

### 7.3.5 気象・海象状態の観測と予報の展望

船舶の安全かつ経済的な運航には気象・海象の状態をなるべく長期間にわたって、正確に予測できることが要求される。現状では船舶からの気象観測通報も使われて、各地の気象台等の観測や気象観測衛星の観測結果をもとに予報がなされている。この予報は気象通報やファクシミリによって船舶へ通報されている。あるいはまた、この予報に基づいて独自にさらに詳細な予報を作成し、個々の船舶の運航に合わせて気象・海象の予測を行って最適な航路計画を作成し知らせるとともに、出航後は気象等の変化を追跡評価して必要な時には航路計画を修正するようになっている。大洋を航行する船舶ではこのようなウェザールーティングサービスが一般的に使用されている。

船舶で直接NOAA(150MHz帯)や「ひまわり」(1.7GHz帯)等の気象衛星で観測された気象の映像情報を受信している船舶も多い。これは大型商船よりもむしろ漁船等の方が大多数であり、漁獲高に直接関係する水温情報をNOAAのデータ等からなるべく早期に入手したいという理由からである。しかし、「ひまわり」のデータを受信するにはパラボラアンテナを船の動揺や旋回に合わせて衛星の方向へ指向させることが必要である。NOAAからのデータを直接受信し表示する装置一式は現在では極めて高価である。そこで、水温やその他の情報を処理したデジタルな映像情報を短波帯の通信で船舶へ無線伝送しようとする方式も実験され、その有効性が確認されている。

大洋を航行する船舶では漁船のように一部の海域の詳細データもさることながら、航行していく前方の広い海域の状況が知りたいわけであるから、陸上の支援機関において収集された広範な海域全体のデータをもとに予測された情報を利用する方が適している。けれども個々の船舶の近傍に関しては、予測値とは異なる状況も多く予想されるので個々の状況の差異については、再予測なり予測の精度の向上を図る等の方法で差異を縮めていかなければならない。いずれにせよ、船舶上では将来においても自船の周囲の気象・海象観測を実施し、そのデータの通信も含めて自動的に実施されなければならない。無人化船や気象・海象の自動観測のためには、自船の周囲の波浪の観測は波浪レーダで、または甲板上への波浪の打ち上げは青波センサ等で実施されることになろう。しかし、天空の雲の観測や前線性の雲等は、乗組員が肉眼で行えば簡単なものであるが、これを機械に自動的に観測させるには、まだまだ開発を要するものである。

さて、海洋観測衛星としてわが国でもMOS-1型衛星が1987年に打ち上げられるなど、国内外の衛星による気象・海象観測体制は整備されつつある。極軌道の海洋観測衛星(MOS-1, NOAA)と「ひまわり」のような静止衛星とがあり、

後者は実用衛星としてすでに定着したサービスを実施している。前者は実験衛星としてマイクロ波散乱計によるリモートセンシングにより海洋の海面風、波浪、海流、および海水等の情報を計測することができる。これらの情報はリアルタイムサービスに近い形で利用が可能であるので船舶の航行支援情報としての利用の確立が望まれる。

### 7.3.6 時計の発達と地域的 $\rho-\rho$ 航法への展望

航海術の発達において経度測定上の理由から発した正確な時計の発明は極めて重要なことであった。クロノメータと呼ばれる正確な時計の出現は1757年のことであり、その後我々の持つ腕時計は当時のクロノメータの性能をはるかにしのぐものとなっている。さらに安定、正確な時間が必要となって原子標準時計が発明され、1964年には時間の基準に採用されている。当時まだ極めて高価であったルビジウムやセシウムの原子標準発振器(Atomic Standard)は、いまや150万円~1000万円程度で購入でき、しかも小型になっている。このような技術の発展が人工衛星による航法の出現の基礎となった。また従来では困難であった  $\rho-\rho$  航法もこのような高精度な時計を使用できることで可能になったのである。さて、これからの時計・原子標準時計の発達と航法技術の今後の発展との関連については、まず最初には広く  $\rho-\rho$  航法が使用できるようになることが予想される。かつてのオープン付きの水晶発振器のモジュールの大きさをルビジウムやセシウムの原子標準器が大量に安価に生産できるようになって、世界中の無線局や放送局の一部が、その送信する電波の中に識別コードとタイムマーカを入れてくれるなら、船舶や飛行機では、その識別コードとタイムマークから送信局までの距離が測定できる。現在でも日本のテレビ局の放送電波はカラー放送の色信号の基準となるサブキャリアの周波数の安定のためにルビジウム発振器以上のものを使用している。航法への利用を考慮して24時間中、瞬断の無い放送サービスを行い、同期信号の前後に識別コードとタイムマークを入れてもらえれば不可能なことではない。もっともゴースト偽像が問題となっているような地域では他の面倒な問題もあろうが。このような方式が可能になれば Land Navigationでも使用できるであろう。至るところにある放送局を、しかも大電力で送信している局を電波標識として利用できることとなる。

$\rho-\rho$  航法形式の測定装置は一般に精度が良く、GPSも  $\rho-\rho$  航法と言えることができる。9GHz帯を使用するトランスポンダ型の測量用機器では公称精度  $\pm 1m$  分解能  $0.1m$  と言われている。筆者の実験結果からもこの9GHz帯のトランスポンダで  $0.78mRMS$  の精度で位置が求められた。

### 7.3.7 人間の役割と知的情報処理の展望

使いやすい、操作の簡単な機械は、使用者が誤った操作をしにくいので、故障しにくい。よく操作するツマミは操作しやすい位置に置き、誤操作をすると重大な結果をもたらすツマミは操作しにくい、特に意識して操作しなければできない位置に置く等の基本的な配慮が必要である。これまでのテレビでも、よく操作するチューナーは右効きの人のために向かって右側につけ、操作の際に視野の妨げにならない位置につけられていた。しかし、人間の欲求は、テレビのチューナーをテレビの前まで行って操作するのでは面倒だからと、離れたところで操作したいという要求から、超音波や赤外線を利用したリモートコントロールが、どのテレビにもつけられている時代である。レーダでも同じことで、レーダの方がテレビのツマミより操作する部分も多いし、また調整のためによく操作されるツマミは、レーダの種類が変わってもふっつと手を出して「この辺のツマミで確か利得が変わるんだが、…」と回してみるとその通りであったというものが良い。近年、これらの航海計器の調整用ツマミ類の表示を文字ではなく、シンボルマークで表現しようという国際的な基準が示されているが、併せて重要なツマミの位置はある程度統一化された方が良い。

電子工学や周辺の関連技術の発展はより使いやすく、より親切な機械を開発している。銀行の現金自動支払機のように非常に多くの人達が使用するもので、間違いがあってはならず、しかも待たせていただせることが無いように迅速正確に処理させるための一方法として、ほとんどの支払機はテレビ式の表示装置を採用している。そして、テレビの画面の脇に入力用の機能キーやテンキーを設けていたり、あるいはタッチセンサー形式で入力できるようになっている。

同じような目的から、最近全面パネルには何のツマミも無く（電源スイッチと輝度調整ツマミのみ盤面下部にある）タッチセンサーで切り替えたり調整ができるレーダが開発された。

音声認識の分野では、人間の音声を認識して操舵する装置が試作されたことがあるが、安全性の面で心配があり、応答が遅かったり、2重3重の安全回路を付加しなければ安心できず、結局、時期尚早であったものもある。現在は簡単な装置で人命に危険を及ぼすことの無い目的の用途には多く使用されつつあるので使用実績が積まれれば、近い将来には必ず出現するであろう。さて音声認識は問題があるとしても合成音声でも良いからこれまでのベルやブザーに代えて優しい女性の声でARPAから話しかけてくれれば一味違う装置ができるのではないかと考える。

人間と機械が同時に存在しているような環境においては、人間がその環境にいる限り、無人化船のレベルまで自動化が進んだとしてもまだまだ人間が監視

し、最終判断がなされなければならない。

第5世代コンピュータという言葉はもう聞きなれて久しいが、新しい仕組み、構造を持つ知識情報処理機能を持つ汎用コンピュータの普及が期待されている。人間がより高次な判断に専念できるように機械が膨大な情報から有効な情報のみ正確、迅速に選択し、学習能力を持った良きアシスタントとなる支援システムが要望されている。人間が最終判断を正確に下せるよう配慮されている設計が必要である。

最近の装置は内部が複雑化して、初めて操作する人にとっては操作手順すらわからない装置がある。何をするにはどんな手順を踏めば良いのか操作する人にわかり易く理解できるものでなければならない。装置を購入するとダンボール箱一杯に取扱マニュアルが届けられるようなミニコンピュータだとマニュアルを一読し終るのに2年かかり、4年～5年でそのミニコンピュータは旧式化してしまうのが現状である。これはミニコンピュータだけに限られた事ではないと考えられる。

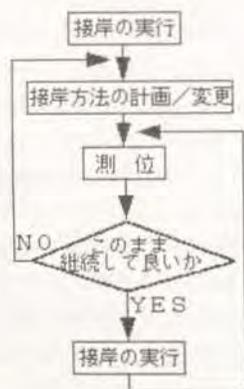
前述したタッチセンサ方式のレーダでは必要な説明の一部がスクリーン内にメニューの形で表示され、そのメニューに沿って操作することにより初めて操作する人にも対応できるように設計がなされている。このようなマン・マシン系を考慮した設計がスペクトラムアナライザやデータロガーなどの多目的CRTを使用する計測装置等で採用されておりメニュー形式の入力は定着しつつある。このような設計はメーカーと利用者双方に時間的、および経済的余裕が無いと難しい事であり、やっとその時期が到来したものと考えられる。このようなマン・マシン系は現代の技術であり、将来技術としては、知識的判断処理が含められたマン・マシン系が必要と考える。初めて操作する人にはその人の操作レベルに応じた親切な応答を出し、特に知識的判断処理の過程において判断結果を導く過程は明確に把握できるような応答を行い、適切な支援をすることが重要である。次世代の航法技術の中には第5世代コンピュータを基礎とした高度なマン・マシン・インタフェース、会話機能、および知識ベース機能が含まれ、有効に機能していることが必須である。

### 7.3.8 自動操船への一提案

大洋航行中のような広い海域での操船ではなく船体の運動性能、操縦性能を考慮しなければならないような狭水道や港内操船、しいては着岸操船時の自動操船についての展望を述べたい。展望を述べるにあたって船長や水先案内人の操船技術について検討すると、水先案内人は初めて乗船する大型船であっても慎重な操船で着岸させる。経験によって培われた操船技術によるものであろう

が、現在の船位が微妙に認識され船の微妙な動きから操作に対する船体の応答特性を学習し、将来位置が予測されるものとする。操船に対応する将来位置が正確に推測できるようになれば操船は容易になる。状況判断を加えた自動操船方式を図7-9に示す。この方式では緊急時の対応状況も状況判断に加えて基本的な操船方法を決定する。図7-10に示すようにC岸壁に着岸させる際に操船方法としてA方式を採用するかあるいはB方式を採用するか迷うところである。風や潮の外乱、UKCによってもまた、載貨状況によっては大きく操船に影響がある。経験的に学習した操船に対応する航跡パターンからどちらの方法が最適か検討され、選択されるものとする。

自動操船方式に対する一提案であるが、喫水、相対風向・風速やUKC等の条件に対応した操縦に対する応答特性を航跡パターンの形式でデータベースとして蓄積しておき、最適な航跡パターンの部分組合せに基づいて操船するような方法も可能ではないか。



学習方法としては近似的な運動方程式を求める方法も考えられるが、操船方法に応じた航跡パターンを学習、蓄積し、パターンとの比較による操船も人間的な方法と考える。

図7-9 自動接岸の流れ図



- 将来の位置、姿勢の予測機能
- 操船方法の選択と判断
- 推進機関および操舵のタイミングの判断

図7-10 自動操船方式

### 7.3.9 自立航法への展望

一つの自立航法として推測航法が実施されてきている。推測航法は、出発点からの時々刻々の自船の針路と速度をもとに自船のベクトルを積分することにより自船の位置を求める方法であるが、絶対的な対地ベクトルを推測することが要となる。船舶では潮流や風圧差による真のベクトルを計測することが、また航空機でも同様に気流や風で流される分も含めて真のベクトルを計算することが重要である。

- ここでは船舶における自立航法について述べる。船舶における自立航法は
- (1) ジャイロコンパス（針路）とログ（速度）から自船の位置を推測する方法、そして気流や潮流に圧流される量は、それまでの他の方法による船位計測結果から補正量を求めて補正する方法。
  - (2) ドブラソナー等の対地速度を計測できる機器を使用して自船のベクトルを計測する方法。
  - (3) レーダを用いて自船の位置を連続して計測する方法。

等がある。船舶でも航空機でも横すべりするように流されることがあるので、自船（機）の現在の船首方位ではなく真のベクトルを計測しなければならない。

着岸している小型船が針路を反転して出航するまでの状態をドブラソナーとジャイロコンパスを使用して計測した例を図7-11に示す。この例ではドブラソナーは対地速度が計測されていたが、計測中のエラーデータやドリフトの処理の問題があった。横すべりが無いland navigationでの推測航法の実験結果例を図7-12に示す。この実験はジャイロコンパスと車輪にとりつけたオドメータからの信号のみで推測位置を測定したものだが、約1700mの往復距離を走行して出発点までに戻った時、その指示誤差は約3.5mとなり、0.2%の誤差であった。land navigationの分野では、位置センサーとしてロランCやGPSが使用され、その実験結果が多数発表されている。あるいは加速度センサーとして新しい形式のセンサーが使用され、方位センサーとしては地磁気を検出して方位を計測する方式や、振動ジャイロを使用する方式などが発表されている。興味深い方式としては、昔の中国にあった指南車のように左右の車輪の回転数の差から初期方位との偏差角を参考値として使用する形式も発表<sup>10)</sup>されている。

慣性航法の船舶への応用は、ノーチラス号が1958年8月に北極海を潜水して航過して以来、もう30年来の夢である。民間の大型旅客機では一般的な航法として慣性航法装置が使用されているが、いまだに一般船舶用は出て来ない。航空機航空機ではmission timeが最長でも12時間程度ですむことが利用可能な理由である。船舶では10日間～14日間もの航海が継続し、しかも航空機程に加



## 7.4 「高信頼度知能化船」の開発

### 7.4.1 「高信頼度知能化船」の概要

昭和58年10月より平成元年3月まで、6ヶ年にわたって船橋無人化を目指した「高信頼度知能化船」の要素技術の研究開発がわが国で実施された。概要は1988年2月にシドニーで発表されている<sup>2)9)</sup>。この研究開発の目的は、エレクトロニクス、各種高精度センサ、人工衛星等の技術を活用し、陸上からの支援により船内作業の大幅削減を可能とするための、海陸一体化の統合システム、船体状態、および気象・海象状態等の科学的評価に基づき最も経済的で安全な運航のあり方を判断して、自動操船を行う知能システム等からなる。また、推進機関の主機については6ヶ月間の無開放を目標としている。

「高信頼度知能化船」の開発にあたって、その前提となった条件の概略を表7-4に掲げる。この船の運航については「乗組員の作業を原則として期待しない」とあるように、基本的には無人航行が可能であることを目標としている。しかしながら、完全無人化の技術開発が達成されたとしても検討、対処しきれない諸般の問題もあるので、3人～4人程度の乗組員を想定し、非常事態時にシステムを緊急に停止あるいは回避するためのボタン操作をするための人員として考えている。

「高信頼度知能化船」を構成する各システムについてその機能の概略を表7-5に掲げる。

表7-4 「高信頼度知能化船」開発の前提条件の概略

- |                   |  |
|-------------------|--|
| 1. 船種、航路          | : 特に限定しない。                                   |
| 2. 適用法規           | : 現行法規にとらわれない。                               |
| 3. 乗組員数           | : 少人数を想定する。(3～4人、もしくは0人)                     |
| 4. 乗組員の作業         | : 船の運行の全局面における作業は原則として期待しない。                 |
| 5. 信頼性水準          | : 最短開放間隔6カ月を考慮する。                            |
| 6. 安全性水準          | : 自動化による安全性向上を図るが、船本来の機能に関しては在来船なみとする。       |
| 7. 陸上作業員による支援     | : 仮着後出航までの間、係船、荷役、船内点検、保守などはすべて陸上作業員により行われる。 |
| 8. 陸上からの通信指令による支援 | : 衛星通信により総合的支援を受けるが、本船には自己完結機能を最大限に付与する。     |
| 9. 機器類の開発の対象範囲    | : 自動化もしくは高度自動化に直接関係する部分を開發する。                |

表7-5 「高信頼度知能化船」を構成する各システム

システム名称	機能
総合運航管理システム	船内総合 データ通信 陸上支援
港内自動航行システム	港内航行誘導統括 港内自己誘導 港内船位認識 港内航路設定 港内衝突予防
最適航路計画システム	広域最適航路 狭域最適航路 局所最適航路
自動離着棧システム	離着棧制御 船位認識 曳船支援
海象、気象状態監視システム	波浪観測 波浪予測
荷役システムおよび船体状態監視・姿勢制御システム	船体状態監視 姿勢制御

### 7.4.2 将来的技術の展望

「高信頼度知能化船」のプロジェクトは造船所、大学、官公庁、および船会社の多数の関係者により進められたプロジェクトであり、プロジェクトの内容を細分して、それぞれの研究開発がなされた。このプロジェクトの全体的な内容や研究開発の成果は今後さまざまな機会を通じて紹介報告されていくものと思うので、ここでは筆者が関係したいくつかの将来的技術について述べ、今後の動向を探りたいと考える。

#### (1) 座礁予防システムの開発

座礁予防のためには、自船の緊急停船に要する距離以遠にある暗礁、浅瀬、あるいは障害物の存在が正確に検知できるものでなければならない。水中にある障害物を水平方向に検知するにはソナーがあるが、水中における音波の伝搬経路(音線)が真直ぐに進まない点に大きな問題がある。これは水中における音波の伝搬速度は温度に大きく影響されることにある。一例として、水面で水温25.6°C、水深33mで水温が17°Cとなる場合、伝搬速度は1528m/sから1509m/s

まで変化する。このような水温の勾配の水域で10mの深さで水平に発した音波は300m前方で約30mの深さまで屈折していくので1000m前方の障害物や浅瀬を発見するには若干仰角をつけて発しなければ到達しないこととなる。しかし、航海中に各水深における水温の計測ということは極めて難しく、また仰角をつけて発した音波の反射信号から、1000m前方の信頼しうる水深情報を得られるようになるには難しいものがある。

水中での音波の使用にはまだまだ難しい問題があることから、海図に対して正確な位置を計測し、海図との関係から前方の浅瀬や障害物を計測する方法が開発された。このシステムはレーダ映像と特別に作成された電子海図との映像マッチングによる方式であり、実験結果も優れている。陸岸をレーダで観測するとき、海図上の陸岸線とレーダ映像上の陸岸線とでは、特に砂浜の場合には一致しないことは良く知られていることである。今回のレーダ映像マッチング方式では、特別に作成された電子海図に海図上の陸岸線や物標についての強度や位置の情報に関する属性を設けて、重み付け係数がつけられている。

このようにしてマッチング方式で求められた船位は、他に何も支援システムが無い海域でも、適当な角度の方向に陸岸があれば精度良く自船の位置が求められる。言わばあらゆる方向の物標のレーダ方位と距離を測定して海図上に位置を記入するような形式であり、位置情報の信頼性も高い。浦賀水道航行中に実験した例では絶対誤差で70mの成果が得られた。浦賀水道のように良く整備された水道や航路を航行する場合であるならブイに接触しないよう分離された航路の中央を十分進めるであろう。このシステムは座礁予防のためのシステムとして開発されたものであるので前述の電子海図内のデータを基礎として浅瀬の方位距離、座礁の危険性についてデータを出力する機能も備えている。

このシステムは他からの支援を全く受けなくて自船の現在位置を自動的に測定できる点で画期的であり、将来の自立航法の開発においても一つの柱になるものと思う。

## (2) 船陸間のデータ通信の開発

船舶と陸上間の通信は「高信頼度知能化船」や将来の航法において極めて重要な問題である。通信に関する必須条件としては

- a) 高信頼であること
- b) 保守管理が容易であること
- c) 各種通信網間との接続が可能であること

があげられている<sup>30)</sup>。a)は船陸間の神経機能として不可欠の問題であり、正確に大量のデータが通信できるものであること、b)は機器の信頼性が高く、

しかも通信経費も低廉であることが含まれる。c)では電話以外の多様なデータ伝送網、例えばISDN(サービス総合デジタル網)等にも接続できるように配慮されていることが含まれる。このような要件に見合う全世界的に利用可能な通信体系あるいは通信網としては、現在および近い将来の範囲において、インマルサット等による衛星通信を利用する他はない。インマルサットは現在を第1世代とされ、アナログ系の伝送方式で行われている。そのためデジタルデータの伝送には不向きな面がある。インマルサットは近々デジタル系の伝送方式による第2世代に交代することになっており、データ伝送向きに改良され、9600bpsのデータ伝送が簡便に利用可能となる。

そこで「高信頼度知能化船」の研究開発においては、船内で発生する多種多様な情報の形態に合わせたマルチメディア多様化および衛星回線の有効利用に向けて以下の技術開発が行われた。

- a) 船陸間通信の諸データを一元的に取り扱う通信処理装置の試作と評価
- b) 船陸間データ通信における経済的伝送ソフトウェア
- c) 船陸間での各種ニューメディアの適用

データ伝送はバケット通信方式を採用しており、船の位置と中継する衛星によって変わる回線品質に応じた最適な通信パラメータを設定して、伝送効率を高めるようにしている。この装置は、模擬実験において回線品質のビット誤り率が $10^{-5}$ の状態でも9600bpsで128KBのデータを約2分間で送ることができ、約90%の通信効率を達成した。

このような装置が簡便に利用でき、しかも音声通信も安価に利用できるようになれば通信の面からも航法技術は変化していくことになる。

## (3) 衝突予防システムの開発

従来の衝突予防システム(A RPA)には知能的な回避動作機能を加えたものは無いように思える。「高信頼度知能化船」では無人航行が可能な技術を目指としているので乗組員の判断に委ねることなく、自動的に衝突回避の判断をしなければならない。

2船が衝突や危険な状態に陥ったとき、汽笛を鳴らして相手船に意志の伝達を行うが、相手船種の違いによる優先順位等を自動的に判断することが重要である。しかし、汽笛を鳴らした船舶の自動識別、帆船や運転不自由船の形象物等の判別、漁労中の漁船であるか否かの識別等まだまだ機械ではかなり困難な問題もある。レーダ映像から得られた相手船の位置情報をもとに、座礁の危険も考慮しながら自動的に避航する衝突予防ロジックが開発され、ふく奏海域におけるかなり複雑な見合い関係にも適切に避航することがシミュレーションで

は検証された。また、緊急時の避航動作についても検証されたので今後、実船実験による検証へ移る段階にある。

#### (4) 船内統合システムの開発

船内統合システムは図7-14に示すように船の内外の他のサブシステムからの情報や自船の船体状態の情報に基づいて、乗組員の介在なしに運航させるシステムである。その具体的機能は

- a) 船内統括管理機能
- b) 船内データベース管理機能
- c) 船内外通信管理機能

である。

船内統括管理機能とは、本システムの中核をなす部分で、知識工学的手法（エキスパートシステム）を採用し、船長エキスパートシステムとして高度な判断処理を可能にしている。運航状態に応じた航海形態の切り換えや各種システムの状態監視、船内データの処理と判断および自動操船の各機能を実行している。

船内データベース管理機能とは、自動運航および統括管理のために必要なデータをデータベースという形で一元的に管理し、運用するものである。

船内外通信管理機能とは、船内通信および船陸間通信の管理を船長エキスパートシステム内で行わせ、統括管理する。つまり、船内統括システムが判断に

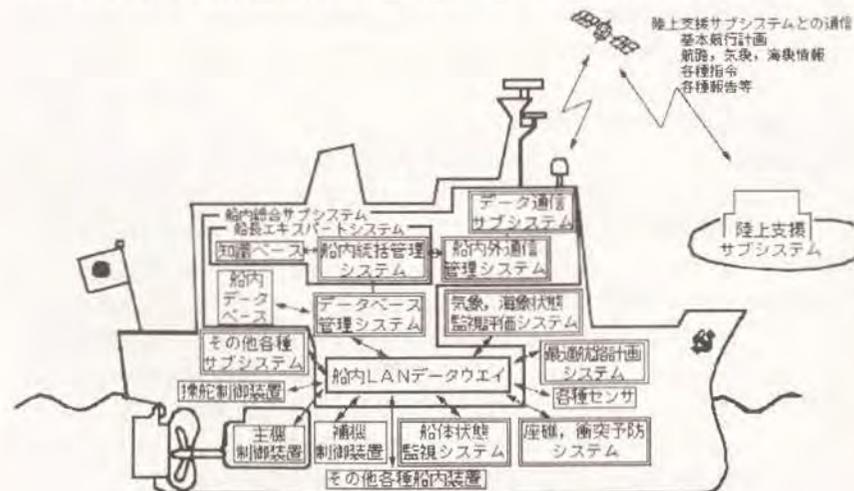


図7-14 船内統合サブシステムの構成

必要とする各種データを船内LANを通じて収集し、船長エキスパートシステムからの判断結果、指令を各装置に伝えること、また、必要に応じて気象・海象情報、運航情報、あるいは緊急事態の発生などの船陸間通信を行うことをいう。

以上は「高信頼度知能化船」のために開発され、昭和63年度にシミュレーション実験まで実施されたものの一部である。平成元年度の一部を東京商船大学練習船汐路丸に搭載して実船実験を実施した。ここで開発された技術は近い将来船舶の運航、航法技術の一つとして現れてくると考えている。

#### 7.5 次世代航法技術への課題と展望

##### 7.5.1 電波航法システムと通信システム

次世代の電波航法として、GPSを軸とした研究発表が盛んである。GPSの宇宙セグメント（衛星部分）の完成時の精度予測や米国政府による安全保証上の理由からの精度劣化がとりあげられ、いかにして精度を保つか、あるいはGDOPの低下している地域や港湾、あるいは一層の精度を要求する空港などの特別な地域での疑似衛星の配置などに技術開発が向けられている。また、GPSでのディファレンシャル方式もRadio Technical Commission, Special Committee 104において詳細が規定されている。具体的な補正データの伝送方法（データリンク）も有線、無線放送や中波ビーコンの利用など多数発表されているものの本格的には運用されていない。著者は多数ある電波航法システムが精選され、GPSならばGPSに統一一元化されることには賛成するものである。一時のオメガ航法のように、全世界的システムとして「補正すれば実用的な精度が達成できる」と期待された航法システムがあったが、期待した程の位置精度は得られなかった。GPSではそのような事はないと信じるが、GPSの衛星が設計数分だけ打ち上げられてシステムが早期に完成することを願うものである。ちなみに現状（1988年11月）における陸上走行中のGPSによる測位結果を図7-15に示すが、この状況ではランドナビゲーション用には厳しい。今日、GPSの利用が騒がれているが、これを一時の流行で終わらせることなく真に全世界的なシステムとして利用できることを願うものである。加えて、このように大きな測位システムが一国だけの予算によって運用されることなく、仮に衛星測位システム条約とも呼ぶなら条約加盟国の総意の下にシステムの仕様、性能が定められ、技術的にも経済的にも加盟国全体で運用すべきものではないだろうか。

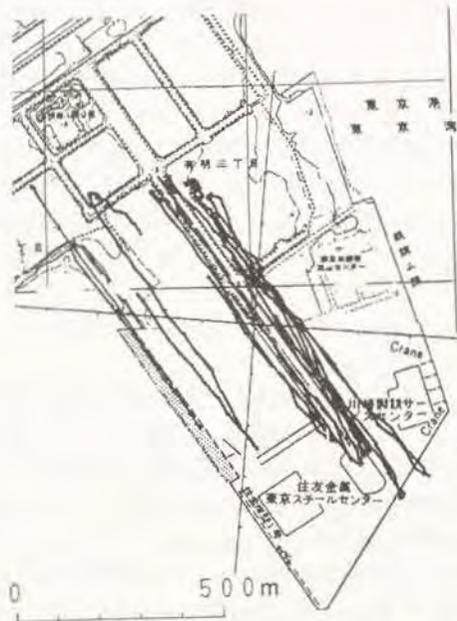


図7-15 陸上走行時におけるGPSによる測位結果例

電波航法システムと通信システムは同じ電波を使用する面からは総合できるものであり、INMARSATの標準Cのように通信と測位の両機能を兼備したものが間もなく(1989年6月)運用されようとしている。このような機能は利用者が待ち望んでいた装置であり、装置の価格的問題と通信測位経費が合理的なものであれば相当に普及するであろう。ただ、この標準Cでは音声通信ができないが音声による通信は人間的な基本的欲求でもあるので近い将来、「標準D」なる仕様の出現を待ち望むものである。

その時、利用者はこれまでに多くのシステムに合わせて、個々の受信システムを購入し使用してきた。新しいシステムの採用と普及で、すぐに陳腐化し利用をなさなくなることはないような、将来的な配慮が要望される。軍用の機器では上述の傾向がさらに早い周期でシステムの変更が行われるために広帯域送受信機、デジタル信号プロセッサ、CPU、表示出力、入力キーボードを備えてシステム変更はソフトウェアの変更で対応する形式の装置もある<sup>3.1)</sup>。民間用では購入時の初期投資額が高くなると購入時に問題となる。

近年、電卓は大量生産され、500円程度で原価の汎用電卓LSIチップに利用者

の要求に合わせたキーボード、表示器やケースをつけることで安価に製造されている。GPSが標準的な電波測位システムとなるならば基本的な信号処理部分は世界的に共通するようにLSI化しておき、あとは個々の利用者の目的用途に合わせたソフトウェア、ケース、および表示出力装置を備えさせれば良い。1万円以下で買える電卓サイズの国際標準型GPS受信機やポケット衛星電話は可能だと考える。

### 7.5.2 自立航法から自律航法へ

次世代の航法技術の3つの形態として

- a) 画期的な技術の開発、出現
- b) 従来技術の高度化
- c) 従来技術を組み合わせて機能を補完し新機能を作り出す

が考えられる。

これまで船舶や航空機の航法は地文航法や有視界航法で周囲の景色を頼りに位置を認識し、航海、航空が実行されてきた。しかし視界が悪くなる霧中等のように景色が見えなくなったならば使えない。星や太陽等の天体を使用する天文航法も時間的な制約と天候の制約もあるので十分な自立航法とは言い難い。従来の船舶は自立航法の第1世代であったと考える。「自立」とは外部から支援を受けずに測位が可能なものとする。さて、天候に左右されない、つまり全天候型の航法システムとして電波航法システムが目的、用途、使用範囲に応じて多数のシステムが開発された。

しかし全世界どこでも使用できる精度良く位置の求まる電波航法システムは完成状態のGPSに期待されるのみである。そのGPSも精度劣化や期待通りの良いGDOP値が得られるか否かにある。外部からの支援電波によらず、自立航法装置として慣性センサーを使用した方式が研究されている。

さらに測定された精度の良い位置を基礎として、自己誘導機能によって目的地へ向かって航行していく自律航法へと進む。陸上や遠隔地からの誘導が困難であったり、誘導や支援が突然断たれることがあっても自船自ら航行できる能力開発は進められるべきである。自律航法のためには自律航法に加えて、外部からの気象等の情報通信に支援され、自分自身で目的地までの航海計画を立てて進行できる自律航法が次世代の航法技術と考える。これらの関係を図7-16に示した。

一般船舶用自立航法についてはその心臓部となる高精度慣性センサーの開発に将来の発展、応用がかかっているが一般船舶用のセンサー開発は経済的に難しいであろう。むしろ自動車用に開発される高精度な慣性航法センサーか、あ

るいは画期的な技術革新による新しいセンサーの出現によることになろう。

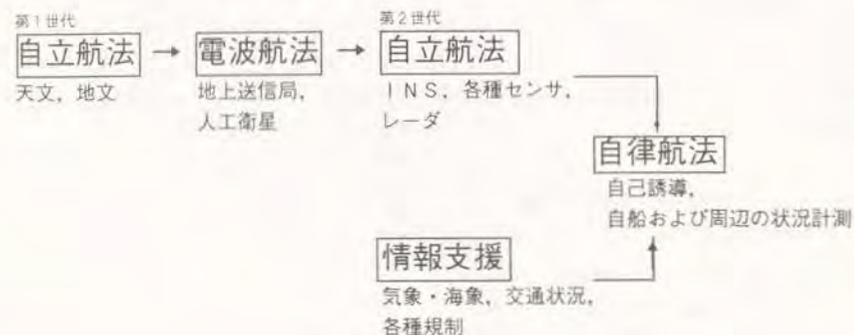


図7-16 自立航法から自律航法への発展

### 7.6 おわりに

次世代における航法技術について、現在の技術水準を基礎に勝手な推測を加えながら述べた。大航海時代の頃から航海、航法は未知なる領域に進むということから当時の先端技術が駆使され発展してきている。Space Navigationについては現代も全く同じである。つい20年前までは高価であったクロノメータと、同じ精度の腕時計が今日では使い捨てされる程安価になった。自立航法に使用する慣性センサは現在では極めて高価であり、まだ一般船舶用のものは考えられないが、周辺技術の画期的発展に支えられ大量生産されるようになれば、一昔前のクロノメータとなるのではないか、そして、今日騒がれているGPSも昔の航法として勉強する時代が来ると考えるのは早過ぎるだろうか。

## 8. 結言

本論文は自律航法を目指した船用レーダ映像処理に関する基礎研究について述べた。本研究では、基礎的なレーダ観測や橋梁によるレーダ映像への影響調査に関する観測を多数回実施して多くの知見を収集した。これらの観測から物標（船舶）の判別の基礎となる貴重な知見が得られた。つまり、「小さな物標でも形状の影響はあるが反射波は観測される。あるいは巨大な物標であっても対向する面のわずかな反射面が有効な反射面となるだけで照射ビーム幅の範囲をこえる部分は反射波の受信強度にはあまり寄与しない。また、アンテナの高さにほぼ対応する高さの部分（鉛直になっていることがほとんどであるので）が反射の強度に大きく現れる。したがって、巨大な構造物であっても電波が照射されるわずかな部分の面積を考慮しておけば良い。」ことが分かり、船舶の外形や上甲板上の構造物の有無が分かることを裏付ける。これらの結果から、貨物の積載状態で船の喫水が変わり、海面上からの船側部分の高さが変わった場合でも、その反射強度の変化は大きくは現れないので総トン数の計測が可能であった事実と整合する。この事実から、レーダ映像と船舶の総トン数がレーダ映像の分布面積や反射強度の平均高さとの比例関係を持っていることが示された。総トン数400トンを超える船舶に関しては、レーダ観測による総トン数の推定がほぼ可能になったと考えている。

PPIレーダ映像においては点として認識してターゲットの位置（方位と距離）を観測していたものが、その点を拡大表示することにより、特徴が現れて多くの情報を見て取れることが分かった。この観点から比較的大きな船舶のレーダ映像からは船種の判別も可能なことを述べた。船舶を判別・類型化する要素となったのは、複雑な構造部分では多重反射のために反射信号が伸びる傾向にあることと、構造が複雑なところでは、数回にわたる反射があるために反射波の偏波面が回転していることである。つまり、照射した偏波面に対する反射波の偏波面の成分比率は構造の複雑さと相関性があることを観測結果から示した。観測例からも船側の平板からの反射は水平偏波成分が卓越しており、船楼を含むマスト部分からの反射波には垂直偏波成分が多く含まれていることを示した。しかし、ほとんどの船舶がそれぞれ固有の構造・形状を有しているので、全てを正確に判別することは肉眼でも難しい。またレーダ映像に船舶の構造の特徴が現れにくいアスペクト角の場合の検出の困難さの克服と自動的な判別方式の検討が今後の研究課題と考えている。

判別・判定された船種、アスペクト角、総トン数を要素として、レーダ映像

を鳥瞰図方式で表示することを試みた。この方式は直感的な周囲の状況判断に適している。今後はそれらの情報の信頼性の向上を図ることが鍵となるが、曖昧な情報であったときの表現方法も検討を要する。船種、アスペクト角、総トン数を要素として、PPI方式を鳥瞰図方式で表示する。映像の特徴を表現する船舶の形状は、上甲板上に予め種類によって定めた構造物を付け加えることで、これまでの輝度と位置だけの情報しか表現しなかったものが、周囲の状況判断に有効な映像を表示することができるようになった。船舶の映像表現の際の信頼性にはまだ検討と改善を必要とする部分が残る。たとえば、映像表示の際の尺度比、つまり、単純に遠方にあるからと小さく表現すると目的である船舶の種類やアスペクト角を適切に表現し、正しくレーダ観測者に伝えられないおそれがある。しかし反面、遠方にある物標の種類を正確に表現することは、レーダ観測で得られている映像データが少ないことから船種の識別も容易ではないので、曖昧さの表現と映像の大きさを対応させることもひとつの方法であろう。

未来の船舶に関するレーダの役割を含む全体的な自律航法の体系についても考察した。レーダは他からの助けを必要としない自己完結の航法システムである。予め海図などの準備があれば沿岸を自動的に航海することができる。レーダ映像と電子海図との映像マッチングにより自船の位置を求め、さらに周囲の船や障害物を自動的に検出することができれば無人化船が実現できる。測位のためのレーダ映像のマッチングでは、偏波面回転型や符合化レーダレフレクタのような電波式の航路標識の建設・整備が進むことによりその効用はさらに大きくなる。しかし、現在はまだその様な整備は進んでおらず、また、電子海図とのレーダ映像マッチングの精度が向上できるための属性などもまだ考慮されていない。

