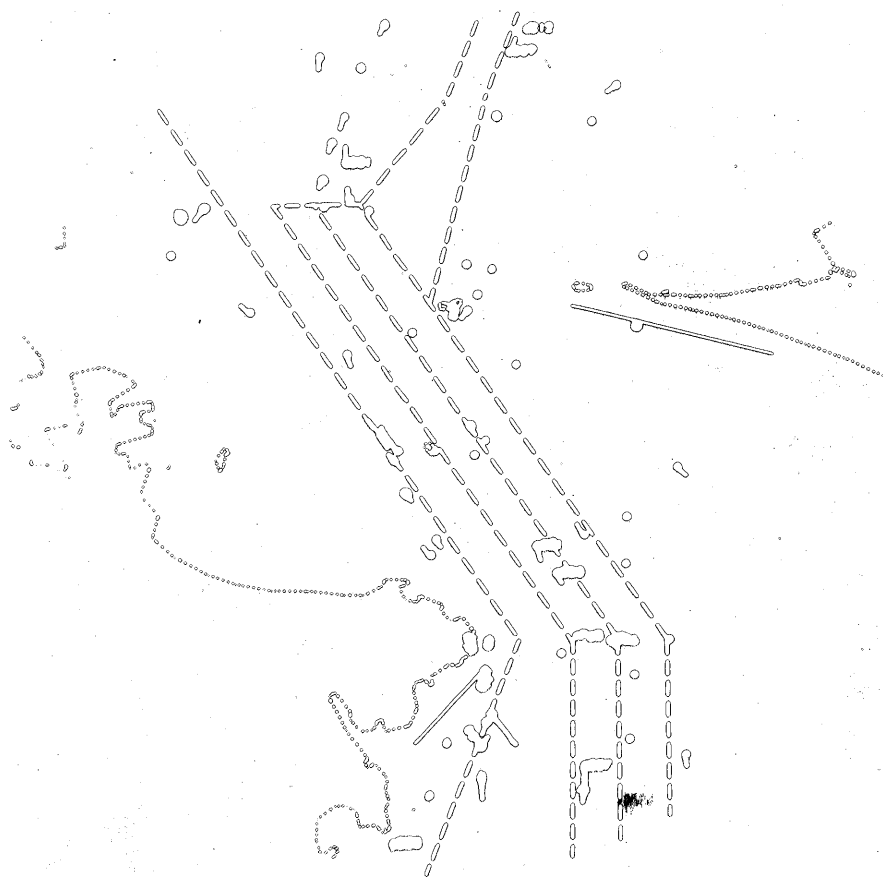


ISSN 0287-6450

Denpa kōhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN. 36

1989

電波航法研究会 発行

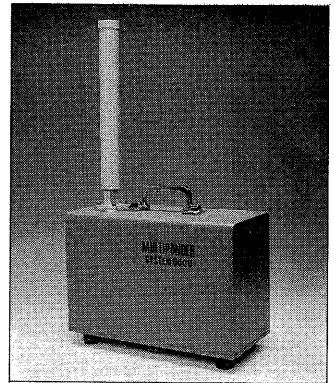
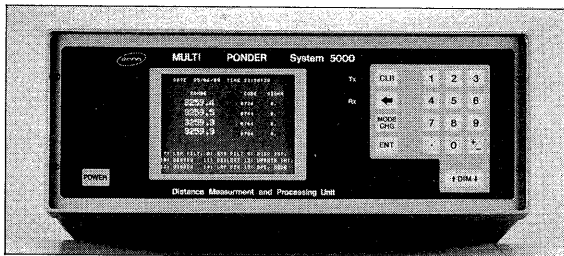
Published by the Japanese Committee-
for Radio Aids to Navigation

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 $\pm 0.5m$
マルチューズ 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

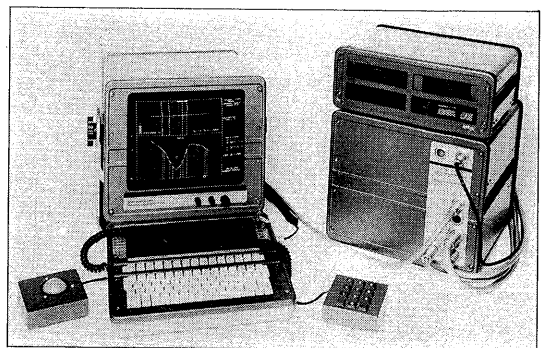
システム900は水路測量、浚渫／埋立作業のために開発されたシステムでデータ集録、処理の機能を持ち、迅速なる海図作成を実行します。

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	飯 島 幸 人…(2)
Foreword	Yukihito IIGIMA
海水とその境界面における電波の伝搬	石 毛 龍之介…(3)
Propagation of Electromagnetic Waves in Sea Media and at Their Boundaries	Ryunosuke ISHIGE
カラー魚群探知機の発明	田 中 磯 一…(13)
The Invention of Colour Finder	Isokazu TANAKA
電子海図に関する IMO の最近の動向	庄 司 和 民…(20)
Recent Trends at IMO on ECDIS	Kazutami SHOJI
船内統合エキスパートシステムについて	葛 西 宏 直…(27)
.....	Hironao KASAI
船体状態監視評価と姿勢制御の自動システムについて	山 口 雄 三…(37)
On the Automatic Control System for the Condition Surveillance and Attitude Keeping of Ocean Going Vessel	Yuzo YAMAGUCHI
ファジィ理論を応用した避航航路計画システム	山本敏雄, 山本正明…(42)
Collision Avoidance Routing System Using Fuzzy Theory	Toshio YAMAMOTO Masaaki YAMAMOTO
知能化船における狭水域航行システムについて	永 田 至 孝…(51)
Marine Traffic System for Intelligent Ship	Shikou NAGATA
座礁予防システムについて	外 岡 幸 吉…(58)
Stranding Avoidance System	Koukichi SOTOOKA
自動離着桟システム	吉久英昭, 高井忠夫…(67)
An Automatic Maneuvering System in Berthing	Hideaki YOSHIHISA Tadao TAKAI
研究会記事	事 務 局…(79)
Records	Secretariat Office

巻 頭 言

(Foreword)

会 長 飯 島 幸 人

President Yukito IJIMA

現代は第二の大航海時代とも云われています。第一次は云うまでもなく、コロンブス、バスコ・ダ・ガマ、マジェランなどに代表される地球上の未知の世界の発見・探検の時代であって、来年1992年はコロンブスのアメリカ発見から丁度500年になります。その第一次の大航海時代になぞられて、地球以外の未知の世界である宇宙や、地球内の未知の世界である深海を探検・発見しようとする試みから、そう云われる所以であります。

この両者に共通しているのは、Navigationであり、そのNavigationを達成するためには、その時代の最先端技術の粋を集めなければならないと云うことです。Navigationは今や地球空間から飛び出して宇宙にまで拡大して来ました。空間のどこかを問わず、Navigationの使命は、出発する一点から、目標とする他の一点まで最も効率的に、しかも安全に移動体を輸送することではありますが、そのためには正確な位置決めと、移動体そのものの制御が必要となります。我が電波航法はそのような意味において第二次大航海時代の旗頭であると云えましょう。

今我々が生活している20世紀という時代の90年は、それまでの人類の歴史の一部である1900年間に比べてすべての分野で驚異的な発展を遂げた時代です。電波航法研究会は、その驚異的發展時代の1951年に誕生し、密度の最も濃い最後の40年間電波航法の砦を守り続けてきました。多分21世紀には今我々が夢見たにしないような技術が現れ、20世紀とは異なった時代になるかも知れません。その時代のために残された時間はあと9年です。この9年間は20世紀の足跡を確固たるものとする期間であると共に、21世紀へ向けて革新的なブレイクスルーを模索する時間であると思います。我々は次世代の人々へパトタッチするためにこの僅かな時間の間に何かをしなければなりません。電波航法研究会もこのような理解の下に活動して行きたいものであります。

海水とその境界面における電波の伝搬

株式会社 光電製作所
石 毛 龍之介

Propagation of Electromagnetic Waves in Sea Media and at Their Boundaries

Koden Electronics Co., Ltd
Ryunosuke ISHIGE

1. ま え が き

電波技術の高度の発展によって、今や電波は広い分野において利用されている。それは単に地上間での通信利用に止まらず、広大な宇宙間の情報の伝達にも目覚ましい活躍を遂げているし、他方以前にはほとんど顧慮されなかった地中での探査にも応用され、鉱物資源の探査や遺跡、空洞、埋設物等の発見に貢献している。

しかしながら海洋関係については、海水中での電波の減衰がきわめて大きいといわれているため、大部分の応用は海上における海象・気象の観測や空中での通信、測位等に向けられ、海中はほとんど超音波の独り舞台といっても過言ではない。

近年になってレーザ、特に海の色から類推できるように、海水による吸収の少ない緑あるいは青色のレーザが、100m以内の近距離海中伝搬に適していることが実証され、その利用が模索されている。たとえば波長514nm(緑)及び488nm(青)のアルゴンイオンレーザなどがこれに当てはまる。同様に電波も、特定の条件下ならば海中伝搬が可能ではなからうかと考えるのは、あながち的外れとはいえない。

本稿ではまず電波の海水中での伝搬特性を計算し、比較的良好な伝送特性がいかなる条件下で得られるかを解明する。つぎに実際に利用可能な水中通信に関する簡単な紹介と、海水の著しい減衰の問題を克服するために開発されている海面を利用した海中相互間の通信や、海底を利用した新通信方式の提案を、文献を引用しつつ述べる。

2. 水の電氣的性質

水の電氣的性質は、固体(氷)、液体(水)、混合物

(雪)の違いや、温度、周波数、不純物の濃度などによって著しく異なる。リモートセンシング分野では、これを応用して海水と氷とを識別、分離している。本稿は海水を対象とするものであるが、海水の特質を明確に認識するため、まず水を氷、淡水、海水及び雪の4種に大別して、それぞれの電氣的性質を考察してみる。

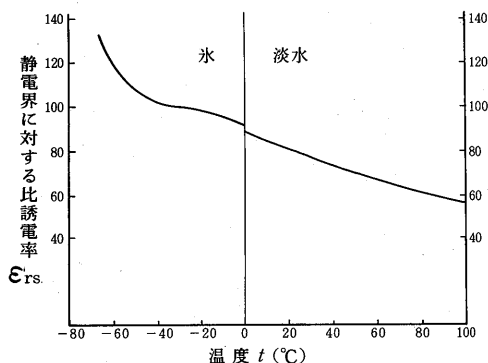


図1 氷及び淡水の、静電界に対する比誘電率 ϵ_{rs} の温度特性

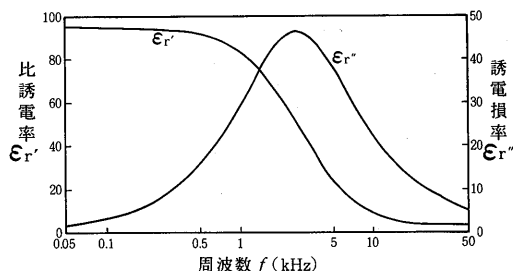


図2 氷の比誘電率 $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$ の周波数特性 ($t = -10.8^\circ\text{C}$)

2.1 氷の電気的性質

静電界に対する氷の比誘電率 ϵ_{rs} の温度特性を図1の左側に示す。氷は分子結合が密であるため、 0°C で91.1と淡水より大きな値を示す。図2は、 -10.8°C における比誘電率 $\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$ の周波数特性で、角周波数 $\omega \rightarrow \infty$ に対応する比誘電率 $\epsilon_{r\infty}$ は3.17となる。また ϵ''_r は2.65kHzで最大吸収値46.4を示す。直流導電率 σ_0 は氷に比べはるかに小さく、一例として $2.1 \times 10^{-8} \text{S/m}$ 程度、塩分0.5%の海水でも $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である。

2.2 淡水の電気的性質

淡水の ϵ_{rs} は、図1の右半分に示す温度特性をもち、 0°C では88.2と氷に比べてやや小さく、 25°C で78.5、 83°C で59.9である。また比誘電率の周波数特性は図3のように、マイクロ波以下では平坦であるものの、 $\epsilon_{r\infty}$ は 25°C で 5.0 ± 0.5 となる。直流導電率は氷に比べれば大きい、それでも蒸留水で $2 \times 10^{-4} \text{S/m}$ 、湖水では 10^{-3}S/m の例がある。図4にその温度特性を示す。淡水は一般的にみて、低周波では導電率の影響がまざって導体的、高周波では逆に誘電体的な振舞いをする。

2.3 海水の電気的性質

海水は、塩化ナトリウムを主成分とする塩類の溶解

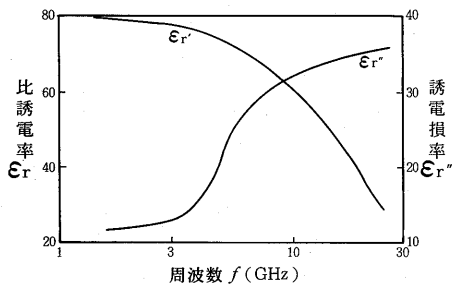


図3 淡水の比誘電率 $\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$ の周波数特性 ($t = 20^{\circ}\text{C}$)

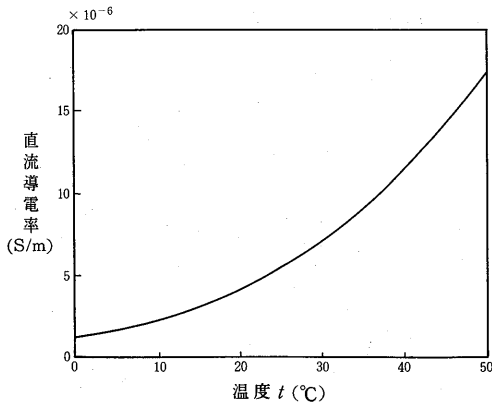


図4 淡水の直流導電率 σ_0 の温度特性

によって、そのイオン導電性のため導電率は河川や湖沼の水に比べはるかに大きい。また比誘電率は誘電分散の周波数がマイクロ波帯にある(図5)ため、それ以下の周波数を対象とするときは一定と考えてよい。かつ海水は誘電体としてよりもむしろ導体的要素が強く、特性はほとんど導電率で定まるから、誘電率の影響は無視できる。電気特性は塩分と温度に大いに左右されるほか、場所、淡水の流入の存在、蒸発量、降雨、氷山、深度、塩分や鉱物の種類等によっても影響を受け複雑である。図6はNaCl濃度に対する海水の比誘電率及び導電率を示す。今後の計算に当っては本図から、海水の標準的塩分濃度に対応する値として $\sigma = 4 \text{S/m}$ を採用する。

2.4 雪の電気的性質

図7及び図8に、各種の雪の電気的性質を示す。雪は氷の結晶を主体とする混合物であるから、乾雪の場合には氷と空気の間の特性を示すが、湿雪になると氷の結晶の間に含まれる水の影響を大いに受ける。水分、塩分、その他の不純物の量の僅かの違いでも、雪

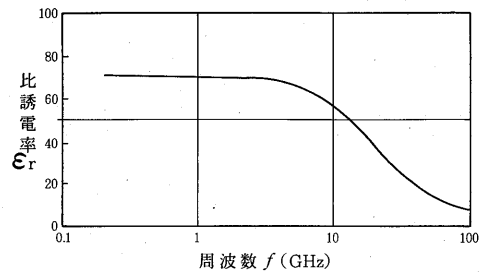


図5 海水の比誘電率 ϵ_r の周波数特性 ($T = 293\text{K}$)

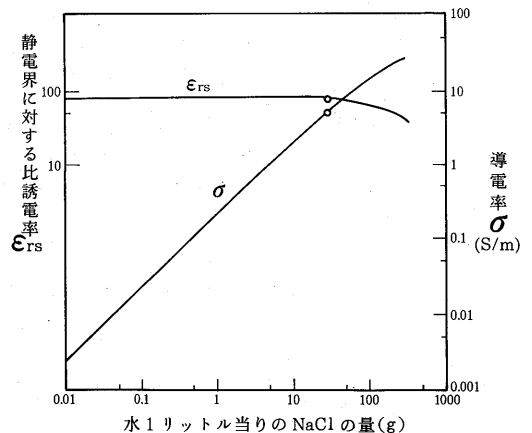


図6 海水の静電界に対する比誘電率 ϵ_{rs} 及び低周波での導電率 σ の、NaCl 濃度特性 ($t = 25^{\circ}\text{C}$)

の電氣的性質に与える影響は大きく、乾雪では電波の浸透が容易であるのに反して、混雪ではきわめて大きな減衰を与えるという結果になる。

3. 水中及び境界面における電波の伝搬

3.1 水中における電波の伝搬

水中における電波伝搬の式は、媒質が均質であると仮定すればマクスウエルの方程式から容易に導き出せ

る。紙面の関係で結果だけを列記すると、

$$\alpha = \omega \sqrt{\epsilon \mu} \sqrt{\frac{-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}{2}} \quad (\text{Np/m}) \quad (1)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\epsilon \mu} \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}{2}} \quad (\text{rad/m}) \quad (2)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \left\{ \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}{2 \left[1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2\right]}} + j \sqrt{\frac{-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}{2 \left[1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2\right]}} \right\} \quad (\Omega) \quad (3)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} \sqrt{\frac{2}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}} \quad (\text{m/s}) \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{\epsilon \mu}} \sqrt{\frac{2}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}} \quad (\text{m}) \quad (5)$$

ここに α は減衰定数、 β は位相定数、 η は固有インピーダンス、 v は伝搬速度、 λ は波長、 ϵ は誘電率(F/m)、 μ は透磁率(H/m)、 σ は導電率(S/m)、 ω は角周波数(rad/s)である。前章の考察から、海水に対して $\epsilon_r = 81$ 、 $\sigma = 4\text{S/m}$ を選べば、海水中の電波の伝搬特性に関して(1)～(5)式から図9～12を得る。なお参考までに、

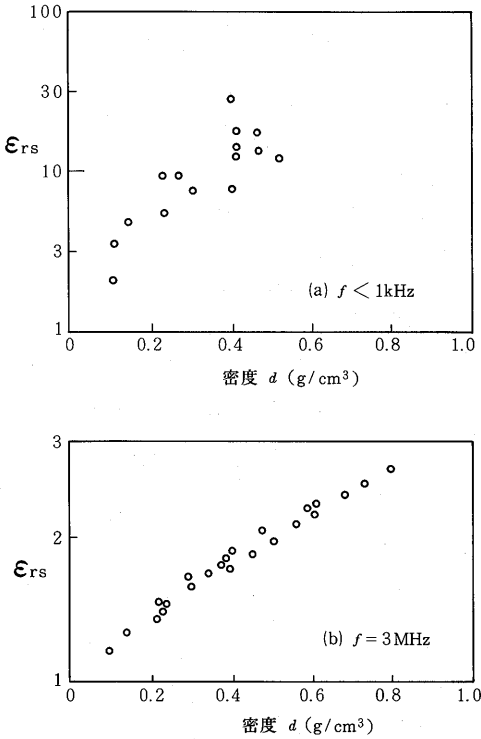


図7 雪の静電界に対する比誘電率 ϵ_{rs} と密度との関係

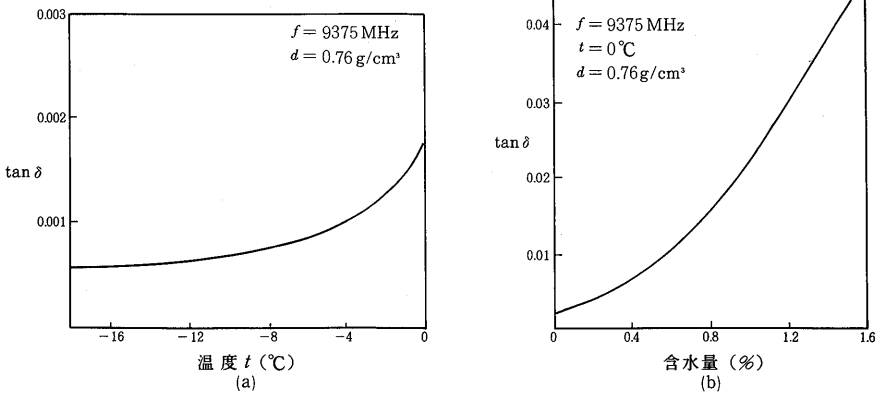


図8 (a) 乾雪の損失角 $\tan\delta$ の温度特性、(b) 湿雪の損失角 $\tan\delta$ と含水量との関係

比誘電率が海水と同じく81で、導電率が 10^{-3}S/m の河川の水、並びに空気の場合との対比を表1に示す。

海水では一般に、減衰量がきわめて大きく、伝搬速度、波長、固有インピーダンスがきわめて小さい。ただ周波数の低い領域では減衰が比較的小さく、電波伝搬の可能性を残している。同時にこの領域では、波長が極端に短縮されることに注目すべきである。

3.2 水面における電波の反射と屈折

空中から水中に電波が入射される場合、あるいは逆の場合は、水面で電波の一部は反射し、一部は屈折を

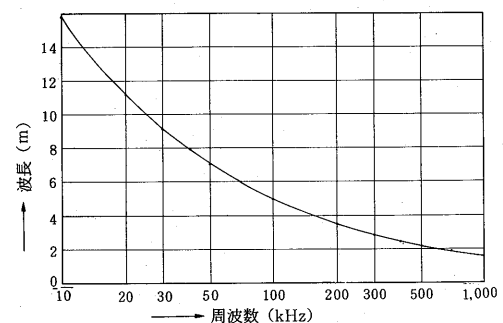


図11 海中での波長

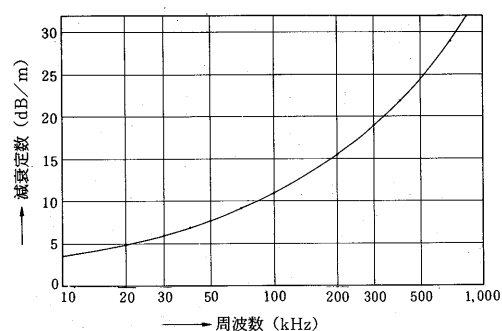


図9 海水の減衰定数

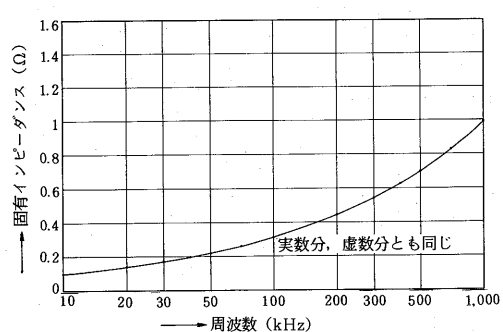


図12 海水の固有インピーダンス

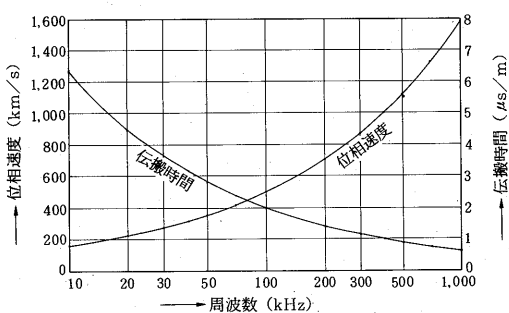


図10 海中での位相速度及び伝搬時間

表1 各種媒質の減衰定数と波長

	周波数	海水	河川	空気
減衰定数 (dB/m)	10.2 kHz	3.49	0.054	
	100 kHz	10.91	0.139	
	100 MHz	326.30	0.182	
波 長 (m)	10.2 kHz	15.66	967.7	29391
	100 kHz	5.00	254.2	2998
	100 MHz	0.149	0.33	2.998

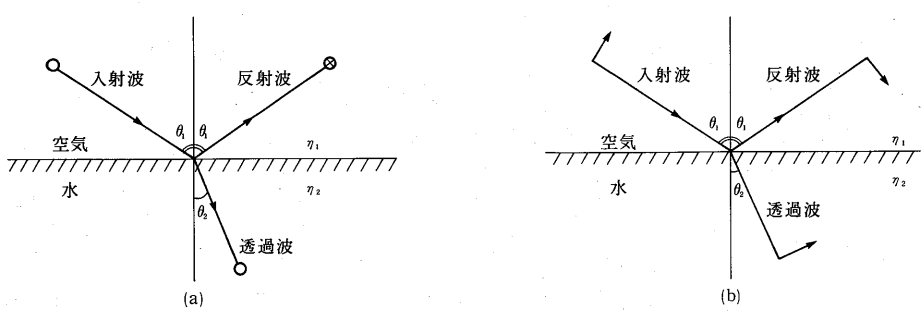


図13 水面における電波の反射と透過 (a) 電界が入射面に垂直な場合、(b) 電界が入射面に平行な場合

ともなって透過する。計算を容易にするため、図13 (a), (b) のような平面波を考え、電界が入射面(紙面)に垂直な平面偏波成分(水平偏波)と、電界が入射面に平行な平面偏波成分とに分けて計算する。結果は次のとおりである。

$$\Gamma = \frac{\eta_{n2} - \eta_{n1}}{\eta_{n2} + \eta_{n1}} \quad (6)$$

$$T = \frac{2\eta_{n2}}{\eta_{n2} + \eta_{n1}} = 1 + \Gamma \quad (7)$$

$$\Gamma_m = \frac{\eta_{n1} - \eta_{n2}}{\eta_{n1} + \eta_{n2}} = -\Gamma \quad (8)$$

$$T_m = \frac{2\eta_{n1}}{\eta_{n1} + \eta_{n2}} = 1 - \Gamma \quad (9)$$

ここに電界の反射係数及び透過係数をそれぞれ Γ , T , また磁界の反射係数及び透過係数をそれぞれ Γ_m , T_m とする。また(a)の場合 $\eta_{n1} \equiv \eta_1 / \cos \theta_1$, $\eta_{n2} \equiv \eta_2 / \cos \theta_2$, (b)の場合 $\eta_{n1} \equiv \eta_1 \cos \theta_1$, $\eta_{n2} \equiv \eta_2 \cos \theta_2$ であり, θ_1 は入

射角または反射角, θ_2 は無損失媒質の場合の屈折角であって次式の関係がある。

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 + \beta_1 \beta_2}{\alpha_2^2 + \beta_2^2} + j \frac{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2}{\alpha_2^2 + \beta_2^2} \quad (10)$$

海水のように損失の大きな媒質では, 空中から到来した電波が海面から海中へ侵入するとき, その屈折角はスネルの法則に従う θ_2 とは異なる値をとる。 θ_2 は実数項が位相的情報, 虚数項が振幅的情報を与える複素量で表示され, 反射係数や透過係数の計算のため用いられるが, 正しい屈折角 φ の値は, 位相一定面の方向を示す角であって,

$$\sin \varphi = \frac{\sqrt{2} \beta_1 \sin \theta_1}{\sqrt{\beta_2^2 - \alpha_2^2 + \beta_1^2 \sin^2 \theta_1 + \sqrt{(\alpha_2^2 - \beta_2^2 + \beta_1^2 \sin^2 \theta_1)^2 + 4 \alpha_2^2 \beta_2^2}}} \quad (11)$$

で表わされる。 $\alpha_2 = 0$ の場合には $\varphi = \theta_2$ となり, スネルの法則と一致する。

表2, 表3及び表4に10.2kHzにおける海面及び河面の反射係数, 電界透過係数及び磁界透過係数を示すが, これから海面では大部分の電波が反射されること,

表2 10.2kHzにおける海面及び河面の反射係数の大きさ

入射角	海 面		河 面	
	図13 (a)	図13 (b)	図13 (a)	図13 (b)
0°	0.9995	0.9995	0.966	0.966
10	0.9995	0.9995	0.967	0.966
20	0.9995	0.9994	0.968	0.964
30	0.9995	0.9994	0.971	0.961
40	0.9996	0.9993	0.974	0.956
50	0.9997	0.9992	0.978	0.948
60	0.9997	0.9989	0.983	0.933
70	0.9998	0.9984	0.988	0.904
80	0.9999	0.9969	0.994	0.821
90	1	1	1	1

表3 10.2kHzにおける海面及び河面の電界透過係数

入射角	海 面		河 面	
	図13 (a)	図13 (b)	図13 (a)	図13 (b)
0°	0.000753	0.000753	0.0468	0.0468
10	0.000742	0.000765	0.0461	0.0475
20	0.000708	0.000801	0.0440	0.0498
30	0.000652	0.000870	0.0406	0.0539
40	0.000577	0.000983	0.0360	0.0608
50	0.000484	0.00117	0.0303	0.0721
60	0.000377	0.00151	0.0236	0.0920
70	0.000258	0.00220	0.0162	0.132
80	0.000131	0.00433	0.00824	0.249
90	0	2	0	2

表4 10.2kHzにおける海面及び河面の磁界透過係数

入射角	海 面		河 面	
	図13 (a)	図13 (b)	図13 (a)	図13 (b)
0°	1.9995	1.9995	1.966	1.966
10	1.9995	1.9995	1.966	1.965
20	1.9995	1.9994	1.968	1.964
30	1.9995	1.9994	1.970	1.961
40	1.9996	1.9993	1.974	1.956
50	1.9997	1.9992	1.978	1.947
60	1.9997	1.9989	1.983	1.932
70	1.9998	1.9984	1.988	1.902
80	1.9999	1.9969	1.994	1.813
90	2	0	2	0

表5 入射角に対する屈折角の値

入射角	周波数	空気→海水	空気→河川
30°	10.2 kHz	0.0153°	0.197°
	100 kHz	0.0478	0.613
	100 MHz	1.43	4.38
60°	10.2 kHz	0.0264°	0.342°
	100 kHz	0.0828	1.06
	100 MHz	2.48	7.59
90°	10.2 kHz	0.0305°	0.396°
	100 kHz	0.0956	1.23
	100 MHz	2.86	8.76

及び固有インピーダンス値が低いことから磁界透過係数の方が電界のそれに比べて大きいことが知られる。また表5に入射角に対する屈折角の値を示す。入射エネルギーが、入射角に関係なくほとんど垂直に海中に侵入することが強調される。

4. 水中通信

前章の計算結果を考察すれば、海中相互の直接通信や空中電波の海中での受信、あるいはその反対経路の通信には、海水の減衰定数が周波数につれて著しく増加することから、低周波帯しか利用できないことが分かる。しかも減衰は距離とともに増大するから、海面から比較的浅い部分に限って適用される。

1918年米海軍は、通信及び方向探知用アンテナを潜水艦に装備した。これは船体の両端からブリッジまで2本の線を張って、船体を含むループアンテナを形成したものである。315kHzで実験を行なったが、金属の裸線が海水に接触している関係でループ上の電流の減衰が著しく効果的でなかった。この初期のアンテナは後に改良され、誘電体を被覆して絶縁ループとすることで減衰を小さくして使用した。ループの大きさは海水中で数分の1波長から数波長程度が使われ、4~33kHzの場合、距離4m以内では磁界は距離の3乗に逆比例して減衰し、11m以上でノイズレベル以下となった。

1941年当時の海軍技術研究所が安芸灘、広島湾で実施した長さ25~37.7mの水防空中線の初期の実験では、450km離れて17.44kHzを受信したところ、水深6~8mで可能であり、10mでは雑音のみであったと記録されている。当時枠型空中線では12mで受信可能であった。戦後は曳行絶縁同軸アンテナが潜水艦用にしばしば使われるようになった(図14)。

一般に空中電波の海中受信には低周波帯が使われることはさきに述べた。連続波双曲線航法システムの一つであるオメガシステムは、10~14kHz帯のVLFを用いているので、海面近くに浮上した潜水艦では受信可能である。ただし海面における位相シフトの大きさの不確かさの問題や、空気と海水との間の著しい波長の違いによる深さ情報確保の問題が存在する。

現在では、さらに低周波帯に属する30~100Hz位のELFが利用されるようになった。米国の例では、40~50Hz及び70~80Hz、送信機出力660kW、アンテナ出力10W以下で、深さ120mの地中海を16ノットで航行中の潜水艦と交信したとのことである。ただし3文字の伝送に15分を費した。

他方河川や湖沼のような淡水では、吸収は海水に比べてはるかに少ないが、水面からの反射損の問題が残

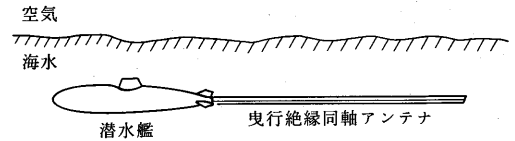


図14 曳行絶縁同軸アンテナ

されている。ネス湖の実験では、深さ30m以上の潜水艇のホイップアンテナで、湖面との間の150MHzの通信に成功している。

目的はこれらと異なるが海中電磁界利用の一例として、1928年に開発されたOcean Cableがある。これは海底に張った絶縁ケーブルに電流を流し、その磁界を船から吊り下げた1対のセンシングループで検知して船の進路を定め、ケーブルに沿って入港するシステムである。

またSEDARは水面を曳行する送信機アレイによって、200mの深さの海底付近に設置した装置を回収するためのリモートリリース機構を働かすシステムである。深さ200m、有効距離1000m、出力115V、1kWという。

5. 水中アンテナ

水中で用いられるアンテナは、媒質の影響で空中の場合とはかなり異なる。主な水中アンテナについて、簡単に紹介しておく。

5.1 裸ダイポールアンテナ

通常のダイポールを海水のような導電性媒質中におくと、媒質中にダイポールと平行な導電路が形成され、アンテナ電流は長さ方向に沿って速やかに減衰する。その電流分布は媒質の導電率に大きく影響される。したがって媒質の電気特性測定用プローブには高感度で適している反面、通信用としては余り適当ではない。ただし淡水のような低損失媒質には使用可能であるが、指向性は余り良いとはいえない。

5.2 絶縁ダイポールアンテナ

図15(a)、(b)に絶縁ダイポールアンテナの構造を示す。図で①は金属、②は空気、油、アルコール、ポリスチレン等の誘電体、③は薄いガラス又はプラスチック管(ない場合もある)、④は海水である。海水は“dense”(α, βが大きいこと)なので、アンテナは電波を伝送線路の損失の場合のように単位長当りに配分、放射する。直接海水の場合に生じるアンテナ付近での大きな吸収は、絶縁物②、③でカバーすることによって防ぐ。図15(b)は広帯域進行波型アンテナとして利用できる。このアンテナは裸ダイポールアンテナと

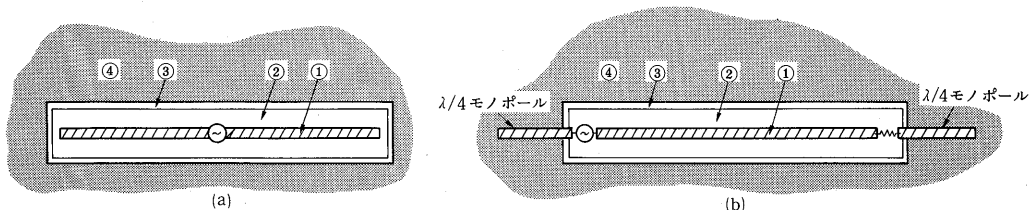


図15 海中における絶縁ダイポールアンテナ (a) 中心給電、開放端の場合、(b) 一端給電、1/4波長裸モノポールで終端した場合

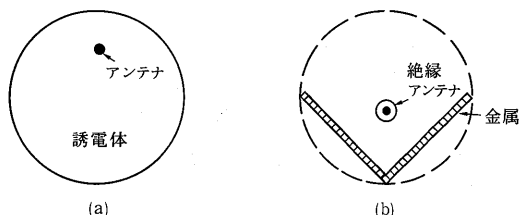


図16 (a) 偏心絶縁ダイポールアンテナ、(b) コーナーリフレクタ付絶縁アンテナ

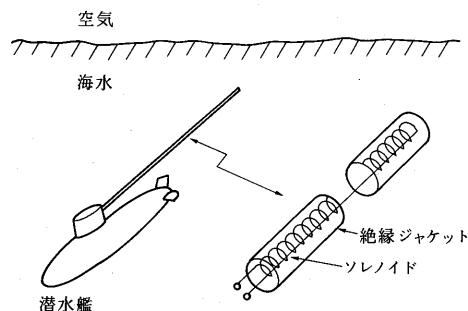


図17 ELF 帯絶縁ソレノイドアンテナ

反対に、周囲の電気特性に鋭敏ではないので、プローブとしては適しない。ただし水のように誘電率の低い場合に限って利用可能である。

5.3 偏心絶縁ダイポールアンテナ

図16 (a) のように絶縁ダイポールアンテナの中心導体を偏心させることによって、電界パターンに方向性を与えることができる。さらに方向性を増したいときは、絶縁スリーブの半径を大きくするか、(b) のようにコーナリフレクタ付絶縁アンテナを用いればよい。方向性はアレイアンテナにすることで一層増加する。

5.4 絶縁円形ループアンテナ

ループアンテナを用いる場合も、ダイポールと同様に球、ウェッジ、トロイダル等の形状の誘電体で囲んで、絶縁円形ループとすることができる。トロイダル形の絶縁は、同軸ケーブルの外部導体を除去することによって容易に実現する。海中低周波通信用には、電気的に小さな絶縁ループを使用できる。フェライトコア等の同心磁心を用いれば感度はさらに増加する。

