

第106研究部会

船舶の高度集中制御方式の研究

報 告 書

(その1 航 法 シ ス テ ム)

昭 和 45 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

本報告書に記載されている研究成果は、第106研究部会による「船舶の高度集中制御方式の研究の実施に伴い完成された発明等およびノウ・ハウの取扱いに関する取決め」に基づき取扱われることになつておりますので、本報告書の内容の一部または全部の外部発表・転載等については、本会事務局にご連絡の上、本会の事前の承認が必要です。

はしがき

本報告書は、日本船舶振興会の昭和44年度補助事業「船舶の高度集中制御方式の研究」として、日本造船研究協会第106研究部会、航法システム分科会においてとりまとめたものである。

第106研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

・ 部会長	山下 勇（三井造船）	芥川 邦 孝（日本船舶振興会）
委 員	青山 三郎（大阪商船三井船舶）	甘利 瑛一（日本通用機器開発協会）
	安積 健次郎（電子試験研究所）	宇田川 達（日本造船士会）
	井伊謙三（川崎汽船）	木下 共武（佐世保重工業）
	岡田 正三（大阪商船三井船舶）	黒川 正典（日本郵船）
	木堂 弘雄（船舶技術研究所）	佐藤 茂（日立造船）
	佐藤 美津雄（運輸省）	高田 正夫（日本船長協会）
	真田 良（日本船主協会）	竹沢 五十衛（三菱重工業）
	高橋 百千（日本船舶機関士協会）	土屋 正雄（電子機械工業会）
	千葉 宗雄（航海訓練所）	土井 由之（昭和海運）
	土井 正三（住友重機械工業）	長谷川 鍵二（川崎重工業）
	中尾 正光（ジャパンライン）	林 清（山下新日本汽船）
	埴田 清勝（日本鋼管）	丸尾 卓志（日本船主協会）
	原 三郎（日本海事協会）	元 良誠三（東京大学）
	三鷹 虎夫（大阪商船三井船舶）	山田 泰造（日本造船工業会）
	矢野 鎮雄（石川島播磨重工業）	吉識 雅夫（日本学術振興会）
	横田 利雄（東京商船大学）	

第106研究部会幹事会委員名簿（敬称略、順不同）

委員	荒瀬 星二（三井造船）	浅野 俊一（日立造船）
	守田川 真央（運輸省）	大川 審作（住友重機械工業）
	大田方 得二（日本鋼管）	唐沢 康人（石川島播磨重工業）
	佐々田 暉正（大阪商船三井船舶）	菅沼 清（川崎重工業）
	高柳 武男（三井造船）	丸尾 卓志（日本郵船）
	木戸 韶雄（佐世保重工業）	米原 令敏（三菱重工業）

第106研究部会航法システム分科会委員名簿（敬称略、順不同）

分科会長	丸尾 卓志（日本郵船）	池田 雄（航海訓練所）
チーフリーダー	唐沢 康人（石川島播磨重工業）	石川 政史（三菱電機）
委員	家入 順二（日本電気）	乾 錠（富士通）
	池田 孝（山下新日本汽船）	今西 銀次郎（太洋洋海運）
	市瀬 利（東京タンカー）	堀田 伸（住友重機械工業）
	伊原 桂太郎（富士電機）	
	今村 宏（運輸省）	

田居 獢	(日本船主協会)	岡田 高	(沖電気)
片山 勇	(出光タンカー)	金丸 順治	(川崎汽船)
川口 博	(川崎重工業)	川原 隆	(日本郵船)
河村 四朗	(気象庁)	菅 一志	(東京計器)
木村 小一	(電子航法研究所)	栗原 俊三	(日本鋼管)
栗村 康彦	(船舶技術研究所)	黒田 勇雄	(三光汽船)
小林 実	(北辰電機製作所)	小山 健夫	(東京大学)
坂野 希	(石川島播磨重工業)	柴田 清	(石川島播磨重工業)
柴田 幸二郎	(安立電波工業)	庄司 和民	(東京商船大学)
鈴木 良光	(日立造船)	田古里 哲夫	(東京大学)
筒井 勇次郎	(日立製作所)	鶴ヶ谷 武雄	(日本電気)
寺本 俊二	(北辰電機)	飛河 子老	(新立電波)
温品 秀雄	(日本無線)	野々瀬 茂	(三井造船)
野本 謙作	(大阪大学)	長谷川 敏	(三菱重工業)
原昌三	(三菱重工業)	人見 重美	(大阪商船三井船舶)
平塚 司郎	(日本郵船)	藤本 劳雄	(ジャパンライン)
藤原潤一	(古野電気)	町田 達八	(光電製作所)
松田季彥	(富士通)	松本 吉春	(神戸商船大学)
松山辰郎	(富士通)	村上博彌	(昭和海運)
向山 泰	(川崎重工業)	毛利 武弘	(大阪商船三井船舶)
至中 勝	(日立造船)	茂在寅男	(東京商船大学)
元良誠三	(東京大学)	山内保文	(船舶技術研究所)
山崎芳嗣	(佐世保重工業)	山里 昭二郎	(三井造船)
山中恒夫	(東京芝浦電気)	渡辺四郎	(川崎重工業)

第106研究部会航法システム分科会自動航法システム小委員会委員名簿(敬称略、順不同)

主査 唐沢康人	(石川島播磨重工業)	石橋 �剛	(富士通)
委員 飯塚 登	(大阪商船三井船舶)	今村 宏	(運輸省)
井上篤次郎	(神戸商船大学)	岡田 高	(沖電気)
岩田三郎	(山下新日本汽船)	河村 四郎	(気象庁海洋気象部)
金丸順治	(川崎汽船)	黒田 勇雄	(三光汽船)
木村小一	(電子航法研究所)	小林 実	(北辰電機)
児島毅	(三菱重工業)	佐藤 昭介	(東京計器)
坂野希	(石川島播磨重工業)	新谷 文雄	(航海訓練所)
庄司和民	(東京商船大学)	田村 隆一	(川崎重工業)
田中健一	(ジャパンライン)	徳田 迪夫	(日本郵船)
寺本俊二	(北辰電機)	野々瀬 茂	(三井造船)
温品秀雄	(日本無線)	町田 達八	(光電製作所)
藤原潤一	(古野電気)	山中恒夫	(東京芝浦電気)
森本育郎	(新和海運)		

若林 謙之(日立造船)

渡辺 四郎(川崎重工業)

第106研究部会航法システム分科会座礁予防システム小委員会委員名簿(敬称略、順不同)

主査	山田 昭二郎(三井造船)	今村 宏(運輸省)
委員	飯塚 登(大阪商船三井船舶)	香川 秀光(三井造船)
	大須賀 実(川崎重工業)	栗村 康彦(船舶技術研究所)
	金丸 順治(川崎汽船)	筒井 勇次郎(日立製作所)
	佐藤 純夫(石川島播磨重工業)	豊野谷 一夫(山下新日本汽船)
	徳田 迪夫(日本郵船)	町田 遼八(光電製作所)
	野々瀬 茂(三井造船)	茂在 實男(東京商船大学)
	李中 勝(日立造船)	

第106研究部会航法システム分科会衝突予防システム小委員会委員名簿(敬称略、順不同)

主査	坂野 希(石川島播磨重工業)	飯塚 登(大阪商船三井船舶)
委員	青木 崇(東京計器)	岡田 高(沖電気)
	今村 宏(運輸省)	金丸 順治(川崎汽船)
	小川陽弘(船舶技術研究所)	木村 小一(電子航法研究所)
	唐沢康人(石川島播磨重工業)	黒田 勇雄(三光汽船)
	栗原俊三(日本鋼管)	庄司和民(東京商船大学)
	柴田 幸二郎(安立電波)	田辺 梅(日本原子力船開発事業団)
	田中健一(ジャパンライン)	田村 隆一(川崎重工業)
	谷山竜男(山下新日本汽船)	飛河子老(協立電波)
	徳田迪夫(日本郵船)	野々瀬 茂(三井造船)
	温品秀雄(日本無線)	本田 啓之輔(神戸商船大学)
	原昌三(三菱重工業)	村上 博彌(昭和海運)
	松田季彦(富士通)	森本 育郎(新和海運)
	李中 勝(日立造船)	山本勝夫(航海訓練所)
	山中恒男(東京芝浦電気)	

第106研究部会航法システム分科会緊急制動システム小委員会委員名簿(敬称略、順不同)

主査	柴田 寶(三菱重工業)	今村 宏(運輸省)
委員	今井 達(シエル船舶)	川原 隆(日本郵船)
	岡部利正(三菱重工業)	関根 仁(藤倉航装)
	志波久光(日本海事協会)	長谷川 敬(三菱重工業)
	谷初藏(東京商船大学)	森 信篤(船舶技術研究所)
	元良誠三(東京大学)	

船舶の高度集中制御方式の研究

(その1. 航法システム)

目 次

1. 自動航法システムの開発	1
1.1 船位決定システムの開発	1
1.1.1 ロランA/Cによる船位決定実用プログラムの作成	1
1.1.2 オメガシステムの調査および船位決定ソフトウェアの作成	18
1.1.3 トランシット衛星受信システムのシステムデザインおよび船位決定用実用プログラムの作成	34
(1) システムデザイン	34
(2) 船位決定用実用プログラムの作成	41
1.2 船位推定システムの開発	44
1.2.1 慣性航法システムの調査研究	44
1.2.2 船位推定システムの実用プログラムの作成	48
1.3 最適航路設定システムの開発	53
1.3.1 はしがき	53
1.3.2 狹域最適航路設定システム	53
2. 座礁予防システムの開発	73
2.1 座礁回避航法のソフトウェアの開発	73
2.2 座礁予防システムの性能確認実験	79
2.3 音響透過窓の透過率の計測	94
3. 衝突予防システムの開発	104
3.1 航路の実情調査にもとづく衝突回避アルゴリズムの検討	104
3.2 衝突回避航法の実用プログラムの作成	124
4. 緊急制動システムの開発	145
5. 航法システムのソフトウェアの開発	158
5.1 航法システムのフローチャート、I/Oリスト等の作成	158
5.2 モニタプログラムの作成	161

1. 自動航法システムの開発

1.1 船位測定システムの開発

1.1.1 ロランA/Cによる船位決定実用プログラムの作成

(1) プログラム作成方針

ロランA/Cによる船位決定実用プログラム作成の方針としては、ロランA、ロランCがパルス繰返し周期の差以外全く同じ性質で演算上取扱うことができる所以、実測値との比較、チャートテーブルの校正の確度の高さ等の理由からロランA局による演算をモデルとして実施した。なお、本方式の演算は各定数およびレーン数積算の演算の追加変更を行なえばオメガ、デッカー等の双曲線航法全般に汎用が可能である。

演算の諸元は次のとおりである。

使用計算機	OKITAC-5090A
サイクルタイム	4 μs
プログラム	OKISAP-I
使用ロラン局	2S0, 2S1, 2S2, 2S3
演算サンプル点	日本周辺16点
所要入力	時間差、局名、局位置、補整値(緯度、伝播)その他定数
使用ロラン受信機	沖電気製NR-1003型 (全自动ロラン受信機)

なお本試算においては、空間波・地上波の判定プログラム、空間波補正プログラムはハードウェアの要素がかなり入り一般的ではないので省略し純然たる測位の実用プログラムに止めた。

したがつて今回試算を行なつたのは推定位置を設定し、これを利用してロラン実測値からロラン緯度経度を求める方式である。

(2) 演算方法

本プログラムの基礎となる計算方法は以下のとおりである。まず第1回の測定の際には船舶のデータすなわち天頂、Gyro-Log、Cross-Bearing、レーダ等で得られた推定位置を導入する。(第2回以降は前回の実測値を用いるので不要)

そして演算順序として最初にこの推定位置から測定しているロラン局までの大園距離を計算し、これにより推定位置を通る時間差を計算する。

この推定時間差と実際のロラン受信機で得られた時間差を比較し、この両者の差が零となるように推定位置をさせて行き、零となつたときの推定位置がすなわち実測位置と云うことになる。

もちろん、この途中で地球面の梢円補整その他の補整を行ない、正確な値を求めるようにする。

ロラン局の性質から受信機で測定した時間差 τ_D は次式で表わされる。

$$\tau_D = S_{MS}/c + \Delta t + S_{PS}/c - S_{RM}/c \quad \dots \dots \dots \quad (1.1.1-1)$$

ここに

S_{MS} ; 主従局間の距離

Δt ; 従局のコーディング遅延

S_{PS} ; 従局から船舶迄の距離

S_{RM} ; 主局から船舶迄の距離

c ; 光速

(a) 大園距離および時間差の求め方

推定位置が与えられたとき、これからロラン局までの大円距離を求める方法は次のとおりである。

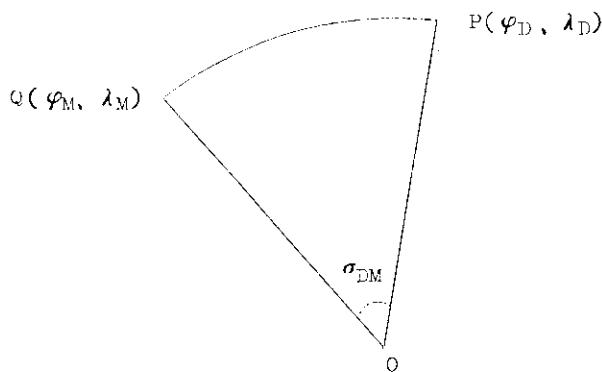


図 1.1.1-1

地球上の 2 点 PQ の大円距離 PQ を求めるには、まず地球を球面と仮定したとき \widehat{PQ} を含む角 σ_{PM} は

$$\sigma_{DM} = \cos^{-1} \{ \sin \varphi_D \sin \varphi_M + \cos \varphi_D \cos \varphi_M \cos(\lambda_D - \lambda_M) \} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-2)$$

$P(\varphi_D, \lambda_D)$ を船舶の推定位置、 $M(\varphi_M, \lambda_M)$ を主局の位置とすれば船舶と主局を含む角は σ_{DM} であり、同様に船舶と従局を含む角 σ_{DS} は

$$\sigma_{DS} = \cos^{-1} \{ \sin \varphi_D \sin \varphi_S + \cos \varphi_D \cos \varphi_S \cos(\lambda_D - \lambda_S) \} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-3)$$

ここで実際に梢円補整が必要で、この補整量を被測定点を基準として $\delta\sigma_{DM}$ 、 $\delta\sigma_{DS}$ として表わすと、

$$\begin{aligned} \delta\sigma_{DS} &= \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1-e^2}) \frac{3 \sin \frac{\sigma_{DM}}{2} - \sigma_{DM}}{\cos^2 \frac{1}{2} \sigma_{DM}} (\sin \varphi_D + \sin \varphi_M)^2 \\ &- \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1-e^2}) \frac{3 \sin \frac{\sigma_{DS}}{2} - \sigma_{DS}}{\sin^2 \frac{1}{2} \sigma_{DS}} (\sin \varphi_D - \sin \varphi_M)^2 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-4)$$

$$\begin{aligned} \delta\sigma_{DM} &= \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1-e^2}) \frac{3 \sin \frac{\sigma_{DS}}{2} - \sigma_{DS}}{\cos^2 \frac{1}{2} \sigma_{DS}} (\sin \varphi_D + \sin \varphi_S)^2 \\ &- \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1-e^2}) \frac{3 \sin \frac{\sigma_{DM}}{2} - \sigma_{DM}}{\sin^2 \frac{1}{2} \sigma_{DM}} (\sin \varphi_D - \sin \varphi_S)^2 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-5)$$

これを距離に換算するには、赤道面の半径 E を乘すればよいわけで、こゝに e は eccentricity である。

地理上の実距離は次々角度で表わし σ'_{DM} 、 σ'_{DS} とすれば

$$\sigma'_{DM} = \sigma_{DM} + \delta\sigma_{DM} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-6)$$

$$\sigma'_{DS} = \sigma_{DS} + \delta\sigma_{DS} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-7)$$

次に伝播補整値を同様に $\delta\sigma'_{DM}$ 、 $\delta\sigma'_{DS}$ とすれば

$$\delta\sigma'_{DM} = A(\sigma'_{DM} + a)^2 + B(\sigma'_{DM} + b) + C \quad \dots \dots \dots (1.1.1-8)$$

$$\delta\sigma'_{DS} = A(\sigma'_{DS} + a)^2 + B(\sigma'_{DS} + b) + C \quad \dots \dots \dots (1.1.1-9)$$

以上から実距離を角度で表わすと

$$\sigma''_{DM} = \sigma'_{DM} + \delta\sigma'_{DM} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-10)$$

$$\sigma''_{DS} = \sigma'_{DS} + \delta\sigma'_{DS} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-11)$$

同様に主従局間の実距離 σ''_{MS} は

$$\sigma''_{MS} = \sigma'_{MS} + \delta\sigma'_{MS} \quad \dots \dots \dots (1.1.1-12)$$

それぞれの距離は

$$S_{DM} = E\sigma''_{DM}$$

$$S_{DS} = E\sigma''_{DS}$$

$$S_{MS} = E\sigma''_{MS}$$

したがつて時間差 τ_D は

$$\tau_D = \frac{E\sigma''_{MS}}{C} + C_d + \frac{E\sigma''_{DS}}{C} - \frac{E\sigma''_{DM}}{C} \quad \dots\dots\dots(1.1.1-14)$$

と云う値が求められる。

(b) 時間差補整の方法

(a)項で推定位置に関する推定時間差が求められたので次のステップとしては、この値と実測時間差を比較しその差を縮めながら演算をして行き両時間差が一致(予定の誤差以下)したときの推定位置を実測位置とするわけである。

ロランで位置を決定するためには最小2本の双曲線が必要であるが、この2本の双曲線群は

$$T_{D1} = f_1(\varphi, \lambda) \quad \dots\dots\dots(1.1.1-15)$$

$$T_{D2} = f_2(\varphi, \lambda) \quad \dots\dots\dots(1.1.1-16)$$

として表わされる。

こゝに $T_{D1}, f_1(\varphi, \lambda)$ はある局に対する時間差およびそれに対する緯度、経度を関数とする方程式である。

$T_{D2}, f_2(\varphi, \lambda)$ も同様他の局に関するものである。

それを時間差で微分すると

$$1 = \frac{\partial f_1}{\partial T_{D1}} = \frac{\partial f_1}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial T_{D1}} + \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial T_{D1}} \quad \dots\dots\dots(1.1.1-17)$$

時間差が $\Delta T_{D1}, \Delta T_{D2}$ 変化したときその量は

$$\Delta T_{D1} = \frac{\partial f_1}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} \Delta \lambda \quad \dots\dots\dots(1.1.1-18)$$

$$\Delta T_{D2} = \frac{\partial f_2}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial f_2}{\partial \lambda} \Delta \lambda \quad \dots\dots\dots(1.1.1-19)$$

したがつて上2式を連立に解けば $\Delta T_{D1}, \Delta T_{D2}$ に対する $\Delta \varphi, \Delta \lambda$ が求められ、この量により最初の推定位置を補正すればよい。

(3) フローチャートの説明

本方式の演算の総合フローチャートを図1.1.1-3に示す。

なおこのフローチャート中□については、その動作が測位プログラムと直接関係ない点およびハードウェアの要素をかなり考えなければならないので今回は省略した。

図に示すように本演算は、まづ推定位置(第2回以降は前回の測定値)、測定局名、時間差を読みむことから始まり、前述の数式に従つて推定位置と局との大圈距離の計算、椭円体補整を行ない大圈実距離を求め、これから時間差を算出する。

この時間差と実測時間差を比較しこれが一致するまで推定位置を補整し、一致した時の補整推定位置を実測位置とする方法である。

一致した時点で印字し計算を終了する。

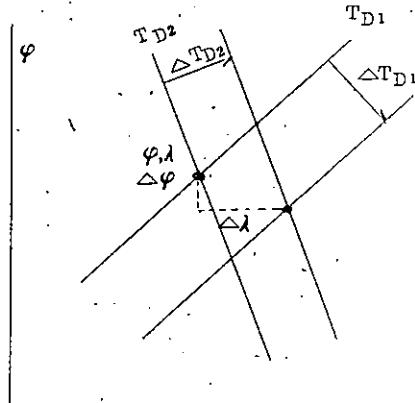


図1.1.1-2

図 1.1.1-4 以降はこの詳細であつて図 1.1.1-4、5、6 は推定位置、局名、時間差読込のフローを示し図 1.1.1-7、8、9、10 は大円距離、梢円体補整を行ない推定位置と局との実距離(大圓)を計算するフローである。

図 1.1.1-11 はこの大圓実距離から時間差計算および実測位比較を行うためのフローで、この結果により図 1.1.1-12、13、14 に示すように推定位置補整を行なうものである。

(4) 計算結果の一例

計算は日本周辺の 16 点をサンプルして行なつたが、その計算値のバラツキは略々満足すべき値を示し、方式的に間違いのないことを確認した。

ただし、計算中本計算の確度を確かめるために行なつた試算では $+1 \sim +6 \mu\text{s}$ 程度の差異が見られた。

この計算は海上保安庁刊行のロランテーブルより、1 点を読みとり計算ループをオープンにして推定位置=実測位置の計算を行なつたもので、その 1 例を表 1.1.1-1 に示すが、この条件では Correction to be necessary が零となるべきところ $+1 \sim +6 \mu\text{s}$ の偏差を示した。

そこで同様の方法で 13 点チェックしたところ、梢円補整その他の定数に何かの差異があると推定されるのでこの点の調査追跡を今後実施したいと考える。

なお 13 点のチェックの値からも計算方式上の誤りは発見されず、一定の方法にシフトしているので定数修整のみにて改善されると考えられる。

表 1.1.1-1 計算結果の一例

D.R. LONG. 2.539453848 RAD. (A1×10)

D.R. LAT. 0.663224902 RAD. (B1×10)

STATION 250

MASTER LONG. 2.457162272 RAD. (C11×10)

LAT. 0.624973742 RAD. (C12×10)

SLAVE LONG. 2.440280697 RAD. (C21×10)

LAT. 0.577505674 RAD. (C22×10)

TIME DIFFERENCE 02931 MICRO SEC

STATION 251

MASTER LONG. 2.478959514 RAD. (E11×10)

LAT. 0.688227442 RAD. (E12×10)

SLAVE LONG. 2.539856844 RAD. (E21×10)

LAT. 0.753745182 RAD. (E22×10)

TIME DIFFERENCE 03491 MICRO SEC

STATION 250

GREAT-CIRCLE DISTANCE BETWEEN MASTER AND SLAVE

0.049464100 RAD. (SGMS1×10)

CORRECTION TO BE ADDED FOR THE ECCENTRICITY OF THE EARTH

-0.000000257 RAD. (DSGMS1×1)

GREAT-CIRCLE DISTANCE BETWEEN SLAVE AND THE D.R. POSITION

0.117669319 RAD. (SGDS1×10)

CORRECTION TO BE ADDED FOR THE ECCENTRICITY OF THE EARTH

-0.000000239 RAD. (DSGDS1×1)

GREAT-CIRCLE DISTANCE BETWEEN MASTER AND THE D.R. POSITION

0.076098471 RAD. (SGDM1×10)

CORRECTION TO BE ADDED FOR THE ECCENTRICITY OF THE EARTH

0.000000015 RAD. (DSGDM1×1)

STATION 2S1

GREAT -CIRCLE DISTANCE BETWEEN MASTER AND SLAVE

0.079889062 RAD. (SGMS2×10)

CORRECTION TO BE ADDED FOR THE ECCENTRICITY OF THE EARTH

-0.000000144 RAD. (DSGMS2×1)

GREAT -CIRCLE DISTANCE BETWEEN SLAVE AND THE D.R. POSITION

0.090520798 RAD. (SGDS2×10)

CORRECTION TO BE ADDED FOR THE ECCENTRICITY OF THE EARTH

-0.000000368 RAD. (DSGDS2×1)

GREAT -CIRCLE DISTANCE BETWEEN MASTER AND THE D.R. POSITION

0.053408287 RAD. (SGDM2×10)

CORRECTION TO BE ADDED FOR THE ECCENTRICITY

OF THE EARTH

0.000000037 RAD. (DSGDM2×1)

TIME DIFFERENCE BY THE D.R. POSITION

2S0

2937 MICRO SEC

2S1

3489 MICRO SEC

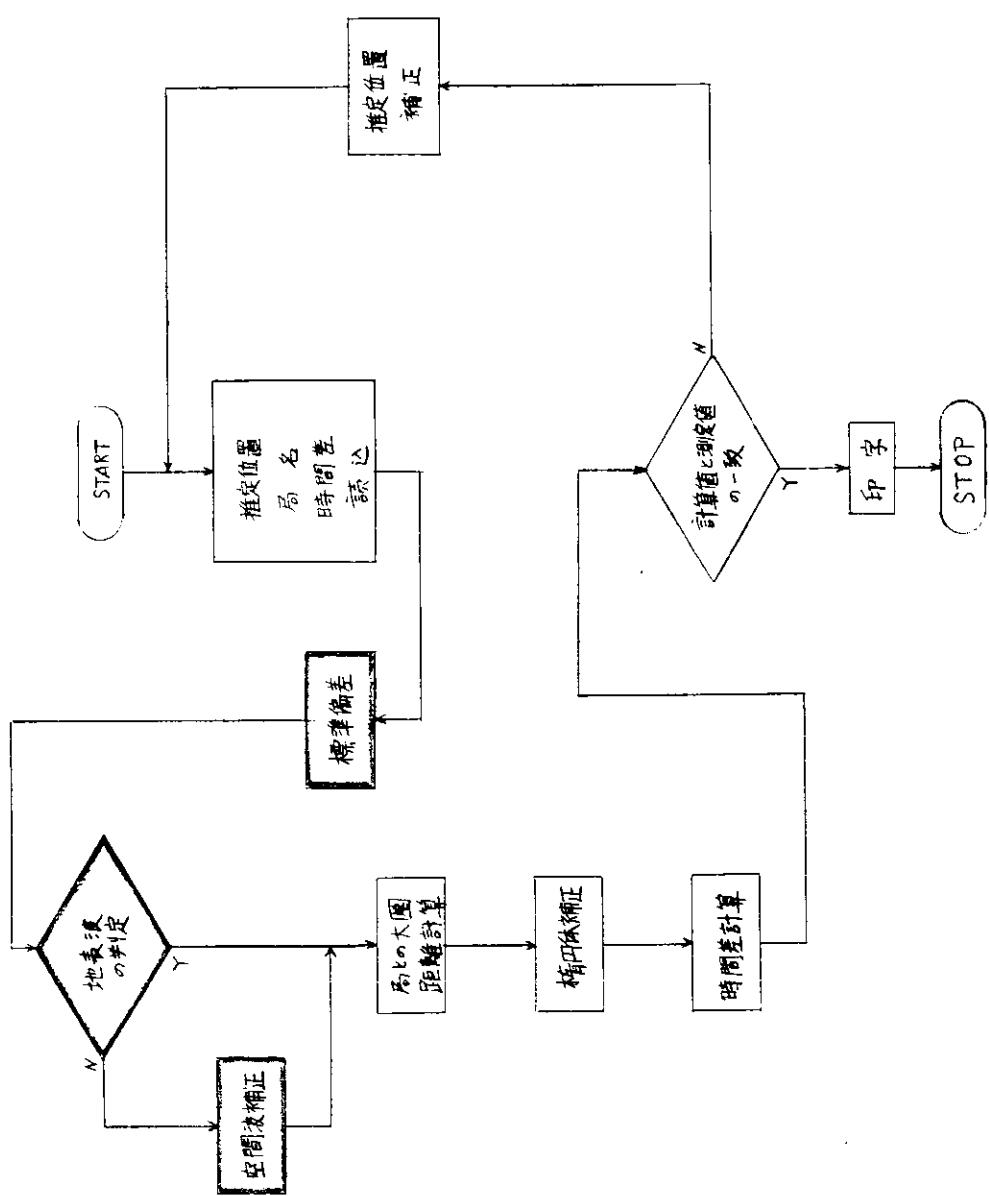
CORRECTION TO BE NECESSARY

2S0

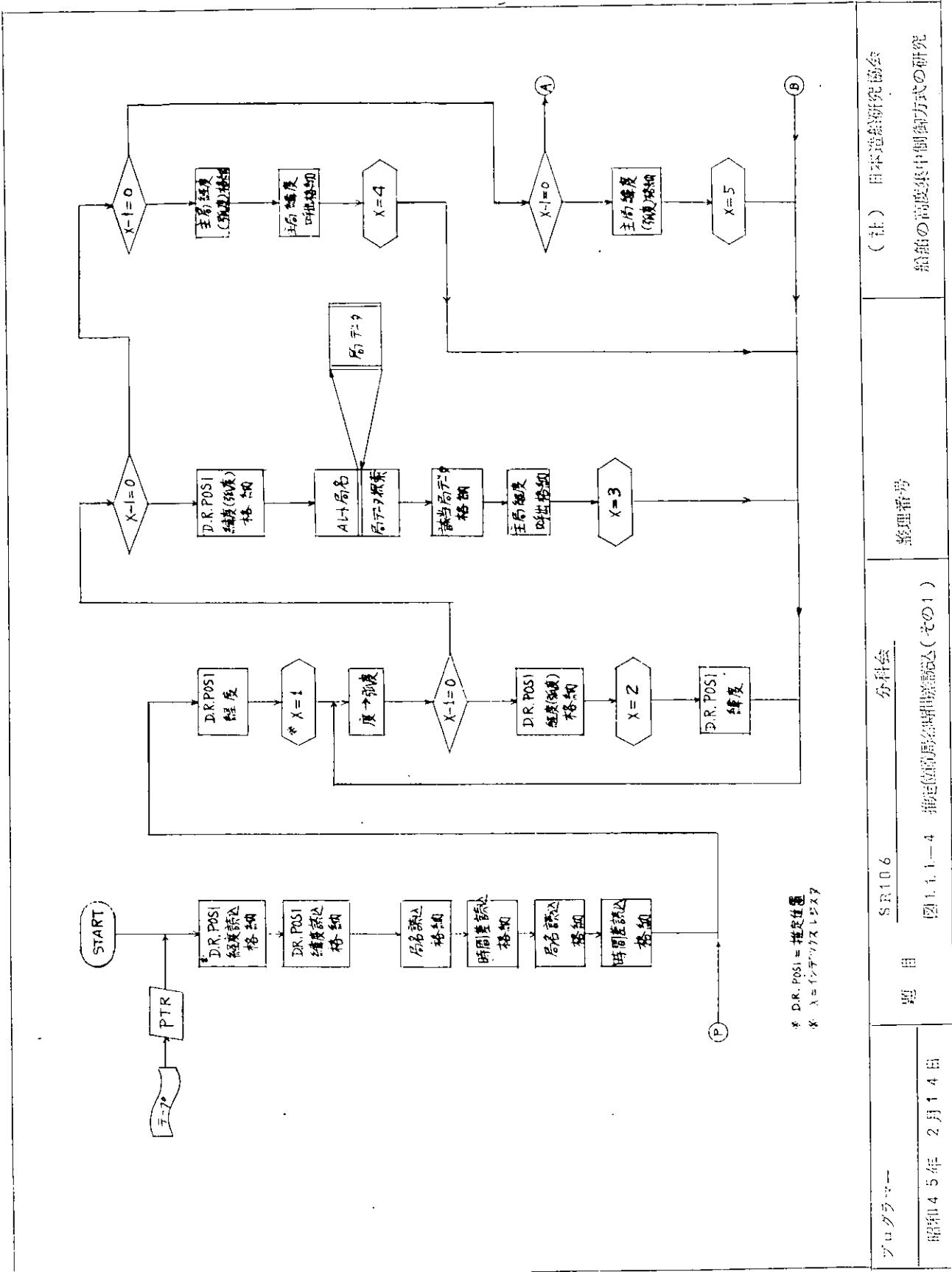
-00006 MICRO SEC

2S1

00001 MICRO SEC



プログラム	SR166	分科会	(社) 日本造船研究協会
昭和45年 2月14日	題 目	整理番号	船舶の高度集中制御方式の研究



プログラマー

SR4106

分科会

(社) 日本造船研究所

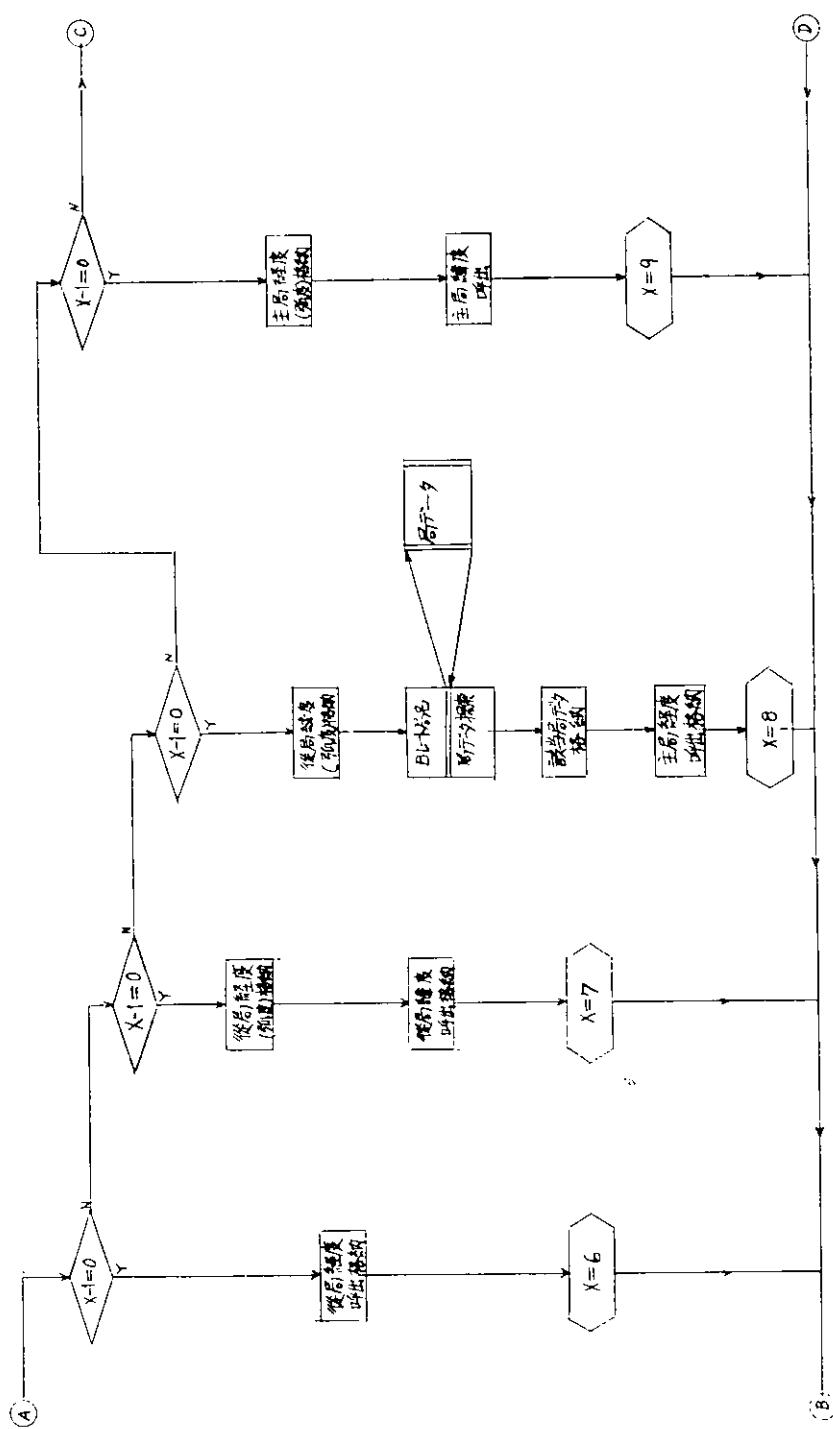
会員登録方式の研究

船舡の高度製作制御方式の研究

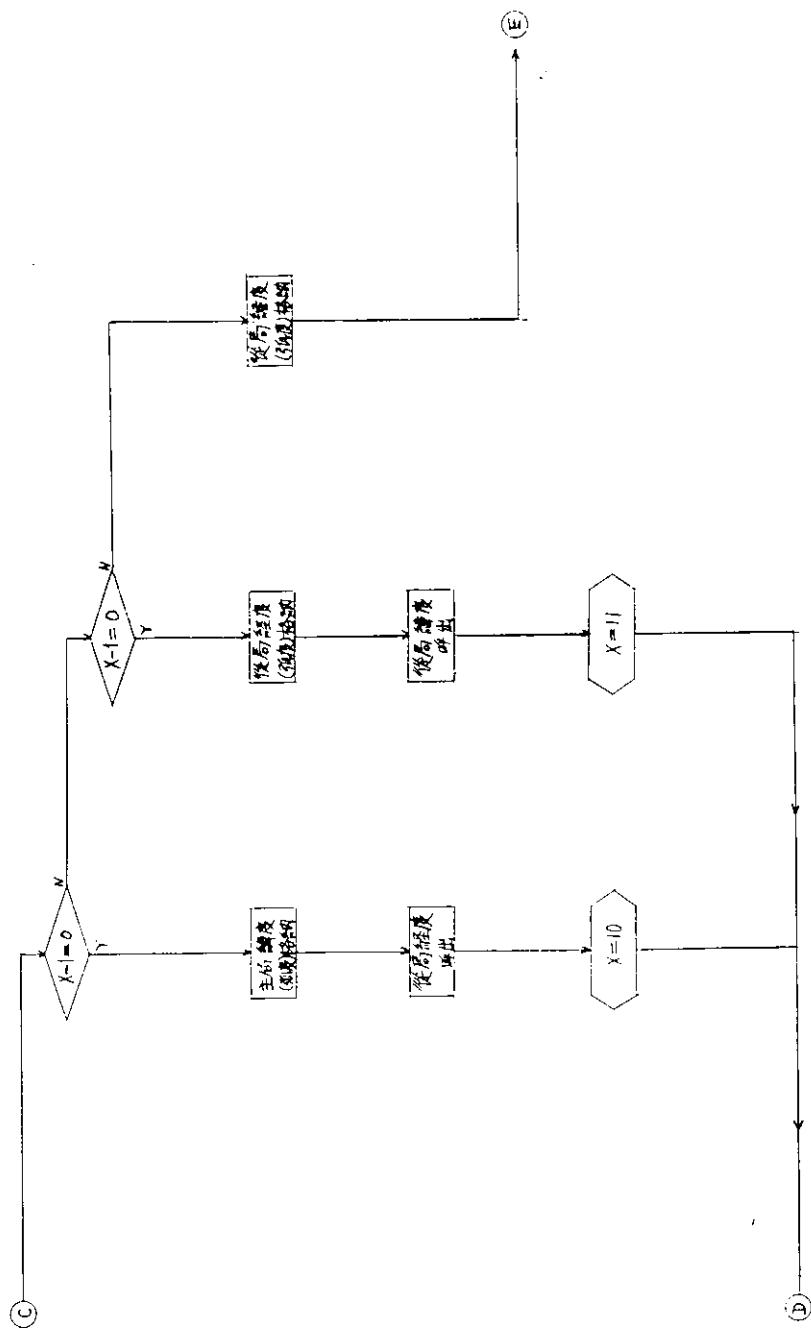
題目 圖1.1.1—4 船用機器開発課題(その1)

分科会
題目
図1.1.1—4 船用機器開発課題(その1)

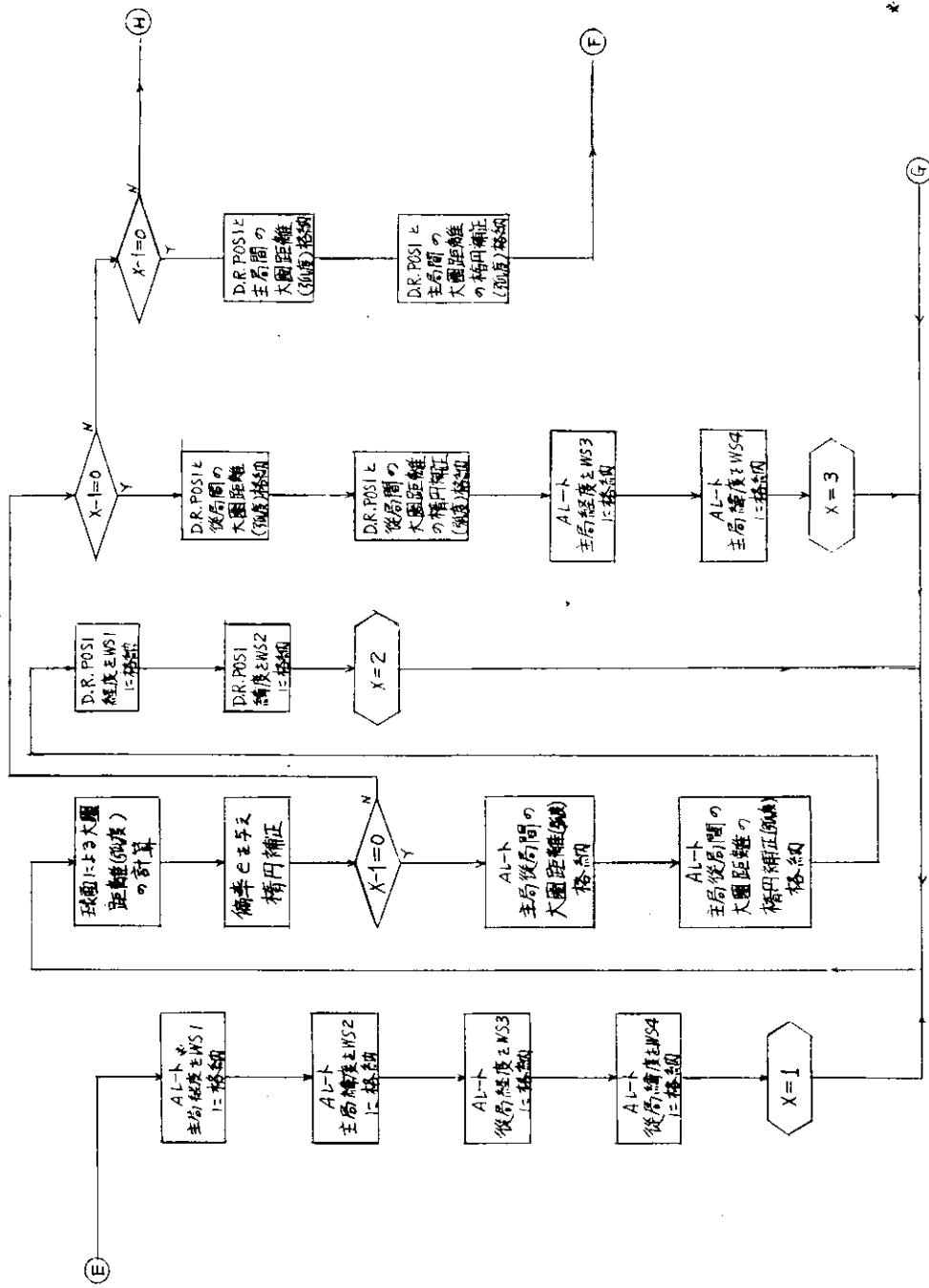
終了



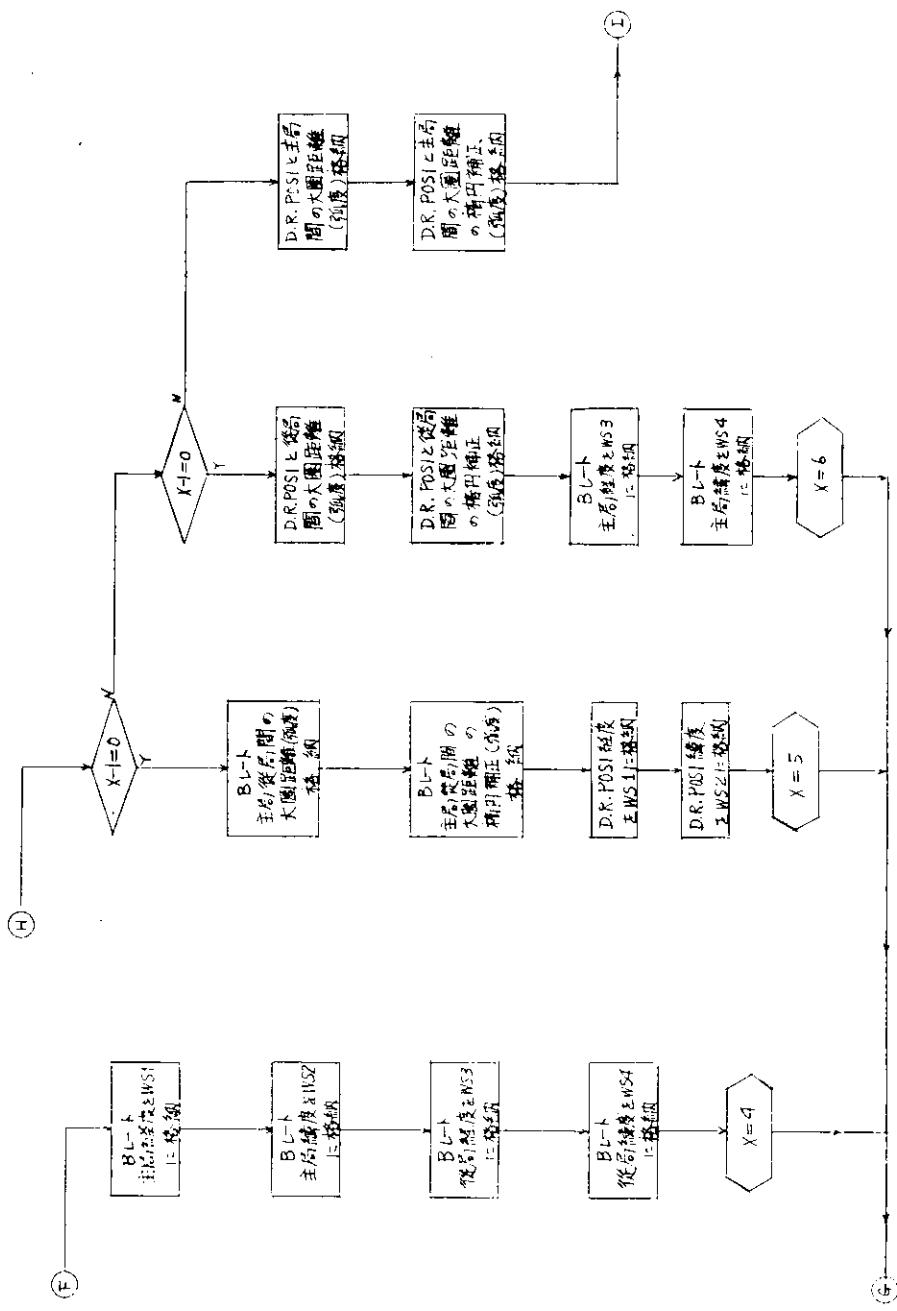
プロジェクト 昭和 45 年 2 月 14 日	題 目 図 1.1.4-5 指定船舶名指揮部就込(その 2)	分科会	整理番号	(社) 日本造船研究協会 船舶の高周集中制御方式の研究
----------------------------	-----------------------------------	-----	------	--------------------------------



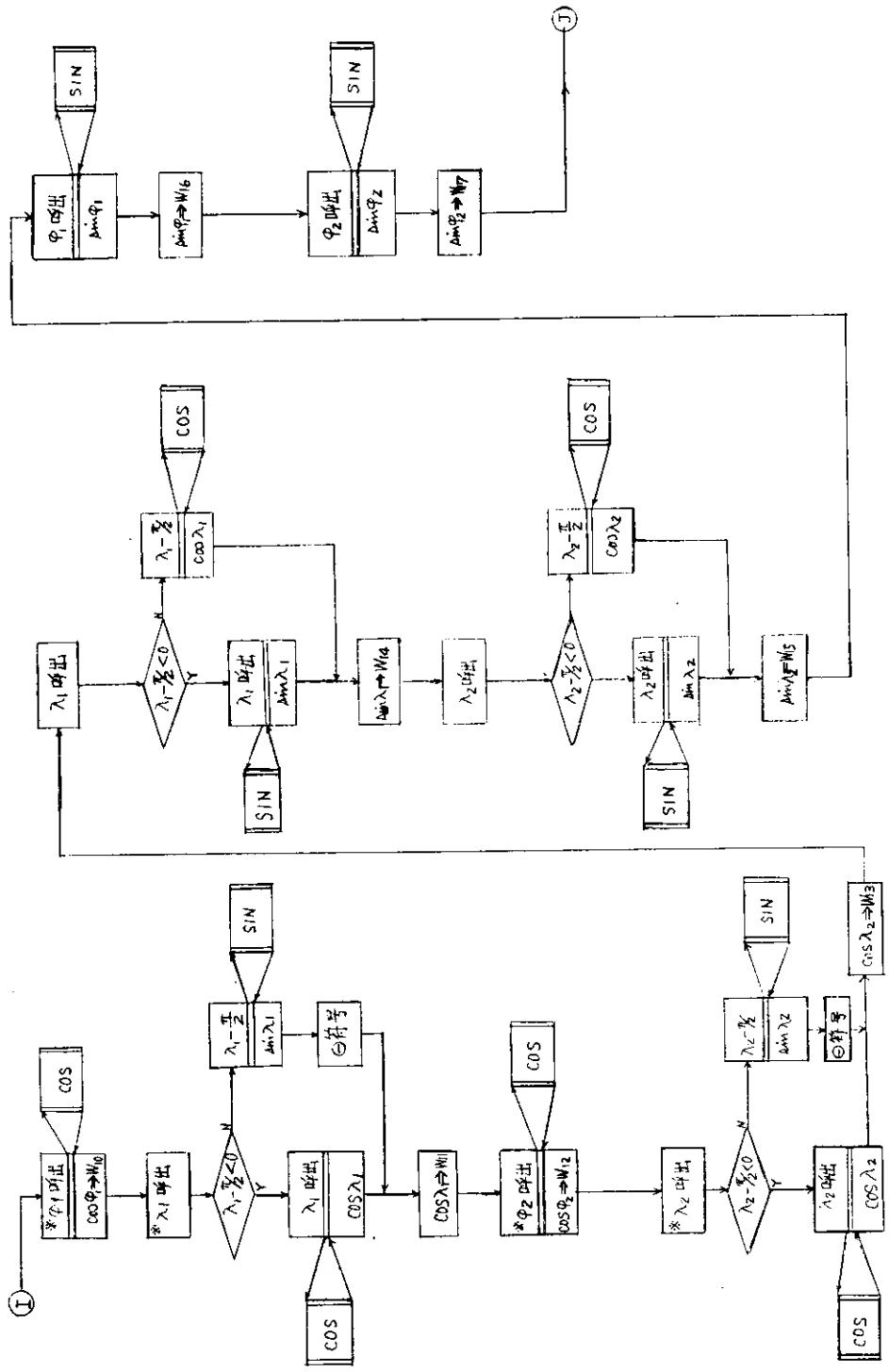
プログラム	SR10.6	分科会	(社) 日本造船研究協会
題目	図 1.1-6 搾道試験船名、時間差並び(その3)	整理番号	船舶の高精度性制御方式の研究
開催日 4月5日 2月14日			



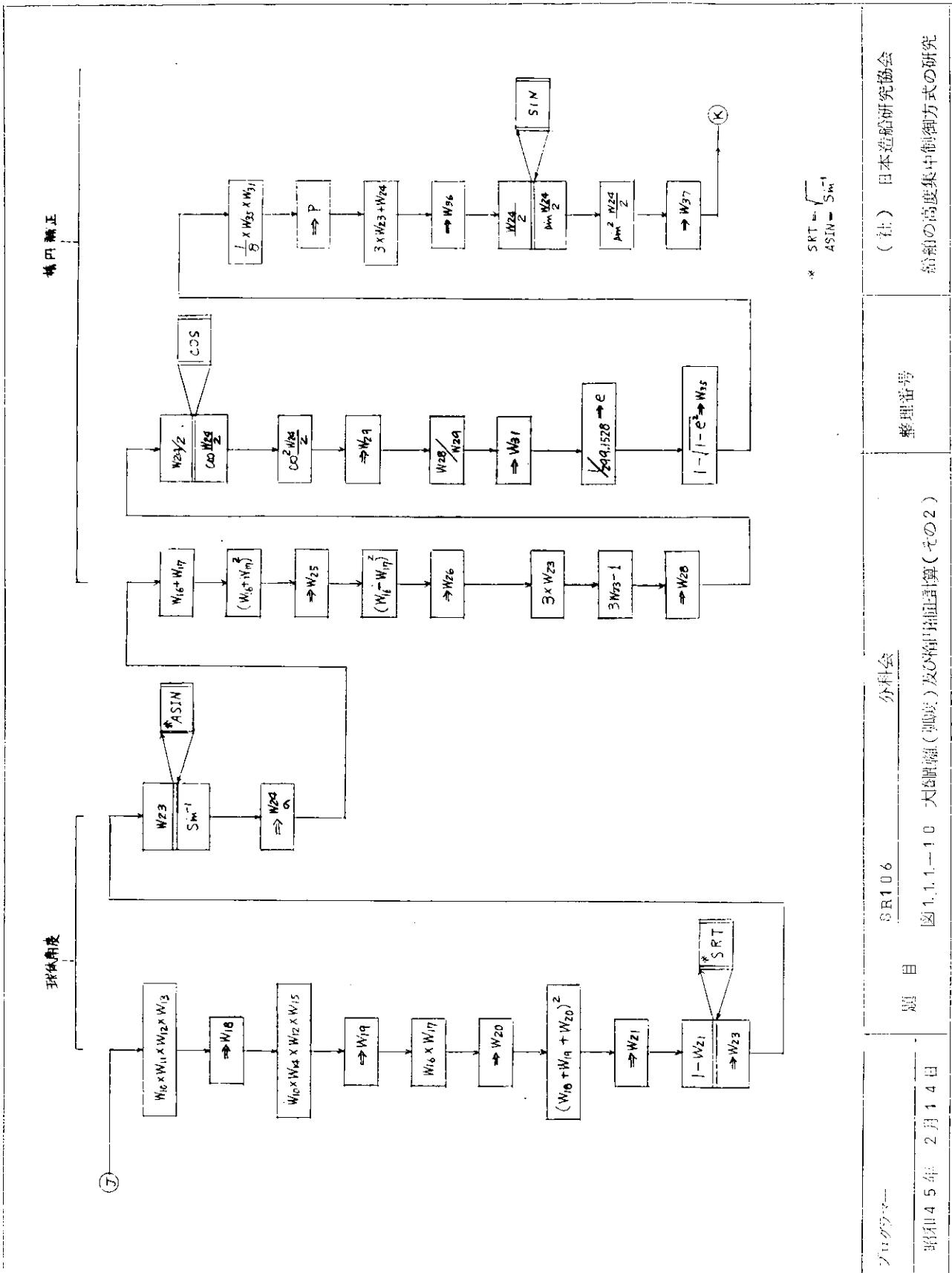
プログラム	題目	SR106	分科会	整理番号	(社) 日本造船研究協会 船舶の高度集中制御方式の研究
昭和45年 2月14日	図1.1.1-7	局との大型艤装船及び貨物体積正(その1)			



昭和45年 2月14日	題目	S4106	分科会	(社) 日本建築研究会
	図1.1.1-8 局との大型鋼構造修復及び専門体恤(その2)	整理番号	精測の高度集中制御方式の研究	



プログラム	S R 106	外部系	(社) 日本造船研究協会
昭和45年 2月14日	題目	図 1.1.1-9 大型船舶(弧度)及び半船形船舶(度)	船舶の高度集中制御方式の研究



SRI 06
題 目 図 1.1.1-10 大船體（駆逐艦）及び積荷運動計算（その2）

ヨウジテクニ—
昭和45年 2月14日

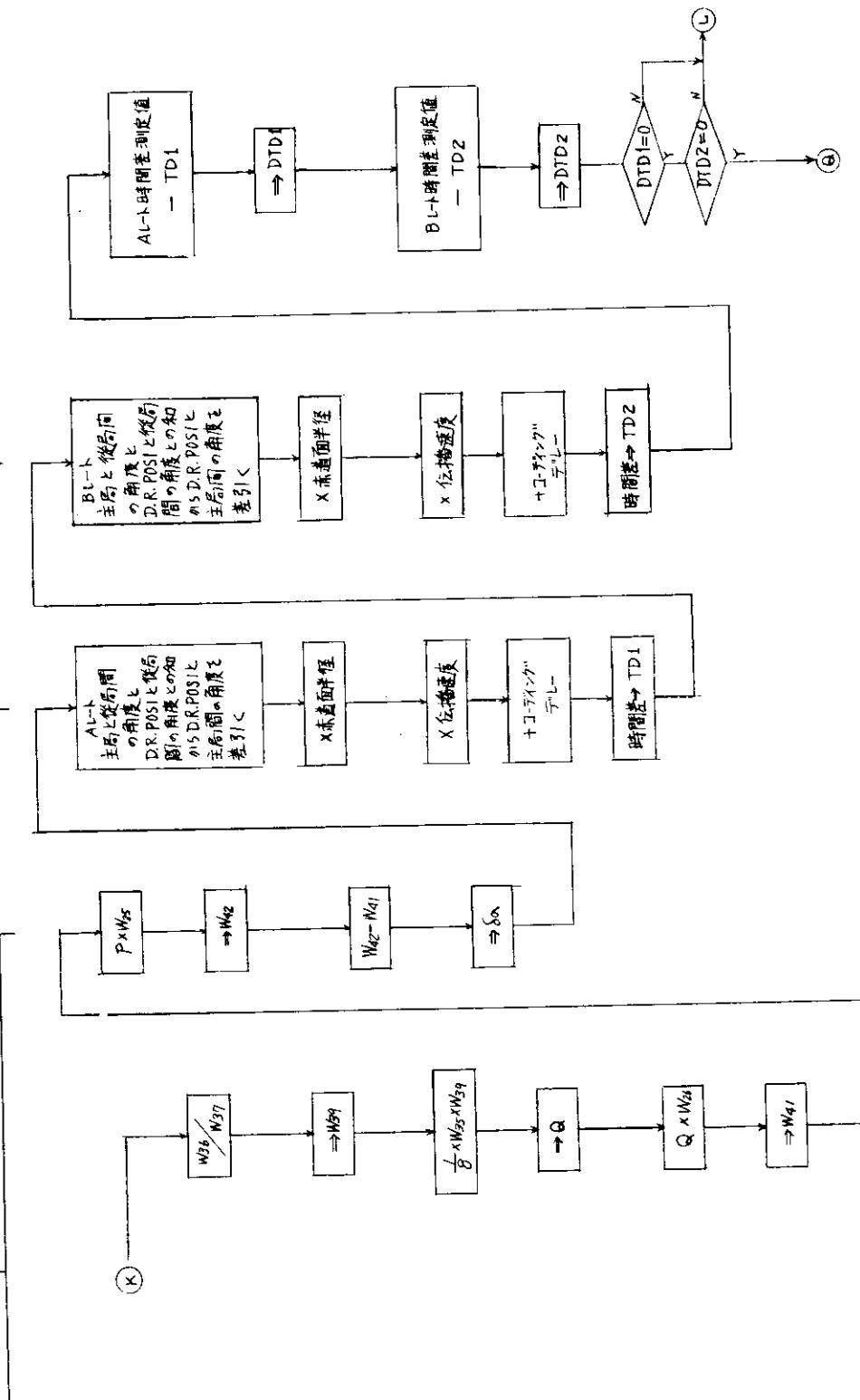
(社) 日本造船研究協会
整理番号

船の高度集中制御方式の研究
* SRT = $\sqrt{S_{\text{in}}}$
 $S_{\text{in}} = S_{\text{out}}$

実測値比較

時間差計算

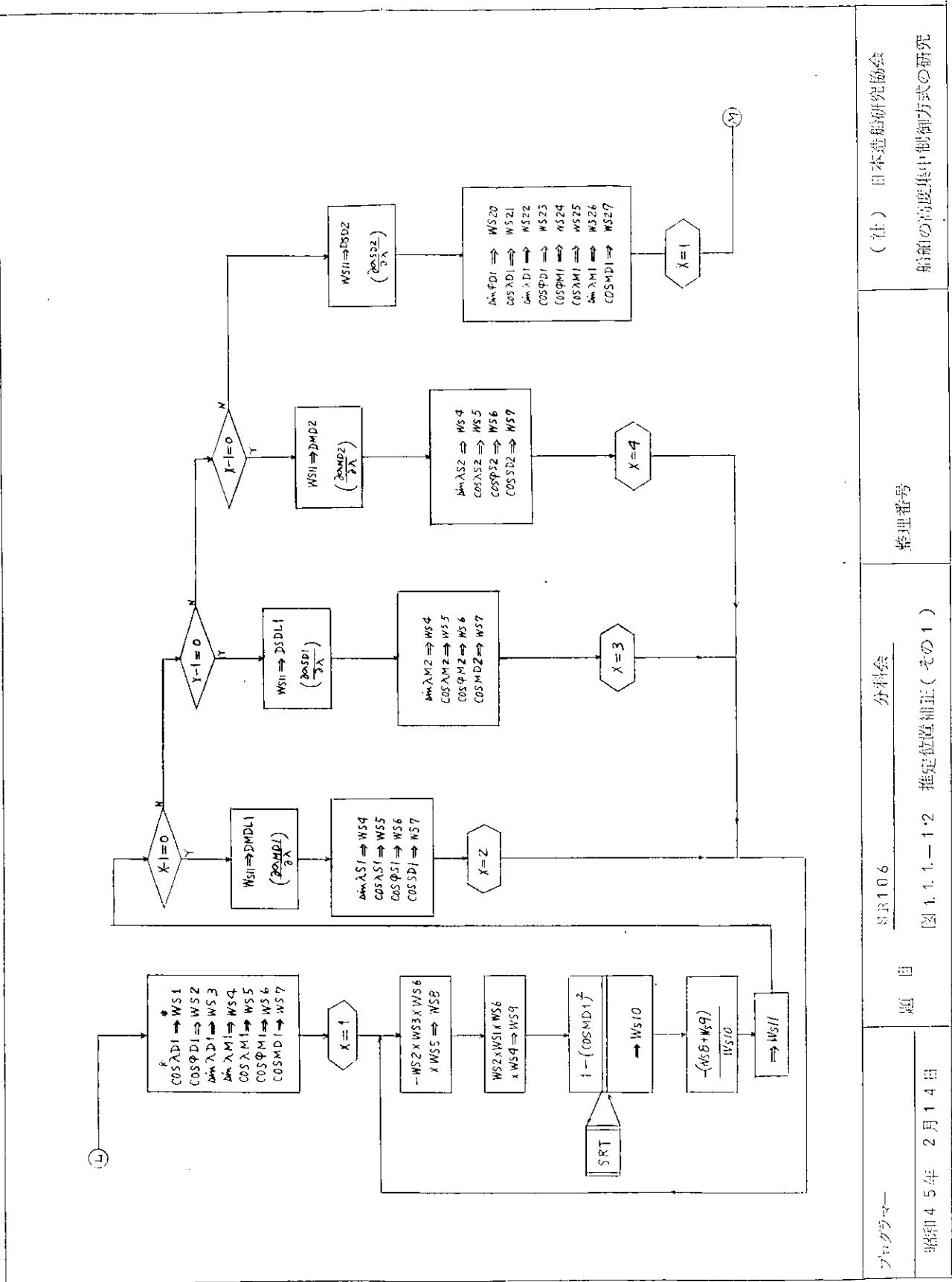
横移補正



(社) 日本造船研究協会
船舶の高度集中制御方式の研究

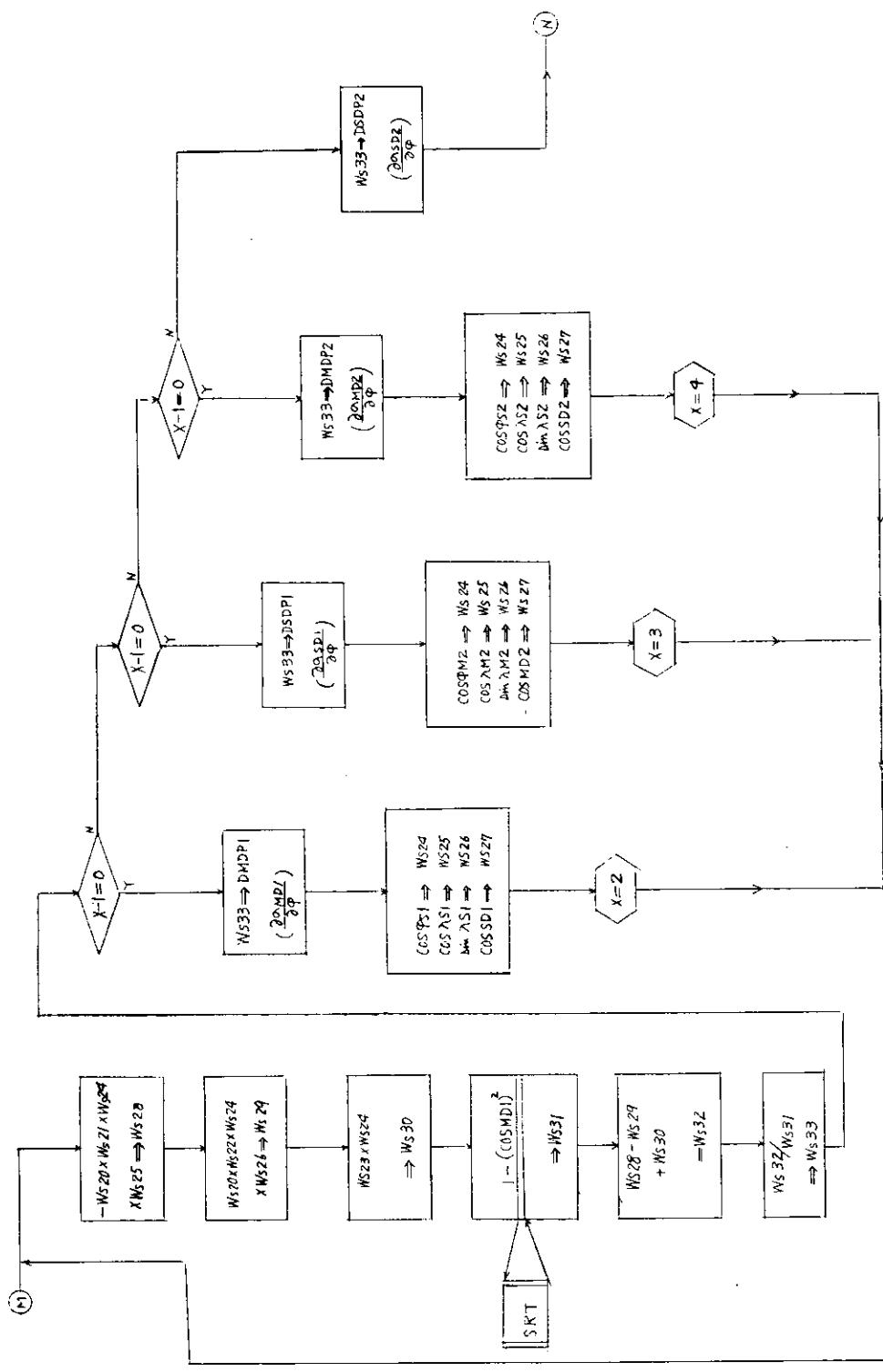
SR106 分科会
題目 図 1.1.1-11 横移補正、時間差計算、実測値比較

プログラム
昭和 45 年 2 月 14 日

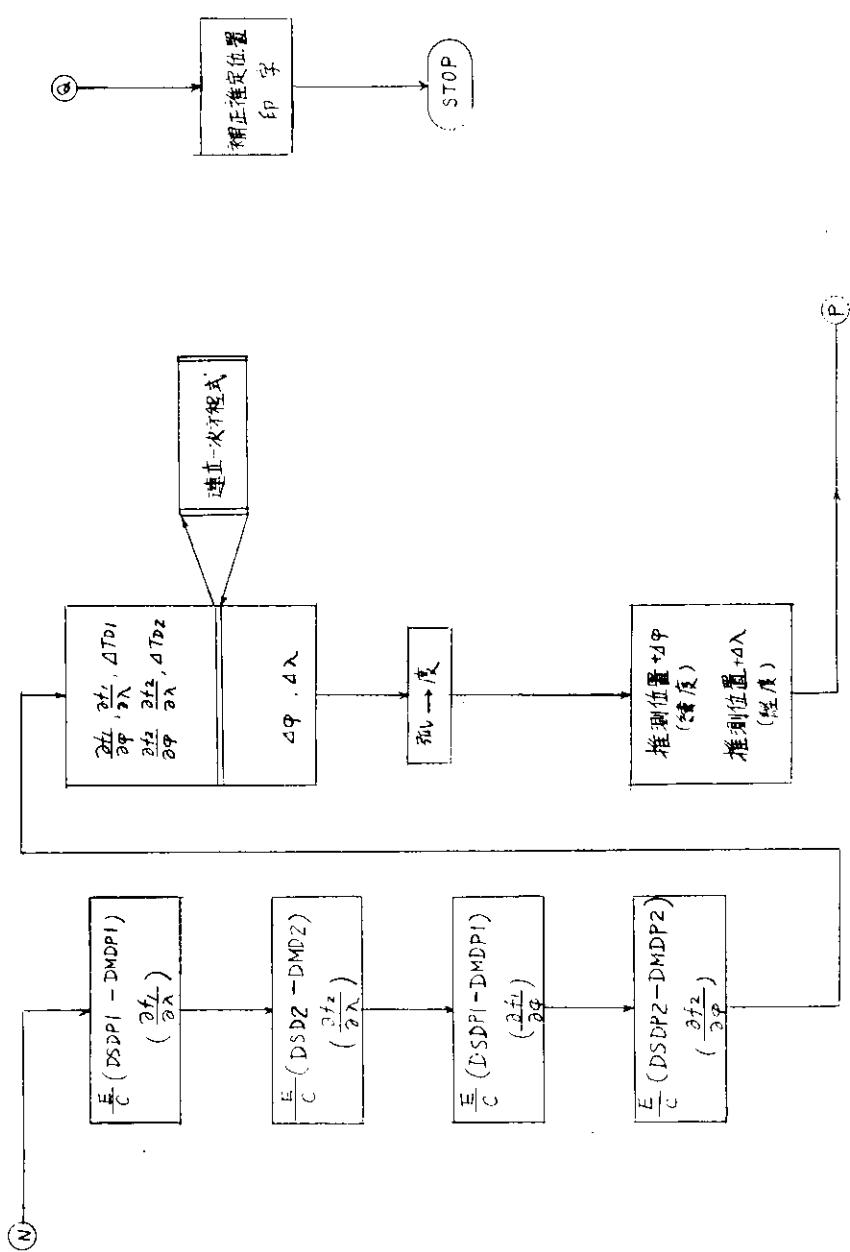


ブロックコード	SRI06	分科会	(社) 日本造船研究所
昭和45年 2月14日	題 目	図1.1.1-12 推定位置補正(その1)	整理番号

船舶の高度集中制御方式の研究



プログラム	SR106	分科会	(社) 日本造船研究協会
昭和45年 2月14日	題目	図1.1.1-1 3 指定位置補正(その2)	整理番号 船舶の精度集中制御方式の研究



アセブリマーク	S 2106	分科会	(社) 日本造船研究協会
昭和45年2月14日	題目 図1.1.4-14 推定位置補正(その3)	整理番号	船舶の高層集中制御方式の研究

1.1.2 オメガシステムの調査および船位決定ソフトウェアの作成

(1) 船位決定の計算式と位相補正法の検討

VLF電波の位相伝搬速度が、夜間と昼間、海上と陸上とで僅かに違うため、それを定数として作成したオメガチャートを使って船位決定を行なうには、各対局に対する位相差の測定値にある量の補正を施す必要がある。

この補正量は、各対局ごとに、推定位置と日時の函数であり、±1.5 レーン以下の値になる。

一つの局からの電波のある地点での位相予測値 P は日照角 (Solar Zenith Angle) の函数 $F(\cos x)$ を含む次式で与えられる。

$$P = D + F(\cos x) \cdot (N - D)$$

ここで D は正常日照時 (Normal Illumination) の位相予測値、 N は夜間の位相予測値、 $F(\cos x)$ は日照角の函数で、昼間状態では 1、夜間状態では 0 となる。

したがつて $F(-1) = 1$ 、 $F(+1) = 0$ である。

実際には、-0.15 以下の $\cos x$ に対しては $F=1$ で、 $\cos x$ が 0 に近づくと急激に低下し、その後はゆるやかに線形的な変化をたどり、この部分が日中の位相差変化の原因となる。

上式の中に現れる函数 $F(\cos x)$ が容易に計算できるのなら話は簡単であるが、位相伝搬速度が大地の伝導度、伝搬径路、地磁気、緯度その他の地球物理学的なパラメータによつても影響を受けるので、まともに計算しようとなれば、伝導度地図 (Ground Conductivity Map) 等を計算機にメモリーさせておくことが必要となり、かなり大型の計算機でないと処理できない程度の計算になるものと思われる。

さらにその計算式自体がまだ確定的なものではない。空間波補正表作成のプログラムを担当していると思われる E.R.Swanson 氏が、"まだプログラムの効率を云々する段階ではなく、計算値が実測値にどこまで合うかが最大の関心事の段階にある" ということを云つている。

空間波補正法の一つとして Differential Omega 等の提案も行なわれている。これは空間波補正值がある地点の周囲 100 波長の範囲ではほぼ等しくなることを利用し、200 波長ごとにモニタ局を置き、そこで測定して得た補正值を何等かの形で放送するシステムである。

オメガ航法のランデブー誤差 (500 m 位) 程度の精度がこの方法によつて得られるようである。

船舶の往来のはげしい港湾の付近とか、海岸に沿つて配置したモニタ局によつて局地的な高精度の航法システムに発展する可能性も考えられるが、これはあくまで局所的なシステムであり、汎世界的なものとして利用することはできない。

とすると、空間波補正を行なうには米国政府から発行される SKY WAVE CORRECTION TABLE を利用するのが一番手軽で確実な方法ということになる。

この表は、緯度、経度方向共 4 度ごとに、1 時間ごと、15 日ごとの補正值を相当広範な地域 (例えば、北アメリカ) ごとにまとめて本にしたものである。したがつて補正值を 3 ディジット以下の数とすると、約 240 波長の升目で囲まれた一地区、一对局ごとに $3 \times 24 \times 24 = 1968$ ディジットの情報量となり、局所的にしろそれらを全部メモリーしておくことは、中型機以下の計算機では容易でない。メモリー容量の小さい計算機では、予定コースに沿つたとびとびの地点について 1 時間より長い時間間隔での補正值をメモリーしておき、推定位置でのある日時の補正值をそれらから補間法によつて求める方法がとられている。補正表自体も毎年改訂される。

米空軍の航空機用オメガ受信装置の付属計算機 (ARN /99) で採用している補間法は次のようなものである。

約 3 時間の予定コースに沿つた 6 点を選ぶ。それら各点での 10.2 kHz と 13.6 kHz に対する 3 本の位置線の 1 時間ごとの補正值を 4 時間分づゝパネルのスイッチ操作によつてメモリーを入れる。

図 1.1.2-1 と図 1.1.2-2 に位相補正情報を示す。図で 1 から 6 までの点は位相補正值の既知な点で、それらの緯度、経度もパネル操作により計算機のメモリーに入れる。計算機は推定位置に最も近い 3 点をそれらの中から選び、

その3点の位相補正値に基いて推定位置での位相補正値を算定する。

図 1.1.2-2 からわかるように、3個の1時間間隔の補正値を得るために4時間分の補正値が既知でなければならない。位相変化が1時間の内にかなり変化することも同図からわかる。したがつて1時間以内の位相変化は補間で求める必要がある。

この計算機は6個の地点について、1時間ごとに4時間分、2周波について3本の位置線の補正値をメモリーするので、144語の補正情報がストアされる。補正値の範囲は±1.50センチレーンであるから1個の補正値は10ビットのワードとしてストアする。それ以外に6地点の緯度、経度もストアされる。

4時間周期の時計が計算機に内蔵されており、その各時間ごとにその時間（例えば2時）と次の時間（例えば3時）の補正値が時間補間を行なうストア・ポジションに送り込まれ、それに基づいて次の時間までの各時点の補正値を補間式によつて算出する。データは4時間ごとに入れ直す。

緯度、経度4度ごと、1時間ごとの補正表から時間補間と位置補間を行なう数学的モデルは次のようなものである。

ある時刻における3つの地点 (ϕ_1, λ_1) , (ϕ_2, λ_2) , (ϕ_3, λ_3) の位相補正値 PC_1 , PC_2 , PC_3 が上記の時間補正によつて求まつたとすると、他の任意の地点 (ϕ, λ) のその時刻の補正値は、 (ϕ, λ, PC) 座標空間の3点 $(\phi_1, \lambda_1, PC_1)$, $(\phi_2, \lambda_2, PC_2)$, $(\phi_3, \lambda_3, PC_3)$ を通る平面上に点 (ϕ, λ, PC) が含まれるような値になる。これは3個の未定係数 a , b , c を含む以下の方程式を a , b , c について解くことによつて得られる。

$$\begin{cases} a\phi_1 + b\lambda_1 + c = PC_1 \\ a\phi_2 + b\lambda_2 + c = PC_2 \\ a\phi_3 + b\lambda_3 + c = PC_3 \end{cases}$$

未定係数について解けば、

$$a = \frac{\begin{vmatrix} PC_1 & \lambda_1 & 1 \\ PC_2 & \lambda_2 & 1 \\ PC_3 & \lambda_3 & 1 \end{vmatrix}}{D}, \quad b = \frac{\begin{vmatrix} \phi_1 & PC_1 & 1 \\ \phi_2 & PC_2 & 1 \\ \phi_3 & PC_3 & 1 \end{vmatrix}}{D}, \quad c = \frac{\begin{vmatrix} \phi_1 & \lambda_1 & PC_1 \\ \phi_2 & \lambda_2 & PC_2 \\ \phi_3 & \lambda_3 & PC_3 \end{vmatrix}}{D}$$

$$\text{ただし } D = \begin{vmatrix} \phi_1 & \lambda_1 & 1 \\ \phi_2 & \lambda_2 & 1 \\ \phi_3 & \lambda_3 & 1 \end{vmatrix}$$

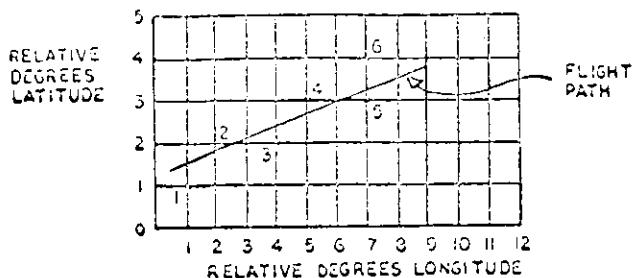
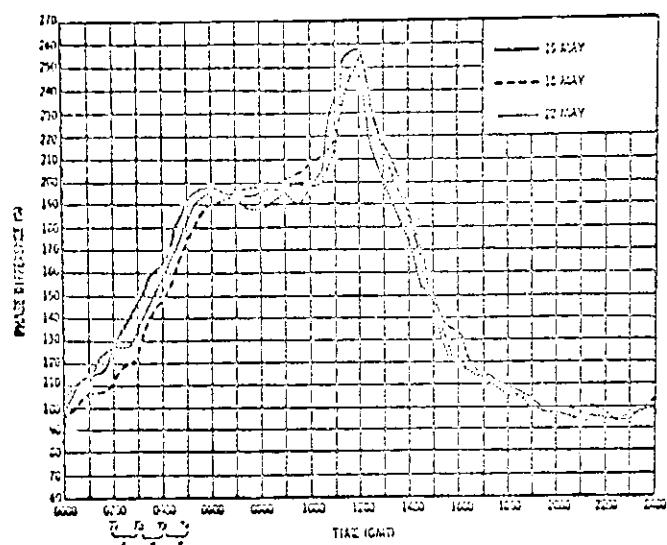


図 1.1.2-1



--Observed diurnal variations in phase difference for three days. Whidbey Island, Washington, May 1962, Haiku-Balboa line of position.