レーダを使用する航法は自立的であり、他からの支援がなくても航海できる点で優れている。その観点から、レーダ航法は自立航法である。さらに航路の選定や衝突回避などを自分で判断できる能力を持つようになれば、自律航法となる。しかし、気象海象の変化の予測など広い範囲の観測データを得ることはできないので、気象データの提供の支援は必要である。そこで、将来の船舶航法としては「外部から情報支援を受けた自律航法」が展開されるものと考えている。レーダによる物標の判別、障害物の判定、レーダ偽像の低減やその判定、周辺の船舶との自動的な通信、電波式航路標識（航行援助施設）の整備が基礎となると考える。

情報の信頼性の向上には、対象とする相手方との適切な通信の確保が肝要である。相手の識別が難しい海上において、通信したい相手方を呼び出して操船

の意志確認や衝突・座礁を防ぐための警報の伝達が自動的にできるようになれば、海上における各種の災害（海難）の防止に大きく貢献する。しかし、海上での通信は、航行している全ての船舶の動静を把握しているような管制センタは無いので呼出符号も分からないのが現状である。そこでこのような現状を改善できるように、地球上の経緯度を呼出符号とする通信連絡システムの開発を提案し付録で述べた。探知、識別そして通信は航海の安全を確保する基本である。

今後に残されている課題は、垂直偏波成分の受信信号の活用と自動識別である。水平偏波で送信し、受信した反射波の波形と垂直偏波成分を受信した波形との間に大きな差異が見られた。垂直偏波成分での波形は、全体に滑らかで丁度増幅帯域幅の狭い増幅器で増幅したような、言い替えるとローパスフィルタを通したような波形になっていた。観測で使用した中間周波増幅器の帯域幅に差があったが、垂直偏波成分の受信波形はこの帯域幅の差を超えていた。この問題も船体構造の識別に大きな鍵を与えてくれる可能性があるため、今後も研究調査を続けたい。

また、偏波面回転型のレーダレフレクタを紹介したが、さらに進んだ無給電型の符号化レーダレフレクタの積極的な研究開発・応用を進めたい。そのようなレーダレフレクタを船舶や浮標にも装備させ、レーダ映像に特徴を付けさせるなどの積極的な対策も検討して行きたい。

今後もさらに多数の観測結果を積み重ねて、船用レーダのより確かで有効な利用が可能になるように努力する所存である。

この研究が海難事故の減少の一助となることを願うものである。

付 録

## 付録

### 付一 レーダと連動した情報通信と識別

レーダの電波に情報を載せる方式、陸上のレーダ局で観測した映像を処理し所要の情報をデータ伝送して画像を構成する方式、データ通信機能を持つレーダ・トランスポンダによる方法およびGPS受信機を連動させた緯度経度を呼び出しコードとする国際港湾無線電話通信システムについて述べる。

#### 付1-1 レーダ・アスペクタの研究

##### [概要]

レーダのパルス繰り返し周期を1000 $\mu$ Sから1400 $\mu$ Sまで変えて、各周期の値に予め定めた情報の内容を設定しておく。針路および速度のほかに操船の意志情報（右転、左転、直進、減速、増速、後進など）の情報を周囲の船舶に送信する。情報を知りたい相手船のレーダ電波の繰り返し周期を測定すれば、これらの情報がわかる。

#### レーダ・アスペクタの研究

##### 1. まえがき

近年、港湾や狭水道において、かなり船舶の輻輳する状況が見うけられる。このような水域では、航海士には相当な注意力が要求され、周囲に存在する船舶およびその他の障害物との衝突や接触を避け、安全に航行していかなければならない。このため、このような水域における航海士の最大の職務となるのは、“見張り”である。特に他船の運航状況を適確に把握することが大切で、危険な状況に陥る以前に起こりうる危険を察知し、早期に危険を回避していかなければならない。このような状況で船舶間通信は、きわめてその重要性を増し、国際VHFや衝突予防レーダ等の通信手段に頼るところが非常に大きくなっている。しかし、これらの通信手段ではまだ不備な点が多いため、より有効な通信手段が必要であると考えられる<sup>(4) (5) (7)</sup>。

船舶の姿勢、見合い関係が即時にしかも適確に把握する装置としてレーダ・アスペクタの開発がなされた。この装置ではレーダから発射されるパルスの繰り返し周期を変調しているが、このパルス周期をより多くの情報内容（針路、速度、操舵、機関使用、その他）に従って制御し、レーダによりこれらの情報を送受信するデータ通信装置の試作および実験を行ったので、ここにその結果を発表する。

## 2. 通信システムに要求される基本的な要目

他船との衝突の危険を早期に推定する要素として、

1. 他船の位置
2. 針路
3. 速度
4. 操舵
5. 機関操作

を挙げることができる。これらの情報を知ることにより、自船が他船と衝突するか否かの推定ができ、状況に最も適応した衝突接触を回避するための動作をとることができる。

また、

1. 行き先
2. 船舶の長さ、トン数、喫水
3. 危険物の搭載の有無

がわかれば、今後の他船のとるであろう動作及び針路と、衝突回避にあたっての運動性能が把握でき、効果的な衝突回避のための動作を行うことができる。

このような目的のために、さきに述べたような情報を得るための種々の補助的手段が使用されている。それらの中で特に有効と思われるものとして、衝突予防レーダと国際VHFがある。一般的な衝突予防レーダは、レーダでとらえた他船の針路と速度の数分間のデータを処理して、他船をベクトル表示し、また他船の危険水域への進入をアラームで知らせることができるようになってい<sup>(2)</sup>る。国際VHFは、航海士どうしが直接通話できるために、意志の交換が可能で、衝突を回避するために確実な協力動作が実行できる。しかし、これらの補助手段にも次に示すような問題点が挙げられる。

衝突予防レーダでは、

1. 表示されるベクトルが過去の数分間の情報に基づくもので、現時点の情報ではないこと。
2. 変針、変速時においては、相手船の追跡に誤差を発生し、正確なベクトル表示ができないこと<sup>(1)</sup>。

国際VHFでは、

1. 呼び出しに時間がかかり、通話全体でかなりの時間を要すること。
2. 相手船の船名が判らなければ呼び出しが行えないこと。
3. 対外国船の場合、言語上の問題があり、内容が粗雑となったり、情報量が希少となったりすること。

このようなことでは、情報量の割に時間を費やし、そのうえ航海士の負担が

大きくなる。

船舶が輻輳する水域においては、航海士は見張り及び操船に専念することが望ましい。従って、これらの職務を補助する情報交換システムは、次のような条件を具備している必要がある。

1. 航海士の負担とならないように、自動的に情報を提供するもの。
2. 航海士の衝突回避の判断に良い援助を与えるもの。
3. 情報の信頼性が高いもの。
4. 取扱いがやさしいもの。
5. 時々刻々に変化する情報が交換できるもの。

このような条件のもとに開発されたのが、レーダ・アスペクタである。

昭和50年10月の航海学会講演会で発表されたレーダ・アスペクターI<sup>(6)</sup>では、レーダアンテナの船首方向からの回転角に比例したパルス繰り返し周期を出力する装置が試作された。受信船舶は他船の出すレーダ波のパルス繰り返し周期を測定すれば、他船のアスペクトアングルが判るという方式である。

そして、これらに改良を加え、情報量をかなり増大させたもの<sup>(3)</sup>がレーダ・アスペクターIIである。この装置では、情報内容を数字符号に変換し、これに基づきレーダ電波を制御して情報交換を行う。この通信システムの効果として、

1. 現在の情報を正確に、瞬間的に交換できること。
2. 数字符号変換により情報量が増大したこと。
3. 自動的に通信を行い、受信した情報内容は見やすい文字及び数字表示をすること。
4. 見張り業務の妨げとならないこと。
5. 取扱いが容易であること。

が挙げられる。

このようなレーダ・アスペクターIIにつき、送受信装置を試作し、実験を行った。

### 2. 1. 通信原理

レーダは、一定周期でパルスを送信する装置であるが、このシステムにおいては、レーダのパルス周期を制御し、情報を表わす数字の組合せとしている。送信しようとする情報内容に相当するパルス周期の組合せとなるようにトリガパルスを発生させ、これに従ってレーダアンテナからパルス波が外部へ送り出され、情報が送信される。受信側はこのパルス周期を正確に測定することにより情報内容を受け取り、数値及び文字を表示する。使用する周期は1000 $\mu$

S~1099 $\mu$ Sとし、これらの下2桁の数字に表、付1-1-1に示すような意味を持たせた。

表、付1-1-2 送信パルス周期と方位幅

表、付1-1-1 情報交換用コード

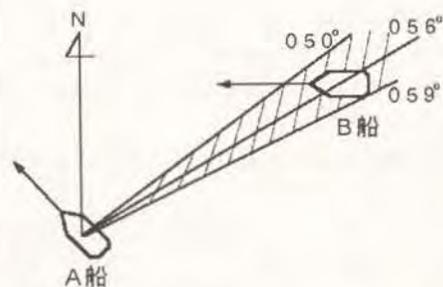
パルス繰り返し周期	内容	数値	パルス周期	方位幅
1000 $\mu$ S~1003 $\mu$ S	コースの10 <sup>2</sup> の桁	0~3	1100 $\mu$ S	000°~009°
1004 $\mu$ S~1007 $\mu$ S	速度の10の桁	0~3	1101 $\mu$ S	010°~019°
1010 $\mu$ S~1019 $\mu$ S	コースの10 <sup>1</sup> の桁	0~9	1102 $\mu$ S	020°~029°
1020 $\mu$ S~1029 $\mu$ S	コースの10 <sup>0</sup> の桁	0~9	1103 $\mu$ S	030°~039°
1030 $\mu$ S~1039 $\mu$ S	速度の10 <sup>0</sup> の桁	0~9		
1040 $\mu$ S~1099 $\mu$ S	その他の情報用		1135 $\mu$ S	350°~359°

1040 $\mu$ S~1099 $\mu$ Sについては、国際信号書の一文字符号のような形式を対応させることを考えている。例えば、受信周期を1050 $\mu$ Sとすると表示は「Turn to the right」とするものである。

また、この通信システムでは「呼び出し」も数値情報として行う。自船から他船を見る真方位に表、付1-1-2に示すような数字のパルス繰り返し周期を10度の幅で送信し、相手船に自船との情報交換の意志と相手船側から送信してほしい方位を示す方式としている。

## 2. 2. 通信方法

相手船との通信が完了するまでを例をあげて説明する。いま、図、付1-1-1のようにA船がB船をレーダのPPI画面上で056度の方向に認めたとする。A船はB船から情報を送信してもらうために所定の呼び出しを行う。つまり自船レーダの送信機を強制同期して、スカンナーが真方位050度~059度の間を掃引する時は、パルス周期を1105 $\mu$ Sで送信する。B船はこの呼び出し信号をキャッチすることにより真方位050度~059度を知り、反方位である230度~239度の方向にだけ情報の送信を行う。後は送受信装置を作動させておけば、自動的に情報交換が行われる。

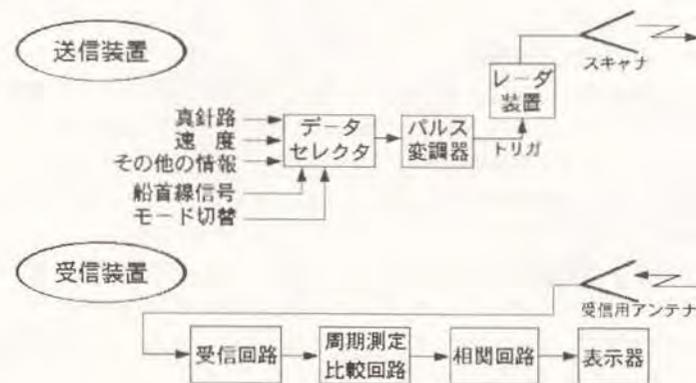


図、付1-1-1 他船の呼び出し

## 3. 通信システム

### 3. 1. 送信装置

試作した送信装置は図、付1-1-2のブロック図のように構成された。



図、付1-1-2 試作したレーダアスペクタの構成

#### 3. 1. 1. データ・セレクタ

コース、速力、その他の情報を数字符号に置き換え、デジタルスイッチでB. C. D. (Binary Coded Decimal)コードに変換し、データ・セレクタへの情報入力としている。

受信側で十分相関回数がとれるよう、レーダ画面上を10回スキャンする間は、前半の情報内容、次の10回は後半の情報内容を出力する。またMODEの切り替えスイッチを設け、MODE 1とした時はコースと速力だけ、MODE 2とした時は全ての情報内容を出力している。

#### 3. 1. 2. パルス変調器

データ・セレクタから出力された数字符号に1000を加えたものと水晶発振器で発振された1MHzをクロックパルス積算器で積算したものの比較一致を取り、一致したとき、比較一致パルスが出力される。このパルスを単安定マルチバイブレータで波形整形し、さらにパルス増幅用トランジスターで増幅してレーダへのトリガパルスとしている。

### 3. 2. 受信装置

#### 3. 2. 1. 受信回路

試作した受信装置の構成は前出の図、付1-1-2に示されている。

受信されたデータパルスは検波増幅回路で雑音を除去され、増幅されて所要のパルス幅と信号レベルを与えられる。

#### 3. 2. 2. 周期測定比較回路

受信信号は周期測定カウンタのリセットパルスとなり、次のパルスが入るまでカウンタを働かせ、周期を計数させる。測定された周期は一時保持されて1000 $\mu$ S~1099 $\mu$ Sに該当するか否か判断され、該当するものについては測定周期の下2桁が情報内容として相関回路に入る。

##### i) 四捨五入回路

送信器と受信機のクロック周波数のずれにより、位相誤差が生じる。周期の測定誤差をなくすため、10MHzの水晶発振器を用いて、0.1 $\mu$ Sの単位でカウントし、四捨五入して1 $\mu$ Sの単位にまとめて、パルス周期を読み取るようにしている。

##### ii) パルス周期1000~1099 $\mu$ S以下の判別回路

受信されたパルス周期の値が1000 $\mu$ S以上1099 $\mu$ S以下であるかの判断をマグニチュード比較器により10<sup>3</sup>の位の"1"と10<sup>2</sup>の位の"0"を比較することによって行っている。この範囲内のパルス周期の下2桁の値は比較器から出力される一致信号により、RAMへの書き込みがなされ情報内容として記憶される。

#### 3. 2. 3. 相関回路

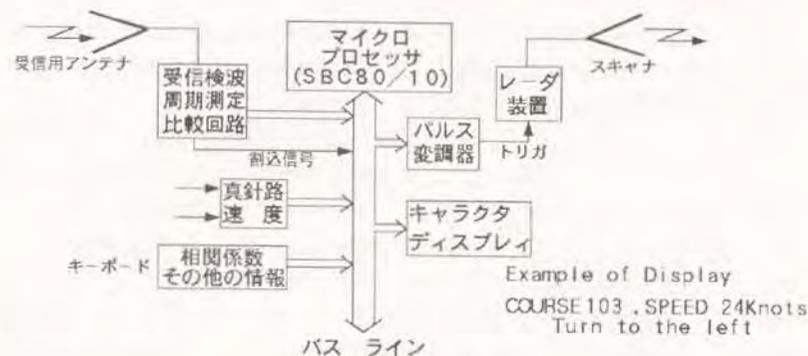
受信された同一内容の回数が自船側で便宜選定した相関回数以上でなければ表示しないという処理回路とした。相関用RAMに記憶された同一情報内容の個数が、予め設定した相関回数以上でなければ情報からの比較一致信号が出力されず、表示用RAMへの書き込みがなされない。

#### 3. 2. 4. マイクロ・プロセッサの使用

3. 1および3. 2で述べた装置は多数のゲート回路やカウンタ回路などのICを使用して試作された。この装置では相関回路の処理能力や表示回路の機能が制限され、また変更や拡張は容易ではない。マイクロ・プロセッサは処理速度が遅いので、周期測定回路やパルス変調回路の機能までも含めると処理能力を超えてしまうことになる。マイクロ・プロセッサには相関処理、コード変

換処理および表示制御機能を実行させることとした。

図、付1-1-3にマイクロ・プロセッサを使用したレーダ・アスペクタの構成を示した。



図、付1-1-3 マイクロ・プロセッサを使用したレーダ・アスペクタ

受信検波、周期測定比較回路では情報内容に相当する2桁の数値情報を、マイクロ・プロセッサに割り込み処理させるため、比較回路出力により割り込み信号を発生させている。自船の針路と速度は自動的に入力させるためにインターフェース回路を設け、また相関処理の係数や旗りゅう信号の1文字符号に相当するような情報についてはキーボードから入力できるようにした。パルス変調器では、送信する数値情報をマイクロ・プロセッサから受けて、周期変調されたパルスを順次発生させ、増幅したのちレーダ装置を強制同期させるトリガを出力している。表示装置にはキャラクタ・ディスプレイを使用したのもので、他船から送信されてきた情報がコード変換されたものを表示することが可能である。例えば下2桁の数値が50であって、この数値の情報が「Turn to the right」に相当するコードとすると、マイクロ・プロセッサのコード変換機能によりキャラクタ・ディスプレイに上記の文章が表示される。表示装置やキーボード等については一般的なものを使用したのが、レーダ・アスペクタの機能に合わせて簡略化することができる。マイクロ・プロセッサを使用して処理する方式に改良したので、ソフトウェアのレベルで処理方式の改良や変更が容易になった。

#### 4. 実験と結果

##### 4. 1. 実験方法

###### 4. 1. 1. 室内実験

###### i) 有線による実内実験

試作送信装置から発生されるトリガパルスを、試作受信装置の信号入力端子に同軸ケーブルにより直接接続して、情報の伝送状況を観測した。

###### ii) ガンダイオード発振器による実験

図. 付1-1-4に示すようなガンダイオード発振器、ピンダイオードスイッチ、アッテネータ、ホーンアンテナにより構成した。ガンダイオードは定電圧を加えるとマイクロ波を発振し、ピンダイオードは電流が流されていると、通過するマイクロ波を大きく減衰させる素子である。ピンダイオードスイッチに試作送信装置のトリガパルスを増幅して加えると、ガンダイオードのマイクロ波がパルスとなって、ホーンアンテナから送信される。受信機ではこのパルス波をホーンアンテナで受け、クリスタルダイオード検波器で検波しビデオ増幅した後、試作受信機に入れ、送信された情報内容を知る。

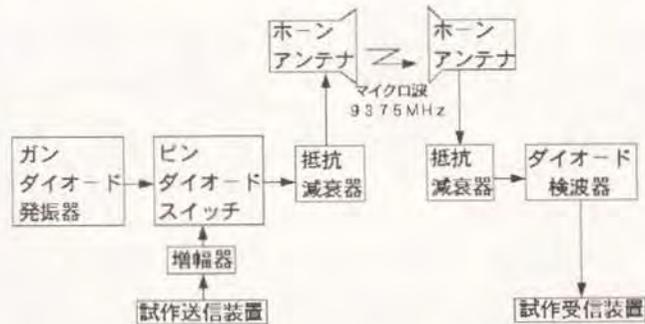


図. 付1-1-4 ガン・ダイオード発振器による実験

###### 4. 1. 2. 他の電波の混入による妨害率の測定

図. 付1-1-5に示すように、試作送信装置のトリガパルス出力端子とマイクロ・プロセッサを使用した受信装置信号入力端子を直接接続するとともに、信号入力端子に妨害波発生器で作出された妨害波を混入させ、受信された情報はすべてタイプ印刷させた。妨害波は、試作装置から出力されるトリガパルスと同レベルとし、周期を1000 $\mu$ S、1112 $\mu$ S、1253 $\mu$ S、14

29 $\mu$ S、1988 $\mu$ Sの場合について妨害率の測定を行った。妨害率はタイプ出力表示されたデータ個数に含まれる送信情報と異なるデータ個数の百分率化した。 (実際の実験では送信情報は針路103度、速度24ノットとした。従って数字符号では01、10、23、06、34となる。)

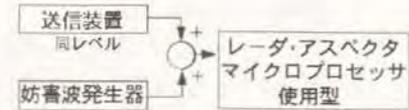


図. 付1-1-5 妨害率の測定方法

##### 4. 2. 実験結果

4. 1. 1. の室内実験の結果としては、

1. 送信情報内容が蛍光表示管に確実に表示されたこと。
2. 送信情報の変更に対して同時に受信装置の表示変更が行われたこと。

以上の点が確認された。

4. 1. 2. の妨害率測定実験の結果を図. 付1-1-6に示す。

妨害率10%の時は、数字表示管の表示には全く影響がみられなかったが、妨害率が20%のところからちらつきが見られるようになり、誤った情報が受信されていることが観察された。妨害率が34%では、もはや情報内容がはっきりと読み取れない状況であった。

同レベルで同周期の信号が入ってくると、現在の試作装置で結果はそこから情報内容を取り出すことはできない。妨害波の周期が1000 $\mu$ Sの場合には妨害率100%となるはずであるが、実際には情報周期が変動しているため、たまたま受信される場合が生じたもので、妨害率は100%とならなかった。

尚、この実験は、妨害波が信号波と同レベルの場合で、現在の試作装置にとって最もきびしい条件で行われたものである。実用上では、複数の相手船までの距離の遠近や、レーダの出力に応じて受信装置の感度を制御することで妨害を緩和することができる。

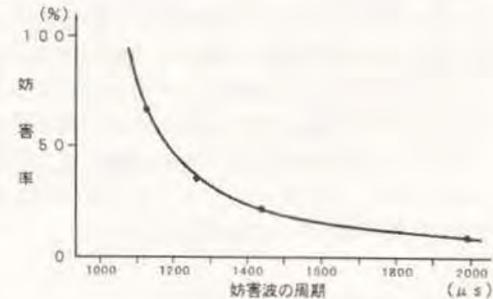


図. 付1-1-6 妨害率の測定結果

## 5. まとめ

### 5. 1. 問題点とその対策

#### 1) 自船レーダ・エコーの影響の除去

この通信システムにより相手船と情報の交換を行っているときに、相手船の発したレーダパルスと自船の発したレーダパルスの反射波との区別がつかず、混同して受信しているときは、通信内容の受信が乱されてしまう。本装置では1000~1099 $\mu$ Sまでのパルス周期についてのみ情報内容として受信するので、その情報内容の間に自船の発した反射波が混入しては情報の受信がなされない。このため、自船の発した反射波は除去して、他船からの情報のみを受信するようにしたい。反射波はかなりの減衰があるので、リミッターによりスレッショールドレベルに達しない場合は受信されない。しかし、スレッショールドレベル以上に受信される場合のために、レーダトリガパルスから10 $\mu$ Sのゲート信号をつくり出し、STC回路にかけて自船の反射パルスにゲートを施し、受信しないよう除去する。

#### 2) 複数隻の同時送信に対する処理

複数隻から発せられるパルス波を各々の船舶につき区別して情報交換しなければならない。この通信システムにおいては、特定の相手船に対して呼び出しを行って通信をするので、ある程度の方角分解能を持ち、区別がなされる。同方位に距離だけ異なって2隻以上の船舶が存在する場合は、各々の相手船に対して正確な情報交換は試作した通信装置では行い難い。しかし、この問題はコンピュータの下記のような使用で可能である。受信器内に入るパルス波はランダムな複数の相手船からのパルス信号である。相手船のスキャナーが自船に向けて送信を行っている間は、一連の周期をすべて受信測定し、その中から、情報としての周期性をもつものを時間相関作用を持った相関器を通してフィルターをかけ、複数隻からの情報を分離して、並列に受信させる。最初に受信したパルスからフィルターにより1000 $\mu$ S以上1100 $\mu$ S未満か否かについて所定時間幅について相関処理させることを検討している。

### 5. 2. 将来に向けて

レーダ通信システムは本来一定であるところのパルス周期を変動させ、その数値に情報として意味をもたせ、船舶間の互いの情報交換を自動的に実施しようというものである。その最大の目的は、船舶の衝突防止のために航海士に対し、自動的に確実な情報を提供し、よりよい援助を与えることである。

この通信システムを、このような目的のために実用していく上で、解決すべき問題として、次に示す事項があげられる。

1. コンピュータ使用による複数隻に対する処理に関すること。
2. 法律上の規制があること。

しかし、この通信システムの利点は、

1. 現在の最新の情報を交換できること。
2. 自動的に、しかも瞬間的に情報交換ができること。
3. 見やすい数表示、文字表示をすること。
4. 既存のレーダに簡単に付属させることができ、しかも装置が安価であること。

で、既存の補助手段に比べ、非常に効果が大いと思われる。従って、先にあげた問題を解決し、実用化すべく今後検討する予定である。

### 参考文献

- (1) 小山保太郎：避航操船への機器の使用と問題点、避航操船シンポジウム資料、P67~72、昭和52年
- (2) 運輸省船員局教育課編：衝突予防レーダ、昭和49年
- (3) ウィリアム・R・ベネット、ジェームズ・R・デーヴィ共著、甘利省吾監訳：データ伝送、ラティス社、昭和43年
- (4) 岡田実編：航空電子装置、P105~119、日刊工業新聞社、昭和49年
- (5) 鈴木務：レーダを使用する通信、高周波談話会記録第619号、昭和35年
- (6) 飯島幸人・林尚吾：レーダ・アスペクタの開発、日本航海学会論文集第54号、昭和51年
- (7) Carls Mathews, et al, Marine Radar Interrogator-Transponder, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. OE-2 No. 2, April 1977

## 付一1-2 マリトラビジョン・システムの研究

### [概要]

陸上のレーダ局で観測した映像を処理し、映像を構成するための情報を予め定めたコードで送信する。また、船舶の種類や行き先や工事区域や規制など所要の情報を伝送する。VHFまたは中波での無線伝送による方式で設計した。

### マリトラビジョン・システムの研究

#### 1. はじめに

海上交通管制システムにおいて、陸上の管制室で監視する情報処理されたレーダ・ディスプレイは、船舶の運航上有用な情報が表示されている。これを船舶上でも見ることができれば、自船の置かれている状況、他船の針路、速力、船種、行き先及び衝突の危険度など種々の情報を得ることができる。このシステムはショーダビジョン(Shorder-Vision: Shore Radar Televisionの略)システムと呼ばれている。

このシステムの受信側に通常の家賃用テレビを用いることができれば、大変安価に情報を得ることができる。レーダを装備できないような小型船にも普及させることができ、海上の安全に大きく貢献すると考えられる。

しかし現実には、商用テレビ周波数をこの目的に利用できる可能性は低い。本研究では他の方法として、現在交通管制のラジオ放送用として割り当てられている1665kHzの周波数で、ビデオ情報を船舶に伝送するコード伝送方式について検討した。一応の結果を得たのでここに報告する。

本研究は従来知られているショーダビジョンシステムとは技術的に多少趣きを異にしているため、特に「マリトラビジョン」(Mari-Tra-Vision: Marine Traffic Televisionの略)と名付けることにする。

#### 2. マリトラビジョン・システムの利用上の要件

##### 2. 1. 表示情報の種類

海上での事故の直接原因についてアンケートした結果によれば、

- ・睡眠不足や過労によって思考力が低下していた。
- ・緊急時に定石通りの操船ができなかった。
- ・操船上必要な標識等の不在、または視認困難のため注意を奪われ過ぎた。
- ・特定の船に注意を奪われ過ぎた。

等が上位を占める。マリトラビジョンによって適切な情報が与えられれば、操

船者の状況判断を助け、事故の軽減に役立つであろう。この観点から本システムに要求される表示情報を列挙すると、

##### a. 線で表す情報

陸岸線、避険線、航路線、港域線、位置通報線

##### b. シンボルで表す情報

燈台、ブイ等の航行援助システム、障害物、航行上の著名物標、船舶(大きさも表示)、危険物船、自船、速力ベクトル、注意喚起信号

##### c. タグ(文字)で表す情報

船舶番号、行く先、船種

##### d. 文字における管制情報、気象情報等の提供

##### e. その他

ノースアップ表示、距離スケール

が掲げられる。

#### 2. 2. 伝送所要時間について

通常この装置が利用される海域は狭水道や港湾であると考えられる。わが国では主要な狭水道では海上交通安全法が適用され、船舶の速力は12ノット以下でなければならない。この速さで1万総トンの船舶が、自船の長さ(約150m)の分進むためには25秒ほどかかるが、この間画面が静止していても船舶相互の関係に大きな変化は生じないと思われる。そこで、この時間を情報表示間隔の一応の目安とし、情報伝送所要時間もこれに見合うものとするを考えた。

#### 2. 3. 使用レンジについて

狭水道におけるレーダの使用は、衝突防止が主な目的であることから、先行船あるいは後続船に対する監視を最優先とするのが普通である。先行船に対する距離として、東京湾情報センターでは、巨大船同士では15分間隔、危険物船に対しては10分間隔、1万トン以上の貨物船では5分間隔で入航させている。

この水域は前述したように最大12ノットであるから、この時間間隔は距離にすると3海里、2海里、1海里に相当する。但し、これは1万トン以上の船舶についてで、この間に1万トン以下の非管制船が入り込む。

狭水道航行船は、このように概ね3海里以内を監視していれば良いし、レー

ダ画面にはいる船の数、それらの船の動静の監視のしやすさなどから、通常3海里レンジを用いている。時々1.5海里レンジの小レンジに切り替えて、近くの船舶の挙動を観測することもある。

マリトラビジョンも同じ様な利用のされ方をすると考えてよいので、利用者が任意にレンジを選択できるズーム機能を持つことが最適である。また船舶の画面は、自船を常に中心において表示されるように画面の自動切り替えができればなお便利であろう。

## 2. 4. 情報表示の優先度

さきに述べたように、1画面を描き、表示するには時間の制約がある。そこで、全部のシンボルを順々に表示するのではなく、航法上必要なものから優先して描くように予め優先度を決めておく。

2. 1. に挙げた情報について優先度の高いものから順に列挙する。

- |             |            |
|-------------|------------|
| 1. 船舶       | 10. 行く先    |
| 2. 自船の識別    | 11. 船種     |
| 3. 速力ベクトル   | 12. 船舶番号   |
| 4. 危険物積載船表示 | 13. 位置通報線  |
| 5. 注意喚起信号   | 14. 港域線    |
| 6. 障害物      | 15. 陸岸線    |
| 7. 航路線      | 16. 燈台、陸標  |
| 8. 航路ブイ     | 17. 距離スケール |
| 9. 避険船      |            |

## 3. マリトラビジョン・システムの概要

### 3. 1. マリトラビジョン・システムの基本的な構成

マリトラビジョン・システムは陸上レーダ局で観測されたレーダ映像を基本として、必要な処理と付加情報を加えたカラー画像を作成し、この画像情報を船舶に搭載された受信表示装置で表示するシステムである。図. 付1-2-1 にマリトラビジョン・システムの基本的構成を示す。船舶への情報の伝送には無線が使用されるが、同時に公衆電話回線を利用すれば、無線では受信が難しい地域でもマリトラビジョン・システムを利用できる。

船舶側に搭載される受信表示装置としては、高解像度のブラウン管を持つ専用装置のほか、家庭用カラーテレビ受像機に付加させて利用できるようにアダプタ装置も考慮している。また、ブラウン管式表示装置のほかにグラフィック・

プリンタを取り付けることもできる。

操作盤によって表示装置と対話形式で部分拡大したりする機能を選択できるようにして、誰もが容易にしようできるように配慮されている。

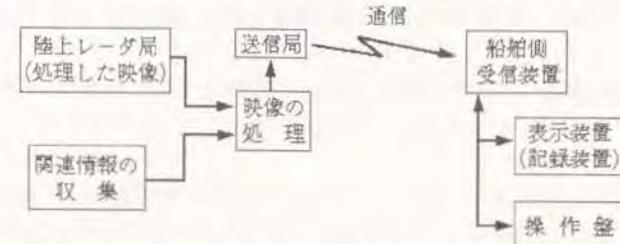


図. 付1-2-1 マリトラビジョン・システムの基本的構成

## 3. 2. マリトラビジョン・システム設計の基本的要件

### 3. 2. 1. 設計のための基本的要件

#### (1) 基本的要件

前節で基本構成を示したが、マリトラビジョン・システムは比較的狭い海域で、その付近を航行する船舶に対して、航行の安全を促進するための画像情報を提供するものである。このようなシステムを設計するにあたっては基本的な種々の要件を検討し設定しなければならない。

まず、マリトラビジョン・システムをどの様な海域に適用するか、その具体的な地域を日本国内で検討すると

- 1) 東京湾
- 2) 関門海峡
- 3) 瀬戸内海の各狭水道
- 4) 伊良湖水道
- 5) 視界不良となることが多い港や水道
- 6) その他船舶交通が輻輳するところ

が考えられる。

また外国籍の船舶が出入港する際に限った事ではないが、マリトラビジョン受信装置を所有しない船舶の場合などに対する一時的な情報伝達手段についても考慮されていなければならない。

システムの設計上考慮すべき基本的な要件として

- 1) 利用可能な範囲の設定
- 2) 対象とする船舶

### 3) 情報の伝送方式

#### 4) 送る情報の内容と量及び形式

- #### 5) 利用する装置に関してそのサービスレベルを選択できるようにし、いわば漁船等でも経済的に大きな負担をかけずにすむ等、実用化への配慮がなされていること

を検討した。これらの要件の決定はシステムの規模、最大情報量の設定や、実験による評価を行う上にもきわめて重大な影響を与えるものである。

### (2) 利用可能な範囲

利用できる範囲はできる限り広く、かつ高い画質で範囲内にある船舶の位置等を表示できることが望ましい。ただし、システム全体からみるとき表示能力ばかり高分解能としても効果がなく、陸上レーダ局で得られるレーダ映像の分解能を合わせて考慮しなければならない。その上で利用可能な範囲の全ての位置を指定できるように考え、またレーダの性能と船舶の大きさを考慮して、1メッシュポイントの大きさを20mとした。

いくつかの地域に対して、このマリトラビジョンの適用を考えているが、ここでは東京湾浦賀水道付近を航行する船舶を利用対象としてモデルシステムを検討した。

図. 付1-2-2に示したように東京湾全域をカバーするためにはメッシュポイントの数を2、400×4、500としなければならないが、今回のモデルシステムの研究においては

- 1) 電子計算機によるデータ処理
- 2) 船舶へのデータ伝送
- 3) 今回のモデルシステムでは浦賀水道を重点的な対象とすること
- 4) 範囲の拡大は範囲内にある船舶数の飛躍的拡大にもつながること

の問題点の検討から、メッシュポイントの数は縦、横それぞれ11ビット(2048×2048)とした。この範囲の拡張については、情報伝送の項(4.2.2項参照)にも関係するが、予備ビットを設けることで拡張性

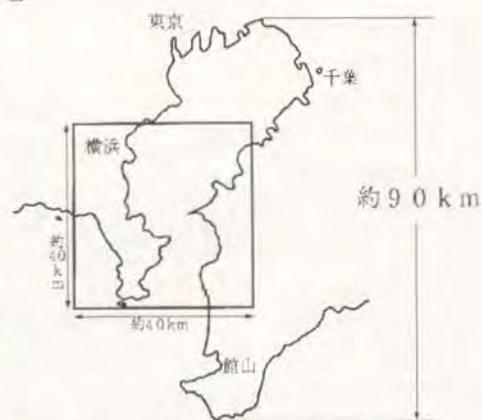


図. 付1-2-2 マリトラビジョン・システムの適用対象範囲

を残している。

また図. 付1-2-2に示されているように、陸上レーダ局の位置は必ずしもその中心にある必要はなく、この図の例では(1024×768)の位置にある。またこのシステムは海上を航行する船舶を対象としているので、陸上に該当するメッシュポイントはその意味を持たないが、他の海域への応用や陸上部分を指定したその他の情報の表示に利用することを考え、情報量の冗長性を削減する処理は特に行っていない。

### (3) 対象とする船舶数

浦賀水道は日本有数の船舶交通が輻輳する水域であり、巨大船から雑種船までが航行している。また周辺には遊漁船等も出ている。これらの多数の船の中でレーダで観測しうる数について検討すると、昭和56年10月27日16時から22時までの間にレーダ観測を行って航跡記録のとれる観測ができた船舶数は267隻であった<sup>1)</sup>。そこで、レーダで探知可能な船舶を画像として表示する対象船舶とした。しかし、漁船等の小型の舟艇レーダで探知することが確実にできない船舶の動静も重要なので警戒船等からの通報等によるものとして対象船舶数の最大数を200隻とした。

### 3.2.2. 情報収集

マリトラビジョン・システムにおいて情報の収集はシステムの有効性を決定する重要な要素であるので、船舶の位置はレーダ観測によるもののほか警戒船等からの通報等による方法を活用する必要がある。

現在、浦賀水道を航行する1万トン以上の大型船は航路に入る時刻等を航路通報として東京湾海上交通センターに通報することになっている。このような情報の収集をレーダで確実に探知可能な100トン以上程度の船舶についても行えるようにすることが、マリトラビジョン・システムの有効性を高めることとなる。

陸上レーダ局におけるレーダ観測によって船舶の位置、針路及び速力を求める。陸上レーダ局では観測されたレーダ映像に次のような処理を行うこととした。

- 1) レーダ干渉、海面反射波による影響の低減処理および映像の鮮明化に関する処理
- 2) 固定物標と灯浮標等の映像と海図位置との照合
- 3) 移動体の検出と位置及び大きさの測定
- 4) 移動体の速力・針路の計算
- 5) 船舶間の衝突危険性の判定

このような処理をしたデータをもとに画像情報を作成する。

### 3. 2. 3. 伝送方式と伝送速度

映像を伝送する方式には、パターン伝送方式、コード伝送方式及びそれらの混合によるハイブリッド伝送方式等がある。パターン伝送方式は雑音の影響にはきわめて強いが、画面の更新周期を早くするためには広い周波数帯域幅を持った専用の通信用チャンネルを必要とする。コード伝送方式は、送信側と受信側とで予め定めた符号（コード）によってデータの伝送を行って、画面を構成する方式であり、狭い周波数帯域幅の通信用チャンネルでも目的を達成できる利点がある。ハイブリッド伝送方式は両方式の中間的な方式である。

