

衛星を活用した VHF データ交換システム(VDES)の導入による
海上無線通信の高度化に向けた調査検討
調 査 報 告 書

令和3年3月

衛星を活用した VHF データ交換システム(VDES)の導入による
海上無線通信の高度化に向けた調査検討会

目 次

はじめに	1
第 1 章 調査検討の概要	
1.1. 調査検討の背景と目的	2
1.2. 調査検討項目と概要	3
1.3. 調査検討における実施体制	4
第 2 章 VDES(衛星コンポーネント)利用に係る近年の海外動向等	
2.1. 周波数分配関係の動向【ITU(国際電気通信連合)】	5
2.2. 海上交通関係	5
2.3. VDES 衛星の動向	6
第 3 章 VDES(衛星コンポーネント)の有力な利用シーン・ニーズ	
3.1. 構成員アンケートの結果と示唆	7
3.2. 有識者ヒアリングの結果と示唆	8
3.3. まとめ	9
第 4 章 VDES(衛星コンポーネント)のシステム要求条件	
4.1. 国際的動向における VDES の導入と周波数割当	10
4.2. 国内の利用シーン・ニーズを踏まえた衛星 VDES のシステム要求条件	11
第 5 章 周波数共用条件の検討	
5.1. 周波数共用条件検討の考え方	14
5.2. 試験方法	14
5.3. 試験結果	32
5.4. 衛星 VDE データ通信と既存データ通信の共用条件	41
第 6 章 VDES(衛星コンポーネント)の技術的要求条件	
6.1. VDES(衛星コンポーネント)の的確な社会実装に向けて	42
6.2. 周波数共用条件まとめ	43
6.3. 技術的パラメータ	45
【資料編】	
資料 1_調査検討会設置要綱	46
資料 2_作業班の設置について	49
資料 3_検討経過報告	50
資料 4_利用シーン・ニーズ調査	52
資料 5-1_VHF データ交換システム(VDES)について	54
資料 5-2_衛星 VDES 導入に対する国際動向等を踏まえた技術的検討の必要性	58
資料 5-3_衛星 VDES の国内導入に向けた環境整備	64
資料 5-4_周波数割当計画(令和 3 年 1 月 1 日現在)抜粋	83
資料 5-5_ITU-R 勧告 P.526-15 抜粋	88

はじめに

我が国は四方を海に囲まれており、商船や漁船など多くの船舶が行き交うなか、船舶の安全航行や海上業務での情報伝達手段として、「海上無線通信」は重要な役割を果たしております。

これらの中で、入出港時の連絡や付近を航行する他船との通話に頻繁に用いられているのが VHF の周波数(156～162MHz)を用いた無線電話であり、国際的な海上移動業務として一般の通話だけでなく、遭難、緊急又は安全のための呼出、応答及び通報にも使用されています。この 150MHz 帯の無線電話はアナログ通信方式として 1960 年代前半から導入が開始され、日本では昭和 39 年に制度化されました。

他方、陸上無線通信においてデジタル化が飛躍的に進む中、海上無線通信においてもデータ通信の需要が急増しており、船舶の効率的な運航を支援する目的でもデータ通信システムの導入が望まれていました。このような中、2012 年に開催された世界無線通信会議(WRC-12)において、150MHz 帯におけるアナログ音声用の周波数の一部を「VHF データ交換システム(VDES: VHF Data Exchange System)」として利用することが決定され、WRC-15 において、このデータ通信の利用方法の整理がされたところです。さらには、この VDES を地上に加えて衛星での利用も可能とするための新たな周波数分配が WRC-19 において合意され、これにより陸上と船舶との間又は船舶相互間に加え、新たに船舶と衛星との間でもデータ通信を活用することが可能となりました。

このような国際動向を踏まえ、衛星を利用した VDES に関し、利用シーンや新たな電波利用ニーズの把握と、それに基づくシステムの要求条件及び周波数共用条件を明らかにすると共に、国内制度化を視野においた技術的要求条件の導出を目的に、「衛星を活用した VHF データ交換システム(VDES)の導入による海上無線通信の高度化に向けた調査検討会」を開催し、検討を進めて参りました。その結果、VDES の衛星利用が制度面だけではなく、地上 VDE や AIS、AMS など他の海上無線通信システムとの共用が可能であることが明らかになりました。

本検討会の成果が、海上における人命や航行の安全確保はもとより、運航の効率化、物流の効率化、船内居住環境の改善など、今後の海上における各種業務のサービス向上につながり、さらなる海上無線通信の高度化のために役立てられることを大いに期待しています。

