

## 第 150 研究部会

# 衛星を利用した船舶の運航システム 及び船上設備の研究

## 報 告 書

昭和 51 年 3 月

社 団 法 人  
日 本 造 船 研 究 協 会

# は し が き

本報告書は日本船舶振興会の昭和50年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会第150研究部会においてとりまとめたものである。

本調査研究は、海事衛星システムが導入された場合の現行の通信及び航法システムとの関係についての各種調査、衛星システム導入に対する技術的及び運用的問題点の調査、衛星システム導入に伴い、必要とするであろう新技術の開発及び問題点等について調査研究を行った。

また、IMCOが招請した「海事衛星システム設立に関する国際会議」に代表者を派遣して国際的な動向についても調査した。

## 第150研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長	木村小一（電子航法研究所）	
幹事	井東洋一（日本郵船）	飯塚康雄（沖電気工業）
	遠藤敏雄（大阪商船三井船舶）	岡田高（沖電気工業）
	川田皓造（石川島播磨重工業）	鈴木務（電気通信大学）
	相馬昭二（日本電気）	辻村克己（日本無線）
	中川秀夫（協立電波）	野々瀬茂（三井造船）
	秦武彦（安立電気）	原昌三（三菱重工業）
	平岩美秀（三菱電機）	松下巖（富士通）
	馬淵郁次郎（ジャパンライン）	横井大六（日本船舶通信）
	吉田信一郎（東京芝浦電気）	
	委員	新井健（東京計器）
諫山武彦（日立造船）		内野慎太郎（日本造船工業会）
大友恕（日本船主協会）		佐野照雄（出光タンカー）
柴田利光（日本鋼管）		菅原四郎（古野電気）
田村隆一（川崎重工業）		寺本俊二（北辰電機製作所）
中島清治（山武ハネウェル）		根岸宏（安立電波工業）
原敬太郎（佐世保重工業）		星昌憲（昭和海運）
町田運八（光電製作所）		茂在寅男（東京商船大学）
吉田隆彦（太平洋海運）		
討議参加者		秋久幸雄（日本船舶通信）
	石崎武志（石川島播磨重工業）	石崎芳文（日本無線）
	植田知雄（協立電波）	大越英雄（東京芝浦電気）
	大沢謙一（沖電気工業）	大木繁（ジャパンライン）
	太田堯久（三菱電機）	太田智三（沖電気工業）
	小川雅典（安立電気）	小野確良（沖電気工業）
	加藤正弘（日本郵船）	河重亮（東京計器）
	木村和四郎（日本無線）	小松裕昭（古野電気）
	小村宏（日本鋼管）	斉藤信夫（協立電波）
	坂口哲（日本鋼管）	佐藤孝雄（三井造船）

出 辺 四 郎 (三 菱 電 機)  
中 野 昌 男 (住友重機械工業)  
原 田 政 美 (日 本 無 線)  
堀 江 重 俊 (東 京 商 船 大 学)  
村 谷 雄 三 (日 立 造 船)  
山 崎 洋 (山武ハネウエル)  
吉 田 純 一 (沖 電 気 工 業)

富 田 洋 司 (川 崎 重 工 業)  
西 山 節 男 (三 井 造 船)  
菱 田 叡 二 (日 立 造 船)  
松 本 友 和 (川 崎 重 工 業)  
森 良 雄 (協 立 電 波)  
山 本 正 治 (光 電 製 作 所)  
吉 本 高 使 (東 京 計 器)

# 目 次

1. 緒 言	1
2. 海事衛星システムの調査(その1) IMCO関係	3
2.1 国際海事衛星システム設立に関する第1回政府間会議	3
2.1.1 第1回政府間会議開催までの経過	3
2.1.2 会議の概要	3
2.1.3 む す び	9
2.2 中間作業部会及び法律専門家会議の概要	10
2.2.1 第1回中間作業部会( I S W G - I )	10
2.2.2 第2回中間作業部会( I S W G - II )	11
2.2.3 第3回中間作業部会( I S W G - III )	13
2.2.4 法律専門家会議	13
2.3 国際海事衛星システム設立に関する第2回政府間会議	14
2.3.1 ま え が き	14
2.3.2 会議の構成	15
2.3.3 関係者名	17
2.3.4 日本代表団の構成	17
2.3.5 会議の様 様	18
2.3.6 日本の提案とその結末	18
2.3.7 む す び	22
3. 海事衛星システムの調査(その2)	23
3.1 MAROTS計画	23
3.2 アメリカの海事衛星システム( M A R I S A T )	25
3.3 A T S - 6 衛星による実験	27
3.3.1 アメリカの実験	27
3.3.2 フランス船による音声変調実験	28
3.3.3 西独のLバンドE P I R B の提案と実験	29
4. 現行の船舶通信、電波航法の内容と将来の要求条件	32
4.1 船舶通信、電波航法の種別と内容	32
4.1.1 船舶局施設の目的	33
4.1.2 船舶局運用の原則	33
4.1.3 船舶局の通信の相手方及び通信事項	34
4.1.4 人命の安全及び航行の安全に関する通信	34
4.1.5 貨物の輸送に関する通信	35
4.1.6 漁業に関する通信	35
4.1.7 公衆通信	35
4.1.8 その他の通信	36
4.1.9 電波航法	36

4.2	現行船舶通信、電波航法の分析と問題点	36
4.2.1	公衆通信の現状と分析	36
4.2.2	船舶局運用の現状	41
4.2.3	航法運用の現状	43
4.2.4	船舶通信の問題点	44
4.2.5	電波航法の問題点	44
4.3	海事衛星システムに対する要求条件	45
4.3.1	利用希望事項	45
4.3.2	要求条件	46
5.	現行の通信方式と衛星通信方式の両立性	48
5.1	関連国際法規及び国内法規	48
5.2	現行の船舶無線設備	50
5.3	衛星通信設備の装備船と非装備船の混在の問題点	51
5.3.1	船舶局の通信の種類	51
5.3.2	遭難・緊急・安全通信	51
5.3.3	航行安全のための通信	52
5.3.4	公衆通信	52
5.3.5	情報受信	53
5.3.6	専用通信	53
5.4	海事衛星による遭難通報と位置探索	53
5.4.1	捜索及び救助(SAR)	53
5.4.2	SAR用周波数の考察	53
5.5	衛星システム加入船の無線設備	54
5.5.1	サービス開始初期の無線設備	54
5.5.2	将来の無線設備	54
5.5.3	コスト比較	56
6.	通信内容の種類とその伝送容量(音声、テレタイプ、ファックス、船位測定)	57
6.1	現行の通信種別、通信形態の概要	57
6.2	衛星通信における通信種別、通信形態の検討	58
6.3	海事衛星通信の回線設計(回線容量、衛星電力等の関係)	59
6.3.1	概 要	59
6.3.2	音声回線	60
6.3.3	低速データ回線	60
6.3.4	高速データ回線	61
6.3.5	音声回線と低速データ回線の混在する場合	61
6.3.6	$C/N_0$ 、マージンの算出	62
6.4	船位測定方式の検討	63
6.4.1	概 説	63
6.4.2	測位に利用できる衛星の位置	63
6.4.3	測位誤差	65

6.4.4	付 録	66
6.4.5	測距信号と測距誤差	67
6.4.6	参考文献	68
6.5	音声通信における了解度、変調方式C/N0の関係	68
6.5.1	まえがき	68
6.5.2	明瞭度指教(AI)	69
6.5.3	明瞭度指数とAIの関係	69
6.5.4	変調方式、C/N0と明瞭度指数の関係	73
6.5.5	参考文献	74
6.6	デジタル伝送の誤り率とC/N0の関係	74
6.6.1	変調方式	74
6.6.2	誤り率とC/N0の関係	76
6.6.3	参考文献	77
7.	宇宙通信の特質とその対策の調査研究	78
7.1	概 要	78
7.2	収集した調査資料	78
7.2.1	MARSAT及びCCIR関係	78
7.2.2	IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)関係	79
7.2.3	その他	79
7.3	収集した資料のうち主なものの解説	80
7.3.1	海面反射の理論解析を扱ったもの	80
7.3.2	海面反射の実験とその結果の検討を行ったもの	94
7.3.3	船体反射によるフェーディングを扱ったもの	100
7.4	調査資料の解析	104
7.5	小形空中線の試作及び検討	104
7.5.1	試作空中線	104
7.5.2	試作空中線の検討	104
7.6	海面反射の抑圧	107
7.7	海面反射の実験計画	108
7.7.1	ジオメトリの検討	108
7.7.2	フェーディングの測定	108
8.	装備条件にもとづくハードウェア要求条件	109
8.1	空中線部の装備位置、重量及び外形寸法の制限	109
8.1.1	空中線部の装備位置	109
8.1.2	空中線部の寸法及び重量の制限	114
8.2	送受信部、操作部の装備位置及び寸法の制限	115
8.2.1	送受信部、操作部の装備位置	115
8.2.2	送受信部、操作部の寸法制限	116

9. 環境条件の調査	1 1 7
9.1 周囲温度	1 1 7
9.2 湿度	1 1 7
9.3 船体の動揺及び傾斜	1 1 7
9.4 振動	1 1 7
9.5 衝撃	1 1 7
9.6 転舵の場合の船体運動の角速度	1 1 8
9.7 風圧	1 1 8
10. 運用・操作方法とその問題点	1 2 1
10.1 海事衛星導入についての考察	1 2 1
1 0.1.1 公衆通信に於ける導入	1 2 1
1 0.1.2 遭難・緊急・安全等の通信に於ける導入	1 2 4
1 0.1.3 漁業通信に於ける導入	1 2 6
1 0.1.4 その他の通信に於ける導入	1 2 6
10.2 衛星通信と現行法規及び船内就労体制との関連	1 2 6
1 0.2.1 現行関係諸規則	1 2 6
1 0.2.2 衛星通信の運用・操作との関連	1 2 7
1 0.2.3 将来の船内就労体制	1 2 7
11. 衛星通信用空中線系	1 2 8
1 1.1 機械的追尾空中線	1 2 8
1 1.1.1 船舶地球局アンテナ	1 2 8
1 1.1.2 アンテナ指向制御方式の検討	1 2 9
1 1.1.3 回転支持方式の検討	1 3 0
1 1.1.4 機械的追尾空中線の実例	1 4 3
1 1.1.5 機械的追尾空中線の研究関係参考文献	1 4 5
1 1.2 電子的追尾空中線	1 4 5
1 1.2.1 研究方針	1 4 5
1 1.2.2 レトロディレクティブアレイの原理	1 4 6
1 1.2.3 素子アンテナの選定	1 4 8
1 1.2.4 実験用レトロディレクティブアレイの設計	1 5 7
1 1.2.5 レトロディレクティブアレイ空中線の寸法予測	1 6 1
1 1.2.6 今後の予定	1 6 3
12. 受信処理系の研究	1 6 4
1 2.1 はしがき	1 6 4
1 2.2 雑音の種類	1 6 4
1 2.2.1 コロナ放電によるもの	1 6 4
1 2.2.2 火花放電によるもの	1 6 4
1 2.2.3 放電管によるもの	1 6 5
1 2.2.4 電源装置によるもの	1 6 6

1 2.2.5 無線機器によるもの	166
1 2.3 雑音の誘導	169
1 2.3.1 静電結合	169
1 2.3.2 相互誘導結合	170
1 2.3.3 電磁界による誘起	171
1 2.4 雑音の伝搬	171
1 2.4.1 電磁界による伝搬	171
1 2.4.2 導線による伝搬	171
1 2.5 現行の規格	171
1 2.5.1 F C C	171
1 2.5.2 I E C	173
1 2.5.3 M I L S T D	175
1 2.5.4 J M S	189
1 2.6 発生側に於ける対策	189
1 2.7 被妨害装置側の対策	190
1 2.8 むすび	190
13. 船舶地球局装置の設計及び評価の仕様(暫定案)	191
1 3.1 船舶地球局装置の一般仕様	191
1 3.2 受信信号特性	192
1 3.3 送信信号特性	193
1 3.4 アンテナ・サブシステム	194
1 3.5 受信サブシステム	194
1 3.6 送信サブシステム	195
1 3.7 アクセス及び制御	196
1 3.8 環境条件	197
1 3.9 船舶地球局装置の評価	197
1 3.9.1 形式承認方法	197
1 3.9.2 性能の評価	197
1 3.9.3 試験項目	198
14. 今後の研究の進め方	200
1 4.1 今後の研究方針	200
1 4.2 昭和51年度の研究の進め方	200
1 4.2.1 海事衛星を利用した船舶の運航システムの研究	200
1 4.2.2 通信内容の種別、伝送容量の研究	200
1 4.2.3 宇宙通信の特質とその対策の調査研究	201
1 4.2.4 電子的追尾方式空中線の研究	201
1 4.2.5 船上雑音測定用機器の試作と実測	201
1 4.2.6 ユーザ機器の設計・評価	201
1 4.2.7 海外調査	202
15. 結 言	203

# 1. 緒 言

船舶の運航の安全性を向上し、また、その効率化をはかることは海運界の健全な発展のために特に重要なこととがらである。そしてその運航の安全と効率化に対し、船舶と陸上各所との通信連絡および航法などのための船位の測定はきわめて重要な要素の双璧である。現在、陸上と大洋中の船舶との通信のほとんどは中波および短波を媒介として行われるため、(1)雑音混入に伴って通信品質が悪く、(2)使用周波数帯に限界があるため周波数割当が窮屈であり、また、電離層伝搬に伴なり地域別、時間帯別の最適周波数の選定の必要性などから通信の即時性が得られず、場合によっては大きな待時間を余儀なくされる、(3)技術的な制約などから高速データ通信などの大量情報の伝送が困難である、などの制約があり、また、航法(船位測定)の分野でも現存する各種の電波航法システムでは、(1)全世界のどこでも、(2)任意の時間に、(3)高精度で測位をすることは不可能であり、また、今後の交通輻輳海域などでの航行管制(または航行警報)を行うための測位システムは近距離のシステムを除いて存在しない。

このような情勢の下で、宇宙技術の発達は衛星中継による高品質船舶通信と無線測位の可能性を示し、それらは実験によっても一部証明されており、国際的には政府間海事協議機関(IMCO)が1970年代末期の実用を目標とした国際システムの設立についての積極的な活動を続けており、とくに昭和50年度は、そのための2回の政府間会議とその準備のための中間作業部会(3回、うち1回はIMCOが招集)などが開催され、国際組織の設立も間近に迫った。

また、アメリカおよび欧州各国の共同衛星開発機関である欧州宇宙機関(ESA)はそれぞれ実用および実験用の衛星システムの開発を発表しており、とくにアメリカのMARISATシステムの衛星打上げは目前に迫っている。

このように船舶の運航への衛星技術の利用の必要性とそのための国際的動向とを考えると、わが国としても早急にそれらに対応して所要の研究調査を進め、それらをもとにわが国として、これらの動きに積極的に参加していくことが緊要と考えられる。そのための研究調査の中にはつきのようなものが含まれよう。

- (1) この分野における国際的動向や関連の技術について調査するとともに必要に応じ研究開発も行うこと。
- (2) わが国におけるこの分野での衛星利用の必要性を調査するとともに積極的に利用分野を開発すること。
- (3) 造船国であるわが国の立場を考えると、この分野における船上装置の開発を進めること。

(社)日本造船研究協会は、昭和49年度より5カ年計画で上記3項目を中心に調査および研究開発を進めることとし「衛星を利用した船舶の運航システムおよび船上装置の開発」を行うため、第150研究部会(SR-150)を発足させ研究を開始した。

昭和49年度は第1年度で、また、昭和50年4月にはIMCOの国際会議が予定されていることを考慮に入れ

- (1) 現在までのIMCOまでの作業状況を含めた関連技術の調査
- (2) わが国の関係者の意向のアンケート調査
- (3) 今後の研究方針を審議するとともに、その研究に必要なシステムの概念設計と試作船上装置の仕様とについての検討

を行い、その結果はすでに報告書としてまとめられている。

昭和50年度は研究の第2年度として、調査関係については前年度より一層深く立入った詳細な事項についての調査を進めるとともに、それらの調査にもとづくより進んだ検討を行った。また、宇宙通信の特質としての電波伝搬問題、新方式空中線および受信処理系を中心に一部試験機器等の試作を進め研究開発にも着手した。

本報告書は、これらの成果をまとめたもので、まず、IMCOが招請した昭和50年4～5月と昭和51年2月の2回の政府間会議に当部会より鈴木務幹事および茂在委員を派遣したので、その出席報告をのせるとと

もに、2回の会合の中間における動向も調査し補足した。更に前年度報告を補足改訂する意味で、その他の国際的動向についても触れた。

第4章以降は、本年度の研究成果の報告でつぎの各項に別けて述べてある。

- a) 現行の船舶通信および電波航法の内容と将来の要求条件
- b) 現行の通信および電波航法方式と衛星通信方式との両立性
- c) 通信内容の種別とその伝送容量
- d) 宇宙通信の特質とその対策
- e) 装備条件にもとづくハードウェアの要求条件
- f) 環境条件の詳細
- g) 運用操作方法とその問題点
- h) 空中線系（機械的追尾空中線および電子的追尾空中線）
- i) 受信処理系
- j) 船舶地球局装置の設計と評価（仕様項目）

## 2. 海事衛星システムの調査(その1) IMCO関係

### 2.1 国際海事衛星システム設立に関する第1回政府間会議

#### 2.1.1 第1回政府間会議開催までの経過

1966年2月にIMCO(政府間海事協議機関)の海上安全委員会において短波による海上通信の品質向上、混雑緩和および船舶の運航効率と安全性の確保などの目的から海上通信に衛星を利用する必要性が認識され、1972年7月の第1回の会合から1974年9月の第5回会合に至るまで臨時会合1回を含めて合計6回の実事衛星専門家パネルが開催された。専門家パネルでは検討の結果「国際海事衛星システムの設立に関する報告」(POEレポートと呼ぶ)が作成された。POEレポートには、海事衛星通信システムの必要性、同システムの運用要件、技術特性および経済評価と組織の設立に関する条約草案などが記載されている。

第1回政府間会議は第8回IMCO総会で採択された決議A305(VII)にもとづきIMCOの招請により開催されたものであり、POEレポートの報告を参考にして国際海事衛星システムの設立に関する組織上、制約上の原則を決定して、この決定による国際条約文書の作成を意図して昭和50年4月23日から同5月9日の間ロンドンにおいて開催されるに至った。

#### 2.1.2 会議の概要

##### (1) 開催日時と場所

日 時 昭和50年4月23日(水)~同5月9日(金)

場 所 英国 ロンドン、キュナード・インターナショナルホテル

##### (2) 参加国と参加人員

参 加 国	43カ国	代 表 者	286名
オブザーバー	2カ国	15機関	39名
IMCO事務局			17名
		合計	342名

##### (a) 参加国と参加代表者内訳

Argentina	5名	German Democratic	
Australia	10名	Republic	6名
Bergium	8名	Germany, Federal	
Brazil	6名	Republic of	9名
Bulgaria	5名	Greece	8名
Byelorussian SSR	2名	Hungary	1名
Canada	11名	India	7名
Chile	2名	Indonesia	7名
Cuba	4名	Iran	3名
Denmark	6名	Iraq	6名
Egypt	1名	Italy	15名
Finland	5名	Japan	14名(2名)*
France	6名	Liberia	3名

\*... Japan 代表の(2名)は14名以外のオブザーバー2名である。

Netherlands	8名	Sweden	9名
New Zealand	3名	Switzerland	6名
Nigeria	2名	Thailand	2名
Norway	13名	Venezuela	1名
Paraguay	2名	Turkey	2名
Peru	2名	Ukrainian SSR	2名
Poland	5名	USSR	13名
Saudi Arabia	4名	UK	27名
Spain	11名	USA	28名
Sudan	1名		

(b) オブザーバーとしての参加国

Sierra Leone	1名
Uruguay	1名

(c) 国連関係機関 (4機関、8名)

UN	2名
UNESCO	1名(IOCと兼任)
ITU	4名
WMO	1名

(d) 政府間機関 (3機関、5名)

IOC	1名
ESRO	4名
INTELSAT	2名

(e) 非政府機関代表 (8機関、21名)

ICS	3名	ILA	1名
ICFTU	2名	Eurospace	4名
IALA	2名	DCIMF	3名
CIRM	4名	Eurosat. S.A.	2名

(f) 会議役員

議長と副議長は先進国と発展途上国とのバランスを考慮されて選出された。

議長	Mr. R.M. Billington	(U.K.)
副議長	Mr. P.G. Damle	(India)
"	Mr. B.T. Collins	(Liberia)
"	Mr. R.A. Forsyth	(Peru)
"	Mr. A. Kolensnifchenko	(U.S.S.R.)
"	Mr. R.J. Waldman	(U.S.A.)

(g) 日本代表団

代表

外務省在連合王国大使館参事官 橋本 恕

代表代理

郵政省大臣官房電気通信参事官 佐瀬 健次郎

運輸省船舶局次席船舶検査官 土屋 睦夫

外務省在連合王国大使館一等書記官 岩田 光正

随 員

運輸省電子航法研究所衛星航法部長	木 村 小 一
電気通信大学助教授	鈴 木 務
郵政省電波管理局周波数課課長補佐兼調査官	三 浦 信
外務省在連合王国大使館一等書記官	小 川 健 児
外務省国連局科学課事務官	三 宅 忠 男
郵政省参与 電々公社技術局調査役	伊 藤 雄 一
〃 国際電々ワシントン事務所長	遠 藤 栄 造
〃 国際電々社長室審議担当第一課長	小 関 康 雄
〃 日本電子機械工業会（日本無線（株） 開発専門部長）	辻 村 克 巳
〃 日本船主協会（日本郵船（株）工務部電気課長）	井 東 洋 一
オブザーバー	
国際電々ロンドン事務所長	高 松 章
国際電々衛星通信担当課長	沢 木 弘 久

(3) 議 題

IMCO事務局が作成した仮議題が異議なく採択された。

- (a) 議題の採択
  - (b) 議事手続規則の採択
  - (c) 会議役員の選任
  - (d) 資格審査委員会委員の任命
  - (e) 議事運営の組織
  - (f) 国際海事衛星システムの設立に関する研究（IMCO POE報告）についての議長報告
  - (g) 国際海事衛星システム設立のための審議
  - (h) 議題g)に関する会議の結論に照して、
    - i) 国際海事衛星システム設立のための取決め事項についての審議
    - ii) 上記に効力を発生させるための文書、その他の勧告の採択
  - (i) 会議の決定事項を実施するための取決め
  - (j) 会議の最終決議書の採択
  - (k) 文書への署名
- (4) 議事についての概要

昭和50年4月23日（水）午前11時よりIMCO事務総長のMr. C. P. Srivastavaにより開会宣言が行われて会議が始った。次いで主催国英国政府を代表して、Mr. Gregor Mackenzie (United Kingdom Parliamentary Under-Secretary of State for Industry) の挨拶、ITUのMr. M. Mili (Secretary-General I T U) の挨拶があり、前期会議役員が選出された。議長のMr. R. M. Billington は専門家パネルの議長を勤めた英国郵政省の監査役である。議長司会の下に前節の議題に沿って審議が行われた。まず、海上通信を改善するため、世界的な海事衛星システムの必要性と、このシステムを管理運営する国際的な政府間組織の必要性につき合意された（会議決議第20項）。次いでPOE報告書と各国から寄せられた意見、提案などにもとづいて審議が行われたが、今回は主に政治的、経済的な問題にとどまり技術的問題にまで議論が及ばなかった。しかし、各国の基本的な立場や態度による意見の相異点が明確化され海事衛星システムに一步近づけることができたといえる。

- (a) 主な内容としてはPOEの報告書を基礎としてまず組織を作り、その後で諸問題を解決すべしとして早期組織の成立を主張する西欧側とソ連東欧圏諸国に対して、POEの検討はまだ不十分であり、条約草案、需要予測、新しい打上技術、信頼性、および経済評価などの問題点を検討することが先決であると主張している米国との間に基本的な相異があった。
- (b) POE報告書は政府間を一本の国際協定によって設立されることを提案しており、この線に沿って組織を成立させようとする欧州グループ（英国を中心とする西欧とソ連東欧圏）と、国内体制上の理由から組織の財政、運用上および技術上の責任を事業体に委せようとするいわゆるINTELSAT型の協定を結びたいとする米国および日本との間に本質的な相異があり結論が得られなかった。
- (c) 上記の基本的な二点について今回会議の審議に主なエネルギーを消費したが、議論は最後まで平行線をたどり、昭和51年2月に第2回の政府間会議を開きそこで決着をつけることになり、その準備として昭和50年11月30日までに2回以上の中間作業部会を開き、これら問題点の解決のための努力を試みることになった。

上記議題を中心としてその他も審議するため、二つの委員会が組織された。それらは

第1委員会

- i) 政府と指定事業体との関係
- ii) 政府間総会と理事会との間の権限の配分

第2委員会

- iii) 調達政策
- iv) 出資率の算定方法
- v) 初期出資率の算定に関する予備的検討

の議題について審議が行われた。これらの委員会における討議の結果をさらに全体会議で審議する方法がとられた。また、ICS（国際海運集会所）などの海運界からの要望があって港湾内および国の管轄下にある水域内における衛星通信の利用についても討議が行われた。

会議の作業日程を表2.1.1に示す。第1と第2委員会の外にいくつかの作業部会や非公式会合が持たれ、意見調整のための努力が払われたにも拘らずに国際海事衛星システム設立の協定が成立できずに「第2回目政府間会議を昭和51年2月9日～27日に開催すること」と「それまでの間に2回以上の中間作業部会を開くこと」の二つの決議と前述した「港湾および領海水域内の衛星通信利用を考慮すべし」という勧告のみが結論として得られた。

表2.1.1 会議日程表（公式会議のみ）

日時	午前		午後	備考
4月 28日(水)	11:00～11:35 本会議 (開会式)	11:45～13:15 各国代表者会議 (会議運営の打合せ)	15:00～17:40 本会議 (会議役員選出と 一般演説)	USSR, Japan, ITUの意見表明
24日(木)	09:35～12:25 本会議 (一般意見表明演説の続き)		14:40～17:30 本会議 (運営方針、第一委員会の設置)	第一委員会は政府と 事業体との関係を取 上げるようになった

25日(金)	09:35 ~ 12:25 本会議 (出資率について)	14:40 ~ 17:25 本会議 (調達、総会と理事会との関係、 港内と領水内での利用)	第二委員会は投資分 担と調達を取上げる ことになった。
	09:35 ~ 12:25 第一委員会 (議題について)	第二委員会の設置	
28日(月)	09:35 ~ 12:30 第一委員会 (政府と事業体との関係)	14:30 ~ 17:30 第一委員会 (午前と同じ)	
	第二委員会 (出資率と調達)	第二委員会 (調達)	
		15:00 ~ 作業部会、17カ国と1団体 (出資率について)	
	作業部会、15カ国、2団体 (港湾内と領水域内での利用について)		
29日(火)	11:00 ~ 12:30 第一委員会 (政府と指定事業体との関係)	14:30 ~ 17:30 第一委員会 (午前と同じ)	
	11:00 ~ 12:30 第二委員会 (調達)	14:30 ~ 17:30 作業部会 (調達)	
	作業部会 (出資率の討議) 19カ国		
30日(水)	09:30 ~ 17:00 第一委員会(政府と指定事業体の関係)		
	09:30 ~ 16:50 第二委員会(出資率と調達) 作業部会(出資率)の報告		
5月 1日(木)	10:00 ~ 13:00 第一委員会 (政府と事業体との関係)	15:10 ~ 17:40 本会議 (第一、第二委員会報告)	
	第二委員会 (調達)		
2日(金)	10:00 ~ 17:30 第一委員会(機構における総会と理事会との権限の配分)		
	09:30 ~ 10:30 第二委員会 (初期投資率)	11:00 ~ 16:00 作業部会、16カ国 (初期投資率)	
5日(月)	09:30 ~ 19:30 第一委員会(機構における総会と理事会との権限の配分)		

	09:30～16:15 専門家作業部会 (初期投資率)	16:30～17:10 作業部会 (左記部会報告)	17:30～18:00 第二委員会 (左記部会報告)	
6日(火)	09:30～ 10:30 第二委員会 (初期投資率)	11:40～ 12:30 本会議 (第一、第二委 員会報告)	14:40～ 15:05 本会議 議事方針	16:45～ 17:45 本会議 (港内利用) 16:00～ 18:15 作業部会 (今後の作業に ついて)
7日(水)	11:15～12:10 本会議 (港湾内と領海内での使用に關する 勧告を採択した)		15:15～15:30 17:15～17:35 本会議 (資格審査委員会報告)	主要国による非公式 会合が開かれた
	09:30～17:30 作業部会(今後の作業項目)			
8日(木)	09:40～12:40 本会議 (主要事項の一般討議)		14:45～18:10 本会議(一般討議) 第2回会議と中間作業部会につ いて	20:00～21:10 本会議(続) 作業部会 (中間作業部会につ いて)
9日(金)	09:45～12:50 本会議 (中間作業部会のすゝめ方)		14:30～18:35 本会議 (会議報告書案の検討、決議の採 択) 閉会の挨拶	

表2.1.1に示されたごとく会議の殆んどが政治的と経済的な問題であった。特に政府と指定事業者との関係が最も対立する議題となった。これは海事衛星システムは船舶の安全性の向上という目的から政府が責任をもつ非営利な機関とせよと主張するソ連を代表する欧州側の意見と公衆通信を主たる目的として、企業体に運営、財政を委せて政府が責任をとらないとする米国、日本の立場が鋭く対立したからであった。

4月23日(水)における一般意見表明演説中において日本が行った演説の骨子は次の三要項であった。

- i) 全世界的なシステムとすること。メンバー国か非メンバー国かの区別なく全世界の国々が利用できること。大西洋、太平洋および印度洋における運用開始時期に遅れないこと。
- ii) 各国内の事情に応じて海事衛星業務を国営または民営の企業体に行わせ、これらの企業体は運用上と経済上の責任を持ち、機構設立のためには政府間条約と企業体による運用上に関する条約の二本建条約とすべきである。

iii) 組織は経済的に自立できるものとするべきである。また、INTELSATのごとき現用システムの利用を除外して考えるべきではない。

との意見を表明した。米国は、国内の通信事業はすべて民営であり、政府は経済上の責任を負わないことから日本案と同様に政府間協定と運用協定の二本建案を主張した。更に調達について、最良の品質、迅速な納期および最低価格の三つからのみ決定すべきことも強調した。その上POEの報告書内容は検討が不足であり、POEに沿って機構を作ることに反対の旨を表明した。

他方、ソ連、フランス、英国、ノルウェーなどの欧州諸国はPOE報告書は十分検討された内容であり、これに沿って検討をすゝめ一日も早くシステムが実現できることを望み、協定は政府が責任をもつ一本建とすることを主張した。この対立点については平行線をたどり西欧側にいくらかの歩み寄りは見られたものの一致点に達することができなかった。特にソ連と東欧圏の米国、日本案に対する強硬対立が最後まで続いた。

総会と理事会との関係は総会を最高決定権をもつSupreme Organとすべきか、単なる理事会への助言者の役目を持たせるにとどめるべきかで意見が対立した。前者の立場は主として、ソ連と開発途上国が持ち、後者は米国が主張した。特に開発途上国は一国一票ずつ平等に権利が持てることを強調した。

調達については、米国が主張する三つの原則の外に宇宙産業の世界的競争の維持も考慮して一国のみに独占させまいとする西欧側の強い意欲がみられた。

出資率についてはPOE報告書にある算定方法として、船発と陸発通信量によるものと(A型)、地上局で取扱い通信量を基準とする案と(C案)はどちらも欠陥があることが判り、妥協案が検討された。すなわち、便宜置籍船国は船舶保有量が多いが、自国に発着する通信量は少くないのでA案では負担が多くなりすぎる。逆に船舶保有数は少くないが自国への通信量が多い米国はA案では少くなりすぎることになる。しかし、A案は船舶の利用状況をよく反映しているとしてPOEでは支持が多かった。スウェーデンから「船発着の通信の $\frac{1}{2}$ を当該船舶の運航を管轄する加盟国の分とし、また、陸発着の通信量の $\frac{1}{2}$ を当該領域を管轄する加盟国の分とする」という妥協案が出された。我が国からは「A案に加え、非加盟国の船舶から発し、加盟国の領域に着する通信および非加盟国の領地から発し、加盟国の船舶に着する通信の $\frac{1}{2}$ を当該加盟国の分に加える」という案を出したが、一致を得るに至らなかった。

本会議を通じて合意に達した事項は

- i) 海上通信の改善のため全世界的な海事衛星システムが必要であること。
- ii) このシステムを管理、運営するために国際的な政府間組織が必要であること。
- iii) このシステムを設立するための原則として
  - (a) 組織内で権利と義務を果すために加盟国により任命される企業体は加盟国の政府により任命されなければならない。
  - (b) 任命された企業体は加盟国の法的規制に従うべきである。
  - (c) 任命された企業体は任務を遂行できる能力がなくてはならぬ。
  - (d) 任命された企業体を持つべき権利、義務および任務は明確に定義されるべきである。
  - (e) 任命された企業体が事業に失敗したり、廃業するときは任命した加盟国が債務を肩代りするか、新しい企業体を任命するか、または加盟国から脱退するかのいずれかをとるべきである。

これらの合意は得られたものの協定文書として一致は得られずに第2回政府間会議を待つに至った。

### 2.1.3 むすび

第1回政府間会議は協定を結ぶに至らなかったが、問題点が明確化されたこと、多数の国々が参加して

国際海事衛星システムの設立に賛同し、理解を深めたことは今後の進展に影響を与えることゝ思われた。今回の会議では次の二つの決議と一つの勧告が採択された。

- (1) 会議決議書第 2 3 項、付属書 I の決議—第 2 回政府間会議は、1976 年 2 月 9 日から同 27 日までロンドンにおいて開催され、国際海事衛星システム (INMARSAT) 設立に関する取決を締結する任務を負うこと。(会議決議書第 2 5 項)
- (2) 会議決議書第 2 4 項、付属書 II の決議第 2—第 2 回会議のために中間作業部会を開催すること。第一回の部会は 1975 年 8 月 4 日から同 8 日までとし、次の審議を行う。
  - (a) 政府と指定事業体との関係
  - (b) 総会と理事会との間の権限の配分
  - (c) 必要な国際協定書の形式と数
  - (d) 調達政策また第 2 回の作業部会では
  - (a) 第一回作業部会で作成された協定文案とその決論にもとづいて、第二回政府間会議で審議されるための完全な協定書条文案の作成
  - (b) 初期出資率
  - (c) 資本限度額を審議することになった。
- (3) 勧告

会議決議書第 2 2 項および付属書の勧告—すべての国々は港湾制限区域および他の法規制を受ける水域内において 1 5 3 5—1 5 4 2.5 MHz および 1 6 3 6.5—1 6 4 4 MHz のバンドで船上局を運用できるように考慮すべきであるとの考えに加わるべきである。

この勧告について Argentina、Saudi Arabia、Peru、Cuba、Indonesia、Brazil、Iraq、Chile、Egypt が態度を保留した。我が国は賛成に加った。

## 2.2 中間作業部会及び法律専門家会議の概要

第 1 回の国際海事衛星システム設立に関する国政間会議において結論の得られなかった事項について更に討議を行うため中間作業部会が設置され、第 2 回国政間会議までの間に少なくとも 2 回以上の部会会議を行い、その結論に基づいて協定案を作成することが定められ、議長はインドの Damle 氏が勤めることになった。

### 2.2.1 第 1 回中間作業部会 (ISWG-I)

1975 年 8 月 4 日から同 8 日まで、IMCO の主催によりロンドンで開催され、30 カ国と 8 国際機関から 108 名の参加があった。この部会における議題は、第 1 回政府間会議で定められた次の 4 項目であった。

#### (1) 政府と指定事業体との関係

指定事業体を機構に参加させるにあたって、政府の責任に重点をおき、指定事業体を単に国の代表者としてその参加を認めようとする考え方と、単なる国の代理者でなく国際海事衛星システムに関し財政的、運用的、技術的な全責任を負う形でこれに参加させようとする考え方との調整が最大の課題であった。しかし次の事項を骨子とする米ソ間の合意が成立し、両国の提案に各国が支持を表明したので、審議が大きく進展した。

- (a) 各国は十分に資格のある事業体を指定し、運用協定に署名させることができる。
- (b) 政府と指定事業体の関係は、関係国内法によって規定される。
- (c) 政府は指定事業体はその責任を遂行することを確保するため、適切かつ国内法と一致する指針及び

指示を与えること。

- (d) 政府は運用協定により生ずる義務について責任を負わない。たゞし政府は指定事業体が組織における義務を遂行する際に INMARSAT 協定及び関係政府間協定において政府が受託した義務を無視することのないようにする。
- (e) 指定事業体が脱退する場合には、政府はその地位を引受けるか、十分資格のある新事業体を指定するか、または脱退する。

この基本的方向の決定に伴って、これについて新しい協定案文が作成された。

## (2) 総会と理事会の権限の配分

開発途上国は総会の権限を強化するために、一般方針及び長期目標の決定、事務局長の選任及び解任その他を総会事項に含めることを提案したが先進国の同意が得られず、第2回中間作業部会で再検討することになった。しかし、これらの国から提案のあった総会開催周期3年ごとを2年ごとにするということについては合意が成立した。

総会は機構の Supreme organ か Principal organ かの問題、理事会の任務、理事会出席権に地域代表制を加える案などが討議されたが、時間不足のため、これらは第2回中間作業部会で再検討することになった。

## (3) 国際協定の形式と数

協定を政府間協定と運用協定の2本建てとすることについては、会議の冒頭に異議なく決定した。

## (4) 調達政策

世界的な競争を奨励することを調達の原則とし、品質、価格、納期の最適な組合せにおいてコンパブルな入札が複数ある場合には、上記の原則に照らして発注先を決定するというヨーロッパ案は、組織問題で米国に譲歩した引き替えとして妥協成立をみた。

公開の国際入札によらない調達についても、ヨーロッパ側から上記原則を適用することを要求し、一波瀾あったが、その趣旨を盛り込んだ修正案で合意を見た。

## 2.2.2 第2回中間作業部会 (ISWG-II)

1975年10月27日から同31日まで、英国政府の招待によりロンドンで開催され、31カ国と6国際機関から124名の参加があった。

ISWG-Iにおいて合意の得られなかった総会と理事会の権限の配分について検討されたが、今回も妥協をみるに至らず代替案が併記されるに止まった。また2.2.4に記述するオスロでの法律専門家会議で起草された条文は、単に審議されただけでそれ以上の発展はなかった。さらに特権免除に関する議定書案が作成され政府間会議に送附されることになったが、一部問題点があるため我国はこれを保留とした。

初期出資率についてはPOEの報告書に記載された中波、短波の通信量を基にして英国から提出されたAPPENDIX-I及び其の後の動向までを含めてより詳細な検討を加えた日本のAPPENDIX-IIを基にして検討が加えられ、各国の選択により表2.2.1の右欄に示すような基本線が合意された。具体的な数値は、第2回政府間会議で参加国及び各国の出資率が決まる予定であるが、我国の出資率は4~6%となる見込である。

長期出資率については、その算定方式が確立されず、第3回の中間会議で検討されることになった。

資本限度額については、初期5年間分として2億米ドル、2億2000万米ドル、2億5000万米ドルの3案が併記された。

この他、発明と技術情報、責任の問題などについても検討されたが合意に達せず次回に持越された。

表 2.2.1 初期出資率 (案)

INVESTMENT PERCENTAGES	BASED ON APPENDIX I (1)		BASED ON APPENDIX II (2)		POSSIBLE INITIAL INVESTMENT SHARES
	Alternative II (3)	Alternative IV (4)	Alternative II	Alternative IV	
24 - 26%	United States		United States		
22 - 24%					
20 - 22%					
18 - 20%					
16 - 18%			United Kingdom	United States	United States
14 - 16%	United States			United Kingdom	
12 - 14%					
10 - 12%	USSR, United Kingdom	Liberia, United Kingdom	Greece, Norway	Greece, Liberia	United Kingdom
8 - 10%	Japan	Japan, USSR		Norway	USSR
6 - 8%	Norway	Greece, Norway		Japan	Norway
4 - 6%	Greece		Italy, Japan, USSR	USSR	Greece, Japan
2 - 4%	Canada, Denmark, France, Italy, Netherlands, Spain	France, Italy, Netherlands	France, Netherlands	France, Italy, Netherlands	Canada, France, Italy, Netherlands
1 - 2%	Australia, FRG, Poland, Rep. of Korea, Singapore, Sweden	Canada, Denmark, FRG, India, Panama, Poland, Spain, Sweden	Australia, Canada, Denmark, India, Singapore, Sweden	Canada, Denmark, FRG, India, Panama, Sweden	Australia, Denmark, FRG, India, Spain, Sweden
0.5 - 1.0%	Argentina, Belgium, Brazil, China, Finland, GDR, India, Portugal, Yugoslavia	Argentina, Australia, Belgium, Brazil, China, Cyprus, Finland, GDR, New Zealand, Portugal, Rep. of Korea, Singapore, Yugoslavia	Argentina, Belgium, Brazil, China, Finland, FRG, Hong-Kong, Poland, Portugal, Spain, Yugoslavia	Argentina, Australia, Belgium, Brazil, China, Cyprus, Finland, Poland, Portugal, Singapore, Spain, Yugoslavia	Belgium, Finland
0.0 - 0.5%	Cyprus, Hong-Kong, Liberia, Panama, New Zealand	Hong-Kong	Cyprus, GDR, Liberia, New Zealand, Panama, Rep. of Korea	GDR, Hong-Kong, Rep. of Korea, New Zealand	Bulgaria, GDR, Liberia, Turkey
0 - 0.5%	all other countries	all other countries	all other countries	all other countries	all other countries

(1) 英国案

(2) 日本案

(3) トラヒックを陸発着で計算

(4) トラヒックを(陸発着/2) + (船発着/2) で計算

### 2.2.3 第3回中間作業部会（ISWG-III）

1975年12月1日から同5日まで、オランダ政府の招待によりノルトビックで開催され、26カ国と4国際機関から97名が参加した。ISWG-IIIの議題は次の通りである。

- ・ ISWG-I及びISWG-IIで検討されなかった事項
- ・ ISWGに提出された修正案で未検討のもの
- ・ 出資率や資本限度額など財政に関するもの
- ・ 発明と技術情報

最初の2つの議題は、一括して一般規定として扱われたが、ISWG-IIIで統一草案を作成したいとする欧州側の意向から討議の結果で妥協が成立しなかったものについては、挙手によって多数の支持があった案文を採択し、反対意見は付記された。したがって、採択された案文が必ずしも妥協の成立したものではないことに注意を払わねばならない。

#### (1) 一般規定

組織の目的についてノ連より海事通信の改善のみならず、海上における遭難および航行の安全、無線測位を含める提案があったが、支持が少なかった。

宇宙部分への船舶地球局からのアクセスは、国籍によって差別しないという米提案は欧州の反対があったが採択された。また、アクセスできる地球局はメンバーが完全に所有するものに限るとの英国提案は、米国の所有の形態までINMARSATで制限するのは行きすぎであると反対したが、これも多数決により採択された。

総会の実質事項については $\frac{2}{3}$ 以上、手続事項については単純過半数で決定するという点では合意が成立したが、実質事項か手続事項かの紛争については議長の裁定を基本とする案が採択された。

理事会のメンバーは一定の出資率以上となった。また、地域代表の数は一定数以下に制限することになった。理事会の開催頻度は、年3回以上とすることが合意された。

締約国をPartyとするかMember Stateにするかについては長い間決定されていなかったが、支持多数ということでPartyが採択された。

総会をSupreme OrganとするかPrincipal Organにするかについても長いこと討議されてきたが、遂に妥協に達せず、この項は全文削除することになった。

#### (2) 財政関係

条約及び運用協定の中で財政に関する17の条文案について検討を行った。

出資率及び使用料金の詳細な条文案についての検討は、多くの点で意見が対立したので、それらを併記するに止まった。

資本限度額及び長期出資率については何等の討議も行わなかった。初期出資率については、ISWG-IIにおいて定められたものによって第2回政府間会議で決定されることについて異議がなかった。

17の条文案のほとんどが多く個所で問題点を残したので、結果的には各案併記のまゝで第2回政府間会議に提出され、その決定によることとなった。

#### (3) 発明及び技術情報

- ・ 米国の態度を明確にしなかったため実質内容の審議は行われなかった。

### 2.2.4 法律専門家会議

1975年9月22日から同26日まで、ノルウェー郵政省の招待によりオスロで開催され、17カ国から36名が参加した。これらのうち21名が各国外務省からの代表であった。ISWG-Iから付託された審議事項は以下に述べる6項目であった。

(1) 権利及び義務に関する規定

INMARSAT 以外の海事衛星システムへの参加に際しては、INMARSAT と調整をとることを締約国の義務とする英国案を一応採択した上で全文を〔 〕に入れることになった。

会合招請国への代表の入国確保の問題については、この規定により特定個人に対する招請国の入国審査、拒否権は害されないことが了解された。

(2) 国及び国際機関との関係

総会の権限に関する項は原案のまま採択され、オブザーバーの取扱いは議事手続きに任せることになった。他の国際機関との関係については、一応政府間協定に含めることになったが、ITU の関係者で扱われるような技術的事項を含むため、多くの代表が態度を留保した。

(3) 責任及び責任の免除

責任の問題については、次の4点でほぼ合意が得られたのであるが、意見の対立があったため、成案をみることができなかった。

- (a) 第三者に対する責任は、第一義的に組織そのものが負うものとし、損害賠償の請求は組織に対して行う。
- (b) 一国または、一署名当事者が損害賠償を支払ったときは、組織から弁済を受けるものとする。
- (c) 組織の支払能力を越える損害賠償については、資本限度額に関係なく署名当事者が出資比率に応じてこれを負担すること。
- (d) 締約国は、宇宙条約などに基づき、宇宙活動より発生した損害についてのみ最終的な責任をもつこと。

(4) 紛争の解決

強制第三者仲裁々判手続を導入することが合意されたが、細部についてはさらに検討を加えることになった。なお、ソ連は主権国家相互間の紛争を強制裁判に付することに反対した。

(5) 最終条項

任意脱退について、加盟後3年間は脱退できないとする提案は〔 〕を付して採択となった。

署名当事者に対する強制脱退の決定は、理事会の権限とすることが合意された。

留保を認めないとする規定は、ソ連から現段階では審議できないとの反論があったので〔 〕に入れられた。

政府間協定の改正は、理事会の勧告なしには総会で審議できない、との解釈が採択された。

(6) 特権及び免除

ソ連は署名当事者に特権免除を与えることに対して留保した。締約国政府の代表及び代表代理に対する特権免除と締約国政府の代表補佐以下及び署名当事者の代表に対する特権免除は区別される。署名当事者の代表補佐以下には特権免除は認めない。

## 2.3 国際海事衛星システム設立に関する第2回政府間会議

### 2.3.1 まえがき

1966年以来IMCOによって海事衛星の必要性が叫ばれ始めてからの歴史的経過については、すでに今までのいくつかの報告書によって周知のことと思われるので、ここでは重ねて触れることをやめたい。

しかし、このことから1972年以来、海事衛星専門家パネルが5回にわたって行なわれ、その後において1975年4月から5月にかけて第1回条約会議が開かれた訳であり、このことについてはすでに報告がなされている。その後今日に至るまでの間、4回にわたる作業部会あるいは専門家による会議が行なわれて今回の第2回条約会議が開かれる運びとなった次第である。

従って今回の条約会議においては次のことが予定されていた。

1. 海事衛星システムの設立に関する研究、すなわちIMCO専門家パネルの報告
2. 国際海事衛星システムの設立に関する審議
3. 上記議題についての結論に照らして次のことを行なう。
  - (a) システム設立のための組織上の取り決めに関する審議
  - (b) 上記(a)のものを発効させるための文書およびその他の勧告の採択

以上の予定と今回の会議の具体的計画については、開会時における議長および事務局の挨拶の中に示されているので、ここでは重複をさけることとした。

今回の会議は次の要領で行なわれることとなった。

期 日 — 1976年2月9日～27日迄

場 所 — Cunard International Hotel, Hammersmith, London W6.

### 2.3.2 会議の構成

参加国と代表者数(44カ国、会議構成員349人)

Algeria	3	Indonesia	4
Argentina	6	Iran	5
Australia	7	Iraq	4
Belgium	8	Italy	15
Brazil	2	Japan	19
Bulgaria	5	Jordan	1
Byelorussian SSR	2	Kuwait	2
Canada	9	Liberia	6
Chile	1	Netherlands	7
Cuba	9	New Zealand	4
Denmark	7	Norway	10
Egypt	1	Peru	2
Finland	3	Poland	8
France	8	Singapore	2
German Democratic Republic	6	Spain	17
Germany, Federal R.	10	Sweden	8
Ghana	3	Switzerland	6
Greece	4	Thailand	2
Hungary	1	Turkey	4
India	7	Ukrainian SSR	2
U.S.S.R.	14	United Republic of Cameroon	2
United Kingdom	30	United States	22

Observers

Czechoslovakia 2<sup>^</sup> Romania 1<sup>^</sup>

Representatives from the United Nations & the Specialized Agencies.

(UN)	United Nations	1 <sup>^</sup>
(ITU)	International Telecommunication Union	2
(ESA)	European Space Agency	2
(INTELSAT)	International Telecommunications Statellite Organization	1

Observers from Non-Governmental Organizations

(ICS)	International Chamber of Shipping	3 <sup>^</sup>
(IEC)	International Electrotechnical Commission	1
(ICFTU)	International Confederation of Free Trade Unions	2
(IALA)	International Association of Lighthouse Authorities	2
(CIRM)	International Radio-Maritime Committee	6
(EUROSPACE)	European Industrial Space Study Group	4
(ILA)	International Law Association	1
(OCIMF)	Oil Companies International Marine Forum	3
(ECOR)	Engineering Committee on Oceanic Resources	1
Eurosat S.A.		2
(IAIN)	International Association of Institutes of Navigation	1
(IFSMA)	International Federation of Shipmaster's Associations	1
(E and P Forum)	Oil Industry International Exploration and Production Forum	1

IMCO Secretariat 16

2.3.3 関係者名

President: Mr. R.M. Billington (U.K)

Vice-Presidents: Mr. P.G. Damle (India)  
Mr. B.T. Collins (Liberia)  
Captain R. Vargas Fuller (Peru)  
Mr. A. Kolesnitchenko (USSR)  
The Hon. W.K. Miller (USA)

Secretariat of the Conference:

Secretary - General - Mr. C.P. Srivastave

Deputy Secretary - General - Mr. J. Queguiner

Executive Secretary - Mr. A. Saveliev

Deputy Executive Secretary - Mr. Z.N. Sdougos

Legal Advisers - Mr. T. Mensah  
Mr. T.S. Busha

Press Officer - Mrs. A. Meldum

Chairman of Committee I - Mr. J.S. Stanford (Canada)

Chairman of Committee II - Mr. J. Jaenicke  
(Federal Republic of Germany)

2.3.4 日本代表団の構成(順不同・敬称略)

首席代表 橋本 恕(駐英外務省参事官)  
代表代理 謝敷 宗 登(運輸省首席船舶検査官)  
" 日高 英 実(郵政省電気通信参事官)  
" 岩田 光 正(駐英大使館一等書記官)  
" 野村 (I)(同上)  
" 小川 健 児(同上)  
代表顧問 茂田井 (A)(郵政省電波監理局 Space Services Planning and  
Administration Div. 係長)  
" 村松 (T)(外務省 Scientific affairs)  
" 木全 (N)(郵政省 Director - Generals' office of  
Telecommunications)  
" 高松 (A)(郵政省 Adviser)  
" 遠藤 栄 造(KDD衛星通信調査室次長)  
" 小関 康 雄(KDD社長室審議担当第一課長)  
" 西本 正(KDD国際部協約課課長)  
" 勝部 日出男(KDD社長室審議担当)  
" 平 一 人(電々公社営業局調査役)  
" 池内 (T)(郵政省 Adviser)  
" 茂在 寅 男(東京商船大学教授)  
" 森下 丈 夫(在英シップセンター) } 運輸省  
" 吉永 彦 爾(在英船主協会)

以上の19名、但し日本人としてはこの他に、CIRRM代表として次の通り出席

辻村 克 己(日本無線KK 開発部長)

合 計 20名

### 2.3.5 会議の様相

まず開会時の様相を述べれば、本会議の全体的把握ができると思われるので次に述べる。

開会と同時に事務総長 Mr. Srivastava が歓迎の辞を述べ次のような発言をした。

「海運界の発展に伴い、信頼性のある迅速な通信ができるように、IMCOは海事衛星に関するパネルを発足させ、将来の要求に応ずることのできるような国際海事衛星機構を設立することを報道した。国籍に関係なく、世界的に利用できるものであるという基本条件で、この機構は設立されるべきである」  
次いでITUのMr. Butlerが挨拶した。

「各国緊密は連絡のもとにこの機構ができることはITUとしては歓迎する所である。海上安全と通信に関する国際協定は、各国の発展と相互関係を密にする点で貢献してきた。一方、衛星を通じて地球上の遠距離の地と直接に通信ができるという利益が高く評価されるようになって来た。それは現有の地上ネットワークと直結され、自動的にスイッチインできるようにすべきである。それは本当の意味での国際的なもので、使用者は通信内容や呼び出し先などに関係なく、自由に使用できるものとすべきである。それはまた多目的に作られるべきであって、公衆通信からラジオ ナビゲーションに至る範囲におよぶべきものである」

次に事務局長のMr. Savelievが発言、会議の進め方などを説明したほか、次のように述べた。

「総会と理事会の間の力の配分については、今会議で結論を見出したい。出資分担と資本最高額限定に関するAD HOC グループの作業があるので、この点も本会議で結論を得たい」

次にPresidentは「政府と指定事業者との間の関係についても本会議で結論を得たい」と発言し、そのようにすることとなった。また、「発明および技術情報については、専門委員会を作り、第29条（機関は自ら行ない、または自費によって自己に代って行なわれる作業に関し、発明および技術情報に係わる権利取得をする云々）を中心として審議したい」と発言し、そのようにきめられた。最後に責任「(Liability)の件については、審議がその条項に及んだ時に取りあげて論ずることとしたい」と発言し、そのようにきめられた。

その後、第1委員会（主として条約関係）と第2委員会（運営協定関係）とに別かれて、長期にわたる審議を始めることになった。その内容について細かくここに述べることは不可能であるので、最後の「まとめ」において結果を報告することとしたい。また当然のことながら、本会議において日本はいかなる提案をなし、それはいかなる結果になったかは関心事と思われるので、そのことをピックアップして以下説明をする。

### 2.3.6 日本の提案とその結末

- (1) 条約草案第1条には定義が述べられている。これには「運用協定」「当事国」「署名当事者」「宇宙部分」「船舶」「財産」などについて定義付けている。

日本はこれに加えて次の項目を挿入すべきであると提案したが、多数の賛成を得ることができず、これは採用されなかった。

#### Article 1 - Definitions

After Article I(g) add the following:

- (h) "Maritime public telecommunications services" means telecommunications services which can be provided by satellite for ships and which are available for use by the public, such as telephony, telegraphy, telex, facsimile, data transmission,

transmission of radio and television programmes between ships and approved earth stations having access to the INMARSAT space segment for further transmission to the public, and leased circuits for any of these purposes.

Note: Reference: INTELSAT Article I(k)

- (2) 第3条はこの機関の「目的」について規定してあるが、その(1)には「……これによって、遭難および海上における人命の安全のための通信、船舶の効率および管理、海上公衆通信および測位能力の改善を図ろうとするものである……」とある。これについて日本は次のように改訂すべきであると提案した。

### Article 3 - Purpose

Amend as follows:

- (1) The purpose of the Organization is to make provision on a selfsupporting basis for the space segment necessary for improving maritime communication, thereby assisting in improving maritime public correspondence services, distress and safety of life at sea communications, efficiency and management of ships and radiodetermination capabilities, by satellites.

これについて、on a self supporting basis の言葉 (Commercial basis にかわる語句) については新5条にこれが挿入されたことによって解決。Maritime public correspondence services を第1番に出す案については、支持が少なく、日本は妥協した。従って、順序は原文のままとなった。

- (3) 第5条は「他の宇宙部分」について規定されている。類似衛星をあげて INMARSAT に経済的な打撃を与えないようにとの配慮についての規定である。これについて日本は次の提案をした。

### Article 5 - Other Space Segments

Add the following sentence to Article 5:

Recommendations by the Assembly of Parties pursuant to this Article shall be made within a period of six months from the date of commencing the procedures provided for in the foregoing paragraphs.

Note: Reference: INTELSAT Article XIV(f)

これについては、文章はこのままではないが、その要旨は採用され新条文には折込まれた。

- (4) 新条項挿入の提案。日本は、Financial Principles について新条項を作るべきであるとして次の提案を行なった。

Proposed texts for financial principles

- (1) The Organization shall own or may lease the space segment and other facilities required by the Organization. Each Signatory shall have the financial interest in the Organization in proportion to its investment share which shall be determined in accordance with the provisions of the Operating Agreement.
- (2) Each Signatory shall contribute to the capital requirements of the Organization and shall receive capital repayment and compensation for use of capital in accordance with the provisions of the Operating Agreement.
- (3) All users of the INMARSAT space segment shall pay utilization charges determined in accordance with the provisions of the Operating Agreement. In setting the levels of the utilization charges, it shall be ensured that all costs and expenses required for carrying out the activities of the Organization can be recovered in due time in accordance with sound and self-supporting financial principles.

この提案に対して、審議の結果次のようになった。(1)の2行目までは、新6条に入っているので、問題は2行目最後の「Each」以下であるが、これは文章をかえて内容は採択された。(2)についてはそのまま新条約に採用。(3)については内容は大きくかわり、米・ソの妥協の後、新6条bisに入れることとなった。

(5) Capital Ceilingについても提案の用意はしたのであるが、会議の雰囲気から提案を中止した。そ

POSSIBLE INITIAL INVESTMENT SHARES	INVESTMENT PERCENTAGE RANGES
United States	14-16%
	12-14%
United Kingdom	10-12%
USSR	8-10%
Norway	6-8%
Greece, Japan	4-6%
Canada, France, Italy, Netherlands	2-4%
Australia, Denmark, FRG, India, Spain, Sweden	1-2%
Belgium Finland	0.5-1.0%
Bulgaria, GDR, Liberia, Turkey	0.0-0.5%
all other countries	0-0.5%

の他、文章を提出せず、言葉で提案したものは「Investment Shares」「Payment of Wilization Charges」「Earth Station Approval」などにおいていくつかの提案をしたが、総体的にいて、日本の提案の9割位はその内容採択の形で受け入れられたといえる。

Investment Sharesについては、最後の最後までもまれた。ここに示した表は、本会議の開始までに、作業部会が回を重ねて検討した結果得られたものであるが、これは全部を合わせても100%には程遠い数字である。そこで、各Rangeを増幅して全体を100%にすることにするか、更に検討を加えたRangeを作り、100%にするかで会議は数日間を空費した。しかし、最終日をひかえた26日になって、各国が大幅の妥協案を示したことから、次に示すような最終案が得られ

てこの難問は解決した。

INVESTMENT SHARES PRIOR TO THE FIRST DETERMINATION  
ON THE BASIS OF UTILIZATION

(a) The initial investment shares of the signatories of the States listed below shall be as follows:

UNITED STATES	17.00
UNITED KINGDOM	12.00
USSR, Byelorussian SSR and Ukrainian SSR	11.00
NORWAY	9.50
JAPAN	8.45
ITALY	4.37
GERMANY, FEDERAL REPUBLIC OF	3.50
FRANCE	3.50
GREECE	3.50
NETHERLANDS	3.50
CANADA	3.20
SPAIN	2.50
DEMMARK	2.10
SWEDEN	2.30
AUSTRALIA	2.00
INDIA	2.00
POLAND	1.48
BRAZIL	1.50
ARGENTINA	0.75
FINLAND	0.75
GERMAN DEMOCRATIC REPUBLIC	0.74
BELGIUM	0.75
SINGAPORE	0.62
KUWAIT	0.05
NEW ZEALAND	0.44
SWITZERILAND	0.25
BULGARIA	0.33
CUBA	0.33
INDONESIA	0.33
IRAN	0.33
CHILE	0.25
LIBERIA	0.10
ALGERIA	0.05
GHANA	0.05
IRAQ	0.05
PERU	0.25
THAILAND	0.05
TURKEY	0.05
UNITED REPUBLIC OF CAMEROON	0.05
EGYPT	0.05
Total	<u>100.02</u>

### 2.3.7 むすび

今回の会議は、Investment Share という大きな難問の解決を見たことによって、条約署名にまで行けるかと思われたが、結局は次の点を残して妥結できず、条約締結は第3回会議に持ち越された。

#### (A) (資料 CONF/D/6 — P2 — Article 14)

第14条(理事会の機能)のうち、出資投票について、一定の制限を設けることについての合意が得られなかった。米は条件付30%制限を、ソ連は20%制限を主張して譲らず、これが妥結できなかった。

(B) 新第32条第5項に、条約に関する批准受諾または承認に関する「留保」の問題が含まれているが、この点に関し結論が得られなかった。

(C) 新36条の使用国語に関して、スペイン語の採択可否について議場が混乱し、この条文それ自体が否定されたので、新たに条文を作る必要が生じた。

以上さらに細部にわたっては条文を示し、これに対する各国の意見を付して説明を要することが大部分であるが、ここでは一応以上に止めた。なお、INMARSAT本部に関する問題や準備委員会設立に関する問題、航空援助方式の検討など、更に具体的な検討事項は残された。

第3回条約会議は1976年9月1日～3日と定められた。それまでには各政府間で折衝が行なわれて妥協点を見出し、条約署名にまで運ぶことになる見通しである。

### 3. 海事衛星システムの調査(その2)

#### 3.1 MAROTS 計画

(1) 欧州宇宙機関(ESA)のMAROTS計画は1977年の打上げに向けて着実に進んでいる模様で、衛星、船舶地球局、通信系のパラメータが少しずつ明らかになってきている。

打上げは1977年11月、使用ロケットはソーデルタ3914、静止位置は東経40°(ケニヤ上空)と予定されている。この静止位置はインド洋全域と大西洋東半分をカバーし、米国のMARISATを考え、全世界システムの事前準備的運用ができるよう修正されたものである。

実験計画(衛星)は次のようになっている。

構造試験、温度試験	1975年末 未完
Engineering Model	1976年 5月完
Qualification Model	1977年 4月完
Flight Model	1977年 8月完
打上げ	1977年11月

(2) 地上設備は4種類計画されている。

海岸局(MTS: Maritime Shore Terminal)

通信センターをもつ。

衛星制御局(SCF: Satellite Control Facility)

衛星の計測、制御とリンク校正を行う。

試験設備(ETS: Electronic Test Set)

Lバンド送受信、リンク校正、レベル制御を行い、測位の基準点となる。

(レベル制御は一つだけ)

船舶地球局(Ship's Terminal)

(3) 衛星はESAの軌道試験衛星(OTS: Orbital Test Satellite) のバスに海事衛星用通信設備をのせるが、ペイロードの条件等は

重量	64 Kg以下
電力	約450W(蝕の時 140W) / 電圧 50VDC
指向精度	±0.35°
設計寿命	3年(完成動作) / 7年(低下した品質で)

となっている。

衛星搭載Lバンドアンテナはカバレッジの端まで電界強度、アンテナ利得を一定とする成形ビームアンテナで、直径2mである。アンテナパターンは3.5:1のスケールモデルを使い、5.37~5.4GHz(送信)、5.73~5.76GHz(受信)で実験した結果、理論値と良く一致している(約0.5dB以下)。最低利得16.8dB/15.8dB、カバレッジ端利得17.9dB/17.5dB(送信/受信)であった。重量は15.2Kgと推定されている。

(4) 通信回線は表3.1.1に示す6種類が考えられている。

(5) MAROTS計画の一つの目的は表3.1.2に示す各種の船舶地球局の可能性を実験で確かめることである。これら各種の船舶地球局は欧州各国で検討されている。

(a) テレックス専用船舶地球局

$G/T = -22 \text{ dB/K}$  の場合

・アンテナは1素子(多分ヘリカル)、コンパス従属回転台、仰角手動調整、ロール・ピッチ無補正。

- ・ドイツ：逆円錐面特性、アジマス無調整、円錐の角度を仰角に応じて電子的に制御、面の厚さ±1.3°、ピッチ・ロール補正必要、安定台（サーボ式）or 受動ペンデュラム構造 or 円錐角度制御、レドーム必要。

表 3.1.1 MAROTS 計画の通信回線

方向	種 別	特 性	回 線 数		備 考
			平常	蝕時	
陸 ↓ 船	音声/データ	$C/N_0 = 52 \text{ dB-Hz}$ , $S/N = 30 \sim 35 \text{ dB}$ $BW \leq 40 \text{ kHz}$ , $BER \leq 10^{-5}$	12	1	測距信号中継 (船→陸も)
	テレプリンタ/テレックス	$C/N_0 = 32 \text{ dB-Hz}$ $BW \leq 400 \text{ Hz}$	8	5	
	アクセス制御	$C/N_0 = 49 \text{ dB-Hz}$	1	1	ビーコン信号兼用
船 ↓ 陸	音声/データ	陸→船に同じ	14	3	アクセス制御用 1 遭難信号用 1
	テレプリンタ/テレックス	陸→船に同じ	8	5	
陸間	音声/データ	$C/N_0 = 52 \text{ dB-Hz}$	3	2	システム管理用

音声回線の S/N は仰角 10° 以上で、時間率 95% 以上。

データ回線の誤り率は 2400b/s に対して。

特性は  $G/T = -10 \text{ dB/K}$ 、EIRP 音声データ 30 dBW、テレプリンタ/テレックス 20 dBW の船舶地球局の場合である。

表 3.1.2 MAROTS 計画の船舶地球局

種 別	G/T (dB/K)	EIRP (dBW)	利 得 (dB)	指向性損 失 (dB)	軸上利得 (dB)	3 dB ビーム幅	指向精度 (3σ)
テレックス専用	-22	21	4	3	7	70°	35°
テレックス専用	-14	21	12	3	15	33°	17°
音声/データ	-10	31	16	1	17	24°	6°
音声/データ	-4	31	22	1	23	12°	3°

利得は指向性による損失低下を含めた値。

- ・送信機：21 dBW を得るために 100W の出力が必要、送信機価格がアンテナ簡略化を相当に相殺。
- $G/T = -14 \text{ dB/K}$  の場合
- ・指向精度 17°、動揺補正必要、受動ペンデュラム構造+ヘリカル・アンテナ+同軸台が一つの解。

- (b) 音声/データ船舶地球局  
 - 10 dB/°Kにも多分使える - 14 dB/°Kアンテナ  
 ・フランス：直線アレイ、楕円ビーム、楕円の主軸を船のロールに合うようにする。  
 ・ノルウェー：電子的ビーム制御平面アレイ（1軸）+ 1機械軸。電子装置複雑、難かしさが自動追尾に集中。  
 ・イギリスBPO：受動ベンデュラム構造を有望視、検討と実験が必要。
- (c) MAROTS、MARISAT共用の- 4 dB/°K船舶地球局  
 ・アンテナ：パラボラまたはカッド・ヘリカル。カッド・ヘリカルは小形だが、サイドローブが問題。  
 ・マウント：3軸または4軸が必要。  
 ・安定台（4軸マウント用）：サーボ制御または「受動」制御。  
   受動制御 …… 2軸ジンバル、大形フライホイール  
   サーボ制御 …… 検出器：垂直ジャイロ or ベンデュラム or アンテナに取付けた運動検出器。
- (6) 船舶地球局の価格と複雑さが海事衛星システムの存立の主要な基準となるなら、MAROTS計画はMARISATより低規格の船舶地球局が長期間使用できる実際的な設備をもつことが重要である。INMARSATが設計を凍結する前にMAROTSが船舶地球局の最適設計の指針を作ることが望まれている。
- (7) 参考文献
- (a) J. A. Vandekerckhove: "The ESRO MAROTS Programme," *Journal of the British Interplanetary Society*, Vol. 27, pp. 735-M40, 1974.
- (b) P. J. Conchie: "The Adoption of OTS to the MAROTS Role," *ibid.*, pp. 797-800, 1974.
- (c) W. M. Lovell: "The MAROTS Communications Payload," *International Conference on Satellite Communication Systems Technology (IEE Publication No. 126)*, pp. 33-42, 7-10 April 1975. (SR-150-幹16-4)
- (d) J. G. Chaplin: "Some Aspects of Ship Terminal Design for Pre-Operational Maritime Satellite Systems," *ibid.*, pp. 43-49, 7-10 April 1975. (SR150-幹16-3)
- (e) J. H. Cowan: "A Shaped Beam Antenna for a Maritime Communications Satellite," *International Conference on Antennas for Aircraft and Spacecraft (IEE Publication No. 128)*, pp. 101-106, 3-5 June 1975.
- (f) W. L. Jones: "The MAROTS Antenna Subsystem," *ibid.*, pp. 107-114, 3-5 June 1975.

