

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法

JACRAN. 21

1977

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation

MS-3A型

デッカ受信機

○高精度、高感度

○高信頼度

○表示方式

(レーン:デジタル)
(センチレーン:デコメータ)

○自動レーン設定

○御要求によりデータ処理
装置との結合が可能です

○小型軽量 (18kg)

○低消費電力 (36W)



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



セナー株式会社

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

一 目 次

CONTENTS

巻 頭 言 創立 25 周年に当って.....	副会長 庄 司 和 民... (2)
Foreword	Foreword Vice-President Kazutami SHOJI

研究 調 査

Research and Investigation

船橋シミュレータ JAT-34 NBS	安 田 義 則... (3)
Navigation Bridge Simulator, JAT-34 NBS	Yoshinori YASUDA
IHI 操船シミュレータ	西 岡 敏 孝... (9)
IHI Ship Maneuvering Simulator	Toshitaka NISHIOKA
	松 浦 由 次
	Yoshitsugu MATSUURA
タービンシミュレータによる機関部の操作訓練	石 谷 憲 一 郎... (17)
Operation Training of Engineers	Kenichiro ISHITANI
by Using Turbine Plant Simulator	
航空機衝突防止装置開発の現状	船 津 忠 平... (22)
Present Status of Development of Airborne Collision	Chuhei FUNATSU
Avoidance System	平 田 俊 清
	Toshikiyo HIRATA
Active BCAS の研究経過と今後の課題	岡 田 昂 三... (29)
Recent and Future Researches of Active BCAS	Kozo OKADA
海上交通シミュレーション	杉 崎 昭 生... (35)
On the Marine Traffic Simulation	Akio M. SUGISAKI

海外資料紹介

Abstract of Foreign Paper

Abstract of Foreign Paper State of Experimentations and Program	
of Development of Differential OMEGA in France	G. NARD... (40)
フランスにおけるディファレンシャルオメガの実験と開発計画	(抄訳 森脇憲治)
Report on the Results of More than Five Years of Testing	
MICRO OMEGA, a Form of Differential OMEGA	A. L. Comstock... (44)
マイクロオメガの実験結果について	W. A. Rounion
	(抄訳 森脇憲治)
Differential OMEGA in the Air Traffic Control Enviroment	H. G. Miller... (46)
国内航空交通管制とディファレンシャルオメガ	(抄訳 森脇憲治)

巻 頭 言

(FOREWORD)

創立 25 周年に当って

副 会 長 庄 司 和 民
Vice-President Kazutami SHOJI

電波航法研究会も創立 25 以来年経ったという。現松行会長が海上保安庁で在職の頃、是非このような会を作っていたら、製造者と政府と使用者の 3 者が、共に討論して我が国の電波航法を発達させる必要があるとお願いに行ったのは、つい数年前のような気がします。

しかし、爾来 4 半世紀、電波航法の発達は目覚ましいものがあります。殊に最近の 5 年は、それまでの 20 年にも匹敵するような勢いで発展し、さらに研究開発がすすめられております。特にコンピュータ技術の発達とその応用は、電波航法の部門にも大きな変革をもたらしつつあります。NNSS は勿論のこと、レーダ情報の処理やオメガ受信機、そして航法装置はいうに及ばず、操船機器にさえコンピュータが組み込まれる現状であります。

電波航法研究会も、単に電波を使う単一のシステムに限らず、広く電子機器を用いる装置として、ハイブリッド装置や、操船装置も含めた運航システムまで研究を拡げる必要があると思います。また勿論ハードウェアに限らず、ソフトウェアの研究も必要であります。

このことから、電波航法研究会も、電子航法研究会といってもよいような分野に拡大することが大切ではないかと思います。4 半世紀たった今日、創立当初の精神にたちかえって反省して見る必要があるかと存じます。それは、最近各パートにおいての研究がすすんだ半面、互いに連携なく独走した研究が多く見受けられ、初心にかえって、製造者、使用者そして政府が、一体となって有機的に、手をつないで研究する必要があるが、再び見なおされなければならないことと共に、心すべき点ではないかと思うものであります。

次の 4 半世紀に向って、電波航法研究会が、ますます発展し、その使命を果すことを熱望してやみません。

研究調査

Research and Investigation

船橋シミュレータ JAT-34 NBS

日本無線株式会社 安田 義 則

Navigation Bridge Simulator, JAT-34 NBS

Japan Radio Co., Ltd.
Yoshinori YASUDA

1. ま え が き

現在、船舶は巨大化、高速化、及び専用化が進んでいて海上交通の混雑とあいまって、運航上幾多の問題を提供している。そして、それらの問題を内包したまま自動化もまた進行しつつある。このようなときに、船舶の運航に関する技術を高めるためには、在来行われてきた、机上の教育と実船の実習のみでは果し得ない面があり、これを解決する一つの方法として、シミュレータによる教育や研究がクローズアップして来た。特に船橋は船舶の運航管理技術の中核と考えられるところであり、このような船橋シミュレータを使用することにより、船橋における運航管理技術の開発の従来より容易に行うことができ、船舶システムの分析と同時に、分析結果の総合も容易に行えることとなる。したがって、この船橋シミュレータは、単なる実景シミュレータによる操船訓練を目指すものでなく、船舶システムの個別または総合機能のシミュレーションを行い、その状況を大型スクリーンにアイドホール装置によって映しだし、運航管理者としての客観的判断力を着けることを主眼としている。また、あらゆる航海機能を自由な形でシミュレーションすることによって航海技術の研究開発も可能であると考えられる。

2. 目 的

この船橋シミュレータの目的は、船舶の船橋で行われる運航管理技術の教育と研究にある。すなわち、類似する名称の他のシミュレータが、外景のビジュアルシミュレーションを行うものであるのに対して、このシミュレータは全く趣を異にし、船舶というシステムのシミュレーションを自由にプログラム入力することによって、あ

らゆる形の表示を出力として得るように考慮されたものである。したがって、アイドホールを利用したディスプレイは、できる限り柔らかなシステムとし、ソフトウェアの駆使によってあらゆる種類の航海シミュレーションを可能にしている。

3. 機 能

シミュレータを固定化しないように、次の四つの機能を基本的に有している。

(1) デバイスモードのシミュレーション

船舶運航に関するシミュレーションのうち、ディスプレイとして、アイドホール投影装置を利用して行われるもので、一般にリアルタイムのシミュレーションである。

(2) プログラムモードシミュレーション

フォートランに類似した言語によってプログラされたバッチ処理的シミュレーションである。

(3) 実験装置等のデータ処理及び入出力制御

航法装置その他の実験計測装置よりの入力をもとにして、オンラインのシミュレータとして働かせるものである。

(4) バッチ処理

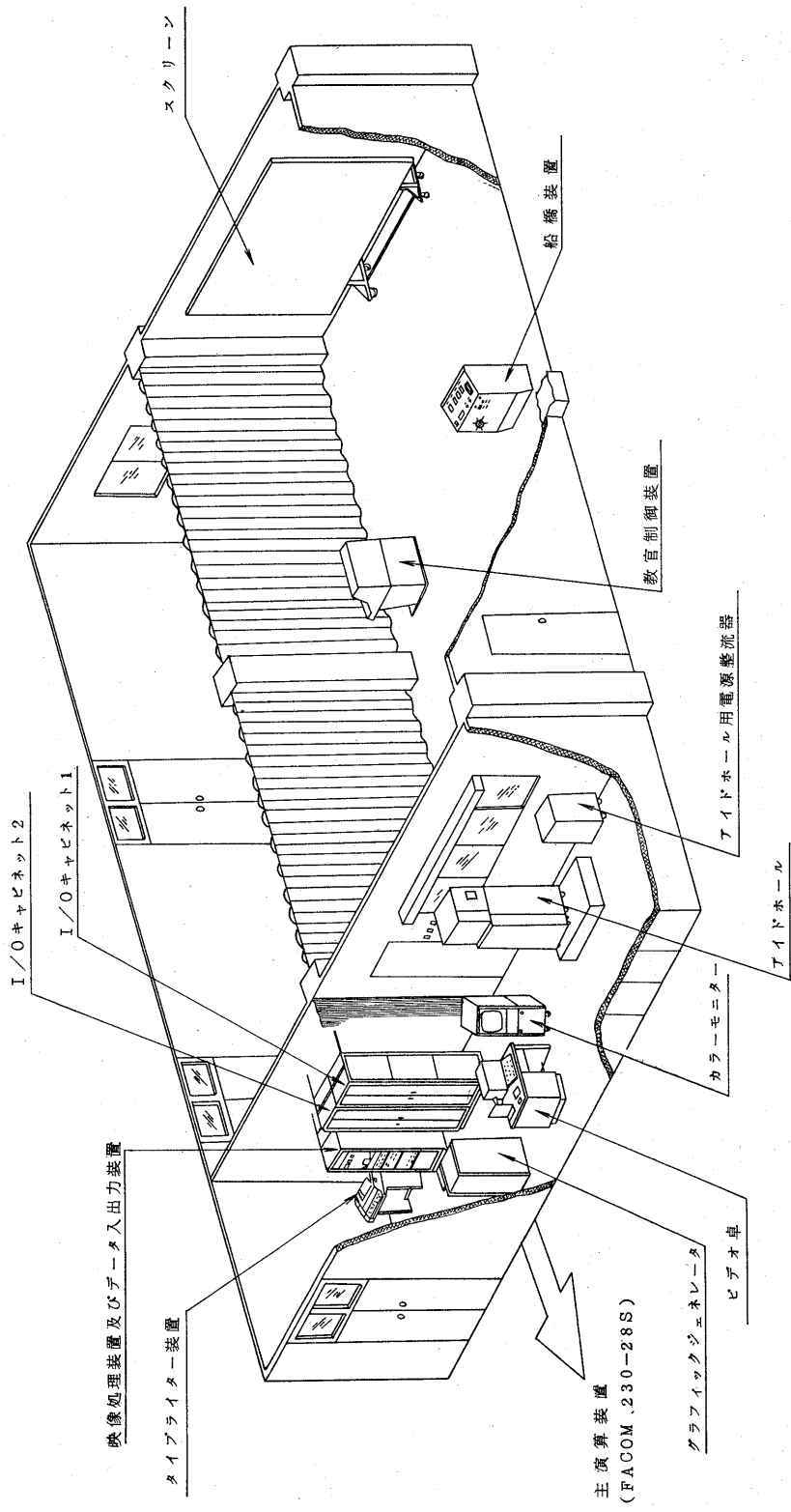
千差万別の船舶運航技術関連プログラムの処理である。

4. 構 成

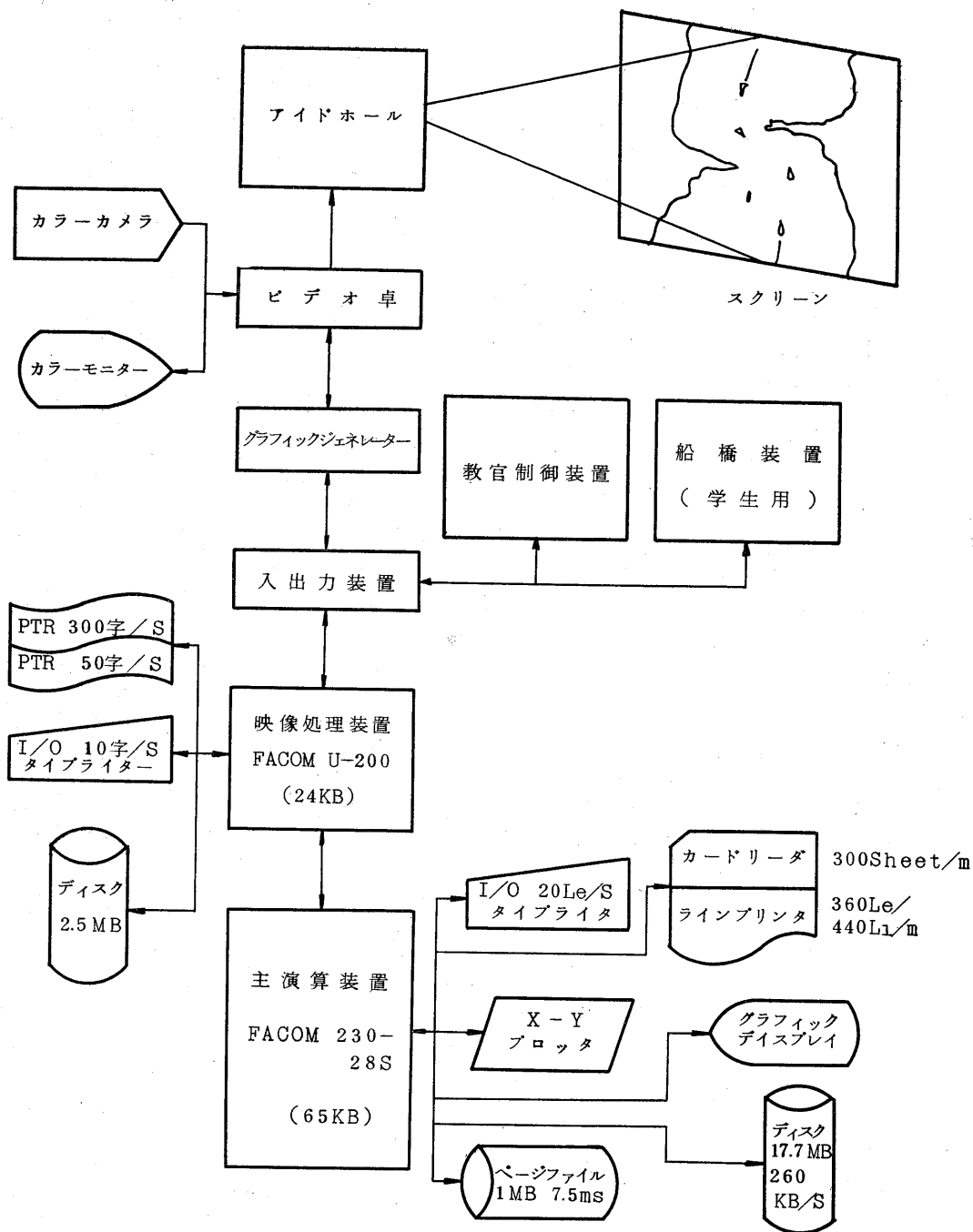
シミュレータとしての全構成システムは第1図、演算処理システムとしての構成は第2図に示すとおりである。

このシステムは次の諸装置で構成される。

(1) 船橋装置 (学生用コンソール)



第1図 船橋シミュレーターシステム



第2図 船橋シミュレータブロック図

(2) 教官制御装置 (教官用コンソール)

(3) アイドホール投影装置

(4) 入出力装置

4.1 I/O ラック 1

4.2 I/O ラック 2

(5) グラフィックゼネレーター (スキャンコンバータ)

(6) 映像処理装置 (FACOM U-200)

ア. 演算装置

イ. データ入出力装置

ウ. ディスクカートリッジ

- エ. 入出力タイプライタ
- (7) 主演算装置 (FACOM 230-28S)
- ア. 中央処理装置
- イ. タイプライタ装置
- ウ. 入出力装置
- エ. ディスクバック装置
- オ. ページファイル装置
- カ. オフライン装置

5. 各部の機能

5.1 船橋装置

船橋装置は自船の船橋機能のうち操船に必要な速力、針路等の運動諸元を設定することができる。

また、自船の運動性能については教官制御装置及び入出力タイプライタで設定された船種の操船性能ソフトウェアで処理できる。

- (1) 操舵制御
操舵のシミュレーションができ、その最大舵角は左右 40° である。
- (2) 機関制御
電気式エンジンテレグラフと同様の段階で速度設定ができる。
- (3) 針路指示器
自船の針路を指示するシングルスケールのコンパスレベーターである。
- (4) プロペラ回転計
正転、逆転について 0~300 rpm のプロペラ回転数を指示する。
- (5) 舵角指示器
取舵、面舵について 0~40° 及びラダーホイールによる取舵角を指示する。
- (6) 速度計
前進、後進について 0~50 ノットの自船対水速度を指示する。
- (7) オートパイロット制御器
オートパイロットによる針路を設定する機能を有する。

5.2 教官制御装置

教官制御装置はコンソールデスクタイプとし本装置(投写装置を除く)全体の電源の投入運動諸元の制御を行うもので演習を開始するに先立って教官が自船の運動特性(最大速度、時定数、旋回率、遅れ時間等)の設定と目標となる2隻までの他船の船種、針路、速力の設定及び自船、他船の初期位置の設定並びに演習海域の気象条件の設定を行うことができる。

教官制御装置前面パネルで次の設定ができる。

項	目	諸 元	備考
1.	電 源	ON-OFF	
2.	初期位置パネル		
	(1) 自 船 位 置 設 定	緯度 0~90° NS 経度 0~180° EW	
	(2) 他 船 1 相 対 方 位	0~360°	
	(3) 他 船 2 相 対 方 位	0~360°	
	(4) 他 船 1 相 対 距 離	0~20000 m	
	(5) 他 船 2 相 対 距 離	0~20000 m	
3.	制 御 パ ネ ル		
	(1) 時 間 短 縮 比	1~999	
	(2) タイプアウト時間	OFF, 5 分, 10 分	
4.	自 船 パ ネ ル		
	(1) 最 高 速 度	0.1~50 kt	
	(2) 最高プロペラ回転数	1~300 rpm	
	(3) 舵角応答時間	0.1~9.9 sec	
	(4) 後 進 速 度 比	1~99%	
	(5) エンジン整定時間	1~999 sec	
5.	他 船 パ ネ ル 1		
	(1) 針 路	0~360°	
	(2) 速 度	0.1~50 kt	
6.	他 船 パ ネ ル 2		
	(1) 針 路	0~360°	
	(2) 速 度	0.1~50 kt	
7.	気 象 海 象 パ ネ ル		
	(1) 潮 流		
	イ) 方 向	0~360°	
	ロ) 速 度	0~9 kt	
	(2) 波		
	イ) 方 向	0~360°	
	ロ) 大 き さ	1~9	
	(3) 風		
	イ) 方 向	0~360°	
	ロ) 風 速	0~29 m/sec	
	(4) 波 浪		
	イ) 方 向	0~360°	
	ロ) 大 き さ	1~9	
8.	計 器 パ ネ ル		
	(1) 自 船 速 度 計	前進 0~50 kt 後進 0~50 kt	
	(2) 自 船 針 路 計	0~360°	
	(3) 他 船 1 針 路 表 示 器	0~360°	
	(4) 他 船 2 針 路 表 示 器	0~360°	
	(5) 他 船 1 速 度 表 示 器	0.1~50 kt	
	(6) 他 船 2 速 度 表 示 器	0.1~50 kt	
	(7) 他 船 1 相 対 方 位 表 示 器	0~360°	

項 目	諸 元	備考
(8) 他船 2 相対方位表示器	0~360°	
(9) 他船 1 相対距離表示器	0~20000 m	
(10) 他船 2 相対距離表示器	0~20000 m	
(11) 時 間 表 示 器	日, 時, 分, 秒	

5.3 投写装置

(1) 順次式カラーアイドホール

順次式カラーアイドホールは、フィールド順次カラー信号によるカラーテレビジョンの映像をスクリーンに拡大投写する超大型テレビ投写機とし、その作動はビデオ信号によって制御される油膜面上の凹凸に、別光源から高輝度の照射を行い、その散乱光をシュリーレン効果を利用して、スクリーンへ投写する方式のものである。

(2) 順次式カラーカメラ

順次式カラーカメラは、赤、青、緑、3の原色によるフィールド順次カラーテレビ方式で色忠実性の良い高感度、高解像度のカラーカメラで背景となる地形(海図)、浮標及び天気図等を撮影しカラーアイドホールと結合してスクリーンに投写する。

(3) 順次式カラーモニタ

カラーモニターはシャドウマスク3電子銃受像管を使用した順次式カラー信号を受像するモニタで、赤、青、緑、の順に送られてくる映像信号を電気的に同期させ、順に切換でブラウン管を動作させ表示する。

(4) ビデオ卓

ビデオ卓は順次式カラーテレビカメラにより海図等を撮像し、グラフィックジェネレータTV映像信号と合成調整を行う。

5.4 入出力装置

入出力装置はラック形式の構造であって映像処理装置(電子計算機)と船橋装置、教官制御装置及び投写装置との各信号諸元の投受を行うための信号変換装置で次の機能を有する。

- (1) 船橋装置及び教官制御装置における設定信号を映像処理装置に送り込むための A/D 変換器。
- (2) 映像処理装置からの演算データ出力信号をアナログ信号に変換する D/A 変換器。
- (3) アナログ信号から指示計器に指示するためのシンクロ角度信号に変換する A/S 変換器。
- (4) データ信号の入出力に必要なすべての信号、コントロール信号、バッファ及びシーケンス制御信号を

発生するための論理回路。

- (5) 上記(1)~(4)項迄の各回路を作動するための各種電源装置。

- (6) データ信号の入出力はすべてパッチパネルにより集中処理される。パッチパネルは入出力装置のラックに組込んだもので、船橋装置、教官制御装置及びグラフィックジェネレータと入出力装置との中間に使用し、デバイスシステムの特長諸元の変更、プログラムの変更に対応し得ると同時に調整並びに整備が容易にできる。また、各種制御装置の入出力及びインターフェース信号を系統別に配置し分配接続できる。

5.5 映像信号の処理

映像信号処理は映像処理装置(電子計算機)FACOM U-200 を中心として自船及び他船の運動方程式の演算、各船の位置及び相対方位、距離の計算、標準航路の計算が行われ、その結果を自船及び他船の位置情報としてグラフィックジェネレータで処理される。

(1) グラフィックジェネレータ

グラフィックジェネレータは電子計算機からの情報を蓄積管に記憶させ、カラーアイドホールからの制御信号によりテレビ走査モードのカラービデオ信号としてカラーアイドホールへ出力し、スクリーン上に投写するものでキーボードが付属し(ビデオ卓に配備)カラーモニタで監視しながらキーボードの操作によってカーソル制御、1字削除、挿入、1行削除、挿入等の編集を行うことができる。

(2) 映像処理装置

主演算処理装置からの情報と船橋装置、教官制御装置、I/O タイプライタからの情報を演算処理し変換してグラフィックジェネレータに与え、映像として制御する機能を有する電子計算機である。電子計算機 FACOM U-200 の内訳は次のとおりである。

(1) 中央処理装置

(2) 記憶装置 (24kB)

(3) ディスクカートリッジ (2.5MB)

(3) データ入出力装置

映像処理装置に対するデータ、プログラムの入出力を紙テープにより制御することのできる紙テープせん孔読取装置である。

読取速度 300 字/sec

せん孔速度 50 字/sec

(4) タイプライタ装置

映像処理装置に対するシミュレーションデータ入力、プログラム入力及びその結果をタイプアウトする機能を有する。

印字速度 10 字/sec

5.6 主演算処理装置

仮想記憶方式 (Virtual Storage) を採用した中型電子計算機 FACOM 230-28 S を使用し、コアメモリは 65 KB であるが、ページファイルを利用することによって処理能力を飛躍的に高めたものである。

(1) 中央処理装置

磁心記憶装置 65 kB

(2) タイプライタ装置

印字速度 20 字/秒

(3) 入出力装置

カードリーダー 読取速度 300 枚/分

ラインプリンタ 印字速度 440 行/分
(1 行 360 字)

