
海上通信システムの新たな利用における
周波数共用のための技術的条件の調査検討

報告書

平成 29 年 3 月

はじめに

海洋に囲まれた日本は、商船(旅客船、貨物船)や漁船をはじめとして多数の船舶が利用されており、その規模や利用形態も様々である。今日の船舶は、海上や船舶内で多種多様な通信を利用するために、各種の無線システムを装備し、運用することで、船舶の安全且つ効率的な航行に貢献している。船舶にとってきわめて重要な海上無線通信は、今後、技術の進歩に伴い、更に高度化していくことが予想される。

海上無線通信は、国内にとどまらず国外でも利用されており、GMDSS(Global Maritime Distress and Safety System:全世界的な海上における遭難・安全システム)をはじめとして、国際的に統一された通信システムとして構築されている。一方、海上通信システムによっては、日本独自の利用方法も存在するため、国際的に統一されたルールに変更が生じた場合には、日本国内において支障なく利用を継続するために必要な共用条件や周波数の割当を検討しなければならない。

また、海上無線通信で使用している周波数は 400 kHz 帯から 30 GHz 帯まで広範囲にわたっており、他システムとの共用条件や有効利用の検討は非常に重要である。

携帯電話や無線 LAN などの陸上で使用される無線通信システムの技術が高度化していく中、海上における無線通信システムにおいても無線通信技術の高度化などが求められており、海上通信システムにおいてもデジタル化等に向けた技術革新が進められてきている。

このような国際的動向や技術革新などを踏まえ、本調査検討会では国際 VHF 海上無線設備及び 400 MHz 帯船上通信設備について、周波数共用条件、チャンネル配置、周波数共用のための技術的条件等の検討を行った。特に国際 VHF 海上無線設備については、瀬戸内海弓削島付近にて実証試験を行い、机上検討の妥当性も確認した。

今後、海上無線通信の高度化のため、我が国でも早期の導入に向けた制度整備が必要である。

本報告書が、国際 VHF 海上無線設備及び 400 MHz 帯船上通信設備に係る技術的条件等の策定に資すると共に、新たに利用される海上通信システムが円滑に導入されることで、新たな通信利用環境が構築され、周波数の有効利用にも寄与されることを期待している。

短い期間でのまとめにあたり、調査検討会及びワーキンググループの会議開催、実証試験等で関係者に多大なご協力をいただいたワーキンググループのリーダーをはじめとする調査検討会構成員の皆様に厚く御礼を申し上げる次第である。

平成 29 年 3 月

海上通信システムの新たな利用における周波数共用のための技術的条件の調査検討会

座長 香川大学 生越 重章

目次

はじめに

第 1 章	調査検討の概要	1
1.1.	調査検討の背景と目的	1
1.2.	調査検討項目と概要	1
1.3.	調査検討における実施体制	2
第 2 章	国際 VHF 海上無線設備	3
2.1.	国際 VHF 海上無線設備の概要	3
2.2.	国際 VHF 海上無線設備の規格	4
2.3.	日本国内での利用状況	4
第 3 章	400 MHz 帯船上通信設備	6
3.1.	400 MHz 帯船上通信設備の概要	6
3.2.	400 MHz 帯船上通信設備の規格	6
3.3.	日本国内での利用状況	7
第 4 章	国際的動向	9
4.1.	WRC(世界無線通信会議)の状況	9
4.1.1.	国際 VHF 海上無線設備	9
4.1.2.	400 MHz 帯船上通信設備	12
4.2.	新たなデジタルデータ通信システム導入への課題	14
4.2.1.	国際 VHF 海上無線設備におけるデジタルデータ通信導入の課題	14
4.2.2.	400 MHz 帯船上通信設備におけるデジタルシステム導入の課題	14
第 5 章	周波数共用条件の検討	15
5.1.	国際 VHF 海上無線設備	15
5.1.1.	周波数共用条件検討の考え方	15
5.1.2.	机上検討	15
5.1.3.	アナログ音声通信とデジタルデータ通信の共用条件	44
5.2.	400 MHz 帯船上通信設備	45
5.2.1.	周波数共用条件検討の考え方	45
5.2.2.	机上検討	45
5.2.3.	アナログシステムとデジタルシステムの共用条件	49
第 6 章	海上フィールド実証試験(国際 VHF 海上無線設備)	56
6.1.	実証試験概要	56
6.1.1.	実証試験場所及び行程等	60
6.1.2.	実証試験における諸元	62
6.1.3.	実証試験における送信出力値の設定	64
6.1.4.	実証試験開始ポイント	71
6.2.	実証試験手順	72

6.2.1. 実証試験項目一覧.....	72
6.2.2. 測定手順.....	73
6.3. 実証試験実施.....	73
6.3.1. 実証試験結果.....	74
6.3.2. 補正後の机上検討結果との比較.....	80
6.4. 実証試験まとめ.....	81
第7章 チャンネル配置の検討.....	83
7.1. 調査の概要.....	84
7.2. 割当周波数変更先の検討.....	84
7.3. 割当周波数変更先の候補.....	86
第8章 周波数共用のための技術的条件.....	88
8.1. 国際VHF海上無線設備.....	88
8.1.1. 技術的条件.....	88
8.1.2. 周波数共用条件.....	89
8.2. 400 MHz帯船上通信設備.....	92
8.2.1. 技術的条件.....	92
8.2.2. 周波数共用条件.....	93
第9章 まとめ.....	94
9.1. 国際VHF海上無線設備.....	94
9.2. 400 MHz帯船上通信設備.....	95

おわりに

付録1. 調査検討会における実施体制と審議経過
付録2. 400 MHz帯船上通信設備に関するアンケート
付録3. 国際VHF海上無線設備の机上検討時に使用した妨害波の入力信号波形
付録4. 無線通信規則付録第18号(WRC-15版)の周波数表(抜粋)
付録5. トラヒック調査資料
付録6. ITU-R勧告P.526-13抜粋

第1章 調査検討の概要

1.1. 調査検討の背景と目的

海上通信分野はアナログ音声通信が主体であり、高速データ通信が主流の陸上通信分野と比べ、通信環境が遅れている状況にある。このような状況を踏まえ、ITU-R(国際電気通信連合 無線部門)では、海上通信にデータ通信環境を整えるべく、2012年に開催された WRC(世界無線通信会議)-12において国際 VHF(150/160 MHz 帯)システムの周波数の一部を利用して国際 VHF デジタルデータ通信(VHF Data Exchange、以下「VDE」という。)を行うこととし、デジタルデータ通信の周波数が分配された。また、2015年に開催された WRC-15において VDE をさらに分割して VHF データ交換システム(VHF Data Exchange System 以下「VDES」という。)で使用する周波数が分配された。デジタルデータ通信の周波数は、現在、海上通信用として世界共通で使用されている一方、我が国ではアナログ音声通信用として多くの海上関係無線局が使用しており、国際的に平成 29 年 1 月 1 日より VDE の導入が開始されている現状から、このままでは VDE 及び VDES とアナログ音声通信との間で混信が生じることが予想され、VDE 及び VDES の導入が阻害されることとなる。

また、400 MHz 帯を使用している船上通信システム(以下「400 MHz 帯船上通信設備」という。)は、国際的に周波数逼迫状態にあるためデジタル狭帯域化して使用チャネルを増やすことが決定された。ただし、VDE 及び VDES と異なり、現状のアナログシステムとデジタルシステムは共用することが認められている。国際的には 400 MHz 帯船上通信設備は船舶内で使用することが前提であり、アナログシステムとデジタルシステムは運用者に委ねられるものであるが、我が国では船舶が埠頭に離・接岸する際の音声連絡用の通信設備として使用する等、独自の利用がされていることから、通信環境を考慮したアナログシステムとデジタルシステムとの共用手法を求めていく必要がある。

以上から、新たな海上通信システムが円滑に導入できる通信利用環境の構築を目的として、VDE 及び VDES の導入に当たってアナログ音声通信との周波数共用のための技術的条件及びそれに伴う適正なチャネル配置について調査検討するとともに、400 MHz 帯船上通信設備においては、アナログシステムとデジタルシステムとの周波数共用のための技術的条件を検討する。

1.2. 調査検討項目と概要

海上通信システムの新たな利用における周波数共用のための技術的条件の調査検討に関して、以下の項目について調査検討を実施し、その結果を取りまとめる。

(1) 国際 VHF 海上無線設備 (第 2 章)

国際 VHF 海上無線設備の国際規格と国内規格及び日本国内での利用状況を調査する。

(2) 400 MHz 帯船上通信設備 (第 3 章)

400 MHz 帯船上通信設備の国際規格と国内規格及び日本国内での利用状況を調査する。

(3) 国際的動向（第4章）

国際VHF海上無線設備及び400MHz帯船上通信設備のWRCの審議状況及び新たなデジタルデータ通信システム導入への課題を調査する。

(4) 周波数共用条件の検討（第5章）

国際VHF海上無線設備及び400MHz帯船上通信設備の周波数共用条件として離隔距離及び離隔周波数を求めるため、机上における干渉検討を実施し、音声通信とデジタルデータ通信の周波数共用条件を検討する。

(5) 海上フィールド実証試験(国際VHF海上無線設備)（第6章）

国際VHF海上無線設備に関して海上フィールド実証試験を行い、実証試験結果と机上における干渉検討結果を比較し、机上における干渉検討結果の妥当性を検証する。

(6) チャンネル配置の検討（第7章）

国際VHF海上無線設備の机上における干渉検討結果から、音声通信とデジタルデータ通信が共用可能なチャンネル配置を検討する。

(7) 周波数共用のための技術的条件（第8章）

国際VHF海上無線設備及び400MHz帯船上通信設備について、第4章で述べた技術的条件及び第5章で机上検討結果から求めた周波数共用条件について示す。

1.3. 調査検討における実施体制

調査検討においては、調査検討会を設置した。さらに、技術的な調査検討項目を詳細に検討するため、調査検討会での決定を受けてワーキンググループを設置した。

調査検討会、ワーキンググループの構成員、開催時期及び調査検討体制図は付録1を参照。

第2章 国際 VHF 海上無線設備

2.1. 国際 VHF 海上無線設備の概要

アナログ音声通信として利用する国際 VHF 海上無線設備は、海上において、船舶の安全のために使用する国際的な無線機であり、使用周波数及び設備規格は全世界で共通に使用できるように ITU-R の RR(無線通信規則)で、無線機の性能要件は SOLAS(The International Convention for the Safety of Life at Sea)条約¹で定められている。また、SOLAS 条約に準拠して 100トン以上の船舶には、国際 VHF 機器搭載が義務付けられており(電波法第三十三条)、大型船舶は出力の大きい 25 W の固定型の無線機器が搭載されている。一方、小型船舶には、小型・携帯型で出力の小さい 5 W の無線機が搭載されているケースが多い。

国際 VHF 海上無線設備の周波数は WRC-12 で定められており(表 2.1-1 参照)、遭難、緊急、安全のため使用するチャネル、航路通信用チャネル(日本では、Ch.11, Ch.14, Ch.18-Ch.22 等)、陸上の無線局(海岸局)と通信するための陸船間専用通信チャネル、船間同士で通信するチャネルなどが国際的に定められている。

表 2.1-1 無線通信規則付録第 18 号(WRC-12 版)のチャネル配置表(抜粋)

チャネル	送信周波数[MHz]		船舶 相互間	港務通信 及び船舶通航		公衆通信
	船舶局	海岸局		1周波数	2周波数	
60	156.025	160.625		x	x	x
1	156.05	160.65		x	x	x
61	156.075	160.675		x	x	x
2	156.1	160.7		x	x	x
62	156.125	160.725		x	x	x
3	156.15	160.75		x	x	x
63	156.175	160.775		x	x	x
4	156.2	160.8		x	x	x
64	156.225	160.825		x	x	x
5	156.25	160.85		x	x	x
65	156.275	160.875		x	x	x
6	156.3		x			
2006	160.9	160.9				
66	156.325	160.925		x	x	x
7	156.35	160.95		x	x	x
67	156.375	156.375	x	x		
8	156.4		x			
68	156.425	156.425		x		
9	156.45	156.45	x	x		
69	156.475	156.475	x	x		
10	156.5	156.5	x	x		
70	156.525	156.525	遭難、安全及び呼出しのためのデジタル 選択呼出し			
11	156.55	156.55		x		
71	156.575	156.575		x		
12	156.6	156.6		x		
72	156.625		x			
13	156.65	156.65	x	x		
73	156.675	156.675	x	x		
14	156.7	156.7		x		
74	156.725	156.725		x		
15	156.75	156.75	x	x		
75	156.775	156.775		x		
16	156.8	156.8	遭難、安全及び呼出し			
76	156.825	156.825		x		
17	156.85	156.85	x	x		
77	156.875		x			
18	156.9	161.5		x	x	x
78	156.925	161.525		x	x	x
1078	156.925	156.925		x		
2078		161.525		x		
19	156.95	161.55		x	x	x
1019	156.95	156.95		x		
2019		161.55		x		
79	156.975	161.575		x	x	x
1079	156.975	156.975		x		
2079		161.575		x		
20	157	161.6		x	x	x
1020	157	157		x		
2020		161.6		x		
80	157.025	161.625		x	x	x
21	157.05	161.65		x	x	x
81	157.075	161.675		x	x	x
22	157.1	161.7		x	x	x
82	157.125	161.725		x	x	x
23	157.15	161.75		x	x	x
83	157.175	161.775		x	x	x
24	157.2	161.8		x	x	x
84	157.225	161.825		x	x	x
25	157.25	161.85		x	x	x
85	157.275	161.875		x	x	x
26	157.3	161.9		x	x	x
86	157.325	161.925		x	x	x
27	157.35	161.95			x	x
87	157.375	157.375		x		
28	157.4	162			x	x
88	157.425	157.425		x		
AIS 1	161.975	161.975				
AIS 2	162.025	162.025				

¹ 1974 年の海上における人命の安全のための国際条約(International Convention for the Safety Of Life At Sea,1974)の略で、航行の安全確保のために船舶が備えるべき設備等が規定されている。

国際 VHF 海上無線設備の写真を図 2.1-1 に示す。



(アイコム株式会社提供) (日本無線株式会社提供) (古野電気株式会社提供)

図 2.1-1 国際 VHF 海上無線設備

2.2. 国際 VHF 海上無線設備の規格

アナログ音声通信として利用する国際 VHF 海上無線設備の国際規格としては ITU-R 勧告 M.489-2 などがあるが、無線性能の判定基準は各国で定められている。国内規格は表 2.2-1 のとおりであり、電波の型式及び空中線電力は「電波法関係審査基準第 3 号-2-(2)-エ」で、周波数は「周波数割当計画別表 3-4」で定められている。本調査検討会では、表 2.2-1 の国内規格を用いて干渉検討を行った。

表 2.2-1 国際 VHF 海上無線設備の国内規格

電波の型式	デジタル選択呼出:F2B(Ch.70のみ) アナログ:F3E
周波数	表 2.1-1 を参照
空中線電力	船舶局:25 W 以下、海岸局:50 W 以下

受信機のパラメータは、「無線設備規則第五十八条の二」で表 2.2-2 のとおり定められており、本調査検討会では、表 2.2-2 のパラメータを用いて干渉検討を行った。

表 2.2-2 受信機のパラメータ

感度抑圧規定	10 mV 以上
感度	2 μ V 以下 (20 dB NQ 法)

2.3. 日本国内での利用状況

アナログ音声通信として利用する国際 VHF 海上無線設備が多く利用される用途としては、入出港通知や他船を追い越す際等の安全確認のための連絡等、船舶の遭難・安全通信、港務通信、船舶相互間通信及び水先業務である。

具体的な利用方法は、まず連絡設定用チャンネルで相手呼び出し、その後、通話用チャンネル（船舶局用・海岸局用）に切り換えて通話を行う。また、デジタル選択呼出装置²（DSC: Digital Selective Calling）の機能を利用し、緊急時に遭難信号を発信することで、GPSより得た自船の位置情報及び遭難信号を周囲の船舶や海岸局に送信することができる。

利用のイメージを図 2.3-1 に示す。

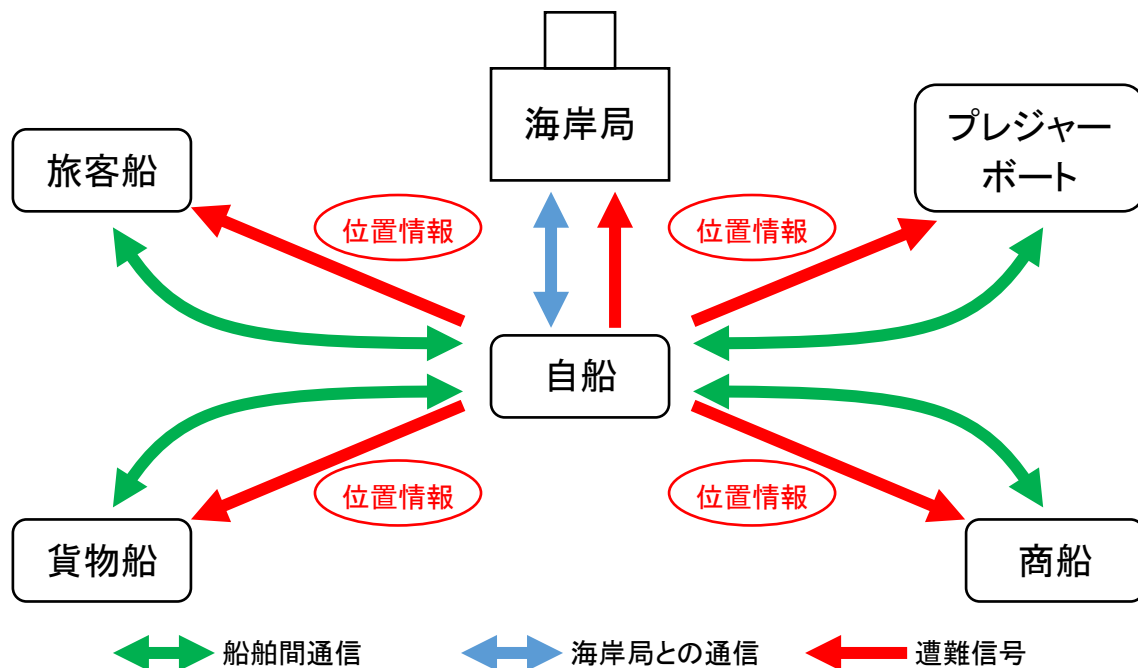


図 2.3-1 アナログ音声通信として利用する国際 VHF 海上無線設備の利用イメージ

² Ch.70 を用いて電波を送受信する装置。機器には、Ch.70 の専用ボタンがついており、遭難時等はボタンを押すだけで遭難警報が発信される。各船舶には国際的に決められた海上移動業務識別 (MMSI: Maritime Mobile Service Identity) が割り当てられており、受信側は遭難警報を発信した船舶の識別が全海域において判明できるようになっている。

第3章 400 MHz 帯船上通信設備

3.1. 400 MHz 帯船上通信設備の概要

400 MHz 帯船上通信設備は船舶内で船員同士が通信するものであり、大型船で利用されている。無線機器はハンディ型であるが、船内が広い場合は、有線を使った中継方式により、船内の隅々まで通信が可能となるよう工夫して利用されている。また、我が国では船舶が埠頭に離・接岸する際や港湾管理のための連絡用としても利用されている。

使用チャンネルは、「周波数割当計画別表 3-5」で表 3.1-1 のとおり定められており、国際的には6チャンネルであるが、我が国としては独自に3チャンネルが追加されている。

表 3.1-1 400 MHz 帯船上通信設備の周波数

周波数[MHz]	457.525, 457.55, 457.575 467.525, 467.55, 467.575 ※467.6, 467.6125, 467.625
----------	---

※467.6 MHz, 467.6125 MHz, 467.625 MHz は我が国独自の3チャンネルである。

400 MHz 帯船上通信設備の写真を図 3.1-1 に示す。



(日本無線株式会社提供)

図 3.1-1 400 MHz 帯船上通信設備

3.2. 400 MHz 帯船上通信設備の規格

アナログシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備の国際規格としては ITU-R 勧告 M.1174-3 があるが、無線性能の判定基準は各国で定められている。国内規格は表 3.2-1 のとおりであり、電波の型式及び空中線電力は「電波法施行規則第十三条の三の三」で、周波数は「周波数割当計画別表 3-5」で定められている。本調査検討会では、表 3.2-1 の国内規格を用いて干渉検討を行っている。

表 3.2-1 アナログシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備の国内規格

電波の型式	F3E
周波数[MHz]※	表 3.1-1 を参照
空中線電力	2 W 以下

※467.6 MHz, 467.6125 MHz, 467.625 MHz については、デジタルシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備の国際規格とチャンネルが重なっていないため検討の対象外としている。

受信機のパラメータは、「無線設備規則第五十八条の二の二」で表 3.2-2 のとおりに定められている。

表 3.2-2 受信機のパラメータ

感度抑圧規定	3.16 mV 以上
感度	2.5 μ V 以下 (20 dB NQ 法)

3.3. 日本国内での利用状況

3.1. 節で述べたとおり 400 MHz 帯船上通信設備は、我が国において当該船舶内だけでなく操船援助のための船舶間通信や陸側との通信としても用いられている。このような利用は国際規格では考慮されていないことから共用条件の検討が必要であり、そのために、400 MHz 帯船上通信設備の現状利用状況を調査することとした。

主な調査項目は「実際の使用場所」、「使用目的」、「通信相手等」とし、対象の船上通信設備を使用している事業者にアンケート調査を行った。

以下にアンケート配布先とアンケート結果のまとめを示す。(アンケートの設問及び回答の詳細については付録 2 を参照)。

(1) アンケート配布先

アンケートの配付先としては、対象の船上通信設備を使用していることを前提とし、大きく以下の 3 つのグループとした。

1. 大手商船会社
2. フェリー会社
3. 曳船事業会社

大手商船会社として売上高が上位の 3 社³、フェリー会社 7 社、曳船事業会社 3 社を対象に、400 MHz 帯船上通信設備を使用している可能性のある会社を調査対象とした。

³ 最新業界地図 2014 年版(成美堂出版)を参照

(2) アンケート結果

アンケート結果(付録 2)から、船舶内に関する調査では、コンテナ船、自動車船、タンカー、長距離フェリー、曳船等において、出入港作業、荷役、訓練、操船支援、船内作業等を目的として、全ての会社が 400 MHz 帯船上通信設備を使用すると回答しており、船舶内での主な通信手段となっていることがうかがえる。

船舶内の利用場所としては、ブリッジや乗組員居住区、客室区画、機関室、救助艇及び車両甲板等の船内の広範囲にわたっている。また、固定機に比べてハンディ機の台数が多いことや、通信の範囲が約 200 m 以内であることから、主に船舶内を移動する乗組員が、乗組員同士の連絡用として携帯して使用していると推察される。チャンネルについては、ほぼすべての会社が Ch.1, Ch.2, Ch.3 の何れか、もしくは全てを使用して無線設備を複数台(多いところでは 1 つのチャンネルで 11 台)使用していることがわかる。

港湾内に関する調査では、13 社中 3 社が船舶内のみならず港湾内でも 400 MHz 帯船上通信設備を使用すると回答しており、やはり日本独自の使われ方もなされていることがわかる。

港湾内での使用場所は、埠頭やさん橋及び付近駐車場等であり、用途としては出入港作業や荷役、補油が挙げられている。また、主にハンディ機が使用されており、チャンネルについては、Ch.1, Ch.2, Ch.3 の何れか、もしくは全てが使用されている。

以上の結果から、港湾内では船舶内のみならず、さん橋等の陸地と船舶の間でも通信がなされており、広範囲にわたって 400 MHz 帯船上通信設備が使用されている現状が明らかとなった。

第4章 国際的動向

4.1. WRC(世界無線通信会議)の状況

4.1.1. 国際 VHF 海上無線設備

国際 VHF 海上無線設備は、アナログ音声通信が主体で利用されているが、今般、デジタルデータ通信が陸上で飛躍的に発展している状況から、海上においてもデジタルデバイド解消のため、デジタルデータ通信を可能とするシステムを導入すべきとの米国や欧州からの提案があり、現在の音声周波数の一部をデジタルデータ通信として利用することが、平成 27 年 11 月の WRC-15 で決議された。これに伴い、ITU 加盟国は平成 29 年 1 月 1 日以降からデジタルデータ通信を利用できる環境にすることが求められている。ただし、デジタルデータ通信からの混信を容認することを条件に、主管庁の判断でアナログ音声通信の利用も認められている。

デジタルデータ通信システムである VDE 及び VDES の周波数を図 4.1-1 に示す。

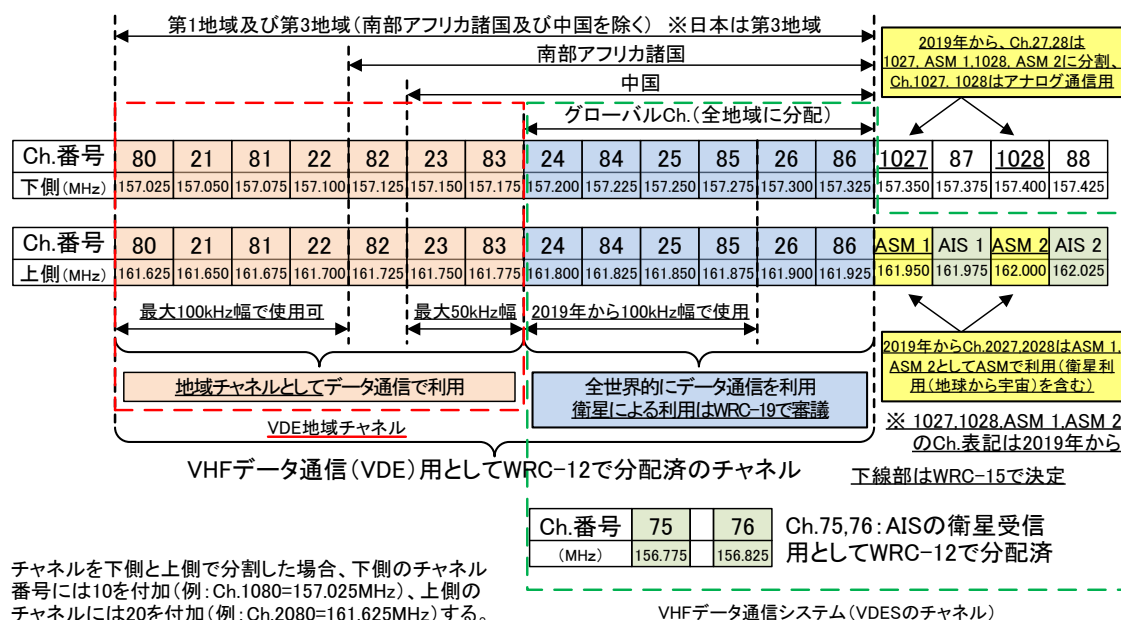


図 4.1-1 VDE 及び VDES の周波数

デジタルデータ通信用途として VDE のチャンネルは Ch.80-Ch.86 及び Ch.21-Ch.26 である。1 チャンネルの帯域幅はアナログ音声通信と同様 25 kHz であるが最大 4 チャンネル束ねることができるため 100 kHz 帯域幅の伝送が可能である。伝送速度は最大で 307.2 kbps と船舶自動識別装置⁴(以下「AIS」という。)のバイナリメッセージ 9.6 kbps に対して飛躍的に転送能力が向上することとなる。さらに、Ch.80-Ch.86 及び Ch.21-Ch.26 は、地域で独自の利用が可能なチャンネル(以下「地域チャンネル」という。)と、全世界的に共通して利用するチャンネル(以下「全世界的に利用するチャンネル」という。)に分けられている。

⁴ AIS(船舶自動識別装置 Automatic Identification System)は、国際 VHF 帯の専用チャンネルを使用した海上における人命の安全、安全で効率的な航海、海洋環境保護を強化することを意図し、船舶の識別・物標の追跡・情報交換・状況認識を支援する情報を扱う。

VDES は、AIS のバイナリメッセージの送信を目的とした専用チャンネルとして WRC-15 で新たに分配されたアプリケーション特定メッセージ⁵(以下「ASM」という。)と AIS 及び VDE を総合して利用することが検討されており、Ch.24-Ch.26, Ch.84-Ch.86, ASM1, ASM2, AIS1, AIS2 のチャンネルを用いることとされている。このほか、VHF 帯は伝搬距離が約 30 km 程度であることから、人工衛星を利用して AIS 情報を伝送するため、Ch.75 及び Ch.76 を用いることが認められている。

WRC-15 ではさらに VDES 用チャンネルをダウンリンク回線(宇宙から地球)で利用する検討もされたが、審議は 2019 年に開催される WRC-19 に持ち越された。

地域チャンネルを使用する VDE の国際規格としては ITU-R 勧告 M.1842-1 に定められている。VDES の国際規格のうち、全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE 及び ASM については ITU R 勧告 M.2092-0 に定められている。

4.1.1.1. 地域チャンネル

地域チャンネルを使用する VDE の国際規格は、ITU-R 勧告 M.1842-1 から表 4.1-1 及び表 4.1-2 のとおり 3 つの送信帯域幅によって定められている。

表 4.1-1 地域チャンネルを使用する VDE の国際規格

送信帯域幅	25 kHz		50 kHz	100 kHz
変調方式	$\pi/4$ DQPSK $\pi/8$ D8PSK	4level GMSK	16QAM (16 multi carriers)	16QAM (32 multi carriers)
電波の型式	G1D	F1D	D7D	D7D
周波数[MHz]	船舶局: 157.025 - 157.175、海岸局: 161.625 - 161.775 (Ch.80, Ch.21, Ch.81, Ch.22, Ch.82, Ch.23 及び Ch.83) (図 4.1-1 の「地域チャンネルとしてデータ通信で利用」のチャンネル)			
空中線電力(※)	船舶局: 25 W 以下、海岸局: 50 W 以下			

※勧告原文では Carrier power と表記

⁵ ASM(アプリケーション特定メッセージ Application Specific Message)は、AIS チャンネルがひっ迫している背景と簡易データ通信の需要に応えるため、2019 年から専用チャンネルにおいて使用することが WRC-15 で定められた。

表 4.1-2 地域チャンネルを使用する VDE の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		25 kHz	50 kHz	100 kHz
送信機	隣接チャンネル電力(※)	—	-23 dBm 以下 (上下の 25 kHz チャンネルに対する電力)	-23 dBm 以下 (上下の 25 kHz チャンネルに対する電力)
	隣接チャンネル電力比(※)	最低 70 dB	—	—
受信機	隣接チャンネル選択度	最低 70 dB		
	感度	船舶局: -107 dBm 海岸局: -107 dBm	船舶局: -103 dBm 海岸局: -106 dBm	船舶局: -98 dBm 海岸局: -103 dBm

※隣接チャンネル電力(比)は 25 kHz と 50 kHz 及び 100 kHz で表現の仕方が異なっているが、勧告原文の表現に合わせて記載。

規格としては、他装置から転載した性能条件から性能面において代表的な項目が記載されており、その他は使用用途例が記載されているため、全体的な内容はシステムをイメージするための概要となっている。地域向けの用途から国際的な議論はされておらず、また、システムの関連文書も発行されていない。

4.1.1.2. 全世界的に利用するチャンネル

ITU-R 勧告 M.2092-0 はスロット構成、フレーム構成や送受信局間の通信シーケンスまで記載されており、現時点においてもさらに内容を充実するべく議論が続けられている。世界的に、本勧告を想定した各種実験報告が挙がってきており、早期運用に向けて努力が続けられている。これらのことから、机上における干渉検討及び実証試験について ITU-R 勧告 M.2092-0 をベースとして進めることとした。

全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE の国際規格は、ITU-R 勧告 M.2092-0 から表 4.1-3 及び表 4.1-4 のとおり 3 つの送信帯域幅によって定められている。

表 4.1-3 全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE の国際規格

送信帯域幅	25 kHz, 50 kHz, 100 kHz	
変調方式	$\pi/4$ QPSK, 8PSK	16QAM
電波の型式	G1D	D1D
周波数[MHz]	船舶局: 157.200 – 157.325、海岸局: 161.800 – 161.925 (Ch.24, Ch.84, Ch.25, Ch.85, Ch.26 及び Ch.86) (図 4.1-1 の「全世界的にデータ通信を利用」のチャンネル)	
空中線電力(※)	船舶局: 1 – 25 W、海岸局: 12.5 – 50 W	

※勧告原文では Transmit average power と表記

表 4.1-4 全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		25 kHz	50 kHz	100 kHz
送信機	隣接チャンネル電力	0 dBc ($ \Delta f_c < 12.5 \text{ kHz}$)	0 dBc ($ \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)	0 dBc ($ \Delta f_c < 50 \text{ kHz}$)
		-25 dBc ($12.5 \text{ kHz} < \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)	-25 dBc ($25 \text{ kHz} < \Delta f_c < 50 \text{ kHz}$)	-25 dBc ($50 \text{ kHz} < \Delta f_c < 100 \text{ kHz}$)
		-60 dBc ($25 \text{ kHz} < \Delta f_c < 75 \text{ kHz}$)	-60 dBc ($50 \text{ kHz} < \Delta f_c < 100 \text{ kHz}$)	-60 dBc ($100 \text{ kHz} < \Delta f_c < 150 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャンネル選択度	記載なし		
	感度	$\pi/4$ QPSK: -110 dBm 8PSK: -104 dBm 16QAM: -102 dBm	$\pi/4$ QPSK: -107 dBm 8PSK: -101 dBm 16QAM: -99 dBm	$\pi/4$ QPSK: -104 dBm 8PSK: -98 dBm 16QAM: -96 dBm

4.1.2. 400 MHz 帯船上通信設備

WRC-15 の議題 1.15 として、海上移動業務に分配されている 400 MHz 帯における、船上通信設備用の追加周波数の検討について審議が行われた。その結果、400 MHz 帯船上通信設備に従来割当てられているチャンネルの狭帯域化及びデジタル化等により、当該周波数帯を有効利用するために無線通信規則第 5.287 号が改定された。

アナログ変調による 25/12.5 kHz 間隔チャンネルに加え、デジタル変調(4 値 FSK)による 6.25 kHz 間隔のチャンネルの配置が可能となったことにより、従来と同じ周波数帯で最大 24 チャンネルが使用可能になる。一方、1.1 節で述べたように、従来のアナログシステムと共用することが前提であることから、運用においては、混信防止のためにデジタルシステムの機器はキャリアセンス(周波数が使用されていない時のみ送信可能とする仕組)等の混信回避機能の使用が推奨されている。

デジタルシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備の国際規格は、ITU-R 勧告 M.1174-3 から表 4.1-5 のとおりに定められている。

表 4.1-5 デジタルシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備の国際規格

変調方式	4 値 FSK
電波の型式	F1E
周波数	表 4.1-7 のデジタルシステム用チャンネル
空中線電力(※)	2 W 以下

※勧告原文では ERP(Effective Radiation Power)と表記

送受信機のパラメータは、ETSI(欧州電気通信標準化機構)⁶ EN 300 720 から表 4.1-6 のとおり 6.25 kHz の送信帯域幅について定められている。

表 4.1-6 送受信機のパラメータ

送信帯域幅		6.25 kHz
送信機	隣接チャネル電力	実効電力より 60 dB 低い値を超えないレベル
受信機	隣接チャネル選択度	基地局装置: 60 dB 据置型: 54 dB 携帯機: 50 dB ビット誤り率=10 ⁻² となるレベルもしくは、メッセージ成功率=80%となるレベル
	感度	6 dB μV 以下 ビット誤り率=10 ⁻² となるレベルもしくは、メッセージ成功率=80%となるレベル

チャンネル配置は、ITU-R 勧告 M.1174-3 から、表 4.1-7 のとおりに定められている。青色の枠がアナログシステムで使用されるチャンネル、赤色の枠がデジタルシステムで使用されるチャンネルである。

但し、表 4.1-7 の 12.5 kHz channel は、既存のシステム(アナログシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備)として使用されていないため、本調査検討の対象外とする。

表 4.1-7 400 MHz 帯船上通信設備の国際規格のチャンネル配置

Lower channel			Upper channel								
25 kHz channel		12.5 kHz channel		6.25 kHz channel		25 kHz channel		12.5 kHz channel		6.25 kHz channel	
Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz
1	457.525	11	457.5250	102	457.515625	4	467.525	21	467.5250	202	467.515625
				111	457.521875					211	467.521875
				112	457.528125					212	467.528125
2	457.550	12	457.5375	121	457.534375	5	467.550	22	467.5375	221	467.534375
				122	457.540625					222	467.540625
				131	457.546875					231	467.546875
3	457.575	13	457.5500	132	457.553125	6	467.575	23	467.5500	232	467.553125
				141	457.559375					241	467.559375
				142	457.565625					242	467.565625
		14	457.5625	151	457.571875			24	467.5625	251	467.571875
				152	457.578125					252	467.578125
				161	457.584375					261	467.584375

 アナログシステム用チャンネル
 デジタルシステム用チャンネル

⁶欧州における電気通信産業に関する標準化機関

4.2. 新たなデジタルデータ通信システム導入への課題

新たなデジタルデータ通信システムの導入は、ITU-R 加盟国である我が国も国際条約を遵守していくものである。しかしながら、システムの導入については以下の課題がある。

4.2.1. 国際 VHF 海上無線設備におけるデジタルデータ通信導入の課題

VDE 及び VDES 用となる周波数は、我が国ではアナログ音声通信用として多くの海上関係無線局が使用しており、現状のままでは VDE 及び VDES とアナログ音声通信との間で混信が生じることが予想され、VDE 及び VDES の導入が阻害されるほか、現在の国内通信にも支障をきたすことが懸念される。

4.2.2. 400 MHz 帯船上通信設備におけるデジタルシステム導入の課題

400 MHz 帯船上通信設備は、デジタルシステムと同帯域で従来のアナログシステムと共存して使用することが国際的に認められているが、我が国では船内での連絡の他に、船舶が埠頭に離・接岸する際の連絡用としても使用するなど独自の通信システムとして利用していることから、我が国における通信環境を考慮したデジタルシステムとアナログシステムとの共用手法が求められる。

第5章 周波数共用条件の検討

5.1. 国際 VHF 海上無線設備

5.1.1. 周波数共用条件検討の考え方

4.2.1. 節で述べたとおり VDE 及び VDES の導入に対する課題を、周波数を有効的に利用しつつ克服するために、VDE 及び VDES と音声通信の共用条件を検討することとする。手法としては、机上における干渉検討(以下「机上検討」という。)を実施し、机上検討結果の妥当性を確認するため、海上フィールド実証試験を実施し、周波数共用のための条件等を検討する。

5.1.2. 机上検討

5.1.2.1. 机上検討概要

机上検討概要として、周波数共用条件検討に必要な検討項目及びその干渉モデルについて記載する。

5.1.2.1.1. 机上検討項目

机上検討方法として、実験室内での実機を使った検討方法を採用した。検討項目は以下の3つとした。

- (1) 同一チャネル干渉検討
- (2) 隣接チャネル干渉検討
- (3) スケルチオープン測定検討

また、机上検討結果を一般的な特性とみなすことができるかを確認するため、数値計算との比較(5.1.2.5. 節で後述する。)を行った。(3)については、測定の性質上机上検討のみとした。

音声通信中に同一チャネルを VDE 及び VDES として使用した場合、相互に影響を受けることが想定されるが、国内の通信状況を確保することを優先としつつ、VDE 及び VDES が音声通信にどのように影響を与えるかについて、以下の3つの項目を検討する。

(1) 同一チャネル干渉検討

検討においては、希望波(Desired Signal)に対し妨害波(Undesired Signal)がどの程度の受信レベル(DU 比)であれば通信が成り立つかを把握するとともに、通信が成り立つ DU 比から離隔距離を求めることとする。

