

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法

JACRAN. 22

1977

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation

MS-3A型

デッカ受信機

○高精度、高感度

○高信頼度

○表示方式

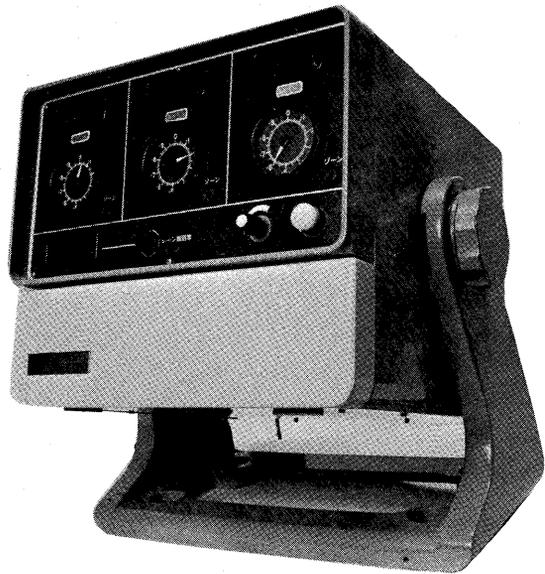
(レーン:デジタル)
(センチレーン:デコメータ)

○自動レーン設定

○御要求によりデータ処理
装置との結合が可能です

○小型軽量 (18kg)

○低消費電力 (36W)



当社で別途賃貸中のセナープロッタ (SE-3A型またはSE-3B型) と組合せて
漁獲効率の上昇、経済的な運航、安全航行等に利用されております。



セナー株式会社

本 社 東京都千代田区内幸町2-1-1 TEL (03) 506-5331(代表)
札幌営業所 札幌市中央区南1条西1-1(東ビル) TEL (011) 231-8421(代表)
仙台営業所 仙台市中央2-8-16(仙台東京海上ビル) TEL (0222) 63-0171(代表)
神戸営業所 神戸市生田区栄町通3-11(大栄ビル) TEL (078) 331-7292(代表)
福岡営業所 福岡市中央区天神1-14-16(不銀ビル) TEL (092) 711-1451(代表)

一 目 次

CONTENTS

巻 頭 言 創立 25 周年にあたって……………会長 松 行 利 忠…(2)
Foreword At the 25th Year of JACRAN President Toshitada MATSUYUKI

研究調査

Research and Investigation

FM ビート方式による双曲線航法システム……………鈴 木 務…(3)
New FM-CW Position Measuring System for Ship Guidance Tsutomu SUZUKI

荒 井 郁 男

Ikuo ARAI

飯 島 幸 人

Yukito IIJIMA

林 尚 吾

Shogo HAYASHI

レーダ・アスペクタの研究……………飯 島 幸 人…(10)
The Study of Radar Aspector Yukito IIJIMA

林 尚 吾

Shogo HAYASHI

自動航海システム“TONAC”について……………原 昌 三…(16)
A Automatic Navigation System, “TONAC” Shozo HARA

レーダリフレクタの研究……………古 田 島 博…(23)
Research on Radar Reflectors Hiroshi KOTAJIMA

海洋動物の電波テレメトリシステム……………相 馬 正 樹…(30)
Radio Telemetry System Adopted to Marine Animals Masaki SOHMA

海外資料紹介

Abstract of Foreign Paper

Identification of a Navigation Satellite System
within the COSMOS Program……………G. E. Perry…(40)

ソ連のコスモス計画中の航行衛星システムの識別

C. D. Wood

(抄訳 木村小一)

研究会記事

Records

電波航法研究会 昭和 50 年度報告……………電波航法研究会事務局…(44)
Record of the Work Carried Out by the Japanese Secretariat

Committee for Radio Aids to Navigation During

Japanese Fiscal Year 1975

会 告……………(39)
Announcement

巻 頭 言

(FOREWORD)

創立 25 周年にあたって

At the 25th Year of JACRAN*

会 長 松 行 利 忠
President Tohitada MATSUYUKI
東洋大学 (Toyo University)

昭和 51 年はちょうど本会が発足してから 25 年目にあたった。25 年といえば、4 分の 1 世紀である。一つの大きな区切りといえよう。そこで本会ではこれを記念して、昭和 51 年度末に、ささやかながら記念行事の実施を計画しているが、本会がこの長い年月を、電波航法の研究という課題ととり組み、継続して活動を行って来られたのは、会員各位のご支持と、役員の方々のご熱意の賜と、深く敬意と感謝を捧げる次第である。

この四半世紀を顧みると、誠に隔世の感に耐えない。本会が発足した昭和 26 年といえば、わが国は未だ占領下にあつて、正に暗黒時代であつた。ようやく占領軍から、外国製の航海用レーダを船舶に搭載することが許可されたばかりという情勢であつた。その頃レーダは未だ戦争中の兵器という背景を持つ特殊器材だったのである。その後独立の日を迎えて、航空輸送の自主運営が始まり、空では大幅な電波援助と航空管制による航行方式が取り入れられ、ついで海上交通に対しては、各種ビーコン局の逐年の増設、わが国周辺のロラン網の完成などの歩みがあり、電子工学の発展に伴う電波航法用器材の急速な進歩と相俟って、電波航法に対する認識が漸次高まりを見せた。やがてオメガ時代が到来し、わが国は対馬のオメガ局開局とともに、全世界的な電波による航行安全の確保という重要な任務に参加することとなった。さらに現在デッカ・チェーンの整備も着々進んでいる。一方電波航法用機器の製作面でも、わが国は充分高い水準にある。こう見て来ると、筆者が隔世の感を懐く所以も判っていただけると思う。

なお現在起こっている領海 12 海里、漁業専管水域 200 海里問題との関連や、近い将来の新しい衛星による航法の問題への参加などを考えると、今後の電波航法の分野は、多忙になりそうである。本会もこの情勢に歩調を合わせ、着実に活動を続けて行きたいものとする。(* JACRAN: Japanese Committee for Radio Aids to Navigation)



Research and Investigation

FM ビート方式による双曲線航法システム

電気通信大学*

鈴木 務・荒井 郁男

東京商船大学**

飯島 幸人・林 尚吾

New FM-CW Position Measuring System for Ship Guidance

The University of Electro-communications*

Tsutomu SUZUKI and Ikuo ARAI

Tokyo University of Mercantile Marine**

Yukito IJIMA and Shogo HAYASHI

1. まえがき

浦賀水道（東京湾）などのように狭水路においては、船舶が航行できるレーンは狭く限定されている場合が多い。その上、海上交通は年々輻輳の度を増しているため、その結果船舶の衝突事故も増加している。

このような狭水路において衝突の危険性を回避するためには、将来は一か所のコントロールセンターで危険水域内にある船全部に対して規制し、かつ誘導する対策が必要となるであろう。そこでまず第一に要求されることは船舶の正確な位置情報を得ることである。

現在、船舶が利用している航行援助システムは、ロラン、デッカ、オメガなどがある。また最近には航海用衛星 (NNSS) も利用できるようになってきた¹⁾。

しかし、狭水域用としては利用し易さ、精度などでまだ十分とはいえない。そこで、マイクロ波を用いた FM-CW 波による測位システムを提案する。マイクロ波の FM-CW 波による測距技術は、航空機の電波高度計などで周知であるが、本研究はこの技術を船舶の航行援助に応用しようとするものである。

本測位システムは船上において主局と従局 (2 局以上)

* 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
(1-5-1, Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo)

** 東京都江東区越中島 2-1-6
(No. 1-6, 2-chome, Ethyujima, Koto-ku, Tokyo)

からそれぞれ発射された FM-CW 波を受信し、それらの到来電波の時間差に比例したビート周波数を検出することにより船位を求めるものであり、次のような特徴が考えられる。

- (1) マイクロ波を用いるのでビーム幅をしぼることができ、狭水域での設置に適している。
- (2) 主局と従局からの到来時間差を FM 波のビート周波数から求める。一般にビート周波数または周期の計測は簡単である。
- (3) FM 波より求めたビート周波数一定の条件でできる位置線は主局と従局を焦点とする双曲線となる (双曲線航法)。

本文は本システムの原理および試作装置によるシミュレーション実験の結果について述べる。

2. FM-CW 波による位置の測定原理

航路誘導のための監視水域を図 1 のよめに決めるとき、その各コーナーに主局 M および 2 つの従局 (S_1, S_2) を設置する。

この水域内の任意の点において、主局と従局から同時に発射された電波の到来時間差 τ を測定すると、それが一定となる位置線はそれぞれの局を焦点とする双曲線群をつくる。したがって、 $M-S_1$ と $M-S_2$ との組合せでできる 2 つの双曲線群の交点から受信点における位置が決定できる。この方法は一般に双曲線航法と呼ばれてい

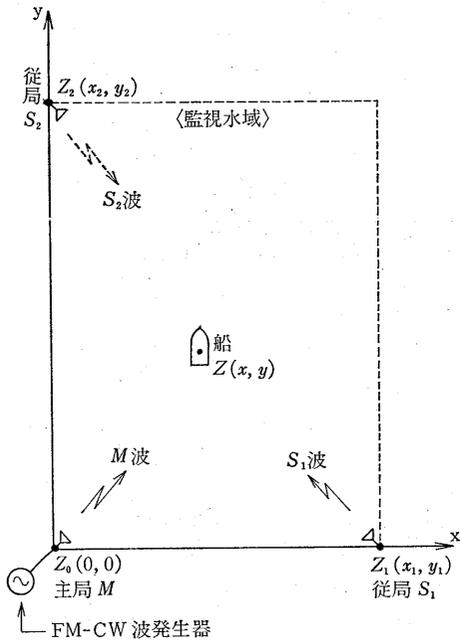


図1 FM-CWによる双曲線航法

る。

FM-CM波による本方式は、送信々号としてFM波を使い、2局からの到来電波の時間差を2つのFM波を混合して得られるビート周波数(または周期)として求めようとするものである。

まず、図1における双曲線の方程式は次のように求める。主局Mの位置 Z_0 を原点とするx-y平面*をつくり、従局 S_1 および S_2 の位置座標をそれぞれ $Z_1(x_1, y_1)$ 、 $Z_2(x_2, y_2)$ とする。従局から発射される信号は主局と同期していなければならないので、ここでは主局で発生したFM波は有線または無線で伝送することにする。

発信点の座標を $Z(x, y)$ とするとMと S_1 からの到来時間差 τ_1 はそれぞれの伝搬距離差 ΔR_1 に比例しており、伝搬速度 c をとすると

$$\Delta R_1 = c \cdot \tau_1 = |Z - Z_1| - |Z| + a \quad (1)$$

となる。ただし、 a はMから S_1 までの等価伝搬距離であり、その伝送路の伝搬速度を c_1 とすると、実際の距離が R_1 のとき次式となる。

$$a = R_1 \cdot c / c_1 \quad (2)$$

Mと S_2 からの到来時間差 τ_2 も同様にして求められる。

$$\Delta R_2 = c \cdot \tau_2 = |Z - Z_2| - |Z| + b \quad (3)$$

ただし、 $b = R_2 \cdot c / c_2$ 、 R_2 : M- S_2 間の距離、 c_2 : M- S_2 間の伝搬速度である。

式(1),(3)において、 $\beta_1 = a - c \cdot \tau_1$ 、 $\beta_2 = b - c \cdot \tau_2$ と

* 便宜上複素平面とする。

おくと、それぞれ

$$\beta_1 = |Z| - |Z - Z_1| \quad (4)$$

$$\beta_2 = |Z| - |Z - Z_2| \quad (5)$$

となる。これらから、 β_1 、 β_2 を一定としたとき点 Z の軌跡は原点と Z_1 または Z_2 を焦点とする双曲線となる。簡単のため S_1 および S_2 の座標を $Z_1(x_1, 0)$ 、 $Z_2(0, y_2)$ とすると式(4),(5)から次式の双曲線方程式が得られる。

$$\frac{(2x-x_1)^2}{\beta_1^2} - \frac{(2y)^2}{x_1^2 - \beta_1^2} = 1 \quad (6)$$

$$\frac{(2y-y_2)^2}{\beta_2^2} - \frac{(2x)^2}{y_2^2 - \beta_2^2} = 1 \quad (7)$$

よって船位 $Z(x, y)$ は β_1, β_2 すなわち τ_1, τ_2 を測定すれば上式より求められる。

従局 S_1, S_2 を任意の位置に設置したときの船位の座標 Z は式(4),(5)から次式となる。

$$x = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} \alpha_1 + \beta_1 r & y_1 \\ \alpha_2 + \beta_2 r & y_2 \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} x_1 & \alpha_1 + \beta_1 r \\ x_2 & \alpha_2 + \beta_2 r \end{vmatrix} \quad (9)$$

ただし、

$$\alpha_1 = (r_1^2 - \beta_1^2) / 2, \quad \alpha_2 = (r_2^2 - \beta_2^2) / 2$$

$$r_1^2 = x_1^2 + y_1^2, \quad r_2^2 = x_2^2 + y_2^2$$

$$r = -(B - \sqrt{B^2 - AC}) / A$$

$$A = \beta_1^2 r_2^2 + \beta_2^2 r_1^2 - 2\beta_1 \beta_2 E - D^2$$

$$B = \alpha_1 \beta_1 r_2^2 + \alpha_2 \beta_2 r_1^2 - (\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) E$$

$$C = \alpha_1^2 r_2^2 + \alpha_2^2 r_1^2 - 2\alpha_1 \alpha_2 E$$

$$D = x_1 y_2 - x_2 y_1, \quad E = x_1 x_2 + y_1 y_2$$

3. 到来電波の時間差の計測

受信点の位置 $Z(x, y)$ は式(8),(9)から β すなわち主局Mおよび従局Sから発射した電波の到来時間差 τ を計測することにより求められるが、この τ は図2のよ

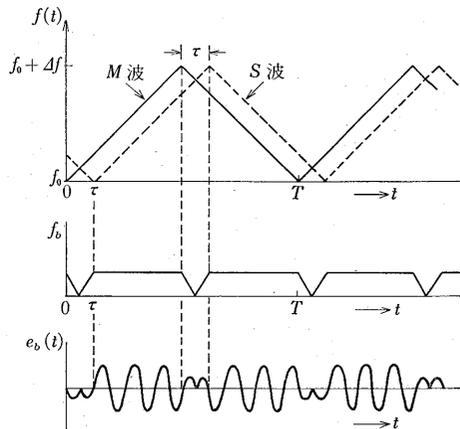


図2 FM波による時間差の計測

うに三角波状に周波数変調した FM-CW 波を用いて計測する。ここで τ の計測方法として次に述べる 2 通りの方法が考えられる。

3.1 ビート信号の零交又数計算法

M 局および S 局から発射された FM 波の受信々号をそれぞれ M 波、S 波と呼ぶことにする。

M 波、S 波の位相および瞬時角速度をそれぞれ $\phi_M(t)$ 、 $\phi_S(t)$ および $\omega_M(t)$ 、 $\omega_S(t)$ とすると、それらの間には次式の関係がある。

$$\phi_S(t) = \phi_M(t - \tau) \quad (10)$$

$$\omega_M(t) = \dot{\phi}_M(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cdot F(t) \quad (11)^*$$

$$\omega_S(t) = \dot{\phi}_S(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cdot F(t - \tau) \quad (12)$$

ここに、

ω_0 : 送信下限角周波数 ($2\pi f_0$)

$\Delta\omega$: 最大角周波数偏移 ($2\pi \Delta f$)

$F(t)$: 単位振幅, 周期 T の三角波
(規準化変調波形)

式 (11), (12) から

$$\phi_M(t) = \int_{\tau}^t \omega_M(p) dp = \omega_0 t + \Delta\omega \int_0^t F(p) dp \quad (13)$$

$$\phi_S(t) = \int_{\tau}^t \omega_S(p) dp = \omega_0(t - \tau) + \Delta\omega \int_{\tau}^t F(p - \tau) dp \quad (14)$$

となるので、M 波と S 波とを混合して得られるビート信号 $e_b(t)$ の位相 $\phi_b(t)$ は次式となる。

$$\phi_b(t) = \phi_M(t) - \phi_S(t) = \omega_0 \tau + \Delta\omega \cdot \int_{t-\tau}^t F(p) dp \quad (15)$$

時間差 τ が三角波の繰り返し周期 T に比べて十分小さいならば、式 (15) は次式で近似できる。

$$\phi_b(t) = \omega_0 \tau + \Delta\omega \cdot \tau \cdot F(t) \quad (\tau \ll T) \quad (16)$$

上式を図 3 に示す。ここで第 1 項は固定位相を表わし、今の場合利用しない。第 2 項は時間とともに位相が変化し、ビート信号は $n\pi$ (n : 正の整数) 毎に零点を切

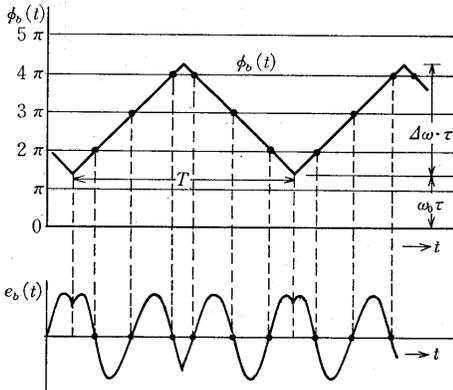


図 3 ビート信号の位相推移と波形

* : は微分を表わす。

る。したがって、変調の半周期 ($T/2$) 内の零交又数 N は

$$N = [\Delta\omega \cdot \tau / \pi] = [2\Delta f \cdot \tau] \quad (17)$$

([] : ガウス記号)

となるので、 N を計測すれば τ が求められる。なお、式 (17) において、 $2\Delta f \cdot \tau$ の端数は切り捨てられるので、最大 ± 1 digit の誤差を生じる。この誤差に対応する τ の大きさ $\Delta\tau$ は

$$2\Delta f \cdot \Delta\tau = \pm 1 \rightarrow \Delta\tau = \pm 1 / 2\Delta f \quad (18)$$

であり、これを小さくするには FM の周波数偏位 Δf を大きくする他に方法がない。また、上式を相対誤差で表現すると

$$\Delta\tau / \tau = \pm 1 / N \quad (19)$$

となるので、これを小さくするには零交又数 N を大きくしなければならない。したがって、零交又数法は式 (17) から Δf および τ が十分大きくとれる場合に有効となる。

本シミュレーション実験の場合には、M、S 間の距離差が 10m~80m 程度であり、 Δf もガンダイオードでは 60 MHz 位であるから、式 (18) から $\Delta\tau = \pm 8.3$ [ns]、距離差にして ± 2.5 m のステップ誤差は避けられない。また相対誤差 $|\Delta\tau / \tau|$ も 25%~3% と大きい。このように極めて狭い領域での実験にはステップ誤差を避ける工夫が必要となる^{2),3)}。そこで、本実験では次に述べるビート信号の周期を計測して τ を求める方法を用いることにした。

3.2 周期測定による方法

式 (17) で表わせる零交又数が少ない場合には、ビート信号の周期 T_b を計測することにより FM 波の到来時間差 τ の測定精度を向上させ得る。

式 (16) からビート周波数 f_b は次式となる。

$$f_b = \frac{1}{2\pi} \dot{\phi}_b(t) = \Delta f \cdot \tau \cdot \dot{F}(t) \quad (20)$$

ここで、 $\dot{F}(t) = 2/T$ であるから

$$T_b = 1/f_b = T/2\Delta f \cdot \tau \quad (21)$$

となる。

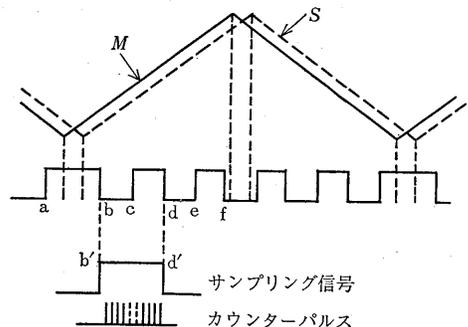


図 4 ビート信号の周期測定

変調の半周期 ($T/2$) 内にビート信号の波数は $[N/2]$ 個あるので、そこから N_b 個とりだし、さらにその m 周期分を周波数 f_0 のクロック信号で計数すると、カウント数 P から、ビート信号の周期 T_b 、時間差 τ が次式で求められる。(図 4)

$$T_b = P/2mN_b f_0 \quad (22)$$

$$\tau = mN_b f_0 T / \Delta f P \quad (23)$$

4. FM-CW 波の発生

本測位システムの原理を確認するためにシミュレーション実験を地上にて行なった。この場合には実際の海域と比較すると極めて狭い領域となるので、十分な測位精度を持たせるためには FM 波の周波数偏位 Δf をその縮尺倍だけ大きくとらなければならないことになる。一方、シミュレーション実験に見合ったマイクロ波の発振源として、小型、軽量、簡便、出力等を考慮してガンダイオードを用いることにしたが、図 5 に示すように Δf

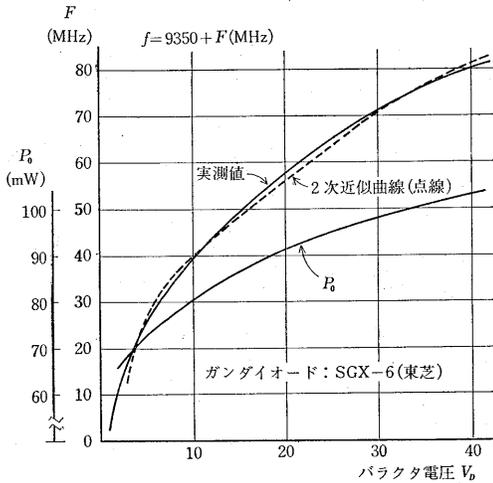


図 5 ガンダイオードの発振周波数 (f) および出力 (P_0) 特性

はせいぜい 80 MHz 程度であり、しかもバラクタ電圧 V_D 対発振周波数 f の関係は直線的でないので、時間差に比例したビート周波数 f_b を得ることができない。

そこで、この周波数特性を直線的に変化させるためのバラクタ電圧 V_D の波形を以下に求める。

まず図 5 の周波数特性曲線を 2 次式で近似する。

$$V_D = K_2 + K_1 F + K_0 \quad (24)$$

ただし、 $F = f - f_0$, K_0, K_1, K_2 : 定数

図 5 に実測値とそれを最小自乗法で近似した曲線を示す。今、入力電圧 V_i を図 6 に示すように三角波とすると、その関数であるバラクタ電圧 V_D のある波形に対して、発振周波数 F が直線的に掃引できたとすると

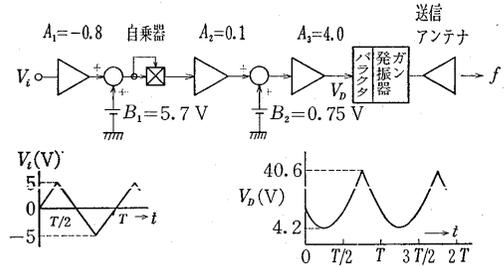


図 6 周波数変調歪補正のための関数発生回路

$$F = k_1 V_i + k_0 \quad (25)$$

(k_1, k_0 : 定数)

で表わせる。

よって、式 (24), (25) から V_D は V_i の 2 次式となるが、回路上実現しやすい形で示すと次式のようになる。

$$V_D = A_3 \{ A_2 (A_1 V_i + B_1)^2 + B_2 \} \quad (26)$$

(A_1, A_2, A_3, B_1, B_2 : 定数)

図 5 の特性例では式 (26) は 2 次式となった。

$$V_D = 4 \{ 0.1 (-0.8 V_i + 5.7)^2 + 0.75 \} \quad (27)$$

このバラクタ電圧 V_D は図 6 の回路で発生できる。その結果、変調の直線性が図 7 のように改善できた。このときの直線からのずれは図示のように約 ± 1 MHz, 周波数偏位 $\Delta f = 58$ MHz が得られた。

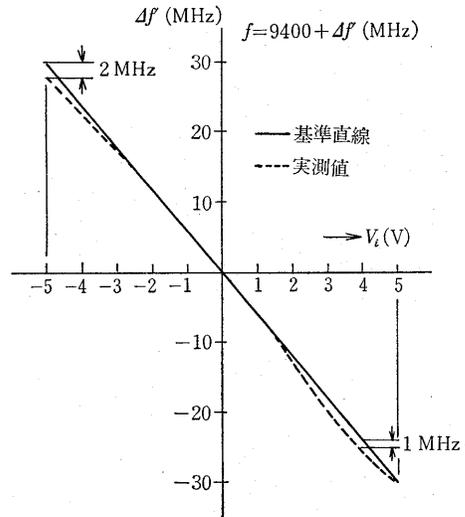


図 7 入力電圧 (V_i) 対発振周波数特性

5. 測位誤差に対する検討

本実験ではビート信号の周期から τ を求める方法を採用したので、零交叉計測法で問題となったステップ誤差は無くなったわけであるが、次のようないくつかの誤差の原因となるものが考えられる。