X-Y プロッタ プロットイング速度
400 ステップ/秒

グラフィックディスプレイ F6234A

(4) ディスクバック

容 量 17.7 MB

情報転送速度 260 kB/秒

アクセスタイム 75+15 ms

(5) ページファイル

容 量 1 MB

情報転送速度 300 kB/秒

アクセスタイム 7.5 ms

(6) オフライン装置

カードパンチャ

紙テープパンチャ

6. シミュレーションの応用例

このシミュレータは次の各項目の研究及び演習について応用できるものと考えられる。

6.1 デバイスモードのシミュレーション

(1) 避航シミュレーション

対船舶……衝突回避

対陸地……狭水道航行

(2) レーダシミュレーション

2 Own Ships

(3) 離着岸シミュレーション

6.2 プログラムモードのシミュレーション

(1) 最適航路選定シミュレーション

(2) 波浪発達過程シミュレーション

(3) 台風発達過程シミュレーション

(4) 波浪の回折及び屈折シミュレーション

(5) 操縦運動シミュレーション

(イ) 前後運動

(ロ) 変針運動

(6) 船体運動シミュレーション

(イ) 規則波中の運動

(ロ) 不規則波中の運動

(7) 荷役シミュレーション

(イ) 安全荷役

(ロ) 能率荷役

(8) 貨物流通シミュレーション

(9) 船倉内空調シミュレーション

(10) 石油ガス拡散シミュレーション

(11) 油水分離シミュレーション

(12) 油流出シミュレーション

(13) 流出油火災シミュレーション

(14) L.N.G. 拡散及び火災シミュレーション

(15) 海上交通シミュレーション

(16) 海上交通管制シミュレーション

(17) 防災シミュレーション

6.3 実験装置等のデータ処理及び入出力制御

(1) NNSS のオンライン処理

(2) デッカ情報の処理

(3) レーダ情報の処理

(4) 水槽実験データ処理

(5) ロラン情報の処理

(6) オメガ情報の処理

(7) ハイブリッド航法処理

6.4 バッチ処理

(1) 航路選定計算

(2) 航路設計

(3) 船位計算

天測、陸測、双曲線航法計算等

(4) 方位距離計算

(5) 船舶運動方程式計算

(6) 最適係留計算

(7) 載貨計算

(8) 避航ゲーム

(9) 熱管理計算

IHI 操船シミュレータ

石川島播磨重工業株式会社

西岡敏孝, 松浦由次

IHI Ship Maneuvering Simulator

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

Toshitake NISHIOKA and Yoshitsugu MATSUURA

1. 緒 言

近年、海上交通の輻輳化と通航船舶の大型化・多様化により海難事故の増加が憂慮されている。

このような情勢に対処すべく、海上交通システムの研究および乗組員の教育訓練を目的とした、操船状況を再現できる操船シミュレータがオランダ、アメリカ、スウェーデン、ノルウェー、西ドイツ等の各国で建設又は計画されている。

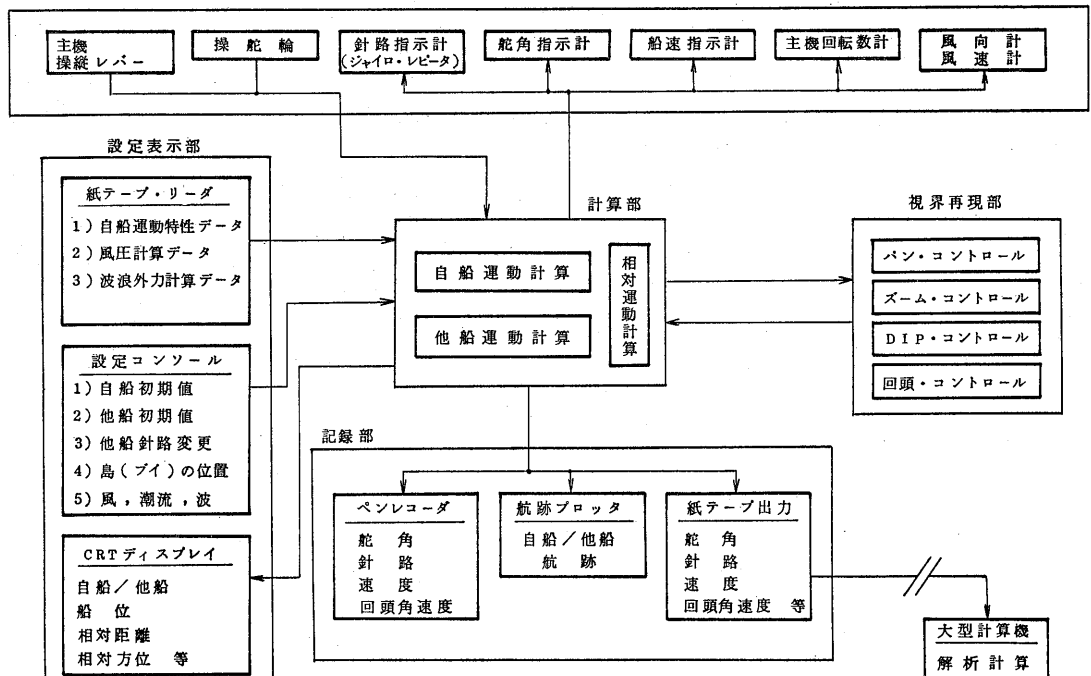
IHI においては、1970 年に操船シミュレータの机上設計を行い、概念仕様を作成したのを皮切りに、1972 年に船の操縦性能シミュレーションプログラムを完成し、

1972 年より操船シミュレータの建設に着手し、1975 年 6 月に稼動を始めた。その後ターゲットの増設、視界再現装置の改良、主機シミュレーションプログラムの追加等の改良を行い、社内における開発研究用とただけではなく、乗組員の訓練用としても利用されるようになった。

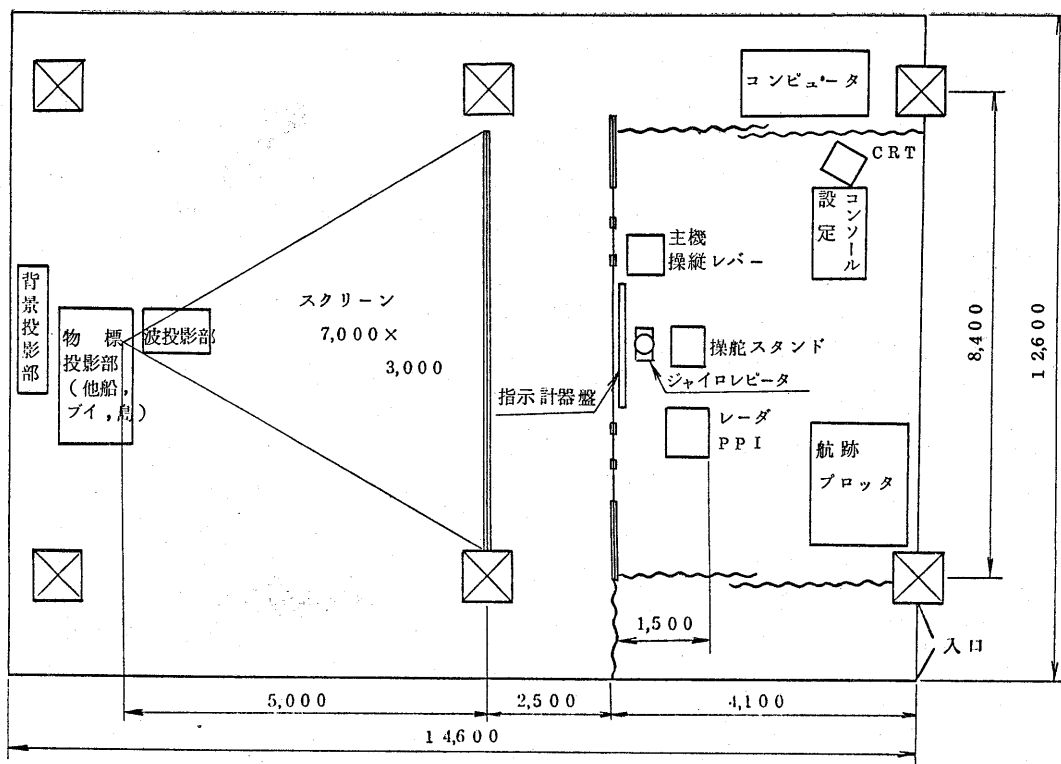
ここに IHI 操船シミュレータの概要及び利用状況について紹介する。

2. シミュレータの構成

IHI 操船シミュレータの構成はシステム構成図（第 1 図）に示すように船橋部、視界再現部、計算部、設定表



第 1 図 システム構成図



第2図 機器配置図

示部、記録部の5つの部分からなる。

シミュレータ室内の機器の配置は第2図に示すようにスクリーンをはさんで模擬船橋と投影装置が配置され、スクリーン上に投影される船橋前方窓からの視界により、実船と同様の環境のもとで操船を行うことができる。

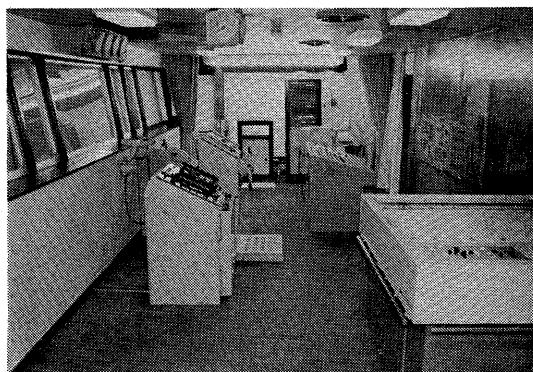
2.1 船橋部

操船者に実船に近い操船感覚をもたせるため、実船を模した船橋モデルを有し、内部の操船に使用する機器はすべて実機を使用した。

船橋の広さは幅: 8.4m, 奥行: 4.1m, 高さ: 2.2mで、操船者に圧迫感を与えないのに十分な広さとした。

船橋室内には第2図に示すように、操船用機器としてオートパイロット付操舵スタンド、コンパスレベーター、レーダPPI、主機操縦スタンド、舵角指示器、主機回転計、船速計、風向計、風速計、エンジンテレグラフ受信器およびスチームホーン擬音装置が装備されている。操舵スタンドは、指令舵角指示ダイヤル、5倍パーニヤスケール付コンパス、回頭角速度指示計を備えている。レーダPPIは現在シミュレータと結合されていないが、その他のすべての機器は実船と同様に使用できる。

その他、船橋室内にはシミュレータの操作のための設定コンソールと、航跡記録のための航跡プロッタが配置



第3図 模擬船橋室 (写真)

されている。これらについては後述する。

船橋室は前方に大型のガラス窓を有し、後方は実船のパネル写真をはり、実船の内部環境の雰囲気を高めている。模擬船橋室内の様子を第3図に示す。

2.2 視界再現部

本シミュレータの一つの特長は視界再現部であり、実船に近い視界をカラーで再現し、特に相手船は姿勢の変化を含めて、広範囲の出会い関係を再現できる。

視界再現部は、スクリーン、背景投影部、物標投影部、および波投影部からなり、複数のプロジェクタによるス

クリーン上での映像の合成により、操舵室前方の視界を再現している。物標投影部として現在、他船用とブイ用と各1台装備されており、他船1+ブイ1又はブイ2の物標のもとでシミュレーションできる。

(1) スクリーン

建物の制限により Rear Projection 方式の平面スクリーンを使用した。スクリーンのサイズは幅 7m、高さ 3m で、視角はレピータ位置で水平約 100 度である。

制限がなければ Front Projection 方式の円筒スクリーンを使用し、画角は 180 度程度が望ましい。

(2) 背景投影部

上甲板投影装置と回頭背景投影装置の2台のプロジェクタからなる。上甲板投影装置は船橋からみた自船上甲板を投影する固定映像で、自船の種類や載貨状態に応じてフィルムを交換できる。

回頭背景投影装置は遠方の水路風景を投影する装置で、自船の回頭にともない映像を相対的に左右水平方向に移動させることにより回頭感を与える。横長の投影フィルムを横移動により映像を移動させているが、フィルムの交換により、シミュレーションに応じた海域風景を選択することができる。

(3) 物標投影部

他船のように相対的な位置関係により形の変化する物標を投影する他船投影装置と、ブイのように見え角が変わっても形の変化を無視できる物標を投影するブイ投影装置からなる。

物標との相対位置関係により像の横移動、像の拡大・縮小・水平線からの沈み、見え角変化による形状変化が再現され、任意の出会い関係が再現できる。

像の横移動はパンテーパー又はパンミラーで、像の拡大・縮小はズームレンズで、形状変化は投影フィルムのランダムアクセスで行なわれ、各々の装置は計算機により制御されている。物標の種類はフィルムの交換により選択できる。

(4) 波投影部

自船の船首波を再現し、画面に動感を与える効果を出している。16m/m 映画方式で速度による像の変化はないが、シミュレーションによりフィルムを交換して適当な船首波を選択できる。

2.3 計 算 部

計算部の機能はオフライン機能とオンライン機能に大別され、前者には船型の選択、船型データの読み込み・変更・表示、初期データの入力、初期情景の出力、オートリセットなどがあり、後者はクロックにより毎秒起動されるルーチンで、自・他船の運動計算、相対運動計算、プロセス機器の入・出力量計算とアウトプット、データのため込み、CRT ディスプレイの表示、XY プロット

の記録などがある。オンライン計算処理のフローチャートを第4図に示す。各プログラムの機能は次のとおりである。

(1) サンプリング・プログラム

クロックにより毎秒起動され、舵角および主機レバー位置をサンプリングし、割込の有無をチェックする。

(2) 出力プログラム

投影装置、航海計器等のコントロールデータを出力する。

(3) 自船運動計算

船体運動および主機のシミュレーション計算を行う。詳細は後述する。

(4) 他船運動計算

他船の運動計算および相対位置計算を行う。他船は動特性をもたないが、変針は新針路距離を設定して、任意の旋回径の円弧航跡をとることができる。他船は後述の設定コンソールで制御される。

(5) 視界再現装置出力計算プログラム

出力プログラムのための前処理計算で物標の相対位置より視界再現装置のフィルム・アドレスの計算、パン位置、ズーム位置の計算などを行う。

(6) データため込みプログラム

操縦性能解析のためのデータを磁気ディスクに記録するためのプログラムである。

(7) CRT 表示プログラム

CRT ディスプレイにサイクルごとの自船および物標に関するデータを表示するプログラムである。

(8) 航跡プロッタ出力プログラム

XY プロッタ上に自船および他船の航跡を記録するプログラムである。航跡上にはタイムマークが記録される。

(9) データ変更プログラム

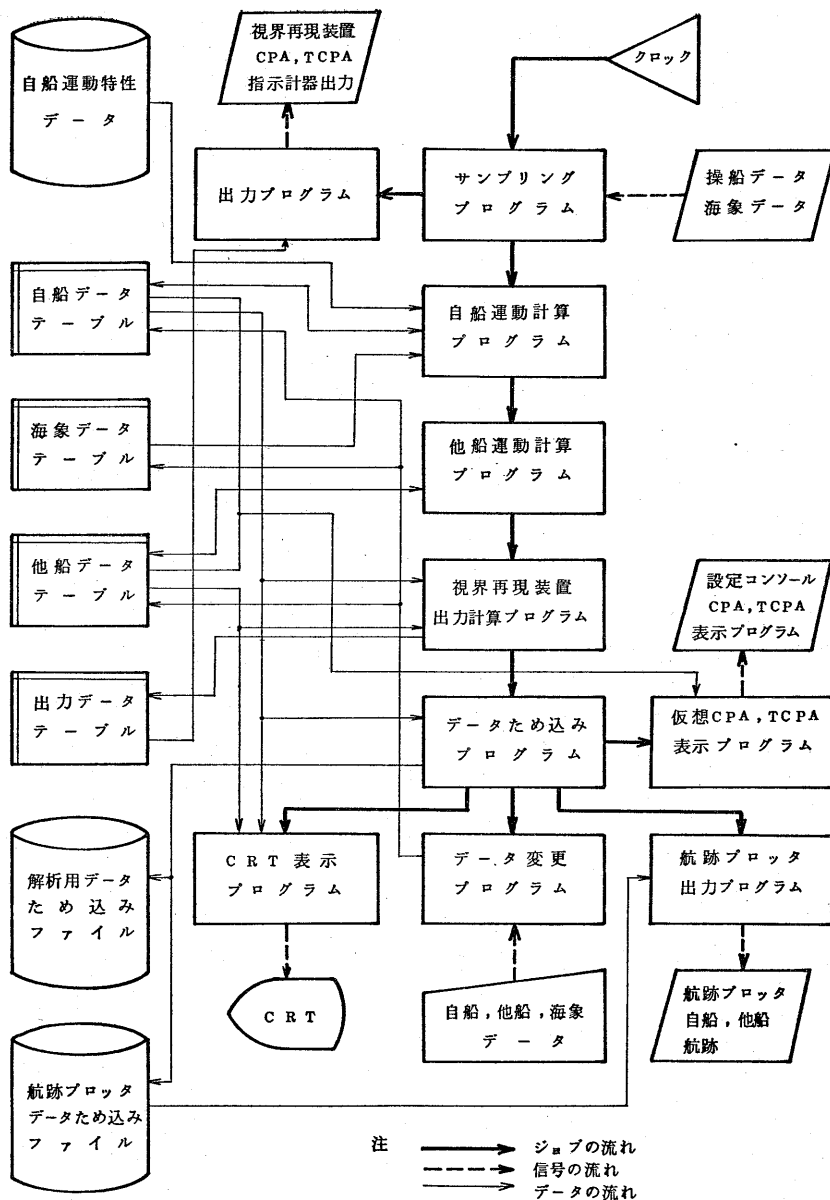
他船の変針、速力変更、気象データの変更を行うプログラムで、設定コンソールからの割込みで実行される。

計算装置はデジタル計算機を使用し、中央演算処理装置（語長：16 ビット、主記憶 24k 語、サイクルタイム：1.6 μ s）、ディスク記憶装置（2.4M 語）、紙テープ入出力装置、入出力タイプライタ、プロセス入出力装置から構成されている。

2.4 設定表示部

設定表示部は、設定コンソールと CRT ディスプレイとからなっている。

設定コンソールは、自船の初期条件の設定、風・潮流・波などの海況条件の設定および変更、物標の初期条件の設定および制御、CPA (Closest Point of Approach)、TCPA (Time to CPA) の表示、シミュレータの起動・



第4図 オンライン計算処理フローチャート

停止のための機能がある。

CRT ディスプレイは、シミュレーション実行中に自船および他船の船位、相対距離、相対方位などを刻々表示する機能のほか、ユーティリティ機能として舵の大きさ、舵の側面形状、操舵機特性値などを任意に変更するための機能、また磁気ディスク装置に記憶されている各種船型群の中から対象船型とその運動特性データを選択する機能を持たせている。

これら設定表示部の機能を設定、ユーティリティ、データ表示の各機能別に第1表～第3表にまとめて示し

た。

2.5 記録部

記録部には自・他船の航跡を描くXYプロッタとシミュレーション中の刻々の操船状況と船体の運動を記録する磁気ディスク装置がある。

XYプロッタは海図に対応したスケール設定と、一定時間ごとのタイムマーカの記録、ブイ位置の記録などの機能をもち、A0版の大きさまで記録することができる。

磁気ディスクに記録されたデータは磁気テープに記録されて大型計算機による解析計算に使用される。

第1表 設定表示機能 (設定)

	項 目	設定レンジ	備 考
自船データ関係	初期速度設定	0.0~99.9 kts	初期設定のみ
	初期針路設定	0.0~360.0 deg	"
	主機モード選択	トルク-馬力-回転数	"
	馬 力 設 定	0~999999 HP	シミュレーション中のデータ変更可
	トルク設定	0.0~999.9 ton-m	"
海象データ関係	風 速 設 定	0.0~99.9 m/s	"
	風 向 設 定	0.0~360.0 deg	"
	波 高 設 定	0.0~99.9 m	"
	波 向 設 定	0.0~360.0 deg	"
	潮 速 設 定	0.0~99.9 kts	"
	潮 向 設 定	0.0~360.0 deg	"
物 標 データ	物 標 選 択	島-船×各5レンジ	初期設定のみ
	初期距離設定	0.0~99.9 m	"
	初期方位設定	0.0~360.0 deg	"
	速 度 設 定	0.0~99.9 kts	シミュレーション中のデータ変更可
	針 路 設 定	0.0~360.0 deg	"
	新針路距離設定	0.0~99.9 nm	変針指示時のデータ

第2表 設定表示機能 (ユーティリティ)

	項 目	機 能	使用機器
データインプット及び表示機能	船型データインプット	PTR より読込, ディスクにストア	CRT, PTR
	船型データ選択	ディスク内の選択	CRT
	船型補助データ変更	舵関係のデータの変更	CRT
	船型データ表示	選択中のデータを表示	CRT
	自船データインプット	設定データの初期インプット及び変更	
	海象データインプット	"	
出力機能	物標データインプット	"	
	航跡プロッタ出力 解析データ出力	2.1.5 参照 "	航跡プロッタ PTR
オペレーション機能	初期情景出力	ビジュアル・計器及びデータの初期セットを行う	
	シミュレーションスタート・ハルト	シミュレーションの開始及び一時停止を行う	
	シミュレーションストップ	シミュレーションを終了する	
	オートリセット	機器をイニシャル状態に自動的にセットする	
	マニュアルセット	手動にて視界再現装置等をセットする為の機能	

第3表 設定表示機能 (データ表示)

	項 目	表示レンジ	備 考
操作 コン ソ ール 関 係	CAP 表 示	0.0~9.9 nm	数字表示管
	TCPA 表 示	0.0~99.9 min	"
	動作表示ランプ	点灯及び点滅	装置の動作状態を指示
	経 過 時 間	0 min 0 sec~ 999 min 59 sec	1 秒毎表示
C T R コ ン ソ ール 関 係	自船絶対位置 (緯度)	注 1	"
	" (経度)	注 2	"
	自 船 方 位	0.00~360.00 deg	"
	横 流 れ 角	±0.00~90.00 deg	"
	走 行 距 離	0.00~999.99 nm	"
	他船絶対位置 (緯度)	注 1	"
	" (経度)	注 2	"
	他 船 針 路	0.00~360.00 deg	"
	他 船 速 度	0.00~99.99 kts	"
	他船相對距離	0.00~99.99 nm	"
	他船相對方位	0.00~360.00 deg	"

注 1: N 又は S 0 deg 0.000 min~ 90 deg 0.000 min

注 2: E 又は W 0 deg 0.000 min~180 deg 0.000 min

3. シミュレーション・プログラム

自船の運動性能を模擬するシミュレーション・プログラムは、できるだけ忠実に実船の運動特性を再現させることが必要である。

IHI 操船シミュレータでは、公試データ、水槽試験、大型模型船等により得られたデータをもとに精度の高いシミュレーションができることに重点を置いた。

シミュレーション・プログラムは船体運動に関する部分と主機に関する部分とからなり、主機シミュレーションで得られたプロペラ軸トルクにより両者は結合される。

主機シミュレーションは主機の種類に応じてスチームタービン・シミュレーション、低速ディーゼル・シミュレーション、中速ディーゼル・シミュレーションの3種類のプログラムが用意されている。

3.1 船体運動シミュレーション・プログラム

船体運動計算は、船の操縦運動を水平面内の前後および横移動と垂直軸まわりの回転に分けて表わした非線型の連立微分方程式を逐次積分法により解く方法で行い、その計算に必要な諸係数はあらかじめ大型計算機で処理したものが用いられる。船に固定した座標系での原方程式は次のとおりである。

$$(m+m_x)\ddot{v}_x-(m+m_y)v_y\dot{r}=E$$

$$(m+m_y)\ddot{v}_y+(m+m_x)v_x\dot{r}=F$$

$$(I_x + I_{zz})\dot{r} = G$$

$$E = E_H + E_R + E_P + E_W + E_{WV}$$

$$F = F_H + F_R + F_W + F_{WV} + F_{\dot{r}}$$

$$G = G_H + G_R + G_P + G_W + G_{WV} + G_{\dot{v}}$$

v_x, v_y : 速度の x, y 方向成分

r : 船の旋回角速度

m, I_z : 船の質量および慣性モーメント

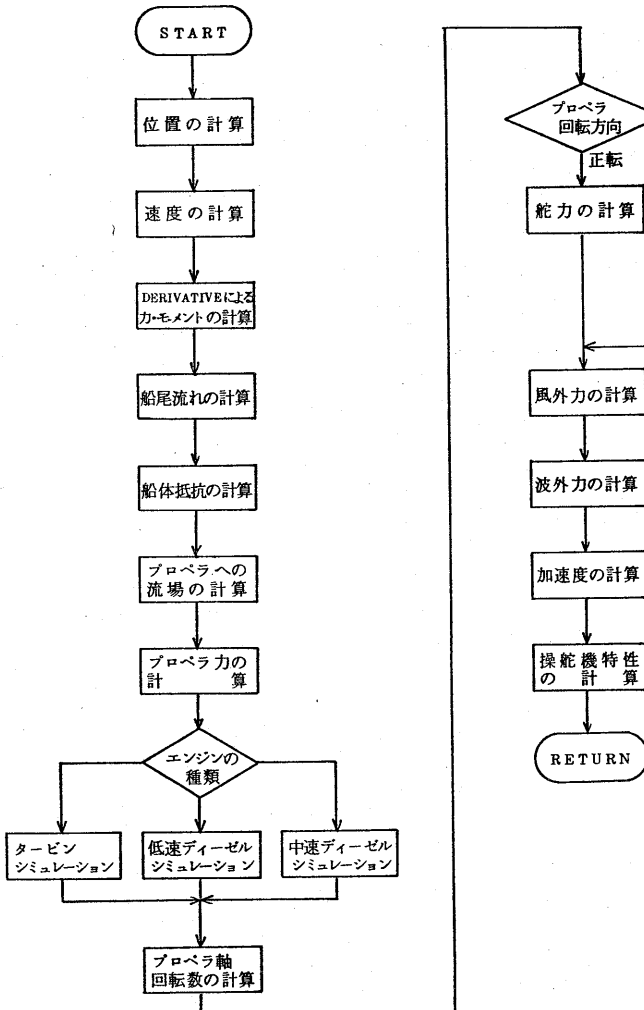
m_x, m_y, I_{zz} : x 方向, y 方向の付加質量および付加慣性モーメント