最後に、ご多忙な中、本検討会及び作業班にご参画いただきました構成員各位をはじめ、技術的検討にご協力いただいた海上保安庁をはじめとする関係機関、関係者、並びに本会合に携わられた全てのスタッフに対して心より感謝申し上げます。

令和3年3月

「衛星を活用した VHF データ交換システム(VDES)の導入による海上無線通信の
高度化に向けた調査検討会」座長

北海道大学 大学院情報科学研究院 メディアネットワーク部門 教授 大鐘 武雄

第1章 調査検討の概要

1.1. 調査検討の背景と目的

船舶に搭載されている無線通信機器は、デジタル通信技術の活用によるデータ通信等の高度化へ対処するため、国際的な海上移動業務の無線周波数である 150MHz 帯におけるアナログ音声用の周波数の一部を「VHF データ交換システム(VDES:VHF Data Exchange System)」として利用することが世界無線通信会議(WRC-15)において決定され、我が国においてもこの導入に向けた関係の制度が平成 30 年 7 月に整備されたところである。

今般、この VDES について、地上に加えて衛星でも利用可能とするため、VDES の周波数に二次業務として海上移動衛星業務を追加分配することが WRC-19 において合意され、陸上と船舶との間又は船舶相互間に加え、船舶と衛星との間においてもデータ通信を活用することが可能となった(以下、「VDES(衛星コンポーネント)又は衛星 VDES」という。)

これにより、航行の安全の確保だけでなく、各種業務の効率化など通信の高度化の実現や海上における人命の安全の向上などが期待されている。

このため、この VDES(衛星コンポーネント)として追加された電波利用について、その新たなニーズとこれに対応したシステム運用形態、及び他の電波利用との周波数共用条件等、国内制度化を視野においた技術基準策定の礎となる技術的要求条件の導出を目的として、総務省北海道総合通信局に「衛星を活用した VHF データ交換システム(VDES)の導入による海上無線通信の高度化に向けた調査検討会」を設置し、後記の調査検討項目に係る調査と検討を行う。

1.2. 調査検討項目と概要

VDES(衛星コンポーネント)の導入による海上無線通信の高度化に向けた調査検討に関して、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) VDES(衛星コンポーネント)利用に係る近年の海外動向等 (第2章)

VDES(衛星コンポーネント)利用に係る近年の海外動向について、国際機関や各国における動向を調査する。

(2) VDES(衛星コンポーネント)の有力な利用シーン・ニーズ (第3章)

VDES(衛星コンポーネント)の活用が想定されるシーン及びそこにおけるユーザーニーズ等について、関係者へのアンケート及びヒアリングを通じて調査する。

(3) VDES(衛星コンポーネント)のシステム要求条件 (第4章)

VDES(衛星コンポーネント)のシステム要求条件について、国際的動向における VDES 導入と周波数割当や、国内の利用シーン・ニーズ等の観点から検討する。

(4) 周波数共用条件の検討 (第5章)

VDES(衛星コンポーネント)の周波数の共用条件について、基本的な考え方を整理して試験方法を決めた上で、試験結果の考察を行い、衛星 VDE データ通信と既存データ通信の共用条件について検討する。

(5) VDES(衛星コンポーネント)の技術的要求条件 (第6章)

VDES(衛星コンポーネント)を実際に導入する際の技術的要求条件や導入上の課題等について、ここまでの各種調査検討の結果等を踏まえて検討・整理する。

1.3. 調査検討における実施体制

調査検討に当たっては、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作業班を設置した。

調査検討会、作業班それぞれの構成員については資料編の資料1、2を参照。また、調査検討会、作業班それぞれの検討経過については同資料3を参照。

第2章 VDES(衛星コンポーネント)利用に係る近年の海外動向等

2.1. 周波数分配関係の動向【ITU(国際電気通信連合)】

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、海上無線通信においてもデータ通信の需要が急増しており、無料で利用できるデータ通信の導入が求められていた。さらに、船舶の効率的な運航を支援する目的でもデータ通信システムの導入が望まれていた。海上VHFへのVDE(VHF Data Exchange)導入が2012年世界無線通信会議(WRC-12)において審議され、2017年1月からデータ通信用のデジタルバンドが使用できることとなった。

WRC-15ではVDEチャンネルの使用方法も整理され、VDE(通称:VDE地域チャンネル)として各国や地域が独自に使用する部分と、VHFデータ交換システム(VDES:VHF Data Exchange System)の地上コンポーネント(地上VDE)として全世界共通で使用する部分に分けられた。衛星VDEへの周波数分配は2019年10月から11月に開催されたWRC-19で決定され、2021年1月よりVDESを衛星通信でも使用できることとなった。