(2) 隣接チャネル干渉検討

検討においては、希望波に対し妨害波がどの程度の受信レベル(DU 比)であるか、また、周波数がどれだけ離れていれば受信できるか(離隔周波数)を把握する。さらに、通信が成り立つ DU 比から離隔距離を求める。

(3) スケルチオープン測定検討

音声通信の待受中に VDE 及び VDES 装置からの電波が発射されることで、音声通信側に耳障りなノイズ音が発生し利便性が低下する可能性がある。この程度を確認するため、音声通信側の

スケルチが開放されたときの値(オープン電力)を測定し、耳障りな音の有無(可聴)と離隔距離を把握する。

5.1.2.1.2. 干渉モデル

海岸局と船舶局の周波数割当て条件から、音声通信とVDE及びVDESの共用を想定した場合に干渉する状況を推定する。

WRC-15においてVDE及びVDESとして割当てられた国際VHFのチャンネルは4.1.1.節のとおりであり、周波数については表5.1-1に示すとおりである。

表 5.1-1 チャンネル割当表

チャンネル番号	送信周波数 [MHz]		船舶相互間	港務通信及び船舶通航		公衆通信
	船舶局	海岸局		1周波数	2周波数	
20	157.000	161.600		x	x	x
80	157.025	161.625		x	x	x
21	157.050	161.650		x	x	x
81	157.075	161.675		x	x	x
22	157.100	161.700		x	x	x
82	157.125	161.725		x	x	x
23	157.150	161.750		x	x	x
83	157.175	161.775		x	x	x
24	157.200	161.800		x	x	x
1024	157.200					
2024	161.800	161.800	x (digital only)			
84	157.225	161.825		x	x	x
1084	157.225					
2084	161.825	161.825	x (digital only)			
25	157.250	161.850		x	x	x
1025	157.250					
2025	161.850	161.850	x (digital only)			
85	157.275	161.875		x	x	x
1085	157.275					
2085	161.875	161.875	x (digital only)			
26	157.300	161.900		x	x	x
1026	157.300					
2026		161.900				
86	157.325	161.925		x	x	x
1086	157.325					
2086		161.925				
27	157.350	161.950			x	x
1027	157.350	157.350		x		
2027	161.950	161.950				
87	157.375	157.375		x		
28	157.400	162.000			x	x
1028	157.400	157.400		x		
2028	162.000	162.000				
88	157.425	157.425		x		
AIS 1	161.975	161.975				
AIS 2	162.025	162.025				

※「周波数割当計画別表 3-4」より抜粋し WRC-15 の結果に変更

さらに、VDE 及び VDES に関する割当てについて、詳細をまとめたものを図 5.1-1 に示す。

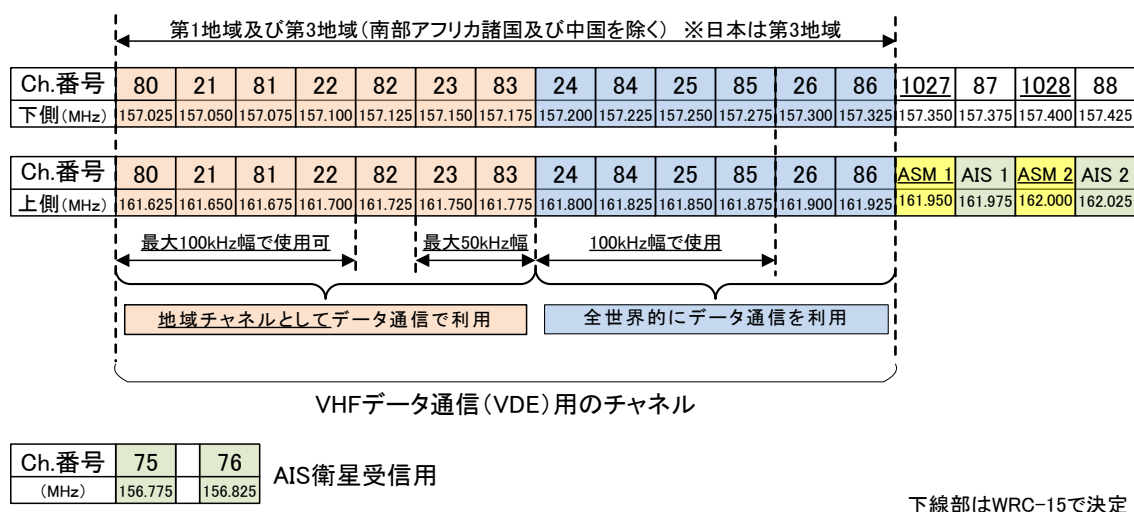


図 5.1-1 VDE 及び VDES 用チャンネル

表 5.1-1 において、緑と黄で示されているチャンネルは、160 MHz 帯を使用した AIS 及び ASM 専用に割当てられたチャンネルであり、これら AIS 及び ASM のシステムは、音声通信と共用検討する必要はない。このことから、地域チャンネルを使用する VDE 及び全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE を共用検討の対象とした。

国際 VHF を用いた通信には、船舶局間で通信を行う「船舶間」通信と海岸局-船舶局間で通信を行う「陸船間」通信の 2 通りがあるが、VDE の対象となる周波数は、「陸船間」通信として用いられる周波数である。使用周波数帯は、海岸局が 160 MHz 帯、船舶局が 150 MHz 帯であり、複信方式により通信を行っている点を踏まえ共用検討を行っていく必要がある。

本調査検討においては、国内の通信状況を確保することを優先としつつ、VDE 及び VDES が導入できるための共用条件について検討するものである。よって、主として音声通信に対する VDE の妨害についての机上検討を実施する。

また、自船内の干渉については音声通信と VDE との利用者が同一者であることから、アンテナ設置方法や無線局運用方法によって、干渉がないよう無線局免許人自らで対応すべきものである。よって、自船内の干渉検討については船舶間干渉がない場合において検討することとし、基本的には対象外とする。

以上を踏まえ、机上検討の実施項目をまとめたものを表 5.1-2 に示す。

表 5.1-2 机上検討の実施項目

実施項目		備考
音声通信中に、VDE による妨害を加える		
海岸局から 船舶局	同一チャンネル干渉検討	各帯域と変調方式 毎に実施
	隣接チャンネル干渉検討	
船舶局から 海岸局	同一チャンネル干渉検討	各帯域と変調方式 毎に実施
	隣接チャンネル干渉検討	
音声通信の待ち受け中に他局の VDE が入力		
海岸局で 待受中	スケルチオープン測定検討	

表 5.1-2 の机上検討の実施項目をモデル図で表したものを図 5.1-2、図 5.1-3 及び図 5.1-4 に示す。

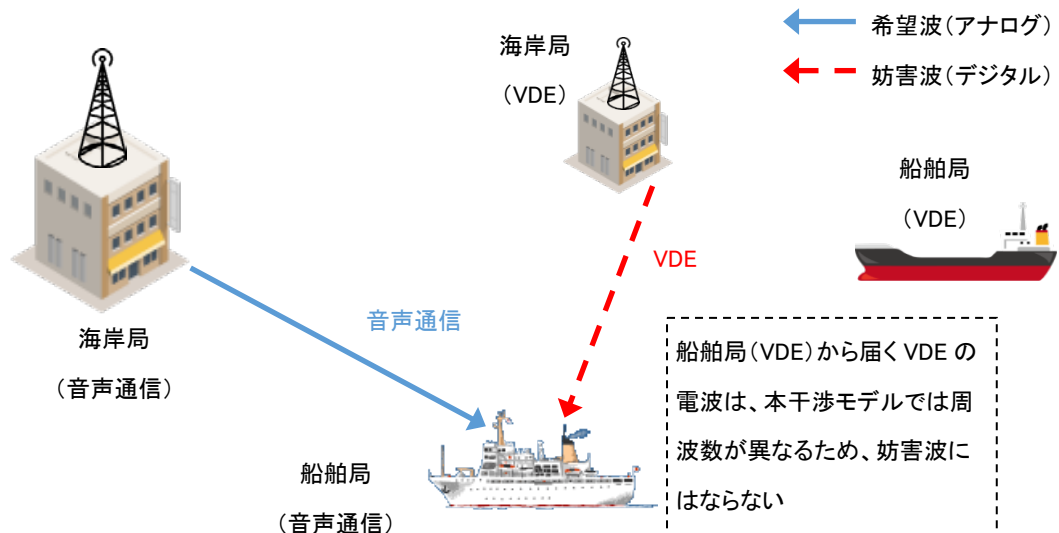


図 5.1-2 干渉モデル想定図 1 (海岸局送信中に別海岸局より干渉)

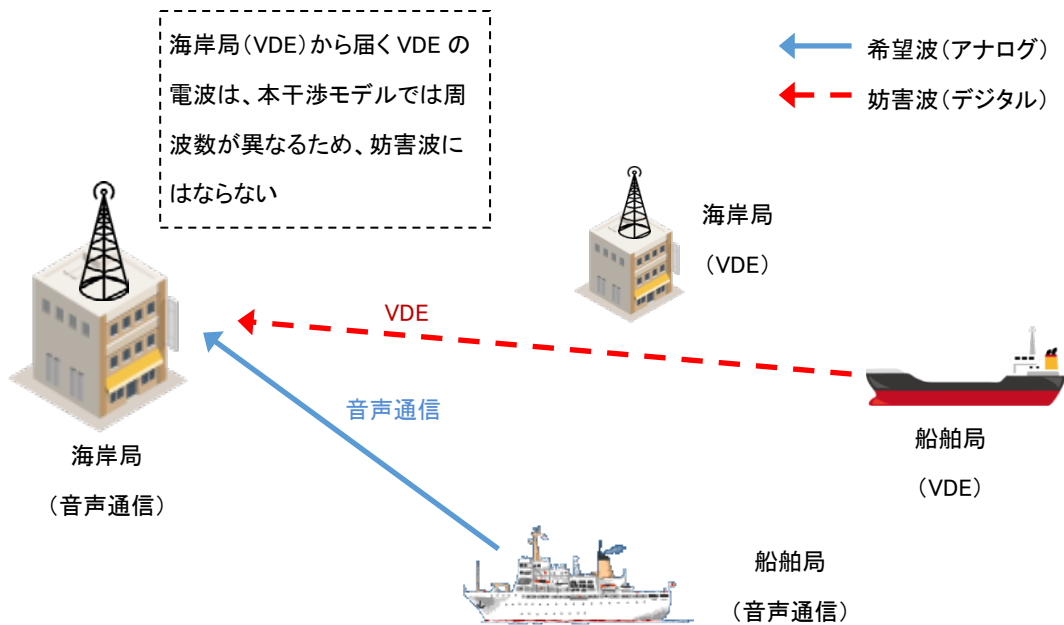


図 5.1-3 干渉モデル想定図 2 (船舶局送信中に別船舶局より干渉)

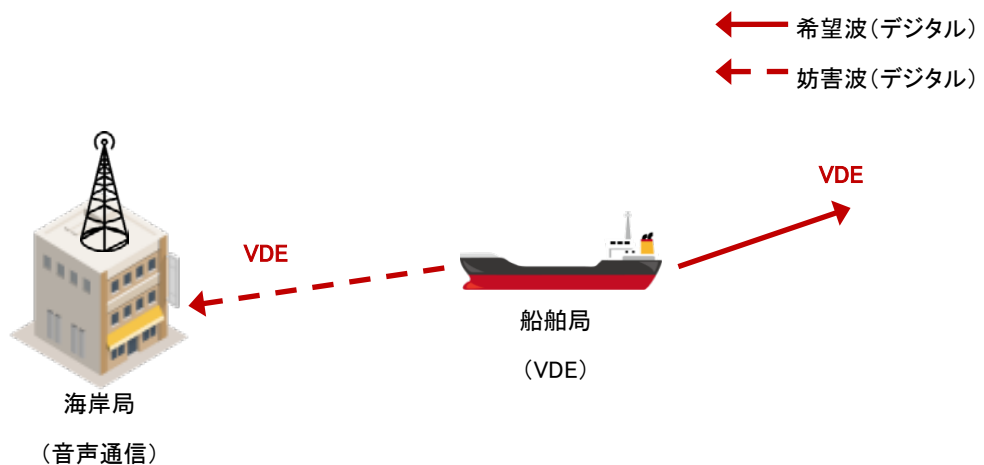


図 5.1-4 干渉モデル想定図 3 (海岸局が待ち受け中に他局より混信)

5.1.2.2. 机上検討条件

4.1.1.2. 節に記載のとおり、検討は ITU-R 勧告 M.2092-0 (全世界的に利用するチャネルを使用する VDE の規格が記載された勧告) をベースとして進めることとした。

机上検討条件 (変調方式、使用周波数、参照規格、妨害波) は次のとおりである。

(1) 変調方式

VDE の主な特性を表 5.1-3 に記載する。チャネル間隔については、最も狭いもの (25 kHz) と最も広いもの (100 kHz) の 2 つを検討対象 (黄色の部分) とした。

表 5.1-3 検討対象の変調方式一覧

項目	仕様		
割当周波数	図 5.1-1 参照		
空中線電力	船舶局 25 W 以下、海岸局は 50 W 以下		
変調方式	$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM
電波型式	G1D	G1D	D1D
チャンネル間隔 [kHz]	25	25	25
	50	50	50
	100	100	100

検討する変調方式の組み合わせをまとめると表 5.1-4 となる。

表 5.1-4 机上検討の組み合わせ

	音声通信	VDE		
帯域幅	25 kHz	25 kHz, 100 kHz		
変調方式	FM	$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM

(2) 使用周波数

希望波及び妨害波の設定周波数を表 5.1-5 に示す。

VDE のチャンネルは、現在多数の海岸局に割当てられており、Ch.84 は現在運用中の無線局でも使用されているため、実証試験で 25 kHz 及び 100 kHz で送信した場合に影響を与える可能性があることが想定される。

以上から、割当てが少なく、且つ地域チャンネルも含めた VDE のチャンネルの範囲内の組み合わせより、Ch.82, 23, 83, 24(表 5.1-5 青枠)を VDE 用として使用し、音声通信として隣接チャンネルの干渉検討用に上下 1 チャンネルを加えた Ch.22, 82, 23, 83, 24, 84(表 5.1-5 赤枠)を使用することとした。

表 5.1-5 チャンネル表

チャンネル 番号	送信周波数[MHz]	
	船舶局	海岸局
20	157.000	161.600
80	157.025	161.625
21	157.050	161.650
81	157.075	161.675
22	157.100	161.700
82	157.125	161.725
23	157.150	161.750
83	157.175	161.775
24	157.200	161.800
84	157.225	161.825
25	157.250	161.850
85	157.275	161.875
26	157.300	161.900
86	157.325	161.925
27	157.350	161.950

国内実験試験局 (赤枠) と VDE 送信チャンネル (青枠) の範囲が示されています。

VDE については、2つの帯域幅(25 kHz と 100 kHz)について検討を行うが、100 kHz の帯域幅を使用する場合、中心周波数は 150 MHz 帯と 160 MHz 帯においてそれぞれ一つ(157.1625 MHz と 161.7625 MHz)である。これに対し、25 kHz の帯域幅を使用する場合、同一チャンネル干渉検討を基準に考えると、VDE の帯域幅の割当て方により以下 2 パターンが考えられる。

- ・ パターン A : 100 kHz を割当て、その中心周波数を使用する場合
(音声通信の中心周波数と 12.5 kHz 離れ)
- ・ パターン B : 音声通信と同間隔の 25 kHz を割当て、その中心周波数を使用する場合
(音声通信と中心周波数が一致)

よって、机上検討では 25 kHz の帯域幅を使用する VDE について、パターン A、パターン B ともに机上検討を実施することとした。

これらを模式図として表示すると、同一チャンネル干渉検討の場合は図 5.1-5 のように表され、隣接チャンネル干渉検討の場合は図 5.1-6 のように表される。図 5.1-5 及び図 5.1-6 は右側が 100 kHz の帯域幅の VDE、左側が 25 kHz の帯域幅の VDE となっており、25 kHz の帯域幅の VDE はパターン A 及びパターン B の 2 パターンがあることがわかる。

帯域内のチャンネル利用方法については、チャンネルの利用状況に応じた適応変調も視野に入れ活発に意見交換しているところである。これは、伝送路の状態に応じて最適な通信方式を選択する方法のことで、海上における様々な環境等を考慮しながら進められている。

スケルチオープン測定検討については図 5.1-7 のように表される。25 kHz では同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討のパターン A 及びパターン B 相当の 4 パターン、100 kHz では同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討のパターン A と同様の中心周波数差の 2 パターンの計 6 パターンについて検討を行う。100 kHz でのパターン B と同様の中心周波数差については、周波数配置としてありえないため、検討対象外とする。

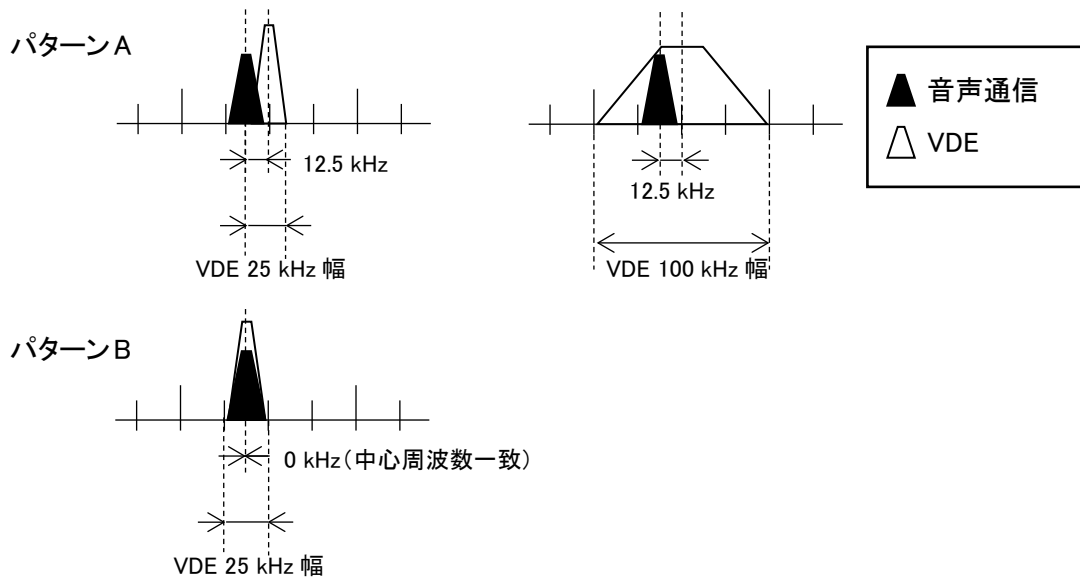


図 5.1-5 同一チャンネル干渉検討条件模式図(帯域幅 25 kHz の VDE は 2 パターン)

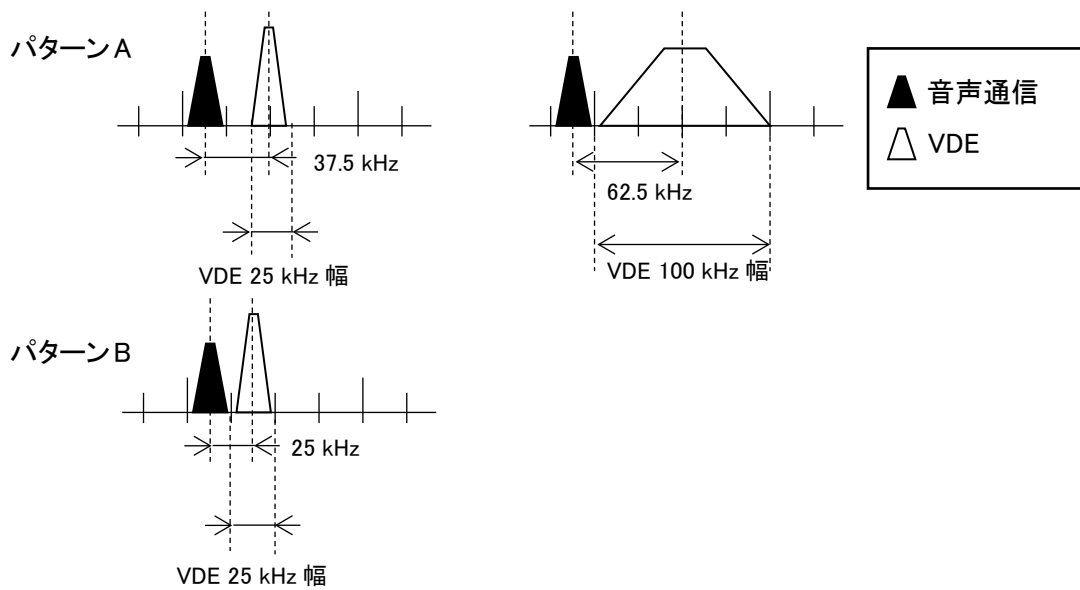


図 5.1-6 隣接チャンネル干渉検討条件模式図(帯域幅 25 kHz の VDE は 2 パターン)

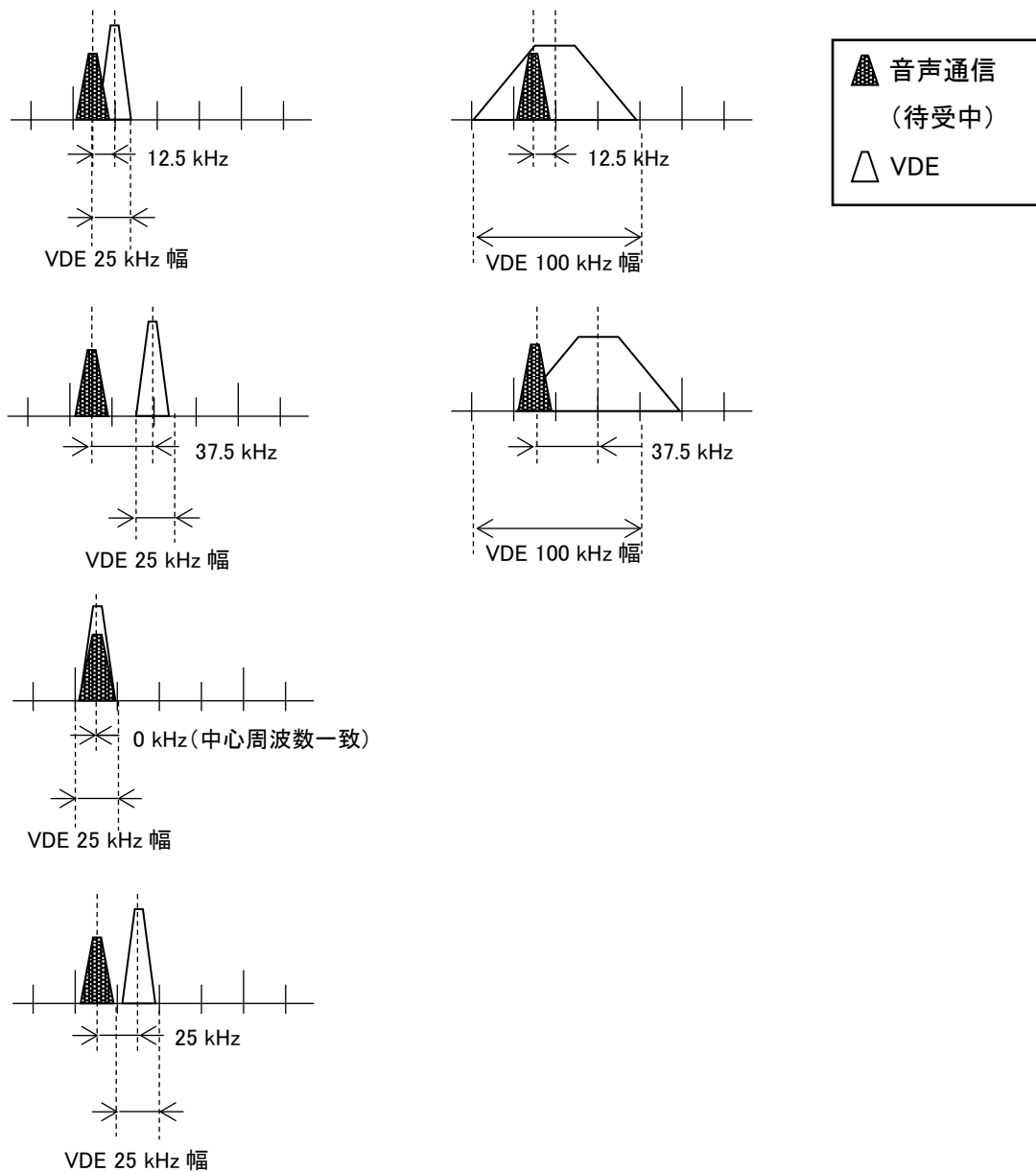


図 5.1-7 スケルチオープン測定検討条件模式図(帯域幅 25 kHz の VDE は 4 パターン)

(3) 参照規格

妨害波として出力する VDE 側の送信規格を抜粋したものを表 5.1-6 にまとめる。

表 5.1-6 VDE の送信規格

参照規格	ITU-R 勧告 M.2092-0	
周波数偏差	3 ppm	
変調スペクトラム 25 kHz チャンネル	0 dBc	$ \Delta f_c < 12.5 \text{ kHz}$
	-25 dBc	$12.5 \text{ kHz} < \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$
	-60 dBc	$25 \text{ kHz} < \Delta f_c < 75 \text{ kHz}$
変調スペクトラム 100 kHz チャンネル	0 dBc	$ \Delta f_c < 50 \text{ kHz}$
	-25 dBc	$50 \text{ kHz} < \Delta f_c < 100 \text{ kHz}$
	-60 dBc	$100 \text{ kHz} < \Delta f_c < 150 \text{ kHz}$

妨害波を受ける音声通信で使用する国際 VHF 海上無線設備(以下「国際 VHF 無線電話装置」という。)側については、無線設備規則及び ETSI の受信規格を抜粋したものを表 5.1-7 にまとめる。同一チャンネル除去比については無線設備規則に記載がないため、目安として ETSI の規格値を抜粋した。

表 5.1-7 国際 VHF 無線電話装置の規格(抜粋)

参照規格	① 無線設備規則 ② ETSI EN 301 925 V1.4.1
感度	① 2 μ V 以下 (20 dB NQ 法) 標準変調、20 dB μ V 入力時に低周波出力を定格に合わせる。
	② 6 dB μ V 以下 (20 dB SINAD) 標準変調において、低周波出力を定格の 50%とする。
同一チャンネル除去比	② -10 ~ 0 dB(感度比) 妨害波レベルを上げ、SINAD が 20→14 dB となる時の感度との差。
隣接チャンネル選択度 (①は感度抑圧規定)	① 10 mV 以上 希望波感度+6 dB、無変調、妨害波は \pm 25 kHz、無変調で 20 dB NQ になる時の出力レベル。
	② 70 dB 以上 妨害波レベルを上げ、SINAD が 20→14 dB となる時の感度との差。

(4) 妨害波

使用する妨害波を以下に示す。

- FM(変調状態) : 400 Hz の周波数で \pm 3.0 kHz の周波数偏移
 $\pi/4$ QPSK(25/100 kHz) : PN15 系列⁷を使用した変調状態
 8PSK(25/100 kHz) : PN15 系列を使用した変調状態
 16QAM(25/100 kHz) : PN15 系列を使用した変調状態

5.1.2.3. 机上検討手順

5.1.2.3.1. 使用機器

机上検討に用いる機器を表 5.1-8 に示す。

表 5.1-8 使用機器一覧

機器	形名	メーカー	備考
標準信号発生器 1	8642A	アジレント・テクノロジー	希望波
標準信号発生器 2	MG3710A	アンリツ	妨害波
整合器	Z164A	アンリツ	
レベル計	MT2605	アンリツ	コミュニケーションアナライザ
スペクトラム・アナライザ	FSW8	ローデ&シュワルツ	動作・レベル確認

⁷ 15 bit の擬似ランダム雑音(Pseudorandom Noise)系列。試験用の信号生成に使用。

5.1.2.3.2. 装置の基本的な受信特性の確認

机上検討で用いる装置の基本的な受信特性が規格値内であることを確認するため、(1)感度、(2)同一チャンネル除去比及び(3)隣接チャンネル選択度(感度抑圧効果)を測定した。

測定手順は表 5.1-7 の①に関しては「無線機器型式検定に係る試験手順書」の「デジタル選択呼出装置等による通信を行う海上移動業務の無線局の用に供する送信装置及び受信装置の機器(デジタル VHF 送受信装置)」⁸を、②に関しては「ETSI EN 301 925 V1.4.1」を参考とした。

(1) 感度

感度を以下の手順で測定した。感度の確認は 20 dB NQ 法及び 20 dB SINAD 法の 2 つにおいて実施した。試験周波数と規格値は次のとおりである。

試験周波数:	157.150 MHz, 161.750 MHz
規格値(20 dB NQ 法):	雑音抑圧を 20 dB とするために必要な受信機入力電圧が $2 \mu\text{V}$ ($\approx -107 \text{ dBm}$) 以下
規格値(20 dB SINAD 法):	SINAD が 20 dB となる受信機入力電圧が $6 \text{ dB } \mu\text{V}$ ($\approx -107 \text{ dBm}$) 以下

信号発生器と受信機は下図のように結線する。



図 5.1-8 感度測定のための試験系統図

(ア) 20 dB NQ 法

1. 受験機器(国際 VHF 無線電話装置)を試験周波数において動作させた状態(以下「試験動作状態」という。)におく。
2. 標準信号発生器の周波数を試験周波数に設定し、標準変調状態(1,000 Hz の正弦波により、周波数変移が許容値の 70%となる変調入力)とする。
3. この状態で、受験機器に入力電圧 $20 \text{ dB } \mu\text{V}$ の標準信号発生器出力を加えた状態で供試器の出力が規定の出力となるよう、受験機器の出力を調整する。
4. この状態で標準信号発生器の出力を断とし、受験機器の出力(雑音)レベルを測定する。
5. 標準信号発生器を無変調状態で接続し、その出力を調整して受験機器の出力(雑音)レベルが上記 4. で求めた値より 20 dB 低い値となるようにする。
6. このときの標準信号発生器の出力から受験機器の入力電圧を求める。

⁸ http://www.soumu.go.jp/main_content/000391588.pdf

(イ) 20 dB SINAD 法

1. 受験機器を試験動作状態におく。
2. 標準信号発生器の周波数を試験周波数に設定し、標準変調状態(1,000 Hz、周波数偏移±3 kHz)とする。
3. スピーカ出力が定格出力の 1/2 になるよう設定する。
4. この状態で受験機器の SINAD を測定する。
5. SINAD が 20 dB になるまで、標準信号発生器の出力を調整する。
6. このときの標準信号発生器の出力から受験機器の入力電圧を求める。

(2) 同一チャンネル除去比

同一チャンネル除去比を以下の手順で測定した。試験周波数と規格値は次のとおりである。

試験周波数: 157.150 MHz, 161.750 MHz

規格値: 同一チャンネル除去比は、-10 から 0 dB の間であること

信号発生器と受信機は下図のように結線する。

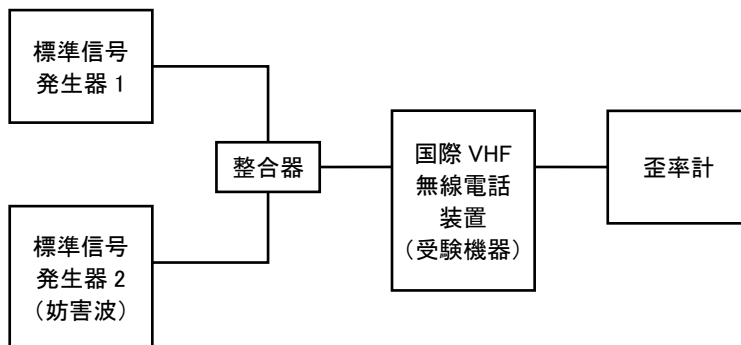


図 5.1-9 同一チャンネル除去比測定のための試験系統図

1. 受験機器を試験動作状態におく。
2. 標準信号発生器 2(妨害波) の出力を断とし、標準信号発生器 1(希望波) の周波数を試験周波数に設定し、標準変調状態(1,000 Hz, 周波数偏移±3 kHz)とする。
3. 標準信号発生器 1 の出力電圧を感度測定値に合わせる。
4. 標準信号発生器 2 の周波数を試験周波数に設定し、FM 変調にて 400 Hz の周波数で±3.0 kHz の周波数偏移に合わせ、出力電圧を低く設定する。
5. スピーカ出力が定格出力の 1/2 になるよう設定する。
6. この状態で、SINAD が 14 dB となるように標準信号発生器 2 の出力を調整する。
7. このときの標準信号発生器 2 の出力電圧を妨害波の受信機入力電圧として記録する。

(3) 隣接チャンネル選択度(感度抑圧効果)

隣接チャンネル選択度(感度抑圧効果)を以下の手順で測定した。試験周波数と規格値は次のとおりである。

- 試験周波数(25 kHz 離れ): 157.150 MHz と 157.125 MHz
161.750 MHz と 161.725 MHz
- 規格値(感度抑圧効果): 雑音抑圧が 20 dB となるときの妨害波入力電圧が 10 mV
(≈ -33 dBm) 以上
- 規格値(隣接チャンネル選択度): 隣接チャンネル選択度は、70 dB 以上であること
信号発生器と受信機は同一チャンネル除去比と同様に結線する。

(ア) 感度抑圧効果

1. 受験機器を試験動作状態におく。
2. 標準信号発生器 2 の出力を断とし、標準信号発生器 1 の周波数を試験周波数に設定し感度を測定する。
3. 標準信号発生器 1 を受験機器の感度測定値より 6 dB 高く設定する。
4. この状態で標準信号発生器 2 を試験周波数より 25 kHz 高い周波数に設定する。
5. 次に標準信号発生器 2 の出力を変化して雑音抑圧 20 dB となるようにする。このときの標準信号発生器 2 の出力電圧を妨害波の受信機入力電圧とする。
6. 標準信号発生器 2 の周波数より 25 kHz 低い周波数に設定し、上記と同様に求める。

(イ) 隣接チャンネル選択度

1. 受験機器を試験動作状態におく。
2. 標準信号発生器 2 の出力を断とし、標準信号発生器 1 の周波数を試験周波数に設定し、標準変調状態(1,000 Hz, 周波数偏移 ± 3 kHz)とする。
3. 標準信号発生器 1 の出力電圧を感度測定値に合わせる。
4. 標準信号発生器 2 の周波数を上側の試験周波数に設定し、FM 変調にて 400 Hz の周波数で ± 3.0 kHz の周波数偏移に合わせ、出力電圧を低く設定する。
5. スピーク出力が定格出力の 1/2 になるよう設定する。
6. この状態で、SINAD が 14 dB となるように標準信号発生器 2 の出力を調整する。
7. このときの標準信号発生器 2 の出力電圧と標準信号発生器 1 の出力電圧との比を記録する。
8. 標準信号発生器 2 の周波数を下側の試験周波数に設定し、4 から 6 を繰り返して記録する。

5.1.2.3.3. データ取得

本机上検討では希望波の受信レベルを基準感度+30 dB とした。これは、音声通信である現行 FM システムの周波数共用について記載されている「平成 10 年度電気通信技術審議会答申諮問 94 号」で用いられている値を参照したものである。この値は陸上局の検討で用いられた値であるが、海上通信において現行 FM システムとデジタルデータ通信間における干渉の共用検討は初めての実施であるため、まずは前例のある検討法を参照することとした。

また、机上検討は測定器を用いた測定環境のため静特性のデータであるが、一方のフィールド評価は動的なデータを取得するため、様々な干渉を受け、測定環境条件によって実測値との比較が非常に難しい。このことから、現行 FM システムとの干渉検討について、フェージング環境下における影響がおよばない、静特性との比較ができる値として基準感度+30 dB を用いている。

机上検討のデータ取得は以下の手順で行った。

(1) 同一チャネル干渉検討

DU 比を以下の手順で取得した。試験周波数は次のとおりである。

試験周波数(12.5 kHz 離れ): 157.1625 MHz と 157.150 MHz
 161.7625 MHz と 161.750 MHz
試験周波数(同一): 157.150 MHz
 161.750 MHz

信号発生器と受信機は同一チャネル除去比と同様に結線する。

(ア) DU 比

1. 標準信号発生器 1 の出力を基準感度+30 dB(36 dB μ V \approx -77 dBm)に設定する。
標準信号発生器 1 はアナログ FM にて標準変調状態とする。
2. 標準信号発生器 2 を $\pi/4$ QPSK 変調 PN15 符号とし、標準信号発生器 1 と同一周波数に設定する。
3. 標準信号発生器 2 を SINAD が 14 dB となるように標準信号発生器 2 の出力を調整し、その値を記録する。
4. 標準信号発生器 1 と標準信号発生器 2 の値から DU 比を算出する。以下の組み合わせで測定する。
5. 帯域幅を変更し、同様の測定を実施する。
6. 変調方式を変更し、同様の測定を実施する。

(2) 隣接チャネル干渉検討

以下の測定手順で、(ア)離隔周波数及び(イ)DU 比を実施した。信号発生器と受信機は同一チャネル除去比と同様に結線する。

なお、(イ)の DU 比取得の際の試験周波数は、次のとおりである。

- 試験周波数(37.5 kHz 離れ): 157.1625 MHz と 157.125 MHz
161.7625 MHz と 161.725 MHz
- 試験周波数(62.5 kHz 離れ): 157.1625 MHz と 157.100 MHz
161.7625 MHz と 161.700 MHz
- 試験周波数(25 kHz 離れ): 157.150 MHz と 157.125 MHz
161.750 MHz と 161.725 MHz

(ア) 離隔周波数

1. 標準信号発生器 2 の出力を断とし、標準信号発生器 1 を基準感度+30 dB (36 dB μ V \div -77 dBm)に設定する。標準信号発生器 1 はアナログ FM にて標準変調状態とする。
2. 標準信号発生器 2 の周波数を上側の試験周波数に設定する。
3. 標準信号発生器 2 を $\pi/4$ QPSK 変調に設定し、出力電圧を低く設定する。
4. 予め、スピーカ出力が定格出力の 1/2 になるよう設定しておく。
5. 標準信号発生器 2 を 1 項の標準信号発生器 1 より+40 dB に設定する。
6. この状態で、SINAD が 14 dB となるまで標準信号発生器 2 の周波数を調整する。
7. このときの標準信号発生器 2 の出力電圧と標準信号発生器 1 の出力電圧との比を記録する。
8. 標準信号発生器 2 の周波数を下側の試験周波数に設定し、3 から 6 を繰り返して記録する。
9. 帯域幅を変更し、同様の測定を実施する。
10. 変調方式を変更し、同様の測定を実施する。

(イ) DU 比

1. 標準信号発生器 2 の出力を断とし、標準信号発生器 1 を基準感度+30 dB (36 dB μ V \div -77 dBm)に設定する。標準信号発生器 1 はアナログ FM にて標準変調状態とする。
2. 標準信号発生器 2 の周波数を上側の試験周波数に設定する。
3. 標準信号発生器 2 を $\pi/4$ QPSK 変調に設定し、出力電圧を低く設定する。
4. 予め、スピーカ出力が定格出力の 1/2 になるよう設定しておく。
5. この状態で、SINAD が 14 dB となるように標準信号発生器 2 の出力を調整する。
6. このときの標準信号発生器 2 の出力電圧と標準信号発生器 1 の出力電圧との比を記録する。
7. 標準信号発生器 2 の周波数を下側の試験周波数に設定し、3 から 5 を繰り返して記録する。
8. 帯域幅を変更し、同様の測定を実施する。
9. 変調方式を変更し、同様の測定を実施する。