E, F, G : 船体に働く流体力の x, y 方向成分およびモーメント

$F_{\dot{r}}, G_{\dot{v}}$: 微係数 $\left(F_{\dot{r}} = \frac{\partial F}{\partial \dot{r}}, G_{\dot{v}} = \frac{\partial G}{\partial \dot{v}} \right)$

サフィックス H, R, P, W, WV : 船体単独, 舵プロペラ, 風および波

シミュレーション・プログラムのフローを第5図に示す。



第5図 船体運動シミュレーションプログラムフロー

詳細は文献 (1) を参照されたい。

3.2 主機シミュレーション・プログラム

港内および狭水路内の操船では舵による操船だけでは不十分で、主機の発停、増減速等と組み合わせた操船が行われており、操船シミュレータにおいても主機のシミュレーションを含める必要がある。

主機シミュレーション・プログラムは種類によりスチームタービン、低速ディーゼル、中速ディーゼルの3つのプログラムに分れ、主機の過渡特性、ブレーキエアトルク特性、クラッチ装備の有無等も考慮されている。低速ディーゼル、中速ディーゼルの違いは、中速ディーゼルでは減速ギヤおよびクラッチが装備されている。主機シミュレーション・プログラムのフローを第6図に示す。詳細は文献 (6) を参照されたい。

4. シミュレータによる操船訓練

本シミュレータは計画当初は研究開発を目的としていたが、その後の改良を加えることにより訓練用としても実用できることが確認された。

ここに本シミュレータを操船訓練用として考えた場合の、訓練の方法、訓練の範囲を述べるとともに、1976年7月、9月、11月の3回、計15日間にわたり実施され、約120人の国内各社の船長が参加した、日本船長協会主催の本シミュレータによる訓練コースの一部を紹介する。

4.1 訓練の方法

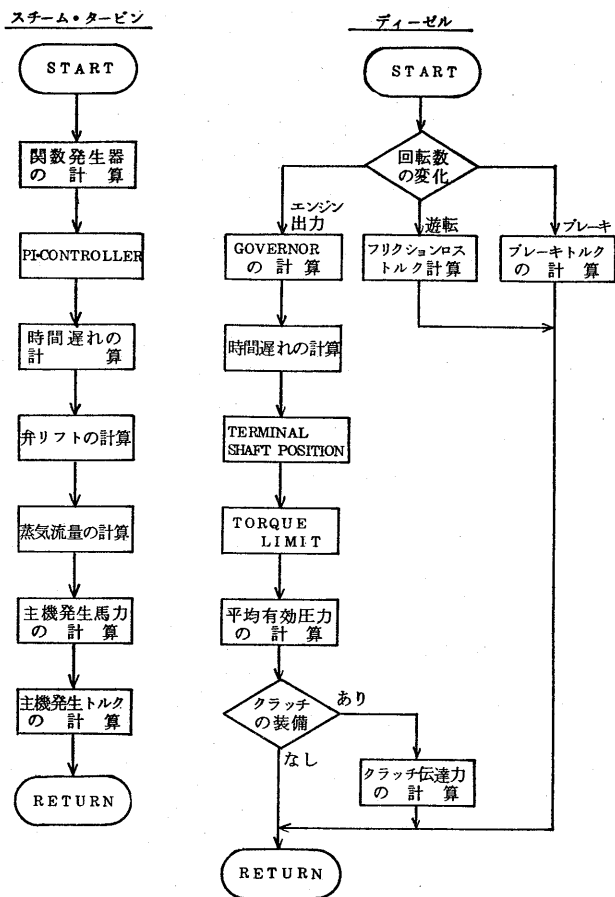
本シミュレータにより訓練する場合、できるだけ実船にそった訓練を行うことが望ましい。

人員としては3人を1グループとして、各々船長、操舵手、航海士に対応し次の役割を行う。

船長: 操船判断を行い、操舵手に操舵号令を出し、主機操縦レバーを操作する。

操舵手: 船長の操舵号令に従って舵輪を操作する。

航海士: レーダ又はCRTディスプレイ、海図等により自船の位置、物標の



第6図 主機シミュレーションプログラムフロー

位置を船長に報告する。

4.2 訓練の範囲

本シミュレータで可能な訓練の範囲は次の通りである。

(1) 自船の種類

VLCC, ULCC タンカ, 高速コンテナ船およびその他の各種船舶のシミュレーションが可能で、各々について満載およびバラストの状態の再現が可能である。

(2) ターゲットの種類

2 個のターゲットの投影ができ、他船+ブイ、またはブイ 2 個の状態でのシミュレーションが可能である。

(3) 視界再現の範囲

ターゲットとの相対距離は 0.3 nm~8 nm で、5 倍の範囲内で再現される。視角は方位レバーの位置で水平約 100 度で、自船の回頭範囲は ± 180 度である。

(4) 訓練海域

訓練内容に応じて、大海原、沿岸風景、狭水路風景、港湾風景などの再現ができる。

(5) 外乱条件

訓練内容に応じて、風、波、潮流などの海象条件の設定ができる。

(6) 訓練項目

操船訓練は次のようなものが可能である。

(i) 保針操船訓練

種々の外乱条件下で、コンパス方位および陸上物標・ブイを目標とした保針訓練ができる。

(ii) 変針操船訓練

コンパス方位および陸上物標・ブイを目標とした変針訓練ができる。

(iii) 速力制御訓練

主機操縦レバーを使用して、速力制御訓練ができる。

(iv) 避航操船訓練

他船、又はブイにより示される危域区陰の避航操船訓練ができる。

(v) 制限航路通航訓練

ブイにより示される制限航路の通航訓練ができる。

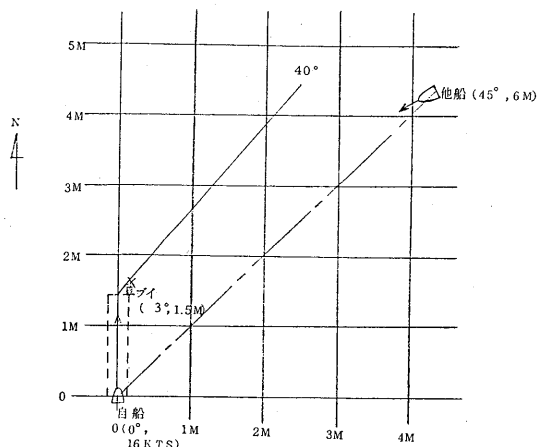
上記の基本的操船訓練を組み合わせ、高度の操船訓練が可能となる。

4.3 訓練コースの例

船長協会主催のシミュレータによる訓練コースの一部を紹介する。

(1) 横切り船の避航

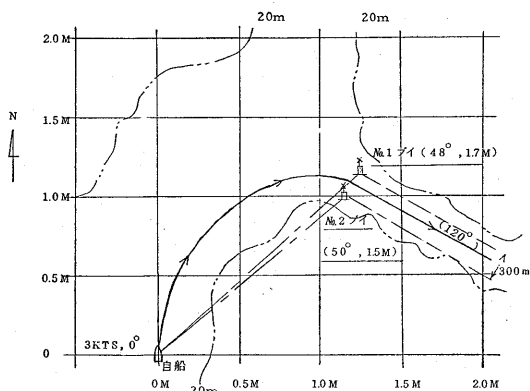
第7図に示すように、幅 300 m の航路内の (0, 0) の地点より 0° , 16 kts で発進し、ブイで航路を出て、予定針路 40° に向進し、右舷からの横切り船を避航する。



第7図 訓練コースの例(横切り船の避航)

(2) 低速での水路進入

第8図に示すように、(0, 0) の地点より 0° , 3 kts で

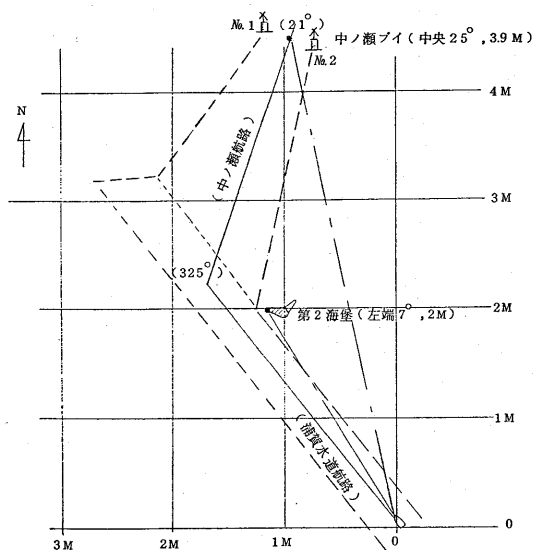


第8図 訓練コースの例(低速での水路進入)

発進し、増速しながら右舷 50°, 約 1.5 m にある 2 つのブイ間 (約 359 m 幅) を通り 120° の水路に進入する。

(3) 浦賀水道航路通航

第9図に示すように、第2海堡手前2mから浦賀水道航路を 325°, 12 kts で進入し、第2海堡通過後変針し、



第9図 訓練コースの例(浦賀水道航路通航)

中ノ瀬航路に入りコースを 21° に向ける。

5. 結 言

本シミュレータは、1975年6月に稼動を始めてから現在までに約2,000人の見学者を迎えるとともに、研究用および訓練用として広範囲に利用されている。

見学された方々からは有益な御意見をいただきそれらを参考にして現在も種々の改良に努めている。

本シミュレータをそのまま訓練用として考えた場合に、視角が少ない、物標が少ないなど、不十分な点があるが、IHI では本格的操船訓練シミュレータの建設に備えて種々の研究を進めている。

操船シミュレータの歴史がまだ浅いため十分な認識が得られていないが、航空機におけるシミュレータのように有効的な利用が確立されることが望まれる。

また、関係者の御協力により、しかるべき機関による本格的操船訓練用シミュレータの建設が実現することを期待する。

参 考 文 献

- (1) 森 正彦, 溝口純敏 他: 「船の操縦性能シミュレーションプログラムとその適用例」, 石川島播磨技報, 第13巻 第5号 (1973年9月, p. 571-582)
- (2) 坂野 希, 青木 祥 他: 「視界再現装置付操船シミュレータの開発とその応用例」, 石川島播磨技報, 第15巻 第6号 (1975年11月, p. 733-744)
- (3) 山根良夫: 「IHIにおける船用シミュレータの紹介」, 日本船用機関学会誌, 1975年10月, p. 792-800)
- (4) 西岡敏孝, 松浦由次 他: 「操船シミュレータの開発とその応用例」, 日本造船学会論文集, 第138号, p. 205-218
- (5) 森 正彦, 田中 稔: 「IHI 操船シミュレータの紹介」, 船舶, 1975 Vol. 48, No. 11. p. 38-47
- (6) 田中 稔, 宮田秀明: 「船の操縦性能シミュレーションプログラムとその適用」(続報)」, 石川島播磨技報, 第17巻 第2号, 1977年3月掲載予定

タービンプラントシミュレータによる機関部の操作訓練

三菱重工業株式会社 石谷 憲一郎

Operation Training of Engineers by Using Turbine Plant Simulator

Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

Kenichiro ISHITANI

1. はじめに

コンピュータを使つてのシミュレーションは、直観的で分かり易く適応性が広い為、単に工学の分野だけでなく広く色々な分野で利用されており、特に航空機の操縦訓練には欠くべからざる装置として活用されている。

船舶においては米海軍の対潜水艦作戦訓練用シミュレータが最初といわれているが、高度に自動化された船の開発にはどうしてもシミュレータが必要な事が、昭和47年当所で建造されたコンピュータ制御を採用した鳥取丸(日本郵船と大平洋海運の共有船)で実証され、これが多目的の「三菱船舶シミュレータシステム」を産む契機となったわけである。この装置は多目的、多重使用可能等様々の特色を持つものであるが、システム全体に関しては既に他誌に梗介済みであるので、ここではタービンプラントシミュレータによる機関部の操作訓練について記述したい。

2. タービンプラントシミュレータのハードウェア

タービンプラントシミュレータは制御用デジタルコンピュータ MELCOM-70 を中心とし、これにコンピュータ周辺機器及びプラントのマンマシンインターフェース装置を接続してシステムを構成している。(図1参照)構成機器の仕様及び役割は次の通りである。

2.1 制御用コンピュータ (MELCOM-70)

主記憶装置 16 ビット 28k 語 1 台

このコンピュータにタービンプラントの動きが数式モデル化されてプログラムとして収納されており、プラント内部のデータを色々な方法で取り出す事が出来る様になっている。特に教育訓練の為にはシミュレータを実時間で稼動させる事が必要な為、高速演算処理機能が重要な要素となり、その点を考慮して MELCOM-70 が選択された。

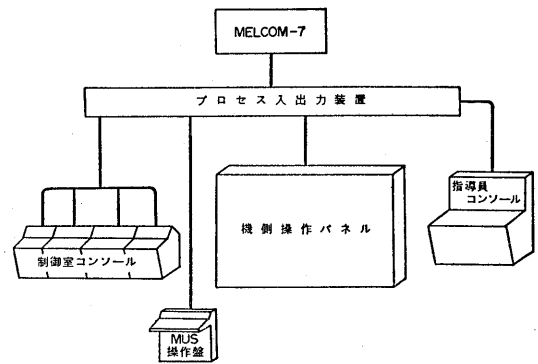


図1 タービンプラントシミュレータシステム構成

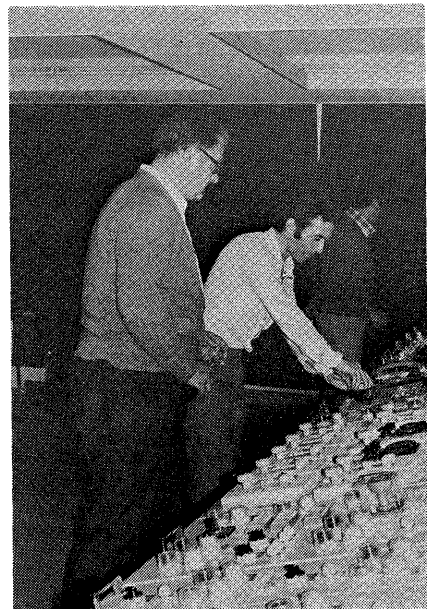


写真1 制御盤

2.2 システムタイプライタ

キーボードインプット/アウトプット

可能

紙テープ読込/パンチ

可能

速度 10 キャラクタ/秒

コンピュータ内部メモリの小範囲の書き替え、プログラムの運転制御等に使用する。

2.3 紙テープリーダー及びパンチャ

読込速度 200 キャラクタ/秒

パンチャ速度 110 キャラクタ/秒

プログラムやデータの保管、差し替え、編集等に使用する。

2.4 実時間プロセス入出力装置

アナログ入力 64 点

アナログ出力 96 点

デジタル入力 512 点

デジタル出力 384 点

制御用コンピュータとプラント機器（機関室制御盤、監視警報盤、機側操作盤、指導員盤、等）を接続し、相互に信号のやりとりが出来る様にする為のもので、実時間シミュレーションを行なう為高速のデータ処理が可能なものとしている。

2.5 機関室制御盤

外観は実船に搭載されている当所の VLCC 用標準制御盤と同一でその操作方法も実船と変わらず、いわば人間とタービンプラントのマンマシン インターフェースともいえるもので、プラント全体の状況はこの制御盤で把握する事が出来る。

2.6 機側操作盤

実船内で行なうバルブの開閉、パーナ用イグナイタの挿入、補機タービンの暖機運転等は実際に労力を伴ない、操作にもいわずにコッパに類するものがあるが、物理的なスペースの問題から実物を設置する事は不可能に近い。そこでこれ等機側の操作を模擬するのがこのパネルで、グラフィックパネル上に設けたスイッチや可変抵抗

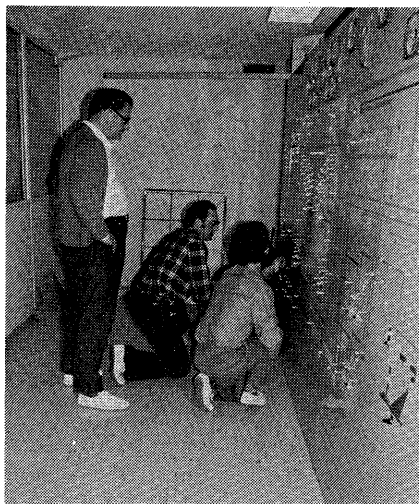


写真 2 機側操作盤

等でそれを置き変えている。

2.7 監視警報盤

船用データ処理装置として開発されたものを実船同様に機関制御室の中に設置し、プラント各部のデータを表示して操作訓練に役立てている。これは操作訓練専用で、他の目的には使用されない。

2.8 指導員盤

タービンプラント内部の色々なデータの変更、プログラムの一部書き直し等を行なうと同時に、操作訓練時には指導員が指示を与えたり、プラントの異常状態をスイッチのワンタッチ操作で発生させたりする機能を有している。



写真 3 指導員盤

3. タービンプラントシミュレータのソフトウェア

このタービンプラントシミュレータは実時間シミュレーションを行なう為に、コンピュータ自体が高速演算処理可能なものであると同時に各タスクプログラムの管理が重要な課題である。又将来の為にプラントの変更も可能でなくてはならない。以下にその要点を述べる。

3.1 実時間シミュレーション用モニタ

プラントの凡ゆるデータが実時間で更新されていなければ、実船搭載用の機器の調整、開発中のシステム或は機器の動特性試験が行なえないのはもとより、操作訓練などは全く意味のないものになってしまう。この為には機関室制御盤や機側操作盤の上に取付けられた計器、表示灯等の動きが人間の眼で見て不自然でない様にしなければならない。これには高速のデータ処理或はデータ転送が必要で、その為に実時間シミュレーション用モニタが準備されている。

実時間シミュレーション用モニタは、タービンプラントプログラムの各タスクを実時間で動かす事を目的としたもので、割込処理、時間管理、タスク管理の各機能を適切に組合せ関連させながら実行を制御しているものである。

例えば、ボイラ過熱器出口の蒸気温度の様にゆっくり変化するデータを作成するタスクは、他のタスクが数回起る毎に一回走る様にしているが、これでも充分精度のあるデータを作る事が出来然もこれが計器に表わされたり記録計に記録させたりした時、人の眼で見ても全く不自然にならない様にしているわけである。

3.2 タービンプラント シミュレーション プログラム

タービンプラントの構成或は内容はその規模により変わるものである、それは適応し易い様にタスクプログラムはいくつかのブロックに分割し構成されている。従って或るモデルの変更があった場合には、そのブロックのみ取出してプログラムを訂正すれば円滑に作動する様考慮が払われている。又、比較的頻繁に変更があると予想されるバーナ本数やタービンのノズル数については、数個のデータの変更だけで良い様にしてある。図2は燃

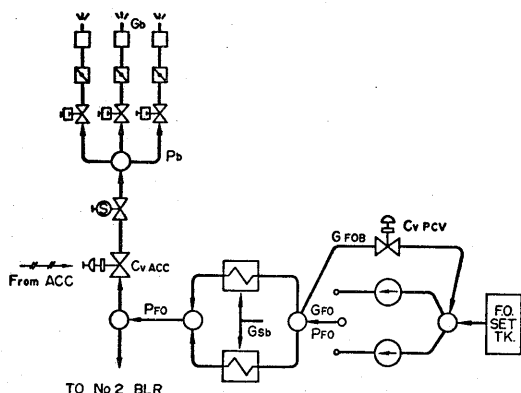


図2 燃料油系統ブロックダイアグラム

料油系統のブロックダイアグラムであるが、プラントのソフトウェアとしては、この燃料油系統で一つのタスクを構成しており、それぞれの点における燃料油の圧力や流量がバルブの C_v 値、配管抵抗、ポンプの性能、バーナの本数、バーナの形状等をパラメータとした関数で表現されている。従ってプラントが変更された場合には、関数中のパラメータを変更する事によって容易にプログラムを変更する事が出来るわけである。又、パラメータの中でも常に変るものは、指導員盤上に装備されているテンキーから変更が出来、時折変るものについては、システムタイプライタによって変更する事が出来る。仮に燃料油系統全体が変更になる様な場合は、パラメータの変更では済まない事になるが、その折でもこの系統だけのタスクを再製作すれば成り立つ様になっている。

4. タービンプラントシミュレータによる操作訓練

タービンプラントの操作訓練は、プラント全体の運転

状態を正しく判断し、諸条件の変化に即応して適切な要置が取れる様にすることを主眼としている。操作訓練の期間中、訓練生は実船に搭載してあるものと同一の制御盤で実船と同じ操作を行ない訓練されるが、物理的に不可能な機側操作即ち弁の開閉、補機の発停等に関しては、スイッチや可変抵抗で模擬し代用する。

仮にタービンプラントのタイプが変わっても、主要な項目については制御盤の一部が変更出来る様に配慮されており、他方プログラムについても、コンピュータの記憶装置の内容を別のプラントモデルに入れ替える事で変更が可能で、考えられる程度のプラントのバリエーションには耐えられる様になっている。

訓練時の配置は図3の通りで、訓練生が機側操作に慣れる迄はここにも一人指導員を配置するが、慣れて来ると指導員室と制御室の二人の指導員によって訓練が進められる。

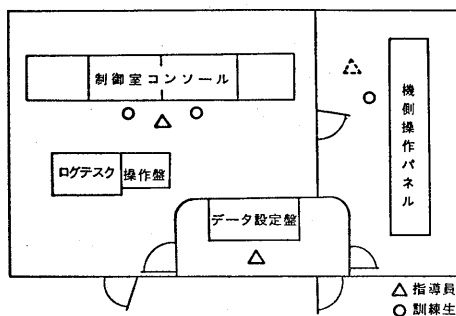


図3 操作訓練時の配置

4.1 訓練の標準パターン

後に述べる各訓練項目につき講義、模範操作、実技訓練を行なうのが標準パターンであるが、訓練生のレベルにより項目、時間配分等は自由に変更し、最も効果が上る方法を都度都度考えることにしている。

4.2 指導員の役割

指導員は指導員室にいるインストラクタと制御室、機側操作盤の所にいるトレーナに分けられ、その各々の役割は次の通りである。

インストラクタ：

- (1) 教育訓練に関する全般の取纏め
- (2) プラント教育の講師
- (3) 指導員室からの訓練の指令、指導
- (4) 船橋、荷役制御室における航海士的役割
- (5) 機関部異常状態の設定

トレーナ：

- (1) 訓練生に対する模範操作実演
- (2) 制御盤操作に関する指導
- (3) 機側操作に関する指導
- (4) その他訓練生の質疑に対する調査応答

4.3 訓練項目

大きく分けると A：正常運転，B：特殊運転，C：異常対処操作，D：総合訓練 に分けられる。

A：正常運転

タービンプラントとして正常状態を保った上で次の基本操作を訓練する。

(1) 停泊状態からトライエンジン

必要最小限の補機を運転して停泊している状態で何を確認するかを訓練し，更にこの状態から出港準備の最終段階であるトライエンジン迄，どの様にプラントを運転すればよいか訓練する。この訓練によってプラント全体の把握が出来，又制御盤，機側操作盤の配置，基本的な操作の方法を習得する事が出来る。

(2) ボイラ運転操作

自動燃焼制御装置の手動操作やバーナの点火操作は，異常事態が発生した時の基本操作となる事が多く，これに習熟している事は余裕を持って事態を処理出来る事につながるという考えから，十分に時間を取り訓練する。この外に給水制御装置や過熱蒸気温度制御装置の操作訓練も行なうが，これ等の訓練によって訓練生はボイラの動特性を肌で感じ，手動操作の勘を身に付ける事が出来る。