WRC-19ではさらに、VDESチャンネルの使用方法も整理された。当該周波数帯の分配は、地上VDE(移動業務)は一次業務であるが、衛星VDE(海上移動衛星業務)は二次業務とされた。この詳細を図2.1-1に示す。

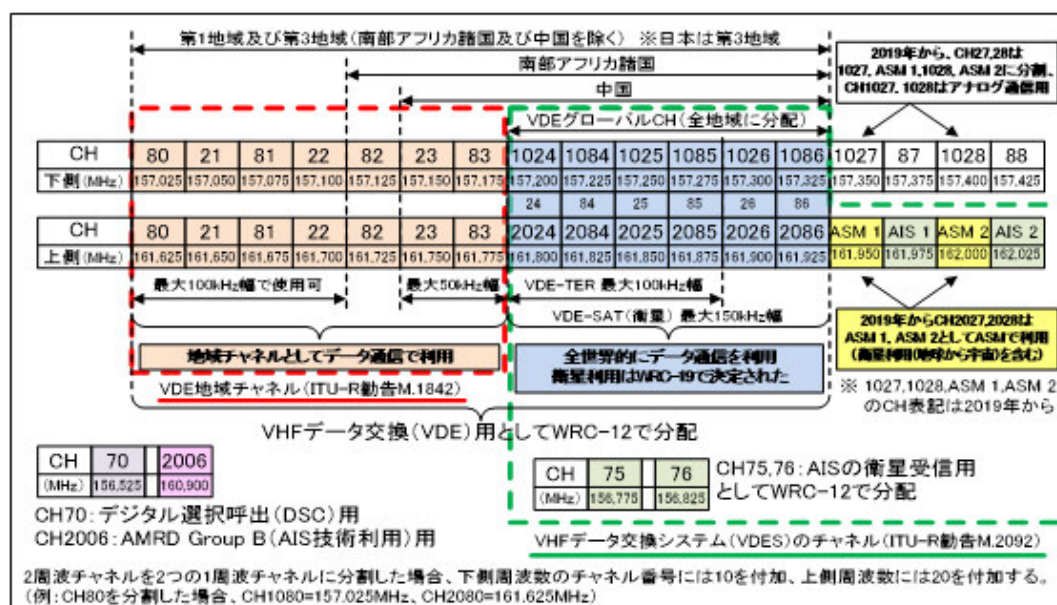


図 2.1-1 国際 VHF デジタル通信用チャンネル

2.2. 海上交通関係

2.2.1. IMO(国際海事機関)

2020年5月4日～11日に開催された第102回海上安全委員会において、日本、ノルウェー、シンガポールから、SOLAS第V章の修正およびVHFデータ交換システム(VDES)を導入するための関連するIMO条約の改訂に関して提案されたがコロナ禍の影響で審議に至らず。審議は、2021年5月5日～14日開催予定の第103回海上安全委員会に持ち越されている。

この提案文書は、VDESを導入するためSOLAS条約の第V章を修正し、VDESの普及を促進するため性能基準とガイドラインを開発する必要があるとしている。

WRC-19で、衛星VDEを有効にするために、海上移動衛星業務を二次業務として周波数を分配した。これは、送受信が有害な干渉を引き起こしたり、一次分配で運用している局からの保護を侵害してはならないことを意味する。したがって、GMDSS(海上における遭難及び安全に関する世

界的な制度)に衛星 VDE の使用を含めることは不適切である。さらに、VDE 地上波チャネルと ASM チャネルの割り当てが主要だが、デジタル無線通信の受信速度は保証されておらず、特に VDES による遭難や緊急情報の送受信には適していない。しかし、VDES による ASM の放送と、航海用表示装置での標準化された記号によるそのようなメッセージの描写は、音声による誤解の回避に大きく貢献し、船員の負担を軽減し、航海の安全性を高めることができる。

したがって、共同提案者は、e-navigation の実施を実現するために、VDES を SOLAS の第 V 章に導入する必要があると考えている。VDES の関連データ、知識、経験を取得した上で、GMDSS での VDES の使用を将来検討する必要があるとしている。

2.2.2. Saab、Orbcomm、および AAC Clyde Space の契約

Saab、Orbcomm、および AAC Clyde Space の3社は、海上通信に VHF データ交換システム (VDES)を使用する新しい衛星の契約に署名した。3社は、海上通信に VDES を使用したテストを実施するため、低軌道(LEO)の超小型衛星を打ち上げ、現在の沿岸域で使われる VDES を大洋に拡張することを計画している。衛星 VDES は、船舶自動識別装置(AIS)などの既存のネットワークを強化する新しい自動船舶追跡標準にもなる。

