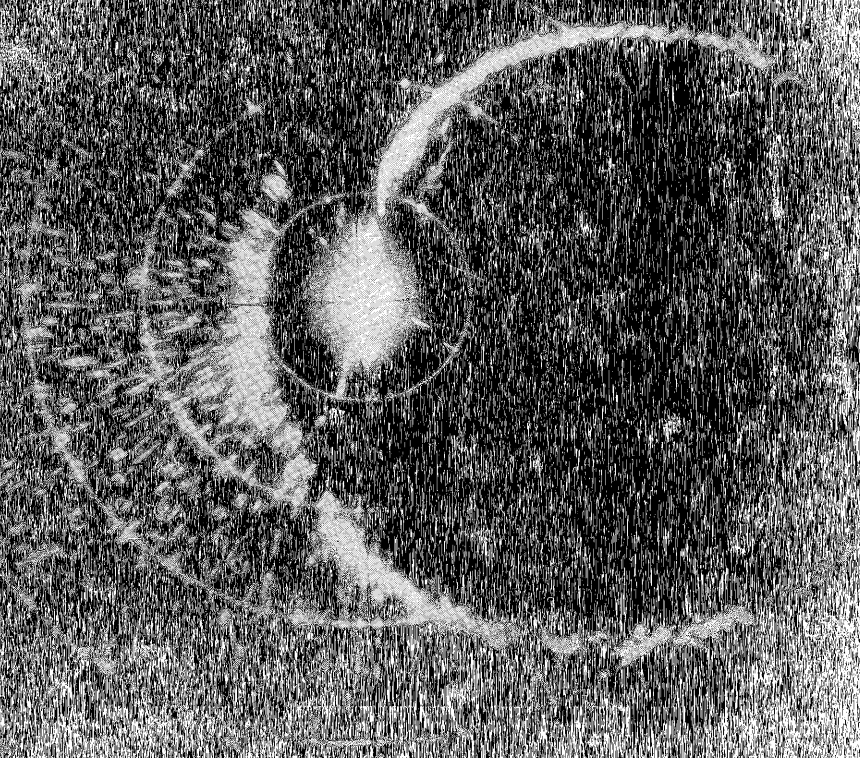


ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

# 電波航法



JACRAN 23

1978

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee  
for Radio Aids to Navigation

# DL91型全自動ロランC受信機

## CBL-101型ロランC用緯経度換算器

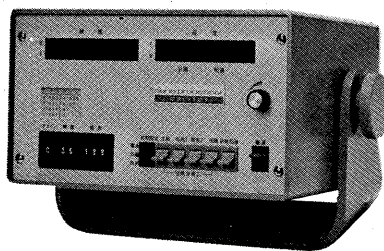
当社は、DL91型全自動ロランC受信機の賃貸販売に続いて、このたび、CBL-101型ロランC用緯経度換算器を開発し、賃貸、販売しております。



- 米国コーストガードの  
必要条件を満足
- 高精度
- 二つの位置線をデジタル  
で同時表示
- 小型軽量(10kg)
- 低消費電力(AC.50VA)

DL91型ロランC受信機から二つの位置線情報を受けて、自動的に緯・経度値に換算し船位を表示するとともに、針路、船速を表示することができます。

- 操作簡単
- 針路・船速表示
- 計算速度約1秒、精度は  
大型コンピュータに匹敵
- 小型、軽量(7.6kg)
- トラニオンマウント
- 低消費電力(30VA)



**セナー株式会社**

本社 東京都千代田区幸町 2-1-1 TEL (03) 502-1881(代表)  
506-5331

札幌営業所 札幌市中央区南1条西1-1(東ビル) TEL (011)231-8421(代表)

仙台営業所 仙台市中央2-8-16(仙台東京海上ビル) TEL (0222)63-0171(代表)

神戸営業所 神戸市生田区栄町通 3-11(大栄ビル) TEL (078)331-7292(代表)

福岡営業所 福岡市中央区天神 1-14-16(三栄ビル) TEL (092)711-1451(代表)

# —目 次—

## CONTENTS

|                            |                                                                            |                                            |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 卷 頭 言                      | 会長に就任して……………                                                               | 会 長 茂 在 寅 男…( 2 )                          |
| Foreword                   | The Address of the President                                               | President Torao MOZAI                      |
|                            | 会長を退任して……………                                                               | 前会長 松 行 利 忠…( 3 )                          |
|                            | The Address of the Former-President                                        | Former-President<br>Toshitada MATSUYUKI    |
| 講 演                        |                                                                            |                                            |
| Lecture                    |                                                                            |                                            |
|                            | 電波航法研究会の歩み……………                                                            | 松 行 利 忠…( 4 )                              |
|                            | A History of the Japanese Committee for Radio<br>Aids to Navigation        | Toshitada MATSUYUKI                        |
|                            | 航空航法の将来……………                                                               | 安 積 健 次 郎…( 7 )                            |
|                            | A Future View of Air Navigation                                            | Kenziro AZUMI                              |
|                            | 航海の将来……………                                                                 | 庄 司 和 民…( 12 )                             |
|                            | A Future View of Sea Navigation                                            | Kazutami SYOJI                             |
| 研 究 調 査                    |                                                                            |                                            |
| Research and Investigation |                                                                            |                                            |
|                            | 日本及び米国における航空機衝突防止装置の開発……………                                                | 岡 田 和 男…( 16 )                             |
|                            | Developments of Aircraft Collision Avoidance System<br>at Japan and U.S.A. | Kazuo OKADA                                |
|                            | レーダ航法における避航と危険度……………                                                       | 今 津 隼 馬…( 25 )                             |
|                            | Evasive Maneuvers and Collision Risk on Radar Navigation                   | Hayama IMAZU                               |
|                            | 救難用レーダビーコン……………                                                            | 木 村 貴 則…( 31 )                             |
|                            | Radar Beacon for Rescue Operation                                          | Yoshinori KIMURA<br>古 東 啓 吾<br>Keigo KOTOO |
|                            | 捜索用ラジオブイの開発……………                                                           | 長 町 耕 一…( 36 )                             |
|                            | Developments of Radio Buoy for Search and Rescue                           | Koichi NAGAMACHI                           |
| 会 告                        | ……………                                                                      | ( 6 ), ( 24 )                              |
| Announcement               |                                                                            |                                            |

# 巻 頭 言

(FORWORD)

## 会 長 に 就 任 し て

会長 茂 在 寅 男  
President Torao MOZAI

先日総会で私は突然本研究会の会長に推薦され、極めて光栄のことと存じお引き受け致しましたが、実を申しますと、今回の会長指名というものは、自分自身全く予期していない所のものでした。

私が本会で長年の幹事勤務をしたあと、副会長に就任したのは昭和 39 年の春でした。それによって、当時の松行利忠会長のもとに、岡田実先生と私の 2 名が副会長となり、岡田先生が空を、私が海を担当という形の態勢を作り、若いエネルギーを注いで多くの企画に挑んだものでした。しかし昭和 45 年になると、私は本職勤務先の東京商船大学で航海科長になり、その方の仕事で当時の学園環境の中では非常な激務であったため、その機会に、有能なる後輩である庄司和民氏を副会長に推薦して、私は推薦会員という立場に退かして頂いたのです。

ところが今年の春に私は東京商船大学を定年退職し、東海大学海洋学部教授に職を変えたため、勤務時間も少くなり、やっと自分自身の時間を幾ぶんなりと持てるようになったのですが、その時点での今回の会長指名です。本当のところ、私は心が動揺するのを大きく感じました。しかしその心の動きというものを、もう一度冷静に見直してみますと、それは決してマイナスのものではなく、今まで私の心の中で静かに眠っていた「やる気」なるものが、とたんにむくむくと頭を持ち上げて来たことの意識であることに気付いた次第です。

「やる気！」それが命ずるままに、私は私の任期中を通じて行動したい。そのことが会長就任に当たっての私の気持ちであることを、先ず申し上げて就任の御挨拶にしたいと思います。

私としては暫くの間オフラインの立場に位置し、距離をおいて視線の焦点を合わせることでよって、本会の現在の姿を見直すことができたような気がします。その点について述べますと、

(1) 国際的活動にもっと力を入れるべきではないだろうか。

(2) 会にあらためて若いエネルギーを注入する努力をすべきではないだろうか。

などの点は要点といえましょう。例えば、最近における日本の電子航法関係の技術の発達には、世界の注目を浴びるに値するものが多いので、これを広く披露する努力などは大いにしたいものです。また会の運営に、現在よりも更に一段の若手も加えて当らせ、これを育て、次の発展への原動力を培う努力をすべきではないかと思う次第です。今後あらゆる点で会員諸賢の御協力をお願い申し上げたいと思います。

最後に、今まで長期にわたって本会の発展のために御尽力頂いた前会長松行利忠先生と前副会長岡田実先生に、心からの謝意を表明する次第であります。

## 会 長 を 退 任 し て

前会長 松 行 利 忠  
Former-President Toshitada MATSUYUKI

私は去る6月をもって、本会会長を退任致しました。顧みれば、私が前会長の鯨島先生の後を承けて、会長に選任されましたのは、昭和38年5月でありましたから、その間ちょうど14年になります。この長い期間に亘って、何とかお役目を勤めさせていただいたのは、幹事ならびに事務局の方方のご支援と、会員各位のご協力の賜でありまして、ここに改めて心からお礼を申し上げます。私の後には、東京商船大学名誉教授で、もと本会副会長を勤めていただいた茂在寅男先生が、ご就任になりましたが、先生は人格識見ともに勝れた斯界の権威であられ、お顔も広く、本会のことについては、既によくご承知のこと故、会長として誠に申し分のない方と存じます。また副会長ほか新スタッフの方方は、何れも会の運営に熱心で、かつ充分ご経験済みでありますので、私は本会のため真に喜ばしく思う次第であります。

ご承知のように、本会は昨年度をもって創立25周年を迎え、この3月記念行事がとり行なわれましたが、私は昭和26年9月、本会の創設にあたり、発起人の一人として参加しました関係上、当時を想起しまして、うたた感慨無量の思いを致しました。その頃のわが国は、敗戦後の被占領下にあり、少ない情報源を通して、辛うじて手に入れたレーダとロランに関する技術情報を中心として、これからのわが国の海上安全を考えようという、いわゆる勉強会といった形のスタートであつた話であります。海上保安庁の肝入りで成立したものの、予算の裏付けもなく、極めてひ弱な体質であつたのが、昭和32年に会費制会員組織による任意団体としての現在の姿に改変され、これが本会が4半世紀に亘って存続し得た基盤となつたのであります。じ後本会は、わが国における電波航法に関する唯一の研究団体として、急速なエレクトロニクスの発達と歩調を一にして進んで参りました。昭和39年頃には航空会社を会員として迎え、海・空を一貫した電波航法を研究対象とするよう内容の充実を見ましたが、昭和40年には、会の機構を強化してその運営を円滑にするとともに、社会的な地位を高めようとの趣旨で、法人化の議が起りました。すなわち社団法人としての資格を持つべく、運輸省と幾度か話会いを進めたのであります。結局諸種の事情から、一応中断のやむなきに至りました。今から振り返って誠に遺憾で、申し訳ないと思っています。

昭和41年には、事務局をお願いしていた海運局海務課が、行政機構改革で廃止されるという事態に遭遇しましたが、これは海上保安庁電波標識課で温かく引き受けて下さることになり、解決を見て今日に至っています。

こうして見て来ますと、本会は本会なりに、いろいろと迂余曲折を経て参りましたが、会員各位のご熱意と、関係方面のご配意により守り育てられて、今日に至った次第でありまして、ここに改めて敬意を表します。

電波航法界も、いよいよ全地球的な性格を濃くして来ますとともに、海・空・宇宙といった立体的視野に立っての複雑かつ高度の技術が要求されて来つつあることを痛感致します。本会の使命はますます大きくなって行きます。私は本会が新しいスタッフのもとに、さらに一層の発展を続けられ、斯界の期待にこたえられるよう祈ってやみません。



Lecture

## 電波航法研究会の歩み

前会長 東洋大学 松 行 利 忠

### A History of the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation

Former President and Professor of the Toyo University

Toshitada MATSUYUKI

「電波航法の歩み」という題でお話をしろということでしたが、海と空の 25 年にわたる航法をまとめてお話をするという事は、私にとってまことに荷が重いと感じまして、本日はちょうど本会の 25 周年の会でございますので、「電波航法研究会そのものの 25 年の歩み」をふり返って見て、本会の今後の活躍に資する良い機会といたしたいと考え、勝手ではございますが変更させていただきました。お許しを頂きたいと思ひます。

古い話にさかのぼりますが、昭和 20 年に終戦迎え、日本は被占領という状態に置かれました。平和の海は戻って参りましたが、航路標識は戦災でいたみ、機雷はずい所に残っているという状態で、日本近海はまだ危険が一ぱいでありましたが、一方、外国ではレーダが早くも民間用に転用されて、航海用のレーダがすでにできているとい報も入って参りました。しかし占領中のわが国ではレーダに関して研究、製造、購入、使用のすべてが禁止されていたのは、おそらく、当時の連合軍の軍人たちに、電波兵器というイメージが抜けなかったからであろうと思っております。これに対し、船舶の安全ということで、日本側からのねばり強い陳情が効を奏した結果、昭和 25 年 1 月 18 日付で連合軍司令部から日本政府に、商業的な要求による航行用レーダに限り購入使用を認める、という覚書が発布されました。これは、外国製のレーダを買って使う分には差しつかえないという意味で、早速、国鉄の青函連絡船、三井船舶の船、あるいは海上保安庁の巡視船などに輸入レーダが装備されるというような状態になりました。

越えて、昭和 26 年 8 月 7 日は、その覚書の補足文書の形で、航行用レーダの研究、改良、設計、製造をすべて解禁するという形になり、はじめてレーダの国産化が

認められました。26 年 8 月は電波航法研究会の発足直前で、それから 1 か月して本会が成立したわけですが、その一方で、進駐軍は駐留間もなく日本にロランを持って参り、極東チェーンを形づくり、その 1 局が伊豆の大島にあって、戦時中の所産である双曲線航法が平和目的に使用され、新しい電波航法の胎動といったものを感じさせる状態になっていました。このような情勢のもとで本会が成立したわけで、その後、この会は 3 つの時代を経るという形になりました。その第 1 期は昭和 26 年から 28 年までの初期段階、第 2 期は 28 年から 32 年までの運輸大臣の諮問機関になった時代、それから第 3 期は会員制の任意団体の時代で、これは昭和 32 年から現在まで続いております。

本会の創立にさかのぼって、その間の事情を申し上げますと、昭和 25 年に海務学院の井関先生、今日お見えになっている鮫島先生と庄司先生といった方がたの間で、電子航海計器研究会という会が持たれ、3 回ほど会合があった後に、これを官庁側で主催する公けの研究会にしたいというお話が、そのメンバーの 1 人であった海上保安大学校の菊地教授から、当時海上保安庁の長官付であった私のところがありました。結構でしょうということでお受けをしたのですが、英語で electronic navigation といっていた語の訳に困りまして、一応、電子管航法研究審議会といった名前をつけて、その設立趣意書の素案を作りましたが、当時、予算の伴う「審議会」は各省や庁に 1 つずつに限るという政府の申合わせがあって、この希望は取り上げられず、「電波航法研究会」という形にならざるを得なかったわけです。

こうして、予算の裏付けなしで出発しましたが、そのメンバーとしては、官界、学会および民間から広くお願をすることにして、準備のための第 1 回の会合をもっ

たのが昭和26年9月25日でした。海上保安庁の第2会議室に集って頂いたこの会合の席上で東京大学教授の古賀逸策先生に会長をお願いする、副会長にはわたくし松行がなりまして、運用部会長には海務学院教授の井関貢先生、機材部会長には東京工業大学教授の森田清先生がそれぞれ互選できまして、事務局は海上保安庁海事検査部の海難防止課に置くということになりました。

そのときの会の任務としては、研究会規則の第2条に「研究会は海難事故発生の防止に資するため電波航法に關し左に掲げる事項の調査研究を行う」ということで、

- (1) 電波航法の指導奨励
  - (2) 電波航法用機材並びにその運用の技術的検討
  - (3) 電波航法用航路標識、位置表示標識の充実に關する検討
  - (4) 電波航法を基準とした現行關係法規の再検討
- といったようなことがあげられております。

こうしてスタートしましたが、会には全く予算の裏付けがなく、手弁当で集っていただく勉強会といった形になったわけで、当面の問題としてレーダとかロランとかいったものに関する調査、研究などが取り上げられ、かなり頻繁に会合を持ちました。

この研究会の特色は、ユーザー、メーカー、官界、学会を通じてメンバーが揃っていたことだと思います。そうすることで経過しているうちに、昭和28年度の行政機構改革で、事務局を置いておりました海事検査部の海難防止課が、運輸省海運局海運調整部の海務課に組織換えになり、本省の方に移ったわけでございます。これを機会に、この研究会は従来の勉強会の性格を脱して、運輸大臣の諮問機関にすることになり、昭和28年5月7日に運輸省達12号で性格づけが行われ、再出発いたしました。同年6月3日、早速大臣から「電波航法の普及および発達を計るためには如何なる施策を講ずべきか」といった諮問を頂きました。これは問題が非常に大きいので、研究は続行するが、一応の研究が終った範囲でその都度答申をすることになりました。

この頃に海上保安庁で、米軍が進駐以来設置していたロランの極東チェーンの他に、日本が独自の局を設置する計画があり、それを本会の運用部会で取り上げ、「電波航法施設の総合的な設置計画について」という形で検討をするということになり、かなり急ぐ問題であるので運用部にロラン特別委員会を設けて審議し、昭和29年3月に「対船舶用電波航法施設の方式および種別に関する答申」をいたしました。当時、米軍のロランチェーンでカバーできなかった北海道および三陸方面の海をカバーするために3局構成の新チェーンを早急に整備すべきであるということを要望いたしました。さらに、30年3月に具体的にその3局の候補地の地名をあげて、重ね

て答申をいたしました。その結果、只今の北太平洋ロランチェーンと申しますか、落石、大釜崎、波崎の3局が選ばれて、昭和31年に着工、同34年に完成を見て開局されました。

このほか、海上保安庁の港湾におけるハーバーレーダとか、レーダレフレクタの設置、およびビーコン局の整備と強化などが、この答申にもとずいて行われたわけです。さらに、この答申ではデッカについても言及されており、後にデッカの設置の決定に多分に役立ったということでございます。

一方、発足当時から機材部会で手がけていましたレーダの最低技術基準については、昭和29年3月22日に「3cm帯一般航海用レーダの最低技術基準」を答申しております。この時期はかなりいろいろな問題を審議し検討しておりましたが、研究会という性格では、運輸省としては行政施策の改善に資するという見地で範囲が狭いこと、そして民間側からは民間の需要に対する研究が閉ざされているといった不満があり、結局この諮問機関という形の電波航法研究会は行政簡素化の対象となって、行政機関から外されるという形になりました。これが第2の時代の終りであります。

そこで、この研究会をどうするかということになり、機器メーカーの集りである水洋会で検討して頂きました。当時、本会ではレーダの運用指針という本を編纂中で、関係者が大いに張切っている時期でもあり、ぜひ、この会を存続して行きたいということで、当時の水洋会の事務局長の北田宗一さんのごあっせんで、メーカーの方などから会費を出して頂いて、会を存続させようということで、新しく電波航法研究会規約を作って、任意団体として再出発いたしました。これが、現在の会費納入者が正会員になるという形のはじめです。その後、33年に先程のレーダの運用指針が発刊され、これはかなり評判の良い本ということになりました。

そのあと、外国のこういった航法研究会は海も空も一まとめとなっているということで、ここにお見えになっている空の航法の権威者である岡田実先生に副会長として参加して頂き、海空一体の研究会にしようという方向が定まりました。その後、昭和39年には高船大学の茂在先生に副会長をお願いいたしました。

昭和40年3月には電波航法研究会の強化準備委員会を作りまして、多忙になってきた事務局の仕事を常任幹事で受持って頂くということ、また、小委員会を設けてそこで企画をいろいろ考えるということになりました。その小委員会できりあげたのが、この研究会を法人化しようという問題でありまして、小委員会を「法人化小委員会」にしたわけですが、昭和41年の中頃から42年末にかけて法人化の準備をやりました。最終的には「社団

法人日本電子航法研究協会」を設立しようということ  
で、その定款の案、設立趣意書、役員人事の案、収支予  
算書の案などずつかりでき上り、会長には先程もお名前  
の出ました古賀先生をお願いすることでご内諾も頂きま  
した。

更に運輸省の監督下の法人にしたいということで、運  
輸省も手分けをしていろいろ折衝いたしましたが、こち  
らは海中、海上、空中、宇宙という広い範囲について取  
り組んでいるのに対し、お役所の分野はそれぞれ別の組  
織になっていて、実際に監督に当る部局がきまらず、ど  
うも歯車がかみ合いませんでした。そこで、止むを得ず  
昭和 44 年 3 月 25 日の法人化小委員会での問題を一時  
見送りにいたしまして、依然として任意団体の形で今日  
に到っております。

この法人化の挫折にもかかわらず、その後日本航空、  
全日空などが新メンバーに加入され、また大手の造船会  
社なども正会員に入って頂きまして、会は非常に強化さ  
れるということもございました。こうして本会は名実と  
もに空も海も含めた電波航法研究会という形になりまし  
た。

昭和 46 年は会が発足してから丁度満 20 年に当たります  
ので、その年の 11 月 18 日に 20 年記念の催をいたしま  
した。ご記憶の新たな向きもございましょうが、会とし  
ては思い切った行事を持ちました。それから早くも 5 年  
が経過いたしました。この間は比較的順調でございま  
して、昭和 48 年頃にはレーダの運用指針の改訂をする  
とか、49 年には海上保安庁の方から諮問があって、船