5.5 絶縁ソレノイドアンテナ

図17は、絶縁体ジャケットに包まれた潜水艦通信用の長いソレノイドアンテナである。アンテナ巻線の内側には、ヘリカルに巻いた強磁性テープの磁心が入っていて感度を増大させている。海中を曳行し、船の中心線と平行な磁界ベクトルを検出する。絶縁水平ダイポールとともに1つのケーブルに取めて使用すると相

補的である。

6. 海面通信

海水のような損失の大きな媒質の場合、海中相互の通信を直接行なうことは得策とはいえない。そこで Lateral Wave Transmission (Up-Over-And-Down Transmission) の考えが導入された。図18で、電波は

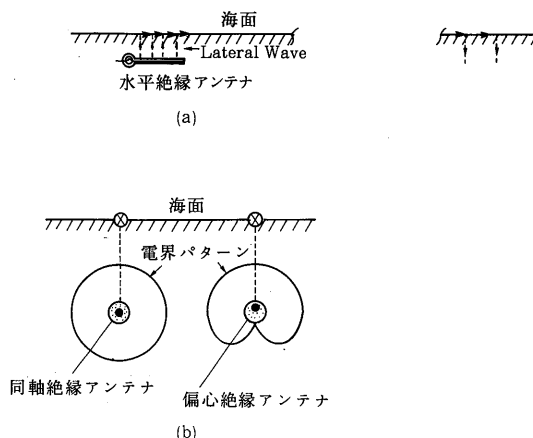


図18 水面を利用した水中相互間通信 (a) 側面から見た図、(b) 電波の水面伝搬方向を見た図 (同軸絶縁アンテナと偏心絶縁アンテナの電界パターン)

海中に水平に設置したアンテナから上方へ放射され、ほとんど垂直に近い臨界角（表5参照）で海面に到達した電波は、海面に沿って長距離伝搬し、再び臨界角で下方へ伝達され受信アンテナに至る。この方式では、伝搬経路の大部分が空中であることから長距離通信の可能性をもっている。感度向上のためには、抵抗で終端した進行波型がすぐれており（図15（b））、かつアンテナを十分長く、絶縁物を薄くするとよい。

図19（a）は淡水の場合、（b）は海水の場合の電界の強さの周波数特性であるが、両者の間には著しい違いが見られる。すなわち前者では高周波で電界の強さが大きく、周波数特性もなだらかであるが、後者では10MHz付近に最大値が現われ、それ以上の周波数では急速に減衰する。たとえば-180dBの電界の強さは、1kHz以下では350mまでしか確保できないが、5MHzを用いれば30kmまで達成できる。大西洋や

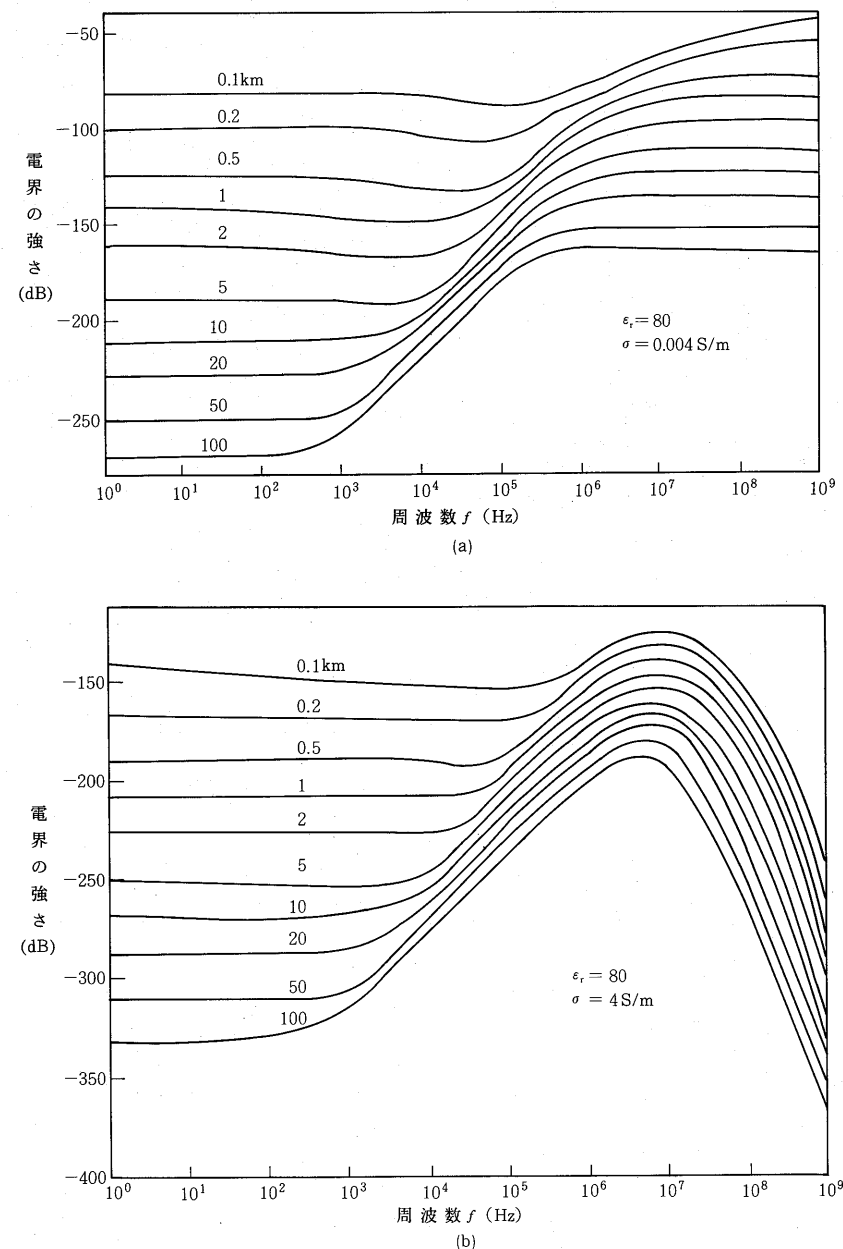


図19 水面下15cm に送受信アンテナを置いた場合の受信電界の強さの周波数特性（a）淡水，（b）海水の場合

Mystic 湖で実験を行なった結果、観測された減衰値はデケード当り 20dB であり、100km 程度の長距離通信の可能性が示唆された。

7. 海底通信

もう一つの Lateral Wave Transmission は、海底を利用する方法である。岩石圏 (lithosphere) を構成する岩石の電気特性は、たとえば玄武岩で $\epsilon_r=15.6$, $\sigma_0=10^{-7}\sim 5\times 10^{-4}\text{S/m}$, 花崗岩で $\epsilon_r=4.7\sim 5.4$, $\sigma_0=3\times 10^{-17}\sim 3\times 10^{-6}\text{S/m}$ といわれ、導電率は大約 $10^{-8}\sim 10^{-3}\text{S/m}$ の間と考えられる。したがって海中を直接伝搬するよりも減衰は小さくてすむと考えられる。通信のためには、海底にボアホールを設け垂直アンテナを設置する方法も考えられるが、図 20 では移動が容易

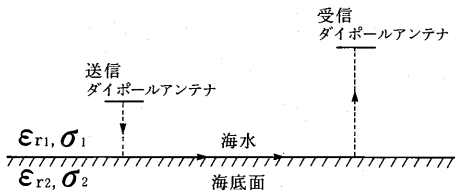


図 20 海底を利用した海中相互間の通信

な水平電気ダイポールアンテナの使用が提案されている。この場合電界の強さは、距離、周波数が小のときは距離の 3 乗に、中のときは距離の 1 乗に、大のときは距離の 2 乗にそれぞれ反比例して減衰する。計算の結果を図 21 に示すが、岩石の導電率が $4\times 10^{-6}\text{S/m}$ の場合、電界の強さの最大値は 8 km 以下では 10MHz, 8 km 以上では 1 MHz に現われる。一方岩石が $4\times 10^{-5}\text{S/m}$ の場合には、最大値は 6 km 以下で 10MHz, 6 km 以上では 1 kHz 以下に現われている。

図 21 は海底から 15cm 離れた所にアンテナを設置した場合の値であるが、 $\sigma=4\times 10^{-8}\text{S/m}$ として電界の強さが -225dB となるのは 500km であるのに対し、もし海底から 1.5m 離すと 10km 以下となってしまう。

結論として、海底を利用した通信は、(1) $\sigma>4\times 10^{-6}\text{S/m}$ の比較的損失の大きな岩石の場合、50km 以上の伝送を行なうには低周波ほど減衰が小さくてすむ。(2) $\sigma\ll 4\times 10^{-6}$ の低損失の岩石で、かつアンテナを海底に接近させて使用すれば、1~10MHz に最適周波数があり、方向性アレイアンテナなどを使用して海底通信を行なう可能性がある。(3) アンテナを海底から離すと減衰が大きく、効率的でない。

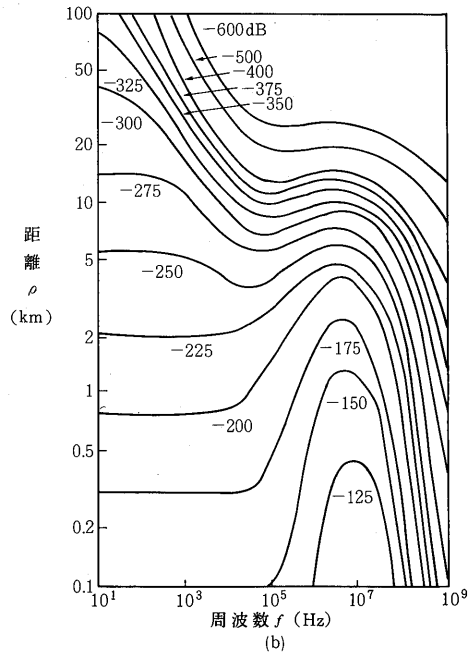
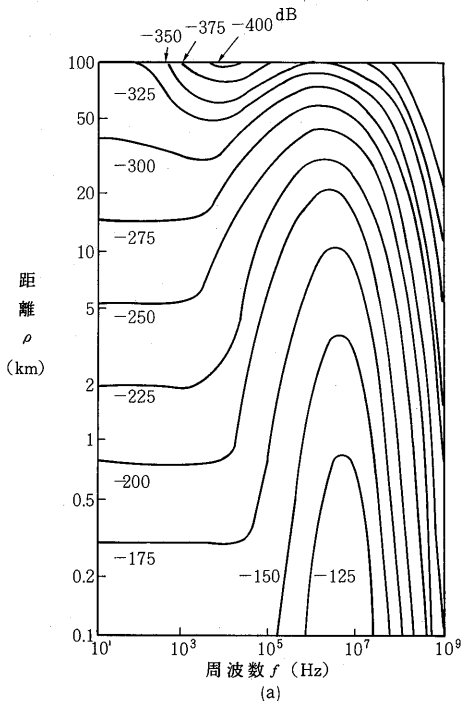


図 21 海底から 15cm 上に送受信アンテナを置いた場合、受信距離の周波数特性。 $\epsilon_{r1}=80, \sigma_1=4\text{S/m}$ とする。(a) $\epsilon_{r2}=16, \sigma_2=4\times 10^{-6}\text{S/m}$ の場合、(b) $\epsilon_{r2}=16, \sigma_2=4\times 10^{-5}\text{S/m}$ の場合

8. あとがき

本稿の前半では、海中通信には不向きとされている電波技術について、限られた条件下で利用できないかを検討するため、実際の海水の誘電率、導電率から電波の伝搬特性を求めた。計算結果から、海水中で直接通信するには近距離かつ低周波領域に限られることが示された。

つぎに lateral wave transmission に着目して、海面及び海底を主伝搬経路とする2つの通信方式について、文献を調査、要約した。海面についてはかなりの遠距離伝搬が可能ではあるが、波浪による不安定さや、水深の浅い位置に船を保持する問題等が残されている。他方海底を利用すればこれらの問題は解消するが、ヘドロ等堆積物を含む海底媒質の電波特性に問題が生じるかも知れない。今後より十分な検討を必要とするだろう。

本稿をまとめるに当たり、特に後半の部分に多数の文献を参照させていただいたことをお断りしておく。

参 考 文 献

1) I. S. Bogie: Conduction and Magnetic Signalling in the Sea, *The Radio and Electronic Engineer*, **42**, 10, pp. 447

- 452 (1972)
- 2) 根本, 他: マイクロ波リモートセンシングによる海洋の油汚染監視技術, 電子技術総合研究所調査報告, 第202号 (1979)
- 3) S. Evans: *Journal of Glaciology*, **5**, pp. 773 (1965)
- 4) W. A. Cumming: *J. A. P.*, **23**, pp. 768 (1952)
- 5) 石毛: 海面及び海中における電磁波の伝搬, *光電技報*, **4**, pp. 13-18 (1988)
- 6) 水防空中線を使用する水中無線用受信機の深度実験成績報告, 海軍技術研究所技報, 第0240号 (1942)
- 7) R. K. Moore: Effects of a Surrounding Conducting Medium on Antenna Analysis, *IEEE Trans.*, **AP-11**, 2, pp. 216-225 (1963)
- 8) R. W. P. King and G. S. Smith: *Antennas in Matter*, The MIT Press (1981)
- 9) M. Siegel and R. W. P. King: Radiation from Linear Antennas in a Dissipative Half-Space, *IEEE Trans.*, **AP-19**, 4, pp. 477-485 (1971)
- 10) M. L. Burrows: *Radio Science*, **11**, pp. 357 (1976)
- 11) J. R. Wait: *Radio Science*, **1**, pp. 913 (1966)
- 12) R. MacDonald: *Advances in Seabed Electromagnetic Wave Propagation Research*, Underwater Systems Design (1989)
- 13) E. A. Frieman and N. M. Kroll: Lithospheric Propagation for Undersea Communication, Tech. Report (JASON), JSR-73-5, Stanford Research Institute (1973)
- 14) D. M. Bubenik and A. C. Fraser-Smith: *Radio Science*, **13**, pp. 1011 (1978)

カラー魚群探知機の発明

(株)光電製作所

田 中 儀 一

The Invention of Colour Fish Finder

Koden Electronics Co., Ltd

Isokazu TANAKA

1. 概 要

本文は(株)光電製作所が世界初のカラーブラウン管を表示器に用いたカラー魚群探知機を商品化し、その特質を利用して新しい性能の魚群探知機を開発した技術の動向をまとめたものである。

本文によって、世界の魚群探知機のベストセラー商品になったカラー魚群探知機の現在の技術と将来の発展の動向を理解していただけるならば筆者の幸いこれに過ぎるものはない。

ただし、限られた紙面で、それらの技術の詳細を説明することが不可能なので、文末に示した参考文献と特許、実用新案の公報を併読していただくことをお願いする。

2. 魚探のカラー表示の発想まで¹⁾

(株)光電製作所は、主として無線方向探知機、ロ

ラン受信機などの電波航法装置を製造販売していたが、1960(昭和35)年に元産業科学研究所の平野社長から、魚群探知機(以下、魚探と呼ぶ)を開発して営業戦列に加えるべきであるとの提言をいただいた。

その理由は、魚探は小型船用、大型船用、魚種、漁法によって極めて多岐にわたっているので、常に新商品の要求があるとのことだった。

魚探の開発をきめて、まづ当時の魚探(記録ペンと記録紙を用いた図1に示したような魚探)を調査すると、次のような弱点があることがわかった。

弱点(1)

浅い水域の魚群の探知ができない。

弱点(2)

魚群の密度の判定が困難である。

弱点(3)

魚探の活用に消耗品の補充が必要である。

弱点(1)は、浅い水域のエコー信号を記録するために、記録ペンの速度をあげると、記録紙と記録ペンの接触が不安定になるために、一般に2 m以下の記録が不明瞭であった。

弱点(2)は、エコー信号の放電による記録紙の変色の範囲が狭いので、魚群の分布状況を判読することが困難であった。

弱点(3)は消耗品である記録ペンと記録紙の補充が必要であるほか、掃引機構の清掃、注油が必要であった。

以上に説明した弱点がない魚探として、上記の産業科学研究所が、ブラウン管にAスコープ表示の魚探を製造、販売して好評であったが、魚群の映像の振幅と深さが、エコー信号を受波するたびに複雑に変化、出減するので、連続して監視するときには疲労を感じるなどの欠点があった。

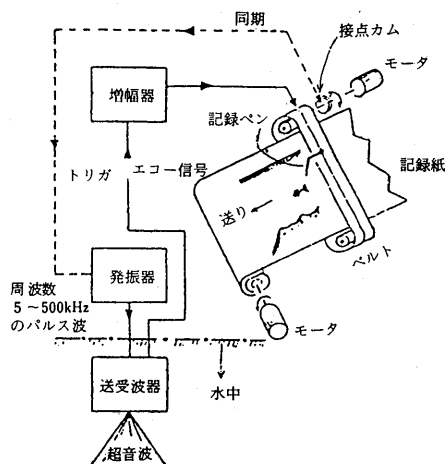


図1 記録式魚群探知機の基本構成

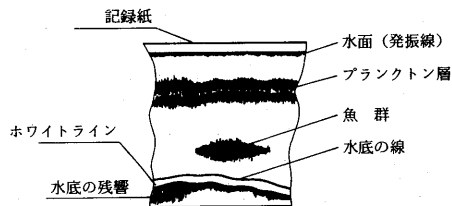


図2 在来ホワイトライン記録

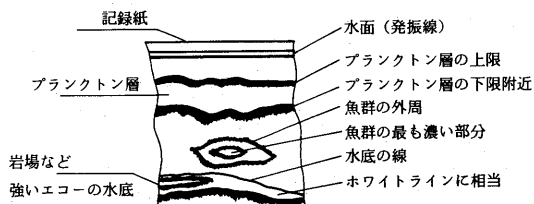


図3 エコーの等強度線の記録 (ダブルホワイトライン)

2.1 エコー信号の強度の分布の表示³⁾

弱点 (2) の軽減を目標に開発した記録方法であり、英国のスミス社の特許で、1970 (昭和45) 年まで有効であったホワイトラインの改良である。

この改良は、ホワイトラインを作ったエコー信号より約10倍高レベルのエコー信号の範囲を示す等強度線を挿入する方法で、ダブルホワイトラインと命名し、中型魚探 KS-386型に導入した。

このダブルホワイトラインによって、魚群の密度の判定がより精密化できたが、起状の激しい岩場や複雑な形状の魚群の記録が、複雑な線分で仕切られるために、理論上は極めて巧妙と思われたが、判読が容易でなかった。

2.2 マルチペン記録方式^{4),5),6),7),16),18),24)}

1956 (昭和31) 年に (株) 光電製作所で開発中の電子計算機のスイッチ技術からヒントを得た記録方式で、弱点 (1) を除去することが目的であった。

在来魚探に用いている記録ペンを機械的に掃引する機構を、櫛型に固定した多数の銀パラジウム合金の

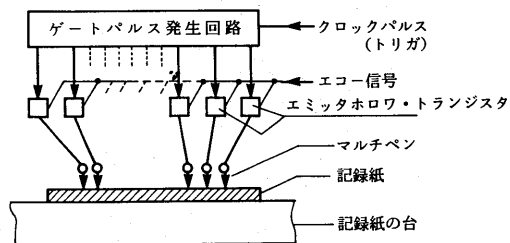


図4 最初のマルチペン記録の特許出願

記録ペンと電子回路に置換した記録装置で、マルチペンと命名した。

図4に示したように、マルチペンを掃引する周期に相当するゲートパルスによって、ペンの駆動回路のトランジスタを順次に導通させて、エコー信号を記録紙に加える。

このゲートパルスの周期を高速にすれば浅い水域のエコーの記録が可能であり、またゲートパルスの周期を部分的に変更することによって部分拡大 (図5)、水底面の拡大 (図6)、トロール網の位置 (図7) などの記録が可能になった。

マルチペンを用いた小型のエビ・トロール漁船用の KS-387型魚探、大型トロール漁船用の NM-850型 ネット監視装置は現在でも活躍している他、後日 FAX の記録方式に採用された。

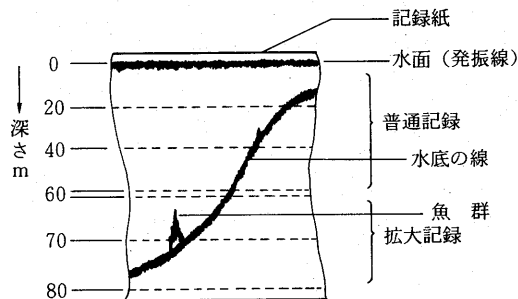


図5 マルチペンによる部分拡大記録

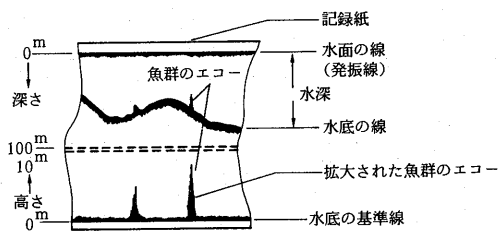


図6 マルチペンによる水底面の拡大記録

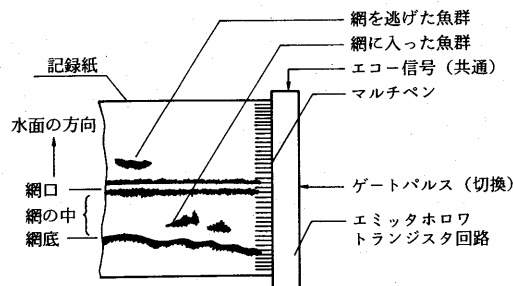


図7 マルチペンによるトロール網の監視記録

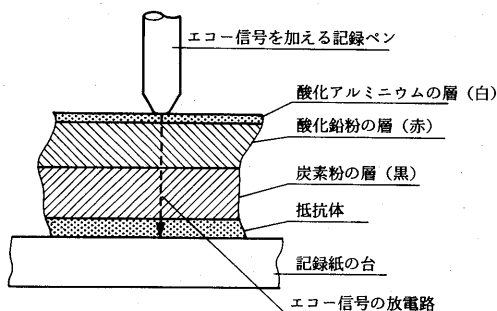


図8 白、赤、黒の3色記録紙

2.3 多色記録紙^{8),20)}

在来の記録紙はエコー信号の強度を記録紙の変色の濃淡によって表示するが、エコー信号の強度によって記録の色彩が変化する記録紙があれば、魚群の分布がより明瞭になるとの発想で、弱点(2)を改良する目的で多色記録紙を考案した。

図8に示したように、エコー信号が記録紙面の白色の酸化アルミニウム層を破壊すると赤色の酸化鉛層が現れ、更にエコー信号が強くなって酸化鉛層を貫通すると黒色の炭素粉の層が現れるような放電特性の記録紙を作る。

この記録紙の商品化には化学、製紙の新しい技術が必要で、かなり多量に製造しなければ採算がとれないとの予測ができたが、この発想が魚探のカラー表示化の起源になった。

3. カラー魚探の開発

3.1 カラー魚探の発想^{9),10)}

1973(昭和48)年になると光電製作所の電子計算機の開発と商品化が進み、中型計算機KODIC-402に続いて、科学用計算機KODIC-1000が完成した。

この頃になって集積回路(IC)の種類が増加したので、電子計算機の技術を応用してブラウン管にBスコープ(横軸に時間、縦軸に水深)の表示をする魚探の発想が生まれた。

しかも、記憶回路を使うことによって在来の記録式の魚探と類似の映像が得られるという発想であった。

もし、それが可能ならば、その映像にエコー信号の強度に応じた色彩をつければ、在来の魚探が持っていた弱点(1)、(2)、(3)を除去した魚探の商品化ができるという提案であって、光電製作所が世界最初のカラー魚探(後にこの種の魚探の通称になった)を開発する糸口になった。

この頃、1974(昭和49)年は遠洋漁業の全盛時代であり、J社、F社、K社は、そろって強出力、高感度、

広幅記録紙の大型魚探を商品化し、市場を広げつつあった。

この環境を受けて、最初のカラー魚探は当時の大型カラーブラウン管(20型)を用いた大型漁船用を目標にして開発を進めた。

上記、他社の大型魚探の価格は約300万円であったが、カラー魚探に必要なIC等の電子部品だけで概算約200万円であったために、当時は小型、安価のカラー魚探の開発は不可能であった。

3.2 カラー魚探の基本技術^{21),22),25)}

図9にカラー魚探の主要部の構成を示す。

受波したエコー信号をデジタル変換して副メモリに順次書き込んだ後に主メモリに転送し、主メモリの内容を繰返して読み出して、アナログ変換してブラウン管に表示する。

副メモリと主メモリのデジタル信号の書き込みと読み出しと、ブラウン管の電子ビームの走査を同期することによって、エコー信号を1本の線として表示し、新しく加えられるエコー信号の線を順次に配列する形式のブラウン管表示の魚探である。

副メモリに書き込んだエコー信号を、ブラウン管にBスコープのエコーの映像に変換して表示する経路は図10A、図10Bに示してあるが、図9のカラー変換回路は、カラーブラウン管の3色の電子ビームをエコー信号の強度に応じて制御する回路である。

エコー信号の映像は図11に例示したような色彩で表示するように設計した。

すなわち、発振パルスと水底のエコーに相当する線分は赤色、大きい魚群のエコーに相当する線分は黄色、小さい魚群のエコーに相当する線分は緑青色に表示され、それらの線分が1本のエコー信号の映像となり、新しく加えられるエコー信号の線が順次に配列されてBスコープのエコーの映像を作るのである。

世界最初のカラー魚探は、1976(昭和51)年に20型のカラーブラウン管、8色のカラー表示、水底面拡大表示を組み込んだ仕様のCVS-881型として発表した。

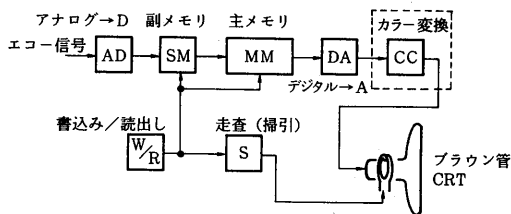


図9 カラー魚探の主要部

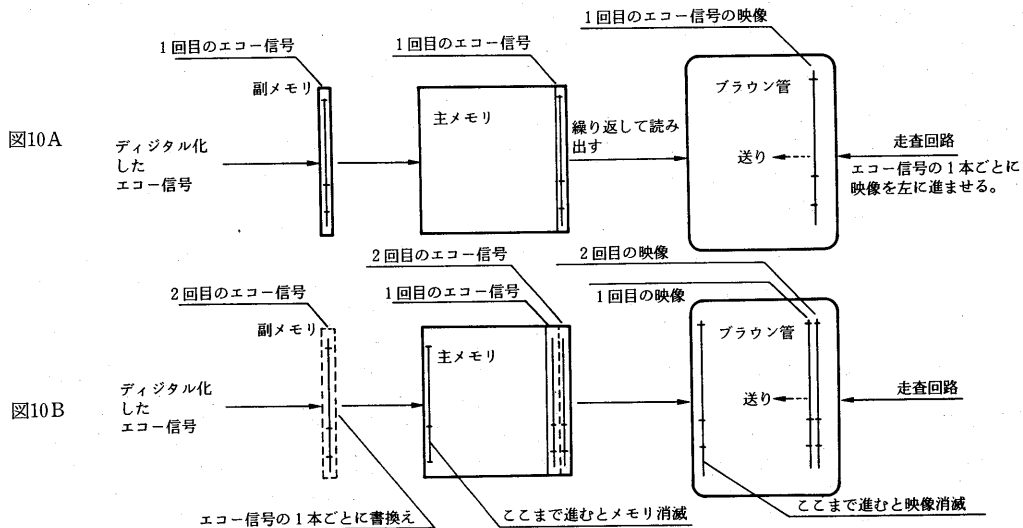


図10 ブラウン管式の記録魚探の原理

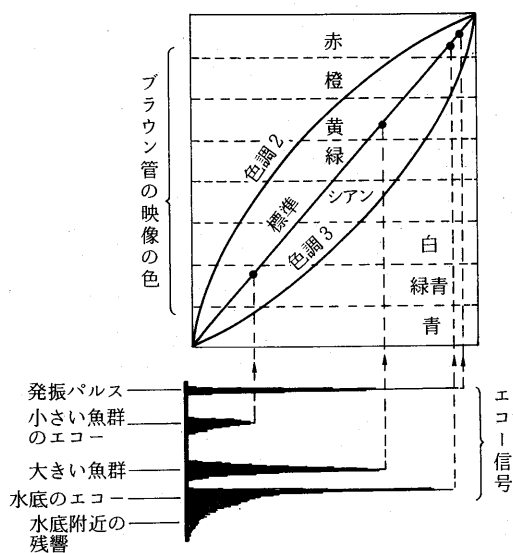


図11 エコー信号とカラー映像の関係

このカラー魚探の副メモリと主メモリには当時の最高性能、最大容量のICであった1キロビットのシフトレジスタを採用した。

当時のカラーブラウン管の表示可能な画素数は約12万個だったので、カラー魚探の画素数として約8万個（縦軸、横軸とも256個）とした。

したがって図9に示した主メモリには1キロビットのシフトレジスタ256個を直列接続して256キロビットに組上げたプリント基板を、8色分として3列必要であった。

ところが、シフトレジスタは電気ショックに弱く、試作中に、はんだごてを当てただけで破壊することと、でき上がったプリント基板は導通テストを行っただけで破壊することが判明し、製造に特別の注意をした。

最も困ったことは1個のシフトレジスタが破壊しただけで、そのプリント基板に割り当てた色彩が全部消えてしまう大欠点であった。

しかし幸いなことに、調整が完了した後は安定に動作してくれたので、製造、調整に予想外のコストがかかったが、CVS-881型カラー魚探が完成した。

上記のようにカラー魚探は開発を始めてから約2年間で試作を完了し、1977（昭和52）年から販売を開始した。

たまたま、この時期に漁業専管水域200カイリ法が施行されたために、より高性能な魚探が必要になってきた。

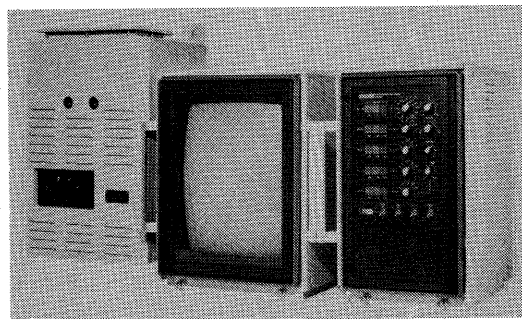


写真1 最初のカラー魚探、CVS-881型
左から送受信機、20型ブラウン管表示機、制御機

1977 (昭和52) 年1月には、朝日新聞とNHK テレビジョンが、CVS-881型を取材して、「200カイリ時代の新兵器」として全国的に報道されたので、カラー魚探は急速に全国の漁業者の知るところとなり、要求に応じ切れないほどの受注が国の内外から続き、その探魚性能は高い評価を得た。

3.3 カラー魚探の第2世代

1978 (昭和53) 年になると大型漁船のブームが一段落して、近海と沿岸漁業に適する中、小型漁船の建造が盛になったので、それに見合った性能と価格のカラー魚探の要求が強くなった。

その頃になって主メモリに用いていたICのシフトレジスタの代りにDRAM (任意書込み読出し可能のメモリ素子) を使用することができるようになり、そのメモリ容量が4キロビットに増加し、価格が低下した。

DRAMを用いたプリント基板は、素子が不良になっても、その素子が受持っている画素の部分だけの色彩が異状になるだけなので、カラー魚探の動作は極めて安定化し、また低価格化が実現した。

また、文字、数字用のICや画像変換用のICなどが入手可能になったので、エコーの深さの数字表示、画像の分割表示などが可能になり、在来の魚探では実現できなかった便利な性能のカラー魚探が出現した。

これらの技術を結集して開発した中型のカラー魚探CVS-885型を1978 (昭和53) 年に発表した。本機によってカラー魚探の基本的な技術が完成したこと、DRAMの記憶容量が256キロ～1メガビットに増加したので、カラー魚探は小型化されるとともに次に説



写真2 DRAMを使った最初のカラー魚探、CVS-885型11型ブラウン管表示機

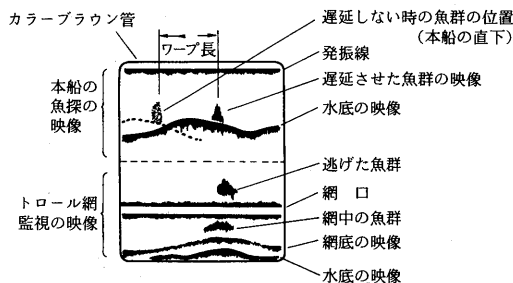


図12 エコー信号を遅延して表示

明するように多機能化されて第2世代に進んだ。

4. カラー魚探の発展²³⁾

4.1 2個のエコー信号の並列表示¹¹⁾

カラーブラウン管の表示を2分割して、異なる2組のエコー信号を同時に表示する技術で、例えば図7に説明したトロール漁網を監視するためのエコー信号と本船の魚探のエコー信号を並列に表示することができる。

図12はその表示例で、ブラウン管の上面にトロール魚網のワーブ長に相当する本船の航行時間だけ遅延させた、本船の魚探のエコー信号を表示し、下面にトロール魚網の網口の上下を探知したエコー信号を表示する。

この表示によって、トロール漁網の場所で探知した魚群が、本船の魚探にはどう表示された魚群であったかを確認することができる。

4.2 n倍の距離の水域のエコー信号の並列表示¹²⁾

主メモリから読出すエコー信号の読出し速度をn分の1に落し、エコー映像の送り速度をn分の1に圧縮し、普通の読出し速度のエコー映像とをブラウン管の上面と下面に分割して並列表示するカラー魚探、CVS

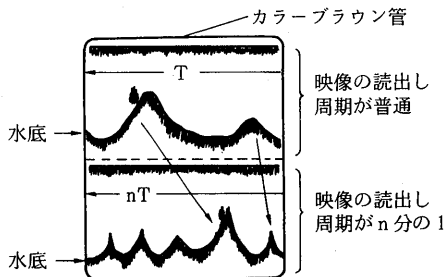


図13 長時間と普通の映像の並列表示

—884型を商品化した。

この魚探は図13に示したように、カラー魚探の映像の表示時間が在来の記録式魚探に比較して短いという弱点を補った。

また、表示時間の延長によって水底面の起伏の状況を、魚探の使用者の感覚に近づけることが可能になった。

4.3 電子的深度目盛の挿入¹³⁾

カラー魚探の映像に水深の目盛を挿入するために、水深に応じて定めた周期のパルスを発生し、ブラウン管を輝度変調して、図14のように点線または実線を作り、エコーの映像に重畳して挿入する。

そして、文字、数字用 IC によって図示のように水深が直読できるようにする。

また、上記の半固定の電子目盛の他に、映像中に任意の場所の水深を読取るための可変電子カーソルも導入されて、カラー魚探は極めて使用し易い魚探に発展した。

4.4 水底面のエコーの表示¹⁴⁾

記録式魚探に採用されているホワイトライン方式を発展させた表示方法で、水底面の強いエコー信号を受波した直後に、コード信号を発生し、このコード信号が継続する時間だけ、ブラウン管の色彩をあらかじめ定めた見易い色彩に変更して表示する方式であって、カラーラインと呼んでいる。

図15、図16に示したように、一般に特に強勢な水底面のエコー信号を基準にして、適当なビット数のコード信号を作る。

在来のホワイトラインと異なり、図15に示したようにエコー信号がトリガレベルより高いときに一定幅のカラーラインを設けるのが特長で、カラー魚探における底質の判断を残響の色彩によって行っていることを補充している。

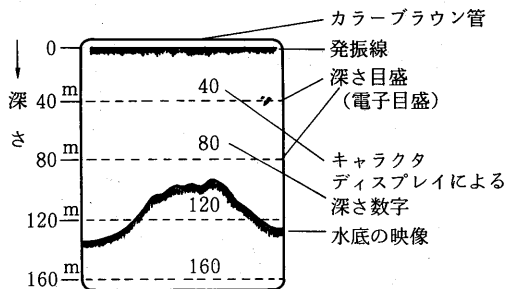


図14 電子目盛の挿入

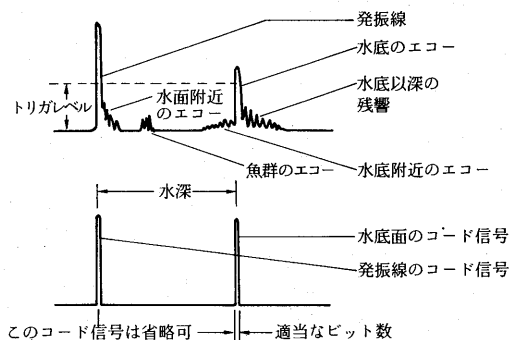


図15 水底面のカラーラインの原理

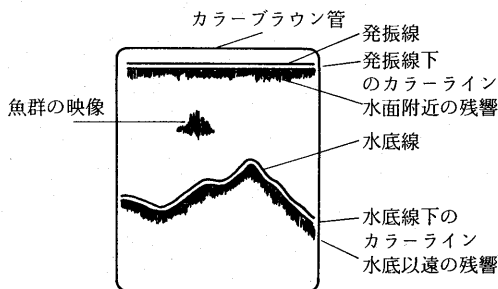


図16 カラーラインの映像

4.5 魚群量の計測^{2),15)}

魚群のエコー信号を表示するとともに、その魚量(重量, 匹数)を推定することは、魚探が実用化された当初から要求されてきた。

魚探に記録された魚群は、魚群の断面図に似た形状になっているが、魚種、魚群密度、魚探のパルス波の探知範囲、漁船の速度などでエコー信号が大幅に変動するので、魚群量を正確に計測することは極めて困難である。