2.3. VDES 衛星の動向

2.3.1. NORSAT-2(ノルウェー)

ノルウェーは、2017 年 7 月 14 日 VDES 衛星「NORSAT-2」を打ち上げ、これを使用して船とテスト衛星の間でデジタルデータを交換する実証試験に成功した。NORSAT-2 は、ノルウェー宇宙センター(Norsk Romsenter)が運用する船舶追跡および低軌道通信衛星であり、高度なサービスを提供する新しい VHF データ交換システムを提供している。このサービスの概要を図 2.3-1 に示す。



図 2.3-1 NORSAT-2 のサービス概要

2.3.2. Sternula(デンマーク)

Sternula はデンマーク初の商業衛星オペレーターである。Sternula は、2022 年から運用される低軌道(LEO)の高度なマイクロ衛星を使用して、海洋当局と産業向けにグローバル VDE-SAT 接続を提供する予定である。衛星打上のロードマップとして主なマイルストーンは、2022 年に 1 基の衛星をその後、2024 年に 4 基プラス、2026 年に 16 基プラス、2028 年に 40 基プラスと累計 61 基の衛星となる計画である。

第3章 VDES(衛星コンポーネント)の有力な利用シーン・ニーズ

3.1. 構成員アンケートの結果と示唆

3.1.1. アンケート実施概要

【実施目的】作業班において VDES(衛星コンポーネント)のシステム要求条件、技術的要求条件を検討するにあたり、ユーザーの立場からの利用シーンやニーズについて情報収集を行うことを目的に実施。

【実施期間】2020 年 12 月 15 日～12 月 23 日

【実施方法】ウェブアンケート

【調査対象】検討会構成員

【調査項目】以下のとおり。

- 本調査開始前に、衛星 VDES というシステム自体をご存じでしたか。
- 本調査開始前に、国内外で衛星 VDES 導入の動きがあることをご存じでしたか。
- 船舶による衛星 VDES 利用は、どのようなシーン(現場・用途)に適しているとお考えですか。アイデアベースでも結構ですのでご回答ください。
- システムユーザーの立場に立ったとき、衛星からのブロードキャストでの提供が大きなメリットを生む情報として、どういった情報が考えられますか。
- 衛星利用という点に伴って発生する課題として、どういった課題が想定されますか。
- わが国での取組に当たり参考とすべき他国の情報(具体的な取組や政策的対応等)があれば、概略をご紹介ください。
- 衛星 VDES の利用促進・課題解決のために必要な政策的対応について、ご意見をお書きください。

3.1.2. アンケート実施結果

9 名の検討会構成員より回答を得た。概要は以下のとおり。

「利用シーン」

海上安全情報(MSI)の放送、航路等の航海情報の通信、気象・海象観測データの通信のほか、遠距離での通信が可能になることから、海難救助への活用にも生かせる。漁業においては、漁船間での操業情報や、漁場予測情報への活用が期待される。

「メリットを生む情報」

運航警報情報・海上安全情報、気象・海象データが中心になる。その他、他の船舶の位置情報、航行先の天候、燃費改善のための海流データ、漁場予測データ等が想定される。

「課題」

衛星や専用機器の整備費用、通信費、衛星の運用費用等、コストに関する課題がある。その他、広域での通信に起因する混信、地上 VDES 等の干渉による通信断、地球全体を網羅するための衛星数の確保に時間がかかる可能性、妨害やスプーフィング等の課題がある。

3.2. 有識者ヒアリングの結果と示唆

3.2.1. ヒアリング実施概要

【実施目的】アンケートから得られた利用シーンやニーズを深掘りし、より詳細な情報収集を行うことを目的に実施。

【実施期間】: 2021 年 1 月 13 日～1 月 19 日

【実施方法】オンラインヒアリング

【調査対象】アンケート回答者より以下の 4 名に対し実施(実施順)

(公財)笹川平和財団 海洋政策研究所 特別研究員 渡辺 忠一 氏

(一社)全国船舶無線協会(水洋会部会) 事務局長 田北 順二 氏

新日本海フェリー(株) 取締役 海務部長 運航管理者 開 敏之 氏

海上保安庁 交通部 企画課 国際技術開発室 専門官 野口 英毅 氏

【調査項目】以下のとおり。

1. 船舶による衛星 VDES 利用が期待されるシーン(有力な活用現場・用途)
2. 衛星からのブロードキャストによる提供がメリットを生む情報
3. 衛星利用システムに対する使用上の懸念や機能面での要望
4. 衛星 VDES の利用シーン・ニーズに関して参考となる先行事例(海外の取組等)
5. 1～4 に関連した、我が国での衛星 VDES(端末側地上局に限る)の整備に係る情報や提案など