実船に於てボイラの運転に自信を持つ迄には相当の年月を要するが，この訓練を受ける事により極めて短時間に操作の自信を付ける事が出来るので大変有効な訓練の一つである。

(3) 主機タービン及び主要補機の運転操作

主タービン操縦による主機の増減速，これに伴う抽気，スプークシステム，潤滑油系統等の切替操作を訓練し，一方補機の発停，配電盤操作等も並行して行なう。特に配電盤操作は決して難しい操作ではないが，うっかり間違えると電源喪失を起しかねないので繰り返し訓練を行なう。これ等の訓練により制御室における全ての基本操作と，これに伴うプラントの動きを習得する事になる。

B：特殊運転

機器の修理や試験，燃料油節約の為の減速等何等かの理由で，正常ではあるが特殊なプラントの状態を要求される事がある。これに対処する操作を習得するのがこの訓練で，次の内容につき行なう。

(1) 1 ファン 2 ボイラ運転

1 台のボイラ送風機を停止させ，残り 1 台の送風機で 2 台のボイラを焚く運転で，特にボイラに点火する際のダンパの操作，プレバージ操作，風量バランスの操作等を訓練する。

(2) 1 缶最大蒸発量運転

何等かの理由でボイラが 1 台使用出来なくなった場合

を想定し，その休缶処置及び使用可能なボイラの連続最大蒸発量での運転操作，その時の主機の出力調整等の操作を訓練する。

(3) プラント最大負荷運転

特にタービントタンカーに於ては，温水タンククリーニングを行なう時この状態を要求される。運転準備，実施中のボイラの負荷調整，タービンの出力調整等について訓練を行なう。

C：異常対処操作

シミュレータによる訓練の最大の利点は，異常に対処する操作訓練が極めて容易に，然も繰り返し実行出来る事である。即ち実船では機器やプラントに悪影響を及ぼしたり，場合によっては決定的な損傷を与える恐れがある為に実行する事が出来ない様な異常状態を，シミュレータを使うと訓練生がそれに完全に対処する事が出来る様になる迄繰り返し実行出来，又実船では絶対行なってはならない操作を万一間違えて実行するとどの様な事になるかを身を以て体験させる事が出来る。

異常状態或は事故は指導盤から色々な方法で発生させる事が出来るが，特に訓練の目的で選ばれた 50 項目の異常については，押ボタンの操作で簡単に発生させる事が出来る。尚この外にプログラムのパラメータを変える事により，より複雑なプラントの異常挙動を発生させる事も可能である。

主な例をあげると次の通り。

- (1) ボイラ失火
- (2) ボイラ送風機トリップ
- (3) 燃料油量トランスミッタ故障
- (4) 給水制御参ステイック
- (5) 主タービン遠隔操縦装置故障
- (6) 給水ポンプ トリップ
- (7) 船内電源喪失

D：総合訓練

訓練の総仕上げとして実船と同様の体制のもとに，停泊状態から出港，増速，ノルマル航海，減速，入港，そして再び停泊状態という一連の運転操作を行ない，この間に異常状態の発生，船橋との連絡，荷役プラントの運転等を行なって総合的にプラントを管理していく訓練を行なう。

4.4 訓練の成果と評価

実際の訓練を実施してみて，当初我々が考えていた以上の成果がある事に験いたが，その中でも次の点で顕著であった。

- (1) ボイラの制御，操作に自信を与える事が出来た。
- (2) 異常が発生した時の判断が確実になり，応急的な臨機の処置がとれるようになった。
- (3) 短時間にタービンプラントの全貌を把握し，そ

の挙動を理解出来る様になった。

一方受講者からも次の様な評価を頂いている。

(1) プラント全体の理解に対して大変有効である。

(2) 船の中で起り得る事を、起った時のフィーリングも含めて実現出来るのはすばらしい。

(3) 一年近く乗っていなければとうてい得る事の出来ない操作上の経験が五日位に集中して得られるのは非常にありがたい。

(4) 船では出来ない事がやってみられるという点、正に生きた教育である。トラブルの体験という事が万一発生した時に不必要にあわてないで済む唯一の方法である。実際にトラブルは起って欲しくないが、万一起っても驚かずに済むだろう。

4.5 訓練実施上のポイント

わずか二十数チームの訓練を通しての経験であるが、訓練実施に際しては次の点が大切である事が分った。

(1) シミュレータは贗物であるという事を良く自覚する事。

即ちこれを良く自覚し訓練生にこれを感じさせない様にする事が訓練を効果あるものに出来るか否かの分れ目で、この為にはトレーニングを実施する側に(イ) 道具に対する工夫(擬音の導入、実時間性の導入等)(ロ) トレーニングの進行に対する工夫(訓練をより緊迫したものにする配慮)が要求される。

一方トレーニングを受ける側としても、真剣味が必要で、これは何時、どの様な状態でトレーニングを受けるかという人選、タイミングの設定等に関して来る。例えば休暇に入ったばかりの人に受講させたのでは、何もしないよりは良いとはいえ効果は乗船直前に受講する人には及ばない。これを行なうには何かそこに真剣にならざるを得ない要素を盛り込む必要があるわけである。

(2) 座学と効果的に組合せる事

頭と腕の両面から訓練する事が短時間に効果を上げるポイントである。外国乗組員は一般にプラクティカルな面に重点を置く傾向が強いが、座学を効果的に取入れる方が上達は早い。

(3) 操作はパターン化する事

多少回りくどくても操作はパターン化し、或る決った手順で実行して行く事が大切で、或る結果が得られるならどの様な手順でもよいという様なやり方は決して好結果をもたらさない。

以上訓練遂行の立場からのポイントをいくつか列記したが、それ以前に充分検討された教育訓練カリキュラムがある事が最も大切な事で、シミュレータはそれを効率良く遂行する為の単なる道具に過ぎない事を最後に強調しておきたい。

5. おわりに

本紙では船用タービンプラントシミュレータについてそのハードウェア、ソフトウェア、利用の分野では特に訓練に焦点を当てて記述した。シミュレータによる訓練は考える以上に効果に大きく、

(1) 直感的に事象を認識出来る

(2) 実船では危険を伴う為発生させる事が困難な状況を何度でも容易に再現出来る

(3) 試行錯誤が容易である

といった顕著な特色を有するが、一方訓練成果の減衰、他プラントへの適応性等設備、訓練法の両面にまだまだ研究し解明されなければならない点が多い。

当社では今後共にこれ等の問題を追求し、改良を加え、使用の拡大を図って行く所存であるが、これが船舶技術という分野だけでなく広く社会の進歩の為に貢献する事を願ってやまない。

航空機衝突防止装置開発の現状

東洋通信機株式会社

船 津 忠 平, 平 田 俊 清

Present Status of Development of Airborne Collision Avoidance System

Toyo Communication Equipment Co., Ltd.

Chuhei FUNATSU and Toshikiyo HIRATA

1. ま え が き

最近、航空交通量が増加し、高速と低速の航空機、有視界飛行（VFR）と計器飛行（IFR）の航空機等が混在して飛行する空域が増大するに及んで、航空機相互間の空中衝突またはニアミスの可能性が増加してきた。米国における航空機衝突事故は最近 14 年間で 399 件あり、838 人が死亡し、その後も続発している。我国においても昭和 46 年 7 月に岩手県雫石上空で旅客機と戦闘機が空中衝突を起し、死亡者 162 人を出し、世界航空史上最大の事故を記録したが、更に昭和 51 年 9 月ユーゴスラビヤ上空で旅客機同士が空中衝突を起し、176 人という更に多くの死亡者を出した。このように航空機が大型化するにしたがって、空中衝突による損害は尊い人命のみならず地上の被害および補償等を含めると、今後一層莫

大なものとなることが予想される。表 1 は最近 14 年間に米国内で起きた衝突事故を、航空機の用途別により FAA が分類したものである。この表によると、旅客機

表 1 航空機の用途別衝突件数と死亡者数
(米国における 1960 年 1 月～1973 年 12 月の集計)

	旅客機	軍用機	一般機	合 計
旅客機	3/148	1/50	14/218	18/416 (5%/50%)
軍用機	未解析	26/40		26/40 (6%/5%)
一般機		355/382		355/382 (89%/45%)
合 計		395/640	399/838	(99%/76%)

注：分子は衝突件数，分母は死亡者数を示す。

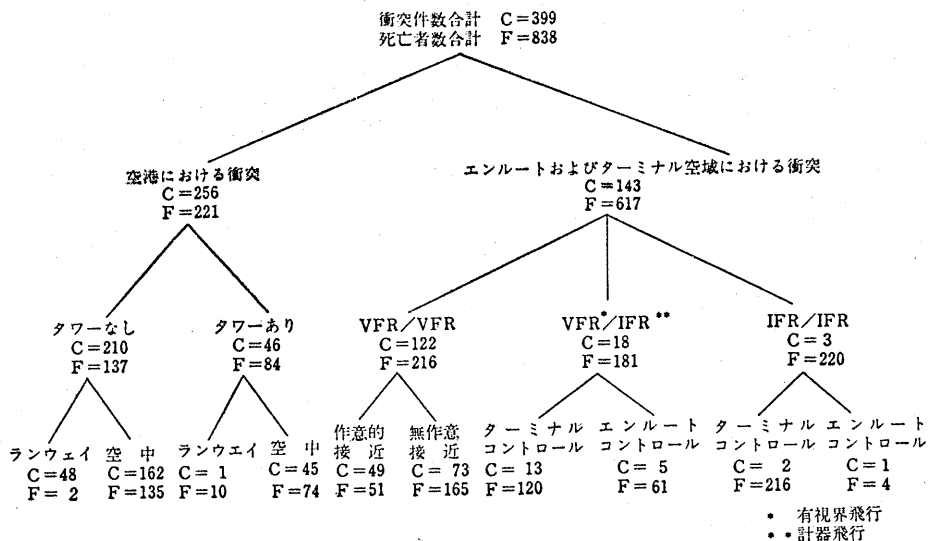


図 1 航空機の位置および状態別衝突事故 (米国における 1960 年 1 月～1973 年 12 月の集計)

の衝突件数が全体の僅か 5% であるのに対し、死亡者は全体の 50% という大きな値を示しており、特に旅客機に対する衝突防止対策が望まれている。

このような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、世界各国は地上施設による航空交通管制 (ATC) システムの充実を進めているが、昭和 50 年 11 月米国では、このような管制を受けている航空機相互間においても緊迫したニアミスが発生した。この事は、FAA がまとめた図 1 に示す集計からも明らかである。従って、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航空機搭載用の衝突防止装置の開発が、主として米国および我国において進められている。当社は昭和 45 年より運輸省の補助金を受けて衝突防止装置の開発を続けているので、開発装置の一例として、この装置の内容を含めて、航空機衝突防止装置の開発の現状と動向について概要を述べる。

2. 国内外の開発経緯と現状

地上施設による ATC システムは、現在、世界的に 1 次レーダを並用した 2 次レーダ、すなわち航空交通管制用レーダビーコンシステム (ATCRBS) を使用しているが、航空交通量の増加に備えて、主として米国では、この機能を向上させるため、個別に航空機と情報交換ができるディスクリット・アドレス・ビーコン・システム (DABS) の開発が行なわれている。また更に、この DABS に衝突防止機能を持たせた DABS-インタミット・ポジティブ・コントロール (DABS-IPC) の開発が行なわれている。

一方、航空機搭載用の衝突防止方式 (CAS) の開発は 1956 年の米国グランド・キャニオン上空における航空機相互間の空中衝突事故に刺激されて、米国航空輸送協会 (ATA) が衝突防止委員会を発足したのち、各種の方式が提案されてきた。良く知られている方式には、マクダネル・ダグラス社、RCA 社、およびハネウェル社が、それぞれ開発した EROS, SECANT および AVOIDS がある。しかし、最近、米国連邦航空局 (FAA) は LITCHFORD 社および MITRE 社が開発中の BCAS に最も関心を示している。我国においては、当社は、この BCAS の開発を昭和 45 年から運輸省の補助金を受け、また昭和 48 年に設置された航空機衝突防止調査委員会の御指導を得て行なっているが、既に各種の地上および飛行試験を行ない実用化に近づいている。なお昭和 50 年には防衛庁技術研究本部と契約して装置を試作し、戦闘機 F-4EJ および輸送機 C-1 を用いて飛行試験を行ない良好な成果を収めた。また、その他の関係諸省庁等においても BCAS の調査研究および開発がなされている。

3. 一般的要求事項

3.1 基本的要求機能

航空機衝突防止方式は ICAO の第 7 回航空会議 (1972 年開催) において、航空機衝突防止方式 (ACAS) と航空機近接警報指示方式 (APWI) とに分類され、それぞれについて基本的要求機能が定義された。すなわち ACAS とは衝突の危険の可能性がある他航空機のすべてを自動的に検出し、危険の程度を評価し、必要に応じて安全な回避方法を指示するものである。また PWI とは近接航空機の危険の情報をパイロットに与え、パイロットが近接航空機を目で見つける助けとなるものであり、安全な回避方法を指示するものではない。

3.2 危険評価および指示出力

危険評価および指示出力については、ATA が作成した報告書 ANTC Report No. 117 に規定しているが、その概要は次に述べる通りである⁽¹⁾。しかし、最近、FAA は危険評価に高度差変化率を加えること、その他の一部の変更を要望している。これは空港周辺空域における航空機の高度が激しく変化すること、その他によるフォールス・アラームを減ずるためである。

(1) 高度の危険評価：自航空機と他航空機の高度を評価し、高度差によって危険の程度を分類する。この場合、同一高度帯は高度差 ± 800 ft 以内と定めている。

(2) 距離および距離変化率の危険評価：自航空機と他航空機との間の距離および距離変化率を評価し、衝突までの時間 TAU および最小距離によって、危険の程度を分類する。衝突までの時間 TAU は式 (1) で示される。

$$TAU = (R - R_0) / \dot{R} \quad (1)$$

この場合、 R は距離、 R_0 は加速度と考えた場合の距離、 $\dot{R}$ は距離変化率である。なお TAU が 25 秒以下、および 40 秒以下の領域を、それぞれ TAU ゾーン 1 および TAU ゾーン 2 と呼んでいる。ただし R_0 は TAU ゾーン 1 では 0.25 n.m., TAU ゾーン 2 では 1.8 n.m. である。また距離変化率が小さい場合の誤差を考えた距離を最小距離といい、0.5 n.m. としている。

(3) 指示出力：3.2 (1) および 3.2 (2) 項によって分類された危険の程度によって、それぞれ適切な回避指示出力を生ずる。

4. 国内外の主要方式

4.1 ICAS (Independent CAS)⁽²⁾

EROS, SECANT および AVOIDS は、この方式に属するが、これらの方式は各航空機に、それぞれの装置を搭載し、電波によって相互に情報交換を行ない、衝突防止の機能を果すものである。最近、FAA は、この ICAS

を ACAS と呼び、BCAS と対照づけている。EROS はタイムフレクエンシ (Time-Frequency) 技術を用い、SECANT および AVOIDS は質問応答技術を用い、質問応答周波数、または高度による質問応答信号の切替えにより、相互の電波干渉 (フルーズ) および応答信号の重複 (ガープル) による不具合を防いでいる。ただし、対向装置として同じ装置を使用するため、自航空機のみが、これらの装置を搭載しても、他航空機に同種の装置を搭載しなければ衝突防止の機能が果せないで、段階的導入が出来ず、また新たな周波数を割当てる必要があり、国際的な協定も困難であるなどの欠点もある。

4.2 BCAS (Beacon-based CAS)

この方式は、ATC または SIF/IFF トランスポンダを利用したもので、次のような特長がある。

(a) 対向装置が他航空機に搭載している現用の ATC トランスポンダのため、この装置を自航空機にのみ装備した場合でも、直ちに衝突の防止ができる。

(b) 現用の ATCRBS に適合できると共に、将来、DABS が採用された場合も容易に適合させるよう改修できる。

(c) 国際的な協定が比較的容易である。

ただし、この方式は対向装置として ATC トランスポンダを利用するため、ATC トランスポンダおよびアルチチュード・レポーティング・アルチメータの装備率を向上させる必要があり、また ATCRBS に妨害を与える可能性がある。

BCAS には Passive、Active および Passive/Active の3つの動作モードがある。

(1) Passive モード⁽⁸⁾: 図2に示すように、自らは電波を発射せず、ATCRBS 地上局が送信した質問信号を受信すること、および、この質問信号に応じて他航空機の ATC トランスポンダが送信した応答信号を受信すること、ならびに ATCRBS 地上局の指向性アンテナが北方向を向いたとき、同じ地上局の無指向性アンテナか

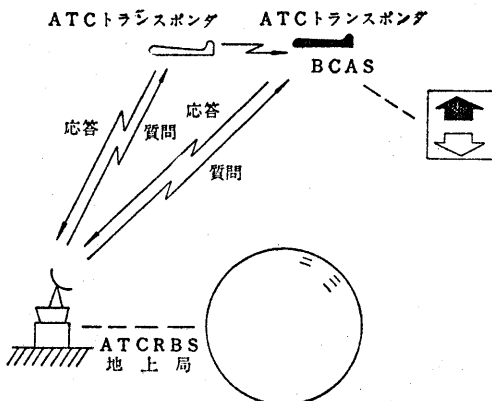


図2 BCAS PASSIVE モード

ら発射する North 信号を受信すること等によって得た受信信号を用いて、近接航空機是否存在を予知し、または近接航空機との距離、距離変化率、高度差および方向を求めて危険評価を行なう動作モードである。このモードは ATCRBS 地上局の覆域内でのみ有効である。

(2) Active モード⁽⁴⁾: 図3に示すように、ATCRBS 地上局と同様な質問信号を発射し、これに応じて送信した他航空機の ATC トランスポンダの応答信号を受信し、質問応答の時間差から他航空機との距離を求め、その時間差の変化から距離変化率を計算し、また応答信号に含む他航空機の高高度情報と自航空機のアルチチュード・レポーティング・アルチメータからの高度情報との差から相対高度を求め、これらの値から危険評価を行なう動作モードである。この動作モードは既存の ATCRBS に妨害を与える可能性がある。

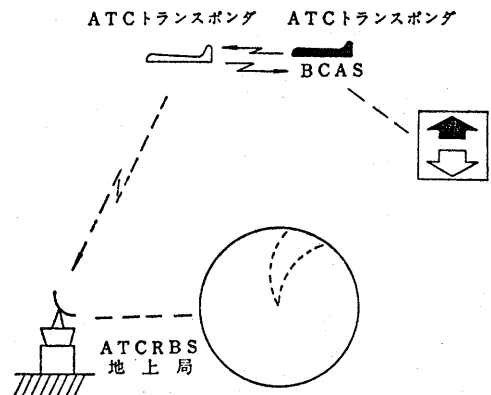


図3 BCAS ACTIVE モード

(3) Passive/Active モード: Passive と Active の両モードを組合せたものであり、ATCRBS 地上局がないか、極めて少ないとき、または他航空機が接近した場合、Passive モードから Active モードに自動的に切替えて動作するモードである。このモードは Passive および Active の両モードの不具合を改善するものとして開発されたものである。

5. 開発装置の一例

5.1 概要

一例として、当社が開発している装置の概要を述べる^{(5),(8)}。この装置は Passive/Active モードで動作する BCAS であり、Passive モードで近接航空機存在を予知したとき、自動的に Active モードに切替えて衝突の危険を評価し、警報または回避方法の指示をパイロットに与える方式のものである。

この方式の特長は、BCAS の一般的なものに、更に次のようなものが加わっている。

(1) Passive モードと Active モードを効果的に組合

せ、また Active モードにおける送信電力および毎秒の質問数を他航空機との危険の程度に応じて変化させることによって、極力電波を発射しないようにしているため、既存の ATCRBS に与える妨害が極めて少ない。

(2) 既存の ATCRBS 地上局および ATC トランスポンダを、そのまま使用するため、これらの装置を改修する必要がない。

(3) ATC トランスポンダおよびアルチチュード・レポーティング・アルチメータのみを搭載している他航空機に対して、自航空機にのみ、この装置を搭載することによって衝突を防止することができると共に、アルチチュード・レポーティング・アルチメータを搭載しない他航空機に対しても衝突防止に効果的であるため、段階的に導入することができる。

5.2 動作概要

(1) Passive モード

(a) Term Listen-in: 自航空機の ATC トランスポンダが ATCRBS 地上局の質問信号に応じて応答信号を送信した時刻と、他航空機の ATC トランスポンダが、同一の地上局の質問信号に応じて送信した応答信号を、自航空機が受信した時刻との時間差が、 $180\ \mu\text{s}$ (14 n.m. 相当) から $25\ \mu\text{s}$ (2 n.m. 相当) の間にあるとき、近接航空機が存在すると判断する動作である。この場合、時間差 $25\ \mu\text{s}$ 以下を除去した理由は、時間差が小さいときは距離精度が悪いこと、および ATC トランスポンダのデッドタイムによるものである。

(b) Level Listen-in: 他航空機の ATC トランスポンダの応答信号を自航空機が受信し、その電界強度が $-65\ \text{dBm}$ (約 14 n.m. 相当) 以上になったとき、近接航空機が存在すると判断する動作である。この動作は地上局が局または 2 局程度のとき、Term Listen-in がカバーできない空域を補うものである。

(c) Interrogation Density Listen-in: 地上局の質問信号を受信し、その質問信号の数が少ない場合、地上局の数が少ないと判断する動作であり、8.3 PPS (地上局 2 局相当) 以下に設定してある。

(2) Active モード

(a) Active No. 1 自航空機から、ATCRBS 地上局の質問信号と同一型式の識別符号 MODE-A の 6 回を 1 群として、周期 3 秒、送信出力 30 W (尖頭値) の電波を送信した時刻と、これに応じて送信した他航空機の ATC トランスポンダの応答信号を受信した時刻との時間差が $50\ \mu\text{s}$ (4 n.m. 相当) 以下であるとき、近接航空機が存在すると判断する動作である。

(b) Active No. 2: 自航空機から、ATCRBS 地上局の質問信号と同一型式の識別符号 MODE-A の 6 回、高度符号 MODE-C の 4 回を 1 群として、周期を 3

秒と 9 秒との交互とし、送信出力 300 W (尖頭値) の電波を送信した時刻と、これに応じて送信した他航空機の ATC トランスポンダの応答信号を受信した時刻との時間差から、他航空機との相対距離を求め、異常接近距離 1.8 n.m. 以内に他航空機が存在するか否かを判断する。また、このときの時間差の変化から、他航空機が接近中であるか否かを判断する。さらに他航空機が応答した MODE-C の符号から、その航空機の高度を求め、自航空機との相対高度を計算し、他航空機が相対高度 $\pm 800\ \text{ft}$ 以内にあるか否かを判断する等を行なう動作である。

(c) Active No. 3: 自航空機から、Active No. 2 の周期を 3 秒一定に変更した質問信号を送信し、他航空機との距離、距離変化率および高度差を求めて危険評価を行なう動作である。

(3) 動作順序

Target Sensor, Target Search および Target Tracking の順に動作する。

(a) Target Sensor: Interrogation Density Listen-in により、ATCRBS 地上局が 1 局または 2 局以上あると判断した場合、Term Listen-in および Level Listen-in が動作し、警戒空域の半径 14 n.m. 以内に他航空機が存在すると判断すると、自動的に Target Search の動作に移行する。同時に Active No. 1 が動作し、半径 4 n.m. 以内に他航空機が存在すると判断したときも同様である。なお、ATCRBS 地上局が 1 または 2 局以下と判断した場合は、直ちに Target Search の動作に移行する。

(b) Target Search: Active No. 2 の動作により、他航空機が異常接近距離 1.8 n.m. 以内、または接近中で、かつ他航空機との高度差が $\pm 800\ \text{ft}$ 以内にあると判断した場合は、自動的に Target Tracking の動作に移行する。

(c) Target Tracking: Active No. 3 の動作により、他航空機との距離、距離変化率および高度差を求める。他航空機の ATC トランスポンダの応答信号が得られず、距離および距離変化率が求められないときは、前回得た値から予測値として求めることができる。ここで求めた距離および距離変化率から、3.2 項に述べたように衝突までの時間 TAU を求め、TAU が 40 秒から 25 秒の範囲で、且つ高度差が $\pm 800\ \text{ft}$ 以内にあるときは、旋回禁止の指示を指示器の表示によりパイロットに示し、TAU が 25 秒以下、または距離が 0.8 n.m. 以下であるときは、他航空機の位置に応じて上昇、下降または水平の指示を指示器の表示によりパイロットに示す。なお他航空機の高高度情報が得られないか、または複数の他航空機の高高度情報が重なって、他航空機の高高度情報が求められないときは、自動的に近接警報指示動作となり、他航空機との距離、および方位情報を指示器の表示によ