しかし、魚群の相対的の量を知ることは魚群資源の調査などに必要であるので、内外の数社から特定の計量方式を採用した魚探が発表されている。

ここに提案した計量方式も、上記の諸条件の仮定が必要であるが、カラー魚探に比較的簡単な回路を附加することによって、魚群のエコー信号をデジタル量として求めることができる方式である。

図17において、ブラウン管を偏向するための縦方向(深さ)と、横方向(距離)のスタート点から、任意の時間の点の複数個を選択して得た枠型の境界内のエコー信号のデジタル値を取出す。

このデジタル値に上記の諸条件を導入することによって、境界内の水域に応じた計数を求めて表示する。

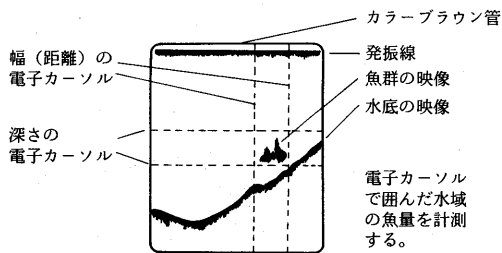


図17 カラー魚探による魚量の計測

最近のメモリ素子の容量の増加と価格の低下によって、この種のデジタル回路の商品化が容易になったので、魚群量の計測方式が更に進歩すると思われる。

5. 謝 辞

カラー魚探は以上に説明したような過程で開発され、商品化されて世界の魚探の中心的存在となり、その表示はブラウン管の他に液晶表示のものも現れ、小型のヨット、ボートから大型漁船にまで普及した。

稿を終るにあたり、カラー魚探の提案と基礎技術の開発を指導された平出元研究部長。最初のカラー魚探の試作に努力された嶺岸、佐藤(正)、戸叶研究部員はじめ開発に協力して重要な提案と試作を行った光電製作所の諸兄に感謝する。

試作した最初のカラー魚探の試験に立合って、重要なご示唆とご指導をして下さった佐々木先生(東京水産大名誉教授)、鈴木先生(東京水産大名誉教授)、間庭先生(元農水省漁船研究室長)、カラー魚探を水底下の物体の探知に応用する技術のご指導をして下さった茂在先生(東京商船大名誉教授)に御礼申し上げる。

また、ローマのFAOの関係者にカラー魚探を紹介して下さった藤波漁船協会長、カラー魚探に「クロマスコープ」の商品名をつけて、ヨーロッパ各国への輸出の道を開いたマルコニー社のジョンソン氏、アメリカ市場におけるカラー魚探の普及に協力されたサイテックス社のハンスフォード社長に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中、古くて新しい魚群探知機、超音波 TECHNO, 第2巻, 第4巻, 日本工業出版社(株), 平成2.4.15
- 2) 古沢、調査研究用技術、海洋音響学会誌、海洋音響学会、第17巻、第2号、平成2.4.1
- 3) 栗村、堀田：記録方式、
出願 昭37.9.19, 特願 昭37—40329,
公告 昭40—10792
- 4) 栗村、堀田：湿式記録装置、

- 出願 昭42.4.1, 特願 昭42—20321,
公告 昭46—15190
- 5) 町田：部分拡大記録水中音測機、
出願 昭42.1.28, 特願 昭42—5271,
公告 昭48—36967
- 6) 栗村：超音波探知装置、
出願 昭42.4.5, 特願 昭42—0405,
公告 昭48—15039
- 7) 町田：曳網状況記録装置、
出願 昭42.5.27 (分割), 特願 昭44—38642,
公告 昭49—21909
- 8) 田中：多色記録紙、
出願 昭37.9.17, 特願 昭37—39924,
公告 昭40—20351
- 9) 平出、嶺岸：画像表示方式、
出願 昭49.5.9, 特願 昭49—50718,
公告 昭50—149368
- 10) 田中、嶺岸、佐藤(正)：魚群探知機、
出願 昭52.2.10, 特願 昭52—14424,
公告 昭53—39972
- 11) 嶺岸、佐藤(正)、山田：2信号並列表示装置、
出願 昭51.5.19, 特願 昭51—57677,
公告 昭52—141263
- 12) 田中、木下、千脇：超音波探知表示方法、
出願 昭52.12.29, 特願 昭52—158895,
公告 昭61—34627
- 13) 片山、小林：目盛付探知表示装置、
出願 昭54.12.4, 特願 昭54—156391,
公告 昭56—79976
- 14) 田中、木下、千脇：水底面のエコーの表示装置、
出願 昭52.7.19, 特願 昭52—85964,
公告 昭54—21761
- 15) 田中、古谷：魚群量表示装置、
出願 昭55.6.5, 特願 昭55—74935,
公告 昭62—22112
- 16) 田中：電子走査を行った多数の針を用いた記録器(英文)、
FAO 漁業研究船会議資料(アメリカ、シアトル市), 1968(昭43.5)
- 17) 田中：マルチペンの誕生、光電ニュース、10—3, 1969(昭44)
- 18) 田中：マルチペン日記抄、光電ニュース、12—2, 1971(昭46)
- 19) 田中：カラー魚探の誕生までI、コーデン、18—8, 1977(昭52)
- 20) 田中：カラー魚探の誕生までII、コーデン、18—9, 1977(昭52)
- 21) 田中：カラー魚群探知機、画像工学コンファレンス資料、1977(昭52.11.17)
- 22) 田中：カラー魚群探知機について、むせんこうじ、1978(昭53.6.1)
- 23) 田中：カラー魚群探知機の新技術、OCEAN AGE, 1981(昭56.1.1)
- 24) 田中：トロール網監視装置、航海漁撈計器講座、漁船協会、1984(昭59.6.10)
- 25) 田中：カラー魚群探知機、航海漁撈計器講座、漁船協会、1984(昭59.6.10)

電子海図に関する IMO の最近の動向

日本海技協会

庄 司 和 民

Recent Trends at IMO on ECDIS

Kazutami SHOJI

1. ま え が き

電子海図に関する IMO の最近の動向については、昨平成元年3月17日の電波航法研究会で、主として第35回航海安全小委員会 (NAV35) における検討結果を報告したが、その後同年10月22日～26日に水路部の主催で電子海図に関するセミナーが開催され、更に同年11月28日～29日に西独ハンブルグの水路局において IMO/IHO の電子海図に関する調和グループ会議 (HGE) が開催されている。

従って、この稿は前述の電波航法研究会で行った報告に、その後の経過を加えて執筆することとする。

2. 第35回航海安全小委員会における電子海図関連審議の概要

2.1 検討経過：IMO/IHO 調和グループが1988年9月に西独ハンブルグで会合して作成した ECDIS 暫定動作基準案 (NAV35/7) については、最初本会議でその取扱いが審議され、英、希、ソ連等からこれを正式の基準とするには十分審議されていないとの意見が強く出されたが、西独から問題の重要性から見て第一世代の ECDIS のシステム開発のためのガイドラインとして、この会合で暫定動作基準案の最終文書を作成し加盟国に回章するという意見が出され、その方向で合意され、米、英、仏、ソ、西独、日本等10ヶ国、並びに IHO 等4機関で WG を作り、暫定動作基準案を検討した。

2.2 検討の結果：暫定 ECDIS 動作基準付属意見書 (NAV35/WP.3/annex), 暫定 ECDIS 動作基準案 (同 appendix 1 及び 2) がまとめられた。これは海上安全委員会のサーキュラー (MSC/Circ. 515) として加盟国に回章され、

- ① ECDIS を開発せんとする企業にこれを考慮す

るように求めること。

- ② この暫定動作基準に沿って作成された機器を評価してこの案を更に改良すること。

- ③ NAV 小委員会に関連情報を提供することを要請することとした。

2.3 最も問題となった点：最小表示情報を標準表示情報として追加、削除を認めることとした点であり、これに英、蘭、ソ、日が強く反対したが、意見書の第7項にあるように、今後 IMO において標準表示情報の中から最小表示情報とすべきものを検討するというようにして合意がなされた。

2.4 電子海図の改補について：IHO から提出された IMMARSAT-EGC (Enhanced Group Call) システムが最適であるという意見は支持された。また沿岸航海の船に対しては VHF 等他の通信手段も考慮すべきであるという認識で一致した。

また、改補のシステムに関しては、放送の調整、地上局でのデータの保管、送信の技術的並びに運用上の問題、財政的調整、ECDIS の法制的地位等の問題点があることが認識された。

2.5 今後の作業予定：今後の作業予定としては、

- ① 1989年11月にハンブルグで開催予定の調和グループにおいて、non-chart シンボルと色について検討し、次回 NAV 36 にその報告を求める、
 - ② ECDIS に関する評価を今後3年間、毎年調和グループに報告する
 - ③ 1993年を目途に ECDIS の動作基準を暫定案から本案にする。
- という点が合意された。

2.6 紙海図と同等でない電子海図装置：これについては、日本提案 (NAV35/7/5) を中心に審議されたが、その呼び名を「紙海図と同等でない電子システム (Electronic chart System) として、今後更に検討を

続けることとされた。これに関しては、英、米から基準作成の必要はないという意見も出されたが、西独、韓国、日本等より検討すべきであるという主張がなされ、これが同意されて作業計画に残すこととなったものである。今後ともわが国の実情を踏まえ、基本的な概念を整理し、各国に理解され易いガイドラインという形で提案を行う等の方法によって寄与する事が肝要であると思われた。

2.7 その他：

- ① ECDIS の利用に関する訓練の必要性について、STW 小委員会で検討するように要請することとなった。
- ② ECDIS に関する IHO の活動項目と作業計画が紹介された。
- ③ HGE の次期議長として、Mr. Øyvind STENE（ノルウェー）が選出された。

3. 暫定 ECDIS 動作基準

暫定 ECDIS 動作基準の全部を紹介することは、誌面の都合で出来ないで、その要点だけを紹介することとする。

3.1 暫定 ECDIS 動作基準の目次

1. まえがき
2. 定義
3. ENC データの表示
4. 尺度
5. 航路計画と航路監視と航海記録
6. シンボルと色
7. 精度
8. 他の情報の表示
9. 表示モードと隣接区域の発生
10. 表示装置
11. データの供給と更新
12. 他の装置との接続
13. 作動検査及び警報
14. 電源
15. バック・アップ装置

APPENDIX 1：ECDIS の動作基準の中で用いられている用語の定義

APPENDIX 2：海図以外のシンボル

3.2 標準表示情報：

ECDIS は、最初にスイッチを入れた時及びそれに引きつづいて単一の操作で、常に次の標準表示情報（default display：補償された表示）を海図スケールに合せて表わすこと。

1. 海岸線
2. 干出岸線

3. 孤立障害物の表示
4. ENC の中にある等深線のうちから選択された自船の安全等深線
5. 固定又は浮上型航路標識の表示
6. 航路や水道等の境界線
7. 分離通航方式の航路
8. 目視上の、又はレーダー上の著明物標
9. 禁止区域又は制限区域
10. 警告記事の表示
11. 尺度目盛
12. 海図スケール限界
13. 水深及び標高の単位

3.3 必要情報

要求に応じて ECDIS は、次のものを含み ENC に内蔵されている他の如何なる情報をも表示出来ること。

- 測深点水深
- 孤立危険物の細目
- 航路標識の細目
- 警告記事の内容
- ENC の編集年月日
- 測地系の名称

3.4 シンボルと色：

1. IHO で認められた海図シンボル及び色だけが、ENC 情報を表示するために用いられていること。
2. 1. で述べられた以外の全てのシンボルと色は、IMO で承認されたものであること。（appendix 2参照）

3.5 精度：

1. 航海の目的に用いられる線は、 $\pm 0.50^\circ$ 以下の角度の精度で表示されること。
2. 距離の精度は、表示器の対角線の半分の1.5%、或は70mのいずれか大きい方を超えない精度で表示されること。
3. ECDIS は、ENC データに関する IHO の精度要件に適合することが出来ること。

3.6 データの供給と更新：

1. ENC の内容は、SOLAS 第V章20規則に適合するように、意図する航海のために最新で且つ適当でなければならない。
2. ECDIS は、IHO 標準フォーマットで送信される通信を受信して、ENC に追加されるべき公的な自動更新を受け入れることが出来ること。これらの更新は、表示された情報に自動的に適用されるべきであるが、7.の規定に従って、ENC データとは別に記憶されるべきであり、ENC データを書き換えてはならない。
3. ECDIS は手動で入れられる更新を、最終的にデータを受入れる前に簡単な方法で確認されて、受け入れ

ることが出来ること。これらは ENC とは別に記憶されるべきであり、又表示面上では ENC データやその自動的更新とは要求に応じて、はっきり区別されるべきであり、これらの見易さを損ってはならない。

4. 電子海図装置には、ENC に加えられた更新の記録がその適用の日付と共に残されていること。これらの更新の文書リストに加えて、航海者が確認するためにも又変更を知るためにも、それが表示出来ることが必要である。
5. 各国の水路部が供給する ENC とその更新のためのフォーマット及びデータ媒体は、国際的に標準化されたものであること。
6. ECDIS に用いられる ENC データは、各国の水路部でそのものが造られたものであること。
7. ENC の内容は、船上では変更することが出来ないようになっていること。

電 源：

ECDIS は、通常その船の主電源から、電源の供給を受けること。これに加えて ECDIS 及びこれを正常に機能させる全ての必要な装置を代替電源で作動させることが出来ること。一つの電源から他の電源への切替、或は電源の60秒以内の中断に対しては、手動で初期設定入力を再投入する必要がなく、且つ記憶装置に入れられた情報をなくすることがないこと。

3.8 バック・アップ装置：

ECDIS の故障の場合にも安全な航海を確保するために、適当なバック・アップ装置を備えること。

3.9 APPENDIX 2：海図以外のシンボル

次の予備的シンボルのリストは、航路計画に用いられるようなものである。

1. 自船
2. 過去の航跡
3. 命令針路速力ベクトル
4. メードグッド針路速力ベクトル
5. 距離円
6. カーソル線
7. 変針点
8. イベント・マーカー
9. 推測位置 (DR)
10. 推定位置 (EP)
11. 船位誤差範囲 (PPA)
12. 次による測定位置
 - 目視
 - 天体
 - レーダー
 - 電子的位置測定装置 (EPFS)

13. 位置の線
14. 転位された位置の線
15. 計画航路
16. 流向流速ベクトル
17. 危険物
18. 避險線
19. 予定航程
20. 計画位置と予定時刻
21. 光達距離
22. 転舵すべき位置と時刻

このリストは、完全なものでもないし、また全ての ECDIS がこれら全部を含まなければならないということ、意味するものでもない。

4. ハンブルグ IMO/IHO-HGE の検討結果

前述の如く昨年 (1989) 11月ハンブルグの水路局において第 8 回の IMO/IHO-HGE が開催され、本年 9 月に予定されている第36回 NAV に提出する電子海図装置関連事項が審議された。

その時の主なる検討結果を紹介すると、次のようである。

4.1 色とシンボル：

CIRM と IHO からの提出文書が紹介されたあと、IHO での検討に関するデモンストレーションが、スライドとコンピュータグラフィックによって行われた。IHO からの提案は相当細部に渡っており、また昼間と夜間において画面の明暗を逆転するなど、相当高い機能を要求している。また西独からは、ECDIS に表示されるべき情報分類(地形、航行設備、センサーデータ、自船データ)についての意見が述べられた。さらに、西独、蘭、加の「色とシンボル」についての共同プロジェクトが説明され、参加国に研究の継続が要望された。

次いで CIRM から提出された Non-chart symbol に関する文書を中心に審議に入った。我国と蘭からコメントが提出され、またソ連よりシンボルは IMO で作成された暫定性能基準の Non-chart symbol list に沿って検討すべき旨意見が出され各項目毎に検討が加えられたが、終了時間となったため、Sub-WG を設置して検討を続けることになった。この Sub-WG には、英、蘭、日、及び CIRM が加わった。

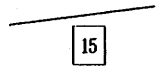
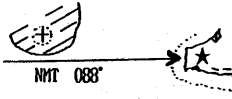
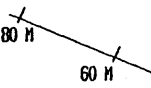
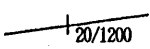
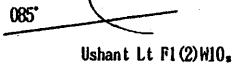
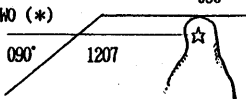
第 2 日目に Sub-WG からの案に沿って審議が再開され、各項目について大方の合意を得る所となったが、審議終了直前に IHO の Kerr 氏より、原則(Principle)を確定してからでないとう有効性がないとの意見が述べられ、議場は原則を確定してから再度本件を検討しようとするグループと IMO の暫定性能基準の Non-

1989. 11.28 ~29 IMO/IHO-HGE (ハンブルグ) において作成された案
(注) CIRM, オランダ, 日本, 英国の代表で作成されたもので, 審議未了のため未だHGEの正式原案とはならなかった。

NUMBER	Item	SYMBOL	COLOUR	NOTES
1	OWN SHIP		orange	
2	PAST TRACK		orange	A solid line within time marks for the hour and minutes
3	VECTOR FOR HERDING AND SPEED		green	A single solid arrow indicated that the vector is the sea track.
4	VECTOR FOR COURSE AND SPEED MADE GOOD		orange	A double solid arrow
5 a	RANGE RINGS		[]	
5 b	VARIABLE RANGE MARKER		[]	The VRM can be centred or offcentred as a parallel index.
6	CURSOR MARK		[]	A single cursor for location and picking (as in ARPA's)
7	WAYPOINT		green	The waypoint symbol and number may be shown kfor manually or externally entered waypoints.
8	EVENT		orange	The event symbol and number of event
9	DEAD RECKONING POSITION (DR)		orange	
10	ESTIMATED POSITION (EP)		orange	
11	POSITION PROBABILITY AREA (PPA)		orange	not required instead of Symbol 1
12 a	VISUAL FIX		orange	
12 b	ASTRONOMICAL FIX		orange	

※ NUMBERは, 暫定BCDIS 基準(IHO/MSC/Circ.515)のAPPENDIX 2(NON-CHART SYMBOLS) に合わせてある。

第1図-1

NUMBER	Item	SYMBOL	COLOUR	NOTES
12 c	RADAR FIX	1100 	orange	
12 d	ELECTRONIC POSITION FIXING SYSTEM (EPFS) FIX	1100 	orange	* D DECCA M MFDF G GPS/GLONASS O OMEGA L LORAN/CHALK T TRANSIT/TSIKADA
13	POSITION LINE	0705 	orange	
14	TRANSFERRED POSITION LINE	0705 	orange	
15	PLANNED TRACK	065° (063°) 	green	With Track & Course to Steer in brackets and speed in a square box
16	CURRENT VECTOR	 	[]	Direction with three headed arrow and strength in box with effective time
17	DANGERS	 065° (063°) 	red	Outline boldly, may be flashing
18	CLEARING LINE	 NMT 088°	[]	Solid arrow head pointing to danger NMT= Not more than NLT= Not less than
19	DISTANCE TO RUN		green	
20	PLANNED POSITION AND TIME		green	date and time
21	VISUAL LIMITS OF LIGHTS	085°  Ushant Lt Fl (2) W10.	[]	Arcs to show the rising/dipping range
22	POSITION AND TIME OF "WHEEL OVER"	HO (*) 090° 1207 	[]	* Amount of rudder angle can be shown

第1圖-2

chart symbol list をベースとすることが合意されて、第1図のような案が出来上った。これに関連して、本船の過去及び現在に関するもの（過去の航跡、現在位置等）については一つの単色（案では orange）を用い、本船の未来に関するもの（針路、速力、予想航路等）は他の単色（案では green）を用いること、シンボルと色の選択に適用される原則（Principle）は、最終の勧告に達するために有効であることが同意された。そしてこの案は9月のIMO/NAVに提出されることとなった。

4.2 機能実証試験

次の三つの実証実験の予定が報告された。

① Seatrans Project

ノルウェーの商船を対象にした北海のプロジェクトで NV 船級協会が参加して、IMO の暫定性能基準に沿った設備（スペリー製）で1990年2月又は3月から3ヶ月間実施する予定である。データのフォーマットはノルウェー方式とし、データ更新には INMARSAT Standard-C を使用する予定である。

② SUSAN Project

西独の ECDIS のプロトタイプを開発しようとするプロジェクトで、クルップ・アトラス社とハンブルグ商船大学が参加している。1990年春にはシミュレータによる実験と海上実験をする予定である。

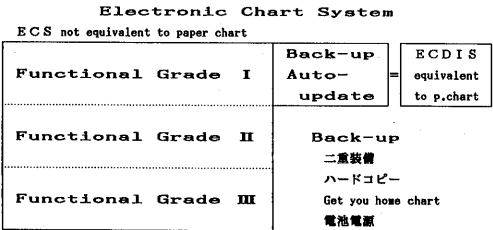
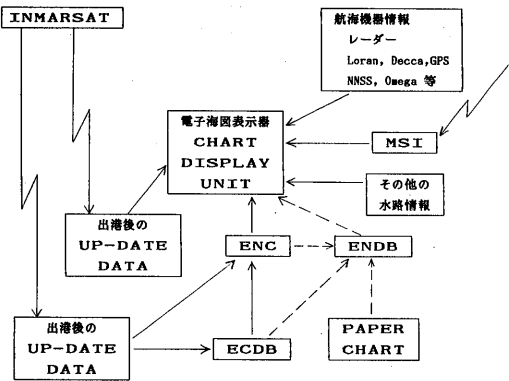
③ DCW

米国の航空図を1：1000000スケールでデジタル化しようとするプロジェクトで、英国の Harwich と米国の Norfolk の海図もデジタル化することとなっている。また ECDIS のプロトタイプは三つ作ることになっており、1990年夏までにデータベースを完成できる予定である。

4.3 紙海図と同等でない電子海図装置

我国から、航海の安全を図る上で、紙海図と同等でない電子海図装置の最低基準は必要であり、現状でも既に電子海図装置には様々な機能レベルのものが存在し、その最も程度の高いものでも電源のバックアップ装置と自動更新装置を備えていない装置は、紙海図と同等でない電子海図装置である旨、第2図を示しつつ説明した。我国は第36回 NAV に本件に関する文書を再提出する方向で検討して居り、各国からコメントを1990年の3月までに我国へ提出してもらいたいことを申し附えたところ、数か国から反応があった。

また IHO 代表から、本件の基準を用意することを確認したことはないとし、国内マターとして取り扱うべきとの意見が出されたが、英国から本件は基準というよりも、ガイドラインの形でとりまとめたらかうとの提言があった。



第2図

4.4 IHO での活動状況

IHO では次の委員会を設けて検討している旨の報告があった。

① COE (ECDIS 委員会)

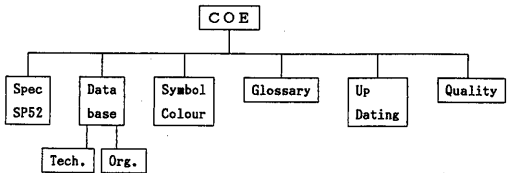
本委員会はさらに第3図のように六つの小委員会を設置して検討を行っている。ECDIS のスペックは1990年の前半に改訂版を発行する予定である。

② CEDD (デジタルデータ交換委員会)

この委員会では、ECDIS のデータ交換フォーマット (DX90) を完成した。最終の会合は、1990年1月にパリで開催の予定である。

③ DBWG (データベース作業部会)

この部会では、北海水路委員会メンバーとカナダが北海のデータベースを作成中である。1990年夏までにはベータを公開できる見込みであり、また最重要航路と港は、今年中にデジタル化したいと



第3図

のことである。

2. 第36回航海安全小委員会に向けて

IMO の第36回航海安全小委員会は、本年9月3日～7日にわたって開催される予定であるが、その第4議題として電子海図装置があげられている。そして検討議題には、暫定 ECDIS 性能基準の見直しに役立つ情報の提供、更新に関する問題、シンボルと色等と共に紙海図と同等でない電子海図装置の基準についての提案も求めている。

これに対し、従来からその必要性を主張してきた我が国は何等かの提案を準備するという方針で望むことになった。その内容の骨子としては、次のような事項が考えられている。

1. 船上で使用する海図情報データベースは、各国の水路部が発行する電子海図、又は各国の管海官庁によって認められたものであること。
2. スイッチオンした時に表示される最低表示情報はこれをはっきり定め、これは改変出来ないようになっていること。
3. 要求に応じて表示出来る情報も、はっきり定め、これを改変出来ないようにすべきであること。
4. 情報のデジタル化の密度 (dot density) によって拡大や縮小の限度が決まるので、これを定めておくこと。
5. 表示画面に使用されるシンボルと色は、IHO や IMO に於いて国際的に定められたものを用いること。
6. 航海に利用する方位線の角度精度、及び距離測定精度は殆ど ECDIS と同程度であること。
7. 各国水路部から知らされる海図改補情報や、水路通報を画面上で書き換えたり書き加えたり出来るこ

と。但しこのことによって、データベースの内容を変更してしまうことがあってはならないこと。

8. 他の機器と接続した時、他の機器の入力が損われたり、他の機器に悪影響を及ぼしたり、自分自身に影響があったりしないこと。

9. 実行可能な限り、IMO/Circ. 515 の基準によること。

6. むすび

以上簡単に電子海図装置の動向について述べたが、読者の皆様に幾分でもお役に立つことが出来たならば幸いである。

略 語

CEDD: Committee on the Exchange of Digital Data

CIRM: Committee International Radio Maritimes

COE: Committee on ECDIS

DBWG: Data Base Working Group

DR: Dead Reckoning

ECDIS: Electronic Chart Display System

EGC: Enhanced Group Call (System)

ENC: Electronic Navigational Chart

EP: Estimated Position

EPFS: Electronic Position Fixing System

HGE: Harmonization Group on ECDIS

IHO: International Hydrographic Organization

IMO: International Maritime Satellite Organization

MSC: Maritime Safety Committee

NAV: Sub-Committee on Safety of Navigation

PPA: Position Probability Area

SOLAS: Safety of Life at Sea (convention)

STW: Sub-Committee of Standards of Training and Watch-keeping

船内統合エキスパートシステムについて

三菱重工業（株）長崎研究所
葛 西 宏 直

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
Nagasaki Research and Development Center
Hironao KASAI

1. ま え が き

「高度自動運航システムの研究開発」という題名の研究が昭和58以来6カ年にわたり、(社)日本造船研究協会における造船界の共同研究として実施された。これは、未来の「高信頼度知能化船」に必要な船上システムの要素技術を目的としたものである。このうちのサブテーマの一つに「船内統合システム」というものがあり、これには船上サブシステム群全体を自律的に統括管理・運用するという他システムとは階層的に異なる一段と困難な課題が与えられた¹⁾。自律的にとは、当然ながら、船橋における操船・船内統括管理の日常作業を、人手の介在無しに遂行できることを意味するが、このために将来どのような技術が必要となるかの解明がこの研究の具体的テーマであった。

自動化を行うには、コンピューターが自分で情報を収集し、推論・判断し、行動意思の決定を行い、それに基づいた実際の経験則・知識類が数多く活用されているはずであり、システムとしてはこれに見合った機能も備えていなければならない。「船内統合システム」の研究ではこのような目的を達成するために、先端技術の一つとして近年注目を集めている「エキスパートシステム（人工知能）」の技法を用いて開発を行った。したがって、開発された「船内統合システム」は船長知識・経験を読み込んだ「エキスパートシステム」（知識ベースシステム）を中心としており、この意味から表題のように「船内統合エキスパートシステム」と呼んで差し支えないものとなっている。

要素技術開発という目的から明らかなとおり、上述の開発研究の完了はまだ実用機の完成を意味するものではない。しかし、今回の研究で開発された試作エキスパートシステムの機能は、今後実用システムを計

画設計するに当たっての必要条件をはじめ、本システムの完成時のイメージを指し示すのにほぼ充分なものであると判断された。そこで、以下にその開発研究のあらましを述べ、将来に期待されるこのような知能化操船運航管理システムに関するご理解の一助に供する次第である。

2. 開発の目的

船内統合システムは、船上における操船制御・運航管理の中枢機能であり、これに必要な船内の情報と、これを補完する衛星通信を利用した陸上からの支援情報をを用いて、海陸一体の運航を、乗組員の介在なしに可能にしようとするものである。したがって、ここでは、船内外からの多種多様な情報をコンピューター自身が自動的に授受・判断・処理し、船上の各種システム、すなわち、主機、操舵機、海象気象状態監視評価システム、最適航路計画システム、衝突・座礁予防システム、港内航行誘導・同支援システム、自動離着舷システム、岸壁係船システム、自動錨泊システム、貨物自動保全システム、自動荷役システム、船体状態監視評価システム等を統括・運用・管理して操航を遂行させてゆくことの出来る自律型の統括システムが開発できるかどうかを検証することを目的とした。

3. システム開発の概要

(1) システム開発方針の具体化

上記の目的に沿う自律型システムの開発を行うため、まず在来船をベースとした船内外情報量、船内情報ネットワーク技術、統合システムの必要機能の調査検討を含めた開発課題の整理を行い、結局次のような三つの基本機能に分けて検討することとした。

① 船内統括管理（船長判断）機能

表1 船内統合システム知識集約表の一例

状況	外況	1			
海象・気象		荒天			
障害物		なし (岸壁、他船)			
事故・故障		サブシステム異常、火災、船体運動			
その他					
(1) 共通		火災発生箇所確認、自動消火装置作動確認、主機系統・電源系統の異常／爆発の危険ないか確認、陸上への連絡、		同左、 もし危険が大きい場合総員退船	
(2) 出港準備		係船索の増し取り、どのサブシステムに異常があるかの確認、陸上への連絡、火災消火に関し陸上への援助要請、			
(3) 停泊 (出港待ち)		(2)に同じ、岸壁への衝突注意、フェンダー増設、			
(4) 係船解除		係船解除の中止、消火作業、岸壁への衝突注意、危険がある場合係船索増し取り、サブシステム異常確認、手動モードへ切替え、	爆発の危険がある時、陸上からの指示により離棧、適当な水域への移動準備(タグの要請、タグによる離棧等)、		
(5) 揚錨		揚錨中止、投錨、岸壁との衝突注意、			
(6) 離棧		消火に努めるとともに、安全な水域へ本船を移動、 バラスト調整、			
(7) 停泊 (出港待ち)		係船索増し取り、消火作業、サブシステムの修復、		危険な場合、陸上へ連絡し、乗組員退船避難、	
(8) 出港		消火作業、システムを手動に切替え、修復作業、他船の動向チェック・衝突回避、陸上への連絡、他船への信号、			
(9) 狭水路航行		(8)に同じ			
(10) 沿岸航行		(8)に同じ 最寄りの港へ避難			
(11) 大洋航行		消火作業、陸上への連絡、システム手動切替え、他船・障害物避航、			
(12) 停泊 (入港沖待ち)		消火作業、陸上への連絡、他船への信号連絡、			
(13) 入港		(8)に同じ			
(14) 投錨		船体運動の少ない方位に投錨			
(15) 着桟		着桟中止、沖待ち、陸上への連絡、			
(16) 係船		早急に係船作業を行う、通常より係船索を増す、陸上への連絡、	係船中止、沖へ移動、		
(17) 荷役		荷役中止、陸上への連絡、消火作業、			

表2 運航計画の知識に関するルール記述の一例

if : 運航計画から6時間以上遅れているならば,
 then : WG-3に運航計画の立て直しを要求し, 主機回転数をStandby fullに設定せよ。

(p 運航計画から遅れている__1

```

(cycle      ^select      normal)

(run_mode   ^mode        << taiyou engan >>)

(run_condition ^latitude  <la>
               ^longitude <lo>)

((plan      ^diff_time   { > 6 } )  <diff> )
((target)   <tar>)
-->

(remove     <tar> <diff>)

(call       printw      | 運航計画から6時間以上遅れているので,
                        WG 3に運航計画の立て直しを要求し |)

(call       printw      | 主機回転数をstandby fullに設定します。 |)

(make      exec         ^contents    wg6inf
                        ^argument     運航計画から6時間以上遅
                        れています。

                        ^state        replace)

(make      exec         ^contents    main_engine
                        ^argument     stanby_full
                        ^state        replace)

(call      wg3ops       1 <la> <lo>)  ; 運航計画
(call      wg3ops       2 <la> <lo>)) ; 針路要求 )
  
```

② 船内データベース管理機能

③ 船内外データ通信管理機能

特に船内の統括管理における情報入手、推論判断、方針決定などの処置に必要な機能について、これらを自律的に行うシステムを実現するために、まだ発展途上の技術ではあるが、人工知能(エキスパートシステム)の技法を応用した開発を行うこととした。

(2) 船内統括管理用エキスパートシステムの試作

人工知能技術のうち、エキスパートシステムの分野で知られているプロダクションシステムの形式が今回の開発目標に適合すると判断し、これによってスーパーミニコンを用いた船内統括管理用エキスパートシステム(以下において便宜上「船長エキスパートシステム」と呼ぶことがある)を試作した。この試作に当たっては、構築ツールを選定する必要があったが、本研究では、代表的な前向き推論型で自由度が大きく、他汎用言語とのリンクが容易で他システムとの結合適性も大であり、(選定時点で)最高の推論実行速度が得られる等の理由によって OPS 5 を採用した。

船長エキスパートシステムに内蔵される知識ベースの構築にあたっては、学識経験者、船長実務経験者のご協力による操船・運航管理知識のヒヤリングを実施して実際の知識の集約、獲得に務め、知識ルールを一旦およそ600個抽出し、これらを整理統合の上、結局350個のルールを内蔵した実験用知識ベースを試作した。さらに、この試作知識ベースを用いたシミュレーションを試行し、知識ルールの補完を行って本研究用知識ベースを準備した。知識獲得作業の過程で用いた知識集約表の一例を表1に、さらに、知識ベースの要素としてコンピュータに読み込まれているプロダクションルールの一例を表2に掲げる。

(3) 船内データベースの構築および同管理システムの作成

高度自動運航システムを構成する各システムにおいて授受される情報量は膨大であり、アクセス頻度も高い。船内統括管理を目的としてこれらの情報を迅速、かつ、確実に取り扱うには、各システムが共通に利用する情報を、データベースに収録して一元管理を行うのが最も着実な方法である。そこで、今回の研究の目的に相応しいものとしてリレーショナル・データベース(RDB)形式を選定の上、船内統括管理の実際を目的とした船内データベースを試作した。

今回の研究において試作したシステムでは、推論システム(エキスパートシステム)からの自動アクセス、ならびに端末からのアクセスが可能な機能を持っており、また、大量データの処理に際してデータベースへのアクセス時間が推論システムの動作に影響を及ぼす

ことが少ないように、データベース管理システムと推論システムとは互いに独立動作(非同期)する構成としている。今回の試作システムでは、推論システムによる自動的なデータベース処理は、次の項目のみについて行った。

- ・計画航路の登録/更新
- ・航海現状値の登録
- ・危険海域情報の登録と参照
- ・船内システム情報(故障等)の登録

(4) 船内外データ船内通信管理システムの作成

高信頼度知識化船の船内 LAN は、情報処理量の観点から当然光ファイバーによる光通信となるが、今回の研究では、船内各システム情報の一括管理が可能な LAN 管理システム機能の検証に重点を置き、同軸ケーブルを用いたイーサネットを利用してシミュレーション用の船内 LAN を準備し、船内統括管理の目的に適合した LAN 管理システム環境を準備した。

(5) シミュレーション実験用システムの準備

(i) シミュレーションシステムの構成

船内統括システムの開発およびシミュレーション実験に使用したハードウェアの構成を図1に示す。基本的には、主コンピュータ(VAX11/750)と副コンピュータ(μ VAX-II)を使用し、前者上で船長エキスパートシステムとデータベースとを実行、後者を用いて、海象気象模擬、自船の操縦運動ダイナミックスの模擬、他船および暗礁の模擬、シミュレーション実験環境設定を目的とした各種サブシステム機能の模擬等の実船状態・環境の模擬を行うとともに、シミュレーションの進行に伴う操船運動を鳥瞰図に示すグラフィック表示用システムを走らせた。また、これらのコンピュータ間は、イーサネットによる LAN で連結されており、船内 LAN を模擬した形での船内データ通信が行えるようになっている。開発の最終年度に運輸省船舶技術研究所システム技術部において行われた総合シミュレ