### 3.2 アメリカの海事衛星システム (MARISAT)

世界で最初の通信衛星アーリーバードが1965年4月6日に打上げられ、これによって大西洋の通信量は50%増加し、生のテレビジョン伝送も行えるようになった。そして衛星本体の調整のため計画より遅れたが、MARISATの打上げによって1976年中には、初めての商用海事衛星通信が大西洋と太平洋で行われる予定である。

この計画については昭和49年度報告書に述べてあるが、その後追加、訂正があった要点は次の通りである。

(1) 事業体

	出資率
コムサットジェネラル	86.29%
RCAグローバルコム	8.00%
ウェスタンユニオンインターナショナル	3.41%
ITT	2.30%
	100%

(2) 衛星の打上げ及びサービス開始予定

	打上げ	サービス開始
大西洋	1976年2~4月	1976年3~5月
太平洋	1976年5月	1976年6月

なお、MARISATによるサービスエリアは従来と変更はないが参考のため図3.2.1に示す。

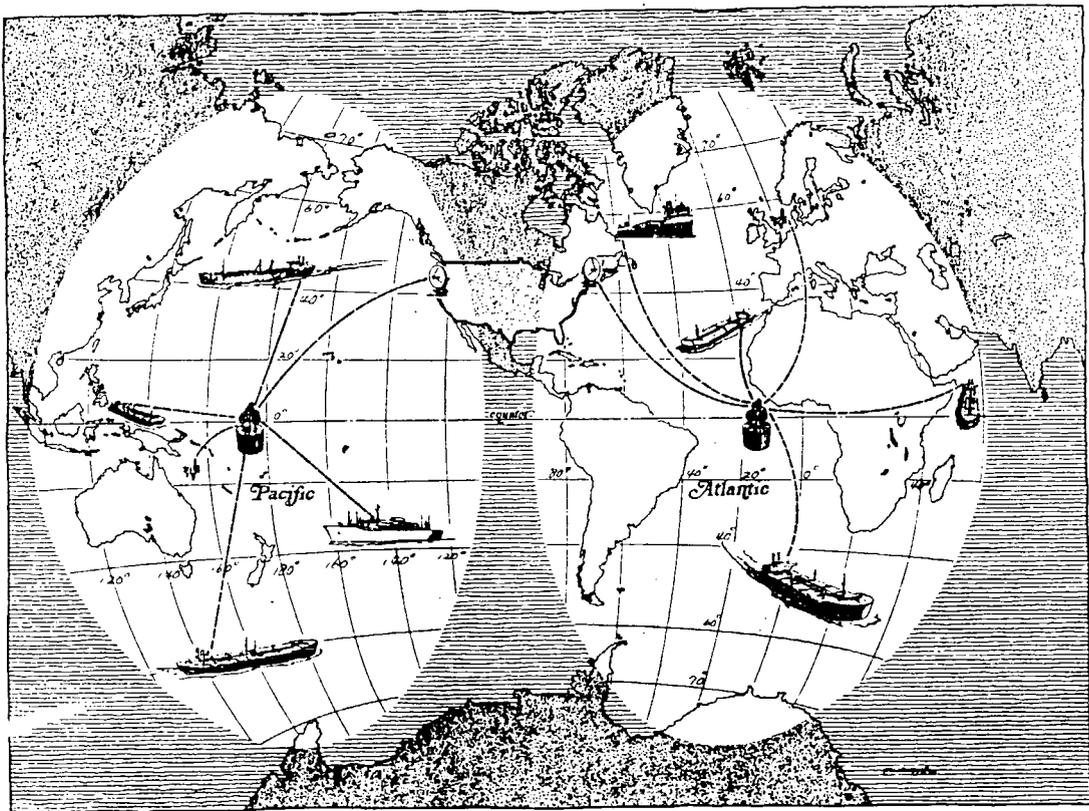


図3.2.1 MARISATの覆域(サービスエリア)

(3) 回線数

MARISATの初期はアメリカ海軍と共同使用のため、商用海事通信は低電力で運用されるが、数年後には海軍の使用はなくなり商用海事通信専用となる。

	音声	テレプリンタ
低電力時(EIRP=20dBW)	1	44
中電力時(EIRP=26dBW)	5	66
高電力時(EIRP=29.5dBW)	9	110

#### (4) 船舶地球局(衛星利用の船舶局)

地球局(従来の考え方からすれば海岸局)は事業体の所有であるが、船舶地球局は事業体以外の会社が船主にリースしたり、または船主が会社から買取っても差支えない。しかし、MARISATシステムを利用する以前に事業体のマネージャーから形式承認を受けることが必要である。

現在、コムサットジェネラルはサイアンティック・アトランタ社によって作られ、音声、テレックス、ファクシミリ、データサービスのできる船舶地球局設備を200セット所有しているが、需要が増加すれば他の多くの会社がこの設備を製造することになり、これらの製造会社なり、海事通信会社によって直接船主に売られたり、リースされることになる。

なお、船舶地球局設備の形式承認手続は、事業体のマネージャーとしてのコムサットジェネラルから1975年10月29日付けで発行されている。

### 3.3 ATS-6衛星による実験

アメリカ航空宇宙局(NASA)の応用技術衛星(ATS. Application Technology Satellite)シリーズの最後の衛星であるATS-6は1974年5月末に90°Wの静止位置に打上げられ、その後インドとの衛星放送実験のため35°Eに移動されている。この衛星は重さ約1トンの大形衛星で、ミリ波(20/30GHz)の通信実験、860MHzでの放送実験および高精度ラジオメータによる可視および赤外域での気象観測実験に加えて1.5/1.6GHzのLバンドを使ったPLACE(Position Location Aircraft Communication Experiment)実験が行われ、同じ衛星上の中継器を使って船舶による実験もアメリカ単独および欧州各国との共同の実験として行われた。

#### 3.3.1 アメリカの実験<sup>(1)</sup>

アメリカ側の実験は1974年9月から1975年4月までAzores諸島付近の海上および停泊中に併せて、118時間行われた。この間の衛星を見る仰角は0~40°であった。

実験の目的はつぎのようなものであった。

- (1) 15dBの利得の船上空中線の性能評価、この目的のためにモノパルス方式による自動追尾、船のジャイロからの信号で8軸安定追尾および手動制御の動作のできる空中線が設計された。
- (2) 受信信号レベル40~52dB-Hzでの音声および1200bpsのデータ伝送用モデムの評価に対し、つぎのモデムが実験された。
  - (a) ANBFM(Adaptive Narrow Band FM)の音声変調
  - (b) CPSK(Coherent PSK)のデータ変調
  - (c) Hybrid I(低偏移位相変調の音声とPSKデータとを同時変調)
  - (d) Hybrid II((c)の音声変調をパルス幅変調(PDM)に変えたもの)
- (3) トーン測距モデムの評価
- (4) 伝搬特性、とくに海面反射によるマルチパスと船の運動の効果の評価
- (5) 4dBの固定低利得空中線の評価

実験結果の概要はつぎのとおり。

通信端局は可搬式に組立られ、長さ378ftのコーストガード船に取付けられ、空中線は水線上12mの特別のマスト上に置かれた。

15dBの空中線は、衛星の仰角12°以上ではすべての状態で良好に衛星を自動追尾したが、仰角12°以下の荒天時には追尾性能が低下した。しかし、平穏な海上では、自動追尾は仰角4°まで良好であった。

(1) CCIR IWP 8/1へのUSからの寄与文書US No. 8/1/09

自動安定方式の動作は仰角 $0 \sim 45^\circ$ すべての海象条件で良好であった。空中線特性を表3.3.1に、また、実験結果のまとめを表3.3.2に示す。

表3.3.1 15dB空中線の特性

周波数範囲	送信 受信	1636.5~1660.0 MHz 1535.0~1558.0 MHz
利得	送信 受信	15 dB 15.4 dB
G/T, 1550MHzで		-11.2 dB
EIPP, 1650MHzで		33.6 dBW
受信しき域値のC/N0		40.0 dB-Hz以下
指向精度		1.0°
追尾精度 (C/N0 ≥ 40 dBHzで)		空中線主ローブ尖頭値の1.0 dB以内

表3.3.2 15dB空中線の指向誤差のまとめ

衛星の仰角	波高(ft)	空中線の動作モード	全指向誤差	方位方向誤差		高角方向誤差		Figure of Merit
				平均	1σ	平均	1σ	
38.4°	0	自動追尾	4.8°	-2.0°	2.2°	2.4°	3.7°	-
8°	1	自動安定	2.2°	-1.9°	0.5°	0.3°	1.2°	1.4
8°	1	自動追尾	6.4°	1.5°	1.3°	-6.0°	2.4°	0.28
9.5°	6	自動安定	5.0°	4.5°	0.8°	1.3°	2.0°	-
9.5°	6	自動追尾	3.9°	1.1°	2.1°	2.6°	2.6°	0.56
2.1°	5	自動安定	2.0°	-1.2°	0.7°	1.2°	1.4°	1.75

音声伝送は、 $C/N_0 = 40 \sim 43$  dB-Hzで60~80%の了解度が得られた。1200bpsのデータ伝送は仰角 $20^\circ$ 以上のすべての条件の下で $C/N_0 = 43$  dB-Hz以上のとき $10^{-5}$ のビット誤り率が達成された。 $20^\circ$ 以下の仰角では理論とほぼ一致するマルチパス干渉による劣化が見られた。搬送波とマルチパス干渉波の比(C/M)は、一般には11dBより大きい、ときには8dB以下となり、衛星仰角 $8.5^\circ$ で20ftの波のときに $C/M = 8$  dBが観測された。空中線ビームの半値幅を $3.4^\circ$ とするとマルチパス鏡面反射点が空中線ビームの-3dB内に入るからである。

単一搬送時を音声と1200bpsのデータで同時変調するモデムの受信成績は $C/N_0 = 40 \sim 46$  dBで良好な結果を得た。

### 3.3.2 フランス船による音声変調実験<sup>(2)</sup>

フランスは、Azores諸島沖の船舶で、つぎの3種類の音声モデムの主観評価試験を実施した。

(1) 32 kb/s のデルタ変調

(2) CCIR IWP 8/1へのフランスからの文書, FRANCE No 8/1 / 04

(2) 18 kb/sのデルタ変調

(3) NBFM、圧伸器つき

結果を図 3.3.1 と図 3.3.2 に示す。評価は6- 言うことなし (Ideal)、5- すばらしい (Excellent)、4- 良い (Good)、3- まあまあ (Fair)、2- 貧弱 (Poor)、1- 悪い (Bad)、0- 非常に悪い (Very bad) の7段階とし、図 3.3.1 は4~6 の評価をした人、図 3.3.2 は3~6 の評価をした人のパーセンテージを示す。これから表 3.3.3 のような結論が得られる。

表 3.3.3 必要とする C/N<sub>0</sub>

条 件	必要とする パーセント	C / N <sub>0</sub>			
		NBFM	NBFM	Delta 32kb/s	Delta 18kb/s
満足した利用者	50%	51	51	—	51
まあ満足した利用者	80%	50.2	50.2	52	50

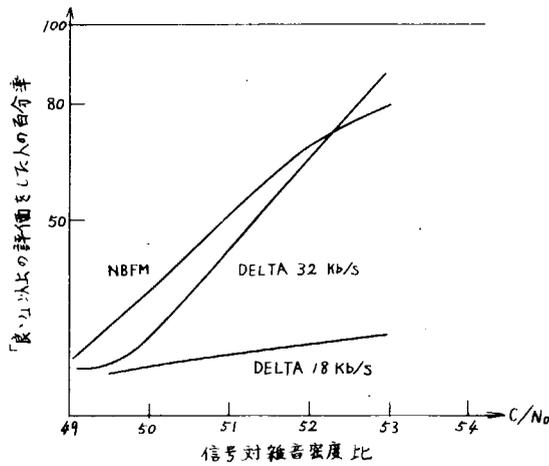


図 3.3.1 良質の通信を希望する利用者

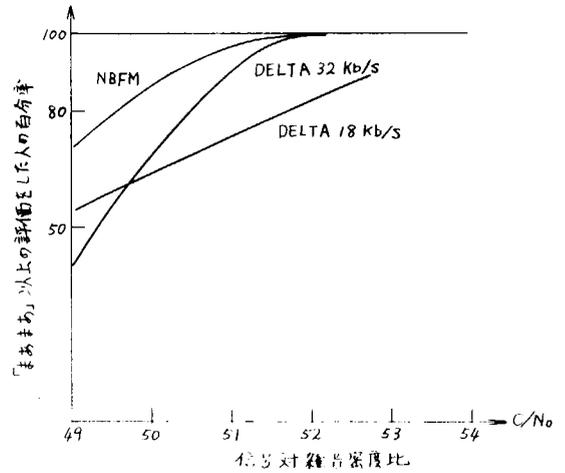


図 3.3.2 まあまあの通信を希望する利用者

### 3.3.3 西独のLバンドEPIRBの提案と実験

1975年5月欧州において、Lバンドの衛星チャネルと2182kHzを併用したSARシステムの実験がATS-6を使用して行われ、CCIR IWP8においてその技術上、運用上の特性が報告された(IWP8/1/1)参考として西独(FDR Institute for Satellite electronics)の報告の概要を述べる。

#### (1) 概 要

海事衛星は海上通信サービスおよびSAR活動に進歩をもたらし、人命の安全に役立つ、本システムはRRで船舶・航空に割当てられたLバンドを衛星回線に使用し、2182kHzを併用する。

遭難時の船舶からの発呼は次の通りである。

- (a) 船上の通信装置が使用できる場合は、20dB以上の指向空中線を使用した、正規の電話/データの衛星回線を使用する。
- (b) 通信装置使用不能の場合、無指向性空中線を使用した遭難用のキーボードセンダを使用する。この装

置は船の位置、遭難の種類、必要な救助等の情報を救難センターに衛星経由伝送できる。構造は防水、携帯形で内蔵のアルカリ電池で、ライフボート、筏での使用も可能である。

(c) 火災、通信士の不在等携帯送信機が使用できない場合は遭難ブイが役立つ。このブイは自動的に浮上し、海水スイッチにより動作してコールサインを送出する。コールサインの受信により救難センターでは船位通報システムにより遭難位置の推定ができる。ブイはLバンドと同時に2182kHzのホーミングビーコンを発射し、近傍の船への警報および方位測定に利用する。

(2) 回線パラメータ

- ・ブイの送信電力の制限
- ・0 dB利得のアンテナ
- ・空間伝播損失
- ・マルチパス損失、波による遮蔽

等による悪条件の回線であり、データを高信頼伝送するため特別な信号処理が必要である。回線設計は表3.3.4に示すようにC/N0 19dB-Hz、最良条件で28dB-Hzとなり、狭帯域フィルタ(75Hz)を使用して信号検出を行う。

表3.3.4 遭難ブイの回線パラメータ(ATS-6による実験)

Tran. Power 3W	4.8 dBW
10dB Attenuator *	- 10.0 dB
Buoy Ant Gain	0 dB
Pointing Loss	- 4.0 dB
Absorption Loss (housing & water layer)	- 0.8 dB
EIRP	- 10 dBW
Space Loss	- 189.0 dB
Multipath Loss	- 6.0 dB
Polarization Loss	- 1.0 dB
S/C Ant Gain *	+ 28.0 dB
S/C Pointing Loss	- 1.0 dB
Received Level at S/C	- 179.0 dBW
S/C Noise Density (880°K)	- 199.0 dBW/Hz
	+ 20.0 dB - Hz
Limiter Suppression Loss	- 1.0 dB
S/C C/N0, nominal	+ 19.0 dB - Hz
Favourable Conditions	+ 9.0 dB
(reduced pointing loss buoy + 4 dB)	+ 28.0 dB - Hz
(reduced multipath loss + 5 dB)	

\* ... ATS-6のSpot Beam(Gi 28dB)とGlobal Beam (Gi 18dB)の空中線利得差の補正

(3) EPIRBの構成

(a) プログラムおよび符号化ユニット

プログラム : Lバンド 1分送信19分休止

MF 連続送出

信号フォーマット : ビットフレーム同期 22ビット

メッセージ 42ビット(7文字,6ビット/文字)

変調 : 240 Hzまたは480 Hz FSK

(b) Lバンド送信機

出力 : 10W(電源23V) 3Wで使用

周波数 : 1655 MHz

安定度 :  $1 \times 10^{-6}$

(c) アンテナ

コニカルスパイラル形右旋円偏波,ビーム幅 $\pm 120^\circ$

MF用ロッドアンテナを同心に構成しLバンド/MFに共同

(d) 電源

MF/Lバンド独立のアルカリマンガン一次電池

寿命 :  $-5^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ において

MF : 50時間(連続送出)

Lバンド:数時間(断続送出)

(e) MFビーコン送信機

市販EPIRBを使用(2182kHz AZ 1300Hz変調)

MF/Lバンド共用アンテナのためEIRPが3dB低下

(4) 受信システム

地球局受信機の70MHz IFでインターフェイスして、50MHz、10MHzと2段変換後、FS信号を直接AFに復調する。AF信号は75Hzバンド幅、60Hz間隔に配列した48組のフィルタバンク(420-3160Hz)にて選択し、その出力の論理処理により符号を検出する。

(5) 試験結果

試験の最大目的は小電力プイで衛星のグローバルビームを使用して有効なデータ回線の設定の可能性の確認である。実験はATS-6を使用して1974年9月から1975年4月に亘り12回、仰角 $20^\circ \sim 0.5^\circ$ 、風力0~7の状態で海上試験が行われた。結果は3Wのプイ送信機で0dB利得の空中線を使用して仰角 $0.5^\circ$ までグローバルビームの衛星を経由地上局に高信頼度のデータ伝送が可能であった。MFビーコンに関しては30哩の距離でDFが不能であり不十分であった。今後研究を要する。

(注) 使用されたEPIRBはCCIR Rec 429-1によるType-Lのようで、規格は海上30哩の電界強度 $2.5 \mu\text{V}/\text{m}$ である。3dB低下により、DF受信機の通常の実用感度 $2 \sim 3 \mu\text{V}/\text{m}$ に対し不足する。日本のEPIRBは昼間90Kmにおいて $1.0 \mu\text{V}/\text{m}$ である。

(施行規則31条の4)

## 4 現行の船舶通信、電波航法の内容と将来の要求条件

わが国の船舶通信および電波航法については、昭和50年度研究報告書に於ても、その概要を記述してあるが、海事衛星システムに対する要求条件を決定し、今後のシステム開発、機器開発の基礎条件を明確にするために改めて現状の分析と問題点の抽出を行なうこととした。

### 4.1 船舶通信、電波航法の種別と内容

わが国の船舶通信、電波航法の種別は、大略下記のようなものである。

通信、航法の種別	通信事項、内容	通信相手局、関係先
海上人命の安全確保のための通信	遭難通信	船舶局
	緊急通信	一般海岸局
	安全通信	海上保安庁等救難機構の海岸局、船舶局
	捜索、救難に関する通信	航空機局
船舶の航行の安全に関する通信	航行警報	海上保安庁等
	水路通報	水路関係機構
	気象通報	気象庁、WMO、ラジオ、TV等放送局
		無線方位信号所
		一般海岸局
	船位通報	各システムセンター
		海上保安庁海岸局
		船舶局
	港務通信	港務通信海岸局
		海上保安庁又は地方公共団体施設海岸局
		船舶局
		海上保安庁海岸局
	特別海域運河海岸局	
	検疫所	
	標準周波数局	
貨物の輸送に関する通信	公衆通信系を利用	一般海岸局
	内航無線電話利用組合加入船	内航無線電話用海岸局
	船内連絡	船内通信局、設備
	社船連絡(位置交換、業務情報交換)	同一社船船舶局
漁業に関する通信	専用通信系を主として利用	
	無線電報	漁業用海岸局(中央、各地方)
	無線電話	船舶局
	印刷電信	全国漁業無線組合
	漁況放送等、ファクシミリ	中央無線局

通信、航法の種別	通信事項、内容	通信相手局、関係先
公衆通信	船団内連絡 無線電報(国内、国際) 無線電話(国内、国際) 遠洋船舶電話(短波) 特殊船舶電話(超短波) 船舶電話(超短波) 入出圏通知 印刷電信、データ通信、FAX通信	一般海岸局(電々公社、国際電々)  Tokyo Radio (JBO) (京浜及び阪神のみ) (全国)  中波一般海岸局 わが国では未実施
船内福利厚生のための通信	新聞、ニュース放送、ファクシミリ TV、ラジオ 印刷電信ニュース 医事通報、医療電報 衛生情報	共同通信社 NHK、民放、外国放送局 (外国のみ) 船医乗船船舶或は指定医療機関 WHO、保健担当機関
電波航法	無線方位測定 無線測位(ロランA、ロランC デッカ、NNS S、オメガ) レーダ	無線標識局、救難用方位測定局 ロラン局、デッカ局、オメガ局 航行衛星及び管制局 ハーバーレーダ局、マイクロ標識局

船舶通信を行なう海岸局、船舶局の運用は、わが国では電波法、公衆電気通信法および関連諸規則によって規定されており、その範囲外の運用は、特別の場合を除いては行なうことができない。

一方、電波航法の運用は、レーダを除き、標識電波信号の受信、測定が主体となっているため、規則による規定は受けていない。

#### 4.1.1 船舶局施設の目的

船舶局は大別して次の3つの目的のために施設されている。

- (a) 船舶の航行の安全のため
- (b) 海運、漁業等の事業用のため
- (c) 公衆通信業務用のため

前記のように、上記目的以外の運用及び4.1.3通信の相手方及び通信事項で規定されたもの以外の通信は目的外通信となり、特に認められたもの以外は、運用を禁止されている。

現行電波法及び関係規則上では、遭難、緊急、安全関係の通信あるいは港務通信等、常識的にみて無条件に運用してしかるべきものについても、特例として目的外運用を認めている部分があり、不合理な面がある。

#### 4.1.2 船舶局運用の原則

船舶局には、局の種別に従い、規定の有資格通信士により一定の時間運用する事が要求されている。また、その運用は原則として船舶の航行中に限られている。

例外として停泊中の運用が認められているのは、下記通信であるが、外国港停泊の場合は当該国の法

令に従わねばならず、場合によっては無線室がシールされてしまうことさえある。

- (a) 遭難、緊急、安全及び非常通信
- (b) 受信装置のみの運用
- (c) 無線検査のための運用
- (d) 機器の調整、試験のための通信 等

航行中、停泊中の定義は必しも明確ではなく、港外仮泊は航行中と見做すこともある。

#### 4.1.3 船舶局の通信の相手方及び通信事項

船舶局の免許にあたっては、通信の相手方、通信事項が指定され、免許状に記載される。

一般商船の場合は、

- 通信の相手方 (a) 一般海岸局(公衆通信を行なう場合)
- (b) 免許人所属の船舶局
  - (c) 港湾通信業務を行なう無線局
  - (d) その他の船舶局(海上交通安全法の進路警戒船等)
- 通信事項 (a) 船舶の航行に関する事項
- (b) 貨物の輸送に関する事項
  - (c) 公衆通信に関する事項

漁船の場合は、

- 通信の相手方 (a) 一般海岸局
- (b) 所属加入団体所属漁業海岸局
  - (c) 免許人所属海岸局
  - (d) 漁船の船舶局
  - (e) 免許人所属船舶局
- 通信事項 (a) 船舶の航行に関する事項
- (b) 漁業通信
  - (c) 公衆通信に関する事項
  - (d) 貨物の輸送に関する事項(商漁船の場合)

#### 4.1.4 人命の安全及び航行の安全に関する通信

各種船舶通信の中で、船舶局施設の目的から云っても最も重要、かつ優先して取扱わなければならないのが、人命の安全及び船舶の航行の安全に関する通信であり、就中遭難、緊急、安全に関する通信等、所謂重要通信の運用については規則で詳細に規定している。

##### (1) 遭難通信

船舶が衝突、座礁、火災、その他の海難により自力で船体及び人命、財産の保全をなし得ない場合救助を求めるために船長の命令により発信する。

##### (2) 緊急通信

機関、舵等の故障のため航行不能となった時、急病人あるいは負傷者が発生して医療救助を求める時、船員・船客が海中に転落し救助を要する時等、緊急事態が発生した場合、船長の命令により発信する。

##### (3) 安全通信

航路標識に異状を発見した時、流氷または航行上危険な漂流物等が発見した時、熱帯性暴風雨の存在を認められた時等、航行上に重大な危険を予防する場合に発信する。

##### (4) 非常通信

地震、台風、洪水、津波、雪害、火災あるいは暴動等の非常事態が発生し、または発生のおそれがある

あり、陸上の有線通信の利用不能または非常に困難な時に人命の救助、災害の救援、交通通信の確保、秩序維持のため必要な場合に発信する。

以上4項目の通信に対する応答、救助等に関して行なわれる通信もそれぞれの項目の通信として取扱われる。

(5) その他

船舶の航行安全のための気象、海象状況情報の入手あるいは交換、濃霧中の船位放送等の他、港湾出入、運河通航のための航行管制通信がある。

また船舶の国際気象機関への協力の一環として最寄気象センターに対し、気象通報を定時に送信している。(気象衛星を利用して船舶観測データを蒐信する計画が別途取進められている)。

#### 4.1.5 貨物の輸送に関する通信

貨物あるいは旅客の輸送に関する通信は、通常一般海岸経由の公衆通信を利用して行っており、船舶局相互あるいは専用通信局を経由して行なうことはほとんどない。

#### 4.1.6 漁業に関する通信

わが国では、遠洋並びに沿近海で操業する漁船が非常に多く、かつ通信量も多いため、一般商船に比べ特殊な専用通信系を形成し活用している。

即ち、各地方漁業協同組合等で運営する地方漁業海岸局及び全国漁業無線組合が運営する中央漁業無線局を相手方として、船団ごとあるいは漁業組合ごと等に時間分割する等協定して運用されている。

特に多量通信を効率的に処理するため、中央漁業無線局は印刷電信サービスを行っており、母船、工船等間の通信を主として取扱っている。

これら漁業海岸局は、またはほとんど公衆通信業務の委託を受けており、乗組員家族間等の通信は、公衆通信として取扱っている。

#### 4.1.7 公衆通信

公衆通信を取扱う事業体の形式については、世界各国それぞれの国内事情により相違しているが、わが国では電々公社または国際電信電話株式会社しか運営できないためになっており、各船舶局あるいは前記漁業海岸局は何れも電々公社、国際電々の委託をうけて公衆通信を取扱っている。

船舶公衆電気通信サービスの種類は、現在のところ無線電報、無線電話のみであり、印刷電信、データ通信あるいは模写通信は未だ取扱われていない。

(1) 無線電報

短波無線電報業務用海岸局としては電々公社の銚子、長崎両大電力局があり、わが国外航商船及びわが国に寄港する外国船の無線電報を取扱っている。国際電々は無線電信海岸局を保有しておらず外国船については、電々公社にその運用を委託している。

漁業海岸局も電々公社の委託を受けて主として国内電報を取扱っている。

中波海岸局は約10局で日本沿岸をカバーしており、やはり全て電々公社所属のものである。

(2) 無線電話

短波による無線電話海岸局は、国際電々所属のJBO1局のみであり、交換取扱は、電々公社では横浜市外電話局で、国際電々は東京国際電話局で行なっている。

本サービスは遠洋船舶電話と云われ、4回線の運用が行なわれている。

このほか超短波を使用する特殊船舶電話と沿岸無線電話サービスがあり、特に後者は全国沿岸をほぼカバーしているためその利用度が高い。

国内船に対して上記の無線電報、無線電話の国内通信分については電々公社が、国際通信分については国際電々が料金処理を行なっているが、外国籍船では一般に船籍国で認められた業者と契約し、船舶局の開局手続事務、料金決済事務を業者に委託している。

#### 4.1.8 その他の通信

##### (1) F A X放送

日本船のF A X装備率は外国船に比し圧倒的に高く、気象情報、水産関係情報、飛行警報、衛星情報等の業務上必要な情報入手を初め、乗組員のためのニュースもほとんどのF A X放送に依存している。

##### (2) 沈黙時間聴守

船舶局は運用業務期間中、指定遭難周波数を聴守する義務があり、特に通信を行なっている以外は通信士が、一般商船では500kHzを聴守している。運用時間以外は、警報自動受信機により遭難周波数を受信、遭難信号の発射の有無を監視している。

#### 4.1.9 電波航法

わが国商船及び漁船が現在利用している電波航法システムは、下記の諸システムであり、この中、無線方位測定機及びレーダについては一定条件以上の船舶に装置を義務づけられている。

##### (1) 無線方位測定機及び中波標識局

わが国では、海上無線標識局と航空無線標識局とがあるが、海域によりこれらを適宜選択利用している。レーダ及び他の船位測定システムの充実により、その利用度は低下したが、遭難船船位確認及びホーミング等には有効である。

##### (2) レーダ

近距離電波航法及び周囲監視には絶対必要とされ事実上、強制設備並みの装備率で設置されていた。関連マイクロ波各種標識局も整備されつつある。

##### (3) デッカ、ロランA、ロランC、オメガ

海域、必要精度等により適宜選択し、これらの1方式あるいは数方式を装備、利用されている。

##### (4) N N S S

遠距離電波測位システムの中では、比較的高精度を得られるので、高速大型船を中心に利用されている。

### 4.2 現行船舶通信、電波航法の分析と問題点

#### 4.2.1 公衆通信の現状と分析

##### (1) 対象船の現状

電波監理局の昭和50年1月現在の統計によれば無線電話を併設する無線電信船は、商船で1,989隻、漁船で3,299隻、無線電話設備のみをもつ商船は4,029隻、漁船は1,508隻となっている。

また無線電報サービスは、船舶電話によっても取扱われているが、船舶電話の加入数は昭和50年3月末で約7,150隻である。

このほかわが国に寄港あるいは近接する外国船約6,000隻が日本の海岸局を利用している。

以上の船舶のうち短波通信サービスの対象船は、わが国の外航船約1,600隻と遠洋漁業に従事する大型漁船のほか、中短波でまかないきれない内航船の一部である。また、わが国に寄港する外国船もこの対象となる。

ロイド船級協会発表による世界商船船腹量(100G/T以上の鋼船)によると、日本の船腹量の伸びは他国に比し著しく低く、世界総船腹に占める構成比でも日本等先進海運国はフランス、スウェーデンを除き軒なみ低下を示している。ちなみに主要便宜置箱船隊(リベリア、パナマ、ホンデュラス、コスタリカ、レバノン、キプロス、ソマリヤ、シンガポール籍船の合計)の世界船隊中に占める割合は総トンベースで25.9%、隻数で10.6%と著増しつつあるのが注目される。



(2) 通信量

(a) わが国公衆通信量

通信種別ごとの通信量の経年変化は図 4. 2. 1 から図 4. 2. 4 に示す通りであり、その増減傾向は前年度までとほぼ同様となっている。

即ち (i) 国内無線電報は漸減

(ii) 国際無線電報は漸増

(iii) 国内、国際無線電話は著増(但し、増加率は鈍化)

している。

(b) 商、漁船別1隻当り通信量

本研究部会船主委員提出資料による最近の商、漁船別1隻1年当りの通信量及び料金を表 4. 2. 2 に示す。

表 4. 2. 2

		国内 無線電報	国際 無線電報	国内遠洋 無線電話	国際 無線電話	通・度数 小計	通・度数 合計
商 船	発信通・度数	267	163	91	4	525	821
	受信通・度数	199	93	3	1	296	
	発信料金	千円 136	680	194	15	1,025	
	発信1通当り単価	円 509	4,172	2,132	3,750		
	相当字(文)数	約50字	約10語	約6分	約5分		
漁 船	発信通・度数	1,968	27	313	3	2,311	3,840.5
	受信通・度数	1,220	9	300	0.5	1,529.5	
	発信料金	千円 1,009	19	691	3	1,722	
	発信1通当り単価	円 512	703	2,207	1,000		
	テレプリンター発信通数		791	料金	千円 618	1通平均 (787円)	
テレプリンター受信通数		535	料金	千円 515	(963円)		

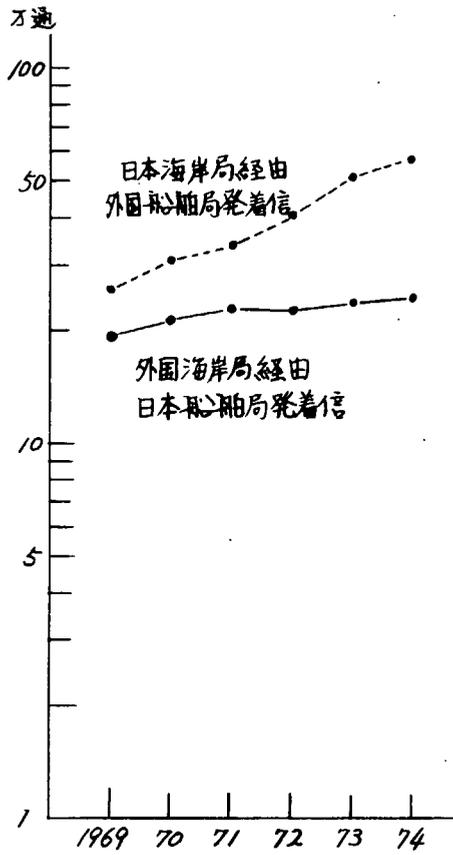


図 4.2.1 国際無線電報通数  
(中波・短波)

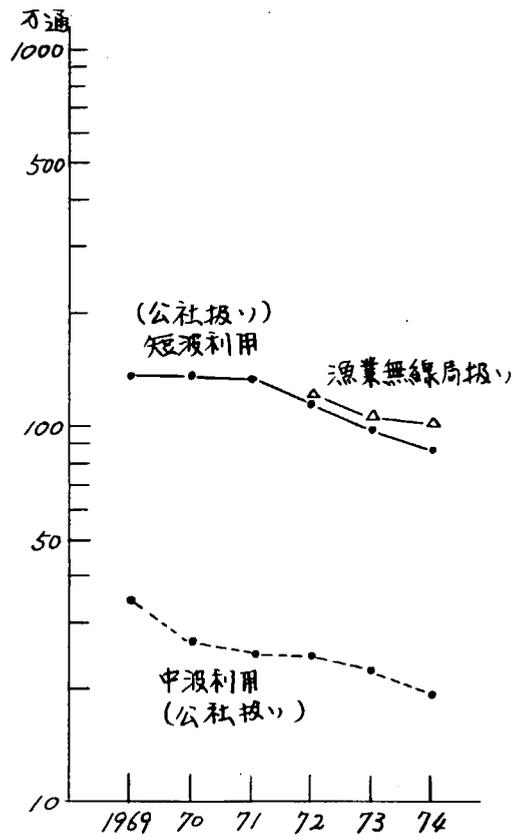


図 4.2.2 国内無線電報通数  
(公社扱い)  
(漁業無線局扱い)

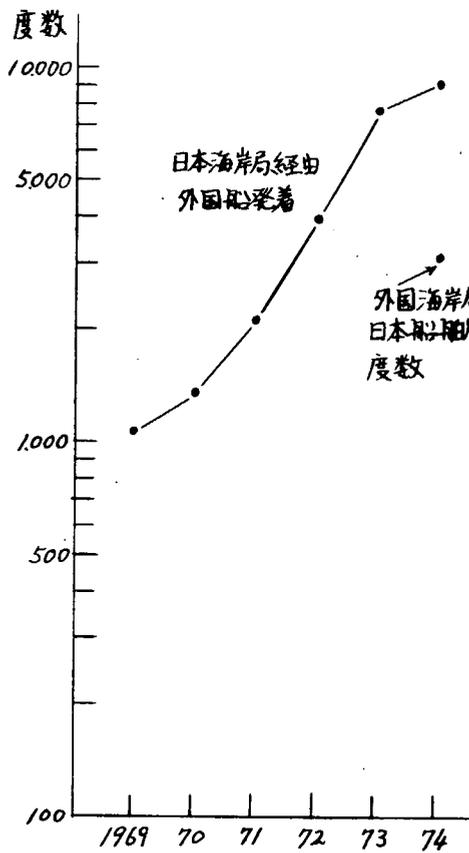


図 4.2.3 国際無線電話度数  
(短波)

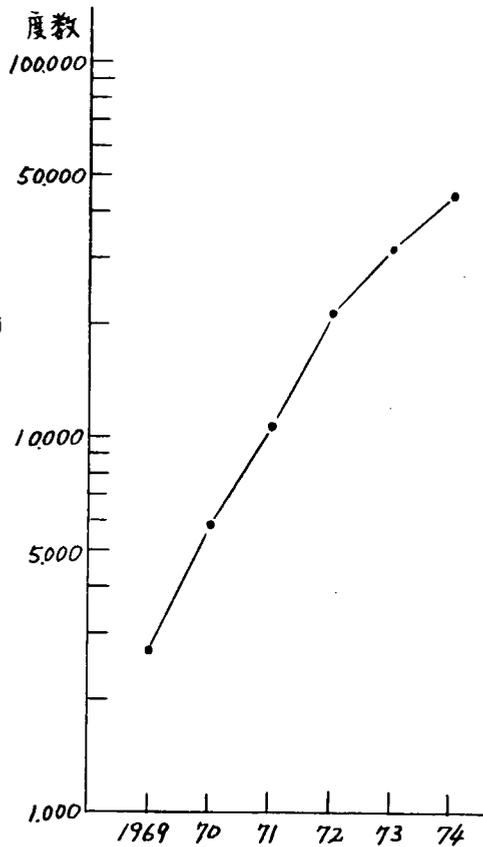


図 4.2.4 国内無線電話度数  
(短波)

(c) 公私用信比率

大手某船会社の資料によると、各通信種ごとの公用私用通（度）数及び料金の比率は表4.2.3に示す通りであり、種別により著るしい相違があることが判る。即ち、国際無線電報はほとんど公用（社用信）、遠洋船舶通話の多くが私用（乗組員家族との通話）である。

表 4. 2. 3

	通 数		料 金	
	公	私	公	私
国内無線電報 発信	1	1	2	1
国際無線電報 発信	100	1	120	1
遠洋船舶通話 発信	1	5	1	2
沿岸無線電話 発信	2	1	2	1

(3) 海岸局取扱い状況

(a) 無線電報

わが国の短波による対商船無線電報のほとんどは、銚子、長崎両海岸局により取扱われているが、両局の1時間1周波数（座席）当りの平均取扱い通数は約8通と計算される。

（年間延運用時間 約17万時間、年間取扱い通数は国内、国際合計 約140万通）

一方、後記の各船通信事項別運用時間の資料から推定される公衆電報1件当りの所要時間は約5分であり、上記取扱い通数の処理に要する時間は約40分必要となることになる。一括呼出の時間、サービス信の送受の時間等も勘案すれば両局の稼働率は非常に高く、今後通信需要が増加の場合は、周波数増、運用時間延長等、特別の措置を講じない限り対応し得ない恐れがあることを示している。

(b) 無線電話

東京JBO局での遠洋船舶電話、昭和49年度取扱い度数は、国内、国際合計約53000度である。JBO局の定常通話可能時間は、年間延約100万分、1件当り通話時間は15分間を原則として指定しているので、取扱い可能度数は約7万度数とすれば稼働率は80%近いこととなり、無線電報取扱い海岸局同様非常に高い稼働率を示している。

(4) 外国船と日本船の通信量比較

わが国の外国船通信料金決済業務を行なっている会社での取扱い量から類推すると、\*これらの船舶の平均1船当り通信量は日本船に比し50%乃至20%、通信料金で略同額乃至50%と考えられる。

※（乗組員国籍、就航海域、備船形式、船種により相当変化しているが）

(5) 通信形態による通信料金の比較

50語の電文を洋上の船舶から東京宛国際無線電報、無線テレックス及び衛星によるテレックス（仮定）で伝送した場合の通信料金の試算例を表4.2.4に示す。

表 4. 2. 4

	RADIOTELEGRAM			RADIO	MARISAT
	(日本船)	(スウェーデン船)		TELEX	TELEX
経 由 局	GÖTEBORG R.	GÖTEBORG R.	日 本 海 岸 局	GÖTEBORG R.	合衆国地球局
陸 線 料	9,600 円	9,600 円	900 円	1,080 円	1,080 円
海岸局料	3,000	2,400	3,600	914	1,740
船舶局料	2,400	1,800	1,800	0	0
合 計	15,000	13,800	6,300	1,994	2,820
比 較		100.00	45.65	14.45	20.43
	100.00			13.29	18.80

計算条件

外国船の船舶局料	:	電報	0.30 GF	TELEX	0
日本船 "	:	"	0.40 GF		
GÖTEBORG R. の海岸局料:		電報	0.50 (自国籍船0.40) GF		
		TLX	7.62/3MIN.	ADD	2.54/MIN GF
日本海岸局 "		電報	0.60 GF		
MARISAT "		TLX	\$ 6.00/MIN		(予定料金)

本表によれば無線テレックスが無線電報に比し大幅に安価となり、かつ海事衛星利用の場合も仮定の料金及び課金方式であれば現行方式の場合とそれほど差は無いことになる。

通信速達の利益を考慮に入ればテレックスの方が遙かに有利となることを示している。

4.2.2 船舶局運用の現状

(1) 通信事項別運用状況

船主委員より提供された各船の通信事項別通信件数及び運用時間資料の中、代表的な商船及び漁船の例を図4.2.5、図4.2.6及び図4.2.7、図4.2.8に示す。

(図の百分率は、延運用時間に対する各通信項目運用時間の比を示す)

これらの資料から判明することは

- (a) 商船と漁船の運用状況の大きな相違があること
- (b) 商船での500kHz 聴守の比重が高いこと
- (c) FAX放送受信が業務に占める比重が高いこと
- (d) 次いで一括呼出聴守の比重が高いこと
- (e) 勿論、望ましいことであるが、重要通信の実際取扱い件数時間が非常に少ないこと
- (f) 漁船では連絡通信の比重が高いこと

等であり、商船では特に(b)~(d)項の通信項目の自動化あるいは機械化による労務合理化の効果が高いことの例示となろう。

(2) 対内地通信困難海域の設定

外航商船に於ては、海員組合等との協定により、対内地通信困難な海域では、各社指定の外国海岸局を経由、国際電報として通信を行なうよう取決められているので、当該海域では和文が利用できない不便がある。一方、遠洋船舶通話では、これら協定に拘らず遠隔地からも直接内地通信を試みてい

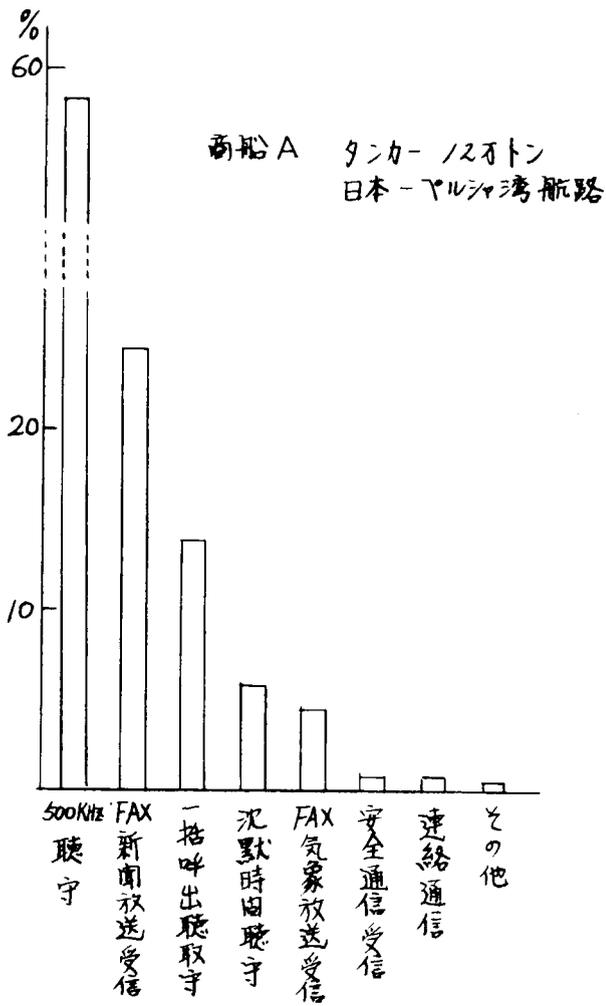


図 4.2.5

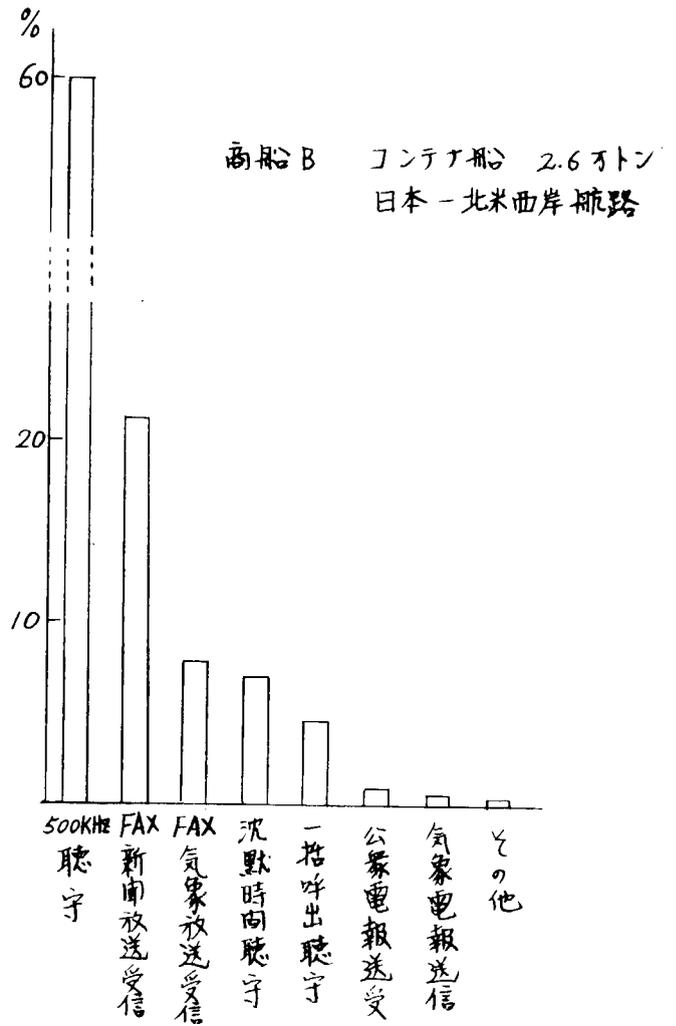


図 4.2.6

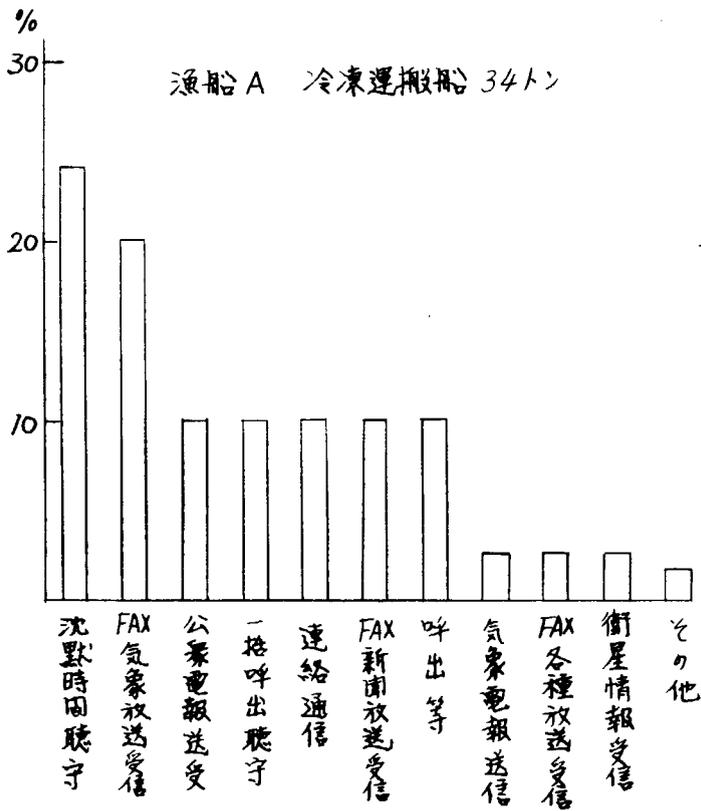


図 4.2.7

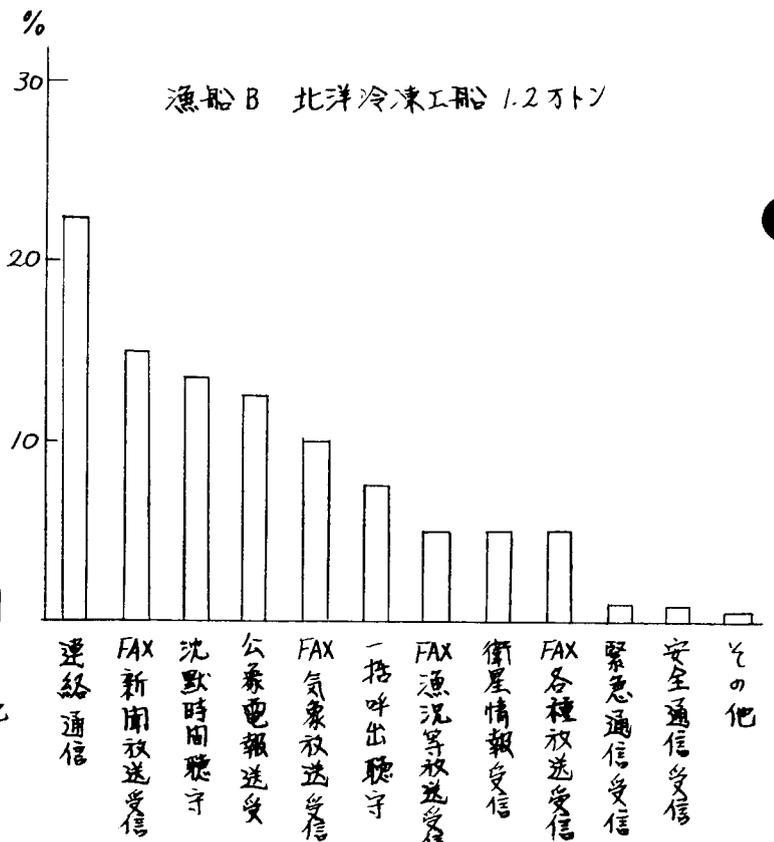


図 4.2.8

るようである。

(3) 新呼出周波数運用について

1974年WMARCにより無線電信の呼出要領、周波数が変更されることとなったが、特にわが国では今後どのように運用が改善されるか不明である。

4.2.3 航法運用の現状

(1) 各社運用の現状

委員各社より提出された各社の電波航法機器装備及び運用状況は表4.2.5の通りである。

表 4. 2. 5 電波航法機器装備状況及び運用状況

	電波航法機器装備状況								1日当り平均測定回数	測位時刻	要求精度		
	ロランA	ロランC	オメガ	デッカ	NNSS	方探	その他	大洋			沿岸	狭水路	
A社	貨物船	○	○				○		3回	正午、20時 薄明時 (日出役)	1.0~ 2.0		
	コンテナ船	○	○		○	○	○						
	タンカー	○	○	○	○		○						
	鉱石船	○	○	○	○		○						
B社	タンカー	○	○		○		○		3回	MOON SIGHT NOON STAR SIGHT	3.0		
	コンテナ船	○	○			○	○		3回				
C社	タンカー	○	○		○		○		天測 3回 ロラン 6回	天測 午前 正午 夜間 ロラン 各ワッチ1回 (太平洋)	1.0	0.5	0.5
	貨物船	○	○				○						
D社 (漁業)		○	○	○				母・工船		毎時	0.5~ 2.0		
						1部	○	トロール船		常時プロット			
							○	運搬船 タンカー	2回	正午、20時			
E社	コンテナ船	○	○	○	○	○	○		NNSS 1回	2時間毎	3	1	0.3
	タンカー	○	○	○	1部	○	○						
	貨物船	○	○	○			○						
F社		○	○	○	○	○	○	1部コンテナ船	ロランA	15~30分毎	0.5		
				○	○				ロランC	30分~1時間毎	1.0~ 2.0		
									デッカ	4時間毎	0.25		
									NNSS	1時間毎	0.5		
G社										1時間毎	1±0.5		

現状ではオメガ局が全局サービスには至っていないため外航商船での装備は主として新造船に限られているがオメガ局整備に伴ない、既就航船にも装備するようになり、近々廃止が伝えられるロランAと入換されることとなる。

(2) NNSSの利用状況

NNSS (Navy Navigation Satellite System) は1967年米国大統領声明で民間開放を行ってから一般商船での利用が増加しつつあるが、装置の高価格のため他装置に比し高精度の測位位置が自動的に表示される至便さにも拘らず設置数は少なく、わが国で約60台である(リグ塔載分も含む)。

#### 4.2.4 船舶通信の問題点

IMCO 海事衛星専門家パネルでまとめられた報告書に記載されているように、現行船舶通信、特に短波による遠距離通信に於ては運用上種々不具合な問題点が多く、海事衛星システム導入を必要とする主要な理由となっている。

わが国の船舶通信の現状分析から得られる問題点をここに改めて列記し、今後の海事衛星システム開発の条件設定のもととしたい。

- (1) 短波伝播不安定による通信困難
- (2) 信号品質が劣化しやすい
- (3) 混信が非常に多い
- (4) 広帯域伝送ができない、高速データ通信が行えない。
- (5) 機械通信の運用が困難、A R Q 等特別の補償措置が必要
- (6) 自動送受信システム採用が困難、通信士不在通信困難、最適周波数選定及び不具合時の切替が困難
- (7) 通信可能海域が限定される。
- (8) 通信可能時間が限定される。
- (9) F A X 放送等、再受信が屢に必要
- (10) 遭難呼出等重要通信の受信が不確実
- (11) 遭難周波数の多重性による聴守の困難、異種局間の連絡困難（商船～漁船または航空機等）
- (12) 遭難通信実施時の代替通信周波数不足（無用の通信停止）
- (13) 電話 ボーダス作動不安定による通話困難
- (14) リンコンベックス混信による誤動作
- (15) 一括呼出方式による連絡設定の遅れ、聴守労務過大
- (16) 特に無線電話（遠洋船舶電話）の常時待受け及び24時間運用でないための通話遅れ、通話能力不足
- (17) 電話での緊急特殊取扱いが行なわれない。
- (18) 通信混雑による電報受付～配達の間時間差
- (19) 停泊中の運用禁止による入港時の連絡不能
- (20) 通信士による連絡設定または中継が必要、ダイヤル接続困難
- (21) 海岸局の電信通信士要員確保の困難
- (22) 通信困難海域からの和文電報利用困難
- (23) 電報料金計算の面倒さ、料金自動徴集不能
- (24) 救命艇無線機等の遭難時の運用効果少ない。
- (25) F A X 送受信システムがない
- (26) 電話の場合、使用言語の相違による疎通困難の恐れ
- (27) 機器の信頼性不足

特に現在開発あるいは実用化されつつあるセルコールシステム、テレプリンターシステムが相当程度従来の船舶通信を改善することは期待されるが、短波伝播の制約を受ける以上、混信に弱いこともあり、その信頼度には限度があり、システム費用も膨大なものとなるので衛星通信システムを導入した方がより効果的と考えられる。

なお、運用上の問題点については10.1.1についても詳細記載してある。

#### 4.2.5 電波航法の問題点

オメガシステムは、所謂電波航法システムの最終的決定版と云うような趣旨で開発されたことであるが、現状で述べたように本システムのみでは、各用途に全て適合するとは云い難く、各種他システムを

併用せざるを得ない。このほか一般に下記の事項が問題点として指摘される。

- (1) 精度不足
- (2) 操作の複雑性（機器の操作及び校正作業）
- (3) 直接位置指示しない（NNSS及び計算機付オメガを除く）
- (4) 常時測定でない（NNSS）
- (5) 遭難時等、必要時の位置確認困難、EPIRB等との接続、データインプットの困難
- (6) 航行管制への応用困難
- (7) 各種機器の併用が必要（狭域、広域用等）
- (8) 装置の信頼性不足

#### 4.3 海事衛星システムに対する要求条件

##### 4.3.1 利用希望事項

船主委員より提出された海事衛星システムの利用希望事項は表4.3.1（無線通信）、表4.3.2（測位）の通りである。

表 4.3.1 海事衛星についての希望（無線通信）

	全 般	公 衆 通 信 ( 電 信 ・ 電 話 )	公 衆 通 信 ( データ通信 )	遭難通信関係	放 送	測 位
A 社		一般電話 船舶相互間の情報交換	乗組員給料計算	USA AMVERに 準ずる組織網の完 成 緊急時の連絡確保	新聞、 気象FAX	常時船位 測定可能
B 社		加入電話 (ダイヤル接続) 不在受信可能 加入電話 (ダイヤル接続) 料金通知可能 加入模写 (ダイヤル接続) 不在受画可能			新聞、気象 海象、水路 告示、FAX (海域別に 選択、自動受 信可能)	
C 社		セルコールを含む通 信の自動化 電話のダイヤル式即 時通話			新聞、 気象FAX	正確な常 時測位
D 社 (漁業)				遭難通報システム	水温、海況、 漁況、汐流、 衛生、海路 保安、流水 等の情報	
E 社	早急に導入希 望(但し全シ ステムが現規 則無線設備に 代り得ること)	現在の通信業務全て	船舶の陸上管理のた めの諸データ		TV、 新聞FAX	
F 社	必要機関と早 く確実に連絡 →運航能率 安全運航		乗組員給料計算伝送 タンカー積付時船体 強度計算(陸上計算)		TV、 新聞FAX	
G 社		電話自動化	船舶動静、機器の監 視制御、故障診断、 医療援助、健康管理、 予備品消耗品の在庫 管理、ストウエジブラ ンの発受、コンテナ書 類の処理、港湾事情の 伝送、FO情報の伝送 給与関係処理、荷物 関係情報(トリム、GM 最適積付等)最適航 路選定	遭難、緊急安全関 係情報の伝達迅速 確実化	気象、水路 通報 新聞等FAX TV	測位必要

表 4. 3. 2 海事衛星についての希望（測位）

	要求精度	測位頻度	他システムとの結合			衛星カバーレージ
			EPIRB	総合航海システム	その他	
A 社	0.5 哩	常時	要			60°
B 社	0.5	1時間に1度		要		70°
C 社	0.5	常時		要		60°
D 社 (漁業)	0.5~2.0	常時	要	要		70°
E 社	0.1	常時	要	要		70°
F 社	0.5	30分毎	要	要	要	60°
G 社	0.5	常時 ~ 1時間に1度	要	要		70°

#### 4.3.2 要求条件

前述の船舶通信、電波航法の問題点および海事衛星システムに対する利用希望事項より、海事衛星システムに対する要求条件を取りまとめると下記のようになる。

ただし、これらは主として運用上からみた要求条件であり、今後の研究により明らかとなるであろうシステムの技術上、経済上の条件を総合的に判断し、最良のシステムとするよう調整する必要がある。

##### (1) 利用海域

北緯70度、南緯70度間の全世界海域とする。

##### (2) 対象船

一応、近海3区以上に就航する3,000総トン以上の外航商船および遠洋漁業に従事する300総トン以上の漁船を対象として考慮し、更に本システムの総合的経済性からみてより小型船を対象を含めた方が有利か否か別途検討を行なう。

リグは通信容量が許す限り対象に含め、システムの経済性改善の一助とする。

##### (3) サービスの種類

印刷電信、データ通信、FAX通信、電話及び無線測位、特に気象、海象、漁況等の各種情報あるいはニュース等の放送等のサービスが必要である。

現在の技術レベル、周波数帯幅からみて困難とは思われるが、TV放送受信に対する要望も強い。

(各サービスの品質等については格別の数値的要望は寄せられていないが、現行短波通信に比し、格段の高安定度高品質を期待していることは勿論である)

##### (4) 運用

(a) 上記の各サービスの運用はダイヤル接続等できる限り自動化あるいは機械化し(不在受信も可能)、特殊技能者を必要としないものが望ましいが、当面は一定資格者の管理の下に無資格者運用が可能な方式でも止むを得ないと考える。

(b) またサービスは24時間常時かつ船舶の航行中、入港あるいは停泊中を問わず、いつでも即時に

利用可能とする。

- (c) 遭難通信等重要通信が優先してかつ確実に取扱われること、また一方、これら重要通信が行なわれている時間中、関係ない船舶及び地上局の通信を阻害しない方式であること。
- (d) 無線測位は必要時、即時に充分の精度で利用可能であり、かつこれにより得られた船位の自動登録システム、これを利用した航行管制システム、自動遭難探知及び捜索救難システム等電波航法関連システムを有機的に結合し効果的に運用する必要がある。
- (e) これらシステム整備の暁には、海事衛星システム搭載船舶地球局に対し、現行の無線設備設置義務及び遭難周波数聴守義務等を免除する法的改正が望ましい。

#### (5) 料 金

現行料金と著しく相違しない程度で、できる限り低廉であることが望ましいが、通信効率向上分の上昇は止むを得ない。

料金計算方式も船舶局料を廃止する等できる限り簡易化し、課金に必要な情報は全てコード化し、伝送することにより陸上局で自動課金計算、登録する方式としたい。

国際海事衛星システム機関を構成する指定事業体は、本料金に関連して陸上通信系との接続、料金決済等が容易かつ低廉に行ない得る組織を選定すべきである。

人命、航行の安全関係及び電波航法関係部分の施設及び運用費用については、従来の通信、測位システムに支出した費用と同様あるいはより多額な国家投資あるいは負担が必要である。

#### (6) 船舶地球局設備

高信頼性を第一条件とし、極寒、荒天等の悪環境条件下でも安定に動作すること。

機器の操作は簡便、容易で装備も容易に行なえるものであること（海面反射、船体反射等による干渉、他機器との電磁氣的干渉等については、本機器にて対策を行なったものであること）。

システムの技術基準は国際的に統一されたものであり、かつわが国独自の和文伝送等の特殊サービスも利用可能なものであこと。

## 5 現行の通信方式と衛星通信方式の両立性

### 5.1 関連国際法規及び国内法規

船舶の無線通信は1912年のタイタニック号遭難による多数の人命の損失を契機として、海上における人命の安全を目的として無線通信の初期の時代から長波・中波のモールス電信で出発した歴史を有する。以来技術の進歩に従い短波の電話・直接印刷電信、超短波の電話、あるいは各種の電波航法・レーダの利用と発展してきたが、本来の目的である海上における人命の安全と船舶の特質である国際性から国際条約、法規および各国政府の法規により規正をうける。

基本的な国際法規はIMCOの海上安全条約の付属規則(SOLAS)とITUの国際電気通信条約に付属する無線通信規則(RR)である。現行のSOLASは1960年に締結された規則が有効であり、最近1974年に開催されたIMCOのSOLAS国際会議で改正された規則は各締結国政府の批准または承認(全世界船舶総トン数の50%以上を占める25カ国以上)の通告後12カ月で発効する。

現行のRRは1974年に開催されたWMA RCの最終文書により改正され、本年1月1日をもって改正規定が発効した。

わが国においては、船舶安全法、電波法および関連する省令等により船舶の種別に応じた無線設備の条件が規定されている。

海事衛星の導入は船舶通信の様相を変えるものであり現行法規は見直さるべきものであるが、まず現行の国際および国内の諸法規と船舶無線設備の関連を表5.1.1に示す。

表 5. 1. 1 無線設備と関連する国際および国内法規

設 備	適用船種	関連する条約および国内法令	備 考
(1) 無線電信局	旅客船および 1600G/T以上の 貨物船	SOLSA第4章、第3、8および第9規則 船舶安全法第4条 RR第7章第28-32条 電波法第32条-36条 施行規則第12条、28条の2、28条の3、 28条の4、29条の3、29条の4、30条	(義務設備) 405~535kHz 主空中線、主送信機 主受信機、主電源 補助空中線、補助送 信機、補助受信機、 補助電源、非常灯、 船橋との連絡装置、 時計、計器、 緊急自動電鍵装置、 擬似空中線、予備品
(2) 無線電話局	無線電信局を備 えない 300G/T以上 1600G/T未満 の貨物船	SOLAS第4章第4、14および第15規則 船舶安全法第4条 RR第7章第28条、33-35条 電波法第32条、33条、33条の2、35条 の2 施行規則第12条、28条の2、29条の3、 29条の4、30条、31条	(義務設備) 1605-2850kHz 空中線、送信機 受信機、電源 非常灯 船橋との連絡装置 緊急自動電話装置 予備品、時計
(3) 救命艇用携帯無 線電信装置	500G/T以上	SOLAS第3章第13規則 船舶安全法船舶救命設備規則第78条 RR第7章第28条の2	

設 備	適用船種	関連する条約および国内法令	備 考
		電波法施行規則第12条、29条の2	
(4) 発動機付救命艇用無線電信設備	最大とり載人員200名以上の船舶	SOLAS第3章第14規則 船舶安全法、船舶救命設備規則第77条 R R第7章 第28条の2 電波法施行規則第12条、29条	
(5) 無線方位測機	1600G/T以上	SOLAS 第5章第12規則 第4章第11規則 船舶安全法、船舶設備規程第146条 R R第10章第48条 電波法第37条、施行規則第15条	
1974 SOLAS により追加される設備			
(1) 無線電話緊急信号自動発生装置および無線電話遭難周波数聴守受信機	旅客船および1600G/T以上の貨物船	SOLAS第4章第10規則	無線電信局
(2) VHF無線電話装置	締役国政府の指定による	SOLAS第5章第18規則 第4章第8、第17規則	
(3) レーダー	1600G/T以上	SOLAS第5章第12規則	
(4) 無線方向測定機	1600G/T以上	SOLAS第5章第12規則	
(5) ジャイロコンパス	1600G/T以上	SOLAS第5章第12規則	
(6) 音響測深装置	500G/T以上	SOLAS第5章第12規則	

## 5.2 現行の船舶無線設備

無線設備の施設を強制される船舶は(船舶安全法第4条)

- (1) 遠洋区域または近海区域を航行区域とする旅客定員12名を超える旅客船および沿海区域を航行区域とする旅客船(国際航海に従事しない総トン数100トン未満のものは除く)
- (2) (1)を除く遠洋区域、近海区域または沿海区域を航行区域とする総トン数300トン以上の船舶
- (3) 総トン数100トン以上の漁船(農林・運輸省令漁船特殊規則による特例あり)であるが、ここでは一般的に海事衛星通信の主要対象と考えられる外航の大型貨物船を例として検討する。

外航貨物船の無線設備はその船種、運用形体により装備機器の機能あるいは機器構成に各種の形体がある。表5.2.1に示す構成例は比較的通信量の少ない場合の義務設備にHFの公衆通信機能付加した程度の経済的構成である。日本の有船の場合は、これより完備した構成が一般的であり、主送信機2台、受信機3~4台をもち、操作上も遠隔集中制御、二重通信機能等を通常備えている。なお、無線航法関係の機器は除いた。

表 5. 2. 1 無線設備構成例

機 器	数量	主 要 諸 元	備 考
1. 主送信機	1	MF : 405-535kHz, A1, A2 500W MHF : 1605-3850kHz, A3H/J/A 400W HF : 4-26MHz, A1, A3J/A 1.5W	チャンネル数は総計70~120波程度 2台装備の場合もある
2. 補助送信機	1	MF : 405-535kHz, A1 A2 50W MHF : 2182 kHz, A3 15W	HF・A1を装備する場合もある
3. 主受信機	1	100kHz-30MHz, A1, A2, A3, A3J/A/H	} 主補合計3台の場合もある
4. 補助受信機	1	同 上	
5. オートアラム受信機	1	500kHz, A1, A2, A2H	
6. 自動電鍵	1	警急信号またはSOSとコールサイン	
7. ライフボード 携帯無線機	1	500kHz, 8MHz	2182kHz A3 装備の場合もある
8. VHF無線電話 装置	1	156-162MHz, F3 20W	2台装備の場合もある
9. 主電源盤	1	船内電源 AC440V3φ, AC100V1φ	
10. 補助電源	1	電池24V 200AH 充電器・インバータ・コンバータ等	
11. 主空中線	1	高さ10m以上, 全長40m以上	
12. 補助空中線	1	高さ10m以上, 全長25m以上	
13. 受信空中線	1	傾斜空中線またはホイップ空中線	
14. 通信卓	1	機器収容架または遠隔操作卓	
15. FAX受画機	1	HF, 気象, 新聞放送受信	
16. その他	1式	空中線切換器・擬似負荷・時計・テープレコーダ ・タイプライタ・照明器具・インターホン・アンテナフ ィルタ・中継管等・計測器・工具・付属品・予備品	

## 5.3 衛星通信設備の装備船と非装備船の混在の問題点

### 5.3.1 船舶局の通信の種別

船舶局の現行の通信の種別と内容は4.1に述べられたように、各種の事項を含んでいるが、将来衛星通信システムが世界的規模で完成し、船舶の衛星通信設備装備が広範囲に普及した場合は、ほとんどの通信内容は技術的には移行可能であり、かつより優れたサービスを受けられるであろう。しかし

- (1) 衛星通信設備非装備船に対する通信
- (2) 相当長期にわたるであろう移行期間中の補足的サービス
- (3) 衛星通信設備装備船と非装備船の連絡手段

などの要求により、在来の地上系通信システムの存続も必要であると考えられる。

以下船舶の通信を(1)遭難・緊急・安全通信、(2)航行安全のための通信、(3)公衆通信、(4)情報受信、(5)その他の通信 に大別して混在の問題点を考察する。

### 5.3.2 遭難・緊急・安全通信

1974年ジュネーブWIMARCの遭難・緊急・安全の通信に関する勧告(Rec.16 Mar 2)はIMCOの作成した将来の救難システムのための方策に関する文書、海事衛星通信方式の一部となる遭難及び安全の対策に関するCOIRの研究問題及び調査計画を留意して次回の適当なWARCにおいてこの問題を決定することを目標とすることを勧告している。

遭難・緊急・安全通信は衛星通信と在来通信両立のための重要点であり、この検討のためには、将来の救難システムに対する要件が必要である。

IMCOの無線小委員会(Sub-committee on Radio Communications)の作成した将来の救難システムに関する報告(1973年第11回委員会)は、近い将来の改善のための提案と海事衛星を含む遠い将来の改善のための要件及び過渡的措置に関して述べている。以下、遠い将来の方策を中心にIMCO報告の要点を記す。

#### (1) 遠い将来の救難システムの必要条件

- a. 将来の救難システムは、在来方式の通信の存続とともに衛星中継による陸-船、船-陸の通信機能が必要である。
- b. 将来の救難システムは、遭難船の識別、位置、遭難の種類等の情報の自動伝送が可能であることを要する。
- c. 将来の救難システムは、遭難現場における通信およびSARのための陸-船、船-陸、船-船の通信チャンネルの補足を要する。
- d. 呼出し、緊急、安全情報に使用する最適周波数を求める必要がある。
- e. 船位通報システムは、衛星系あるいは地上系通信により船舶位置を自動的に中央電算機に入力する機能を要する。
- f. 海上・航空のそれぞれの救難組織の相互連絡など、海上と航空のSAR通信ネットワークの統合を要する。
- g. 通信および電子航法機器の操作・保守・修理能力向上のための通信士の教育の充実を要する。

#### (2) 遠い将来の救難システムの移行手段

- a. 遠い将来の救難システムへの移行期間に要すれば現行SOLASの見直し改訂を要する。
- b. 海事衛星は、特に船-陸間の警報、位置通報、遠距離のSAR通信等、遠い将来の救難システムの要求条件のある部分は満すことができるが、さらに補足的に船-船間の警報および遭難現場の通信機能を要する。救難システムに必要な衛星のその他の利用方法を研究し、海事衛星のシステム案に加えるべきである。
- c. 技術の進歩に応じた最適な中距離用の1波の遭難波を決めるべきである。

d. 近い将来整備される救難システムから遠い将来の救難システムへの改善のため、次の段階が必要である。

i 地上系および／あるいは衛星系による補助的な陸-船、船-陸の通信の整備

ii 遭難現場における船-船、船-航空機の通信手段の整備

RRにて1535-1645 kHzが、MF、HF、VHFの海上バンドに追加して海上の直接通信にも使用が認められている点を考慮すること(RR 352E/F/H/I)。

iii 全通信の送受に使用できる汎用のセルコールの導入の促進

以上IMCOの遭難・緊急・安全通信に関する要求を要約すると

(1) 海事衛星は救難システムの改善に非常に有効なこと。

(2) 在来方式の通信の存続も必要なこと。

(3) 最適な遭難周波数を1波選定して船間、船-航空機の直接通信を完成すること。

であり、衛星通信設備の装備船もこのような要件を満たす在来方式の設備を併設して衛星通信設備非装備船との両立を計らねばならない。

### 5.3.3 航行安全のための通信

航行安全のための通信は前項の救難関係、気象通報および各種警報、告示等の情報受信が含まれるが、これらは別項で扱われるでは港務通信および航行管制に関する通信を主体として考察する。

#### (1) 港務通信

RRに規定されたPort Operations Serviceは港湾内およびその付近において行なわれる船舶と海岸局(主として港湾管理者)または船舶相互間の通信で、船舶の運航上の操作、移動及び安全並びに人命安全に関する通信であって、公衆通信の性質を有する通信は除かれる。

この通信は、中・近距離通信が主体であり、現在使用されているMF、VHF、等にVHFは有効である。将来もこれが主体で運用されるであろう。海事衛星通信とは別の範時と考えられる。

#### (2) 航行管制に関する通信

1974年WMARCにおいて新に船舶通航業務(Ship Movement Service)が定義された。港務通信以外の船舶の移動に関する通信で航行管制特に船舶密集海域、水域における事故防止のための重要な通信である。わが国の海上交通安全法をはじめ各国の国内法により聴守・通報の義務が課せられている。とくに1973年に施行された米国のVBBR法(Vessel Bridge-to-Bridge Radiotelephone Act)は、米国の航行可能水域のほとんどすべての船舶に対しVHFの装備義務、13チャンネルの聴取義務を課している。

これら航行管制に関する通信は近距離の通信であり、RR Appendix 18によるVHFが主体で運用される。

この外安全通信に準ずる保安庁海岸局との通信がMF、VHFで行なわれるが、これらも中・近距離通信であり海事衛星の範時外と考えられる。

### 5.3.4 公衆通信

遠距離公衆通信は現在HFの手送り電信、SSB電話が主体で運用されている。またHFの直接印刷電信、セルコールなどの新サービス等も普及しつつある。

海事衛星通信は、その通信品質、即時性、安定性等すべての面でHFより優れた特性で、テレックス、電話、高速データ通信、ファックス等の広範囲のサービスを行なうことができる。

衛星通信設備を装備した船舶は沿岸無線電話サービス等を除き大部分の公衆通信が衛星経由の通信に移行し、その通信トラフィックも増大すると予想される。

公衆通信は一般に加入者間の1対1の通信であり、船舶の場合大部分の公衆通信は船舶と陸上加入者間の通信である。したがって衛星通信設備の装備船と非装備船の混在の問題は本質的には存在しない。

将来はHFの通信機能は不要となると考えられるが、衛星通信導入の初期は補足的な運用手段として簡略化されたHF送受信設備の併設を要するであろう。

### 5.3.5 情報受信

航行に関する通報、医事通報、気象通報、新聞ニュース等の情報受信は船舶の通信の仕事量の大きな割合を占めている。これらの情報受信は技術的には衛星通信回線により運用可能であり、現サービスより優れた高品質の多量の情報を自動受信することができる。海事衛星によるこのような放送または同報サービスの実施は主として運用上あるいは制度上の問題である。

衛星による情報送信が実施された場合、船舶の衛星通信設備が情報受信に占有され、双方向の通信を疎外するおそれもある。気象・新聞等HFのファックスは現行と同様に利用するか、あるいは受信専用と送受信の2回線同時使用できる衛星通信設備を要するであろう。

### 5.3.6 専用通信

商船の場合、同一免許人の所属船舶間の業務通信の必要が若干あるが、そのトラフィックは極めて小さい。とくに衛星通信による公衆通信が完備した場合は、社船間の直接通信の必要性はさらに減少するであろう。

専用通信の比重の高いのは漁船である。漁業通信は船舶と漁業海岸局間および船間に多量の専用通信が行なわれている。とくに事業船の通信量は極めて膨大である。衛星通信の導入により通信の形体は変化するであろうが、多数の小型漁船との両立のため在来通信の設備も併行して存続すると考えられる。

## 5.4 海事衛星による遭難通報と位置探索

### 5.4.1 捜索及び救助(SAR)

海事衛星は適当なシステムが組入れられた場合は非常に効果的な将来のSAR(Search and Rescue)システムとなる。SARは5.3.2に検討されたように衛星通信と在来方式通信の両立性が強く要求される。3.3に述べられたLバンドの衛星チャネルと2182kHzを併用したEPIRBのATS-6を使用した実験報告は将来のSAR検討の手懸りとなる。

SARの必要条件は遭難の通報、位置の確認、SAR活動に必要な陸船間、船間の通信、ホーミング等を含んでおり、また航空・海上の協調を要する。

### 5.4.2 SAR用周波数の考案

#### (1) MF・HF・VHF

遭難および安全のための現行の国際遭難周波数は下記の通りである。

電信 : 500 kHz , 8364 kHz

電話 : 2182 kHz , 3023.5 kHz , 5680 kHz

4136.3 kHz , 6204 kHz 注1

121.5 MHz , 243 MHz , 123.1 MHz 注2

156.8 MHz

注1 北緯15°以南の第1地域および第2地域並びに北緯25°以南の第3地域、1978年1月1日からはそれぞれ4125kHz , 6215.5kHzに変更される(RR 209A, 211A)。

注2 123.1MHzは123.5MHzの補助周波数 (RR 273)

500kHz (RR 187)は電信の国際遭難波および呼出波として歴史が古く多くの船舶に義務装備されているがあまり有効でないとの意見も出されている。

EPIRB用の周波数としては2182kHz , 121.5MHz , 243MHzがRRで指定されている(RR Rec 12 Mar 2)。

2182kHz (A3, A3H)は広く普及しており中距遭難波として適当とされているが、呼出周波数のた

め混信の多いこと及び南方海域に於る伝播上の問題が指摘されている。2182kHzの補足周波数としての4136.3kHz, 6204kHzは1978年1月1日より4125kHz, 6215.5kHzに変更され電波形式もA3HからA3A, A3Jとなる。IMCOはこれらの問題の研究を1978 WMARCにより要請されている (RR Res. 21 Mar 2, Rec. 4 Mar 2)。

3023.5kHz, 5680kHzは航空移動(R)業務の割当周波数であるが、SAR活動に従事する船舶も使用が認められている (RR. 205A, 1326C, 1353B)。

121.5/121.1MHz (A3)は航空緊急周波数であるが、安全の目的のため船舶の使用も認められている (RR. 273)。243MHzは救命艇・筏用の割当である (RR. 309)。規格はICAOの標準および勧告で規定されている。しかし、これらのVHF AMは一般船舶は装備していない。

156.8MHz (F3) (RR. Appendix 18, ch 16)は船舶に広く普及しており近距離の遭難通信波として適当である。

IMCOでは、これら各種の遭難波を統合して最も適当な周波数1波を指定すべきことを要求している。遠距離の遭難波としては衛星中継方式が適当であるが、地表系としては適当な通達距離とホーミングの可能な周波数が必要である。

## (2) 400MHz バンド

406-406.1MHzは移動地球局のEarth-to-Spaceに割当られ、5W以下の低電力の衛星利用のEPIRBの専用周波数としてRRに規定されている (RR. 317A)。

米国海軍が開発を推進しているGRAN (Global Rescue Alarm Network)計画は、VLFのオメガ信号とそれに重畳して遭難情報地上—衛星間は406MHz、衛星—地球局間はCバンドで伝送して、地上のSARセンターで遭難の監視と遭難地点の位置探索を行うものである。

406-406.1MHzは一部の地域で移動・固定業務に留保されている (RR. 317B)問題はありますが、将来有効に使用すべき周波数である (RR. Rec. 12 Mar 2)。

## (3) Lバンド

Lバンドに国際遭難周波数を指定して運用した場合は衛星通信設備に遭難通信の機能を含めて使用することができる。IMCOは海上・航空の共通バンド(1542.5-1543.5/1644-1645MHz)のあること、また、このバンドは衛星中継以外に陸船間、船間、船航空機間の直接通信も認められていること (RR. 352F, 352H)に着目して、LバンドのSAR専用周波数の指定を希望している。Lバンドの衛星利用SARは2個の衛星による位置探索あるいはAMVER (Automated Mutual Assistance Vessel Rescue)の発展した船位自動報告システムによる位置推測が可能であり、信頼度の高いSARシステムの確立が予想される。

## 5.5 衛星システム加入船の無線設備

### 5.5.1 サービス開始初期の無線設備

海事衛星システムの全世界サービスの開始初期においては、安全確保のための通信、専用通信、情報受信等に要する在来の無線設備と衛星端局の二重装備が必要であろう。しかし、遠距離通信トラフィックの大部分を占めるHF帯の公衆通信は障害時を除きほとんどすべての通信は衛星システムに移行されるであろう。したがって、在来方式の無線設備は最も経済的な電信装置が適当と考えられる。かえってVHF、2MHz帯などの中・近距離用の電話装置およびファクシミリなどの情報受信設備の補強が必要であろう。

### 5.5.2 将来の無線設備

海事衛星システムが普及し、種々のサービスが完備した段階においては、無線設備は大幅に変化することが予想される。勿論法規の改訂が必要となる。SOLAS 1974の発効後5年以上、1980年後半に

はその見直し改訂が行なわれるであろう。その予測は困難であるが、

a. 第3章(Life-Saving Appliance, etc)に衛星機器が救命設備として認められる。

b. 第4章(Radiotelegraphy and Radiotelephony)において、

i 義務船舶の無線電信局または無線電話局と同時に船舶地球局が認められる。

ii 主設備・補助設備の技術条件の改正

iii 聴守義務の改正

等が規正されたと仮定して将来の無線設備を想定する。

主設備は、在来のMF/HF送信機に対し衛星端局が置換えられ、500kHzまたは2182kHzの聴守用受信機、近距離用としてVHF無線電話装置で構成される。

補助設備はMF/HFの小電力送受信機で構成する。500kHzまたは2182kHzで昼間190kmの通達が要求されるであろう。実用的には2MHz帯、HF帯のSSB電話が重要であり、SAR及び中距離通信に有効である。これらの装置は全固体化された高信頼度の小形機器となるであろう。

非常設備は衛星系と2182kHzのMF系の両機能をもった携帯無線機とEPIRBが想定される。

気象、新聞等の情報受信は衛星経由の高速FAXが主体となるであろう。この場合、衛星端局は通信用の双方向1回線と受信専用の単信1回線の同時運用が必要となり研究を要する。

以上の構想による無線設備の構成例を表5.5.1に示す。

表 5. 5. 1 将来の無線設備

機 器	数 量	主 要 諸 元
1. 主 設 備		
(1) 衛星端局装置 空中線装置、通信装置、および電話機 TTY、FAX、データMODEM等端 末機器を含む	1	複信電話 複信/単信 印刷電信 FAX 高速データ
(2) オートアラーム受信機	1	500kHz 無線電信警急信号自動受信
(3) 聴守用受信機または自動受信機	1	2182kHz 無線電話警急信号聴守
(4) VHF無線電話装置	2	F3 156-162MHz
(5) 主電源盤	1	船内電源
2. 補助設備		
(1) 補助送信機	1	405-535kHz A1/A2H 35~50W 2 - 3MHz } 4 - 23MHz } A1/A3J 75~100W
(2) 補助受信機	1	A1, A2/A2H, A3J/A3H 100kHz - 30MHz
(3) 警急信号発生機	1	電信警急信号/電話警急信号自動送信機
(4) 補助空中線	1	高さ10m以上、水平部15m以上
(5) 受信空中線	1	傾斜空中線またはホイップ空中線
(6) 補助電源	1	電池24V 200AH、充電器配電盤

機 器	数 量	主 要 諸 元
3. 非 常 設 備		
(1) 可搬形遭難通信装置	1	衛星システム / 2182 kHz 両用 "
(2) EPIRB	1	
(3) 船橋-無線室連絡装置	1	
(4) 非常灯、点検灯	1 式	
4. そ の 他		
(1) 計測器・工具	1 式	
(2) 付属品・予備品	1 式	
5 航 法 機 器		
(1) レーダ	2	} (注) 測位業務が海事衛星に含まれる場合不要となる
(2) オメガ受信機	1	
(3) ロランC受信機	1	
(4) 測 深 機	1	
(5) 電磁ログ、ドップラソナ等	1	

### 5.5.3 コスト比較

海事衛星システムは在来のMF / HFの通信系とその機能、品質に本質的な差違があり、また衛星端局のコストも直ちに算定できないので、装備船と非装備船の機器コスト比較をすることは困難である。

こゝでは現状における日本船の代表的な無線設備（ただし航法機器は除く）のコストを100とし、導入初期の無線設備および将来の無線設備において衛星機器を除いた在来システムに関連する部分の設備コストの比較を行なう。

在来の無線設備は船種、運航条件により価格差があるが、日本の船会社の外航の自社貨物船に標準的に採用されている電信／電話併設の装置を標準とすると概略次のようになる。

(1) 現在の船舶無線設備のコスト	100
(2) 衛星通信導入初期に併設される在来通信系の無線部分	50～60
(3) 衛星通信が普及した将来に於て残存する在来通信系の無線部分	25～30

## 6 通信内容の種別とその伝送容量

(音声、テレタイプ、ファックス、船位測定)

### 6.1 現行の通信種別、通信形態の概要

ここでは、現在の通信、船位測定における電波の利用状況を周波数、電波形式等技術的要件を中心に整理した(4.1参照)。

表 6.1.1 現行の通信種別、通信形態

通信種別	周波数帯域	電波形式	通信形態	その他
電 話	1.6 ~ 28MHz	A3A, A3J, A3H	対話通信	一部 A3
	154 ~ 174MHz	F3	"	
	450 ~ 470MHz	F3	"	船内通信
電 信 (モールス)	405 ~ 535kHz	A1, A2, A2H	ブレードイン形式	通信速度 25ボー
	1.6 ~ 25.11MHz	A1	"	"
テレタイプ	4 ~ 25 MHz	F1	相互通信 一方向通信	通信速度 100ボー ARQ/FEC
通信FAX	電話と同じ	A3J, F4, F9	一方向通信	回転数 241rpm 協働係数 163.5
気象FAX	3 ~ 24 MHz	F4, A9	放送形式	回転数 60/90/120rpm 協働係数 288/576
新聞FAX	4 ~ 23 MHz	F4	放送形式	
セルコール	1.6 ~ 23 MHz	A2H	(一斉呼出し 個別呼出し)	SSF C方式
	154~174 MHz	F2		(CCIR Rec.257-1)
遭難通信	500 kHz	A2, A2H		4秒マーク、1秒スペースの12連続
警急通信	2091 kHz	A1		
緊急通信	2182 kHz	A2, A2H, A3H		1300Hz、2200Hzの 2トーン、30~60秒
安全通信 (5.4.2参照)	8364 kHz	A2, A2H		500kHzに同じ
	156.8 MHz 他	F2, F3		2182kHzに同じ

表 6. 1. 2 現行の船位測定方式

通信種別	周波数帯域	電波形式	精度	その他
船位測定				
オメガ	10～14kHz	CW、位相差	1～2浬	各局約1秒間CW 10秒くり返し
デッカ	約70～180kHz	CW、位相差	5～60m	主、赤、緑、紫局 1分くり返し
ロランA	1750～1950kHz	PM、時間差	0.3～1km	チャンネル 1～4
ロランC, D	90～110kHz	PM、サイクルマッチング	100～300m	Carrier 100kHz 常時
無線標識	285～325kHz	MCW	±3°	
	9310 MHz	P0, P1, P3	±1°	
NNSS	150/400MHz	FM ドブラシフト	0.1浬	2分間隔送信
方向探知機	285～535kHz	A1, A2, A2H		義務船舶 (SOS 発信機)
	285kHz～13MHz	A1, A2, A2H, A3, A3A, A3J, A3H		漁業用 (2091kHz, 2182kHz)
	26.6～28.2MHz	"		漁業用ブイ (1605～2850kHz)
レーダ	2.92～3.1 GHz	PO		
	5.47～5.65GHz	PO		
	9.32～9.5 GHz	PO		
	32.3～35.2GHz	PO		

## 6.2 衛星通信における通信種別、通信形態の検討

ここでは、海事衛星に対する通信および航法関係の要望をとりまとめた(4.3参照)。

- (1) 電話     ダイヤル式即時通話が希望されている。料金通知の要望もある。
- (2) テレックス     ダイヤル接続のテレックスが希望されている。不在受信可能が要望されている。
- (3) ファクシミリ  
 通信用     加入ファクシミリ(不在受信可能)が希望されている。  
 気象・新聞     冗長度除去によって受信時間を短縮することが要望されている。
  - 気象、海象、水路告示については海城別の選択、自動受信が希望されている。
  - 放送形式、同報通信の受信者に対する課金をどうするかが問題となる。
- (4) データ通信     低速は初期から可能であるが、どの程度の速度まで必要なか現在のところ不明である。
- (5) スロースキャンTV     通信としてのTV(動画像)として、どの程度のものがよいか現在のところ不明。
- (6) 放送(音声、TV)     非常に要望が強いが、技術的に問題がある。
- (7) 遭難、警急、緊急、安全通信  
 衛星経由となれば、現在のように方向探知機による捜索ができないので、船位情報を伝送するような方式とする必要がある。位置通報システムを一緒に開発するのが望ましいと思われる。
- (8) 船位測定システム

衛星カバレッジ	北緯、南緯 60° ~ 70° まで
精 度	0.1 ~ 0.5 浬
測定頻度	常時 ~ 1時間1回

以上が要望されている値である。

海事衛星システムは静止衛星を考えているので、船位測定システムは2衛星システムとする必要がある。方式検討は6.4において行う。

以上、通信種別ごとに主に運用上の要件についてまとめたが、通信回線の技術パラメータについて整理すると次のようになる。

(1) 音声回線 (アナログまたはデジタル)

電話、加入ファクシミリ、音声による遭難、緊急通信に使用される。

C/N<sub>0</sub>として50 dB-Hz前後が必要である。

(2) 低速デジタル回線

テレックス、低速データ伝送に使用される。

伝送速度 50 ~ 100 ボー

C/N<sub>0</sub>として30 dB-Hz前後

(3) 高速デジタル回線

高速データ伝送、高速ファクシミリ伝送に使用される。

伝送速度 1200 b/s 以上

C/N<sub>0</sub>として45 dB-Hz前後

アクセス制御、船位測定システム、遭難、警急、緊急、安全通信は上記3種の回線を適宜使用して行われるであろう。これらの回線の伝送速度、C/N<sub>0</sub>をどれ位にすべきかは利用する船舶地球局のG/T、船舶数、利用時間あるいは頻度等によって決る。