- (1) 位置線の密度勾配に基づく偏位誤差
- (2) 周波数変調歪に基づく誤差

- (3) 船の速度、ゆれ（ローリング、ピッチングなど）によるドブラ周波数の発生
- (4) 多重反射妨害、マルチパス、マイクロ波立体回路内における定在波の発生
- (5) 他局からの妨害波混入
- (6) 回路内雑音、温度ドリフト

(1) は、双曲線群が焦点を結ぶ線（基線）上では密で、これから遠ざかるにつれて疎になるために生じる誤差であり、基線上では偏位誤差が最小で、遠ざかるにつれて誤差が増加する。今、2つの焦点（MとS）から受信点をみる夾角を θ とすると、誤差倍率 k は

$$k = \operatorname{cosec} \frac{\theta}{2}$$

となることが知られている。 k の値は基線上では1、その延長上では無限大である。本実験では図1の領域で考えるので、例えば $x_1=30\text{m}$, $y_2=50\text{m}$ のとき k の値は最大で2.5程度である。

(2) は、図6のように周波数変調歪を補正しても、2次近似関数では近似度に限界があるため、図7に示されたように直線からのずれが依然として残るために生じるものである。この直線性からのずれはビート信号の波形歪の原因となるので周期測定法においては特に障害となるものである。そのずれの周波数成分を $\delta \sin(4\pi t/T)$ と仮定すると

$$f_b = 2\Delta f \cdot \tau/T + (4\pi\delta \cdot \tau/T) \cos\{2\pi(2t - \tau)/T\} \quad (28)$$

となるので、相対誤差は最大 $\pm 2\pi\delta/\Delta f$ と見積られる。図7の例では $\delta=1\text{MHz}$, $\Delta f=58\text{MHz}$ であるから最大約 $\pm 10\%$ の誤差がでることになる。一方、式(28)より明らかのように、誤差成分である第2項は平均化により減少することを意味しており、 $T/4$ の整数倍の期間平均化すれば0にすることも可能である。実際にはこの条件を満足することはできないが、変調の半周期 ($T/2$) 内でサンプリングするビート信号の波数 (N_b) をできるだけ多く、かつ m 周期 (mT) 分をとって平均化すればこの誤差の影響を軽減することができる。

その他、誤差の原因として特に考慮しなければならない項目は(4),(5)である。これらはFM波等の連続波の場合に不可避の障害であって、その対策は重要であるが、詳細な検討は別の機会にゆずりたい。

6. 実験結果

6.1 ビート信号の周期測定例（その1）

実験はまず主局 M と1つの従局 S とを図8のように設置し、距離差に反比例したビート信号の周期を測定することから始めた。使用した主な装置の仕様を表1*に

* 図8の実験のみ受信アンテナとして角型標準ホーンアンテナ（2個）を用いた。

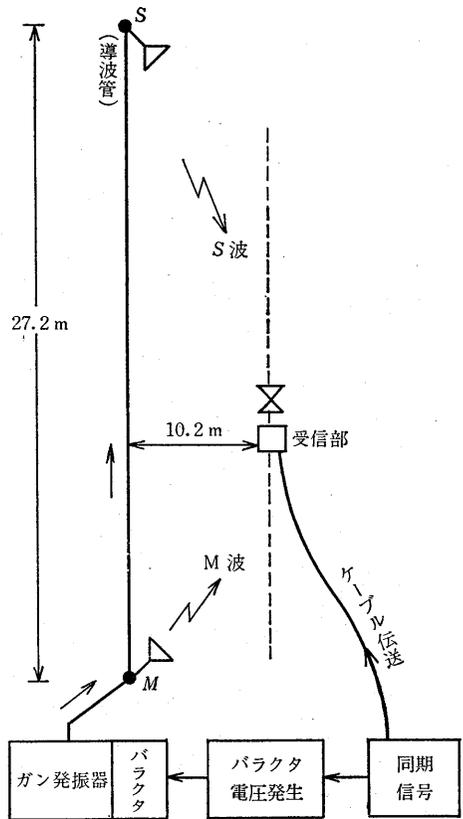


図8 実験配置（その1）

表1 主な使用部品

品名	仕様
主局および従局用スロットアンテナ	ビーム幅：水平=5°，垂直=25°，利得=24.5 dB，水平偏波
受信アンテナ	無指向性バイコンカル型，利得=5 dB
ガンダイオード（バラクタ付）	SGX-6（東芝），出力=80 mW， $f_0=9.4\text{GHz}$ ， $\Delta f=58\text{MHz}$

示す。

図8において、ガンダイオード発振器の出力はM局とS局へ2分され、S局への伝送は導波管を用いた。受信部ではM局から同期信号をもらい、変調の半周期 ($T/2$) 毎にビート信号の1波長分だけとりだし、それらの10~20波分を計測し、平均して指示するようにした。そのとき、前記の変調歪による影響を調べるために、変調周波数が増加する半周期 (upward) と減少する半周期 (downward) におけるビート信号とを別々に測定し、ビート周波数に換算した結果を図9に示す。この図より、upward と downward とでは計測されたビート周波数の

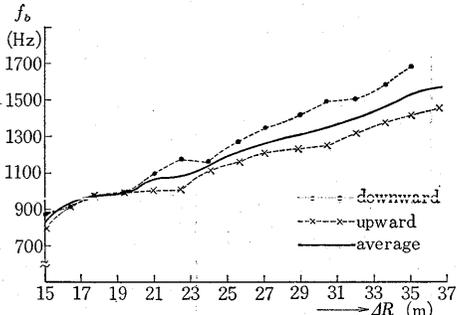


図 9 距離差に対するビート周波数測定例 (その 1)

変動傾向が逆にでているので、それらの平均をとれば計測精度が向上することが分かる。

図 9 において、距離差の計測誤差は upward および downward のみのとき、最大でそれぞれ 3.5 m, -3.5 m でているが、それらを平均した値は ± 0.7 m 程度となっている。

6.2 周期測定例 (その 1)

5 章および 6.1 節の結果から明らかなように、三角 FM 波の upward と downward におけるビート信号の平均およびサンプリング波数を増加すれば変調歪による誤差が軽減される。

一方、ビート信号の波数 ($W=N/2$) は式 (17) より τ に比例しているの、距離差が小さいときはあまり多くとれない。本実験では ΔR_{\min} は 12 m 位から計測できるように考えているのでこのときが最少の波数となり

$$W_{\min} = [Af \cdot \tau_{\min}] = 2$$

$$(\tau_{\min} = \Delta R_{\min} / c, Af = 58 \text{ MHz})$$

となる。

したがって、FM 波の upward と downward からそれぞれ 2 波数 ($N_b=2$) をサンプリングし、さらに 10 周期分 ($m=10$) を平均して出力することにした。図 10 は

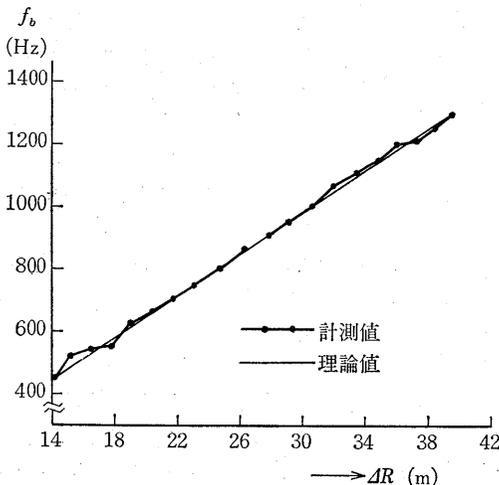


図 10 ビート周波数測定例 (その 2)

このようにして計測した結果の一例である。距離差の計測誤差は最大 ± 80 cm, 平均偏差 35 cm である。なお、このときの M-S 間の距離は 21.6 m であり、受信部は M-S 線に沿って 10 m の間隔を保ちながら平行移動した。また、次節と同様に受信部で検出したビート信号はテレメータで主局 M へ伝送して*計測している。

6.3 位置の測定例 (地上実験)

位置を計測するには少なくとも 2 つの従局が必要である。図 11 に位置計測のための配置を示す。x 軸および y 軸上にそれぞれ S_1 局, S_2 局を設置し、FM 波を M 局へは常時、 S_1, S_2 局へは時分割で交互に導波管を用いて伝送した。 S_1 と S_2 の切替には PIN ダイオードスイッチを用いている。受信部では無指向性アンテナで M 波と S_1 波 (または S_2 波) を受信し、ビート信号を検出してテレメータで主局 M へ伝送し、そこでビート信号周期をクロックパルス f_c を用いて計数する。カウンタパルスは D/A コンバータで電圧に変換され出力される。

この D/A コンバータの出力電圧 $V_{D/A}(V_x, V_y)$ とビート信号周期 T_b との関係は次のようになる。

まず、 S_1, S_2 の切替は $m \cdot T$ 毎に行なわれるとし、そ

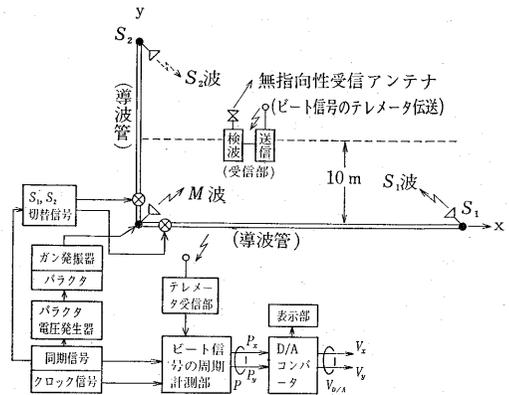


図 11 測位システム

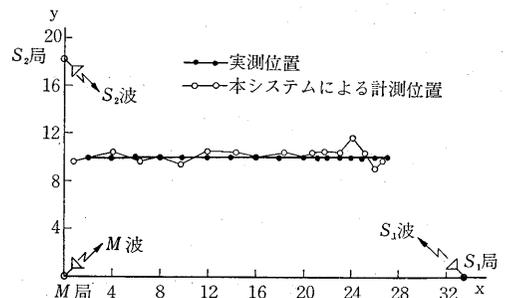


図 12 本計測システムによる位置の測定例

* 模型船を用いた自動航路誘導のシミュレーション実験用として考慮されている⁵⁾。

の間の upward と downward からビート信号を N_b 個サンプリングし、その合計の周期をクロック周波数 f_c でカウントすると、カウンタパルスの総計 P は式 (22) から

$$P = 2m \cdot N_b f_c T_b$$

となる。ここで、 $\Delta f = 58 \text{ MHz}$ 、 $T = 11 \text{ ms}$ のとき $\Delta R = 12 \sim 80 \text{ (m)}$ の間では $T_b = 2.3 \sim 0.36 \text{ (ms)}$ となるので、6.2 節と同様に $N_b = 2$ 、 $m = 10$ とし、 $f_c = 10^6 \text{ (Hz)}$ とすると、 $P = 9.2 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^4$ すなわち、 10^4 のオーダーになる。よって、下 2 ケタをカットし、さらに P の $1/100$ を電圧として出力することにすれば

$$V_{D/A} = P \times 10^{-4} = 4000 T_b \quad (29)$$

となる。したがって、 $\Delta R = 12 \sim 80 \text{ (m)}$ に対して $V_{D/A} = 9.4 \sim 1.4 \text{ (V)}$ の電圧範囲で出力が得られることになる*。

この従局 S_1, S_2 を $Z_1(33.5, 0)$ 、 $Z_2(0, 18.2)$ の位置に設置し、受信点を x 軸と平行に移動したときの実測例を図 12 に示す。このときの測位誤差 $Z_e(\Delta x, \Delta y)$ は最大で $|\Delta x_m| = 1 \text{ m}$ 、 $|\Delta y_m| = 1.8 \text{ m}$ であり、平均偏差は $\overline{\Delta x} = 25 \text{ cm}$ 、 $\overline{\Delta y} = 39 \text{ cm}$ であった。

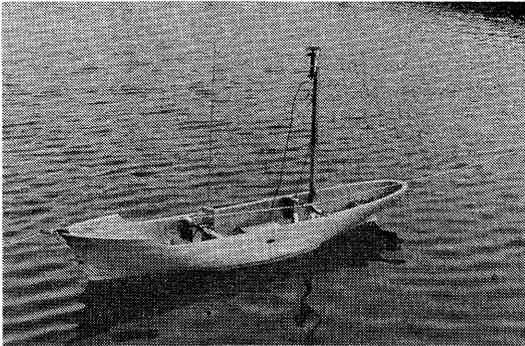


図 13 マイクロ波受信部およびテレメーターを載せた模型船

* 図 11 において、 $M-S_1$ および $M-S_2$ の組合せで計測した P と $V_{D/A}$ にはそれぞれ x および y の添字がつけられている。

6.4 位置の測定例 (模型船を使った実験)

6.3 節と同様の実験を模型船に受信部を設置して行った (図 13 参照)。測位システムは図 11 である。結果を図 14 に示す。マイクロ波に対する環境が地上におけるよりも悪いいため測位誤差は図 12 より大きく出ているが、本システムの原理の確認が出来た。

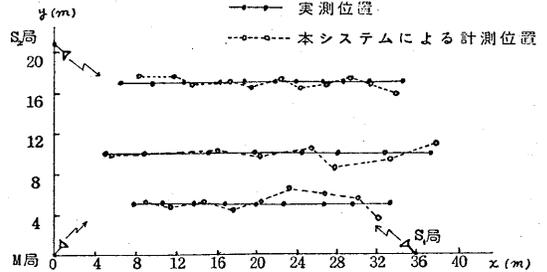


図 14 模型船の位置の測定結果

7. むすび

本測位システムは元来模型船を使った船舶の自動誘導シミュレーション実験用に開発されたものであるが、実際の海域にも適用可能であろう。その際本実験では採用しなかったが零交叉計数法も有効である。

(本研究の一部は昭和 49 年度文部省科学研究費補助金一総合 A を受けて行なわれたものである)

参 考 文 献

- 1) 木村小一: 電波時報, Vol. 27, No. 4, pp. 7~12, (1972)
- 2) MOHAMED A. W., ISMAIL: Proc. IRE, pp. 1140~1145, (1956.9)
- 3) 水町, 伊藤, 加藤: 信学誌, Vol. 57-B, No. 8, (1974)
- 4) MERRILI I., SKOLNIK: Introduction to Radar Systems, (KOGAKUSHA, 1962), p. 100
- 5) 鈴木, 荒井 他: 電子通信学会全国大会, S9-6, (昭 50.3)

レーダ・アスペクタの研究

東京商船大学*

飯島 幸人・林 尚吾

The Study of Radar Aspector

Tokyo University of Mercantile Marine

Yukito IJIMA and Shogo HAYASHI

Abstract

The first step of collision avoidance is to fix navigator's attention on an attitude of another ship concerned.

When two ships encounter, the relative attitude between ships can be expressed by the aspect angle that has so far been got by means of radar plotting. If we are able to have an aspector that is the device to instantly know the aspect angle, it will be found greatly advantageous to all navigators for collision avoidance.

In this point of view, the radar aspector has been studied. The theory is very simple that is, the radar transmits the radar wave in pulses of periods propotional to the rotation angle of radar antenna from a ship's head, and the receiver on the other ship receives the radar wave from the transmitting ship and calculates the pulse repetition periods that show the aspect angle of the transmitting ship.

For example, when the pulse repetition periods of radar are selected from $1000 \mu\text{s}$ to $1359 \mu\text{s}$ depending on one antenna rotation, the periods of received pulse repetition minus $1000 \mu\text{s}$ directly show the aspect angle.

The radar aspector based on the above idea has experimented by the training ship and showed good results. The theory, the fabrication and the results of experiments are reported in this paper.

1. ま え が き

船舶の運航において、他船との衝突を回避するためには、他船のアスペクト・アングルを何らかの方法で知らなければならない。レーダではプロットングによりアスペクト・アングルおよび CPA など求めて避航動作

を開始している。しかしながらレーダ・プロットングでは、アスペクト・アングルを求めるためにはある時間を要し、操船者としての観測者が時間に拘束されることは好ましくない。そこで瞬時に相手船のアスペクト・アングルを知ることができれば、避航動作を早期に開始できるばかりでなく、相手船の避航動作もすぐを知ることができ、船舶の運航上有力な効果を与えることになる。相手船が自船に対して右舷を向けているか、左舷を向けているかについて知る装置については、既に文献(1)によって発表されているが、筆者らはこの方法をさらに発展させて、アスペクト・アングルを瞬時に知る装置の研究を行ない、これをレーダ・アスペクタと名付けて実験を行なったのでその結果を報告する。

2. レーダ・アスペクタの原理

レーダは固有の繰り返し周期により、パルス電波を放射しているが、このパルス繰り返し周期をレーダ・アンテナの回転角度に比例させて変化させれば、相手船のパルス繰り返し周期を測定することによって、ただちに相手船のアスペクト・アングルを知ることができる。図1はその様子を示すものである。

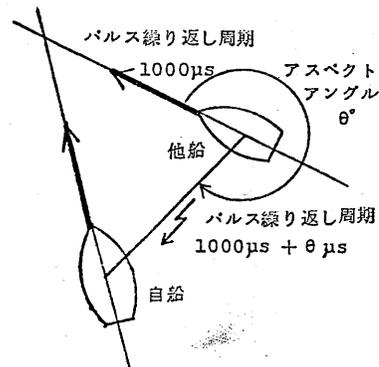


図1 レーダ・アスペクタの原理

* 東京都江東区越中島 2-1-6

例えば、レーダ・アンテナが船首方向を向いたときのパルス繰り返し周期を $1000\ \mu\text{s}$ とし、アンテナの回転角度が 1° 増加する毎にパルス繰り返し周期を $1\ \mu\text{s}$ ずつ増加させるとすれば、このパルス繰り返し周期を測定して、それから $1000\ \mu\text{s}$ を引けばアスペクト・アングルが直読できるわけである。

3. 送信装置

上記の目的を達成するために、送信装置は図2のように構成された。

レーダのマスタ・トリガの発生には、一般にほぼ一定周期のプロッキング発振回路が用いられているが、このマスタ・トリガを角度により変化させるために切換スイッチを設けて、外部トリガを入力できるようにした。試作したトリガ発生器は、レーダ・アンテナの回転角度検出機構・回転角度比例周期パルス発生回路・パルス増幅波路で構成されている。トリガ発生器のブロック図を図3に示す。

(1) レーダ・アンテナの回転角度検出機構

レーダ・アンテナの回転角度を検出するために図4に

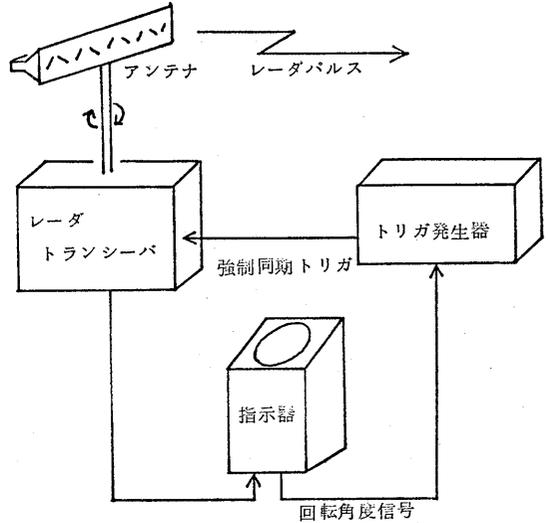


図2 送信装置

示すように、レーダのCRTの偏向コイルを回転させるサーボモータの軸に、スリット検出型の回転計をつけて回転パルスを発生させ、このパルスをカウンタで積算

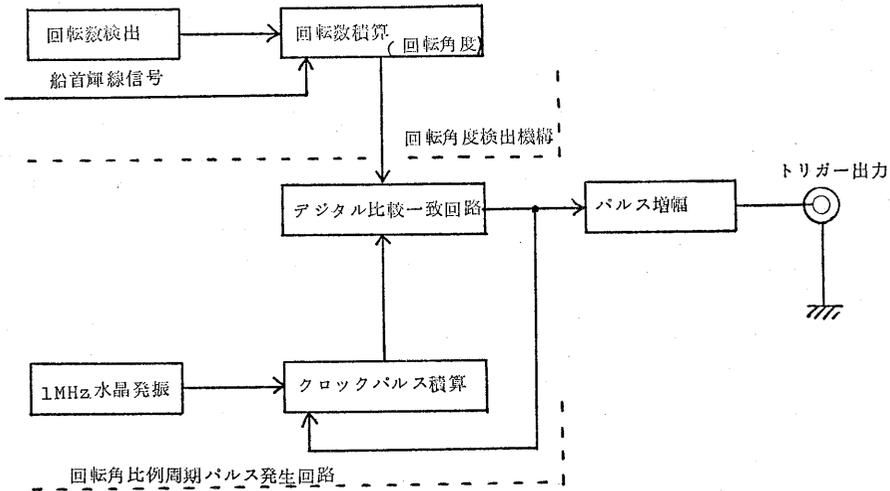


図3 トリガ発生器

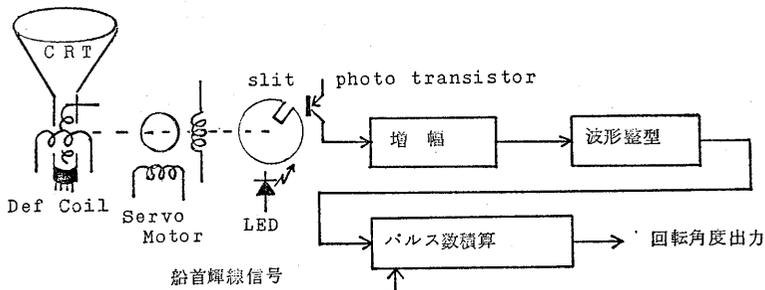


図4 回転角度検出機構

する方法が用いられている。カウンタは船首輝線信号のパルスにより船首方向でより0セットされ、1回転を0~359のBCD(Binary Coded Decimal)コードで出力させている。

(2) 回転角比例周期パルス発生回路

この回路の機能は正確にアンテナ回転角度に比例した周期をもつトリガパルスを発生させるものである。各パルスの周期は正確でなければならないので、水晶発振により角度の1°に対応する1 μ sのクロック・パルスを発生させ、このパルスをカウンタに入れて積算している。この積算値と1000を加えた回転角度の値とが一致したときに、デジタル比較一致回路は一致信号パルスを発生する。この一致信号パルスにより、クロック・パルスのカウンタを0にリセットさせる。そして再びクロック・パルスのカウンタは、一致するまで積算し、動作を繰り返すことにより、回転角度に比例した周期でパルスを発生させている。

(3) パルス増幅回路

この回路は発生させたパルスを、所要の振幅まで増幅するものである。パルス発生回路はTTL(Transistor-Transistor-Logic)で構成したので、出力レベルが0~5Vまでしかなくレーダのブロッキング発振回路を強制同期できない。そのためパルスを整形後、0~50Vまで増幅し、カソード・フォロウで出力させている。

以上の装置によりレーダ・パルスは、正確にレーダ・アンテナの回転角に比例した繰り返し周期で発射されることになる。

4. 受信装置

通常の船用レーダが、ある点物標を向いている時間はおよそ30ms程度である。したがってレーダ・パルスの繰り返しを測定するには、繰り返し周波数を測定するよりも繰り返し周期を測定した方が精度が良い。周期の測定を行なうにあたって、雑音や相手船以外のレー

ダ・パルスの影響を除去するために、受信したパルスの周期を3回連続して相関をとり表示するようにした。図5に受信装置の概略を示す。受信装置は、レーダ・パルス受信検波回路、周期測定相関回路、表示制御回路と表示器およびプリンタで構成されている。次に各回路の概略と受信装置の有効距離を述べる。

(1) 回路の概略

a) レーダ・パルス受信検波回路

図6に示すようにレーダ・パルスをホーンアンテナで受けてから、直接検波して信号を得ている。この信号には雑音が相当に含まれているので、次段のパルス整形回路に信号を送る前に、あるスレシホールドレベルで雑音を除去している。そして次段のパルス整形回路により、信号に所要のパルス幅と信号レベルを持たせている。

b) 周期測定相関回路

アスペクト・アングルを測定する相手船以外の船舶のレーダや雑音が測定中に混信すると、測定値を乱す結果となる。また前述したように測定時間が約30ms程度であるので、周波数測定を行わずに、この回路では精度(1 μ s単位)と測定値の信頼性を高めるために、受信したレーダ・パルスの周期について相関をとるようにしている。相関回数は3回としているが、実験の結果により最適な回数や相関方式については変更する予定である。この回路の概略を図7に示す。

c) 表示制御回路および表示器

周期測定相関回路を通過したアスペクト・アングルの信号は、発光ダイオード数字表示器を利用して、アスペクト・アングルが直読できるように信号のコード変換がなされる。

その際に最初の信号を表示したときは300msの間はその表示を維持するようにしているので、この間に他から信号が入ったり、あるいは測定している相手船の信号が変化しても、表示はそれによって乱されることなく最初の表示を維持している。また実験にあたっては、アスペクト・アングルを測定しうる確率や他船による妨害の