舶接岸速度計について部会を設けて検討の結果、答申を  
いたしました。50 年 6 月には、海上保安庁および日本  
航海学会と共催でオメガシンポジウムを持ちました。同  
年の 8 月末には本会としてははじめての大遠出をして、  
対馬のオメガ局の見学をいたしました。

こうして今日に到っておりますが、現在は総会を年に  
1 回、研究会は原則として年に 6 回、それから見学会を  
秋の時期に 1 回ということに進んでおりますし、機関誌  
は原則として年 2 回の割合で出すこととし、最近号は第  
21 号ということになっております。

こういった出版関係では、先程のレーダの運用指針が  
できたのが昭和 33 年。37 年と 48 年には改訂増補をし  
て出しております。機関誌は昭和 35 年以来、只今申し  
たように 21 冊出しているということです。また、かね  
てから双曲線航法についてまとめた本を本会として作り  
たいということで、今担執筆をお願いしておりました  
が、これがこの 3 月に発刊の運びとなりました。

お陰さまで本会も非常に地道ですが、今日まで電波航  
法の新しいシステムに常に接触を保ちながら活動が続け  
て参りました。今後とも海中、海上、空中、宇宙とい  
った範囲の電波航法について、ユーザー、メーカー、官  
界、学会一体となった独特の組織のもとに、研究を続け  
て行くという体制をとって参りたい、法人化の夢もこの  
際捨てることなく、ぜひ将来の発展を期待したいと考  
えております。会員の皆様には今後とも本会のためにご協  
力を頂き、本会を更に発展させるよう改めて願をいた  
したいと思ひます。

### 電波航法研究会 昭和 51 年度決算報告および予算

| 項 目  |                          | 51年度計算金額             | 52年度予算額      | 項 目  |                     | 51年度計算金額               | 52年度予算額  |
|------|--------------------------|----------------------|--------------|------|---------------------|------------------------|----------|
| 収入の部 | 前年度より繰越                  | 491,603円             | 268,683円     | 支出の部 | 会 議 費               | 82,050円<br>(156,000)   | 146,000円 |
|      | 会 費                      | 871,000<br>(958,000) | 943,000      |      | 資 料 費               | 0<br>(156,000)         | 5,000    |
|      |                          |                      |              |      | 会誌出版費               | 899,500<br>(1,000,000) | 900,000  |
|      | 雑 収 入                    | 7,450<br>(50,000)    | 20,000       |      | 事 務 庶 務             | 26,790<br>(90,000)     | 60,000   |
|      |                          |                      |              |      | 編 集                 | 20,000<br>(35,000)     | 25,000   |
|      | 広 告 料                    | 142,000<br>(284,000) | 314,000      |      | 費 会 計               | 20,000<br>(30,000)     | 25,000   |
|      |                          |                      |              |      | 謝 金                 | 65,000<br>(72,000)     | 69,000   |
| 銀行利子 | 7,090<br>(3,000)         | 10,000               | 通信交通費        |      | 97,020<br>(60,000)  | 100,000                |          |
| 計    | 1,519,143<br>(1,814,103) | 1,556,683            | 25周年記念事業関係経費 |      | 40,100<br>(357,103) | 0                      |          |
|      |                          |                      | 次年度繰越金       |      | 268,683             | 予備費 225,680            |          |
|      |                          |                      | 計            |      | 1,519,143           | 1,555,683              |          |

( ) 内は 51 年度予算額を示す。

## 航空航法の将来

電子航法研究所 安 積 健次郎

### A Future View of Air Navigation

Electronic Navigation Research Institute

Kenjiro AZUMI

本日は非常に大きなテーマを頂きましたが、気楽に話をしてよいということでございますのでそのような話をさせていただきます。

航法というのは、ある辞書によりますと2点間を正確に航行する技術であるとして書いてありました。民間航空輸送の立場から見ると、正確に、と表現されている所は安全に、定時性を確立して、かつ経済的に、と解釈したものです。この頃では環境を害さないで、ということもつけ加えなければならぬかも知れません。このような航法を可能にするためには航空機にその位置情報を与える航行援助施設や、特に安全上重要な段階である着陸には着陸援助施設が必要でしょう。また、空域の編成や交通管制システムも必要であり、これらに関連する情報伝送システムも欠かせません。これらは運輸省航空局が企画立乗し、設置運用することになっており、私の方の研究所はこのような技術行政をバックアップする試験研究をするというのが大きな仕事になっております。そういう研究所に居る者の立場から日頃耳にする事柄をひろい集めてお話をしてみたいと思います。その話し方としては、現状をよくながめた上で近い将来を見、その先を察し、最後は夢にかすみたいと思います。

昭和42年度から発足した第1次空港整備5カ年計画、さらに昭和46年度からの第2次計画、次いで51年度からの第3次計画において、現在までに、航空局でよく使われる言葉ですが、航空保安施設等は著しく近代化されてきました。

先づ、航行援助の目的には航空路用にも空港への進入用にもこれまで無指向性中波無線標識 (NDB) が使われてきましたが、国際標準としては精度、信頼性共に優れた VHF 全方向式無線標識 (VOR) が定められ、必要に応じて距離測定装置 (DME) を併設することとされておるので可能な限り主要点に設置を進め、主要航空路のほとんどは VOR/DME を結んで構成できるように、また空港からの出発、および進入ルートほとんど

が VOR/DME を利用して設定されております。現在 VOR 関係の設置数は 53 局となっております。

空港への最終進入と着陸援助施設としては国際標準として定められている ILS (計器着陸システム) が一般化し、低視界での進入および着陸を安全、確実にするほか視界のよい場合においても大形化した航空機の進入、着陸を容易にしております。主要空港への設置が進み、現在 17 となっております。

これまでの航空交通管制 (ATC) の方法は、航空機が提出した飛行計画を基礎として運航票を作成し、これによって管制官が航空機の位置を推定し、航空機間に安全間隔を設定するものであり、運航票は航空機から受理する位置通報等により更新されて位置推定誤差を少なくすることに努めるやり方でありました。ところが、日本全土を長距離レーダ網で覆い、その範囲内のすべての空域においてレーダ管制を行うことが計画され、現在北海道から沖縄まで合計 8 カ所の施設ができました。各施設は航空路監視レーダ (ARSR) および 2 次監視レーダ (SSR) からできております。SSR は航空機識別用のモード A および自動高度伝送用のモード C の質問信号を発し、4096 コードによる応答を処理する能力があります。これらのレーダ情報は札幌、東京、福岡、那覇の航空交通管制部 (ACC) に伝送されて 4500 m 以上の空域の管制に使われております。

ACC にはレーダ情報処理システム (RDP) があり、指示器に PPI 表示のほかに航空機シンボル、便名、飛行高度、飛行速度を数字と記号で表すようになっております。交通量の多い空港にはターミナルレーダを設置し、レーダによる進入管制をすることが進められております。レーダ施設は空港監視レーダ (ASR) および SSR から成っており、SSR はモード A、C の機能と 4096 コードによる応答の処理機能なども航空路の場合と同様であります。ターミナルレーダ施設は現在 12 ですが、東京、大阪の両国際空港には ACC の場合と類似したデジタル

処理のシステム、ARTS (Automated Radar Terminal System) が附加され、指示器は RDP と同様な表示がされます。

飛行計画情報処理システム (FDP) は飛行計画を処理して自動的に運航票を作成します。このシステムは東京 ACC に中央処理装置がおかれ、他の 3 カ所の ACC および東京、大阪の 2 空港に端末が設置されて飛行計画情報の処理のための入力や 4ACC の RDP、東京、大阪空港の ARTS への情報提供が行われます。昭和 60 年 (1985) までの交通量に対処するように計画されています。

以上のほか、各種の対空通信施設、ランタイプ回線中継システム、飛行情報提供システムなどが運用され、また整備が進んでおります。

さて本年度 (昭和 51 年度) からスタートしている第 3 次空港整備 5 年計画では昭和 60 年 (1985) 頃までの航空輸送の展望にもとづいて航空保安施設等の整備をしていますが、これらはすでにお話ししましたシステムの量的充実をはかることになっておりますが、これからの新しい航空保安システムにどう対処するかについては次のように述べております。

新システムに関する技術革新は著しく、諸外国ではすでに次期世代のシステムに移行するために各種の研究開発を行っている。すなわち、異常接近探査、着陸順位の検定などの高度の機能をもった新しい管制情報処理システム、航行援助施設の位置に制約されないで多様な航法が可能なエリアナビゲーション、2 段階進入または曲線進入を可能にするマイクロ波 ILS、洋上管制における航空衛星システム等の研究開発が進められている。このような新システムのわが国への本格的導入は昭和 60 年代と思われるが、導入にあたっては技術開発と充分な運用評価が必要であり、積極的に新システムの調査、開発、評価に取りくむべきである、としております。

近い将来を見るには、このような新システムを調べてみればよく、先づエリアナビゲーション (RNAV) から始めましょう。前に述べましたように現在の航空路は地上に設置された VOR/DME の上空を結ぶルートに限定されていますが、RNAV では水平面内の任意の点を指定してこれを WAY POINT と称し、WP を結ぶ直線上を飛行できるようにします。このためには、たとえばコックピットのコースインディケータに従来の地上 VOR からの方位を表示していた代りに現在の希望するコースに対する横方向のずれを表示して水平誘導します。これが RNAV の基本機能で 2 次元 RNAV と呼ばれています。コースの高さをも指定し、これに対する上下のずれを表示する垂直誘導機能を加えた場合は 3 次元 RNAV といわれます。WP に時間の要素を加味すると 4 次元

RNAV の可能性があります。米国では 1972 年より運用が開始され、現在多くの RNAV 航空路が設定されております。1980 年代にはいと高高度、高密度空域で RNAV を主要な航法として運用されると思われ、次いで全空域を RNAV 化するだろうと見られております。わが国でもその頃は主要幹線周辺空域や関西新空港周辺で運用されると見込まれております。この RNAV の採用によって燃料消費の減小、騒音公害の軽減、運航安全性の向上など多くの効果が期待されますが、ATC システムへの導入が必要であり、またマイクロ波 ILS との連接など今後の課題も残されております。

過去約 30 年間使われてきた ILS にも最近いろいろと問題点が生じてきました。すなわち、空港における騒音の低減において、現用 ILS はグライドパスの設定角が低く ( $2\sim 4^\circ$ )、比例誘導範囲が方位で  $\pm 2.5^\circ$ 、高低角で  $\pm 1^\circ$  と狭いために騒音面積が大幅に減るといわれている高降下角誘導、および広範囲の曲線進入誘導などが困難です。また、最近の航空機の高性能化にともなう ILS 利用の自動着陸方式において ILS の高カテゴリー化が必要ですが、そのためには幾つかの問題があります。なお建造物等の固定マルチパス波に対しては幾つかの対策が立てられて成果をあげてきましたが通過機からのマルチパス波は変動的であり、進入機の高度が低くなるにつれてその影響が大きくて安全上重要な問題であります。これらの問題を解決するために諸外国では多くの PALGS (Precision Approach and Landing Guidance System) が開発評価されてきましたが、間もなく ICAO (国際民間航空機構) の国際標準方式が決定されようとしております。ICAO の運用要件のうちで誘導覆域を示すと、方位  $\pm 40^\circ$ 、仰角  $15^\circ$ 、高度 20,000 ft であり、距離は 20 nm で、方位、高低情報と距離情報を組合わせることによって直線、および曲折 (Segmented) ならびにそれらの組合せによる誘導が要求されております。

現在 ICAO 等で最も関心をもたれているのは、測角センサが機上にある方式であり、米国の Time Reference Scanning Beam (TRSB) 方式の MLS と英国の Doppler 方式の MLS であります。TRSB ではビームを等角速度で往復走査し、航空機は 2 回ビーム走査をうけ、信号の受信間隔から相対方位角を知る方式で、周波数は 5.03 ~ 5.09 GHz です。測距は L バンド DME を主とし、C バンド DME を代替としています。ドプラ方式は直線配置のアンテナ列の各アンテナから  $f_c + f_0$  の周波数の信号が等速で切替送信され、基準アンテナからは周波数  $f_c$  の信号が送信され、受信点でのそれらの差周波数から受信点の角度を求めます。DME は TRSB の場合と同様です。ICAO の方式決定は 1977 年初期の予定でしたが遅れています。なお、わが国では騒音対策上、ま

た障害物回避上余裕のある覆域が望ましく、マルチパス効果を低減する可能性の大きい方式が望まれます。

次に管制情報処理システムについて考えてみましょう。これには飛行計画情報処理システム (FDP) とレーダ情報処理システム (RDP) があることは前に述べましたが、将来 FDP と RDP の機能を相互に補うことによってより効率の高い情報を管制官に提供することが必要であり、そのためには先づ従来の運航票やレーダ表示器が一体化されたピクトリアルディスプレイが主役として登場することが予想されます。また、FDP を活用して洋上ディスプレイシステムの開発、洋上における異常接近探査機能の拡充、フローコントロール機能の開発、および RDP からの位置情報の受信による飛行計画データの自動更新等の機能が拡充整備されることになりましょう。また、RDP はレーダサイトの増設により全面レーダ管制への拡張、多重レーダ処理、気象状況の表示、1 次レーダ情報処理の高度化、飛行計画情報を利用した追尾機能の高度化等の機能の向上を図らねばなりません。このように現在のシステムを基礎としてさらに有効な機能の研究と開発が行われ、管制のトータルシステムとして相互に補いあってより高い航空の安全性を確保しながら管制能力の向上を可能にする方向に発展するものと考えられます。

次に航空衛星ですが、現在大洋を横断する航空機は前後方向 15 分、横方向 120 nm、高さ方向 2,000 ft 程度の分離を保って運航承認が与えられており、航空機に経度 10° 毎にその位置報告を短波通信することが求められています。洋上といえどもその航空路を効率よく利用するために管制間隔の縮小が要求され、内陸の管制センターにおいて航空機の航法システムによらない航空機の監視 (独立監視) を行うこと、安定な地对空通信系を確保することが必要となりますが、航空衛星はこの問題を解決する有力な手段となります。

米国、欧州宇宙機関 (ESA)、カナダによる共同 AEROSAT 評価計画が進められています。日本とオーストラリアはオブザーバの形です。2 枚の衛星を大西洋上の静止軌道におき、各衛星は地上施設および航空機との間に音声およびデータ通信回線を設定します。衛星、航空機間は L バンド (1,543~1,660 MHz)、衛星、地球局間は C バンド (5,000~5,250 MHz) の周波数を使います。航空管制用地上施設としては衛星との送受信を行う航空業務地球局、通信統制および監視計算をする航空衛星通信センターおよび ACC よりできております。航空機位置情報を取得する監視方式には次の方式があります。従属監視では航空機上の INS (Inertial Navigation System) のデータを地上からの質問信号に対して送り返します。独立監視では質問信号は 1 枚の衛星を通して航

空機に送られ、応答信号は 2 枚の衛星を通して送り返されます。この時間測定で各衛星からの航空機の距離が定まり、気圧高度情報を加えて航空機の位置が定まります。ACC における表示システムは RDP と類似のシステムと考えられます。衛星の大西洋上への打上げは 1979、1980 年と計画され、1982 年ぐらいに大平洋上に移動される案もきかれます。その時期に国産衛星を打上げてベアにして諸実験を実施したい希望があり、またわが国の技術試験衛星と相乗りでの実験希望もあります。なお、ICAO による航空衛星技術基準制定は 1985~6 年頃と推定されます。

さて、空港整備計画に名前はありませんが運輸省が試験研究補助金等によって開発の意向を示したものがあります。先づ、DABS (Discrete Address Beacon System) ですが、ATCRBS (ATC Radar Beacon System, SSR と同じ) が一括呼出方式であるのに対して DABS は航空機に与えられた固有のアドレスにより点呼ができます。局間干渉を少なくし、また方位測定のために方位方向に幅の狭いビームを走査することは ATCRBS と変りはありません。DABS は応答のガーブリングを防ぐことができ、監視対象を地上局の間で分担することによってシステムの飽和を防ぐことができます。また、空、地間データ伝送が可能であります。Synchro DABS と呼ばれるモードにより機上ベースの衝突防止方式が実現できます。なお、地上からの監視をもとに必要な時に指示を与える地上ベースの衝突防止方式、IPC (Intermittent Positive Control) を実現すること、1995 年のトラフィックを充分扱えること、ATCRBS との十分なコンパティビリティを保証することなどを目標に米国で開発が進められており、1980 年代早々に運用にはいるものと思われます。

次に空中衝突防止システム (CAS, Collision Avoidance System) があります。最近の航空交通事情から潜在する空中衝突またはニアミスの危険を防止するために各国は地上施設による ATC システムの充実をはかっておりますが、なお管制をうけている航空機相互間にも緊迫したニアミスが発生しております。そこで ATC システムのバックアップ機能としてパイロット自らが積極的に空中衝突の危険を未然に知り、回避するために必要な衝突防止方式の開発が進められております。

第 7 回航空会議 (1972) では CAS を航空機搭載システムに限定して ACAS (Airborne CAS) と命名し、自機と衝突の可能性のあるコースにいる他機について警報を与え、適当な回避操作を示すものとして定義しています。CAS に似たものに PWI (Proximity Warning Indicator) がありますが、これは他機が近くにいることを示すシステムで回避操作の指示はありません。ACAS

で有名なのは、マグダネルダグラス社の Time Freq. 方式の EROS (Elimination Range Zero System), RCA 社の Interrogation/Transponder 方式の SECANT (Separation Constant of Aircraft by Nonsynchronous Technique), ハネウエル社の Interrogation/Transponder 方式の AVOID (Avionic Observation of Intruder Dangers System) です。いずれも 10 数年間の開発、評価の結果、ターミナル空域で問題が多い、義務搭載とするには巨額の費用が要る、国際的システムとして難点がある、などの理由で不採用となりました。

BCAS (Beacon CAS) は現在の ATCRBS (SSR) システム、または DABS を利用する CAS をいい、トランスポンダにコンピュータと指示器が追加されます。地上インタロゲータの質問信号をうけた時、他機の応答信号をききとるだけで関係位置を知る方法を Passive Mode、特に航空機に取付けたインタロゲータで質問信号を送り関連機からの応答信号を処理する方法を Active Mode といいます。1968 年に G. B. Litchford が NASA との契約による、ATCRBS (SSR) を利用する方法の研究結果を発表したのが BCAS のはじまりとされています。1975 年に FAA はリッチフォード社に正式に Active/Passive BCAS の製作の契約を与えております。検討用試作機が NAFEC で実験中であり、運用のための試作機生産の公募が 1977 年 3 月です。運用機器の完成は 1981 年 6 月と予定されています。Engineering Requirement の極く一端を示しますと、覆域は自機を中心に半径 20 nm, 上下 5,000 ft の空域がモニタ可能であること、初期の取扱交通量はトランスポンダ搭載機が 100 機存在すること、などです。終局には取扱交通量はターミナルレーダを中心とした半径 60 nm, 高さ 40,000 ft の空域を対象として総取扱交通量は 750 機であります。わが国のこの関係の活動としては 1970 年に運輸省が試験研究補助金を出して開発の意向を示したことが注目されますが、特に 1973 年からは航空振興財団が調査活動をつづけ、わが国における Engineering Requirement のまとめ、試作機製作へと向っており、研究所でもこれに呼応した研究を行っています。

さて、1985 年 (昭和 60 年) より先を見るには米国運輸省で研究された Advanced Air Traffic Management System (AATMS) が参考になります。National Airspace System (NAS) は 1980 年代前半までの交通に対処するように設計されているので、それより先のシステムが必要なわけです。交通量の伸びを最低に見積っても管制業務の経費は現在の 2~3 倍になると思われ、また現在のようなシステムの改善方法だと地上の経費も搭載電子機器の経費も増大し、運賃等も著しく高くなり、航空輸送が経済的に成立たなくなる恐れがあります。そこで全く

新しいシステムの研究が開始されたわけです。

管制官がパイロットとの交信だけに頼って管制するシステムを First Generation (第 1 世代)、レーダを導入したシステムを Second Generation (第 2 世代)、コンピュータを導入したシステムを Third Generation (第 3 世代) といっています。この第 3 世代システムでは、航空路システムは NAS Enroute Stage A, ターミナルシステムは ARTS (Automated Radar Terminal System) とよばれています。現在は Upgraded Third Generation System (UTGS) を開発中であります。これには MLS, RNAV, DABS, 異常接近探査, VFR 機の安全監視等の自動化、さらに交通密度の高い空域における Automated IPC が含まれております。この UTGS も 1980 年代がせい一杯で 1990 年代には新しいシステムが必要であると考えられたわけです。

新システムのアプローチの仕方は、柔軟性の大きい新システムを先に考え、でき上がったシステムから現状を振り返ってみるという方法をとっております。システム設計のための交通状況は 4 通りに分類して検討されております。一端を述べますと、最繁時における瞬時交通量は米国土全体で 4 通りのうちの最小見積りの場合でも 54,400 機であり、東京航空交通管制部管轄空域全体のそれが 130 機であることを考えるとそのぼう大さかうかがわれます。空域構造は現在のそれと大差ありませんが High Density Airspace を設ける点が新しいようです。ジェット機が管制間隔ぎりぎりで行かなければならない高密度のときにこの空域を High Density Airspace と指定し、これを飛行するためには精密な 4 次元航法能力をもたなければなりません。管制概念としては Automated Control といって交通量が管制官の能力を超えたときに地上コンピュータが航空機のコンピュータと直結して管制指示を与える管制方式や異常接近を起さない 4 次元経路を指示する管制方式が用いられます。従って管制官の役割は一言でいうとシステムモニタとなることで

