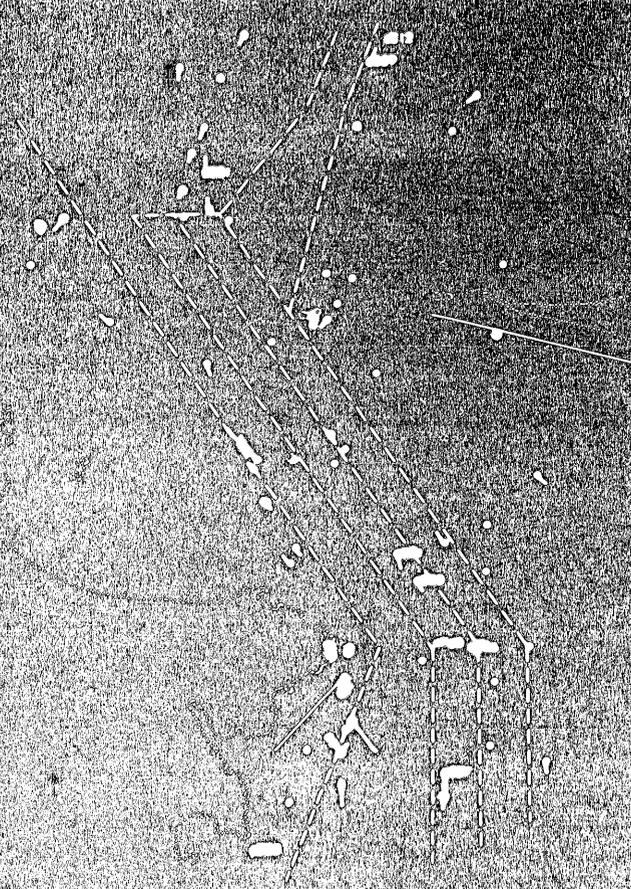


ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN. 30

1984

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation

完全自動 セナー デッカ受信機 SAH-1D



最新の電子技術を結集した完全自動化のデッカ受信機でデッカのレーン，または緯・経度のいずれでも表示でき，さらに航海計算等の種々の機能を内蔵しており，様々な航海情報を得ることができます。

 **セナー株式会社**

本社 〒100 東京都千代田区内幸町2-1-1(飯野ビル)
TEL (03) 506-5331(代表)

札幌営業所 〒060 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 〒980 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 〒650 神戸市中央区栄町通3-6-7 (大栄ビル)
TEL (078)331-7292(代表)
福岡営業所 〒810 福岡市中央区天神1-14-16 (三栄ビル)
TEL (092)711-1451(代表)

—目 次—

CONTENTS

巻頭言.....副会長 木村小一...(2)
Foreword Vice-chairman Koichi KIMURA

研究調査
Research and Investigation

電気機器の磁気コンパスの安全距離.....鈴木 裕...(3)
On the Magnetic Compass Safe Distance for Electric and Hiroshi SUZUKI
Electronic Navigational Equipment

展 望
Observation

ウェザールティンクにおける諸問題.....萩原 秀樹...(14)
The Technical Problems in Ship Weather Routing Hideki HAGIWARA
データ収集システム (DCS) と漁業への応用.....鈴木 務...(21)
Data Collection System and Its Application for Fishing Tsutomu SUZUKI
慣性航法装置について.....高橋 健...(26)
The Introduction of Internal Navigation System Takeshi TAKAHASHI

新製品紹介
Introduction of New Products

運航データ管理システム.....大脇 利清...(36)
Fleet Data Management System (FDMS) Toshikiyo OWAKI

研究会記事.....(38)
Record

巻 頭 言

(FOREWORD)

副 会 長 木 村 小 一

Vice-Chairman

Koichi KIMURA

少し旧聞になるけれども、1982年9月に第3回の国際航法学会 (IAIN) の国際研究集会が開催された。筆者はヨーロッパ観光旅行のついでにちょっと立寄っただけなので余り大きなことはいえないが、本会の研究会でも諸外国の発表論文の概要を報告したのでご記憶になっているかも知れない。その会のテーマは「海、空、宇宙の総合航法」であって、加盟各国から数編ずつの発表があった。テーマの選定がタイムリーであったためか、発表のほとんどが総合航法の機器および理論に関するもので、このような研究集会にありがちな場違い的な論文は二三を数えたのみであった。中にはわが社の総合航法装置の歴史といった形の発表もあったが、これもなかなか面白かったと記憶している。その他いろいろな総合航法装置などが紹介された。

最近では日本を含めていろいろな学会による多様な研究集会が開かれているが、そのような集会の論文集を何回か続けて見ているとそれぞれのカラーがあり、発表者もそれを良く知っていて、適材適所的な発表が行われている例が多い。その一例として、IAINの一員であるアメリカの航法学会で発表される論文の中に何編か新しい航法装置に関する論文があり、それが実にうまく書いてあってカタログなどではわからない情報が得られることが多い。新製品紹介的な発表は宣伝になるという学会では嫌われる例がとくにわが国では多いが、某学会であるとき学会誌の中の新製品紹介の記事が学会賞の対照となり、反対も多かったが、ある大学の先生の「これで会社が儲けをしたのだから技術的にもたいしたものである」という一言で決定したという話を聞いた。新製品の技術には会社として発表しにくいものもあるだろうが、要は発表の仕方であろう。本会の会員としても、いろいろ知りたい分野も少なくないと思う。年6回の研究会の研究会を聞いていけば、わが国の電波航法のシステム、新製品および理論などのいろいろな動向がわかってしまうような会の運営が必要であろう。それには会員の皆様のご協力に依らなければならないので、どんどんご意見をお寄せ願いたいと思います。

電子機器の磁気コンパス安全距離

東京水産大学

鈴木 裕

On the Magnetic Compass Safe Distance for Electric and Electronic Navigational Equipment

Tokyo University of Fisheries

Prof. Dr. Hiroshi SUSUKI

1. はじめに

磁気コンパスが船舶にとって、依然として重要な航海計器であるのは、その構造が簡単なうえ、地球磁気により無電源で常時、指北性を保持しているからである。1974年 SOLAS 条約(海上における人命安全条約)では、船舶に装備すべき航海計器として従来から義務づけられていた無線方位測定機に加えて、磁気コンパス、ジャイロコンパス、レーダ、音響測深機等船の大きさに応じて備付け義務が強化され、さらに今後、速度航程受信機、舵角指示器、機関回転計、ファクシミリ受信機、電子的測位装置等も次々と装備の義務づけが検討されている。また、電気・電子機器に関して、守るべき一般要件が IMO (International Maritime Organization, 国際海事機構) の第8回総会で検討され、A 281 (VIII) として勧告されている。その5.3節にはこれらの機器を装備する場合、磁気コンパスから離すべき最小安全距離を、それぞれのユニットに表示するように定めている。

社団法人日本船舶電装協会では昭和56、57年度の補助事業として、航海用電気・電子機器の磁気コンパスに及ぼす影響に関する調査研究のための委員会を設置し、委員長庄司和民氏のもとで筆者、飯島幸人・鈴木恒由・田口一夫の諸氏らの研究者他関係が協力し調査研究を実施した。委員の一人として筆者が報告書¹⁾を参照し、電波航法研究会での発表をお認めくださった社団法人日本船舶電装協会ならびに委員長に対し厚く謝意を表するものである。

2. 安全距離の測定

わが国には現在のところ、安全距離についての定めはない。国際標準化機構 (International Organization for Standardization) ISO の勧告「勧告 ISO R694 船内における磁気コンパスの装備位置²⁾」には安全距離の決定方法が定められている。すなわち、それぞれの装置は予想される装備状態において、磁気コンパスまたは磁力計に最も大きな誤差を生ずる位置と姿勢のもとで試験しなければならない。そしてさらに、A、Bの二方法が定められており、方法Aはその地の地球磁界の中で行う方法、方法Bは減磁界で行う方法である。安全距離はこれらのいずれかの方法で決めなければならない。などと定められている。レーダなどの大型電子機器を減磁界内に置くことは設備の点で困難があるので、今回の実験では、その地の地球磁界の中で行ういわゆる方法Aによることにした。

方法Aによれば、すべての品目に対する安全距離は基準コンパスに $(0.045/H)^\circ$ より大きな自差を生じないような距離を、コンパスまたは磁力計の中心からその品目の最も近い点まで測った価で定める、とある。ただし H はエルステッドで表わした水平磁界の強さである。図1は今回実施した安全距離測定略図である。

まず、木製の台箱を無磁性の回転台に載せ、測定しようとする電子機器をその台箱上に固定する。磁力計のプローブは通常の磁気コンパスの磁針の高さ150cmにおいて磁気の東西方向に向け固定する。この台箱は置く向きを変えることにより電子機器の高さを調節することが

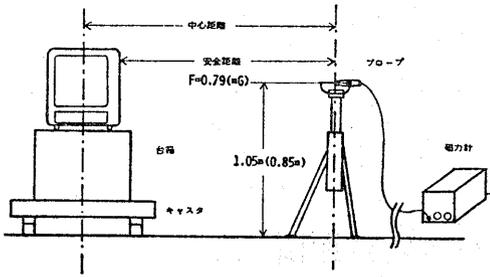


図 1 測定略図

できるようにその縦、横、高さの寸法を決めてある。回転台のセンターがプローブの磁西（または磁東）にあっ

て必要な距離を保つようにした。まず、この位置で回転台を回転して磁力計の読みを読む。その位置で偏角が最も大きい品目の方向を記録する。この方向にしたまま、プローブから次第に放して、東西方向の磁界を測定した。電源を入れることができる機器の場合は、電源を断の場合と接の場合について計測した。磁力計は倍周波発振形の三島光産（株）製 PARA-MAGNETOR MODEL-103V を使用した。

3. 実験場所の地球磁界

実験に先立ち、磁力計の上方および下方の磁界、東西方向における磁界を計測した。表 1 は東京と香住に設定

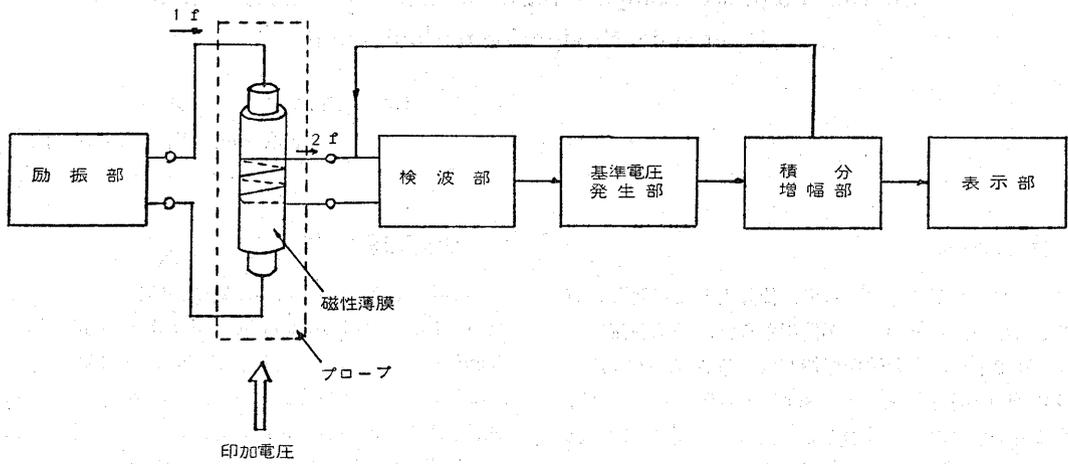


図 2 パラマグネタ磁力計のブロック図

表 1 実験場所の地球磁界

	水平距離	2 m (W)		1 m (W)		0 (原点)		1 m (E)		2 m (E)	
		H	Z	H	Z	H	Z	H	Z	H	Z
東京	高さ										
	1.10 (m)					300	330				
	1.05	290	330	299	330	299	329	290	325	290	323
	1.00					299	328				
	0.95					299	330				
	0.90					299	329				
香住	水平距離	0 (原点)		0.5 m (W)		1.5 m (W)		2.5 m (W)			
	高さ	H	Z	H	Z	H	Z	H	Z		
	1.00 (m)	300									
	0.95	300									
	0.90	300									
	0.85	300	365	300	360	300	365	300	370		
	0.80	300									
0.75	300										

H: 水平磁界 (mG) Z: 鉛直磁界 (mG)

表 2 安全距離の測定を行った電子機器

東 京		香 住	
供 試 体 名	型 式 名	供 試 体 名	型 式 名
レーダ指示器	MD-809 (10 インチ・10 kW)	旋 回 窓	A-30
同 スカナ	"	だ 角 指 示 器 受 信 器	SD-200
レーダ指示器	MD-305 (卓上型)	回 転 計 受 信 器	SL-200
同 スカナ	"	エ ン ジ ン テ レ グ ラ フ	PRB-300A
魚 群 探 知 機	SR-645	オ ー ト パ イ ロ ッ ト 制 御 器	EP-5M
ロ ラ ン C 受 信 機	LR-707	同 リ レ ー 箱	"
オ メ ガ 受 信 機	OR-166	同 駆 動 部	"
無 線 方 位 測 定 機	KS-517A		
フ ェ ッ シ ミ リ 受 信 機	FX-758		
主 機 遠 隔 操 縦 装 置	ERC-VC		

した実験場所における地球磁界を示す。

水平磁界は東京においては、290~299 mG (磁束密度で表わし、ミリガウス)、除き、すべて 299 mG、香住ではすべて 300 mG であった。鉛直磁界は、東京では、323~330 mG、香住では、360~370 mG であった。すべて約 3% の範囲に入っているとみてよい。

4. 実験に使用した航海用電子機器

実験に並用した電子機器は表 2 のとおりである。

5. 実験結果

5.1 レーダ及びスカナの安全距離

図 3 (1) はレーダ指示器 (MD-809) の向って左側面右と面における東西方向の磁界 (西向きを正) の距離に対する変化を示している。実線は -3 乗の線を示している。

この場合、電源 ON というのは電波を発射するのでは

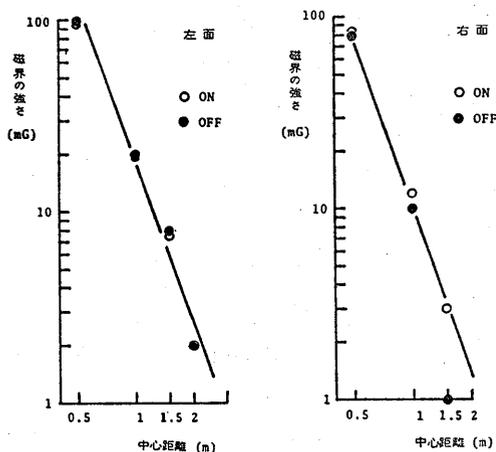


図 3 (1) レーダ指示器 (MD-809) の中心距離の変化にともなう磁界の変化

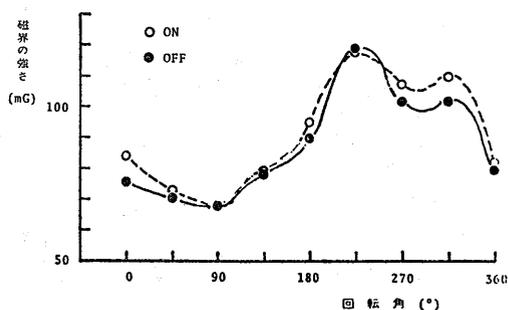


図 3 (2) レーダ指示器 (MD-809) の回転角の変化にともなう磁界の変化

なく、指示器のみ通電した状態を意味する。左面、右面とも著しい違いはみられない。いずれも 0.5m の距離では、80~100 mG もの大きな影響を与えていることがわかる。図 3 (2) は距離 0.5m において機器を回転させたときの東西向きの磁界に変化を示す。明らかに周期性を持っている。正面から見て、225 度方向で最大の磁界を及ぼすことがわかる。この方向で東西方向の磁界が 0.79 mG のところの機器からの中心距離は 237 cm となった。また、ISO 式の安全距離は 205 cm である。

図 4 (1)、4 (2) は、レーダスカナ (MD-809) 正面向き距離に対する東西方向の磁界の変化および回転角にともなう磁界の変化を示す。正面では中心距離に対してほぼ -3 乗となっている。スカナを回転したときは、45 度と 315 度において、大きい値を示している。ここでは、すこしひずんだサインカーブとなった。安全距離は 343 cm、中心距離は 372 cm であった。いうまでもなく、これらは磁気コンパスからこの距離を離して装備する必要があるわけだが、アッパーブリッジに装備してある基準コンパスの場合に大きな問題となってくる。

図 5 (1)、5 (2)、5 (3) は小型レーダ指示器 (MD-305) について同様に計測したものである。図 5 (1) は

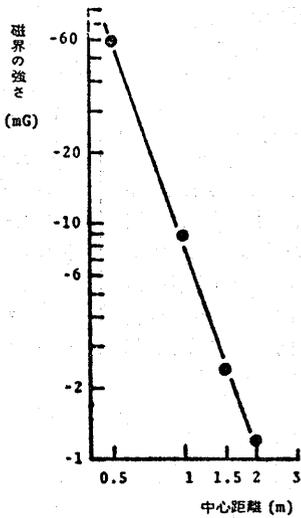


図 4 (1) レーダスカナ (MD-809) の中心距離の変化にともなう磁界の変化

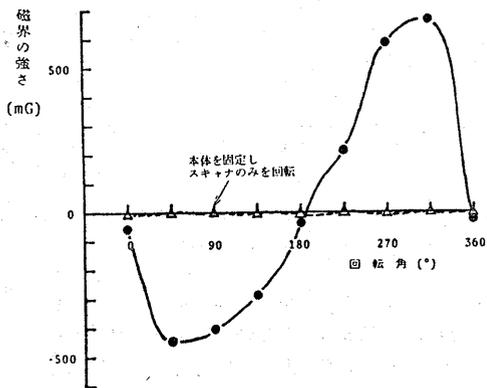


図 4 (2) レーダスカナ (MD-809) の回転角にともなう磁界の変化

正面向き距離に対する東西方向の磁界の変化, 図 5 (2) は 0.5 m の距離において, 回転角にともなう磁界の変化を示す。

図 5 (3) は最大の磁界を示した方向 (電源 OFF で 45 度方向, ON で 0 度方向) に向けて距離を変えながら測った東西方向の磁界である。これより得られる安全距離は電源 OFF で 228 cm, ON で 310 cm となった。この方向で東西方向の磁界が 0.79 mG のところの機器からの中心距離は (電源 ON で) 250, (電源 OFF で) 327 cm となった。

図 6 (1), 6 (2) は中型レーダスカナ (MD-305) の正面向き距離に対する東西方向の磁界の変化および回転角にともなう磁界の変化を示す。図 6 (3) はレーダスカナを回転したとき, 最大の磁界を示す方向 (電源 ON で 0 度, 電源 OFF で 45 度) において, 距離に対する東