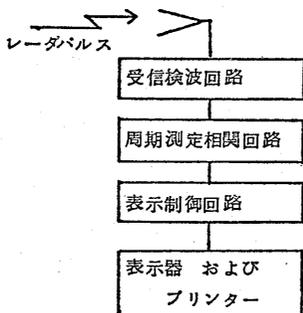


図5 受信装置の概略

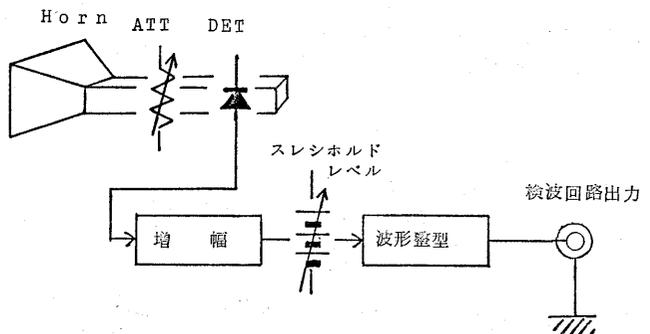


図6 レーダパルス受信検波回路

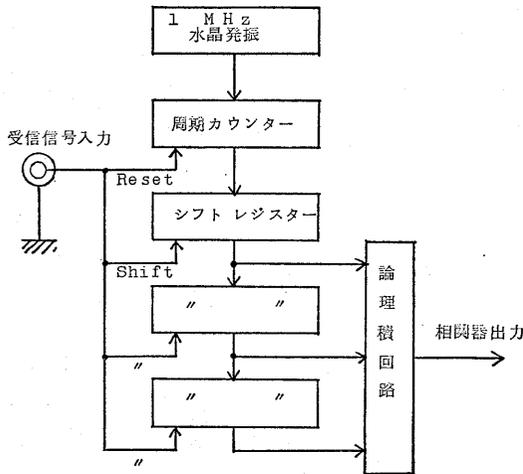


図 7 周期測定相関回路

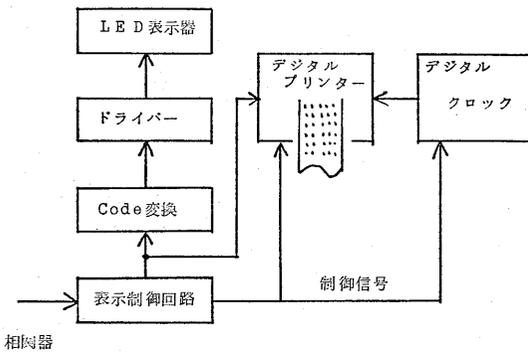


図 8 表示器系

度数などのデータ処理の便宜上、デジタル時計とデジタル・プリンタを連動させた。図 8 に表示器系の概略を示す。

(2) レーダ・アスペクタの有効距離

試作された受信装置の特性は表 1 に掲げるものであつた。

表 1 受信装置の特性

最小受信感度	-31 dBm
最小入力パルス幅	0.05 μ s
アンテナ指向特性 (水平)	34°
アンテナゲイン	15 dB

たが、実用の際は近距離においてレーダのサイド・ローブによる障害をなるべく受けないように受信装置の最小受信感度を設定しなければならないので、レーダ方程式から最小受信感度を求めてみる。

$$R = \sqrt{\frac{P_P \cdot G_r \cdot G_R \cdot \lambda^2}{16\pi^2 S_r}}$$

ただし、 R : 到達距離

P_P : レーダ尖頭電力

G_r : 受信装置のアンテナ利得

G_R : レーダアンテナの利得 (サイドローブはアンテナ利得の -25 dB)

λ : 波長

S_r : 最小受信感度

において、 $P_P=50$ kW, $G_r=15$ dB, $G_R=30$ dB, $\lambda=3.2$ cm として、到達距離を 0.5 nm としたときサイド・ローブによる障害を受けないための最小受信感度は、メインローブとサイド・ローブとの利得比を -25 dB とすると上式により、最小受信感度が -14.3 dBm 以下ならサイド・ローブの障害を受けない。ここで最小受信感度を -14.3 dBm の値から、種々の損失を考慮して -16 dBm と仮定すると、メイン・ローブによる到達距離は 10.9 nm となり、実用には支障ないと考えられる。

5. 海上実験

上述のような装置により船舶のアスペクト・アングルの測定に関する海上実験を行ない、誤差と他船からの影響について観測した。

その結果を以下に報告する。

(1) 実験方法

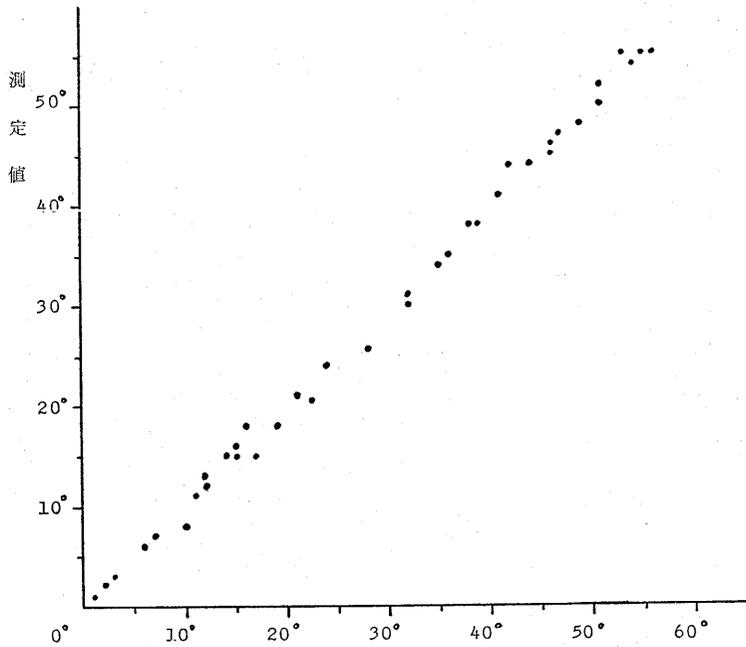
東京商船大学練習船汐路丸レーダに (以下実験船と書く) 装備し、受信装置は東京商船大学富浦実習場の屋上に設置した。陸上受信地点では実験船のレーダ・アンテナが向いて測定値が表示されるたびに、実験船側にトランシーバでその数値を報告し、実験船側ではダム・カードにより受信地点の船首からの方位 (アスペクト・アングル) を読み記録することによって相互を比較し、レーダ・アスペクタの精度をチェックした。測定は 0.45 nm の近距離と 2.5 nm の中距離での 2 地点で、実験船を左右 1 回転ずつ巡回させて行なわれ。

(2) 測定結果

測定値について的一部分プロットしたものが図 9 である。ダム・カードにより測定したアスペクトアングルを正しいものとして、レーダ・アスペクタによる測定値の誤差の分布の状況を図 10 (a), 図 10 (b) に示した。これらの標準偏差は近距離の場合 1.5°, 中距離の場合は 1.8° であった。この結果から大凡実用的には差支えない程度の結果が得られたものと考えられる。

(3) 他船からの影響

実験船以外からのレーダにより受信装置が作動することは好ましくない。レーダ・パルスの 3 周期の間に 1 μ s のジッタをもつものは相関器を通過しえないので表示されないが、レーダの中には周期の安定したものもあり、海上実験が行なわれた 1 時間 40 分間における測定値の総数 1175 の中に、他船のレーダによる障害に判断



ダムカードによるアスペクト
 図 9 測定値のプロットの一部分

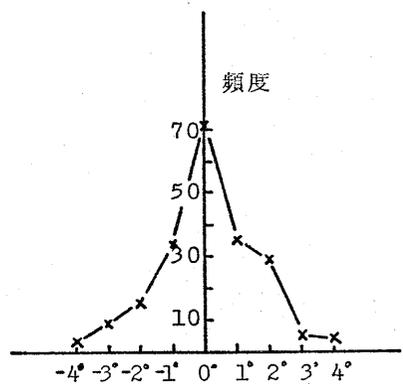


図 10 (a) 測定値の分布 (距離 0.45 m)

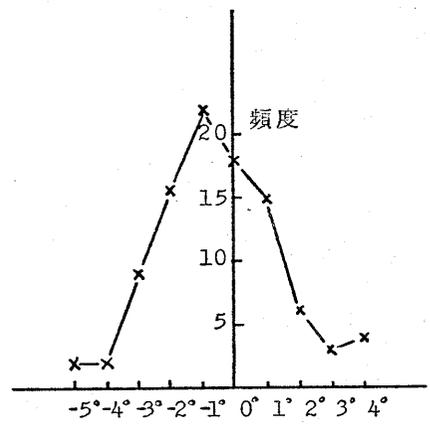


図 10 (b) 測定値の分布 (距離 2.5 m)

できるものの合計数は 28 であった。実験船からのレーダ・パルスが到来する 300 ms 前までに、他船からのパルスが到来して受信装置が作動すると、必要とする実験船のアスペクト・アングルが測定できず、しばらく待たねばならないことがあった。また受信装置の感度を上げると、遠距離にいる他船のレーダや実験船のサイド・ロープによる影響も受けるので、受信感度の調整を行なうことにより影響の緩和をはかった。本装置では使用可能距離測定の結果 11 nm までは測定可能であったが到達距離の最適値についても今後検討を要するものと思われる。

(4) 測定誤差について

海上実験における測定値の最大誤差が $\pm 4^\circ$ もあったが、それは実験船から陸上受信地点の方位 (アスペクト・アングル) を測定する際の、連絡の時間ずれによるものや、マストやその他の遮へい物による直接測定不能のための値が最大誤差に効いてきたものである。したがって、この最大誤差は沙路丸のコンパスの近傍にあるマストやスピーカなどの方位で起っているが、また受信方式の関係で受信地点にレーダ・ビームが最初にかかった瞬間のパルスの周期の値を表示することや、受信装置の感度の調整の良否などが最大誤差に影響していることもある。

るので誤差を少なくするためには、適当な感度が必要となる。

6. あとがき

以上述べたようにここで開発されたレーダ・アスペクタによれば、相手船と約8マイル離れている状況において、双眼鏡では相手船が左右前後どのような方向を向いているかをかろうじて判断できる程度の場合にも、相手船のアスペクト・アングルが何度になるかを受信装置は時々刻々と表示できる。このことは瞬時に相手船のアスペクト・アングルを知ることが可能であり、船舶の運航上に極めて有効であると考えられる。本装置は在来のレーダには多少の改良が必要であるが、新しく製造されるレーダにとっては経済的負担なしに製作可能であるの

で、今後国際的にもこのようなレーダの改善が望まれる。しかし、実用の段階において、狭水域では同一方向に複数隻のレーダ使用船がいる場合がある。このような場合は同一方向で異ったデータが次々と表示されることから、注意深い使用が必要であるが、このような場合における対策について今後検討を進める予定である。

このレーダ・アスペクタの研究にあたって、装置の試作に協力して下さった平野弘昭技官、田広昌信学生ならびに実験に協力して下さった練習船汐路丸船長以下乗組員に厚く感謝の意を示します。

参 考 文 献

- 1) 市原・高野：レーダ装置を利用する左右舷識別装置の試作について、日本航海学会誌 第46号(1971)

自動航海システム “TONAC” について

三菱重工業株式会社

原 昌 三

A Automatic Navigation System, “TONAC”

Mitsubishi Heavy Industries Co., Ltd.

Shozo HARA

1. ま え が き

近年世界経済は大きく拡大され、それに伴って海上輸送も年々増加してまいりました。一方科学技術の進歩についても目ざましいものあり、これら世界各国間の輸送力強化に応じて、船舶は益々大型化、高速化され、効率的な海上輸送が行なわれている一方、その数の増大により、港湾はもとより出入航路も多数の船舶の往交により極めて危険な状態に陥って来た。即ち、船舶の乗組員は常に座礁や衝突の不安に直面しているわけで、“船舶の安全航行”は今後の海上輸送において必要欠くべからざる課題の一つとなってきた。

このような背景から、エレクトロニクスの急速な発達をベースとした、各種航海機器が開発され、航海衛星やオメガシステムなど、精度、信頼度共に向上して、安全な航行に大きく貢献しています。

しかし、これらの航海機器の有効活用のみでは、海難事故防止にはつながらず、かねてより航海の総合自動化システムの開発が要望され、世界各国において各種その方法が検討され、試みられている。

そこで、筆者らは、この要求に応えるべく、自動航海システム—TONAC (TOTAL NAVIGATION CONTROL)—を開発し“自動航法”実現の第1歩を踏み出したので、その概要を御紹介したいと思います。

2. TONAC システムの概要

TONACは、航海をシステム工学および人間工学的見地から見直し、新しい“船橋”の姿を追求したものであり。すなわち、コンピュータと総合ディスプレイを最大限に活用して、航海情報を適確に人間の最も分かりやすい形で、航海士に伝え、狭域における安全性の向上と省力化、広域における経済的運航とを狙ったものであります。

TONAC システムの特色は、

- (1) システムが基本データとして海図情報を保有していること。
- (2) CRT グラフィック・ディスプレイとプラズマキャラクタ・ディスプレイの有効活用。
- (3) 高性能ミニコンによる効率的処理。

を基本に、操舵制御に最適制御理論の採用、レーダ情報処理でレーダの IF 信号を直接取り入れて SN 比を上げている等々、数々の新しい試みを導入したことである。

2.1 ハードウェア構成

TONAC システムのハードウェア構成を図1に示す。

(1) 航海コンソール

- (a) 主表示部 16in 丸形 CRT ディスプレイ
- (b) 副表示部
- (c) ディスプレイ制御装置

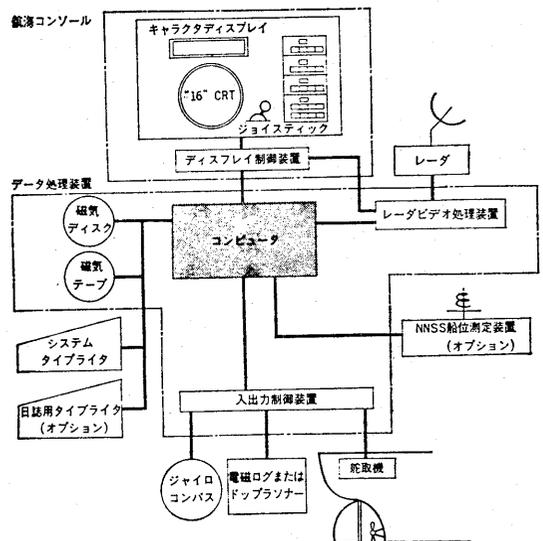


図1 ハードウェア構成図

(2) データ処理装置

- (a) コンピュータ コアメモリ 16k 語 1台
- (b) 磁気ディスク 320k 語 1台
- (c) カセット形磁気テープ 100k 語 1台
- (d) レーダビデオ処理装置
処理範囲 方位 360° 距離 18 nm 最大

- (3) システム タイプライタ
- (4) その他

2.2 ソフトウェア構成

一般に航海をコントロールの立場から見ると、船位決定(推定)と操船、および航海の安全性、経済性向上のための幾つかのサポートシステムから成り立っていることが分る。そこで、TONAC システムでは、この三大要素をベースとして、次のようにシステムを構成した。

- (1) 船位決定システム
- (2) 自動操船システム
- (3) サポートシステム
 - (a) 総合ディスプレイシステム
 - (b) 航海計画システム
 - (c) 衝突予防システム
 - (d) 航法計算システム
 - (e) 日誌作成システム

以上、これらの各システムは、コンピュータを中心に有機的に結合され、そのシステム構成を図2に示す。

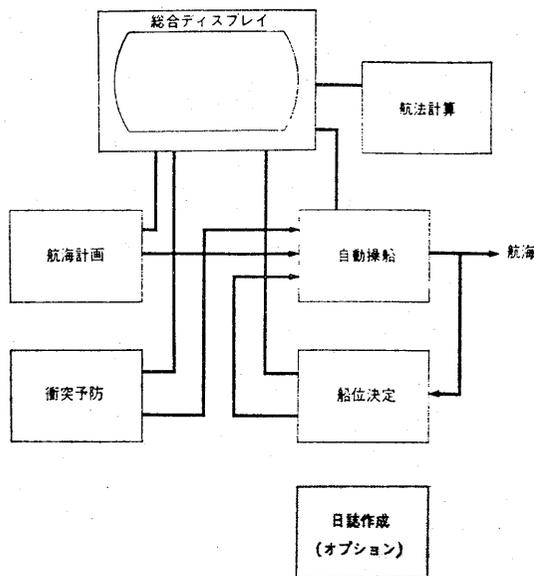


図2 ソフトウェア構成図

2.2.1 総合ディスプレイシステム

TONAC システムの最大の特徴は、一航海分の海図情報をプログラム化し、カセットテープ1個の中に記憶させていることである。

この海図情報により、あらかじめ計画した設定コースに沿って船舶が航行するよう自動的に舵角をコントロールすると同時に、安全かつ経済的な航行に必要な各種情報を航海士に提供することができる。

TONAC システムでは、この情報提供の手段として総合ディスプレイ(主表示用 CRT ディスプレイおよび副表示用キャラクタディスプレイ)を利用し、正確かつ迅速な情報伝達に成功している。

その機能図を図3に示し、以下三つのディスプレイモードについて説明する。

(1) RADAR MIX (R. MIX) モード

このモードは、レーダビデオ(PPI スキャン)と海図のグラフィックビデオとを重畳表示するものである。

グラフィックディスプレイの表示範囲は、レーダビデオの表示範囲に合わせて、自船を中心に 6 nm/12 nm/24 nm の範囲での切換が可能となっている。

表示項目は、設定コース、海図情報(海岸線、避險線、チャートシンボル)、自船ベクトル、ターゲットベクトル等、副表示器には上部に自船データ(船速、コース、船位)を、下部に走行データ(次の変針点までの距離と時間)等がある。

表示チャートは、通常最適な形で自動選択されるが、手動で切換えて任意のチャートを選択することもできる。

以上、RADAR MIX モードは特に狭域航行中にその威力を発揮するよう開発されたものである。

(2) CHART モード

CHART モードは、海図のグラフィックビデオを中心に表示するもので、与えられた海図が一枚ずつ表示され、主に大洋航海中に必要不可欠のものである。

(3) SIMULATION モード

これは、他船が近づいて来て危険な状態になった場合、避航操船のシミュレーションをするためのもので、表示は CHART モード同様、海図のグラフィックビデオのみである。表示項目は R. MIX モードでの表示に加えて、自船およびターゲットのシミュレーション軌跡がドット表示される。シミュレーション航跡は、自船および表示中のターゲットの1分毎の予測位置を1秒毎に、最大 20 分後の位置まで表示することができるため、後述の衝突防止システムと相まって、利用価値の高いものとなっている。

2.2.2 航海計画システム

航海計画システムは、TONAC システムの基本となるチャートデータおよび設定コースデータの入出力と変更を行なうもので、概要を図4に示す。

(1) 入力処理

これは、通常行なう必要はなく、TONAC システム

ディスプレイモード		R. MIX MODE	SIMULATION MODE	CHART MODE	備 考
表示形式	NORTH UP / HEAD UP	NORTH UP / HEAD UP	NORTH UP	NORTH UP	
	TRUE MOTION / RELATIVE MOTION	RELATIVE MOTION	TRUE MOTION	TRUE MOTION	
	TRUE VECTOR / RELATIVE VECTOR	TRUE VECTOR / RELATIVE VECTOR	TRUE VECTOR	TRUE VECTOR	
	設定モード	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
表示項目	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
注 意	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
表 示	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
備 考	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ
	ターゲット表示	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	モード変更時は電源を一度オフ

図 3 TONAC 総合ディスプレイシステム機能一覧
Function table of integrated display

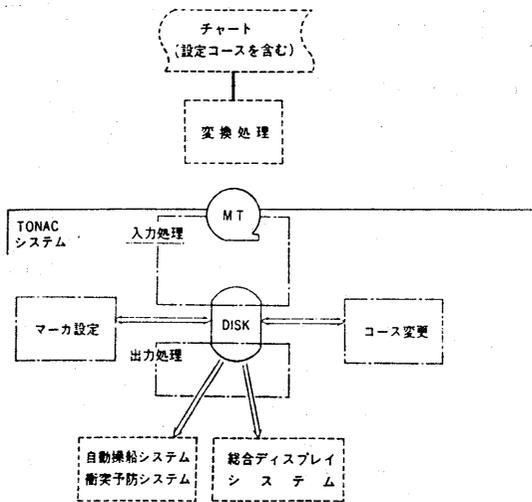


図 4 航海計画システム概要図

のグレードアップ時、またはチャート・テープ追加時にその全内容をディスクに入力する。チャート・テープ情報は、利用上の便宜を図るため、4つのブロックに分けて合理的に処理している。

(2) 出力処理

ディスクに入力されている設定コースデータおよび

チャートデータの選択を行ない、総合ディスプレイシステム、自動操船システム、衝突予防システム用のデータを処理する。

(3) コース変更処理

航海中に避航または、計画の変更のために、最初に設定されたコースを変更する必要があるが、TONACシステムでは、航海計画システムの一環として、航海中における設定コース変更にも十分対処できるようにその機能が準備されている。

(4) マーカ設定

航海中に得られた情報により、チャート上に沈船や新標識等を表示する機能で、テンキーからその経緯度を入力することにより、主表示器にマーカが表示され、航海士のメモ代りとして役立つものである。

2.2.3 自動操船システム

自動操船システムは、航海計画システムで準備された設定コースに沿って船舶を運航させるもので、従来のオートパイロットのような単なる針路の保持とは異なり、自船位をチェックしながら設定コースからずれないように、また万一ずれた場合にはコースに戻すよう針路を計算し、舵角を最適制御させるためのものである。

この針路の算出と最適操舵は、潮流、風等によるドリフトや積荷状態、船体運動性能をも考慮し、広域におい

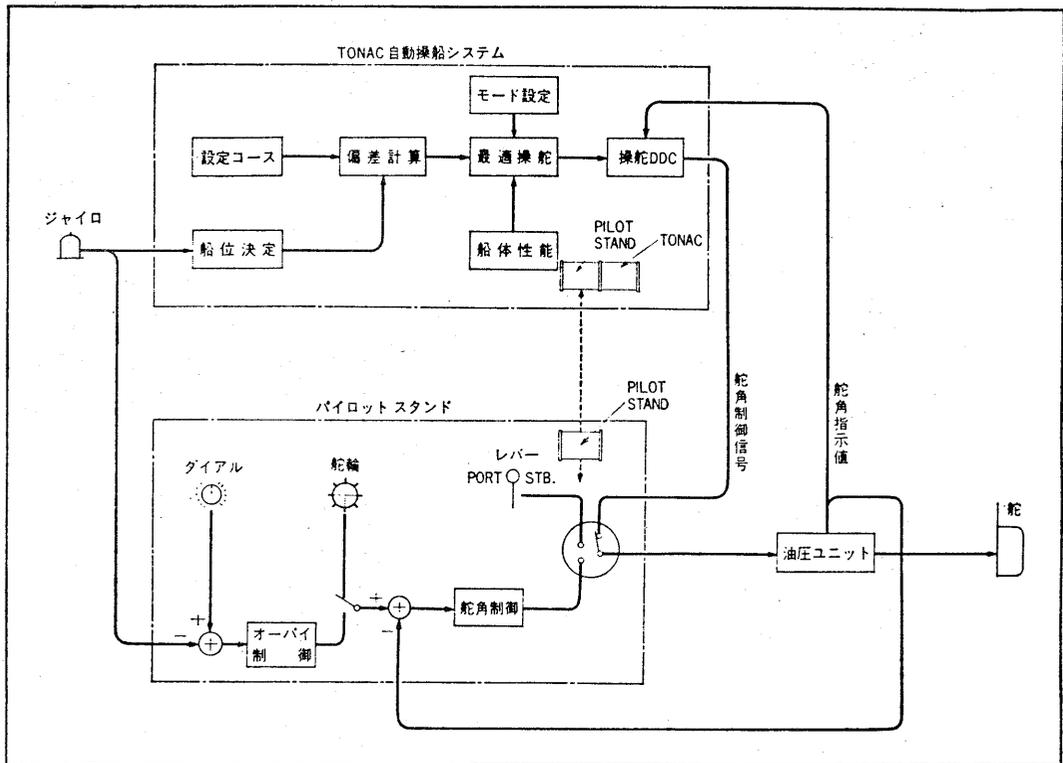


図 5 舵角制御ハードウェア系統図

では経済的運航，狭域においてはコース保持，すなわち安全性向上を目標としたものである。

自動操船システムの機能を分類すると次の通りとなる。

- (1) 針路設定
- (2) 最適操舵
- (3) 航海モード設定
- (4) 操船シミュレーション

なお，操船シミュレーションでは，その結果が止当なものや判断された場合，“GO”の押ボタンを押すことによって，以後シミュレーション通りの操船が自動的に行なわれる。(図5)(図5.5)