す。このシステムについてボーイングとノースアメリカンロックウエルの 2 社が調査研究の契約をうけ、それぞれ報告を提出しておりますが、後者の案をみてみましょう。監視、航法、通信のすべてに人工衛星が使われますが、ターミナルにおいては通信および航法のために地上アンテナが設置されます。監視と航行に使われる衛星は軌道傾斜角 80°, 離心率 0.25 の軌道を取り、航法発振機と監視のための送受信機を持ち、数は 8 ケです。通信用として赤道上に米国全土をカバーする静止衛星 2 ケがあります。このほかに洋上交通のデジタルおよび音声通信を扱う一対づつの静止衛星が太平洋と大西洋空域をカバーします。衛星センターは東部諸州を管轄するものと

西部諸州を管轄するものとの2ヶ所あり、このいずれかに Flow Control 用の National Flow Center がおかれており、エンルート機の監視、管制データ処理はこれらのセンターで行われます。ターミナルにおける監視、管制データ処理は21ヶ所の大規模ターミナル、34ヶ所の中規模ターミナルにある管制センターで扱います。航空機位置情報は衛星の位置情報と航空機からの信号の到着時間から航空機の緯度、経度および高度を求めます。航法は一方向距離測定によるもので、各衛星には精密時計をおき、マスター局と同期させておきます。航空機も精密時計をもち、同期させておきます。各衛星は定められたタイムスロットに発振し、これにより航空機は位置を計算します。

以上のシステムの最大の特徴は Computer control and human monitor という点でしょう。FAA の依頼による Stanford Research Institute の報告、すなわち管制官が受持空域内のすべての航空機について責任をもち、Computer 情報を一々承認する方式をとっている間はどのようにしても NAS 計画の処理能力の150%を超えることはできない、という結論がこのような検討をさせたものでしょう。

1980年代に human control の限界がきて computer control に頼らざるを得なくなるというのは問題です。交通量を落さないで管制業務を減らす方法は無いものでしょうか。以下は夢物語となります。管制業務を減らすには管制をうける航空機を減らせばよろしかろう。また管制の度合いを減らしたらどうでしょう。ていねいな管制をうけて flow control もしてもらえる航空機と IFR 機でも必要な時だけ世話をする、たとえば IPC のようなものをつける航空機に分けてしまったらどうでしょうか。

もう少し夢が深くなりますと航空路の改革を考えます。そもそも、交通システムでは交通具がターミナルか

らターミナルヘルットを通して人間や貨物を運びます。航空交通システムでは、このルートが一番貧弱に思われます。VOR 局の方が頼りであるというルートは余りにも開放的ではないでしょうか。陸上交通の場合の道路というルートはそれに従って進めば目的地に到着させてくれます。すなわち、強い走行援助をしているわけです。また、道路外は走れませんが強い管制をしているわけです。従ってドライバーは自分の意志決定だけで目的地に達することができます。この道路のような航空路はできないのでしょうか。力学的に航空機の運動を拘束することはできませんが、電波やレーザ光などを使って航空機の行動を警報的にでも強く束縛する航空路を作ったらどうでしょうか。ILS のパスは単純ですが一種の束縛のあるルートと考えられ、そこではパイロットは自分の意志決定だけで航行できます。このようなものを著しく強化し、拡大してルートを作れないかということです。高速道路の場合には走行を援助する表示があり、ドライバーは自分の眼でこれを認識しますが、航空のルートの場合もこれに相当するものは必要であり、認識のためにパイロットの感覚を補うものが必要でしょう。前方監視の機能も与えねばなりません。制限速度というよりも各機共大体同一速度で航行することになりましょう。航行中に停止はできませんので前方の機への接近はさけなければなりません。管制は航空機が地上にある間に行い、航行中は航空路自身とパイロットにすべて委せてしまうという考えです。このような考えの具体化への大きな難関は気象の問題でありましょう。これに対しては、これから将来の航空機の大形化、高性能化による克服に期待すると共に、所によっては極めて気象条件のよい空域もあるのではないのでしょうか。そのような所から経済性とも調和して具体化できないものかと夢想します。

## 航海の将来

東京商船大学 庄 司 和 民

### A Future View of Sea Navigation

Tokyo University of Mercantile Marine

Kazutami SYOJI

私は航海の将来を話せということで、同じく気楽に私の考えていろいろ振返ってみたり、先を考えたりというようなお話をしたいと思います。

航海というときにはいろいろな見方がありますが、一応基本的にはある地点からある地点までの移動を能率よくしかも安全にということに定義づけておきますと、漁船とか商船とかいろいろのものが海上を動いて行くわけですが、それぞれある目的をもっております。広い意味での航海ではそれらの目的も中に入れて位置づける場合もあります。例えば、商船ですと荷物の管理あるいは運航という概念も含めて航海という意味にとり、私どもの商船大学もそういうことも含めております。そのような場合は、ゼネラルカーゴからコンテナ船に移り、ラッシュ船とか Ro-Ro 船といった船の種類を含めると航海そのものが多少変わってきつつあるといえます。一つのきっかけが航海技術自体に影響を及ぼし、両々相いまって進んで行くといえようかと思われます。

航海をする場合に先刻の定義をそのまま受継ぐというと、航海計画があって、それに従って船を運航し、その運航の結果の船位をきめ、きめられた運航計画と比べながら計画通りに位置を進めて行く、もちろん各種の環境に対する応答として、衝突防止、座礁防止、高い波の避航といったものも必要になりますが、大略のシステムのラインとしてはそういったものとなります。航空では自律航法というか、自分で進むことはこれから考えて行く必要があるように先刻お話を聞いたと思っておりますが船の側は最初に自律的なものが発達をして、この数年、援助システムというか、他からコントロールされるというようなものをもつと充実させて行かなければならなくなって、海上交通情報センターといったものが現われてくるようになってきたという点で、航空機とは逆の順序で進んできたように感じられます。

自律の航法システムでの最近の一番大きな動きは自動化で、最初に遠隔操縦からはじまったわけですが、それ

の目的は省力化というか、人を少くしてしかも安全な航行をするように制御をするということから、遠隔操縦に移ってきて、更に遠隔操縦だけでなくオートメーション、自動化になって参りました。金華山丸はどちらかというと遠隔操縦が大きく出ており、段々とこれが自動化に進んで、汐路丸で実験をやったり、そのほかいろいろな船で自動化が進められ、ブリッジに制御コンソールを置いて集中的なコントロールをすると同時に自動化をするということになって来たわけです。その段階で当然、最近のコンピュータを導入すれば非常に上手に行くということから練習船青雲丸、三光汽船の星光丸でテストをされ、日本ではどんどんコンピュータが採用されてきたわけです。外国でも同じでクイーンメリーII、フランスのドラベラとかアキュロン、ノールウエーのタイミール号、西独の船などがコンピュータを搭載して能率よくやって行こうということになったわけです。コンピュータのメリットの有無はなかなかつかめませんが、クイーンメリーIIではコンピュータを入れると燃料が1.5%~2%節約でき、3年ぐらいで余分にかかった経費の元が一応とれるだろう、3年以上たてばそのあとがもうけであるといった計算をしたそうですが、その他の船では余り計算をしないで、もっぱら乗組員が少くてもやれるだろうとか、人間が計算をしたり判断をしりするよりも早くできるのでコンピュータを入れたらどうかといった問題が先に出て、本当のメリットが仲々わからなかったわけです。人間を1人節約できたかどうかといった方向が主で具体的なメリットは余り考えられなかったように思われます。

はじめの頃はセントラルコンピュータシステムがとられていたのが、最近はこちらがすたれてきて、諸外国でも余り大きなコンピュータを積むのが少くなり、各機器ごとにコンピュータを入れるマルチコンピュータシステムとでもいうような方向になっているように思われます。それらである処理をどんどんやり、処理した結果を総合

的に何かに使うときには、そこにまた小さなコンピュータを置いて総合管理をするというように変りつつあるように見受けられます。もちろん、この場合のコンピュータの維持、管理、保守、修理のために同種のコンピュータを入れておけば、非常に楽であるといった面も見逃すことはできません。

そのような情勢で、どんな部門にどんなものが使われているかという、一番良く使われた装置として出て来るのが運航関係のもので、航路をきめて、その通りに船を走らすためのオートパイロットは、ご存知のように実用になった自動制御機器としては最初のものであり、アナログのコンピュータが使われていたわけですが、最近ではそれをデジタルコンピュータに全面的に置きかえて行くことができるのだということで、もう実際の装置ができています。そういうオートパイロットを使って大圏航法をやる、ここで航法という言葉は普通に使われていますが、実際的には大圏航路に従う航法ということで、それは時々刻々針路を変えて行く必要があります。これには大別して2つの方法、一定の変針角が生じたら変えるという方法と一定の距離または時間ごとに大圏に乗るように定めて行こうという方法とがあります。大体今までの大圏航法というときには1日航程の変針点を設けてそのポイントに乗るようにして行くわけです。ところがコンピュータを使うと1日でなくとも1分置きでもよいわけですが、そうしても上手には行かない。というのは大圏航路は球面での最短距離だと思っているわけですが、漸長緯度航法あるいは回転楕円体での最短距離をつかんでいるわけでないというところに無理があります。今までは、そういうことに無関係はポイントをきめていけば良かったわけで、少々違ってても向うに行けば風があったとか、潮があったとかいうことを一しょにして誤差しておけば済む問題ですが、コンピュータで進んで行くときにはそうはいきませんので、非常に面倒な計算が必要となってくるわけです。そんな面倒な計算をしなくても、もっとうまい方法というか簡略な計算をするといった方法にしなければならないと思っています。

そのような航海計画と船の運航では、大体はジャイロとログで進めて行きますが、飛行機ではご存知のように慣性航法 INS というシステムがありますが、船では用いられておりません。これは必要な精度、もちろん時間とともに慣性航法では誤差が大きくなるという問題から船ではメリットがないということに現在なっているからです。何れにしても、それらは船位の推定をするだけで船位は実測による船位測定にゆだねられることになります。

実測船位にゆだねられるといっても、実際の船の位置が出るのにはある程度の時間がたった後ですから、それ

が1分たったとしても、現在位置は推測船位によるわけです。それで、船位の決定装置には必ず推測船位計算装置が含まれるべきで、船位と実測で過去にさかのぼってあるいはそれを現在に引き直してチェックをし、直して行くというシステムになるわけです。そういうことをどの程度のサイクルで直して行くかというのが自動船位測定ということの境い目になると思います。

自動位置測定はご存知のようにロラン、オメガ、NNSS等の計算をするということで、ロラン、デッカ、オメガでは位置の線を双曲線で求めて、それから自分の位置を緯度と経度で出すといったものですが、NNSSではコンピュータで計算をして緯度と経度がすぐに出て来るので非常に便利であるというのが一つの大きな理由で、その他の理由もあって最近ではNNSSが非常に良く売れているという話です。これは経済水域200海里問題にそなえて、自分の位置を緯度と経度で出せるので、常に200海里の内か外かがすぐわかるということがあるのですが、緯度と経度はパッと出て来るのが魅力のように思われます。そういう意味からロランでもオメガでも自動ロランとか自動オメガとかいった計算機で計算をして緯度と経度に直してしまうというものに移りつつあるわけです。一つだけでは具合が悪い場合もあるので、ハイブリッド航法装置というようなものもだんだん考えられてきていて、精度を上げようというようになっているわけです。

レーダではご存知のように船位の決定と衝突防止ということが取上げられています。船位決定は狭い範囲では非常に良く、海図上に直接レーダで測定した結果を移してしまおうという方法が三菱のTONACシステムなどで考えられてきているわけです。もちろん前にも海図をフィルムに写して引きうつして行くという方法はいろいろあったわけです。そうした試みからレーダと直接船位を結びつけ、これをコントロールに更に結びつけようという考えもあるのですが、レーダで写した画面を海図と引き合わせて海峡をうまくすりぬけるのは画面が非常に小さいのでむずかしいということです。画面を大きくした場合についても、船の運動性能をいろいろ変えて、船の形もある形で出るようにして、シミュレーションで曲りくねったところを行けるかどうかを経験のある人とな人にやらせたところが、どんなむずかしい巨大船の運動性能を入れておいても、素人でもうまく海峡をすり抜けてしまうので、逆にいうとこれでは訓練にならない。やはり目で見て船がだんだん近づいてくると、蛇をとったら船がこちらに動くといった情報量の少いのが訓練になるわけです。私どもの学校の船橋シミュレータで横浜港の大棧橋に大型船をつけるのも二三べんやるとパッとつくようになるわけです。私達がそういう船のブリッジ

に立ってそのように上手に行くかという、そうは行かないと考えられます。

もちろん、アポロ計画で宇宙船を軌道に乗せるには、こういったシステムを相当に使っているようで、それは当然ですが、自分の船をコントロールするためには、やはり何かそういったコントロールのためのシステムというかディスプレイの利用というようなことが考えられることを示唆しているように思われます。船は荷物の状態で運動性能が大きく変わります。それが無いのは商船としての価値がないわけです。そういう違いをうまくコンピュータに入れるデータとできるかどうかというようなことに逆にかかってくるようになるかも知れません。

以上は自分の船だけの予測なのですが、衝突防止装置では相手船の位置を含めた予測といったものが重要な意味をもってきます。相手船の予測は、これは時間の経過で、1分なら1分間相手船の動きを見えるということしかできなかったのですが、将来はこれに意志の伝達というか、これから右の方に蛇をとうろうとしていることを相手船に知らせる。飛行機と異って船では十分の時間的余裕であるのですから、如何にして意志を伝達するか、自分でしゃべるか、何かうまく電波にのせて相手に知らせるのかといったことを相当重要に考えて行かなければならないでしょう。それ以上に混み合いますと交通管制に移るわけで、航空機の場合は2万機、3万機になるといいますが、東京湾の入口の補賀水道が一番過密で、大体見えておきますと1分間に1隻の割で航行をしており、そのような過密であるわけですが、1分に1隻というと、10ノットで大体300m間隔ということになります。従って、300～500mが一応自律航法の限界という感じになるわけです。それを超えると管制の側に移らなければいけないという空間的な考え方が頭に浮びます。

最近は見張りを援助しようということで、電波だけでなく、光波に近いところのレーザ、Low Light Level (LLL) の双眼鏡といったものを補助に使おうというのはいずれも自律航法に関係します。音響測深機、ドプラソナーなども巨大船の運動性能が非常に普通の船と異ってきたところにその必要性が生じ、ドプラソナーを自分で持っているだけでなく、岸壁の側にも持たせて情報を船に送るといったシステムなども考えられています。

これなどは援助システムの方に少しく入ってくるわけですが、援助システムで最近一番問題になっているのは航海計画そのものを陸上で立てて、最適航法、Weather routing あるいは Optimum routing という、船が毎日どう航海したらよいかを知らせるシステムができつつあります。それらは将来は海事衛星システムと関連していて、衛星システムは同時に船位の測定にも利用可能になるといわれていますが、その一つの欠点は静止衛星であ

るというところに限界があるような気がいたします。

NNSSの良いところは同じような衛星を使ってもドプラ効果を使って時間積分で、精度としての分子を大きくできるということがあります。静止衛星ですと時間積分ができないので、やはり精度的に距離が分母に入っていくという点でNNSSは面白いと思います。将来、NNSSはGlobal Positioning System, GPS、と名付けたシステムに代り、1983年頃から運用することをアメリカの国防省は考えています。これは25個ぐらいの衛星を使って、10mの精度で位置を出そうというものです。NNSSはそれ以後約10年、1990年代前半までは一応使えるという計画のようですが、GPSに移行しつつあるということはやはり今の静止衛星ではそういう精度が得られないからという理由が多少入っているように思います。

その他に、援助システムとしてのロランAはご承知のようにロランCに順次移行しつつあります。これは200海里時代に備えてロランCを全面的に米国の沿岸に整備をしようといったことでありまして、ソ連でも送信局を作っていますが、これも200海里問題に備えたのではないと思われるふしがあります。英国は早くからデッカを使うということで、日本もデッカを相当重視していますし、オメガも現在8局全部ではありませんが、7局がもう電波を出しておりまして、あとはオメガテーブルの局地的な修正や時間的な修正といったものがあるならば、十分に洋上で実用になる程度のものでよいであろうといえるわけです。このようなシステムで洋上を航行し、レーダが有効になる沿岸までもって行こう。200海里問題が出ますとレーダだけでは具合が悪いので、やはりある程度精度良く200海里をつかまえる手段として暗中模索が続けられているところであろうと思われます。

先程も大圏航法で話をしましたが、船の位置は緯度と経度で表わしますが、世界各国で使う緯度と経度が完全に合っていないという大きな問題があり、これを一致させて共通な座標として使うようにしないと、今度は面での話ですから、航路を設けてその上りと下りを分けようとしても座標が異なればそれだけ誤差が生じます。これを一致させようという動きがあるわけですが、実はこれは簡単でなく、座標だけ一致させても本当のものとは合わないということがあります。本当のものとどうやって一致させるかが逆に大事なことがらになるという気がいたします。

それをやって、交通情報センターを管制センターに移行させて、狭水道あるいは混雑した水域の管制をすることを私なりにいつも要望をしているわけですが、その条件として船の側が喜んでコンタクトをするような管制センターを作るというのが私の希望するところです。これ

以上のサービスはやらないという形で負担が増すばかりで、とても人数が限られた商船では困るので、そこへコンタクトした方がよくなるというように持って行けば安全度も増すであろうと考えているわけです。

その他、救助システムに関してはアメリカでAMVERというシステムがあります。これが海事衛星計画とうまく結んで、陸上で各船がどこにいるということが完全につかめれば、陸上で計画的に救助におもむけるだろうというわけで、これは航空機の救助に船を呼びだそうという目的もあったようですが、船同士の救助にも役立つシステムです。

現在の援助システムの一番大きなねらいとして船側で考えているのは、貨物の輸送を含めてあらゆるものの陸上支援システムは如何にあるべきかということで、陸上で行えるものはなるべく陸上に移し、船の自立性を損わない程度にあらゆる情報を船に送り、陸上で予じめ決定するが、よいものはどんどんきめて支援体制をとるというようにすると、船の側の人のやる内容が相当に制限されて陸上に移行できるであろうという観点から研究が進められています。航空機のようにある地点、東京からサンフランシスコまで行ったら、そこで全乗組員が1日か2日休養をして、別の人が乗組んですぐに引返すといったようになるかも知れません。何れにしてもそのような場合、航海の技術を経費の問題でマルシップや、便宜置籍船に代えて、外国人の船員に頼っておりますと、何時かは技術の中断を来すわけです。私たち学校の先生はいつも考えておりますが、技術の中断を来した場合は相当大幅にメリットの低下を生ずることを考えなければならぬと思っています。支援体制を如何にかということと航海技術とは直接関係した問題ではありませんが、間接的にはやはり航海技術に影響をもってくるというように考えられます。

現在、総合的なシステムとしていろいろ考えられていますが、IHI でやっておられる NORCONTROL 社の Data-pilot, Data-radar, Data-sailing からなる総合航海用システム、IBM System 7, 先ほどの TONAC などの開

発が進んでいるわけです。しかし、最終的に如何なる操船をするといった判断は、やはり人間が乗って、その判断によらざるを得ないと思います。もし人間を乗せなければ無人ということになりますが、前に述べたこともあります。船に無人ということは考えられない。面の上を飛行するのですから、いつでもつかまえられる。貴重な外貨を運んでいる船ですから私なら海賊になって全部頂いてしまいます。そういうことで無人は考えられず、無人化ということをや、あとは人間がモニタというかチェックをしているというようなことは考えられます。

これから先はどうなるのかという夢を話さということになりますと、やはりレーダは残るであろう。レーダを航法に使う範囲の中間をとるかという問題と衝突防止をどうするかという問題。後者は情報処理をうまくやれるかという点にかかるわけです。現在までのレーダの波長の選定にいろいろな曲折がありました。最初の頃は3 cm より 10 cm がよいとされていたのが、いろいろな意味から 3 cm がよいということで固って来ました。途中にミリ波も出てきましたが、これは主として相手船のアスペクトがはっきりするであろうとしたことであつたのですが、最近では更に 10 cm 波が海面反射をとるなどの情報処理の面で見直されてきたという感じがするわけです。しかし、レーダはやはり最終的にいろいろ衝突防止にも使うし、船位決定にも使われるであろう、そこでレーダレンジからレーダレンジまでを何でやるかという問題にしばられて参ります。オメガは先程述べましたように完全な補正表ができるまでに相当長くかかるように思うわけですが、それまでの間はやはり NNSS, GPS, MARSAT という線が出参りますが、NNSS は軍事目的の意味があつて船位を精密にということですが、商船用に限るとこれまでのものは必要がないと思っております。航路選定を行うときに、どこまでのルートでそこをよけるかという問題が出て参りますが、当分はそこまでは行かないであろうという風に思っております。

以上雑ばくなお話をしましたが、私の感じを述べました。

## 日本および米国における航空機衝突防止装置の開発

運輸省東京航空局 岡田 和 男

### Developments of Aircraft Collision Avoidance System at Japan and U. S. A.

Tokyo Civil Aviation Board, Ministry of Transport

Kazuo OKADA

#### 1. はじめに

昭和51年9月10日、ユーゴスラビア上空でまたしても最大の空中衝突事故が発生した。両機の搭乗者169名全員死亡（その後の発表では176名）といういたましい事故である。翌日の新聞によれば、管制官がとり調べのため逮捕されたというから、何らかの管制上のミスがあったものと推測される。これまでの空中衝突事故で共通して言えることは、衝突の原因は、パイロットのミスか管制官のミスか、またはその両者いずれかの場合がほとんどである。