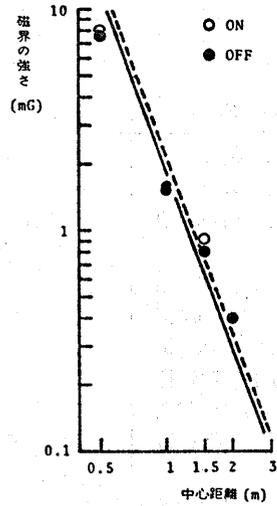


図 5 (1) レーダ指示器 (MD-305) の中心距離の変化にともなう磁界の変化

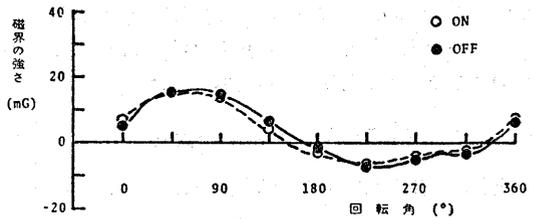


図 5 (2) レーダ指示器 (MD-305) の回転角の変化にともなう磁界の変化

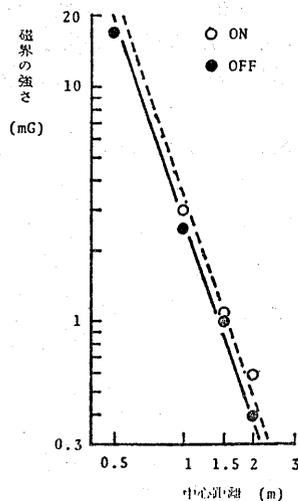


図 5 (3) レーダ指示器 (MD-305) の安全距離の測定

西方向の磁界を測定したものである。この実験から, 安全距離は電源 OFF で 228 cm, 電源 ON で 310 cm, この方向で東西方向の磁界が 0.79 mG のところの機器

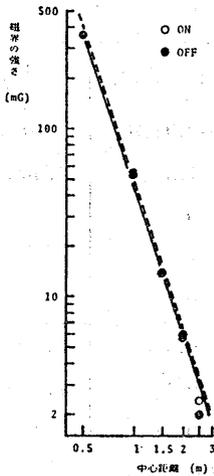


図 6 (1) レーダスカナ (MD-305) の中心距離の変化にともなう磁界の変化

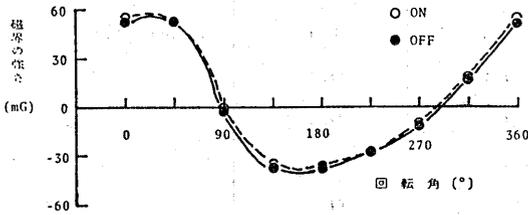


図 6 (2) レーダスカナ (MD-305) の回転角の変化にともなう磁界の変化 (中心距離 1m において)

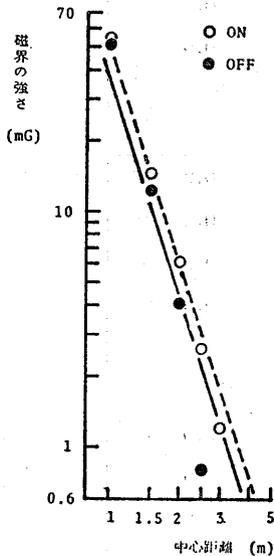


図 6 (3) レーダスカナ (MD-305) の安全距離の測定

からの中心距離は電源 OFF で 250 cm, 電源 ON で 327 cm が得られた。

5.2 その他の電子機器の作る磁界と安全距離

レーダおよびレーダスカナ各 2 点の他, 表 2 に示したような船橋に装備される電子機器の一つ一つについて, 磁力計から一定の距離において各品目を水平面内で回転させ, 東西方向の磁界が最大になる方向を見出し, その方向において, 磁力計からの距離を次第に離しながら再度東西方向の磁界を計測した。それらの結果は, 詳細になるので, 計測点の主なところについてのみ, 表 3 (1), 表 3 (2) に略記した。距離に対する東西方向の磁界が距離の略 3 乗に反比例することが, これらの計測結果をプロットしてみるとわかる。

前に述べた測定方法によって求めた安全距離を表 3 (1), (3) に掲げるとともに, 表 3 (1) には, 参考のために, 安全距離を測定するときと同じ磁界を作る場合の各品目の中心から磁力計までの距離, ここでいう「中心距離 (最大磁界方向で) cm」も掲げておいた。

5.3 安全距離の比較

図 7 では, いままで計測した各電子機器の磁気コンパス安全距離を比較してみた。これらの中で安全距離が 2 m 以上のもの, 中程度であって 1~2m 未満のもの, 1 m 未満のものに分けてみると表 4 のようになる。レーダ指示器 MD-809 は安全距離が, 205 cm もあって, 操舵員の近傍に装備することができない。レーダスカナは最も安全距離が大きくレーダマストには備するとしても, 基準コンパスからの距離を考慮しなければならない。オートパイロットリレー箱, 及びオートパイロット駆動部は電源 ON をにしたとき著しく大きな磁界が発生するのは大電源が流れるからである。

安全距離が中程度と考えられる 1~2m のものには, 魚群探知機, 主機遠隔操縦装置など一般に海図室ではな

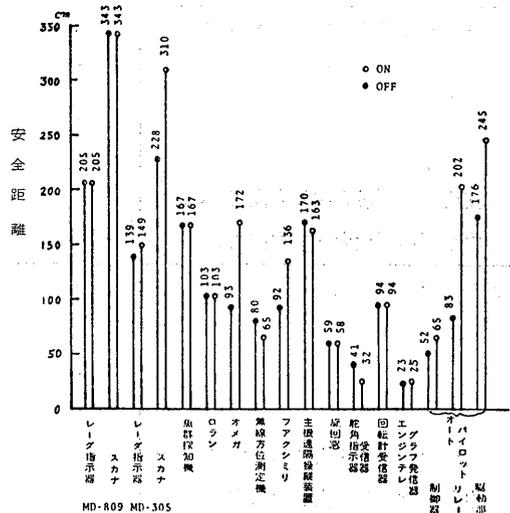


図 7 各電子機器の安全距離の比較

表 3 (1) 電子機器の作る磁界と安全距離 (1)

電子機器の品名	距離 (m)	正面で電源断	正面で電源接	最大磁界 (方向, 電源)	
魚群探知機 SR-645	0.5	1.7 mG	-2.0 mG	20.0 mG (315° 断)	
	1	0.8	1.3	17 mG (315° 接)	
	0.2	0	0		
	安全距離 (最大磁界方向で) cm		167	167	
	中心距離 (最大磁界方向で) cm		189	189	
ロランC LR-707	0.5	0.7	0.6	8.8 mG (180° 断)	
	1	0.5	0.4	7.8 mG (225° 接)	
	1.5	0.1	0.1		
	安全距離 (最大磁界方向で) cm		103	103	
	中心距離 (最大磁界方向で) cm		127	127	
オメガ受信機 OR-166	0.5	8.7	6.4	24 mG (225° 断)	
	1	1.3	1.0	41 mG (225° 接)	
	1.5	0.4	0.3		
	2	0.2	0.3		
	安全距離 (最大磁界方向で) cm		93	172	
中心距離 (最大磁界方向で) cm		122	200		
無線方位測定機 KS-517	0.5	2.5	2.1	2.8 mG (315° 断)	
	1	0.6	0.5	2.1 mG (0° 接)	
	1.5	0.3	0.3		
	2	0.0	0.0		
	安全距離 (最大磁界方向で) cm		80	65	
中心距離 (最大磁界方向で) cm		98	82		
ファクシミリ受信機 FX-758	0.5	-1.0	-0.9	7.1 mG (135° 断)	
	1	0.3	0.3	8.8 mG (135° 接)	
	1.5	0.2	0.2		
	2	0.0	0.0		
	安全距離 (最大磁界方向で) cm		92	136	
中心距離 (最大磁界方向で) cm		114	156		
主機遠隔操縦装置	0.5	20.0	25.0	-29 mG (225° 断)	
	1	3.5	4.0	29 mG (45° 接)	
	1.5	1.0	1.2		
	2	0.4	0.6		
	安全距離 (略最大磁界方向で) cm		170 (45°)	163 (45°)	
中心距離 (略最大磁界方向で) cm		191 (45°)	184 (45°)		

表 3 (2) 電子機器の作る磁界と安全距離 (2)

電子機器の品名	距離 (m)	右の最大磁界方向での磁界		最大磁界 (方向, 電源)
		電源 断	電源 接	
旋回窓 A-30 安全距離 (最大磁界方向で) cm	0.5	-3.0 mG	2.0 mG	-3.0 mG (0° 断)
	1	-0.2	0.6	2.0 mG (235° 接)
		59	58	
舵角指示器 SD-200 安全距離 (最大磁界方向で) cm	0.5	-1.1	1.4	-1.1 mG (320° 断)
	0.7	-0.3	0.9	1.5 mG (225° 接)
	1		0.8	
		41	32	
回転計受信器 SL-200 安全距離 (最大磁界方向で) cm	0.5	10.2	10.2	10.2 mG (200° 断)
	1	1.0	1.0	10.2 mG (200° 接)
	2	0.1	0.1	
		94	94	
エンジンテレグラフ PRB-300A 安全距離 (最大磁界方向で) cm	0.5	0.5	0.65	0.5 mG (275° 断)
	1.0	0.2	0.1	0.65 mG (135° 接)
		23	25	
オートパイロット制御器 EP-5M 安全距離 (最大磁界方向で) cm	0.5	-1.7	-2.8	-1.7 mG (315° 断)
	0.68	-0.6		-2.8 mG (310° 接)
	0.8	*	-0.65	
		52	65	
オートパイロットリレー箱 EP-5M 安全距離 (最大磁界方向で) cm	0.5	6.2	-37.5	6.2 mG (45° 断)
	1.0	0.5	-4.9	-37.5 mG (85° 接)
	1.5	0.0	-1.6	
	2.0	*	-0.8	
	2.5	*	-0.55	
		83	202	
オートパイロット駆動部 EP-5M 安全距離 (最大磁界方向で) cm	1.0	-5.9	-15.5	-5.9 mG (100° 断)
	1.5	-1.6	-4.2	-15.5 mG (30° 接)
	2.0	-0.79	-1.7	
	2.5	-0.45	-0.9	
	2.7	*	-0.7	
		176	245	
オートパイロット遠隔操作器 EP-5M 安全距離 (最大磁界方向で) cm	0.15	*	0.2	-0.2 mG (180° 断) 0.2 mG (0° 接)
		微小につき測定できない		

表 4 安全距離の比較

安全距離	電子機器の名称	型名	安全距離	
			電源 ON	電源 OFF
2m 以上	レーダ指示器	MD-809	205 cm	205 cm
	レーダスカナー	MD-805 用	343	343
	レーダスカナー	MD-305 用	228	310
	オートパイロットリレー箱部		83	202
	オートパイロット騒動部		176	245
1.5m 以上 2m 未満	レーダ指示器	MD-305	139 cm	149 cm
	魚群探知機	SR-645	167	167
	ローラ C	LR-707	103	103
	オペメガー	OR-166	93	172
	フックシミリ	FX-758	92	136
	主機遠隔操縦装置	ERC-V C	170	163
1.5m 未満	無線方位測定機	KS-517	80 cm	65 cm
	旋回窓	A-300	59	58
	舵角指示器受信器	SD-200	41	32
	回転計受信器	SL-200	94	94
	エンジンテレグラフ発信器	PRB-300A	23	25
オートパイロット制御器	EP-5M	52	65	

く、操舵室に装備されるものも含んでいるので、装備については、注意しなければならない。安全距離が 1m 未満のものは、無線方位測定機 KS-917 型、旋回窓 A-30、舵角指示器受信器、回転計受信器 SL-200 等である。エンジンテレグラフ発信器 PRB-300A は全く問題ないといってもよいのである。オートパイロット遠隔操作器も計測したが、表 3 (2) に示したように安全距離が通常の方法では決定しかねるものもあった。

5.4 電子機器が多数装備されている場合の磁気コンパスに対する影響

いままでは個々の電子機器が作る磁界について実験結果に基づいて述べたが、実際の船舶では多数の電子機器が様々に配置されているのである。

磁界の比較的安定している広い場所に図 8 のように円形のコンクリート基台を作り、その中心には、これと独立な測定器用の小型コンクリート基台センターを作った。このセンターを中心として、円形のコンクリート基台上を旋回する船舶模型を製作した。船舶模型は水平の船橋内のデッキと船橋前面の壁面を模した木製の床と衝立とからなっている。図 9 のように通常、デッキに取付ける電子機器は床面上に、壁面に付ける電子機器は衝立上に取付けることにした。初め、表 5 に示す 7 機種種の電子機器をそれぞれ一個ずつ船舶模型に取付け、船舶模型を旋回して、コンクリート基台上の磁力計によって東西方向の磁界の強さを計測した。その結果を図 9 に示

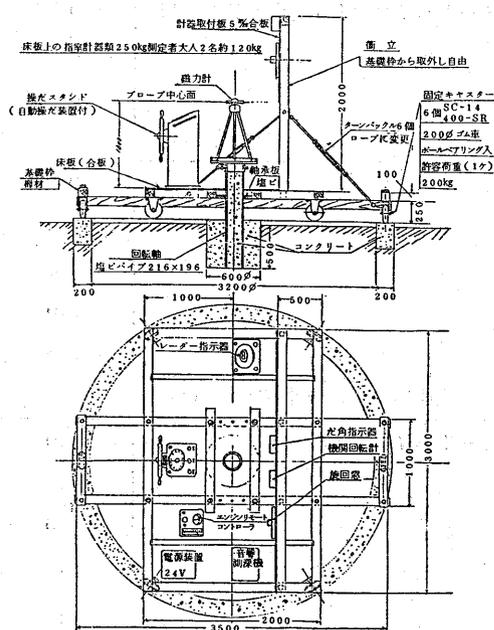


図 8 船橋模型とコンクリート基台

す。図 9 において、振幅の大きいグラフは 2 機種種の電子機器を全部取付けた場合の東西方向の磁界である。機関回転計のカーブがこれに近似している。

表 6 は各電子機器がつくる東西方向の磁界を船橋模型

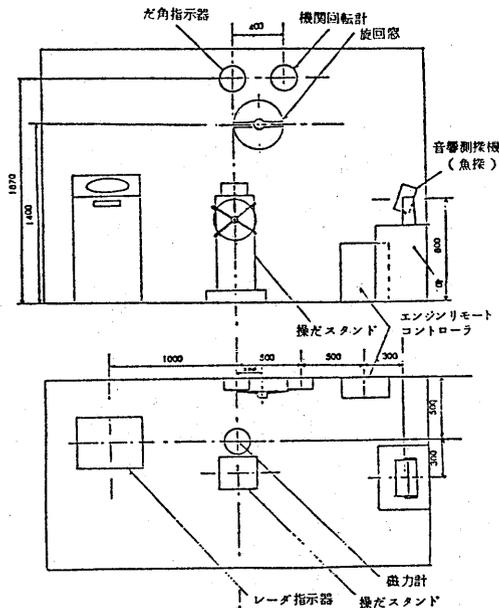


図9 船橋模型に対する電子機器の取付け状況

の磁気方位によって次式によってフーリエ解析したときの各係数值、ならびに7機種を総合したときのフーリエ係数を示している。

$$M = A + B \sin \theta + C \cos \theta + D \sin 2\theta + E \cos 2\theta \dots (1)$$

ここに M : 東西方向の磁界 (mG), θ : 船橋模型の向きを磁気方位で示したもの, A, B, C, D, E : 係数 (mG)

OFF と ON は計測中の電子機器の電源の状態を示して

表5 実験に使用した電子機器

品名	型名	規格
旋回窓	A-30B	DC-24V用
だ角指示器	SE-150	
機関回転計	SD-150L	
テレグラフ	HT型	
操舵スタンド	PR182	ジャイロコンパス付
エンジンリモートコントローラ	ERC-VC	
音響測定機(魚探)	NJA-550	
レーダ指示器	NCD-326B	
音響測深機(魚探)	FUG-11	

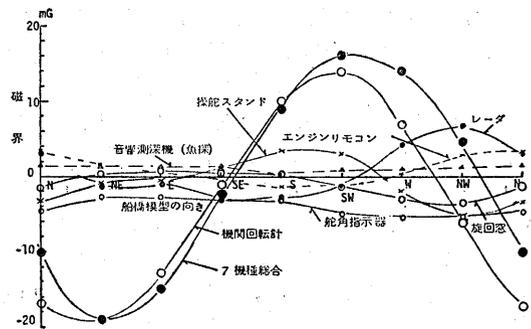


図10 各電子機器個々の作る東西方向の磁界及び7機種総合の影響(電源ONの状態)

表6 船橋模型への装備位置で電子機器のつくる東西方向の磁界 M のフーリエ解析の係数值 (mG)

電子機器と電源 係数	旋回窓		舵角指示器		機関回転計		テレグラフ		操舵スタンド	
	off	on	off	on	off	on	off	on	off	on
A	-1.1	-1.0	-3.0	-3.0	-2.9	-3.1	-0.3	-0.1	-0.6	-0.6
B	2.1	1.9	1.4	1.4	-9.6	-9.9	-0.2	-0.3	1.0	0.9
C	-0.9	-0.9	-0.8	-0.9	-13.0	-13.5	0.3	0.0	-3.6	-3.6
D	0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.5	0.2	0.1	1.8	1.8
E	0.3	0.3	0.3	0.3	-0.3	-0.3	0.1	0.4	0.6	0.6

電子機器と電源 係数	魚群探知機		エンジンリモコン		レーダ	総合		東西方向の磁界 $M = A + B \sin \theta + C \cos \theta + D \sin 2\theta + E \cos 2\theta$
	off	on	off	on	off	off	on	
A	1.2	1.2	0.6	0.6	0.8	-0.4	-0.4	
B	0.1	0.1	0.0	-0.0	-2.7	-14.9	-14.8	
C	0.5	0.5	2.7	2.4	3.3	-9.5	-9.6	
D	-0.1	-0.1	-0.6	-0.7	-2.1	-1.3	-1.1	
E	-0.0	-0.0	0.2	0.1	-0.8	0.0	0.0	

いる。機関回転計では係数 C および B が大きい。これは、永久磁気電子機器の内部に存在していることを示している。総合の場合では B および C が大きい、それらの大部分は機関回転計が原因となっていることがわかる。係数 D , E でやや大きいことは、

操舵スタンド PR-182 電源 OFF $D=1.8\text{ mG}$
 電源 ON $D=1.8\text{ mG}$

レーダ指示器 NCD-326B 電源 OFF $D=-2.1\text{ mG}$
 である。これらは地磁気に感応して生じる二次的磁性的存在を示している。

5.5 電子機器の安全距離の地理的相違

今述べたように、電子機器の内部には軟鉄のような感応磁気をもつものがある。それは、5.4 で解析したフーリエ係数の D , E に表れる。舵スタンドやレーダ指示器に出てきた 1.8 , -2.1 mG の D がそれである。電子機器全体がほとんど均一の磁界を受けるようにするためには、実験的には、極めて大きなコイルを必要とするから、この測定は地球磁界の地域的変化を利用することにした。この実験を通じて磁気コンパス安全距離が地理的にどのように変化するかを調査することにした。