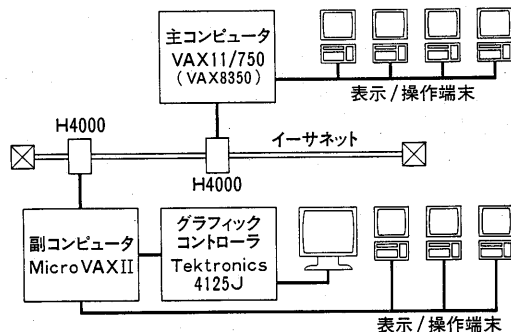


図1 ハードウェア構成

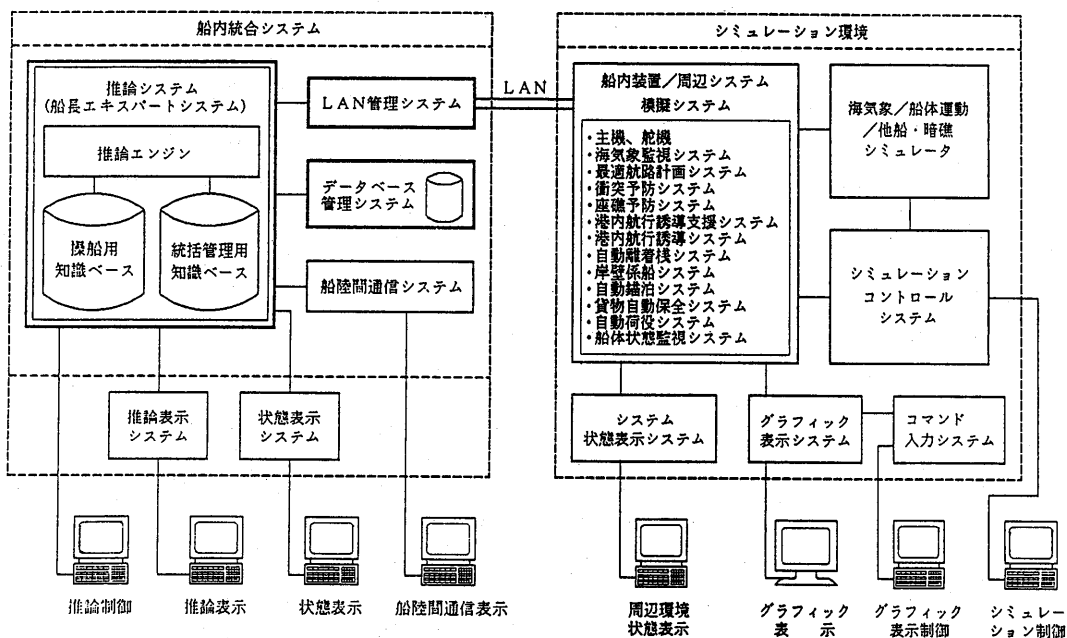


図2 ソフトウェア構成

ーションでは、上記の主コンピュータの代わりに上位機種である VAX8350を使用した。

今回の研究で試作システムとして開発したソフトウェア構成を、シミュレーション実験のための環境模擬・設定用ソフトの構成と合わせて図2に示す。シミュレーション実験環境条件設定のためには、前掲の船内各サブシステム情報入出力との自動アクセスが必要となるが、本研究の過程ではそれらは並行して開発研究を実施中で未完であり、そのため本研究としてはそれら各システムが開発完了した時点で発揮すると期待されるシステム情報入出力機能を見掛け上模擬するプログラムを作成して各種データの自動アクセス実験環境を整備した。

(ii) 試作システムの機能

今回の研究において試作した船内統合システムの基本機能を、船長エキスパートシステム内蔵知識ベースの持つ判断知識の項目分野で示すと次の通りである。

船内統括管理：-

- I. 運航管理関係
- II. 運航計画関係
- III. データ取込み関係

異常事態対処：-

- I. システム異常関係
- II. 主機異常関係
- III. 操舵機異常関係

IV. 火災発生関係

V. クラック発生、浸水関係

イベント処理：-

- I. 他船接近、衝突予防関係
- II. 暗礁接近、座礁予防関係
- III. 荒天下航行関係
- IV. 危険海域避航関係

データベース管理：-

- I. 運航計画関係
- II. 航海現状値関係
- III. 危険海域情報関係
- IV. 船内各システム情報関係

自動操船：-

- I. 目標針路設定関係
- II. オートパイロット関係
- III. 自動航路保持関係

(6) シミュレーション実験

ア) 実験の目標

試験した船内統合システムが、所期の機能を発揮して船上の制御、運航管理等の総合統括管理が実行できることを、まず、オンライン/実時間シミュレーションによって確認することとした。このためには、前述のように、本システムを取り巻く海象気象、自船の運動力学的特性、各種陸上・船上システムからの情報環境が可能な限り実船のそれに等しくなるような状況を整

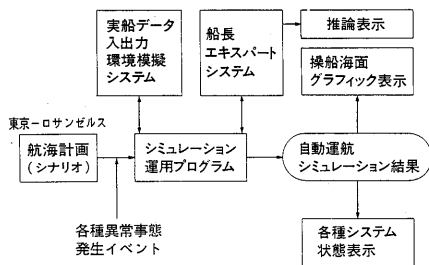


図3 航海シミュレーション実験の要領

備し、見掛け上のデータ授受の時間的経過が実際の状況に等しくなるようにしてシミュレーション実験を行った。したがって、この実験の結果、本システムの推論・判断、統治・指令動作が、機能として妥当であり、かつ、タイミング的に実船の操船運動の時定数よりも十分に速いことが実証されれば、本システムは実船用として基本的に実現可能と判断出来る。今回のシミュレーション実験はこの確認を目的として行った。

イ) 実験シナリオ

供試船舶：大型コンテナ船

標準航路：東京港大井埠頭～北米ロサンゼルス・
ロングビーチ埠頭間（北太平洋航路）

標準航法：大洋では大圏航法、他の水域では航程線航法による。

ウ) 実験の方法

実時間による航行シミュレーションを上記シナリオの全航程に渡って再現することは実際に困難であるので、船長エキスパートシステム機能の確認に必要な航海中の推論・判断の局面をいくつか取り上げ、具体的には、図3に示すような要領により実験を行った。

船長エキスパートシステムの中心的な機能は、知識ベースを基にした操船・運航指令の自動的推論・判断にある。従って、コンピュータの中で、実際どのような知識ルールを呼び出して活用し、どのような順序と時間的推移で推論動作が進行したかを確認出来ることが重要である。そこで、本システムでは、推論過程で実行された各知識ルールの内容を、それぞれ一個の短い和文に要約し、これらを進展中の推論サイクルごとに表示出来るようにし、オンライン/実時間で進行中のシミュレーションにあたって、これらの流れを視覚的に参照出来るようにした。またこのときの推論結果表示は、推論過程とは非同期に独立させており、必要に応じて過去の数サイクルにまで遡った表示も出来るようにし、全体としての推論の流れが確実にレビュー・評価できるようにした。

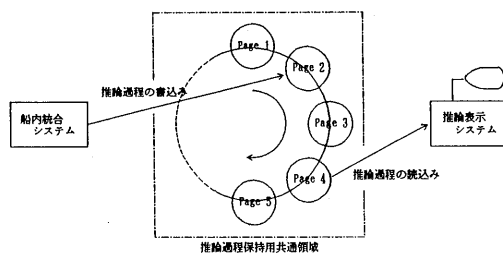


図4 シミュレーションにおける推論表示のシステム機能

推論表示システムの動作説明を図4に示す。

(7) 操船運航シミュレーション実験結果

行なったシミュレーション実験の結果を、船内統合システムの目標機能項目と対応させた形で述べると次の通りである。

〈港内航行〉：－

① シミュレーション開始

船内統合システムと他システムとの LAN を通じた通信機能が正常に動作することを確認した。

(検証項目：通信管理機能)

② 出 港

船陸間通信（模擬）システムを通して陸上から出港許可・指令情報を受信すると、直ちにこれを確認し、船内各システムの出港準備態勢をチェックし、出港作業の指令を発する統括的判断管理が実行出来ることを確認した。

③ システムの統括管理

他システムの発停管理、機能管理等の統括管理機能、各種データの通信機能が正常に作動することを確認した。また、航海状態に基づいて航海モードの自動切替えが的確に行われることを確認した。写真1に出港時の各システム統括状況表示の一例を示す。(検証項目：統括管理機能、他システ

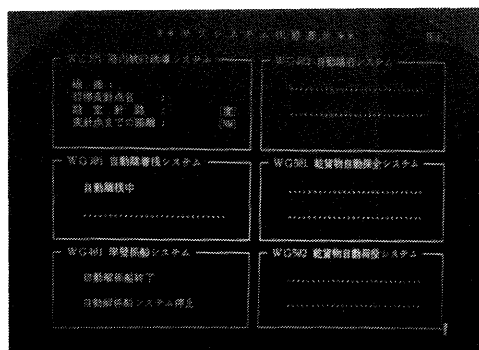


写真1 船上他システムの統括管理

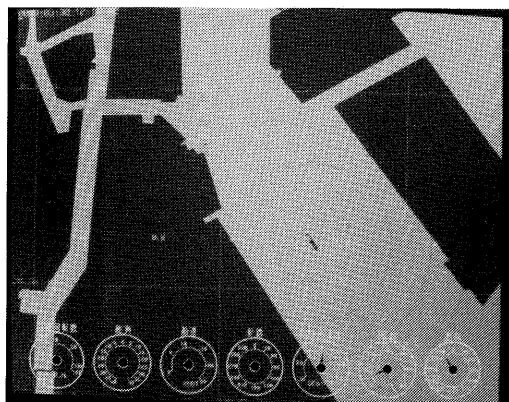


写真2 港内航行状況

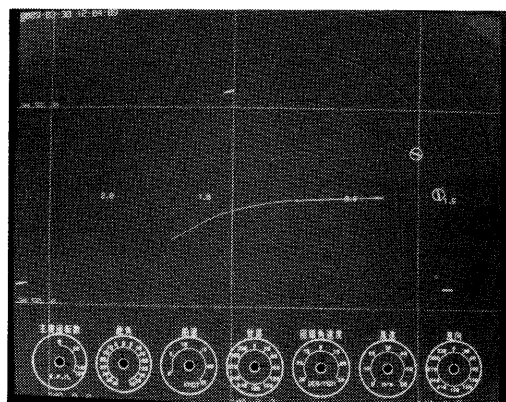


写真3 他船避航状況の一例

ムの模擬)

④ 港内航行

港内航行のモードでは本来、別途開発の港内航行誘導システムを統括、運用して航行が行われるものであるが、同システムを完成状態で連結した運用実験は将来の開発研究に譲ることになる。しかし、今回開発の船長エキスパートシステムによって同システムを統括管理する機能は、推論動作の時間的応答の面から充分であると判断された。ここでは、船長エキスパートシステムによる操船判断・指令により、本船が港内狭水路における計画航路に沿って円滑に航行することを確認した。また、船長エキスパートシステムが持つオートパイロット機能のきめ細かな操舵の機能として、計画航路からほとんど偏差無く航路・針路を保持した航行が可能であることを確認した。写真2に港内計画航路に沿った航路保持航行の鳥瞰図画面の一例を示す。なお、このような港内航路保持航行中、船長エキスパートシステムによる他船避航の機能は、もちろん常時即応体制にある。(検証項目：統括管理機能、他システムの模擬)

⑤ データベース管理

本船固有のデータ、あるいは航行に必要となるデータを船内データベースから検索抽出して表示し、船内統合システムとしてデータベース管理機能を確認した。また、航行に必要となるデータについては、航行状態に応じて逐次更新されることを確認した。さらに、固有のデータについては、キーボードから直接それらの内容が変更出来ることを確認した。

⑥ 他船避航

航行中、他船との接近あるいは衝突の危険性が生じた場合、船内統合システムからの情報を基に衝

突危険度の判定を行い、減速、避航操船等を的確に行うことを確認した。(検証項目：統括管理機能、他システムの模擬)

⑦ 主機異常

航行中に主機異常を起こした場合、船内統合システムが主機のスローダウン、船内アナウンス、陸上への通報、各種処理の指令動作を的確に行っていることを確認した。(検証項目：統括管理機能、船陸間通信システム管理)

〈大洋航行〉：－

① 他船避航

航行中、他船との衝突の可能性が生じた場合、船内統合システムからの情報を基に衝突危険度の判定を行い、その見合い関係に適した避航動作を指令・実行できることを確認した。なお、他船との見合い関係には非常に多くの場合が想定され得るが、本試作システムでは、ある程度見合い関係のパターンを限定しているため、あらゆる場合にうまく対応するためには、今後さらに細かな知識の追加、修正が必要と考えられる。写真3に他船避航状況の一例を鳥瞰図画面で示す。(検証項目：統括管理機能、船陸間通信システム管理)

② 危険海域

危険海域に関する情報が、陸上から船陸間通信システムを通じて本船へ通報された場合、受け取った情報をデータベースから取り上げ、その海域を本船が通過予定であるか否かの判定を船内統合システムが正しく行っていることを確認した。さらに、その海域通過の可能性があると判断される場合、最適航路計画システムを起動させ、その海域を迂回する航路を再計画し、その結果による新しい航路に沿って航行を続行出来ることを確認した。写真4に危険海域迂回航路の鳥瞰図画面の例

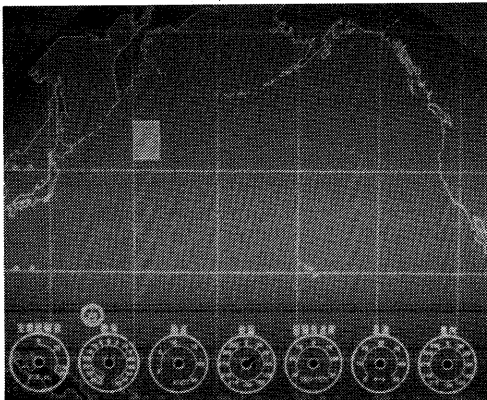


写真4 危険海域迂回航路表示例

を示す。(検証項目：統括管理機能、船陸間通信システム管理、データベース管理機能、他システムの模擬)

③ 台風

大洋航行中、洋上に台風が発生し、本船の航行に影響が及ぶと判断される場合、横風を受けないように針路を変更するなど、航行の安全を目的とした適切な対応がなされることを確認した。

(検証項目：統括管理機能、他 システムの模擬)

④ 暗礁

航行中、暗礁が検知され、かつ、座礁の恐れがある場合、座礁予防システムによる座礁危険度判断に基づいた自動迂回が行われることを確認した。写真5に暗礁迂回航行中の状況を鳥瞰図画面で示す。(検証項目：統括管理機能、他システムの模擬)

⑤ 各種イベント処理

各種の事態が発生した場合、運航モードの切替え、冗長系システムへの切替え、船内アナウンス、陸上への通報等の適切な対処が行なわれることを確

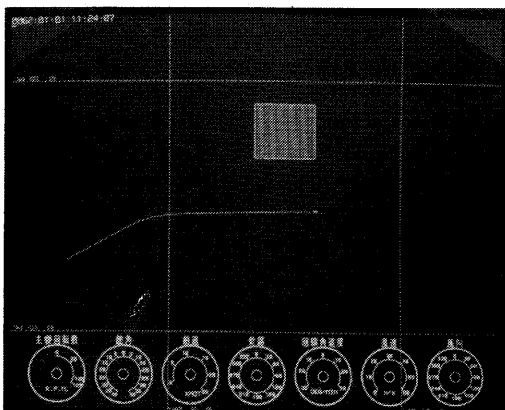


写真5 暗礁避航中の鳥瞰図画面例

認した。検証を行ったイベントは次の通りである。

- ・システムの異常、および、それらの冗長系の異常
- ・火災の発生（船首部、および、船尾部）
- ・船体ラック、および、浸水
- ・操舵機異常

写真6に火災発生時、火元を風下へ向ける緊急操船の鳥瞰図画面、同7に他システムに異常が発生した場合の他のシステム状態表示画面例を示す。(検証項目：統括管理機能)

5. 開発の成果ならびに評価

先に掲げた三機能を達成出来る船載型自動システムとして、本格的な人工知能技術を応用して行った今回の研究開発の結果をまとめると次の通りである。

(1) 船内統括管理機能

船内統括管理の要素技術解明を目標として、人工知能を中核とした船内統合システム（船長エキスパートシステム）を開発した。本システムを用いることにより、船の操船、運航の統括管理に必要となる次のよう

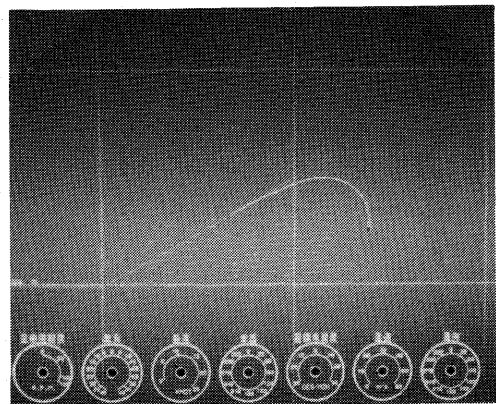


写真6 火災発生時の緊急操船鳥瞰図画面

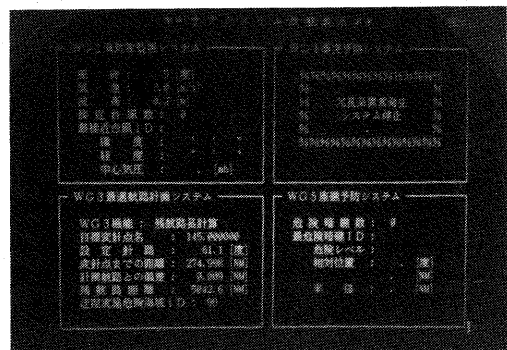


写真7 他システム異常発生時のシステム状態表示画面

な判断、指令、操作・制御・連絡、全般監視等を、内蔵された知識ベースに基づいて、乗組員・オペレータの介在なしに自動的、かつ臨機応変に実行してゆくことが可能である。

- ・運航状態に応じたモードの切替え（推論・判断基準の変更）
- ・各種船内システム、装置類の状態監視、および機能、発停の判断および制御
- ・船内の異常状態への対処（通報・連絡、ならびに事態解決への処置）
- ・船内データの処理、およびそれに基づく判断・処置
- ・安全運航のための臨機応変な処置まで含んだ操蛇、操船制御
- ・所定の航路、あるいは臨機に指示を受けた新航路等に対する航路および針路保持
- ・衝突予防システム、座礁予防システム、最適航路計画システム、等からの情報データに基づいたバックアップ操船処理等

今回研究開発を行った船内統合システムは、操船制御/運航管理オンライン・リアルタイムシステムに初めて人工知能の適用を試みたものとして評価された。今回試作された比較的小規模の知識ベースでも通常のスーパーミニコンを用いた実船用オンライン・リアルタイムシステムとして使用し、基本的に妥当な操船・運航管理の推論応答動作が達成出来ること、また知識ベースへのルールの追加書き込みと処理速度の大きい上位コンピュータの採用とにより、容易にシステムの高度化が達成できることが確認された。したがって、実用化段階で実船装備の各システムとの結合を行う場合にも、インターフェースが非常にフレキシブルに実行出来る見通しが得られた。

(2) 船内データベース管理機能

船の操船・運航管理に必要な船内外システムからの大量の情報・データを一括して運用するための船内データベースを試作した。さらにこれを上記の船内統括管理機能（船長エキスパートシステム）により一元管理するために必要なデータベース管理システムを開発し、これによってデータの一元的管理の下で船長エキスパートシステムの船内統括管理機能が発揮されることを確認した。データベース内のデータの更新、交換等は船内データ通信（LAN）を経由して、船内統括管理機能によって行われる。なお、ここにいうデータベースに内蔵されるものとして、たとえば、次のようなデータベースが含まれるものと考えてよい。

- ・計画航路関係データ（航路、変針点データ等）
- ・自船航海現状値（船体状態、船速・主機現状値等）

- ・他船参考情報（船陸間通信情報等）
- ・各種船内システム情報・データ（特性・状態情報）
- ・その他（船内管理データ等）

なお、このような船内統合システムとオンラインに連結して使用される船内データベースは、大型になるにつれてアクセス時間の関係から主コンピュータによる推論動作応答を劣化させる傾向があり、実用化開発設計段階ではこの点に注意を払う必要がある。

(3) 船内外データ船内通信管理機能

上記船内統括管理に必要な船内データ通信管理システムを試作した。これを用いることにより、上記船内管理システムの機能に基づく次のような船内および船陸間通信の自動的な管理を行うことができる。

- ・船内各システムの管理情報データを船長エキスパートシステムへ、また、船長エキスパートシステムからの指令信号データを船内各システムへ、船内 LAN を経由して授受する。
- ・陸上に対して各種の許可を要請する場合、ならびに船内に異常事態が発生し、陸上への通報が必要となった際等に船陸間通信システムを経由して自動的に通信を行う。

以上、今回の研究で開発された船内統合システムは、本来、他の各船内システムの開発が完了した上で実際に結合して評価すべきであるが、今回の研究において他システムを模擬した実船環境対応周辺システム群を用いて行ったシミュレーションの結果、その船内統合管理機能を十分に達成しているものと評価された。

6. 今後の課題

今回開発した船内統合システムの諸機能は、船長エキスパートシステムの知識ベースに内蔵される知識の質と量、ならびに使用するコンピュータの処理速度、容量等に依存する。したがって、今後有効な実用システムを実現するにあたっては、この点に充分関心を払う必要がある。本システムは、乗組員の介在しない条件下での機能を重点に検討され、この成果から将来の高信頼度知能化船用の船内統括管理用システムとしての実用化が期待されることは当然であり、このために必要な船長エキスパートシステムの基本性能は要素技術的に確認されたものといえる。しかし、今回の要素技術開発に次ぐ実用化にあたっては、いったん、試作システムを試験的に実船上に搭載して海上実験を行い、安全性、信頼性向上を含めた操船運航管理用知識ベースの実船向けの補完・充実を図るとともに、実環境における有用性の確認を行うことが必要と考えられる。さらに、これらの知識ベースについては、船舶の性能改善、船内システムの改良、海上交通管理・管制

方式の進歩、船陸間通信方式の改善等を含む船内外環境条件の変化に応じて、将来更に高度化、完成度向上を図って行くことが必要であり、このためには知識の階層分析・分類整理など、より完全な操船運航管理知識の獲得に関する実用的研究をさらに推進することが望ましいと考えられる。

7. あとがき

今回の研究開発の成果のポイントを一口で表現すれば、現在普通に入手し得るスーパーミニコン級のコンピュータと現状の知識工学上のプログラミング技法を用いて開発されたソフトウェアとを用いて、「船内統合システム」として要求される実船の操船・運航管理に必要な推論・判断の動作が、現実に実用し得る速度で自律的に実行できる、ということが確認された、ということになる。いいかえると、このような目的を持った実用システムの実現性が確認されたといってもよいであろう。さらに昨今のコンピュータ技術、知識工学的手法の発達から見て、本システムに用い得るソフトならびにハードウェアについては、今後比較的短期間の内に、性能的にもコスト的にもさらに有効な進歩が期待されるであろう。今後「船内統合システム」の実用化に当たって考えられる姿は、まずは在来船あるいは少人数船における操船・運航管理の支援システムということになるであろう。コンピュータに任せ

得るところは適宜任せ、必要な時点で随時人間操船者(船長)が高度な判断を下すことのできるシステムは少人数船にはむしろ必要となるものと考えられる。

このことは、現今のオートパイロットが、大洋航行支援システムとして、今や無くてはならないものとなったように、船内統括管理というレベルの高い作業までも時として船長を補佐しながら指示に応じて代行できる知能化された航海支援用「船内統合エキスパートシステム」が、新しい時代の「知能化パイロット」としてやがて必要不可欠となる日が来るということを明らかに予想させるものといえよう。

終わりに、本研究開発は運輸省のご指導の下(財)日本船舶振興会の補助事業として(社)日本造船研究協会の場において行われたものである。ご支援・ご協力を賜った関係各位に対し、ここに厚く謝意を表する次第である。

参 考 資 料

- 1) (社)日本造船研究協会：高度自動運航システムの研究開発総合報告書、平成元年3月

後記：なお、本研究終了後、「高度自動運航システム」に関する実船搭載実験が、東京商船大学と造船企業の共同研究の形で平成元年度に実施されたが、その実施項目の一つとして、港内における避航操船を中心とした「船内統合エキスパートシステム」の機能検証が行われたことを付記する。

船体状態監視評価と姿勢制御の自動システムについて

住友重機械工業株式会社 追浜造船所開発技術室
山口 雄 三

On the Automatic Control System for the Condition Surveillance and Attitude Keeping of Ocean Going Vessel

R & D Dept. Oppama Shipyard Sumitomo Heavy Ind. Ltd.
Yuzo YAMAGUCHI

1. はじめに

大洋を航行する船舶にとって、波浪荷重等の外力に対し、船体の安全を確保することは運航上、最も重要なことである。高信頼度知能化船において、船体状態監視評価と姿勢制御システムは、船舶の安全運航および荷役中の船体安全の確保を自動的に行うための船体状態監視とその評価を自動的に行うことを目標としている。

すなわち、船体状態監視評価システムは、航走中においては、海象・気象状態監視評価システムからの情報とセンサ情報とから、船舶が現在おかれている状態の認識・評価と将来予測される船体状態の計算を実施し、今後採るべき安全な針路・船速・排水量の限界値を最適航路計画システムへ出力し、同システムが針路・船速・排水量の最適値を選択する際の情報とするシステムである。

姿勢制御システムは、荷役中および航走中において、安全な船体応力と復原性、等を確保するためのバラストイング上適切な吃水を監視・維持するよう、そのレートを制御するための情報を出力するシステムである。本報告では上記システムの実現にあたって必要となる要素技術、センサ、ソフトウェアに対して行われた総合的な研究・開発・製作についてその概要を紹介する。

2. システム開発のポイント

2.1 船体状態監視評価システム

本システムは、船体状態監視と操船情報作成の2つの機能を持ち、前者は船体応答に関する諸項目の定量的監視を行い、後者は監視により得られた談データを評価し、要すれば、海象予報情報により将来の安全操

船情報を作成するようになっている。操船情報は最適航路の選択が任意に行えるよう、荒天避航操船時にその安全操船情報（安全船速、針路、排水量）を遭遇海象（有義波高、波向、周期を海象情報システムより入力）に対して計算し、最適航路計画システムへ出力する。

1) 入力データ／初期データ／変更データの考え方

ア) 局所狭域かの選択……局所応答の予測は現状の波浪情報に対し、船速・針路の変更のみを考慮する。狭域の場合は予測される海象の有義波高、波向、周期を入力し、船速・針路の変更に加え、排水量の変更が可能となる。

イ) 排水量の変更……安全範囲選択のため、現排水量に適切な量を段階的に加減算する。与えられた排水量を満足するトリム・吃水の組合せは姿勢制御システムにより計算される。

ウ) 針路の変更……現針路より、任意の角度に変更した針路について予測を行う。

エ) 船速の変更……波との出会い角の全ての方向に対し安全限界船速を求める。

2) 船体状態監視機能について

表1に示す項目について監視計測を行い、時系列値を記録すると共に統計値を解析する。

3) 船体状態評価機能について

表1に示す統計値に対し、設定されたしきい値を越えているか否かの評価及び今後のトレンド分析を行う。その結果、危険と判断された場合は次項以下の予測計算を実施する。

4) 船体応答予測計算について

予め、大型計算機により計算されている、任意の海象、船速、波出会い角における船体応答計算結果（船体応答データベース）を使用し、目的の状

表1 監視項目及びしきい値一覧表

チャンネル	項目名	監視値	しきい値
1	船速	—	—
2	回転転数	—	—
3	バチング	最大値	99.9Kg/mm ²
4	青波	頻度	2回/30分
5	水圧計(スラミング)	〃	2回/30分
6	ピッチ	最大値	15°
7	ロール	〃	45°
8	加速度(上下)	〃	0.8G
9	加速度(左右)	〃	0.5G
10	加速度(前後)	—	—
11	応力1	最大値	15Kg/mm ²
12	応力2	〃	〃
13	応力3	〃	〃
14	波高	—	—
15	波向	—	—
16	波長	—	—
17	—	—	—
18	—	—	—
19	—	—	—
20	加圧スリップ	最大値	30%

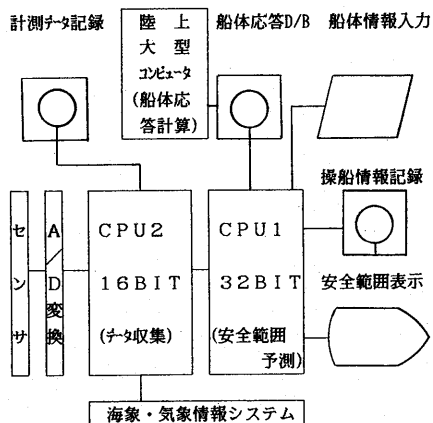


図2 船体状態監視システムブロック図

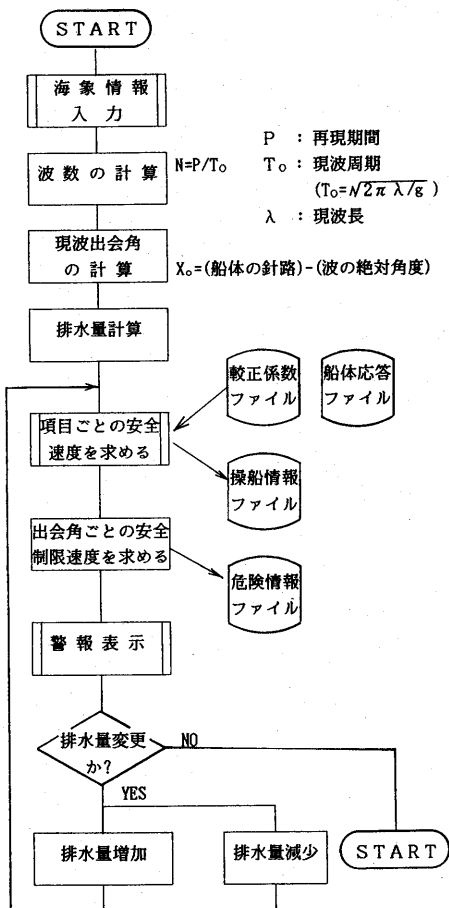
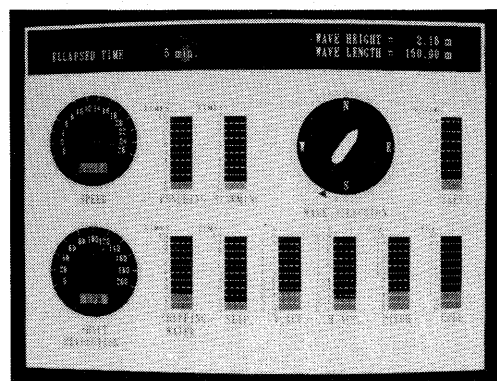
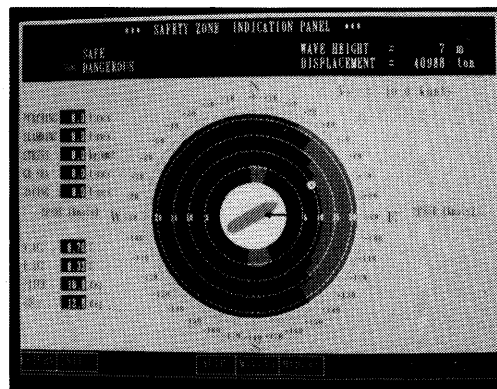


図1 状態監視システム演算フロー



a. 監視パネル



b. 安全範囲表示

図3 状態監視システム出力例

態に対する補間計算を行って操船情報を作成する。船体応答計算はNSM (New Strip Method) プログラムを使用して行う。

5) 出力

荒天避航時における最適航路決定のために船速・針路・排水量の安全限界範囲値を航路計画システムに出力する。

6) 較正係数計算

応答予測の理論計算値とセンサによる計測値との比をとり、較正係数としてデータベースへ記録する。本係数は同係数の分散(σ^2)を理論計算値に乗ずることにより、予測計算の精度を向上させようとするもので、一種の学習機能とする。

以上のシステムの演算フローを図1に、システム構成の1例を図2に示す。

又、システムの出力例を図3に示す。

2.2 姿勢制御システム

船体の姿勢制御は、吃水等の制御から始まり船速・針路の制御までを含む。この制御は航走中のものと荷役中のものと大きく区分することができる。荷役中における姿勢制御は船体応力やトリム・ヒールの船体姿勢の制御及び復原性性能の制御等を、載荷あるいはバラスト注排水の制御により行う。航行中においては、船体動揺や船体応力・波浪衝撃等の軽減を、変速・変針・吃水変更の選択によって行う。この場合船体安全の観点に加え、経済航路の選定が関与するため上記3つの姿勢制御の選択は、最適航路計画システムによって最終的に行なわれる。

システム化の目標としては姿勢制御に関連する船舶の各種システムのうち特に状態監視との連結部分において自動化レベルを高めるとともに従来、荷役及びバラスト注排水のシーケンスを決定する際に船長や乗組員の頭脳に依存していた部分を代行する自動化機能の開発を行う。

以上に基づき、バラ積船およびコンテナ船を対象として下記各プログラムより構成される走行中バラスト注排水計画用システムを作成する。

1) タンク状態作成プログラム

現状態(貨物、燃料、清水、バラスト水)から既知の条件で変更すべき吃水が与えられた場合、変更後の吃水、強度を満足するようバラスト水を自動的に各タンクへ配分するプログラム。必要により燃料のシフトも可能とする。

2) 自動積付状態指示

総荷重量(貨物、燃料油、清水等)及び出港時の吃水が与えられ時、吃水、強度等を満足する様貨物、バラスト水、燃料油等を自動的に各ホールド

及びタンクへ分配し、出港時の積付状態を作成する。

3) 積付スケジュール

上記1)、2)にて与えられた制限値を満足する注排水・載荷タイムスケジュールを自動的に作成する。

3. センサ基礎実験

3.1 センサ陸上実験

状態監視システムに適合した類似性のない、かつ、新規性のあるセンサの開発のためのデータを収集するべく、以下に示すセンサとそのデータ処理装置を検討・仕様設定を行い、陸上実験及び結果解析を行った。特に、パンチングセンサと青波センサのためのデータ収集は、海上保安庁、船舶技術研究所、日本郵船(株)の協力を得て、1000TON型巡視船「しきね」および2800TEUコンテナ船「木曾丸」にITVカメラ、マイクロフォン等を搭載し、実船計測を行った。

1) パンチングセンサ

船首波浪衝撃をマイクロフォンにより検知する。

2) 青波検知センサ

甲板上海水打込みとその量を検知する。

3) ホールドレベルセンサ

バルク乾貨物の容量と形状検知を行う。

3.2 センサ実船実験

航行中の船舶における乗務員の作業の一つには、船舶の状態監視があり、これは船舶を安全確実に航行させるには、不可欠な作業である。

高度自動運航システムではこれらの作業が自動化される必要があるのはもちろんのこと、さらに定量的に評価されるべきものでなければならず、そのための基礎となる各種センサは、高い信頼性を初めとする十分な性能を有するものでなければならないが、そうした性能を把握するためには、実際に船舶にこれらのセンサを装備し航行することが非常に有効であり、実船実験を実施した。

1) 巡視船「しきね」実験

ア) 供試船(写真1参照)

第3管区下田海上保安部所属

L×B×D=77.8m×9.6m×5.3m排水量1,344ton

主機:3500ps×2 速力:19.8KT

イ) 実船実験実施時期及び海域

昭和60年2月5日～6日 三宅島西方海上

ウ) 計測項目

動揺(縦揺、上下揺、横揺)、船体加速度、船側水圧、波浪衝撃音、船体縦曲げ応力、剪断応力、船首部青波打込、船速、海象。

エ) パンチング・スラミングによる波浪衝撃音及び

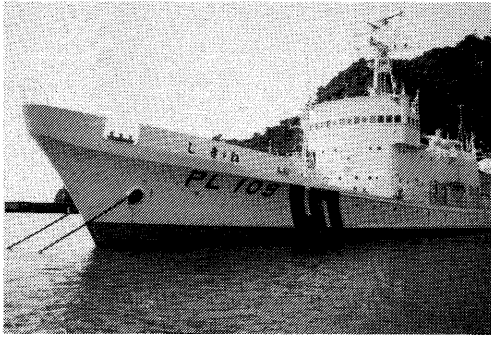


写真1 巡視船しきね

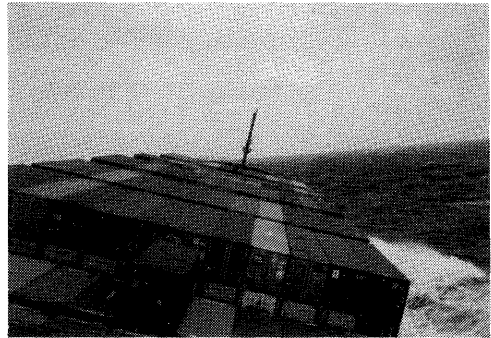


写真2 航走中の木曾丸

青波打込みはマイクロフォン及び赤外線暗視装置によって計測・検知する。

2) コンテナ「木曾丸」実験

日本郵船㈱船所属1800TEU コンテナ船「木曾丸」により荒天避航と船長操船と関連を東京―北米航路についてデータ収集・調査を行った。写真2に航走中の船体状態を示す。計測データとしては避航時における定量的情報として、加速度、応力、船体運動量、パンチングによる生音等の収集を行い、解析を実施し避航と船体応答の関係を調査した。

4. 考 察

4.1 状態監視評価システム

本システムはコンテナ船を対象にソフトウェアを完成させ、他自動化システムと組合せて、総合的な自動運航システムとして陸上シミュレーションによる機能検証を行い、安全自動航行への効果と機能を確認した。