図 1.1.2-2

したがつて任意の地点(ϕ , λ)の位相補正値は、

$$PC = a\phi + b\lambda + c$$

として計算される。

(ϕ_1 , λ_1) (ϕ_2 , λ_2) (ϕ_3 , λ_3) が一直線上にあると $D=0$ となり上式は計算できない。この場合には、(ϕ_1 , λ_1) (ϕ_2 , λ_2) を結ぶ直線に直交する直線上で近傍の点(ϕ_3 , λ_3)を新たに選び上記の計算を行なう。そのような点の一つは次式によつて求められる。

$$\begin{aligned}\phi_3 &= \phi_2 + (\lambda_2 - \lambda_1) \\ \lambda_3 &= \lambda_2 + (\phi_2 - \phi_1)\end{aligned}$$

今までに説明した補間法は航空機用のオメガ受信機を対象にしたものであるから、船舶用のものにそのままの形で採用することは適当でない。

船舶の速度は一般には30ノット以下であるから、緯度、経度4度ごと(約240浬)の升目で開まれた地域の補正値を8時間は有効に使える。したがつて航空機用での6地点、4時間置きの補正値からの補間に変えて、3地点、8時間置きの補正値からの補間を行なう方が実情にマッチするようと思われる。

場所の変化に伴う補正値の変化の傾向を考えると、ある地点の位相補正値の日周変化が主として電波通路の日照時間の変化によつて起ることから推して、経度方向に△λだけずれた地点の補正値は、元の地点の時間一補正曲線を $K_2 \triangle \lambda$ だけ縦方向に平行移動したものを($24 \times \triangle \lambda / 360$)時間だけ横方向に平行移動したようなものとなり、緯度方向に△φだけずれた地点の補正値は補正曲線を縦方向に $K_1 \triangle \phi$ (K_1 , K_2 は場所と時間の函数)だけ平行移動したものに類似したものとなることが予想される。実際の位相補正表から緯度、経度方向に4度~8度ずつ離れた数地点の同一季節の日周変化を一つのグラフにプロットしたものを図1.1.2-3(a)(b)に示す。同図によると、経度方向の変化による補正曲線の平行移動は縦方向に大きく現れることがわかる。

この種の近似が狭い範囲で成り立てば、船のように半日の移動距離がせいぜい360浬位までのものでは、12時間ごとに推定位置近傍の1地点の、1時間ごとで12時間分の補正値と、前記の K_1 , K_2 の値(補正表の緯度、経度の変化量からきまる時間函数)をメモリーするだけで、推定位置の移動に伴う補正値の補間を行なうことができる。

この場合にも時間補正の方法は前に述べたと同じ方法で行なわれる。ただし、時計の周期が4時間ではなく12時間になることは云うまでもない。

また上述のように、経度方向の補正是時間補正の形でも行なわれることになる。

オメガ・チャートを使って船位決定を行なうのなら、受信機の位置線表示値に上記の位相補正値を代数加算した値のLOP(位置線)を探すだけで事足りるが、緯度、経度を計算によつて求める場合には、出版されている空間波補正表が既存のオメガ・チャートを対象にしたものなので、オメガ・チャートを作成するのに使つた計算式と定数を一致させたもので位置計算を行なうことが絶対に必要である。

地球上の2点間の大圓距離の計算式および定数は一意的なものではなく、それらの内のいずれがより正確であるかは明らかでない。しかしこゝで問題になるのは、精度や計算の難易の点ではなく、チャートを作るのに使つた計算式と定数が何であつたかということである。

それらについてのはつきりした情報は入手していないが、一般によく使われている二、三の計算式を使つてオメガ・チャート上の既知の2点についてAC、ADペアの位置線の値を計算してみたところ、ANDOYER-LAMBERTの表示式を以下の定数で使えばチャートの値とほぼ一致した値となることがわかつた。

(2) 地球上の2点間の大圓距離の計算式

緯度 ϕ_1 、経度 λ_1 のS地点(ϕ_1 , λ_1)

と、

緯度 ϕ_2 、経度 λ_2 のR地点(ϕ_2 , λ_2)

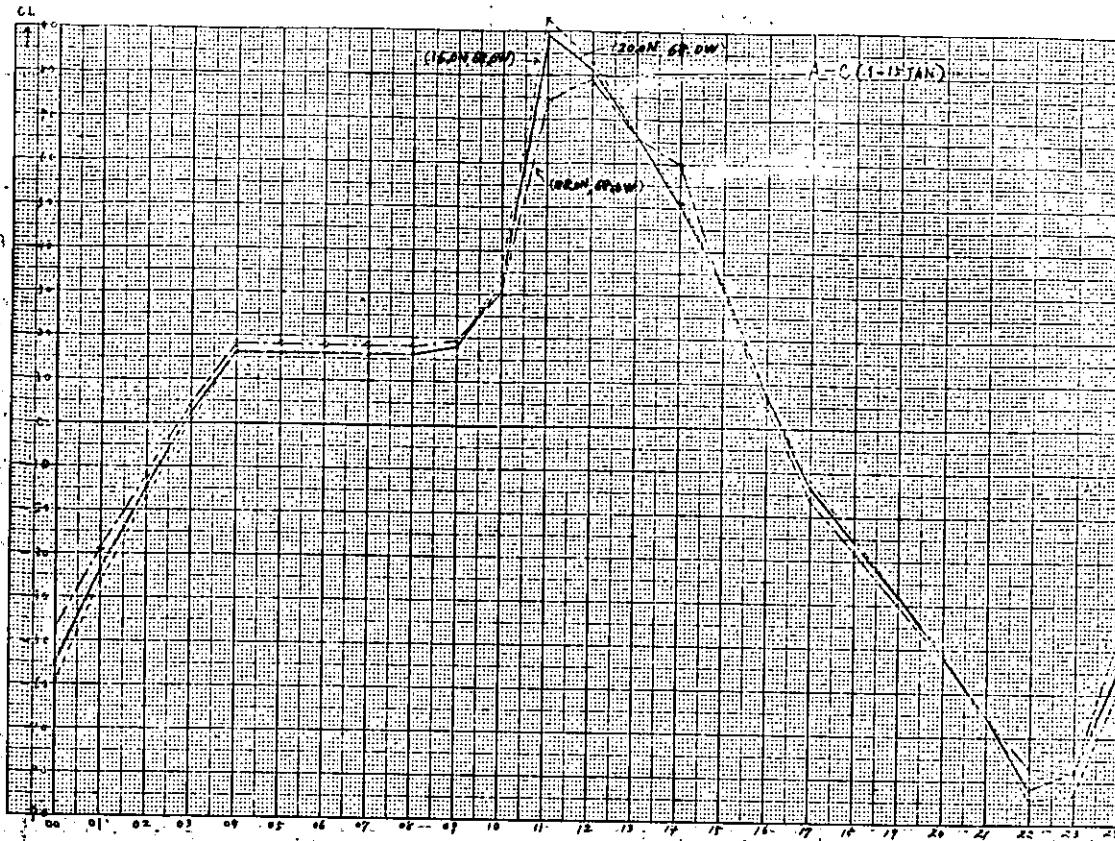


図 1.1.2-3(a) 10.2 KHz 波に対する位相補正值の緯度による変化の一例

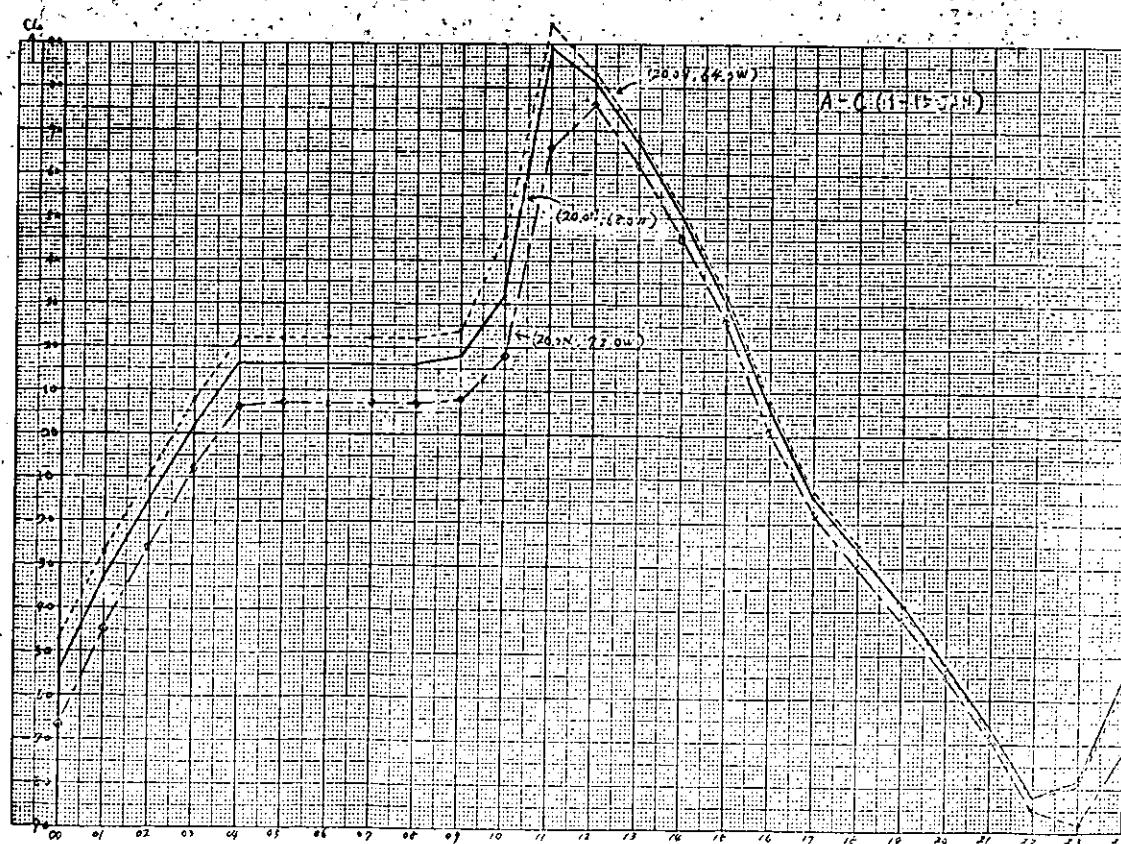


図 1.1.2-3(b) 10.2 KHz 波に対する位相補正值の経度による変化の一例

の2点(S→R)間の距離を d_{S-R} とする。

(a) ANDOYER-LAMBERT の表示式

$$d_{S-R} = a\sigma + \delta_S$$

ここで

a = 地球赤道上の半径 = 6378, 2064 km

σ = 角距離(ラジアン)

δ_S = 楕円補正值

$$\cos \sigma = \sin \phi_1 \cdot \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \cos(\lambda_1 - \lambda_2)$$

$$\delta_S = \frac{af}{4} \left[\frac{(3 \sin \sigma - \sigma)(1 + S_0 + C_0)(1 + S_0 - C_0)}{1 + \cos \sigma} - \frac{(3 \sin \sigma + \sigma)(1 - S_0 + C_0)(1 - S_0 - C_0)}{1 - \cos \sigma} \right]$$

f = 地球の回転楕円体の偏平率 = 1/295

$$S_0 = \sin \phi_1 \cdot \sin \phi_2$$

$$C_0 = \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2$$

(b) 他の表示式

$$d_{S-R} = h + h^3 / (24R^2)$$

$$h^2 = a^2 \left\{ (\cos u_1 - \cos u_2)^2 + (1 - e^2)(\sin u_1 - \sin u_2)^2 + 4 \cos u_1 \cdot \cos u_2 \cdot \sin^2 \frac{\Delta \theta}{2} \right\}$$

ここで

$$\tan u = \frac{r}{a} \tan \varphi, \quad \Delta \theta = \theta_1 - \theta_2$$

$$R = a (1 - e^2 \sin^2 \varphi_m) \sqrt{1 - e^2}, \quad \varphi_m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

$$a = 6377.397 \text{ km}$$

$$1 - e^2 = 0.9933256$$

$$b/a = (1 - e^2)^{\frac{1}{2}} = 0.99665721$$

(3) 前述の計算式によつて求めたオメガ位置線の計算値

(当社の科学用卓上電算機TK-1000で算出した)

① 165°W, 50°15'N (チャートでの位置線はAC-1029)

表1.1.2-1

	(a) の 式	(b) の 式
A-P ₁	7064.7758	7018.4784
C-P ₁	3261.9493	3260.4751
$d_1 = A-P_1 - C-P_1$	3802.8269	3758.0133
$\ell_1 = \frac{d_1}{500574} \times 10.2 \times 10^3 + 900$	1029.0491	1027.5284
$\Delta \ell_1 = \ell_1 - 1029$	+0.0491	-1.4716

A—ノルエー局の位置 (66°25' 15.00" N, 13°09' 10.00" E)

C—ハワイ局の位置 (21°24' 20.67" N, 157°49' 47.75" W)

(2) $165^{\circ}W$, $50^{\circ}20'N$ (チャートでの位置線は AD-920)

表 1.1.2-2

	(a) の 式	(b) の 式
\overline{AP}_2	7055.5076	7009.5127
\overline{CP}_2	6466.9689	6436.9333
$d_2 = \overline{AP}_2 - \overline{CP}_2$	588.5387	572.5794
$\ell_2 = \frac{d_2}{300574} \times 1.02 \times 10^4 + 900$	919.9721	919.4305
$\Delta\ell_2 = \ell_2 - 920$	-0.0279	-0.5695

D-ニューヨーク局の位置 ($43^{\circ}26' 40.92'' N$, $75^{\circ}05' 09.80'' W$)

B-トリニダット局の位置 ($10^{\circ}42' 06.20'' N$, $61^{\circ}38' 20.30'' W$)

なお上記の計算の際 1.02 kHz 電波の位相速度は、オメガ・チャートに記載されている値 300574 Km とした。

この値は光速 $C = 299708 \text{ Km}$ の単位で表すと $1.00289C$ となるが、これはイオン層の高度を 70 Km (日中の高さ)とした時の理論値に近い値である。

なお VLF 電波の位相速度の実測値は次に示す表のような値なので、 $1.00289C$ という値は日中と夜間の位相速度の実測値の間の値である。これは位相補正値の絶対値の範囲を最小にしようという配慮によるものと思われる。

表 1.1.2-3 VLF 電波の位相速度

	陸 上	海 上	反射 高	理 論 値
日 中	1.0027C	1.0032C	70 Km	1.0028C
夜 間	0.9992C	0.9992C	90 Km	0.9993C

光速 $C = 299708 \text{ Km}$

オメガ・チャートで採用した位相速度 = 300574 Km
= $1.00289C$

(4) Cambell-Lambert's Model による船位決定

推定位置と 2 つの対局 (局の位置は既知)に関する位置線の測定値 (位相補正を前述の方法で行なつた後の値)から船位決定を行なうには、推定位置からの増分距離を Cambell-Lambert's Model に基づいて計算し、その結果を推定位位置に順次ベクトル加算してゆく方法が一般に行なわれている。

これは以下に示す Helmert の Incremental Distance Equation (4 元 1 次方程式) を解くことによつて得られる。

$$\begin{cases} x \sin \alpha_{M_1} + y \cos \alpha_{M_1} - b + \rho_{M_1} + \ell_1 = 0 \\ x \sin \alpha_{S_1} + y \cos \alpha_{S_1} - b + \rho_{S_1} = 0 \\ x \sin \alpha_{M_2} + y \cos \alpha_{M_2} - d + \rho_{M_2} + \ell_2 = 0 \\ x \sin \alpha_{S_2} + y \cos \alpha_{S_2} - d + \rho_{S_2} = 0 \end{cases}$$

ここで ($i = M_1, S_1, M_2, S_2$) x, y, b, a は未知数

$$\ell_i = (\text{レーン測定値})_i - 900$$

α_i : 各送信局に関する推定位位置の方位角 (Azimuth)

ρ_i : 推定位位置から各送信局までの大円距離 (Geodetic Distance)

$$\begin{cases} \alpha_i = \bar{\alpha}_i + \Delta\alpha_i \\ \rho_i = a_0 (\bar{\rho}_i + \Delta\rho_i) \end{cases}$$

$$\bar{\alpha}_i = \pi - \tan^{-1} \left(\frac{\cos \beta_i \sin(\lambda_i - \lambda_{p'})}{\sin \beta_i \cos \beta_{p'} - \sin \beta_{p'} \cos(\lambda_i - \lambda_{p'})} \right)$$

$$\Delta \alpha_i = (\cos^2 \beta_i \sin \theta_i \cos \bar{\theta}_i) \frac{\bar{\rho}_i}{\sin \rho_i}$$

$$\bar{\theta}_i = \pi - \tan^{-1} \left(\frac{\cos \beta_{p'} \sin(\lambda_{p'} - \lambda_i)}{\sin \beta_{p'} \cos \beta_i - \sin \beta_i \cos \beta_{p'} \cos(\lambda_{p'} - \lambda_i)} \right)$$

$$\bar{\rho}_i = \tan^{-1} \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{C^2}} \quad , \quad \beta_i = \tan^{-1} \left(\frac{b_0 \sin \phi_i}{a_0 \cos \phi_i} \right)$$

$$\begin{cases} A = \cos \beta_i \sin(\lambda_i - \lambda_{p'}) \\ B = \sin \beta_i \cos \beta_{p'} - \sin \beta_{p'} \cos \beta_i \cos(\lambda_i - \lambda_{p'}) \\ C = \sin \beta_i \sin \beta_{p'} + \cos \beta_i \cos \beta_{p'} \cos(\lambda_i - \lambda_{p'}) \end{cases}$$

$$\Delta \alpha_i = (\cos^2 \beta_i \sin \theta_i \cos \bar{\theta}_i) \frac{\bar{\rho}_i}{\sin \rho_i}$$

$$f = \frac{a_0 - b_0}{a_0} \quad \text{地球の偏平率}$$

a_0 = 地球の長軸の $\frac{1}{2}$

b_0 = 地球の短軸の $\frac{1}{2}$

ϕ_i = i 局の緯度

λ_i = i 局の経度

$\phi_{p'}$ = 推定位置の緯度

$\lambda_{p'}$ = 推定位置の経度

$$\begin{aligned} \Delta \rho_i = & \frac{1}{2} f \left[(\bar{\rho}_i - \sin \bar{\rho}_i) \frac{\sin^2 \left(\frac{\beta_i + \beta_{p'}}{2} \right) \cos^2 \left(\frac{\beta_i - \beta_{p'}}{2} \right)}{\cos^2 \left(\frac{\bar{\rho}_i}{2} \right)} \right. \\ & \left. + (\bar{\rho}_i + \sin \bar{\rho}_i) \frac{\cos^2 \left(\frac{\beta_i + \beta_{p'}}{2} \right) \sin^2 \left(\frac{\beta_i - \beta_{p'}}{2} \right)}{\sin^2 \left(\frac{\bar{\rho}_i}{2} \right)} \right] \end{aligned}$$

上記の方程式を解いて得られる x 、 y から船位は次のように表わされる。

$$\begin{cases} \lambda_p = \lambda_{p'} + \alpha \lambda \\ = \lambda_{p'} + \frac{x}{N_{p'} \cos \phi_{p'}} \\ \phi_p = \phi_{p'} + \frac{y}{R_{p'}} \end{cases}$$

ここで $N_{p'} \cos \phi_{p'}$ = 推定位置における緯度線の曲率半径

$R_{p'}$ = 推定位置における子午線の曲率半径

(5) 簡単な船位決定用計算

オメガ航法のサービスエリアでは隣接する位置線が局所的にはほぼ平行に近い線になつておる、位置の変化に対する位置線の値の変化もゆるやかなので、推定位置の近くでは緯度、経度の微少変化に伴う位置線の値の変化が線形であると仮定すれば、以下に述べるような簡単な算出式によつて船位決定を行なうことができる。

地球上の緯度、経度の既知な 2 点間の大圓距離を表す ANDOYER-LAMBERT の表示式（前出）によつて推定位置での 2 本の位置線の値を算出する。

次に、推定位置から緯度方向および経度方向にそれぞれ一度数（例えば 1 分）離れた 2 点について、推定位置に

について行なつたのと同じ方法で、それぞれの地点での2本の位置線の値を算出する。

ここで緯度、経度の微少変化に伴う位置線の値の変化分が推定位置の近傍では緯度、経度の変化分の1次函数で近似できるものとすれば、推定位置からの変化分は、上記の推定位置とその点で直交する直線上にある近傍の2点での位置線の値と、船上での測定値に位相補正を施して求めた位置線の測定値とから得られる2元1次方程式を解くことによつて容易に算出できる。

この方程式の構成法とその解を以下に示す。

図1.1.2-4において、[0]点は推定位置、[1]点と[2]点はそれぞれ[0]点から緯度方向に ϕ_0 、経度方向に λ_0 だけ離れた地点とする。 ϕ_0 、 λ_0 は任意の小さい値に選ぶ。

ℓ_0 、 ℓ_1 、 ℓ_2 : m_0 、 m_1 、 m_2 はそれぞれ[0]、[1]、[2]、の3点での2本の位置線の計算値である。

$P(\phi, \lambda)$ は[0]点を原点とした時の緯度 ϕ 、経度 λ で表わした船の位置、 ℓ 、 m は位相補正した位置線の測定値である。

$P(\phi, \lambda)$ を通る位置線 ℓ が λ 軸と ϕ 軸を横切る点を $P_1(0, \ell_0)$ 、 $P_2(\ell_0, 0)$ とすれば、

$$(\ell_2 - \ell_0) : \lambda_0 = (\ell - \ell_0) : \lambda_\ell \text{ より} \quad \lambda_\ell = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_2 - \ell_0} \cdot \lambda_0$$

$$(\ell_1 - \ell_0) : \phi_0 = (\ell - \ell_0) : \phi_\ell \text{ より} \quad \phi_\ell = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_1 - \ell_0} \cdot \phi_0$$

となる。

したがつて位置線 ℓ の λ 軸に対する勾配

K_ℓ は、

$$K_\ell = \frac{\phi_\ell}{\lambda_\ell} = \frac{\phi_0}{\lambda_0} \cdot \frac{\ell_2 - \ell_0}{\ell_1 - \ell_0}$$

となる。位置線 m の λ 軸に対する勾配 K_m

もこれと同様にして、

$$K_m = \frac{\phi_m}{\lambda_m} = \frac{\phi_0}{\lambda_0} \cdot \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

となる。

したがつて位置線 ℓ と m の (ϕ, λ) 座

標での方程式は、

$$\begin{cases} \ell : \phi = \frac{\phi_0 (\ell_2 - \ell_0)}{\lambda_0 (\ell_1 - \ell_0)} \lambda + \frac{\ell_2 - \ell_0}{\ell_1 - \ell_0} \\ m : \phi = \frac{\phi_0 (m_2 - m_0)}{\lambda_0 (m_1 - m_0)} \lambda + \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \end{cases}$$

ϕ 、 λ について解くと、

$$\begin{cases} \phi = \phi_0 \cdot \frac{(\ell_2 - \ell_0)(m_1 - m_0) - (\ell_1 - \ell_0)(m_2 - m_0)}{(\ell_2 - \ell_0)(m_1 - m_0) - (\ell_1 - \ell_0)(m_2 - m_0)} \\ \lambda = \lambda_0 \cdot \frac{(\ell_1 - \ell_0)(m_1 - m_0) - (\ell_2 - \ell_0)(m_2 - m_0)}{(\ell_2 - \ell_0)(m_1 - m_0) - (\ell_1 - \ell_0)(m_2 - m_0)} \end{cases}$$

(6) 船位決定ソフトウェアの作成

本調査では、距離計算にロラン・チャートで使つた表示式を用い、推定位置の近傍の位置線の値の変化分を緯度、経度の変化分の1次函数で近似するモデルによつて、船位決定のソフトウェアを作成した。

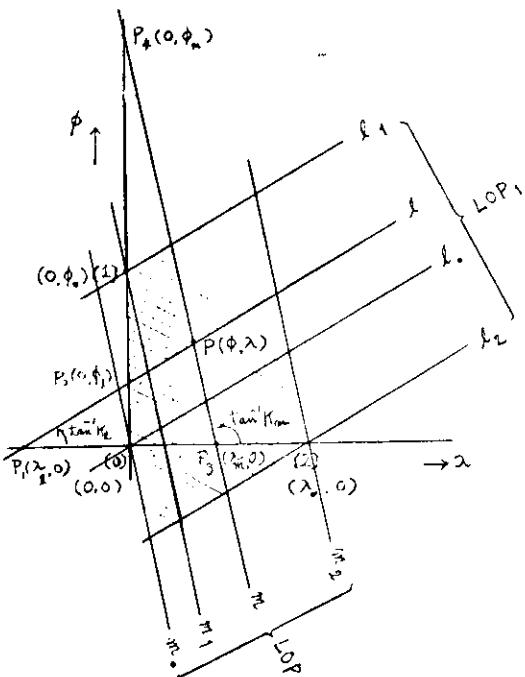


図1.1.2-4

図 1.1.2-5 ~ 7 に示すようなシステム・フローチャートによつて、必要な初期データと一定時間ごとの測定値データを入れ、測定値データを入れ換えた時刻の船位と、目的地までの大際距離と、出発地点からの積算距離を印字するシステムとした。(残距離と積算距離はかつちいした。)

実船の場合は、測定値が一定時間間隔で順次オン・ラインでは入つてくる度に上記の計算と印字が行なわれる所以あるが、今回のシミュレーション・モデルでは、データ・カードごとに時間、対局の種類、レーン測定値をパンチしておき、各データ・カードを読み取るごとに必要な計算と印字を行なつてから、次のデータ・カードを読み込むようにした。

位相補正表はまだごく限られた地域のものしか入手できないが、それらが入手できたものとすれば、前に説明した補間法のいずれかを利用することにより補正值を算出することができる。今日のモデルでは、推定位置から位相補正值を計算する部分をサブ・ループに飛んで行なう形にしたまゝ、その部分は補正值 = 0.0 とする動作を行なわせている。具体的な補正計算の開発は今後の課題にした。

推定位置は、最初出発地点とし、次回からは前回の船位を宛てるようにした。

モデルの航跡として、オメガ・チャートからピック・アップした次のコースを選び、そのコース上の数点について船位を計算し、それらがチャートによる位置とどの程度よく一致するかを調査した。

なお、船位計算の際、精度を上げるために、推定位置と船位の計算値の差がある微小値以下になるまでは、計算結果を新らかに推定位位置として計算が繰返されるようにしているが、位相補正表の信頼度がはつきりするまでは、ループの始めて戻る判定に使つている上記の微小値の値を余り小さくすると、不必要に何回もループを繰返すおそれがある。一方上記の船位計算で、誤差が集積するおそれはない。(本例ではループを故意に戻さなかつた)。

前記のフローチャートによる船位決定のプログラムを FORTRAN 言語で書いたものと、モデル航跡をデータとして与えた時に得られた船位計算の印字結果を表 1.1.2-5 に示す。そのモデル航跡は以下のようなものである。計算は IBM 360-50 で倍長精度で行なつた。

表 1.1.2-4

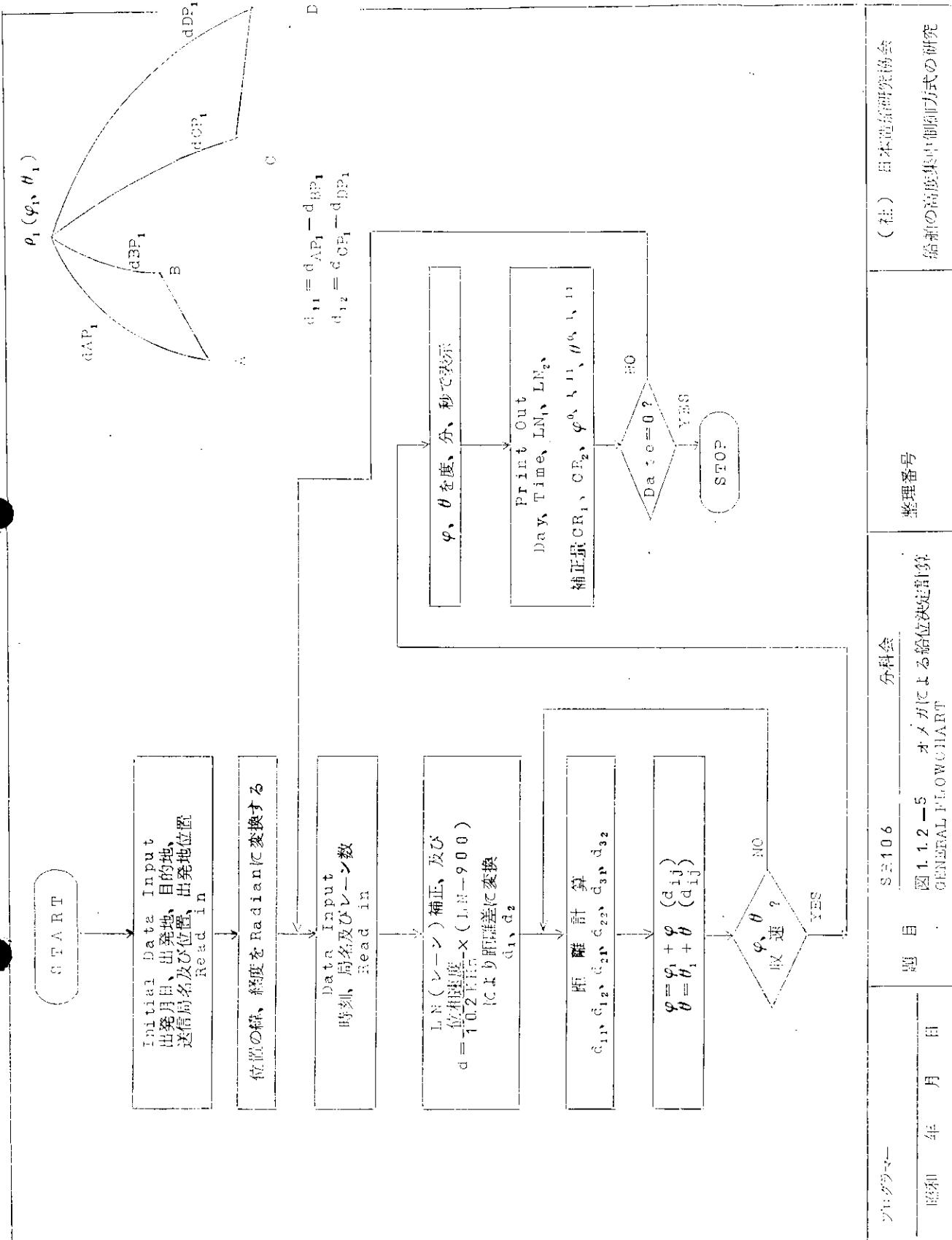
位相補正值は 0 とした

	L O P 1 (測定値)	L O P 2 (測定値)	チャートによる船位		計算による船位	
			緯 度	経 度	緯 度	経 度
出発点	AC- 981	BC-1137	52° 50' N	173° 10' E	52° 50' N	173° 10' E
地点 1	AC- 984	BC-1137	52° 48' N	174° 28' E	52° 48' 11.5'' N	174° 2 6' 21.3'' E
地点 2	AC- 987	BC-1137	52° 45' N	175° 45' E	52° 43' 09.0'' N	175° 43' 7.9'' E
地点 3	AC- 990	BC-1134	53° 05' N	178° 40' E	53° 04' 51.5'' N	178° 40' 17.6'' E
地点 4	AC- 990	BC-1131	53° 28' N	179° 40' W	53° 29' 22.9'' N	179° 37' 22.9'' W
地点 5	AC- 993	BC-1128	53° 40' N	176° 40' W	53° 41' 48.1'' N	176° 41' 47.6'' W
地点 6	AC- 996	BC-1128	53° 25' N	175° 30' W	53° 26' 41.2'' N	175° 32' 26.8'' W
地点 7	AC- 999	BC-1128	53° 11' N	174° 20' W	53° 13' 23.6'' N	174° 23' 29.8'' W
地点 8	AC-1002	BC-1128	52° 59' N	173° 15' W	52° 59' 15.3'' N	173° 15' 53.3'' W
地点 9	AC-1005	BC-1128	52° 44' N	172° 10' W	52° 44' 19.2'' N	172° 09' 40.4'' W
目的地	AC-1008	BC-1128	52° 30' N	171° 05' W	52° 28' 36.9'' N	171° 04' 50.9'' W

出発点: ATTU 目的地: CHAGULAK ISLAND

(計算のストップは日時データをオール 0 にしたデータ・カードを読み込んだ時とした。)

上記のモデルでは測定値サンプルの間隔を故意に大きくしてあるので土 1 以下での誤差がでているが、実際のサンプル間隔は 10 分間以下になるので、推定位位置(前回の船位)と船位との差は数分以下(本例では 1° ~ 3°)となるからはとんど誤差を生じないものと思われる。本例では 2 本の位置線も故意に鋭角で交叉しているものを選んだ。



著者名

(社) 日本造船研究会

題名

船舶の高密度集中制御方式の研究

会員登録番号

整理番号

会員登録番号

会員登録番号

会員登録番号

著者名

会員登録番号

会員登録番号

題名

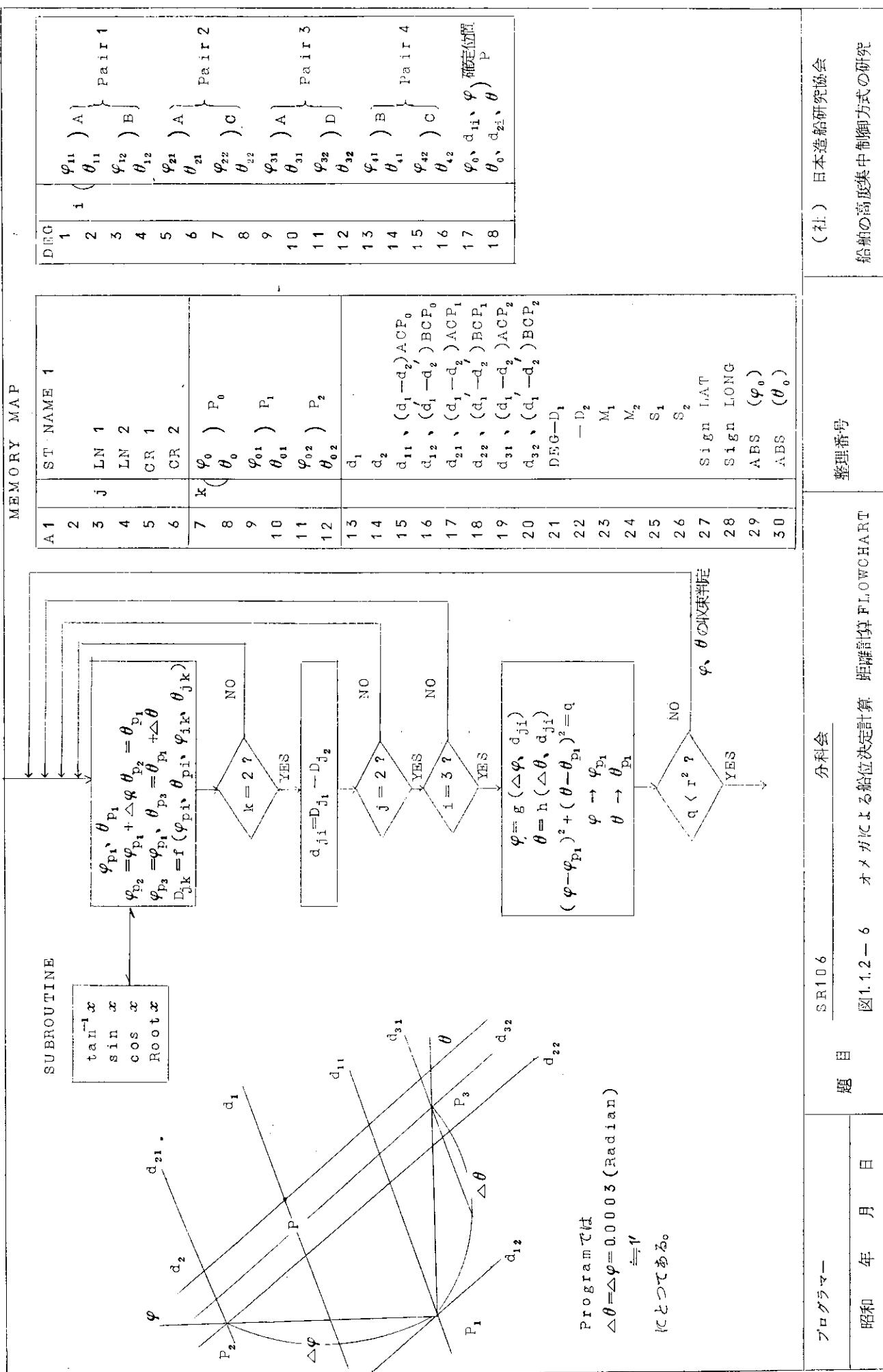
船舶の高密度集中制御方式の研究

会員登録番号

会員登録番号

著者名

会員登録番号



距離計算式

φ : 緯度、 θ : 経度とする。

A 地点 (φ_1, θ_1) 、B 地点 (φ_2, θ_2)

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \tan \varphi_1 \right), \quad \beta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \tan \varphi_2 \right)$$

$$x = (\sin \beta_1 + \sin \beta_2)^2, \quad \beta = (\sin \beta_1 - \sin \beta_2)^2$$

$$\frac{x}{a \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}} = \frac{\sin^2 \frac{1}{2}(\beta_1 - \beta_2) + \cos \beta_1 \cos \beta_2 \sin^2 \frac{1}{2}(\theta_1 - \theta_2)}{1 - \sin^2 \frac{1}{2}(\beta_1 - \beta_2) - \cos \beta_1 \cos \beta_2 \sin^2 \frac{1}{2}(\theta_1 - \theta_2)}$$

$$r = \frac{af}{4} \left(\frac{x}{2} + \frac{x}{2} \tan^2 \frac{x}{2} - \tan \frac{x}{2} \right)$$

$$q = \frac{af}{4} \left(\frac{x}{2} + \frac{x}{2} \tan^2 \frac{x}{2} + \tan \frac{x}{2} \right) + \tan^2 \frac{x}{2}$$

$$d = ax - a\varphi - \beta q$$

$$a = 6378.2064 \text{ Km} \quad ; \text{ 地球の長軸の } \frac{1}{2}$$

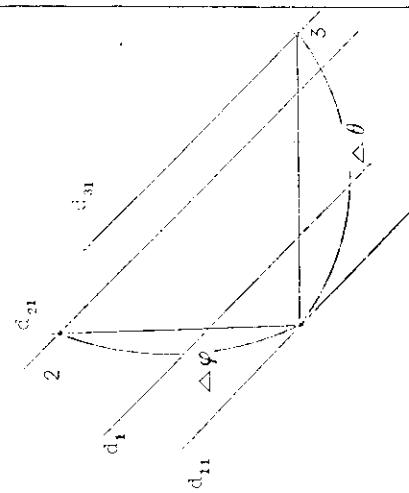
$$b = 6356.5838 \text{ Km} \quad ; \text{ 地球の短軸の } \frac{1}{2}$$

$$f = \frac{1}{a} (a - b) \quad ; \text{ 地球の偏平率}$$

$$\theta = \Delta \theta \cdot \frac{(d_1 - d_{11})(d_{22} - d_{12}) \dots (d_{21} - d_{11})(d_2 - d_{12})}{(d_{31} - d_{11})(d_{22} - d_{12}) \dots (d_{21} - d_{11})(d_{32} - d_{12})}$$

$$\varphi = \Delta \varphi \cdot \frac{(d_{31} - d_{11})(d_2 - d_{12}) \dots (d_1 - d_{11})(d_{32} - d_{12})}{(d_{31} - d_{11})(d_{22} - d_{12}) \dots (d_{21} - d_{11})(d_{32} - d_{12})}$$

$$c (\text{Km}) = \frac{300574}{16200} \cdot (LAGE - 900)$$



登録登録		SR106		分科会		(社) 日本造船研究会	
昭和	年月日	題目	図1.1.2-7	オメガによる船位決定計算	距離計算式	整理番号	船舶の高度集中制御方式の研究

表 1.1.2 — 5 船位計算結果

FORTRAN IV G LEVEL 1, MOD 4

MAIN DATE = 79045 11/7/25/75

	C	COMMON POSITIONING	100
	C	INITIAL DATA INPUT	200
0001	REAL*8 A(30),DEC1(16),P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,S1,S2,S3,S4,S5	310	
	1B1,A2,A3,PA1	315	
	INTEGER DAY	400	
0002	READ(5,100)	520	
0003	100 FORMAT(3IH+)	620	
0004	READ(5,101)	730	
0005	101 FORMAT(4GH+)	830	
0006	READ(5,102)	930	
0007	102 FORMAT(26H+)	940	
0008	PA1=3.141592653589794	945	
0009	S0=5.0	950	
0010	C STATION POSITION READ	955	
	K=1	1040	
0011	DO 2 J=1,5	1047	
0012	READ(5,102) (A(I),I=1,12)	1049	
0013	103 FORMAT(2Y,F2.2,E3.2,FG0.2)	1050	
0014	DO 2 I=1,10,2	1051	
0015	S1=(A(I)+?)*(N.C*(A(I+1)+?)) *PIE5((11)) *A11(3300,2330,0,1)	1052	
0016	DEC(K)=SIGN(S1,A(I))	1053	
0017	I=I(K-1B) 1,I2,12	1054	
0018	K=K+1	1055	
0019	2 CONTINUE	1057	
0020	12 WRITE(6,103)	1057	
0021	103 FORMAT(14) //12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X,12X	1058	
0022	WRITE(6,104)	1059	
0023	104 FORMAT(21H)	1060	
0024	104 FORMAT(21H) SITTING DATE	1460	
0025	WRITE(6,100)	1570	
0026	WRITE(6,105)	1570	
0027	105 FORMAT(21H) DEPARTURE	1760	
0028	105 FORMAT(21H) SPLIT(6,101)	1860	
0029	WRITE(6,106)	1960	
0030	106 FORMAT(21H) DESTINATION	2030	
0031	WRITE(6,102)	2160	
0032	WRITE(6,107)	2230	
0033	107 FORMAT(4CH) TIME LANE C102 POSITION	2240	
0034	N=1	2410	
	C DATA INPUT (DAY,TIME,2(STATION) DAY,LINE,2(COEFECT))	2800	
0035	3 READ(5,105) DAY,TIME,A(1),A(2),A(3),A(4),A(5),A(6)	2805	
0036	109 FORMAT(2X,1Z,2(F1.0,Z,Y,F7.2),2E5.2)	4010	
0037	1F(DAY) 1,I2,11	4110	
	C LANE COEFECT AND DISTANCE CONVERT	4220	
0038	11 P1=200574.0/10200.0	4230	
0039	A(13)=P1*(A(5)-900.0)	4530	
0040	A(14)=P1*(A(4)+A(5)-900.0)	4535	
	6=6356.5835*6378.2064	4640	
0041	3=(6378.2064-4356.5839)/6.0	4740	
0042			

表 1.1.2-5 組立計算結果(統計)

```

FCR.FANIV.GUEVE1, WIND 4   RAIN      C DISTANCE.CALCULATE   COST
0043          7 A(7)=DEC(17)   4.075
0044          AT(7)=DEC(17)   4.075
0045          A(9)=DEC(17)*C.2003  5.210
0046          AT(10)=DEC(18)   5.115
0047          A(11)=DEC(17)   5.115
0048          A(12)=DEC(16)*C.0003  5.115
0049          DC.5=7,1),2       5.220
0050          DC.5=j,2       5.220
0051          DC.4,i=1,2       5.325
0052          R=2**4*1*X*(SIN(C17)*Y)**2*1=5  5.325
0053          R=DATUM(2*D*SIN(A17)/DC.COS(A17))  5.640
0054          R2=DATUM(2*D*SIN(A17)/DC.COS(A17))  5.640
0055          DA=(DS1*(D1)+DS1*(D2))*2  5.650
0056          DS1=DS1*(D1+DS1*(D2))/2  5.650
0057          DS2=DS1*(D2+DS1*(D1))/2  5.650
0058          DS3=DS1*(D3+DS1*(D4))/2  5.650
0059          DS4=DS1*(D4+DS1*(D3))/2  5.650
0060          DS5=DATUM(D5*SIN(A5)+DS1*SIN(A17))  5.650
0061          DS6=DS1*(D6*SIN(A6)+DS2*SIN(A2))  5.650
0062          DS7=DS1*(D7*SIN(A7)+DS3*SIN(A3))  5.650
0063          DS8=DS1*(D8*SIN(A8)+DS4*SIN(A4))  5.650
0064          2 CONFIRME  5.650
0065          A(6)+j+7)=DEC(17)-DEC(18)  5.650
0066          - - - - - 5.650
0067          C          5.650
0068          DS1=DATUM(D1+S1*S2)  5.650
0069          DS2=DATUM(D2+S2*S1)  5.650
0070          DS3=0.20002*S1*S3  5.650
0071          DS4=0.20002*S2*S3  5.650
0072          DEC(17)=A(7)+S2  5.650
0073          DEC(18)=A(8)+S1  5.650
0074          RES=(S1**2+S2**2)-S0**2  7.425
0075          1 IF(RES>0,S0,C  7.561
0076          B DC S 1=1,2,1  7.545
0077          AT(1+2)=DEC(17)*C.77281  7.750
0078          AT(1+2)=DATUM(A1+26)  7.750
0079          AT(1+2)=AT(1+27)*C.77281  7.750
0080          A(1+20)=4.1171(S1*S2)(A1+28)  8.065
0081          S3=1.6  8.065
0082          A(1+28)=DATUM(A1+28)+S3*6.0*C  8.179
0083          AT(1+22)=AT(1+27)*C.77281  8.276
0084          A(1+24)=DATUM(A1+26),B31*C.0  8.350
0085          9 CONTINUE  9.400
          C PRINT OUT  9.400
          100 WRITE(6,110)RY,114E  9.400
          110 FORMAT(1w5,2x,i2,F6.2)  9.400

```

表 1. 1.2-5 組合算結果(続き)

```

      PRINTIV GTEVLT1, NOD4
      DATA = 77345
      DATE = 1172973

      DO 10 J=1,2
      0088   1=IFIX(SNGL(M(J))+11)
      0089   IF(I=112) I=20,21
      0090   21  IF(I=115) I=23,23
      0091   19  WRITE(6,112) A(J+2),A(J+2)
      0092   GO TO 24
      0093
      0094   25  WRITE(6,113) A(J+2),A(J+2)
      0095   GO TO 24
      0096   22  WRITE(6,114) A(J+2),A(J+2)
      0097   GO TO 24
      0098   23  WRITE(6,115) A(J+2),A(J+2)
      0099   112  ECHMAT(IH+,14X,2HA5,F+,2,1,1,1,1,1,1,1,1)
      0100   113  FCNQAT(IH+,14X,2HA5,F+,2,1,1,1,1,1,1,1,1)
      0101   114  FCNQAT(IH+,14X,2HA5,F+,2,1,1,1,1,1,1,1,1)
      0102   115  FCNQAT(IH+,14X,2HB5,F+,2,1,1,1,1,1,1,1,1)
      0103   26  I=BFI(X(S+2),I+(J+26))+J+116
      0104   27  IF(I=116) I=25,27
      0105   27  IF(I=116) I=29,29
      0106   25  WRITE(6,116) A(J+20),A(J+21),A(J+22)
      0107   GO TO 10
      0108   26  WRITE(6,117) A(J+20),A(J+21),A(J+22)
      0109   GO TO 10
      0110   28  WRITE(6,118) A(J+22),A(J+22),A(J+22)
      0111   GO TO 10
      0112
      0113   29  WRITE(6,119) A(J+22),A(J+22),A(J+22)
      0114   116  FCNQAT(IH+,25Y,7H4,7L4,7S,154,5,5,2,1,1)
      0115   117  FCNQAT(IH+,25Y,7H4,7L4,7S,154,5,5,2,1,1)
      0116   118  FCNQAT(IH+,25Y,7H4,7L4,7S,154,5,5,2,1,1)
      0117   10  CONTINUE
      0118   N=N+1
      0119   IF(N=16) 3,12,12
      0120   13  STOP
      0121   END

```

表 1.1.2-5 船位計算結果(続き)

		OMEGA POSITIONING		
SAILING DATE	70.02.01	DEPARTURE	ATTU ISLAND	
DESTINATION	CHACULAK ISLAND	TIME	LANE CORR.	POSITION
10.35	AC 984.00 (0.0) LAT N 52. 49. 11.48 BC 1137.00 (0.0) LONG E 174. 26. 21.23			
11.46	AC 987.00 (0.0) LAT N 52. 43. 3.96 BC 1137.00 (0.0) LONG E 175. 43. 7.92			
12.50	AC 990.00 (0.0) LAT N 52. 37. 3.36 BC 1137.00 (0.0) LONG E 176. 58. 40.95			
13.51	AC 990.00 (0.0) LAT N 53. 4. 51.53 BC 1134.C0 (0.0) LONG E 173. 40. 17.60			
14.55	AC 990.00 (0.0) LAT N 53. 29. 22.89 BC 1131.C0 (C.0) LONG E 190. 22. 37.11			
16.59	AC 993.00 (0.0) LAT N 52. 45.13 BC 1128.C0 (0.0) LONG E 193. 18. 12.42			
18.03	AC 996.00 (0.0) LAT N 53. 26. 41.19 BC 1128.00 (0.0) LONG E 184. 27. 23.19			
19.14	AC 999.00 (0.0) LAT N 53. 13. 23.63 BC 1128.CC (0.0) LONG E 185. 36. 30.21			
20.15	AC 1002.00 (0.0) LAT N 52. 56. 15.34 BC 1128.00 (0.0) LONG E 186. 44. 5.73			
21.20	AC 1005.00 (0.0) LAT N 52. 44. 19.22 BC 1128.00 (0.0) LONG E 187. 50. 19.63			
22.23	AC 1008.00 (0.0) LAT N 52. 28. 36.87 BC 1128.00 (0.0) LONG E 188. 55. 9.13			

1.1.3 トランシット衛星受信システムのシステムデザインおよび船位決定用実用プログラムの作成

(1) システムデザイン

43年度の自動航法システムの開発研究で得られた NNS S 受信機仕様を満足する受信システムの詳細設計を行ない、図 1.1.3-1 に示すような系統による受信システムであることが望ましいという結論を得た。

本受信システムはマストグループと電子機器グループよりなり主要設計性能は表 1.1.3-1 に示すとおりである。

表 1.1.3-1 NNS S 受信システムの主要性能

受信周波数	
ハイチャンネル	399.968 MHz ± 11 kHz
ローチャンネル	149.988 MHz ± 4 kHz
受信電波形式	
受信方式	フェーズロック受信方式
受信感度	
ハイチャンネル	-13.5 dBm
ローチャンネル	-13.5 dBm
フェーズロックループ帯域幅	
ハイチャンネル	40 Hz
フェーズロック性能	
静的誤差	0.1 rad
動的誤差	0.5 rad
出力信号	
軌道データ	32 bit/語 4 BCD × 3 コード
ドップラデータ	28 bit/語 4 BCD × 3 コード
割込信号	1語毎、2分毎及び位同期の3点
エラー信号	出力信号にエラーのあることを表わす。

以下各グループについて説明す

る。

(a) マストグループ

マストグループは、受信空中線と前置増幅器からなり、詳細な系統図を図 1.1.3-2 に示す。

船舶に搭載する場合、受信空中線と受信機本体の設置される船室とは離れていることが多いので、この間の接続ケーブルによる信号の減衰が比較的大きく、微弱な受信信号

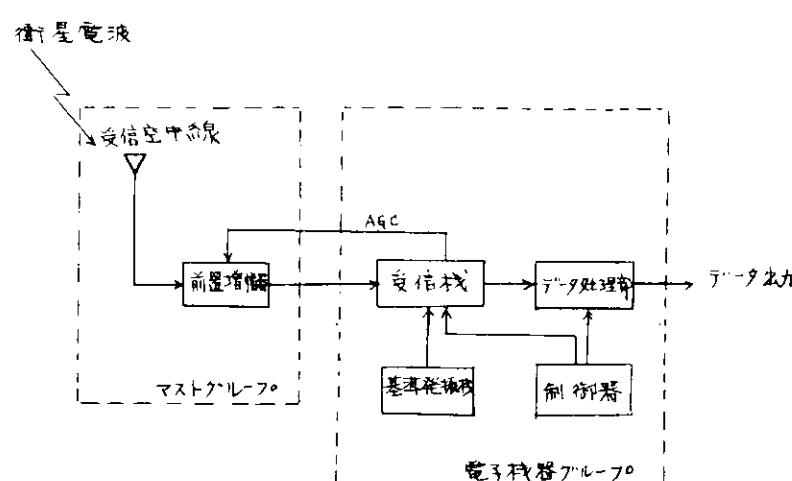


図 1.1.3-1 NNS S 受信システム

の信号対雑音比の劣化が生じるので受信空中線の近くで信号の増幅を行なうことが望ましい。このため受信空中線を設置するマスト上の保守整備の容易な場所に前置増幅器を置くことにした。

(b) 受信空中線

受信空中線としての必要性能は、①衛星の位置に関係なく一定の受信電界強度を保つこと。②海面からの反射

波を抑止すること、③円偏波されている衛星電波を受信できること。④150MHzと400MHzの受信が可能なこと、⑤受信利得が大きいこと。

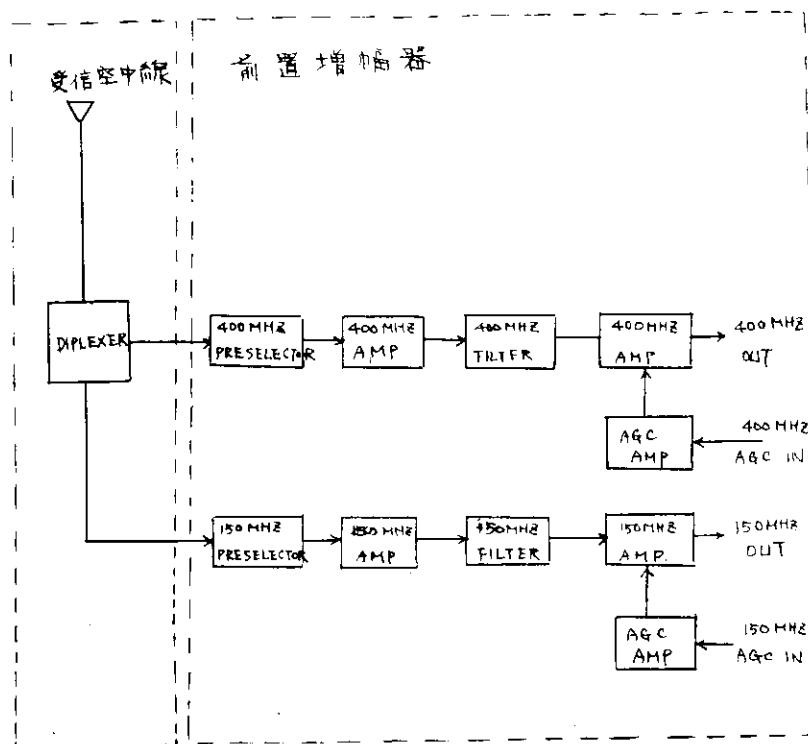


図 1.1.3-2 マストグループ系統図

等であり、これらの性能を満す空中線として図 1.1.3-3 (c) 示すような接地板付ホイップ形空中線を設計試作した。

この空中線の主要性能は表 1.1.3-2 のとおりである。

表 1.1.3-2 受信空中線主要性能

受信周波数	150/400 MHz
アンテナ形式	150 MHz で $\lambda/4$ 、400 MHz で $3/4 \lambda$ のホイップアンテナ
指向特性	水平面では無指向性 垂直面では図 1.1.3-2 に示す特性
利得	主ローブで 2 dBi 以上
前後性	正ローブに対して 10 dBi 以下
V.S.W.R	2.0 以下

(a) 前置増幅器

前置増幅器では、150MHz と 400MHz を分離し增幅する（図 1.1.3-2 参照）。増幅器の帯域幅は、雑音や妨害電波、特に映像周波数電波の影響を防ぐため重要なパラメータである。

特に安定をバッシブフィルタにより映像周波数（10MHz 領域）で 6.0 dBi 以上の減衰を考慮することとした。また、衛星電波を受信中に信号強度変化が生じた場合、電子機器グループから信号強度の変化に比例した A/D の電圧をフィードバックし、増幅器の利得を制御して一定振幅の出力を得るようにする。

この前置増幅器の主要設計性能は表 1.1.3-3 のとおりである。

表 1.1.3-3 前置増幅器の主要設計性能

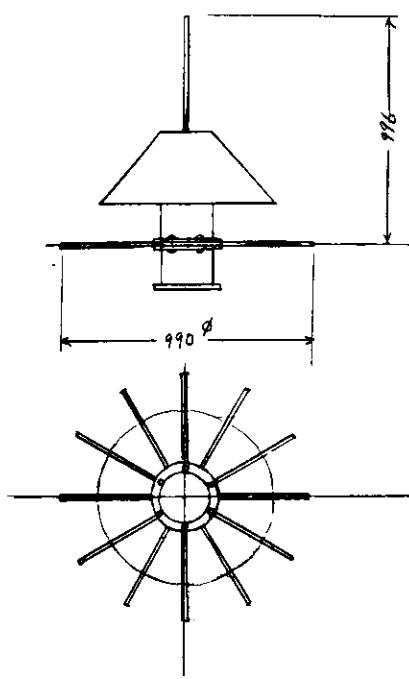


図 1.1.3-3 受信空中線の外形

受信中心周波数 400 MHz 150 MHz	399.968 MHz 149.988 MHz
受信帯域幅 (-3 dB 幅) 400 MHz 150 MHz	1 MHz 以下 1 MHz 以下
選択度 (-60 dB 幅) 400 MHz 150 MHz	10 MHz 以下 10 MHz 以下
雑音指数 400 MHz 150 MHz	6 dB 以下 4 dB 以下
利得 400 MHz 150 MHz	75 dB 75 dB
AGC ダイナミックレンジ 400 MHz 150 MHz	45 dB 45 dB
入力インピーダンス 400 MHz 150 MHz	50 Ω 50 Ω

(b) 電子機器グループ

電子機器グループは、受信機、基準発振器、データ処理部からなりその詳細な系統図を図 1.1.3-4 に示す。

受信機は、ドップラ信号を追尾するために位相同期 (PHASE LOCK) 方式とする。

受信機で復調した衛星データとドップラデータはデータ処理部でプロセスし、衛星データ中の位置決定に必要なデータとドップラデータのみを取り出し、計算機もしくはプリンタの入力として適合する信号形式に変換する。

基準発振器はドップラシフトを検出するための周波数基準として使う。

以下各構成について説明する。

(i) 受信機

衛星の送信している 150 MHz および 400 MHz の電波はどちらもドップラシフトを受けるが、電離層によるドップラシフトの小さい 400 MHz 信号をドップラおよび軌道データの復調に使い、150 MHz 信号は電離層によるドップラシフトの修正信号を検出するため使うのが適当である。

簡単のため位相同期ループは 400 MHz 回路のみに使い、150 MHz 回路は単独の位相同期ループは持たず、400 MHz と位相コヒーレントな関係にあることを利用し、400 MHz の位相同期信号と 1 : 3/8 なる同期信号を作り、これで 150 MHz の位相同期を取るようにする。

(j) 位相同期ループの設計

400 MHz の位相同期ループは周波数変換形とし、400 MHz 信号は電圧制御発振器出力をてい倍した信号と混合し、5 MHz の中間周波数に変換後増幅し位相比較回路に加える。

位相比較回路では 5 MHz の基準信号で位相同期検波と、これに直交した位相関係にある振幅同期検波を行ない、位相誤差に比例した出力と振幅に比例した出力をとり出す。

振幅に比例した出力は位相比較回路の入力を一定とするための AGC 電圧として前置増幅器 (400 MHz) および 5 MHz 中間周波数增幅回路へ供給する。

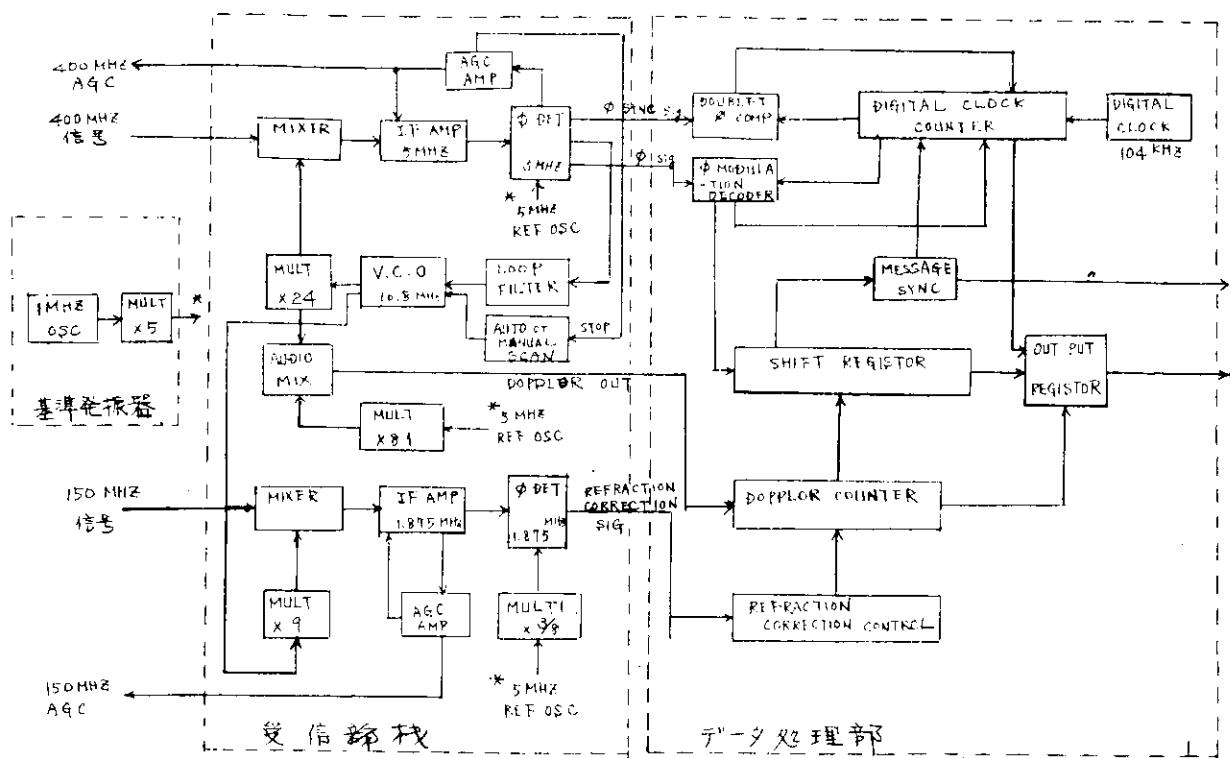


図 1.1.3-4 電子機器グループ系統図

一方、位相誤差に比例した相位ループフィルタを通して電圧制御発振器を倒御する。

この電圧制御発振器の出力をつい倍し混合回路に加えることによつて位相同期ループが完結する。この位相同期ループの構成を図 1.1.3-5 に示している。

ここで受信周波数について考へる。衛星の公称送信周波数を f_{TH} 、オフセット周波数を Δf 、真空中のドップラシフトを ϵ 、電離層によるドップラシフトを δ とすると、一般に受信周波数 f_{RL} は、

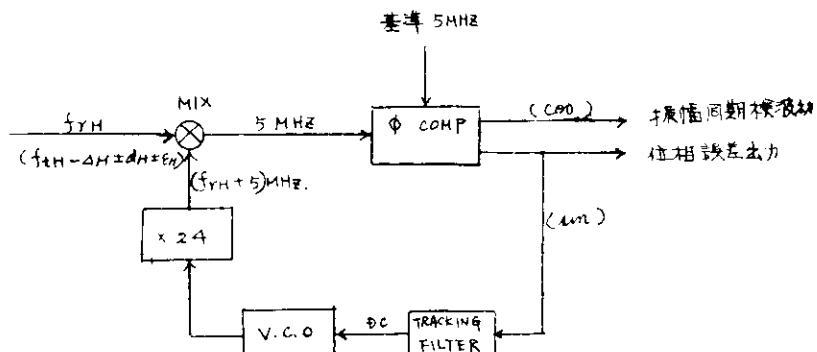


図 1.1.3-5 位相同期ループ

$f_{RL} = f_{TH} - \Delta f + \delta + \epsilon$ と表わすことができる。そこで 400 MHz の位相、150 MHz の位相のサフィックスをつけて表わすと 400 MHz の受信周波数 f_{RL4} は、

$$f_{RL4} = f_{TH4} - \Delta f_4 + \delta_4 + \epsilon_4$$

150 MHz の受信周波数 f_{RL1} は、

$$f_{RL1} = f_{TH1} - \Delta f_1 + \delta_1 + \epsilon_1$$

衛星の公称送信周波数は 400 MHz および 150 MHz でオフセットは ±8 ppm と発表されたり、△H は ±3.2 kHz、△L は ±1.2 kHz となる。

一方真空中のドップラシフトは衛星の送信周波数に比例し、dH は ±8 kHz、dL は ±3 kHz となる。

また電離層によるドップラシフトは衛星の送信周波数に逆比例し、εH は ±3 Hz、εL は ±8 Hz となる。これらのドップラシフトは衛星と受信点の位置によって変化し、その最大変化率は衛星が受信点の頂上を通過するとき生じ、400 MHz で 70 Hz/sec、150 MHz で 26.3 Hz/sec となる。

そこで、この位相同期ループでは静的には ±8 kHz、動的には 70 Hz/sec の追尾性能を有する tracking filter を使う。

電圧制御発振器の周波数はドップラ周波数の最大変化に対して 15 度以下の位相誤差となるように選んだ。そこで電圧制御発振器の周波数は

$$\begin{aligned} & 15^\circ / 360^\circ \times (f_{th} - \Delta H + 5 \text{ MHz} \pm dH_{\max}) \\ & = 1/24 \times (400 \times 10^6 - 32 \times 10^3 + 5 \times 10^6 \pm 8 \times 10^3) \\ & = 16.873,667 \pm 300 \text{ Hz} \end{aligned}$$

となる。

動的位相誤差を 0.5 rad、静的位相誤差を 0.1 rad としたときのスレショールド点での雑音帯域幅は 4.6 Hz となり、位相同期ループのスレショールドレベルは -14.5 dBm が期待できる。表 1.1.3-4 にてこの位相同期ループの主要設計性能を示す。

(ii) 電離層によるドップラシフトを修正する信号の検出回路の設計

修正信号の検出は、電離層によるドップラシフトが周波数に逆比例していることに注目し、150 MHz 受信機で電離層によるドップラシフトのみを取り出す方式を採用した。

修正信号検出の系統図を図 1.1.3-6 に示す。

150 MHz の受信周波数を 400

MHz に変換して考えると

$$f_{RL} = \frac{3}{8} (f_{th} - \Delta H \pm dH) + \frac{8}{3} \epsilon_H$$

と書き直すことができる。そこで

400 MHz の位相同期ループ内の電圧制御発振器 (V.C.O.) の出力を 9 で割り倍した信号と混合すると

$$\begin{aligned} & 9 \times \frac{1}{24} \times (f_{th} - \Delta H + \\ & 5 \text{ MHz} \pm dH \pm \epsilon_H) - \left\{ \frac{3}{8} \right. \\ & \left. (f_{th} - \Delta H \pm dH) \pm \frac{8}{3} \epsilon_H \right\} \\ & = 1.875 \text{ MHz} \mp 55/24 \epsilon_H \end{aligned}$$

となり、真空中のドップラシフト dH

を消去し、電離によるドップラシフト εH に比例した信号を取り出すことができる。

そこで、この信号に含まれている 1.875 MHz を位相比較器で消去し、55/24 εH の信号のみを取り出し、修正信号としている。

表 1.1.3-4 位相同期ループの性能

ドップラ追尾範囲	±8 kHz
ドップラ追尾速さ	70 Hz/sec
静的位相誤差	0.1 rad
動的位相誤差	0.5 rad
スレショールド雑音帯域幅	4.6 Hz
スレショールドレベル	-14.5 dBm

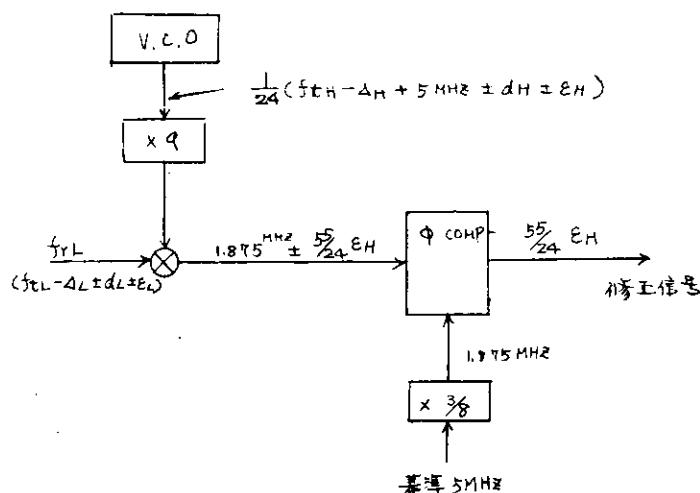


図 1.1.3-6 修正信号検出のための系統図

(iii) ドップラ周波数の検出回路の設計

ドップラ周波数は受信点の真上を通過するとき最小となり、位相も反転する。このためドップラ検出誤差が大きくなるので一定のオフセット周波数をもたせて、ドップラ周波数を検出することにした。