2.2.4 船位決定システム

船位決定システムは，速度，針路情報とドリフト情報に基づいて自船位を推定し，その経緯度を副表示へ出すと共に，主表示にその位置に見合った海図情報を表示するものである。しかし，推定位置はドリフト情報の誤差，センサーの誤差等，時間と共に変化していくため，本システムでは次の4つの方法によりこれを是正している。

- (1) レーダ FIX レーダビデオと海図情報とを手動で一致させて自船の正確な位置を決定しようとする。

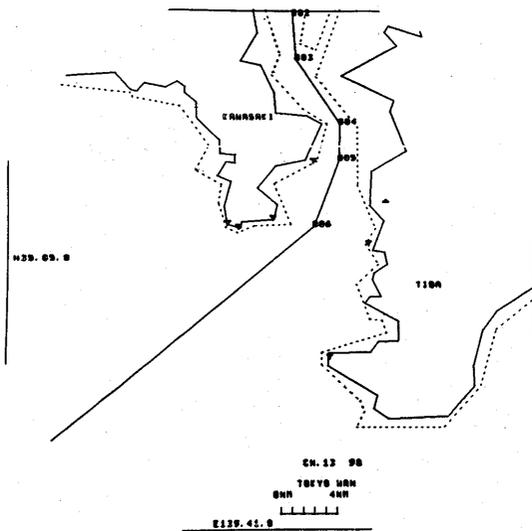


図 5.5 TONAC システムの CRT 上に現れる海図情報及びコース (白黒反転)

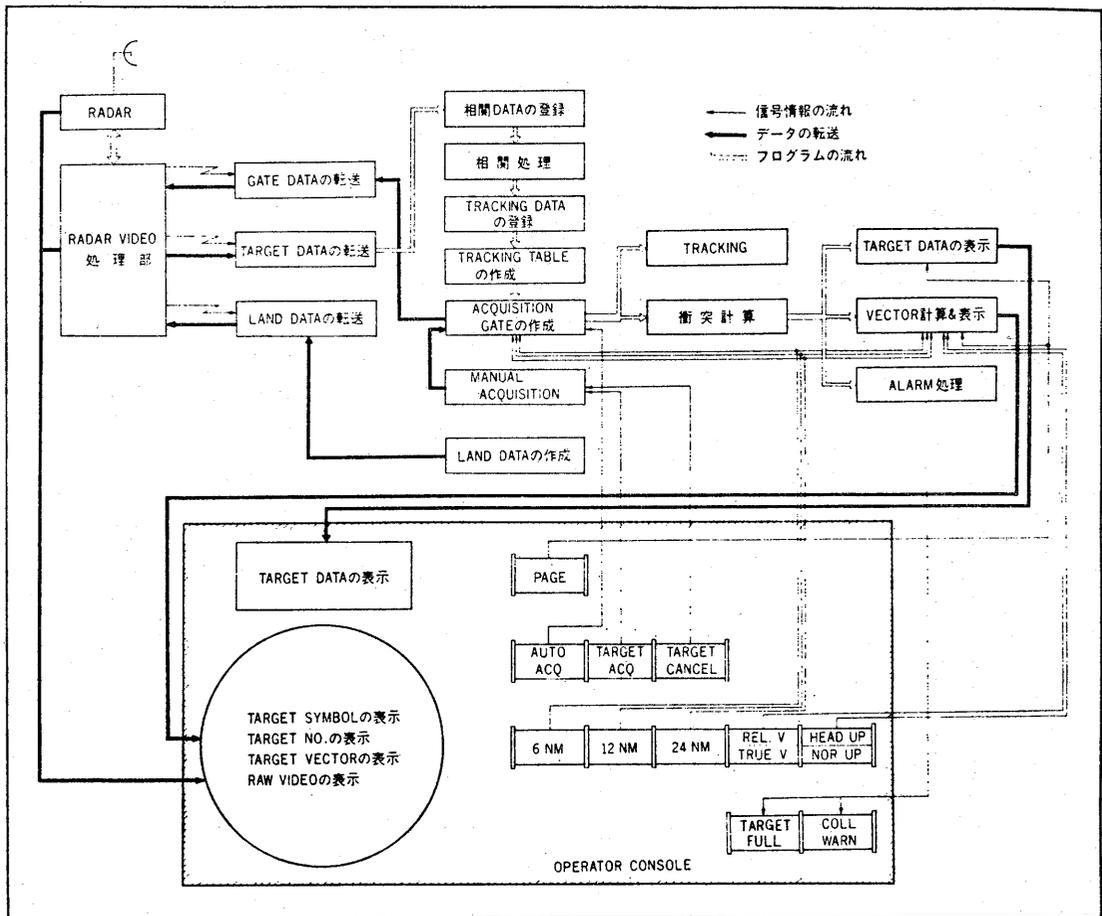


図 6 衝突予防システム機能系統図

するもので、操作の最も簡単な方法。

- (2) ベアリング FIX 狭域航行時に陸地の2点間を設定し、ジャイロ等で自船からの方位を測定。主表示器に表示されているチャート上でその目標物を指定し、テンキーから測定値を入力、2本の直線の交点として自船位を決定する方法。
- (3) 天測 FIX 副表示器のフォーマットに準じて、テンキーから測定データを入力することによって自船位の経緯度を自動的に算出させる方法。
- (4) NNSS FIX NNSS (航海衛星) からの信号を受信して、自船位を決定するもので、90分毎にその時刻と経緯度が自動的にタイプライタに記録される。

2.2.5 衝突予防システム

本システムは、航海中の衝突事故を防ぐために必要な情報を航海士に伝達することを目的としたもので、レーダを有効に利用している。しかし、レーダの性能(精度)にはおのずと限界があるため、最終判断はあくまでも航海士に委ねる事を原則としている。

一般に衝突の危険性を有する目標(以下ターゲットと記すは、自動的にその位置、距離、速力、危険度が計算され表示器に危険度の高いものから順に6船表示される。また、ターゲットの危険度があらかじめ設定した値よりも大きくなった場合は、警報が発せられ、当該ターゲットは表示器上で点滅し、航海士に非常事態の発生し

た事を告知するようになっている。なお、これらのターゲットは衝突予防システムにおける特殊フィルタをパスしてきたものみの集合であって、陸地等、航海に支障のない障害物は自動的にキャンセルされる仕組みになっている。

すなわち、TONACの衝突予防システムは、自船に危害を加える恐れのある障害物(ターゲット)のみ抽出することができるため、航海士にとっては正に画期的なシステムであると信じている。(図6)

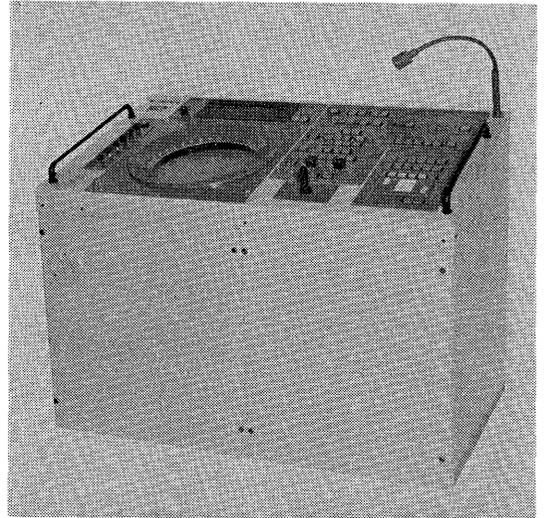


図7 航海コンソール

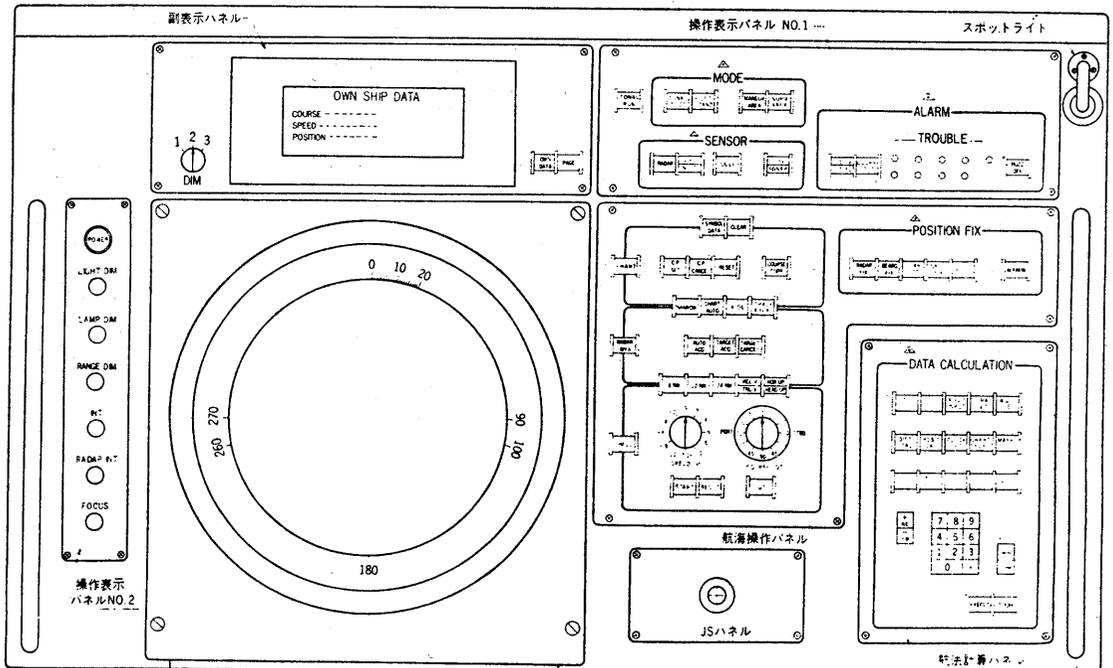


図8 TONAC 航海コンソール盤面配置図

2.2.6 航法計算システム等

航法計算システムは、航海中のコースの変更等、コース確認の計算を行うことを目的としている。本システムでは、距離計算と位置計算を大圏航法、漸長緯度航法、中分緯度航法のいずれかの計算を用いて処理することが可能である。

この他、オプションとして定時刻、あるいは要求時に航海日誌を作成することのできるサブシステムがある。

2.2.7 システム・コンソール

TONAC システム・コンソールは、人間工学的な配慮から、情報伝達の適確さ、操作の簡便さを基本として、図 7、8 に示すようにデータ表示部と各種押ボタンが極めて合理的に配置されている。そしてさらに、ログやソナー等の航海機器あるいはコンピュータシステムの故障に対しても、ランプの点燈、ブザーによる警報と、万全の対策を施し、“航海の安全性”をより一層確実なものとするべく配慮している。

3. 結 言

TONAC システム初号機(図 9)は太平洋海運(株)平和丸に搭載され、日本からシンガポールへそしてマラッ

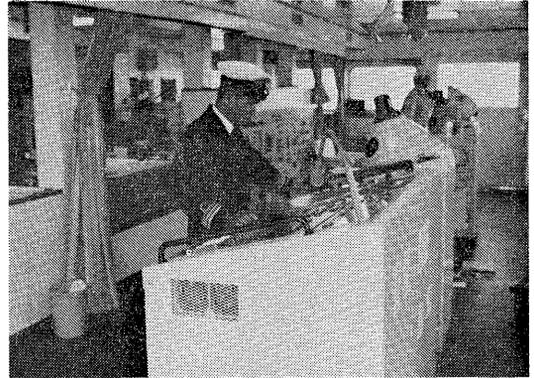


図 9 平和丸に搭載された TONAC コンソール

カ海峽を通過し、ペルシア湾の積地カーク島に入港し復路逆の道を通って日本までもどって来る航路について、何回となく各種の試験がなされ充分安全に確実に作動することが確認されている。あらかじめ定められた海図上の航路を確実に航海することを大型船で成功した。

今後、この TONAC—総合自動航海システム—が、次代の建造船に装備され、その機能を十二分に発揮し、“船舶の自動航行”に役立つことを願ってやまない。

レーダリフレクタの研究

法政大学工学部 古田島 博

Research on Radar Reflectors

Faculty of Engineering, Hosei University
Hiroshi KOTAJIMA

1. まえがき

物標からの反射波の有無がレーダの有効性を支配しているため、レーダ誕生以来、小形で実用的なレーダリフレクタが渴望されてきたが、最近ルーネベルグレンズを利用した、ほぼ理想的なレーダリフレクタが研究、実用化された。しかも、その量産技術が開発され、安価で製造されるようになったので、このルーネベルグリフレクタは、今後各方面で広く使用されるであろう。

ルーネベルグリフレクタに関する基礎的な研究は大体完了したので、この機会にルーネベルグリフレクタを中心にレーダリフレクタの現状と今後の動向について考察することは、レーダリフレクタの発展のために有意義であろうと考え、敢えてここに拙文を投じた。

2. レーダリフレクタの分類

まず始めに、レーダリフレクタの概念を把握するため種々な角度から分類を行なう。分類するにあたっては種々の分類の仕方が考えられる。その主なものは、構造・動作原理・方式による分類、特性などによる分類、用途による分類などである。以下、順を追ってこれらの分類を行なう。

2.1 構造・動作原理・方式による分類

- { multiple scatterers (例. corner reflector)
- { dielectric lenses (例. Luneburg lens reflector)
- { retrodirective arrays (例. Van Atta array)

2.2 特性などによる分類

- { passive
- { active
- { monostatic (電波を到来方向にのみ返送する)
- { bistatic (電波をある範囲にわたって返送する)
- { 広角度
- { 全方向性 (ある特定の平面上だけで方向特性が一様である)
- { 無指向性 (方向特性が全く一様である)

その他、使用偏波による分類や使用周波数による分類も考えられる。

2.3 用途による分類

使用法・使用目的による分類

- { RCS enhancement, buoy, marker, calibration standard,
- { radar test target, life raft, simulation, training target

使用場所による分類

- { 陸用 (重要地点, 飛行場, 標識用など)
- { 海用 (浮標用, 小形船用, 救命ボート用, 漁網用など)
- { 空用 (小形飛行機用, 飛行船・気球用, 人工衛星用など)

なお、ページ数が限られているので、説明は省きます。

3. 広角度レーダリフレクタ

広角度レーダリフレクタには、ルーネベルグリフレクタ、コーナリフレクタ、Van Atta array などがある。コーナリフレクタと Van Atta array については詳しくまとめたものがあるので、ここではルーネベルグリフレクタについてのみ述べる。

ルーネベルグレンズ (Luneburg lens) とは、その媒質の比誘電率を式 (1) に従い、半径に応じ 2 から 1 まで連続的に変化させるように作った球状誘電体電波レンズであり、一つの焦点はレンズ球面上に、他の焦点は無限遠点にある無収差レンズである^{(1),(2)}。

$$\epsilon = 2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (1)$$

(ϵ : 比誘電率, r : 中心からの距離, R : レンズの半径)

ルーネベルグレンズの製造方法は種々考案されているが、誘電率が連続的に変化している誘電体を作ることは現在のところ困難であるので、普通は段階的に誘電率を変える方法が採られている。球形のルーネベルグレンズを製造する場合は、誘電率の異なる適当な厚さの同心球殻を組み立てて形成する⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。

つぎに、平面波がこのレンズに投射した場合を考える。図 1 に示すように、球の内部に入射した電波はすべて楕円軌道を描いてレンズ内を通過し、反対側の球面上

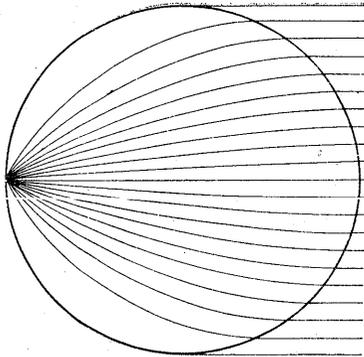
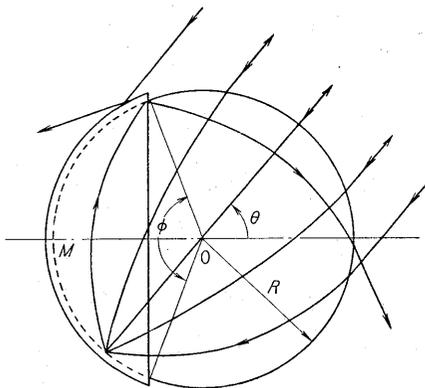


Fig. 1 Luneburg lens.

の一点に焦点を結ぶ。もし、その焦点に金属反射板を設けると、電波は入射角に等しい角度で反射されレンズ内を通過した後、再び平面波となり電波の到来方向に返送される。従って、ルーネベルグレンズは、金属反射板を付加すればパッシブレーダリフレクタとなる。

式(1)から明らかな様に、ルーネベルグレンズは球対称であるから、図2に示すように中心角 ϕ をなす球形金属反射板をルーネベルグレンズに付加すれば、広角度レーダリフレクタが得られる。



M: 中心角 ϕ をなす球形金属反射板
R: ルーネベルグレンズの半径
 θ : 入射角

Fig. 2 Capped Luneburg reflector.

ルーネベルグレンズの RCS (radar cross section) は、アパーチャブロッキングが無ければ、レンズに投影した平面波はすべて電波の入射方向に返送されるから、レンズと同一半径の金属反射円板の RCS と等しく $\sigma = 4\pi^2 R^4 / \lambda^2$ (σ : RCS, R : レンズの半径, λ : 使用波長) である。

ルーネベルグリフレクタの反射パターンは、図3のようになる⁽⁶⁾。アパーチャブロッキングのない理想的なルーネベルグリフレクタの RCS を 0 dB とした。これ

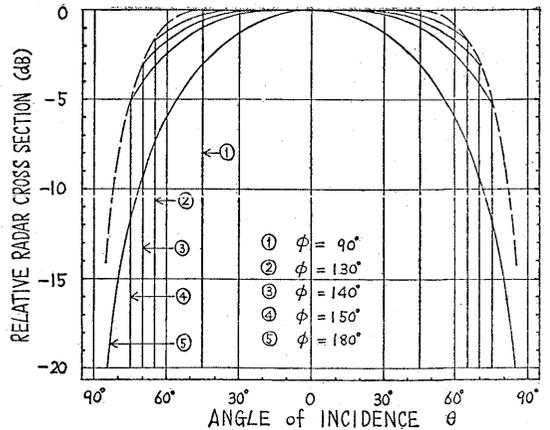


Fig. 3 Reflectivity patterns.

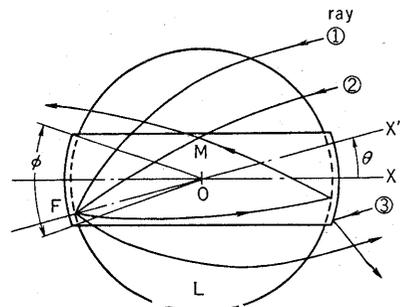
によると、3dB ダウンのパターンの幅は、 ϕ が 140 度付近までは ϕ の増加につれて広がるが、それ以上 ϕ が増すと逆に狭くなっていくことが分かる。レーダリフレクタとしては、なるべく広範囲にわたり一定の RCS を持つことが望ましいので、通常 ϕ を 140 度にとっている。ただし、標準レーダリフレクタとして使用するときには、 ϕ を 90 度にとる方がよい。

4. 全方向性レーダリフレクタ

海上で使用されるレーダリフレクタとしては、水平面内で全方向性のものが最適である⁽⁷⁾。ここでは、omni-azimuth radar reflector に重点をおいて述べる。

4.1 Omni-azimuth Luneburg reflector (1)

図4に示すように、ルーネベルグレンズの一大円に沿って、中心角 ϕ をなす環状の金属反射板を付加すれば、垂直面内 $\pm\phi/2$ の範囲にわたり水平面内で全方向性の反射特性を有するリフレクタが得られる⁽⁸⁾。このオムニアジマスルーネベルグリフレクタの垂直面内における反射パターンを、図5に示す⁽⁸⁾。各 ϕ に対する水平面内の RCS は、360 度の全範囲にわたり、図5の $\theta=0$ に



L: ルーネベルグレンズ θ : 入射角
M: 中心角 ϕ をなす環状電波反射体

Fig. 4 Ringed Luneburg reflector.

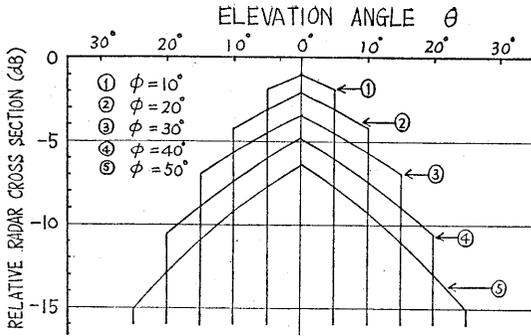


Fig. 5 H-plane reflectivity patterns.

おける値となる。垂直面内のパターンは、環状金属反射板の幅すなわち ϕ に依存する。実用上パターンの幅は広い方が望ましいので、 ϕ をできるだけ大きくとりたいが、 ϕ を増すと、アパーチャブロッキングが大となり、逆に RCS は減少してしまう。しかも ϕ の増加に伴って、パターンが尖鋭になってしまうから、 ϕ はあまり大きくとることができない。積々 40 度位が限界であろう。よって、このリフレクタは、動揺の少ないパイなどに使用される。

4.2 Omni-azimuth Luneburg reflector (2)

4.1 で述べたリフレクタは、構造上、電波の入射側に金属板があり、電波の一部が遮られてしまうという欠点があった。このアパーチャブロッキングの障害を除去し、垂直面内のパターンを広げるために、金属反射板の代わりに金属格子を使う方法が案出された⁽⁹⁾。

金属格子は、格子間隔をある程度狭くすると、垂直な偏波に対しては何の影響も与えず電波を全部通すが、平行な偏波に対しては遮断特性を有し、恰かも金属板のようにふるまい電波を全部反射するというフィルタ特性を有する。よって、図 6 に示すように、ルーネベルグレンズの各経線を 45 度で横切る斜航線に沿って、金属格子

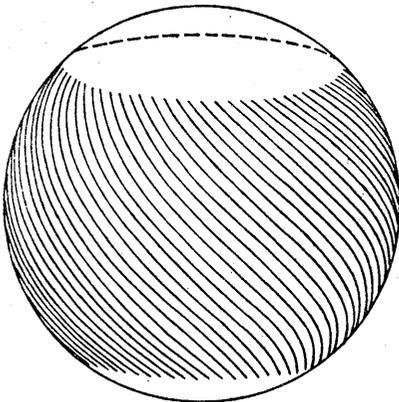


Fig. 6 Helisphere Luneburg reflector.

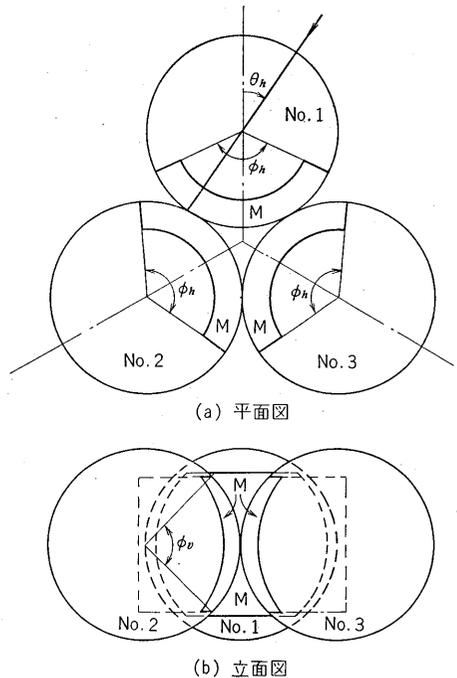
を帯状の範囲に張り付ければ、金属格子に対し電波の偏波が直交するような平面波が到来した場合、この電波は入射側にある金属格子からは殆んど影響を受けないで通過するが、裏側の焦点のところでは、金属格子の向きが偏波面と平行になり、電波は全部反射されるので、アパーチャブロッキングのない、垂直面内で広角度反射特性を有する所望のリフレクタが得られる。ただし、船用レーダでは、水平偏波が使われているので、このリフレクタを海上で使用するときには、偏波変更器を設ける必要がある。

このリフレクタの弱点は、使用偏波が限定されていることであり、レーダあるいはリフレクタの横揺れがあると性能が低下する。

4.3 三個のルーネベルグレンズからなるレーダリフレクタ

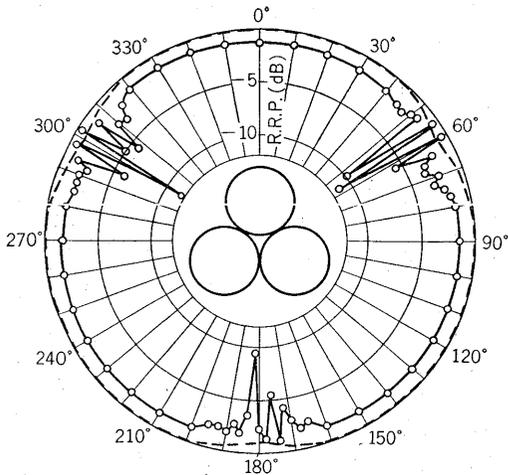
4.1 で述べたリフレクタの欠陥を救済するために案出されたもう一つの方法は、図 7 に示すように、ルーネベルグレンズを三個使用し、環状金属反射板を三等分して各々のレンズに付加することにより‘電波の入射側にくる金属板を無くそうとする’方式である^{(10)~(12)}。

このリフレクタの特長を列記すると、(イ)垂直面内のパターンを著しく広げることができる、(ロ)一平面上にレンズを配置するので場所をとらない、(ハ)装備しやすい、などである。よって、このリフレクタは、パイに装

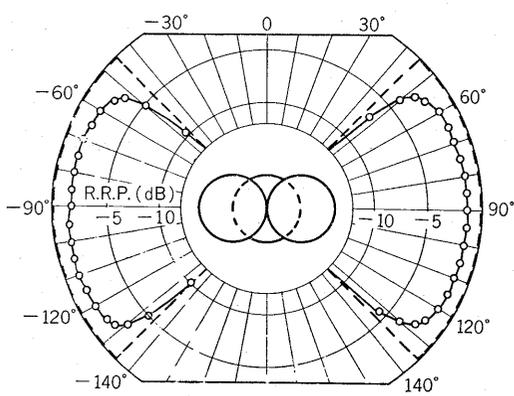


M: 金属反射板, θ_h : 入射角

Fig. 7 A cluster of three Luneburg reflectors.