この結果及びセンサ基礎実験及び実船実験の結果とにより、本システムを高信頼度知能化船のシステムの一部として実用化するにあたって必要な事項が明瞭となった。

1. 最適自動運航システムにおいて、船体状態監視システムは最も重要で必要不可欠なシステムである。本システムが安全航行に果たす役割は大きく、ソフトウェア的なエラー対策や故障時のバックアップ対策を含め開発の経過中において得られた問題が解決されたあかつきには、本システムは一連の開発システム群のなかでも、有用性が最も高いシステムとして船舶に装備されることになるであろう。
2. 本システムは単独のシステムとしても有用である故、直ちに実船に搭載することが可能であるが、その場合、危険性判定のアルゴリズム、船体応答

の予測法（非線形波浪外力の取り扱いや多方向不規則波中での船体応答の予測）等に一層の検討が必要である。たとえば、しきい値の設定などの危険性判定のアルゴリズムなどの妥当性を検証するにはさらに実船試験による性能の評価が重要である。

4.2 姿勢制御システム

姿勢制御システムはそのプロトタイプそのプロトタイプをコンテナ船及びばら積船について完成させた。機能については、状態監視システムの与える指示に基づき、種々のケースについて演算を行い、有用性の確認を行なった。この結果、下記の項目が明らかとなりシステムの実用性について問題のないことが判明した。

1. 航走中において姿勢制御を直接実施するチャンスは非常に少ないと思われるが、長期予報に基いてバラストを軽くするケースはありうると思われる、本システムは状態監視システムと併せ、充分対応できるシステムとなっている。
2. 本研究ではアクチュエータとの連結、フィードバック等の検討がトータルシステムとしてのシステムの実用化にあたって、さらに必要である。

5. ま と め

本研究は、シミュレーションによる総合検証をもって要素技術の開発を終了した。これにより本システムを含めた高信頼度知能化船の各システムの検証が実現し、各システムの有用性・実用性・問題点等の検証が行われた。今後、以下の問題の解決が研究の課題となると考えられる。

- 1) 安全性基準の判定、予測機能の向上及びシステムの有効性の検証等には複数の船舶による長期の航海実績の解析が不可欠であろう。
- 2) 実用化については今後実船実験等を通して開発を進め、早期に実現に向けて努力する。この場合、

システムのロジックやアルゴリズムが現実の現象を実用的にかつ、精度良く再現することができるよう、改良を行う必要がある。

- 3) 危険判定のアルゴリズムの妥当性を高めるため、実船実験の結果を有効に利用すると共に、船長の

実際操船体験との整合性を有するよう、航海実績の解析と照合も充分行う必要があろう。

- 4) 監視項目のしきい値の設定にあたっては、関係各界のコンセンサスを得ることが必要である。

ファジィ理論を応用した避航航路計画システム

日立造船 (株)

マリン開発部 山 本 敏 雄

船舶基本設計部 山 本 正 明

Collision Avoidance Routing System Using Fuzzy Theory

Hitachi Zosen Corporation

Marine Development Department Toshio YAMAMOTO

Ship Design Department Masaaki YAMAMOTO

1. はじめに

航路計画という作業は本来人間の思考によるもので、その過程では、ある程度あいまいさを含んだ判断が必要である。そのため、最適航路計画決定における船長のノウハウは自動化しにくい分野であり、特に衝突回避航路の決定においては、船舶が輻輳した海域では非常に難しい技術であるといえる。「高度自動運航システムの研究開発」のサブシステムのひとつである「最適航路計画システム」は、この船長ノウハウを自動化するという試みで開発が進められてきたが、このシステムにおける衝突回避航路計画も、頻繁に計画をやり直すことによる自船の蛇行などの現象がまれに観測された。そこで、この衝突回避航路計画の避航ロジックに人間の思考に特有の「あいまいさ」が処理可能なファジィ理論を応用することにした。以下、ファジィ理論の適用により改良された航路計画のシミュレーション実験について紹介する。

尚、本研究および「高度自動運航システムの研究開発」は財団法人日本船舶振興会から事業補助金をうけて行ったものである。

2. ファジィ理論の概要

2.1 ファジィ集合

人間の思考は、たいていの場合あいまいな事象から判断を行っている。例えば、外出時に「今日は風が強く、少し寒いのでコートを着る」という判断を行うが、「風速15m以上で気温が10℃以下だから」とは考えない。ファジィ理論はこのようなあいまいな事象を数学的に取り扱う考え方である。

ここでいう、「風が強い」や「少し寒い」といった、

輪郭のはっきりしないあいまいな言語情報をファジィ集合 (Fuzzy Sets) と呼んでいる。これに対し、従来の「20代の男性」といった集合のように、各要素が集合に属するか属さないかがはっきりしている集合をファジィに対してクリスパ集合 (Crisp Sets) と呼んでいる。

例えば「若い」、「年とった」という定性的な集合を

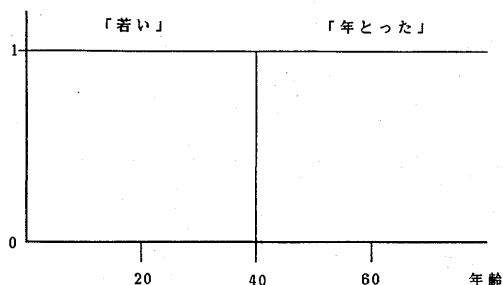


図2.1 クリスパな定義

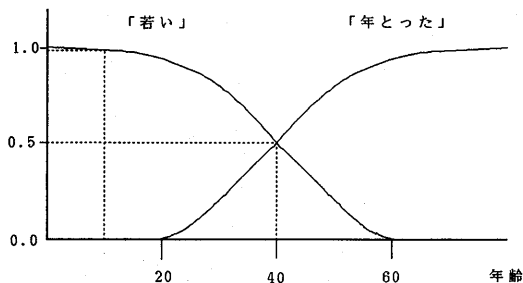


図2.2 ファジィによる定義

従来のクリスプ集合で表すと図2.1のようになる。この図では40才を境にして「若い」と「年とった」を定義しているが、この表現では40才になる1日前までは「若い」に属し、翌日には「年とった」に属することになり、感覚的には不自然である。

これがファジィ集合では図2.2のように、それぞれの集合に属す程度で表す。この表現では、10才は、「若い」に属す度合がほぼ1.0、「年とった」に属す度合が0.0、また、40才は「若い」に属す度合が0.5、「年とった」に属す度合が0.5と、あいまいな部分をうまく表現できる。

このように、ファジィ集合は各要素がその集合に属す程度を返す関数によって定義する。この特性関数を、そのファジィ集合のメンバーシップ関数と呼んでいる。

2.2 ファジィ推論

ファジィ推論は与えられた事実から推論規則に従って結論を導き出すもので、通常の if-then 形式の推論と同じであるが、異なる点は命題中の変数が全てあいまいな言語情報、すなわちファジィ集合で記述される点である。例えば、

if リンゴが赤い, then リンゴは熟している
というルールに対して、

リンゴがかなり赤い

という事実が観測されたならば、結論として

リンゴはかなり熟している

という推論を行うのがファジィ推論である。ルールの「赤い」に対して、事実の「かなり赤い」のように完全にマッチングしなくても推論が行なえる。

この推論の具体的な手法はいくつか発表されているが、ここでは最も一般的といわれる MAX-MIN 合成と面積重心計算による方法をファジィ制御を例に取って説明する。制御と推論は、ルールが制御則か推論則かという違いだけである。例題とする制御は次の通りである。

数直線上の区間 $[-1, 1]$ で、一様外乱を受けて運動する点を原点に保持するための速度制御を行う。

点の変位を x とすると、指令位置との偏差 e と偏差の変化量 $\dot{e}$ により指令速度 u を決める。

メンバーシップ関数および制御則を記述するために用いる言語変数として、次の5つを定義する。

NB : 負で大
NS : 負で小
ZO : 零
PS : 正で小
PB : 正で大

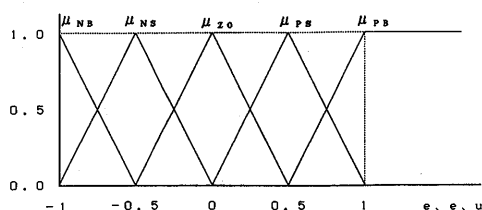


図2.3 $e, \dot{e}, u$ のメンバーシップ関数

		$\dot{e}$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
e	NB			PS		
	NS			PS		
	ZO	PB	PS	ZO	NS	NB
	PS			NS		
	PB			NB		

図2.4 指令速度を求める制御則

この言語変数は $e, \dot{e}, u$ のそれぞれの状態に対して定義したファジィ集合の集合名である。それぞれの言語変数のメンバーシップ関数を図2.3に、また制御則を図2.4に示す。ここでは、簡単のために三つの事象 $e, \dot{e}, u$ に同一の言語変数とメンバーシップ関数を用いたが、一般的にはそれぞれ別の物である。図2.3では、例えば NS は -0.5 を中心にして -1.0 から 0.0 の区間で $0 \sim 1$ の度合が定義されていることを示している。それぞれのメンバーシップ関数を $\mu_{NB}, \mu_{NS}, \mu_{ZO}, \mu_{PS}, \mu_{PB}$ とする。また、図2.4の制御則では、例えば斜線部では、「偏差が負で大きく、偏差の変化量が零ならば、速度を正で大きくとる」と読む。

今、 e と $\dot{e}$ がそれぞれある値 e_0 と $\dot{e}_0$ をとるとき、 $\mu_{NB}(e_0)$ と $\mu_{ZO}(\dot{e}_0)$ より、速度のメンバーシップ関数 $\mu_{PB}(u)$ を (1) 式のように修正する。

$$\mu_{PB}^*(u) = \{\mu_{NB}(e_0) \wedge \mu_{ZO}(\dot{e}_0)\} \cdot \mu_{PB}(u) \quad \cdots (1)$$

ここで、 $\wedge$ は小さい方をとるという意味である。(1) 式を図示すると図2.5のようになる。要するに、「偏差が負で大」と「変化量が零」の程度に応じて、「速度を正で大にする」程度を修正していることになる。

さて、従来の制御では、 e および $\dot{e}$ が NB~PB のうちの集合に属するかが一意に決まり、その結果決められた制御則に従って u が決まっていた。つまり、記述されたルールのうち一つだけが発火して制御を行っていた。ところが、ファジィ制御では記述されたルールは一回の制御ですべて発火する。つまり、(1) 式の修正を図2.4の全ルールに対して行う。そして、修正された速度のメンバーシップ関数の積を (2) 式のように求

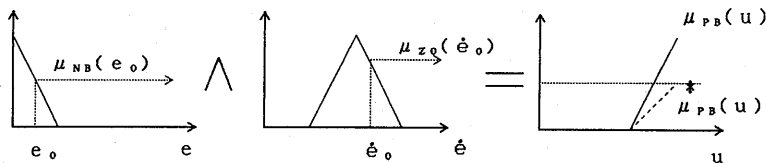


図2.5 MIN 合成

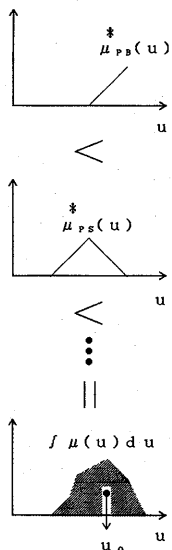


図2.6 MAX 合成

める。

$$\mu(u) = \mu_{NB}^*(u) \vee \mu_{NS}^*(u) \vee \mu_{ZO}^*(u) \vee \mu_{PS}^*(u) \vee \mu_{PB}^*(u) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\vee$ は大きい方をとるという意味である。(2)式を図示すると図2.6のようになる。(2)式により求められた関数 $\mu(u)$ の面積重心をとる((3)式)ことにより、一つの制御速度を求める。

$$u_0 = \frac{\int u \mu(u) du}{\int \mu(u) du} \dots\dots\dots (3)$$

3. 最適航路計画の概要

最適航路計画システムは船位決定システム、海象気象状態監視システム、船体状態監視システム、衝突座礁予防システム、総合運航管理システムなど、船内及び陸上から得られる情報を基に、安全性、経済性を考慮した最適航路を完全自動で決定するシステムである。計画はその目的や航程に応じて三段階に分かれており、それぞれを広域航路計画、狭域航路計画、局所

航路計画と呼ぶ。各計画のレベルは次の通りである。

広域航路計画

- ・グローバルな海象気象情報、陸上支援システムからの推奨航路情報をもとに、出発点から目的点までの間をいくつかの格子点をつなぐ形で計画する。
- ・データは一日毎に更新
- ・計画対象は目的地まで（北太平洋全域）

狭域航路計画

- ・ローカルの船位情報、海象気象情報の現況や予測情報を基に、広域の変針点間を経済性、安全性の面から修正し計画する。

- ・データは1時間毎に更新

- ・計画対象は240海里先まで

局所航路計画

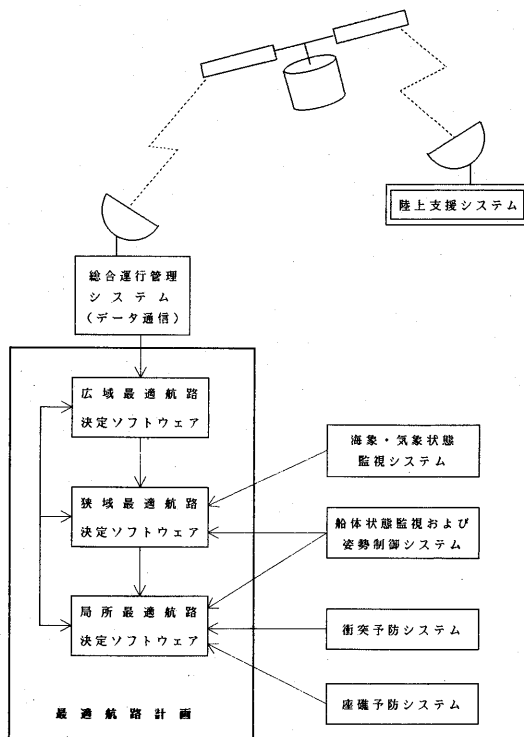


図3.1 最適航路計画システム ブロック図

- ・衝突予防システム、座礁予防システム、船体状態監視システムからの避航操船情報を基に、狭域航路計画の変針点間を安全性の面から修正し計画する。
- ・データは数秒毎に更新
- ・計画対象は24海里先まで

各航路計画は、他システムから送られるデータが更新されるか、上位の計画が更新されると再計画が行われる。最適航路計画のブロック図を図3.1に示す。

4. 局所航路計画の問題点

前述の通り、局所航路計画の目的は避航航路作成が主であり、図4.1のフローチャートに示すアルゴリズムで計画を行っている。

図4.2は局所航路計画の画面の一例である。航路チェックにより、航路に危険範囲が現れたために、避航航路が計画されている。危険範囲はその範囲内が危険という意味ではなく、自船からみて、その方向へ変針すると将来危険になる可能性があるということを表すもので、衝突予防システムが計算したデータを受け取り、表示している。

図4.3はその後の状態であるが、曲線で示した自船の実航跡に現れている通り、蛇行しているのがわかる。

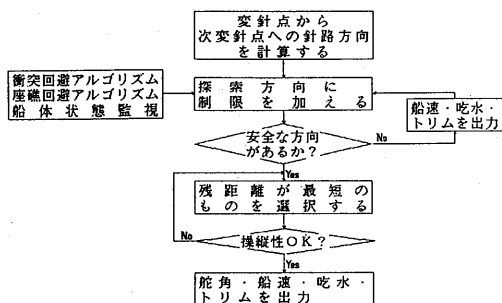


図4.1 局所航路計画フローチャート

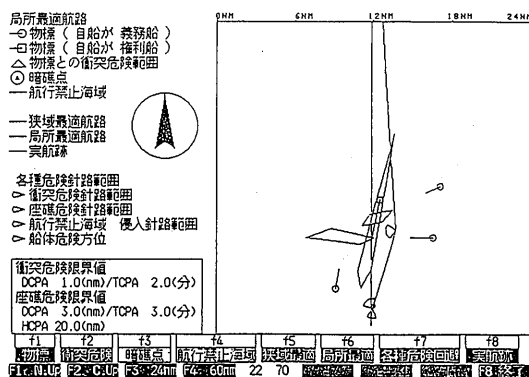


図4.2 局所航路計画 状況図 (1)

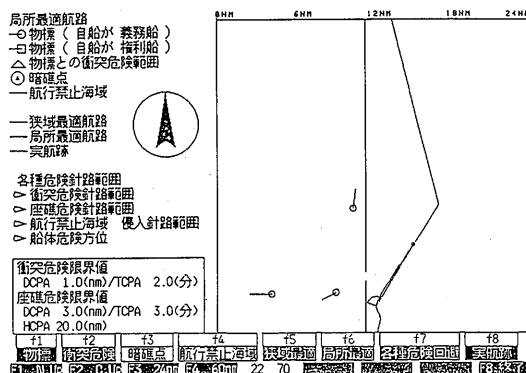


図4.3 局所航路計画 状況図 (2)

原因は、航路チェックの度に安全と危険の判定が変わることによって頻繁に計画のやり直しが行われ、その都度新しい計画に従って自船が変針したためである。このような不自然さを解消するためにファジィ理論を使うことにした。

5. 避航航路計画へのファジィ推論の応用

5.1 メンバーシップ関数および推論則の定義

純粋にファジィ推論を用いた場合の効果を知るために、本体プログラムとは別に簡略化したプログラムを使用した。先に述べた局所航路計画のアルゴリズムのうち、衝突回避のみを対象とし、座礁回避、船体危険回避は考えない。

ここで、シミュレーションを行った衝突回避計画のアルゴリズムもう少し詳しく説明する。

- ・自船の現在位置から2つ先の狭域の変針点までを対象としてその間を折れ線区間でつなぐ
- ・各区間では、区間長および船速は一定とする。また、吃水、トリムも変更しない。
- ・自船の現針路から $\pm 40^\circ$ の範囲内で各針路に対してそれぞれ評価値を求め、最も評価の高い針路を選択する。
- ・目標点までの残距離が区間長より短くなった時点で計画を終了する。

図5.1にフローチャートを示す。

ある針路の評価をする場合、たとえば、その針路が安全で、かつ、目標点の方に向かう針路であれば、その針路の評価値は高いと判断できる。ここで言う「安全」や「目標点に向いている」という表現はまさにあいまいなものであり、ファジィ推論に適しているといえる。そこで、「航路の危険度」と「目標点方向との方位差」の2つを入力とし、ファジィ推論により「針路の評価値」を出力することにした。(図5.2参照)

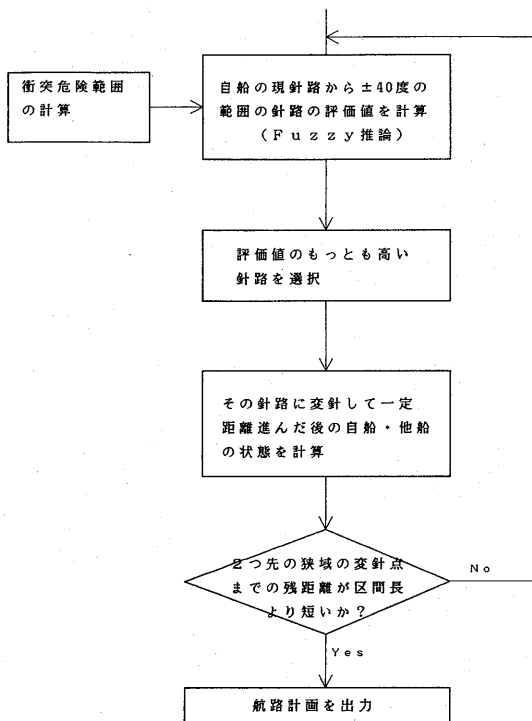


図5.1 ファジィ推論を応用した避航路計画 アルゴリズム

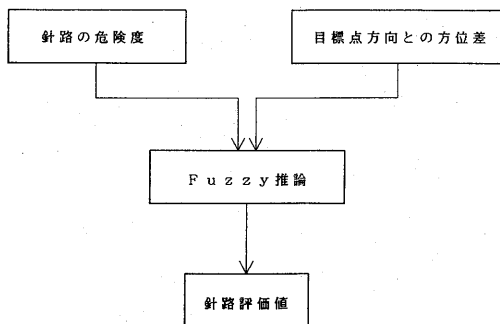


図5.2 ファジィ推論 ブロック図

ここで、「針路の危険度」と「目標点方向との方位差」という2つの入力と、出力である「評価値」の3つの事象に対して、それぞれの言語変数を以下の通り定義する。

危険度

- DB : 危険 (大)
- DS : 危険 (小)
- MD : 中間
- SS : 安全 (小)
- SB : 安全 (大)

距離

- NB : 近い (大)
- NS : 近い (小)
- MD : 中間
- FS : 遠い (小)
- FB : 遠い (大)

評価値

- HB : 高い (大)
- HS : 高い (小)
- MD : 中間
- LS : 低い (小)
- LB : 低い (大)

これらの言語変数を用いて推論則を図5.3のように定義する。

		危険度					
		DB	DS	MD	SS	SB	
方位差	NB	LB	LS	MD	HS	HB	
	NS	LB	LS	MD	HS	HS	
	MD	LB	LB	MD	HS	HS	
	FS	LB	LB	LS	MD	MD	
	FB	LB	LB	LB	MD	MD	

図5.3 評価値を求める推論則

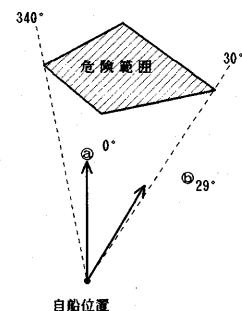


図5.4 自船位置と危険範囲の例

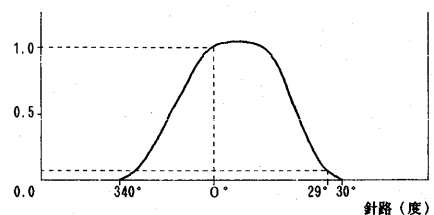


図5.5 「危険」の程度

次に、それぞれのメンバーシップ関数を定義する。
 針路の危険度は、図5.4のような危険範囲があった場合、図5.5のようなメンバーシップ関数が考えられる。針路②の危険度はほぼ1.0、針路③の危険度は0.1程度と差をつけることができる。しかし、この場合危険範囲が変化する度にメンバーシップ関数を定義し直さなければならない。

そこで、危険範囲を方位で表すのではなく、図5.6のように危険範囲の中心を-1，安全範囲の中心を1.0，境界を0とした相対値として表すことにした。要する

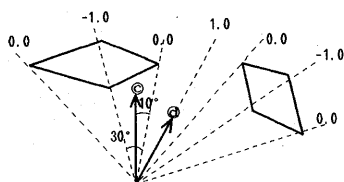


図5.6 相対値による危険範囲の定義

に、値がマイナスの場合は危険範囲に入っている方位でプラスの場合は危険範囲に入っていない方位ということになる。この方位相対値の危険度のメンバーシップ関数を図5.7のように定義した。

また、目標点への方位差は、ある針路と目標点方向との差で単位は度である。方位差のメンバーシップ関数は図5.8の様に定義した。

評価値は-1.0から1.0の値を取り、その上に図5.9の

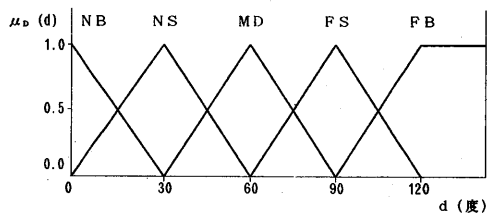


図5.8 方位差のメンバーシップ関数

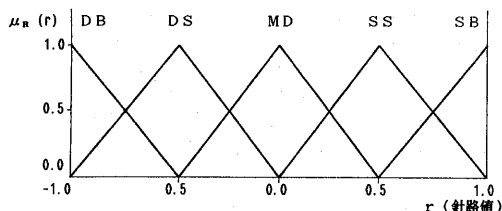


図5.7 危険度のメンバーシップ関数

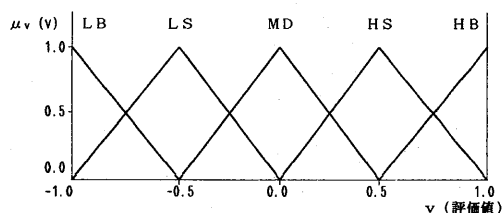


図5.9 評価値のメンバーシップ関数

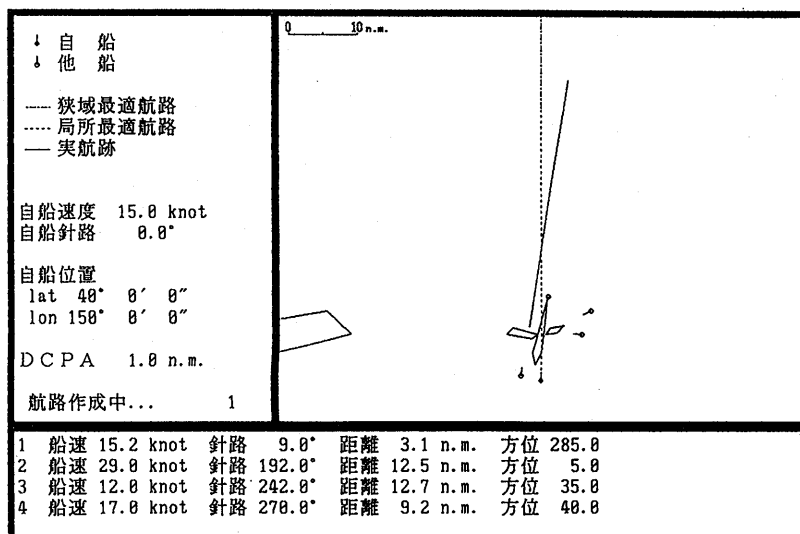


図5.10 ファジィ推論を用いた避航路計画 初期状態

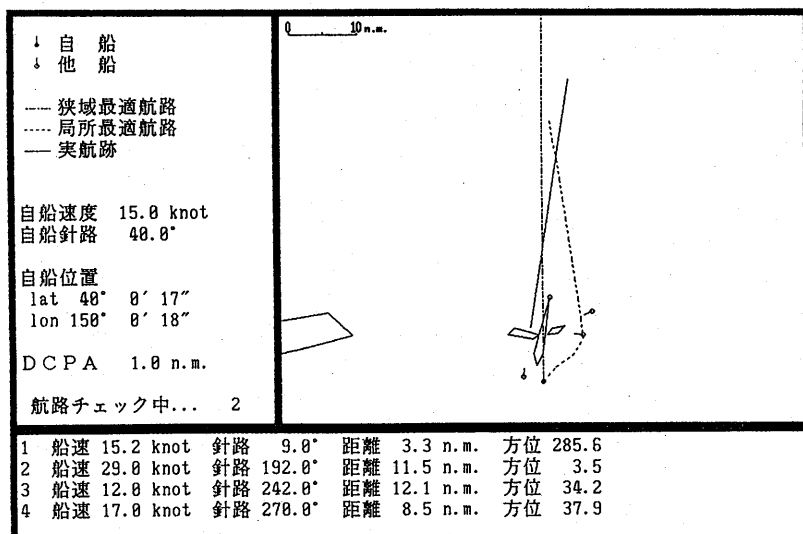


図5.11 ファジィ推論を用いた避航航路計画 計画航路

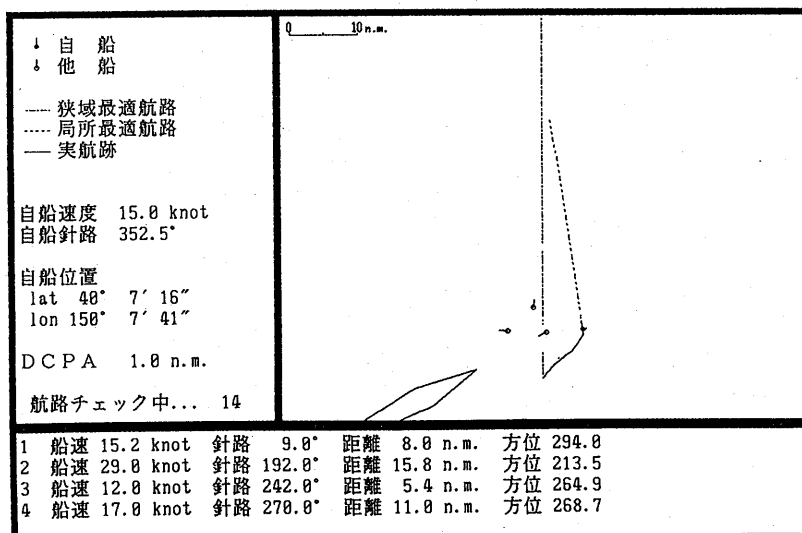


図5.12 ファジィ推論を用いた避航航路計画 航跡図(1)

ようにメンバーシップ関数を定義した。これは値が大きいほど評価は高いということである。

これらのメンバーシップ関数とルールを使って前述のMAX-MIN合成と面積重心計算により針路の評価値を求める。

5.2 シミュレーション結果・考察

図5.10から図5.13までは先ほどの最適航路計画システムの局所航路計画システムの局所航路計画で自船が蛇行した場合とほぼ同じ状況でシミュレーションを行

った結果のアウトプットである。

図5.10は初期状態である。図中では自船を白丸、他船を黒丸、円から出た直線で各船の針路を表し、他船の針路方向にある多角形が、その他船の危険範囲を表している。また、狭域最適航路を1点鎖線、局所最適航路を破線、実航跡を実線で表す。初期設定では局所航路計画が行われていないため、局所最適航路は狭域最適航路と重なっている。尚、自船前方を斜めに横切っている実線は危険範囲の特殊な形である。

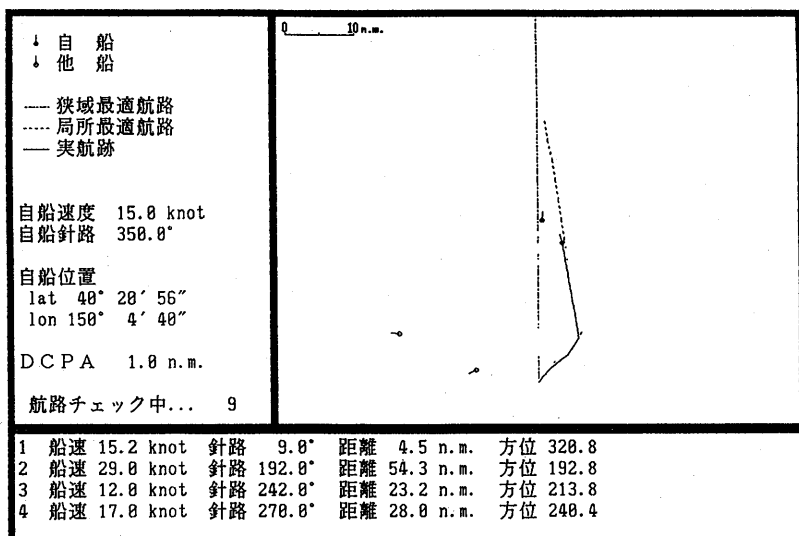


図5.13 ファジィ推論を用いた避航航路計画 航跡図 (2)

図の下欄には他船の情報が表示されている。図中に説明がないので分かりにくいですが、各データは次のように対応している。

- 他船1：自船の左舷側に並走している船
 - 他船2：自船前方から向かってくる船
 - 他船3：自船左前方から斜めに自船の前を横切る船
 - 他船4：自船左前方から自船針路と直角に横切る船
- 尚、実際のシミュレーション画面では、表示する色を変えて判別している。

図5.11がファジィ推論を用いて計画した避航航路、図5.12および5.13がその後の経過である。図5.13では、他船1がまだ自船の少し前を走っているが、他船の方が船速が速いため、危険範囲は表れていない。

さて各変針点の評価図が図5.14及び図5.15である。図5.14は一番最初の変針点、つまり計画を開始したときの自船位置での評価図である。海上衝突予防法に規定されている変針方向を満足するように、自船と他船の見合い角からどちらに変針するかを判断しているた

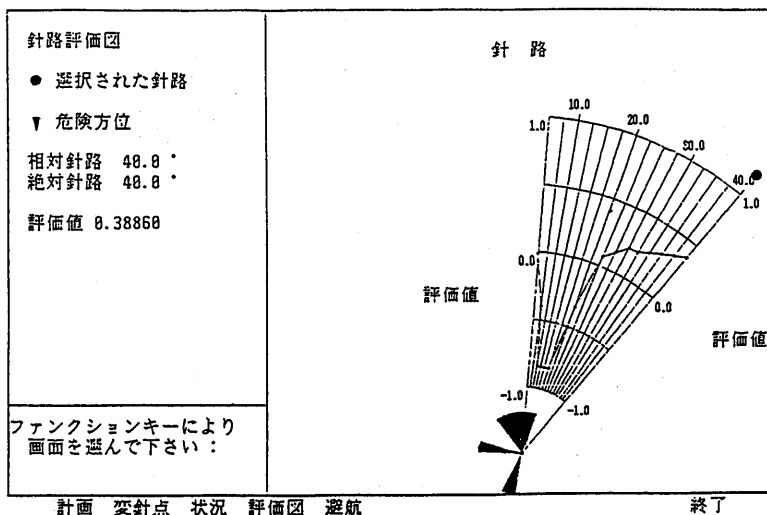


図5.14 変針点での針路評価図 (1)

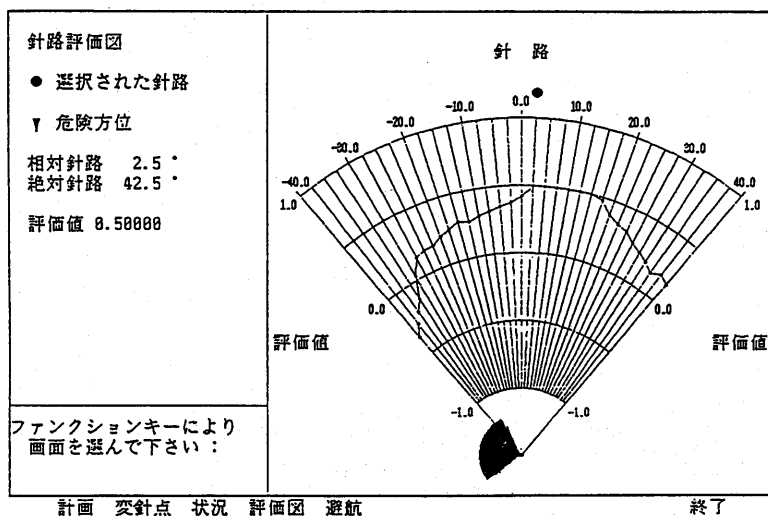


図5.15 変針点での針路評価図 (2)

め、一番最初の変針点は片側だけの評価となる。この場合のように他船が複数隻ある場合は最も危険度の高い他船一隻に対して避航方向を決定している。尚、各他船の危険度は(4)式により決定している。CRの値が小さいほど危険度は高い。

$$CR = \frac{DCPA^2}{DCPA_0^2} + \frac{TCPA^2}{TCPA_0^2} \dots\dots\dots (4)$$

DCPA₀： 限界 DCPA (Distance of Closest Point of Approach)

TCPA₀： 限界 TCPA (Time of Closest Point of Approach)

DCPA： 自船・他船間の DCPA

TCPA： 自船・他船間の TCPA

また、他船に変針の意志を明確に表すため、最低5度以上変針するよう計画している。

図で、黒で塗りつぶした扇型が危険範囲のある方向を示している。また黒丸が選択された針路を示している。

二番目以降の変針点では、自船のその時点の針路から左右40度を探索する。図5.15のように2.5度から15度までの様に複数の針路が同じ値で評価が高い場合、目標点方向に一番近い針路が選択される。

6. おわりに

当初の目的であった、判定が微妙な場合の再計画の繰り返しによる蛇行など、不自然な動きに対してはそ

の有効性が検証された。今後、実用化の面から残された課題としては、下記の事項が考えられる。

- ・多少、大回りする傾向があるなど、効率の面で改良の余地がある。メンバーシップ関数やルールの見直しなど、さらにブラッシュアップが必要である。
- ・本研究では、ルール上自船が権利船の場合も、他船は避航動作をとらないとして義務船の場合と同様の避航航路計画を行うようにした。しかし、実際には自船が権利船の場合の方がその動作ははるかに難しい。次の段階ではこの点も考慮し、さらに人間の思考に近い航路計画が行えるシステムへと改良して行かなければならない。

最後に、本研究を進めるにあたり、数々の助言をいただいた関係者各位に深く感謝の意を述べるとともに今後とも御教示賜りたい。

参 考 文 献

- 1) 寺野寿郎, 浅居喜代治, 菅野道夫: ファジィシステム入門, オーム社, 昭和62年
- 2) 浅居喜代治, C. V. Negoita: あいまいシステム入門, オーム社, 昭和53年
- 3) 水本雅晴: ファジィ理論とその応用, サイエンス社, 昭和63年
- 4) A. G. Bole, K. D. Jones 著, 飯島幸人, 吉本高志訳: 自動衝突援助装置マニュアル, 海文堂, 昭和58年
- 5) 長谷川和彦, 上月明彦: Fuzzy 制御による自動避航システムに関する研究, 関西造船協会誌 第205号, 昭和62年6月
- 6) 今津隼馬: 避航と衝突予防装置, 成山堂, 昭和59年

知能化船における狭水域航行システムについて

三菱制御システム㈱

永 田 至 孝

Marine Traffic System for Intelligent Ship

Choryo Control System Co., Ltd.