検出の方法は電圧制御発振器の出力を2.4てい倍した信号($5.0\text{MHz} - \varepsilon_H + 5\text{MHz} \pm \delta_H$)と基準5MHzを8.1てい倍した4.05MHzを混合している。

そこでドップラ周波数として($-\varepsilon_H \pm \delta_H \mp \varepsilon_H$)なる周波数が検出できる。

このドップラの中には ε_H が含まれているが、これは「5.0MHz受信機で検出した修正信号(55/24 ε_H)」を使い、データ処理部内で消去する。船位決定に必要なドップラデータとして衛星のオフセット周波数(Δf)と真空中のドップラシフト(d_f)を検出することができる。

(iv) 周波数補捉方法の設計

衛星電波の受信できる時間は約110分に1回で8~16分である。このため一旦受信していた電波が切れた場合、次の衛星からの電波をすみやかに受信するために、電圧制御発振器の周波数を掃引することにした。

掃引途中で衛星電波が受信できた場合、掃引を停止し、以後衛星電波で位同期ループが閉じるようにする。

(c) 基準発振器

基準発振器はドップラ周波数の検出精度に大きな影響を与え、発振周波数の変動と船位誤差の関係は4.3年度の研究によつて、 $\delta R_c \approx 2 \times 10^8 (\frac{\delta}{f})^2$ とされている。

そこで周波数安定度はできるだけ高いことが望ましいが、発振器の製作技術上の制約と許容船位誤差のかねあいから短時間安定度で $10^{-9}/30$ 分を設計目標値として設定する。

次に基準発振器の主要性能を表1.1.3-5に示す。

(d) データ処理部

受信機で復調した衛星信号は④ダブレットと⑤ダブルトの組合せであり、データ処理部では衛星のダブルト信号およびビット信号と同期を取らなくては衛星データを処理することができない。ダブルト同期は受信機の位相比較器で得られる余弦に比例した出力と、デジタルクロックカウンタで作るくり返し約1.0msecのローカルダブルト信号の位相を比較し位相差が零となるようにデジタルクロックカウンタの方を制御する。

ここで、ダブルト同期時の静的位相誤差を0.7°以下とするために、デジタルクロックカウンタの入力周波数は約10.4KHzにしている。

一方、ダブルト同期が衛星電波を受信後1.0秒以内に取れるようすることが望ましく、このためデジタルクロックカウンタの制御はデジタルクロックカウンタ自身のタイミングパルスを使い1.0秒間で約5msecだけローカルダブルトを変化できるようにしている。

ダブルト同期だけ取れた状態でビット信号を復調した場合、出力がπ radだけずれている可能性があるので、ビット信号の同期を取る必要がある。

ビット同期は受信機で復調した位相信号とデジタルロックカウンタで作る約2.0msecのくり返しをもつゲート信号を初期検波し、このときの検波出力とゲート信号の極性の関係からビット復調出力の位相を判定し、π radだけ位相のずれがあつた場合のみデジタルクロックのゲート信号の極性を反転させビット同期をとるようになる。

ダブルトとビットの同期が取れれば、衛星データの復調が可能となる。

衛星からの2分ごとのデータには、データの同期をとるために特殊な25ビットの信号が使われているので、こ

表1.1.3-5 基準発振器の主要性能

発振周波数	1 MHz
周波数安定度	
繰時間(30分間)	10^{-9}
てい倍数	5
出力周波数	5 MHz
出力インピーダンス	50 Ω

れを検出するために連続した 25 ビットの信号をモニタするメッセージ同期回路を用いる。データの同期信号が検出されるとドップラカウントや軌道データをデジタルクロックカウンタで制御し、取り出す。

このドップラデータや軌道データは計算機へ転送するのに便利なように 1 ワード(32 ビット)ごとに取り出せるように、一定時間だけ出力レジスタにメモリーさせる。

一方ドップラ信号は 12.0 秒間だけカウントする。カウント出力は、他の軌道データと同じように BCD × 3 コード IC 変換する。400 MHz ドップラには電離層によるドップラシフト ϵ_H が含まれているので、150 MHz からの修正信号 $\pm 55/24 \epsilon_H$ を $24/55$ 倍して $\pm \epsilon_H$ を取り出し、 ϵ_H が負であるときはドップラカウントに ϵ_H だけ加え、 ϵ_H が正であるときはドップラカウント IC $- \epsilon_H$ だけ加えて、400 MHz ドップラ内の ϵ_H を消去し、真空中のドップラを取り出すようとする。

このドップラカウントの開始および停止は、カウント数の誤差を ±1 カウント以内にするため、衛星の 2 分同期信号が検出された直後のドップラ周波数の 1 サイクル目で、カウント出力を呼び出すとともに、カウントを零にセットし、2 サイクル目から新しいドップラのカウントを始めるような方式とした。

(a) 受信実験

NNSS 受信システムデザインにあたつて文献を通じてしか得られていない衛星電波のパラメータを実測によつて確認する必要が認められた。また実用プログラムの作成にあたつてもその確認のため、受信位置があらかじめ判つている受信データを用いてテストランを行なうことが望ましい。このような目的のため、本研究の一環として昭和44年5月より10月にかけて運輸省電子航法研究所の協力を得て同所において受信実験を行なつた。

(i) 受信装置

アンテナ、受信機、ドップラカウンタは電子航法研究所がかねてドップラシフトの研究に用いていたドップラ追尾受信機を一部改造して NNSS 電波を受信できるようにしたものを利用した。主なる改造点は衛星軌道データを復調するために必要な帯域幅をとつたことである。

データ処理部は本実験のため新らしく製作した。出力は必要な軌道データのみを選択してデジタルプリンタに打出した。ドップラカウンタは連続して 2 分ごとの精算を行なうため 2 台を交互に切りかえて動作させ、別のデジタルプリンタに打出すよう改造された。図 1.1.3-7 に簡単なブロック図で実験装置の系統を示す。

(ii) 実験結果

受信電界強度は、受信地点における都市雑音が極めて高いにもかかわらず 400 MHz 帯は十分受信可能であつた。150 MHz 帯は混信等のため実用に耐えなかつた。

400 MHz 波の位相変調復調波

形は図 1.1.3-8 のごとくかなり大きな歪をもつが、これをデータ処理部の設計において考慮した結果、バイナリにデコードした波形は良好なものが得られた。

プリンタに得られた衛星軌道データの 1 例を図 1.1.3-9 に示す。

この衛星軌道データは、後述するとおり実用プログラムのデバックに用いられ、プログラム自体の確認と同時にデータ処理部のデータ選択も正しいこと、選択

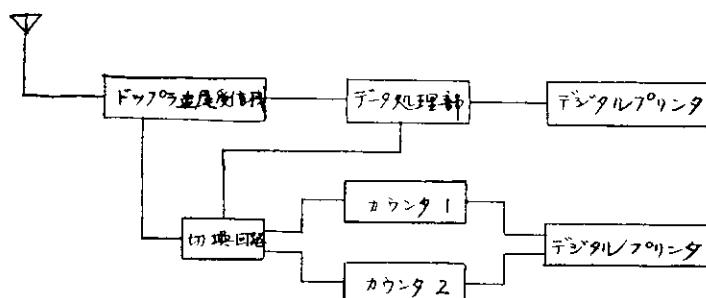


図 1.1.3-7 NNSS 受信実験装置系統図

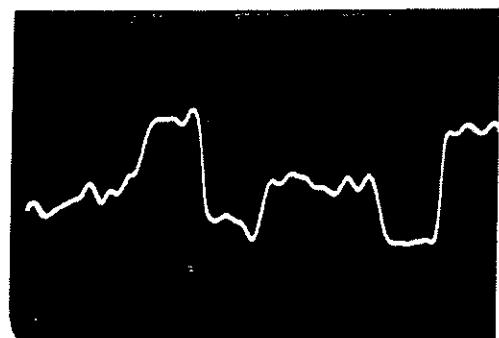


図 1.1.3-8 NNSS 位相変調復調波形の 1 例

されたデータの解釈も正しいことが確かめられた。またこれらのデータから現在4ヶの衛星が利用できることが確認された。

1969年9月29日の受信データにより衛星の位置を計算した例を図

1.1.3-10に示す。衛星の軌道は周知のようすほぼ完全な橢軌道であるが、図のように地球自転のため見かけ上西に流れている。

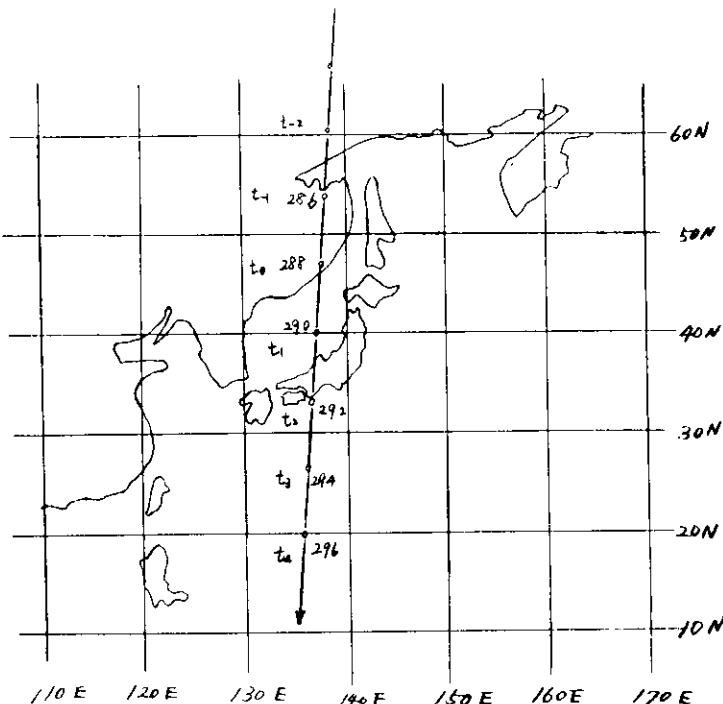


図 1.1.3-10 受信データの衛星位置
(昭和44年9月29日)

(2) 船位決定用実用プログラムの作成

昭和43年度の研究報告書(研究資料44100-1)の中に記述されている NNSN による船位計算フローチャートを一部変更して実用プログラムを作成した。このプログラムは TOSBAC 3000 の BAP で作成し、実験の段階でのべる受信実験によつて得られた衛星の軌道データを入力としてデバッグを行なつた。

その位置計算結果は、地圖上の受信アンテナ位置に対し約300 mの差であり、実用プログラムとして十分なものであると判断された。

図 1.1.3-9

(a) プログラムフローチャート

43年度の研究報告書4項「システムシミュレーション」の中に記述されている NNSN による船位計算フローチャートを実用上の見地から再検討した結果図 1.1.3-11 のように一部変更して作成した。以上変更した部分について記述する。ステップ(j)までは同一である。

(1) ステップ(i)~(l)

ここで $|\Delta r|$ 、 $|\Delta \varphi|$ 、 $|\Delta \lambda|$ の値を順次チェックしいずれか1つが、あらかじめ与えられている許容値を超えたときは従来ただちに反復計算のために、新しい推定船位と推定周波数差を作つて②に戻ることとなつていた。今回作成したプログラムでは、ただちに②に戻らずにより大きい許容値でもう一度チェックを行なつてみることとした。

これによつて多少の受信状態の不安定などによる誤差が、ドップラカウントの中に含まれていても近似値が求められることとなり、All or Nothing でない柔軟性を持たせたものである。

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	6	1	0	0	0	0
8	0	9	9	9	9	1	1	8
8	1	0	1	0	2	6	8	
8	2	0	2	8	1	6	5	
8	0	6	4	0	7	6	3	
8	0	0	1	2	7	7	2	
9	0	0	0	0	4	9	5	
3	1	3	8	0	5	6	7	
8	0	7	4	5	4	9	8	
8	0	0	3	8	5	4		
8	0	0	2	0	3	0	0	
8	2	4	4	2	6	5	6	
8	3	7	1	8	9	1	4	
0	2	4	0	0	2	7	7	
0	1	0	2	4	2	5	8	
0	0	0	1	0	2	3	8	
6	4	0	0	4	2	1	2	
6	3	0	0	9	1	8	2	
6	2	0	1	5	1	5	0	
6	1	0	1	7	1	1	7	
6	0	0	1	6	0	8	5	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	6	1	0	0	0	
8	0	9	9	9	9	1	8	
8	1	0	1	0	2	6	8	
8	2	0	2	3	1	3	5	
8	0	6	4	0	7	6	3	
8	0	0	1	2	7	7	2	
9	0	0	0	0	4	9	5	
8	1	3	8	0	5	6	7	
8	0	7	4	5	4	9	8	
8	0	0	0	3	3	5	4	
8	0	0	2	0	3	0	0	
8	2	4	4	2	6	5	6	
8	0	7	1	8	9	1	4	
0	2	4	1	0	9	8	4	
0	1	0	2	4	2	5	8	
0	0	0	1	0	2	3	8	
6	4	0	0	1	2	1	2	
6	3	0	0	6	1	8	2	
6	2	0	1	5	1	5	0	
6	1	0	1	7	1	1	7	
5	0	9	1	6	0	8	5	
2	8	0	1	3	0	5	7	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	

(a) ステップ(S)(d)

反復計算の回数はデータの收れんの度合いについて検討した結果、多くとも8回あれば良いので8回と定めた。

(b) デバッグ

実験の項で記した受信データによつてプログラムの最終的なチェックを行なつた。計算結果の一例を表1.1.3-6に示す。

表1.1.3-6中の計算結果(A)と(B)のちがいはアンテナの高さを変えているもので、(A)では平均梢円体から126m、Bでは0mとした。アンテナ高さによる実測位置の誤差は、ジオイド面の不整についての正確な知識が無い場合に問題となるものであるが、高さの誤差と同じオーダの誤差であることが文献にも述べられていたが上の計算結果により、これが裏書きされている。

一方、外国の文献"Offshore" July 1968.

P.18に掲載されているデータにより計算を行なつたところ、繰返し4回で収束した。その計算結果は表1.1.3-7に示すように原文の値と比較して十分満足すべき値であり、プログラムの正当性を確認した。

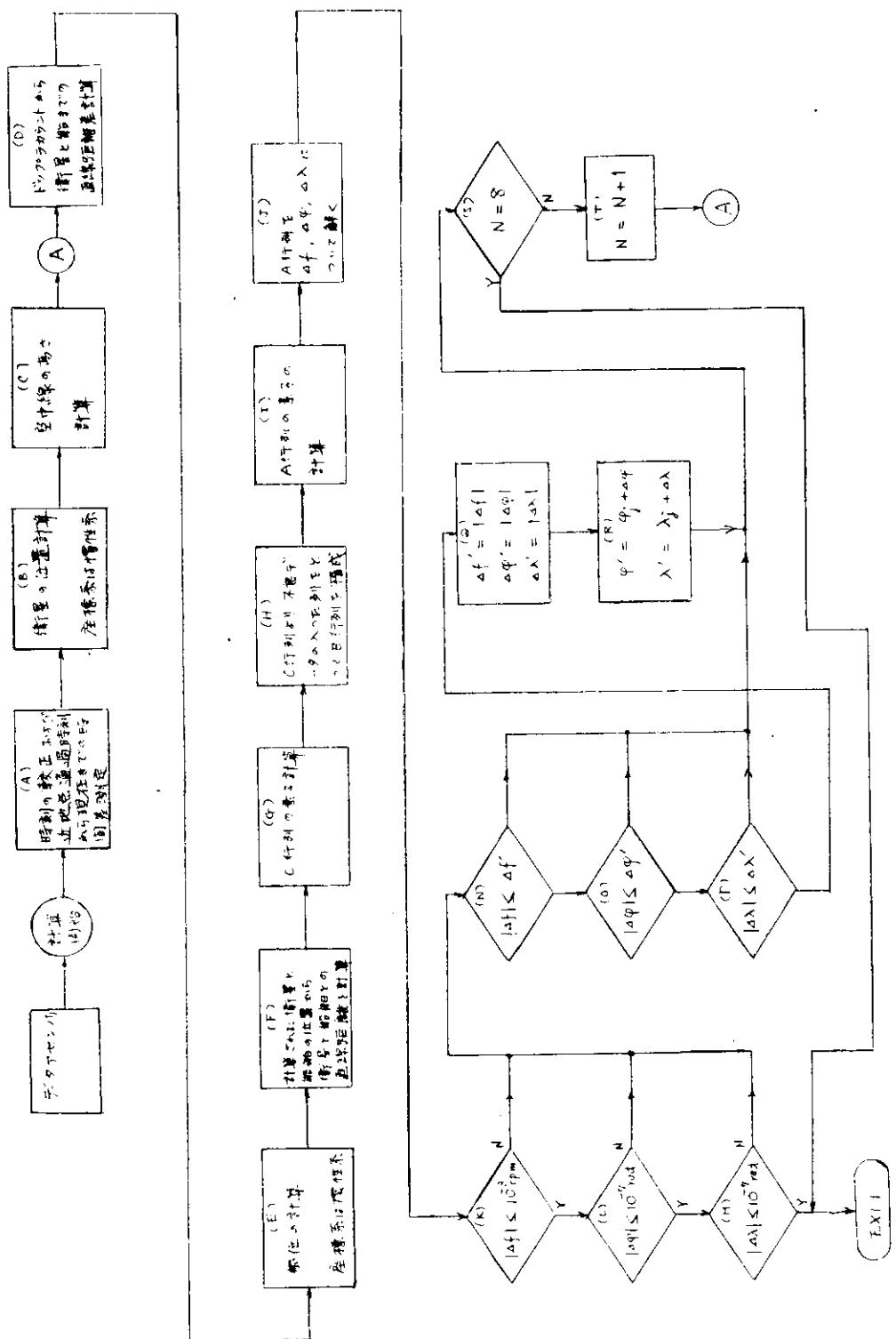
表1.1.3-6 N N S S 船位決定用実用プログラムによる実際計算例

受信地点	運輸省電子航法研究所 東京都三鷹市新川6の58の1 衛星航法部 屋上
	東経 $139^{\circ} 33' 58''$
	北緯 $35^{\circ} 40' 29''$
	高さ 平均梢円体より126m
受信時刻	1969年9月29日288分(GMT)
計算結果(A)	東経 $139^{\circ} 33' 57''$ 誤差約310m 北緯 $35^{\circ} 40' 39''$ 約30m
計算結果(B)	東経 $139^{\circ} 33' 55''$ 約310m 北緯 $35^{\circ} 40' 39''$ 約90m

表1.1.3-7 文献との比較

	緯 度	経 度
原文の計算結果	北緯 $34^{\circ} 30' 66''$	西経 $118^{\circ} 46' 80''$
本プログラムによる計算結果	北緯 $34^{\circ} 30' 65''$	西経 $118^{\circ} 46' 79''$

図 1.1.3-11 演算 SS 終位決定用、実用プログラムフローチャート



1.2 船位推定システムの開発

1.2.1 慣性航法システムの調査研究

(1) ガスペアリングに関する調査

(a) Gas bearing (図1.2.1-1)

第106研究部会、船舶の高度集中制御方式の研究（その1.航法システム）の昭和44年3月の報告書（研究資料No.100-1）P.42 1.1.1(2-8)、(c)項において「船舶用慣性航法装置は位置誤差が少くとも7海里／日、できれば5海里／日以下のものでなければならぬ。7海里／日のGyro drift rateは0.005度／時、5海里／日のものは0.0035度／時である。参考、速力20Ktの場合の1%の誤差は約5海里／日である」と報告した。

Drift rateの少ないGyroを作る場合にBall bearingは間隙が大きいため、加速度、温度変化、摩耗などによるRandom driftとNoiseが大きいことが障害となつてゐる。Gas bearingはその点を解決する手段の一つである。Gas bearingには外部から送り込んだ圧力空気によつて Rotor を支える方式と Rotor case 内に密封された気体（空気、ヘリウムなど）が Rotor の回転に伴つて速い気流となり流体力学的な力によつて Rotor を支える方式と起動は外部からの圧力空気により行ない、回転上昇した後は密閉空気による前述の方式によるものなどがあるが、Gyroには2番目の流体力学的な方式が用いられている。これにも異つた形のものがあるが一般的なものは次のとおりである。

GyroのRotorには軸がなく中央に円い孔があつておらず、軸は Case にて固定されている。軸は Rotor の孔を貫き、軸の両端には Rotor の Thrust 方向を保持するための Thrust 板がある。Rotor、軸、Thrust 板などは Ceramic 材や表面に硬化処理を施したペリリウムなどの極めて硬い材料で作り、各部の寸法や表面仕上げの精度は 0.1μ 程度であり極めて精密な加工を必要とする。Rotor と軸との間隙などは Bearing の大小により相異があるが、例えば全間隙が $2 \sim 3\mu$ 、Rotor と Thrust 板との全間隙は $1 \sim 2\mu$ 程度である。なお気流による力を強めるために Thrust 板の表面には周辺から中心に向う螺旋状の多数の溝（深さ 1μ 前後）を設けまた軸の表面にも軸に沿つて直線状の溝を設ける場合もある。

Rotorは Case にて固定された Stator により駆動される。起動時には Rotor は軸に接触して回転するが、接触面は滑らかでかつ硬いため接触面の摩耗は極めて少なく一般に $10,000$ 回程度の能力を持たしてある。回転が上昇するに従つて気体は Rotor に随伴して速い気流となり、軸と Rotor との間に楔状の力が働いて Rotor は軸から離れ、規定回転では軸と一定関係位置を保つて回転する。また気流の一部は両端の Thrust 板に当り、気体は周辺から中心に向つて集り、中心付近は強い圧力となつて Rotor を両側から押し、それにより Rotor は位置を保つてゐる。気流による力は回転速度に比例し、軸と孔との平均間隙の自乗に反比例する。

以上の構造により加速度、温度変化、摩耗などに基く重心の移動が少なく、また高速回転が得られるため Drift rate の少ない Gyro が得られるほかに次の特長を持つてゐる。

- (イ) 広い範囲の温度変化に対して性能はほとんど変わらない。
- (ロ) 摩耗が極めて少ないため寿命が長い。
- (ハ) Bearing によつて最高回転速度は限定されない。
- (シ) 注油などは不要であり保守が不要である。
- (ス) 振動の無い静かな回転が得られる。
- (ナ) 構造が簡単である。

以上の特長の反面、次の問題がある。

- (イ) 耐摩耗性の材料の製造（ceramic 材や表面硬化材料）
- (ロ) 以上の材料の熱処理と超精密加工の技術

(Ceramic 材料最終の熱処理を行なつた後では加工は困難である)

- (a) Ball Bearing より負荷荷重が小さい。(Rotor の選定で解決される)
- (b) 高度の清浄さが要求される。(これは清浄な環境下で密閉することにより解決される)
- (c) ある Critical 速度で不安定が起ることがある。(これは回転速度の選定により解決される)

(b) Gyro の種類

Gyro Rotor の位置の変化は Drift の大きな原因であるので、 Gas Bearing の使用によつて小さくすることはできるが、 Gyro に関する誤差の原因性をそのほかにもある。入力軸と Gyro 軸との関係角度の変化と Gyro case を支える軸受の摩擦である。 Rate Gyro や Rate 積分 Gyro などは作動時のプレセッションにより Gyro Rotor が傾くため、初め入力軸と直角にあつた Rotor の軸はその後傾いて直角関係がくずれる。すなわち初めの状態から変るために高精度をそのまま維持することがむずかしい。この点では Gyro の軸を常に入力軸に直角に保つように復元させて使用する積分 Gyro が精度の点では勝つている。

(c) Gyro Case の支持

Gyro Case を支持する軸受の摩擦も Drift の原因の一つである。この摩擦を少なくするために Gyro Case を適当な比重と粘度の液体の中に入れ、その浮力をよつて Pivot-Jewel の軸受にかかる相対重量を 0 または最小に保つている。

超高度の精密 Gyroにおいては、この Pivot-Jewel の摩擦も大き過ぎるため Pivot 等を使わず、 Gyro Case 内に組込んだ小形ポンプにより発生させた液体の圧力によつて Gyro Case を無接触状態で支持している。これによつて現在 Random Drift が 0.003 度／時 (RMS の値) の積分 Gyro が完成されている。

(d) 價格の低減

以上の超高度の Gyro の Drift は 0.003 度／時であり、初め目標とした精度のものであるが、反面非常に高価である。最近は比較的低精度の Gyro を使用し、高精度の Gyro を使用したものと同等の総合精度を出させる技術が開発され、価格の低減が計られてきている。この方式は、 Gyro Case を高速度で回転させたり、 Gyro と加速度計を含む盤を一定の低速度で回転させることにより Gyro の Drift や加速度計の Bias に基く出力の誤差を平均化し、 0 または最小値にするものである。この方式によれば従来の方式の場合 Gyro の Drift による距離・誤差が時間の経過とともに増大するのに対し、この回転方式によれば、はるかに小さな値を最大振幅とする周期的变化 (周期 = 8.4.4 分) にことができる。

ただし誤差の原因が Gyro の Drift 以外にあるものには適用されない。

(e) 結論

Gas Bearing や Gyro Case の液体支持等はすでにアメリカの数社の Maker で製作、実施されていることではあるが、我国ではその一部の作業が行なわれている程度である。船舶用慣性航法装置用の Gas Bearing Gyro を製作するに当つては、昭和 43 年度の報告書 (研究資料 No.100-1) 43 頁に挙げた問題点すなわち、

- (1) 商船用としての価格と必要性
- (2) 企業としての採算性
- (3) 開発の方法 (自己開発と技術導入)
- (4) 自己開発の場合の研究グループの編成と資金

等の結論を先に出さなければならない。

(2) レーザージャイロに関する調査

(a) Laser Gyro (図 1.2.1-2)

Laser Gyro の歴史は 1961 年米国の光学技術者 A.H. Rosenblatt により Laser Beam が回転角速度の検出器として使えるという論文を発表し、翌 1962 年に Sperry Gyroscope Co. と Honey-

well とが独自に研究、実験を開始したことから始まつた。

Laser は Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (放射線の放射が刺戟されて起る光の増幅) の頭文字からできた名称であり、現在レーザーには固体レーザー、半導体レーザー、気体レーザーの3種類がある。Laser Gyro にはヘリウム10とネオン1の割合の混合気体のレーザーが主に使われている。石英などの管内に1~10 mmHg程度の低圧にガスを封入し放電すると気体分子が刺戟され、高いエネルギーを持つ状態に達してから光を放出する。この光をそのまま、すぐに外部へ出さずに管の両端に光に直角においた反射鏡と半透明反射鏡との間を何回も往復反射させてる中に共振状態となつて強められ、鏡間の間隔によつて決まる波長を持ち、位相のそろつた定常波が生ずる。これがある程度強くなつて半透明鏡を通して外部に放射した光がレーザーである。したがつて波長と位相が一つに決まつた最も単純な光であるため、二つの光を重ねると明瞭な干渉縞を生じさせることができる。

Laser Gyro はこの干渉を利用して角速度の測定に用いられる。Laser Gyro は一つの平面内に閉じた光路を持ち、その光路内に気体レーザ発生器を置き、一つのレーザーは右回りに、他のレーザーは左回りに進むようにして、その二つを重ねて干渉縞を作らせるようにしたものである。閉じた光路は反射鏡によつて進路を変えることによつて作られる。これを Ring laser と呼ぶ。

レーザー光路の面が静止しているときには右回りと左回りの光路中の波の数は不变であるが、面が回転すると光源が一方へ移動しているため、一方の光路中の波の数は増加し、他方の光路中の数は減少するから、一方の振動数は増加し、他方は減少したことになり、両方の光が重なるとうなりの現象と同じに振動数の差の明暗の縞が生ずる。この早さすなわち単位時間内の明暗の数は回転の角速度に比例するから、その数を数えれば角速度が求められ、その積算値を求めれば回転角を求めることができる。また回転の方向を知るために連続する複数個の縞の移動して見える方向を知ればよい。そのためには干渉縞の間隔の1/4程度離れた2箇所の位置での明暗の変化を見ればよい。

実際の装置では光电検出器により明暗を電気のパルス信号に変え、単位時間内のパルスを数えて回転角速度を、またパルスの積算値を数えて回転角を求めている。

(a) Laser Gyro の問題点

Laser Gyro にはいろいろの問題点がある。その一つに Lock in 現象がある。すなわちおそい回転に対しては感じない不感帯があることである。この解決方法にはいろいろあり、例えば、Laser Gyro に10~40 cps の小さな角度の振動を与えて、感度の良い範囲で測定し、測定値から Bias 分を差引くという方法や光路に Faraday Bias Cell と Fresnel 効果の誘電体を挿入し、光の位相と速度を変えて、光路が静止しているときでも一定の速さで回転しているときと同じ縞を生じさせる方法などがある。

またレーザー発生管内におけるガスの移動や電位の変化により、放電の中心が移動するために生ずる0点変化がある。この解決方法にもいろいろあるが管内の電極を陽極-陰極-陽極と対称的に配置するのもその一つである。その他レーザーの周波数変動の現象などがあり、これらは Laser Gyro の精度の向上を計るために考慮しなければならない点である。最近のものは石英ブロック内に光路の孔を開けたものが使われているが、この精密加工には特殊の技法と経験を必要とする。

現在 Laser Gyro の測定可能の範囲はおそい角速度は0.1度/時程度であるが、0.01度/時に近付いており、速い方は 4.0×10^6 度/時程度であるがこれも 1.0×10^7 度/時に近付いている。理論上の将来の測定可能な範囲は最低0.001度/時、最高 1.0×10^8 度/時であるといわれている。

(c) Laser Gyro の特長と利用

Laser Gyro は可動部分を持たないため加速度に対して極めて安定であるほか起動時間が不要であり、消費電力が少なく、構造が簡単で小形、軽量であるという特長を持つため、航空機やミサイル等のような加速度の大き

い飛翔体に有望視され開発が進められており、米国ではこれを用いた指北性ジャイロや3軸の姿勢制御装置の実験が行なわれている。

Laser Gyroは角速度を測定するものであり Rotorを使用する Rate Gyro に相当するが、Rotor の Gyro のように Precession は起きないからそれによる反作用 Torque は無い。単に角速度測定では同じであるが、Stable Platform の制御に使用するときに Rotor の Gyro のような反作用 Torque やよる Stabilizer 的な効果を利用することはできない。Laser Gyro の開発が進むれば角速度の測定を基本とする種々の装置例も前述の Gyro Compass や姿勢制御装置に、この Laser Gyro が使用されると考えられるが、Gyroの反作用 Torque を利用している Gyro 機器には利用できない。

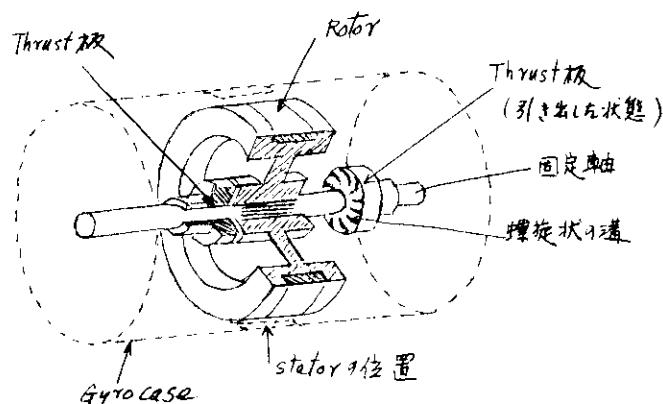


図 1.2.1-1 ガスベアリングの構造

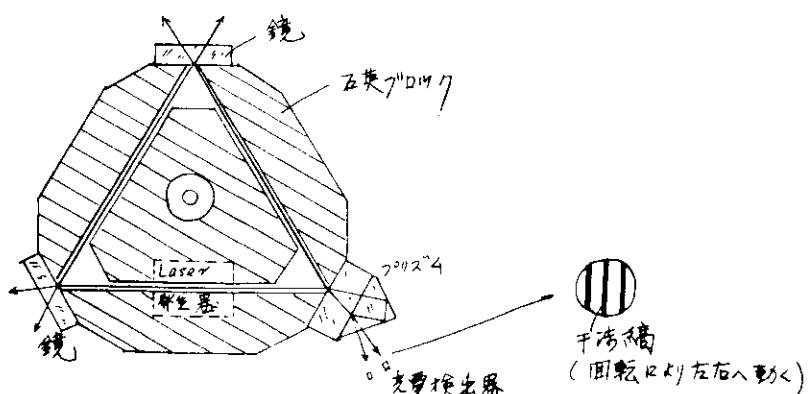


図 1.2.1-2 レーザジャイロの原理図

1.2.2 船位推定システムの実用プログラムの作成

D R P C のプログラムの考え方を流れ図として図 1.2.2-1 マスターントロールプログラムに示す。

(1) マスターントロールプログラム(図 1.2.2-1 参照)

このプログラムは流れ図に示すように割込みの有無を検出し、割込要因があれば予め決められた優先度の高い順にプログラムを切替える働きをする。したがつて、すべてのプログラムはこのプログラムの管理の下で進行することとなる。

推定位置の計算とその表示とは非同期にしてある。推定位置の計算は E M ログから発信される 0.1 NM ごとの航程パルスが D R P C に入る度に行なわれ、計算結果は 2 進の形で記憶器 M に格納される。

別に、親コンピュータまたは、別置の発信器からの 1 秒パルス信号を計数し、60 秒ごとに記憶器 M に格納された上記データを 10 進、60 進に変換してその信号を表示器に送る。

(2) 実測位置読み込みプログラム(図 1.2.2-2 参照)

N N S S 等からの信号によつて自船の正確な位置が算出された場合には、親コンピュータ、または別置の発信器からそのデータを D R P C に与え、D R P C のそれぞれのデータに入れ替える。

(3) 出発点設定値読み込みプログラム(図 1.2.2-3 参照)

ディスプレイユニットに設定された出発点を D R P C に読み込み、D R P C のそれぞれのデータを入れ替える。

(4) 潮流設定値読み込みプログラム(図 1.2.2-4 参照)

ディスプレイユニットに設定されたデータを読み込み鍵を押すことによつて D R P C に読み込ませるプログラムである。潮流は速度と方位で与えられるので D R P C の内部で N-S 方向と E-W 方向の成分に分解してそれを記憶する。実測値と推定値とのベクトル差をこゝでは潮流と見做している。したがつて、もし潮流が実在している場合でも推定値と実測値とが一致している限り潮流は零と見做される。

(5) 推定位置計算プログラム(図 1.2.2-5 参照)

まづ、潮流を度外視して緯度 ℓ 、経度 L を計算する。前回までの計算値は、記憶器に保存されてゐるので 0.1 NM ごとに、

$$K \cos \theta_i$$

および $K \sin \theta_i / \cos \ell$

を計算し、記憶器に保存されている ℓ 、 L に加算する。

すなわち、

$$\ell_i = \ell_0 + \sum_{j=1}^i K \cos \theta_j = \ell_{i-1} + K \cos \theta_i$$

および $L_i = L_0 + \sum_{j=1}^i K \sin \theta_j / \cos \ell_j = L_{i-1} + K \sin \theta_i / \cos \ell_i$

の計算を行なう。

次に、 $\ell' = v_{NS} \cdot t$

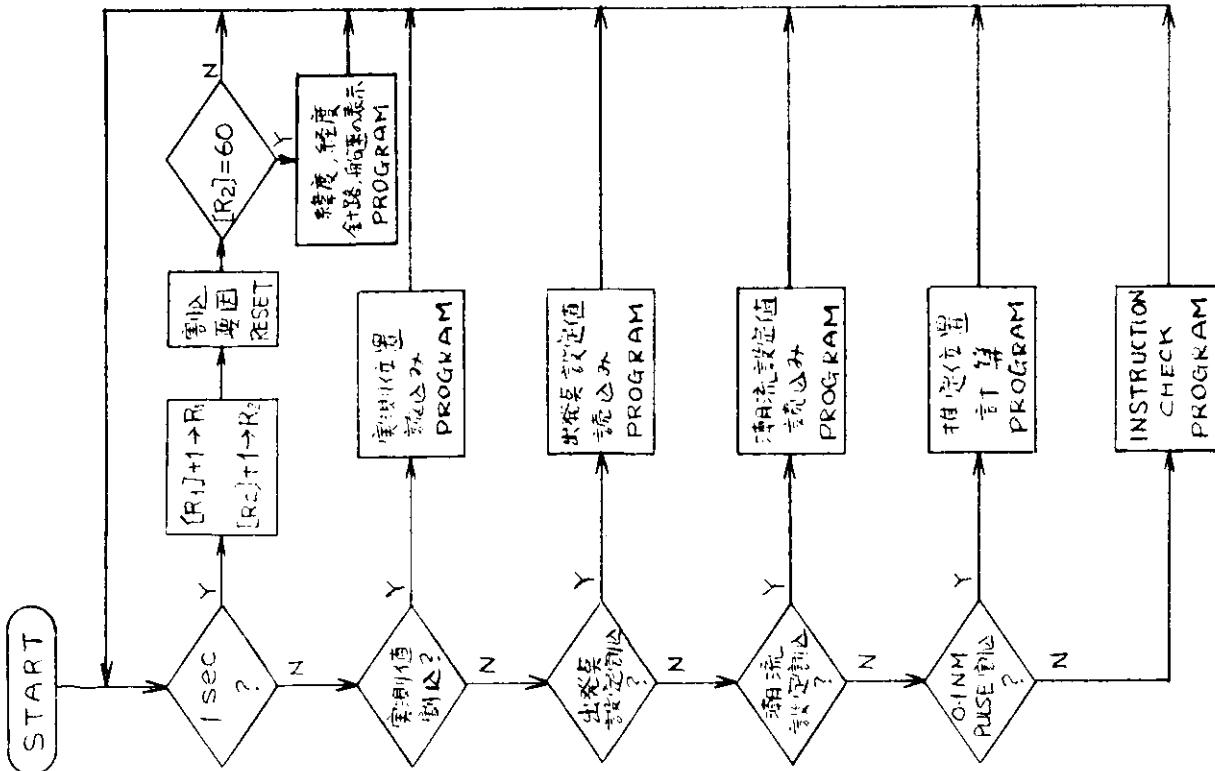
および $L' = v_{EW} \cdot t / \cos \ell$

によつて ℓ' および L' を求め、それを ℓ および L に加えることによつて自船の推定位置の ℓ^* および L^* を求める。

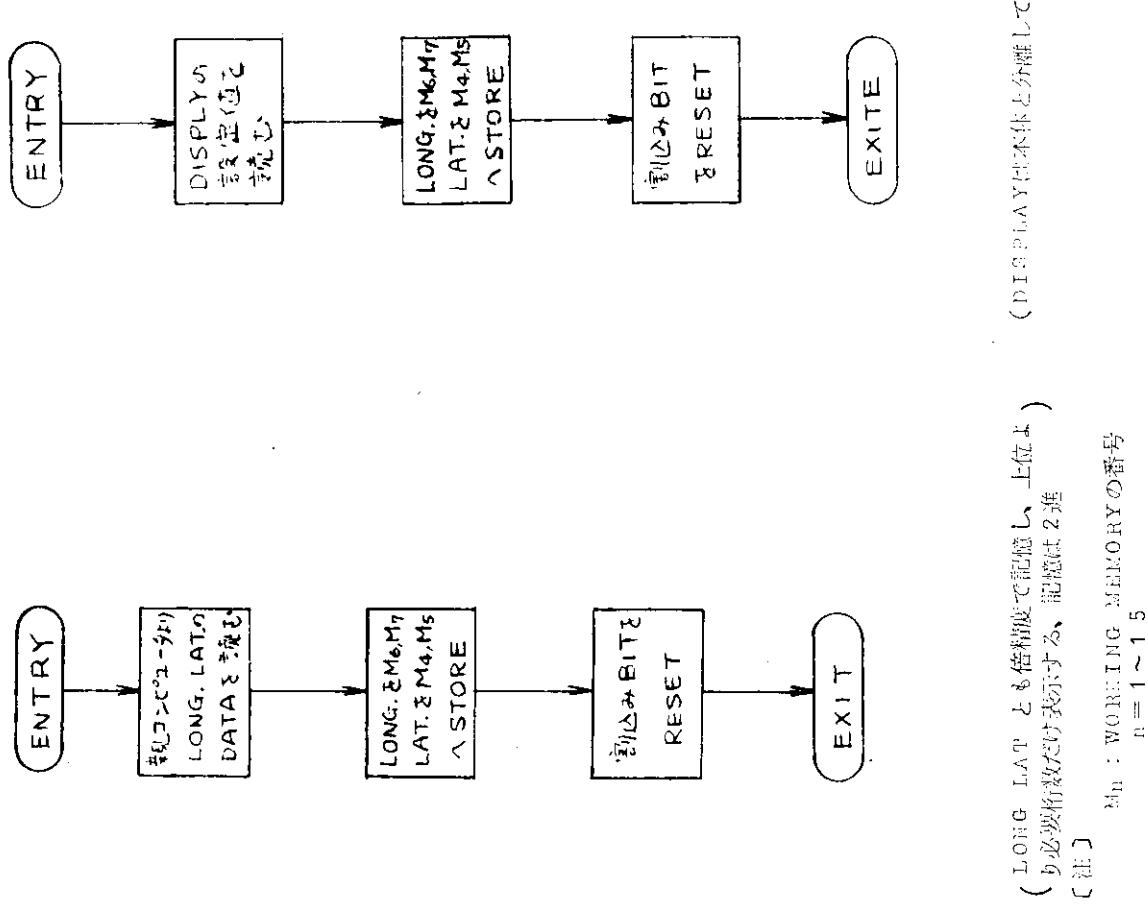
なお、時間 t は 1 秒信号を、0.1 NM パルスを 1 つ受信してから次のパルスが来るまでの間、計数することによつて求める。

(6) 表示プログラム(図 1.2.2-6 参照)

記憶器に入つている各種データ(2 進)を 10 進に変換して表示器用記憶器に与える。表示器用記憶器はリレーで構成し、記憶と同時にその採点によつてディスプレイユニットに信号を送る。



- 49 -



(LONG LAT とも倍精度で記憶し、上位より
より必要桁数だけ表示する、記憶は 2 進)

[注]

Mn : WORKING MEMORY の番号
 $n = 1 \sim 15$

图 1.2.2-3 出発点設定値読み込みプログラム

图 1.2.2-2 実測位置記入プログラム

(DISPLAY は本体と分離して設置)

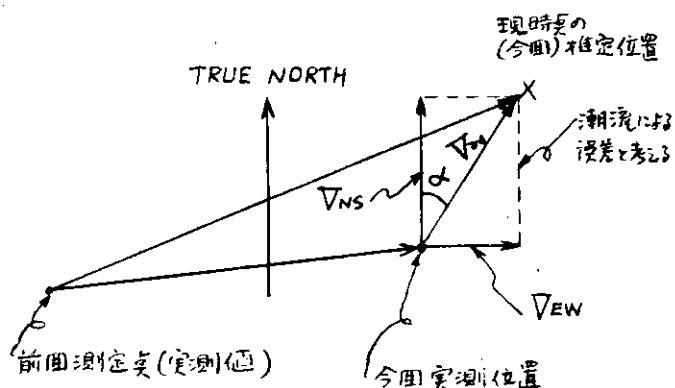


(DISPLAYは本体と分離して設置)

(記憶は2進で行なう)

$$M_{13} : (V_{NS})_n = (V_{NS})_{n-1} + V_{cos} \alpha$$

$$M_{14} : (V_{EW})_n = (V_{EW})_{n-1} + V_{sin} \alpha$$

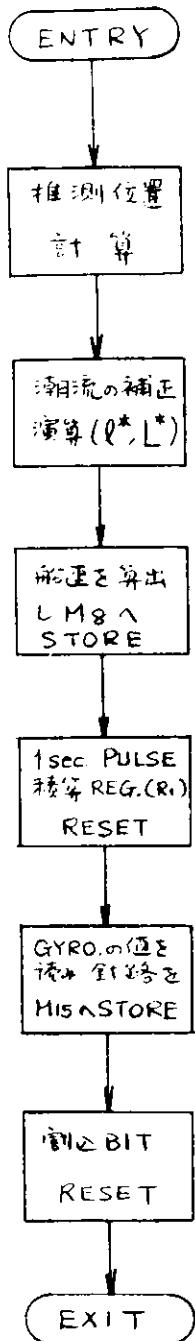


親コンピュータからDISPLAYに与えられる潮流表示信号は今回実測位置と現時点の推定位置とのVECTOR差で行なう

〔注〕 MEMORYの割当て

- | | | |
|--------------|---|-------------------------------|
| 1. 船速 : | M ₈ | SPEED : VECTOR長 |
| 2. 針路 : | M ₁₅ | 方位位 : TRUE NORTHに対するVECTORの角度 |
| 3. LAT. : | M ₄ 、M ₅ | |
| 4. LONG. : | M ₆ 、M ₇ | |
| 5. NS方向潮流 : | M ₁₃ | |
| 6. EW方向潮流 : | M ₁₄ | |
| 7. 時間 : | R ₁ 、R ₂ (PULSE COUNTERを使用しPROGRAMで入力信号を発生させる)。 | |
| 8. 表示用REG. : | R ₃ ～R ₅ | |

図 1.2.2-4 潮流設定値読み込みプログラム



$$\sin \frac{\pi}{2} X = [C_1 + (C_3 + C_5 X^2) X^2] X, \quad -1 \leq X \leq 1$$

ただし $C_1 = 1.5706$, $C_3 = -0.6432$

$C_5 = 0.0727$, $\frac{\pi}{2} X = \theta i$ とする

$$l = l_0 + \sum_i K_i \cos \theta i$$

$$L = L_0 + \sum_i K_i \sin \theta i / \cos \theta i$$

ただし $K_i = \frac{0.1}{R}$ (R : 地球の半径、単位: 海里)

$$1 \text{ NM} = 1852.2 \text{ m}$$

$$l^* = l + l', \quad L^* = L + L'$$

$$l' = V_{NS} \cdot t$$

$$L' = V_{EW} \cdot t / \cos l$$

ただし V_{NS} : NS 方向の潮流の流速

V_{EW} : EW 方向の潮流の流速

t : 前回の 0.1NM PULSE が来てからの時間 (sec)

$$V = \frac{0.1 \times 60 \times 60}{t} = \frac{360}{t} (\text{kt})$$

ただし V : 船速

図 1.2.2-5 推定位置計算プログラム

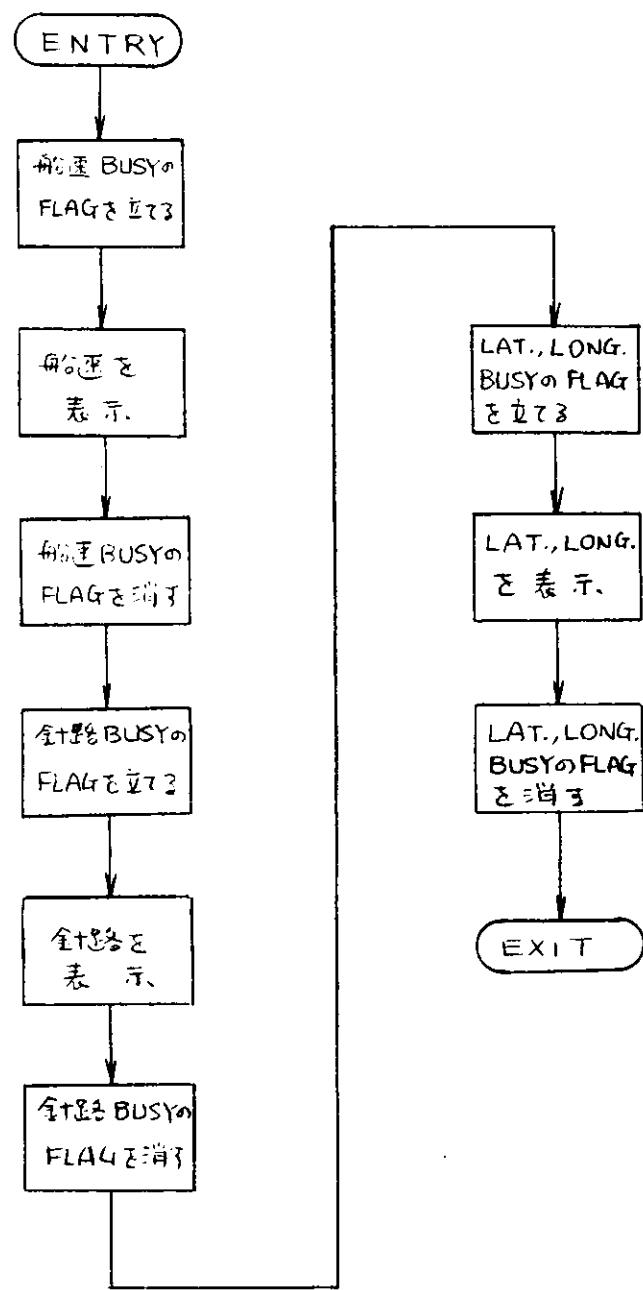


図 1.2.2-6 表示プログラム

1.3 最適航路設定システムの開発

1.3.1 はじめに

最適航路設定システムは、航路設定の範囲の大きさによって広域、狭域および局所最適航路設定システムに分れる。このうち、船用のコンピュータによるシステムとして狭域および局所システムを取り上げたことは、昭和43年度研究報告に述べたとおりである。

昭和43年度の研究においては狭域システムの構成要素である波浪計算の方法および船体運動計算の方法について検討を加えたが、本年度は昭和43年度の研究成果を発展させ狭域最適航路設定システムとしての総合プログラムを作成し、実用化の見地から計算の簡易化につとめた。すなわち、船用のシステムとしては精度よりも計算規模の縮小が必要であるので、理論的な厳密さをある程度犠牲にして計算の単純化をはかつた。

また、このように単純化する場合にも計算の精度が実用に耐えない程度に低下しては意味をなさないので、実際の観測と比較するために神戸商船大学の深江丸により波浪および船体運動の観測を行なつた。本計測は現在解析中である。

また本システムを実用化するためには気圧図を手際よく読み取りコンピューターに入力する装置を開発する必要があるので、その検討を行なつた。

次に本年度は局所最適航路設定システムの検討を行ない、このシステムに必要な加速度検知装置の計画を行なつた。

1.3.2 狹域最適航路設定システム

(1) システムのソフトウェア

(a) 概要

本システムのソフトウェアは、船舶で受信される予測気圧をもとに所定領域の仮定針路に対する船体運動の予測評価値を表示し、運航者の航路設定の際の判断資料を提供するためのものである。ここでは船舶で受信されるものは、ファクシミリを介して得られる予測気圧図であるという現実に合致させたシステムとする。

対象領域に格子を設け、気圧から風場を計算し、風場から波浪スペクトルを計算し、さらに波浪スペクトルから船体運動の評価値を計算するのであるが、波浪スペクトルは狭範囲の時間・空間の情報から決定される風浪スペクトルと広範囲の時間・空間の情報から決定されるうねりスペクトルの和であるので対象領域の寸法、格子間隔を次のように定める。

ここでは予測気圧図は、24時間ごとに入力され、予測時間は約17時間と仮定しておく。そして、うねりの影響距離は約1,000浬とし、影響時間は48時間とする。ただし、影響領域(後述)外の台風については影響時間を60時間とする。

対象領域の形状は各針路共通のため、また格子設定を容易にするため正方形とし、船体運動の予測評価値を表示すべき領域(以後、表示領域と呼ぶ)の寸法すなわち一边の長さは、船舶の24時間の移動距離(約500浬としておく)と予測時間から約700浬とし、表示領域へうねりが影響を及ぼす領域(以後、影響領域と呼ぶ)の寸法すなわち一边の長さは、うねりの影響距離と船舶の24時間の移動距離から約3,200浬とする。

そして影響領域の格子間隔は気圧勾配を計算するため約70浬とし、表示領域は影響領域内に含まれるから、表示領域の格子点は便宜上影響領域の格子点の一部と一致させる。

いま、被予測時点を T_0 とし、その時点の情報を含む影響領域を A_0 、表示領域を B_0 とし、時点 T_0 より24時間前の時点を T_{-1} とし、その時点の情報を含む影響領域を A_{-1} 、表示領域を B_{-1} とし、時点 T_0 より48時間前の時点を T_{-2} とし、その時点の情報を含む影響領域を A_{-2} 、表示領域を B_{-2} とし、その配置の一例を図1.3-1に示す。

B_0 格子点の船体運動の予測評価値を計算する手順は次のとおりである。ここで B_0 格子点の風浪スペクトルは、時点 T_0 と B_0 格子点の情報をから決定され、そして B_0 格子点のうねりスペクトルは、時点 T_{-1} の A_{-1} 格子点の情報を時点 T_{-2} の A_{-2} 格子点の情報をから決定されるものと考える。

(4) B_0 格子点の予測波浪スペクトル

- (i) 時点 T_0 の B_0 格子点の風浪スペクトル (ISSCスペクトル) のパラメータ。
- (ii) 時点 T_{-1} の A_{-1} 格子点の風浪の 2~4 時間伝播のうねりスペクトル。
- (iii) 時点 T_{-1} の A_{-1} 外の台風による風浪の 12 時間~36 時間伝播のうねりスペクトル。
- (iv) 時点 T_{-2} の A_{-2} 格子点の風浪の 2~4 時間伝播のうねりスペクトル。

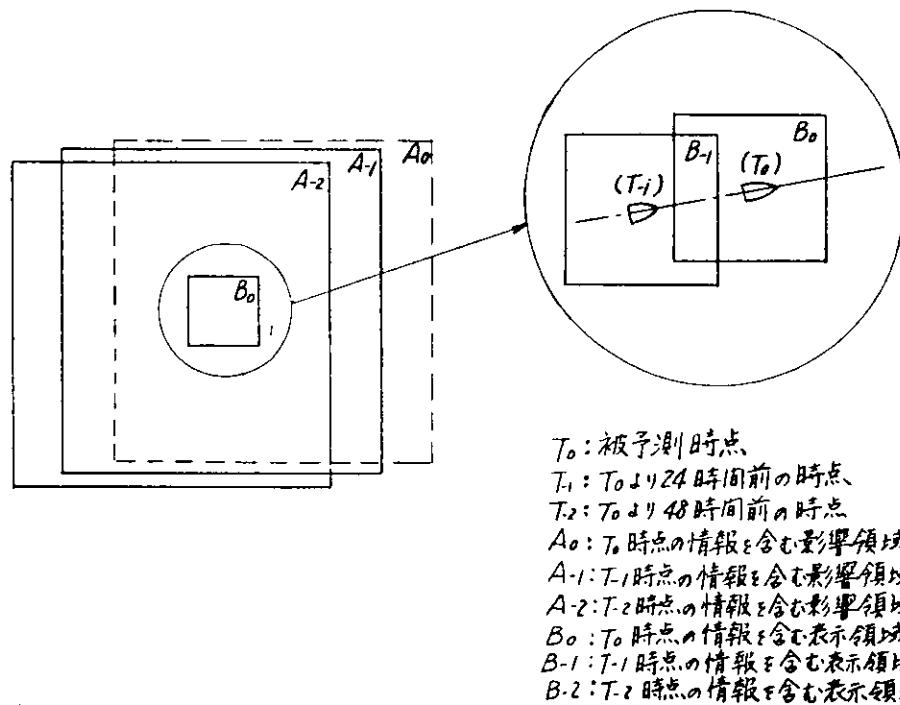
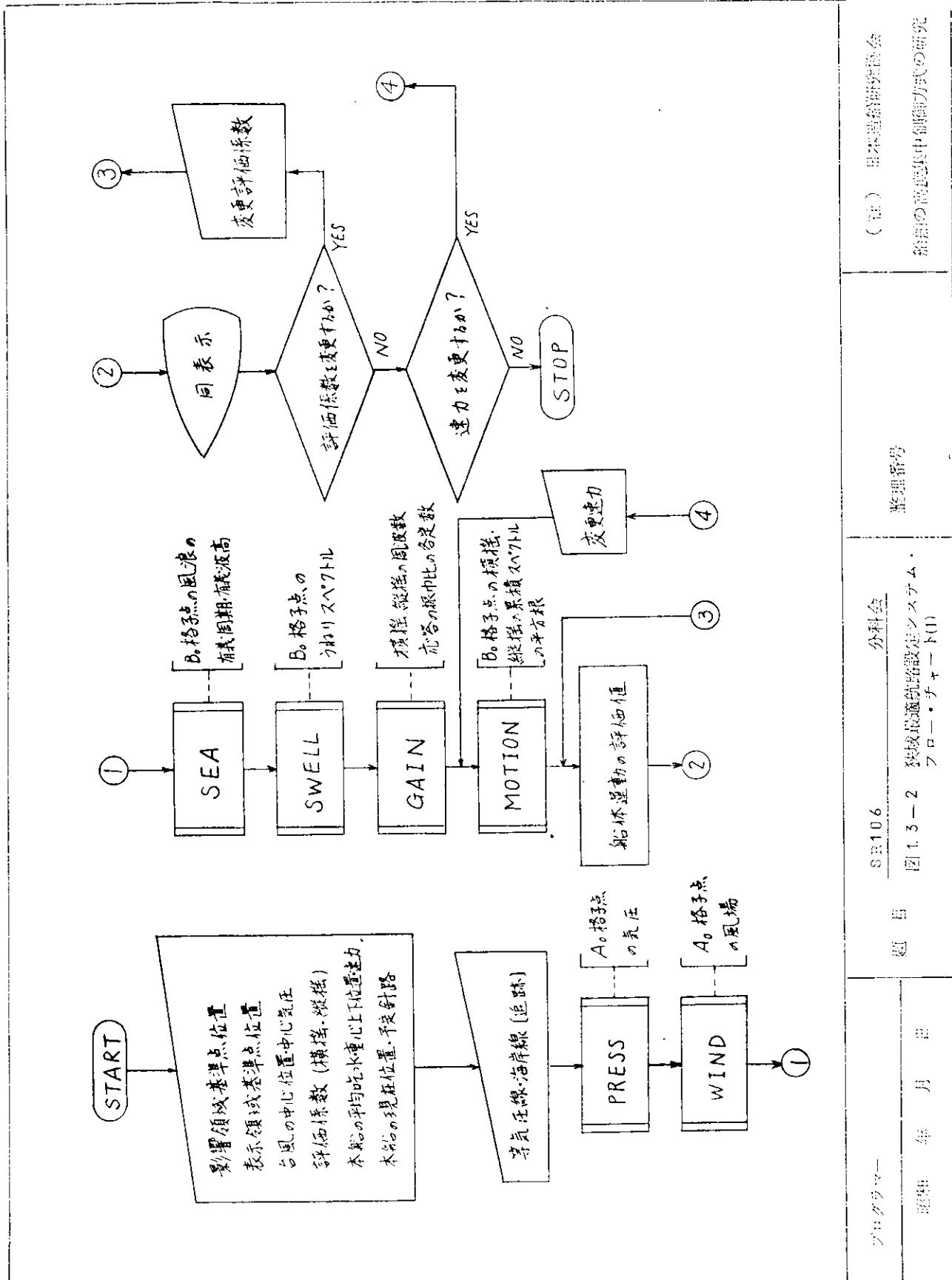


図 1.3-1 配置例

- (v) 時点 T_{-2} の A_{-2} 外の台風による風浪の 36 時間~60 時間伝播のうねりスペクトル。
 - (vi) 以上の和を B_0 格子点の予測波浪スペクトルとする。
 - (vii) B_0 格子点の仮定針路に対する船体運動の予測評価値
- ここでは便宜上風浪に対するものと、うねりに対するものに分けて計算する。
- (i) 風浪スペクトルから横揺の累積スペクトル。
 - (ii) うねりスペクトルから横揺の累積スペクトル。
 - (iii) (i)と(ii)の和の平方根。
 - (iv) 風浪スペクトルから縦揺の累積スペクトル。
 - (v) うねりスペクトルから縦揺の累積スペクトル。
 - (vi) (iv)と(v)の和の平方根。
 - (vii) (iii)と(vi)に評価係数を乗じて、その和を船体運動の予測評価値とする。
- 以上の手順をフローチャートとして図 1.3-2~4 に示す。



プログラマー

SRI 106

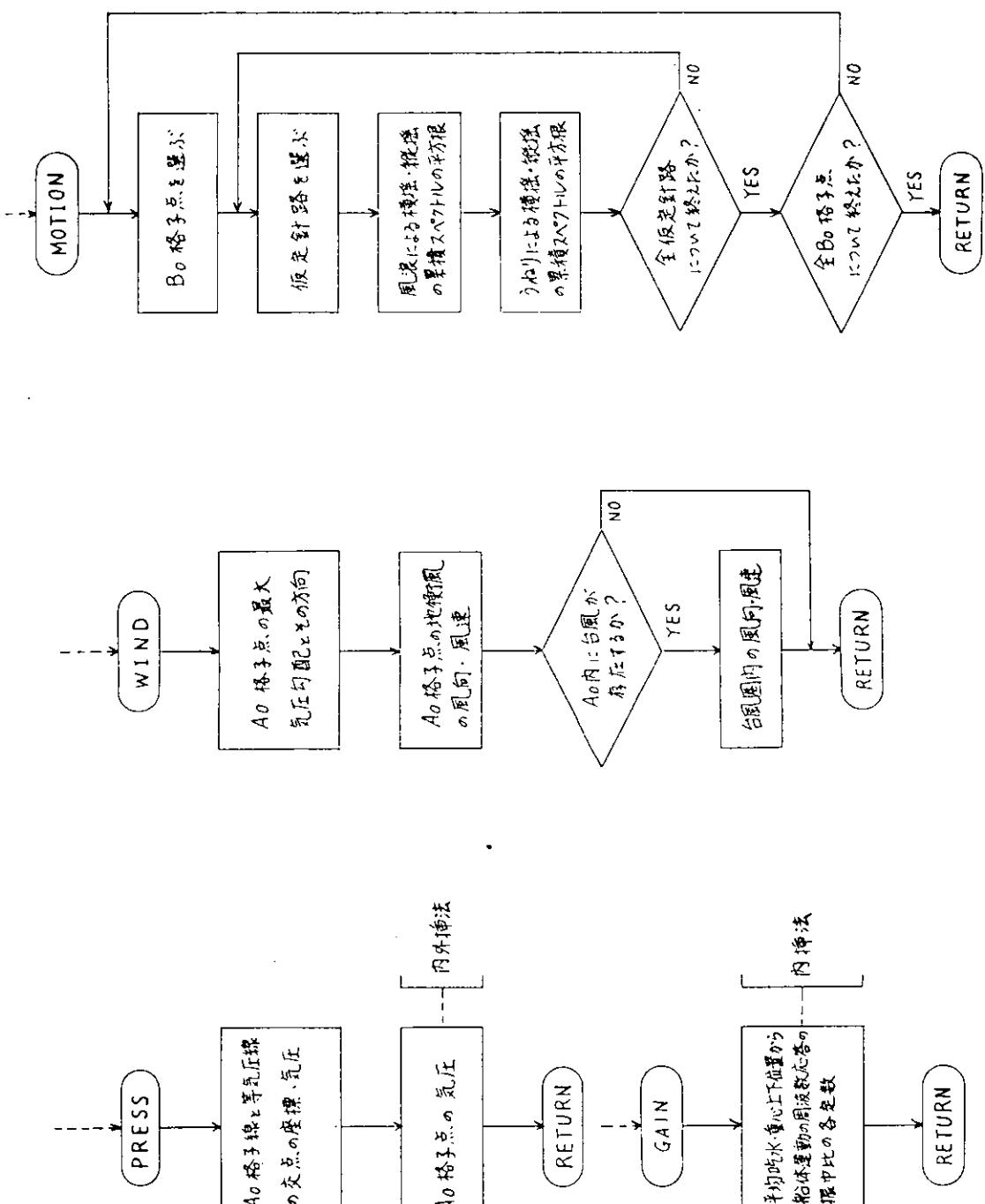
外科会

監理番号

(注) 基本運算部会議会

経験の高速集中偏航方式の研究

図1.3-2 狹域最適航路設定システム
アロー・チャート(II)



プログラム	SR106	題目	分科会	整理番号
昭和 年 月 日	図 1.3-3 狹域最適航路設定システム ブロード・チャート(2)			(注) 日本造船研究協会 船舶の高度集中制御方式の研究

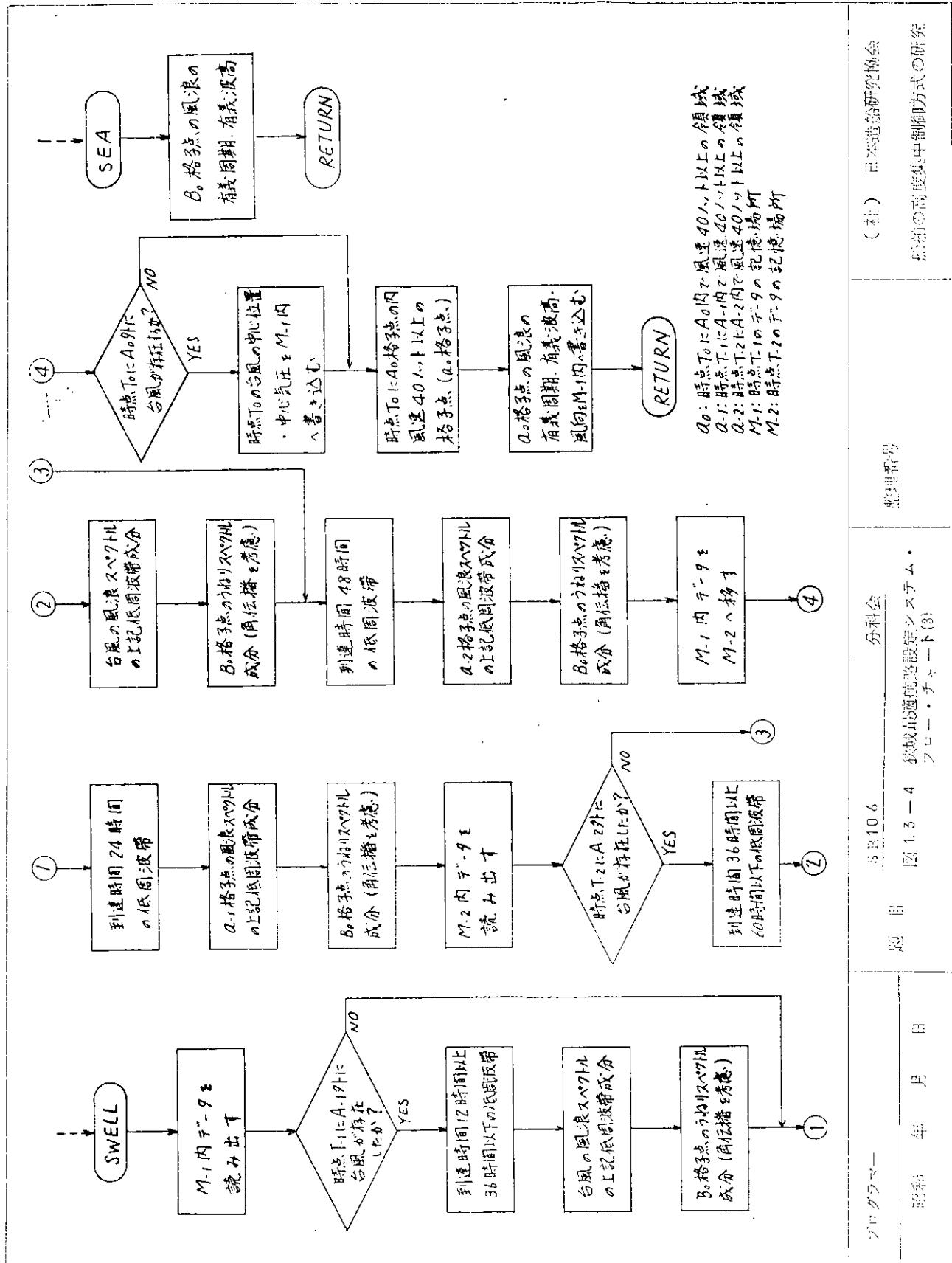


図1.3-1

S.R.10.6

分科会

物理評議会

(社) 日本造船研究協会

図1.3-4 狹域最適航路設定システム・
アドバイ・チャート(3)

航行の高密度集中制御方式の研究

(b) 波浪の予測

(i) 気圧の計算

気圧図から対象領域の気圧を求めるのに、格子線と等気圧線の交点の座標と気圧から内外挿法により計算する方法をとる。

ここで、格子線と等気圧線の交点の座標は、等気圧線のカーブトレーサによる手動追跡と同期して自動的にコンピュータへ入力されるX、Y座標から格子線を過る時の座標として得られる。

(ii) 風場の計算

(i) 地衡風近似

波浪予報にあたつてもつとも重要な入力は風場、すなわち予報しようとする区域の各点の風向、風速である。現在、考へている範囲は約1辺3,200浬平方の海域であつて、約70浬間隔の格子点を1辺につき約47ヶ、その中、周辺の2ヶづつは風向、風速を求めるために必要なものであつて、予報範囲としては約45×45の格子点よりなつている。

当初の計画にあたつては、気象図から各格子点の気圧を読み取つて、手で計算機に入れるという方法を採用したために、その手数を省くために、各格子点の気圧を読みとることでなく、一つおきの格子点の値を読み、その中間の点の値は両側の値の平均値として出し、それを使用して地衡風計算を行なつた。また気圧値も1mb単位で入れるために、風速においてかなりの大小が生じ実際に則しない点が多くあつた。

その後の計画推進により、気象図よりの気圧の読み取りは大幅に機械化されたので、上述のような便法によることなく、全格子点の気圧値が、正しくまた細かく読み取られ、計算機に自動的に入れられるようになつたので風場については昨年度より大きく改善された。

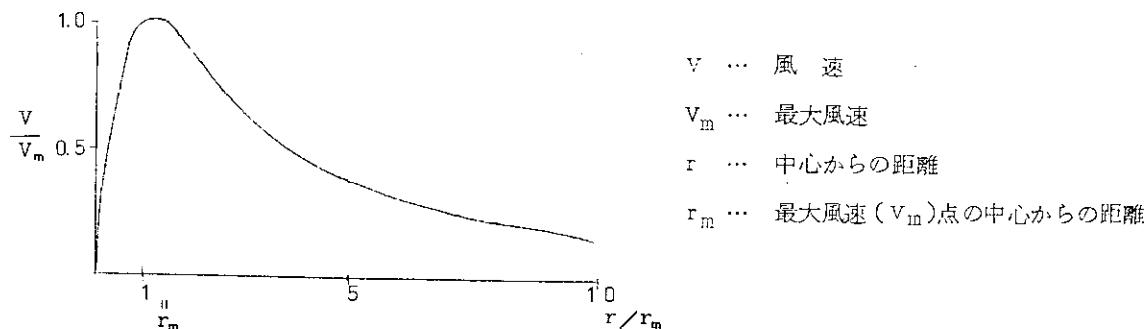
(ii) 台風域の風速

台風および冬期旋風が太平洋北西部では最も船舶の運航に影響をおよぼすことは多くの海難事件より明らかのことである。そのような気象条件下では地衡風近似よりも、より経験的に合致すると思われる風速を使用した方が実際的であろう。ここでは、特に曲率半径の小さい台風について、地衡風近似ではなく、最大風速は、

$$V_{\text{台風}} = 1.36 \sqrt{1010 - \text{中心気圧} (\text{mb})} \quad (\text{ノット})$$

を採用した。

本計画の波浪予報は、格子点によつて行なうため、考へている格子点の位置に中心気圧が示されないことが起るので、台風については気象図から自動的に入れるデーターとは別に、中心気圧を入力として入れる。台風の中心よりの風速の分布は下記のようになつているとして、最大風速より定められるものとした。



上記、風の分布を得るために、最大風速となる点の中心からの距離が必要となるが、これも現在利用しらる気象図では不明であるので、台風の眼の半径に等しいものと仮定した。台風の眼の半径は25浬内外と言われているので、その値を採用した。

その他の強い低気圧についても考慮しなければならない点は多々あるが、一応台風についてのみ地衡風とは別に計算することにした。

(e) 風浪の計算

一般的に風浪は、その場の風で生じた波浪で、うねりは他の地域で発生した波浪が伝播してきて、うねりとして観測されると述べられる。このような定義は非常にあいまいなものであつて、場合によつては風浪とうねりとを明確に区別できないような波も存在するであらう。

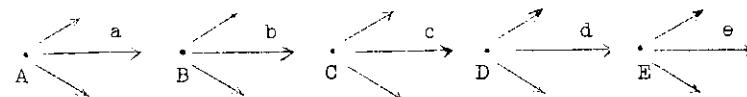
しかし本計算における計算は通常の方法に従つて、風浪とうねりとを別々に計算する方法を採用した。

風浪については前年度どおり、Wilson-Waldenの三場図を応用して、風速、吹送距離より有義波高、有義周期を計算する。本来吹送時間についても当然考慮が払われるべきであるが、利用し易い気象図が一日一回放送されるのみであるので、吹送時間についての詳細はわからないので、波が成長するに十分な12時間程度はその風が吹いたものとして扱うこととした。

(f) うねりの計算

(i) うねり(その1)

ある格子点において、風速、吹送距離より推測された波は、時間の経過につれて、四方に伝播していく。このようにして波の進行方向に伝わつて行つたものをうねりと考える。



A点の風浪より、その場のスペクトルを作る。
a方向に進む波がある。

B点はaの波を受け、成長または減衰したスペクトルを作る。
b方向に進む波がある。

同様の

E点ではA点の風浪スペクトル中、ある群速度をもつ波は到達しているし、他の群速度をもつ成分波は存在しない。

上の図中、A点で風浪のスペクトルが得られたとする。そのスペクトルは風向に応じて風下よりθ方向へ($2 \cos^2 \theta / \pi$)の大きさの量が伝わつて行くものとする。今、a方向に進む波を考えた場合、その波はうねりとなつてBに伝わる。もし、その間に風向がaの進行方向±10°以内の範囲になつたとき、すなわち横または逆の風向になつたときは、その風向と進行方向とのなす角αに応じて伝播していくエネルギーは減つて行くものとする。またその伝播速度は、その方向に進む各周波数成分波の群速度である。

このようにしてAからB、BからCと繰返すことにより、E点ではA点よりのうねりを受ける。AからはB方向へのみでなく他の格子点の方向へも波を送るのと同様に、E点もA、B、C、D点以外の格子点よりの波も受ける。

波のスペクトルを考える場合、各方向に伝播して行き、またそれらが集まつて、ある格子点で新しいスペクトルを形成し、さらに伝播して行く。その間に途中の風場により、うねりが減衰されて遠方に到達する。このような考えは、うねりの性質からしてもとも正しく正確にその予想ができるものと考える。