3.2.2. ヒアリング実施結果

ヒアリングにより得られた主な意見の概要は以下のとおり。

「想定される主な利用シーン」

航行情報(特に海上安全情報)へのニーズがある。例えば、GMDSS に備えられている EGC 等で、海上安全情報等を VHF 海岸局の届かないところへ放送する通信衛星としての活用が想定される。また、気象・海象データへのニーズのほか、漁業への活用として、漁船間での操業情報の通信や漁場の予測情報の通信に活用できる。航海中に通信上のトラブルがあったときのバックアップ回線としても利用できる。

「具体的な情報の種類」

運航警報、海上安全情報、気象・海象データへのニーズがある。特に、海象・気象情報においては、予報データではなく、現在天候がどういう状況にあるのかという実測データが得られると有効である。ほかに、他の船舶の位置情報、燃費改善のための海流データや漁場の状態に関する情報へのニーズもある。

「課題」

通信機器の整備に要する費用、通信費、衛星の整備・メンテナンス費用など、コストに関する課題がある。機器について、具体的には、現状の VHF のシステムをそのまま活用できるかが懸念されている。インターフェースについては、VDES のデータを ECDIS 画面にグラフィカルに表示されることが重視されている。その他、広域利用に伴う混信、地上 VDES との干渉による通信の混乱、地球全体をカバーするために必要な衛星数の確保に時間を要すること等が課題である。

3.3. まとめ

VDES(衛星コンポーネント)は、海上安全情報や気象・海象データ等のやり取りへのニーズがある一方で、ユーザーにとっては、機器整備や通信に係るコスト、機器構成、インターフェースの使い易さ等が懸念されている。

第4章 VDES(衛星コンポーネント)のシステム要求条件

4.1. 国際的動向における VDES の導入と周波数割当

4.1.1. 国際 VHF 海上無線

船舶における海上無線通信では様々な周波数帯を利用した各種通信方式が用いられている。それらの中で、入出港時の連絡や、付近を航行する他の船舶との通話に頻繁に用いられているのが 156-162 MHz の周波数帯(海上 VHF、日本では国際 VHF と呼ばれている)を用いた無線電話であり、一般の通話だけでなく、遭難、緊急又は安全のための呼出、応答及び通報にも使用されている。海上 VHF の無線電話は 1960 年代前半から導入が開始され、日本では昭和 39 年(1964 年)9 月に制度化された。

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、海上無線通信においてもデータ通信の需要が急増しており、従来は主にインマルサット等の衛星通信でデータ通信が行われているが通信費用が高額になることから、無料で利用できるデータ通信の導入が急がれていた。さらに、船舶の効率的な運航を支援する目的でもデータ通信システムの導入が望まれていた。海上 VHF への VDE(VHF Data Exchange)導入が 2012 年世界無線通信会議(WRC-12)において審議され、海上 VHF のチャンネル配置を規定している無線通信規則付録第 18 号が改正され、平成 29 年(2017 年)1 月から ITU-R 勧告 M.1842-1 によるデータ通信用のデジタルバンドが海上 VHF の CH21-26 及び CH80-86 を用いて使用できることとなった。ITU-R 勧告 M.1842-1 では、1 チャンネルあたり帯域幅 25 kHz の海上 VHF のチャンネルを最大 4 つ用いて 100 kHz 幅とし、最大 307.2 kbps の伝送速度をもつデータ通信方式が記載されている。

船舶自動識別装置(AIS: Automatic Identification System)は、船舶の位置情報や針路、船速などの航海情報、船名や貨物の情報を定期的に放送し、他船から放送されたこれらの情報を常時受信し表示するシステムであり、船舶の識別のために用いられている。AIS では、船舶の動向に関する情報だけでなく、アプリケーション毎に定義されたメッセージを交換できる特定用途(アプリケーション特定)メッセージ(ASM: Application Specific Message)を利用することにより、任意のメッセージ交換も可能である。AIS を利用した ASM の使用頻度が高くなってきたことから、徐々に AIS チャンネルが逼迫してきたため、ASM のようなメッセージ交換は AIS とは別のチャンネルで運用させるべき検討が ITU-R(国際電気通信連合無線通信部門)で行われた。2015 年世界無線通信会議(WRC-15)において、ASM 専用チャンネルの導入が全世界的に認められ、平成 31 年(2019 年)1 月より同メッセージ専用の ASM 1(161.950 MHz)及び ASM 2(162.000 MHz)チャンネルが使用できることとなった。