(a) 水平面内反射パターン



(b) 垂直面内反射パターン

—○— $\phi_h=130^\circ, \phi_v=90^\circ$ のときの測定値
 - - - $\phi_h=120^\circ, \phi_v=90^\circ$ のときの計算値
 R.R.P.: Relative Reflected Power

Fig. 8 Reflectivity patterns.

備するには絶好のレーダリフレクタである。

一例として、直径 20.32 cm (8 in.) のルーネベルグレンズに、 $\phi_h=130$ 度、 $\phi_v=90$ 度の金属反射板を付加した本レーダリフレクタの測定結果を、図 8 に示す。レンズと同一半径の金属円板の RCS を 0 dB として比較測定した。測定周波数は、9,375 MHz である。測定データを見ると、境界付近のパターンに多少のシンチレーションがあるが、この程度ならレーダで十分捕捉できるので実用上問題にならない。

4.4 Omnidirectional Luneburg reflectors

図 9 に示すように、ルーネベルグレンズに、環状の金属反射板と球形金属反射板とを付加すれば、水平面内で全方向の反射特性とを兼ねそなえたレーダリフレクタを得ることができる⁽¹⁸⁾⁻⁽¹⁵⁾。

一例として、本レーダリフレクタの水平・垂直面内反

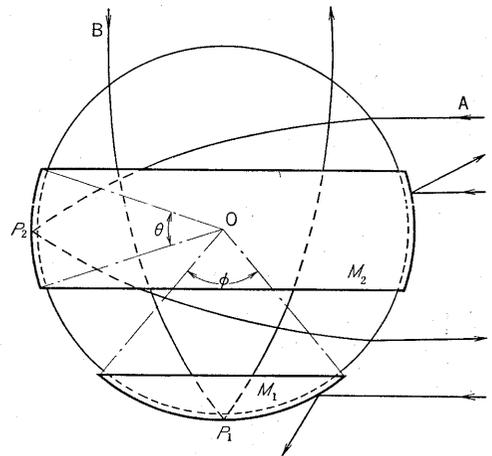
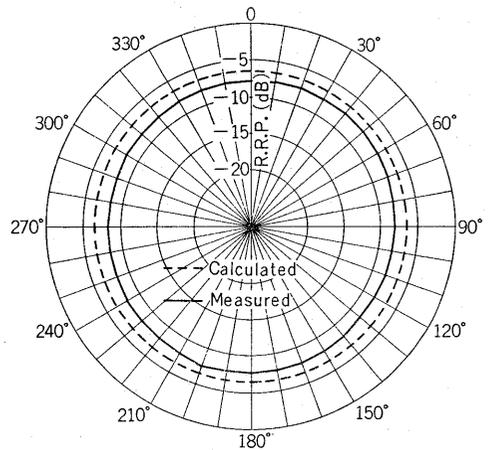
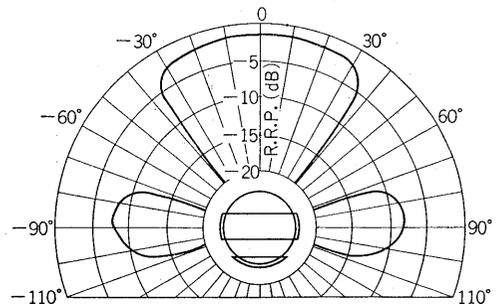


Fig. 9 Omnidirectional Luneburg reflector.

射パターンの測定結果を、図 10 (a), (b) に示す。レンズと同一半径の金属円板の RCS を 0 dB として比較測定した。



(a) 水平面内レスポンスパターン



(b) 垂直面内レスポンスパターン

R.R.P.: Relative Reflected Power
 $R=15.24\text{cm}(6\text{in.}), \theta=\pi/5\text{rad.}(36^\circ), \phi=4\pi/9\text{rad.}(80^\circ)$
 測定周波数 $f=9,375\text{MHz}$ (波長 $\lambda=3.2\text{cm}$)

Fig. 10 Reflectivity patterns.

5. 無指向性レーダリフレクタ

単体で無指向性のリフレクタとしては、金属球と無指向性ルーネベルグリフレクタとがあるが、ここでは後者についてのみ述べる。

図 11 に示すように、ルーネベルグレンズの全表面を、レーダ波に対して半透明である膜で襟えば、無指向性レーダリフレクタが得られる⁽⁹⁾。このリフレクタの RCS は、膜の透過率が約 2/3 の時、最大となり、金属球の RCS より遙かに大きい値となる。なお、このリフレクタは、Siegel-Luneburg reflector とも称している。

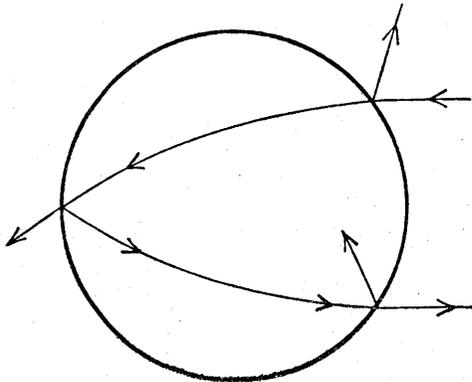


Fig. 11 Coated Luneburg reflector.

6. 今後の課題⁽¹⁰⁾

6.1 ルーネベルグレンズの軽量化

リフレクタを地上などで固定して使用するとき、リフレクタの重量は、それ程問題とならないが、移動体とくに飛翔体に装備するとき、できるだけ軽量であることが望ましい。ルーネベルグリフレクタの短所は、コーナリフレクタに比較して重いことである。球の体積は半径の 3 乗に比例して増加するので、大きいルーネベルグレンズを製造するときは、特に重くならないよう、材料と製造法を検討する必要がある。

6.2 Xバンド・Sバンド両用ルーネベルグリフレクタ

現在、船用レーダ、ASR、PARなどは、XとSバンドを使用している。従って、ルーネベルグリフレクタも、X・S両バンドで使用できるものが要望される。更に、近い将来、レーダ周波数全域にわたって使用可能なリフレクタが必要となる。

6.6 一般のレーダ映像との分離・識別

浮標などに設置されたレーダリフレクタと、船舶との識別が一目瞭然で出来れば非常に便利である。海図と対照すれば両者を正しく区別できるが、大体において円形の小輝点は前者で、楕円形の輝点は後者であると考えてよい。レーダリフレクタで図形を描かせるのも一つの方

法だが、もっと簡単明瞭に、船舶などの一般物標と識別できるレーダリフレクタが切望されている。

6.4 直線偏波・円偏波両用レーダリフレクタ

現用のレーダでは、雨滴反射妨害を除去するために、円偏波が使用されている。例えば、船用レーダは、通常は水平偏波で使用し、雨滴反射妨害のあるときは、円偏波に切り換えて使用するようになっている。従って、レーダリフレクタも直線・円両偏波用のものが要求される。現在実用されている三面のコーナリフレクタや金属反射板を使ったルーネベルグリフレクタは、円偏波に対しては何の役にも立たない。実用性のある両偏波用のレーダリフレクタは、目下研究中である⁽¹⁷⁾。

6.5 無指向性レーダリフレクタ

用途によっては、どうしても無指向性のリフレクタが必要になることがあるが、単体で無指向性の反射特性を有するものは現在のところ、金属球と coated Luneburg reflector しかない。RCS が小さいが、今のところこれらに代わるものが無いので実用されている。

以前、諸外国において図 12 に示すような、Eaton-Lippmann lens が、無指向性レーダリフレクタを得る目的で研究された。このレンズは、ルーネベルグレンズと同様、不均質レンズであり、その媒質の比誘電率を式(2)に従い、半径方向に ∞ から 1 まで連続的に変化させるように作った球状誘電体電波レンズである^{(18),(19)}。

$$\epsilon = \frac{2}{r} - 1 \quad (2)$$

(ϵ : 比誘電率, r : 中心からの距離, R : レンズの半径)

図 12 を見ると、このレンズは、理想的な無指向性リフレクタとなるように見えるが、残念なことに球形の場合、電波の入射方向に返ってくる電波の電界ベクトルの総和が零になってしまうということが分かり、実用不可能であるとして、その後の研究は行なわれていない。しかし、良く検討してみると、Eaton-Lippmann lens を形

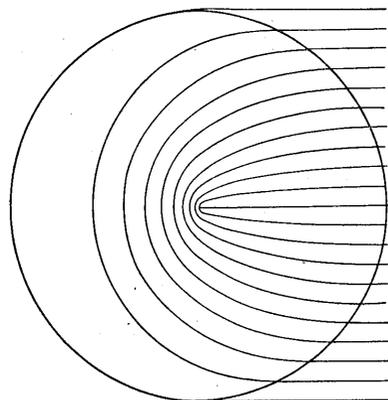


Fig. 12 Eaton-Lippmann lens.

成する球状誘電体内に同心球面状の多数の特殊皮膜を設ければ、反射波の電界強度が相加わり強力な反射電力が得られることが分かり、試作した結果、良好な成果が得られた⁽²⁰⁾ (Eaton-Lippmann-Ochiai lens)。現在、細部にわたって検討中である⁽²¹⁾。

6.6 標準レーダリフレクタ

物標ならびにレーダリフレクタの RCS を測定したり、あるいはレーダ装置の性能を試験するときに、標準レーダリフレクタが使われているが、単体で二つの RCS をだせるものや、RCS を制御できる標準レーダリフレクタがあれば非常に便利である。現在、ルーネベルグレンズを用いた二値⁽²²⁾あるいは図 13 示に示す可変標準レーダリフレクタ^{(23), (24)} (Kotajima-Luneburg reflector) が研究されている。

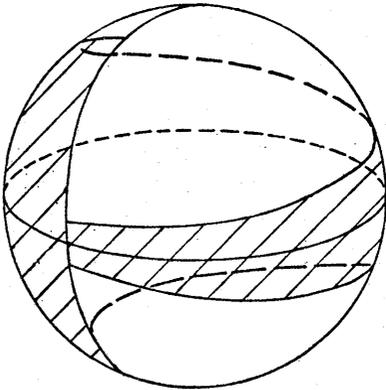


Fig. 13. Kotajima-Luneburg reflector.

6.7 その他

MTI 用レーダリフレクタ、シミュレーション用レーダリフレクタなどの研究も重要であろう。

7. むすび

レーダの根本原理は、電波が物体に当たると反射するという事実を利用し、この反射波を捕えて物体の存在を知ろうとするものであるから、レーダシステムは、一つの閉じた系をなしている。それ故、レーダとレーダリフレクタは切り離すことはできず、常に一体として考えねばならない。レーダリフレクタを研究開発するとき、あるいは使用する際には、常にレーダシステムを念頭におくことが大切である。

現在、用途・目的に応じて多種多様なレーダリフレクタが考案^{(25), (26)}、使用されているが、本論文では、パッシブでモノスタティックなりフレクタに焦点をしばり、特に今後の発展性、普及性を考慮して、ルーネベルグリフレクタを中心に述べたことをお断わりしておきます。

ルーネベルグリフレクタは、従来用いられてきたコー

ナリフレクタなどでは決して得ることのできないすばらしい特性を有するので、今まで考えも付かなかったような新しいレーダリフレクタの用途が、今後次々として出てくるであろう。

この小論が、レーダリフレクタ特にルーネベルグリフレクタを実際に使用したり、研究開発する上で、少しでもお役に立てば望外の幸せである。

最後に、この文明の利器ルーネベルグリフレクタが、航空機および船舶の安全性を向上するのに広く使用されることを願ってやまない。

謝辞 筆者はここ 10 年間、誘電体電波レンズレーダリフレクタの研究に従事してきたが、その間終始お世話になった本学の落合徳臣教授と(株)東京計器総合研究所の太田博次長に心から拝謝する。

参考文献

- (1) R. K. Luneburg: "Mathematical theory of optics", Brown University Press (1944).
- (2) 古田島: "ルーネベルグレンズの基礎的性質", 昭和 48 年度電気四学会九州支部連合大会, p. 57.
- (3) G. D. M. Peeler and H. P. Coleman: "Microwave Stepped-Index Luneburg Lenses", IRE Trans., AP-6, p. 202 (April 1958)
- (4) H. E. Schrank: "Precision Spherical Luneburg Lenses for Microwave Antennas", Proc. 7th Elec. Insulation Conf. '67.
- (5) 落合: "新方式の球状誘電体電波レンズの研究について", 法政大学工学部研究集報 第 5 号, 1968.
- (6) 古田島: "ルーネベルグリフレクタの反射パターン", 電子通信学会論文誌 (B), 57-B, 6, p. 400 (昭 49-06).
- (7) S. D. Robertson: "Targets for microwave radar navigation", Bell Syst. Tech. J., Vol. 26, p. 852 (Oct. 1947).
- (8) 古田島: "水平面内全方向性ルーネベルグリフレクタのパターン", 電子通信学会論文誌 (B), 57-B, 12, p. 753 (昭 49-12).
- (9) H. E. Schrank: "Spherical Radar Reflector with High-Gain Omnidirectional Response", Proc. IEEE, 53, 7, p. 1117 (Aug. 1965).
- (10) 古田島: "三個のルーネベルグレンズを使用した全方向性レーダリフレクタ", 電子通信学会論文誌 (B), 57-B, 6, p. 402 (昭 49-06).
- (11) 古田島: "ルーネベルグリフレクタ群", 電子通信学会研究会資料 SANE 72-19 (1972-12).
- (12) 古田島, 松崎, 真鍋: "全方向性レーダリフレクタの一構成法", 昭和 49 年度電子通信学会全国大会, p. 2443.
- (13) 太田, 水谷, 古田島: "誘電体電波レンズを使用した全方向性レーダリフレクタ", 電子通信学会研究会資料 SANE 72-29 (1973-01).
- (14) 太田, 水谷, 滝口, 古田島: "全方向性誘電体電波レンズレーダリフレクタの野外実験", 電子通信学会研究会資料 SANE 72-29 (1973-01).

- (15) 古田島: “全方向性ルーネベルグリフレクタ”, 電子通信学会論文誌 (B), 57-B, 3, p. 191 (昭 49-03).
- (16) 古田島: “レーダリフレクタの現状と将来”, 電子通信学会技術研究報告 SANE 75-29 (1976-01).
- (17) 古田島, 尾川, 沖原, 石原: “直線・円両偏波用電波反射器”, 昭和 51 年度電子通信学会総会全国大会, p. 8-250.
- (18) J. E. Eaton: “On spherically symmetric lenses”, IRE Trans., AP-4, p. 66 (1952).
- (19) 古田島: “Eaton-Lippmann lens 内の ray path と phase front について”, 昭和 46 年度電子通信学会全国大会, p. 448.
- (20) 落合, 古田島: “全方向性誘電体電波レンズリフレクタの研究”, 昭和 44 年度電子学会全国大会, p. 384.
- (21) 古田島, 柴田, 末房, 石原: “イートン・リップマンレンズの試作”, 昭和 50 年度電子通信学会全国大会, p. 1864.
- (22) 古田島: “標準レーダリフレクタ”, 電子通信学会論文誌 (B), 59-B, 9, p. 472 (昭 51-09).
- (23) 古田島: “標準電波反射器”, 昭和 51 年度電子通信学会総会全国大会”, p. 8-251.
- (24) 古田島: “ルーネベルグレンズを用いた可変レーダリフレクタ”, 電子通信学会論文誌 (B), 59-B, 12, p. 593 (昭 51-12).
- (25) 古田島: “半球誘電体電波レンズリフレクタ (1)”, 電子通信学会研究会資料 SANE 72-28 (1973-01).
- (26) 古田島: “半球レーダリフレクタ (2)”, 電子通信学会論文誌 (B), 58-B, 2, p. 99 (昭 50-02).

会 告

本会の創立 25 周年を記念してつぎの書籍が出版されましたのでお知らせいたします。

書 名 双曲線航法 (従来双曲線航法運用指針としていたものを変更)
編 者 電波航法研究会
出 版 海文堂出版株式会社
定 価 2,200 円
編集委員 電波航法研究会「双曲線航法」編集委員会
 木村小一 庄司和民 鈴木 務 鈴木 裕 豊福滋善 (五十音順)

目 次

- | | | |
|---|---|--|
| <p>1. 双曲線航法の概要</p> <p>1.1 航行援助方式と双曲線航法</p> <p>1.2 双曲線航法の原理</p> <p>1.3 双曲線航法の歴史</p> <p>1.4 各種の双曲線航法システム</p> <p>1.5 双曲線航法と電波伝搬</p> <p>1.6 双曲線航法の誤差と有効範囲</p> <p>2. ロラン・システム</p> <p>2.1 ロランA・システム</p> <p>2.1.1 原理と送信方式</p> <p>2.1.2 ロランA局の配置</p> <p>2.1.3 電波伝搬</p> <p>2.1.4 受信機</p> <p>2.1.5 受信操作の概要</p> <p>2.1.6 船位決定とその精度</p> <p>2.2 ロランC・システム</p> <p>2.2.1 原理と送信方式</p> <p>2.2.2 ロランC局の配置</p> <p>2.2.3 ロランC電波の伝搬</p> <p>2.2.4 受信機</p> <p>2.2.5 受信操作の概要</p> <p>2.2.6 船位決定とその精度</p> <p>2.3 国内各社のロラン受信機</p> <p>2.3.1 各社の代表的なロラン受信機</p> <p>2.3.2 各社のロラン受信機の紹介</p> | <p>3. デッカ・システム</p> <p>3.1 デッカ・システムの原理と送信方式</p> <p>3.1.1 デッカの歴史</p> <p>3.1.2 デッカの原理</p> <p>3.1.3 有効範囲</p> <p>3.1.4 デッカ送信局</p> <p>3.2 デッカ局の配置と現況</p> <p>3.3 デッカ受信機</p> <p>3.3.1 MS-1A 型受信機</p> <p>3.3.2 MS-2A 型受信機</p> <p>3.3.3 MS-3A 型受信機</p> <p>3.4 デッカ受信機の使用法と船位決定</p> <p>3.4.1 デッカ受信機の使用法</p> <p>3.4.2 船位決定</p> <p>3.5 デッカによる位置決定誤差</p> <p>4. オメガ・システム</p> <p>4.1 原理と送信方法</p> <p>4.2 オメガ電波の伝わり方</p> <p>4.3 オメガ受信機</p> <p>4.4 オメガ受信機の実際</p> <p>4.5 オメガチャートとオメガテーブル</p> <p>4.6 オメガ受信機の取扱い</p> <p>4.7 オメガテーブルによる船位の算出</p> <p>4.8 オメガ航法による船位の誤差とその問題点</p> | <p>5. 双曲線航法の応用</p> <p>5.1 測定時間差, 位相差の直接利用</p> <p>5.2 航路監視への応用</p> <p>5.3 他の航法上の位置の線との併用</p> <p>5.4 用自動追尾式および自動測位式受信機</p> <p>5.5 デッカ・システムの応用</p> <p>5.6 オメガ・システムの応用</p> <p>5.6.1 デファレンシャル・オメガ</p> <p>5.6.2 相対航法</p> <p>5.6.3 オブレ</p> <p>5.6.4 コンボジット・オメガ</p> <p>5.7 今後の課題</p> <p>索引</p> <p>執筆 者 (目次順)</p> <p>飯 島 幸 人</p> <p>鈴 木 務</p> <p>今 津 隼 馬</p> <p>林 尚 吾</p> <p>塚 田 一 雄</p> <p>野 口 務</p> <p>藤 原 雅 一</p> <p>山 越 芳 郎</p> <p>木 村 小 一</p> <p>鈴 木 裕</p> |
|---|---|--|

海洋動物の電波テレメトリシステム

東海大学海洋学部

相馬正樹

Radio Telemetry System Adopted to Marine Animals

Faculty of Marine Science and Oceanography of Tokai University

Masaki SOHMA

1. まえがき

(1) バイオテレメトリとは

動物の生態を研究する目的で開発されたバイオテレメトリ技術は、近年世界の各国において大きな関心呼び、積極的な推進の傾向が見られるようになった。これは、海洋生物資源に対する関心が高まったため、その調査方法の一環として、バイオテレメトリ技術が再確認されたものと解してよいだろう。

生物テレメトリとは、生物の拘束されない自然のままの行動生態ならびに生理に関する情報の遠隔測定を意味するものであって、宇宙開発におけるテレメトリ技術の急激な進展に刺戟されて、加速度的に普及した技術である。この方式には、電波を利用するものと、超音波を利用するものの2方式があり、前者は、陸上の動物または海洋に生息していて、呼吸時に必ず海面に浮上しなければならない哺乳類（クジラ、イルカ、オットセイなど）、爬虫類（ウミガメなど）が対象となるが、後者はおも魚類である。いずれの方式でも、標識として送信器を生体の一部に装着して、これから送信される情報信号を受信しつつ追尾する方法をとることに変わりはない。

このテレメトリ技術は、1960年頃から陸上の動物（クマ、サルなど）に応用されていたが、当時は、実験例も少なく、その後も、送信器の小形化が進むにつれて、対象となる動物の範囲が広がりはしたものの生物学的な興味を域を少しも出していないのが現状である。

一方、魚類のテレメトリの方は、水産資源の新しい調査方法として脚光を浴びるに至った現在では、長い歴史をもつ電波方式に先行し、漁業に関する新しい知見を得る手段として着々その成果を挙げつつある。

(2) バイオテレメトリ研究の背景

1971年、ワシントンで開かれたクジラの生物学に関する国際会議において、クジラの回遊、行動に関する研

究の効率化を計るためには、バイオテレメトリの手法を大いに利用しなければならないという結論が出された。わが国においては、1967年から、海洋哺乳動物の生態調査についての種々の検討がなされ、電波標識を応用した方式の研究を工学的な分野から段階的に推進して行く方針が打ち出された。その後、エレクトロニクス技術の面の基礎的な実験を経て、イルカ類を中心に実験が行われたのは、1970年であるが（野村，1973）、まだ予備実験の段階に過ぎなかった。この実験に続いて、外洋におけるイルカの追跡実験が繰返し実施されたが、種々の技術的なトラブルのため、短時間の追跡に終止した。1973年に至って、同じ方法による実験を行動が比較的単純で緩慢なアカウミガメに應用してようやく所期の目標の可能性を確認することができた。

以上のように、海洋動物に対する電波テレメトリは、大形の哺乳動物に対して、遠距離の追跡ができるという、かけがえのない利点をもちながら、遅々としてその成果が挙がらないのは、これらの動物の高速でしかも複雑な遊泳行動に起因している。陸上に生息する動物では、如何にその行動が複雑であっても、海中ほど電波の伝搬に対してのトラブルはないことから考えると、両者の難易は容易に比較できるであろう。

(3) 海洋生物テレメトリの意義

バイオテレメトリは、生物学をはじめ、生理、生態学およびこれらの応用した広い学問分野と、エレクトロニクスとの密接な協力によって成立する学際的な領域に位置する。海洋生物の多彩な生態を把握しようとする努力は、海洋電子工学に大きな刺戟を与えるとともに、その結果として得られる新しい計測技術は、海洋生物に対する情報量を飛躍的に増大させる。このような観点から、新しいトランスジューサの開発、送信器のIC化などは、簡便で新しい海洋計測器の開発の扉を開くものであり、その効用はきわめて大きいものといえる。

