸距離	O-C	増加率	平均値
N	E	km	μs	ns/km	ns/km
37.8°	141.9°	447	2.69	6.0	6.0±0.05
38.9	142.2	664	4.02	6.1	
39.1	142.3	740	4.67	6.3	
39.4	142.4	809	4.13	5.1	
39.6	142.3	853	5.25	6.1	
40.0	142.2	913	5.52	6.0	

増加率のうち5.1だけはなれているので棄却した

表4 陸上固定点(下里水路観測所 33°34'39"N, 135°56'12"E)における陸上伝搬の影響の評価例

LC局	測定値	計算値	O-C	陸距離	増加率
	μs	μs	μs	km	ns/km
W	18387.25	18387.29	-0.04	0	6.0
X	37088.18	37082.93	5.25	880	

必要がある。この要求を容易に達成するため年間を通じて、ロランC電波の受信を行っている。ここでの受信データのうち、X局(北海道)からの到来電波には、約880 kmの陸上伝播部分が含まれている。このデータから陸上伝播による増加率を計算してみると表4のとおりとなった。これを見ると表3の結果と良く一致していることが分る。

8. 海上及び陸上の電波伝播速度

従来、米国のコーストガードが与えた海上の電波伝播速度は299.69 m/ μs であるが、筆者の研究で得た成果によれば299.71 m/ μs が測位定数としては最も適当であることがわかった。これは、八丈島より東の海域で取得したデータ(この海域は、北西太平洋チェーンのどの局の電波も陸上伝播を含まないデータが取得できる)で、新方式で測位したとき、前記の数値を採用すると(19)式の各 δ が最も小さくなるからである。

次に陸上の電波伝播速度は、先に評価した陸上伝播による増加率を速度に換算すると299.18 m/ μs となる。

9. 陸上伝播補正図の作成

電波の陸上伝播による影響ははっきりし、単位陸上距離当りの定量化ができたので、これを使って、日本周辺の補正図を作れば、測位精度が向上しロランCシステムのユーザーに有効と考える。そこで水路部では、ロランC北西太平洋チェーンがサービスエリアとする日本周辺について補正図を作成した。作成方法は、5'×5'メッシュの経緯度格子点から、各電波発射局に到る測地線に含まれる陸上距離を計算し、それに先の増加率を乗じて補正値を計算し磁気テープにファイルした。この量は膨大で、その全部を図にできないが、比較的補正値の大きいX及びY局の1°×1°メッシュ値を図にしたのが図2, 3である。この補正図は、陸地から比較的離れた地域を対象にしている。受信点が陸地から近く、電波の到来方向に高山がある場合には、電波は回折して、該点に到来するから、さらにそれに見合う増補正を考慮する必要がある。

10. 補正図の評価

東京大学海洋研究所の藤本、古田の両氏は、フランスの観測船“Jean Charcot”で実施した「海溝計画」における調査航海で、GPS及びロランCの2つの測位結果の間で1000 mを超える大きな差のあることを指摘した。海域は紀伊半島南方である。GPS測位値は、同時に4個の衛星が利用できた場合について比較しており、GPSの測位誤差は±50 m程度と思われるから、差の原因の殆どはロランCの側にあるとおもわれた。利用したロラン

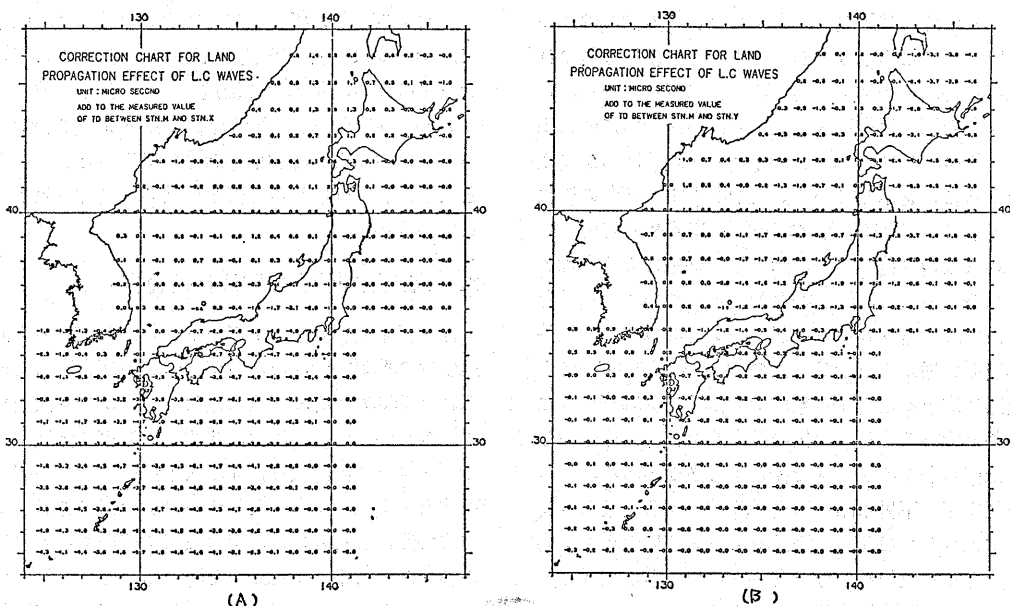


図 2 陸上伝播補正図 (A) は X 局 (北海道), (B) は Y 局 (沖縄) に対するもので, TD 測定値に当該位置の補正値を加えて測地位置に変換する。

表 5 洋上における評価例 (1984 年 6 月 31 日 紀伊半島南方 船舶: ジャン・シャルコー)

時 刻	GPS による測位値			LC による測位値			$TD_{補}$	正	値	GPS-LC'	
h m	Lat. (ϕ)	Long. (λ)		Lat. (ϕ)	Long. (λ)		μs	'	'	'	'
4 30	22° 16'78	134° 35'95		32° 16'24	134° 35'95		-5.76	+0.58	-0.04	-.04	+.04
5 00	32 13.24	134 40.12		32 12.68	134 40.14		-5.65	+0.57	-0.04	-.01	+.02
5 20	32 10.87	134 42.82		32 10.34	134 42.85		-5.79	+0.58	-0.04	-.05	+.01
5 35	32 9.12	134 44.76		32 8.62	134 44.79		-5.79	+0.59	-0.05	-.09	+.02
5 55	32 6.75	134 47.38		32 6.25	134 47.40		-5.79	+0.58	-0.05	-.08	+.01

C 局は主局 (硫黄島) と従局 X (北海道) 及び Y (沖縄) であったという。そこでこの海域を海図上でみると, 明らかに北海道からの電波は, 本州の陸上部を数百キロメートルにわたって通過している。当然陸上伝播の影響を受けているはずである。

そこで, 作成した補正表を適用してみたところ補正後のロラン C 測位値が, 表 5 のように GPS 測位値に略一致し, この補正表が妥当であることが示された。

11. あとがき

ロラン C システムは, 昼夜を問わず発射局から 2000 km 程度まで地表波の利用が期待でき, かなり広範囲で再現性のよい安定した測位が可能のため, 一般船舶はもとより漁船などにも広く利用されている。しかし, 従来の方法で利用すると, 場所によって正しい測地学的位置に対して大きな系統的誤差を生じていた。ここに述べた

新しい変換原理と陸上伝播の影響を考慮すれば, 相対位置は ± 10 m, 絶対位置は ± 80 m 程度に改善できる。本稿がロラン C の高精度利用者に役立つことを願う。なおこの研究で作成した, 5' メッシュの陸上伝播補正値は, MT にファイルされ日本海洋データセンターに登録されている。入手を希望される場合には, 同所が開設している「海の相談室」に必要な海域を指定して相談されるとよい。

参 考 文 献

- 1) 佐藤典彦 1967: デッカ海図の計算, HITAC ユーザー研究会第 4 回大会記念論文集, pp. 159~176
- 2) 佐藤典彦 1969: デジタル型計算機による地図の読みとり, HITAC ユーザー研究会第 6 回大会記念論文集, pp. 209~23
- 3) Grant, S. T. 1973: RHO-RHO Loran C Combined With Satellite Navigation for off shore Surveys. International Hydrogr. Review, 50, 2

- 4) Coast Guard 1980: Radio Navigation System pp. 30~37, Department of Transportation
- 5) 小野房吉 1983: 電波航法の新しい測位原理, 水路部研究報告, 第 18 号, pp. 133~144
- 6) 小野房吉 1984: 電波航法の新しい測位原理と測位精度の評価, 航海学会誌「航海」第 79 号, pp. 35~40
- 7) 小野房吉・長森享二 1985: ロラン C 電波の陸上伝搬効果の評価と補正図, 航海学会誌「航海」第 85 号, pp. 24~30

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-89) のお知らせと論文募集

1984 年の第 1 回に引続き, 第 2 回の International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radar Imaging Sensors (ISNCR-89) が下記により開催されます。今回も本会が協賛することになりましたので, 奮ってご投稿・ご参加下さい。

記

1. 日 時 1989 年 11 月 14 日 (月)・16 日 (水)

2. 場 所 京都国際会議場

3. 論文投稿・日程 (会議の公用語: 英語)

Summary (約 1000 字, コピー 5 部) 締切	1989 年 2 月 15 日
採択通知	1989 年 4 月 15 日
論文締切	1989 年 7 月 15 日

4. 論文の内容

つぎの分野の新しい論文であること。

A) レーダとソナー, B) 医用電子工学, C) リモートセンシング, D) 画像通信と画像放送, E) 工業のセンシングと科学計測, の分野のつぎのようなトピックス:

1) 雑音, クラッタおよび干渉除去の解析, 処理とシミュレーション, 2) イメージの強調, 特徴の引出しと認識, 3) 画像伝送における S/N 改善のためのコーディングと帯域圧縮, 4) 特定対象物の検出と識別, 5) EMC 除去

5. 連絡先 (以下のいずれかにお願いします)

組織委員長 鈴木 務 (電気通信大学電子工学科)

〒182 調布市調布が丘 1-5-1 TEL (0424) 83-2161 内 3311

実行委員長 小倉 久直 (京都工芸繊維大学電子工学教室)

〒606 京都市左京区松が崎 TEL (075) 791-3211 内 620

プログラム委員長 藤村 貞夫 (東京大学工学部計数工学科)

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL (03) 812-2111 内 6901

双曲線航法の電波伝搬誤差

運輸省電子航法研究所

渡 辺 泰 夫

原 口 敏 通*

(* 現在, 海上保安庁)

秋 草 英 也

Wave Propagation Error of Hyperbolic Navigation System

Electronic Navigation Research
Institute, Ministry of Transport

Yasuo WATANABE

Toshimichi HARAGUCHI*

(* Presently, Maritime
Safety Agency)

Hideya AKIKURA

1. ま え が き

双曲線航法の中で具体的には 100 kHz 前後の長波帯を利用したロランCおよびデッカ航法システムに関する電波伝搬誤差改善のための研究を行っている。電波伝搬誤差は実用上問題にされるものとして次の2つに分けられる。

その1は高い山岳に起因する伝搬誤差であり例えば、送信局が内陸にあって電波伝搬途上に高い山脈があるときにはその周辺海域において比較的大きな測位誤差を観測する場合もある。この種の伝搬誤差はそのような高い山脈上空での電波の伝搬速度が平面大地の場合よりもかなり遅くなるためと考えられている¹⁾。

その2は夜間空間波の混入による測位誤差であって昼間は地表波成分のみの受信により安定に測位できたものが、夜間になると電離層により反射されて到来すると空間波の混入により測位値が変動する現象である。

2. 山岳による測位誤差の研究

わが国は山岳が多くそのため、山岳に起因する測位誤差の問題は放置できない重要な問題である。この問題に対する基礎的なアプローチは半径 200 m の完全導体球モデルを用いて行われ半球状山岳モデルの近傍における電磁波エネルギーの流れを計算で求めた²⁾。その結果を図1に示す。図によれば電磁波エネルギーの流れは境界

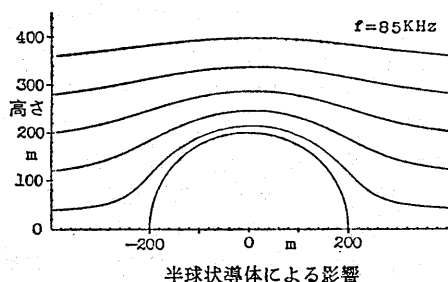


図1 半球状導体による影響

面付近では境界面に沿って流れるが、高さ 400 m あたりになると半球状山岳モデルの電磁波エネルギーの流れに及ぼす影響はわずかである。しかしこの半球状モデルは実際の山岳問題に適用するにはやや大まかに過ぎるきらいがある。そこで有限の大地導電度をもつ高さ 250 m および 500 m の三角形山岳モデルを用いて一層、実際に近い山岳モデルによる解析を試みた³⁾。この解析は 2000 m 級の複雑な形状をした山岳モデルにまで発展させる必要があるが、そのような場合も考慮して、その取扱に適した有限要素法を使用した。高さ 250 m の場合の結果を図に示す。図2によれば周波数 100 kHz, 高さ 250 m の三角形山岳モデルの場合、電磁波エネルギーの流れの面から見ると、その影響を受けるのは山の高さの約2倍までである。この結果は図1の結果とよく一致する。一方、文献²⁾によれば平面大地上の電磁波エネルギ

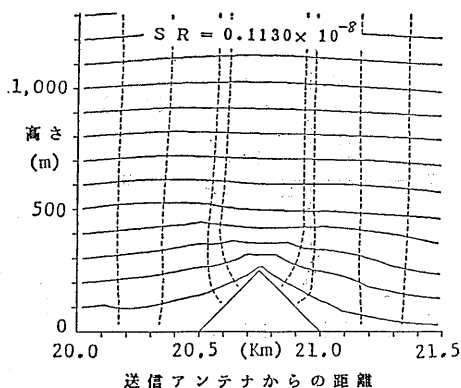


図 2 高さ 250 (m) の三角形山岳モデル

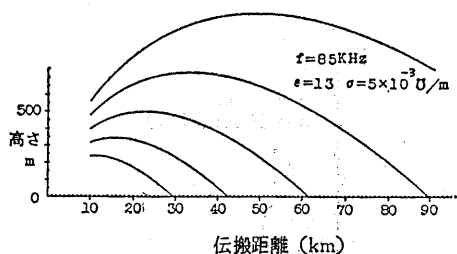


図 3 平面大地上の電磁波エネルギーの流れ

一の流れはその 1 例をあげれば図 3 で示される。即ちアンテナから放射された電磁波エネルギーがごく偏平の放物線に似た形の弧を描きながら伝搬するのが見られる。これによればより遠く伝搬するためにはより高い弧をもったエネルギーの流線が対応する。このことと、山岳モデル近傍におけるエネルギーの流線の変化とを組合わせて山岳による電波伝搬時間の変化を読みだし、次にその結果から測位誤差を算出することを目標としている。

3. 空間波の混入による測位誤差

三鷹市の当研究所構内で関東デッカチェーンを対象とし昭和 56 年 7 月から 57 年 2 月までの 8 ケ月間、連続して夜間、空間波が混入した場合の測位データの収集と解析を行った⁴⁾。使用したデッカ受信機は同じく MS-3A 型である。図 4 に LOP (位置の線) 値の一日の変動例を示す。これによれば特に紫局受信信号の夜間変動が大きいことが見られる。次に、同 8 ケ月間の昼夜別測位点の分布を組局 GP, RG および PR の順に図 5, 6, 7 にそれぞれ示す。組局 PR (紫, 赤) が最も夜間の測位変動が大きく誤差半径 $R=630$ m, 組局 RG (赤, 緑) では $R=269$ m, 組局 GP (緑, 紫) では $R=169$ m の順となっている。

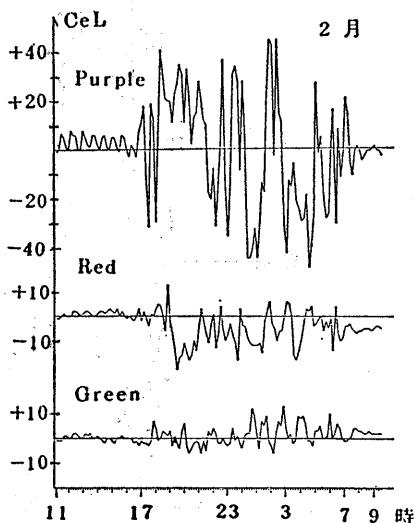


図 4 LOP 値の 1 日の変動例

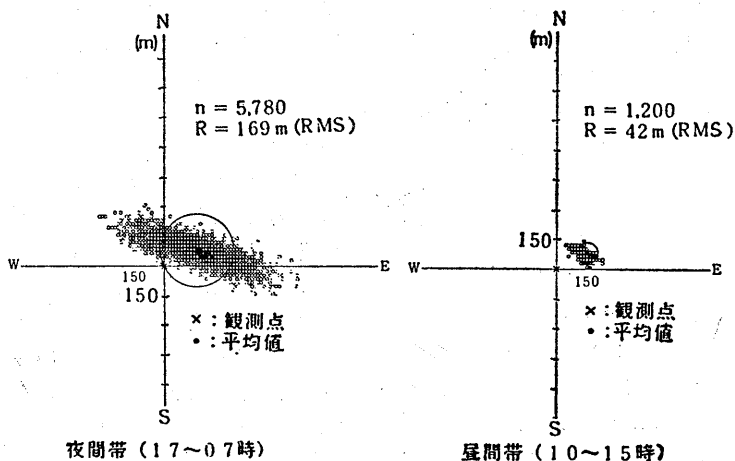


図 5 組局 GP における測位分布 (n : データ数, R : 誤差半径)

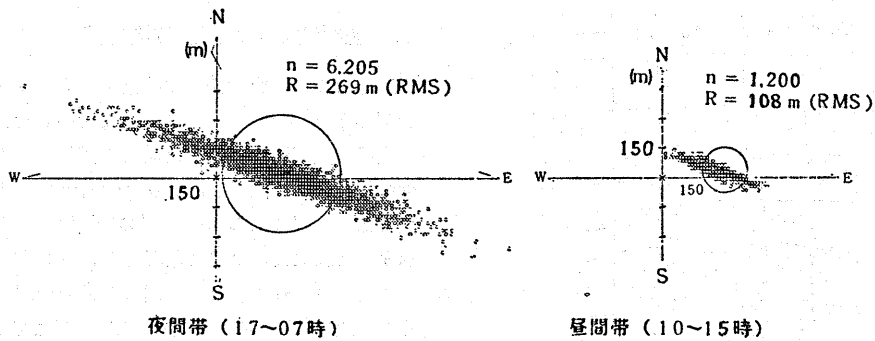


図 6 組局 RG における測位分布

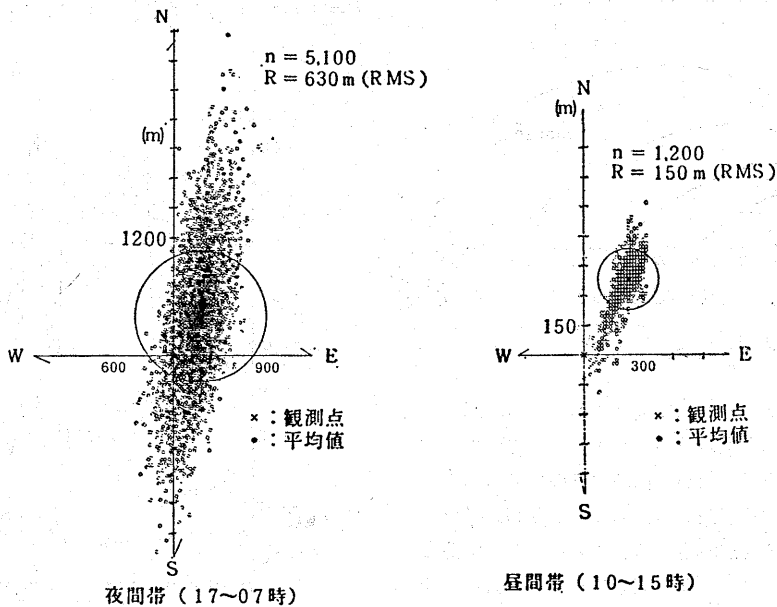


図 7 組局 PR における測位分布

空間波の変動については時系列解析が行われており^{5,6,7)}、その解析手法を利用して実際の受信データを使い値変動の予測を試みた⁸⁾。LOP 値変動の確率モデルとしては自己回帰モデル (AR) を用いた。自己回帰モデルは過去の履歴の線形の和として次の (1) 式で表現される。

$$X(s) = \sum_{m=1}^M a(m) \cdot X(s-m) + n(t) \quad (1)$$

ここで

- $X(s)$; 時系列データ ($s=1, 2, \dots, N$)
- $a(m)$; 自己回帰係数 ($m=1, 2, \dots, M$)
- $n(t)$; 定常ホワイトノイズ

$X(s)$ は 3 分毎に読取ったデータで個数 N は 281 である。一点先を予測した場合の予測誤差を最小にする自己回帰係数の次数 m は紫局 LOP の場合 $m=4$ 、赤局 LOP

では $m=1$ であった。 $n(t)$ の初期値は LOP 値変動の分散が与えられる。昭和 59 年 2 月 14 日の赤、紫局 LOP 値の測位データを上式の AR モデルにあてはめ自己回帰係数 $a(m)$ を求めて、翌日 (2 月 15 日) の一時点先の予測を行って表したのが図 8, 9 である。これらの予測結果はかなりよい一致を示している。2 月 15 日の紫局 LOP 観測値の標準偏差 σ は 15 cel であるのに対して予測誤差の標準偏差 σ は 8 cel となり、予測によって紫局 LOP 値の変動が約 47% 制御できた。赤局 LOP 観測値の σ は 9 cel, 予測誤差の σ は 5 cel となり、やはり予測によって LOP 値の変動が約 44% 制御できた。図 10, 11 は紫赤組局を利用した固定点における 17 時から翌朝 7 時までの測位分布を表したもので NS-EW の交点は観測位置、データ個数は 281 である。図 10 は 2 月 15 日の観測値の分布、図 11 は上述の予測によって 2 月 15 日の

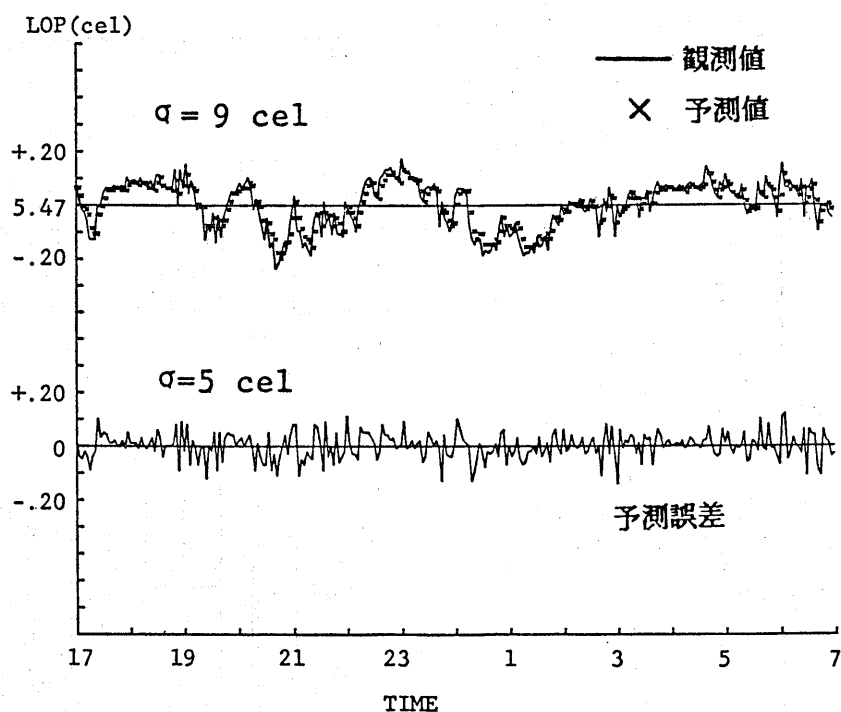


図 8 R 局 LOP 値の観測データと予測値 (1684 年 2 月 15 日)

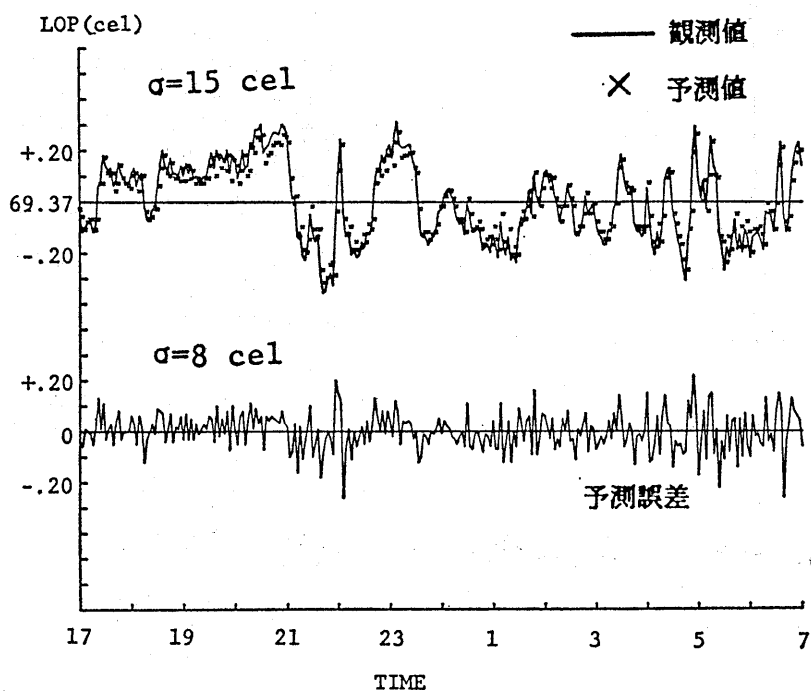


図 9 P 局 LOP 値の観測データと予測値 (1984 年 2 月 15 日)

紫，赤局 LOP とともに制御を行った場合の分布を示す。
これらの図から見られるように変動の予測と制御を行う
ことにより平均位置からの誤差半径 R の RMS 値は 507
m から 278 m に減少し測位精度が約 45% 改善された。

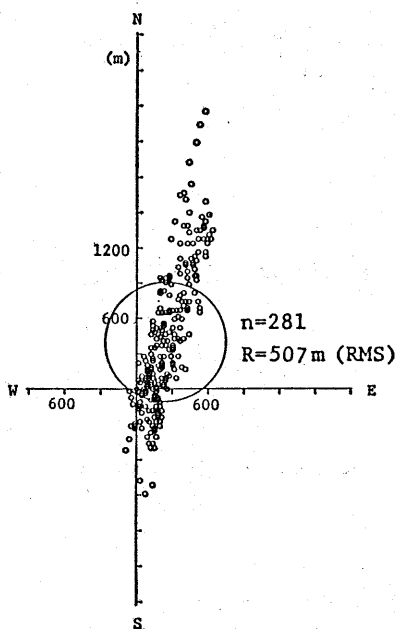


図 10 P-R 組局を利用した観測値の測位分布
(1984 年 2 月 15 日)

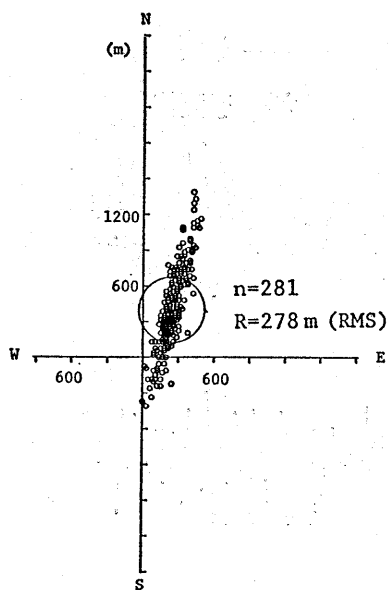


図 11 P-R 組局を利用した予測，制御による測位
分布 (1984 年 2 月 15 日)

4. 主局，紫従局による夜間の独立同期運用

関東デッカチェーンでは夜間，空間波の混入による測位誤差の低減のため主局と紫従局に超高安定度のセシウム発振器を設置し昭和 57 月 11 日以降，午後 2 時頃から翌朝 9 時まで同発振器による主局—紫従局間での独立同期による運用を開始した。独立同期を行う前後の約 2 年間の受信データを収集して調査解析した結果，その独立同期運用による効果は冬期 1 月が最も顕著で改善率 41%，年間平均では 33% の改善率となっていることが明らかとなった⁸⁾。その結果を図 12 に示す。

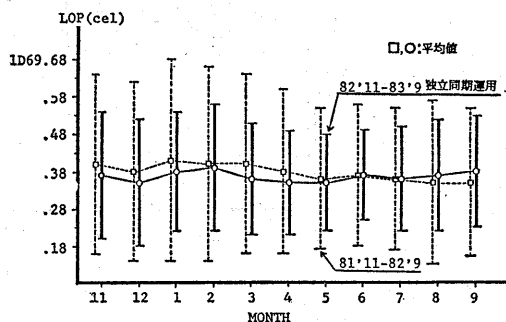


図 12 独立同期前後の P 局 LOP 値の標準偏差の
月変化 (棒の長さは 1σ)

参 考 文 献

- 1) 広田ほか：北海道デッカチェーンのシステム試験について (2)，pp. 14，宇宙・航行エレクトロニクス研究会，SANE68-24 (1969-02)
- 2) 渡辺：デッカ電波の山岳地伝搬速度についての一考察 II，日本航海学会論文集，第 59 号 (昭 53.8)
- 3) 渡辺：100 kHz 電磁波エネルギーの流れに及ぼす山岳の影響，日本航海学会論文集，第 76 号 (昭 62.3)
- 4) 秋草，原口，渡辺：関東デッカチェーンの受信実験，電子航法研究所報告，No. 42 (1983.3)
- 5) 赤池，中川：ダイナミックシステムの統計的解析と制御，サイエンスライブラリー情報電計算=9，サイエンス社出版
- 6) 江口，石田：デッカシステムによる夜間測得位の統計的特性について—I，日本航海学会論文集，第 52 号 (昭 49.12)
- 7) 江口，石田：デッカシステムにおける夜間測得位置線の偶然誤差に対する確率適応制御，日本航海学会論文集，第 57 号 (昭 52.8)
- 8) 原口，渡辺，秋草ほか：デッカ受信信号の空間波による変動とその対策の一例，電子航法研究所報告，No. 46 (1984.8)

振動ジャイロ技術とその応用および今後の動向

(株)東京計器
研究開発センタージャイロ精機部

佐藤 一輝

Applications and Trends on Vibratory Gyro

Tokyo Keiki Co., Ltd.
Research and Development Center
Gyro and Precision Engineering Dept.