この方法による場合は、全格子点について全方向(例えば30°ごとの角度として12方向)、全周波数帯(0.05~0.14 cpsまで0.1ごとにとつて15帯)についてすべて網羅しなければならない。それを限られた時間内で行ない、限られた容量の計算機で実施することは無理であるのでプログラムの試作にてどめた。

(ii) うねり(その2)

本節(i)の方法によるときめの細かい予報ができるが、入力である気象図が1日1回しか利用できない点よりうねりのみ粗しくやつてもそれほど意味があるとは思えないこと、計算機の容量、計算時間等より考えて船舶上で波浪予報をするとした場合、不適当であると思われるので、以下の方法を検討採用した。

次に述べる方法は、基本的にはPiercyon-Neumann-Jamesの波浪予報法のうねりについての部分と同じであつて、うねりの減衰は角伝播と群速度の差によつて各成分波が分かれて行くため起り、本節(i)で述べた伝播中の風向によるエネルギーの減少とか、周波数間のエネルギーの授受はないものとする。

(i)で述べた方法との根本的な相違は、(i)においては金格子点について、その点で起きた波をうねりの対象としたのにくらべ、本方法は、非常に大きな風速によって惹起された風浪のみが、船舶に影響をおよぼすようないねりとなつて伝播する。したがつて、金格子点を考える必要は全くなく、風速の大きな地点のみについてうねりの対象とし、今予報しようとしている地点から見た場合、そのうねりの影響を受けるかどうかのみ考えることとした。そうすると、今船体の運動を計算しようとする格子点の範囲（たとえば、 10×10 点）のみから見たりねりですみ、容積的にも時間的にも計算は容易になる。

① うねりの存在の可否

予報時刻より 2 日前までに発見した波について考えることにした。予報しようとする格子点より 40 ノット以上の風速の風が吹いた格子点までの距離および方位を中分緯度航法によつて求める。そしてその格子点間の距離が考えている周波数帯 $0.05 \sim 0.10 \text{ cps}$ の波が、存在するような距離かどうか検討する。

すなわち、群速度 c_g を、

$$c_g = 1.515 / \text{周波数} (\text{ノット})$$

として $(24 - 12)c_g \leq \text{距離} < (24 + 12)c_g$ 1日前のとき

または $(48 - 12)c_g \leq \text{距離} < (48 + 12)c_g$ 2日前のとき

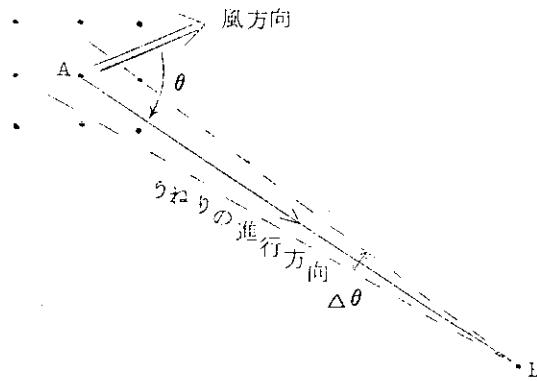
であるかを見る。

もし距離が上の範囲外のときは、予報しようとする格子点には、その地点で生じたうねりは存在しないことになる。

② 角伝播

右図 A 点で 40 ノット以上の風が吹き、その格子点の波のスペクトルの中、予報しようとする格子点 B まで、どれだけのものが到達するかは風向とうねりの進行方向のなす角 θ および A 点が代表する範囲を B 点から望んだ角 $\Delta\theta$ で決定しうる。

角伝播は $2 \cos^2 \theta / \pi$ によつて与えられるものとし、風下方向より $-\frac{\pi}{2}$ の方向から θ までの値、



$$\frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\theta} \cos^2 \theta d\theta = \left[\frac{\sin 2\theta}{2\pi} + \frac{\theta}{\pi} + \frac{1}{2} \right]$$

を用いへる。

上式中 θ に $\theta + \Delta\theta$ を入れたものから θ を入れたものを採用してもよいが、

$$\frac{2}{\pi} \left[\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\theta + \Delta\theta} - \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\theta} \right] = \frac{1}{\pi} \left[\frac{\sin 2(\theta + \Delta\theta)}{2} + \Delta\theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right]$$

を採用した。なお A 点よりは B 点を中心にして約 70 波の範囲をみるような $\Delta\theta$ とした。

たとえ A 点が B 点にうねりを与えるような距離であつても、A 点でその波が出来るとき吹いていた風の風向により、B 点にうねりが来ないことがある。

③ 台風によるうねりの角伝播

風場を予報する約 45×45 の格子点内に台風が入つているときは、風速はともかくとして伝播するうねりの源は台風影響下にある各格子点で、その点の風向によるものとする。

しかし、後述するように約 4.5×4.5 の格子点の範囲外にあるときの台風は、予報地点より遠距離にあって、方向による影響の差は大きくないと思われるので、うねりは台風の中心からやつて来るものと仮定する。そして台風の風向は万遍なく 60° ～ 0° ～ 30° 金方向に吹いているものとし、それによって生ずる波、うねりも 360° 方向、すなわち予報地点 A へは必ず到達するものと仮定した。B 点からうねりの来る方向幅 θ は B 点より A 点で 100° の範囲を覆む角度としたが、その値については検討の要がある。

本方法によつてうねりを計算したが（風速、風向は全格子点について全くランダムな値を入れた）かなり妥当な値が算出された。

大洋波について精确にスペクトルを推定し

た資料が不足のため、詳細に実測と比較することは困難であるが、過去の気象図と目視観測のデータにより検討するため、目下作業を進めている。

(c) 船体運動の予測

昭和43年度研究報告に計算方法を示したが、その概略を述べると、次のとおりである。

ここでは波浪と船体運動の関係は線形であると仮定しておく。線形性、定常性、エルゴード性（時間経過の途中において、この過程を形成しているほとんどすべての時間間数が、いつかは現われてくる）が成立つ不規則波海面における船体運動は、そのスペクトルでもつて表現できる。そして船体運動の大きさを端的に示す量として累積スペクトルの平方根が考えられる。例えば、極大値の $1/n$ 最高期待値等はこの量に比例する。

いま、いろいろの船体運動の内卓越している横揺と縦揺についてのみ考える。

横揺、縦揺の累積スペクトルは波浪スペクトルに、それぞれの周波数応答の振幅比の平方を乗じて周波数変数と方向変数に関して二重積分を行なえば求められる。

船上での計算を簡単にするため、横揺、縦揺の周波数応答の振幅比 $G(f, \theta)$ を $G(f, \theta) = G_1(f\phi) \cdot G_2(f, \theta)$ と分離し、 $G_1(f\phi)$ は流体力学的性質を考慮して船体条件（平均吃水、重心上下位置）から定まる定数とフルード数の平方を係数とする $\frac{f}{\phi}$ に関する有理式で近似し、 $G_2(f, \theta)$ は、フルード・クリロフの表現を用いる（ f ：周波数、 ϕ ：出会い周波数、 θ ：方向）。ここで船体条件から定まる定数は与えられた船型についてあらかじめ計算された数値を用いて内挿法により求める。

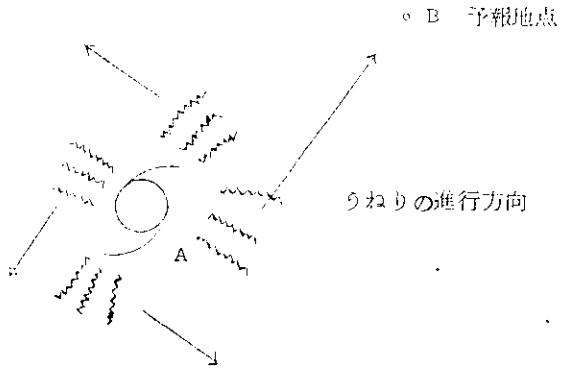
したがつて船体運動の累積スペクトルは、まず船体条件と速力・針路を与えて横揺、縦揺の周波数応答の振幅比を求め、波浪スペクトルを乗じて周波数変数と方向変数に関して二重積分を行なえば求められる。

そして、横揺、縦揺の累積スペクトルの各々の平方根に評価係数を乗じてその和を船体運動の評価値とする。

B。格子点の予測波浪スペクトルから求めた船体運動の予測評価値を B。格子点を始点とし、仮定針路を偏角として船体運動の予測評価値を長さとするベクトルの形で表示する。

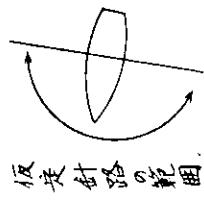
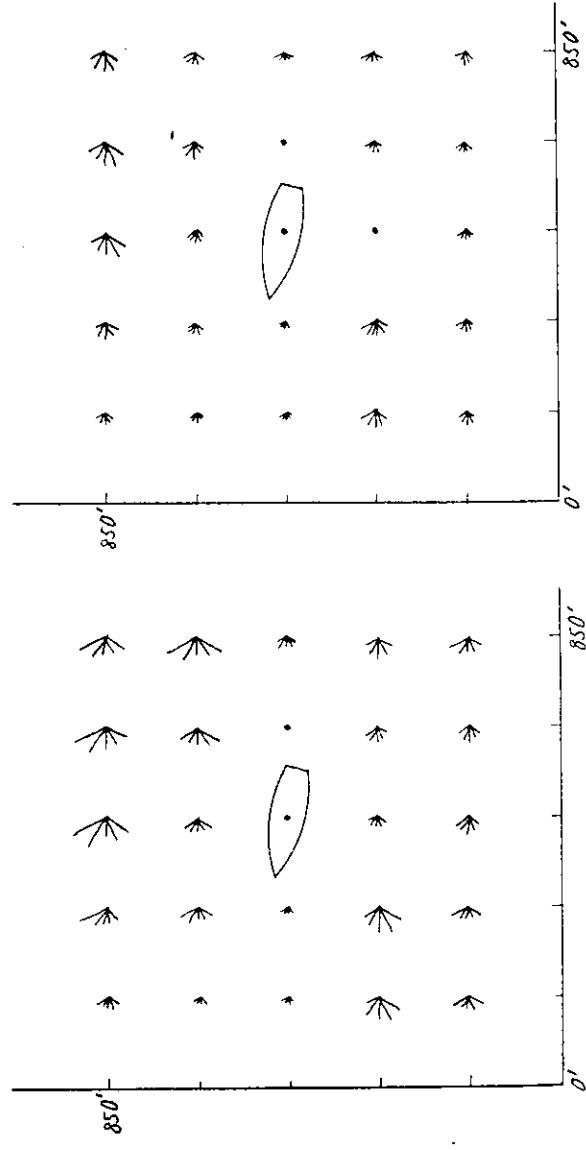
図 1.3.-5 は、ある気圧分布下での深江丸（神戸商船大学所属）の横揺・縦揺の評価値を仮定針路に対して表示したものである。

FACOM 270-30 を使用して試計算を行なつたが、波浪として、(1)風浪のみ、(2)風浪とうねり（その2）、(3)風浪とうねり（その1）を考えたときの使用語数と演算時間および XY プロット使用時間は次のとおりである。



横搖の予測評価値

縦搖の予測評価値



プロジェクト	SR10.6	分科会
昭和 年 月 日	図 1.3-5 表 示 例	

(社) 日本造船研究協会
船舶の高精度集中制御方式の研究

	使用部数	演算時間	X-Yプロット使用時間
(イ)風浪のみ	12K (コア=)	4.5分	2.5分
(ロ)風浪とうねり(その2)の和	26K (コア=)	8.5分	2.5分
(ハ)風浪とうねり(その1)の和	65K (コア=) 160K (ドラム)	—	—

(d) 波浪および船体運動の実船計測経過

本システムのプログラムの基本構成要素は波浪計算および船体運動計算のプログラムである。したがつて以上に展開して来た計算の手法が実用上の見地から十分使用に耐えるものでなければならぬので、このような計算法をチェックする必要がある。しかるに本計算方法をチェックするには実際の海面での波浪並びに船体運動の周波数ごとの特性が判つている必要があるが、現在そのような形で利用し得るデータはほとんどない。そこで神戸商船大学所属の深江丸によつて波浪および動搖の同時計測を実施することとした。

すなわち昭和44年8月より昭和45年1月にわたる期間中に数回出航し、大阪湾、播磨灘、紀伊水道にて計測を実施した。

供試船舶 神戸商船大学所属 深江丸
 主要寸
 L_{pp} 37.0 M
 B 7.8 M
 D 4.1 M
 d 2.7 M
 GT 300 T

波浪計測 吊り下げ式波高計

動搖計測 ジヤイロ式動搖計

これ等の計測においては、ある程度に荒れた波浪海面であることが必要であるが、このような計測の常として船の出航予定日と天候条件とがうまく適合しなかつたが、最後に実施した昭和45年1月30～31日の計測時には有効なデータを採取することができた。現在このデータの解析作業を進めている。

(2) システムのハードウェア

前節までに詳述したとおり、本システムはファクシミリにより受信された予想気圧図より、約700哩平方の海面上の各点における船体運動の激しさを予測し、航路設定上の有力な判断資料を提供しようとするシステムであるが、本システムのハードウェアは基本的に住入力部、処理部、出力部、結合部より構成される。しかし、これらのハードウェアを構成するに当つて人と機械との対話部分である入力部、出力部については特に入念な検討を要する。すなわち入力部については気圧図といふ2次元平面上の情報を入力させる必要があり、この作業が船上の作業として煩雑にならないようにする必要がある。また出力部については、その表現において直觀的なものとする必要があろう。

以上の諸元を考慮したハードウェアの構成例を図1.3-6に示す。

入力部

座標読み取り装置 等気圧線を手動にて追跡し座標値を入力する。

ファンクションキーボード 上記以外の演算に必要な数および制御情報を入力する。

処理部

中央処理装置 演算処理を行なう。

結合部
入出力結合装置 A/D、D/A変換を行なう。
出力部
X-Yプロッター 計算結果を図 1.3-5 例示のごとく表示する。
上記のうち、処理部、結合部、出力部は新たに開発を要しないが入力部は本システムのために新たに開発を要するものである。

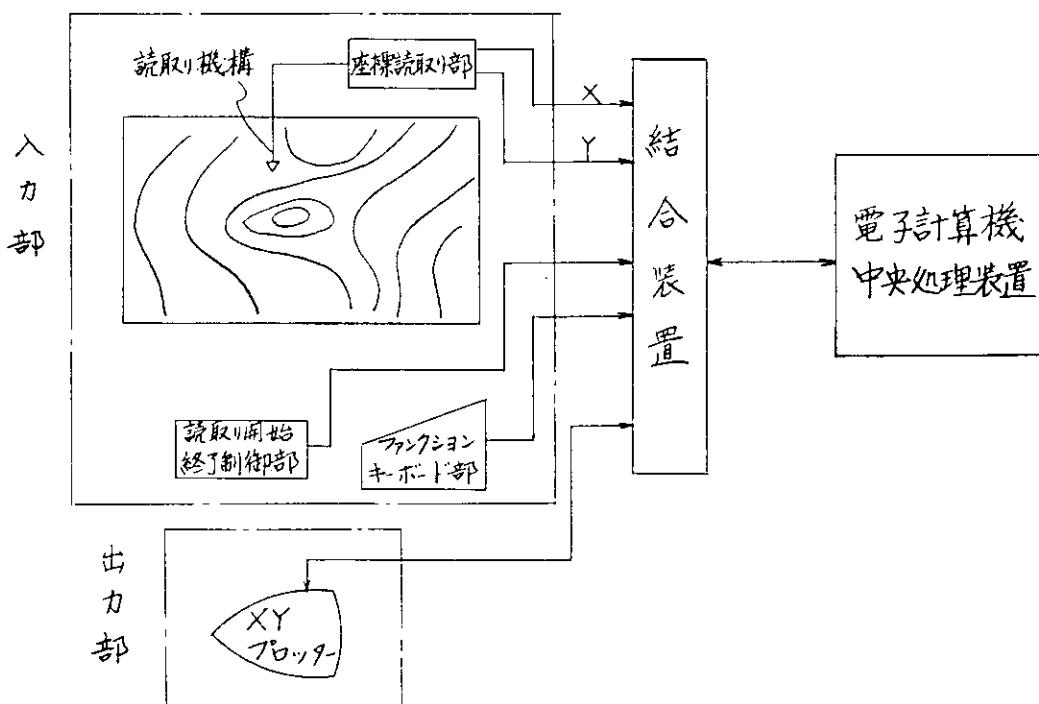


図 1.3-6 狹域最適航路設定システム構成図

(3) 入力装置

以上より本システムの入力装置は、下記の機能を持つものとするのが望ましい。

(a) 読取開始終了制御部

ある等圧線を追跡し、気圧データを計算機に入力する場合、追跡開始の割込み信号および追跡終了の割込み信号を計算機に送る部分である。計算機は、これらの割込み信号を受けてバッファ記憶の確保および解放を行なう。

(b) 等圧線座標読取部

手動で等圧線を追跡し、縦横に量子化された単位距離の X または Y のいずれかの方向に追跡機構が移動するたびに、原点からの X、Y 座標を計算機に入力する。

(c) ファンクション・キーボード部

追跡すべき等圧線の値およびその他の各種データに関する制御情報を計算機に入力する部分で 0 ~ 9 の数字といくつかのファンクション・キーをもつ。これらのファンクション・キーは次のような機能を持つ。

(i) 取消し機能

等圧線に関する情報を誤つて、入力したことが判明したときその等圧線に関するデータを取消す。

(ii) 原点設定機能

(iv) 演算開始機能

(d) 要求性能

(i) 読取图形寸法

約 460 mm × 560 mm

(b) 分解能 0.25 mm

(c) 入力ピッチ 1 mm

(e) ファンクション・キーの種類

- ・原点指定
- ・取消し
- ・航行開始（全データ読み終了時）
- ・逆行制御

1.3.3 局所最適航路設定システム

(1) 開発の目的

荒天遭遇時、船体が受けれる動搖、衝撃、甲板上への海水の進入並びに機関の空転を緩和し、積荷、船体、機関の損傷を防止するとともに荒天遭遇による船舶運航能率の低下を極限するため、操船者は船体と波浪の出会い角度、動搖、周期、波高、うねりの高さ等を勘案の上、適宜菱針減速して出会い条件の変更をはかり荒天に対処している。この場合、動搖や衝撃が船体や積荷に被害を与える程度に大きいか、あるいは現在の針路連力を保持しても支障のない程度のものかの判断は操船者の経験と勘に委ねられている。したがつて荒天時に取られる操船法は、時には過度の、また時には過少の減速、菱針が行なわれ、さらには減速、菱針開始時期についての誤判断があることは十分に考えられる。特に暗夜、または海水の飛沫、雨により視界をさえぎられ、海面の情況を確認し得ない時などにはこの傾向は著しい。よつて操船者が船体に加わる外力と船体運動を量として適確に把握していることが荒天操船時の不可欠の要件となる。この目的のために操船者の必要とする情報は次のとおりである。

(a) 操船中の船舶の横揺れおよび船体が受けている外力は現在の針路連力を変更する必要があるかどうかを知り得るデータ。

(b) 針路連力の変更を要する場合の針路変更方法の良否を示すデータ。

上記のうち、昭和44年度は、(a)項の検討を行なつた。(b)項については昭和45年度に検討する。

(2) 局所最適航路設定システム基本フローチャート

上記の開発目的を実現するシステムの基本フローチャートは図1.3-7のとおりである。

(3) システムの検討

操船中の船舶の横揺れおよび船体が受けている外力が現在の針路、連力を変更する必要があるかどうかを示すシステムについて検討した。

(a) 検討の方針

航海保安上の立場から見れば貨物の損傷よりも船体の損傷を防止することが重要であるが、損傷の起り易さから言えば、船体よりも積荷の方が大きいので、本システムの構成は貨物の損傷防止に重点を置くこととする。

また、本システムによつて検出した結果は航路設定上の補助手段とするのであるから、次の用途に供し得るものとすることが望ましい。

(i) 現在遭遇している状態の危険性が増大しつつある傾向にあるかどうかの判断を下し得ること。

(ii) 現在の危険性を示す数があらかじめ定めた設定値を超えたかどうかの判断を下し得ること。

(iii) 航海経験を定量化するためにデータの蓄積が行なえ得ること。

(b) 検出値

損傷防止の観点から見れば船体と積荷とは、若干その性格が異なる。すなわち、船体構造は、本来一定の設計方針の下に設定されたものであり、船体各部の応力が設計値以下であれば、その安全を保証し得る者である。したがつて原則的に船体各部分の応力、またはそれと等価な代表量を検出し、これによつて安全性をチェックすることができる試であるが、積荷の場合には、積荷の性質およびその環境が種々複雑であり、積荷またはその固納装置の

各部分の応力をチェックすることは一般に困難である。

一方、積荷または固縛装置に加わる外力は船波の直接衝撃を除いては船体の運動を介して加わることになるから、積荷またはその固縛装置に対する外力の環境として加速度を検出するのが適していると考えられる。

また、加速度を検出値とした場合は船首部の上下加速度でスラミングの激しさを代表し得るものと考えられるので、船体の損傷防止のための検出値としても利用し得る。以上より検出値として加速度を取ることとする。

(c) 貨物損傷の種類

航海中の貨物の損傷は多種多様であるが、大略次のような分類もできる。

(1) 直接衝撃によつて貨物の包装を破つて中身が飛び出し、損傷を受けるもの、およびこれによつて連鎖的に他の貨物に損傷を及ぼすもの。

(2) 貨物のセキュアリングが急激な力によつて破損され、貨物が自由に移動することによる損傷。

(3) 直接衝撃によつて貨物が包装内で破損するもの。

(4) 大きな動揺によつて貨物が床面を滑り出し、セキュアリングが次々に破損し、他の貨物にまたは船内構造物に衝突し、損傷を起すもの。

(5) 動揺によつて積み上げてある貨物が荷くずれを起し、損傷を起すもの。

(6) 上下方向の力によつて積み上げてある貨物の重量が大きく下の貨物に働き、下の貨物が圧壊するもの。

(7) ラッシングリング、ラッシングボルト自体の切断、またはリングボルトの船体への溶接等が外れて起すもの。
以上をまとめると貨物が外力を受けて損傷を起す経過を図示すると図 1.3-8 のとおりである。

図 1.3-8において一次損傷による被害は部分的であつても二次損傷によつて被害範囲が拡大されるものと考えられる。したがつて一次損傷を除去することが必要である。

(d) 船体の加速度

船体の加速度として積荷損傷の見地から考慮すべきものは次のとおりである。

(1) 船体運動に基づく加速度

Roll, Pitch, Yaw, Heave, Sway, Surge 等の船体運動に基づくものであるが、これらの加速度のうち卓越するのは Roll, Pitch、および Heave による加速度である。しかし、これらの加速度は船の大きさ、船型等によつて大きく変化するが、一般的にそれぞれの加速度の大きさ、周波数範囲が、どの程度になるかを概略推定すると次のとおりである。ただし、以下の推定において加速度範囲の推定は文献 1) 等を参考にして定めたものである。

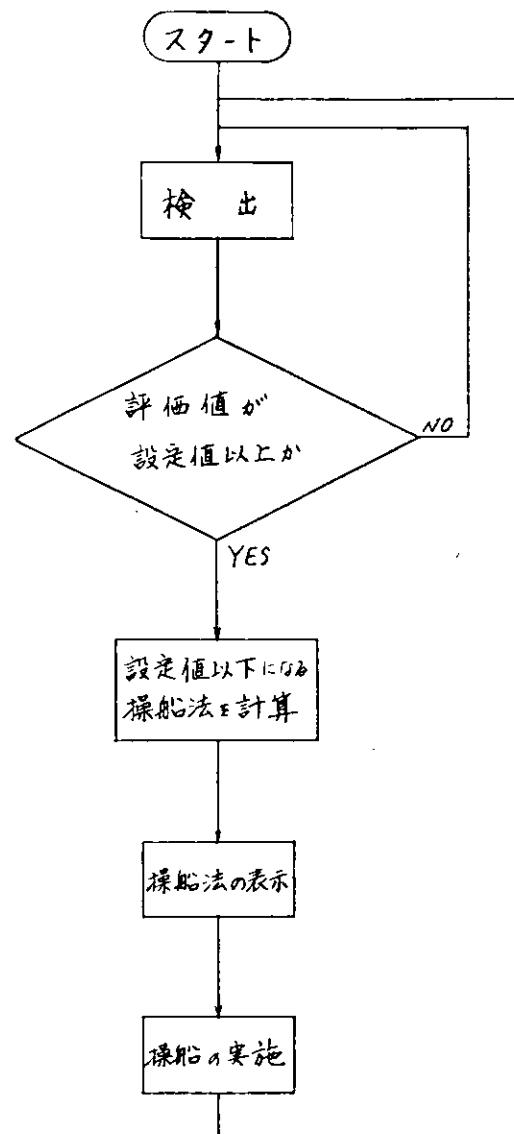


図 1.3-7 局所設置筋路設定システムのフローチャート

一次損傷

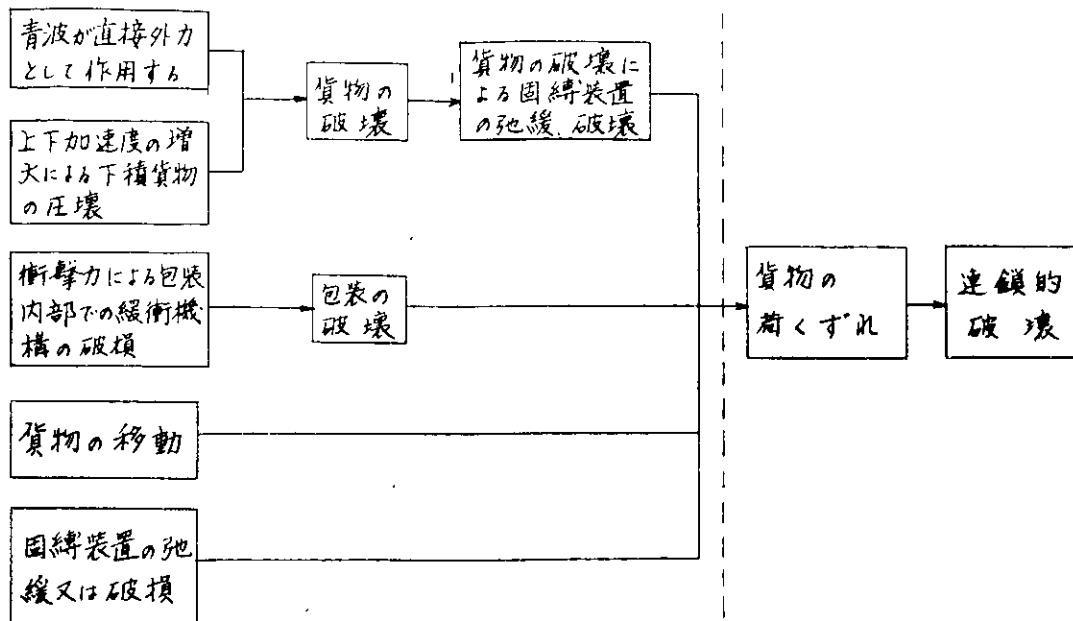


図 1.3-8 積荷損傷経過

上記は運動の加速度であつて、積荷に加わる左右方向の加速度場を問題にする場合には、船体の傾斜に伴う重力の分力が加わる。すなわち、例えば 50° の傾斜に対して $0.5 g$ が附加されることになる。

(d) 外力による加速度

外力としてはSlamming、青波打込み等の衝撃力が考えられるが、青波はそれ自身が外力となつて船体、積荷に被害を及ぼすのに反し、Slammingはそれ自身が外力として船体に加わるとともに、それに基づく加速度が積荷に作用する。

ところで、このような衝撃力による船体加速度は、最初に大きい加速度を受けた後、船体の弾性振動としての周波数で減衰する。加速度の最大値を最高丸美測定の2倍とすると次のとおりである。

(文献2)参照)

	加速度の主方向	範 囲	周 波 数
Slamming	上 下	± 6 g	0.7 ~ 5 Hz

(e) 積荷損傷と加速度との関連

図1.3-8の積荷損傷のうち、一次損傷を防止するためには次の事項に注意する必要がある。

(1) 青波による直撃衝撃

上甲板上の貨物の青波による被害を防止するためには船の運動の状態を監視し、青波の打込みを起す程度に激しい運動状態とならないようにする必要がある。その意味で船首部分の上下加速度の検知は運動状態の激しさを量的に示すものである。

(2) 上下加速度の増大による下積貨物の圧壊

上向き加速度が過大にならないようにする必要がある。

(3) 貨物の移動および固縛装置の弛緩、破損

一般に固縛装置は重力の方向が下向きであり、したがつてそれに伴う摩擦力が左右方向の運動に対する抵抗力として有効に作用していることを前提として成り立つている。したがつて見掛けの重力が減少するような加速度条件(すなわち、下向き加速度)の下では動搖等にもとづく、小さい左右方向の力を受けても、貨物の移動、荷

くずれおよびそれに伴う固綱装置の弛緩、破損が起る可能性があると考えられる。したがつて、この問題に対しでは上下、左右の分力としての加速度ではなく、合反ベクトルの方向に応じて、その大きさが過大にならないようにする必要がある。

以上をまとめて図式的に表示すると図 1.3-9 のとおりである。

(d) 判断基準としての加速度の表現

判断基準としての加速度の表現は図 1.3.

ー 9 の安全範囲内にあることを単純に表現し得るものとする必要がある。

すなわち、次の要件をみたすものとすることが望ましい。

- (1) 上下加速度の大きさを表示すること。
- (2) 左右加速度の大きさを表示すること。
左右加速度の大きさは傾斜に伴う重力の分力を含めたものとする。
- (3) 上下加速度および左右加速度の関連あるいは加速度ベクトルの方向、大きさがわかること。

以上において(1)および(2)の上下、左右加速度の表示には瞬時値を使用してもよいが、荒天航行中の船舶の受ける加速度は不規則に変動するものであるので、運動の激しさを見やすい量として表示するには適当でない。このような不規則に変動する量を表示するには、次の方法を考えられる。

(d) 頻度分布による表示

不規則に変動する加速度の大きさを適当なレベルに分割し、各レベルの発現回数を表示する。(図 1.3-10 参照)

(e) 統計量による表示

例えば $1/10$ の確率で発生する最大加速度(図 1.3-10 の斜線部の平均)等の統計的な量を表示する。これは頻度分布の形を Rayleigh 分布と仮定すれば、振幅の二乗平均に比例する量である。

以上の二者において頻度分布は実際に起つた現象を忠実に示している点に長所があるが、判断基準としての単純さに欠ける。また統計的な量による表示は頻度分布のごとく現象の全体を直接に示していない短所があるが、判断基準としての単純性においてすぐれている。

以上より、どのような加速度状態で損傷を起

したかを解析する目的ためには損傷を受け

た状態での船の加速度の全体を知る必要があるので、頻度分布表示がより適していると考えられるが、操船のための判断基準としては、統計的な量による单一表示が好ましい。また、このような量は海面の荒れた状態をマクロ的

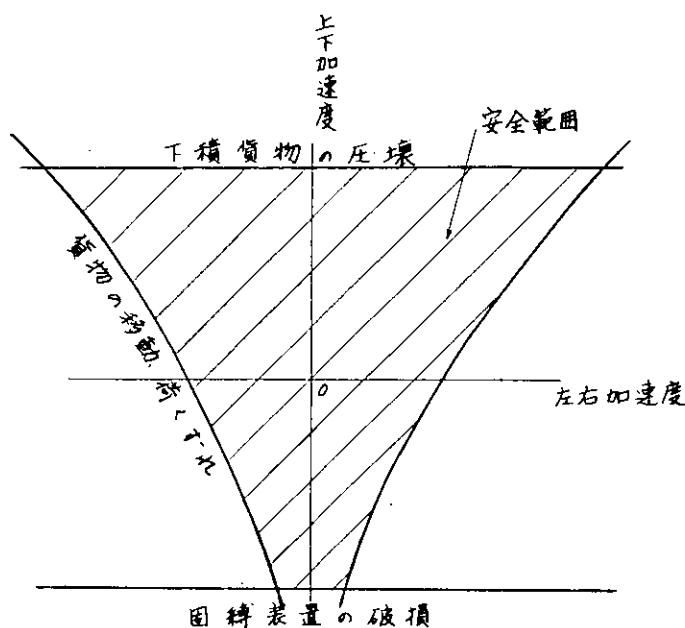


図 1.3-9 加速度と積荷損傷との関係

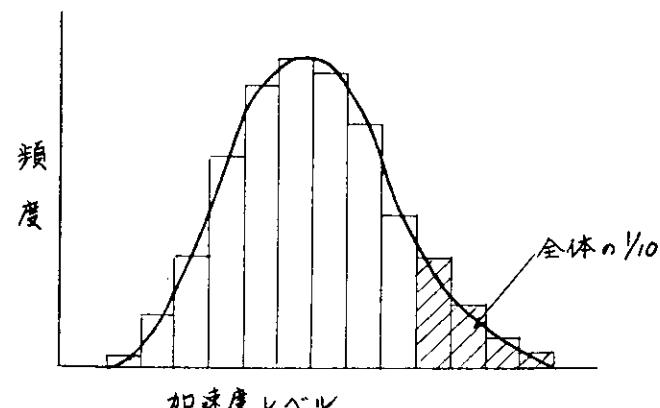


図 1.3-10 頻度分布図

に示しているから、これをレコードしておれば加速度が総体として増加する傾向にあるかどうかを把握するのに便利である。

次に、上下、左右加速度が同時に作用した時の加速度ベクトルの方向および大きさについては、前節で説明したとくベクトルの方向が、その大きさよりも重要な意味を持つ。一方、このようなベクトルの方向の変動の幅はかなり広いことが予想されるので、前に示した統計的な量よりも、その瞬時値を直接ブラウン管等に表示する方がよいと思われる。

・ 上より加速度の表現は、次の通りとすることが望ましい。

(1) 上下、左右、加速度の統計的最大値等を表示し、トレンドレコーダに記録する。

(2) 上下、左右加速度の合成ベクトルの瞬時値を表示する。

(g) 総括

以上の検討結果を総括し、局所最適航路設定システムの見本フローチャート(図1.3-7)を書き直すと図1.3-11のとおりである。昭和44年度作業として、本章で検討した部分は図1.3-11における避航操船法の計算の前までである。

また、検出対象が加速度であるので、この部分を加速度検出装置と呼称する。

(4) 局所最適航路設定システムのための加速度検知装置

(a) 機能

以上より局所最適航路設定システムのための加速度検知装置の持るべき機能は次のとおりである。

(1) 加速度(たとえば上下、左右)の統計的最大値を表示記録する。

(2) 加速度ベクトルの瞬時値を表示する。

(3) 検知値が設定値以上になると警報表示する。

(b) 要求性能

上記の機能を達成するための装置の基本構成は、

(1) 加速度検知部

(2) 处理部

(3) 表示部

からなり、それぞれ以下の船用としての性能を持つものとする。

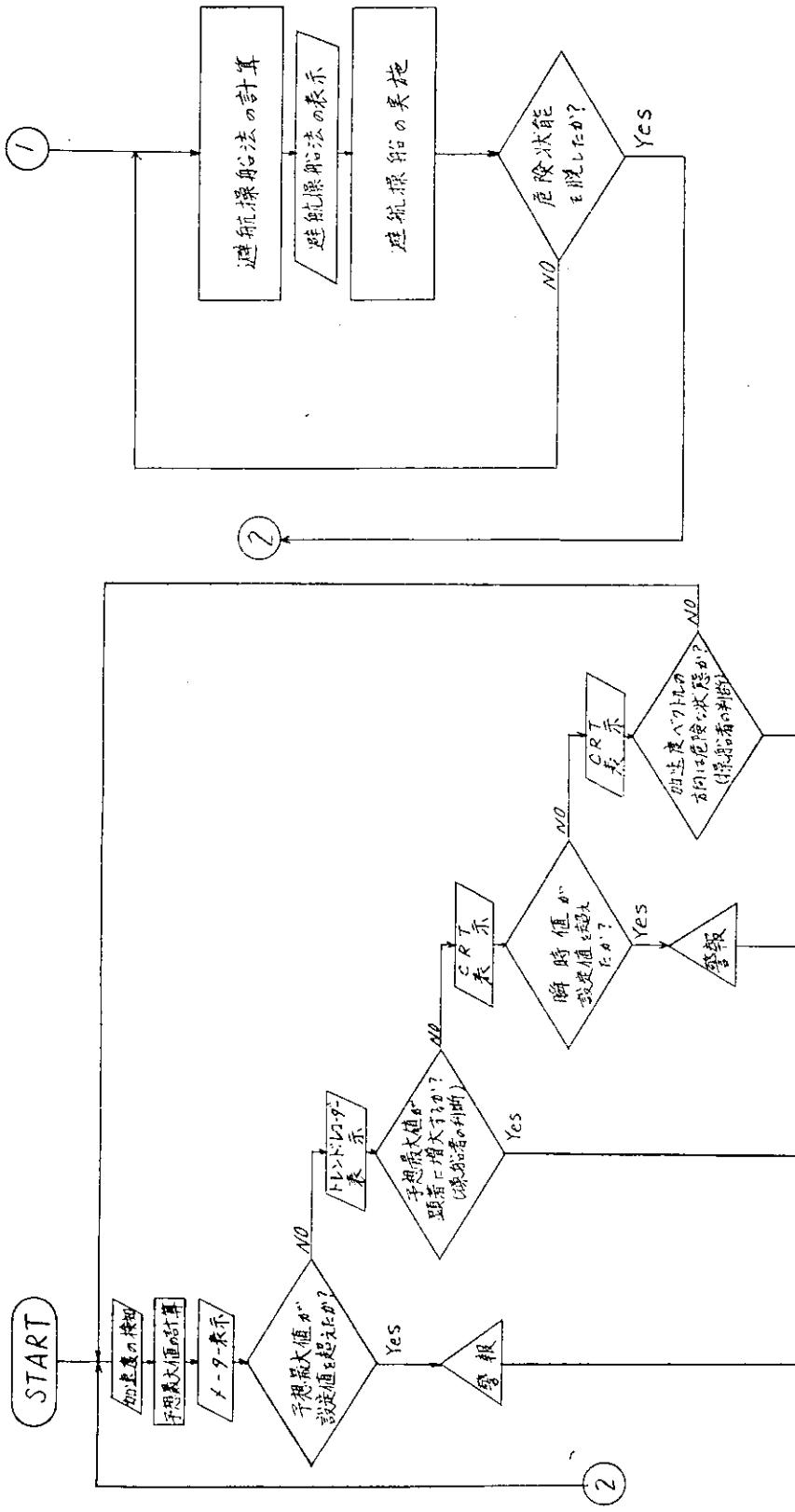
(1) 加速度検知部

加速度検知部は1.3.3(6)に示した加速度を検知する必要があるが、特に航海補助装置と使用されるのであるから、耐久性においてすぐれたものとする必要がある。一方、このような使用の目的からすると精度の点では高度のものは必要としない。以上と検知部の置かれる環境を考慮して以下の性能を持つものとすることが望ましい。

測定加速度範囲	上下 0~±6 g 左右 0~±2 g
周波数範囲	0.01~5 Hz
精度	±5 %
過負荷	±20 g
温度条件	-20 °C ~ 60 °C
その他	水密性、耐蝕性

(2) 处理部

連続的に検知された測定値より少なくとも10分間の測定結果による統計的最大値(自乗平均の平方根に比例する量)を連続的に表示する。



(社) 日本造船研究協会
船舶の高度集中制御方式の研究

プロジェクト番号	SR106	分科会	機械研究会
昭和 年 月 日	2013-11	題 目	周回航路自動駆動装置設定システムの開発

このような演算処理を行なうためには、アナログ回路を利用する方法とデジタルコンピュータを利用する方法が考えられるが、高度集中制御船では、船のCPUを利用すればよい。

(e) 表示部

- (a) 示した機能を簡単に表示するものとする。
- (b) その他一般要求性能
 - (i) 耐久性：加速度検知部は少なくとも5年間保持点検の必要のないこと。その他は一般船用計器と同等であること。
 - (ii) 保持性：万一故障の際に修理保守が容易であること。
 - (iii) 取扱い：取扱い容易であること。
 - (iv) その他：価格が安く、小型軽量であること。
- (c) 加速度検知装置の概略図

本装置の概略図を図1.3-1.2に示す。

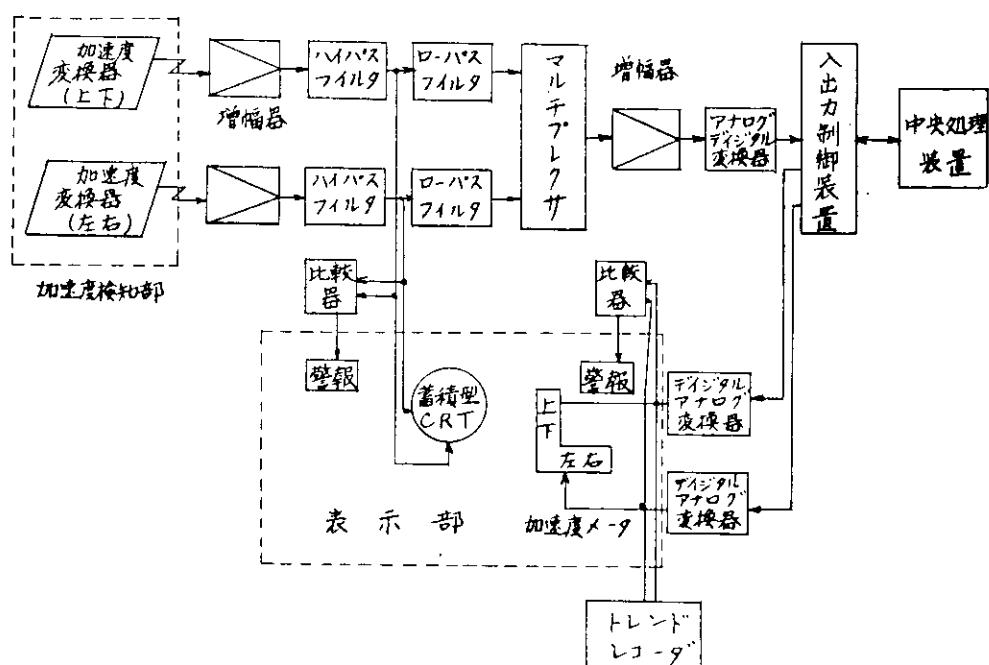


図1.3-1.2 局所最適航路設定システム加速度検知装置

(5) 参考文献

- 1) 船体運動により船用原子炉に働く外力についての一考察
川島、坂尾、田崎　造船協会論文集 105号
- 2) 慶高山丸によるスランミング実験計測
小杉、末長、宮本　造船協会論文集 105号
- 3) TMB式船体曲げ応力モニター(訳)
造船協会誌 481号
The TMB Flexing Stress Monitor by Sheng-Lun Chuang
D.T.M.B Report 1560 Feb. 1962

1.3.4 問題点

(1) 狹域最適航路設定システム

- (a) 計算の精度のチェック

本システムで取扱う計算は本来かなり大規模のコンピュータを必要とするものであるが、船用システムとしての

実用性の見地から種々の簡易化を行なつてゐる。すなわち、

(1) 格子点気圧値

格子点気圧値の精度を上げるために、等気圧線の接線方向から気圧勾配を求め、それから格子点気圧値を求めた方がよいが、この方法では非常に大きい記憶容量のコンピュータが必要となる。

(2) 風場の計算

(i) 台風が存在する際、地衡風近似によつて求めた風速と、1.3.2(i)(b)(iv)(ii)で求めた台風の風速との接続点で跳躍が起る可能性がある。

(ii) 地衡風近似のみで求めているため曲率半径の小さい低気圧周辺では風速がかなり違つてくる可能性がある。

(3) うねりの計算

(i) うねりとして伝播してきた周波数成分の波がその地点での風のエネルギーを受けて成長することがあり得るが、本計算ではこれを無視し風浪はうねりとは別に計算している。

(ii) うねりは途中の風向、風速と無関係としているため、実際より大きく計算される可能性がある。

(4) 船体運動

船体運動は非連成としてある。

これらの簡易化は実用性の点から十分許容し得るものと考えられるが、なるべく数多くの資料によつてチェックする必要がある。

(5) 計算の規模

うねり計算を厳密に行なうためには、大きな記憶容量のコンピュータを必要とするので、1.3.2(i)(b)(iv)に示すプログラムを開発し、大幅に記憶容量を減ずることができたが、それでも20K程度以上の記憶容量を必要とするので、船用コンピュータの規模が小さい場合はさらに検討する必要がある。

(6) 予測気圧図入力の時間間隔

現行の天気予報は24時間ごとになつてゐるので、24時間ごとの気圧図を入力することにしているが、気圧配置の時間的変化が大きい時はさらに短い時間間隔で入力することが必要である。

また台風、冬期旋風については3~6時間ごとの補正が必要であろう。

(7) 予測時間

現行の天気予報では午後3時に翌日の9時の予測気圧図入手(すなわち、18時間前)することになるが、航路設定上、さらに長い予測時間が望ましい。

(8) 入力の方法

将来は気圧値のデータ通信へ移行することが望ましい。

(9) 局所最適航路設定システム

(a) 避航操船の計算手法を開発する必要がある。

(b) 検知された加速度と実際の損傷との関連を明確にするためのデータを蓄積する必要がある。

2. 座礁予防システムの開発

2.1 座礁回避航法のソフトウェアの開発

2.1.1 緒 言

本研究は、座礁予防システムに関するもので、総合的な自動航法システムの一部となるものであり、44年度船用機器開発協会の補助金、または、運輸省の試験研究補助金にて試作中の暗礁探知ソーナ、衝突予防装置、推測航法装置および緊急制動装置とを、有機的に結合して構成して、1つのシステムとしてまとめることを目的としている。

現在開発中のソーナの超音波到達距離は、実際的なものとしては、約2,000mであり、この探知距離は、緊急制動および急速旋回等で座礁を回避するに、はゞ十分な距離であるが、なお将来、ソーナの性能が飛躍的に向上し、少なくとも約4,000m位まで探知できるようになつた場合においても、応用できるように、本システムを考えている。

2.1.2 暗礁探知ソーナの方式

(1) 原 理

超音波による前方海底の照査によるものである。図2.1-1によつて、その原理を説明する。

自船の船首吃水下に取り付けた超音波送受波器から水平面に対して、下向きに θ なる角度方向に中心をもつ鋭い指向性のある超音波を発射し、このビーム巾よりさらに尖鋭な指向性の受信ビームで、前方海底からの反射波を受信する。今、

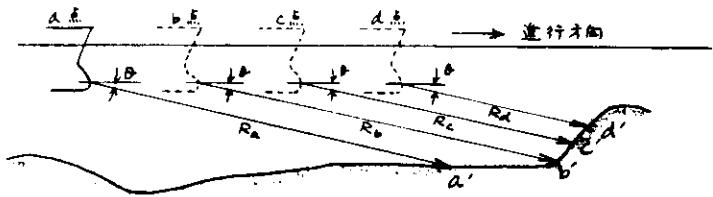


図 2.1

音波が直進すると仮定すれば海底の一点a'のエコーが得られ、a点とa'点との距離 R_a が測定できる。次に自船がb点に至るとb'点のエコーが得られ、その距離は R_b となる。以下同様に、自船がc点、d点と進行していくとき、c'点のエコーにより距離 R_c 、 R_d が測定できる。

このようにして、前方の海底に隆起があるときは、音波はこれに遮られて遠方に到達できず、各地点で測定した距離 $R_a \sim R_d$ は逐次短縮してゆく。今音波の送波角 θ が一定であり、音波が直進すると仮定すれば、例えばa'点の水深は、

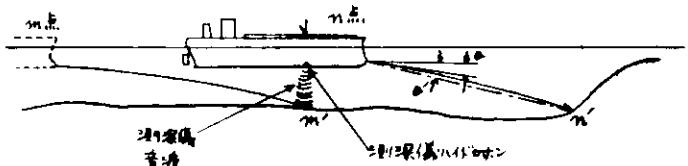
$$D_a = h + z_a \sin\theta$$

ただし h は、水面から送受波器までの距離である。

(2) 音道屈折による誤差修正法

実際には、音道は海水の温度分布状況により屈折して伝播する。水深20~30m程度では一般に音波は下方に屈折する。したがつて、実効的な音波送波角 θ は $\theta > \theta$ となる。この音波屈折を直接計測することは困難なので、図2.1-2のごとく、第1次近似的な修正法を採用する。

すなわち、自船の測深儀を用いて、現在位置n点における水深を測定し、かつてm点に自船があつた時記録した現点直下m'点の水深値と比較して逐次修正してゆく。



2.1.3 システムの構成

本システムの構成を図2.1-3に示す。

図 2.1-2

本システムは、暗礁探知ソーナ以外に、対地速力、針路角情報を得るための推測航法装置、水深校正のために必要な測深儀、緊急制動装置および衝突予防装置の援助システムより成り立つている。

本システムにおけるソーナの概略仕様は、以下のとおりである。

(a) 最大探知距離	2,000 m以上(目標)
(b) 水平面内探知範囲	本船の進行方向正面を中心としそれぞれ約20度の範囲(手動にて複数段切換え)
(c) 超音波周波数	約40 KHz
(d) 送信電気出力	約4 kW(パルス時)
(e) 送信ビーム巾	水平約10度(-3dB幅) 垂直約2度(±)
(f) 受信ビーム巾	水平約3~10度(可変) 垂直約15分
(g) 送信パルス巾	約3 ms
(h) 動搖修正範囲	船体のピッキング、トリム角±4.5度以内において有効とする。
(i) 送受波器取付位置	船首下端バルバスハウ内またはその直下の小型ドーム内
(j) 送受波取付条件	送受波器前面は強固な音響透過窓(例えはFRP製のもの)で保護し、該音響透過窓への音波の入射角は約30度以内となるよう配置すること。
(k) ソーナシステム消費電力	1 kW以下(AC 100 V, 60 Hz, 1相にて)
(l) 送波角(θ)	可変とする。

2.1.4 座礁回避航法のソフトウェア

本システムの概略フローを図2.1-4に示す。

この図中の各アイテムに付した番号に従つて以下説明する。

(1) 暗礁探知ソーナより得られる情報

- θ : ソーナの超音波受波角(鉛直方向)
- ϕ_0 : ソーナの超音波受波角(水平方向、通常0)
- R : ソーナのエコー距離

(2) 推測航法装置より得られる情報

- v : 対地速力
- ϕ : 針路角

(3) 測深儀より得られる情報

- d : 現点直下水深

(4) サンプリング

一定時間間隔による上記(1)~(3)のサンプリングを示す。

なお、このサンプリングにより得られる各データは、すでにフィールタにかけられ妥当性のあるデータのみ入力として入る。

(5)~(7) 入力データによる計算

- (5) : ソーナ探査前方地点の水深計算 D'
- (6) : θ ϕ_0 水平距離計算 X
- (7) : θ ϕ_0 まで直進するに要する時間計算 Δt

この場合、測深儀とソーナとの距離の補正をする。

(8) D'の記憶

(5)で求められた水深D'を記憶する。

この場合最新のデータ数個を記憶し、次々にデータを更新してゆく。

(9) D'、d の選出

t_1 時でソーナで探査した地点の水深検定は、 $t_1 + \Delta t$ 時に、測深儀によつて行なわれる。したがつて D' 、 a を測定する時間の差を考えて、相対比する D' と a を取り出す。

(1) 水深修正係数の計算

(9)によつて取り出された α 、 a より、

$$\alpha = a / D' \quad \text{なる水深修正係数を算出する。}$$

この場合、測深儀による測定水深を実際に最も近いものと仮定する。

(2) 水深修正係数 α の直感

(3) 直進中か旋回中の判定

(4) 旋回時の α

旋回時は、直進中の α のうち旋回直前の α を選出

(5) 直進中の α

(10)の記憶された最新の α のデータ数個から、 α の変化の傾向をつかみ α を推定する。

(6) 真水深 D の算出

(7) Δt 時間後の船位予測

(8) 前方進行方向の暗礁の有無の判定

$D_{c:it}$ は、本船の安全航行するに最小必要限の吃水を示す。なお、ソーナの取付位置の修正も行なう。

(9) ソーナ探査第1ステップ

前方進行方向に暗礁の存在が認められた時、最初のステップであることを示す。

(10) 衝突予防システム

衝突危険があるとき、本システムより必要な衝突回避法の指令がつたえられる。

(11) 安全針路範囲

(18)のシステム内の演算結果、安全と推奨される操船方向(右か左か)

(12) ソーナの水平方向探査

(19)の安全針路範囲内で、最小変針角 ψ_i の方向を決定

(13) D' の測定

ソーナにより(20)で決定された ψ_i の方向を探査し、その方向の水深を測定する。

(14) ソーナの ψ_i 方向探査時の α

ソーナで ψ_i の方向を探査する直前の ψ_0 に対する α を決定

(15) D の算出

(21)、(22)より $D = a \cdot D'$ で D を算出

(16) 変針角 ψ_i 方向の暗礁の有無の判定

(17) ψ_i 変針

(24)で暗礁なしのとき ψ_i の変針をする。

(18) ソーナ探査第2以降のステップ

(19) ソーナ探査最大範囲かどうかの判定

ソーナ探査続行可能のときは、(19)のステップにもどり探査を続行する。

(20) 緊急停船

ソーナ探査をすべて行なつてなかつ暗礁の存在が認められる時は緊急停船する。

(21) 海底地形作画器

船の進路方向の海底地形を作画する。

(31) 航法ディスプレイ装置

△t 後の予想船位をディスプレイする。

(32) 哨報

ソーナ探査方向に暗礁がある時警報を発する。

2.1.5 問題点の検討

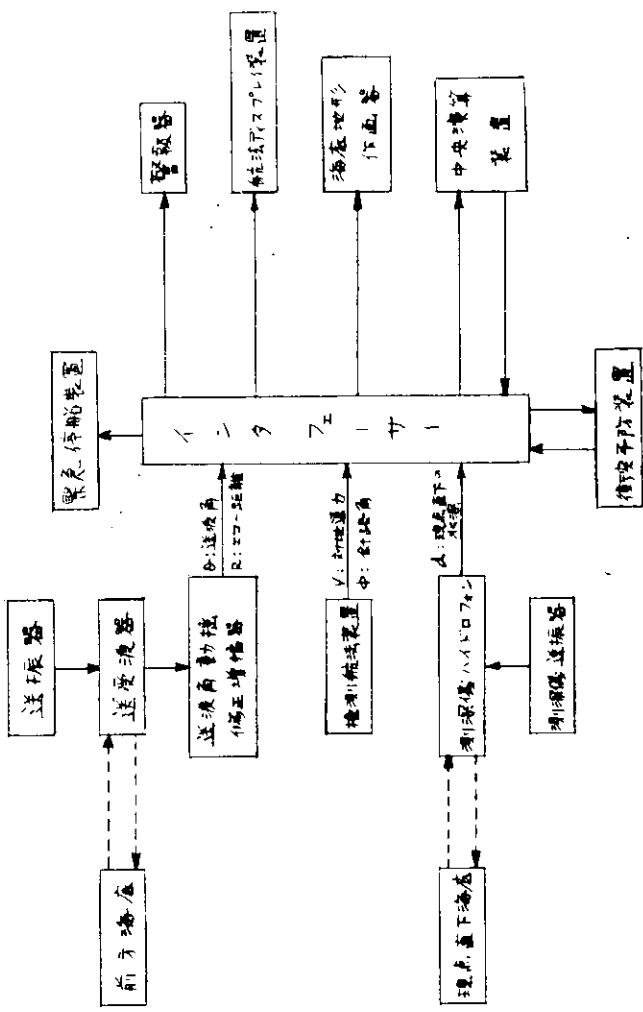
20万トンクラスのタンカーの航法システムにおける座礁予防システムは、マラッカ海峡通過時、またその他の浅水域、狭水道通過時に非常に重要なシステムである。本システムの問題点は、まずハードウェアの面では、最大探知距離の拡大である。現在の2,000mを約2倍くらいに増加できれば、本システムの有効性は格段に向上するであろう。

次には、本システムをコンピュータを介して、総合的な航法システムに組織するに必要なソーナ信号のディジタル化の開発である。ソーナ信号は必ずしも定常的なものでなく、統計的処理を行ない、確実に前方海底反射信号をとらえ、これをデジタル化した情報として取り出す必要がある。

次にソフトウェアの面では、海中における音速の弯曲効果の処理方法の改善である。現在の方式でも2,000m程度の距離内であれば、第1次近似としては十分であるが、将来の探知距離拡大にそなえ、さらに高度の方式の開発が必要である。

次には、本システムのディスプレイ方式であろう。現在では、常時一方向の前方海底形状の監視であるがこれが多面化した場合の安価な方式の検討が必要である。

次に、本システムは衝突予防システムおよび緊急制動システムと密接な関連を持つものであり、これらとの間の関連を十分考慮しなければならない。本システムでは探知距離の関係から急速旋回と緊急制動を組合せたものを想定しているが、この点慎重な検討が必要であろう。



(社) 日本造船研究所
各船の高速集中制御方式の研究

整理部屋

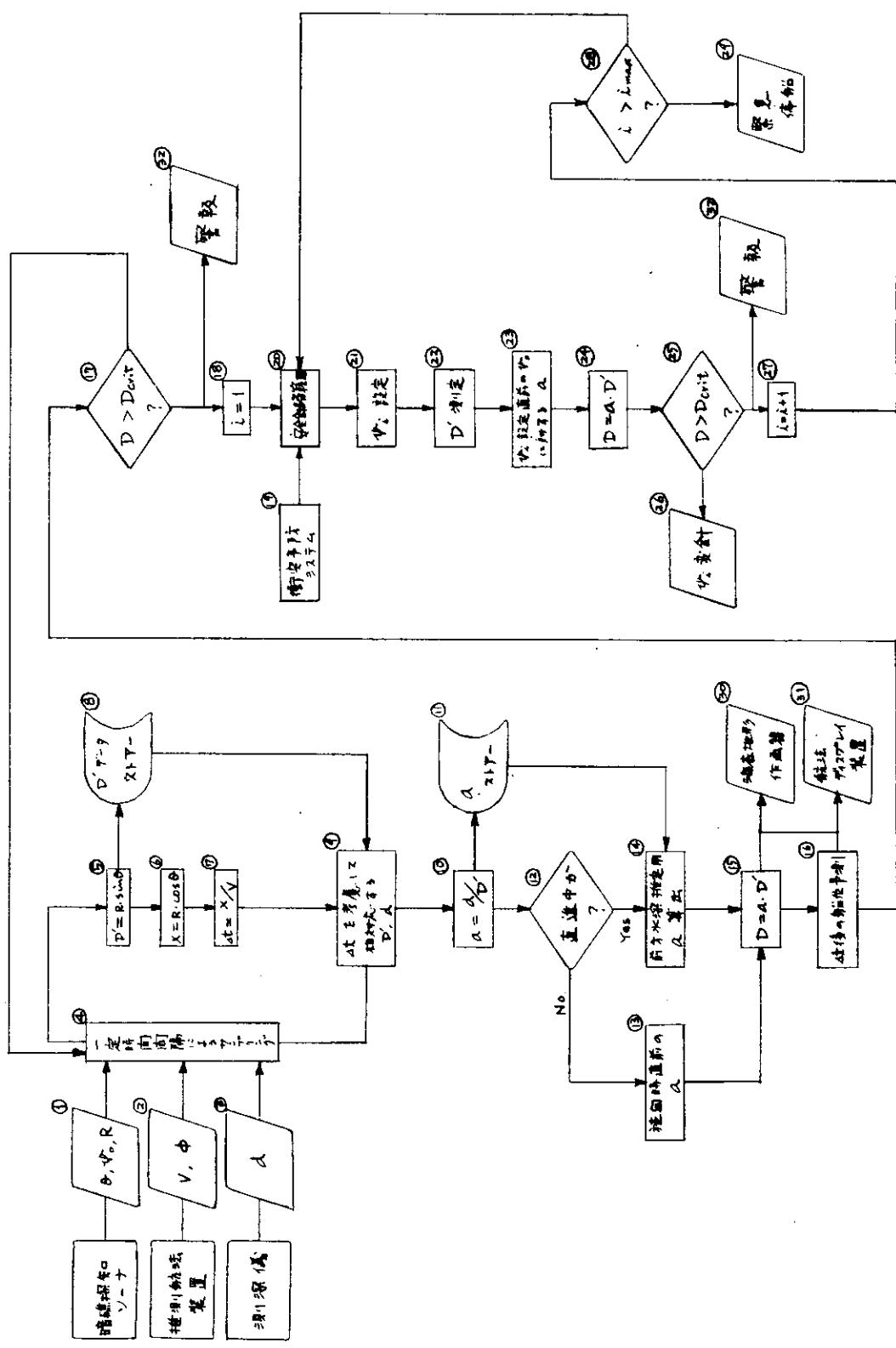
S 3106 航法システム研究会
図 2.1-3 壓縮予防システムプロック図

題 目

プログラム

昭和 年 月 日

（社） 日本造船研究所
各船の高速集中制御方式の研究



題 目
SR106 航法システム分科会

整理番号
图2.1-4 底礁予防システム・フローチャート

(社) 日本造船研究協会
船舶の高度集中制御方式の研究

2.2 座礁予防システムの性能確認実験

2.2.1 まえがき

昭和43年度の研究調査により摘出された必要条件を具備する座礁予防装置システムの装置性能を確認する作業の一環として、この必要条件を概略具備する高速広角スマサニングソーナ方式の探知部を用い海上実験を行なつた。

この性能確認実験に適する探知部として、昭和43年度日本船舶振興会助成金による日本船用機器開発協会事業により株式会社光電製作所が研究試作した座礁予防装置用探知部を採用した。また、当初の実験計画では探知部をタグボートの舷側に装備し瀬戸内海で航行探知実験を行なう予定であつたが、種々の事情により、計画を変更し浮立式の水中グラフに探知部を装備し、駿河湾三津泊地沖で海中漂止状態における探知能力実験のみを行ない。動的性能の確認因子となる航走雜音については、大阪商船三井船舶、新栄船舶共有、三井造船建造の「大豪丸」(約6万トン)のご協力をいただき、同船のバルバスパウト測定用探知部を装備して瀬戸内海試運転時および日本：米国ノーフォーク間往復航海時に実験測定を行ない、これらの両実験データにより性能確認を行なつた。

2.2.2 報告内容の要約

昭和43年度の研究調査によつて摘出した条件を具備する座礁予防システムの探知部の航行時における最大探知距離は、海上実験の結果、約1,500mであることが確認された。

なお、雜音処理、分解能向上、音速屈折修正、船体動搖修正などの問題およびモニタ用ブラウン管の表示方式などの改良について、引継ぎ検討が必要である。

2.2.3 座礁予防装置用探知部の海上実験

座礁予防装置用探知部の性能確認実験の一環として下記の要領により海上実験を行ない、海中漂止状態における探知能力を確認した。

- (1) 場 所：駿河湾三津泊地沖
- (2) 期 間：昭和44年6月13日～23日
- (3) 使用装置類：

(a) 探 知 部

昭和43年度日本船舶振興会助成金による日本船用機器開発協会事業により株式会社光電製作所が研究試作した「座礁予防装置用探知部」で、外観構成は図2.2-1、仕様は下記のとおりである。

探知周波数	20 KHz
送波面積	618.75cm ²
受波面積	1,237.5cm ²
送信出力	1.0kW
送信パルス巾	1.0ms
送信ビーム巾	水平 39° 垂直 60°
探査ビーム巾	水平 31° 垂直 3°
垂直方向探査巾	50°
受波チャンネル数	18
探査速度	1.5-5m/s/50°
モニタ	12吋角型ブラウン管によるBスコープ表示
	水平軸：投射距離
	垂直軸：探査角度
測定レンジ	0～500m、0～1,000m、0～2,000m 3段手動切換
電算用出力信号	角度信号 1°ごと

距離信号 1 m ごと
 周期信号
 探知信号(エニー信号)
 所要電力 AC 100 V 1φ、50または60 Hz 1,350 VA

(b) 浮立ヤグラ 1台

探知部の送受波器を水中 1.0 m 以下の点に保持するため曳航時はドラム缶とラジオブイ用浮子によつて浮上させ、目標海域において、浮子の一部を取外すことにより、海中に浮立させる構造の鉄骨製ヤグラ(図 2.2-2)を製作使用した。

(c) 実験船 2隻

主船 第2龍宮丸 24トン(静岡観光汽船所属)
従船 魚舟 2.5トン

(d) 撮影同期装置 1台

探知部のモニタ用ブラウン管に表示される毎回の映像が重複撮影されないように、撮影機と探知部とを同時に一回だけ操作させる電子的装置を製作使用した。

(e) スキンダイバー 2名

浮立ヤグラの浮上および浮立操作および探知部送受波器の水中指向方向調整作業員としてスキンダイバー 2名を用いた。

(f) ガソリン発電機 1 kW 2台

探知部その他の給電用

(g) 高圧空気ポンプ 1台

スキンダイバーの空気ボンベ補給用

(4) 実験概要

探知部の送受波器を浮立ヤグラに取付、探知部の受信指示器、送信器およびその他の機器を主船上に積み、浮立ヤグラを図 2.2-3 の浮上状態にして、主船および従船で曳航、目的海域で従船のスキンダイバーに浮沈用浮子を取り除かせて浮立状態とし、潮流によるヤグラの傾角分をヤグラ下端の傾角調整器により補正させ、指向方向を目標に向けて探知操作を行なつた。

ヤグラの浮上操作は浮子に重錆を結付け比重 1 としたものをスキンダイバーに持たせ、目的個所に着着後、重錆を切落し、浮力をつけて浮上させた。

探知実験時の状態を図 2.2-4 に示す。

なお、浮立ヤグラの浮沈調整作業状況は図 2.2-13 浮立ヤグラ先端の送受波器状態は図 2.2-14、実験主船と浮上中のヤグラは図 2.2-15、実験従船は図 2.2-16 に示す。

(5) 探知目標および探知状況

駿河湾内三津泊地沖(図 2.2-5)のワラサ根を探知目標に選び、探知実験を行なつた。海図から想定される目標海底の断面を図 2.2-6 に示す。風波や潮流によつて浮立ヤグラと実験船がともに流動、動搖し、探知部の送受波器の指向方向が目標に向つて、安定に指向せず、測定作業が極めて困難で、計画どおりの探知実験を行なうことができなかつた。

(6) 探知部のモニタ映像の現われ方

探知部のモニタは 1/2 时角型ブラウン管による角度対投射距離の B スコープ表示映像であり平坦な海底の場合、

$$\frac{h}{x} = \cos \left\{ \frac{\pi}{2} - (\varphi + \theta_n) \right\} = \sin (\varphi + \theta_n)$$

$$\therefore x = \frac{h}{\sin(\varphi + \theta_n)}$$

φ : 伏角

h : 送受波器よりの水深

d : 送受波器の水深

θ_n : 受波器掃引角度

x : 海底までの投射距離

となり、海底は $h \cosec(\varphi + \theta_n)$ の曲線で表示され同様に海面も $d + \cosec(\varphi + \theta_n)$ の曲線となり、海底と海面が、探査ビーム巾 3° の中に含まれると、両曲線が接することになる。

海底に突起物がある場合は突起部の頂点よりそれを通過して突起物がない場合に到達する投射距離に等しい距離だけ短くなり、その部分が曲線からやや立上りかつその距離に等しい影が生じ、その間の映像は中断する。

すなわち、海底は $x = h \cosec(\varphi + \theta_n)$ の軌跡で表示されるから図 2.2-6 のような突起物があつたと想定すれば、

$$x_1 = h \cosec(\theta_1 + \varphi) - \Delta x_1$$

$$x_2 = h \cosec(\theta_2 + \varphi)$$

$$\Delta x_1 = h' \cosec(\theta_1 + \varphi)$$

となり x_1 点の映像が Δx_1 だけ近くなつたように現われ、曲線はその分だけ立上り Δx_1 に相当する分だけ影を生ずることになる。

以上の考察にもとづいて図 2.2-7 の海底を探知した場合の映像図形を作図すると図 2.2-8 のようになる。

(7) 探知像と推定海底

探知実験によつて、撮影されたモニタの映像図形を図 2.2-9 および図 2.2-10 に示す。これらの探知像は(5)項で説明したように風波や潮流のために探知送受波器を目標方向に保持できなかつたため、図 2.2-5 の計画線とは異なるが大略、同付近での探知像であり、(6)項の考察にもとづいて、この映像図形から推定した前方海底をそれぞれ図 2.2-11 および図 2.2-12 に示す。

実際の探知映像が太い不明瞭な像になつているのは水平方向の探知ビーム巾が 3° あるので海面および海底からの乱反射および再反射信号などが重畳しているためと考えられる。

(8) 海中漂止状態における最大探知距離

すでに述べたように風波や潮流のために浮立ヤグラや実験船が流動、動搖して送受波器を目標方向に維持できず、安定な状態に置くことが困難であつたが、幸い目標突起物から約 850 m 付近で一時的に安定な状態が得られたので、マージンテスト法によつて下記の探知データを得た。

(a) 目標物からの反射信号像から得られる最少利得調整器の目盛位置……………目盛 3

(b) 目盛 3 における利得余裕値……………4.0 dB

(c) 距離 850 m における 20 kHz の往復伝播損失……………約 12.5 dB

(超音波技術便覧 P. 618, P. 645 データによる。)

(d) 前項 12.5 dB (b) 項の利得余裕値 4.0 dB を加えた 16.5 dB を往復伝播損失として考えた場合の距離

……………約 $2,900\text{ m}$

(筒上データによる)

(e) 海況……………1

(f) 海況 1 における 20 kHz の雑音レベル……………(-) 7.5 dB

(超音波技術便覧 P. 630 データによる。)

したがつて、最大探知推定距離は海況 = 1 (-7.5 dB)において、約 2,900 m と認められる。

2.2.4 航走雑音の測定実験

海中禁止状態における探知能力より、航走時ににおける探知能力を判断するには、航走雑音による探知能力の低下分を差引けばよいが、座礁予防装置用探知部が装備される条件、すなわちバルバスハウ前頭より前斜下に指向づけた場合における航走雑音データが無いので、下記要領により測定実験を行なつた。

- (1) 場 所 濱戸内海播磨灘および日本：米国ノーフォーク間往復路
(2) 期 間 昭和44年1月28日～29日および昭和44年2月17日～4月14日
(3) 使用装置類

(a) 雜音測定装置	2台(ただし、受波器は各2個)
測定雑音周波数	2.0 KHz 28.5 KHz
受信ビーム巾(半減半角)	27° 24°
受信器寸法	170φ 130φ
記録方式	直線掃引点表示記録
(b) 測深装置	1台
送受信周波数	5.0 KHz
ビーム巾(半減半角)	17°
送受波器寸法	60φ
記録方式	直線掃引記録
(c) 実験船	
大森丸	59.821 KT 15.38 KTS (FULL LOAD)

(4) 実験概要

雑音測定装置の受波器をバルバスハウの前頭中心付近と前頭斜横付近に埋込装備し、それぞれ切換えて測定し、記録機部分は前方ポンプ室に設置した。

測深装置は雑音レベルと水深との関係を見るために用いたもので、一般の測深機と変わりない。

各機器の装備配置状態を図2.2-17～20に示す。

(5) 雜音測定装置の動作原理

測定装置は図2.2-21に示す回路をもつて構成され、受波器で電気信号に変換された 2.0 KHz または 28.5 KHz 付近の超音波雑音信号を雑音信号増巾回路で増巾検波し、直流信号レベルに変換したのち、比較回路に与える。一方記録機の回転ベルトに取付けられた記録ペンが記録紙上の記録開始点(基準点)に来たとき、接点が動作し基準信号発生回路から矩形波パルスが発生し、これが記録ペンに与えられて基準点を記録すると同時に、鋸歯状波発生回路が起動され、鋸歯状波信号が比較回路に与えられる。比較回路では雑音信号増巾器から与えられる直流化した雑音信号レベルと鋸歯状波信号とを比較し同一レベルになつた時点を検出し、この検出信号によつて雑音レベル点信号発生回路から矩形波パルスが発生し、これが記録ペンに与えられて雑音レベル点を記録する。

また、記録紙は當時一定速度で巻取られており、いわゆる分時マークが記録される。測定記録例を図2.2-22に示す。

(6) 測定結果

測定記録より雑音レベルを読み取り、操船状況、海況、海域などの関係を整理すると図2.2-23および図2.2-24に示すような変化がみられる。このデータから、次のように判断し得る。

(a) 操船と雑音の関係

- (4) 主機回転数と航速を段階的に増加すると雑音レベルは強制するが、連続的に変化させた場合にはほとんど躍動せず、主機回転数と航速の安張とともに一定値に落ちつく。
- (5) 航向を急激に変えると雑音レベルが大きく変動する。リターンおよび後進時に雑音レベルが減少する。（これに航行で生ずる泡により音波が遮断されたためと考えられる。）
- (b) 海況・気象と雑音の関係
海況による変化はデータが不足で不明であるが、雨により 5 dB 程度、雑音レベルが増加している。
- (c) 周波数および塗水量と雑音の関係
大略、2.0 kHz の方が 2.5 kHz よりも、平均約 7 dB 程度雑音レベルが低くなっているが、塗水量が大きい場合性質、その差が少なくなっている。
- (d) 2.0 kHz 付近の航走雑音レベル
データが少ないので、多少不確実ではあるが、海況による影響は比較的少なく、大略、(-)5.0 dB 程度と認められる。

2.2.5 航行時の最大探知距離

航行時の最大探知距離は、海中漂止状態における最大探知距離から航走雑音による探知力の低下分を差引くことによって判断し得る。

(1) 海中漂止状態における最大探知距離

海況=1（雑音レベル(-)7.5 dB [相当]）において約 2,900 m（総合往復伝播損失 1.65 dB 相当）

（2.2.3(5)(d)項より）

(2) 航走雑音レベル

約(-)5.0 dB

（2.2.4(6)(d)項より）

(3) 航行時の最大探知距離

(a) 航行によつて生ずる雑音レベル増加量

海中漂止状態における雑音レベルと航走雑音レベルとの差

$$(-)7.5 \text{ dB} - (-)5.0 \text{ dB} = (-)2.5 \text{ dB}$$

(b) 最大探知距離

海中漂止状態における総合往復伝播損失相当量より雑音レベル増加量を差引いた伝播損失量に相当する距離

$$1.65 \text{ dB} - 2.5 \text{ dB} = 1.45 \text{ dB}$$

したがつて約 1,500 m となる。

（超音波技術便覧 P. 618、P. 645 データによる）

2.2.6 まとめ

昭和 43 年度の研究調査によつて、前方海底の縦断面形を瞬間に探知する目的の探知部は探知距離の増大を第一とするため、極力低周波の超音波を用ひ、全景を瞬間に知るため、高速広角電子スキャニング・ソーナ方式であることが必要条件として抽出され、この主旨に沿つて製作された世界最初の低周波（2.0 kHz）高速広角探査（1.35 m/s / 50°）電子スキャニング方式による探知部を用い海上探知実験を行なつた。この探知部の送受波器は大規模である上に、超大型のバルバスバウと同程度の深さの海中に支持せなければならず、非常に困難な作業であつた。また、バルバスバウ前頭部における航走雑音データが皆無をつたので、バルクキャリア船により実効海測定を行なつた。この航走雑音測定もまた、世界最初のものと考えられる。