本稿は、海洋生物テレメトリのうち、魚類に应用される超音波テレメトリを除き、海洋哺乳動物やウミガメの追跡に利用される電波テレメトリについてのべる。

2. 電波テレメトリシステム

海洋哺乳動物のように高速度でしかも広範囲にわたる行動に追隨するためには、電波を用いる方式がもっとも有利である。この方式は、動物体の適当な部位にターゲットとして小形無線送信機を取りつけ、これを、陸上または船舶に設置した受信機で受信しながら追尾するのである。このばあい、受信機は、アンテナを含めて方向探知機としての機能を持ち、なおかつ、情報の受信と検出の動作も兼ねなければならない。必要なら、後のデータ処理に応じて適当な記録器を併用することもある。しかし普通、測位は二隻の船を利用して、2点から行わなければならない。これを一隻の船で追跡するばあいは、トランスポンダ方式を用いて位置を決定するのが本来であるが、この方式では送信器が複雑になるために、実用にはなりにくい。そのため実際には、単純なパルス発振器を利用する。この際のターゲットの位置は、大ざっぱな測位ではあるが、最大感度を求めて追跡した船の位置として定めざるを得ない。

3. 送信器

(1) 送信器の基本的要件

送信器に要求されることは、

- i) 小形軽量で、水中重量が0に近い
- ii) 動作が安定で寿命が長い
- iii) 容器の耐水圧が高く、防水が完全である
- iv) 動物体への取付けが簡単である
- v) 造波抵抗の小さい形状である
- vi) 容器の材料は長期間にわたって腐蝕しないものであることなどである。以上のうち、寿命を長くすることは電池の容量を増すこととなり、また、耐水圧を高くすることも同様に送信器の重量の増加につながるもので、小形軽量の目標とは裏腹の関係にあるため、目的に応じて適当に妥協点を見出して設計しなければならない。そのほか、装置の装着がまずかったために実験に失敗した経験はしばしばである。運動する動物を対象とする限りは逃られない宿命ではあるが、その動物の遊泳行動の詳細にわたる観察の結果によって取付け部位を決めるといような、いわゆるソフトウェアの面も軽視できない重要な要件として挙げなければならない。

(1) 電氣的要件

送信器は、小形の無線周波発振器であるから、つぎの諸点について十分な検討を加えて設計製作しなければならない。

1) 周波数の選定

送信器の周波数は、アンテナと直接の関係があるのでHF帯またはVHF帯に限られる。高い周波帯を使用するときは、アンテナ素子が短かくてすむが、低い周波帯帯ではどうしても長くなり、電波の輻射特性が無指向性でしかも直立形という制約がある限り、低い帯域は適当でない。しかし、VHF帯においてホイップ形のアンテナを使用する場合、当然ながら出力回路の不整合による損失は相当大きくなることを覚悟せねばならない。アンテナは短かくてしかも出力回路の不整合による反射損失を可及的に少なくするような都合の良い周波帯を選ぶのが得策ではあるが、実験局に割当てられる周波帯は限られている。結局、比較的雑音から逃れられるという理由だけで、VHF帯(169MHz)を選んだ。

2) 空中線の形式

この場合の空中線は、なるべく短かくして、これを背負って遊泳する動物の遊泳行動を阻害しないことの要件は当然ながら、複雑な海面でのアンテナの変化にも拘らず電波を安定に輻射する空中線の形式を検討しなければならない。

この実験には、前述の諸条件に適合すると思われる空中線を3種想定して、海面において、アンテナの露出長さおよび傾斜による電界強度ならびにSWRを測定した結果、グラウンドプレーン形がもっとも良い特性を示したので、電波テレメトリ方式の標準として選定した(相馬, 1969)。

3) 電波の伝搬特性とテレメトリの範囲の限界

電波によるテレメトリの可能な範囲は、電波の伝搬距離によって推定される。前述のグラウンドプレーン形アンテナによる実測では、30km附近までが受信の限界(-120dBm)で、この距離は、VHF帯の伝搬距離の理論的な計算値(12km)に比較して20km近く延びる傾向が認められた。この傾向は、見通し距離に遠から現われはじめることと、送信側のアンテナが海面で0.5mの高さしかないことから考えると、海面の反射ならびに散乱波によるものと推察される。このことは、受信に際して、水平偏波分が垂直偏波分を上回ることがしばしばであったことから容認できる(相馬, 1971)。

もう一つテレメトリの可能な限界を決めるものに、送受信地点におけるアンテナの標高がある。これは、電波の伝搬距離を規定する見通し距離に直接関係するファクタであるからいうまでもない。したがって、VHF帯のテレメトリにおいては、送信器の出力をあげて伝搬距離を伸ばすよりは、受信地点の高さでその効果をねらった方が、送信器にかかる重量の負担を軽減できてはるかに効果的である。例えば、いま、電界強度を一定にしておき、通達距離を10[km]とするには、受信アンテナの高

さが 10 [m] のとき必要な送信器の出力は 2 [W] である。アンテナ高を 2 倍すなわち 20 [m] にすると、送信器の出力は約 1/20 の 90 [mW] で同じ電界強度が得られるという計算になる (相馬, 1969)。

4) 情報の種類とセンサ

海洋生物のテレメトリにおいては、送信器は単に電波や超音波の信号を発信するだけでなく、生物の生態情報としてもっとも関心のある環境情報を伝送することの方がもっとも望ましい。魚類についていえば、遊泳、摂食、日周期などの行動情報や、海水の水温、塩分濃度、pH、照度などの環境に関連する情報などは、動物が環境変化に対してどのような反応を示すかということを考える重要なもので漁業や栽培漁業にとっては欠くことのできない貴重なデータである。

これらの情報をとりあげるためには、その情報を電氣的諸量に変換するトランスジューサすなわちセンサが必要である。海洋や気象に関しては、既に開発された各種のセンサがあるが、バイオテレメトリ送信器には、常に小形、軽量という不断の圧力がかかっているため、これらのセンサのうち、そのままの形で応用できるものは限られてしまい、どうしても超小形の新しいセンサの開発の必要に迫られることになる。

バイオテレメトリ技術の研究開発の当初から、実現しやすいものを目標として、温度、深度、塩分濃度および照度などのセンサの開発が採り上げられた。このうち、温度センサは既に広く応用されるサーミスタを利用することは異論のないところであるが、深度センサについては、各種のひずみ計の応用が考えられるが、何れも一長一短があってそのままの形で使うことは不可能であった。例えば、ストレンゲージについて見ると、本体は薄膜状で、特性も広範囲なひずみに対応して直線性をもっているが、ブリッジ回路の不均衡電圧が出力であるから、出力の増幅段が必要で、これに占有されるスペースと電源にかかる負担とは、送信器の大きな圧力となる。

海洋哺乳動物に対する発信器では、ストレンゲージの応用は可能であるが、超音波用の小形送信器用のセンサとしては、単体で十分な感度をもつものでなければ利用できない。このような条件のもとで開発されたセンサが、シリコンバルク半導体素子である。

このセンサは、抵抗変形半導体素子で一端を固定し、自由にしたもう一方の端に直接荷重を加えて抵抗変化量を測定すると、完全な直線性を持ち、しかも 1 グラム当り $\Delta R=8$ [Ω] という感度があり、これを起わい板に張りつけても、この種の他のセンサと比較して少なくとも数倍の感度をもっている。ただし、この種の半導体素子は、温度係数が大きいという共通な欠点があるた

め、温度補償に十分な配慮が必要である (中村, 1973)。

以上が、海洋生物テレメトリ用の送信器の設計にあたって検討し、あるいは開発した要件の概要である。このような検討を繰返しながら逐次改善を加えた結果もとづいて、送信器の規格が以下のべるように決まった。

4) 送信器の規格

電波テレメトリ用として設計された送信器 (以下トラックという) の規格はつぎのようなものである。

発振周波数	169.25 MHz
情報変調方式	FM-FM
出力	100 mW
寿命	200 時間以上
空中重量	1 kg (水中 500 g)
水圧センサ	ストレンゲージ
電源	ニッケルカドミウム電池

発振周波数は、海上移動用実験局として割当てられている周波数のうち、高い周波帯を選んだ。環境情報としては、水温が $\pm 1^\circ\text{C}$ ぐらいの差しかない狭い海域では、遊泳行動には水温情報はあまり大きな意味をもたないとして、遊泳深度を主たる情報として収集することにし、このためのセンサは箔ゲージを採用した。

トラックの場合、動物が潜水中は動作を停止し、浮上時の 1 秒以内の短時間に情報を送信しなければならないので、情報もデジタル量的な最大潜水深度しか送れない。このため、500 Hz の副搬送波を情報で FM し、これで主搬送波の 169.25 MHz を FM する方式にした。

出力は 100 mW であるが、これは入力電力であって、実際の有効輻射電力は、空中線からうける大きな制約のために 10~20 mW 程度のもと考えられる。このような大きな損失を黙認しなければならないため、重量が 1 kg 程度にはねあがることになっても、伝搬距離はせいぜい 20 km 程度のもので、陸上で一般に普及しているトランシーバを例にとるまでもなく、極めて非能率的でむだが多いことに気付くであろう。それでも、トラックが海面にある瞬間だけ電源が閉じられ、潜水中は電力の消費をなくして電池の寿命を延ばす配慮がなされているから、1 kg の範囲の重量ですんだので、常時電波を輻射している場合の寿命はほんの 1 時間ぐらいである。

このトラックは、あまり重量を気にしなくても良いアカウミガメ (体重 100 kg 以上) 用として設計されたものである。最近、オットセイ類の追跡用トラックの重量は、600 g にまで軽量化されている。図 1 (a) は、アカウミガメ同図 (b) はオットセイにトラックを実装した写真である。トラックは初期の原形のもので現在は図 2 に示すよう筒形に改良され、軽量で完全防水形となっている。

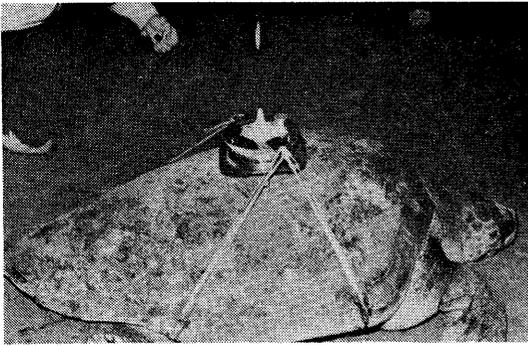


図 1 (a)

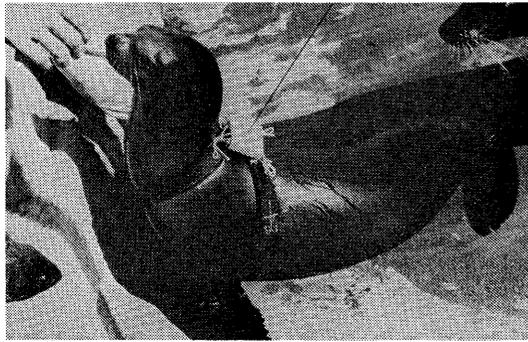


図 1 (b)

5) トラッカの構成とその動作

図3がトラッカのブロック図である。電源のメインスイッチの開閉は、容器の漏水を防止するため、外部に引き出した導線を接続する方法を避けて、外壁からマグネットにより容器内のリードリレーを制御する方法をとった。また、前述のように、消費電力を軽減するため、アンテナの基部から中間までを被覆絶縁し、先端の裸線との間が海水中にある時におこる抵抗の減少を利用して回路を開放するアンテナスイッチ回路を付加した。図にお

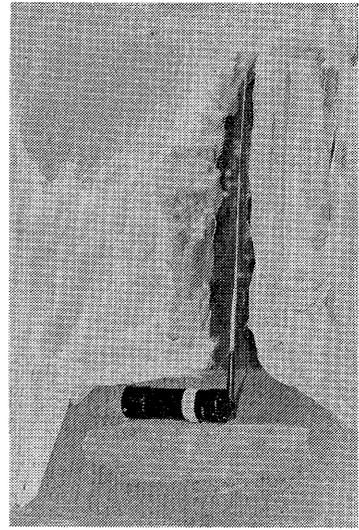


図 2

いて、点線は、アンテナスイッチによって電源が開閉される回路で、実線はリードリレーによって開閉される回路である。鎖線は信号系統を示す。

この情報トラッカの動作の概要について述べよう。まず、動物が潜水すると、図の点線で接された系統が動作を停止し、同時にリセット回路が復旧して、保持回路が信号を記憶しはじめる。一方、センサ系統は、潜水と同時に受圧板から水深に応じたひずみを受けて、ブリッジの不平衡出力電圧を次段の AMP 回路に送り、さらにこの出力が HOLD 回路でコンデンサの電荷として充電蓄積される。この場合、毎潜水時の最大深度が記憶されていることになる。上浮と同時に、HOLD 回路以後の発振増幅段が動作をはじめ、HOLD 回路の情報により蓄積された電荷が放電し、放電電圧が SUBCAR OSC の 500 Hz の発振周波数を電圧に比例して ± 100 Hz の範囲で偏移させる。この偏移した周波数が、主搬送波発振器

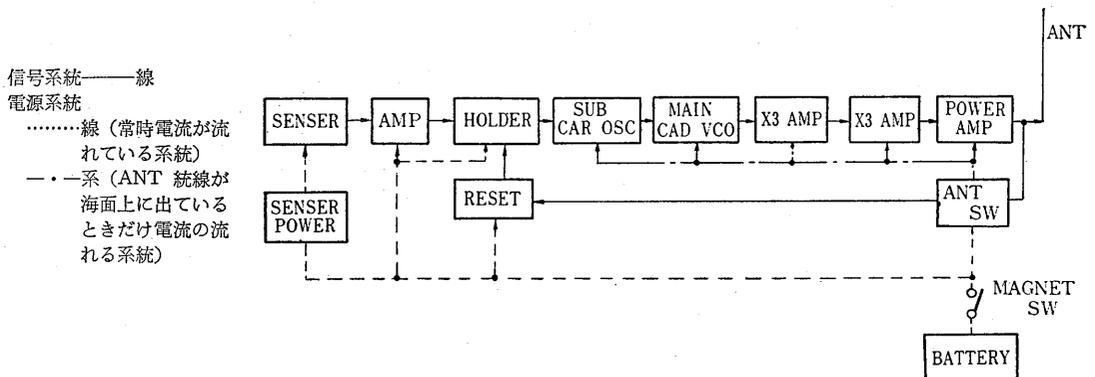


図 3

の周波数を FM し、つぎの 2 段の 3 倍周波増幅器で電力増幅し、原発振周波数の 9 倍 ($18.8 \times 9 = 169.2 \text{ MHz}$) になって空中線にき電される。

センサ部の出力の増幅は、電源が直流ならば直流増幅となるので、その安定度を保持するのに神経を使わなければならないが、このばあいは交流（可聴周波数）だから、増幅段は極めて簡単で誤差を生ずることも少ない利点がある。

4. 受信装置

電波テレメトリにおいては、受信側は、方位の決定と情報の受信および記録をしなければならないことから、方向探知用空中線、受信機および記録器の三者を含めて受信装置といっている。

(1) 受信機

この受信機は、動物の行動追跡のため単に情報を受信するだけではなく、方向探知用アンテナを併用して方位を決定するはたらきも併せ持つものでなければならない。図 4 は、この目的のために試作した受信機で、当初は、陸上の基地局用として設計されたために予想以上に大形のものになった。

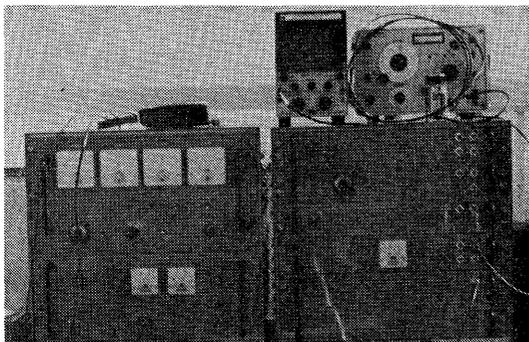


図 4

この受信機の規格の大要はつぎの通りである。

方向探知方式	フェーズロック方式
受信方式	同時ローンピック方式
受信周波数	169.25 MHz
受信帯域幅	$\pm 10 \text{ kHz}$
第一中間周波数	30 MHz
第二中間周波数	455 kHz
角度指示	180 度
角度指示誤差	± 2 度以下
角度誤差指示範囲	± 30 度

(2) 空中線装置

図 5 に見られるように、空中線は、4 素子（導波器 2、反射器付）の八木アンテナ二個を垂直偏波形に並行して

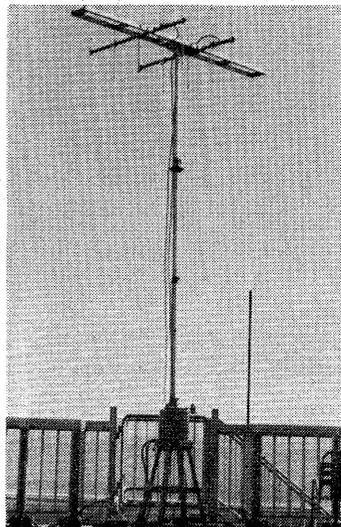


図 5

配置したものである。方向の変化は、基部の台に取り付けられたモータによって行われ、360 度任意に回転できる。この装置はつぎのようにになっている。

(3) 方向探知方式

方向探知の方式は、到来電波によって双方のアンテナに誘起した起電力の経路差によって生ずる位相差を検出して電波の方位を定める位相差比較形を採用している。すなわち、発信器が両アンテナを結ぶ線の垂直二等分線上にあるときは、各アンテナに誘起する起電力は同位相となるため、位相差は 0 を示し、方位はアンテナの指向角度に一致しているので、角度誤差の指示は 0 となる。

しかし、発信器の位置が左右どちらかに偏ると、それぞれのアンテナに誘起する起電力に、到達した電波の経路差による位相の差が検出され、AZ 誤差としてアンテナの正中方向よりの偏りが、かの符号で示される。この誤差の指示範囲は、左右に 30 度以内であるから、この指示が 30 度を超えたらその都度アンテナを回転して誤差が 0 に近くなるように調整すればよい。AZ 誤差は、記録器により連続的に記録されているから、後の処理には支障はない。

実際には、このような方向探知機を 2 個所に設置して、それぞれの受信地点における方位を測定しなければ、発信地点を定めることはできないが、広範囲に行動する哺乳動物に対しては、受信地点が陸上に固定されているとはとても追尾できない。といって、2 隻の船舶で追跡する方法では、あまりにも大がかりで繁雑になるので、距離は、あらかじめ校正した標準発振器による電界強度で推測して、一隻の船で方位をとり、船との相対位置を測定しながら追跡する方法によらざるを得ない。

発信器の方も、陸上の場合とは違い、電波の伝搬と輻射を不安定にする好ましくない変化を繰返しながら移動するため、周波数変動の原因となる。このため、受信には、フェーズロック方式を採用し、受信側の標準発振器の発振周波数を到来電波で制御し、同時に、この発振器は、第一局部発振器の発振周波数をも調整してやるという方法で受信の安定化を計っている。この方式によれば、回路が幾分複雑にはなるけれども、50~60 Hz 程度の受信の周波数変動にも十分追従して安定な受信が可能となるので、海洋テレメトリ用としては行届いた配慮が払われているといえる。

(4) 情報の受信と記録

図6の受信機の構成のブロック図によって、受信機の動作と情報の記録方式について簡単にのべる。

それぞれのアンテナは誘起した電圧は、ハイブリッド回路 (HYB) で合成され、各電圧波の和と差が抽出される。この二者を増幅して比較したものが角度誤差で、AZ 出力として記録される。情報は、和または差波の何れか FM を検波すれば、副搬送波 500 Hz から上下どちらかに偏移した周波数が検出される。この周波数のズレを F-V 変換すれば、はじめに変調した最大潜水深度として求められる。すなわち、フェーズロック検波器 (PL DET) の出力を、副搬送波用検波器 (SUB DSC) にかけて直流電圧とし、これを直流増幅器 (DC AMP) で増幅し、ペン形記録器 (REC) で水深情報として、図7のように記録される。図は、深度と距離の情報が同一

記録紙上に、それぞれ、2本のペンでパルス振幅として記録されている。

記録器においては、応答周波数が問題になるが、それ以外に、イルカのような浮上時間が1秒以下のもので、浮上の瞬間ではアンテナの水きれがわるいため、アンテナスイッチの動作不安定が原因で記録が不確定となることも無視できない。図7は、アカウミガメのテレメトリの際の記録例で、一本のペンで電界強度すなわち距離の情報を描かせ、もう一本のペンでは潜水深度を記録させる。図中、線形の記録が距離、矩形波状のものが深度を示す。深度情報は、送信器の HOLD 回路でコンデンサの電荷の形で蓄積され記憶されたものであるから、浮上してアンテナスイッチが閉じられた瞬間に放電した分だけが正しい情報で、同じ浮上時中に出ている他のパルスは、すべて無意味の記録である。これらの不要な記録が生ずるのは、センサ部の電源に可聴周波を使用しているために起ったものと思われる。というのは、信号以外のものはほとんど記録に表わることがないからである。

方位角度の誤差の記録例は、図8である。アンテナの方向を一定にしておくとして角度指示は常に一定の直線を描き、これに対して AZ 誤差は基準線に対して記録される。この角度は、アンテナの指向角度に対する偏りを示すもので、この測位上の確度は、一般の船舶用の方向探知機の測位誤差が ± 5 度であるのに対して、 ± 2 度であるから極めて高いものである。

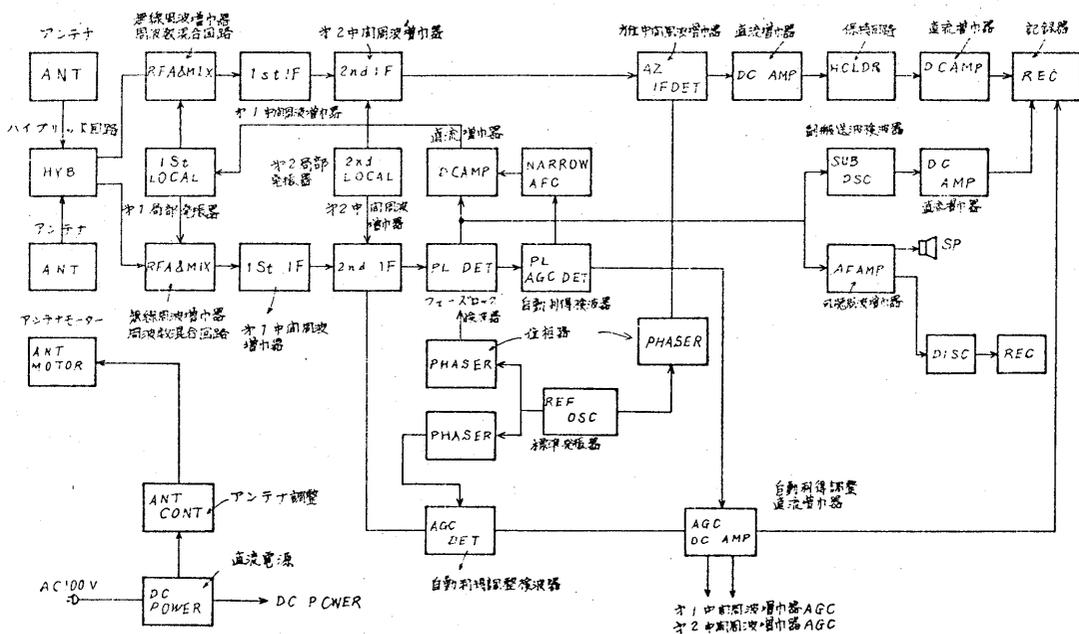


図6 受信機ブロック図

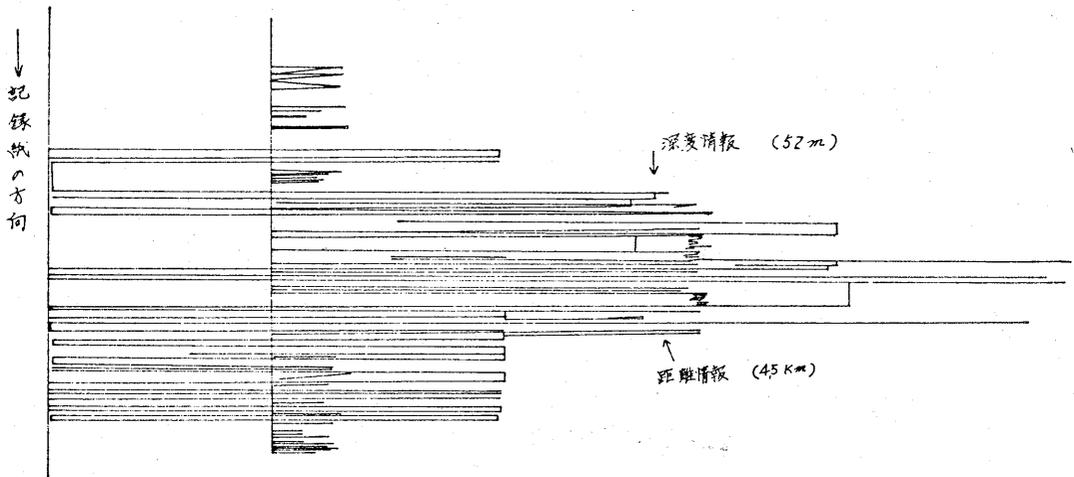


図 7 (a) 距離および深度情報の記録

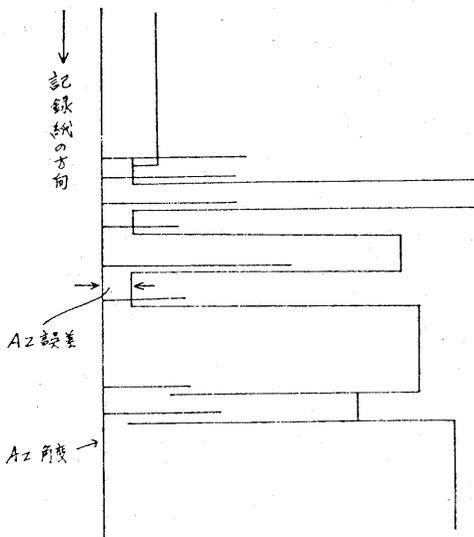


図 7 (b) AZ 誤差の記録例

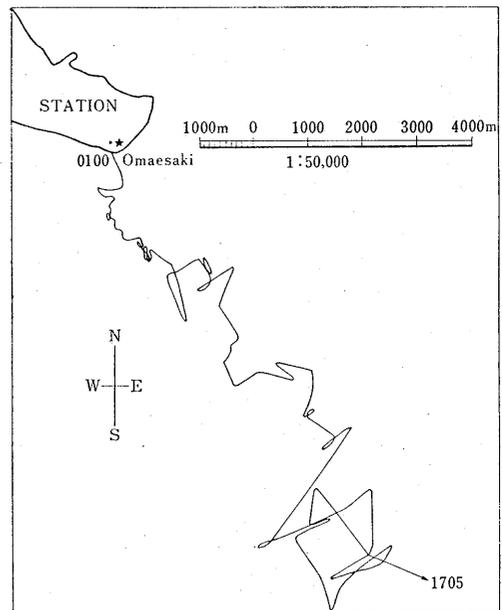


図 8 ウミガメの水平移動の例

4. アカウミガメの行動生態

海洋生物テレメトリの電波方式にアカウミガメを選んだ理由は、捕獲が容易であること、大形で、小形の送信器を取りつけても行動に影響がないこと、約 30 分に一度は必ず呼吸のために浮上し、短かくても 30 秒ぐらい海面に浮いていることなど、クジラやイルカなどと比べたら全く願ってもない理想的な実験動物であるからである。さらにこのカメは産卵期には、海浜に上陸して産卵するが、もし産卵させずに海に追い返してやると 2~3 日以内に再上陸して来る習性があるので、捕えるのに手数はかからないだけでなく、実験に使用した機器も回収できるという貴重な特性をもっている便利な動物である。