読者に空の恐怖感をいたずらに増長させることは、筆者の意図ではないが、現在および将来においても、空中衝突の可能性はこのままでは軽減する方向にないことを指摘したい。ちなみに、アメリカにおけるニアミス（異常接近）のデータをみると、過去の例で、1968年には、2,230件の異常接近報告（パイロットによる報告）をうけ、そのうち、1,128件を連邦航空庁は真実異常接近と判定している。年間1,128件ものニアミスが発生しているという驚くべき事実である。日本はアメリカに比べて航空機数は、100分の1以下であるが、それでも航空局の資料によると昭和47年では、異常接近報告は32件で、そのうち、航空局が正式に異常接近と判断したもので5件もある。昭和46年では、異常接近は12件もあった。最近においては依然として、異常接近報告は多いものの（約25件程度）そのうち正式に異常接近と判断されるものは数件にとどまっているが、皆無とは言えない。

異常接近と正式に判断する作業は非常に困難なもので

あるし、また異常接近レポートを提出しないパイロットもいることを考えると、筆者は、毎年10件は定常的に異常接近が発生しているものと推定している。

このような状況に対処するために、後で述べるようにアメリカではいち早く航空機衝突防止装置の開発に着手しているが、いまだに標準の衝突防止装置を決定していない。アメリカがこれまで20年以上の歳月をかけて開発してきたにもかかわらず、いまだに遅れているのは、その開発が非常に困難であったがためである。このことは、ごく最近、装備が義務づけられようとしているGPWS (Ground Proximity Warning System) と比べてみると注目すべき点である。GPWSは、山や地面に航空機が衝突することをあらかじめ検出し、回避する装置であり、対象を山や地面とする衝突防止装置である。情報は気圧高度計や電波高度計等から得て、これを計算機で処理するシステムであり、センターはすでに航空機に装置されている点で、その開発を容易ならしめたものと言えよう。最近米国では、CASの開発に関して、新しい方向を打ち出し、これまでせっかく開発してきたマクダネル・ダグラスのEROS、RCAのSECANT、ハネウェルのAVOIDといったACAS (Airborne Collision Avoidance System) の採用をあきらめ、新たにBCAS (Beacon CAS) と呼ばれるCASの開発を打ち出した。これは日本のCASの開発と密接な関係をもつものであり、CASの開発において重大な局面をむかえたものと言えよう。米国のこのような最近の動きをみる前に、はじめて読む読者の理解を助ける意味で、これまで米国及び日本がだどってきた道をふりかえり、今日の空中衝突防止装置の主流となったBCAS開発経緯を簡単に述べ

てみることにする。

## 2. 米における CAS 開発経過

米国における CAS の開発に歴史は古く、すでに 1950 年頃から、CAS 開発の端緒がみられており、このころエアライン等が主体となって、ドプラレーダを利用した Self-contained CAS を考えていたようである。しかしこの考えは残念ながら 1957 年ごろには捨てられ、ACAS のような Co-operative System の方へ移向していった。ACAS は自機を含めて、相手機も ACAS を搭載することを前提にしており、両者間の情報交換により、パイロットに回避方向の指示を与える衝突防止装置である。

この ACAS の開発の引き金となったのが、かの有名な米国のグランドキャニオン上空における旅客機同士の衝突事故である。1956 年 6 月 30 日。ロサンゼルス国際空港を 3 分ちがいで飛び立ち、それぞれカンサスシティとシカゴへ向かった 2 機が約 1 時間半後に空中衝突をして、搭乗者計 128 名が全員死亡するというそれまでにない大事故が起こった。その事故調査報告書には、推定原因として 6 項目が記されているが、その中に、目視による空中衝突回避の困難さと、当時の ATC (航空交通管制) の不完全さを指摘していることは注目に値する。

米国の ATA (Air Transport Association) は、早速自衛手段として、CAC (Collision Avoidance Committee) を作り、研究を開始した。FAA も 3 年後に COPAG (Collision Prevention Advisory Group) を発足させ、CAC はそのメンバーとなった。1960 年マクダネル・ダグラス社の戦闘機が空中衝突をしたのをきっかけに、同社も CAS の研究を開始し、EROS と称する時間周波数方式による衝突防止装置を開発し、1966 年にはその運用を開始した。

同年 ATA は、CAS Technical Working Group を発足させ、1967 年 6 月に CAS に対する最初の技術基準ともいふべき ANTC 117 が出された。

1968 年 ATA は飛行試験を行うのに Martin-Marietta を選び、マクダネル・ダグラス社、ベンデックスおよび Sierra-Wilcox の製作した CAS の原型につき評価を行うこととなり、翌年行った飛行試験の結果 Martin-Marietta は、マクダネル・ダグラスの時間周波数方式の実用性が充分実証されたと結論した。1970 年に上記結論に基づき、ATA は FAA に対し CAS プロジェクトの促進、地上局の建設、CAS 方式の標準化と ICAO への働きかけ、小型機のための低価格な CAS の開発等を要請した。

1972 年の ICAO (International Civil Aviation Organization) の第 7 回航空会議で CAS がはじめて国際会議

の議題にのぼったが、このとき米国はマクダネル・ダグラスの EROS を頭にえがいていたわけである。

ここまでは CAS の開発は順調にゆくかのような様相であったが、その後情勢はさらに変化していった。というのはマクダネル・ダグラスの EROS は地上局も含めると非常に高価なものとなることが判明したからである。

その後米国では、ACAS として、RCA の SECANT (非同期方式) およびハネウェル社の AVOID が続々現われてきた。FAA (アメリカ連邦航空庁) はこれらのシステムの機能、経済性等の総合的な評価試験にとりかかった。これら 3 のシステムの評価試験は昨年末 (1975 年末) ままでに完了し、次のような結果を得ている。

表 1, 2 から明らかなであるが、この結果 FAA は最後に現われた AVOID が最も有望だとの見解を示しているが、ただちに AVOID を採用するかなと思えばそうでは

表 1 ACAS のテスト結果

|                  | ハネウェル社 | マクダネル・ダグラス社 | RCA |
|------------------|--------|-------------|-----|
| 最大警戒範囲における通信の信頼性 | 秀      | 秀**         | 良   |
| 警報時間正確度          | 優      | 良**         | 良   |
| 1982年までに全機装備の可能性 | あり     | あり          | なし  |
| 誤警報の防止*          | 秀      | 秀           | 良   |
| 電波高度計への障害        | 優      | 不良          | 中間  |
| 設計の完成度           | 高      | 中～高         | 低   |

\* 理論値 \*\* 初期データ

表 2 総合評価

|                        | ハネウェル社 | マクダネル・ダグラス社 | RCA |
|------------------------|--------|-------------|-----|
| 地上局同調の必要性              | 不要     | 要           | 不要  |
| 全航空機に指示(命令)を与えるか       | 可      | 可           | 否   |
| すべてのアンテナの組み合わせでの通信の可能性 | 可      | 否           | 否   |
| 距離正確度率                 | 最良     | 中間          | 最低  |
| 設計の完成度                 | 高      | 中～高         | 低   |
| 価 格                    | 最低     | 中間          | 最高  |

なく、それどころか昨年の1976年になって新たにBCASの開発に力を入れる方針をうち出し、これまで開発してきた ACAS は一担採用をみあわせてしまった。

現在 FAA は、NAFEC で後に述べる3システムのBCASの評価試験を積極的に行なっている段階である。

### 3. 日本における CAS 開発経緯

日本における CAS 開発は、昭和40年前半から始まったと思われるが、特にその開発に拍車がかかったのは、昭和46年(1971年)の雫石上空における全日空機(B-727-200型)と自衛隊機(F-86F-40型)の空中衝突を契機にしてからである。この事故の事故調査報告書には衝突回避装置及び接近警報装置の開発実施が勧告されたが、運輸省はそれより1年前に民間の電気メーカの提案するBCAS(日本は最初からBCASであった。)に対して、試験研究補助金を与え、開発を援助してきた。しかし雫石の事故は、事の重大性を再認識させるものであった。昭和46年を境に、運輸省は以後毎年CASに対して試験研究補助金を与え、さらに航空振興財団に対し、わが国のCASを総合的に検討するための衝突防止装置調査委員会の設置を要望し、2年後の昭和48年に発足をみた。構成員は、学識経験者、研究所、航空局、エアライン及び電気メーカの委員である。昭和47年はカナダのモントリオールで航空無線に関するICAO第7回航空会議が開催されはじめて、CASが国際会議の議題にのぼった年であった。すでに述べたように、これは米国の提案をもとにしたものである。昭和48年、前述の衝突防止装置調査委員会が発足した。さっそく岡田実委員長を団長とするCAS調査団が米国にわたり、米国におけるCAS開発の事情調査を行なうことから着手した。当時の米国は前述のEROS, SECANT, AVOIDといったACASが主流で、日本のようなBCASは、リッチホード氏により個人的に提唱されていただけであった。米国がBCASに突然方針を変更することは当時誰も予想できなかった時代である。

雫石事故は、各方面に大きな波紋を投げかけたが特に防衛庁及び郵政省は運輸省とは別の立場からCASの調査を始めた。昭和49年は運輸省補助金の援助でそれまで開発してきたBCASに対する評価飛行試験があいついで行なわれた年であった。航空振興財団ではセスナ2062機を用いてCASテストセットの飛行試験が行なわれた。これは主として測定距離精度及び応答率を調査するものであった。郵政省は電波監理行政の面から地上SSR局への干渉調査を主目的として、BN-2にCASテスト・セットを搭載し、飛行試験を行なっている。防衛庁技術研究本部は、上記小型機では得られない高速運動性を考慮し、C-46にCASテスト・セットを搭載し、

F-4EJを対向機として主に追尾性能について飛行試験を行なった。

昭和50年は、昭和49年までの評価試験の成果をさらに発展させることを目的に、CASの機能に加えてPWI(接近警報装置)を付加するための改善と、その組み合わせによる評価飛行試験が航空振興財団衝突防止装置調査委員会で行なわれた。一方防衛庁技術研究本部は昭和49年度のフライト試験をさらに発展させCASテスト・セットを実機搭載可能な形にコンパクトにまとめ、C-1にこれを搭載、F-4EJ及びT-33を対向機とした飛行試験を行なっている。これは自衛隊機に係るCAS導入のための装備上の問題あるいは運用上の問題を検討することを目的としたものである。

昭和51年、航空振興財団衝突防止装置調査委員会は、昭和50年迄の成果をまとめるべく、実機搭載可能な実験用装置を試作した。すでに述べたように、この年は、米国がCAS開発における一大方向転換を行なった年であった。この年の春FAA長官は、米国における空中衝突を防止するために、Five Point Programを発表し、BCASをATCのバックアップとして使用することを決定した。米国でもBCASについては、その数年前から検討はされていたがここに至って突然表舞台に登場してきたわけである。これに伴って米国はわが国のBCASをも調査するために、昭和51年春2回にわたり専門調査官を日本に派遣し、わが国の関係者とも相互に意見の交換を行なったが、この時特にガーブル対策、高度トラッキングに関して、検討の余地があるとの意見を表明している。ただこれは米国の運用環境条件と日本のそれとの相異があることを考慮する必要がある。

昭和52年衝突防止装置調査委員会は、米国の運用要件を考慮しつつも、わが国独自の運用環境条件に適合するBCASの開発を進めることを基本方針とした。これはこれまでの開発方針の延長線上にあるものである。

一方、ガーブル対策、高度トラッキング等、米国のActive BCAS方式で、とり入れるべき点もあるので、これらをこれまで開発したBCASに追加し、飛行試験で、確認することとしている。今後少なくとも1年以上の期間、YS-11クラスの航空機による実環境下の運用試験を行なうことが課題である。

### 4. BCAS

BCASは、米国のリッチホード社が開発したSSRトランスポンダを利用した衝突防止装置に付けられた名前であるが、今日ではその定義が拡大されて使用されており、どのようなBeacon Reply Based SystemについてもBCASと略して使用されているようである。

要するに、相手機がATCトランスポンダを搭載して

いることを前提としており、地上 ATCRBS のように相手機のトランスポンダに質問を行うか、または相手機のトランスポンダが、地上 ATCRBS に応答している信号を傍受して情報を得るものである。いわば ACAS と Self Contained CAS のちょうど中間に位置する方式で、相手機が BCAS を搭載していなくても自機だけでも BCAS を搭載すれば衝突回避が可能となる。ただし完全な ACAS でないのは、相手機がモード C ATC トランスポンダを搭載していることを前提とするからである。このような方式は、日本では 1970 年ころから東洋通信機㈱および㈱東京計器がそれぞれリッチホードにさがけて開発しているので、BCAS の開発は日本が一步米国より進んでいたわけである。米国では、現在 BCAS として次の 3 種類のシステムが考えられている。

- (1) Active BCAS
- (2) Semi Active BCAS
- (3) DABS Based BCAS

リッチホード社はこのうち Semi Active 方式を開発中であり、日本では東洋通信機がこれに近いものを開発している。Active 方式は、米国の MITRE Corporation によって開発中のものであり、日本では東京計器が同様な方式のものを開発している。DABS Based BCAS は米国独自の着想をもつもので、前記 MITRE が MIT Lincoln Laboratory の研究をうけて開発中のものである。

一例として Active BCAS の一般的なシステム系統図を示すと図 1 のようになる。

この図をみれば明らかなように、ATCRBS トランスポンダは、他機からの質問があれば、通常の地上 SSR の質問に応答すると同様に応答する。アンテナは機体の上部および下部に取付けられ、両方のアンテナから応

答信号を返す。TRANSMITTER/RECEIVER は自機がモード C の質問パルスを送出するユニットで、モード C の質問を送信し、他機から応答してきたパルスから、DME の原理と同様にして相対距離を出す。

また、その相対距離の時間的変化を計算し、相対スピードを計算する。モード C の質問から、相手機の高度情報を得る。このような Sequence を図示すると図 2 のようになる。

これらのデータは DETECTOR/TRACKER によって処理され、他機の追尾 (Tracking) が行われる。相対距離を相対速度で割った時間を  $\tau$  (タウ) と称して、CAS の設計上重要な値であるが、これは、衝突コースを両機が飛行している場合の衝突までの時間を表わす。相対距離、相対速度、高度、高度の変化率、 $\tau$ 、などの情報から、前もって行ったトラッキングの結果危険と判明した航空機に対して、アラームまたは回避操作を出すために THREAT DETECTOR が設けられている。この結果を DISPLAY によってパイロットに警報または回避指示を行うわけである。

以上は Active BCAS の大路であるが、現在米国及び日本で考えられている BCAS の方式の要点をまとめると次のようになる。

- (1) Active BCAS (MITRE Corporation)
  - (a) 他機のモード C トランスポンダに質問する。
  - (b) 受信信号により、他機の航跡を追尾する。
  - (c) 応答している航空機が BCAS を搭載しているか、または通常の ATC トランスポンダのみかを判断するために、特別な質問を行う (BCAS 搭載機のみ応答させる)。
  - (d) ANTC 117 の Threat Evaluation 規格を用いる。また BCAS 搭載機との衝突を避けるために、

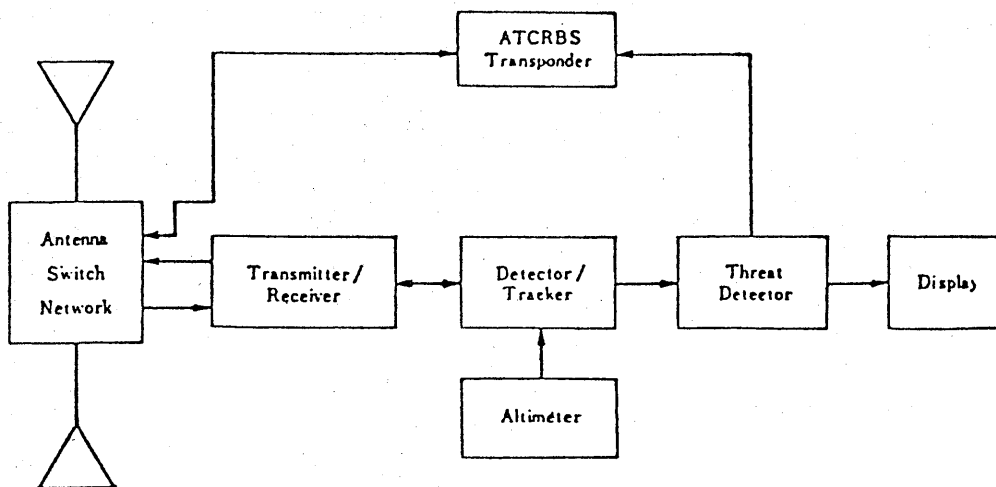


図 1 一般的なシステムの系統図

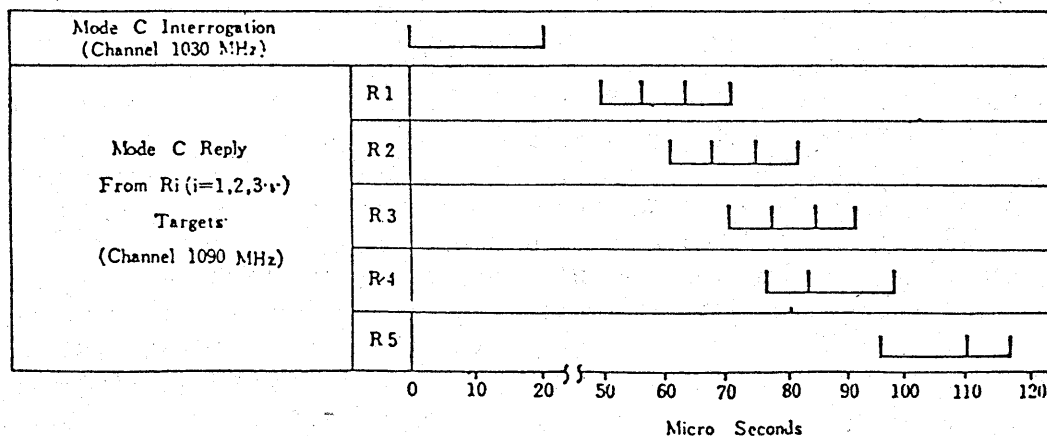
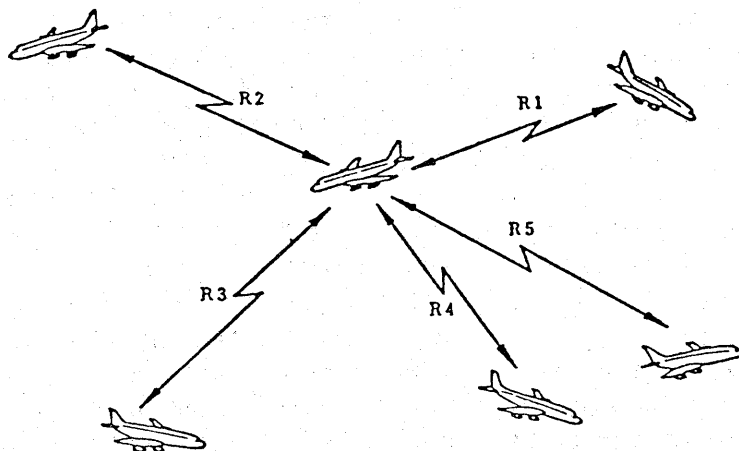


図 2 BCAS 質問応答のやりとり

垂直方向の Complementary 回避動作を行う。

(Complementary 回避とは、BCAS 搭載の両機が回避動作を行うときに、一方が上昇する場合、他方が下降するという動作である)。

- (e) BCAS 搭載機—ATC トランスポンダ搭載機間の衝突を避けるために特別な Threat Evaluation Criteria を用いて、BCAS 搭載機の方が回避動作を行う。

- ・必要設備 ATCRBS 質問/応答のための送受信機、追尾および衝突判断ロジックおよび上下アンテナ。また特別な質問信号に応答するために、BCAS 搭載機のトランスポンダは若干の修正を必要とする(モードCが使用される)。

- ・特徴

- (a) 地上 ATCRBS の機能・動作をそこなわないような配慮がしてある。
- (b) ガーブル除去機能がある。
- (c) 応答している航空機がBCAS搭載機であるかな

いかなの判断ができる。

- (d) BCAS 間の Complementary 回避が可能。

## (2) Semi Active BCAS (Litchford)

- (a) 他機が地上 ATCRBS に応答している信号を傍受する。

- (b) 傍受した受信信号および地上 ATCRBS から送信される方位基準信号から、他機の高度、距離および自機に関する他機の方位を決定する。

- (c) これらのデータにより追尾を行い、自機の航跡と比較する。

- (d) 衝突の可能性のある他機の距離、方位および高度をパイロットに表示する。パイロットは自ら回避操作を決定する。

- (e) ある空域で、地上の ATCRBS 施設が3以下の小さい場合には、Passive Mode 情報の信頼性を高めるために、Active Mode で質問し、データを得る。

- ・必要設備

- (a) 地上 ATCRBS 施設を修正する必要がある。これは、SLS アンテナから、特別な方位基準信号を送信する必要があるため。
- (b) Passive 方式のための特別なロジック回路を必要とする。
- (c) Active 方式のために、MITRE の Active 方式と同機の設備を必要とする。
- (d) 通常の SLS のカバレッジ外上の空域で、特別な方位信号を受信するため、受信機の感度を  $-74\text{ dBm}$  から  $-92\text{ dBm}$  に変更する必要がある。

・特徴

- (a) 密度の高い空域では、Active 方式は行わないので、ガブル除去能力をもっていない。
  - (b) Complementary 回避操作を行う設計でない。
  - (c) 地上 ATCRBS の機能・動作をそこなわない配慮が Active 方式に比べて大である。
- (3) DABS Based BCAS
- (a) 他機の DABS Squitter を Listen in する。
  - (b) Squitter に含まれる高度情報により衝突の可能性のある航空機は、DABS 識別符号を用いて質問し、距離を決定し追尾する。
  - (c) 自機の航跡と比較し、衝突の可能性がある場合にはパイロットに回避方向を指示する。
  - (d) 回避方向を決定する際に、地上 DABS と Air to Ground の通信を行い、ATC との調整をとる