Shikou NAGATA

1. はじめに

昭和57年8月、運輸技術審議会は、運輸大臣の諮問第13号「最近における産業構造の変化、要素技術の進展等に対応して今後推進すべき造船技術開発について」に対して答申を行ない、我国造船業を取りまく環境変化に対応するため、「高信頼度知能化船」の研究開発が必要であるとした。これを受けて、社団法人日本造船研究協会および高信頼度船用推進プラント技術研究組合が、財団法人日本船舶振興会（会長 笹川良一氏）の補助事業として、この研究開発を行なった。

本題は、この大きなプロジェクトの中で研究された

もので、平成元年3月までに運輸省船舶技術研究所においてシミュレーション実験や模型船による水槽実験なども実施したので、これらの結果も含めて紹介する。

2. 海陸一体化された港内航行誘導トータルシステム

狭水域における知能化船らしい自動航行を考えた場合、知能化船にのみ高価な高性能の機器を搭載しても、これに陸上から有効な情報を与えなければ、システムは成り立たない。また、経済的な面からみても、システム全体に必要な機能を海上の知能化船と陸上の設備で受け持ち、お互いに補完してトータルシステムを構成するのが得策であると考え、技術的に近い将来容易

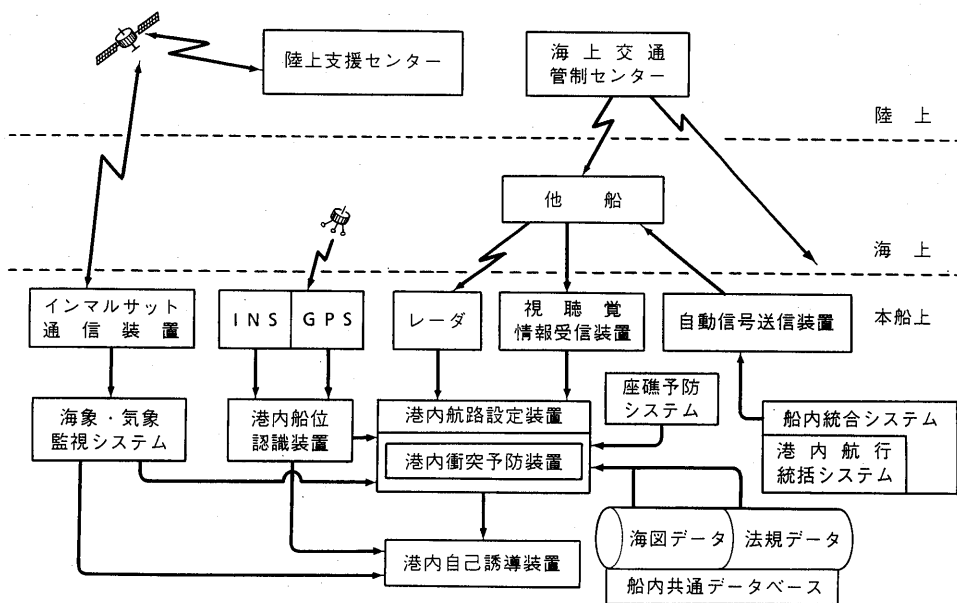


図1 海陸一体化された港内航行誘導システム構成

に実現でき、しかも陸上設備にあまり負担をかけないトータルシステムの設計を試みた。

そこで、ここではまず、トータルシステムの構成を簡単に紹介した上で、狭水域航行システムのそれぞれの技術内容について述べる。

海陸一体化された港内航行誘導に関するシステム構成および情報授受のダイアグラムは図1のとおりであり、これらの装置は機能的に次の4つに分けて考えられる。

- ① システム全体を統括管理する装置
- ② 船や環境条件などの情報を交換する装置
- ③ 受けた情報を処理判断して船位や航路を決める装置
- ④ 決めた航路を忠実に航行する装置

このような機能を持ったもので構成される港内航行誘導システムの大きな特徴は、本船と陸および本船と他船の交換情報がすべてデジタル化されており、コンピュータによってこれらの情報が処理されることが、予測情報を利用して船の諸操作を自動的に行うことである。

図1にある海上管制センターや陸上支援センターは現在、各海上交通管制センターや港湾管理当局および船社代理店などで取扱っているものと同程度の情報を知能化船用にデジタル化して提供すると共に、知能化船から送られるデジタル情報を当局が理解できる情報とする機能をもっている。また、一般他船の諸情

報もこれらのセンターで把握しており、必要なものは知能化船に送る。

知能化船ではこれらの与えられた情報と、自船の装置で得た諸情報をもとに、安全で経済的な航行を行なう。

3. 港内航行統括システム

港内航行統括システム(以下、統括システムと記す)は港内航行に関する各サブシステムの取りまとめを行う機能を持ち、いわゆる船全体の管理・監督を行うものである。各サブシステムは、常に順調に作動するとは限らないため、統括システムが港内航行時、システム全体の動きを常に点検し、また、外部との交信処理を行い、高信頼度知能化船として調和のとれた円滑な操船を行うようにするもので、いわば、船長に相当するシステムである。図2に統括システムの構成を示す。

主な機能は次の3つとした。

- ① 港内航行に関与する各サブシステムの起動・停止およびモードの遷移を円滑に行うこと
- ② 陸上支援センター・海上交通管制センターまたは航行中の他船などとの交信処理を行うこと
- ③ 緊急事態の時に、安全性を重視した判断処理を行うこと

本システムのシミュレーション実験は、総合シミュレーションにおいて最終的な確認が行なわれ、そのために、故意に様々な場合の緊急事態を作り、船全体と

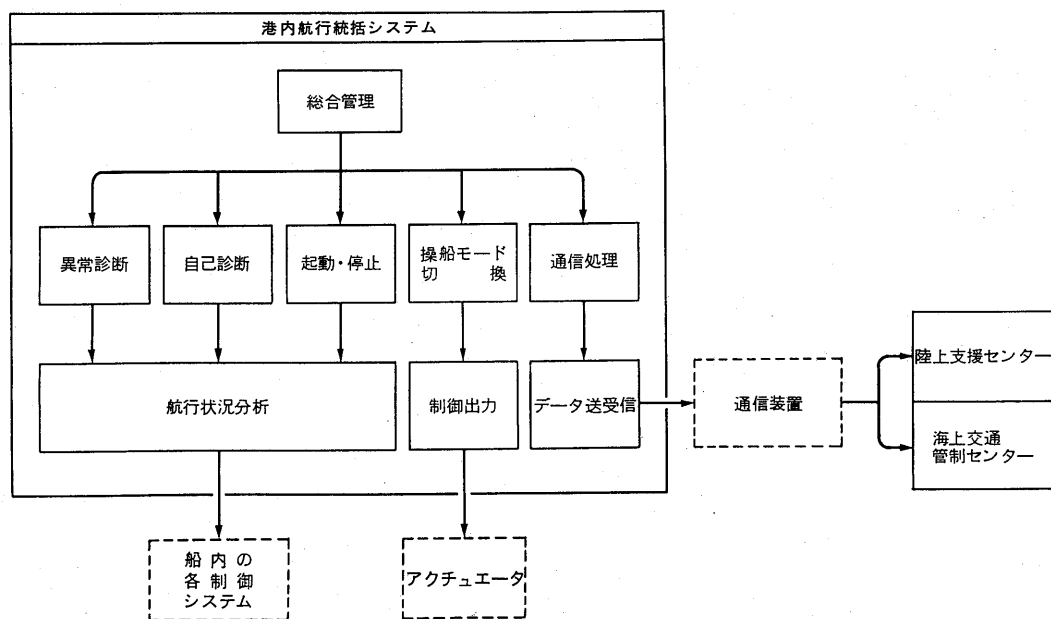


図2 港内航行統括システム構成

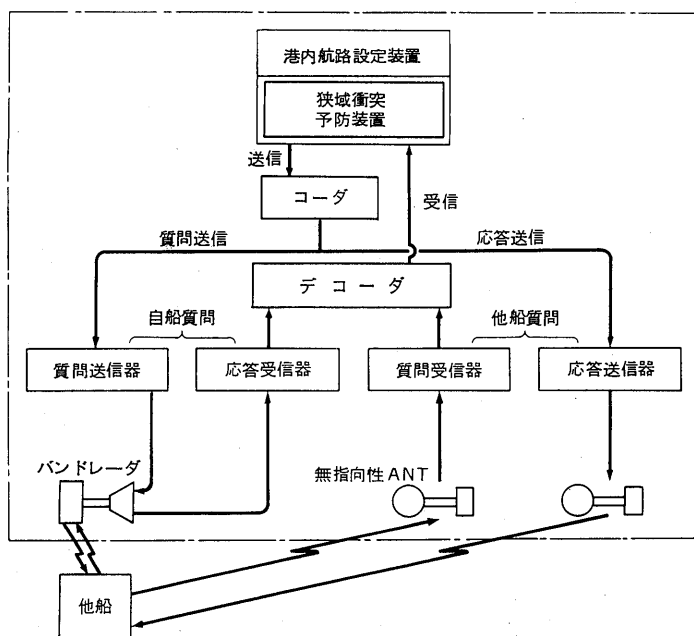


図3 トランスポンダシステム構成

しての動作が的確であるか、また、その際に必要な場所に対して必要な交信をしたかなどを検証した。

4. 港内情報交換装置

大洋航行においても使われるインマルサット通信装置のほかに、港内狭水域においては、トランスポンダーやVHF通信装置なども併用する。

4-1 トランスポンダー

トランスポンダーは船舶相互間の通信手段で、自船の安全航行に必要な他船意志データ（現針路・現速度・予定針路・予定速度等）をXバンドレーダのスキャン毎に自動的に入手するシステムである。図3を参照のこと。

- (1) 自船のXバンドレーダの空中線が前の方位を通過する時、質問パルスを発射する。
- (2) 自船からの一斉呼出しに対して他船から送信される識別のための受信コードを受け、自船～他船間に通信路が開かれ、衝突予防装置により、自動的に追尾され維持される。

4-2 VHF通信装置

港内航行に於いて海上交通管制センターと本船との間のデジタル・データ通信を直接行なう手段として、VHF通信装置を使用する。

- (1) チャンネルスキニング状態で、海上交通管制センターからの信号を入感した場合、チャンネルが固定され、海上交通管制セン

ターとの通信路が開設される。

海上交通管制センターからは、航路管制に関する情報が、又、自船からは、自船の船速、コース等の情報が伝送される。

- (2) 山影等で電界強度が変動する海域では、データ通信エラーの可能性があるが、エラー発生の場合、端末相互間で自動的に再送を行なう。

5. 港内船位認識装置

港内においては、船舶や障害物が多く錯綜しているため、自船の高精度な位置情報が必要である。そこで次のような条件を設定して、本装置を考えた。

- (1) 高精度な測位が可能なこと
- (2) 測定所要時間が短かく、連続して測位できること
- (3) 使用海域に制限がなく、地球上どこでも使用できること

この結果、GPS（人工衛星を利用した測位システム）、INS（慣性航法による測位システム）、反射率可変リフレクタを利用した測位システム、の3方式をハイブリッド化し、さらにカルマンフィルタ処理によって自船の最良測位値（船位、船速、誤差）の情報を1秒ごとに他の関連システムに出力できるものとした。

- ① NAVSTAR/GPSおよび船用INS（慣性航法装置）はそれぞれ独立の測位装置であり、測位誤

表1 船位認識装置測位誤差

入力の種類	位置誤差(期待値)	利用海域
GPS	30m(1σ)(現在) 50m(1σ)(将来)	狭水域(連続)
INS	2000m/Hr	狭水域(連続)
反射率可変 リフレクタ	12m	防波堤内(連続)

差に相対する特徴をもった測位データを非同期で出力する。

- ② 一方、コード No. で反射率を変調したレーダリフレクタを使いレーダフィックスを行い、コード No.-位置リストを参照して自船の位置を決定する。
- ③ 上記①および②項の測位データを同期推定したのち最適化処理を行い、最も確からしい船位を推定して出力する。

表1にそれぞれのシステムの測位誤差を示すが、本装置にこれらの装置の測位データを取り入れて上記の処理を行い様々のシミュレーションを行ってみた所、システムとしては、測位開始後1分以内に船位誤差3m以内、船速誤差0.3m/sec以内であることを確認した。

これらの結果は、従来の航海計器の精度をはるかに上まわるものであり、しかも毎秒その船位を出力できる事は狭水域航行にとって重要な点である。

6. 港内航路設定装置

本装置は、あらかじめ陸上において知能化船の運航計画に従って作成された計画航路をデータベースの形で記憶し、その後陸上支援センターや海上交通管制センターなどから入手した情報、すなわち、航路に関する新しい情報、航行指示、海象気象情報などにより所要の更新を行って、常に最新の状態における設定航路を用意する。

港内航路設定の機能は、計画航路(計画航路データベース)の更新に関するものと、設定航路創出に関するものとに分けて考えられる。

いずれの場合にも、常に航路の安全性、操縦運動性能への適合などについてのチェックを確実にしない他システムへ出力する前に設定航路の検証を行っている。

(1) 計画航路データベースの更新

航路変更情報の入力に応じて、航路の安全性・

自船操縦運動性能との適合補正を行い、“最新”データベースへの格納を行う。

(2) 設定航路の創出

- (a) 他のシステムから引継ぐ時に計画航路と照合し、始点附近の部分的な航路設定を行なう。
- (b) 避航完了後の復帰航路の設定(港内衝突予防装置からの指示による)を行なう。
- (c) 陸上からの管制情報や支援情報(危険水域発生、パイロット乗下船情報、タグボート接舷情報、錨泊情報および指示)などによる変更航路の設定を行なう。
- (d) 海象気象情報による航路変更を行なう。

このような考えで作成された本装置を、知能化船が遭遇するであろう種々の環境条件、諸情報の変更などを行い、シミュレーションによって検証実験を行った結果、最終的には外から与えられる諸状況に対応して、適切かつ安全な航路を設定することが確認できた。

7. 港内衝突予防装置

本装置は、港湾内または狭水道において他の物標、すなわち船舶や浮標や陸地などとの衝突を回避するための避航航路を設定する。これを確実に実行するためには図4港内衝突予防装置システム図に示すような諸情報を必要とする。

これらの諸情報から、自船の将来行動の演算、物標の予測行動の演算、自船との衝突確率の演算などを行い、各物標についての衝突危険を求め危険判定を行う。その上で、避航航路を創り出すわけであるが、避航航路創出にあたっては、衝突危険度、行動範囲および行動評価基準の違いにより、安全、通常、緊急の3段階として考えた。

ここで、港内衝突予防装置に必要とする諸情報について簡単に述べる。

- (1) レーダ情報……干渉除去、シークラッタ除去、レインクラッタ除去の処理がされた高品位のビデオ情報で、港内で有効であるには数メートルの精度を必要とする。
- (2) 座礁予防情報……設定航路に対して海図から読み取る危険水深情報とソーナー計測による水中障害物情報から座礁に関する危険性を判断する。
- (3) 通信情報……陸上からの諸情報および対象船舶との間で通信路を開設し、安全航行に必要な他船の意志データ、つまり他船の現針路、現速度、予定針路、予定速度などの情報を受け取る。
- (4) 視覚情報……視覚センサー(カメラ)に入力し

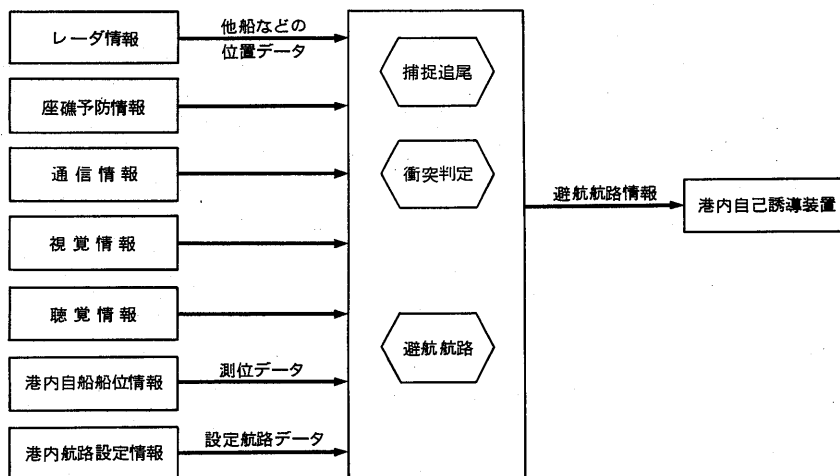


図4 港内衝突予防装置システム図

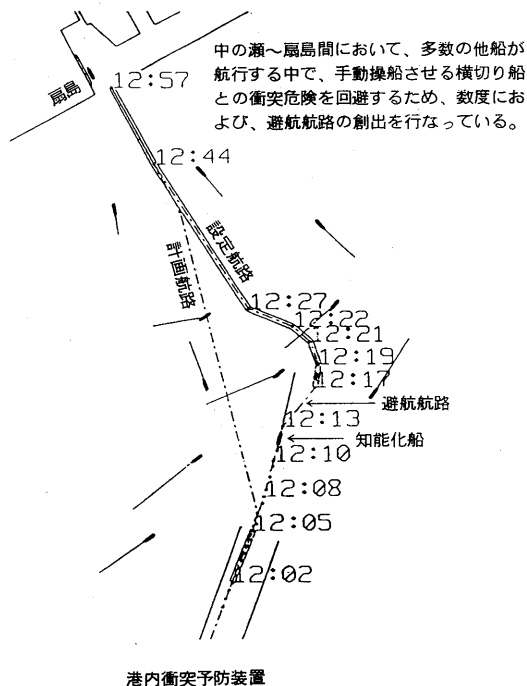
た画像を演算処理することにより、対象物標を識別、追跡し、自船との相対距離、方位、運動状態など航行に必要な情報を分析する。

- (5) 聴覚情報……船上に設置されたマイクロホンで受けた音を処理、解析した情報で、汽笛音を発した他船の概略寸法、他船の方向、距離などを推定できる。
- (6) 港内自船舶位情報……港内船舶認識装置で得られた自船の位置情報で、入手間隔は1秒以内である。
- (7) 港内航路設定情報……港内航路設定装置で得られる自船の進もうとする設定航路の情報で、航路が変更されたら即時に新しいものに入れ替わる。

本装置は、これらの情報をもとに、対象となる複数の物標を把握追尾し、最終的には、安全な自船の避航航路を設定するが、そのためのアルゴリズムは次のとおりである。

- (1) 捕捉追尾のアルゴリズム
各種情報から複数の他船を把握し、処理範囲の選択、捕捉優先順位の決定を行い、順位の高いものからその船の行動予測を行って追尾する。
- (2) 衝突判定のアルゴリズム
自船の操縦運動性能を考慮した行動予測を計算し、また他方では目標物の行動予測から、自船と目標物との衝突確率の計算と評価を行い衝突危険度を決定する。危険度については度合に応じて4段階の危険度を設定し、目標物ごとに当てはめを行い、取込む情報の種類もこれによって変わる。

- (3) 避航開始判断アルゴリズム
目標物との距離や時間の余裕を考慮して、避航開始のタイミングを判断する。
- (4) 避航航路創出アルゴリズム
衝突の危険度に応じ、避航レベルを安全避航、通常避航、緊急避航の3レベルに分け、この避航レベルに対応した行動マトリックスを作り、



港内衝突予防装置

図5 中ノ瀬航路から扇島への着桟

速度と変針の量を決定する。

また一方では、避航行動を取った場合について、その行動の評価関数を作り、衝突危険度、航路計画実行度、法規遵守度、他船舶脅威度などを考慮に入れて避航行動を評価し、合理的な行動を取れるものとしている。当然のことであるが、知能化船の船型が違って、様々な他船との遭遇条件を与えて避航能力を向上させる調整を行う場合、最も調整を要するのが、この避航航路創出アルゴリズムであり、行動マトリックスと評価関数の重み付けである。

このような考えで作成された本装置を使って、シミュレーション実験を行った結果の一例を図5「中ノ瀬航路から扇島への着桟」に示す。

8. 港内自己誘導装置

本装置は、港内航路設定装置および港内衝突予防装置から与えられる航路を忠実に航行し、目的地まで知能化船を誘導するもので、与えられた航路と自船の位置を常に比較検証し、次に起こすべき行動を決定・指令するものである。図6「自己誘導プロセス構成」は、その過程を示す。

(1) 設定航路

港内航路設定装置および港内衝突予防装置によって与えられる航路で、位置座標 ($X_n \cdot Y_n$) と、その座標に船の重心位置があるべき時刻 T_n を指定する。

海域の状況により、設定航路が刻々変えられることもあれば、平穏な時は、何の変化のないこともある。いずれにしても航路は一義的に与え

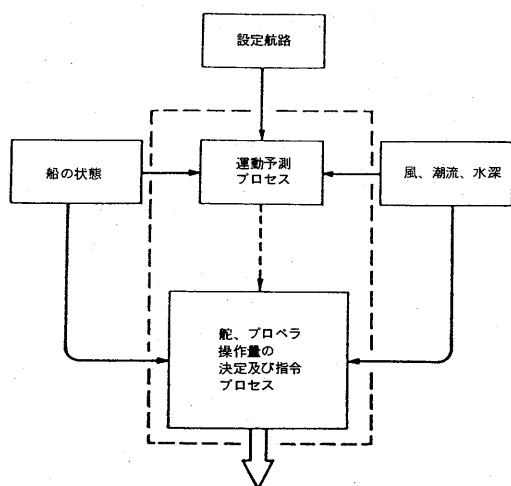


図6 自己誘導プロセス構成

られるようになっている。

(2) 風、潮流、水深

航路上における予測風向、風速および予測潮流が船内のデータベースや海象気象情報から与えられ、また、水深が海図データベースより与えられる。

(3) 船の状態

自船の船速、針路、主機回転数、舵角、吃水など、操縦運動性能に関連する情報を船内情報ネットワークに常に乗せておく。

(4) 運動予測プロセス

港内自己誘導装置の各プロセスの中で、最も重要で中心となるものが、この運動予測プロセスであり、設定航路と自船の予測位置および予測時刻の偏差が収束したことを確認するものである。図7「港内自己誘導運動予測プロセス」にその経緯を示す。

この運動予測プロセスの中で、操作量演算、操縦運動数学モデル計算、航路予測、偏差収束のチェック、を行なっているが、これらのアルゴリズム作成のためには、浅水、狭水、風、波などの環境が低船速で航行している船にどのように影響するか、模型による水槽実験を行ない充分な確認を行なった。

さらに、運輸省船舶技術研究所にある80m×80mの角水槽において模型船による避航動作や着桟前の減速動作の確認も行ない、この港内自己誘導装置が的確に

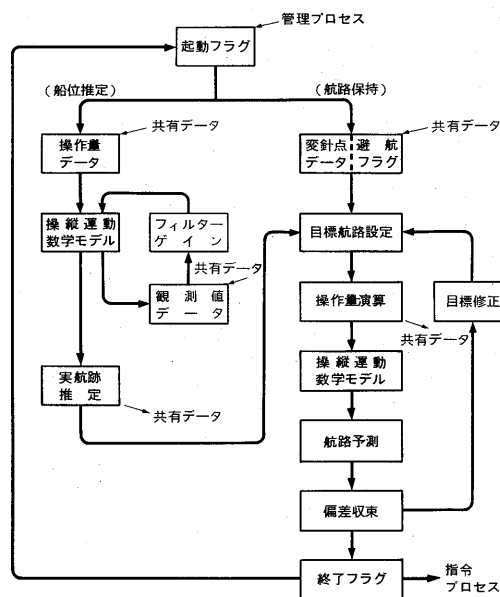


図7 港内自己誘導運動予測プロセス

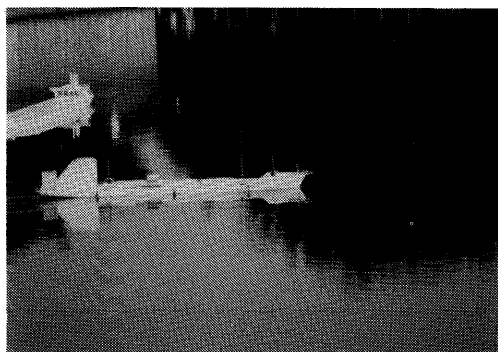


写真1 狭水域航行水槽実験

作動する事を検証した。この時の実験の様子を写真1に示す。

9. まとめ

狭水域においては、海陸一体化された航行誘導システムでなければ成り立たず、主な4つの機能として、
①システム統括管理 ②情報の交換 ③航路の決定
④航路保持があり、これらの機能を海陸で補完するシ

ステムとした。

航行の安全にとって重要なことは、単なる他船の動きを客観的に判るだけでなく、その船の今後の行動の意志がわかることである。そして、これら他船の動行を予測し、自船の航路についても外乱を考慮に入れ予測確認した上で実際の操船を行なうものとした。

「高信頼度知能化船」の研究開発の中では港内航行の中に瀬戸内海のような狭水域についても含めて検討しているので、文章中、「港内」とあるものを「狭水域」と読みかえても通用する。先にも述べたように、このプロジェクトでは世界の不特定の狭水域、港内を対象としたため、陸上設備にあまり負担をかけないように配慮したが、若し、こゝで主として民間の所有が多い船側の負担を少なくするように考慮すれば、また別のシステム構成が生まれるものと思われる。しかし、基本的に狭水域を安全に、経済的に、また、他船からみても合理的な航行をするために必要な機能は、こゝで検討したもの変わらないと思う。

この研究開発には多くの学識経験者や船長経験者の方々に様々な面で協力を頂くことができて、誠に幸であった。

座礁予防システムについて

住友重機械工業株式会社

外 岡 幸 吉

Stranding Avoidance System

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

Koukichi SOTOOKA

1. 開発の目的

座礁予防の現状としては、航海士の見張による細心の注意をはらっての周囲状況の確認及び航路標識、精密な水路調査に基づく海図、レーダ、音響測深儀による諸情報を入手し、航海士の総合的判断によって自船の位置を正確に把握し、浅瀬、暗礁を予知することにより、これを回避し座礁を防止しているのが実情である。

本座礁予防システムの開発に当たっては、上記乗組員作業の全ての自動化、すなわち、航海中の航路および自船位置を正確に自動的に検知し、自船の進行方向にあたる水面下の障害物、浅瀬、暗礁の情報を確度よく早期に入手し、通常航行中におけるこれらの諸情報から自動的に座礁事故の危険性を判断して避航操船情報を最適航路計画システムおよび港内航行誘導システムに提供出来ることを目的とした。

適用航路としては、大洋航路、狭海域、港湾等においても有効なものとした。

2. システム開発の基本的概念

座礁事故の実態調査として、各機関にて種々の角度から座礁事故の実態を調査しているので、それぞれの資料を収集し、各種検討を行い座礁予防システムの要求仕様としての基本的概念を策定した。(図1参照)。また、その基本的概念をもとに必要なセンサーを含めたシステムの基本的構成を図2に、更に、これらに基づいた座礁予防システムの機能ブロック図を図3に示す。

3. 座礁予防システムを開発するための基礎研究

座礁予防システムは、大きく分けると、危険予知システムの部分と水中障害物ソナーの部分の二つに区別

される。危険予知システムは座礁予防システムそのものの機能を持たせ、水中障害物ソナーは、基本的には、水中障害物センサーであるとしながらも、機能的には、独立性を持たせることにより、一部ハードウェアの冗長部分が生ずるが用途によっては、それぞれ別々のシステムとなり得るので、一つのシステムとして独立性を持ったものとして開発し、試作機の製作を行った。

これらの試作機を製作するに当たって下記の基礎研究を行った。

(1) 危険予知システムの基礎研究

(イ) 海図のデジタル化

海図とレーダ映像とのマッチングを行うため、東京湾中部(海図番号1062)および相模灘(海図番号1078)の2種の海図をデジタル化し、海岸線、危険水深、航路線等の線情報と浮標、灯台等の点情報の抽出を行い二次海図を作成した。

(ロ) 海図とレーダ映像のマッチング

東京湾中部および相模灘の海図に表現される海域のレーダ映像を実船上にて採取し、デジタル海図とレーダ映像とのマッチングを行い、デジタル海図上に自船位置を自動的にプロットし、通常の船位計測装置と比較し、精度の確認を行った。

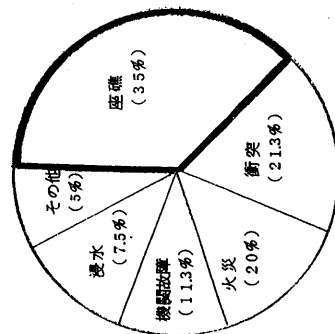
東京湾口における実験で誤差が60~70m程度で現在のロランCやNNSSと比較して高精度の船位が得られた。(図4参照)

(ハ) 危険状態の相知

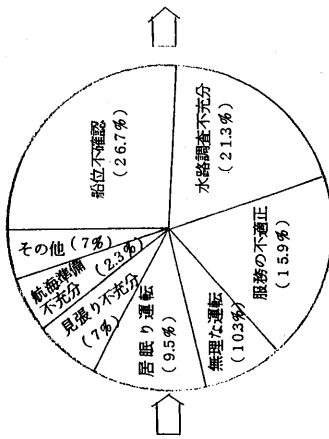
座礁の危険性を回避するため危険判定監視レベルを設定し、デジタル海図とレーダ映像とのマッチングによる自船位置と、危険水深領域との相対位置を算出し、危険状態の検知の実験を行った。

旅客船
貨物船
油船
漁船

3,000GT以上の鋼船の海難原因



「船用制御システムの評価と市場動向に関する調査研究」より
(日本船用工業会)



「乗務海難の実態」より
(海難審判庁)

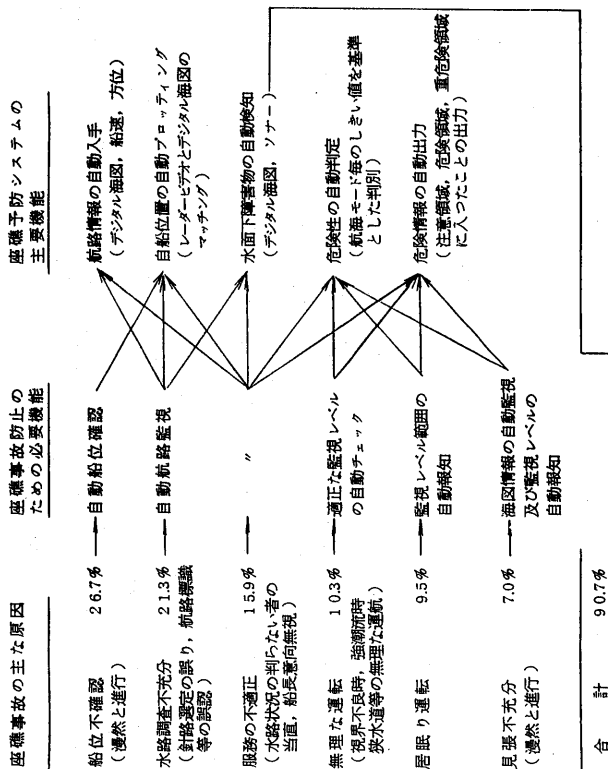


図1 座礁予防システムの要求仕様の基本的概念

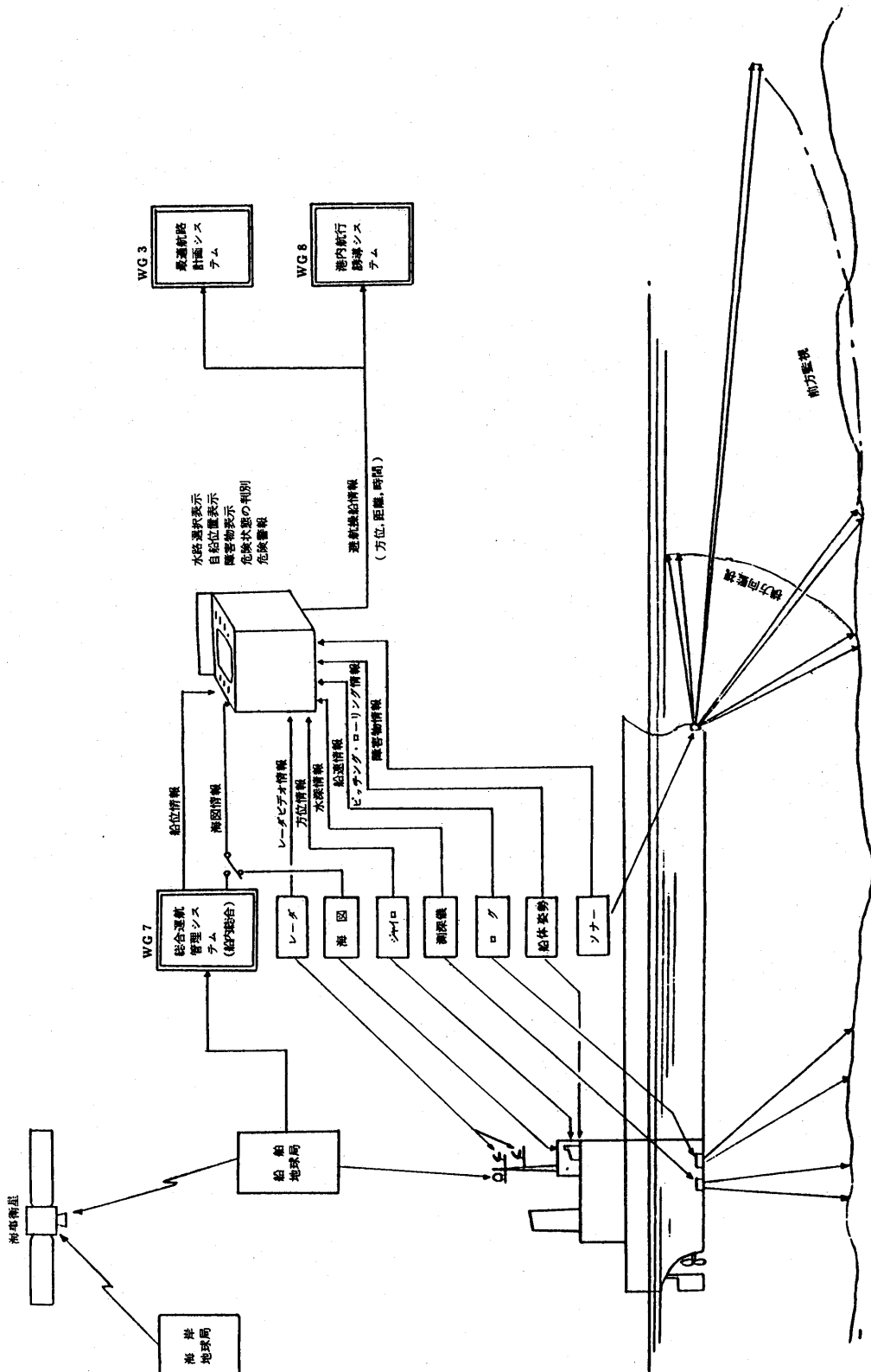


図2 座礁予防システムの基本構成

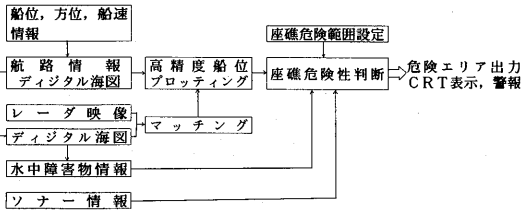


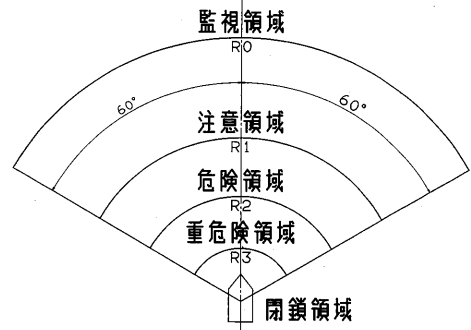
図3 座礁予防システム機能ブロック図

(二) 危険判定監視レベルの設定

危険判定監視レベルは、本来は船内統合システムから、船の大きさ、航海モード、船速等を考慮してしきい値を受信し、設定するシステムであるが、本システム単独でシミュレーションにより機能を確認するため本システムとして危険判定のための監視レベルを、操船性能および避航可能な限界等を調査検討し、次のごとく設定した。(図5参照)