WRC-15 では VDE チャンネルの使用方法も整理され、CH21-23 及び CH80-83 は ITU-R 勧告 M.1842-1 による VDE(通称: VDE 地域チャンネル)として各国や地域が独自に使用し、CH24-26 及び CH84-86 は VHF データ交換システム(VDES: VHF Data Exchange System)の地上コンポーネント(地上 VDE)として全世界共通で使用されることとなった。VDES は ASM も含み、それらの技術特性は ITU-R 勧告 M.2092-0 で規定された。なお、WRC-15 では VDES の衛星コンポーネント(衛星 VDE)の導入も検討対象とされていたが、審議は 2019 年世界無線通信会議(WRC-19)に繰り越された。

衛星 VDE への周波数分配は 2019 年 10 月から 11 月に開催された WRC-19 で決定され、2021 年 1 月より VDES を衛星通信でも使用できることとなった。WRC-19 では、さらに VDES チャンネル

の使用方法も整理され、地上 VDE は CH24-25 及び CH84-85 を使用し、衛星 VDE は CH24-26 及び CH84-86 を使用することとなった。それを基に無線通信規則(RR:Radio Regulations)の一部が改正され、発行された。なお、当該周波数帯の分配は、地上 VDE(移動業務)等の地上業務は一次業務、衛星 VDE(海上移動衛星業務)は二次業務である。