実験地として選んだのは北海道、函館で水平磁界 $H=0.290$ 、鉛直磁界 $Z=0.16$ 、東京で $H=0.340$ 、 $Z=0.13$ 、鹿児島で $H=0.345$ 、 $Z=0.13$ の場所であった。実験に用いた電子機器は輸送の関係から、レーダ指示器 NCD-326B、旋回窓 A-30B、魚群探知機 NJA-550 の 3 機種に限定した。

実験は各電子機器を回転して回転角に対する東西方向の磁界を測定した。図 11, 12, 13 はそれぞれレーダ指示器 NCD-326B、旋回窓 A-30B、魚群探知機 NJA-550 を回転したときの東西方向の磁界の変化を実験地ごとに取ったものを比較したものである。すべて、ほとんど同様の傾向が見られる。レーダ指示器 NCD-326B を除き、北海道が最も小さく、鹿児島が最も大きかつ

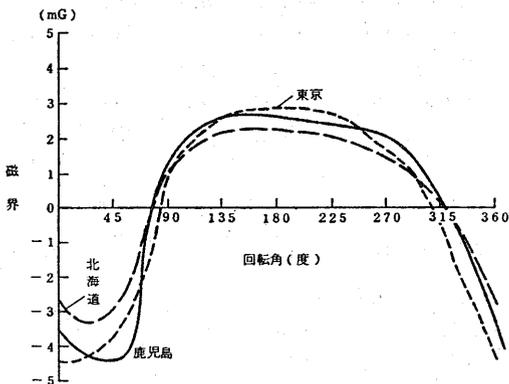


図 11 各実験地でレーダ指示器 NCD-326-B を回転したときの磁界の変化の比較 (距離 1m)

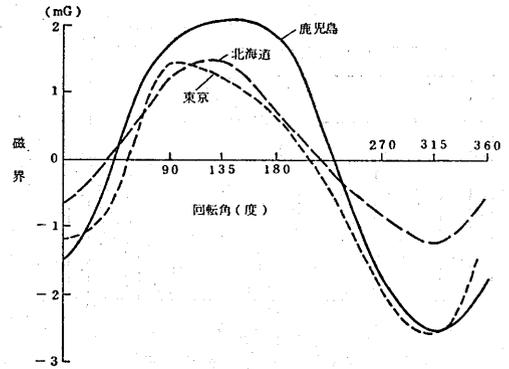


図 12 各実験地で旋回窓 A-30B を回転したときの磁界の変化の比較 (電源 OFF のとき)

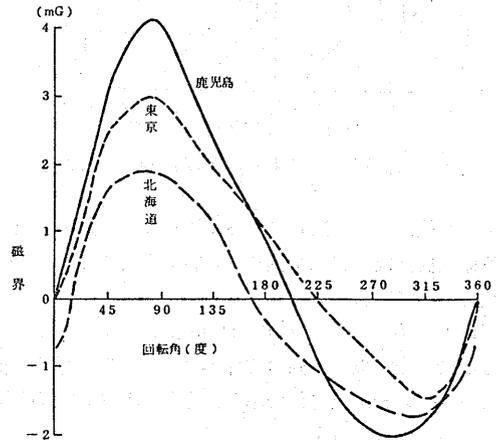


図 13 各実験地で魚群探知機 NJA-550 を回転したときの磁界の変化の比較 (電源 OFF)

表 7 実験地別磁気コンパス安全距離

	レーダ指示器 NCD-326B	旋回窓 A-30A	音響測深機(魚探) NJA-550
鹿児島	135 cm	70	84
東京	150	76	76
北海道	135	78	70

た。また、3 機種とも、距離に対する東西方向の磁界はほぼ 3 乗に反比例していることも判明した。

安全距離は電源の OFF 場合をまとめてみると表 7 のようになった。安全距離は旋回窓における東京、鹿児島の場合を除けば、北海道における値が最も小さく、地磁気水平分力の大きい南方に行くにつれて、大きくなっていることがわかる。もしも電子機器の磁性が永久磁気のみであるとすれば、安全距離の地理的変化はないはずである。今後詳細な解析が望まれる。

6. おわりに

主として社団法人日本船舶電装協会において昭和 56, 57 年度に行われた電子機器の磁気コンパスに及ぼす影響に関する調査研究報告書に基づいて電子機器の磁気コンパス安全距離について述べた。このように大がかりで、磁気コンパスに関する実験が行われたのは多分初めてである。しかし、磁気コンパスについては本体だけでなく、それを装備する船体の磁気的状態、装備機器の状態、更に地磁気そのものが大きく関係するのである。したがって、このような実験であっても、さらに、電子機器の種類、型式の相違、数などの影響が大きく、地理的にも大きく移動して実験を進める必要があると考える。

この実験は初めにも述べたように社団法人日本船舶電装協会磁気コンパス装備調査研究委員会で進められたものであって、委員長はじめ委員各位の御努力によるもの

である。許しを得て、筆者が本誌に紹介させて頂くことは、また特別の喜びである。ここに筆者から、更めて社団法人日本船舶電装協会ならびに磁気コンパス装備調査研究委員会委員長、委員各位、東京商船大学、北海道大学水産学部、鹿児島大学水産学部、東京水産大学の関係研究室の方々、関係の大阪布谷精機(株)、(株)光電製作所、(株)東京計器、日本無線(株)、(株)佐浦計器製作所の関係部局の方々に対して厚く謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) 社団法人日本船舶電装協会：航海用電気・電子機器の磁気コンパスに及ぼす影響に関する調査研究報告書，昭和 58 年 3 月
- 2) ISO R694, Positioning of magnetic compasses in ships (1st edition-1968-03)

ウェザールーティングにおける諸問題

東京商船大学

萩原 秀樹

The Technical Problems in Ship Weather Routing

Tokyo University of Mercantile Marine

Hideki HAGIWARA

1. はじめに

1973年のオイルショック以来、“省エネルギー”という言葉がはやり文句になってしまった。海運界も例外ではなく、減速運転、タービンからディーゼルへの主機交換、良質船底塗料の開発、操舵量を評価に加えたオートパイロット、風力の利用（帆装商船）等、省エネルギー対策の例は挙げればきりが無い程である。

そして数ある省エネルギー対策の中でも、ウェザールーティング（Weather Routing：気象航法）が着実な成果をあげつつあることは、周知の通りである。しかしながら、ウェザールーティングは完成された手法ではなく、多くの技術的な問題をかかえている。今回は、それらの問題点を紹介し、現在どの程度まで問題に対するアプローチがなされているかを述べる。

2. ウェザールーティングの構成

ウェザールーティングは、しばしば最適航法（Optimum Routing）という名でも呼ばれており、一口に言えば“航海中の気象・海象をできるだけ正確に予測し、ある評価対象に関して最適な航路を選定すること”である。

一般に、ウェザールーティングを有効に行なうには、

- (1) 気象・海象の長期予測
- (2) 波浪中における船体運動および船速の推定
- (3) 最適航路計算

が迅速かつ正確になされねばならない。以下、上記の3項目について、項目別に現状と問題点を述べる。

3. 気象・海象の長期予測

気象・海象の長期予測は、ウェザールーティングの中で最も重要かつ困難なものである。船の運航に影響を与える気象海象には、風波、海流、流水、霧など様々なものがあるが、通常のウェザールーティングを行なう際、大洋全体の規模として考慮するものは、風、波および海流である。

流水や船体着氷、濃霧などは、大洋の一部分に存在するものであり、その存在範囲がある程度予測できれば、その範囲を航行不能海域とみなせばよい。したがって、ルーティングという立場からは、流水や濃霧等の現象は、さほど大きな問題ではない。

海流については、日々の正確な予測は不可能だが、その変動はゆるやかで1年を通じて周期性があるので、月別のパイロットチャートを用いれば実用上は十分である。船の速力が小さい場合や波高が低い南方海域を航海する場合には、海流はウェザールーティングを行なう際に重要な環境要素となる。しかし通常のウェザールーティングにおいては、対象とする船はコンテナ船や自動車専用船のような高速船が多く、また冬季の北太平洋や北大西洋のように波高が非常に大きい場合が多い。このような場合には、海流はそれほど重要な環境要素とはならない。

風と波は、ウェザールーティングにおいて支配的な環境要素である。

風については、現在約1週間先まで数値気象予報が行なわれており、その予報データを用いて3日程度先まで海上風の予測が行なわれている。（米海軍 F.N.O.C.

[Fleet Numerical Oceanography Center] では72時間、日本の気象庁では36時間先までの予測を行なっている。）

気象庁で行なわれている海上風予測においては、北半球4層プリミティブモデルから供給される海面気圧と1000mb高度の気温および月別の平均海面水温を用いて、Cardone (1969) の大気境界層モデルにより、海面上20mの風向、風速および摩擦速度が計算されている。予測された海上風は、船体の風圧抵抗を計算するために使われるほか、波浪予測モデルへの入力ともなる。海上風の予測は、ウェザールーティングにおいて極めて重要なものであるが、現在のところ1日~2日程度先までしか十分な精度を維持できないようである。

次に、波については、スペクトル法による数値波浪予報が行なわれており、その予報期間は、気象庁が24時間、米海軍 F.N.O.C. が72時間、英国の Meteorological Office が48時間、フランスの Ministère des Transports, Direction de la Météorologie が48時間などとなっている。

現在の数値波浪予報モデルは、いずれも Hasselmann (1968) による波エネルギーの平衡式に基づいている。

$$\frac{\partial}{\partial t} S(f, \theta, t, \mathbf{X}) = -Cg(f) \cdot \nabla S(f, \theta, t, \mathbf{X}) + F_2 - F_3 - F_4 - F_5 \quad (1)$$

ここで $S(f, \theta, t, \mathbf{X})$ は、時刻 t に位置 \mathbf{X} に存在し、 θ 方向に向かう周波数 f の成分波エネルギー密度であり、 $Cg(f)$ は周波数 f の成分波の群速度である。(1) 式の左辺は、グリッドポイントにおける成分波エネルギー密度の時間変化を表わしている。右辺の第1項は、エネルギー密度の移流項、 F_2 は風から波へのエネルギー輸送量、 F_3 は砕波などによるエネルギー消散、 F_4 は内部摩擦などによって失なうエネルギー、 F_5 は逆風による

エネルギー消散を表わす。(1) 式を時間的に積分すれば、各グリッドポイントにおける成分波のエネルギー密度が予測でき、それから有義波高、卓越波向、卓越周期などが導ける。

現在、米海軍 F.N.O.C. の数値予報モデル S.O.W.M. (Spectral Ocean Wave Model) は、実況値および72時間先までの予測値を提供している。北太平洋を図1に示

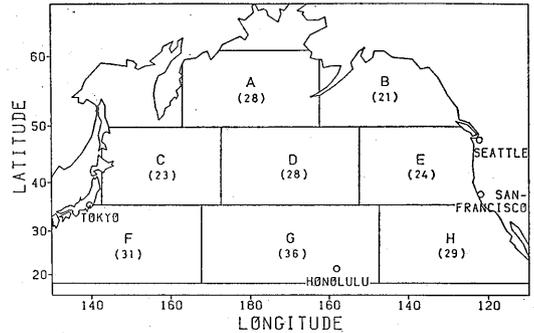


図1 波浪予測精度を調査した海域

すような海域に分けて、各海域における S.O.W.M. の予測精度を調査したものが、表1および表2である。 (図1の各海域に示されている数字は、調査を行なった格子点数) 調査期間は、1980年5月20日から6月19日までの1ヶ月間であり、毎日00Zと12Zにおける予測誤差(実況値—予測値)の平均値および標準偏差が海域ごとに平均されて示されている。

表1より有義波高は、予測期間が長くなる程、平均して実況値より低く予測されていることがわかる。また予測誤差の標準偏差は当然のことながら、予測期間が長くなる程、大きくなっている。表2より、卓越波向の予測誤差の標準偏差も、予測期間が長くなる程、大きくなる

表1 有義波高の予測誤差の平均値および標準偏差

Period of Forecast Area	Mean of Errors			Standard Deviation		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
A	0.33 m	0.49 m	0.79 m	0.84 m	1.26 m	1.59 m
B	0.19 m	0.22 m	0.34 m	0.85 m	1.19 m	1.54 m
C	0.38 m	0.58 m	0.70 m	1.01 m	1.45 m	1.80 m
D	0.41 m	0.66 m	0.87 m	0.83 m	1.23 m	1.49 m
E	0.26 m	0.35 m	0.44 m	0.68 m	0.94 m	1.12 m
F	0.05 m	0.06 m	0.04 m	0.54 m	0.78 m	0.96 m
G	0.08 m	0.17 m	0.24 m	0.66 m	0.85 m	0.96 m
H	0.05 m	0.15 m	0.24 m	0.74 m	1.02 m	1.16 m
Average	0.21 m	0.32 m	0.44 m	0.76 m	1.07 m	1.29 m

表 2 卓越波向の予測誤差の平均値および標準偏差

Period of Forecast Area	Mean of Errors			Standard Deviation		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
A	-5.0 °	-11.7 °	-22.8 °	43.2 °	58.9 °	72.5 °
B	-1.0 °	-6.9 °	-9.7 °	40.1 °	46.8 °	49.1 °
C	-2.0 °	-6.8 °	-12.3 °	41.8 °	55.2 °	61.9 °
D	-2.7 °	-1.7 °	-0.8 °	39.9 °	54.3 °	56.7 °
E	-0.7 °	-2.6 °	-3.7 °	33.7 °	42.4 °	45.7 °
F	0.1 °	4.6 °	6.4 °	33.2 °	41.8 °	44.5 °
G	-0.2 °	-1.1 °	-3.5 °	29.1 °	41.2 °	40.3 °
H	1.9 °	1.9 °	1.0 °	26.2 °	34.8 °	35.8 °
Average	-1.1 °	-2.7 °	-5.2 °	35.4 °	46.5 °	50.2 °

ことがわかる。72時間先の予測誤差は、有義波高も卓越波向も相当に大きく、現在の数値波浪予報は、せいぜい1日～2日先までしか十分な精度を維持できないと言える。

さて、北太平洋をコンテナ船で横断するには約10日、より低速の鉱石運搬船などでは2週間以上を要するので、ウェザールーティングを行なうには数値予報が可能な期間以後について、適当な海上風と波のデータを使用しなければならない。F.N.O.C. では、出港後4日～10日先までは、現在の気象パターンに最もよく似た気象パターンをデータファイルの中から捜し出し、その過去の気象・海象データを延長して予測値とする方法 (Analogue Prediction: 類似分析予測) を用いている。そして11日以上先については、月別の統計値を予測値として使用している。

出港後、11日以上先については、月別の統計データを使用することが妥当と思われるが、4日～10日先までの期間については、単なる類似分析法よりも合理的な予測法が存在すると思われる。須田らは、北太平洋における5日平均の波浪状態と5日平均500mb高度のパターンに高い相関があることを見出し、500mb高度のパターンを表わす東西示数 (Zonal Index) を用いる波分布モデルを提案している^{2),3)}。

ここでいう東西示数とは、90°E～100°Wの経度範囲における40°N緯度圏上の5日平均500mb高度の平均値 \bar{H}_{40} と60°N緯度圏上の5日平均500mb高度の平均値 \bar{H}_{60} との差 $\bar{H}_{40} - \bar{H}_{60}$ である。東西示数が高い時には、上空の偏西風はなめらかに西から東へ流れているが、東西示数が低い時には、偏西風は大きくうねり、ブロッキング現象が起こる。

東西示数を350m以上、250m以上350m未満、250

m未満の3つに区分し、1928～1981年の3冬分のS.O.W.M.による実況波浪データを上記区分について平均したものが、図2, 3, 4である。図2, 3, 4より明らかなように、東西示数の高低により、5日平均の波浪パターンには明白な違いがある。したがって、5日平均の東西示数の区分さえ予測できれば、それに対応する波分布モデルを用いることにより、有効なウェザールーティングが可能と考えられる。

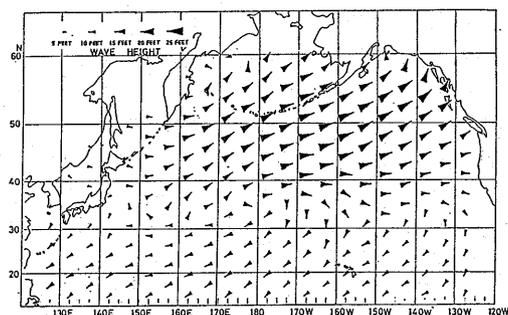


図3 高示数期 (東西示数 350m 以上) の冬季北太平洋平均波浪分布

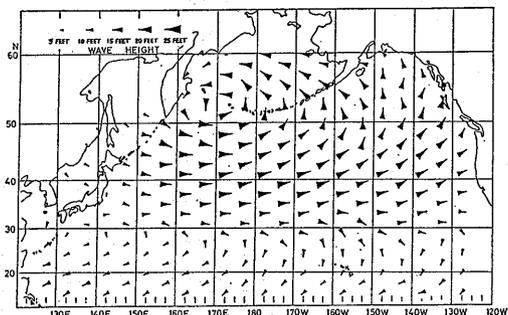


図3 中間示数期 (東西示数 250m 以上 350m 未満) の冬季北太平洋平均波浪分布

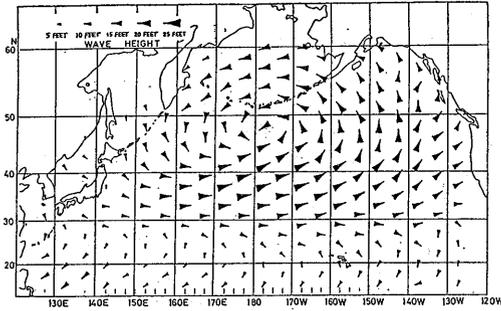


図4 低示数期(東西示数 250 m 未満)の冬季北太平洋平均波浪分布

以上、ウェザールーティングを行なう際の気象・気象予測について述べたが、現在の最も大きな課題は、数値予報以後の4日～10日程度先の風および波(特に波)の予測精度をいかに向上させるかということであろう。

4. 波浪中における船体運動および船速の推定

航行中の船が受ける外力には、風、波および海流があるが、海流は単に船の進行に対してベクトル的に加わるだけであり、ルーティング中での取り扱いが簡単である。したがって、波による船体運動および風と波による船速低下を推定することが、ウェザールーティングでは重要となる。

まず船速低下については、波浪中における船体抵抗 R は、次のように表わせる。

$$R = R_0 + \Delta R_W + \Delta R_S \quad (2)$$

ただし

R_0 : 静水中における船体抵抗

ΔR_W : 風による抵抗増加

ΔR_S : 波による抵抗増加

ΔR_W は、よく知られているように、

$$\Delta R_W = 1/2 \cdot \rho_a C_R A W^2 \quad (3)$$

ただし

ρ_a : 空気密度 A : 受風断面積

C_R : 風圧抵抗係数 W : 相対風速

により与えられる。

ΔR_S は、波が(1)式に示すような周波数・方向別の2次元スペクトルとして記述されれば、次式により与えられることが丸尾⁴⁾によって示されている。

$$\Delta R_S = 2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \{\Delta R(\omega, \delta, v) / \zeta_a^2(\omega)\} S(\omega, \theta) d\omega d\theta \quad (4)$$