(3) スケルチオープン測定検討

スケルチオープン電力と可聴の有無を以下の手順で取得した。試験周波数は次のとおりである。

試験周波数(12.5 kHz 離れ):	157.1625 MHz と 157.150 MHz 161.7625 MHz と 161.750 MHz
試験周波数(37.5 kHz 離れ):	157.1625 MHz と 157.125 MHz 161.7625 MHz と 161.725 MHz
試験周波数(同一):	157.1625 MHz 161.7625 MHz
試験周波数(25 kHz 離れ):	157.150 MHz と 157.125 MHz 161.750 MHz と 161.725 MHz

信号発生器と受信機は下図のように結線する。



図 5.1-10 スケルチオープン測定検討のための試験系統図

(ア) スケルチオープン電力と可聴の有無

1. 標準信号発生器の出力を $6 \text{ dB } \mu\text{V}$ に設定する。
2. 標準信号発生器を $\pi/4\text{QPSK}$ 変調 PN15 符号とする。
3. 入力電圧を 20 dB 下げスケルチを閉じる。徐々に電圧を上げ、スケルチが開いたときの数値を記録する。
4. 雑音として聞こえるか確認する。
5. 帯域幅を変更し、同様の測定を実施する。
6. 変調方式を変更し、同様の測定を実施する。

5.1.2.3.4. 離隔距離の算出

測定及び検討結果から以下の計算式を用いて離隔距離(d)を算出した。

近似式 1:

2 波モデルにおいて大地の反射係数 1、位相遅れ 180° とした場合は式(1)及び式(2)を用いる。

$$E = 2E_0 \sin\left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}\right) \text{ [V/m]} \quad (1)$$

$$E = E_0 + 20 \log_{10}\left(\left|\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}\right|\right) \text{ [dB } \mu\text{V/m]} \quad (2)$$

ここで h_1 、 h_2 はそれぞれ送信アンテナ高[m]と受信アンテナ高[m]、 λ は波長[m]、 d は距離[m]、 E_0 は自由空間の電界強度[V/m]である。

近似式 2:

送受信点が十分に離れており、且つアンテナ高が低い場合に、式(3)の範囲では式(4)を用いる。

$$\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} < 0.5 \quad (3)$$

$$E = 88 h_1 h_2 \frac{\sqrt{G_a P_t}}{\lambda d^2} \quad (4)$$

ここで、 G_a は相対利得(真値)、 P_t は送信電力[W]である。

近似式 3:

ここで近似式 1 及び 2 は、大地(海水)の影響が詳細に考慮されておらず、電波の見通し外における近似ができない。そこで、ITU-R 勧告 P.526-13(付録 6 参照)によるモデルを用い、海水の特性(導電率 $\sigma = 4$ [S/m]、比誘電率 $\epsilon_r = 80$)を考慮した近似を行った。また、地球半径 $a = 6,371.25$ [km]とし、標準大気(4/3 倍)における等価地球半径 $a_e = 8,495$ [km]として計算する。

式(5)を満たすような遠距離域では式(6)を用いる。

$$0 < h < 0.6 R_1 \quad (5)$$

$$E = E_0 + \left(1 - \frac{5}{3} \frac{h}{R_1}\right) A_h \quad (6)$$

ここで A_h は、見通し距離における減衰とアンテナ高による利得の和 [dB]であり、式(7)で表される(近似式 4 参照)。 R_1 は第 1 フレネルゾーン半径[m]であり、式(8)で表される。 h は見通し線の最低地上高 [m]であり、式(9)で表される。

$$A_h = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2) \quad (7)$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}} \quad (8)$$

$$h = (h_1 + a_e)(h_2 + a_e) \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{[(h_1 + a_e \sin \theta_1 + (h_2 + a_e) \sin \theta_2)]} - a_e \quad (9)$$

ここで、 θ_1, θ_2 [rad]及び d_1, d_2 [m]は式(10)から式(16)で表される。

$$\theta_1 = \frac{d_1}{a_e} \quad (10)$$

$$\theta_2 = \frac{d_2}{a_e} \quad (11)$$

$$d_1 = \frac{d(1-b)}{2} \quad (12)$$

$$d_2 = d - d_1 \quad (13)$$

$$b = 2 \sqrt{\frac{(m+1)}{3m}} \cos \left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right) \quad (14)$$

$$c = \frac{|h_1 - h_2|}{(h_1 + h_2)} \quad (15)$$

$$m = \frac{d^2}{4a_e(h_1 + h_2)} \quad (16)$$

近似式 4:

$$E = E_0 + F(X) + G(Y_1) + G(Y_2) \quad (17)$$

$F(X)$ は距離による減衰 [dB]、 $G(Y_1)$ 、 $G(Y_2)$ はそれぞれ、送信アンテナ高による利得 [dB]と受信アンテナ高による利得 [dB]であり、式(18)から式(25)で表される。

$$F(X) = 11 + 10 \log_{10} X - 17.6X \quad (18)$$

$$G(Y) = 2 + 20 \log_{10} K + 9 \log_{10} \left(\frac{Y}{K} \right) \left[\log_{10} \left(\frac{Y}{K} \right) + 1 \right] \quad (19)$$

$$X = \beta \left(\frac{\pi}{\lambda a_e^2} \right)^{\frac{1}{3}} d \quad (20)$$

$$Y = 2\beta \left(\frac{\pi^2}{\lambda^2 a_e} \right)^{\frac{1}{3}} h \quad (21)$$

$$\beta = \frac{1 - 1.6K^2 + 0.75K^4}{1 + 4.5K^2 + 1.35K^4} \quad (22)$$

$$K = K_v \quad (23)$$

$$K_v = K_H [\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi a_e}{\lambda} \right)^{-\frac{1}{3}} [(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2]^{-\frac{1}{4}} \quad (25)$$

受信機入力電圧への換算は、使用周波数及び使用アンテナを考慮し、下記の変換ロス[dB]を加える。

アンテナ実効長: $20 \log_{10}(\lambda/\pi)$

インピーダンス変換: $10 \log_{10}(50 \Omega/73 \Omega)$

実証試験においては、さらに給電線損失等実地におけるパラメータを加えて計算することとなる。

5.1.2.4. 机上検討結果

妨害波となるVDEの送信出力が25Wの机上検討結果の一覧を表5.1-9に示す。

海岸局の最大送信出力は50Wであるため、その場合の机上検討結果の一覧を表5.1-10に示す。なお、海岸局の送信周波数は160MHz帯であるため、表5.1-10の結果は160MHz帯のみ検討している。

同一チャネル干渉検討と隣接チャネル干渉検討の結果は、共用可能なDU比及び離隔距離となる。スケルチオープン測定検討の結果は、オープン電力、可聴の有無及び離隔距離となる。なお、VDEの送信出力が25Wの結果と50Wの結果では離隔距離は異なる値となるが、受信機の共用条件であるDU比は同じ値となる(受信機入力電力は変わらないため)。

表 5.1-9 机上検討結果の一覧(VDE の送信出力 25 W)

	25 kHz		100 kHz
	パターン A(※1)	パターン B(※2)	
同一チャンネル干渉検討	結果 1-1(表 5.1-11)		
隣接チャンネル干渉検討	結果 1-2(表 5.1-14)		
スケルチオープン 測定検討	結果 1-3(表 5.1-15、表 5.1-16、表 5.1-17、表 5.1-18)		

※1 パターン A は音声通信と VDE の中心周波数が 12.5 kHz 離れ(図 5.1-5、図 5.1-6 参照)

※2 パターン B は音声通信と VDE の中心周波数が一致(図 5.1-5、図 5.1-6 参照)

表 5.1-10 机上検討結果の一覧(VDE の送信出力 50 W)

	25 kHz		100 kHz
	パターン A	パターン B	
同一チャンネル干渉検討	結果 2-1(表 5.1-19)		
隣接チャンネル干渉検討	結果 2-2(表 5.1-20)		
スケルチオープン 測定検討	結果 2-3(表 5.1-21、表 5.1-22、表 5.1-23、表 5.1-24)		

各表中の結果を以下に示す。

結果 1-1 (同一チャンネル干渉検討)

DU 比及び離隔距離を表 5.1-11 に示す。

表 5.1-11 DU 比と離隔距離(同一チャンネル干渉検討、VDE の送信出力 25 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK			8PSK			16QAM		
		25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz
		A(※)	B(※)		A	B		A	B	
157.150	DU 比 [dB]	-0.5	3.5	-1.3	-0.5	3.4	-1.4	-0.7	3.6	-1.9
	離隔距離 [km]	8.82	11.97	8.3	8.82	11.88	8.24	8.69	12.6	7.93
161.750	DU 比 [dB]	-0.7	3.2	-1.5	-0.7	3.4	-1.3	-0.8	3.4	-1.1
	離隔距離 [km]	8.56	11.51	8.05	8.56	11.69	8.18	8.50	11.69	8.30

※ A はパターン A、B はパターン B を表す。

結果 1-2 (隣接チャネル干渉検討)

離隔周波数は表 5.1-12 となる。

表 5.1-12 離隔周波数(VDE の送信出力 25 W)

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
157.150	離隔周波数 [kHz]	20.5	56.0	20.5	56.2	20.3	56.0
161.750	離隔周波数 [kHz]	20.9	56.8	20.9	56.8	21.0	56.8

表 5.1-12 より、国際 VHF のチャネル配置に合わせて、離隔周波数を表すと表 5.1-13 のとおりとなる。

表 5.1-13 国際 VHF のチャネル配置に合わせた離隔周波数(VDE の送信出力 25 W)

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK			8PSK			16QAM		
		25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz
		A	B		A	B		A	B	
157.150	離隔周波数 [kHz]	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5
161.750	離隔周波数 [kHz]	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5

DU 比及び離隔距離を表 5.1-14 に示す。

表 5.1-14 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討、VDE の送信出力 25 W)

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK			8PSK			16QAM		
		25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz
		A	B		A	B		A	B	
	離隔周波数 [kHz]	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5
157.125	DU 比 [dB]	62.1	56.9	59.6	62.1	56.8	59.2	61.2	55.7	58.5
	離隔距離 [km]	0.28	0.37	0.33	0.28	0.37	0.33	0.30	0.21	0.34
161.725	DU 比 [dB]	64.3	57.2	58.0	64.3	57.2	58.2	66.4	56.0	57.0
	離隔距離 [km]	0.24	0.36	0.35	0.24	0.36	0.35	0.21	0.39	0.37

結果 1-3 (スケルチオープン測定検討)

スケルチが開いたときの測定値(オープン電力)から、耳障りな音の有無(可聴)と離隔距離を求めた結果を、表 5.1-15、表 5.1-16、表 5.1-17 及び表 5.1-18 に示す。

スケルチオープン測定検討の中心周波数差は、12.5 kHz 離れ、37.5 kHz 離れ、0 kHz 離れ(中心周波数一致)及び 25 kHz 離れとした。なお、0 kHz 離れと 25 kHz 離れについては、音声通信と 100 kHz 幅の VDE の中心周波数の差の条件としては存在しないため検討対象外となる(図 5.1-7 参照)。

表 5.1-15 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(12.5 kHz 離れ、VDE の送信出力 25 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
157.150	オープン電力 [dBm]	-108	—	-108	—	-105	—
	可聴	有	無	有	無	有	無
	離隔距離 [km]	52.75	—	52.75	—	47.59	—
161.750	オープン電力 [dBm]	-107	—	-106	—	-105	—
	可聴	有	無	有	無	有	無
	離隔距離 [km]	50.30	—	48.60	—	46.89	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

表 5.1-16 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(37.5 kHz 離れ、VDE の送信出力 25 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
157.125	オープン電力 [dBm]	—	—	—	—	—	—
	可聴	無	無	無	無	無	無
	離隔距離 [km]	—	—	—	—	—	—
161.725	オープン電力 [dBm]	—	—	—	—	—	—
	可聴	無	無	無	無	無	無
	離隔距離 [km]	—	—	—	—	—	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

表 5.1-17 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(0 kHz 離れ、VDE の送信出力 25 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM
		25 kHz	25 kHz	25 kHz
157.150	オープン電力 [dBm]	-59	—	—
	可聴	有	無	無
	離隔距離 [km]	2.54	—	—
161.750	オープン電力 [dBm]	-58	—	—
	可聴	有	無	無
	離隔距離 [km]	2.37	—	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

表 5.1-18 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(25 kHz 離れ、VDE の送信出力 25 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM
		25 kHz	25 kHz	25 kHz
157.125	オープン電力 [dBm]	-49	-13	—
	可聴	有	有	無
	離隔距離 [km]	0.35	0.25	—
161.725	オープン電力 [dBm]	-49	-13	—
	可聴	有	有	無
	離隔距離 [km]	0.35	0.25	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

結果 2-1 (同一チャネル干渉検討)

DU 比及び離隔距離を表 5.1-19 に示す。

表 5.1-19 DU 比と離隔距離(同一チャネル干渉検討、VDE の送信出力 50 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK			8PSK			16QAM		
		25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz
		A	B		A	B		A	B	
161.750	DU 比 [dB]	-0.7	3.2	-1.5	-0.7	3.4	-1.3	-0.8	3.4	-1.1
	離隔距離 [km]	10.76	14.43	10.13	10.76	14.65	10.28	10.68	14.65	10.44

結果 2-2 (隣接チャネル干渉検討)

DU 比及び離隔距離を表 5.1-20 に示す。

表 5.1-20 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討、VDE の送信出力 50 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK			8PSK			16QAM		
		25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz	25 kHz		100 kHz
		A	B		A	B		A	B	
	離隔周波数 [kHz]	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5
161.725	DU 比 [dB]	64.3	57.2	58.0	64.3	57.2	58.2	66.4	56.0	57.0
	離隔距離 [km]	0.30	0.41	0.40	0.30	0.41	0.39	0.26	0.43	0.41

結果 2-3 (スケルチオープン測定検討)

スケルチが開いたときの測定値(オープン電力)から、耳障りな音の有無(可聴)と離隔距離を求めた結果を、表 5.1-21、表 5.1-22、表 5.1-23 及び表 5.1-24 に示す。

表 5.1-21 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(12.5 kHz 離れ、VDE の送信出力 50 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
161.750	オープン電力 [dBm]	-107	—	-106	—	-105	—
	可聴	有	無	有	無	有	無
	離隔距離 [km]	55.56	—	53.70	—	52.00	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

表 5.1-22 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(37.5 kHz 離れ、VDE の送信出力 50 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
161.750	オープン電力 [dBm]	—	—	—	—	—	—
	可聴	無	無	無	無	無	無
	離隔距離 [km]	—	—	—	—	—	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

表 5.1-23 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(0 kHz 離れ、VDE の送信出力 50 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM
		25 kHz	25 kHz	25 kHz
161.750	オープン電力 [dBm]	-58	—	—
	可聴	有	無	無
	離隔距離 [km]	2.87	—	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

表 5.1-24 スケルチオープン電力と可聴、離隔距離(25 kHz 離れ、VDE の送信出力 50 W)

測定 周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM
		25 kHz	25 kHz	25 kHz
161.725	オープン電力 [dBm]	-49	-13	—
	可聴	有	有	無
	離隔距離 [km]	0.40	0.30	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

5.1.2.5. 机上検討の一般性確認

机上検討の一般性確認として、数値計算による結果との比較を行った。机上検討と数値計算の結果を比較し同様の傾向が示される場合、机上検討の結果を一般的な特性とみなすことができる。比較対象の結果は、同一チャンネル干渉検討の結果(DU比、離隔距離)及び隣接チャンネル干渉検討の結果(離隔周波数)とした。

5.1.2.5.1. 数値計算

周波数共用条件となる DU 比、及び離隔周波数の一部の値については、情報通信技術分科会報告で公表された値を引用することとした。引用した値を表 5.1-25、表 5.1-26 に示す。

表 5.1-25 同一チャンネル周波数共用条件の DU 比 [dB]⁹

		妨害波	
		$\pi/4$ QPSK	16QAM
希望波		25 kHz	25 kHz
	FM	25 kHz	3

(ここでの DU 比は希望波レベルを基準感度+30 dB とし、妨害波信号レベルを可変して 12 dB SINAD となる DU 比を求めたものである。)

表 5.1-26 周波数共用条件の離隔周波数 [kHz]¹⁰

		妨害波	
		$\pi/4$ QPSK	16QAM
希望波		25 kHz	25 kHz
	FM	25 kHz	23.81

(ここでの離隔周波数は希望波レベルを基準感度+30 dB とし、妨害波信号レベルを DU 比=-40 dB に設定して 12 dB SINAD となる中心周波数差を求めたものである。)

ここで、表 5.1-25、表 5.1-26 で引用した値(DU 比、離隔周波数)は、12 dB SINAD となる値であるが、机上検討では、同一チャンネル干渉除去比について、無線設備規則に明確な基準がないため、表 5.1-7 のとおり ETSI EN 301 925 の規格の値である 14 dB SINAD を判定基準とすることとした。なお、図 5.1-11 に示すとおり(図 5.1-11 は現行 FM システムの C/No(搬送波雑音電力密度比)対 SINAD の関係を表したグラフであり、受信機のノイズに対する音声出力の明瞭度を表したものである。Wide(緑線)が 25 kHz 帯幅の特性を示しており、Wide(緑線)が 12 dB SINAD(赤線)及び 14 dB SINAD(青線)となる場合の C/No はほぼ同等である。)、現行 FM システムの受信機のノイズに対する音声出力の明瞭度が 12 dB SINAD と 14 dB SINAD で変わらないことから大きな影響はないと判断できる。

⁹ 表 5.1-25 同一チャンネル周波数共用条件の DU 比 [dB]は、以下資料から引用。
『「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件について」のうち「小電力を用いる自営系移動通信の活用・高度化方策に係る技術的条件」に関する一部答申【情報通信技術分科会諮問第 2009 号(平成 14 年 9 月 30 日)】の情報通信審議会 情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会報告 平成 20 年 3 月 26 日』

¹⁰ 表 5.1-26 周波数共用条件の離隔周波数 [kHz]も表 5.1-25 同一チャンネル周波数共用条件の DU 比 [dB]と同様の資料から引用

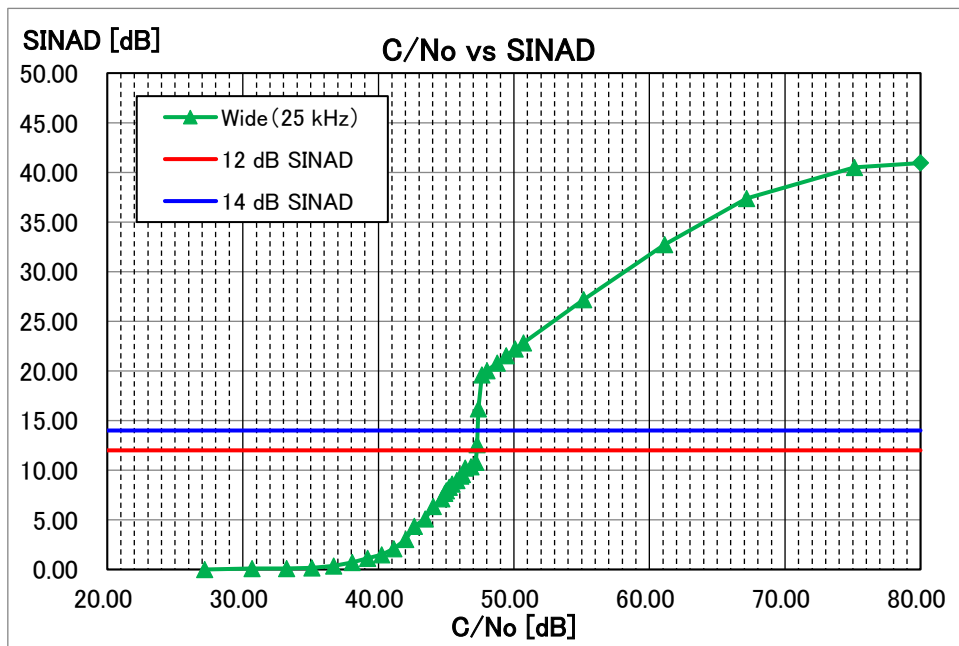


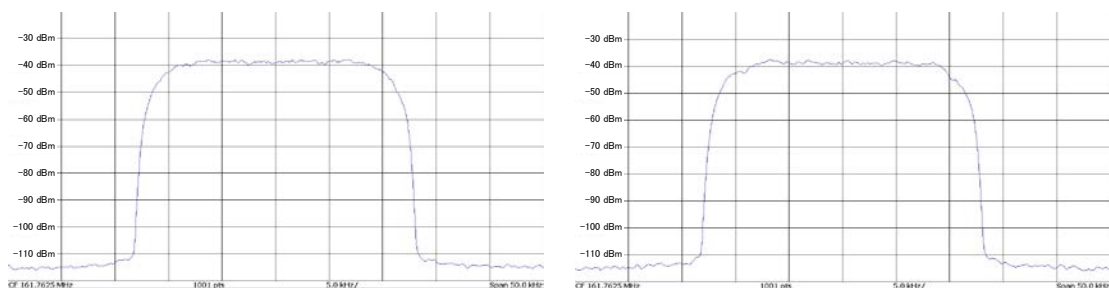
図 5.1-11 現行 FM システムの C/No(搬送波雑音電力密度比)対 SINAD の関係

また、表 5.1-25、表 5.1-26 のとおり、本調査検討で使用する帯域は 25 kHz であるが、引用元の資料の FM の帯域は 20 kHz である。一方で、20 kHz と 25 kHz の占有周波数帯域幅は 16 kHz で同じであることから、20 kHz の場合の DU 比を 25 kHz の場合の DU 比と読み替えても支障ないと判断して、読み替えた数値で数値計算を行うものとした。

変調方式 8PSK 及び帯域幅 100 kHz での DU 比及び離隔周波数については、引用比較する値がないため、以下のように扱うこととした。なお、数値計算に用いた検討機器のパラメータは表 5.1-27 とした。離隔距離の算出に用いたパラメータは表 5.1-28 とした。

(1) 変調方式 8PSK

VDE における $\pi/4$ QPSK、8PSK、16QAM は、シンボルレート及びロールオフ率を全て同じとしている。即ち、図 5.1-12 の $\pi/4$ QPSK 及び 8PSK のスペクトラム比較より、妨害波(デジタル)としては何れも近いスペクトラムであり、DU 比及び離隔周波数も同一の特性となるため、8PSK は $\pi/4$ QPSK と同様の値を使用することとした。



(a) $\pi/4$ QPSK: 25 kHz

(b) 8PSK: 25 kHz

図 5.1-12 スペクトラム比較

(2) 帯域幅 100 kHz

100 kHz の帯域幅は、使用帯域が 25 kHz から 100 kHz へ 4 倍に広がるが、同じ出力であるため電力換算にて 1/4(6 dB)下がる。FM 受信機側の所要 C/N は変わらないため、DU 比は 6 dB 分下がった値を使用することとした。離隔周波数はロールオフ率 0.3(ITU-R 勧告 M.2092-0 参照)を用いて算出した。

表 5.1-27 検討機器のパラメータ

変調方式	FM
チャンネル間隔	25 kHz
送信占有周波数帯幅	16 kHz
情報帯域	0.3 -3.0 kHz
等価受信帯域幅	16 kHz
雑音	-18.8 dB μ V
SINAD	20 dB
NF	8.0 dB
機器マージン	6.0 dB
受信感度	6.0 dB μ V
基準感度	6.0 dB μ V

表 5.1-28 離隔距離の算出に用いたパラメータ

送信アンテナ高(妨害波側)	2 m
受信アンテナ高	30 m (海岸局及び仮想船舶局ともに同じ高さとして算出)
送信側出力	25 W

5.1.2.5.2. 数値計算結果

同一チャンネル周波数共用条件の DU 比を表 5.1-29 に、隣接チャンネル共用条件の離隔周波数を表 5.1-30 にまとめる。表 5.1-29 の DU 比及び DU 比を用いて求めた離隔距離を机上検討結果と比較する。表 5.1-30 の離隔周波数はそのまま比較する。

表 5.1-29 同一チャンネル周波数共用条件の DU 比 [dB]

妨害波 \ 希望波		$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
FM	25 kHz	3	-3	3	-3	3	-3

※赤枠は表 5.1-25 で引用した値

表 5.1-30 隣接チャンネル共用条件の離隔周波数 [kHz]

妨害波 \ 希望波		$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
FM	25 kHz	23.81	55.3	23.81	55.3	24.21	55.3

※赤枠は表 5.1-26 で引用した値

5.1.2.5.3. 机上検討結果との比較

(1) 数値計算結果と机上検討結果の比較

同一チャンネル干渉検討の結果 (DU 比、離隔距離) 及び隣接チャンネル干渉検討の結果 (離隔周波数) を比較した。

(ア) 同一チャンネル干渉検討結果 (DU 比、離隔距離) の比較

数値計算の結果を表 5.1-31 に示す。離隔距離を求めるための計算式は ITU-R 勧告 P.526-13 を参照した。

表 5.1-31 数値計算結果の DU 比と離隔距離 (同一チャンネル干渉検討、VDE の送信出力 25 W)

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
157.150	DU 比 [dB]	3	-3	3	-3	3	-3
	離隔距離 [km]	11.52	7.30	11.52	7.30	11.52	7.30
161.750	DU 比 [dB]	3	-3	3	-3	3	-3
	離隔距離 [km]	11.33	7.22	11.33	7.22	11.33	7.22

基準感度 +30 dB - DU 比における離隔距離算出

机上検討の結果を表 5.1-32 に示す。比較のため、VDE の中心周波数は帯域幅 (25 kHz と 100 kHz) に依らず音声通信と同一としている。

表 5.1-32 机上検討結果の DU 比と離隔距離 (同一チャンネル干渉検討、VDE の送信出力 25 W)

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
157.150	DU 比 [dB]	3.5	-1.8	3.4	-1.9	3.6	-1.9
	離隔距離 [km]	11.97	7.99	11.88	7.93	12.60	7.93
161.750	DU 比 [dB]	3.2	-1.9	3.4	-1.9	3.4	-1.9
	離隔距離 [km]	11.51	7.82	11.69	7.82	11.69	7.82

表 5.1-31 の数値計算結果、及び表 5.1-32 の机上検討結果において、どちらも DU 比は 25 kHz と 100 kHz の差が約 6 dB 程度であり、離隔距離も近い値を示しており、同様の傾向であ

ることから、測定器の特性は、表 5.1-8 の測定器に依存した結果ではなく、一般的な特性とみなすことができる。

(イ) 隣接チャンネル干渉検討結果(離隔周波数)の比較

数値計算の結果を表 5.1-33 に示す。

表 5.1-33 数値計算結果の離隔周波数

項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
離隔周波数 [kHz]	23.81	55.3	23.81	55.3	24.21	55.3

(本表の値は表 5.1-30 を参照)

机上検討の結果を表 5.1-34 に示す。

表 5.1-34 机上検討結果の離隔周波数

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz	25 kHz	100 kHz
157.150	離隔周波数 [kHz]	20.5	56.0	20.5	56.2	20.3	56.0
161.750	離隔周波数 [kHz]	20.9	56.8	20.9	56.8	21.0	56.8

表 5.1-33 の数値計算結果、及び表 5.1-34 の机上検討結果が、数値的に近い値を示していること及び 25 kHz のチャンネル間隔で考えた場合には同一のチャンネルになっており、同様の傾向となることから、表 5.1-34 の結果は一般的な特性とみなすことができる。

5.1.2.5.4. 妥当性確認の結果

5.1.2.5.3. 節の結果から、数値計算の結果と机上検討の結果は同様の傾向となることが示された。よって、本調査検討会で実施した机上検討の結果は一般的な特性とみなすことができる。

5.1.3. アナログ音声通信とデジタルデータ通信の共用条件

音声通信と VDE が同一チャンネルを使用する場合、机上検討で求めた離隔距離(表 5.1-11)は 8~13 km 程度であり、同一チャンネルでの共用は困難であると推察される。隣接チャンネルを使用する場合、机上検討で求めた離隔距離(表 5.1-14)以上を確保して運用することが望ましい。

同一チャンネルでの共用が困難である以上、新たなチャンネル配置を検討する必要がある。チャンネル配置の検討は、机上検討結果をベースとして進めるため、机上検討結果の一部については海上フィールド実証試験(第 6 章)において、その妥当性を確認した。

5.2. 400 MHz 帯船上通信設備

5.2.1. 周波数共用条件検討の考え方

400 MHz 帯船上通信設備におけるデジタルシステムについては ITU-R において共用とした周波数を使うこととなっていることから、4.2.2. 節のように周波数共用の検討が必要となる。

そこで、検討方法としてはアナログシステムとデジタルシステムが同一チャンネル同時使用時及び隣接チャンネル同時使用時の環境において干渉回避可能な離隔距離を求める。これにより、アナログシステムとデジタルシステムの共用可能な条件を机上検討において求め、机上検討の妥当性確認が必要であると認められた場合には海上フィールド実証試験を実施することとした。

5.2.2. 机上検討

5.2.2.1. チャンネル配置

本調査検討会で検討すべき 400 MHz 帯のチャンネルを表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 400 MHz 帯チャンネル配置

25 kHz channel		Lower channel		6.25 kHz channel		25 kHz channel		Upper channel		6.25 kHz channel	
Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz
1	457.525	11	457.5250	102	457.515625	4	467.525	21	467.5250	202	467.515625
				111	457.521875					211	467.521875
				112	457.528125					212	467.528125
				121	457.534375					221	467.534375
2	457.550	12	457.5375	122	457.540625	5	467.550	22	467.5375	222	467.540625
				131	457.546875					231	467.546875
				132	457.553125					232	467.553125
				141	457.559375					241	467.559375
3	457.575	13	457.5500	142	457.565625	6	467.575	23	467.5500	242	467.565625
				151	457.571875					251	467.571875
				152	457.578125					252	467.578125
				161	457.584375					261	467.584375

アナログシステム用チャンネル

デジタルシステム用チャンネル

アナログシステムでは 25 kHz, 12.5 kHz 幅、デジタルシステムでは 12.5 kHz, 6.25 kHz 幅のチャンネルを使用し、いずれも重なっているため、共用検討が必要になる。

なお、表 3.2-1 にて説明したように、467.6 MHz, 467.6125 MHz, 467.625 MHz については、本検討の対象外とする。

5.2.2.2. 干渉モデル

アナログシステムとデジタルシステムが混在する環境での想定干渉モデルを(1)船舶間、(2)陸船間、(3)同一船内の 3 つに分類し、以下に示す。

(1) 船舶間

船舶間でのアナログシステムとデジタルシステムが混在する環境を想定し、各船舶のデッキでハンディ機を使用し、お互いに見通しがある状況を最悪値として検討する。

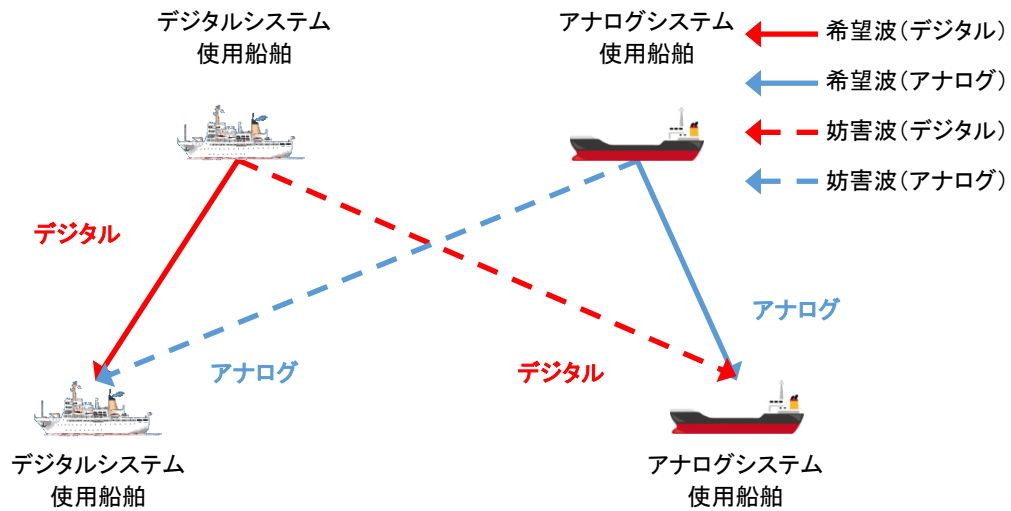


図 5.2-1 船舶間の干渉モデル想定図

(2) 陸船間

「船舶-さん橋間」でのアナログシステムとデジタルシステムが混在する環境を想定し、各船舶のデッキ及びびさん橋上でハンディ機を使用し、お互いに見通しがある状況を最悪値として検討する。

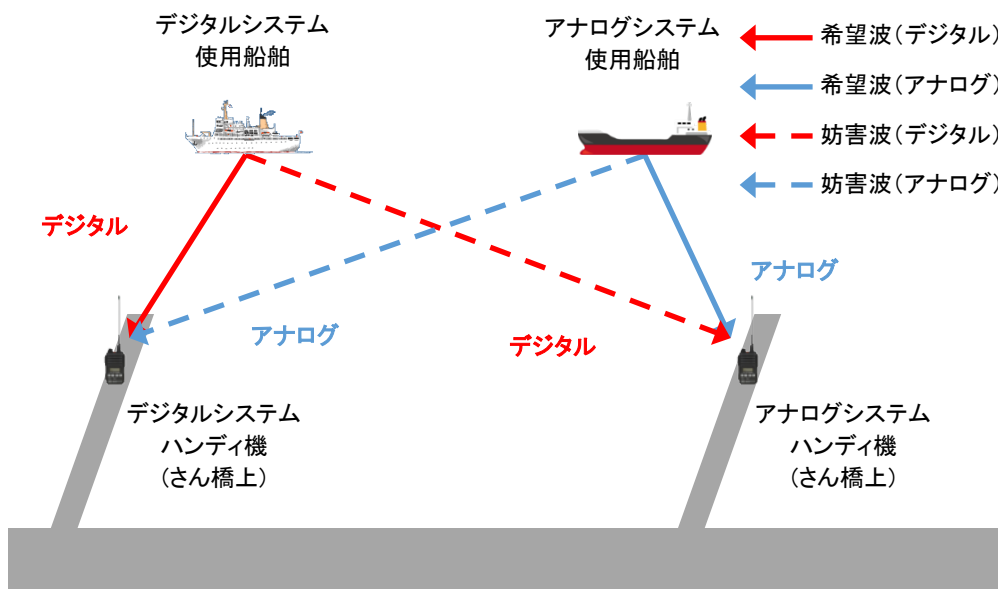


図 5.2-2 陸船間の干渉モデル想定図

(3) 同一船内

既存のアナログシステムのみでの運用環境において、同一船内で使用する場合には運用者が同一であり、使用チャンネルが重ならないよう調整している。同一船内でのアナログシステムとデジタルシステムが混在する環境でも同様のため、本調査検討会では検討を行わないこととした。

5.2.2.3. 試験項目

アナログシステムで使用していた周波数帯に対し、表 4.1-7 のようにデジタルシステムにも割当てられた場合、アナログシステムとデジタルシステムの共用条件について検討する。

検討においては、457 MHz 帯と 467 MHz 帯での周波数的な特性は変わらないこと、希望波の上下にチャンネル割当があり偏りが無いことが望ましいことから、表 5.2-2 の Ch.2, Ch.13, Ch.131 を希望波としてそれに対する、同一チャンネル及び隣接チャンネルの干渉検討を行う。

表 5.2-2 干渉検討時の希望波使用チャンネル

Lower channel					
25 kHz channel		12.5 kHz channel		6.25 kHz channel	
Ch.	MHz	Ch.	MHz	Ch.	MHz
1	457.525	11	457.5250	102	457.515625
				111	457.521875
				112	457.528125
2	457.550	12	457.5375	121	457.534375
				122	457.540625
		13	457.5500	131	457.546875
				132	457.553125
3	457.575	14	457.5625	141	457.559375
				142	457.565625
				15	457.5750
152	457.578125				
				161	457.584375

5.2.2.3.1. 同一チャンネル干渉検討

音声通信中に、アナログシステムで使用中のチャンネルと重なるチャンネルをデジタルシステムで使用する場合、デジタルシステムの電波が干渉することで通信が成り立たなくなる。同様に、デジタルシステムで使用中のチャンネルと重なるチャンネルを音声通信で使用する場合、アナログシステムの電波が干渉することで通信が成り立たなくなる。但し、どちらの場合も干渉した電波の受信レベルが低ければ通信可能である。

以上のことから、希望波に対し周波数の重なる妨害波がどの程度の受信レベル(DU比)であれば通信が成り立つかを把握し、そこから離隔距離(計測対象の受信機と妨害波送信源の距離)を求める。

5.2.2.3.2. 隣接チャンネル干渉検討

音声通信中に、アナログシステムで使用中のチャンネルに隣接したチャンネルをデジタルシステムで使用した場合又は、同様にデジタルシステムで使用中に隣接したチャンネルをアナログシステムで使用した場合に帯域外発射による影響を受けることがある。しかしながら、どちらの場合も干渉した電波の受信レベルが低くなれば通信は可能である。

以上のことから、希望波に対し周波数は重ならない妨害波がどの程度の受信レベル(DU比)であれば通信が成り立つかを把握し、そこから離隔距離を求める。

5.2.2.4. 机上検討の概要

机上検討の送受信機の諸元を以下に示す。

表 5.2-3 机上検討の送受信機の諸元

諸元	アナログシステム	デジタルシステム
変調方式	FM	4 値 FSK
希望波使用チャンネル/ 帯域幅	Ch.2(中心 457.550 MHz, 帯域幅 25 kHz)※	Ch.13(中心 457.5500 MHz, 帯域幅 12.5 kHz) Ch.131(中心 457.546875 MHz, 帯域幅 6.25 kHz)
空中線電力	2 W	2 W
基準感度 ¹¹	12.5 kHz: 6.0 dB μ V (\approx -107 dBm) 25 kHz: 6.0 dB μ V (\approx -107 dBm)	6.25 kHz: 0.0 dB μ V (\approx -113 dBm) 12.5 kHz: 3.0 dB μ V (\approx -110 dBm)
アンテナ	$\lambda/4$ (2.15 dBi) ホイップアンテナ	$\lambda/4$ (2.15 dBi) ホイップアンテナ

※4.1.2. 節に記載のとおり、本調査検討における対象周波数において、アナログシステムの 12.5 kHz を使用する機器はないため、本検討では対象外とする。

¹¹ 基準感度については下記の資料の「資料集 (1)簡易無線局等に適したデジタル方式の技術的条件 参考資料(第2章関係) 資料3」に記載されている「表3-1 周波数共用検討を行った各無線方式」から引用。『「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件について」のうち「小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件」に関する一部答申【情報通信技術分科会諮問第 2009 号(平成14年9月30日)】の情報通信審議会 情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会報告 平成 20 年 3 月 26 日』

机上検討の通信条件を以下に示す。

表 5.2-4 机上検討の通信条件

項目	設定値
伝搬モデル	2 波モデル(船舶間、陸船間の見通し環境を想定しているため) フェージングなし
アンテナ高	船:4 m ※1 陸(さん橋上):2.5 m ※2

※1: 400 MHz 帯では明確な基準はないが、国際 VHF では、IMO (International Maritime Organization) の RESOLUTION A.801(19)において、カバレッジを算出する際に船舶の高さを 4 m と仮定しており、本検討でも同様の値を使用することとした。

※2: さん橋の高さを 1 m と仮定し、通話者が 1.5 m の高さでハンディ機を使用していることを想定。

5.2.3. アナログシステムとデジタルシステムの共用条件

5.2.3.1. 同一チャネル干渉検討

5.2.3.1.1. DU 比

同一チャネルの干渉検討では表 5.2-5 の DU 比を基準に離隔距離を決定する。DU 比については、情報通信技術分科会報告で公表された値を引用することとした。引用した値を表 5.2-5 に示す。