ってパイロットに示す。

5.3 主要性能

この装置は本体、指示器およびアンテナで構成され、外観および機器間接続は、それぞれ図4および図5に示す通りである。

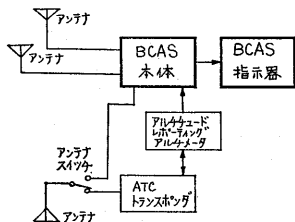
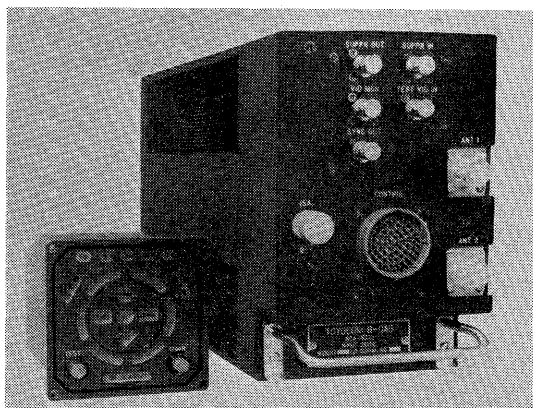


図4 BCAS 機器間接続



指示器 本体

図5 BCAS 装置外観

- (1) 最大相対速度………1,200 ノット
- (2) 警戒空域………14 n.m.
- (3) 最大処理機数………150 機
- (4) トラッキングエラー… 5×10^{-5} 以下
- (5) 外形寸法

本体…幅	124 mm	指示器…幅	85 mm
高さ	197 mm	高さ	85 mm
奥行	360 mm	奥行	115 mm

- (6) 重量 本体……8 kg, 指示器……0.8 kg

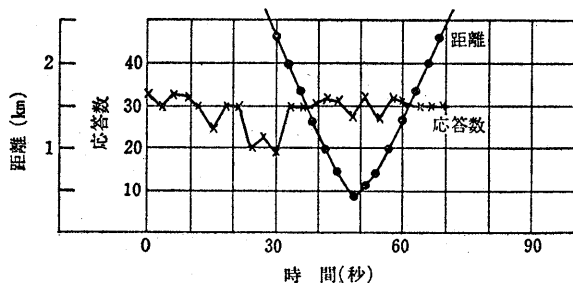


図6 危険評価試験

5.4 試験結果⁽⁶⁾

試作装置を用いて各種動作、警戒空域、距離精度、ATC トランスポンダの応答率、ガープル、フルーツ、マルチパスによる誤動作、危険評価等の各種項目について、地上および飛行試験を行なった結果、要求事項を殆んど満足することができた。図6は危険評価の飛行試験結果であり、TAU 25.5 秒で回避指示が得られた。図7は総合動作の飛行試験結果であり、Level Listen-in 動作は Term Listen-in 動作を完全に補ない、Target Sensor から Target Search への動作の移行は、他航空機との距離が 6~8 n.m. の間で、自動的に行なわれた。

5.5 考 察

BCAS 設計上の主な課題は、トランスポンダ応答率の劣化、ATCRBS 地上局に与えるフルーツ雑音、カーブル、フォールス・アラーム、ミス・アラーム、地上管制システムとの調和、および指示器表示方法等がある。これらについて開発中の方式を考察する。

(1) トランスポンダ応答率の劣化: トランスポンダは、それ自身の保護および ATCRBS の性能を維持するため、応答信号の数を制限する機能をもっている。従って BCAS が互に質問を行なうと、トランスポンダは本来の ATCRBS 地上局の質問に、BCAS の質問が加わり、応答信号の数を必要以上に制限し、ATCRBS に妨害を与える可能性が生ずる。応答の劣化率 R_p は式(2)で求められる。

$$R_p = k \cdot A_j \cdot t_a \cdot h_o + t_c \cdot h_o$$

k = アンテナパターンのスプリット率

A_j = BCAS 警戒空域内の航空機数

t_a = トランスポンダのデットタイム (秒)

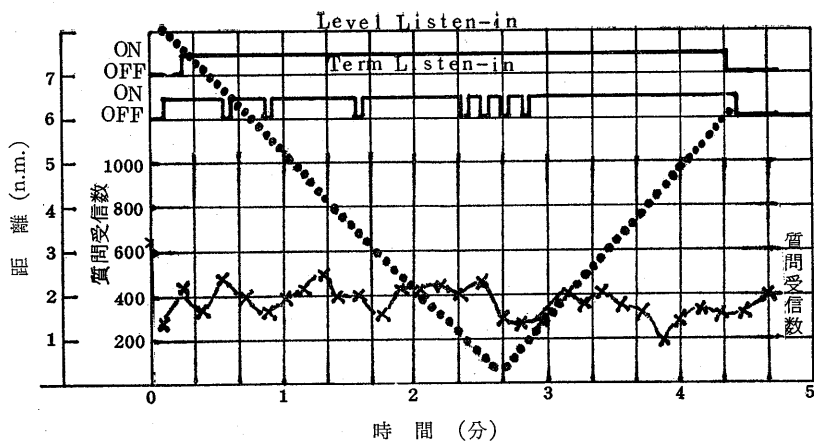
t_c = 自機の BCAS によるプレッションタイム (秒)

h_o = BCAS の毎秒の質問数 (PPS)

図8は応答の劣化率をパラメータにして、航空機数 A_j と BCAS の毎秒の質問数 h_o との関係を示したものである。

この装置の場合、トランスポンダの応答の劣化率を ATCRBS に妨害を与えないと考え得る 2% 以下に抑えることのできる警戒空域半径 14 n.m. 以内の航空機数は、毎秒の質問数が最大 3.33 PPS では約 37 機、最少 1.66 PPS では約 75 機まで存在しても良いことになる。しかし、航空機は地上施設によって管制されているため、毎秒の質問数が 3.33 PPS の Target Tracking で動作している航空機は少ないと考えられ、毎秒の質問数が 1.66 PPS の Target Search で動作している航空機と

- a. 使用航空機 (飛行高度)
BCAS 搭載機: BN-2
(2,000 ft)
相手機: FA 200
(3,000 ft)
- b. 進入角: 右 145°
- c. 接近速度: 328.3 km/h
- d. 警報発生距離: 2.33 km
- e. TAU: 25.5 sec



a. 高度：
B-CAS 搭載機
4,000 ft
相手機
3,000 ft
b. 進入角：右 30°

図 7 総合動作試験

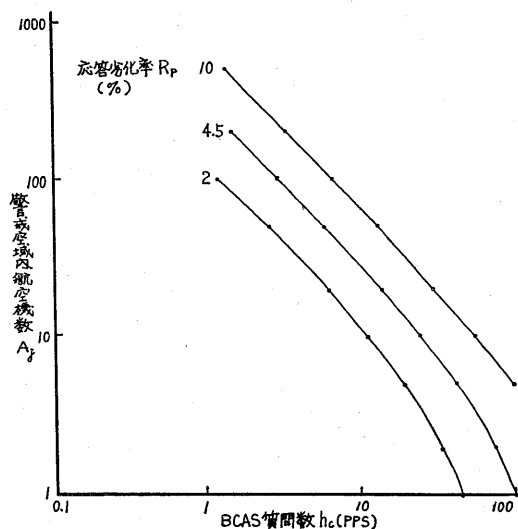


図 8 トランスポンダ応答劣化率

同数存在すると仮定すると、約 55 機まで存在しても良いことになる。従って FAA で要求している半径 60 n.m. 以内に最大 750 機が存在する場合でも十分満足することができる。このように、この装置は極力毎秒の質問数を小さくするように制御することによって、トランスポンダ応答率の劣化を防いでいる。また、この装置は送信電力を Target Sensor 動作時では最大の 1/10 としているため、空域も最大の約 1/10 となる。従って航空機が一樣に分布していると仮定すると、航空機数は最大の約 1/10 となり、応答の劣化率は最大の約 1/10 の 0.2% 程度となる。このように応答率の劣化は送信電力を極力小さくするよう制御することによっても妨がれている。

(2) ガーブル：複数の他航空機が、自航空機から、ほぼ等しい距離を飛行しているときは、それらの航空機の応答信号が時間的に重なるという、いわゆるガーブル状態が生ずる。ガーブル状態は航空機数の増加に伴って

指数関数的に上昇することになり、それぞれの航空機との距離および高度差を求めることが困難になる。これに対し、距離および高度差のトラッキングを行なう等の対策がなされているが、高度差に対しては特に困難である。この装置は、ガーブル状態により高度差が得られないとき、CAS 機能から PWI 機能に自動的に切替えられ、他航空機との距離および方向をパイロットに知らせ、パイロットが衝突を回避する助けとすることができる。

(3) ATCRBS 地上局に対するフルーツ雑音：BCAS が互に質問を行なうと、トランスポンダは ATCRBS 地上局の質問に対する応答信号の外に、BCAS の質問に対する応答信号を送信し、これが ATCRBS 地上局に受信されて妨害を生ずる。この妨害信号をフルーツ雑音と呼んでいる。ATCRBS 地上局はフルーツ雑音を除去するデフルータ機能を有するため、妨害はないが、BCAS 搭載の航空機数および毎秒の質問数が特に多くなるとフルーツ雑音を除去できず、妨害が起きる可能性を生ずる。この装置は毎秒の質問数を最大 3.33 PPS に抑えているため、FAA が要求する半径 60 n.m. 以内の航空機が 750 機に達した場合でも、ATCRBS 地上局に与えるフルーツ雑音は、現状の 2.2% の増加に抑えることができるという計算結果を得ている。

(4) その他：フォールス・アラーム（必要でないときに警報を出すこと）およびミス・アラーム（必要なときに警報を出さないこと）は、航空機数、速度、加速度、その他多くの関数であるが、安全性の点から 10^{-5} 程度以下とすることが望ましい。開発中の装置の、これらのアラームの発生率は計算により 5×10^{-5} 程度の値を得ている。また地上管制システムとの調和については、BCAS は、あくまでも地上管制システムのバックアップとして働かせる必要があり、運用面から十分検討を要する。更に指示器の表示方法については人間工学的な面からも更に考慮する必要がある。

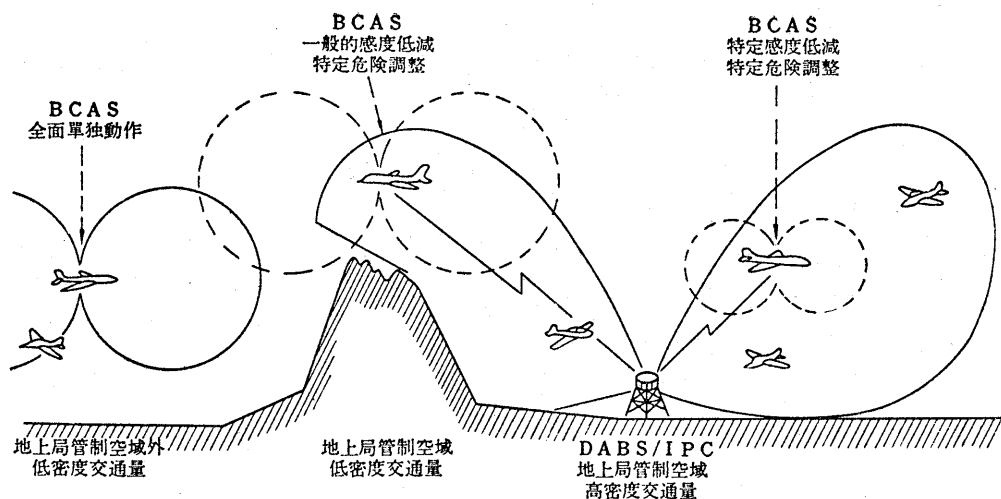


図 9 DCAS 管制方式の構想

6. 今後の動向

最近 FAA は最も開発が進んでいた ACAS の EROS, AVO-IDS, および SECANT の各方式について評価を行なった結果, 他航空機に新しい対向装置を搭載する必要があること, 総合的な費用対効果その他の点で不十分であること等の理由から開発を中止する意向を示し⁽⁷⁾, 米国内で開発中の BCAS の評価試験を実施中であり, 近年中に米国標準規格 (U.S. National Standard) を作成する計画をもっている。一方, 米国をはじめとする各国は, 将来, 航空交通量が特に多くなると予測される空域に対し適応させる構想のもとに, 現用の地上施設による管制用の ATCRBS の機能を発展させた DABS の開発を進めているが, 更に空中衝突を防止するための機能を付加した DABS-IPC の開発も行なっている。このように地上および機上の両面から対策が進められているが, 更に将来, FAA は BCAS を DABS-IPC と組合せて, DABS 管制空域内では BCAS は DABS-IPC のバックアップ機能として動作させ, 管制空域外では単独に動作させるという総合的なシステムの研究も進めている。このシステムは DCAS (DABS based CAS) と呼んでおり, 図 9 は DCAS 管制方式に対する FAA の構想である。この場合, DCAS では, ATC トランスポンダの代りに, ATCRBS にも使用できる DABS トランスポンダが使用されることになる。一方我国においては運輸省, 防衛庁, その他の関係省庁および製造会社によって, BCAS の開発が続けられている。これらの開発は, 主として日本独自に進められているが, 米国その他の開発動向を見つめつつ, 外国勢に遅れを取らぬよう実用化の努力が続けられている。

7. むすび

以上, 国内外の航空機衝突防止装置開発の現状と動向について, 開発装置の一例として, 当社が開発している装置を含めて, その概要を述べた。20 年以上の長きにわたって, 種々開発が行なわれてきた航空機衝突防止方式は, 全般的に BCAS に固まりつつあり, 実用化される日も遠くないものと予想され, 我国においても関心が高まっている。

終りに, 本研究に関し終始御指導を賜わっている航空機衝突防止調査委員会岡田委員長はじめ各委員, および運輸省, 防衛庁, 郵政省, その他の関係諸省庁ならびに航空振興財団各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) A.T.A.: "Airborne Collision Avoidance System, Statement of Airline Policy and Requirements and a Technical Description of System", ANTC Report No. 117 (Sept. 1971).
- (2) M. Eleccion: "The Promise of Air Safety", IEEE Spectrum, p. 26 (July 1975).
- (3) George B. Litchford: "Avoiding Midair Collisions", IEEE Spectrum, p. 41 (Sept. 1975).
- (4) Philip J. Klass: "Collision Avoidance System Evaluated", Aviation week & Space Technology, p. 55 (March 1976).
- (5) 松田, 船津: "機上衝突防止方式について", 電気四学会連合大会 227 (昭 51).
- (6) 航空機衝突防止装置調査委員会: "衝突防止装置調査報告所 (その 1), (その 2), (その 3)", 航空振興財団 (昭 48, 昭 49, 昭 50)。
- (7) Washington Newsletter: "FAA Gives Nod to Ground-based Collision Warning", Electronics, p. 49 (Oct. 1975).
- (8) 船津, 平田: "航空機衝突防止装置", 東洋通信機技報, p. 20 (No. 19, 1976).

Active BCAS の研究経過と今後の課題

株式会社東京計器 岡田 昂三

Recent and Future Researches of Active BCAS

Kokyo Keiki Co., Ltd.

Kozo OKADA

1. はじめに

航空機の性能が低い初期のころから、“see and be seen”すなわち、「見かつ見られる」という原則に基づいた衝突回避がなされてきており、現在でも VFR 飛行の基本的思想をなしている。しかしながら、1956 年 6 月にグランドキャニオン上空での大惨事以来、この“see and be seen”の妥当性自身も大きな疑問がもたれ始め、衝突防止システムの研究が米国で開始された。

航空機の増加にともない空域の有効利用の立場からは、航空機の間隔を狭ばめたいという要求があるが、一方空中衝突またはニアミスを防ぐ立場に立つと出来るだけ機間距離を離す必要がある。この矛盾した問題を解決するために、地上から各機を管制する、いわゆる航空交通管制 (ATC) が行なわれている。ATC は世界的に普及しなお一層発展充実されつつあるが、空中衝突防止の点から見るとまだ理想的ではない。そこで補助的手段として、機上側においても何等かの手段を講じて衝突を防ぐ装置が必要である。

この衝突防止システムはすでに米国を中心に各種の方式が研究されており、その中で特に有名なものとして、Time-Frequency 方式を利用した McDonnell Douglas 社の EROS (Eliminate Range Zero System)、Interrogator-Transponder 方式を利用した RCA 社の SECANT (SEparation and Control of Aircraft by Nonsynchronous Techniques) および Honeywell 社の AVOIDS (AVionic Observation of Intruder Danger System) をあげることができる。これらのシステムはいずれも全ての航空機が同じ装置か、または特別な装置を搭載しなければその能力を発揮できない方式であり、搭載を義務づける法制化を必要とするものである。

一方、これらの方式と異なり一機だけが搭載すれば、特別な装置を持たない他の航空機間の衝突をも防止するシステムについて、我国ならびに米国で研究されてき

た。これは ATC の目的で国際的に標準化されている ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) の一部を成すビーコン・トランスポンダを利用しようとするシステムであり、このトランスポンダは、管制空域を利用する全ての航空機にすでに搭載が義務づけられている。このトランスポンダにその基礎をおくこの種の衝突防止システムは、近年 BCAS (Beacon-based Collision Avoidance System) と呼ばれ、前述の Time-Frequency 方式等と区別されている。当社では、昭和 46 年から BCAS (当時、BCAS という呼称が一般的でなかった) の研究を開始し、以来現在まで 6 年間にわたり研究を続けてきた。この間、通産省の重要技術補助金を受け、昭和 50 年には防衛庁技術研究本部との共同開発を実施してきた。一方、米国でも近年 FAA (Federal Aviation Administration) を中心に BCAS の開発に注力するにいたり、この方式が大きくクローズアップされてきた^{(1),(2)}。

BCAS を、近傍の航空機の検出方法によって、次の三種に分類することができる。

Active BCAS : 積極的な空対空の質問により応答を引き出す方法

Passive BCAS : 地上システムの質問に対する応答を傍受する方式

Semi Active BCAS: 上記種を混合した方式

以上のいずれもそれぞれに長所短所を有するが、当社は一貫して Active BCAS を研究してきた。

以下に、Active BCAS の一例として、当社における開発経緯、現状ならびに将来の計画を紹介する。

2. 開発経緯

BCAS の果たすべき機能として次のものがあげられる。

- 1) 潜在的危険を示す全てのトランスポンダ搭載機を検出する
- 2) 検出された航空機の脅威を評価する

- 3) 回避操作が必要かどうかを決定する
 - 4) 可能なら侵入機の操作意図を知って逆の回避操作を選択する
 - 5) 安全な運用を維持する必要な回避操作を表示する
- 以上の機能を発揮するために利用できる情報として一般に、距離、接近速度、高度、高度変化率、方位及び方位変化率がある。BCAS では一次レーダと同じように、質問からそれに対する応答を受信するまでの経過時間により距離を得ることができ、また、Mode-C 応答を受信することにより高度を知ることができる。この種の情報をもとにして回避操作をパイロットに表示し、高度を変化させることにより衝突を回避するシステムを開発してきた。

空中衝突は、3次元空間内の2点（自機および他機）の運動によって起こされる現象であることはいうまでもない。今、衝突回避に要する時間を t_e とし、将来 t_e 間に自機が移動し得る空間と他機のそれとを考えると、それらが共通の空間を持たなければ少なくとも今後 t_e 間に衝突の危険がなく安全であるが、逆の場合には衝突の危険性がある事を意味しているの、何等かの回避操作を促す必要がある。このように考えることにより、容易に現在 ($t=0$) の相対距離 (R) およびその変化率 ($\dot{R}$) の間に次式が成立するとき危険であると考えることができる。

$$(R + \dot{R}t)^2 + (V_n t)^2 \leq U^2 t^2 / 4, \quad (0 \leq t < t_e) \quad (1)$$

ここに、 V_n は現在の相対速度ベクトルの両機を含む平面内で自機と他機を結ぶ直線と垂直な方向の成分の絶対値である。また、 U は対象とする全ての航空機間で考えられる最大相対加速度の絶対値である。実際には V_n を実測または推定する適当な方法がないので、 V_n を含まない危険判定式が必要であり、当社では (1) 式を近似した次式を採用している。

$$R + \dot{R}t_e < Ut_e^2 / 2, \quad (2)$$

この式は、 $R - \dot{R}$ 平面上である領域を与えるが、この領域を危険領域と呼んでいる。(2) 式を変形し、

$$\frac{R-d}{-\dot{R}} < t_e, \quad d \equiv \frac{Ut_e^2}{2}, \quad (\dot{R} < 0) \quad (3)$$

と書ける。この式の左辺は、一般に Modified TAU と呼ばれているもので時間のデメンションを有する量である。実際に他機が接近しているときには $\dot{R}$ は負であり、この時 (3) 式の左辺すなわち Modified TAU (以下単に TAU という) が計算され、あらかじめ与えられている t_e と比較される。もし t_e より小さい値のとき次に述べる高度に関する判定により、要すれば回避命令を発生する。

一般に真の高度差が ± 150 feet 以内であるとき同一高度と呼ばれ、同一高度にならないように回避しなければ

ならない。

我々は真の高度差を得ることができないから、自機高度 Z_r - 侵入機高度 Z_i すなわち計測高度差 Z を使用し、またパイロットおよび機体の応答時間を T_r とすると、回避命令の選択ロジックは次のようになる。

$|Z + T_r \cdot \dot{Z}| \geq D$ の場合

$(Z + T_r \cdot \dot{Z}) \cdot \dot{Z}_r \geq 0$: 現飛行の継続

$(Z + T_r \cdot \dot{Z}_r) \cdot \dot{Z}_r < 0$: 水平命令

$|Z + T_r \cdot \dot{Z}| < D$ の場合

$(Z + T_r \cdot \dot{Z}) > -\epsilon$: 下降命令

$(Z + T_r \cdot \dot{Z}) > \epsilon$: 上昇命令

$|Z + T_r \cdot \dot{Z}| \leq \epsilon$: 早く発見した方が上昇 (下降) し、後で発見した方がそれと反対の命令

ここに、 $\dot{Z}_r$ および $\dot{Z}$ は、それぞれ自機高度レートおよび相対高度レートである。そして D は ATC の規定や高度計の誤差等で決まる最小安全高度差であり、一般に 500~1000 feet を使用している。また ϵ も高度計の誤差から定まる定数で、通常 50 feet を採用している。

当社は上の関係を2種のガードバンド (500 および 1000 feet) を用いて次のように近似している。

$500 < |Z| < 1000$: 水平命令

$0 < Z \leq 500$: 上昇命令

$-500 \leq Z < 0$: 下降命令

$Z=0$ という事を2機が同時に知る確率は0に等しいので、早く発見した航空機には、上昇命令が発生し同時に現在の高度に 100 feet パイアスした高度を相手に知らせ、相手には下降命令が発生するようにしている。

当社が過去に開発した BCAS を総括すれば、(3) 式を満たす航空機が存在するかどうかを調べ、それを満たす航空機に対する高度差の関係により上式を適用して回避命令を発生させている。

(3) 式の t_e はパイロットの反応時間に強く影響される。 t_e を小さく選べれば危険領域を狭くすることになり、したがって誤報を少なくできる。そのために回避命令の発生の少なくとも5秒前に別の命令を発生するようにしている。この命令は上昇下降の中止と旋回中止の命令である。

t_e や d を簡単に決定できないので、コンピュータ・シミュレーションにより衝突コース 10,000 回の試行のうち 99.9% が安全な高度差 (150 feet) を確保できる値を選び出した。その結果、 $t_e=25$ 秒、 $d=0.25$ nmi および $t_e=40$ 秒、 $d=1.8$ nmi を使用している。