ただし

ω : 成分波の角周波数

θ : 成分波の波向

$\zeta_a(\omega)$: 成分波の振幅

$S(\omega, \theta)$: 成分波のエネルギー密度

δ : 成分波の相対波向(船のコースと成分波の波向とのなす角度)

v : 船速

ΔR : 規則波中での抵抗増加量

風速が小さく波が未発達のうち、 ΔR_W の方が ΔR_S より大きい、風速が大きくなり波が十分に発達すると、抵抗増加の大部分を ΔR_S が占めるようになる。

(2), (3), (4)式により船体抵抗 R が求まれば、波浪中における船速 v は、

$$v = 75 P_S \eta_P / R \quad (5)$$

ただし

P_S : 軸馬力 η_P : 波浪中の推進効率

により与えられる。

次に、波による船体応答運動については、St. Dennis, Piersonの線形重ね合わせの理論⁵⁾によれば、応答の分散 σ^2 は次式により求められる。

$$\sigma^2 = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \{A(\omega, \delta, v)\}^2 S(\omega, \theta) d\omega d\theta \quad (6)$$

ただし、 $\omega, \theta, \delta, v, S(\omega, \theta)$ は(4)式におけるものであり、 $A(\omega, \delta, v)$ は規則波中での応答振幅である。

(6)式により船体応答の分散 σ^2 が得られれば、船の動揺角、加速度、波浪荷重、応力などの平均値や海水打ち込み、スラミング、プロペラレーシング等の発生確率を推定することができる。

北沢ら⁶⁾は、コンテナ船(175 m L_{PP} , 16,200 G/T)の波浪中における船体応答に対して、表3に示すような限界値および発生確率を与えた。そして、Pierson-Moskowitz型の波スペクトルを仮定した場合の短波項不規則波中において、Beaufort階級ごとに表3の限界値に達する風速および相対波向を計算した。Beaufort 9の場合の結果を、図5に示す。図中ハッチングをほどこしてある部分が、安全に航走できる領域である。

波浪中における船速と船体応答運動は、上記のような方法で推定することができるが、現在、スペクトル法による数値波浪予測は、せいぜい3日先までしか行なえない。また、仮に航海の全期間について波スペクトルが予測できて、(2)～(6)式による推定をルーティングの中で行なうには、膨大な計算が必要である。そこで現在では、航海中における波スペクトルの形を適当に仮定して、あらかじめ波浪状態に対する速力曲線(Performance Curve)を作成したり、図5のような運航限界を設定したりして、ルーティングの計算に使用している。

Pierson-Moskowitz型の波スペクトルを仮定した場合の短波項不規則波中における前述のコンテナ船のPerformance Curveを、図6に示す⁷⁾。図中、ハッチングをほどこした部分は、船首上下加速度0.8gが1/1000以

表 3 コンテナ船の船体応答に対する限界値と発生確率

項 目	限 界 値	発生確率	備 考
F.P. 上下加速度	0.8 g	10^{-3}	コンテナ強度 JIS (Z1118-1972) による
スラミング	Threshold Vel. $=0.09\sqrt{gL}$	10^{-2}	
F.P. 海水打ち込み		2×10^{-2}	
縦曲げモーメント	70,000 t-m	10^{-5}	類似船型の設計基準から推定
プロペラレーシング		10^{-1}	90 rpm 以上でプロペラ先端露出
8,5 左右加速度	0.6 g	10^{-3}	コンテナ強度 JIS (Z1618-1972) による
横 揺 れ		10^{-3}	C_2 指数を考慮

上の確率で発生する領域であり、この領域では、航走で

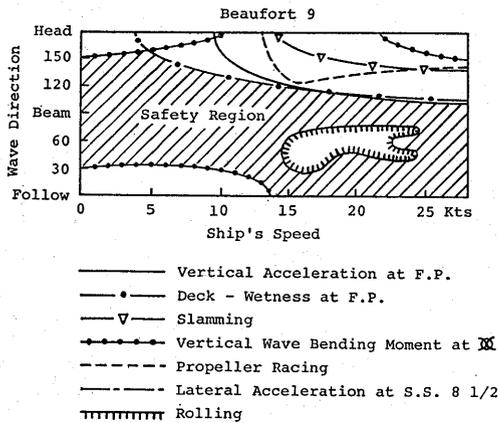


図 5 短波項不規則波中におけるコンテナ船の運航限界速力

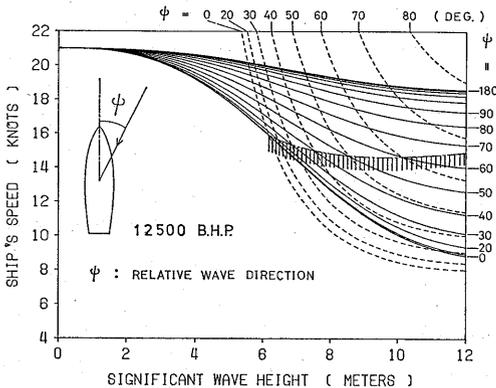


図 6 短波項不規則波中におけるコンテナ船の Performance Curve

きないことを示している。

今後、数値波浪予報の期間が十分長くなるまでは、あらかじめ適当な波スペクトルを仮定して Performance Curve や運航限界を求めておき、ルーティングの計算においては、有義波高と卓越波向（および卓越周期）のみを波浪データとして使用することが得策であろう。

5. 最適航路計算

気象・海象の長期予測および波浪中における船速と船体応答運動の推定がなされたならば、それらのデータを用いて最適航路が計算される。

まず、船の運動方程式は、

$$\dot{\phi} = (V \cos \theta + U)/R \quad (7)$$

$$\dot{\lambda} = (V \sin \theta + W) \sec \phi / R \quad (8)$$

と表わせる。

ただし ϕ : 緯度 P : エンジン出力

λ : 経度 t : 時刻

θ : コース R : 地球半径

$V = V(\phi, \lambda, \theta, P, t)$: 船速 (対水)

$U = U(\phi, \lambda, t)$: 海流の北流成分

$W = W(\phi, \lambda, t)$: 海流の東流成分

船速 V は、航海中の風および波が ϕ, λ および t の関数として確定しているならば、 $\phi, \lambda, \theta, P, t$ の関数として与えられる。また船体運動量は、波浪状態とコース θ およびエンジン出力 P の関数であるが、もしある θ と P において船体運動が表 3 に示すような運航限界を越えてしまうような場合には、 θ または P を操作して、船体運動を運航限界内に収めねばならない。

“最適航路”とは、普通、次のような評価関数 J を最小にするような航路を言う。

$$J = \int_{t_0}^{t_f} G(\varphi, \lambda, \theta, P, t) dt + P(t_f, t_a) \quad (9)$$

ただし

t_0 : 出港時刻

t_f : 到着時刻 (未定)

t_a : 運航者の希望する到着時刻

$G(\varphi, \lambda, \theta, P, t)$: 航海中における単位時間あたりの評価量

$F(t_f, t_a)$: 目的地における評価量

最適化の評価対象として航海時間を考えれば、 $G=1$, $F=0$ である。また、評価対象として運航コストを考えれば、 G =単位時間あたりの運航費、 F =目的地において t_a と t_f の差により発生するコスト (または利益) となる。

F については通常、 $t_a < t_f$ ならば $F \geq 0$, $t_a > t_f$ ならば $F \leq 0$ となる。コンテナ船のようにパース使用上、 t_a が厳しく指定されている場合には、 F は $t_f = t_a$ において大きく立ち上がるステップ関数となるだろう。

さらに、曳航作業のように船体運動を極力抑えたい場合には、 G として単位時間あたりの船体応答運動量をとることも考えられる。

以上のことから最適航路を決定する問題は、船体運動量を運航限界内に保ちながら、(7), (8) 式により船を航走させた場合、(9) 式の評価関数 J を最小にするように、コース θ とエンジン出力 P を時間 t の関数として決定することに帰着する。

J を最小とする θ と P を求める手法としては、変分法^{9), 9)}, 最大原理¹⁰⁾, ダイナミックプログラミング⁷⁾, 等時間曲線法¹¹⁾などがある。これらのうちで、最適航路の性質を詳しく調べるためには、変分法や最大原理などの解析的な方法が有効であり、様々な評価対象を扱ったり多くの運航限界値を考慮するには、ダイナミックプログラミングが有効である。また、評価対象を航海時間に限れば、等時間曲線法 (出発地から一定時間後に到達する点の集合 [等時間曲線] を逐次求め、最短時間航路を決定する方法) が最も効率の良い解法であろう。

最適航路計算の一例として、等時間曲線法による最短時間航路の航跡を、図7, 8に示す⁹⁾。このシミュレーションは、1978~81年の冬季において、F.N.O.C.による実況波浪データを用い、図6に示す Performance Curveを有するコンテナ船を5日おきに航走させたものである。

図7は東航 (東京→サンフランシスコ)、図8は西航 (サンフランシスコ→東京) の60航海分の最短時間航路である。最短時間航路は、東航では比較的大圏航路の付近に集中しているのに対し、西航では30°N付近からベーリング海まで大きく南北に分散していることがわか

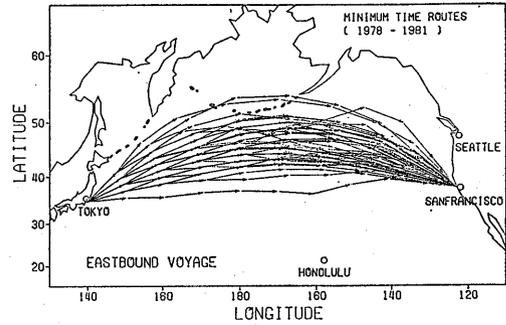


図7 最短時間航路の航跡 (東航)

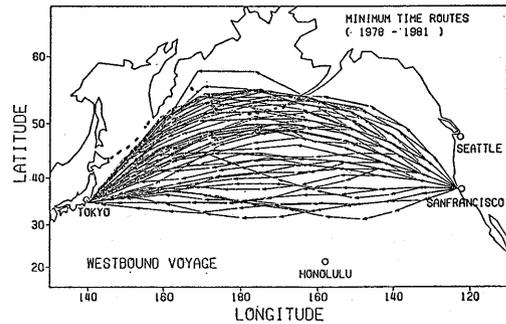


図8 最短時間航路の航跡 (西航)

る。

最適航路計算において、評価対象を航海時間とした場合には、コースのみを制御することになるので計算は比較的容易であり、ウェザールーティングの現業でも以前から行なわれている。しかし、航海時間以外の評価対象の場合には、コースのほかにエンジン出力も制御することになるので、計算が複雑となり、現在ではまだ現業の計算は行なわれていない。

さらに、気象・海象の予測値には不確かさが伴うので、最適航路を求める問題は、確率制御過程としてとらえることがより適切である。この場合には、(9) 式の評価関数の期待値を最小にすることになる。Frankel and Chenは、ダイナミックプログラミングにより確率制御へのアプローチを行なっている¹²⁾。

6. おわりに

以上、船舶のウェザールーティングについて、気象海象の長期予測、波浪中における船体運動および船速の推定、最適航路計算の項目別に、現状と問題点をいくつかの例を挙げて述べた。

現在、ウェザールーティングを行なう際の最も大きな困難は、4日~10日程度先までの風および波の予報精度が不十分なことであり、その精度をいかに改善するかということが、今後の最大の課題であろう。そのためには、気象・海象の正確かつ迅速な現状把握が不可欠であ

り、静止気象衛星や海洋観測衛星などによるリモートセンシングには、大きな期待が寄せられている。

また、気象情報や推せん航路の変更をタイムリーに船に伝えるために、国際海事衛星 (INMARSAT) システムの利用が望まれる。

さらに近年、マイコン (ミニコン) の性能が向上したことから、船上で独自のウェザールーティングを行なうことも検討されている。しかしながら、膨大な気象・海象の予測データを陸上の予報センターから衛星経由で船に送ることは、現時点ではコスト的に引き合わない。したがって、気象・海象の長期予報を用いる戦略的な航路決定は、陸上のセンターが行ない、その戦略でカバーできないような戦術的な荒天避航を船上で行なうことが、コスト的にも効率的にも有利なウェザールーティングと言えるだろう。

参 考 文 献

- 1) 萩原秀樹: 波浪予測精度を考慮して航海時間の誤差を見積る一方法, 日本航海学会論文集, 第 67 号, 1982
- 2) 須田 建, 他: 冬季北太平洋におけるウェザールーティングの一手法について, 日本航海学会論文

- 集, 第 65 号, 1981
- 3) 須田 建, 他: 冬季北太平洋におけるウェザールーティング = 海象特性と予測指標 =, 日本航海学会論文集, 第 67 号, 1982
- 4) 丸尾 孟: 波浪中の船体抵抗増加に関する研究 (第 2 報), 日本造船学会論文集, 第 108 号, 1960
- 5) St. Dennis and Pierson: On the Motions of Ships in Confused Seas, Trans. SNAME, Vol. 61, 1953
- 6) 北沢孝宗, 他: コンテナ船の波浪中での限界速度, 日本造船学会請文集, 第 138 号, 1975
- 7) 萩原秀樹, 巻島 勉: 最適航路に関する考察, 日本航海学会論文集, 第 62 号, 1979
- 8) 杉崎昭生: 最適航法の基礎研究 I~V, 日本航海学会誌, 第 34, 35, 36, 38, 39 号, 1965~68
- 9) 萩原秀樹: 最小燃料消費航路に関する考察, 日本航海学会論文集, 第 69 号, 1983
- 10) 黒井昌明, 他: 理論的限界速度を用いた最適航路計算 1~4, 関西造船協会誌, 第 147, 154, 156, 159 号, 1973~75
- 11) 萩原秀樹, 他: 帆と機関によるハイブリッド推力船の運航に関する基礎研究, 日本航海学会論文集, 第 64 号, 1980
- 12) E. G. Frankel and H. Chen: Optimization of Ship Routing, Technical Report NMRC-KP-189, 1980

電波標識

A 5 判 クロス装製 函入
上巻 2,200 円 311 ページ
下巻 2,800 円 313 ページ

編集: 電波標識編集委員会

各種の電波航行援助システムについて、実際的なデータにより、簡潔にわかりやすく説明してあります。航海者や学生の方々に最適の解説書です。

上巻: 総論, 誤差論, 中波標識及び無線方位測定機, ロラン A, C, デッカ

下巻: オメガ, ハーバーレーダ, マイクロ波無線標識, レーダレフレクタ, 航行衛星

▶ 購入申し込み方法

一般書店では扱っておりませんので、
右記に直接お申し込み下さい。

〒272 千葉県市川市大野町 2 の 657
鶴巻書房 (代表 川俣貞子)
T L E 0473-37-0268

データ収集システム (DCS) と漁業への応用

電気通信大学
鈴木 務

Data Collection System and Its Applications for Fishing

University of Electric Communication
Prof. Tsutomu SUZUKI

1. DCS とは

データを収集するシステムを総称して DCS (Data Collection System) とよぶが現在 DCS という人工衛星を利用して海象情報や気象情報を広域かつ迅速に収集するシステムの呼び名となっている。パイなどの上に観測装置を搭載したプラットフォームは DCP (Data Collection Platform) とよび、DCP の位置情報も収集できる DCS を LDCS (Location and Data Collection System) とよぶ。

図 1-1 に LDCS の概念図を示す。DCS で観測できる項目と利用分野を図 1-2 に示す。

図 1-1 と図 1-2 に示すように DCS で収集しようとする情報は非常に広い範囲にわたっている。従来は観測船や漁船などから得ていた海象や気象の情報は観測場所、観測時間が限定され、これらの情報を収集して分析、評価するのに時間がかかりすぎることや情報の現時対応性が欠点とされていた。さらにデータ収集の種類を増したり、地域を広げたり、観測間隔を縮めたりすると人手や経費上から実現不能となってしまうことになる。そこ

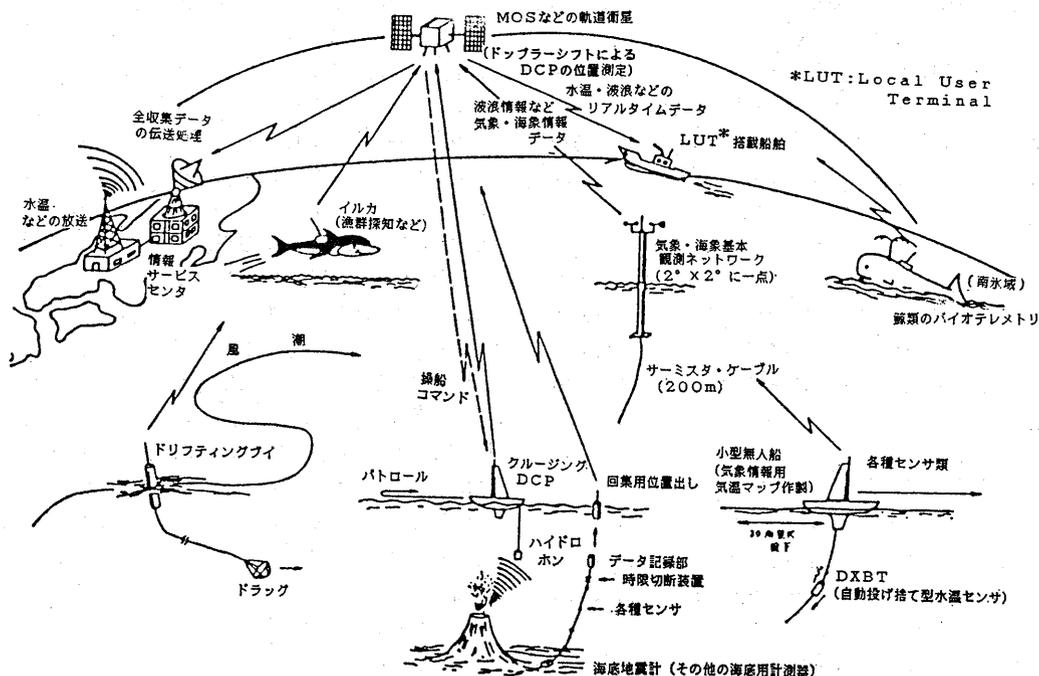


図 1-1 LDCS 概念図

海洋観測のためのデータ収集システム (DCS) の構成に関する調査研究—未来工学研究所より引用。

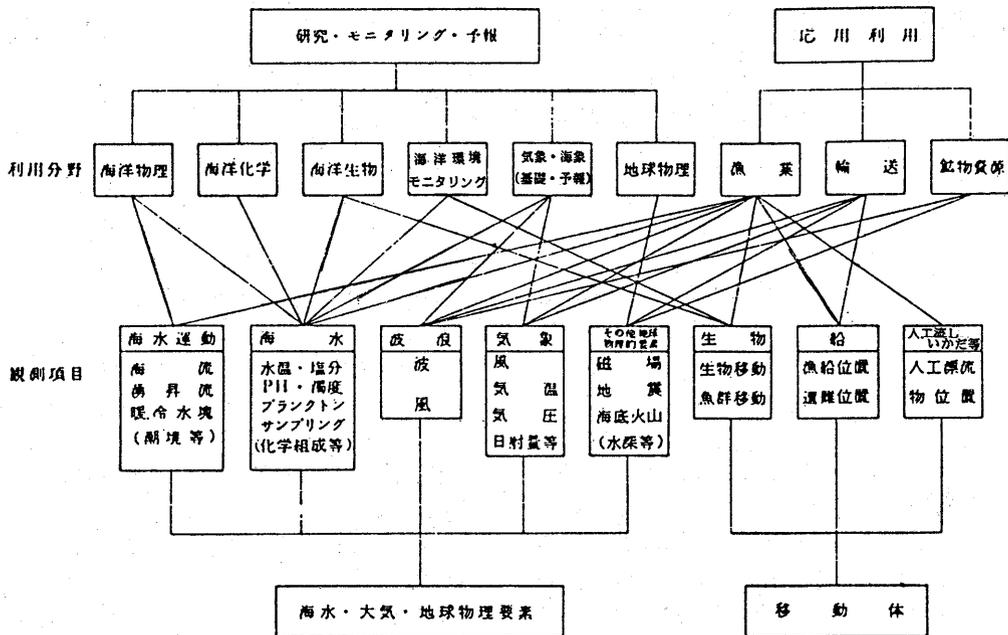


図 1-2 海洋観測項目と利用分野

で DCP 上における自動観測装置と人工衛星によるこれらのデータ伝送システムを結合せる DCS システムが注目されるようになってきた。DCP を無人化すると DCP の位置を知る必要も生じてくることから LDCS へと発展した。