Kazuteru SATO

1. はじめに

振動ジャイロとは、「振動している物体に角速度が加わると、振動方向と垂直にコリオリの力が生ずる」という力学現象を利用した回転体をもたない角速度センサである。

この振動ジャイロの研究開発は、1950年代に、スパーリー社の“Gyrotron”という名称の音叉形ジャイロに始まっている¹⁾。その後、1968年に、ゼネラル・エレクトリック社の“VYRO”という名称の角柱振動体形状のジャイロがB-707, B-747旅客機のヨーダンパ用として装備され²⁾また、1970年にはハネウェル社でワイヤーを振動体とするジャイロが開発された³⁾。1980年代になってからは、ワトソン社⁴⁾(株)東京計器⁵⁾の音叉形ジャイロが発表され、円環⁶⁾円柱⁷⁾を振動体としたジャイロも研究されている。

この種の振動ジャイロは、従来の回転体の角運動量を利用したレートジャイロに比して

- (1) ベアリングなどの摩擦部分がないため長寿命である。
- (2) 起動時間が短い。
- (3) 特殊交流電源を必要とせず、電源、角速度出力ともに直流である。
- (4) 低消費電力である。
- (5) 構造が簡単であり、安価である。

等の特徴を有している。このため、航空機や船舶用のみならず、車輛、ロボット、自動機器等の運動検出および制御の用途に簡便に使えるジャイロとして期待されている。

2. 振動ジャイロの動作原理

振動ジャイロは、振動体の形状により各種のものがあ

るが、ここでは、音叉を振動体としたジャイロを例に動作原理を説明することとする。

図1に示すように、先端に $M/2$ なる質量を有する音叉を、音叉根元部でトーションバーにより支持した系を考えるものとする。(スパーリー社“Gyrotron”モデルに対応)

音叉は、 Y 軸方向に速度 $\dot{r}$ で振動しており、 Z 軸方向に一定の角速度 Ω が入力するものとする。

力学の法則より、「運動度標系が慣性度標系に対して一様な回転運動を行う場合、運動度標系に対して速度 $\vec{V}$ をもつ物体には、コリオリの力 $-2m\vec{\Omega} \times \vec{V}$ が作用する」という原理があるので、この法則を図1の系に適用すると、音叉の各質点の速度ベクトルの方向は互に反対であるから、上記の法則により作用するコリオリの力 F_c は、図1に示すように互に反対方向に作用する。このためトーションバーは、コリオリの力による偶力のためねじられることとなり、このねじりトルク T は

$$T = 2 \cdot r \cdot F_c = -2r\dot{r}M\Omega \quad (1)$$

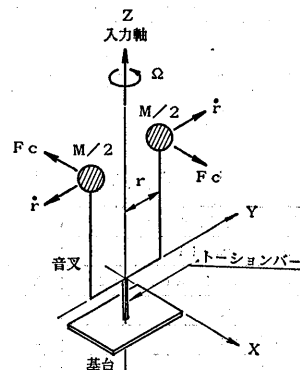


図1 音叉形振動ジャイロモデル

と書ける。

いま、音叉の変位 r を

$$r = R + \Delta R \cdot \sin(\omega t) \quad (2)$$

とおくと、(R : 音叉の中立位置のアーム幅, ΔR : 音叉の振動振幅, ω : 音叉の振動角速度) 式 (2) を式 (1) に代入して、2 倍波の項を無視すると

$$T = -2MR \cdot \Delta R \cdot \omega \Omega \cos(\omega t) \quad (3)$$

となる。

したがって、式 (3) のトルクが上述のねじり振動系に作用するから、系の運動方程式は

$$I\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + K\theta = T \quad (4)$$

となる。ここで、 I : Z 軸まわりの慣性モーメント, C : 減衰係数, K : トーションバーのねじりばね定数, θ : トーションバーのねじれ角である。

式 (4) の定常解は、 ϕ を位相角として

$$\theta = \frac{-2MR \cdot \Delta R \cdot \omega \Omega}{\sqrt{(K - \omega^2 I)^2 + C^2 \omega^2}} \sin(\omega t + \phi) \quad (5)$$

となる。

式 (5) によれば、トーションバーのねじれ角 θ は、音叉の周波数により変調されているものの、入力角速度 Ω に比例することがわかる。それゆえ、 θ の絶対値を検出することによって Ω を知ることができる。これが振動ジャイロの動作原理である。

また、式 (5) は $K = \omega^2 I$ すなわち、音叉の駆動周波数と、トーションバー系の共振点を一致させると、 θ は最大値をとり

$$\theta = \frac{2MR \cdot \Delta R}{C} \Omega \sin(\omega t)$$

となる。

これは、ジャイロ信号の検出感度最大の条件を表わしている。

3. 振動ジャイロの分類

現在までに開発された振動ジャイロを、もの振動体の形状により分類すると、表 1 に示すように、ワイヤー、角柱、音叉および円柱の 4 種類に大別することができる。

以下では、表 1 に述べてある各種のジャイロについて説明を行うこととする。

表 1 振動ジャイロの分類

振動体形状	製造会社	形名
ワイヤー	Honeywell	
角柱	General Electric	Vyro
音叉	Sperry	Gyrotron
	Watson	ARS-1121 ~ 141
	(株) 東京計器	TFG-60X
円柱		

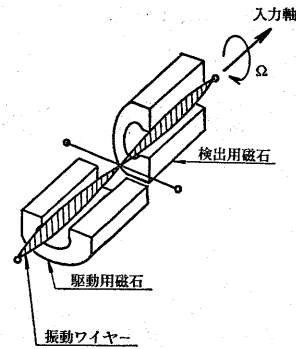


図 2 ワイヤー振動方式 (ハネウェル社)

(a) ワイヤー振動方式

振動体をワイヤーとする方式の振動ジャイロは、1970 年にハネウェル社によって考案、開発された。

本方式の振動ジャイロの構造は、図 2 に示すように、2 インチの長さのベリリウム銅線を適当な張力をかけて固定し、その半分の長さの部分に駆動用の磁石を配し、残り半分の長さの部分に、駆動用磁石と直角に検出用磁石を配置し、振動用ワイヤーの中心に駆動用ワイヤーとは直角に、電路用ワイヤーを接続したものである。

いま、発振器により、振動ワイヤーに 2 次のモードの周波数の電流を加えると、駆動用磁石との相互作用により、図 2 に示すモードで振動する。この振動状態で、ワイヤーの方向（入力軸）のまわりに角速度を与えると、ワイヤーは駆動振動方向と直角にコリオリの力を受け、駆動振動方向と垂直方向に振動する。検出用磁石の磁束の方向は、駆動用磁石のそれと直角であるから、ワイヤーは入力した角速度により、検出用磁石の磁束を横切る方向に振動し、ワイヤーには電流が流れる。このワイヤーに流れた電流値は、駆動周波数により変調されているから、デモジュレータにより同期整流して直流に変換し、入力角速度を直流電圧で出力している。

本ジャイロの性能は、リニアリティ; 1%, スレッシュホールド; 0.02°/s, 消費電力; 1W 以下, 推定寿命; 75000 時間, 重量; 142g である。

(b) 角柱振動方式

角柱を振動体とする振動ジャイロは、1960 年代に、ゼネラル・エレクトリック社より、“VYRO” という商品名で開発され、1968 年以降、ボーイング 707, 747, ダグラス DC-9 旅客機のヨーダンパー用として使用された実績をもっている。

本ジャイロの構造を図 3 に示す。

振動体は、3.81 mm の正方形断面の長さ 40.64 mm または 63.5 mm の角柱であり、その材質は 46% ニッケル合金が使用されている。振動体には、その 4 面に、幅 2.29 mm, 長さ 19.05 mm, 厚さ 0.5 mm の圧電素子が

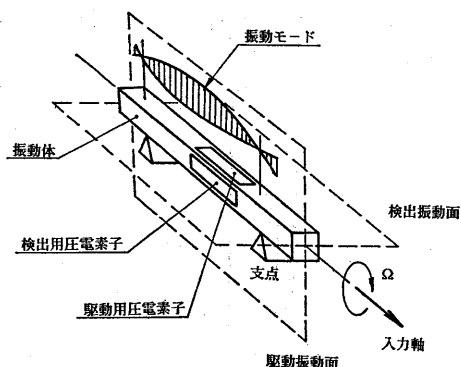


図 3 角柱振動方式 (G.E. 社)

中央部に接着されており、対向する 2 面が振動体の駆動用、残りの 2 面がジャイロ信号の検出用に使用されている。また、振動体の支持にあたっては、振動モードの節になる位置で振動体を支持し、振動体の振動に悪影響を及ぼさないように配慮されている。

上記のような構造のジャイロにおいて、図 3 に示すような、角柱上に配置された駆動用圧電素子に、両端自由支持の 1 次の曲げ振動共振周波数 (4.5 kHz または 10 kHz) の電圧を加え、角柱の長手軸方向 (入力軸) の角速度を加えると、前述のコリオリの力により駆動振動面と直角な面 (検出振動面) の振動が発生する。この振動を、検出振動面内の一方の圧電素子により検出し、ダンピング回路を介して他方の圧電素子を駆動することにより検出ループを構成し、ジャイロ信号の安定化を計るとともに、このループ内の直流電圧を出力している。

このように、本ジャイロは非常に単純な振動体形状ではあるが、その性能は、回転体式のレートジャイロに比し、入力角速度のダイナミックレンジの広さ (最大 2000 °/s, 分解能 0.01°/s), 低消費電力 (0.8 W), 寿命の長さの点において優れている。

(c) 音叉振動方式

音叉を振動体とする振動ジャイロは、1950 年代にスペリー社で開発された “Gyrotron” という名称のジャイロ、その後ワトソン社および (株) 東京計器で開発されたジャイロの 3 種類がある。以下では、この 3 種を開発順に説明することとする。

図 4 は、スペリー社で開発された “Gyrotron” の構造原理図である。本ジャイロの振動系は、音叉と音叉の根元に設けたトーションバーにより成っている。音叉部には、音叉を駆動するための駆動コイルおよび音叉の変位を検出する電磁式のピックアップが設置されており、音叉振動の駆動系を構成している。また、音叉全体のねじり角を検出するための電磁式ピックアップが音叉根元部に設置されており、前章で述べた原理により角速度信号

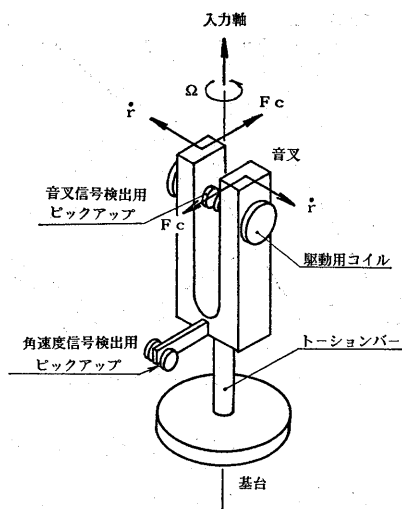


図 4 音叉振動方式 (スペリー社)

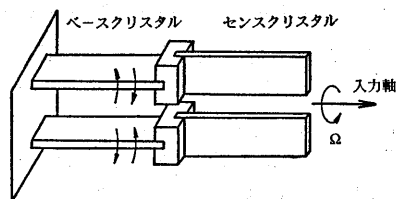


図 5 音叉振動方式 (ワトソン社)

を検出する構成となっている。本ジャイロは、開発が今から約 30 年前と古いため、音叉の駆動および検出系は電磁式であり、また回路は全て真空管を使用しているため消費電力が大きく、大型であるという欠点はあるものの、その性能は °/H のオーダーの分解能を有している。

図 5 は、ワトソン社のジャイロセンサ部の構造図である。前述のスペリー社のジャイロと異なる点は、音叉を圧電体 (ベースクリスタルと称する) で構成した点と、角速度検出系をベースクリスタル上にベースクリスタルと直交して配した圧電体 (センスクリスタルと称する) とした点である。本ジャイロの動作は、ベースクリスタルを音叉と同様に振動させ、入力軸まわりに角速度を入力すると、ベースクリスタルの振動方向と垂直にコリオリの力が作用するから、このコリオリの力をセンスクリスタルにより検出すれば入力した角速度を知ることができるということによっている。本ジャイロは、最大入力角速度の差で 3 種類あり、小型、軽量という特徴を有しているが、温度ドリフトが大きいという欠点をもっている¹⁰⁾。

図 6 に東京計器の振動ジャイロの構造図を示す。

本ジャイロは、基台に一端を固定された板ばねと、その板ばねの他端よりのびたアームにより音叉を重心位置

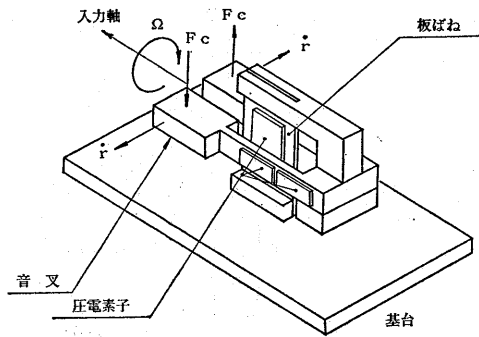


図 6 音叉振動方式 ((株) 東京計器)

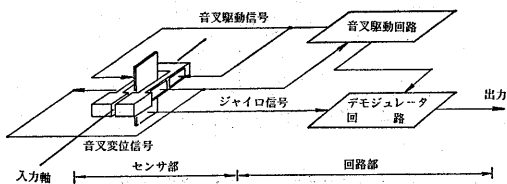


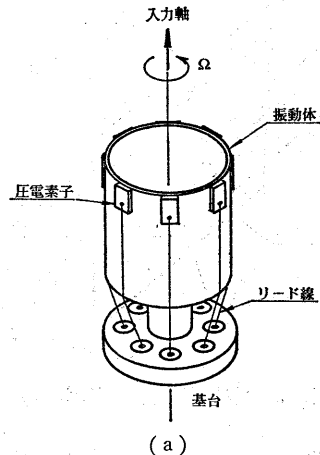
図 7 東京計器振動ジャイロの構成

でつり下げる構造となっている。音叉には、左右の腕部に各 2 枚の圧電素子が接着されており、音叉の駆動および変位の検出を行っている。これらの圧電素子は、図 7 に示すように音叉駆動回路に接続されており、音叉の振動速度が常に一定になるよう制御されている。いま、音叉が図 6 の r 方向に振動している状態で、入力軸まわりに角速度 Ω をジャイロにあたえると、音叉の速度方向と入力軸方向とに互に垂直な方向にコリオリの力 F_c が音叉に作用し、偶力となる。この偶力は、音叉を支持している板ばねにとっては曲げモーメントとして作用するから、板ばねはこの曲げモーメントにより変形する。この変形量を板ばねに接した圧電素子から電圧として取り出し、図 7 に示すように、デモジュレータ回路により同期整流すると、直流電圧として入力した角速度を検出することができる。

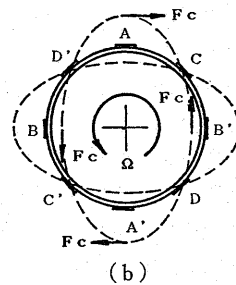
(d) 円柱振動方式

振動体を円柱とした振動ジャイロの構造図および振動モードを図 8 (a) および (b) に示す。

振動体はその一端を閉じた均一肉厚の中空円柱であり、その外周部に 8 枚の圧電素子を接着した構造となっている。また、これらの圧電素子のうち、互に直交した 4 枚の圧電素子が円柱振動の駆動および変位検出用 (図 (b) の A, A', B, B') 残り 4 枚がジャイロ信号検出用である。上記駆動用圧電素子を用いて、図 8 (b) に示すモードで円柱を振動させると、ジャイロ信号検出用圧電素子は振動の節に設置されているから、この駆動振動を出力することはない。しかし、角速度が入力されると、図 8



(a)



(b)

図 8 (a) 円柱振動方式の構造

(b) 円柱振動方式の振動モード

(b) に示したコリオリの力 F_c が生じ、その合力方向は、ジャイロ信号検出用圧電素子方向となるため、角速度信号のみが圧電素子より出力される。開発途中である本ジャイロの性能は、最大入力角速度が $\pm 60^\circ/\text{s}$ 、リニアリティが 0.3%、分解能は $0.01^\circ/\text{s}$ のオーダーである。

4. 振動ジャイロの現状と今後の動向

前章でも述べたように、現在までに各種の振動ジャイロが開発されてきた。しかしながら、それらのうち、現在入手可能なジャイロは、ワトソン社および (株) 東京計器の音叉形振動ジャイロのみである。これらの振動ジャイロの全体像を明らかにする意味で性能比較を行ったものが表 2 である。表 2 には、振動ジャイロの代表例ともいべき“VYRO”も併記した。表 2 から明らかのように、分解能、リニアリティ等の主要性能は、回転体の角運動量を利用した通常のレートジャイロとほぼ同等であるといえる。すなわち、地球の自転の影響は無視できる程度のジャイロであるといえる。しかし、バイアスの安定性、とくに温度ドリフトについては、通常のレートジャイロに比して、若干劣っているといえる。これは、振動系を共振周波数で構成するため、準度により共振周波数が変化すること

表 2 振動ジャイロ性能一覧表

項 目	VYRO	ARS-C121~141	TFG-60X
	G. E.	Watson	(株) 東京計器
最大角速度 (°/s)	2000 (選択)	±30, 100, 300	±200
スケールファクタ (V/(°/s))	0.1	0.33, 0.1, 0.033	0.05
分解能 (°/s)	0.01		0.02
リニアリティ (%)	±1.0	0.1	0.2
ヒステリシス (%)	0.1	無し	0.2
周波数特性 (Hz)	30 共振点	55	20
使用温度範囲 (°C)	-55~85	-20~50	0~60
温度ドリフト		5%/°C以下	1.5%/s以下(10~50)
電力 (W)	0.8	0.6	0.7
寸法 (mm)	35.6×36.8×17.5	31×35.5×57	65×40×90
質量 (g)	135	110	260

、また、信号の検出に圧電体を用いているため、温度により検出感度が変化すること等によっている。また、消費電力、寸法、質量等は、レートジャイロでは、モータ用電源およびピックアップ用電源等特殊交流電源を必要とし、さらに、ジャイロ信号の検出にあたっては、位相判別をも含めた検出回路が必要であり、周辺の電源および回路を含めた比較が必要であるが、一般的にいて、これらの点では振動ジャイロの方が優れているといえることができる。

このように、考えてくると、振動ジャイロの今後の開発の動向は、上記の利点を生かして、

- (1) 高性能化
- (2) 小形化
- (3) 低コスト化

の方向が考えられる。

高性能化ということを考えると、前述の温度感度を減少させることは無論であるが、ジャイロの角速度出力を積分して使用する用途を含めると、少なくとも °/H のオーダーの性能が必要であり、このためには、振動体形状の改良、振動体の支持法の改良、信号検出系の改良等、多くの点を改良、究明する研究⁹⁾が必要なものと思われる。しかしながら、この種の振動ジャイロは、レート検出形であり、それ相応の性能しか望むことはできない。本文ではふれていないが、デルコ社の半球共振形ジャイロ⁹⁾に代表される積分形振動ジャイロの方式の検討も必要であり、今後、この方面の研究が活発化されるものと考えられる。

つぎに、小形化および低コスト化について考えることとする。

前章でも述べたように、振動ジャイロは極めて単純な構造であるため、容易に小形化、量産化（低コスト化）が可能である。一例をあげれば、振動体を水晶、LiNbO₃等の圧電材料で構成し、フォトリソグラフィの技術を用

用して製造し、電極を振動体に蒸着すればジャイロを構成することができる。また、振動体を金属で構成しても、ZnO₂等の圧電体を振動体にスパッタリングすればよい。これらのことは、振動ジャイロが小型化できること、量産化できることを表わしており、今後、ICと同程度の大きさのジャイロも可能であると考えられる。しかしながら、これらの研究の動向を左右するものは、何といってもニーズであり、ジャイロは高価で扱いにくいセンサーであるというイメージを払拭することが急務であると思われる。

5. 振動ジャイロの応用

(a) 方位角および傾斜角検出への応用

振動ジャイロからの出力は角速度であるが、積分演算を行うと角度となる。したがって、ジャイロを用いて角度測定を行う場合には、上述の積分演算部が必要である。図9に示すような、振動ジャイロと積分器の構成で、無人搬送車上にこれらの装置を搭載し、方位角および位置を計測したものが図10である。図10は、8の字状に走行するようにあらかじめ設定した無人搬送車上に振動ジャイロを取り付け、搬送車の方位角を測定し、また搬送車内に設置したロータリーエンコーダにより距離を計算し、搬送車の運動軌跡を描いたものである。エンコーダの取り付け位置が後輪位置であり、搬送車の走行路検出器が前輪位置であるため、搬送車の内輪差が明確に示された軌跡となっている。本使用例の場合、約3分間の使用で方位角精度 ±1° を達成している。このように振

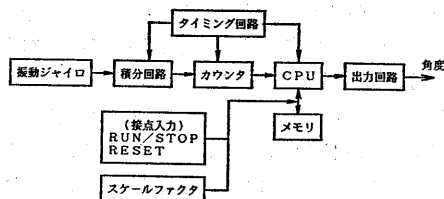


図9 積分器 ((株) 東京計器) のブロック図

◇ 無人搬送車 位置計測システム ◇
◇ 使用センサ 振動ジャイロ TFG-60X (株) 東京計器

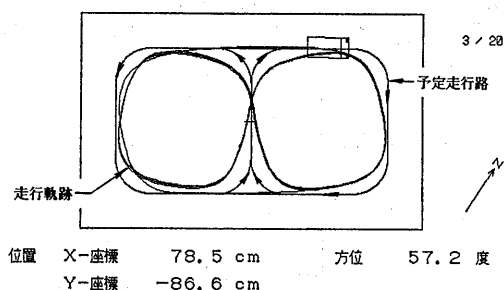


図10 無人搬送車の走行軌跡

表 3 方位センサーの比較

項 目	ジャイロコンパス	振動ジャイロ	磁気コンパス
出力信号の形態	真 方 位 (水平面上)	角 速 度 (ボディレート、 水平面上での角速度を測るには入力軸を垂直に保つ機構が必要)	磁 気 方 位 (水平面上での方位を測るには検出軸を水平に保つ機構が必要)
出力信号の利用法	そのまま利用	時間積分して角度に変換する	そのまま利用
誤差の形態	誤差が生じてもジャイロ周期で減衰する	①バイアスがあると積分により累積誤差となる ②角度誤差はスケールファクタ誤差に比例する	地磁気の分布状態による
システムとしての誤差低減策	不要	①適当なインターバルでバイアスをチェックして修正する ②適当なインターバルで一定角度まわしてスケールファクタをチェックして修正する	特になし (地磁気の乱れをチェックし設定されたレベルを越えたときにはデータを無効として扱う)
ウォーミングアップ	指北運動をして北に安定するまでの静止時間が必要(約1～2時間)	一般に不要 但し、要求される精度によっては必要となる	不要
価 格	高価格	低価格	低価格

動ジャイロで方位角を検出することができるが、他の方位センサーとの比較を表3に示す。表3によれば、長時間高精度で方位角を計測するためにはジャイロコンパスが最も適しており、地磁気の乱れない環境下での測定には磁気コンパス、短時間の測定には振動ジャイロということができる。

方位角の計測にあたっては、振動ジャイロの入力軸は運動面と直角に設置されるが、入力軸を水平面とすれば、傾斜角を測定することができる。一般に傾斜角測定の場合、相対傾斜角が必要な場合よりも絶対傾斜角が必要な場合が多く、加速度計との組合わせで使用される場合が多い。傾斜角を計測する場合のブロック図を図11に示す。図11は、ジャイロ出力を積分して得られる傾斜角信号のうち、運動のおそい成分は加速度計で計測し、ジャイロのドリフト値を修正するように系を構成したものである。傾斜角測定の特殊な場合として、支点を有する回転運動体の運動中の傾斜角測定は、図12に示す方法により行うことができる。これは、図12(a)に示すように、高さ R の位置 P に加速度計と振動ジャイロを取り付け、加速度計が計測する加速度信号 $g \cdot \sin \theta + R\ddot{\theta}$ のうち、ジャイロ出力より得られる $\dot{\theta}$ 信号を用いて図12(b)に示すブロック図により補正を行うというものである。本方式の傾斜計は、港湾の波高を計測するための波高計用として実用化されている。

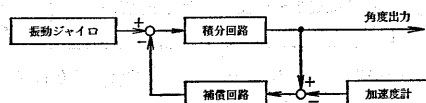


図 11 傾斜計ブロック図

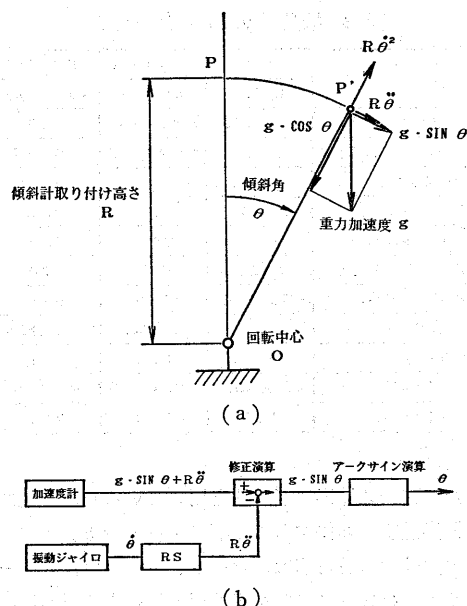


図 12 (a) 傾斜計に加わる加速度
(b) 傾斜計ブロック図

(b) 姿勢制御への応用

姿勢制御は、航空機、船舶、車輛、ロボット等各種の機械へ応用が可能である。たとえば、車学、船舶等に搭載されたアンテナの方向を、車輛、船舶等の運動とは関係なく常に一定の方向に設置したい場合とか、搬送車上に置かれた物体が、搬送車の姿勢で落下しないように保持したい場合とか、飛翔体の姿勢を制御したい場合等である。このように運動体の姿勢制御の要求は多岐にわたっているが、最も簡単な一軸制御の概略ブロック図を、図13に示す。図13は、被制御部であるプラットフォーム上にジャイロ、加速度計を取り付け、前述の傾斜角測定法により姿勢角を検出し、この検出した姿勢角を、サーボ回路によりモータを駆動して元の姿勢角に戻すことによりプラットフォームの安定化を計ったものである。このように系を構成することにより、プラットフォームは、その架台がいかなる姿勢をとっても一定の姿勢を保持することができる。上述の例では、被制御部をプラットフォームとしたが、VTOL 実験機に応用して飛行体の姿勢制御を行った報告¹¹⁾もあるので参考になるものと思われる。

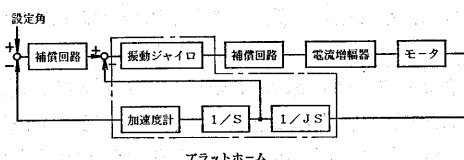


図 13 一軸姿勢制御ブロック図

6. おわりに

振動ジャイロは、その開発の歴史は古いが、近年、再度脚光を浴びている。その理由は、従来、ジャイロといえば航空機または船舶というように限定されていた用途が、FA に代表される各種陸上機器の自動化に伴い、その運動検出が最重要課題として取りあげられるようになったからである。このため、その要求性能はきびしく、現ジャイロにおいては十分満足のいくものではないが、将来、要求に合ったジャイロが開発されるものと信じている。本文が振動ジャイロを理解するうえで一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) R. E. Barnaby, J. B. Bhatterton & F. H. Gerring: "General Theory and Operational Characteristics of the Gyrotron Angular Rate Tachometer", *Aeronautical Engineering Review* 12-11 (1953), pp. 31~36
- 2) L. D. Sunderland & E. F. Arther: "Solid State Angular Rate Sensor (VYRO)", *AIAA Guide. Control Conf.* (1980), pp. 183~187
- 3) "Competing with the Gyroscope", *Shell Aviation News* 386 (1970), p. 15
- 4) R. O. Ayres: "Solid-State Rate Sensor Technology and Applications", *SAE Technical Paper Ser.* 830727 (1983)
- 5) 佐藤: 「音叉型振動ジャイロの開発」, 日本航空宇宙学会第 23 回飛行機シンポジウム (昭 60), pp. 156~157
- 6) 石塚, 新堀, 畑河内, 野口: 「振動ジャイロの研究 (第 13 報) 2 自由度音環ジャイロ」, 昭和 59 年度日本大学理工学部学術講演論文集, pp. 389~390
- 7) R. M. Langdon: "The Vibrating Cylinder Gyro", *Marconi Rev.* 45-227 (1982), pp. 231~249
- 8) 近野, 中村, 菅原: 「各種音叉ジャイロの等価機械回路」, 日本学術振興会弾性波素子技術第 150 委員会第 6 回研究会資料 (昭 61. 5), pp. 7~12
- 9) W. B. Scott: "Delco Makes Low-Cost Gyro Prototype", *Aviation Week & Space Technology*, Oct. 25 (1982), pp. 64~71
- 10) Watson Industries Inc., 角速度センサーカタログ
- 11) 丹羽, 杉浦: 「VTOL 実験機とその制御」, 計測と制御 25-8 (1981), pp. 729~736

アダプティブオートパイロットによる省エネルギー効果

横河電機株式会社

高橋 信彦

Fuel Saving of Ships Adaptive Autopilot

Yokokawa Electric Corporation

Engineering Department

Marine and Aeronautical Product Division

Nobuhiko TAKAHASHI

1. はじめに

初期のオートパイロットは、目的地への進路を安定に保つことを主目的としていた。しかし、石油ショック、経済の安定成長等の社会情勢の変化により、船を少ない燃料費で運航できるオートパイロットを、また労賃が安い発展途上国の台頭に対して超合理化船（14～16名）が登場し、操作が簡単にできるオートパイロットが要求されるようになった。また、相次ぐ大型タンカーの事故の反省から、安全性がより一層重視されるようになった。

これら海運業界を取り巻く社会情勢、オートパイロットに対する市場要求に対して、当社のオートパイロットの移り変りを図1に示した。

近年の海運業界の構造不況は、従来の（超）大型船による運航では採算が合わず、昨年来中小型船により小まわりをきわめて運航する、いわゆる海の宅急便化の方向に向かっており、より一層の省エネルギー性の向上、積荷や海象の変化に対しても人手を介することなく自動的に適応できるオートパイロットが要求されるようになった。

これに対して、開発済みのデジタルオートパイロット

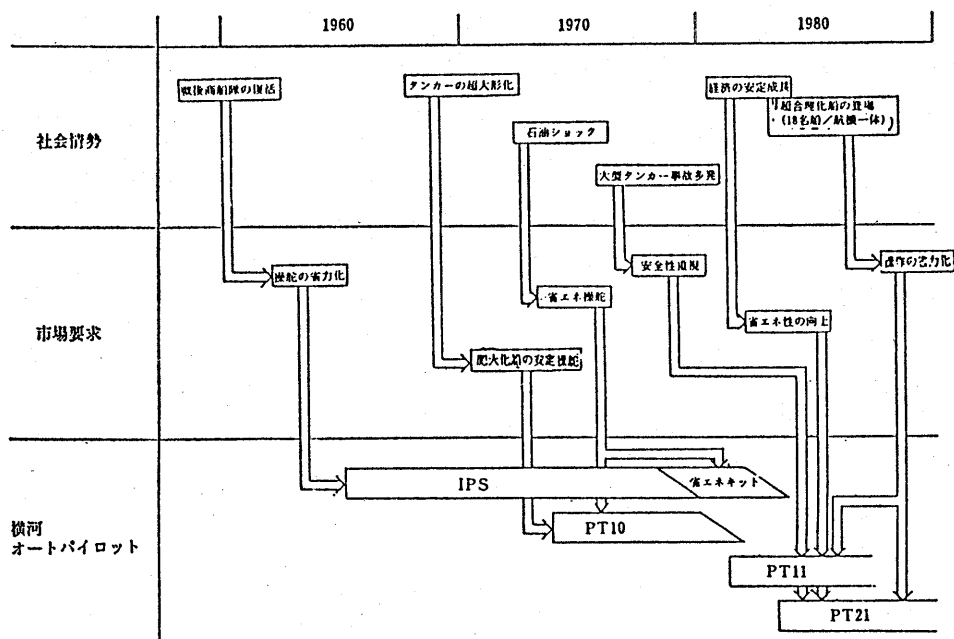


図1 横河 オートパイロットの変遷

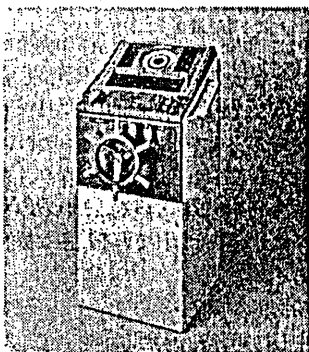


写真 1

PT11 をベースにマイクロコンピュータをグレードアップさせる形でハードウェアの信頼性を維持、向上させ、近代制御理論を駆使して、アダプティブオートパイロット PT21 (写真 1) を開発した。本文では、主として PT21 の構成、評価データを中心に最新のオートパイロットについて解説する。

2. PT21 の基本構成

2-1 オートパイロットの原理

図 2 にオートパイロットの原理を示す。船の進行方向 (方位) はジャイロコンパスで測定され、目的とする進行方向 (設定進路) と方位の差が検出され、PID コントローラに入力される。コントローラは偏差を解消するのに必要な操作量 (命令舵角) を出力する。主として油圧装置からなる舵取機でパワー増幅され、命令舵角信号の舵が取られる。舵は船の進行により船の進行方向を変化

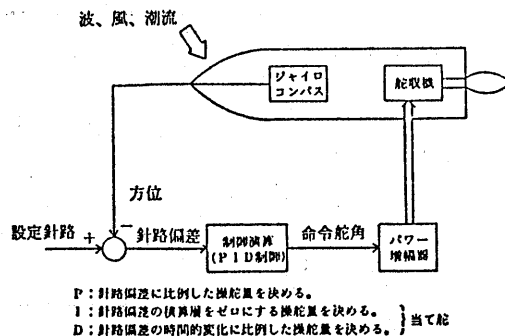


図 2 オートパイロットの基本構成

させる。以上のフィードバックループにより、船を設定進路上にのせるサーボ系を構成している。

2-2 PT21 の基本構成

省エネルギー効果を高めるには、舵角をできるだけ小さく保ち、かつ操舵頻度を少なく制御することが有効である。これは、積荷や船速などの変化に起因する船自身の運動特性の変化を知ること、気象、海象の変化状況を把握することにより実現できる。