近年の周波数割当ての過密状況を考慮すると広い周波数帯域幅を持った専用チャンネルの割当ては期待が難しいことから、実用化の容易さを考慮して、コード伝送方式を採用することとした。この方式では、一般の音声通信用回線の1チャンネルでも伝送できるよう考慮して、帯域幅を2.2kHzとして設計した。この程度の帯域幅でも一般的な周波数偏移変調方式（FSK）で每秒300ボアのデータ伝送が可能である。

### 3. 2. 4. 画面の更新周期

マリトラビジョン・システムがサービス対象とする海域で画像情報として送られる船舶の数は最大200隻とされた。これだけの多数の船舶の情報を伝送しつつも、画面の更新周期はできるだけ短い方がよい。更新周期の平均値は3.2.1に述べた理由から約25秒とした。

船舶に伝送される情報は船舶の位置等に関する情報のほかに、文字として伝送される文字情報、海図の修正情報、手続き符号及び誤り検出・訂正のための符号情報なども併せて伝送する必要があるため、これらも考慮しておかなければならない。

伝送すべき船舶の位置等に関する情報が少ない場合には、その時間分だけ早い更新周期で更新させるか、あるいは文字情報等を伝送の優先順位に応じて伝送することとして、前述の更新周期約25秒を余裕をもたすためにも30秒として設計することとした。

この30秒間に伝送しうる情報量は前項の検討から每秒300ビット（300ボア）となったので9000ビットで1画面に表示する情報を伝送することとなる。画面に表示する海図情報に関しては修正情報のみにとどめることとしているが、その他の文字情報を伝送する分を考慮すると船舶1隻当りの位置等の表示には40ビット程度が割当て可能である。この数値は後述する船舶の位

置等の表示のためのデータ形式からも妥当な値である。

### 3. 2. 5. 受信表示装置の機能

受信表示装置として一般に利用しうるものとしては、家庭用テレビ受像機か中級程度のグラフィックディスプレイ用モニタテレビと考えられる。このような表示装置での解像度はドット単位で表現すると、それぞれ200×250ドットおよび400×640ドット程度である。陸上の送信局からはサービス範囲全域にわたる2048×2048メッシュポイントもの情報が伝送されているので見やすい表示を行わせるためには次のような機能を備えることとした。

- 1) 全範囲を表示するときは、データを間引く等の処理を行って表示内容が煩雑にならないようにする。
- 2) 表示される情報は膨大となるので、表示の際には適切な表示の量となるよう内容別に選択表示ができる機能
- 3) 必要に応じて自船の周囲の限られた範囲を拡大して表示できる部分拡大表示機能
- 4) 自船識別表示機能

### 3. 3. 模擬実験のためのマリトラビジョン・システムの構成

マリトラビジョン・システムの開発研究のために具体的な例として浦賀水道周辺の水域を対象として模擬実験用システムを構成した。図. 1-2-3に概略を示す。

#### (1) 送信局側画像表示装置関係

送信局側画像表示装置は1024×1024ドットの解像度を有する26インチの大型ディスプレイを採用した。大型であるところから各種の受信表示装置の表示能力の評価も行える。

#### (2) シミュレータ関係

任意の隻数の船舶の運航をシミュレーションして、位置、速力、針路のデータを出力する。このシミュレータでは10までの経過地点と変速コードをもとに、針路速力の変更及び追越しが自動的になされる。また、このシミュレータの他に、東京商船大学付属練習船「汐路丸」に搭載されているCAS航跡追跡システムや同じく東京商船大学富浦実験場の研究用ハーバ・レーダ・システムとも接続できるようになされ、実際的な評価ができるように構成された。

#### (3) データ処理用コンピュータ

情報量及び要求される処理速度の面からミニコンピュータを使用した。

#### (4) 情報の伝送関係

この模擬実験システムでは送信側装置と受信側装置との間を300ボーの音響カプラーで接続した。これは研究分担者間での研究途中におけるデータ交換の便宜も考慮したものである。

#### (5) 受信表示装置関係

200×640ドットおよび400×640ドットの2種類の解像度の表示装置を使用することとした。

家庭用テレビ受像機に対してカラー画像をアンテナから入力させる形式については、かなり高級なカラーエンコーダ装置を使用しなければ色彩の表示や解像度も低下することが判っているので、今回は使用しなかった。

最近では、赤、緑、青の色信号電圧で直接ドライブできる入力端子を兼ね備えたRGB対応テレビ受像機が市販されるようになったので今後は検討したい。

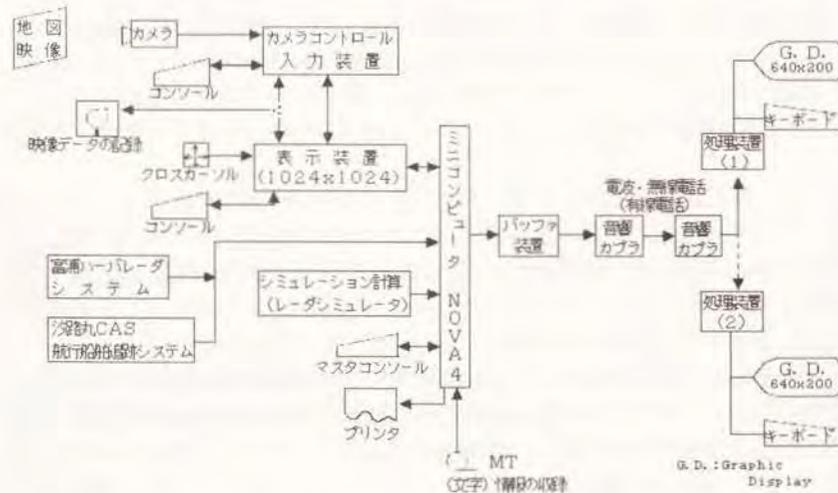


図. 付1-2-3 模擬実験用システムの構成

### 4. 情報の収集及び処理

#### 4. 1. 情報の種類

船舶の位置等に関する情報のように陸上から伝送される情報と、海図情報のように量が膨大で、かつ、変更等の修正があまり無いような情報であって予め船舶側の受信装置内に記憶しておける情報とに分類できる。後者の受信装置内

に記憶されている海図情報は送信局側で使用するものと同一でなければならず、工事やその他の規制等で小変更が生じた場合などは修正情報を受けて使用されるものとしている。

船舶に伝送される情報の種類としては

- 1) 船舶の位置等に関する情報
- 2) 文字情報 (船舶識別番号等)
- 3) 陸岸線、航路境界線などの修正に関する情報

がある。

#### 4. 2. 海図情報

海図情報として表示される内容は表. 付1-2-1に示したような線とシンボルマークとした。

この海図情報は、該当水域を海図から20m単位で縦、横2048単位にわたってタブレットディジタイザで標本化処理したもので作成した。この海図情報のデータ量は膨大となるので必要に応じて表示の際の分解能を損ねないように、データ量を圧縮する処理が行われている。表示例を図. 付1-2-4に示す。

これらの海図情報は随時更新する必要の無い情報で、利用者による部分拡大や表示範囲の変更にも即座に対応できるためにも受信装置内で保持していることが望ましい。こうすることで船舶に伝送すべき情報量は大幅に削減され、修正する場合のみ伝送すればよいこととなる。

#### 4. 3. 文字情報

一般的な情報を船舶に通知するために文字として伝送する情報を文字情報と呼ぶこととする。この文字情報として伝送されるものとしては表. 付1-2-2に示すように定時的、臨時のおよび特別に伝送されるものを考慮した。

表. 付1-2-1

海図情報として表示するもの

線として表示されるもの	陸岸線 航路境界線 港界 (浦賀水道付近ではこの他に船舶からの位置通報線、管制区域指示線がある。)
シンボルマークとして表示されるもの	著名物標 航行援助施設 障害物



図. 付1-2-4 海図情報の表示例 (1024×1024表示)

#### 4. 3. 文字情報

一般的な情報を船舶に通知するために文字として伝送する情報を文字情報と呼ぶこととする。この文字情報として伝送されるものとしては表、付1-2-2に示すように定時的、臨時のおよび特別に伝送されるものを考慮した。

表. 付1-2-2

文章として伝送される文字情報

定時的に伝送される文字情報	海難 航路制限 巨大船の航行 避難船舶の現況 漁船群 気象・海象関係 (注意警報現況) 航路標識の故障
臨時に伝送される文字情報	航路の航行制限 大規模海難の状況
特別に伝送される文字情報	衝突が予想されたときの注意喚起 航法是正のための注意喚起 海難事故視界不良時における危険回避のための注意喚起 その他

これらの文字情報は特別緊急なものを除いて伝送順序の優先度は、船舶の位置等の情報に比較して低い。利用船舶において1回受信され情報内容が保持されるなら、定時的に更新されれば良い。船舶固有の文字情報としては表、付1-2-3に示す内容を送信局側で収集しておき、こ

れらの中から船名、仕向名、通航予定航路、船種については船舶側にも可能な限り伝送することとした。船の大きさや積荷の種類は船舶の位置等に関する情報で色分け及びマークの大きさで表示することとした。

表. 付1-2-3

各船舶固有の文字情報

船舶識別番号	16	1~65536
船名	160	20文字以内 (1文字8ビット)
仕向港	4	東京湾内の各港のコード番号
通航予定航路	8	各航路のコード番号 および横断等をコード番号で入力
積荷の種類	4	コード番号で表示 (例:危険物積載船はD)
総トン数	9	100トン単位とした整数値
船長	9	1m単位の整数値
喫水	9	0.1m単位の整数値
船種	4	コード記号で表示 (例:タンカーはT)
パイロットの乗船の有無	2	コード記号で表示 (例:乗船中:H 要求:G)
航路入航予定	18	日付, 時, 分 各2文字
特別消防設備の配置の有無	2	1文字 (例:有, 無, 不明)
国籍	80	10文字
船籍港	80	10文字
合計	405	

(ビット)

これらの船舶へ伝送される情報の伝送順序の優先度について検討するが、一般的には次のような事がいえる。

- 1) 船舶の位置等に関する情報は優先度が最も高い。
- 2) 特別な文字情報を除いて、文字情報の優先度は低く、船舶固有の文字情報は最も低い。
- 3) 文字情報の優先度は情報が発生してから時間が経つにつれ変化し、伝送時期を逸すると優先度は消滅する。

#### 4. 4. 情報の処理

##### 4. 4. 1. 情報の処理と識別方法

船舶の位置等に関する情報、海図の修正情報および文字情報は必要時に伝送の優先度に応じて伝送される。これらの情報はなんらかの識別符号を併せて伝送することが必要であり、本モデルの場合には、識別符号で区切ってブロック単位で送信することとした。受信装置側ではこのブロック識別符号を検出して対応した処理を行うようにしている。また情報の中に予備ビットがあり、このビットを識別ビットとして使用している。

##### 4. 4. 2. 伝送するデータの形成

###### (1) 線およびシンボルマークなどの表示に関するデータの形成

対象範囲の全ての地点を指定できるように、X軸(横)、Y軸(縦)それぞれ12ビット(2048×ポイントの指定は11ビットでよいが、1ビットは予備ビット)とした。また、線については始点、継続および終点のコードを付けている。この方法で海図の修正が速やかに実行できる。

###### (2) 船舶の位置等に関するデータの形成

船舶の表示に関しても線やシンボルマークと同様に4バイト形式としている。自船認識機能の一方としてバイト形式も検討した。

船舶の位置はX軸、Y軸の位置の表示に12ビット(11ビット+予備1ビット)を割り当てている。針路、速力の表示はそれぞれ16方位と4段階で表し、船の大きさも4段階とした。

このような表示段階としたのは、受信側の表示装置として検討している高解像度ブラウン管あるいは安価な家庭用テレビブラウン管を表示装置として利用する上ではあまり細かな表示をさせることが不可能であるためである。予備的な実験を行った上でシステム全体的な面から検討して定めた。

#### 4. 5. 漁船群等の表示

漁船が多数存在している水域では、個々の漁船の位置や数をレーダで正確に観測できないおそれがあるので、レーダ観測による情報と警戒船等からの通報をもとに漁船群の存在を枠で範囲として表示する方法をとっている。この表示方法は海図情報の修正と同様の方法で可能であり、簡潔な表示で見やすく、情報伝送量を大幅に削減できる利点がある。このように枠として表示することが望ましいものとしては

- ・漁船群
- ・障害物の集中する区域
- ・工事や掃海中の水域
- ・広範囲にわたる浅瀬

などがある。

#### 4. 6. 情報伝送中に発生する誤りの検出と訂正のための対策

無線回線によってデジタル・データを送受するシステムでは、雑音、混信あるいはマルチパスによる干渉やその他の電波伝搬上の影響を受けやすくビットエラーやバーストエラーの誤りを起こしやすいコード伝送方式では1ビットの誤りであっても、その影響はきわめて大きいので誤り検出及び訂正はこのシステムの基本的な問題である。

情報伝送系における誤り検出及び訂正の方法としては、返送照合方式、連続送信方式あるいは誤り検出訂正のための冗長ビット付加方式などがある。利用者数を制限しないためと電波利用上の問題から一般の放送と同じように単方向通信方式とするため、ハードウェア的な方法である返送照合方式は採用できない。マリトラビジョン・システムにおいては表示される情報のシステム上の制約規則から、ソフトウェア的に誤りが検出できる次のような方法を考える。

- 1) 誤り検出・訂正符号の付加による方式(Parity Check, Cyclic Redundancy Check, Error Correction Code)
- 2) データの伝送レートに従った正確な時間間隔で新しいデータが受信されるか否かによる検査方式
- 3) 送受信に誤り検出、訂正用の特別なコード(たとえばハミング・コード)などで変調、復調する方式
- 4) 基本的に雑音等に影響されにくいような変調方式や周波数帯を選択すること

等である。

マリトラビジョン・システムにおいては、少なくとも間違っただけを表示してはならず、間違いのおそれのある情報は棄却するなどして表示された情報に対する利用者の信頼を損ねることの無いよう設計されなければならない。そのため、誤りの検出訂正方法は可能なあらゆる方法を採用すべきであろう。

船舶の位置に関する情報は最短4バイトで設計したので、誤り訂正のためには冗長ビットを付加することが可能である。

## 5. 情報伝達部

### 5. 1. 情報伝送部の概要

情報伝送部の役割は、与えられたレーダ画像データを電波に乗せ、受信側でそれを忠実に再生することである。このような伝送系で最も問題となるのは伝送路に入る雑音や干渉波の影響である。雑音により受信信号のS/Nが劣化するとデータの伝送速度が厳しく制限される。また、系の占有帯域幅によっても制限される。よって、実際に電波で伝送実験を行う前にこれらの影響を調べておくことが重要である。そこで、変復調部と送受信機を含む伝送回路及び伝送路をシミュレーション回路で模擬し、画像伝送実験を行った。

### 5. 2. 伝送速度の検討

マリトラビジョン・システムにおける電波の最適周波数は、変調方式とデータ伝送速度で決まる占有帯域幅、電波伝搬特性、周波数割当などの総合的判断の上で決定される。帯域幅からみるとVHF帯やUHF帯は伝送速度を向上させることができるが、電波伝搬特性の観点からは、環境の影響を受けやすく、マルチパス成分との位相干渉によるフェージングの問題がある。船のような移動帯で受信するには比較的安定な中波帯または短波帯が良い。占有可能な帯域幅は3kHz程度である。

理論上、3kHzのときの伝送速度は3Kbit/sである。実際はそれより遅くなるが、それでも1200bit/sは容易に達成できるだろう。

もし、1200bit/sが可能ならば、船情報(位置、大きさ、方向、速度:4バイト)のみ伝送する方式においては200隻を6秒以下で伝送できるので十分な速度といえる。

本研究では、電波による伝送を行うための予備実験として、電話回線を利用したレーダ情報伝送実験を計画した。そのため、回線に合わせ2値FSKによる300bit/sの速度で行うこととした。

### 5. 3. 伝送部のシミュレーションとその特性

データ伝送系の品質は受信信号から復調した信号のビット誤り率で評価できる。この誤り率は、伝送速度が与えられた時、受信信号のS/Nと系の帯域幅に左右される。

実際の伝送路における雑音源は、中短波帯の場合、空電、人工雑音、回路雑音などであり、さらに他局との混信やフェージングなども伝送路を劣化させるものである。伝送路のシミュレーションにおいてこれら全ての要因を考慮することは困難である。そこで、電話回線による実験も考慮して模擬伝送部を構成した。すなわち、変復調器はCCITT準拠低速非同期式全二重モデム(FSK、スペース:1180Hz、マーク:980Hz、300bit/s)を用いており、雑音源は白色雑音を用い、帯域幅制限の効果をみるために図、付1-2-5(a)~(c)の特性を持ったBPFを選択して行なった。

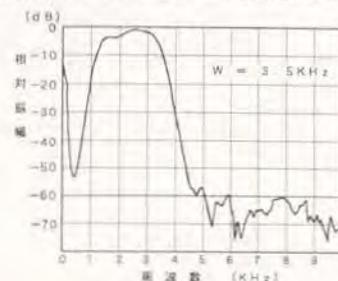
模擬伝送部の特性は、M系列疑似ランダム信号を用いてビット誤り率測定した。M系列符号は16bitシフトレジスタで発生しているので1周期は $(2^{16}-1)$ である。結果を図、付1-2-6に示す。S/Nの劣化と共に誤り率は指数関数的に増加していることがわかる。また、帯域幅が狭い程誤り率が高くなる。

ここで、S/Nは

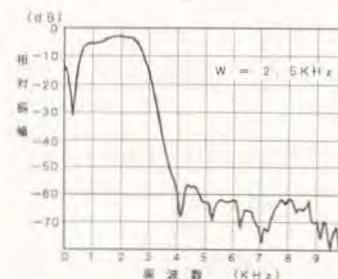
$$\frac{S}{N} = \frac{[\text{無雑音時のFSK信号のP-P値}]}{[\text{無信号時の雑音出力の実行値}]}$$

で定義した。

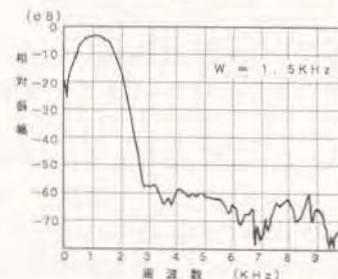
図、付1-2-6によれば、 $W=3.5\text{kHz}$ のとき $S/N < 9\text{dB}$ で、 $W=2.5\text{kHz}$ のとき $S/N < 12\text{dB}$ で誤り率が急激に増加していることが分かる。このことは次節で述べる画像伝送実験においても同様の傾向が見られた。



(a)



(b)



(c)

図、付1-2-5

BPFの周波数の特性

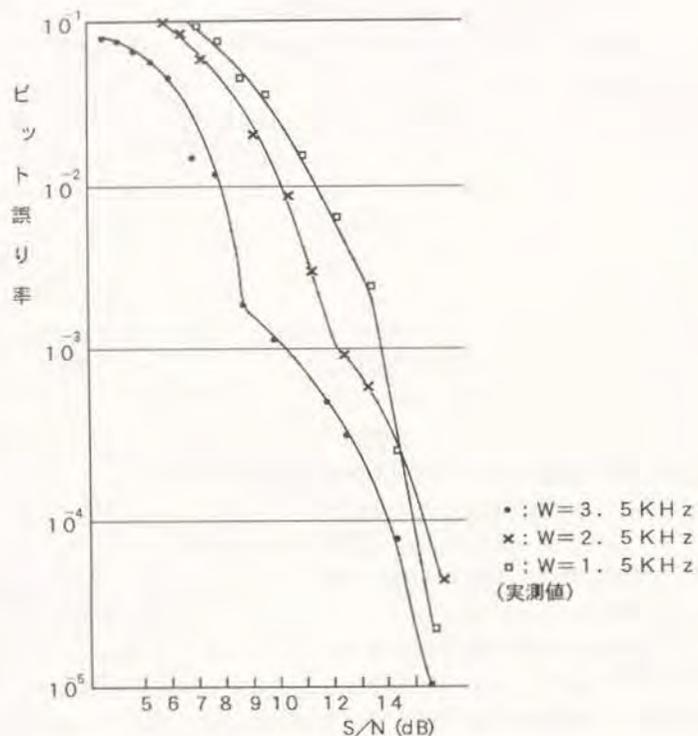


図. 付1-2-6 模擬伝送部のS/N対ビット誤り率の関係

#### 5. 4. 模擬伝送部を用いた実験

模擬伝送部を用いて実際に、レーダ画像の伝送実験を行った。受信側のカラー表示器には陸岸や航路線などの固定情報をパーソナルコンピュータ(PC-8801)により予め与えてあるので、伝送すべき情報は移動体である船の情報(位置、大きさ、方向、速度)だけである。

画像は、1分毎に1画面が更新される。実験では55隻の船舶を10分間伝送した。延べ550隻の船情報が伝送されたことになる。S/Nが十分大きい場合は、誤りなく受信できた。これに対し、W=3.5 KHzに設定して伝送路に雑音を加えたとき、S/N=9.4 dBでは1隻だけ位置情報が誤って受信され、船が陸地に入ってしまった形跡があった。一方、S/N=8.5 dBでは、ほとんど全ての船位情報が誤って受信されてしまい、航路上に船が見あ

たらなくなった。S/Nが9 dB近辺を境に急激に誤り率が増加していることが分かる。同様に、W=2.5 KHzに帯域制限したときはS/N=12~13 dBから急激に劣化してしまう。そしてさらに条件が悪いS/N=11.2 dBではすでに大部分の船位情報が誤って受信されており、航路上のほとんど全ての船が消えてしまった。

このような実験から、S/Nの劣化にもなって誤り率が急激に増加する様子を図. 付1-2-7に示す。このグラフにおいて、縦軸は115隻分の船の情報を伝送した中で誤って受信された隻数を表している。ただし、誤りの種類は船の位置ばかりでなく、大きさ、方向、速度のうちいずれか一つでも誤れば誤りとして

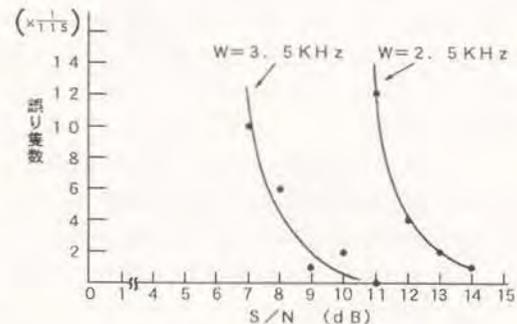


図. 付1-2-7 レーダ情報伝送実験におけるS/N対誤り隻数の関係

一つでも誤れば誤りとして計数した。この結果、図. 付1-2-6から予想された通り、W=3.5 KHzではS/N=9 dBから、W=2.5 KHzではS/N=12~13 dBから急激に誤り率が増加していることが分かる。

このように、S/Nがある値を境に誤り率が急増する現象はFSKの復調後におけるベースバンドパルス信号のビット周期変動によるものであり、最小限確保しなければならないS/Nに閾値が存在することを示している。

#### 5. 5. 検討

中短波帯の電波を用いたデータ伝送系を想定し、この伝送路を雑音(白色)のある系としてシミュレーションした。この模擬伝送部はS/Nと帯域幅を任意に変化できるものである。その特性は、W=3.5 KHzのときS/N=9 dBで、W=2.5 KHzのときS/N<12 dBでビット誤り率が急増する。また、この伝送部を用いた画像伝送実験の結果からも上記と同じS/N以下において受信した船の情報に誤りの急増することが分かった。このことは閾値の存在することを意味しており、その値以上にS/Nを確保することが必要であることを示している。

実際に電波を用いるデータ伝送では、空電雑音のような持続性のある雑音や

フェージングなどによりバースト誤りが起こる問題も検討しなければならない。本章では変調方式や誤り訂正方式の一般的な考察は述べなかった。しかし、それらは雑音対策上重要な課題であり十分に検討することが必要である。

## 6. マリトラビジョン・システムの表示部

マリトラビジョン・システムの表示は、パーソナルコンピュータのCRTで行なった。このコンピュータに予め内蔵させておいた海図パターンを表示し、前述した伝送部から送られてくる、規格化された(RS-232C)通航船情報などの信号をパターン化して表示する。

ここで用いた主なコンピュータは、NEC、PC8801およびPC9801であった。これはCPUにZ80Aあるいは8086相当を用いたものでクロック周波数は4MHz、8MHzである。

### 6. 1. 海図のパターン

海図を表示するには、予め海図のパターンをデジタル数値化する必要がある。ここではその方法について述べる。

#### 6. 1. 1. 海図の読み取り

海図のデータは、海上保安庁発行のNo. 90(東京港、縮尺1:100、000)の海図から読み取った。読み取りには、東京水産大学計算センターの図形読み取り装置を用いた。この装置はいわゆる全版の海図をほとんどそのまま読むことのできる読み取り面積を有している。そして、座標を読み取ろうとする物標にポイントを合わせ、読み取りスイッチを押すか(ポイントモード)、あるいは読み取ろうとする線をなぞるだけで(オートモード)、図形を読み取り、デジタル数値化することができる。

読み取る際の分解能、つまりデジタル数値化された1ビットは0.2mmで、この海図の縮尺では実長20mであった。読み取りの範囲は浦賀水道を中心として東西、南北に40.94kmで南は三浦半島南端、北は横浜港まで含まれる。

読み取りの際には後で表示するときのことを考えて、対象物を次の5種類に分類し、分類記号をつけてから読み取った。

- 1) 海岸線
- 2) 港界線
- 3) 航路線
- 4) 燈台

#### 5) 浮標灯

さらに、島のように海岸線が閉曲線となることを考えると、読みはじめの点とその続きの点であることを区別する必要がある。燈台と浮標灯の場合は点であるので始点のみで継続することはない。また、一般に海岸線のうち自然の海岸線は、細かな凹凸があり、前述のオートモードで読み込み、埋立地のように人工的な海岸線および境界線、航路線はポイントモードで隅々の点のみを読んだ。

### 6. 1. 2. 海図データの数値表現

海図上の地形の1点を表現するために、4Byteを使用している。

第1Byteと第2ByteにX座標値が入っている。X座標値はさいだい2047であるので、11bitあれば表現できる。2Byte分の16bitのうちこのこり5bitで、1bitを開始点か継続点かの区別に使用し、2bitを海岸線などの線か燈台などの点かの識別に使用している。残り2bitは未使用である。

第3Byteと第4Byteには11bitにY座標値が入り、第3Byteの3bitに表示の際の色が入っている。

### 6. 1. 3. 海図データの所要メモリー容量とデータ圧縮

浦賀水道航路を中心とする40.94km四方の範囲の海図を20mの分解能で読み取り整理した結果、読み取り点の数は3216地点であった。1地点は前述したように4Byteのデータとなるので、データの所要メモリー容量としては、12.864KByteであった。

この程度の記憶容量であれば、大きすぎることはないので、いわゆるデータ圧縮は行わずにこのまま表示に用いた。また、一般にデータ圧縮すると、表示の際に処理時間が増加する可能性がある。それを避ける意味からも圧縮したデータを用いることはしなかった。

しかし、一応データ圧縮の可能性を検討しておく必要があると考える。その結果を簡潔に述べる。

前述の4Byte方式の表現にはかなりの無駄が含まれている。例えば、各座標毎に含まれている開始記号や識別、表示色記号は、一つの地形(例えば島)の始めに1回あればよい。また、1地点を表すのに常に11bit×2を用いているが、隣合った2地点間は普通数bitの距離しかはなれていない。従って一つの地形の開始点のみ、その座標を絶対値で与えておけば、その後の地点の座標は数bitの変位量で表現することができる。この方式は音声のディジ

タル化などにおいて、DM (Delta Modulation) 方式として知られている。

この場合、変位量を何bitにするかによって圧縮の効果は異なる。変位量が小さすぎればこの方式の意味が無いし、大きすぎれば結局補完しなければならない。そこで、最も圧縮の効果の上がる変位量を調べるために、浦賀水道付近の海図上のデータ3216地点で、隣合った2地点がX, Y軸方向、それぞれ何bitずつ離れているか測定した。その結果を用いて圧縮の効果をシミュレーションした結果を表、付1-2-4に示す。

表. 付1-2-4 海図データのデータ圧縮の効果

方式	変位量 (bit)	所要メモリ容量 (KByte)
4Byte	-	12,864
3Byte	-	9,851
DM1	1+1	7,933
DM2	2+2	6,975
DM3	3+3	5,991
DM4	4+4	5,320
DM8	8+8	7,092

このように、X, Y軸それぞれ4bitの変位量とすれば、所要メモリ容量5,320KByteで、圧縮の効果が最も大きいことが分かった。ただし、この時、港界線と航路線は直線部分が多いので、別に取り扱って絶対値方式で処理した。これらまで、変位量方式で処理しては、これほどの効果は上がらないことに留意すべきである。

なお、ここでいうデータ圧縮とは、狭義な意味で用いている。広義には、図形の特徴を取り出してデータ圧縮することも考えられる。しかし、その場合には海岸線が平滑化される効果もある反面、平滑化されただけ原型から離れることになるので、ここでは検討の対象にできなかった。

これらまで、変位量方式で処理しては、これほどの効果は上がらないことに留意すべきである。

なお、ここでいうデータ圧縮とは、狭義な意味で用いている。広義には、図形の特徴を取り出してデータ圧縮することも考えられる。しかし、その場合には海岸線が平滑化される効果もある反面、平滑化されただけ原型から離れることになるので、ここでは検討の対象にできなかった。

## 6. 2. 通航船のパターン

レーダ局で観測された通航船の情報を受信し表示する際には、その情報を見やすいパターンにして表示した。情報は、各船について

- 1) コース

- 2) 速度
- 3) 大きさ
- 4) 船位のX座標
- 5) 船位のY座標

である。パターンは円と円から出た直線棒で成り、円の大きさが船の大きさを表し、直線棒で船速のベクトル(コースと速度)を表した。大きさと速度は4段階、コースは16方位なので、 $4 \times 4 \times 16 = 256$ 通りのパターンで全ての通航船を表示できる。

## 6. 3. 表示機能

ショーダビジョンの利用者には適確な情報を吟味した表示で与えなければならない。文字だけで表示したのでは利用者は状況をすばやく把握できない。図化できる情報はできるだけ図化して表示することが望ましい。また、情報量の多すぎる表示も避けなければならない。

この研究では、種々の表示方式を検討したが、以下に述べる方法を一応の結論とした。

図. 付1-2-8に表示例を示す。海岸線は青、燈台は赤、浮標灯は黄、港

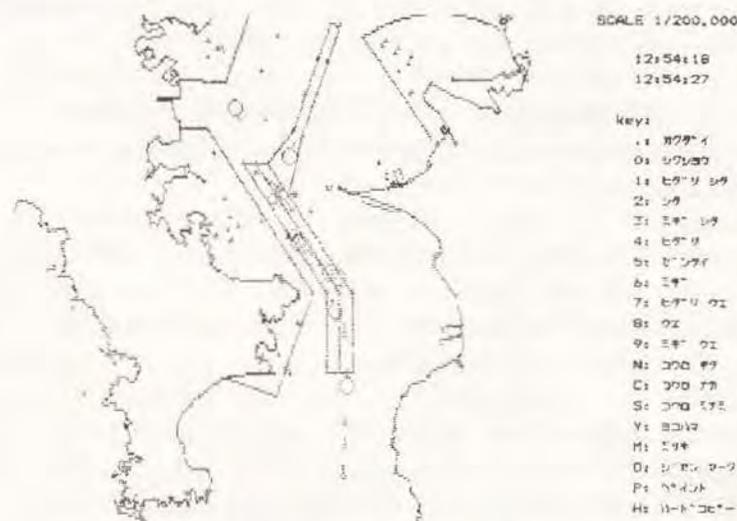


図. 付1-2-8 表示例

界線はシアン、航路線は白色で海図が表示されていて、通航船はシアン、自船は黄色で表示されている。そして、海図の右側には、海図の画面上の縮尺、時刻および画面の状態を変えるためのkey操作方法が表示されている。以下に、画面操作を行ったときの結果について説明する。

#### 6. 3. 1. ズーム

ズームの機能は画面を拡大、縮小することである。keyを1回押すと縮尺が2倍または1/2倍になる。ただし、縮尺の最小値は、1/25,000で、最大値は1/200,000である。

#### 6. 3. 2. シフト

シフトの機能を用いれば、自船の移動に応じて、画面を移動させることができる。Keyを押すことによって画面をその長さの1/4ずつ8方向へ動かすことができる。

#### 6. 3. 3. ワープ

ここでいうワープ(warp)とは、今表示されている画面から、予め設定しておいた他の画面に切り替える意味に用いている。

選択できる画面として、浦賀水道航路北部、中央部、南部および港湾側として横浜港、三崎港を準備した。

#### 6. 3. 4. 自船識別(1)

この機能で、自船は黄色で、他船はシアンで区別して表示することができる。映像からの自船の選択は手動で行う。

一度自船のマークを行なった以後、間違っても他船に自船マークが移るようなことがあってはならない。以後間違いなく画面上の自船を追跡するには、二つの方法が考えられる。その一つは、レーダ局から30sec毎に送られて来る通航船の情報のコースと速度から、30sec後の自船位置を推測し、新たに送られてきた船位と照合する方法である。しかし、これだけでは自船を間違いなく追跡することは困難である。レーダ局から送られて来るコースの情報は16方位に、速度は4段階に概略化されているためである。変針して30secも経過すれば追跡することはできない。事実、この方法でシミュレートしてみると、よく間違いを起こした。もし、この方法で追跡を可能にしようとするのなら、レーダ局からの情報だけでは不十分で、自船で測定する別の船位情報、すなわちログやコンパス、あるいはロラン等からの情報が必要であろう。

より確実に自船を追跡する第2の方法として、レーダ局から追跡用の情報を送って来ることが考えられる。レーダ局では、各通航船を一隻一隻追跡しているので、前述した4Byteの情報の他に1Byteを加え5Byteとし、その1Byteに各通航船の識別番号を入れればよい。この方法では間違いは表示例で起こることはなく、起こるとすればレーダ局で、あるいは伝送上の誤りから起こるだけである。

この第2の方法でシミュレートしてみたが結果はきわめて良好であった。

なお、識別番号に1Byte用いれば256隻の通航船を識別できる。

#### 6. 3. 5. 自船識別(2)

表示画面内に多数の船舶が表示されているとき、どの表示が自船のものか識別して表示されれば分かりやすく利用価値が高い。

しかし、多数の表示から自船を識別するのは容易なことではない。船舶の位置に関する情報の4Byteに、識別のための1Byteが加えられていれば、比較的容易に識別できる。

その方法としては、自船に付けられている識別番号を国際VHF無線電話等で問い合わせる方法、あるいは問い合わせることなく自船で調べる方法が考えられる。

自船で調べる方法とは、自船の大きさ、速力および概略の位置を入力することによって該当する表示を調べ、該当の適否を利用者に判断させた上で自船として登録するものである。この方法による自船認識は利用者側装置のみで可能であり、無線電話等の機器を必要とせず、該当の適否判断の煩雑さと過誤の問題は残るものの、利用者数の拡大にも対応できる。

#### 6. 3. 6. ペイント

以上の表示例では海岸線を線だけで示したが、陸上と海上を区別して、どちらかをある色で塗りつぶすことが場合によっては必要であろう。key"P"を押すと陸上あるいは海上を塗りつぶすか塗りつぶさないかの選択ができる。

#### 6. 3. 7. ハードコピー

この機能を用いれば、画面のコピーを取ることができる。図.付1-2-8はこの機能でコピーしたものである。なお、これらの図では、縦横の縮尺が正確でなく縦方向に縮んでいる。これはプリンターの特性によるものである。

#### 6. 3. 8. 表示画面の作図時間

画面操作を行って画面を切り替えるとき、できるだけすばやく切り替える必要がある。図、付1-2-8には、時刻が二つ表示されているが、実は、この二つの時刻の差が作図時間で、普通の画面操作時には10sec、ペイント時には50sec程度を要している。

この程度の作図時間が利用者にとどの様に感じられるか数人に意見を聞いた結果、何も画面に出ていなくて待たされると2、3secで待ち遠しく感じる事が分かった。そこで作図の過程が分かるように画面を出して作図し、画面が動いていると、10sec位までは我慢できるようである。

### 6. 3. 9. 漁船群の表示

漁船等は一部の海域に集中して操業している場合が多く、それらの漁船の位置を詳細に表示する必要はない。操業中の漁船を避けなければならないときには、避けの方が望ましい海域を知ることが重要なので、その範囲が簡潔に示されればよい。

### 6. 3. 10. 文字情報の表示

船舶の予定航路、積載貨物の種類、船名および大きさなどの船舶の固有情報を船名を除いて、文字情報のコードで伝送されたものを一部漢字で表示する。

一般的な文字情報は画面の脇に表示することとした。縦方向および横方向のスーパー表示も検討したが、一般のテレビ放送を見る場合とは違い、終始画面を見続けるわけではないので、見逃すことも考えられる。そこで画面の右もしくは左の3分の1位の範囲に文字情報用表示範囲を設けておき、新しい情報が入ると旧くなった情報をスクロール・アップする方式とした。表示画面から消えた文字情報は、スクロール・ダウンさせることにより再び表示することもできる。

### 6. 4. 表示用プログラム

表示するためのプログラムを作成するにあたって特に留意したことは、画面の作図時間を短縮することで、そのために作図時間に影響する部分は機械語でプログラミングした。その結果前述したように普通の画面の場合は10sec以内に作図が可能になった。

### 6. 5. シンボルマークの表示に関する色彩の割当の心理的印象

航行援助施設に対する色彩の割当として、燈台等は黄色というように指定しても割合に心理的には受け入れやすい色がある。巨大船や危険物積載船を赤色

で表示するのも同様である。

船舶の種類、用途に対応させて色彩を変えた方が表示としては望ましいが、色彩の割当には検討を要する部分もある。それは、雑種船等の小型の船舶に水色や白色等を割り当てると、明るさのために突出して見え、心理的に巨大船と同じ様な印象を与える。このことは実験評価中にもしばしば指摘されたことであり、シンボルマークと色彩の割当は今後さらに検討する必要がある。