第一回目の実験は、静岡県御前崎海浜で行なわれた。受信ステーションは、標高 30m で障害物のない海岸の高台に設置した。追跡は、前述の空中線および受信機を用いて測位し、校正した電界強度で位置を決定する一点観測法によった。1971年8月13日0時55分、1.5kgの送信器を甲羅の中心に背負わされた甲長 93cm 甲幅 71cm のカメが放流されてから 16 時間にわたって追跡実験が続けられ、これによって、システムの安定性、確実性が確かめられた。

(1) 水平移動

上陸地点から放流されたカメは、不規則な曲折を繰り返

返しながらも大体、北から 140° の方向で沖合は向い 16 時間後には放流地点より約 10 km の海上にまで遠ざかった。図 8 は、(市原, 1973), 各浮上点を結んでカメの移動の状態を示したものである。浮上の各点間の距離を海図上で計測して移動を求めると、平均 4.8 km/時 (約 3 ノット) となる。産卵上陸の途中で起ったトラブルの後の行動であり、餌もとっていないと考えられるので、この水平移動が正常のカメの行動を示すとは考えられないが、遊泳が大体の方向づけのもとに行われている点は興味がある。

(2) 浮上間隔

時間の経過にしたがっての浮上間隔を示したのが図 9 である (市原, 1973), 1:00 から 1:40 までの 40 分間は頻繁に浮上しているのは、送信器の取り付けの際の異状な刺戟とストレスによるものと思われる。記録紙からこの間の浮上潜水時間を測定すると、平均浮上時間は 3 秒、平均潜水時間は 3.9 秒である。その後の行動は大体正常に近いと見て、平均浮上時間が 53 秒、平均潜水時間が 15 分となる。17:00 直前の 1 時間 37 分という長い潜水時間は、アンテナの折損によって生じた送信側のトラブルによるのである (これは再捕の際に確認された) からこの前後のものを除くと、最上浮上時間は 2 分 20 秒、最長潜水時間は 42 分 57 秒である。

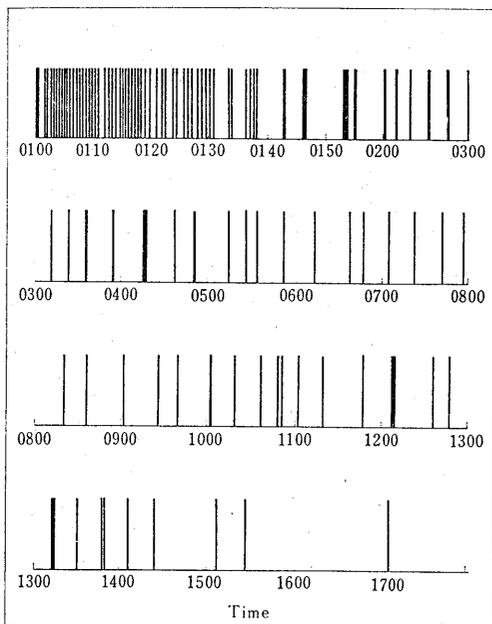


図 9 カメの呼吸間隔と潜水時間

(3) 最大潜水深度

各潜水ごとの最大潜水深度は、図 10 (市原, 1973) のように記録された。これによれば、潜水深度は次第に増加して、8:38 には 47 m の深度に達した様子が見つか

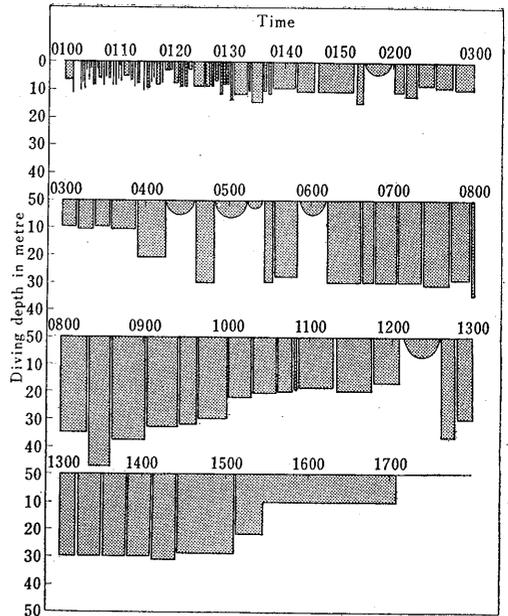


図 10 カメの潜水深度

る。海底の深さは、沖合 4 km 以遠、つまり 3:00 以後は、40 m 以上になっている。カメの平均潜水深度を、3:00 以降について求めると 25 m となる。浮上時間の長さは大体においてつぎの潜水時間の長さに比例していて、潜水深度とは無関係である。

このカメは、放流後 3 日目に放流地点の西方 400 m の海浜に再上陸して産卵した。産卵中に取りはずした送信器は、アンテナが複雑に折れ曲っているのが確認された。しかし、測深情報センサ部は、回収後のテストで、実験前の較正とよく一致し、回路的に障害がないことが確かめられた (市原, 1973)。

第 2 回目の実験は、同じ御前崎海岸で、第一回のばあいと同じ方法で約一週間にわたって行われた。このときのカメの水平移動を示したのが、図 11 である (市原, 1975)。図中、1 の点は放流地点で、位置が確認できたのは点 2 からである。点 3 以後は、6 時と 18 時の位置を示して昼間と夜間の行動変化の目安とした。1973 年 8 月 4 日 21 時 36 分に放流したカメは、約 3 時間南下し、つぎに南南西に方向を変え、その後、図示の経路を経て 8 月 5 日 20 時 20 分に、放流地点の西方約 22 km の地点に産卵のため再上陸した。2 時間かかって産卵を終えて再び海に入り、海岸沿いに東に移動し、8 月 10 日、実験打ち切りまで相良港北東の沖合を図のように遊泳していた。

この際得られた情報では、このカメの平均浮上時間は 1 分 30 秒、潜水時間の平均は約 20 分で、前回実験のカメと比較すると、両時間共に長くなっている。個体差はあるが 2 回目のカメの方が長時間の追跡であるから、

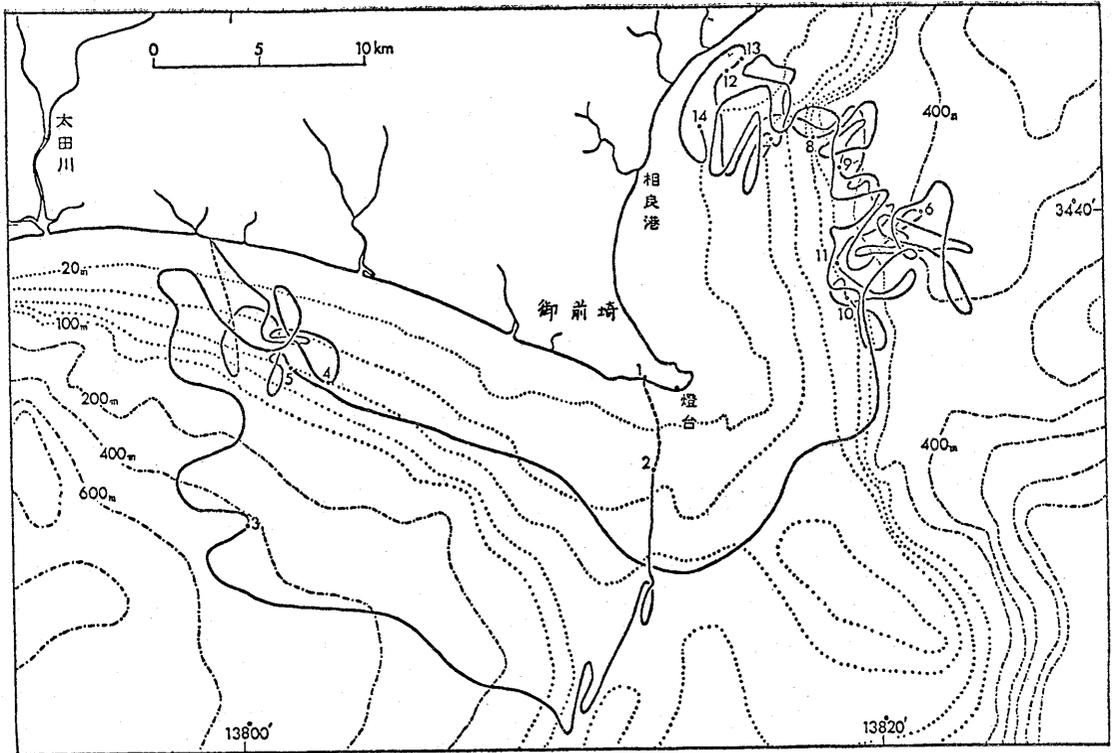


図 11 アカウミガメの水平移動図 (御前崎)

より正常に近いものであるとも考えられる。また、最大潜水深度は、昼間の平均が 20.3m で、夜間の平均は 12.8m であることが認められたが、前回のものと比較して浅いのは、海底水深に左右されたものと見てよからう。

5. 電波テレメトリ方式の検討と課題

(1) 工学的な問題

海洋動物のテレメトリの工学的な問題点は、ほとんどが送信器側に集約される。特に、大きな隘路は重量や大きさの制約をうけない一般の海洋観測機器などと違って、送信器には、より小さく、より軽くの限りの圧力があらゆる面に係りあってくることである。しかしながら、トランジスタは、限界に近いといって良い程度に小形化され、回路も IC 化された今日では、送信器の容積と重量の 2/3 を占める電池が、小形軽量化の死命を制しているのである。とすれば、小形軽量化とは、画期的な電池の出現がない限り、すべての努力は、残りの 1/3 の重量の軽減に対してのものに過ぎなくなって、あまり効果は期待できない。空中線についても同様なことがいえる。

送信器からの情報は、潜水中の深度の変化をアナログ量として蓄積し、浮上時にまとめて送る方式が望ましいが、1 秒以下の時間で瞬間的に情報を送る方法はむずか

しいから、単純な最大深度に限られてしまう。潜水中の情報の連続記憶と瞬間送信方式の開発を検討すべきである。また、環境情報の、海流、水温、深度、塩分濃度などは、互に緊密な相関があるもので、独立して 7 つの情報を得ることよりも、同時に 2~3 の情報を得る方が、生態観測には、はるかに効果的である。このことから、2~3 情報の同時伝送方式も検討されつつある。

この送信器では、圧力センサに箔ゲージを用いたが、この場合は、重量に余裕があったからで、本来ならば、全電力の 1/3 程度を消費する方式の採用は不適当である。この負担を克服するため各種のセンサの検討を行って、前述のシリコンバルク半導体 (重量 2g) を用いた圧力センサを開発し、現在、超音波送信器用として実用化している。しかし、高感度の圧力センサの欠点である温度係数の大きいこと、ヒステリシスが無できないことの 2 点を解決するために長い時日を要した。この欠点の両者を同時に解決できるものは水晶片である。これについては、鋭意検討中で最近の水晶研磨技術の進歩と相俟って、小形で消費電力の極めて少ない水晶が、従来の抵抗変形形の圧力センサに置き換えられることになる (中村, 1973)。

(2) 追跡方法に関する問題

ウミガメの追跡は、イルカやオットセイのような複雑な行動のために、受信が不安定になる危険は全くなく、

1分内外の時間、アンテナが海面に直立するという恵まれた条件のもとに行われたために成功したのである。しかしながら、オットセイやイルカの追跡では、前にもちょっと触れたように、送信器を装着する方法からして未解決のままである。一週間もの航海の末に、やっと捕えたものが装着が不完全だったために実験を打ち切らざるを得なくなったような経験もしばしばであった。その上、船舶の追跡では送信側だけではなく、受信側も動揺の激しい甲板にあるため、不安定な条件が増加することになる。さらにつけ加えれば、船舶を使用して追跡する場合は、長い期間わたる実験には限界がある。

以上は、海洋動物の電波テレメトリにおける問題点の概要である。このうち、純粋に工学的なものは時間が解決してくれる問題があるが、第2のソフトウェアに関するものは、根本的な検討が迫られるものである。やはり、クジラやイルカのように広い範囲を回避する動物の追跡は、大がかりにはなるが、衛星を利用して全地球的な規模で行う方法がもっとも実際的な方法であろう。

BOLDWIN (1966) は、自動操縦の小形舟艇を用いて、中継方式でクジラを追跡する方法を提案しているし、CARR (1965) は、アオウミガメの追跡に中継方式の電波テレメトリを利用することをプロポーザしている。最近になって、衛星 (NIMBUS III) を利用して北米産のシカ (ELK) の行動を、100哩の範囲にわたって、6週間以上も追跡した報告がある (FLEMING, 1971), (BUECHNER H. K., 1971)。

このような例を見るまでもなく、世界的に保護の対象となっている海洋哺乳動物は、保護を目標とした生態調査を、衛星を利用した大形研究プロジェクトとして全世界的な規模で実施すべきであろう。そして、従来から実施していた規模の実験は限られた狭い海域の海洋汚染や温排水の影響調査に積極的に応用すれば、その効用は決して小さいものではないだろう。

6. あとがき

海洋哺乳動物に対する電波テレメトリの応用は、10年に及ぶ歴史をもちながら、本稿で各所に触れているように、遅々として成果が挙がらないまま現在に至ってい

る。エレクトロニクスの面から見れば、小形の送信機からの電波を受信する一般の無線通信で、すべてが既に開発し尽くされた技術とって良い。したがって実施上の難点のほとんどは、これらを利用する側に立ってのものであって、それは、生きた動物を対象としているからだという結論に落ち着きそうである。しかし、これまでの研究の過程において繰返された試行誤差は、無線通信を別な側面から見直すことによって幾多の貴重な問題を提起した点で、極めて有意義であった。

この研究が将来共に継続して発展し、当面する諸問題を解決しつつ、新しい生物の行動および生理情報を掘り起し、これらと海洋情報とを対応させた総合的な情報処理により、海洋生物情報の新しい分野を確立することが、生物テレメトリの将来の方向を規定するものであろう。

参考文献

- (1) EVANS W. E.: The application of radio telemetric technique for the study of marine mammal population, 1973.
- (2) 野村・茨木: イルカ心電図未完の実験, 海洋生物テレメトリ研究会報, pp. 8~21, 1973.
- (3) 相馬・市川: Bio-telemetry 用空中線とその伝搬特性について, 海洋生物テレメトリ研究会報, No. 2, pp. 23~24, 1969.
- (4) 相馬: バイオテレメトリ研究の経過とその課題, 海洋生物テレメトリ研究会報, No. 4, pp. 15~16, 1971.
- (5) 中村・相馬: バイオテレメトリ用水深情報センサについて, 研究会報, No. 5, pp. 32~33, 1973.
- (6) 市原・相馬: 農林水産技術会議研究成果 68, pp. 53~55, 1973).
- (7) 市原・相馬: 農林水産技術会議研究成果 68, p. 83, 1973.
- (8) 市原・相馬: 農林水産技術会議研究成果 68, p. 85.
- (9) 市原: 科技厅成果報告.
- (10) ELEMING J. S. and KURVIN C. W.: Development of an instrument utilizing the IRLS technique to track a tree roaming ELK NTC 71 RECORD-253, 1971.
- (11) BUECHNER H. K. and CRAIHHEAD F. C. Jr.: Satellites for research on Free-Roaming animals 1201, Bioscience, Vol. 21, No. 24, 1971.



Abstract of Foreign Paper

Identification of a Navigation Satellite System within the COSMOS Program*

G. E. Perry & C. D. Wood

(ソ連のコスモス計画中の航行衛星システムの識別)

(抄訳 木村小一)

1. はじめに

1966年に公表されたソ連の新5か年計画では、航法用に宇宙技術を使うことを特に引用し、その少しあとにソ連科学アカデミー総裁 M. Keldysh 氏の「航法への衛星利用は運用に入っている」という言葉がプラウダの1966年4月3日などによっている。Sovetsky Patriot (4, 22 June 1966) という雑誌では、この方法で位置は200mの精度で測定できると説明している。

2. ある運用システム

これらの衛星は、コスモス (COSMOS) 計画の中の衛星の中のアメリカ海軍のトランシット航行衛星と同様の略円軌道で周期約100分の軌道特性のものとして見出すことができる、その強力な候補は中間ブースタ C-1, NATO のコード名では "Skean" を使って、はじめは Tyuratam 射場から傾斜角 56° に、のちに Plestsk 射場から傾斜角 74° に打ち上げられたものである。

ある衛星の軌道面の位置は北向きに赤道を横切る昇交点赤経によって規定される。与えられた衛星に対する昇交点の変化率は長期間に亘って一定である。この変化率を使うと、ある基準時間における昇交点がともに既知であれば、与えられた時間の昇交点の値の計算が可能である。この技術を使って、ある衛星の組合せについて、他の衛星の打上げ時期に近い時間での昇交点を、傾斜角 74° 、周期105分の略円軌道の COSMOS 衛星について決定した。結果を表1に示す。

この表の最下欄から、COSMOS 475 と 385 の軌道面

* Journal of the British Interplanetary Society, Vol. 29, p. 307 (1976)

表1 傾斜角 74° の COSMOS 衛星の昇交点赤経

COSMOS	385	422	465	475	489
385	284				
422	17	258			
465	37	279	159		
475	278	159	40	281	
489	157	37	278	158	39

はそれぞれとのそれと良く一致していることがわかる。従って、COSMOS 475 と 489 は有効寿命1年に当る440日および350日目に COSMOS 385 と 422 の代りに置きかえられたと仮定するのがもっともらしい⁽¹⁾。また、3つの軌道面は 120° 間隔で、全世界カバレッジの基礎となっている。

3. 現在の運用システム

1972年8月16日打上げの COSMOS 514 は、傾斜角 82.9° で、この論文執筆の時点で、ソ連が打上げた最大傾斜角の衛星である。1973年には軌道面が 60° 離れた COSMOS 574 が、その3か月後に更に 60° 離れた COSMOS 586 がそのあとに続いた。図1は、新方式による表示法で、置き換え衛星を前の衛星の延長で示す一方、1日当たり約 -0.74° の昇交点赤経の変化を傾斜する線によって示してある。これらの衛星の軌道面の間隔は前節の衛星の 120° に対し 60° である。

1974年打上げの COSMOS 700 は置き換えの一般パ

訳注 (1) 各衛星の打上げ年月日は、コスモス 385 (1970.12.12), 422 (1971.5.22), 465 (1971.12.15), 475 (1972.2.25), 489 (1972.5.6) である。

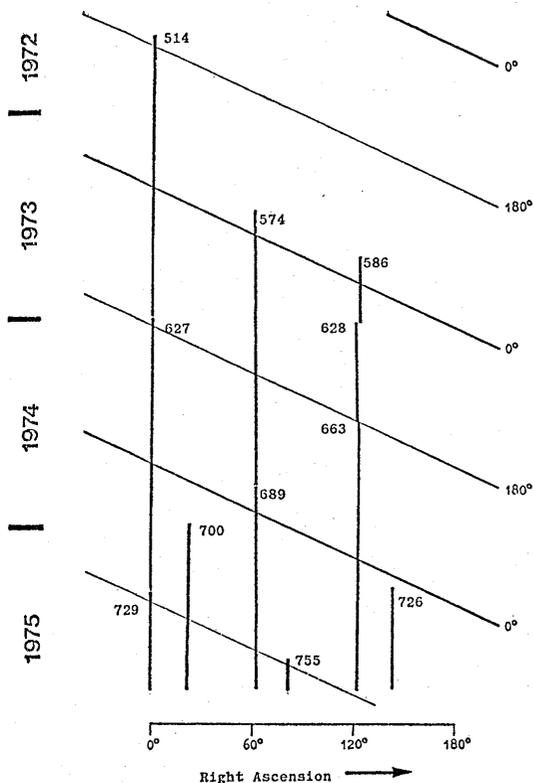


図1 周期105分、傾斜角83°のCOSMOS衛星の昇交点赤経の変化

ターンに合わず、主システムから東へ20°ずれた軌道面にある。COSMOS 726 がつきに主システムから離れ、コスモス 700 と120°開いた面にあげられ、この追加システムはその間隔を埋めたCOSMOS 755 で満された⁽²⁾。

4. 無線の送信型式

1975年3月の調査で、これらの衛星の送信が150,000 MHzで行われていることが明らかになった。使用された受信記録システムは、垂直ダイポールアンテナ、UHF前置増幅器、UHFコンバータおよび短波受信機で構成され、WWVで較正した1 MHz水晶発信器の高調波を周波数標準として使用した。磁気テープ記録器とチャート速度が毎秒120 mmの記録器とか、データの記録と解析に使用された。

各衛星に対する時間、距離、方位角および高角の一連の計算された予測が得られ、基準周波数と受信信号とのビートをとることにより、最小距離における±2秒のゼ

訳注(2) その後1975年打上げのCOSMOS 770 (24 Sept.), 778 (4 Nov.), 1976年打上げの789 (20 Jan.), 800 (3 Feb.), 807 (12 Mar.), 823 (3 June), 842 (24 July), 846 (29 July), 864 (29 Oct.) も同じ軌道の衛星である。

ロビート時間が送信源の識別を与えた。

勝手にA型とB型と名付けた2種類の送信の区別があり、A型はCOSMOS 627, 663, 689, 729が、B型は700と726が送信をしているので、A型は主システム、B型は追加システムのものであることは明らかである。

両型式の信号とも50 bpsのデータから構成されているが、その変調法と帯域幅は図2のとおりである。側帯波eとhは1秒間隔で生ずる20 msまたは50 ms幅のパルスである。A型の側帯波a, b, c, dはFS変調のデータ送信、B型の側帯波fとgは50 bpsのFSデータチャンネルであり、それは詳しく調査された。これら以外にまだ側帯波があるかも知れない。