図 3 に示す如く、PT21 ではカルマンフィルタを導入して外乱である波浪の影響を除去するとともに、船体運動特性を同定し、省エネルギー性が最大となるよう PID コントローラのゲインを自動的に求めることにより、保針精度を高めながら、かつ省エネルギー効果を出している。また、従来は航海士の経験と何回かの航海の実績により求めていたオートパイロットの各種調整の最適値への絞り込み操作を自動化した。

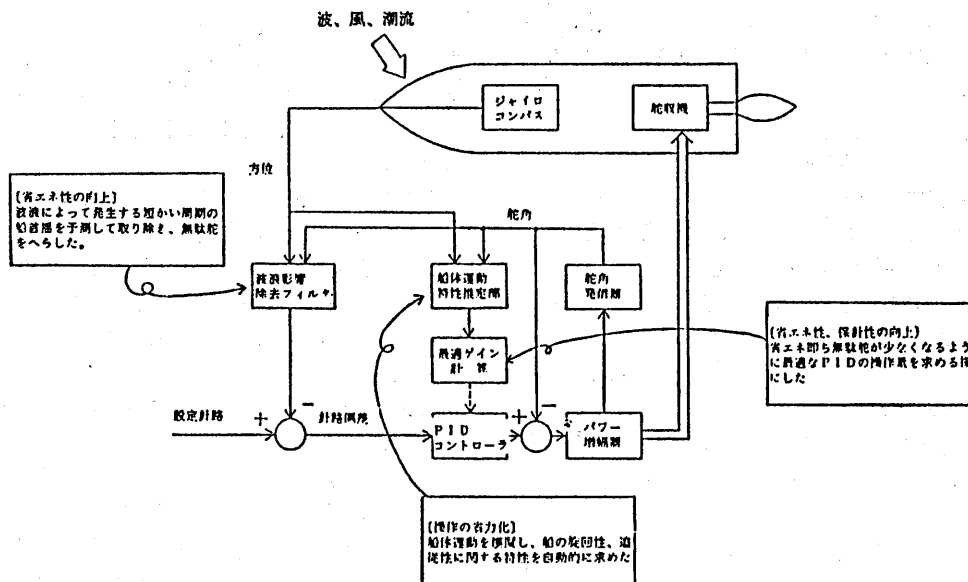


図 3 TP21 の基本構成

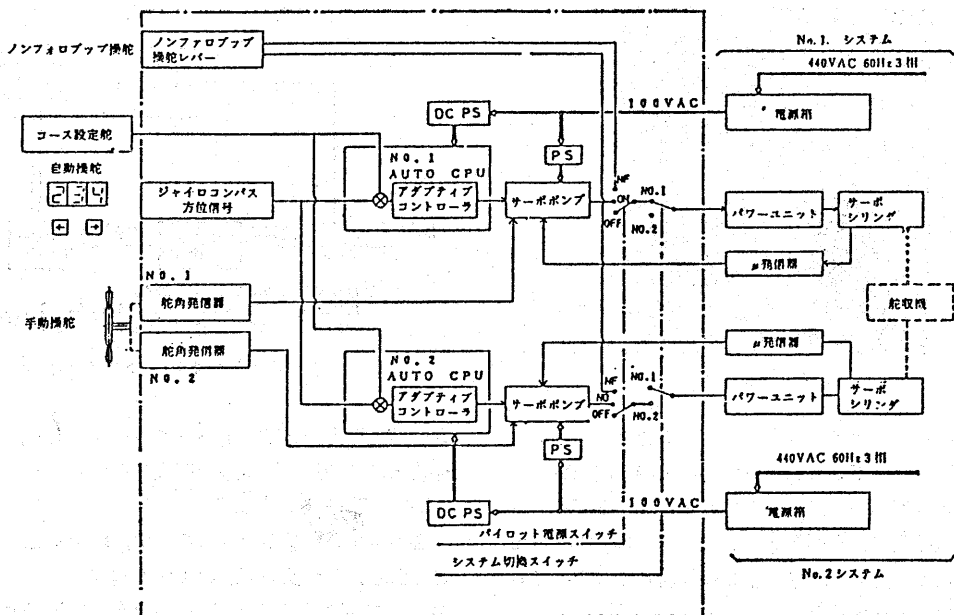


図 4 PT21 のハードウェア構成

2-3 PT21 のハードウェア

図 4 に PT21 のシステム構成を示す。航海中の安全を最優先として、IMO* で規制されている手動操舵の 2 重化だけでなくノンフォロップ操舵、自動操舵機能の 2 重化をも行なって、安全性と性能の保持につとめている。

特に 2 台の CPU は常時運転し、各操舵モードの運転系/運体系の両システムの状態を監視している。

マイクロコンピュータは、カルマンフィルタを用いたアルゴリズムを実現するには、倍精度高速浮動小数点演算が必要であり、16 ビット CPU8086 と高速演算用 IC8087 を使用している。

3. PT21 のアルゴリズム

3-1 船の運動特性

船は舵角 δ 度を切った場合、徐々に旋回を始め、一定のターンレート K (度/秒) に達したところで定常旋回を続ける。この関係を図示すると図 5 のようになる。ここで K を旋回性指数、 T を追従性指数という。 T 、 K の値は船により個有のものであり、積荷の状態や船速やターンレートにより変化する。

ϕ を針路 (度)、 $\dot{\phi}$ をターンレート (度/秒)、 $\ddot{\phi}$ を回頭角加速度 (度/秒²) とすると、船の運動特性は

$$T \cdot \ddot{\phi} + \dot{\phi} + \alpha \cdot \phi^3 = K\delta$$

* IMO (Inter-Governmental Maritime Organization) 国連の下部機関で海事にかかわる国際間の取り決めを行っている。

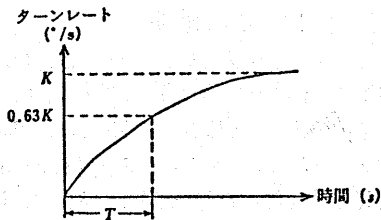


図 5

と表わされる。

α は、ターンレートにより変化する T 、 K の値を代表させた非線形項の係数である。一般に、オートパイロットで船を制御している場合、 ϕ の値は小さいので

$$|T \cdot \ddot{\phi} + \dot{\phi}| \gg |\alpha \cdot \phi^3|$$

となっている。

そこで上式は下式に近似出来る。

$$T \cdot \ddot{\phi} + \dot{\phi} = K\delta$$

即ち、船体要目から計算して T と K の値を初期値として持っていれば、舵角信号、方位信号を入力することにより、カルマンフィルタを用いて船体運動特性を同定できる。

以下に図 6 を用いて PT21 アルゴリズムを説明する。

3-2 カルマンフィルタ

設定針路を進行している船の針路を乱す外乱には、舵で制御し修正することができる低周波領域から、主として波浪の影響により発生し、舵による制御が困難な高周波領域まで含まれている。高周波領域の外乱に対して PID 演算を行ない、舵を操作しても走行抵抗が増え燃料

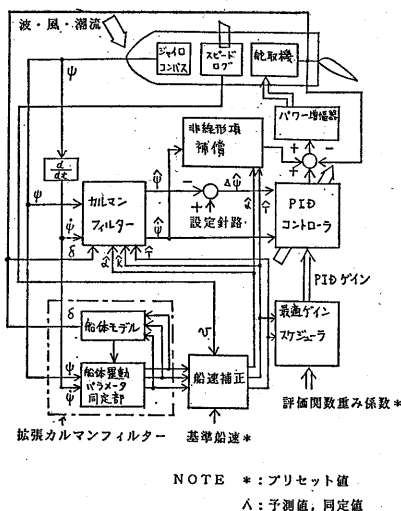


図6 ソフトウェアアルゴリズム

費が増加する。従来は、簡単なローパスフィルタにより高周波領域の外乱を除去していたのに対し、より切れのよいフィルタにすべく、PT21ではカルマンフィルタを用いて外乱の中から舵で制御可能な針路の変化分だけを取り出すアルゴリズムを導入し、省エネルギー性の向上をはかっている。

図6のカルマンフィルタには船体モデルが内蔵されている。舵機から舵角 δ がカルマンフィルタに与えられると、船体モデルを用いて一定時間後の方位 ψ 及びターンレート $\dot{\psi}$ を予測する。予測時点で外乱の影響を受けた観測値 $\psi, \dot{\psi}$ が入力される。するとカルマンフィルタは予測値と観測値の違いに対して、船の運動特性に基づき、即ち舵で制御可能な $\psi, \dot{\psi}$ を推定する。この計算を繰り返すことにより波浪の影響が除去され、舵によって制御しうる針路信号のみが出力される。

3-3 拡張カルマンフィルタ

船体運動特性は積荷の状態や船速により変わる。即ちカルマンフィルタ内の船体モデルを積荷の状態や船速の変化に対応したものにし、波浪の影響を除去し、省エネルギー効果を生むカルマンフィルタの効果を最大限に発揮させる必要がある。PT21ではカルマンフィルタ部と同じく、船体モデルを内蔵した拡張カルマンフィルタを設け、船体モデルを常に実際の運動特性と等しくなるように同定している。

カルマンフィルタ部と同じく舵角 δ 、方位 ψ 、ターンレート $\dot{\psi}$ を入力信号として受ける拡張カルマンフィルタでは、舵角入力 δ に基づき予測した $\hat{\psi}, \hat{\dot{\psi}}$ と観測された $\psi, \dot{\psi}$ との間の偏差は、船体モデルそのものが正しくなかったものとし、次ぎの予測時点では偏差が少なくなるように船体モデルを修正する。この操作を繰り返すこと

により、拡張カルマンフィルタ内の船体モデルはそのときの運動特性を正しく数値で表現したものとなる。

同定が終了すると、船速に対して T は反比例、 K は正比例、 α は2乗に反比例関係にあるので、船速補正を行ない、カルマンフィルタ内の船体モデルを書きかえる。

3-4 ゲインスケジューラ

PT21では、省エネルギー評価関数は大阪大学長谷川氏提案の次式を採用している。

$$J = \int (\lambda_1 \cdot \Delta\psi^2 + \lambda_2 \cdot \delta^2 + \lambda_3 \cdot \dot{\psi}^2) dt$$

$\lambda_1 \sim \lambda_3$: 船体要目から求める重み係数

$\Delta\psi^2$: 針路偏差の二乗平均

δ^2 : 舵角の二乗平均

$\dot{\psi}^2$: ターンレートの二乗平均

この式は、 J が小さい程、小さな舵角で設定針路上に小さな偏差と首振り速度で進行している、即ち省エネルギー効果があることを示している。

ところで、船体の運動特性 T, K がわかっているとき、評価関数 J を最小とする P, I, D のゲインは、重み係数 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ を決めれば一義的に決定できることが数学的に証明されている。

したがって、別途大形コンピュータで計算され、船体モデル別に数千種類の最適 P, I, D のゲインが書き込まれているゲインスケジューラから最適値を取り出しPIDコントローラのゲインを設定するようにしている。

以上、カルマンフィルタ、拡張カルマンフィルタ、ゲインスケジューラの働きにより、オートパイロットの性能を最大限に発揮できる各種調整ポイントの最適値を見出す過程が全て自動化されている。

4. シミュレーション結果

4-1 船体モデルと同定シミュレーション結果

アダプティブオートパイロットでは船体モデルとして下記のものを用いている。

$$T \cdot \ddot{\psi} + \dot{\psi} + \alpha \cdot \psi^3 = K \cdot \delta$$

このモデルを使って、中型弱針路不安定船($T = -84.6$ 秒, $K = -0.112/\text{秒}$, $\alpha = -1.88 (\text{秒}^2/\text{度}^2)$) 同定シミュレーションを行なった。

初期設定値を $T = 90$ 秒, $K = 0.04/\text{秒}$, $\alpha = 0 \text{ 秒}^2/\text{度}^2$ とし、舵角リミット 5° 、ターンレート $5^\circ/\tau$ ($\tau = 20$ 秒) で船を運航させシミュレートしている。

図7の様に、同定値は正しい値に収束している。

4-2 制御シミュレーション

図8に中型弱針路不安定船の従来アルゴリズムによるシミュレーション結果を図9に新しいアルゴリズムによる結果をしめす。

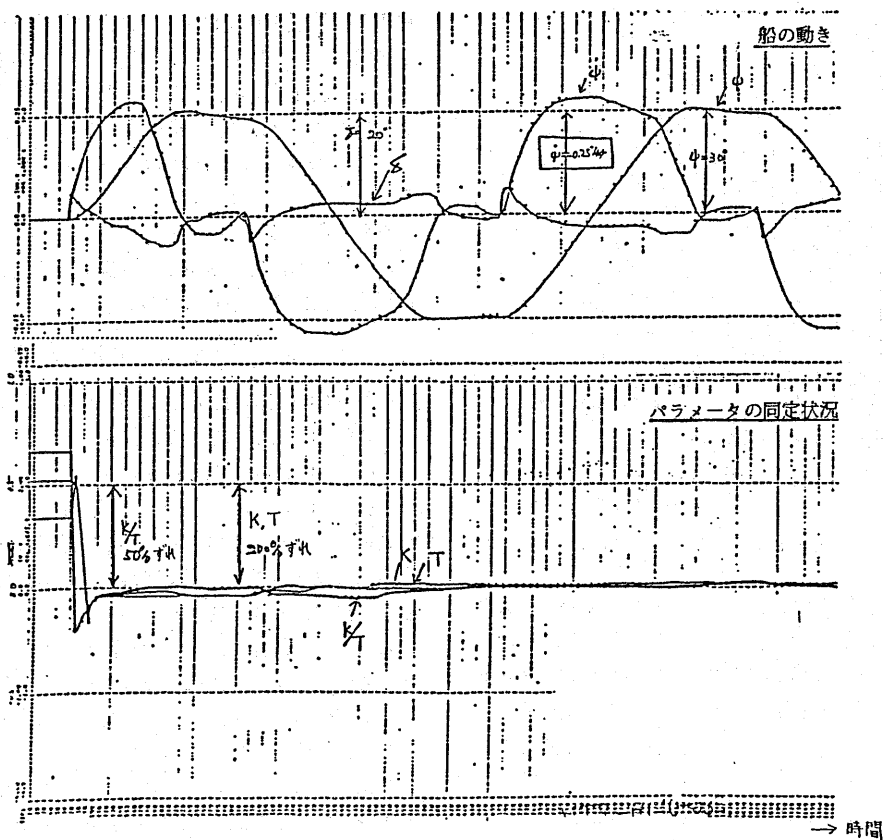


図 7

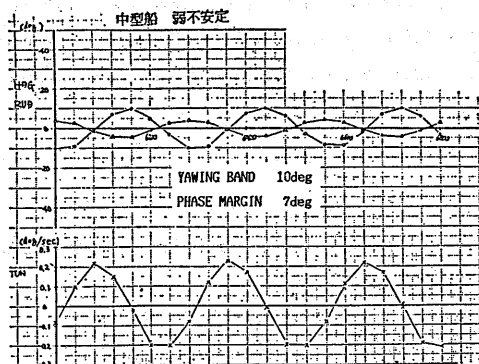


図 8

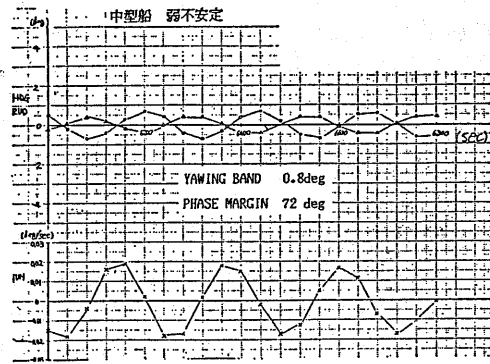


図 9

図のように新しいアルゴリズムを用いることにより、ヨーイングの減少、位相余裕の確保ができていことがわかる。

4-3 カルマンフィルタのシミュレーション

図 10 に中型針路安定船に波高 9.4 m の外乱を加えた場合の観測値と推定値のシミュレーション結果を示す。

$L_{pp} = 150$ m, 安定船, 外乱 (波高 9.4 m VERY ROUGH)

図の様に、カルマンフィルタにより外乱が除去されていることがわかる。

5. 実船評価データ

5-1 省エネルギー性

5-1-1 実船評価試験概要

日本郵船株式会社殿所有の重量物運搬船「若竹丸」に、約 3.5 カ月にわたって PT21, 評価装置, 技術者を乗船

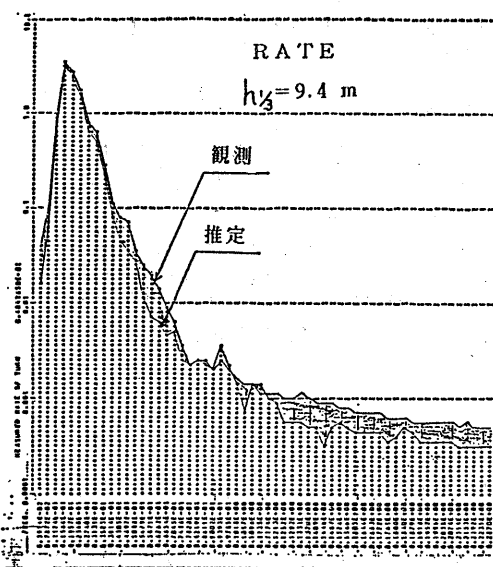


図 10

させていただき、実船評価試験をおこなった。

(1) 若竹丸要目

船長 : 162.5 m
船幅 : 25.2 m
満載喫水 : 10.48 m
満載排水量 : 32.229 ton
船速 : 15.85 kts

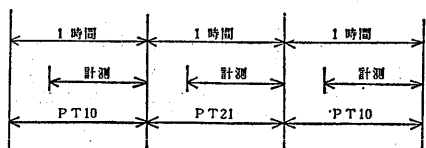
(2) 航路: 日本—クウェート往復

期間: '83年 10月 12日~12月 2日
'83年 12月 18日~'84年 2月 2日の 2航
海

(3) 測定方法

既設のオートパイロット (当社製 PT10) と PT21 を併設し、両パイロットから舵取機への信号を切り換えて操船できるようにした。一方、燃料流量、船速等必要なデータはデータロガー、記録計、カセットテープに収録する一方、パーソナルコンピュータにも入力しオンラインでデータ解析を行なった。

省エネルギー効果等、新・旧オートパイロットの比較評価は、同一な外部条件下 (気象・海象・主機回転数・船体条件等) で行なわないと意味がなくなるため、外部条件が同一とみなせるタイミングを選び、1時間毎に両パイロットを切り換えて操船し比較した。各種データの



計測、収集は切換え後 20 分経過し、切換え前のパイロットの影響が消えた安定な状態になった後に行ない、対のデータを数多く集めるよう努力した。

5-1-2 省エネルギー効果

単位時間当りの燃料消費量 Q (l/h) と船速 V (kts) との関係は次式で示される

$$Q = BV^3$$

B : 係数

一般に、主機回転数はガバナーにより回転数一定の制御が加えられており、操舵による抵抗増加は燃料消費量の増加、船速低下の現象となる。従って、省エネルギー効果は、燃料消費量と船速をデータロガーで収集し、対となる新・旧両パイロットの 10 分毎のデータから上記係数 B を最小自乗法により求め、比較した。同様に比較することにより船速の改善も求めた。

省エネルギー効果

$$B' = \frac{\text{PT21 の } B - \text{PT10 の } B}{\text{PT10 の } B} \times 100\%$$

船速の改善

$$V' = \frac{\text{PT21 の } V - \text{PT10 の } V}{\text{PT10 の } V} \times 100\%$$

を 3 段階の海象状態で比較すると下表のようになる。

(1) 省エネルギー効果

海象状態	CALM	ROUGH ^{*1}	VERY ROUGH
第 1 航	0.82%	3.50%	12.6%
第 2 航	1.38%	1.77%	— ^{*2}

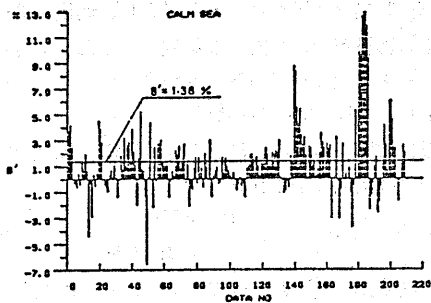
(2) 船速の改善

海象状態	CALM	ROUGH ^{*1}	VERY ROUGH
第 1 航	0.11%	1.97%	6.06%
第 2 航	0.44%	0.49%	— ^{*2}

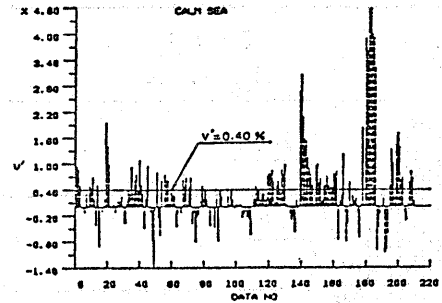
*1: 第 1 航の方が第 2 航に比べ優れているのは、第 1 航の方が第 2 航に比べ荒天の航海が非常に多かったことによる。

*2: 第 2 航ではこのような海象には遭遇しなかった。

図 11 に第 2 航 CALM 時の対になったデータの比較を示す。グラフは縦軸に省エネルギー効果 (船速の改善) を同一条件下のデータを対にして差で比較し、+ は PT21、- は PT10 の方が優位であることを示している。横軸はテストデータの番号である。このグラフは省エネルギー効果がどのようにばらついており、全体としてどちらが優位であるかを一目でわかるようにしたものである。



(a) 省エネルギー効果



(b) 船速の改善

図 11

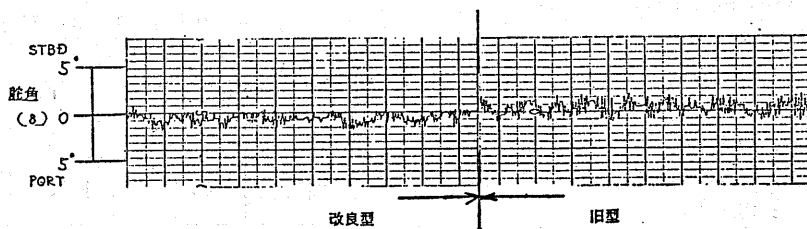
5-2 カルマンフィルタの効果

ビューフォート3の条件下での既設オートパイロットとアダプティブオートパイロットの針路偏差と操舵の比較を行なった。

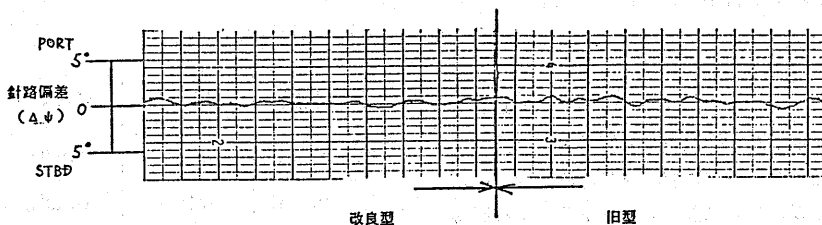
針路偏差も改良型は旧型に比し、同等か小さくなって

いる。

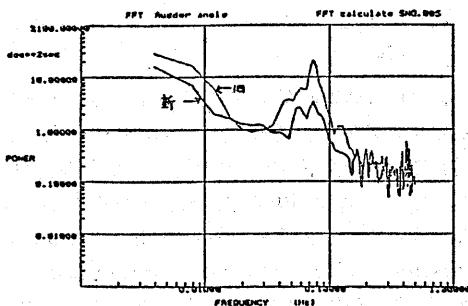
上記結果からアダプティブオートパイロットの方が操舵量、頻度共少くなっており、針路偏差の大きさも同等以下におさえている。これは、カルマンフィルタの効果と考えられる。



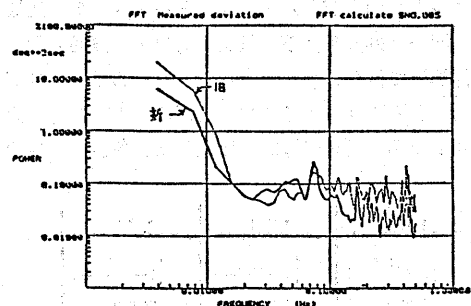
舵角 (δ) のチャート



針路偏差 ($\Delta\phi$) のチャート



舵角 (δ) の FFT 解析結果



針路偏差 ($\Delta\phi$) の FFT 解析結果

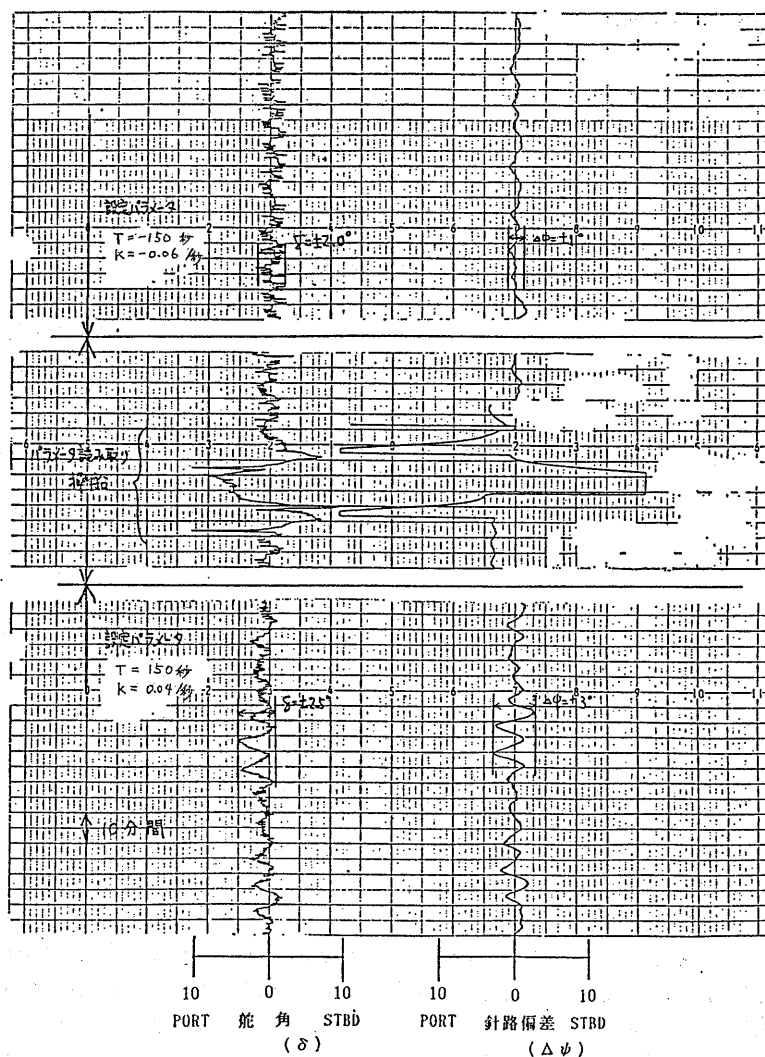


図 12

5-3 適 応 性

パラメータ読み取りによる制御の変化の一例 (23.7 万 ton, Bulk Carrier) (図 12)

パラメータ読み取りの結果, 制御が改善されていることがよくわかる。

6. おわりに

アダプティブオートパイロットは, 船の種類, 大きさ, 積荷の状態, 船速, 海象条件等の変化に適応し, 常に最

適の状態で船のコントロールを行なうことを目的に近代制御理論を駆使して開発された。

本文において, 本オートパイロットの構成, アルゴリズムを解説し, シミュレーション及び実船テストにおいて, 省エネルギー性, 適応性が従来のオートパイロットに比較し, 改善されていることを示した。

今回は一般的な形の船に対するアダプティブオートパイロットの効果を確認するにとどまったが, 今後は特殊な船形への適用を考えて行きたい。



Observation

航海機器の国際標準化の動向

東京商船大学

飯 島 幸 人

Trends of International Standardization of Sea Navigational Instruments

Tokyo University of Mercantile Marine

Yukito IJIMA

1. ま え が き

1912 年 4 月 12 日に起きたタイタニック号の遭難によって、海上での安全を国際的に確保すべきであるという世論のもとに、当時のドイツ皇帝カイザー・ウィルヘルム二世の呼びかけで、1914 年初の SOLAS 条約 (International Conference on Safety of Life at Sea: 海上人命安全条約) が成立した。この条約により国際航海をする船舶に対して無線電信が強制されるようになった。それから第 1 次、第 2 次大戦を経て 1945 年国際連合が発足し、1958 年 3 月国連の下部機関として、船舶輸送に関する技術的事項の検討のための常設機関として IMCO (Inter-governmental Maritime Consultative Organization) が発足した (1982 年 6 月より IMO: International Maritime Organization: 国際海事機関となった)。

1957 年 7 月ニューヨーク港外で起きたストックホルム号とアンドレドリア号の客船同士の衝突は、相方共にレーダーを搭載していながら起きた事故としてレーダーの使用法に対する世界の注意を喚起し、レーダーの使用法やレーダプロットング等が SOLAS 条約に盛り込まれる切っ掛けとなった。

さらに 1967 年 3 月英国南岸においてトリーキャニオン号事件が発生し、巨大タンカーの油流失事故の恐ろしさを全世界的に知らしめた。この事故を契機として IMO ではタンカー等危険物運搬船の安全対策の検討を始めると共に、この事故がオートパイロットの使用不適切が原因となっている事を重要視して、IMO ではオートパイロットの使用についての勧告を行った。

1976 年暮に、世界有数の漁場の一つである米国マサ

チューセッツ州でリベリヤ船籍のアルゴ・マーチャント号が度礮して大量の油を流失しボストン近辺の海岸は大恐慌を来した。幸い油は西風で沖合に送られて海岸では大した被害はなかったものの、海底に沈澱した油は漁場到大損害を与えたと報道された。この事件がトリガーになったかのように、数ヶ月以内に米国沿岸でタンカー事故が相ついで数件発生した。これに驚いた就任間もないカーター大統領は 1977 年 3 月、この種の事故の危険性を減少させるための強力なる措置を国際的にも、国内的にも構ずる必要性がある旨の声明を發し、その具体策として米国領海に入っている 1 万トン以上の船舶にはレーダーを 2 台装備させ、コンピュータを持つ衝突予防装置や電子的位置決定装置を強制装備させる方針を打出した。そしてこれらの装備は国際的にも必要であるとして IMO に提案された事から、IMO では、それ以前から検討されていたものも含めて鋭意航海計器の技術基準の検討を急いだ。こうして Radar や ARPA (Automatic Radar Plotting Aids: 衝突予防援助装置) 等の装備義務が SOLAS 条約に盛り込まれるようになり、位置決定システムについては、国際機関で管理する一つの World Wide Navigation System の検討が今なお IMO で行われている。

1960 年 SOLAS の第 5 章 12 規則の航海計器関連の条項で規定されていたものは無線方向探知機のみであり、勧告として音響測深機の使用、およびレーダーの使用と性能基準があったが、1974 年の SOLAS 条約では、第 5 章 12 規則の中に、レーダー、プロットング装置、無線方向探知機、ホーミングのための無線設備、ARPA、ジャイロコンパス、ログ舵角指示器、旋回角速度計等の装備が強制され、また 19 規則には自動操舵装置の使用

が規定され、議定書では操舵装置の基準、決議 A. 325 (IX) を見直すこと、などが盛り込まれた。

航海計器の国際基準には、上述の IMO のように政府間の条約や、勧告に基づくものの他に ISO (International Standard Organization: 国際標準協会) や IEC (International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議) のような民間の機関もあって、夫々独自の基準を作っている。これらの基準の動向や、それらと国内規格との関連など、メーカーもユーザーも関心を持たざるを得ないものがあると思われるので、昨今のこれら航海計器の基準化の動向について知るところを述べる。

2. 航海機器の標準化関連機関

IMO は前述のように国連の機関であるために、ここで決議されたものは、あるものは SOLAS 条約に取入れ

られ、あるものは議定書として勧告される。何れにしても IMO で決定された基準は条約であるために、各国ではこの基準を基に国内法が制定されるわけである。我が国では船舶設備規程や型式承認試験等の規定として取込まれているのは御承知の通りである。IMO では航海計器のあるものについてはその性能基準を作っているが、それらの機器が製造されたとき、その性能が基準に合格しているかどうかの試験の方法までは定めていない。したがって、現在我が国では航海機器等の技術基準を国内法とすると、学識経験者による委員会で、IMO 規定を国内的にも合理的な規定となるよう検討の上運輸省に答申するような形をとり、またこの委員会は形式承認に対する試験基準や、検定基準の案を検討している。運輸省ではこれを基準として使用すると舶査……という番号をつけて省令として公布する。この委員会をまとめてい