また、同様に船舶の表示では船の大きさを示す円形マークと速力を示すベクトルがあるが、前述の白色表示の小型船が長いベクトルを持っていると、かなり大きな船という印象を与える。

船の速力を示すベクトルと船の大きさの円形マークの大きさにも表示マークとしてバランスが必要である。

## 7. 考察

海上交通情報センターの持っている情報を最大限活用し、個々の船舶の運航に役立てるため、ショーダビジョンの一種としてデジタル通信方式であるマリトラビジョン・システムの研究を行なった。その収容は概ね次のようなものであり、問題点等も併せて検討する。

### (1) 航海上必要な情報とシンボル

航海上どんな情報が必であり、それをどのようなシンボルで表示するかを検討した。マリトラビジョン方式では狭帯域伝送を仮定したので伝送速度が遅く、必要な情報であっても優先度を考慮しなければならない。まず、船舶の位置を最優先とし、陸岸線のような情報は予め船側で記憶しておいて、ゆっくりと描く方式を採用した。

### (2) 海図の表示

上述のように、海図情報は航海に必要ではあるが、陸岸線の記憶には多くのメモリが必要であり、伝送にも時間がかかる。従ってなるべく所要メモリ容量を少なくするようデータ圧縮の検討が行われ、陸岸線等は空き時間を利用して、ゆっくり描くこととした。しかし、航路船や航路などは優先度が高いため、さきに描く。

なお、必要に応じ、船側では必要水域を自由にズームングできる機能を持つこととした。

### (3) 色情報

情報の内容をシンボルマークと共に色で表示すると情報量が多くなり感覚的にも理解できる。例えば危険物を赤色にしたり燈台、パイ等を黄色の表示とす

ると感覚とも一致する。しかし、色彩については、紫、赤、青等は白、黄、水色等に較べて解像度、特に垂直の解像度が悪いようである。

#### (4) 伝送方式

本方式では実用化の容易さを考慮してコード伝送方式を採用することとした。3 KHzの狭帯域幅での伝送速度は1200 bps程度は比較的容易であると思われるが、本研究では総合実験として電話回路を利用したレーダ情報の伝送を計画したために、伝送速度はさらに遅い、300 bpsの2値FSK（周波数偏移変調方式）とした。このような遅い伝送速度でもほぼ満足できる結果を得たので、1200 bpsではよりよい結果を得ることができるだろう。

#### (5) 総合実験

総合実験ではシミュレーションによってレーダ情報源に記憶されている情報を音響カプラによって電話回線で送信し、これを表示した。実験の結果は初め予想していた通りの満足な結果を得たが、次項で述べるような誤りについては特別の配慮が必要であることを再認識した。

#### (6) 誤りについて

本方式は数値伝送方式であるため、伝送経路のどこかで数値が間違ると、それが直接に情報の誤りとなって表示される。例えば、船の針路の誤りはベクトル線の誤りとなり、位置符号の誤りは、船が陸上へ上がってしまったりすることになる。このような誤りは信頼性を損なうばかりではなく、船の航行上危険となるので、絶対に防止しなくてはならない。今回の実験ではS/N 10 dB以下になるとこのような誤りが入ってくる可能性が検出されたため、今後この点の対策を進めたい。

### 8. あとがき

以上ショーダビジョンの一方式であるマリトラビジョン・システムの研究を報告した。研究は実験室段階では成功であったが、実用化の段階においては幾多の問題がある。特に受信機をいかに簡便にするかという点はハードウェアとソフトウェアの両方の技術的問題として解決しなければならない。また技術的問題とは直接関係はないが、周波数割当の問題もある。

マリトラビジョン・システムがこのような障害を乗り越えて実現に至る日が一日も早く来ることを望んでやまない。

#### [謝辞]

本研究は昭和56, 57年度科学研究費補助金（総合A）（研究代表者、東京商船大学 庄司和民教授（現名誉教授））を受けて実施したものである。

その研究成果について、著者が執筆あるいは深く関与した部分を引用させていただきました。共同研究者の方々に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 昭和56年度 東京湾船舶航行調査報告書、東京商船大学船舶運航研究施設、p5~41

### 付一 1 - 3 船舶識別装置の研究

#### [概要]

東京湾などの船舶交通の混雑している海域では、大型船や危険物搭載船などと小型船が混在して航行しており、しかも場所によっては漁船が操業している所もある。このような危険な海域で、大型船などには通行前の届出と国際港湾無線電話での連絡が義務づけられているが、小型船や漁船あるいは多数の釣り客を乗せた遊漁船では連絡や通報の手段が確立されていない。そこで低価格な普及しやすい自動受信および応答で所要のデータを通報するレーダ・トランスポンダ・システムについて研究開発した。このシステムは、レーダ局からは30ビットの情報をおくり、小型船側からは24ビットの識別符号を含む船種や情報提供の要求項目などの情報の授受ができる。

#### 陸上レーダによる船舶識別装置に関する調査研究

##### 1. はじめに

東京湾や瀬戸内海等、海上交通の輻輳する狭水道や主要港湾には、海上保安庁により近代的な海上交通システムが設置され、海難防止に寄与している。

この海上交通システムは、陸上に設置した高分解能レーダで船舶を追尾し、気象その他の情報の提供や指導、警告等を行っている。しかし、これが有効に機能するためには、船舶を識別、特定する必要がある。現在、3000GT以上（東京湾では1万GT以上）の船舶については、規定の地点から、海上交通センターへ位置通報することになっており、その情報をもとにレーダ映像に識別符号を付け、自動追尾している。

一方、漁船、遊漁船等の小型船は位置通報が義務づけられておらず、更には、材質、大きさ等のためにレーダ映像が不安定となり、識別、追尾は困難な場合が多い。そこで、小型船等に簡易な機器を搭載して、海上交通センターのレーダで小型船等も特定、追尾できるようにし、かつ小型船等へ文字や符号による情報の提供もできるようにする船舶識別通報システムに関する基礎研究を行なった。

##### 2. 船舶識別通報システムの概要

海上の船舶を探知識別し、特定して通信するためには、陸上より、海上の船舶への通信系と、その逆の応答通信系が必要である。

この2つを含むシステムを、有効距離範囲、通信可能性の点から比較検討し、

その有利さから、トランスポンダに高速通信を追加する方式を採用した。さらに指向性、起動方法についても、種々の方法について比較、検討した結果、回転指向性のレーダ波による起動と通報をすることとした。

##### 2. 1. システムの構成

システムは陸上側の装置と、船上側の装置とからなる。

陸上側の装置を識別通報装置と呼び、船上側を船上識別器と呼ぶ。システムのブロック図を図、付1-3-1に示す。

識別通報装置は既設のレーダ装置、GD/PP I表示装置に付属して使用する。情報を変調してレーダ電波に乗せ、応答電波を検出して処理し、表示部等へ送る。応答電波を受信するアンテナは通常のレーダアンテナとともに回転する。

船上識別器はトランスポンダ装置である。識別通報装置からのレーダ電波を受信し、応答電波を送信する。また送られてきたデータを表示する。応答電波の周波数はレーダ電波に近いものを使用する。

なお、既設の陸上レーダ装置の主な性能は表、付1-3-1のとおりである。

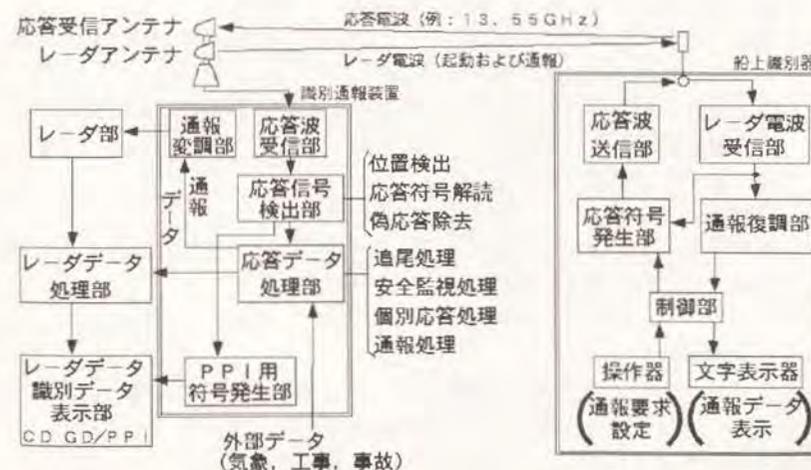


図. 付1-3-1 識別通報システム構成ブロック図

表. 付1-3-1 レーダ装置の性能

項目	仕様
周波数	13.75GHz
送信出力	40KW
パルス幅	0.1 $\mu$ S
パルス繰返し時間間隔 (データにより変調する)	291~355 $\mu$ S (1 $\mu$ Sステップで変える)
アンテナ形式	スロット型
アンテナ指向性 H/V	0.25度/15度
アンテナ回転数	10rpm
アンテナ高さ	80m
監視範囲	20km

## 2. 2. システムの性能要件

船舶識別通報システム的设计にあたり、基本とする考え方は次の通りである。

- 1) 小型船であっても、識別器を搭載すれば、陸上側で自動的に識別でき、かつ自動的に追尾できること。
- 2) 陸上側と船上の識別器は短い情報の高速通信ができること。
- 3) 船上識別器は小型、軽量、安価で普及性があること。
- 4) 現在、使用しているレーダと相性がよいこと。距離範囲はレーダ局近傍から20kmまで安定に動作すること。
- 5) 陸上からの電波はレーダ波を利用すること。船上識別器の送信電波はこれと別の電波とすること。

この他、さらに注意すべき点として、

- 6) 陸上レーダのサイドローブによる誤動作を防止できること。
- 7) 超小型船用から大型船用まで4クラス程度に分け、機能、授受する情報について、各クラスに見合ったレベルとすること。

## 2. 3. 回線設計

陸上レーダから船上識別器への通報系と、船上識別器から陸上識別受信機への応答系の二回線につき、受信レベル距離特性を図. 付1-3-2に示す。それぞれをレーダ信号レベル、応答波受信レベルとする。

### (1) 通報系回線

レーダの送信電力が高いため、20kmの距離においても充分な受信レベル

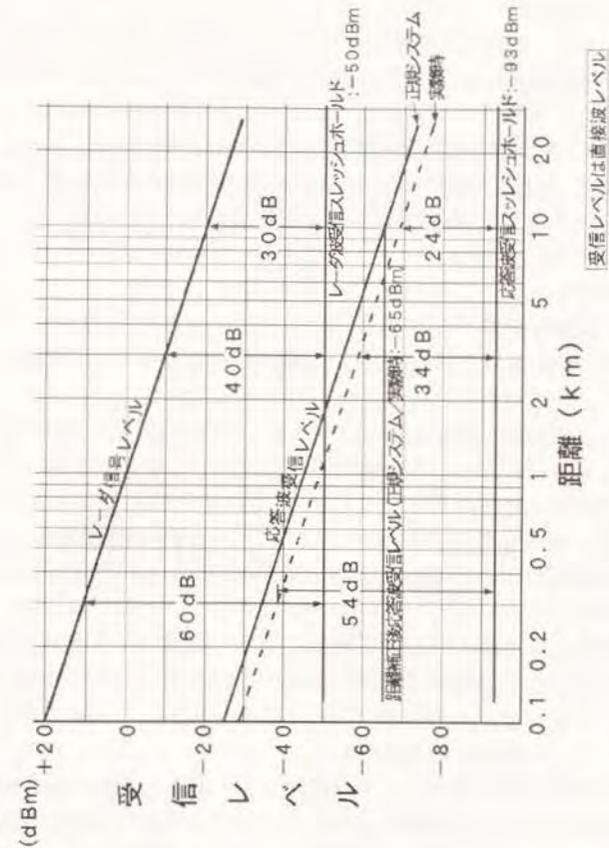


図. 付1-3-2 受信レベル距離特性

(-27 dBm)がある。このレベルでも通報符号平均検出率が99%になるように、船上識別器のスレッシュホルドレベルを-50 dBmに設定している。

## (2) 応答系回線

実験時、応答波の受信には既存のレーダアンテナを用いるので、実用機的设计基準より受信レベルが4 dB低くなっている。実用機のシステムでは利得の高いアンテナを用いるので、その場合の受信レベルも示す(図の中では正規システムと表現している)。

応答符号平均検出率は、実験時のアンテナで98%、実用機的设计基準のアンテナで99%を確保するように設計している。

直接波と海面反射波が相殺し、受信レベルが下がることがあるが、その発生率は1%である。実際に追尾する時はその前後の受信により補完できるので支障は生じない。

## 2. 4. 通信方式

### 2. 4. 1. 通報方式

陸上から船上識別器への通報信号について述べる。

通報にはレーダ電波を用いる。このレーダの諸元は表、付1-3-1に掲げたとおりである。アンテナ回転速度、ビーム幅とパルス繰り返し率よりビーム照射時間の中に入るパルス数は13個である。したがって1回のビーム内で必ず1フレームが受信されるためには、1フレームのパルス数は6パルス以下である必要がある。限られた伝送時間でより多くの情報を送るためにPPM変調(パルス位置変調)とPIM変調(パルス時間間隔変調)のどちらが有利であるか比較、検討した。

PIM変調は、必ず前のパルスを基準にして、変調データに応じた偏位した位置に次のパルスを発生させる方式である。これに対しPPM変調はパルスの一定繰り返し基準位置からの時間ずれを変調データに応じて偏位発生させる方式である。この点が両者の相違点である。

パルス間隔の変動幅を同じにとった場合、PIM変調はPPM変調の2倍の変位数とすることができ、同期パルス数も少ないので多くの情報が送れる。例えばPPM変調の情報量が20ビットに対し、PIM変調は30ビットとなる。PIM変調の方が多くの情報を送ることができるので、ここではPIM変調方式を採用した。使用電波の形式はM1Dとなる。

### 2. 4. 2. 応答方式

船上識別器から陸上への応答信号について述べる。

応答には、レーダ電波に近い周波数のパルス波を用いる。送信するための変調方式は、S/N比、スレッシュホルドレベル、信号長に着目し、FM変調(周波数変調)、PM変調(位相変調)、AM変調(振幅変調)を比較して選択することとした。

FM変調はスレッシュホルドレベル以上ではS/N比の改善が期待できるが、スレッシュホルドレベル自体が高く、有効範囲が小さくなる。

PM変調は外来雑音に対する耐力はAM変調と同程度であるが、受信側で復調するとき位相基準信号が必要となる。この情報を応答信号に含めると応答信号が長くなり、応答信号の干渉が生じる距離範囲が大きくなる。

AM変調は変調が比較的簡単で、スレッシュホルドレベル、信号長ともに特に問題はない。外来雑音にはやや弱い。応答信号の周波数は1.3 GHz帯の中に専用周波数が割り当てられることが考えられ、外来雑音は特に問題とならないであろう。

以上より、識別通報システムにおける応答電波の変調としてAM変調を選択した。使用電波の形式はK1Dとなる。

## 2. 5. 通信障害

通報時、応答時に考えられる障害と解決策について述べる。

### 2. 5. 1. 通報障害

ここでは、通報障害として海面反射波によるもの等、一般的なものは除き、本システム特有の問題として考えられるものについて触れる。

- 1) 他船への通報波の受信
- 2) 陸上レーダアンテナのサイドローブ反射波の受信
- 3) 他の陸上のレーダ波の混信
- 4) 反射電波の混信

上記の不要な通報波のうち、1)と2)は、自船がある他船に対して特定の方位関係になり、その他船に対して警報が送信され、さらに自船と他船の識別番号の下5ビットが一致した場合に誤警報となって生じる。しかし、このような可能性は極めて低く、実際には起こらないとみて差し支えないであろう。3)についても計算の結果、確率は非常に小さい値である。

4)は自船が通報を受信しているとき他の反射体、特に大型船と同時に特定の位置関係となった場合に符号エラーの発生の可能性という影響を生じる。し

かし、影響はわずかであると考える。

### 2. 5. 2. 偽応答

応答信号に対して考えられる通信障害としては、一般的なものの他に次のようなものが考えられる。

- 1) 他レーダへの応答によるもの
- 2) 反射によるもの
  - a. 平面反射体 (大型構造物等の壁面)
  - b. 複雑形状反射体 (船)
- 3) アンテナのサイドローブによるもの

1) については、スイープ相関検出で除去できるようにレーダの繰り返しを互いにわずかずらせることで解決できる。

2)、3) については同一応答データが複数個存在するので、まず同一距離にある同一応答データのなかから受信レベルが最大のものを選択する。さらに異なる距離の同一応答データの中から、最も近距離のものを選択することで解決できる。

## 3. 海上実験

試作した装置をまとめて総合的な海上実験を行なった結果をまとめて報告する。

### 3. 1. 実験概要

実験船を、レーダ局より20 Km, 10 Km, 5 Km, 0.5 Kmの位置で停船させ、各地点で通報と応答の各符号検出率、および応答位置とPPI上の船位の比較等の測定を実施する。また、航行中適宜PPI映像の写真撮影とレーダ/応答ビデオ信号のVTR録画をする。

さらに低速航行をしながら、両符号の検出率を測定する。

#### (1) 測定項目

陸上：・ 応答符号検出率

- ・ 応答検出位置とPPI上位置の比較
- ・ PPI映像の写真撮影
- ・ レーダ/応答ビデオ信号のVTR録画

海上：・ 通報符号の検出率

#### (2) 測定方法

符号検出率：

停船時に通報と応答の各符号検出率をアンテナ200回転にわたって

測定する。通報の送信方向は前回の応答信号から検出した船位の方向とする。停船位置で1回当たりの所要時間は、6秒×200回=1200秒=20分である。

(200回は信頼度90%の信頼区間を測定算出値±1% (通報)、±1.6% (応答) とするために必要な回数)

位置の比較：

応答信号から検出した船位のR、 $\theta$ とPPIから求めた船のR、 $\theta$ を比較測定する。1停船位置につき10回測定 (10回は信頼度90%の信頼区間をRは±10m以内、 $\theta$ は±0.1°以内とするために必要な回数)

航行時の符号検出率：

約3ノットで2~20 Kmの範囲を航行しながら、20分間隔毎に上記の符号検出率と同様の測定をする。

### 3. 2. 実験結果

海上実験の結果に関する全般的考察を次に述べる。

- ・ 直接波と海面反射波の干渉による影響が実験結果にあまり見られていない。干渉の影響は他のマイクロ波を使用したシステムには一般に見られる現象である。今回の実験においては、計測が連続的でなく数力所の地点での計測結果であるや、実験当日の海象の状況は1.5mの波がある状態であったことなどが、結果に大きく現れなかった理由とも考えられる。
- ・ 今回の実験では、船上識別器側での受信状態は符号検出回数の計測を船上測定員が行ったが、詳細な受信状況の記録には何らかの自動記録装置を使用が好ましかった。
- ・ 同様に陸上レーダ側においても、応答信号の受信に障害があったときの符号状態の詳細な計測記録および海面反射波の影響によるようなバースト的な受信障害の状況についての観測調査データを入手したかった。
- ・ 通信の相手方との距離が近くなった場合などには、送信出力を自動的に低減させるような機能を付加することも、将来的には船上識別器に必要であろう。ただし、今回、開発された船舶識別通報システムでは、陸上レーダ局側にサイド・ローブによる影響を除去するようにソフトウェアおよびハードウェアで処理して、船上識別器のコストが増大しないように配慮した。これらの障害対策は十分に機能し、その効果も確認された。

次に各実験項目に挙げた事項につき個別に考察する。

通報符号の検出:

通報符号のアンテナ回転毎の検出率は20 Km以内の各距離で100%またはこれに近い値であり、ほぼ所期の特性を確認できた。

応答符号検出率:

応答符号のアンテナ回転毎の検出率は、20 Km以内の各距離で98%前後の値であり、ほぼ所期の特性を確認できた。

応答検出データの位置精度:

応答検出データとPPI映像の位置比較結果は、方位角度差が約0.2度、距離差が最大距離20 Kmの時で約40 mであった。この値はPPIの測定精度以内であり、応答検出データの位置精度は充分よいと判断される。

サイドローブ応答除去機能:

応答検出データが数Km以内の近距離で、偽応答を生じなかったことから、本機能は充分働いたとみなせる。

### 3. 3. レーダ映像による評価

識別符号の検出状況を総合的に評価するためにレーダ信号を録画し、これを後日、再生して観察した。

PPI上に表示される実験船のエコーは、船が小さいため非常に小さく、またアンテナ回転毎に表示されないこともあり、確認が大変であった。しかし、識別信号は消えたり、ジッターすることなく安定に表示された。偽応答等の除去処理も適切に行われているといえる。

### 4 船舶識別通報システムの評価

3年間にわたる研究の結果、海上での現場実験を含めて当初の研究目的の成果を得られたことを評価する。特にこれまでレーダで検出できなかったような小型船であっても、船の位置やその他の情報の授受ができるようになったことは、おおきな成果である。

ただし、この実験では諸般の制約条件から、

- ・ 現用のレーダを使用したこと、
- ・ 別の周波数の割当てを受けないで実験したため、レーダと同じ周波数でデータの受信を行った
- ・ その他

などの理由から、実際に使用される状況での設計に基づいた試作品ではなく、

海上実験が実施された。そのため、いくつかの検証できなかった事項も残っている。

それは、

- ・ 送受信を別々にしたときのこのシステムのデータの信頼性の向上
- ・ 複数の船上識別器を使用したときに関連する問題、例えば混信や干渉、個別の識別、応答抑制方式の検討など、

があげられる。

この他に検討すべき事項としては、海域内に入域する外国船や他の邦船、さらには全国で40万隻と言われる小型の舟艇までも対象にできる個別識別のための識別符号の割付方式の検討を進める必要がある。

この研究成果を活用し、安全な海の実現のために、将来の実用化のための研究の継続を希望するものである。

### 5. 将来展望

#### 5. 1 将来への目標

船舶の運航において、相手船の総船意志を直接確認できることは、船の運航者にとって理想である。しかし、肉眼で見えている相手であっても、船名や呼び出し符号がわからないために通信が難しいのが現状である。特に夜間や外国船の場合には困難である。本システムとともになんらかの通信手段によって相手船と直接しかも容易に意志の疎通が図れるようになれば、その効果は極めて大きいと考えられる。本システムをさらに開発し、船上識別器相互の通信機能を付加した方式への発展を目標とする。つまり、さらなる高度な目標は、通信相手を管制レーダに限定させるものではなく、容易に必要な相手と自由に通信できることであるとする。陸上レーダは通信の相手方のひとつであり、広く一般に双方向通信ができるものであることを希望する。次に従来から要望されている船橋間通信の必要性について述べる。

<この研究調査の位置づけ>

この研究報告で述べられている識別装置は、将来の船橋間通信の方法の基本的な一部分の成果を達成したことが評価できる。ここで開発された識別装置は、陸上レーダ1局と船上識別器1局とでの実験であったため、多数の船上識別器が存在したときの問題は検証できなかった。また船上識別器に相互間の通信機

能を付加した方式への発展を期待する。

#### <船橋間通信の実現に向けて>

船舶の運航において相手船の操船意志を直接確認できることは、船の運航者（船長や航海士）にとって理想である。しかし、肉眼で見えている相手であっても船名や信号符字がわからずに国際VHFでの通信がむずかしいのが現状である。特に夜間や外国船の場合には困難である。何らかの通信手段によって、相手船の操船者と直接にしかも容易に意志の疎通がはかれるようになれば、その効果は極めて大きい。

### 5. 2 普及のために考慮すべき事項の分析

船舶識別通報システムの船上識別器は、広く普及しなければその効果を発揮できない。広く普及するためには、第一に価格が安いこと、そして価格に見合う以上の有効な情報が受けられるものでなくては、小型船にまではなかなか浸透しない。次項から普及のために考慮すべき事項を検討した。

#### 5. 2. 1 利益の相互享受

使用者全体が相互に情報の授受によって使用上の利益を共有できるものであること。つまり、管制局側に自船の位置情報等を知らせていることに見合う利益を船舶側（利用者）でも享受できることが基本である。この船舶識別通報システムが海上保安庁側が管制の目的で始めるものであっても全体の利益を目指し、しかもその目的がわかりやすく、利用者に受け入れ易いものであることが不可欠と考える。

#### 5. 2. 2 普及する条件の検討

##### (1) 広く普及する条件の検討：

- ・ 装置の価格が安く、しかも得られる情報の質が優れていること。
- ・ 利用者が自ら情報を受信したいと興味を持つものであること。
- ・ 利用者の嗜好傾向を考慮していること。
- ・ 機器の大きさ、情報の伝達方式が船内の騒音などに消されることなく、分かりやすいものであること。
- ・ 少品種多機能型として、オプションで機能拡張ができるようにする。
- ・ 装置の性能に数段階の段階を設け、需要に応じた対応がとれるものであること。

- ・ 利用者の大部分が小型船やモータ・ボート等であることを十分に考慮すること。
- ・ ポケット・ベルのように簡便に使用できること。
- ・ 緊急な情報（例えば、衝突のおそれ）は表示面に警告音とともに表示するが、時間的に余裕のある情報は利用者が別の通信手段で問い合わせる方法を併用する。
- ・ 利用可能な他の通信システムの有効な併用。既存の情報伝達手段の併用、たとえば船舶電話、文字放送などの併用を考える。

##### (2) 簡便に利用可能な装置であること：

- 電源 ; 船内のバッテリー、将来的には低消費電力化させて乾電池でも動作できるようにする。
- 大きさ ; 表示部は見やすい適度な大きさとするが、空中線部分は小さく軽くする。
- 操作 ; 取扱説明書が無くとも操作がわかるように、内容を簡略化するか、1ページ程度の説明書を取り付けておく。
- 信頼性 ; 情報伝送の信頼性および機器の機械的な信頼性もともに十分に確保されていなければならない。
- 価格 ; 業務用トランシーバの価格程度を要望する。現時点での価格は高くても参考程度の問題とし、実際に普及する時点での技術と価格を前提とする。レンタル方式も検討する。

##### (3) 社会環境面での整備

新しいシステムを社会に浸透させるためには、政策的に法令を整備して奨励策を講じるか、あるいは民間が積極的に取り入れる内容であることが必要であろう。政策的にも、民間的にもその両面にわたって検討することが船舶識別通報システムの普及の基本であろう。

政策的には、船舶識別通報システムは電波を発射する機器であるが、簡単な型式検定と使用手続きの簡略化、また無線従事者の免許は不要とするなどの支援が必要である。また、船舶識別通報システムを装備している船舶には保険料が割り引かれる、あるいは税制面での優遇などの経済的支援の方法を検討を要望する。

情報を提供する側の海上保安庁にあつては、船舶識別通報システムを管制のために使用するという姿勢ではなく、安全な航行を積極的に支援するための情

報を提供する姿勢での対応を要望する。つまり、利用者サイドに立ったサービスの内容を宣伝し、普及を図られることを要望する。

#### [謝辞]

この研究調査は(財)日本航路標識協会において「陸上レーダによる船舶識別装置に関する調査研究(平成元年度～平成3年度)」として実施された研究成果の一部であります。筆者はこの研究委員会の委員として、また作業部会長として報告書の執筆まで全般に深く関与しておりました。この論文の全体的構成のためにもきわめて有意義なので、一部を引用させて戴きました。上記の研究委員会の電気通信大学教授鈴木努委員長をはじめ、委員の皆様には謝意を表します。

## 付一1-4 GPSとの連携によるコード呼び出しシステム

#### [概要]

GPSで得られる位置情報を呼び出しコードとするシステムで、自船のレーダで相手の船舶等の位置を測定し、緯度経度の値の一部をデジタル・コードとして国際港湾無線電話等での自動的な呼び出しを行うシステム。現在のGPSの精度である100m内には複数の船舶が一緒に存在する確率は少ないので、レーダで見えている範囲(10海里程度)では有効な方式である。

#### GPSとの連携によるコード呼び出しシステムの提案

##### 1. 海上におけるVHF通信の現状

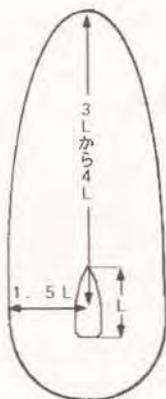
海上においては目前にいる船であっても、船名やcall signが分からなければ通信ができない。識別の方法は相手の船に呼びかける際に、「煙突の色やマークから判断して船社名」を呼びかけたり、「〇〇〇航路の〇番ブイを南航中の鉱石船」というように呼びかけて、相手の判断と対応によって、ようやく連絡ができる。海上交通安全センタが設置されている海域では、予め定められている境界線を通過する際にそのセンタ宛に自船の船名を通報することで船名が登録され、以後その船名で通信がなされる。しかし、小型の船や旅客船で無い船舶は境界線を通過する際の通報義務は無いので、特別の場合を除き船名はセンタにも分からない。呼び出しする場合には、付近の海域をパトロールしている巡視艇の協力を要請して船名を調べている状況である。

##### 2. システム設計の基本的要件

###### 2.1 海上における船舶の交通密度

日本近海は世界の中でも最も船舶の交通密度が高い海域である。中でも浦賀水道と明石海峡は際だっている。浦賀水道は大型船の交通が多いのに加えて、小型船や漁船も多い。明石海峡は大型船はそれほどではないが、瀬戸内海航路の旅客フェリーや3000トン未満の貨物船が多い。さてこれらの船舶は、航行中には閉塞領域(通常の航行状態において、他船が入り込まない自船まわりの領域という概念)を持って運行されている。この領域の広さは一般に、図付1-4-1のように進行方向に3から4L、左右の横方向に1.5L(L:船長)程度の度の領域である。大型船に関して言えば、1万総トン級で船長が150m、5000総トン級で120m程度である。つまり最も過密な場合で

も縦横300m四方の中に1隻ずつとなる。この領域内に他船が侵入することは特別な場合であり、港湾への入港時など低速で混雑している区域に入る時に限られる。



## 2.2 GPSによる位置の精度

通常のGPS受信機での測位精度はSA（選択利用性）の実施されている現況において約100mRMSである。同じ位置に2台のGPS受信機を並べて置いたときの位置の測定例を図.付1-4-2に示す。この時にはまだSAが実施されていない時期であったが、測定結果は相関性がなくバラ付いている。SAの実施

図.付1-4-1  
航行中の船舶の  
閉塞領域

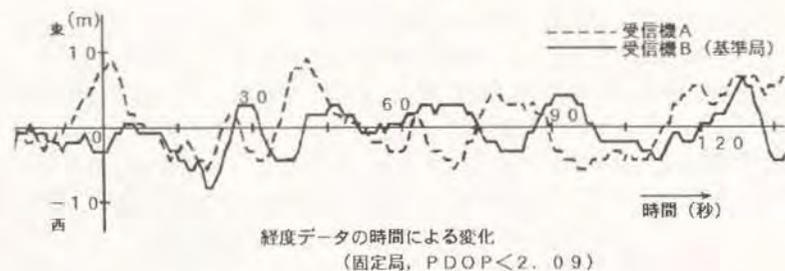
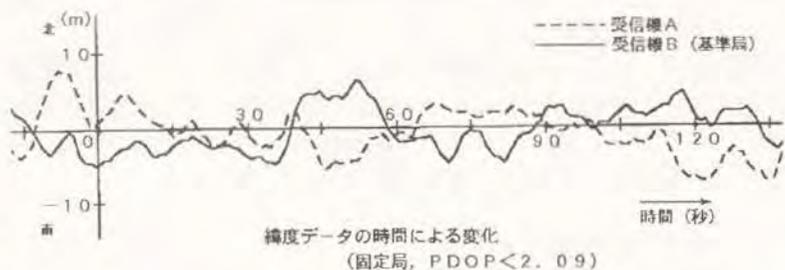


図.付1-4-2 2台のGPS受信機による位置の測定例

後の2台同時受信の測定はまだしていないが、SAは受信機に共通に作用するので2台が揃って並行移動すると考えられる。SA実施後の位置精度の保持対策としてDGPSが利用されつつあるが、条件の良いときで±25m程度である。しかし、DGPSはまだ一般にさほど普及はしていないので、他のシステムと連携させる場合にその拡張機能として考慮すれば良いと考える。つまり、今回提案するシステムとしては、番地呼び出しの緯度経度コードの作成には通常のGPSを使用するものとして考える。

## 2.3 デジタル・コードの構成

緯度経度の数値はGPS受信機と連動させ、適切な範囲を包括できる10桁程度のデジタル・コードとする。

また、航空機との通信連絡の設定には、海上か、上空かの識別符号を付加するとともに、対象の範囲を拡大するコードを設定する。同様に、大型船と小型船、漁船やプレジャーボートなどの概略の大きさの範囲の設定を行うことで、大型船とプレジャーボートの識別も可能なように設計する。

## 3 システムの概要

### 3.1 緯度経度コードの作成

一般に市販されているGPS受信機の緯度経度の表示分解能は、100分の1度までの物が多い。中には、それ以上の分解能で表示するものもあるが、

- ・位置の精度、
- ・自船も相手船も移動していること、
- ・閉塞領域の大きさ、
- ・相手の位置を測定して概位を求める際の精度

から、考察すると10分の1分（約185m）であろう。

さて、相手船の呼び出しには国際VHFの電波にトーン変調でデジタル信号を送信する方式を前提として、

- ・有効範囲を約20Km、
- ・デジタル信号のコードの長さを10桁程度、

として検討する。

以上の要件のもとに、デジタル・コードの構成を表.付1-4-1の形式で割り振ることを提案する。

余裕の桁を設けるか、あるいは5桁目の数値に工夫を加えることで、

- ・相手船の大小
- ・船種

・航路

等の進行方向などの識別を補助する情報を加えることができる。

表. 付1-4-1 デジタル信号のコードの構成

	コードの割当	識別コードの内容
相手船の位置	6桁分の割当内容	経度・緯度の10分、1分および10分の1分の数値。それぞれ3桁分。
海上上空 応答	1桁分の割当内容	呼び出し時は、海上=0、上空=1 応答時には2として設定する。 その他、拡張性も考慮。
自船 識別 符号	4桁分の割当内容	自船の識別符号の4桁分の英数字
拡張 識別	2桁分の割当内容	相手船の大小、船種、航路の進行方向 などの識別補助用の符号

3. 2 レーダとの連動による相手船の呼び出し識別コードの自動生成

相手船の呼び出しのためのデジタル・コードの作成を容易にするために、レーダで相手船の位置をジョイ・スティックなどのポインタで指定すれば、自船の位置から即座に計算し、コードを作成できる。

3. 3 呼び出し信号を受信したときの処理

他船からの呼び出し信号を受けたとき、識別の位置コードは必ずしも正確に一致することは少ないと考えられる。つまり、両方の船が移動しながら相手の位置や自船の位置を指定するために、移動にともなって常にコードが変化している。また、位置の測定精度は100mRMS程度のばらつきもあり、的確に位置を示せないことにある。そこで指定された位置のコードに対して、経度も緯度も10分の1分の数値に±2~3の許容幅をもたせることにする。この許容幅の設定の適正值は、非常時の対応も含めて実態調査の上で決めるべきであろう。

呼び出しを受けたとき、その呼び出しのデジタル・コードから呼び出した船舶等の方位と距離を算出しておき、応答する際には呼び出した相手の現在位置を計算し直して、新しくデジタル・コードを作成し、5桁目には応答を意味する”2”を設定する。この場合の一つの検討事項として、応答時には呼び出した相手船等の識別符号を別に設定した場合の呼び出し・応答の効率や確実

性の検討も必要である。

3. 4 基本的な構成

(1) 基本構成

呼び出しシステムの基本的な構成を図. 付1-4-3に示す。

(2) 各部の機能

呼び出す局および呼び出される局とも基本的には同じ構成の設備を持つものとする。ただし、機能を制限して簡易化した構成も可能である。

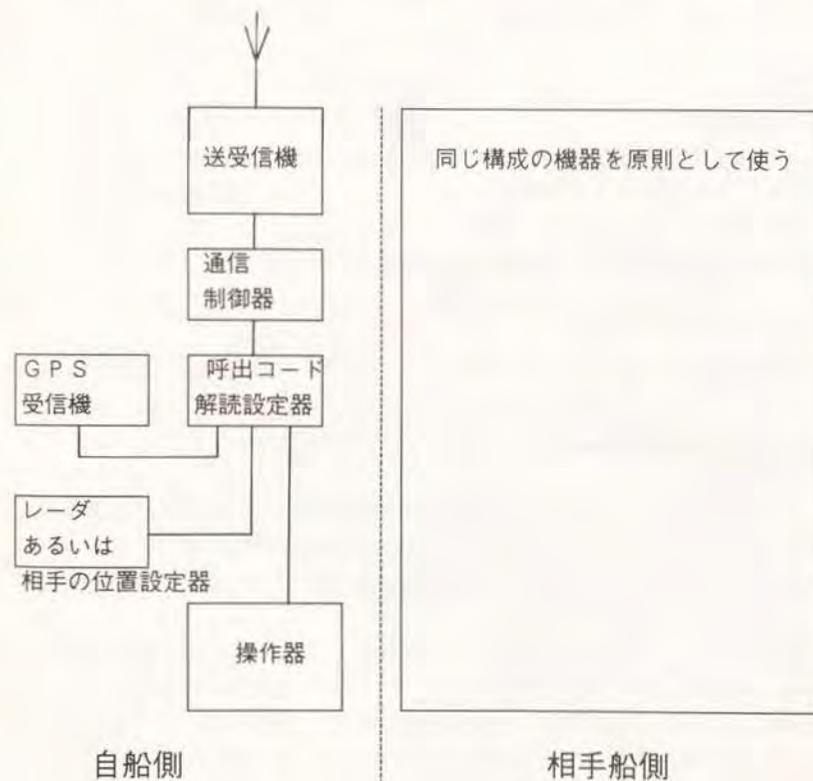


図. 付1-4-3 呼び出しシステムの基本的な構成

GPS受信機は時々刻々の現在位置を計測し、その位置情報を「呼出コード解読設定器」に送る。

レーダは呼び出したい相手局の位置を計測し、真方位と距離の情報を呼出コード解読設定器に送る。真方位と距離の情報はレーダに備えられているカーソルで計測し、計測結果を自動的に伝送させる押ボタンスイッチ等で送出するか、その数値を覚えて手動で「相手の位置設定器」に入力する。レーダを装備していない場合あるいは相手の位置が判明している場合にも、簡易な「相手の位置設定器」で相手の位置を設定する。