表 5.2-5 同一チャネル周波数共用条件の DU 比 [dB]¹²

希望波 \ 妨害波		FM	4 値 FSK	
		25 kHz	6.25 kHz	12.5 kHz
FM	25 kHz	—	3	3
	6.25 kHz	6	—	—
4 値 FSK	12.5 kHz	9	—	—

(ここでの DU 比は希望波レベルを基準感度+30 dB とし、妨害波信号レベルを可変して 12 dB SINAD となる DU 比を求めたものである。)

また、表 5.2-5 に引用した資料は、FM の帯域は 20 kHz で記載されているが、本調査検討(400 MHz 帯における干渉検討)で使用する帯域は 25 kHz である。20 kHz と 25 kHz の占有周波数帯域幅は 16 kHz で同じであり、20 kHz の場合の DU 比を 25 kHz の場合の DU 比と読み替えても支障ないことから、読み替えた数値で本調査検討を行うものとした。

¹² 表 5.2-5 同一チャネル周波数共用条件の DU 比 [dB]は以下資料から引用。
『「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件について」のうち「小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件」に関する一部答申【情報通信技術分科会諮問第 2009 号(平成14年9月30日)】の情報通信審議会 情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会報告 平成 20 年 3 月 26 日』

5.2.3.1.2. 希望波・妨害波のチャンネル組み合わせ

同一チャンネル干渉検討での希望波・妨害波のチャンネル組み合わせを以下に示す。

表 5.2-6 同一チャンネル干渉検討での希望波・妨害波のチャンネル組み合わせ

希望波			妨害波			番号
(1) アナログ	(A) 25 kHz	Ch.2	(i) デジタル	(a) 12.5 kHz	Ch.13	(1)-(A)-(i)-(a)-①
					Ch.12	(1)-(A)-(i)-(a)-②
					Ch.13	
				Ch.12	(1)-(A)-(i)-(a)-③	
	Ch.13					
	Ch.14					
	(b) 6.25 kHz	Ch.131	(1)-(A)-(i)-(b)-①			
		Ch.131	(1)-(A)-(i)-(b)-②			
Ch.132						
Ch.122		(1)-(A)-(i)-(b)-③				
Ch.131						
Ch.132						
Ch.122	(1)-(A)-(i)-(b)-④					
Ch.131						
Ch.132						
Ch.141						
(2) デジタル	(B) 12.5 kHz	Ch.13	(ii) アナログ	(c) 25 kHz	Ch.2	(2)-(B)-(ii)-(c)-①
	(C) 6.25 kHz	Ch.131		(d) 25 kHz	Ch.2	(2)-(C)-(ii)-(d)-①

以下に、表 5.2-6 の模式図を示す。

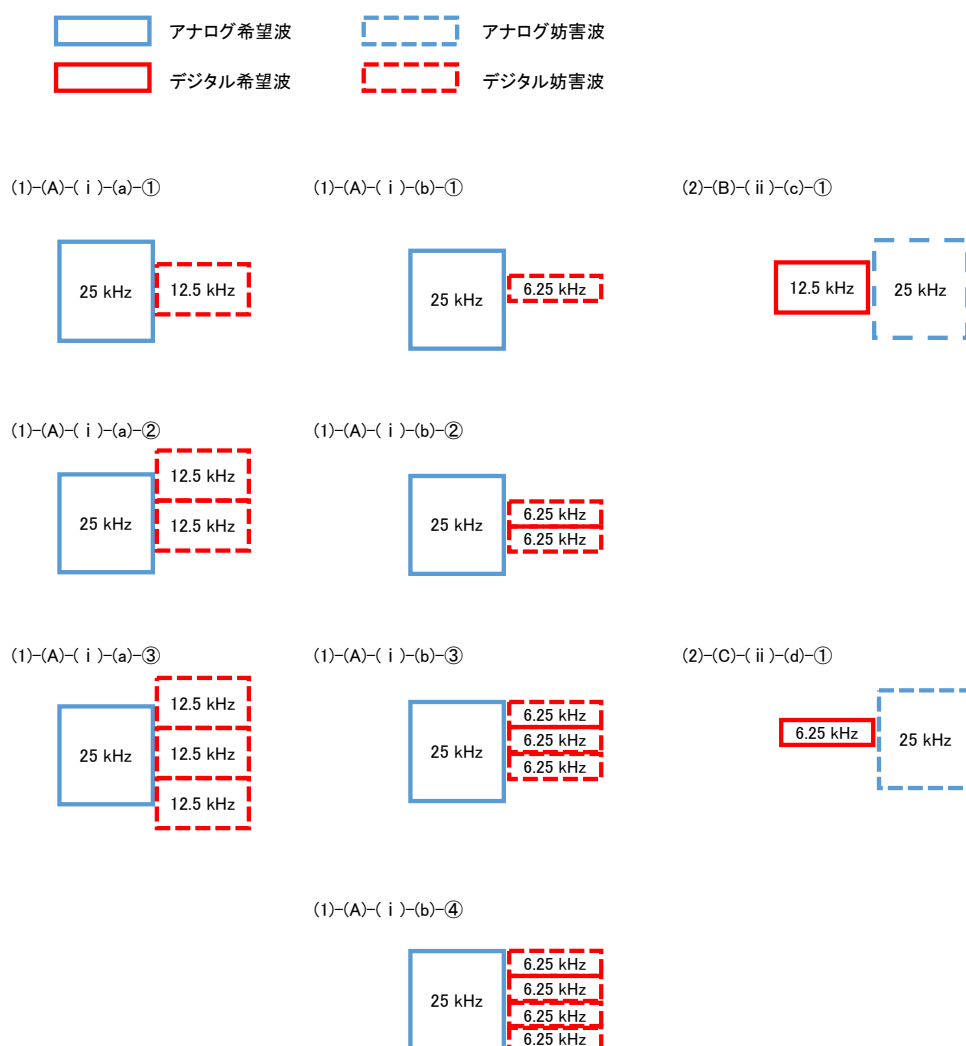


図 5.2-3 同一チャネル干渉検討でのチャネル組み合わせの模式図

5.2.3.1.3. 希望波電力

希望波の電力は国際 VHF 海上無線設備の机上検討と同様の理由(5.1.2.3.3. 節 参照)により基準感度+30 dB(基準感度の値は表 5.2-3 を参照)として離隔距離を算出した。

5.2.3.1.4. 妨害波電力

妨害波電力は最悪値を想定し、希望波の帯域と重なっている帯域の比率により求めることとした。400 MHz 帯のチャネル配置では、希望波に対し 25%, 50%, 75%の比率で妨害波が重なるため、それぞれ 6 dB, 3 dB, 1.25 dB 下げた値を妨害波電力として扱い、離隔距離を算出する。

5.2.3.1.5. 伝搬モデル式

本調査検討で使用する2波モデル¹³は波長 λ [m]、2点間の距離 d [m]、送信アンテナ高 h_t [m]、受信アンテナ高 h_r [m]から求め、その時の包絡線を $f(\lambda, d, h_t, h_r)$ と表記する。

¹³ 2波モデルについてはITU-R 勧告 P.1411-8 を参照

$$f(\lambda, d, h_t, h_r) = L_{bp} + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & (d \leq R_{bp}) \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & (d > R_{bp}) \end{cases} \quad (26)$$

但し、BreakPoint までの距離 R_{bp} [m]、及びそこでの伝搬ロス L_{bp} [dB] は以下とする。

$$L_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_t h_r} \right) \right| \quad (27)$$

$$R_{bp} \approx \frac{4h_t h_r}{\lambda} \quad (28)$$

5.2.3.1.6. 離隔距離の計算

表 5.2-5 の DU 比は周波数共用を満たすための DU 比であるため、以下の条件を満たす場合、希望波は妨害波の影響を受けない。

$$\text{希望波電力} - \text{妨害波電力} > \text{表 5.2-5 の DU 比} \quad (29)$$

希望波電力は基準感度+30 dB とし、周波数共用条件を満たす最大妨害波電力は以下となる。

$$\begin{aligned} & \text{周波数共用条件を満たす最大妨害波電力} \\ & = \text{基準感度} + 30 - \text{表 5.2-5 の DU 比} \end{aligned} \quad (30)$$

また、妨害波電力は以下の式で算出可能である。

$$\begin{aligned} \text{妨害波電力} & = \text{空中線電力} + G_t - f(\lambda, d, h_t, h_r) + G_r \\ & - 5.2.3.1.4. \text{ 節の周波数の重なりによるオフセット値} \end{aligned} \quad (31)$$

(G_t : 送信アンテナ利得、 G_r : 受信アンテナ利得、どちらも絶対利得)

式(30)、(31)の右辺が等しくなる式(32)を解いた d が離隔距離となる。

$$\begin{aligned} & \text{空中線電力} + G_t - f(\lambda, d, h_t, h_r) + G_r \\ & - 5.2.3.1.4. \text{ 節の周波数の重なりによるオフセット値} \\ & = \text{基準感度} + 30 - \text{表 5.2-5 の DU 比} \end{aligned} \quad (32)$$

式(32)を以下のように式変形し、以降右辺を X と表記する。

$$\begin{aligned} f(\lambda, d, h_t, h_r) & = (\text{空中線電力} + G_t + G_r \\ & - 5.2.3.1.4. \text{ 節の周波数の重なりによるオフセット値}) \\ & - (\text{基準感度} + 30 - \text{表 5.2-5 の DU 比}) = X \end{aligned} \quad (33)$$

式(26)の距離 d と R_{bp} の関係から、式(33)を d について解く。

$$L_{bp} + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) = X & (d \leq R_{bp}) \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) = X & (d > R_{bp}) \end{cases} \quad (34)$$

$$\log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) = \begin{cases} \frac{X - L_{bp}}{20} & (d \leq R_{bp}) \\ \frac{X - L_{bp}}{40} & (d > R_{bp}) \end{cases} \quad (35)$$

$$\frac{d}{R_{bp}} = \begin{cases} 10^{\frac{X - L_{bp}}{20}} & (d \leq R_{bp}) \\ 10^{\frac{X - L_{bp}}{40}} & (d > R_{bp}) \end{cases} \quad (36)$$

$$d = \begin{cases} R_{bp} \times 10^{\frac{X - L_{bp}}{20}} & (d \leq R_{bp}) \\ R_{bp} \times 10^{\frac{X - L_{bp}}{40}} & (d > R_{bp}) \end{cases} \quad (37)$$

式(37)のように、2種類の d が求まり、条件を満たす方の値を離隔距離とした。

5.2.3.1.7. 見通し距離の計算

2点間(送信アンテナ高 h_t [m]、受信アンテナ高 h_r [m])の見通し距離¹⁴は次式にて求める。

$$d_{los} = \sqrt{2a_e}(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) \quad (38)$$

等価地球半径 a_e を8,500 ($\doteq \frac{4}{3} \times 6,371$) km とすると、式(38)から見通し距離 d_{los} は次式となる。

$$\begin{aligned} d_{los} &= 4.12(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) \times 10^3 \text{ [m]} \\ &= 4.12(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) \text{ [km]} \end{aligned} \quad (39)$$

5.2.3.1.8. 同一チャネル干渉検討結果

同一チャネルの机上検討結果を以下に記載する。

離隔周波数は希望波レベルを基準感度+30 dB とし、妨害波信号レベルを DU 比=-40 dB に設定して BER=1% 又は 12 dB SINAD となる中心周波数差を求めた。

¹⁴ ITU-R 勧告 P.526-13 を参照

表 5.2-7 同一チャネル干渉検討(船舶間)での離隔距離 [km]

妨害波 希望波		FM	4 値 FSK						
		25 kHz	6.25 kHz				12.5 kHz		
		1 波	1 波	2 波	3 波	4 波	1 波	2 波	3 波
FM	25 kHz	—	1.93	2.30	2.54	2.73	2.30	2.54	2.73
4 値	6.25 kHz	4.59	—	—	—	—	—	—	—
FSK	12.5 kHz	4.59	—	—	—	—	—	—	—

船舶間の見通し距離は送信アンテナ高 4 m、受信アンテナ高 4 m で式(39)から 16.49 km となる。

表 5.2-8 同一チャネル干渉検討(陸船間)での離隔距離 [km]

妨害波 希望波		FM	4 値 FSK						
		25 kHz	6.25 kHz				12.5 kHz		
		1 波	1 波	2 波	3 波	4 波	1 波	2 波	3 波
FM	25 kHz	—	1.53	1.82	2.01	2.16	1.82	2.01	2.16
4 値	6.25 kHz	3.63	—	—	—	—	—	—	—
FSK	12.5 kHz	3.63	—	—	—	—	—	—	—

陸船間の見通し距離は送信アンテナ高 4 m、受信アンテナ高 2.5 m で式(39)から 14.76 km となる。

5.2.3.2. 隣接チャネル干渉検討

隣接チャネル干渉検討のための離隔周波数は、情報通信技術分科会報告で公表された値を引用することとした。引用した値を表 5.2-9 に示す。

表 5.2-9 隣接チャネル共用条件の離隔周波数 [kHz]¹⁵

妨害波 希望波		FM	4 値 FSK	
		25 kHz	6.25 kHz	12.5 kHz
FM	25 kHz	—	15.09	14.14
4 値 FSK	6.25 kHz	14.11	—	—
	12.5 kHz	13.83	—	—

(ここでの離隔周波数は希望波レベルを基準感度+30 dB とし、妨害波信号レベルを DU 比=-40 dB に設定して 12 dB SINAD となる中心周波数差を求めたものである。)

また、表 5.2-9 に引用した資料は、FM の帯域は 20 kHz で記載されているが、5.2.3.1.1. 節と同様の理由により、離隔周波数を 25 kHz の場合の離隔周波数と読み替えた数値で本調査検討を行うものとした。

¹⁵ 表 5.2-9 隣接チャネル共用条件の離隔周波数 [kHz]は、以下資料から引用。
『「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件について」のうち「小電力を用いる自営系移動通信の活用・高度化方策に係る技術的条件」に関する一部答申【情報通信技術分科会諮問第 2009 号(平成14年9月30日)】の情報通信審議会 情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会報告 平成 20 年 3 月 26 日』

表 5.2-9 の離隔周波数と、チャンネル配置上の隣接チャンネル(希望波のチャンネルと重ならないチャンネルのうち、最も近いチャンネル)の中心周波数の差の関係を表 5.2-10 に示す。

表 5.2-10 中心周波数の差と離隔周波数

希望波			妨害波			中心周波数の差 [kHz]	表 5.2-9 の値 [kHz]
種別	チャンネル	中心周波数 [MHz]	種別	チャンネル	中心周波数 [MHz]		
アナログ	Ch.2 (25 kHz)	457.550	デジタル	Ch.11 (12.5 kHz)	457.5250	25.000	14.14
	Ch.2 (25 kHz)	457.550	デジタル	Ch.121 (6.25 kHz)	457.534375	15.625	15.09
デジタル	Ch.13 (12.5 kHz)	457.5500	アナログ	Ch.1 (25 kHz)	457.525	25.000	13.83
	Ch.122 (6.25 kHz)	457.540625	アナログ	Ch.1 (25 kHz)	457.525	15.625	14.11

以下に表 5.2-10 中心周波数の差と離隔周波数の模式図を示す。

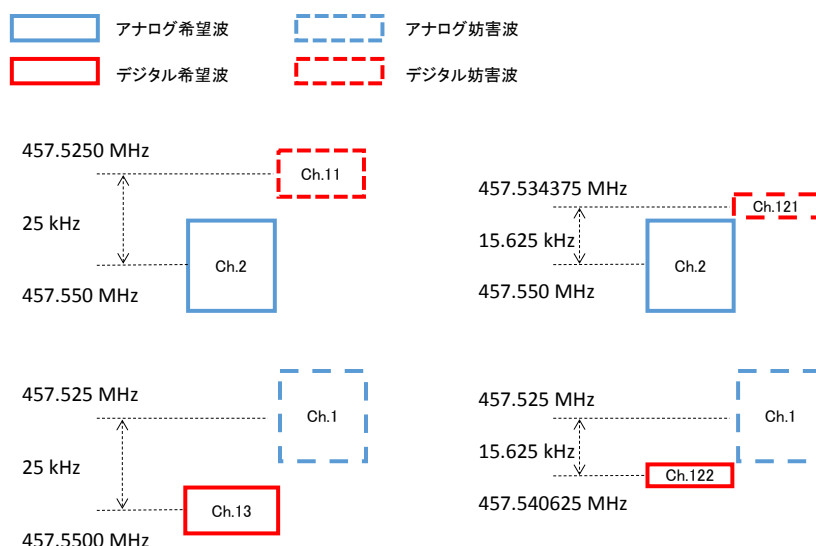


図 5.2-4 隣接チャンネル干渉検討でのチャンネル配置模式図

どのケースにおいても中心周波数の差は、表 5.2-9 の離隔周波数の値以上に離れていることを確認した。

400 MHz 帯船上通信設備は、国際 VHF よりも直進性の高い 400 MHz 帯の周波数を使用している。利用形態も船舶内で利用するか、又は湾内での利用のいずれかであり、数十 km 離れて使用する形態ではないため、波による反射係数などを考慮する必要はない。港湾内での使用は、実際には障害物やマルチパスの影響があり、机上検討以上に離隔距離が必要となることは考えられない。このほか、ITU-R 勧告 P.1174-3 では、アナログ方式とデジタル方式の共用が認められていることを考慮して、机上検討の値を最悪値として共用条件を示すこととし、実環境における実証試験は不要という結論とした。

第6章 海上フィールド実証試験(国際 VHF 海上無線設備)

6.1. 実証試験概要

「5.1.2.4. 机上検討結果」において得た国際 VHF 海上無線設備の周波数共用条件に関する机上検討結果について、海上フィールド環境においても妥当な値であることを確認するため実証試験を行った。

(1) 海上フィールド実証試験の実施モデル

机上検討の干渉モデル 1 から 3(詳細は表 5.1-2、図 5.1-2、図 5.1-3 及び図 5.1-4 を参照)をまとめた図 6.1-1 を実証試験のモデルとする。

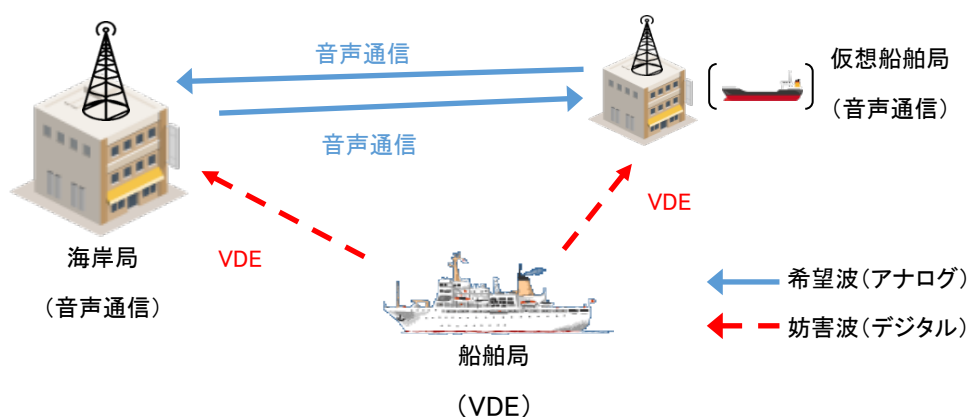


図 6.1-1 海上フィールド実証試験想定図

(2) 測定項目

図 6.1-1 において、海岸局と船舶局間の音声通信中、もしくは受信状態(待ち受け中)に VDE による干渉を受けるといった運用形態が想定されることから、実際に干渉を受けるかどうかを確認するため、各変調方式における同一チャネル干渉と隣接チャネル干渉を測定する。詳細な測定項目については、机上検討結果を確認するために必要な項目を絞り確認する。

(3) 海上フィールド実証試験の測定等に係る機器の装置構成及び測定機器系統

本実証試験で使用する各無線局の装置構成及び測定機器系統を示す。

A) 海岸局

海岸局の装置構成は図 6.1-2 である。測定機器系統は図 6.1-3 であり、国際 VHF 無線電話装置に PC、オーディオアナライザ、スペクトラムアナライザ及び電界強度測定器を接続する。国際 VHF 無線電話装置の受信信号から AF(Audio Frequency) 信号を取り出し、オーディオアナライザにて SINAD を測定する。受信レベルを電界強度測定器及びスペクトラムアナライザで確認し、実証試験周波数を他の無線局が使用していないことを、スペクトラムアナライザを用いて確認する。PC は国際 VHF 無線電話装置の測定値の確認・記録に用いる。

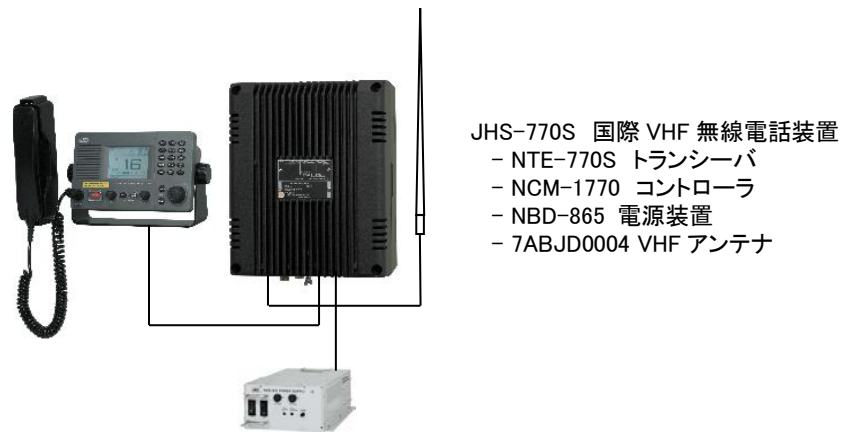


図 6.1-2 装置構成(海岸局)

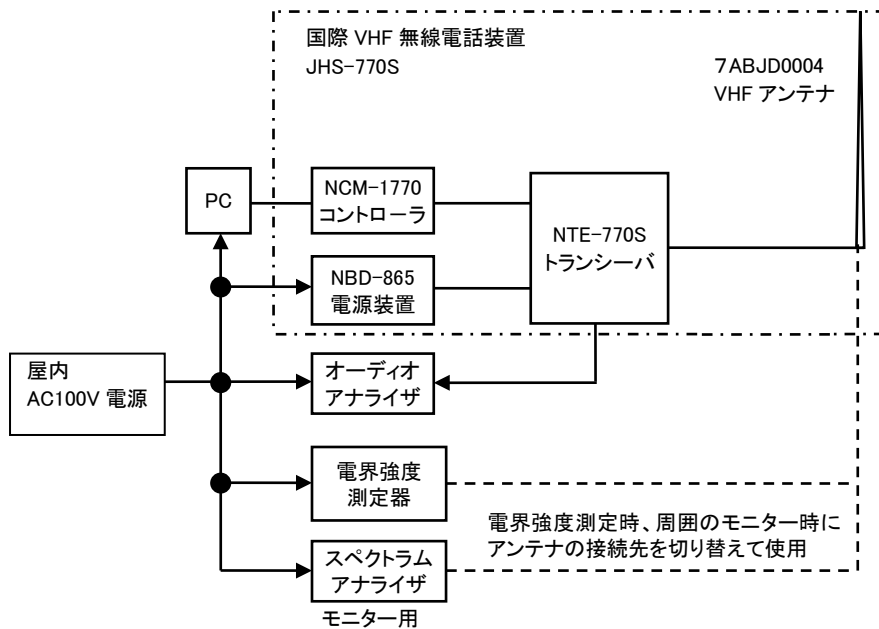


図 6.1-3 測定機器系統(海岸局)

B) 仮想船舶局

仮想船舶局の装置構成は図 6.1-4 である。測定機器系統は図 6.1-5 であり、国際 VHF 無線電話装置にオーディオアナライザ及びスペクトラムアナライザ／パワーメータを接続する。国際 VHF 無線電話装置からオーディオアナライザの AF 信号を加えた電波を希望波とし、海岸局を通信の相手方として送信する。実証試験周波数を他の無線局が使用していないことをスペクトラムアナライザ／パワーメータを用いて確認する。



図 6.1-4 装置構成(仮想船舶局)

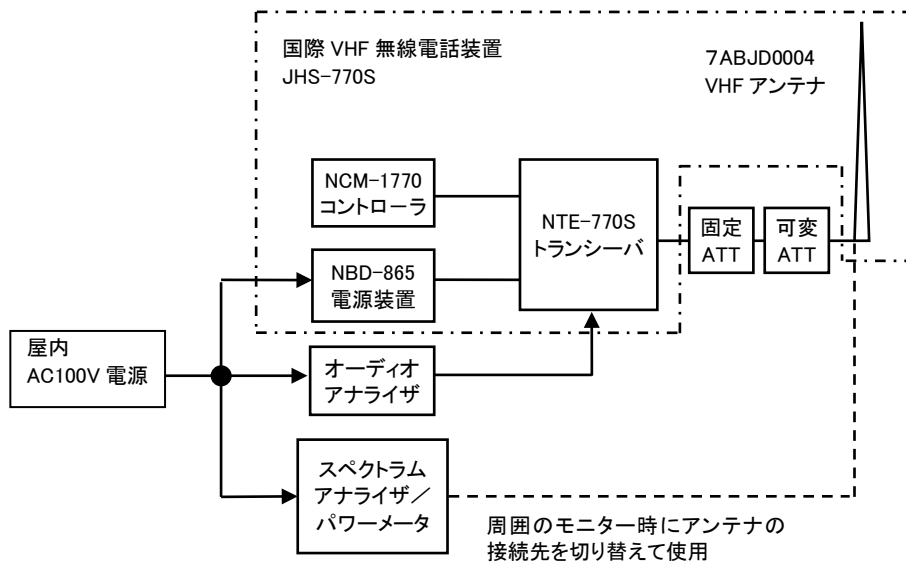


図 6.1-5 測定機器系統(仮想船舶局)

C) 船舶局

船舶局の装置構成は図 6.1-6 である。測定機器系統は図 6.1-7 であり、VHF データ通信装置に AIS 装置及びスペクトラムアナライザ／パワーメータを接続する。VHF データ通信装置から海岸局で測定するための妨害波を送信する。実証試験周波数を他の無線局が使用していないことをスペクトラムアナライザ／パワーメータを用いて確認する。AIS は受信のみとし、自船位置及び近海の船舶動向をモニターするために用いる。

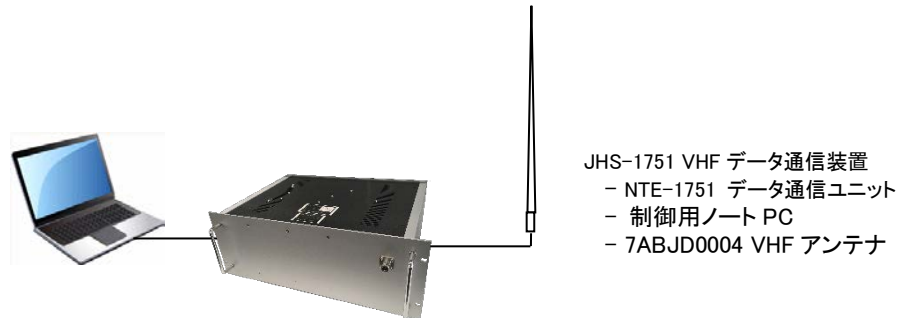


図 6.1-6 装置構成(船舶局)

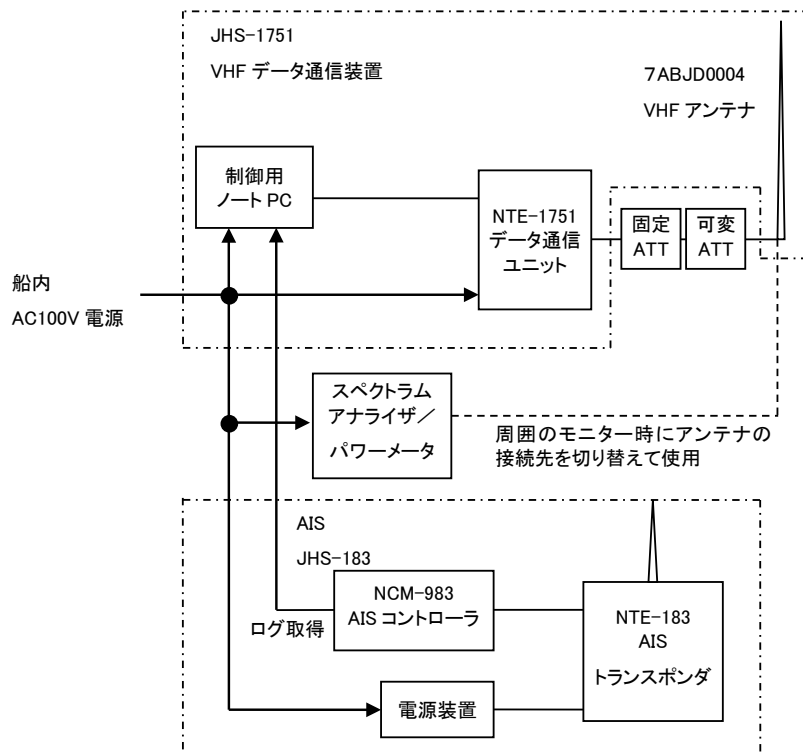


図 6.1-7 測定機器系統(船舶局)

6.1.1. 実証試験場所及び行程等

実証試験の行程及び場所を表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 実証試験の日程と場所

日程	平成 28 年 11 月 28 日 9:30 から 16:30
場所	弓削島、豊島及びその間の海域（愛媛県越智郡上島町）（図 6.1-8） <ul style="list-style-type: none">・ 海岸局：弓削斎場（図 6.1-9）・ 仮想船舶局：豊島コミュニティセンター（図 6.1-10）・ 船舶局：国立弓削商船高等専門学校 実習船「はまかぜ」（図 6.1-11）



図 6.1-8 実証試験場所

(1) 実証試験場所の選定

海上フィールド実証試験における実証試験場所及び海域の選定等については、以下の主な条件を満足する場所及び海域等から選定した。

- ・ 海岸局、仮想船舶局及び船舶局間で障害物がない環境であること。
- ・ 大型船舶が停泊できる港が近くに存在しないこと。
- ・ 大型船舶が航行しない航路であること。
- ・ 実証試験周波数を使用する可能性のある船舶の航路でないこと。
- ・ 実証試験の協力が得られる地域であること。

以上の条件をもとに調査を行った結果、弓削島、豊島及びその間の海域（愛媛県越智郡上島町）を実証試験場所とした。

(2) 実証試験行程

実証試験は、実証試験海域での船舶局の航行への影響（のり網の設置状況等）を考慮し、可能な限り1日で実施することとし、天候が悪い場合は予備日を設けて対応することとした。

(3) 実証試験機器の設置状況



図 6.1-9 海岸局の装置(左)及びアンテナ(右)



図 6.1-10 仮想船舶局の装置(左)及びアンテナ(右)



図 6.1-11 船舶局の装置(左上)、アンテナ(右上)及び外観(下)

6.1.2. 実証試験における諸元

本実証試験における無線機器の諸元について机上検討の値と合わせて、表 6.1-2(希望波側の机上検討及び実証試験における各種諸元)、表 6.1-3(妨害波側の机上検討及び実証試験における各種諸元)に示す。

表 6.1-2 希望波側の机上検討及び実証試験における各種諸元

項目	机上検討	実証試験
送受信機間距離	—	5.2 km
送信出力	受信電力一定(-77 dBm)になるよう調整	
送信周波数	150/160 MHz 帯	150 MHz 帯
送信帯域幅	25 kHz	
変調方式	FM	
仮想船舶局 アンテナ高	30 m	27 m
海岸局 アンテナ高	30 m	25 m

表 6.1-3 妨害波側の机上検討及び実証試験における各種諸元

項目	机上検討	実証試験
送受信機間距離	離隔距離を求めるため移動しながら決定	
同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討時の送信出力	25 W (≒44 dBm)	8 W (≒39 dBm) ※
スケルチオープン測定検討時の送信出力	25 W (≒44 dBm)	8.9 mW (≒9.5 dBm)
送信周波数	150/160 MHz 帯	150 MHz 帯
帯域幅	25/100 kHz	
帯域幅 25 kHz での希望波との中心周波数差 (図 5.1-5 及び図 5.1-6 参照)	パターン A パターン B	パターン A
変調方式	$\pi/4$ QPSK 8PSK 16QAM	$\pi/4$ QPSK 16QAM
船舶局 アンテナ高	2 m	3 m
海岸局 アンテナ高	30 m	25 m

※実証試験の比較対象となる測定環境を考慮した補正後の机上検討結果(以下「補正後の机上検討結果」という。)算出時は 12.5 W(≒41 dBm)を使用

表 6.1-2 及び表 6.1-3 において、机上検討の値と実証試験の値が異なる項目がある。これは試験環境及び試験機器の能力等によるものであり、理由は以下のとおりである。

(1) 希望波側送受信機間距離

机上検討では図 5.1-9 のように整合器を介して送受信それぞれの国際 VHF 無線電話装置を接続していたが、実証試験では海岸局と仮想船舶局の設置場所が決定し、その間の距離は約 5.2 km であった。

(2) 送信周波数

送信周波数については、効率的な測定を行うとともに海岸局側及び仮想船舶局側ともに測定環境がほぼ同じ環境を構築することが望ましい。机上検討では、150 MHz 帯と 160 MHz 帯での検討を実施したが、150 MHz 帯と 160 MHz 帯の測定周波数差は、例えば Ch.82 の 157.125 MHz と 161.725 MHz の差のように 4.6 MHz と狭く、電波伝搬距離の差は数十～数百 m 以内¹⁶、受信レベルの差は 1 dB 以下¹⁷であるため、周囲の環境や船舶の惰性前進等の影響による受信レベルの変動に比べ十分小さく、150 MHz 帯及び 160 MHz 帯の周波数の特性は本実証試験においてはほぼ同等と言える。以上の理由から希望波・妨害波ともに 150 MHz 帯の周波数を使用することとした。

(3) 帯域幅と変調方式

机上検討では、妨害波として 2 種類の帯域幅(25 kHz 及び 100 kHz)及び 3 種類の変調方式($\pi/4$ QPSK、8PSK 及び 16QAM)の組み合わせで 6 通りの検討を行った。机上検討時に 8PSK は妨害波としての特性は $\pi/4$ QPSK とほぼ同等¹⁸であることを確認したため、実証試験における変調方式は $\pi/4$ QPSK 及び 16QAM とし、帯域幅が最も狭く伝送速度の遅い 25 kHz $\pi/4$ QPSK と帯域幅が広く伝送速度の速い 100 kHz 16QAM の組み合わせを使用することとした。

(4) 帯域幅 25 kHz での希望波との中心周波数差

妨害波側が帯域幅 25 kHz で送信する際の希望波との中心周波数差はパターン A (12.5 kHz 離)及びパターン B(中心周波数一致)の 2 パターンが考えられる(図 5.1-5 参照)。机上検討では 2 パターンの検討を実施したが、希望波と妨害波の中心周波数の差は DU 比計算の妨害波の受信電力の差として表れ、受信電力の変化により距離対受信電力の傾きに影響はなく純粋に電力に応じた距離が変化する¹⁹。そのため、机上検討結果の妥当性の確認はパターン A 又はパターン B のいずれか一方で確認できる。以上の理由から実証試験では船舶局で使用する VDE 装置(図 6.1-6 装置構成(船舶局)参照)の仕様によりパターン A を使用することとした。

(5) 同一チャンネル干渉検討、隣接チャンネル干渉検討時の送信出力

机上検討では 25 W(\cong 44 dBm)を使用していたが、実証試験では「6.1.3.2. 妨害波側同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討における送信出力」にて検討した結果により 8 W(\cong 39 dBm)を使用し、比較対象となる測定環境を考慮した補正後の机上検討結果では 12.5 W(\cong 41 dBm)を使用することとした。

¹⁶ 表 6.1-7 測定距離(同一チャンネル干渉検討、12.5 kHz 離れ)、表 6.1-8 測定距離(隣接チャンネル干渉検討)を参照

¹⁷ 表 6.1-5 妨害波送信出力の違い(25 W 及び 12.5 W 時)による距離対受信電力(7 点抜粋)を参照

¹⁸ 「5.1.2.5.1. 数値計算」の「(1)変調方式 8PSK」を参照

¹⁹ 「6.1.3.2. 妨害波側同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討における送信出力」の送信出力の補正に伴う他の項目への影響に関する説明を参照

(6) スケルチオープン測定検討時の送信出力

机上検討では 25 W (\approx 44 dBm) を使用していたが、実証試験では「6.1.3.3. 妨害波側スケルチオープン測定検討における送信出力」にて検討した結果により、8.9 mW (\approx 9.5 dBm) を使用することとした。

(7) アンテナ高

机上検討では海岸局、仮想船舶局及び船舶局でのアンテナ設置箇所が定まっていなかったため想定される値として海岸局及び仮想船舶局では 30 m、船舶局では 2 m としていたが、実証試験では海岸局では 25 m、仮想船舶局では 27 m、船舶局では 3 m の位置にアンテナを設置することとした。

以上の結果から、実証試験における諸元は表 6.1-2(希望波側の机上検討及び実証試験における各種諸元)、表 6.1-3(妨害波側の机上検討及び実証試験における各種諸元)の「実証試験」列の値を使用した。

6.1.3. 実証試験における送信出力値の設定

実証試験で使用する希望波、妨害波(同一チャンネル干渉検討・隣接チャンネル干渉検討)、妨害波(スケルチオープン測定検討)で使用する送信出力について、以下にそれぞれ記載する。

6.1.3.1. 希望波側送信出力

希望波側送信電力値については、机上検討時と同等の受信電力とするための調整を行った。

(1) 海上フィールドでの実証実験の計画段階における送信電力値の算出

机上検討では、海岸局で受信する希望波の受信レベルは-77 dBm(基準感度+30 dB)としており、実証試験でも海岸局では同レベルで希望波を受信するように、仮想船舶局からの送信出力を調整する。

海岸局と仮想船舶局間の距離は図 6.1-12 のように約 5.2 km であった。

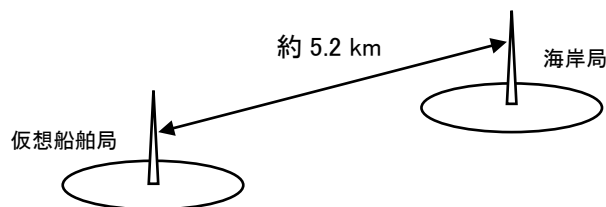


図 6.1-12 音声通信環境

図 6.1-13 に、机上検討時の送信出力(25 W)を使用した離隔距離の理論式(5.1.2.3.4. 節参照)及び 5.2 km のポイントを示す。

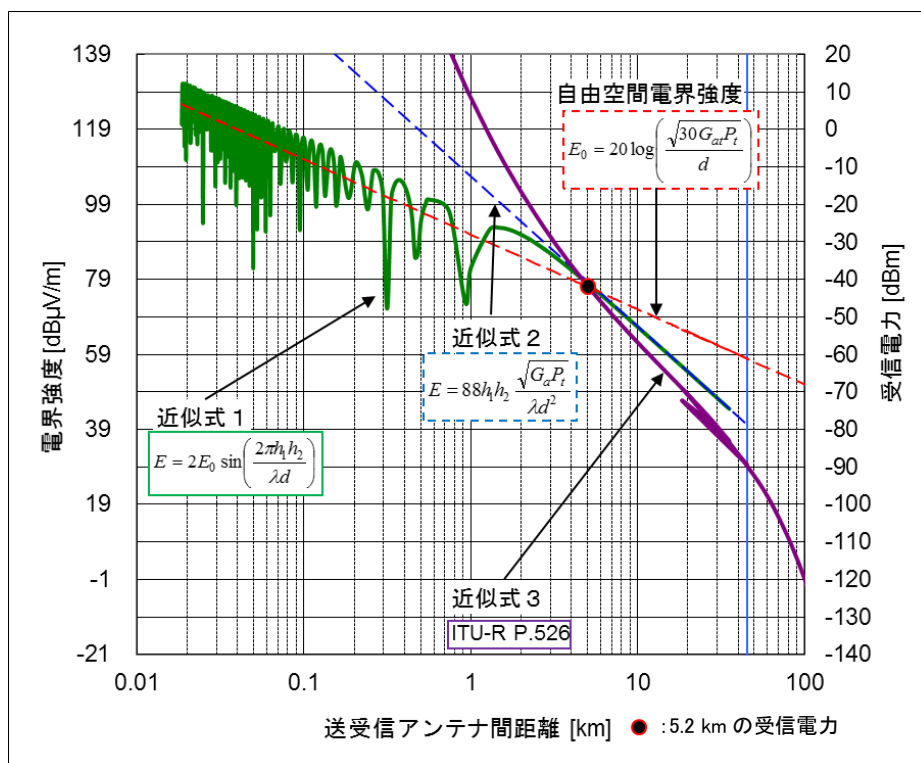


図 6.1-13 距離対受信電力(希望波 25 W 送信時)