これらの回線の所要回線数については種々予測がなされているが、推測の域を出ないので、6.3項で回線数と所要衛星電力等の関係を検討するとどめる。

## 6.3 海事衛星通信の回線設計 (回線容量、衛星電力等の関係)

### 6.3.1 概 要

海事衛星通信システムにおいて、取り得る回線数は、衛星電力、船舶地球局の特性、所要C/N<sub>0</sub>等によって決る。システムが衛星の送信電力で制限を受ける場合、取り得るC/N<sub>0</sub>は次の式で表わせる。

$$C/N_0 = (EIRP)_{SAT} - PL_D - M - 10 \log k + (G/T)_{SHIP} - 10 \log N$$

ここで C/N<sub>0</sub> : 搬送波電力と雑音電力密度の比

(EIRP)<sub>SAT</sub> : 衛星の実効放射電力

PL<sub>D</sub> : ダウンリンク自由空間損失 (188.4 dB)

M : マージン (海岸局→衛星パスによる劣化も含める)

k : ボルツマン定数 (10 log k = -228.6 dBW / °k - Hz)

(G/T)<sub>SHIP</sub> : 船舶地球局の性能指数

N : 回線数

M = 7 dB (C.C.I.R. SG 8 Doc. 8/42 - E 4章の6.3 dB [99%値] を切上げ) と仮定すると

$$C/N_0 = (EIRP)_{SAT} + (G/T)_{SHIP} - 10 \log N + 33.2 \text{ (dB)}$$

となる。

以下、6.2節で検討した3種の回線について回線数と衛星電力の関係を求めるが、その際船舶地球局

の特性としては次のように考える (3.1 参照)

- 音声回線に対しては
- 4 dB/°k (MARISAT 規格)
  - 10 dB/°k (MAROTS 規格)
- 低速データ回線に対しては
- 14 dB/°k と -22 dB/°k
  - (いずれも MAROTS 規格)
- 高速データ回線に対しては
- 10 dB/°k と -14 dB/°k

### 6.3.2 音声回線

所要  $C/N_0$  を  $-50$  dB-Hz とする。  
 $C/N_0$  と回線品質の関係は 6.5 に詳述する。船舶地球局の

$G/T$  が  $-4$  dB/°k の場合は

$$(EIRP)_{SAT} = 20.8 + 10 \log N \text{ (dBW)}$$

$G/T$  が  $-10$  dB/°k の場合は

$$(EIRP)_{SAT} = 26.8 + 10 \log N \text{ (dBW)}$$

となる。この関係を図 6.3.1 に示す。

- 所要  $C/N_0 = 50$  dB-Hz
- マージン = 7 dB
- Voice Activation は考えていない。

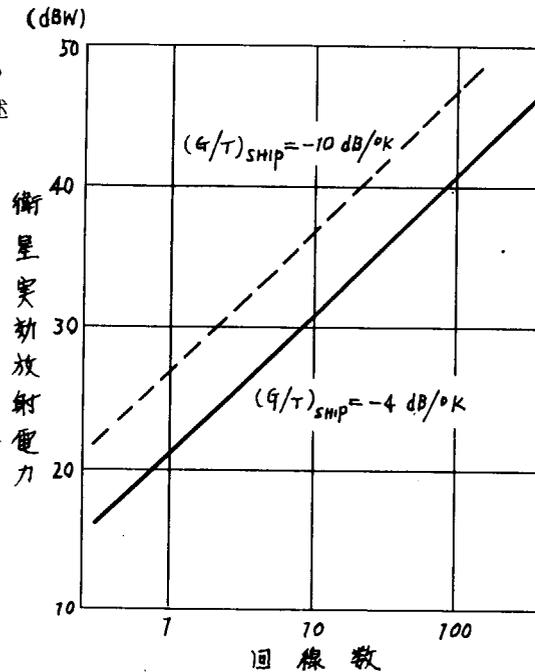


図 6.3.1 音声回線の回線数と衛星電力

### 6.3.3 低速データ回線

所要  $C/N_0$  を  $30$  dB-Hz とする。  
 $C/N_0$  と誤り率の関係は 6.6.2 に述べる。船舶地球局の

$G/T$  が  $-14$  dB/°k の場合は

$$(EIRP)_{SAT} = 10.8 + 10 \log N \text{ (dBW)}$$

$G/T$  が  $-22$  dB/°k の場合は

$$(EIRP)_{SAT} = 18.8 + 10 \log N \text{ (dBW)}$$

となる。この関係を図 6.3.2 に示す。

- 所要  $C/N_0 = 30$  dB-Hz
- マージン = 7 dB

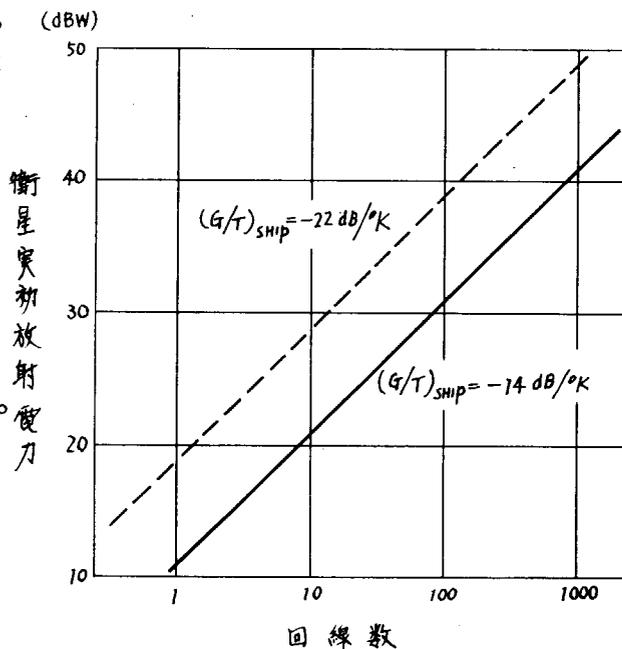


図 6.3.2 低速データ回線の回線数と衛星電力

### 6.3.4 高速データ回線

所要C/N<sub>0</sub>を45 dB-Hzとする。  
船舶地球局の

G/Tが-10 dB/°kの場合は  

$$(EIRP)_{SAT} = 21.8 + 10 \log N \quad (\text{dBW})$$

G/Tが-14 dB/°kの場合は  

$$(EIRP)_{SAT} = 25.8 + 10 \log N \quad (\text{dBW})$$

となる。この関係を図6.3.3に示す。

- 所要C/N<sub>0</sub> = 45 dB-Hz
- マージン = 7 dB

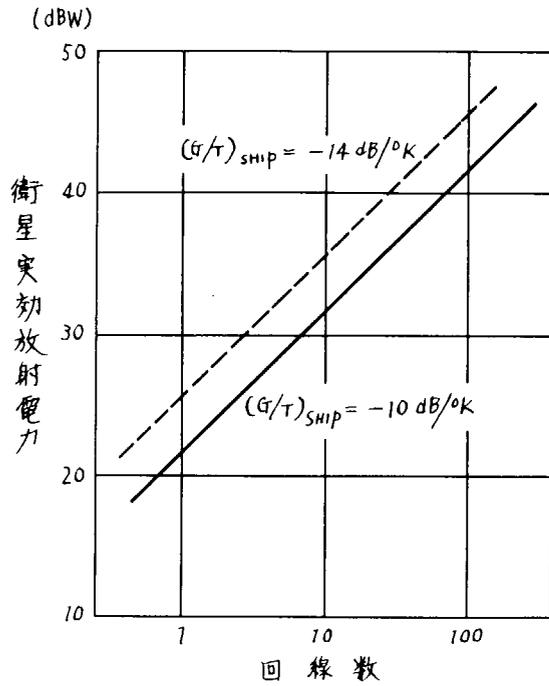


図6.3.3 高速データ回線の回線数と衛星電力

### 6.3.5 音声回線と低速データ回線の混在する場合

6.3.2および6.3.3において音声回線と低速データ回線のそれぞれについて回線数と衛星電力の関係を求めたが、ここでは両者が混在する場合を考える。混在の条件を

音声回線の所要 C/N <sub>0</sub>	50 dB-Hz
低速データ回線の所要 C/N <sub>0</sub>	30 dB-Hz
音声回線を利用する船舶地球局	-4 dB/°k
低速データ回線(G/T) <sub>D</sub> を利用する船舶地球局	-14 dB/°k, -22 dB/°k
低速データ回線数(N <sub>D</sub> )/音声回線数(N <sub>V</sub> )	3, 10

とすれば

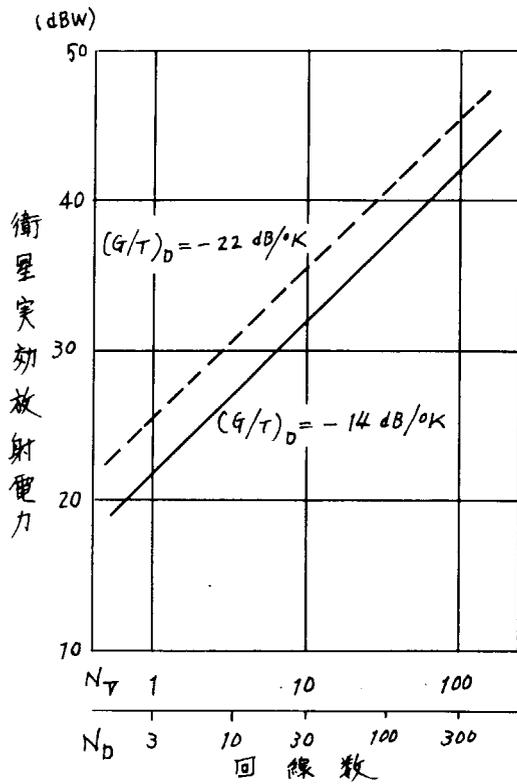
$$\left. \begin{array}{l} (G/T)_D = -14 \text{ dB/}^\circ\text{k} \\ N_D/N_V = 3 \end{array} \right\} (EIRP)_{SAT} = 21.9 + 10 \log N_V \quad (\text{dBW})$$

$$\left. \begin{array}{l} (G/T)_D = -22 \text{ dB/}^\circ\text{k} \\ N_D/N_V = 3 \end{array} \right\} (EIRP)_{SAT} = 25.4 + 10 \log N_V \quad (\text{dBW})$$

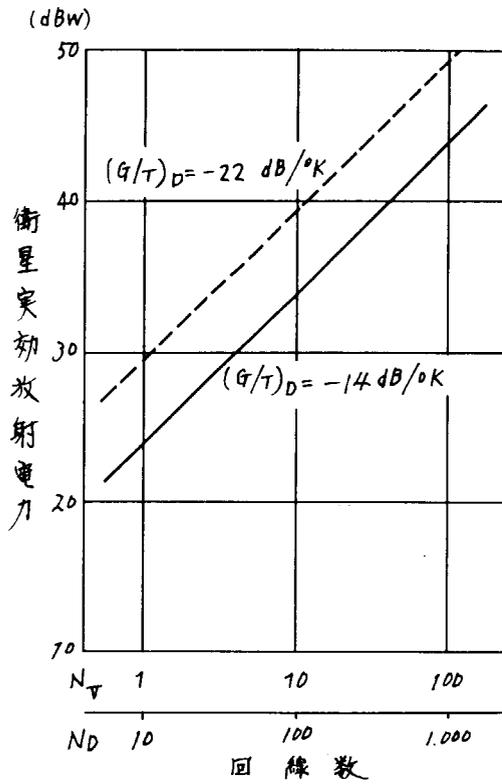
$$\left. \begin{array}{l} (G/T)_D = -14 \text{ dB/}^\circ\text{k} \\ N_D/N_V = 10 \end{array} \right\} (EIRP)_{SAT} = 23.8 + 10 \log N_V \quad (\text{dBW})$$

$$\left. \begin{array}{l} (G/T)_D = -22 \text{ dB/}^\circ\text{k} \\ N_D/N_V = 10 \end{array} \right\} (EIRP)_{SAT} = 29.4 + 10 \log N_V \quad (\text{dBW})$$

となる。この関係を図6.3.4に示す。



(a)  $N_D/N_V = 3$  の場合



(b)  $N_D/N_V = 10$  の場合

(a)(b)共通の条件

- 音声回線の所要  $C/N_0 = 50 \text{ dB-Hz}$
- 低速データ回線の所要  $C/N_0 = 30 \text{ dB-Hz}$
- 音声回線を利用する船舶地球局  $(G/T) = -4 \text{ dB/°K}$

図 6.3.4 音声回線と低速データ回線が混在する場合の回線数と衛星電力の関係

### 6.3.6 $C/N_0$ 、マージンの算出

これまでは、 $C/N_0$ 、 $(G/T)_{SHIP}$  を仮定して回線数と所要衛星電力の関係を求めたが、ここでは1回線に対する衛星実効放射電力が与えられたとき、どれだけの  $C/N_0$  が得られるか、あるいは、ある  $C/N_0$  を得るのにどれだけマージンがとれるかを求める図を示す。

図 6.3.5 はマージンを 7 dB とした図であるから、これで求めた  $C/N_0$  が所要の値より大きければ、その差だけマージンが 7 dB より大きくとれることになる。例えば、チャンネルあたり 30 dBW のとき  $(G/T)_{SHIP}$  が  $1 \text{ dB/°K}$  であれば、所

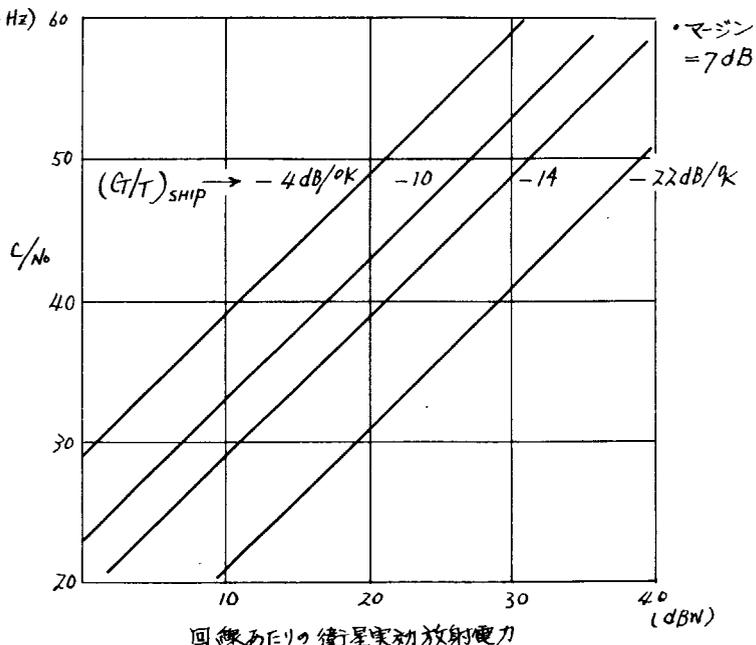


図 6.3.5  $C/N_0$  の計算図

要C/N<sub>0</sub>が52 dB-Hz ならば8.2 dB ( 53.2 - 52 + 7 (dB) ) のマージンがとれることが判る。

## 6.4 船位測定方式の検討

### 6.4.1 概 説

海事衛星による無線測位には、2個の衛星を用い、船舶のそれぞれの衛星からの距離を測定することによって位置を求める方法が用いられよう。

図6.4.1に示すように、地上局からの測距信号を船舶から2個の衛星を経由して返送することによって、地上局で船舶の位置を計算する方式である。従って、本方式は各大洋上に2個の衛星が打上げられた時でなければ使用できない。

システムの検討にあたっては、次の点を考慮しなければならない。

- 1) 所要精度
- 2) 測距に関連する通信の要求
- 3) 測距頻度(各船の)
- 4) 所要時間
- 5) 利用者の費用
- 6) 地上および宇宙部分の費用

具体的には次のような点に考慮を払う必要がある。

- 1) 測距信号の形式、その変調方式および船の番地の付与方法
- 2) 測位用のチャンネルを通信チャンネルと共用するか、別チャンネルとするか。
- 3) 船舶地球局への付加装置の仕様、特に2個の指向性アンテナを要するか、1個の低利得アンテナとするか。
- 4) 地上施設における測位機能の付加
- 5) 衛星位置をより正確に求める手段
- 6) 測位に使用する2衛星の位置の間隔の選び方

ここでは6.2(8)に述べた要求に関連して、衛星位置の問題と測位精度の問題とを検討する。

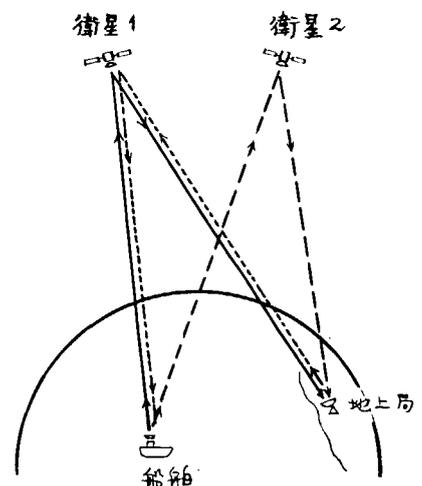
### 6.4.2 測位に利用できる衛星の位置

船位測定システムが利用できる範囲として緯度60°~70°までが希望されている。

静止衛星の仰角が5°以上となる範囲は図6.4.2(a)に示すように緯度0°で経度幅約150°、緯度60°で経度幅約120°、緯度70°で経度幅約90°である。

2個の静止衛星を例えば経度30°間隔に配置したとき、両衛星を5°以上の仰角で見る範囲の経度幅は図6.4.2(c)に示すように緯度0°で約120°、緯度60°で約90°、緯度70°では約60°となる。

従って緯度60°まで測位方式が利用できるようにするには、図6.4.2(c)に示すように経度30°間隔の2衛星を90°間隔で4組配置する必要がある。この場合でも緯度70°では全経度のうち約 $\frac{2}{3}$ でしか利用できない。以上は陸地も含めて考えているので、海上だけで考えればもう少し良くなる(北半球の場合)。

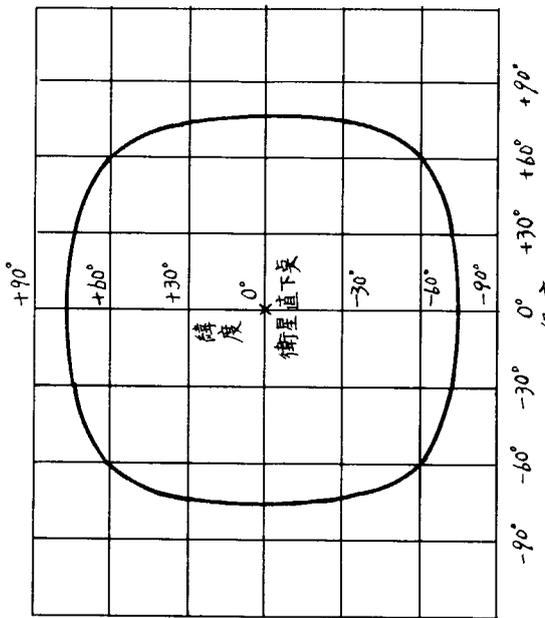


測距信号の経路

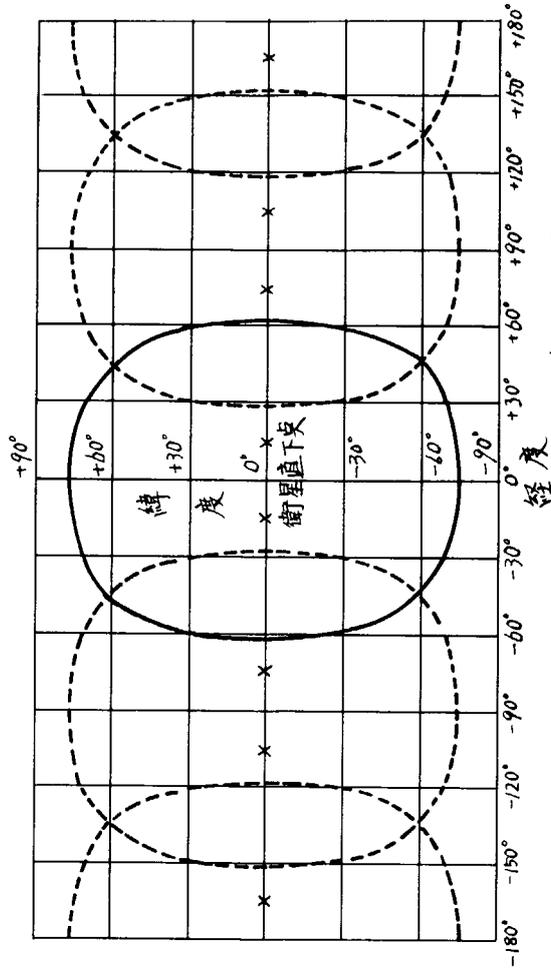


地上局、衛星1,2の位置：船舶地球局、衛星1,2内の信号処理、伝達時間：地上局における送信・受信の時間差から衛星1・船舶間と衛星2・船舶間の距離が判り、船舶の位置を求めることができる。

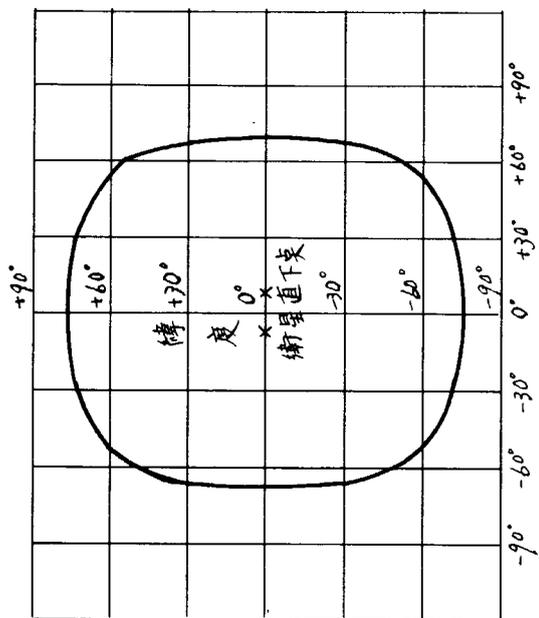
図6.4.1 衛星2個を用いる測距方式



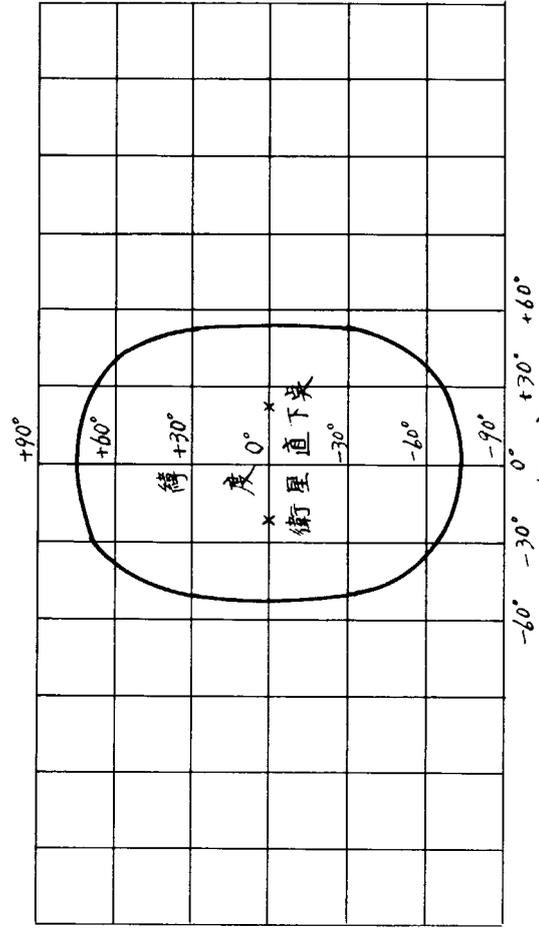
(a) 衛星仰角が  $5^\circ$  以上の範囲



(c) 2衛星との仰角  $5^\circ$  以上の範囲 (衛星間隔  $30^\circ$ )



(b) 2衛星との仰角  $5^\circ$  以上の範囲 (衛星間隔  $15^\circ$ )



(d) 2衛星との仰角  $5^\circ$  以上の範囲 (衛星間隔  $45^\circ$ )

図 6.4.2 衛星利用可能範囲

### 6.4.3 測位誤差

測位誤差の要因としては次のようなものが考えられる。

- 1) 地上局の測量誤差
- 2) 対流圏および電離層の電波伝搬時間の変動
- 3) マルチパスの影響
- 4) 衛星の測位誤差
- 5) 衛星および船舶における中継時間の変動
- 6) 信号測定誤差
- 7) Geometric dilution
- 8) Geoid (地球の形のモデル)の誤差

このうち測距信号の形式、変調方式、衛星電力に直接関係があるのは6)で、6.4.4において検討する。

3)項は6)項に影響する。他は測距信号には無関係と考えられよう。

C.C.I.R. Rep. 515-1 Annex IIでは測距誤差が表6.4.1のように評価されている。

表 6.4.1 測距誤差の評価

誤差要因〔上記項目〕	系統的誤差	誤差の標準偏差
電子装置 [ 5), 6) ]	$M=0$	$\sigma=150\text{m}$
Geoidの誤差 [ 8) ]	$M=\pm 20\text{m}$	$\sigma=0$
電離層 [ 2) ]	$M=+5\text{m}/\sin \beta_i$	$\sigma=0$
マルチパス [ 3) ]	$M=0$	$\sigma=0$
衛星位置〔4〕	高度	$\sigma=50\text{m}$
	経度・緯度	$\sigma=100\text{m}$

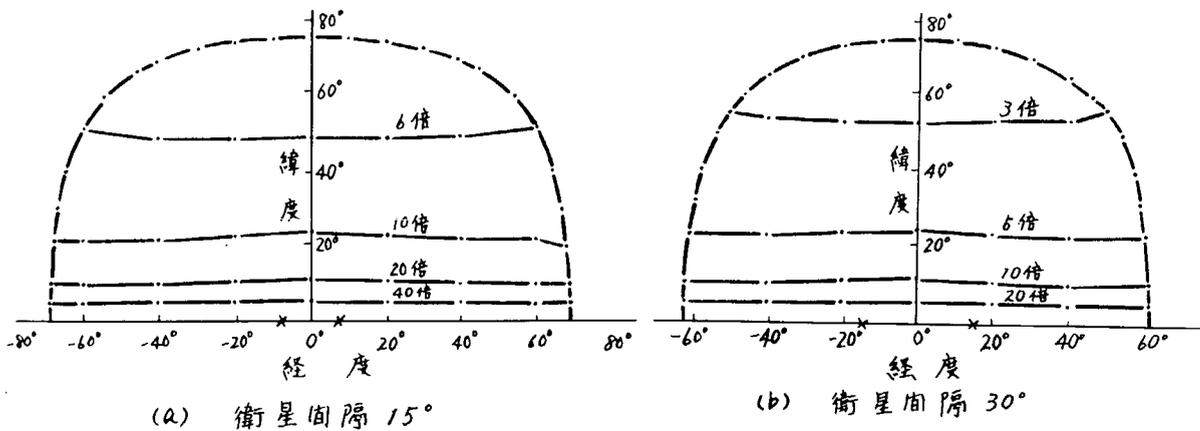
注：1.  $\beta_i$  は衛星の仰角

2. 3) は船舶の場合は系統誤差にならないとしている。

7)の geometric dilutionは、衛星との距離から船舶の位置を求める際に測距誤差が測位誤差となって現われるが、その現れ方が船舶の位置(緯度、経度)によって変わることを言う。測距誤差は確率的な性質をもっているので、測位誤差も確率的性質をもつことになるが、船舶の場合、測位誤差は平面上の拡がりとして考えるのが厳密であろう(文献(4))。

ここでは、二つの衛星の間の測距誤差が独立であるとして(実際は完全に独立には測定できない)、合成誤差の二乗はそれぞれの誤差の二乗和となると考えた。

測位誤差は正しい位置と測定した位置の距離と定義し、それが測距誤差の何倍になるかを、船舶位置(経度、緯度)の関数として求めたものを図6.4.8に示す。計算は6.4.3付録に示す。この図において5倍というのは、測距誤差が100mであれば、測位誤差は500mになるということを意味する。



注：経度は2衛星の中間点の経度を基準とする。

×印は衛星位置を示す。

図 6.4.3 測位誤差と測距誤差の比  
(geometric dilution)

#### 6.4.4 付 録

静止衛星2個による測位方式の測位誤差

・パラメータ

衛星と船舶の距離  $D_1, D_2$

地球の半径  $R_0$

静止衛星高度  $H$

衛星間隔  $\omega$

・経度： $\lambda - \lambda_0 = \tan^{-1} \left( \frac{N}{M} \right)$

緯度： $\rho = \cos^{-1} \left( \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{(H+R_0)R_0 \sin \omega} \right)$

ただし： $\lambda_0$ は2衛星の中間点の経度

$$M = \left\{ (H+R_0)^2 + R_0^2 - \frac{1}{2}(D_1^2 + D_2^2) \right\} \sin \frac{\omega}{2} \quad N = \frac{1}{2} (D_1^2 - D_2^2) \cos \frac{\omega}{2}$$

・測位誤差

測距誤差  $\Delta D_1, \Delta D_2$  による誤

差は二乗和になって現れるとする。

$$\Delta \lambda^2 = \left( \frac{\partial \lambda}{\partial D_1} \cdot \Delta D_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial \lambda}{\partial D_2} \cdot \Delta D_2 \right)^2 \quad \Delta \rho^2 = \left( \frac{\partial \rho}{\partial D_1} \cdot \Delta D_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial \rho}{\partial D_2} \cdot \Delta D_2 \right)^2$$

・経度、緯度の誤差と測位誤差(正しい位置と測定した位置の距離)の関係

$$\Delta S = R_0 \sqrt{\cos^2 \rho \Delta \lambda^2 + \Delta \rho^2}$$

・ $\Delta S$ と船舶位置の関係

$$\frac{\Delta S}{\Delta D} = \sqrt{\frac{\left\{ (H+R_0)^2 + R_0^2 \right\} \left( 1 + \frac{1}{\sin^2 \rho} \right) - 4(H+R_0)R_0 \cos \frac{\omega}{2} \cos \rho \cos \lambda \left\{ 1 - \left( \sin^2 \frac{\omega}{2} + \sin^2 \lambda \right) \left( 1 - \frac{1}{\sin^2 \rho} \right) \right\}}{(H+R_0) \sin \omega}}$$

ただし、 $\Delta D = \Delta D_1 = \Delta D_2$  とする。

### 6.4.5 測距信号と測距誤差

測距誤差のうち信号測定誤差(6.4.3 6)項)は信号形式、変調方式、S/N(あるいはC/N<sub>0</sub>)に関係する。

測距は地上局で送信した信号が衛星経由で船舶との間を往復する時間を測定することによって行われる。その方法として、パルスの送信と受信の時間差を測る方法と正弦波トーンあるいはPRN(Pseudo-random noise code)の送信と受信の位相差を測る方法とがある。これらにおける測距誤差は次のとおりである。位相差法では±n×360°(n:自然数)の位相差が加わっているかどうかは判別できないので、二つのトーンを用いるなどの方法で360°に相当する距離のあいまいさ(Ambiguityと呼ばれる)を除いてやる必要がある。

#### (1) パルス変調方式

時間誤差、帯域幅、S/Nの関係は次のようになる。

$$\sigma_r = 1 / (\beta R^{\frac{1}{2}})$$

$\sigma_r$  : 時間誤差の標準偏差

$\beta$  : パルスの実効帯域幅

R : パルス受信電力/雑音密度

独立したNパルスの平均をとると $\sigma_r$ は $1/\sqrt{N}$ となる。

#### (2) トーン変調方式

トーンの位相差を測定して距離(往復)を求める方式

$$\sigma_r = \frac{C}{2\pi f_m \sqrt{2S/N}}$$

$\sigma_r$  : 距離誤差の標準偏差(片道)

C : 電波の速度

$f_m$  : 変調トーンの周波数

S/N : 復調後のトーンのS/N比

#### (3) PRN符号

$$\sigma_\phi = \pi / \sqrt{8(S/N)_c} \quad \text{or} \quad \pi / \sqrt{16(S/N)_c}$$

(矩形波クロック) (正弦波クロック)

$\sigma_\phi$  : 位相誤差の実効値

$(S/N)_c$  : 相関後の符号信号電力  
/ 雑音電力

トーン変調方式の例を図6.4.4に示す。図において10kHzのみの場合と10kHzと8kHzの2トーンから求められる場合とを示している。

海事衛星の音声回線はS/N 30~35dB(表3.1.1参照)と考えられている。音声の圧伸、エンフェシスによる改善推定10dBを差引き、帯域幅を3kHzとすればS/N<sub>0</sub>は55~60dB/Hzとれており、2.5kHz

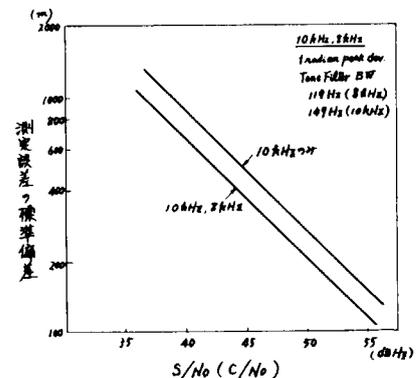


図6.4.4 測距誤差とS/N<sub>0</sub>の関係  
(ATS-5実験計画から)

トーンを用い帯域幅 30 Hz のフィルタで抜取れば、 $S/N$  は 40~45 dB となり、式から測距誤差の標準偏差 38~68 m (片道) となる。これは信号測定による誤差であるから、実際はこれに表 6.4.1 に示すような要素を加える必要がある。図 6.4.3 を参考にすれば、衛星間隔  $30^\circ$  の場合、測位精度 0.5~1 哩はかなりの範囲で達成できるが、0.1 哩はもっと良い回線を使い、衛星の測位精度を上げないと達成できない。

#### 6.4.6 参考文献

- (1) C.C.I.R., Report 506, Volume VIII, pp. 257 (Geneva, 1974)。
- (2) C.C.I.R., Report 509-1, Volume VIII, pp. 279-294 (Geneva, 1974)。
- (3) C.C.I.R., Report 515-1, Volume VIII, pp. 312-336 (Geneva, 1974)。
- (4) 西周次、「衛星航法システムの位置決定誤差に関する研究」、電子航法研究所報告、No. 10 (昭 49 年 11 月)。
- (5) "ATS-5 Multipath/Ranging/Digital Data L-Band Experimental Program", Boeing Commercial Airplane Co., FAA-RD-73-57 (April 1973)。

### 6.5 音声通信における了解度、変調方式、 $C/N_0$ の関係

#### 6.5.1 まえがき

音声通信において回線品質を規定するパラメータとしては、音量、 $S/N$ 、周波数特性、明瞭度(了解度)<sup>(注)</sup>、AEN(明瞭度等価減衰量)、段階づけによる総合評価などがある。これらのパラメータは、電気的特性として客観的に測定できるもの(音量、 $S/N$ 、周波数特性など)と、主観評価として人が聴取することが必要なもの(明瞭度、AEN、段階づけ評価など)とに分けられる。

回線品質を情報の伝達という立場から考えると明瞭度が最も重要なパラメータの一つである。

ただ、明瞭度を求めるには主観評価試験を要するため、多大の労力と時間を必要とするうえ、言語の差異、試験員の熟練度などによって必ずしも同じ値が得られないという問題がある。さらに、方式検討段階においては、電気的特性は予測することができるが、明瞭度の主観評価結果を予測することは不可能に近いという問題もある。

客観的に測定できるパラメータを使って主観評価による明瞭度を推定しようという試みが多くの人によってなされているが、その中で成功したものに明瞭度指数(Articulation Index, AI と略す)の導入がある。

明瞭度指数は音声帯域をいくつか分割し、それぞれについて求めた  $S/N$  等から計算されるもので、明瞭度そのものではないが、明瞭度とかなり良い相関があることが示されており、最近、方式比較に広く用いられるようになってきている。

---

(注) 明瞭度と了解度はともに送信された音声に対する正しく開けた音声の割合で表わされるが、明瞭度(Articulation)は単音、音節のような無意味な音声で試験する場合、了解度(Intelligibility)は単語、文章のような意味のある音声で試験する場合というように試験に使用される音声の性格によって使い分けられている。以下で「明瞭度」と書く場合、了解度を含む場合もある。

### 6.5.2 明瞭度指数 (AI)

明瞭度指数 (AI) の概念は H. Fletcher が提唱したものであるが、その計算法が最初に発表されたのは N. R. French & J. C. Steinberg の論文である。

AI を電気的特性から求める方法は次の原則に基づいている。

- 1) 音声の認識には、音声帯域の分割された狭帯域の各部分が少しずつ寄与しており、それらの総和が正しい音声認識をもたらす。
- 2) 音声の狭帯域の各部分の情報要素 (明瞭度へ寄与する度合) は、それぞれ独立で、相加可能なものと仮定する。
- 3) 各部分の情報要素は感覚レベルの関数である。

このことから AI は次の積分あるいは和によって表わされる。

$$AI = \int_0^{\infty} W(f) D(f) df / \int_0^{\infty} D(f) df$$

$$AI = \sum_{i=1}^n W(i) \Delta A_m(i) / \sum_{i=1}^n \Delta A_m(i)$$

ここで、W は雑音、ひずみ等による劣化の度合を示す係数で、 $0 \leq W \leq 1$  であり、D、 $\Delta A_m$  は各部分が AI へ寄与する度合を示す量である。

これら W、D、 $\Delta A_m$  をどのようにして求めるかが、AI と明瞭度の相関の良否と計算の難易を決めることになる。

AI の計算法は前述の French & Steinberg の論文で最初に発表されたが、かなり複雑であるので、Kryter および Campanella & Sciulli が簡易計算法を発表している。

Campanella & Sciulli は W を分割された狭帯域における S/N だけから求めている (他は最小可聴レベル等にも関係する値として求めている) ので、変調方式が決まれば、その変調方式に固有の雑音スペクトルが求まるため、AI を S/N の関数、従って C/N<sub>0</sub> の関数として求めることができるとしている。

### 6.5.3 明瞭度指数と AI の関係

Kryter は AI と明瞭度の関係を詳しく調べている。明瞭度は試験に使用する音声 (単音か単語かなどの別と日本語、英語などの別) によってその値がかなり大きく変わるので、AI から一義的に明瞭度を求めることはできないが、限られた条件では AI と明瞭度の対応はかなり良い。

Kryter が種々の音声と雑音条件について検討した結果を以下に示す。

- 1) 音声と雑音の条件を表 6.5.1 に、それから求めた AI と主観評価で求めた明瞭度との関係を図 6.5.1 に示している。

System No 8~13 は雑音がなく、音声を一部帯域だけに制限したものであるが、System No 1~7 といくらか違っている。

- 2) 図 6.5.2、図 6.5.3、図 6.5.4(a) は 4 種の雑音ベクトルならびにそれら雑音に対応した S/N と了解度の関係および AI と了解度の関係を示している。これから AI の有効なことがよく判る。(PB words と言うのは試験用の単語の一種)

- 3) 図 6.5.4(b)、(c)、図 6.5.5 には他の人が調査した明瞭度と AI の関係を示している。

他の研究結果として、AMI 社の報告書 "A Study of Maritime Mobile Satellites" (DOT-CG-00505A) に記載されたものと、日本語に関するものを示しておく (それぞれ図 6.5.6、図 6.5.7)。

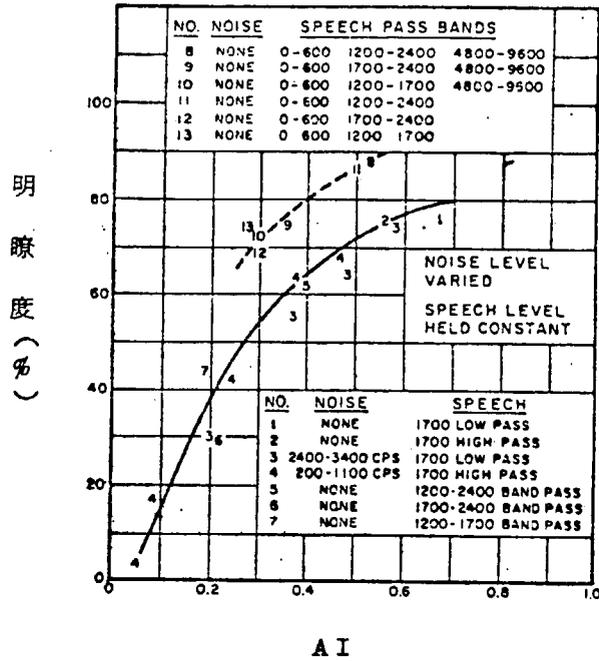
このようにAIは明瞭度とかなり良い相関があるが、回線品質の目安を与えるものと考えるのが無難であろう。音声通信を研究しているBeranekは、AIが0.8以下の方式は日常通信には不満足、0.8～0.5でかろうじて満足、0.5以上なら満足と考えられるとしている。

表 6. 5. 1 音声と雑音の条件

System No.	音 声 帯 域	雑 音 帯 域
1	0 ~ 1700Hz	なし
2	1700Hz ~	なし
3	0 ~ 1700Hz	2400 ~ 3400Hz
4	1700Hz ~	200 ~ 1100Hz
5	1200 ~ 2400Hz	なし
6	1700 ~ 2400Hz	なし
7	1200 ~ 1700Hz	なし
8	0~600Hz, 1200~2400Hz, 4800~9600Hz	なし
9	0~600Hz, 1700~2400Hz, 4800~9600Hz	なし
10	0~600Hz, 1200~1700Hz, 4800~9600Hz	なし
11	0~600Hz, 1200~2400Hz	なし
12	0~600Hz, 1700~2400Hz	なし
13	0~600Hz, 1200~1700Hz	なし

\* 周波数は帯域制限フィルタの6dB低下周波数を示す。

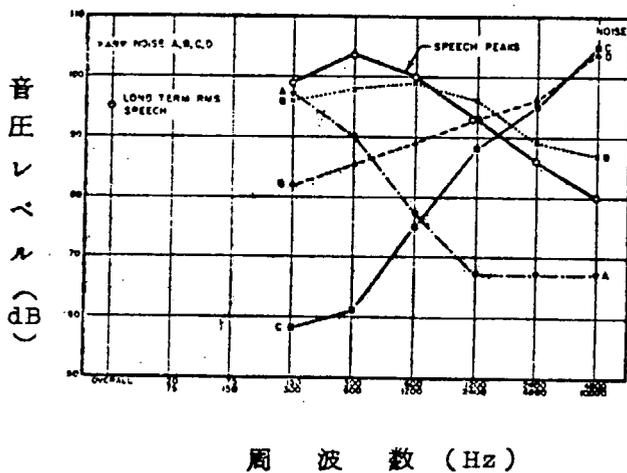
減衰特性は60dB/オクターブ。



AI

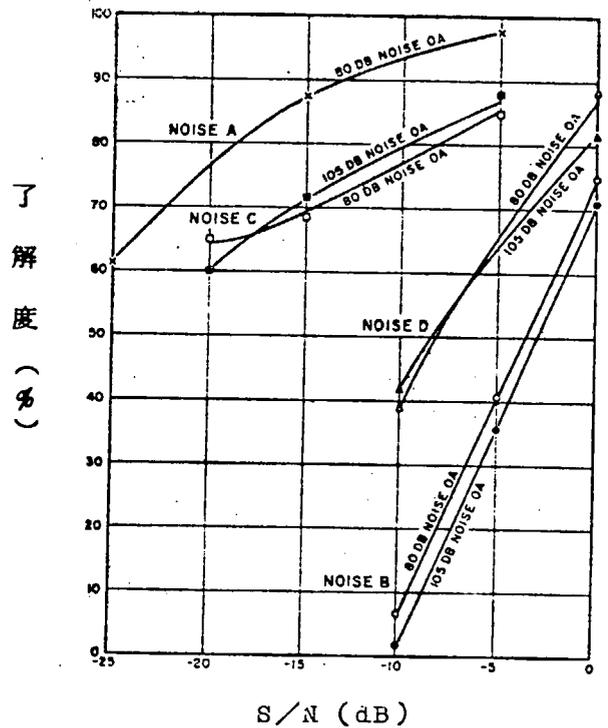
\* 音声，雑音の条件は表 6. 5. 1

図 6. 5. 1 明瞭度指数と明瞭度の関係 (AI)



\* 音圧 : 0 dB = 0.0002 microbar

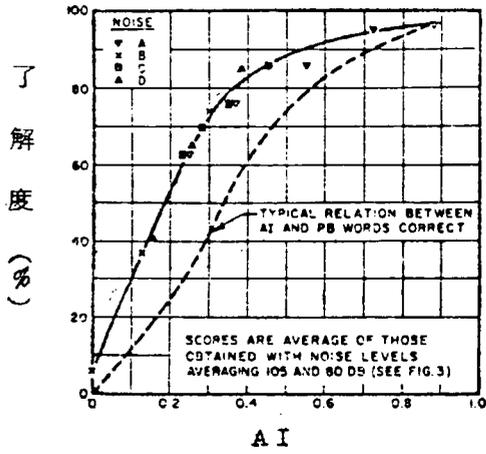
図 6. 5. 2 雑音と音声のスペクトル



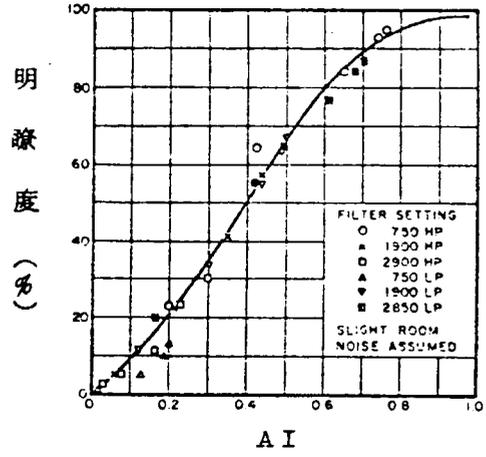
\* 雑音スペクトルは図 6. 5. 2

\* PB 単語を使用

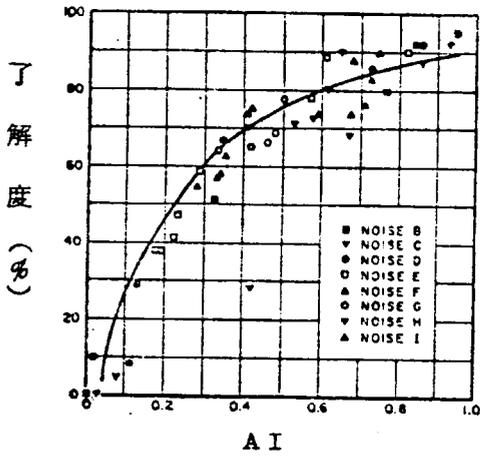
図 6. 5. 3 S/N と了解度の関係



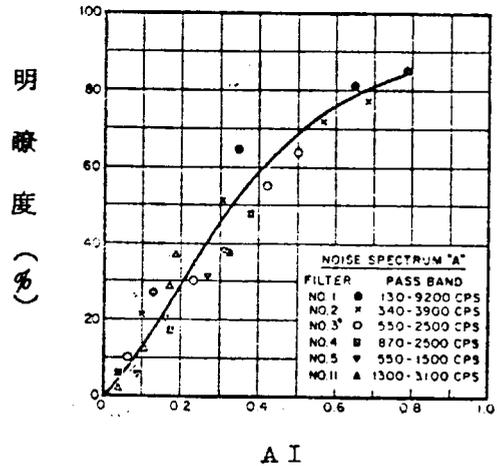
(a)



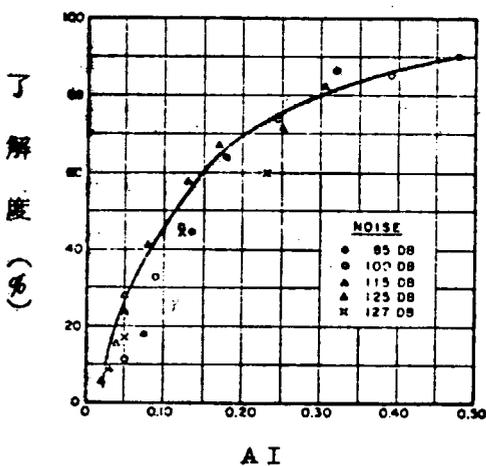
(a)



(b)

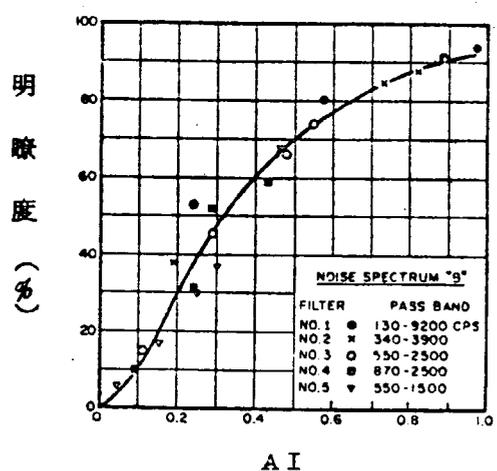


(b)



(c)

\* PB 単語を使用



(c)

\* 無意味音節を使用

図6.5.4 明瞭度指数と了解度の関係 (A I)

図6.5.5 明瞭度指数と明瞭度の関係 (A I)

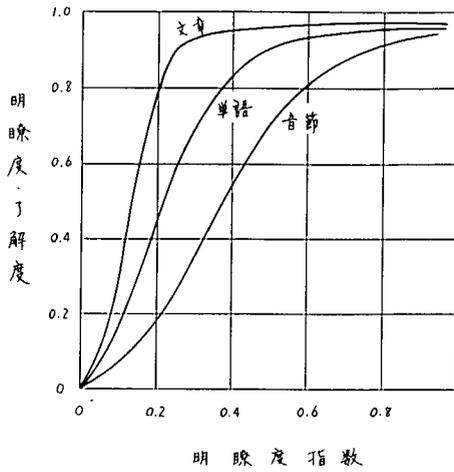


図 6.5.6 AIと明瞭度・了解度の関係 (AMI社 報告書から)

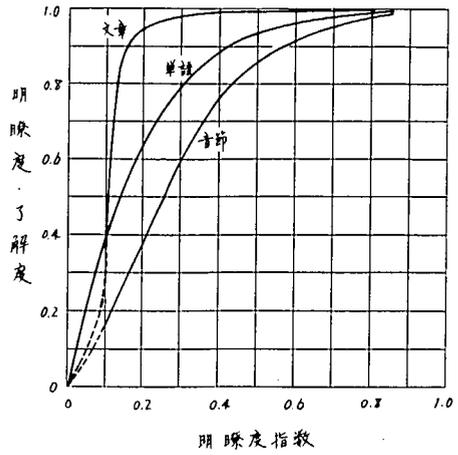


図 6.5.7 日本語におけるAIと明瞭度・了解度の関係 (三浦による)

#### 6.5.4 変調方式、C/N<sub>0</sub>と明瞭度指数の関係

各種変調変式に関するC/N<sub>0</sub>とAIの関係はC.C.I.R.のReport 509-1とReport 597 (Volume VIII)に示されている(図6.5.8)。

両者に共通に10kHz FM方式をみると、C/N<sub>0</sub>で約3dB(AI < 0.5)の違いがあるが、その理由がよく判らない。

Report 597の値は算出法を詳述した論文があるが、Report 509-1の値については参考文献がなく、どのようにして求めたか不明である。

A : FREN A

B : 5kHz SSB(平均電力)

C : 5 kHz 電力(尖頭電力)

D : FM(8 kHz)

E : FM(10 kHz)

F : FM(8 kHz)

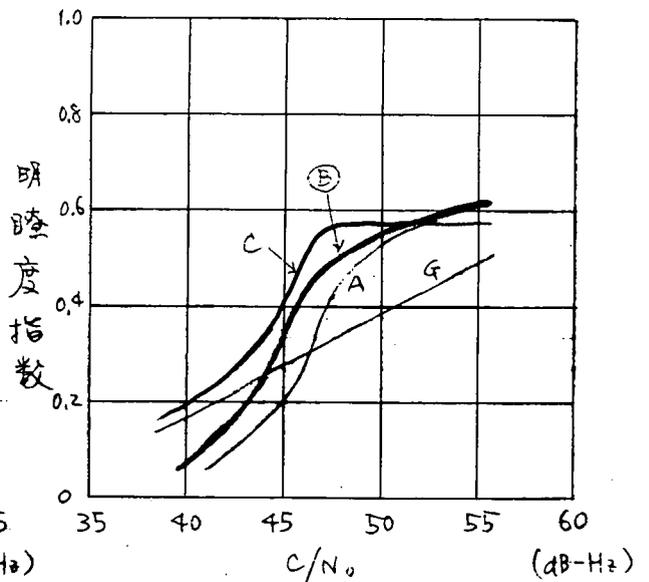
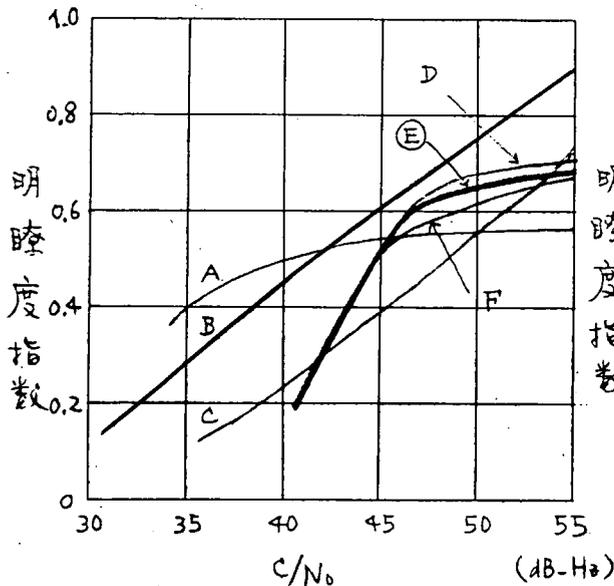
A : FM-弁別器

B : FM-PLL

C : ΔM(18kb/s) - 4相PSK

G : パルス幅変調

帯域幅 10kHz



(a) C.C.I.R. Rep. 509-1 (Figure 2) (b) C.C.I.R. Rep. 597 (Figure 1)

左のⒺと右のⒺが同じ条件と思われる。

図 6.5.8 C/N<sub>0</sub>と明瞭度指数の関係 (C.C.I.R. Vol. VIII から)

## 6.5.5 参考文献

- (1) N.R.French and J.C.Steinberg, "Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds," Journal of the Acoustical Society of America, Vol.19, No.1, pp.90-119 (January 1947)。
- (2) H.Fletcher and R.H.Galt, "Perception of Speech and its Relation to Telephony," Journal of the Acoustical Society of America, Vol.22, No.2, p.89 (1950)。
- (3) 三浦種敏、「日本語に対する定量的な伝送品質と伝送特性との関係」、研究実用化報告、第3巻、第4号、468～501頁(1954)。
- (4) K.D.Kryter, "Methods for the Calculation and Use of the Articulation Index," Journal of the Acoustical Society of America, Vol.34, No.11, pp.1689-1697 (November 1962)。
- (5) S.J.Campanella and J.A.Sciulli, "A Comparison of Voice Communication Techniques for Aeronautical and Marine Applications," Comsat Technical Review, Vol.2 No.1, pp.173-204 (Spring 1972)。
- (6) K.D.Kryter, "Validation of the Articulation Index," Journal of the Acoustical Society of America, Vol.34, No.11, pp.1698-1702 (November 1962)。
- (7) H.Fletcher, "Speech and Hearing in Communication," D.Van Nostrand Company, Inc., 1953, Princeton, New Jersey.
- (8) 電子通信学会編「聴覚と音声」、電子通信学会、昭和41、東京。
- (9) "A Study of Maritime Mobile Satellites," AMI, DOT-CG-00505A (1 November 1970)。
- (10) C.C.I.R., Report 509-1, Vol.VIII, pp.279-294 (Geneva, 1974)。
- (11) C.C.I.R., Report 597, Vol.VIII, pp.385-390 (Geneva, 1974)。
- (12) C.C.I.R., Report 601, Vol.VIII, pp.404-411 (Geneva, 1974)。

## 6.6 デジタル伝送の誤り率とC/N0の関係

### 6.6.1 変調方式

デジタル信号で搬送波を変調する方式には、アナログ信号の場合と同様に振幅変調、周波数変調および位相変調がある。

#### (1) 振幅変調

振幅変調は帯域の有効利用ができるため、高速データ伝送に適している。帯域を十分に使い切るためには、同期検波を使用する必要がある。そのため、搬送波の周波数と位相を受信側で再生する必要があり、変復調器は複雑になる傾向がある。振幅変調には次のような方式がある。

両側波帯振幅変調(DSB-AM: Double Side Band-AM)

両側波帯搬送波抑圧変調(DSB-SC: DSB-Suppressed Carrier)

残留側波帯変調(VSB: Vestigial Side Band)

単側波帯変調(SSB: Single Side Band)

直交振幅変調(QAM: Quadrature AM;  
QPRS: Quadrature Partial Response)

DSB-AMはデジタル信号が+1、-1で100%変調のときはON-OFF変調となる。  
 DSB-SCは、デジタル信号の+1と-1で搬送波の位相が反転することになり、2相PSKと同じである。VSB、SSBは帯域の利用率を上げるために不要な側波帯を抑圧するものである。  
 QAMは通常の振幅変調とやや異なる。本方式は直交した(位相差が $90^\circ$ である)二つの搬送波によるDSB-SCを同時に伝送する方式で、位相(推移)が $0^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 、 $180^\circ$ の4相PSKと同じである。

デジタル信号で搬送波を変調する場合、+1、-1で変化する信号のスペクトルは広帯域に広がっているため、伝送帯域を有効に利用するためには適当なフィルタで帯域制限をする必要がある。論理的に必要な帯域幅は $1/2T$ (ただし、 $T$ は信号[シンボル]の間隔)であるが、実際はフィルタの実現性からこれより広い帯域が必要である。最近伝送帯域の利用率を上げるため、デジタル処理and/orフィルタリングで $1/2T$ 以上のスペクトルを零(または非常に小さな値)にするパシカル・レスポンス方式が使用されるようになってきている。QAMの帯域制限にこのパシカル・レスポンス方式を適用したものはQPRSと呼ばれている。

復調法には包絡線検波(Envelope Detection)と同期検波(Coherent Detection)がある。包絡線検波は受信信号を単純に整流して検波する方式で、回路は簡単であるが、DSB-AMで使用されるだけである。同期検波は受信信号(変調波またはパイロット)から再生された搬送波と受信信号の積をとって検波する方式である。2値のDSB-SCとQAMでは、再生搬送波で検波する代わりに二つの信号(シンボル)の間の位相差を比較することによって検波を行う差動位相検波(Differentially Coherent Detection)[遅延検波(Comparison Detection)とも呼ばれる]も使用される。これは、元来PSK信号の検波に考えられたもので、送信側か受信側にデジタル信号とシンボル間の位相推移を関係づけるコーディング(あるいはデコーディング)が必要である。差動位相検波は同期検波より回路が簡単であるが、同じ誤り率を得るには $C/N$ を数dBよくしなければならない。同期検波と差動位相検波(遅延検波)の回路構成を図6.6.1に示す。

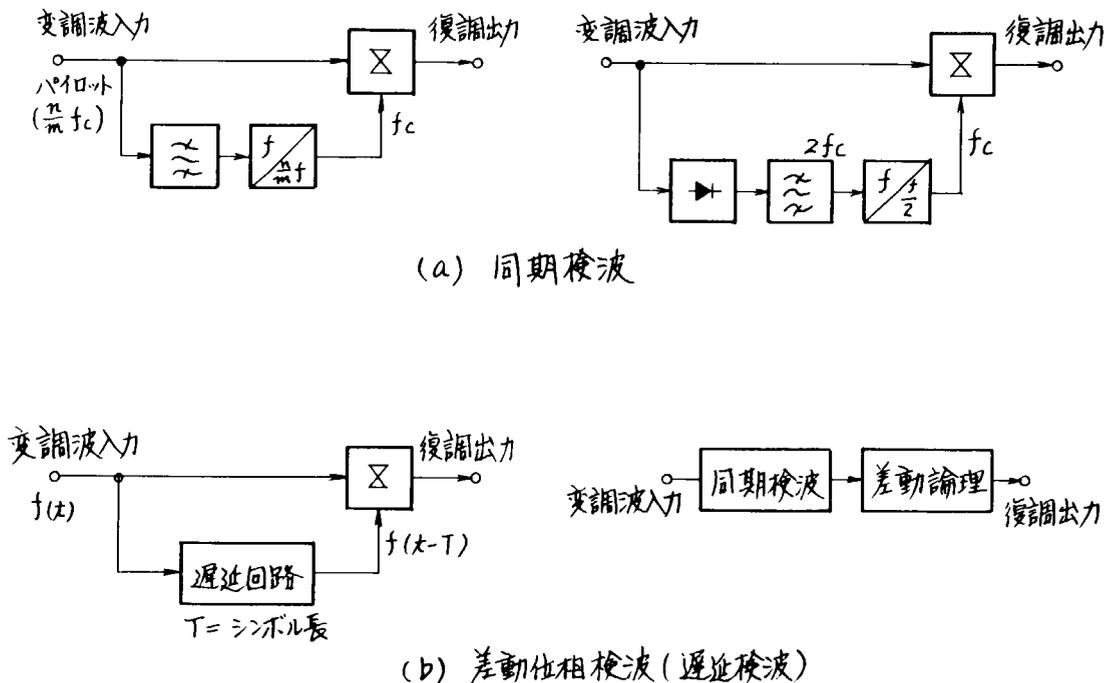


図 6. 6. 1 位相検波回路構成

## (2) 周波数変調

周波数変調はデジタル信号に応じて搬送波の周波数をシフトさせるためFSK (Frequency Shift Keying) と呼ばれることが多い。この方式は復調が非同期で行えることと信号発生が比較的容易で、装置が簡単であるという特長がある。帯域幅の有効利用の点ではあまり効率がよくないが、周波数ずれや非線形特性のような伝送路の劣化に対してはかなり強い。

復調法には周波数弁別検波 (Discrimination Detection) と零交差検波 (Zero-Crossing Detection) とがある。零交差検波は零交差の数が周波数に比例することを利用して、FSKの場合に二つのフィルタを用いてそれぞれの周波数成分を検出する場合には、それぞれに同期検波と非同期検波 (包絡線検波) を用いることが可能である。ただ、FSKの同期検波は実際にはあまり使われない。それは、受信側で同期基準波を作れるならPSKの方が良いからである。

## (3) 位相変調

位相変調はデジタル信号に応じて搬送波の位相をシフトさせるためPSK (Phase Shift Keying) と呼ばれることが多い。この方式は振幅変調と周波数変調の魅力的な特長を合わせもっている。すなわち、多値振幅変調より小さいピーク電力で済み、応用によってはFMより狭い帯域幅で使える利点がある。この方式は、デジタル・データを干渉の多い無線伝送路を使って送るのに使われ成功している。

位相変調の変調方式には絶対位相変調と差動位相変調とがある。絶対位相変調はデジタル情報を絶対位相として変調するもので、復調は基準位相を再生するコヒーレント検波によって行われる。差動位相変調は、デジタル情報を二つの信号 (シンボル) 間の位相の変化として変調するもので、復調は差動位相検波によって行われる [(1)振幅変調の項参照]。

## (4) 変調方式の比較

以上述べた変調方式の比較を誤り率  $10^{-6}$  を得るに必要な理論  $C/N$  と所要帯域幅について示すと表 6.6.1 のようになる。

### 6.6.2 誤り率と $C/N_0$ の関係

本項ではデジタル伝送回線の誤り率と  $C/N_0$  の関係を検討する。これまで回線品質を表わすのに  $C/N_0$  を使用してきた。  $C/N_0$  という表現は送信電力、受信機性能を決めるパラメータであるため、回線設計に使用するのに便利であるが、伝送される信号の特性 (帯域幅、ビットレートなど) が異ると同じ  $C/N_0$  値でも同じ回線特性だとは言えない。そのため、音声では約 50 dB-Hz、高速データで約 45 dB-Hz、低速データで約 30 dB-Hz というように異なる値を考える必要がある。信号の特性に関係なく回線特性を表わすものとしてアナログ信号の場合は  $S/N$ 、デジタル伝送の場合には  $C/N$  がある。

$C/N$  と  $C/N_0$  は回線の帯域幅だけ異っている。回線の帯域幅はビットレート、変調方式、帯域制限フィルタの実現の難易によって変わるため、一概には言えないが、2値 (2相) 変調の場合はビットレートに相当する周波数を帯域幅と考えて、  $C/N$  と  $C/N_0$  を関係づけることができる。例えば 100 b/s の回線で  $C/N_0$  が 30 dB-Hz あったとすれば  $C/N$  は 10 dB であるとする。この  $C/N$  に対する誤り率の理論値と実測値を比較して機器の劣化量 (実際はある誤り率になる理論  $C/N$  値と実際の  $C/N$  値で表わす) と定義するとすれば、帯域制限フィルタの帯域幅がビットレートと違っていることまで含めて機器劣化を考えたと言える。

以下、  $C/N$  と誤り率の関係を示すが、実際は海面反射によるマルチパス等の劣化要因も考える必要がある。

表 6. 6. 1 デジタル変調方式の比較

変 調 方 式		$10^{-6}$ の C/N (dB)	帯 域 幅
振 幅 変 調	DSB-AM 包絡線検波	1 7	B
	QAM 同期検波	1 0.5	0.5 B
	QAM 差動検波	1 2.8	0.5 B
	SSB	1 0.5	0.5 B
	VSB-SC 同期検波	1 1.8	0.6 B
	VSB-RC 同期検波	1 1.8	0.6 B
	VSB-SC 50%変調包絡線検波	1 7.8	0.6 B
位 相 変 調 同 期 検 波 (CPSK)	2 相	1 0.5	B
	4 相	1 0.5	0.5 B
	8 相	1 3.8	0.333B
位 相 変 調 差 動 検 波 (DCPSK)	2 相	1 1.2	B
	4 相	1 2.8	0.5 B
	8 相	1 6.8	0.333B
周 波 数 変 調 (周波数弁別検波)	2 値	1 3.4	B
	3 値 (デュオ・バイナリ)	1 5.9	0.5 B
	4 値	2 0.1	0.5 B
	8 値	2 5.5	0.333B

\* 帯域幅はこれに1より大きい係数をかける必要があるが、その値は方式により異なる。

\* B=ビットレート

誤り率とC/Nの関係(理論値)を2値FSK、2相PSKについて求めると図6.6.2のようになる。

### 6.6.3 参 考 文 献

- (1) 「データ伝送」、ベネット、デーヴィ著(甘利監訳)、ラティス(昭41.)
- (2) 「現代の通信回線理論」、スタイン、ジョーンズ著(関監訳)、森北出版(昭45.)
- (3) 「データ通信の原理」、ラッキー、ソルツ、ウェルドン著(星子ほか訳)、ラティス(昭48)
- (4) C.C.I.R., Report 378-2, Volume IX, pp. 223-228 (Geneva, 1974).
- (5) C.C.I.R., Report 509-1, Volume VII, pp. 279-294 (Geneva, 1974).

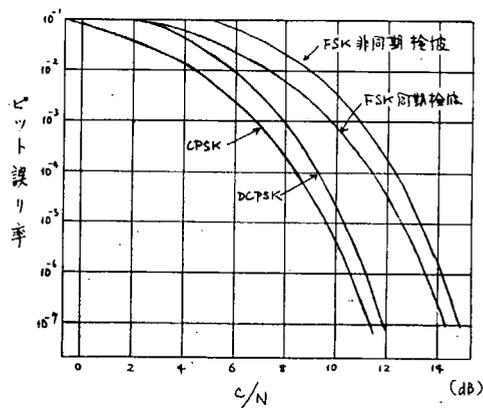


図 6. 2. 2 2 値 FSK、2 相 PSK の誤り率

## 7 宇宙通信の特質とその対策の調査研究

### 7.1 概 要

海事衛星を利用して船舶の運行の安全性を向上し、その効率化をはかる場合、船上設備に極めて大きな影響を及ぼすのは、衛星からの電波が海面や船上構造物に反射し、それによって生ずるフェーディングに起因する通信の質の劣化である。

この問題については海上の場合に限らず、多くの研究が行なわれ、特にノルウェー、米国及び日本で注目研究されているが、海事衛星通信にそのまま適用するには不十分である。調査資料として7.2に記載した25の文献を次に述べるような系統に分類し検討した。

- (1) 海面反射の理論解析
- (2) 海面反射の実験とその結果の検討
- (3) 船体反射によるフェーディング

それらの中で特に重要と思われる8件について7.3及び7.4で述べるように詳しく検討を加えた。

さらに次年度の海面反射の実験において使用する小形空中線の設計、製作を行ない、その特性についての調査を行なった。

### 7.2 収集した調査資料

#### 7.2.1 MARSAT 及び C.C.I.R. 関係

- (1) MARSAT IV/6/7 Norway  
Technical parameters of the system  
Fading depth due to reflection from the sea
- (2) CCIR Report 505  
Multipath effects in aircraft-to-satellite communication  
and radiodetermination link
- (3) CCIR Doc. 8/276-E Norway  
Fading depth in the satellite-to-ship link due to  
reflection from the sea
- (4) CCIR Doc. 8/278-E Norway  
A general model for the shore to ship link for the  
maritime satellite service
- (5) CCIR Doc. 8/1020-E Draft Resolution  
Technical characteristics of systems in the maritime  
mobile satellite service
- (6) CCIR IWP/8 KDD 1975
  
- (7) CCIR IWP/8/1 Norway No 8/1/07  
Sea reflection measurement L-band
- (8) CCIR IWP/8/1 Norway No 8/1/10  
Fading depth in the satellite-to-ship link due to  
reflections from the ship's superstructure

- (9) CCIR IWP/8/1. U.S.A. No 8/1/01  
Efficient utilization of the 1535-1660 MHz frequency band for the maritime mobile satellite service
- (10) CCIR IWP/8 Oslo, Oct. 1975  
Multipath fading in the maritime satellite communications link
- (11) CCIR Draft Report AT/8  
A method of eliminating multipath fading using an omnidirectional antenna diversity system for reception of satellite signals in the maritime mobile satellite service

### 7.2.2 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 関係

- (1) A study of mechanism of sea surface scattering  
AP-14, Sept., 1966
- (2) Backscattering from capillary waves with application to sea clutter  
AP-14, Nov. 1966
- (3) Very high frequency radiowave scattering by disturbed sea surface  
AP-16, Sept. 1968
- (4) Multipath modeling for aeronautical communications  
COM-21, May. 1973
- (5) Surface multipath phenomena in a marine environment  
ICC '75

### 7.2.3 その他

- (1) The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces  
Beckmann P. and Spizzichino A. Pergamon Press
- (2) Results of a maritime satellite simulation experiment  
Journal of British Interplanetary Society Vol. 27
- (3) 海事衛星通信方式に対する多重路信号の信号干渉  
CS 73-143 水野、平田、森永、滑川
- (4) 電波技術審議会 第2部会 諮問 第16号に対する答申
- (5) 海上低層伝播 試験結果 井上、岡本  
電子通信学会 論文 昭48-389(B-84)
- (6) 見越し内海上伝播路における交叉偏波特性 井上  
電子通信学会 論文 昭48-345(B-76)
- (7) マイクロ波海上回線における伝搬ひずみとSD効果 佐々木、井上  
電子通信学会 論文 昭49-157(B-41)
- (8) The concept of German experimental ship terminal  
DFVLR
- (9) Multipath problem in communication between low altitude spacecraft and stationary satellite  
RCA review March, 1968

## 7.3 収集した資料のうち主なものの解説

### 7.3.1 海面反射の理論解析を扱ったもの

- (1) 7.2.1 (1) の文献について
  - (a) 海面反射によるフェーディングの深さ
    - (i) フェーディングの深さ

海面が静かで仰角が低い場合には、反射によって深いフェーディングが生ずる。CCIR Report 505 と Beckmann の本には、種々の波高と仰角での垂直、水平偏波に対するフェーディングの深さについて計算方法が述べられている。円偏波は、垂直、水平のコンポーネントとその相互関係から取扱うことができる。

本文ではノルウェーで行なった多重径路の影響についての研究の結果を示している。

図 7.3.1～図 7.3.4 は波高と次の 4 項目を函数とし、コヒーレントの反射による最大フェーディングの深さを示している。

- (1) 仰角
- (2) 船舶空中線の指向性
- (3) 衛星と船舶空中線の軸比
- (4) 船舶空中線のボアサイト誤差

ここに示された曲線は一部実験結果を加味し、Beckmann の本を参照して計算したものである。

回線の全損失は次の通りである。

$$L_{tot} = L_f + L_a + L_p + L_b + L_m$$

- $L_f$  自由空間損失
- $L_a$  大気減衰損失
- $L_p$  偏波面損失
- $L_b$  ボアサイト誤差損失
- $L_m$  多重径路損失

図 7.3.1～図 7.3.4 には、海面からの反射による  $L_m$  が含まれている。他の多重径路による影響は船舶の構造によるものである。 $L_f$ 、 $L_a$ 、 $L_p$ 、 $L_b$  は図中のフェーディングの深さには含まれていないが、 $L_{tot}$  を計算する場合には加算しなければならない。図では船舶空中線の偏波面の軸比が揃っていること、指向ビーム外の抑圧、指向精度が大切であることを示している。

#### (ii) 海況

図 7.3.5 に大西洋衛星の覆域が示してある。この中に低仰角で特に問題になる海域を斜線で書き込んである。この海域で海況 0 (波高 8 cm 以下) が発生する割合は表 7.3.1 に示す通りである。

表 7.3.1 海況 0 の発生率 (年平均)

海域	1	2	4	20	23	26	32	35
%	3.0	3.3	11.0	34.5	11.7	12.2	4.7	9.2

#### (iii) 結論

MARSAT IV/6 システムの技術パラメータには次のように書いてある。

「音声の品質はスレシホールドの  $C/N_0$  として 52 dB-Hz を標準とする。この標準は変調技術が進歩すれば低くすることも可能である。この値を規定する最小仰角については覆域の関係

から検討を要する。なお、この  $C/N_0$  は衛星が利用可能な時間の99%に対して適用される。」

回線設計では多重径路による損失を1~2dBとしているが、仰角が15°以下で99%の時間と限られた場合は無理である。船舶に20dBの指向性空中線を用いた場合、99%時の条件を入れると5°の仰角では8~10dB、10°では2~3dBのマージンが計算上必要である。

例えば音声の規格として、5°以上の仰角の99.99%時で  $C/N_0$  を45dB-Hz以上、10°以上の仰角の99%時で  $C/N_0$  を52dB-Hzとしたら実現がむづかしいであろう。

Beckmann の本の基本的仮定を立証するには、Lバンドでの実験がさらに必要である。しかしながら船舶の空中線の軸比が揃っており、ビーム外の抑圧が十分にでき、指向精度が良いとしても低仰角ではかなりの多重径路損失があることが計算上から分かる。

### 参考文献

1. CCIR : Conclusions of Interim Meeting of Study Group 8  
Draft report 505 Geneva, 5-21 April 1972
2. BECKMANN P. and SPIZZICHINO A.  
The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces Pergamon Press
3. HOGBEN N. and LUMB F.E.  
Ocean wave statistics etc.  
Her Majesty's Stationary Office

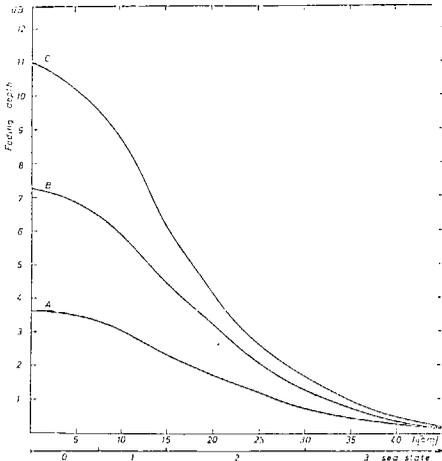


図 7.3.1 波の高さの実効値に対する  
最大フェーディングの深さ

仰角 5° f = 1540 MHz  
船上アンテナの利得:  $D(0) = D(\theta) \cdot [1 + (\frac{\theta}{8})^2] = 20\text{dB}$

	Curve		
	A	B	C
衛星アンテナの軸比	0 dB	2 dB	2 dB
船上アンテナの軸比	0 dB	2 dB	4 dB
船上アンテナの指向エラー	0 dB	1 dB	3 dB

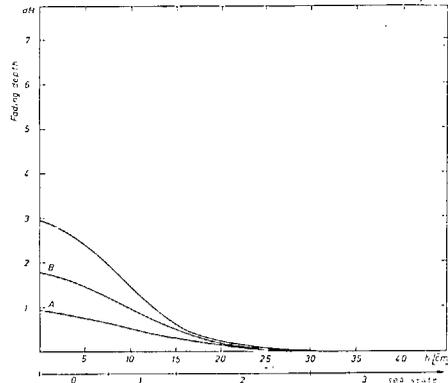


図 7.3.2 波の高さの実効値に対する  
最大フェーディングの深さ

仰角 10° f = 1540 MHz  
船上アンテナの利得:  $D(0) = D(\theta) \cdot [1 + (\frac{\theta}{8})^2] = 20\text{dB}$

	Curve		
	A	B	C
衛星アンテナの軸比	0 dB	2 dB	2 dB
船上アンテナの軸比	0 dB	2 dB	4 dB
船上アンテナの指向エラー	0 dB	1 dB	3 dB

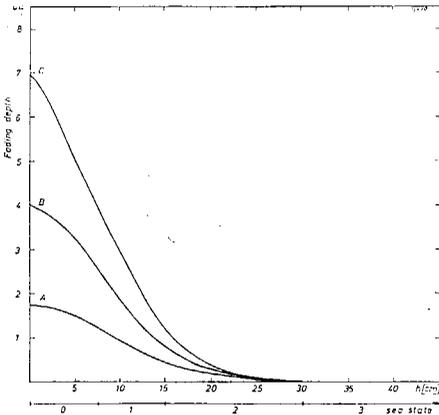


図 7.3.3 波の高さの実効値に対する  
最大フェーディングの深さ

仰角 10° f = 1540 MHz  
船上アンテナの利得:  $D(0) = D(\theta) \cdot [1 + (\frac{\theta}{13})^2] = 16\text{dB}$

	Curve		
	A	B	C
衛星アンテナの軸比	0 dB	2 dB	2 dB
船上アンテナの軸比	0 dB	2 dB	4 dB
船上アンテナの指向エラー	0 dB	1 dB	3 dB

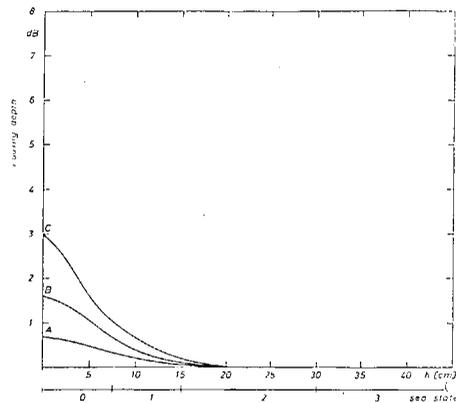


図 7.3.4 波の高さの実効値に対する  
最大フェーディングの深さ

仰角 15° f = 1540 MHz  
船上アンテナの利得:  $D(0) = D(\theta) \cdot [1 + (\frac{\theta}{13})^2] = 16\text{dB}$

	Curve		
	A	B	C
衛星アンテナの軸比	0 dB	2 dB	2 dB
船上アンテナの軸比	0 dB	2 dB	4 dB
船上アンテナの指向エラー	0 dB	1 dB	3 dB