操作器では、

呼出の発信操作、  
レーダと連動させた相手の位置の情報の伝送命令、  
呼び出し相手局の位置の計算命令、  
呼び出されたときのベル等の鳴動、  
呼び出した相手方のコード番号（識別符号等）の表示、  
コード呼び出しシステムの作動状態表示、  
自己の識別コードの設定、  
等に関連する操作と表示を行う。

呼び出しコード解読設定器では、

送信時には

GPS受信機、レーダあるいは相手の位置設定器からの「相手の位置情報」および操作器からの命令により内部機能の状態設定を行うと共に、呼び出しコードの自動作成を行い、通信制御器に呼び出しコードを送る。その呼び出しコードは送信機から送信される。

受信時には

また、通信機で受信された呼び出しコードは通信制御器によってデジタル信号に変換された後、呼び出しコードの解読を行う。自船のGPSでの位置に該当し、しかも拡張識別コードも該当する場合には、呼び出されていることを操作器に伝え、表示する。その時、呼び出した相手船の識別コードを記憶しておき、応答する時の呼び出し応答コードとする。受信の場合には呼び出しによる応答の受信の場合があるので、自己の識別コードとの照合も行い、自分からの呼び出しに対する応答であることを表示する。

送受信機

VHF等の送受信機能を持った一般的なもの。

#### 4. 検討すべき事項

検討すべき事項を次ぎに列挙する。

- ・ デジタル呼び出し方式の海上での使用状況と実態の調査
- ・ 混信
- ・ 誤り呼び出しや不応答の確率
- ・ 呼び出し・応答の完成率
- ・ 緊急時の対策
- ・ デジタル・コードの構成の詳細検討
- ・ デジタル・コードの適正な長さ
- ・ 応当時のコード構成
- ・ 指定対象範囲の広さ
- ・ 信頼性（ハードおよびソフト）
- ・ 呼び出しコードの内容は、GPSでの位置だけでなく、船名符字や識別符号等も含めること。

ここでは検討事項としては列挙していないが、この「コード呼び出しシステム」は普及度が要となる。そこでシステムの普及が進むように、システムの構成や方式について詳細に検討しておく必要がある。

例えば、

「呼び出しシステム」を貸出し型として普及させる。

現在普及しつつあるページャのように簡便な、しかも安価な形式にする。

国際VHFと連動させずに受信専用型とするものや、いくつかの形式も考慮する。

外国船に対しては水先案内人が携帯して乗船する方式。

等を考慮し、広く普及するように配慮する。

参考文献（発表論文）

- 林 尚吾：GPSとの連携によるコード呼び出しシステムの提案、  
1994年電子情報通信学会春季大会シンポジウム、  
GPSの利用と応用技術（SB-2-10）。

## 付録-2 橋梁によるレーダ偽像と対策について

付2-1 既設橋におけるレーダ偽像の状況、および鶴見航路横断橋のレーダ偽像発生予測へ向けてのレーダ断面積の計算とレーダ・エコーレベル・マップの作成

この付録は、昭和57年度に建設省関東地方建設局から東京商船大学が研究を委託されたものの調査研究報告書から抜粋したものであり、著者自身が現地調査、実験観測、データ処理および原稿執筆について直接担当したものをまとめたものである。

研究実施の当時には、対象とした鶴見航路横断橋はまだ計画段階であり、構造の詳細も分からず計画案に沿って研究が進められた。

### 第1章 調査の概要と総合成果

#### 1.1 調査の概要

本年度の主たる調査・研究項目は次の四つである。

- 1) 既設橋でのレーダ偽像発生状況と橋の形状との関連調査
- 2) 架橋地点におけるレーダ・エコーレベル・マップの作成
- 3) 既設橋のレーダ断面積の観測と計算値の比較および鶴見航路横断橋のレーダ断面積の計算

以下各項目について簡単に説明する。

#### 1) 既設橋でのレーダ偽像の発生状況と橋の形状との関連調査

現在、船舶が航行する海域での既設橋は関門橋、大島大橋、大三島橋位のものであるので、今回は大三島橋を除いて、これらの橋を調査した。大三島橋はそれがアーチ橋という事から、今回の研究対象となっている航路横断橋とは形が大きく異なるので調査から除外したものである。現在建設中の因島大橋については、レーダ偽像の発生状況と工事の進捗状況に伴うレーダ映像の変化について調査する事ができた。因島大橋では、レーダ偽像を軽減するために電波吸収材を装着しているが、今後この種の研究に有効と思われるので、その状況、工事方法等についても調査した。

#### 2) 架橋地点におけるレーダ・エコーレベル・マップの作成

昭和57年9月、架橋地点において、本学練習船汐路丸を用いてレーダ・エコーレベル・マップ作成のための観測を行った。レーダ・エコーレベル・マップは別に示す通りであるが、これをもとにレーダ偽像のシミュレーションが行

われる。

3) 既設橋のレーダ断面積の観測と計算値の比較および鶴見航路横断橋のレーダ断面積の計算

#### イ. 既設橋の観測

観測可能な東京近辺の橋で、しかも鶴見航路横断橋に類似の斜張橋としては、大黒大橋がある。当初はこの橋を観測する予定であったが、予備調査を行ったところ、大黒大橋近辺の船舶交通はふくそうしており、船舶を停止させた観測は危険であること、また付近には石油タンク等があり、観測器材の置場がないことなど観測に大きな障害があつて不可能であることが判明したので、斜張橋による観測は今回は断念し今後複の問題とする事にした。昨年、瀬戸内海地方の某橋において新しい種類のレーダ偽像の発生が認められた。この橋は図、付2-1-1に示すようなボックスガータ形式の橋であるが、この種の形式の橋は今後多く建設されることが予想されるため、レーダ断面積の観測を行ってなおくことは重要であると判断した。サンプルとして、東京都中央区にある佃大橋を選んで調査した。



斜下方より

図. 付2-1-1 新しい種類のレーダ偽像が観測された橋の構造

#### ロ. 鶴見航路横断橋のレーダ断面積計算

この橋については研究当時には橋の構造の決定がなされておらず、

- ・ シングルデッキ橋
- ・ ダブルデッキ橋

の2つの案が提案されていたので、その資料に基づいてレーダ断面積の計算を行った。

## 2 調査結果

### 2.1 既設橋におけるレーダ偽像の発生状況と橋の形状の関連調査

レーダを使用しながら航行している船舶において、橋梁が原因となって、レーダ・スクリーン上に偽像を発生させることがあることは、山口県大島瀬戸に設けられた大島大橋によって海事関係者の耳目を集めるようになってきた。

最近では、本州と四国との間に長大な橋が建設されるようになり、しかも日本でも有数の船舶交通が輻輳する航路を横断するように架橋される。そのため、航行の安全を阻害すおそれのないよう必要な対策措置を講じる目的をもって、レーダ偽像の発生予測がなされている。既に建設された一部の橋においては、周辺を航行する船舶に対して閃光信号により橋への近接船舶が存在していることを知らせる通報装置が、愛媛県大三島橋に設置される等の例がある。

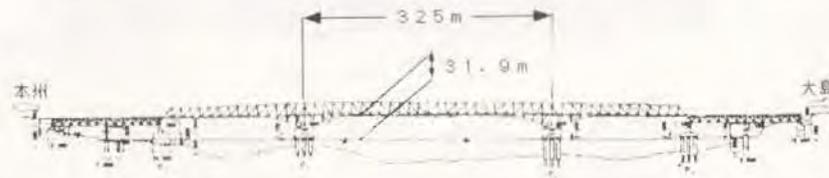
次に、現在までに建設されたいくつかの橋におけるレーダ偽像の発生状況について述べる。

#### (1) 大島大橋におけるレーダ偽像の発生状況と対策

大島大橋は、図・付2-1-2に示すように連続トラス構造の橋である。この橋の特徴としては、橋脚部の下部構からすくは、相当な分量の構造部材があること、また橋全体の海面上からの高さが低いこと、構造部材の数量が吊橋構造と比較すると橋の強度を部材の構造形式で支えるために、その本数も多く、横幅も異なっていることがあげられる。

つまり、この大島大橋はレーダ偽像が発生しやすい条件が多かったと考えられる。

大島大橋のように、既に建設されている橋に対するレーダ偽像対策には、



図・付2-1-2 大島大橋の概要

レーダ偽像の発生を低減させる方法として、まず基本的には橋に何らかの付加構造物を装着する方法が考えられる。

具体的には、

- ・ 橋の構造部材の前面に反射板を装着する。(鏡面反射偽像の対策)
- ・ 橋の構造部材に電波吸収材を装着する。( // )
- ・ 底面をふさぐ、あるいは原因部材の前面に多重反射経路を切断するように反射板や電波吸収材を設置する。(多重反射偽像の対策)

などの方法が考えられる。

大島大橋では、レーダ偽像の発生に大きく影響を与えている航路中央の大島側の橋脚の柳井方面側に対して、海面から鋼床版〔道路部分〕の高さまで反射板を取り付ける対策がとられた。この反射板は、パンチング・メタル構造のものであり、電気的には孔のあいていない金属板と同等の性能を有するものである。パンチング・メタルの反射板とした理由は耐風特性のためであるが、孔の大きさと向きを選ぶことにより、孔の無い金属板と変わらないものができることにもある。

大島大橋では大島の市街地部分の構造物がレーダ偽像発生 of 2次反射体となっていた例が多いので、反射板は上空へ $8^\circ$ 、大島の市街地とは反対側の方向へ反射するよう $15^\circ \sim 20^\circ$ の角度をつけ、橋脚部で反射されたレーダ電波が海上部分に強く反射されるように対策された。(第1回目の対策)

このような配慮のもとに反射板が装着されたが、

- ・ 反射板の対策が、前面、後面の横桁構のうち前面部のみであったこと。
- ・ その他の未対策部分が橋を斜め方向から見る際には影響が大きいこと。
- ・ 橋からの距離が遠い場合には未対策部分がレーダ電波の照射幅内に含まれること。

による影響で反射板の取付効果が低かったことから、後面の横桁構にも反射板を取り付ける工事がなされた。(第2回目の対策)

第2回目の対策後の効果の定量的な測定と評価が現地で行なわれている。レーダ偽像の発生に対して、その低減のための対策としては、反射板取付による方法の他に、電波吸収材を装着する方法がある。

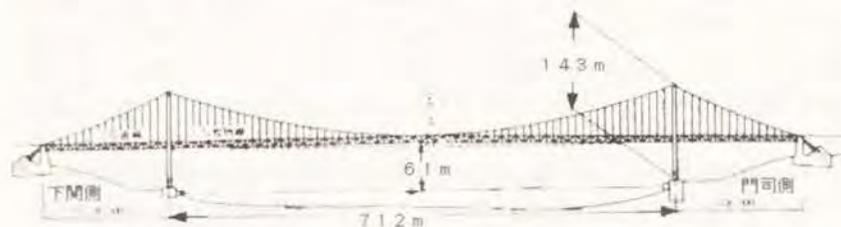
電波吸収材の装着は、既設橋に対して分布加重が設計許容値内におさまるならば、比較的容易な対策である。

電波吸収材の装着については、対候性、工事の際の施工性および保守性などに検討すべき点があり、近年、新しく開発された新材料であることから経年変化等に不明な問題が残っている。また、電波吸収材を装着する際の注意事項としては、レーダ偽像の発生の原因となった部材の面積に対して、その半分の面積

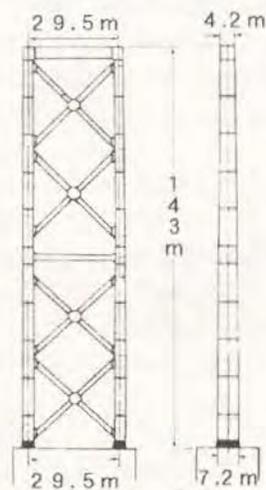
に性能の良い電波吸収材を装着して、電氣的に見た実質面積が半分になったとしてもレーダ断面積は6 dB低下するだけである。この程度の数値では電波吸収材を装着した効果は明確にはあらわれない。電波吸収材を原因部材に装着する場合には全面に装着してこそ低減効果が期待できるものである。

(2) 関門橋におけるレーダ偽像の発生状況

関門海峡に架かる関門橋は、図. 付2-1-3に示すように径間71.2 m、主塔の高さが143 mという日本における代表的な吊橋である。同橋の海面からの高さは61 mである。関門橋は昭和48年11月に竣工したが、海面からの高さが高いことと、吊橋構造であることから関門海峡を航行する船舶においては同橋におけるレーダ偽像は問題となっていない。



(a) 関門橋概要図



(b) 塔一般図

図. 付2-1-3 関門橋概要図

関門橋の径間部の構造を図. 付2-1-4に示すが、連続トラス構造である大島大橋と比較すると部材の個々の幅も狭い上、その長さも短い。

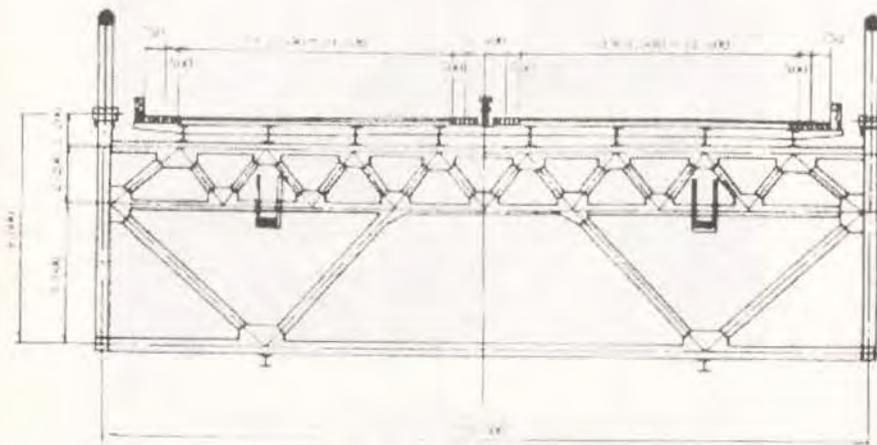


図. 付2-1-4 関門橋の径間部 (補剛桁断面図)

(日本道路公団下関管理事務所管内概要図より)

また、関門橋の主塔橋脚部は両脚部とも陸岸際にあることと、海峡部の陸岸の形状から主の形状から主塔部で反射されることが原因するレーダ偽像は陸上部分に現れることになる。そのようなことから関門橋では問題となるレーダ偽像の発生が少なく、また発生するレーダ偽像としては、同海峡を西航するときには下関と門司の市街地部分に、そして、同海峡を東航するときには万珠島周辺に出ることがあるが、東航の場合には航路が門司崎のところで曲がるのでレーダ偽像があまり問題とはならなかったようである。関門橋におけるレーダ偽像の例として報告されているものを図. 付2-1-5に示す。

この例では前後の主塔間で多重反射現象が発生したことによる多重反射偽像の例であるが、このような例は極めて微妙な塔への入射角度範囲で観測されるものである。図. 付2-1-6の例は径間部におけるレーダ偽像であるが、これは前面および後面の桁材間で反射されてレーダに戻ることに起因するもので、その反射機構とレーダ映像として観測される状況を図. 付2-1-7に示す。このようなレーダ偽像は、橋が平行に数本あるかのように現れている。また、図. 付2-1-6には渡峠されている高圧線もレーダ偽像として現れている。

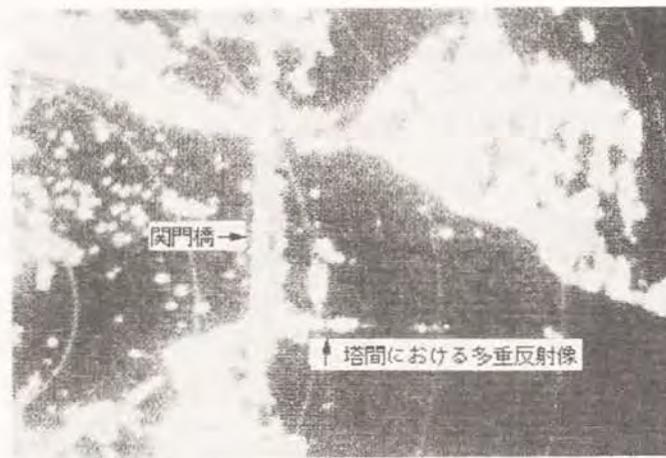


図. 付2-1-5 閘門橋におけるレーダ偽像の例  
(リニア特性受信機使用, 受信感度 $-80$  dBm)



図. 付2-1-6 閘門橋におけるレーダ偽像の例  
(リニア特性受信機使用, 受信感度は $-85$  dBm)

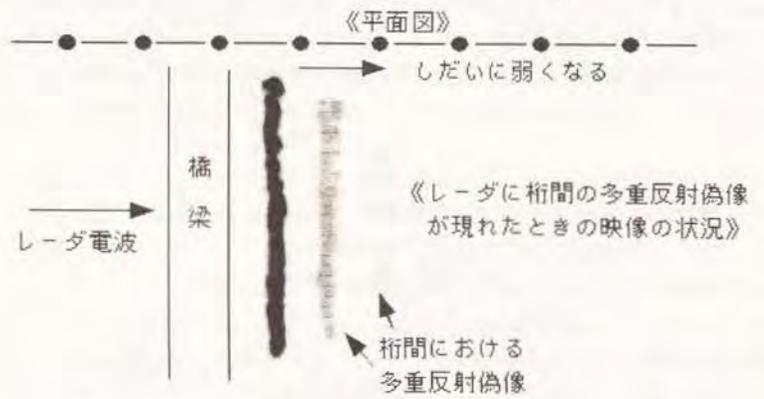
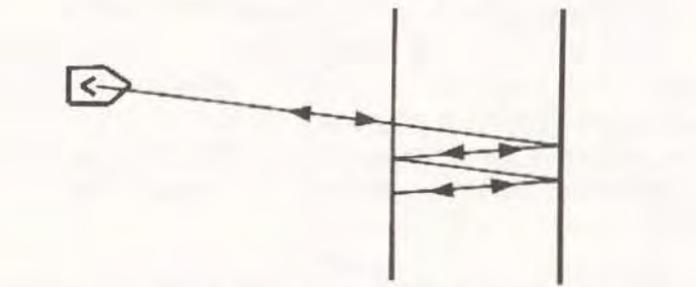
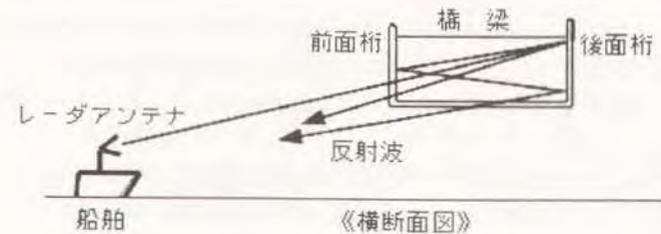


図. 付2-1-7 橋が並んで見えるレーダ偽像の発生機構の説明図

### (3) 因島大橋のレーダ偽像の発生状況と偽像の低減対策

因島大橋は尾道・今治間を結ぶように計画された本州四国連絡橋のルートのひとつで、向島と因島との間に昭和58年2月現在建設中の橋で、閉合は昭和58年度夏に予定されている。

因島大橋はレーダ偽像の低減対策として初めて電波吸収材の貼付けが実施される。この電波吸収材の貼付け部分の選定にあたっては因島大橋の実際の1ブロック(2パネル分)を使用した大がかりな実験が実施されており、その調査報告書<sup>1)</sup>に基づいている。

電波吸収材の貼付け部分は、因島大橋下の布刈瀬戸を航行する船舶の状況とレーダ偽像の発生状況の予測シミュレーションの結果<sup>2)</sup>に基づいて定められている。それは電波吸収材を同橋の海峡部に面する部材について、接合用ボルトがある部分を除く平面的な部分のほとんどに電波吸収材を貼付けるといった内容となっている。しかし、主塔部分に近い径間部で発生させられるレーダ偽像は航法上の影響が少ないことから、そのような径間部には貼付けられていない。径間部の内部の垂直材や斜材については貼付けた時の効果が少なかったことと施行後の保守上の点から電波吸収材は貼付けられていない。また、主塔部の外面についても施行事業および保守の面から電波吸収材は貼付けられてはいない。

#### 参考文献

- 1) 橋梁構造によるレーダ電波障害軽減策の検討報告書(その4)、(財)海洋架橋調査会、昭和57年3月
- 2) 架橋が船舶用レーダ映像に及ぼす影響調査報告書(昭和53年度および昭和54年度)、(社)日本海難防止協会、昭和54年3月および昭和55年3月

## 2. 2. 既設橋におけるレーダ断面積計算と実測値との比較

### 2. 2. 1. 比較調査対象とした既設橋の選定

鶴見航路横断橋として予定されている橋の形状は斜張橋である。従って、比較調査の対象とする既設橋についても斜張橋であることが望ましいので、東京湾周辺の斜張橋について調査した。しかし、レーダ断面積の実測実験が可能であるようなものは少なく、唯一つ鶴見航路横断橋と同じ大黒埠頭に架けられている大黒大橋があった。

実測実験の可能性について大黒大橋周辺の状況を海上より調査したが、同橋の周辺は小型船舶の航行が輻輳している。また付近には石油タンク等があり、大黒埠頭側では大型船舶が荷役をしているなど実験用観測機材を設置する適切

な場所が確保できないこと、実験日程の予定が難しいことなどの理由から大黒大橋、つまり斜張橋を対象としての実測実験は今後の課題として残すこととした。

最近、一部の形状の橋で従来には観測されなかったレーダ偽像の発生が認められたので、この点について調査を進めることとした。このレーダ偽像とは図. 付2-1-8に示すようなボックス・ガード構造の橋で歩道部分を支えるブラケットの部分で後面の平板との間

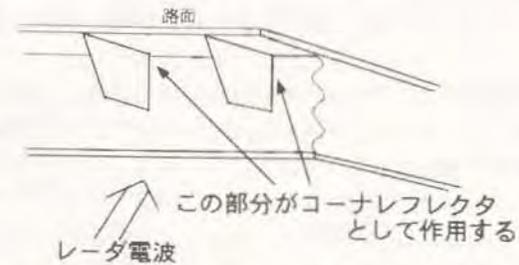


図. 付2-1-8 ボックスガードとブラケットがレーダ電波のコーナレフレクタとなる例

でちょうどコーナ・レフレクタのように作用することから発生するものと考えられ、自船との多重反射により自船と橋までの距離をあけて2本目の橋があるかのように観測されるもので、極端な場合には3本も観測されることがある。

これは橋のボックス・ガード部の平板が垂直となっている場合に観測されており、東京都中央区にある佃大橋も同じ形状をしていることがわかったので、斜張橋の実測に変えて佃大橋について調査することとした。また、実橋を対象とした実測実験は本研究報告によるものも含めていくつか実施されているが、この種の形式の橋についてはまだ実施されていないことも選定の理由であった。

### 2. 2. 2. 佃大橋のレーダ断面積の計算

佃大橋は東京都中央区明石町から佃島町へ墨田川の上に架けられた橋である。佃大橋の概要図を図. 付2-1-9に示すが、佃大橋は橋下を中型の船舶を通す必要もないので可航高さは8.4mと全体が低い橋である。

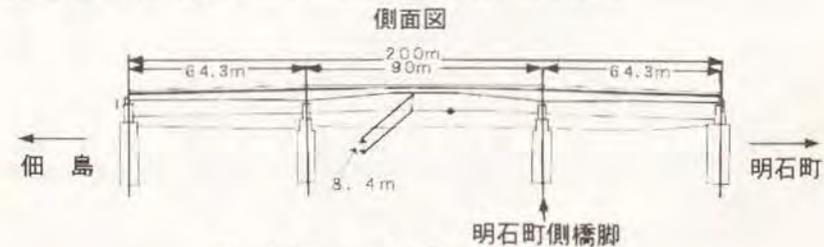


図. 付2-1-9 佃大橋概要図

この佃大橋に所定位置（後述する実験観測におけるレーダ装置の設置位置と同一とする）からレーダ電波を橋に照射した場合にレーダ電波はどのように反射されるかを計算によって求めるものであるが、同橋周辺は高潮対策のため高い護岸に囲まれているため、制約条件が厳しいので実験観測を行なった地点および条件に合わせてレーダ断面積の計算を行なった。

実験観測に適したレーダ設置地点は1地点しかなく、同橋の周辺の可航水面も狭いことから、レーダの電波は同橋の明石町側橋脚に向けて照射された。

明石町側橋脚とレーダ設置地点との相対的位置関係などの計算のために入力した条件は、表付2-1-1に示すものである。また、明石町側橋脚までの距離は約117mであり、使用したレーダ装置のアンテナの水平ビーム幅は $1.8^\circ$ であることから、レーダ電波が照射される幅は約4mとなる。

表. 付2-1-1 レーダ断面積計算のために設定した条件

レーダ設置地点と橋までの垂線距離	100 m
レーダ設置地点と明石町橋脚との橋軸線方向の偏位距離	-60 m
レーダアンテナの高さ	8 m
反射波受信用アンテナの高さ	5 m
反射波受信の際の明石町橋脚までの距離	450 m

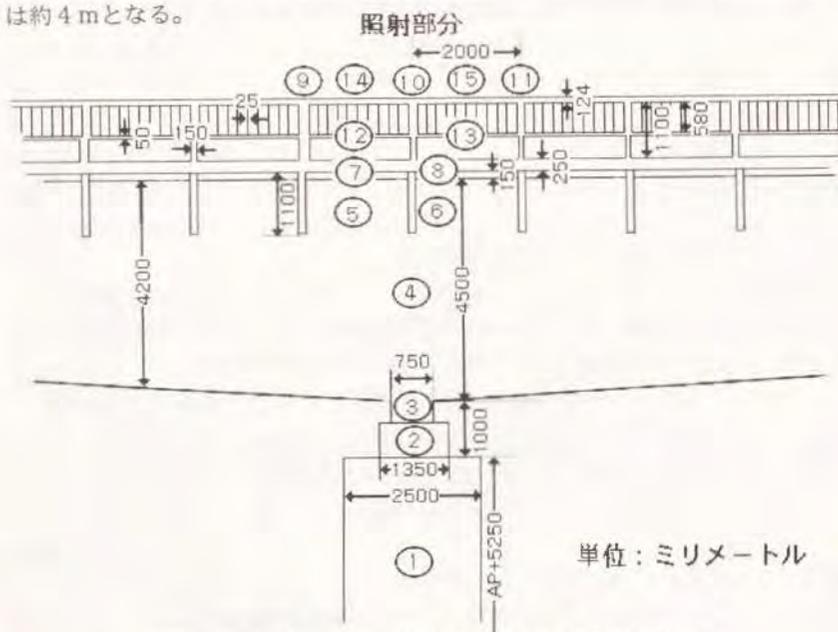


図. 付2-1-10 佃大橋明石町側橋脚部寸法図

明石町側橋脚の寸法等を図. 付2-1-9に示すが、幅4m内に入るものについて、比較計算の上1~15の識別番号をつけた。

識別番号をつけた1~15の部分におけるレーダ反射断面積を昭和54、55年度の本報告書で報告している計算式に基づいて計算した結果を図. 付2-1-11~図. 付2-1-13に示す。

図. 付2-1-11のものは、橋脚部1、2、3のみの部分による反射断面積を横軸を反射角度として表したものである。図中の細線は反射角度の $0.1^\circ$ 毎に計算された値をそのまま表したものであり、太線は $2^\circ$ の方形窓で移動平均した値で、中太線は、ピーク値の包絡線である。

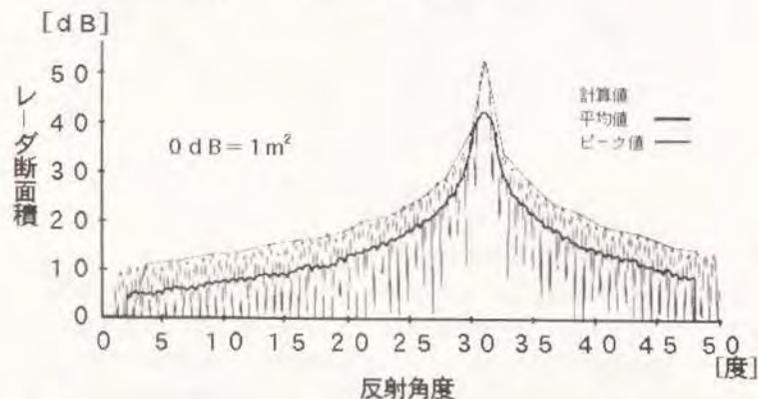


図. 付2-1-11 レーダ断面積の計算 (1, 2, 3のみとした場合)

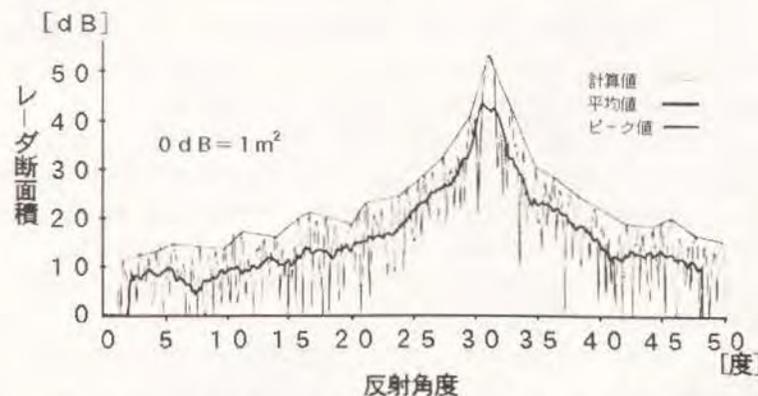


図. 付2-1-12 レーダ断面積の計算 (4を除いた場合)

同様に、図. 付2-1-12は4の部分を除いた場合の反射断面積のものを、  
 図. 付2-1-13は1~15の全ての部分を計算に考慮したものである。

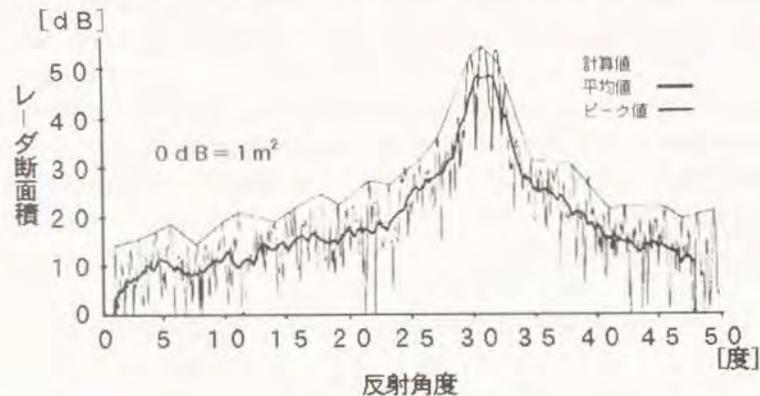


図. 付2-1-13 レーダ断面積の計算 (1~15の場合)

### 2. 2. 3. 佃大橋のレーダ断面積の実測

佃大橋の明石町側橋脚の上に反射角度を測定する装置と観測員を配置した。これは水上を移動しながら反射波を受信する受信船の位置 (反射角度) を測定するために、測定された角度はテレメータ装置により、受信船に伝送される。

佃島に設置されたレーダからは正確に橋脚にレーダ電波を照射する。受信船では受信アンテナをやはり正確に橋脚に向けながら反射波の強度ペンレコーダで記録する。

これらのレーダ断面積の実測を行う具体的な方法については、昭和54年、55年度の本報告書に詳細に述べられているのでここでは省略する。

実験当時の周辺の状況を図. 付2-1-14に示す。

実験を行なった佃大橋の下は多くの雑種船が航行しているので、橋脚部近辺に他船が入ったり、電波がさげられたり、あるいは受信船が衝突のおそれのため停止したりすることから、なかなか良いデータが得られない。約10回観測を実施したが、一応良好と思われるものは2例しか得られなかった。

このようにして得られた測定データの一例を図. 付2-1-15に示す。縦軸がレーダ断面積となっている。

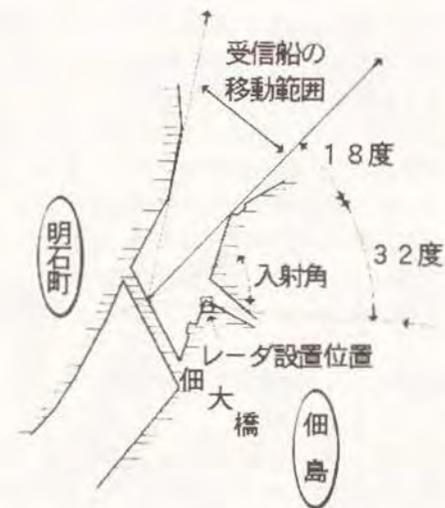


図. 付2-1-14 レーダ設置位置と周辺の状況図

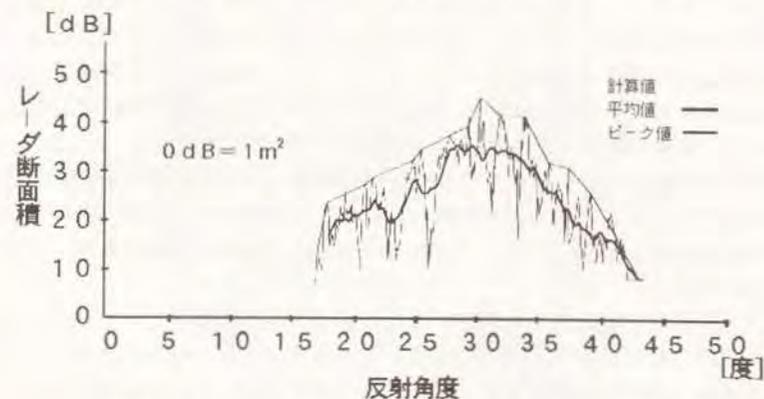


図. 付2-1-15 佃大橋のレーダ断面積の実測値

### 2. 2. 4. 計算値と実測値との比較

図. 付2-1-13に示した計算値と、図. 付2-1-15に示した実測値とでは、反射断面積の最大値は約8 dB程、実測値の方が小さい。しかし、平均値を比較すると傾向的には良く合う。これは、計算による最大値は複数の部材からの反射波による数式上の位相干渉の結果がそのまま表れたためと考えら

れる。実測値については、海面反射波による影響や、今回の計算には含めなかった他の部材からの反射波による影響、周囲の護岸による反射および橋までの距離が極めて近いことによる影響などが考えられる。

橋のレーダ断面積の計算にあたっては、最大値は種々の理由から異なってしまうことがあるが、平均的なレーダ断面積のパターンについては近似したものが得られることがわかった。橋が原因となって発生させるレーダ偽像の検討については、レーダ断面積の最大値が問題となるが、これは、海面反射波等による位相干渉を考慮した場合、レーダ電波の往復で最大12 dB強くなる可能性があることを考えれば、今回の計算値と実測値の比較としては妥当であろう。

## 2. 3. 鶴見航路横断橋のレーダ断面積の予測計算

### 2. 3. 1. 計画されている橋の構造

鶴見航路横断橋の構造は、種々の理由からまだ検討中の段階であるが、次の2通りのいずれかの形式にまとまってきた。両構造とも斜張橋で、

1. シングル・デッキ構造
2. ダブル・デッキ構造

の2形式である。シングル・デッキ橋は、将来的には専用部、一般部をそれぞれ並列に2橋を建設しようとする計画であるが、当面は専用部の6車線（1橋分）を先行して建設するものである。ダブル・デッキ橋は、上部の鋼床版と下部の鋼床版とで、専用部、一般部を設ける、いわば2階層構造の橋であるが、当面は上部の専用部の6車線を先行して建設するものである。

この2つの構造について、レーダ断面積の面から差異を検討すると両構造とも主塔部については大きな差異は無い。しかし径間部については、シングル・デッキ構造のものは図. 付2-1-18に示すような構造断面をもち、箱型に囲まれている。

ダブル・デッキ橋は従来の吊橋のように連続トラス構造となっている。図. 付2-1-16～図. 付2-1-17にシングル・デッキ構造およびダブル・デッキ構造の橋の全体概要図、主塔、橋脚部および径間部等の形状について、計画されているものを示した。