図 6.1-13 より送信電力 25 W 時における距離約 5.2 km での受信電力は、-42.5 dBm となる。よって、机上検討と同様に受信点における受信電力を-77 dBmとするには、音声通信の送信電力 44 dBm から、-42.5 dBm と-77 dBm の差分である 34.5 dB 低減することより、海上フィールドでの実証試験の計画段階における送信電力値は 8.9 mW(≒9.5 dBm)とする。

$$44 \text{ dBm} - 34.5 \text{ dB} = 9.5 \text{ dBm} (\approx 8.9 \text{ mW}) \quad (40)$$

(2) 海上フィールド実証試験実施の事前調査における送信出力補正值の算出

海上フィールドでの実証試験実施の事前調査で、送受信アンテナ高が確定したことにより、机上検討とのアンテナ高の差分により伝搬ロスが 4.14 dB 増加し、アンテナ端から受信機入力端まで 1.26 dB のケーブルロスが発生する。この時のアンテナ高の差分により増加した伝搬ロス及びケーブルロスを考慮すると、送信出力は 30.9 mW(14.9 dBm)となる。

$$9.5 \text{ dBm} + 4.14 \text{ dB} + 1.26 \text{ dB} = 14.9 \text{ dBm} (\approx 30.9 \text{ mW}) \quad (41)$$

この時の送信出力(30.9 mW)を机上検討からの補正值として使用し、離隔距離の理論式(5.1.2.3.4. 節参照)と測定環境を考慮した補正後の机上検討結果を描画したグラフを図 6.1-14 に示す。

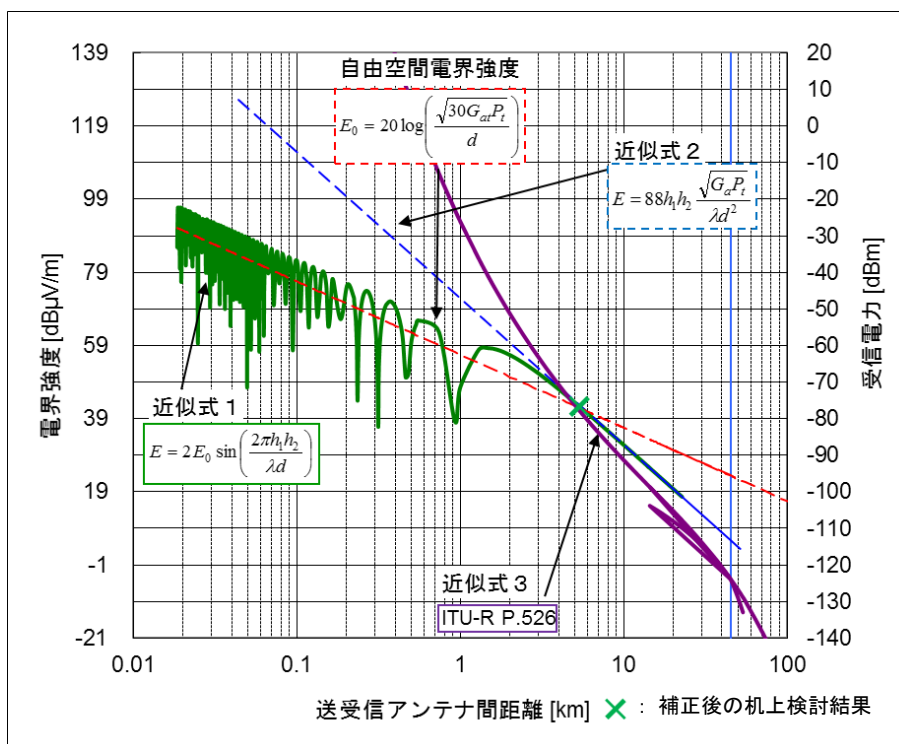


図 6.1-14 距離対受信電力(希望波 補正後の 8.9 mW 送信時)

海岸局における希望波の受信電力として、補正後の机上検討結果及び送信出力の補正值である 30.9 mW を使用し、海上フィールドでの実証試験実施の事前調査で取得した実測値を表 6.1-4 に示す。

表 6.1-4 海岸局における希望波の受信電力

補正後の机上検討結果	-77.0 dBm (≒ 43.2 dB μV/m)
実証試験実施の事前調査での実測値	-77.1 dBm (≒ 43.1 dB μV/m)

補正後の机上検討結果が-77.0 dBm に対し、実証試験実施の事前調査での実測値はほぼ同等の-77.1 dBm となったことから、本実証試験における希望波の送信出力は 30.9 mW とした。

6.1.3.2. 妨害波側同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討における送信出力

(1) 実証試験計画時の補正

(ア) 12.5 W を採用する理由

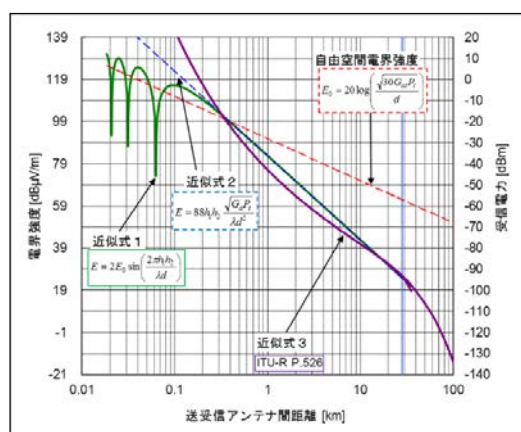
ITU-R 勧告 M.2092-0 においては定格電力を船舶局では最大 25 W 以下と明記しているため、机上検討では送信出力として 25 W を使用し検討を行ったが、実証試験では長時間安定且つ低歪みな送信出力を実現すること、試験中に周囲への影響を極力減らすことを目的とし、計画段階で 12.5 W を採用することとした。

(イ) 送信出力の補正に伴う他の項目への影響

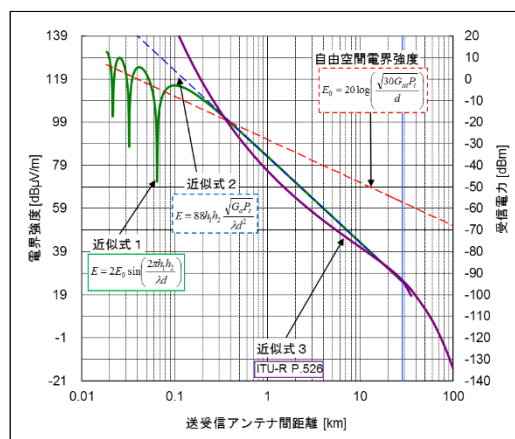
25 W の送信出力を 12.5 W に補正することによる他項目への影響を確認する。

実証試験では、受信電力が机上検討と同じ値となるように船舶局を机上検討結果により得られた距離に移動し、その位置から送信される妨害波を海岸局にて受信する。

妨害波として VDE 装置が 12.5 W で送信した場合、送信出力を 25 W から 12.5 W に低減したため測定すべき離隔距離が変更となる。図 6.1-15 及び図 6.1-16 は机上検討時の離隔距離の理論式(5.1.2.3.4. 節参照)から作成したグラフである。図 6.1-15 は送信出力が 25 W の場合の理論値、図 6.1-16 は 12.5 W の場合の理論値を示しており、送信出力の差による距離対受信電力の関係を確認することができる。

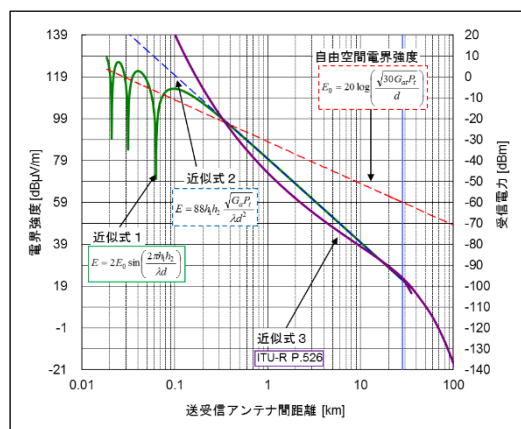


(a) 157.1625 MHz

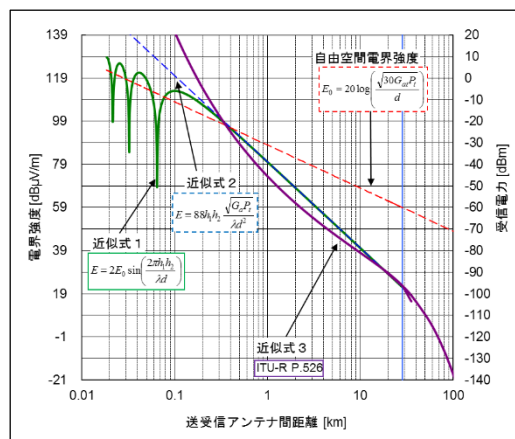


(b) 161.7625 MHz

図 6.1-15 距離対受信電力(妨害波 25 W 送信時)



(a) 157.1625 MHz



(b) 161.7625 MHz

図 6.1-16 距離対受信電力(妨害波 12.5 W 送信時)

なお、妨害波送信出力の違いによる距離と受信電力の関係を確認するため、グラフから主な 7 点における受信電力を表 6.1-5 に記載する。

表 6.1-5 妨害波送信出力の違い(25 W 及び 12.5 W 時)による距離対受信電力(7 点抜粋)

距離 [km]	送信出力 25 W 時の受信電力 [dBm]		送信出力 12.5 W 時の受信電力 [dBm]	
	157.1625 MHz	161.7625 MHz	157.1625 MHz	161.7625 MHz
0.1	-2.79	-3.27	-5.80	-6.28
0.5	-28.01	-27.83	-31.02	-30.84
1	-42.90	-42.86	-45.91	-45.87
5	-68.90	-69.05	-71.91	-72.06
10	-78.14	-78.35	-81.15	-81.36
20	-87.55	-87.81	-90.56	-90.82
50	-106.41	-106.82	-109.42	-109.83

送信出力が 25 W の場合と 12.5 W の場合を比較すると、25 W と 12.5 W の同じ距離及び同じ周波数における受信電力は何れも以下の式のように送信電力比 (1/2 ≒ -3 dB) 分低下していることがグラフ及び表より読み取れ、距離と受信電力の比(グラフにおける傾き)は同等であると判断できる。このことから送信電力が変化しても同じ距離においてグラフ上の傾きは変化せず、あくまでも受信電力軸側の変化であること意味する。

$$-3 \text{ dB} \doteq 10 \log_{10} \left(\frac{12.5 \text{ W}}{25 \text{ W}} \right) \quad (42)$$

よって、元の送信電力に対し、変更した送信電力の差分を受信電力に補正することにより、同等の関係を導き出せることがわかる。

(ウ) 実証試験計画時の送信出力の算出

以上のことから、送信出力を補正した場合でも、補正前の送信出力に対する受信電力に対し送信出力 12.5 W の受信電力に 3 dB の補正値を加算することで、25 W の机上検討結果と比較可能と判断できる。そのため、机上検討の送信出力である 25 W から 12.5 W に補正した送信出力を採用することとした。

(2) 実証試験実施の事前調査で 8 W に補正した理由

海上フィールドでの実証試験実施の事前調査において妨害波側の送信出力 12.5 W に対する受信感度等の測定を実施したところ、受信電力が大きく変動した。また、近距離内(海岸局近海)でも同様であった。これは、船の静止は難しく、惰性又は波による影響であると考えられる。試験の目的からも安定した受信電力測定値を得ることが必要であり、安定した受信電力測定値を得られる測定点を調査した。

調査の結果、安定した受信電力値を得られる測定値が見つかり、その測定点を測定点 A から測定点 G として図 6.1-17 に示す。また、船舶局から各測定点までの距離、受信電力の理論値及び測定値を表 6.1-6 に示す。表 6.1-6 に示すように、測定点 A から測定点 E では妨害波の送信出力を 12.5 W としたところ、船舶局から測定点までの距離における受信電力の理論値に対し、測定値が約 2 dB 高く推移していた。理論値と測定値の受信電力差 2 dB を考慮し、測定点 F 及び測

定点 G では送信出力を 2 dB 下げた 8 W で送信して測定したところ、12.5 W で送信した理論値とほぼ同様の測定値が得られた。

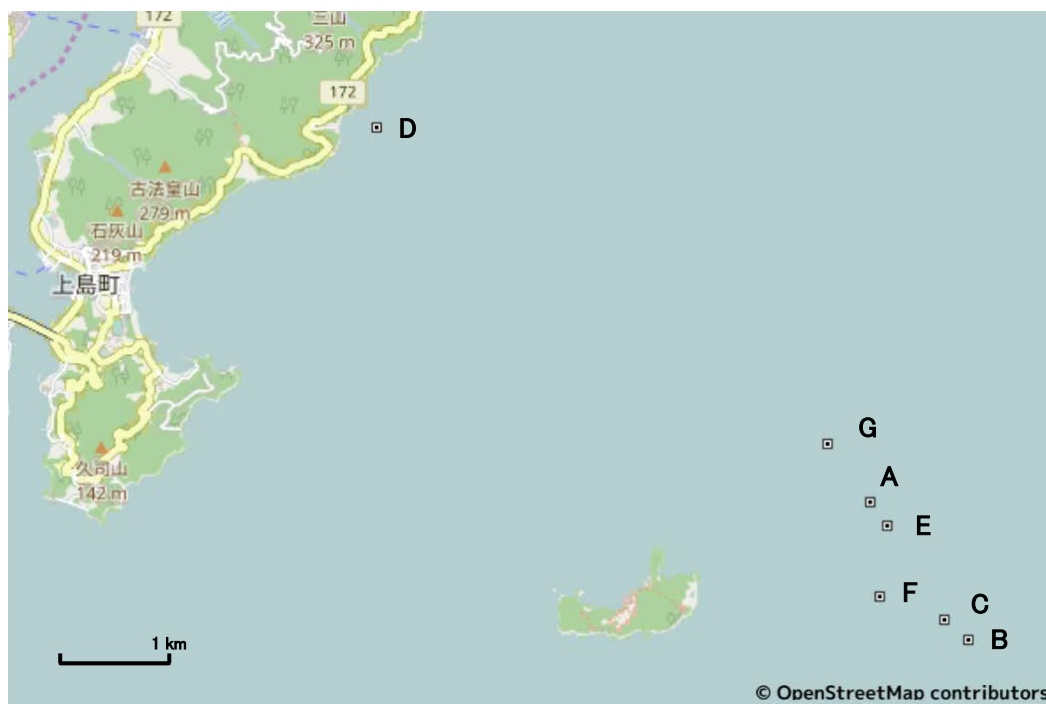


図 6.1-17 受信電力が安定していた海域の代表点

表 6.1-6 受信電力測定

位置	座標	距離 [km]	理論値 [dBm]	測定値 [dBm]
A	34° 14.3914′ N 133° 16.8446′ E	5.86	-75.1	-73.2
B	34° 13.7281′ N 133° 17.3721′ E	7.27	-78.1	-75.5
C	34° 13.8319′ N 133° 17.3005′ E	7.00	-77.6	-75.4
D	34° 16.1840′ N 133° 13.9682′ E	0.345	-20.7	-18.3
E	34° 14.2780′ N 133° 16.9438′ E	6.11	-75.7	-73.8
F	34° 13.9369′ N 133° 16.9015′ E	6.47	-78.4	-78.6 ^(※)
G	34° 14.6723′ N 133° 16.5967′ E	5.25	-74.2	-73.5 ^(※)

※ 8 W 送信時の受信電力値(他の測定値、理論値は 12.5 W 送信時の値)

送受信間における受信電力は、ITU-R 勧告 P.526-13 に示されるように主として 2 点間の直接到達する信号と地球上に反射(回折)する信号との関係で表される。今回の試験場は、図 6.1-18 (黒破線は海岸局の背後が 100 m を超える急勾配)に示すとおり、受信点(海岸局)背後に存在する山及び湾曲した崖(図 6.3-7 参照)により複雑に反射して受信される到来波の関係により受信電力が変動するものと考えられる。



※国土地理院の地理院地図に 100 m の等高線と海岸局位置を追記して掲載

図 6.1-18 海岸局周辺の地形

受信点(海岸局)においては、複数の到来波が合成された受信電力となる。直接波と反射波の 2 波が合成されたときの例を図 6.1-19 に示す。位相が同相に近づくにつれ合成された信号は大きな振幅となり、逆相による合成では小さな振幅となることが確認できる。

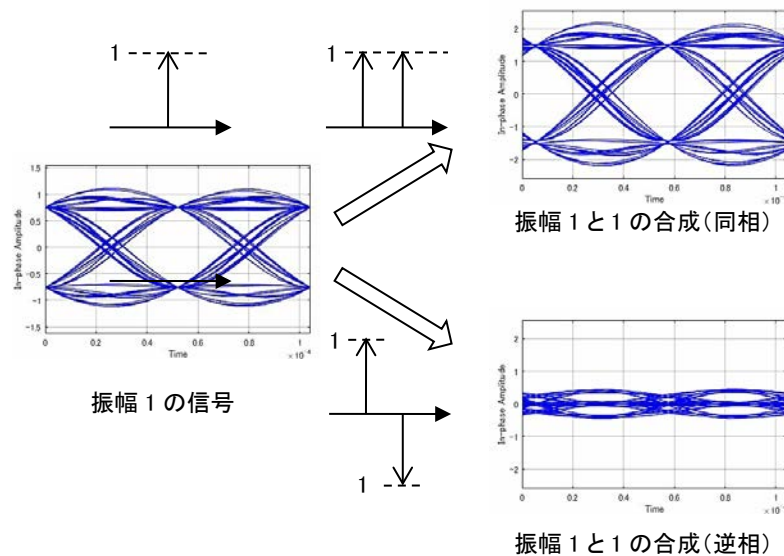


図 6.1-19 振幅と位相による合成波の変化

図 6.1-19 を例に、直接波のみ到来した場合と、直接波と 1 つの反射波が到来した場合の差について検討する。直接波のみ到来した場合に対し、反射波の影響で強め合う場合の差が最大となるのは直接波と同じレベルの 1 つの反射波が同相で到来する場合である。このとき直接波のみ到来した場合の 2 倍の(約 3 dB 高い)受信レベルとなる。このことから机上検討結果に対し、実証

試験では最大値で 3 dB 高い受信レベルになりうるということがわかる。これらの理由により、表 6.1-6 の A から E 点での理論値と測定値の 2 dB 差は想定される差内での観測であると言える。

以上から、希望する受信電力を得るために送信電力から反射波の影響と見られる 2 dB を除去した 8 W とし除去した値については、補正計算により 12.5 W の特性に合わせたデータを示すこととし、試験を実施することとした。

6.1.3.3. 妨害波側スケルチオープン測定検討における送信出力

スケルチオープン測定検討については同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討と同様の 12.5 W で送信すると、送受信機間の離隔距離が約 50 km(表 6.1-9 を参照)と非常に大きくなるため、同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討と同様に実証試験環境における反射波を考慮して妨害波側の送信出力を下げることにした。

表 6.1-7 で示す同一チャンネル干渉検討の測定ポイントと同様の距離に対して図 6.1-16 より受信電力を求めると、約-76.5 dBm となる。机上検討結果のスケルチオープン電力は-108 dBm であることから(表 5.1-15 参照)、同様の受信電力を再現するために「6.1.3.2. 妨害波側同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討における送信出力」と同じく送信出力を補正することとした。補正值は測定点の受信電力-76.5 dBm と机上検討結果の-108 dBm の差である 31.5 dB 低減した値となるため、送信出力(41 dBm)は 9.5 dBm となる。

$$41 \text{ dBm} - 31.5 \text{ dB} = 9.5 \text{ dBm} (\approx 8.9 \text{ mW}) \quad (43)$$

6.1.4. 実証試験開始ポイント

実証試験時の船舶局の送信開始場所を選定するため、机上検討の諸元から送信出力のみを 12.5 W に変更して離隔距離を計算した結果を、表 6.1-7、表 6.1-8 及び表 6.1-9 に示す。

表 6.1-7 測定距離(同一チャンネル干渉検討、12.5 kHz 離れ)

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK	16QAM
		25 kHz	100 kHz
157.150	測定距離 [km]	7.02	6.32
161.750	測定距離 [km]	6.83	6.62

表 6.1-8 測定距離(隣接チャンネル干渉検討)

妨害波 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK	16QAM
		25 kHz	100 kHz
	測定周波数 [MHz]	37.5 kHz 離れ	62.5 kHz 離れ
157.1625	測定距離 [km]	0.23	0.29
161.7625	測定距離 [km]	0.19	0.32

表 6.1-9 測定距離(スケルチオープン測定検討)

測定周波数 [MHz]	項目	$\pi/4$ QPSK	16QAM
		25 kHz	100 kHz
	測定周波数 [MHz]	12.5 kHz 離れ	37.5 kHz 離れ
157.150	測定距離 [km]	47.56	—
161.750	測定距離 [km]	45.19	—

- ・ 「—」は机上検討時にスケルチオープンなし。

6.2. 実証試験手順

6.2.1. 実証試験項目一覧

実証試験の試験項目及び周波数の一覧を表 6.2-1 に示す。

表 6.2-1 実証試験項目と使用周波数

	希望波 送信方向	項目	変調方式 (妨害波)	帯域幅 [kHz] (妨害波)	VDE 周波数 [MHz]	音声通信 周波数 [MHz]	備考
1	仮想 船舶局 ↓ 海岸局	同一 チャンネル	$\pi/4$ QPSK	25	157.1625	157.150	12.5 kHz 離れ
2			16QAM	100	157.1625	157.150	12.5 kHz 離れ
3		隣接 チャンネル	$\pi/4$ QPSK	25	157.1625	157.125	37.5 kHz 離れ
4			16QAM	100	157.1625	157.100	62.5 kHz 離れ
5	—	スケルチ オープン	$\pi/4$ QPSK	25	157.1625	157.150	12.5 kHz 離れ
6			16QAM	100	157.1625	157.125	37.5 kHz 離れ

6.2.2. 測定手順

実証実験の測定は、以下の手順にて実施する。

【事前確認】

1. 仮想船舶局から海岸局に向けて規定レベルの電波を送信する
2. 海岸局において仮想船舶局からの電波を電界強度測定器やスペクトラムアナライザで測定する
3. 次に船舶局から海岸局に向けて試験項目の規定レベルで電波を送信する。
4. 海岸局において船舶局からの電波を電界強度測定器で測定する。このとき、所望のレベルとなるように船を移動する

【実証試験の開始】

事前確認により測定環境を整えたあと、実証試験を実施する。

・同一チャンネル干渉検討及び隣接チャンネル干渉検討の場合

1. 仮想船舶局から電波を送信したあと、船舶局から電波を送信する
2. 海岸局は、オーディオアナライザにて SINAD を測定する
3. SINAD の値が安定しているかどうかを確認し、安定した状態で SINAD の値を確認する
4. 所望の SINAD の値になるまで船舶局の位置を微調整する

・スケルチオープン測定検討の場合

1. 仮想船舶局から電波は送信せず、船舶局から電波を送信する
2. 海岸局ではノイズスケルチがオープンすることを確認し、その時の船舶局の位置と受信レベルを再度確認する
3. 海岸局では妨害波の聴音を確認する

【変調方式の変更】

1. 船舶局は測定点まで移動する
2. 船舶局の変調方式を変更し、事前確認の 1 から繰り返す

【試験項目の変更】

1. 次の試験項目に移るため、船舶局は移動を開始する
2. 測定点に到着すると、事前確認の 1 から繰り返す

6.3. 実証試験実施

平成 28 年 11 月 28 日に実証試験を実施した。

6.2.2. 節の測定手順に従い、同一チャンネル干渉検討、隣接チャンネル干渉検討及びスケルチオープン測定検討の実証試験を実施した。実証試験で得た結果の比較対象として表 6.1-2 及び表 6.1-3 の諸元を使用した補正後の机上検討結果も同様に算出した。

6.3.1. 実証試験結果

海上フィールドでの実証試験結果を示す。図 6.3-1 は、表 6.2-1 の実証試験における試験項目の実施位置を図に表したものである。

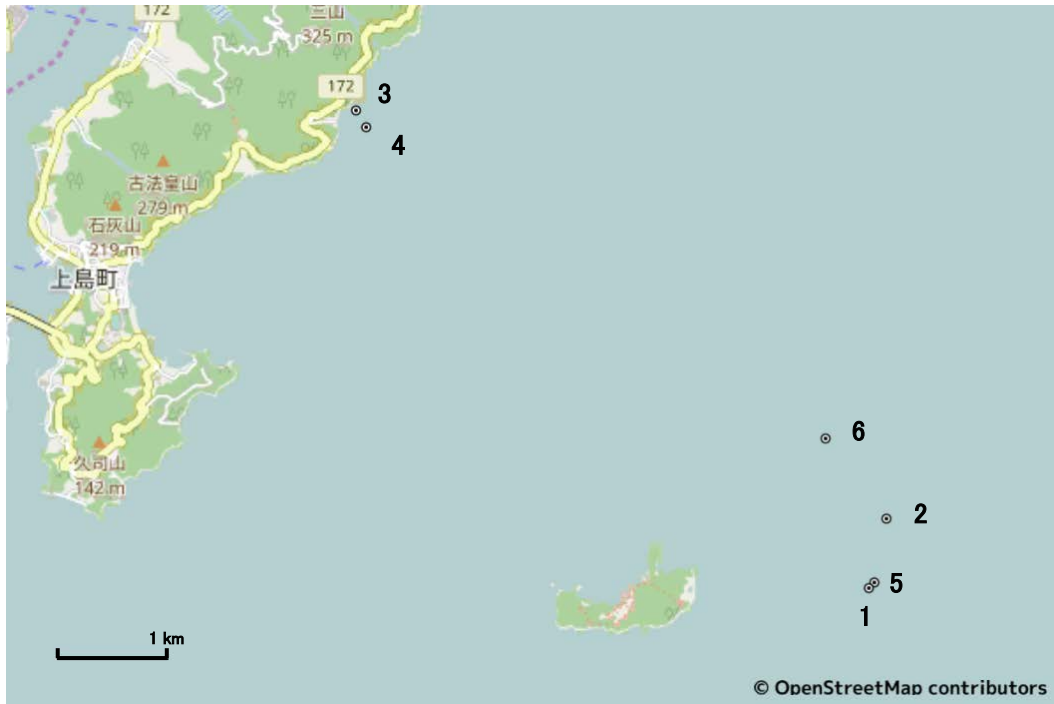


図 6.3-1 実証試験での測定位置

6.3.1.1. 同一チャネル干渉検討

同一チャネル干渉検討(試験項目 1 及び試験項目 2)について、表 6.1-2 及び表 6.1-3 の諸元を使用した実証試験結果と比較対象となる補正後の机上検討結果を表 6.3-1 に示す。実証試験では、海岸局において国際 VHF 無線電話装置のオーディオ出力値をオーディオアナライザのアベレージ機能(8 回分の値を計測し、平均値を測定結果として出力する機能)を使用して SINAD=14 dB となる点を探し、その時の船舶局の位置における DU 比と測定距離を測定した。

表 6.3-1 補正後の机上検討結果と実証試験結果(同一チャネル干渉検討)(試験項目 1, 2)

	妨害波 [MHz]	送信電力	項目	$\pi/4$ QPSK (試験項目 1)	16QAM (試験項目 2)
				25 kHz	100 kHz
			測定周波数 [MHz]	157.150	157.150
補正後の 机上検討 結果	157.1625	12.5 W (\doteq 41 dBm)	DU 比 [dB]	-0.5	-1.9
			離隔距離 [km]	6.46	5.87
実証試験 結果	157.1625	8 W (\doteq 39 dBm)	DU 比 [dB] (下: dBm)※	0.4 (-77.5)	-1.1 (-76.0)
			測定距離 [km]	6.33	6.15

※実証試験結果の DU 比欄の下段は、妨害波の受信電力

また、補正後の机上検討結果の諸元を使用し、机上検討時の離隔距離の理論式(5.1.2.3.4. 節参照)から作成した送受信アンテナ間距離と受信電力の関係を表すグラフに、補正後の机上検討結果及び実証試験結果を追加したグラフを図 6.3-2(試験項目 1)及び図 6.3-3(試験項目 2)に示す。

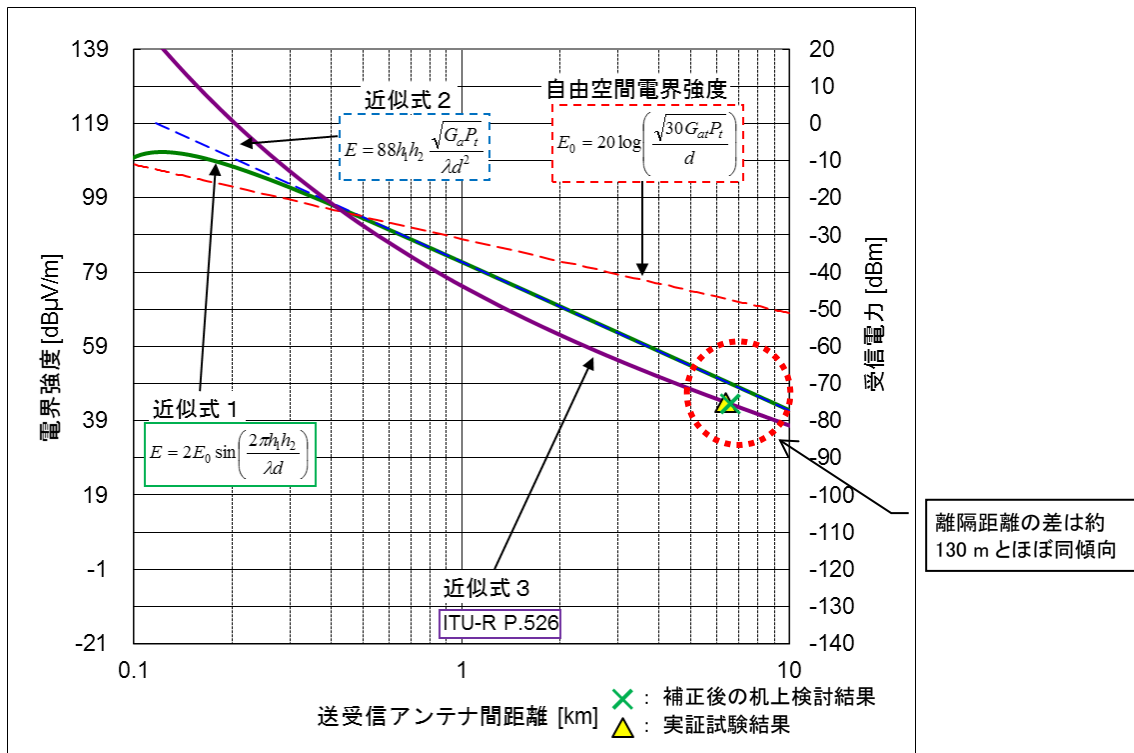


図 6.3-2 補正後の机上検討結果と実証試験結果の離隔距離の比較(試験項目 1)
 (π/4QPSK 25 kHz、同一チャネル干渉検討)

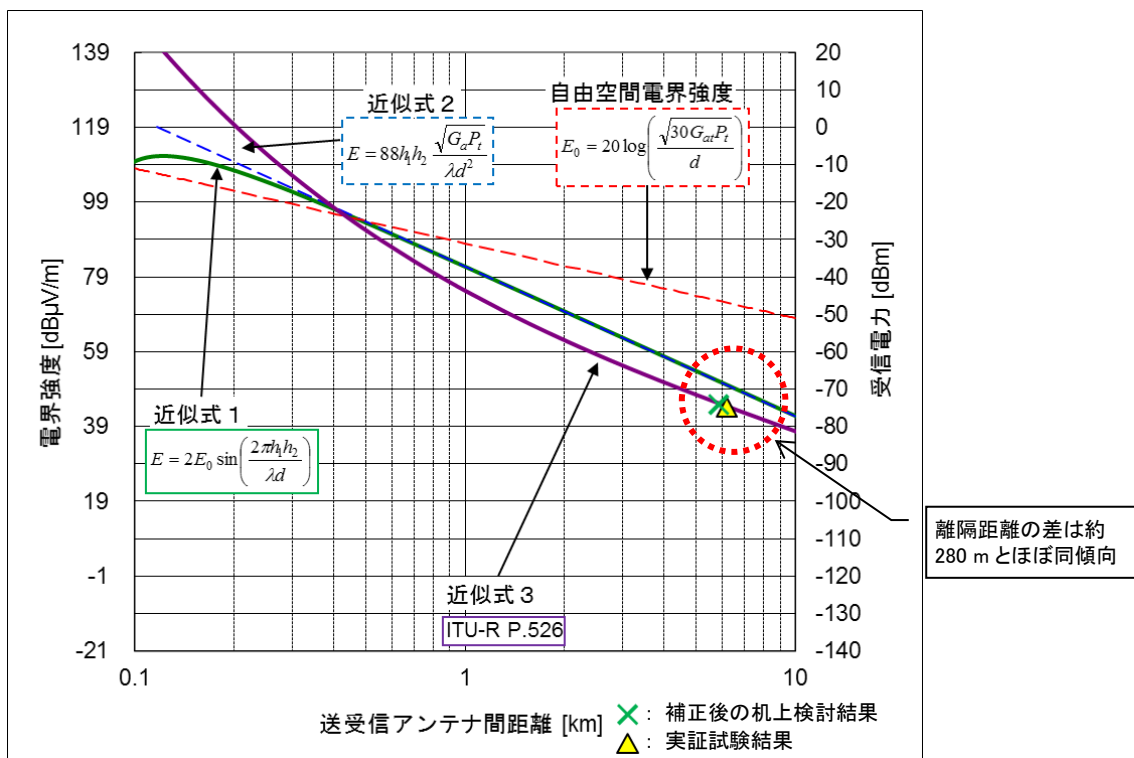


図 6.3-3 補正後の机上検討結果と実証試験結果の離隔距離の比較(試験項目 2)
 (16QAM 100 kHz、同一チャネル干渉検討)

表 6.3-1 の、実証試験結果と補正後の机上検討結果の DU 比の差は、試験項目 1 及び試験項目 2 においてどちらも 1 dB 未満であり、ほぼ同様の結果であった。この時の実証試験結果の測定距離と補正後の机上検討結果の離隔距離を比較すると、試験項目 1 では約 130 m、試験項目 2 では約 280 m の差であり、ほぼ同様の傾向を示すことを確認した。

6.3.1.2. 隣接チャネル干渉検討

隣接チャネル干渉検討(試験項目 3 及び試験項目 4)について、表 6.1-2 及び表 6.1-3 の諸元を使用した実証試験結果と比較対象となる補正後の机上検討結果を表 6.3-2 に示す。実証試験では、海岸局において国際 VHF 無線電話装置のオーディオ出力値をオーディオアナライザのアーベレージ機能(8 回分の値を計測し、平均値を測定結果として出力する機能)を使用して SINAD=14 dB となる点を探し、その時の船舶局の位置における DU 比と測定距離を測定した。

表 6.3-2 補正後の机上検討結果と実証試験結果(隣接チャネル干渉検討)(試験項目 3, 4)

	妨害波 [MHz]	送信電力	項目	$\pi/4$ QPSK (試験項目 3)	16QAM (試験項目 4)
				25 kHz	100 kHz
			測定周波数 [MHz]	37.5 kHz 離 157.125	62.5 kHz 離 157.100
補正後の 机上検討 結果	157.1625	12.5 W (\doteq 41 dBm)	DU 比 [dB]	62.1	58.5
			離隔距離 [km]	0.23	0.3
実証試験 結果	157.1625	8 W (\doteq 39 dBm)	DU 比 [dB] (下: dBm)※	65.7 (-11.7)	58.8 (-18.3)
			測定距離 [km]	0.14	0.26

※実証試験結果の DU 比欄の下段は、妨害波の受信電力

また、補正後の机上検討結果の諸元を使用し、机上検討時の離隔距離の理論式(5.1.2.3.4. 節参照)から作成した送受信アンテナ間距離と受信電力の関係を表すグラフに、補正後の机上検討結果及び実証試験結果を追加したグラフを図 6.3-4(試験項目 3)及び図 6.3-5(試験項目 4)に示す。

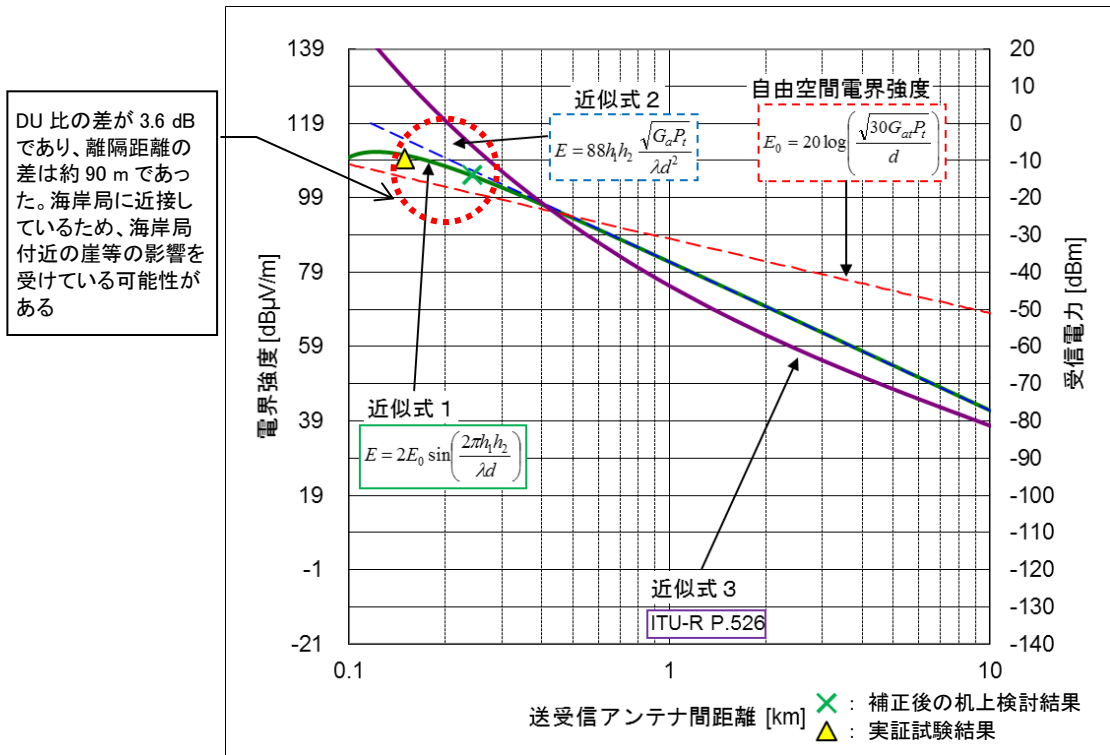


図 6.3-4 補正後の机上検討結果と実証試験結果の離隔距離の比較 (試験項目 3)
 (π/4QPSK 25 kHz、隣接チャネル干渉検討)