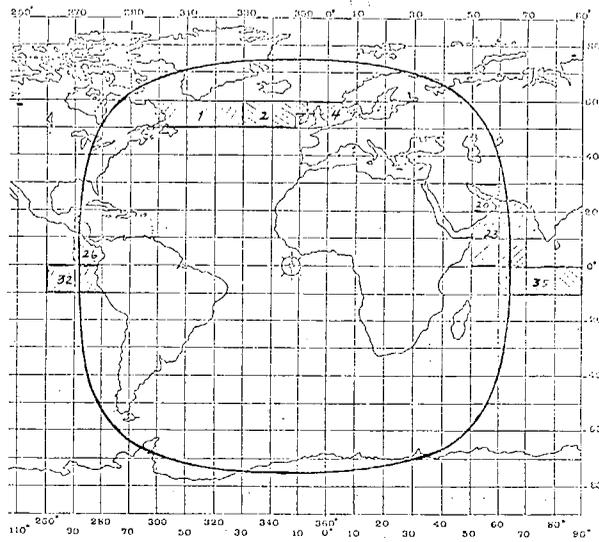


図 7.3.5 MARSAT COVERAGE  
S/C at 125°W, -5° Elevation Contour

(2) 7.2.1 (2)の文献について

(a) 通信と測位におけるマルチパスの影響

このレポートは、通信と測位に関するマルチパスの概念を扱ったものである。ここでは、海軍衛星通信に関係のあるものについて取り上げる。

(i) ハイトパターン

地球を平らであると見なした時の表面での反射によるハイトパターンの極大値の間隔は、表7.3.2のようになる。

表 7.3.2

仰角(度)	2	4	8	15	30	60	90
極大値の間隔	14.4 λ	7.2 λ	3.6 λ	1.8 λ	1.0 λ	0.6 λ	0.5 λ

(ii) 海面での反射

なめらかな海面での反射係数を図7.3.6に示す。インコヒーレントな散乱反射波については、位相はランダムに一樣であり、振幅はレーレー分布をする。コヒーレントな反射については、入射角と表面の波のあらさによる。(BeckmannとSpizzichino, 1963)(文献7.2.3(1))によると、あらさ係数Sは次式で表わすことができる。

$$S = \frac{h}{\lambda} \sin \psi$$

h: 波の高さの実効値  
ψ: 仰角

第一フレネルゾーンに多くの散乱を含むと仮定すると、コヒーレントな反射の振幅はなめらかな海面での反射係数にKをかけたものになる。

$$K = e \times P(-8\pi^2 S^2)$$

図7.3.7にあらさ係数Sを求めるノモグラムを示す。

図7.3.8にフェーディングを求めるノモグラムを示す。

表7.3.3に Sea State の年平均を示す。

表 7.3.3 Sea State の存在確率

Sea State	0	1~2	3	4	5	6~8
存在確率(%)	1.7	37.4	20.3	17.2	11.3	11.6

(iii) 円偏波

円偏波は、ブルュースタ角以上では偏波面が反転するのでフェーディングを軽減できる。

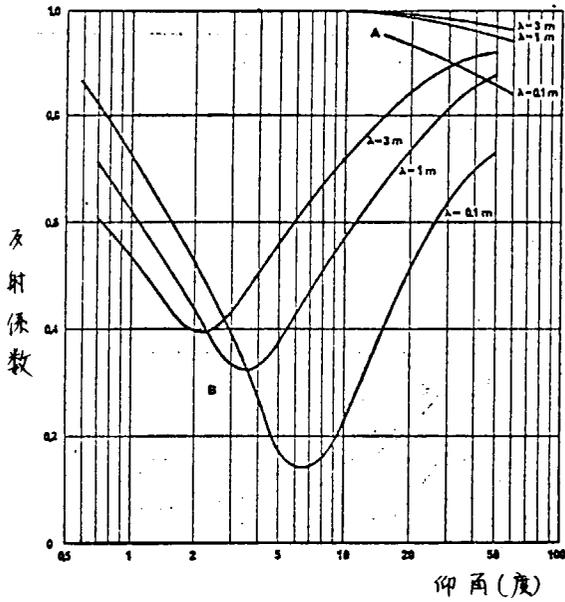
(iv) バンド8(120MHz)とバンド9(1600MHz)の比較

- a. 仰角3°以上においてなめらかな海面での反射係数はバンド9の方が少ない。
- b. 波が高くなると、コヒーレントな反射はバンド9の方が早く減少する。
- c. 一定の仰角と Sea State では、インコヒーレントな反射はバンド9の方が大きい。

(v) 結論

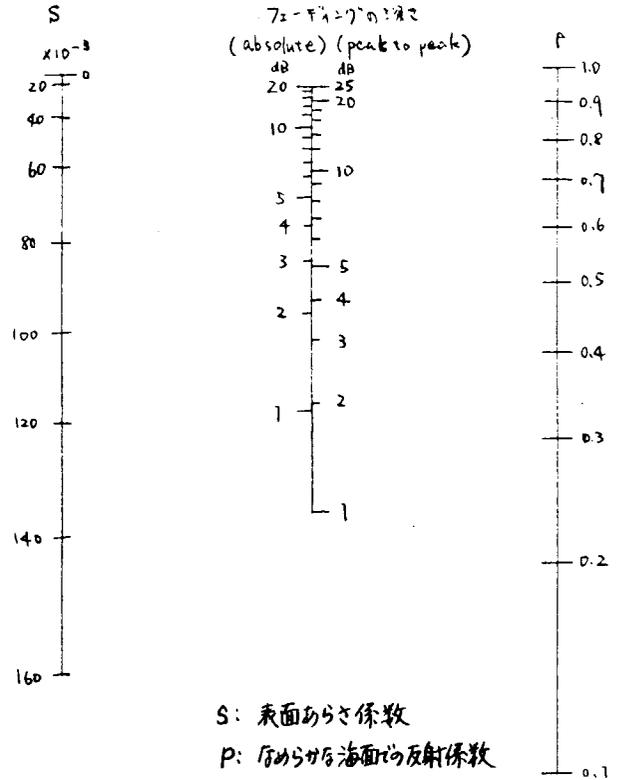
両端に軸比のよいアンテナを用いれば、ブルュースタ角以上ではコヒーレントな反射に対しては非常に強くなる。反射波に対する弁別がよいとコヒーレントな反射に対して強くなる。インコヒーレントな反射に対しては、円偏波の使用とアンテナの指向性でそれによる変動を軽減できる。そうでなければ7~8dB(P-P)の変動があるだろう。パラメータが多すぎて理論の実験的な確認を得ることはむづかしい。

がけの上の限られた条件のもとでやった実験では、225~400MHz のある周波数において理論的推測とよく合った結果が得られた。



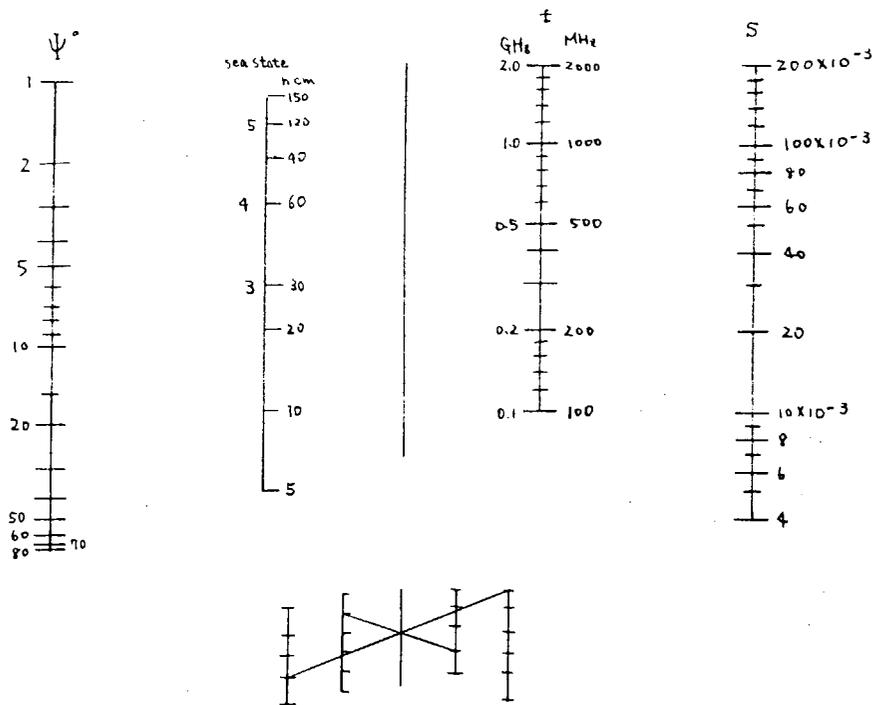
A: 水平偏差, B: 垂直偏差

図 7.3.6 なめらかな海面での反射係数



S: 表面あらし係数  
P: 海面からの反射係数

図 7.3.8 マルチパスによるフェーディングノモグラム



$$S = \frac{hf}{c} \sin \psi$$

S: 表面あらし係数  
C: 伝播速度  
h: 波の高さの実効値  
f: 周波数  
ψ: 仰角

図 7.3.7 表面あらし係数ノモグラム

(3) 7.2.1 (3) の文献について

(a) 海面反射によるフェーディングの深さ

(i) はじめに

本レポートは、フェーディングは以下の関数であるとし、数式でモデル化してフェーディングの深さを計算したものである。

- a. 周波数 (1540MHz)
- b. 仰角
- c. 海面の波の高さ
- d. 船上アンテナの指向特性
- e. 衛星と船上アンテナの軸比
- f. 衛星と船上アンテナの楕円偏波の主軸の水平に対する傾き
- g. 船上アンテナの指向エラー

(ii) 数学的モデル

波のない海面での反射係数を図7.3.9及び図7.3.10に示す。

受信波は直接波と反射波のベクトル合成と考えられ、更に反射波はコヒーレント、インコヒーレントの反射波にわけることができる。深いフェーディングの予想される低仰角で静かな海面ではインコヒーレントな反射波は無視できる。コヒーレントな反射は波のない海面での反射係数に散乱係数Kをかけたもので表わすことができる。

$$\begin{aligned}
 R_h &= K \cdot |R_{oh}| e^{j\phi_h} & |R_{oh}| e^{j\phi_h} \\
 R_v &= K \cdot |R_{ov}| e^{j\phi_v} & |R_{ov}| e^{j\phi_v}
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{図7.3.9~10に示した、} \\ \text{水平、垂直偏波の反射係数} \end{array}$$

$$K = e^{-8\pi^2 (h/\lambda \sin \alpha)^2}$$

$h$  : 波の高さの実効値  
 $\alpha$  : 仰角  
 $\lambda$  : 波長

図7.3.11に直接波、反射波の原理図を示す。

反射波は直接波に対してあらゆる位相をとり得るので、最大フェーディングの深さは次のようになる。図7.3.12にこの関係を示す。

$$\left| \frac{V_{tot}}{V_{dir}} \right| = 1 - \left| \frac{V_{refl}}{V_{dir}} \right|$$

$V_{dir}$  : 直接波の受信強度  
 $V_{refl}$  : 反射波の受信強度  
 $V_{tot}$  :  $V_{dir}$ と $V_{refl}$ のベクトル和

円偏波は垂直偏波と水平偏波のベクトル和と考え、アンテナの軸比に関するファクターFを導入することにより、フェーディングの深さが計算される。

$$\left| \frac{V_{refl}}{V_{dir}} \right| = \sqrt{\frac{D(\theta_r)}{D(\theta_s)}} \cdot |R_h| \cdot F$$

$$F = \frac{|(1+em(\theta_r)) \cdot e_s \cdot r \cdot e^{j\rho} \cos \beta + j(e_m(\theta_r) + e_s \cdot r \cdot e^{j\rho}) \sin \beta|}{[(1+em(\theta_s)) \cdot e_s]^2 - (1-e^2 m(\theta_s))(1-e^2_s) \sin^2 \beta}^{1/2}$$

- $D(\theta)$  : 船上アンテナの指向特性
- $\theta_s$  : アンテナの直接波に対する指向角
- $\theta_r$  : アンテナの反射波に対する指向角
- $e_s$  : 衛星アンテナの軸比

- em : 船上アンテナの軸比
- $r \cdot e^{i\rho}$  :  $= R_v/R_h$
- $\beta$  : 船上アンテナの楕円偏波の主軸の水平面に対する角度

$$D(\theta) = \left(\frac{\sin X}{X}\right)^2 \quad X = 1.4 \frac{\sin \theta}{\sin \theta_{3dB}} \quad \theta_{3dB} = \left(\frac{30000}{D(0)}\right)^{1/2}$$

$\beta$ に関して述べれば、 $\beta = 0$ の時、最大のフェーディングが予想される。

(iii) 予想されるフェーディング

図 7.3.13 及び図 7.3.14 に海面反射によるフェーディングの計算結果を示す。

図 7.3.15 ~ 図 7.3.17 は いろいろな海域で実際に起った波の高さの 8 年間の統計及び実際に予想されるフェーディングの深さを示す。

(iv) 結論

Beckmann の仮定を立証するためには、更に実験が必要である。しかしながら、この計算によれば、低仰角においては大きなフェーディングが予想される。

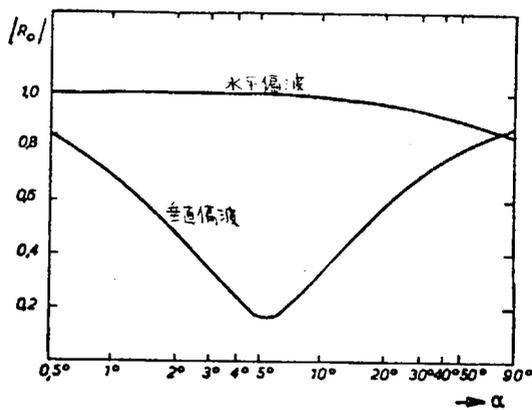


図 7.3.9 なめらかな海面での反射係数

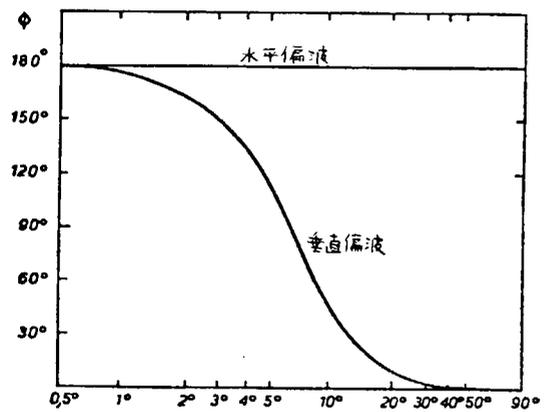


図 7.3.10 なめらかな海面での反射位相角

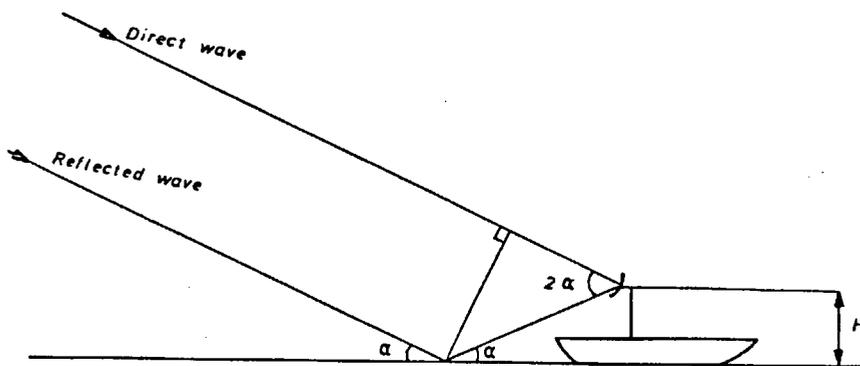


図 7.3.11 船舶衛星回線のジオメトリー

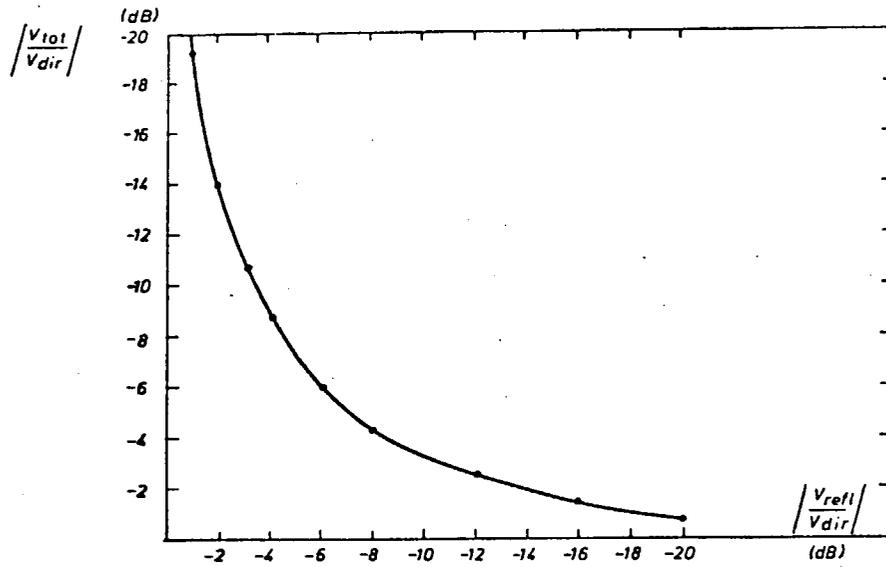


図 7.3.12  $\left| \frac{V_{tot}}{V_{dir}} \right|$  と  $\left| \frac{V_{refl}}{V_{dir}} \right|$  の関係

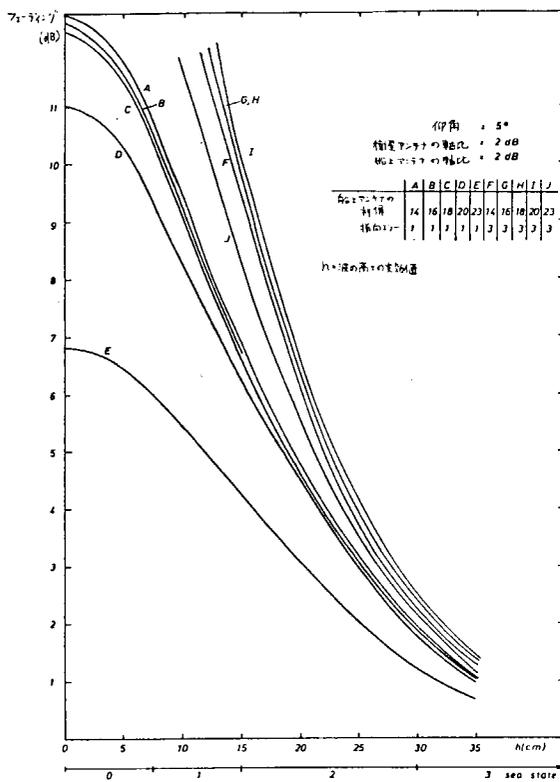


図 7.3.13 波の高さに対するフェーディング

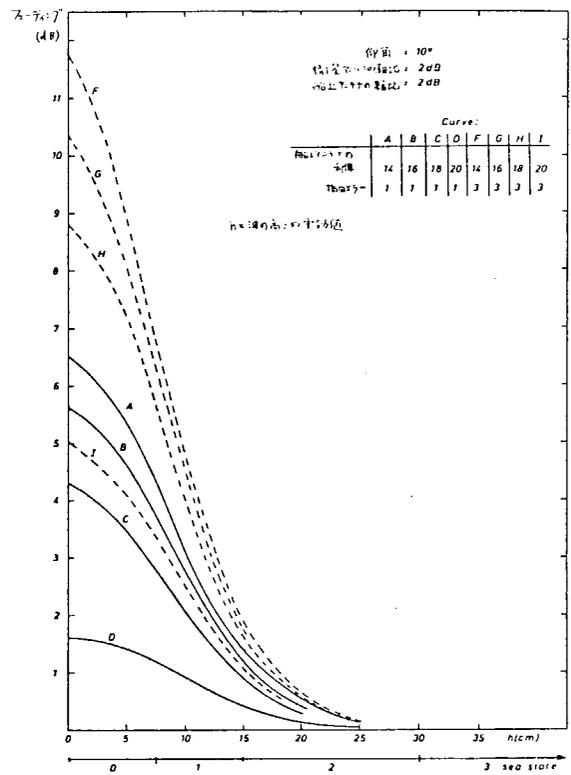


図 7.3.14 波の高さに対するフェーディング

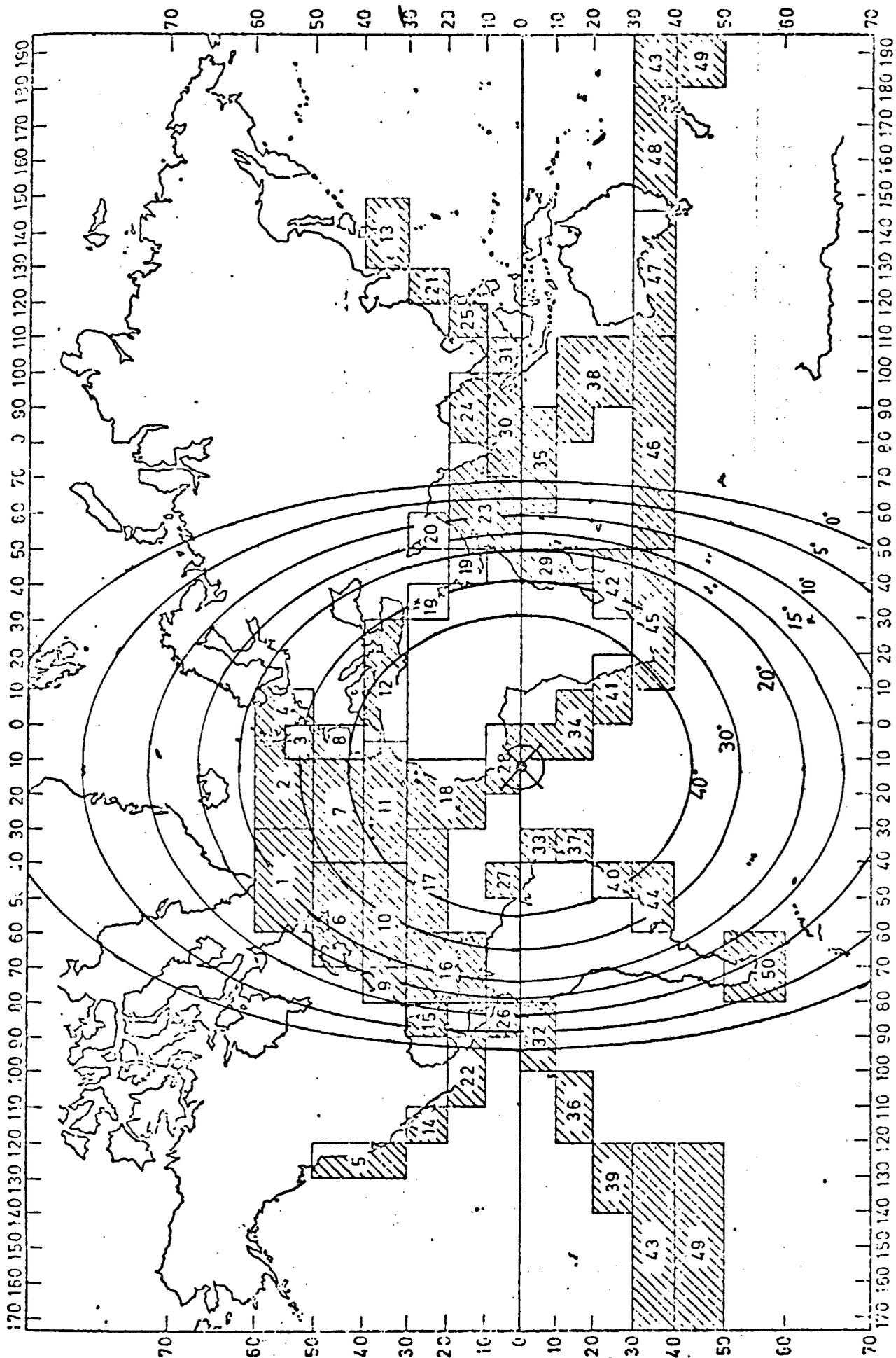


図 7. 8. 15 西経 12.5° にあたる衛星がカバーする海域

表 7.3.4 図 7.8.15 に示す海域の波の高さの実効値

Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
90% h	21.7	21.5	12.5	6.8	16.0	15.0	21.2	15.0	10.0	15.0	12.4	5.5	15.0	9.5	4.8	15.0	15.0	15.0	4.6	2.2	12.5	3.3	6.4	7.5	7.7
95% (cm)	11.7	11.3	4.8	3.4	7.8	7.0	11.3	7.5	5.3	5.9	5.1	2.8	6.2	4.4	2.4	6.6	6.1	6.1	2.3	1.1	6.6	1.7	3.2	3.7	3.8
99%	2.5	2.3	1.0	0.7	1.6	1.4	2.5	1.5	1.0	1.2	1.0	0.6	1.3	0.9	0.5	1.3	1.2	1.2	0.5	0.2	1.3	0.3	0.6	0.8	1.0

Area	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
90% h	6.2	12.1	4.9	7.3	6.6	3.1	13.0	15.6	7.4	8.2	22.0	12.5	26.2	19.7	15.0	15.6	14.8	27.5	12.5	21.0	22.0	21.8	16.2	30.0	10.0
95% (cm)	3.1	8.6	2.4	3.6	3.3	1.6	7.8	10.0	3.7	4.1	13.1	8.2	15.0	10.1	7.5	10.0	8.2	15.0	6.2	10.4	11.8	12.5	8.8	15.0	5.0
99%	0.6	2.4	0.5	0.7	0.7	0.3	1.6	3.0	0.7	0.8	5.0	1.7	4.4	2.3	1.5	3.1	1.8	3.6	1.2	2.1	2.6	3.2	1.8	3.0	1.0

表 7.3.5 図 7.8.15 に示す海域で生ずる海面反射によるフェーディング

Area	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	20
Minimum angle of elevation (degree)	12	21	27	20	15	28	32	10	15	35	30	<5	10	30	55	20	8
90% Fading	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	>11.5	1	0	0	0	7
95% depth	1	0	0	0	0.5	0	0	3.5	0.5	0	0	>12	3	0	0	0	7
99% (dB)	2	0	0	0	0.5	0	0	4	0.5	0	0	>12.5	4	0	0	0	7

Area	23	26	27	28	29	32	33	34	35	37	40	41	42	44	45	48	50
Minimum angle of elevation (degree)	<5	<5	45	80	20	<5	60	55	<5	60	35	45	15	25	13	<5	<5
90% Fading	>11	>11	0	0	0	>7.5	0	0	>10	0	0	0	0	0	0	>4	>9
95% depth	>12	>12	0	0	0	>10	0	0	>12	0	0	0	0	0	0.5	>8	>11.5
99% (dB)	>12.5	>12	0	0	0	>12	0	0	>12	0	0	0	0.5	0	1.0	>12	>12

衛星アンテナの軸比  $e_s = 2\text{dB}$  船上天線アンテナ  
 利得  $D(\theta) = 18\text{dB}$   
 軸比  $e_m = 2\text{dB}$  ( $e_m$  は指向角に対して一定であり、楕円の主軸は  
 指向 エラー 最大フェーディングを生ずる角度( $\beta=0$ )にあるとする。)  
 1 dB

(4) 7.2.2(1)の文献について

(a) 海面散乱の発生原理の研究

海面反射の発生原理を理論的に解明した。海面を時間的と空間的に周期的な変化をする移動する表面として反射波の解析を行った。その結果、海面反射は鏡面反射以外の方向にも強いコヒーレント反射をもつグレーティング構造の反射も存在することが理論的に説明された。これらの反射波の周波数は調和的關係をもつ周波数のずれが存在することも示した。これらの現象は、すでに実験的に確かめられている結果とよく一致した。

空間的にコヒーレントな反射波を発生する波面のモデルとしてガウス性の雑音を狭帯域フィルターを通して得られる信号のパワースペクトルでシミュレーションさせることができる。

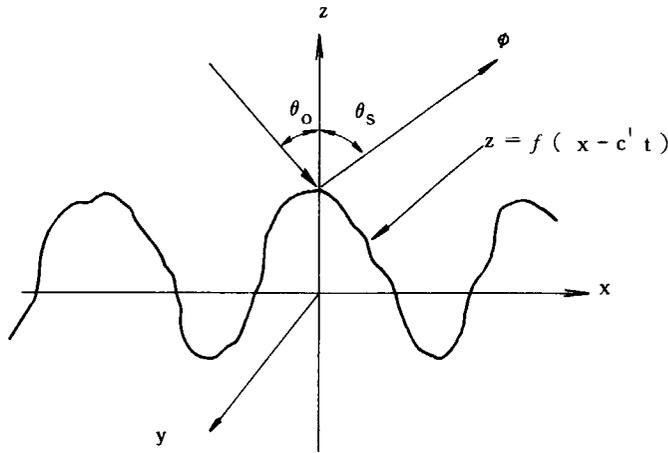


図 7.3.16

図7.3.16のように波面が速度  $C'$  で進行する周期的波形と考えるとき反射波の波動関数  $\phi$  は

$$\phi = \sum_{-\infty}^{\infty} \alpha_n \exp \left\{ j \left[ \left( k \sin \theta_0 + \frac{2\pi}{a} n \right) x + k_{tn} z \right] - j \left( \omega_0 - n \omega' \right) t \right\}$$

となる。

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega_0}{C}$$

$C$  : 光速  $\theta_0$  : 入射角  $a$  : 波面周期

$\alpha_n$  : 海面で決まる定数  $\omega_0$  : 入力波角速度  $\omega' = \frac{2\pi C'}{a}$  : 海面角速度

$$k^2 k_{tn} = \left[ \left( \frac{C'}{C} \right)^2 - 1 \right] \left( \frac{2\pi}{a} n \right)^2 + k^2 \cos^2 \theta_0 + \frac{2k(2\pi n)}{a} \left( \frac{C'}{C} - \sin \theta_0 \right)$$

反射波の反射方向  $\theta_{sn}$  は

$$\theta_{sn} = \arctan \frac{k \sin \theta_2 n}{k_{th}} \quad \text{または} \quad k_{tn} \text{ を代入して}$$

$$\theta_{sn} = \arctan \frac{\sin \theta_0 + \left( \frac{\lambda}{a} \right) n}{\sqrt{1 - \left( \sin \theta_0 + \frac{\lambda}{a} n \right)^2 + 2n \left( \frac{\omega'}{\omega_0} \right)}}$$

$n$  は、 $n = 1, 2, 3, \dots$  で  $n$  番目の方向に放射する電波を示す。

$n = 0$  の場合は

$$\theta_{s0} = \arctan \frac{\sin \theta_0}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_0}} = \theta_0$$

となり、鏡面反射方向を示す。

n 番目方向への反射波の周波数に偏移が生じて

$$\omega_n = \omega_0 + n\omega' = \omega_0 + n \frac{2\pi c'}{a}$$

となる。周波数偏移は海面周波数の整数倍だけずれることになり、ドブラー偏移

$$\omega_d = 2\omega_0 \frac{C' r}{C}$$

とは相違する。C'rは反射方向への海面速度成分。

海面の状態によって散乱を3つの場合に分類して考察する。

- Case 1. 海面が非常に荒れていて部分的な相関が強い状態
  - Case 2. 海面はやや荒いが相関は強い状態
  - Case 3. 入射波の照射面の長さより海面の相関長が長い場合
- それぞれの場合に散乱のスペクトラムは次のようになる。

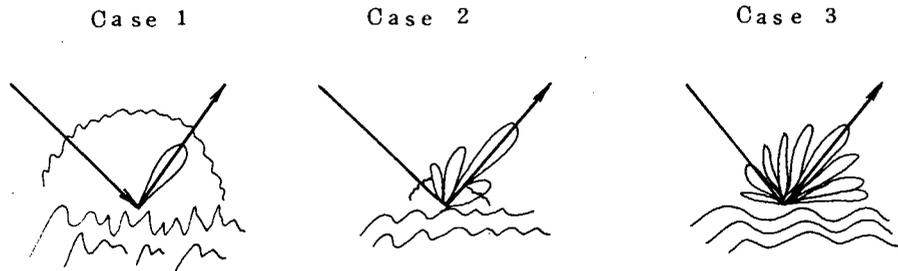


図 7.3.17

(5) 7.2.3 (3) の文献について

(a) 海事衛星通信方式に対する多重路信号の信号干渉

本稿は、マルチパスの存在するデジタル通信方式の誤り率を反射波の包絡線分布が m 分布、位相に関しては一様分布するものと仮定して、2 相同期 P S K および多相非同期 F S K に対して求めたものである。

(i) m 分布とは

反射波現象をレイリーフェーディングよりも一般的に扱うことができる。

$$P(R) = \frac{2^{1-m} m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)(\sigma_r^2)^m} \exp$$

$$\left( -m \frac{R}{2\sigma_r^2} \right) \quad \left( m \geq \frac{1}{2} \right)$$

ここで  $\Gamma(\quad)$  : ガンマ関数  
 $\sigma_r^2$  : 反射波平均電力  
 $R$  :  $r(t)$  の包絡線

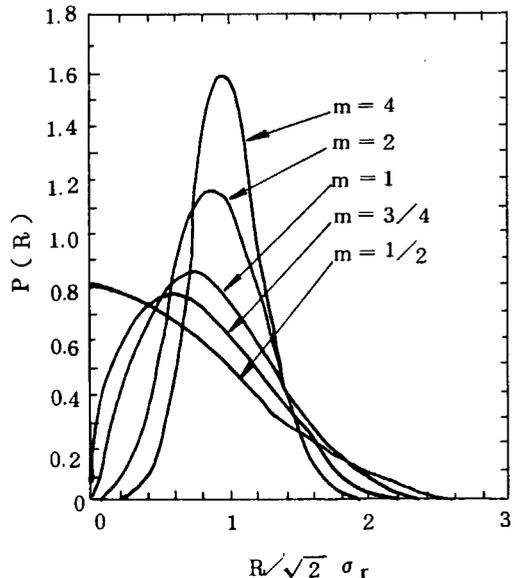


図 7.3.18 m 分布の例

$m = \frac{1}{2}$  では片側ガウスフェーディング、 $m = 1$  はレイリーフェーディングを表わす。 $m$  の大きな値に対しては鏡面反射の状態を表わすことになる。

(ii) 基本構成

PSK波 M値FSK波を次のように仮定する。

$$S(t) = E \cos(\omega_c t + \theta(t))$$

$$\theta(t) = 0, \pi : \text{PSK}$$

$$S(t) = E \cos \omega_i t$$

$$i = 1, 2, \dots, M : \text{M値FSK}$$

受信機入力  $x(t)$  は次式で表わされる。

$$x(t) = S(t) + r(t) + n_w(t)$$

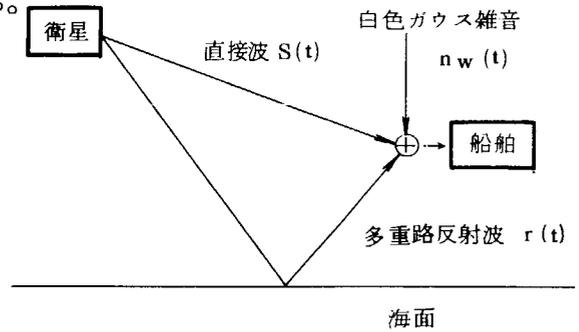


図 7.3.19 基本構成

(iii) 2相同期PSKに対する誤り率

$$P(\epsilon) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho}) + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\rho) \cdot \sum_{\ell=1}^{\infty} H_{2\ell-1}(\sqrt{\rho}) \frac{\Gamma(m+\ell)}{P(m)} \left( \frac{(\frac{1}{2} \sqrt{\rho})^\ell}{\ell!} \right)^2$$

$$\rho = \frac{E^2}{2\sigma_n^2} = \text{入力CN比} \quad d = \frac{E^2}{2\sigma_r^2} = \text{直接波対反射波平均電力}$$

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt \quad H_\ell(\cdot) : \text{エルミート多項式}$$

(iv) 多値非同期FSKに対する誤り率

$$P(\epsilon) = \sum_{k=1}^{M-1} (-1)^{k-1} \binom{M-1}{k} \frac{1}{k+1} \exp(-K \rho_M) \cdot \left( 1 + K \cdot \left( \frac{\rho_M}{md} \right) \right)^{-m} \cdot F_1 \left( m; 1; \frac{K^2 \rho_M}{K + \frac{md}{\rho_M}} \right)$$

$$K = \frac{k}{k+1} \quad F_1(\cdot; \cdot; \cdot) : \text{合流型超幾何関数}$$

$$\rho_M = \rho_2 \log_2 M \quad \rho_2 : \text{2値FSKの場合のCN比}$$

(v) 検討

2相同期PSKの誤り率及び2値非同期FSKを基準としたM値非同期FSKの誤り率について計算した結果を図7.3.20～図7.3.23に示す。

興味深いのは  $m \rightarrow 1/2$  (波の荒い状態) で入力CNが大きい領域で、2相同期PSKの誤り率が2値非同期FSKよりも悪くなる現象である。これは2相同期PSKの場合は、入力CN比をいくら大きくしても  $d$  および  $m$  によって決まる位相ジッタを取り除くことができず、一定の誤り率に近づくためである。

海事衛星を用いた船舶通信においては、船舶アンテナ利得を大きくすることが困難であり、受信CN比は10 dB以下になるものと予想される。したがって、反射波の影響も大きく、音声や高速データに対しては通信方式的には2相同期PSKがテレタイプなどの低速データに対しては、

2 相同期 PSK もしくは 8 値非同期 FSK が適していると思われる。

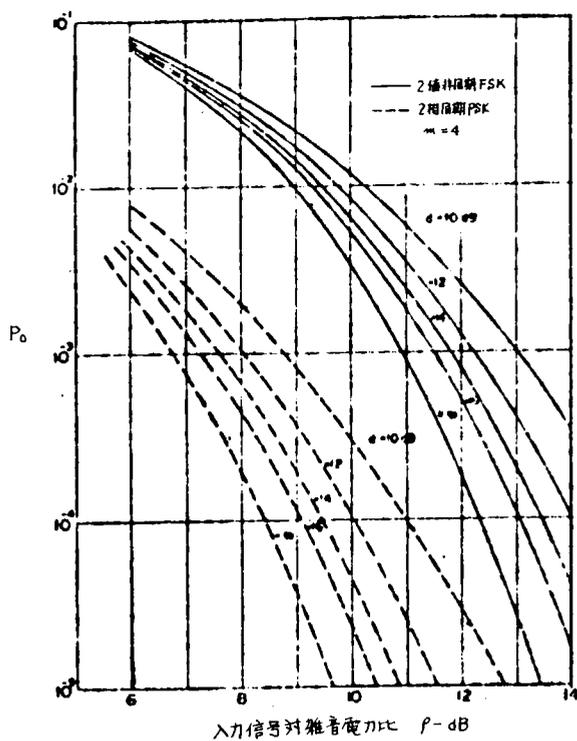


図 7.3.20 2 値非同期 FSK と  
2 相同期 PSK の誤り率 ( $m = 4$ )

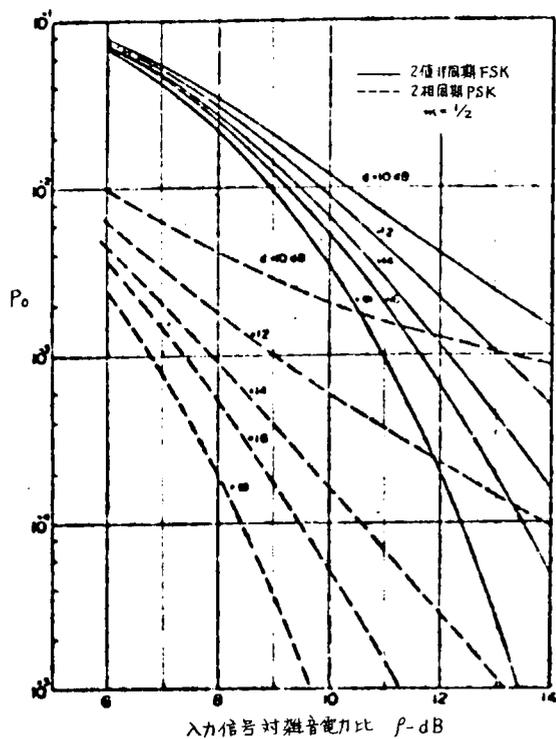


図 7.3.21 2 値非同期 FSK と  
2 相同期 PSK の誤り率 ( $m = \frac{1}{2}$ )

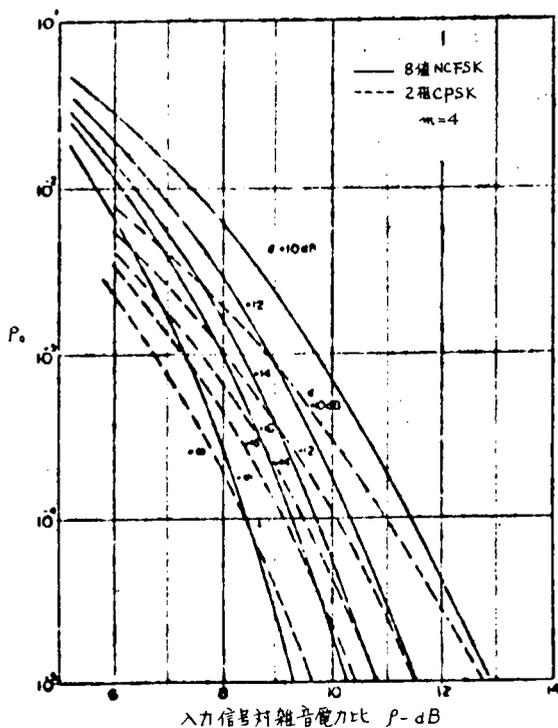


図 7.3.22 8 値非同期 FSK と  
2 相同期 PSK の誤り率 ( $m = 4$ )

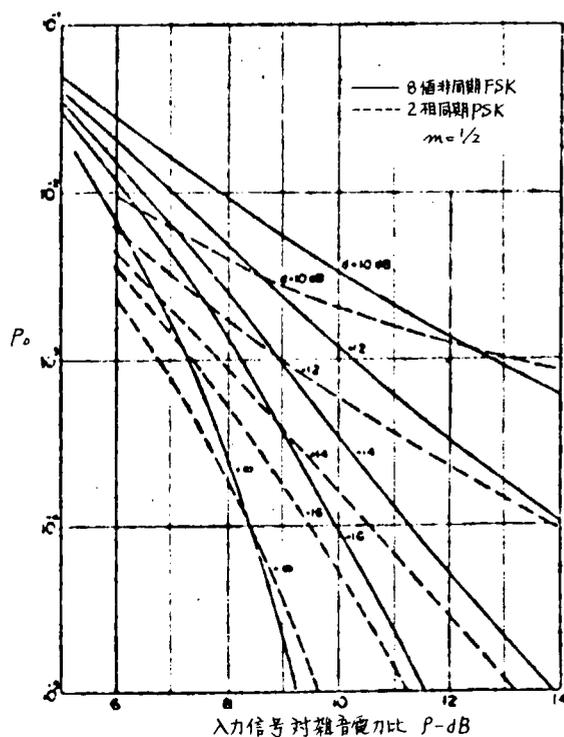


図 7.3.23 8 値非同期 FSK と  
2 相同期 PSK の誤り率 ( $m = \frac{1}{2}$ )

### 7.3.2 海面反射の実験とその結果の検討を行なったもの

(1) 7.2.1(7)の文献について

(a) 海面反射の測定

海水の反射係数については、今まで $0^\circ$ に近い入射角についてのデータはあった。しかし海事衛星に役立つようなものはほとんどなかった。理論的な計算値は出ているが実験的に確かめられていなかった。このレポートの目的は、ノルウェーのフィヨルドを使ってのいくつかの実験データを示すことである。

(b) 測定原理

(i) 受信レベルを次のように定義する。

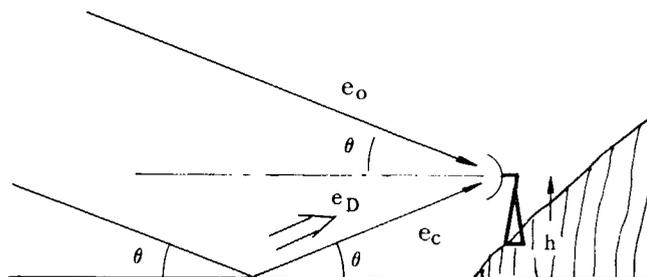
$$V_o = \sqrt{A_o} e_o \dots\dots\dots (1)$$

$$V_c = \sqrt{A_c} e_c \dots\dots\dots (2)$$

$$V_D = \sqrt{A_D} e_D \dots\dots\dots (3)$$

$$\sqrt{A_o}, \sqrt{A_c}, \sqrt{A_D}$$

= アンテナの指向性に関する定数



$e_D$  : インコヒーレントな反射波  
 $e_o$  : 直接波  
 $e_c$  : コヒーレントな反射波

(ii) 結論としての式

$$\bar{V}^2_{\max} = (V_o + V_c)^2 + \bar{V}^2_D \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{V}^2_{\min} = (V_o - V_c)^2 + \bar{V}^2_D \dots\dots\dots (5)$$

図 7.3.2 4

$$\frac{1}{2} \bar{V}^2_D = \frac{1}{4(V_o + V_c)^2} \{ \bar{V}^2_{\max(+)} - (V_o + V_c)^2 \}^2 \dots\dots\dots (6)$$

- (iii) 測定手順
- ① 水平、垂直の一方の偏波を選ぶ。
  - ② アンテナの高さ  $h$  を変化させて  $h$  ight パターンを測定する。
  - ③  $h$  ight パターンの最大、最小の場所にアンテナを固定し、時間的に平均する  
 $\rightarrow \bar{V}^2_{\max}$  &  $\bar{V}^2_{\min}$
  - ④ 以上(①~③)を6~7分で行う。これは潮の満ち干の影響がない十分短い時間である。
  - ⑤ アンテナのダイポールを $90^\circ$ 回転させて(送受とも)同じ高さで同様のことを行う。この結果から垂直偏波の反射位相角を出す。その時、基準として水平偏波の反射位相角を $180^\circ$ とする。

(iv) 計 算 ①  $\bar{V}^2_{\max}$  と  $\bar{V}^2_{\min}$  を式(4)~(6)に代入し、 $V_o$ 、 $V_c$ 、 $\bar{V}^2_D$

② 式(1)~(3)より $V_o$ 、 $V_c$ を出す。

$$\textcircled{3} \phi_c = \frac{4\pi h}{\lambda} \sin \theta \quad \phi_c : V_c \text{ と } V_o \text{ の位相角}$$

を利用して垂直偏波の反射位相角を出す。

(c) 測定結果

結果を図7.3.25~図7.3.28に示す。

この実験ではアンテナ(0.75m $\phi$ )を水平に指向した場合と送信方向に指向した場合について行った。アンテナパターンがわかっている場合には、式1)~(2)より同じコヒーレント波の反射係数が得られるはずである。しかし、インコヒーレント成分に関しては広い海面からの反射の合成とし

て表われるので、式(3)の $\sqrt{A_D}$ は評価しにくい。したがって、両方の測定結果を示した。

(d) 結論

多くの測定をしたが、最大の目的はマルチパス干渉の解析に実験的サポートを与えることであつた。予想される誤差を考慮すれば計算結果と大きなちがいのないことがわかる。

波が高くなっても反射係数はあまり減らないことからマルチパスの問題は重大である。

図 7.3.25 反射係数の測定結果

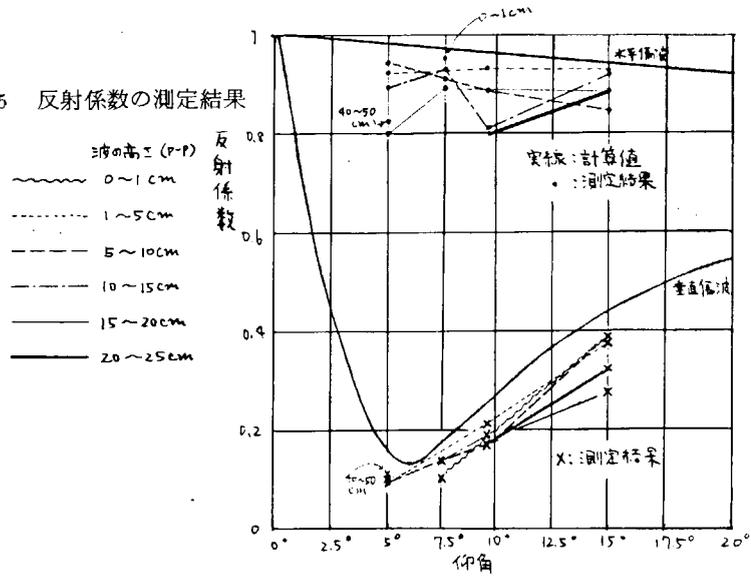
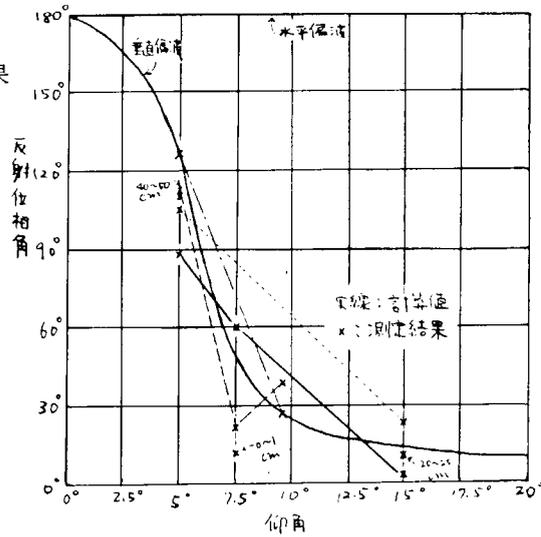


図 7.3.26 反射位相角の測定結果



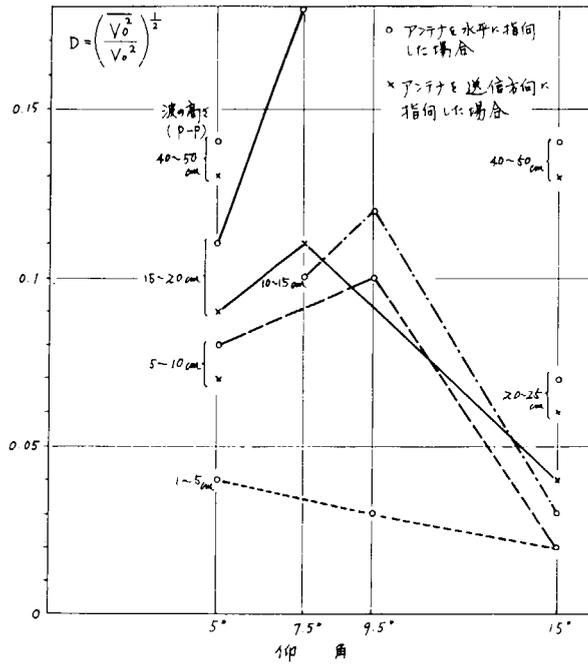


図 7.3.27 水平偏波のインコヒーレント波の反射係数

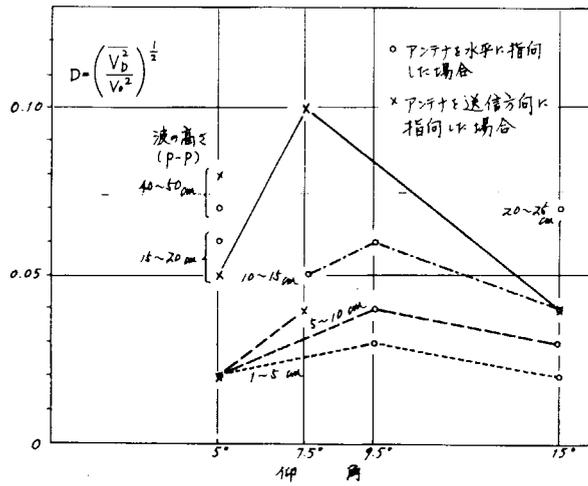


図 7.3.28 垂直偏波のインコヒーレント波の反射係数

(2) 7.2.3 (2)の文献について

(a) 海事衛星シミュレーション実験の結果

(i) 内容

この論文は図7.3.29のように高度2000mに係留したバルーンによってL-バンド海事衛星システムへの海面反射の影響を実測した結果を述べている。(ATS-Fの準備実験及びシステム評価)

(ii) フェーディング分布の測定結果

(1) 実験方法

OWによる。測定点は仰角 $5^{\circ}$ ~ $25^{\circ}$ の20点を測定し、5分間の平均値を測定した。

(2) データ処理方法

磁気テープに記録してcpuで処理した。

(3) 測定結果

垂直、水平偏波、円偏波のフェーディング分布を図7.3.30~図7.3.32に示す。

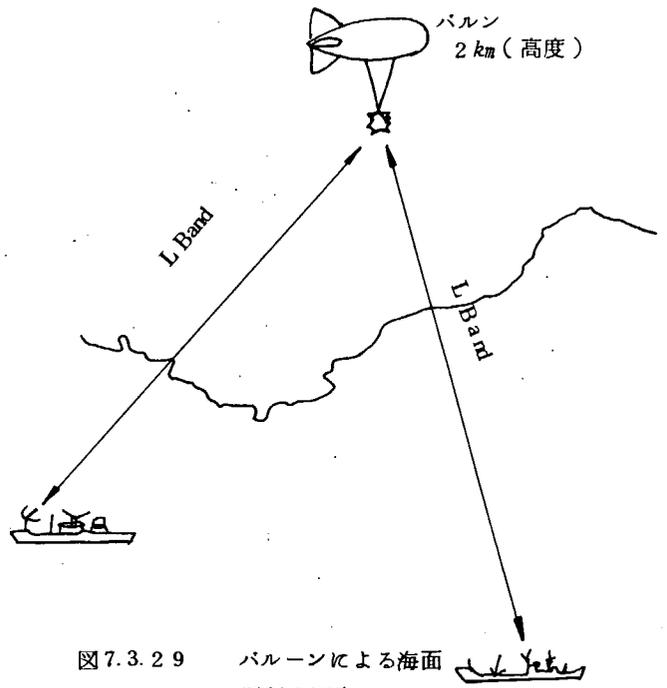


図7.3.29 バルーンによる海面反射の測定

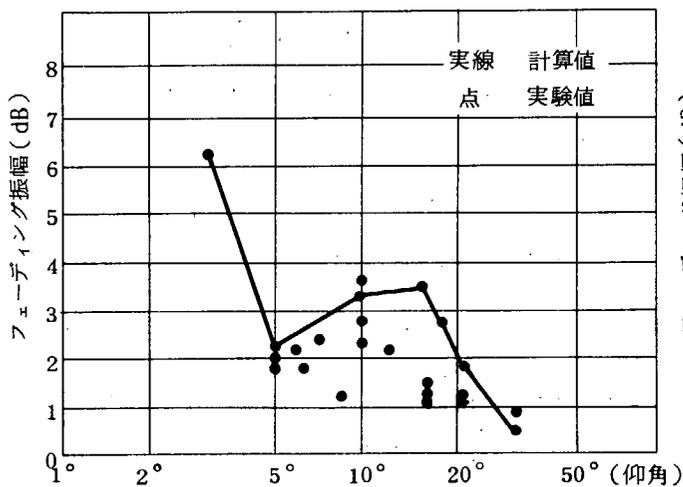


図7.3.30 垂直偏波のフェーディング分布

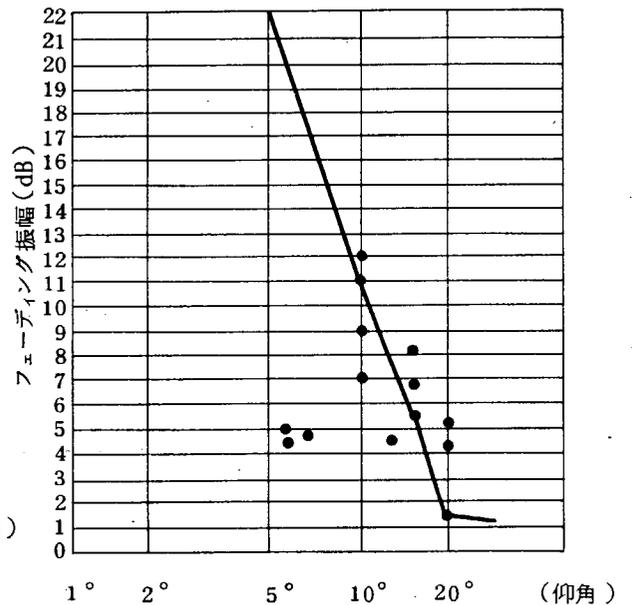


図7.3.31 水平偏波のフェーディング分布

(三) 図の表示について

実線は完全鏡面のときのフェーディング振幅を示し、点は測定フェーディング振幅を示す。

(四) 測定結果の考察

特に右旋円偏波について考察すると、フェーディングは5dB生じているので、この実験に使ったSBFアンテナのGain 12 dBiを18 dBi以上とする必要がある。また最悪ケースとして仰角5°~6°のプリユスター、アングルで偏波回転の逆転しない場合が生ずる。

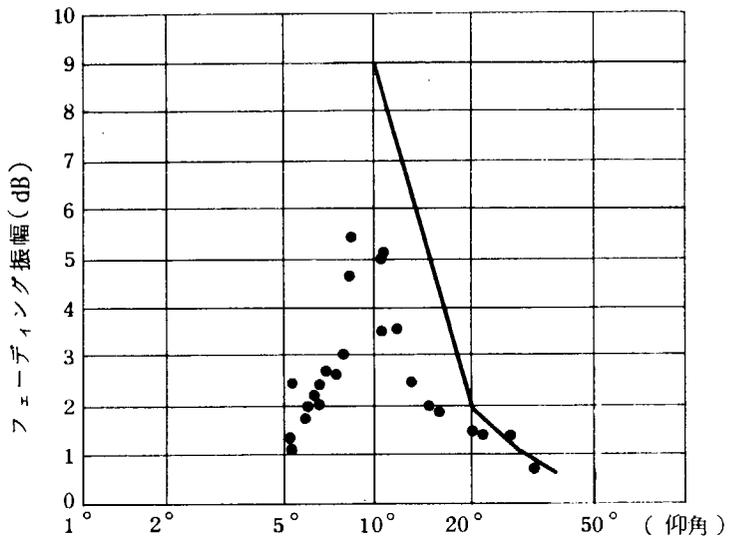


図 7.3.3.2 右旋円偏波のフェーディング分布

(五) 海面状態の評価方法

海面に照射された第1フレネルゾーンの長軸 a 及び b は、

$$a = \frac{2}{\sin \gamma} \left[ \frac{h_i \lambda}{\sin \gamma} \right]^{1/2} \quad b = 2 \left[ \frac{h_i \lambda}{\sin \gamma} \right]^{1/2}$$

と表わされる。但し、 $\lambda$  : 波長、 $\gamma$  : 接地角、 $h_i$  : アンテナ高 である。

第1フレネルゾーンからの反射エネルギーは90%にも及ぶが、このゾーンの中で鏡面反射が起るためにはレーレー基準を適用することが必要であり、

$$\sigma > \frac{\lambda}{4\pi \sin \gamma}$$

と表わされる。 $\sigma$ は波高値偏差の実効値である。更にガウス分布の波面に変換すると、この制限は波高値の平均値 ( $\langle H \rangle$ ) として表わされ、 $\langle H \rangle$  と  $\sigma$  の間には

$$\langle H \rangle \approx \frac{\sigma}{0.35}$$

という関係がある。よって接地角  $\gamma$  に対して最大  $\sigma$  と  $\langle H \rangle$  が表 7.3.6 のように規定できる。

表 7.3.6  $\sigma$ ,  $\langle H \rangle$  の最大値

$\gamma$	$\sigma$ m	$\langle H \rangle$ m
5°	0.176	0.5
10°	0.09	0.25
30°	0.03	0.086

(六) データ伝送への海面反射の影響実験結果

(1) データ伝送方法

PSKでNRZコードを用いた。

(2) データ伝送への影響 (予想)

消滅不能のビット誤り率限界が、海面反射による拡散多重路雑音によって起こると思われる。

- (イ) 使用偏波  
全て右旋円偏波を使用した。
- (ロ) 実験結果  
図 7.3.33 及び図 7.3.34 に示す。

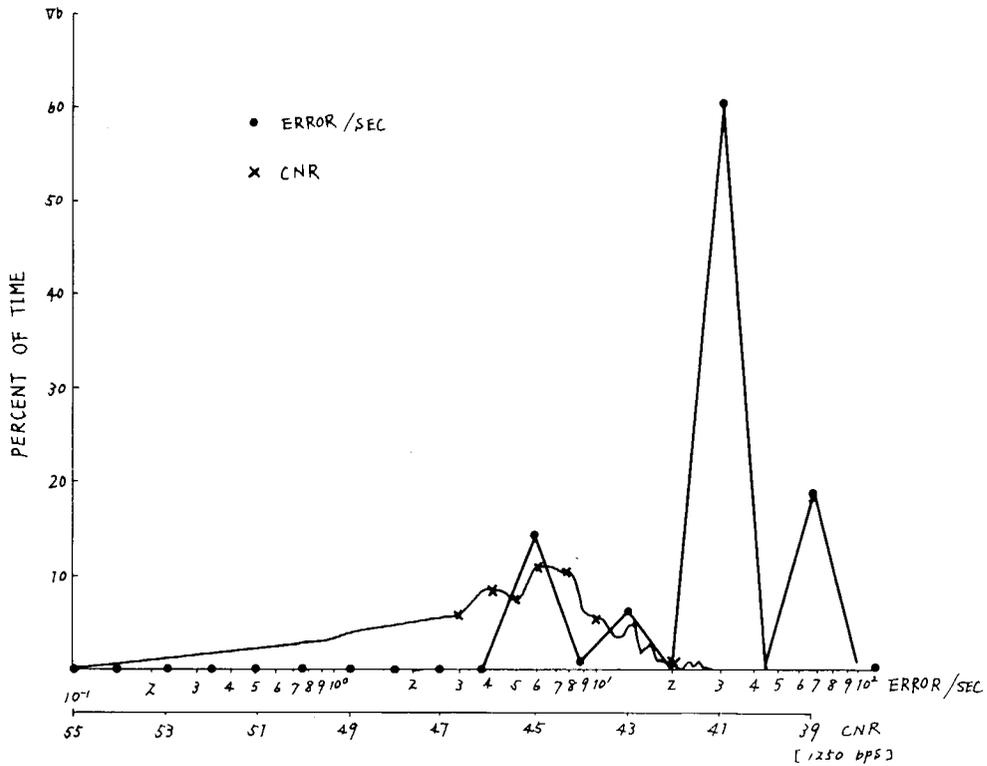


図 7.3.33 CNR と 1 秒当りの誤り分布

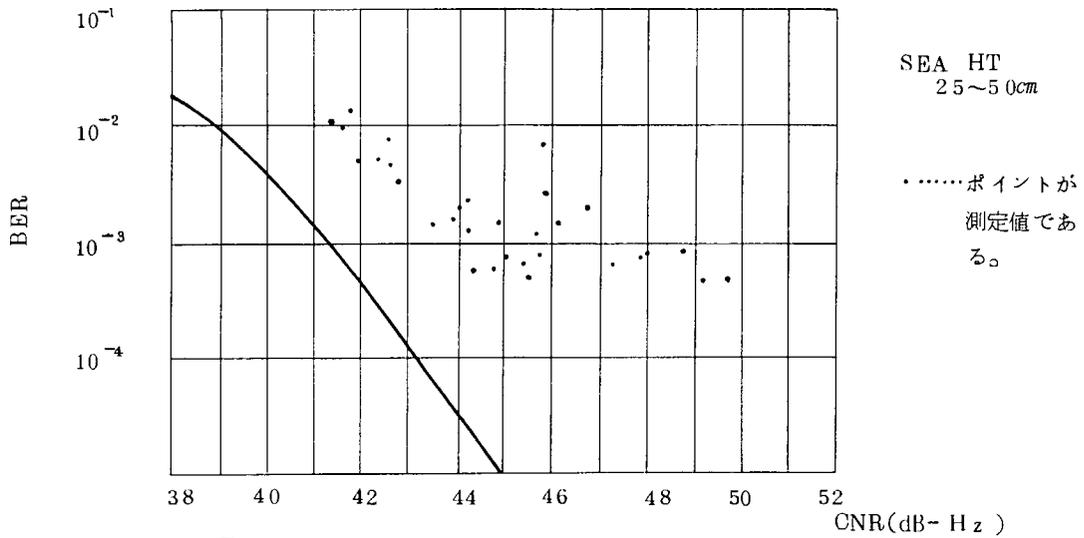


図 7.3.34 PSK データ伝送 BER 測定 (1250bps)

他に波高値を変えて測定した結果BERは

$$10^{-2} > \text{BER} > 4 \times 10^{-4}$$

( CNR > 45 dB - Hz ) となる。

㈡) 結 果

多重路干渉による拡散反射効果はPSKデータ伝送システム(Coherent detector)に大きな影響を与える。

### 7.3.3 船体反射によるフェーディングを扱ったもの

(1) 7.2.1 (8) の文献について

(a) 甲板の反射によるフェーディング

(i) この文献の内容

船舶の上部構造から多重反射路によるフェーディングの深さが種々のパラメータによってどの位違うものかを示している。

船舶上部構造によってフェーディングの起こる原因は、アンテナ前方の広いデッキより反射波が入射し、船の動揺で受信アンテナの合成電界が変化することによる。

(ii) フェーディングの深さを決定するパラメータ

反射電界が原因なので、これに関係する次のパラメータとこの文献の計算に使われた数値を以下に述べる。

(1) 船舶の形状

モデルタンカー……………23万トン(図7.3.3.6及び図7.3.3.7)

反 射 物……………デッキを22の平板表面に区分

(2) 船舶アンテナの位置 (図7.3.3.7)

デッキ上 30 mの高さ, 20~40 mに変化

(3) 船舶アンテナの指向性(D)とサイドローブ(F/S)

D = 18~25 dB 特 20 dBと24 dB

F/S = -18 dB

(4) 衛星アンテナの偏波特性

軸比 = 2 dB

楕円方位 = 45°

(5) 船舶アンテナの偏波特性

軸比 = 1 dB

楕円方位 = 135°

(6) 仰 角 0°~17.5°

(7) 方位角 0°~15.0°

(iii) 反射電界の算出式は下記の変形フレネルーキルヒホッフ回折公式より求められている。

$$E_{ri} = \frac{j r_0}{\lambda} \iint_{S_i} \frac{1}{r_1 r_2} e^{-jk(r_1+r_2-r_0)} \cos \theta_1 \cdot R \cdot E_0 \cdot ds$$

但し、 $\lambda$  : 波長

R : 反射係数

$k = 2\pi/\lambda$  : 位相定数

$E_0$  : 直接波電界強度

$r_0, r_1, r_2, \theta_1$  を図 7.3.35 に示す。

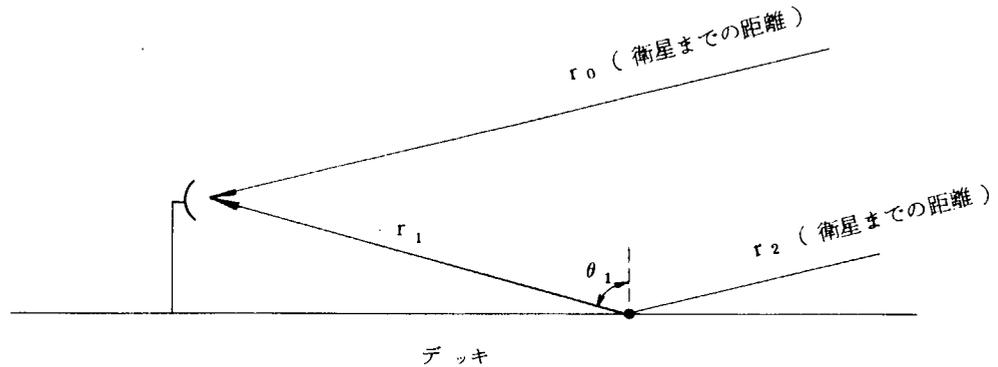


図 7.3.35

但し、 $S_i$  は積分する第  $i$  番平板表面を示す。

〔注〕 積分範囲

$i$  番目の平板面積と第 1 フレネルゾーンの  $1/3$  倍の面積の両方を満足できるように積分する。

$E_{ir}$  を変化させるパラメータは、(ii) の(イ)、(ロ)、(ハ)、(ニ)である。

(IV) 合成電界の求め方は下記の 1~4 のようになる。

1. 各表面の  $E_{ir}$  を求める。
2. アンテナパターンと軸比で修正する………  $E_{ir}^1$  [(ii) のパラメータ (ハ)、(ニ)、(ホ) で修正する。
3. ベクトル的に加算する………  $\sum_i E_{ir}^1$
4. 位相が  $E_0$  と  $180^\circ$  異なっているので  $E_0$  より減算する。

$$E = E_0 - \sum_i E_{ir}^1 \dots\dots\dots \text{合成電界}$$

〔注〕 船舶アンテナの軸比は次の式で計算する。

$$e(\theta) = 3 - \frac{E(\theta)}{7} \quad (\text{dB})$$

但し、 $E(\theta)$  は指向性利得を表わす。 (dB)

つまり、軸上で  $E(0) = 0\text{dB}$ ,  $e(0) = 1\text{dB}$

$E(\theta^1) = 7\text{dB}$  で  $e(\theta^1) = 3\text{dB}$

よって反射波の識別能力はアンテナ軸からの角度による軸比の変化に依存する。

(V) 計算結果

コンピュータによる計算結果を図 7.3.38~図 7.3.41 に示す。

これらの図よりわかることを以下に記す。

- (イ) 信号損失の起こり得る角度範囲
- (ロ) フェーディングの深さがアンテナ指向性によっても起こること。

(V) 対策は

広角度で軸比の良いアンテナを使うことである。



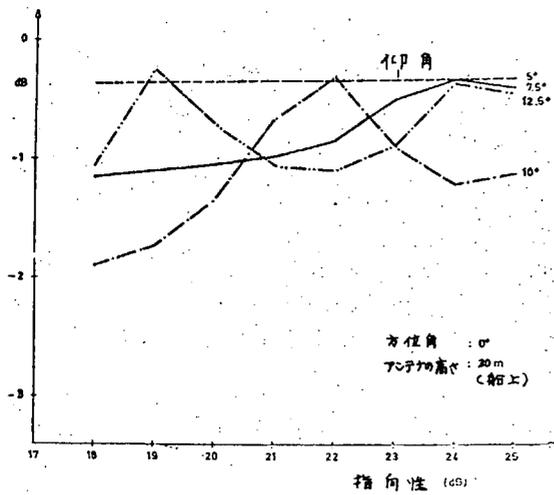


図 7.3.38 アンテナ指向性に対する受信信号レベル

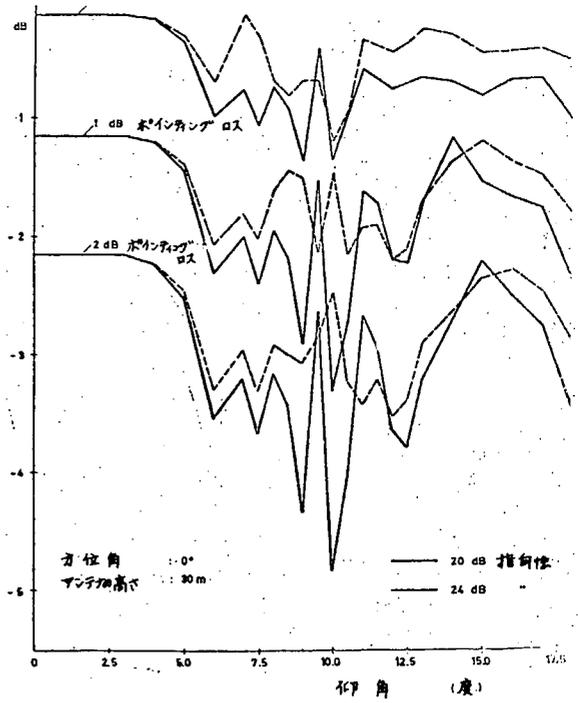


図 7.3.39 仰角に対する受信信号レベル

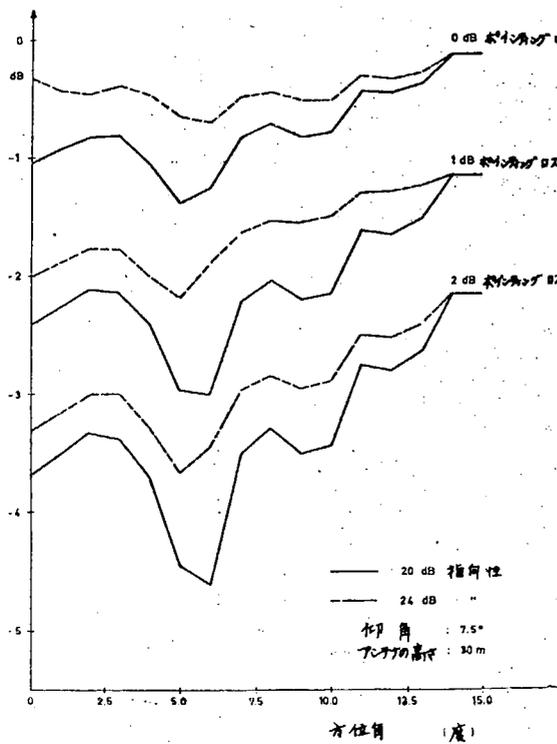


図 7.3.40 方位角に対する受信信号レベル

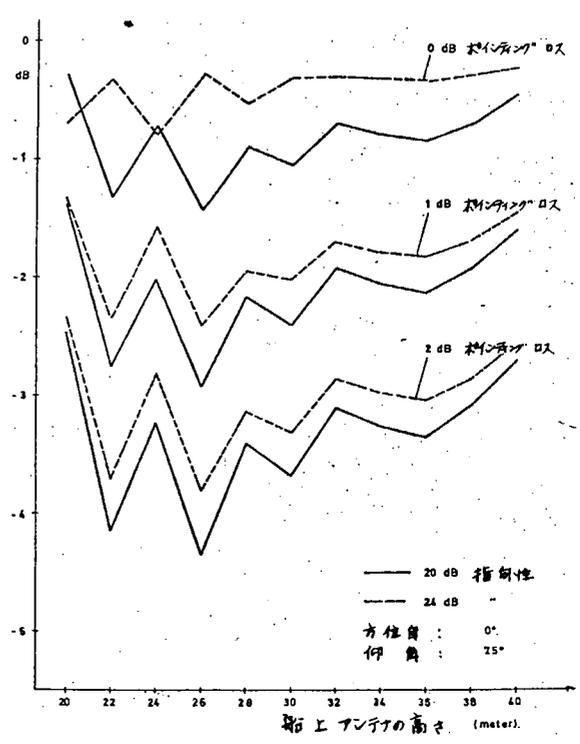


図 7.3.41 アンテナの高さに対する受信信号レベル

## 7.4 調査資料の解析

今までに海面が鏡面状態にある場合とか波を正弦波としたような特定の場合についての解析は行なわれているが、実験によると波のある海面での入射波は、ある方向に特に強く反射されることがあるにしても一般に多方向に分散される。また、単純理論では船上空中線の仰角が高くなるとフェーディングは発生しないことになっているが、風などにより波が移動している海面では空中線の仰角がかなり高くなっても海面反射の存在が確認されている。これは在来の理論で海面を次のように仮定していることに基因している。

- (1) 海面の分散素子の大きさを入射波長に比して極めて小さいものとし、または極めて大きいものとして取扱っている。
- (2) 分散素子の曲面半径を入射波長に対して極めて大きくとっている。
- (3) 多重分散を無視している。
- (4) 波のある海面を特定のモデルとしている。例えば正弦波形とか鋸歯状波形

ダイナミックな海面状態のモデルを想定することは極めて困難で、一般論を述べるまでには至っていないが、前に述べた資料の解説を検討した結果によると

- (1) 海面が鏡面の場合、フェーディングは計算上10数dBになる。しかし、7.2.1(3)の文献にも示されているように、特定の海域を除いては海面が鏡面状態になることは非常に少ない。実際に波のある海面でのフェーディングは、はるかに小さなものとなり円偏波の場合4～5dBである。この値は回線設計で考慮されているマージンよりかなり大きいし、さらに鏡面状態までを運用条件とすると、より大きいマージンを考慮する必要がある。
- (2) 理論計算によると、空中線の軸比が悪くなるとフェーディングがひどくなることが明らかであることから空中線の設計が極めて大切である。また、アンテナの指向エラーもフェーディングを増加させる。たとえば、文献7.2.1(3)によると、海面が静かで20dBの利得を持つ空中線を仰角10度で使用した場合、指向エラーが2dB増加するとフェーディングは3.5dBもふえることが図7.3.14に示されている。
- (3) 正弦波構造で移動している波のある海面からの反射は、いろいろの方向にグレーティングローブ構造を持つので、高仰角で受信する場合にも海面反射を受けることがある。さらにその周波数は極く僅かだけ偏移している。
- (4) 空中線の装備位置についても十分配慮しないと、船上構造物や甲板から大きなフェーディングを生ずる恐れがある。

## 7.5 小形空中線の試作及び検討

### 7.5.1 試作空中線

当初は10dB以下のアンテナを想定したが、上記解析の結果から、ある程度の指向性のある方が海面反射をより良く観測できると考えられたので、60cmφのパラボラを製作した。

### 7.5.2 試作空中線の検討

試作アンテナは開口径60cmの放物面鏡と一次放射器より構成し、一次放射器は反射板付ターンスタイルアンテナを用いる。アンテナ全体の形状を図7.5.1に示す。偏波の違いによる海面反射特性の測定のため、偏波面は右旋円偏波、左旋円偏波、水平偏波、垂直偏波の4種類を選ぶことができる。試作パラボラアンテナの使用周波数帯域は受信で1535～1543.5MHz、送信で1636.5～1645MHzであり、インピーダンスは50Ωである。

パラボラアンテナの利得は、開口面効率を50%とすると17dBiとなるが、反射鏡から一次放射器への再反射を防ぐための整合板を用いないので、直線偏波の利得はこれより低くなる。

第1サイドローブ減衰量は開口面分布の形状で決まる。試作アンテナは開口角度60°であり、一次

放射によるブロッキングが大きいため、開口面の位相分布も乱れ、第1サイドローブ減衰量は $90^\circ$ 開口角のパラボラと比べると悪くなる。資料調査の解析により、アンテナの軸比は良好であることが要求されるので、最悪の場合でも2dB以内におさえることが必要である。測定より求めた水平偏波及び右旋円偏波の指向性(1540MHz)を図7.5.2及び図7.5.3に、利得、軸比及び定存波比を表7.5.1に示す。