ことができる。また DABS の Air to Air のリンクをもって、DABS を搭載した航空機間の Complementary 回避を行うことができる。

- (e) DABS-BCAS を搭載した航空機は、DABS のみを搭載した航空機または ATC トランスポンダのみを搭載した航空機に対しても、衝突回避が行える。すなわちこのシステムは DABS モードと ATCRBS モードの2つのモードで交互に動作し、DABS モードのときは、上述のように動作し、ATCRBS モードでは、基本的には MITRE Corporation の Active BCAS と同様な動作を行う。ただし、修正モード C 質問信号が使用され、DABS 搭載機はそれに対して応答しないようにしており、フルーツの減少を図っている。

・必要設備

- (a) Active BCAS の装置に加えて、DABS のための設備が必要。
- (b) 地上 ATCRBS は DABS の機能をもたねばならない。

・特徴

- (a) ATC システムと調整をとった上で、回避動作が行なえるので、Air Traffic Control に混乱を与えず、二重衝突の可能性が防げる。

このような DABS Based BCAS のシステム・ブロック図を示すと、図3のようになる。

一方日本は次のような BCAS を開発中である。

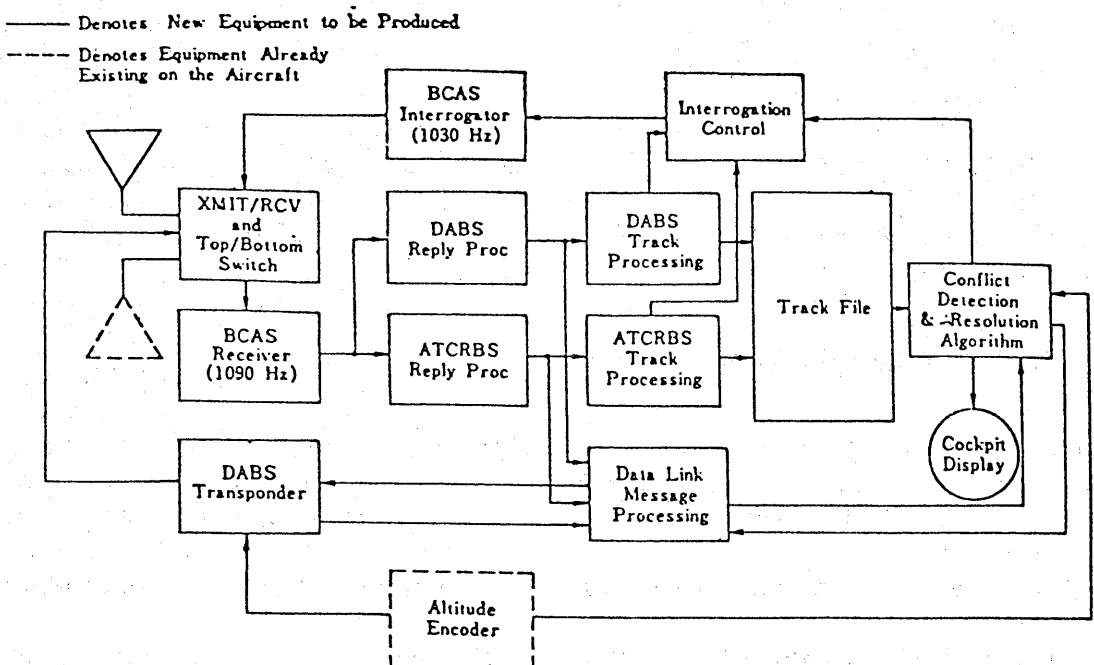


図3 DABS Based BCAS Block Diagram

- (a) 他機のトランスポンダにモードCで質問する。
- (b) 受信信号により他機の航跡を追尾する。
- (c) 追尾した航空機の高度情報が得られるかどうか判断する。
- (d) 高度情報が得られる航空機に対しては、ANTC 117 に基づく Threat Evaluation を用いて垂直方向のみの回避動作を行なう。
- (e) Xパルスを用いて Complementary Manuever を行なう。
- (f) 高度情報が得られない航空機に対しては、接近方向および距離を表示する PWI (接近警報装置) となる。

注) 他機の応答パルスの電界強度および楕円測定によるパッシブ機能を追加することができる。ただし、このパッシブ機能は、リッチホードのパッシブBCAS と異なり、ATCRBS のカバレッジ内でも単独に動作することは出来ないで、Passive 検出器というべきものである。出来るだけ電波を輻射しないことを目的とした Active BCAS の補助である。なお、(f) 項の PWI 機能は価格等の点からとりはずすことも可能である。

#### ・特徴

- (a) 地上 SSR および機上 ATC トランスポンダの変更は一切必要とせず、かつその動作をそこなわない配慮がしてある。
- (b) 一定のガブル除去機能を設けてある。
- (c) BCAS 間の Complementary Manuever 可能である。
- (d) モード A トランスポンダ搭載機に対しては PWI 機能が行なえる。(ただし option)
- (e) Passive 検出器を追加することで、Active 方式の補助とすることが可能 (option)。

#### ・必要設備

- (a) 上下送受信アンテナ (上部アンテナのみ追加)。
- (b) BCAS 本体
- (c) PWI のための方位検出アンテナ (option)。

## 5. アメリカ連邦航空庁 (FAA) の Five Point Program

すでに述べたように、昨年 (1976 年) の 3 月 FAA は、米国における空中衝突を減少するために、次の 5 項目にわたる Policy を発表し、空中衝突防止のための大きな一歩をふみ出した。

FAA の Policy をみるために参考までにこれを列挙すると、

- (1) Ground-based ATC System を拡張し、強化する。たとえばターミナルにおいては ARTS III の

活用また航空路においては航空路自動化計画の促進。

- (2) Passenger-carrying Aircraft に対しては、IFR の使用をさらに要求する法律の確立と大型航空機が利用する空域に対しては、ATCRBS (レーダー・ビーコン・システム) の拡張を図る。

- (3) 高度の応答能力をもったトランスポンダの義務化 (モード C トランスポンダ)。

- (4) BCAS の開発

この BCAS は、Ground-based ATC システムのバックアップとして使用する。

- (5) IPC の開発

これは従来の IPC (Intermittent Positive Control) をさらに拡大する意味のもので、今日では、ASA (Aircraft Separation Assurance) と呼ばれる。連邦航空庁が現在の ATC システムの強化として考えている DABS (Discrete Address Beacon System) を基本とするもので、地上の DABS 計算機が航空機を追跡し、衝突の可能性を感知すれば、自動的にパイロットに対し警報、および回避指示を与え、これによって衝突防止装置と同様の機能を行なおうとするものである。

このうち (1) 項は ARTS III、航空路自動化計画の促進を図るということであり、これは (3) 項のモード C トランスポンダの義務化と密接に関係する。

(2) 項は、IFR の使用の強化で、できるだけ航空機の運航を管制下に置こうとするものである。従って (1)、(2) および (3) 項はこれまでの ATC 自動化計画の線に沿ったもので、特に目新しいものは含まれていない。

(4) 項は BCAS を ATC のバックアップとするという声明であるが、これによってすでに開発してきた ACAS は姿を消した感がある。従ってこれは連邦航空庁の Policy の大きな変更を意味するものである。

(5) 項は従来の IPC に CAS の機能を積極的に行なわせようとするものであるが、DABS の開発 (米国が独自に開発しており、1980 年以降になると思われる) が前提となるので、実現までに相当時間がかかりそうである。

以上の 5 項目の声明から判断すれば FAA はまず Ground based ATC システムの強化拡大を図り、将来的には DABS にまで発展させ、IPC または ASA によって衝突防止を図ろうという考えである。しかし、DABS に移向するまでには長期の開発期間を必要とするので、その間をうめ、さらに DABS が出現した後も ATC システムのバックアップとして、BCAS を登場させたわけである。

この Policy は (5) 項を除けば、わが国の CAS 調査委員会の方針と基本的には同一であるが、その相異につ

いては後述する。このように米国では CAS 開発において大きく方向転換を行なったが、これは BCAS の利点が再認識されてきたためである。

## 6. BCAS の利点

(1) 全機に BCAS と搭載する必要がない。(BCAS は unilateral, ACAS は bilateral である)

ACAS は相手機 (脅威機) も ACAS を搭載していなければ効果がない。BCAS は相手機がモード C ATC トランスポンダを搭載しておればよい。

(2) BCAS は国際的な規格統一を図る必要性が少ない。

ACAS はある空域を飛行している航空機 (自国および外国エアライン機、軍用機、general aviation 機) が ACAS を搭載しなければならないので、そのシステムについては、国際的な規格統一が必要である。一方 BCAS は、すでに国際規格を満足する ATC トランスポンダを相手とするので、BCAS 導入によってもその性能を低下させず、かつ地上 ATC、RBS に悪影響を与えないことが技術的に実証されておれば GPWS のように国内法の規制のみで導入できる可能性がある。

(3) BCAS の導入は ACAS に比べて容易である。

ACAS 導入の最大の障害の一つに、価格が挙げられる。これは、General Aviation 機を含めたすべての航空機に ACAS を搭載しなければならないことが原因である。BCAS はその単体の価格は、ACAS (特に AVOID) に比べて高くなるかもしれないが、片方にだけ BCAS を搭載すれば、衝突防止の目的は達成できるので、かりに乗客をあずかるエアライン機の保護を第一に考えることとし、エアライン機に BCAS を搭載し、General Aviation 機には BCAS を搭載しなくても、エアライン機対 General Aviation 機の衝突は防止できる。従って、総合価格はエアラインのみの負担となり低くなる。ただし、General Aviation 機がモード C トランスポンダを搭載していることを前提とするが、エアライン機が航行する空域に侵入してくる General Aviation 機はほとんどモード C トランスポンダを搭載していることを考えれば (特定空域におけるモード C トランスポンダの義務化による) 上記理由は成立する。エアライン機と共に BCAS 搭載対象機は、大型軍用輸送機がある。このように、経済的な理由等から BCAS 搭載機の数制限することは、同時にある空域におけるフルーツ等を減少させることにもなり、一石二鳥の効果があると思われる。

## 7. BCAS の今後の方向 (米国および日本の相異点等)

FAA の Five Point Program の項で説明したように、

米国は現在模索中ではあるが、BCAS の最終的な姿を DABS based BCAS においているようである。すでに述べたようにこのシステムは地上が DABS で、機上 DABS based BCAS との間に Ground to Air の通信が可能であり、かつ他機の DABS トランスポンダとの Air to Air の通信が可能である。これによって、地上 ATC との調整をとりながら衝突回避を行ない、かつガーブル対策も可能となるという理想的なシステムである。しかし、その実施となると残念ながら早くても 1990 年代と思われる。DABS と類似システムに、英国の提案する ADSEL があるが、英国のねらいは Discrete Address による Synchronous Garble 対策が主であり、これによって交通処理容量の増大を図ろうとするものである。米国のように地対空の通信による IPC は行なわない。米国が DABS を必要とするのは、米国特有の事情による。米国は 1980 年代のロスアンジェルス空港のような高密度のターミナルにおける Over Load、ガーブルといった不可避の問題をぜひとも解決する必要に迫られているからである。現在精力的に開発を進めているが、たとえ地上 DABS が建設されても機上 DABS トランスポンダを搭載しなければならず、前途多難と思われる。世界的にみても、現在 DABS のようなシステムを早急に建設しなければならない国は少なく、未だ従来の ATC、RBS の小幅な改善でもってここ 10 年は運営していくものと予想される。むしろ ATC RBS を現在整備中であるのが実情である。従って、かりに遠い将来には DABS もとした BCAS に移向する必要があるとしても、それまでの期間の衝突防止をどのようにして実現するかが問題である。日本は、現在の ATCRBS を地上および機上を含めて一切変更しない BCAS を開発しようとしている。米国と日本では、運用環境条件は大きく異なるので、その環境に合った BCAS が考えられるわけである。このように一定の条件を満たせば、いくつかの種類の BCAS を導入でき得る点は、BCAS の大きな利点の一つでもある。

米国ではその計画から判断して、機上機器は次のように変化してゆく必要がある。

|                            | 地上 | ATCRSB | DABS |
|----------------------------|----|--------|------|
| 機上                         |    |        |      |
| モード C ATC トランスポンダ          | ○  | ×      | ×    |
| BCAS (Active, Semi Active) | ○  | ×      | ×    |
| DABS トランスポンダ               | ○  | ○      | ○    |
| DABS based BCAS            | ○  | ○      | ○    |
| IPC 機上装置                   | ×  | ×      | ○    |

これを見ると最終的な DABS のものでは ATC のための DABS トランスポンダおよび ATC のバックアップとして DABS based BCAS を必要とする。IPC も行

なおうとすると、そのための機上装置も必要とする。  
 (ただし IPC は DABS の coverage 内のみのサービスである) これら多様な装置をどのように航空機に搭載させてゆくかが大きな問題となる。日本では、モード C トランスポンダの義務化は ATC の自動化計画の中で進めてゆき、ATC と運用上の調整をとりながら BCAS を ATCRBS の環境の中に投入することで、ここ 20 年は日本における ATC のバックアップとしての使命を達成できるものと考えられている。米国ロスアンジェルス空港のような極端に航空機密度の高いターミナルでは、機上

装置に負担をかけるよりむしろ地上装置の改善のみで解決できる道を進んだ方が望ましいと思われる。その点、地上施設に関しては Discreate な Address のみを既存の ATC トランスポンダに付加する英国の ADSEL システムが、環境条件の類似な日本にとって注目される。

要するに航空機側に負担をかけず、かつ地上施設の大幅な変更を要求しないで、BCAS を GPWS のように使用できるような方向が最も望ましい BCAS 開発の方向であると思われる。

## 電波航法研究会 昭和52年度役員

会 長 茂 在 寅 男 (東京商船大学名誉教授)

副 会 長 庄 司 和 民 (東京商船大学)

〃 木 村 小 一 (電子航法研究所)

〃 今 吉 文 吉 (セナー株式会社)

企画幹事 安 瀬 輝 男 (大阪商船三井船舶株式会社)

飯 島 幸 人 (東京商船大学)

内 野 孝 雄 (海上保安庁水路部)

岡 田 高

柴 田 幸二郎 (アンテナ技研株式会社)

豊 福 滋 善 (海上保安庁燈台部)

二 宮 鎮 男 (日本無線株式会社)

村 上 聰 (日本航空株式会社)

編集幹事 伊 藤 昭三九 (海上保安庁警備救難部)

小 野 確 良 (沖電気工業株式会社)

鈴 木 裕 (東京水産大学)

鈴 木 務 (電気通信大学)

徳 田 迪 夫 (日本郵船株式会社)

会計監査 岩 佐 作 一 (水 洋 会)

真 田 良 (日本船主協会)

出版幹事(兼)木 村 小 一

会計幹事 名 和 芳 雄 (海上保安庁燈台部)

庶務幹事 田 中 仙 治 (〃)

笹 川 光 治 (〃)

## 昭和 52 年 度 事 業 計 画

### 1. 調査研究

(1) 航法の自動化の調査研究

(2) 双曲線航法の調査研究

(3) 衛星航法の調査研究

(4) レーダ航法の調査研究

(5) 事故防止のための電子航法技術の調査研究

(6) 海洋工学における電子応用の調査研究

(7) 船舶用衝突防止レーダの最低基準の検討

(8) オメガ受信機の技術基準の検討

(9) 諸外国における電子舶法の調査

(10) その他

### 2. 出版及び資料頒布

(1) 会誌「電波航法」第 23 号, 24 号の出版

(2) レーダ運用指針の改版

(3) 内外資料の頒布

### 3. 研 究 会 年間 6 回開催する。

4. 専門部会 オメガ受信機の技術基準について検討する。  
 船舶用衝突防止レーダの最低基準について検討する。

### 5. 見 学 会 秋に実施する。

## レーダ航法における避航と危険度

今 津 隼 馬

### Evasive Maneuvers and Collision Risk on Radar Navigation

Tokyo University of Mercantile Marine

Hayama IMAZU

#### はじめに

船用レーダにより得られる主な情報は二次元空間を相対ベクトルで進んでいるターゲットまでの本船からの距離と方位である。このため最接近距離 (DCPA) や最接近時間 (TCPA) を知るにはターゲットの位置を連続して捕える必要がある。さらにこの DCPA や TCPA は衝突の可能性を示すだけの値であり、本船の避航法やその効果と直接関係しない値である。一方衝突現象を生ずる時の各ベクトルの関係<sup>(1)</sup>や衝突の回避の限界について運動学的見地からの研究<sup>(2),(3)</sup>がなされ、2船間の衝突現象ならびに避航効果について解明されている。そこでここではこれらの研究を基礎に、単一ターゲットによる衝突の危険度を、本船がターゲットと衝突する針路や速力の範囲で表わすこととし<sup>(4)</sup> (個の危険度: Individual Risk) 複数ターゲットによる総合の危険度 (Aggregate Risk) を個の危険度の論理和で表わしてみた。これにより衝突の危険度と避航法が密接な関係となり、危険度を使っての避航法決定が容易となった。本論文はレーダ情報の解析法、解析された情報による衝突の危険度の求め方ならびにこれらの危険度を使用した避航動作決定法について考察してみたものである。

#### 記号

本文中の各種記号は次の要素を表わす (図1 参照)。

- $U$  : 本船速力
- $U_r$  : ターゲット速力
- $N$  : ターゲットと本船の速力比  $N=U_r/U$
- $C$  : 本船針路
- $C_T$  : ターゲット針路
- $C_R$  : 相対針路
- $R(t)$  : 時間  $t$  におけるターゲットまでの距離
- $A(t)$  : 時間  $t$  における本船船首を規準としたターゲット方位角

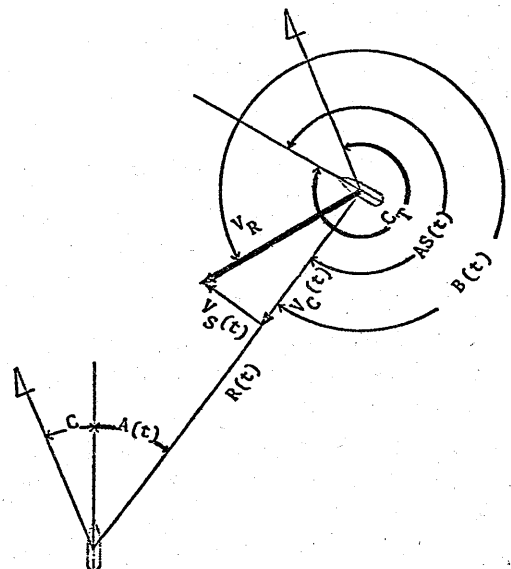


Fig. 1 To illustrate the relation of symbols

- $AS(t)$  : 時間  $t$  におけるアスペクト角
- $V_R$  : 相対速力
- $V_C(t)$  : 時間  $t$  における相対速力の縦方向成分  
 $V_C(t)=U \cdot \cos [A(t)]+U_r \cdot \cos [AS(t)]$
- $V_S(t)$  : 時間  $t$  における相対速力の横方向成分  
 $V_S(t)=U \cdot \sin [A(t)]+U_r \cdot \sin [AS(t)]$
- $B(t)$  : 時間  $t$  におけるターゲットの反方位角と相対針路のなす角
- $\theta$  : 本船の変針角,  $\theta > 0$ : 右変針,  $\theta < 0$ : 左変針
- $Q$  : 本船の変速比,  $*Q > 1$ : 増速,  $Q < 1$ : 減速
- $\theta_s$  : 変針動作開始する時の設定変針角
- $Q_s$  : 変速動作開始する時の設定変速比
- $IRC_i^j(t)$  : 時間  $t$  における  $i$  船の変針動作による個の危険度, ターゲットは  $j$  船

$IRS_i^j(t)$  : 時間  $t$  における  $i$  船の変速動作による個の危険度, ターゲットは  $j$  船

$ARC_i(t)$  : 時間  $t$  における  $i$  船の変針動作による総合の危険度

## 1. レーダ情報の解析

船用レーダによるターゲット情報は, 時間におけるターゲットまでの距離  $R(t)$  と方位  $A(t)$  である。この位置情報の変化を捕えることにより, 相対運動 (針路  $C_R$  と速力  $V_R$ ) ならびにターゲットの速力  $U_T$ , 針路  $C_T$ , アスペクト角  $AS(t)$  が次式で求まる。(図1参照)

$$V_C(t) = \{R(t) - R(t') \cdot \cos[A(t') - A(t)]\} / (t' - t) \quad (1)$$

$$V_S(t) = R(t') \cdot \sin[A(t') - A(t)] / (t' - t) \quad (2)$$

$$V_R = \sqrt{V_C^2(t) + V_S^2(t)} \quad (3)$$

$$B(t) = \tan^{-1}[V_S(t)/V_C(t)] \quad (4)$$

$$C_R = C + A(t) - B(t) + \pi \quad (5)$$

$$U_T = \sqrt{U^2 + V_R^2 - 2 \cdot U \cdot \{V_C(t) \cdot \cos[A(t)] + V_S(t) \cdot \sin[A(t)]\}} \quad (6)$$

$$C_T = C + A(t) - \tan^{-1} \frac{U \cdot \sin[A(t)] - V_S(t)}{U \cdot \cos[A(t)] - V_C(t)} \quad (7)$$

$$AS(t) = C + A(t) - C_T + \pi \quad (8)$$

ここで  $U$  は本船速力  $C$  は本船針路であり,  $V_C(t)$  および  $V_S(t)$  は時間  $t$  における相対速力の縦方向成分ならびに横方向成分である。また  $B(t)$  は時間  $t$  におけるターゲットの反方位角と相対針路のなす角で DCPA に関係する値である。また前記要素のうち時間関数の各要素は, 変針変速を行なわない場合, 時間  $t''$  の値を次式で予測することができる。

$$R(t'') = \sqrt{R^2(t) + V_R^2(t'' - t)^2 - 2 \cdot R(t) \cdot V_C(t) \cdot (t'' - t)} \quad (9)$$

$$V_C(t'') = \{R(t) \cdot V_C(t) - V_R^2 \cdot (t'' - t)\} / R(t'') \quad (10)$$

$$V_S(t'') = R(t) \cdot V_S(t) / R(t'') \quad (11)$$

さらに  $B(t'')$ ,  $A(t'')$  ならびに  $AS(t'')$  は (10), (11) 式を使用して (4), (5), (8) 式により求めることができる。一方ターゲットベクトルを使って  $V_C(t)$  ならびに  $V_S(t)$  を表わすと

$$V_C(t) = U \cdot \cos[A(t)] + U_T \cdot \cos[AS(t)] \quad (12)$$

$$V_S(t) = U \cdot \sin[A(t)] + U_T \cdot \sin[AS(t)] \quad (13)$$

となる。以上の要素を使用すれば TCPA や DCPA は次式で求められる。

$$TCPA = R(t) \cdot \cos[B(t)] / V_R \quad (14)$$

$$DCPA = \begin{cases} R(t) \cdot |\sin[B(t)]| & (\cos[B(t)] > 0) \\ R(t) & (\cos[B(t)] \leq 0) \end{cases} \quad (15)$$