表 1 船舶に搭載する機器についての IMO 決議一覧

No. of Resolution	Date adopted	Contents
A. 220(VII)	1971 Oct 15	Introduction of Selective Calling (SSFC) System
A. 221(VII)	1971 Oct 15	Radio Equipment for Homing
A. 222(VII)	1971 Oct 15	Performance Standards for Navigational Radar Equipment
A. 223(VII)	1971 Oct 15	Performance Standards for Radio Direction-Finding Systems
A. 224(VII)	1971 Oct 15	Performance Standards for Echo-Sounding Equipment
A. 225(VII)	1971 Oct 15	Homing Capability of Search and Rescue (SAR) Aircraft
A. 277(VIII)	1973 Nov 23	Recommendation on Performance Standards for Radar Reflectors
A. 278(VIII)	1973 Nov 23	Supplement to the Recommendation on Performance Standards for Navigational Radar Equipment (Resolution A. 222(VII))
A. 279(VIII)	1973 Nov 23	Recommendation on Emergency Position-Indicating Radio Beacons
A. 280(VIII)	1973 Nov 23	Recommendation on Performance Standards for Gyro Compasses
A. 281(VIII)	1973 Nov 23	Recommendation on General Requirements for Electronic Navigational Aids
A. 305(VIII)	1973 Nov 23	International Conference on the Establishment of an International Maritime Satellite System
A. 334(IX)	1975 Nov 14	Recommendation on Operational Standards for Radiotelephone Transmitters and Receivers
A. 336(IX)	1975 Nov 14	Recommendation on the Carriage of VHF Radiotelephone Stations
A. 342(IX)	1975 Nov 14	Recommendation on Performance Standards for Automatic Pilots
A. 351(IX)	1975 Nov 14	Use of Metric Units in the SI System in the 1974 SOLAS Convention and Other Future Instruments
A. 380(X)	1977 Nov 17	Standard Marine Navigational Vocabulary
A. 381(X)	1977 Nov 17	Plan for the Establishment of a World-wide Navigational Warning System
A. 382(X)	1977 Nov 17	Magnetic Compasses-Carriage and Performance Standards
A. 383(X)	1977 Nov 17	Operational Standards for Radiotelephone Watch Receivers
A. 384(X)	1977 Nov 17	Performance Standards for Radar Reflectors
A. 385(X)	1977 Nov 17	Operational Standards for VHF Radiotelephone Installations
A. 397(X)	1977 Nov 17	Acceptance of the INMARSAT Convention
A. 415(XI)	1979 Nov 15	Improved Steering Gear Standards for Passenger and Cargo Ships
A. 416(XI)	1979 Nov 15	Examination of Steering Gears on Existing Tankers
A. 421(XI)	1979 Nov 15	Operational Standards for Radiotelephone Alarm Signal Generators
A. 422(XI)	1979 Nov 15	Performance Standards for Automatic Radar Plotting Aids (ARPA)
A. 423(XI)	1979 Nov 15	Radar Beacons and Transponders
A. 424(XI)	1979 Nov 15	Performance Standards for Gyro-Compasses
A. 425(XI)	1979 Nov 15	Performance Standards for Differential Omega Correction Transmitting Stations
A. 468(XII)	1981 Nov 20	Code on Noise Levels on Board Ships
A. 474(XII)	1981 Nov 20	Proper Use of VHF Channels at Sea
A. 477(XII)	1981 Nov 20	Performance Standards for Radar Equipment
A. 478(XII)	1981 Nov 20	Performance Standards for Devices to Indicate Speed and Distance
A. 479(XII)	1981 Nov 20	Performance Standards for Shipborne Receivers for Use with Differential Omega
A. 482(XII)	1981 Nov 20	Training in the Use of Automatic Radar Plotting Aids (ARPA)
A. 483(XII)	1981 Nov 20	Training in Radar Observation and Plotting

るのが日本舶用品検定協会（通称 HK）であって、運輸省の委託を受けてこの事業を行っている。

なお型式承認というのは、メーカーの製造するある型式の装置が、技術基準を満足しているかどうかを試験するものであって、たとえば同じレーダーであっても型式が異なれば型式毎にメーカーの提供するサンプル機器を指定された試験場に持込んで厳密な試験をするものである。そして合格すれば、それと同じ型式の装置については技術基準を満足しているものと認定する。さらに、型式承認を受けた製品でも一品ずつが技術基準を満足しているかどうかをチェックするものが検定試験であって、型式承認試験より軽い試験を製造工場で行う。

政府間レベルで行われる IMO の技術基準に対して、航海の安全のためは勿論の事ながら、その外に航海機器の質の向上、国際的に製品の均一化、部品の互換性、生産手段の効率化、国際流通の便利化などを目的として航海機器の国際規格を決める民間機関がある。現在、ISO と IEC がそれである。IEC はその名の通り電気に関する機器を扱い、ISO はその他のものということになっている様であるが、最近では機械的な機器と電子的機器との結合が多くなり、その境界が明確ではなくなっている。

ISO や IEC では IMO にあるにある基準も含めて独自に性能基準および試験基準を作っている。欧米各国ではこの ISO、IEC の試験基準を国の基準として利用しているところが多いようである。日本における ISO 関連機関は日本船舶標準協会であり、IEC の関連機関は日本電子機械工業会である。ISO、IEC とも基準のあるもの

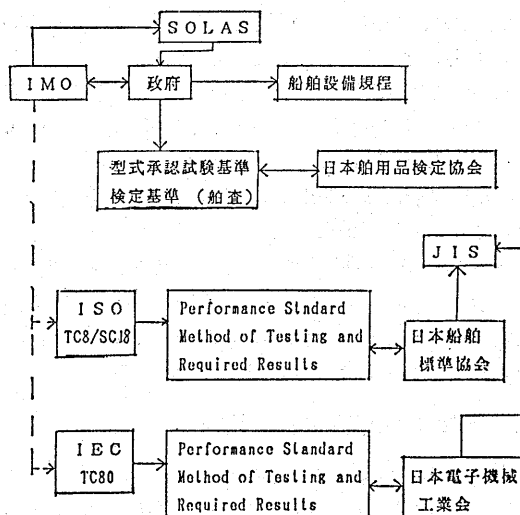


図 1 航海機器の標準化に関連する機関

は JIS にとり入れられて日本の基準となるものである。磁気コンパスがその例である。

図 1 は上述の関連機関と基準等の関係を示すものである。

3. 航海機器の基準

航海機器の性能基準および試験基準は上述のような機関で審議されているが、IMO で今までに船舶用機器として審議され、決議となったものの一覧表を表 1 に掲げる。また ISO と IEC では殆んどこの中から機器を選んで基準の検討を行っているが、夫々の機関の分担を表 2

表 2 IEC/TC80 の責任と優先順位

Marine navigation instruments	Responsible for standardization	
Shipborne radars	IEC (WG 1)	
Automatic radar plotting aids	IEC (WG 2)	
Devices to measure speed and distance	IEC (WG 3)	
Radio navigation aids	IEC (WG 4)	A
1. Omega and Differential Omega		
2. Loran C		
3. Transit		
4. Navstar GPS		
Automatic pilots	IEC	B
Integrated navigation systems	IEC	C
Plotters	IEC	D
Rate of turn indicators	IEC	E
Radar beacons	IEC	F
Radar Transponders	IEC	G
Radio direction finders	IEC	H
Chronometers	IEC	I
Gyrocompass	ISO	
Echo sounding equipments	ISO	
Radar reflectors	ISO	
Facsimile	ISO	
General requirements	IEC (WG 5)	
Ship borne interfaces	IEC	

のように決めている。ISO の分担は少ないので、審議は殆んど終了し、各国がこれを最終的に承認する段階に来ている。IEC ではレーダ、ARPA、機器の一般要件の審議が終了し、現在はログとオメガが検討中であり、間も

なく機器間のインターフェイスの検討が始められようとしている。いまここで各機器の基準を細かく述べる紙面はないので、他の解説（例えば庄司和民「1974年 SOLAS 条約改正における航海設備の動向と対処」：造船技術 82

表 3 DRAFT STANDARD FOR OMEGA SYSTEM AND DIFFERENTIAL OMEGA SYSTEM RECEIVERS FOR SHIPS

SUMMARY

1	SCOPE	7.1	OMEGA receiving antenna
2	OBJECT	7.2	Differential OMEGA receiving antenna
3	LAY OUT	8	POSITION INFORMATION EXTRACTION AND SYSTEM OPERATION
	SECTION ONE-PERFORMANCE STANDARDS	8.1	Synchronisation
4	INTRODUCTION	8.2	Instrumental errors
4.1	Object	8.3	Number of processed stations
4.2	OMEGA and Differential-OMEGA SYSTEMS	9	POSITION INFORMATION DISPLAY
4.3	I. M. O. Resolutions	9.1	General arrangement
4.4	Considered receivers types	9.1.1	Lines of position
5	GENERAL CONSIDERATIONS	9.1.2	Other methods for position display
5.1	Construction	9.2	Differential OMEGA reception
5.2	Environmental conditions	9.2.1	OMEGA and differential OMEGA separated receivers
5.3	Power supply	9.2.2	Combined receivers
5.4	Starting up	9.2.3	Differential OMEGA corrections
5.5	Electromagnetic compatibility	10	DISPLAY AND INDICATORS
5.6	Electrical safety	10.1	Brightness
6	RECEIVING CONDITIONS OF THE RADIO SIGNALS	10.2	Testing
6.1	OMEGA system reception	11	AUTOMATIC RECEPTION SYSTEMS
6.1.1	Number of processed stations	11.1	Automatic selection of OMEGA stations
6.1.2	Accuracy and stability of the tuning frequencies	11.2	Corrections
6.1.3	Processing sensitivity	11.3	Initialization and ambiguity elimination
6.1.4	Selectivity	11.4	Dispersion
6.1.5	Signal strength range	11.5	Quality of the information
6.1.6	Input circuits protection	12	ALARM DEVICES
6.2	Differential OMEGA system reception	12.1	OMEGA reception
6.2.1	Frequency range	12.2	Differential OMEGA reception
6.2.2	Reception modes	12.3	Combined OMEGA/Differential OMEGA receivers
6.2.3	Accuracy and stability of the tuning frequency	12.4	Automatic reception systems
6.2.4	Processing sensitivity	13	HUMAN ERRORS
6.2.5	Selectivity	13.1	Use of equipment
6.2.6	Signal strength range	13.2	Operation
6.2.7	Input circuit protection	14	ANCILLARY EQUIPMENT
7	RECEIVING ANTENNAS	15	MAINTENANCE
			SECTION TWO-METHODS OF TESTING AND REQUIRED TEST RESULTS

表 3 (つづき)

16	GENERAL	17.6	Electrical safety
16.1	Organisation of tests	17.7	Reception of the radio signals
16.2	Operation of tests	17.7.1	Reception of OMEGA signals
16.3	Selection of tests	17.7.2	Reception of differential-OMEGA signals
17	TESTS AND REQUIRED RESULTS	17.8	Synchronisation
17.1	Construction	17.9	Position information display
17.2	Environmental conditions	17.10	Automatic reception systems
17.3	Power supply	17.11	Alarm devices
17.4	Starting up	17.12	Ancillary equipments
17.5	Electromagnetic compatibility	17.13	Maintenance

表 4 航海機器の適用法規

	I M O	技 術 基 準				塔 載 基 準	
		船舶設備規程 (年・月)	ISO	IEC	型式承認等	SOLAS (第5章 12規則)	船舶設備規程
磁気コンパス	A. 382 (X)	146条の19	S 54. 3	ISO 449 ISO 613	船 査 460号 (S 54. 5. 31)	150GT 以上	146条の18……遠洋、近海、沿海区域 146条の22……平水区域
ジャイロコンパス	A. 424 (XI)	146条の21	S 55. 3	ISO/DIS 8728	船 査 263号 (S 55. 4. 23)	500GT 以上	146条の20……500GT以上 1600GT以上にはレーザ
レ ー ダ	A. 222 (VII) A. 278 (VIII) A. 477 (XII)	146条の13 (無線設備 規則第48条)	S 59. 8	1983年	海 査 110号 (S 57. 9. 1)	500GT 以上	146条の12……500GT以上 旅客船、危険物船は300GT以上 10000GT以上二つ
A R P A	A. 422 (XI)	146条の17	S 57. 3	1984年	海 査 39号 (S 59. 9. 1)	10000GT 以上	146条の16……10000GT以上
プロットング装置		(無線設備 規則第48条)					146条の14……500GT以上 146条の15……1500GT以上反射プロッタ
レーダ反射器	A. 384 (X)		S 60. 3 (救命艇)	1986年 ISO/DIS 8729		(第3章 救命艇等 の装置品)	
音響測深機	A. 224 (VIII)	146条の24	S 55. 3	1986年	船 査 263号 (S 55. 4. 23)	国際航海の 500GT 以上	146条の23……国際航海の500GT以上 「」……その他の遠洋、近海、水深測定装置
オートパイロット	A. 342 (K) (A. 325 (K))	145条				SOLAS 19規則 操舵装置の使用	(船員法施行規則第3条の12)……オートパイロット の使用
無線方位測定機	A. 223 (VIII)	146条の30 (無線設備 規則第45条)				国際航海の 1600GT 以上	146条の29……国際航海の1600GT以上 (電施則 第11条の4)
ホーミング装置		146条の32				国際航海の 1600GT 以上	146条の31……国際航海の1600GT以上
V H F無線電話		146条の34					146条の33……国際航海船
無線電話 (遭難周波数)		146条の36					146条の35……国際航海船
無線電話聴取機 (遭難周波数)		146条の38 (無線設備 規則第49条72)					146条の37……国際航海船
船速距離計	A. 478 (XII)	146条の26	S 54. 3	検討中	船 査 373号 (S 58. 8. 25)		146条の25……国際航海の500GT以上 146条の25……その他の船舶、測程機
回頭角速度計	A. 281 (VIII) A. 425 (XI) A. 749 (X) (ディファレンシャル オメガ)	146条の28				10000GT 以上	146条の27……10000GT以上
電子測位装置			S 57. 3	検討中			
舵角指示器						500GT 以上	146条の43……500GT以上、国際航海の300GT以上の 旅客船
機関回転計						500GT 以上	146条の43……500GT以上、国際航海の300GT以上の 旅客船
フアクシミリ	検討中		S 48. 3	検討中			
レーダービコン及び トランスポンダ	A. 423 (XI)						
N N S S		第5条	S 57. 3	検討中	船 査 373号 (S 58. 8. 25)		第5条 ……自動化船特殊規程

年4月、日本航海学会誌「航海」第74号などに譲るが、IECなどの基準の内容の一端を知るためにオメガの性能基準および試験基準の題目だけを参考として表3として掲げておく。

表4は現在使用されている航海機器の適用法規の一覧表であって、各航海機器についての基準を詳細に知りたとき、これらの法規を参照するとよい。

4. あとがき

1979年SAR条約(International Convention on Mari-

time Search and Rescue, 1979: 海上における搜索および救難に関する国際条約)が締結され、それに基づいて遭難および安全のための通信網の確立、整備の必要性のために船舶の通信設備の大改革が検討されている。いわゆる GMDSS (Global Maritime Distress Safety System: 全世界的な海上遭難安全システム)である。航海機器も当然の事ながらこのGMDSSとの関係は深いので、一言あるべきであったが、ここでは敢て触れずに航海機器の標準化の問題に限定した。何等かの参考となれば幸いである。

電子海図の現況

海上保安庁水路部企画海洋研究室長

岩 佐 欽 司

The Situation of the Electronic Chart

Marine Research Laboratory,
Planning Division, Hydrographic Department,
Maritime Safety Agency

Kinji IWASA

1. ま え が き

近年運輸省は、重要課題の一つとして船舶の「高度自動運航システムの研究開発」をとりあげ調査研究を推進している。このようなすう勢のもとで、我が国でも数年前から船舶の安全で経済的な運航の確保を目的として、記録紙上にボールペンまたは特殊ペンで航跡を記録する自動航跡記録装置に代るものとして画像航海システムが開発され、実用に供されている。このシステムでは経緯線、海外線、示陰線（自船の喫水に応じた等深線）、航路標識等をデジタル化して記憶媒体に収録された水路情報とロラン受信機、衛星航法装置、ジャイロコンパス、ログ、レーダ等を利用したハイブリッド船位、航路あるいは航跡、レーダ映像等による航海情報が CRT に重畳表示される。

この画像航海情報システムは Total Navigation System, Integrated Navigation System, Integrated Bridge System などと呼ばれている。また水路（海図）情報は、日本では電子海図、デジタルチャート、ビデオチャート、画像海図などと呼ばれ、外国では Electronic Chart, Digital Chart, Video Chart などと呼ばれているが、名称は色々あり、全体の概念や視点、対象範囲、定義の違いに起因しており、今後、IHO 等が中心になって議論を進め、国際的に統一されることが望まれる。

2. 我が国の現況¹⁾

我が国ではつのメーカーが 14 種のシステムを製作し、約 4000 隻の日本船舶がシステムを搭載している。

簡易な小型船（主として漁船）用のシステムは安価で、航跡記録（過去のものを含む）、漁場到達の再現性などを目的としていて、これに経緯線、海岸線等が模式図的に CTR に表示されるに過ぎない。

一方、大型船用のシステムは航海を目的としていて、海図情報は経緯線、海岸線、示陰線、航路標識、航路、著目標等が比較的密に CTR に表示され、自動操船装置（Auto Pilot）や衝突予防装置（ARPA: Automatic Radar Plotting Aid）と連結され、より高度の機能を備えている。海上保安庁の改ヘリコプター搭載型巡視船（3800 t）に搭載した自動操船装置（ANCDS: Automatic Navigation Control and Display System）²⁾ 船用機器開発協会が開発した狭水道や内湾域の航行を目的とした船舶安全航行操船装置（NAVGUIDE: Navigation Guide）、NTT の海底ケーブル敷設船「光洋丸」（1200 t）に搭載した航法自動化システム（ACNAS: Advanced Cable Ship Navigation Aid System）などの例がある。

表 1-A に日本における電子海図の普及状況（昭 60. 2 現在）を、表 1-B に主な機能の内訳を示してある。

1-1 改ヘリコプター搭載型巡視船の自動操船装置（ANCDS）

このシステムは外洋における自船及び他船の船位を常時正確に算出し、乗組員の操船等の業務を支援する目的で開発したものでカラー CRT に正確に表示される海図情報で航路を設定し、その航路に乗せて自動的に航行させる自動操船機能及びロラン受信機、衛星航法装置、ジャイロコンパス、音波ログ等からの測位信号をカルマンフィルタ理論によって処理し、高精度の船位を算出する最確船位算出機能を備えている。また、最近のシステムは、自動操船機能、最確船位算出機能に加えて、各種気象、海象データを記憶させ、それを一括して CET に表示させる搜索時の援助機能及び航海日誌の記載事項をプリンタで記録させる航海用データログの機能も備えていて、更に高度の機能を有している。

図 1 に示してあるように、針路指令表示装置のカラー CRT（20 インチ）には、海図情報、自船位置、航跡、

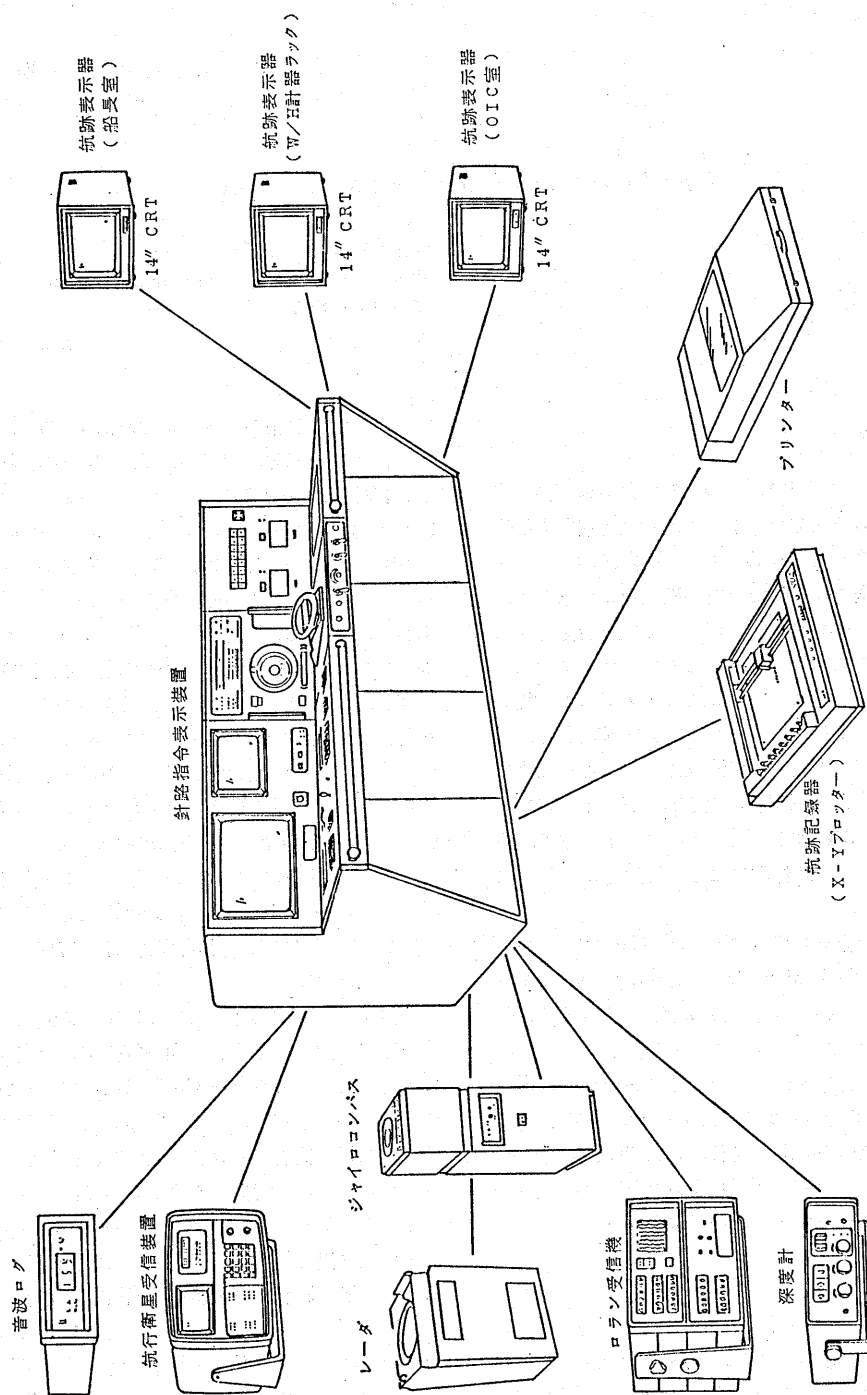


図 1 自動操船装置の構成

表1-A 日本における電子海図の普及状況（昭和60.2現在）

会社名	商品名	主な機能	価 格	用 途	普及台数
A 社	A-I	B	C	漁 船	B
	A-II	A	D	〃	A
B 社	B-I	A	D	〃	A
	B-II	B	D	〃	B
	B-III	B	D	〃	
	B-IV	C	B	商 船	C
C 社	C-I	A	D	漁 船	
	C-II	B	C	〃	
D 社	D	B	D	〃	A
E 社	E-I	D	A	特殊船	D
	E-II	C	B	〃	D
F 社	F	C	B	商 船	D
G 社	G	D	A	特殊船	D

注）主な機能の内訳は表1-Bに示し、価格、普及台数欄のA～Dの内容は以下のとおり。

価格 A：数千円～数億
B：1千万～数千万
C：百 万～数百万
D：百万前後

普及台数：A：5百台～
B：百台～5百台
C：百台以下
D： ～数台

表1-B 主な機能の内訳

機 能	接続機器 (測位装置 (ロラン、 デッカ等)	レーダ	コンパス 船速距離 計	自動操舵 装置	機 能 の 内 容
A 船位表示機能	○				自船の位置、航跡
B レーダ映像重畳表示機能	○	○			自船の位置、航跡、レーダ映像
C 衝突予防機能	○	○	○		自船の位置、航跡、他船の動静把握が容易
D 自動操舵機能	○	○	○	○	Cの機能のほか、外洋での自動操舵

予定航路、変針点及び目的地、強、中、弱を色分けしたレーダ映像、ジョイスティック操作によるイベントマーク等が図2の表示例のように色別表示される。

表示色は表2に示すとおりで、画像が重複した場合は、優先度（0が最優先し、以下1, 2...7の順）に応じてCRTに表示される。

また、針路指令表示装置のモノクロ CRT (12インチ)

表2 表示色

表示対象	表示色	優先度
地色	黒	7
経緯線	緑	6
海岸線	白	0
示険線（20m等深線）	赤	1
固定物標（航路標識、 著目標）	赤紫	3
自船の針路	赤紫	3
自船の航跡	黄（破線）	2
自船の位置	白	0
船首線	白	0
変針点	赤紫	3
目的地	赤紫	3
カーソル線	白（破線）	0
イベントマーク	赤紫	3

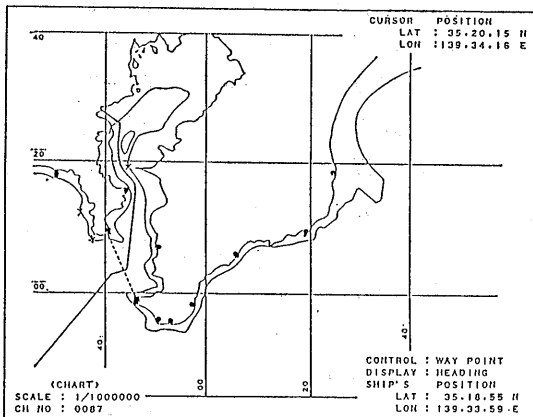


図2 表示例

には、自船位置、船速、船首方位、日付及び時刻、予定航路の変針点及び目的地、各変針点及び目的地までの航程、各変針点及び目的地の予想到着時刻、ジョイスティックで指示する位置及び各位置間の距離等が文字で表示される。

このシステムのCMTに収録するために入力した海図情報³⁾は、経緯線（計算式を入力）、海岸線（海図の海岸線とレーダ映像の海岸線をCRT上に重畳表示するため

表 3 CMT に入力した海図一覧表

アイテム	海図番号	図名	縮尺	刊行年月	改補年月
0101	10	津 軽 海 峡	1/25万	57-3	57-9
0102	17	内 浦 湾	1/15万	56-9	57-9
0103	1030	津軽海峡東口付近至襟裳岬	1/25万	35-9	57-9
0104	1032	襟裳岬至落石岬	1/25万	36-7	57-9
0105	42	国 後 島 及 近 海	1/30万	19-4	57-9
0106	1039	網走港至枝幸港	1/25万	45-2	57-9
0107	1040	宗 谷 海 峡	1/20万	55-11	57-9
0108	1045	利尻島至増毛港	1/20万	55-9	57-9
0109	28	増毛港至岩内港	1/20万	55-8	57-9
0110	11	積丹岬至松前港	1/25万	57-6	57-9
0201	L 310	隠岐諸島至朝鮮東岸南部	1/50万	46-6	57-9
0202	149	角 島 至 大 社 港	1/20万	53-4	57-9
0203	1172	大社港至鳥取港	1/20万	53-6	57-9
0204	139	鳥取港至三国港	1/20万	54-11	57-9
0205	1169	三国港至輪島港	1/20万	56-8	57-9
0206	120	能登半島及付近	1/20万	50-3	57-9
0207	1180	佐渡海峡及付近	1/20万	31-12	57-9
0208	145	新潟港至男鹿半島	1/25万	37-3	57-9
0209	1195	男鹿半島至函館港	1/25万	37-6	57-9
0301	53	宮古港至尻屋埼	1/25万	50-11	57-9
0302	54	石巻湾至宮古港	1/20万	31-4	57-9
0303	1098	塩屋埼至石巻湾	1/20万	52-8	57-9
0304	1097	犬吠埼至塩屋埼	1/20万	52-8	57-9
0305	87	東京湾至犬吠埼	1/20万	38-5	57-9
0306	80	野島埼至御前埼	1/20万	34-10	57-9
0307	51	伊 豆 諸 島	1/15万	46-6	57-9
0308	60	三宅島至八丈島	1/15万	55-2	57-9
0309	70	御前埼至伊勢湾	1/20万	42-3	57-9
0310	93	大王埼至潮岬	1/20万	43-9	57-9
0311	77	紀伊水道及付近	1/20万	45-11	57-9
0312	108	室戸岬至足摺岬	1/20万	47-5	57-9
0401	106	大阪湾至播磨灘	1/12.5万	53-2	57-9
0402	151	豊 後 水 道	1/12.5万	36-12	57-9

アイテム	海図番号	図名	縮尺	刊行年月	改補年月
0501	179	関門海峡至平戸瀬戸	1/20万	56- 2	57- 9
0502	213	平戸島至甕島列島	1/20万	56- 7	57- 9
0503	169	島原湾	1/10万	47- 5	57- 9
0504	206	天草諸島及八代海	1/10万	6- 7	57- 9
0505	1222	大隅海峡西部及付近	1/20万	6- 5	57- 9
0506	1221	大隅海峡東部及付近	1/20万	47- 6	57- 9
0507	1220	足摺岬至折生迫	1/20万	47- 6	57- 9
0508	196	関門海峡至釜山港	1/25万	55- 8	57- 9
0509	187	九州北西部	1/30万	57- 7	57- 9
0510	1208	大瀬崎至済州島	1/30万	58- 1	58- 1
0511	211	男女群島至草垣島	1/20万	54-10	57- 9
0512	437	東シナ海北東部	1/50万	57- 2	57- 9
0601	182-A	鹿児島湾至奄美大島	1/50万	6- 8	57- 9
0602	182-B	奄美大島至沖縄島	1/50万	6- 8	57- 9
0603	225	奄美大島	1/11.25万	6- 6	57- 9
0604	226	沖縄群島	1/20万	57- 9	57- 9
0605	1203	沖縄島至台湾	1/78.5万	53- 2	57- 9
0606	1204	宮古島至西表島	1/20万	54- 5	57- 9
0607	1207	西表島至蘇澳湾	1/20万	53- 2	57- 9
0701	81	大島至鳥島	1/50万	47- 7	57- 9
0702	83	鳥島至母島列島	1/50万	53- 1	57- 9
0703	2130	父島至マウグ島	1/75万	53- 2	57- 9
0704	1210	(大東諸島) 沖大東島	— — —	53- 5	57- 9
0705	48	南方諸島	1/250万	55- 2	57- 9
0706	1004-A	日本西部	1/350万	53- 8	57- 9
0801	302	朝鮮南岸及付近	1/50万	11- 5	57- 9
0802	304	朝鮮南岸東部及対馬	1/25万	10- 8	57- 9
0803	305	釜山港至竹辺湾	1/25万	9- 5	57- 9

海図の特徴ある地形については特に注意してデジタル化して入力), 示険線 (海図の 20m 等深線を入力), 航路標識 (灯台表及び海図から入力), 海上交通安全法適用境界 (海上交通安全法施行令から入力) である。

海図情報は, 日本沿岸を均一な性格を持った図でカバーし, 最新維持作業がほとんど不必要のように縮尺 1/20 万シリーズ (1/15 万~1/30 万) の海図を中心に 1/10 万~350 万の表 3 及び図 3 に示してある 61 図を選択して入力した。

2. 外国の現況

2-1 米 国

米国では数社が製作しており, 普及台数は日本よりはるかに少ないが, 高価な高性能のものが多く。代表的なシステムとして米国沿岸警備隊 (USCG: U.S. Coast Guard) の巡視船に搭載している COMDAC システム (Command, Display and Control System)⁴⁾ の例を述べる。