これらの実験により探知部の最大探知距離は約 1,500 m であることが確認された。

なお、感應子防システムとして標準音処理、分解能向上、音道屈折修正、船体動搖修正などをについて多くの問題はあるが、モニ用ブラン管の表示方式などの改良についても、検討を行なう必要があり、これを来年度の研究課題とすることになった。

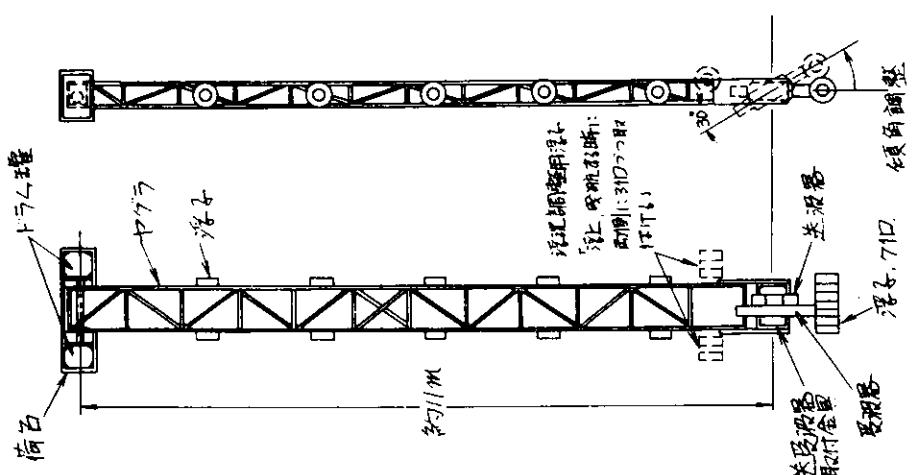


図2.2-2 浮立式ヤグラの外観構造

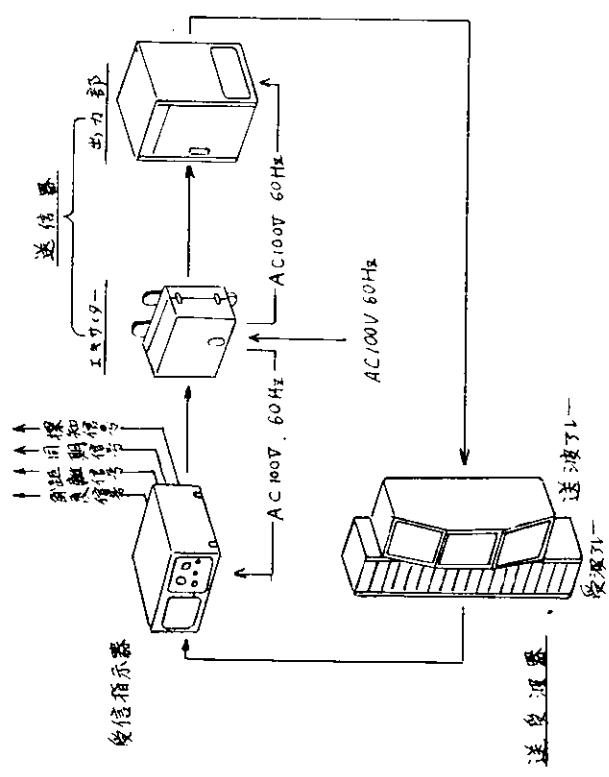


図2.2-1 探知部の外観構成

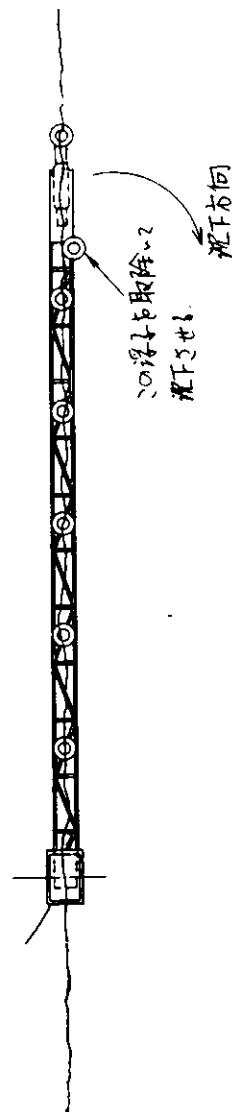


図2.2-3 浮立式ヤグラの運動態時浮上状態

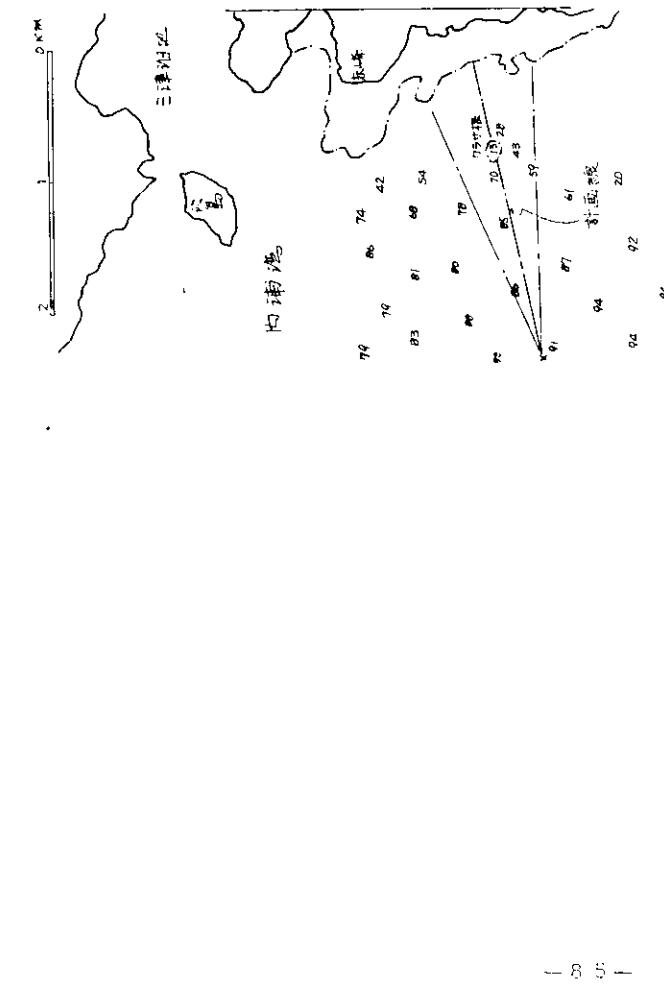


図 2.2-5 実験海域見取図

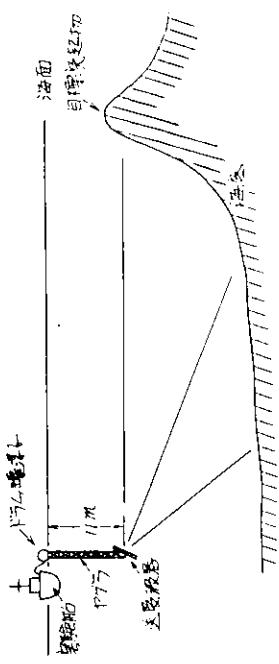


図 2.2-4 探知実験時の状態

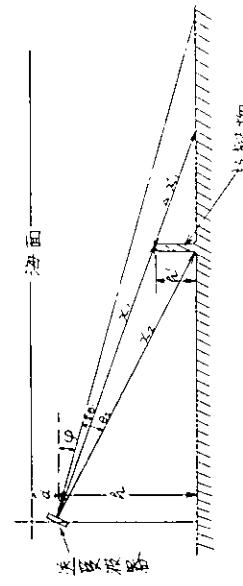


図 2.2-6 検知角、距離、反射物の関係

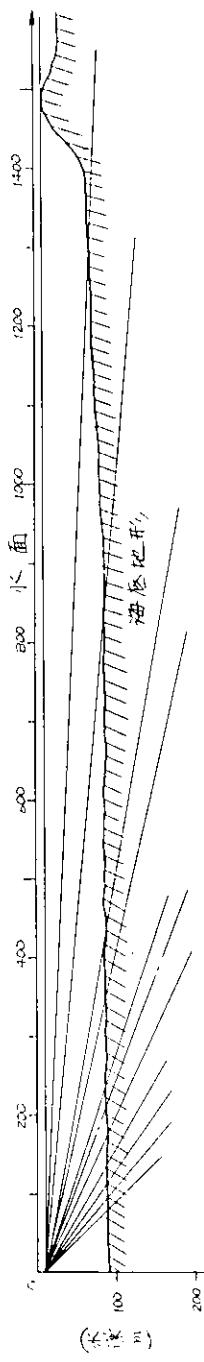


図 2.2-7 探知目標海底反射波

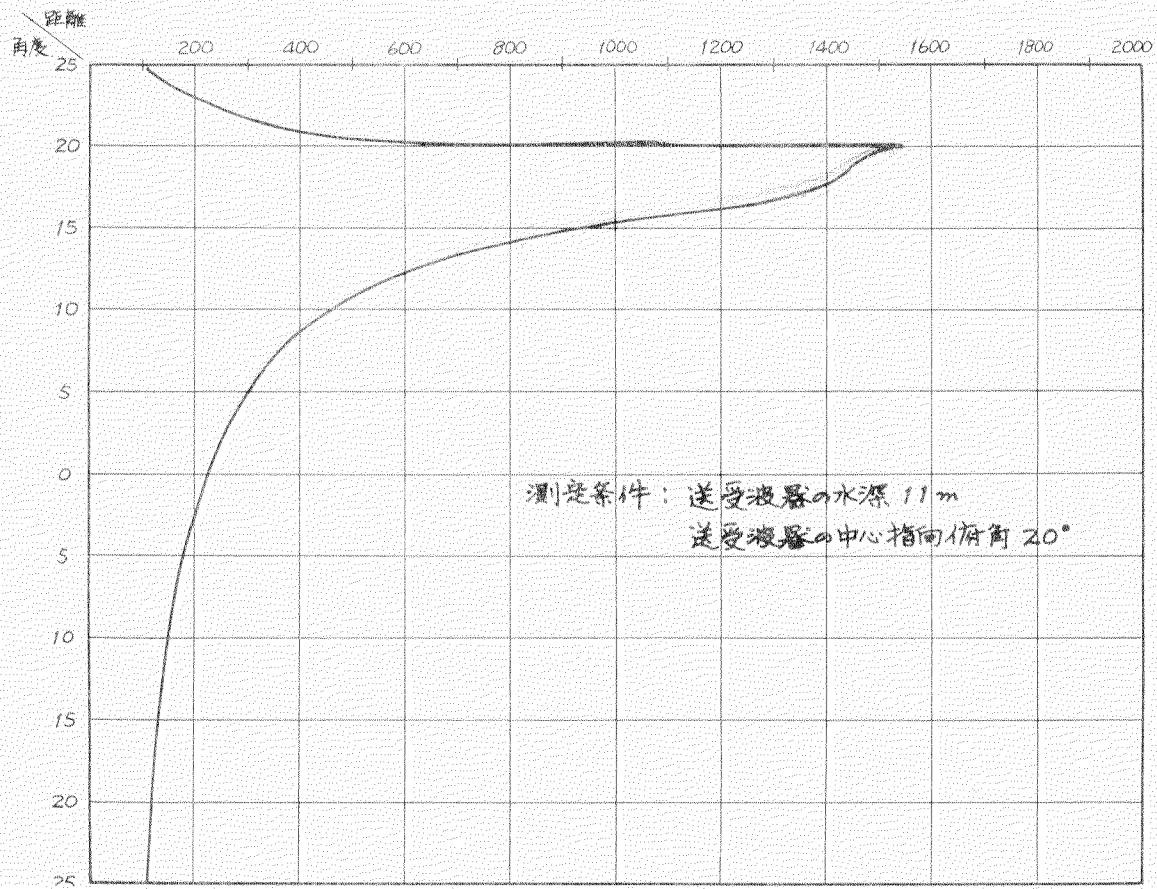


図 2.2-8 モニター映像想定図

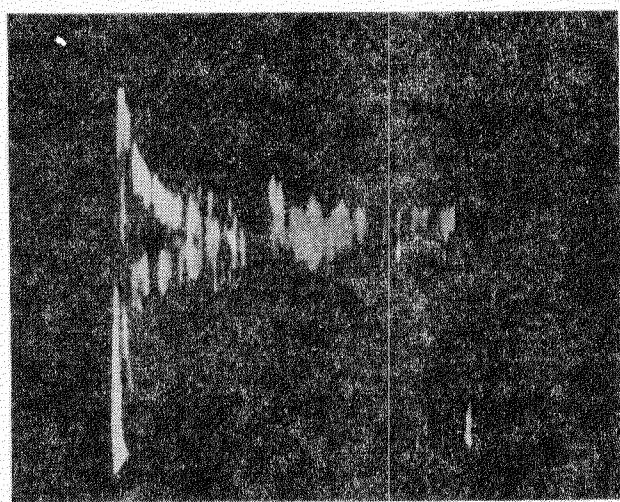


図 2.2-9 探知映像(その 1)

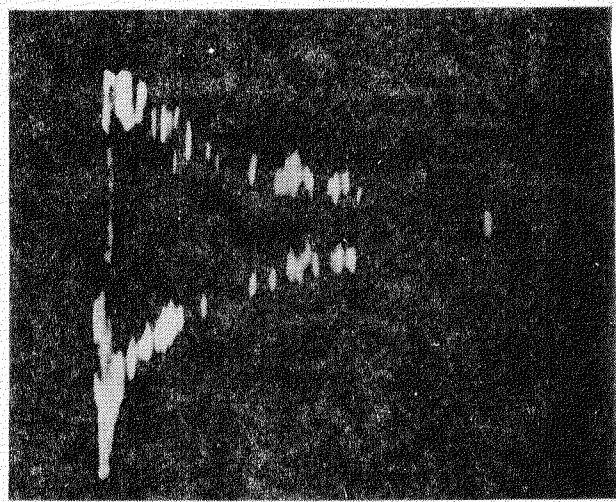


図 2.2-10 探知映像(その 2)

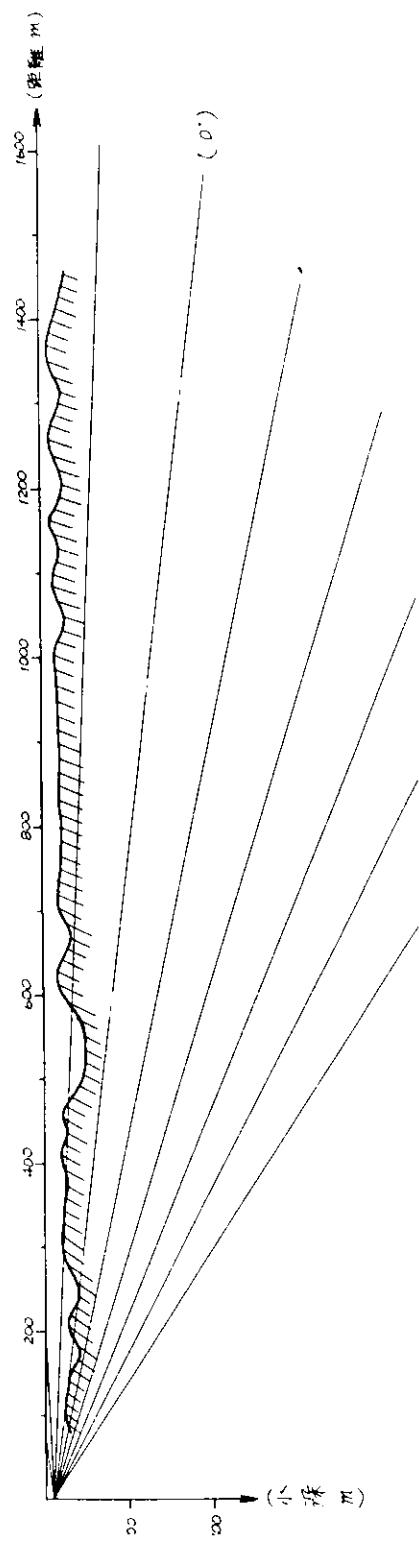


図 2.2-11 探知映像(その1)から推定した前方海底

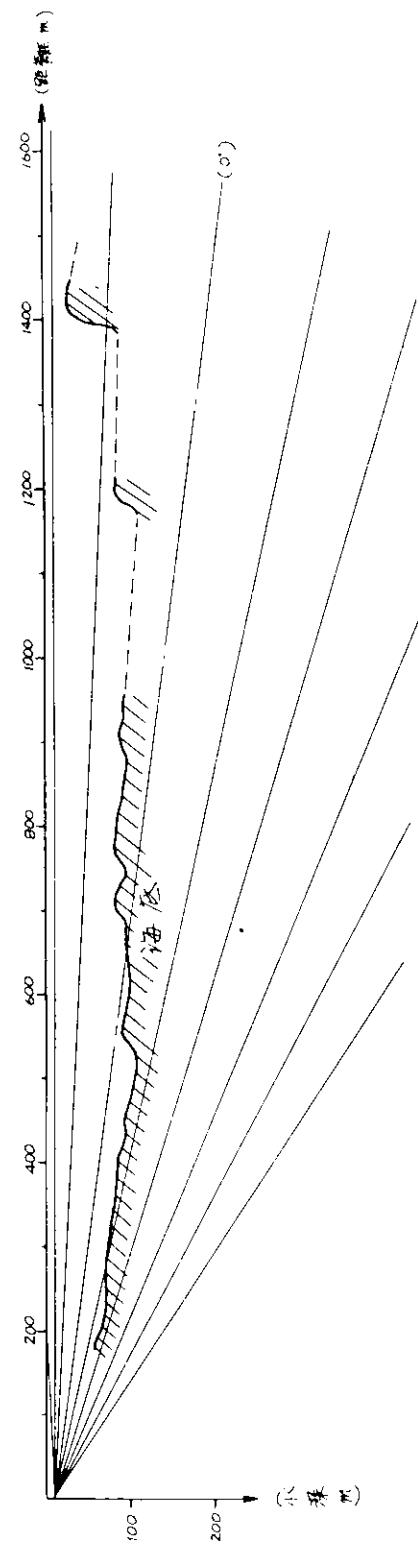


図 2.2-12 探知映像(その2)から推定した前方海底

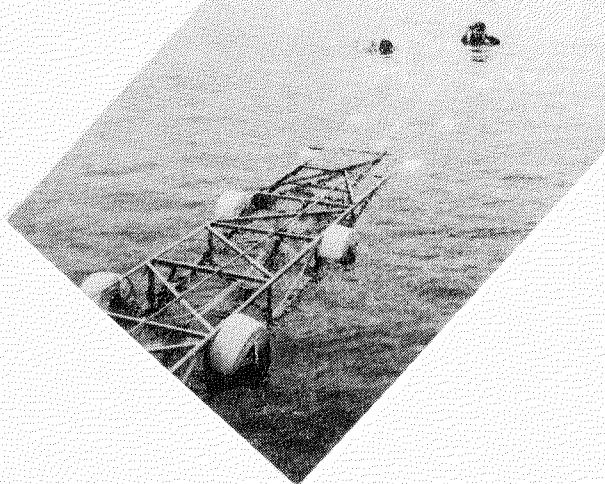


図 2.2-13
浮立ヤグラの浮沈調整作業状況

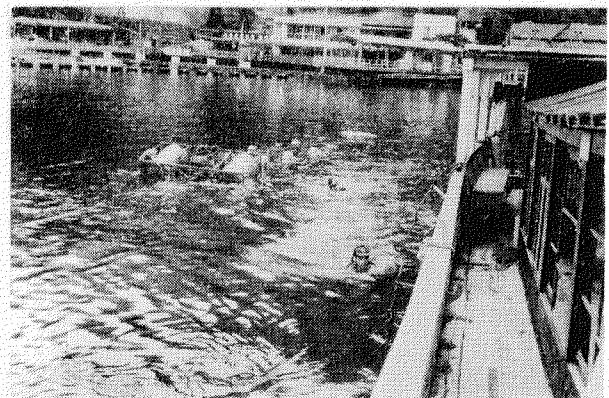


図 2.2-15
実験主船と浮上中の浮立ヤグラ

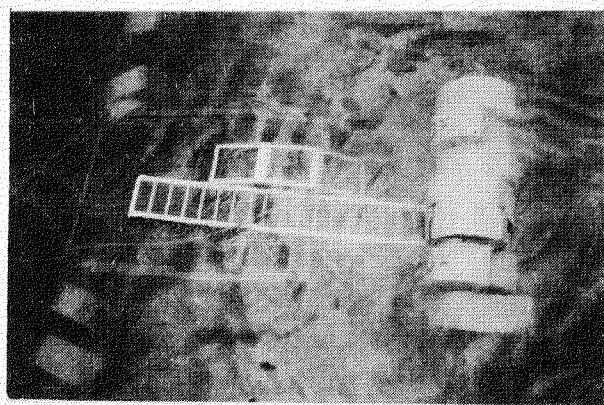


図 2.2-14
浮立ヤグラの先端
に取付けられた探知部の送受波器

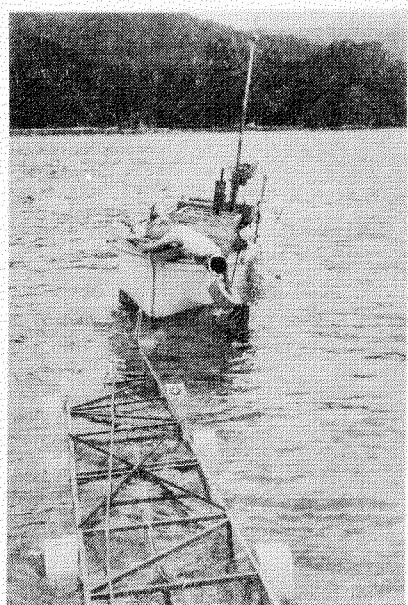


図 2.2-16
実船従船と海上中の浮立ヤグラ

大栄丸

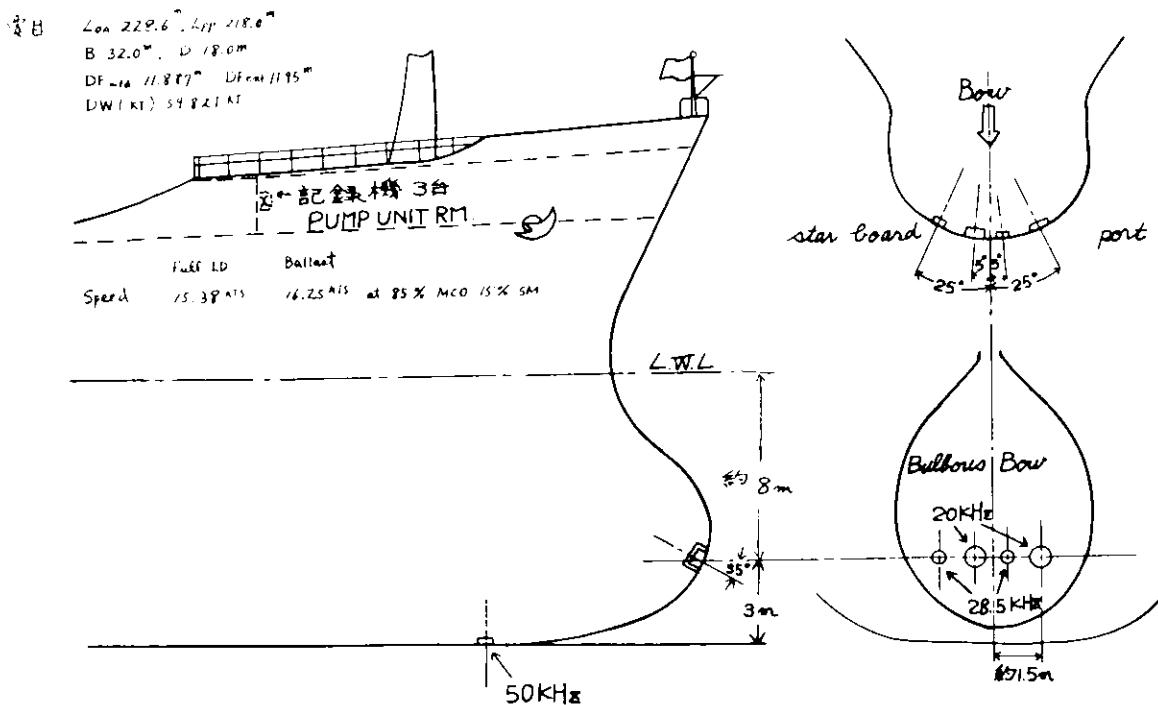


図 2.2-17 測定用受波器の配置図

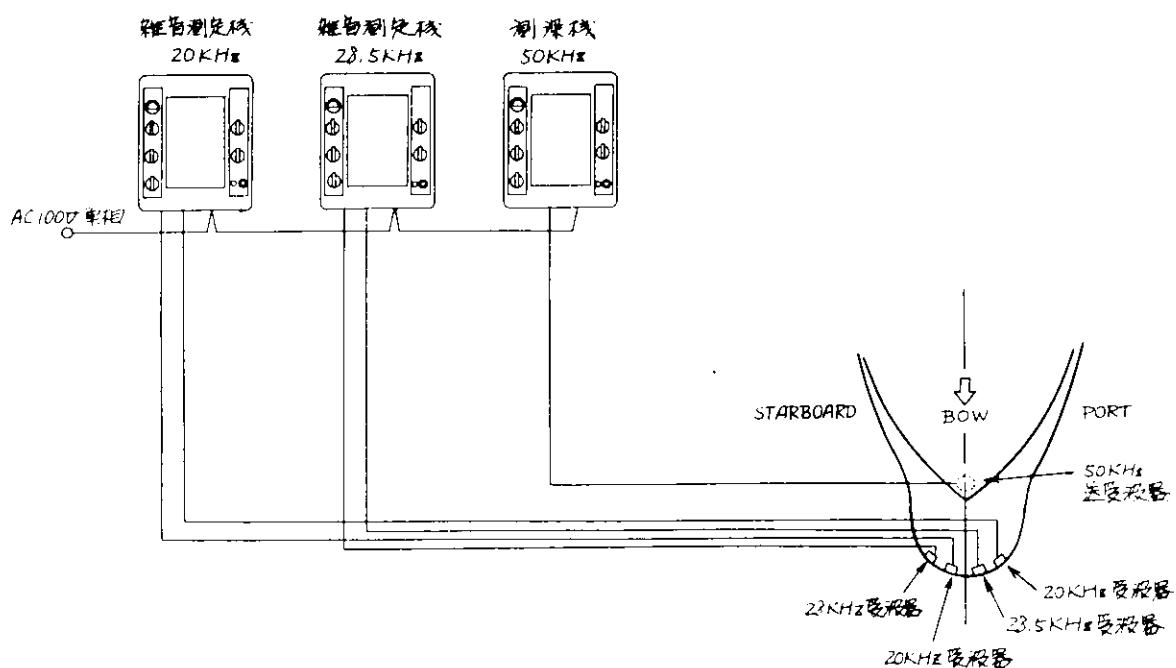


図 2.2-18 測定装置構成の系統図

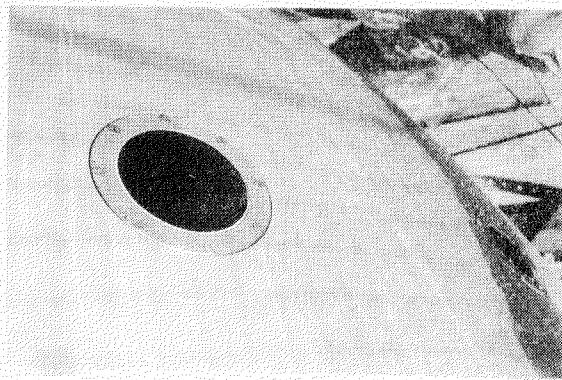


図 2.2-1.9 測定用受波器の装備状態

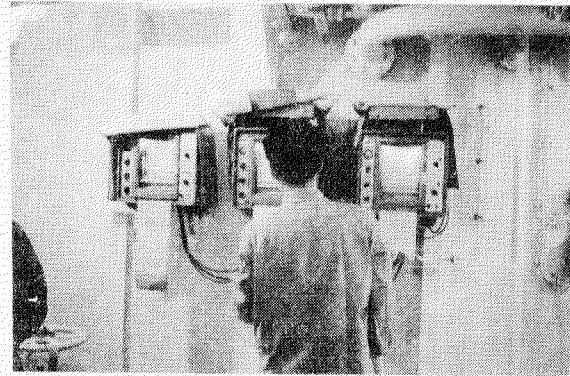


図 2.2-2.0 測定記録機部分の装備状態

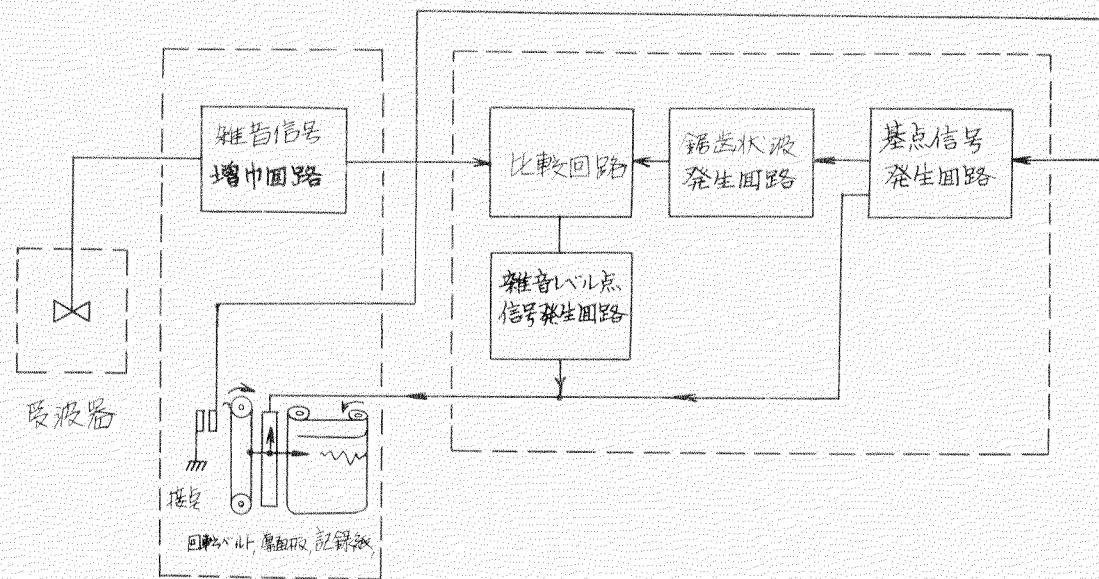


図 2.2-2.1 雜音測定装置の回路構成図

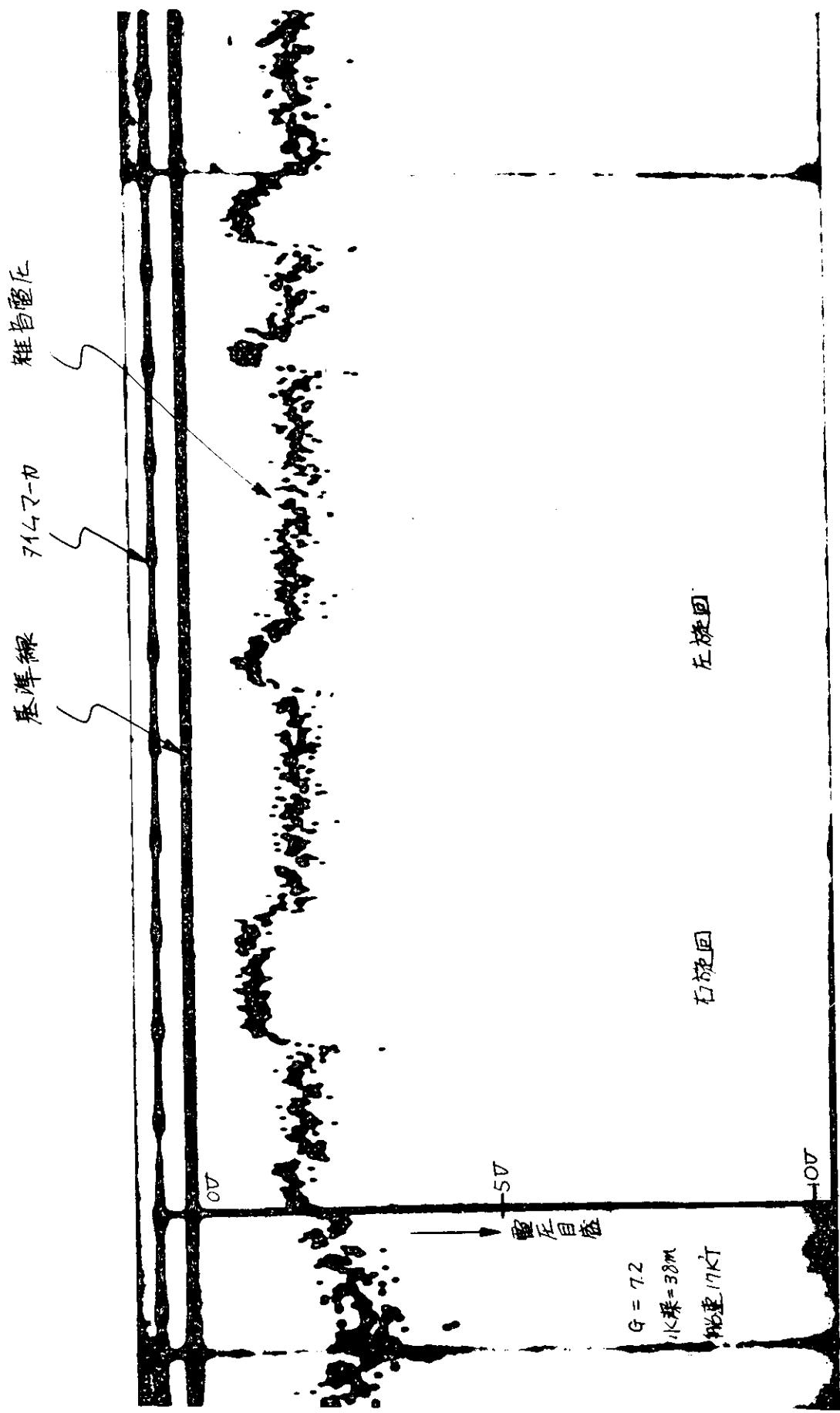


図 2.2-2 2 測定記録例

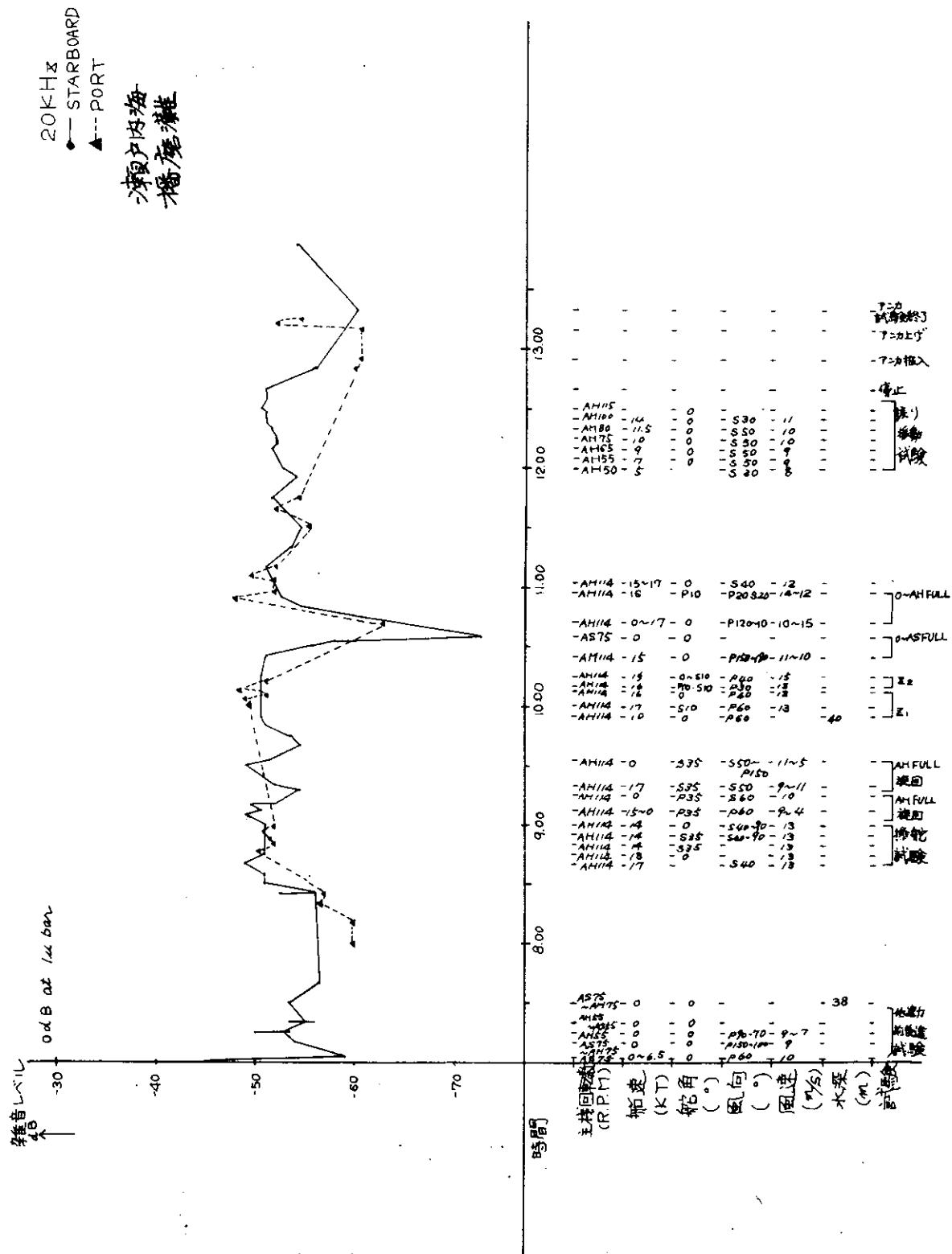


図 2.2—2.3 航走雑音レベルの変化図(その1)

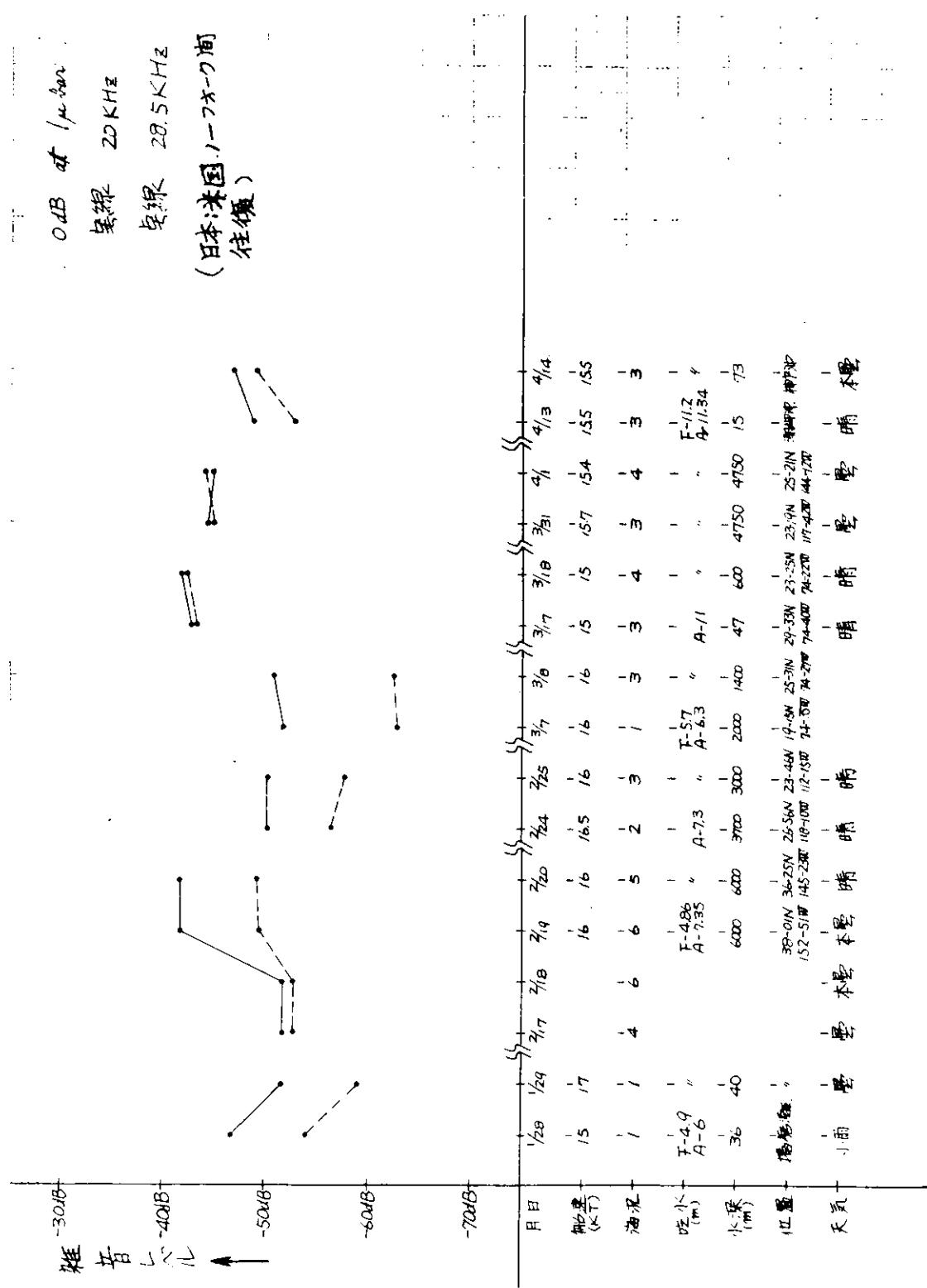


図 2-2-2-4 航走雄音レベルの変化図(その2)

2.3 音響透過窓の透過率の計測

2.3.1 まえがき

座礁予防システムにおけるセンサーとしてはソーナを使用する。このソーナに用いる送受波器はソーナドーム内に収容して波浪から保護する。ソーナドームの外殻は鋼板または銅板を用い、外部の波浪、水圧等に十分耐え得る堅牢なものでなければならぬが、送受波器の音響輻射面の前面の部分は超音波が減衰することなく通過し得るものであり、かつ強度的にも堅牢な音響透過窓を設ける必要がある。音響的にはこの音響透過窓の材質によつて定まる固有の音響インピーダンスが水の音響インピーダンスに近いほど、両者の境界面で生ずる音波の反射は少なくなり、したがつて音響透過率は良好となる。このような観点から音響透過窓の材質をFRP (Fiberglass Reinforced Polyester) を選びその音響透過率を計測して実用に供し得るかどうかを音波周波数が20~100kHzの間で計測し確認した。また同時に参考としてSUS(不锈钢)の音響透過率も計測してFRPと対比してみた。

本実験は、日立造船と日立製作所との共同実験であり、日立製作所戸塚工場において実験実施されたものである。

2.3.2 音響透過窓の材質の検討

音波の媒体の音響インピーダンスは、媒体の密度を ρ 、媒体内の音波伝播速度を c とすれば、両者の積 ρc で表わされる。水(海水)の音響インピーダンス ρc は、常温においては、

$$\begin{aligned} \rho &= 1.0 (\text{g/cm}^3) \\ c &= 1.5 \times 10^5 (\text{cm/s}) \\ \therefore \rho c &= 1.5 \times 10^5 (\text{dyne/Kine/cm}^3) \end{aligned} \quad \left. \right\} \text{水(海水)の場合}$$

である。前項で述べたように音響透過率は水(海水)の音響インピーダンスに近いほど、すなわち、 $\rho_2 c_2 / \rho_1 c_1$ ($\rho_2 c_2$: 音響透過窓の材質によつて定まる音響インピーダンス、 $\rho_1 c_1$: 水の音響インピーダンス) が1に近づくほど100%に近づく、音響透過窓の材質として考えられるいくつかの物質についてその音響インピーダンスをまとめて表2.3-1に示す。

表2.3-1 各種物質の音響特性⁽³⁾

物 質	ヤング係数 (dyne/cm)	密 度 (g/cm ³)	音波伝播速度 (cm/s)	音響インピーダンス (dyne/Kine/cm ³)
	E	ρ	c	ρc
鋼 鉄	2.0×10^{12}	7.8	5.05×10^5	3.93×10^5
銹 鉄	1.15×10^{12}	7.7	3.85×10^5	2.96×10^5
真 鑑	1.0×10^{12}	8.5	3.42×10^5	2.90×10^5
アルミニウム	0.705×10^{12}	2.65	5.15×10^5	1.39×10^5
F R P	$0.1 \times 10^{12} \sim 0.24 \times 10^{12}$	1.6~1.9	約 3.6×10^5	$5.8 \times 10^5 \sim 6.9 \times 10^5$

表2.3-1から分るように、FRPの音響インピーダンスは 5.8×10^5 乃至 6.9×10^5 であり、水の音響インピーダンス 1.5×10^5 に対して他の物質より最も近い値にある。またFRPの機械的性質を示すと表2.3-2~3のとおりである。

表2.3-2 FRPと各種構造材の機械的性質の比較⁽¹⁾

材 料	項 目	比 重	引張強さ (kg/mm ²)	比引張強さ (kg/mm ²)	弾 性 率 (kg/mm ²)
ジユラルミン		2.8	3.8~4.4	1.3.6~1.5.7	7,000~7,500
アルミニウム		2.7	7~11	2.6~4.1	7,000
硬 鋼		7.85	5.8~7.0	7.4~8.9	21,000
強 化 木		1.3~1.4	1.8~2.0	1.3.8~1.4.3	2,000~3,000
フェノール積層板(綿布入り)		1.2~1.3.3	7	5.2~5.8	7,000~9,000
FRP(ガラスクロス入り)		1.6~1.9	1.5~4.0	9.4~21.0	1,000~2,400

表 2.3-3 各種 F.R.P の機械的性質(1)

単位	種類	平織クロス 使用品	一方織クロス 使用品	朱子織クロス 使用品	ショップマット 使用品	ロービングクロス 使用品	平行ロービング 使用品
比重	一	1.6~1.8	1.7~1.9	1.7~1.9	1.5~1.6	1.7~1.9	1.7~1.9
ガラス含有量 %	%	53~58	62~67	60~65	35~45	55~75	50~72
引張強さ kg/mm ²		23~32	55~61	28~39	6~16	25~42	56~91
曲げ強さ kg		35~42	60~74	35~42	18~27	28~39	70~140
圧縮強さ kg		20~28	28~35	21~27	13~18	—	35~53
せん断強さ kg		10~16	14~24	11~16	84~120	—	—
引張弾性率 %		1,060~1,750	2,820~3,520	1,260~1,970	560~1,270	1,400~2,470	—
曲げ弾性率 %		1,400~2,100	3,160~3,860	1,550~2,180	700~1,400	1,760~2,820	3,520~4,930
衝撃強さ (アイソリッド) kg·cm/cm		85~120	270~300	110~150	70~115	115~325	280~380

以上の結果から音響透過窓の材質として要求される音響特性ならびに機械的強度の点を考慮してみるとF.R.Pは十分に実用になると判断される。

2.3.3 音響透過率の理論的解析⁽²⁾⁽³⁾

いま図2.3-1に示すように音響インピーダンス Z_1 の水中に、異質のたわみを生じない均一な音響インピーダンス Z_2 を有する隔壁が存在し、壁面の方線方向から入射音波(音圧 P_i)が加わつたとき、水と隔壁との境界において反射波と、隔壁を透過して隔壁の反対側に抜ける透過波(音圧 P_o)が存在する。このとき音響透過率(音圧比、以下同じ) T_o は、

$$T_o = \frac{P_o}{P_i} = \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \frac{2\pi t}{\lambda} + \frac{1}{4} \left(\frac{\rho_2 C_2}{\rho_1 C_1} + \frac{\rho_1 C_1}{\rho_2 C_2} \right) \sin^2 \frac{2\pi t}{\lambda}}}$$

(1)

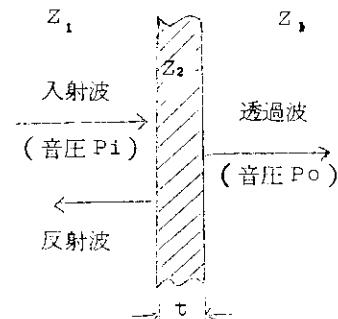


図 2.3-1

で与えられる。ここで、

t : 隔壁の厚さ

λ : 隔壁内の音波の波長、 $= \frac{C_2}{f}$ (f : 音波の周波数)

ρ_1 : 水の密度

C_1 : 水中の音速

ρ_2 : 隔壁の密度

C_2 : 隔壁内の音速

また、隔壁(固体)内の厚み振動に対する音速 C_2 は、

$$C_2 = \sqrt{\frac{E}{\rho_2}} \cdot \frac{1 - \sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)} \quad (\text{cm/s}) \quad (2)$$

ここで、

E : 隔壁のヤング係数

σ : ポアソン比

である。式(2)によりF.R.Pの C_2 を求める。F.R.Pの E および σ を次のように選ぶ。

$$\begin{aligned} E &= 2 \times 10^{10} \text{ dyne/cm}^2 \\ \sigma &= 0.15 \\ \rho_2 &= 1.6 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{(F.R.Pの代表値)}$$

とすれば、

$$C_2 = 3.65 \times 10^5 \text{ (cm/s)} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

を得、 $\rho_1 = 1.0$ 、 $C_1 = 1.5 \times 10^5$ (cm/s)、 $t = 2, 3, 4$ (cm) とし音波の周波数 f を変えたときの音響透過率 T_0 を式(1)により計算した結果下図から分るように隔壁の厚さ t と音波の周波数との間には相関関係があり、最も音響透過率の良好な点が存在する。すなわち、音波の周波数が与えられれば、最良の透過率が得られるような隔壁厚 t が定まる。

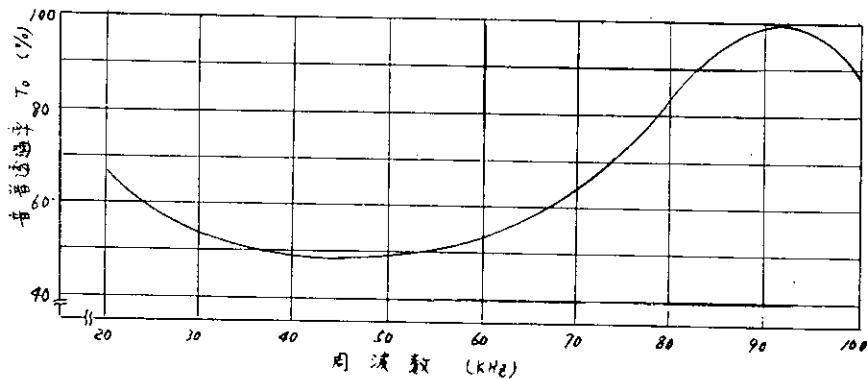


図 2.3-2 F R P ($t = 2$ cm) の音響透過率理論値

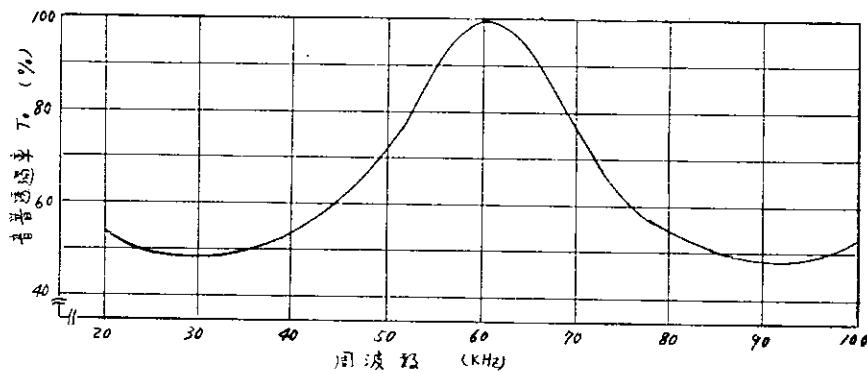


図 2.3-3 F R P ($t = 3$ cm) の音響透過率理論値

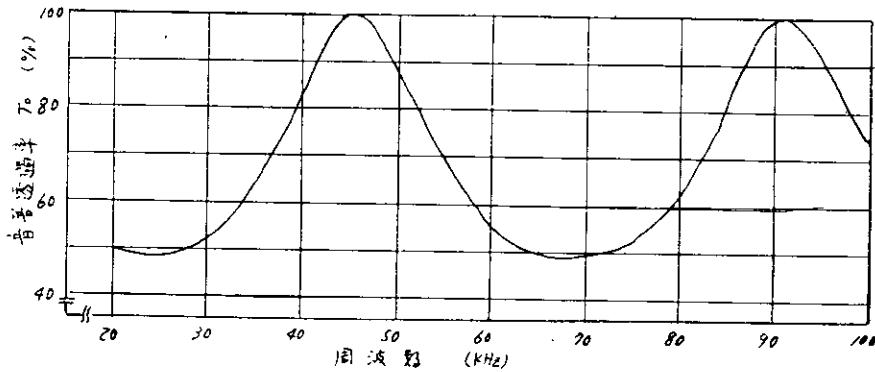


図 2.3-4 F R P ($t = 4$ cm) の音響透過率理論値

次に参考として $t = 0.5$ cm の S U S の音響透過率を求めてみる。S U S の諸定数を次のように選ぶ。

$$\left. \begin{array}{l} E = 2.0 \times 10^{11} (\text{dynes/cm}^2) \\ \sigma = 0.28 \\ \rho_2 = 7.8 \end{array} \right\} \quad (\text{S U S の場合})$$

とすれば式(2)より、

$$C_2 = 5.7 \times 10^5 \text{ (cm/s)}$$

..... (4)

を得、F R P の場合と同様、 $\rho_1 = 1.0$ 、 $C_1 = 1.5 \times 10^5 \text{ cm/s}$ 、 $t = 0.5 \text{ cm}$ とし、式(1)により音響透過率 T_0 を求めると図 2.3-5 に示す結果が得られる。図 2.3-5 から分るように音響透過率 100% の点は周波数が 20 kHz 以下の点に存在する。換算すれば、20 kHz 以上の周波数では厚さ t は 0.5 cm 以下でなければならぬ。

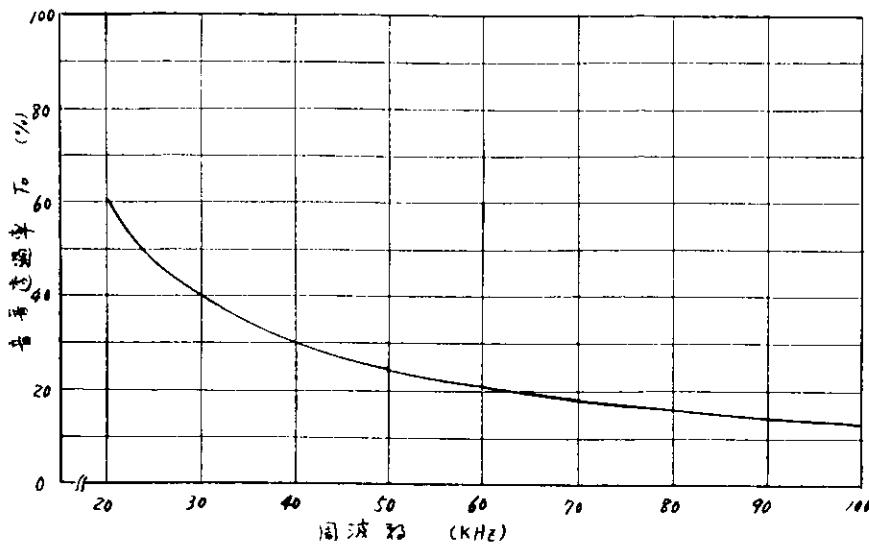


図 2.3-5 SUS ($t = 0.5 \text{ cm}$) の音響透過率理論値

以上の見地から音響透過率の材質としては音波周波数が高い場合は、SUS のような鋼材を使用することは強度の点からみて不適当であり、その点 F R P では厚さ t を適当に選べば良好な音響透過率が得られ、しかも強度的にも十分満足のゆくものが得られる筈である。

2.3.4 音響透過率の計測

(1) 計測用器材の配置と計測方法

図 2.3-6 に示すように計測器材を設置した。すなわち水深 5 m の音響計測用水中槽中に図 2.3-7 のごとく 1 m 平方で中央に 50 cm の孔を開いた板厚 1.5 cm の松板にテストピースとして F R P ($5.5 \text{ cm} \times 5.5 \text{ cm}$ 、 $t = 2, 3, 4 \text{ cm}$) および SUS ($5.5 \text{ cm} \times 5.5 \text{ cm}$ 、 $t = 0.5 \text{ cm}$) を取り付けられるようにした遮音板を、その上端が水面に接するよう水中に吊り下げる。遮音板の表面にはさらに遮音効果を確実にするために発泡ポリエチレン ($t = 2 \text{ mm}$) を貼り付

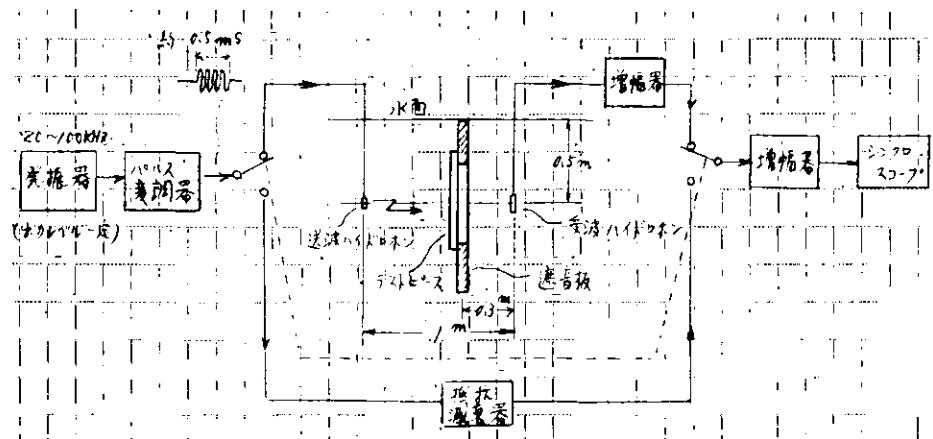


図 2.3-6 計測器材の配置

けてある。送波および受波ハイドロホンの間隔を 1 m に設定し、まず、テストピースを遮音板に取付けない状態において送受ハイドロホン間ににおける音波の減衰量を抵抗減衰器を用いて置換法により計測しておき、次に遮音板にテストピースを取付けた状態で同様に音波の減衰量を計測する。かくして、テストピースの音響透過率は両計測値の差から求めることができる。

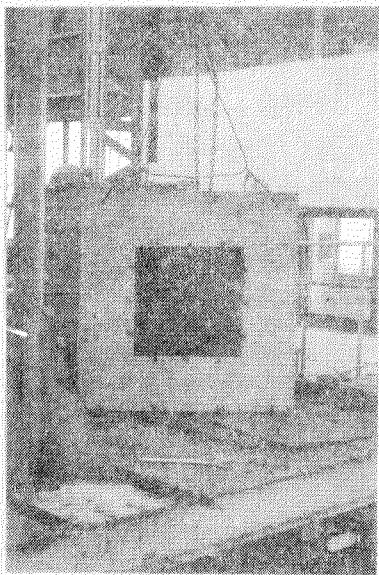


図 2.3-7 遮音板に取付けたテストピース



図 2.3-8 計測状況

(2) テストピースの計測条件

テストピースは前記のとおり F.P.P ($t = 2, 3, 4\text{ cm}$) および S.U.S ($t = 0.5\text{ cm}$) を使用し、それぞれのテストピースは表 2.3-4 の条件を設けてそれぞれのケースについて計測を行なつた。図 2.3-10～13 にそれぞれの条件における状況の一例を示す。

(3) 計測の事前確認

図 2.3-6 のような計測方法に間違いのないことを確認する意味で、次のような事前確認を行なつた。すなわち図 2.3-1.4 に示すように、受波ハイドロホン



図 2.3-9 計測状況

と遮音板の間の距離を 0.3 m で一定に保ちつつ、送、受波両ハイドロホン間の距離 D を変化してゆくとき、テストピースの有無に関係なく D に反比例して受波レベル(音圧)が減少(距離が 2 倍になれば受波音圧レベルは $\% \downarrow$ 、すなわ

図 2.3-4 計測条件

条 件	内 容
生 地	テストピースの生地そのままとし表面に何も付着または塗布しない。
ふじつけ付着	テストピースの片面にふじつけを接着剤を用いて固着する。
ペイント塗り	テストピースの片面に船底塗料を約 1 mm 厚に全面に塗布する。
ペイントぬり	上記のペイント塗布面に適当にヒッカキ痕を付ける。



図 2.3-1.0 ふじつけ付着

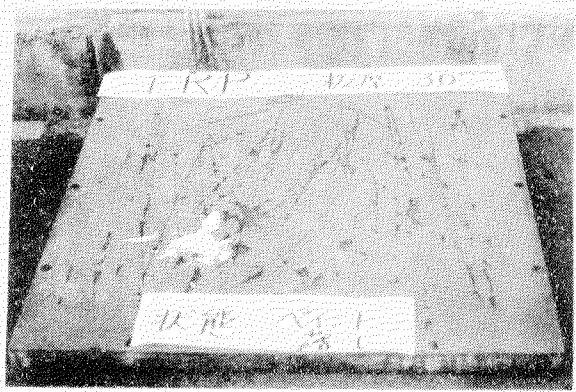


図 2.3-1.1 ペイント穴付き

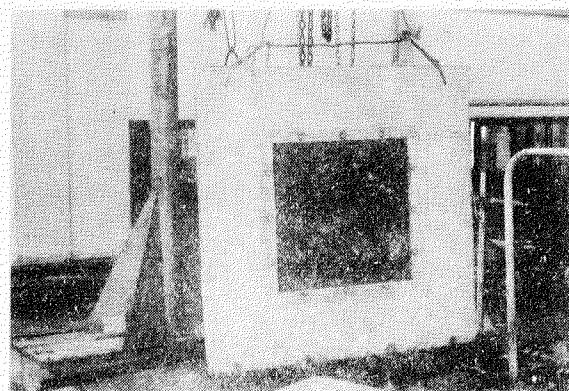


図 2.3-1.2 ふじつけ付着状況

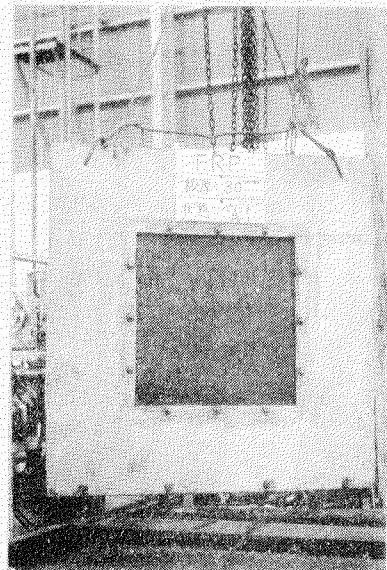


図 2.3-1.3 ペイント穴付き状況

ち、 -6 dB となることを確認し、この関係の成り立つ距離 D において計測を行なえればよい。この計測結果は図 2.3-1.5 に示す。同図から分るようすに、 $D > 0.6 \text{ m}$ では受波音圧レベルは D に反比例して減少しており近距離音場外であることが確認できた。またテストピースありの場合と、テストピースなしの場合のレベル差は $D > 0.6 \text{ m}$ では D に無関係に一定であり、この点についても疑義はない。次に図 2.3-1.6 に示すように遮音板と受波ハイドロホン間の距離 D' を変えて計測してみたが、との位置に遮音板ならびにテストピースを置いても音響透過率は一定であり計測方法に基本的な過りはないことが確認できた。

(4) 計測結果

F R P を 3 種、S U S を 1 種、それぞれ表 2.3-4 の条件下で音響透過率を計測した結果を図 2.3-1.8 ~ 2.1 に理論値と対比して示す。

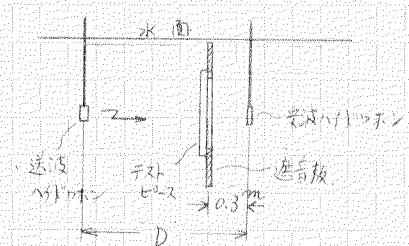


図 2.3-1.4 音場特性計測方法

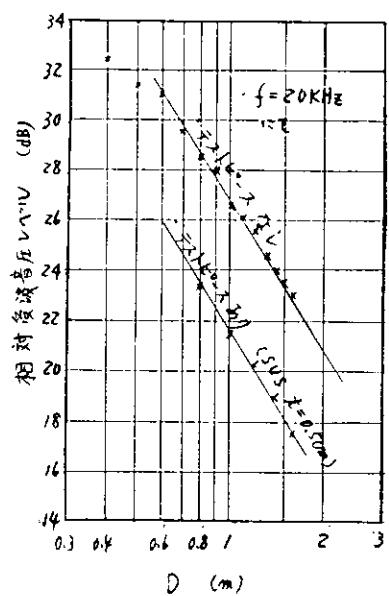


図 2.3-15 音場特性計測結果

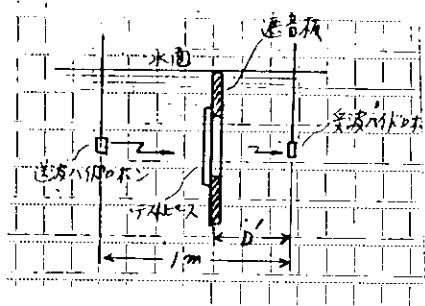


図 2.3-16 テストピースの適正位置確認方法

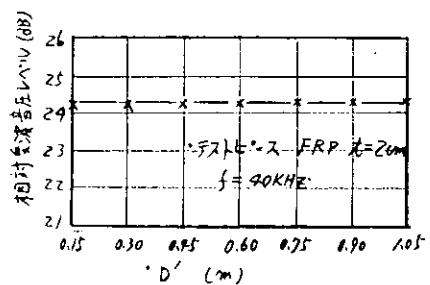


図 2.3-17 D'の変化による受波音圧レベル変化計測結果

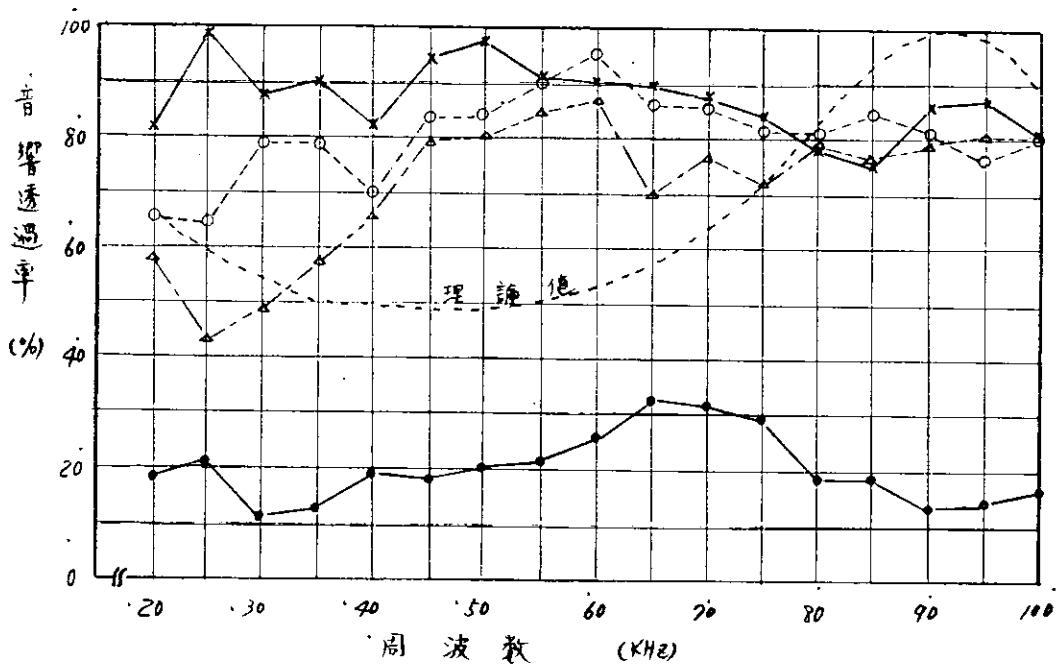


図 2.3-18 音響透過率計測結果(その1)

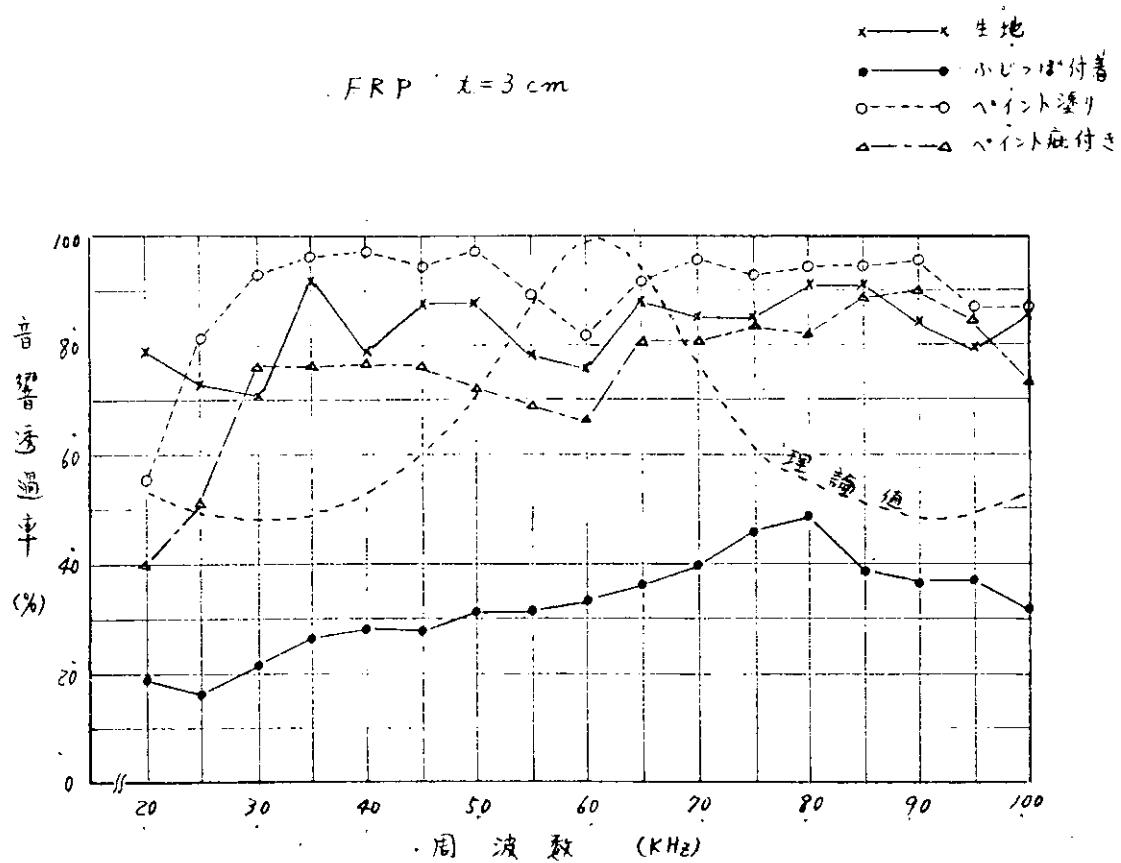


図 2.3-19 音響透過率計測結果(その2)

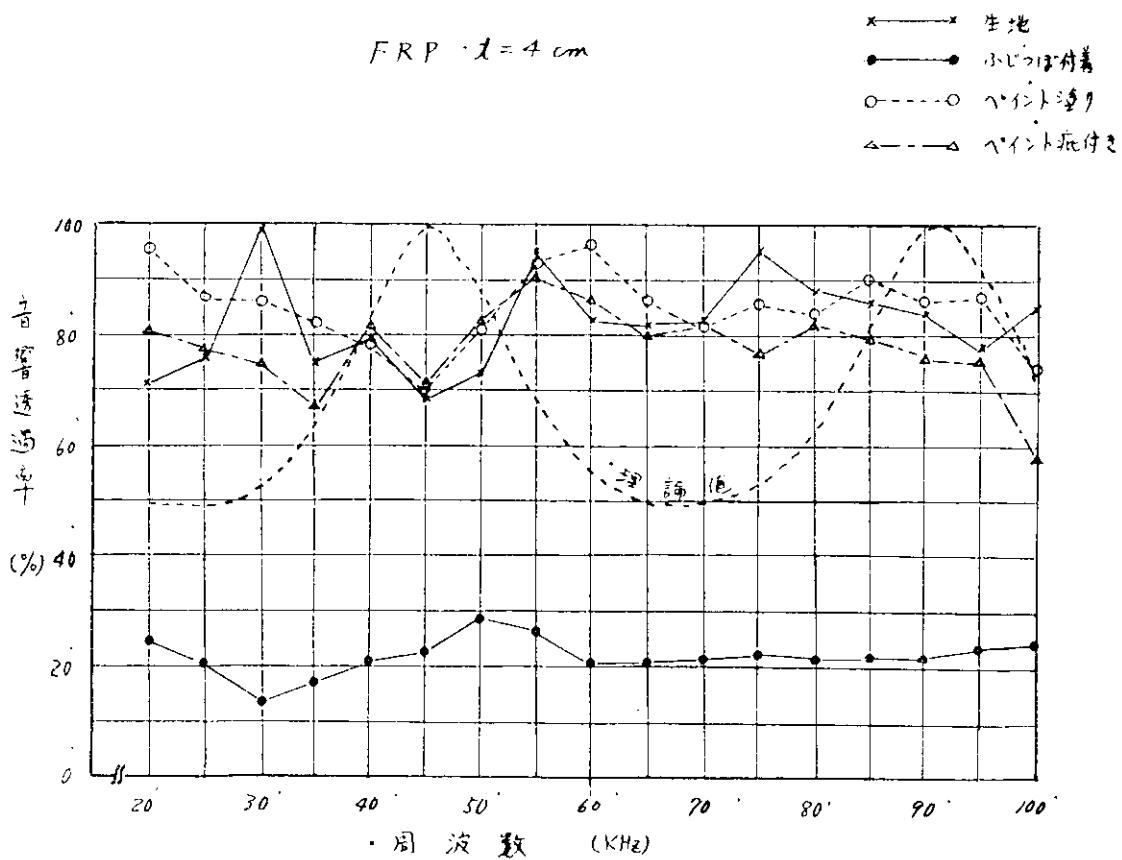


図 2.3-20 音響透過率計測結果(その3)