ここで必ず衝突する  $DCPA=0$  の場合について考えてみる。(15) 式に (4), (12), (13) 式を代入し変形すれば

$$\tan[A(t)] = \frac{N \cdot \sin[A(t) - AS(t)]}{1 + N \cdot \cos[A(t) - AS(t)]} \quad (16)$$

となる。ここで  $N = U_T/U$  であり, (16) 式の関係を図示したのが図2である。図2は縦軸をアスペクト角 (度), 横軸を方位角 (度) とし, 各速力比毎の関係を示している。これにより  $N=1$  の場合を境界として,  $N < 1$  すなわち本船速力の方がターゲット速力より速い場合衝突を起こすターゲットは本船の前方のみに存在し,  $N$  が小さくなればなる程衝突を起こすターゲットの存在する前方の範囲は狭くなることが判る。一方ターゲットまでの距離  $R(t)=1$  nm とし, アスペクト角を種々与えた場合の方位角に対する DCPA を (15) 式で求め図示したのが図3である。図3の (a), (b), (c) はそれぞれ  $N=15/18$ ,  $N=15/15$ ,  $N=18/15$  の場合であり, 図中の  $AS$  はアスペクト角 (度), 横軸は方位角  $A(t)$  である。この  $A(t)$  は本船の変針動作により変化させうる値であるから,  $A(t)$  の変動による DCPA の変化は本船の変針による避航効果を表わしている。この変針による避航効果は  $N$  が小さい程すなわち本船速力が速い程大きくなる。それゆえ衝突の危険度を捕えるには本船の避航動作が DCPA におよぼす効果を考える必要がある。

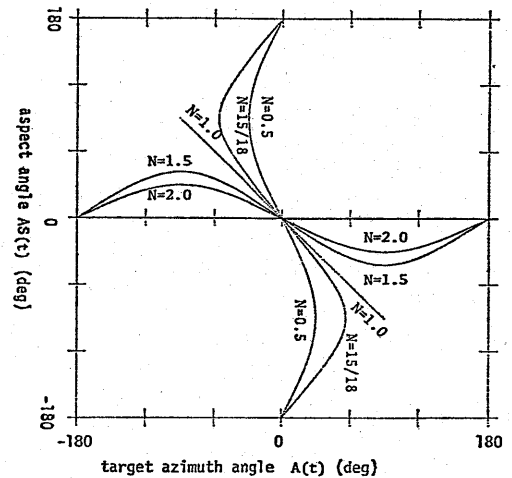
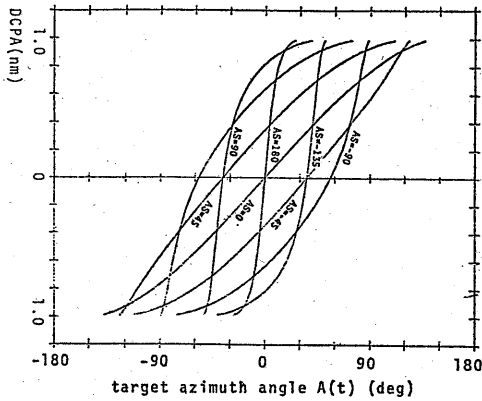


Fig. 2 Curves of aspect angle  $AS(t)$  at  $DCPA=0$ , for different value of speed ratio  $N$

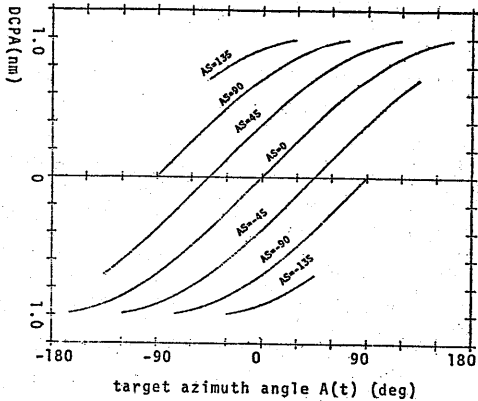
## 2. 衝突の危険度

求めた DCPA が衝突回避に必要な距離の余裕  $D$  より小さい場合,  $D$  を確保するための本船の変針角や変速比を求める必要がある。ここで  $D$  は次の要素が関係した値である。

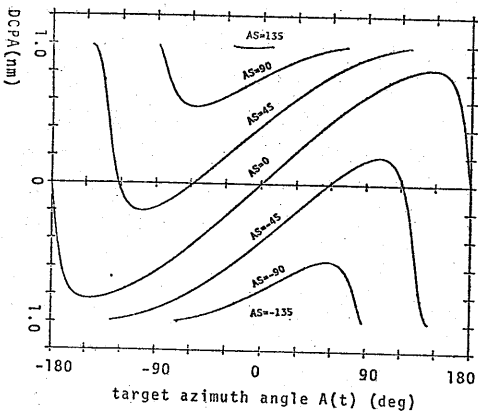
- i) 本船およびターゲットの鋼体としての大きさによる距離の余裕



(a) here  $U=18k't$   $U_T=15k't$   $R(t)=1nm$



(b) here  $U=15k't$   $U_T=15k't$   $R(t)=1nm$



(c) here  $U=15k't$   $U_T=18k't$   $R(t)=1nm$

Fig. 3 DCPA curves

- ii) 運動学的に見た最小距離の余裕
- iii) レーダ情報および求めた DCPA の精度
- iv) 運航者の特性

いま  $R(t) > D$  にターゲットが存在する場合  $DCPA = D$  を満足する本船の変速針角  $\theta$  や変速比  $Q$  は次式により求めることができる (図4参照)。

$$m = \frac{Q \cdot \sin[A(t) - \theta] + N \cdot \sin[AS(t)]}{Q \cdot \cos[A(t) - \theta] + N \cdot \cos[AS(t)]} \quad (17)$$

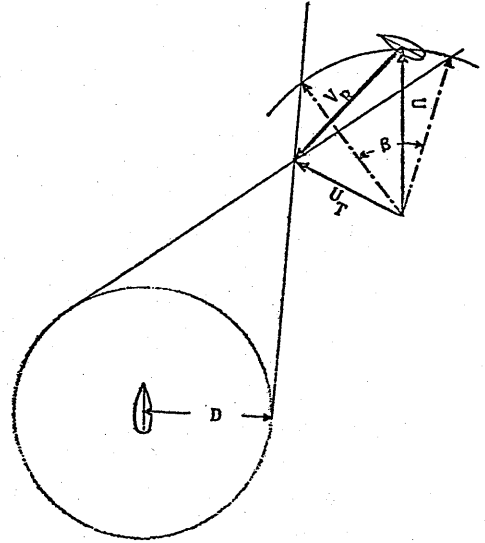


Fig. 4 Geometrical solution of boundary course to keep desired distance  $D$

ここで

$$m = \frac{\pm D}{\sqrt{R^2(t) - D^2}} \quad (R(t) > D)$$

であり,  $\theta > 0$  は本船が右変針することを,  $\theta < 0$  は左変針を示す。 $Q$  は本船の変速後の速力と現在の速力の比であり,  $Q > 1$  は本船が加速することを  $Q < 1$  は減速することを表わす。また (17) 式は  $R(t) > D$  であらゆる方位角に対する DCPA のうち最小値が  $D$  より小さく, 最大値が  $D$  より大きい場合に成立する。いま本船が変針のみを臨航動作として採用するとすれば  $\theta$  は次式で求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= \tan^{-1} \frac{m \cdot \sin[A(t)] + \cos[A(t)]}{m \cdot \cos[A(t)] - \sin[A(t)]} \\ \sigma &= \frac{N \cdot \{\sin[AS(t)] - m \cdot \cos[AS(t)]\}}{\sqrt{m^2 + 1}} \\ \theta &= \pm \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \sigma^2}}{\sigma} + \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

また本船が変速のみを避航動作として採用すれば  $Q$  は次式で求めることができる。

$$Q = \frac{N \cdot \{\sin[AS(t)] - m \cdot \cos[AS(t)]\}}{m \cdot \cos[A(t)] - \sin[A(t)]} \quad (19)$$

このようににして求めた変針角や変速比は  $DCPA \leq D$  を満足する本船の針路や速力の境界となり,  $DCPA \leq D$  を満足する本船の針路や速力の範囲を求めることができる。図4は本船の避航動作を変針のみとした場合  $DCPA \leq D$  なる本船の針路の範囲が図中の  $\beta$  であることを示している。そこで  $DCPA \leq D$  を満足する本船の針路あるいは速力の範囲を衝突の危険度と定義し, 単一のターゲットによる衝突の危険度を個の危険度 (Individual Risk)

Table 1

|                                   | ship A | ship B | ship C |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| ship's speed (k't)                | 15     | 18     | 12     |
| ship's course (deg)               | 0      | 180    | 280    |
| initial range from ship A (nm)    |        | 8      | 7      |
| initial azimuth from ship A (deg) |        | 3      | 40     |
| DCPA with ship A (nm)             |        | 0.4    | 0.3    |
| TCPA with ship A (min)            |        | 13.8   | 22.9   |
| DCPA with ship B (nm)             | 0.4    |        | 2.2    |
| TCPA with ship B (min)            | 13.8   |        | 5.6    |

と呼び、避航方法によりそれぞれ IRC, IRS の 2 種類の危険度について考えてみた。すなわち IRC は本船の行動を変針に限定した場合 IRS は変速のみとした場合の個の危険度である。今表 1 のような 3 船が存在するとしこのうち A 船を本船とした時の他船 (B および C 船) の動きを図 5 に示す。図中の B, C 船の数値は初期値からの経過時間 (分) を示している。図 6 は B 船をターゲットとした時の個の危険度であり (a), (b) はそれぞれ避航動作を変針とした場合の危険度  $IRC_A^B(t)$  と変速とした場合の危険度  $IRS_A^B(t)$  である。ここでは  $D=0.5$  nm としている。図 6-(a) の横軸は本船の変針角であり、図中のハッチングの範囲が  $DCPA \leq D$  となる本船の針路すなわち  $IRC_A^B(t)$  である。これより B 船による個の危険度は本船の船首方向にあり、初期値は  $-1.3 \leq IRC_A^B(0) \leq 14.5$  の範囲である。そして本船およびターゲットが変針変速しなければ  $IRC_A^B$  は時間経過とともに大きくなり、 $t=14$  分で  $IRC_A^B$  は全ての針路におよぶ、すなわち本船がどのように変針しても  $DCPA < D$  となっ

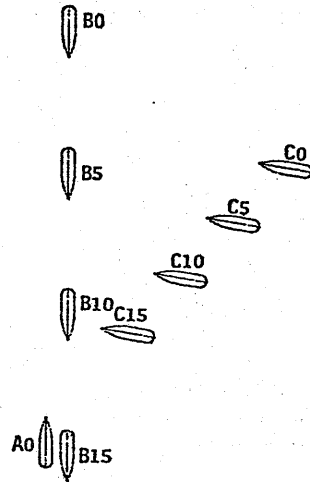
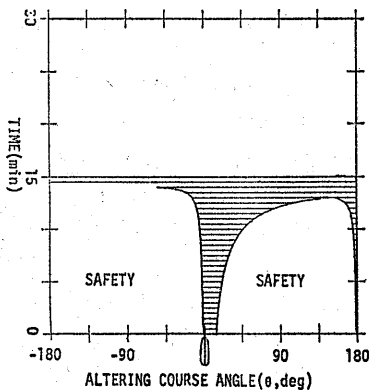
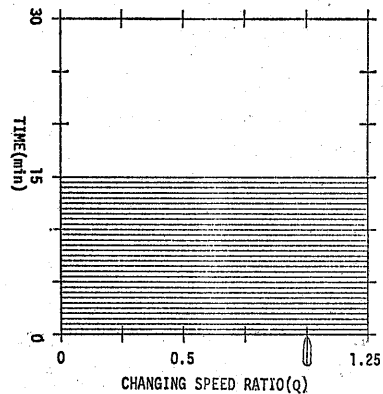
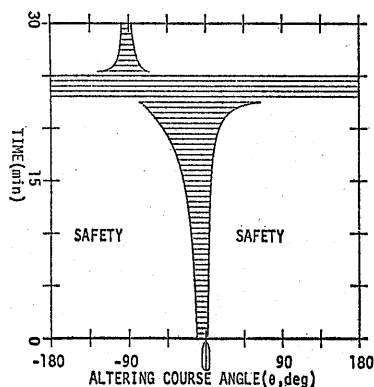


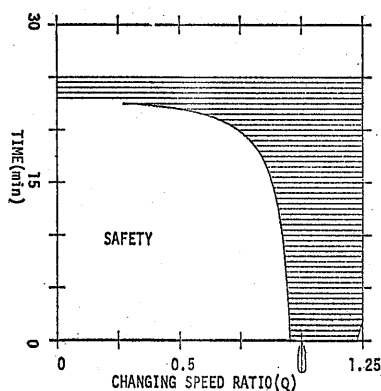
Fig. 5 To illustrate the relative motion view from ship A

てしまう (ただし、ここでは本船の運動性能は考慮していない)。図 6-(b) の横軸は本船の変速比であり  $0 \leq Q \leq 1.25$  の範囲についてのみ考えてみた。図中のハッチングの範囲が  $DCPA \leq D$  となる本船の変速比すなわち  $IRS_A^B(t)$  である。これにより B 船による IRS はこの範囲の全てにおよんでおり、この範囲の変速では  $DCPA \geq D$  とはならないことが判る。図 7 は C 船をターゲットとした時の個の危険度であり、(a) は  $IRC_A^C(t)$  を (b) は  $IRS_A^C(t)$  である。ここでも  $D=0.5$  nm としている。図 7-(a) より  $IRC_A^C$  は  $t=0$  で本船の船首方向に存在し、 $t=23$  分で本船の全ての針路におよぶことが判る。また図 7-(b) より  $IRS_A^C$  は初め本船の現在の速力付近にあり本船がこの時点で減速あるいは増速すれば  $DCPA \geq D$  が可能であることを示している。しかし  $t=23$  分では  $IRS_A^C$  は  $0 \leq Q \leq 1.25$  の全ての範囲におよび、この範囲

(a) Individual Risk by altering course;  $IRC_A^B$ (b) Individual Risk by changing speed;  $IRS_A^B$ Fig. 6 Individual Risk of ship A depending upon target B, here  $D=0.5$  nm



(a) Individual Risk by altering course;  $IRC_A^C$



(b) Individual Risk by changing speed;  $IRS_A^C$

Fig. 7 Individual Risk of ship A depending upon target C, here  $D=0.5$  nm

での変速による避航は不可能となる。このように変昌のみの場合の個の危険度  $IRC$  は方向性を持った  $\theta$  の範囲で示され、変速のみの場合の個の危険度  $IRS$  は変速比  $Q$  の範囲により表わされる。もちろん変針変速を併用したものもあるが、複雑となるため今回は省略した。このような個の危険度は、衝突の可能性有る場合 ( $DCPA \leq D$ )、本船の現在の針路、速力の上に存在し、ターゲットとの距離  $R(t)$  が小さくなる程、そして本船のベクトルがターゲットのベクトルに比べて小さい程 ( $N > 1$ ) 危険度の範囲は広がる。またここでは個の危険度を単一の  $D$  に対する範囲として定義したが、 $D$  の値を変動させてそれぞれの  $D$  に対する範囲を求め、等高線のような形で危険度を表示することも可能である。しかしながらこれには多くの計算を必要とするとともに、複数ターゲットによる総合の危険度を考える場合図が複雑となる等の欠点があるため、ここでは単一の  $D$  (ただしターゲットの種類により変化する) に対する範囲のみとした。

### 3. 危険度と避航法

ターゲットが単一の場合の本船による避航法は次のように行なう。

- i) 個の危険度を求める。
- ii) 個の危険度が本船の船首方向あるいは現速力上にない場合、本船は現在の行動を続けることができる。
- iii) 個の危険度が本船の船首方向あるいは現速力上に存在し、その範囲が設定値 (変針角  $\theta_s$ , 変速比  $Q_s$ ) 以上の時、本船は針路、速力が個の危険度の範囲外となるような避航法を求め実行する。ただし自船の運動性能を考慮しておく必要がある。

しかしながら通常の運航においては、複数隻の船やブイ等が存在するため、複数のターゲットからの避航を考え

ねばならない。そこでここでは個の危険度の論理和からなる総合の危険度 (Aggregate Risk) を定義し、これにより本船の周囲の危険度を捕えてみた。図8は本船 (A船) の避航本を変針のみとした場合の総合の危険度  $ARC_A(t)$  であり、図6-(a) と図7-(a) を合成したものである。総合の危険度を使った本船の変針による避航は次のように行なう。

- i)  $ARC$  が本船の船首方向に存在しなければそのまま進むことができる。
- ii)  $ARC$  が本船の船首方向に存在し、船首をはさむその範囲が自分で設定した変針角  $\theta_s$  になった場合、本船の進む方向に近い所で  $ARC$  が存在しない範囲がまたは、小さな  $IRC$  の集合からなる範囲を求め、この方向に本船が進むように変針する。

例えば図8は前記 ii) の場合である。ここでA船の運航者が設定変針角を  $\theta_s = 15$  度としたとすると

$$-10^\circ 1' \leq ARC_A(0) \leq 14^\circ 5'$$

$$-15^\circ 0' \leq ARC_A(8) \leq 32^\circ 2'$$

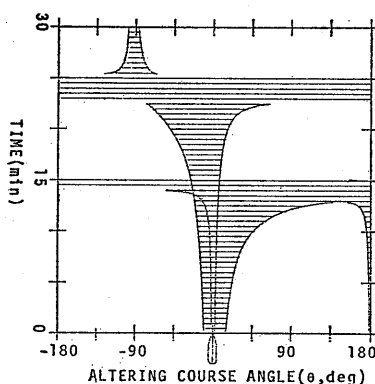


Fig. 8 Aggregate Risk by altering course of ship A, here  $D=0.5$  nm

であるから  $t=0$  (分) あるいは  $t=8$  (分) にそれぞれ変針角 15 度以上で右転あるいは左転を行なうことになる。ここで運航者による設定値としてどのようなものがあるかを考えてみると、

- (1) 衝突回避に必要な距離の余裕  $D$
- (2) 設定変針角  $\theta_s$
- (3) 変針方向 (右転, 左転)

等がある。これらの値が運航者により一定でないために衝突の危険度の捕え方、避航開始時機およびその方法が運航者により変化することになる。図 9 は B 船を本船とし  $D=0.5$  nm とした時の  $ARC_B(t)$  である。ここで設定変針角  $\theta_s=15$  度とすれば B 船は  $t=2.5$  分か  $t=13$  分までにそれぞれ 15 度以上の右転または左転することになる。また図 10 は C 船を本船とし  $D=0.5$  nm とした時の  $ARC_C(t)$  である。ここでも同様に設定変針角  $\theta_s=15$  度とすれば C 船は  $t=0$  分か  $t=16$  分までにそれぞれ 15 度以上の左転または右転することになる。このように個々の船が同一の設定値 ( $\theta_s$ ,  $Q_s$  や  $D$ ) を持った場合でも、避航方法により避航開始時間はことなるし、

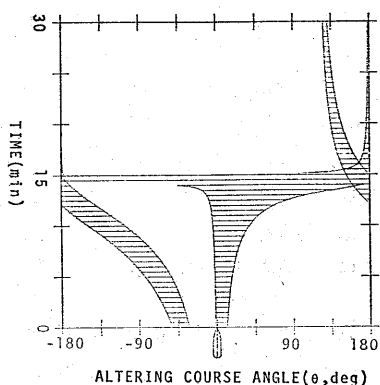


Fig. 9 Aggregate Risk by altering course of ship B, here  $D=0.5$  nm

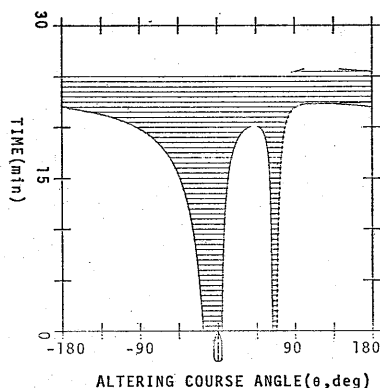


Fig. 10 Aggregate Risk by altering course of ship C, here  $D=0.5$  nm

Table 2

| $\pm\theta$ (deg) | 15   | 30   | 45   | 60   |
|-------------------|------|------|------|------|
| N                 |      |      |      |      |
| 1.2               | 86.2 | 80.8 | 73.2 | 65.4 |
| 1.5               | 88.3 | 83.8 | 77.5 | 70.5 |

ましてや設定値が個々でことなる場合には、衝突回避のための解は数多く存在することになる。そしてそれらの解の中には、ほとんど同時に複数隻の船が避航動作を開始し、相互の避航効果が相殺されるものもある。そしてこれらの相殺効果は 2 船間に生ずることが多い。そこで 2 船間に相殺効果が生じた場合 ( $DCPA=0$ ) の変針による避航法について考察し、次の結果を得た。

- (1) 高速船はターゲットから離れる方向に変針する方が変針効果は大きい。すなわち本船の右舷側のターゲットに対しては左転する方が良い。
- (2) 低速船は自船の変針角を  $\theta$  とする場合、自船からターゲットを見る方位角  $A$  との間に次の関係がある場合、

$$|\tan A| \leq \frac{\sqrt{N^2 - \cos^2 \theta}}{1 - \cos \theta}$$

方位角の方に变針する方が变針効果は大きい。すなわち方位角  $|A|$  が表 2 の値以下であれば方位角の方に变針し、表値以上であれば反方向に変針する方が良い。

## むすび

以上ここでは避航効果を考慮した危険度の捕え方 (個の危険度と総合の危険度)、この危険度を使っての避航法ならびに 2 船間に相殺効果が生じた時の避航法についてまとめた。この方法の利点としてはターゲットが航路標識、陸その他の障害物の場合でも応用でき、総合的な避航法決定が可能であることである。しかし実用化においてはレーダ情報の精度による他船の行動の検知の遅れ、危険度表示方法、設定値の決定等はまだ問題があり、今後研究を続ける必要がある。最後に本研究に終始御援助頂いた鞠谷教授ならびに有意義なる御意見を頂いた杉崎助教授に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) 今津, 杉崎: レーダ避航法 (II), 日本航海学会論文集, 48 号, 昭和 47 年.
- (2) 鞠谷宏士: 船の衝突回避限界について, 日本航海学会論文集, 36 号, 昭和 41 年.
- (3) 杉崎, 大津: 運動学的に見た衝突現象 (I), 日本航海学会論文集, 50 号, 昭和 48 年.
- (4) 今津隼馬: 衝突危険の判定と避航処置, 避航操船シンポジウム, 昭和 52 年.