これらデジタルシステムを含む国際 VHF のデジタル通信用チャンネルを図 4.1-1 に示す。

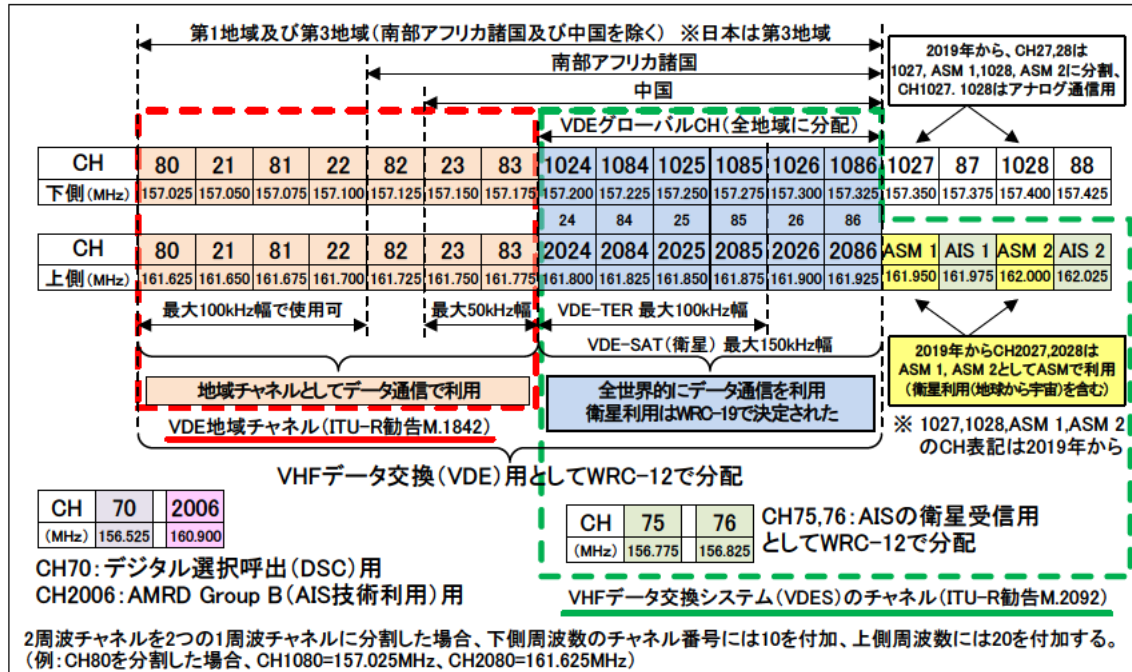


図 4.1-1 国際 VHF デジタル通信用チャンネル

4.2. 国内の利用シーン・ニーズを踏まえた衛星 VDES のシステム要求条件

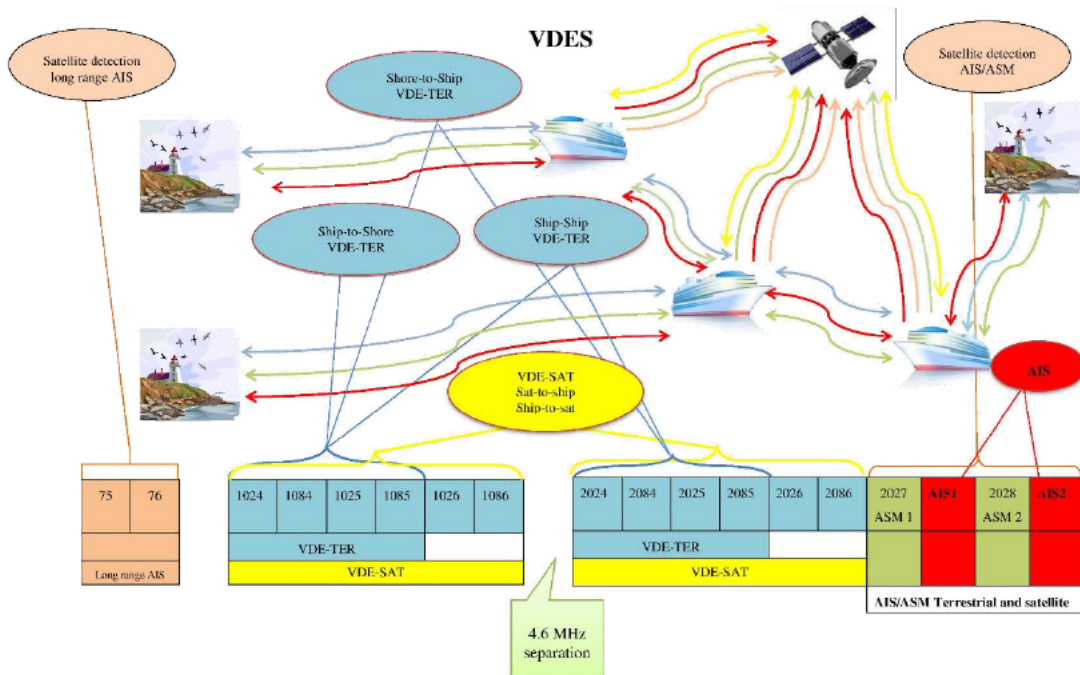


図 4.2-1 VDES 概念図

アンケート結果より、我が国における利用ニーズは、航海の安全安心のため、また環境問題などの多様な観点より、沿岸域だけではなく、VHF 海岸局のサービスエリアを超えた海域でも気象・海象情報や、障害物などの海上安全情報等を得ることで、ECDIS などの航海機器への表示、海図へのデータ重畳など様々な用途が考えられる。

例えば、目的地のこれら情報をいち早く得ることにより、安全な行動を早くからとることができる、効率の良い航路計画を遠く離れている段階で再考できるなどの航海に関する計画に利用することから、通常使われている衛星通信に何らかのトラブルが生じた場合のバックアップとした回線などの手段など、衛星ならではの長所は多く、様々な用途における選択肢が広がると期待できる。

これらについては、現在の海上 VHF 帯通信（音声通信や AIS など）では実現が困難であるが、デジタル化の利点を活かしてデータや画像等の新しいサービスとして提供を受けるにあたり、我が国で実現出来るシステム要求条件として ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案（ITU-R 文書番号：5B/225 Annex 16）に記載されている条件が使用できるものと推察される。そのため、今後は特に断りのない限り、衛星 VDE 等の技術特性は当該 ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案（ITU-R 文書番号：5B/225 Annex 16）に記載されている条件を使用する。

4.2.1. 衛星 VDE チャンネル

VDES の技術特性は ITU-R 勧告 M.2092-0 で定められているが、同勧告は衛星 VDE の導入が WRC-19 で決定される以前の平成 27 年（2015 年）10 月に発行されたものであり、衛星 VDE の技術特性が十分に定められているとは言い難い。そのため、国際航路標識協会（IALA）等が中心となって技術特性を検討し、ITU-R 勧告 M.2092-0 の改正案として ITU-R に提案している。それらの提案により、令和 2 年（2020 年）11 月に開催された ITU-R WP 5B 会合において ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案がほぼ最終化され、主要な技術特性は確定されたと考えられる。

衛星 VDE では、国際 VHF の上側周波数帯及び下側周波数帯でそれぞれ連続した 6 つのチャネルによる 150 kHz 幅の周波数が使用できるが、使用できるチャネルの組み合わせは表 4.1-1 のように定められており、アップリンク（地球から宇宙）は 50 kHz 幅のチャネル、ダウンリンク（宇宙から地球）は 50 kHz、100 kHz 及び 150 kHz 幅のチャネルを使用することとされている。各チャネルの技術特性を表 4.1-1 から表 4.1-3 に示す。