図1に当社が開発した BCAS の機能ブロック図を示す。これについて簡単に説明する。

(1) 送受信は、機体の上下に設置された本のアンテナ

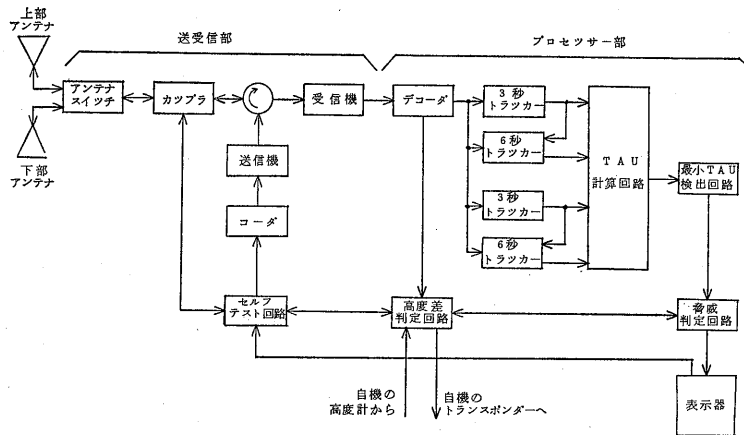


図 1 BCAS の機能ブロック図

ナを交互に使用する。

- (2) 質問は約 150 m sec 毎に Mode-A で 4 回行ない、約 1.5 秒毎に Mode-C で 4 回行なう。
- (3) 受信信号は約 54 m 毎にデジタイズされ、Mode-A のブラケット信号と Mode-C の高度信号を取りだす。
- (4) Mode-A のブラケット信号は 2 系列のトラッカーに追尾される。
- (5) トラッカーは 3 秒と 6 秒トラッカーより成り、接近速度が約 175 m/sec 以上は 3 秒トラッカーで、それ以下は 6 秒トラッカーで追尾され、その間フルーツや偽ブラケット信号を消去すると同時に、各航空機毎の接近速度が求められる。
- (6) トラッカーの出力から TAU が計算される。
- (7) 複数機からの応答が受信されると、それらの中から最小の TAU を示す航空機を選択する。
- (8) その航空機の TAU がスレッシユホールド (40 秒および 25 秒) と比較され、それ以下ならその航空機との高度差により命令を選択し、表示器に出力する。
- (9) 表示器に命令が現われると共に警報音が発生する。
- (10) 表示器にあるテスト、スイッチによりシステム的全機能をチェックし、その結果をパイロットに知らせる。

BCAS に使用するアンテナとして、当社が開発したアンテナのパターンは次式を近似したものである。

$$G(\theta) = \left(\frac{\cos \theta + k + a}{1 + k + a} \right)^2,$$

ここに、 θ はロールおよびピッチ軸を含む平面上機首方向を基準にした角度、 k は相手機と自機との速度比、 a は定数である。

当社は BCAS の開発にあたって先ず最初にコンピュ

ータ制御による信号発生器を開発した。この信号発生器は自機を初め他機の運動を模倣するもので実環境に近いトランスポンダの応答信号を発生するものである。この信号発生器を使用して開発した BCAS の試験を実施してきた。またコンピュータによるフライト・シミュレーションも実施し、危険判定基準の妥当性をも調べた。このシミュレーションは、自機および他機の 2 機が衝突コースにほとんど近いコースを飛行するとき、自機だけが BCAS の指示に従い回避操作したときの機間距離および高度差に注目したものである。このシミュレーションは旋回飛行をはじめ上昇、下降および水平を含む全ての直線飛行コースについて行なわれ。

49 年および 50 年には、防衛庁技術研究本部の支援の下に飛行試験を実施した。

以上の試験から次の成果を得た。

- 1) 衝突の危険性に対する回避命令は、コンピュータ・シミュレーションの結果とほとんど一致し、適確な回避命令が表示された。
- 2) 表示された命令に従って回避動作を行えば十分に衝突の危険を回避できることが確認された。

しかしながら、現在の航空密度下で使用する場合には十分実用に供しうるが、米国で考えている高航空密度を考えると、次の点を再考しなければならないとの結論を得た。

- 1) 質問レートを出来るだけ少なくすること。
- 2) 多重のガープル状態の下でも、高度の情報を正しく読みとり得ること。
- 3) 応答が欠落しても十分追尾できること。
- 4) 大きい高度変化率で上昇または下降している航空機との衝突も避けうること。

3. 現在の開発状況

Air Transport Association of America が発行した

ANTC Report 117, Rev. 10 を 1971 年以来 CAS の非公式な基準として各社が使用してきた。EAA は、この基準が BCAS に適用できるかどうか検討した⁽³⁾。その結果、距離、接近速度および高度差の計測精度を高め、かつ高度差の変化率も利用した新しい脅威評価基準を設定した方がよいとの結論を得ている⁽⁴⁾。これらの動向と我国での増大するであろう航空密度を考え、現在当社は全く新しい処理方式を検討している。以下にこれを説明する。

BCAS が作動する環境として

- 1) 半径 20 nmi 内のトランスポンダ搭載機数 ≤ 100 機
- 2) 距離 10 nmi での連続したオーバーラップのピーク数 = 6
- 3) 非同期性フールツ・レート ≤ 100000 Hz

を仮定し、また BCAS は次の特性を持つ航空機を監視するものとする。

- 1) 水平加速度 = $0 \sim \pm 1/2 G$
- 2) 垂直加速度 = $0 \sim \pm 1/4 G$
- 3) 垂直速度 = $0 \sim \pm 5000 \text{ FPM}$
- 4) 最大水平速度 = 600 knots

ATCRBS への影響を最小にするために、質問回数を 1 秒あたり Mode-C を 2 回とする。

以上の事を考慮すると、前節で述べた方式の延長上で処理することはできない。そのため、コンピュータによるソフトウェアコントロール方式をとっている。

ソフトウェア上の中心的課題は、いわゆる“追尾”（トラッキング）である。目標の運動を多くの疑似信号や雑音の中から検出し、自機に対する相対的コースを正しく予測するには、距離および高度についての追尾が不可欠である。現在研究中の追尾方式は、一種の線形予測方式によるものであり、以下この方式を簡単に説明する。

今、時刻 $t = nT_m$, ($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) における観測値（入力）を x_n とすると、出力にあたる平滑化された位置 $\bar{x}_n$ およびその変化率 $\dot{\bar{x}}_n$ は、次の差分形式で定義される。ただし T_m は観測の時間間隔である。

$$\bar{x}_n = x_{pm} + \alpha \cdot (x_n - x_{pm}), \quad (4a)$$

$$\dot{\bar{x}}_n = \dot{\bar{x}}_{n-1} + \beta \cdot (x_n - x_{pm}) / T_m, \quad (4b)$$

$$x_{p(n+1)} = \bar{x}_n + T_m \cdot \dot{\bar{x}}_n, \quad (4c)$$

ここに α, β は平滑定数であり、 $x_{p(n+1)}$ は過去の入力 ($x_n, x_{n-1}, \dots$) より引続く T_m 間目標が等速直線運動をするという仮定の下で求めた次の観測時刻 $t = (n+1)T_m$ における予測位置である。この追尾法は一般に α - β tracker と呼ばれているものであり、我々の場合には、各目標の距離、接近スピード、高度および高度変化率を求める目的で使用している。

目標が等速運動をし、入力 x_n に外乱が混入しない理想的な条件では、容易に疑似信号を除去し目標を高い精

度と確率で追尾できる。しかし実際には非等速運動が多く発生し、しかも観測値に種々の要因で外乱が混入する。この場合でもできるだけ短期間に正しい値に収れんし、しかも外乱の影響を実用上無視できる程度に抑える必要がある。この意味で α および β の値を注意深く選定しなければならない。

BCAS で解決しなければならない問題にガーブルの処理がある。比較的近距离に複数機の目標が存在すると、これらの送信する応答パルス・トレースが互に重畳した状態で受信されるために、この間に干渉が起り二つの問題が発生する。その一つは、実際には存在しない距離に目標が存在する事を示す信号が発生する事であり、他の一つは、応答信号中の情報パルスが壊され、そのために間違った高度情報を得ることである。これらの誤信号は、各観測毎にランダムに変動するので、前記の追尾過程にふりい落され長時間の追尾を形成しないようは考慮されている。なお、応答信号の“1”を表わすパルスが壊される確率が小さいのに対し、“0”は高い確率で“1”に化ける性質がある。これを利用して比較的長時間の追尾により正しい高度情報を得られるよう工夫されている。

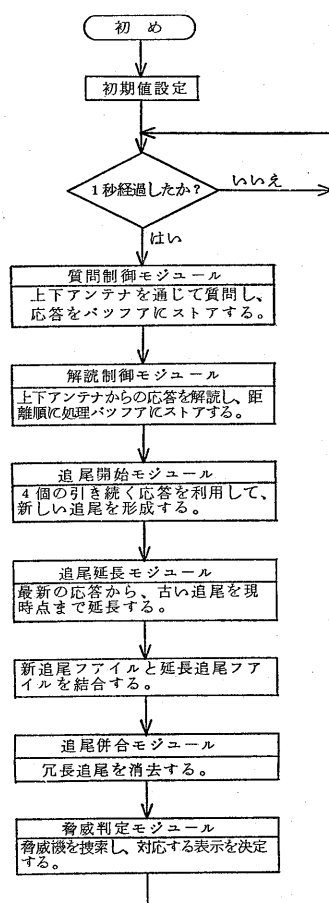


図 2 BCAS プログラムの流れ

BCAS プログラムの簡単なフローチャートを図 2 に示す。質問制御モジュールは、機体の上部及び下部に設置された 2 本のアンテナの質問を行なうと共に応答信号をバッファにストアする。各アンテナを通じて基本的に 1 秒に 1 回の割合で Mode-C を質問する。しかし、ガーブルによってオーバーラップする応答信号の数がソフトウェアの処理能力以上になることを防止するために、必要に応じてトランスポンダの MTL (Minimum Triggering Level) のパラッキを利用したトランスポンダのグループ化を行なう。これには、Whisper-Shout 方式と呼ばれている質問電力のレベル変化と質問と SLS を組合せた方法を採用する。また自機高度がある高度以下、例えば 10,000 feet 以下になると覆域を減らすために質問電力を制御する。解読モジュールは、上記バッファの応答信号を解読し、処理バッファにストアする。処理バッファは 4 個あり、現在、1 秒前、2 秒前、および秒前の質問に対するデータがそれぞれストアされる。各処理バッファのデータは、距離および gray code 化した高度の 2 語から構成されている。追尾開始モジュールは、これら 4 個の処理バッファの中のデータから、どの応答信号を追尾すべきかを決定する。各処理バッファの距離データを r_0, r_1, r_2 , および r_3 (r_i は i 秒前の距離) とおすと、追尾は次のようにして開始される。先ず $r_2 - r_3$ によって接近速度を近似する。この $r_2 - r_3$ は、1 秒間に変化する機間距離の最大値とトランスポンダ等のジッターを考慮のうえ選出される。次に $r_1 - r_2$ と $r_3 - r_4$ を求め、これらを $r_2 - r_3$ と比較する。それらがかなり近い値を示すなら、以上の過程で使用された距離データと対をなす高度データの各ビット毎の論理積をとる。この論理積が、国際規格の Mode-C 応答コードの中に含まれるかどうかを判定する。もしこの論理積が規格内に含まれるなら、 r_0, r_1, r_2 および r_3 の各応答機は、接近してくる航空機と見なし追尾を開始する。このようにして形成された追尾により得られる情報は、距離 (r_0)、接近速度 $[(r_0 - r_3)/3]$ 高度 (上述の論理積) および高度変化率 (0 とする) 等であって、新追尾ファイルと呼ばれる場所にストアされる。追尾延長モジュールは、1 秒前の古い追尾ファイルと現時点の質問に対する応答とを利用して、どの追尾を現時点まで延長すべきか、また新しいパラメータの値は何であるかを決定する。すなわち、古い追尾ファイルの中の各追尾に対して、(4c) 式から距離および高度に関する現時点の予測がなされ、この予測値を中心としたある範囲に応答があるかどうかを調べる。もし応答信号がない場合、その追尾の持つ信頼度がある値以上かどうかにより、その追尾の延長または消滅を決定する。すなわち、応答が複数回欠落しても信頼度が高いかぎり、その追尾は継続される。距離の予測範囲内に

少なくとも 1 個の応答があるなら、その距離データを利用して (4a) および (4b) 式により平滑化された距離と接近速度を求める。次に上の距離データと対をなす高度データと予測した高度との相関をとり、相関の強弱により追尾の継続または消滅を決定する。追尾を継続する場合、予測高度をそのまま延長する場合と高度を修正して延長する場合があります。また、予測範囲内に複数個の応答がある場合には、複数個に追尾が分岐する。以上の過程で追尾されたデータは全て延長追尾ファイルにストアされる。この延長追尾ファイルと前述した新追尾ファイルには多数の冗長が発生する。すなわち、同一航空機がガーブルやフルーツによって複数の追尾を形成する。追尾併合モジュールは、これら偽追尾をふるい落とすプログラムである。併合は全ての追尾を対にして行なう。すなわち、追尾に関連したパラメータ (距離、接近速度、高度および高度変化率) の比較にもとづき、両追尾を残すかあるいはどの 1 つを消去するかを決定する。こうして残った追尾は古い追尾ファイルにストアされ、次の予測に利用される。脅威判定モジュールは、入力として距離、接近速度、高度および高度変化率を受けとり、回避命令が必要であるかどうかを決定し、もし必要なら脅威が消滅するまで命令を発生し続けるプログラムである。脅威判定ロジックは、(2) 式で定義された距離 TAU と高度 TAU ($Z/\dot{Z}$) とを、現在の距離および高度と組合せて構成したものである。このロジックで発生する命令は、“Climb”, “Descend”, “Don’t climb” および “Don’t descent” の 4 種類である。またロジックは 2 機の脅威が同時に存在しても、それらに適合して命令を変更するように考慮されている。しかし、複数機による複数機による脅威が同時に存在し、例えば Climb と Descend のような矛盾した要求が発生した場合には、解決不可能であることを示すために、全ての命令を表示するように考慮されている。また自機がある設定された高度以下の場合には、判定に使用するパラメータの値を変更する。

以上簡単に当社で開発中の BCAS 用プログラムを説明した。現在このプログラムをテスト中である。その結果によると、4 機のオーバーラップまで完全に追尾し、適正な回避命令が発生している。

4. 将来の計画と課題

52 年度に当社は、前述プログラムをストワード・プログラム方式で処理する Active BCAS の試作を計画している。

なお、次にあげる点が今後の研究課題として残されている。

- 1) 高度レポーティング (Mode-C 応答) 能力をもたないトランスポンダ機を対象とする方式の研究

2) 2 機間の応答高度に差がない場合でも、互いに逆方向の回避命令を発生させる方法の研究

1) の Mode-C に対する応答能力をもたないトランスポンダを搭載している小型機等は、将来にわたり存在すると考えられる。これらを対象にするために、Mode-C 以外の Mode, 例えば Mode-A による質問を付加する事が考えられる。これにより、距離とその変化率を得ることができるが、相手機の高度を知る事ができない。したがって、高度差による回避を促す衝突防止装置を構成することは原理的に困難であろう。

しかしながら、TAU ($R, \dot{R}$ による) 的に脅威を検出できるのでパイロットに警報を発し、その後の回避操作をパイロットの判断にまかせる PWI (Proximity Warning Indicator) 機能を付加することが考えられる。この場合、パイロットが容易に発見し得るよう侵入機の相対方位を表示できることが望まれる。相対方位を応答波の到来方向により知る方法が考えられ、これには複数のアンテナエレメント間で振幅を比較する方法と位相を比較する方法が考えられる。アンテナ・アセンブリの物理的大きさ、設置上の難易を考慮すると位相比較が有利であろう。実際には、この方法にも問題点があり、特に複数機からの応答電磁波が、ガブルし、まったく時間的にオーバーラップすると、検出方位に大きな誤差が発生する。この問題を解決する適当な信号処理方法の開発が不可欠であろう。

第2の同一高度帯の2機に対し、互いに逆方向(上昇または下降)の回避をとらせる問題であるが、前述の当社がすでに使用した方法もその一つの解決策である。しかしながらこれには一時的にせよ誤った高度をレポートするので、ATC 上難点がある。別の解決策として、現在すでに国際規格で予備として用意されている Mode-D を使用して、空対空で互いの操作方向、具体的には衝突防止装置の表示内容等を通信し合う方式が考えられる。すなわち同一高度帯の脅威機を検出した時、Mode-C 以外に Mode-D の質問を発し、これを受けた航空機は自分の操作内容を応答する方式である。この場合、ガブルを避けるために操作意志がない場合には質問を無視し

て応答しない方式が有利である。地上レーダによる ATC でも衝突防止装置の表示内容を監視する必要があるかと思われるが、この方式を採用すれば、地上から Mode-D を質問する事により目的が達せられる。いうまでもなく、現用の Mode-A 等をこの目的で使用するとガブルが避けられないので、好ましくないと考えられる。なお応答パルス列中の“X”パルスは現在全く使用されていないので、これを使用する案も考えられるが、1 ビットの情報しか伝送できないので、この目的には不十分であり他の特別なコードとの組合せ等の工夫が必要であろう。

5. む す び

以上、当社における Active BCAS の開発経緯を述べ、現状の航空環境下で実用上ほぼ満足し得る性能を得たことを報告し、現在さらに高航空密度下でも稼動し得る新しい処理方式による Active BCAS を研究していることを述べた。また、さらに技術的な検討を要すると考えられる 1, 2 の問題に言及した。

本稿が、多少なりとも関係各位の参考になれば幸いである。

最後に、この開発にあたり各種の御援助を戴いた通産省ならびに防衛庁の関係各位に深謝するとともに、有効な資料の提供を願った FAA ならびに運輸省航空局の皆様深く感謝の意を表する。なお本草稿にあたり、当室員川島広海次長の多大な協力を得たことを付記する。

参 考 文 献

- (1) “An Active Beacon-Based Collision Avoidance System Concept (BCAS),” FAA-EM-75-7, Oct., 1995.
- (2) “Test Plan, Beacon Collision Avoidance System,” Project No. 052-241-100, FAA, Nov., 1975.
- (3) “Review and Analysis of Some Collision Avoidance Algorithms with Particular Reference to ANTC-117,” FAA-RD-75-72, FAA, June, 1975.
- (4) “Effectiveness of the BCAS Remitter Logic in Resolving Non-Tutoring Aircraft Encounters,” MTR-7231, MITRE Co., May, 1976.

海上交通シミュレーション

東京商船大学 杉崎 昭生

On the Marine Traffic Simulation

Tokyo University of Mercantile Marine

Akio M. SUGISAKI

1. はじめに

現在シミュレーションという言葉は日常語の範疇に入ってきたので、シミュレーションに対する評価も、海上交通のシミュレーションを実施しはじめた頃（ほぼ 10 年前となる）とは大分変わってきた。そこで筆者が実際に行なってきたシミュレーションの典型的なものを、ここに紹介させていただき、古いものについては今日的な評価をお願いしたいと考えている。筆者の海上交通シミュレーションは、昭和 42 年にまで遡る。それ以来、海上交通シミュレーションを四つの大きなパラメータで特徴づけて実施してきた。その四つのパラメータとは

- ・ 船舶の運動モデル
- ・ シミュレーションでの船舶の動かし方
- ・ シミュレーション対象域
- ・ シミュレーション使用言語

である。これらのパラメータについて概略的に記述する。

まず船舶の運動モデルは、速力針路ともに固定されたものから、速力制御のみす、針路制御のみす、速力針路ともに制御可、さらにこれらに運航判断基準（航海法規も基準の一として含まれる）を加味したものまでを対象として考えた。つぎにシミュレーションでの船舶の動かし方は、時間スライス方式か空間スライス方式によるかを考慮すればよく、シミュレーション対象域は局所か全体かの二つを考慮すればよいであろう。

シミュレーション使用言語は、若干正確さを欠くが、汎用プログラム言語（この範疇にアセンブラを含ませる）、汎用シミュレーション言語、専用シミュレーション言語の三つを考えたらいよいであろう。汎用プログラム言語は FORTRAN や PL/I によるのがよさそうであり、汎用シミュレーション言語は GPSS および SOL がよく、専用シミュレーション言語は十分ではないが MSPL¹⁾ がある。

以上のようにシミュレーションを見れば、つぎのような表現が、個々のアプローチの位置づけに用いられる。

$$S=S(P_1, P_2, P_3, P_4)$$

ここで S : シミュレーション

P_1 : 船舶の運動モデル (6 種)

P_2 : シミュレーションでの船舶の動かし方 (2 種)

P_3 : シミュレーション対象域 (2 種)

P_4 : シミュレーション使用言語 (3 種)

を表わしている（パラメータをとりあえず 4 種をしたいものの）。この表現でも種類のものが考えられることを示している。

2. GPSS による海上交通シミュレーション²⁾

1967 年に建設省の依頼で東京湾口の航路網の交通容量を調査するために行なったシミュレーションの概要をここに示すが、

$$S=S(\text{速力} \cdot \text{針路制御}, \text{空間スライス}, \text{海域全体}, \text{汎用シミュレーション言語}=\text{GPSS})$$

で表わされるシミュレーションである。

2.1 モデル

(1) 船舶の大きさ

3 種類の標準船を設定し、小さい順に 35 メートル船 (A)、その隻数割合 65%、70 メートル船 (B)、その隻数割合 22%、そして 140 メートル船 (C)、その隻数割合 13% となるモデルをつくった。

(2) 船舶の速力分布

大きさ別に統計資料をもとに、ほぼ原速分布に近いモデルを使用した。

(3) 船間距離と航行速力

船舶の前後方向距離の大きさが速力に影響する範囲は 8×船の長さ以内とし、それ以下のときは適宜速力選択をすることとした。

(4) 航路パターン

浦賀水道付近の海域を図1に示すとおりモデルとした。ここで3次元の配列は、航路の方向（Nは北向航路、Sは南向航路）、航路番号ブロック番号および航路幅（単位は70メートル）を表わしている。このモデルでは小型船用の側航路を除外している。

(5) 航路の優先度

図1での3番船路と12番航路が高位で、これを横切る航路を低位とした。

(6) 船舶の発生間隔

平均発生間隔を定め、これを用いての擬似指数分布

(95%で切り、それ以上を95%の時間間隔に上乘せした指数分布)によった。

(7) 運動モデル

加速、減速は同じ特性を用いた。また慣性は考慮しない単純モデルとした。

2.2 シミュレーションの方法と結果

各航路のブロック番号1のところから船舶を平均発生間隔に基づく擬似指数分布により発生させ、航路の内部での停滞が起きないかどうかを調べ、起きなければ平均発生間隔をより小さくして、停滞が起きないで平均発生間隔の最小（通航隻数の最大）となるまで、シミュレー

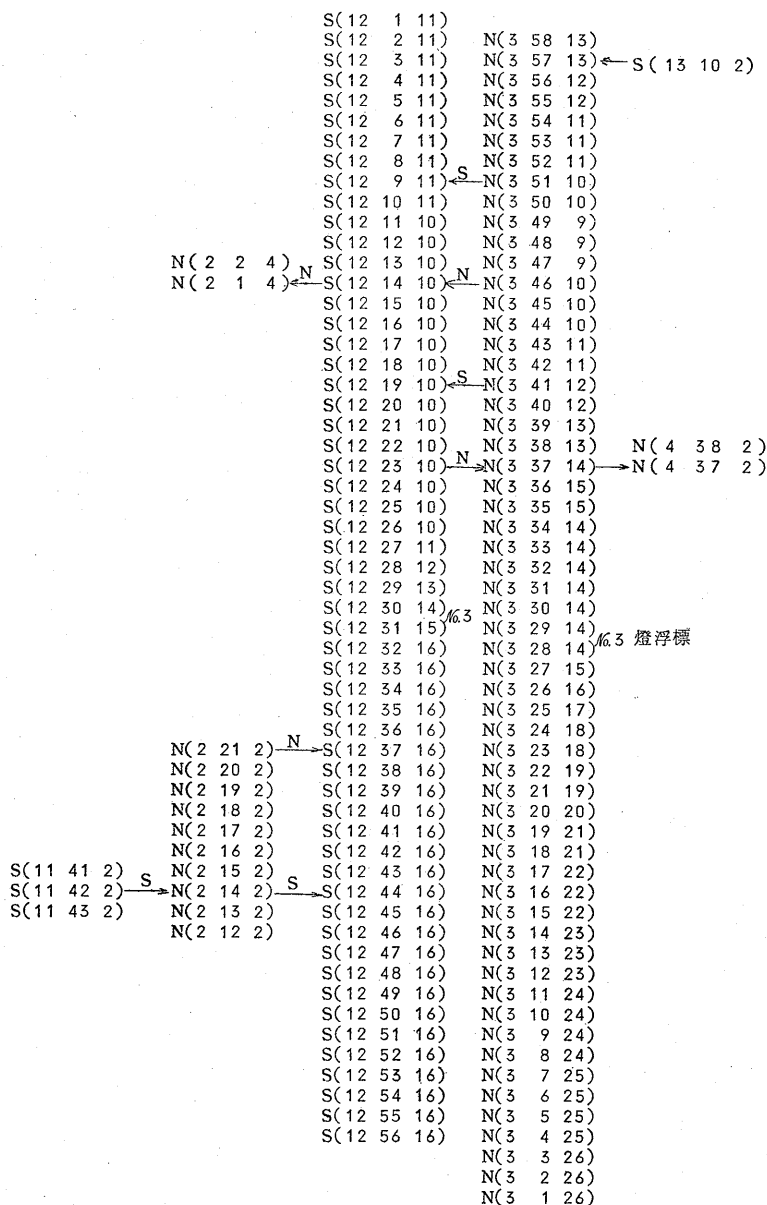


図1 航路パターンとデータ

ションを行なう。ここで平均発生間隔が実態と同じであれば、シミュレーション結果は、実態の特性を表現しているものとなるし、停滞が起きない最小平均間隔でのものからは、海上交通容量が求まろう。