## 救難用レーダビーコン

東京芝浦電気(株) 木村 貴 則

三菱電機(株) 古 東 啓 吾

### Radar Beacon for Rescue Operation

Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.

Yoshinori KIMURA

Mitsubishi Electric Co., Ltd.

Keigo KOTOO

#### 1. はじめに

搜索・救難活動用のレーダビーコン（以下救難用レーダビーコンと称す）は、昭和 44 年に、(財)日本船用機器開発協会の開発事業として発足した「救命用ガンダイオード発振器」の開発が発端となって、以後、昭和 51 年 3 月の開発終了までの間、開発と実用実験が繰り返され、救難用レーダビーコンとしての基本型が確立され、十分な信頼性を確認するにいたった。この間、関係省庁、東京大学、東京商船大学などのご指導と、(財)日本船用機器開発協会を初め、(社)日本海難防止協会、水産電子協会などのご支援をいただいた。ここに深く感謝する。

この開発は、次の 6 社の共同開発として進められ、装置本体の開発は、東京芝浦電気(株)、三菱電機(株)が担当、電源となる海水電池の開発は、東芝レイオバック(株)、日本電池(株)、古河電池(株)が担当、救命いかだへの装着と救命具としてのとりまとめは、日本救命器具(株)が担当した。

今後、実用面での製品開発は、引き続いて関係省庁のご指導と IMCO や CCIR での方向付けを見て仕様の確定を行なう必要があり、ここでは、開発を終了した基本型の開発理念と、そのハードウェアの概要について述べる。

#### 2. 救難用レーダビーコンの概念

不幸にして海難事故が発生した場合、遭難船舶に装備されている電信や無線電話、SOS 信号発信器などの通信手段によって通報される情報により、その遭難位置を割り出して搜索活動が開好される。救難活動での生存率、

救助率を高めるためには、効率の良い初度搜索の実施による早期発見が重要であることはいうまでもない。

搜索活動を助けるための現行手段としては、救命いかだなどに装備されている信号紅炎や、日光信号鏡および点滅ランプなどがあり、経済的にも有効な手段の一つである。しかしいずれも肉眼に頼る手段であるため、霧中や夜間、悪天候下での発見は極めて熟練を要する作業となり、至近距離でも発見がむずかしいという難点がある。

実際、統計上で見ても死亡や行方不明は、これらの悪条件下に集中している。

海上における人命の救助率の向上のためには、遠距離用としての既設の通信手段や近距離用としての信号紅炎などに加えて、初度搜索を助ける新しい効果的な手段の開発が必要であり、その一つの解決策としてすでに船舶に装備されている航海用レーダの利用が考えられる。しかし、レーダの送受信機がいかに高性能なものであっても、救命いかだそのものや救命胴衣を装着して海上を漂流する遭難者個人は、レーダ反射が小さく、悪天候下でのシークラッタとの分離などを含めて、現状ではレーダ装置側だけの改善では技術上でも不可能である。

この問題解決のための手段として開発したのがこの救難用レーダビーコンであり、遭難者側に簡単なレーダ応答装置を設置し、搜索中の救難船レーダの PPI 指示器上に直接遭難者の位置を表示させることができる。この装置による搜索は、双眼鏡などを用いた肉眼による発見に比べて熟練を必要としない簡単で確実な方法になり、搜索範囲も広がり、PPI 指示器上に示された方向に操船することにより最短距離で速かに到着できるため、救助率を飛躍的に向上させることが期待できる。

また、装置の受信機能を活用して、遭難者自身にも音響または発光ダイオードの点滅により、救難船の接近を知らせることができるので、既設の信号紅炎などの発射のタイミング信号として利用できるほか、遭難者を励まして生存率を向上させるなどの心理的な効果も期待できる。

### 3. 開発上での留意点

救難用レーダビーコンの開発に当たっては、次の諸点に留意した開発目標が設定され、逐次問題点を解決して十分に満足すべき結果を得ている。

#### 3.1 周波数および帯域

船舶用レーダには、Sバンド(10 cm)、Cバンド(5 cm)およびXバンド(3 cm)のものがあるが、装置の小形化の目的も含めて、手始めとして、ほとんどの船舶に装備されている水平偏波のXバンドのものを対象とした。また、Xバンド9300~9500 MHzの範囲に対して、この救難用レーダビーコンによる応答電波の効率的利用などの観点から必要以上に帯域を広げず、現用のXバンドレーダの大半の帯域である $9375 \pm 35$  MHzおよび $9410 \pm 35$  MHzの105 MHz以上をカバー出来るようにした。

#### 3.2 周波数掃引

捜索・救難活動用としての性格から、専用の救助船だけでなく、遭難者の近傍を航行する一般船舶のレーダも活用して救助率を上げるために、レーダ側に何らの改造や付加装置を必要としない周波数掃引形レーダビーコン方式を採用した。

周波数掃引形レーダビーコンは、IMCO NAV XVIII/WP.4 ANNEX IIで指摘されているように、統制のない使用が行なわれると、レーダ表示上の混乱を生じるおそれがあるが、この救難用レーダビーコン装置の実際の使用頻度は極めて少ないものであるので、むしろ他のレーダビーコンと確実に区別できるコード化の採用でこの問題を解決したい。

#### 3.3 コード化

レーダのPPI指示器上に遭難位置を表示させるためのコード化や映像としての応答の長さは、航行支援用の目的などで現用されているモルス符号や通常船舶エコー、ランドマークなど一見して区別できることに重点を置いて選択した。現在開発を終っているものは、10  $\mu$ s(0.8海里)ごとの20点の輝点列のものであり、簡単で信頼度の高い電子回路を採用している。

#### 3.4 有効到達距離

捜索・救難活動用としての性格から、到達距離は長い方が良いのは当然である。しかし、大電力の応答波による見通し外の電波伝播は別として、技術的にも3 cm波

帯の伝播には各種の制約がある。従って到達距離に対しては、見通し内伝播に的を絞り、むしろハードウェアの信頼性と経済性に重点を置いて装置の開発を行なった。

#### 3.5 信頼性

この救難用レーダビーコンの通信の相手方としてのレーダ装置の送受信機は高性能な装置であるために、この装置そのものは極めて簡単な装置で十分有用な性能を付与できる。従って固有信頼度面での改善に対しては、電子回路構成や使用部品は可能な限り実績のあるものを採用することとし、1000 ft以下の故障率を目標に開発を行なった。

一方、海難という特殊な場を想定すれば、遭難者にこの装置の操作に対して多くを期待できないために、開発に当ってはむしろ使用信頼度面の改善に重点を置き、一挙動操作以下を前提として苛酷な条件下でも確実に作動し得ることを目標とした。実際には、あらかじめ接続させておいた海水電池を海中に投入するだけで瞬時に作動する。

#### 3.6 定期点検および保全性

この装置はマイクロ波帯の電子装置であるために、点検や保全には高価で特殊な測定器や高度な技能が要求される。しかし、経済的な面も含めて、点検、保全に対する十分な体制の確立は期待し得ないのが現状である。この問題解決のためと使用信頼度の改善の目的も併せて、装置自身に自己診断機能を自蔵させることにした。従って具体的には、定期検査時は別途準備する簡単なチェッカーで瞬時に良否の判別ができるほか、遭難者自身もチェッカーの必要がなく装置動作をモニターできる。なお定期検査時に不良と判定された装置は、予備機と交換する方式をとり、使用者側から見て完全なメンテナンスフリーの保全方式を計画している。

#### 3.7 経済性

マイクロ波半導体素子の技術革新は、この種の装置の普及の妨げとなっていたコスト高の問題を解決しつつあり、現状技術で十分にコストパフォーマンスの良い装置の供給が可能になってきた。

この装置の開発に当たっての末端価格の目標は、救命いかだの10%に置いている。この目標は、現時点でも大量の需要があれば達成可能であり、第一段階としての救命艇や救命いかだなどの集団用利用の普及によるスケールメリットを活かせば、個人用途としてのコストパフォーマンスも十分達成できるところまでのコストダウンも可能であろうと考えられる。

## 4. 動作概要

救難用レーダビーコンには、(1)船舶レーダの送信パルスに同期してレーダバンド内を周波数掃引した信号を

一定時間送信するトランスポンダ方式と、(2) レーダの送信パルスとは無関係に連続して信号を送信する FM-CW 方式とがある。

開発委員会では両方式について検討を加えてきたが、(1) のトランスポンダ方式は、多少電子回路が複雑になる難点はあるが、コード化ができて PPI 指示器上に明瞭な同期エコーが表示される、船舶レーダ信号を受信した時だけパルスの送信を行なうので、容量の小さい電池で長時間動作させることができる、などの特長があり、今後の主力方式と考えられるので、ここではトランスポンダ方式に限って述べる。

図1に、救命いかだに実装させた状態の救難用レーダビーコンを、図2に、この救難用レーダビーコンの外観を、図3に系統図を示す。

救命いかだに装備する場合は、本体部をあらかじめ天幕に貼りつけて置き、モニター部および海水電池はいかだの内側に置く。遭難時には、ラフトが海面に落とされ、救命いかだが自動伸張すると、図1のように本体部は、海面から約1.5mの高さに保持される。この時点で海水電池を海中に投入すれば、装置は作動する。モニタ

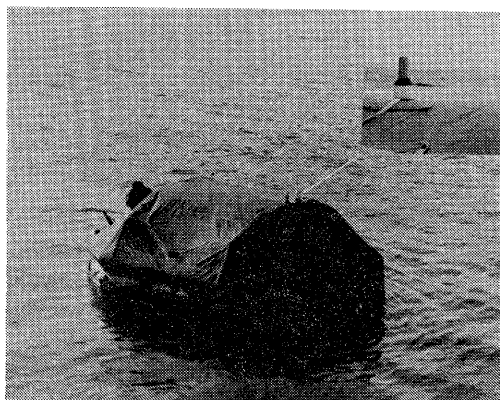


図1 救命いかだに取りつけた救難用レーダビーコン

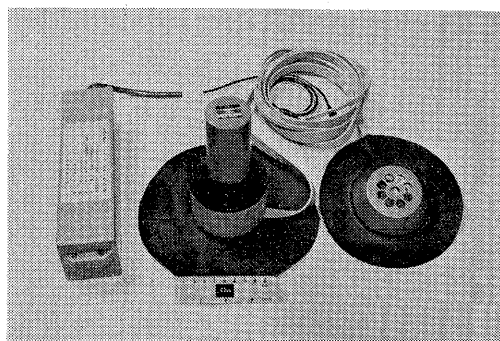


図2 救難用レーダビーコンの外観

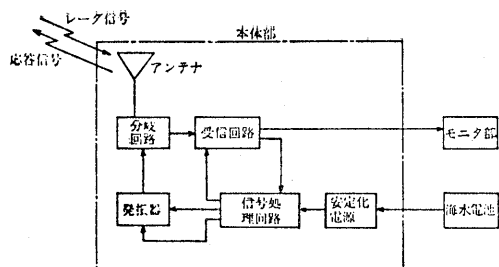


図3 系統図

一部には、発光ダイオードとスピーカーがついており、海水電池が所要電圧以上であり、また装置が正常に作動しているときは、発光ダイオードが点滅して遭難者（操作者）に装置が正常であることを知らせる。

図3の系統図により動作概要を説明すると、救難船または付近を航行中の船舶のレーダ送信パルスをアンテナで受信すると、分岐回路を経て受信回路に導かれる。受信回路では、レーダの送信パルス波を直接検波しビデオ増幅した後、信号処理回路に導く。信号処理回路では、このビデオパルスをトリガ信号として、一定時間ガンダイオード発振器を発振駆動させると同時に周波数掃引のための鋸歯状波信号を発生させ、これがガンダイオード発振器に装荷されたバラクタダイオードに印加される。これにより発振器は、レーダの送信周波数を含む所定の周波数範囲を  $10 \mu \text{sec}$  の間隔で20回（計  $200 \mu \text{sec}$ ）の間連続掃引発振する。

レーダの送信パルスを受信してから発振器が応答するまでの時間遅れは、実用上無視できる値であるから、この救難用レーダビーコンの送信信号は、図6に示すように船舶レーダの PPI 指示器上に、同期した輝点列③で示される。

図6により表示シンボルを説明すると、救難船から見

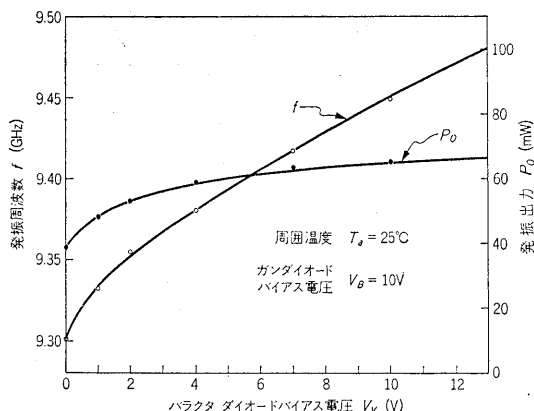


図4 バラクタ・ダイオードバイアス電圧に対するガン・ダイオード発振器の周波数変化と出力特性例

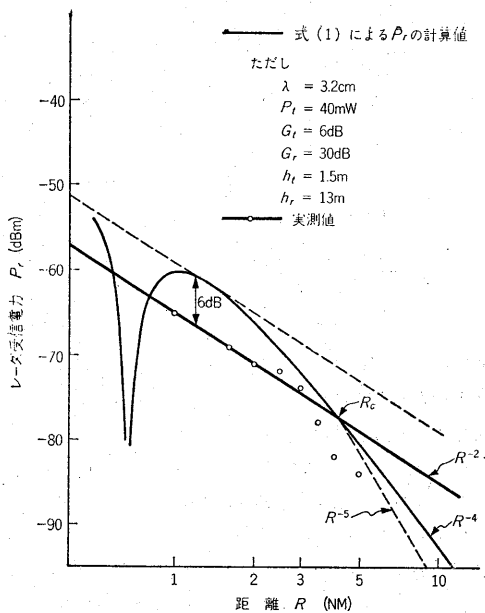
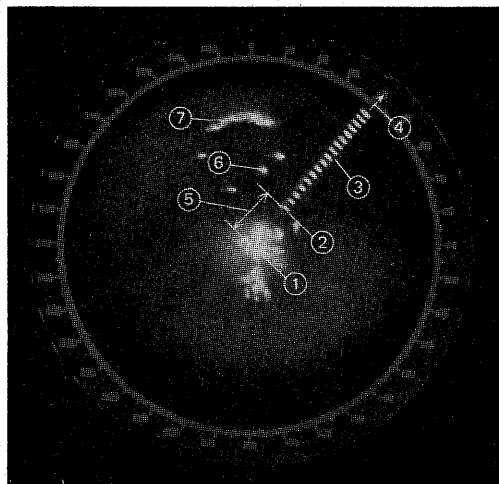


図 5 レーダ受信電力の距離依存性。計算値 (1) 式による) および実測値 (昭 50 年 FM-CW 波による実験)



- ① 救助船の位置
- ② 救難用レーダビーコンを設置したラフトの位置
- ③ 救難用レーダビーコンの表示シンボル
- ④ 救助船から見たラフトの方位
- ⑤ 救助船とラフト間の距離
- ⑥ 通常船舶エコー
- ⑦ ランドエコー

図 6 PPI 指示器上の表示シンボル

て、遭難者は輝点の列の方位④にあり、指示器の中心 (自船の位置) ①から見て、最初の輝点②までの距離⑤が遭難者までの距離を示し、最大 0.8 海里的距離誤差でその位置を知ることができる。従って、救難船はレーダ

PPI 指示器上の方位に操船すれば、最短距離で遭難者の救助に向かうことができる。⑥は通常船舶エコー、⑦はランドエコーを示す。

モニター部では、受信回路からの信号によりレーダ送信パルスに同期してスピーカーを駆動させ、受信したレーダ信号の繰り返し周波数 (PRF) 音を発生させる。2 隻以上の船舶からのレーダ信号を受信した場合にも応答し、各々のレーダの PRF の違いに対応した音色がスピーカーから発生され、何隻の船が近くにいるかも知ることができる。船が近づくにつれて、レーダのメインビームの他のサイドローブからの送信パルスでも受信するようになり、スピーカー音は長く鳴り出すので、信号紅炎を打ち出すタイミングとして活用できる。

表 1 に、救難用レーダビーコンの仕様を示す。この仕様は、救難用のものとして、(財)日本船用機器開発協会の開発事業である「救命用ガンダイオード発振器の開発事業委員会」において暫定的に定められたものである。

今日、マイクロ波の技術は日進月歩であり、その後の開発状況では、発振出力、受信感度とも更に向上しており、有効距離も 10 海里程度まで改善されてきている。

表 1 救難用レーダビーコンの仕様 (暫定)

| 項 目       | 個 人 用                                    | い か だ 用  |
|-----------|------------------------------------------|----------|
| 有 効 距 離   | 1.5 海里以上                                 | 4 海里以上   |
| 標準アンテナ高   | 0.4m                                     | 1.5m     |
| 発 振 出 力   | 10 mW 以上                                 | 40 mW 以上 |
| 動作持続時間    | 30時間以上                                   |          |
| 送 信 周 波 数 | 9340~9445 MHz を含む周波数範囲を掃引                |          |
| 送信の掃引周期   | 掃引周期 10±1 μs, 送信時間 200±5 μs              |          |
| アンテナ特性    | 水平偏波<br>水平面内指向特性：無指向性<br>垂直面内指向特性：30° 以上 |          |
| 最小受信感度    | -30 dBm 以下                               |          |
| 動作電圧、電流   | 20±4V, 平均 30 mA 以下                       |          |
| 保 存 温 度   | -30~+70°C                                |          |
| 動 作 温 度   | -10~+50°C                                |          |
| 重量(本体のみ)  | 400 g 以下                                 | 450 g 以下 |

#### レーダ側の条件

アンテナ高き：13m      パルス幅：0.06~1 μs  
 アンテナ利得：30 dB      P R F : 500~3,500  
 最小受信感度：-80 dBm      PPS  
 出 力：10 kW

## 5. 構成機器の特性

### 5.1 ガンダイオード発振器

ガンダイオード発振器は、反射形共振器にガンダイオードとバラクタダイオードを装荷し、船舶レーダの  $9375 \pm 35$  MHz 帯と  $9410 \pm 35$  MHz 帯の両者をカバーするため、周波数変調幅をバラクタバイアス電圧が 1 V から 10 V の範囲で 120 MHz 以上にしている。使用している発振器のバラクタバイアス電圧に対する発振周波数と発振出力の変化例を図 4 に示す<sup>(1)</sup>。

### 5.2 アンテナ

アンテナは、水平偏波二段のスロットアンテナで垂直面ビームは半値幅で約 30 度、水平面指向特性は無指向性であり、アンテナ利得は約 6 dB である。無指向性アンテナを使用しているため死角がなく、いずれの方向からのレーダ信号に対しても応答できる。