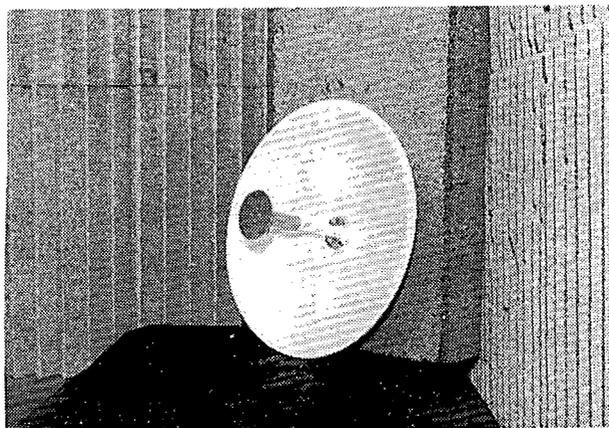


図 7.5.1 試作アンテナ外観

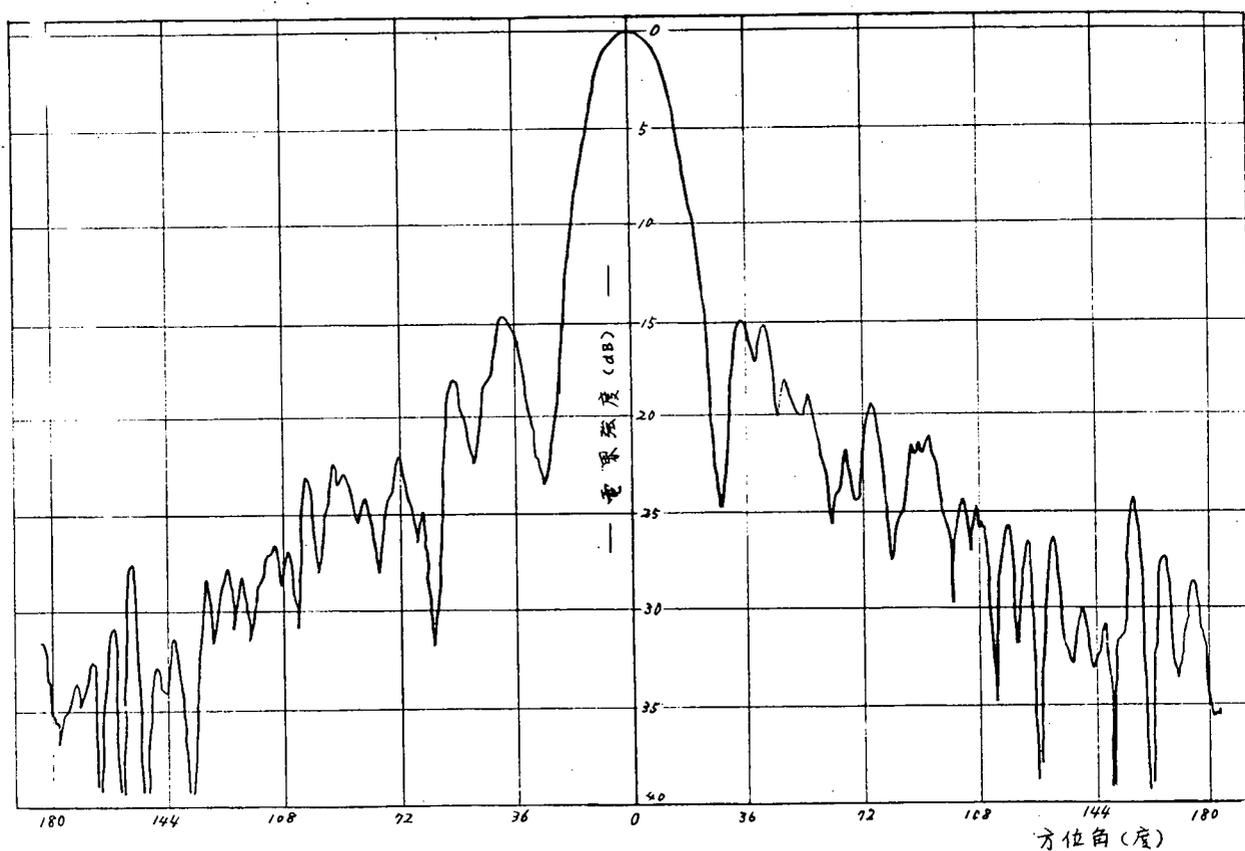


図 7.5.2 水平偏波指向性(1540MHz)

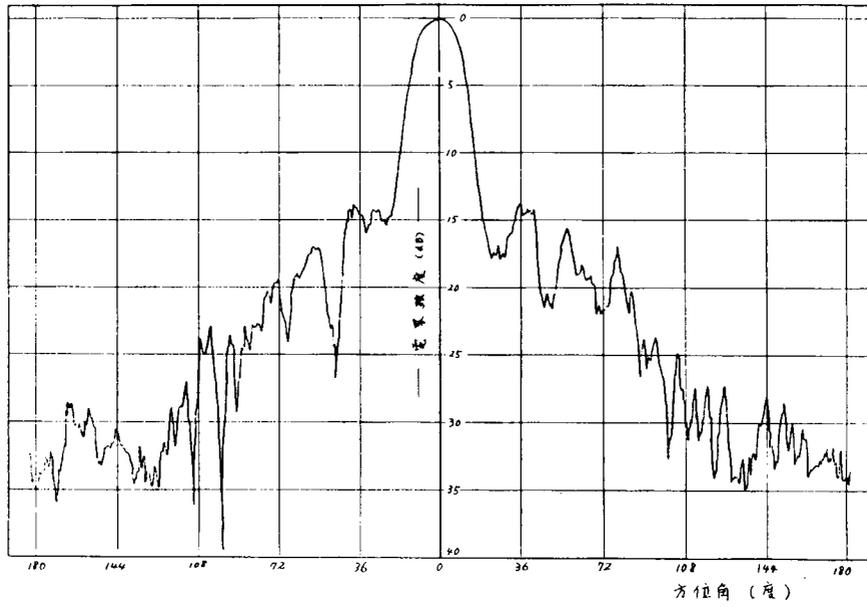


図 7.5.3 右旋円偏波指向性 ( 1.540MHz )

表 7.5.1 試作アンテナの諸特性

偏波面	周波数 (MHz)	利得 (dBi)	軸比 (dB)	VSWR
水平偏波	1 5 4 0	1 7. 2	—	1. 3 7
	1 6 4 0	1 7. 9	—	1. 2 0
垂直偏波	1 5 4 0	1 7. 4	—	1. 3 6
	1 6 4 0	1 8. 2	—	1. 2 2
右旋円偏波	1 5 4 0	1 7. 1	1. 6	1. 1 6
	1 6 4 0	1 7. 5	1. 8	1. 0 5
左旋円偏波	1 5 4 0	1 7. 2	0. 8	1. 1 7
	1 6 4 0	1 7. 6	1. 2	1. 0 4

## 7.6 海面反射の抑圧

調査資料の中の 7.2.1 (11) 及び 7.2.3 (7) にスペースダイバシティを用いてマルチパスフェーディングを抑圧することが述べられている。

海事衛星システムによる航法については、船上に特別な装置を設ける必要があるが、その技術仕様に関係なく一般的に次のようなことが必要である。

- (1) 環境が厳しいので頑丈であること。
- (2) 小さな船にも必要であるので廉価であること。
- (3) 海上における緊急時に必要であるので信頼性があること。

長い間、海上移動業務には簡単な無指向性ダイポールが用いられてきている。デザインが簡単であるので上の3つの条件を十分に満足している。しかし、無指向性空中線の欠点は利得のないことである。船から衛星に対しては、送信出力を増せばこの欠点は補えるが衛星から船に対しては衛星の送信出力に限度があるので条件がむづかしく、海面反射などによるマルチパスフェーディングを防止しなければならない。このマルチパスフェーディングは円偏波で10数dB程度と想定されている。船上の空中線も円偏波のものとするればフェーディングを軽減することができるが、一般にこのような空中線は指向性空中線であり、これを用いれば船のローリング ピッチングによる補正が必要になってくる。

調査資料7.2.1 (11) では、500MHzまでの周波数(海事衛星では1550~1650MHzを用いることになっているので参考に止まる)で簡単な無指向性空中線をダイバシティにすることにより、マルチパスフェーディングを除去し、ATS-3を用いて衛星通信ができたと報告されている。しかし、これは500MHzまでのことであって、それ以上の周波数では指向性の空中線を使わざるを得ないであろう。その場合、ダイバシティ法によって鏡面反射によるフェーディングを軽減することが可能であるが、一方、狭い船上に2つの空中線を装備する問題が出てくる。この2つの空中線を利用することによって船上構造物の遮蔽による死角を救済することも可能であるので、さらに検討をすることが必要と思われる。

海面反射を抑圧するためにサイドローブをできるだけ抑圧した空中線を用いることが必要であるが、調査資料7.2.1 (3) では、軸比の揃った空中線を用いること及び指向エラーの少ない空中線制御装置を用いることによりフェーディングを軽減することを述べている。

## 7.7 海面反射の実験計画

### 7.7.1 ジオメトリの検討

実験には図7.7.1に示すように衛星を模するANT 1、船上アンテナを模するANT 2を使用することになる。測定器の都合からANT 1を送信側、ANT 2を受信側とすることになる。

実際の衛星、船舶回線に近づけるため、ANT 1の高さHは高いほどよいが、実際に得られる地形から制限をうける。更に、 $\ell$ と仰角 $\theta$ が制限をうけることになる。仰角 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ について $\ell$ を $500\text{ m}$ 及び $1000\text{ m}$ とした時の必要な送信アンテナの高さHを求めると表7.7.1のようになる。

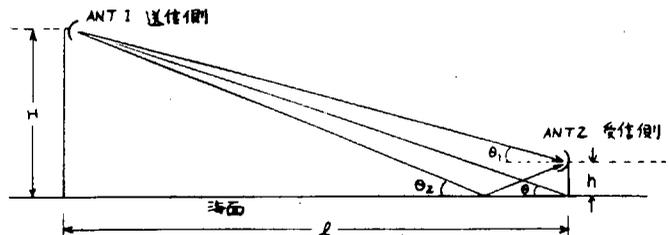


図 7.7.1 実験回線のジオメトリー

表 7.7.1 送信アンテナの必要な高さ

仰角 $\theta$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$
$\ell = 500\text{ m}$	44 m	88 m	134 m
$\ell = 1000\text{ m}$	88 m	176 m	268 m

受信アンテナANT 1の高さhについては、実際に装備されるであろう高さ( $15\text{ m} \sim 50\text{ m}$ )にするのが理想的である。しかしながら、hが高くなると図7.7.1の $\theta_1$ 、 $\theta_2$ の差が無視できなくなる。例えば、 $\ell = 500\text{ m}$ において $\theta - \theta_1 < 0.5^\circ$ 、 $\theta_2 - \theta < 0.5^\circ$ を満足するためには、 $h < 4\text{ m}$ でなければならない。一方、受信アンテナの高さhをあまり低くするとすぐ直前の波の影響をより強く受けることになり実際の場合とは異なることになる。

以上より、例えば  $h = 10\text{ m}$ 、 $\theta - \theta_1 < 0.5^\circ$ 、 $\theta_2 - \theta < 0.5^\circ$ 、 $\theta = 10^\circ$  とすると、 $\ell > 1268\text{ m}$ 、 $H > 224\text{ m}$ となる。これを満足する地形があるかどうかは今後の問題となる。更に波がおだやかで資材、測定器等を装備しやすい実験に適した所を選ぶのは仲々むづかしい問題である。

### 7.7.2 フェーディングの測定

#### (1) ハイトパターンの測定

例えば、仰角 $5^\circ$  周波数 $1540\text{ MHz}$ においては、ハイトパターンの周期は $1.1\text{ m}$ となる。通常の船舶においては、船上アンテナの高さはいかに波のない時であっても、 $1.1\text{ m}$ 程度の上下をすることは充分考えられる。ところが実験をする場合には船上アンテナとして、海辺に固定したアンテナを用いることになる。したがって、ハイトパターンの最大と最小を測定することによってフェーディングを測定することになる。この実験には、文献7.2.1(7)が参考になると思われる。

#### (2) 測定パラメータ

測定パラメータとして次のものが考えられる。

- (イ) アンテナの相違(利得の相違)
- (ロ) 偏波の相違(水平、垂直、円)
- (ハ) 海面の状態

(ハ)については、どのように定量化するか検討を要する。なお、デジタル通信でのビットエラーレートの測定も検討する余地がある。

## 8. 装備条件にもとづくハードウェア要求条件

船上設備としての空中線部、送受信部及び操作部は陸上設備と異り、船舶特有の装備上の制約を受ける。そこで本章では、これら船上設備を設計、試作を行うためにその装備対象となる船舶をもとに装備条件にもとづくハードウェア要求条件を調査検討した。

### 8.1 空中線部の装備位置、重量及び外形寸法の制限

空中線部は昭和50年度及び昭和51年度の研究で「機械的追尾空中線」及び「電子的追尾空中線」について検討が行われており、外形、機構、特性などについてはこれらの研究結果によるべきであるが、現在検討中であるので、すでに発表されている各社の空中線をベースに検討した。各メーカー発表の空中線の寸法、重量は表8.1.1の通りである。

表 8.1.1 各社海事衛星用空中線の寸法及び重量

メーカー名 項目	Scientific Atranta	Aii System	AMI	Marconi	Magnavox	安立電気	日本無線	東芝
外形寸法	2.00mφ 2.08mH	1.93mφ 2.23mH	1.00mφ		2.13mφ 2.13mH	2.30mφ 2.50mH	1.85mφ 1.90mH	2.00mφ 2.07mH
重量	265kg	226.8kg		272kg	250kg	280kg	220kg	300kg
空中線形式	1.22mφ reflector	1.22mφ reflector	1.00mφ reflector	4 helix	reflector	1.20mφ reflector	1.20mφ reflector	1.20mφ reflector

#### 8.1.1 空中線部の装備位置

空中線部から要求される条件として、衛星と空中線部間において船体構造物による電氣的遮蔽がないか、または極力少くすることが望ましいが、現状の船舶にこの要求を満足させることははなはだ困難である。本項では現状の船舶に他の機器配置は変更しないまま本空中線部を追加する場合と現状の船舶で本空中線部を最も条件の良い場所に装備する場合について検討した。

##### (1) 他の機器配置を変更しないで現状の船舶に空中線部を追加装備する場合

貨物船、コンテナ船及び大型タンカーについて装備可能場所を検討した。図8.1.1～図8.1.7にその装備例を示す。

装備可能な場所としては、図8.1.3、8.1.4、8.1.6に示すように船尾部が比較的容易であろう。また空中線部と送受信機部間の同軸ケーブル長の制限などにより船橋の近くに空中線を装備せねばならない場合には図8.1.1、8.1.2、8.1.5、8.1.7に示すように装備できる。この場合は、レーダ・スキャナー、方探のループアンテナ、信号灯など船ごとに装備機器及びその配置が異なるので、他の機器がこうむる影響をも考慮して本空中線部の位置を決める必要がある。

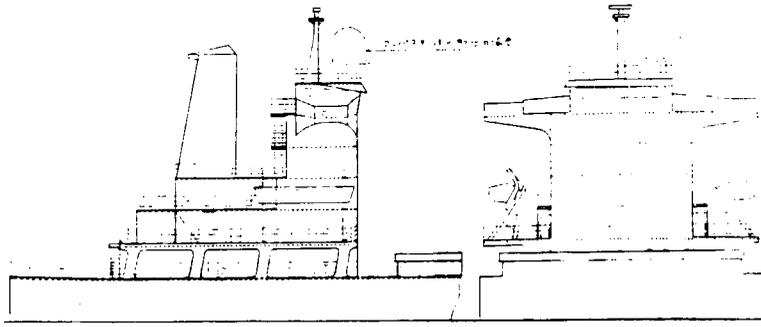


図 8.1.1 4,000 DWT 貨物船空中線部装備例

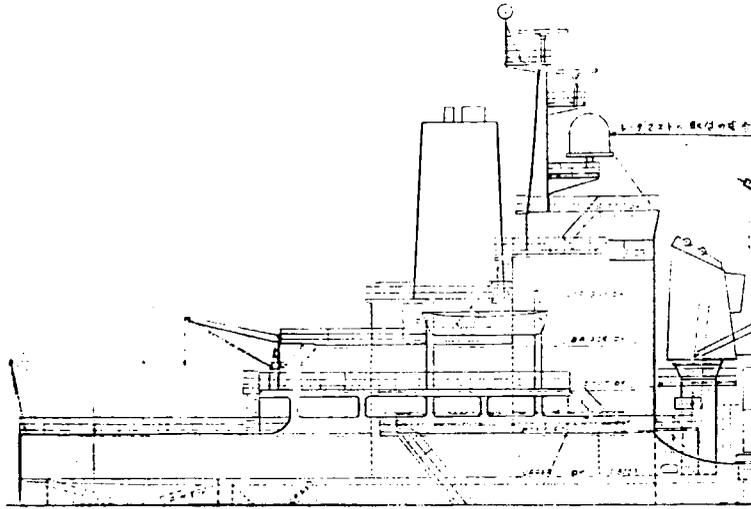


図 8.1.2 16,000 DWT 貨物船空中線部装備例(その1)

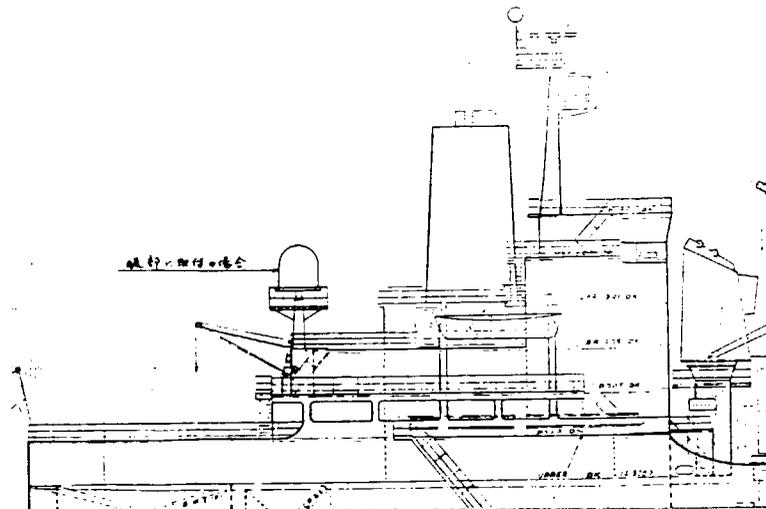


図 8.1.3 16,000 DWT 貨物船空中線部装備例(その2)

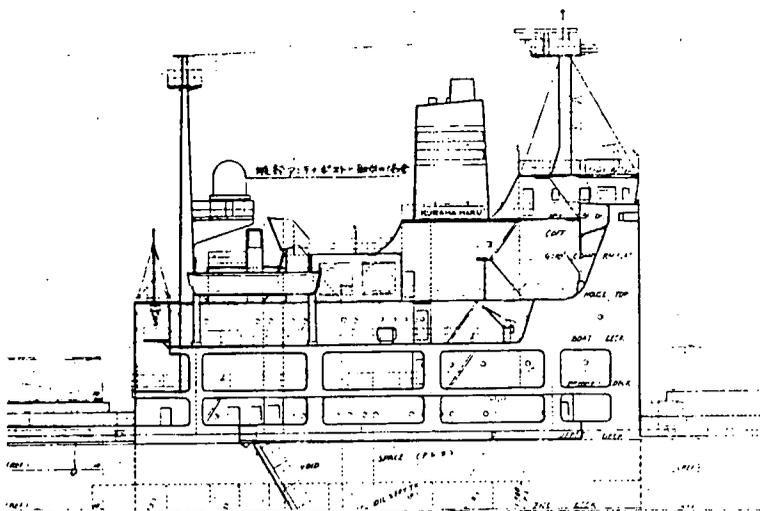


図 8.1.4 35,000 DWT コンテナ船空中線部装備例

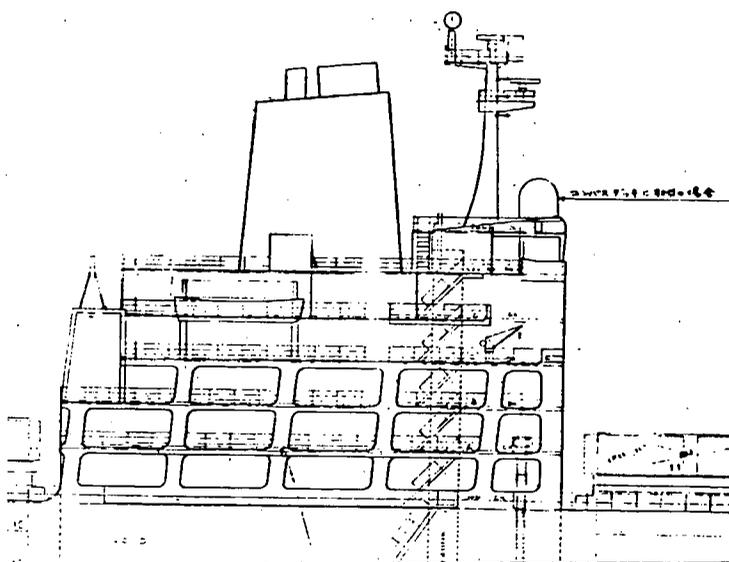


図 8.1.5 40,000 DWT コンテナ船空中線部装備例(その1)

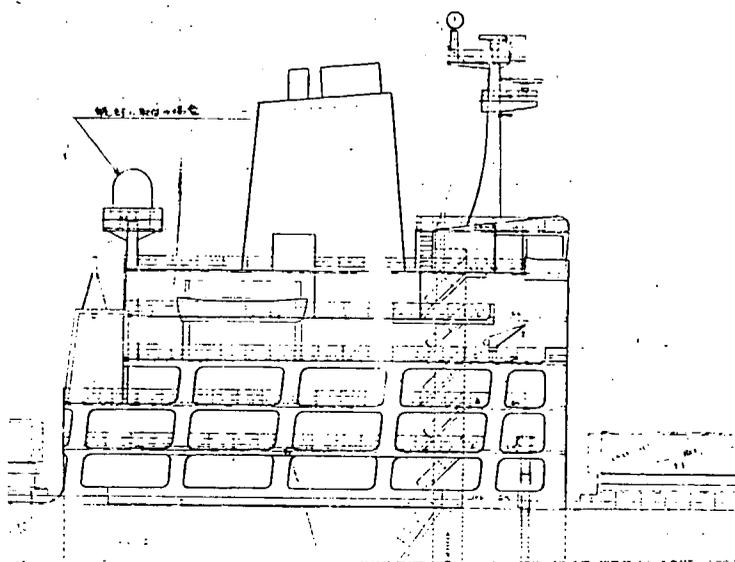


図 8.1.6 40,000 DWT コンテナ船空中線部装備例(その2)

(2) 空中線を最も良い条件の位置に装備する場合

海軍衛星通信は将来船舶にとってその通信の中心となることも考えられる。またデータ通信、非常通信などのように通信の瞬断及び通信の不能状態を極力少くすることからも空中線部はその機能が十分はたせるような船舶上の最も条件の良い位置に取りつけられるべきであるとも言われる。

そこで空中線部と送受信部間の同軸ケーブルを比較的短くすることができ、かつ、船舶上で全周を見通せる位置としてレーダ・マスト頂部に空中線部を設けることで検討した。

レーダ・マストにはレーダ・スキャナー、方採用ループアンテナ、信号灯、VHFアンテナ、その他各種空中線及び機器が装備されるが、本空中線を最優先として各種空中線及び機器の配置をも考慮して検討した。

図8.1.8, 8.1.9, 8.1.10, 8.1.11, 8.1.12, 8.1.13はその装備例を示す。

装備例にも見られるように各種空中線及び機器の配置上の制約もあって、本空中線部が100%全周に渡ってクリアーさせることは困難であるし、また装備後の保守の点から見ても甲板上近く装備することなどを考慮して、空中線部は部分的な遮蔽はある程度許容されるもので検討する必要がある。

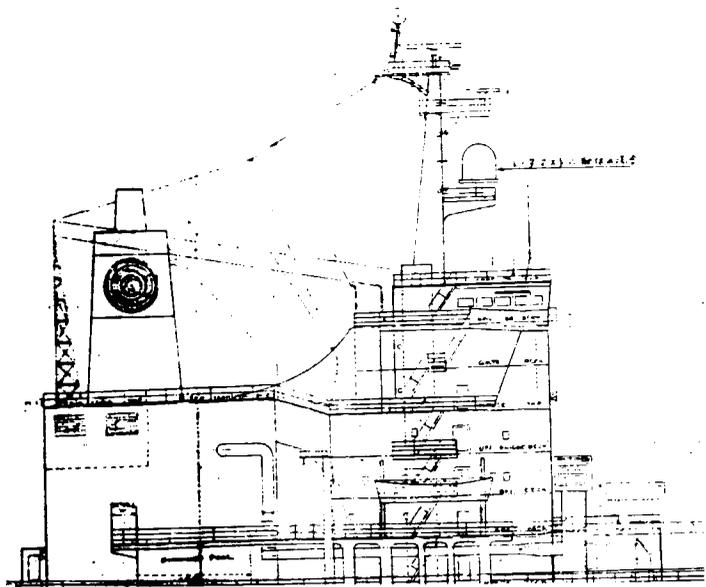


図8.1.7 400,000 DWT タンカー空中線部装備例

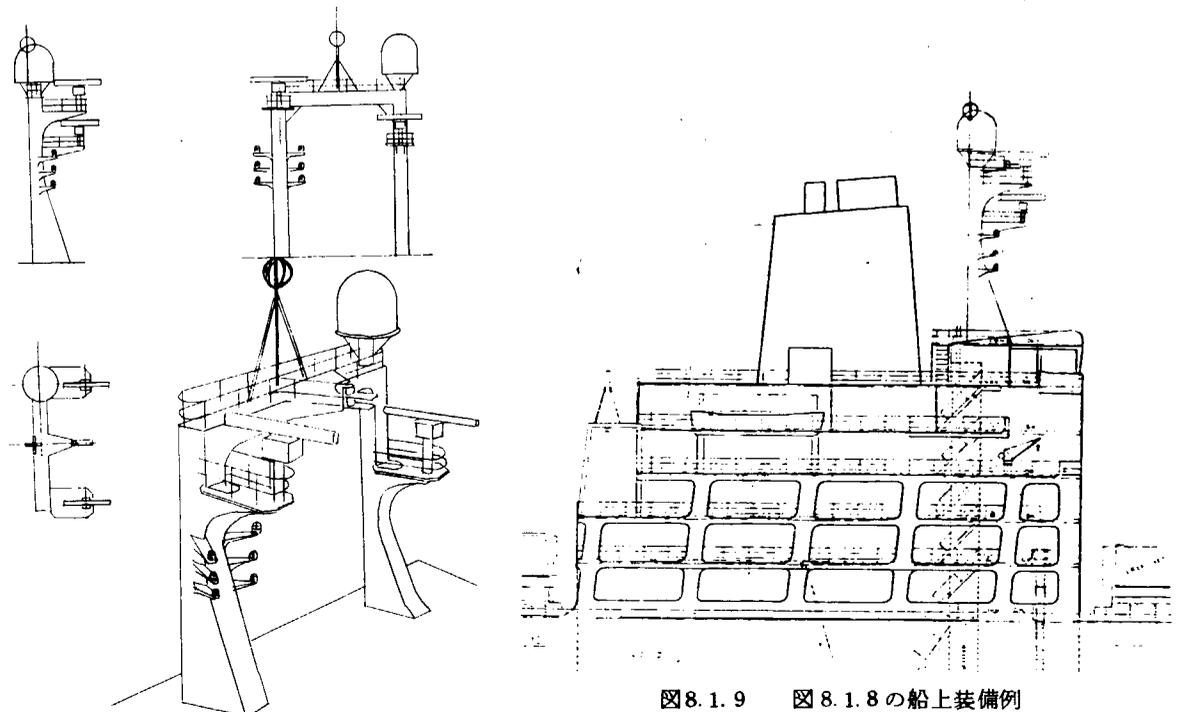


図8.1.8 空中線装備のレーダ・マスト例(その1)

図8.1.9 図8.1.8の船上装備例

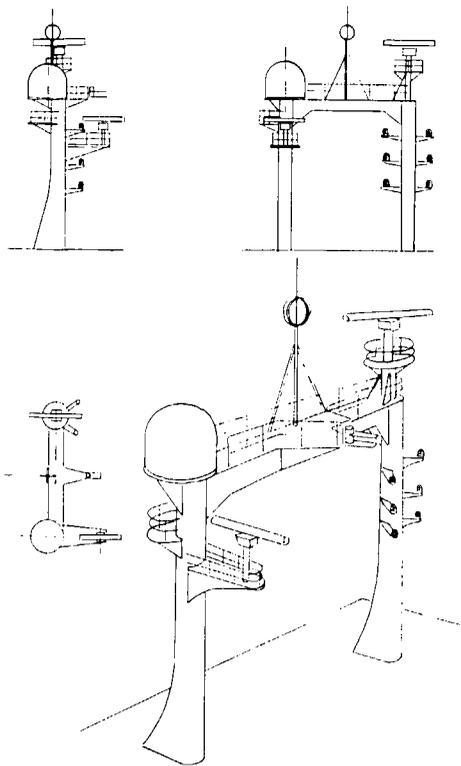


図8.1.10 空中線装備の  
レーダ・マスト例(その2)

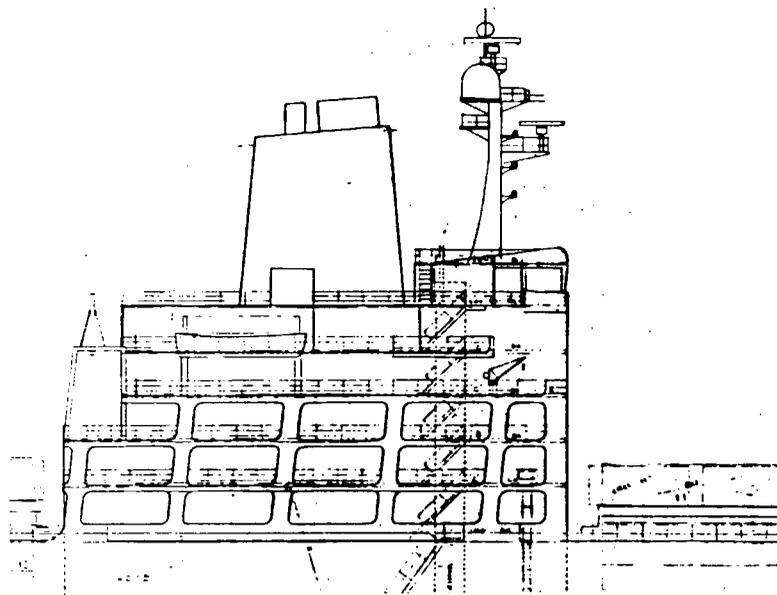


図8.1.11 図8.1.10の船上装備例

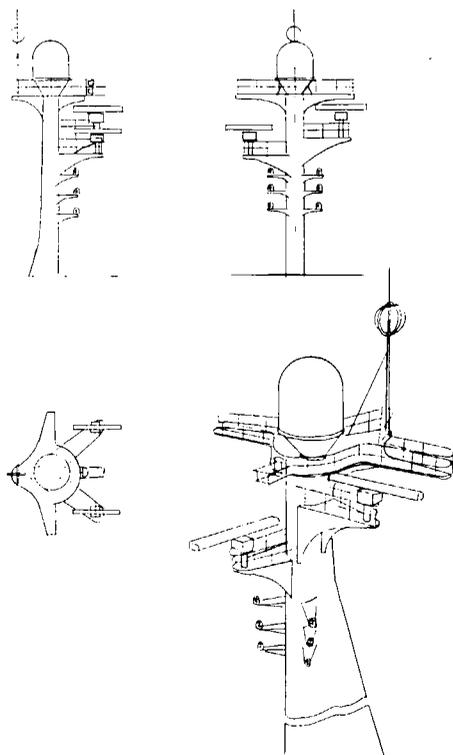


図8.1.12 空中線装備のレーダ・  
マスト例(その3)

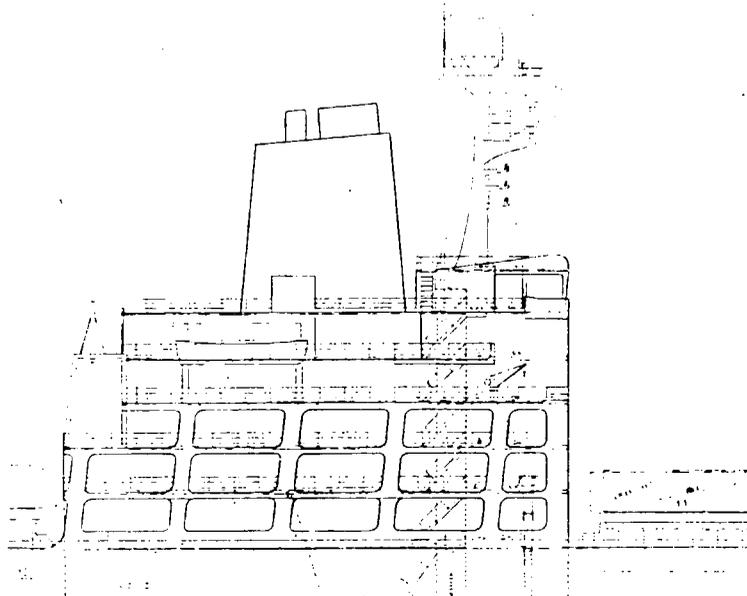


図8.1.13 図8.1.12の船上装備例

### 8.1.2 空中線部の寸法及び重量の制限

表 8.1.1 に示すごとく各社空中線の寸法は直径 1 m ~ 2.3 m、高さ 1.9 m ~ 2.5 m、重量 220 kg ~ 300 kg 程度である。対象船舶を数千トン以上で考えるならば、甲板に若干の補強、マスト、ポストの増設または構造の改造で現在各社発表の寸法、重量程度の空中線であれば装備可能である。

しかし、空中線部は全周見透しのよい位置という条件により高所に装備することになるのであろうから、船舶特有の振動等を考えた時及びより小型船への装備をも考慮して現状のものよりより小形化、軽量化をはかる必要がある。

図 8.1.14 に W 社の空中線部外形図及び図 8.1.15, 8.1.16 東芝製空中線部を一例として示す。

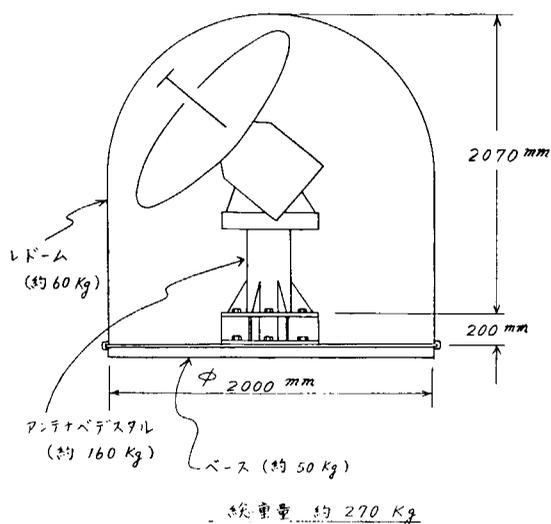


図 8.1.14 空中線部外形図例

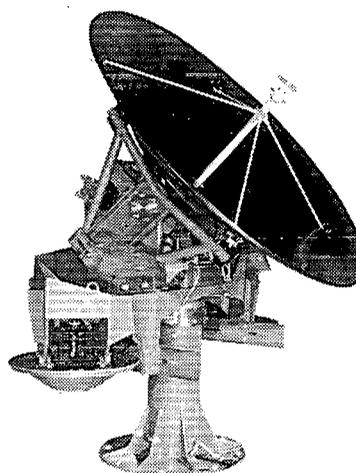


図 8.1.15 空中線一例

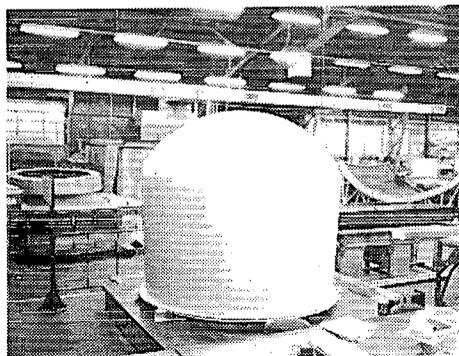


図 8.1.16 レドーム一例

## 8.2 送受信部、操作部の装備位置及び寸法の制限

### 8.2.1 送受信部、操作部の装備位置

運用上からみた操作部の装備位置は、「10.運用操作方法の研究」で検討された結果、操舵室または無線室があげられている。

送受信部と操作部を一体形とする場合と別体形とする場合とで各社それぞれ検討されている。装備上からみると、空中線部と送受信部間の同軸ケーブルの長さの制限及び配置上の制約から送受信部と操作部と一体形で装備できないこともあり、操作部のみ操舵室または無線室に装備し、送受信部は適当な場所（ロッカー、操舵室または無線室内の操作場所から離れた場所、ジャイロ室、自動電話交換機室など）に装備することを要求される可能性大である。

しかしながら配置スペースが十分とれる場合には、一体形で装備すれば送受信部と操作部間の電線及び操作部用取付台が不要となり、装備の簡易化ができることもあり、一体形でも別体形でも装備できるようなものも検討する必要があるだろう。

図8.2.1にCOMSAT GENERAL 社から発表されたMARISATシステムの送受信部、操作部（一体形）を一例として示す。

図8.2.2に東芝から発表された送受信部（操作部は別置）と図8.2.3に同操作部を一例として示す。

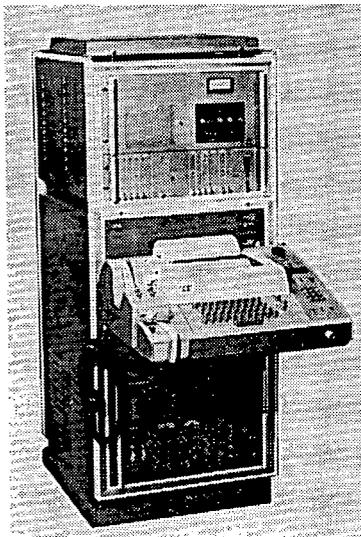


図8.2.1 送受信部、操作部（一体形）の一例

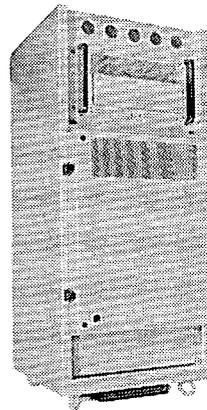


図8.2.2 送受信部（操作部別置形）の一例

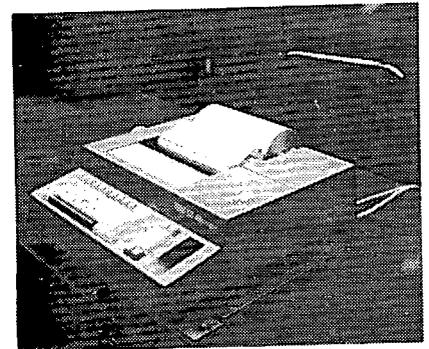


図8.2.3 操作部の一例

## 8.2.2 送受信部、操作部の寸法制限

現在各社から発表されている MARISAT システム用の船上の送受信部、操作部の外形寸法、重量を参考までに表 8.2.1 に示す。

表 8.2.1 各社海事衛星用船上送受信部、操作部の外形寸法、重量表

メーカー	Aii System	Magnavox	B 社	東芝
外形寸法	H cm W cm D cm 156.0 × 51.0 × 66.0 操作用タイプライター別置	エレクトロニクスユニット ; H cm W cm D cm 71.1 × 44.5 × 30.5 パワーコントロールユニット ; H cm W cm D cm 30.5 × 44.5 × 30.5 操作用タイプライター別置	H cm W cm D cm 150.0 × 57.0 × 11.1 前面に操作用タイプライター取付	H cm W cm D cm 150.0 × 60.0 × 70.0 操作用タイプライター別置
重量	159 kg タイプライター含まず		約 260 kg	200 kg タイプライター含まず

送受信部、操作部の寸法は特に就航船に追加装備する場合、その搬入口の寸法から制約を受ける。一般に数千トン以上の船舶の場合、操舵室への外部からの出入口は 85 cm ~ 90 cm 幅 × 180 cm 高さ程度である。また無線室の扉は 65 cm ~ 70 cm 幅 × 160 cm ~ 180 cm 高さ程度、外部から無線室甲板通路への扉は 65 cm ~ 70 cm 幅 × 140 cm 高さ程度の開口である。

表 8.2.1 の各社の送受信部、操作部の外形寸法程度であれば搬入は可能である。しかし重量の点から見ると完全一体のままでの人手による搬入は困難であるから各部を引出式としこれを抜き出し、船内に筐体部を設置した後、これらを筐体に納める方式または筐体を分割搬入できる構造とするか、あるいは極力軽量化するなどの考慮が必要である。

配置上からは特に操舵室に装備する場合、操舵室の全周 360° 視界を確保すべきであるとの要望も出されてきており、配置上の制約から機器の小形化をはかる必要性から、本送受信部、操作部も極力小形化する方向で検討する必要がある。

また保守点検の上から送受信部、操作部とも完全フロントサービス構造が望ましい。

送受信部と空中線部間の同軸ケーブルの長さは空中線部をレーダ・マスト頂部に装備するものとして操舵室または無線室に送受信部を装備すると 40 万トンタンカーの例で見ると下記のごとくなる。

送受信部が操舵室の場合……………約 30 m

送受信部が無線室の場合……………約 50 m

そこで本同軸ケーブルは標準的には 50 m とし、100 m 程度までをオプションとして空中線部を船尾部に装備または送受信部を操舵室、無線室以外の離れた場所にも装備できるように考慮しておく必要がある。

## 9 環境条件の調査

海事衛星の利用に関し、船上設備を実装する場所の周囲温度、湿度、船体の動揺及び傾斜（ピッチ・ロール、トリム・ヒール）、振動、衝撃、転舵の場合の船体運動の角速度などについて調査した。

### 9.1 周囲温度

世界各国の船級協会規則によって周囲温度に関する規則も異なり、また航路によっても異なるが低温についてはNV規格で上甲板場所の周囲温度 $-25 \sim +55$ ℃と規定しており、英国D.O.Tの船用レーダ装置に関する耐候及び耐久試験の性能規格では、甲板上装置を $-25$ ℃で12時間放置し、その期間の終りの30分に性能点検を行うこととしている。また高温については、NK規格で $+60$ ℃と規定しており、D.O.T規格では $+70$ ℃で10時間放置し、その後 $+55$ ℃に下げ2時間の連続作動をさせることとしている。

海事衛星を利用した船舶の航路を限定することは適当でないので、空中線部については基準周囲温度 $-25$ ℃ $\sim +60$ ℃で満足に作動すること。なお操舵室あるいは無線室等の居住区画内に装備されると思われる送受信部、操作部については基準周囲温度 $0$ ℃ $\sim +55$ ℃とする。

### 9.2 湿度

船舶の就航実績によれば、日本—ベルシャ湾航路において湿度95%以上になることはたびたび発生しており、従来95%という湿度条件が一般的に用いられてきたが相対湿度95~100%の条件下で満足に作動すること。

### 9.3 船体の動揺及び傾斜

船舶の全長、幅等によってこれらの条件は異なるが、各造船所における実測値、経験値および世界的な規則から考えて、横傾斜 $15^\circ$ 、縦傾斜 $10^\circ$ 、動揺 $2.25^\circ/10$ 秒で満足に作動すること。

### 9.4 振動

従来わが国で考えられていたのは、 $1 \sim 10$  Hz で両振幅3mm、 $10 \sim 60$  Hz で片振幅 $150/F^2$  mm ( $F$  = 振動数HZ) をベースとしているが、データロガ、主機遠隔操縦装置等の各種自動化機器や超自動化船における制御用コンピュータ等の搭載についても両振幅3mmまでの範囲を1.0Gになる周波数までスイープさせて振動試験を行っている。

これらのことから考え、海事衛星システムにおける空中線部、送受信器等の各機器は、両振幅 $0 \sim 3$  mmで加速度1.0Gまでの周波数に耐え、満足に作動すること。なお実船実測データによれば8万トンのディーゼルタンカーにおけるレーダマスト頂部の振動は前後方向0.4G、左右方向0.1Gとなることが報告されている。

### 9.5 衝撃

船舶において衝撃に対する考慮は当然払わなければならないが、一般的に商船の場合、波などによる動揺加速度を問題とし、振動を規定し、衝撃はこれより小さいと考えられている。しかし、空中線部は機器重量とも考え、十分に堅牢な構造でその取付ボルト、取付足などの強度において配慮が払われなければならない。

## 9.6 転舵の場合の船体運動の角速度

表 9.3 に各船舶の旋回試験時のデータを示す。

7,000 DWTの貨物船と200,000 DWT タービタンカーでは角速度  $1.34^{\circ}/\text{sec} \sim 0.50^{\circ}/\text{sec}$  となっており、海事衛星システムにおける環境条件としては振動、衝撃等と比べ十分に小さいと考えられるが、角速度  $1.5^{\circ}/\text{sec}$  とに満足な作動をすること。

## 9.7 風 圧

空中線部は風速  $60 \text{ m}/\text{sec}$  に耐えられる機械的強度を有していること。

海事衛星システムの環境条件について調査検討を行ってきたが、従来各国船級協会規則、国際規格等で異なった値がとられていた。これらは十分な実験と長年月における経験とから定められたものと考えられるが、各国の気候や風土等の違いによってやむを得ないとしても海事衛星システムについては、その適用船舶の航路を制限することは適当でなく世界中を航行し、どこにいてもこのシステムの利用ができることが望まれる。従って結果的には各国規則類を網羅したものとなった。

表 9.1 に船用自動化機器環境条件試験基準対応表を、表 9.2 に調査結果による環境条件を示す。

表 9.1 船用自動化機器環境条件、試験基準対応表

ITEM	* NK (1972) 揺拍の自動制御 遠隔制御に関する細則	* LR (1973) (GUIDANCE NOTE)	* AB (1975) (SECTION 4.1)	* BV (1828 ~ 1988) (GUIDANCE NOTE NI-24-BM3-90A)	* NV (1975) (CHAPTER VII)	* IEC 18B (C.0.3) (TEST)	JMSA ◎ 規格表
周囲温度 (使用温度)	① 監視室内: 0~45°C ② 機器室: 0~50°C ③ 露点: -10°C ~ +60°C ④ 湿度(露点): 60°C ⑤ 正圧室など: 60°C 以下に 維持すること。	① 機器室など: 0~50°C ② その他の部屋: 0~40°C ③ 半導体等のMax: 0~60°C	① 機器室など: 0~50°C 15Hz ~ 25Hz / Ph 1.0mm	① 2H (ハネリ標準など) 2H 1 ~ 25 Hz, 振幅 2mm ② 2H II (露点に取付けたらあるの) 2H 1 ~ 25 Hz, 振幅 2mm 25 ~ 35 Hz, 振幅 1mm ③ 上記で取振点がない事。	① 制御室: 湿度: 5~55% ② その他: 湿度: 5~70% ③ 正圧室: 湿度: 45~55%	① 振動 2 ~ 13.2 Hz ± 1mm 13.2 ~ 80 Hz ± 0.7g ② 時間 振引 40分 取振点 40分 ③ 動作確認を要する	① 一般機器 1) 5~60 Hz 振幅 0.1mm 2) 振幅: (5~11) Hz 振幅 0.1mm 振幅 30Hz ~ 60 Hz ± 200µm ② 干渉を抑制する 1) 5~10 Hz 振幅 0.1mm 2) 振幅: (5~24) Hz 振幅 0.1mm 振幅 30 Hz 振幅 0.1mm ③ 特殊 - 標準は付 1) 30 ~ 100 Hz 6g / 1 Hz / 2 200 Hz 増引する (30分毎の加熱、冷却を) (同時に付)
振動耐振	① 1Hz ~ 10Hz: PP 3mm 10Hz ~ 60Hz: 振幅 150µm Pk * F = 振動数 (Hz)	① 振動数 (Hz) 振幅 (mm) 1 ~ 4 0.400 1.00 4 ~ 8 0.100 2.5 8 ~ 14 0.030 0.75 14 ~ 30 0.010 0.25 30 ~ 100 0.002 0.05 ② 耐振テスト ① のテストで取振点を見つけたものは、取振点 2H 以上。 ② 10 ~ 30 Hz PP 0.25mm 2H 以上 ③ 互いに適合するもの、通常の取付取 振とする。 ④ 取振点: 相付けたらあるものは取付けたままテスト OK ⑤ 試験中機器の性能が満足であることを確認する。	① 傾斜: 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜: 各方向に付し 22' 30" 加減: 1g	① 傾斜: 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜: 各方向に付し 22' 30" 加減: 1g	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒
動揺・傾斜	① 動揺: 振幅 22' 30" 周期 10sec ② 傾斜: 傾 15' (傾斜) 傾 10'	① 傾斜: 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜: 各方向に付し 22' 30" 加減: 1g	① 傾斜: 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜: 各方向に付し 22' 30" 加減: 1g	① 傾斜: 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜: 各方向に付し 22' 30" 加減: 1g	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒
乾燥高温 (湿度サイクル)	10 乾燥 10 湿度 15% の 周囲温度で 4H 動作させ 10 周囲温度で 湿度を調整 する。	① 55°C ± 2°C 以下に 5 分 - 10 分程度の低い 方の温度、RH 5 ~ 60% の間 6H 以上 運転 ② 運転中 試験終了直前に正規 の性能テストを行う。	① 70°C 以下に湿度 45 ~ 55% の条件で 48H 以上 加減、正規の動作を要する。 ② 動作は 55°C RH 45 ~ 75% 2' 100H 運転、元の湿度と正規の動作を要す こと。テスト期間中 60°C 以下に 5H 以上 70°C 以下に 15 分 - 1 時間 維持すること。	① 70°C ± 2°C 以下に 5 分 - 10 分程度の低い 方の温度、RH 5 ~ 60% の間 6H 以上 運転 ② 動作は 55°C RH 45 ~ 75% 2' 100H 運転、元の湿度と正規の動作を要す こと。テスト期間中 60°C 以下に 5H 以上 70°C 以下に 15 分 - 1 時間 維持すること。	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒
高温 湿度	① 時に規定なし。 - 加 RH 90% 以上で 5 分 - 2 あることとしている。	① 70°C 高温テスト 40 ± 2°C (RH 100%) 100 ~ 105% RH 12 時間 ② 70°C 高温テスト 40 ± 2°C (RH 100%) 100 ~ 105% RH 12 時間 ③ 70°C 高温テスト 40 ± 2°C (RH 100%) 100 ~ 105% RH 12 時間	① 70°C 以下に湿度 45 ~ 55% の条件で 48H 以上 加減、正規の動作を要する。 ② 動作は 55°C RH 45 ~ 75% 2' 100H 運転、元の湿度と正規の動作を要す こと。テスト期間中 60°C 以下に 5H 以上 70°C 以下に 15 分 - 1 時間 維持すること。	① 70°C ± 2°C 以下に 5 分 - 10 分程度の低い 方の温度、RH 5 ~ 60% の間 6H 以上 運転 ② 動作は 55°C RH 45 ~ 75% 2' 100H 運転、元の湿度と正規の動作を要す こと。テスト期間中 60°C 以下に 5H 以上 70°C 以下に 15 分 - 1 時間 維持すること。	① 湿度 RH 100% ② 湿度 RH 100% ③ 湿度 RH 100%	① 湿度 RH 100% ② 湿度 RH 100% ③ 湿度 RH 100%	① 湿度 RH 100% ② 湿度 RH 100% ③ 湿度 RH 100%
衝撃	① 衝撃には十分耐えることとし、 その程度については規定 なし。	① 20g 10ミリ初 ② 三方向	① 20g 10ミリ初 ② 三方向	① 20g 10ミリ初 ② 三方向	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒	① 傾斜 各方向に付し 22' 30" ② 傾斜 22.5' 10秒

1. \*印のあるものは環境条件を記載してある。  
2. ◎印のあるものは試験基準を記載してある。

表9.2 海事衛星システムの環境条件

	船用電気品の一般条件	海事衛星システムの環境条件
周囲温度 (暴露甲板上)	-10℃~60℃	-25℃~70℃ 居住区画内は0~55℃
湿度	0~95%	95~100%の湿度でも満足に 作動すること。
動揺	±22.5° 周期10秒	±22.5° 周期10秒
傾斜	横 15° 縦 10°	横 15° 縦 10°
振動	1~10 HZ 片振幅 1.5 (mm) 10~60 HZ // 150/f <sup>2</sup> (mm) (f=HZ)	片振幅0~1.5 mmで加速度1.0 G までの周波数に耐え満足に作動す ること。
衝撃	衝撃に充分耐えること。	衝撃に充分耐えること。
船体運動の角速度	—	1.5°/sec
風圧	—	空中線部は風圧60 m/secに耐え ること。

表9.3 転舵の場合の船体運動の角速度  
(海上試験成績書より)

船の種類	旋回方向	90°転針に要した時間 sec	90°から180°転針に要した時間 sec	角速度(平均) (°/sec)
20万トンタービタンカー	S	145	167	0.54
	P	146	175	0.51
12万トン //	S	142	140	0.64
	P	142	140	0.64
74万トンディーゼルタンカー	S	121	124	0.73
	P	128	126	0.71
48万トンタービタンカー	S	108	104	0.87
	P	110	100	0.90
22万トンコンテナ(ディーゼル)	S	83	78	1.15
	P	83	83	1.08
07万トン貨物船(ディーゼル)	S	79	73	1.23
	P	71	67	1.34

注1. 旋回試験におけるデータを示す。

注2. 満載状態、常用出力で舵角35°

(計算結果、バラスト状態に於いても大差ないので満載状態のみを示した)

## 1 0 運用・操作方法とその問題点

海上移動業務へ海事衛星を導入する場合、現在の業務全般にわたって運用を可能にするか、または特定業務に限定するかによって将来の普及度が大きく変わって来るものと思われる。現行の海上移動業務の種別及び内容については、4.1の各項の通りであるが、どの業務に対して導入するかによって、船舶の通信設備及び運用方法、更に船内就労体制も変わって来るので、それぞれ業務別に衛星通信の導入と、その問題点等について考察する。

### 10.1 海事衛星導入についての考察

現行の海上移動業務の種別及び内容については4.1の通りであるが、どの業務に対して衛星通信を導入するかにより将来の船舶の通信設備及び運用方法と船内就労体制が変わって来るものと思われるので、それぞれの業務別に衛星通信の導入と、その問題点等について考察する。

#### 10.1.1 公衆通信における導入

海上移動業務の中で最も通信頻度の高いのは公衆通信であり、現在検討中の海事衛星は公衆通信が主対象となっているので、これの導入について検討する。

##### (1) 現行公衆通信に於ける問題点

現行公衆通信は船舶の航行海域により中波・短波・超短波を使用して目的の海岸局と通信を行っているが、通信の疎通上次の問題点がある。

##### (a) 通信連絡設定上の問題

対日本通信に例をとれば、日本の沿海・近海区を航行の場合は、在圏海岸局に対して入・出圏通知を出しておけば相互間の通信連絡にそれほど時間はかからないが、遠洋海域航行中の場合は短波を使用して通信を行うため、周波数の選択、伝播上の問題、混信、時間差等によりかなりの時間を要することが多い。

##### (b) 海岸局の受入体制の問題

これは、船舶側にもいえることであるが、通信技術の低下も無視できず、このために必要以上の時間を要することがある。

##### (c) 船舶局及び海岸局の運用時間の問題

船舶局の通信士の定員は客船を除いて大体1名である（日本船は法的には1名であるが、組合との協定により大型船は2名乗船している）ため、運用時間は1日8時間である。海岸局の各周波数の運用も実際の通信の頻度により運用時間に制限があるため、通信の疎通上に時間的遅延が生ずる。また海域による時間差により遅延もある。

##### (d) 対日本への直接通信は、組合との協定により通信運用可能範囲が決っており、それ以外では特定の外国海岸局を指定して、これを經由して対日本への通信を行っている。会社側でも混乱を防ぐためにこの通信圏を守っている。従って圏外では国際電報となり、国によっては遅延の原因となる場合がある。

##### (2) 公衆通信・衛星通信を導入する場合の問題点

衛星通信導入により受信卓の運用・操作のすべてにわたって自動化されるものでもなく、部分的にはどうしても人為的操作が必要となるものと思われる。

##### (a) 電報はテレックス化されるが、受信の場合には従来の手動通信方式と比較すればすべて自動的に

受信することが可能となるが、送信の場合には情報をテープに入れておくか、またはメモリーしておく操作が必要となる。これを誰れでも運用・操作し易いような簡単な構成にしなければ運用・操作及び就労体制上問題が起きる。

- (b) 電話の場合の言語的障害は、セレコール方式の採用により解消されるが、私用通話の秘密保護については十分考慮する必要がある。
- (c) 受信卓の設置場所についても航海中・停泊中等で要員の配置が変わるので、現状について十分検討することが必要である。  
これについては後記する。
- (d) テレックス化される電報及びデータ通信は、国際的統一化のために欧文またはローマ字による和文が使用されることになるが、国内通信を対象にした場合、カナ文字のテレプリンターによる和文電報の送受信ができることが望まれる。将来、小型商船及び漁船の需要が見込まれる日本に於いては特に考慮の必要がある。

(3) 現行の船内作業体制

船内の就労体制は大別して航海中と停泊中とに分けられ、それぞれ各職種別に要員の配置が異っている。

- (a) 航海中の要員の配置及び当直時間を各職域・職種別に分類すれば次の通りである。

船 橋 航海士1名、操舵手1名、24時間当直

機関制御室 機関士1名、操機手1名、操機員1名、24時間当直

但し、MO適用船では夜間の当直者は不在である。

無 線 室 2名船の場合 16時間当直、但し、深夜は不在である。

1名船の場合 8時間当直、 全 上

船内事務室 非当直者が事務作業を行う場合の他は不在である。

- (b) 停泊中の要員の配置（完全休日日を除く）

船 橋 整備作業を行う時以外は不在である。

但し、日誌等記録記入のために最長4時間間隔で操舵手が入室する。

機関制御室 整備作業及び荷役作業がある場合には機関要員が在室する。

無 線 室 整備作業の他、定時情報受信及び船内事務処理等により他室に比べ入室頻度は多い。

船内事務室 船内作業、荷役関係等の打合せ及び事務作業のため、日中ほとんど在室する。

舷 門 外部より雇傭したワッチマンが3直交代で24時間配置される。

(4) 船上設備の設置場所の検討

船上設備は技術的条件と運用・操作からの必要性から、その設置場所の選定には十分検討する必要がある。また、在来船に装備する場合と新造船に装備する場合とによっては、船体構造等より受ける制約はかなり異ってくる。

- (a) 船上設備の設置場所の選定

衛星通信用船上設備は空中線装置と通信卓とに大別することができる。

空中線装置は運用・操作上ほとんど問題無く初期設定後は完全自動化されるものと思う。技術的条件からの設置場所については、別の研究項目で検討されるので省略する。

通信卓については前記した通り、受信は完全自動化されるので航海中・停泊中を問わず、情報を受信することができる。従って、衛星通信の即時性を生かすためにも常時要員が配置されている必要があり、航海中・停泊中の24時間を通して要員が配置されていて情報送受の運用・操作が行い易いのは船橋であると思われる。

(b) 通信卓を船橋に設置した場合の諸問題

船橋は航海中・停泊中とて要員の配置が異なるのでそれぞれ別々に考慮する。なお将来海上移動業務全般が衛星通信に代り得ることを前提条件とした。従って、運用・操作は原則として甲板部職部員を対象とした。

(i) 航海中

航海中の船橋の夜間は、他船の航海灯、灯台、浮標等の照明を識別して航行の安全を期さなければならぬため、室内は真暗であり、かすかに計器の照明と海図を調べるためにチャートルーム内で小光量の照明灯を使用する程度である。

従って、通信卓の設置はチャートルーム内が考えられる。船橋設置全般については、利用者が船の最上部まで上ってこなければならぬこと、また、私用通話の場合の秘密保護及び騒音防止にも配慮しなくてはならない。このために船橋に専用の別室を設けることも考えられるが、夜間の光度の高い明るい所より真暗な所に出てきた場合の目の順応性の問題、また昼間前方目視直中に情報の入電を簡単に知りにくい等より若干問題が生ずるものと思われる。

(ii) 入出港及び狭水道通過時

船舶が入出港時及び狭水道を通過する場合は、通常当直者の他全員が当直配置に着くので、このようなき情報の入電があっても通信卓の運用・操作を行う余裕はほとんどない。

また、通信卓作動時の騒音が大きいと操船指令の指揮命令伝達に支障をきたすことがある。

(iii) 停泊中

停泊とは港内または入港と做される区域で、接岸または係留・投錨した状態であり、荷役を行っている場合も、また次航のスケジュール待等で船内整備作業を行っているか、または全く休息待期の状態とがある。停泊中の船橋は通常クロスされているが、日誌等の記録記入のため、最長4時間ごとには操舵手が入室する。特に航海計器の整備作業があれば担当者が立会っていることもある。このような状態の時には、最悪の場合、情報の入電があってから、それを知るまでに4時間程度遅れることもあり得る。

(c) 船橋設置の場合の条件

船橋に通信卓を設置した場合をまとめると、次の各項について十分考慮しておく必要がある。

(i) 船橋内に不必要な照明を漏さぬよう特別の配慮が必要である。

(ii) 停泊中等で船橋に要員不在の時、情報の入電を船内の他の部所へ通知する装置を考慮しておく。

例えば船内事務室（または無線室）または担当者の居室、その他気のつき易い場所に入電を知らせる装置を附加する。

(iii) 送受操作部を船橋以外の部所に併設して切替えて使用できるようにする。

(iv) 情報の送受信時の騒音は最小限にする。

(v) 私用通話の場合の秘密保護の措置

(5) 通信卓の運用操作について

将来の最終目標としては、海上移動業務全般の運用が可能になることであるが、それまでの間は従来の通信方式との併設になる。従って、完全導入までは通信長・士が在船するので、全般的な運用・操作を行うことになるが、非当直時及び将来のことを考えれば甲板部職部員が運用・操作することになるので、その状態で検討する必要がある。

(a) 運用・操作要員について

現行法規では、電波を発射する無線装置の操作は法で規定された資格を持った者が行わなければならないことになっているが、将来の衛星通信の普及上からも緩和規定が設けられることが望ましい。通信卓の設置場所として船橋を想定したが、無線部職員以外では甲板部職部員が多く、また必要な場合はその他の要員でも運用・操作ができやすいような機構でなければならない。

(b) 誤操作防止対策の必要性

現行の海上移動業務に於ける通信の運用・操作は諸規則により規定されているが、そのほとんどが人為的操作であるため、運用違反に対しては、それぞれ罰則がある。また、一部の装置にはこれを防止するために安全装置が装備されている。

衛星通信の運用・操作は将来一定の有資格者の管理のもとに乗組員全員が直接運用することもあり得るので、遭難・緊急・安全等の通信のための操作個所は、一般公衆通信のための操作個所とは分離しておくとか、誤操作ができないような措置が必要である。

(6) その他の場所への設置

船橋以外の場所に設置するとすれば、無線室かまたは船内事務室の2個所が考えられるので、それぞれについて検討する。

(a) 無線室設置の場合

通信業務の上からは無線室に設置することは最適であるが、次の点に問題がある。

(i) 無線部の当直時間に制約がある。

日本船は現在2名乗船しているが、外船のほとんどは1名である。

(ii) 無線部の当直時間以外は、他の通信装置があるので、通常他の要員の入室は全くない。

(iii) 将来、海上移動業務が全面的に衛星通信に代り得るものとするならば、現在の無線室のあり方は大きく変わってくるものと予測される。

(b) 船内事務室設置の場合

船内事務室は航海中・停泊中を問わず、各職種の人が事務作業のために在室するが、夜間はほとんど不在となるので、適当ではない。

### 1 0.1.2 遭難・緊急・安全等の通信に於ける導入

海上移動業務に於ける遭難・緊急・安全通信及びその他の通信業務も含め、衛星通信に代り得ることを前提としなければ早期普及は困難であると思われる。

(i) 遭難・緊急・安全等の通信の業務種別と運用の内容

衛星通信に移行するためには、これ等の重要通信がどのように運用され、その目的を果しているかを知る必要がある。更に一部の船が衛星通信に移行した後も在来船と関連についても考慮しておくことも大切である。

重要通信が公衆通信システムの移行と大きく異なるのは、その対象が本船の近くを航行している船舶であることである。

(a) 遭難通信

遭難通信は、船舶が衝突・坐礁・火災・浸水等で人命財産に危険が生じた場合に行う通信であり、直接遭難通信に入る場合と緊急通信から入る場合とがある。

遭難通信は船長の状況判断により発信され、SOSの信号で始まる。法的にはSOSの前に緊急信号(4秒の長信を1秒間隔で12回発信する)を発信するが、この信号は自動緊急受信機により聴守している船舶に対する信号である。

一般に遭難通信は中波の500KHzを使用するが、この周波数の通達距離は500Wの出力で昼間約200浬夜間約500浬である。

SOSの信号を受信した船舶は遭難船の位置を確認し、自船に近い場合には、船長判断によりこれに応答し、遭難船と連絡を取りながら救助に向うことになる。この間遭難通信を妨害しないために、救助にあたる船舶以外の船舶は500KHzの発信を禁止される。

非当直中の船舶は自動緊急受信機で遭難通信が行われたことを知るわけであるが、警報受信後は当直に入り 500 KHz を聴守することが義務づけられている。遭難通信は、救助船が現場に到着し、救助を完了するかまたは確実に遭難船と連絡が取れた状態になった時に遭難通信終了の信号を発信し、500 KHz で他船の運用禁止を解除する。

遭難通信用周波数として 500 kHz の他 2182 KHz 及び 8364 KHz 等が割り当てられている。

(b) 緊急通信

船舶の航行中または港外等で陸地と連絡の取りにくい区域に停泊している時、人命にかかわるような事故が発生し、または海難事故等が起き、人命財産に危険があると判断された時、船長命令で発信されるものである。緊急通信は、中波 500 KHz で×××の信号の後、全船宛の信号 C Q に自船の呼出符号を発信して、他船の注意を喚起し、引続いて通信用周波数に変波して緊急事態の内容を放送する。これを聴取した船舶でその要求に応じられる場合はただちに応答し、必要な措置を取る。

(c) 安全通信

船舶の航行の安全に関する通信であり、他船に周知する必要がある場合に行う通信である。通信は中波 500 KHz で T T T の信号の後 C Q に自船の呼出符号を発信し、他船の注意を喚起し、引続いて通信周波数に変波して安全通信の内容を放送する。

(d) 非常通信

人命救助、天災の予報、秩序維持のために必要な緊急措置、非常災害地の救援に関する通報等に関する通信を行う。通信は短波 4630 KHz を使用して行われるが、通常船舶はこのための周波数は持っていない。

(2) 遭難・緊急・安全等の通信に衛星通信を導入する場合の問題点

これ等の重要通信は、一般公衆通信と通信の相手方及び業務内容がかなり異なるので衛星通信を導入するためには、個々の運用・操作が複雑になるものと思われる。

(a) 遭難通信の場合

遭難通信の最も重要なことは、遭難船の正確な位置の把握とそれに最も近い海域を航行している船舶にその旨を連絡しなければならないことである。遭難が発生した場合、自船の位置を再測定して遭難通信に入れて発信できる場合はよいが、普通このような場合、遭難通信を発信するだけでせいっぱいではないかと思われる。従って、船位は、数時間前のものとなることがある。

また、救助船を選定する場合にも全船が予め正確な位置・コース・スピードを遭難宰領地球局へ通報しておくことが必要になる。これ等を完全に実施できれば、陸上のコンピュータで管理することにより、遭難発生と同時に対処することができるし、むしろ従来の遭難通信より適確な救助体制が取れることになる。

問題は、遭難船と救助船及びその他の船との通信連絡方法であろう。現行の通信システムでは、米国の AMVER システム及び豪州の AUSREP 等で実施されており、船舶の遭難・人命の救助等にも貢献している。地球局に自船の位置を通報する場合、公衆通信システムに於いては広範囲の海域区分でよいかも知れないが、この場合にはできるだけ新しい船位等を送り込んでおくことが必要になる。この作業は当然甲板部職部員の担当になる。

(b) 緊急通信の場合

緊急通信は遭難通信に入る直前、即ち船舶に緊急事態が発生した時に船長判断で発信される場合と人命に急を要する事態が発生した場合等に発信される。このような場合、遭難の時よりかなり時間的余裕もてるので船位の再確認、状況の詳細を宰領地球局へ連絡できるので他船への情報連絡の正確度があることになる。

(c) 安全通信の場合

船舶の航行安全のための情報を附近航行中の船舶及び陸上の関係機関に通報することが必要である。また、陸上の局は主として海上保安庁所属の海岸局になるが、この通報を受けた局は必要海域にある船舶及びこれからその海域に入ろうとする船舶に対して放送しなければならない。

(d) 非常通信の場合

非常通信の場合、陸上に発生した非常事態のために起きた陸上通信系の混乱応援のために協力参加するものであるが、ほとんど運用されていないので、特定システムを設ける必要はないものと思われる。従って、必要あれば、公衆通信システムを利用することができる。

### 10.1.3 漁業通信に於ける導入

漁業関係業務への衛星通信の導入については、一般商船とその内容が異り、また大型船及び遠洋区域就業の船舶と近海区域で操業する小型漁船とでは、通信システムもかなり異なるので、大型船への導入について検討する。

漁業通信を大別すると、専用通信と船団内の当番船と各船団間で行う業務通信に分けられる。勿論この他一般公衆通信も行われている。専用通信は、専用通信波によるテレタイプ通信が主であるため、一般公衆システムを利用することができる。

船団内通信及び船団間通信は、いずれも船舶相互間の通信であり、漁業関係情報の交換を行う最も重要な業務通信である。従って、漁業関係業務通信へ衛星通信を導入する場合には船間通信を可能にする必要がある。

船間通信にはテレックスによる情報交換の他、FAXによる気象・海象の放送が含まれる。

### 10.1.4 その他の通信に於ける導入

その他の通信については、前各項で記した事務内容であるが、一般的には、船舶と陸上関係機関との間で行われる通信であるから、気象業務のように放送形式を取るものを除いては、一般公衆通信システムを利用することができる。但し、無線測位業務は現在計画されている衛星通信システムの初期には困難であると思われるので、現行の船位測定システム、例えばNNS、LORAN、OMEGA等を利用せざるを得ないものと思われる。これ等の船位測定システムと衛星通信システムとを直結することができるならば、船位を自動的に地球局へ通報することができるので、遭難・緊急・安全等の通信の場合の運用・操作は極めて簡略化されるものと予測される。

## 10.2 衛星通信と現行法規及び船内就労体制との関連

現行の海上移動業務は国際・国内の関係諸規則の規定により運用されているが、衛星通信もこれ等関係諸規則の適用を受けることになる。また船内就労体制への影響も生ずるものと予測される。

### 10.2.1 現行関係諸規則

海上移動業務に関係のある諸規則は次の通りである。

- (1) 国際電気通信条約及び全附属無線通信規則
- (2) SOLAS(海上人命安全条約)
- (3) 電波法及び諸規則
- (4) 船舶安全法及び諸規則
- (5) 船舶職員法

- (6) 公衆電気通信法
- (7) 労働協約

### 1.0.2.2 衛星通信の運用・操作との関連

海上移動業務の秩序を維持するための関係諸規則をそのまま衛星通信に適用することは困難であると思う。技術基準については全く新しい規則となるが、運用・操作面については実状にそくしたように改正する必要がある。

#### (1) 運用上の問題点

海上移動業務に於ける公衆通信の運用は、遭難・緊急・安全等の目的外通信を除いて船舶の航行中に限り認められている。これは、条約等の規定より各国の内規を優先することが認められているからである。船舶の入港中の公衆通信が禁止されているのは、陸上通信系との利害関係からであるが、衛星通信の場合には常時運用できるようにする必要がある。日本船の場合には、特殊事情として船舶の対日本との直接通信は全日本海員組合と船会社間で調印されている定員協定の中で、運用範囲が定められているので、これを改正するについては定員問題と分離して行わねばならず、慎重を要するところである。

#### (2) 条約及び関係諸規則の改正

条約及び諸規則の改正・批准・施行には長年月を要しているが、将来現行の海上移動業務のほとんどが海事衛星システムに移行するものと予測されるので、早期改正に着手することが望ましい。特に船間相互通信ができるようにすることは漁業関係通信より強く要望される場所である。

### 1.0.2.3 将来の船内就労体制

現在の職種別構成による船内就労体制は造船技術及び電子技術の発達と海運の国際的発展とともに長い歴史の中で構成されたものであるが、最近の技術革新は企業の合理化とともに船内各機関にも及んできているため、衛星通信の海上移動業務への全面的導入を機会に船内就労体制が大きく変わって行くことも十分予測されることである。

#### (1) 衛星通信により可能となる諸管理システム

衛星通信により可能となるオンラインシステムにより現行の船内各業務の管理はある程度まで陸上でコントロールすることができるが、これによる船内就労体制への影響も無視できない。

##### (a) 予測される諸システム

- (イ) 甲板部関係……航行管制システム、運行管理システム
- (ロ) 機関部関係……機関管理システム、保安全管理システム
- (ハ) 無線部関係……船内事務管理システム、健康管理システム

##### (b) 各職種との関連

現行の各職種別構成に於いて衛星通信導入に最も関係のあるのは無線部であるが、それ以外にも他の各職種にも何等かの関連が出てくることはさげられない。海上移動業務に全面的に導入されるとするならば、現行の無線設備及び関連業務内容は極端に変わって行くので、通信の運用面よりむしろ電子機器の整備関係業務が増加してくるであろう。また一方、運用面は全乗組員が操作することが可能になるが、最も負担がかかって来るのは通信卓の設置場所の関係で甲板部職員になるであろうが、この場合、甲板部の専門職との関連に於いて十分就労体制を検討しておく必要がある。

## 1 1. 衛星通信用空中線系

### 1.1.1 機械的追尾空中線

#### 1.1.1.1 船舶地球局アンテナ

海事衛星システムでは、回線設計如何によって船舶地球局アンテナに無指向性アンテナを用いたり、船舶の動揺角に比べて広いビーム幅を持った複数個の固定アンテナを切換え使用するなどの方法も考えられる。しかし、近い将来実現を予想される経済性と通信容量とを重視した実用的海事衛星システムでは、船舶地球局アンテナの所要利得などから考へ、船舶にはその動揺に係わらず常に衛星の方向を指向する追尾アンテナの装備が必要である。追尾アンテナには、パラボラアンテナのような指向性アンテナを回転可能な軸を介して支持し、それをこの回転軸の回りに機械的に回転することによってアンテナの指向方向を変える機械的追尾アンテナと、三次元レーダーのように多数のアンテナ素子を一定間隔で平面または曲面上に配列し、各アンテナ素子間の電波の位相差を適当に制御することによって、このアンテナアレイの合成ビームの方向を変える電子的追尾アンテナとがある。

船舶地球局の追尾アンテナには、機械的追尾アンテナ・電子的追尾アンテナの何れも適用可能であり、また、両者を併用したアンテナも考案されている。電子的追尾アンテナは機械的可動部分を全くなくすることができ、厳しい環境条件を考慮すれば非常に魅力的な特徴を有するが、現状ではビームの変化範囲やサイドローブ特性などの技術的観点からも、また、経済的にも研究開発を要する点が多い。一方、機械的追尾アンテナは、米国に於ては既に各種のものが試作され、船舶に搭載して実験が行なわれており、これ等をベースに実用機の製作が開始されている。我が国に於ても試作検討が行なわれており、海事衛星システムの運用初期にはこの方式が使用されるものと思われる。

陸上で使用される機械的追尾アンテナでは、通常直交した二つの回転軸を有する二軸マウント方式が使用されている。これは最少二つの回転軸を設けることによって天空の任意の方向を向けることができるからであり、地球に固定した垂直な軸(AZ軸)とこれに直交し水平面内で回転する第二の軸(EL軸)を有するAZ-ELマウントが最も一般的である。一部では水平な固定軸を有するX-Yマウントや地軸に平行な固定軸を有するHADECマウントも用いられている。二軸マウントの場合、固定軸の延長方向(AZ-ELマウントの場合は天頂方向)附近を高速で移動する標的を追尾する際に、固定軸回りの所要角速度が非常に大きくなって追尾誤差の増大または追尾不能の事態が生ずる。この範囲は標的の移動速度・追尾アンテナの回転速度・アンテナのビーム幅などによって異なるが、固定軸を軸とする円錐状となりサイレント・コーンなどと呼ばれている。また、このような現象をジンバルロックとも云っている。AZ-ELマウントのアンテナではこのジンバルロックが天頂付近で発生するが、静止衛星を対象としたインテルサットの地球局アンテナは勿論、移動衛星を用いているモルニヤシステムの地球局でもほとんどAZ-ELマウントのアンテナが用いられている。これはAZ-ELマウントが建設工事の容易さなど種々の点で有利であり、衛星の移動速度が遅く、かつ衛星が真上を通ることはほとんどないからである。

船舶地球局の場合には船舶のローリング・ピッチングは衛星方向の相対的移動となり、その移動速度はローリング・ピッチングの振幅及び周期から算出され、AZ-ELマウントの場合 $20^{\circ}/\text{sec}$ に近い値となる。また、船舶は海上を自由に航行するので衛星を天頂付近に指向する機会は常に起り得るため、ジンバルロックを無視することはできない。現在予想される海事衛星システムでは船舶地球局アンテナのビーム幅は約 $10^{\circ}$  またはそれ以上で比較的広く、天頂付近では回線設計上にも余裕があるので、ある程度の利得低下を許容してもよく、天頂付近に衛星があっても通信を中断しないようにすることは可

能と思われるが、固定軸回りの回転速度を相当大きく設計する必要がある。固定軸をキール方向に設定したX-Yマウントはローリングの補償が容易なことから有力なマウント方式と考えられ天頂附近の衛星の追尾には全く問題ないが、衛星を船首または船尾方向の低仰角に見るときピッチングをおこすとジンバルロックが問題となる。この場合、衛星の相対移動速度はAZ-ELの場合に比べるとかなり小さくなるが、低仰角では回線設計上の余裕がなく利得低下が許容されないため、アンテナマウントの設計に当っては充分検討を加える必要がある。

このようなジンバルロックを避けるため、上記二軸の他に更に一及至二の余分の回転軸を設けた三軸マウントや四軸マウントが種々考えられている。これ等の中にはAZ-ELマウントを基本としたものと、X-Yマウントを基本として考案されたものがあり、また、同じ軸構成でも各軸に対する制御機能の分担の考え方によって幾つかのちがった制御方式が考えられる。1.1.1.3ではこれ等のうちから代表的なものについてやや詳しく述べ、その比較検討を行なっている。何れの方式が用いられるにしても一基の追尾アンテナで仰角5°以上の全天空内にある衛星に対して、安定な通信を確保しようとするれば、そのビーム内に電波伝はんの妨げになるような障害物が極力入らないようにする必要があり、アンテナは船舶のマスト上部とか操船室屋上等の比較的高所で、かつ風雨や塩水飛沫にさらされる場所に設置される。船舶が熱帯水域から寒冷水域にわたり広く大洋を航行することを考慮すれば極めて広い温度範囲で使用され、また、船舶の動揺・振動・衝撃に耐へ常に衛星方向を正確に指向するよう制御されねばならない。従ってアンテナは堅牢で、極力小形、軽量、かつ釣合の取り易い構造とし、ラドームで蔽って直接風雨の影響を受けないようにするのが得策と考えられる。

当面予想される海事衛星システムにおいては、船舶地球局に要求されるG/Tは-4 dB乃至-10 dB程度であり、パラボラアンテナやヘリカルアンテナ・アレイなどが考えられる。受信前置増幅器として低雑音トランジスタ増幅器を用いるとすれば送受分配器やラドームの損失などを考慮すれば、パラボラアンテナの場合直径約1.2 mとなり、ラドームの直径は約2 m位が想定される。

### 1.1.1.2 アンテナ指向制御方式の検討

追尾アンテナの指向制御方式を検討するに当り、まず、許容制御誤差について検討する。この誤差の検討には回線が許容し得る搬送波のレベル変動、アンテナのビーム幅および船舶の動揺量等が基礎となる。アンテナのビーム幅はアンテナ利得と直接の関連がある。船舶地球局用アンテナの利得は、低雑音増幅器と組合せた受信系の良好度指数(G/T)が所要の値を得るように定められ、Lバンドでトランジスタ低雑音増幅器を使用し、 $G/T \geq -4 \text{ dB/K}$ とする場合、アンテナの実効利得は21 dB程度が必要となる。パラボラ反射鏡形式の開口面アンテナで、ラドーム損失・送受共用器その他の回路損失および制御誤差による損失(0.5 dB)を考慮してこの値を得るためには、アンテナ開口利得として24 dB程度が必要となる。