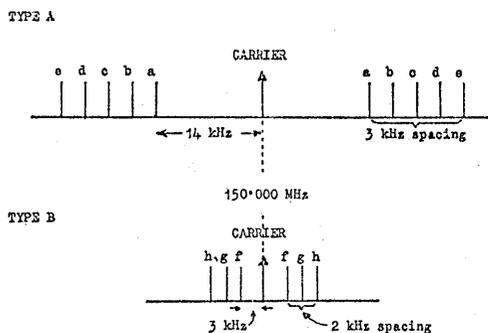


図2 COSMOS衛星の150 MHzの側帯波

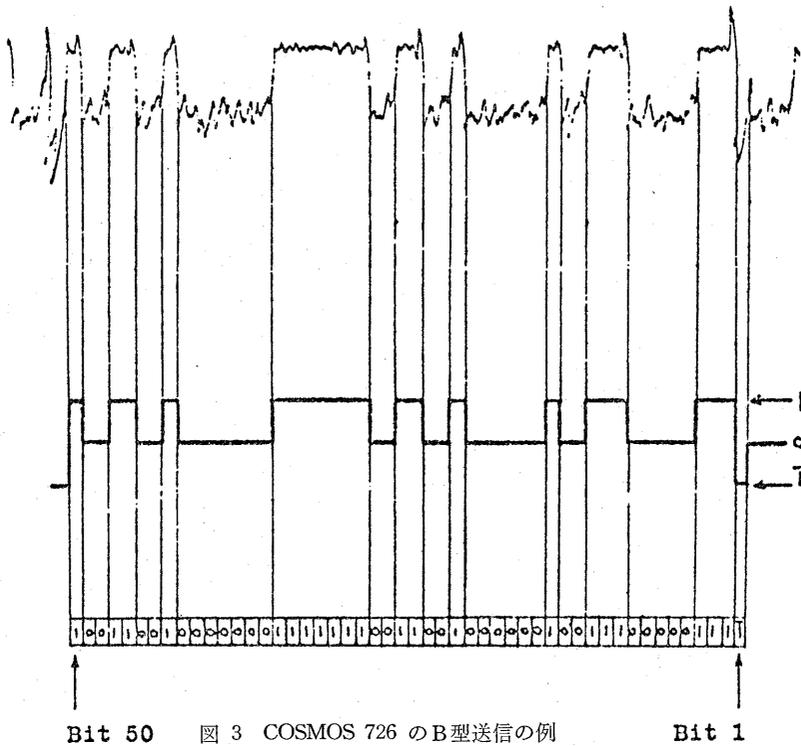
これら2種類の送信型式がある理由は、無指向性アンテナでは、2つの型の信号が同時に受信する機会があり、互に反対向き Dopplerシフト (全部で約6 kHz)があっても、A型とB型の側帯波は重ならずに出検され、信号の相互干渉はない。

5. B型のデータ送信

側帯波hのパルスでデータを1秒ごとの語に分割する。図3はCOSMOS 726からの送信のペンレコードの一部である。都合で側帯波hの時間パルスは-1で表わしてある。x, y, zの3つの形式の語が使用されており、その相違を図4に示す。x, y, zを組合わせた60語で1分のフレームが構成され、5種類の付表的フレームを図5に示す。

図4に示すようにビット1~18は時間情報を含み、3~6は時、7~12は分、13~18は秒である。このデータは0500Zからの経過時間を与え、実際の時間は50と1の間の0または1から-1への転移で表示される。

あるデータブロックは復号の前に0と1とを逆転させる必要がある。これは1つのブロックの終りのビットが1なら、それにつづくブロックは逆転させる必要がある。図6はCOSMOS 726からの受信データの一部、



Bit 50 図 3 COSMOS 726 の B 型送信の例 Bit 1

BIT No	1 2	3	18	19	34	35	50
WORD TYPES	x	T I M E P U L S E	TIME DATA	CONTINUOUS BINARY 1 or 0 SAME VALUE AS BIT 18	CONTINUOUS BINARY 1 or 0 OPPOSITE VALUE TO BIT 34		
	y		TIME DATA	DATA*			
	z		TIME DATA	CONTINUOUS BINARY 1 or 0 SAME VALUE AS BIT 18			

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HOURS				MINUTES				SECONDS							

図 4 B 型送信で明らかになった語の形 (* y 語の 19~50 ビットは軌道パラメータに関するデータが含まれると仮定される)

WORD No	0	1	2	3	4	5	6	7	-----	55	56	57	58	59
FRAME No														
1	z	z	y	y	y	y	y	y	-----	z	z	z	x	x
2	z	z	y	y	y	y	y	y	-----	z	z	z	x	x
3	z	z	y	y	y	y	y	y	-----	z	z	z	x	x
4	z	z	y	y	y	y	y	y	-----	z	z	z	x	x
5	z	z	y	y	y	y	y	y	-----	z	z	z	x	x

図 5 B 型の送信のフレーム構成 (* 語 2~57 は "y" が 49 のつぎに "z" が 2, "y" が 42 のつぎに "z" が 14 または "y" が 28 のつぎに "z" が 28 の何れかである)



Record

電波航法研究会昭和 50 年度事業報告

電波航法研究会事務局

**Record of the Work Carried Out by Japanese Committee for Radio
Aids to Navigation During Japanese Fiscal Year 1975**

Secretariat

Regular General Meeting

The FY-1975 regular general meeting was held at the memorial hall of the Tokyo University of Mercantile Marine on June 18, 1975. 43 participants and 33 credentials were noted. The major agenda were;

1. Reports on the activities of the Committee during the fiscal year 1974 were explained by the Secretariat and approved by the members, as drafted.
2. Reports on the financing of the Committee during the fiscal year 1974 were explained by the Chief Accountant, and approved by the members as drafted, after the audit reports was made by Auditor, Mr. IWASA.
3. New stuff members, Prof. Toshitada MATSU-YUKI of Toyo University was reappointed as Chairman, Dr. Minoru OKADA of Ministry of Transport, Prof. Kazutami SHYOJI of Tokyo University of Mercantile Marine, and Mr. Koichi KIMURA of Electronic Navigation Research Institute, were also reappointed Vice-Chairmen, by the election.

The other Secretary members were approved as drafted.

4. The work plan for fiscal year 1976 was presented by the Secretariat and approved by the members, as drafted.
5. The budget plan for fiscal year 1976 was presented by the Chief Accountant and approved by the members, as drafted.

Research Meeting

1. On June 18, 1975: The first research meeting was held at the Memorial hall of the Tokyo University of Mercantile Marine.
Subject "Some Views on Aircraft Accidents"

総 会

昭和 50 年度総会は、昭和 50 年 6 月 18 日 14 時から東京商船大学記念会館において開催された。出席者 43 名、委任状提出者 33 名で総会は成立した。

1. 昭和 49 年度事業報告が事務局より行われ、承認された。
2. 昭和 49 年度会計報告が会計幹事より行われ、会計監査岩佐一氏の監査報告があつて承認された。
3. 昭和 50 年度の役員について、岡田高氏が仮議長となつて選出が行われ、会長に松行利忠氏、副会長に岡田 実氏、庄司和民氏、木村小一氏が再任された。

各幹事及び会計監査については原案どおり承認された。

4. 昭和 50 年度事業計画について事務局より説明が行われ、原案どおり承認された。
5. 昭和 50 年度予算案について会計幹事より説明が行われ、原案どおり承認された。

研 究 会

1. 50 年度第 1 回研究会は昭和 50 年 6 月 18 日、総会に引続いて開催され、航空事故調査委員会平栗元喜氏の「航空事故の二、三について」、電子航法研究

lectured by Mr. Motoki HIRAGURI of Aircraft Accident Investigation Commission, and "The 1st International Conference on the establishment of an International Maritime Satellite System" lectured by Mr. Koichi KIMURA of Electronic Navigation Research Institute.

43 members attended the meeting.

2. On August 18, 1975: The second research meeting was held at the council hall of MSA.
Subject "Present Status of Development of Airborne Collision Avoidance System" lectured jointly by Mr. Chuhei FUNATSU, Mr. Toshikiyo HIRATA of Toyo Communication Equipment Co., Ltd. and Mr. Kozo OKADA of Tokyo Keiki Co., Ltd. Subject "A system of sea clutter suppression on radar" lectured by Mr. Toshihiro SHIMIZU of Fujitsu Ltd.
36 members attended the meeting.
 3. On November 19, 1975: The third research meeting was held at the council hall of MSA.
Subject "IMCO Sub-Committee on Safety of Navigation" lectured by Mr. Akira KAWASHIGE of Tokyo Keiki Co., Ltd., "An application of KALMAN FILTER for navigation" lectured by Prof. Takeo KOYAMA of Tokyo University and "On the Marine Traffic Simulation" lectured by Prof. Akio M. SUGISAKI of Tokyo University of Mercantile Marine.
42 members attended the meeting.
 4. On December 17, 1975: The fourth research meeting was held at the council hall of MSA.
Subject "Navigation Simulator" lectured by Prof. Kazutami SHYOJI of Tokyo University of Mercantile Marine, "IHI Ship Maneuvering Simulator" lectured by Mr. Toshitaka NISHIOKA of Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., "Navigation Bridge Simulator, JAT-34 NBS" lectured by Mr. Yoshinori YASUDA of Japan Radio Co., Ltd., and "Ship Simulator System" lectured by Mr. Kenichiro ISHITANI of Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
38 members attended the meeting.
 5. On March 1, 1976: The fifth research meeting was held at the council hall of MSA.
Subject "Radar Aspector" lectured by Prof. Yukito IJIMA, Prof. Shyogo HAYASHI of Tokyo University of Mercantile Marine, and "Recent Developments of Radar Reflectors" lectured by Prof. Hiroshi KOTAJIMA of Hosei University.
43 members attended the meeting.
 6. On March 26, 1976: The sixth research meeting was held at the council hall of Hydrographic Dept. of MSA.
Subject "International Conference on Establishment of INMARSAT" lectured by Prof. Torao MOZAI of Tokyo University of Mercantile Marine. Subject "Hyperbolic Navigation System by FM
- 所木村小一氏の「海事衛星システムに関する IMCO 国際会議について」、と題する講演が行われた。
出席者は 43 名であった。
2. 第 2 回研究会は昭和 50 年 8 月 18 日に海上保安庁第一会議室で開催され、東洋通信機株式会社船津忠平氏、平田俊清氏、株式会社東京計器岡田昂三氏の「航空用衝突予防装置開発の現状」及び富士通株式会社清水浩或氏の「レーダにおける海面反射抑圧の一方式」と題する講演が行われた。
出席者は 36 名であった。
 3. 第 3 回研究会は昭和 50 年 11 月 19 日に海上保安庁水路部第一会議室で開催され、株式会社東京計器河重亮氏の「IMCO 航行安全小委員会について」、東京大学小山健夫氏の「航海におけるカルマンフィルタの応用について」及び東京商船大学杉崎昭生氏の「海上交通のシミュレーションについて」と題する講演が行われた。
出席者は 42 名であった。
 4. 第 4 回研究会は、昭和 50 年 12 月 17 日に海上保安庁第一会議室で開催され、東京商船大学庄司和民氏の「航海用シミュレータについて」、石川島播磨重工業株式会社西岡敏孝氏の「IHI 操船シミュレータについて」、日本無線株式会社安田義則氏の「JAT-34 NBS 船橋シミュレータについて」、及び三菱重工業株式会社石谷憲一郎氏の「船舶シミュレータシステムについて」と題する講演が行われた。
出席者は 38 名であった。
 5. 第 5 回研究会は、昭和 51 年 3 月 1 日に海上保安庁第一会議室で開催され、東京商船大学飯島幸人氏、林尚吾氏の「レーダアスペクタについて」、及び法政大学古田島博氏の「レーダリフレクタの現状」と題する講演が行われた。
出席者は 43 名であった。
 6. 第 6 回研究会は昭和 51 年 3 月 23 日に海上保安庁水路部第一会議室で開催され、東京商船大学茂在寅男氏の「海事衛星機構 (INMARSAT) 設立国際条約会議に出席して」、電気通信大学鈴木務氏、荒井郁男氏、東京商船大学飯島幸人氏、林尚吾氏の「FM

Beat Modulation” lectured jointly by Prof. Tsutomu SUZUKI, Prof. Ikuo ARAI of University of Electro-Communications, Prof. Yukito IJIMA and Prof. Shyogo HAYASHI of Tokyo University of Mercantile Marine. Subject “Current Status of Biotelemetry on the Ocean” lectured by Prof. Masaki SOMA of Tokai University.

45 members attended the meeting.

Symposium

To commemorate the opening of Tsushima Omega Station, an Omega Symposium was held at a council hall of the Ministry of Transport on 12 and 13 June 1975. The Nautical Society of JAPAN hosted the symposium and Japanese Committee on Radio Aids to Navigation and MSA assisted the symposium. Speeches and panel discussions on Omega navigation system were presented including an exhibition of Omega receivers.

Attendees were 585 in total.

Annual Observation Trip

1. On June 18, 1975: The first Observation meeting was held for “Navigation Bridge Simulator JAT-34 NBS” at Tokyo University of Mercantile Marine.

28 members jointed the meeting.

2. On August 29 to 31, 1975: The observation trip was held to TSUSHIMA, Nagasaki Pref., to visit the TSUSHIMA OMEGA Station and TSUSHIMA LORAN Station.

23 members jointed the trip.

Secretary Meeting

1. The Secretary meetings for planning were held on 21 April, 14 July, 22 October 1975 and 12 February 1976 to make drafts for the budget plan and the work plan, and/or to determine subjects of each research meetings.
2. The editorial meetings were held on 6 August, 22 October 1975 and 12 February 1976 to arrange No. 19 and No. 20 issues of the Bulletin “Electronic Navigation Review”, to make an amendment of the “Radar Operational Instruction” and to prepare and publish the “Hyperbolic Navigation System”.

Specific Sub-Committee

To study on establishment of minimum requirements for the Collision Avoidance Radar on ships, the committee decided to organise a Specific Sub-Committee, taking a suggestion from MSA into account.

However, since so many members desired to attend the planned group, as a preliminary, an Ad Hoc group consisting of following people was settled to examine management of the regular group.

ビート方式による双曲線航法システム」,及び東海大学相馬正樹氏の「海洋におけるバイオテレメトリの現状」と題する講演が行われた。

出席者は 45 名であった。

シンポジウム

対馬オメガ局の運用開始を記念して、日本航海学会主催、海上保安庁後援、電波航法研究会協賛のオメガシンポジウムが昭和50年6月12、13日運輸省会議室で開催され、オメガシステムに関する講演、パネル討論、及びオメガ受信装置の展示等が行われた。

出席者は延 585 名であった。

見学会

1. 昭和50年度第1回見学会は、昭和50年度総会及び第1回研究会当日、東京商船大学において開催され、JAT-34 NBS 船橋シミュレータを見学した。

参加者は 28 名であった。

2. 第2回見学会は、昭和50年8月29日～31日に長崎県対馬において開催され、5月1日より運用を開始した対馬オメガ局運用室及び対馬ロラン局を見学した。

参加者は 23 名であった。

幹事会

1. 企画幹事会は、昭和50年4月21日、7月14日、10月22日、51年2月12日に開催され、予算案、事業計画案の作成、研究会のテーマその他の審議が行われた。
2. 編集幹事会は昭和50年8月6日、10月22日、51年2月12日に開催され、会誌「電波航法」19号、20号の編集について、「レーダ運用指針」の改訂について、及び「双曲線航法運用指針」の編集、出版計画について審議された。

専門部会

船舶用衝突防止レーダの最低基準の検討について海上保安庁より本会に対し打診があり、第2回研究会(50.8.18)の席上、会長より経緯説明と書面(電航研第50-6号, 50.8.18)による会員の意見聴取が行われ、大多数(回答57件中55件)の同意を得て専門部会を設置することとなった。

しかし、同部会参加希望者が多数(41名)であるため、

“A Preliminary Working Group on establishment of the minimum requirements for the Collision avoidance Radar on ship”

Chairman; Prof. Kazutami Shoji
Members; Mr. Koichi Kimura
Prof. Yukito Iijima
Mr. Kojiro Shibata
Mr. Shizuo Ninomiya
Mr. Nobuo Tokuda
Mr. Noboru Iizuka

さしあたり下記の各氏からなる専門部会運営委員会を設けて運営方法の検討を行うこととなった。

船舶用衝突防止レーダの最低基準に関する専門部会運営委員会

委員長	庄 司 和 民	東京商船大
委員	木 村 小 一	電子航法研究所
	飯 島 幸 人	東京商船大
	柴 田 幸二郎	松下技研
	二 宮 鎮 男	日本無線
	徳 田 迪 夫	日本郵船
	飯 塚 登	大阪商船三井船舶

Publications

1. The bulletin “Electronic Navigation Review” No. 19 and No. 20 were published in July 1975 and February 1976, respectively.

会誌, 資料等発行頒布

1. 会誌「電波航法」第19号が昭和50年6月に、第20号が51年2月に刊行された。

Member

Admission:
Individual member; Tamio Hashimoto
Oki Electric Industry Co., Ltd.
Seession:
Corporate member; Terukuni Kaiun Co., Ltd.

会員異動

昭和50年度における会員の異動は次のとおりであった。

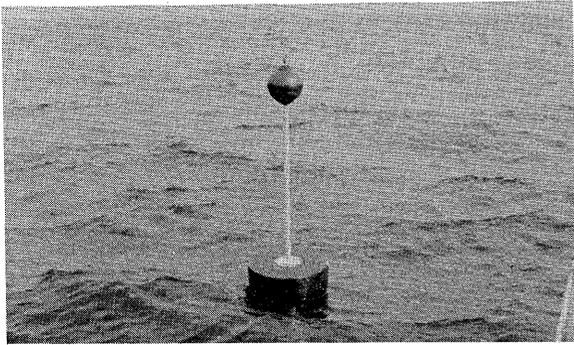
入 会
個人会員 橋 本 民 雄 (沖電気工業株式会社)
退 会
正 会 員 照国海運株式会社

電 波 航 法 ————— ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW —————

昭和52年3月28日 印 刷 1977
昭和52年3月31日 発 行 No. 22

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 東京都文京区水道 2-7-5 井口ビル
(有) 啓文堂 松本印刷



小さなブイも鮮明に。

レンズレフはレーダ電波を強力に反射する高性能レーダ反射球です。

夜間や霧中にレーダで見にくい航路標識・ブイ・救命ボート・漁網・小形船などでも、このレンズレフを取り付ければ驚くほど鮮明な映像で写し出されます。

簡単な取り付けをするだけで、あとは何も手がかからずいつまでも変らぬ威力を発揮するレンズレフ。

8形と12形の2機種があります。取り付ける対象によってお選びください。

- ◎全方向しかも均一にレーダ電波を反射します。
- ◎1個が40～50トン級の鋼船に匹敵します(12形)。
- ◎強風・波浪・極低温・紫外線などにもビクともしません。

レンズレフ

製造元

東京計器

総販売元

海洋支援機材(株)

〒141 東京都品川区西五反田1-31(日本生命ビル)
TEL (03) 490-5278



12形

FURUNO[®]

SATELLITE NAVIGATION SYSTEM

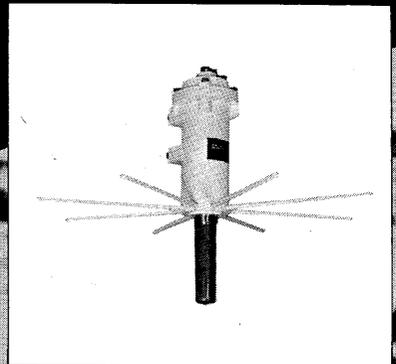
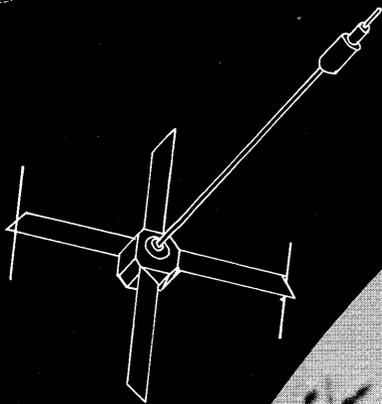
衛星航法装置

FSN-12A

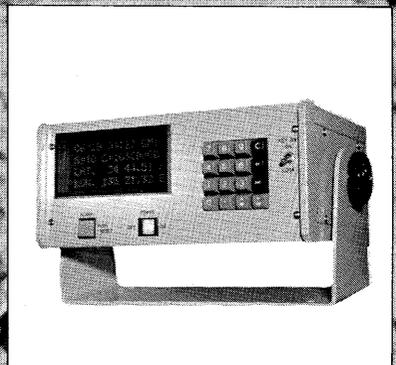
FSN-12A型衛星航法装置はフルノが最新の技術を駆使して開発した高精度の船位測定装置です。

指示部の表示は16文字4行構成のドットマトリックス型。

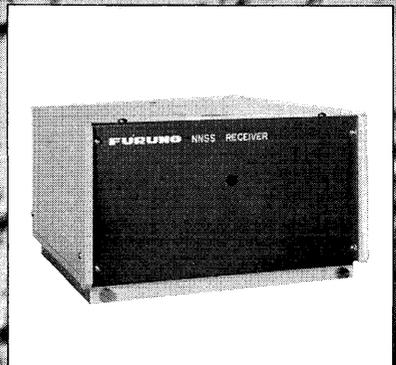
表示内容は通常、月日、時分、船位(緯度・経度)ですが、推測航法時には最終のNSS測位時からの経過時間を表示し、衛星による測位時には、受信データ、収束回数、仰角、推測位置などの精度判定符号と共に船速、方位の表示も行う大きな特長を有しています。



空中線部



ディスプレイユニット



受信部



古野電気株式会社

本社 / 西宮市芦原町9-52 ☎ 0798 (65) 2111 (大代)

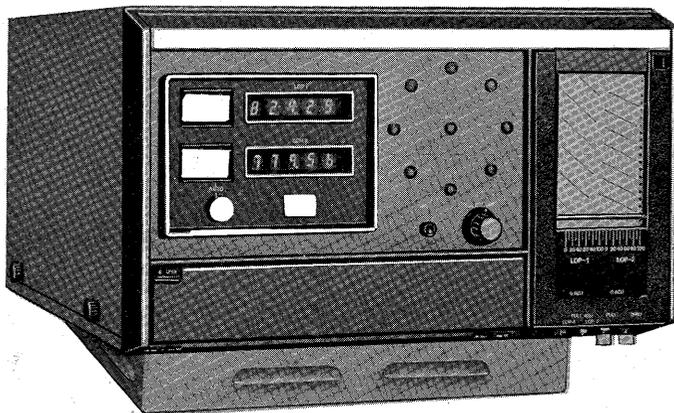
支社 / 東京都中央区八重洲4-5(藤和ビル7F) ☎ 03 (272) 8491 (代)

支店 / ●札幌 ●宮城 ●東京 ●金沢 ●西宮 ●下関 ●長崎 ●鹿児島 その他34ヶ所 海外14ヶ所

小形・低価格・高性能を誇る

OMEGA-3

— NR 1021 —



■ **簡単に確実正確な自動セグメント同期**
オメガの使用に際し最も大切なことはセグメント同期です。各オメガ送信局は厳密なタイムスケジュールにより逐次約1秒間ずつ電波を放射します。これらの電波を識別し、受信機内のクロックを正しく合せ、セグメント同期を正確にとることがきわめて必要で、もし同期にずれがあると雑音や隣の局の電波を測りこみ、大きな位置誤差をひき起します。NR-1005は米国海軍に最大の納入実績をもつノースロップ社の特許を使用し、きわめて簡単な操作で確実に正確な同期がとれ、したがって正しいLOPが測定できます。

■ **レーンスリップ防止の回路方式**
オメガ受信機は電波の位相差を測定しますので、360°ごと(100センチレーンごと)の不確定性はさげられません。受信機で直接測定するのは、表示で云えば0~99センチレーンの値で、100をこえ则表示部で桁上げまたは桁下げを自動的に行ってレーン値を3桁または4桁であらわします。電波の断または強い障害などがこの桁送りの近くで起こりますと、正常な桁上げ桁下げが行なわれず、表示は1レーン(約10NM)誤差のある値を示します。これがレーンスリップで、オメガ開発当時大きな問題になったものです。ノースロップ社はこれに対し、独自の優れた防

止方式を開発し、オメガ3形にも全面的にこの方式をとり入れていますので、この厄介なレーンスリップはほとんど起こらず、常に正しい船位を求められます。

■ **最高の信頼性**

オメガ受信機は出航時から入港するまで連続使用するものですから、ほかの電子機器にくらべ使用時間は非常に多くなります。したがって機器の寿命と信頼性はきわめて大切なことです。オメガ3形受信機は、エレクトロニクスの沖電気とノースロップ社が共同設計し、部品の1点に至るまで詳細にチェックを行ない、試作セットは双方で厳密なテストを実施して、高い信頼性と寿命を確認したものです。

● **性能**

受信周波数	10.2KHz
感度	0.01μV
ダイナミックレンジ	100dB
同期	選択した局に対し自動同期
表示	2LOP同時表示

測位精度	昼1哩、夜2哩
基準発振器	安定度 5×10^{-8} /日の基準発振器内蔵
所要電源	DC 12/24/32V 約50W
アンテナ	ホイップ形式 4m専用アンテナ(結合器付)
寸法(本体)	280(H)×375(W)×360(D)mm
重量	約20kg(本体) 4kg(アンテナ)

豊かな情報化社会をひらく

エレクトロニクスの
沖電気

◆ 沖電気工業株式会社

● お問合せは——官公庁営業本部 船舶システム課 ☎(03)454-2111(代)・沖海洋エレクトロニクス ☎(03)455-3631(代)または支店・営業所まで