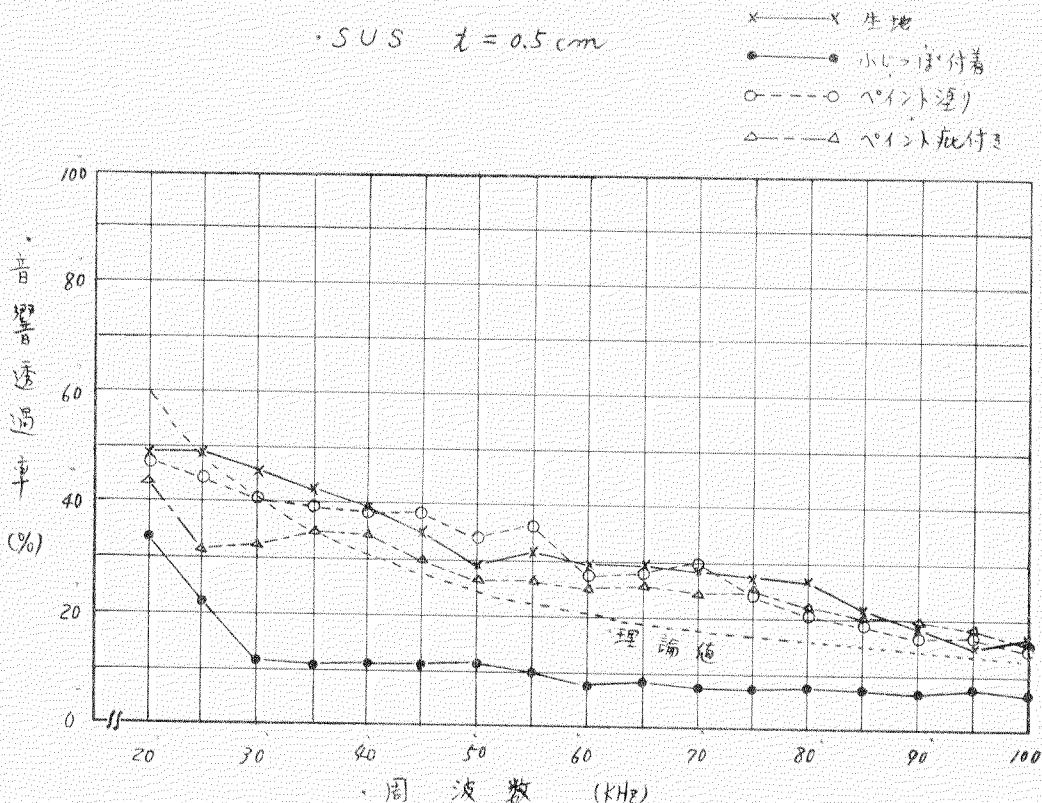


図 2.3-2.1 音響透過率計測結果(その4)

2.3.5 結果の検討

(1) F R P の場合

計測結果について生地の場合と理論値との間には相関的な傾向は全然見られない。このことは主として次の2点に起因するものと考えられる。

(a) F R P は補強材としてガラス繊維を使用しているが、このガラス繊維の音響インピーダンスと、成形材であるポリエステル樹脂の音響インピーダンスは等しくなく、したがつてF R P 内部において透過中の音波を散乱させる結果となる。それゆえF R P は必ずしも細部にわたつてまで均一な音響特性を有する媒体とはいえない。

(b) F R P の内部は図2.3-2.2に見られるように、成形時に混入する微小気泡が至るところに存在しており、この気泡が透過中の音波を散乱させてるので、前項と同じく均一な音響特性を有する媒体とはいえない。

以上の観点からすればF R P は均一な音響媒体として取り扱うことは無理であり、したがつて理論式にあてはめることは不可能である。それゆえF R P 自体は均一な音響媒体ではないが、マクロに見て多少の相違はあるにせよ計測結果から判断するならば音響透過率が7.0%以上あるので音響透過窓として十分実用になるものと考えられる。

次に、ふじつぼを付着させた場合は音響透過率が著しく低下している。これは、ふじつぼの殻の音響インピーダンスがF R P のそれと等しくないこと、およびふじつぼの殻の内部に含有する気泡(計測時にはふじつぼの内部まで水を十分注入してはいるが、どうしても気泡が残存する)が音波の透過を妨げる結果となる。

ペイントを塗布することはふじつぼの付着を防止する意味で有効であるが、計測結果では生地の場合より音響透過率が良くなる場合と、悪くなる場合が生じており一概に断定はできないが、ペイントの音響インピーダンス特性を考えるとあまり厚くない方が良いと考えられる。

(2) S U S の場合



図 2.3-2.2 F R P 内部の微小気泡の状況

生地の場合の音響透過率と理論値の間には若干の差異は認められるが、ほぼ理論値と傾向を同じくしている。これ
はFRPの場合と異なり、SUSそのものが均一な音響媒体であるがゆえである。計測値と、理論値との若干の差異
は板厚が比較的薄く、面に音波が入射したとき厚さ方向にたわみ振動を生じているためであると考えられる。

ふじつぼ付着、ペイント塗布、ペイント斑付きの各々の場合の傾向はFRPの場合と同じであり、気泡の含有する
ふじつぼ付着の状態が最も音響透過率が低下している。

2.3.6 参考文献

- (1) 日立化成FRP製録
- (2) 菊地外：超音波技術便覧：日刊工業新聞社（昭41-10）
- (3) 菊地：磁歪振動と超音波：ヨコナ社（昭41-11）
- (4) 斎藤：100～300KHzにおけるゴム板の音響透過について：防衛省技術研究本部第10回研究発表会発表要旨P-8（昭43-11）

2.3.7 結 言

本計測の結果ではFRPは音響透過窓として十分実用になるものと判断できるが、今回用いたテストピースはいずれも平板であり、実際にソーナドームにFRPの音響透過窓を装着する場合はドームの外殻との関係で構造上どうしても若干の彎曲した面を有することが考えられる。

したがつて今後の課題としては彎曲面を有する場合の音響透過率がどの程度であるかを実際に計測してみる必要がある。

3. 衝突予防システムの開発

3.1 航路の実情調査にもとづく衝突回避アルゴリズムの検討

3.1.1. 緒言

本研究は昭和43年度に行なつた「航路の実状調査」および「衝突回避航法の研究」の調査並びに研究成果をベースに航路の実状調査にもとづく衝突回避アルゴリズムを検討することにある。

加えて、本年度においては衝突回避航法の研究中、安全操船法の摘出方法で簡易かつ便利な方法を研究開発したので報告する。

それは、複数隻の相手船に対し、衝突回避可能な安全針路速力範囲を統一的に求め得るものである。さらに本法は相手船針路を通過時において舵通過可能な操船法であることも容易に判別するものである。

なお、上述の新しい安全操船法の摘出方法の実施方式について、日立造船株式会社と日本造船研究協会は連名にてその特許を出願している。

3.1.2. 航路の実状調査による一般的傾向および本研究への導入

衝突予防システムの開発にあたり、システムとしてそなうべき機能を求めるため、そのシステムが作動する実際の場の実状を調査し、その一般的傾向をみい出すものである。

実状調査をした航路および内容は以下のとおりである。

(1) ペルシャ湾航路行合船調査

日章丸 第42次航で調査

自船より10SM以内の他船を導入

(2) 濱戸内海での行合船調査

神鈴丸 深江丸で調査

(3) 衝突事故例よりみた衝突初認、角度、距離等について

海難審判官裁決録

(4) 外洋航路における行合い関係、出会い正横距離の調査

丁抹丸、すぺいん丸、八州川丸、利根川丸

以上の調査並びに報告資料により統計的に整理した結果、一船的な傾向がみられたのでこれを本研究成果に反映させるものである。

以下に昨年度、報告した「航路の実状調査」の調査結果にもとづき本研究へ導入する際の取扱いおよび判断について項目を追つて述べる。

(1) 海上衝突予防法との関連

現行の予防法では避航義務の生ずる時点は明示されず、専ら、船員の常務による判断に委ねられ、文言的には「十分余裕のある時期」とされている。具体的には、一般大型船の舷灯の光達距離が2浬以上とされているため「2浬」説がその大宗を占めてきた。

そして、予防法の各々の衝突状況に対する航法はおおよそこの時点から効力を発するものとされている。

ところが本研究は、「衝突のおそれ」が生じないような方法を考察しようとするものであるから、同法の範囲外にあることを明示しなければならない反面、海上衝突予防法に規定される見合関係が、遠距離または時間的に相当余裕のある時期においても判定されなければならない。

以上のことから、本研究への反映として最接近安全距離Min CPAを2浬と設定し、かつ、航法においても現行の予防法の見合い関係を生かし、その航法に準拠するものとした。

これにより昨年度、問題点としていた海上衝突予防法の抜本的見直しを行ない遠隔距離回避においての両船協調回避

に矛盾のない法則を一応確立することになる。

(2) 主要航路の行会船調査との関連

大洋航行中ある船が他船と出会い状況は、北太平洋航路とペルシャ湾航路とでは航路の特殊性によりかなり大きな差がある。

すなわち、北太平洋航路では他船と接近する機会は意外に少なく出会い間隔は通常、日の単位であり、複数隻の他船と接近することも操業中の漁船群以外にはまずない。

一方、ペルシャ湾航路は他船に接近する機会が多く、平均出会い間隔は約1時間で避航する場合も多い。大型タンカーは大洋航行中ほど1.5時間に1回避航し、その変針角は5°の倍数で行なわれている。また、避航動作開始距離は4～5マイル前方である。

以上の主要航路における船舶の行き合い見合い関係、避航動作に関する実態調査の一般的傾向から本研究への反映として次のようなことがいえる。一般に大洋航路といつても航路の特殊性により状況が異なるがハードウェアの追跡対象船舶は約5隻で十分と思われる。行会関係は反航状況が全体の9割を占めているので、状況判定の際一層厳密な検討が必要である。また、正横距離累積頻度の調査結果から正横距離2マイルで50%がカバーされることがわかつたので、前項の $\text{Min CPA} = 2^{\text{SM}}$ 設定は妥当な値と思われる。

本調査では初認10SM、避航動作開始距離4～6SMであるが本研究の思想からすれば幾分小さいと考えられるので、初認(レーダーレンジ)15SMにて極力早期に衝突回避動作を取るべきものとする。

避航変針角は一応5°の倍数を前提としたものとする。したがつて実行する場合は恐らく、5°の変針を行なつて一定時間経過後、再度安全針路速力範囲をディスプレイし、必要とあれば順次、変針するものとなろう。

他に主要航路の実情調査を行なつたのは西アフリカ航路、東南アジア航路である。西アフリカ航路はかなりの船舶と出会い、平均出会い間隔は420～650分で本船が避航したケースは全体の約一割に達する。

東南アジア航路はかなりのタンカーと遭遇し、全体の平均出会い間隔は約130分である。本船の避航状況は、相手船発見距離が10～15マイル、避航開始距離がほど5マイル、変針角が右舷約5°前后であつて出会い状況はすべて反航である。また、本船が避航したケースは全体の約6%である。

(3) 濑戸内海での行会船調査との関連

システムとしてそなうべき機能を求めるため、そのシステムが作動する実際の場の実状を調査したのであるが、瀬戸内海での行会船調査結果をそのまま本研究へ反映させることは非常に危険性があり不適当と思われる。すなわち本研究は一応、広海域を対象としているのに比較して、瀬戸内海航路のごとき狭海域においては行会回数は格段に多く、近接して通過しており、大洋中の避航とは全く様相を異にしており、自動的な避航が行なえるか疑問である。

しかしながら、本研究の対象海域を広海域から狭海域に進展させた場合を考慮して瀬戸内海での行会船調査結果の一般的傾向を述べてみる。

瀬戸内海航路における出会い船舶は多種多様で500t前后が最も多く、行会関係は大洋航行中の場合と同様、反航が7割以上占めている。また、避航関係をみれば本船が避航したケースは全出会い船舶の1割に満たないのが実状である。このことは、平均正横距離が750mと非常に小さいことからも容易に想像できる。したがつて内海における Min CPA の設定にあたつてはこの辺のデータより定めなければならない。また、平均出会い間隔が5分前后というかなり緊迫の連続であるから必然的に大きな Min CPA はとれないしあつ Min CPA の設定については全くのところ定め難い。

さらに、避航動作開始距離に至つては1マイルを大きく割つている。それでも変針角は5～10°がほとんどで、正横通過時の両船間隔が50m以下といった場合もある。これらはほとんど相手船が50t前后の小型船といった状況において見られる。

しかし、本研究へ反映させる価値および必要のあるものについて、その指針なり考慮すべきことについて述べれば

次のことである。

- (a) 相手船が複数隻の場合、自船の避航がどの相手船に對して行なうものか明確にする必要がある。
- (b) 漁船群に対する正横距離は小さくとつている。
- (c) 相手船の大きさおよび速度により、注意度の変化がみられ、CPA, τ CPA を可変としなければならない。
- (d) 行会い関係で横切り船について、かなり神経を使つているのか現状なので予防法に準拠するか尾通過をとるかで
きるだけ、安全操船を採用するルーチンにする。
- (e) 操船後の危険範囲の変化割合が判ると便利が多い。
- (f) 正横距離を1つの目安として、両船の傾度の接近を避けるため対行占有帯を設け、約5 L程度とする。

(4) 衝突事故例の調査との関連

本旨の航路の実状調査とは若干趣きを異にするが、約100件の衝突事故例について統計的解析を行ない、衝突以前の状況、初認距離、衝突状況および海難発生場所等につき、一般的傾向をみつけ本研究の一助とする。

まず、衝突のおそれのある状況にあつた見合関係は横切り関係が全体の64%を占めている。このことから現行予防法の遵守と遠距離回避における場合の予防法の拡大解釈の明確化が切に望まれる所以でもある。横切り関係にあつても、相手船を1～3点に見る場合の事故が最も多く、一つには出会い関係との区別が判然としないことがあると思われる。本研究ではこれらの衝突状況の判断にあたつては、明確に数値でもつて区別することにしている。

初認距離においては衝突事故例の性質上、約1マイル前后が圧倒的に多い。したがつて本研究で扱うレーダレンジ、Min CPA 等に関連づけるには甚だ疑問で参考としがたい。次に海難発生場所については、外海での事故は15%であり、少なくとも本研究の必要性のあることが判つた。

3.1.3. 航路の実状調査にもとづく、衝突回避航法の概要

本研究の各論理の詳細については4.3年度報告書に述べているが一部変更した論理もあるので、それを含め、航路の実情調査の一般的傾向を織りこんだ全般的な流れについて述べる。

すなわち、本研究は図3.1-1に示すごとく次のような各論理で構成されている。

- (1) 相手船の自動追跡と位置情報の摘出部
- (2) 危険船判定論理
- (3) 衝突状況判定論理
- (4) 危険船の優先順序判定論理
- (5) 安全操船法の摘出論理（今年度開発した論理）
- (6) 操船方向判定論理
- (7) 操船法の選択論理
- (8) 原針路復帰試行操船論理

以下にこれら各論理の必要性およびその内容の概略について説明するが基礎となる考え方は昨年度と何ら変つていな
い。

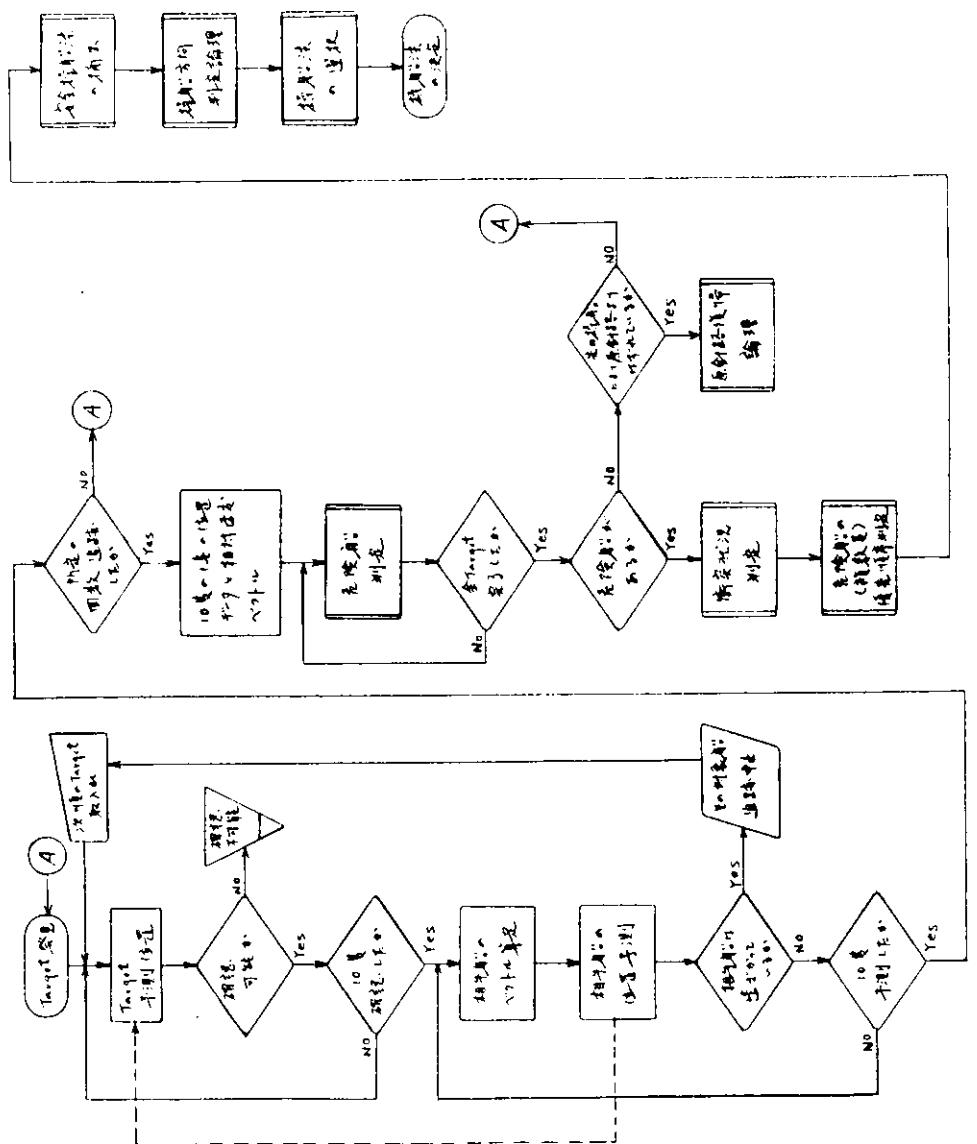
(1) 相手船の自動追跡と位置情報の摘出部

この部分はハードウェアと密接な関連を持つものであり、機能として、5隻程度（昨年は10隻）の相手船を自動追跡し、定時間隔をあいて相手船の位置（自船よりの見通し角と距離）情報を摘出する。

または相手船の一時刻の位置と相対ベクトルの摘出でもかまわない。機器の性能的な問題はあるがレーダレンジは15マイルとする。

(2) 危険船判定論理

前項で得られた相手船の2点の位置情報と時間間隔または1点の位置情報と相対ベクトルを用いて衝突三角形の演算を行ない、両船の最接近距離（CPA）、時間（ τ CPA）を求め、予め一定の基準値で定められた最接近安全距離



(社) 日本建築研究所
鉄筋の荷重挙動と制御方式の研究

整理番号

S.R.10.6 破壊システム 分科会

図3.1-1 衝撃回連法フローチャート

題名

プログラム

年月日

($\text{Min CPA} = 2^{\text{SM}}$) 時間と比較し、衝突の危険性を判定する。

(3) 衝突状況判定論理

危険船判定論理によつて危険と判定された相手船に対し、そのまま両船が針路、速力を保持すれば、将来、海上衝突予防法の規定距離範囲内に入つた場合、出会い、追越し、横切り状況の何れの衝突状況に當りし、かつ自船が針路速力保持義務船か避航義務船かの未来予測をするものである。なお、対航状況において最接近距離(零でない)が、最接近安全距離以下であつても一般に接触する恐れはないのであるが極度の接近を避けるため、対行占有帯を設けてゐる。

以上は本研究の基本方針が現行の衝突予防法(両船の接近距離が十分近く肉眼で相手船の姿勢等を確認できる時期から効力を発生するもの)の範囲外を対象としていることと矛盾するが各論理において予防法を拡大解釈してこれに準拠する立場をとつてゐる。

(4) 危険船(複数隻)の優先順序判定論理

危険船判定論理で危険船が複数隻存在する場合、如何に回避するか非常に困難である。実際、操縦者達の意見によれば、複数隻の危険船の中から、最危険船を選択しますこの船から回避する手段がとられている。したがつて本論理でもその方法を応用し、次のような判定で優先度をつけた。

- (a) 最接近時間の小さい順序
- (b) 離間距離の小さい順序
- (c) 速力の早い順序
- (d) 最接近距離の小さい順序

これにより、当面の衝突回避をどの船を対象にして行なうべきか判定するものである。

(5) 安全操船法の摘出論理

本論理ではすべての危険船について安全に回避しうる針路があるかどうか求めるもので、その方法は今年度開発した衝突回避可能な安全針路速力範囲を統一的に求めるものである。ディスプレイはレーダの CRT 面に示す。

(6) 操船方向判定論理

安全操船法の摘出論理で求めた安全針路範囲は一般に左、右舷同時に存在しうるものである。そのいずれを選ぶかはその針路が最危険船に対して、

- (a) 出会い状況に対しては衝突予防法の規定に準拠した操縦方向を選択
- (b) 横切り状況に対しては可能なかぎり相手船の船尾を通過する操縦方向とする。
- (c) 上記いずれにても処置不能なものは常識的な回避操船すなわち相手船から遠ざかる方向を選択する。

本論理は以上のような過程をへて前項の論理で存在する安全針路の中から望ましい操縦方向を求めるものである。

(7) 操船法の選択論理

本論理は、安全操船法の摘出論理、操船方向判定論理の結果および現針路が原針路(計画航行針路)よりずれてい る場合の復帰の必要性等の総合判断より最終的に安全操船法(複数)の内、いずれを選択採用するかを決定するものである。

(8) 原針路復帰試行操船論理

本研究では相手船を連続的に回避して行く時、一定方向へ原針路から大幅にずれる懸念があるのでこれを防止するため當時、計画航行針路と現針路を比較し、衝突危険船がない場合、計画航行針路に復帰できるよう本論理を設けて いる。

本論理を用いることで大洋航行中、所定の航路に航路修正されることになる。

3.1.4. 安全操船法の摘出論理

昨年度研究開発した論理は試行操船法といひ完全なトライアンドエラー方式によつて安全な操船法を求めていたが、

今年度、研究開発した本論理はこれをさらに発展させ、理論的な方法で、衝突回避可能な安全針路速力範囲を統一的に求めようとするものである。

本論理は自船が回避する場合の操船方法をみつけるもので、判断基準として最接近時の両船離間距離が最接近安全距離 Min CPA を保ち、そして船通過可能な安全針路速力範囲を表示装置を介してレーダーの CRT面上にグラフィカルにディスプレイし、船舶運航者に簡易かつ便利な判断資料を提供するものである。

本論理を要約すれば次のようのことである。衝突危険となる自船速度ベクトル範囲を各相手船ごとにもとる、安全操船法の選択については操船者の意志決定に依存する。ただし、表示方法は図 3.1-2 に示すように操船者が 1 目みて判断できるものとした。

以下、本論理の原理、表示装置、等について述べる。

なお、本章で説明する方式を衝突予防装置の機器に応用する方法について日立造船株式会社と日本造船研究協会連名にて特許出願中である。

(1) 図式表示法の原理

本法の原理は以下に述べる衝突三角形の論理を基礎に衝突三角形の写像を応用したものである。

図 3.1-3 に示すように自船および相手船は各自の速度ベクトルで進行している。今自船の動きを 0 点に固定すれば、相手船の見掛け上の動きは相対速度ベクトルで表わし得る。この相対速度ベクトルの延長線上に自船位置から垂線をおろせば、この長さが最接近距離 CPA である。

一般に CPA が船舶の安全航行上、予め定められた最接近安全距離 Min CPA 以上であれば衝突の危険性なしと判断している。このことから衝突の危険性を避けるためには、商船が最接近時において Min CPA 以上の離間距離をもつような操縦法を求めるといい。

以上の考え方に基づき、自船の安全ベルト範囲を求めるものである。

図 3.1-4 に示すように、まず自船位置を中心半径 Min CPA で円を描く。そして相対速度ベクトルの延長線がこの円の接線となるようにする。今、相手船速度ベクトルが一定でまた、自船速度が不変とすれば図に示すようなベクトル三角形が構成される。

この時の自船速度ベクトルの内、丁度 Min CPA で相手船を回避できるものが 2 ケース存在する。なお、自船速度ベクトルがこの二方向の範囲内のベクトルをもつものであれば、その CPA は Min CPA 以下である。この二方向の範囲内とは後述の自船速度ベクトルの危険範囲のことである。したがつて、自船の安全ベクトル範囲を求めることはとりもなおさず自船の速度ベクトルの危険範囲を得ることである。

図 3.1-5 を参照し、以下に危険範囲を求める一連の手法を述べる。

- 相対座標上において自船と相手船の位置を定置する。
- 自船位置を中心半径 Min CPA を半径に円を描く。
- 相手船速度ベクトルを自船位置に平行移動する。
- 相手船位置より(矢頭で描いた円に外接する 2 本の直線を引く。

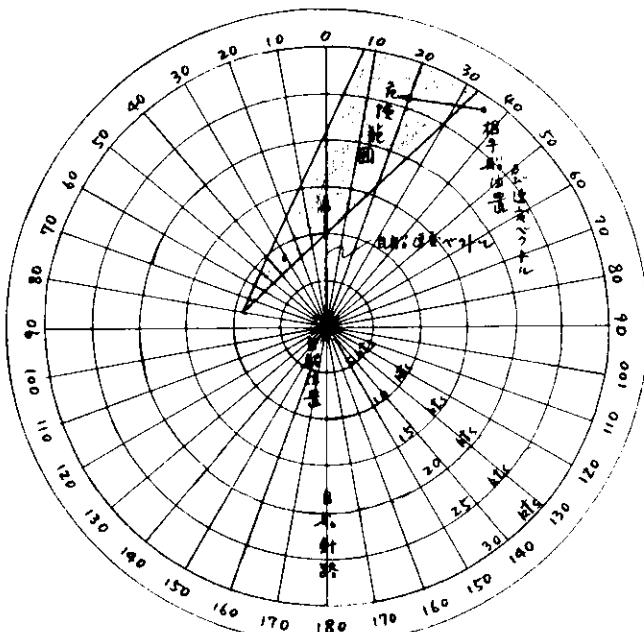


図 3.1-2

(c) (d)項のベクトルの先端を基点として(e)項の2本の直線に平行な各々の直線を引く。

以上により描かれた直線は各々、衝突危険針路速力(自船の速度ベクトル)の限界線であつて、これらの直線で挟まれた部分が自船の速度ベクトルの危険範囲である。

図3.1-6は本法を証明するための原理図である。

相手船位置における $\triangle OTA$ と $\triangle OTB$ 、自船位置における $\triangle O'T'A$ と $\triangle O'T'B'$ は各々、ベクトル三角形を構成している。また、直線①と①'、②と②'は平行である。そして作図法から解説して $\triangle OTA$ と $\triangle O'T'B'$ 、 $\triangle OTB$ と $\triangle O'T'A$ は各々、合同である。このように衝突三角形の写像の原理を應用したものである。

なお、危険範囲とは自船の速度ベクトルの先端がこの範囲内にあれば、その針路速力は相手船と衝突する危険があることを意味する。

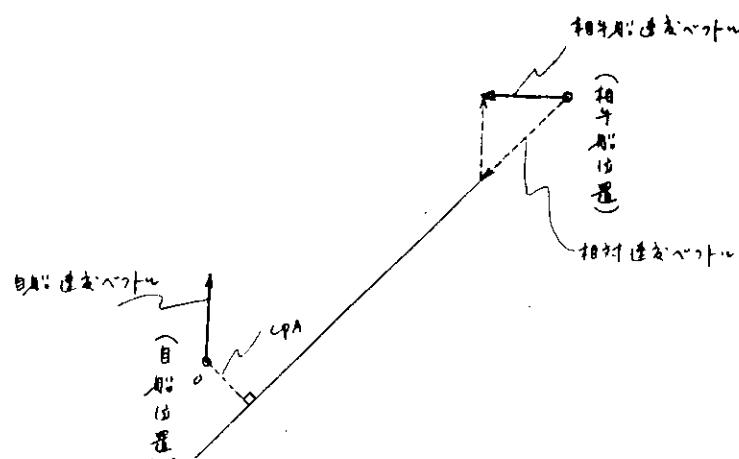


図3.1-3

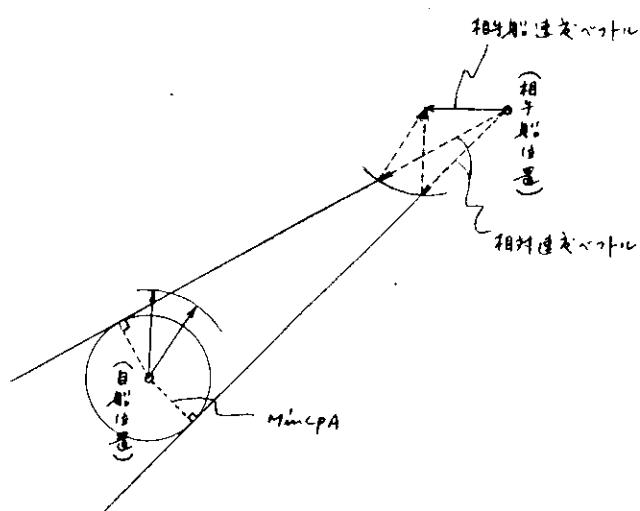


図3.1-4

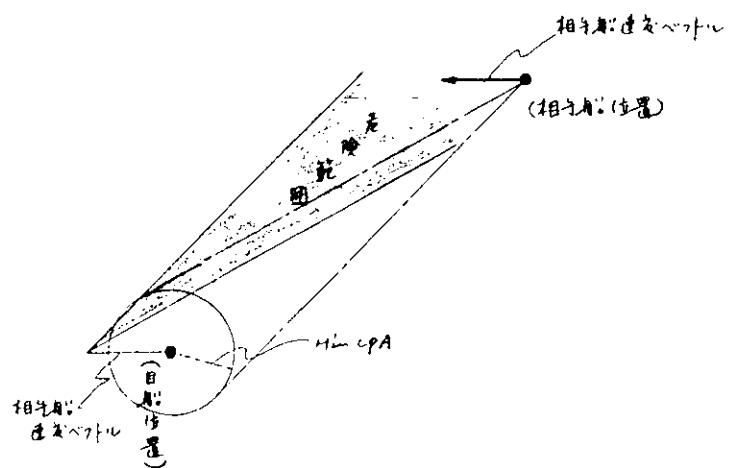


図 3.1-5

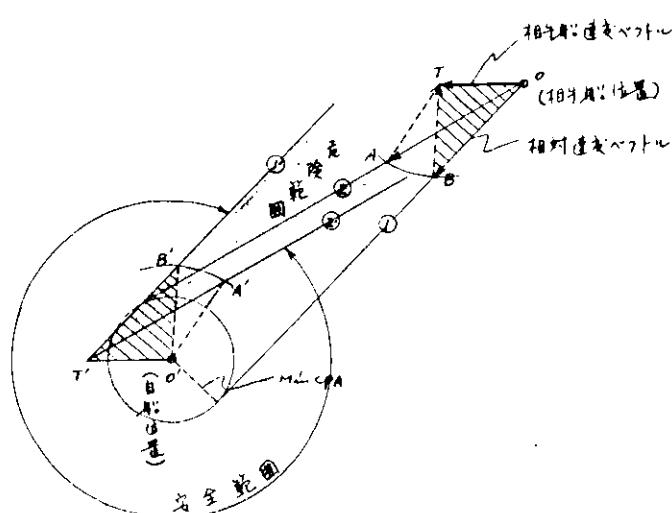


図 3.1-6

(2) 表示装置

本論理の演算結果をディスプレイするレーダースコープまたは類似の装置のCRT面は図 3.1-2 に示している。本図を詳述すれば

- 相対運動表示で取り扱う。
- 自船位置を CRT 面の中心にとる。
- 自船航路方向を基線とし、CRT 面の中心から放射状に角度マーカを表示する。
- 同心円目盛で速力マーカを表示し、自船速度ベクトルを投影する。
- 自船位置に平行移動した相手船速度ベクトルの先端を基点として、これらの直線で挟まれた部分が危険範囲である。

また、この方式による表示では次のような大きな利点がある。

- 自船が現状において危険状況下にあるか否か一目で判断できる。
- 危険状況下にあれば自船の操船上の対策が一目で立てられる。

本論理によれば複数隻の相手船に対する危険範囲も表示可能であり、図 3.1-7 に 2 隻の相手船に対する危険範囲を表示している。

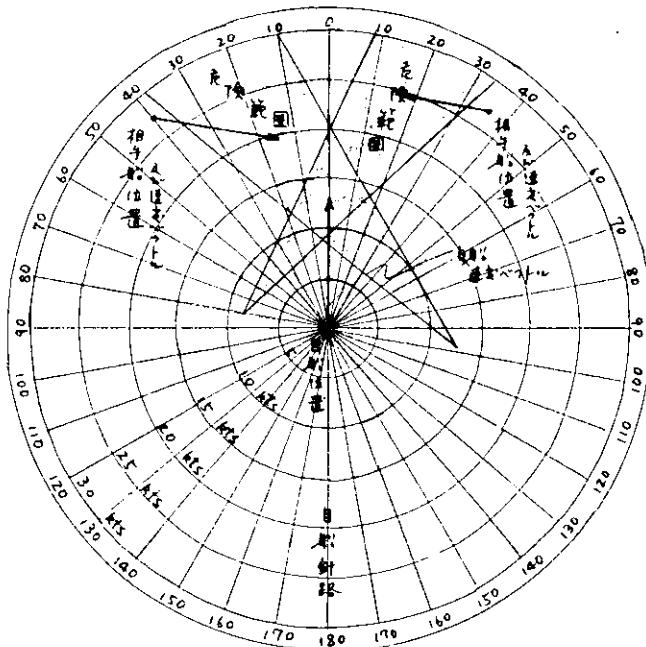


図 3.1-7

(3) 自船および相手船からみた危険範囲について

今まで、一方的に自船側からみた危険範囲について述べてきたが、相手船側からみた危険範囲について若干の検討を加えて見た。

図 3.1-8 に相手船側からみた危険範囲が描かれているが図上の同時刻の自船および相手船の危険範囲の開き角は作図法から解説して等しく、相方のもつ危険範囲は同じ大きさで互いに向かっている。

また、時間が経過し、両船の離間距離が減少するにつれて、衝突回避に要する変針角は増加する。このことからわずかな変針で衝突回避を望むならば、離間距離の大きい内に実施すればよいことになる。

今、本図のごとき遭遇状況においては、現行の海上衝突予防法では相手船側が保持義務となり回避動作を必要としないが、もし相手船が本船と同じく衝突の危険を感じて操船をした場合どうなるかを検討したのが図 3.1-9 である。

この結果から判るとおり、相手船がいずれの方向の針路をとつても安全な自船の操船法を見いだすことはなかなか難しい問題である。

図 3.1-10 は、両船の危険範囲の開き角および向きについて一層厳密に検討したものである。

また、複数隻の相手船が存在する場合、ある危険範囲がどの船に対応するものかについての明確な判断は次のことである。すなわち、図 3.1-11～14 に示すように一般に危険範囲の開き角の三等分線上に、その危険範囲に該当する相手船の速度ベクトルの先端が存在するものである。

(4) 危険範囲の明確な判断

(a) レーダレンジ最外端で相手船を発見した場合

レーダ最外端の相手船に対する自船からみた危険範囲は従来と同様に容易に描き得る。この場合の危険範囲の開き角は至近距離におけるそれよりも小さく、回避する場合の変針角が少なくて済む。たゞ表示装置の CRT 面上に相手船速度ベクトルおよび危険範囲の全部が映像されない現象が生じる。

この場合の判断は次のことである。(図 3.1-15 参照)

(1) 相手船速度ベクトルの大きさから危険範囲の基点を知る。

(2) " の先端が該当危険範囲の中心線上にあることを知る。

以上のことによつてなおかつ判断不可能な場合または、一層明確に識別する必要がある場合は危険範囲を着色す

る方法が残されている。

(4) 速度ベクトルおよび距離 So & 1.5 の拡大について

図 3.1-1.6 に示すように速度ベクトルの Scale を変化させても危険範囲の大きさ、開き角は一定で直進避航方向は変わらない。また、距離 So & 1.5 を変化させても同様なことがわかる。

これらの操作は一般に両船間距離が小さい場合または相手船が高速の場合に衝突危険性、状況をより詳しく確認する時に用いられるものであろう。

したがつて機器を開発し製品化する時はこの

(1) 相手船が A 操船をとった場合

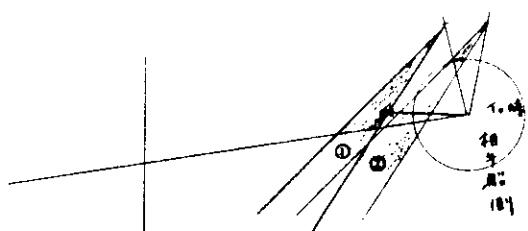


図 3.1-1
相手船の操船
①：危険
②：安全

(2) 相手船が B 操船をとった場合

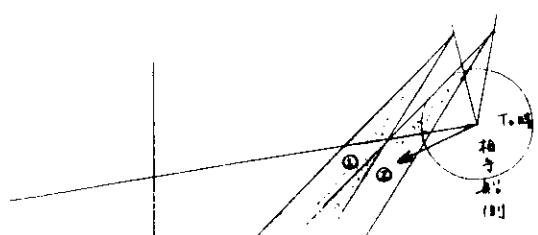


図 3.1-2
相手船の操船
①：安全
②：危険

図 3.1-9

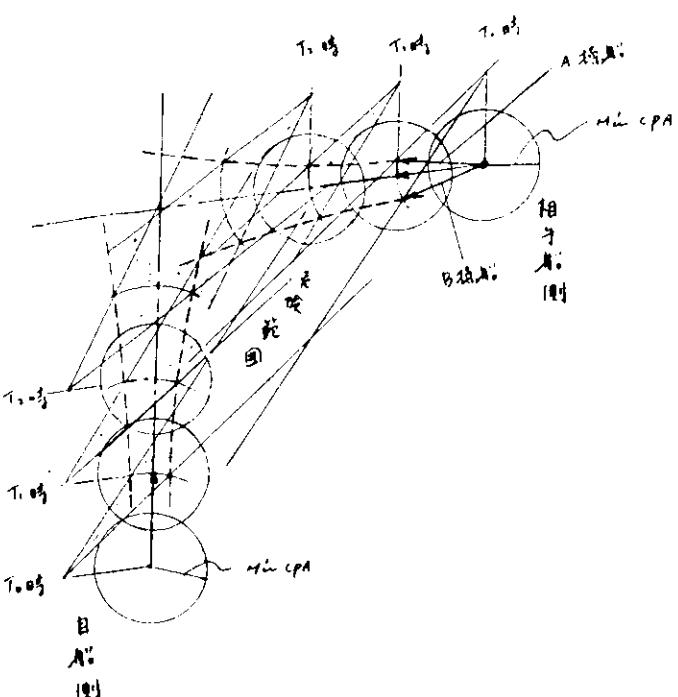


図 3.1-8

種の機能を装備しておると非常に便利である。

(5) 衝突予防法(航跡過を含む)に準拠した操船

(a) 相手船 1隻についての基本的判断機構

北大西洋等の航路の実情調査によると大洋航行中、複数隻の相手船と同時に出会うことは珍しくないところから、相手船 1隻について海上衝突予防法(航跡過を含む)に準拠した直進操船を行なう場合の基本的判断機構について検討する。

統一的解法による安全操船法撤出論理では衝突危険範囲は 2 条の衝突危険距離運行限界線で構成されている。したがつて安全な操船法は一概にその範囲外の針路運行をもつ速度ベクトルであり数ケース存在する。

今これら安全操船方法の中、図 3.1-1.7 に示すように凌駆角ができるだけ少なく、かつ合法的な 1 ケースの操船法を選択しなければならない。

まお、予防法等による直進操船判断とは別に相手船の航跡を通過し安全にかわし得る方向も考慮するものとすれば、以下のごとく容易な判断で選択しうる。

すなわち、昨年度報告している駆逐艦安全範囲についてであるが次のようなことである。

「船頭の遭遇状況において、自船が相手船の過去未來の針路と直交する針路にあると假定した場合、相手船の航跡を右(左)に保つような相対位置にある時は自船の速度ベ

クトル危険範囲の外の右(左)側が船尾通過安全範囲であり、相手船の船尾を右(左)に見る場合は、自船の速度ベクトル危険範囲の外の左(右)が船尾通過安全範囲である。」

この船尾通過の定理を安全操船法の摘要論理に導入したものが図3.1-18に示すものである。したがつて以下の安全操船法の摘要ディスプレイ装置においてすべてのことといえる。

(b) 最危険船から順次、回避する場合

前項で相手船1隻(最危険船)に対する回避操船方法を検討したが、ここでは複数隻の相手船を時間ベースで逐次回避する場合について述べる。

$$BC = B'C'$$

$$M \rightarrow PA (-\infty)$$

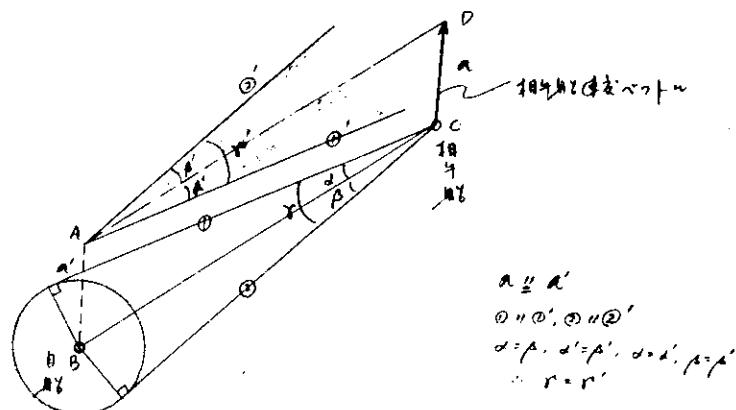
1) 自船からみた危険範囲

まず基本的なことは、

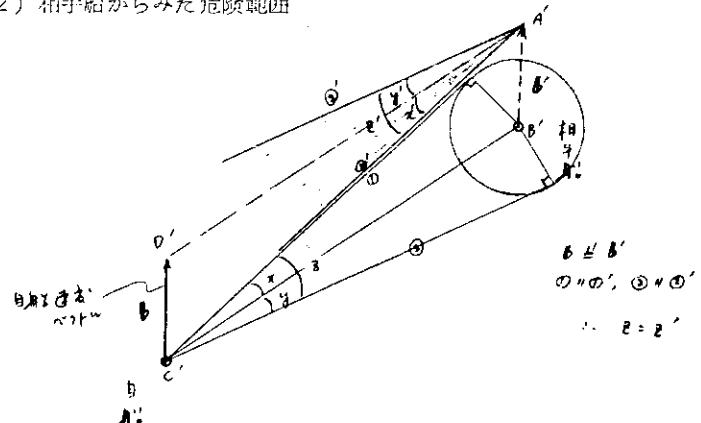
- (1) 時間ベースで相手船を回避する。
- (2) 自船速力は一定
- (3) 合法的(海上衝突予防法)な回避操船法をとる。

これをベースにした例を図3.1-19に示す。本図からわかるように時刻4で他船②、③を回避できる操船法を取らなければ現に安全操船であつたものが時刻8においてまた、緊迫した状況となる可能性がある。このことから、複数隻の相手船に対して逐次回避する方法は極めて危険を伴う。

しかしながら、大洋航行中においては滅多に複数隻の相手船に遭遇することはないので、恐らく上述のような逐次回避操船がとられるものと思われる。



2) 相手船からみた危険範囲



(結論) イ 危険範囲の開き角 $\gamma' = z'$

ロ 危険範囲の向きはその開き角の二等分線上に他船速度ベクトルの先端が存在する方向

図3.1-19 危険範囲の開き角および向き

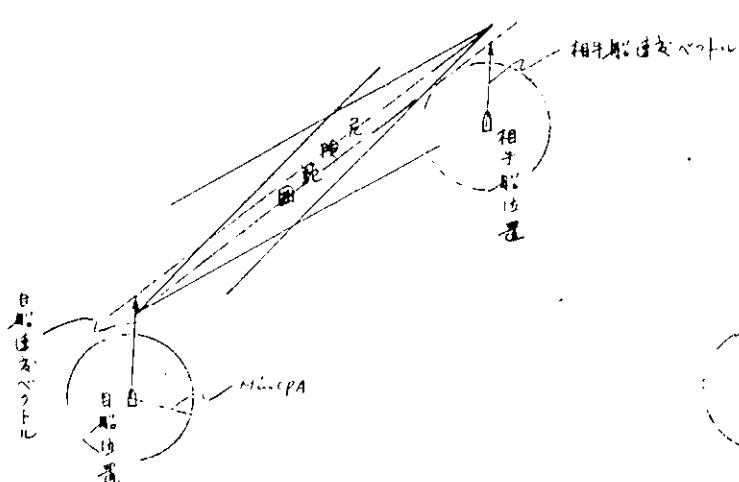


図 3.1-1.1

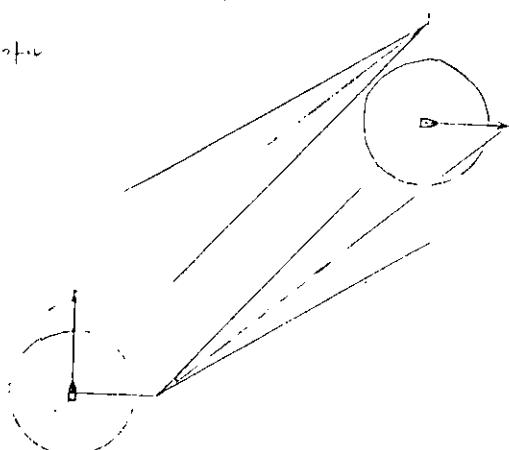


図 3.1-1.2

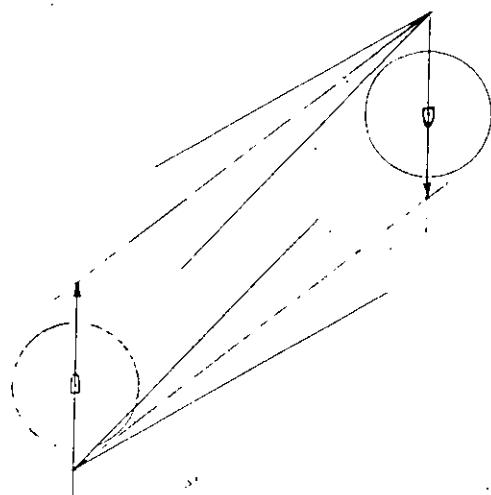


図 3.1-1.3

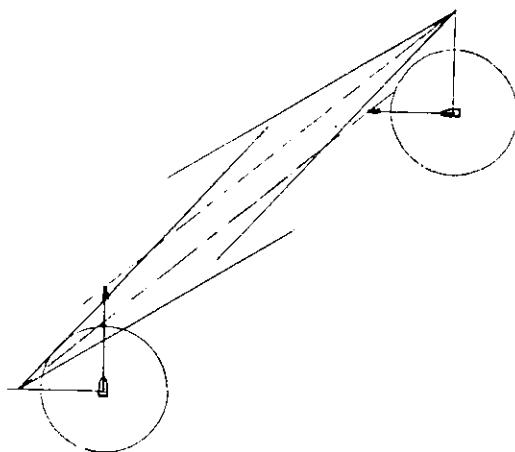


図 3.1-1.4

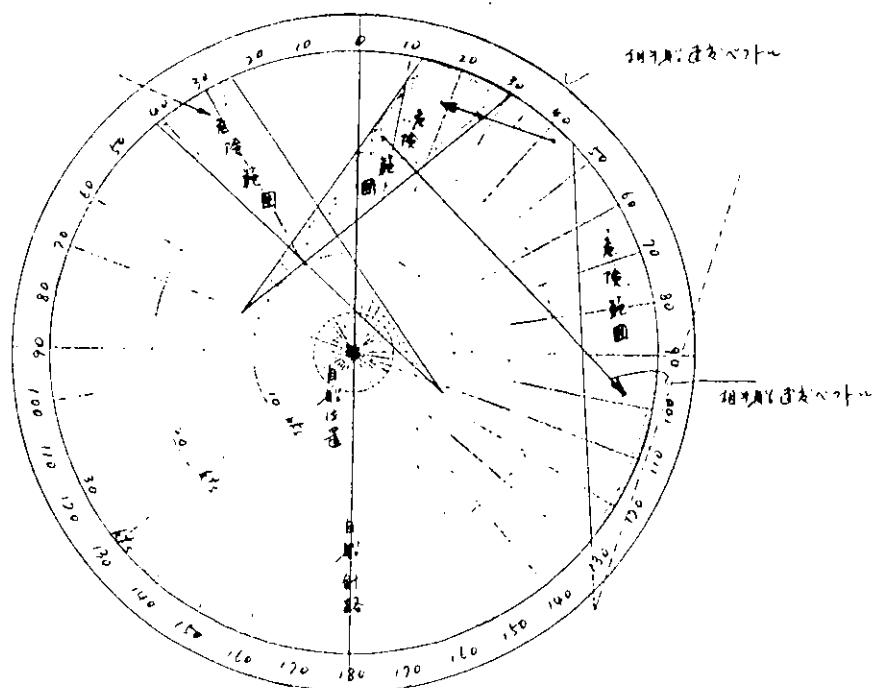
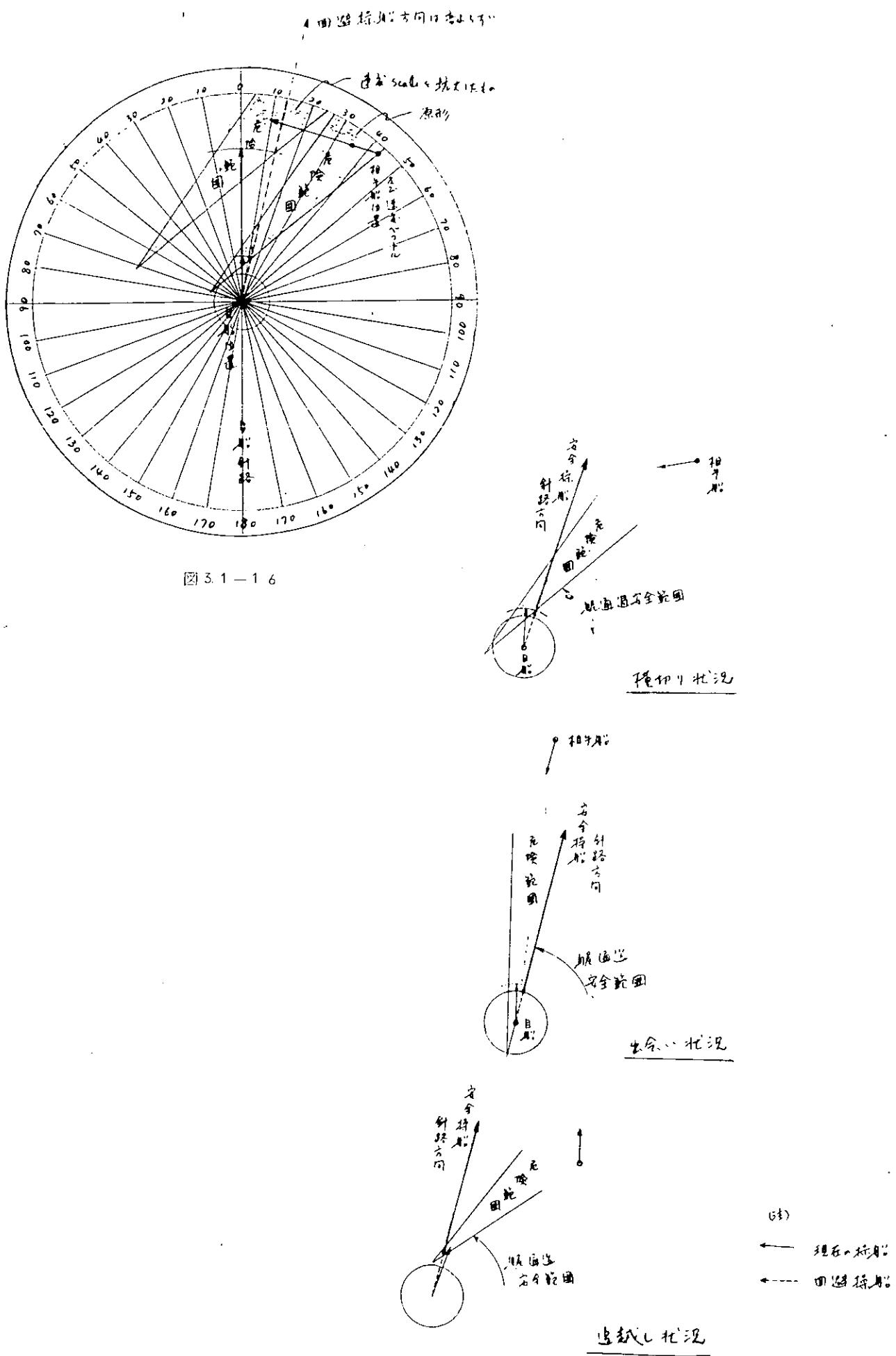
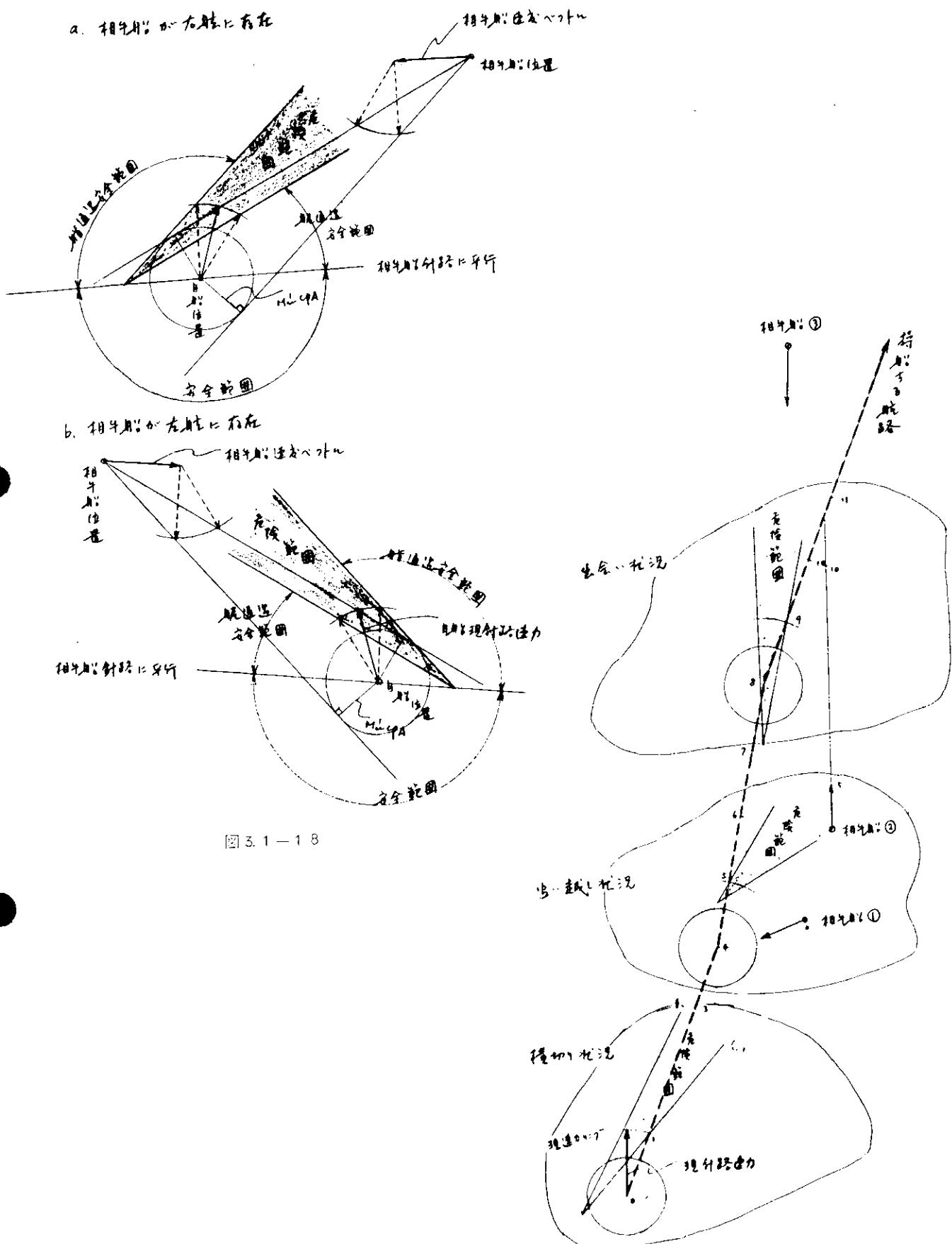


図 3.1-1.5





3.1.5 安全操船法摘出のプログラミング

本節においては安全操船法摘出のプログラムの内容について述べる。

また、昨年度開発した危険判定、衝突状況判定のプログラムと結合させた衝突回避航法全体のプログラムによる計算結果の「ノ形式についても述べる。

安全操船法の摘出とは、衝突危険となる自船速度ベクトル範囲を各相手船ごとに求め、表示装置を介してレーダのC.R.T面上にグラフィカルディスプレイするものである。今回これを CALCOOMP 作図機を用い紙面上に表示した。

(1) 入出力データ

(初期入力)

- R_1 : 第2観測時の自船と相手船の距離
- θ_1 : \diamond N方向から相手船への見通し角
- V_s : 自船速力
- θ_b : 相手船針路角
- V_b : \diamond 速力
- Min CPA : 最接近安全距離

(出力、グラフィカルディスプレイ)

危険円 (Min CPA)

自船速度ベクトル

相手船位置および速度ベクトル

衝突危険範囲

(2) 摘出順序

基本的な安全操船法の摘出順序は図 3.1-20 に示すとおりである。

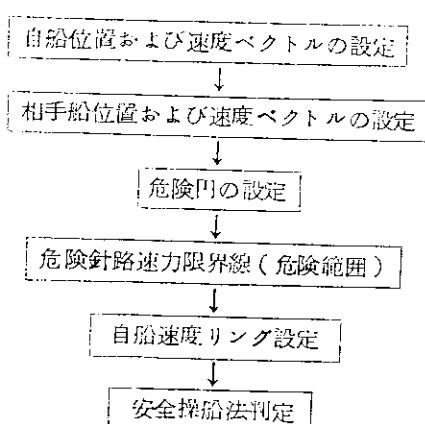


図 3.1-20

(3) 表示装置の見方(図 3.1-21 参照)

安全操船法の演算結果をディスプレイするレーダスコープまたは類似の装置のC.R.T面に表示するものであるが、その見方は次のとおりである。

- (a) C.R.T面の中心から矢印が出ている自船速力を速力マーカより読みとる。
- (b) C.R.T面の任意の位置における相手船の位置は距離マーカより、そして速力は速力マーカより読みとる。かつ自船からみた相手船針路は自船針路方向を基点とした角度マーカより読む。
- (c) 投影された危険範囲に自船速度ベクトルの先端が属しているか判断する。
- (d) そして自船速度ベクトルの先端が危険範囲内にあれば、自船速力リング上、他船との出会い状況を勘案し、左右

交差させ危険範囲からはずれる角度を読みとる。

以上の目視作業により予防法に見合つた安全操船法を容易に摘出することが可能である。

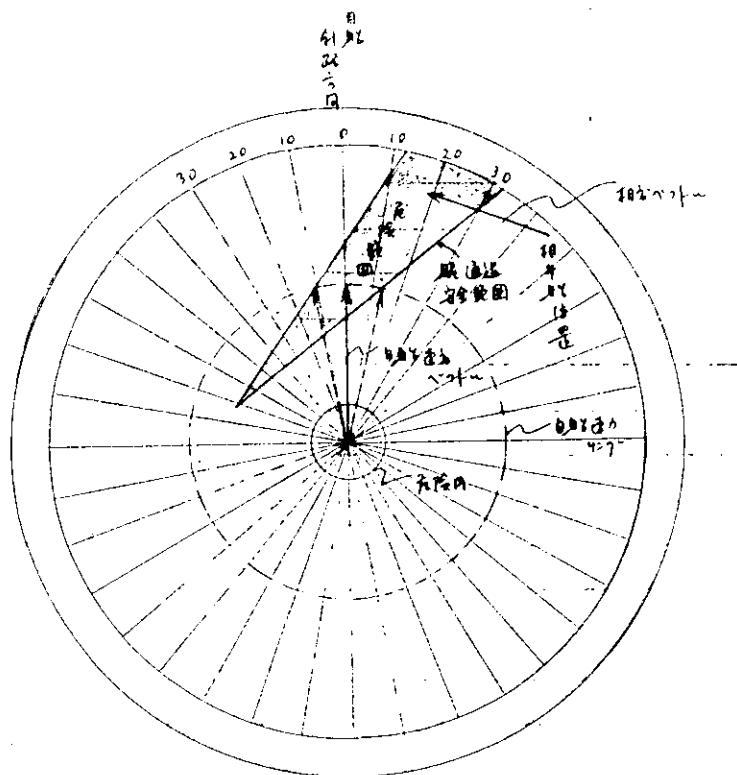


図 3.1-2-1

(1) I/O リスト

(インプットデータ)		(アウトプットデータ)	
TIME : <input type="text"/>	TIME : <input type="text"/>	VR(KNOTS) = <input type="text"/>	
R0 = <input type="text"/> M	R1 = <input type="text"/> M	PHY(DEGREE) = <input type="text"/>	
SITA0(DEGREE) = <input type="text"/>	SITA1(DEGREE) = <input type="text"/>	PHYR(DEGREE) = <input type="text"/>	
SITAS(DEGREE) = <input type="text"/>		CPA(M) = <input type="text"/>	
VS(KNOTS) = <input type="text"/>			
CPA(LIMIT) = <input type="text"/> M			
TAUCPA(LIMIT) = <input type="text"/>			
		TAUCPA(MINUTE) = <input type="text"/> ← CPA < MIN CPA	
			← 紧急操作、警告
		SHITAB(DEGREE) = <input type="text"/>	
		VB(KNOT) = <input type="text"/>	
		COLLISION ANGLE (DEGREE) = <input type="text"/>	
		THE TARGET IS IN NO. <input type="text"/> SHOGEN	
			↑ 相手船位置
		<input type="text"/> , <input type="text"/>	
		↑ 航行れ先	↑ 航跡判定

図 3.1-2-2 衝突危険および衝突状況の I/O 形式

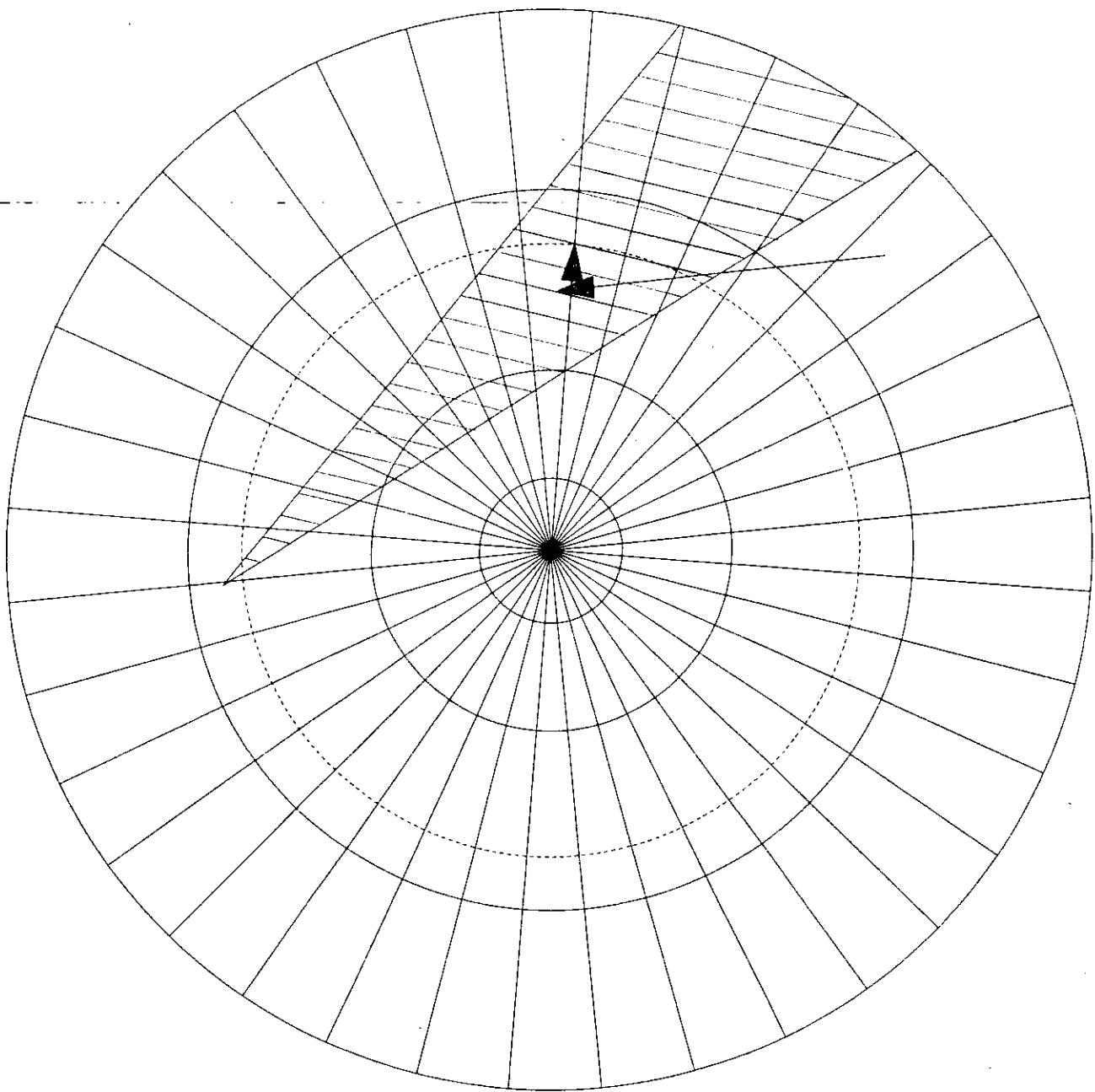


図 3.1-23 安全操縦法のアウトプット形式

3.1.6 衝突事故例による試行

本プログラムを実際起つた衝突事故例をテストケースとして試行したので、参考のため紹介する。

(1) 銀光丸とテキサダ号の事故例

41年11月紀伊水道で衝突したタンカ銀光丸と鉱石運搬船テキサダ号の第1審裁決が神戸地方海難審判所で行なわれ、原因是テキサダ号の一方的な過失によるものと裁決され注目を浴びたので、これをテストケースとして自説にテキサダ号を取り本プログラムに入れた結果、ほど妥当な解を得た。

(a) 銀光丸、テキサダ号の主要目

	銀光丸	テキサダ号
船種	油送船	鉱石運搬船
D W	3,4,318 t	5,9,000 t

	銀光丸	テキサダ号
L × B × D	187.0 × 27.0 × 14.6.0	236.22 × 31.85 × 18.74
速 力	佛か前進の行走	殆んど前進全速力
主機の状態	全速力後進	全速力後進
船橋当直者	船長、一級、三級	三 級
積 荷	廃油 32,216 t	空 船

(b) 当時の状況

と き 昭和41年11月29日 20時5分頃

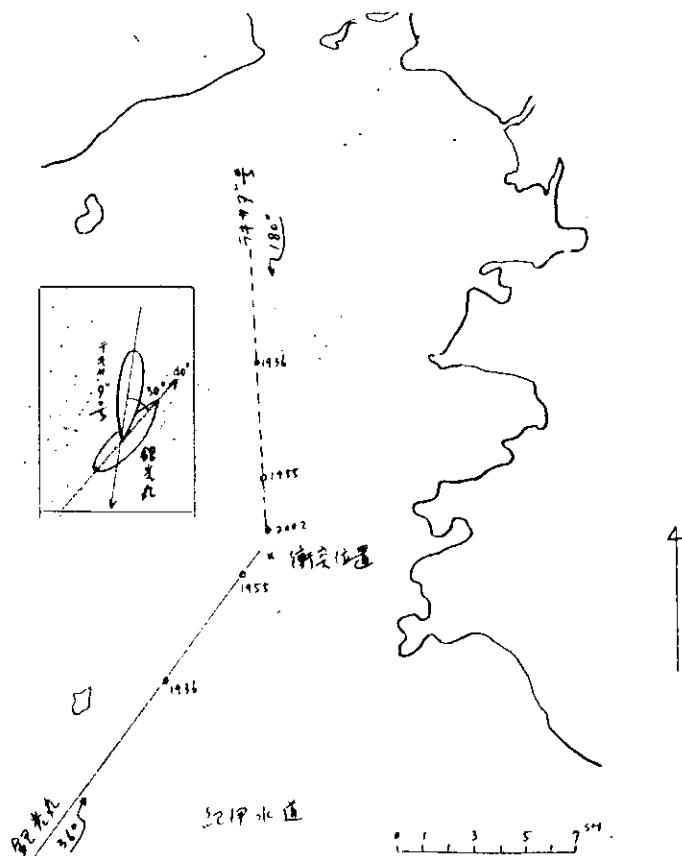
と こ る 日の御崎灯台から307°、6.3海里

天 候 小雨模様視界不良(約2.5海里)

北寄りの和風(約5~7 m/sec)

潮 汐 下げ潮の初期

(c) 衝突までの動き 図3.1-24による。



時刻	銀光丸	テキサダ号
19:36	1-9° 在航、緯度 20°13'N 経度 141°19'W 時180を経て	
19:55	1-9°の時180を経て緯度 20°42'Nに達め機関用意 微速前進(9kt)	銀光丸の時180を在航、緯度 20°42'N 船体横移
20:02		レーダー左舷、緯度 20°15'Nに銀光丸 の時180登場

図3.1-24 衝突までの動き

(2) 本プログラムによるアウトプット

(a) 衝突危険および衝突状況の判断

TIME 19:36	TIME 19:55
RO (M) = 24080	R1 (M) = 7780
SITAO (DEGREE) = 200:00	SITA1 (DEGREE) = 193:00
SITAS (DEGREE) = 180:00	
VS (KNOTS) = 17.00	
MINCPA (M) = 3704	
MINTCPA (MINUTE) = 10	
OCCUPY WIDTH (M) = 1000	
VR (KNOTS) = 27.94	
PHI (DEGREE) = 3:19	
PHIR (DEGREE) = 23:19	
CPA (M) = 1393	
<u>ESTIMATED AS DANGEROUS BY CPA</u>	
TAUCPA (MINUTE) = 9	
<u>IMMEDIATE MANEUVER</u>	
SHTAB (DEGREE) = 51:56	
VB (KNOTS) = 14.04	
COLLISION ANGLE (DEGREE) = 128:03	
<u>THE TARGE IS IN NO. 1 SHOGEN</u>	
<u>CROSS SITUATION AND BURD</u>	

図 3.1-25

(3) 事故例の考察

本研究は広海域を対象とするものであるが、理解を深めるため実例を用いた。以下、本論理が実船に搭載された場合、この事故例では次のような措置がこうぜられる。(図 3.1-25 参照)

- (a) CPA < Min CPA なので警報がなり危険を知らせる。
 - (b) 0 < τCPA < Min τ CPA なので至急操船といり指令が発せられる。少なくともこの 2 点で何らかの操船を余儀なくされる。すなわち危険が緊迫した時、両船は互いに協力動作をとらなければならないことになつてるのでこの時点で至急回避操船をとれば未然に避け得たかもしれない。
 - (c) 次に相手船が第 1 象限にあり横切り関係にあることも表示される。
 - (d) さらに自船が避航義務船であることも明示されている。
- 以上の 4 点から、テキサダ号の過失が判明する。

このように衝突危険および衝突状況が判明した後の回避操船法については図 3.1-26 に示すように相手船との出会い関係、さらには予防法で規定する航法に従い、32.5°右 転すれば回避できることになる。ただし、本例は初認距離が小さいので当然、大きな変針角を必要とする。