・注意領域

自船と水中障害物との距離がしきい値 R1 以



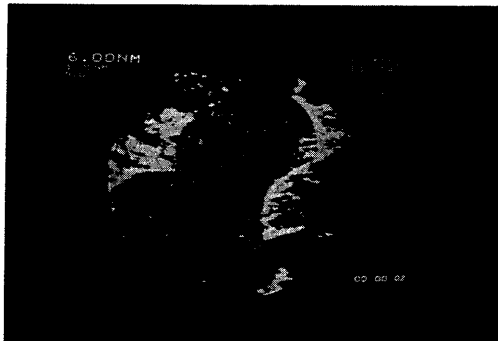
危険判定監視レベル

図5 危険判定監視レベル

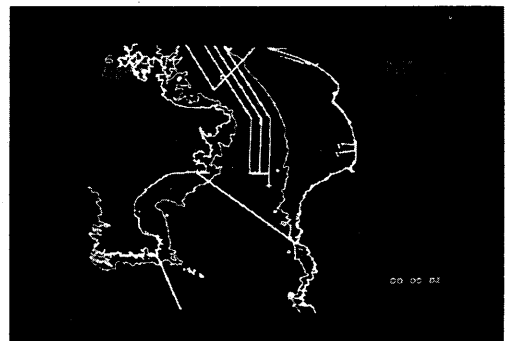
下のとき、注意警報を出力する。R1 は避航開始距離とする。

・危険領域

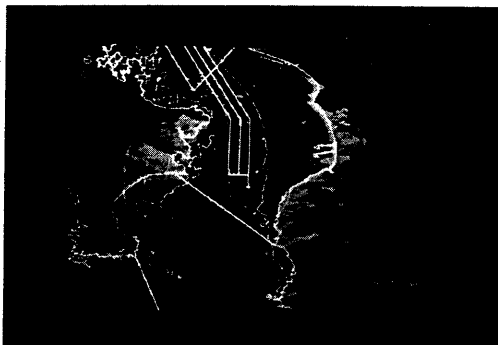
自船と水中障害物との距離がしきい値 MinTCPA 以下で, DCPA がしきい値 MinDCPA 以下のとき、また、自船と水中障害物の



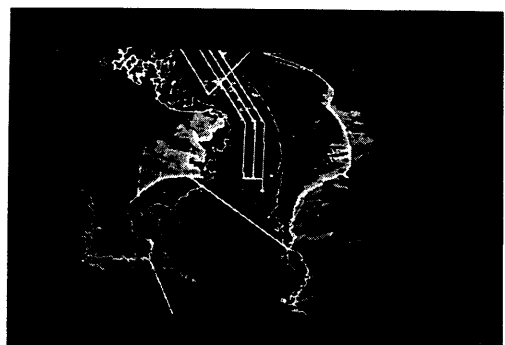
浦賀水道 レーダ映像



浦賀水道 デジタル海図



浦賀水道 レーダ映像とデジタル海図の重畳
(NNS 船位による)



浦賀水道 レーダ映像とデジタル海図の重畳
(レーダマッチングによる)

図4 東京湾内におけるレーダマッチング

表1 総合シミュレーション対象船（コンテナ船）の危険判定レベルのしきい値

領域 航海モード	閉鎖領域	重危険領域	危険領域	注意領域	監視領域
大洋・沿岸 (NAV. FULL)	12L± 4L	2.500m	7.500m	11.800m	23.600m
港 湾 (HARB. FULL)	6L± 2L	1.200m	2.800m	6.200m	12.400m
狭 域 (HALF)	3L± 1L	600m	1.000m	3.400m	6.800m

距離がしきい値 R2 以下のとき危険警報を出力する。R2 は閉鎖領域の前方距離と逆転停止距離の合計距離とする。

・重危険領域

自船と水中障害物との距離がしきい値 R3 以下のとき、重危険警報を出力する。R3 は閉鎖領域の前方距離とする。

・監視領域

自船の左右60°とし、距離 R0 は注意領域 R1 の2倍とし、最大24浬までとする。

以下に、コンテナ船(L=204m, B=32.2m, D=18.7m, d=10.2m, VS=21.6ノット)を例にとり、大洋・沿岸モード、港湾モード、狭水域モードごとの閉鎖領域、重危険領域、危険領域、注意領域、監視領域についてのしきい値を示す。(表1参照)

(2) 水中超音波基礎研究

(イ) 水中超音波の特性測定

超音波の海水中の伝播速度は、水温が高ければ早く、また塩分濃度が高ければやはり伝播速度は早くなる。水深が深くなれば静水圧が比例して増大し、伝播速度も増大する。海が浅い場合は、温度傾度も大きく、伝播速度も大きく変化し音線が屈折する。遠方の浅瀬、暗礁を検知するために斜め入射による遠方の海底からの弱い反射信号を受信することになり残響、泡、その他がその識別に妨害を与える。このような水中における種々の条件変化による音線の傾向を把握するため、沼津市三津の実海面において、周波数80kHz、指向角3°の送受波器を用いて下記の実験を行い、水中超音波基礎特性を把握した。

① 音線の測定

超音波の伝播特性を把握するため送信船から超音波信号を送信し、受信船で受波器の深度および距離を変化させ音圧レベルを測定した。

② 目標検知

水中の目標物の検知能力を把握するため、クレーン船に目標物を吊下げ測定船から音波を

発射し、反射波を受信し、分解能力を測定した。

③ 80kHz 送波器による海底探査

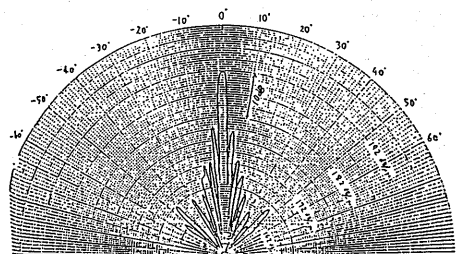
実海面における海底を探査するための測定船に装置を搭載し、海底地形のあらかじめわかっている実際の海底を探査した。

(ロ) パラメトリック送受波器の特性測定

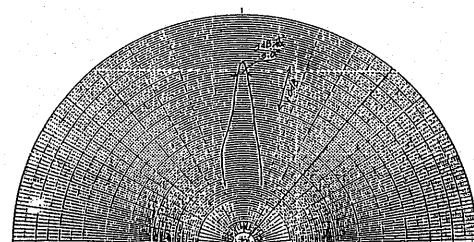
1次周波数80kHz/90kHzの送受波器を用いて2次周波数として両周波数の差の10kHzを発生させ、旋回装置にて送受波器を旋回させて、各角度における受波レベルを測定して送波器の指向性を求め、半減角で±1.5°と非常にシャープであり、サイドローブはほとんど発生しないことを確認した。(図6参照)

(ハ) 音線の屈折シミュレーション

海水の垂直温度傾度から音線の屈折を推定することにより、音波の発射角度を制御し、最大



従来型ソナーの指向性
(送波器周波数80kHz)



パラメトリックソナーの指向性
(2次周波数10kHz)

図6 パラメトリックソナーの特性比較

6月11日 14:00

深度(m)	水温(℃)	備考
0	21.7	
5	21.1	
10	20.5	
15	20.0	
20	19.6	
25	19.2	
30	19.3	
35	19.2	
40	19.1	
45	—	
50	—	
55	—	

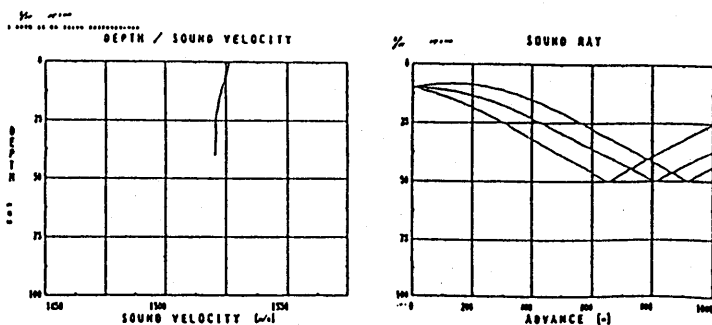


図7 音線屈折シミュレーション

測定可能距離を予測するため、海水の垂直温度分布および音線の到達距離を計測し、音線計算プログラムを作成して音線の屈折シミュレーションを行い、実海面における春夏秋冬のそれぞれの温度変化に対する実測値と比較し、ほぼ一致することを確認した。(図7参照)

(二) パラメトリック送波器による海底探査

指向角の鋭いサイドロープのほとんどないパラメトリック送波器を用いて、切り立った島、海底の凹凸箇所、ゆるやかな傾斜の砂地の3種の海底について探査を実施し、比較を行い、サイドロープによる反射も少なく、目標を明確に捕捉できた。

4. 座礁予防システムの仕様及び機能

(1) 仕様

危険予知システム及び水中障害物ソナーの試作機の主要仕様は、以下の通りである。夫々の試作機の写真を図8、9に示す。

(a) 危険予知システムの主要仕様

- ① 航路情報の自動入手
航路計画に従った海図の自動選択
海図の有効範囲の自動切り出し
- ② デジタル海図への自船位置自動プロット
精度：±100m または±2%以内
サイクルタイム：レーダマッチングによる船位
90秒
ログ、ジャイロによる推測船位
10秒
- ③ 水中障害物の自動探知
方法：デジタル海図情報及び水中障害物ソナー情報
探知範囲：海図±60°、最大24浬 ソナー 約
200～1,200m
- ④ 危険性の自動判断

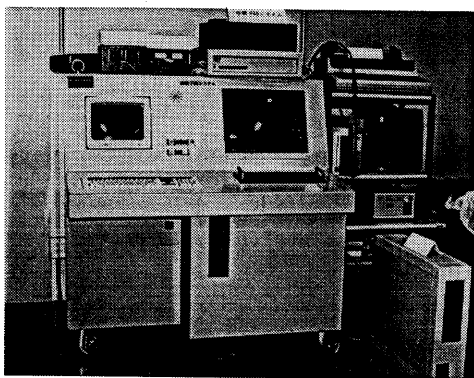


図8 危険予防システム試作機

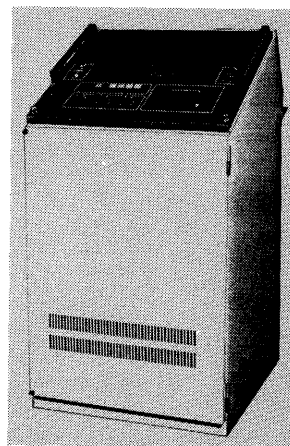


図9 水中障害物ソナー試作機

監視レベル：航海モードにより重危険，危険，
注意の3種のしきい値設定

危険性の判断：しきい値と比較

サイクルタイム：10秒

⑤ 危険情報の出力

上位システムへの通信：角度1°ごと，距離1 m
単位の情報，RS-232C

表示部：512×480ドット，14インチ，8色
カラーディスプレイ

表示情報：自船位置，表示レンジ，レーダ映像，
海岸線，危険等深線，航路線，
灯台，浮標，自船速度，針路，レ
ンジマーカ，監視レベルしきい値，
ソナー情報

データ更新：10秒ごと

(b) 水中障害物ソナーの主要仕様

① 送受波器

方式：パラメトリック音源方式
ビーム角：±1.5°

② 送信器

送信出力：5～10kW
一次周波数：80/90kHz
パルス幅：10/20mS 切替方式

③ 受信部

受信周波数：10kHz
受信帯域幅：100Hz (−3 dB)

④ 探知範囲

距離：約200～1.200m 目標

角度：±7.5°～45° (レンジによって可
変)

⑤ 旋回装置

旋回範囲：最大±60°

旋回速度：1.5°/sec

⑥ 水中障害物情報の出力

上位システムへの通信：反射エコーの前面のエ
ッジのみを角度1°ご
と，距離1 m
単位の線情報 RS-
232C

表示部：14インチ，カラー CRT

表示内容：ソナー表示 (信号レベルにより4
色表示)，音線表示

座礁予防システムのハードウェア構成図を図10に示
す。

(2) 機能の確認

(a) 危険予知システム

東京商船大学の汐路丸に乗船し，実際に東京湾
と大島西側を航行中のレーダ映像を採取し，試作
機を用いてレーダ映像とデジタル海図とのマッ
チング及び航路監視の個別シミュレーション実験及
び総合シミュレーションを実施し，前記各種機能
の確認を行なった。

① 航路情報の自動入手

海上保安庁水路部作成のデジタル海図から本シ
ステムに利用するための航路情報のみを抽出した
二次海図を作成し，航路計画に従った海図番号を

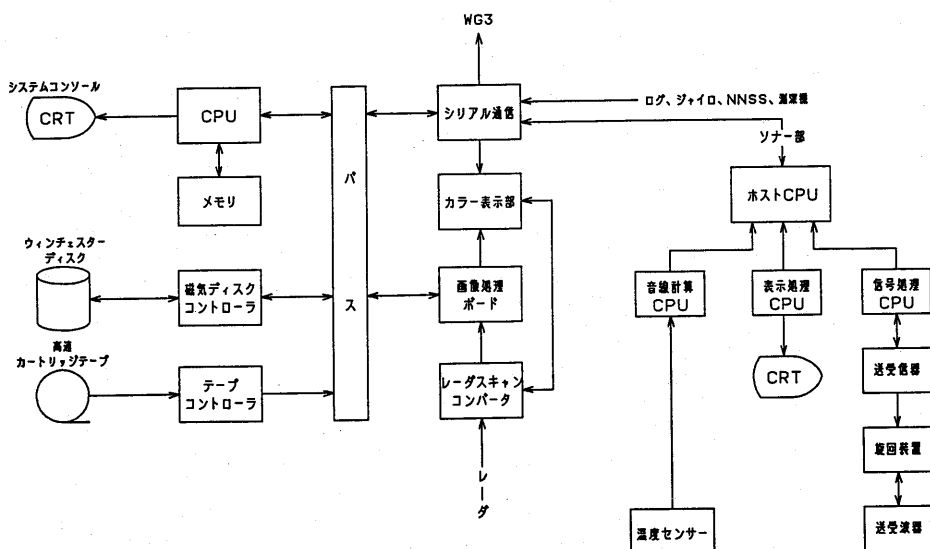


図10 座礁予防システムのハードウェア構成図

自動的に選択して、必要な航路情報が自動的に入手出来た。

② 自船位置の高精度自動プロットティング

上記二次海図とレーダ映像とのマッチングを行い、船内の船位測定装置からの自船位置を補正、常に高精度(±100m または±2%以内)に自船位置を海図上に自動的にプロットティングが出来た。また、レーダ映像を属性による信頼性の高低、あるいは、データの重要な度合等により重み付けを自動的に行い、マッチング精度を向上させた。

③ 水中障害物の自動抽出

デジタル海図の灯台、浮標、危険水深線、航路線、海岸線等の航路情報の属性を明確にしたものから、危険水中障害物情報を自動的に抽出出来た。

④ 危険性の自動判断

自船の航路モードより危険レベルを設定し、そのしきい値と、自船と水中障害物との相対位置を演算し、そのレベルに応じた判断を自動的に行うことができた。

⑤ 危険情報の自動出力

注意、危険、重危険の3種の危険階級について、危険階級ごとのアラームを発すると同時に、上位システムへの自船と水中障害物との相対位置として、±60°、24浬の範囲を角度1°ごと、距離を1mの単位で自動的に出力出来た。また、これらの航路監視状況を一目瞭然に分かるようCRTカラー表示をした。

(b) 水中障害物ソナー

試作機を実験船に搭載し、沼津市三津の実海面において、海水温度が変化するので、春、夏、秋、冬の四季にわたり実験を実施し、各種機能の確認を行った。

① 送受波器の特性

80/90kHzのパラメトリック音源方式を採用し、サイドローブのない、鋭い指向性を有する送受波器が開発出来た。

② 浅海域における音線特性の把握

実海面における数多くの実験により、水中温度傾度及び反射対象物体等による音線の屈折、反射、減衰の特性を把握し、これらをシステムに折り込むことが出来た。

③ 水中雑音除去

送受波器からの信号をSTC処理、微分処理、背景雑音処理、平滑処理、独立点除去処理、累加処理、補間処理等を行い、大方の雑音を除去出来、現在のレーダ映像と同等以上のCRT表示が出来た。

④ 探知距離及び精度

水中温度傾度わ計測し、音線の屈折シミュレーション、音線探知限界等をオンラインで実行し、上記雑音除去とともに、ほぼ真のターゲットを抽出することが出来た。探知距離は水中温度傾度により左右されるが約200~1,200m程度まで実海面実験で探知出来た。精度は、1,000mで約15m以下の誤差である。

⑤ 水中障害物情報の自動出力

水中障害物情報は、反射エコーの強さを4色カラー表示とし、極座標によるラスタースキャン方式によりCRT表示を行った。探知限界、音線シミュレーション結果等も同時表示とし、見易い表示に出来た。

海底探知表示画面と海図との比較を図11に示す。

5. あとがき

座礁事故は鋼船の海難事故全般に占める割合は、最も高く、例として約35%を占めるという統計が過去に

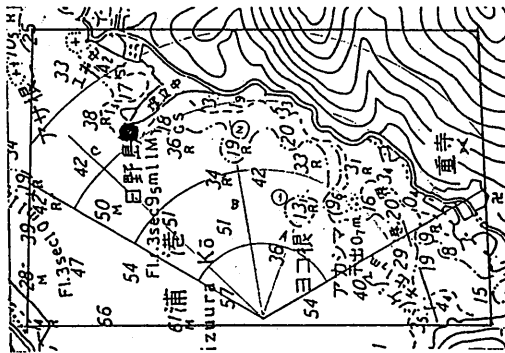


図11 海底探知表示画面と海図との比較

発表されている。

座礁事故の防止に関する研究は昭和43年～46年度の間に、日本造船研究協会第106研究部会「船舶の高度集中制御方式の研究」の中で水中障害物ソナーを取り上げて以来座礁予防装置の実用化開発はなされていないようである。

今回、「座礁予防システムの開発」を取り上げ、昭和58年度から昭和63年度の6ケ年に亘る研究開発を行い、実船実験、個別シミュレーション及び総合シミュレーション等により、下記の成果を確認した。

○ 危険予知システムについては、当初目標とした、無人化性、安全性、信頼性、即時性等については所期の目的を達成し、また、本システムの主要機能である航路情報の自動入手、自船位置の高精度自動プロットイング、水中障害物の自動抽出、危険性の自動判断、危険情報の自動出力等についても良好の成果を得た。航行援助の一部の用途には現状のシステ

ムでも利用可能であろう。

○ 水中障害物ソナーについては、パラメトリック音源方式の高性能な送受波器を開発し、実海面における実験により、浅海域での水中超音波の伝播特性を把握し、これをシステムに反映させ、各種雑音除去処理を行ない、ほぼ真のターゲットを抽出することができた。探知距離は水中温度傾度に大きく影響されるため近距離あるいは、港内操船用や水路確認用等の用途には実用化の可能性がある。

然し、今回は要素技術の研究が主目的であるので、実用化段階では、十分に細部に亘る検討を行いそれに基づいた具体策を立て、実船実験等による実用化研究を更に、進める必要があると考える。

終りに、本研究開発は運輸省の御指導のもと、財団法人日本船舶振興会の補助金を得て、社団法人日本造船研究協会の場において行われたものであり、関係者各位に対し、深く感謝の意を表します。

自動離着棧システム

日立造船 (株)

船舶基本設計部 吉 久 英 昭

技術研究所 高 井 忠 夫

An Automatic Maneuvering System in Berthing

Hitachi Zosen Corporation

Design Department Hideaki YOSHIHISA

Technical Research Institute Tadao TAKAI

1. ま え が き

船舶自動化の歴史は「金華山丸」が就航して以来四半世紀を超え、最近では乗組員数も昔の半分以上になつてゐる船も多い。しかし、機関室無人化を中心に、船内各システム毎に技術的、経済的に可能なものから部分的に自動化が進められて来たため、いまだ、乗組員の経験・判断・技量に依存している所が多々あり、自動化のレベルは高いとは言えない。

そこで、乗組員の介在なしに極力船内自己完結で運航出来る知能化船の開発に必要な要素技術開発が昭和58年度より昭和63年度にわたり行われた。

ここにご紹介するのはその研究開発のテーマの一つとして取上げられた「自動離着棧システム」の概要である。

2. 自動離着棧システムの概要

離着棧操船は、船の行き脚がきわめて遅く、風、潮などの外力や水深の影響を受けやすいので、操船者が最も神経を使う局面である。

自動離着棧システムは岸壁近くまで誘導された船を自動的に接岸させたり、逆に離棧させたりするシステムであり、船位認識装置、離着棧制御装置、曳船指示装置により構成されている。

これらの関係は図2.1に示す通りで、一言で言えば、船位認識装置によって認識された船位（岸壁との相対位置関係）とセンサにより検知される外力、本船の運動性能とを離着棧制御装置で総合的に判断して、最適航路、最適接岸速度などを定め、これを実行するため、主機・プロペラ・スラスタ・曳船等へ指令を出すシステムである。

曳船指示装置は曳船を使う場合の曳船への確実な指令伝達装置である。

3. 船位認識装置

船位認識装置は岸壁上の着棧点と本船との相対位置を知るための装置であり、離着棧の局面に於て必要な船位の精度は、岸壁付近で数センチメートルと非常に高いため、レーダやGPSによる測位では間に合わないで、今回要素技術として開発することになった。

そこで、まず船位認識装置として原理的に使えそうなものについて現状調査検討を行い、次の結論を得た。

- ①自動離着棧に必要な船位認識装置としての要件（特に精度）を満足するものは光波またはレーザによる距離測定方式およびITV等による測距儀方式である。
- ②接岸速度計やドップラログなど超音波方式のものは原理的に良さそうであるが装備場所やノイズおよび精度において問題がある。
- ③ミリ波レーダ等電波方式は精度、分解能の点で問題がある。
- ④レーザや光波による方式は陸側設備の問題と自動追尾技術に関し更に研究が必要である。
- ⑤ITV視覚方式はコンピュータによる画像処理技術などについて詳細に展開する必要がある。

この結論に基き、光波式及び画像処理式船位認識装置を具体的に開発することになった。

3.1 光波式船位認識装置

まず最初に光波式船位認識装置のうちセンサ部分に当る測距装置について検討を行った。測距装置としては、従来から土木業界で使われている自動視準光波距離計を利用し、自動追尾範囲の拡大のため改造した。

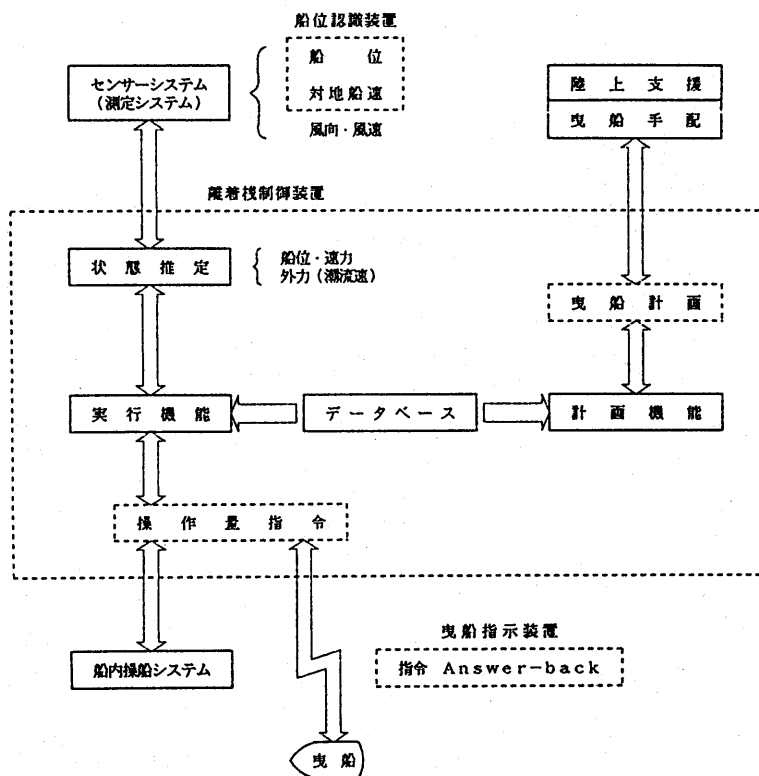


図2.1 自動離着岸システムの構成

本装置は本体とプリズム付き投光器から成り、投光器の光を本体が追尾しながら本体の光波でプリズムまでの距離を高精度で算出する装置である。

本装置が離着岸システムに使えるかどうかの確認のため、本船の移動に対して十分追尾するか、本船で想定される振動によって性能に異常をきたさないか、有効使用範囲又は距離は適当か、悪視程時に性能はどの程度おちるか、などについて陸上にて模擬的に条件を設定して実験を行った。

その結果、基本的な性能については問題がないことが確認できたので本装置を使った船位認識装置の基本設計を行った。

まず、測距センサーから得られる情報（岸壁定点までの距離及び角度）及び本船のジャイロコンパス情報（本船の針路）を使って、岸壁に基準座標をとった本船の位置を算出する方法を確立した。

次に使用開始時に本体が定点を捕まえるための自動走査機構についての検討を行うと共に全体のシステムを構築し、併せてハード面の検討も行った。

そしてこの装置を実際に小型船に搭載してその機能を確認した。

本装置の概要は以下の通りである。

(1) 船位認識の原理とハードウェア構成

図3.1に示すように、本装置は船位演算部、光波センサ部及び回頭角速、船位演算部、回頭角速度検出部から構成されており、光波センサ部に内蔵された距離計により岸壁上のターゲットとの距離及び角速度を計測しこれとジャイロコンパスによる船首方位を用いて船位を演算する。

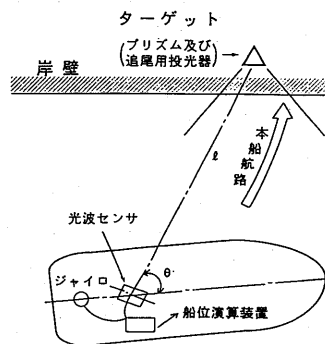


図3.1 光波式船位認識装置の構成図

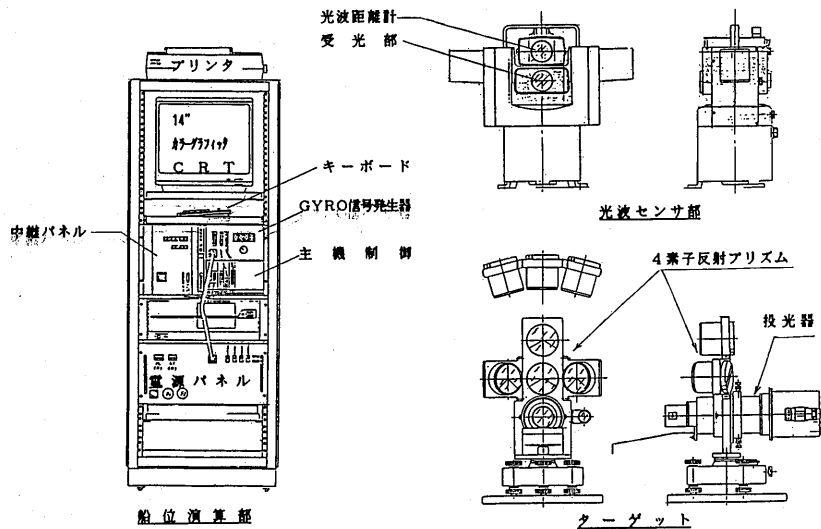


図3.2 光波式船位認識装置

(2) 機能

本装置は主として次の機能を有する。

① 測距機能

図3.2に示す光波センサ部の光波距離計から発射された測距用光波が、岸壁上のターゲットに装備された反射プリズムで反射して、再び光波センサ部の受光部で受光されて、その位相差から距離が高精度(精度:100mで±10mm)に計測される。

② 測角機能

光波センサ部本体の水平及び俯仰角をエンコードで高精度(±2')に計測する。

③ 自動追尾機能

本船が移動しても、光波センサ部本体が常に岸壁上のターゲットを捕捉し続け、計測可能状態を維持できるように、ターゲットから発射される誘導光線を用いて、光波センサ部本体の水平及び俯仰角を自動制御する。

④ 自動走査機能

本装置で計測を開始する時に、光波センサ部本体の向きがターゲットから大きく外れている場合は計測不可能なため、光波センサ部本体の水平及び俯仰角を予め設定されたパターンで自動走査する。この自動走査は光波センサ部本体がターゲットを捕捉した時点で終了し、自動追尾制御に移行すると同時に計測を開始する。

⑤ 計測データ入力機能

船位演算に必要な下記データを取り込む。
光波センサ部とターゲット間の距離および水平、俯仰角、距離、角度は上記①、②項で述べたように光

波センサ部本体で計測する。

○ 船首方位

船首方位はジャイロコンパスで計測する。

○ 回頭角速度

回頭角速度はレート積分ジャイロで計測する。

⑥ 船位演算機能

上記の計測データ、本船固有データ及び離着桟場所データに基づいて、船位(X, Y)及び船速(dX, dY)を演算する。

⑦ データ出力機能

上記の演算データ(船位、船速)、船首方位及び回頭角速度データを離着桟制御装置へ毎秒出力する。

3.2 画像処理式船位認識装置

カラーカメラ、高感度白黒カメラ及び赤外線カメラで撮影した港湾風景の画像をVTRに収録し、室内で画像処理を用いて解析研究を行い、まず岸壁線及び標識の特徴を把握するアルゴリズムと最適な標識の構成を決めた。

また、本画像処理ソフトを用いて計測システムを構築する場合のシステム試設計を行った。次いで岸壁線探知、標識探知、標識追尾、ならびに接岸時の平行度計測など自動離着桟に必要な一連のソフトとカメラ用スキャナーを作成した。

そして、このスキャナーを用いて港湾風景と標識を撮影し、作成したソフトの評価改善を行うとともに、室内で模型の標識を標識移動装置に乗せて移動させ、これをスキャナーで追尾する実験を行ないその性能を確認した。

最後にこれらの実験データをもとに本システムの総

合精度について検討を行った。
本装置の概要は以下の通りである。

(1) 船位認識の原理とハードウェア構成

図3.3に示すように2台のテレビカメラの画像を処理して、着岸点に設置した標識を感知し、三角測量の原理で着岸点までの距離と方向を算出する。そしてこの結果とジャイロコンパスによる船首方位を用いて、船位演算装置により船位演算を行う。

(2) 船位認識手順

画像処理式船位認識装置における船位認識の手順は図3.4に示すように

- ①まずカメラを上下にあおりながら、岸壁船を感知する。
- ②次ぎに画角をズームアップし、岸壁線に沿ってカメ

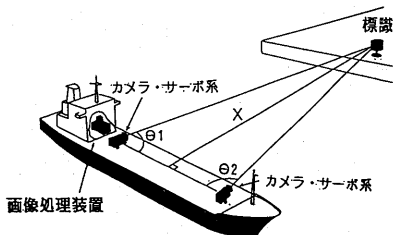


図3.3 画像処理式船位認識装置の構成図

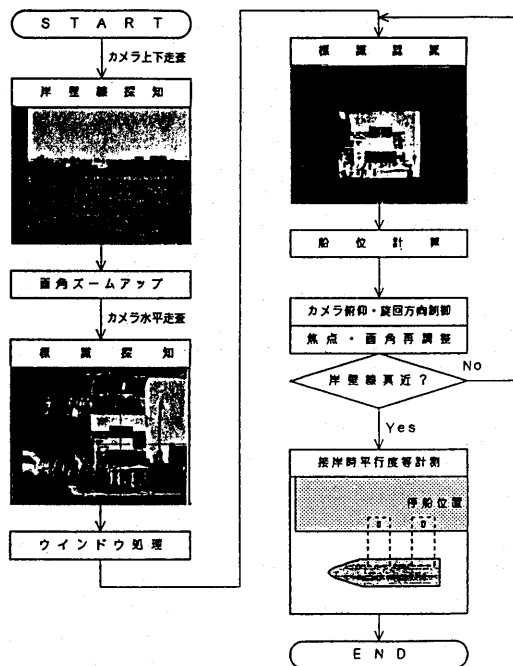


図3.4 船位認識の手順

ラを施回しながら標識を感知し、次項の処理に備えて標識のまわりにウィンドウを設定する。

- ③その後標識がウィンドウからはずれぬようカメラの俯角、施回角、画角等を制御しつつ、それらの値を用いて時々刻々船位を演算する。
- ④船が岸壁に接近すると、2台のカメラを下向きにして、岸壁と海の境界を感知し、境界に沿って停船位置（岸壁に印された2本の停止線）を感知する。その後はこれを追尾しながら俯仰角と施回角を計測し、停止位置に対する船の平行度と、前後方向のずれを算出する。

(3) 機能

本装置は主として次の機能を有する。

① 岸壁線感知

岸壁線の付近で画像の濃淡値の変化が著しい事を考慮し、まず原画像を2値化処理し、波頭等による不要線分を除去した後に、輪郭線の特徴を調べ、岸壁線を探す。

② 標識感知

まず、識別しやすい標識を作るため、港湾風景の色をカメラのR（赤）、G（緑）、B（青）の信号で分析した結果、港では使用頻度の低いピンクとブルーを組み合わせる円筒型の標識を制作した。次ぎに標識感知であるが、これには撮影条件に応じた色補正を行った後に色の組み合わせを抽出し、整形処理後形状により識別する。

③ 標識追尾

標識感知と同様のアルゴリズムを用いているが、高速化のために標識を囲むウィンドウ内部のみ画像処理を行う。標識の経験を活かして、前処理や識別処理の簡略化を行っている。

4. 離着岸制御装置

本装置は自動離着岸システムの頭脳に当たる部分であり、陸上支援情報をもとに操船計画を立案し、船位認識装置、各種センサからの情報をもとに、各アクチュエータ（プロペラ、舵、スラスター）や曳船へ制御指令を出すことができる装置である。

本装置の開発に当たり、まず離着岸制御装置の持つべき機能を検討し、その主要部分をプログラム化した。この内、制御手法については離着岸制御の特徴である。

○外乱による力（風、潮等）、船体の質量等の影響が相対的に大きい。

○制御手段として曳船を用いる場合は、曳船の動きの制約を考慮にいれて指令を出す必要がある。

等を考慮して制御ロジックを検討することとし、ま

Micro VAX II

HP 320C ワークステーション

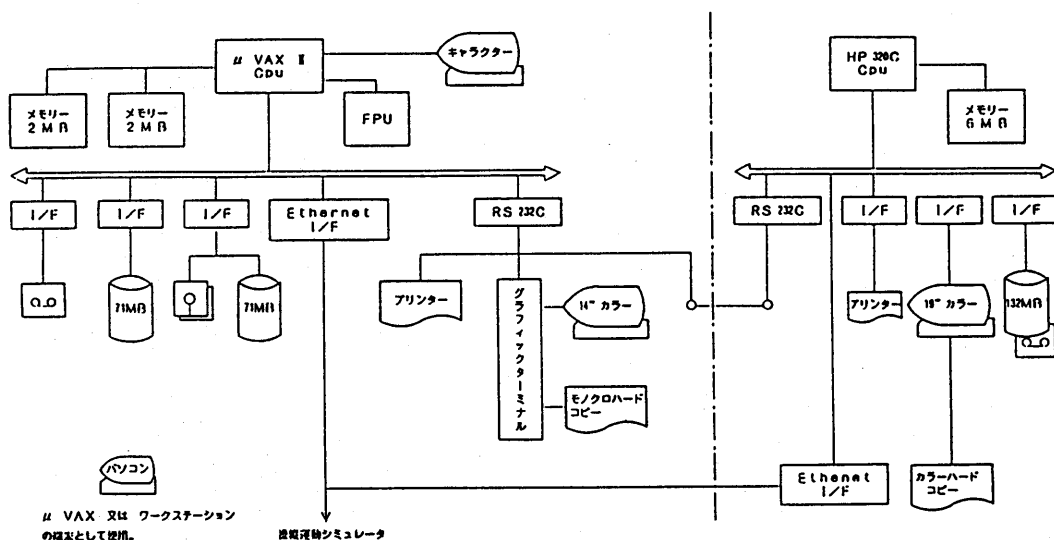


図4.1 自動離着棧システムのハードウェア構成図

ず現状の知識をもとに妥当と思われる二、三の方式を取り上げ、簡単なシミュレーションを行った結果にもとづいて、次節以下に述べるような制御ロジックを確立した。

このようにして開発した離着棧制御装置の性能は、最終的には運輸省船舶技術研究所に設置された操縦運動シミュレーション装置による実験により確認された。

4.1 ハードウェアの構成

離着棧の制御ロジックは単独のシミュレーション計算によってその性能を確認しつつ開発を進め、後に操縦運動シミュレーション装置と接続して他のシステムと同時にうまく作動することを確認するための総合シミュレーションが行われた。そのハードウェア構成を図4.1に示す。

4.2 ソフトウェアの構成

(1) ソフトウェアの構造と制御の流れ

自動離着棧システムの一部を構成する離着棧制御装置は、岸壁の近辺における操船を、パイロットの助けを借りずに実行することを目標に開発されたものである。

即ち、本装置は単なる船位制御を実行するのみでは不十分で、事前の計画や操船実行中の安全の監視など、パイロットの作業のかかなりの部分を代行する機能を持つ必要がある。

離着棧制御装置の持つべき機能の基本的な構造を図4.2に示す。

各サブシステムの個々の機能は必要に応じて起動されるが、その全体の流れを制御統括システムがコントロールする。これらは時系列的な流れと、その中で必要に応じて起動されるものに大別される。