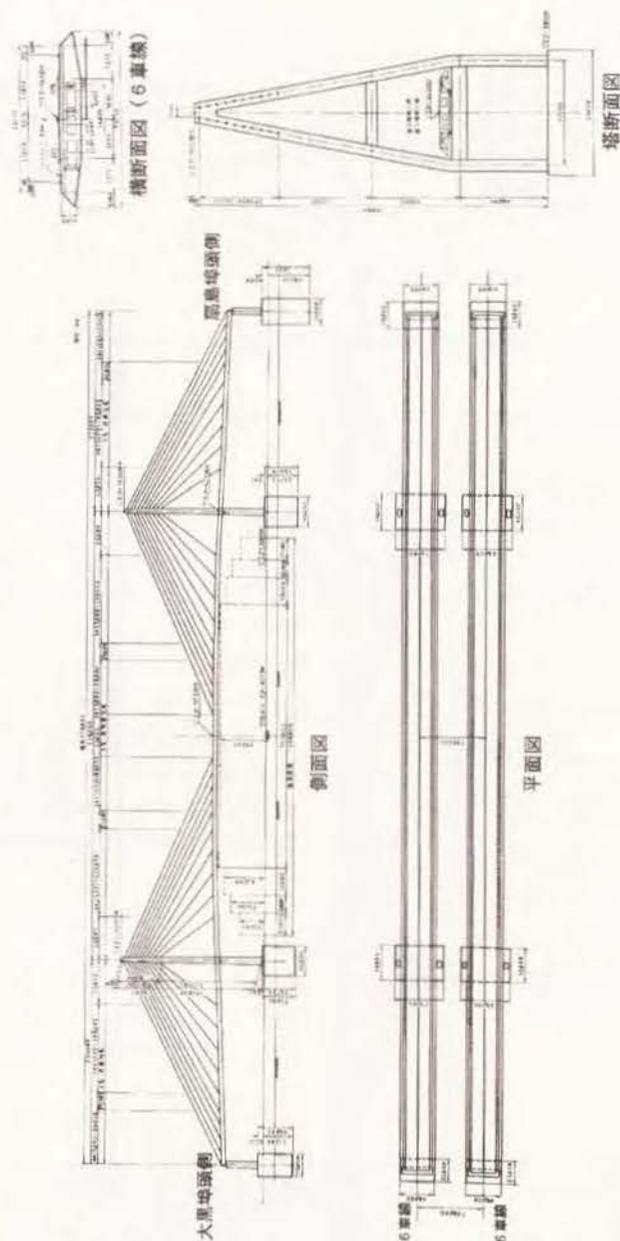


図. 付2-1-16 シングル・デッキ橋の概要

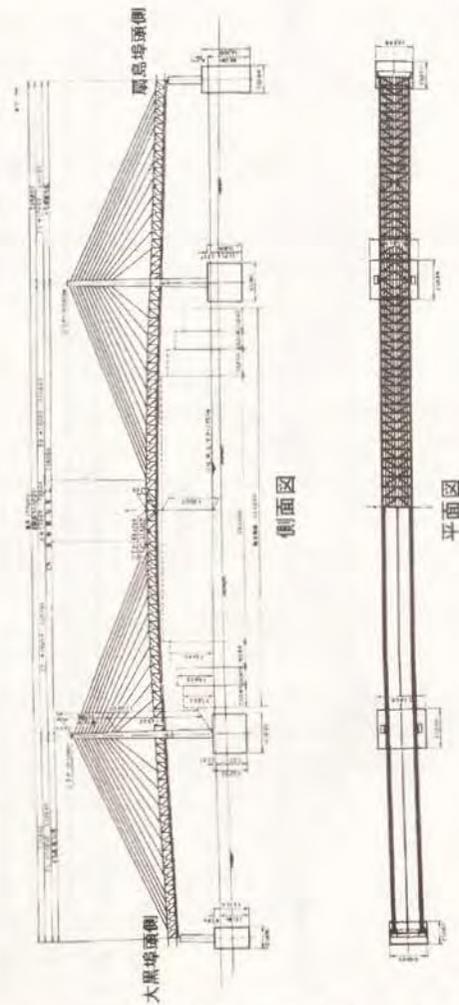
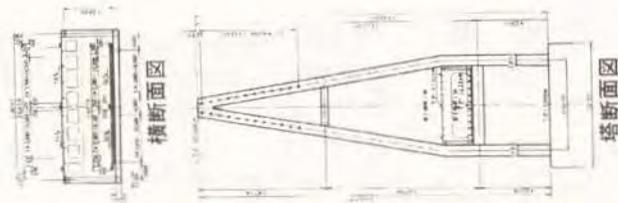


図. 付2-1-17 ダブル・デッキ橋の概要

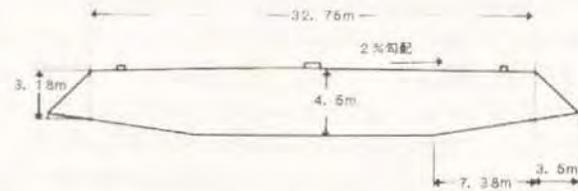


図. 付2-1-18 シングル・デッキ構造の径間部の断面図

2. 3. 2. シングル・デッキ橋のレーダ断面積のための構造の取扱い  
(1) 径間部

図. 付2-1-16に示されたように、シングル・デッキ構造の径間部の側面は傾斜している。当たったレーダ電波は径間部の部材が傾斜していることから、この部分の上面に当たったレーダ電波は上空に反射され、下面に当たったレーダ電波は前方へ反射される。下面に当たったレーダ電波は角度によっては、海面反射によって、

図. 付2-1-19に示されているように船舶側と同じ経路で戻ってくるおそれがある。このような場合、橋が2本平行に存在するようなレーダ偽像を発生させることがあるので、径間部側面の下部側部材の角度も検討が必要であろう。

径間部の部材に関するレーダ断面積計算については、橋軸線方向には長く継目のない板として、計算し、その長さについては橋までの距離とレーダアンテナの水平ビーム幅から計算して定めた。

(2) 主塔および橋脚部

図. 付2-1-16に示されたように、主塔は水面上の高さ3m、横幅4.0mものコンクリート製の下部構の上に最下部の横幅8.5m、最上部の横幅5mで高さ16.3mの塔が立っている。主塔は路面部分から9.2°傾斜しているため、この部分にレーダ電波が照射されてもその反射波は上空へ散乱される



図. 付2-1-19 シングル・デッキ構造の径間部の下面傾斜している部材によるレーダ偽像

ので、レーダ偽像対策上は望ましい形状である。

主塔部のように垂直部分の長い部材についての、垂直反射パターンを考慮すると、計算上からは非常に狭いビーム幅の反射波となってしまう。船舶からのレーダ電波が主塔部の垂直方向に連続した面に照射される場合は、電波の位相面は均一とはなり得ないので、連続した垂直面については、ある区画に区切ってそれぞれの平板からの反射波を合成して反射パターンの計算をしている。橋のレーダ断面積の計算にあたっては、従来より経験的に高さ約5m毎に分割しているため今回も同手法を用いた。主塔および橋脚部の横幅がレーダ電波の照射幅よりも大きい場合には、横幅は照射幅と等しい長さとして処理した。

橋脚のコンクリート部分は金属と比較して反射が弱まるので、その分として、3dB弱いものとして補正した。

### (3) 橋柱

図. 付2-1-16の一般図に示しているように、取付橋の橋柱はシングル・デッキ橋の場合には、8.5mの横幅で、高さが3.4mとなっている。この部分についても主塔部分と同様に約5mの高さで分割し、さらにコンクリートであるところから金属面における反射よりも3dBだけ弱いとした。

## 2. 3. 3. ダブル・デッキ橋のレーダ断面積計算のための構造の取扱い

### (1) 径間部

ダブル・デッキ構造の橋では、10m間隔で垂直材が配列される構造となる。橋までの距離に応じて、レーダの照射ビーム幅内に何本の垂直材が含まれるか、また上下弦材の照射幅の変化なども考慮しなければならないので、レーダ断面積の計算は一層複雑なこととなる。そこで径間部におけるレーダ断面積の計算に次の便法を用いる。

径間部の1ブロックとして図. 付2-1-20に示すように基本形状を定め

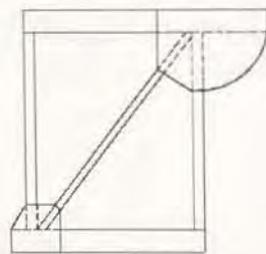


図. 付2-1-20  
1ブロックの基本形状

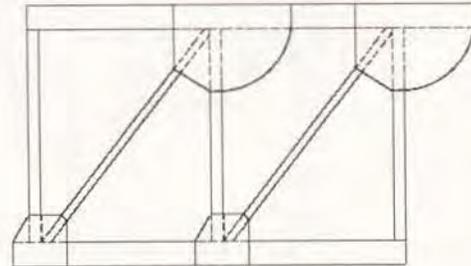


図. 付2-1-21  
2ブロックの基本形状

た。橋までの距離が1,000m未満であったとき、レーダ断面積の計算では垂直材が2本反射に作用するものとした。しかし、上弦材および下弦材については、入射角度に対応した照射幅の長さの部材としてレーダ断面積を計算する。

橋までの距離が1,000m以上ある場合に、径間部で反射される部分の基本形状としては2ブロックとし、その形状を図. 付2-1-21に示している。

ダブル・デッキ橋の径間部には、随所にガセット・プレートが取り付けられているが、ガセット・プレートは図. 付2-1-22(a)のような形状のもの他に3種類ほどある。ほとんどのものは図. 付2-1-22(a)と同じ形状で、大きさとしては大、

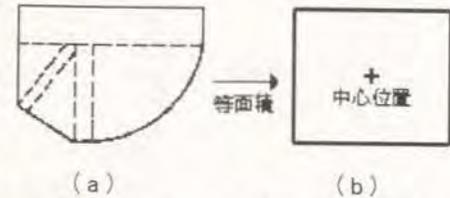


図. 付2-1-22 ガセットプレートの取扱い

中の2種類である。このような形状の複数個のガセット・プレートの反射パターンを位相干渉を含めて計算して求めることは実用的ではないので、図. 付2-1-22(b)に示すように他の弦材等と2重に計算することがないように配慮した上で、同面積をもつ方形平板として計算することとした。また、その場合の反射の中心位置は方形平板の重心位置とした。

### (2) 主塔および橋脚部

シングル・デッキ橋の場合と極めて近似した形状であるが、横幅が狭い点、高さが低い点、また道路部分から上の傾斜角が異なっているなどの違いがある。

主塔の垂直部分の分割方法や、レーダ電波の照射幅を越える場合の横幅の処理も、シングル・デッキ橋の場合と同様の処理方法とした。

### (3) 橋柱部

ダブル・デッキ橋の取付橋の橋柱は、図. 付2-1-17に示されているようにシングル・デッキ構造の場合より、やや大きい。

## 2. 3. 4. レーダ断面積の計算条件の設定

### (1) 入射角度の設定範囲

レーダ断面積の被計算物標に対して、図. 付2-1-23のように、橋までの垂直距離500m~1,500mで正面から50m~300mまで偏位させた場合について、レーダ断面積を計算した。

反射角度によってレーダ断面積(バイスタティックレーダ断面積)も変化するので、入射角度の変化範囲に対応して反射角度の1°~60°まで

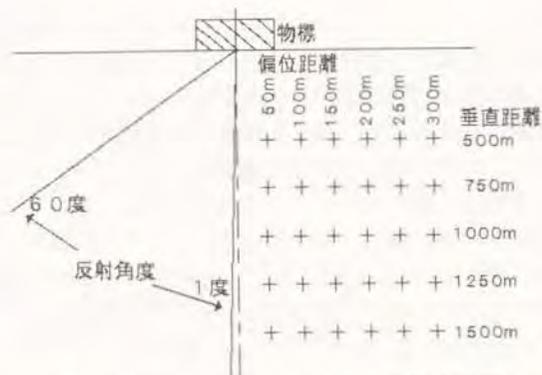


図. 付2-1-23 入射角度の設定範囲

の範囲にわたって最大値を調査し、その最大値をもってレーダ断面積とした。

(2) レーダ偽像の発生原因となる2次反射物標の位置の設定

橋におけるレーダ電波の反射点は船のレーダアンテナよりも高く、かつ2次反射物標は橋よりも低い位置になるので、主塔などの部分も含めて、図. 付2-1-24に示すように橋で反射されたレーダ電波の垂直面における反射パターンも考慮しなければならない。

計算処理時間と実用性の面から検討して、鶴見航路横断橋の場合では、2次反射物標の位置は橋の反射点からの距離500m、高さを観測船のレーダアンテナの高さと同じく14mとして計算した。

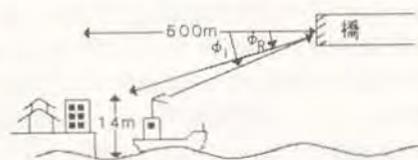


図. 付2-1-24 垂直反射パターンの考慮

したがって、橋のレーダ断面積は水平方向の入・反射角および垂直方向の入・反射角をパラメータとして計算され、その最大値をもって決定される。

(3) 個々の部材の反射パターンの合成

レーダ電波の照射範囲内にある部材の個々の反射パターンの包絡線を求め、合成する方法で全体のレーダ断面積を計算した。水平方向および垂直方向の両反射パターンを考慮している。

(4) 前方へ傾斜している部材の傾斜角の処理

シングル・デッキ構造およびダブル・デッキ構造の両形式の主塔とも、道路

部から上方の主塔部分は傾斜角をもっており、また、シングル・デッキ構造の場合は径間部の部材も傾斜角をもっている。この傾斜角度については、垂直反射パターンが変化するものとして処理している。

2. 3. 5. 主塔の上部の傾斜部分の取扱い

図. 付2-1-25に示すように主塔の上部の傾斜部分は、シングル・デッキ構造では9.2°、ダブル・デッキ構造では10.5°傾斜している。

レーダ電波が同図矢印の方向から照射される場合、Aの面はいわゆるハネ上げ効果があるのでレーダ偽像の発生を低減する効果がある。しかし、Bの部分は逆にレーダ偽像を発生させやすい方向に反射させる。

そこで、主塔部分のレーダ断面積の計算にあたっては、A、B、CおよびDの各部分が反射に作用するものとして処理した。

ただし、主塔への入射角度によっては、BおよびCは影になって現れないこともあるが、計算処理上の問題から、影になる部分の考慮はしていない。

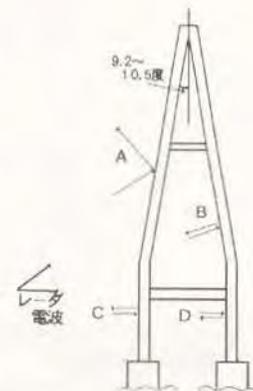


図. 付2-1-25 主塔の各面の取り扱い

2. 3. 6. 補正係数

レーダ断面積の計算は、前面の部材についてのみ行っている。特にダブル・デッキ橋の径間部については、後面の部材や内部の部材の影響について考慮しなければならないので、

後面部材の影響の補正として +3 dB

内部の部材の影響の補正として +2 dB

を補正値として加えることにしている。

また、コンクリートの部分については、金属面との反射に比較して弱いので、その補正係数は-3 dBとする。

2. 3. 7. レーダ断面積の計算結果

シングル・デッキ橋およびダブル・デッキ橋のものについて、レーダ断面積を計算した結果を図. 付2-1-26~図. 付2-1-31に示す。

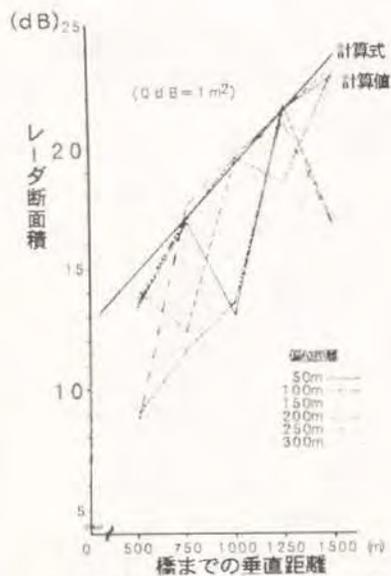


図. 付2-1-26 レーダ断面積の計算値 (シングルデッキ橋, 径間部)

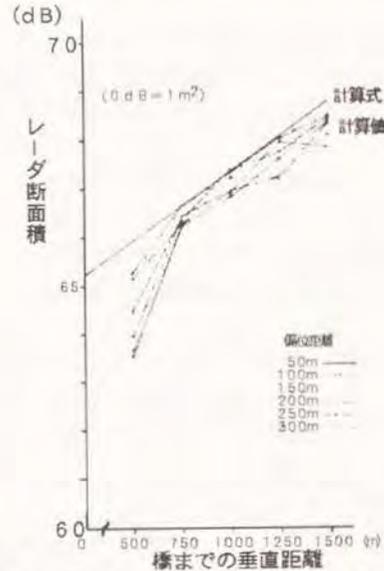


図. 付2-1-27 レーダ断面積の計算値 (ダブルデッキ橋, 主塔部)

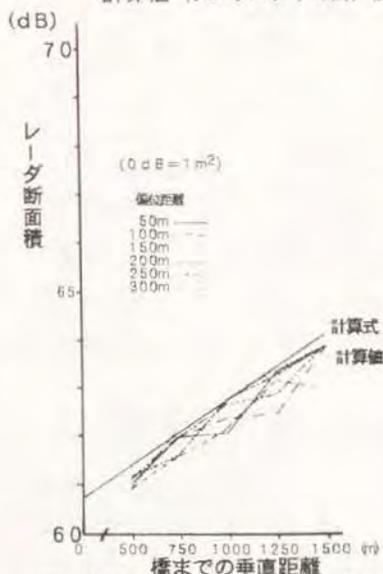


図. 付2-1-28 レーダ断面積の計算値 (シングルデッキ橋, 取付橋の橋柱部)

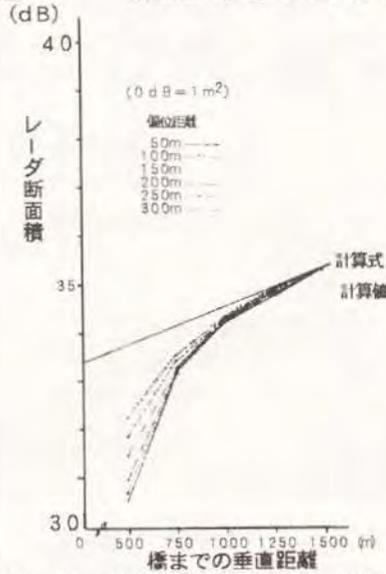


図. 付2-1-29 レーダ断面積の計算値 (ダブルデッキ橋, 径間部)

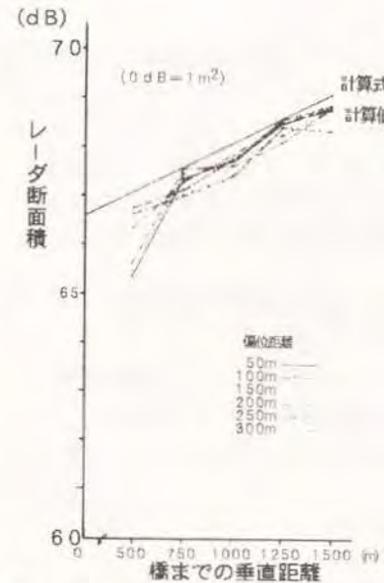


図. 付2-1-30 レーダ断面積の計算値 (シングルデッキ橋, 主塔部)

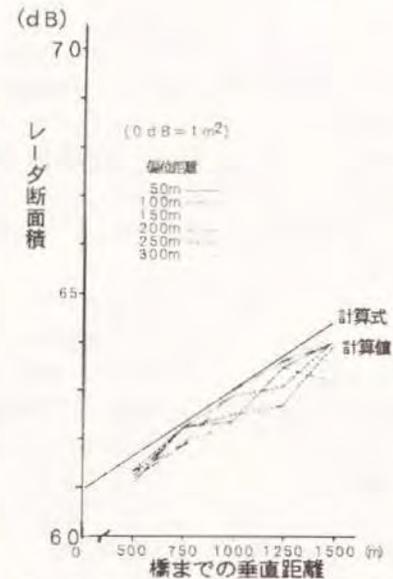


図. 付2-1-31 レーダ断面積の計算値 (ダブルデッキ橋, 取付橋の橋柱部)

これらの図は、横軸を橋までの垂直距離、縦軸をレーダ断面積としてある。横方向への偏位を変えて一枚の図に重ねて示しているが、これらの表値はレーダ断面積の最大値として求められた値を記入しているため、個々にはばらつきがあるが全体の傾向として求めることが可能である。シングル・デッキ構造の径間部のレーダ断面積は他と比較すると全体として小さくばらついているが、これは同径間部の部材が傾斜角をもっている形状のためであろうと考えられる。

表. 付2-1-2 に計算から求められたレーダ断面積を示す。

表. 付2-1-2 計算から求めた鶴見航路横断橋のレーダ断面積

構造/部分	計算値	補正值	レーダ断面積 (0 dB = 1 m <sup>2</sup> )
シングルデッキ			
径間部	9~23	0	9~23
主塔部	65~69	0	65~69
橋柱部	61~64	-3	58~61
ダブルデッキ			
径間部	31~36	2+3=5	36~41
主塔部	64~68	0	64~68
橋柱部	61~64	-3	58~61

単位: dB

## 2. 3. 8. シミュレーション計算のためのレーダ断面積の計算式

### (1) シングル・デッキ橋のレーダ断面積

#### イ) 径間部

傾斜した形状のため、かなり低くなっている。また、反射も大きくひねられたようになっており、入射角度 ( $\theta_i$ ) に対してばらつきが大きく一定の比例関係が見いだせない。そのためレーダ断面積が大きくなるように考慮することとした。

$$\sigma = 0.893 \times 10^{-2} \times R + 10.4 \quad (\text{dB})$$

R: 橋までの垂直距離 (単位: m)

#### ロ) 主塔部

橋までの垂直距離が短い範囲では入射角の影響があるが、入射角が  $2^\circ \sim 30^\circ$  まで変化しても 2 dB 未満であったので簡便な式とする意味から入射角の影響は特にパラメータとして入れないこととした。

$$\sigma = 0.2 \times 10^{-2} \times R + 66.2 \quad (\text{dB})$$

#### ハ) 取付橋の橋柱部

橋柱部についても同様に求め次式とした。

$$\begin{aligned} \sigma &= 0.273 \times 10^{-2} \times R + 60.0 - 3 \\ &= 0.273 \times 10^{-2} \times R + 57.0 \quad (\text{dB}) \end{aligned}$$

### (2) ダブル・デッキ橋

#### イ) 径間部

径間部のブロック数を 1 および 2 とした場合について、橋までの垂直距離との関係から検討したが、大差がないのでダブル・デッキの径間部は次式で表現する。

$$\begin{aligned} \sigma &= 0.193 \times 10^{-2} \times R + 33.5 + 5 \\ &= 0.193 \times 10^{-2} \times R + 38.5 \quad (\text{dB}) \end{aligned}$$

#### ロ) 主塔部

シングル・デッキ橋とダブル・デッキ橋とでは計算値の上では、ほとんど差は無かった。

寸法等の差としては、主塔脚部の横幅が、

シングル・デッキ : 8.5 m

ダブル・デッキ : 10 m

であり、また、垂直面部分は 4.4 m と 4.8 m の差がある。しかし、前述したように有意な差は現れなかった。

橋までの距離に近い範囲においては、入射角の影響があるが、これも 2.5 dB 程度である。計算式を求める上ではレーダ断面積が大きくなるように、次

式とした。

$$\sigma = 0.287 \times 10^{-2} \times R + 64.5 \quad (\text{dB})$$

#### ハ) 取付橋の橋柱部

同様に、ダブル・デッキ橋の取付橋の橋柱についても次式とした。

$$\begin{aligned} \sigma &= 0.28 \times 10^{-2} \times R + 60.3 - 3 \\ &= 0.28 \times 10^{-2} \times R + 57.3 \quad (\text{dB}) \end{aligned}$$

## 2. 4. 鶴見航路横断橋周辺のレーダ・エコーレベル・マップの作成

### 2. 4. 1 レーダ観測地点の決定

鶴見航路横断橋として計画されている橋梁の構造形式は、

(1) シングル・デッキ橋: 専用部と一般部の 2 橋が並行するように計画されている。しかし、暫定施工としては専用部の 6 車線 [1 橋分] を先行して建設する。

(2) ダブル・デッキ橋: 専用部と一般部を上面と下面の 2 層構造で計画されている。しかし、暫定施工としては上面の専用部の 6 車線を先行して建設する。

の 2 形式である。

シングル・デッキ橋では、並行して 2 本の橋が建設されることになり、レーダ・エコーレベル・マップを正確に作成するためには、橋によるレーダ電波の反射面となる地点でレーダ観測を実施しなければならない。ダブル・デッキ橋とした場合にも同様である。さらに、レーダ・エコーレベル・マップは、本質的には計画されている橋の主要部材の高さにレーダのアンテナを設置して観測されるべきものであるが、観測船のレーダ・アンテナをそのような高さまで高くすることは実際上不可能なことである。また、レーダ観測は橋軸線に沿って短い間隔で実施するようにするのが理想的である。しかし、このようにレーダ・アンテナを橋の高さまで上げて、なおかつ、短い間隔で周辺地物のレーダ反射特性を観測することは現実的に不可能である。

そこで、架橋前のレーダ・エコーレベル・マップ作成のための観測は、橋軸線上の航路中央部分と、海岐部の海中に橋脚が建設される場合には、その橋脚部の位置においてレーダ観測を行うとにしている。レーダ・アンテナの高さについても観測船に搭載されているものを変更することは困難であるので、そのまま使用している。

鶴見航路横断橋の建設予定地点を図. 付 2-1-3 2 および図. 付 2-1-3 3 に示すが、シングル・デッキ構造の 2 本の橋の橋軸線の中心線とダブル・デッキ構造のものの橋軸線と航路中央線との交点は、ほぼ同じ地点となること

から、同橋周辺のレーダ・エコーレベル・マップ作成のための観測はこの航路中央地点と航路両側の海中部の橋脚が建設される位置で実施することとした。



図. 付2-1-32 シングルデッキ構造の場合



図. 付2-1-33 ダブルデッキ構造の場合

これらの地点を図. 付2-1-34でA, B, およびC地点として示している。同図には、これらの地点の他にNo. 1~No. 3と記されたところがあるが、これらの地点は橋からの距離が750mと1,500mとなる航路中央線上の位置である。No. 1~No. 3におけるレーダ観測は、架橋前に周辺のレーダ映像を観測し、記録として残しておくことにより、架橋工事の途中および橋の完成後においてレーダ偽像の発生が観測された場合の比較検討のための資料とするものである。



図. 付2-1-34 レーダ観測地点

#### 2. 4. 2 観測器材と観測方法

観測に使用したレーダ装置は、東京商船大学附属練習船「汐路丸(331総トン)」に設備されている舶用大型レーダで、このレーダの仕様・性能は表. 付2-1-3に示す。このレーダに図. 付2-1-35に示すようにデジタル記録装置と写真撮影装置を取り付けた。

レーダ・エコーレベル・マップ作成のための観測は両装置を併用して実施されたが、橋軸線上のA, BおよびCの各地点においては、デジタル記録とレ

ーダ映像写真の撮影記録を実施し、No. 1~No. 3の各地点においてはレーダ映像写真の撮影のみ実施した。

デジタル記録方式による観測は、レーダ電波の反射信号強度を64段階のデジタル値で全周にわたって観測することが可能である。レーダ映像写真の撮影はレーダの受信感度をあらかじめ10段階に設定した上で、感度設定制御装置を操作しながらレーダ映像を撮影するもので、今回の観測においては観測器材の性能から-35dBm~-90dBmの感度の間で設定するようになされた。

この方法で観測されたレーダ映像写真の一例を図. 付2-1-36に示す。

また、観測にあたっては観測時の周辺地物の状況や付近を航行している船舶の動静が重要であるので、レーダ映像観測と同時に合わせて付近の状況観測を実施した。

#### 2. 4. 3. レーダ・エコーレベル・マップの作成

レーダ・エコーレベル・マップの作成に先立ち、まず、B地点を原点として、橋軸線および航路中央線を座標軸とするメッシュ・チャートを作成した。既に述べられているが、シングル

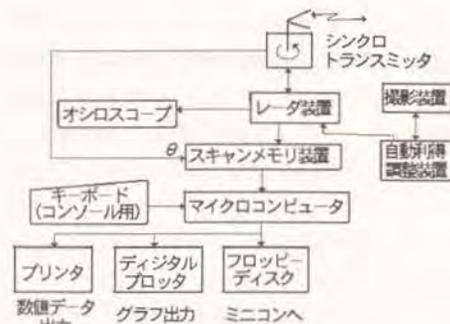


図. 付2-1-35 観測記録装置

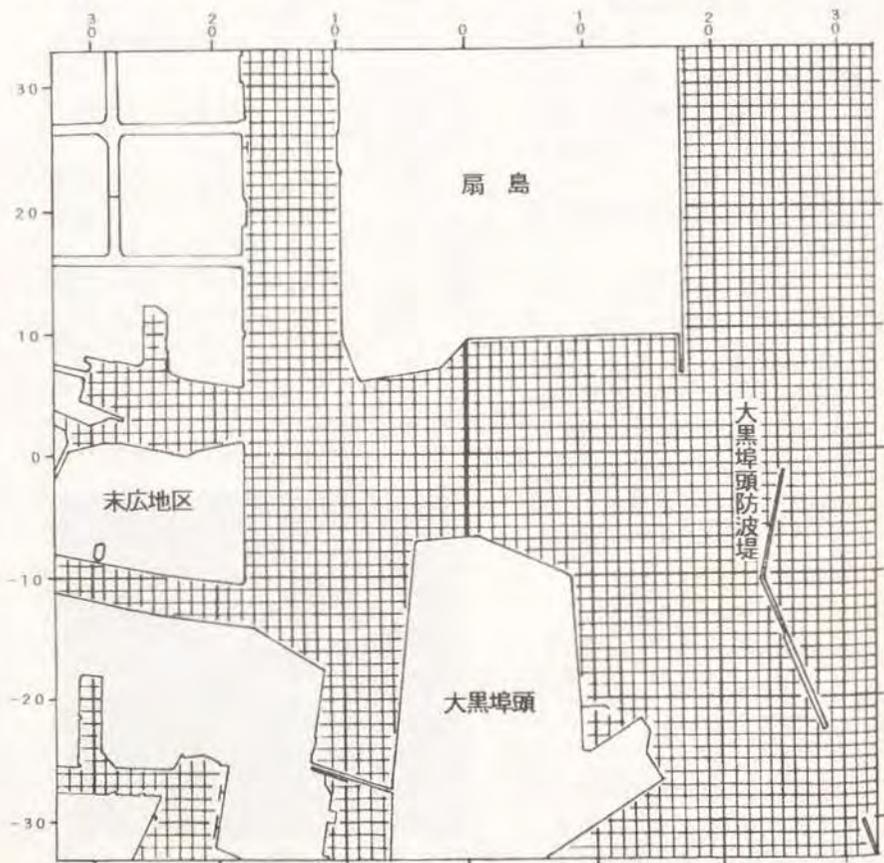
表. 付2-1-3 汐路丸レーダ性能諸元

アンテナ高さ	14m
アンテナ	水平0.8度 (カタログ値)
ビーム幅	垂直20度 (カタログ値)
送信出力	20.4KW (実測値)
送信周波数	9385MHz (カタログ値)
パルス繰返し数	2000Hz (カタログ値)
パルス幅	0.07μs (カタログ値)
測定レンジ	1.5n.m.
アンテナ回転数	20RPM



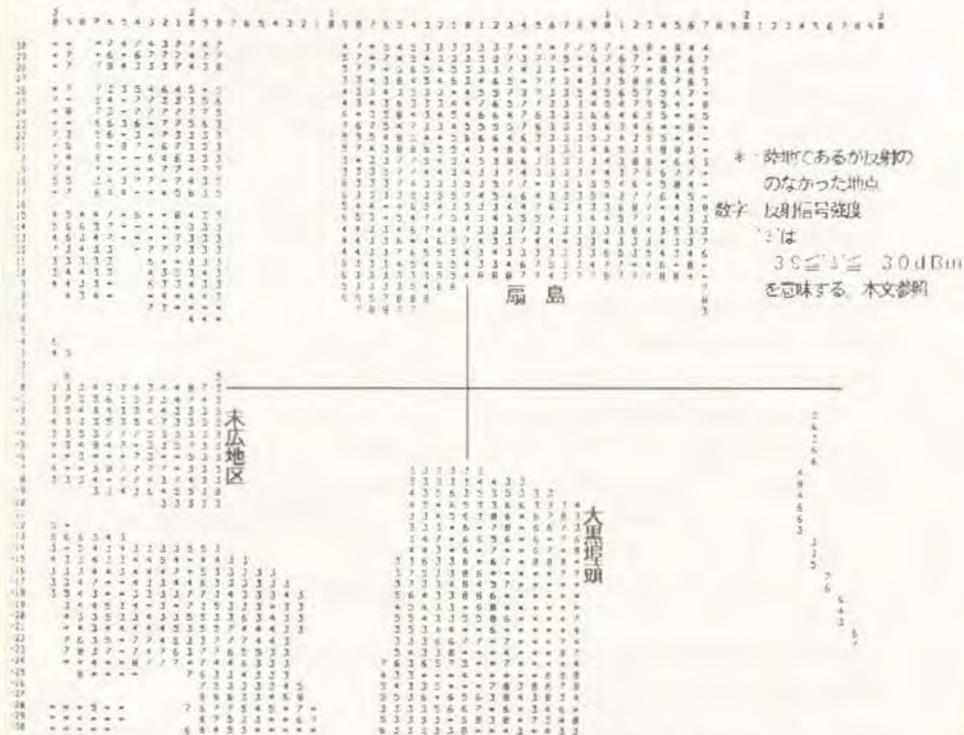
図. 付2-1-36 B地点でのレーダ映像(リニア特性受信機使用)

デッキ橋とダブル・デッキ橋について検討した結果、ほぼ同一であったことからダブル・デッキ橋の場合の橋軸線と航路中央線との交点(B地点)を原点としたものである。メッシュの大きさは従来より75mとされているので今回も同様に75mとし、両座標軸方向ともに±30単位とした。このようにして定められた座標軸と範囲をもとに、10、000分の1の地図(横浜市港湾局、昭和55年9月)を使用して、メッシュ・チャートが作成された。この地図は鶴見航路周辺を中心としたものではないことから、扇島側の該当範囲で不明な部分は海上保安庁水路部発行の海図(N o. 66)から求めて記入した。このようにして作成されたメッシュ・チャートは図、付2-1-37に示されている。



図、付2-1-37 鶴見航路横断橋付近地形サブモデル

このメッシュ・チャートに従って75m間隔のラインの交点に該当する地点について、レーダ電波の反射強度を2、4、2項の観測結果から求めて記入する。このとき、橋軸線に沿ってA、B、Cの3地点の観測結果があるが、この3地点で観測された最も強い信号値で交点の反射強度を代表させることにしている。こうして作成された鶴見航路横断橋周辺のレーダ・エコーレベル・マップを、付2-1-38に示す。



図、付2-1-38 鶴見航路横断橋周辺のエコーレベルマップ

レーダ観測は出力20kWで実施されたが、比較判断が容易となるように図、付2-1-38では、

送信出力 10kW

アンテナ水平ビーム幅 1.0度

(その他は表、付2-1-3と同じ)

として補正されている。

この図、付2-1-38の表値は次の意味をもっている。

「3」	$-40 \text{ dBm}^{1)}$	よりも強い反射信号
「4」	$-50 \text{ dBm} < x \leq -40 \text{ dBm}$	
「5」	$-60 \text{ dBm} < x \leq -50 \text{ dBm}$	
：	：	：
：	：	：
「8」	$-90 \text{ dBm} < x \leq -80 \text{ dBm}$	

表値では「3」が最も強い信号ということになるが、これは観測装置の性能上の制約から定量値として測定できた最強値が $-35 \text{ dBm}$ であったことによる。定性的には、扇島の付近の石油タンクや倉庫などは、さらに $10 \text{ dBm}$ 程度は強い反射もあることが観測された。

1)  $\text{dBm}$ とは、 $0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$ として定めた単位で、 $-40 \text{ dBm}$ は $10^{-4} \text{ mW}$ という意味である。

## 付録 2-2

### レーダ偽像対策用多段斜面構造のレーダ電波の反射特性

#### 1. はじめに

瀬戸内海をはじめとして、船舶の航路を横断して大型の橋梁が建設されている。この建設工事にともなって、橋脚やアンカレッジが船舶の航路の近傍に建設されることになり、レーダ偽像の発生に影響を及ぼすことが懸念されている。アンカレッジや橋脚は巨大な構造物となるので、レーダ電波の反射体としても大きく作用する。橋桁や橋塔のような金属部材には電波吸収材の装着等の方法がレーダ偽像の減少対策用として施工されている。しかし、橋脚やアンカレッジのように表面がコンクリート製の構造物では電波吸収材の装着は困難である。これらの構造物は表面積も大きく、恒久的な対策を施しておくことが要求される。そのため恒久的な対策法としてレーダ電波の反射方向を制御するような反射面を構成させることが研究された。

この報告は本州四国連絡橋の架橋工事に関して研究されたレーダ偽像減少対策1)の一連の研究の中から、とくにアンカレッジ等に施行する多段斜面構造について、その概要を述べるものである。多段斜面構造によるレーダ偽像の減少対策については、これまでに小型モデルによる検証実験から建設現場における施工試験まで実施され、南北備讃瀬戸大橋のアンカレッジ等に施工された。本報告は多段斜面構造の効果の評価に関する一連の研究が終了したのでその結果を報告し、多段斜面構造のレーダ電波の反射特性について述べる。

#### 2. 多段斜面構造のレーダ電波反射特性の測定方法

##### 2. 1. 測定方法の検討

巨大なアンカレッジ等の側面に構成された多段斜面構造の反射特性を明確に知るためには、壁面に照射されたレーダ電波が上空にむけて反射・散乱される様子を反射パターンとして計測されることが望ましい。しかしながら、上空に反射された電波の電界強度を測定することには解決の難しい種々の問題点がある。

上空における電界強度の測定方法として、次に述べる方法等を検討した。

- (1) ヘリコプタによる方法。
- (2) 落下傘もしくは他の落下物により落下中に計測する方法。
- (3) 気球を利用して、完全無指向性の反射体をつり上げてその反射強度を測定する方法。

(4) 気球を利用して、受信機を上空につり上げて反射波を受信し地上へ伝送する方法。

これらの方法を具体的に検討した場合、次のような問題があった。

- (1) 測定可能な高さの問題：ヘリコプタは超低空には降下できず、また回転翼のために反射波が攪乱されるおそれがある。
- (2) 安全上および回収に関する問題：落下傘や落下物による方法は大洋上以外では困難であろう。また回収は大変な作業となろう。
- (3) 空中における位置の固定と姿勢の保持に関する問題：気球は風の状態で振り回されるので、安定した位置と姿勢を確保することが難しい。また気象条件に左右されることになるので、測定が可能な時間的制約を受けやすい。
- (4) その他、経済性、技術上の問題および電波法上の問題：