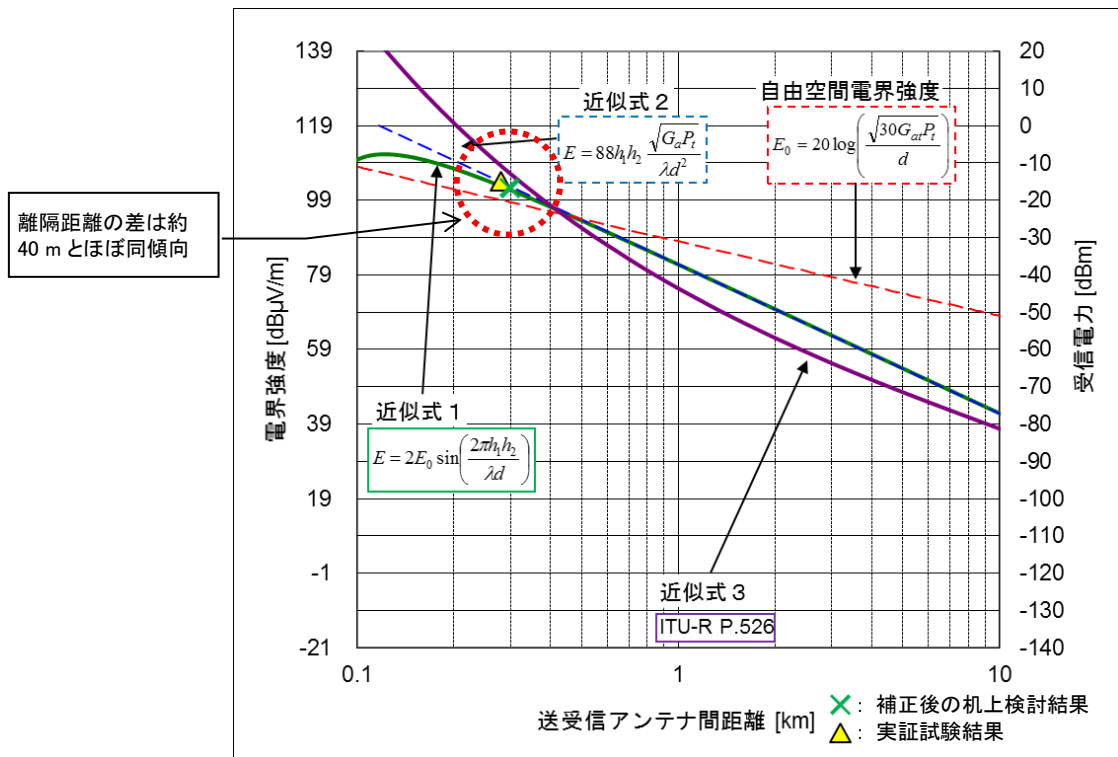


図 6.3-5 補正後の机上検討結果と実証試験結果の離隔距離の比較 (試験項目 4)
 (16QAM 100 kHz、隣接チャネル干渉検討)

表 6.3-2 の実証試験結果と補正後の机上検討結果の DU 比の差は、試験項目 4 では 0.3 dB となり、ほぼ同等の値を示したのに対して、試験項目 3 では 3.6 dB となり試験項目 4 よりも差が大きくなった。この時の実証試験結果の測定距離と補正後の机上検討結果の離隔距離を比較すると、試験項目 3 では約 90 m、試験項目 4 では約 40 m の差であった。

6.3.1.3. スケルチオープン測定検討

スケルチオープン測定検討(試験項目 5 及び試験項目 6)について、表 6.1-2 及び表 6.1-3 の諸元を使用した実証試験結果と比較対象となる補正後の机上検討結果を表 6.3-3 に示す。実証試験では、試験項目 5 は海岸局の国際 VHF 無線電話装置でスケルチが開いた時の船舶局との距離を測定し、試験項目 6 ではスケルチが開かないことを確認した。

表 6.3-3 補正後の机上検討結果と実証試験結果(スケルチオープン測定検討)(試験項目 5, 6)

	妨害波 [MHz]	送信電力	項目	$\pi/4$ QPSK (試験項目 5)	16QAM (試験項目 6)
				25 kHz	100 kHz
			測定周波数 [MHz]	12.5 kHz 離れ 157.150	37.5 kHz 離れ 157.125
補正後の 机上検討 結果	157.1625	8.9 mW (\approx 9.5 dBm)	オープン電力 [dBm]	-108	—
			可聴	有	無
			離隔距離 [km]	6.48	—
実証試験 結果	157.1625	8.9 mW (\approx 9.5 dBm)	オープン電力 [dBm]	-107.3	—
			可聴	有	無
			測定距離 [km]	6.33	—

- ・ 「—」はスケルチオープンなし。可聴については、スケルチオープン状態で耳障りな音が確認できるかを示す。
- ・ 「可聴」の「無」の項目については、待ち受け中にスケルチは開かなかったが、通信中に他局よりデジタル波の入力があった場合は耳障りな音が発生することが確認された。

また、補正後の机上検討結果の諸元を使用し、机上検討時の離隔距離の理論式(5.1.2.3.4. 節参照)から作成した送受信アンテナ間距離と受信電力の関係を表すグラフに、補正後の机上検討結果及び実証試験結果を追加したグラフを図 6.3-6(試験項目 5)に示す。

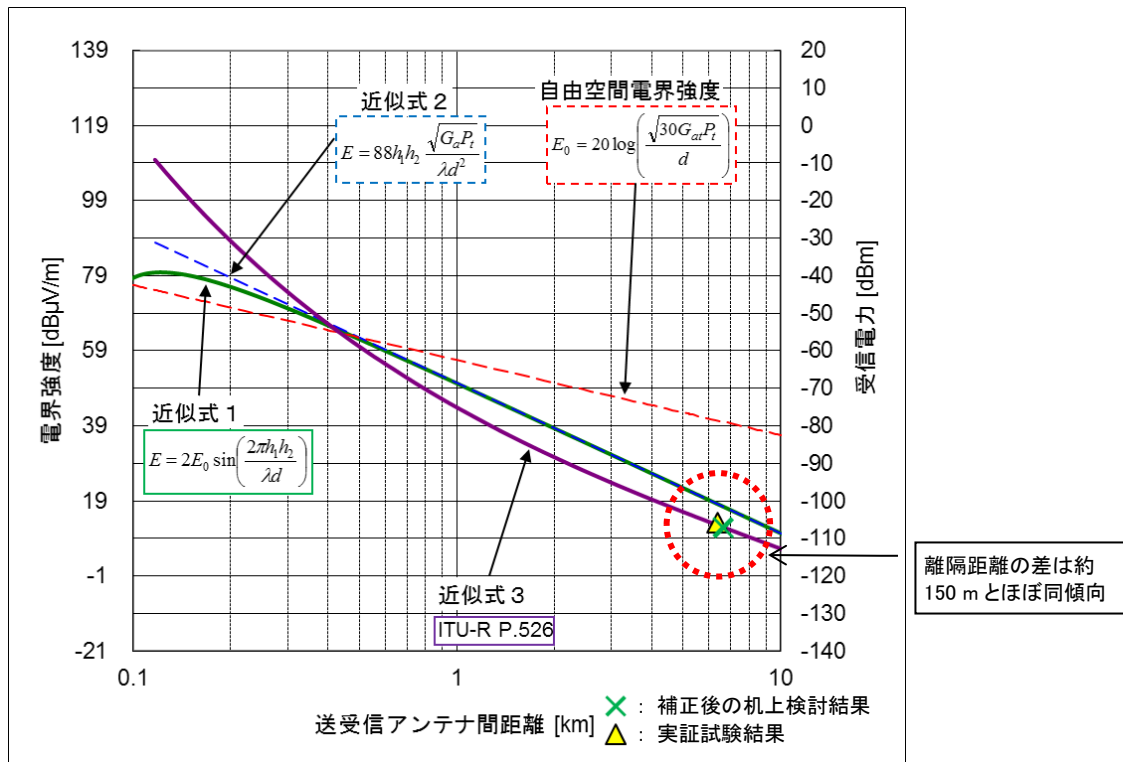


図 6.3-6 補正後の机上検討結果と実証試験結果の離隔距離の比較(試験項目 5)
 (π/4QPSK 25 kHz、スケルチオープン測定検討)

表 6.3-3 の実証試験結果と補正後の机上検討結果のスケルチオープン電力の差は、スケルチの開いた試験項目 5 では 0.7 dB となりほぼ同等の値を示した。この時の実証試験結果の測定距離と補正後の机上検討結果の離隔距離の差は 150 m とほぼ同様の傾向を示し、同時にスケルチが開いた時には妨害波によるノイズ音が可聴であることを確認した。試験項目 6 については補正後の机上検討結果と同様に実証試験でもスケルチが開かないことを確認し、さらに仮想船舶局と海岸局が音声通信中にスケルチが開いた場合には、表 5.1-15 の机上検討結果と同様に、うねりのあるノイズ音を確認した。

6.3.2. 補正後の机上検討結果との比較

6.3.2.1. 同一チャネル干渉検討

6.3.1.1. 節のとおり、DU 比及び離隔距離共に実証試験結果と補正後の机上検討結果がほぼ同様の結果であった。以上のことから、同一チャネル干渉検討における補正後の机上検討結果の妥当性を実証試験にて確認することができた。

6.3.2.2. 隣接チャネル干渉検討

6.3.1.2. 節のとおり、実証試験結果と補正後の机上検討結果の DU 比の差が試験項目 3 では 3.6 dB となり、試験項目 4 よりも差が大きくなった。

試験項目 3 において受信電力のレベル差が他の試験項目と比べ大きく、実証試験結果と補正後の机上検討結果の DU 比に差が生じた要因としては、図 6.3-7 のとおり、海岸局は崖の間際に

設置しており、その背後に山があること(図 6.1-18)や海上での船舶が同じ位置に停止し続けることが困難であったこと等の影響が考えられる。6.1.3.2. 節にも示したとおり、反射波が複数到来することで、受信電力は数 dB のレベル差が生じることは十分考えられることであり、その差に合わせて結果的に DU 比も連動したものと考えられる。また、実証試験結果の受信電力と補正後の机上検討結果の受信電力の差(3.6 dB)と、離隔距離の差(90 m)の関係性は、図 6.3-4 の近似式 1 と同傾向であり、受信電力の差(3.6 dB)が距離の差(90 m)にも現れていることを示している。以上のことから、DU 比の差は実証試験において十分起こり得ることから、離隔距離の差が生じることについても同様に想定されると判断した。



図 6.3-7 海岸局の近距離時の測定環境

以上のことから隣接チャンネル干渉検討における補正後の机上検討結果の妥当性を実証試験にて確認することができた。

6.3.2.3. スケルチオープン測定検討

6.3.1.3. 節のとおり、スケルチオープン電力及び離隔距離共に実証試験結果と補正後の机上検討結果がほぼ同様の結果であり、スケルチが開いた場合にも同様に妨害波によるノイズ音が可聴であることを確認した。以上のことから、スケルチオープン測定検討における補正後の机上検討結果の妥当性を実証試験にて確認することができた。

6.4. 実証試験まとめ

補正後の机上検討結果には、5.1.2.4. 節の机上検討結果算出の際の諸元から送信出力やアンテナ高を補正した、表 6.1-2 及び表 6.1-3 の諸元を使用している。送信出力やアンテナ高及びケーブルロスの影響に対する諸元の補正は、6.1.3.1. 節の海上フィールド実証試験実施の事前調査における送信出力補正值の算出や 6.1.3.2. 節の送信出力の補正に伴う他の項目への影響に関する説明でも確認したように、ITU-R 勧告 P.526-13 の理論値の距離と受信電力の関係には

影響しない。このことから、補正後の机上検討結果から補正の影響を除くことで、5.1.2.4. 節の机上検討結果となることがわかる。

以上のことから、6.3.2. 節において実証試験結果から補正後の机上検討結果の妥当性を示したことにより、本実証試験の目的である 5.1.2.4. 節で示した机上検討結果も同様に妥当であることを確認した。

但し、本調査検討会で実施した実証試験のように、無線局の設置場所によっては周囲の構造物や地形等による伝搬環境の影響で受信レベルは変動する。そのため、実際に無線局を設置する際には、事前に周囲の伝搬環境の影響を考慮する必要がある。

また、本調査検討会での周波数共用検討においては、希望波の電力レベル値として、基準感度+30 dB の値を用いている。これは、5.1.2.3.3. 節に記載したとおり、海上通信において現行 FM システムとデジタルデータ通信間の周波数共用検討は初めての実施であり、まずは前例として陸上での検討で使用された値(+30 dB)を採択したためである。このため、詳細な海上での技術的条件を求めるためには別途干渉検討が必要と考えられる。

第7章 チャネル配置の検討

アナログ音声通信とデジタルデータ通信が同一チャネルで使用される場合は、机上検討の結果から、変調方式が $\pi/4$ QPSK の場合最低 8.05 km、変調方式が 16QAM の場合最低 7.93 km の離隔距離が必要である。また、船舶の長さが 250 m～300 m 級の船舶が停止するために要する距離は 3.75 km～6 km といわれており²⁰、船舶は停止するために要する距離をあけて運行している状況を想定すると、仮に 6 km の間隔をあけて通常航行しているとしても、離隔距離よりも近い距離で船舶が運行されていることになり共用は困難と考えられる。さらに、東京湾等の船舶の密集した地域では干渉環境がさらに悪化するものと想定され、干渉妨害は避けられない状況が予想される。

アナログ音声通信とデジタルデータ通信が隣接チャネルで使用される場合は、机上検討の結果から、変調方式が $\pi/4$ QPSK の場合最大 0.37 km、変調方式が 16QAM の場合最大 0.39 km の離隔距離が必要である。船舶の航行中にアナログ音声通信とデジタルデータ通信が隣接したチャネルを使用する場合、仮に 3.75 km の間隔しかあけずに通常航行しているとしても、十分な離隔距離がとれるため共用可能と考える。

以上から、まず、デジタルデータ通信のチャネルにおいて同一チャネル干渉を回避する場合のチャネル配置を検討する。

Ch.80, Ch.21, Ch.81 及び Ch.22 は最大 100 kHz に統合、Ch.23 及び Ch.83 は最大 50 kHz に統合するため、統合するチャネル数が少ない場合には、空いているチャネルでアナログシステムを使用できるケースも考えられる。しかし、既存の国際 VHF 機器に隣接チャネルの使用状況を判別して回避できる機能はないことから、Ch.80, Ch.21, Ch.81 及び Ch.22 と Ch.23 及び Ch.83 はアナログシステムで使用するチャネルとしては考慮しないこととする。

Ch.82, Ch.26 及び Ch.86 のうち、Ch.26 及び Ch.86 については、VDES チャネルであり、国際的に共通に利用するチャネルであることから、今後、SOLAS の改正を考慮した場合は、我が国独自で音声通信として利用することは条約締結国として好ましくない。

以上を考慮した場合、図 7-1 のとおりとなる。

アナログシステム

Ch. 番号					82							26	86
--------	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	----	----

デジタルシステム

Ch. 番号	80	21	81	22	23	83	24	84	25	85		
	←-----→				←-----→		←-----→					
	最大100 kHz幅で 使用				最大50 kHz 幅で使用		100 kHz幅で 使用					
	地域チャネルとしてデータ通信で利用						全世界的にデータ通信で利用					

図 7-1 同一チャネルを避けるとした場合のチャネル配置

²⁰ IMO の RESOLUTION MSC.137(76)を参照

この場合、Ch.82が残るが、音声通信で利用していた13チャンネルを集約して1チャンネルで利用させることは、船舶の航路通行のための重要な通信の混信を招くことが予測され、適切とはいえない。

以上から、実環境的に共用できるデジタルデータ通信の導入を行いつつ、既存の船舶の航路通行のための通信連絡を確保させるためには、当該用途の周波数を別の周波数帯に配置させることが適当と考えられる。配置にあたっては、船舶の航路通行のために利用される周波数の有効利用を図りつつ、他の周波数帯へ配置させることが必要である。よって、現在、無線通信規則付録第18号の海上移動業務のために割当てられている国際VHF帯の周波数内で、共用についての検討を行うこととした。

7.1. 調査の概要

無線通信規則付録第18号(WRC-15版)において海上移動業務のために割当てられている国際VHF帯の周波数は付録4のとおりである。

以降の節では、現在運用中の無線局の使用機器、割当周波数の状況及び利用頻度を考慮しつつ、割当周波数変更先を検討し候補を示す。

7.2. 割当周波数変更先の検討

(1) 検討対象配置先周波数について

付録4のうち現在、遭難・安全通信や港務通信等に使用されている周波数を除いて配置可能と考えられるチャンネルを選定することとした。割当周波数変更先については、現在運用中の無線局にて使用されている空中線共用器等の機器を考慮した場合、近接した周波数が好ましいこととなり、Ch.71-Ch.79が割当周波数変更先の候補として考えられる。

Ch.71-Ch.79の状況及び割当て可否については、以下のとおりである。

- ・ Ch.71及びCh.74は、外洋を航行する小型船舶が使用している。
- ・ Ch.72及びCh.73は、船舶相互間通信用として使用しており、陸船間通信用として使用することは好ましくないと考えられる。
- ・ Ch.75及びCh.76は、長距離AIS用としての国際分配がされており我が国独自としての周波数割当は困難である。
- ・ Ch.77は、全国共通波であり陸船間のみの利用として割当てし直すことは好ましくない。
- ・ Ch.78及びCh.79は、旅客定期航路事業等の陸船間通信として利用されており、海岸局及び船舶局とも免許の実績はあるものの局数は非常に少ない(Ch.79を使用した海岸局はない。)。また、Ch.78及びCh.79は、WRC-15においてCh.19及びCh.20と同様、単信方式の利用に限定する条件が解除されたため、国際航海に従事する船舶に限定した割当てを解除すれば使用は可能と考えられ、Ch.78及びCh.79の使用は可能と考える。

しかし、上記によると2チャンネルしか確保できないため、周波数変更先が必要と考えられるチャンネル数が、最低6チャンネル(港務通信で多くの海岸局及び船舶局が使用しているCh.21及びCh.22、

旅客定期航路事業用として利用されている Ch.80、Ch.82 及び Ch.84、小型船舶唯一の陸船間波である Ch.86)であることを考慮すれば、他のチャンネルを選定する必要がある。よって、周波数は離調することとなるが海岸局としての割当て実績のない Ch.1-Ch.8(Ch.6 を除く。)及び Ch.60-Ch.68 に対して国際 VHF の利用状況を調査した総務省のトラヒック調査資料(付録 5 を参照)を参考に周波数の利用頻度について検証することとした。

(2) 周波数の利用頻度の検証について

(ア) 検証の概要

本調査検討会では、総務省のトラヒック調査資料のチャンネルの使用頻度判定を基に、割当周波数変更先の候補の選定を行った。

トラヒック調査資料は、代表的な港湾においてチャンネル毎に通話がどの程度行われているかを受信入力端末電圧や受信回数から判定し、トラヒック量の多少をまとめている。本調査検討会で使用した資料は付録 5 にあり、概要は以下のとおりである。

- ・ 受信最大入力端末電圧が低いものは、通話以外の雑音を拾っている可能性もあることを考慮する必要があるため、船舶相互間通信として全国的にトラヒックの高い Ch.6 (156.3 MHz)の測定値を参考として通話状況にあるかどうかを見極めている。
- ・ 陸船間通信用周波数を外国船において船舶相互間通信で使用している可能性があり、受信回数が平均的に低いものは外国船が船舶相互間で通信していることを考慮し、検証を実施している。
- ・ 以下を考慮して通話状況にあるかを判定し、チャンネルの使用頻度判定を行っている。
 - ① 受信最大入力端末電圧が 30 dB μ V 以上の場合は、通話している可能性があるともみならず。(平均的には 46.4 dB μ V であるが、マージンを考慮して 30 dB μ V とした)
 - ② 受信回数(受信入力端末電圧が 30 dB μ V 以上に係らず、入感があった場合を 1 回の受信とみなした場合の回数)が 30 回以上のものは、通話している可能性があるともみならず。

(イ) 検証結果

トラヒック調査資料の「表 付録 5-1 船舶局周波数の判定」及び「表 付録 5-2 海岸局周波数の判定」からトラヒック量の多少を基準に割当周波数変更先の候補の検証を行った。

初めに、トラヒック量が低いと判定されている以下の周波数(表 付録 5-1 及び表 付録 5-2 の判定列が「○」となる周波数)については割当周波数変更先の候補となる。

- ・ 船舶局周波数 : Ch.1 (156.050 MHz) - Ch.3 (156.150 MHz)、Ch.60 (156.025 MHz) - Ch.63 (156.175 MHz) 及び Ch.65 (156.275 MHz)
- ・ 海岸局周波数 : Ch.1 (160.650 MHz) - Ch.5 (160.850 MHz)、Ch.7 (160.950 MHz) 及び Ch.60 (160.625 MHz) - Ch.66 (160.925 MHz)

次にトラヒック量が高い又は若干のトラヒック量がある周波数(表 付録 5-1 及び表 付録 5-2 の判定列が「×」又は「△」となる周波数)について検証した結果を以下に示す。

表 付録 5-1 の船舶局に割当てられた周波数では、単信方式の周波数帯である Ch.67(156.375 MHz)、Ch.8(156.400 MHz)及び Ch.68(156.425 MHz)においてトラヒックが高くなっている(表 付録 5-1 の判定列が「×」の周波数を参照)ため、割当周波数変更先の候補としては適さない。

これは、以下の事が要因として考えられる。

- ・ 国際航海に従事しない船舶局の周波数割当てが Ch.8(156.400 MHz)–Ch.14(156.700 MHz)である
- ・ Ch.67(156.375 MHz)及び Ch.8(156.400 MHz)については、船舶相互間通信として使用できる

また、Ch.4(156.200 MHz)、Ch.64(156.225 MHz)、Ch.5(156.250 MHz)、Ch.66(156.325 MHz)及び Ch.7(156.350 MHz)については若干の入感はある(表 付録 5-1 の判定列が「△」の周波数を参照)ものの受信レベルは高くない又は受信レベルは高くても頻度は少ないと判断でき、割当周波数変更先の候補としても支障ないものと推測される。

表 付録 5-2 の海岸局に割当てられた周波数では、単信方式の周波数帯である Ch.67(156.375 MHz)、Ch.8(156.400 MHz)及び Ch.68(156.425 MHz)においてトラヒックが上がっている(表 付録 5-2 の判定列が「×」の周波数を参照)ため、割当周波数変更先の候補としては適さない。

これは、以下の事が要因として考えられる。

- ・ Ch.67(156.375 MHz)及び Ch.8(156.400 MHz)は、国内において海岸局への割当て実績は殆どないものの船舶相互間通信用として使用できることから、船舶間相互通信に使用されているためにトラヒックが増加したものと推測される。

以上のことから、トラヒック調査資料のトラヒック量が低い又は若干のトラヒック量がある周波数(表 付録 5-1 及び表 付録 5-2 の判定列が「○」又は「△」となる周波数)のチャンネルについては、割当周波数変更先の候補となる。

7.3. 割当周波数変更先の候補

(1) チャンネル配置

「7.2. 割当周波数変更先の検討」での検討結果から、割当周波数変更先の候補としては、実績のある Ch.78 及び Ch.79 に加え、Ch.1–Ch.5、Ch.7、Ch.60–Ch.66 が適しているものと推測される。

以上から、割当周波数変更先の候補は、表 7.3-1 の案が適当と考えられる。赤枠が変更対象の周波数、青枠が変更先の候補となる周波数である。

表 7.3-1 割当周波数変更先の候補(案)

チャンネル 番号	送信周波数(MHz)		チャンネル 番号	送信周波数(MHz)	
	船舶局	海岸局		船舶局	海岸局
60	156.025	160.625	17	156.850	156.850
01	156.050	160.650	77	156.875	
61	156.075	160.675	18	156.900	161.500
02	156.100	160.700	78	156.925	161.525
62	156.125	160.725	1078	156.925	156.925
03	156.150	160.750	2078	161.525	161.525
63	156.175	160.775	19	156.950	161.550
04	156.200	160.800	1019	156.950	156.950
64	156.225	160.825	2019	161.550	161.550
05	156.250	160.850	79	156.975	161.575
65	156.275	160.875	1079	156.975	156.975
06	156.300		2079	161.575	161.575
2006	160.900	160.900	20	157.000	161.600
66	156.325	160.925	1020	157.000	157.000
07	156.350	160.950	2020	161.600	161.600
67	156.375	156.375	80	157.025	161.625
08	156.400		21	157.050	161.650
68	156.425	156.425	81	157.075	161.675
09	156.450	156.450	22	157.100	161.700
69	156.475	156.475	82	157.125	161.725
10	156.500	156.500	23	157.150	161.750
70	156.525	156.525	83	157.175	161.775
11	156.550	156.550	24	157.200	161.800
71	156.575	156.575	84	157.225	161.825
12	156.600	156.600	25	157.250	161.850
72	156.625		85	157.275	161.875
13	156.650	156.650	26	157.300	161.900
73	156.675	156.675	86	157.325	161.925
14	156.700	156.700	27	157.350	161.950
74	156.725	156.725	87	157.375	157.375
15	156.750	156.750	28	157.400	162.000
75	156.775	156.775	88	157.425	157.425
16	156.800	156.800	AIS 1	161.975	161.975
76	156.825	156.825	AIS 2	162.025	162.025

変更先の候補となる
周波数

変更対象の周波数

(2) 留意点

「表 7.3-1 割当周波数変更先の候補(案)」において記載されている割当周波数変更先の候補(青枠)を採用した場合、以下の点を考慮し周波数割当を選定することが望ましい。

- ・ 現在の割当周波数からの離調を考慮すると、Ch.80-Ch.86 及び Ch.21-Ch.26 に近い周波数が好ましいため、一番近い Ch.78 及び Ch.79 を優先的に割当てるとしつつも、Ch.7 から順次割当てていく
- ・ Ch.78 及び Ch.79 は、既存局の影響を最大限考慮して利用する
- ・ Ch.1-Ch.5, Ch.7, Ch.60-Ch.66 の割当ては、他の無線局との混信を十分考慮し、無線設備の設置箇所及び空中線高の調査を行い、最適な周波数割当を選定する

第8章 周波数共用のための技術的条件

8.1. 国際 VHF 海上無線設備

国際 VHF 海上無線設備について、第 4 章で述べた技術的条件及び第 5 章で机上検討結果から求めた周波数共用条件について示す。

8.1.1. 技術的条件

VDE について、ITU-R 勧告 M.1842-1 にて定められた地域チャンネル、ITU-R 勧告 M.2092-0 にて定められた全世界的に利用するチャンネルそれぞれの技術的条件について帯域幅毎に示す。

8.1.1.1. 地域チャンネル

地域チャンネルを使用する VDE の国際規格について、表 8.1-1 に示す。

表 8.1-1 地域チャンネルを使用する VDE の国際規格

送信帯域幅	25 kHz		50 kHz	100 kHz
変調方式	$\pi/4$ DQPSK $\pi/8$ D8PSK	4level GMSK	16QAM (16 multi carriers)	16QAM (32 multi carriers)
電波の型式	G1D	F1D	D7D	D7D
周波数[MHz]	船舶局:157.025 - 157.175、海岸局:161.625 - 161.775 (Ch.80, Ch.21, Ch.81, Ch.22, Ch.82, Ch.23 及び Ch.83) (図 4.1-1 の「地域チャンネルとしてデータ通信で利用」のチャンネル)			
空中線電力(※)	船舶局:25 W 以下、海岸局:50 W 以下			

※勧告原文では Carrier power と表記

地域チャンネルを使用する VDE の送受信機のパラメータについて、表 8.1-2 に示す。

表 8.1-2 地域チャンネルを使用する VDE の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		25 kHz	50 kHz	100 kHz
送信機	隣接チャンネル電力(※)	—	-23 dBm 以下 (上下の 25 kHz チャンネルに対する電力)	-23 dBm 以下 (上下の 25 kHz チャンネルに対する電力)
	隣接チャンネル電力比(※)	最低 70 dB	—	—
受信機	隣接チャンネル選択度	最低 70 dB		
	感度	船舶局:-107 dBm 海岸局:-107 dBm	船舶局:-103 dBm 海岸局:-106 dBm	船舶局:-98 dBm 海岸局:-103 dBm

※隣接チャンネル電力(比)は 25 kHz と 50 kHz 及び 100 kHz で表現の仕方が異なっているが、勧告原文の表現に合わせて記載。

8.1.1.2. 全世界的に利用するチャンネル

全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE の国際規格について、表 8.1-3 に示す。

表 8.1-3 全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE の国際規格

送信帯域幅	25 kHz, 50 kHz, 100 kHz	
変調方式	$\pi/4$ QPSK, 8PSK	16QAM
電波の型式	G1D	D1D
周波数[MHz]	船舶局: 157.200 – 157.325、海岸局: 161.800 – 161.925 (Ch.24, Ch.84, Ch.25, Ch.85, Ch.26 及び Ch.86) (図 4.1-1 の「全世界的にデータ通信を利用」のチャンネル)	
空中線電力(※)	船舶局: 1–25 W、海岸局: 12.5–50 W	

※勧告原文では Transmit average power と表記

全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE の送受信機のパラメータについて、表 8.1-4 に示す。

表 8.1-4 全世界的に利用するチャンネルを使用する VDE の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		25 kHz	50 kHz	100 kHz
送信機	隣接チャンネル電力	0 dBc ($ \Delta f_c < 12.5 \text{ kHz}$)	0 dBc ($ \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)	0 dBc ($ \Delta f_c < 50 \text{ kHz}$)
		–25 dBc ($12.5 \text{ kHz} < \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)	–25 dBc ($25 \text{ kHz} < \Delta f_c < 50 \text{ kHz}$)	–25 dBc ($50 \text{ kHz} < \Delta f_c < 100 \text{ kHz}$)
		–60 dBc ($25 \text{ kHz} < \Delta f_c < 75 \text{ kHz}$)	–60 dBc ($50 \text{ kHz} < \Delta f_c < 100 \text{ kHz}$)	–60 dBc ($100 \text{ kHz} < \Delta f_c < 150 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャンネル選択度	記載なし		
	感度	$\pi/4$ QPSK: –110 dBm 8PSK: –104 dBm 16QAM: –102 dBm	$\pi/4$ QPSK: –107 dBm 8PSK: –101 dBm 16QAM: –99 dBm	$\pi/4$ QPSK: –104 dBm 8PSK: –98 dBm 16QAM: –96 dBm

8.1.2. 周波数共用条件

第 5 章で求めた机上検討結果から、周波数共用条件として、同一チャンネル干渉検討、隣接チャンネル干渉検討及びスケルチオープン測定検討の離隔距離を示す。机上検討の諸元などについては 5.1.2. 節を参照。

8.1.2.1. 同一チャネル干渉検討

同一チャネル干渉検討における離隔距離を表 8.1-5 に示す。同一チャネル干渉検討においては、送信出力が 25 W で送信帯域幅が 25 kHz 幅の場合は 8.50 km～12.6 km、100 kHz の場合は 7.93 km～8.30 km の離隔距離を確保する必要がある。送信出力が 50 W で、送信帯域幅が 25 kHz 幅の場合は 10.68 km～14.65 km、100 kHz の場合は 10.13 km～10.44 km の離隔距離を確保する必要がある。

表 8.1-5 同一チャネル干渉検討の離隔距離 [km]

送信出力 [W]	測定周波数 [MHz]	変調方式(上段)、帯域幅 [kHz](中段)及び中心周波数差 [kHz](下段)								
		$\pi/4$ QPSK			8PSK			16QAM		
		25		100	25		100	25		100
		12.5	0	12.5	12.5	0	12.5	12.5	0	12.5
25	157.150	8.82	11.97	8.3	8.82	11.88	8.24	8.69	12.6	7.93
	161.750	8.56	11.51	8.05	8.56	11.69	8.18	8.50	11.69	8.30
50	161.750	10.76	14.43	10.13	10.76	14.65	10.28	10.68	14.65	10.44

8.1.2.2. 隣接チャネル干渉検討

隣接チャネル干渉検討における離隔距離を表 8.1-6 に示す。隣接チャネル干渉検討においては、送信出力が 25 W で送信帯域幅が 25 kHz 幅の場合は 0.21 km～0.39 km、100 kHz の場合は 0.33 km～0.37 km の離隔距離を確保する必要がある。送信出力が 50 W で、送信帯域幅が 25 kHz 幅の場合は 0.26 km～0.43 km、100 kHz の場合は 0.39 km～0.41 km の離隔距離を確保する必要がある。

表 8.1-6 隣接チャネル干渉検討の離隔距離 [km]

送信出力 [W]	測定周波数 [MHz]	変調方式(上段)、帯域幅 [kHz](中段)及び中心周波数差 [kHz](下段)								
		$\pi/4$ QPSK			8PSK			16QAM		
		25		100	25		100	25		100
		37.5	25	62.5	37.5	25	62.5	37.5	25	62.5
25	157.125	0.28	0.37	0.33	0.28	0.37	0.33	0.30	0.21	0.34
	161.725	0.24	0.36	0.35	0.24	0.36	0.35	0.21	0.39	0.37
50	161.725	0.30	0.41	0.40	0.30	0.41	0.39	0.26	0.43	0.41

8.1.2.3. スケルチオープン測定検討

スケルチオープン測定検討における離隔距離を表 8.1-7、表 8.1-8、表 8.1-9 及び表 8.1-10 に示す。スケルチオープン測定検討においては、中心周波数差が 12.5 kHz の場合、送信出力が 25 W で送信帯域幅が 25 kHz の場合は 46.89 km～52.75 km、送信出力が 50 W で送信帯域幅が 25 kHz の場合は 52.00 km～55.56 km の離隔距離を確保する必要があるが、送信出力が 25 W 及び 50 W で送信帯域幅が 100 kHz の場合はスケルチが開くことはなかった。中心周波数差が 37.5 kHz の場合、送信出力及び送信帯域幅によらずスケルチが開くことはなかった。中心周波数

差が 0 kHz の場合、変調方式が $\pi/4$ QPSK では送信出力が 25 W で送信帯域幅が 25 kHz の場合は 2.37 km~2.54 km、送信出力が 50 W で送信帯域幅が 25 kHz の場合は 2.87 km の離隔距離を確保する必要があるが、変調方式が 8PSK 及び 16QAM の場合はスケルチが開くことはなかった。中心周波数差が 25 kHz の場合、変調方式が $\pi/4$ QPSK 及び 8PSK では送信出力が 25 W で送信帯域幅が 25 kHz の場合は 0.25 km~0.35 km、送信出力が 50 W で送信帯域幅が 25 kHz の場合は 0.30 km~0.40 km の離隔距離を確保する必要があるが、変調方式が 16QAM の場合はスケルチが開くことはなかった。

表 8.1-7 スケルチオープン測定検討の離隔距離 [km](12.5 kHz 離れ)

送信出力 [W]	測定周波数 [MHz]	変調方式(上段)、帯域幅 [kHz](中段)及び中心周波数差 [kHz](下段)					
		$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25	100	25	100	25	100
25	157.150	52.75	—	52.75	—	47.59	—
	161.750	50.30	—	48.60	—	46.89	—
50	161.750	55.56	—	53.70	—	52.00	—

※「—」はスケルチオープンなし。

表 8.1-8 スケルチオープン測定検討の離隔距離 [km](37.5 kHz 離れ)

送信出力 [W]	測定周波数 [MHz]	変調方式(上段)、帯域幅 [kHz](中段)及び中心周波数差 [kHz](下段)					
		$\pi/4$ QPSK		8PSK		16QAM	
		25	100	25	100	25	100
25	157.125	—	—	—	—	—	—
	161.725	—	—	—	—	—	—
50	161.750	—	—	—	—	—	—

※「—」はスケルチオープンなし。

表 8.1-9 スケルチオープン測定検討の離隔距離 [km](0 kHz 離れ)

送信出力 [W]	測定周波数 [MHz]	変調方式(上段)、帯域幅 [kHz](中段)及び中心周波数差 [kHz](下段)		
		$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM
		25	25	25
25	157.125	2.54	—	—
	161.725	2.37	—	—
50	161.725	2.87	—	—

※「—」はスケルチオープンなし。

表 8.1-10 スケルチオープン測定検討の離隔距離 [km](25 kHz 離れ)

送信出力 [W]	測定周波数 [MHz]	変調方式(上段)、帯域幅 [kHz](中段)及び中心周波数差 [kHz](下段)		
		$\pi/4$ QPSK	8PSK	16QAM
		25	25	25
25	157.125	0.35	0.25	—
	161.725	0.35	0.25	—
50	161.725	0.40	0.30	—

※「—」はスケルチオープンなし。

8.2. 400 MHz 帯船上通信設備

400 MHz 帯船上通信設備について、第 4 章で述べた技術的条件及び第 5 章で机上検討結果から求めた周波数共用条件について示す。

8.2.1. 技術的条件

デジタルシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備について、ITU-R 勧告 M.1174-3 及び ETSI EN 300 720 にて定められた技術的条件について帯域幅毎に表 8.2-1 及び表 8.2-2 示す。

表 8.2-1 デジタルシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備の国際規格

送信帯域幅	12.5 kHz, 6.25 kHz
変調方式	4 値 FSK
電波の型式	F1E
周波数	表 4.1-7 のデジタルシステム用チャンネル
空中線電力(※)	2 W 以下

※勧告原文では ERP(Effective Radiation Power)と表記

表 8.2-2 デジタルシステムを使用する 400 MHz 帯船上通信設備の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		6.25 kHz
送信機	隣接チャンネル電力	実効電力より 60 dB 低い値を超えないレベル
受信機	隣接チャンネル選択度	基地局装置: 60 dB 据置型: 54 dB 携帯機: 50 dB ビット誤り率= 10^{-2} となるレベルもしくは、メッセージ成功率=80%となるレベル
	感度	6 dB μ V 以下 ビット誤り率= 10^{-2} となるレベルもしくは、メッセージ成功率=80%となるレベル

8.2.2. 周波数共用条件

第5章で求めた机上検討結果から、周波数共用条件として、同一チャンネル干渉検討、隣接チャンネル干渉検討の離隔距離を示す。机上検討の諸元などについては5.2.2. 節を参照。

8.2.2.1. 同一チャンネル干渉検討

同一チャンネル干渉検討の離隔距離を表8.2-3、表8.2-4に示す。アナログシステムに対するデジタルシステムの干渉においては、デジタルシステムの送信帯域幅が6.25 kHz幅の場合は船舶間では1.9 km～2.7 km、陸船間では1.5 km～2.2 km、デジタルシステムの送信帯域幅が12.5 kHzの場合は船舶間では2.3 km～2.7 km、陸船間では1.8 km～2.2 kmの離隔距離を確保する必要がある。デジタルシステムに対するアナログシステムの干渉においては、デジタルシステムの送信帯域幅が6.25 kHz幅の場合も12.5 kHzの場合も船舶間では4.6 km、陸船間では3.6 kmの離隔距離を確保する必要がある。

表 8.2-3 同一チャンネル干渉検討(船舶間)の離隔距離 [km]

妨害波 / 希望波		FM	4 値 FSK						
		25 kHz	6.25 kHz				12.5 kHz		
		1 波	1 波	2 波	3 波	4 波	1 波	2 波	3 波
FM	25 kHz	—	1.93	2.30	2.54	2.73	2.30	2.54	2.73
4 値 FSK	6.25 kHz	4.59	—	—	—	—	—	—	—
	12.5 kHz	4.59	—	—	—	—	—	—	—