DCS を実用化するときに重要な役割をコンピューターが受持つことになる。多数の DCP から送られてくる情報は非常に膨大な量になってくるので、これらの情報の送信、受信のコントロール、記録、分析および評価はコンピューター助けを受けなければ不可能となってしまう。

DCS はセンサーで観測したデータを人工衛星を中継して陸上の基地局に送り、データを収集するシステムであるが、得られるデータが広い地域から迅速に然も無人でも利用できるところに威力を発揮できるシステムといえる。

2. DCS の長所と短所

DCS は前節でのべたように広い地域から、膨大なデータを無人で収集できる長所があるが、さらに特色とするところは海水中の温度や塩分濃度など内部の情報が求められることにある。

人工衛星から直接地表や海面を観測するリモートセンシングは地表の温度、海面の温度や波浪、風などを計測できるが地中や海中の深い部分の情報は直接観測できない。地中や海中の情報は間接的に推定することしか出来

ないが DCS ではセンサーを直接水中や地中に設置できるので内部情報が正確に求められる。

漁業において漁場の探索は重要な仕事となるが海水の温度、潮流、塩分濃度の垂直分布を計測することから漁場探索の有力な手がかりを得ることができ、経費や石油の節減が期待できる。DCP に水中テレビやソナーを設置すると海中の魚群の探知やモニターとしての役目ができ海底牧場などにも応用できる。然しリモートセンシングでは上空から広い区域を連続的に観測するのに比べて、DCS ではプラットフォームのある場所の情報しか得られないので、不連続観測となってしまう。観測密度を大きくすると膨大な数の DCP が必要となってしまう。なによりも DCP を投入しないと観測できないことが最大の短所といえる。公海上なら DCP を自由に流すことができても他国の領海内に無断に流れ着くとスパイ行為とみなされないと限らず国際問題にもなりかねない。DCP が嵐などで破損したり、船舶と衝突したり、盗難に出合うこともあり得る。

DCS にも短所はあるが広域から精密なデータを、自動化して収集できる DCS はリモートセンシングの欠点を補い、有用なデータ収集ができるシステムとしてリモートセンシングと共用するとさらに有効な利用ができると考えられる。

3. 漁業情報収集のための DCS

漁業を単に魚を獲るという直接的な立場と、魚を生物

として生産する資源として考える間接的な立場とがある。単に魚を獲るための DCS 利用なら海水の塩分濃度、温度、潮流、波浪、気圧、風速などの海象、気象情報と魚群の分布、位置を経験から対応させ、最も魚のとれそうな場所を見出すことに利用される。然し能率のよい漁法が見つかり、無制限に獲りつづければ絶滅してしまうことになる。

漁業も島の野菜と同様に育成しては適量ずつ捕獲する生産と考へなくてはならなくなってきた。このためある魚の産卵、回遊、発育状況などを知り、管理された漁業が必要となりつつある。このような漁業環境情報を得るのにも DCS が期待されている。イルカや海亀の背中に小形の発振器を取付け、NIMBUS-6 人工衛星でこの電波を追跡することからイルカや海亀の回遊状況を知る実験も報告されている。このような DCS の利用をバイオテレメトリーともよんでいる。

一般に海象や気象の情報は時々刻々と変化するが広い海洋で考える場合は場所による変化は粗くなっているため、DCP を設置する場所間の間隔(メッシュ)は粗くてよいが観測周期を短くする必要がある。このため DCP は固定型から海流で流されるドリフティングブイ型がよい。漁業情報のように場所の情報は細く、観測周期は比

較的長くてよい(海流や海温は急激に変化しないとみられるため)場合に DCP ブイに帆を張ったエンジンを付けたりしたクルージング型がよいとされている。

DCS 海流に流されるドリフティングブイも有用と考へられている。に利用する人工衛星には地上から静止して見える静止衛星と、地球を周回して見える軌道衛星とがある。静止衛星は常時データが得られるが赤道上の約 3 万 8 千 km も遠くあるので DCP から送信する電力が大きくなり、高緯度海域では電波が届かなくなる。軌道衛星は約 km 数の高度を回るため、衛星が見通し距離に入ったときしか地上と連絡がとれないが、DCP の送信電力が小さくてすみ、広域のデータ収集ができるので漁業情報の収集に適している。

我が国が計画している海洋観測衛星は MOS シリーズとよばれるもので高度約 800 km の軌道衛星を計画している。表 3-1 に静止衛星と軌道衛星による DCS の一般的な比較表を示す。

海外で実用化している DCS の代表的システムがアルゴスシステム (ARGOS) でその概念図を図 3-1 に示す。CNES (フランス)、NASA (アメリカ) NOAA (アメリカ) の共同による中高度(約 1000 km)の軌道衛星で、100 分周期で地球を一周する。LDCS として利用され、

表 3-1 衛星の種類とシステムの特徴

使用衛星	システム機能	観測データ収集の特徴	位置測定の特徴
静止衛星	観測データ収集及び位置測定	<ul style="list-style-type: none"> 衛星は赤道上(約 36000 km)に静止しているため、視野範囲が広く、同一 DCP から連続したデータ収集ができる。ただし、極近くのデータは収集できない。 	<ul style="list-style-type: none"> 距離測定法では、衛星 2 個、距離差測定法では衛星 3 個が必要である。 衛星 1 個の場合はオメガ等他の位置測定システムを併用する必要がある。
	観測データ収集のみ	<ul style="list-style-type: none"> 衛星までの距離が長いので、電波伝搬損失が大きく、DCP 及び衛星の送信電力を大きくする必要がある。 	
中高度衛星	観測データ収集及び位置測定	<ul style="list-style-type: none"> 衛星は、中高度(約 1000 km)で地球上を周回しているため、視野範囲が狭く、同一 DCP からは間欠的(日本付近で 4~6 回/日)にしかデータ収集ができない。ただし、極軌道衛星ならば全地球上のデータが収集できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 本質的に生じるドップラー効果を利用すれば、簡単なシステムとなる。 位相測定等を行えば、位置測定精度は向上するがシステムは複雑になる。
	観測データ収集のみ	<ul style="list-style-type: none"> 衛星までの距離が短いので、電波伝搬損失が小さく、DCP 及び衛星の送信電力は小さくてよい。 	

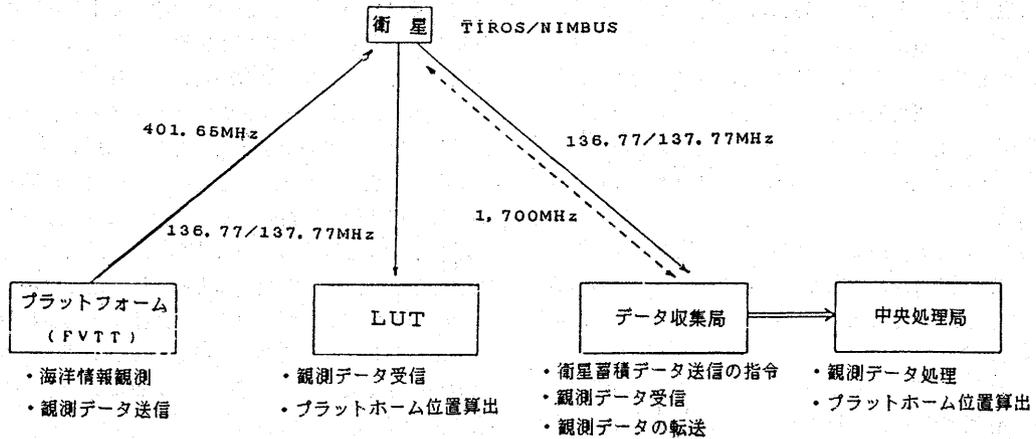


図 3-1 アルゴスシステム概念図

データ収集局で受信したデータは CNES 中央局で処理してユーザーに有料配布される。LUT とよぶ各地上局でも受信して利用することができる。データ収集方法は DCP から発射する電波を衛星を中継して地上で受信する方法がとられている。この方法だと DCP は送信機のみでよく小型、簡易化できるが確実に電波が届いたか否かの確認ができない。ランダム周期で間欠的に電波を発射するが、DCP の数が多いと他へ電波干渉を生ずる恐れがある。DCP の測位には電波のドップラー効果を利用するが、漁船の速い DCP は移動方向により測位誤差が大きくなるなどの欠点がある。

DCP の一つ一つに符号を付け、地上からの呼出しにより特定のプイのみが応答するシステムがコマンド型 DCS である。コマンド型では上記のランダム送信型の欠点は除けるが、DCP は送-受信機を持つ必要となり装置が高価になる。確実な回線設定ができるが、地上局、衛星、DCP が同時に見通し距離に入った時にしか通信回線が設定できないので利用区域が限定されるなどの欠点が生ずる。

我が国で打上げ計画を計画している MOS-1 は実験的性格を持つ衛星であるが MOS で DCS の基礎的な実験を行い、両システム間の優劣が比較検討され、さらに MOS-2 以降に実用化へ発展されることを水産関係者が期待している。

4. FVTT システム

1976 年に制定された米国漁業監理法および 1977 年のニュージーランドの領海及び排他的経済水域法により、これらの国々の 200 海里水域内で操業する外国漁船に DCS が強制搭載されることが見込まれるようになった。この船上 DCP を FVTT (Fishing Vessel Transmit

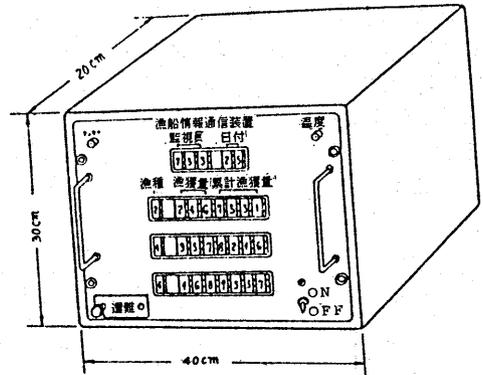


図 4-1 FVTT (漁船情報送信装置) 外観図

Terminal) とよび外国漁船の位置が強制的、自動的に主権国政府 (コーストガード、水産庁など) へ通報するシステムが義務化されつつある。図 4-1 にアメリカ製されシステム評価を行っている FVTT の外観図と表 4-1 に情報用スイッチの機能を示す。アルゴスシステムを利用して漁船の位置を計測するもので、送信機は封印され監視員以外は操作ができなくなっており、ランダム方式で電波を発射する。位置情報計測用の高安定電波と、気温情報を送信するが監視員が乗船したとき、漁獲量、魚種などの漁業情報も送信できる。

我が国の漁船にアメリカの FVFF が装備されるようになったときの問題点については「昭和 55 年度 DCS 調査検討委託事業報告書—水産電子協会」において検討された。

水産電子協会では引き続き DCS の検討を進めており、昭和 56 年度は我が国の周辺における漁船の LDCS について検討をすすめている。

表 4-1 情報用スイッチ

スイッチ名	用途
OP CODE (CODE)	監視員識別コード
DAY (DATE)	漁獲日 (報告日の前日), その月の日付
SPECIES (CODE)	漁獲名 (1~9) (3 桁, 0.1mT (メトリックトン) 単位)
CATCH	1 日の漁獲量 (3 桁, 0.1mT 単位)
CUM-CATCH	累計漁獲量 (4 桁, 0.1mT 単位)
SAR (EMERGENCY)	遭難救助
ON/OFF	電源切断

5. ま と め

DCS は漁業情報の収集のための有用な計測方法であり, DCS により得られたデータは漁業資源の調査と管理, 漁場の能率的な探索や漁船の動勢管理などに利用できる。さらに遭難漁船からの通報や位置計測なども DCS の応用の一つとみなすことができる。

アメリカ, フランスではアルゴシステムを用いる DCS は実用化段階に入りつつあるが, FVTT を除いては漁業専用システムとしてではなく, 海象, 気象のデータ収集用として利用されている。我が国で DCS を開発するうえで考えるべきことを列挙してみると

- (1) どの種類の DCP とするか (固定型, ドリフト型, クルーミング型) を漁業の目的によって決定する。
- (2) 簡易で安定したセンサーの開発をする。波浪, 振動などによる破損, 電源の寿命, 海中センサーに附着する貝類, 海藻の妨害なども問題となる。
- (3) DCP 通信機の簡易化。特にコマンド型の場合に問題となる。
- (4) DCS に利用できる衛星の決定。MOS シリーズの衛星が期待されている。

(5) DCP の数と有用区域の決定。FVTT とするときには多数のが集中的に分布しているので, 回線設定の信頼性, 他への電波干渉などを検討する。

(6) DCS の法的地位の解釈。DCS 局の法的性格, 取扱者の資格, 外国領海内への漂流など, 特に日本漁船に外国の FVTT が強制装備され, 外国の監視員により操作される場合の FVTT の性格など法的問題点。

(7) DCS の総合的開発の必要性。DCS を利用できる分野は漁業関係者のみでなく, 気象, 海象などの海洋観測, バイオテレメトリーによる生物学的利用, 海底火山, 地震などの地質的観測, 遭難救助, 各種の無人観測所 (ダム水位, 流水, 山崩れ, 火山監視) などの各方面の利用が期待されている。これらの利用間の調整により最も効果的な DCS システムを設計することみ経費や維持管理上から必要となると思われる。我が国の DCS については本格的な検討が初められたばかりであり, 今後基礎的な実験をすすめ実用化に近づけることが望まれている。特にリモートセンシングとは互に長所・短所を補って共に発展していくことが期待される。

慣性航法装置について

日本航空電子工業株式会社
航機事業部 技術部

高橋 健

The Introduction of Inertial Navigation System

Japan Aviation Electronics Industry, Ltd.

Takeshi TAKAHASHI

昨夏の大韓航空機の不幸な事件で、慣性航法装置 (Inertial Navigation System—以下 INS と略す) が航空機の重要な搭載品として、にわかに脚光を浴びるようになった。

ここでは INS について、その概要紹介を目的として述べる。

1. INS の基本原理

INS は次の物理法則をそのまま応用した、運動計測装置である。

- 加速度を時間で積分すると速度が得られる。

$$(v=at)$$

- 加速度を時間で2回積分すると距離が得られる。

$$(l=\frac{1}{2}at^2)$$

構成品として、加速度を計測するための加速度計、積分計算のためのコンピュータがまず必要であり、加速度計の方位、姿勢を維持するためにジャイロが必要である。

INS で機体の現在位置を求めるには、水平面内の直角 2 方向 (東西および南北方向) と鉛直方向の計 3 方向の加速度を検出し、これを 2 回積分して各方向の移動距離を算出してから、この値を既知の出発点の緯度、経度情報と組合せて演算処理することにより、現在位置が求められることになる。(図 1 参照)

前述した通り、INS は基本的には運動計測装置であっ

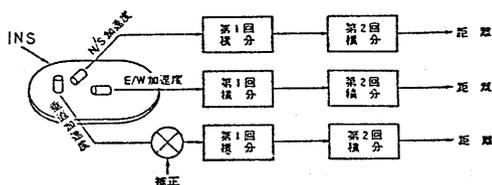


図 1 積分機構

て、既知点からの 3 次元移動量によって、現在位置を既知点に対して相対的に求める点、他の航法装置と全く異なる性格のものである。従って、当然のこと乍ら、初期位置情報は不可欠であり、且つ、その値に誤りがあれば、装置として正常に作動していても、INS は誤った現在位置情報を出力することになる。また、東西、南北、鉛直上下の局地直交 3 軸基準で加速度を計測するために基準軸は所定の方向に正しく向けられる必要があり、この初期設定 (アライメント) も同じく不可欠である。

さて、ここで述べている INS は地球上での航行に使用されるものであるから、それによって得られる情報は前述の局地直交 3 軸基準によるものでなければならない。ところが、ジャイロは本質的に慣性空間に於いて安定維持する特性を持つから、ジャイロによって基準軸を維持する INS を地球上での航行に使用するには、基準軸を局地直交 3 軸に合致させるために、以下の特別の補正考慮が必要となる。(図 2 参照)

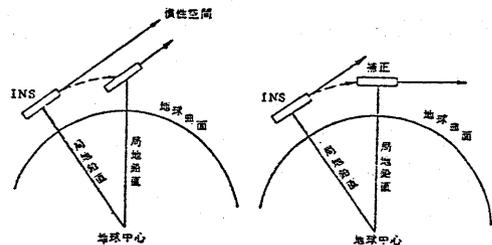


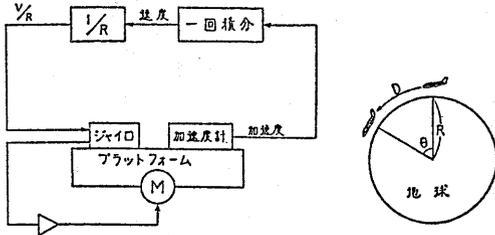
図 2 補正

(1) 地球自転補正

地球は周知の如く、南北軸まわりに約 15°/hr の角速度で自転しているため、この自転の現在位置に於ける各軸成分を補正量としてジャイロに加えてやることにより、局地直交 3 軸が維持できる。

(2) 移動角速度補正

地球表面上を、INSをとう載した機体が移動して行く場合、その移動は角度変化となる。従ってこの角度変化量を補正量としてジャイロに加えてやることにより、局地直交3軸が維持できる。(図3参照)



$$\theta = \frac{D}{R}$$

$$D = Vt$$

故に $\frac{\theta}{t} = \frac{D}{tR} = \frac{V}{R}$

t : 飛行時間
 V : 飛行速度
 D : 飛行距離
 R : 地球半径

図3 図2の補説

(3) 重力方向についての補正

地球は真球でなく、北、南極方向に押しつぶされた回転楕円体であるため、地球中心から見た緯度と、地理学上の緯度とは異なる。航法上使用するのは後者であるため、前者を後者に変更する補正が必要となる。(図4参照)