このようにして、浦賀水道付近の航路網についての海上交通容量は 192 隻/時 (35 メートル船 127 隻/時, 70 メートル船 42 隻/時, 140 メートル船 23 隻/時) 片航をえることができた。この値は船舶の動きがかなり楽になっている点から見れば、いくぶん多目に出ていることは十分推察される。また横切りも折り込みを主としてモデル化したので、それほど南北向の交通流を妨げてはいないものとなっている。

3. 詳細なモデルによるシミュレーション^{8)~8)}

1972~74 年にかけて運輸省第 2 港湾建設局の依頼で、一般海域にも適用できる海上交通容量の調査を実施したときの中心をなしているシミュレーションの概要を示す。ここでのシミュレーションは

$S=S$ (速力・針路制御+運航基準, 時間スライス, 局部, 汎用プログラミング言語=FORTRAN)

にて規定できるものである。

3.1 モデル

(1) 船舶の大きさ分布

運輸省第 2 港湾建設局が 1973 年に行った東京湾の出入る船型予測に基づいた 1985 年の大きさ分布 (表 1) を用いた。

表 1 船舶の大きさ分布 (1985 年予測)

大 き さ (GT)	構 成 比 (%)
5~ 500	53.9
500~ 1,000	23.4
1,000~ 3,000	10.7
3,000~ 6,000	3.5
6,000~ 10,000	3.1
10,000~ 30,000	4.6
30,000~ 60,000	0.5
60,000~100,000	0.1
100,000~140,000	0.2

(2) 速力分布

表 2 速力設定基準 (港内用)

速力区分	大 型 船 (ノット)		小型船 (比) (原速基準)
	タービン	ディーゼル	
Full	12	12	0.85
Half	9	10	0.75
Slow	7	8	0.50
Dead Slow	4	6	0.40

対象となる航路が湾内であるために、小型船を除き、表 2 に示す速力設定基準を用い、小型船は原速×(表 2 の係数)にて速力をもたせた。

(3) 船舶の行動

船舶が変針・変速をする一つの基準となる航行可能余積の大きさ (正確ではないがこれを基本避航領域と定義する——詳しくは文献 8 参照) を、船舶密度、速力差、大きさの違いなどによって重みづけて、この大きさ——これを避航領域と定義する——によって、進むべき針路、速力を定める。

(4) 運動方程式

船舶の詳細な運動を必要としないので、次式を用いた。

$$m \frac{dv}{dt} = -kv \quad (\text{速力})^{9)}$$

$$T \frac{d\theta}{dt} + \theta = K\delta \quad (\text{針路})^{10)}$$

ここで m は船舶の質量, v は速力, t は時間, θ は船舶の旋回角速度, δ は舵角, T および K は操縦性指数を表わしている。

(5) 運 航 基 準

船長をはじめ船舶の運航者のもつ運航基準を運航者より聞いて、これをモデル化した。したがって、シミュレーションに主要な運航基準に導入されている (追越し、合流、横切りおよび入出港基準など)。

(6) 場

船舶の運航の場は、航路とよくいわれるが、航路網 (航路体系) そのものを対象とはせず、航路体系の要素航路要素——を対象として考えた。この要素として主なもの、

直線状

十字形——交差

Y 字形——分岐

逆 Y 字形——合流

であり、このうちの直線状、十字形、逆 Y 字形を場として用いた。これらの航路要素の幅はすべて 700 メートルとし、航路の長さにはできる限り長くとして、必要に応じてシミュレーションのためのバッファゾーンを付加した。航路の壁は仮空の線のみのソフトフォールとした。

3.2 シミュレーションとその結果

シミュレーションはつぎのとおり実施した。

(1) 船舶の発生

発生時間間隔および発生位置を確率的分布を利用し、乱数によって決定した。

(2) クロック・タイム

経費との関係で、30 秒 (実時間) を 1 クロック・タイムとした。理想的には 5 秒を 1 クロック・タイムとした

いと考えている。

(3) ゲートラインとシミュレーションからえられるデータ

交差海域や合流海域を除き、2 海里ごとにゲートラインを設定し、シミュレーションからの統計データを取りやすくした。また航路壁と隣接する二つのゲートラインによって囲まれる領域によっても統計データがとれるようにした。

シミュレーションから直接えられるデータとしては

- a. 総トン数別通過隻数
- b. " 船間時間間隔
- c. 通航船舶の原速分布
- d. " 実速分布
- e. " 速力比 (実速/原速) 分布
- f. 平均密度
- g. 追越し回数
- h. 機関使用回数
- i. 緊急動作回数
- j. 最接近距離分布

などがある。

(4) 直線状航路要素の海上交通容量

シミュレーション結果をまとめて見ると、直線状航路要素の海上交通容量 C は

$$C = 2.29 \times 10^{-5} L^{-1.76} \quad (\text{隻/時})$$

となる。ここで L は船の長さ (単一種類と船舶のみを

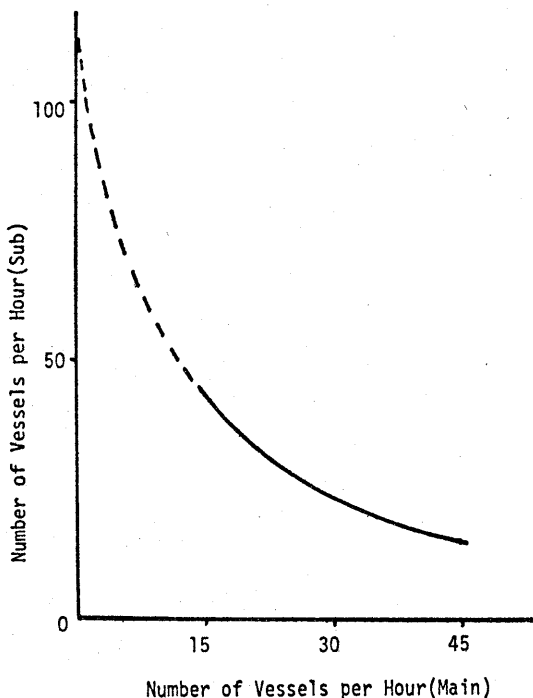


図 2 合流型航路要素の海上交通容量

対象としている)を表わしている。

ことなった船舶の混在しているとき (混合モードとよんでいる) は、混合船舶の $L^{1.76}$ 乗換算をして、混合船舶の等価的長さを知り上式を適用すればよい。

(5) 合流型航路要素の海上交通容量

合流型航路要素の海上交通容量を、合流される航路の通航量をもとにきまってくるものとして、定義すれば、図 2 のようなものとなる。図中 Main が合流される航路で、Sub が合流する航路を表わしている。

(6) 交差型航路要素の海上交通容量

合流型航路要素と同様に考えて、海上交通容量は図 3 にて示される。

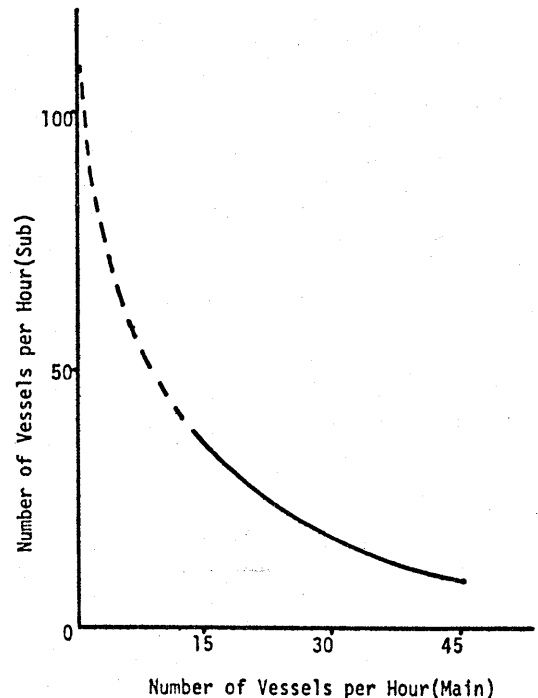


図 3 交差型航路要素の海上交通容量

(7) 結果の応用

航路要素の海上交通容量がわかれば、航路体系の海上交通容量もそれらの組合せによって十分求められる。この方法で注意しなければならないのは、航路要素の接続によって、問題点がうまく接続するかどうかを十分検討することであり、接続させる方法を見つけることといえる。

4. 考察と結び

海上交通のシミュレーションはそこで用いるモデルに大きく左右される。それ故に、モデルを目的に合致したものとするべきであろう。しかしいろいろな制約があって、考えのうちにはあっても、なかなか実現することが

むずかしい。それらについて若干見ることとする。

(1) 船舶の動きの精粗

これに係する要素としては、運動方程式とクロック・タイムの大きさをあげることができる。運動方程式はクロック・タイムが 30 秒前後と大きいときは、現在のままでよいが、小さくするときは、たとえば Crane の方法によるなどした方がよいであろう。ただし、現在使用している方法であっても、クロック・タイムを 5 秒程度までには下げたいところである。その理由は小型船の存在をあげることができる。

(2) 運航基準と心理量

今日までのシミュレーションで心理量を考慮した運航基準のモデル化は、わずかに昭和 47 年から昭和 49 年にかけてのもののみである。ここでは大きさの把握に関する心理量を考慮するためにイメージの概念を導入した。

よりシミュレーションをよくするためには、もっと多くの心理量をモデル化して導入する必要はある。

(3) 定常状態とその状態における異常状態の配慮

船舶の交通の定常ということは、いうのは簡単であるが、なかなかむずかしい問題を含んでいる。定常状態を考えるとときには、交通流の通常の状態のほかには異常状態をも、その対象として見たる必要は十分ある。しかし異常状態となれば、ただでさえ定常状態がつかみにくいの輪がかかり、なかなか定常の判定がしにくくなる。そこで、本来考慮すべきものであっても、シミュレシ

ョンの効率を考え、事前に異常状態とならぬようにシミュレーションモデルを設定してしまうのが常である。今後の研究課題の一つといえよう。

(4) シミュレーション結果の評価

一般にわかりやすいのは、結果を統計的に評価することである。このためにはシミュレーション時間を十分とらなければならない。マクロシミュレーションならできるが、ミクロシミュレーションでは実行不可能といえよう。統計的な処理を考慮しなければならないのは個々の変動を結果に反映させないようにするときであるので、この辺を考慮して、効率のよい方法を考えるべきではある。

参 考 文 献

- 1) 杉崎昭生：海上シミュレーションプログラミング言語 MSPL-I，日本航海学会誌，第 40 号（昭和 43 年 12 月）
- 2) 杉崎昭生：シミュレーションによる通航容量，浦賀水道船舶交通実態調査報告書，昭和 42 年 12 月
- 3)～8) 杉崎昭生 他 3 名：航路設計のための海上交通容量—I，II，III，IV，V および VI，日本航海学会論文集，第 50，51，52 および 53 号（昭和 48 年 12 月，49 年 7 月，49 年 12 月および 50 年 8 月）
- 9) Honourable Company of Master Marines：Stopping Distance of Ship，1966，June
- 10) 野本謙作，田口賢士：船の操縦性に就いて (2)，造船協会論文集，第 101 号（昭和 32 年）

電波航法研究会 昭和 50 年度決算報告書

項 目		金 額	摘 要	項 目		金 額	摘 要
収 入 の 部	前年度より繰越	654,726円		支 出 の 部	会 議 費	98,850円 (156,000)	企画幹事会等 5 回 研 究 会 6 回
	会 費	984,000 (1,051,500)	正 会 員 50 社 120 口 × 8,000 960,000円 個人会員 15 名 14 名 × 1,500 + 1 名 × 1,000円 22,000 入 会 金 4 名 4 名 × 500 2,000		資 料 費	0 (10,000)	
	雑 収 入	20,450 (30,000)	会誌販売費		機 関 誌 出 版 費	986,790 (1,350,000)	会誌 19 号 399,200円 20 号 509,760 原 稿 料 77,630
	広 告 料	71,000 (126,000)			事 務 費	67,740 (100,000)	
	銀 行 利 子	37,167 (10,000)			編 集	27,800 (35,000)	
	計	1,767,343 (1,872,229)			会 計	22,700 (30,000)	
					謝 金	61,000 (72,000)	
部				部	通 信 交 通 費	10,860 (30,000)	
					予 備 費	0 (89,226)	
					次 期 繰 越 金	491,603	
	計				計	1,767,343	

() 内は予算を示す。



Abstract of Foreign Paper

State of Experimentations and Program of Development of Differential OMEGA in France*

G. Nard**

(フランスにおけるディファレンシャルオメガの実験と開発計画)

(抄訳 森 脇 憲 治)

フランス政府は 1969 年よりディファレンシャルオメガの技術的研究を行っており、1970~1971 年には最初の実験を実施した。以後、このシステムがすべての航海者に利用され、また、航海上有益なシステムとして運用できるよういろいろと研究開発を進めて来たが、重要な問題はどのような周波数を使用するかにかかっており、フランス政府としては無線標識をこれと共用することとし実験を行うこととした。1973 年 Yeu 島にディファレンシャルオメガ局を設置し、データの収集に当たっているが、今迄の実験結果から、オメガ伝搬補正值の自動送信の可能性及び 285~400 kHz の中波無線標識による送信の可能性が、また、無線標識との共用についても可能であることが明らかとなった。図 1 に Yeu 島の位置及びディファレンシャルオメガの利用範囲を示す。図中の MARSEILLE 局は 1975 年 2 月に運用開始予定である。

大型船に対する沿岸海域及び港湾隣接海域における航行援助については世界的な問題として解決しなければならない問題である。沿岸に接近するときの 300 海里から 50 海里の海域において必要とする精度と、50 海里から 0 海里の港又は岸壁に接近する航路上において必要とする精度とはそれぞれ相異なる。フランスの現行システムでこの両者を十分に解決できるものはない。まず、前者の沿岸海域の問題について、オメガはすでに多くの船舶に装備され、外洋の航行に広く利用されており、この点からディファレンシャルオメガによって経済的に解決される。精度としては 300 海里で 0.7 海里、50 海里で 0.3

海里が確保できる。後者の問題については、現在開発中であって、1975 年には Harre の近くの Autifen 石油基地に最初の局が建設される予定である。このシステムの精度は距岸 40~70 海里で 10m 以内、港で 1m 程度である。

現在フランスで実験を行っているディファレンシャルオメガの型式は次のとおりである。

モニタ局では 10.2 kHz のオメガ信号を約 100 秒受信し各局別に分離し、この信号に各オメガ局の計算上位相速度を 300,574 km/sec として) の位相値に対応する一定値だけ位相偏移をかける。各信号の位相はある一定値に対して計算上の値と受信した位相値との差に等しい値だけずれることとなる。この信号をオメガフォーマットに従って多重化し、20 Hz の補正用副搬送波に置換する。搬送波をこの 20 Hz 信号で位相変調変調指数 0.67 をかける。この方式の利点としては、1) 帯域幅が狭くなるので、HF、MF 帯においても利用できる。また、送信周波数間隔は 200 Hz で十分である。2) 方位測定信号、音声信号等の振幅変調との同時送信が可能である。3) フェージング、混信等に強い。また、MF、HF は遠距離において安定に伝搬する。4) 付加装置の価格が安い(オメガ受信域の 1/5~1/10 程度)。5) オメガ局別に補正值を伝送可能であって、航海者はいかなる局の組み合わせでも利用できる等である。

ディファレンシャルオメガ用の周波数としては技術的に見て 300 kHz 帯が有効である。この周波数帯の減衰率は低く、低ふく射電力(10~20 W)で 300~400 nm の距離まで良好に送信できる。さらに、この周波数帯域では補正用受信機の局部発振部、狭帯域フィルタの製作は

* Proceedings of the 2nd OMEGA Symposium,
Washington D. C., Nov. 1974 より

** SERCEL-France

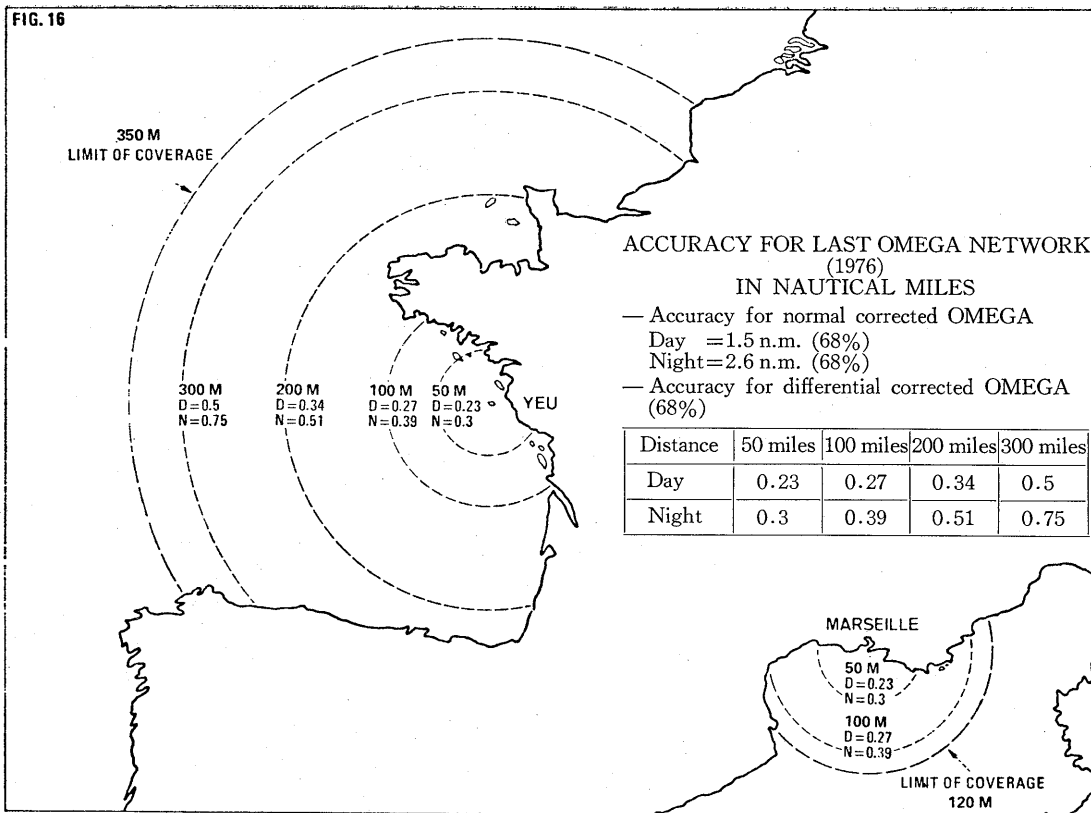


図 1 ディファレンシャルオメガ局

容易で安価である。また、受信空中線をオメガ用とディファレンシャルオメガ用の両方で共用できる。

300 kHz 付近の周波数帯は無線航行用として使用が認められており、海上、航空用標識に使用できる。全世界中には、この周波数が使用した多くの無線標識があり、オメガの補正值の伝送に有効に利用できる。Yeu 島での共用の実験の結果 1) オメガ補正值の伝送で影響を受けた無線方位測定用受信機はないこと、2) 無線標識の指向性電波、識別信号によって、また、その振幅変調による補正用受信部への妨害は認められなかったこと、3) 搬送波が持続波である場合、ふく射電力 5~12 W で 300 海里まで伝送可能であること、特に SID に対しては非常に有効であることが判別したが、反面、6 分毎に 1 分間の補正值の伝送では 1) 利用範囲に連続送信と比較し比率 1.5~2.0 で減少する、2) 平均誤差が連続送信と比較し 1.2~1.5 倍多くなった、3) SID の場合、誤差は通常のオメガと同じ値にまでなる（ただ数分後には補正できる）、4) 休止時間 3~5 分間補正值を記憶させておく必要があるため受信機が複雑化する欠点が認められた。

図 2、図 3 に実験データの一部を示す。図 2 は距離 50 海里地点におけるオメガとディファレンシャルオ

メガを比較したものであり、図 3 は SID 時のデータである。

OMEGA CORRIGE ET OMEGA DIFFERENTIEL .