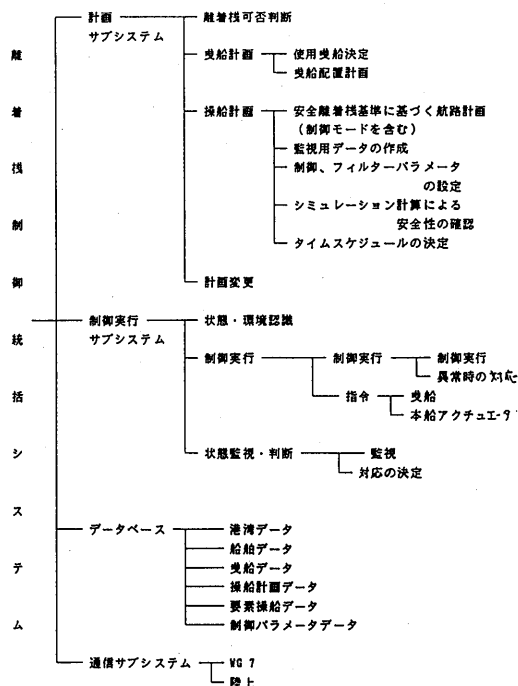


図4.2 離着棧制御装置の機能構造

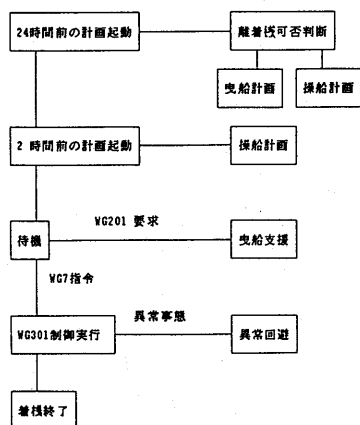


図4.3 着棧制御のフロー

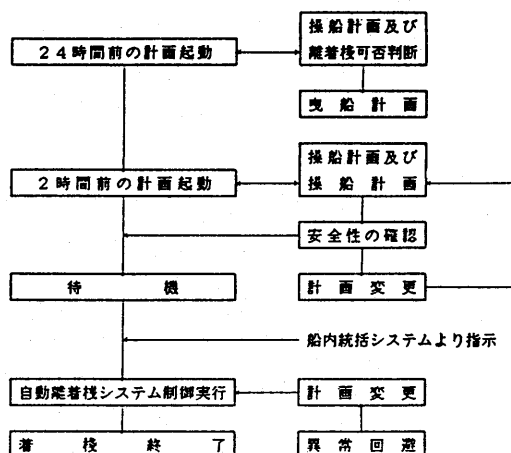


図4.3 統括システムによるコントロール

この内、時系列的な流れは24時間前の離着棧可否判断、曳船計画の起動に始まり、2時間前の安全性の確認、制御の実行に至る流れである。

一方、必要に応じて起動されるものは、異常時における対応の流れである。これらの二つの流れを着棧の場合について図4.3に示す。

(2) 計画サブシステム

ここでは計画サブシステムの内、曳船計画と操船計画について簡単に説明する。

(a) 曳船計画

曳船の要目、隻数等は本船の要目や港湾の状態、気象、海象状態をベースに陸上との情報交換を行った後決定される。

陸上に対する曳船の手配は、離着棧又は港内航行で曳船を必要とする約一日前に行うものとし、その時までにはその港湾または海域で手配可能な曳船のリストを前もって陸上より入手しているものとする。

また、曳船の必要馬力を算定するために必要な外力（風、潮等）についての予報値も陸上より入手して、計算によって求められた必要推力に余裕率を見込んで求めた必要馬力に合うように、曳船リストの中から複数の曳船を選定する。

尚、曳船を決定するに際しては、本船の排水量や船種による、現行規則及び水先人会の基準等の長年の経験によって培われてきた方法も考慮している。

(b) 操船計画

ここでは操船計画の主要部分である航路計画について簡単に説明する。

航路計画に要求される機能は、与えられた岸壁、危険水域、水深等のデータを用いて、港内航行誘導システムからの引継ぎ点から着棧までの経路の決定と

その中で用いられる制御モード及びそれらのモード切り替え点を決定することである。

これに類似した問題として自立型移動ロボットの経路探索があり、この分野で用いられている手法を参考に自動離着棧の航路計画を立案した。

人間であれば、海図情報から直観的に進むべき航路を判断できるが、これを自動的に行うには、まず与えられた海図から水面がどの様に繋がっているかを判断する。

そしてその中から一本のルートを選び出し、そのルートについてもう少し詳しく調べてみて海図上のどの点を通って行くかを定める。このように航路計画を2段階に分離することにより、効率的な航路決定を可能にした。

(3) 制御実行サブシステム

ここでは時々刻々のアクチュエータに対する指令について説明する。

離着棧制御装置を使う前提条件として、本船が真横に動ける手段を持っているものとしているが、現実には曳船を使用するケースが多いと考えられるので、まず主として曳船を使用する場合の制御方法を検討した。

アクチュエータとしての曳船は、出力の精度や応答の時間遅れの点で、プロペラ、スラスト、舵等の機器より性能が悪いといえるので、曳船で使えるアルゴリズムは他のアクチュエータにも適用可能と考えられる。

実際のパイロットの場合は、指令値を出して見て、本船の運動の様子から運動モデルを頭の中に作り、以後はこの運動モデルをもとに、指令に対する反応を予測して時々刻々の制御を行っているように考えられ

る。このことを参考に、指令値の出力を決定する制御実行、及びそれを各曳船に分配する曳船指令のアルゴリズムを作成した。その後、プロペラ、スラスト、舵等の使用範囲を拡大してゆくことにより時間短縮、曳船指令内容の改善を図った。

以下にその内容の一部を紹介する。

(a) 離着棧操船と制御モード

離着棧操船の領域における船体運動は、横方向への移動が主体であるとはいえ、単なる横移動のみに限定することは出来ない。即ち、前後方向の運動や回頭等を伴った運動も取り扱う必要が出てくる。この際、これらの運動を同一の制御でカバーするのではなく、別個の運動モードに分けて考えるのが便利である。

これに対応して航路計画に際しては、船の出発点から到着迄の航路を決定するだけでなく、航路を各区分に分割し、その区分ではどのような制御モードを採用するかも決定する。

制御の実行に際しては指定された順に制御モードを切り替えてゆく。制御モードとしては前後方向の移動(加減速を含む)、横方向の移動(離棧、着棧)、回頭(船首中心、船体中央中心、船尾中心)がある。

(b) 制御ロジック

離着棧時の船体運動は非常に低速であるから、運動を支配するのはアクチュエータの力、慣性力および風等の外乱と考えられる。すなわち与えられた指令値によって発生する運動は運動モデルを制御装置に持っていれば、かなり正確に推定出来る。

航路計画の結果決定された目標点に到達するために、制御装置には目標からのずれを修正するためのガイドラインを持たせ、そのガイドライン上の状態を望ましい状態と考え、その状態を実現するように制御を行うようにしている。

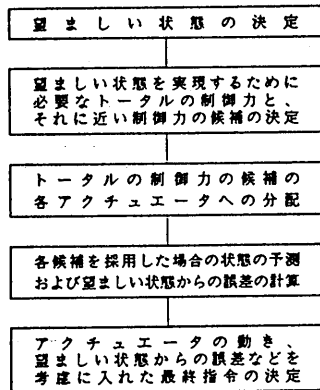


図4.4 制御のフロー

すなわち、制御装置に内蔵された運動モデルを用いて、この望ましい状態を実現するために必要なトータルのX(前後)、Y(左右)、およびN(モーメント)を計算し、各制御周期ごとに指令値を、図4.4に示すフローにしたがって決定している。

ところで、上述の望ましい状態は、周囲の状況によっては必ずしもこれを厳密に守らなくてもよく、そのために、アクチュエータ、とくに曳船に無理な動作を要求するよりも、目標の状態への到達に多少の曖昧さを許しても、アクチュエータの動きを優先するすべき場合がある。そこでアクチュエータの指令の決定に当たっては、これらのことも考慮して次式の評価関数を最少にし、かつその指令が各アクチュエータに出力範囲を越えないようにした。

$$\phi = \sum_i^{Ntg} \{ Kxi^2 (fxi - \bar{f}xi)^2 + Kyi^2 (fyi - \bar{f}yi)^2 + Ki^2 (ft - \bar{f}t)^2 + Kp^2 (fp - \bar{f}p)^2 \}$$

ここに

- $\bar{f}xi, \bar{f}yi$: 前回の曳船への配分力
 fxi, fyi : 今回の曳船への配分力
 $\bar{f}t$: 前回のスラストへの配分力
 ft : 今回のスラストへの配分力
 Kxi, Kyi, Ki, Kp : 重み
 Ntg : 曳船の数

4.3 シミュレーションの一例

4.2節で述べた制御方法の成果を確認するために行

表4.1 記号一覧表

記号	説明	単位
t	制御開始後の経過時間	秒
X	船体のx座標(機橋座標系)	m
Y	船体のy座標(機橋座標系)	m
PSAI	船体の方位角(機橋座標系)	度
u	船体の前後速度(船体座標系)	m/秒
v	船体の左右速度(船体座標系)	m/秒
r	船体の回頭角速度(船体座標系)	度/秒
XACT	前後方向の操作用力の合計	ton
YACT	左右方向の操作用力の合計	ton
ZACT	回頭方向の操作用力の合計	ton-m
Np1	メインプロペラ回転数	回/分
DELrl	舵角	度
Ptl	バウスラスタースピッチ角	度
ftg1	曳船1の押引力	ton
ftg2	曳船2の押引力	ton
ftg3	曳船3の押引力	ton
htg1	曳船1の方位角(船体座標系)	度
htg2	曳船2の方位角(船体座標系)	度
htg3	曳船3の方位角(船体座標系)	度

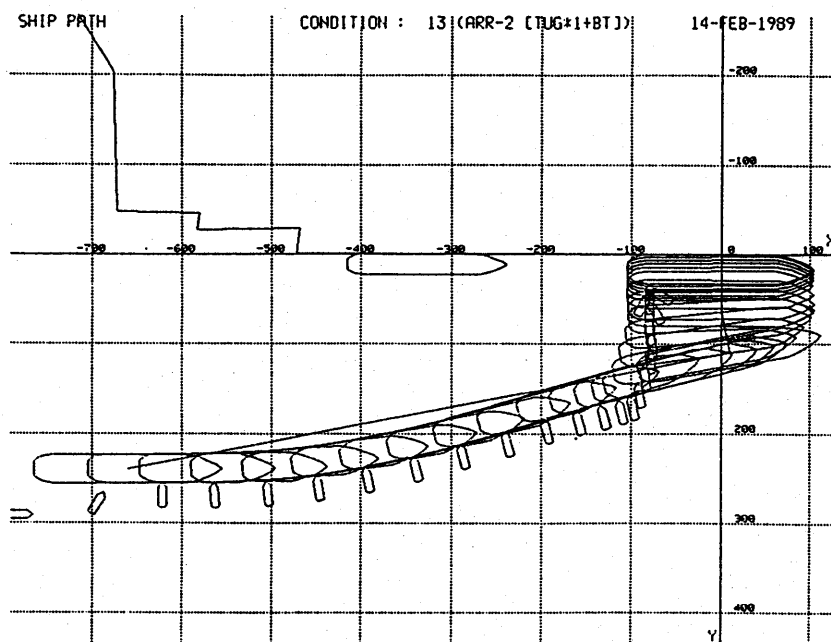


図4.5-1 誘導航路航跡図

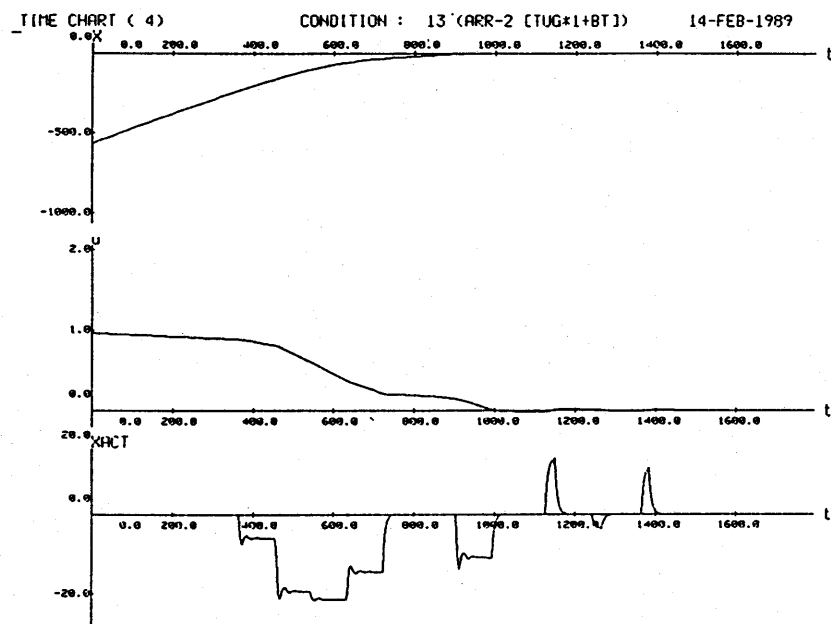


図4.5-2 前後方向変位，速度及び制御力図

TIME CHART (5)

CONDITION : 13 (ARR-2 (TUG*1+BT))

14-FEB-1989

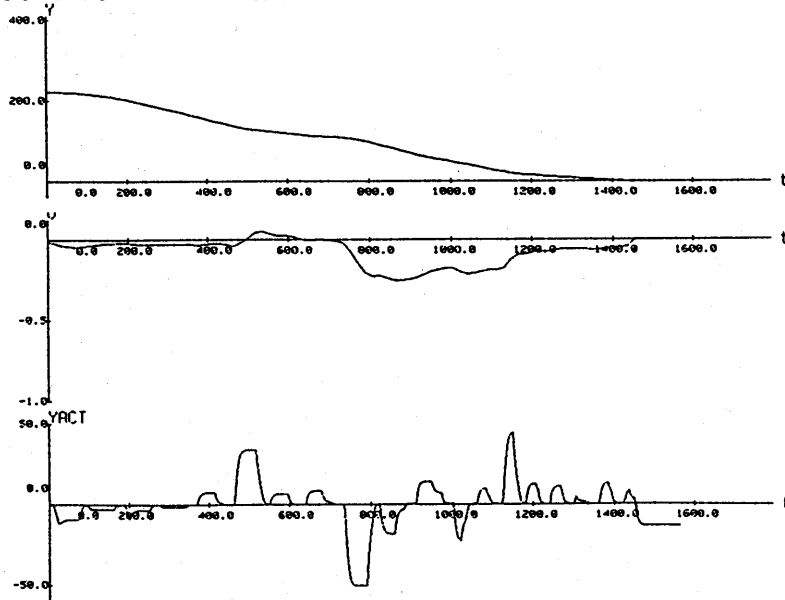


図4.5-3 左右方向変位, 速度及び制御力図

TIME CHART (6)

CONDITION : 13 (ARR-2 (TUG*1+BT))

14-FEB-1989

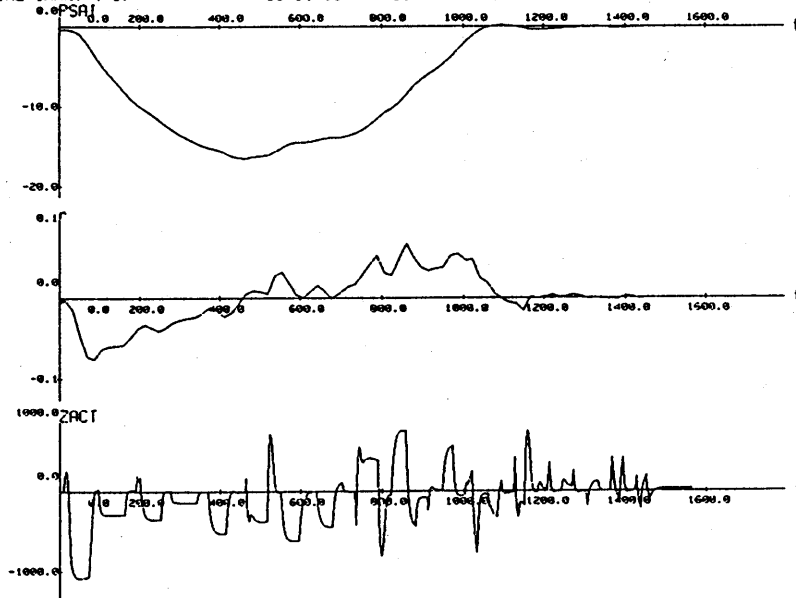


図4.5-4 回頭方向変位, 速度及び制御力図

TIME CHART (7)

CONDITION : 13 (ARR-2 [TUG*1+BT])

14-FEB-1989

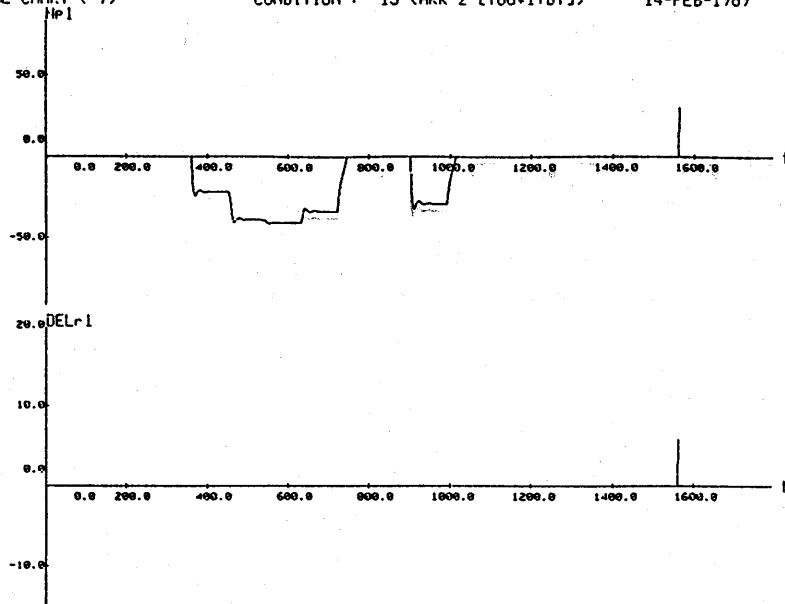


図4.5-5 メインプロペラ回転数及び舵角図

TIME CHART (8)

CONDITION : 13 (ARR-2 [TUG*1+BT])

14-FEB-1989

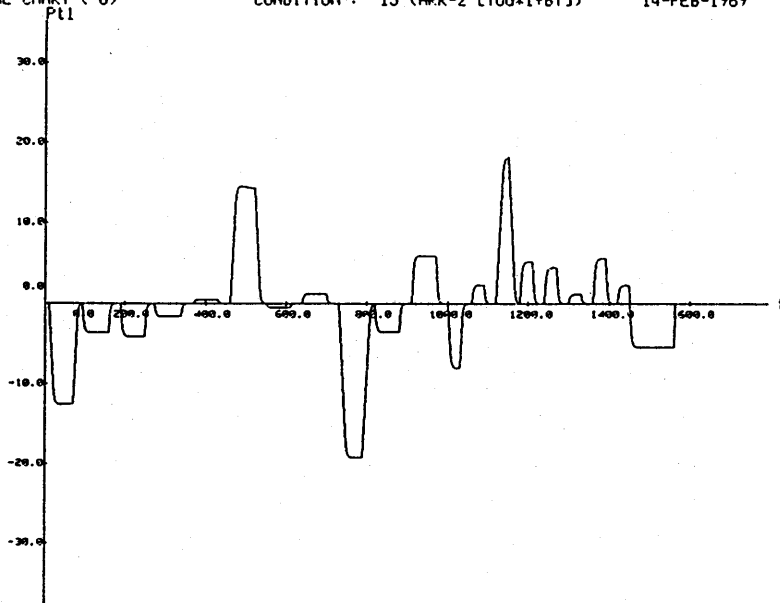


図4.5-6 バウスラストピッチ角図

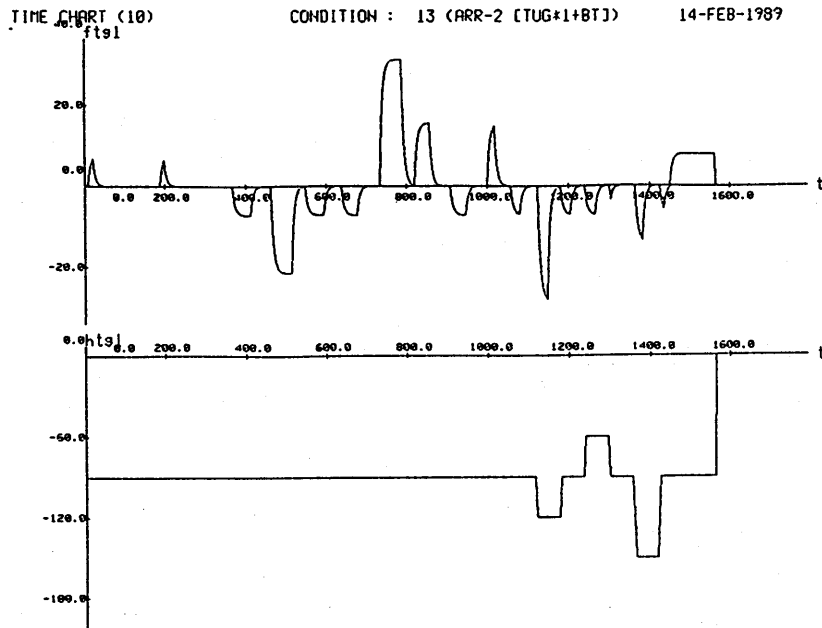


図4.5-7 曳船出力及び方位図

SHIP TABLE CONDITION : 13 (ARR-2 [TUG*1+BT]) 14-FEB-1989

TIME (s)	X (m)	Y (m)	PSN1 (deg)	u (m/s)	v (m/s)	r (d/s)
1422	-0.351	1.414	-0.122	0.0060	-0.0512	0.0000
1424	-0.338	1.311	-0.120	0.0067	-0.0512	0.0012
1426	-0.325	1.209	-0.118	0.0066	-0.0511	0.0019
1428	-0.312	1.106	-0.114	0.0065	-0.0506	0.0019
1430	-0.299	1.005	-0.110	0.0063	-0.0499	0.0016
1432	-0.286	0.905	-0.107	0.0062	-0.0490	0.0010
1434	-0.274	0.807	-0.105	0.0061	-0.0480	0.0001
1436	-0.262	0.711	-0.105	0.0059	-0.0470	-0.0005
1438	-0.250	0.617	-0.107	0.0058	-0.0462	-0.0014
1440	-0.239	0.525	-0.110	0.0057	-0.0456	-0.0015
1442	-0.228	0.434	-0.113	0.0055	-0.0451	-0.0014
1444	-0.217	0.343	-0.116	0.0053	-0.0448	-0.0010
1446	-0.207	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
1448	-0.207	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
1450	-0.207	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
0	-640.021	223.005	-0.009	0.9957	-0.0020	-0.0017

INPUT INTERVAL: 1

図4.5-8 数値時系列図

曳船 (2,600ps, Zペラ)×1隻, パウ
スラスト, 主機

④場 所

川崎港扇島岸壁

(2) シミュレーション結果の説明

以下にシミュレーション結果図の主なものについて簡単に説明する。

①誘導航路航跡図 (図4.5-1)

この図は1分間隔での航跡を示したものであるが、ほぼ自然な航跡となっている。制御モードの切り替え点 (着栈点の沖) における接続もスムーズで

われた多くのシミュレーションの中の一例を図4.5-1～8に示す。

表4.1はシミュレーション結果図の中で用いられている記号を纏めたものである。

(1) シミュレーションの設定条件

①本船要目等 D.W.60,000T 型散積貨物船

$L \times B \times D \times d = 209 \times 32.2 \times 17.8 \times 12.9$

②外乱条件

風速: 10m/sec.

風向: $225^\circ \pm 5^\circ$

潮流: なし

③使用アクチュエータ

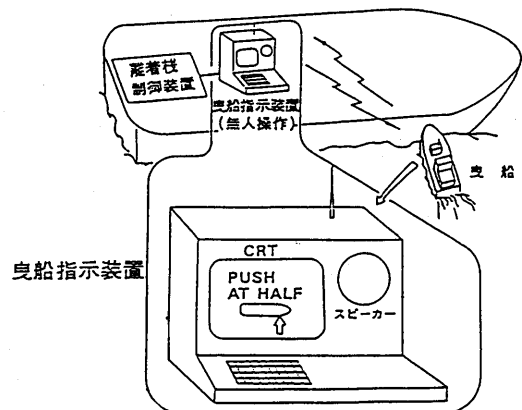


図5.1 曳船指示装置イメージ図

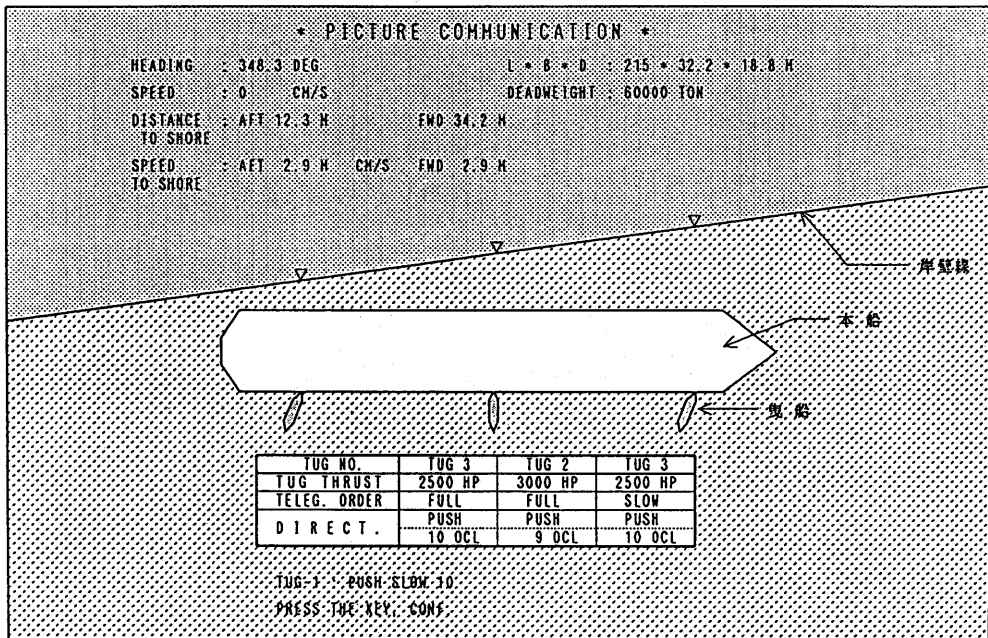


図5.2 CRT 画面表示例

ある。

②メインプロペラ回転数及び舵角図 (図4.5-5)

メインプロペラへの指令は、2分-4分の間隔で
 出されており、このケースでは舵は使用していない。

③バウスラスターピッチ角図 (図4.5-6)

バウスラスターは常に方位調整制御用に使用さ
 れ、その指令間隔は1分-1分30秒程度である。出力
 変化の流れは概ねスムーズであると言える。

④曳船出力及び方位図 (図4.5-7)

曳船への指令間隔は1分30秒程度であり、出力変
 化の流れは概ねスムーズである。また曳船の方位の
 変化も少なく、曳船にとって対応しやすい指令内容
 になっていることが分かる。

⑤数値時系列図 (図4.5-8)

1444秒の値が着岸時のデータでこれは下記の要求
 値を満足している。

前後方向の位置精度：±1.00m 以内

接岸速度 ：0.005m/sec 以下

5. 曳船指示装置

自動離着岸の局面に於いて、曳船の支援を得て離着
 岸制御を行う場合、離着岸制御装置からの指令内容を
 各曳船に指示伝達する必要があり、また曳船の操船状

況を把握するために指令する曳船からの応答の離着岸
 制御装置への取り込みも必要である。

このため、図5.1に示すような本船用発信装置とし
 てのマスユニットと曳船用受信装置としてのスレーブ
 ユニットから構成される曳船指示装置を制作した。

そしてまず両ユニット間を無線で結び、マスユニ
 ャットからの指令をスレーブユニットの画面に表示す
 ることによって、曳船操船者に操船指令を伝える通信実
 験を行った。図5.2はスレーブユニットのCRT 画面表
 示例である。

次に音声入出力装置を追加し、マスユニットから
 の指令をスレーブユニット側で画像及び音声で受けら
 れるようにした。

このようにして曳船操船者が安心してマスユニ
 ャットからの指令に従えるような、曳船指示装置に必要な
 要素技術を完成させた。

6. おわりに

本研究は昭和58年度より昭和63年度にわたり、(財)
 日本船舶振興会の補助事業として(社)日本造船研究
 協会が実施した、「高度自動運航システムの研究開発」
 において当社が担当したもので、ここにその概要をご
 紹介した。拙文が皆様のご参考になれば幸いである。

電波航法研究会昭和63年度事業報告

Records of the Work Carried Out by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation During Fiscal Year 1988

Secretariat Office of the JACRAN

総会

昭和63年度総会は、昭和63年5月18日14時から、海上保安庁水路部会議室で開催された。出席者37名、委任状提出者53名、計90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62年度事業報告が事務局により行われ承認された。
2. 昭和62年度会計報告が事務局により行われ、会計監査 白居 勲 氏及び倉繁貴志子 氏の監査報告があり、承認された。
3. 昭和63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 氏が、副会長には 木村小一 氏、飯島幸人 氏及び 鈴木 務 氏が選出された。

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63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63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63年度第1回研究会は、昭和63年5月18日、海上保安庁水路部会議室で総会に引き続き開催され、電子航法研究所 米本恭二 氏の「安全な航空をささえる電子航法」と題する講演が行われるとともに、映画「時代は宇宙へ」が上映された。

出席者は37名であった。

2. 第2回研究会は、昭和63年7月13日、海上保安庁第一会議室において開催され、郵政省通信総合研究所 大森慎吾 氏の「移動体衛星通信について」、NTT 無線システム研究所 服部 武 氏の「移动通信の現状と将来動向について」と題する講演が行われるとともに、映画「考える船」が上映された。

出席者は61名であった。

3. 第3回研究会は、昭和63年9月13日海上保安庁水路部会議室において開催され、「GPS 受信機特

集」と題し、極東貿易(株)、ソニー(株)、(株)東芝、(株)トリプルナビゲーション、日本無線(株)、古野電気(株)及び横河ナビテック(株)より自社製 GPS 受信機に関し、開発のねらい、特徴について発表が行われた。

出席者は94名であった。

4. 第4回研究会は、昭和63年12月7日、海上保安庁水路部会議室において開催され、日本造船振興財団 竹澤節雄 氏の「超電導電磁推進船の開発について」、東京工業大学 関根松夫 氏の「超電導センサーについて」と題する講演が行われた。

出席者は51名であった。

5. 第5回研究会は、平成元年1月24日、海上保安庁第一会議室において開催され、日本無線(株) 仙波 昂 氏の「操船シミュレーターについて」、全日本空輸(株) 青木隆明 氏の「エアラインにおけるフライトシミュレーターについて」と題する講演が行われるとともに、映画「A320 PROGRESS IN CONTROL」が上映された。映画上映に先立ち全日本空輸(株) 山田 實 氏による解説が行われた。

出席者は47名であった。

6. 第6回研究会は、平成元年3月17日海上保安庁第一会議室において開催され、海上保安庁 佐藤雄二 氏及び 米原達夫 氏の「船位通報制度について」、東京商船大学名誉教授 庄司和民 氏の「電子海図に関するIMOの最近の動向について」、海上保安庁 菊池真一 氏の「IHO 電子海図委員会の最近の動向について」と題する講演が行われた。

出席者は41名であった。

特別研究会

昭和63年度の特別研究会(見学会)は、昭和63年10月13日、海上保安庁三国デッキ局(福井県坂井郡)及び10月14日、関西電力(株)美浜原子力発電所(福井県三方郡)において開催され、それぞれ施設についての説明を受け、引き続き見学を実施した。

参加者は20名であった。

幹事会

企画及び編集幹事は、合同で昭和63年5月18日、7月13日、9月13日、12月7日、平成元年1月24日及び3月17日に開催され、予算案、事業計画、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」は現在編集中であり、発行は6月の予定である。

会員数

平成元年3月31日現在

正 会員 46社 103口
個人 会員 19名 7口（終身会員）

12口（年 会員）

推薦 会員 14名

特別 会員 37名

会員の移動

1. 入会

正 会員 (株)トリプルナビゲーション

個人会員 田中克也 氏

2. 退会

個人会員 柴田亮一 氏

3. 名称変更

正 会員 ジェー・エル・ SHIPPING(株)→ジャパライン(株)

電波航法研究会 昭和63年度決算報告

項 目	金 額		摘 要
	予 算 額	決 算 額	
前年度より繰越	718,837円	718,837円	
入 会 費	1,302,000円	1,126,000円	当年度分 正会員 87口×12,000+7,000 =1,051,000 個人会員 9口×2,000=18,000 年会員 入会金 1社×5,000=5,000 正 会 員 2人×1,000=1,000 個人会員 昨年度未収入分 正会員 4口×12,000=48,000 個人会員 1口×2,000=2,000 年会員
雑 収 入	2,000円	614,100円	会誌販売等
広 告 料	85,000円	0円	
銀 行 利 子	3,000円	1,599円	
計	2,110,837円	2,460,536円	

項 目	金 額		摘 要
	予 算 額	決 算 額	
会 議 費	150,000円	137,320円	研究会 6 回，幹事会 6 回
会誌出版費	900,000円	0円	
事 庶 務	140,000円	83,130円	
務 出 版	20,000円	20,000円	
費 会 計	40,000円	40,000円	
謝 金	76,000円	76,000円	
通信交通費	130,000円	76,880円	
予 備 費	654,837円	4,651円	
小 計	2,110,837円	437,981円	
次年度へ繰越	——	2,022,555円	会誌35号出版費を含む
計	2,110,837円	2,460,536円	

電波航法研究会 平成元年度予算

項 目	金 額		摘 要	項 目	金 額		摘 要
	予 算 額	決 算 額			予 算 額	決 算 額	
前年度より繰越	2,022,555円			会 議 費	150,000円		研究会、幹事会、専門部会
収 入 の 部	会 費	1,442,000円	当年度分 正会員 103口×12,000=1,236,000 個人会員 11口×2,000=22,000 年会員 昨年度未収分 正会員 15口×12,000=180,000 個人会員 2口×2,000=4,000 年会員	会誌出版費	1,800,000円		会誌35、36号分
				事 務 費	140,000円		
				編 集 費	20,000円		
				費 会 計	40,000円		
				謝 金	76,000円		
				通信交通費	130,000円		
雑 収 入	5,000円		会誌販売等	予 備 費	1,285,555円		
広 告 料	170,000円		会誌35号、36号分				
銀 行 利 子	2,000円						
計	3,641,555円			計	3,641,555円		

電波航法

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

平成 3 年 9 月 20 日 印 刷 1989

平成 3 年 9 月 25 日 発 行 No. 36

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

——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、ピング、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)

富士通の

光ディスク電子ファイル

EFSは、

▼大量の文書を収納でき、
12インチの光ディスク1枚にA4文書10万枚 (CCITT標準200dpi) の書類を収納。
欲しい書類をすぐに検索。

▼ネットワークも得意で、
FACOM MシリーズやFACOM Kシリーズをホストコンピュータとして接続し、
大量の情報を活用。さらにEFS、パソコンなどつなげてネットワークを構築。

AutoRec
キーワード自動登録機能

(さらに).....

マウスを使ってキーワード設定もワンタッチ

文書登録が断然カンタンだから、

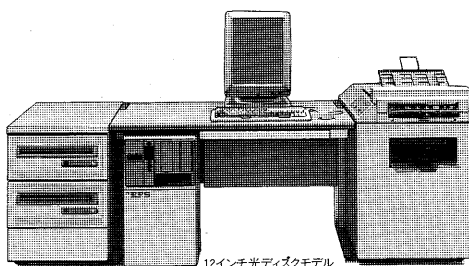
たのしい。

富士通のEFSに、新開発のキーワード自動登録機能「AutoRec」が装備。キーワードの設定は、文書中の一部分をマウスで指定するだけでOK。しかも入力から登録、検索、編集まですべてマウスによるアイコン指定だけで操作できます。

キーワード認識装置
F3077A1

- 新開発のAutoRec機能により、キーワードの登録を自動化
- 400dpiの高解像度による鮮明入出力 ●最大A3サイズまでの原稿が入出力可能 ●かな漢字変換で容易に日本語入力
- 最大16画面表示可能なオーバーラップマルチウィンドウ
- 32ビットCPUにより、印刷中にも入力や検索、編集などの操作が可能 ●JIS配列とOASYS配列の親指ソフトキーボードの2タイプが選択可能 ●操作がより簡単なマウスを採用

4月1日以後全ての事務用機械並びにそれに関連する消耗品及び役務に關し、
は、3%の消費税がかかることになりました。従って要領書に於いて、お支払い金
をお支払い頂くこととなりますので、ご留意願います。(社団法人日本事務機械工業会)



12インチ光ディスクモデル

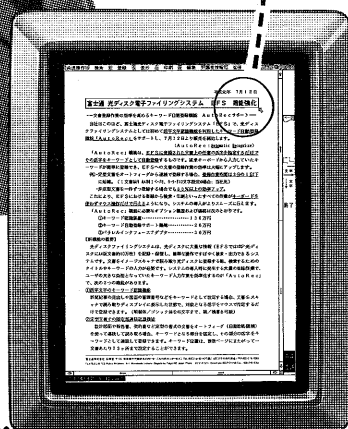


文書中の一部をマウスで
指定するだけで、キーワー
ドの登録が完了します。

平成元年 7月12日

EFS 機能強化

utoRecサポート
「EFS」で、光ディス
クキーワード自動登録



電
波
航
法

電
波
航
法
研
究
会
発
行