これらの諸問題を検討した結果、次の2つの方式で多段斜面構造の効果を測定・評価することにした。

- (1) 気球を利用して受信機を上空につり上げて反射パターンを測定する方法。
- (2) 一般の垂直な壁と多段斜面構造の壁とのモノスタティックなレーダ反射断面積を比較測定する方法。

## 2. 2. 気球による測定方式の概要

気球による測定方式の概念図を図. 付2-2-1に示す。気球は空中での姿勢方向の保持のために飛行船型(6.5m)とした。浮力は約20kgであるが、受信機器や光ファイバーによるデータ伝送機器のためにかかなり重くなり、浮力不足を生じたのでさらに直径3mの球形気球を付加している。浮力については十分な予備浮力が必要で、少々風があっても吹き流されないことが重要である。風の影響や強風時の安全対策など気球関係業者からの助言等を踏まえて風速5m/s未満の状況の時のみ使用することにした。気球でつり上げた受信機器と地上に設置した解析記録機器との間は光ファイバーで接続している。この理由は、一般の金属ワイヤーのケーブルでは150mも垂直に立てられると立派な垂直アンテナと化してしまうおそれと、万一の際の落雷や高圧線への接触事故の防止のためである。

反射パターンの計測にあたり、一般船舶のレーダ波の干渉を避けるため、この計測システムの送信側と受信側との間で同期をとるようにしている。

気球に取り付けた受信用のアンテナの位置は測量用に使用されている光波式測距装置で計測した。測距のための反射プリズムは受信アンテナの直上に8個取り付けてあり、ほぼ全周から測定できるようにしている。位置のデータは測

定時刻とともに縦・横・高さの数値を光波式測距装置に接続したバケット伝送装置を使用して無線伝送させている。

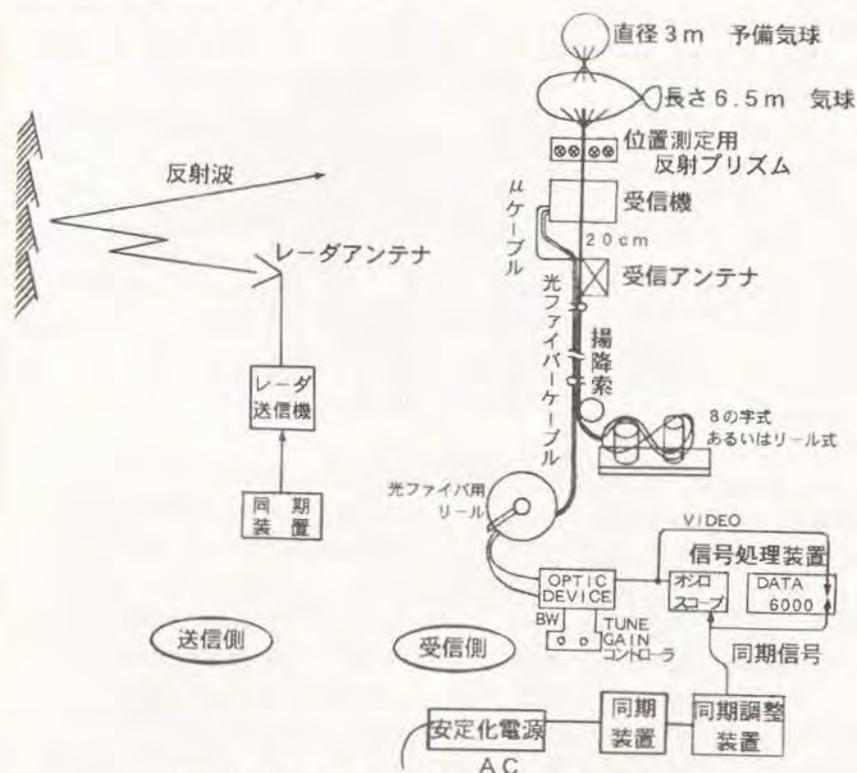


図. 付2-2-1 気球による測定方式の概念図

多段斜面構造の効果を測定は、当初の計測計画では海上にあるアンカレッジを対象に行う予定であったが、諸般の事情から建設途中の南北備瀬瀬戸大橋の1Aと呼ばれるアンカレッジがある与島で実施した。この1Aアンカレッジの壁面は図. 付2-2-2に示すように高さ3mと1.5mの連続した斜面で構成され、その傾斜角度は5度に設定してある。5度と設定した理由は水平に入射したレーダ波が斜面ではね上げられ10度の角度で反射したとき、付近にある高い構造物や山などを飛び越えるように検討されたものである。与島の1Aの前面は駐車場予定地であり整地作業中ではあったが、壁面から垂直に100mの位置で気球を揚降させ、同じく155mの位置から10度の仰角でレーダ

波を照射した。また、壁面直前には位置測量用機器（別名トータルステーション）を配置した。

反射パターンの計測実験に先立ち、まずアンカレージに照射されているレーダ波の確認を実施した。1Aアンカレージの最上部から作業用ゴンドラを吊下げて、水平方向および垂直方向の照射範囲を調べた。送信用に使用したレーダアンテナの性能とよく一致していることが確認された。

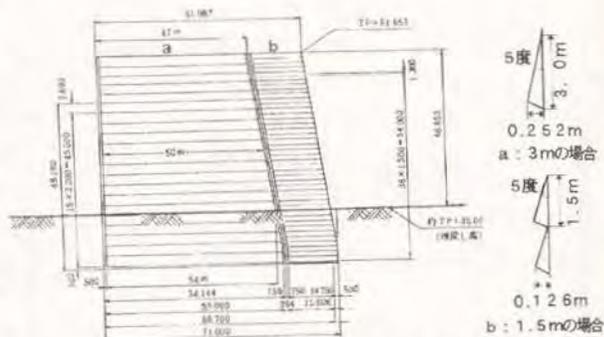


図. 付2-2-2 与島1A寸法図

### 2. 3. 垂直な壁との比較測定による方法（近距離からの測定）

反射パターンの計測に加えて、モノスタティックなレーダ断面積を比較測定する方式を実施した。与島1Aアンカレージ前面の駐車場の工事が完了したのち、地表（アスファルト舗装）での反射波の干渉による影響を考慮した計測ができるように、1Aの壁面から50m、75m、100m及び135mの地点でレーダ断面積を計測した。アンテナにはレーダ用アンテナ（水平ビーム幅：1.5度、垂直ビーム幅：18度、利得：32dB）とホーンアンテナ（水平ビーム幅：8度、垂直ビーム幅：15度、利得21dB）の2種類のアンテナを使用した。比較測定の対象とする垂直な壁については、かなり捜してみたが距離を変えながら測定できるような所はほとんどなかった。東京付近で10ヶ所の、測定できる垂直な壁を捜し出したが、距離を変えて計測できたのは1ヶ所だけであった。これらの地点の中から、6ヶ所については表. 付2-2-1に壁の状況と計測できた距離を掲げてある。

### 2. 4. 垂直な壁との比較測定による方法（中距離からの測定）

前節で述べた近距離からの測定では約100mと距離が近すぎるため、船舶のレーダに対応した状況の計測結果ではない。船舶用レーダにおけるレーダ偽像減少対策の効果をより現実に近い状況で測定・確認することが重要である。そのため、南北備讃瀬戸大橋の坂出側に近い海上にある7Aと呼ばれるアンカレージを対象に計測した。7Aアンカレージの壁面に垂直な東側には石油精製

工場があり、工場構内の護岸際および構内道路上で測定することができた。測定した2地点の状況を表. 付2-2-2に掲げる。

表. 付2-2-1 測定した垂直な壁の状況

計測した垂直な壁の種類（記号）	壁の状況	壁までの距離
A	タイル張り、壁の前面は芝生の広場	7.6 m
B	コンクリート製、下半分に出入口のための開孔部分がある。	3.3~17.0 m
C	コンクリート製、Bと同じビル、開孔部のない部分（比較用）	2.0 m
D	コンクリート製、壁前面は道路	5.8 m
E	コンクリート製、壁前面は整地された土地	12.4 m
F	コンクリート製、壁前面は整地された土面、計測対象としては良いと認められる。	7.3 m

表. 付2-2-2 中距離からの多段斜面構造の測定

測定場所	要 目			
	7Aまでの距離	入射仰角	アンテナの高さ	7Aの見え方の状況
7A東側護岸際	9.21 m	0度	5.1 m	全容が見える
7A東側工場構内奥部	11.75 m	2度*	8.7 m	上部2/3が見える

### 3. 計測結果と考察

#### 3. 1. 気球による反射パターンの計測結果と考察

気球の位置を測定した時刻と反射波の電界強度を測定した時刻との差が±5秒以内であるデータを使用して測定結果をまとめた。反射波の強度の測定は送信に同期させながら受信した3マイクロ秒のゲート幅について10ナノ秒8ビットで標本化し、その中の最高値を検出し、続いて5回の受信を行って5回分の最大値を測定結果として記録することとした。この測定は毎秒5個の最大値を繰り返し測定できた。測定結果をまとめた一例を図. 付2-2-3および図. 付2-2-4に示す。

一例として示した測定結果においても、次の事実が指摘される。

- (1) 反射波の強度は激しく変動している。
- (2) 観測者がオシロスコープにより目視で観測した結果も激しく変動している。

(3) 10度の仰角をつけて照射したにもかかわらず、反射角10度以下にも相当に強い反射波がある。幾何光学的に考えるならば、反射角20度のところにもっとも強い反射波が観測されるべきである。

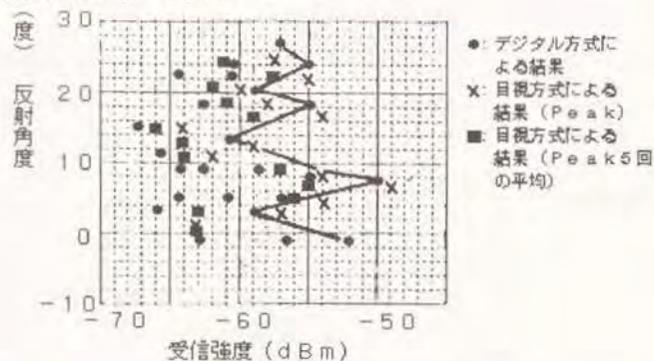


図. 付2-2-3 反射波の受信強度  
送信方向: 仰角10度 気球上昇 (送信アンテナを走査したもの)

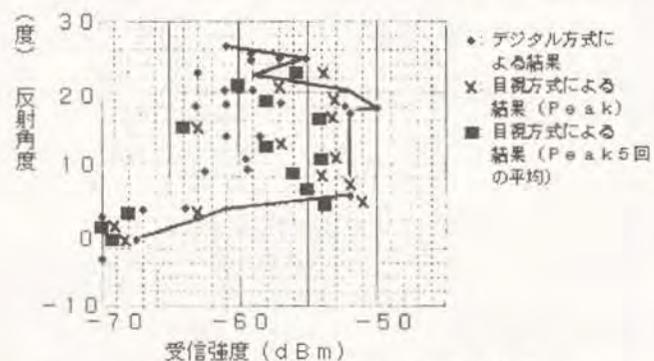


図. 付2-2-4 反射波の受信強度  
送信方向: 仰角10度 気球下降 (送信アンテナは方位をねらったもの)

これらの結果について、次のように考察される。

- (1) 反射波の強度が激しく変動している理由については、
- ・気球の位置の振れ回りによるもの
  - ・反射波の干渉によるもの

が、考えられる。図. 付2-2-5にnear fieldにおける多段斜面

構造の反射パターンの理論計算値<sup>1)</sup>を示すが、少しの高さの変化でも強度が大きく変化する様子がわかる。ただし、この理論計算においては斜面と土面との反射や斜面の底面の反射等は含めていない。理論計算値によれば、斜面の段数に対応した明確な山の他に、各反射面の干渉で生じた細かな山がある。理論値との比較から考察すると、反射波の強度はわずかな受信位置の変化で激しく生じることが予想される。

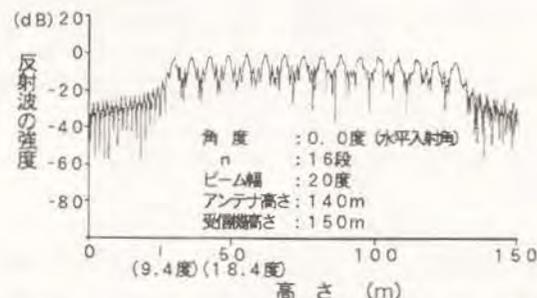


図. 付2-2-5 near fieldでの受信パターン

(2) 反射角が10度以下のところにも強い反射波が存在している理由については、次のように考察される。

多段斜面構造のモデル実験の際に、予想外の反射波が観測されたことがあった。その際、原因を推察し斜面の底面を電波吸収材で処理することで、予想外の反射波の強度を著しく下げることができた。したがって、実際の多段斜面構造においても底面の影響は現れるものと考えられる。多段斜面構造の各斜面の下部の底面とその下の斜面との間での反射波の経路例を図. 付2-2-6に示す。図. 付2-2-6の(I)で示す反射波の経路について観測条件に合わせて反射波の高さを計算すると、壁面から100mの距離では、16段の斜面の底面での反射波は16mから18mに集中していることがわかった。この高さは照射中心の位置からみると、反射角は-2度から-1度となる。図. 付2-2-6の(II)および(III)の場合の反射波は反射角で-8度、-6度および-4度にあり、1度のところにはかなり集中している。つまり、ほぼ水平方向に反射されるレーダ波が存在していることが予想される。これらの反射波はコンクリート面で2回ないし3回反射することになり、しかも反射係数は低いので個々の強度は弱いと考えられるが、反射波が集中している部分では干渉により強くなることも有り得よう。

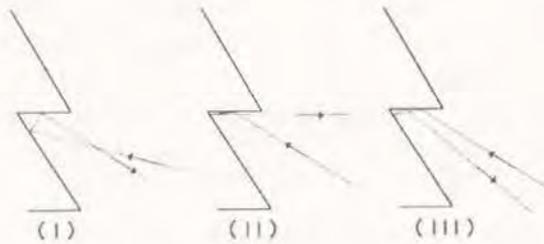


図. 付2-2-6 斜面下部と斜面との間で起こる反射

(3) 幾何光学的な反射角よりも低い部分にも強い反射がある理由については次のように考察する。

使用したレーダアンテナの垂直ビーム幅は18度と広いことから、仰角10度をつけても水平方向にかなり強く放射されている。送信アンテナと同じ高さの斜面で反射されたレーダ波は照射中心の位置からみると、反射角は-6度となる。例として掲げた観測結果にも見られるが、反射角は6日ら度から強くなり、10~24度の反射角で、最大値を示している。これらの測定結果から、多段斜面構造により水平に入射したレーダ波は上空にはね上げられていることは明確である。

図. 付2-2-3および図. 付2-2-4で示した反射パターンの測定結果から入射角および反射角が0度の際の反射波の受信電力と最も強く受信された上空での受信強度とをまとめて整理し、多段斜面構造の効果の定量的な評価を試みる。整理結果を表. 付2-2-3に掲げる。効果の数値は3dBから16.5dBまで大きく開いており、ここに掲げたデータのほかの結果でも7dBおよび9dBとなっている。周囲の条件によって効果は変わるが3dBから17dB程度の効果は期待できるものと考えられる。

多段斜面下部の底面の影響で水平方向に強い反射ができることを推定したが、船舶のレーダアンテナの高さと2次反射体の位置や高さも関連するので、一概にこの底面がレーダ偽像の大きな発生原因になるとは考えられない。

表. 付2-2-3 図. 付2-2-3と図. 付2-2-4をまとめた結果

データ	入射角0度の際の受信電力	最大の受信電力	効果
図. 付2-2-3から	-54dBm	-51dBm	3dB
図. 付2-2-4から	-66.5dBm	-50dBm	16.5dB

### 3. 2. 垂直な壁との比較測定による測定結果と考察

多段斜面構造（与島1Aアンカレッジ）および東京近辺での垂直な壁のレーダ電波の反射強度を測定した結果を図. 付2-2-7および図. 付2-2-8に示す。

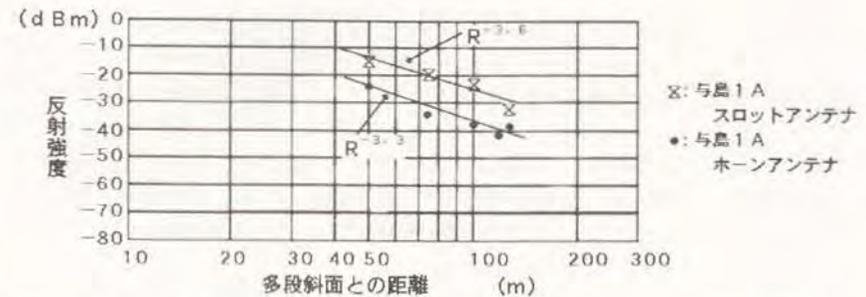


図. 付2-2-7 近距離からの反射強度測定結果（与島1A：多段斜面構造）

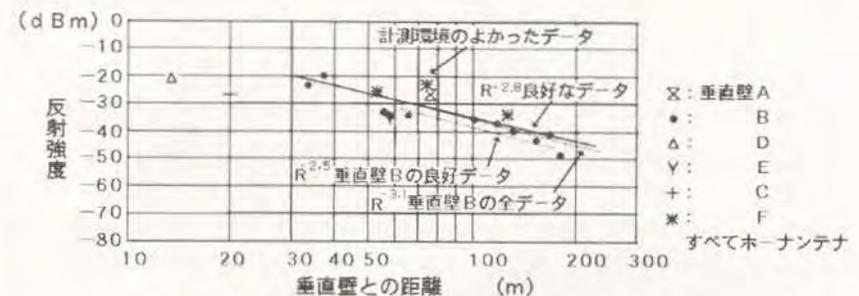


図. 付2-2-8 近距離からの反射強度測定結果（垂直壁）

これらの図の中の直線は距離による受信電力の減衰状況を最小自乗法によって求めたものである。この距離による減衰曲線からレーダ断面積を求めるようにした。1個しかない測定結果についてはそのデータからレーダ断面積を求めたが、結果を表. 付2-2-4に掲げる。与島1Aアンカレッジの多段斜面構造のレーダ断面積はホーンアンテナを使用したときの計測では29.6dB S M (0dB S M = 1m<sup>2</sup>)であった。垂直な壁でのレーダ断面積は条件の異なるさまざまな観測値が得られたが、距離に関する減衰状況が観測できたのは垂直壁Bのものだけである。しかし、垂直壁Bは建物下部に駐車場出入口のため

の開孔部があった。計測条件の良好であった垂直壁Fは道路から約70m離れているが、近づくことも離れることもできず観測値は1つしか得られなかった。

表. 付2-2-4 観測から求めたレーダクロスセクションと距離による減衰

使用したアンテナ	項目	多段斜面構造	垂直な壁の区別
スロット	レーダクロスセクション	17.5 dBSM	測定せず
	距離による減衰	$R^{-3.5}$	測定せず
ホーン	レーダクロスセクション	29.5 dBSM	垂直壁Bのデータから 26.5 dBSM 垂直壁Bのデータから一部棄却 26.0 dBSM 全データを使用 27.1 dBSM 計測環境の良好なもの 35.8 dBSM
	距離による減衰	$R^{-3.3}$	垂直壁Bのデータから $R^{-3.1}$ 垂直壁Bのデータから一部棄却 $R^{-2.5}$ 全データを使用 $R^{-2.8}$

(0 dB SM = 1 m<sup>2</sup>)

注) これらのデータは対象とした壁までの距離が150m未満のものである。

測定されたレーダ断面積をまとめた結果を表. 付2-2-5に示す。この表で示された差異の数値が近距離での計測で求められた効果である。この2.9 dB ~ 6.2 dBの効果は低い数値であるが、計測中における路面や土面の反射による影響、周辺の構造物による影響および多段斜面下部の底面の影響などがある。多段斜面構造のモデル実験では、およそ11 dBから16 dBの減少効果があると報告<sup>1)</sup>されている。

表. 付2-2-5 測定されたレーダ断面積をまとめた結果

与島1Aの多段斜面構造のレーダクロスセクション	29.6 dBSM	1
垂直壁B+半分開孔の補正した	32.5 dBSM	2
(26.5 + 6 = 32.5 dBSM)		
差異 2-1	2.9 dB	3
垂直壁Fで測定したレーダクロスセクション	35.8 dBSM	4
差異 4-1	6.2 dB	5

近距離における観測条件のもとに求められた理論値と実測値との比較については、理論値と実測値の間に約10 dBの開きがあり、実測値の方が低い。この10 dBの差の原因としては、

- ・対象物までの路面の影響は補正していないこと。
- ・周囲の構造物の影響は考慮していないこと。
- ・コンクリート面の凹凸が不均質であること。

による散乱状態の変化が、考えられる。実測値の方が低くなっていることは、多段斜面構造はレーダ電波を良く反射散乱させ、その分だけ実測値が下がったとも考えられる。

また、坂出側の7Aアンカレッジを対象としたレーダ断面積の測定では、7Aアンカレッジの壁面に5ヶ所の照射中心位置を設定して照射位置の違いによる反射強度の差を測定した。その結果を図. 付2-2-9に示す。

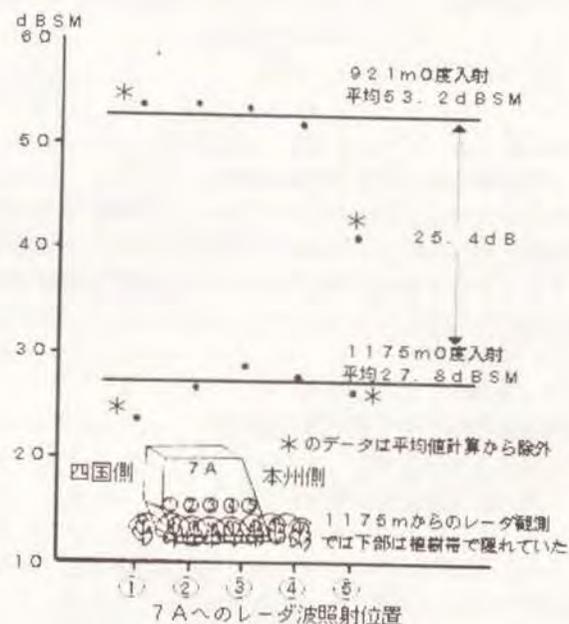


図. 付2-2-9 7Aのレーダクロスセクション計算値

7 Aアンカレッジから9 2 1 mの正面入射におけるレーダ断面積の計測値は、5 3 . 2 d B S Mとなった。この観測において7 Aアンカレッジ下部は、海面上5 mまで鋼鉄製のケーソンの本体部分が出ており、また、衝突保護のためのゴム製フェンダが取り付けられており多段斜面構造とはなっていない。この7 Aアンカレッジから9 2 1 mでの観測では、アンカレッジ下部のゴムフェンダを含む金属の垂直な部分からの反射が大きかったのではないかと推定される。

次にアンカレッジから1、1 7 5 mの正面位置からの観測では、アンカレッジの下部3分の1が工場内の植樹帯に隠され、上部の3分の2が見えている状況であった。見えている部分の中央の位置は約2度の仰角をもって当たることになる。

これらの観測結果について、次のように考察・整理した。

- ・9 2 1 mからの観測値については、前面のゴムフェンダで一部散乱された垂直な金属面からの反射として考えられる。

9 2 1 mでの観測値	5 3 . 2 d B S M
金属面とコンクリート面との反射損失補正值	- 7 d B
ゴムフェンダによる散乱補正值 (推定)	<u>3 d B</u>
	4 9 . 2 d B S M

より、レーダ断面積は約4 9 d B S Mとなる。

- ・また、1、1 7 5 mからの観測値については、下部のケーソンの影響はないが植樹帯で隠されていた部分の補正を考慮する。また、5度の斜面が2度の仰角で入射することを考慮して補正するならば、多段斜面構造の効果が計測できたものと考えられる。

1、1 7 5 mでの観測値	2 7 . 8 d B S M
下部3分の1の隠された部分の補正值	1 . 5 d B
2度の仰角で入射した分の補正值	<u>3 d B</u>
	3 2 . 3 d B S M

より、レーダ断面積は約3 2 d B S Mとなる。

9 2 1 mにおける観測値と1、1 7 5 mにおける観測値との差異が中距離での多段斜面構造の効果として考える。したがって、その差異1 7 d Bが偽像減少効果となる。往復で効果をもたらすと考えられれば約3 0 d B以上の効果があることになる。

#### 4. まとめ

多段斜面構造のレーダ電波反射特性を計測した結果、その効果は次のようにまとめられる。

- (1) 気球を利用した反射パターンの計測結果からは、片道で3 ~ 1 7 d Bである。
- (2) 近距離における観測結果からは、片道で1 7 d Bである。
- (3) 中距離における観測結果からは、片道で1 7 d Bである。

これらの計測結果では、レーダ偽像減少効果に3 ~ 1 7 d Bと大きく開きがあるが、効果が得られたことは明確である。だが、効果量については、その場所の条件や距離等によって異なると考えられる。

多段斜面構造によるレーダ偽像減少対策は、9、4 0 0 M H z帯のレーダのみならず、その構造上広い周波数帯域にわたって対応できて、しかもメンテナンス・フリーな優れた対策法である。今後、海上やその周辺に巨大な構造物が建設される場合には、壁面形状に必ず採用されるものと考えられる。

#### [謝辞]

本研究は本州四国連絡橋公団から委託を受けて(財)海洋架橋調査会に設立された「橋梁構造によるレーダ電波障害軽減策の検討委員会(委員長、東京大学名誉教授柳井久義先生)」の研究調査の一環として実施された成果の一部であります。筆者はこの研究調査の立案実施の全般にわたり実行し、この研究成果は日本航海学会に発表<sup>2)</sup>させていただいたものであります。ここに柳井久義先生他ご指導頂きました委員の先生の皆様に深甚なる感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) (財)海洋架橋調査会編、橋梁構造によるレーダ電波障害軽減策の検討報告書、その1(昭和54年3月)~その11(平成元年3月)
- 2) 林 尚吾、飯島幸人:レーダ偽像対策用多段斜面構造のレーダ電波の反射特性、日本航海学会論文集、第82号、pp 1 3 9-1 4 6、平成2年3月

## 謝 辞

この研究論文をまとめるにあたり、内地研究員時代に御指導戴きました東京大学工学部教授 故宮川洋先生に、宮川先生が急逝なされてからは、その後の全てを東京大学工学部教授の原島博先生に御指導を戴きました。ここに深甚なる感謝の意を表します。

東京大学名誉教授柳井久義先生並びに大越孝敬先生には、レーダ偽像の減少工法の研究に際しまして御鞭撻と御指導を戴き、同大学菊池和朗助教授にも御討論を戴きました。心より感謝申し上げます。東京大学工学部教授藤野正隆先生には、「高信頼度知能化船」の研究開発に際しまして御指導を戴きました。心よりお礼申し上げます。

この研究論文のテーマとなりました「レーダ映像処理」は、東京商船大学名誉教授庄司和民先生と一緒に富浦で観測させて戴きましたことが発端でありました。庄司先生が目指された「未来のレーダ」の一部にでも近づけることができれば幸いに思います。ここに庄司先生に衷心より感謝申し上げます。

東京商船大学飯島幸人教授には研究の進捗の全般にわたって、御鞭撻と御指導を戴きましたことに厚くお礼申し上げます。また、本学の平野弘昭技官にはレーダ観測の準備から現場観測までの全般にわたり、いつも御世話になりました。心よりお礼申し上げます。

次世代航法技術の展開では、東京商船大学杉崎昭生教授にご指導戴きました。日頃よりの御指導と御鞭撻に感謝申し上げます。

研究の主体が屋外でのレーダ観測に基づくものであったことから、レーダ観測を行った研究室在籍の諸氏に何年にもわたって御協力を戴きました。感謝申し上げます。

クラッタの観測ではいつも共同で研究しました東京工業大学大学院理工学研究科関根松夫助教授に感謝いたします。レーダ観測の際には、常に良き相談役として支えて下さいました電気通信大学荒井郁男助教授に感謝申し上げます。北海道での観測におきましては、北海道大学低温科学研究所流水研究施設の青田昌秋教授並びに職員の皆様にご協力戴きました。感謝申し上げます。

最後に長期にわたってレーダ観測、データ処理そしてこの研究論文の編集作業にいたるまでお手伝い下さいました井手麻奈美様に心より厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献 等

## 参考文献

### 第1章の参考文献

- (1) Nelson H. Keeler, Maritime Future Navigation Needs and Plans, Proceedings of the 43rd Annual Meeting, page13-16, 1987

### 第2章の参考文献

- (1) Y. H. Mao, Advanced Radar Techniques and Systems, Identification of Radar Target (Chapter 9), pp542-597, IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 4, 1993
- (2) MM Waves Aid Commercial Applications, Microwaves and RF, A Penton Publication, July 1992
- (3) レーザ・レーダの歩み、日経エレクトロニクス、1982年7月19日号
- (4) 西野潤、レーダレーダ、Op plus E, No. 174, 1994年5月
- (5) Keith D. Ward et al, Hybrid SAR-ISAR Imaging of Ships, pp64-69, IEEE 1990 International Radar Conference, May 1990
- (6) K.H. Berthke et al, A Novel Near-Range Radar Network for the Guidance and Control of Vehicles on Airport Manoeuvring Areas, pp17-22, IEEE 1990 International Radar Conference, May 1990
- (7) Yves M. de Villers, A Coherent Ka Band FMCW Radar for Real Time Target Acquisition, pp1-5, IEEE 1990 International Radar Conference, May 1990
- (8) 落合徳臣、レーダ波による物標の弁別に関する一方法について、pp35-39, 日本航海学会論文集、第20号、昭和33年11月
- (9) H. C. Strifors et al, Scattering of Short EM-Pulses by Simple and Complex Targets in the Combined Time-Frequency Domain Using Impulse Radar, pp70-75, IEEE 1990 International Radar Conference, May 1990
- (10) 庄司和民、飯島幸人、林尚吾 他、ショーダビジョンシステムの研究、昭和57年度科学研究費成果報告書、昭和58年3月

### 第3章の参考文献

- (1) 関根松夫、レーダ信号処理技術、電子情報通信学会、1991
- (2) 葦沢富次、岡田洋、長短パルス比較方式レーダによる海面反射およびウエ

ザ・クラッタの抑制、日本航海学会論文集第58号、pp15-21、昭和52年12月

(3) 荻沢富次、広・狭ビームを用いた海面反射妨害抑制方式、日本航海学会論文集第54号、pp33-37、昭和51年1月

(4) 岡田隆光 他、複数フィルタによるレーダクラッタの抑圧手法、電子情報通信学会技術報告、SANE92-5、pp25-29、1992

(5) 関根松夫、レーダ信号処理技術、電子情報通信学会、1991

(6) 林 尚吾 他、ミリ波レーダによる船舶の検出、日本航海学会論文集第84号、pp131-138、平成3年3月

(7) 高橋 賢、三輪 進、空間的相関特性を用いたレーダクラッタの一処理法、電子情報通信学会技術報告、SANE91-40、pp37-44、1991

(8) 岩本雅史 他、ニューラルネットワークを用いたレーダクラッタの識別、電子情報通信学会技術報告、SANE91-41、pp44-50、1991

(9) 上田和宏 他、スキャン相関処理によるシークラッタの抑圧について、電子情報通信学会技術報告、SANE92-7、pp9-14、1992

(10) 井手麻奈美、林 尚吾、青田昌秋、大井正行、福士博樹、レーダによる氷野の観測、第3回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集、p102-105、1988年2月

(11) 井手麻奈美、林 尚吾、青田昌秋、石川正雄、レーダによる氷野の凹凸の観測、第4回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集、p151-154、1989年2月

(12) 井手麻奈美、林 尚吾、青田昌秋、白沢邦男、高塚 徹、池田光雄、レーダによる凹凸の測定、第5回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集、p193-197、1990年2月

(13) 落合徳臣、レーダ波による物標の弁別に関する一方法について、日本航海学会論文集第20号、pp35-39、昭和33年

#### 第4章の参考文献

(1) Skolnik M. I. : Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, pp24, 1980

(2) M. Sekine and Y. Mao: Weibull radar clutter, IEE, pp19, 1990

(3) 坂本慶行 他: 情報量統計学、共立出版、pp37、1983

(4) Skolnik M. I. : Radar Handbook, McGraw-Hill, pp8, 1990

(5) 庄司和民、林尚吾、他: 船舶のレーダ反射強度の2次元分布に関する研究(その1)、日本航海学会論文集、第69号、1983

(6) K. Shoji, S. Hayashi et al: Echo Enhancement for a Marine Radar by New Display Techniques, ISNCR-84, 1983

(7) 林尚吾: 港湾監視用レーダの反射信号を利用した画像処理による船舶の総トン数推定の可能性、日本航海学会論文集、第76号、p41-49、昭和62年3月

(8) S. Hayashi, M. Ide et al: On Probability of Estimation of Vessel's Characteristic by Simple Image Processing of Radar Echoes, Proceeding of the 1989 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radar and Image Sensors, p403-408, Nov. 1989

(9) 井手麻奈美、林尚吾: レーダ画像処理による船形の推定、日本航海学会論文集、第82号、p147-152、平成2年3月

(10) 井手麻奈美: レーダによる物標の識別 -形状推定の可能性-、東京商船大学修士論文、1990年3月

(11) 井手麻奈美、林尚吾: レーダによる物標の形状認識、第6回オホーツク海と流氷に関するシンポジウム講演要旨集、p219-223、1991年2月

#### 第5章の参考文献

(1) K. Shoji, S. Hayashi et al: Echo Enhancement for a Marine Radar by New Display Techniques, ISNCR-84, 1983

(2) 林尚吾: 港湾監視用レーダの反射信号を利用した画像処理による船舶の総トン数推定の可能性、日本航海学会論文集、第76号、p41-49、昭和62年3月

(3) S. Hayashi, M. Ide et al: On Probability of Estimation of Vessel's Characteristic by Simple Image Processing of Radar Echoes, Proceeding of the 1989 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radar and Image Sensors, p403-408, Nov. 1989

(4) 井手麻奈美、林尚吾: レーダによる物標の形状認識、第6回オホーツク海と流氷に関するシンポジウム講演要旨集、p219-223、1991年2月

(5) 井手麻奈美、林尚吾: レーダによる凹凸の測定、第5回オホーツク海と流氷に関するシンポジウム講演要旨集、p193-197、1990年2月

#### 第6章の参考文献

(1) 庄司和民、林 尚吾他

「船舶のレーダ反射強度の2次元分布に関する研究(その1)」  
日本航海学会論文集70号、昭和59年1月

(2) K. SHOJI, S. HAYASHI et al: Echo Enhancement for a Marine Radar by New Display Techniques, ISNCR-84 Oct, 1984

(3) 林 尚吾:「港湾監視用レーダの反射信号を利用した画像処理による船舶の総トン数の推定の可能性」, 日本航海学会論文集76号、昭和62年3月、p41~p48

(4) 海難審判庁:乗揚げ海難の実態、昭和56年4月、p10-13

#### 第7章の参考文献

- 1) Proceedings of the 43rd Annual Meeting Session I, Institute of Navigation, 1987, Jan.
- 2) The Institute's NAV '88 Conference "Radionav 2000-A European Dimension"
- 3) フライエスレーベン著、坂本賢三訳、航海術の歴史、岩波書店
- 4) Micro-Navstar Receiver, Aviation Week and Space Technology, Oct 28th, page 92, 1985
- 5) Nelson H. Keeler, Maritime Future Navigation Needs and Plans, Proceedings of the 43rd Annual Meeting, page 13~16, 1987
- 6) David Buechler and Michael Foss, Integration of GPS and Strapdown Inertial Subsystems into a Single Unit, Proceedings of the National Technical Meeting, page 40~48, 1987
- 7) 福原裕成、ロランCの陸上での使用状況について、航海、96号、p83~92, 1988
- 8) Automatic Vehicle Location Systems Briefing Book, MAGNAVOX社パンフレット, 1988
- 9) Selecting the Right Automatic Vehicle Location System, MAGNAVOX社パンフレット, 1988
- 10) Robert L. French, The Future Role of Vehicular Navigation in Relieving, Urban Traffic Congestion, the Proceeding of the 6th International Congress of I. A. I. N., page 128~135, 1988
- 11) R. W. Bridge, Radionav 2000-A European Dimension, Journal of Royal Institute of Navigation, Vol 41, page 407~409, 1988
- 12) A. G. Dunne, Navigation in the Royal Navy, the Proceeding of the 6th International Congress of I. A. I. N., page 66~73, 1988
- 13) J. C. Bell, Standard C and Positioning, the Proceeding of the National Technical Meeting, page 138~145, 1987
- 14) J. C. Bell, Satellite Systems for Navigation and Communication in the twenty-First Century, the Proceeding of the 6th International Congress of I. A. I. N., Supplement 1988
- 15) Transat, INMARSAT事務局発行パンフレット, Nov, 1988
- 16) Jens Froese, Future Navigation with One Man Bridge, the Proceeding of the 6th International Congress of I. A. I. N., page 205~215, 1988
- 17) James E. Ayres and Adam J. Kerr, International Hydrographic Organization International Maritime Organization Cooperation in the Evolution of Electronic Chart Standards, the Proceeding of the 6th International Congress of I. A. I. N., page 9~17, 1988
- 18) 樋口敏夫、内田永頼、那口行輝 他、インマルサット標準Bシステムを用いる船舶用バケツト通信処理装置の開発、昭和63年度電子情報通信学会秋季全国大会、SB-2-5, B-1-288~299, 1988
- 19) 原通夫、最近の小型化レーダ、航海、第98号、page 72~78, 1988, 12月
- 20) 鈴木務、荒井郁男、信号処理によるレーダビームのコンプレッション、電子通信学会総合全国大会シンポジウム、昭和52年4月
- 21) Matsuo SEKINE and Toshimitsu MUSA, Suppression of Clutter and Detection of Targets, Proceeding of the 1984 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radars and Imaging Sensors, page 279~284, Oct. 1984
- 22) Alfonso Farina and Maurizio Longo, Detection and Tracking Performances of Multistatic Radar Systems, Proceeding of the 1984 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radars and Imaging Sensors, page 447~466, Oct. 1984
- 23) 林尚吾、港湾監視用レーダの反射信号を利用した画像処理による船舶総トン数推定の可能性、日本航海学会論文集、第76号 page 41~48, 1986
- 24) 庄司和民、飯島幸人、林尚吾 他、ショーダビジョンシステムの研究、昭和57年度科学研究費成果報告書、昭和58年3月
- 25) 河田伸一、ジャイロとその応用、精密機械、49巻12号、page 98~107, 1983年12月
- 26) G. Mayer, Radio Interferometer Techniques and Their Impact on Aeronautical and Space Navigation of the Future, the Proceeding of the 6th International Congress of I. A. I. N., p46~53, 1988

- 27) W. Auch et al, GPS Backed Fiber Optic Inertial Reference System,  
International congress of The International Association of Institute  
of Navigation, p110~117, 1988
- 28) R. C. Dixon 著、立野他訳 スペクトラム拡散通信 p276~281, 1979, JATEC  
出版
- 29) Yukito IJIMA and Shogo HAYASHI, The Study on an Intelligent Ship  
toward Twenty-First Century, the Proceeding of the 6th International  
Congress of the I. A. I. N., page 81~88, 1988, Feb.
- 30) 情報通信技術ハンドブック、page 3、オーム社
- 31) Michael Dzugan Jr., Integrated Communication, Navigation and Identif  
ication for Future Army Aircraft, Proceedings of the 43rd Annual  
Meeting, page 154~160, 1988, Jan.