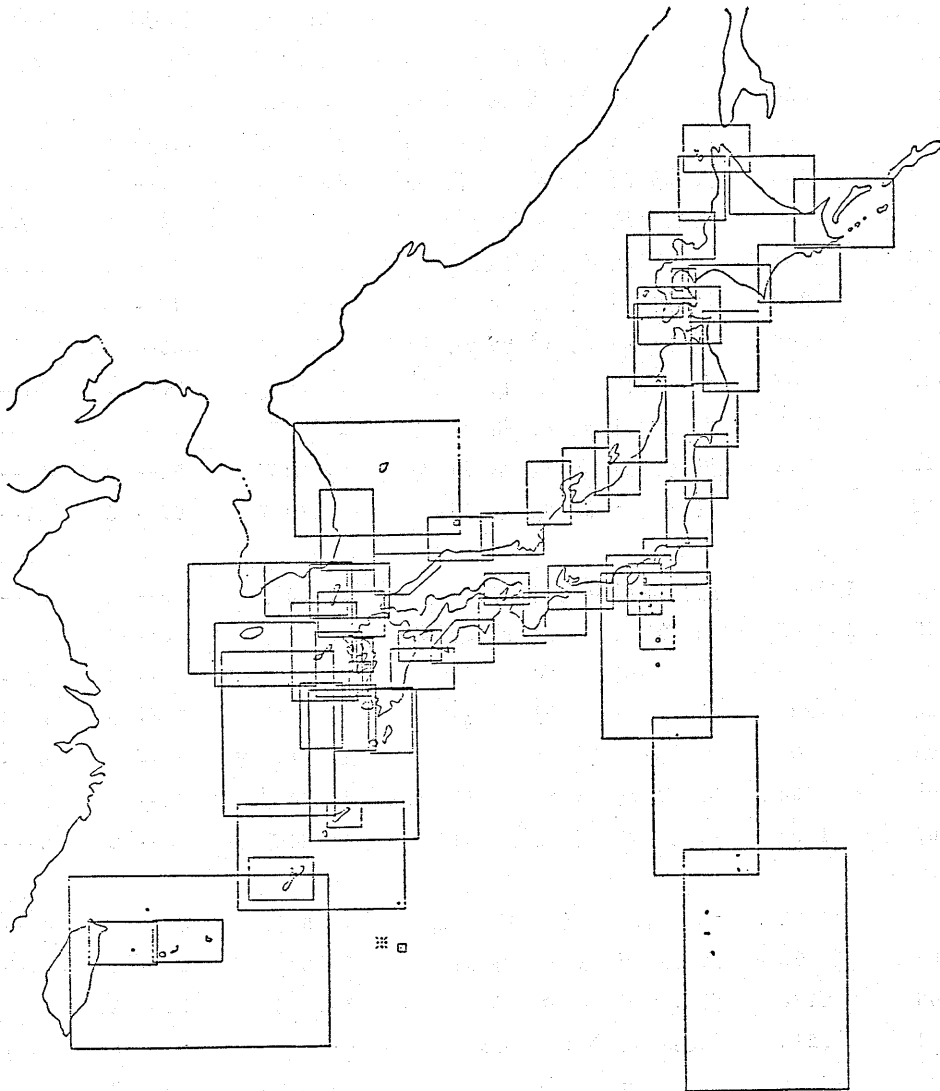


図 3 CMT に入力した海図索引図

このシステムは米国沿岸警備隊の巡視船 (80 メートルクラス) に搭載されているもので、海図情報及びレーダ映像を CRT に重量表示し航海に使用するほか、衝突予防や軍事的機能も合わせて備えている。

図 4 の船橋制御装置に示してあるように、海図情報は海岸線、示険線、航路標識等がノースアップまたはコースアップ (選択可能) で CRT に表示されるとともにレーダ映像及び他船の航跡も同一画面上に表示される。自船の位置は常に CRT の中央に表示され、レーダ映像の海岸線とデジタル表示による海岸線が常に一致するようにデジタル表示による海岸線が移動する機構になっている。

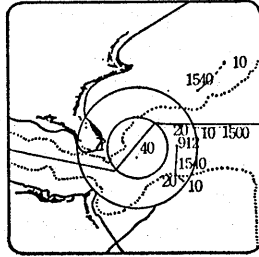
航海情報はロラン受信機、衛星航法装置、オメガ受信

機等の電波測位のほか、船橋上にある潜望鏡式の TV カメラを使用したベアリング測定値がオンラインで電算機に接続され高精度の船位測定も可能になっている。

また、文字表示の CRT には自船位置、予定航路、船速、他船との衝突回避のデータ (標的船の番号、方位、距離、船速、コース、最接近のデータ) 等が表示される。

このほか海軍用のシステムは HICANS (Hydrofoil Collision Avoidance and Tracking System) と呼ばれ 40 ノットの高速水中翼艇用に開発されたものである。この場合も一般的な航行、衝突予防機能よりも軍事機能に重点を置いたシステムになっており、同時に 45 の目標を追跡し、それらの予測針路を電算機で計算し CRT 上に

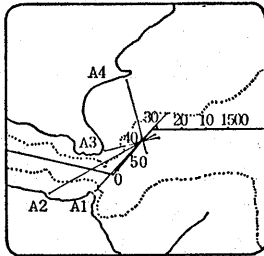
水路情報、航行情報、レーダ映像表示



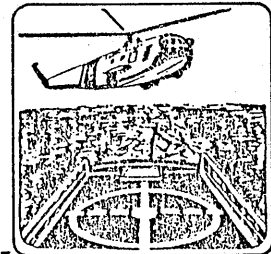
文字表示

ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									
ST 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00									

航行情報表示



T V ビデオ表示



船橋制御装置

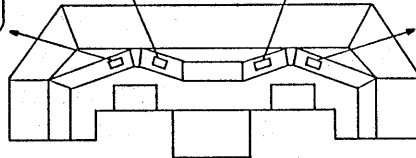


図 4 船橋制御装置

表示することが可能になっている。

2-2 カナダ

カナダでは日本製の漁船用の簡易なシステムが普及しているようであり、カナダ水路部の観測船もこの種システムを実験目的のため搭載している。

このほか、北極海の石油、天然ガス探査船が特注の電子海図システムを搭載していることやカナダのメーカーが狭水道、幅そう海域を航行するフェリー用のシステムを開発中である。

2-3 ヨーロッパ

ヨーロッパについては明らかではないが、日本製の漁船用の簡易なシステムが若干出回っているようであり、英国のメーカーも漁船用システムの開発に着手したとの報告がある。

3. 各国の対応

3-1 日 本

水路部では2-1項で述べたように改ヘリコプター搭載型巡視船の自動操船装置の製作に際して、収録海図の選択、海図情報デジタル化基準の作成、読み取り指示原稿の作成、収録海図情報の照合、チェック等を実施した。そして電子海図に対する水路部の役割等について検討を重ね、以下の考え方で対応しようとしている。

現在使用されている電子海図は航海の安全確保上海図に代るものではなく、現行海図を補助するものとして位置付けしており、国際的にも同様な認識が一般的である。しかし、将来的にはかなり発展、普及する可能性が大きいという認識に立ち、健全な発展を図るため、全く民間任せということではなく一定の範囲において国（水路部）が関与することが必要である。具体的にはまず電子海図に必要なデジタル海図情報のマスターファイルは水路部が整備し、製造者は一定の手続きを経て自社システム用に修正、加工した後ユーザーに頒布することになる。

水路部は以上のようなフローでデジタル海図情報の提供を行うための諸準備を進めている。

3-2 米 国

米国では電子海図に関するワークショップを開催するなど水路部（DMA, NOS の2機関）も電子海図に注目している。

しかし、米国の法律では国の成果物には著作権は設定されないことになっており、電子海図に必要なデジタル海図情報の作成は全く民間任せのようである。しかし、米国の場合、海図作成の自動化が非常に進んでおり、このためのデータベースはすでに構築されている。

また、海図情報の最新維持の有力な手段になる自動水

路通報システム (ANMS: Automated Notice to Mariners System) の運用を開始しており、電算機を用いて水路通報を作成し、船上から海事衛星経由でそのデータベースにアクセスすることが可能となり、電子海図に対しても対応が迅速にできる。

3-3 カナダ

世界の水路部でも最も早くからこの問題に取り組んでおり、数回のワークショップの開催、大学の専門家への将来予測に関する委託研究、民間の製造者へのハードに関する問題の委託研究等を行っている。

カナダの場合も米国と同様、海図情報のデジタル化は相当進んでおり、情報の提供は比較的容易に対応することができる。

3-4 ヨーロッパ

システムの製作、普及はヨーロッパではまだ進んでいないが、幾つかの水路部では最近取り組みを始めている。

3-5 国際機関

これまでの電子海図に対する国際機関の対応は以上のとおりである。

世界の 52 か国水路部で加盟している国際水路機関 (IHO: International Hydrographic Organization) の第 12 回国際水路会議 (1982 年) において海図標準化委員会の中の小委員会として「未来海図デザイン検討小委員会」の設立が決議され、討議事項の一つに電子海図がとりあげられ作業が進められている。

同じ第 12 回会議で設立された委員会に「デジタルデータ交換に関する委員会」があり、各国の水路関連データの交換を容易にするための方策を検討中である。

さらに IHO は最近の電子海図の普及から、この種システムやその使用法について行政府が関与できる範囲及び責任の所在に関する法的位置づけの検討を昭和 60 年 2 月に国際海事機関 (IMO: International Maritime Organization) の海上安全委員会 (MSC) に依頼した。

この要請に対し IMO は昭和 60 年 7 年月にロンドンで開催された第 31 回の航行安全小委員会 (NAV) で現行の電子海図は海図に代るものとは認められないが、昭和 61 年 3 月の第 32 回 NAV の議題の一つとして電子海図に関する問題をとりあげ、引続いて検討することに決定した。この結果、各国は電子海図に関する諸問題の提出が要請されている。

4. 今後の問題点

4-1 海図情報の最新維持

海上保安庁の改ヘリコプター搭載型巡視船に搭載してある ANCDs の海図情報は元の海図の縮尺 1/20、シリ

ーズから収録してあり、改録項目も海岸線、20 m 等深線、主要な航跡標識に限定されており、海図情報の最新維持の必要は殆んどない。

しかし、将来測位手法やドット方式による CRT 方式の代りの例へはプラズマディスプレイ等が開発されれば、内海、内湾域、狭水道等の海図情報が使用されると大縮尺の海図から浮標等の変化しやすい情報の収録も必要となり、航海の補助手段といえども海図情報の最新維持は避けられない。

電子海図の場合も、水路通報、無線電信、衛星通信等により最新情報を提供し、航海者の責任で最新維持を行う方法が考えられる。また海図の縮尺に応じて改版周期を変え、情報の全面的交換をする方法も考えられる。

4.2 記号、表示、データフォーマットの標準化

現在、色々のシステムに用いられている海図情報の記号や色表示はまちまちであり、またデータフォーマットも一定でなく、各システム間の互換性はない。これらの標準化は海図の海図図式に相当するもので国内的にも国際的にも標準化されるのが望ましい。

収録データフォーマットの不統一は各国水路部間でデジタルデータの交換を行う場合や水路部が製造者に情報を提供する場合不都合が生じる。

以上の観点から、IHO が中心となって検討する必要がある。

5. あとがき

第 3 項で述べた電子海図の位置付けを前提とした、現段階での水路部の対応は次のとおりである。

1. 海図情報ファイルの整備

水路部は我が国の海図情報の整備及び提供機関であるので、今後とも情報の一層の整備を推進することとし、1/100 万、1/20 万及び 1/5 万シリーズの海図情報のファイル化を進めており、必要に応じて提供することになっている。

2. 最新維持

水路部では海図情報のファイルの補正を随時行っている。また、製造者に提供するファイルについては一年毎に更新を行うこととしている。

3. 関係社会の適用

海図情報を利用する製造者等に対し、水路業務法を適用して、安全を確認する。営利を目的として利用する場合は国有財産法を適用する。

4. 提供しない情報

最新維持や装置の表示精度の問題から、これらの問題が解決するまで、港泊図 (港湾、泊地、錨地及び水道のような小区域において用いるもので、航

行，錨泊及び係留に必要な諸施設などが詳細に示してある。）等，水路書誌（水路誌，潮汐表，灯台表等）及び文字情報（地名，港湾施設名等）の情報は，当面，提供を見合わせる。

以上電子海図の現況の概要を述べたが，現用の電子海図は，海図よりも多くのプロセスを経て画像化されるため，海図とは比較にならない程の誤差を含んだものとして CRT に表示される。従って，使用者に対して，電子海図の精度及び信頼性の限界について注意を喚起する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 岩佐欽司ほか：画像航海情報システムについて，1984，水路要報 第104号，1～10 ページ
- 2) 海上保安庁船舶技術部：1983. 自動操船装置，1983. 開発技報 第9号，77～81 ページ
- 3) 上田秀敏ほか：自動操船装置の海図情報，1984. 水路部技報 第2号，96～107 ページ
- 4) LCDR, J. W. Hall and LT (ig) M. D. Anderson: The U.S. Coast Guard Multi-Mission Cutter; command, Display and Control (COMDAC), 1979. Combat System Symposium

艦船用アンテナについて

海洋電子工業株式会社

高 橋 恵

An Overview on the Naval Shipboard Antennas

Kaiyo Denshi Kogyo K.K.

Megumi TAKAHASHI

1. ま え が き

一般に船舶用アンテナは、その装備場所の特殊性から地上用のアンテナとは違った配慮が求められる。特に軍用船舶である艦船はその任務上一般船舶に比して多種多様の電子装備を有しており、従ってアンテナも各種装備され、大型空母にあっては130本ものアンテナが装備されているといわれる。一方砲銃、ミサイル、航空機等の装備との関係から装備場所は厳しく制限され、また艦船の上部構造物の影響による反射、散乱、再輻射などが生じ、放射パターンの乱れや相互干渉などの問題が発生する。このような悪条件を克服して通信情報の手段が確保されない限り、現代の艦船はその性能を充分に発揮することができない。このような艦船用アンテナにはどのようなものがあるか、公刊の資料による限り海上自衛隊を含めて列国海軍の艦船用アンテナは大同小異であるので、主として米国海軍に例をとり通信用アンテナを中心として紹介したい。

2. 艦船における電波利用の歴史的背景

1864年イギリスの物理学者 Maxwell が電磁界方程式を提唱したが、彼の没後 1888 年にドイツの物理学者 Hertz が電磁波の存在を実証しその理論の正しい事を確認した。その後 1895 年に至ってイタリアの Marconi は、この電磁波を利用して無線通信の実験に成功した。彼は 1897 年には船舶局と海岸局の間で、1899 年には英仏海峡を超えて英国海軍の軍艦 Alexandria, Europa 及び Juno によって 75 哩に及ぶ交信を行った。米国海岸では、1899 年 11 月最初の公式通信が軍艦 New York から New Jersey 州の Navesink にある海軍海岸局あてに行われ、1902 年の暮には米国製と 4 種類のヨーロッパ製の無線通信装置の評価試験を行っている。

一方我が国では 1897 年頃日露の風雲急を告げるに及

んで、海軍当局は Marconi の無線通信機を購入しようとしたが、その価格が余りにも高いので国内で独力で開発することに決し、当時私費を投じて研究をしていた第 2 高等学校木村教授を海軍技師として招聘し、無線通信機の開発を行った。その結果が 1903 年に完成した「三六式無線電信機」であり、同年暮から軍艦に装備を開始した。翌 1904 年 2 月初旬から日露戦争が始まり、この無線機が哨戒中の信濃丸の「敵艦見ゆ」の電信や旗艦三笠の「敵艦見ゆとの警報に接し……」という有名な電報によって始まる日本海海戦における日本側大勝の鍵となったのである。その後兩次の大戦を経て列国海軍における無線通信の発達には目覚ましいものがあり、現代においては単に通信のみならず、搜索、探知、追尾あるいは評価の各分野に電子技術の応用は限りなく拡がりつつある。

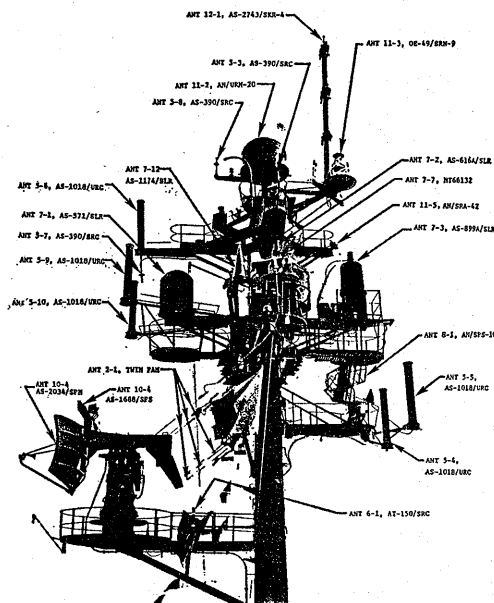


図 1 代表的艦船のマスト上のアンテナ装備状況

3. 艦船におけるアンテナ装備について

現代の艦船のアンテナ装備状況の一例を示すと図1のとおりであり、また艦船装備の無線装置とそのアンテナ

表 1 搭載無線装置の一例

名 称	種 類	数 量
テレタイプ送受信機	1	1
テレタイプ受信機	2	2
MF/HF 送信機	1	1
HF 送信機	1	2
UHF 送信機	1	6
LF/MF 受信機	1	1
MF/HF 受信機	2	7
HF 受信機	1	1
UHF 受信機	1	7
HF 無線機	3	4
VHF 無線機	3	3
UHF 無線機	1	3
データリンク受信機	1	1
オメガ	1	1
タカン	1	1
IFF	1	1
ESM	2	2
FCS	3	4
レーダ	2	2

表 2 搭載アンテナの一例

名 称	種 類	数 量
展張空中線		4
応急展張空中線		1
ファンアンテナ (4条)		1
HF ホイップアンテナ	4	7
起倒式ホイップアンテナ		2
短縮型ホイップアンテナ		1
VHF ホイップアンテナ		1
VHF ダブルレットアンテナ	2	2
UHF ダブルレットアンテナ	2	3
VHF ダイポールアンテナ		1
広帯域アンテナ		1
データリンク用アンテナ	2	2
タカン用アンテナ		1
IFF 用アンテナ		4
ESM 用アンテナ	10	10
FCS 用アンテナ	3	4
レーダ用アンテナ	2	2
NNSS 用アンテナ		1
FM 用アンテナ		1
TV 用アンテナ		2

の一例を表1及び表2に示してある。

4. 通信用アンテナ

LF/MF/HF 通信用アンテナ

もともと遠距離通信には低い周波数が用いられたので、最初は艦船用アンテナには展張アンテナが使用されていた。1920年代の初めには、フラットトップ形、T形、逆L型及び傾斜形展張が通常使用された。

(1) 線条アンテナ

1951年に傾斜ファン形アンテナが提案された。これはアンテナの数を減らすために1本のアンテナで1台以上の送信機を運用するものである。このアンテナはHF帯の下部で用いるために標準化されており、低いバンド(2~6 MHz)で、稀には幅バンド(4~12 MHz)で作動する。主として送信機用であるが、送受信機用としても相当使用される。無指向性で、整合回路を用いてアンテナ入力端子において周波数範囲 2~6 MHz, 4~12 MHz 及び 10~13 MHz に対して VSWR が 3:1 以下である。最も一般的なのは 2~6 MHz 帯の3条ツインファンアンテナ(図2)である。

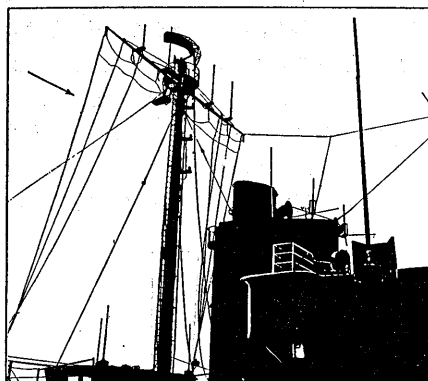


図 2 3条ツインファン形アンテナ

1981年に開発されたアンテナグループ OE-367(V)/SRC は、ミサイル巡洋艦 CG-47 級に搭載するための HF 広帯域軽量通信アンテナ (LWCA=Light Weight Broadband Communications Fan Antenna) である(図3)。その性能は周波数範囲が 2~6 MHz (送信), 2~12 MHz (受信) であり、整合状態で 2~6 MHz での VSWR は 3:1, 許容電力 4 kW, 垂直偏波である。

(2) HF モノポールアンテナ

最も単純で総ての艦船に使用されている通信用アンテナはモノポールアンテナであり、普通「ホイップ」アンテナと呼ばれている。最も多く用いられるのは 35 フィートのアルミニウム又はファイバーグラス製アンテナであるが、モノポールアンテナは帯域がせまく 5 MHz 以

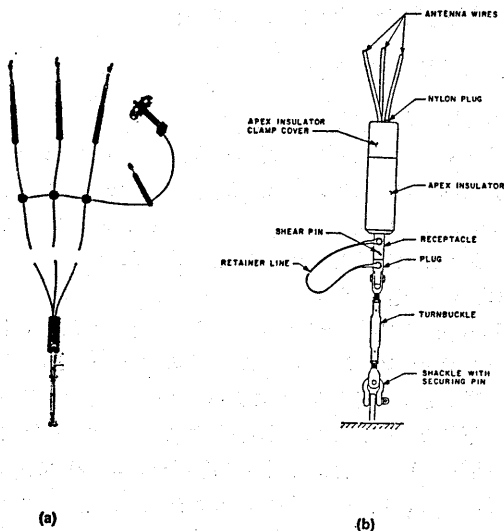


図 3 (a) New Lightweight Fan Antenna 構成図;
(b) LWCA Apex Insulator/Shear Pin 詳細

下では電気長が短かすぎて効率的でない。又同調形のモノポールの場合、最大の欠点は装備上相互干渉を避けるために 40 フィート他のアンテナ等から離隔することが要求されることである。その他それ程一般的ではないが、自動同調形ヘリカルアンテナ及び高周波同調器付きの 5 フィートの短いホイップアンテナがある。

図 4 に示す 35 フィートホイップアンテナの性能は表 3 のとおりである。なお、最近アルミニウムの代りにファイバーグラスを用いたホイップアンテナが使用されつ

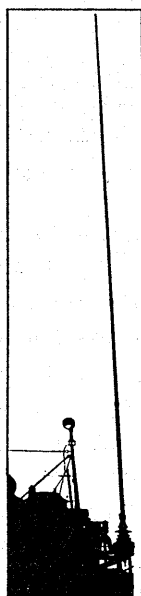


図 4 NT-66047 35 フィートアルミニウム
ホイップアンテナ

表 3 NT-66047 アンテナ

型式/用途	35 フィートアルミニウムホイップアンテナ - LF/MF/HF 送受信標準艦船用ホイップアンテナ
周波数範囲	- 受信 14 kHz~32 MHz - 送信 2~32 MHz
	(アンテナ結合器又は整合回路網使用)
入力インピーダンス/VSWR	50 オームシステムの受信の場合、VSWR は 2 MHz において 2,000 : 1、アンテナの 1/4 波長付近では 1 : 1 - 送信の場合、同調器を用いて VSWR は 3 : 1 以下
偏波	垂直
その他	他のアンテナから 35 フィート離して装備する。

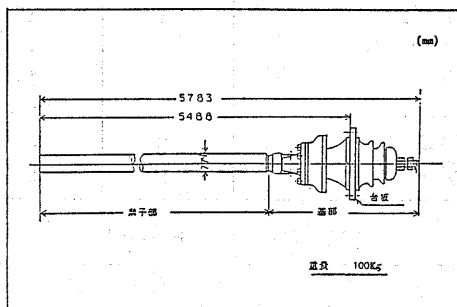


図 5 N-AT-201 短縮型ホイップ空中線

つある。

ホイップアンテナ基部に同調器のついた同調形ホイップは長さ 60 インチ、周波数範囲 2~8 MHz の受信用のみに用いられる。なお図 5 に示すアンテナは素子の外側にフェライトコアを装荷して、素子長の短縮化を図った MF/HF 帯の受信専用ホイップアンテナであり、短縮率は約 1/2 である。周波数範囲は 2~24 MHz、共振周波数 7.5 ± 1 MHz、6.5~24 MHz における VSWR は 25 : 1 以下、共振長における VSWR は 2.5 : 1 以下であり、室中線整合器を用いると 6.5~24 MHz での VSWR は約 10 : 1 以下になる。

(3) 広帯域 HF モノポールアンテナ

1959 年に米国海軍研究所が開発したコニカルモノポール HF 広帯域アンテナは、4 条の線状放射素子からなり 5 : 1 の周波数範囲で VSWR が 3 : 1 以下であり、広帯域アンテナとして艦船に装備された最初のものである。アンテナの有効直径を物理的に太くすることによ

て広帯域化が達成されることが理論的にも実験的にも実証されたので、トラステッドモノポール、ディスコン及びディスクージモノポールアンテナ等が 3:1 の周波数範囲にわたって VSWR 3:1 以下で設計された。

1974 年に San Diego の海軍電子研究所の研究した 35 フィート 3 条オープンティップトラストモノポールは、2~30 MHz の送信用として、15 フィートの 4 条オープンティップトラストモノポールは 10~30 MHz の受信用の標準アンテナとして使用されるようになった (図 6, 図 7)。

モノポールアンテナの有効直径を増して広帯域化を図る代りに、35 フィートホイップを 2 本 1 対として良好な広帯域性を持たせたものがツインホイップアンテナである (図 8)。

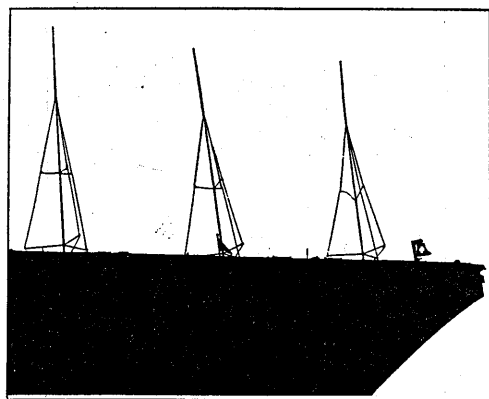


図 6 35-Foot 3-Wire Open-tip Trussed Whips

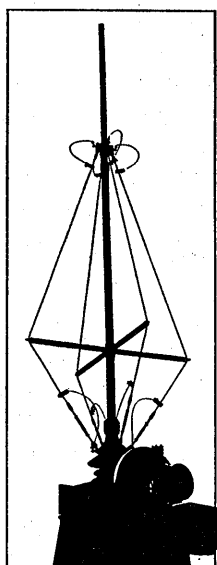


図 7 4-Wire Open-tip Trussed Whip

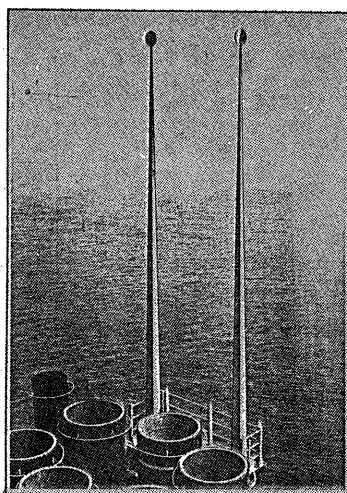


図 8 35-Foot Twin Aluminum (AS-2807) Whip

(4) コニカル HF アンテナ

艦船用として過去 25 年にわたってコニカル形広帯域アンテナが中及び高領域 HF 通信に使用されてきた。現在この形のアンテナで使用されているのは、ディスコン、ディスクージ及び逆円錐形の 3 種類である。

1957 年海軍技術研究所はコニカルモノポールと名付けた太くて短かい広帯域無指向性 HF アンテナを海岸局用として開発したが、これは急速に世界中の軍用通信用アンテナとして普及した。間もなく米海軍はこのアンテナの頂部にディスクを加えたものを艦船に搭載した。

これはディスコン形とケージ形アンテナを組合わせたものであって、2つのアンテナが1つのアンテナとして作動する——Discone/Cage 更に簡略化して Discage——

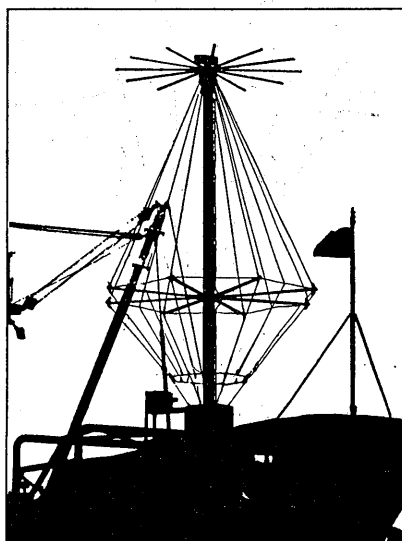


図 9 AS-2802 HF ディスクージアンテナ

アンテナである。上部のコーン，すなわち頂部ディスクから中央部までは 10~30 MHz のディコンアンテナで高領域用，頂部から下部までの全体が中領域 4~12 MHz のコニカルモノポールケージアンテナとなっている（図 9）。

ディコンアンテナは，双円錐ダイポールアンテナの半分をディスクによって置き代えたものであり，HF ではこのアンテナは極めて大形となるので 10~30 MHz 帯の高出力送信用（平均出力 10 kW 用）として使用される。

残る一つの逆円錐形アンテナは，もともと砲塔上部に装備するように設計されており，受信専用であり，高さ 74 インチ，最大直径 120 インチ，基部直径 $26\frac{3}{4}$ インチ，VSWR は 5 インチ砲塔上に装備された場合 5:1 以下である（図 11）。

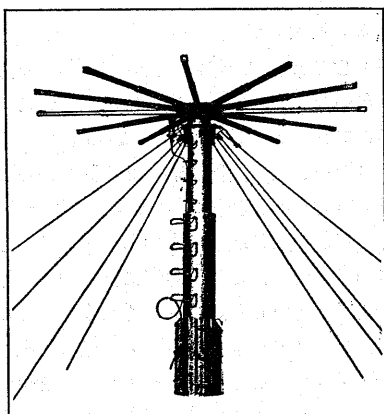


図 10 AS-2865/SRC HF ディスクコンアンテナ

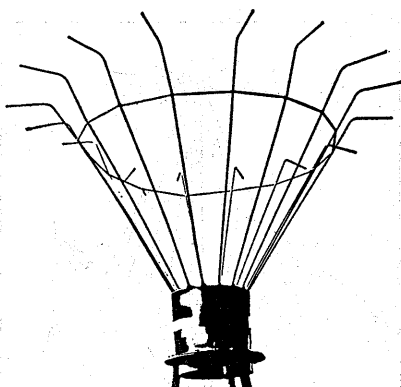


図 11 AS-2866 HF 逆円錐形アンテナ

(5) 特殊 LF/MF/HF 艦船用通信アンテナ

前述の形式のアンテナは広く艦船用として使用されているものであるが，この他に特別な用途のために使用されているものに，小形化アンテナ，HF ループアンテナ，

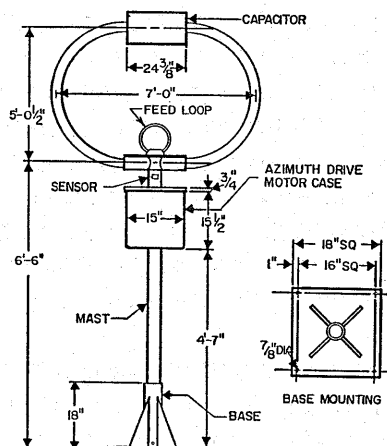


図 12 ミニループアンテナ

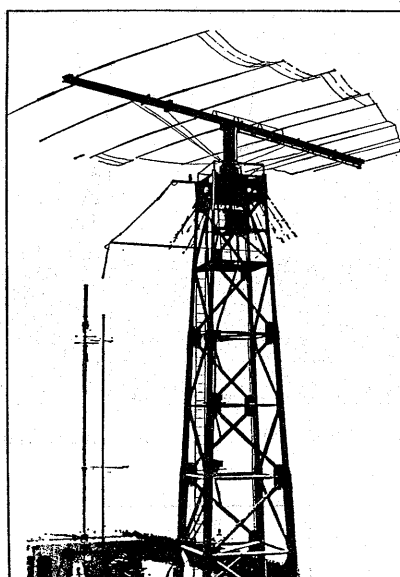


図 13 回転式対数周期形アンテナ

対数周期形アンテナ等がある。図 12 のミニループアンテナは，HF 送信用であり特に高雑音環境下で使用される。これはその高選択性と指向性のためである。周波数範囲 2.25~16.5 MHz のものと 1.8~14.5 MHz のものがあり，許容電力は 1 kW，VSWR は 2:1 以下である。ミニループ以外は無指向性ですが垂直偏波用アンテナであるが，対数周期アンテナのみが水平偏波，指向性アンテナである（図 13）。回転式対数周期形アンテナは，海上自衛隊では砕水艦「しらせ」に装備されている。

4.2 VHF 通信用アンテナ

1930 年代になって，艦対沿岸の上陸作戦用，艦対空の航空作戦用，艦対艦の戦術運動・船団護衛用及び空対空の指揮管制用通信として VHF が使用されるようにな

ったが、第2次大戦後 TV, FM ラジオ, 民間航空の ATC 等に使われたため、軍用としては UHF 帯の下部 (225~400 MHz) に移行した。しかしながら現在でも僅かではあるが 30~156 MHz の VHF 帯は両用戦と陸上車両通信に使用されており、艦船用アンテナとしては大部分が 10 フィートファイバーグラスホイップアンテナと数種類のダイポールアンテナがある。ダイポールアンテナには、固定半波長アンテナ、広帯域無指向性双円錐形ダイポール等がある。周波数範囲は、30~76 MHz, 30~100 MHz, 115~152 MHz, 90~500 MHz, VSWR は 3:1 前後のものが多い。図 14 に示す広帯域無指向性双円錐形ダイポールは、周波数範囲 30~76 MHz, VSWR 3:1 以下、高さ 156 インチ、直径 48 インチ重