ここで、アンテナ開口能率を65%と仮定すると、1.55GHzにおける開口利得24 dBを得るためのパラボラ反射鏡の所要直径は約1.2 mとなる。パラボラアンテナのビーム幅(半値幅)は近似的に次式で表わされる。

$$\theta_B \approx \frac{70 \lambda}{D} \quad (\text{deg}) \quad \dots \dots \dots (1.1.1.1)$$

$\lambda$ : 波長  
 $D$ : パラボラ開口直径

この式から、上記アンテナで周波数1.64 GHzにおけるビーム幅は約10.5度となる。一方、追尾角度誤差( $\theta_e$ )によるアンテナ利得の損失( $G_L$ ) dBは近似的に

$$\theta_e \approx 0.29 \theta_B \sqrt{G_L} \quad \dots \dots \dots (1.1.1.2)$$

で表わされる。この式からアンテナ利得損失の許容値を 0.5 dB とした場合、追尾角度誤差の許容値は約 2 度となる。船舶の動揺は一般にこのアンテナの許容追尾誤差角に比し、はるかに大きな値であるから船舶地球局アンテナには船舶の動揺に対するアンテナ指向方向の制御が必要となる。船舶のアンテナ指向制御の方式としては(a)自己追尾方式および(b)安定台制御方式(スタビライザー方式)が考えられる。従来の衛星通信用地球局アンテナはほとんどが AZ-EL マウントであり、モノパルス形式による自己追尾方式が用いられてきた。インテルサットをはじめとした静止衛星を使用したシステムでは、衛星の軌道上安定度が向上するに伴ない、最近はより簡易なステップ追尾方式が一部で使用されるようになった。

ステップ追尾方式は、アンテナの指向方向を微小角づつステップ状に駆動し、このステップ操作による受信レベルの変化を比較判断して、自動的にアンテナビームの最大利得方向を衛星方向に指向制御するもので、モノパルスよりも装置構成の簡単な自己追尾方式である。このステップ追尾方式は追尾速度が小さい場合には有効であるが、船舶用アンテナの場合にはかなり大きな追尾速度を必要とするため、追尾誤差が大きくなるか、場合によっては追尾不能となることも考えられるので、この方式をそのまま船舶地球局用アンテナの自己追尾方式とすることは適当でないと考えられる。

モノパルス形式の自己追尾方式ではアンテナから常時連続的に追尾誤差信号が検出されているため、追尾速度が大きい場合でも追尾誤差を小さくできるので船舶地球局アンテナの追尾方式として適用することが可能である。しかしながら、自己追尾方式は受信波を利用するため、アンテナと衛星の間に電波を遮断するような建造物、構造物等の障害物が入った場合や海面反射等の反射波が大きい場合には追尾誤差が増加し、更に受信レベルが低下して追尾受信系のスレッシュホールド・レベル以下に減少すると自己追尾機能が失われる。レベルの回復後衛星の再捕捉が必要となるが、アンテナ・マウントに安定化手段が用意されていない場合には、船舶の動揺により衛星の捕捉が困難で通信断時間が長くなることが考えられる。また、装置構成の面では複雑な自己追尾用受信回路を必要とするため、特に信頼性、保守性、経済性等の面でも問題がある。一方、安定台制御方式は自己追尾用アンテナの誤差検出回路のかわりに、動揺検出器を用いて、アンテナの指向方向を安定化制御するものであり、受信電波の有無にかかわらずアンテナを衛星方向に指向させておくので、自己追尾方式のような再捕捉の問題は生じない。この安定台制御方式における衛星の初期捕捉は、船舶の位置および衛星の位置から求められる方位角、仰角データをもとにアンテナの方位角、仰角値を手動でプリセットするだけで充分であり、更に必要ならばその後受信レベルが最大となるようプリセット値を修正すればよい。

船舶の航行による方位角ならびに仰角の変化は、20ノットで航行する場合、24時間当り最大10度程度であるから、この修正は一日に数回の手動修正で充分である。この修正を自動化するには安定台制御方式では修正に必要な追尾速度は極めて小さな値となるので、前述のステップ追尾機能を追加する事により達成することができる。

上述の検討の結果、船舶地球局アンテナ指向制御方式としては、動揺検出器を用いた安定台制御方式を採用し、これにステップ追尾機能を附加するのが最も実用的と考えられる。

### 1.1.1.3 回転支持方式の検討

#### (1) 概 説

指向性アンテナを船上に保持し、指向制御を行なうためのアンテナマウントの代表的方式としては AZ-EL マウントおよび X-Y マウントと呼ばれる 2 軸支持方式、AZ-Cross EL-EL マウントおよび Y'-X-Y マウントと呼ばれる 3 軸支持方式ならびに X-Y-AZ-EL の 4 軸を使用する 4 軸マウント方式がある。これ等のマウント方式の検討を行なうに当り、船舶地球局用アンテナマウントに必要な基本的条件を次のように想定する。船舶は広範囲に亘り航行し、かつ各大洋上の衛星に対してアクセスできることが必要であるから、アンテナは船舶の動揺に係わらず仰角 5 度以上の天

空の全方向に対して指向可能でなければならない。さらに、船舶の動揺に対してアンテナの指向方向の変化を最小に止めることが必要である。船舶の動揺の範囲は船舶の大小によっても異なるが、その一例としてはMARISAT用船舶局設備仕様に規定された表1.1.1.1の値を想定する。

表1.1.1.1

船舶の揺れ	振幅	周期
(i) ピッチ	± 25°	4π sec
(ii) ロール	± 75°	3π sec
(iii) ヨー	± 4°	100 sec
(iv) 方向変換	6°/sec	

これらの値は、今後海事衛星システムの進展に伴ない変更されることも考えられる。以下に代表的な各支持方式の特徴について述べる。

(2) 2軸支持方式

2軸支持方式のうちAZ-ELマウント方式とX-Yマウント方式の軸構成概念図をそれぞれ図1.1.1.3、および図1.1.1.5に示す。これらのマウント方式は制御軸数が少ないため最も簡単なものであるが、共通的な問題点として、いわゆるジンバルロックの問題がある。すなわち、船体に固定された軸AZ軸あるいはX軸に並行な方向またはその近傍にアンテナ主ビーム軸が向いている場合、船舶の動揺があるとAZ軸あるいはX軸廻りの所要修正速度が急激に増大し、それに伴ない追尾誤差が増加し、自己追尾方式の場合には追尾不能となる場合も考えられる。ここで、AZ-ELマウント方式を例として船舶のアンテナと衛星の座標関係を図1.1.1.1に示す。図中φは甲板が水平にある場合の衛星のベアリング角を示し、φ'はローリング角δの場合の見掛け上のベアリング角である。θは甲板が水平にある場合の衛星に対する仰角を示し、θ'はローリング角δの場合の甲板面を規準とした見掛け上の仰角である。いまφ' = φ + Δφ(但し、Δφは方位角誤差)で表わし、図示の投影角αおよびβを使用して角度関係を示せば

$$\tan \beta = \frac{\tan \varphi}{\cos \alpha} = \frac{\tan (\varphi + \Delta \varphi)}{\cos (\alpha + \delta)} \dots\dots\dots (1.1.1.3)$$

と表わすことができる。tan α = tan θ / sin φであるから、方位角誤差Δφは

$$\Delta \varphi = \tan^{-1} \left( \tan \varphi \cdot \cos \delta - \frac{\tan \theta \cdot \sin \delta}{\cos \varphi} \right) - \varphi \dots\dots\dots (1.1.1.4)$$

で表わされる。図1.1.1.2はローリング角を30度とした場合における方位角誤差(縦軸)を仰角θをパラメータとして、ベアリング角φ(横軸)に対して求めたものである。

この結果から仰角の高い場合、即ち衛星の位置が天頂に近いときベアリング角90度および270度付近において方位角誤差が急激に変化し、いわゆるジンバルロック状態を呈することが分る。同様な誤差角をピッチング角に対して求めれば、ベアリング角0度および180度付近においてジンバルロック状態を呈する。即ち衛星が船体に固定された軸(AZ軸)の延長方向付近でジンバルロックが起ることを示している。

(a) AZ-ELマウント方式

AZ-ELマウントでは、方位角を制御するAZ軸を甲板面に対して垂直に設備し、このAZ軸上に仰角を制御するEL軸を両軸が直交するように支持し、アンテナはこのEL軸に固定される。この支持法においては、船舶の動揺に伴ない、図1.1.1.2に示されたように、大きな見かけの方位角変動が生ずるので、この方位角変動を修正して追尾する必要がある。この修正は衛星に対する相対方位角（ベアリング角） $\varphi$ 、仰角 $\theta$ 、ローリング角 $\delta$ およびピッチング角 $r$ から計算機により修正方位角 $\varphi'$ および修正仰角 $\theta'$ を求め、この角度指令により各軸を制御することで行なわれる。

次にこの $\varphi'$ および $\theta'$ を求めてみる。

計算に用いる座標記号の定義を図1.1.1.3に示す。図1.1.1.4にはローリング角 $\delta$ およびピッチング角 $r$ が零である場合の座標を $X, Y, Z$ で表わし、ピッチング角 $r$ を考慮して座標変換した新座標を $X_1, Y_1, Z_1$ で表わす。更に、ローリング角 $\delta$ を考慮に入れて座標変換した座標を $X_2, Y_2, Z_2$ で表示することとする。

ピッチング角 $r$ およびローリング角 $\delta$ によって新たに設定された座標系は次のように示される。

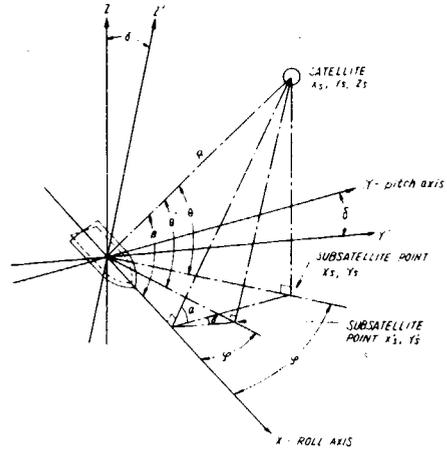


図1.1.1.1 衛星に対する見かけの方位角、仰角とローリングの関係

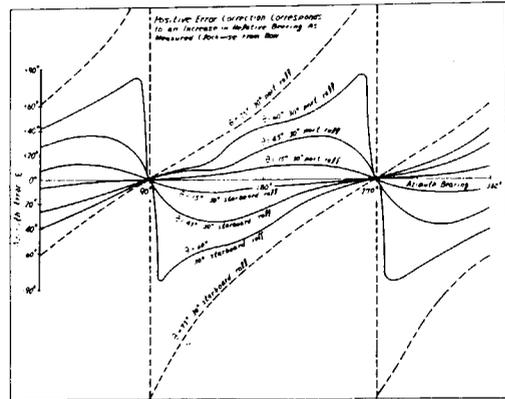


図1.1.1.2 ローリングによる見掛けの方位角変動 (ローリング角: 30°一定)

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta & \sin \delta \\ 0 & -\sin \delta & \cos \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos r & 0 & \sin r \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin r & 0 & \cos r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos r & 0 & \sin r \\ -\sin r \sin \delta & \cos \delta & \cos r \sin \delta \\ -\sin r \cos \delta & -\sin \delta & \cos r \cos \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \dots (1.1.1.5)$$

この $(x, y, z)$ および $(x_2, y_2, z_2)$ を極座標表示すれば

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta' & \cos \varphi' \\ \cos \theta' & \sin \varphi' \\ \sin \theta' \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \cos \varphi \\ \cos \theta & \sin \varphi \\ \sin \theta \end{pmatrix}$$

となる。これらの式から

$$\cos \theta' \cos \varphi' = \cos r \cos \theta \cos \varphi + \sin r \sin \theta \dots\dots\dots (11.1.6)$$

$$\cos \theta' \sin \varphi' = -\sin r \sin \delta \cos \theta \cos \varphi + \cos \delta \cos \theta \sin \varphi + \cos r \sin \delta \sin \theta \dots\dots\dots (11.1.7)$$

$$\sin \theta' = -\sin r \cos \delta \cos \theta \cos \varphi - \sin \delta \cos \theta \sin \varphi + \cos r \cos \delta \sin \theta \dots (11.1.8)$$

となり修正制御量  $\varphi'$  および  $\theta'$  は次式で求められる。

$$\varphi' = \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos \delta \cos \theta \sin \varphi - \sin r \sin \delta \cos \theta \cos \varphi + \cos r \sin \delta \sin \theta}{\cos r \cos \theta \cos \varphi + \sin r \sin \theta} \right\} \dots (11.1.9)$$

$$\theta' = \sin^{-1} \left\{ \cos r \cos \delta \sin \theta - \cos \theta (\sin \delta \sin \varphi + \sin r \cos \delta \cos \varphi) \right\} \dots\dots (11.1.10)$$

ここで、ヨーイング角および船の針路変更はジャイロコンパスからの情報を  $\varphi$  の値にとり込むことにより修正することができる。このAZ-ELマウント方式では船の針路変更ならびに天頂付近での追尾に際し、AZ軸がエンドレスで回転出来ることが望ましく、この場合には、船体側固定とAZ軸以上に設けられる各部との接続ケーブルはその間にロータリジョイントやスリップ・リングを設ける必要がある。接続ケーブルを撚回ケーブルとする場合にはAZ軸の回転角範囲が制限を受けることになり、この回転限界角度において制御の不連続が生ずることになる。

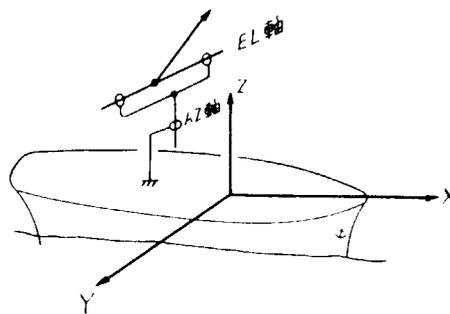
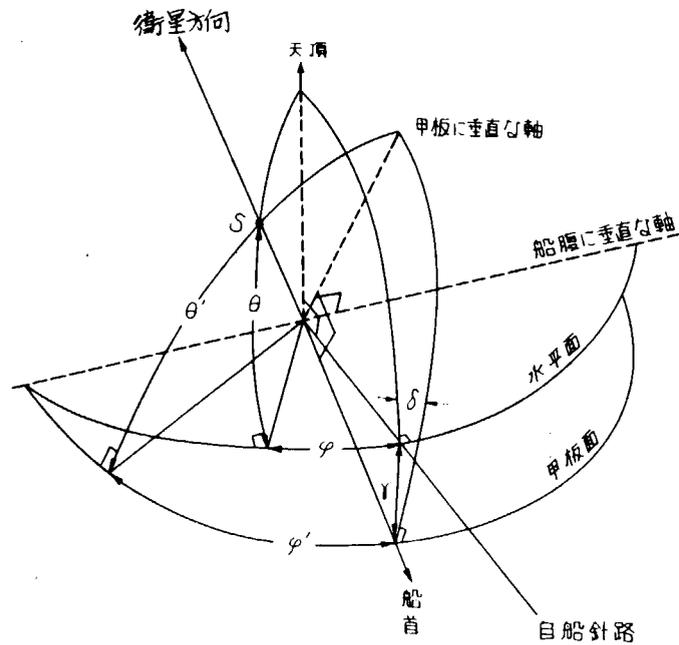
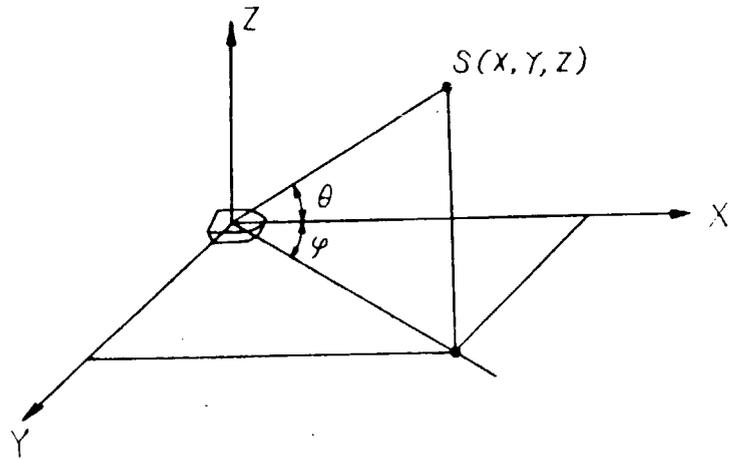
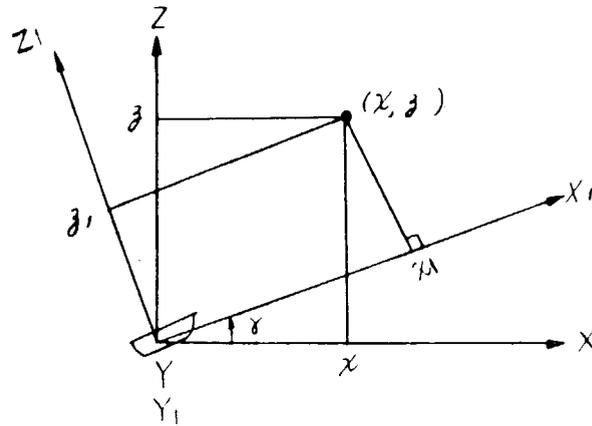


図 11.1.3 AZマウント方式構成概念およびその座標

- ① ローリング角  $\delta$ , ピッチング角  $\gamma$  が零である場合



- ② ピッチング角  $\gamma$  を考慮に入れた  $X_1, Y_1, Z_1$  座標系は  $(X, Y, Z)$  を  $Y$  軸を中心に  $\gamma$  だけ回転した座標系となる。



- ③ ローリング角  $\delta$  を考慮に入れた  $X_2, Y_2, Z_2$  座標系における目標の位置は  $X_1, Y_1, Z_1$  座標系を  $X_1$  軸を中心に  $\delta$  だけ回転した座標系になる。

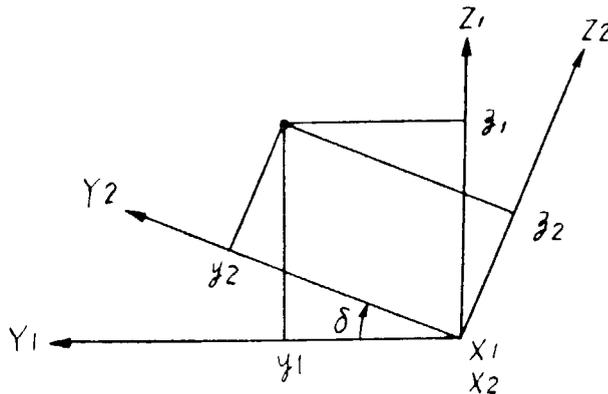


図 11.1.4 AZマウント方式のローリング、ピッチング座標

(b) X-Yマウント方式

X-YマウントはX軸を甲板面に対して平行に設置し、Y軸をX軸に両軸が互に直交するように支持し、アンテナはY軸に固定されたものである。このマウント方式では前述のジンバルロック現象はX軸方向付近に衛星をみる場合に生ずる。このマウントの利点としては、前述の接続ケーブルが360度未満の屈曲で仰角零度以上の全天空指向が可能であり連続無制限に指向方向制御ができる点、ならびに船の動揺のうちローリングに対する修正が容易な点があげられる。

X-Yマウントを船に設置する方法として、X軸をキールと平行にすればローリングはX軸廻りの回転と同一とみなすことができる。従って、X軸の回転角制御は水平面からみた衛星角度情報に従ってX軸に与えるべき回転角から、船のローリング角を差引いた角度指令でX軸を制御することによりローリング角の修正が簡単に行なえる。

次にX-Yマウントの特性について述べる。このマウントと船との関係およびその座標を図11.1.5のようにとる。一般に、衛星に対する方位角および仰角情報から、このマウントのX軸およびY軸に与える角度は次の式で求められる。

$$\xi = \tan^{-1}(\cot \theta \cdot \sin \varphi) \dots\dots\dots (11.1.1.1)$$

$$\eta = \sin^{-1}(\cos \theta \cdot \cos \varphi) \dots\dots\dots (11.1.1.2)$$

ここで  $\xi$  : X軸の回転角で天頂を0°として土にとる。

$\eta$  : Y軸の回転角で  $\xi$  が0°の時の天頂を0°として土にとる。

$\theta$  : 仰角で水平を0° 天頂を90°とする。

$\varphi$  : 水平方位角で船首方向を0°とし±180°あるいは0~360°とし、上からみて時計廻りを+とする。

図11.1.6および図11.1.7はそれぞれ  $\theta$  をパラメータとして  $\xi$  と  $\varphi$ 、および  $\eta$  と  $\varphi$  の関係を表わしたものである。この図11.1.6から分かるように仰角  $\theta$  が小さい時に、水平方位角  $\varphi$  が0° および180° (衛星を船首あるいは船尾方向にみるとき)の附近でX軸の角度  $\xi$  の値が急激に変化する。この状態がX-Yマウント方式におけるジンバルロック現象である。

Az - El → X, Yの変換

船とX-Yマウントの配置関係

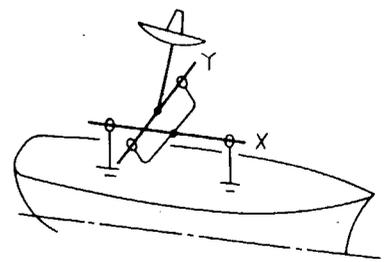
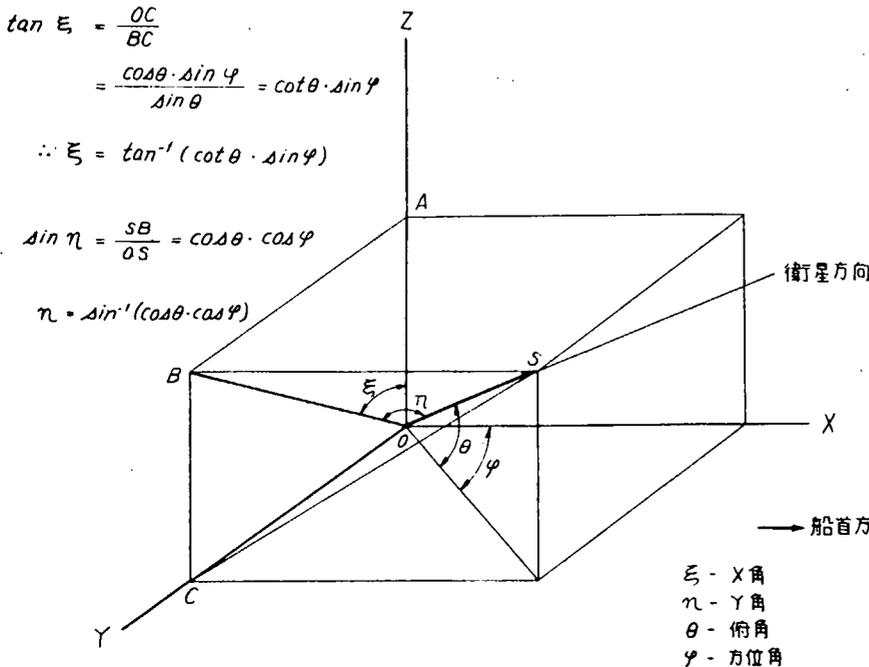


図 11.1.5 X-Yマウント方式構成概念図およびその座標

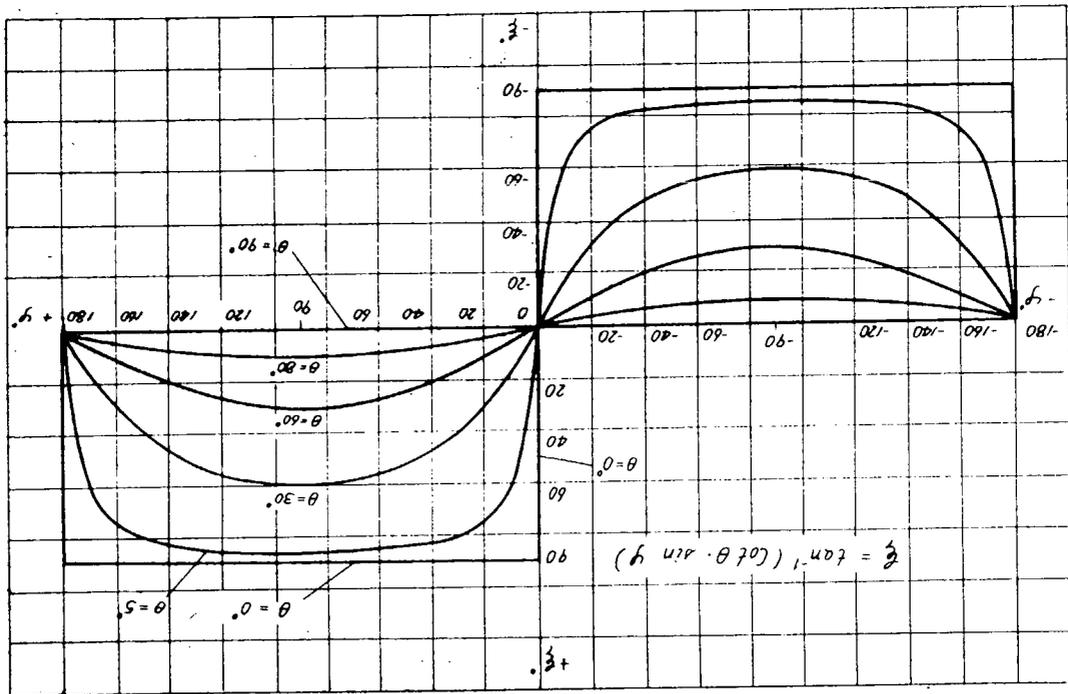


図 11. 1. 6 方位角、仰角とX軸角との関係

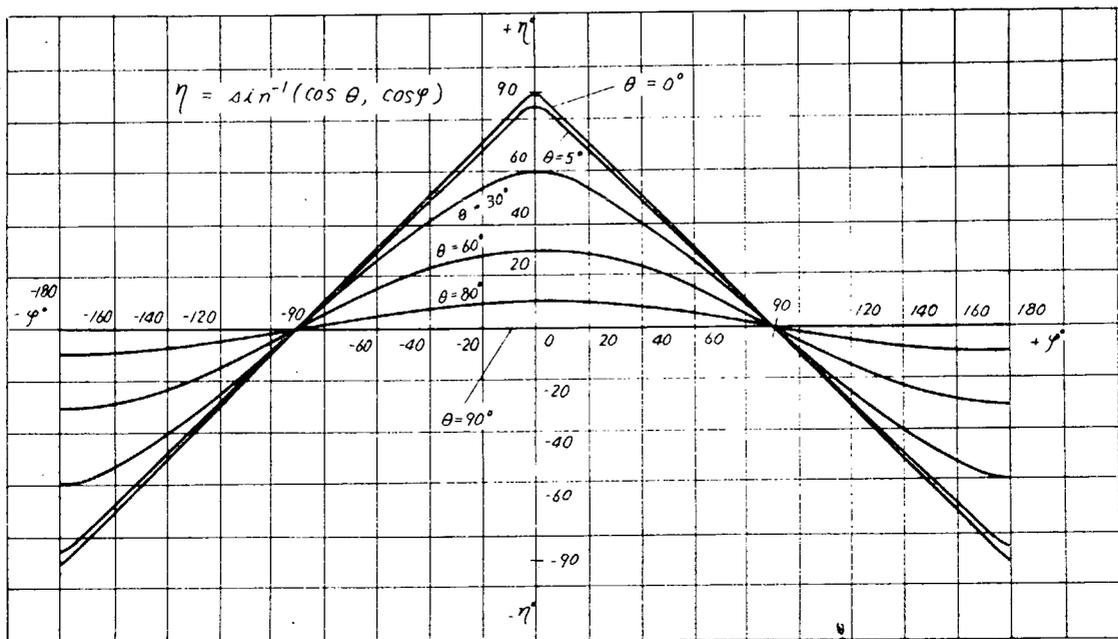


図 11. 1. 7 方位角、仰角とY軸角との関係

(3) 3軸支持方式

3軸支持方式は2軸支持方式におけるジンバルロック現象を回避することを主な目的として考えられたものであり、ここでは3軸支持方式の代表的な例としてY'-X-YマウントおよびAZ-cross EL-ELマウントについて検討する。

(a) Y'-X-Yマウント方式

このマウントはX-Y2軸マウントにおいて衛星の方向が低仰角で船首尾方向にある時に生ずるジンバルロック現象を避けるためのマウントである。図1.1.1.6に示すように $\varphi=0$ の近くでは $\varphi$ に対して $\xi$ の変化が著しいことがわかるが、もし、船からみた仰角 $\theta$ を大きくすれば同図からわかるように、 $\xi$ の変化を緩和できることが明らかとなる。すなわち、衛星を船首方向の低仰角にみる時は、X-Yマウント全体を前方に傾けてやればよい。この目的のために、X-YマウントにY'なる新しい回転軸を加えたものが、ここで云うY'-X-Yマウントである。このマウントの各軸と船との設置関係を図1.1.1.8に示す。

ここで、Y'軸：船首尾線に直交し、甲板面に平行な軸

X軸：Y'軸上にありY'軸に直交し、船首尾線を含む面内にある。

Y軸：X軸上にあり、X軸に直交し、X軸の回りに回転可能な軸で、Y'軸とは平行関係にある。

次に、本マウントの動作について検討する。衛星を船首尾方向の低仰角 $\theta$ にみる場合、X-Yマウント全体をY'軸まわりに $r$ だけ傾けたとすればX-Y軸に関して考えると、 $r$ だけピッチングを起したと同じである。このときのX軸、Y軸回りの角度を $\xi'$ 、 $\eta'$ とするとその値は次のようにしてもとめられる。即ち、衛星の方位角 $\varphi$ 、仰角 $\theta$ とすると、 $r$ だけ傾いた座標で見た方位角、仰角( $\varphi'$ 、 $\theta'$ )は前述のAZ-ELマウントのピッチングの式により

$$\left. \begin{aligned} \varphi' &= \varphi + \Delta\varphi_p = \cot^{-1}(\cot\varphi \cdot \cos r + \tan\theta \cdot \operatorname{cosec}\varphi \cdot \sin r) \\ \theta' &= \theta + \Delta\theta_p = \sin^{-1}(\sin\theta \cdot \cos r - \cos\theta \cdot \cos\varphi \cdot \sin r) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.1.3)$$

で表わされる。ピッチングによるこれをX軸及びY軸の角度 $\xi'$ 、 $\eta'$ で示すと

$$\left. \begin{aligned} \xi' &= \tan^{-1}(\cot\theta' \cdot \sin\varphi') \\ \eta' &= \sin^{-1}(\cos\theta' \cdot \cos\varphi') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.1.4)$$

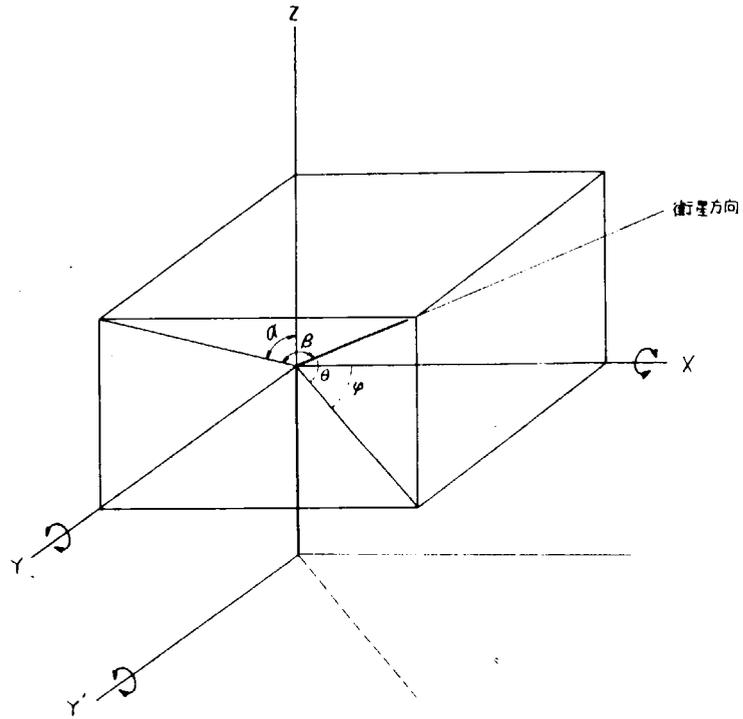
となる。

図1.1.1.9は衛星の仰角を $5^\circ$ とし、水平方位 $\varphi$ が船首尾 $\pm 30^\circ$ の範囲にある時にY'軸を $25^\circ$ 傾けた状態にして方位角 $\varphi$ とX軸の回転角 $\xi$ の関係を計算したものである。ここで衛星を船尾に望む場合はY'軸を $r$ だけ後方に傾ければよい。したがって、 $-r$ のピッチングが発生した場合と考えれば良い。図は船首尾方向において衛星の方位角 $\varphi$ の変化に対する $\xi$ の変化がY'軸回りに $25^\circ$ 傾けることによって点線から実線の如く緩和される様子を示している。

衛星が水平面から $\theta$ の低仰角にあるとき実際に $r$ のピッチングがあれば船から見た衛星の仰角は $\theta - r$ となる。もし $(\theta - r)$ が負となれば方位角 $\varphi = 0^\circ$ あるいは $\pm 180^\circ$ をまたがって $\varphi$ が変化した時にはX軸の角度 $\xi$ は一挙に $360^\circ$ ( $+180^\circ \rightarrow -180^\circ$ あるいはその逆)変化しなければならぬことになり、ジンバルロック現象が生ずる。(図1.1.1.6参照)

ここでY'軸を $r'$ だけ前方に傾けて、マウントからみた衛星の仰角を正にしてやればジンバルロック現象が解消される。船が $r$ のピッチングをしている状態においてY'軸を $r'$ 軸だけ傾けた場合、船からみて $(r-r')$ のピッチングを生じたときと等価となる。図1.1.1.10は衛星の仰角を $5^\circ$ とし、水平方位 $\varphi$ が船首尾 $\pm 30^\circ$ の範囲で、かつピッチング角が $10^\circ$ ある時にY'軸を $25^\circ$ 傾けた状

態におけるX軸 $\xi$ の角度を示している。ただし、 $\varphi = 150^\circ \sim 180^\circ$  及び  $-150^\circ \sim -180^\circ$  の間では $+35^\circ$ のピッチングがあったとして、また、 $\varphi = 30^\circ \sim 150^\circ$  及び  $-30^\circ \sim -150^\circ$  の間では $10^\circ$ のピッチングのみによる $\xi$ の値である。



船とY'-X-Y マウントの配置関係

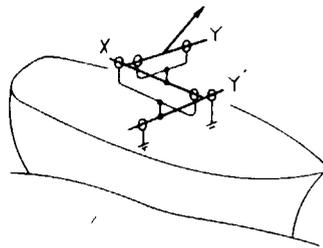


図 11.1.8 Y'-X-Yマウント方式の軸構成概念図とその座標

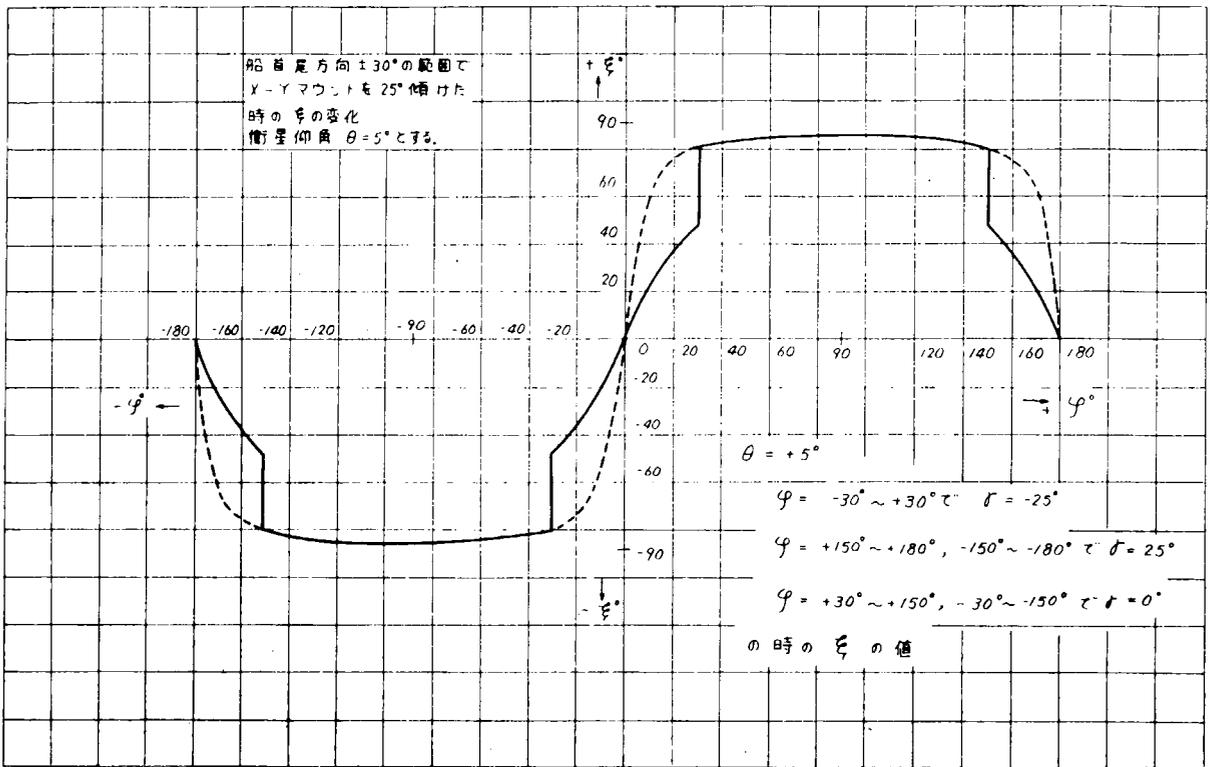


図 11.1.9

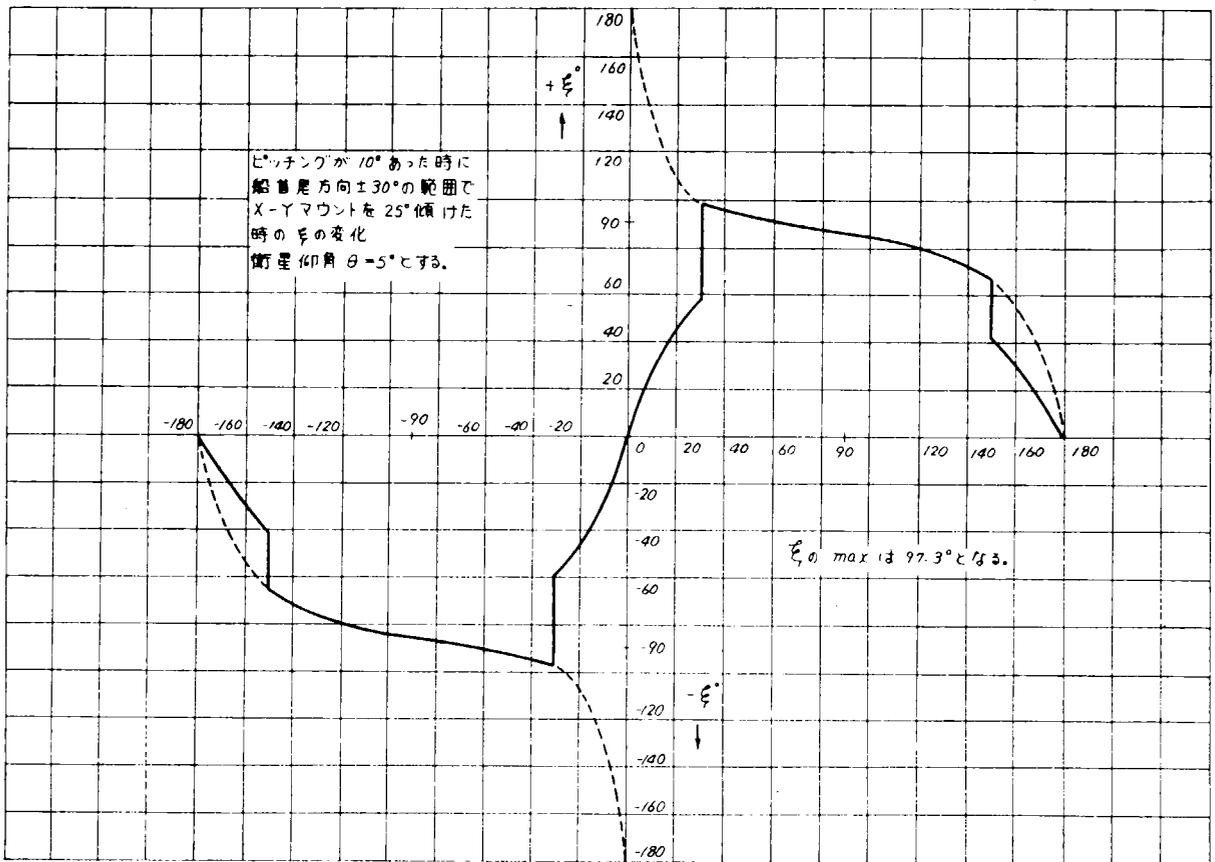


図 11.1.10

(b) AZ-cross EL-ELマウント方式

このマウントは船の甲板面と垂直にAZ軸を設置し、このAZ軸上にAZ軸と直交してcross EL軸を支持し、このcross EL軸上に、この軸と直交してEL軸を設け、このEL軸にアンテナを取付けたものである。この関係を図1.1.1.1に示す。このマウント方式では、動揺検出器の出力によりcross EL軸およびEL軸を制御し、EL軸が水平で、かつ、仰角も船の動揺に対して変動しないよう安定化する。また、方位方向は、cross EL軸が衛星の方位を指向するようAZ軸で制御する。このマウント方式において、船のローリングおよびピッチング角を検出する動揺検出器を船体に固定する場合と、これをAZ軸上に取付ける場合とが考えられる。ここでは、動揺検出器の2つの検出軸が、それぞれcross EL軸およびEL軸と平行となるようにして、AZ軸上に動揺検出器を取付ける場合を考えた。こうすることにより、cross EL軸およびEL軸のローリングおよびピッチングによる動揺修正が、この動揺検出器の出力で直接行なえることになる。

この動揺検出器の2つの検出軸の出力はAZ軸が回転するため、船のローリングおよびピッチング角を検出することにはならないが、船のローリング、ピッチングによるAZ軸の修正はこの動揺検出器出力を利用して、次のように行なうことができる。図1.1.1.2において、X、Yは甲板が水平である時のcross EL軸(X軸)およびEL軸(Y軸)の方向を示す。船体が水平な状態からAA'軸を中心に角度 $\theta_i$ 傾いた場合について考えると、X点はX'点に、Y点はY'点にそれぞれ移動する。この状態から、cross EL軸の方向と衛星の方向(方位方向)とを一致させ、アンテナを衛星に向けるための動作は次のようになる。

- ① まず、AZ軸を $\angle X'OB$ だけ回転し、cross EL軸の方向をB点まで移動する。この時Y'点はY'点まで移動する。この状態では動揺検出器の出力は $\theta_y, \theta_x$ となる。
- ② 次にcross EL軸を $\theta_x$ だけ回転する。この時EL軸の方向はY'点からY点まで移動する。
- ③ 最後にEL軸を $\theta_y$ だけ回転する。この時アンテナ方向が衛星の方向と一致する。

ここで動揺角 $\theta_i$ により生じた方位角誤差 $\angle X'OB(\Delta\varphi_i)$ と $\theta_y, \theta_x$ との関係を計算する。球面三角 $AYY'$ において、

$$\cos \varphi_i = \frac{\sin \theta_x}{\sin \theta_i} = \frac{\cos(\varphi_i + \Delta\varphi_i)}{\cos \theta_x} \dots\dots\dots (1.1.1.15)$$

球面三角 $ABX$ において

$$\frac{\sin \theta_y}{\sin \theta_i} = \sin(\varphi_i + \Delta\varphi_i) = \frac{\sin \varphi_i}{\cos \theta_x} \dots\dots\dots (1.1.1.16)$$

ここで $\Delta\varphi_i = \angle X'OB$

式(1.1.1.15)および(1.1.1.16)より $\varphi_i$ を消去すると、方位角誤差 $\Delta\varphi_i$ は、

$$\Delta\varphi_i = \tan^{-1} \frac{\tan \theta_y}{\sin \theta_x} - \tan^{-1} \frac{\sin \theta_y}{\tan \theta_x} \dots\dots\dots (1.1.1.17)$$

で与えられる。

次に図1.1.1.2のように船体が傾いた場合のヨーイング検出器の出力を計算する。船体が水平な状態の時の船首方向をORすれが、 $\angle ROX$ がベアリング角 $\varphi$ となる。船体が図のように傾くと、RはR'点に移動する。OR'を水平面に投影した直線をOr'とすると $\angle ROr'$ がヨーイング検出器の出力となる。これを $\Delta\varphi_i'$ で表わすと $\angle ROA = \varphi + \varphi_i = \angle R'OA$ であるから、

$$\tan(\varphi + \varphi_i - \Delta\varphi_i') = \tan(\varphi + \varphi_i) \cdot \cos \theta_i \dots\dots\dots (1.1.1.18)$$

$$\Delta\varphi_i' = \varphi + \varphi_i - \tan^{-1} \left\{ \tan(\varphi + \varphi_i) \cdot \cos \theta_i \right\} \dots\dots\dots (1.1.1.19)$$

となる。

以上をまとめると図のように船体が傾いた場合のアンテナを衛星に向けるための各軸の制御量はcross EL軸に関して $\theta_x$ , EL軸に関して $\theta_y$ , およびAZ軸に関して $\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_i'$ となる。

この計算を数値計算機で行なうとし、計算による追尾誤差を0.5度以内に収めるものと仮定し、これに必要な計算機を想定すると、データ出力レート約50msとし、演算桁数16ビット、サイクルタイム2 $\mu$ s以内程度のCPUが必要となる。周辺回路として、A/DコンバータおよびD/A

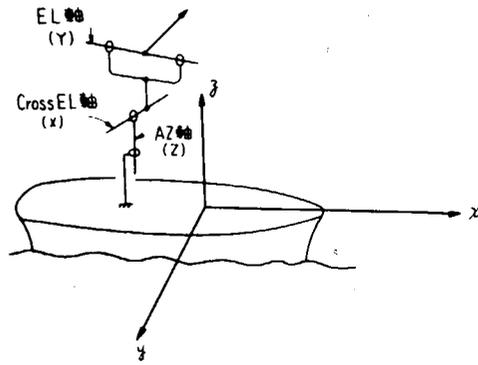


図1.1.1.1 AZ-cross EL-ELマウント方式軸構成概念図

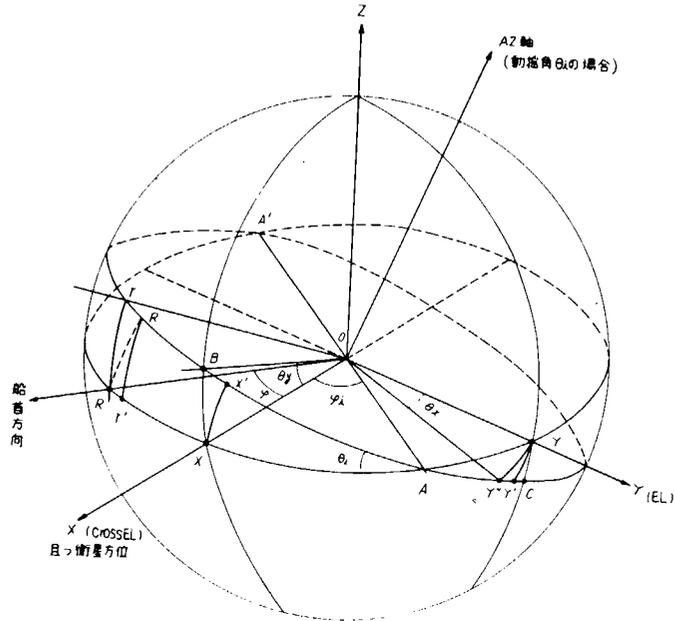


図1.1.1.2 AZ-cross EL-ELマウント方式の座標

コンバータを用意し、最近使用されつつあるマイクロプロセッサを用いるとすると、この計算装置の大きさは従来のミニコンピュータ本体よりも若干小形に構成することが可能と思われる。

(4) 4軸支持方式

4軸支持方式としてはX-Yマウントの上にAZ-ELマウントを配したマウント形式が最も有効であると考えられる。この支持方式はX-Yマウント部で船のローリングおよびピッチングを修正した、いわゆるステーブルプラットフォームとし、この上にAZ-ELマウントを設けるものである。この支持方法の特徴としては、

- (a) 座標変換装置が不要である。
- (b) X-Yマウントを水平に保つための動揺角検出器は必ずしも角度を量として検出する必要はなく、水平時において出力が零となる比較的簡単なもので良く、このマウント部制御系を、いわゆるスルメソッドで制御することができる。
- (c) X-Yマウント部の上部に設けられたAZ-ELマウントはEL軸上にアンテナが取付けられることになり、このアンテナ指向方向制御は普通外部から与えられるAZ-EL形式の指向角度指令をそのままAZ-EL軸制御系に与えることが可能である。
- (d) 船のヘディング、ヨーイング角度補正も船のジャイロコンパス等から得られる角度情報をそのままAZ軸制御指令に重畳させることで容易に達成することができる。

(5) 各支持方式の比較

これまで検討した各種回転支持方式の特徴についてまとめ、一覧表として表1.1.1.2に示した。ジバルロックは2軸方式では避けられず、これを回避するために考えられた3軸以上の方式では当然ながらこの問題はなくなる。アンテナの指向方向の角度表示ならびに外部から指向方向指令として与えられる指令入力形式を衛星に対する方位角、仰角とする場合に必要な座標変換機能は、動揺に

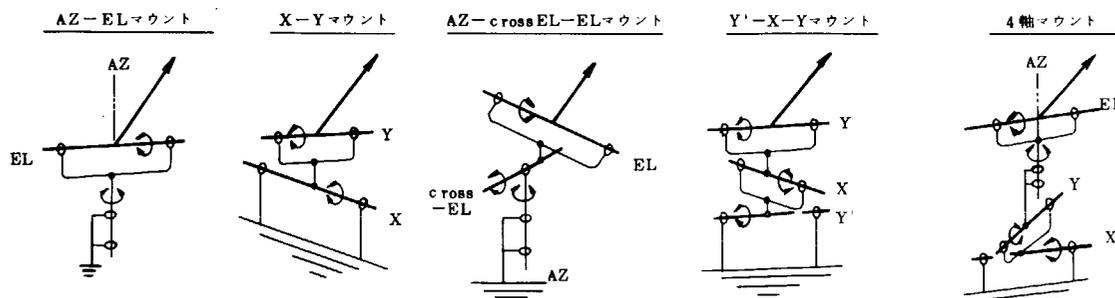
よる修正を別にすれば、各軸方式のうちAZ-EL軸を持たないマウント方式で必要になる。

船の動揺の影響を修正するため、動揺検出器の検出角を動揺修正を行なう軸回りの回転角に変換する計算機能が4軸支持方式を除き必要となる。ローリングおよびピッチングの動揺検出方法としては、4軸支持方式では前述の通り簡単な零点検出器を使用することができるが、他の2軸および3軸支持方式では、いずれも動揺角の絶対値を出力とする検出器が必要となり、この検出器の精度が動揺修正誤差に影響する。

装置の構成としては、軸構成の面からみれば、4軸支持方式がこの中では最も複雑であるが、上述の各座標変換機能の必要性を考慮すると、装置全体としては逆に4軸支持方式が最も経済的に構成できる可能性があると考えられる。

表1 1.1.2 アンテナマウント方式の比較

マウント方式 項目	2軸方式		3軸方式		4軸方式
	AZ-EL	X-Y	<sup>Cross</sup> AZ-EL-EL	Y'-X-Y	
ジnPアルロック	天頂	船首尾	——	——	——
角度表示、指令のための座標変換	不要	要	不要	要	不要
動揺修正のための座標変換	要	要	要	要	不要
動揺検出方法	動揺角検出		動揺角検出		零点検出
装置構成	複雑		複雑		簡単



#### 1.1.1.4 機械的追尾空中線の事例

海外には既に製品化され、あるいは製品化されたと見做される機械的追尾空中線があり、カタログあるいは文献に発表されている。これら空中線装置の外観を図1.1.1.3～図1.1.1.5に示す。

図1.1.1.3-(a)はやや古い資料によるものであるが、AMI社のX-Yマウントアンテナである。直径約1 m、ラドームを使用せず、モノパルス追尾方式を採用している。図1.1.1.3-(b)はAii社の3軸マウントアンテナで、AZ-ELに一軸を追加したAZ-EL-cross ELマウント方式と呼べるもので、AZ軸は主にアンテナの方位角設定のみに使用し、船舶の動揺に対する修正は主にEL-cross EL軸によるものと思われる。図1.1.1.4はマルコニ社のもので、7～8 GHzで使用されたもので、AZ-cross EL-ELマウント方式による三軸方式である。1.1.1.3-(b)で検討した方式と同じくEL軸が水平となるように制御されるが、動揺検出器がEL軸の上に設けられた安定台上に設置されている点が異なる。安定台を作るためには、3軸の他に更にEL軸に平行な軸が用いられており、合計4軸が用いられている。図1.1.1.5(a)はScientific Atlanta社のもので、(b)はMagnavox社のもので何れもX-Y-AZ-ELの4軸マウント方式を用いており、MARISATシステム用として生産されたものである。前者はRoll(X), Pitch(Y)の安定化のため動揺検出器とサーボ制御装置による能動制御を行なっているのに対し、後者はジンバル機構とフライホイールによる受動安定化方式を採用している。

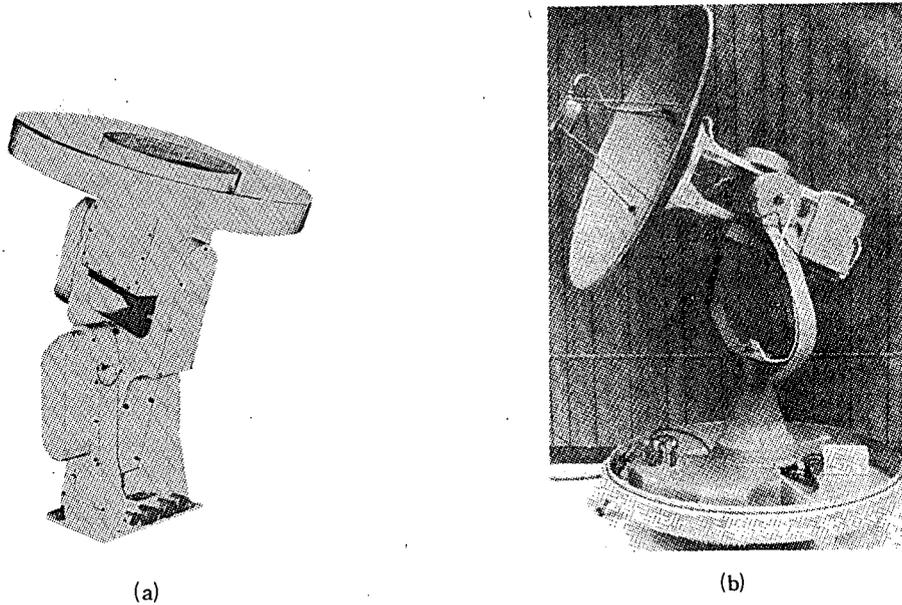
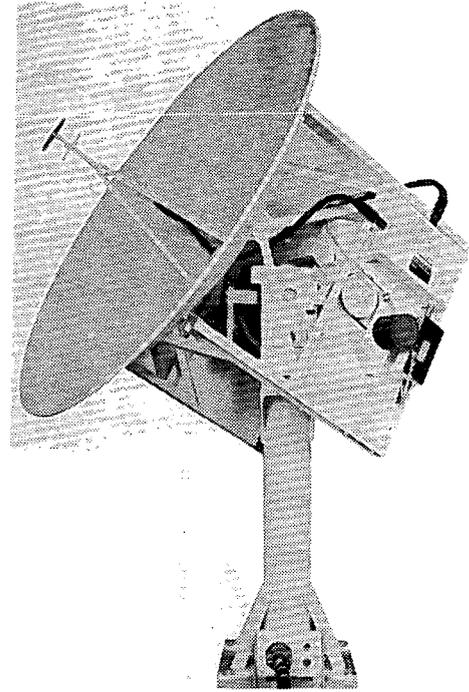
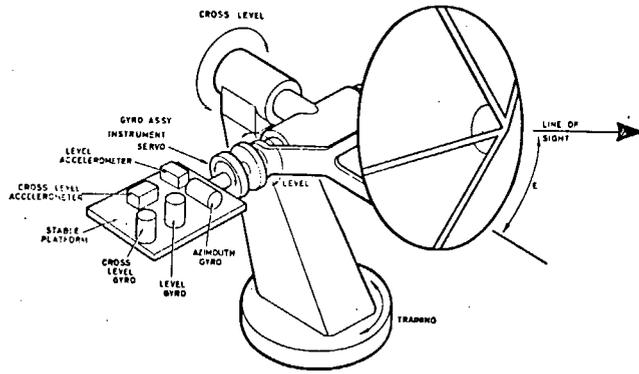
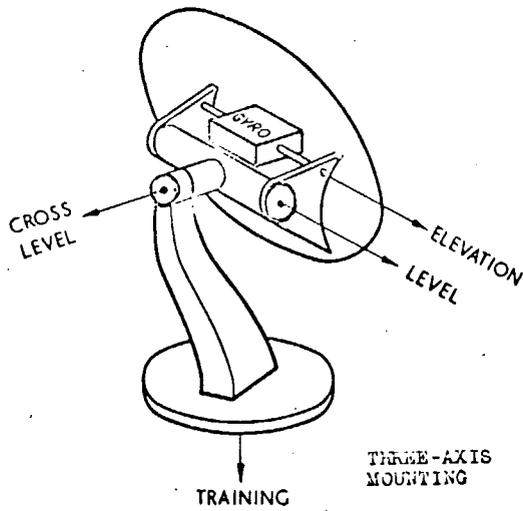


図 1.1.1.3 機械的追尾空中線の事例(その1)

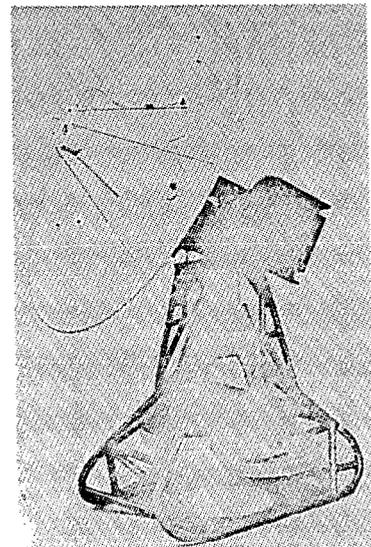


(a)



THREE-AXIS MOUNTING

図 11. 1. 14 機械的追尾空中線の実例 (その 2)



(b)

図 11. 1. 15 機械的追尾空中線の実例 (その 3)

### 1.1.1.5 機械的追尾空中線の研究関係 参考文献

- (1) 社団法人 日本造船研究協会第145研究部会 研究資料№227 昭和50年3月  
「静止気象衛星による気象情報の自動送受信システムに関する研究報告書」
- (2) 社団法人 日本造船研究協会第150研究部会 研究資料№231 昭和50年3月  
「衛星を利用した船舶の運航システム及び船上設備の研究報告書」
- (3) 日本無線KK 「海事衛星用船舶搭載空中線の研究」(SR-150-幹-16-11)
- (4) 北村直正 「衛星通信システムにおける船用アンテナマウント」  
機械の研究 Vol.27, №7, 昭和50年7月
- (5) G.P.Heckert. 「Investigation of L-band Shipboard Antennas for Maritime Satellite Applications」N72-24161, Final Report to NASA.  
AMI NASW-2165. 2, Feb. 1972.
- (6) Thomas J. Kelly. S/A 「The Marisat Communication System」  
IEEE National Telecommunications Conference, San Diego, Dec. 3, 1974
- (7) F. Georgia, I.King & R.Mathews, 「A Maritime Mobile Terminal for Commercial Communications Satellite Applications」  
ICC. 1974, Session 27. (SR-150-幹5-WG6の内)
- (8) D. Surenian 「Shipboard Satellite Communications Terminal AN/WSC-2」  
Electrical Communication, Vol. №3, 1974
- (9) G. Harries & K.Milne, 「The Design of Shipborne Satellite Terminals」  
IEE Conference Publication №63, 20. Apr. 1970.
- (10) G. Harries & E.J. Stannard 「A Small Communications Terminal (SCOT)」  
IEE Conference Publication. №63. 20. Apr. 1970.
- (11) J.G. Chaplin, 「Some Aspects of Ship Terminal Design for Pre-Operational Maritime Satellite Systems」  
Satellite Communication Systems Technology, 7~10, Apr. 1975.  
(SR-150-幹-16-3)
- (12) O.J. Hanas & M.E.Illikainen, 「Shipboard Terminals for the Commercial MARISAT System」  
Microwave Journal June, 1975.

## 1.1.2 電子的追尾空中線

### 1.1.2.1 研究方針

電子的追尾空中線としては、フェーズドアレイとレトロディレクティブ(向逆指向)アレイの2通りが考えられるが、フェーズドアレイは多数の移相器と各移相器の移相量の制御回路を必要とし、一般に複雑高価となる。一方レトロディレクティブアレイは位相コンジュゲート(共軛)回路により自動的に到来波の方向に送信波の指向特性が向くように位相制御が行なわれるもので、原理的にフェーズドアレイよりは簡単化される可能性が大きい。そこでここではレトロディレクティブアレイ空中線をテーマとして取上げ、理論的検討と基礎的実験を行ない、将来の海事衛星船舶局装置への実用化の可能性および問題点等を研究する。

### 1.1.2.2 レトロディレクティブアレイの原理

#### (1) Van Atta アレイ

レトロディレクティブ（向逆指向性）空中線とは、電波の到来方向に向けて電波を送り返すことができるようなアンテナシステムの総称であり、能動回路を用いないものでは、図 1.1.2.1 に示す Van Atta アレイが有名である。

#### (2) 位相コンジュゲート回路の使用

Van Atta アレイは単にリフレクタとしての動作しか行なえず、情報の送受ができない。また、1次元のビーム偏移しかできない。この欠点を除くために位相コンジュゲート（共軛）回路を用い、図 1.1.2.2 に示すように受信波と共軛な位相の送信波をその受信アンテナから送信させると、受信電波の到来方向において各アンテナからの送信電波の位相がすべて一致し、到来方向が2次元的变化をしても常にその方向に最大の指向特性を持つように動作する。また送信波に変調をかけ情報を送ることも可能となる。位相コンジュゲート回路は、位相同期ループと周波数コンバータの組合せによって実現できる。

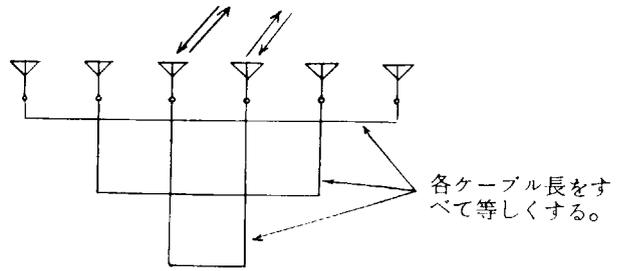


図 1.1.2.1 Van Atta アレイ

#### (3) 受信周波数と送信周波数の相違によるビームオフセット

実際に海事衛星システムに使う場合は、受信周波数と送信周波数が約 100 MHz 離れているため、完全な向逆指向性は得られずビームオフセットを生ずる。

図 1.1.2.3 のように、入射角  $\theta_1$  で受信パイロット波 ( $\omega_1$ ) が入射した時、基準アンテナでの入力位相を  $\phi_0$  とすると、基準アンテナから  $x$  離れたアンテナでの入力位相は  $\phi_0 - \omega_1 \frac{x}{c} \sin \theta_1$  となる。

位相コンジュゲート回路を通して送信波 ( $\omega_2$ ) を送り出すと、アンテナでの出力位相は  $-\phi_0 + \omega_1 \frac{x}{c} \sin \theta_1$  となる。この出力の、放射角  $\theta_2$  なる方角での、基準アンテナと並んだ波面での位相は

$$-\phi_0 + \omega_1 \frac{x}{c} \sin \theta_1 - \omega_2 \frac{x}{c} \sin \theta_2$$

となるから、

$$\omega_1 \sin \theta_1 = \omega_2 \sin \theta_2$$

の時、 $x$  に無関係にすべてのアンテナの位相が  $-\phi_0$  に揃い、最大の電界となる。

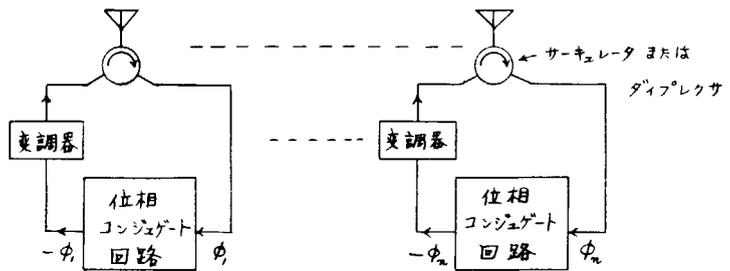
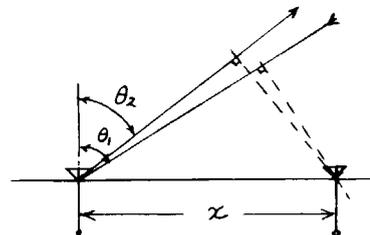


図 1.1.2.2 位相コンジュゲート回路を用いたレトロディレクティブアレイ



入力位相:  $\phi_0 - \omega_1 \frac{x}{c} \sin \theta_1$      $\phi_0$

出力位相:  $-\phi_0 + \omega_1 \frac{x}{c} \sin \theta_1 - \omega_2 \frac{x}{c} \sin \theta_2$

図 1.1.2.3 ビームオフセット

すなわち、入射角  $\theta_1$  に対して、出力波のビーム方向は

$$\theta_2 = \text{Sin}^{-1}\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \sin\theta_1\right)$$

となり、 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = \theta_1 - \text{Sin}^{-1}\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \sin\theta_1\right)$

のビームオフセットを生ずる。海事衛星システムの場合、 $\omega_1/\omega_2 \approx 15/16$  であるので、 $\omega_1/\omega_2 = 15/16$  の時の  $\theta_2$  および  $\Delta\theta$  を図 1.1.2.4 に示す。

図 1.1.2.4 でわかるように、 $\theta_1 \leq 40^\circ$  ではビームオフセットは  $3^\circ$  以下、 $\theta_1 \leq 60^\circ$  ではビームオフセットは  $6^\circ$  以下であるから、ビーム偏移 ( $\pm\theta_1$ ) が余り大きくない場合またはビーム幅が余り狭くない場合には、ビームオフセットは余り問題とならない。

(4) ビームオフセットの解消策

ビームオフセットをなくすためには、単なる位相コンジュゲートでなく、入力位相  $\phi_R$  に対して出力位相  $\phi_T$  を

$$\phi_T = -\frac{\omega_2}{\omega_1} \phi_R$$

とすれば良いが、これには分周回路を用いる必要があり、分周の際の位相のあいまいさの問題を解決するのがかなり困難である。

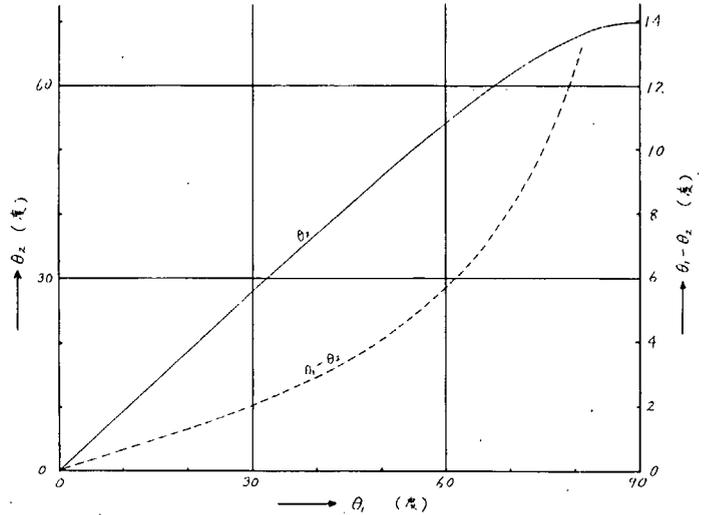


図 1.1.2.4 入射角対ビームオフセット

図 1.1.2.5 に示すように、送信アンテナ

と受信アンテナを分け、 $\omega_1 x_R = \omega_2 x_T$  と送受のアンテナ素子間隔を異ならせば、やはりビームオフセットはなくなるが、アンテナの素子数および総面積が 2 倍必要となる。

(5) 海面反射の影響

(a) ビームオフセットを解消した理想的な場合

入力位相を  $\phi_1$  とする時、出力位相を  $\phi_2 = -\frac{\omega_2}{\omega_1} \phi_1 + \text{const.}$  とする理想的な場合をまず考える。

到来波の反射前のある波面での位相を  $\phi_0$ 、その波面からあるアンテナ素子までの直接波の行路長を  $l_1$ 、反射波の行路長を  $l_2$ 、それぞれに対するアンテナの指向特性 (反射損を含む) を  $D_1, D_2$  とすると、そのアンテナ素子の入力電圧は、

$$E_{in} \propto D_1 e^{j(\omega_1 t + \phi_0 - \frac{\omega_1}{c} l_1)} + D_2 e^{j(\omega_1 t + \phi_0 - \frac{\omega_1}{c} l_2)}$$

これに対する出力電圧は、

$$E_{out} \propto D_1 e^{j(\omega_2 t - \frac{\omega_2}{\omega_1} \phi_0 + \frac{\omega_2}{c} l_1 + \text{const})} + D_2 e^{j(\omega_2 t - \frac{\omega_2}{\omega_1} \phi_0 + \frac{\omega_2}{c} l_2 + \text{const})}$$

したがって、元の波面での電界は、

$$E \propto E_{out} \times \left( D_1 e^{-j\frac{\omega_2}{c} l_2} + D_2 e^{-j\frac{\omega_2}{c} l_1} \right) \\ = \left\{ (D_1^2 + D_2^2) + 2D_1 D_2 \cos\frac{\omega_2}{c} (l_1 - l_2) \right\} e^{j(\omega_2 t - \frac{\omega_2}{\omega_1} \phi_0 + \text{const})}$$

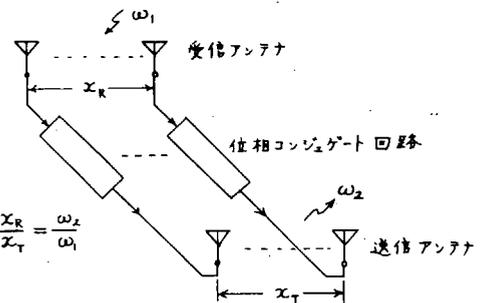


図 1.1.2.5 ビームオフセット解消策

となるが、この振幅は  $\ell_1 - \ell_2$  の値如何により  $(D_1 - D_2)^2$  から  $(D_1 + D_2)^2$  の間を変化し、フェーディングを生ずる。しかし、反射波の位相がランダム（ディフューズな反射）の場合は、多数のアンテナから合成電界を考えると、 $(D_1^2 + D_2^2)$  の部分はすべて同相に加算されるのに対し、 $2D_1 D_2 \cos \frac{\omega_2}{c}(\ell_1 - \ell_2)$  の部分はランダムに加算または減算されると思われるので、アレイ全体としてはダイバシティの効果を持ちフェーディングは圧縮されると考えられる。

ただし、これは反射波がディフューズな場合であって、スペキュラな反射に対しては  $2D_1 D_2 \cos \frac{\omega_2}{c}(\ell_1 - \ell_2)$  の部分もすべて同相に加算されるので、スペキュラな反射に対してはダイバシティ効果は生じない。

(b) 単なる位相コンジュゲートの場合

この場合は出力電圧は

$$E_{out} \propto D_1 e^{j(\omega_2 t - \phi_0 + \frac{\omega_1}{c} \ell_1 + \text{const.})} + D_2 e^{j(\omega_2 t - \phi_0 + \frac{\omega_1}{c} \ell_2 + \text{const.})}$$

となり、元の波面での電界は

$$E \propto E_{out} \times (D_1 e^{-j\frac{\omega_2}{c} \ell_1} + D_2 e^{-j\frac{\omega_2}{c} \ell_2}) \\ = \left( D_1^2 e^{j\frac{\omega_1 - \omega_2}{c} \ell_1} + D_1 D_2 e^{j\frac{\omega_1 \ell_1 - \omega_2 \ell_2}{c}} + D_2 D_1 e^{j\frac{\omega_1 \ell_2 - \omega_2 \ell_1}{c}} + D_2^2 e^{j\frac{\omega_1 - \omega_2}{c} \ell_2} \right) e^{j(\omega_2 t - \phi_0 + \text{const.})}$$

と、種々の位相の4つの項からなり、第2～第4項はフェーディングの原因となる。

しかし、多数のアンテナからの合成電界を考えると、反射波がディフューズな場合、第1項（往復とも直接波）のみはほぼ同位相で合成されるが、第2～第4項はランダムに合成されるので、若干のダイバシティ効果はあると考えられる。ただし、これはレトロディレクティブアレイ特有の効果とは云えず、単なるアレイアンテナの正面方向の合成電界に生ずる効果と同等であり、原理的にレトロディレクティブアレイに海面反射の影響を弱める効果があるわけではない。

### 1.1.2.3 素子アンテナの選定

この項ではレトロディレクティブアレイアンテナの素子決定のために行なった素子放射パターン測定の結果とその検討ならびに素子の入力インピーダンス測定結果を述べ、それらの結果をもとに今回の試作に適した素子の選定を行なう。

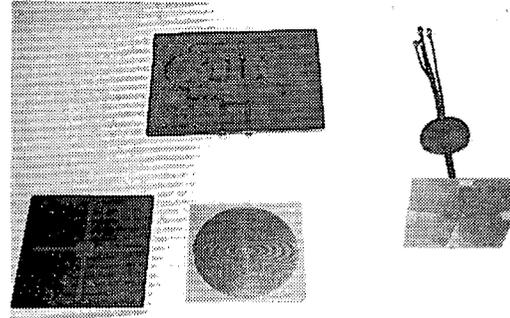
レトロディレクティブアレイの送信、受信それぞれの周波数における動作は、いわゆるフェイズドアレイと全く同等である。したがって試作予定の平面レトロディレクティブアレイでは平面フェイズドアレイと同様にビーム方向の正面からの偏位に伴う指向性利得の低下、グレーティングローブの発生、ビーム方向偏位に伴う素子入力インピーダンスの変化が問題となる。また、ビームを偏位させる面内における配列素子数が小さいアレイでは大きなアレイと違って指向性利得におよぼす素子パターンの影響が大きい。そこで3種類の放射素子について素子パターンの測定を行ない、その結果を用いて素子を方形配列にした場合の指向性利得を求め素子選定の資料とする。

(1) アンテナの指向性利得

平面アレイの指向性利得は素子パターンと素子配列、ならびに素子の動振振幅、位相が与えられればアレイの放射パターンを積分して求められる。ここでは素子パターンの測定結果を三角関数で近似し、これを用いて解析的に指向性利得を求めるという方法をとる。

(a) 素子パターンの測定

放射素子の候補としてターンスタイルアンテナ、スパイラルアンテナ、十字スロットアンテナの3種をとり上げた。いずれのアンテナもガラス繊維強化PTFE基板に張られた銅箔をフォトリソグラフィにより放射素子として成形したもので、同じ基板で作製した給電回路と共に図1.1.2.6に外観を示す。ターンスタイルアンテナは直交した長さ80mmの板状双扇形アンテナ2本を用いている。スパイラルアンテナは2線式アルキメデススパイラルを用い、外周周長を中心周波数で2波長(377mm)とした。十字スロットアンテナは1000×1000mmの地板上で長さ130mmのスロット2個を直交させ、後方に深さ20mm、150×150mmの空洞を取付けた。



十字スロット      スパイラル      ターンスタイル

図1.1.2.6 試作放射素子および給電回路

放射パターンは図1.1.2.7に示す構成により測定した。ターンスタイルアンテナ、スパイラルアンテナは地板からの高さを変化させた。測定結果を図1.1.2.8～図1.1.2.12に示す。測定結果からビーム半値幅を求めたものを図1.1.2.13に示す。この結果からターンスタイルアンテナとスパイラルアンテナは地板からの高さを変化させてやれば良く似た特性(パターン形状、ビーム半値幅)を示すことがわかる。なお、図1.1.2.12はhが0.35波長のスパイラルアンテナの主偏波成分および直交偏波成分を示すものである。

(b) アレイの指向性利得

平面アレイアンテナの指向性利得は次式により求めることができる。

$$D(\theta_0, \phi_0) = \frac{4\pi |A(\theta_0, \phi_0) \cdot E(\theta_0, \phi_0)|^2}{\int_{\text{全方向}} |A(\theta, \phi) \cdot E(\theta, \phi)|^2 d\Omega} \quad \dots\dots\dots (1.1.2.1)$$

ここで、 $A(\theta, \phi)$  はアレイの配列と励振電波分布により決まるアレイファクタであり、 $E(\theta, \phi)$  は素子パターンを表わす。

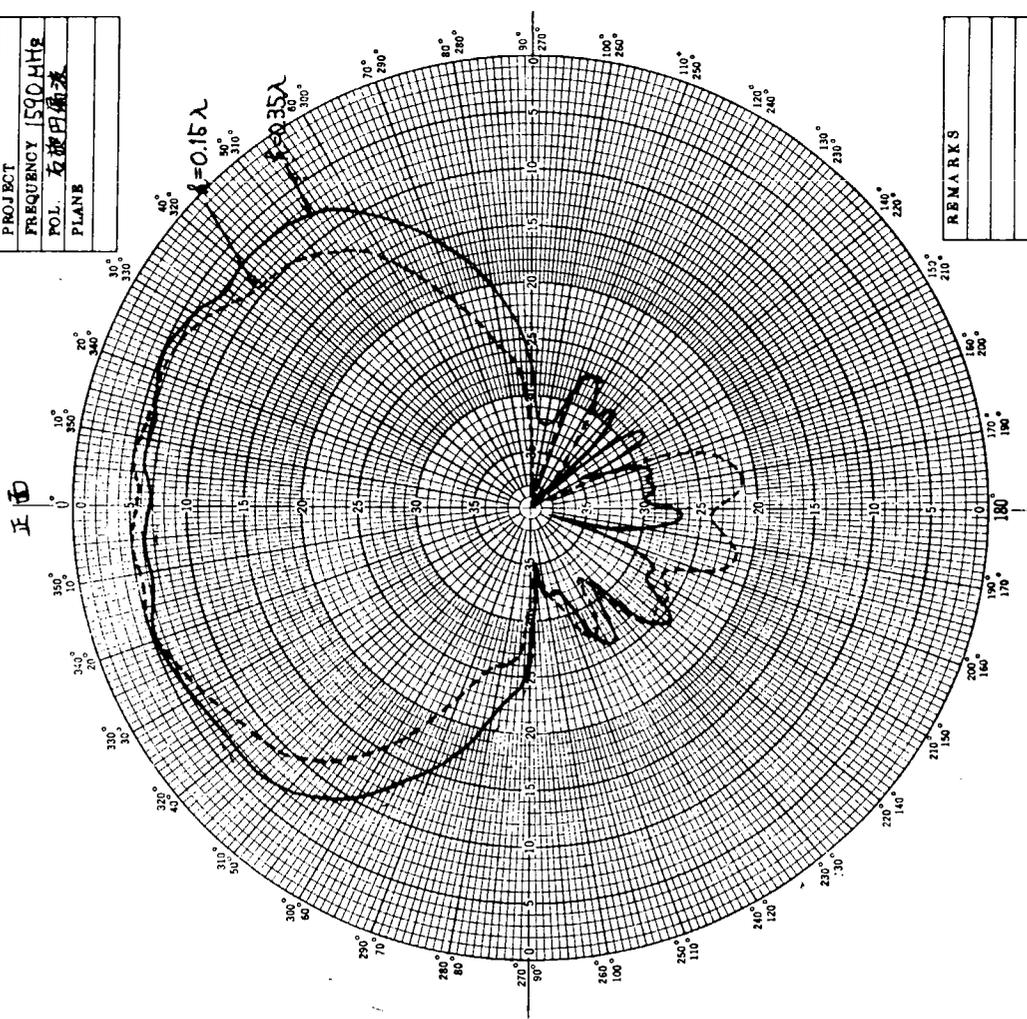
アンテナの配置を図1.1.2.14に示す座標系で表わすとき、素子電力パターンが  $\cos^P \theta$  の形の場合、式(1.1.2.1)の分母の積分はベッセル関数を用いて級数表示することができ指向性利得の計算を比較的簡単に行なうことができる。<sup>(1)</sup>この近似式は実際のパターンの近似には若干誤差が大きいので今回はこれを変形して次式の値を用いる。

$$E(\theta) = \cos^P \theta + a \sin^2 2\theta \quad \dots\dots\dots (1.1.2.2)$$

ここでP, aは測定パターンを良く近似するように適当に選ばれる定数である。一例として地板からの高さ  $h = 0.35 \lambda$  のターンスタイルアンテナについての近似の程度を図1.1.2.15に示すが正面から80°まで最大1.5dB程度の誤差で良く近似している。なお、この図ではP, aをそれぞれ3および0.276に選んでいる。式(1.1.2.2)を用いて素子パターンを近似し、正方配列の8×8素子平面アレイについてビーム偏位角と指向性利得の関係を求めた結果の例を図1.1.2.16に示す。

文献(1) B.J.Forman, "Directivity characteristics of scannable planar arrays," IEEE Trans. AP-20, P245, May 1972.