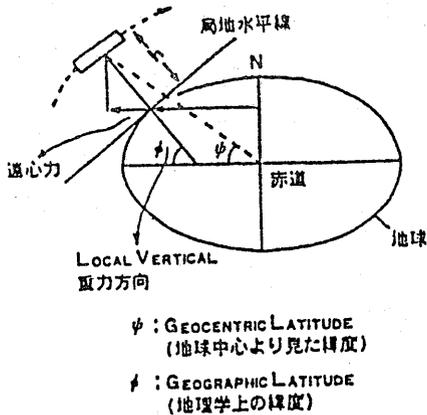


図4 重力方向について

(4) コリオリの補正

地球が慣性空間で回転しているために、慣性空間で計測した加速度 \vec{A} と地球上の加速度 \vec{A}_e との間には次の関係が成立する。

$$\vec{A} = \vec{A}_e + 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{R})$$

$\vec{\Omega}$: 地球自転角速度

\vec{V} : 地球上の移動速度

\vec{R} : 地球上の距離ベクトル

ここで、

第1項 — 地球上の加速度

第2項 — コリオリ加速度

第3項 — 遠心加速度

従って、航法計算のためには、第2, 3項を除く必要がある。

表1 INSの特徴

1. 自立航法である。
2. WORLD WIDE航法である。
3. 全天候運用能力を有する。
4. 航法データ(位置, 方位, 姿勢等)が連続出力である。
5. システム操作上, 専門ナビゲータが不要である。
6. 方位, 距離誤差が時間とともに累積され増加する。

2. INSの特徴

INSのおもな特徴を表1に示す。1項から5項はINSの長所であるが、それから派生する長所として電波航法(ロラン, オメガ, タカン航法システム等)と比較して以下のことが挙げられる。

- a. 地上での電波基準発信局などが不要である。
- b. 整備を含めた経済的な面で有利である。
- c. 運用地域に制限がない。
- d. 有事の際、電波の傍受性がない。

表1の6項の短所を補う方法としては、各種航法システムの長所を取り入れて短所を補う方式としてハイブリッドナビゲーションシステムである。この方式は航空機がとう載している各種の航法機器(INS, ドップラー, エアーデータ, ロラン, オメガ, 将来の, NAVSTAR-GPS等)から得られる航法情報を最適化処理して、高精度航法を可能とするもので、単独で位置, 速度, 姿勢等の各

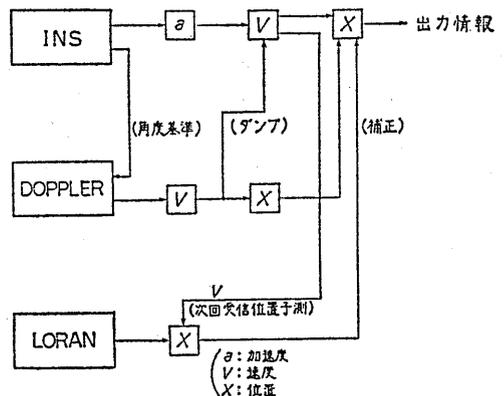


図5 ハイブリッドシステム例

情報がすべて得られる INS の信号を他の機器（誤差の発散しないもの）の信号を用いて精度向上をさせて使用するのが通常の方法である。

ここでは一例として INS とドップラーロランの結合システムを図5ハイブリッドシステム例に示す。

近い将来最も有望なハイブリッドシステムとしては GPS (Global Positioning Satellite) システムとのリンクがある。

3. INS の構造

INS の構造には大別して、プラットフォーム方式とストラップダウン方式の2方式である。この2方式の大きな違いは INS で局地水平面を設定する方法にある。図6からわかるように、プラットフォーム方式ではハードウェアによる方法、ストラップダウン方式ではソフトウェアによる方法が用いられている。

プラットフォーム方式は、プラットフォームにジャイロと加速度計が取り付けられており、ジャイロはプラットフォームの姿勢の微小変動を検出する角度センサであって、常にプラットフォームを局地水平に維持するように、3軸（東西、南北、鉛直方向）をコントロールする。

ストラップダウン方式は加速度計とジャイロが機体に直接取り付けられ、ジャイロは機体の姿勢角あるいは角速度を直接検出し、コンピュータにより座標変換を行い、ソフトウェア的にプラットフォーム機能をコンピュータ内に有している。つまり機体の角度を算出して、積分して速度や距離などの航法情報を得る。またこの方式

表2 システム機能比較

プラットフォーム方式	ストラップダウン方式
<ul style="list-style-type: none"> ・イナーシャルセンサーはジンバルにより機体より分離 ・姿勢基準信号はジンバル角より機械的に得られる ・基本出力信号 <ul style="list-style-type: none"> ・局地水平、垂直加速度 ・速度 ・—— ・姿勢角 ・位置 ・演算処理 ・航法計算 	<ul style="list-style-type: none"> ・イナーシャルセンサーは機体に固定 ・姿勢基準信号はジャイロ出力を演算処理して得られる ・基本出力信号 <ul style="list-style-type: none"> ・機軸加速度 ・速度 ・機軸ピッチ、ロール、ヨー角速度 ・姿勢角 ・位置 ・演算処理 ・航法計算 ・姿勢基準計算 ・座標変換計算

は表2システム機能比較に示すように、プラットフォーム方式では得られない情報を出力するので機能を拡張することができる。

2方式の特徴比較を表3に記す。ストラップダウン方式のほうが総じて有利であるが、今日までの実用 INS の主流はプラットフォーム方式となっている。というのもストラップダウン方式の INS には大きな難点が2つあった。一つはコンピュータの問題である。プラットフォーム方式と比べると座標変換計算能力が余分に必要であり、しかも高速で行わなければ計算誤差のため精度が得られないため、非常に高性能のコンピュータを必要としたのである。しかしコンピュータの進歩はめざましく、近年になってこの要求を達成しようとう載型小型のコンピュータが続々と出現し、この問題はまず解決され

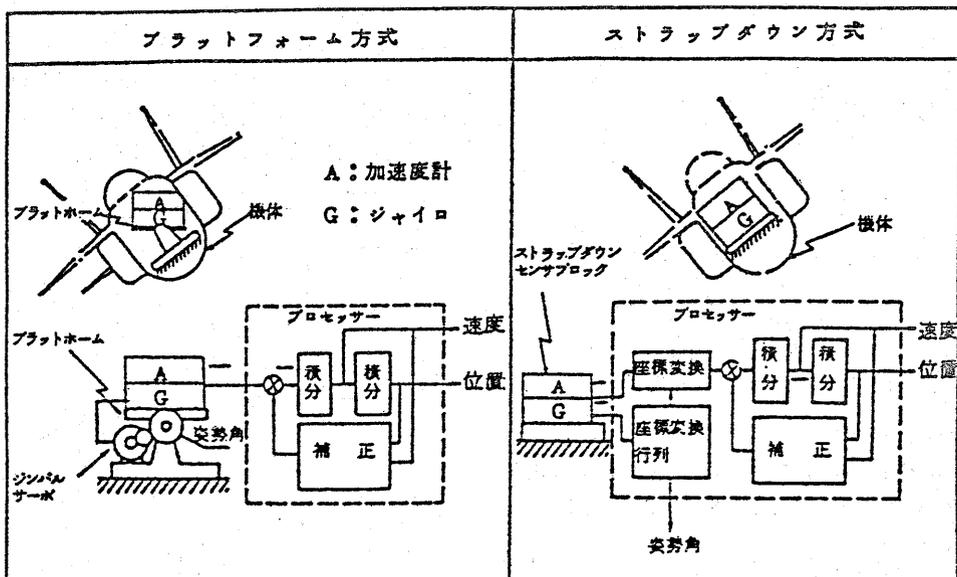


図 プラットフォーム方式/ストラップダウン方式 INS 機能比較

表3 特徴比較

方式	特 徴
プラットフォーム方式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 精度向上が容易である。 2. 必要な計算量が少ないため、コンピュータの処理能力(演算速度、メモリ容量等)が小さくて済む。 3. ジャイロの耐マニユーバ性の要求がゆるやかである。 4. ジンバル機構(水平面を維持する機構)というハードウェアが必要なため、信頼性、整備性の面で本質的に不利。
ストラップダウン方式	<ol style="list-style-type: none"> 1. コンピュータで座標変換を行うので、計算による誤差要素が付加される。 2. 必要な計算量が多く、コンピュータは大きな処理能力が必要。 3. 機体のダイナミックレンジに対する耐マニユーバ性が要求される。 4. ジンバル機構がないため、信頼性、整備性の面で有利である。 5. 機能拡張ができる。 6. 低コスト化、小型軽量化の追求が容易である。 <p>◎以下、レーザジャイロを使用した場合の付加される特徴を示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. リアクションタイムが短い。 8. Gによる影響がない。 9. ヒーターコントロールが不要である。 10. さらに信頼性が上がる。 11. 部品が少なく堅牢であり、長寿命である。 12. 即デジタル出力が可能である。

た。

もう一つの問題はコンピュータよりはるかに厄介なジャイロの問題であった。ストラップダウン方式のジャイロは機体に固定されているので、プラットフォーム方式の場合と異なり、機体に加わる広範囲な角度領域で、すぐれた角度精度を達成しなければならない。後述するように、在来型のジャイロではこの達成が本質的に極めて困難で、結局在来型のジャイロを使用して、プラットフォーム方式と同等の精度が得られる、ストラップダウン方式のINSは実現しなかった。

そこで登場したのが、在来型と全く異なる原理によるレーザジャイロ(正式にはリングレーザジャイロと呼ぶ)である。レーザジャイロを使用した場合、上述した問題を解決しただけではなく、表3の7項から12項の長所も付加されることになった。

その後、中精度(2~4nm/hr)低価格のストラップダウンINSには在来型のジャイロが採用される動きはあるものの、標準的な性能の1nm/hrレベルのストラップダウンINSについては現在開発中のものも含め、使用ジャイロは全てレーザジャイロである。このクラスについては、ストラップダウン方式に関する限り、レーザジャイロ使用が常識化した感がある。

レーザジャイロの実用化にメドがついた現在において、ストラップダウン方式のINSが今後実用化に加速度的に進むのは確実である。

4. INSの性能

INSの誤差源としては、個々の構成ハードウェア要素(ジャイロ、加速度計、コンピュータ、電子回路等)、その組み合わせ機構、使用環境の影響(温度、振動の衝撃等)、演算ソフトウェア等々、種々の要素があるが、特に精度に大きく影響する誤差要素としては、初期基準軸設定(アライメント)誤差、および、時間の経過と共に増大する、ジャイロと加速度計(就中ジャイロ)固有の誤差が挙げられる。ちなみに殆んどINSの場合、アライメントはジャイロと加速度計を用いて、外部基準によらず実行されるから、極論すれば、INSの精度はジャイロで決まると言って過言でない。

簡単な解析評価例として、ヘディングエラーおよびジャイロドリフトの速度、距離の誤差への影響を考えてみる。ヘディングエラーとは、局地水平面内でセンサーの入力軸の東西、南北からのずれを意味する。

これらの誤差関係式とヘディングエラーが0.2度の場合およびジャイロドリフトが0.01度/時の場合の速度誤差、距離誤差のグラフを表4に示す。

表4からそれらの特徴を列挙すると、

- a. 速度、距離誤差が時間の関数となっている。
- b. 速度誤差は発散せずに、周期をもって変化している。
- c. 距離誤差は時間とともに発散している。

などがあげられる。

一般に水平基準に用いられる重力振子は支持体の運動加速度によって地球の局地鉛直から見かけの重力方向に傾くが、運動加速度の影響を受けない唯一の振子があり、それはシュウラ振子と呼ばれる。シュウラ振子は振子の長さが地球の半径に等しいもので、約84分の周期を有し、おもりが地球の中心にあるため、支持点である地球表面上の運動体がいかなる加速度で運動していても、振子軸は局地重力の方向と一致している。実際にはこのような地球半径に等しい長さの振子はつくりえないが、これと同じ周期をもつ物理振子をINSがもっていると考えられる。(図7, 8参照)

INSの精度は通常、海里(nm)/時間を単位として、到達地点を中心とする円形誤差分布による統計値CEP(Circular Error Probability)で表示される。(CEPとは、誤差要素サンプルの50%を含む円を意味し、例えば、100回の使用中50回はその精度内に納まることを示す。

航空機用INSの場合、一般的精度としては、

- 位置誤差 1nm/時(CEP)
- 速度誤差 2.5ft/秒(RMS)

のレベルである。

表 4 誤差解析例

		ヘッディングエラーによる誤差	ジャイロドリフト誤差
基本誤差式	速度	$v(t) = \Omega \cos \lambda \cdot \theta \cdot R \left(1 - \cos \sqrt{\frac{g}{R}} t\right)$	$v(t) = DR \left(1 - \cos \sqrt{\frac{g}{R}} t\right)$
	距離	$l(t) = \Omega \cos \lambda \cdot \theta \cdot R \left(t - \sqrt{\frac{R}{g}} \sin \sqrt{\frac{g}{R}} t\right)$	$l(t) = DR \left(t - \sqrt{\frac{R}{g}} \sin \sqrt{\frac{g}{R}} t\right)$
パラメータ		Ω : 地球角速度 [rad/s] λ : 緯度 R : 地球半径 = 20926×10^3 [ft] g : 重力加速度 = 32.2 [ft/S ²] θ : ヘッディングエラー [°] D : ジャイロドリフト [rad/s] t : Nav time [sec]	

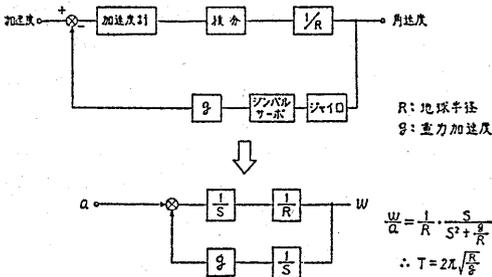
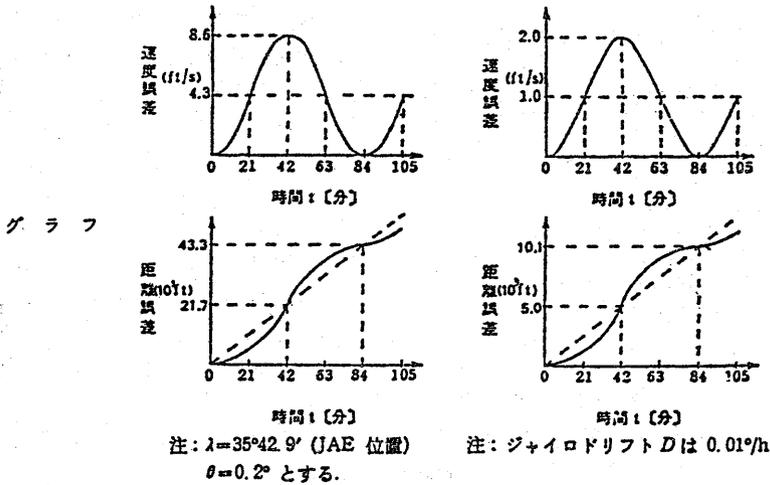


図 7 シューラチューニングサーボループ

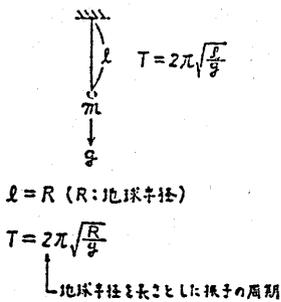


図 8 シューラの振子

5. INS の信頼性

とう載電子機器としての INS の信頼性向上に対する配慮は、基本的には電子機器と同様、

高信頼度部品使用

部品数低減

⋮

BITE によるモジュール故障判別

強制空冷による温度上昇防止

等に集約される。

ここで INS 内部の構成品で信頼性に最も大きく影響を及ぼすのは、性能同様、やはりジャイロである。特に在来型のジャイロは内部に高速回転するロータを持つため、電子部品に比べると格段に信頼性の低いものであり、基本的にソリッドステートセンサで、信頼性の高いレーザジャイロが歓迎されるのも1つにはこの点に起因する。また部品数低減の面で言えば、ストラップダウン方式ではジンバル機構が不要になり、これにともなってジンバルサーボ回路も削除できるから信頼性向上に大いにメリットがある。従って信頼性の面（さらには整備性

の面) から見ても、レーザジャイロ使用のストラップダウン INS の普及は極めて当然のことと言えよう。

INSの信頼性の定数的な向上の足跡としては、平均故障間隔時間 MTBF (Mean Time Between Failure) 値で見ると、小型軍用機用 INS の場合、

60年代前半	100~200時間
70年代	600~800時間
80年代	2000時間前後

と向上して来ている。80年代の数値のベースはレーザジャイロ使用のストラップダウン INS である。

なお、機体側から見れば INS 単体の信頼性は、長時間連続使用の点ではまだ不十分であるという判断で、エアラインの旅客機は複数の INS の装備による冗長使用を義務づけられている。

6. INS の構成主要素

INSの性能の鍵を握るジャイロと加速度計について述べる。

(1) ジャイロ

ジャイロの語源は、ラテン語の“回転するもの”という意味から来ている。従って、厳密に定義するなら、ジャイロと呼べるのは内部に回転体を持つものに限られるため、レーザジャイロはジャイロではなく、レーザレートセンサと言うべきかもしれない。ここでは、既に3章にて用いているように、内部に回転体を持つタイプのもを総称して、在来型ジャイロと呼び、まずこれについて述べる。

在来型ジャイロの基本的原理は、「一定角速度で回転する回転体はその回転軸を一定方向に維持する」ということである。ところで、もしこの回転軸を外力によって旋回させようとする、回転体は、その回転軸および外力による旋回軸のそれぞれに直交する、第3の軸まわりに角変位する。これをプレセッションと呼ぶ。

旋回外力(プレセッショントルク) T と、それによる旋回角度 w の間には、次の関係式が成立する。

$$T = H \times w$$

H : 回転体の角運動量

ここで、さらに

$$H = I \times w_0$$

I : 回転体の慣性モーメント

w_0 : 回転体の回転角速度

ところで上式は、厳密には次のようになる。

$$w = \frac{T + \Delta T_B + \Delta T_R}{H}$$

ΔT_B : バイアスエラートルク [安定]

ΔT_R : ランダムエラートルク [不安定]

ジャイロの性能は、 w の検出精度で決まるが、在来ジ

ャイロではそれはエラートルクと角運動量の大小による。また ΔT_B は安定値のため、システムレベルで補正(4章のキャリブレーション参照)が可能であるから、結局 ΔT_R をいかに小さく、且つ H をいかに大きくするかが、在来型ジャイロ性能向上の鍵となる。

在来型ジャイロの供要構成品としては、回転体(ロータ、通常電気駆動のためスピンモータと呼ぶ)、回転体のジャイロ筐体に対する相対変位を電氣的に検出するピックアップ、この相対変位を強制的に発生/キャンセルする電氣的トルクモータがある。但し、中には後で紹介する静電ジャイロのようにトルクモータを持たないものもある。

在来型ジャイロをプラットフォーム方式の INS に用いる場合には、ピックアップの出力がプラットフォームのジンバルを駆動するサーボモータへフィードバックされてジンバルを駆動することにより、ロータと、ジンバルに固定されたジャイロ筐体の相対変位を間接的に元の状態(ゼロ)に戻す。従って、ジンバルはジャイロによって安定維持される。