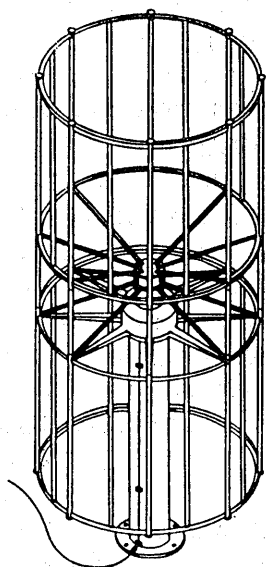


図 14 AS-2231 VHF 双円錐形ダイポール

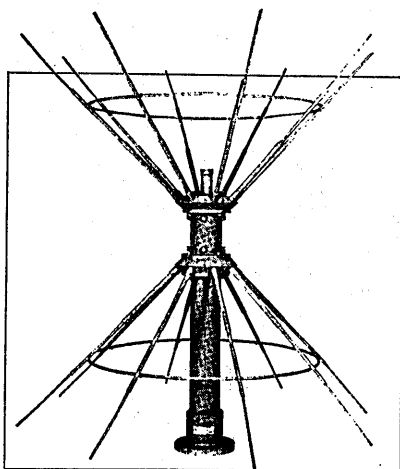


図 15 AS-2811 Dual Band VHF/UHF Vertical Dipole

量 409 ポンドである。

図 15 に示すアンテナは、周波数範囲 90~500 MHz であり、VHF の殆んど全バンドと UHF の下の方までをカバーし、VSWR は 2.5:1 以下、許容電力は 250 W である。なおその他ディスクエッジ及び対数周期形アンテナも特別な用途のために使用される。

4.3 UHF 通信用アンテナ

225~400 MHz 帯は軍用通信においては UHF 帯として知られており、西側諸国の戦術通信に広く使用されている。UHF 通信はアンテナにとっては、波長が短かいために小形化単純化が可能であり、更に良いことには整備場所を見付けることが容易であるという利点がある。

ほとんどの UHF 見通し内通信用アンテナはダイポールアンテナの変形であって、特殊なものとしてはディスクエッジ、コニカルスパイラル、対数周期アレイ等も使用されている。

(1) UHF ダイポールアンテナ

最も単純な形で 40 年間も使い続けられているのは図

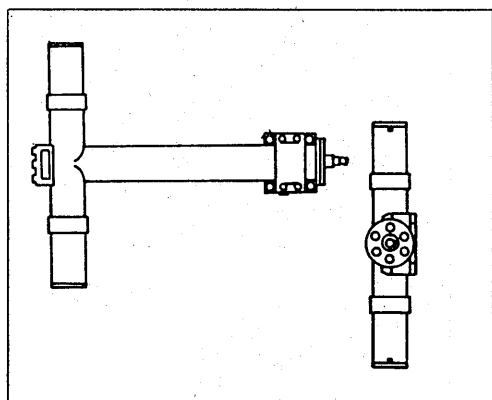


図 16 Antenna At-150/SRC

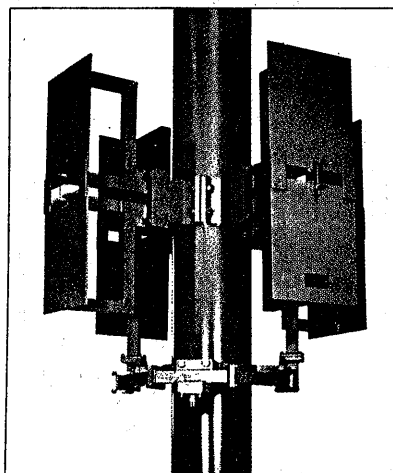


図 17 AS-1735 UHF Antenna

16 のダイポールアンテナである。このアンテナは、広帯域同軸ダイポールアンテナであって、220~400 MHz の送受信用に使用される。垂直素子とバルン (balun) で構成されており、VSWR は 2:1 以下で垂直偏波、許容電力 200 W である。図 17 のアンテナは 4 個の広帯域放射ダイポール素子を中央マストの周囲に等間隔で取付け、各アンテナは同相で給電されている。周波数範囲は 225~400 MHz、垂直偏波、許容電力は 1 kW である。

(2) 特殊 UHF アンテナ

図 18 に示すアンテナは、不平衡広帯域同軸スタブ付で送受信の両方に使用される。このアンテナは放射素子と 8 素子の接地面 (又はカウンタポイズ) から構成され、放射素子の下部にスタブがあってアンテナ入力インピーダンスの調整をしている。周波数範囲は 220~400 MHz、

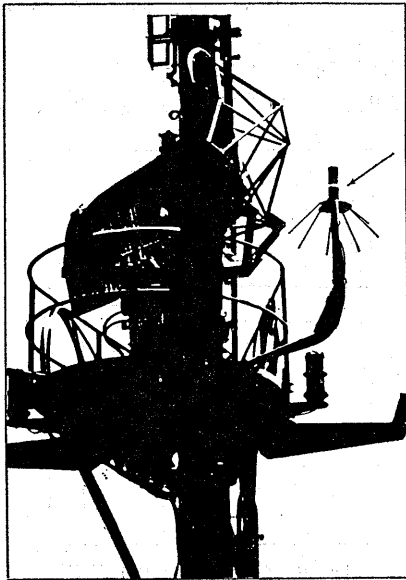


図 18 AS-390 Vertical Stub UHF Antenna

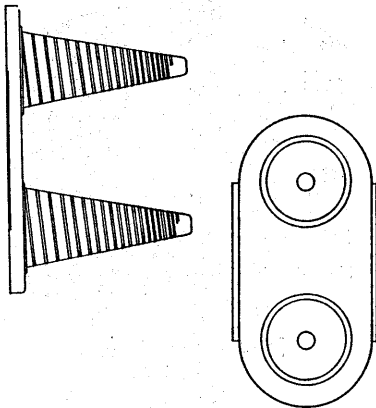


図 19 Phasor-90 UHF Dual Antenna AS-1496 and AS-1497

VSWR は 2:1 以下で許容電力は 200 W である。

図 19 のアンテナは Phasor-90 UHF システムと組合わせて使用され、300 MHz で 1 波長の間隔で 2 個の円偏波コニカルスパイラルアンテナが取付けられている。それぞれ右旋と左旋のスパイラルでバルンを介して給電され、公称インピーダンスは 100 Ω 、並列接続で使用されることによって 50 Ω 伝送線路に接続される。

主として空母の対空通信用として使用され通常はそれぞれ 2 個づつのスパイラル 2 面と電力分配器で全システムが構成されている。

4.4 衛星通信用アンテナ

1963 年米海軍船舶の Kingsport が世界最初の実際の衛星経由で音声通信を行った船となった。それ以来衛星通信は急速な進歩をとげ、艦隊衛星通信システム (FLT-SATCOM) が HF 通信にとって代りつつあり、現在艦船用 SATCOM システムには AN/WSC-3 UHF システムと AN/WSC-6 SHF システムの 2 つがある。

(1) UHF 衛星通信アンテナ

現在のところ UHF SATCOM 通信用アンテナには 3 種類あって、最初の 2 つは何れも交叉ダイポールアレイであるが、最新のものは「ドラム缶」又は「洗濯桶」と呼ばれている。図 20 は交叉ダイポールアレイであり、高さ 50 インチ、幅 50 インチ、奥行 27 $\frac{1}{2}$ インチ、重量 325 ポンドであり、周波数範囲は 240~318 MHz で VSWR は 240~290 MHz に対して 1.5:1 以下、290~350 MHz に対しては 1.2:1 以下、許容電力は CW 150 W、PEP 250 W で右旋円偏波、利得は 12 dB 以上である。

図 21 は「ドラム缶」と呼ばれるもので、直径 54 インチ、深さ 33 $\frac{1}{2}$ インチ、重量 294 ポンド、周波数範囲

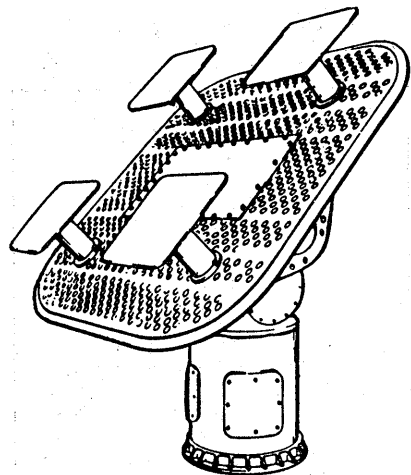


図 20 AS-3018/WSC-1 (V) UHF SATCOM アンテナ

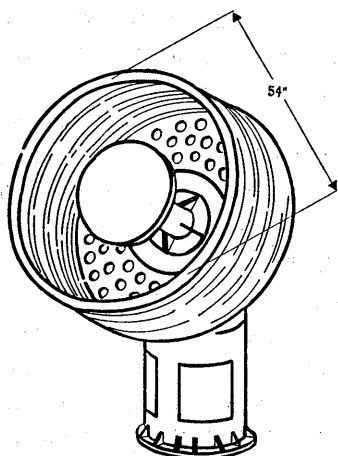


図 21 AS-3018A/WSC-1(V) UHF SATCOM アンテナ

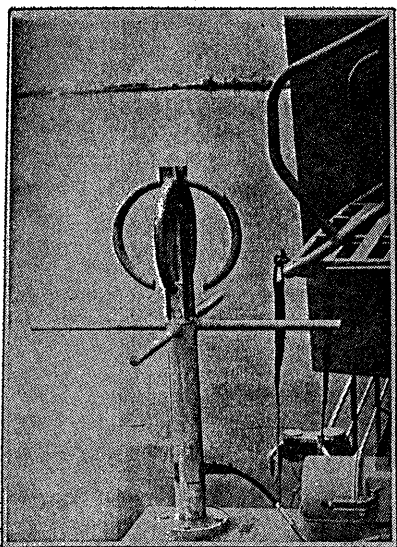


図 22 AS-2815/SSR-1 UHF SATCOM 受信用アンテナ

は 240~318 MHz, VSWR は 240~290 MHz で 1.5:1 以下, 290~312 MHz で 1.2:1 以下, 許容電力は CW 400 W, PEP 800 W で右旋円偏波, 利得は 12 dB である。

この他に受信用としては図 22 に示すアンテナがあるが, これは 2 個のループと 2 個の直交するダイポールで構成され, 周波数範囲は 248~255 MHz, VSWR は 1.5:1 以下である。

(2) SHF 衛星通信用アンテナ

旗艦のように通信量が多い場合, SHF 衛星通信がほとんど全世界をカバーし, 妨害に強い高容量データ通信, テレタイプ通信及び音声通信が DSCS 衛星を通して行

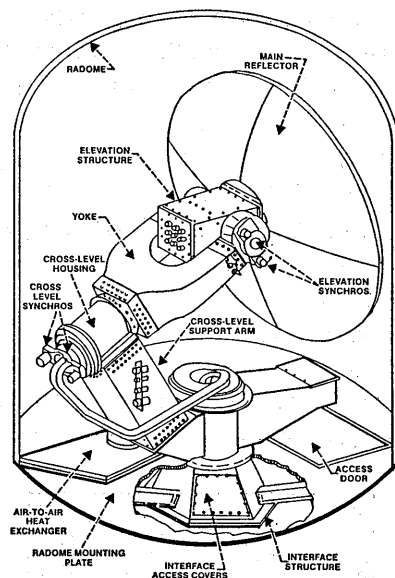


図 23 AN/WSC-6 SHF SATCOM アンテナ

れている。これに使用されるアンテナは大きな 4 フィートの直径の高利得パラボラアンテナであるが, その大きさのために通常大型艦にのみ装備される。周波数範囲は 7.25~8.4 GHz, 利得は公称 37 dB, VSWR は 1.3:1 以下, 許容電力は 6 kW, 送信は右旋円偏波, 受信は左旋円偏波である (図 23)。

5. 航法用アンテナ

電波の利用は通信に次いで航法の分野に及んだがその第 1 は方向探知であった。このアンテナには通常ループアンテナが使用されたが, 電子技術の急速な発展は中波ループ方探に LORAN, OMEGA, TACAN 及び NAVSAT が加わり, 近い将来には NAVSTAR Global Positioning System が実用されることになる。

5.1 VLF/LF/MF 航法用アンテナ

(1) OMEGA 遠距離電波航法

通常 10 フィートのホイップアンテナが使用され, アンテナ基部に受信機の同軸線路との整合回路を有している。周波数範囲は 10.2~13.6 kHz, 垂直偏波である。その他に VLF/LF ループアンテナが航空機用から転用され, デジタル化オメガ受信機に使用されている。

(2) LORAN

LORAN-A 及び LORAN-C の何れも 5 フィート又は 6 フィートの同調器付きホイップアンテナが使用される。周波数範囲は 100 kHz 及び 1700~2350 kHz で受信専用である。

(3) LF/MF 電波方位測定機

最も一般的な方採用アンテナは交叉ループアンテナと

垂直センシングホイップアンテナで構成され、周波数範囲は 190~550 kHz 及び 2197 kHz, 入力インピーダンス 95 Ω , 垂直偏波で、受信機より 100 フィート内に装備しなければならないという制約がある。

5.2 VHF/UHF 航法用アンテナ

(1) VHF/UHF 電波方位測定機

この周波数の方探の主な用途は搜索と救難 (SAR) 用であって、Adcock アレイ、回転形ダイポールアンテナ等が使用される。

(2) VHF/UHF 航法衛星システム

1960 年代の中期から、Navy Navigation Satellite System (NNSS)——通常 TRANSIT 又は簡単に NAVSAT として知られている——が実用された。図 24 のアンテナ

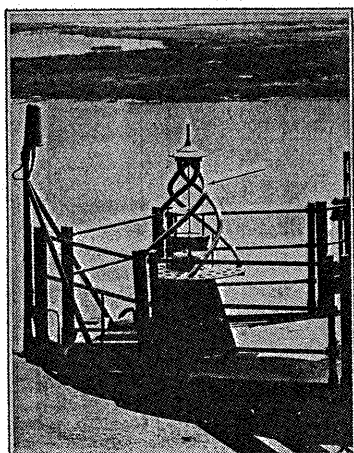


図 24 AS-2227 NAVSAT アンテナ

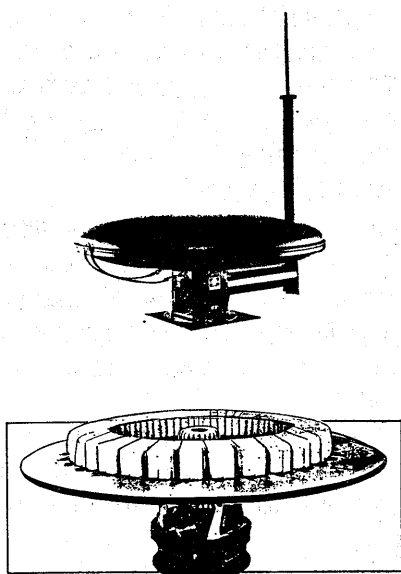


図 25 AS-3240 TACAN アンテナ

ナは、2 種のアンテナから構成されており、中央のモノポールは高い方の周波数 (400 MHz) で、コンカルスパイラルは低い方の周波数 (150 MHz) で作動し、VSWR は 2:1 以下、コンカルスパイラルは左旋円偏波、モノポールは垂直偏波である。この他には、2 バンドのモノポールをファイバークラスで囲ったもの及び 400 MHz 用のモノポールアンテナを使用している。

(3) TACAN

TACAN 用アンテナとしては数種類のものが装備されているが、何れも地上局用 TACAN アンテナと同様な形式であって、艦船用アンテナとするために動揺修正装置が付加されている点が大きな相異点である。図 25 は最新型の艦船用 TACAN アンテナである。

6. 艦船用レーダアンテナ

1935 年英国の Sir Robert Watson-Watt が 15 哩の距離で飛行艇からのパルス反射を受信することに成功して以来、第 2 次大戦を経てレーダは長足の進歩をとげた。大戦中南方戦で日本軍が捕獲した英国のレーダに八木-宇田アンテナが使用されていたことも又有名なエピソードである。艦船用レーダとしては現在大別して (1) 監視・搜索用レーダ、(2) 航空管制用レーダ、(3) 武器管制用レーダに分類できる。

6.1 監視用レーダ

艦船用監視レーダはその用途に応じて 2 次元対空搜索レーダ、3 次元対空搜索レーダ、水上搜索及び航海用レーダに分類できる。

(1) 2 次元対空搜索用レーダアンテナ

2 次元対空用レーダとしては、400 MHz UHF バンド、851~942 MHz L バンドのものがあるが、図 26 のアンテナはペデスタルを含めて高さ 171 インチ、幅 288 インチ、重量 3040 ポンド、周波数範囲 851~942 MHz, VSWR 2:1 以下、水平ビーム幅 3.3°, 垂直ビーム幅

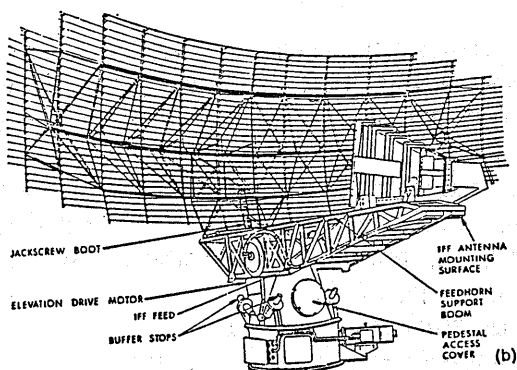


図 26 AS-3263/SPS-49 2次元対空搜索用レーダアンテナ

9°, アンテナ回転数 6 rpm 及び 12 rpm, 水平偏波, 利得 29 dB である。

(2) 3次元対空搜索用アンテナ

対空目標の方位のみでなく, 仰角(高度)を知る必要性が経空脅威増大に伴って重要な問題となった。当初は2次元レーダと測角レーダを組合わせて機械的のビーム走査を行っていたが, 電子技術の発展に伴い電子走査アンテナが艦船用レーダアンテナの世界にも登場した。図27に示す3次元レーダアンテナは, 高さ160インチ, 幅165インチ, 重量2950ポンド, 周波数範囲1920~3100.5 MHz, VSWR 1.5:1以下, 水平偏波, 利得37 dB, 垂直2.25°, 水平1.9°のペンシルビームで, 1本につき63ケの放射スロットカットのある導波管を60本並べたものである。

(3) 水上搜索及び航海用レーダ

一般の航海用レーダとほぼ同様であり, 最近の低空を飛行する対艦ミサイル対処を考慮したものもあるが, ア

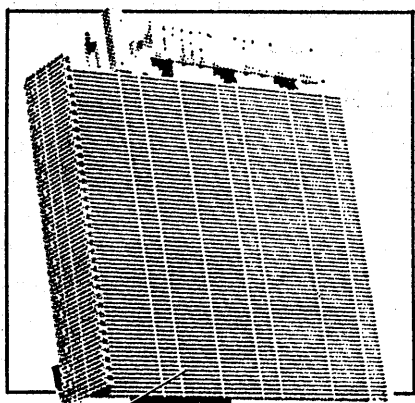
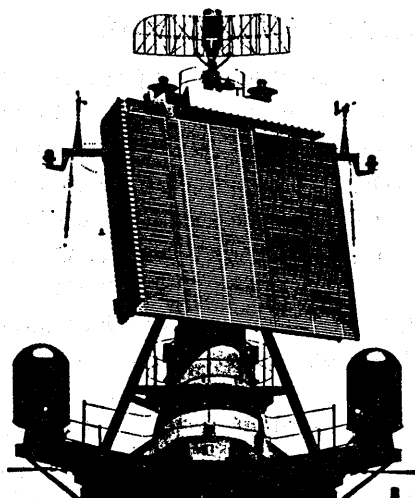


図 27 AS-1686/SPS-48 3次元対空搜索用レーダアンテナ

ンテナとしてはスロットアレイ形アンテナとパラボラ反射板形アンテナが使用されている。

5.2 航空管制用レーダアンテナ

航空母艦に装備される航空管制用レーダアンテナも数種類が現用されているが, その代表的な一例を図28及

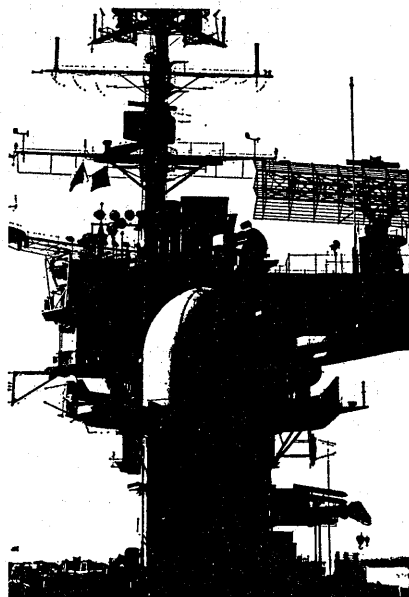


図 28 AN/SPN-35 航空管制用レーダアンテナ

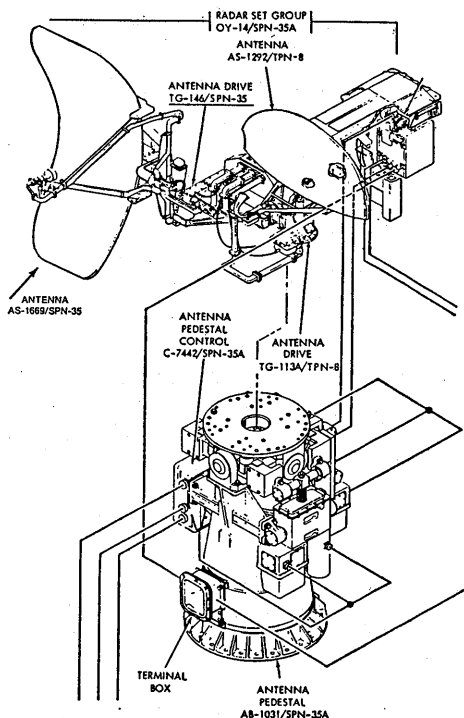


図 29 AS-1292 and AS-1669: Air Control Radar Antennas of AN/SPN-35

び図 29 に示してある。

航空機の着艦誘導はこのレーダと光学的着陸システムとの関係によって行われる。レーダアンテナは方位用のアンテナと仰角用のアンテナの 2 面があって (図 29), 図 28 のレドームの中に収められている。方位用のアンテナは、周波数範囲 9000~9160 MHz, 許容電力 200 kW, 水平又は円偏波の選択可能, 利得 36.5 dB, VSWR 1.5:1 以下であって、垂直ビーム幅 3.5°, 水平ビーム幅 1.1°, アンテナは -1° から +25° までチルト出来る。また、仰角用のアンテナは周波数範囲 9000~9160 MHz, 許容電力 200 kW, 円偏波, 利得 34 dB, VSWR 2.0:1 以下であって、cos θ 形ビームの垂直ビーム幅は 1.15° 水平ビーム幅は 3° であり、仰角は 10° 又は 35° のセクター走査が可能であり、水平方向にも $\pm 15^\circ$ の回転ができる。

5.3 武器管制用レーダアンテナ

この分野に属するものは、砲銃あるいはミサイルの射撃指揮用のレーダに使用されるアンテナであって、目的に応じて X バンドから Ku バンドまで形状も種々あり、走査方式も機械走査から電子走査まで存在する。最近では多機能化レーダの傾向にある。図 30 は、捜索用アンテナと追尾用のアンテナが同一レドームに収められたもの

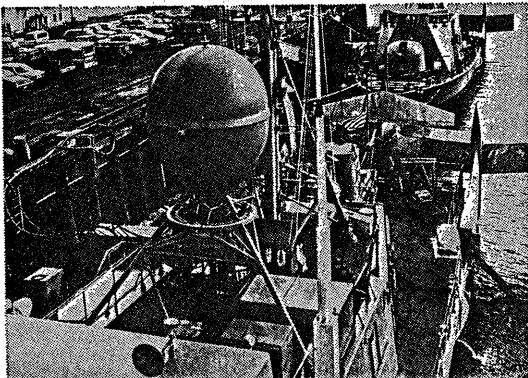
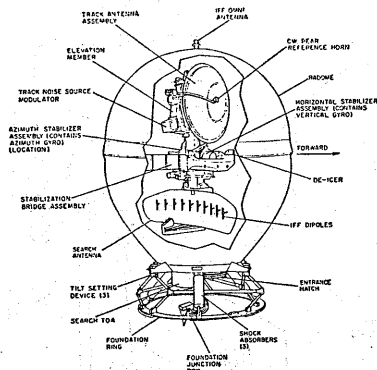


図 30 UD 410 Combined Antenna System (CAS)

であり、ミサイル及び砲の射撃指揮装置用レーダである。

最近注目をあびつつあるイージスシステム用のアンテナは、12 フィート×12 フィートの八角形のフェイズドアレイを 4 面組合わせ、電子計算機を用いてアンテナビームを管制することにより、全周 360° と水平から天頂までの半球をカバーしている。各面は 140 個のアレイモジュールからなり、各モジュールは 32 個の放射素子と移相器から構成されている。その結果として 4 つのアレイアンテナの各面には、4000 個以上の放射素子があることにある。

5.4 その他

以上に紹介したもの他に艦船用アンテナとしては、電子戦用のアンテナが装備されているが詳細については公表されていない。なお、IFF 用アンテナ、気象用アンテナ及びテレメータ用アンテナも艦船に装備されているが誌面の都合で省略する。

6. 艦船用アンテナの艦装について

艦船用アンテナ艦装上の最大の問題は、いかにして多数のアンテナをその要求を満足するような場所に装備するかということである。アンテナの性能はそれ自身単体で他の電磁装置から隔離され、付近に障害物がない時に最良の特性を示すのであるが、残念ながら艦上においてはこのような環境条件は望むべくもなく、常に競合と妥協によってアンテナの艦装設計を行うことになる。

艦全体のアンテナを一つのシステムとして把握し、生起する問題を系統的に分析することによって、その重要性によるトレードオフを行い艦として最も効果的に性能を発揮できるようにすることが必要であり、例えばアメリカ海軍では San Diego にある海軍海洋システム研究所の大規模なアンテナ放射パターン測定所において、艦船の縮尺モデルを利用して研究を行っている。

なお、参考のために通信用アンテナの選択の基準の一例を表 4 に示してある。

7. あとがき

艦船用アンテナの全般について紹介をするつもりでまとめ始めたが、資料の入手等の制約もあり通信用アンテナ以外は比較的簡単なものとなってしまった。艦船用アンテナについて系統的な資料としては、最近 Preston, E. Law, Jr. 著の“Shipboard Antennas”の第 2 版が刊行された (ARTECH HOUSE, INC., 1986 年発行)。

本稿は主として同書によっているので、更に詳細について知りたい方は、同書を参考にされたい。

最後に発表の機会を与えて下さった電波航法研究会の関係者の方々に深く感謝申し上げる。

表 4 艦船用アンテナ形式選択の基準

番 号	形 式	主 要 用 途	記 事
1	傾 斜 形 展 張	HF 帯以下の受信用	
2	逆 L 平 行 多 条 形	MF 帯送信用	条数は, 所要実効容量等により決定する。
3	フ ァ ン 形	MF 帯送信用	
4	ツ イン フ ァ ン 形	HF 帯送信用 (共用)	
5	短 縮 形 ホ イ ッ プ	HF 帯の受信用	
6	ケ ー 形	MF 及び HF 帯送信用	
7	ト ラ ス モ ノ ポ ー ル	HF 帯送受信用	
8	ホ イ ッ プ 形	HF 帯以下の送受信用	必要により起倒式とする。
9	ツ イン ホ イ ッ プ 形	HF 帯の送受信用	同 上
10	コ ニ カ ル モ ノ ポ ー ル 形	30 MHz 帯送受信用	
11	ダ ブ レ ッ ト 形	VHF 及び UHF 帯送受信用	
12	デ ィ ス コ ン 形	UHF 帯通信用	対 空 用
13	水 平 V 形	テレタイプ受信用	ダイバシティ用として使用
14	ル ー プ 形	長波以下の受信用	潜 水 艦 用
15	フ ロー テ ン グ 形	VLF, LF, HF 帯受信用	同 上
16	ヘ リ カ ル 形	HF 帯の送信用	同 上
17	整 流 ホ イ ッ プ	HF 帯の送受信用	同 上
18	ダ ブ レ ッ ト 合 成 形	UHF 帯送受信用	構 造 物 利 用
19	ロ グ ペ リ 形	HF 帯送受信用	ログペリ専用マスト利用

インマルサット衛星利用による海事通信 システムとその船舶搭載用アンテナ

KDD 研究所

山 田 松 一

Maritime Communication System Using INMARSAT Satellite and its Shipborne Antenna

R&D Labs., KDD

Matsuichi YAMADA

1. ま え が き

従来、短波および超短波を用いて行われていた国際船舶通信は、1976 年海事衛星通信サービスの導入に伴って、質的に大きな変遷を遂げた。すなわち、衛星の利用により国際移動通信においても通常の固定通信と同様、いつでも・すぐに・どこへでも品質の良いサービスを提供できるようになったわけである。この国際的に移動衛星業務を扱っているのが INMARSAT (国際海事衛星機構) であり、同システムによる海事衛星通信の発展は今日目覚ましいものがある。

本文では国際移動通信として、インマルサットを中心とした海事衛星通信システムの現状および次世代システムの概要を紹介すると共に¹⁾、次世代システムを支える基本技術の一つとして筆者らの開発した船舶搭載用小形アンテナ装置について述べるものである。

2. インマルサットシステム

2.1 システムの現状

1976 年海上での遭難および人命の安全に係る通信の提供・船舶の管理および運行効率の向上・海事公衆通信業務の提供・無線測位能力の改善等の観点から、衛星利用による船舶通信を世界的に単一で行うための国際的航海衛星組織として INMARSAT の設立 (1979 年正式に発足) が決定された。同年米国マリサットシステムによる商用の国際航海衛星通信サービスが開始され、我が国でも 1978 年マリサット衛星を利用して、米国海岸地球局経由による大西洋・太平洋海域との通信、さらに KDD 山口海岸地球局経由によるインド洋海域との通信が可能となった。

1982 年 2 月、インマルサットは既存のマリサットシステムを引継ぐ形で正式に運用を開始した。昨年 10 月現在、加盟国は 48 か国、運用中の海岸地球局は 16 局である。またインマルサット運用開始当初 1,006 局であった船舶地球局数は昨年 9 月末まで 4,820 局、この内日本は 524 局で、米国の 860 局、パナマの 573 局、リベリアの 528 局について世界第 4 位となっている。

インマルサットシステムは、図 1 に示すように、衛星、船舶地球局 (SES)、海岸地球局 (ES)、通信網管理局 (NCS: Network Coordination Station)、運用管理センタ (OCC: Operation Control Center) によって構成される。インマルサットの衛星は現在すべてリース契約によって調達されており、ヨーロッパ ESA のマレックス衛星、インテルサットからの海事通信装置 (MCS) 付インテルサット V 号衛星、米国コムサットジェネラル社のマリサット衛星が大西洋・インド洋・太平洋の 3 海域にそれぞれ現用 1 個、予備 1 個配置されている。各衛星のカバレッジには複数の海岸地球局があるので、各海域毎に衛星回線の割当て・管理を一元的に行うための通信網管理局が 1 局ずつ置かれている。また OCC はロンドンのインマルサット本部内に設置され、システム運用上の情報・管理を一元的に取り扱っている。

船舶地球からの通信は衛星-海外地球局-国際交換局を経由して顧客に接続されるが、呼の要求のある時のみ衛星回線が割り当てられるデマンドアサイメント方式が採用されている。また船舶同士の通信の場合、海外地球局を介したダブルホップ衛星中継となる。使用周波数は、衛星-船舶間では 1.6/1.5 GHz 帯、衛星-海岸地球局間のフィーダリンクについては固定衛星業務と同じ 6/4 GHz 帯が用いられている。