### 5.3 海水電池

海難救助システムにおいては、機器と同じく電池の動作にも高い信頼性が要求される。有事の場合に安定した電源として動作するためには、下記の項目を満足する必要がある。

- (1) 遭難時にだけ使用するため長期貯蔵性がある。
- (2) 操作が簡単で確実に動作する。
- (3) 広く普及するために価格が安い。
- (4) 北洋などでの使用も考え、低温特性が良い。
- (5) 海水を被ったり没水しても、確実に機能する。
- (6) 回路の短絡や高温による爆発、液漏れがない。
- (7) 人体に悪影響をおよぼしたり、公害源となる物質を使用していない。

以上の項目を考慮すると、現在市場にある汎用電池を組み合わせたものでは不十分で、貯蔵性の良い普及形海水電池 (Reserve Battery) が必要となる。

前項を満足する電池として開発したこの海水電池の構成は、負極体はマグネシウム (Mg) で、正極体としては過硫酸カリウムを主体とした過硫酸塩によるもの、AgCl によるもの、CuCl によるものなどがある。活動質の価格、単電池の開路電圧、量産性などを考慮して選択すべきであるが、いずれも救難用レーダビーコンに要求される諸条件を満足するものが得られている<sup>(1)</sup>。

## 6. 海上実験

「救命用ガンダイオード発振器の開発事業委員会」の指導のもとに海上実験を行なった。実験は、図 1 のようにあらかじめ救命いかだの天幕に救難用レーダビーコンを取りつけたものをラフトに収納させ、遭難を想定してラフトを船上から海面へ落下させ、自動的に伸張した救命いかだに船から乗り移り、海水電池を海中に投下した。その後船は、救命いかだから遠ざかり、各距離に対する救難用レーダビーコンのレーダでの受信電力を測定するとともに、PPI 指示器上で受信信号を観測した。

救難用レーダビーコンからの信号をレーダで受信するとき、その受信電力  $P_r$  は次式で表わされる。

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \cdot \left\{ 2 \sin \frac{2\pi \cdot h_t \cdot h_r}{\lambda R} \right\} \quad (1)$$

$P_t$  : 救難用レーダビーコンの送信電力

$G_t$  : 救難用レーダビーコンのアンテナ利得

$G_r$  : レーダのアンテナ利得

$\lambda$  : 使用波長

$h_t$  : 救難用レーダビーコンアンテナの海面からの高さ

$h_r$  : レーダアンテナの海面からの高さ

$R$  : 相互間の距離

図 5 は、 $P_t=40$  mW,  $G_t=6$  dB,  $G_r=30$  dB,  $\lambda=3.2$  cm,  $h_t=1.5$  m,  $h_r=13$  m における受信電力  $P_r$  の距離  $R$  に対する依存性について、(1) 式による計算値と実測値を示したものである。

図中の実線は波を考慮しない理論値であり、波がある場合には、変曲点  $R_c$  より大きい  $R$  に対しては  $P_r \propto R^{-5}$  なので<sup>(2),(3)</sup>、実験値は理論値とかなり一致している。この結果から、レーダの受信感度が  $-85$  dBm のときは、 $R$  は 5 海里以上 7 海里程度まで有効であることが判明した。

## 文 献

- (1) 木村、鳥塚、他：救命用ガンダイオード発振器、31 巻 7 号 (昭 51-7)。
- (2) Skolnik: Radar Handbook, McGraw Hill.
- (3) 飯島：救命用送信器、信学会論文誌 B, 58-B, 7 (昭 50-7)。

## 搜索用ラジオブイの開発

(株)ゼニライトブイ 長 町 耕 一

### Developments of Radio Buoy for Search and Rescue

Zeni-Light Buoy Co., Ltd.

Koichi NAGAMACHI

#### 1. ま え が き

日本近海における海難事故の発生は年々暫減する傾向にあることは過去数年の海上保安庁発表のデータの示すところである。これは過去 10 年間、日本周辺海域における大型台風の発生が少なく、大きな海上災害がおきなかったこと、および海難防止に関する海上保安庁を始めとする管海官庁の振導と海事関係者の自覚、救助体制の確立等、地味な努力の積み重ねの成果であることは今更申すまでもないことである。

なかんずく、漁船を含む小型船の海難通報については世界にも他に例をみない、HF帯の遭難自動通報局の法制化とこれを支援する海上保安庁の徹底した聴守と側近網によるシステムが維持され、人命救助に大きく貢献してきた。遭難自動通報局は昨年現在で約 22,000 局を数えている。この局のうち 9 割は人為操作によるポータブル式であり、文字通りの全自動ブイ式は約 1 割を占めているにすぎない。

これから述べる搜索用ラジオブイは遭難自動通報局のブイ式のものに近似した形態のものであるが、目的と用途は異なるものである。

#### 2. 搜索用ラジオブイの必要性

海難の救助活動においてその成否の鍵となるのが遭難位置の把握である。海難の発生初期の段階で通信連絡が設定された場合、または遭難自動通報局からの信号が海上保安庁の方位測定網でしっかりつかまれている場合は救助の対応に無駄がなく成功率が高い。ところが遭難通信が第一報だけで途絶するとか、間接的な情報で海難が推定されることにより救助活動が開始された場合は、搜索を必要とする海域が広い範囲に及ぶので、多数の船艇、航空機を使用しなければならない。

周知のごとく搜索救難活動をおこなう場合、航空機による利便は今更申すべくもない。しかし航続時間が短か

く、飛行艇以外の固定翼航空機では遭難者を発見しても直接の救助活動ができない等の欠点をもっている。海難の救助作業は古来、船舶によるのが最も合理的とされている。従って広域の搜索は航空機、海面での救助は船舶によるというのが、効率の高いパターンであろう。この組み合わせは理想的であるが、現実問題としてみると両者間に速度、時間の大きな隔りがあり、直接に結び合わされるのは極めて限られた場合しかない。通常は航空機による発見と船艇による完全捕捉と間にはギャップがあり、この間に遭難目標が海潮流や風浪により圧流され、再発見に困難をきたすことがあると想定される。特に航空機による初発見が昼間であり、船艇の現場到着が夜間となる場合、困難度は倍加されるであろう。

このギャップを埋める手法としてホーミングのためのラジオブイを航空機に搭載しておき、遭難地点発見と同時に該当海面に投下し、電波発射をおこなわせることにより、船艇の誘導目標とすることが考えられる。ラジオブイは航空機より比較的低空で投下され、海面まで落下着水する。着水後は自動起動でアンテナを伸長し、指定コードの電波を発信する。発射電波は A1 または A2 の中短波帯を使用し船用の方探で 50 海里的有効通達がえられる輻射電力を 20 時間以上は維持できる電源を持たせておく必要があるであろう。

#### 3. 搜索用ラジオブイを航空機に搭載する条件

航空機より投下する搜索用ラジオブイに要求される条件は次のことが考えられる。

A. 機械的構造が強固なものであること。

ブイの投下は落下傘 (20 kg 物糧用傘) 使用を原則とするが、低空での直接投下も可能な耐衝撃性を持つ材質構成とする。耐衝撃値は約 30G とする。

B. 小型、軽量であり、かつ安定性がよいこと。

航空機に常備搭載が考えられるので機内での取扱い等の面から出来るだけ小型、軽量であることが望

ましい。しかし海面での動作を考えると、厳しい海況気象条件に耐え安定した電波輻射をおこなうためにある程度、大型となり姿勢安定のための重量も必要となる。この相反する条件を調整する必要がある。

- C. 船艇，航空機に既設の方位測定機でホーミングがおこなえること。

使用周波帯は昼夜間共に比較的安定に遠距離より方測が可能で、しかもブイの空中線長さを考慮し中短波帯（2 MHz 帯）とする。有効通達距離は 90 km で、電界強度 10  $\mu\text{V/m}$  以上、送信間隔は 1 分発射 1 分休止の繰り返しとする。

- D. 空中線は収納型とし、海面に着水後自動伸長させるものとする。落下傘による降下の場合は着水直後に落下傘を自動切離しする装置を備えること。

空中線は圧縮ガスの放出または電動による伸長とするが、一旦伸長した後は容易に縮小または折損しない構造とし、適合する材質を使用する。使用ずみの落下傘は海水電池起動の火薬式瞬時切離し機構を使用する。

#### 4. 開発された捜索用ラジオブイの仕様

今回開発した航空機投下式の捜索用ラジオブイは着水後のアンテナ伸長の動力源として  $\text{CO}_2$  のボンベ封入ガスを使用した。航空機に常備して搭載中における不測の事態における安全性を考慮し、ガスボンベはブイの外面に装備させる構造とし、投下の直前まで取り外して別場所での分離保管の形とした。アンテナの伸長は電動式も試験したが、信頼性と電池電源の両方からの制約により断念した。ガスボンベの開封は予めチャージされたスプリングの復座力により撃針を動かしておこなっている。撃針レバーの運動は水溶性の固型チョークにより保持緊止されている。いまラジオブイが投下され海に着水すると、固型チョークは吸水し膨潤軟化する。このため緊止力が失われ、撃針レバーが急速に復座する。潮解性の固型チョークはトリガーの役割を受け持っているわけである。航空機内での取扱いの場合は加えて金属製の安全ピンを併用し、投下寸前に取り外すよう考慮している。要目については次表のとおり。

|                 |                                                                                             |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 電波型式 および 周波数    | 1900～2200 kHz のうち指定の 1 波                                                                    |
| 空 中 線 電 力       | 10W（48時間、経過後の電力は初期の 1/4 以上であること。）                                                           |
| 符 号 の 送 出 方 式   | 局名符号を長昔の繰返し，1 分間送出後 1 分間休止。以下の繰返し。                                                          |
| 有 効 通 達 路 離     | 昼間海上 90 km の距離における電界強度 10 $\mu\text{V/m}$ 以上                                                |
| 回 路 方 式         | 水晶制御全ソリットステート                                                                               |
| 信 号 発 生 回 路     | 電子キーヤ方式                                                                                     |
| 空 中 線 構 造       | 着水後，自動伸長，7 節テレスコピックグラスファイバーにメッキを施したもの。<br>伸長時の長さ 3.75m の垂直ホイップ                              |
| 発 光 装 置         | 空中線基部に，2 秒 1 閃のクセノン放電管を有す。夜間視認距離：約 7 km                                                     |
| 電 源             | パック電池 1 箇（無線装置，発光装置用の電源をそれぞれ独立させること。）                                                       |
| 重 量（電池を含む）      | 20.5 kg（落下傘を含まず）                                                                            |
| 構 造 お よ び 寸 度   | ブイは耐食アルミニウム合金 A5052 使用，浮体内部に発泡ポリウレタン充填<br>寸度は付図 1 パネル配置は付図 2 に示す（高さ 80 cm 以下，最大直径 30 cm 以下） |
| 喫 水 線 位 置       | 上面板の下 10 cm                                                                                 |
| 復 元 力           | 風速 40 m/sec で傾斜 40°                                                                         |
| 余 剩 浮 力         | 7.5 kg                                                                                      |
| 塗 装             | だいだい色                                                                                       |
| 使 用 範 囲         | -10°C～+50°C                                                                                 |
| 空 中 線 伸 長 動 力 源 | $\text{CO}_2$ ボンベ                                                                           |
| 落 下 傘           | 20 kg 物糧投下用落下傘                                                                              |

## 要目（続き）

|             |                                                                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 降 下 速 度     | 約 7 m/sec                                                                |
| ブイとの接続および離脱 | 落下傘に付した三股ベルトとブイガードリングとをシャックルで連結、着水後、海水電池の動作により落下傘と二股ベルト接続フックを開放し、ブイより離脱。 |

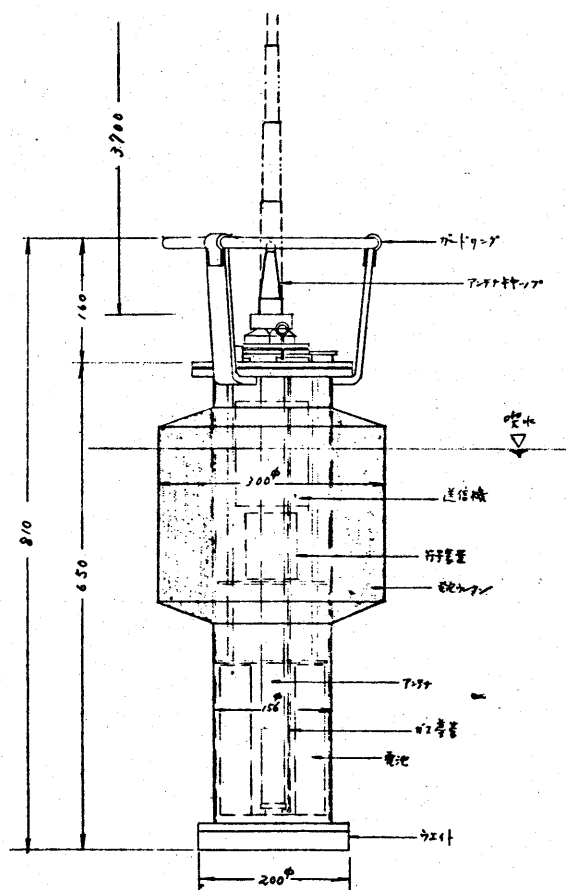


图 1

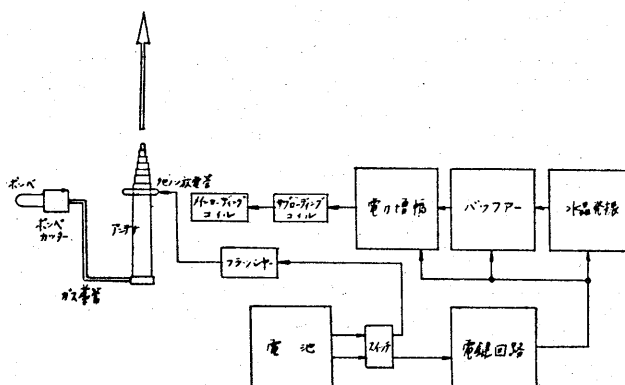


図 2 搜索用ラジオブイ構成図



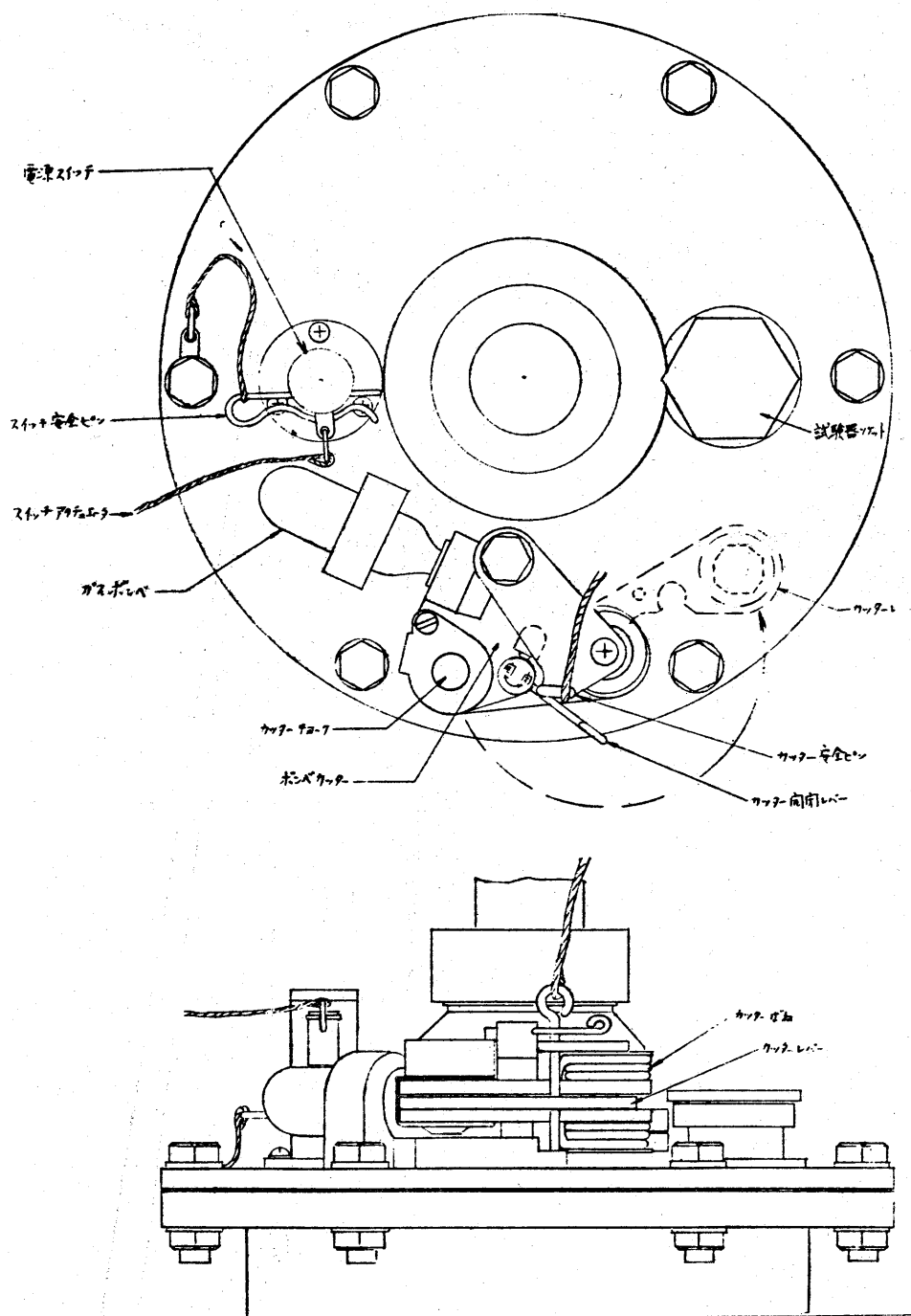


図 4



## 5. 構成と動作の説明

ラジオブイの外観およびブロックダイアグラムは別添図のとおり。動作は全自動でおこなわれる、以下投下の手順を述べると、

- A. 20 kg 物糧投下用落下傘のつり紐をラジオブイの上部ガードに固定する。このつり紐の基部に火薬式切離し装置と、トリガー用海水電池箱が付属されている。
- B. ラジオブイ上面（付図参照）の操作盤に CO<sub>2</sub> ガスボンベ、撃針レバー固定用チョークを装填し、安全ピンを入れる。
- C. 航空機の投下扉を開きラジオブイを落下させる。ブイが空中へ出ると落下傘が開き、着水と同時に落下傘が切り離される。ラジオブイは一旦水没し浮上後約 2 秒以内に CO<sub>2</sub> が噴射され 3.7 m のアンテナが伸長固定される。
- D. 電源スイッチは機体から落下し、落下傘が開傘した時点で接続されているので、局名符号とこれにつ

づく約 15 秒の長符 3 回を連送し、約 1 分の休止時間をおいて繰り返し電波発射をおこなう。

電鍵操作はすべて IC 化された電子キーヤーを使用し、完全に無接点としている。

## 6. 実験結果その他

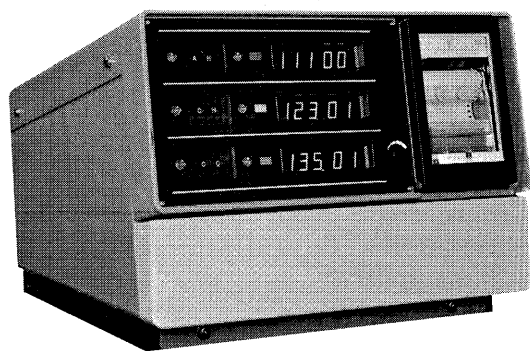
ラジオブイ本体の耐衝撃性その他についての落下テストは兵庫県加古川市の播磨大橋（海面上 15m）より投下を重ね実験をおこなった。電波伝播テストについては紀伊水道を沿む、和歌山県日ノ御崎の海面にラジオブイを浮かべこの電波を対岸の徳島県蒲田崎より高知県室戸崎に至る弧状の海岸線にて電測をおこない別添のデータを得た。結果については、所期の結果がえられた。

今後の課題として 3 cm 波のレーダトランスポンダも併用することにより、一層ホーミングの効果が期待できるのではないかと考えられる。今回の実験にあたりご指導およびご支援を頂いた海上保安庁警救部航空管理課ならびに通信管理課の諸官に衷心より謝意を表します。



# 高度な受信性能で 航海の安全を確保。

富士通 OMEGA-15型受信機は、  
米国のノースロップ社と富士通の  
エレクトロニクス技術の粋を結集  
した、信頼性の高い受信機です。  
半永久的な寿命を誇っています。



## 特 長

- 優れた応答性 ●正確な位置測定(3LOP)
- バックアップ電池内蔵(停電時も安心)
- 操作は簡単 ●容易な保守点検

オメガ自動船位測定システムを構成できます  
標準形オメガ受信機と当社の誇る電子計算機  
とを組合わせた、自動船位測定システムも  
完成しています。

## 富士通 OMEGA-15型受信機

富士通株式会社 営業推進部伝送無線課

〒105 東京都港区新橋6-1-1 ☎ (03)437-2111



# 安全で 経済的な 航行の支援に……

自船の正確な位置を、簡単な取り扱い操作でしかも高精度の測定が可能な衛星航法装置を、世界のTRACORと沖海洋の技術が、画期的な超小形・軽量ONN-1001を開発いたしました。

## ■特 長

- 高精度
  - 超小形・軽量
  - 操作は簡単
  - 豊富なオプション
- のほか
- 海潮流・風圧流の自動計算
  - 目的地までの針路航程計算
  - 対地直航針路・速力計算
  - 次の衛星測定時刻の予報などの演算表示が可能です。



## NNSS OKI TRACORの 衛星航法装置 ONN-1001



株式会社 沖海洋エレクトロニクス

本 社 〒108 東京都港区芝浦4-11-17 ☎(03)455-7771(代)  
東京支社 〒108 東京都港区芝浦4-11-17 ☎(03)455-3631(代)

電

波

航

法

電

波

航

法

研

究

会

発

行