表 8.2-4 同一チャンネル干渉検討(陸船間)の離隔距離 [km]

妨害波 / 希望波		FM	4 値 FSK						
		25 kHz	6.25 kHz				12.5 kHz		
		1 波	1 波	2 波	3 波	4 波	1 波	2 波	3 波
FM	25 kHz	—	1.53	1.82	2.01	2.16	1.82	2.01	2.16
4 値 FSK	6.25 kHz	3.63	—	—	—	—	—	—	—
	12.5 kHz	3.63	—	—	—	—	—	—	—

8.2.2.2. 隣接チャンネル干渉検討

5.2.3.2. 隣接チャンネル干渉検討の結果から、隣接チャンネル干渉検討においては、周波数共用に問題ないことを確認した。

第9章 まとめ

第8章において国際 VHF 海上無線設備及び 400 MHz 帯船上通信設備の周波数共用のための技術的条件を示した。一方、実際には、周波数共用条件に合致しない利用環境であるケースが想定されるため、さらに実環境における周波数を有効に活用するための対応策について検討を行い、海上通信システムの新たな利用における周波数共用のための技術的条件のまとめとする。

9.1. 国際 VHF 海上無線設備

8.1.2. 節で記した離隔距離を確保することで、周波数共用が可能なが確認できた。しかし、第7章に示したとおり、現在の船舶の航行状況から実際に離隔距離を常に確保することは困難である。そこで、周波数有効利用の観点から他の周波数を利用することなく、現在、港務通信等に使用されている利用環境を維持するためには、第7章で述べたとおり、国際 VHF 帯の周波数内で割当周波数を見直す方法が妥当であると考え。本調査検討で検討した割当周波数変更先の検討結果については表 9.1-1 及び表 9.1-2 のとおりであり(詳細は第7章を参照)、割当周波数を見直す場合は、7.3. 節の(2)留意点に記載した点を考慮し、表 9.1-1 及び表 9.1-2 を参考とすることが望ましい。

表 9.1-1 変更対象の周波数と近接した周波数(Ch.71-Ch.79)の検討結果

チャンネル	検討	検討結果(※)
Ch.71 及び Ch.74	外洋を航行する小型船舶が使用している。	×
Ch.72 及び Ch.73	船舶相互間通信用として使用しており、陸船間通信用として使用することは好ましくないと考えられる。	×
Ch.75 及び Ch.76	長距離 AIS 用としての国際分配がされており我が国独自としての周波数割当は困難である。	×
Ch.77	全国共通波であり陸船間のみの利用として割当てし直すことは好ましくない。	×
Ch.78 及び Ch.79	旅客定期航路事業等の陸船間通信として利用されており、海岸局及び船舶局とも免許の実績はあるものの局数は非常に少ない(Ch.79 を使用した海岸局はない。)。また、Ch.78 及び Ch.79 は、WRC-15 において Ch.19 及び Ch.20 と同様、単信方式の利用に限定する条件が解除されたため、国際航海に従事する船舶に限定した割当てを解除すれば使用は可能と考えられる。	○

※: ○: 変更先候補として適する、×: 変更先候補として適さない

表 9.1-2 トラヒック調査資料を参考に使用頻度について検証した結果

チャンネル	トラヒック調査資料の使用頻度判定(※1)		検討結果(※2)
	船舶局	海岸局	
Ch.60	○	○	○
Ch.1	○	○	○
Ch.61	○	○	○
Ch.2	○	○	○
Ch.62	○	○	○
Ch.3	○	○	○
Ch.63	○	○	○
Ch.4	△	○	○
Ch.64	△	○	○
Ch.5	△	○	○
Ch.65	○	○	○
Ch.66	△	○	○
Ch.7	△	○	○
Ch.67	×	×	×
Ch.8	×	×	×
Ch.68	×	×	×

※1: ○:トラヒック量低い、△:若干のトラヒック量はあるものの影響は少ない、×:トラヒック量高い

※2: ○:変更先候補として適する、×:変更先候補として適さない

9.2. 400 MHz 帯船上通信設備

4.2.2. 節で示したとおり、国際的にはアナログシステムとデジタルシステムを共用することが認められているものの、我が国においては、湾内地域で水先業務や港湾管理用等で利用するケースがあり、運用者が同一でなく無線局間の干渉妨害が生じるケースが考えられる。

これらの対応策として、技術面及び運用面における対策案を示す。

・ 技術面での対策案

ITU-R 勧告 M.1174-3 では、従来の 25 kHz アナログシステムも継続して使用することができ、混信防止のために表 9.2-1 の技術の利用が勧告されている。

表 9.2-1 ITU-R 勧告 M.1174-3 で勧告された技術

システム	勧告された技術	効果
アナログ	<ul style="list-style-type: none"> ・CTCSS (Continuous Tone Coded Squelch Systems) ・DCS (Digital Coded Squelch) 	これらの技術を使用することで、特定の相手方が送信する信号のみを受信することが可能となり、デジタルシステムからの混信による耳障りなノイズを抑えることが可能
デジタル	<ul style="list-style-type: none"> ・DCS (Digital Coded Squelch) 	この技術を使用することで、特定の相手方が送信する信号のみを受信することが可能
デジタル及びアナログ	<ul style="list-style-type: none"> ・LBT (Listen Before Talk) 	運用中チャンネルが使用中かどうかを検出し、そのチャンネルが空いている場合のみ送信可能とするため、干渉緩和技術として推奨

特に 457 MHz 帯で運用されているアナログシステムが多いため、457 MHz 帯でデジタルシステムを運用する場合は、デジタルシステムでの LBT(キャリアセンス)機能が有益と考える。

このほか、現在のアナログシステムでは事前に指定されたトーン周波数を使用した CTCSS (トーンスケルチ型選択呼出装置)の利用が認められているが、デジタルシステム導入による雑音回避のために、CTCSS を使用していない既存局にも CTCSS を容易に導入できるようにすることが望ましい。

以上のことを考慮し、アナログシステムとデジタルシステムの共用を進めることが望ましい。

・ 運用面での対策案

8.2.2 節のとおり、アナログシステムとデジタルシステムの共用のためには離隔距離を確保する必要があるが、我が国においては、湾内地域で水先業務や港湾管理用等で利用するケースがあり、運用者が同一でなく無線局間の干渉妨害が生じるケースが考えられる。そのため運用者が離隔距離に関して十分理解して運用するなどのガイドライン等を策定することが望ましい。

おわりに

本調査検討会では、国際 VHF 海上無線設備においては、VDE 及び VDES の導入に当たって音声通信との周波数共用条件等の技術的条件及び適正なチャンネル配置について、400 MHz 帯船上通信設備においては、アナログシステムとデジタルシステムとの周波数共用のための技術的条件について調査検討を行った。

第 9 章掲記のとおり、予定した検討項目についての検討がなされたものであり、今後本報告書が国際 VHF 海上無線設備及び 400 MHz 帯船上通信設備の技術的条件の策定に有効に利用されることを期待する。

最後に、本調査検討会にご参加を賜り、貴重なご意見ならびに検討、審議をいただいた構成員及びワーキンググループの構成員、実証試験にご協力いただいた愛媛県越智郡上島町 弓削総合支所の皆様、独立行政法人国立高等専門学校機構弓削商船高等専門学校の皆様に深甚なる感謝の意を表します。

付録1. 調査検討会における実施体制と審議経過

体制図を図 付録 1-1 に示す。調査検討会の構成員を表 付録 1-1 に、ワーキンググループの構成員を表 付録 1-2 に示す。

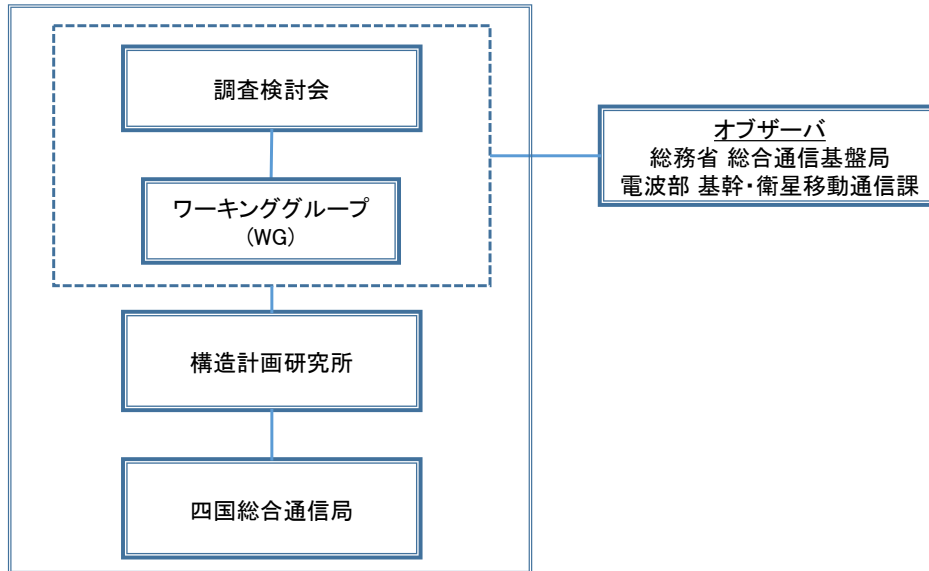


図 付録 1-1 実施体制

表 付録 1-1 調査検討会 構成員

(五十音順、敬称略)

	氏名	所属・役職
座長	生越 重章	国立大学法人香川大学 工学部電子・情報工学科 教授
副座長	長尾 和彦	独立行政法人国立高等専門学校機構弓削商船高等専門学校 情報工学科 教授
委員	今田 吉彦	日本無線株式会社 技術本部 商品設計部船用機器グループ 課長
委員	川久保 盛二	八重洲無線株式会社 第3技術部 執行役員
委員	桑鶴 忠良	総務省四国総合通信局 無線通信部 部長
委員	櫻井 稔	アイコム株式会社 ソリューション事業部 参事
委員	田北 順二	一般社団法人全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長
委員	中川 裕康	古野電気株式会社 船用機器事業部 営業企画部 営業開発課 担当課長
委員	前川 友孝	海上保安庁第六管区海上保安本部 総務部 情報管理官
委員	町田 吉謙	ヤマハ発動機株式会社 マリン事業本部マーケティング統括部 第2マーケティング部 西日本部品営業所 中四国販売課 課長
委員	吉上 勝典	四国開発フェリー株式会社 運航管理者
委員	吉田 敏夫	東京計器株式会社 今治営業所 営業所長
オブザーバ	総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課	
事務局	株式会社構造計画研究所	

表 付録 1-2 ワーキンググループ 構成員

(五十音順、敬称略)

	氏名	所属・役職
リーダー	田北 順二	一般社団法人全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長
メンバー	今田 吉彦	日本無線株式会社 技術本部 商品設計部船用機器グループ 課長
メンバー	川久保 盛二	八重洲無線株式会社 第3技術部 執行役員
メンバー	櫻井 稔	アイコム株式会社 ソリューション事業部 参事
メンバー	中川 裕康	古野電気株式会社 船用機器事業部 営業企画部 営業開発課 担当課長
メンバー	吉田 敏夫	東京計器株式会社 今治営業所 営業所長
オブザーバ	総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課	
事務局	株式会社構造計画研究所	

調査検討会の開催時期は以下のとおりであった。

- 第1回： 平成28年6月17日(金)13時30分～15時30分
場所:ホテルサンルート松山 芙蓉の間(北)
座長、副座長選任を行い、調査検討方針、実施体制を確認した。
- 第2回： 平成28年10月17日(月)13時30分～15時30分
場所:ホテルサンルート松山 芙蓉の間(北)
第1回、第2回ワーキンググループの議事結果の報告を行った。
- 第3回： 平成29年3月10日(金)13時30分～15時30分
場所:ホテルサンルート松山 芙蓉の間(北)
報告書の最終確認を行った。

ワーキンググループの開催時期は以下のとおりであった。

- 第1回： 平成28年7月27日(水)10時00分～11時50分
場所:株式会社 構造計画研究所 本所新館 B1F
机上における干渉検討の方針、実証試験概要の検討を行った。
- 第2回： 平成28年9月15日(木)15時00分～16時40分
場所:株式会社 構造計画研究所 本所新館 B1F
机上における干渉検討の状況の報告、実証試験詳細の検討を行った。
- 第3回： 平成29年1月23日(月)15時00分～16時50分
場所:株式会社 構造計画研究所 本所新館 B1F
机上における干渉検討及び実証試験結果評価の報告、チャネル配置の検討
を行った。

付録2. 400 MHz 帯船上通信設備に関するアンケート

以下に 400 MHz 帯船上通信設備に関するアンケートの設問及び回答の一覧を記載する。

【Q1】 どのような用途の船舶又は港湾(さん橋、埠頭などを指します。以下同じ。)で 400 MHz 帯(UHF 帯)船上無線電話装置を利用していますか。また、それはどのような目的で利用していますか。(複数回答可)

【A1】

船上無線電話装置の利用状況は、以下のとおりであった。

すべての会社が船舶内で利用し、3 社が港湾内で利用していることから、港湾内で日本独自の利用もされていることが確認できた。

以下は、船上無線電話装置の利用会社数である。

	船舶内	港湾内
大手商船会社	3	1
フェリー会社	7	1
曳船事業会社	3	1
合計	13	3

以下が、船上無線電話装置を利用している船舶の用途をまとめたものである。

	船舶の用途
大手商船会社	コンテナ船、自動車船、バラ積船、タンカー、LNG 船、バルカー等
フェリー会社	長距離フェリー、旅客フェリー
曳船事業会社	曳船、島への社員・作業員の移送用交通船

そのうち以下のような利用目的であることが確認できた。

	利用目的
大手商船会社	出入港作業、荷役、船内作業、訓練、閉鎖区域入域時、非常時等
フェリー会社	操船支援(タグボート)、船内巡視、船内作業、荷役、訓練等
曳船事業会社	出入港(補助)作業、船内指示等

【Q2】 400 MHz 帯(UHF 帯)船上無線電話装置は、主に船舶内又は港湾内のどの場所での利用が多いですか。また、電波を遠くへ飛ばすために固定型の外部アンテナを設置した船舶又は港湾がありますか。(複数回答可)

【A2】

船上無線電話装置の利用場所は、以下のとおりであった。

グループに係らず、船舶内では広範囲で利用されており、港湾内では広範囲で利用することも考えられるが、アンケートの結果からは、さん橋、駐車場及び港湾内の船舶間などの比較的限定された場所で利用されていることが確認できた。

	船舶内	港湾内
大手商船会社	船内各所、電波の届くあらゆる場所	時と場所を問わず常時使用
フェリー会社	ブリッジ、デッキ、乗組員居住区、客室区画、機関室、操舵室	さん橋、駐車場
曳船事業会社	操舵室、ブリッジ、船尾、機関室	港湾内の船舶間

外部アンテナを設置して利用している会社数は以下のようになっており、半数以上は船舶内で外部アンテナを使用していた。なお、港湾内で外部アンテナを利用する会社はなかった。

	船舶内	港湾内
大手商船会社	2	0
フェリー会社	6	0
曳船事業会社	0	0
合計	8	0

【Q3】 ひとつの船舶内又は港湾内では、固定機、ハンディ(携帯)機はそれぞれおおよそ何台くらい利用していますか。

【A3】

以下は固定機及びハンディ機の船舶内及び港湾内でのおおよその利用台数である。

固定機よりもハンディ機が多く利用されており、乗組員が携帯して利用していることが確認できた。

	船舶内		港湾内	
	固定機	ハンディ機	固定機	ハンディ機
大手商船会社	0～3	10～30	0	0
フェリー会社	0～1	3～22	0	0～3
曳船事業会社	0	1～9	0	0～13

【Q4】 防爆型の 400 MHz 帯(UHF 帯)船上無線電話装置を利用していますか。

【A4】

以下は防爆型の 400 MHz 帯(UHF 帯)船上無線電話装置の利用会社数である。

船舶内では半数以上が利用しているものの、港湾内では 1 社しか使用しておらず、殆ど利用されていないようである。

	船舶内	港湾内
大手商船会社	3	0
フェリー会社	5	1
曳船事業会社	2	0
合計	10	1

【Q5】 通話距離を延ばすために、リピータ(400 MHz 帯(UHF 帯)船上通信の中継装置)を設置した船舶又は港湾はありますか。

【A5】

以下は船舶内、港湾内において通話距離を延ばすためのリピータの利用社数である。

船舶内、港湾内ともに数社しか使用しておらず、殆ど利用されていないようである。

	船舶内	港湾内
大手商船会社	2	1
フェリー会社	2	0
曳船事業会社	0	0
合計	4	1

【Q6】 ご利用の 400 MHz 帯(UHF 帯)船上無線電話装置は、どのチャンネルを使用していますか。
使用しているチャンネル全てに○をつけて下さい。

船舶内				港湾内			
1.	Ch.1	457.525 MHz		1.	Ch.1	457.525 MHz	
2.	Ch.2	457.550 MHz		2.	Ch.2	457.550 MHz	
3.	Ch.3	457.575 MHz		3.	Ch.3	457.575 MHz	
4.	Ch.4	467.525 MHz		4.	Ch.4	467.525 MHz	
5.	Ch.5	467.550 MHz		5.	Ch.5	467.550 MHz	
6.	Ch.6	467.575 MHz		6.	Ch.6	467.575 MHz	
7.	その他()			7.	その他()		
8.	不明			8.	不明		

【A6】

以下は各チャンネルの使用会社数である。

船舶内、港湾内共に Ch.1、Ch.2、Ch.3 が比較的多く使われており、Ch.4、Ch.5、Ch.6 は使われていない。

Ch.	船舶内							港湾内						
	1	2	3	4	5	6	その他	1	2	3	4	5	6	その他
大手商船会社	3	3	3	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
フェリー会社	7	6	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
曳船事業会社	3	3	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
合計	13	12	11	0	0	0	0	3	2	1	0	0	0	0

【Q6-1】 400 MHz 帯(UHF 帯)船上無線電話装置を用いて通信を行う場合、同時に同じエリアで何台ぐらい使用しますか。また、そこでは主に何チャンネルを使用していますか。

【A6-1】

以下は同エリアにおける同時使用台数と、その時の使用チャンネル数である。

同エリアで複数台が同一チャンネルまたはチャンネルを切り替えて使用しているが、そのうち 8 社は同一チャンネルで使用している。

	同時使用台数	使用チャンネル数
大手商船会社	4～15	1～3
フェリー会社	3～11	1～3
曳船事業会社	2～9	1～2

【Q6-2】複数台の 400 MHz 帯(UHF 帯) 船上無線電話装置を用いて通信を行う場合、すべて同一チャンネルで使用しますか。それとも、グループごとにチャンネルを分けて使用することがありますか。

1. 同一チャンネルを使用
2. グループごとにチャンネルを分けて使用
3. 状況に応じて、1, 2を組み合わせ使用

【A6-2】

以下は、複数台が通信する際にチャンネルをどのように使用しているかをまとめた表である。

表中の数値はそれぞれの会社数である。

大手商船会社は状況によりチャンネルを分けて使用しているが、フェリー会社と曳船事業会社の多くは同一チャンネルを使用し、チャンネルを分けて使用はしていない。

	1. 同一チャンネルを使用	2. グループごとにチャンネルを分けて使用	3. 状況に応じて、1, 2を組み合わせ使用
大手商船会社	0	1	2
フェリー会社	6	1	0
曳船事業会社	2	0	1

【Q7】 400 MHz 帯(UHF 帯) 船上無線電話装置ではどのような相手方との通信が多いですか。
(複数回答可)

【A7】

以下は通信の多い相手方の一覧である。

通信の相手方として多いのは自船・他船の乗組員であり、船舶内・船舶間のコミュニケーションとして使われているようである。

	通信の多い相手方
大手商船会社	自船内乗組員
フェリー会社	自船内乗組員、他船の乗組員、荷役業者
曳船事業会社	自船内乗組員、他船の乗組員、陸側施設

【Q8】 Q7の相手方とは、どのくらいの距離で通信をしていますか。

【A8】

以下は通信の相手方との距離である。

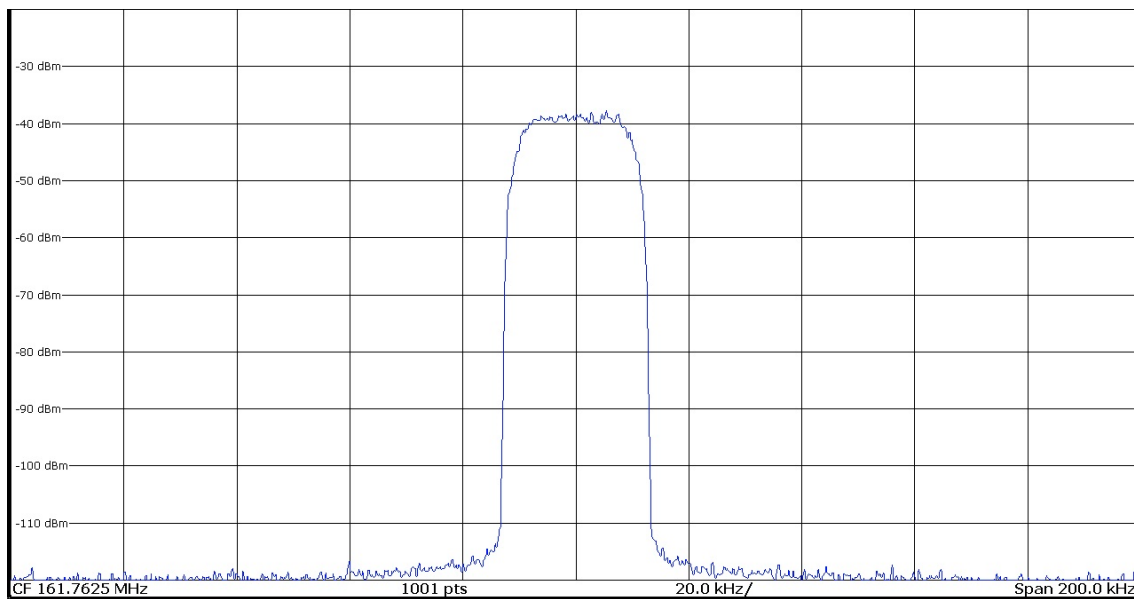
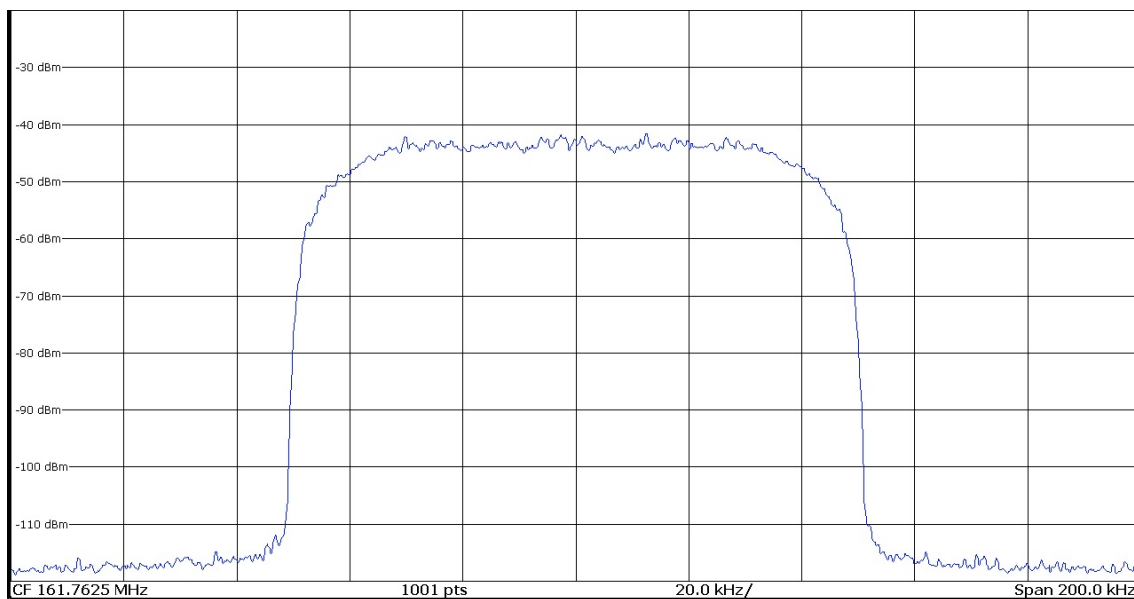
回答が多かった 200メートルを基準とし、それよりも近い距離、又はそれより遠い距離で通信している会社数をまとめている。両方の範囲で使用している会社は重複計上している。

200メートル以内ではすべての会社で通信しているが、200メートルを超える通信を行っているのはおよそ半分程度であった。

	200メートル以内	200メートル以遠
大手商船会社	3	3
フェリー会社	7	2
曳船事業会社	3	2
合計	13	7

付録3. 国際 VHF 海上無線設備の机上検討時に使用した妨害波の入力信号波形

妨害波入力信号波形を以下に示す。図番号の括弧内に周波数帯域幅を示す。

図 付録 3-1 $\pi/4$ QPSK(25 kHz)図 付録 3-2 $\pi/4$ QPSK(100 kHz)

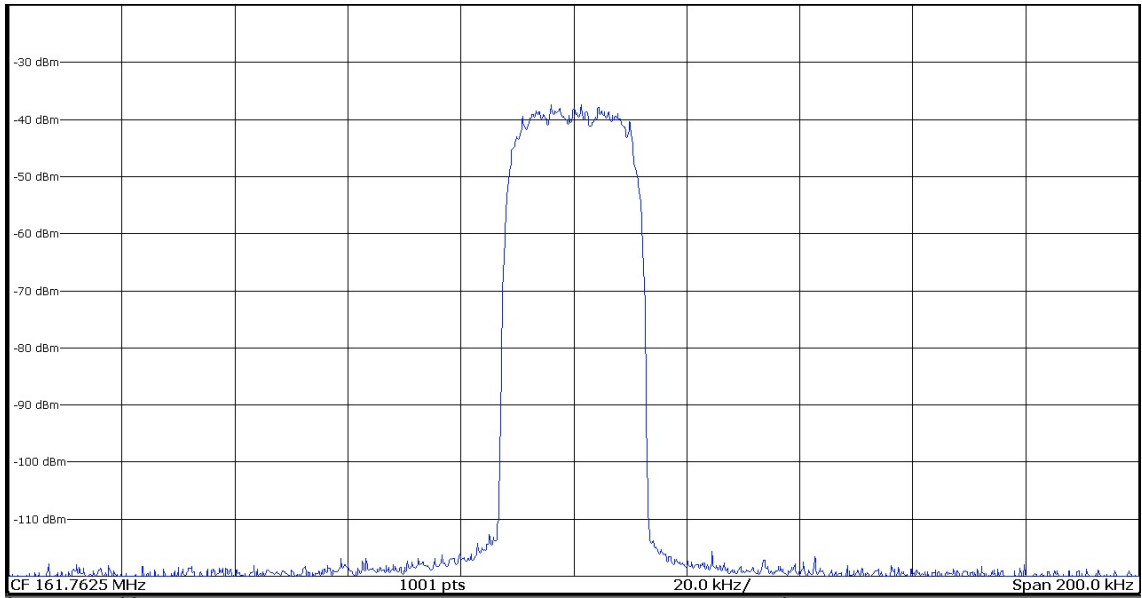


図 付録 3-3 8PSK(25 kHz)

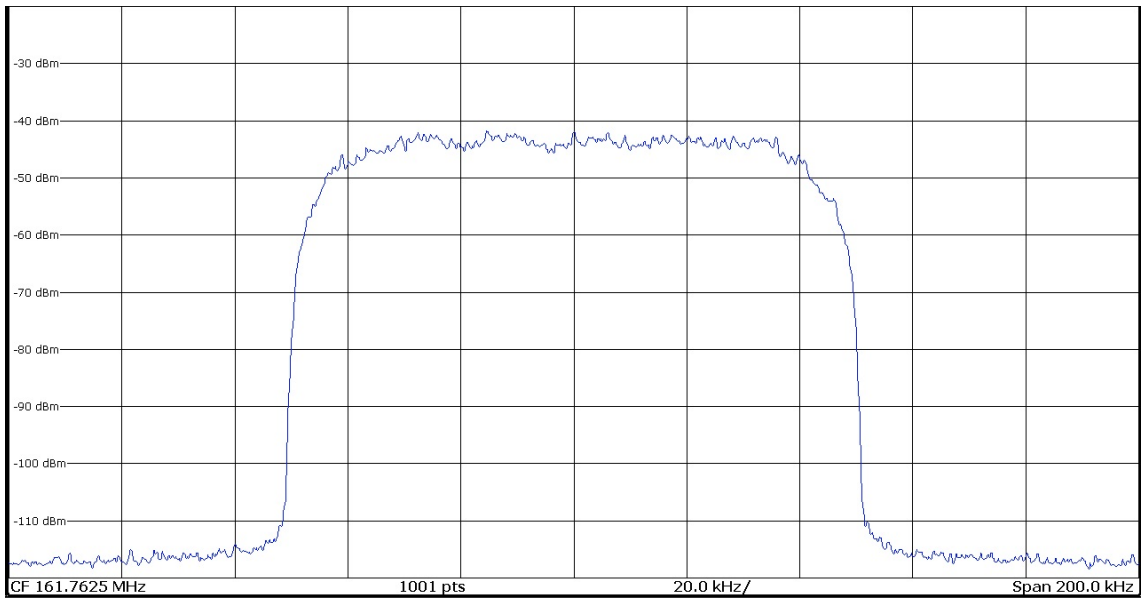


図 付録 3-4 8PSK(100 kHz)

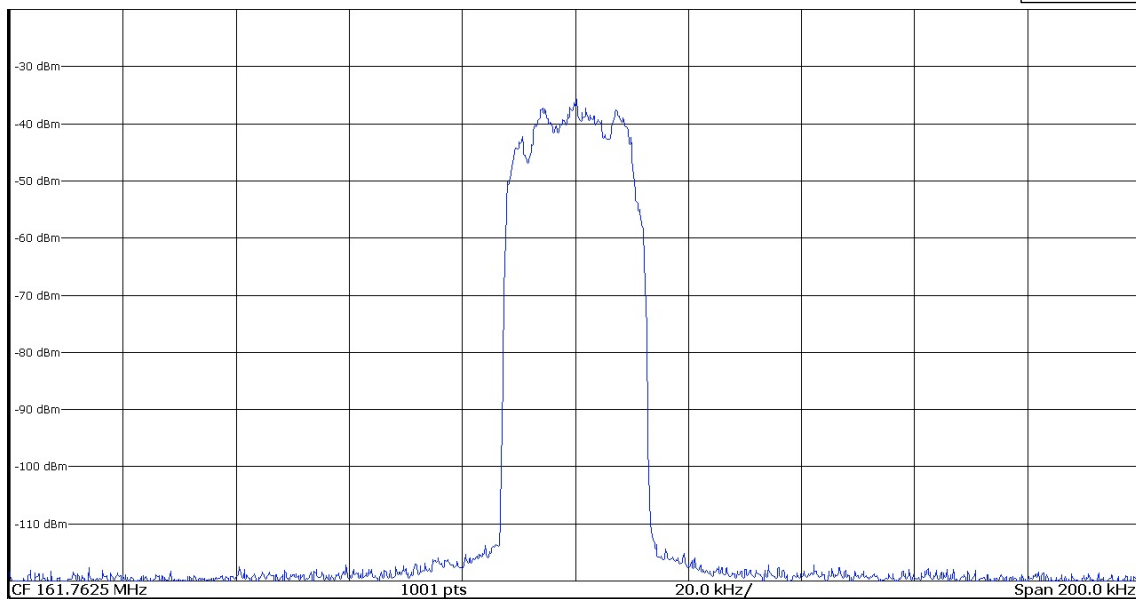


図 付録 3-5 16QAM(25 kHz)

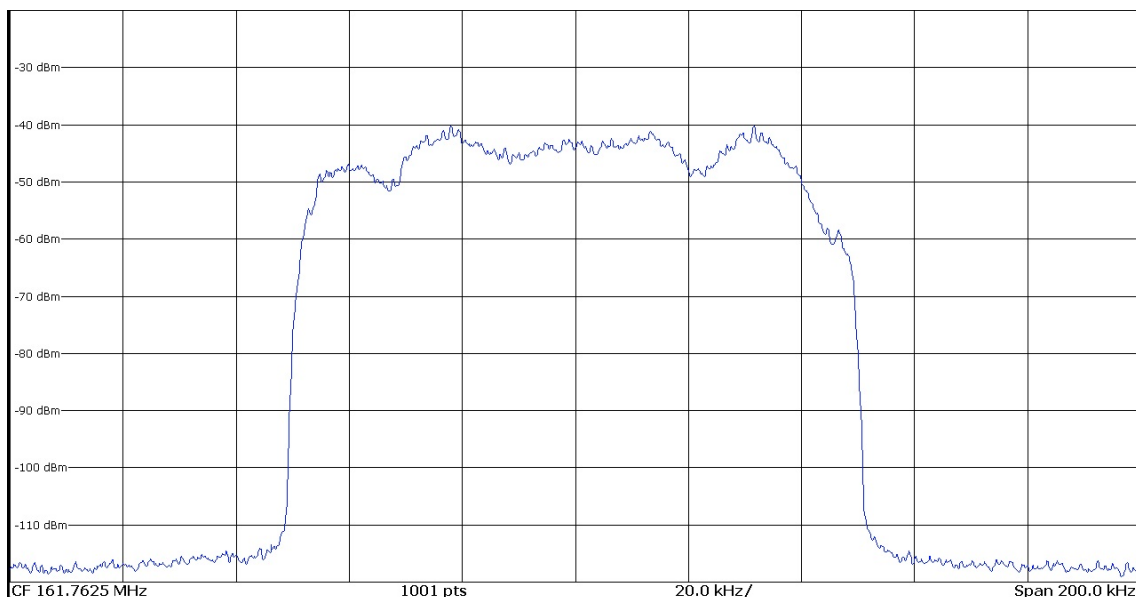


図 付録 3-6 16QAM(100 kHz)

付録4. 無線通信規則付録第 18 号 (WRC-15 版) の周波数表 (抜粋)

表 付録 4-1 無線通信規則付録第 18 号 (WRC-15 版) の周波数表 (抜粋)

Channel designator	Transmitting frequencies (MHz)		Inter-ship	Port operations and ship movement		Public correspondence
	From ship stations	From coast stations		Single frequency	Two frequency	
60	156.025	160.625		x	x	x
01	156.050	160.650		x	x	x
61	156.075	160.675		x	x	x
02	156.100	160.700		x	x	x
62	156.125	160.725		x	x	x
03	156.150	160.750		x	x	x
63	156.175	160.775		x	x	x
04	156.200	160.800		x	x	x
64	156.225	160.825		x	x	x
05	156.250	160.850		x	x	x
65	156.275	160.875		x	x	x
06	156.300		x			
2006	160.900	160.900				
66	156.325	160.925		x	x	x
07	156.350	160.950		x	x	x
67	156.375	156.375	x	x		
08	156.400		x			
68	156.425	156.425		x		
09	156.450	156.450	x	x		
69	156.475	156.475	x	x		
10	156.500	156.500	x	x		
70	156.525	156.525	Digital selective calling for distress, safety and calling			
11	156.550	156.550		x		
71	156.575	156.575		x		
12	156.600	156.600		x		
72	156.625		x			
13	156.650	156.650	x	x		
73	156.675	156.675	x	x		
14	156.700	156.700		x		
74	156.725	156.725		x		
15	156.750	156.750	x	x		

Channel designator	Transmitting frequencies (MHz)		Inter-ship	Port operations and ship movement		Public correspondence
	From ship stations	From coast stations		Single frequency	Two frequency	
75	156.775	156.775		x		
16	156.800	156.800	DISTRESS, SAFETY AND CALLING			
76	156.825	156.825		x		
17	156.850	156.850	x	x		
77	156.875		x			
18	156.900	161.500		x	x	x
78	156.925	161.525		x	x	x
1078	156.925	156.925		x		
2078		161.525		x		
19	156.950	161.550		x	x	x
1019	156.950	156.950		x		
2019		161.550		x		
79	156.975	161.575		x	x	x
1079	156.975	156.975		x		
2079		161.575		x		
20	157.000	161.600		x	x	x
1020	157.000	157.000		x		
2020		161.600		x		
80	157.025	161.625		x	x	x
21	157.050	161.650		x	x	x
81	157.075	161.675		x	x	x
22	157.100	161.700		x	x	x
82	157.125	161.725		x	x	x
23	157.150	161.750		x	x	x
83	157.175	161.775		x	x	x
24	157.200	161.800		x	x	x
1024	157.200					
2024	161.800	161.800	x (digital only)			
84	157.225	161.825		x	x	x
1084	157.225					
2084	161.825	161.825	x (digital only)			
25	157.250	161.850		x	x	x
1025	157.250					

Channel designator	Transmitting frequencies (MHz)		Inter-ship	Port operations and ship movement		Public correspondence
	From ship stations	From coast stations		Single frequency	Two frequency	
2025	161.850	161.850	x (digital only)			
85	157.275	161.875		x	x	x
1085	157.275					
2085	161.875	161.875	x (digital only)			
26	157.300	161.900		x	x	x
1026	157.300					
2026		161.900				
86	157.325	161.925		x	x	x
1086	157.325					
2086		161.925				
27	157.350	161.950			x	x
1027	157.350	157.350		x		
2027*	161.950	161.950				
87	157.375	157.375		x		
28	157.400	162.000			x	x
1028	157.400	157.400		x		
2028*	162.000	162.000				
88	157.425	157.425		x		
AIS 1	161.975	161.975				
AIS 2	162.025	162.025				

付録5.トラヒック調査資料

総務省から提供されたトラヒック調査資料について以下に示す。

(1) 調査概要

(ア) 調査地域

函館湾、小樽港、仙台湾、東京湾、名古屋湾、新潟湾、若狭湾、大阪湾、関門海峡、来島海峡、鹿児島湾、那覇港

(イ) 調査諸元

周波数 : 156 MHz～156.6 MHz, 160 MHz～161 MHz
(Ch.1-Ch.5, Ch.7-Ch.8, Ch.60-Ch.68)

ステップ幅 : 500 kHz

分解能 : 500 kHz

掃引間隔 : 10 秒

受信入力レベル : 受信入力端電圧 0 dB μ V (閾値)

(ウ) 調査日数

平成 28 年度の任意の2日間(1日の測定時間 24 時間)

(2) 調査分析方法

使用頻度判定基準

【考え方】

- ・ 通話レベルを参考とするために、Ch.6 の測定を基準として使用頻度を見極めることとした。
- ・ 受信最大入力端末電圧が低いものは、ノイズを拾っている可能性があることを考慮した。
- ・ 受信波であって、受信回数が平均的に低いものは外国船が船舶相互間で通信していることを考慮した。

【基準】

- ① 受信最大入力端末電圧が 30 dB μ V 以上の場合は、通話している可能性があるともみなす。(平均的には 46.4 dB μ V であるが、マージンを考慮して 30 dB μ V とした)
- ② 受信回数(受信入力端末電圧が 30 dB μ V 以上に係らず、入感があった場合を 1 回の受信とみなした場合の回数)が 30 回以上のものは、通話している可能性があるともみなす。
全国平均的に低い場合は、船舶間通信の可能性のあることをから 30 回以上のものを対象とする。

(3) 船舶局周波数

表 付録 5-1 船舶局周波数の判定

チャンネル	周波数 [MHz]	判定	考察
60	156.025	○	
1	156.050	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
61	156.075	○	
2	156.100	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
62	156.125	○	名古屋港で受信入力レベルは高いものの受信回数は少なく、外国船間の通信と推測される。
3	156.150	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
63	156.175	○	
4	156.200	△	東京湾で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。また、那覇港で受信レベルは高いものの受信回数は少なく、外国船間の通信と推測される。
64	156.225	△	名古屋港、大阪湾、那覇港で受信回数は多いものの、名古屋湾、那覇港では受信入力レベルが低く相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。大阪湾では受信入力レベルが判断基準ギリギリの部分であるものの許容できる範囲であると考えられる。
5	156.250	△	名古屋港、大阪湾で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
65	156.275	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
66	156.325	△	千葉港、那覇港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
7	156.350	△	名古屋港で受信入力レベルは高いものの受信回数は少なく、外国船間の通信と推測される。瀬戸内海で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
67	156.375	×	受信回数も多く、受信入力レベルも高いため使用頻度はあるものと推測
8	156.400	×	受信回数も多く、受信入力レベルも高いため使用頻度はあるものと推測
68	156.425	×	受信回数も多く、受信入力レベルも高いため使用頻度はあるものと推測

○:トラヒック量低い

△:若干のトラヒック量はあるものの、影響は少ない

×:トラヒック量高い

(4) 海岸局周波数

表 付録 5-2 海岸局周波数の判定

チャンネル	周波数 (MHz)	判定	考察
60	160.625	○	千葉港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
1	160.650	○	名古屋港、千葉湾で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
61	160.675	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
2	160.700	○	千葉湾で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
62	160.725	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
3	160.750	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。また、那覇港で受信レベルは高いものの受信回数は少なく、外国船間の通信と推測される。
63	160.775	○	名古屋港、千葉湾で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
4	160.800	○	名古屋港、千葉湾で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
64	160.825	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
5	160.850	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
65	160.875	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
66	160.925	○	
7	160.950	○	名古屋港で受信回数は多いものの、受信入力レベルが低く、相互変調又は隣接チャンネルノイズを拾っている可能性がある。
67	156.375	×	受信回数も多く、受信入力レベルも高いため使用頻度はあるものと推測
8	156.400	×	受信回数も多く、受信入力レベルも高いため使用頻度はあるものと推測
68	156.425	×	受信回数も多く、受信入力レベルも高いため使用頻度はあるものと推測

○:トラヒック量低い

△:若干のトラヒック量はあるものの、影響は少ない

×:トラヒック量高い

RECOMMENDATION ITU-R P.526-13

Propagation by diffraction

(Question ITU-R 202/3)

(1978-1982-1992-1994-1995-1997-1999-2001-2003-2005-2007-2009-2012-2013)

Scope

This Recommendation presents several models to enable the reader to evaluate the effect of diffraction on the received field strength. The models are applicable to different obstacle types and to various path geometries.