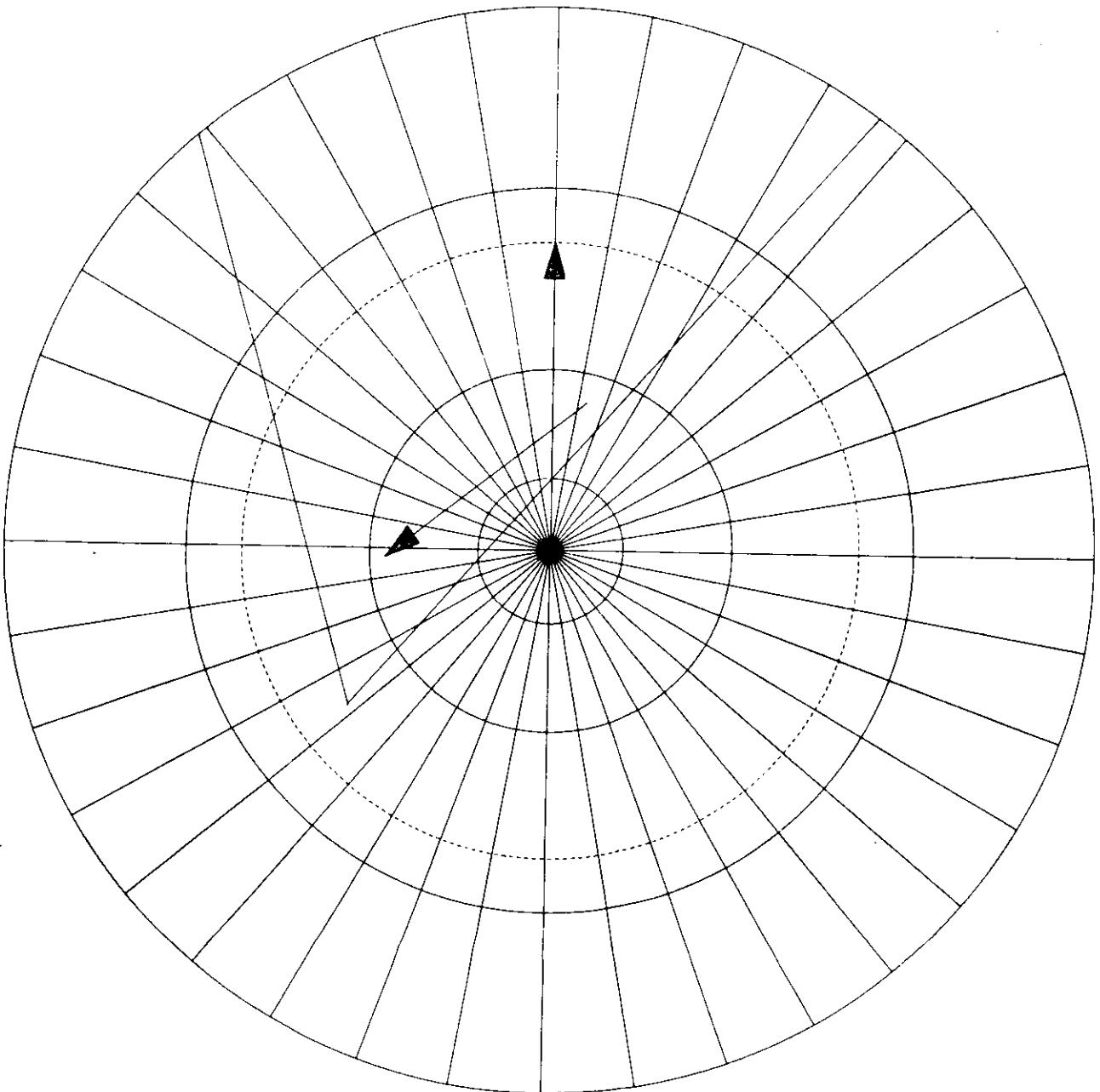


図3.1-2-6 テキサダ号の安全操船法の摘出

3.1.7 結 言

本研究を着手した昨年度に比較して、折られたに「安全操船法の摘出論理」を確立するなど今年度の進歩が見られ併せて衝突予防～回避といつた一連の作業について定量化することが可能となつた。特に今年度開発した安全操船法の摘出については、誰がみても容易に判断できるディスプレイ装置を考案した。

我が国において狭路の実状をもとづいた衝突回避法の論理について総合的に研究が行なわれたのはごく最近のことである。そこには、海運、造船、機器メーカーの広い分野で検討され、漸くにして確立され実用化への道がみられるに至つた。本研究は時代のすう勢に沿へ、超自動化の後制の一端をなすものと思われる。

3.2 衝突回避航法の実用プログラムの作成

3.2.1 ソフトウェアの概要

衝突予防システムのソフトウェアの概要は次のとおりである。

- (1) レーダ情報処理装置から出力される目標の距離と方位のデータ(R, θ)がコンピュータに入力されると、目標の識別、予測位置の算出、自動追尾等を行なう。
- (2) 一定時間(約1分)ごとに衝突危険船の存在の有無を判別し、もし危険のあるときはディスプレイ装置に警報表示(ランプ点灯)する。
- (3) 目標の方位(BEARING)、距離(DISTANCE)、針路(COURSE)、速力(SPEED)、最接近距離(CPA)、最接近時間(TIME TO CPA)を計算して表示する。
- (4) 危険船のあるときは、衝突を避けるべき安全操船法を決定し、表示する。
- (5) CRTディスプレイには、目標の位置に目標番号および相対速度ベクトル(点線)を表示し、また試行操船(シミュレーション)の結果として、予想航路を6分間隔で5点(30分後までの予想航跡)を表示する。
- (6) ディスプレイ装置からの押ボタンによる種々の指令に対しそれに応じた処理を行なう。
- (7) 危険船のあるときは、一定時間ごとにタイブライタに目標の情報がタイブアウトされる。
- (8) 目標数は最大10隻である。
- (9) レーダによる目標の探知距離は最大16浬である。

3.2.2 装置の構成とコンピュータへの入出力信号

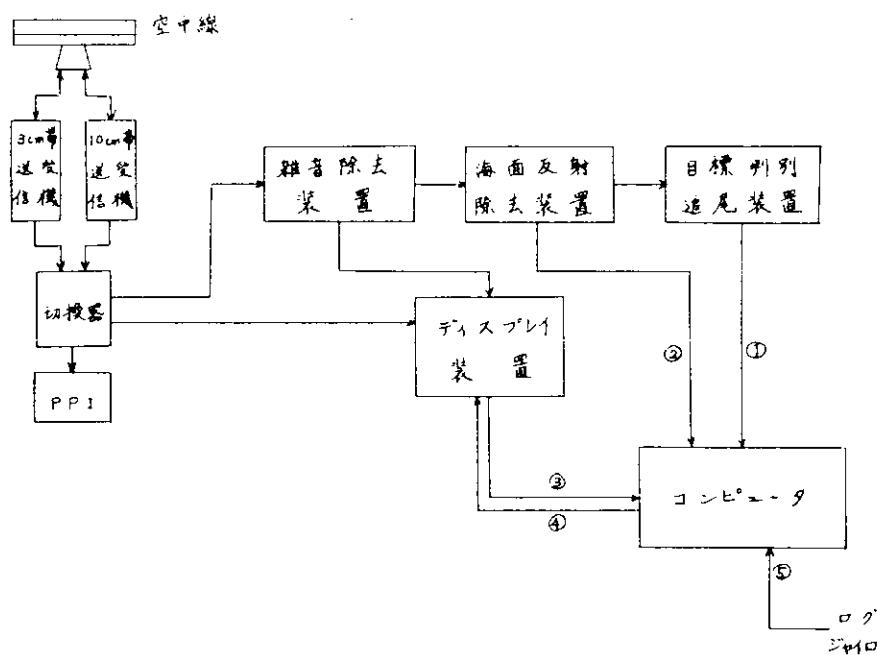


図3.2-1 衝突予防装置のブロックダイヤグラム

図3.2-1は衝突予防装置の構成を示したものであり、コンピュータへの入出力信号①～⑤は次のとおりである。ただし詳細は5.1航法システムのフローチャート、I/Oリスト等の作成の項を参照されたい。

① 目標判別追尾装置→コンピュータ

目標距離、目標方位

② 海面反射除去装置→コンピュータ

書き込み回数

③ ディスプレイ装置→コンピュータ

各種設定値、FUNCTION KEY 入力

- (4) コンピュータ→ディスプレイ装置
 - 目標データ（方位、距離、針路、速力、CPA、TCPA）
 - 危険船の表示、操船法の指示、予想航路、速度ベクトル等
- (5) ログ、ダイヤロードコンピュータ
 - 自船速力、自船針路

3.2.3 ソフトウェアの構成

衝突予防システムのソフトウェアの構成を図 3.2-2 に示す。

(1) メインプログラム

プログラム起動、外部機器からの割込によつて開始するものと、他のプログラムからの要求によつて実行を開始するものとがある。

これらのプログラムを次のように構成した。

(a) 外部機器からの割込によつて開始するプログラム

- (i) 入力データ取込プログラム (I D U)
- (ii) 目標船取終了処理プログラム (T D E)
- (iv) オート・トラッキング押ボタン処理プログラム (A T P)
- (v) ライトペンデータ読込処理プログラム (M I P)
- (vi) 押ボタン処理プログラム (G A D)

(b) 他のプログラムからの要求によつて開始するプログラム

- (i) 自動追尾プログラム (A R K)
(T D E により実行要求が出される)
- (ii) 危険船判別プログラム (S A M)
(W R K 、 M I P により実行要求が出される)
- (iv) 試行操船プログラム (T R Y)
(G A D により実行要求が出される)

(注) プログラム名の後の () 内の記号は略称である。

(2) サブルーチン

(1) のメインプログラムを実行するためには、各種のサブルーチンが必要である。三角関数や平方根などのようにコンピュータシステムとして標準に用意されるプログラムを除き、衝突予防システムだけで使用するサブルーチンは次のとおりである。

(a) M I P で使用するサブルーチン

座標変換プログラム (X Y R θ)

(b) G A D で使用するサブルーチン

座標変換プログラム (X Y R θ)

(c) S A M で使用するサブルーチン

(i) 危険船判定条件プログラム 1 (C O N 1)

(ii) 危険船判定条件プログラム 2 (C O N 2)

(iv) 危険船判定プログラム (D A G)

(vi) 操船法算出プログラム (M A N)

(d) T R Y で使用するサブルーチン

予算航跡算出プログラム (LOC)

(e) TRYで使用するサブルーチン

(f) 予想航跡算出プログラム (LOC)

(g) 危険船判定条件プログラム2 (CON2)

(h) プログラム間の優先度

直ちに処理する必要のあるもの、繰返し周期の早いもの、ひんぱんに使用されるもの、重要度の高いプログラムほど優先度を高くすることが必要である。このことを考慮し、衝突予防システムのプログラム優先度を次のように決定した。

優先度(高い順) :

- | | |
|---------|--------------------|
| ① T D U | } 目標判別追尾装置からの割込で開始 |
| ② T D E | |
| ③ A T T | } ディスプレイ装置からの割込で開始 |
| ④ C A D | |
| ⑤ M I P | } 他プログラムからの実行要求で開始 |
| ⑥ T R K | |
| ⑦ S A M | |
| ⑧ T R Y | |

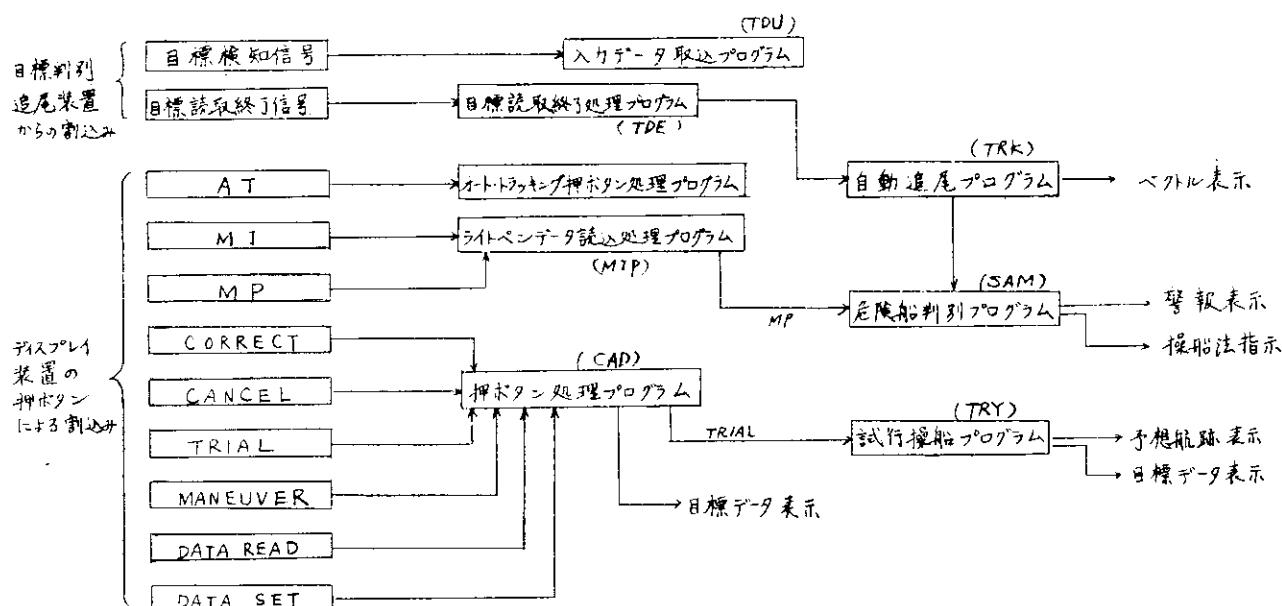


図 3.2-2 衝突予防システムのソフトウェアの構成

3.2.4 FUNCTION KEY の作用

ディスプレイ装置には各種の押ボタン機能により、プログラムのコントロールができるようになつている。この押ボタン(FUNCTION KEY)は、図3.2-2ソフトウェアの構成に示すようにAT、MI、MP、CORRECT、CANCEL、TRIAL、MANEUVER、DATA READ、DATA SETがある。これらの作用は次のとおりである。

(1) [AT] : Auto-Tracking

次の2個の状態がある。

(a) AT1 = Automatic Initiation and Automatic Tracking

目標を自動的に発見し、自動追尾を行なう。目標名も自動的に付けられる。

(1) **AT 2 = Automatic Tracking**

人間が指定した目標（手で投入）のみにつき、自動追尾を行なう。目標名は人間が指定する。

(2) **M1 : Manual Initiation**

指定した目標名がトラッキング中（AT ランプ点灯）のとき、次番を探してぶりあてん。次番がないときは何もしない。

R、θに対応する目標をTRACK FILE（後述）より探し、なければ新しい目標として登録する。あればトラッキングを続行する。

(3) **ADJUST : Correction of Target Position**

指定した目標名がトラッキング中（AT ランプ点灯）のときは、INITIAL MODEで登録する。トラッキング中でないときは何もしない。

(4) **CANCEL : Cancel of Target**

N1 1 以上に次番があれば、指定したNの目標をそこへ移すトラッキングは続行するが、ATランプは消える。

次番がなければ、指定したNの目標は抹殺される。

(5) **MP : Manual Plotting**

ライトペンをセットし、この押ボタンを押すと第1回目のデータが記述され、数分後同じことを行なうと第2回目のデータが記述される。

(6) **TRIAL : Trial Maneuvering**

任意の針路、速力および目標 N を設定した後、この押ボタンを押すと、諸データを表示すると共に、CRT上へ予想航跡を表示する。

(7) **DATA READ : Read Target Data**

目標船の諸データの呼び出しに使用する。

(8) **DATA SET : Set Parameter**

各種設定値（MIN CPAなど）の設定を行なう。

(9) **MANUAL CONTROL : Manual Control**

本命が操縦中であることをコンピュータへ知らせる。操縦中のときは危険信号発行を行わない。

3.2.5 フローチャートとその説明

衝突回避プログラムのゼネラルフローチャートを図3.2-3～15に示す。以下に各プログラムを簡単に説明する。

(1) メインプログラム

(a) 入力データ読み込みプログラム (LDU)

目標判別追尾装置からの目標検知信号の割込みによって実行されるプログラムであり、取込んだデータはRθデータベースに登録される。図3.2-3は目標判別追尾装置からの入力データであり、目標検知信号の割込のタイミングは図3.2-4に示すとおりである。

(b) 目標識別終了処理プログラム (TDE)

目標識別終了信号の割込みによって実行されるプログラムで、自動追尾プログラムの実行要求を行なう。

(c) オート・トラッキング押ボタン処理プログラム (ATP)

ディスプレイ装置の押ボタン入力による割込みによって実行されるプログラムで、AT1かAT2の判別を行い、ソブリグをセットあるいはリセットする。

(d) ライトペンデータ読み込み処理プログラム (LIP)

ディスプレイ装置の押ボタン入力による割込みによって実行されるプログラムで、M1、M2それぞれに応じた処

理を行なう。M P の場合には危険船判別プログラムの実行要求を行なう。

(e) 押ボタン処理プログラム (C A D)

ディスプレイ装置の押ボタンのうち A T 、 M I 、 M P を除く FUNCTION KEY による割込処理を行なう。

TRIAL のときは試行操船プログラムの実行要求を行なう。

(f) 自動追尾プログラム (T R K)

T D E プログラムにより実行要求が出される。取込んだ目標のデータを処理し、目標の自動発見および自動追跡を行なう。

一定時間ごとに危険船判別プログラムの実行要求を出す。

(g) 危険船判別プログラム (S A M)

目標の現在値と過去の値から速度ベクトルを算出し、危険の有無を判別しディスプレイに表示する。また、危険のある場合には避航操船法を算出し表示する。

(h) 試行操船プログラム (T R Y)

シミュレーションを実行するプログラムで、ディスプレイ上で設定された針路、速力に対する予想航跡を算出し、C R T 上へ表示する。

(2) サブルーチン

(a) 座標変換プログラム (X Y R θ)

ライトペンによるデータは X Y 座標で入力される。これを R 、 θ 座標に変換する。

(b) 危険船判定条件プログラム 1 (C O N 1)

目標の R 、 θ データから針路、速力、 C P A 、 T C P A などの算出を行なう。

(c) 危険船判定条件プログラム 2 (C O N 2)

仮定針路および仮定速力に対する C P A 、 T C P A を算出する。

(d) 危険船判定プログラム (D A G)

目標のデータ (R 、 θ 、 C P A 、 T C P A など) から危険船の判定を行なう。

(e) 操船法算出プログラム (M A N)

最適避航針路角を決定し、ディスプレイへ表示する。

(f) 予想航跡算出プログラム

目標のデータから未来位置を 5 点算出する。その位置は C R T 上の座標 (X Y 座標) で表わす。

3.2.6 計 算 例

衝突回避航法のプログラムの一例を表 3.2-1 に示す。

このプログラムは「危険船判定条件プログラム 1 (C O N 1)」をフォートランでコーディングしたものである。

表 3.2-2 に、その計算例を示す。

表 3.2-1 簡易回路運算のプログラムの例

WAIT FOR * X19705/X01X19705/X01,X19705
 UNIVAC 1107 FORTKAN IV LEVEL C201 0029 Equidae
 THIS COMPIILATION WAS DONE ON 10 AUG 69 AT U7:16:21

MAIN PROGRAM

ENTRY POINT 000000

STORAGE USED (BLOCK, NAME, LENGTH)

U001	* OUT	000560
U002	* DATA	000277
U002	* BLANK	000000

EXTERNAL REFERENCES (BLOCK, NAME,

U003	SQRT
U004	COS
U005	SIN
U006	ATAN
U007	NR00X
U008	NR01*
U011	NR02*
U012	NR03*
U013	NR04*
U014	NR05*

STORAGE ASSIGNMENT FOR VARIABLES (BLOCK, TYPE, RELATIVE LOCATION, NAME)

0000	00041	100F	00A	00000	1000L	00A1	000540	1001L	0000	000045	101F	0000	000230	102F
U001	000176	13L	00A1	000200	14L	00A1	000314	16L	00A1	000301	18L	00A1	000275	19L
U001	000310	22L	00A1	000323	24L	00A1	000452	26L	00A1	000437	28L	00A1	000433	29L
U001	000463	31L	00A1	000446	33L	00A1	000461	35L	00A1	000414	5L	00A1	000132	7L
U001	000167	71L	00A1	000525	73L	00A1	000152	9L	0006	R 000000	ATAN	0000	R 000023	A1
U000	K 00032	A12	0000	H 000057	A13	0000	H 000020	A1	0000	R 000031	A2	0000	R 000030	A3
U000	K 00021	B1	0000	R 000030	B2	0000	R 000035	B3	0000	R 000010	CUR	0004	R 000000	COS
U000	K 00020	CFA	0000	K 000007	CRD	0000	R 000011	DDW	0000	R 000013	DK	0000	R 000016	DT
U000	K 00022	FA1	0000	K 000032	FAIR	0000	R 000025	FF	0000	R 000024	FI	0000	I 000006	DT
U000	K 000040	GB	0000	K 000004	GS	0000	R 000002	G0	0000	R 000003	G1	0000	R 000012	GDW
U000	K 000014	KGU	0000	K 000015	KG1	0000	R 000000	K0	0000	R 000001	R1	0005	R 000000	SIN
U003	K 00000	SGRT	0000	R 000027	TCPA	0000	R 000044	VB	0000	R 000027	VR	0000	R 000003	VS

U0100 1. CKIKENSEN HANUEIU JYONE, U KEISAN SUKU SUKKOUTIN LCON

U0100 2. C (1) INPUT DATA LIST

U0100 3. C RU I DISTANCE (1ST)

U0100 4. C RI I DISTANCE (2ND)

U0100 5. C QU I BEARING (1ST)

U0100 6. C QI I BEARING (2ND)

U0100 7. C QS I OWN SHIP SOURCE

U0100 8. C VS I OWN SHIP SPEED

U0100 9. C IOT I TIME FROM 1ST TO 2ND *** (SEC)

U0100 10. C (2) OUTPUT DATA LIST

表 3.2-1 (続き)

U0100	14.	C	V _B	I OTHER SHIP SPEED OTHER SHIP SOURCE	***.** (KT) ***.* (NM)
U0100	14.	C	CPA	I NEAREST DISTANCE	***.** (NM)
U0100	15.	C	TCPA	I NEAREST TIME	***.** (MIN)
U0100	16.	C	V _R	I RELATIVE SPEED	***.** (KT)
U0100	17.	C	FAIR	I DIRECTION OF RELATIVE VELOCITY	***.** (DEG)
U0100	18.	C	FAI	I ANGLE BETWEEN BREAKING LLS1) AND DIRECTION OF RELATIVE VELOCITY	***.** (DEG)
U0100	19.	C			
U0101	20.	C	1000 R(EA11,100) R(UK1,0) Q(S,VS,1UT I(F(KU,61,99,0) GU TO 1001 C(R=5,7,30 CURE=0,0174,5		
U0113	21.				
U0115	22.				
U0116	23.				
U0119	24.				
U0117	25.				
U0120	26.				
U0121	27.				
U0122	28.				
U0123	29.				
U0124	30.				
U0125	31.				
U0126	32.				
U0127	33.				
U0130	34.				
U0131	35.				
U0134	36.				
U0137	37.				
U0140	38.				
U0141	39.				
U0142	40.				
U0143	41.				
U0146	42.				
U0151	43.				
U0152	44.				
U0153	45.				
U0154	46.				
U0155	47.				
U0160	48.				
U0161	49.				
U0164	50.				
U0165	51.				
U0166	52.				
U0167	53.				
U0170	54.				
U0171	55.				
U0172	56.				
U0173	57.				
U0174	58.				
U0175	59.				
U0200	60.				
U0201	61.				
U0202	62.				
U0205	63.				
U0210	64.				
U0211	65.				
U0212	66.				
U0213	67.				
U0214	68.				
U0217	69.				

00<20 70. 60 10 75
 00<21 71. 22 FAIR=2.0*3.1416-A12
 00<22 72. 60 10 75
 00<23 73. 1B 1F (12) 24*2*23
 00<26 74. 23 FAIR=3.1416/2.0
 00<27 75. 60 10 75
 00<30 76. 24 FAIR=3.0*3.1416/2.0
 00<31 77. 73 FAIR=3.0*3.1416/2.0
 00<32 78. VUEVR**2.0+VS**2.0*VR*VS*COS(FAIR-95)
 00<33 79. VUEVR*T(Vd)
 00<34 80. H3=VR*SIN(IFAIR+VS*SIN(VS)
 00<35 81. A=VR*COS(IFAIR+VS*COS(VS)
 00<36 82. H1=ASIN(A3-U1U3)/20*25*25
 00<41 83. 2D A1=ASIN(U2/A3)
 00<42 84. A1=SAIN(A13)
 00<43 85. 1F (A3) 27*26*28
 00<44 86. 27 1F (13) 30*30*29
 00<51 87. 30 U3=3.1416+A13
 00<52 88. 60 FG 31
 00<53 89. 29 9D=3.1416-A13
 00<54 90. 2B 1F (13) 33*33*32
 00<55 91. 32 QBEAL3
 00<60 92. 32 QBEAL3
 00<61 93. 60 T0 31
 00<62 94. 33 60=2.0*3.1416-A13
 00<63 95. 60 10 31
 00<64 96. 2B 1F (13) 35*35*34
 00<67 97. 34 60=3.1416/2.0
 00<70 98. 60 T0 31
 00<71 99. 35 60=3.0*3.1416/2.0
 00<72 100. 31 QLEGB*CHD
 00<73 101. QLEGS*CHD
 00<74 102. FAIR=FAIR*CHD
 00<75 103. FAIR=FAIR*CHD
 00<76 104. WHIT(E2,101) KUR,KUR,QUR,QUR,VS,1DT,VB,QB,CPA,TCPA,VK,FAIR,FAI
 00<316 105. 60 T0 1000
 00<317 106. 1000 WHIT(E2,102)
 00<321 107. 100 FWHM=1.65*1.65*1.65*1.65
 00<322 108. 101 FWHM=1.65*1.65*1.65*1.65 ANTI-COLLISION SYSTEM ***
 00<322 109. 1/2X*10H** INPUT DATA **
 00<322 110. 2/2X*22H(1) DISTANCE (1ST) = F5.1.3H (NM)
 00<322 111. 3/2X*22H(2) DISTANCE (2ND) = F5.1.3H (NM)
 00<322 112. 4/2X*21H(3) BEARING (1ST) = F6.1.6H (DEG)
 00<322 113. 5/2X*21H(4) BEARING (2ND) = F6.1.6H (DEG)
 00<322 114. 6/2X*21H(5) UNK COURSE = F6.1.6H (DEG)
 00<322 115. 7/3X*14H(6) UNK SPEED = F5.1.5H (KT)
 00<322 116. 8/3X*15H(7) TIME FROM 1SI TO 2NU = 13.6H (SEC) /
 00<322 117. 9/2X*11H** OUTPUT DATA **
 00<322 118. 1/3X*14H(1) SPEED = F5.1.5H (KT)
 00<322 119. 2/3X*13H(2) COURSE = F6.1.6H (DEG)
 00<322 120. 3/3X*14H(3) CPA = F5.1.5H (NM)
 00<322 121. 4/3X*15H(4) ICPA = F6.1.6H (MIN)
 00<322 122. 5/3X*21H(5) RELATIVE SPEED = F5.1.5H (KT)
 00<322 123. 6/3X*31H(6) DIRECTION OF RELATIVE VELOCITY = F6.1.6H (DEG)
 00<322 124. 7/3X*35H(7) ANGLE OF 1SI LEN BEARING (1ST) AND
 00<322 125. 8/3X*35H(7) ANGLE OF 1SI LEN BEARING (2ND)
 00<323 126. 102 FORMAI(1H1,1B1,31H*** RELATIVE VELOCITY = F6.1.6H (DEG)
 00<323 127. 1/2X*10H** INPUT DATA **

表 3.2-1 (続き)

```

00323 120. 2/5X,3HEND)
00324 129. SLOP
00325 130. END

END OF LISTING. 0 *DIAGNOSTIC MESSAGE(S).

PHASE 1 TIME = 2 SEC.
PHASE 2 TIME = 0 SEC.
PHASE 3 TIME = 1 SEC.
PHASE 4 TIME = 1 SEC.
PHASE 5 TIME = 1 SEC.
PHASE 6 TIME = 2 SEC.

TOTAL COMPILATION TIME = 7 SEC
X19705 NO1 SYMBOLIC
X19705 HELLOCATABLE

```

表 3.2-2 衝突回避航法の計算例

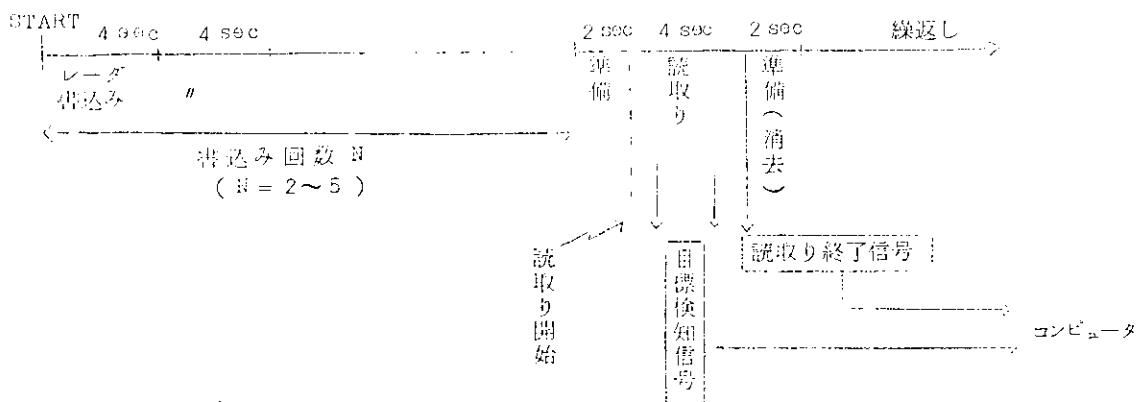
*** AIR-COLLISION SYSTEM ***		*** AIR-COLLISION SYSTEM ***	
** INPUT DATA **		** INPUT DATA **	
(1) DISTANCE (151)	= 7.0 (NM)	(1) DISTANCE (151)	= 5.0 (NM)
(2) DISTANCE (2ND)	= 6.6 (NM)	(2) DISTANCE (2ND)	= 3.8 (NM)
(3) BREAKING (151)	= 100.0 (DEG)	(3) BREAKING (151)	= 70.0 (DEG)
(4) BREAKING (2ND)	= 107.5 (DEG)	(4) BREAKING (2ND)	= 65.0 (DEG)
(5) OWN COURSE	= 40.0 (DEG)	(5) OWN COURSE	= 40.0 (DEG)
(6) OWN SPEED	= 15.0 (KT)	(6) OWN SPEED	= 15.0 (KT)
(7) TIME FROM 151 TO PHD	= 240 (SEC)	(7) TIME FROM 151 TO 2ND	= 240 (SEC)
** OUTPUT DATA **		** OUTPUT DATA **	
(1) SPEDU	= 7.2 (KT)	(1) SPEEDU	= 20.9 (KT)
(2) COURSE	= 290.9 (DEG)	(2) COURSE	= 295.2 (DEG)
(3) CPA	= 0.2 (NM)	(3) CPA	= 1.3 (NM)
(4) TCPA	= 9.5 (NM)	(4) TCPA	= 11.5 (NM)
(5) RELATIVE SPEED	= 14.0 (KT)	(5) RELATIVE SPEED	= 10.9 (KT)
(6) DIRECTION OF RELATIVE VELOCITY	= 217.9 (DEG)	(6) DIRECTION OF RELATIVE VELOCITY	= 205.3 (DEG)
(7) ANGLE BETWEEN BREAKING (151) AND		(7) ANGLE BETWEEN BREAKING (151) AND	
DIRECTION OF RELATIVE VELOCITY	= 62.1 (DEG)	DIRECTION OF RELATIVE VELOCITY	= 15.3 (DEG)

3.2.7 ソフトウェアの検討

以下、衝突予防システム小委員会で議論されたいいくつかの問題点につき、検討した結果を記す。

(1) 衝突予防装置からのデータの読み込み

タイミングチャート



- (a) 目標のデータ (R 、 θ) は、目標検知信号により、コンピュータへ入力される。この信号は読み取り開始から読み取り終了信号のくるまで (4 sec) 目標を発見するたびに生じる。
- (b) このデータ (R 、 θ) の記憶場所として、現在 40 目標分 (80 語) 用意してある。($R\theta$ テーブル)
- (c) 読取り終了信号が入ると、トラッキングプログラムの実行要求が出される。

検討項目 $R\theta$ テーブルの大きさは 40 目標分で十分か?

検討結果 十分である。

(理由) ① ディスプレイには 10 目標分だけ表示されるので、その 4 倍も準備しておけば十分と考えられる。
 ② 41 目標以上発見したとき、すなわち $R\theta$ テーブルが一杯になつても目標検知信号がきたとき、現在の $R\theta$ テーブルを整理 (非常に遠方の目標は捨てる) して、新しいデータを入れるようにしている。

(2) トラッキング

トラッキングプログラムでは次の仕事を行なう。

- (a) $R\theta$ テーブルの各データが、何番の目標であるかを決定する。もしなければ、新しく発見された目標であるとして、使用していない番号をふりあてる。
- (b) 各目標のトラッキングモードを決定し、また予測位置を算出する。これらのデータは“TRACK FILE”と呼ばれるテーブルに記憶される。この TRACK FILE は 20 目標分用意されている。
- (c) 各目標の過去の値を 1 周期分ずらし、現在の値を入れる。約 9 分前までのデータがすべて記憶されている。これらのデータはやはり 20 目標分 ($70 \times 20 = 1,400$ 語) ある。
- (d) 衝突・危険船判別プログラムの実行要求を出す。

検討項目 TRACK FILE の大きさは 20 目標分としたことについて

検討結果 20 目標分あれば十分と考えられる。

現在のコアの容量からこれ以上増やすことは不可能。

(理由) (a) ディスプレイには 10 目標分表示されるので、最小 10 目標分は必要である。
 (b) さらに、ディスプレイで CANCEL されたものは、それが CANCEL されたということをおぼえておかなければならぬ。
 すなわち、CANCEL された目標もトラッキングする必要がある。(ディスプレイに出ないだけである。)

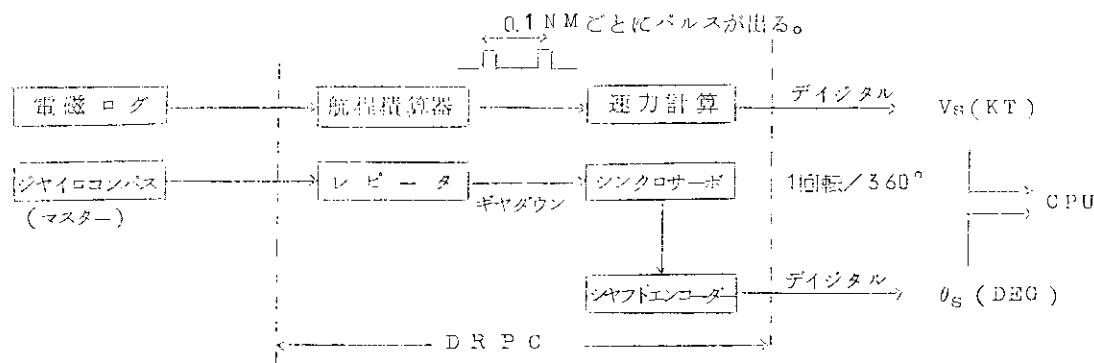
- (c) したがつて 11 目標分以上は必要
 (d) 10 目標の 2 倍確保してかければ十分と考えていへる。

(3) 危険船判別条件の計算 (CPA、TCPA 等) について

検討項目 小委員会で、「自船の現針路 (θ_s) と速力 (v_s) を平均したものを使用した方が良い」という意見が出され、これにつき検討した。

検討結果 平均値をとることにする。

(a) 自船の針路、速力は DRPC (船位推定計算器) から読み込まれる。



(b) 速力 v_s

航程積算器からは 0.1 NM 程度走るごとに 1 パルスが出る。

次のパルスが出るまでの時間 T (sec) を計測し、速力を算出している。

$$v_s (\text{KT}) = \frac{0.1}{T (\text{sec})} \times 5600$$

したがつて CPU へ読み込まれる値は平均値的速力である。

(c) 針路 θ_s

ジャイロ信号はシャフトエンコーダにより A/D 変換され、CPU へ読み込まれるが、レピータとシャフトエンコーダにシンクロサーボがあり、1種の平均化を行なつてある。したがつて自船のヨーイング等のように比較的早い変動に対しては、CPU へ読み込まれる針路の変動は少なくできる。

(d) しかしながら、自船の速力、針路は CPU で平均値をとることは簡単なので、平均化することが望ましい。

→ 速度ベクトルの平均化

$$(1) \bar{v}_s = \frac{1}{N} (v_{s1} + v_{s2} + \dots + v_{sN})$$

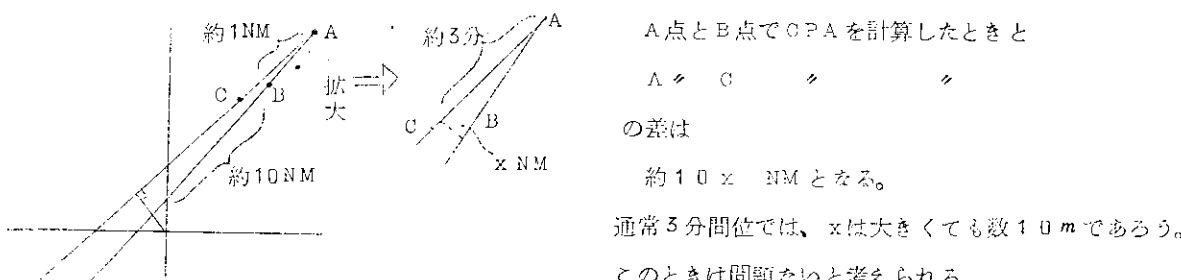
(2) 針路 θ_s の平均は単なる算術平均では求まらない。

(5°と 35.5°の平均は 0°または 360°にならねばならない。)

(e) 危険船の判別は 1 分ごとに実行され、そのたびに v_s 、 θ_s を読み込んでいる。現在 $N = 4$ としている。

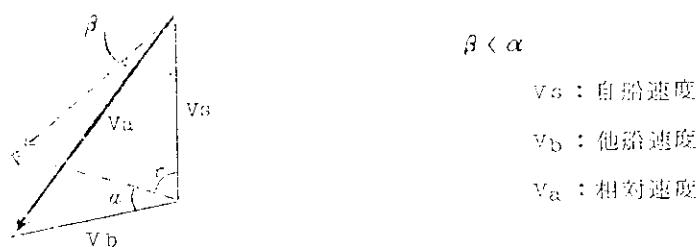
($N = 4$ とするとプログラムが簡単になるため)

(f) 目標の針路が一定でないときは、見掛上下図のように観測される。



本システムでは相対運動表示をとつてゐるため、目標の（絶対）針路角の影響は少なく観測される。

（下図参照）



（例） $\alpha = 30^\circ$ 、 $\gamma = 60^\circ$ 、 $v_s = v_b$ のとき、 $\beta = 15^\circ$

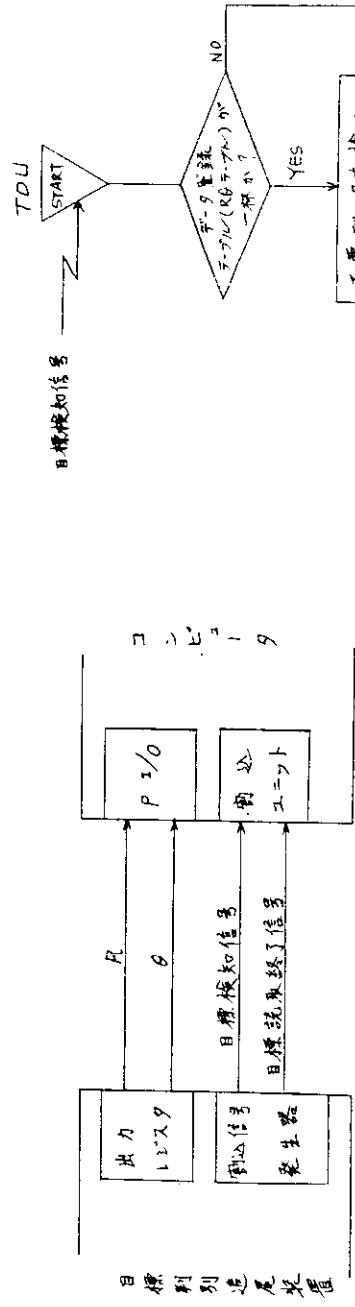


図 3.2-5-1 目標判別装置機置からの入力データ

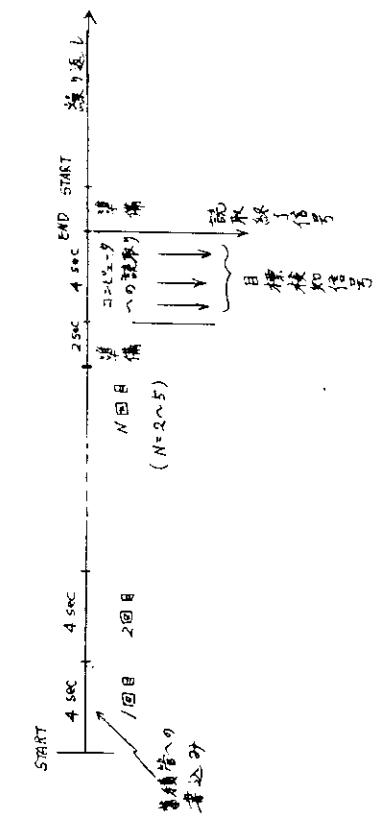


図 3.2-5-2 タイミングチャート

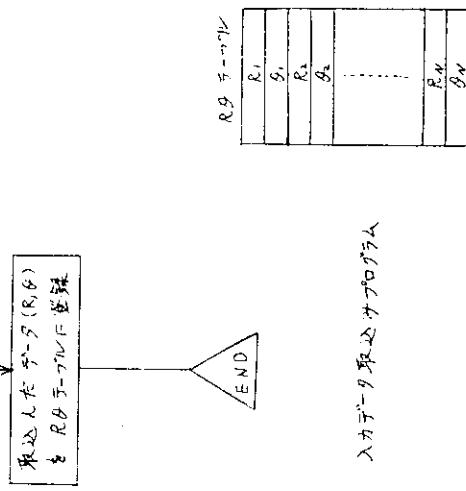
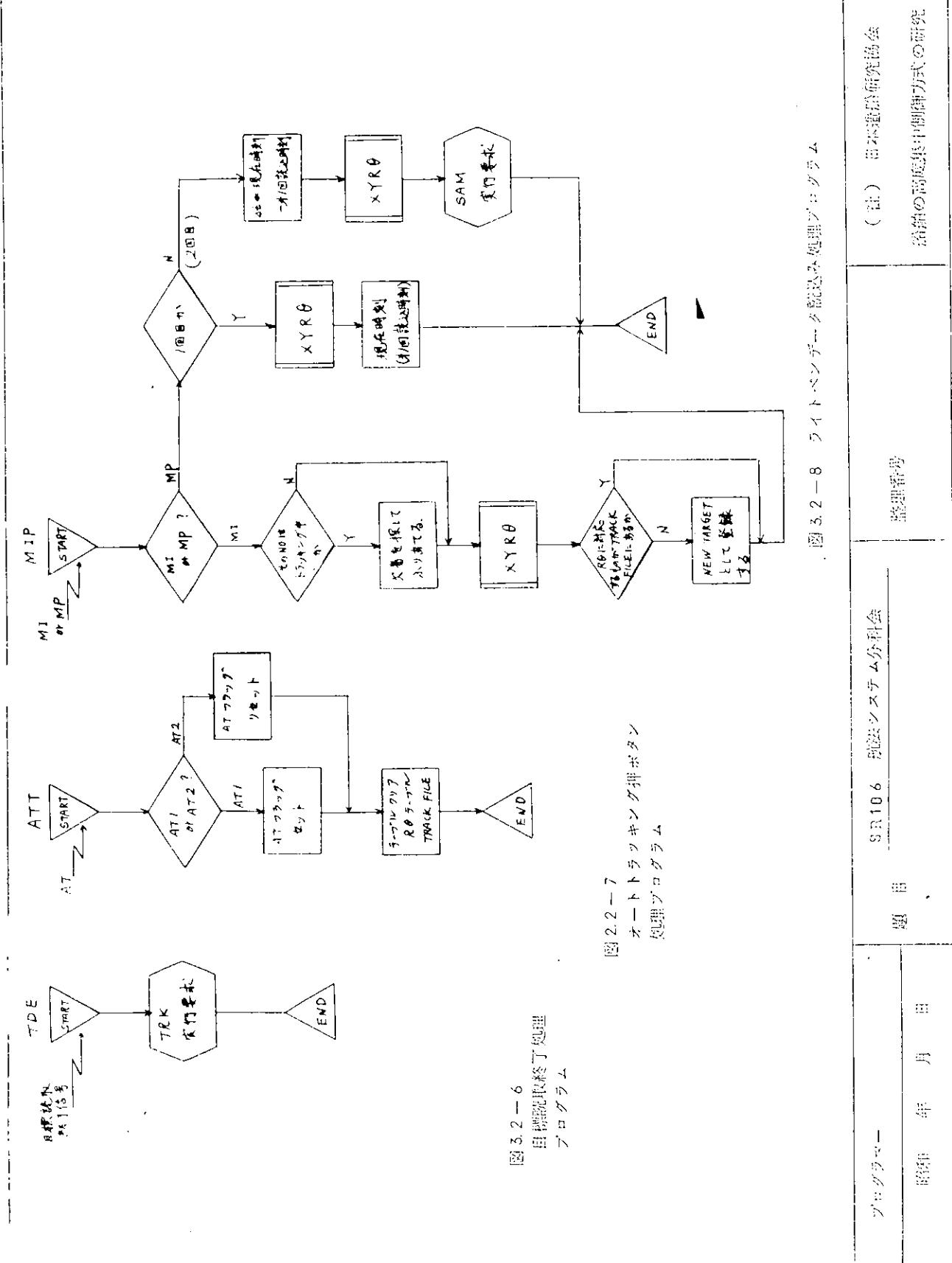
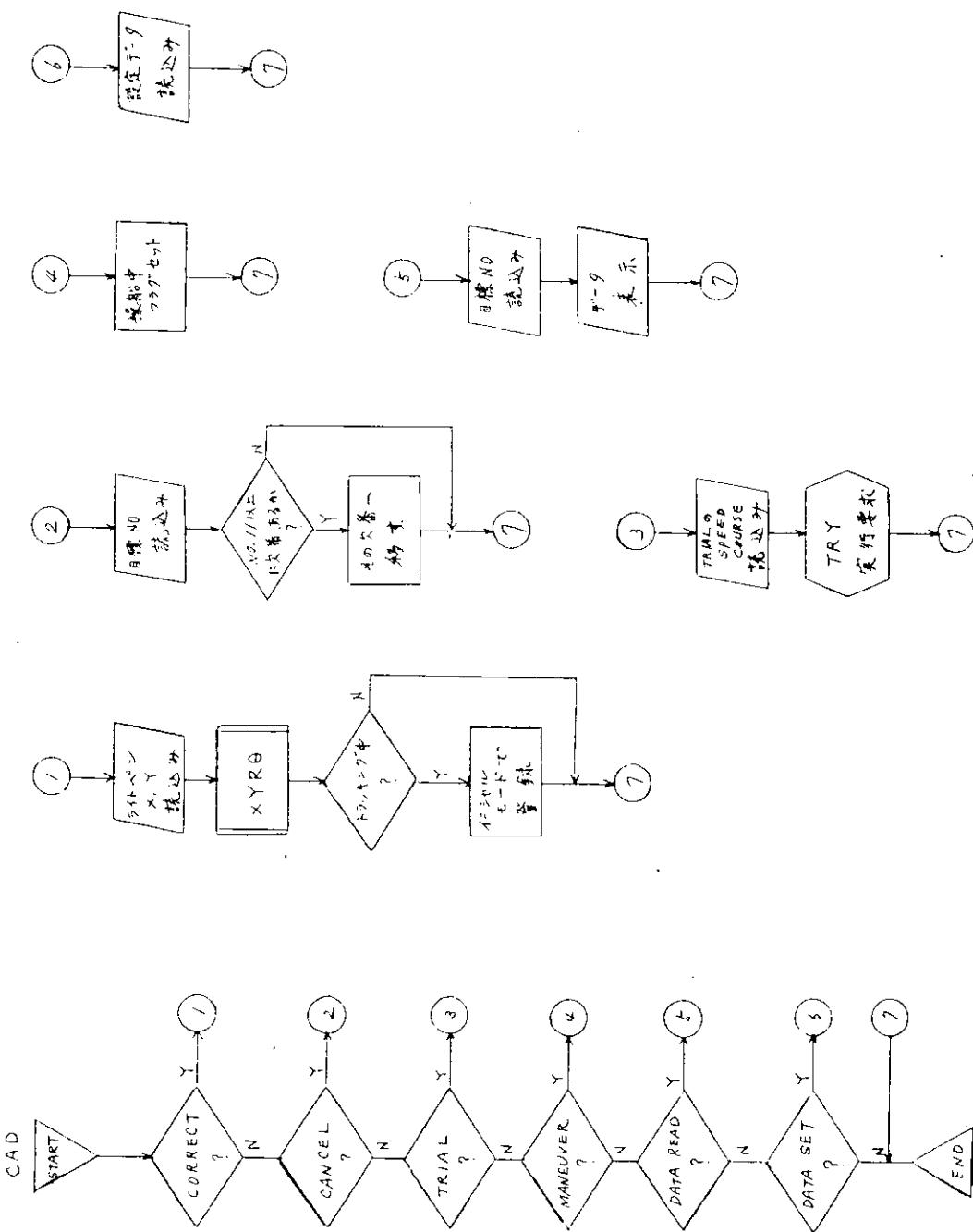


図 3.2-5-3 入力データ取込プログラム

プログラム	題目	整理番号
昭和 年 月 日	SR106 航法システム分科会	(社) 日本造船研究協会

船舶の高精度自動制御方式の研究

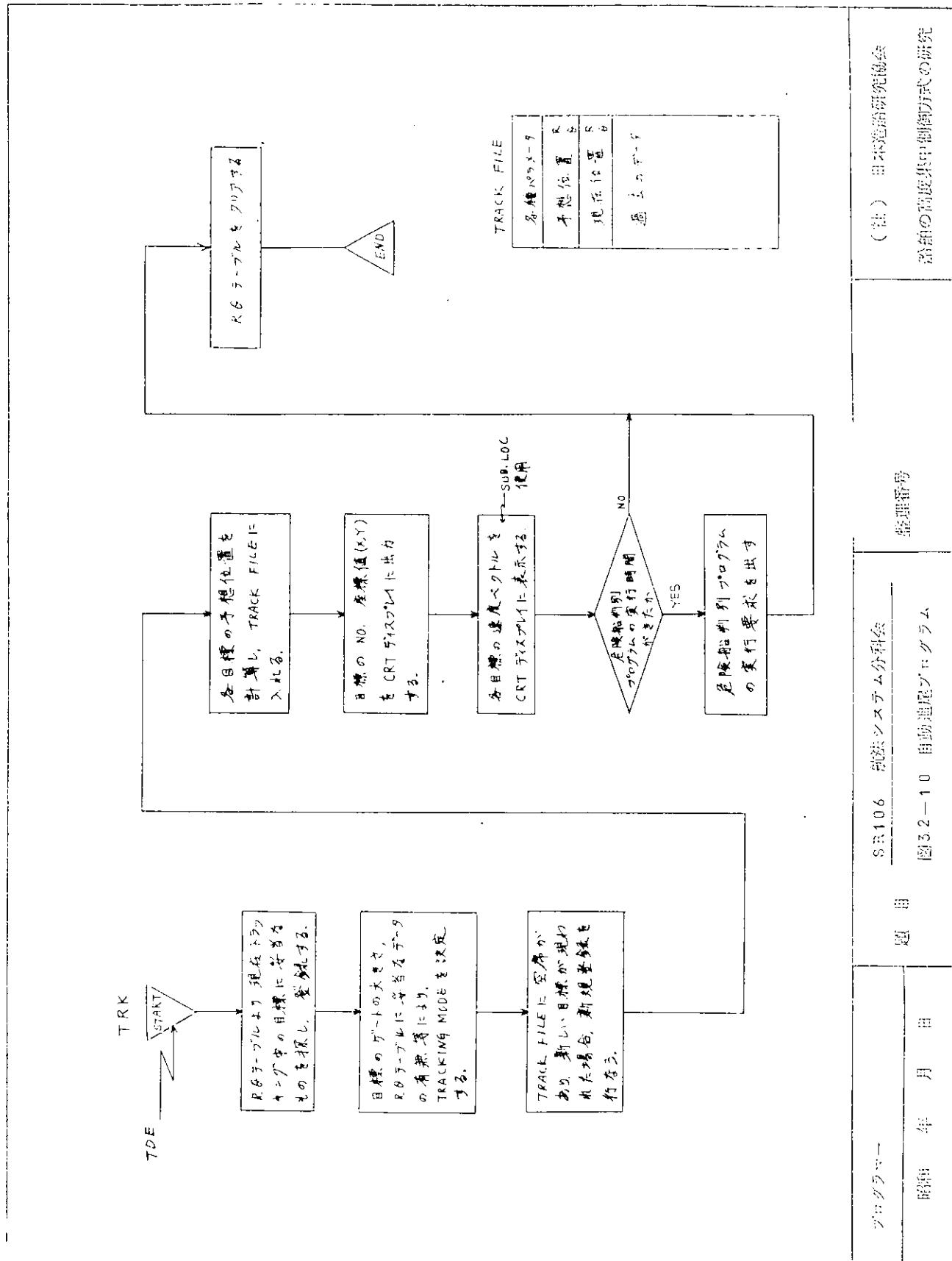


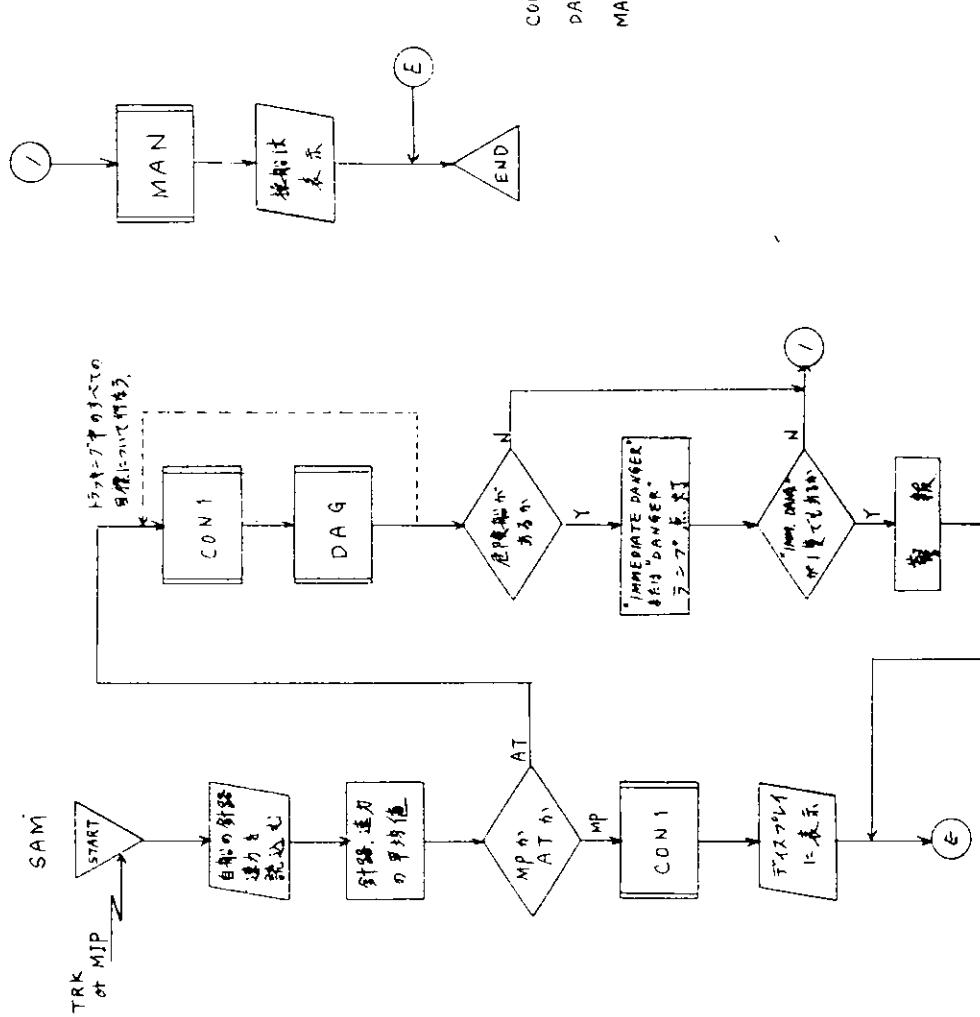


(社) 日本造船研究協会
船積の高層集中制御方式の研究

整理番号
経理番号

SR106 航法システム分科会
題目
図5.2-9 押ボタン処理プログラム





題目
昭和 年月日
プロダクター
整理番号

SRI 06 航法システム分科会
図3.2-11 危険船判別プログラム

(社) 日本造船研究協会
海船の高度集中制御方式の研究

CON1 = 危険船判定条件
DAG = 危険船判定プログラム
MAN = 機械法算出プログラム

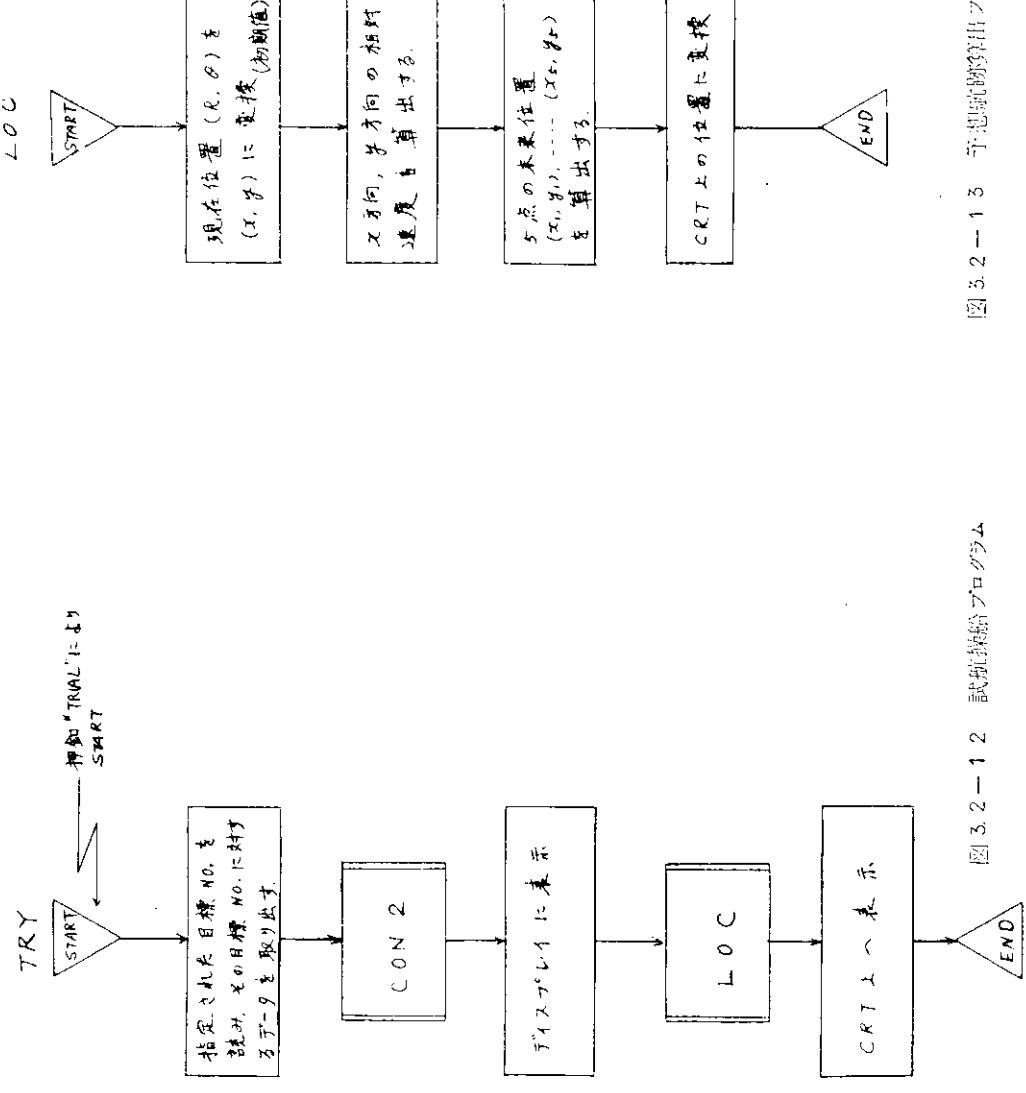


図 3.2-13 予想航跡算出プログラム

図 3.2-12 試航制御プログラム

(社) 日立造船新潟機会
船舶の高度集中制御方式の研究

監理者名
監理者番号

SR1106 試法システム分科会

題名
昭和 年月日

プログラムマーク

危険船判定条件プログラム (その1) CON1

目的：目標の SPEED, COURSE, CPA, TCPA 等の算出を行なう。

入力データ：
 $R_1 = \#1$ 観測時における目標までの距離
 $R_2 = \#2$ "

$\theta_1 = \#1$ 観測時ににおける N 方向からの目標の見通角

$\theta_2 = \#2$ "

$\theta_3 = \#3$ 自船の針路

$V_s = \#4$ 速力

出力データ：
 $V_b = \#5$ 目標の速力

$\theta_b = \#6$ 鈍角

CPA = 最接近距離

TCPA = 時間

$V_r = \#7$ 相対速力

$\phi_r = \#8$ ベクトルの方向

(フローチャート略)

危険船判定条件プログラム (その2) CON2

既定針路および速力に対する CPA, TCPA の算出を行なう。 (フローチャート略)

プログラム	SIR106 航法システム分科会	題目	（社）日本造船研究所協会
昭和 年月日			船舶の高度集中制御方式の研究

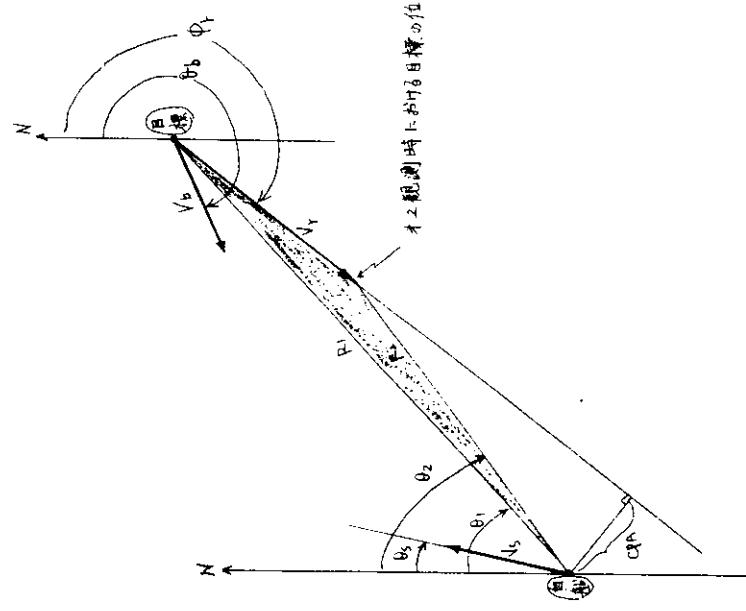


図 3.2-14 衝突三角形

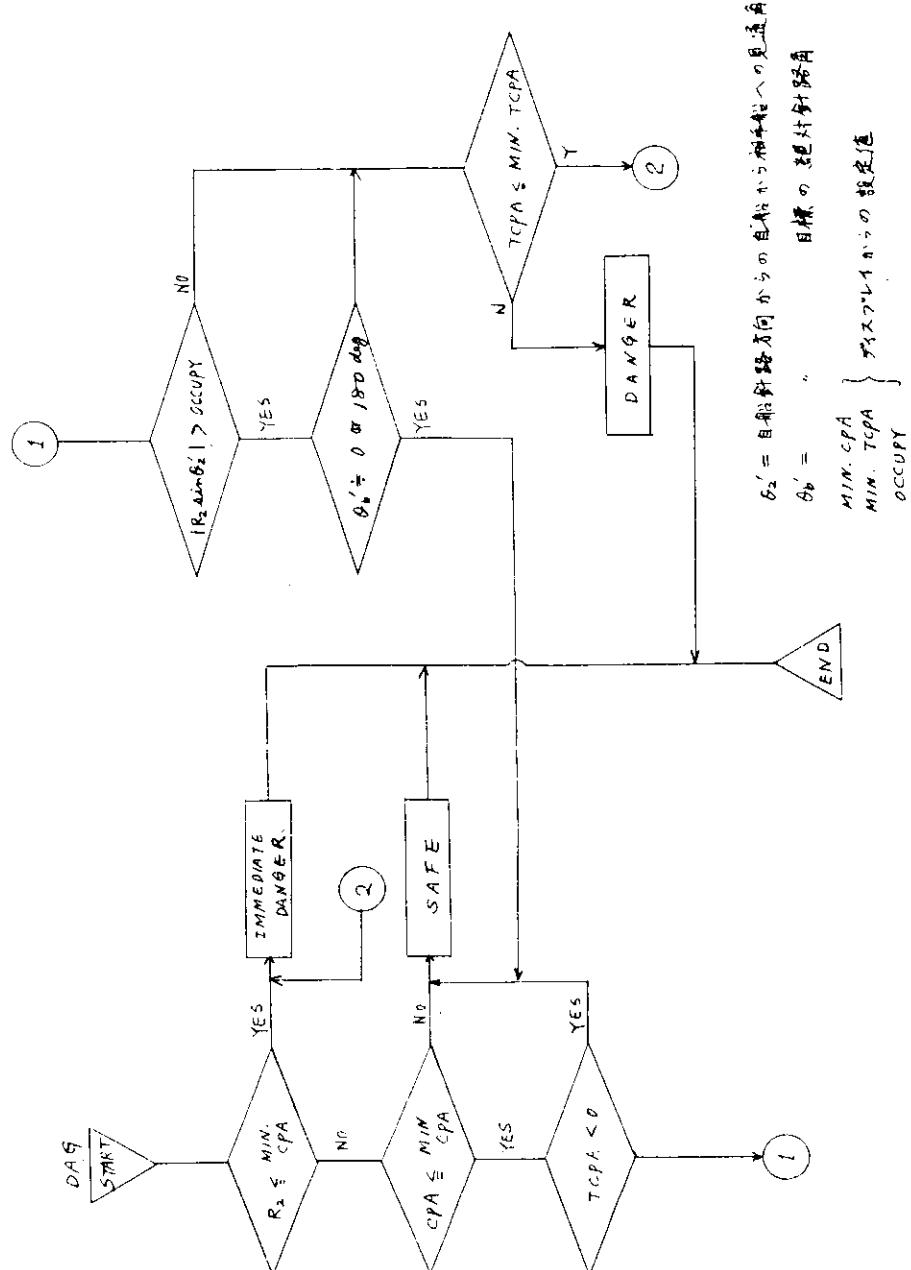
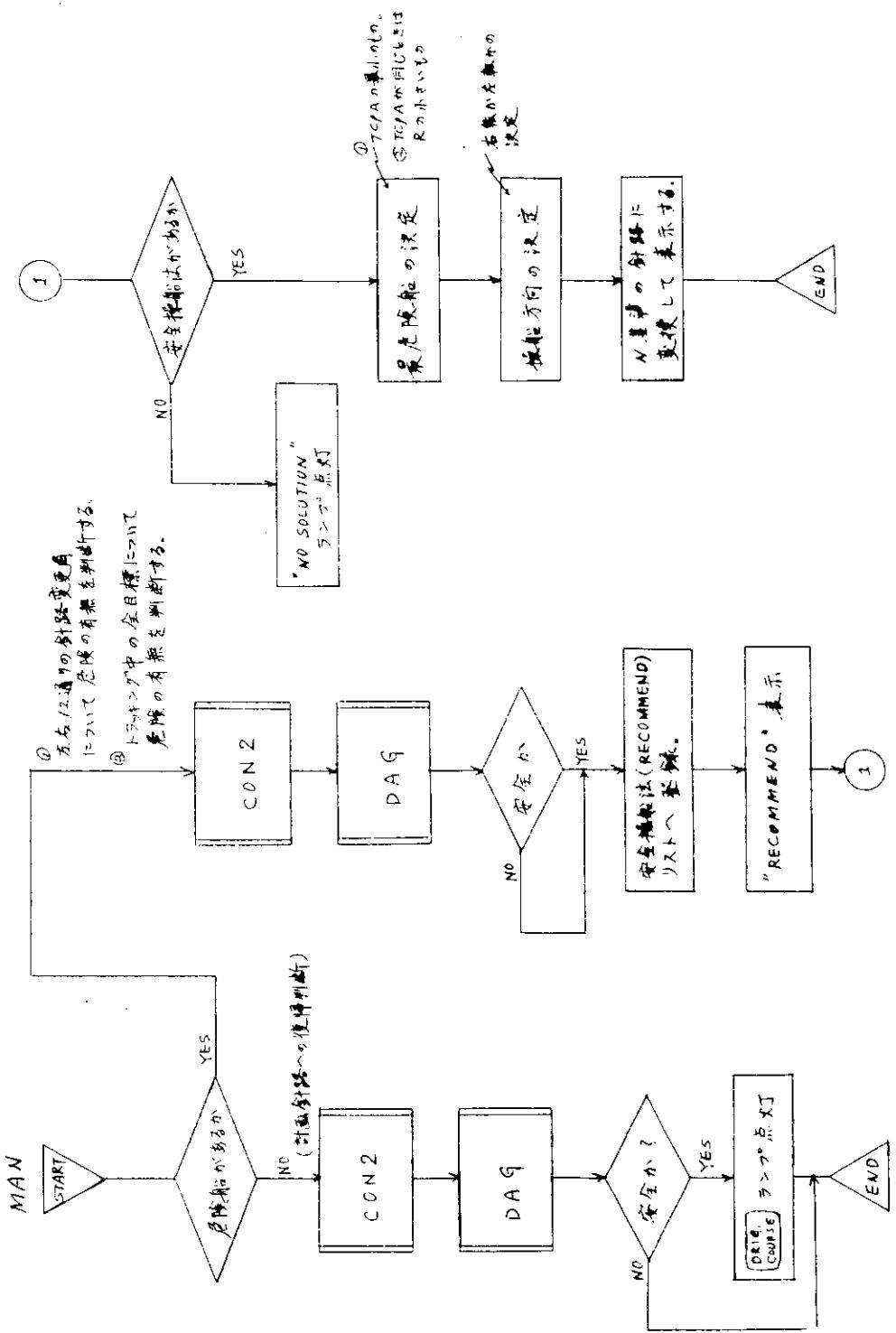


図 5 図 5
SRI 06 確定シミュレータ 分科会
題目
図 3.2-15 危険回避用プログラム

ソースコード
年月日

(社) 日本造船研究協会
船舶の高度集中制御方式の研究



プロジェクト番号	SR106 航法システム 分科会	題目	(社) 日本造船研究協議会 船舶の高度集中制御方式の研究
開始 年月日	1982-1-6 操縦装置評価プログラム		

4. 緊急制動システムの開発

4.1 開発の経緯

最近の海上交通の複雑化、船舶の大型化化、荷物からの通常装備のほかに、何か新しい操船手段を要求する時代を運んでいます。

パラシュート式の制動装置は、航空機や宇宙船の着地に常用されているが、それらに比べて低速の船の場合にも、大気の比重の約800倍もある海水を使うことができるということで、実用的な寸法におさめられ、またボーラスな布地による抵抗を利用することにより、安定で操作性の優れた、また取扱い容易な装置とすることができる可能性が強い。

ただし、強力な水中パラシュートの開発は、世界でも初めての試みであり、また主機後進操作や操舵との併用などの、複雑な操船条件のもとにおけるパラシュート使用の知見を求めておく必要がある。

本装置の開発は、日本船用機器開発協会の44年度補助事業として、三菱重工業株式会社が実施したものであり同時に航法システムの一部としての評価を検討するため、SR106航法システム分科会のなかに、緊急制動システム小委員会が設けられたものである。

4.2 開発の目標

開発の目標とすべき制動力は、大きいほどよいことは言うまでもないが、いま、緊急制動システムの最低の要求能力を、海上衝突予防法の規制する航海灯の視認距離であり、また現行の中型以下の船舶がすでに保つている2カイリ以下としても、例えば、16ノットで航行している20万トン級タンカーを急停止させるためには、約200トンにも及ぶ制動力を発生させなければならないことになる。

かかる理由で、過去に幾度かパラシュートを制動に利用しようとする考案がなされたと思うが、何れも実行に移されたことはなかつた。今回の新たな提案は、小さなパラシュートを数多く使用するいわゆるマルチブル・パラシュート案であつて、制動操船方法の多彩化をねらうと共に、船舶への装備を容易にし、取扱操作を簡単にすることにより、パラシュートの開発目標を、より現実的なものに引き下げるものである。

水中パラシュートの制動力の目標値は、現在のタンカーの速力が約16ノットであること、人力で取扱い得る最大のウイナーの使用張力が約30tであるところより、16ノット-30トン（開傘時直徑約3メートル）と設定したが、未経験の領域のことでもあつたので、1/4縮尺のパラシュートの開発ステップにおいて、技術の積み重ねを計つた。

なお、パラシュートの製作は、藤倉洗浄株式会社が分担した。

4.3 実施作業

開発作業計画の立案には、これに先立つて行なわれた三菱長崎水槽における小型パラシュートによる各種のフィーディビリティ、スタディの結果を参考とした。

この実験は、直徑10cmより30cmまでの各種パラシュートを用い、約7ノットまでの単独航走および模型船模擬走を行ない、パラシュートの開車安定などを観測したものである。

4.3.1. 長崎港内における交通船、金比羅丸による1/4縮尺パラシュート試験（44.7/10~16実施）

1/4縮尺パラシュートは、収納袋入りで、補助パラシュートによる開傘のメカニズムを用いらるもので、後に開発された大型パラシュートの設計にも同じ機構が採用された。海上実験に先立ち、収納袋入りパラシュートの着水衝撃試験（船研）開車メカニズム試験（東大）が行なわれた。

実験に使用した三菱長崎造船所社船金比羅丸は、総トン数125GT、主尺度22.0m×5.8m×2.2m×1.6m、燃玉ディーゼル105PS/360RPM、最高速力9ノットの浮遊区域船である。

これに、右舷 2ヶ所、左舷 1ヶ所の計 3ヶ所でパラシュートを装備し、各種の実験を行なつた。
1/2縮尺パラシュートの制動力は、速力 8 ノットのとき約 2 トン程度と見られ、例えば、2 個併用のとき制動力 4 トン
／主機 105 PS となり、容易に強力をパラシュート・システムが構成されることが認識された。

(1) 投下装置の作動おくれ実験

パラシュートはタンカーの甲板舷側に装備される場合を想定し、作動系統は空気利用の設計としている。
このため、コイル状に巻いた長さ 5.00 m × 内径 8 mm の銅管内の空気圧力伝達速度の実験を行ない、元圧 2 kg/cm²
で送った信号が、パラシュート投下装置の離脱器に、作動定格 0.2 kg/cm² の圧力を伝えるまでの作動おくれを計測した。

実験で得られた作動おくれ 7 秒はやゝおそらく、バルブの空気もれを改良する必要のあることが判つた。

(2) パラシュートの開傘状況および曳航中の安定性

パラシュートは着水後、極めて平滑迅速に開傘し、ほとんど水面に飛沫すら認めないくらい穏やかであつた。
また、一度開傘したパラシュートは、低速に至るまでよく展開し、船体と約 20° の角度を保つて舷側より離れて
おり、船体外板に押し付けられて萎むなどのこともなかつた。