PATTERN No
DATE
PROJECT
FREQUENCY 1590MHz
POL. 左旋円偏波
PLANE



REMARKS

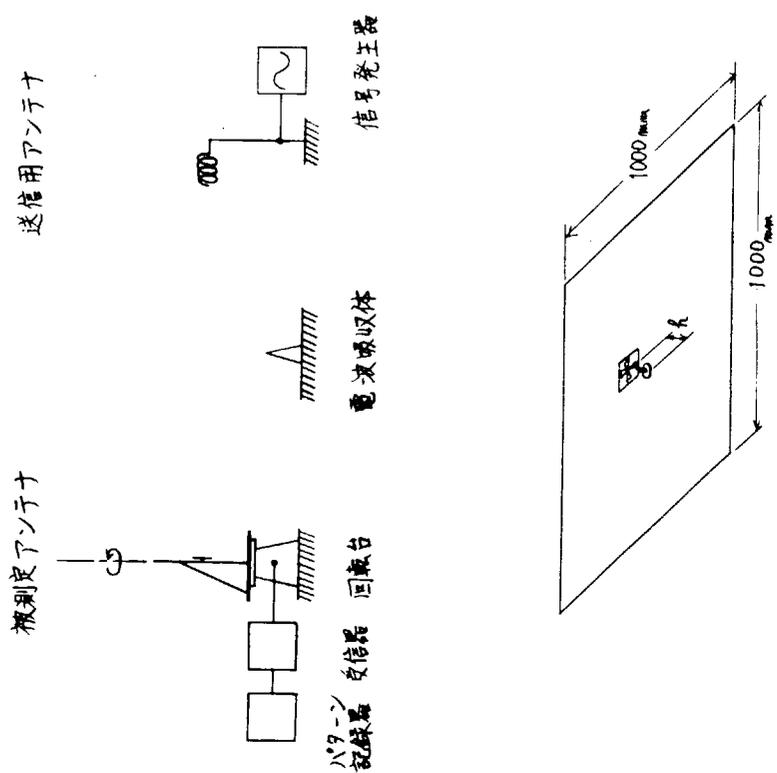
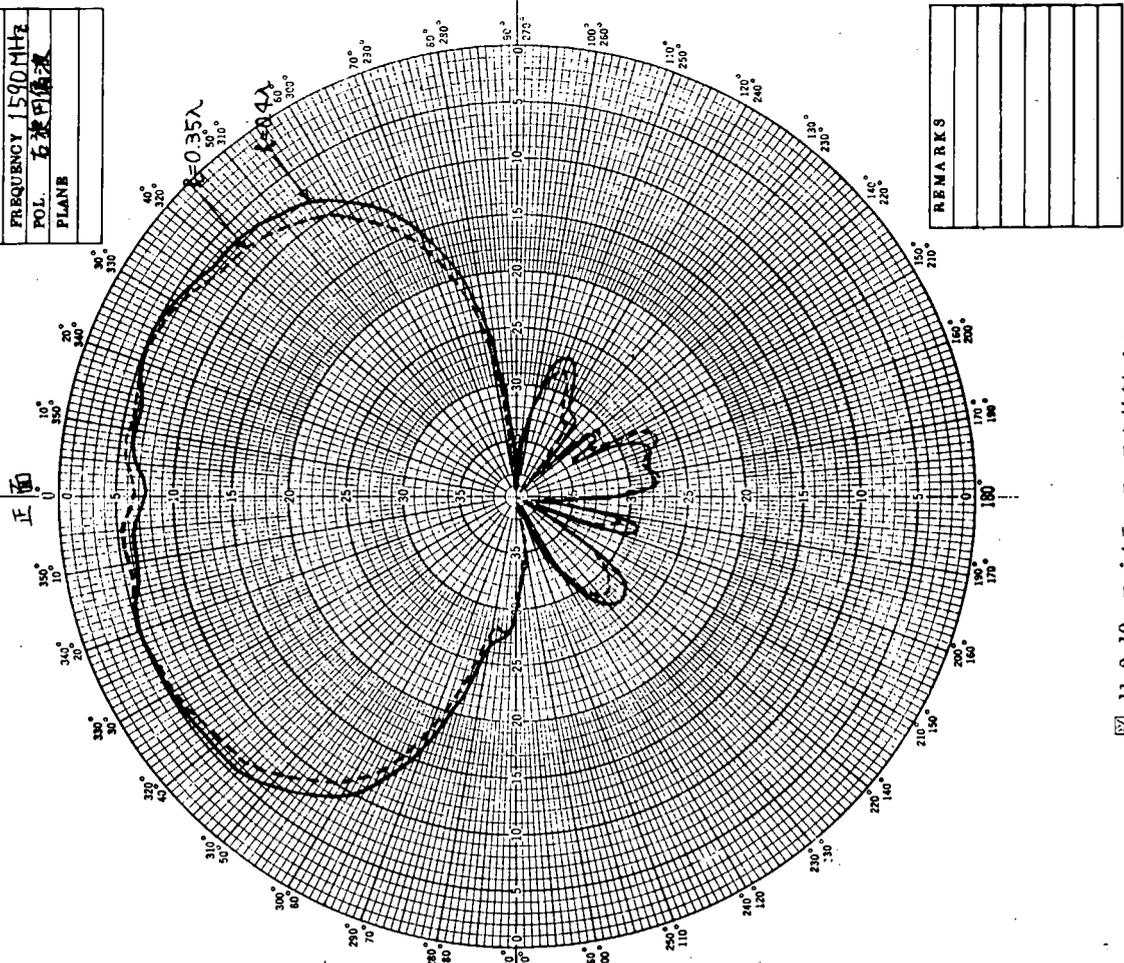


図 11.2.7 放射パターン測定系の構成図

図 11.2.8 ターンスタイルアンテナ放射パターン

PATTERN No.	
DATE	
PROJECT	
FREQUENCY	1590MHz
POL.	右旋円偏波
PLANE	



PATTERN No.	
DATE	
PROJECT	
FREQUENCY	1590MHz
POL.	右旋円偏波
PLANE	

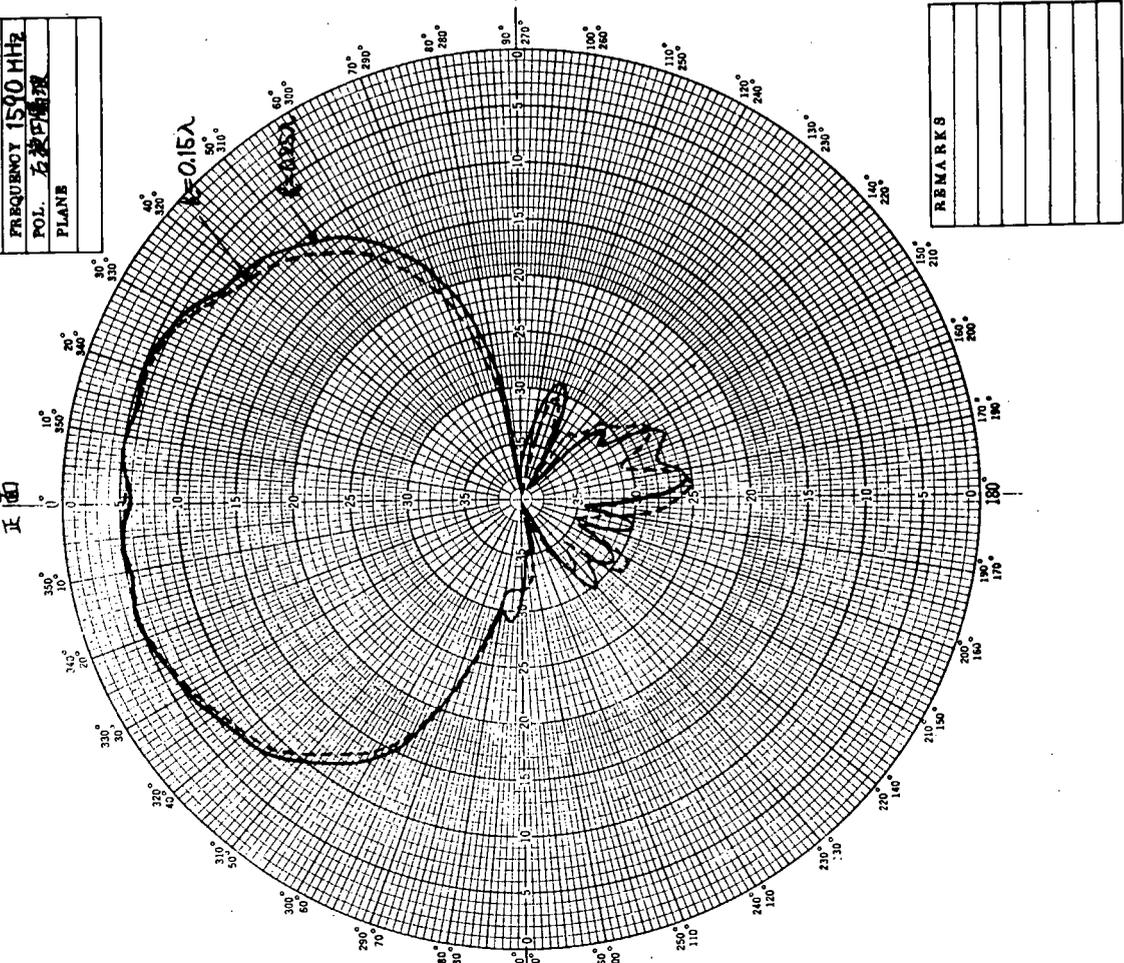


図 11.2.10 スパイラルアンテナ放射パターン

図 11.2.9 スパイラルアンテナ放射パターン



この計算では  $Z_x$  面内ではビーム方向を偏位させるがそれと直交する面内ではビーム方向を変化させないという仮定のもとに、 $D_y$  は1波長まで広げたものについても利得の計算を行っている。これらの結果から次の点がわかる。

- (i) 素子パターンビーム半値幅の広い方がビーム偏位の大きい場合の利得低下が小さい。
- (ii) ビームを偏位させる面と直交する面内の素子間隔によりビーム偏位に対する利得変化の様子が大きく変化し、直交する面内の素子間隔を適当に選べばビーム偏位に対する利得の変化を小さくすることができる。
- (iii) ビームを偏位させる面内での素子間隔の小さい方がビーム偏位の大きい場合の利得低下を小さくすることができる。

図 11.2.17 は、ビーム偏位が大きい方向と正面方向の利得を地板からの素子の高さに対して示してある。横軸は素子パターンのビーム半値幅

を表わすものと考えることができ、スパイラルアンテナの場合については図 11.2.13 のビーム半値幅の一致する高さにおける図 11.2.17 の値がほぼ偏位方向の利得を与えるものと考えて良い。なお図 11.2.17 では図 11.2.16 の利得変化の様子を参考にしてビーム方向の偏位に対して利得変化が小さく、かつビーム偏位の大きい方向での利得低下が小さいように  $D_x = 0.5 \lambda$ 、 $D_y = 1.0 \lambda$  の場合について示している。この結果、ビーム偏位角が  $50^\circ$  の場合、素子パターンのビーム半値幅は利得にほとんど影響を与えないが、 $60^\circ$  の場合はかなり影響があり、ターンスタイルアンテナを素子とするものでは地板からの高さ  $h$  が  $0.375$  波長程度が正面および最大方向の利得が一致するという点で最良の特性が得られる。

指向性利得の検討結果により素子の地板からの高さはターンスタイルアンテナの場合  $0.375$  波長が最適であり、スパイラルアンテナの場合は  $0.4$  波長程度が最適であることがわかる。また十字スロットアンテナは他の2種のアンテナに比べ素子パターンのビーム半値幅が狭いので、 $60^\circ$  程度までビーム方向を偏位させるアレイには不適當である。

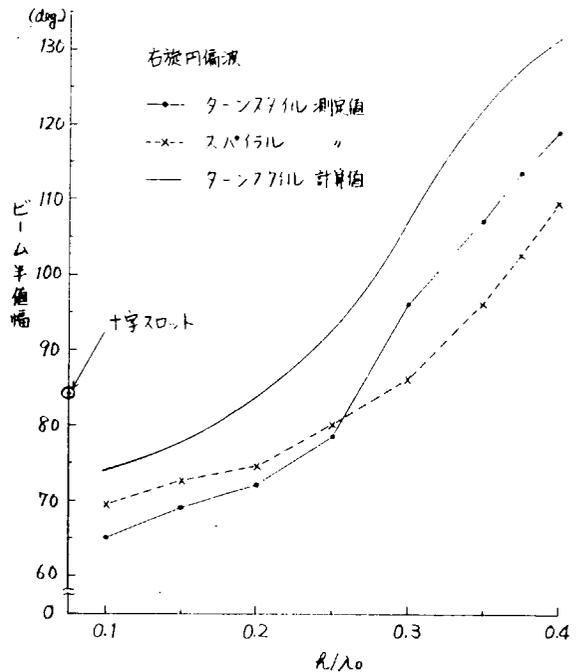


図 11.2.13 ビーム半値幅と地板からの高さの関係

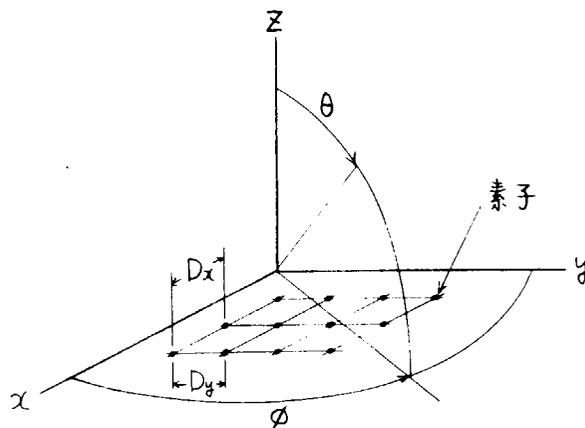


図 11.2.14 座標系

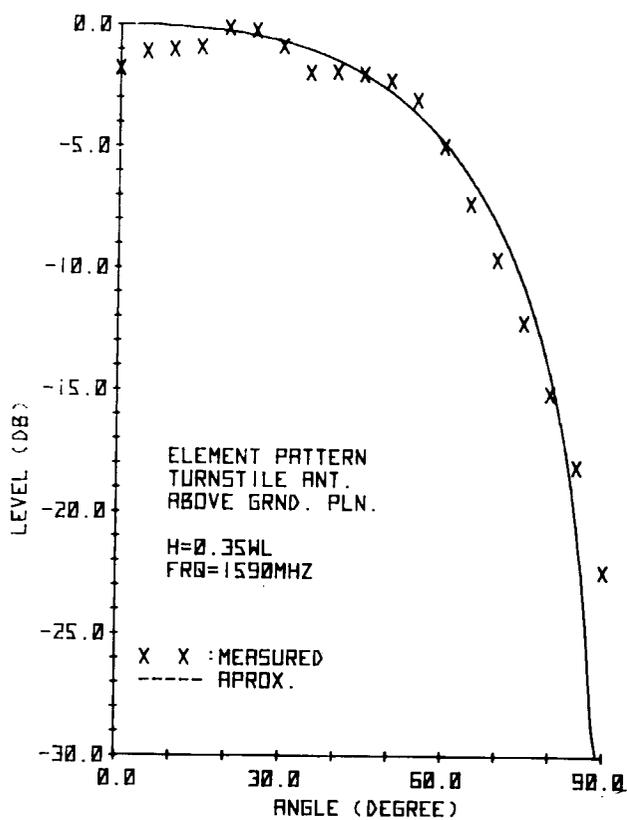


図 11.2.15 素子パターンの測定値とその近似

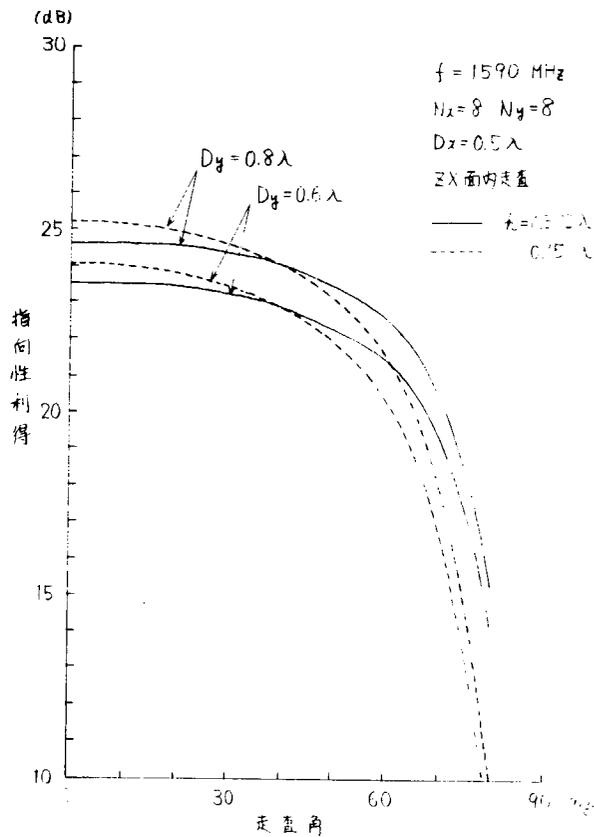


図 11.2.16 ビーム偏位に対する指向性利得の変化

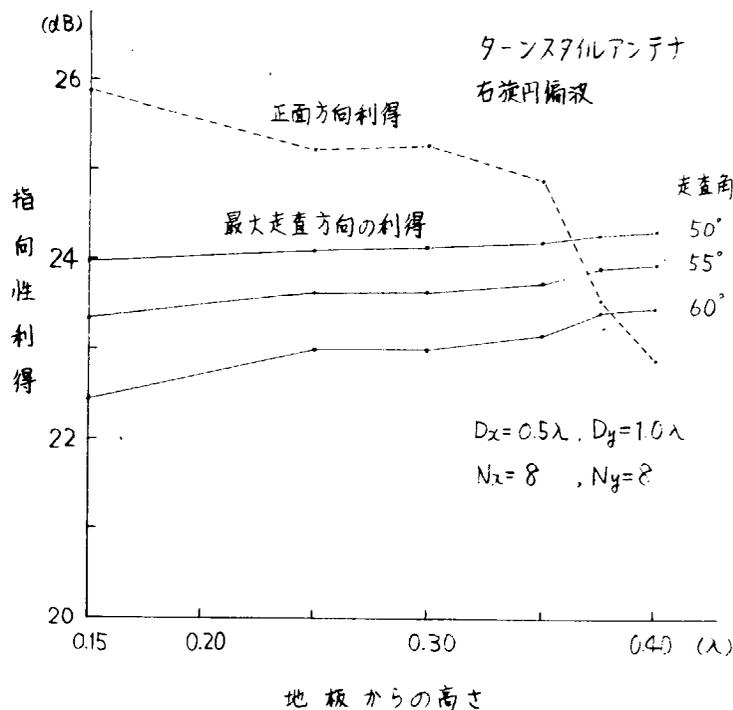


図 11.2.17 素子パターンと指向性利得の関係

(c) 素子入力インピーダンス

素子放射パターンおよび指向性利得の検討結果からターンスタイルアンテナとスパイラルアンテナのいずれもが素子として用い得ることが明らかになった。したがって素子選定は入力インピーダンスのすぐれたものを選定することになる。図1.1.2.18に示す構成の測定系により素子の自己および相互インピーダンスの測定を行ない、ターンスタイルアンテナ、スパイラルアンテナについて図1.1.2.19(a)~(f)に示すような入力インピーダンスの測定結果を得た。素子間隔が等しいときのターンスタイルアンテナとスパイラルアンテナの相互インピーダンスの比較により、スパイラルアンテナの方がビーム方向を偏位させたときには素子入力インピーダンスの変化が小さいことがわかる。

(d) 素子の決定

以上の検討結果からビーム方向を最大 $60^\circ$ 偏位させるレトロディレクティブアレイでは、放射素子として地板からの高さ $0.4$ 波長程度のスパイラルアンテナが最適であることが明らかになった。

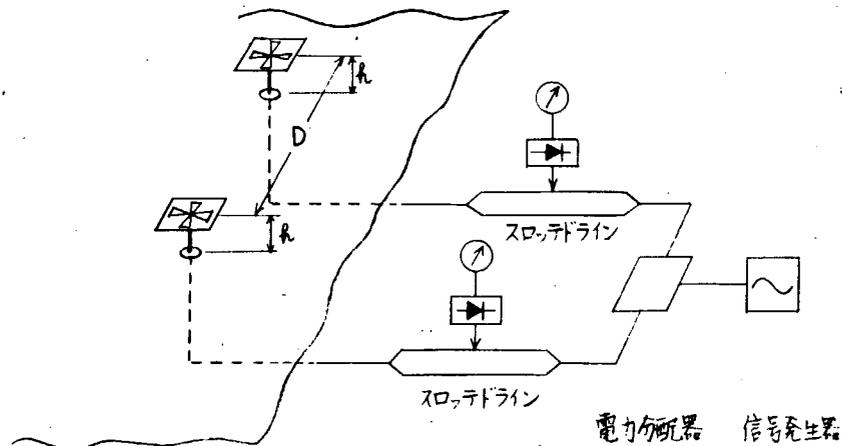


図1.1.2.18 相互インピーダンス測定系の構成図

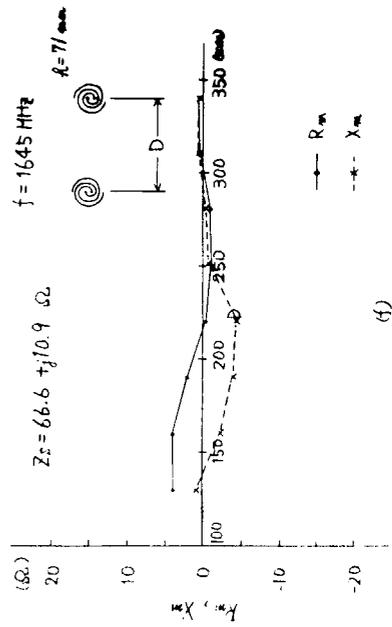
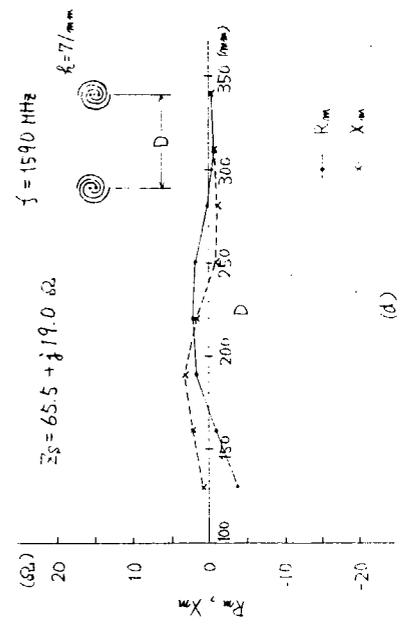
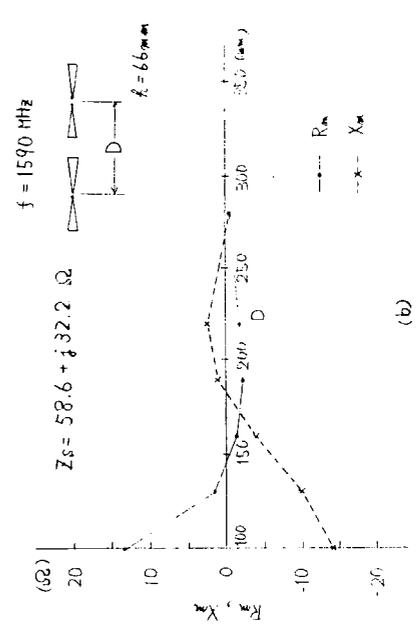
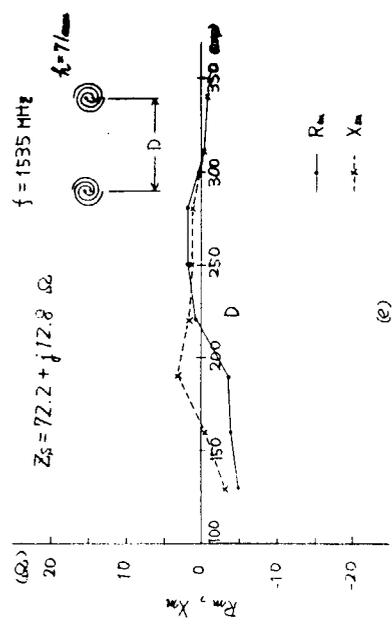
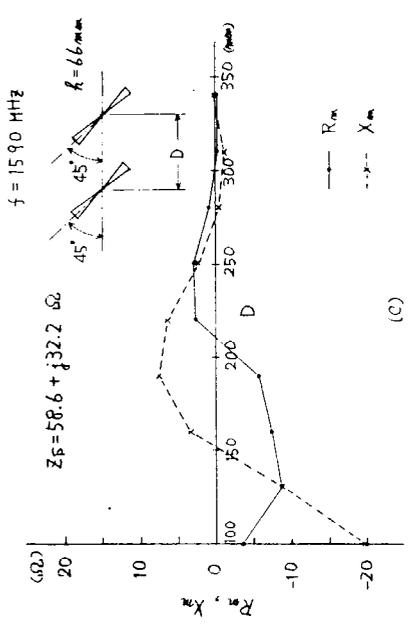
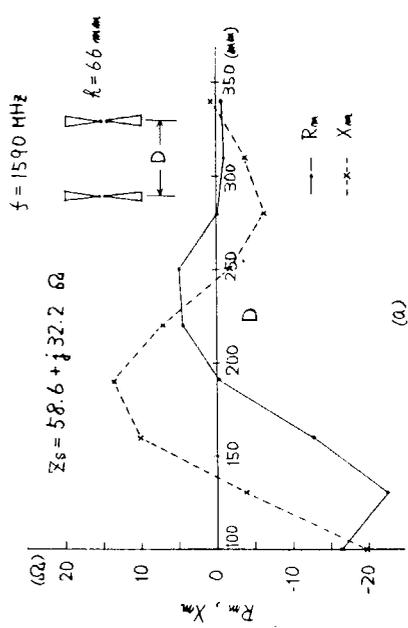


図 11.2.19 自己インピーダンス ( $Z_s$ ) および相互インピーダンス ( $Z_m = R_m + jX_m$ )

### 11.2.4 実験用レトロディレクティブアレイの設計

#### (1) 実験系のシステムパラメータ

レトロディレクティブアレイの理論的検討は外国文献には種々報告されているが、試作結果の報告はほとんど見当らず、我国ではまだ研究報告が全く発表されていない。そこで今回の実験研究では、向逆指向動作がどの程度の精度で行なわれるかを確認することを主眼として、8素子の1次元アレイを試作し、実験検討を行なうこととする。ただし、ビーム偏移方向と直角な方向でのビーム幅もある程度狭くする方が、地面からの反射が減らせ実験がやり易いので、8素子の各々はそれぞれ2個の素子アンテナをビーム偏移方向と直角な方向に配列してハイブリッドで合成するアレイアンテナとする。

その他のシステムパラメータは、海軍衛星システムへの適用と素子アンテナの実験結果ならびに試作および実験のやり易さを勘案して表1 1.2.1のように選定する。

実験系のブロック図を図1 1.2.2 0に、また、その中の各位相コンジュゲート回路のブロック図を図1 1.2.2 1に示す。局部発振器Cには実際の場合には変調がかけられるが、今回の実験では変調は不要なので行なわない。

表1 1.2.1 実験系のシステムパラメータ

項 目	諸 元	備 考
(一般)		
アンテナ素子	2 × 8	平面上三角配列
位相コンジュゲート回路数	8	
ビーム偏移方向	1次元	8素子の配列方向
パイロット周波数	15415 MHz	MARISAT による
受信周波数	15350 MHz	最低周波数
送信周波数	16450 MHz	最高周波数
周波数安定度	±1 × 10 <sup>-5</sup> 以内	
受信電力	-40 dBm 以上	位相コンジュゲート回路入力
送信電力	-10 dBm 以上	位相コンジュゲート回路出力
(アンテナ)		
形 式	スパイラル	2線式 アルキメデス形
偏 波	右旋円偏波	
素子間隔	0.74 λ	45° 方向
(ダイプレクサ)		
挿入損失	1 dB 以下	
アイソレーション	30 dB 以上	
VSWR	1.5 以下	



(2) アンテナアレイ

(a) 素子配列

走査面内の素子配列間隔はアレイの正面方向からのビーム方向偏位角が最大となる時にグレーティングローブを発生しないという条件によりその最大間隔が決まり、通常のフェイズドアレイアンテナの設計では素子間隔をこのようにして決まる値以下にとる。

試作を予定しているアンテナではビーム方向偏位は一面内でしか行わないため、この面内における素子間隔は前述のようにして決まるが、これと直交する面内での素子間隔は1波長以下の範囲で任意の値をとることができる。ここではビーム方向を変化させる面内における素子間隔と直交する面内の素子間隔は等しくとるものとする。

ビーム方向偏位角の最大値をアレイの正面方向から  $60^\circ$  と仮定すると素子間隔は使用周波数の上限で 0.54 波長以下であることが必要である。従って、中心周波数では素子間隔は 0.52 波長となる。素子間の相互結合の影響を軽減するため、素子間隔をできるだけ大きくとり、グレーティングローブ発生の間隔からみかけの素子間隔を上述の値とするために素子配列は図 1.1.2.2 に示すような三角配列とする。図中に示された  $D_x$  および  $D_y$  をそれぞれ 0.52 波長とすることにより  $Z_x$  面内あるいは  $Z_y$  面内におけるビーム方向偏位に対しては等価な素子間隔は 0.52 波長であるが、実際に隣り合う素子の間の素子間隔の最小値は 0.74 波長である。

(b) 予想性能

素子としてスパイラルアンテナを用いた場合のビーム方向偏位に対する指向性利得の変化は素子選定のときに行なった方法により近似的に求めることができる。図 1.1.2.2 に示す配列のアレイについて等振幅、定電流励振の場合のビーム方向偏位角と指向性利得の関係を計算により求めた結果を図 1.1.2.3 に示す。

開放電圧一定で電源インピーダンスが等しい電源を各素子に接続し、開放電圧の位相を変化させてビーム方向を変化させる場合、素子の励振電流は次式を解いて求めることができる。

$$V_1 = (Z_{11} + Z_0) I_1 + Z_{12} I_2 + \dots + Z_{1N} I_N$$

$$V_2 = Z_{21} I_1 + (Z_{22} + Z_0) I_2$$

$$V_i = Z_{i1} I_1 + \dots + (Z_{ii} + Z_0) I_i + \dots + Z_{iN} I_N$$

$$V_N = Z_{N1} I_1 + \dots + (Z_{NN} + Z_0) I_N \quad \text{図 1.1.2.2 素子の配列} \quad (1.1.2.3)$$

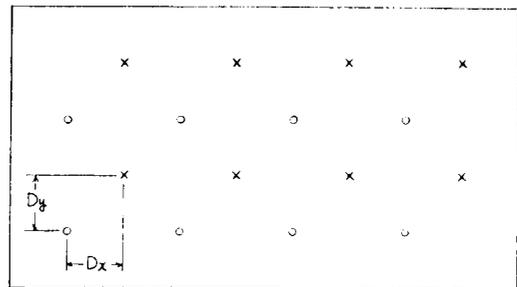
ここに  $V_1, V_2, \dots, V_N$  は電源の開放電圧、 $Z_0$  は内部インピーダンス、 $Z_{ji}$  および  $Z_{ij}$  はそれぞれ放射素子の自己および相互インピーダンスで素子の種類と相対配置により決まる値である。素子の入力インピーダンスは式 (1.1.2.3) を解いて求めた電流を用いて次式により与えられる。

$$Z_{inj} = Z_{i1} \cdot \frac{I_1}{I_i} + Z_{i2} \cdot \frac{I_2}{I_i} + \dots + Z_{ii} + \dots + Z_{iN} \cdot \frac{I_N}{I_i} \quad (1.1.2.4)$$

$V_1, \dots, V_N$  をビーム方向を  $\theta$ ,  $\phi$  方向に向けるものとして次式で与える。

$$V_i = \exp \{ -jk \sin \theta \cdot [x_i \cos \phi + y_i \sin \phi] \} \quad (1.1.2.5)$$

ここに  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $(x_i, y_i)$  は素子の座標を表わす。式 (1.1.2.5) を式 (1.1.2.3) に代入して励振電流を求め、これを式 (1.1.2.4) に代入して入力インピーダンスを求めた結果を図



1.1.2.2.4に示す。素子間結合の小さい素子を用いたことによりビーム方向偏位に対する入力インピーダンスの変化は充分小さくなっている。また素子によるインピーダンスの違いも小さいので励振振幅、位相の誤差も小さい振幅で4%以下、位相で±3°以下の誤差しか無く、利得は定電流励振の場合にはほぼ一致すると考えられる。

(3) 位相コンジュゲート回路

位相コンジュゲート回路は図1.1.2.2.1のブロック図に示すように、到来したパイロット波の位相 $\phi_P$ を検出して送信波の位相 $\phi_T$ と受信中間周波の位相 $\phi_I$ を

$$\phi_T = (\phi_C + \phi_B) - \phi_P$$

$$\phi_I = (\phi_A - \phi_B) - (\phi_R - \phi_P)$$

と制御する。すなわち送信波の位相をパイロット波と共軌にすると同時に、受信波の位相 $\phi_R$ を $\phi_P$ で打消して、各アンテナ素子の受信中間周波での位相を揃えて同相で加え合わされるようにし、これにより受信アンテナとしての指向性もパイロット波の到来方向に制御する。

局部発振波の位相 $\phi_A, \phi_B, \phi_C$ はすべての位相コンジュゲート回路の入力端子で等しくするとともに、位相コンジュゲート回路内の各部での位相推移もすべての位相コンジュゲート回路で等しくなるよう製作調整する必要がある。

局部発振周波数 $f_A, f_B, f_C$ は、 $\phi_T$ および $\phi_I$ が上式の形となるように、パイロット周波数 $f_P$ 、送信周波数 $f_T$ 、受信周波数 $f_R$ に対して下記の関係に選ぶ必要がある。

$$f_B > f_P, f_T > f_C, f_A > f_R$$

具体的にはスプリアス等を考慮し表1.1.2.2のように選定する。

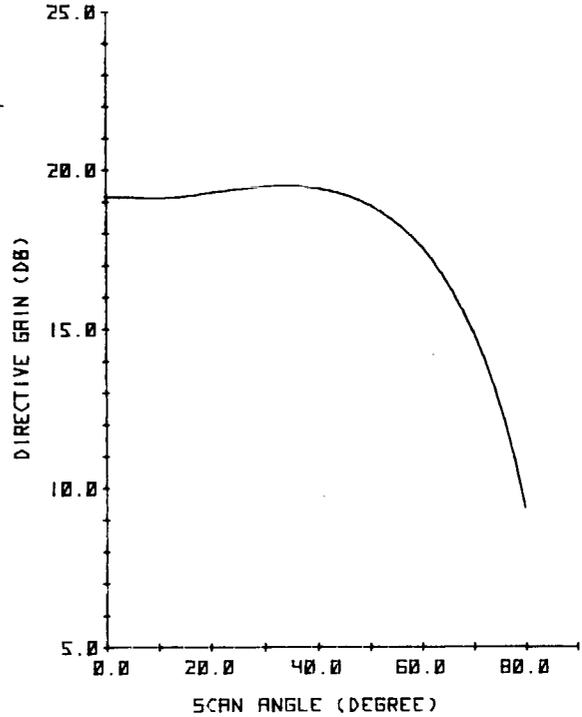


図1.1.2.2.3 走査角度に対する指向性利得の変化

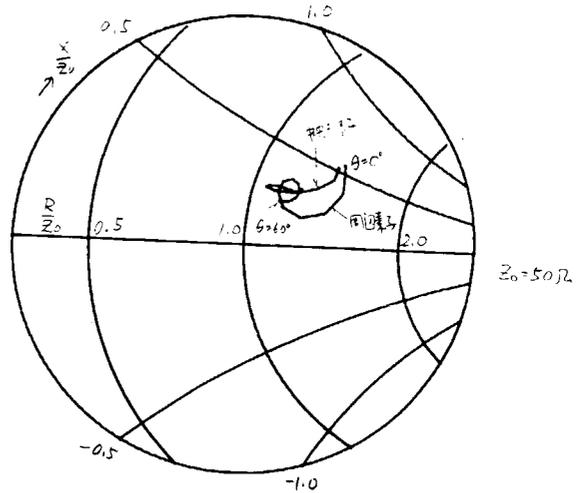


図1.1.2.2.4 走査角度に対する素子入力インピーダンスの変化

表1 1.2.2 周波数関係

名	称	周波数
パイロット周波数	$f_P$	1541.5 MHz
パイロット用局発周波数	$f_B$	1691.5 MHz
VCXO周波数	$f_B - f_P$	150.0 MHz
送信周波数	$f_T$	1645.0 MHz
送信用局発周波数	$f_C$	1495.0 MHz
受信周波数	$f_R$	1535.0 MHz
受信用局発周波数	$f_A$	1700.0 MHz
受信第1中間周波数	$f_A - f_R$	165.0 MHz
受信第2中間周波数	$f_I$	15.0 MHz

### 11.2.5 レトロディレクティブアレイ空中線の寸法予測

ビーム走査角等の条件を明確にしないと正確な予測はできないが、これまでの実験および計算結果を基に概略寸法を予測してみる。

#### (1) 三角配列の場合の素子数と指向性利得

実験に用いる図1 1.2.2.2のような16素子の三角配列のレトロディレクティブアレイの利得は、計算によると図1 1.2.2.3に示すように走査角 $50^\circ$ 以下ではほぼ平坦(約19dB)である。そこで同じ素子間隔で素子数を増した場合の走査角 $50^\circ$ における指向性利得を計算した結果、下記の値が得られた。

16素子 : 18.9 dB

50素子 : 24.2 dB

72素子 : 26.0 dB

108素子 : 28.7 dB

#### (2) $G \geq 23$ dBの空中線

上記の結果から、 $G \geq 23$  dBの空中線を作るためには素子数を約50とする必要がある。 $D_x = D_y = 0.52\lambda$ の三角配列の50素子平面アレイは、 $5.2\lambda \times 5.2\lambda$ の正方形となり、 $\lambda = 1.95$  cm ( $f = 1535$  MHz)の時、開口面積は $1.01$  m $\times$  $1.01$  m =  $1.02$  m $^2$ となる。

軸対称に近い特性を持たせるためには正三角形配列でほぼ円形になるように並べるのが望ましいが、このような配列で、上記と同じ開口面積を得るためには

$$\frac{\pi}{4} D^2 = 1.02 \text{ m}^2$$

より、円の直径 $D = 1.14$  mとなり、図1 1.2.2.5のように55素子のスパイラルで構成するものとする素子間隔は丁度 $0.74\lambda$ で、実験用アンテナと同じになる。

完全電子的追尾とする場合は、このようなアンテナを何面か備えて、切替または合成して使用する必要があるが、一案として機械的追尾(AZ-ELマウント)とこのアンテナを組合せて、ロール・ピッチのみを電子的に追尾する方式も考えられる。その場合のレドーム寸法は、図1 1.2.2.6に示すように約 $1.25$  m $\phi \times 1.35$  mHとなり、純機械的追尾空中線よりはかなり小形化が期待できる。

#### (3) $G \geq 20$ dBの空中線および $G \geq 17$ dBの空中線

素子間隔を $G \geq 23$  dBの場合と同じく $0.74\lambda$ とし、素子数をそれぞれ $1/2$ (-3dB)および $1/4$ (-6dB)として27素子および13素子とした場合のアレイ寸法およびレドーム寸法を図11.2.2.7

~図 1 1. 2 3 0 に示す。

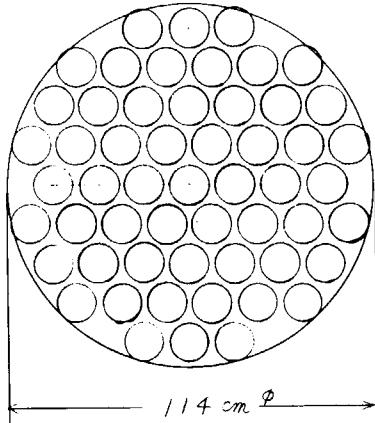


図 11. 2. 25 55 素子アレイ ( $G \geq 23\text{dB}$ )

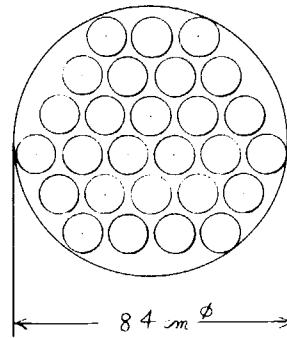


図 11. 2. 27 27 素子アレイ ( $G \geq 20\text{dB}$ )

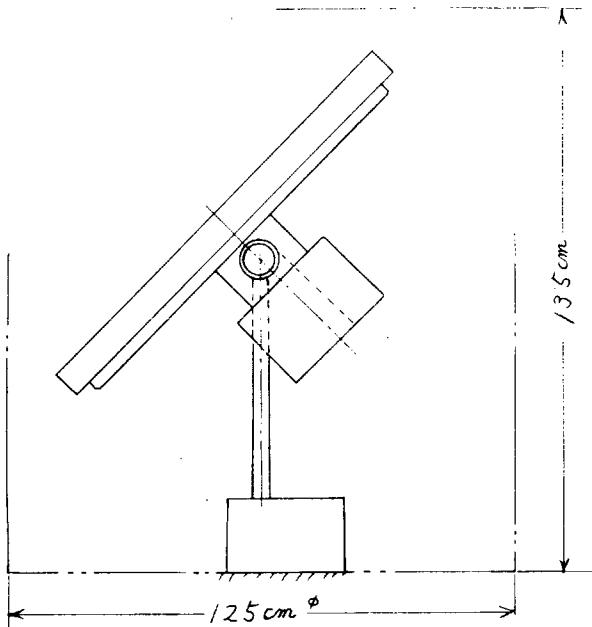


図 11. 2. 26 レドーム外形 (55 素子)

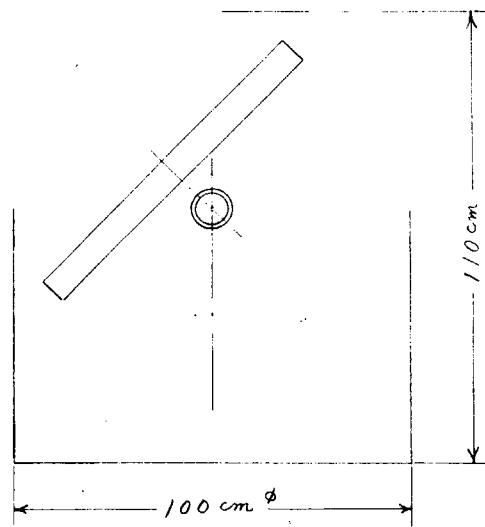


図 11. 2. 28 レドーム外形 (27 素子)

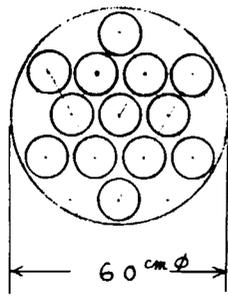


図 11. 2. 29 13 素子アレイ ( $G \geq 17\text{dB}$ )

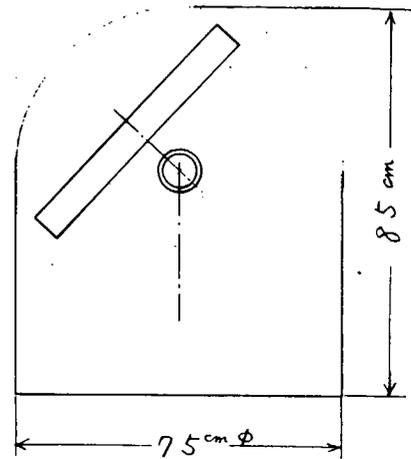


図 11. 2. 30 レドーム外形 (13 素子)

### 11.2.6 今後の予定

上述のように、現在までに素子アンテナの選定 (スパイラルアンテナ) を終え実験用アンテナアレイの細部設計と位相コンジュゲート回路および周辺回路の基本設計が完了した。本年度末までに、アンテナアレイの製作と位相コンジュゲート回路その他の細部設計を完了し、来年度引き続きアンテナアレイの試験、位相コンジュゲート回路の製作・調整・試験および両者を組合わせてのレトロディレクティブアレイ空中線システム総合試験を行ない、基礎的データの収集と問題点の解明を行なって行きたい。

また、レトロディレクティブアレイアンテナを海事衛星船舶地球局用として実用化するためには、下記のような方式の比較検討も必要であり、これらについても検討して行きたい。

(1) 多面合成アレイ方式

1面での走査角度と面数および各面の装備位置はどのように設計するのが最適か。

(2) 電子・機械のハイブリッド方式

どの軸を機械的または電子的追尾に割当てるのが最適か。

(3) 平面アレイ+レドーム

凹レンズに相当するレドームを平面アレイの上に被せ、平面アレイのビーム偏移角を見掛上大きくする方式 (最近フェーズド・アレイ用として米国で研究されている。)

## 1 2 受信処理系の研究

### 12.1 はしがき

衛星用受信機を船上設備として搭載する場合、その受信機能を完全なものとし、システムの効果を期待するため考えねばならない問題として、周囲雑音による妨害から守ることがある。

ここで取り扱う雑音としては主として船上に装備される種々の電気装置から発生するものを対象とし、次に記す順序で調査研究実施内容をまとめた。

すなわち

- (1) 雑音の発生原因にもとづく種類
- (2) 雑音誘導、伝搬の仕方の考察
- (3) 現行の雑音に対する規格とその測定法
- (4) 雑音妨害の対策
- (5) 今後の問題点

以下、順に上記項目の内容につき詳述する。

### 12.2 雑音の種類

#### 12.2.1 コロナ放電によるもの

コロナ放電はパルス電流を発生し、各種の雑音障害の原因となり、これに伴い高周波振動の発生も認められている。この周波数については 15 kHz~400MHz に分布し、エネルギー分布は周波数に逆比例して減少すると云われ、電力線搬送電話、低周波航空機無線、AM放送に対して考慮が必要であるが、TV、FM放送に対しては問題にならないとされている。従って 1.5 G 付近のスペクトラムは相対的に可成僅少となり、直接障害を与える可能性がないにしても IF 及びそれ以下の系統に直接混入しないよう考慮が必要であろう。

#### 12.2.2 火花放電によるもの

火花放電によって生じる雑音は自然界の空電をはじめ、モータ、鉄道、自動車に於ても発生し、放電雑音の大部分を占めている。この中には自動車のように火花を発生する目的で製作されたものもあるが、副作用として発生するものが多く、その中でも電流の断続がその主な原因となっている。

##### (1) 空電

大気中自然に発生する火花放電による雑音で、雷はその代表的なものである。これはきわめて低い周波数(数 kHz)から VHF またはそれ以上の広い周波数範囲で妨害を与え、エネルギーが大きいことから可成遠距離迄伝搬する。気象条件として、不連続線低気圧、台風、寒冷地の吹雪、に関係があり、また火山の噴煙、黄砂等に伴うこともある。熱帯を通過する短波通信でははなはだしい妨害を受けることは周知の通りである。

##### (2) 電気機器類

モータ、発電機等の回転機は火花放電による雑音源となる。

雑音発生機構として

- (イ) ブラシと整流子によるもの
- (ロ) ブラシとスリップリングによるもの

があげられる。

この他、放電加工機、溶接器があるが、これらは火花エネルギーも大きく雑音妨害度も大きい。

何れも電源ラインを伝導してゆく雑音として注意する必要がある。

また船上設備として各所に配電盤が装備され、それらに関しての電源開閉、制御に対する開閉器があるが、スイッチが閉の状態から開の状態に移る過程に於て両極間の距離が僅少な場合、火花を発生することは周知の通りであり、上記回転機の場合と同様に考えてよい。

### (3) 鉄道、自動車類

何れも陸上で発生する雑音であり、入港中、狭水道航行で問題となる可能性があるが、これらの中鉄道については、雑音発生の場所としては

- (1) 給電線と集電子
- (2) 車輪と軌条
- (3) モータ

が考えられる。

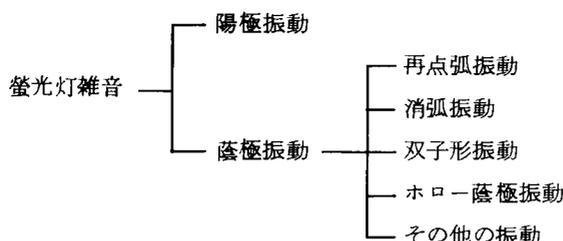
但し、特に給電線が雑音のコンダクテッドエミッションとして働く。この場合、電流の大きい時はアーク放電になり易く、アーク放電は火花放電に比べ雑音妨害度が少ないことが知られており、電車電流が少ないほど火花放電の可能性が強く妨害が多くなることが知られている。

自動車のイグニッション雑音はFM、TVはじめVHF通信に対する大きな雑音源がある。

## 1223 放電管によるもの

蛍光灯やネオンサインが雑音妨害の原因となっていることはよく知られている。放電管は外部回路と結合して振動を起こしやすく、この周波数は蛍光灯でVHF帯におよぶ。

蛍光灯は水銀とアルゴンの混合ガスを封入した放電管で放電にともない、高周波振動を発生し雑音妨害の原因となる。雑音発生機構により分類すると次の通りである。



再点弧振動；半サイクル毎点弧開始時の振動

消弧振動；半サイクル毎消弧時の振動

双子形振動；半サイクル中2つ対になって発生する振動

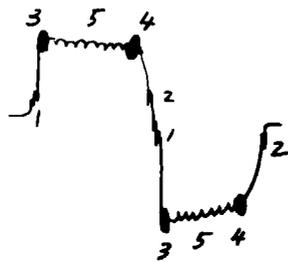
ホロー陰極振動；任意の位相で発生し、いくつかの集団群として現われる。

陽極振動；大電流期間に発生する振動で数kHzで比較的妨害は少ない。

上記の振動中妨害の対象となるものは、双子形振動がその主なもので中波放送波帯で妨害を与える。特に蛍光灯が古くなると発生し易くなると云われている。

ホロー陰極振動は交流サイクル中の任意の位相でときどき発生するもので、電極の構造に関係があると云われ、雑音成分の周波数分布は数10kHz～数100kHzにわたっている。

図1 2.2.1に蛍光灯雑音波形の代表的なものを示す。



1. 再点弧振動
2. 消弧振動
3. 双子形振動
4.        "
5. 陽極振動

図1 2.2.1 螢光灯雑音

#### 1224 電源装置によるもの

船上電源設備として回転機を用いるものと静止形サイリスタによるものがあるが、後者の方が広帯域雑音が多く含まれ、その障害については注意しなければならない。

雑音発生機構としては回路中に発生する急激な電流の変化と火花に分類されるが、ここで主に問題とするのは前者の方である。電子的スイッチにより開閉される回路に振動が生じ、その減衰抵抗が小さいとき振動が可成継続する。またスイッチ回路が直接振動回路に接続されていなくてもスイッチ開閉により衝撃電圧が発生し、このパルスが、例えば受信機に入ると入力段及び後段の同調回路が振動を起し妨害の原因となる。

電流の立上がり時間を $\tau$ 秒とし、この波形を伝送するに必要な周波数帯域を $W$ とすれば

$$\tau \times W = 0.5 \sim 1.5$$

の関係がある。故に $\tau$ の小さい電流変化はかなり高い周波数迄のエネルギーを含むことになる。

このようにSCRを使用した電圧調整器は電源周波数の半サイクルごとに電子スイッチが閉じ、急速な電流の立上がりによる高周波が多く含まれる。

#### 1225 無線機器によるもの

大電力の無線機器出力は、高調波でもかなりのレベルになるもので、これらの周波数を使用する機器への妨害となる。

通常の無線機とかレーダは直接輻射する電磁界エネルギーと電源ラインを介する伝搬によって他の機器に妨害を与える。

このため、送信機では高調波を外部に輻射しないように出力回路に低域ろ波器を取付けて規定レベル以下におさえている。

表1 2.2.1にレーダの代表的なタイプの周波数、出力等につき記す。

また、それらの高調波出力の規定を図1 2.2.2に記す。なお、受信機からも局部発振器の輻射が考えられるが、これに対しては

- イ) 受信空中線から放射される電波の強さが放射される位置から1.8kmの距離に於て $0.3 \mu\text{V}/\text{m}$ 以下の電界であること。
- ロ) 受信空中線と電気常数の等しい疑似空中線を使用して測定した場合、その回路電力が $4\text{m}\mu\text{W}$ 以下であること。

との法的(無線設備規則)な規制もあるが、至近距離での妨害は当然考えられる。

図1 2. 2. 3 はレーダの電磁界スペクトラムの実測例であるが、基本周波数の下にかんりの分布が見られ、特に1.5 G付近の成分には注意を要する。

同様のスペクトラムがCCIR に記載されているので図1 2. 2. 4に参考として添付する。但し、このレポート(CCIR DOC Report 591 Vol VII)については実測試験初期の中間報告であり、最近最終的報告書ができたとの報告がCCIR DOC. 8/68Eにより得られ、これに文献名として

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF L-BAND  
(1535-1660 MHz) ELECTROMAGNETIC NOISE  
ON SHIPS. FINAL REPORT NO. CG-D-50-75,  
U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION,  
WASHINGTON, D.C. 20590 (DECEMBER 1974)

が記載されている。従って、今後この調査が必要と思われる。

表1 2.2.1 大電力レーダの実例

区分	種別場所	周波数帯	送信ピーク出力	監視範囲	備考
航空管制用 レーダ	A R S R	Lバンド 1.2 G	2000KW	200NM	
	A S R	Sバンド 3 G	600KW	60NM	
	A S R	Sバンド 3 G	4500KW	80NM	
	P A R	Xバンド 9.3 G	40KW	10NM	
船舶用レーダ		Xバンド	45KW	60NM	
航空用レーダ		Xバンド	40KW	100NM	
		Cバンド	40KW	100NM	
	富士山	Sバンド (2.8G)	1500KW	800KW	
	室戸	Sバンド 2.7G	600KW	500Km	
	福岡	Cバンド 5.3G	300KW	300Km	

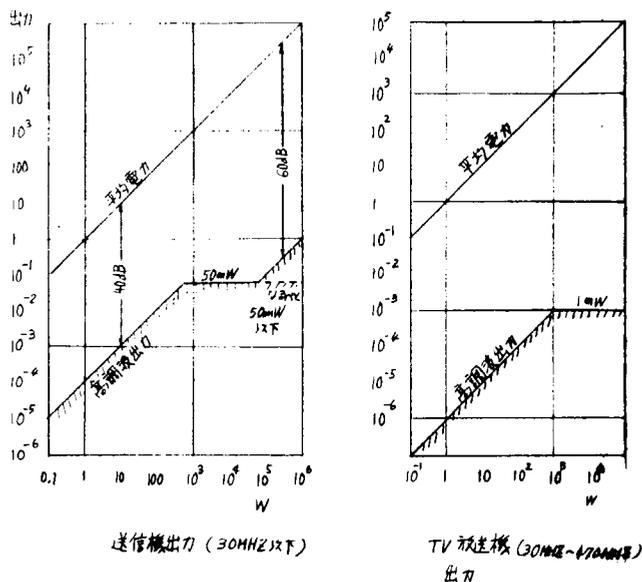


図 12.2.2 高調波出力の規定

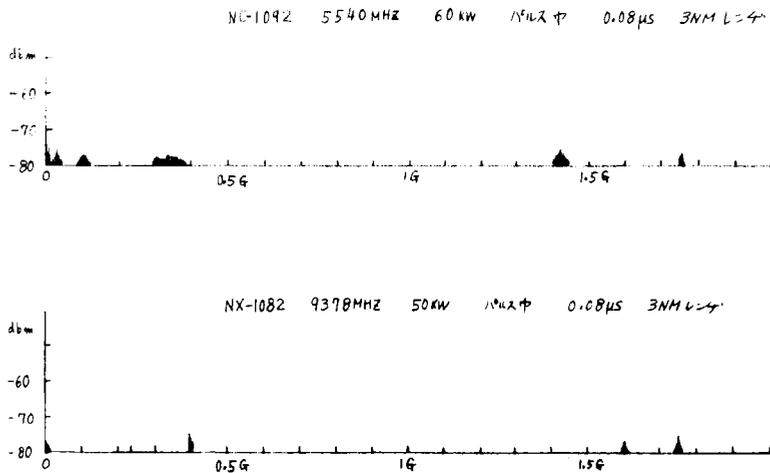


図 12.2.3 レーダ電磁界スペクトラム

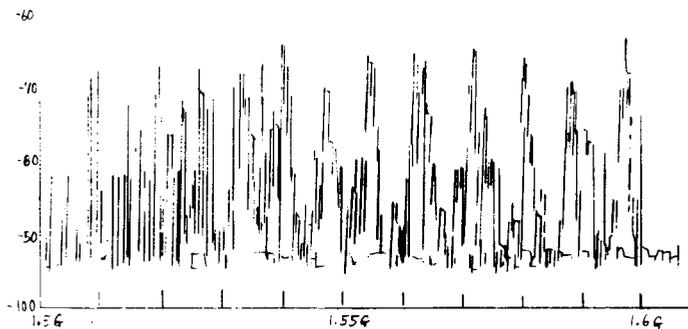


図 12.2.4 レーダ電磁界スペクトラム  
(3Gレーダ) CCIR DOC Report 591 Vol VII

## 12.3 雑音の誘導

### 12.3.1 静電結合

雑音の誘導の一つに静電結合によるものがあり、これには次の性質がある。

- (1) 雑音電圧の大きさは周波数に比例する。

例えば増幅器の入力インピーダンス  $Z_L$  に電源の  $-60$  dB の電圧を供給する電源との間の静電容量を周波数別に示すと表 1 2.3.1 のようになる。

表 1 2.3.1 静電誘導  $-60$  dB を与える結合容量

$f \backslash Z_L$	$10\Omega$	$75\Omega$	$100\Omega$	$300\Omega$	$600\Omega$	$1K\Omega$	$10K\Omega$
10kHz	—	—	—	—	—	15.9 PF	15.9 PF
1MHz	15.9 PF	2.12 PF	1.59 PF	0.58 PF	0.265 PF	0.159 PF	0.016 PF
10MHz	1.59 PF	0.212 PF	0.159 PF	0.058 PF	0.027 PF	0.016 PF	—
100MHz	0.159 PF	0.021 PF	0.016 PF	—	—	—	—

- (2) 雑音電圧の大きさは入力インピーダンスに比例する。

上記表 1 2.3.1 から明らかに判ることであるが、実際の場合、誘導の経路が必ずしも一つではないことに留意する必要がある。

次に大地に平行して布設した平行 2 線間の容量の計算式及びグラフを示す。すなわち

$$C_m = \frac{1.11 \log_e f/d}{\log_e \frac{2h_1}{r_1} \log_e \frac{2h_2}{r_2} - (\log_e f/d)^2} \text{ PF/cm}$$

もし  $h \gg d$ ,  $r_1 = r_2 = r$   
 $h_1 = h_2 = h$  とすれば

$$f = \sqrt{d^2 + (2h)^2} \approx 2h \gg d$$

$$\therefore C_m \approx \frac{1.11 \log_e f/d}{\log_e \frac{d}{r} \{ 2 \log_e \frac{f}{d} + \log_e \frac{d}{r} \}} \text{ PF/cm}$$

となり、グラフを図 1 2.3.1 に示す。

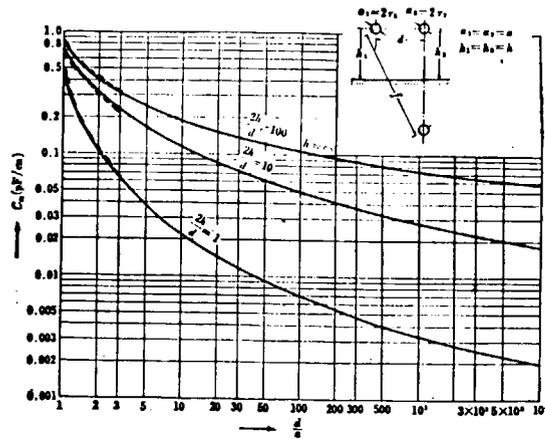


図1 2.3.1 平行2線間の結合容量

### 12.3.2 相互誘導結合

雑音電流により磁束を生じ、この磁束が変化するので、その磁界を切る他の配線に誘導が発生するのである。機器の内部ではコイルまたはトランスの漏えい磁束が問題となり、機器の外部では2本の導線が長い区間平行して施設された場合発生する。このように誘導電磁界による結合であり、誘起電圧を1mVとした場合の電流、周波数、相互インダクタンスMとの関係は表1 2.3.2の通りとなる。

表 1 2.3.2

$f \backslash A$	1 mA	10 mA	1 A	100 A
50 Hz	3.18 mH	318 $\mu$ H	3.18 $\mu$ H	31.8 nH
1 kHz	15.9 $\mu$ H	1.59 $\mu$ H	0.16 $\mu$ H	—
10 kHz	1.59 $\mu$ H	0.159 $\mu$ H	15.9 nH	—
1 MHz	0.16 $\mu$ H	15.9 nH	—	—
100 MHz	1.6 nH	0.16 nH	—	—

大地に平行する2線間のMは次の簡略式で与えられる

$$\frac{M}{l} = 2 \log_e \frac{f}{d} \times 10^{-9} \text{ H/cm}$$

グラフを図1 2.3.2で示す。

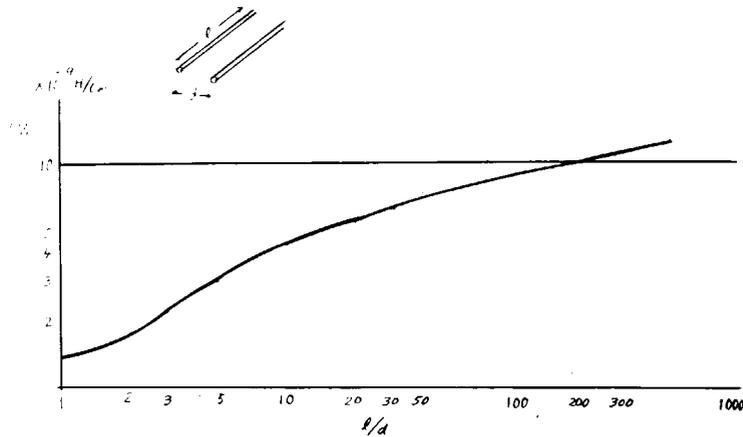


図1 2. 3. 2 相互誘導結合

### 12.3.3 電磁界による誘起

放射電磁界中に金属をおけば、電界強度 ( $E$  volt/cm) に比例する起電力を生じる。従って、信号の入出力線や制御線もアンテナの効果を生じ妨害波を放射したり、受信したりすることになる。何れも偏波面に関係があるが、大電力の送信機の近くの電界強度の強い所では、機器の筐体や内部にある小さな導体にも妨害を与えるのに十分な起電力を発生することがある。

## 12.4 雑音の伝搬

### 12.4.1 電磁界による伝搬

妨害源の電源回路、信号入出力回路、制御回路などの導線がアンテナとして動作する。また妨害源の外筐に高周波電流が流れると機器自体が放射アンテナとなる。

### 12.4.2 導線による伝搬

雑音は導線によっても伝搬される。もし妨害する機器と妨害を受ける機器とが同一電源線に接続されていると、妨害波は電源線により伝搬する。

信号入出力回路、制御線も妨害波が伝搬するが、一般には電源線からの妨害波の伝搬が多いとされている。

また、導線妨害と放射妨害との複合した伝搬もあり、妨害波ののった導線が受信アンテナの近くを通る場合は、放射または誘導による妨害雑を誘起する。

## 12.5 現行の規格

### 12.5.1 FCC

Federal Communication Commission's Laboratory に於ては船舶用レーダの認定検査に関し、無線機器への不要電磁界輻射による障害を防止するため、次のような測定方法と規格を設けている。

- (1) 検査されるレーダは2階建の1階に設置され、レーダアンテナはレーダの略上の屋上に設置される。導波管は約4フィートの長さでトランシーバーから壁を通し、約2.2フィートで屋上へ導かれ、次に

約6フィートで水平にアンテナへ結合される。ケーブルの場合も同様である。この場合、アンテナの高さは地上より35フィートとなるが、小さな丘の上に建物がある場合は周囲の地表に対して更になる。

- (2) 設置後メーカーに、メーカーの標準の方法でレーダが作動していることを確認し、その後、電磁界輻射干渉についての測定に移る。もし干渉を少なくする改修が必要であれば実施してよい。干渉についての検査が満足な結果で終了すれば、その後、パルス幅、バンド幅、周波数についての測定を実施する。
- (3) 電磁界輻射についての測定は、電界強度計を屋上の逆L型アンテナに接続して行われる。このアンテナは水平方向35フィートの長さで、レーダアンテナより水平方向15フィート、垂直方向7フィート離してある。垂直の引込みの長さは35フィートで、その末端が試験室へ導かれている。

測定する周波数は50kHzから1000MHzで、例えば次のように測定器により分割する。

50kHz	～	150kHz	Stoddart	NM-10
150kHz	～	25MHz	"	NM-20B
25MHz	～	400MHz	"	NM-30A
400MHz	～	1000MHz	"	NM-52

注] 50kHz～2MHzに於ては受信機は高入力インピーダンスで受け、2MHz～25MHzは1000Ωを受信機入力端子に並列に入れ、25MHz以上は50Ωの入力インピーダンスで測定する。

- (a) 観測可能な最少レベルは周囲の雑音レベルと測定器のS/Nで決められるので、その地域の雑音の除去と測定器が満足の状態であることを確かめてから測定に移る。
- (b) この周波数レンジに於けるレーダの妨害波は普通2つの一般的な型となる。これらは
  - (i) 整流器、モータ等による付随的雑音
  - (ii) パルス繰返しの高調波
 (i)に関しては530kHz以下に多く観測され、(ii)については2MHzから6MHzに主に分布している。充分なシールドとか入力線のフィルターにより、干渉レベルを差支えない程度にまで下げることができる。
- (c) 測定用受信機を校正した後、検査に移り、船舶通信と航法に利用されている周波数帯での干渉を調べる。測定は各パルス幅、各操作について実施される。
- (d) 上記アンテナの端末に於て、次に述べる干渉レベルを超過してはならない。

50kHz	～	400kHz	5μV
400kHz	～	1000kHz	1μV

輻射されるパルス幅とバンド幅の測定及び周波数の測定はアンテナを回転させず、両アンテナ間隔約10フィートで最大の信号が受信できる状態で測定する。

- (e) パルス幅は信号を整流し、サンプリングオシロスコープ等を使用する。
- (f) バンド幅は周波数とスペクトラム成分を測定するので、スペクトラムアナライザによる。周波数はアナライザにオシレータ出力を結合する。オシレータにはカウンタを接続する。
 

スペクトラムの相対分布の測定には、アナライザの入力端にアッテネータを結合する。
- (g) 主輻射波の周波数は上記測定時に測定する。
 

(電子機械工業会無線航法技術委員会資料航47-4-5より)

1252 IEC (International Electrotechnical Commission)

船上雑音の測定法とそれに対する規格について次の通り定めている。

- (1) 電源ラインに於けるRF電圧の測定
  - イ) 測定法；図12.5.1による。
  - ロ) 規格；150kHz～30MHz で10mV以下
- (2) 相互結合の測定
  - イ) 測定法；図12.5.2、図12.5.3による。
- (3) 受信機等に生ずる妨害雑音免除の限度測定
  - イ) 測定法；図12.5.4による。

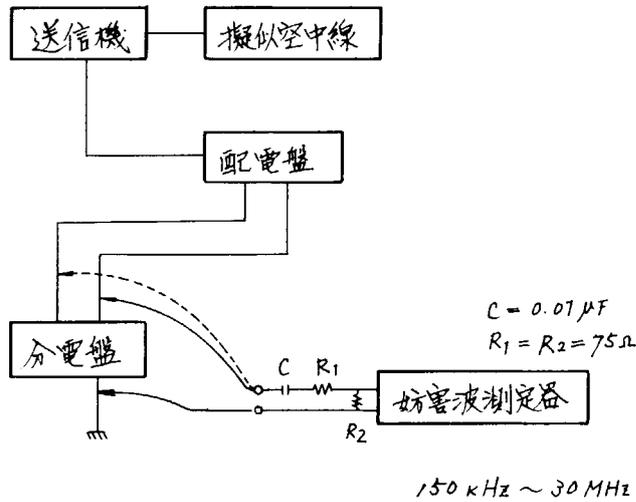
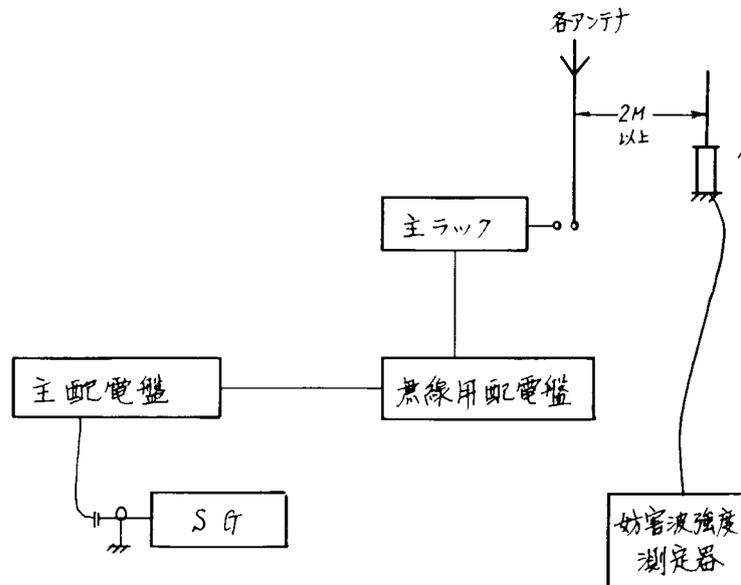
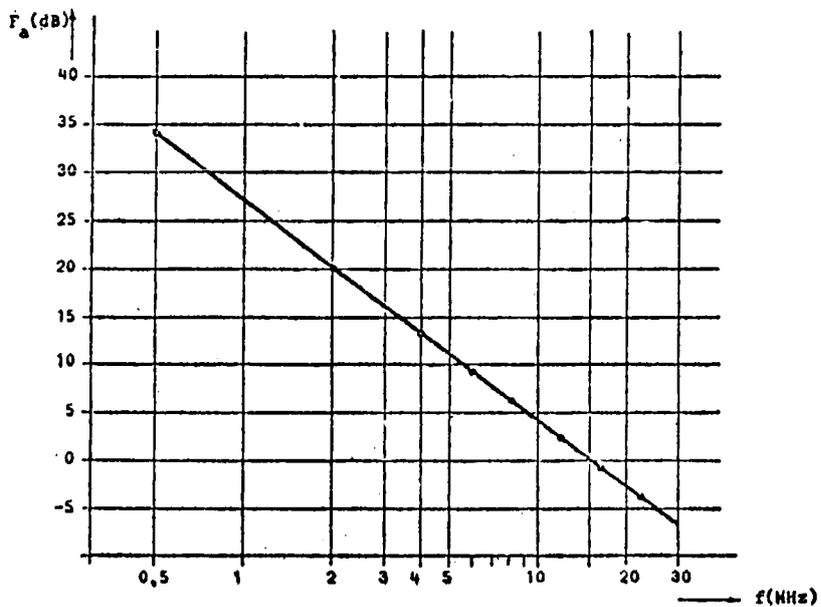
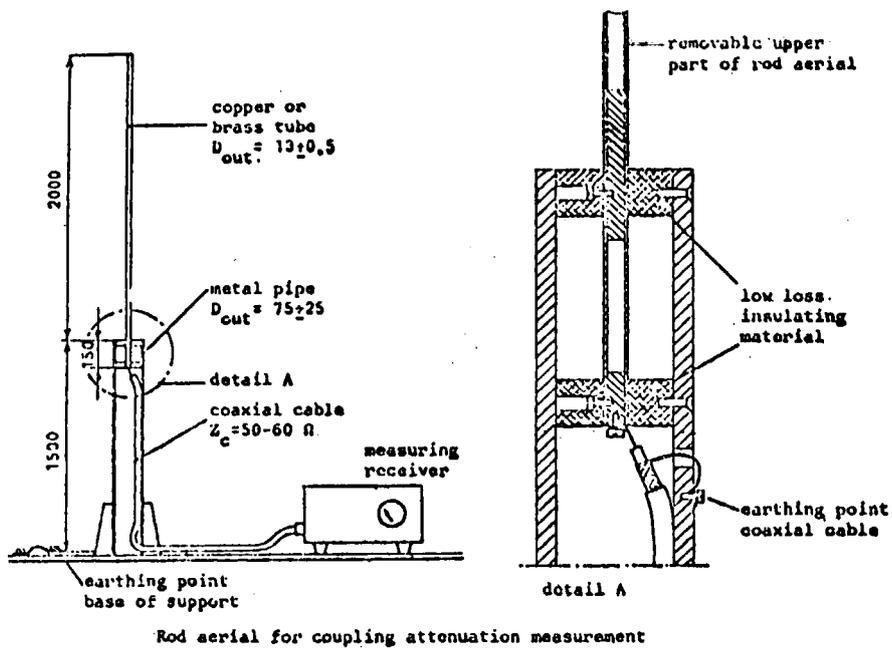


図 12.5.1 電源ラインにおけるRF電圧の測定



Aについては図12.5.3参照。

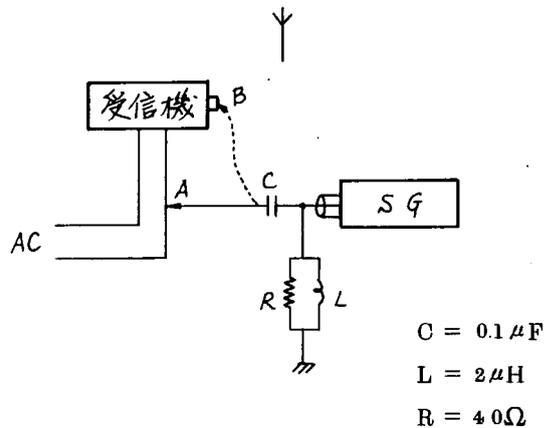
図 12.5.2 相互結合測定回路



Aerial factor  $F_a$  of rod aerial according to figure 1

18(Secretariat)534

☒ 12. 5. 8



A点に約120dBの信号を印加した時およびB点に信号を印加したとき、それぞれ受信機の出力の読みが同一となるようにする。

その時のSG出力の差が免除量

図1 2.5.4 妨害雑音免除限定測定

### 1253 MIL STD (Military Standard)

次に記載するものは米軍電子機器の電磁界妨害に関する規格の中より船舶搭載機器に対するものに限定されている。

試験方法については、検査の対象となる雑音の性質によって次の表示を付して区別している。

- (a) コンダクテッドエミッションテスト (Conducted Emission) はCE…で表示
- (b) ラジエテッドエミッションテスト (Radiated Emission) はRE…で表示
- (c) コンダクテッドサスセプティビリティ (Conducted Susceptibility) テストはCS…で表示

コンダクテッドエミッションとは導体を伝搬する電磁エネルギーを意味し、ラジエテッドエミッションとは空間に於ける輻射誘導電界の成分を指す。

またコンダクテッドサスセプティビリティとは電磁エネルギーが与えられた場合の電子機器の許容度特性 (感度) を意味する。

検査項目として次の事項が定められている。この規格に属するものとして航法、テレメータ、トランスポンダ、レーダ、火器誘導装置を含むすべての無線機器が挙げられる。

- CE04 電源ラインのコンダクテッドエミッション
- CE06 アンテナ端子の伝導妨害
- CS02 電源ラインのコンダクテッドサスセプティビリティ
- CS04 アンテナ端子よりのコンダクテッドサスセプティビリティ
- RE02 ケースとケーブルの輻射
- RE03 10kHz から40GHz までのスプリアス輻射
- RS03.2 ケースリーケージ

(1) CE04 ; 50kHz から50MHzの電源ラインコンダクテッドエミッション

(a) 適用

装置外で中点接地をとった場合を含むAC、DC 電源による装置に対するものである。

(b) 測定器

カレントプローブ

電磁干渉計

インピーダンス安定化回路網 (LISN)

ヘッドホンとIFモニター

50Ω終端

(c) テスト法

図1 2.5.5 (MIL-STD-462 NOTICE3 Fig. CE02)

図1 2.5.6 (MIL-STD-462 NOTICE3 Fig. CE04-1)

注意 ; カレントプローブはEMIメータの読みが最大となる電源ケーブル上に設置

(d) 規格

図1 2.5.7 (MIL-STD-461A NOTICEH Fig. A-3a)

図1 2.5.8 (MIL-STD-461A NOTICEH Fig. A-3b)

図1 2.5.9 (MIL-STD-461A NOTICEH Fig. A-3c)

図1 2.5.10 (MIL-STD-461A NOTICEH Fig. A-3d)

(2) CE06 ; 10kHz から1.24GHzまでのアンテナ端子のコンダクテッドエミッション

(a) 適用

送信機、受信機のアンテナ端子に発生したコンダクテッドエミッションの測定である。但し5W以上の送信機は含まれない。

(b) 測定器

図1 2.5.11 (MIL-STD-462 31 July 1967 Fig. CE06-1)

図1 2.5.12 (MIL-STD-462 31 July 1967 Fig. CE06-2)

図1 2.5.13 (MIL-STD-462 31 July 1967 Fig. CE06-3)

(c) テスト法

出力と周波数により異なり以下に記す。

イ) アンテナ端子出力<13dBW(平均値)で

周波数 < 1.24GHz

の場合図1 2.5.11による。

またキーが上った状態に於ける受信機または送信機に対しては、減衰器とリジエクシヨン回路網が取除かれること以外は同様である。

もし、特別のアンテナを有するときは図1 2.5.13による。

ロ) アンテナ端子の信号が13dBWより大きく37dBWより少ない場合は、図1 2.5.12または図1 2.5.13によるがこのことは次に記す。

10kHz < f < 300MHz の時、試験周波数は10kHz から3000MHz迄変化する。

この場合図1 2.5.12による。

またこの範囲で特定のアンテナを用いるときは図1 2.5.13を用いる。

10kHz < f < 1240MHz の時、試験周波数は10kHz から12400MHz迄変化する。

この場合図1 2.5.13による。

ハ) アンテナ端子の電力が37dBW以上か、動作周波数が1.24GHz 以上の場合には

図 1 2.5.1 9 ( R E 0 3 - 1 )