次に、在来型ジャイロをストラップダウン方式の INS に用いる場合には、ピックアップの出力はトルクモータへフィードバックされ、ロータと機体に固定されたジャイロ筐体の相対変位を直接的に元の状態(ゼロ)に戻す。即ちプレセッションをトルクモータによって強制的にキャンセルすることになる。

さて、前述したように、ジャイロの性能面から見れば、角運動量の大きい方が望ましいが、 H を大きくするとストラップダウン用としては困ることがある。というのも航空機の旋回角速度は $60 \sim 300^\circ/\text{sec}$ とかなり大きいから、プレセッショントルクも大きく、結果としてジャイロのトルクモータに大トルキング能力が必要となる。しかもこの場合、トルクモータに流れる電流値を測定して、旋回角速度を求めるので、トルクモータの電氣的特性(直線性、再現性等)が広い入力レンジに亘って要求されることになる。そして H と T は比例するから、 H を大きくするとこれらの要求はさらに増大することになる。

これが、3章で述べた、ストラップダウン方式 INS 用の在来型ジャイロの実現が非常に難しいというより不可能とされている理由である。その点、プラットフォーム方式 INS 用の在来型ジャイロではトルクモータの用途は前出の地球自転補正、移動角速度補正、 ΔT_B 補正等、いずれもトルク量として小さな値で十分なので、 H を大きくすることは比較的容易であるため、これまでいくつものジャイロが実現している。

それでは、在来型ジャイロのいくつかの典型例について紹介する。

(a) 積分ジャイロ (Floated Rate Integrating Gyro =FRIG)

積分ジャイロの概念図を次に示す。(図9参照)

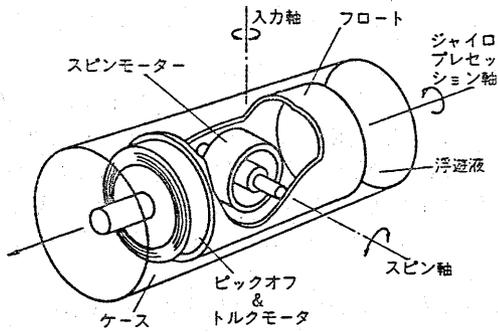


図9 積分ジャイロの概念図

入力軸まわりにジャイロ全体を旋回させる外力がはいると、それに対応して、スピンモータを収めたフロートがジャイロケースに対してプレセッション軸まわりに回転する。回転時の軸受摩擦を低減するために、軸受にはピボットと宝石を使用し、フロートは浮遊中に中立に浮かせている。

この回転角度は、ピックアップによって電気信号として検出され、プラットフォーム方式の場合には、この信号がジンバルを駆動するサーボモータへフィードバックされてジンバルを駆動することにより、ジャイロのフロートをジャイロケースに対して元の位置(ゼロ位置)へ戻すようにする。

次に述べるドライジャイロに比べると、割高ではあるが、耐環境性に優れ、よる高精度を得やすい長所を有する。

航空機 INS における使用例としては B-747 旅客機用の Carousel IV システム (ARINC-561 対応) や、TORNADP 戦闘機用の FIN-1010 システムが代表的なものである。

(b) ドライジャイロ (Tuned Dry Gyro=TDG)

ドライジャイロの概念図を次に示す。(図10参照)

回転部(ロータ)とこれを駆動するモータ部は一種のユニバーサルジョイント(フレクシャヒンジ——たわみバネを2つ組み合わせたもの)で結ばれ、ロータはモータ部を固定したジャイロケースに拘束されず、その回転軸を一定の方向に保つことができる。

積分ジャイロと比べると、1nm/hr 対応精度レベルでは、

- 2軸自由度のジャイロで同時に2軸の角度が測れるため、INSには2個のジャイロが済む
- 部品点数が少なく済むため、本質的により高信頼性、低価格性が期待できる。

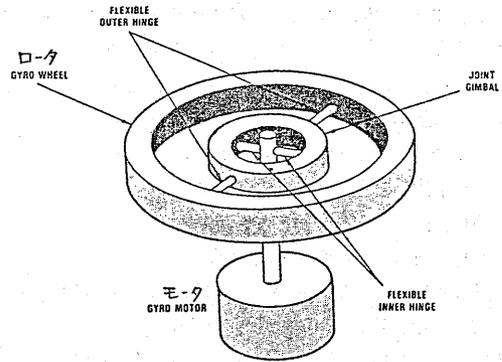


図10

という利点があるため、弱点とされる耐環境性カバーし易い、プラットフォーム方式 INS に非常に普及しつつあり、主な使用例としては、F-10 戦闘機用の LN-31 システム、VIGGEN 戦闘機用の SKN-2000 システム、旅客機用の LTN-72 システム (ARINC-561 対応) などがある。

(c) 静電ジャイロ (Electrostatic Suspension Gyro=ESG)

静電ジャイロの概念図を次に示す。(図11参照)

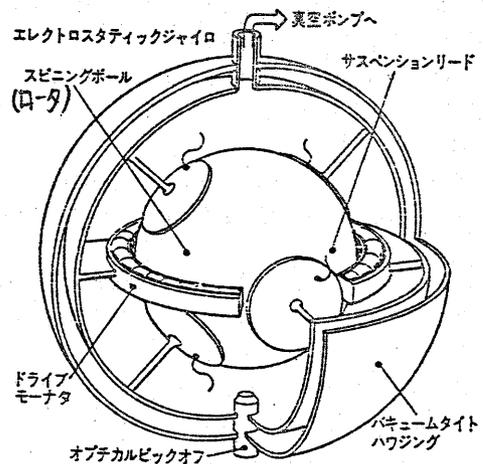


図11 静電式サスペンションジャイロ

回転部(ロータ)は完全な金属球で、これが真空中で静電磁場によって無接触支持され、FRIG や TDG より1桁上回る超高速回転(例えば、200,000 rpm 以上)する。従って、 w_0 を大きくできるため、 H が大きくなり且つ、軸受摩擦等のエラートルクがないことから、本質的に極めて高精度な2軸自由度ジャイロである。反面、静電支持の故に、TDG よりさらに耐環境条件が劣るので ESG 補正のプラットフォーム方式 INS の用途としては、環境条件が緩かで、しかも長時間高精度が必

要なものが望ましい。ということからも推察されるように、主な使用例は、航空機では B-52 爆撃機用の SPN/GEANS システム、そして米海軍の原子力潜水艦にも使用されていると言われる。

さて、以上に在来型ジャイロの代表 8 種について述べたが、続いて、INS 用の非在来型ジャイロの代表的なものとして、レーザジャイロを紹介する。

(d) レーザジャイロ (Ring Laser Gyro=RLG)

回転運動をする系に対して、その運動に沿って一回りする光と、その反対の向きに一回りする光とを比較すると、前者は光路長が少し長く、後者は短くなる傾向がある。そこで、リング型の干渉計では、時計回り (CW) と反時計回り (CCW) の光を重ね合わせると干渉縞が見られるが、回転速度の大きさと向きとによって、干渉縞の移動量とその方向とが決定される。これを SAGNAC 干渉計と呼び、レーザジャイロはこの原理によるものである。

レーザジャイロの概念図を上に表示。(図 12 参照)

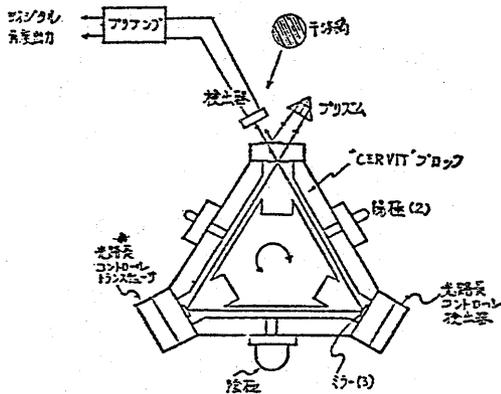


図 12 レーザジャイロ概念図

レーザジャイロは三角形の各頂点に置かれた鏡でレーザー光ループに沿い、CW と CCW に進むレーザー光を放射する。

光ループ面に直光する角速度 (Ω) が加わると Ω と同方向に進むレーザー光に対して光路が長くなり、他方向 Ω と反対方向に進むレーザー光に対しては光路が短くなる。その結果として、CW と CCW に回転するレーザー光に振動数差 ($4V$) が現われ、これは下式に示すように入力角速度に比例する

$$4V = \frac{4 \times S}{l \times \lambda} \times \Omega$$

ただし、

- $4V$: 振動数差
- S : 光ループ内の面積
- Ω : 入力角速度

l : 光路長

λ : レーザ光の波長

この $4V$ を 2 方向のレーザー光によって生じる干渉縞の周波数として計測し、ジャイロの入力角速度を検知する。

しかし低い入力角速度に対しては両方向のレーザー光が同一周波数で共振するように互いに引き合い、その結果振動数差 ($4V$) がなくなる“ロックイン”現象を生じるため、角速度の検知が不可能となる。これを防止する方法として回転ディザーを与える方法がある。

在来ジャイロに比べて、レーザジャイロの長所は色々あるが、その中でも、

- ソリッドステート型で外乱に強い。
- 直接デジタル出力が得られる。

などは使用する者にとって特に魅力ある点である。最近になってようやく、実用品として採用が始まり、主な使用例としては、B-757/767 機用の YG 1199 システム、A-310 型機用の LTN システム (共に ARINC 704 対応)、F-20 戦闘機用の H-423 システム (米空軍 F³ 対応) などが実績を固めつつある。

なお、同じく SAGNAC 効果を応用したジャイロとしては、ファイバージャイロ (Fiber Optic Gyro) があるが、世界的に見こまだ開発途上であり、INS として必要な精度も未達成であるため、ここでは言及しない。(本質的に、INS クラスの高精度指向のジャイロであるか否かについても、各界でまだ意見が分かれている現状である。)

(2) 加速度計

INS に使用される加速度計は、すべてサーボ形加速度計であるといつてよい。そのサーボ形加速度計の原理は、次のニュートンの運動の第 2 法則によるものである。

$$F = m \times a$$

m : 運動体の重量

a : 加速度

F : 力

すなわち、加速度計内で錘 (ペンデュラム) を適当な方法で支持し、その変位を検出するピックアップと、錘を強制変位させるトルクモータ間にフィードバックループを組むことにより、加速度入力に対応してトルクモータに発生する力に比例する電流信号が、加速度信号として得られることになる。

(注) 実際には、支持点と錘の位置関係から、次の関係式による。

$$T = P \times a \quad (P = m \times l)$$

P : ペンデュロシティ

l : 支持点/錘間の腕長

T: トルク

ジャイロの角運動量と同様、加速度計も錘のペンデュロシティを大きくすれば、エラー要素の性能への影響も少なくすることができるが、ジャイロよりさらに、寸法、重量の制約がきびしいため、むしろエラー要素そのものの減少に非常に神経を使っている。そのひとつの結果がヒンジ方式の錘支持で可る。

この方式は、それまでよく用いられたジャイロと同じピボット宝石軸受方式と異なり、摩擦の影響が無視できるという大きな利点があるため、最近の高精度加速度計には広く採用されている。ただし、ヒンジの加工は大変で、一例を挙げれば、直径 3mm の丸棒に勝月状断面の切欠加工を行なって、最薄部の肉厚を 15 μ m 程度に仕上げているものがある。

加速度計の性能も、ジャイロと同様、バイアスエラー量の多少で評価されるが、バイアスエラーとはバイアス量の安定度を意味し、高精度加速度計の場合には大体 1×10^{-4} g 以下が常識的なレベルである。

ヒンジ方式の(サーボ形)加速度計の概念図を右に示す。(図 13 参照)

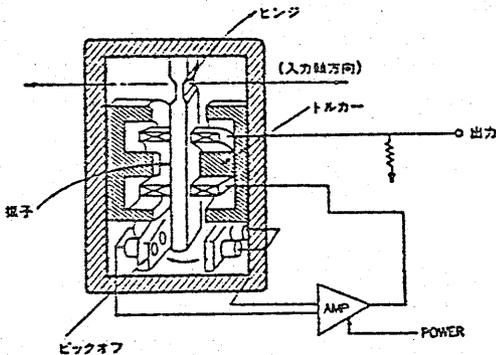


図 13 加速度計概念図

7. 航空機用 INS の標準化

現在まで幾種類もの INS が開発され運用されている状況にあって、INS の標準化が進んでいる。標準化された INS メーカーのいかんを問わず置換可能であり、運用上、整備上非常に効率化が図られるメリットがある。

すでに民間機用 INS については、ARINC (Aeronautical Radio Inc.) 規格が確立運用されており、プラットフォーム方式を対象とする ARINC-561, 571 に、最近ストラップダウン方式を対象とする ARINC-704 が追加された。

ARINC-561 AIR TRANSPORT INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

ARINC-571 INERTIAL SENSOR SYSTEM

ARINC-704 INERTIAL REFERENCE SYSTEM

これらはいずれも機体および関連機器とのインターフェースを詳細に規定しており、同一規格品ならば、他メーカー製品でも完全な互換性を有する。

従って、エアライン各社の中には、経済性の理由で、より安価で信頼性、製備性の向上した新型の INS に換装するケースがある。冒頭に触れた、大韓航空機の場合も、本来 B-747 の標準装備品である Delco 社の INS でなく、Litton 社の INS を装備していたという報道があった。

一方、従来比較的標準化の動きが少なかった軍用機用 INS の分野でも、現在約 30 種以上の INS を運用中の米空軍において、最近標準化計画が急速に推進されつつある。これはスタンダード INS、通称 F³ (Form, Fit & Function) 計画と呼ばれるもので機体取付け上の機械的インターフェースおよび外部機器との電気的インターフェース (MIL-STD-1553 マルチデータバス) を統一し、標準性能要求を設定して、INS の効率的、経済的運用を図ろうとするもので、ENAC 77-1 という仕様による。この最初の対象となった機体は攻撃機 A-10 で、その後 F-16, F-4 等も同対象に予定されている。同じような計画は米海軍にもあり、当面、海軍用 F-18 と海兵隊用 AV-8B の INS が共通化される予定とのことである。

8. INS の現況および将来予測

現在、世界で運用中および運用開始間近の航空機用 INS の代表例を表 5 に示す。一見して民間機用の INS が非常に少ない印象を受けるが、これは実際比率的にも民間機用が少ない上に、加えて民間機用の場合前述のように標準化が進んでいるため、機体固有の専用 INS 装備のケースがきわめて少なくなり、相乗的にさらにその印象が強いつているのである。

表 5 の国内の現状では、国産量産品の現状を示してあり、いずれも自衛隊機用で J/ASN-1 は英国フェランティ社と、LNN-12, LN-31, LTN-72 は米国リットン社との技術提携によるものである。

表 5 から明らかなように、これまでの INS はプラットフォーム方式全盛であったが、いよいよストラップダウン方式が実用化へ踏み出してきた、今後は表 3 で前述した、両方式の特徴に基づき長距離高精度/短距離中精度のミッションに対応する方式の 2 元化が急速に進むものと思われる。特にストラップダウン方式については前述したようなレーザジャイロを用いたものが ARINC-704 対応で、新型旅客機の分野で、片や異国ボーイング社の B-757/767 に、また欧州エアバス社の A-310 にそれぞれ標準装備され、ここ数年のうちには、レーザジャイロによるストラップダウン方式慣性基準装置 (注:

表 5 慣性航法装置の現状 (海外/内国)

海外の現状				国内の現状			
機種	方式	メーカー	機種・性能	機種	方式	メーカー	機種・性能
F-4	P/F.FG	リットン	LN-12 INS 3NM/HR (CEP _{90%})	F-4EJ	P/F.FG	東芝	LN-12D INS 3NM/HR
A-7	P/F.TDG	シンガー	KT-73 INS 1NM/HR	F-1	P/F.FRIG	航空電子	J/ASN-1INS 1NM/HR
F-14	P/F.FG	リットン	LN-15 INS 1NM/HR	F-15	P/F.TDG	東芝	LN-31 INS 1NM/HR
F-15	P/F.TDG	リットン	LN-31 INS 1NM/HR	F-3C	P/F.TDG	東芝	LTN-72 INS 1NM/HR
F-16	P/F.TDG	シンガー	SKN-2416 INS 1NM/HR	XT-4	S/D.RLG	航空電子 (東芝)	AIRS
VIGGEN	P/F.TDG	シンガー	SKN-2600 INS 1NM/HR				
MIRAGE 2000	P/F.TDG	ダシム	ULISS-52 INS 1NM/HR				
TORNADO	P/F.FRIG	フィンランド	FIN-1010 INS 1NM/HR				
SEA HARRIER	P/F.TDG	ダシム	NAVHARS INS 1NM/HR				
F-20	S/D.RLG	ハネカール	II-423 INS 1NM/HR				
F-3C	P/F.TDG	リットン	LTN-72 INS 1NM/HR				
B-52	P/F.ESG	ハネカール	SPN/GEANS INS 0.1NM/HR				
B-747	P/F.FRIG	チカ	CAROUSEL INS 1NM/HR				
B-757/767	B/D.RLG	ハネカール	YG-1199 IRS 1NM/HR				
A-310	S/D.RLG	リットン	LTN-90 IRS 1NM/HR				

機能拡張のため、INS と区別する意味で IRS=Inertial Reference System と称する) の装備も常識化することであろう。

以上で、INSについての概要説明を終る。読者各位がINSを理解される上で、幾分なりともお役に立てば幸いです。

参 考 文 献

- 1) 高橋 健, 古川 孝: 慣性航法装置の概要, 日本航空宇宙学会誌, 第 31 巻, 第 353 号 (1983), pp. 276-284
- 2) 金井 昭, 太原雅彦, 早川義彰, 長瀬裕光: 姿勢センサ, 日本航空宇宙学会誌, 第 30 巻, 第 336 号 (1982), pp. 15-25

- 3) Schmidt, J. N.: Similarities Between Classical Celestial Navigation and Electrostatic Gyro Navigation, Navigation, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 26, No. 3, Fall 1979, pp. 203-218
- 4) Daniel, H. L. and Hulslander, D. B.: Standard INS Program Status, Navigation, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 27, No. 1, Spring 1980 pp. 65-71
- 5) SAGEM: New Generation Avionics at SAGEM, May 1982
- 6) Kuritsky, Morris, M. and Goldstein, Murray, S.: Inertial Navigation, Proceedings of the IEEE, Vol. 71, No. 10, October 1983, pp. 1156-1176
- 7) 高橋 健: ロケット誘導機器と精度, 宇宙開発と設計技術 (大河出版), pp. 126-137

新製品紹介

Introduction of New Products

運航データ管理システム

日本無線株式会社 開発部
大協利清

Fleet Data Management System (FDMS)

Japan Radio Co., Ltd.
Research & Development Department
Toshikiyo OHWAKI

今後、船舶の運航には陸上支援を欠くことは出来なくなってくる。船舶自体の省エネ・省人もさることながら、陸上本社を含めての総合効率化、すなわち陸上オフィスを含めた観点から船陸総合コストダウンであり、また陸上オフィスの省人化も併せて達せられなければならない。この点から、船舶は経済活動としての輸送システムの中の海上におけるサブシステムである。輸送システムの運営は各船会社によって、それぞれ異なっているだろうが船陸間の通信は運営に不可欠なものと考えられる。