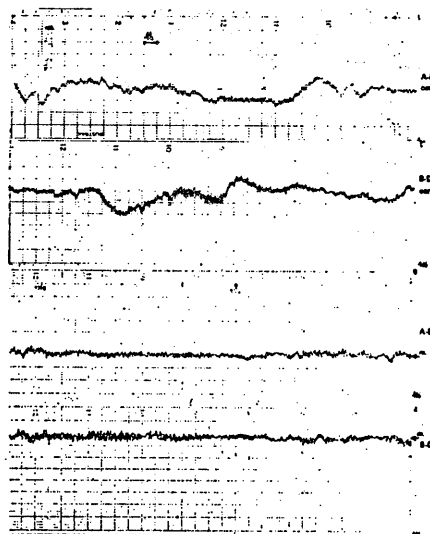


図 2 ディファレンシャルオメガ観測例

A-D NATUREL ET DIFFERENTIEL NANTES - ILE D'YEU Distance 90 Km Effet d'une perturbation Ionosphérique

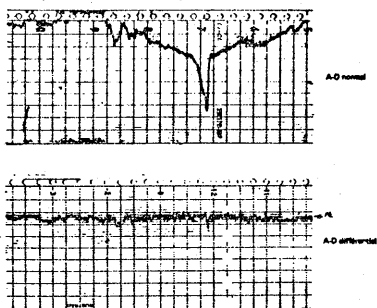


図 3 SID 時におけるオメガとディファレンシャルオメガの観測結果

A-B, B-D についてオメガとディファレンシャルオメガの誤差解析を行った、フランスの実験結果は、Swanson 氏が行った解討とよく一致している。

まず、S/N 比の雑音についてオメガよりディファレンシャルオメガの方がかなり大きい。ディファレンシャルオメガの雑音の平均値は積分時間 100 秒で $\sigma=1.2$ cel に相当する。この誤差はオメガ局のふく射電力を増加させれば減少するが、多額の経費を要し、非現実的である。受信機の積分時間を十分に長くすれば減少する。

また、昼夜間における伝搬速度の変化に伴い誤差が発生する。この誤差は次式で与えられる。

$$\epsilon_{\phi} = \frac{dV}{V} [\varphi_{\text{ref}} - \varphi_{\text{mob}}]$$

φ_{ref} : モニタ局における計算上の位相

φ_{mob} : 測定点における位相

dV : 昼間又は夜間の速度変化

10.2 kHz では次の値から ϵ_{ϕ} の補正を行う。

昼間の位相速度 301,041 km/sec

夜間の位相速度 299,910

平均位相速度 300,574 km/sec

V : 理論的平均速度: 300,574 km/s

の測定点における測定値の補正結果を表 1 に示す。昼間、夜間の伝搬速度の変化に伴う誤差はこのような簡単

表 1

距 離	レ ー ン		ε_{φ} (cel)			
	$\varphi_{\text{ref}} - \varphi_{\text{mob}}$		昼 間		夜 間	
	A-B	B-D	A-B	B-D	A-B	B-D
170km	+ 0.23	- 3.03	0	+0.5	0	-0.7
370km	-12.78	+10.25	+2	-1.5	-3	+2.3
550km	-31.70	+12.43	+5	-2	-7	+3

な計算法によって補正した結果 1~2 cel 以内となる。このようなディファレンシャル用の補正表があれば、簡単に誤差を補正でき、50 海里以遠の距離でも利用できる。

このように補正したディファレンシャルオメガの誤差分布は近距離ではガウス分布となるが、遠距離では多少相違してくる。95% と 68% cel の誤差確率の比は距離 0 で 2、また 300 海里で平均 1.5 である。この関係は次式で表わすことができる。

$$k(d) = \frac{p(95\%)}{p(68\%)} = -0.017d + 2$$

d : 距離 (海里)

一方ディファレンシャルオメガの生データから距離の分散による誤差及び雑音による誤差を取り除けば伝搬上の相関関係による誤差を求めることができる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{corr. diff}}^2 + \sigma_n^2}$$

$\sigma_{\text{corr. diff}}$: 分散誤差を補正した誤差 (65%)

σ_n : 雑音誤差 (68%) (平均 1.2 cel である。)

この誤差は昼間より夜間の場合に大変重要であって、1 つのディファレンシャルオメガ局では簡単に補正され得ないものである。この誤差を剰余誤差といっている。

Swanson によれば

$$\sigma_{\text{corr. diff}} = \sigma_0 \left[2 \left\{ 1 - e^{-d/698} \left(1 + \frac{d}{698} \right) \right\} \right]^{1/2}$$

σ_0 : 通常のオメガの誤差

d : 距離 (海里)

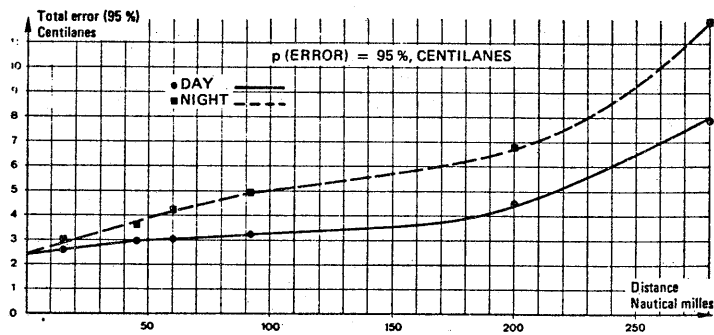
上記の関係を図 4 に示す。これらから求めた補正ディファレンシャルオメガの誤差及び精度改善率は表 2 のとおりである。

表 2

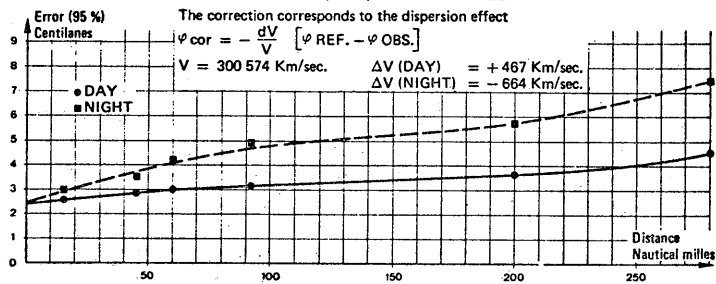
距離	ϵ (68%) 昼 間	ϵ (68%) 夜 間	平均改善率 ディファレンシャル オメガ / オメガ
16 nm	1.32	1.52	8
45	1.51	1.90	7.6
60	1.58	2.16	7.4
90	1.7	2.59	6.7
200	2.23	3.5	4.85
280	3	4.93	3.5

実験結果からディファレンシャルオメガが最初に沿岸領域に入る時の航行援助の問題を満足し、経済的、安全に解決することがわかった。フランスでは 1973 年に 1 局建設したが、1975 年にはもう 1 局が運用に入る予定である。

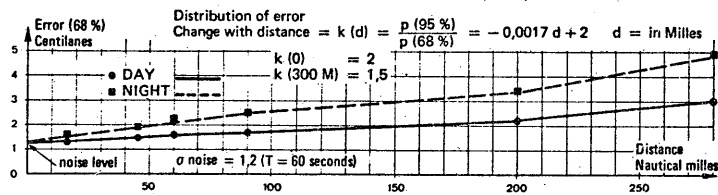
ROUGH DIFFERENTIAL OMEGA (WITHOUT DISPERSION CORRECTION)



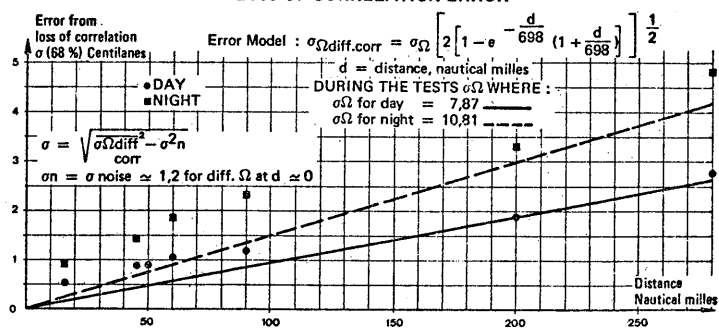
CORRECTED DIFFERENTIAL OMEGA ERROR (95 %) in CENTILANES



CORRECTED DIFFERENTIAL OMEGA : ERROR (68 %) in CENTILANES



LOSS OF CORRELATION ERROR



Report on the Results of More than Five Years of Testing MICRO OMEGA a Form of Differential OMEGA*

A. L. Comotock** & W. A. Rounion**

(マイクロオメガの実験結果について)

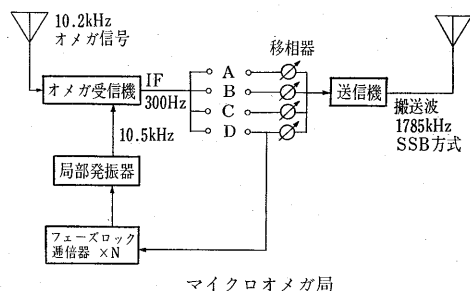
(抄訳 森 脇 憲 治)

マイクロオメガ (MICRO OMEGA) はディファレンシャルオメガの方式で、過去数年以上にわたって調査研究を行っているものである。

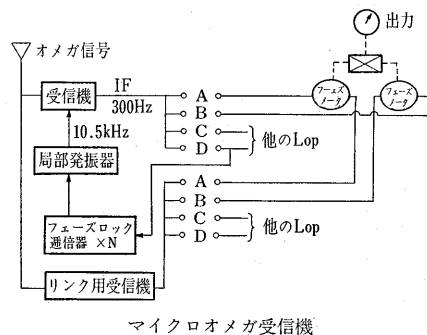
オメガでは 1~2 nm の精度で位置を出すことが可能であるが、この精度を出すためには測定値をテーブルから求めた伝搬補正值で補正しなければならない。外洋を航行する場合にはテーブルを利用しても、また、上記のような精度であっても何等問題はないが、沿岸海域や河川、港湾内を航行する場合にはさらに精度が高く、SIDのような予測できない現象に際しても影響のないことが要求される。マイクロオメガと言われる簡単な装置をオメガシステムに付加することにより、これら要求を十分に満足させることができる。

マイクロオメガのブロックダイアグラムを図1に示す。固定モニタ点において受信したオメガ信号を可聴周波数 300 Hz に変換し、この信号を搬送波 1783 kHz にのせて送信する。受信側ではオメガ信号を同様にヘテロダイン受信して 300 Hz に変換し、マイクロオメガ局から送信された信号との位相差をフェーズメータで測定する。このような簡単なマイクロオメガコンバータの利用によって、オメガの測定位置の連結的、自動的に補正できる。図2に Teledyne Hastings-Raydist 研究所における 1970 年 1 月 28 日の初期の装置による実験データを示す。当日は太陽黒点の爆発現象があったが、データから解るとお日周変化、SID による伝搬じょう乱現象を完全に除去できている。

マイクロオメガ装置については今日迄改良に改良を重ねて来ており、また、これら改良装置の実験についても 1972 年には NELC による評価試験、1974 年 1 月には RAFFAELLO 号による洋上実験、9 月には TSSQUEEN



マイクロオメガ局



マイクロオメガ受信機

図1 マイクロオメガのブロックダイアグラム

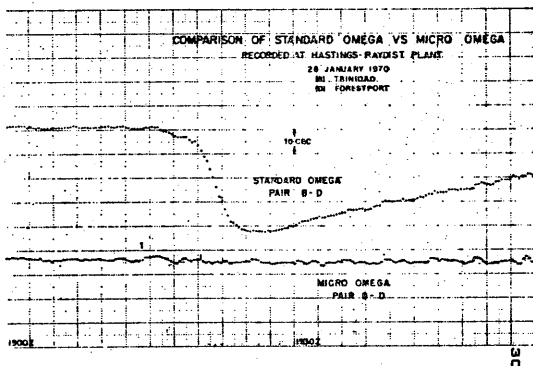


図2 SID とマイクロオメガ

* Proceedings of the 2nd OMEGA Symposium, Washington, D. C., Nov. 1974 より

** Teledyne Hastings-Raydist

ANNA MARIA 号によるバージニア州ノーフォークと
バーミューダとの間の航海実験, 10 月には HASTRAY-II
号での実験を行った。

図 3 は TSS QUEEN ANNA MARIA 号で得られた
データである。これらの図はバーミューダ停泊中のデータ
で特に図 3 (b) は夜間におけるマイクロオメガ波の空間
波を用いたときの測定記録である。マイクロオメガ局と
の距離は 600 海里以上もあり, 完全に空間波だけの伝搬
である。図中点で示した値は測定値に補正を行ったもの
であり, 線で示した値は補正を行わなかったものであ
る。マイクロオメガの利用範囲について, 現在の実験装
置は送信周波数 1783 kHz, 全電力 40 W (p.e.p.) 平均
電力 8 W であって, その利用範囲は 200 海里まで達し
ている。先に記した RAFFAELLO 号での測定では夜間
340 海里で信号が弱くなり, 受信機を通常のオメガに切
り換えた。途中の 300 海里付近で激しい雷雨に出会った
が受信が中継することはなかった。

QUEEN ANNA MARIA 号における実験では昼間
300 海里でも良いデータが得られており, また, 夜間
においては図 3 に示したとおり, 距離 600 海里で良好に受
信されている。この場合, 補正を行わないときの精度は
平均 25 cel であったが, マイクロオメガ局と測定点 (バ
ーミューダ) とのオメガテーブルから求めた伝搬補正値の
差でもって行うことにより両 LOP ともその精度は約
5 cel 改善されている。このような傾斜法による補正は
遠距離においても精度を向上させることができる。

今迄に得られたデータからマイクロオメガについて,
1) 精度の改善は約 10:1 である。2) マイクロオメガの
地表波の有効範囲は, 100 ft 垂直アンテナ, 低電力で昼
間約 350 海里, 日平均 200 海路である, 3) マイクロオ
メガの空間波は 2 地点間における伝搬補正値の傾斜法に
よる補正によって地表波利用範囲外にあっても利用でき
ることが明らかとなった。

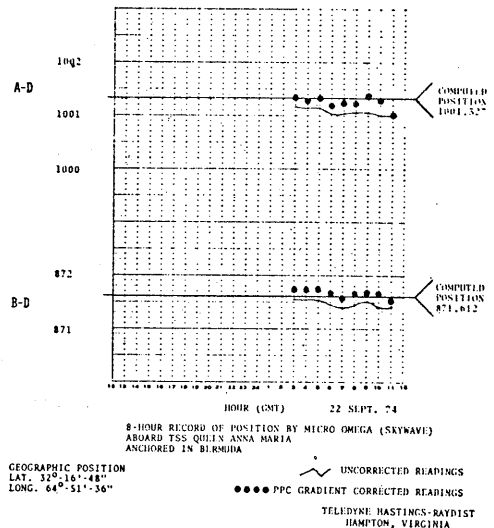
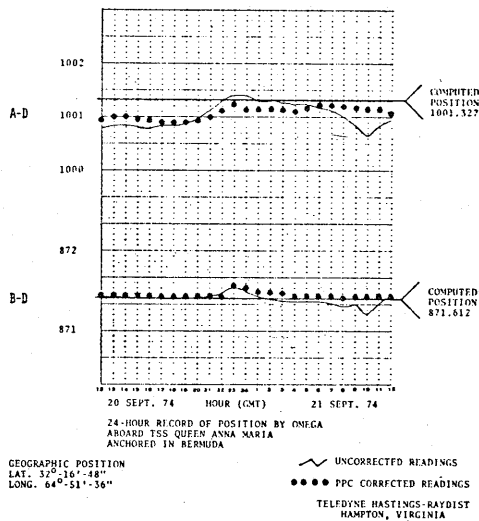


図 3 バーミューダにおける観測結果

Differential OMEGA in the Air Traffic Control Environment*

H. G. Miller**

(国内航空交通管制とディファレンシャルオメガ)

(抄訳 森 脇 憲 治)

オメガ航法システムを航空に利用しようとする考え方は、現在、無線航行システムが有効範囲外となっている空域での利用からさらに将来の ATC (航空交通管制) である Fourth Generation Air Traffic Control System における航法システムにまで発展して考えられている。将来における IFR (計器飛行) の精度は “Application of Area Navigation in the National Airspace System” によれば、各ターミナルを結ぶ航空路 (enroute) で、 ± 2.5 nm, 空港を中心とした空域で ± 1.5 nm を確保するように計画されている。現行のルート幅は一般に ± 4 nm であって、将来は ± 1.5 nm ~ ± 4 nm の間になるものと予想されるが、これは誤差を R.S.S. (root-sum-square) の

2σ で考えて、位置決定誤差と飛行技術上の誤差との和から定められたものである。この 2σ の位置決定誤差はルート幅より小さくしなければならないが、この条件を満足するシステムとしてディファレンシャルオメガが最適である。

ディファレンシャルオメガは、VLF 下伝搬の位相特性はかなり広い地域にわたって相関関係を有すると実験結果にもとづいたものである。ディファレンシャルオメガの精度はモニタ局との間の距離によって相異し、距離 50 nm (2σ) で 0.4 nm (2σ), 200 nm で 0.8 nm (2σ) である。ここではディファレンシャルの補正域を 200 nm として考える。まず、米本土内を 200 nm のレンジがカバーすることとし、モニタ局の設置の優先順位を飛行密度の高いターミナルエリア、中密度、低密度、空港のないエリアとすると、図 1 のとおり 50 局で米本土内をカ

* Proceedings of the 2nd OMEGA Symposium, Washington, D. C., Nov. 1974 より

** The MITRE Corp.

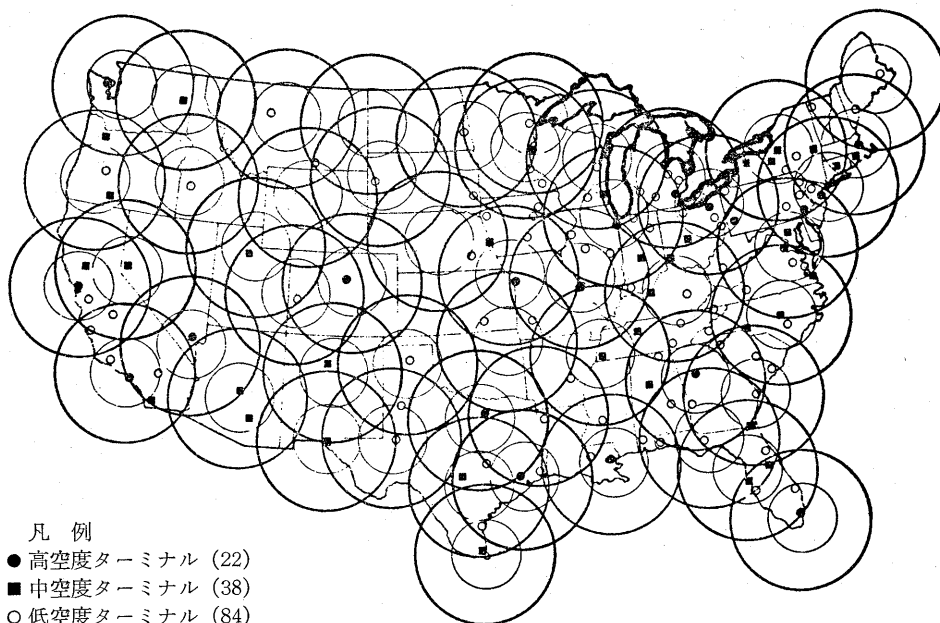


図 1 モニタ局配置図

パーできる。このうち高密度ターミナルエリアの 100%，中密度ターミナルエリアの 76%，低密度のターミナルエリアの 57% はモニタ局から 100 nm (精度 0.6 nm 2 σ) の区域内となる。

ディファレンシャルオメガで伝送する信号は 1) 誤差補正信号，2) 識別信号の 2 種類から構成される。各モニタ局ではオメガ周波数 3 波の補正值を求める。全土内で同一 LOP を使用することは受信信号レベルとの関係から疑問であるため，各モニタ局ではその地域に最適な 4 つの LOP を選び合計 12 の LOP の補正值を求める。補正值の伝送には 10 ビットの信号が用いられ，このうち 1 ビットで正負の符号を，残りの 9 ビットで補正值の大きさを送る。9 ビットで伝送できる情報量は，最小単位を $\pm 5 \mu\text{s}$ (約 300 ft) として最大 511 μs である。識別信号はモニタ局と 4 つの LOP を区分し局識別には 6 ビットのコード (50 局の識別の必要性から)，LOP の識別には 4 ビット (米本土で受信可能局数は 16 局 LOP 数で 15 であり，4 ビットで識別可能) が使用される，図 2 に信号のフォーマットを示す。各モニタ局のビット数は 142 ビットであり，50 局全部では 7100 ビットとなる。ただこのフォーマットには情報用ビットが含まれておらず実際にはこの外に検定用ビットも必要である。

ディファレンシャルオメガによって高い精度を得るためには連続して補正值を更新する必要があるが，この更新率は伝送系の特性によって決まり，また必要最小限の更新率は許容伝搬誤差から決まる。SID は，季節変化や日周変化に比較して短時間で最大の誤差となる。SID の立上り時間は 2 分ぐらいの短い時間であり，このことから補正值の伝送時間間隔は 2 分が最大のものである。

次に，伝送系については，有効範囲，モニタ局建設経費，伝送間隔 (少なくとも 2 分)，装置等の面から検討する必要がある。まず，利用範囲の見通し内，見通し外，オメガとの同等区域の 3 つに分けて考える。見通し内で

利用できるシステムにはマイクロ波，VHF/UHF，DABS (Discrete Address Beacon System) があるが，置局数，高度特性等問題点が多い。見通し外の場合には HF，LF，既設 LF/MF 無線標識局があるが伝搬特性，置局数，有効範囲等から同じように問題点が認められる。オメガとの同等区域については衛星，専用 VHF 局，オメガの休止時間の利用がある。衛星の有効範囲はオメガと同等であり，データレートも速く，専用 ATC 衛星を国内向けに使用出来れば有効であるが，専用 ATC 衛星を利用できない場合には，1~2 個の衛星と地球局が必要となり，さらに衛星通信のための装置も必要となり，装置上経費上問題がある。次に専用 VLF 局は有効範囲，データレートの面から必要条件を満足し，経費的にも局建設経費は維持運用経費と有効範囲の余係からしてさほど大きくない。既設 VLF 局の休止時間の利用については，装備受信機が利用でき，全く新しい通信系を作る必要性もない。このシステムは伝送系によって補間される上記各システムよりはむしろ完全なシステムであろう。1 サイクル当りの利用可能時間は 6 秒，伝送速度 70 ボー，全ディファレンシャル信号を 7100 ビットとしてデータは 2.8 分に 1 回更新可能であり，もし局のオメガ局を利用できるとすれば 1.4 分となる。ここでは，モニタ局からオメガ局までの伝送系については論じないこととする。ただ，GRAN 用の周波数を発射することになれば利用可能時間は減少し，データ更新時間の増加分は 1 局の利用で約 1.2 分，2 局を利用した場合で 40 秒となり問題である。

ディファレンシャルオメガが国内の ATC 用航法システムとして利用されるためにはモニタ局数とその位置，信号伝送フォーマットとデータ更新率，伝送系，受信機の複雑さについて，その必要性と合致させる必要がある。広く利用されるためには装備費が今日の簡単な航法装置の経費と同じくらいにならないといけない。

LOP 1					LOP 2	LOP 3	LOP 4
モニタ局 1 識別 6 ビット	識別 4 ビット	10.2 kHz 補 正 値	13.6 kHz 補 正 値	11.33 kHz 補 正 値	34 ビット	34 ビット	34 ビット
		10 ビット	10 ビット	10 ビット			

1 モニタ局当り 142 ビット (除くパリティ用ビット)

図 2 伝送フォーマット

電波航法研究会 昭和 51 年度予算

収 入 の 部			支 出 の 部		
項 目	金 額	摘 要	項 目	金 額	摘 要
前年度より繰越	491,603円		会 議 費	156,000	研究会 7,000円×6 幹事会 7,000 × 8 講演費 2,000 ×15 専門部会 7,000 × 4
会 費	958,500	正 会 員 49社 117口×8,000円 =936,000円 個人会員 15名×1,500 =22,000	資 料 費	10,000	
雑 収 入	50,000		会誌出版費	1,000,000	21 号 500,000円 22 号 500,000
広 告 料	284,000	50年度未収 142,000円	事 務 費	90,000	
銀行利子	30,000		編 集	35,000	
計	1,814,103円		会 計	30,000	
			謝 金	76,000	会 長 10,000円 副 会 長 7,000×3 企画幹事 4,000×7 編集幹事 2,000×7 会計監査 1,500×2
			通信交通費	60,000	
			予 備 費	357,103	
			計	1,814,103円	

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

昭和 52 年 2 月 25 日 印 刷 1 9 7 7
昭和 52 年 2 月 28 日 発 行 No. 21

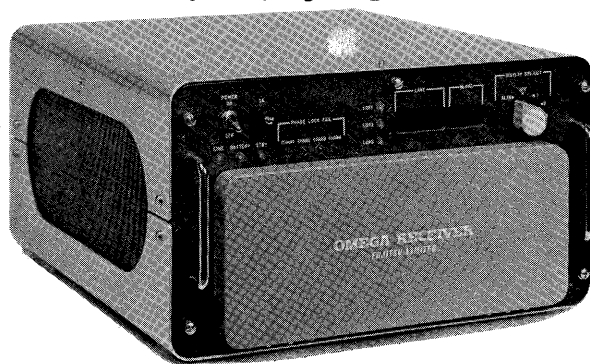
編 集 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 運輸省9階
発 行 海上保安庁燈台部電波標識課気付
電 波 航 法 研 究 会
Japanese Committee for Radio
Aids to Navigation
c/o Radio Navigation Aids Division
of Maritime Safety Agency
2-1-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo, Japan

印 刷 東京都文京区水道 2-7-5 井口ビル
(有) 啓文堂 松本印刷



高度な受信性能で 航海の安全を確保。

富士通F-11形オメガ受信機は、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F-11形オメガ受信機

富士通株式会社 伝送無線営業部

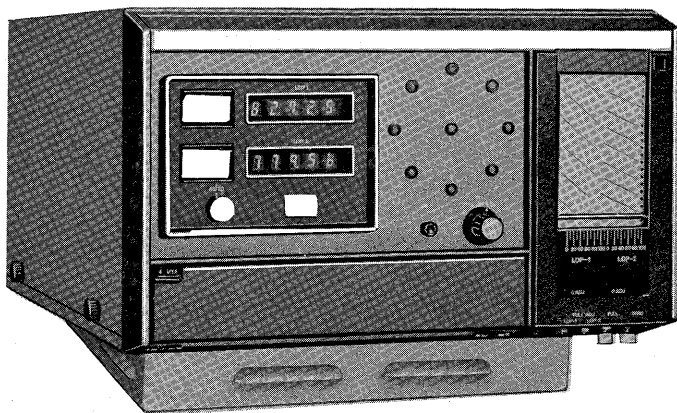
〒105 東京都港区新橋6-1-1 ☎ (03)437-2111



小形・低価格・高性能を誇る

OMEGA-3

— NR 1021 —



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

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

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

■最高の信頼性

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

●性能

受信周波数 10.2KHz

感 度 0.01μV

ダイナミックレンジ 100dB

同 期 選択した局に対し自動同期

表 示 2LOP同時表示

測 位 精 度 昼1湊、夜2湊

基 準 発 振 器 安定度 5×10^{-8} /日の基準発振器内蔵

所 要 電 源 DC 12/24/32V 約50W

ア ン テ ナ ホイップ形式 4m専用アンテナ(結合器付)

寸 法(本体) 280(H)×375(W)×360(D)mm

重 量 約20kg(本体) 4kg(アンテナ)

豊かな情報化社会をひらく

エレクトロニクスの

沖電気

◇ 沖電気工業株式会社

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