図 1 2.5.2 0 ( R E 0 3 - 2 )

による。

(d) 規 格

図 1 2.5.1 4 ( M I L - S T D 4 6 1 A N O T I C E 4 C E 0 6 , R E 0 3 )

(3) C S 0 2 ; 5 0 k H z から 4 0 0 M H z の電源ラインのコンダクテッドサスセプティビリティ

(a) 適 用

電源ラインに混入する電磁エネルギーに対する装置の敏感度の試験

(b) 測定器

信号発生器 ; 5 0  $\Omega$  の内部インピーダンスで 7 V ( 負荷時 ) の出力を有するもの  
結合コンデンサ ; 電源周波数成分が信号発生器へ供給されないようにするもので、R F インピー  
ダンスは 5  $\Omega$  またはそれ以下とする。インピーダンスを規定に保つため試験に  
応じて交換する。

真空管電圧計また E M I メータ

(c) テスト法

イ) 一般的に図 1 2.5.1 5 ( M I L - S T D 4 6 2 , 3 1 J u l y 1 9 6 7 C S 0 2 - 1 )

ロ) テストサンプルから 5 cm 以内に真空管電圧計、オシロスコープまたは E M I メータを接続する。

ハ) それぞれの電源線に試験用信号を印加

ニ) もしテストサンプルが一点アースの場合、試験用信号はアースリターンと電源ラインとの間に  
印加する。

ホ) テストサンプルの端子間の電圧を測定記録する。

ヘ) もし、テストサンプルが許容値内で影響される場合、信号レベルを下げ影響されない限界で測  
定記録する。

(d) 規 格

各装置の個別規格による。

(4) C S 0 4 ; アンテナ端子よりのコンダクテッドサスセプティビリティ

3 0 H z ~ 1 0 G H z ( 2 信号発生器法 )

(a) 適 用

入力信号端子におけるスプリアス特性の決定に用いられる。

(b) 測定器

信号発生器

信号発生器の高周波を除去するローパスフィルター

周波数測定器 精度  $\pm 0.5\%$

テストサンプル動作監視モニター

信号発生器との隔離 ( 少なくとも 2 0 d B ) のための回路網で、このもの自体混変調が生じないこと  
が必要

(c) テスト法

イ) 図 1 2.5.1 6 ( M I L - S T D 4 6 2 , 3 1 J u l y 6 7 F i g C S 0 4 - 1 ) により配置

ロ) 信号発生器 2 は電源 OFF 、 信号発生器 1 を使用周波数  $f_0$  とし規定出力とする。変調をかけ  
受信機より正規の出力を得、その時のレベルと周波数を記録する。

ハ) 上記ロ) 項を信号発生器 1 を OFF 、 2 を ON として  $f_0$  と必要な変調により実施し、そのレ  
ベルと周波数を記録する。

- ニ) 両方の信号発生器をONとし1を変調ON、2を変調OFFとする。
- ホ) 信号発生器1のレベルを上記ロ)で得たレベルとし変調もかけておく、信号発生器2のレベルは上記ハ)のレベルとする。
- ヘ) 信号発生器2の周波数を掃引しスプリアスを測定する。
- ト) スプリアス特性が得られると信号発生器2の出力を下げ基準参照出力とし、このレベルとハ)項のレベルの差を計算する。

(d) 注意

信号発生器は受信機感度測定で規定される変調操作に常に準拠し、特に規定のない場合は次の通りとする。

- イ) AM受信機；信号発生器の変調は400Hz 30%
- ロ) SSB、FM受信機；信号発生器は無変調とする。
- ハ) パルス受信機；パルス変調波はそのスペクトラムエネルギーの80%が3dBバンド幅に入るように調整する。

周波数の範囲について次のように定める。

- 1) 増幅器；信号発生器2は $0.05f_1$ から $f_1$ 迄、そして $f_2$ から $20f_2$ まで掃引する。

$f_1$ ；増幅器下限周波数

$f_2$ ；増幅器上限周波数

- ロ) 受信機；信号発生器2の掃引周波数は関連全域にわたる。しかし、帯域特性で80dB低下の幅はとる必要がない。下限の周波数は

$$IF/5 \text{ または } 0.05f_0$$

マルチプルコンバージョンの受信機では上記のIFは最も低い周波数の中間周波数をとる。

上限の周波数は

$$5f_{LO} + IF \text{ または } 20f_0$$

で規定され、 $f_{LO}$ 、IFは受信機の最も高い周波数を意味している。

- ハ) 導波管入力の受信機

周波数範囲として $0.8f_{c0}$ から上記上限の周波数、即ち、 $5f_{LO} + IF$ または $20f_0$ であるが、10GHzを越えないものとする。

$f_{c0}$ は導波管の下限周波数である。

- ニ) すべての信号発生器は高周波とスプリアスのエネルギーを有しているものである。従って、 $f_0$ に対する発振器のエネルギーによるものを受信機のスプリアスと間違えないよう注意しなければならない。スプリアス特性は $f_0/2$ 、 $f_0/3$ 、 $f_0/4$ ……となり、発振器の高周波ではない。

(e) 規格

不具合が生じないこと。

(5) RE02；14kHzから10GHzの電磁界輻射

(a) 適用

ユニット、ケーブル、装置間配線から輻射される電磁界に対する測定である。

- イ) 狭帯域の輻射については14kHzから使用周波数の10倍とし高くても10GHzまで
- ロ) 広帯域については14kHzから1GHzまで

(b) 測定器

アンテナ

EMIメータ

10μF貫通コンデンサ

(c) テスト法

図 1 2.5.1 7 (MIL-STD 462, 31 July 1967 RE02-1, RE02-2)

(d) 規 格

狭帯域の場合

図 1 2.5.1 8 (MIL-STD-461A 1AUG 68 RE02)

広帯域の場合

図 1 2.5.1 9 (MIL-STD-461A 1AUG 68 RE02, 05)

(6) RE03 ; 10kHz から 40GHz までのスプリアス、高調波輻射

(a) 適 用

送信機の高調波、スプリアス輻射についての測定であり、次の条件の時用いられる。

イ) 出力が平均 5 KW 以上のとき

ロ) 基本周波数が 1.24 GHz 以上のとき

ハ) アンテナが取外せず、ダミーロードに交換できない場合

(b) 周波数範囲

送信機周波数	試験周波数
10 ~ 30 kHz	10 kHz ~ 10MHz
30 ~ 300 kHz	10 kHz ~ 100MHz
300 kHz ~ 3MHz	10 kHz ~ 600MHz
3 MHz ~ 30MHz	10 kHz ~ 1 GHz
30MHz ~ 300MHz	1 MHz ~ 3 GHz
300MHz ~ 1.24 GHz	10MHz ~ 1.24 GHz
1.24 GHz ~	送信用フェーダが同軸の時 200MHz が最低 送信用導波管の場合 $0.8 \times f_{co}$ が最低 上限は 40 GHz

(c) 測定器

1000MHz までについては次のものが必要

イ) EMI メータ

ロ) アッテネータ

ハ) アンテナ

次の通り区分

0.01 ~ 25MHz	0.5 メータ実効高
25 ~ 200MHz	132cm バイコンカルアンテナ
200 ~ 1000MHz	キャビティバックスパイランアンテナ AEL MODE ASN-1232 相当

1000MHz 以上の測定については次のものが必要

イ) スペクトラムアナライザ; ヒューレットパッカート 851B

表示部 8551B

ロ) 進行波管増幅器; ワトキンズジョンソン同等

WJ-268 1 ~ 2 GHz

WJ-269 2 ~ 4 GHz

WJ-271 4~8GHz

WJ-276 8~12GHz

ハ) フィルター; ワトキンスジョンソン同等

581-04 1~2GHz

582-08 2~4GHz

583-03 4~8GHz

584-03 8~12GHz

ニ) カウンター; シストロン 1037BD同等

ホ) 信号発生器

ヘ) アンテナ

1~12GHz; キャピティバックスパイラルアンテナ AEL ASN-116 同等

キャピティバックスパイラルで3フィート皿に設置したものでAEL ASN

1242 同等

(d) テスト法; 1GHz以上の測定法

アンテナを選定し、TWTとか減衰器を調整して次式が満されるようにする。

$d \geq 0.4 D$ の時

$$P_R = P_T + G_T - 20 \log 4\pi + 40 \log \frac{\lambda}{D+d} + G_R$$

$d < 0.4 D$ の時

$$P_R = P_T + G_T - 20 \log 8\pi + 40 \log \lambda + G_R$$

$P_R$ ; スペクトルアナライザへの供給電力

$P_T$ ; 送信アンテナの " (dBm)

$G_T$ ; 送信アンテナの利得 (dB)

$\lambda$ ; 波長(m)

$D$ ; 受信アンテナの最大寸法 (m)

$d$ ; 送信アンテナの " (m)

$G_R$ ; 受信アンテナの利得+TWTの利得-ケーブル損失

-減衰量-フィルタ挿入損失

$T$ ; パルス幅( $\mu s$ )

但し、 $P_R$  は約0dBmに設定し、 $P_T$  は送信機設計値でよい。

送信アンテナと受信アンテナとの距離Rは次のようにして求める。

$d < 0.4 D$ の時

$$R = 2 D^2$$

$d \geq 0.4 D$ の時

$$R = \frac{(D+d)^2}{\lambda}$$

送信アンテナと受信アンテナの地表からの高さhは次の式で求める。

$$h = \frac{D^2}{d}$$

最高周波数に於ける受信電力 $P_R$ は次により求める。

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

上式によりスペクトルアナライザの最少入力より少くとも10dB高い電圧が $P_R$ で与えられることを確認するが、もし低い場合は受信機の利得を上げるとか、減衰器を調整する。

図1 2.5.20 (MIL-STD 31 July 1967 RE03-1) か

図1 2.5.21 (MIL-STD 31 July 1967 RE03-2)

を設置する。

次の方法により送信アンテナへの電力値を測定記録する。

1) スペクトルアナライザ入力が-10dBmと仮定して調整する。

スペクトルアナライザの帯域幅を入力信号をよく表示するよう設定する。パルス送信に対してパルス幅 $T$ とし、バンド幅は $2/T$ となる。

2) 送信機のキーを押す乍ら、受信送信機両アンテナのメインローブを合わせる。これは両アンテナの角度と高さを調整し、スペクトルアナライザで最高の表示が出るようにすればよい。

3) スペクトルアナライザのCRT上で信号の最高の分解能が出るようアナライザーを調整する。

この調整ができれば、後は一切再調整はしない。

4) 受信アンテナとスペクトルアナライザを切離すとともに発振器を入力に接続する。

5) 発振器の出力を調整し、上記受信レベルと同一のコンベローブが出るようにする。この時、発振器の出力は上記送信機と同様の変調とする。

6) スペクトルアナライザに供給されている発振器出力を測定記録する。

次の式に $f_0$ に於けるそれぞれの値を代入し、値を確認する。

$$P_T = \frac{(4\pi R)^2 P_R}{G_T G_R \lambda^2}$$

上記 $P_T$ の値は送信機の出力に結合したモータ電力により測定した値の±2dB以内であるはずである。

もし、誤差が±2dBより大きいときは距離、アンテナ地表反射等チェックして上記の測定をやり直す。

勿論チェックする周波数全部について送信両アンテナのメインローブに入っていないければならない。

(e) 規格

図1 2.5.14 (MIL-STD 461A NOTICE CE06 RE03)

1. 5cm スタンドオフ
2. アース板への低インピーダンスアース
3. カレントプローブ
4. テストサンプルのシャーシ接地
5. ホット側
6. リターン
7. アース板と筐体との熔接インピーダンスは $2.5\text{mm}\Omega$ 以下

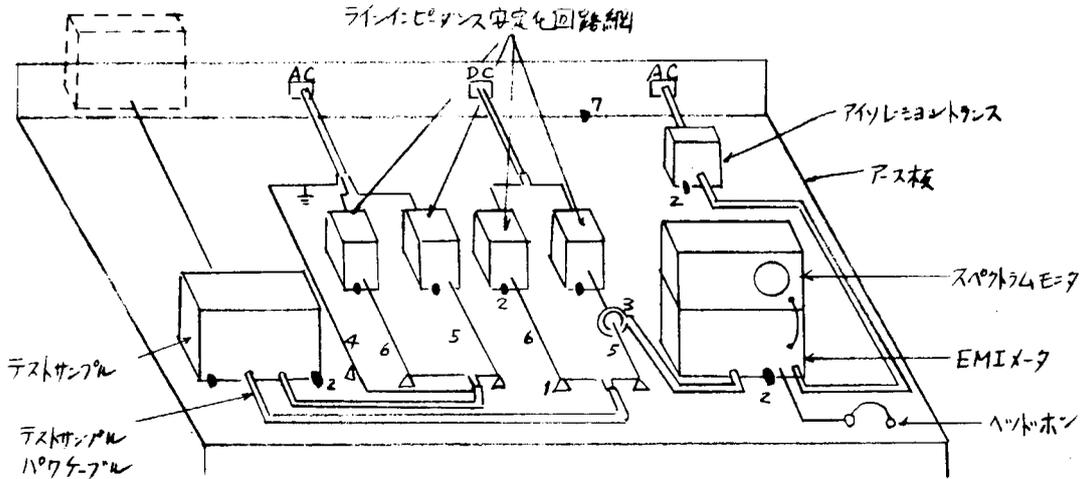
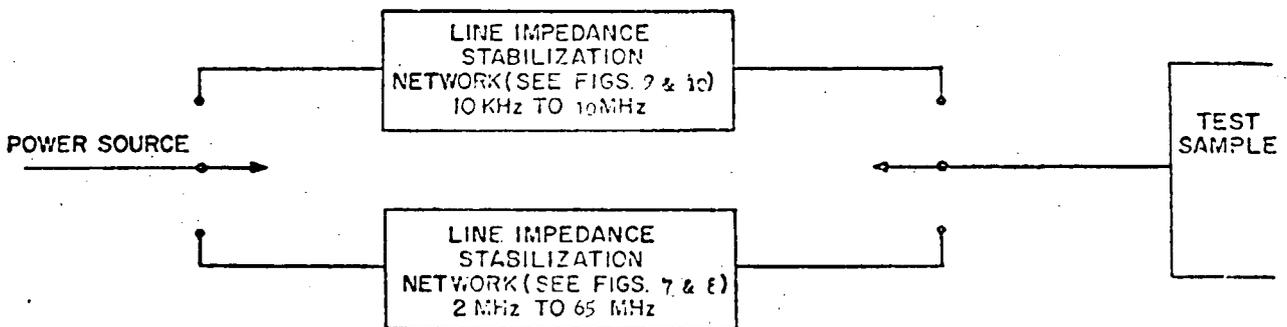


図 12. 5. 5 (MIL-STD 462 NOTICE 3 Fig. CE02)



DETAILED SETUP OF LINE IMPEDANCE STABILIZATION NETWORKS

図 12. 5. 6 (MIL-STD-462 NOTICE 3 Fig. CE04-1)

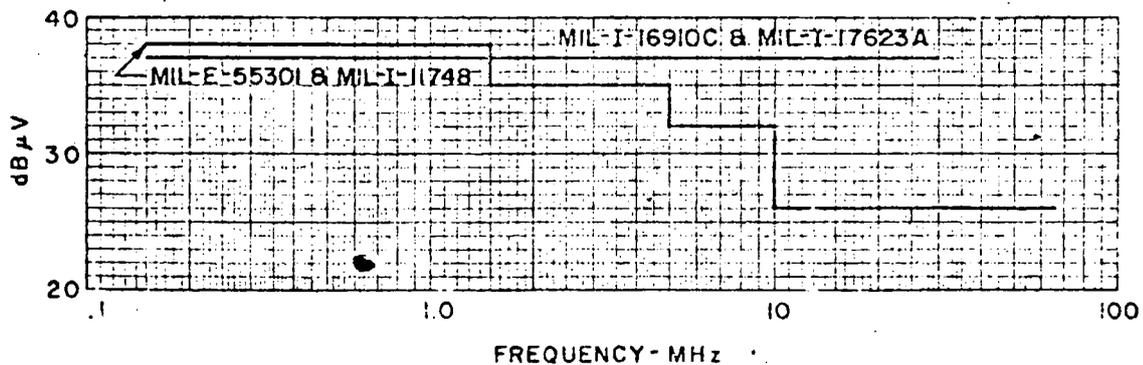
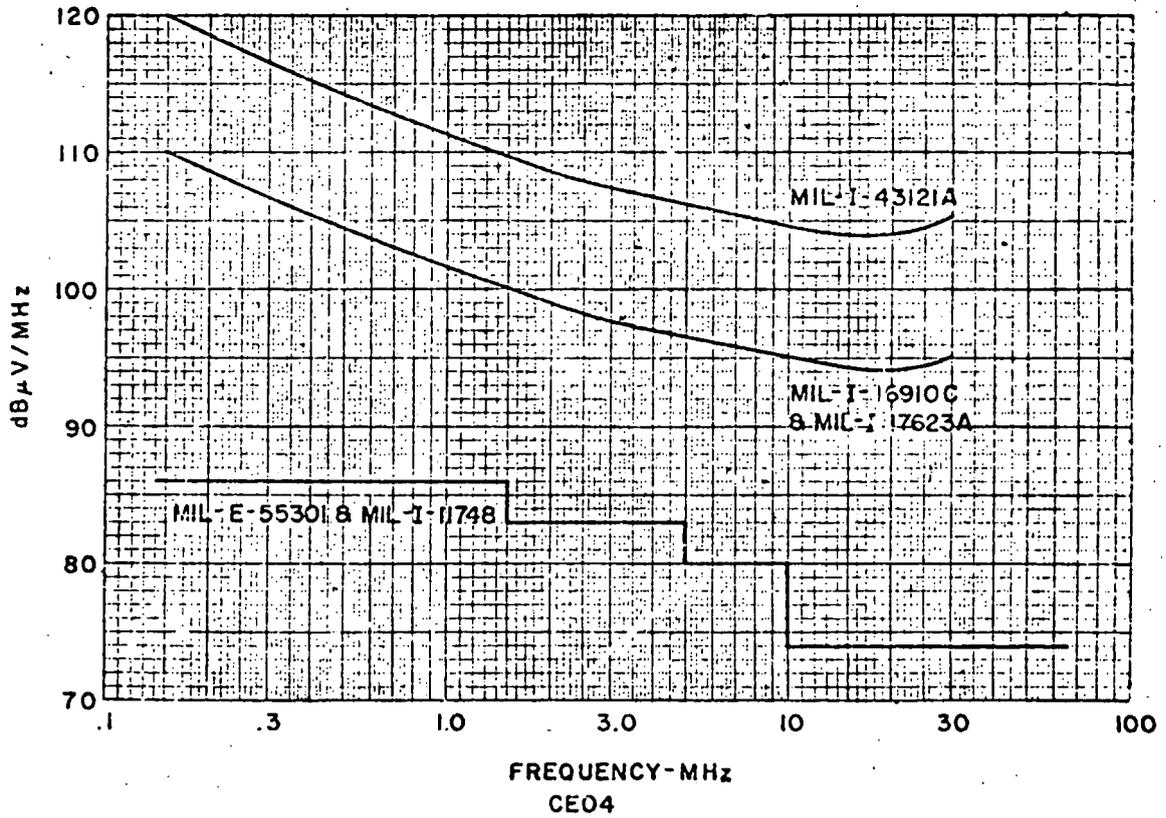
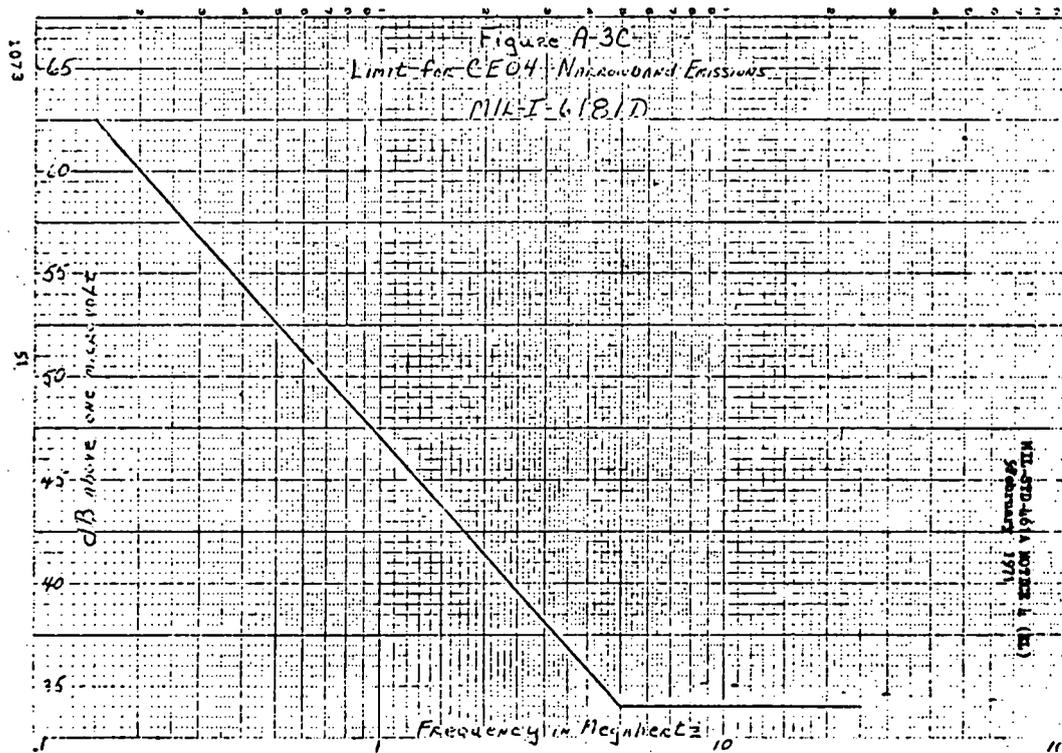


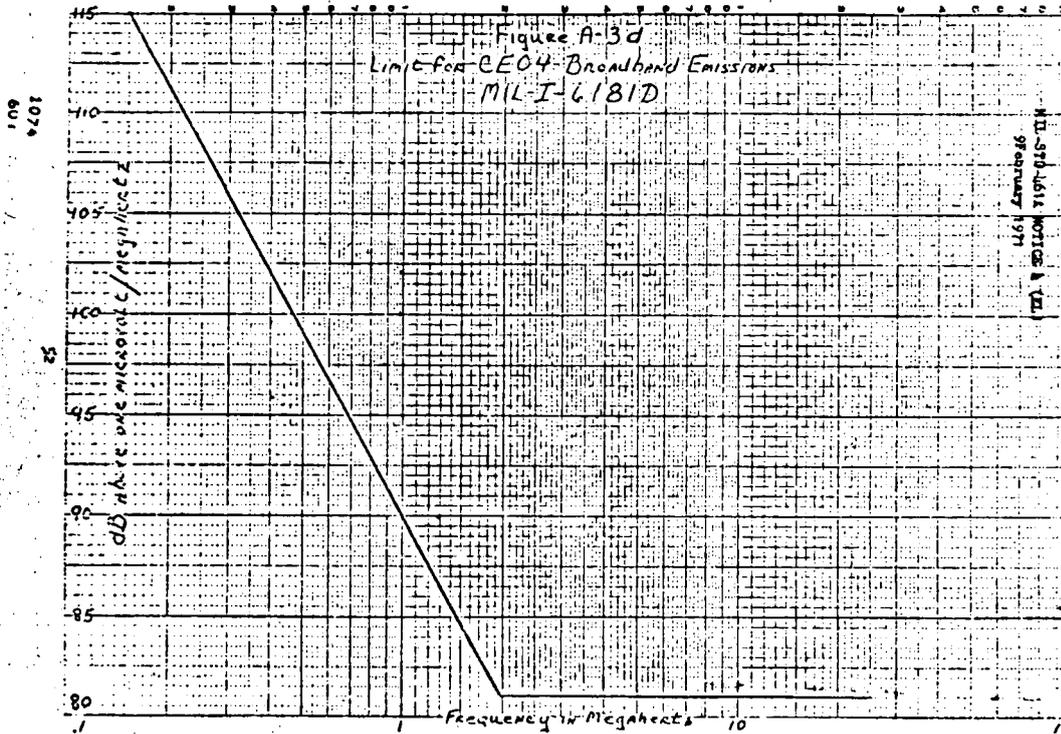
図 12. 5. 7 (Fig. A-3b Marrowband Emissions)



12.5.8 (Fig. A-3b Broadband Emissions)



12.5.9

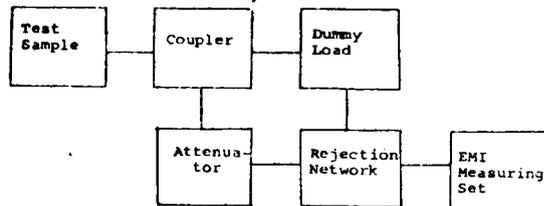


12. 5. 10



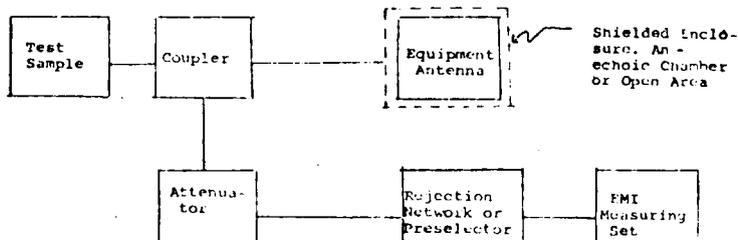
Avg. Power at input to EMI meter at  $f_0$  should not be greater than - 30 dBw

12. 5. 11 (Fig. CE06-1 Test Setup for Conducted Emission, Antenna Terminal)

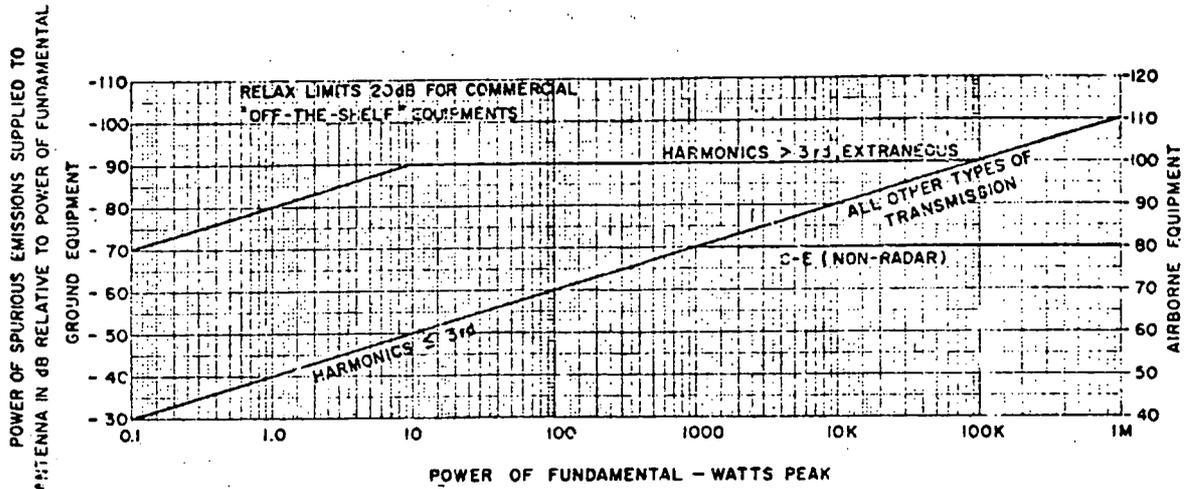


Avg. Power at input to EMI at  $f_0$  should not be greater than - 30 dBw

12. 5. 12 (Fig. CE06-2 Test Setup for Conducted Emission Antenna Terminal)

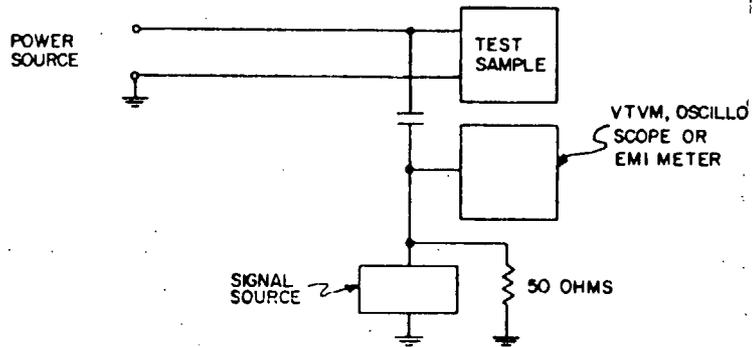


12. 5. 13 (Fig. CE06-3 Test Setup for Conducted Emission Antenna Terminal)

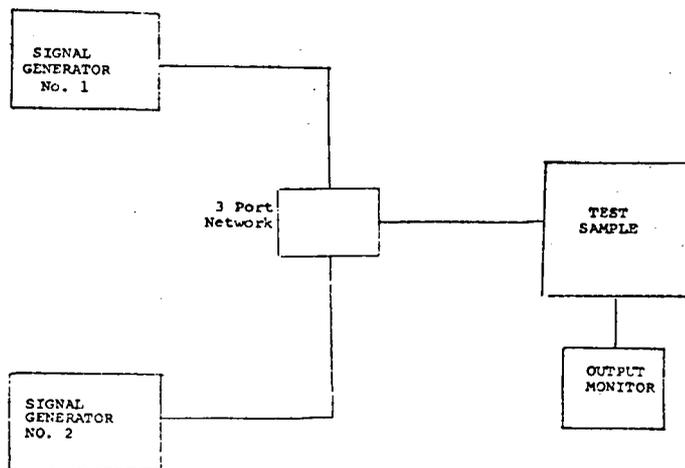


(Fig. 7 Harmonic-Extraneous Emission Limit for CEO6 and RE03)

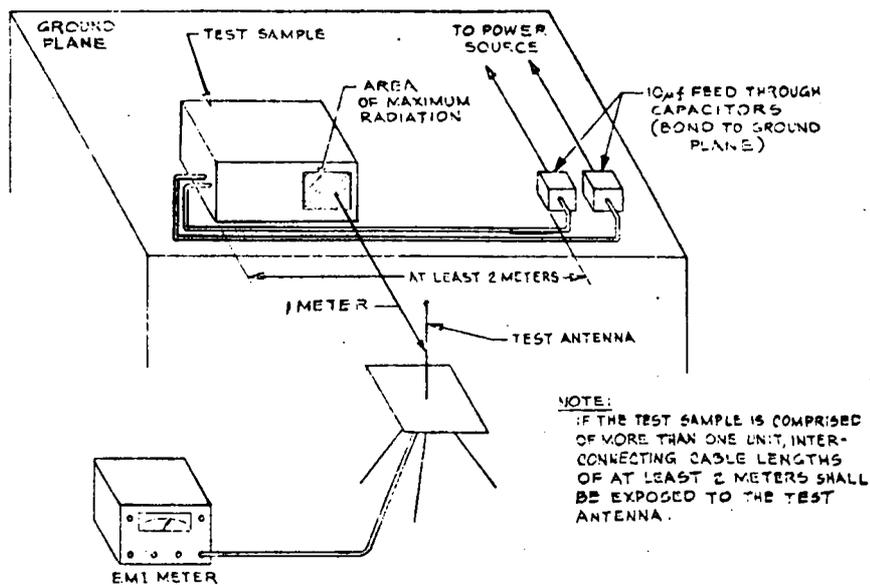
12. 5. 14



12. 5. 15 (Fig. CS02-1 Conducted Susceptibility 50 kHz to 400 MHz)

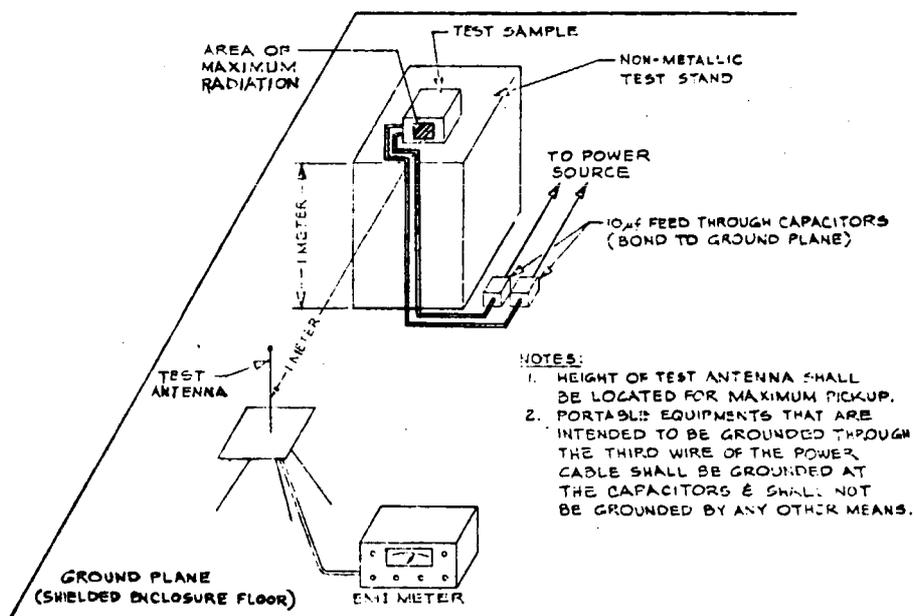


12. 5. 16 (Fig. CS04-1 Conducted Susceptibility, 30 Hz to 10 GHz, Rejection of Undesired Signals at Input Terminals, 2-Signal Generator Method)



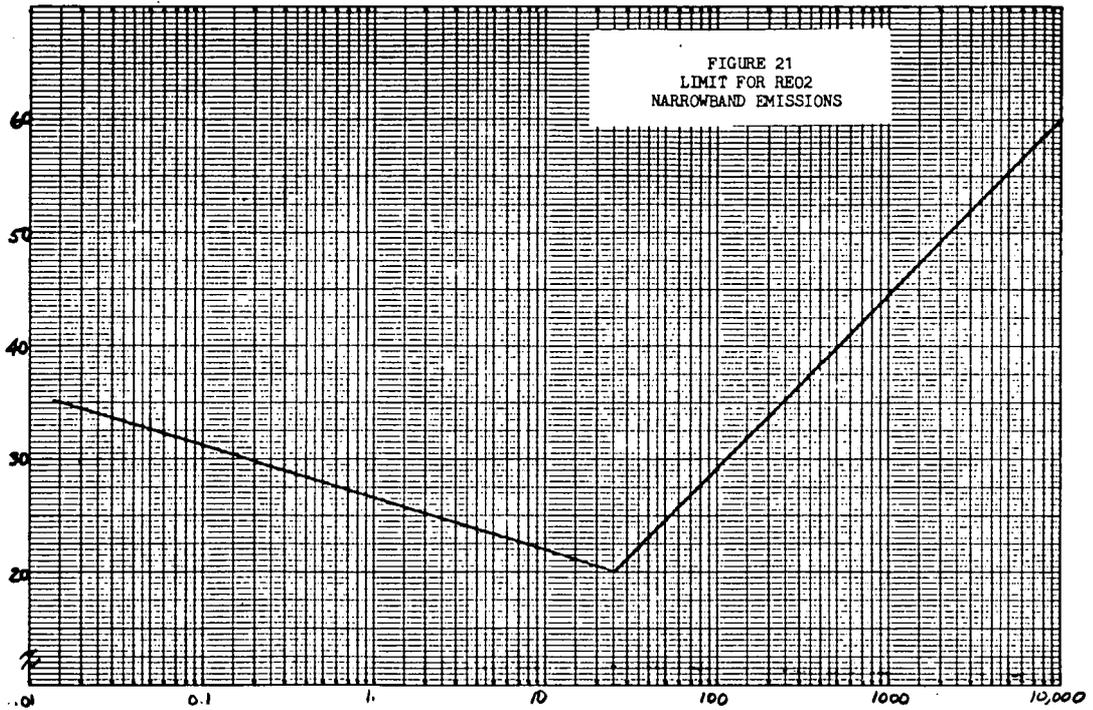
(Figure RE02-1 - Typical test setup for radiated measurements)

☒ 12.5.17 (1)

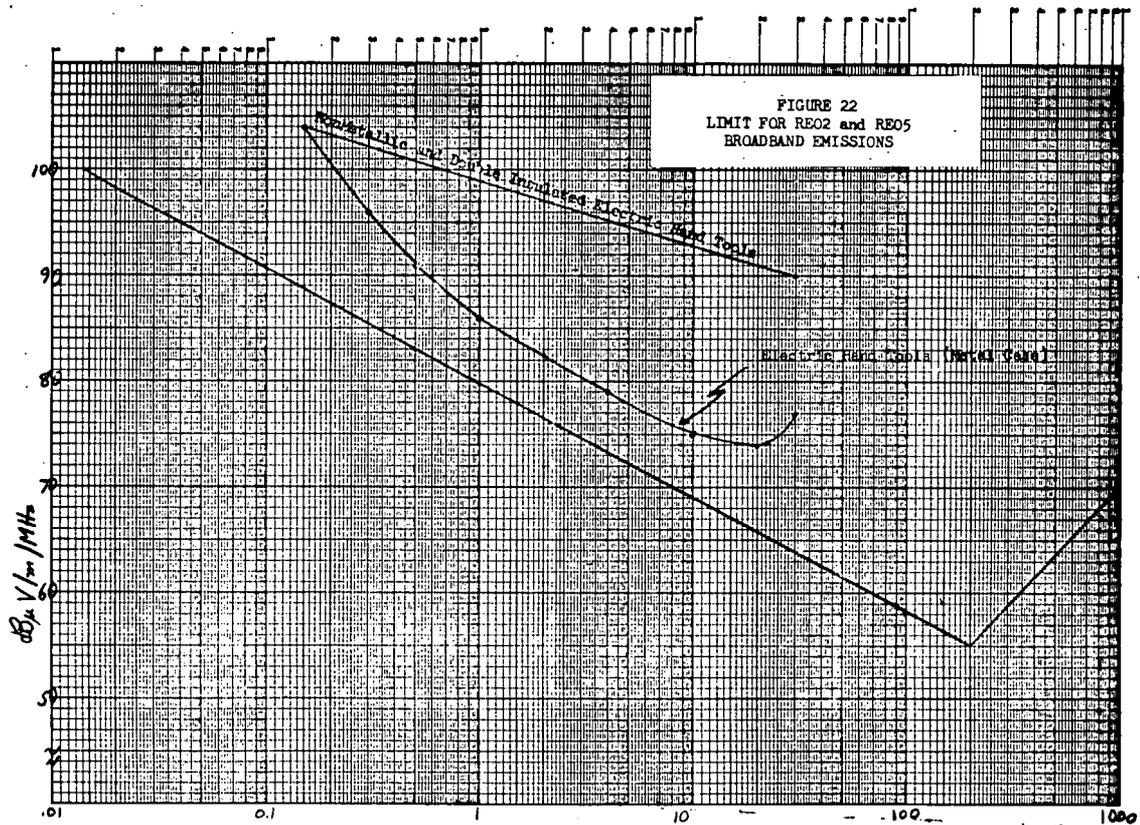


(Figure RE02-2 - Typical test setup for radiated measurements on portable equipment.)

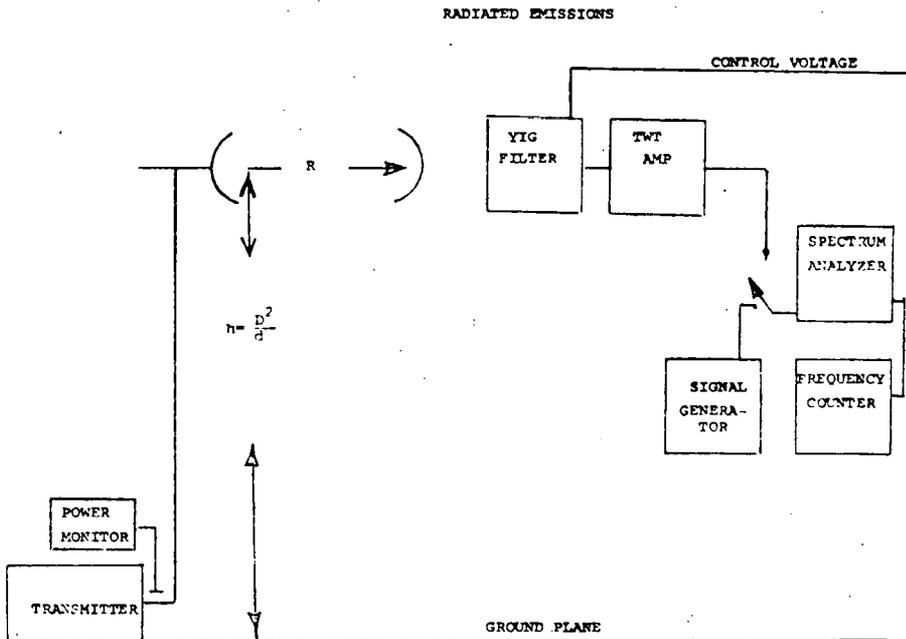
☒ 12.5.17 (2)



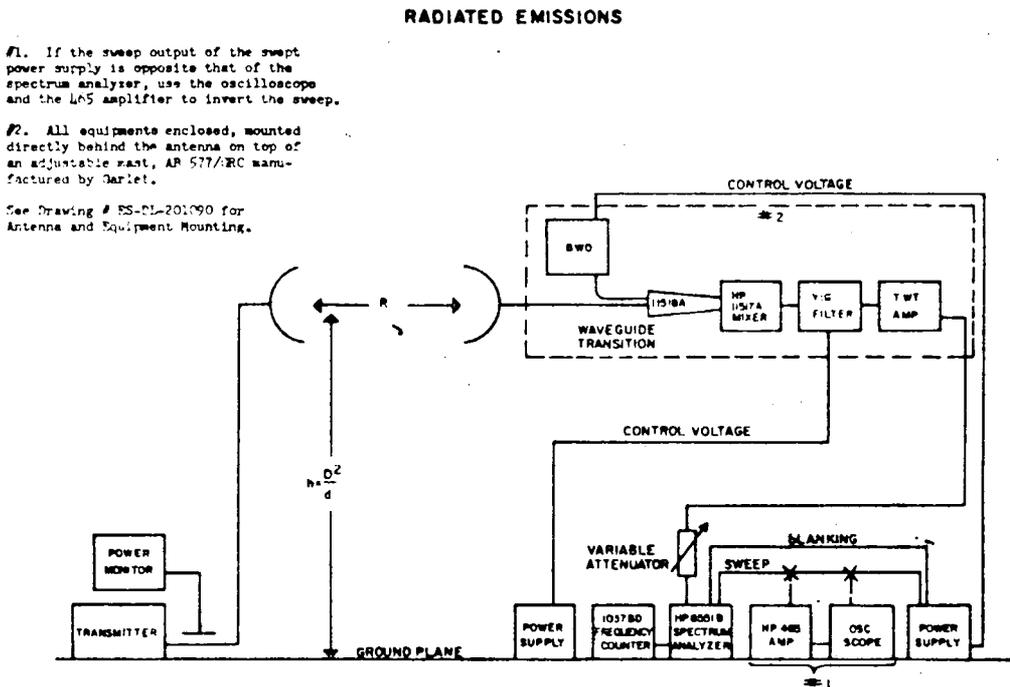
☒ 12. 5. 18



☒ 12. 5. 19



12. 5. 20 ( Fig. RE03-1  
Typical Test Setup - Spurious and Harmonic Emissions )



12. 5. 21 ( Fig. RE03-2  
Typical Setup - Spurious and Harmonic Emission )

## 12.5.4 JMS

日本船舶標準協会規格として次のものがある。

### (1) ノルマルモードノイズ

信号源と負荷回路を結ぶ機器の入出力信号回路網に直列に発生するノイズ起電力で

電磁誘導ノイズ

静電結合ノイズ

電波障害ノイズ

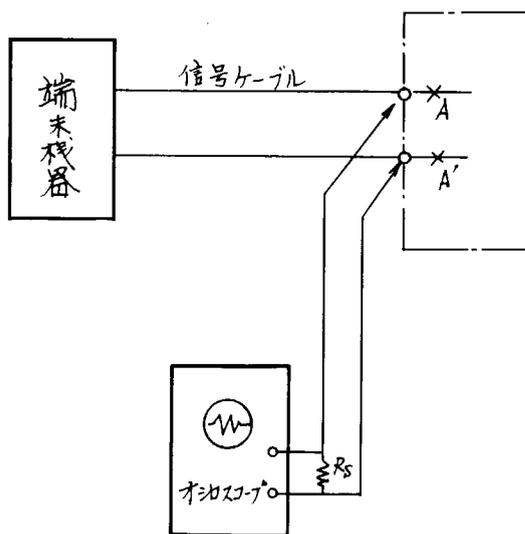
に分類できる。

1) 測定法；図1 2.5.2 2 による。

### (2) コモンモードノイズ

機器入出力信号ケーブルの長さ、周囲の電界等の影響によってケーブルとアース間に電位差が生じることによるもの

1) 測定法；図1 2.5.2 3 による。



- 1) AA' を取り外す
- 2)  $R_s$  を取り付ける
- 3) オシロスコープで電圧を観測

図1 2.5.2 2 ノルマルモードノイズ測定法

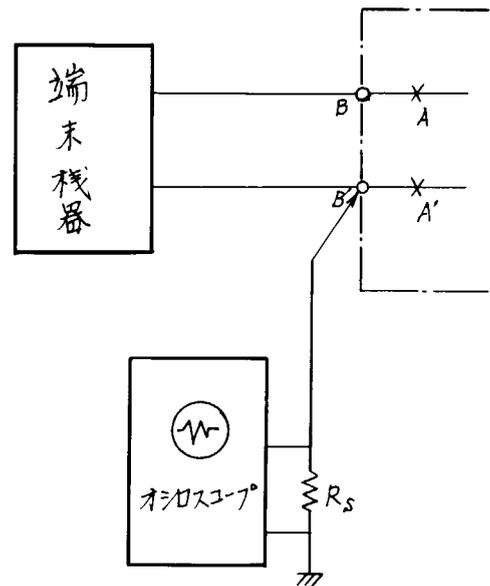


図1 2.5.2 3 コモンモードノイズ計測法

## 12.6 発生側に於ける対策

原因別に妨害を大別し、その一般的対象を併記すると次の通りである。

- (1) 静電的妨害；静電シールド
- (2) 電磁的妨害；電磁シールド
- (3) 電磁波による妨害；電磁シールド
- (4) 電源（特にサイリスタ）のスパイク；シールド絶縁トランスとかAVRを被妨害側へ入れる。
- (5) 放電管による妨害；コンデンサー、ラインフィルタ

## 12.7 被妨害装置側の対策

原因別に大別し、その対策の一般的なものを記す。

### (1) 静電誘導によるもの

信号線の短縮、インピーダンスの低下、シールド線ツイスト線の使用、シールドカバーの採用

### (2) 電磁誘導によるもの

シールド線の使用、布線の短縮化、アースのインピーダンスを低下、信号回路を導磁率の高い金属でシールド

## 12.8 む す び

以上で船上雑音の種類、伝搬の仕方、一部の実測、現行の測定法及び関連規格について調査したが、今後の進め方として、これらに基づき本研究に則した測定項目、測定法を選定確立し、実測用機器の整備と実測を実施し、妨害波発生機器に対する対策と妨害機器についての必要条件を設定する所存である。

### 参考文献

1. JMS 日本船舶標準協会規格 9802-1973 船内ノイズ計測方法
2. BULLETIN TECHNIQUE DU VERITAS. DECEMBER 1972
3. IEC/TC-18 OSLO (OCT 1971) IEC PUBLICATION CHAPTER-VI
4. FCC; TYPE APPROVAL TESTS ON MARINE RADAR (JUNE 12, 1968)
5. MIL-STD 461A, 462, 463
6. CCIR DOC. Report 591 Vol VII
7. 電子機器の遮蔽設計 荒木庸夫著 日刊工業新聞社
8. 電子回路ノイズ&トラブル対策 茂木充著 CQ出版社
9. CCIR DOC. 8/68-E

### 1 3 船舶地球局装置の設計及び評価の仕様（暫定案）

船舶地球局装置の設計にあたり、まず関連資料の調査からはじめ、特に衛星を利用する船舶塔載用機器としての特殊性に鑑み、その主要性能、機構性能、運用性能、人間工学的性能、保守性能などを、それらの評価をも含めて考慮し、仕様項目を作成した。

76年2月の国際海事衛星システムの設定に関する第2回政府間会議において、まず国際海事衛星組織が正式に発足し、その技術を決定する部会において、国際海事衛星のシステムないしそのサブシステムである船舶地球局装置の要求が逐次固まっていくものと考えられるが、未だそれが決められてない段階で、仕様項目を作成するには余りにも多くの仮定をする必要がある。また、現在IMCO、MARISAT、INTELSAT、MAR-OTS計画が進められているが、船舶地球局装置の仕様項目を作成するために必要な基本パラメータに関する仕様もまちまちで、IMCOでも未だ決められてないものが多い。しかし、最も実現の早いMARISAT計画の実績に影響されるものと考えられるので、当面はこれを参考として作成した。したがって国際海事衛星計画が進むにつれ、仕様項目を逐次訂正して行くべきである。また、無線測位とか遭難通信などを含めて小形アンテナの使用などについて今後十分に検討する必要がある。

以下、海事衛星システムにおいて、衛星を介して海岸地球局ないし他の船舶にアクセスする船舶地球局装置の仕様項目について述べる。しかし、ここに述べたものは、ある規準について述べるもので、その海事衛星システム内で他に害を与えなく、かつ同等もしくはそれ以上の性能を持てば、船舶の種類、航路などにより代替仕様も許される。

#### 13.1 船舶地球局装置の一般仕様

- (1) 使用周波数帯 : 受信 - 1535.0 - 1543.5MHz  
送信 - 1636.5 - 1645.0MHz
- (2) サービスの形式 : 連続、常時、同時送受可能な海上移動通信業務サービス
- (3) 運用 : 24時間/日
- (4) 設計寿命 : 10年
- (5) 電源 : 100VAC $\pm$ 10%、60Hz $\pm$ 4Hz 単相を標準とする。  
1秒以下の電圧+20%、-50%以内、周波数 $\pm$ 20%のサージに対し障害なく調整不要なこと。船舶の電源に一点接続し、空中線制御装置内に主回路遮断器を、さらに各分岐にも回路遮断器を備え、安全接地システム、信号接地システムによる接地を行うこと。
- (6) 干渉 : 無線周波干渉を生じないこと。他に干渉を与えないこと。静電気ならびに回転機械などによる無線周波雑音は軽減手段をほどこし、15~30MHz において80dB以下であること。
- (7) 保守 : 変換可能なモジュールを最大限活用し、保守時間を短くすることが望ましい。また、送受信部、操作部とも完全フロントサービス構造が望ましい。原則として入港時に行なう。
- (8) 設置場所 : アンテナ部は、後に13.4(3)に定めるとき Above Deck に、送受信部、操作部は Below Deck に設置する。  
送受信部、操作部を一体化した構造の場合には、操舵室、もしくは無線室内に設置する。また、送受信部、操作部を分離した構造の場合には、操舵室、無線室内でもたがいに分離して設置でき、また、他の場所、例えば、ロッカー、シャイロ室、

電話交換室などにも設置できる。また、これらの設備の高さは1850mm以下であること。

アンテナ部と送受信部間の同軸ケーブルは50mまでとし、100mまでもオプションとして設置可能であること。

- (9) 搬入条件 : 送受信部、操作部において一体構造あるいは分離構造、何れでも600mm×1500mmのドアを通れることが望ましい。
- 操舵室に設置する場合は、800mm×1800mmまで、無線室、事務室その他に設置する場合は600mm×1600mmまで許される。
- これら諸搬入条件では分割して搬入することも許される。

## 132 受信信号特性

仮りに電信および割当メッセージトラフィックに対し、TDM搬送波を用いるとすれば、その受信が可能であること。各海岸地球局からTDM搬送波(少なくとも1個)が送られ、また、サービスの連続性のために各衛星覆域内では1個の共通な周波数が使用される。

### (1) TDMチャネル特性

- 変調 : 2φPSK
- 曖昧さ : ディファレンシャル・コーディング
- データレート : 1200bps ,  $1 \times 10^{-4}$
- フレーム長 : 0.29s
- 同期 : 20ビットユニークワードおよびユニークワード/6フレーム
- コーディング : 57ビット+6パリティビット
- 電話チャネル : 12ビット/フレーム
- キャラクタコード : CCITT コード#2

### (2) TDMキャリアRF特性

- 電磁界強度 : 仰角5°で-155.1dBW/m<sup>2</sup>以上
- 周波数のズレ : ±550Hz以下

仮りに電話およびビーコンの音声チャネルに対し、船舶地球局装置はシングル・チャネル・パー・キャリアFM音声チャネルと衛星トラッキングビーコンの受信設備を持つこととする。

### (3) 音声チャネル特性

- 音声信号の変調 : FM
- 最大周波数変化 : 12kHz
- ベースバンド : 300-3000Hz
- コンパネディング : 2:1 シラブル(CCITT Rec. G.162)
- エンファシス : なし

### (4) 音声キャリアRF特性

- 電磁界強度 : 仰角5°で-152.1dBW/m<sup>2</sup>以上
- 周波数のズレ : ±550Hz以下

### (5) ビーコン信号RF特性

- 電磁界強度 : 仰角5°で-167dBW/m<sup>2</sup>以上
- 周波数 : 1541.5MHz ,  $\pm 1 \times 10^{-5}$

### 13.3 送信信号特性

テレプリンタ・メッセージ・トラフィックのTDMAキャリア(キャリア当りのテレックスチャンネル数を仮りに22個とする)とリクエストサービス用のリクエストキャリア(1個の周波数がランダムベースでタイムシェアされるとする)の送信設備を持つこと。

#### (1) TDMAチャンネル形式と変調特性

海岸地球局からの各TDMキャリアに伴うTDMAキャリア周波数1個が存在し、この波が各衛星覆域内で使うものとする。

変調 : 2φPSK コンスタント・エンベローブ  
曖昧さ : ディファレンシアル・コーディング  
データレート : 4800 bps,  $\pm 1 \times 10^{-4}$   
フレーム長 : 1.74 s  
バースト長 : 37.7 ms  
データ : 72ビット, 各々6ビットの12キャラクタ  
キャラクタコード : CCITTコード#2

#### (2) TDMAキャリアRF特性

実効放射電力(e, i, r, p) :  $37 \pm 1$  dBW  
スプレアス出力

e, i, r, p : 任意の4 kHz 帯域内で下記の値以下

13.1(1)の送信周波数帯において - 22 dBW以下

その送信周波数帯より1.5 MHz 離れた

周波数において - 52 dBW以下

13.1(1)の受信周波数帯において - 87 dBW以下

高周波出力

e, i, r, p : 40 GHz までの任意の周波数で - 22 dBW以下

周波数精度 :  $\pm 250$  Hz 以内

#### (3) リクエスト・チャンネル

船舶地球局装置から送られるリクエスト・キャリア・バーストにより、海岸地球局から通信チャンネルの割当を得る。呼を開始したい船舶地球局は、共通リクエスト周波数を用いる。

変調、曖昧さ、データレート、ユニークワードはTDMAと同じ。

コーディング : 39ビット+24パリティビット

#### (4) リクエスト・キャリアRF特性

TDMAと同じRF仕様

#### (5) シングル・チャンネル・パー・キャリア(SCPC)FM音声チャンネル特性

音声キャリアRF周波数は送信と受信とは対をなし、前者は後者より10.15 MHz 周波数の高い波とする。

送信音声信号の変調、最大周波数変化、ベースバンド、コンパッディング、エンファシスなどは13.2(3)の仕様と同じである。

#### (6) 音声キャリアRF特性

船舶地球局から送信されたFM音声キャリアのe, i, r, p, スプレアス出力、高周波出力、周波数精度などは13.3(2)の仕様と同じである。

## 13.4 アンテナ・サブシステム

### (1) アンテナ特性

- 偏波面 : 送受とも右廻り円偏波 (CCIR Rep. 321)
- 利得 : 送信、受信周波数において、アンテナ利得はG/Tおよびe, i, r, p仕様を満足するような値を持つこと。
- サイドローブ : ピーク利得以下18dB以下  
45°以上で0dBi以下
- エリプティシティ : 1.5dB以下
- ダイブレックサ : 送受分離90dB以上  
振幅リップル0.5dB/MHz以下

- (2) アンテナ操作性 : 軌道傾斜5°以内、日中の経度運動±1°以内の静止衛星の方向にアンテナビームを指向させ得ること。  
G/Tおよびe, i, r, p仕様を満足するようにアンテナビームを連続して指向する手段を具備すること。

(自動追尾、プログラム追尾、手動追尾など)

- (3) アンテナの配置 : アンテナサブシステムはアンテナ制御装置を除き、Above Deckに配置し、別に定める環境条件のもとに、その性能、作動の劣化ならびに障害の起らないよう設置すること。

- (4) レードーム : 環境条件から現在レードームの使用が望ましいが、環境条件に耐えるならば使用しなくてもよい。

- (5) アンテナ制御装置 : Below Deckに配置し、船舶地球局装置の通信RF装置を作動させ、制御させるもので、ディスプレイ装置と制御装置を備え、半自動で作動可能なこと。  
また、人間工学的に、また、フロント・アクセス方式に設計すること。その機能は下記の制御およびディスプレイが可能のこと。

アンテナON/OFF制御、電力増幅器ON/OFF制御、送信電力表示、低雑音受信器、ON/OFF制御、アンテナ方位角、仰角のデジタル表示、アンテナ動作モード表示、アンテナ手動指向制御

## 13.5 受信サブシステム

受信装置はインテグレートされた全固体回路とし、設置場所については十分検討の上決定すること。

- (1) 受信系のG/T : 晴天時、アンテナポインティング誤差、船舶の動揺、風、送信機の動作モード如何にかかわらず仰角5°以上、天頂まで受信系のG/Tは0~-10dB-Kとする。また、電信のみの装置では-19dB-K程度とする。

以下低雑音増幅器の標準仕様を示す。

- (2) 雑音温度 : (1)のG/Tを満たす雑音温度とする。トランジスタ増幅器を想定すれば受信系雑音温度は約500°Kとする。
- (3) 利得 : 前記受信周波数帯で50dB以上。受信周波数帯外50MHzまで、2dB/MHz以上で減衰し、それ以外では最大利得より少くとも100dBダウンとする。
- (4) 帯域幅 : 8.5MHz (1535.0-1543.5MHz) (0.5dB点)
- (5) 利得安定度 : 3dB/月以下、6dB/年以下
- (6) 動作域 : 受信機入力-60dBmの2個の帯域内テストキャリアのレベルよりも帯域内3次変調雑音が少くとも60dB以上少いこと。

- (7) 利得傾斜 : 0.1 dB/MHz
- (8) リップル : 0.5 dBp-p 以下
- (9) 入力VSWR : 1.25 以下
- (10) スプリアス信号 : 出力で任意の100 kHz 帯内で-142 dBW以下(3次変調積は除く)
- (11) 過負荷特性 : 1520~1550 MHz 内で+3 dBmまでの入力に対し、特性劣化、寿命短縮が起らないこと。
- (12) マイクロフォニック : マイクロフォニック出力が見られないこと。
- (13) 飽和特性 : 入力信号-40 dBmに対し、利得圧縮1.5 dB以下
- (14) TDM復調器特性  
 入力C/N<sub>0</sub> 43.4 dBHz、(ダウンコンバータ誤差を除いて)周波数オフセット550 Hz、クロック周波数オフセット0.5 Hzの場合、キャリアとクロックレカバリーが0.58秒以内の確率が0.9以上であること。また、TDMキャリア・ビット・エラー・レートは13.2(2)の最小受信レベルで、かつ、上記C/N<sub>0</sub>において、少くとも $1 \times 10^{-5}$ であること。
- (15) FM復調器特性  
 コンパンダなしで、テストトーン/雑音比が最小受信レベルより4 dB以上の受信レベルで29 dB以上であること。このときテストトーンは1000 Hz(0 dBm)とする。

### 136 送信サブシステム

TDMAとリクエストキャリアの送信装置で、電力増幅器、エキサイタ、アップコンバータなどを含む。これら諸装置の設置場所については十分検討の上決定すること。

#### (1) TDMA同期

TDMAバーストタイミングは、受信TDMチャンネルにおいて6 TDMAフレームごとに入るユニークワードに同期する。船舶地球局装置のアンテナからTDMAバーストタイミングが行なわれる点までの遅延は2 TDMAビット間隔1.7 ms(許容量±0.3 ms以内)とする。この点での相対時間はバースト#1(TDMチャンネル#1)の開始時間とすれば、ユニークワードの最終ビットの端から0.50 ms後である。TDMAバースト(チャンネル#2, 3, …, 22)の開始時間は、 $1.740 / 22$ 秒間隔ごとである。開始時間のタイミング許容量は±0.5 msである。バーストの時間は37.7 ms(許容量-0.21 ms + 0.84 ms)とする。バーストタイミングの点からアンテナまでの伝送遅延は0.1 ms以下であること。

#### (2) TDMAバーストゲート

船舶地球局送信システムは法外に長いTDMAもしくはリクエストバーストを検知するパワーモニターを備えていること。4 dB以上大きいTDMA/リクエスト・レベルの増加はアラームすること。このとき送信機は自動的に送信を中止し、呼はキャンセルし、オペレータは呼を再開すべきである。

#### (3) 送信キャリア・オフパワーレベル

送信機は非動作状態で-22 dBW以上放射してはならない。

#### (4) テレプリンタ・スピード

1分以上のテレプリンタ送信の平均送信キャラクタレートは403キャラクタ/分を越えないこと。電力増幅器の仕様は次のものを標準とする。

- (5) 帯域幅 : 0.5 dB点で1636.5-1645.0 MHz の8.5 MHz
- (6) 送信機出力 : 出力コネクタにおいて13.3(2)e, i, r, p項を満足するに必要な出力の25%から100%まで連続に調整可能なこと。
- (7) 入力信号レベル : 最大シングルキャリア飽和出力がCWおよびパルスモードとも-10 dBWのキ

キャリアの入力信号で得られること。

- (8) 入力インピーダンス : 50 Ω
- (9) 利得安定度 : 温度変化、電源変動などを含め利得変化は  $e, i, r, p$  の変化で ±1 dBW 以下であること。ただし 6 カ月ごとに 1 回調整してよい。  
アンテナ制御装置で電力増幅器出力レベルのモニター記録ができること。
- (10) 利得傾斜 : 帯域内で 0.1 dB/MHz 以下
- (11) 利得リップル : 0.5 dB 以下 (p-p)
- (12) スプリアス : アンテナ入力において、スプリアス出力および任意の 4 kHz 帯での雑音を送信周波数帯域内で -60 dBW を越えなく、低雑音受信機の入力における送信機出力スプリアスと任意の 4 kHz 帯内での雑音も受信周波数帯域内で -177 dBW を越えないこと。
- (13) 高調波出力 : 40 GHz までの周波数での高調波出力がキャリアの出力レベルより少くとも 60 dB 低いこと。
- (14) 入力 VSWR : 1.5 以下
- (15) 出力 VSWR : VSWR<sub>2</sub> の負荷に対し発振しないこと。出力、開放、短絡に対し耐え、その後の性能、寿命に影響しないこと。
- (16) 冷却 : 伝導もしくは対流冷却でファンなどは使用しないこと。

### 13.7 アクセス及び制御

呼は海岸地球局の制御のもとに行なう。船舶地球局から海岸地球局へのアクセスは、ランダムアクセスリクエスト・チャンネルでいつでも要求できる。また、海岸地球局側から特定の船舶地球局へのアクセスは海岸地球局経由で呼出を知らせる TDM キャリアの割当メッセージを用いて行なう。その船舶地球局が話中でなければ、割当メッセージに対し自動的に作動するが、話中であればクリアリング・メッセージを出し、呼出報知メッセージには応じない。(放送メッセージの場合を除く)

割当メッセージは船舶地球局からの呼出と海岸地球局からの呼出に使われる。一度船舶地球局と海岸地球局間に回線ができると回線の制御は通話チャンネルに含まれる。船舶地球局は、アウト・オブ・バンドとインバンド信号で動作する。

#### (1) リクエスト・

チャンネル : 船舶地球局はリクエスト・メッセージ・バーストをフォーマットする手段を持つ。船舶地球局識別コードが決められ、各リクエストバースト内に自動的に挿入する。メッセージ入力として、海岸地球局、優先(例 SOS)、海域、チャンネルのタイプ、地上回線、リクエストの性質などを選択可能なこと。  
89 ビット・リクエスト・メッセージは自動的に誤り検出コードにコード化されること。リクエスト・バースト間の間隔は 6 秒以上のこと。

#### (2) 割当メッセージ : 船舶地球局は TDM キャリアの割当を連続してモニターする。

呼出は 1 個の割当メッセージに含まれる。船舶地球局のロジックはメッセージの誤りを自動的に検出するため割当メッセージコードを用い、誤り検出のときは作動しないこと。船舶地球局は所定形式のメッセージに対しては自動的に作動し、また、所定のチャンネルタイプの割当メッセージに対し応答するよう設計すること。TDM 受信器、TDM 周波数、リクエスト周波数、音声チャンネル、TDM と TDM 通信タイムスロットなどに対するチューニング手段を具備すること。

#### (3) 話中 : 船舶地球局からの入出力回線が話中のときの他からの呼は無視する。

オフライン機能／テレプリンタの使用は海岸地球局による船舶地球局をさまたげない。電話で話中でも海岸地球局から船舶地球局への放送電信はさまたげられない。通常の電話は放送電話によりさまたげられないこと。

### 13.8 環境条件

船舶地球局装置が耐えるべき環境条件は、船舶の種類、航路、設置場所などによって異なるが、ここではある規準について述べる。暴露甲板上および船内における環境条件仕様を主として先の8章および9章を基にして下記の通り作成した。船舶地球局装置は特にことわりがない限り、下記の環境条件のもとに良好に作動する。

- (1) 基準周囲温度 : 暴露甲板上  $-25^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$  (アンテナ部)  
船内  $0^{\circ}\text{C}\sim +55^{\circ}\text{C}$  (送受信部、操作部)
- (2) 相対湿度 :  $95\sim 100\%$
- (3) 風速 :  $60\text{m/s}$  以下で動作
- (4) 振動 : 両振幅  $0\sim 3\text{mm}$  で加速度  $1.0\text{G}$  までの周波数に耐えること。
- (5) 衝撃 : 設備する場所の衝撃に耐えること。
- (6) 船体の動揺 : ローリング  $\pm 2.5^{\circ}$  以内 10秒以上  
ピッチング  $\pm 1.0^{\circ}$  以内
- (7) 船体の傾斜 : 横  $1.5^{\circ}$  以内, 縦  $1.0^{\circ}$  以内
- (8) 転舵 : 角速度  $1.5^{\circ}/\text{s}$  以下

### 13.9 船舶地球局装置の評価

現在、国際海事衛星システムに使用する船舶地球局装置の評価を行なうに足る仕様は未だ決まっていないので、ここでは極めて大胆な仮定のものに想定した。したがって新しい情報が入り次第逐次改訂して行きたい。

評価は上記仕様に基づいて設計、製作した装置が仕様性能に対し、すべての点で同等もしくは勝れていることを立証するのに必要である。国際海事衛星システムを管理・運用する国際機関が仮りにできれば、この機関が直接あるいは各国の関係機関を通じて、あるいはこれに代行させる等々で、この船舶地球局装置が実際にシステムにアクセス、運用に入り得るか否かを判定する必要がある。装置の製造業者とこの国際機関との関係は、関係各国の国際、国内事情によって将来定まて行くものと考えられる。また、立証形式も種々の方法が考えられるが、ここではMARISATが現在実施している機種形式承認と運用承認について述べる。

#### 13.9.1 形式承認方法

さて仮りに形式承認方法がとられたとすれば、装置の概要、運用サービスの形、環境条件、工場形式試験方法などを記載した申請を装置製造会社から提出させ、工場試験と実地試験を課すことが考えられる。

国際機関またはその代行機関は申請された工場試験方法を検討し、良ければ試験方法の承認を与え、形ごとに少なくとも1ユニットに関し、工場試験に立会、その試験結果報告書の提出を受ける。ついで国際海事衛星システムの必要施設の使用を手配し、所定のスケジュールに従って実地試験を実施する。

#### 13.9.2 性能の評価

まず承認の規準としては、工場試験と実地試験の試験結果に基づいて船舶地球局装置の性能を評価す

る。通常試験データは形式ごとの少なくとも1ユニットに関して立会うので、製造業者は同じ形式の他のユニットの性能はすべて立会試験したユニットと同じく技術仕様に適合することを立証しなければならない。

ついで国際機関またはその代行機関は、その海事衛星システムをアクセスする承認を製造業者に与え、立会のもとに実地試験を行ない合否を判定する。

国際機関またはその代行機関は、製造業者より提出された実地試験報告書と工場試験合格書により、船舶地球局装置の形式承認を与える。

### 13.9.3 試験項目

ここでは最小の必要な工場試験、実地試験項目について述べる。製造業者は、船舶地球局装置の技術仕様書に記載された最小の必要な試験結果と、その業者が必要と考える他の試験ならびに、もし船舶地球局装置にオプション技能があれば、そのオプションすべてについて試験方法と試験結果とを文書で報告する必要がある。また、ここで述べる試験すべてについて技術仕様の該当箇所を参照のこと。なお、ここで云う実地試験は、国際海事衛星システムの使用を必要とする試験すべてを云うこととする。工場試験では製造業者は少なくとも下記のような船舶地球局装置の性能の試験方法と工場試験結果を国際機関に報告する。

#### 送 信 装 置

- (1) 単一搬送波スペクトラム・ロール・オフ特性
- (2) 設定可能な送信周波数でのスプリアス放射レベル
- (3) リクエスト・チャンネル周波数における高周波出力
- (4) 設計温度範囲での周波数精度
- (5) 位相雑音
- (6)  $e, i, r, p$
- (7) 衛星の方向における  $e, i, r, p$  安定度
- (8) データレート安定度
- (9) TDMAバースト送出タイミング時間精度
- (10) キャリア・オフ・レベル
- (11) TDMAバースト・ゲート故障保護機能
- (12) 音声周波数特性
- (13) コンプレッサ特性

#### 受 信 装 置

- (1) 受信系の性能指数 ( $G/T$ )
- (2) ビット・エラー・レートを含むTDM受信性能
- (3) TDMキャリアとクロック・アクイジション・タイム
- (4) FM復調性能
- (5) エクスパンダ特性

#### ア ン テ ナ

- (1) 偏 波
- (2) ボア・サイド軸比
- (3) サイドローブ特性
- (4) 利 得
- (5) ビーム・スティアビリティ

#### アクセスと制御

- (1) リクエスト・メッセージの発生
- (2) リクエスト・メッセージ再送出禁止機能
- (3) アサインメント・メッセージ誤り検出
- (4) 船舶局加入番号、メッセージ形式、チャネル形式に関するアサインメント特性
- (5) チューニング
- (6) 各種話中状況下の性能

実地試験では、製造業者は船舶地球局装置において、少なくとも下記の項目を含む試験方法と試験結果を国際機関に報告する。

- (1) 完全なエンド・トゥ・エンドの送信・受信性能
- (2) クリアリング機能
- (3) リクエスト・メッセージの発生
- (4) アサインメント・メッセージ性能  
誤り検出船舶地球局装置加入番号認識、メッセージの形式、チャネル形式、タイミング
- (5) ビュジー状態への割込機能

テレプリンタのオフライン使用への割込、一斉放送、インバンドシグナリング機能、音声性能

#### 環境試験

製造業者は、所定の環境条件において船舶地球局装置が良好な動作をすることを示すに足る試験方法と試験結果を国際機関に報告する。所定の環境条件は少なくとも下記項目を含む。

- (1) 動作周囲温度範囲
- (2) 相対湿度
- (3) 水
- (4) 降雨
- (5) 風負荷
- (6) 衝撃と振動
- (7) 一次電源変動
- (8) 船舶の運動

技術的には、これまで記載した諸試験に合格すれば運用承認が与えられる。

## 1.4 今後の研究の進め方

### 14.1 今後の研究方針

昭和49年度は発足したこの研究は、初年度の一般的な調査研究に引続く50年度において、海事衛星システムが導入された場合の現行の通信および航法システムとの関係についての各種の調査研究、衛星システム導入に対する技術的および運用的な問題点の調査研究および衛星システム導入に伴ない必要とするであろう新技術の開発についていくつかの項目の研究を行ない、とくに第1項の調査研究はそのほとんどを終了し、今後の研究は2項と3項に重点が置かれることになった。この研究の目的はいうまでもなく、衛星システムの導入が必至となっている現在の情勢にあつては、その導入に当ってわが国の海運界、造船界および関連の工業界などが有利にかつ効果的に対処しうるための情報を提供し、かつ技術的および運用的な裏付けを作ることにあつた。従つて、残された3年の研究期間をこのような目的に添うよう進めて行く必要がある。

### 14.2 昭和51年度の研究の進め方

昭和51年度の研究の進め方としては、海事衛星システムの利用分野の開発研究、具体的にはユーザ機器、すなわち、船上設備の開発に当つての問題点の研究および開発研究自身に重点を置くこととする。

ユーザ機器自体は、宇宙通信機器としては比較的小規模であり、特別な新規開発技術は比較的少ないが、在来の船舶通信機器の代替および発展系として考えると、環境、装備条件、運用方法、操作方法等の多面的な検討を加えなければ、有効な開発を行うことはできない。これらの点の一部は、50年度に相当程度解明され、また、装備条件および環境条件なども明らかになつたけれども船内雑音の量と質など今後の研究に待つべき分野を残している。

昭和51年度はこれらに対し必要な一部裏付け実験も行い、電子式走査空中線の一部試作実験を行ない、これらにより最終的に機器の詳細仕様、環境条件、装備条件、操作条件をわが国の船舶事情に適した形で決定していくこととしたい。この際、船上設備であるという建前から小形、高信頼度、保守性を十分に考慮したものであつて、相応なコストパフォーマンスを有していなければならないことは勿論である。

更に、51年度は調査研究項目として、この研究テーマの一つである衛星利用による運航システムの研究に着手することとしたい。これらを総合して昭和51年度は併せて6項目の研究テーマをあげ、更に国際海事衛星システムの各国の合意の進展により開催されるであろう国際会議に代表を派遣してその動向を調査し、また、この部会での研究成果を積極的に活用して行くようにしたい。

以下これらの研究項目について1項目ごとに簡単に内容の説明をする。

#### 14.2.1 海事衛星を利用した船舶の運航システムの研究

船舶の運航の安全性向上、効率化を計るため、海事衛星の有効利用による船舶運航システムの研究・開発（概念設計）を行なう。

- (1) 衛星を利用した遭難通信システムの研究
- (2) 運航者に対する海事衛星システムの経済評価

#### 14.2.2 通信内容の種別、伝送容量の研究

海事衛星システムは、現在より安全な通信回線を常時提供するということから、データ通信にも利用できるであろうと期待されている。データ通信は、音声と違ってビットの誤りがそのままデータの誤りとなるので、ビットの誤りを極力少なくする必要があり、そのために使用される誤り検出符号、誤り訂正符号について研究する。

- (1) 誤り制御符号の種類
- (2) 誤り制御符号の評価
- (3) 海事衛星システム特有の問題の検討

#### 14.23 宇宙通信の特質とその対策の調査研究

大きな空中線や動揺防止装置付きの空中線を船舶に装備することは、小型船舶においては特に困難である。G/Tの低い空中線であれば小型船舶に搭載が容易となり、費用も安く、一般的に信頼性もあるが、他方、衛星容量を低減させるとともに指向性が鈍くなることにより、海面反射によるフェーディングを受けやすい。このフェーディングに対して、MARSAT IV/6/? 及び CCIR DOC8/2.7.6-E でノルウェー政府が理論的な解析を行っているが、これはコヒーレント成分についてのみであり、インコヒーレント成分に関する効果は無視している。したがって、統計的に余り起らない最悪の評価が行われているように思われる。

なお、一般船舶の場合においても船主、造船所側はできるだけ小形の空中線（利得10dB以下）を用いることを希望しているので、低いG/Tの空中線での可能性を検討するとともに、これに大きな影響を与える海面反射フェーディングについて理論的及び実験的に研究を行い、さらに海面反射の抑圧についても検討する。

- (1) 各種資料の調査及び解析
- (2) 理論解析の追求
- (3) 低仰角における海面反射の実験

#### 14.24 電子的追尾方式空中線の研究

船舶局として設備されるユーザ機器の内、設計に際して最も慎重に事前の調査研究を行わなければならないのは空中線系である。

空中線の追尾方式は機械的と電子的とに大別され、追尾方法としてはプログラムによる方法、ビーコンによる方法、アダプティブアレーによる方法など種々のものが考えられる。これらの混合形式も検討する必要があるが、ここでは、船舶搭載用に適した海事衛星用頭記追尾空中線（特に Retrodirective Array Antenna）の実現可能性について理論的及び実験的に研究する。

- (1) 1次元アレーの実験
- (2) 位相コンジュゲート回路網実験
- (3) 総合実験

#### 14.25 船上雑音測定用機器の試作と実測

昨年度実施した調査内容に基づき電磁界干渉状況の実測に重点を置き、海事衛星システムの船上設備の一部である受信系に及ぼす雑音調査と一部の測定を行なう。

- (1) 雑音測定に関する条件の検討
- (2) 雑音測定用機器の作製
- (3) 雑音測定

#### 14.26 ユーザ機器の設計・評価

現在の中・短波を用いた船舶通信システムの実況を打開し、船舶通信の向上をはかるとともに、船舶の運航の安定化、効率化を計るため、海事衛星システムの有効利用を目的として、船舶搭載機器の設計・評価について研究する。

- (1) 仕様項目の充足
- (2) 概念設計
- (3) 基本設計
- (4) 関連研究課題とその総合検討

#### 14.2.7 海外調査

海事衛星に関する国際会議に代表者を派遣し、その動向を調査する。

## 15 結 言

この報告では、はじめにIMCOを中心とした国際海事衛星組織の設立に関する経過を2回の政府間会議への出席報告を中心に紹介し、ついで、現在計画が進められている海事衛星開発の動向などについて前年度報告の補足および改訂を行なった。ついで当部会が本年度行なってきた、わが国の船舶あるいはわが国が建造する船舶などが、今後衛星技術を利用するための運用的および技術的な幅広い分野での調査、検討および研究の成果について報告した。これらのうち現行方式の内容分析と要求条件、現行方式と衛星方式との両立性、ハードウェアへの要求条件、環境条件、運用操作方法および機械的追尾空中線関係については一応の調査、検討を終了したので本報告がそのまとめとなっている。その他の事項については昭和51年度も引続いて研究を進めるとともに本年度まで着手できなかった衛星システムの船舶運航システムへの利用面の検討も開始する予定である。

しかしながら、宇宙技術やエレクトロニクスなどの進歩は著るしく、社会環境の変化も急速であるので、海事衛星システムの研究および計画の内容は、今後の実験および実用面での検討によって書き換えられるであろう面も少なくないと考えられている。とくに昭和51年度は、国際システムの発足、また、アメリカのMARISATの運用が開始されるなど、政策面および技術面での大きな進歩が行われる見込である。

われわれは、これらに対処しつつ今後の研究を進めて行く必要があるが、その過程において、今日最善と思つてとりまとめたこの報告の内容の一部、あるいは相当部分を書き直す必要にせまられるかも知れないことを了承された。

終りにそれぞれの専門分野でこの研究を進め、報告書の作成に寄与された委員および幹事各位にお礼を申し上げます。