The ITU Radiocommunication Assembly,

considering

that there is a need to provide engineering information for the calculation of field strengths over diffraction paths,

recommends

that the methods described in Annex 1 be used for the calculation of field strengths over diffraction paths, which may include a spherical earth surface, or irregular terrain with different kinds of obstacles.

Annex 1

1 Introduction

Although diffraction is produced only by the surface of the ground or other obstacles, account must be taken of the mean atmospheric refraction on the transmission path to evaluate the geometrical parameters situated in the vertical plane of the path (angle of diffraction, radius of curvature, height of obstacle). For this purpose, the path profile has to be traced with the appropriate equivalent Earth radius (Recommendation ITU-R P.834). If no other information is available, an equivalent Earth radius of 8 500 km may be taken as a basis.

2 Basic concepts

Diffraction of radiowaves over the Earth's surface is affected by terrain irregularities. In this context, before going further into the prediction methods for this propagation mechanism, a few basic concepts are given in this section.

2.1 Fresnel ellipsoids and Fresnel zones

In studying radiowave propagation between two points A and B, the intervening space can be subdivided by a family of ellipsoids, known as Fresnel ellipsoids, all having their focal points at A and B such that any point M on one ellipsoid satisfies the relation:

$$AM + MB = AB + n \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

where n is a whole number characterizing the ellipsoid and $n = 1$ corresponds to the first Fresnel ellipsoid, etc., and λ is the wavelength.

As a practical rule, propagation is assumed to occur in line-of-sight (LoS), i.e. with negligible diffraction phenomena if there is no obstacle within the first Fresnel ellipsoid.

The radius of an ellipsoid at a point between the transmitter and the receiver can be approximated in self-consistent units by:

$$R_n = \left[\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

or, in practical units:

$$R_n = 550 \left[\frac{n d_1 d_2}{(d_1 + d_2) f} \right]^{1/2} \quad (3)$$

where f is the frequency (MHz) and d_1 and d_2 are the distances (km) between transmitter and receiver at the point where the ellipsoid radius (m) is calculated.

Some problems require consideration of Fresnel zones which are the zones obtained by taking the intersection of a family of ellipsoids by a plane. The zone of order n is the part between the curves obtained from ellipsoids n and $n - 1$, respectively.

2.2 Penumbra width

The transition from light to shadow defines the penumbra region. This transition takes place along a narrow strip (penumbra width) in the boundary of geometric shadow. Figure 1 shows the penumbra width (W) in the case of a transmitter located a height, h , above a smooth spherical earth, which is given by:

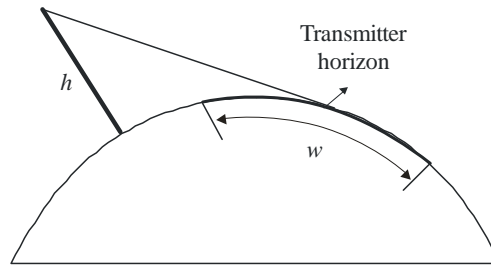
$$w = \left[\frac{\lambda a_e^2}{\pi} \right]^{1/3} \text{ m} \quad (4)$$

where:

λ : wavelength (m);

a_e : effective Earth radius (m).

FIGURE 1
Definition of penumbra width



P.0526-01

2.3 Diffraction zone

The diffraction zone of a transmitter extends from the LoS distance where the path clearance is equal to 60% of the first Fresnel zone radius, (R_1), up to a distance well beyond the transmitter horizon where the mechanism of troposcatter becomes predominant.

2.4 Obstacle surface smoothness criterion

If the surface of the obstacle has irregularities not exceeding Δh , where:

$$\Delta h = 0.04 [R\lambda^2]^{1/3} \quad \text{m} \quad (5)$$

where:

R : obstacle curvature radius (m);

λ : wavelength (m);

then the obstacle may be considered smooth and the methods described in §§ 3 and 4.2 may be used to calculate the attenuation.

2.5 Isolated obstacle

An obstacle can be considered isolated if there is no interaction between the obstacle itself and the surrounding terrain. In other words, the path attenuation is only due to the obstacle alone without any contribution from the remaining terrain. The following conditions must be satisfied:

- no overlapping between penumbra widths associated with each terminal and the obstacle top;
- the path clearance on both sides of the obstacles should be, at least, 0.6 of the first Fresnel zone radius;
- no specular reflection on both sides of the obstacle.

2.6 Types of terrain

Depending on the numerical value of the parameter Δh (see Recommendation ITU-R P.310) used to define the degree of terrain irregularities, three types of terrain can be classified:

a) *Smooth terrain*

The surface of the Earth can be considered smooth if terrain irregularities are of the order or less than $0.1R$, where R is the maximum value of the first Fresnel zone radius in the propagation path. In this case, the prediction model is based on the diffraction over the spherical Earth (see § 3).

b) *Isolated obstacles*

The terrain profile of the propagation path consists of one or more isolated obstacles. In this case, depending on the idealization used to characterize the obstacles encountered in the propagation path, the prediction models described in § 4 should be used.

c) *Rolling terrain*

The profile consists of several small hills, none of which form a dominant obstruction. Within its frequency range Recommendation ITU-R P.1546 is suitable for predicting field strength but it is not a diffraction method.

2.7 Fresnel integrals

The complex Fresnel integral is given by:

$$F_c(v) = \int_0^v \exp\left(j \frac{\pi s^2}{2}\right) ds = C(v) + jS(v) \quad (6)$$

where j is the complex operator equal to $\sqrt{-1}$, and $C(v)$ and $S(v)$ are the Fresnel cosine and sine integrals defined by:

$$C(v) = \int_0^v \cos\left(\frac{\pi s^2}{2}\right) ds \quad (7a)$$

$$S(v) = \int_0^v \sin\left(\frac{\pi s^2}{2}\right) ds \quad (7b)$$

The complex Fresnel integral $F_c(v)$ can be evaluated by numerical integration, or with sufficient accuracy for most purposes for positive v using:

$$F_c(v) = \exp(jx) \sqrt{\frac{x}{4}} \sum_{n=0}^{11} \left[(a_n - jb_n) \left(\frac{x}{4}\right)^n \right] \quad \text{for } 0 \leq x < 4 \quad (8a)$$

$$F_c(v) = \left(\frac{1+j}{2}\right) + \exp(jx) \sqrt{\frac{4}{x}} \sum_{n=0}^{11} \left[(c_n - jd_n) \left(\frac{4}{x}\right)^n \right] \quad \text{for } x \geq 4 \quad (8b)$$

where:

$$x = 0.5\pi v^2 \quad (9)$$

and a_n , b_n , c_n and d_n are the Boersma coefficients given below:

$a_0 = +1.595769140$	$b_0 = -0.000000033$	$c_0 = +0.000000000$	$d_0 = +0.199471140$
$a_1 = -0.000001702$	$b_1 = +4.255387524$	$c_1 = -0.024933975$	$d_1 = +0.000000023$
$a_2 = -6.808568854$	$b_2 = -0.000092810$	$c_2 = +0.000003936$	$d_2 = -0.009351341$
$a_3 = -0.000576361$	$b_3 = -7.780020400$	$c_3 = +0.005770956$	$d_3 = +0.000023006$
$a_4 = +6.920691902$	$b_4 = -0.009520895$	$c_4 = +0.000689892$	$d_4 = +0.004851466$
$a_5 = -0.016898657$	$b_5 = +5.075161298$	$c_5 = -0.009497136$	$d_5 = +0.001903218$
$a_6 = -3.050485660$	$b_6 = -0.138341947$	$c_6 = +0.011948809$	$d_6 = -0.017122914$
$a_7 = -0.075752419$	$b_7 = -1.363729124$	$c_7 = -0.006748873$	$d_7 = +0.029064067$
$a_8 = +0.850663781$	$b_8 = -0.403349276$	$c_8 = +0.000246420$	$d_8 = -0.027928955$
$a_9 = -0.025639041$	$b_9 = +0.702222016$	$c_9 = +0.002102967$	$d_9 = +0.016497308$
$a_{10} = -0.150230960$	$b_{10} = -0.216195929$	$c_{10} = -0.001217930$	$d_{10} = -0.005598515$
$a_{11} = +0.034404779$	$b_{11} = +0.019547031$	$c_{11} = +0.000233939$	$d_{11} = +0.000838386$

$C(v)$ and $S(v)$ may be evaluated for negative values of v by noting that:

$$C(-v) = -C(v) \quad (10a)$$

$$S(-v) = -S(v) \quad (10b)$$

3 Diffraction over a spherical Earth

The additional transmission loss due to diffraction over a spherical Earth can be computed by the classical residue series formula. A computer program GRWAVE, available from the ITU, provides the complete method. A subset of the outputs from this program (for antennas close to the ground and at lower frequencies) is presented in Recommendation ITU-R P.368.

The following subsections describe numerical and nomogram methods which may be used for frequencies 10 MHz and above. For frequencies below 10 MHz, GRWAVE should always be used. Section 3.1 gives methods for over-the-horizon paths. Section 3.1.1 is a numerical method. Section 3.1.2 is a nomogram method. Section 3.2 is a method applicable for the smooth earth case for any distance and for frequencies 10 MHz and above. This utilizes the numerical method in § 3.1.1.

3.1 Diffraction loss for over-the-horizon paths

At long distances over the horizon, only the first term of the residue series is important. Even near or at the horizon this approximation can be used with a maximum error around 2 dB in most cases.

This first term can be written as the product of a distance term, F , and two height gain terms, G_T and G_R . Sections 3.1.1 and 3.1.2 describe how these terms can be obtained from simple formula or from nomograms.

3.1.1 Numerical calculation

3.1.1.1 Influence of the electrical characteristics of the surface of the Earth

The extent to which the electrical characteristics of the surface of the Earth influence the diffraction loss can be determined by calculating a normalized factor for surface admittance, K , given by the formulae:

in self-consistent units:

$$K_H = \left(\frac{2\pi a_e}{\lambda} \right)^{-1/3} \left[(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2 \right]^{-1/4} \quad \text{for horizontal polarization} \quad (11)$$

and

$$K_V = K_H \left[\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2 \right]^{1/2} \quad \text{for vertical polarization} \quad (12)$$

or, in practical units:

$$K_H = 0.36(a_e f)^{-1/3} \left[(\varepsilon - 1)^2 + (18000\sigma/f)^2 \right]^{-1/4} \quad (11a)$$

$$K_V = K_H \left[\varepsilon^2 + (18000\sigma/f)^2 \right]^{1/2} \quad (12a)$$

where:

a_e : effective radius of the Earth (km);

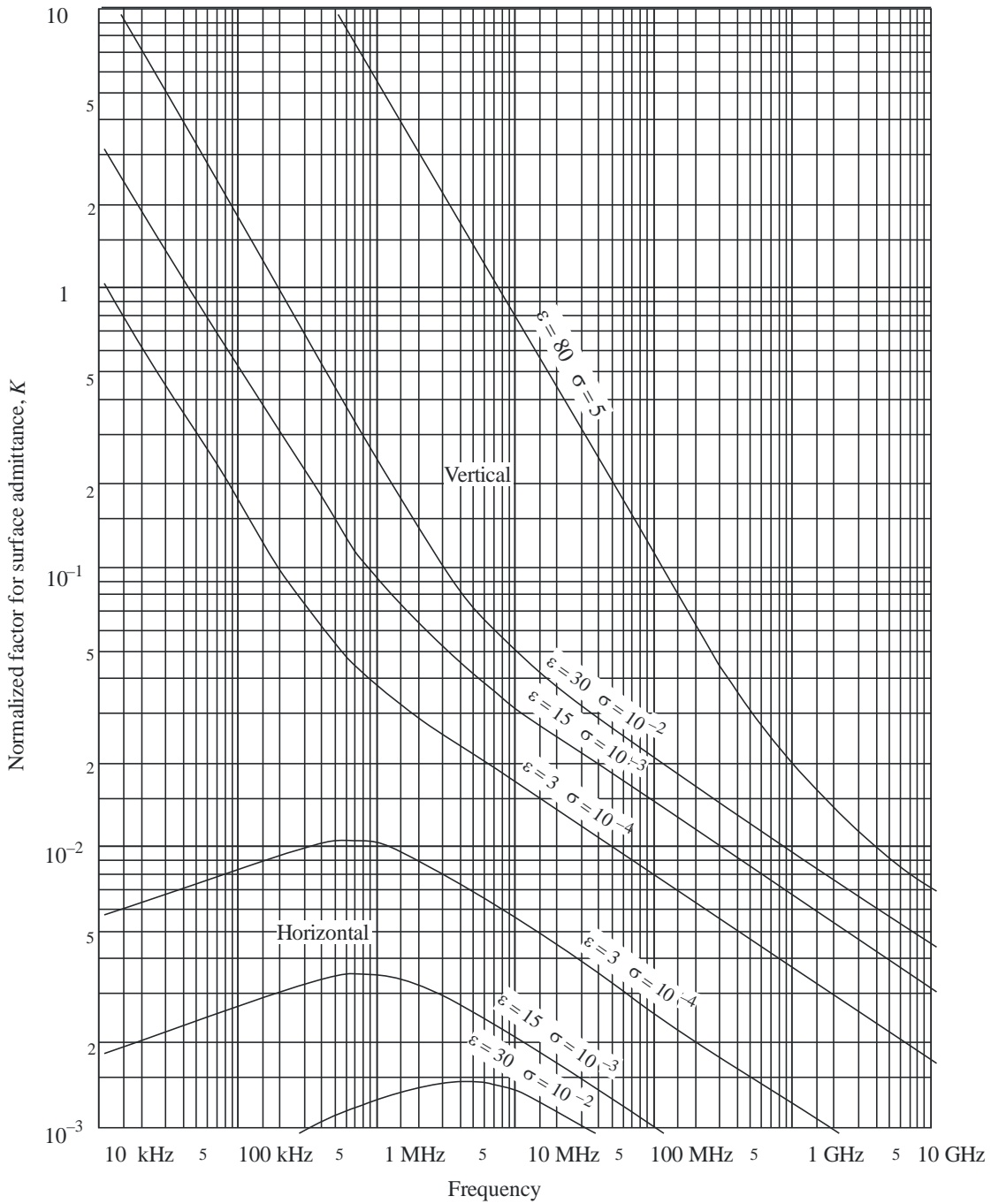
ε : effective relative permittivity;

σ : effective conductivity (S/m);

f : frequency (MHz).

Typical values of K are shown in Fig. 2.

FIGURE 2
Calculation of K



P.0526-02

If K is less than 0.001, the electrical characteristics of the Earth are not important. For values of K greater than 0.001 and less than 1, the appropriate formulae given in § 3.1.1.2 can be used. When K has a value greater than about 1, the diffraction field strength calculated using the method of § 3.1.1.2 differs from the results given by the computer program GRWAVE, and the difference increases rapidly as K increases. GRWAVE should be used for K greater than 1. This only occurs for vertical polarization, at frequencies below 10 MHz over sea, or below 200 kHz over land. In all other cases the method of § 3.1.1.2 is valid.

3.1.1.2 Diffraction field strength formulae

The diffraction field strength, E , relative to the free-space field strength, E_0 , is given by the formula:

$$20 \log \frac{E}{E_0} = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2) \quad \text{dB} \quad (13)$$

where X is the normalized length of the path between the antennas at normalized heights Y_1 and Y_2 (and where $20 \log \frac{E}{E_0}$ is generally negative).

In self-consistent units:

$$X = \beta \left(\frac{\pi}{\lambda a_e^2} \right)^{1/3} d \quad (14)$$

$$Y = 2\beta \left(\frac{\pi^2}{\lambda^2 a_e} \right)^{1/3} h \quad (15)$$

or, in practical units:

$$X = 2.188 \beta f^{1/3} a_e^{-2/3} d \quad (14a)$$

$$Y = 9.575 \times 10^{-3} \beta f^{2/3} a_e^{-1/3} h \quad (15a)$$

where:

- d : path length (km);
- a_e : equivalent Earth's radius (km);
- h : antenna height (m);
- f : frequency (MHz).

β is a parameter allowing for the type of ground and for polarization. It is related to K by the following semi-empirical formula:

$$\beta = \frac{1 + 1.6 K^2 + 0.67 K^4}{1 + 4.5 K^2 + 1.53 K^4} \quad (16)$$

For horizontal polarization at all frequencies, and for vertical polarization above 20 MHz over land or 300 MHz over sea, β may be taken as equal to 1.

For vertical polarization below 20 MHz over land or 300 MHz over sea, β must be calculated as a function of K . However, it is then possible to disregard ε and write:

$$K^2 \approx 6.89 \frac{\sigma}{k^{2/3} f^{5/3}} \quad (16a)$$

where σ is expressed in S/m, f (MHz) and k is the multiplying factor of the Earth's radius.

The distance term is given by the formula:

$$F(X) = 11 + 10 \log(X) - 17.6 X \quad \text{for } X \geq 1.6 \quad (17a)$$

$$F(X) = -20 \log(X) - 5.6488X^{1.425} \quad \text{for } X < 1.6 \quad (17b)$$

The height gain term, $G(Y)$ is given by the following formulae:

$$G(Y) \cong 17.6(B-1.1)^{1/2} - 5 \log(B-1.1) - 8 \quad \text{for } B > 2 \quad (18)$$

$$G(Y) \cong 20 \log(B+0.1B^3) \quad \text{for } B \leq 2 \quad (18a)$$

If $G(Y) < 2 + 20 \log K$, set $G(Y)$ to the value $2 + 20 \log K$

In the above:

$$B = \beta Y \quad (18b)$$

The accuracy of the diffracted field strength given by equation (13) is limited by the approximation inherent in only using the first term of the residue series. Equation (13) is accurate to better than 2 dB for values of X , Y_1 and Y_2 that are constrained by the formula:

$$X - (\beta Y_1)^{1/2} \Delta(Y_1, K) - (\beta Y_2)^{1/2} \Delta(Y_2, K) > X_{lim} \quad (19)$$

where:

$$X_{lim} = 1.096 - 1.280(1 - \beta) \quad (19a)$$

$$\Delta(Y, K) = \Delta(Y, 0) + 1.779(1 - \beta)[\Delta(Y, \infty) - \Delta(Y, 0)] \quad (19b)$$

$\Delta(Y, 0)$ and $\Delta(Y, \infty)$ are given by:

$$\Delta(Y, 0) = 0.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{0.5 \log(\beta Y) - 0.255}{0.3} \right) \right] \quad (19c)$$

$$\Delta(Y, \infty) = 0.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{0.5 \log(\beta Y) + 0.255}{0.25} \right) \right] \quad (19d)$$

Consequently, the minimum distance d_{min} for which equation (13) is valid is given by:

$$X_{min} = X_{lim} + (\beta Y_1)^{1/2} \Delta(Y_1, K) + (\beta Y_2)^{1/2} \Delta(Y_2, K) \quad (19e)$$

and d_{min} is obtained from X_{min} using equation (14a).

3.1.2 Calculation by nomograms

Under the same approximation condition (the first term of the residue series is dominant), the calculation may also be made using the following formula:

$$20 \log \frac{E}{E_0} = F(d) + H(h_1) + H(h_2) \quad \text{dB} \quad (20)$$

where:

- E : received field strength;
- E_0 : field strength in free space at the same distance;
- d : distance between the extremities of the path;
- h_1 and h_2 : heights of the antennas above the spherical earth.

The function F (influence of the distance) and H (height-gain) are given by the nomograms in Figs 3, 4, 5 and 6.

These nomograms (Figs 3 to 6) give directly the received level relative to free space, for $k = 1$ and $k = 4/3$, and for frequencies greater than approximately 30 MHz. k is the effective Earth radius factor, defined in Recommendation ITU-R P.310. However, the received level for other values of k may be calculated by using the frequency scale for $k = 1$, but replacing the frequency in question by a hypothetical frequency equal to f/k^2 for Figs 3 and 5 and f/\sqrt{k} , for Figs 4 and 6.

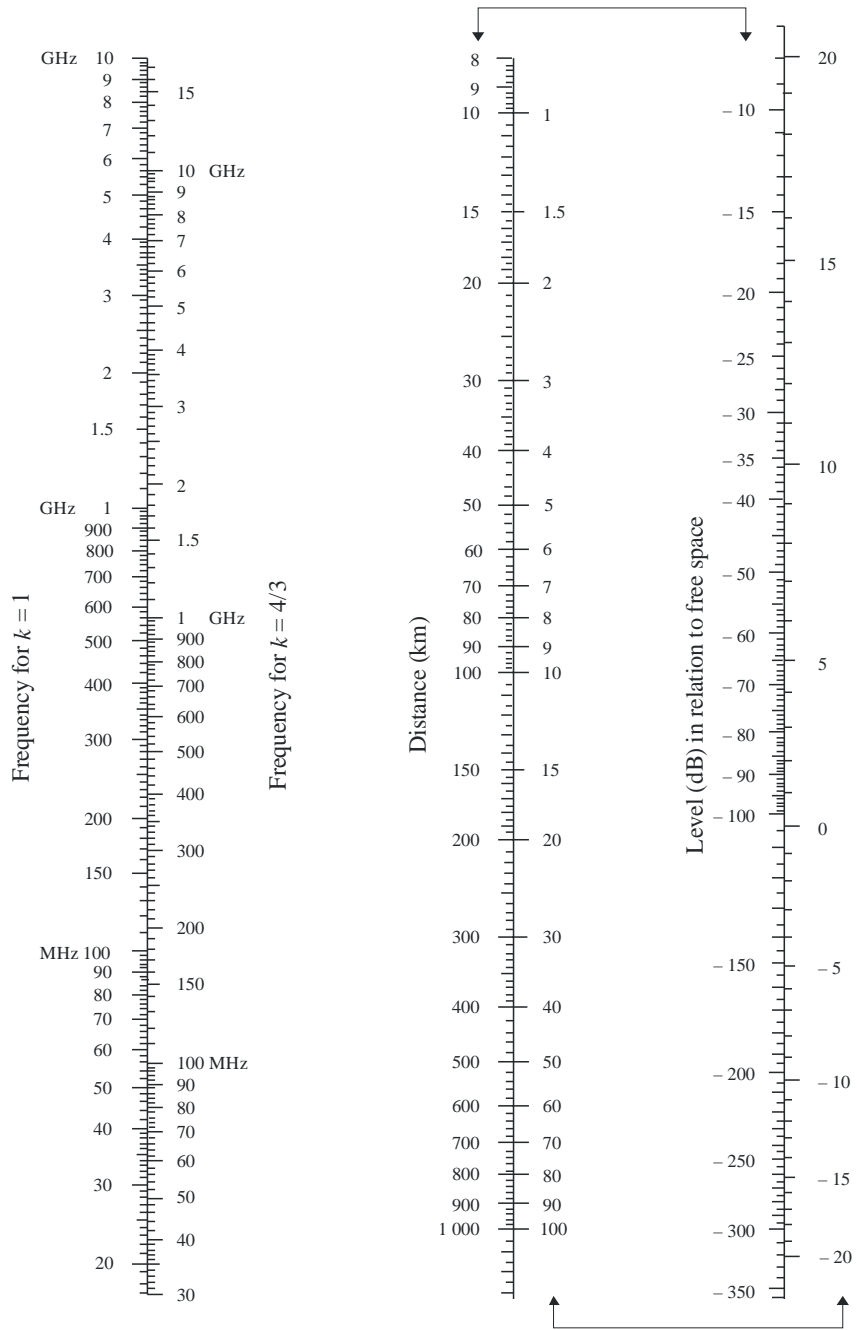
Very close to the ground the field strength is practically independent of the height. This phenomenon is particularly important for vertical polarization over the sea. For this reason Fig. 6 includes a heavy black vertical line AB. If the straight line should intersect this heavy line AB, the real height should be replaced by a larger value, so that the straight line just touches the top of the limit line at A.

NOTE 1 – Attenuation relative to free space is given by the negative of the values given by equation (20). If equation (20) gives a value above the free-space field, the method is invalid.

NOTE 2 – The effect of line AB is included in the numerical method given in § 3.1.1.

FIGURE 3

Diffraction by a spherical Earth – effect of distance

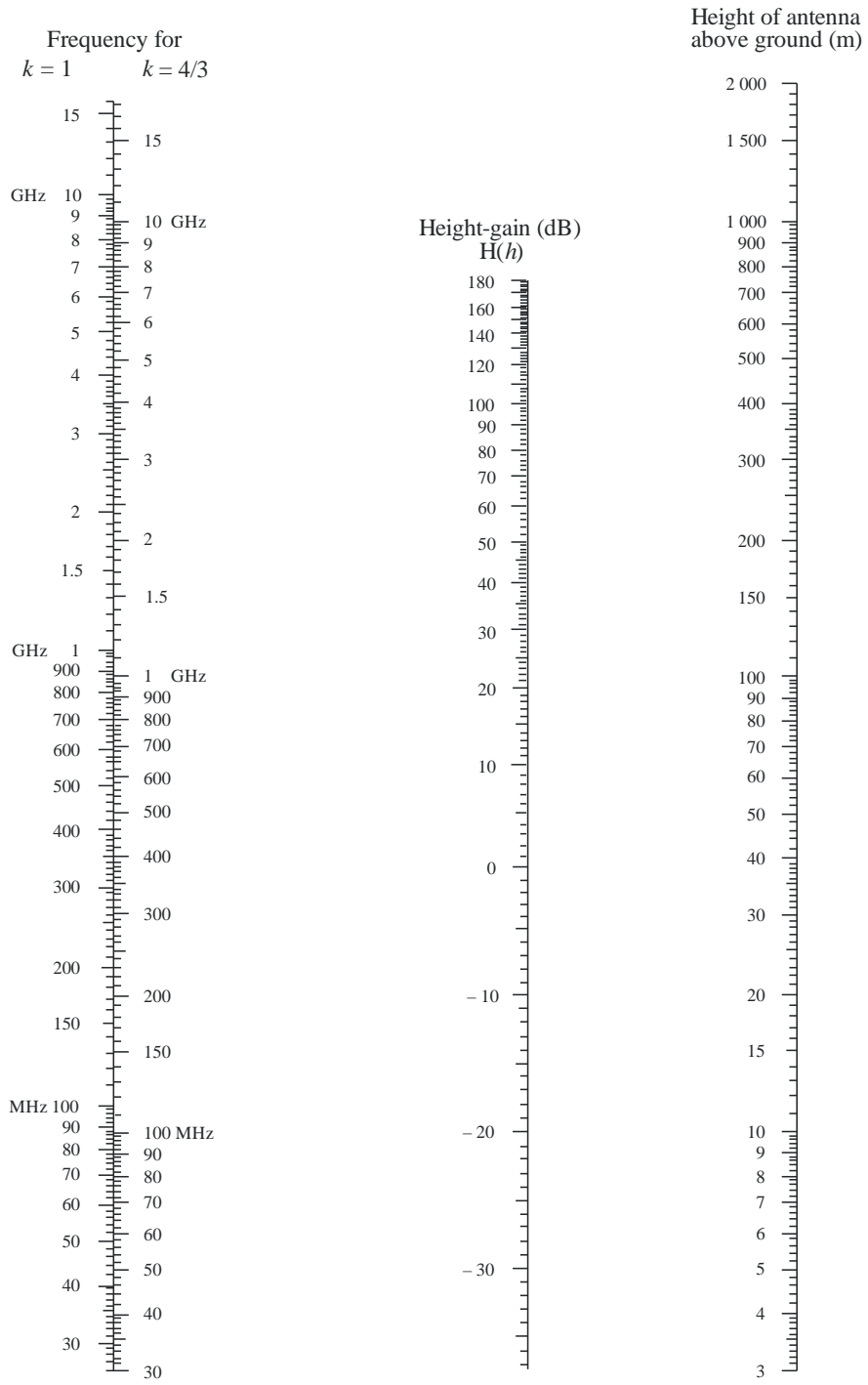


Horizontal polarization over land and sea
 Vertical polarization over land

(The scales joined by arrows should be used together)

P.0526-03

FIGURE 4
Diffraction by a spherical Earth – height-gain

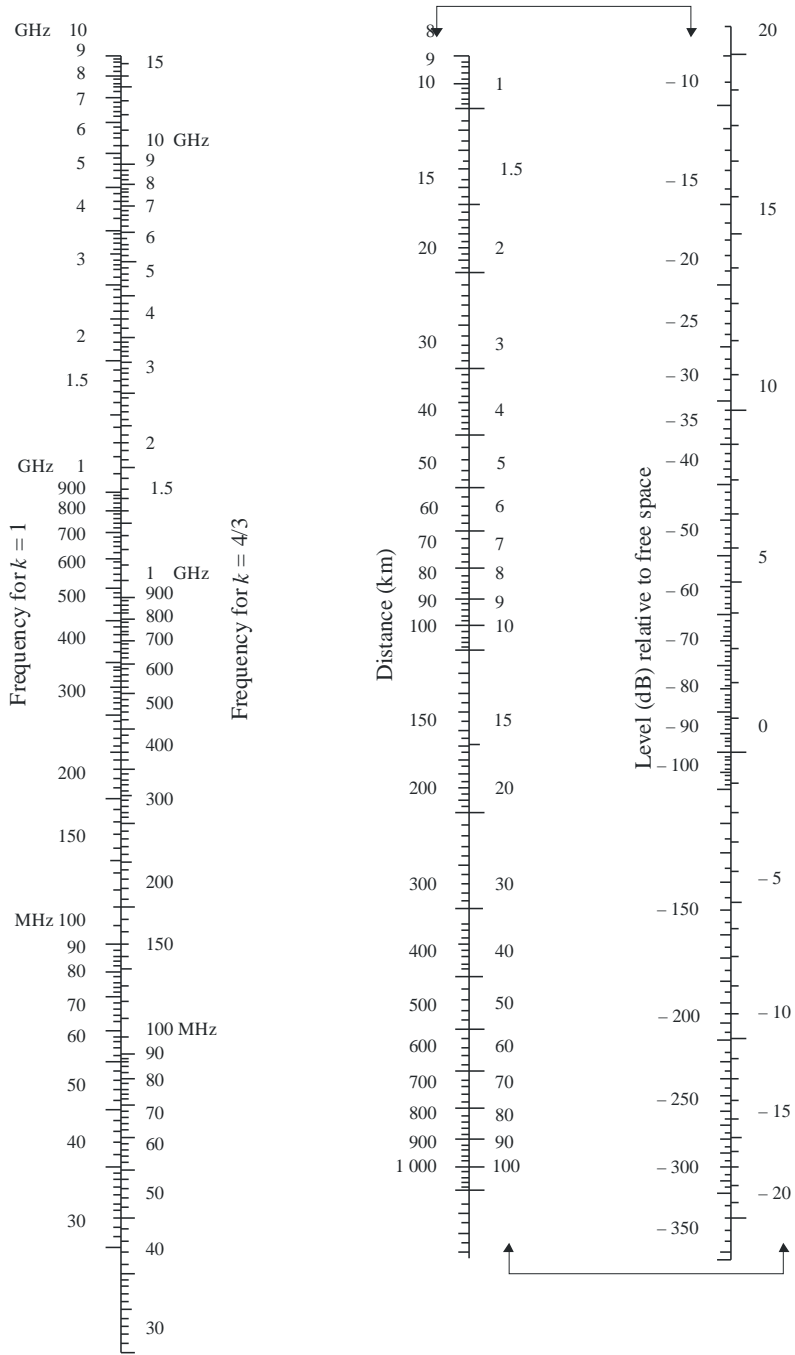


Horizontal polarization – land and sea
 Vertical polarization – land

P0526-04

FIGURE 5

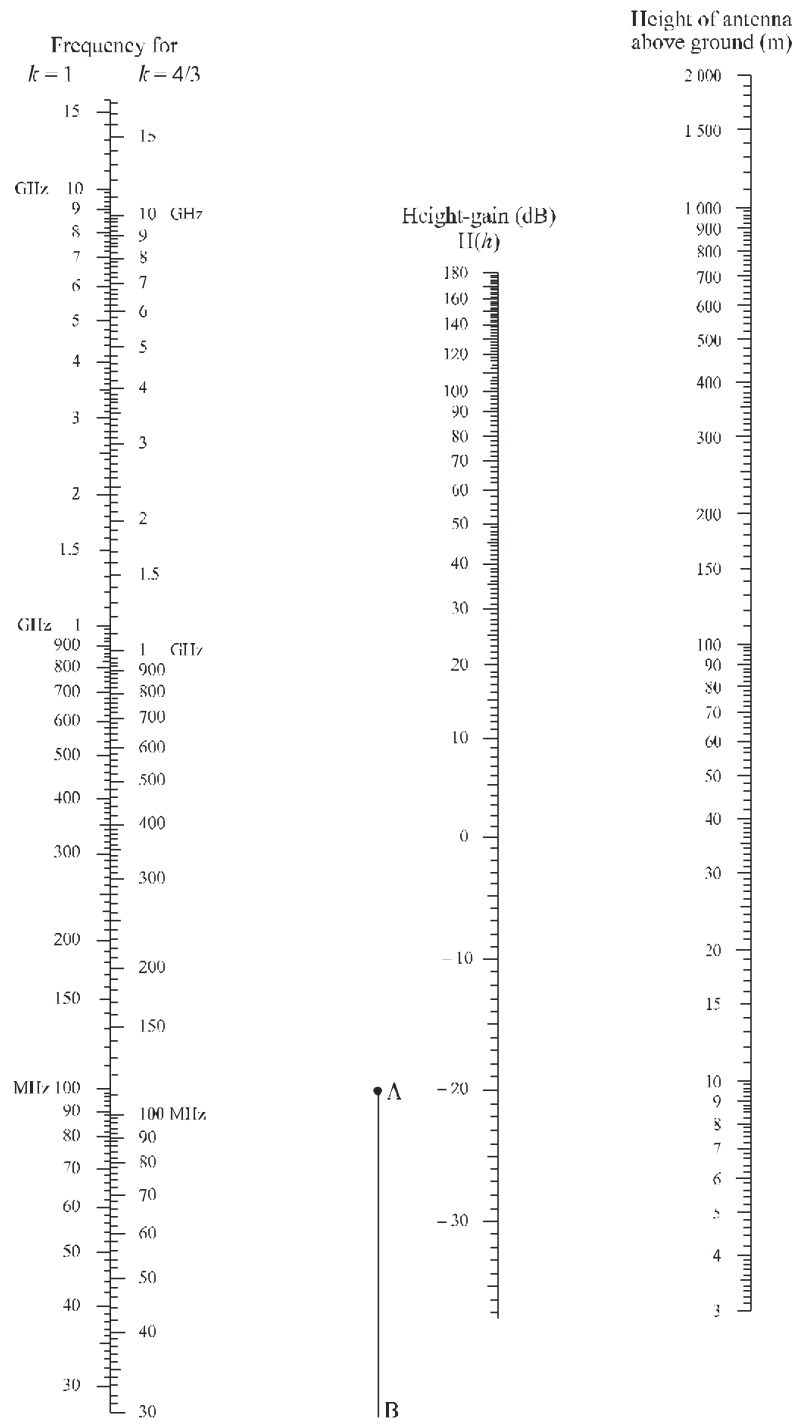
Diffraction by a spherical Earth – effect of distance



Vertical polarization over sea
 (The scales joined by arrows should be used together)

P0526-05

FIGURE 6
Diffraction by a spherical Earth – height-gain



Vertical polarization – sea

P0526-06

3.2 Diffraction loss for any distance at 10 MHz and above

The following step-by-step procedure should be used for a spherical-earth path of any length at frequencies of 10 MHz and above, for effective Earth radius $a_e > 0$. The method uses the calculation in § 3.1.1 for over-the-horizon cases, and otherwise an interpolation procedure based on a notional effective-earth radius.

The procedure uses self-consistent units and proceeds as follows:

Calculate the marginal LoS distance given by:

$$d_{los} = \sqrt{2a_e} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (21)$$

If $d \geq d_{los}$ calculate diffraction loss using the method in § 3.1.1. No further calculation is necessary.

Otherwise continue:

Calculate the smallest clearance height between the curved-earth path and the ray between the antennas, h (see Fig. 7), given by:

$$h = \frac{\left(h_1 - \frac{d_1^2}{2a_e}\right)d_2 + \left(h_2 - \frac{d_2^2}{2a_e}\right)d_1}{d} \quad (22)$$

$$d_1 = \frac{d}{2} (1 + b) \quad (22a)$$

$$d_2 = d - d_1 \quad (22b)$$

$$b = 2\sqrt{\frac{m+1}{3m}} \cos \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right\} \quad (22c)$$

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad (22d)$$

$$m = \frac{d^2}{4a_e(h_1 + h_2)} \quad (22e)$$

Calculate the required clearance for zero diffraction loss, h_{req} , given by:

$$h_{req} = 0.552 \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}} \quad (23)$$

If $h > h_{req}$ the diffraction loss for the path is zero. No further calculation is required.

Otherwise continue:

Calculate the modified effective earth radius, a_{em} , which gives marginal LoS at distance d given by:

$$a_{em} = 0.5 \left(\frac{d}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}} \right)^2 \quad (24)$$

Use the method in § 3.1.1 to calculate the diffraction loss for the path using the modified effective earth radius a_{em} in place of the effective earth radius a_e , and designate this loss A_h .

If A_h is negative, the diffraction loss for the path is zero, and no further calculation is necessary.

Otherwise calculate the interpolated diffraction loss, A (dB), given by:

$$A = \left[1 - h/h_{req} \right] A_h \quad (25)$$