付録の参考文献は、各付録の末尾に付けました。

## 著者の発表論文

(第1章に関する著者の発表論文等)

### GMDSS 関連機器整備技術指導書、

林尚吾, 木村小一,

平成2年3月, (社)日本船舶品質管理協会,

GMDSSに関連する機器の整備基準の作成と整備技術の全般について詳細な指導書  
を作成した。特に電波暗室の性能基準とGMDSS機器の性能測定方法について詳  
細に指導し、その内容が含まれている。

(第3章に関する著者の発表論文等)

### Observation of the Ice Floe with a Radar,

井手麻奈美, 林尚吾,

1988年2月, The 3rd Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association,  
氷のレーダ反射信号をデジタル処理して、氷野の凹凸の特徴を数値的に表現する方  
法について述べた。レーダ信号の瞬時値はきわめて変動が大きいため、2次元的な  
平滑化処理を行い、全体的な特徴を抽出することを試みた。この手法は広範囲な氷  
域を短時間内に調査することが可能であり、今後は凹凸の測定精度を現場の物理的調  
査と比較し、また表面風との摩擦抵抗との関連性を調査研究することで大きな成果が  
期待できる。

### AIR-SEA-ICE, Observation system of Hokkaido University and Preliminary Results of the 1988 experiments,

青田昌秋, 白沢邦男, 林尚吾, 井手麻奈美,

1988年8月, IAHR Ice Symposium 1988, Sapporo,

北海道大学低温科学研究施設付属流氷研究施設所属の沖合い観測タワーにおいて実施  
された流氷や氷野の横圧力の観測に関する報告。横圧力は風によるものが大部分で  
あり、氷野の表面の凹凸の荒さ(ラフネス係数)の測定をレーダ反射信号で行った結  
果を述べた。

### Observation of the Ice Using a Radar,

井手麻奈美, 林尚吾,

1989年2月, The 4th Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association,  
レーダ観測地点を中心に2 Km X 2 Kmの範囲の氷野を数値と鳥瞰図で表現した。  
この結果、この手法は氷野におよぼす外力との関連を整合させ、風や潮流の影響によ  
る流氷の漂流理論の検討と検証の有力な解析手段となる。

Observation of the Ice Floe Using a X-band Radar,

井手麻奈美、林尚吾、

1989年11月, ISNCR-89,

氷のレーダ反射信号をデジタル処理して、氷野の凹凸の特徴を数値的に表現する方法について述べた。レーダ信号の瞬時値はきわめて変動が大きいため、2次元的な平滑化処理を行い、全体的な特徴を抽出することを試みた。この手法は広範囲な氷域を短時間内に調査することが可能であり、レーダ観測地点を中心に2 Km X 2 Kmの範囲の氷野を数値と鳥瞰図で表現した。この結果、この手法は氷野におよぼす外力との関連を整合させ、風や潮流の影響による流水の漂流理論の検討と検証の有力な解析手段となる。

Measuring of Roughness Using a Radar,

井手麻奈美、林尚吾、青田昌秋、白沢邦男、高塚徹、池田光雄、

平成2年2月, The 5th Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association,

レーダ反射信号から得られる氷野の凹凸の情報を定量的なデータとするための基本として、人工的に作った形状の判っている凹凸の測定を試みた。検出の限界や形状による信号の特性、干渉や雑音に対する方策について得られた知見を述べた。

研究用レーダ車による探査および遠隔計測に関する総合研究,

林尚吾、関根松夫、青田昌秋、飯島幸人、

平成3年3月, 平成3年度科学研究費補助金(総合A)研究成果報告書,

レーダ・クラッタの低減に関する技術について、氷野および船舶について適用した結果を示した。またレーダ反射信号による物標形状認識や反射特性の特徴を計測した。特に氷野の凹凸を遠隔計測する方式に方向性を示した。また、レーダを使用した流水の分布や移動状態を計測し、オホーツク海の海水の結氷生成にともなう大気と海洋間の熱の移動の観点からの観測調査の成果を述べた。

レーダによる物標の分類,

林尚吾、井手麻奈美、平尾典久、関根松夫、

1993年2月, The 8th Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association,

物標で反射されたレーダ信号には、物標の構造や反射表面の特性違いによって偏波面の異なった成分が含まれる。複雑の構造を持つ物標からは直交する偏波成分が多く含まれる。このような反射信号の特性を使った物標の分類を基礎実験を通して、その可能性を提示した。

Statistical Properties of Sea Clutter in Radar Polarimetry,

林尚吾、井手麻奈美、木村英之、関根松夫、

1993年2月, The 8th Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association,

海面反射雑音(シークラッタ)の信号強度の分布特性を、垂直偏波および水平偏波での送信および受信の組合せで総合的に調査研究した。シークラッタの反射信号の振幅強度分布は偏波面の相違によらず、どの場合も対数-正規分布に従っていることが判った。

Amplitude Statistics of Sea Clutter Using an X-Band Radar,

石川義裕、関根松夫、井手麻奈美、上野まみ、林尚吾、

1993年7月, IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E7-6-B, NO. 7, JULY 1993, 電子情報通信学会、英文誌、

Xバンドのレーダで大きな入射角度(約8度から18度)における海面反射雑音を観測した。観測当時の海面はSea Stateは7の状態、波高6-9m、風速25m/sであった。この観測において海面反射雑音の統計的な振幅の分布特性は、AICを用いて判定すると対数正規分布あるいはK分布に従っていることが判った。

(第4章に関する著者の発表論文等)

レーダの反射信号の2次元的分布に関する研究,

庄司和民、林尚吾、清水紀夫、松野達夫、

昭和59年9月, 日本航海学会論文集、第70号、

レーダ反射信号による対象物の映像データを2次元の平面として処理することにより、船舶の概略形状や姿勢が検出できる可能性について述べた。

Echo Enhancement for a Marine Radar by New Display Techniques,

庄司和民、林尚吾、清水紀夫、松野達夫

1984年10月, ISNCR-84,

レーダ信号をデジタル値として記憶して、2次元的な分布強度の解析から、従来のレーダになかった新しい機能を持たせられることを提案した。船舶の姿勢方位の概略を知ることができ、またその船種も推定できることを示した。

航海用レーダの反射信号に関する研究 —その現状と将来—,

庄司和民、飯島幸人、林尚吾、

1984年11月, 日本・中国合同講演会講演要録(中国語)、

航海用レーダの反射信号の改善に関する研究をまとめた。反射信号の測定技術から、最新型のコンピュータ処理方式のレーダでの処理技術にいたるまでを、著者らの最近の研究成果を示しながら、将来の展望を述べた。

航海用レーダの反射信号に関する研究 —その現状と将来—,

庄司和民、飯島幸人、林尚吾、

昭和60年2月, 日本航海学会誌「航海」第83号、

上記の論文を日本語で述べたもの。

#### 港湾監視用レーダの反射信号を利用した画像処理による船舶の総トン数の推定、

林尚吾、

昭和62年2月、日本航海学会論文集、第76号、

方位分解能の優れたレーダで測定された船舶の反射信号を10ナノ秒で標準化した。収集した信号について平面的な広がり（強度）について分析した結果、総トン数と高い相関関係があることを示した。レーダ反射信号の処理で総トン数や船種、アスペクト角などの情報が瞬時に得られることは船舶の安全運行に大きな効果がある。

#### On Probability of Estimation of Vessel's Characteristic by Simple Image Processing of Radar Echoes、

林尚吾、井手麻奈美、

1989年11月、ISNCR-89、

方位分解能の優れたレーダで測定された船舶の反射信号を10ナノ秒で標準化した。収集した信号について平面的な広がり（強度）について分析した結果、総トン数と高い相関関係があることを示した。レーダ反射信号の処理で総トン数や船種、アスペクト角などの情報が瞬時に得られることは船舶の安全運行に大きな効果がある。

#### 研究用レーダ車による探査および遠隔計測に関する総合研究、

林尚吾、青田昌秋、関根松夫、青田昌秋、飯島幸人、

平成3年3月、平成3年度科学研究費補助金（総合A）研究成果報告書、

レーダ・クラッタの低減に関する技術について、氷野および船舶について適用した結果を示した。またレーダ反射信号による物標形状認識や反射特性の特徴を計測した。特に氷野の凹凸を遠隔計測する方式に方向性を示した。また、レーダを使用した流水の分布や移動状態を計測し、オホーツク海の海水の結氷生成にともなう大気と海洋間の熱の移動の観点からの観測調査の成果を述べた。

#### ミリ波レーダによる船舶の検出、

林尚吾、井手麻奈美、左治佳一、石川義裕、関根松夫、

平成3年3月、日本航海学会論文集、第84号、

クラッタの中にある船舶の検出確率を定めたときの誤差警報確率の理論値と実測値を求めた際に、そのデータから推定した確率モデルが近似的にあてはまれば、理論値と実測値には大差がないことを確認した。船形の形状認識にはThreshold-Detection方式を用いる前の段階に、ターゲット対クラッタ比を向上させるため2極フィルタを使用して1.7dBの向上ができた。

#### Recognition of Shape Using a Radar、

井手麻奈美、林尚吾、

平成3年2月、The 6th Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association、船種の自動推定に関する基礎的な実験結果を報告し、レーダ映像に画像処理を施すことによって得られる各種情報の推定の可能性について述べた。

#### レーダによる物標の識別、

林尚吾、

1992年10月、日本航海学会航法システム研究会、

レーダの反射信号を用いた物標の識別方式の著者のこれまでの研究成果をまとめて発表した。国外における海水の種類別の識別に関する研究状況も述べた。

（第5章に関する著者の発表論文等）

#### レーダ画像処理による船形の推定、

井手麻奈美、林尚吾、

平成2年3月、日本航海学会論文集、第82号、

対象とする船舶のレーダ映像から、その船舶のアスペクト角、大きさ、船形、さらに船種を推定することを試みた。レーダ反射信号のデータに画像処理として、空間フィルタ処理を施し、映像の特徴を強調した。アスペクト角を一例に上げれば約10度の誤差の範囲で推定が可能である。

#### Creation of Ship's Picture from Radar Echoes and New Attractive Display Techniques、

林尚吾、井手麻奈美、

1991年10月、IAIN '91 The 7th International Congress、

海上や陸上での基礎的なレーダ反射信号の多数の観測結果を基礎として、対象とする船舶のレーダ映像から、その船舶のアスペクト角、大きさ、船形、さらに船種を推定できることを示した。レーダ反射信号のデータに画像処理の空間フィルタ処理を施し、映像の特徴を強調して、対象船舶の船種や総トン数を推定できる。その結果をコンピュータ・グラフィクスとして模擬映像で鳥瞰図に表現を試みた。

#### レーダ信号からの船舶映像の作成と新しい表示方式、

林尚吾、井手麻奈美、

平成4年6月、日本航海学会誌「航海」第112号、

IAIN '92で発表した同名の論文を日本語で紹介したもの。

(第6章に関する著者の発表論文等)

走錨の発生に関する調査研究,

林尚吾、関根松夫、大沢謙一,

昭和61年3月, 昭和62年3月, 昭和63年3月, (財)日本航路標識協会,

走錨の発生を事前に予測して、荒天の準備や転錨することは海難防止上きわめて重要なことである。走錨事例の調査研究により原因の解析を行い、走錨確率の算出を試みた。

走錨監視レーダについて,

林尚吾、飯島幸人,

昭和62年4月, (社)電子通信学会 宇宙航行エレクトロニクス研究会

SANE87-2,

錨泊中に錨が引けて流される(走錨)と極めて重大な海難事故を引き起こす。本研究は陸上からのレーダによる錨泊船の監視により積極的に走錨を発見して、対象となる船舶に警告を発するためのレーダ・システムについて研究した。走錨の検知には海面反射雑音の抑制と除去がシステムの良否を決める重要な要素である。海面反射雑音の除去には、スイープとスキャンの2つの相関処理により効果を上げた。走錨の検知には位置の変化を2重ガードリング方式で処理するのが効率も良く簡便である。

レーダによる走錨検知の可能性について,

山田多津人、飯島幸人、林尚吾,

昭和63年8月, 日本航海学会論文集、第79号,

レーダ反射信号のパソコンによる処理で走錨状態を監視する方式について述べた。走錨の検知には対象船の振れ回りのほかに風に対するアスペクト角の検出が重要である。

座礁予防システムによる航路監視実験 —レーダ映像マッチング方式の測位システムへの応用—,

林尚吾、桑島進、外岡幸吉、山崎寿男、村瀬博司,

平成2年9月, 日本航海学会論文集、第83号,

座礁予防システムとしての基本的要求機能は、自動的な船位の確認と障害物の認識である。障害物のデータは一般の海図をもとにデジタル海図を作成した。位置の測定はロランCあるいはデッカ航法による位置を概略位置として使用し、精確な船位の測定をレーダ映像とデジタル海図とのマッチングで行った。陸岸の条件によって精度が左右される。

A Stranding Avoidance System Using Radar Image Matching —Development and Experiment—,

林尚吾、桑島進、外岡幸吉、山崎寿男、村瀬博司,

1991年7月, Journal of Navigation (英国) Vol.44 No.2,

座礁予防システムとしての基本的要求機能は、自動的な船位の確認と障害物の認識である。障害物のデータは一般の海図をもとにデジタル海図を作成した。位置の測定はロランCあるいはデッカ航法による位置を概略位置として使用し、精確な船位の測定をレーダ映像とデジタル海図とのマッチングで行った。陸岸の条件によって精度が左右される。

(第7章に関する著者の発表論文等)

The Study on an Intelligent Ship Toward Twenty-first Century,

飯島幸人、林尚吾,

1988年2月, IAIN-88 International Navigation Congress,

知能を基礎とした無人化航行船の研究開発の実施状況を述べた。知識データ・ベースと知的判断処理による船舶運行システムの全般について詳細に研究した。

高度知能化船の無人化の研究,

飯島幸人、林尚吾、鈴木努、荒井郁男、鈴木裕、浜田悦之,

昭和63年3月, 昭和62年度科学研究費補助金(総合A)研究成果報告書,

船舶の無人化運航を目標として、総合的知能化のための船舶自体の知能化、陸上支援、人工衛星による情報提供など広範囲にわたって調査研究を行った。

次世代航法技術の展望,

林尚吾,

平成元年5月, 日本航海学会創立40周年記念シンポジウム招待論文,

次世代における航法技術は、現在の自立航法に陸上からの情報支援に支えられた自律航法に展開されるべきであることを述べた。外部からの支援電波によらずに自船の位置を測定できる能力は重要である。その能力に加えて、目的地まで自分で判断しながら誘導できる機能が今後必要となる。

Study towards at 21st Century Intelligent Ship,

飯島幸人、林尚吾,

1991年7月, Journal of Navigation (英国) Vol.44 No.2,

知能を基礎とした無人化航行船の研究開発の実施状況を述べた。知識データ・ベースと知的判断処理による船舶運行システムの全般について詳細に研究し、シミュレーション実験まで実施した結果を述べた。

#### 次世代の海上航法技術の展望,

林尚吾,

平成5年5月, 電子情報通信学会 宇宙航行エレクトロニクス研究会技術報告SANE93-4,

次世代は「自立航法」に加えて、自分では収集不可能な外部からの情報で支援されながら、自己誘導機能によって目的地へ向かって航行していく「自律航法」へと進む。自律には規範性を持った判断機能が不可欠である。また人間の視覚に相当するレーダについて、最新の外国における物標識別の方式も、著者のこれまでの研究成果と併せて紹介した。

#### 付録1に関する著者の発表論文等

##### レーダ・アスペクタの開発,

飯島幸人、林尚吾,

昭和51年1月, 日本航海論文集, 第54号,

レーダ・アンテナの回転角度比例して、送信パルスの繰り返し周波数を変化させる。この送信パルスを受信してパルス繰り返し周波数を測定するだけで即座にその相手船のアスペクト角を知ることができる。実験装置を試作し海上実験を実施し、実用上支障の無い良好な結果が得られた。

##### レーダ・アスペクタの研究(2),

林尚吾、飯島幸人、下山松太郎、杉山利博,

昭和54年2月, 日本航海学会論文集, 第60号,

レーダの送信パルスの周期をアスペクト角に対応して変化させる方式でのデータ伝送方式を改良した。新しい方式では約1000マイクロ秒の周期の下位2桁を制御してデータを伝送する方式を開発した。この2桁の内容に針路、速度およびその他の情報たとえば右転、左転あるいは減速などの操船意志情報なども含め、情報量の増大を行った。さらに自動呼び出しや自動情報交換も含めたレーダ通信システムを試作し、室内実験で実証した。

##### シヨードビジョンシステムの研究,

庄司和民、飯島幸人、林尚吾、鈴木努、荒井郁男、鈴木裕、浜田悦之

昭和58年3月, 昭和57年度科学研究費補助金(総合A)研究成果報告書 船舶へ安全航行のための映像情報を陸上から伝送するシステムについて体系的に研究した。このシステムは自船の周囲を航行する船舶の種類、針路、目的地、危険物の搭載の有無、陸岸や航路、障害物の状況および自船の現在位置をテレビ放送を受信するような簡便さで情報が受けられる。このような情報伝送システムの技術的な研究開発を行った。

##### マリトラビジョン・システムの研究,

庄司和民、飯島幸人、林尚吾,

昭和59年2月, 東京商船大学第32回学術講演論文集,

船舶へ安全航行のための映像情報を陸上から伝送するシステムについて体系的に研究した。このシステムは自船の周囲を航行する船舶の種類、針路、目的地、危険物の搭載の有無、陸岸や航路、障害物の状況および自船の現在位置をテレビ放送を受信するような簡便さで情報が受けられる。このような情報伝送システムの技術的な研究開発を行った。さらに人間の心理的な要素への影響も含めて発展させ、室内実験によるデータ伝送や表示方法の改良に関する結果を述べた。

陸上レーダによる船舶識別装置に関する研究、

林尚吾、松代寿治、広田直照、

平成2年3月から平成4年3月まで（3年度間）、（財）日本航路標識協会  
小型船や遊漁船はレーダで発見しづらく、また通信システムも満足なものを搭載  
していないことが多い。そのため海難の回避や危険状態を陸上から知らせるとき  
にも船名がわからず、海上での安全確保に何等かの対策が要求されている。そこ  
で簡便な自動識別装置を各船舶に搭載させ、陸上の監視（管制）レーダで監視す  
るシステムについて、船舶側および陸上側のシステム全体について研究調査を行  
った。

## 付録2に関する発表論文等

橋がレーダ映像に及ぼす影響について、

飯島幸人、林尚吾、阿土拓士、中島裕、藤井英信、佐藤徹郎、  
昭和51年11月、日本航海学会誌「航海」第50号、

現在架橋されている橋についてのレーダ映像の調査を行い、不要映像や映像妨害  
（偽像）等の実態をきゅうめいするとともに、この問題についての注意を喚起した。  
また橋の周辺に置けるレーダの使用について警告を与え、あわせて障害を除去す  
るための対応策についての方向を示唆した。

偽像調査用レーダの開発、

林尚吾、庄司和民、飯島幸人、

昭和54年2月、昭和53年度東京商船大学学術講演会

橋梁が原因となって発生するレーダ偽像について、その発生機構を定量的に解明  
するにあたって、現に発生している偽像の強度を正確に測定する目的と、その他  
必要なデータを得る目的に適したレーダの開発指導を行った。この偽像調査用  
レーダを使用して、レーダ偽像の発生予測と予測結果の評価が実施されている。

橋梁におけるレーダ偽像低減のための電波吸収材の貼付効果、

林尚吾、飯島幸人、平野弘昭、

昭和57年12月、東京商船大学研究報告、

因島大橋に実際に使用されるIブロックを使用して電波吸収材を貼付したときの  
レーダ偽像減少効果についての確認実験を行った。前面主構トラス上下弦材およ  
び垂直材に貼付したときに効果が大きく、その効果は約7dBであった。その  
他の部材に貼付した効果はあまり無かった。多重反射偽像については橋梁の内部  
の部材および横構に貼付したときに大きな効果があった。

橋からのレーダ反射パターンおよびその反射断面積について、

庄司和民、飯島幸人、杉崎昭生、今津隼馬、林尚吾、木村小一、鈴木努、  
荒井郁男

昭和53年8月、日本航海学会論文集、第59号

橋梁に起因するレーダ偽像の発生機構の理論的研究を行うためには、橋梁のレー  
ダ反射パターンを知る必要がある。そのため実際の橋のバスタック反射断  
面積の測定を実施した。橋を等価的な矩形平板として表現することにより、任  
意の入射条件における反射断面積を求めることが可能であることを示した。

### 橋によるレーダ偽像の理論的考察,

鈴木努, 荒井郁男, 木村小一, 庄司和民, 飯島幸人, 杉崎昭生, 今津隼馬, 林尚吾,

昭和53年8月, 日本航海学会論文集, 第59号

橋に起因するレーダ偽像の受信電力レベルを求めるレーダ方程式を導き, その受信レベルを計算するために必要な橋のレーダ反射断面積を理論的に求める方法を考察した。その結果, 橋を矩形平板の集合体として考え, 実際の部材と理想平板との差異は変換係数の導入で近似できることを示した。この計算方法の妥当性は実際の橋での観測結果と比較して確認した。

### シミュレーションによるレーダ偽像発生予測について,

杉崎昭生, 今津隼馬, 庄司和民, 飯島幸人, 林尚吾, 木村小一, 鈴木努, 荒井郁男,

昭和53年8月, 日本航海学会論文集, 第59号,

レーダ偽像の発生機構を解明し, これをモデル化して一般化を計るべく研究調査を行った。基本的な方法としてモデルを作成し, シミュレーションを実施して, 現実と比較しながらモデルを修正する技法をとった。モデルはできる限り一般化されたものとなるように考慮した。大三島橋周辺の海域を対象にした偽像予測シミュレーションを試みたが, 今後のけんとうしだいで十分に実用に供せられる段階に到達できる。

### 副生フェライトによるレーダ偽像減少効果について,

中島裕, 林尚吾, 荒井郁男, 佐藤尚登, 田原正信,

昭和55年2月, 日本航海学会論文集, 第62号,

現在, 既に完成し, あるいは完成しつつある橋梁にもレーダ偽像対策が可能な方法として橋梁を構成する部材に何等かの表面処理を施工し, レーダの電波を吸収させる。そうして橋梁のレーダ副生フェライト塗料による表面処理による減少効果は往復で2.2 dBであった。

### レーダ偽像対策用多段斜面構造のレーダ電波の反射特性,

林尚吾, 飯島幸人, 平成2年3月,

日本航海学会論文集, 第82号,

本州四国連絡橋の一つである南北・備讃瀬戸大橋のアンカレッジはその物理的の大きさがきわめて巨大になることから, レーダ偽像の発生に重大な影響を及ぼす。その対策としてアンカレッジの側面に3メートル程度の幅で斜面の構造を連続的に構成させることで, レーダ電波を上空に散乱させる対策を実施した。本論文はその基礎的調査研究部分から具体的な実施結果までを総括的に述べ, 多段斜面

構造のレーダ偽像に対する効果を示した。効果は片道で3~17 dBと大きな開きがあったが, 場所や距離によって異なると考える。この対策方法は使用するレーダの周波数に依存しない利点がある。

### 橋および架空電力線がレーダ映像におよぼす影響について,

巻島勉, 林尚吾, 他7名, 東京湾船舶航行調査報告書 (昭和50年度), 昭和51年3月, 東京商船大学船舶運行研究施設,

橋および架空電力線がレーダ映像におよぼす影響について, 実地調査および対策につ理論的な調査検討を担当, また, 導灯による重視線による船位測定の精度に関する報告を行った。

### 架橋がレーダ映像におよぼす影響調査,

庄司和民, 飯島幸人, 杉崎昭生, 今津隼馬, 林尚吾, 鈴木努, 荒井郁男, 木村小一,

昭和52年3月から現在まで (18年間),

架橋がレーダ映像におよぼす影響調査報告書, (社)日本海難防止協会  
本州四国連絡橋の架橋に伴うレーダ偽像の問題を研究, 調査したレーダ偽像の発生機構の詳細な理論解析と, 橋梁のレーダ反射断面積の測定を行った。その結果, 設計段階にある橋梁におけるレーダ偽像の発生予測シミュレーションが可能になり, 設計変更やレーダ偽像の発生を低減する予防対策の検討も可能となった。本州四国連絡橋の架橋の全てについて, 架橋前, 架橋中および架橋後にわたって研究, 調査および報告した。

### 橋のレーダ偽像対策の基礎的研究,

巻島勉, 林尚吾, 他7名, 東京湾船舶航行調査報告書 (昭和53年度), 昭和54年3月, 東京商船大学船舶運行研究施設

橋のレーダ偽像対策の基礎的研究を担当し, 単純な形状の平板のバスタチックレーダ反射断面積の屋外測定を実施し, 理論的推定結果と比較した。理論結果と優れた整合を示せたことから, 複雑な形状のため理論的な計算が容易ではない反射物標に対して, 実験的に反射断面積を求められることを示した。

### レーダ偽像を減少させる工法の実際の効果の調査,

中島裕, 林尚吾, 荒井郁男, 佐藤尚登, 田原正信,

偽像減少工法現場実験報告書, 昭和54年3月, (財)海洋架橋調査会,

レーダ偽像を減少させる工法の実際の効果を調査するための野外実験を本州四国連絡橋として初めて架橋された大三島橋で行った。塗料型電波吸収材を使用したレーダ偽像減少工法を採用した。実験計画の立案から, 測定, 工法指導, 評価

判断の全般にわたって参画し、研究結果を報告した。

#### 橋梁構造によるレーダ電波障害軽減策の検討、

柳井久義、大越孝敬、菊池和郎、林尚吾他

昭和54年3月から平成元年7月まで（12年度分）、

橋梁構造によるレーダ電波障害軽減策の検討報告書（財）海洋架橋調査会、

橋梁の建設が原因となるレーダ偽像の発生を低減させるために、基本的にレーダ偽像が発生が少ない構造を研究すると共に、既存の橋や構造的にレーダ偽像の低減策が採用できない部分に対する電波吸収材での対策など広範囲にわたって調査研究した。対策の一方策として研究調査されたアンカレッジの側壁に対する多段斜面構造による対策手段は環境対策の面からも評価が高い。耐候性の高い薄い電波吸収材の開発も行い、本州四国連絡橋の一部に施工されている。レーダ偽像の低減対策として検討された各対策手段の全てについて、詳細な検討と現地実験によって研究解析及び評価がなされており、本研究報告の対策は国内のみならず国際的にも基準となるであろう。

#### 橋のレーダ偽像対策、

巻島勉、林尚吾、他7名

昭和56年3月、東京湾船舶航行調査報告書（昭和55年度）、

東京商船大学船舶運行研究施設、

橋のレーダ偽像対策を担当し、単純な形状の平板のバイスタチックレーダ反射断面面積の屋外測定を実施し、理論的推定結果と比較した。さらに複雑な形状を持つ物標（橋）の測定理論結果と優れた整合を示せたことから、複雑な形状のため理論的な計算が容易ではない反射物標に対して、実験的に反射断面面積を求められることを示した。

#### 東京湾横断道路の建設にともなうレーダ偽像の発生予測、

林尚吾、木村小一、

昭和60年3月、東京湾横断道路が船舶用レーダ映像におよぼす影響の調査報告書、（社）日本海難防止協会、

東京湾横断道路の建設にともなうレーダ偽像の発生を予測し、必要に応じてレーダ偽像の対策を検討した。検討の基礎データとするために周辺の物標のエコーレベルマップを作成した。

#### 船舶のアスペクト角の相違によるレーダ断面積の観測調査、

林尚吾、荒井郁男、杉崎昭生

昭和61年6月、東京湾横断道路レーダ映像調査報告書、（社）日本海難防止協会、

東京湾横断道路は湾内の中央部分に大きな人工島が建設される。この人工島と付近を航行する船舶との間でレーダ偽像が発生する恐れがあるので、基礎データとして船舶のアスペクト角の相違によるレーダ断面積を観測調査した。また、レーダ偽像の発生予測について報告した。

#### レーダ偽像の発生予測、

林尚吾、荒井郁男、杉崎昭生、

昭和63年6月、東京港連絡橋に関する船舶航行安全対策調査報告書、（社）日本海難防止協会、

東京港に建設される連絡橋が原因となって発生するレーダ偽像について事前に発生の予測を行った。その基礎データとなる橋周辺のレーダエコーレベルマップを観測に基づいて作成した。

## 著書

### 双曲線航法指針

共著 昭和52年4月 海文堂出版

双曲線航法の中のロランAおよびロランC航法システムについて詳細に解説した。本書は双曲線航法の全般を詳細にまとめた唯一のものである。(飯島幸人、鈴木努、今津隼馬、林尚吾、塚田一雄、野口努、藤原雅一、山越芳郎、木村小一、鈴木裕)。

執筆部分は27-31、36-46、54-58、62-66、67-69、71-76の各ページ。

### 新訂「航海ハンドブック」

共著 昭和52年9月 成山堂

新訂に際して航海計器関連の最新電子回路、論理回路および集積回路について執筆した。執筆部分は105-118ページ

### 航海システムとコンピュータ

単著 昭和62年7月、東京商船大学公開講座教科書

船舶の自動化、特に船橋の自動化と無人化について解説した。さらに知能化への発展を述べ、将来の船舶技術の発展、展望を述べた。このような技術の現段階での結晶として「汐路丸-3世」について詳細に紹介、解説した。

### 基本航海用語集

共著 平成5年5月 海文堂出版

日本航海学会の航海用語委員として、10年間にわたる委員会活動で航海計器および航法支援システムに関する用語の執筆を専任となって担当した。

## 〈その他の発表論文等〉

### 船舶自動誘導システムのシミュレーション、

鈴木努、荒井郁男、飯島幸人、林尚吾、他、

昭和50年8月、電子通信学会

狭水道における電波式船舶誘導方式の基礎研究と模型船を使ったシミュレーションを行った。外乱のある環境中での誘導制御実験で多数の船舶の誘導が可能である事を検証した。

### FMビート方式による双曲線航法システム、

鈴木努、荒井郁男、飯島幸人、林尚吾、

昭和51年3月、電波航法研究会

狭水域用の電波航行援助方式として、放射範囲の調節が容易なマイクロ波を使用したFM-CW波による測距技術を応用した航法システムを開発した。このシステムは利用者である船舶側ではビート周波数を測定できる簡単な受信装置だけで自船の位置が求められる利点がある。理論の提案と模型船を利用したシミュレーション実験を実施し、実用の際に改善されるべき点を明らかにした。

### ガン・ダイオード発信器の航海への応用、

飯島幸人、林尚吾、

昭和51年11月、昭和51年度東京商船大学百周年記念学術講演会

狭水道を航行する船舶において、レーダは不可欠の装備であるが、狭水域における航行管制および情報システムとして発展させるには、簡便に利用できる航行援助システムの開発が大きな要素となる。その目的のためにレーダの周波数帯でマイクロ波を発振できるガン・ダイオードを使用した小型送信器を設計し、救命用ビーコン、トランスポンダおよび船舶誘導用コースビーコンを試作開発して、その有効性を海上実験で実証した。

### 距離測定ロラン受信機の研究と実船実験、

今津隼馬、林尚吾、

昭和51年1月、日本航海学会論文集、第54号

距離測定方式によるロラン受信機に関する基礎研究を行い、ロランCにおける精度と利用範囲を研究した。弱い地表波による観測や日没時等の従来では測定に不適な条件の時にも比較的精度の良い測定が可能であることを実船実験から得た。

### ロランC受信波形と時間差測定方法の研究

今津隼馬、林尚吾

昭和51年12月、日本航海学会論文集、第56号

ロランCでの船位測定においては、距離測定ロラン方式を使用し、波形処理による雑音の除去および複数サイクルの追尾による最適測定点の決定等を行えば、非常に高精度に測位が可能であることを述べた。

### 導標による位置の線の精度

巻島勉、今津隼馬、林尚吾

昭和51年12月、日本航海学会論文集、第56号

導標は精度の良い位置の線を得る便利な航路標識であるが、これまでその精度の研究は皆無であった。1対の導標の視差の識別限界角および導標の前後距離と観測者と導標までの距離との比から指導線からの偏位について仮説をたてた。検証は海上実験で行い確認された。仮説にもとづいた簡略式で実用的には十分であることも示した。

### マイクロ・プロセッサによる簡易型速度計

林尚吾、杉崎昭生

昭和53年2月、日本航海学会論文集、第58号

航海用機器の性能向上に応用されるマイクロ・プロセッサの一例として簡易型速度計を提案した。プロペラ回転数を計測し、プロペラのピッチ、スリップ率等を動的に考慮することによって増減測時にも0.5ノット程度の誤差で速度を指示できることを示した。

### 中心固定円形走査2アンテナ法によるテレビ・ゴースト波測定システム

林尚吾、溝口祥一、松尾達郎、渡辺広次、原島博、宮川洋

昭和55年3月、昭和55年度電子通信学会全国大会

テレビジョン放送のゴースト波障害対策として、ゴースト波の到来方向の測定は重要な要素である。この測定のために中心固定2アンテナ法を用いた開口面合成により等価的に鋭いビームが得られる測定システムを開発した。超高速A/Dコンバータとマイクロ・コンピュータを中核とする自動測定システムである。

### 中心固定円形走査2アンテナ法によるテレビ・ゴースト波の測定

林尚吾、溝口祥一、松尾達郎、渡辺広次、原島博、宮川洋

昭和55年7月、テレビジョン学会創立30周年記念全国大会

上述のシステムを使用して、テレビ・ゴースト波の方位測定を実施した。その結果、数度～10数度の半値幅で到来方向の測定ができた。

### 総合信号実習システムについて

林尚吾、屋代勉

昭和56年9月、日本航海学会論文集、第65号

船舶間の通信として使用される手旗信号やモールス信号について、信号法の修得のための教育方法をハードウェアおよびソフトウェアの両面から検討し、システム化した結果の第1報である。

### 通信実習教育方法の改善とその成果について

林尚吾、屋代勉、小山悟郎

昭和59年2月、日本航海学会論文集、第69号

総合信号実習システムをさらに充実し、視覚的教育法も導入した。信号法の教育方法について体系化した教育方法と従来形式による方法との教育効果の比較調査を行った。きわめて優れた効果があったことから、現在では商船教育の各学校において、著者らが開発した総合信号実習システムでの教育が標準化してきた。

### 航海技術の教育とマイクロ・コンピュータ

林尚吾

1984年11月、日本・中国合同講演会講演要録(中国語)

航海技術を支える各種航海計器には、多数のマイクロ・コンピュータが応用されている。このように高度化しつつある工業技術を航海学を専攻する学生に教授する方法について研究し、具体的な実施例を述べた。

### 航海技術の教育とマイクロ・コンピュータ

林尚吾

昭和60年2月、日本航海学会誌「航海」第83号

上記の論文を日本語で述べたもの。

### Basic Experiment on High Precision Positioning and Speed Measuring Using GPS

林尚吾、井手麻奈美、上野まみ、飯島幸人、加瀬順一、菊岡仁  
平成3年2月

The 6th Okhotsk Sea and Cold Ocean Research Association

GPSの移動体における走行中の測位精度を評価し、氷海中の氷山や流水の移動量の測定、あるいは陸上における微小な移動量の測定、無人探査船や漂流浮標の位置測定などの利用に関して、実験観測から得られた基礎的な知見をのべた。

Land-Based Evaluation on Dynamic Accuracy in Position Provided by Global Positioning System,

上野まみ、林尚吾、井手麻奈美,

1992年3月, IEEE '92 Position Location and Navigation Symposium

これまでの観測結果は固定点での観測結果ばかりである。この研究は、これまで実験が困難であった移動しながらのGPSによる測位結果をきわめて精度の高い推測航法装置で比較測定した結果を述べている。短時間内ならばCEPで数メートル以内の精度が得られたことから、自動離着岸システムへの応用に展開した。操船方式は水先案内人の操船技術を模擬したパターン操船方式を提案した。

ディファレンシャルGPSとその応用,

林尚吾、加瀬順一、菊岡仁,

平成4年3月, 日本航海学会誌「航海」第111号

GPSに選択利用性による精度劣化がつけられて以来、測位精度の劣化が問題となっている。その対応策の一つとしてディファレンシャル方式が注目を集めている。本報告はその方式の概要を解説し、自動車を使用した実験結果を提示しながら、今後の課題について述べた。