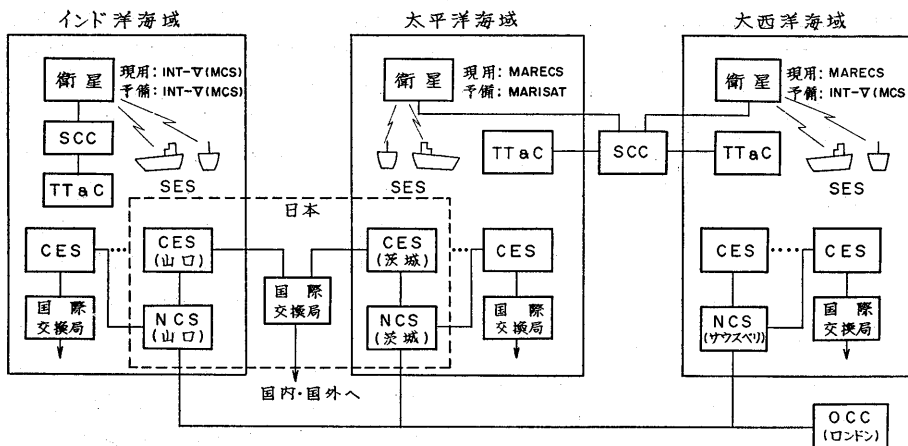


図1 インマルサットシステムの構成

表1 インマルサットシステムの通信方式主要諸元

項目	チャネル	電 話	Telex/シグナリング			56 kbps 高 速 データ (船→陸)
			陸→船	船→陸	リクエスト信号 (船→陸)	
アクセス方式		SCPC	TDM/FDMA (含アサイメント)	TDMA	ALOHA ランダムアクセス	SCPC
変復調方式		狭帯域 FM	1.2 kbps BPSK	4.8 kbps BPSK		112 kbps QPSK*
品質目標		C/N_0 53 dBHz 以上 (フェージングのない時)	ビット誤り率 (BER) 10^{-5} 以下		1 回目のアクセス 成功確率 95% 以上	$C/N_0=55$ dBHz の 時の BER 10^{-6} 以下

(* 符号化率 1/2 のたたみ込み符号化/軟判定ビタビ復号を含む)

マリサットシステムからインマルサットへの移行に際して最も重要な前提条件は、マリサットシステムで運用中の船舶地球局が引き続きインマルサットにおいても運用できなければならないことであった。この船舶地球局は標準A局と呼ばれ、通信方式としては、基本的にマリサットにおけるそれが踏襲されている。すなわち、変調およびマルチプルアクセス方式は、電話が Companded (圧伸型) FM/FDMA 方式、テレックスは 2 相 PSK による TDM (陸→船) および TDMA (船→陸) 方式が用いられている。船舶地球局からの回線割当要求 (リクエスト) は 2 相 PSK バースト波によるランダムアクセス方式によって行われる。一方、リクエストに対する回線割当ては、上記 TDM 信号のテレックス信号に前置された情報により、海岸地球局側で行われる。表1にインマルサット現用システムの通信方式主要諸元をまとめて示す。

現在インマルサットシステムにおいて提供されているサービス項目は表2のとおりである。なお、新サービスとして、電話のグループコールや帯域圧縮ビデオ・テレビサービスの試行提供を行っている外、高度グループコ

表2 インマルサットシステムで現在提供されている主な海事衛星通信サービス

- ① 電話
- ② テレックス
- ③ 電話回線によるデータ伝送 (2.4 kbps まで)
- ④ 遭難・緊急・安全通信 (電話およびテレックスモード)
- ⑤ 高速度データ伝送 (船→陸のみ、56 kbps)
- ⑥ グループコール (テレックスモード)
- ⑦ その他

ール、パケット交換データ、航空通信等も計画されている。

2.2 将来システム

インマルサットシステムでは運用開始以来トラフィックおよび船舶地球局数とも順調な伸びを示しているが、現在の第1世代衛星の設計寿命到来および全海域の2/2を占める大西洋海域のトラフィックの増加に対処するため、1988年から、より大容量の衛星、すなわち第2世代衛

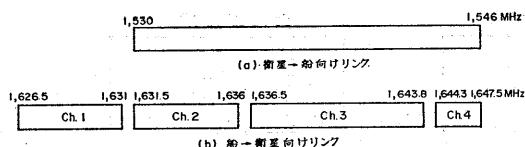


図2 インマルサット第2世代衛星のLバンド周波数帯利用計画

星を導入することとなっている。この第2世代システムでは回線の容量増を図るため、音声回線に現在のFM方式に加えてデジタル方式が導入されることになっており、これらの混在するサービスに対応できるように、船→陸方向のリンクに関しては周波数帯を4分割して、各々の衛星中継器が独立に使用できる構成となっている。また衛星電力の有効利用を図るため、衛星→船リンクにおいて、衛星アンテナビームエッジでより高い利得を持つ成形グローバルビームが採用される。

使用周波数帯域幅は現行の最大 7.5 MHz に対して、図2に示されるように、陸→船方向で 15 MHz、船→陸方向で 20 MHz に拡張されるほか、海上移動衛星業務用周波数に隣接する航空移動衛星業務用の 1 MHz がつけ加えられており、将来の航空衛星通信の実験および商用化の可能性が考慮されている。

3. 船舶搭載用アンテナ

3.1 現用の船舶地球局アンテナ

現用の標準A船舶地球局は、アンテナの受信性能指数を表わす G/T (アンテナ利得対雑音温度比) が -4 dB/K 以上と規定されており、直径 85~120 cm のパラボラアンテナ (利得 20~23 dBi) が使用されている。また衛星追尾および船の動揺制御のため、アンテナマウントとしては4軸あるいは3軸駆動制御が用いられている。図3は船舶地球局の船上部分の標準的構成であるが、この船上設備はレドームを含めて重量 150~250 kg くらいであり、最近 200~300 トン程度の小形船舶への需要が増えつつあるものの、主に数千トン以上の大形船に積載されている。

現在の標準A船舶地球局システムは、1 cH 当りの所要帯域幅が広い (50 kHz) ことからシステムが帯域制限

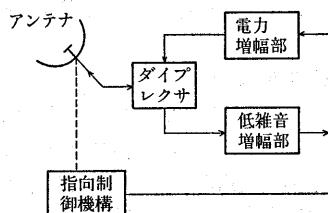


図3 船舶地球局の船上設備構成

型となること、また音声チャンネルにFM方式を適用しているため衛星電力の有効利用が図りにくいなどの観点から、第2世代システムでは衛星電力や周波数帯の有効利用のため、通信方式をデジタル化した標準Bと呼ばれる新しい船舶局システムの導入が検討されている。この標準B局は急速なトラヒック増に対処するための標準A局の代替局となるものであり、 G/T は標準A局と同じく -4 dB/K で、アンテナ設備は現用と同一のものを使用する。一方、船内に置かれる通信装置は、現用の標準A局と大幅に異なり、音声信号を高能率符号化技術²⁾ (16 kbps APC-MLQ) によりデジタル信号に変換し、さらに誤り訂正方式としてのたみ込み符号化/ビタビ復号技術³⁾を用いるものである。これらのデジタル技術の適用により、所要伝送電力の低減が図られ、衛星の使用効率 (衛星電力×占有周波数帯域幅) が大幅に改善されることになる。

3.2 小形船舶局アンテナ

わが国は漁船等の小形船舶の占める比率が高く、100 トン未満の船舶にも搭載の容易な海事衛星通信装置の導入が期待されている。筆者らは、前述の高能率デジタル技術の発達、衛星中継器能力の向上やマルチスポットビームの採用による将来の衛星放射電力の増大等の観点から、小形船舶局アンテナ装置の開発を進めてきた。この開発にあたっては、能率の良い小形アンテナの研究のみならず、アンテナのビーム幅が広がることに伴う海面反射フェージングの増加を軽減する対策等も考案し、それらの成果を基に $G/T = -10 \text{ dB/K}$ の小形船舶局船上装置を試作した。図4に装置構成のブロック図、図に5装置の外観写真を示す。

次に、本装置の主要開発項目、すなわち、改良型ショートバックファイアアンテナ、動揺補正および衛星追尾

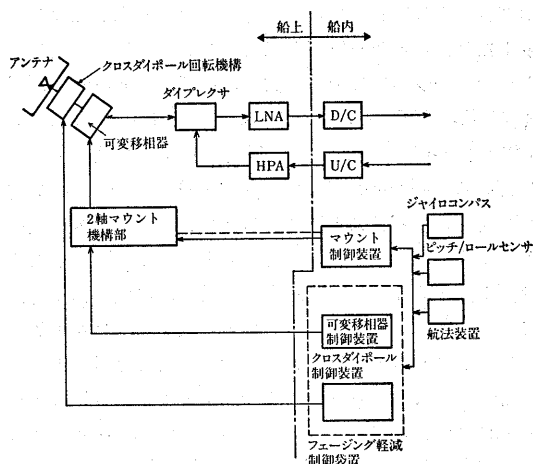


図4 小アンテナシステムの構成ブロック図

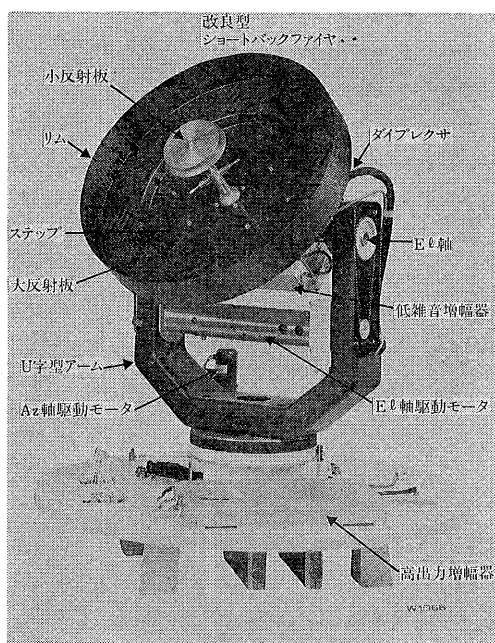


図 5 船舶用小形アンテナシステム

対策、海面反射軽減対策について、その特徴の概要を述べる^{4),5)}。

3.2.1 改良型ショートバックファイアアンテナ

$G/T = -10 \text{ dB/K}$ を満足するためには 15 dBi 程度の利得のアンテナが必要になる。この程度の利得を有するアンテナとしては、ショートバックファイアアンテナ、4素子ヘリカルアンテナ、パラボラアンテナ等各種のアンテナが考えられるが、船上設備の小形化およびフェーディング軽減対策の適用 (3.2.3 節参照) などの観点から、図 6 のような改良型ショートバックファイアアンテナを用いた。ショートバックファイアアンテナは Ehrenspeck により考案されたものであるが⁶⁾、このアンテナは給電素子であるクロスダイポール (円偏波を発生するために

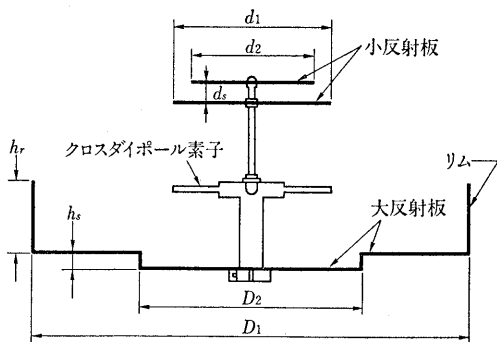


図 6 改良型ショートバックファイアアンテナの構造

必要。直線偏波の場合には単一のダイポールアンテナのみで良い)、大小 2 枚の円形反射板、円筒形の金属リムで構成され、反射板と垂直な方向に鋭い指向性を有する。これに対し、改良型ショートバックファイアアンテナは図 6 でも見られるように小反射板が 2 板になっていることと、大反射板がステップ構造を有していることが従来のものと異なる点である。

一般にショートバックファイアアンテナは大小反射板間の多重反射を利用した共振型アンテナであるため、その特性、特に入力端におけるインピーダンス特性は狭帯域で、海事衛星通信の送受 $1.64 \text{ GHz}/1.54 \text{ GHz}$ 帯をカバーするためには、なんらかの広帯域化対策が必要である。2 枚の小反射板はその改善の役割を果たしている。この改善効果は、2 枚の小反射板それぞれの大きさおよび間隔に依存し、これらの値を適当に選ぶことにより、VSWR (定在波比) を上記両周波数帯で 1.2 以下に改善することができた。

次に、主反射板のステップ構造は利得の増加の役割を果たしている。ショートバックファイアアンテナの放射界は大別して大小 2 枚の反射板間で多重反射して放射される電界と多重反射することなく放射される電界で構成される。一般には前者の電界が主であって、後者の成分は量的には少ないが、両者の間には位相差が存在しており、これが適当なステップ高を設けることにより同相成分となって相加されるため、利得が増加するものと考えられる。本アンテナの場合、 20 mm のステップで約 1 dB の利得向上を図ることができた。

3.2.2 動揺補正および追尾対策

一般に船舶用アンテナ装置は、船の動揺・旋回・航行にかかわらずアンテナを常に衛星に指向させる必要がある。現用の標準 A 船舶局では、アンテナビーム幅が約 14° と比較的狭いため、 X - Y 2 軸で構成される動揺安定台上に衛星追尾用の Az 軸、 $E\ell$ 軸を配した 4 軸マウントが用いられている (図 7 参照)。4 軸マウントは動揺補正と追尾をそれぞれ独立に行うため、指向精度が高いという長所を持つ反面、軸数が多いため形状が大き

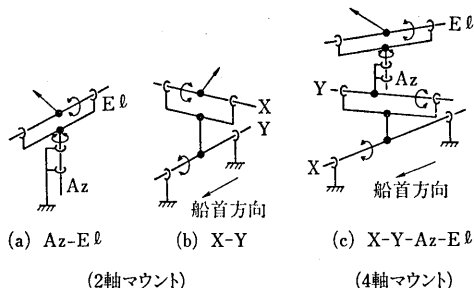


図 7 各種アンテナマウント方式

く、重量も重くなるという短所を持っている。

そこで筆者らは、3.2.1 節に述べた改良型ショートバックファイアアンテナのビーム軸が約 35° と現用のアンテナの場合に比べてかなり広いこと、すなわち現用の標準 A 局ほど高い指向精度を要求されないことに着目して、小形・軽量化の期待できる 2 軸マウント (Az-El 型) を採用した。また、追尾方式としては、現用の標準 A 船舶地球局アンテナではステップトラック方式が用いられているのに対し、本アンテナではビーム幅が広いためステップトラックによる自己追尾が技術的に困難であること、近年多くの小形船舶が NNSS 等の航法装置を有していることから、同装置による船舶の位置情報に基づき、マイクロプロセッサを用いて Az, El 軸の角度を計算するプログラム追尾を採用した。船舶の動揺に対するアンテナ指向誤差の補正も、ジャイロ等のセンサで検出した動揺信号を上述のマイクロプロセッサに入力し、演算するわけである。

ところで、通常の 2 軸 Az-El マウントでは、その機構上、衛星がマウントの天頂付近にあって、かつ動揺を受けた場合とか、Az 軸の回転角制限に伴う場合の反回転時に、一時的に指向精度が大きく劣化する欠点を有している。そこで本アンテナ装置のマウントは図 5 に見られるようにアンテナの El 軸回転が 180° 可能となるような U ヨーク機構を用い、しかもアンテナが最も速く所定の角度位置に移動できる制御アルゴリズムを前述のマイクロプロセッサに持たせて、上記の問題点を解決している⁷⁾。図 8 は最も厳しい動揺条件下でのアンテナ指向誤差を示したものであるが、通常は 2° 以内と小さく、高仰角時でも高々 10° で、実用上問題無い程度の大きさとなっている。

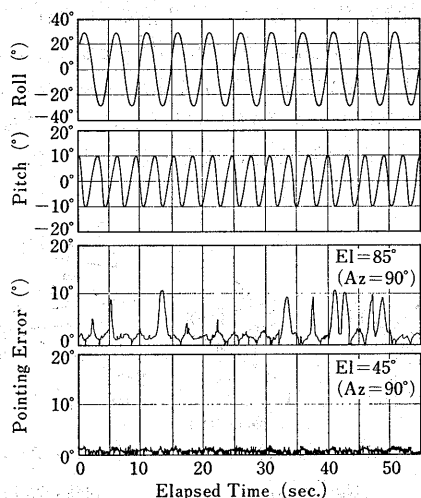


図 8 Az-El 2 軸マウントによる指向誤差

3.2.3 フェージング軽減対策

海事衛星通信では、アンテナを搭載する船舶が電波を良く反射する海で囲まれているため、衛星からアンテナに直接到来する電波と海面で一旦反射してアンテナに到来する電波が位相差の関係でお互いに強め合ったり打ち消し合ったりするフェージングと呼ばれる現象が生ずる。特に小形アンテナのようにビーム幅が広い場合、 10° 以下の低仰角ではかなりの大きさのフェージングとなり、何らかの対策が必要となる。その方法としては、整形ビームアンテナ方式、ダイバーシティ方式、最大レベル追従法などがあるが、ここでは、構成の簡単さ、アップリンク (1.64 GHz 帯)、ダウンリンク (1.54 GHz 帯) 双方への適用性等を考慮し、偏波制御法を考案して試作アンテナに組み入れた。この方式の原理は海面反射が固有の偏波特性を持つことに着目したものである。すなわち L-バンド (1.54/1.64 GHz 帯) においては、仰角が低くなるにつれて海面からの反射波は図 9 に示すように、ほぼ水平方向に扁平度の強い逆旋の楕円偏波となる。そこで船舶地球局アンテナの偏波特性を、海面反射波の偏波特性と直交 (一例として仰角 10° の場合を図 9 中に破線で示す) するように衛星仰角に応じて変化させることにより、反射波の受信を行わないようにしてフェージングの抑圧を図るものである。具体的には図 4 に示した可変移相器の移相量を変化させて偏波調整を行う。この場合クロスダイポールは海面に対して 45° の傾斜を持つように配置する。図 10 は上記方式適用の有無 (ON, OFF) によるフェージングの深さ (累積時間分布の 90% 値) の理論および実測値を示したものである。また図 11 は衛星仰角 9° における実測例である。図のデータ解析結果では時間率 99% 値で約 2.5 dB の改善が認められた。なお中央値 (50% 値) が軽減方式 ON の場合に若干低下しているのはアンテナの偏波を楕円にしたための受信偏波損失である。

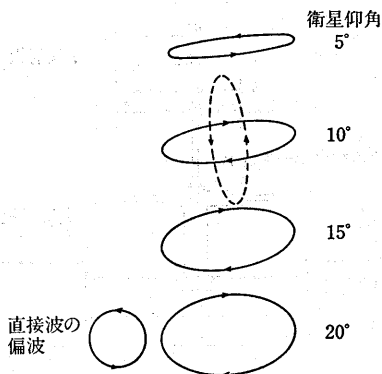


図 9 海面反射波の偏波特性

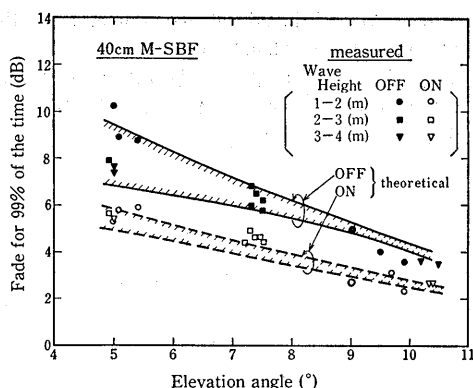
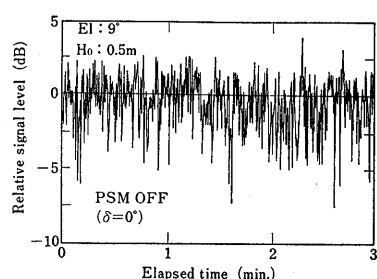
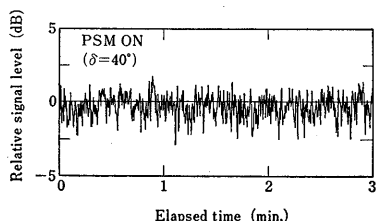


図 10 アンテナ仰角対フェージング量



(a) Without Fading Reduction



(b) With Fading Reduction

図 11 フェージング軽減方式の効果を示す実測例

3.2.4 現用アンテナ装置との比較

最後に、今回試作した小形アンテナ装置の各種性能を、現用の標準A局用アンテナ装置と比較して表3にまとめた。試作アンテナは電気性能以外にも、アンテナおよびマウントの材質としてCFRP（炭素繊維強化プラスチック）を使用するなど機械部品にも種々の工夫がなされており、そのため同表にも見られるように極めて小形軽量となっている。

4. あとがき

衛星を利用した国際移動通信として目覚ましい発展を遂げているインマルサットシステムの概要を述べると共に、第2世代以降におけるより小形船舶への適用を目指して筆者らの開発した小型アンテナ装置について紹介し

表 3 現用装置との性能比較

	標準A局船舶アンテナシステム	試作小形船舶アンテナシステム
アンテナ		
形 式	85 cmφ パラボラ	40 cmφ 改良型ショートバックファイア
利 得	20.6 dBi (1.54 GHz)	15.0 dBi (1.54 GHz)
軸 比	1.8 dB	1.0 dB (1.54 GHz)
ビーム幅	14° (−3 dB 幅)	35° (−3 dB 幅)
マウント		
形 式	4 軸 $EI/Az/Y/X$ 方式	2 軸 EI/Az 方式
追 尾	ステップトラック方式	プログラム制御
受 信 G/T	−4 dB/K	−10 dB/K
送信 e.i.r.p.	36 dBW	26 dBW
LNA		
形 式	GaAsFET	GaAsFET
雑音温度	100°K 以下	90°K
HPA		
形 式	クラス C Si Bipolar トランジスタ	クラス A GaAsFET
出 力	約 30 W 以上	約 22 W 以上
レドーム 外径寸法	120 cmφ × 130 cm	65 cmφ × 67 cm
重 量	144 kg	25 kg

た。現在すでにデジタル通信方式と上記小形アンテナを組み合わせた新しい標準船舶局の導入なども検討されており、今後ますます多様なサービスが出現してくるものと思われる。対象も船舶のみならず、航空機さらには陸上移動体へと拡がる勢いを見せており、将来の統合移動通信網へ向けて、なお一層の技術の発展が期待されることである。

参 考 文 献

- 1) 山田松一： 国際移動通信，信学誌，68，11，pp. 1177~1182 (昭 60-11)
- 2) 八塚陽太郎： 海事衛星通信システムへの中速度音声符号化方式の適用，信学技報，CS 82-107 (1983-01)
- 3) Y. Yasuda, Y. Hirata and A. Ogawa: Bit error rate performance of soft decision Viterbi decoding, Trans. IECE, E64, 11, pp. 700~707 (Nov. 1981)
- 4) 塩川，結城，唐沢，山田： インマルサットデジタル船舶局実験システムの開発——船舶用小型アン

テナシシステム——, 信学技報, SAT 83-60 (1984-02)

- 5) 塩川, 唐沢, 結城, 山田: 海事衛星通信船舶用小型アンテナシステム, 国際通信の研究, 124, pp. 185~195 (昭 60-04)
- 6) H. W. Ehrenspeck: The short backfire antenna, A new type of directional line source, Proc. IRE, 48, pp. 109~110 (Jan. 1960)
- 7) 塩川, 唐沢, 結城: 海事衛星通信船舶用 El/Az マウントの指向誤差軽減法, 信学論, J69-B, 8, pp. 833~841 (昭 61-08)

ETS-V を用いた航行援助実験計画

電子航法研究所

西 周 次

Navigation Experiment Program Using ETS-V

Electronic Navigation Research Institute

Shuji NISHI

1. はじめに

陸地上空の航空機の管制には、質のよい VHF (超短波) の音声通信を用いることができ、また、各航空機の位置は監視レーダにより正確に求めることができる。しかし、陸地から 400 海里も離れると、これらの装置は電波の到達限界を越すために、使用することができない。そこで現在、洋上の航空機の管制は、より長距離まで電波が伝搬する HF (短波) を用いた音声通信により行われているが、HF 通信は電離層の反射を利用しているため、長距離になると減衰が甚だしく、雑音やフェージングにより極めて不安定である。また、現在の洋上航空機の位置の確認は、パイロットが機上の INS (慣性航法装置) 等で測定した位置を約 1 時間に 1 回程度の頻度で地上に報告してくる方法がとられているため、大韓航空機事件のように、正規の航空ルートから外れて飛行していても、地上ではそれを監視することができない。

このように現在の洋上航空管制方式には大きな欠点があるため、同時に飛行する航空機の間隔、すなわち管制間隔を小さくすることができず、年々増加する航空交通量に対処できない。このため、太平洋域に航空衛星システムを導入して、衛星による航空機との通信、測位システムを確立する必要がある。現在、ICAO (国際民間航空機関) では将来の航空航法システムを研究するための特別委員会 (FANS 委員会) を組織して、この問題を国際的に検討している。

一方、IMO (国際海事機関) では現在、FGMDSS (将来の全世界海上遭難安全システム) を 1990 年頃に導入する予定で検討が進められており、その中に衛星による遭難・安全通信システムが採用される予定である。また、船舶の航行の安全を確保するため、将来は全世界的な衛星航法システムを採用する方向で準備を進めている。

このような背景から、運輸省では昭和 62 年度打上げの ETS-V (技術試験衛星 5 型) を用いた航行援助実験計画を昭和 58 年度より開始した。この実験は航空衛星システム開発の基礎となる航空機を対象とする通信、測位の技術開発、および海事関係では小型船舶を対象とする通信、測位の技術開発を目的としている。本実験計画は運輸省 (電子航法研究所)、郵政省 (電波研究所) および宇宙開発事業団が協力して行うものであり、郵政省は船舶、航空機を対象とする一般公衆通信技術の開発、宇宙開発事業団は 550 kg 級三軸安定静止衛星のバス機器の開発を主な目的としている。なお、「航行援助実験」の名称は運輸省側だけで使用しているものである。以下、ETS-V を用いた航行援助実験計画の概要について報告する。

2. 実験システムの構成

図 1 に実験システムの構成を示す。衛星 ETS-V は、昭和 62 年度夏期に H1 ロケットにより宇宙開発事業団が打上げる予定の重量約 550 kg、三軸姿勢制御の静止衛星である。静止位置は赤道上の東経 150° である。この衛星に AMEX (Aeronautical Maritime EX-perimental transponder) と呼ばれる C-L バンド変換中継器を搭載

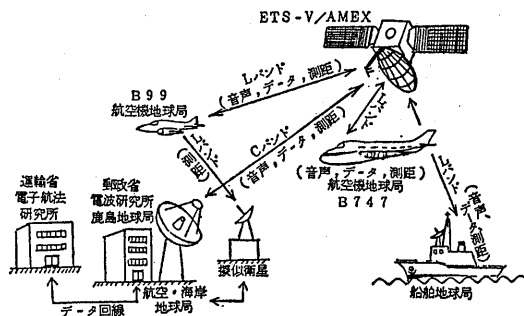


図 1 実験システムの構成

して、種々な実験を計画している。実験に使用する周波数は衛星と航空・海岸地球局間がCバンド（上り6GHz帯、下り5GHz帯）、衛星と航空機地球局または船舶地球局間がLバンド（上り1.6GHz帯、下り1.5GHz帯）である。以下、説明が煩雑な場合には、航空海岸地球局、航空機地球局、船舶地球局を、それぞれ地上局、航空機、船舶と略記する。

実験は大別して、音声、データ等の通信の実験、衛星と航空機・船舶間の距離を測定する測距の実験、航空機の位置を測定する測位実験に分けられる。通信の実験で地上から航空機・船舶に信号を送る場合には、地上局から衛星に向けてCバンドの電波で送信し、衛星でこの電波を受信すると中継器によりLバンドの電波に変換して航空機・船舶に向け再送信する。航空機・船舶より地上局に信号を送る場合には、全くこの逆である。

測距の実験を行う場合には、測距信号という特殊な信号を地上局より送信し、その信号を衛星経由で航空機・船舶が受信すると、すぐその信号を衛星経由で地上局に送り返す。地上局では送信した信号と受信した信号の時間差を測定することにより、地上局-衛星-航空機・船舶間の距離を測定することができる。地上局と衛星間の距離は別にCバンド電波の往復測距から求められるので、この値を前の値から引くことにより、衛星と航空機・船舶間の距離を求めることができる。

測位の実験を行う場合には、本来ならば衛星を2個打上げ、2個の衛星からの測距により位置を決定しなければならないが、今回の実験では1個の衛星しか使用できないので、その代り、図1に示したような地上に置いた擬似衛星を用いて、擬似衛星から航空機までの距離と

ETS-V から航空機までの距離を測定して航空機の位置を決定する。（航空機の高度は機上の高度計より求める。）従って、この実験は航空機より擬似衛星が見える限られた範囲でしか行うことができないが、今回の実験は測位の基本となる衛星を用いた測距技術の開発が主体であり、測位実験は2個の測距値より位置決定ができることの確認、およびデモンストレーション実験との関連で行うものである。航空・海岸地球局は、郵政省電波研究所鹿島地球局のアンテナおよび送受信機高周波部等を借用し、それに電子航法研究所（以下電航研と略記する）が開発した地上局装置端局を接続して実験を行う。測定した実験データは、データ回線で三鷹の電航研へ送り、そこで処理、記録される。

航空機地球局は、電航研の実験用航空機ビーチクラフト B99 と航空会社のボーイング 747 の2機を予定している。B99 は国内で通信、測距等の基本的実験を行ったり、前述した擬似衛星を用いた測位実験を行うために使用する。また、B747 は東京-アムステルダム間の航空路で通信、測距等の実験を行うために使用する。

船舶地球局は、海上保安庁の船舶を使用する予定で現在準備を進めている。今回の実験では予算の関係から船舶専用の装置を開発せず、航空関係の実験が終了した後、航空機に搭載してあった装置を船舶に積み替えて実験を行う予定である。この場合、アンテナのみは船舶専用のものである。

3. 衛星搭載中継器 (AMEX)

図2に衛星搭載中継器（以下 AMEX と略称する）の構成を示す。地上局よりの6GHz帯の信号は左端のC

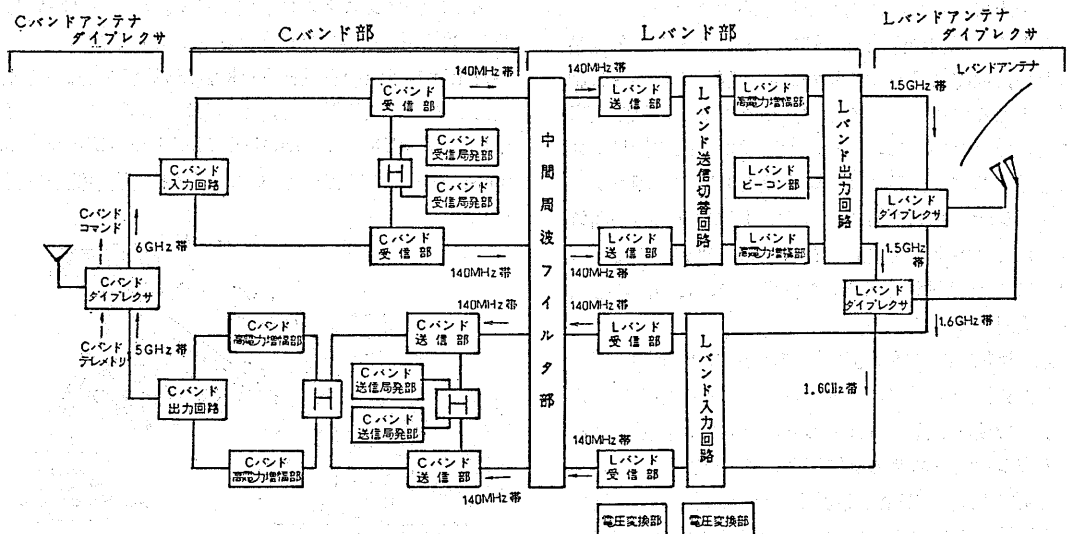


図2 衛星搭載中継器 (AMEX) の構成

バンド・アンテナで受信され、Cバンド入力回路を経て、Cバンド受信部で低雑音増幅される。Cバンド低雑音増幅器の雑音指数は 2.1 dB である。増幅された信号は Cバンド受信局発部の信号と混合され、140 MHz 帯の中間周波信号となる。この信号は中間周波フィルタ部（フィルタ素子として SAW（弾性表面波）約子を用いている）でろ波・増幅され、Lバンド送信部で周波数変換されて 1.5 GHz 帯の送信信号となる。この信号は Lバンド送信切替回路を経て、Lバンド高電力増幅部で電力増幅され、Lバンド出力回路、Lバンド・ダイプレクサを経て、右端の Lバンド・アンテナより 2 ビームで航空機・船舶に向け送信される。Lバンド高電力増幅器には GaAsFET（ガリウムヒ素電界効果トランジスタ）を用い、出力は約 20 W である。