(3) 各種操船実験

統計 31 点の計測を行なつた実験結果によれば、急制動および旋回圈はほぼ半減し、パラシュートが有用であるこ
とが認識された。

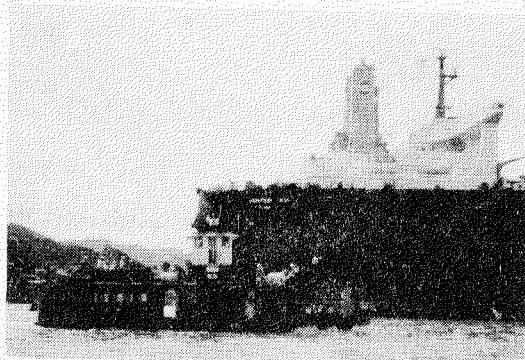


図 4-1 試験海域（長崎港内小ヶ倉沖）へ向う金比羅丸背後の巨船は、32.6 RDWTタンカーユニバース・イラン”金比羅丸の屋根甲板上の白いカプセル（2ヶ）にパラ
シュートが格納されている。



図 4-2 午前中の実験を終え、MHI 香焼工場マ
テガ浦に休憩中の金比羅丸、右方は観測
艇

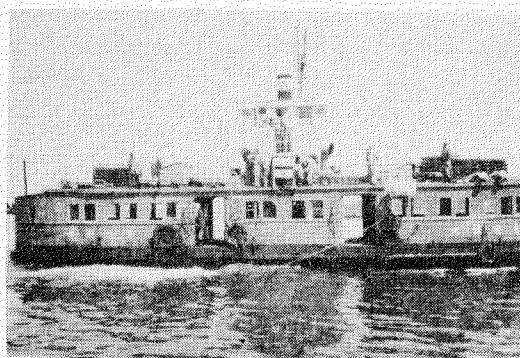


図 4-3 右舷前部パラシュート曳航中
注）屋根甲板より水面上にのびる白い
紐は揚牧用の索

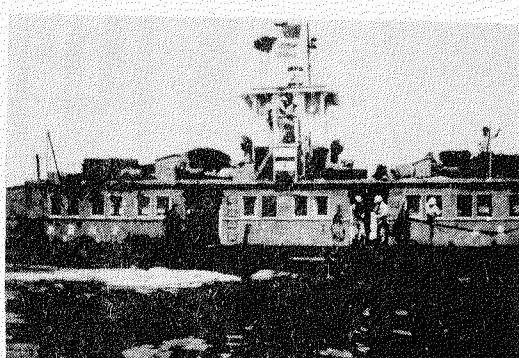


図 4-4 左舷パラシュート曳航中
注）屋根甲板上で流木による速力計測中

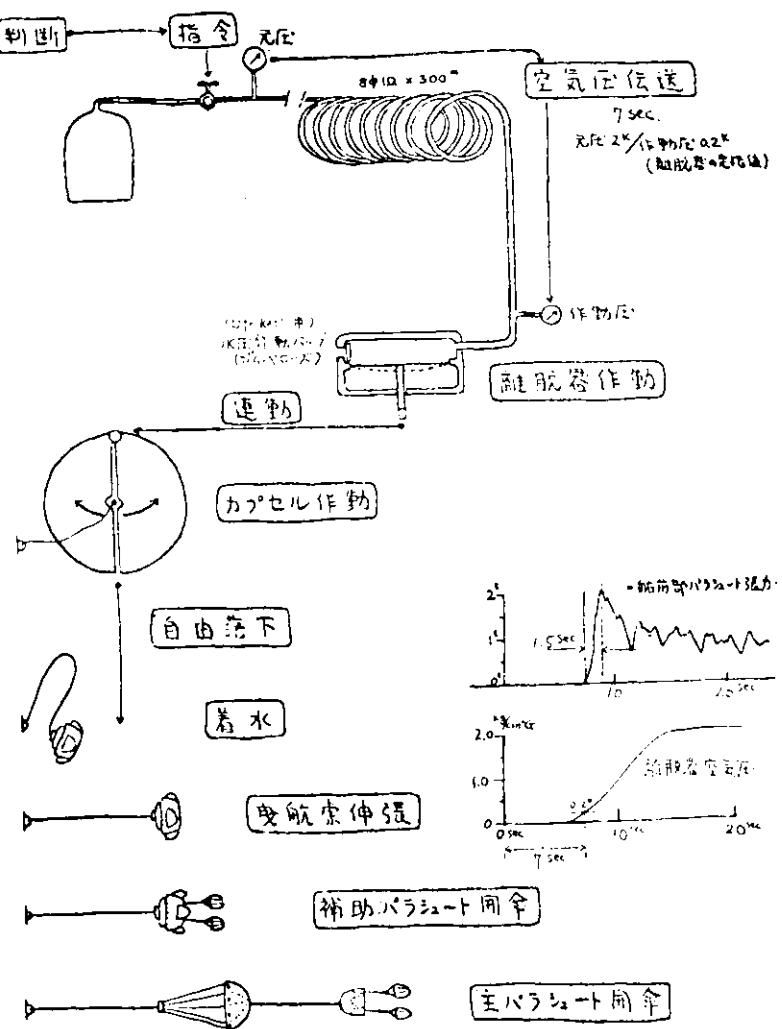


図4-5 緊急制動の作動順序(金比羅丸実験の結果より)

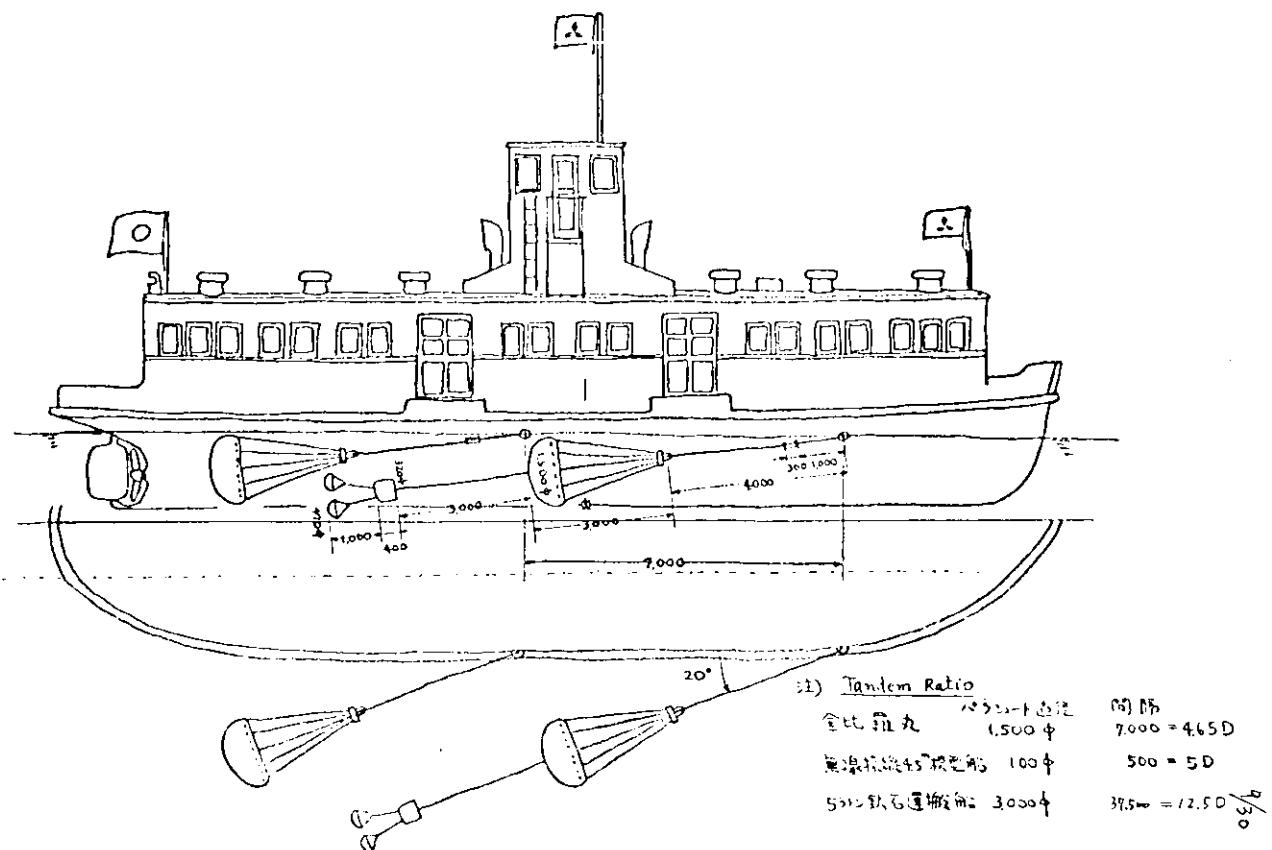


図4-6 ハーフパラシュート規制構造図(金比羅丸の実験結果より)

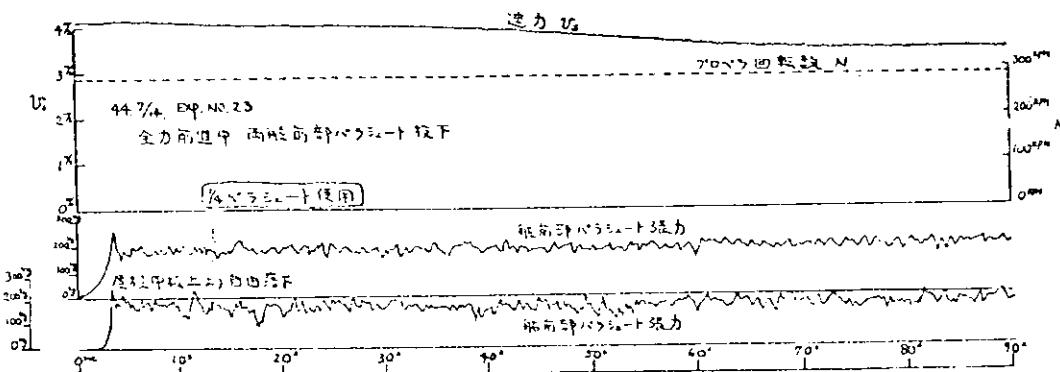
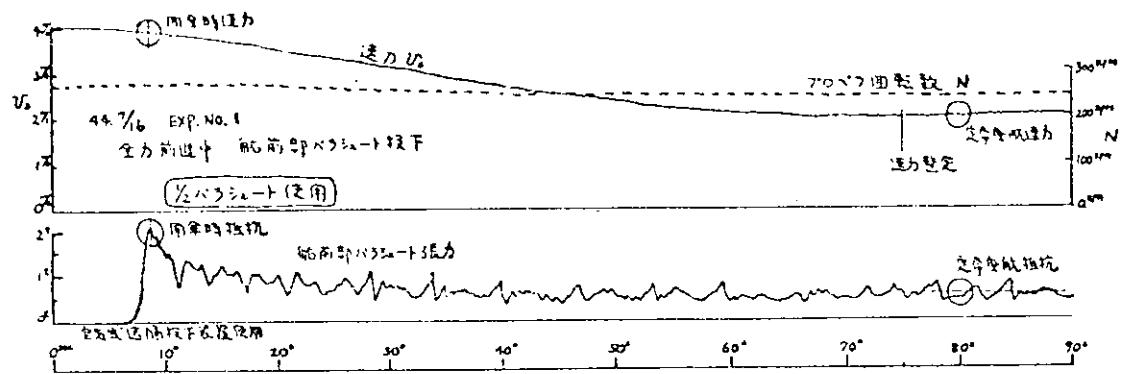


図4-7 布製パラシュートの制動力記録
(金比羅丸の実験例)

----- 1/2縮尺パラシュート使用
---- ～ パラシュートを使用しないもの

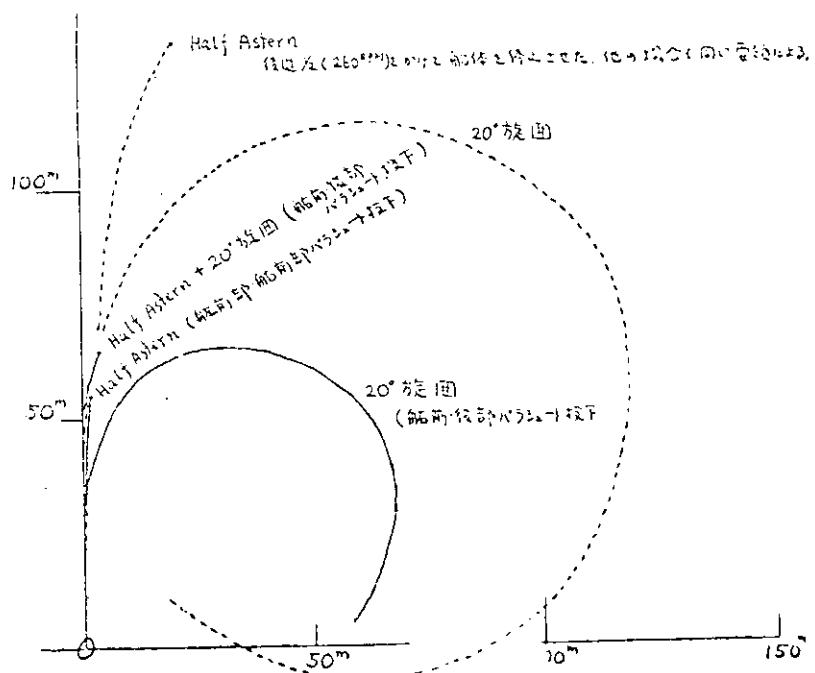


図4-8 金比羅丸実験航跡図

4.3.2. 無線操縦模型船によるタンデム・パラシュート試験(44.9/M~E実施)

この種のシステムの定性的な把握と、新知見を探るために、船研(三鷹)の8.0m角水槽において、木製4.5m、タンカー模型船(SR-MN0.67, L/B=5.5, C_b=0.84)により、パラシュートを用いた各種の操縦性試験を行なつた。

使用したパラシュートは直径1.0mのもので、甲板上に吊つておき、無線指令によるマグネット作動によつて舷側に落す方法が採られた。

投下時の衝撃抵抗は、対応する速力における定常制動力の2倍を減えたが、これはパラシュートを開いたまゝの状態で投下したため、この点でも収納袋入りのパラシュートは有利である。

パラシュートの旋回寄与は期待したほどのものではなかつた。これは使用した模型船が、非常に旋回性がよかつたこと、タンデムに並べた後方のパラシュートの作用点は船の旋回中心より後方にあつて、旋回を阻げる方向に働くた疑いがあること、などからである。パラシュートを旋回寄与に使用するときは、船型と装備位置を検討すべきであることが判つた。

また、パラシュートは急制動に有効であり、船体はほとんど直航のまゝ停船した。パラシュートを使わない場合は一般に大きく変針し、その方向は予測不可能であるといわれているが、パラシュートによつてコントローラブル・ストッピングが可能であることを証明したので、今後は“判つていたか、却つて危険だからかけなかつた”急停止操船も使われるようになり、衝突・座礁等の事故の減少に役立つものと思われる。ただし、実験装置の簡易化のためと、水槽の大きさの制限から、プロペラの後進回転数は前進のそれと同じで行なつたので、実船ではあり得ない、著しく過大な主機後進力のもとで実験を行なつたことになり、したがつてパラシュートの効果は目覚ましいほどのものではなかつた。

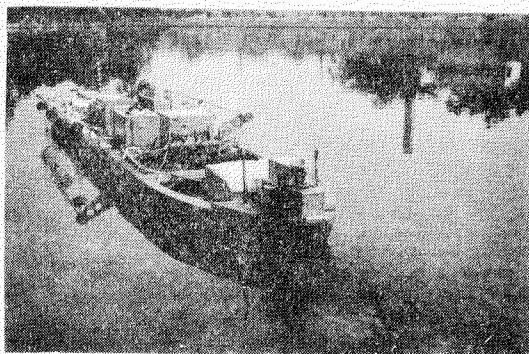


図4-9 無線操縦自航模型船によるタンデムパラシュート試験模型船 44.9/22~26

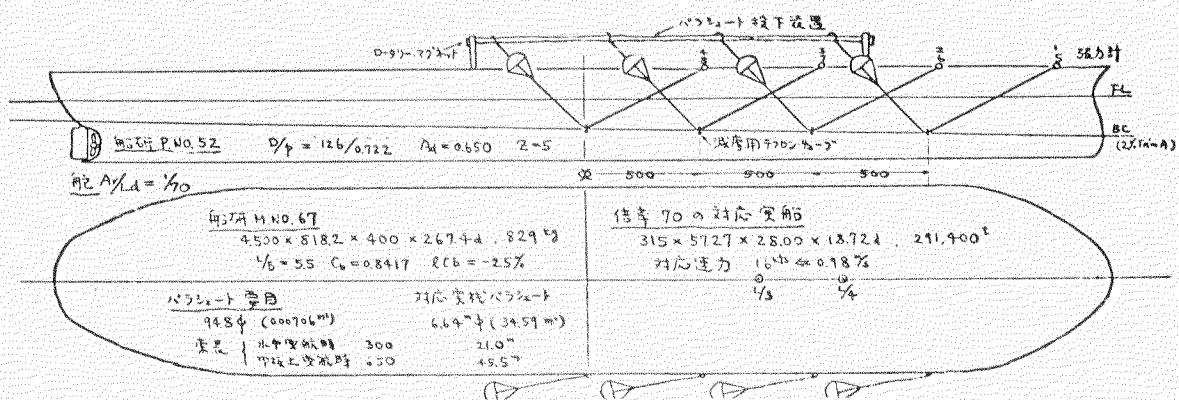


図4-10 タンデムパラシュート実験装置

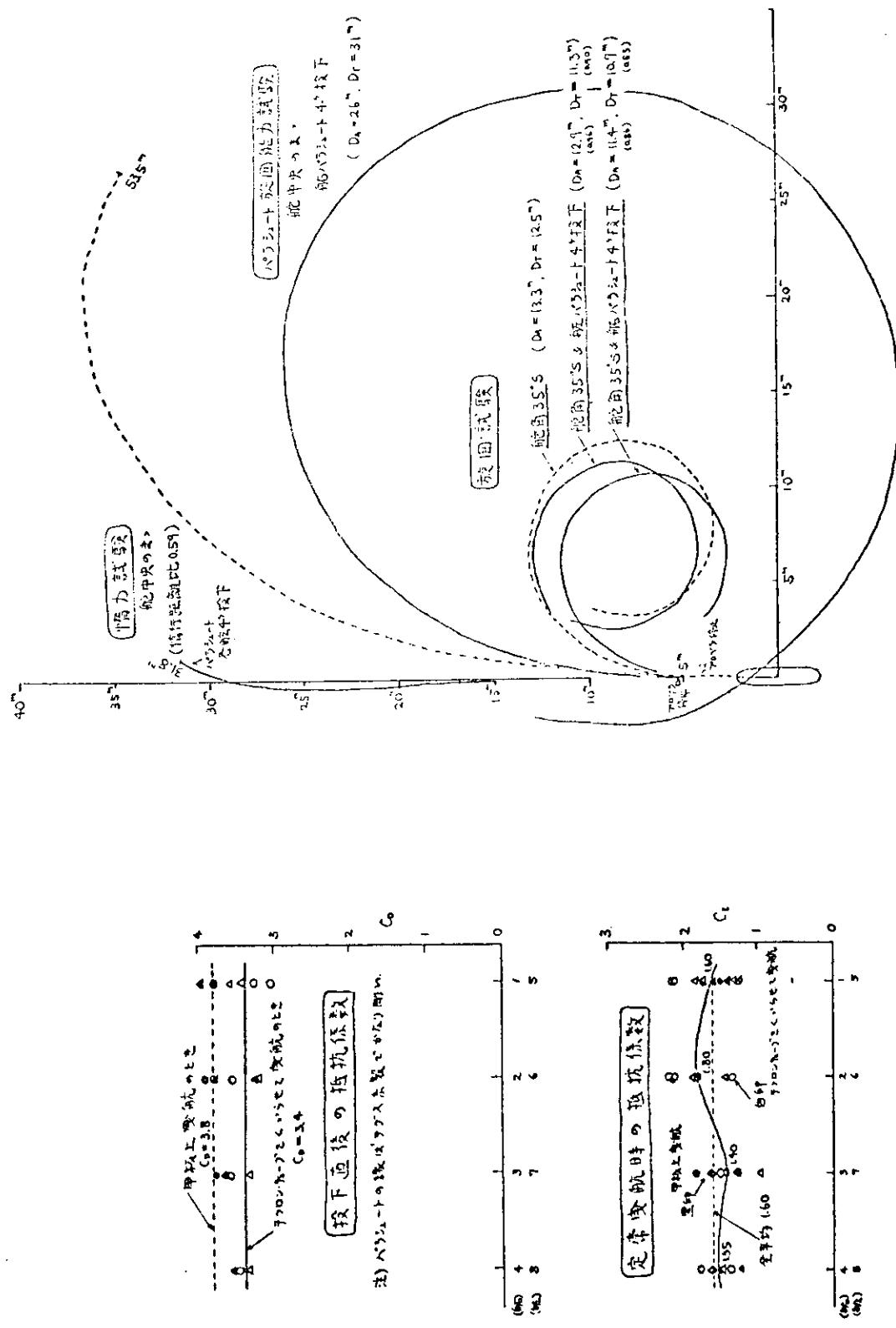


図 4-12 タンデム・パラシューートによる航速試験
図 4-11 タンデム・パラシューートの抵抗係数

急制動試験

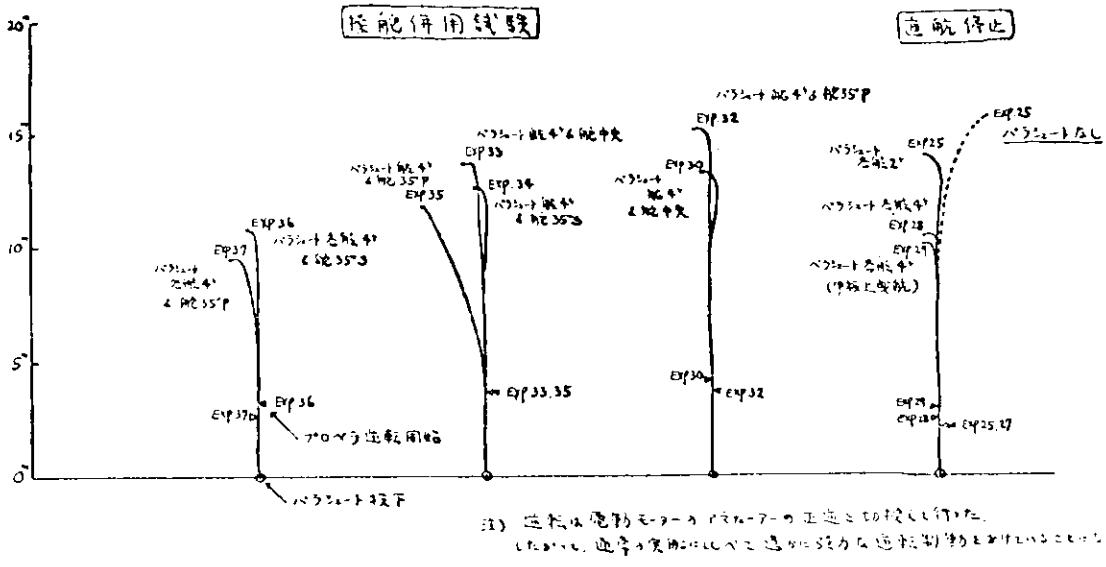


図4-13 タンデム・パラシュートによる急制動試験

4.3.3. 実船評価試験(4.4.12/21於長崎港外三重一高島海域)

三菱鉛石輸送船株式会社の御好意で、同社所有の"さんたいさべる"丸を、修繕工事に伴う試運転の機会を利用して、実験船として提供していただいた。

同船は、昭和37年三菱長崎造船所建造の載貨重量5,265t DWT、主寸法 $21.4\text{m} \times 6.8\text{m} \times 15.7\text{m} \times 1.64\text{m}$ (試験状態は $d_X = 6.0\text{m}$, トリム $5.0\text{m} = \text{Aft}$, $\Delta = 5,200\text{t}$) 1,300 BHP ディーゼル、最高速力16.5ノットの鉛石運搬船である。

本船の中央船橋を挟んで、PR7-6, PR8-6の両舷側に、新開発のパラシュートを装備し、各種の実験を行なつた。曳航係は水線上約1mに特設したフックにとつたが、右舷船甲板上のローラチャックから曳航する実験も行なつた。

すべての投下実験で、パラシュートは確実、平滑に開傘し、安定に曳航された。

パラシュートの後方海面に虹彩の3倍程度の白い泡が立つたが、有害な波は発生しなかつた。

着水時の衝撃抵抗は、定常時の約1.6倍で、小型のものに比べてやゝ大きい結果であつたが、パラシュートの水抜き孔を多少大きくするなどで、横衝できる見込みである。

速力10.5ktで前進中、主機急進を発令し、両舷2ヶ計4ヶのパラシュートを投下した急制動実験では、制動距離は半減した。パラシュートは中速11.1kt, 航角55°の旋回にはほとんど寄与しなかつたが、低速3.5ktの航角35°の実験では、旋回回数はほぼ半減した。これは、船に流入するプロペラのスリップ・ストリームがパラシュートを曳航するとによつて著しく増加し、低速航行時の舵効果を改善したためと考えられる。また、最低回転放流航行速力は6.5ktであつたが、パラシュートを4ヶ曳航すると、3.5ktに减速された。

しかも舵効果もよく、大型船の操船上のもう一つの弱点である、低速航行時の進路不安定を著しく改善すると期待される。

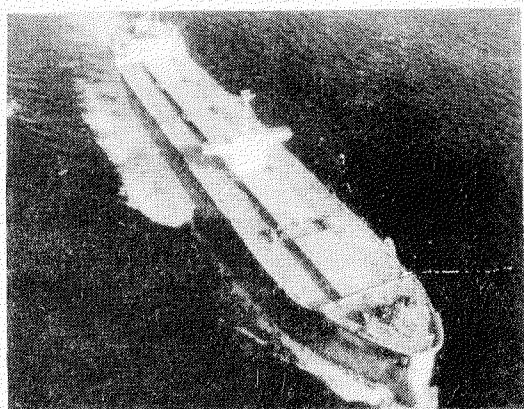


図 4-14 さんたいさべる丸実験右舷パラシュート投下

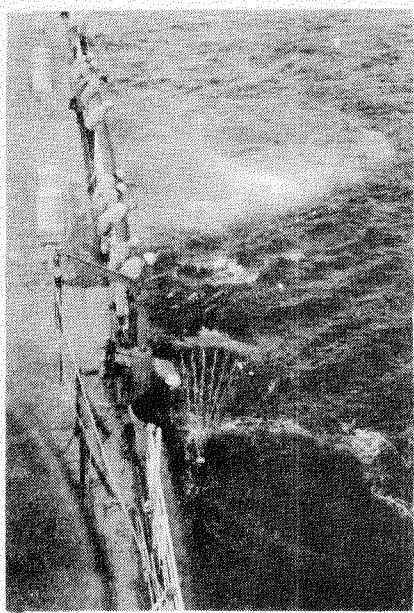
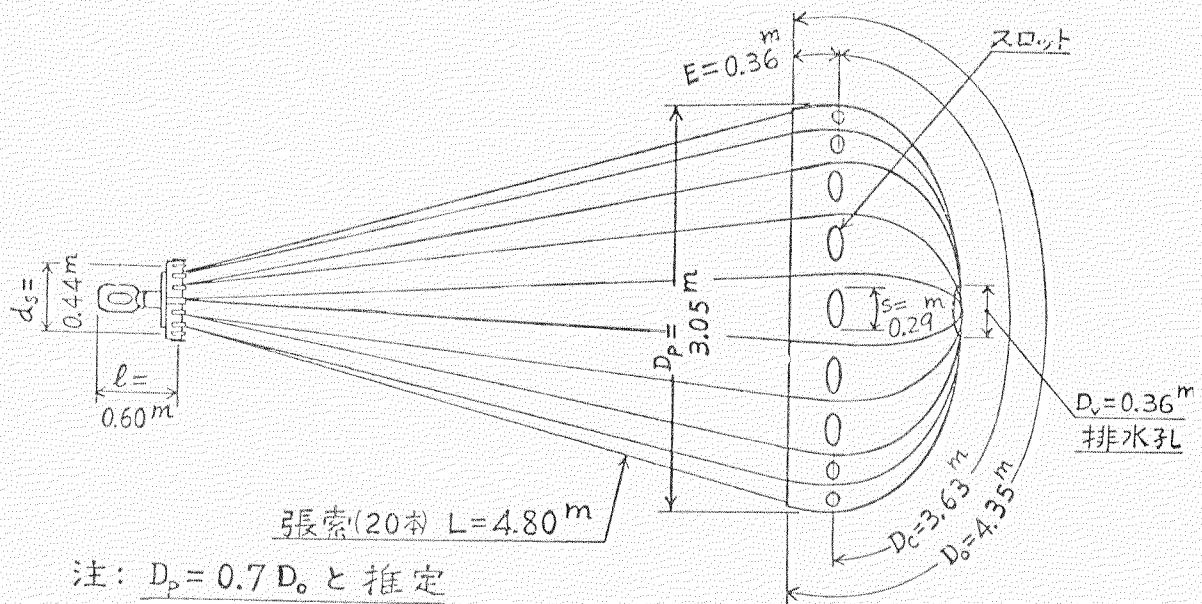
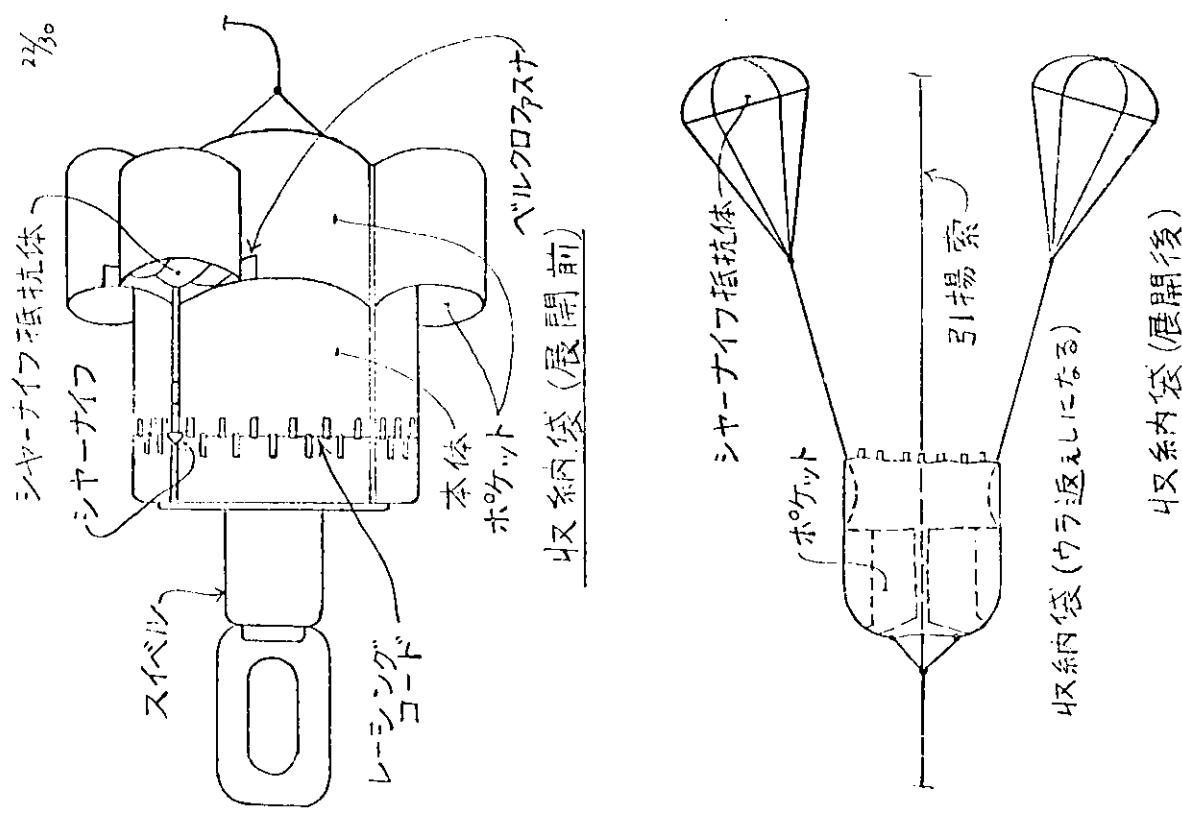


図 4-15 さんたいさべる丸実験左舷パラ
シュート曳航





-153-

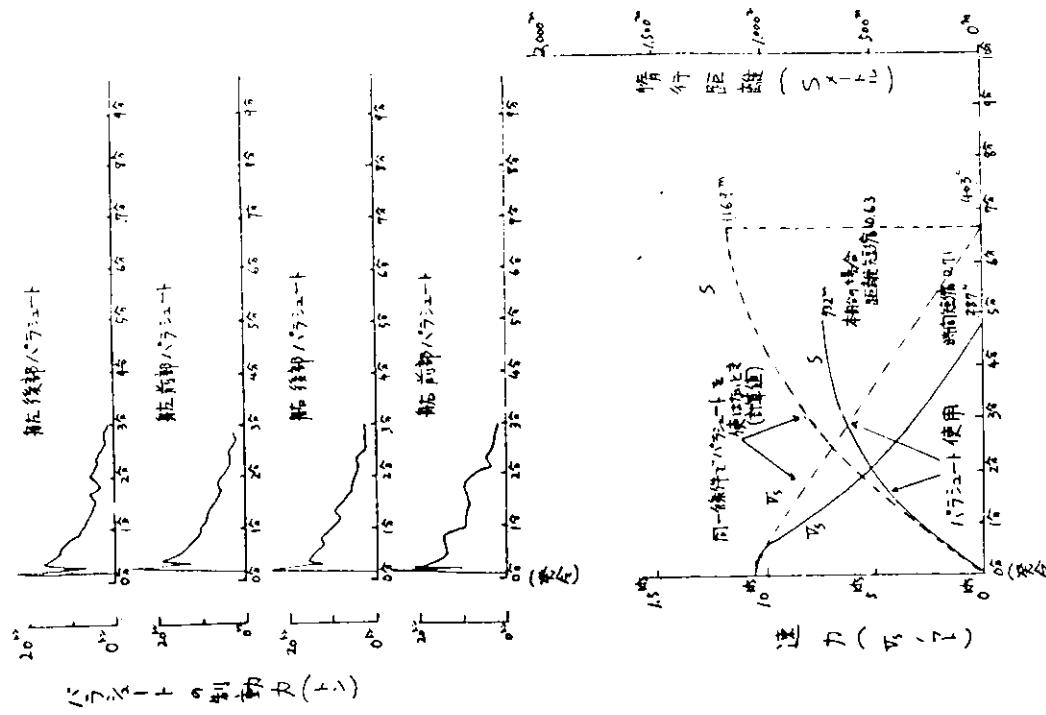


図4-17 16kg-30伞ハブシュー取扱圖
1.0.5kg前進中「高級2ヶ、前4ヶのハブシュー下十後進垂合」実験より

図4-18 "さんせいさべる丸"沈上るバルーンポート活動の一例
1.0.5kg前進中「高級2ヶ、前4ヶのハブシュー下十後進垂合」実験より

35°船採用

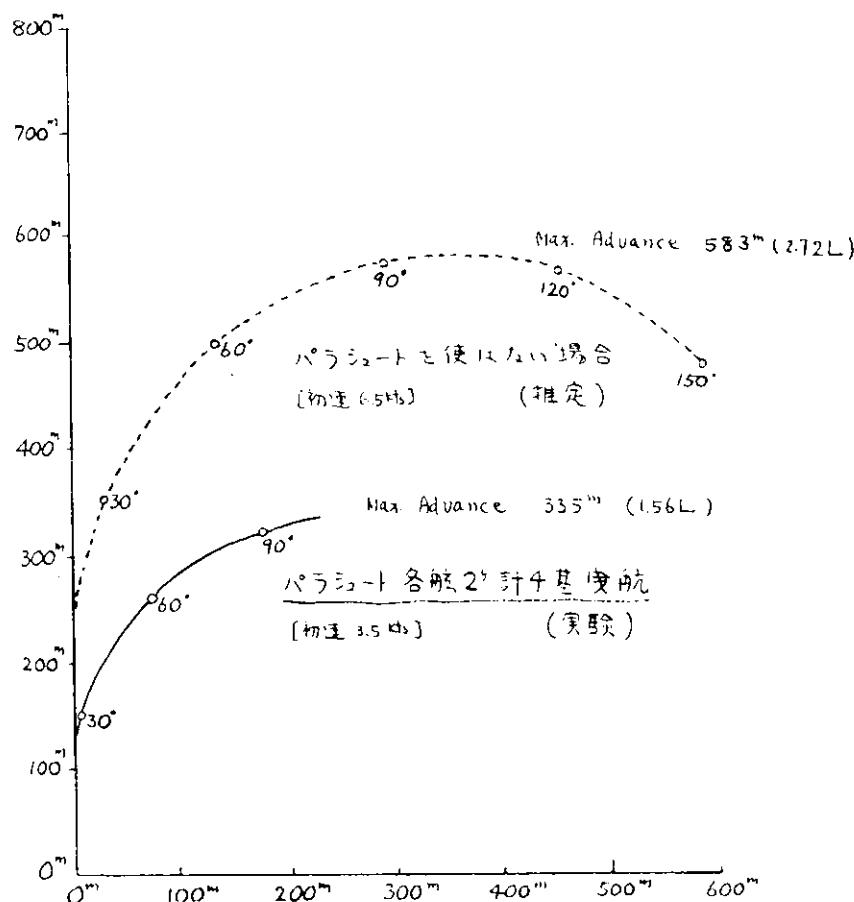


図4-19 さんたいさべる丸実験低速航行時の旋回実験

4.4 パラシュートの利用方法

緊急制御システムのうち、44年度は定格1.6 kts-30tのパラシュートを開発し、これが急停止距離の短縮や、旋回力増強に寄与することを試した。

このシステムは、座礁予防・衝突予防システムとともに、非常制御システムを構成するもので(図4-20)、その制御装置の本体は、互に兼用できる(図4-21)ものと思われる。

使用目的から言って、パラシート投下指令—水中開傘までの時間を極限すべきことは言うまでもないが、状況判断—指令決意—パラシート投下までの時間の短縮も重要であり、各船ごとに船長判断用資料が用意されるはずであるが、さらに進んで、非常制御システムの自動化のなかに、取り入れられることが望ましい。

なお、旋回寄与を狙うには、パラシートの装備位置をなるべく船首側に設けることが望ましい。

パラシートの使用法は多種・多様であるが、数例を示す。(図4-22)

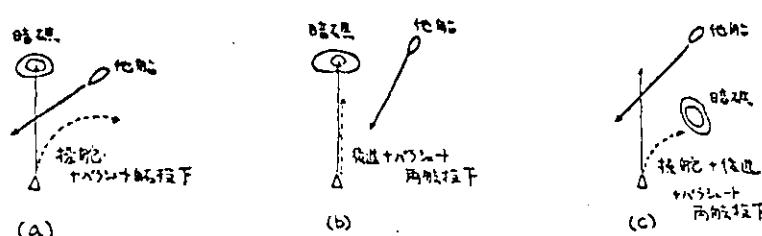


図4-22 パラシュートの使用例

4.4.1. 5万トン・26 ktsディーゼル・コンテナ船への適用について

(1) 急停止性能

Head Reach 経験公式 SR72 Report 57 May/1966 より

$$\frac{V \cdot t}{\Delta P} = 250 \quad \rightarrow \quad \beta = 1.6 T \cdot V$$

V : 初速 m/s
 t : 停止時間 sec T : 停止時間 min
 ΔP : 排水量 ton β : 停止距離 m

超高速・大型コンテナ船の急停止性能は次のとおり。

急停止所要時間 $T = 6 \text{ min}$

急停止距離 $\beta = 2,500 \text{ m}$

この程度の性能であれば、またコンテナ船は航路が設定されていることもあり、急停止性能に問題があるとは思えない。しかし、暗礁探知能力は 2,000 m であるから、できれば、この範囲内に急停止距離を収めておきたいものである。

(2) パラシュートの装備計画

就航速力における船体抵抗と等しい制動力のパラシュートを、ロープ張力、30 t 以下(ハンドリングなど実用性考慮)の制限で決める。

$$\text{船体抵抗 } R \approx \frac{0.5 \times B/P \times 75/1,000}{V} = \frac{0.5 \times 6,000 \times 75/1,000}{13} = 175 \text{ t}$$

パラシュートは 6 組(片舷 3 組)で構成すれば、

定格: 26 kts - 30 t (新型パラシュート)

となる。これは、開発ずみの 16 kts - 30 t パラシュートの布地耐圧力 $4 \text{ t}/m^2$ に比べ、約 2.6 倍の $10.5 \text{ t}/m^2$ となり、新しい布地構成の開発を要する。しかし、パラシュート直径は約 1.85 m 程度になら見込みで、この程度の大きさならば、Solid Type のものもあり格納に不便ということもないと思われるし Flap-fin 式など、他の構造の採用も検討されよう。

この場合の急停止距離の短縮は、 $2,500 \text{ m} \rightarrow 1,800 \text{ m}$ であり、暗礁探知能力の範囲内となる。

4.4.2. 20万トン・16 ktsターピン・タンカーへの適用について

既出 Head Reach 経験公式より

急停止所要時間 $T = 1.5 \text{ min}$

急停止距離 $\beta = 4,000 \text{ m}$

これにより、タンカーでは急停止性能の向上へのニーズが非常に高いことが判る。

パラシュートは、定格 16 kts - 30 t × 6 組を装備すると、急停止距離の短縮は、 $4,000 \text{ m} \rightarrow 3,000 \text{ m}$ となり、現行の通常の大型船が平常に保つている距離 2 カイリ ($3,700 \text{ m}$) 以内に収めることができる。

4.4.3. その他のパラシュート使用航法について

パラシュートは、急停止性能の改善のほか、低速航行時に使える、プロペラの Slip Stream が強くなるので、舵効果を著しく高めることができ。船体抵抗も、パラシュートの制動力も運力のはく離に比例するので、低速時に至るまで、パラシュート曳航時の船体抵抗は Sea Margin 100%となつており、航速はパラシュートを使用しないときの 2 倍、すなわち舵力は 4 倍に改善されることになる。

なお、この場合のパラシュート曳航形式に 2 種あり(図 4-23)、海峡通航には(a)曳航通過には(b)のようなことになるのではないかと思われる。

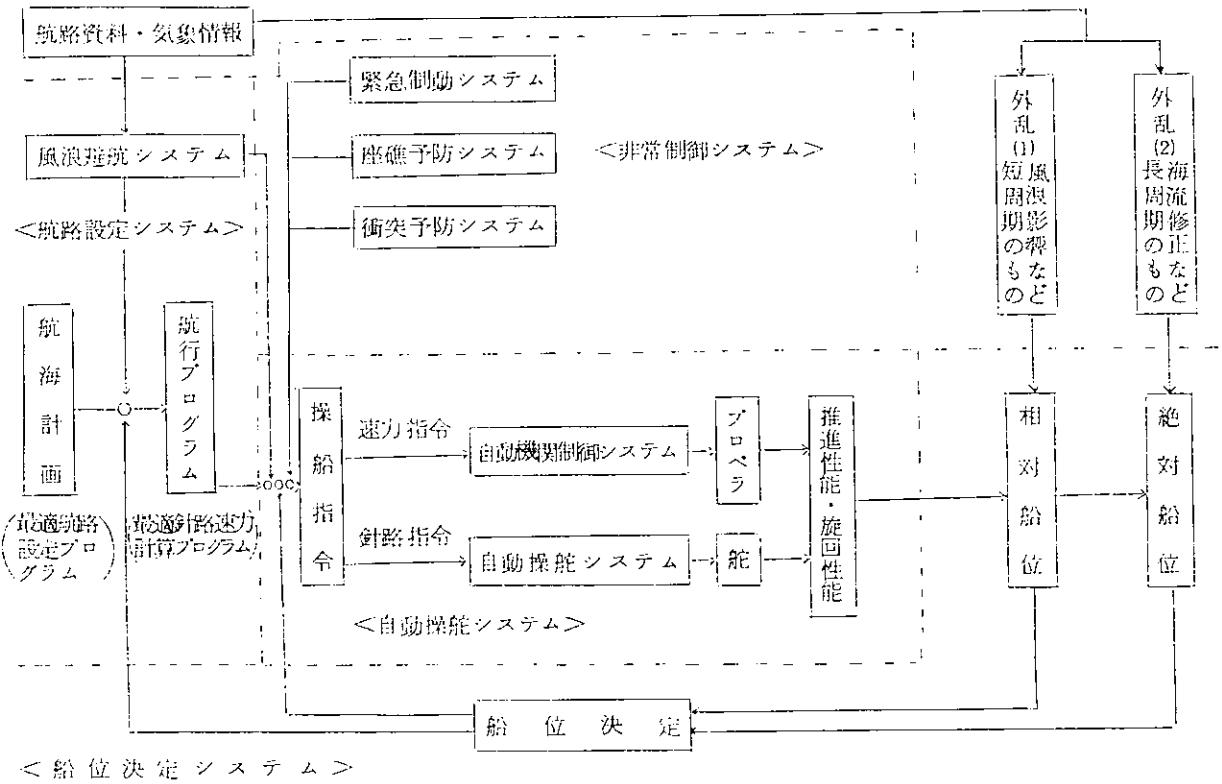


図4-20 航法システムのなかの緊急制動システムの位置

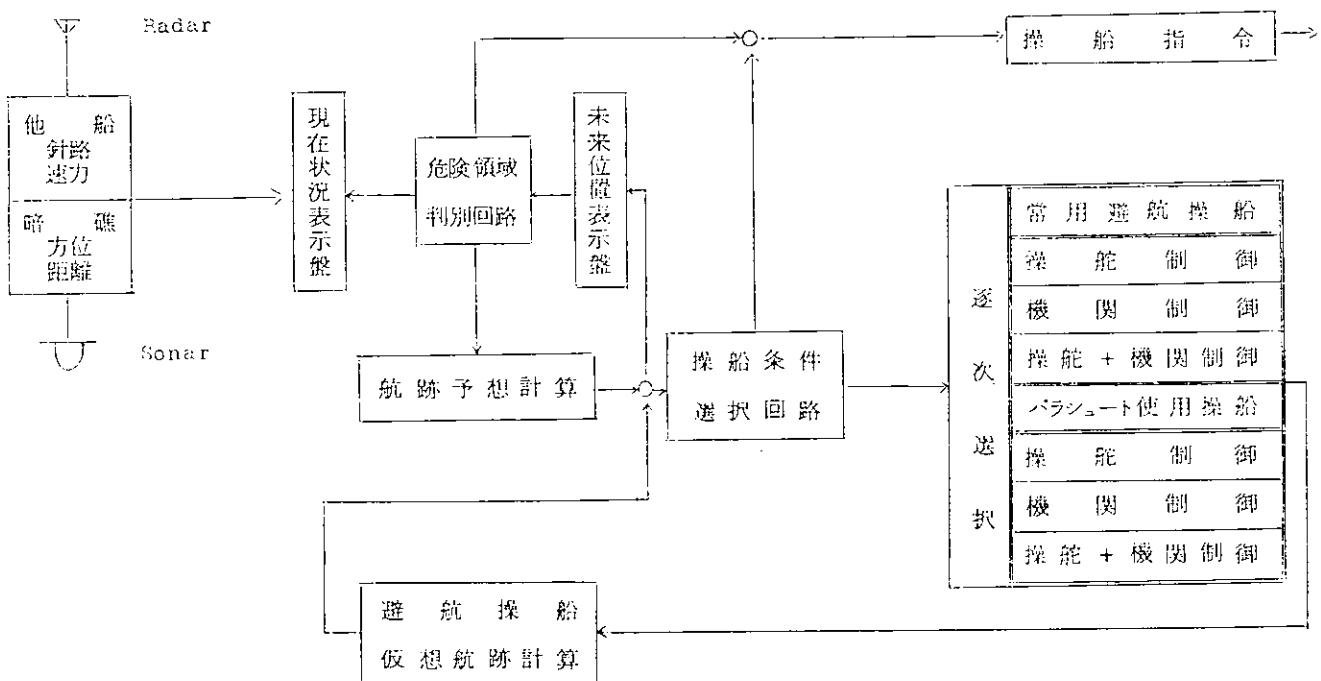


図4-21 非常制御システムのブロック図

4.5 緊急制動システムの問題点

パラシュートを船舶の緊急制動に使うという、恐らく世界でも例のない実験企画み、その制動の有効性を立証し、船舶の新しいブレーキとしての有力な一つのアイデアを提供したが、これを一般化するためには、これから解決していかなければならない問題もかなり残されている。

4.5.1. 航法上の問題点

(1) パラシュートの使用基準を明らかにすること。

パラシュート使用の判定を、危険領域の形で提供するための計算法の確立

(2) パラシュートの使用時期の判断を助けるための自動警報を出すこと。

船上のコンピュータ・システムに連結した、自動危険領域警報装置による、パラシュート使用基準判定の自動化

(3) 同 上

船上のコンピュータ・システムにより、パラシュートの使用を仮定した場合の未来位置を計算し、表示するシステムの開発

(4) パラシュートを使用したことを、記録に留め得るようすること。

パラシュートの使用を指令したことや、パラシュートの作動が記録に残り得るような方式とすること。

4.5.2. 機器装置の問題点

(1) 投下、揚収装置の省力化

(2) 投下、揚収装置の信頼性の確保

(a) 全天候型装置とすること。

操作の確実性

耐波・耐候性

(b) 点検基準の作成

手入れ基準

作動点検基準

部品交換基準

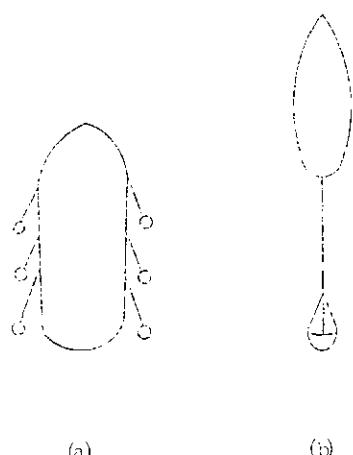


図4-23 パラシュートの曳航形状(2種)

5. 航法システムのソフトウェアの開発

5.1 航法システムのフローチャート、I/Oリスト等の作成

コンピュータシステムデザインに必要な資料を作成した。ただし、ここに作成した資料は近く実船で評価試験を行なうことができる次のシステム

- (a) NSSによる船位測定システム
- (b) 船位推定システム
- (c) 衝突予防システム

に関するものに限つてある。

また、上記(a)、(b)、(c)の各システムのフローチャートはそれぞれの「実用プログラムの作成」の項を参照されたい。

(1) ソフトウェアの構成

航法システムのソフトウェア構成図を図 5.1-1 に示す。この図は航法システム全体のソフトウェアの関係を示したものである。補助記憶装置に入っている船位測定、衝突予防プログラムは必要に応じて、主記憶装置の機能プログラムのワーキングエリアへ転送される。

(2) オペレーションフローチャート（プログラム制御フローチャート）

航法システムのオペレーションフローチャートを図 5.1-2 に示す。この図は各システムのプログラムの制御を外部機器から操作する場合の流れを示したものである。

これに関係するプログラムは図 5.1-1 のシステムプログラムに含まれる。ロックアウト解除でそのプログラムが使用できる状態になる。

(3) タイムチャート

衝突予防システムのタイムチャートを図 5.1-3 に示す。

これは時間の経過に従つて各プログラム（3.2.3 ソフトウェアの構成の項の参照）がどのように実行されるかを示したものである。

(4) プロセス入出力表

航法システムの入力信号表を表 5.1-1 に、出力信号表を表 5.1-2 に示す。

これは、コンピュータへの入力信号の種類と発信先およびコンピュータからの出力信号と受信先を一覧表にまとめたものである。

(5) 割込み入力表

航法システムの割込み入力表を表 5.1-3 に示す。

これは、外部機器からコンピュータへ入つてくる割込み信号と発信先をまとめたものである。

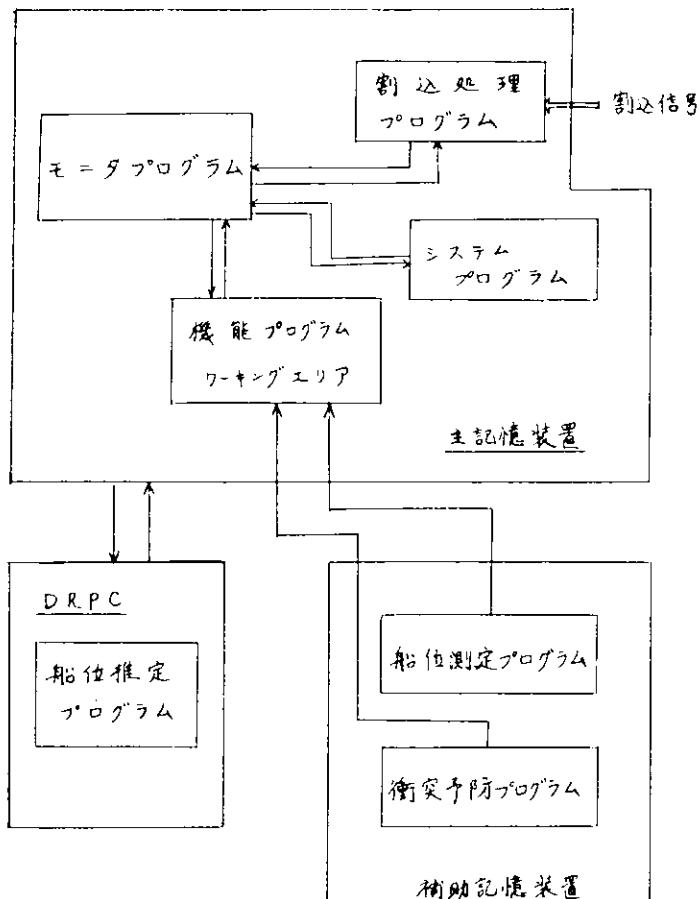


図 5.1-1 航法システムのソフトウェア構成図

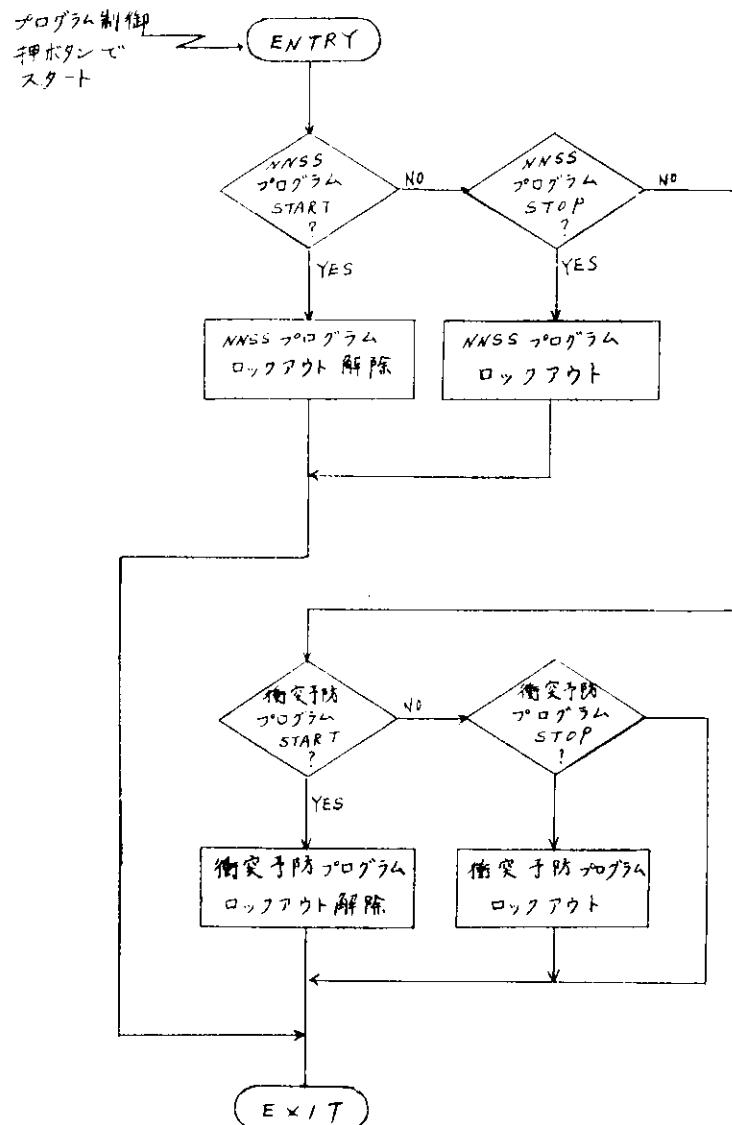


図 5.1-2 オペレーションフローチャート

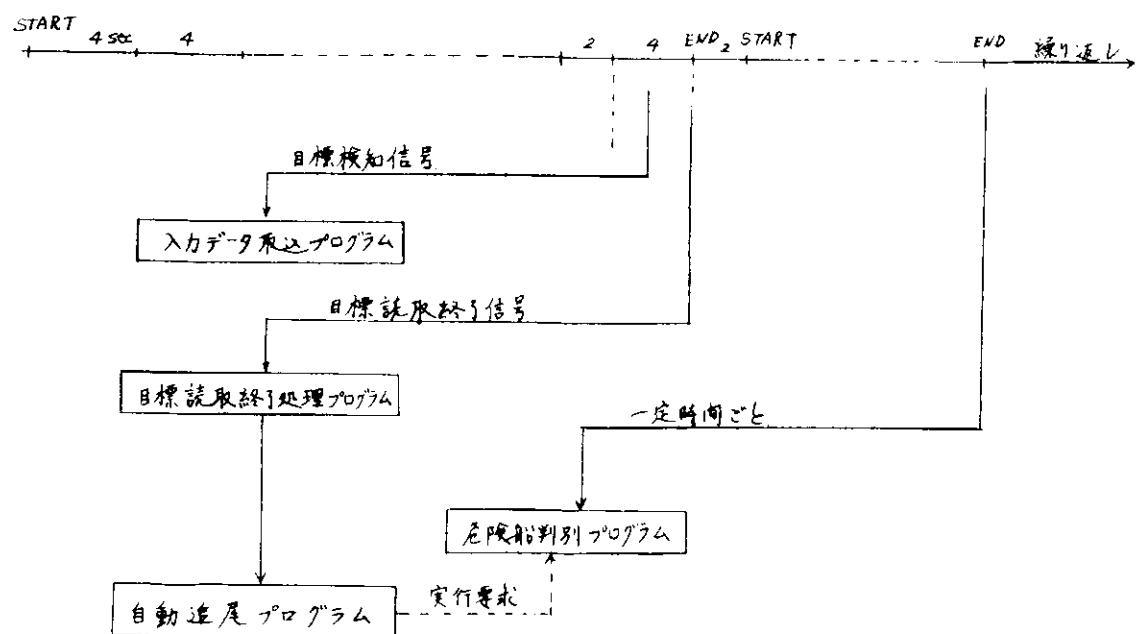


図 5.1-3 タイムチャート

(注) 一例として 衝突予防システムの場合を示した。

表 5.1-1 入力信号表

番号	項目	発信器	備考
D I - 1	TRIAL SPEED	衝突予防ディスプレイデイジタルスイッチ	
D I - 2	TRIAL COURSE	"	
D I - 3	CPA 設定値	"	
D I - 4	T CPA "	"	
D I - 5	TIME INTERVAL "	"	
D I - 6	OCCUPY ZONE "	"	
D I - 7	ORIGINAL COURSE "	"	
D I - 8	TARGET "	衝突予防ディスプレイ押ボタン	
D I - 9	目標位置 X	ライトペン	
D I - 10	" Y	ライトペン	
D I - 11	書き回数	海面反射除去装置	
D I - 12	目標の方位	目標判別追尾装置	
D I - 13	" 距離	"	
D I - 14	船速	電磁ログ	
D I - 15	針路	ジャイロ	
D I - 16	推定位置(緯度)	DRPG	
D I - 17	" (経度)	DRPG	
D I - 18	NNSS受信データ	NNSS受信機	

表 5.1-2 出力信号表

番号	項目	発信器	備考
D O - 1	目標番号	衝突予防ディスプレイ	
D O - 2	目標位置(X)	"	
D O - 3	" (Y)	"	
D O - 4	TARGET "	"	
D O - 5	DATA MODE	"	
D O - 6	TARGET DATA	"	
D O - 7	NEW COURSE	"	
D O - 8	MANEUVERING LAMP	"	
D O - 9	IMMEDIATE DANGER LAMP	"	
D O - 10	DANGER LAMP	"	
D O - 11	AUTO TRACKING LAMP	"	
D O - 12	LOST TARGET LAMP	"	
D O - 13	RECOMMEND LAMP	"	
D O - 14	OVERFLOW LAMP	"	
D O - 15	ベクトル発生用 A, X	"	
D O - 16	" Y	"	
D O - 17	実測位置(緯度)	航法計算ディスプレイ	
D O - 18	" (経度)	"	
D O - 19	実測時刻	"	
D O - 20	CURRENT(方向)	"	
D O - 21	" (速力)	"	

表 5.1-3 割込み入力表

番号	項目	発信器	備考
A I - 1	目標検知信号	目標別追尾装置	
A I - 2	目標航路終了信号	"	
A I - 3	AUTO-TRACKING	衝突予防ディスプレイ押ボタン	
A I - 4	MANUAL-INITIATION	"	
A I - 5	MANUAL-PLOTTING	"	
A I - 6	CORRECT	"	
A I - 7	CANCEL	"	
A I - 8	TRAIL	"	
A I - 9	MANEUVER	"	
A I - 10	DATA READ	"	
A I - 11	DATA SEND	"	
A I - 12	HSS DATA UP	HSS受信機	
A I - 13	" 2 MIN	"	
A I - 14	" SYNC	"	

5.2 モニタプログラムの作成

5.2.1 概要

オンラインリアルタイムの機能を有するコンピュータは外部の各種の事象を個別に識別する多数の検出端をもつている。コンピュータ内部には各事象に対応してそれぞれ機能を別にする多数の処理プログラム（機能プログラム）が存在している。

事象には時間的に規則正しく発生するものと不規則に発生するものがある。各事象は独立である場合が多いから、同じ時間で複数個の事象が発生し、同時にコンピュータへ入ってくることもあり得る。

外部事象の検出性コンピュータへの割込みによる場合が多い。これはコンピュータ自身が外部事象を気にすることなく仕事ができる点で有効な方法となつてゐる。

ところでコンピュータは一時点においては1つの仕事をしかしないから、複数個の事象が同時に発生し得る外部のプロセスをコンピュータの仕事の間になんらかのマッピングを考えなければならない。

この働きをするものがモニタといふシステムプログラムである。ここに作成したモニタプログラムは割込み処理ルーチン、仕事実行制御ルーチン、プログラム編集ルーチン、仕事実行ルーチン、各種標準手続等より構成され、プログラムの多重処理が行なえるように考慮されている。

5.2.2 モニタの主な機能

モニタプログラムの主な機能は次の通りである。

- (1) 一つの機能プログラムが終ると、次に何を実行するかを決めこれを処理するプログラムへ制御を移す。
- (2) 割込みが起るとその原因を判別する。つぎに優先度を考えて適切な処理を行なう。
- (3) 補助記憶装置から主記憶装置へ記憶内容を転送する。また逆に主記憶装置から補助記憶装置へ転送する。
- (4) 機能プログラムを実行することが必要となつた場合、モニタはそのプログラムが主記憶装置にあるか否かをチェックする。もしなければ主記憶装置への転送を指令させる。
- (5) 入出力機器のスピードとCPUの演算速度とくらべて非常に遅い。入出力要求が出されている間でも、他の機能プログラムが実行できる。
- (6) 各種のコンピュータ側のエラーの検出ができる。

エラーが発生した場合にはエラー処理ルーチンへ制御を移し、何らかの形（タイプアウト等）でオペレータに知らせる。

(7) 時計機能を有しており、定められた時刻に機能プログラムを実行する。

（注）以下では、機能プログラムを仕事またはJOBと称する。

5.2.3 モニタの体系

ここではモニタのうちで、モニタが管理する標準プログラムを除いた部分について説明する。標準プログラムについては5.2.4で、取りあげである。

(1) 概論

図5.2-1はモニタプログラムのゼネラルフローチャートを示したものである。割込みが起るとある番地からプログラムは実行される。それがモニタの入口である。モニタは割込み処理として各レジスタの保存を行ない、割出しによつてどの外部I/F（フリップフロップ）がセットされたかを判定する。ここにおいて仕事の実行要求か否かがわかる。仕事実行要求の場合には、仕事実行要求を出す。それ以外の場合は各々の処理ルーチンへ移る。次の仕事実行制御では優先度の高い仕事の順番に実行条件がととのつているかどうかを調べる。実行条件がととのつている仕事があると、仕事編集制御に移る。ここでは、その仕事を実行するに必要なプログラムが主記憶装置にあるか否かを調べる。もしなければ補助記憶装置から転送させる。

実行条件のそろつている仕事のプログラムが主記憶装置にある場合には、レジスタの復活とスタート番地をセットして仕事の実行に移る。

一方、モニタの体系を成すものにタイマー処理がある。これによつて時間をベースにして仕事制御ができる。

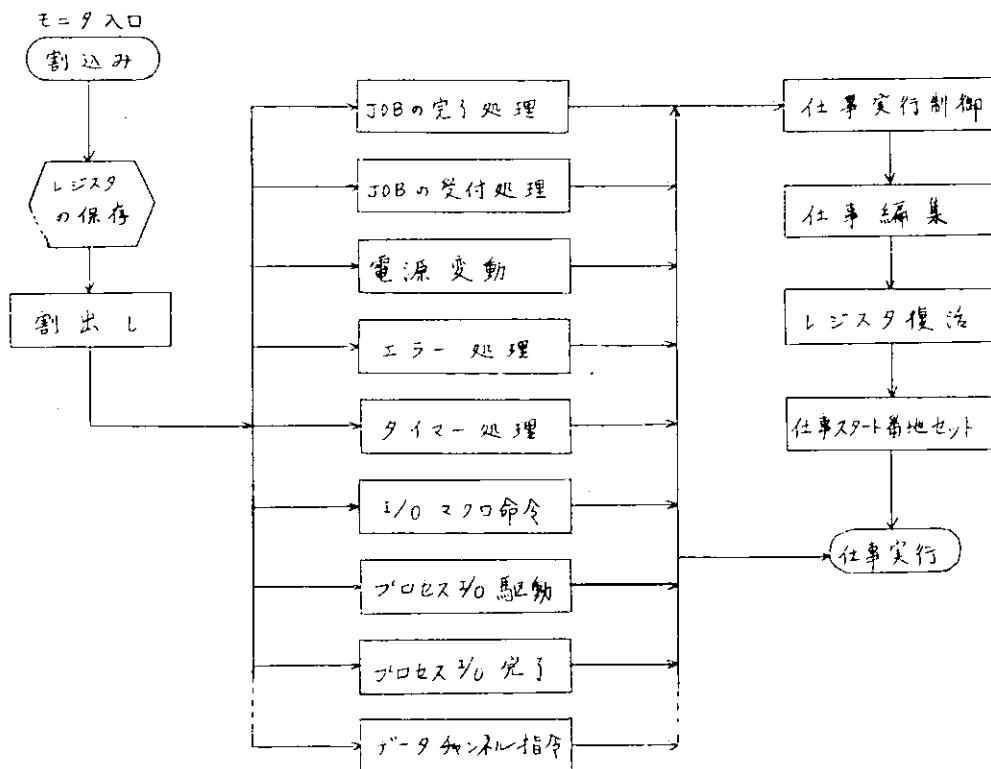


図5.2-1 モニタのゼネラルフローチャート

(2) 割込み

割込みとはプログラムの分岐の一種であり、プログラムの実行を途中で中断してプログラムの制御をあらかじめ決められた番地へ移すことである。オンラインシステムでは割込機能によつて、コンピュータシステムの内部処理に関する情報や実行している仕事に関する情報を得ることができる。割込機能を通してのプロセスからの要求に応じて、

実行される仕事の処理順序がわかる。

本モードは次の割込みを受けつけ、それに応じた処理を行なう。

(a) 内部割込み

プログラムで割込を発生させるもので、浮動小数点演算プログラム、システムサブルーチン、入出力関係等の標準プログラムを実行するときに使用する。

(b) 外部割込み

ハード的要因によつて外部ポートをセットして割込みを発生させる。また、割込禁止命令によつて割込を禁止することもできる。

この割込みには、システム割込みとプロセス割込みとがある。システム割込みは計算機システム内の諸条件やシステムに組込まれたクロックによつて引き起される割込みである。プロセス割込みはプロセスに発生した事象を発生源として引き起される割込みで自動的に発生するものと、手動で発生するもの（押ボタン）とがある。

(3) 割込処理

割込みを発生したときのレジスタの内容をレジスタ保存テーブルに登録しておく。これは再び元の仕事にもどれるようにしておくためである。

(4) 割り出し

どの外部FFがセットして割込みが発生したかを調べる。外部FFの番号がわからると割込原因別テーブルから以後の処理を判断する。

(5) 仕事実行制御

図5.2-2に示すテーブルを使用する。

0	1	2	3	4	5	6	15	JOB J _p
R _f	I _f	E _f	W _f	L _f	D _f		B _t	

図5.2-2 仕事レコードテーブル

R_f : リクエストフラグ

$\begin{cases} R_f = 1 & \text{実行要求あり} \\ R_f = 0 & \text{なし} \end{cases}$

I_f : I/O応答待フラグ

$\begin{cases} I_f = 1 & I/O \text{からの応答を待つ} \\ I_f = 0 & \text{待たず} \end{cases}$

E_f : 実行フラグ

$\begin{cases} E_f = 1 & \text{実行途中である} \\ E_f = 0 & \text{実行途中でない} \end{cases}$

W_f : ウエイトフラグ

$\begin{cases} W_f = 1 & \text{待機している} \\ W_f = 0 & \text{していない} \end{cases}$

L_f : ロックアウトフラグ

$\begin{cases} L_f = 1 & \text{ロックアウトされている} \\ L_f = 0 & \text{されていない} \end{cases}$

D_f : ディレイフラグ

$\begin{cases} D_f = 1 & \text{ディレイ要求が出されている} \\ D_f = 0 & \text{出されていない} \end{cases}$

B_t : その仕事に必要なサブプログラムの振りであるサブプログラムロックテーブルの先頭番地

仕事実行制御のゼネラルフローチャートを図5.2-5に示す。まず優先度の高い仕事順に仕事レコードテーブルをみてゆく。もしあるいは R_f がセットされている場合は無視する。

$W_f = 1$ ならば、ただちに仕事録集に制御を移す。それ以外で R_f フラグがセットされている仕事はなむち、実行要求の出されている仕事をさがす。実行に移す対象として選択された仕事があると制御は仕事録集に移る。

(6) 仕事録集

実行に移す対象として選択された仕事のプログラムが、主記憶装置にあるか否か調べ、もしなければ補助記憶装置から転送する。

5.2.4 標準プログラム

仕事とはユーザが作成するプログラムであるが、ここでは、その仕事の中で使用するモニタへの依頼コマンドについて述べる。

(1) 仕事の実行

ある仕事からある仕事を実行させたい場合に使用する。

(2) 仕事の実行中止

ある仕事からある仕事の実行を中止させる。

(3) 仕事のロックアウトおよび解除要求

ある仕事から、ある仕事をロックアウトしたい場合に使用する。

ロックアウトされた仕事は、ロックアウト解除要求が出されない限り実行されない。

(4) ディレイ要求およびディレイ解除要求

ある仕事からある仕事にディレイ(遅延)をかけたい場合、またはディレイのかけられた仕事を解除したい場合に使用する。ある仕事がディレイされているということは指定時間だけその仕事を中断することを意味する。

(5) クロック関係

(a) クロック変更

モニタ内にあるクロックの内容を変更あるいは設定する場合に使用する。

(b) クロックの読み出し

現在の時刻を見たい場合に使用する。

(6) 補助記憶装置関係

主記憶装置から補助記憶装置への転送またはその逆の転送をしたい場合に使用する。

(7) プロセス I/O 関係

(a) デジタル入力 (b) デジタル出力 (c) アナログ入力 (d) アナログ出力

の要求を行なう。

(8) コンソール関係

(a) タイプライタ入力 (b) タイプライタ出力 (c) 紙テープ入力

などの要求を行なう。

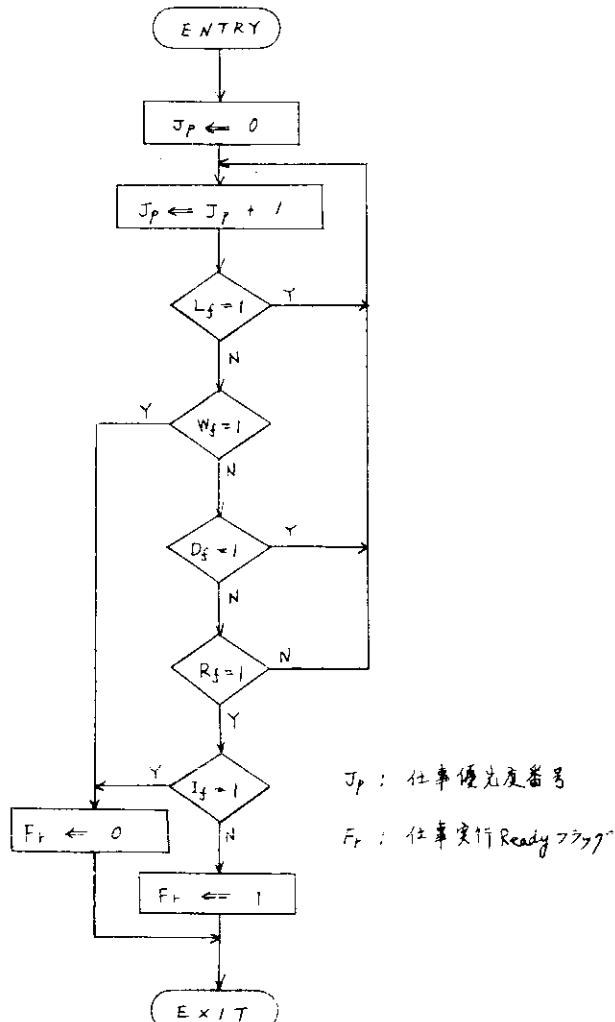


図 5.2-5 仕事実行制御のゼネラルフローチャート