近時、衛星通信が導入されリアルタイムで品質の良い通信が可能となった。世界における海事衛星船舶地球局は 2000 隻に垂んとしており、単なる在来の通信を脱した新しい利用の仕方が、上述の船陸一体化総合効率化の観点から考えられるべきと思われる。

ここで紹介する FDMS は海事衛星通信システムを活用して船陸間相互の情報の伝送と管理を迅速に、しかも組織的に行ない、安全で効率的な海国輸送に役立てて戴こうとするシステムである。

本システムの全体利用構成を第 1 図に示してある。この図中の写真が ODP (Onboard Data Processor) というここで紹介する本システムの主役である。ODP へは船内での各種データ、例えば NNSS、ロランなどからの測位データ、機関ログからのデータ、気海象データなどがオンラインで入力され、更にキーボードからの入手による船用品の消費内訳入力も出来る。ODP は海事船舶局へ接続されており、必要に応じて陸上オフィスへ前述データなどが伝送される。また逆に陸上オフィスからのデータの入力も無論可能で、例えば行先変更、乗員付代

などが衛星経由で ODP へ入力され、表示される。ODP 内にストアされている業務の変更や追加も陸上オフィスより衛星経由ダウンロードさせることが出来る。

船上装置 (ODP) は基本的に MPU, ROM, RAM, TCI (テレックスチャネルとのインターフェース), CRT, プリンタ, キーボード, SDI (各種船内ハードウェアから信号を取込むインターフェース) などから構成されている。

ソフトウェアのシステムプログラムはタスクのスケジュールソングやコーディネートをこなすマルチタスク OS, タスクの i/o 要求をデバイス毎に振り分けるデバイスドライバ, 外部磁気バルブ記憶装置のファイル管理を行なうファイルタスク, MBM の初期設定・削除などを行なうファイルマーティリティタスク, ODP の基本ハードのテストを行なうテストプログラムなどから構成されている。

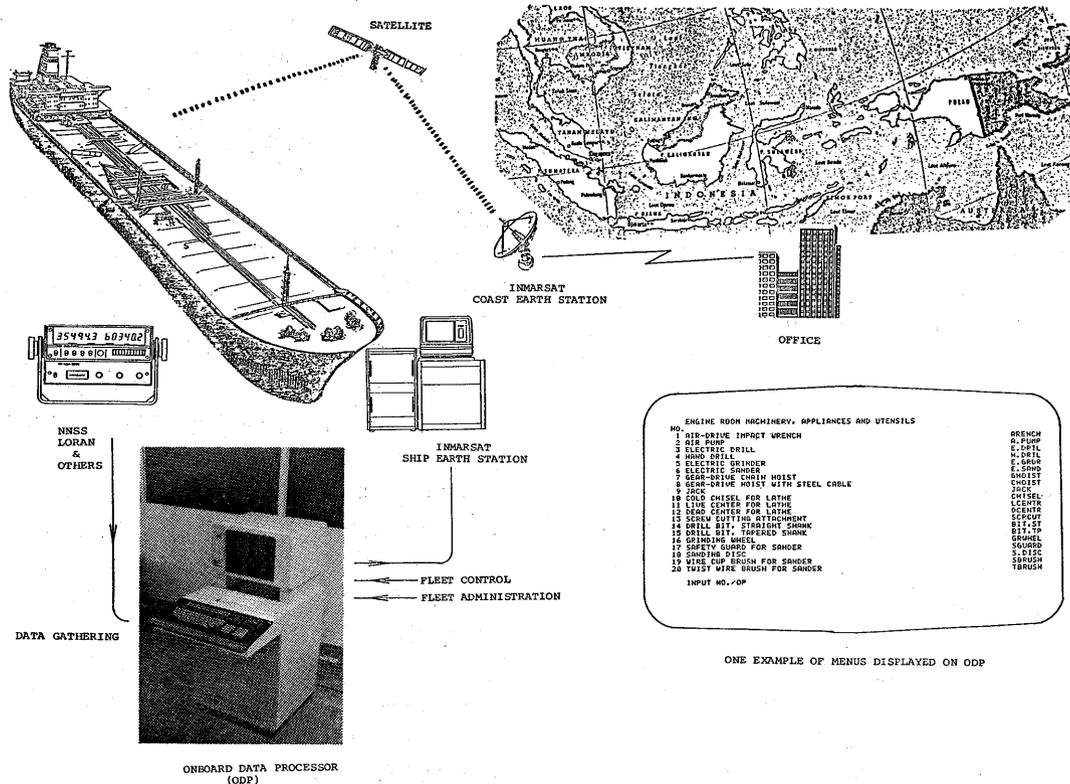
アプリケーションプログラムとしては、スーパーバイザサブシステム, コミュニケーションサブシステム, データエントリサブシステムから成っている。

スーパーバイザは、スプラー, ハードコピー, 時刻の様なディスクリットな入力に対する各処理のスケジュールリング, 選択されたメニューにより各業務プログラムの起動, 変更・追加業務のダウンロード処理などを行なう。

コミュニケーションは、船内ハードウェアとのやりとり, 各アプリケーションサブシステムと海事船舶局との from/to を実施する。

データエントリは、CRT を介して、オペレータがデータの入力を行ない、そのデータの編集などを行なう。

以上の様な構成のシステムを用い船陸間で授受される



第1図 BASIC CONCEPT OF FLEET MANAGEMENT SYSTEM (FMS)

情報は、各海運会社の運航形態と運航管理によって変わってくることは当然と思われる。この ODP では、これらを踏えて下記のような情報内容を準備している。

- 1) 運航情報 (航海計画, 船舶動勢等)
- 2) 船体・機関情報 (稼働状況, 燃料・潤滑油残量, 損傷報告等)
- 3) 気象・海象情報 (ウェザールーティング等)
- 4) 港湾・航路情報 (港湾事情, 港湾施設利用, 航行警報等)
- 5) 積荷情報 (荷役情報, 積付プラン, タンク状況等)
- 6) 補給情報 (水・油補給情報, 備品・船用品, 修理手配等)
- 7) 保守作業情報 (入梁工事情報, 保守作業指示等)
- 8) 会計情報 (給与, 港費報告等)
- 9) 医事情報 (患者処置問合せ等)
- 10) 救難情報 (遭難報告, 事故報告等)
- 11) 乗組員情報 (乗員私信, 交代情報, 社内情報等)

12) 日誌 (アブログ等)

13) 漁撈情報 (漁場, 魚種, 魚価情報等)

ODP を中核とした本システムは、以上のことから、MT 交換を一步進めた形のものである。船上の ODP は陸上オフィス内のコンピュータシステムの一端末として作動し、陸上 OA の一環に船団を組み入れることとなるのである。このシステムでは陸上コンピュータと船上コンピュータの通信が行なわれることとなり、また ODP で船内の各種データを圧縮できるので回線の利用コストを下げる事ができる。また自動通信であるため、船陸間の時差を考慮せずに船陸一体とした運用ができる。更に業務の改変が陸上より船内 ODP へ直直ダウンロードすることができ会社全体の業務を全般に直ちに連絡し統合することができる。

今後この高品質通信・即時性を基にし、陸上 OA につながった船団の運航は必要性を夙に高めてくると考えられる。

電波航法研究会 昭和 57 年度事業報告

電波航法研究会事務局

総 会

昭和 57 年度総会は昭和 57 年 5 月 17 日 14 時から、海上保安庁第一会議室で開催された。出席者 51 名、委任状提出者 42 名で、当会規約第 10 条第 4 項により本総会は成立した。

各議題の審議結果は次のとおりであった。

1. 昭和 56 年度事業報告が事務局により行われ、承認された。
2. 昭和 56 年度会計報告が会計幹事より行われ、会計監査森川卓氏、(書面)倉繁貴志子氏の監査報告が承認された。
3. 昭和 57 年度会長、副会長の選出は満場一致で会長に庄司和民氏(再)が、副会長には木村小一氏(再)鈴木裕氏(再)が選出された。また、各幹事の委嘱については原案どおり了承された。
4. 昭和 57 年度予算案について、会計幹事より説明が行われ、原案どおり承認された。

研 究 会

1. 昭和 57 年度第 1 回研究会は、昭和 57 年 5 月 17 日、海上保安庁第一会議室で総会に引続いて開催され、日本無線株式会社 社友 津田清一氏の「揺籃期の日本のレーダ」、芝浦工業大学教授 柳井久義氏の「40 年の研究生生活をふりかえって」と題する講演が行われた。

出席者は 48 名であった。

2. 第 2 回研究会は、昭和 57 年 8 月 30 日、海上保安庁第一会議室において開催され東陽通商株式会社 大八木敏夫氏の「Sea Floor Mapping システムについて」、日本無線株式会社 沖野陸郎氏の「グラフィックソナー(マルチビームソナー)について」、沖電気工業株式会社 海法宇治氏の「超音波水中映像装置について」と題する講演が行われた。

出席者は 48 名であった。

3. 第 3 回研究会は、昭和 57 年 10 月 4 日、海上保安庁第一会議室において開催され、電子航法研究所 西周次及び株式会社北辰電機製作所 木村小一氏の「衛星を利用した捜索救難システムについて」、電波研究所 高橋耕三氏の「周波数拡散方式を用いた衛星 EPIRB について」、電子航法研究所 石出明氏の「電子航法研究所の EPIRB について」と題する講演がそれぞれ行われ、また、映画「海と空の間で(海事衛星の世界)」

が上映された。

出席者は 63 名であった。

4. 第 4 回研究会は、昭和 57 年 12 月 3 日、海上保安庁第一会議室において開催され、電波研究所 吉村和幸氏の「VLBI と日米共同実験」、電波監理局 立野敏氏の「宇宙開発について」と題する講演がそれぞれ行われ、また、映画「実用衛星時代への道を開く」及び「測地衛星への道」が上映された。

出席者は 45 名であった。

5. 第 5 回研究会は、昭和 58 年 2 月 7 日、海上保安庁第一会議室において開催され東京商船大学 飯島幸人氏の「ISSOA 82 に出席して」、三菱重工業株式会社 岡野益弘氏の「ブリッジシステムの将来動向について」、株式会社 北辰電機製作所木村小一氏「国際航法学会に出席して」と題する講演が行われた。

出席者は 40 名であった。

6. 第 6 回研究会は、昭和 58 年 3 月 14 日、海上保安庁第一会議室において開催され東京水産大学 鈴木裕氏の「電子機器の磁気コンパス安全距離について」、三菱重工業株式会社 原泰徳氏の「CGI を用いた操船シミュレータについて」、東京商船大学 飯島幸人氏の「ISO のブリッジレイアウトと機器配置の基準」と題する講演が行われた。

出席者は 43 名であった。

見学会、特別研究会

昭和 57 年度見学会、特別研究会は、昭和 57 年 10 月 22 日、長野県南佐久郡野辺山高原「野辺山宇宙電波観測所」において開催され、東京大学教授 森本雅樹氏の「電波天文学」の解説及び同所の見学を実施した。

参加者は 21 名であった。

専 門 部 会

1. 船舶用衝突防止装置の技術基準に関する専門部会
IMO で決議された衝突予防援助装置性能基準に対応する研究を行うことを目的とし、昭和 56 年度に引き続き運営委員会(委員長 鈴木裕氏以下 10 名)により、昭和 57 年 11 月 5 日検討を開催した。この結果、同装置の基準作りは、運輸省においてすでに先行中であり当初の予定を変更し、利用者のための「マニュアル」を作成することとなった。現在各社の製品の取扱説明書を取り寄せ運営委員会において原案を作成中である。

2. 固定周波数レーダビーコン受信装置に関する専門部会

昭和 57 年度は、専門部会員（部会長 飯島幸人氏以下 10 名）の選出を行い、現在事務局において資料を収集整理中しである。

幹事会

企画及び編集幹事会は、合同で昭和 57 年 5 月 17 日、8 月 30 日、12 月 3 日及び昭和 58 年 3 月 14 日に開催され、予算案、事業計画、研究テーマ、専門部会の運営、行事計画及び会誌「電波航法」の編集刊行等について審議が行われた。

会誌発行

会誌「電波航法」第 29 号を 3 月に発行した。

会員数

昭和 58 年 4 月 1 日現在

正会員 40 社 93 口

個人会員 20 人

推薦会員 11 人

特別会員 37 人

なお、芝浦工業大学教授 柳井久義氏が推薦会員として推挙された。また、当会初代会長 古賀逸策氏（推薦会員）は死去された。

電波航法研究会 昭和 57 年度会計報告

収入			支出		
項目	金額 (円)	摘要	項目	金額 (円)	摘要
前年度より繰越	310,939		会議費	150,600	研究会, 幹事会 6 回
会費	1,142,000	法人 93 口 × 12,000 円 = 1,116,000 円 個人 13 口 × 2,000 円 = 26,000 円	資料費	0	
雑収入	35,750	会誌販売等	会誌出版費	626,879	第 29 号
広告料	81,000	会誌第 29 号	事務費	94,810	
銀行利子	6,314		編集費	20,000	
計	1,576,003		会計費	20,000	
			謝金	69,000	
			通信交通費	70,800	
			雑費	14,200	特別研究会補助
			次年度へ繰越	509,714	
			計	1,576,003	

電波航法 — ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW —

昭和 59 年 3 月 10 日 印刷 1984

昭和 59 年 3 月 15 日 発行 No. 30

編集 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 運輸省 9 階

発行 海上保安庁灯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 東京都新宿区早稲田鶴巻町 251 啓文ビル

(有) 啓文堂 松本印刷

豊かな情報を、見やすく
正確に伝える

コデンのカラーレーダ

- フールドなしで
どこでも見られます
- 他船や港に近づくと警報の
でる自動監視
- 他船や港の距離と方向を正確
に測定する電子マーカ
- 他船の進路と相対スピードを
自動的にプロット
- 電子ジャイロ内蔵
- 郵政省型式認定・米国FCC
検定に合格

KODEN



MDC-430/431

株式会社 **光電製作所**

本社 〒141 東京都品川区上大崎2-10-45 TEL 03-441-1131(代)

産業・海用エレクトロニクス
各種コンピュータシステム・周辺機器

コミュニケーション空間の限りなき革新をめざし

営業品目

■機 器

無線応用・航法援助機器
無線通信装置
電子応用装置
事務機・OA関連機器

■電源装置

放送通信機器用
電力プラント用
鉄道関係用
事務機器用

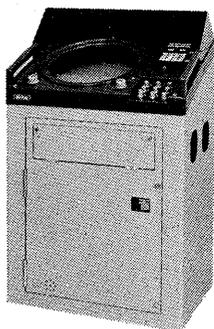
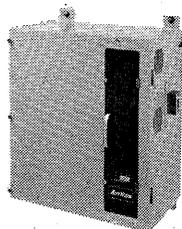
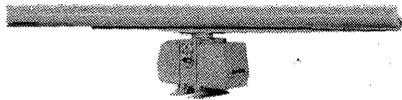
■部 品

コンデンサ、トランス
ラインフィルタ
バンドパスフィルタ
PFN



長野日本無線株式会社

本社・工場 〒381-22 長野市稲里町下氷鉤 1 1 6 3 番地
☎長野 (0262) 85-2525 (代表) 加入電信3322-119
東京支社 〒107 東京都港区赤坂2丁目17番22号赤坂ツインタワー本館11F
☎東京 (03) 584-1621 (代表)



衝突予防援助装置

MARAC-RADAR AR-G57A形
MARAC-5 NY 10GA形

AR-G57Aは衝突予防援助機能(ARPA)を内蔵したコンパクトサイズのレーダです。

NY10GAは指示機単独で使える衝突予防援助装置です。
690(W)×500(D)×1110(H)mm

特長

- コンパクトサイズで小形船舶にも設置が容易
- フードなしで使用できる高輝度表示が可能
- ガードゾーンは最大40マイルまで可能
- 最大6変針点を持つ予定航路を自由に設定
- 視差のない電子プロッタ、電子カーソルを装備

アンリツ

安立電気株式会社

本社(03)446-1111 〒106 東京都港区南麻布5-10-27(アンリツビル)

コスト・パフォーマンスを追求した

JRC 衝突予防装置

JAS-800

IMO と USCG の性能基準に合致



映像表示例

JRC 日本無線

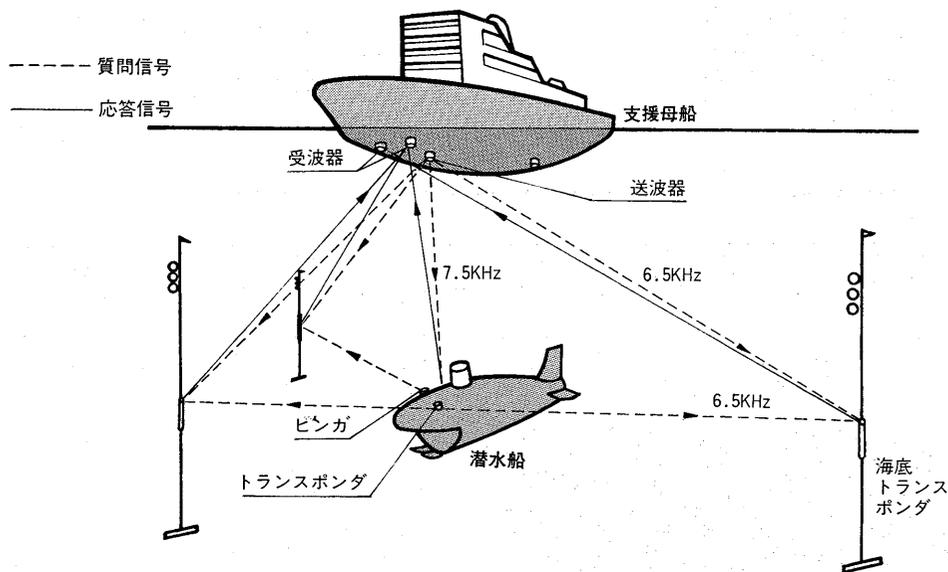
東京都港区虎ノ門1丁目17番1号 第5森ビル
〒105 ・電 話 (03) 591-3451(大代表)
大阪・札幌・仙台・清水・名古屋・神戸・広島・福岡・長崎

深海のベールを剥ぐ。

海は豊富な資源を含む第二の宝庫

これまで謎とされていた深海の実態を
解き明し、今後の本格的調査が待たれる
専用支援船「なつしま」と潜水調査船
「しんかい2000」による深海潜水調査船
システム。このシステムには潜水船
と母船の位置情報を音響的に求め、

処理する沖電気の音響航法装置が採用
されました。海底地形調査、海洋鉱物
資源の分布調査、深海域での海洋調査
など多方面にわたる研究開発の成果が
期待されています。



深海潜水調査船システム

音響航法装置

科学技術庁
川崎重工業株式会社

海洋科学技術センター
沖電気工業株式会社

お問合せは—沖電気工業株式会社 官公庁営業本部 ☎(03)454-2111(代)まで

エレクトロニクスの
沖電気