一方、航空機・船舶より 1.6 GHz の帯の信号は右端の Lバンド・アンテナで受信され、Lバンド入力回路を経て、Lバンド受信部で低雑音増幅された後に、140 MHz 帯の中間周波信号に変換される。Lバンド低雑音増幅器の雑音指数は 1.7 dB である。中間周波信号は中間周波フィルタ部でろ波・増幅され、Cバンド送信部で Cバンド送信局発部の信号と混合され、5 GHz 帯の送信信号となる。この C信号は Cバンド高電力増幅部で電力増幅され、Cバンド出力回路を経て、左端の Cバンド・アンテナより地上局に向け送信される。Cバンド高電力増幅器には GaAsFET を用い、出力は約 8 W である。なお、AMEX では局発振器の原振にオープン制御水晶発振器を採用し、周波数の安定化をはかっている。

AMFX の C バンド部は現用、予備の 2 系統で完全な冗長系を構成している。すなわち、Cバンド受信部、Cバンド高電力増幅部の現用系が故障した場合、それぞれ Cバンド入力回路、Cバンド出力回路により、予備系に切替えることができる。一方、Lバンド部は完全な冗長系ではないが、Lバンド・アンテナが 2 ビームを用いているので、故障時に 1 ビームにすることにより、冗長系を構成できる。すなわち、2 台つつある Lバンド送信部、Lバンド高電力増幅部、Lバンド受信部の何れか一方が故障した場合、希望する 1 ビームで実験ができるように、それぞれ Lバンド送信切替回路、Lバンド出力回路、Lバンド入力回路を切替えて使用する。

AMEX の C バンド・アンテナは、地球全体を一本のビームでカバーするホーン・アンテナを用い、その中心利得は送信が 19.5 dBi、受信が 21.5 dBi である。また、Lバンド・アンテナはオフセット・パラボラ・アンテナで、図 3 に示すように、地球上の 2 地域を照射する二つのスポット・ビーム（Nビームおよび Sビーム）をもつ。ビーム中心の利得は、両ビームとも送信が 25.0 dBi、受信が 25.7 dBi であり、Nビームがカバーする東

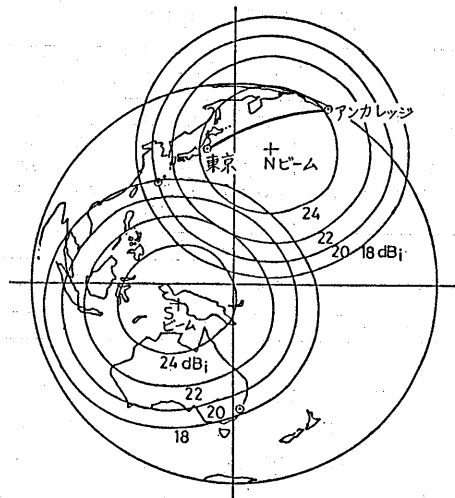


図 3 衛星 Lバンド・アンテナのカバレッジ

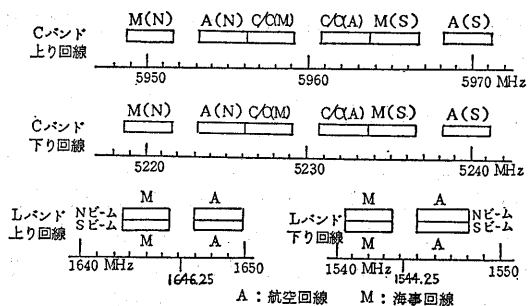


図 4 実験に使用する周波数配置

京-アンカレッジ間の航空路で 22.5 dBi 以上になるようになっている。

図 4 に実験に使用する Cバンドと Lバンドの周波数配置を示す。図の A は航空用回線、M は海事用回線を示す。Cバンドの上りおよび下り回線の中心周波数は 5960 MHz および 5230 MHz で、それぞれに 3 MHz の帯域で 6 回線が割り当てられている。この内、A(N) および A(S) は航空用の N ビーム、S ビームに対応する回線、M(N) および M(S) は海事用の N ビーム、S ビームに対応する回線である。また、C/C(A) および C/C(M) は地上局-衛星間の測距に用いる C/C 折返し回線の航空用と海事用である。また、Lバンドの上りおよび下り回線の中心周波数は 1646.25 MHz および 1544.25 MHz で、それぞれに 3 MHz のバンド幅で航空用 1 帯域、海事用 1 帯域が割り当てられている。図のように Lバンド Nではビーム、Sビームとも同じ周波数帯を用いる。

この図からわかるように、地上局では Cバンド上り回線の周波数を適当に選ぶことにより、C/L 変換、C/C 変換の選択、航空用、海事用の選択、Nビーム、Sビーム

表 1 AMEX の主要性能

	Cバンド	Lバンド
送信周波数 (MHz)	5230.0±11.25	1544.25±3.75
受信周波数 (MHz)	5960.0±11.25	1646.25±3.75
アンテナ利得 (ビーム中心 dBi)	送信19.5以上 受信21.5以上 (ホーン・アンテナ)	送信25.0以上 受信25.7以上 (1.5mφオフセット パラボラ・アンテナ)
G/T (ビーム中心 dB/K)	-8.7	-4.0
EIRP (1dB圧縮点 dBm)	54.0	62.4
総重量 (kg)	約 64 (アンテナを含む)	
消費電力 (W)	約295 (Lバンド2系統動作時)	

の選択を自由に行うことができる。また、航空機、船舶からそれぞれLバンドの航空用、海事用の周波数帯で送信を行えば、Cバンド下り回線の航空用または海事用のNビームまたはSビームの回線に自動的に接続される。

AMEX の主要性能を表1に示す。なお、AMEX の開発は図2の構成図のCバンド部を運輸省が、Lバンド部を郵政省が、アンテナおよびダイプレクサを宇宙開発事業団が分担して行った。

4. 航空・海岸地球局

航空・海岸地球局は実験の中核となる無線局で、航空機・船舶との間で音声、データ、測距信号の送受信を行うと共に、通信回線の制御、受信データの収集、処理および記録を行う。航空・海岸地球局の高周波 (RF) 部分は郵政省電波研究所鹿島支所の CS 用地球局を改修して使用する。RF 部分の主な性能は G/T 29.9 dB/K、送信機出力 260 W である。

図5に航空・海岸地球局端局の構成を示す。端局は70 MHz の中間周波数 (IF) 信号により鹿島地球局 RF 部と接続される。図の音声復調装置およびデータ復調装置は主として通信の実験に使用される。測距装置は2種類あり、対移動体は地上局と航空機・船舶間の測距実験に使用するもので、測距精度は約 100 m である。また、対衛星は C/C バンド折返しで地上局と衛星間の測距に

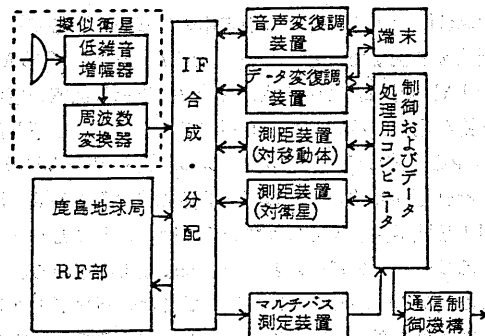


図 5 航空・海岸地球局端局の構成

使用するもので、測距精度は約 4 m である。マルチパス測定装置は航空機よりのLバンド電波伝搬実験において、マルチパスの特性を測定するものである。端末は音声通信実験に使用するヘッドセット、スピーカ、マイクおよびデータ通信実験に使用するディスプレイ、キーボード、プリンタ等で構成される。制御およびデータ処理用コンピュータは、通信回線の制御、受信データの収集、処理、記録等にも使用される。また、通信制御機構は鹿島-三鷹間のデータ回線のインターフェイスである。左上の擬似衛星はLバンドの電波を受信し、低雑音増幅して、中間周波信号に変換する機能をもつ。

5. 航空機地球局および船舶地球局

航空機地球局の構成を図6に示す。衛星からのLバンド信号はアンテナにより受信され、ダイプレクサー、低雑音増幅器、ダウンコンバータを経て中間周波信号となり、音声復調装置またはデータ復調装置で復調されて、端末のヘッドセット、ディスプレイ等で聴取、表示される。送信の場合には、端末のヘッドセット、キーボード等から入力された音声信号、データ信号は音声変調装置またはデータ変調装置により中間周波信号となり、アップコンバータでLバンド信号となり、電力増幅器、ダイプレクサーを経てアンテナより衛星に向けて送信される。

測距の場合には、地上局から測距信号と一緒にあて先航空機の識別コードを送信する。航空機がこの信号を受信すると、データ復調装置より識別コードがコンピュータに送られ、これが自機の識別コードと一致すると、制御信号を図のSW (スイッチ) に送出し、SW が閉じられる。SW が閉じられると、受信した測距信号はそのままLバンドの送信信号となって衛星に向けアンテナから再送信される。

制御およびデータ処理用コンピュータは航空機地球局の信号制御・受信データの収集、処理、記録を行う。また、マルチパス測定用信号発生器は、Lバンド電波の伝

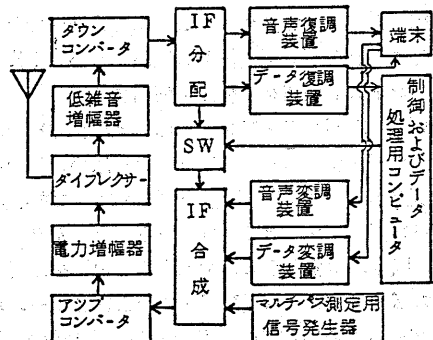


図 6 航空機地球局の構成

搬実験の際に、マルチパス特性を測定するための信号を発生する装置である。航空機地球局の G/T は約 -23 dB/K、送信機出力は約 100 W である。

航空機用のアンテナは設置場所、形状等の制約から小型、軽量かつ機体の空力的性能や強度に影響を与えない構造が要求される。一方、通信品質はアンテナ利得が高い程良くなるが、アンテナの寸法が大きくなる。この二つの要求は相矛盾するものであるが、近年デジタル通信の進歩が著しく、低 C/N_0 の音声、データ通信の品質が大幅に向上していること、衛星アンテナのマルチビーム化が進んでいること等により、低利得アンテナでも良好な通信が可能となりつつある。このような点を考慮して、実験用の航空機アンテナとして構造の簡単な素子切替型アンテナを採用することとした。アンテナ素子は図 7 に示すような円形パッチアンテナで、これを複数個配置して衛星の方向に応じて切替えて使用する。このアンテナ素子の利得は正面方向で約 7 dBi である。

ボーイング 747 用のアンテナは図 8 に示すように、機体背面のcockピット後方にあるフェアリング内に設置する。素子数は 3 個で、そのうち 2 個（ビーム 1 とビーム 2）で機体の右斜め後方をカバーし、他の 1 個ビーム 3）で左斜め前方をカバーする。左端の素子は GPS 受信用のアンテナである。

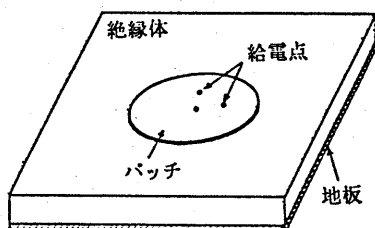


図 7 円形パッチアンテナ

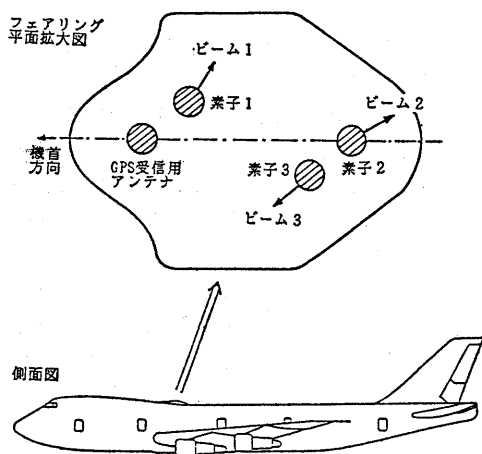


図 8 B747 用アンテナの配置

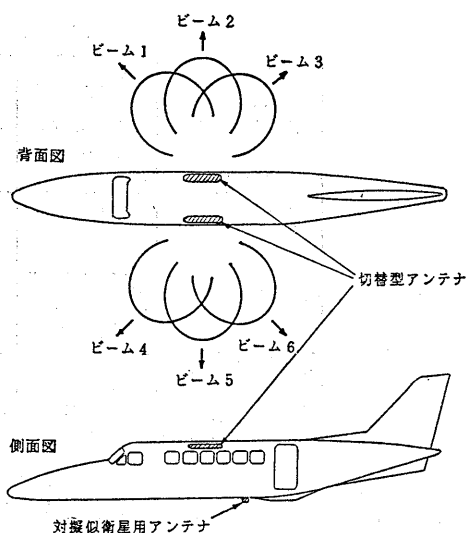


図 9 B99 用アンテナの配置

電航研の実験用航空機 B99 は日本国内での実験に使用するが、日本国内における衛星仰角は $37 \sim 50^\circ$ の範囲である。また、機体に対する衛星方位は飛行経路により 360 変化する。従って、B99 用アンテナははできるだけ広い範囲の方位をカバーする必要がある。図 9 に B99 におけるアンテナ配置を示す。胴体の両側斜め上方に 3～4 個ずつアンテナを配置し、これらを切替えて前後方向の一部を除く両側の範囲をカバーする。なお、胴体下部に擬似衛星用のアンテナを装備する。

船舶地球局は先に述べたように、船舶専用の装置を開発せず、航空機地球局の装置をそのまま船舶に積み替えて使用する。但し、アンテナのみは船舶専用のものを開発し、使用する。このアンテナは直径約 40 cm のバックファイアー・アンテナで、利得は約 15 dBi、動揺の制御は行いが、衛星の自動追尾は行わないで手動による遠隔制御でアンテナの向きを変える。

6. 通信方式

本実験で衛星を介して地上局と航空機を結ぶ回線の C/N_0 は $45 \sim 53$ dB·Hz 程度であるが、これは一般公衆通信の C/N_0 に比べてかなり悪い。更に、本実験では、衛星仰角が低い場合に予想されるかなり大きなマルチパス（多重経路）フェージングの影響を回線条件に含める必要がある。（アンカレッジでの衛星仰角は約 5° である）これらのことを考慮して地上局-移動体間の通信方式を種々検討した結果、表 2 に示すような通信方式を採用することとした。

表 2 は本実験システムで用いる音声通信、データ通信、サーベイランス（監視）および電波伝搬測定の各通

表 2 実験システムの通信方式

通信信号	情報速度	誤り訂正等	変調方式	多元接続方式
サーベイランス (1)測距 (2)デジタルデータ	9.6kHz又は19.2kHz 正弦波トーン 2.4kbps	相関による直接 位相推定	PM 測距信号とデジタルデータ 信号は多重化される	ボーリング制御
データ通信	2.4kbps	符号化率1/2, 拘束長7のたたみ込み 符号/8値軟判定	PM BPSK PN-PSK	TDN/TDMA* SCPC** SSMA***
音声通信	2.4kbps 線形予測符号化	ビタービ復号	BPSK PN-PSK	SCPC SSMA
	アナログ音声	—	NBFM	SCPC
電波伝搬測定	1.224Mbps	—	PN-PSK	—
	—	—	無変調	—

*Time Division Multiplex/Time Division Multiple Access

**Single Channel Per Carrier

***Spread Spectrum Multiple Access

信方式を示したものである。データ通信では PM (位相変調), BPSK (2 相位相 変調), PN-PSK (擬似雑音-位相偏位変調) の三つの変調方式を用いる。PM では地上局→移動体が TDM (時分割多重), 移動体→地上局が TDMA (時分割多元接続) の形式でパーストデータを伝送する。また, BPSK では SCPC (1 波 1 チャンネルの多重通信) 形式で, PN-PSK では SSMA (スペクトラム拡散多元接続) の形式でデータを伝送する。データ通信における情報速度はすべて 2.4 kbps であり, 符号化率 1/2, 拘束長 7 のたたみ込み符号で符号化する。復号方式としては, 8 値軟判定のビタービ復号を用いる。この符号/復号方式は現在提案されている誤り訂正方式の内, 最も優れているものの一つであり, 低 C/N_0 , フェージング条件下に対して有効であると考えられている。また, フェージング条件下でのパースト誤りを避けるため, ビット・インターリーブを行う。PN-PSK では, チップレイト 1.224 Mbps の M 系列 PM 符号による直接拡散方式を用いる。この方式では PM, BPSK と同様の誤り訂正効果の他, 遅延時間約 0.8 μsec 以上のマルチパス波を軽減する効果が期待できる。

音声通信ではデジタル方式とアナログ方式を用いる。デジタル方式では, 音声を 2.4 kbps の LPC (Linear Predictive Coding: 線形予測符号化) によりデジタル化して送信する。これは音声信号の特徴だけを抽出して, その情報を符号化して送る技術である。変調方式は BPSK, PN-PSK の二つである。符号/復号方式はデータ通信と同様である。アナログ方式としては NBFM (狭帯域周波数変調) を用いる。

サーベイランス星は, 衛星-航空機間の距離を高精度で測定するための測距信号と距離粗測用コード, 地対空情報を含むデータ信号を多重化する方式を用いる。測距信号は 9.6 kHz または 19.2 kHz の正弦波トーンである。この測距信号と情報速度 2.4 kbps のデータ信号を

ペースバンドで周波数分割多重し, PM 変調したものがサーベイランス信号である。トーンの位相差測定による精測用測距装置は, 多数の航空機を順々に測距する必要があるため, 短時間で測距が可能な方式が要求される。これには, 電航研が開発した位相の最大事後確率推定方式による測距装置⁸⁾を使用する。

移動体を対象とする衛星通信では高利得のアンテナが使えないので, 海面等によるマルチパス波の影響を受けやすい。特に航空機の場合, 高速で移動すること, および直接波に対するマルチパス波の遅延時間が船舶の場合より大きく, かつ広がりを持つことにより, 変化の速いフェージングを引き起こすことが予想される。そこで, 本実験では電波伝搬の測定として, 1.224 Mbps の PN-PSK を用いてマルチパス波の遅延時間の分布を測定し, また, 無変調信号を用いてフェージングによるレベル変動を測定する。船舶の場合にはレベル変動のみを測定する。

7. おわりに

ETS-V を用いた航行援助実験計画について, 実験システムの構成, 各構成装置の内容, 通信方式等について報告した。衛星を用いた航空機を対象とする通信, 測距の実験, および船舶を対象とする測距の実験等は世界でも例が少なく, この実験の成果は日本国内のみならず, ICAO, IMO 等の国際機関を通して広く世界に貢献できるものと信じている。

最後に, 本実験計画を遂行するに当たり, 御協力いただいた運輸省をはじめ, 郵政省, 科学技術庁, 宇宙開発事業団の関係各位に深く感謝すると共に, 今後なお一層の御支援, 御協力をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 石出明ほか: ETS-V を用いた航行援助実験計画

- (その 1), 昭和 58 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 9~12, 1983
- 2) 奈須英臣ほか: ETS-V を用いた航行援助実験計画 (その 2), 昭和 59 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 55~58, 1984
 - 3) 三垣充彦ほか: ETS-V を用いた航行援助実験計画 (その 3), 昭和 60 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 27~30, 1985
 - 4) 石出明ほか: ETS-V を用いた航行援助実験計画 (その 4), 昭和 61 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 23~26, 1986
 - 5) 伊藤憲ほか: ETS-V を用いた航行援助実験計画 (その 5), 昭和 61 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 27~30, 1986
 - 6) 星野尾一明ほか: ETS-V 搭載中継器 C バンド部地上試験モデル, 昭和 60 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 31~34, 1985
 - 7) 藤田光紘ほか: ETS-V 搭載中継器 C バンド部の

試験結果, 昭和 61 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 31~34, 1986

- 8) 星野尾一明: 位相の最大事後確率推定方式による測距装置について, 電子航法研究所報告, No. 34, pp. 19~36, 1981
- 9) 石出 明: 技術試験衛星 V 型 (ETS-V) を用いた航行援助実験計画について, 第 22 回飛行機シンポジウム講演集, pp. 170~173, 1984
- 10) 伊藤 憲: ETS-V を用いた測距・測位実験計画, 昭和 60 年度電子通信学会総会全国大会論文集, pp. 7-231~232, 1985
- 11) 新美賢治: ETS-V を用いる航行援助実験計画, 昭和 61 年度電子通信学会総会全国大会論文集, pp. 7-263~264, 1986
- 12) 高橋 賢ほか: ETS-V による洋上管制実験計画, 昭和 61 年度電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 19~22, 1986

電波航法 Electronic Navigation Review
No. 33 (1987)

研究会記事

Record

電波航法研究会 昭和 60 年度事業報告

電波航法研究会事務局

Record of the Work Carried Out by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation During Fiscal Year 1985

Secretariat Office of the JACRAN

総 会

昭和 60 年度総会は, 昭和 60 年 5 月 20 日 14 時から, 東京商船大学記念会館で開催された。出席者 34 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。

各議題の審議結果は次のとおりであった。

1. 昭和 59 年度事業報告が事務局により行われ承認された。
2. 昭和 59 年度会計報告が事務局より行われ, 会計監査, 森川 卓氏及び倉繁貴志子氏の監査報告 (書面) があって承認された。
3. 昭和 60 年度会長, 副会長の選出が行われ, 満場一致で, 会長に鈴木 裕氏 (再) が, 副会長には木村小一氏 (再) 及び飯島幸人氏 (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 60 年度事業計画案について事務局から説明が

行われ, 原案どおり承認された。

5. 昭和 60 年度予算案について事務局から説明が行われ, 原案どおり承認された。

研 究 会

1. 昭和 60 年度第 1 回研究会は, 昭和 60 年 5 月 20 日, 東京商船大学記念会館で総会に引続いて開催され, 東海大学 茂在寅男氏の「水中考古学について」と題する講演が行われた。また, 東京商船大学百周年記念資料館見学が実施された。

出席者は 34 名であった。

2. 第 2 回研究会は, 昭和 60 年 7 月 22 日, 海上保安庁第一会議室において開催され, 電気通信大学 橋本清氏の「音声認識技術とその動向について」, 日産自動車株式会社 岸 則政氏「の自動車における音声認識技術の応用について」, 第一中央汽船株式会社 横

田幸平氏の「船舶における音声認識技術の応用について」、電子航法研究所 東福寺則保氏の「航空管制における音声認識技術の応用について」と題する講演が行われた。

出席者は 64 名であった。

3. 第 3 回研究会は、昭和 60 年 9 月 11 日、海上保安庁第一会議室において開催され、船舶技術研究所 翁長一彦氏の「出入港自動化に関する一考察について」、日産自動車株式会社 福原裕成氏の「ロラン C を利用したディリバリーナビゲーションシステムについて」、古野電気株式会社 遠藤保彦氏の「戦艦“大和”の探索について」と題する講演が行われた。

出席者は 42 名であった。

4. 第 4 回研究会は、昭和 60 年 11 月 26 日、海上保安庁第一会議室において開催され、アンリツ株式会社 佐分利義和氏の「時間標準について」、郵政省電波研究所 吉村和幸氏の「航法衛星などによる国際時刻の比較について」、海上保安庁 佐々木 稔氏の「水路部における天文時刻観測について」と題する講演が行われた。

出席者は 32 名であった。

5. 第 5 回研究会は、昭和 61 年 1 月 27 日、海上保安庁第一会議室において開催され、海上保安庁岩佐欽士氏の「電子海図の現況」、株式会社東京計器 吉本高使氏の「電子海図の実用例について」、沖電気工業株式会社 清水良次氏の「水深測量システムについて」と題する講演が行われた。

出席者は 50 名であった。

6. 第 6 回研究会は、昭和 61 年 3 月 17 日、海上保安庁水路部会議室において開催され、海上保安庁 小野房吉氏の「ロラン C 電波の陸上伝搬について」、電子航法研究所 渡辺泰夫氏の「デッカの独立同期について」と題する講演が行われるとともに、映画「新日本丸の建造について」が上映された。

出席者は 39 名であった。

特別研究会

昭和 60 年度の特別研究会（見学会）は、昭和 60 年 11 月 15 日及び 11 月 16 日、宇宙開発事業団地球観測センター及び東京大学東京天文台堂平観測所において開催され、各施設についての説明を受け、引続き見学を実施した。

参加者は 27 名であった。

専門部会

1. 船舶用衝突防止装置の技術基準に関する専門部会
IMO で決議された衝突予防援助装置性能基準に対

応する研究を行うことを目的とし、昭和 56 年度設置され（部会長 木村小一氏以下 9 名）検討が進められているが、その役目を終了したことに伴い、幹事会の決定を受けて 60 年度に廃止された。

2. 固定周波数レーダービーコン受信装置に関する専門部会

昭和 57 年度設置され（部会長 飯島幸人氏以下 9 名）検討を進めてきたが、最近の IMO 勧告の中味において固定周波数レーダービーコンが削除されたこと等の事情から、幹事会の決定を受けて 60 年度に廃止された。

幹事会

企画及び編集幹事会は、合同で昭和 60 年 5 月 20 日、7 月 22 日、9 月 11 日、11 月 26 日、昭和 61 年 1 月 27 日及び 3 月 17 日に開催され、予算案、事業計算、研究テーマ、行事計画、会誌「電波航法」の編集刊行等について審議が行われた。

会誌発行

会誌「電波航法」第 31 号を発行し、第 32 号を編集集中である。

会員数

昭和 61 年 3 月 31 日現在

正会員	46 社	105 口
個人会員	19 人	13 口
推薦会員	14 人	
特別会員	39 人	

会員の異動

1. 入会

- | | |
|----------|------------------|
| (1) 正会員 | 日本航空電子工業(株) |
| (2) 正会員 | 日産自動車(株) |
| (3) 正会員 | 五洋建設(株) |
| (4) 正会員 | 小糸工業(株) |
| (5) 正会員 | 電気興業(株) |
| (6) 個人会員 | 菅 一 志氏 |
| (7) 個人会員 | 塚 田 藤 夫氏 |
| (8) 個人会員 | 木 村 小 一氏 |
| (9) 推薦会員 | 今 吉 文 吉氏（個人会員から） |

2. 退会

- | | |
|----------|----------|
| (1) 個人会員 | 飯 村 忠 彦氏 |
| (2) 個人会員 | 橋 本 民 雄氏 |
| (3) 個人会員 | 山 下 享 子氏 |
| (4) 個人会員 | 北 島 豊 氏 |

電波航法研究会 昭和60年度会計報告および昭和61年度予算

収入の部	項 目	昭和60年度 決算金額	昭和61年度 予算金額	支出の部	項 目	昭和60年度 決算金額	昭和61年度 予算金額
	前年度より繰越	1,299,504円	1,324,018円		会 議 費	170,714円	220,000円
	会 費	1,297,000円	1,387,000円		会 費 出 版 費	815,800円	1,700,000円
	雑 収 入	0円	20,000円		事 務 費	112,630円	100,000円
	広 告 料	33,000円	199,000円		編 集 費	20,000円	20,000円
	銀 行 利 子	11,548円	8,000円		会 計	20,000円	20,000円
	計	2,641,052円	2,938,018円		謝 金	72,000円	76,000円
					通 信 交 通 費	86,930円	110,000円
					雑 費	18,960円	692,018円
					次年度へ繰越	1,324,018円	
					計	2,641,052円	2,938,018円

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

昭和63年2月10日 印刷 1987

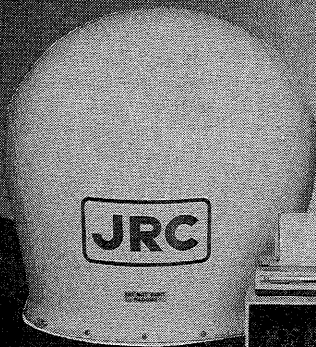
昭和63年2月15日 発行 No. 33

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565-12 啓文ビル
 (有) 啓文堂 松本印刷

JRC 海事衛星通信用船舶地球局 JUE-45A

よりコンパクトに、より高機能に、世界一の
実績をベースに、強力な新型誕生。



世界の海に世界の船に

JRC 日本無線

東京都港区赤坂2丁目17番22号
(赤坂ツインタワー本館)
TEL 03-584-8787 (ダイヤルイン)

コミュニケーション空間の限りなき革新をめざし

営 業 品 目

■機 器

無線応用・航法援助機器
無線通信装置
電子応用装置
事務機・OA関連機器

■電源装置

放送通信機器用
電力プラント用
鉄道関係用
事務機器用

■部 品

コンデンサ、トランス
ラインフィルタ
バンドパスフィルタ
PFN



長野日本無線株式會社

本社・工場 〒381-22 長野市稲里町下水鉾1163番地
☎長野 (0262) 85-2525 (代表) 加入電信3322-119
東京支社 〒107 東京都港区赤坂2丁目17番22号赤坂ツインタワー本館11F
☎東京 (03) 584-1621 (代表)

——エレクトロニクスの

OKI

水中音響技術をリード。

水中音圧計はハイドロホンを吊下するだけでどなたにでも容易に水中音圧レベルを測定することができます。音圧レベルの直読や録音もでき、しかもポータブルタイプですので使用場所を選びません。手軽に使用でき、幅広い利用範囲を持ったレベル計です。

仕様

- 測定周波数範囲……10Hz～100kHz（オプションにより250kHzまで測定可能）
- 測定音圧範囲……100～180dB(0dB=1 μ Pascal)
- フィルタ……HIGH PASS、LOW PASS
外部フィルタ端子付
- レベル校正……内蔵発信器により可能
- 寸法……W320×D230×H90(mm)

特長

- 小型軽量ポータブルタイプ
- AC、DC両電源可能
- 音圧レベルの直読可能
- 高精度テープレコーダなどに録音可能

応用範囲 ●ソナー、ピンガ、トランスポンダ、測深機、魚群探知器などの動作診断や性能確認 ●海中雑音の測定 ●海岸工事や水中工事雑音の測定 ●船体振動やスクリューなどによる船舶航走雑音測定 ●海中騒音公害モニタ用 ●その他あらゆる水中音の聴音、測定、監視



小形軽量ポータブルタイプ

SW1020 水中音圧計

沖電気工業株式会社 官公営業本部 〒105 東京都港区虎ノ門1-17-1 (第5森ビル) ☎(03)501-3351 (代)

夢をかたちに
展開と創造の 富士通

富士通

OASYSの表現力。

専用ワープロ

高性能パソコンに、実績No.1*の専用ワープロOASYSのすぐれた日本語機能を搭載。
ゆたかなOASYSの表現力と、すぐれたパソコンの創造力がひとつになったFMRシリーズ。

3機種そろって、富士通から新登場。*日経産業新聞 昭和61年12月11日発表

(小さなボディに多彩な機能と
OASYSの日本語パワーを結集)

OAK(OASYSかな漢字変換)の採用とワープロソフト「FM-OASYS」の提供で、専用ワープロのすぐれた日本語処理機能を身につけました。一人一台を実現する斬新な逆T字型のコンパクトボディに、見やすい640×400ドットの大型フラットディスプレイ、1MB3.5インチFDD2基など、最先端テクノロジーを高密度に実装した新時代のパソコンです。

- 理想的なシステム間連携をめざすニューエフエムジョインコンセプト「FMJOIN」。(HDタイプでサポート)
- 操作性と収納を考えたワイヤレスキーボードを採用。●パソコン通信をはじめとするネットワークにも幅広く対応。

FM R-30^{FD}_{HD}

超省スペースの卓上型パソコン

FDタイプ ¥378,000(本体価格・キーボード付)

HDタイプ ¥598,000(本体価格・キーボード付)

*ワープロソフト「FM-OASYS」は別売、
各タイプとも¥78,000



パソコンの創造力。

富士通のパソコン **FMR** シリーズ

FMR-60^{FD}_{HD} **FMR-50^{FD}_{HD}**

24ドットの高品位パソコン 機能充実の汎用パソコン
FDタイプ ¥485,000(本体価格・キーボード付) FDタイプ ¥410,000(本体価格・キーボード付)
HDタイプ ¥725,000(本体価格・キーボード付) HDタイプ ¥650,000(本体価格・キーボード付)

富士通株式会社 ●官庁第一営業部 〒100東京都千代田区丸の内1-6-1 ☎(03)216-3211代 技術的なお問い合わせは-FMインフォメーションサービス ☎(03)646-0816(お問い合わせ時間)10:00~18:00 月~土(祝日除く)
富士通プラザ(マイコンスクエア含む) ●丸の内(03)215-0321 ●秋葉原(03)251-1448 ●札幌(011)222-5466 ●仙台(022)267-5011 ●名古屋(052)231-6120 ●大阪(06)344-7648 ●広島(082)211-1717 ●福岡(092)713-0135