表 4.2-1 衛星 VDE の使用チャネル

Channel Pair	Uplink			Downlink		
	Channel	Frequency	Bandwidth	Channel	Frequency	Bandwidth
A	1226 : (1026+1086)	157,3125 MHz	50 kHz	2226: (2026+2086)	161,8375 MHz	50 kHz
B	2226: (2026+2086)	161,9125 MHz	50 kHz	1226: (1026+1086)	157,2625 MHz	50 kHz
C	1225: (1025+1085)	157,2625 MHz	50 kHz	2284: (2024+2084+2025+2085)	161,8375 MHz	100 kHz
D	2225: (2025+2085)	161,8625 MHz	50 kHz	1284: (1024+1084+1025+1085)	157,2375 MHz	100 kHz
E	1224: (1024+1084)	157,2625 MHz	50 kHz	2225: (2024+2084+2025+2085+2026+2086)	161,8625 MHz	150 kHz
F	2224: (2024+2084)	161,8125 MHz	50 kHz	1225: (1024+1084+1025+1085+1026+1086)	157,2625 MHz	150 kHz

Lower band						Upper band						
Channel No	1024	1084	1025	1085	1026	1086	2024	2084	2025	2085	2026	2086
Uplink	E		C		A		F		D		B	
Downlink	D				B		C				A	
	F						E					

表 4.2-2 衛星 VDE の技術特性(アップリンク)

送信帯域幅	50 kHz			
変調方式	QPSK/CDMA	PI/4 QPSK	8PSK	16QAM
電波の型式	G1D	G1D	G1D	G1D
空中線電力	12.5 W	11 W	10 W	6 W

表 4.2-3 衛星 VDE の技術特性(ダウンリンク)

送信帯域幅	50 kHz				100 kHz	150 kHz
変調方式	BPSK /CDMA	BPSK	PI/4 QPSK	8PSK	BPSK /CDMA	BPSK /CDMA
電波の型式	G1D	G1D	G1D	G1D	G1D	G1D
空中線電力	pfd マスクで規定					

表 4.2-4 衛星 VDE 船舶局の送受信機のパラメータ

送信機	送信帯域幅	50 kHz
	隣接チャネル電力	0 dBc ($ \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)
		-25 dBc ($25 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 37.5 \text{ kHz}$)
		-70 dBc ($37.5 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 125 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャネル選択度	規定なし
	感度	規定なし

第5章 周波数共用条件の検討

5.1. 周波数共用条件検討の考え方

衛星 VDE(海上移動衛星業務)は二次業務として周波数が分配されており、音声、地上 VDE、ASM 及び AIS(移動業務又は海上移動業務)は一次業務として周波数が分配されている。「二次業務の無線局は、周波数が既に割り当てられ、又は後日割り当てられる一次業務の無線局に有害な混信を生じさせてはならない。」とされているため、衛星 VDE 導入の際には、これら一次業務の無線局に有害な混信(干渉)を与えないことが求められる。周波数の有効利用を図りながら衛星 VDE を導入するために、衛星 VDE と既存無線設備の共用条件を検討する。手法は、各技術パラメータを用いて、実験室において測定器等を用いて実際の環境を模擬的に構築し、試験により干渉の程度を測定する。そして、数値計算による値と試験結果を比較し、同様の傾向が得られるかその妥当性を確認する。

5.2. 試験方法

5.2.1. 試験概要

試験の概要として、周波数共用条件検討に必要な干渉モデル及びその測定項目について記載する。

5.2.1.1. 干渉モデル

海岸局と船舶局の周波数割当て条件から、既存のデータ通信と衛星 VDE の共用を想定した場合に干渉する状況を推定する。

2020 年版無線通信規則において衛星 VDE 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、我が国においても周波数割当て計画により、無線通信規則と同様に表 5.2-1 のようにチャンネルが割り当てられている。

表 5.2-1 チャネル割当表

チャネル 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	
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		○	○	○
1024	157.200	157.200	○*	○*		
2024	161.800	161.800	○*	○*		
84	157.225	161.825		○	○	○
1084	157.225	157.225	○*	○*		
2084	161.825	161.825	○*	○*		
25	157.250	161.850		○	○	○
1025	157.250	157.250	○*	○*		
2025	161.850	161.850	○*	○*		
85	157.275	161.875		○	○	○
1085	157.275	157.275	○*	○*		
2085	161.875	161.875	○*	○*		
26	157.300	161.900		○	○	○
1026	157.300					
2026		161.900				
86	157.325	161.925		○	○	○
1086	157.325					
2086		161.925				
1027	157.350	157.350		○		
ASM 1	161.950	161.950				
87	157.375	157.375		○		
1028	157.400	157.400		○		
ASM 2	162.000	162.000				
88	157.425	157.425		○		
AIS 1	161.975	161.975				
AIS 2	162.025	162.025				

* このチャネルの使用は、デジタル変調方式のものに限る。

※「周波数割当計画別表3-4」(令和3年1月31日現在)より関連チャネルを抜粋

表 5.2-1 から VDES に関する割り当てについて、詳細をまとめたものを図 5.2-1 に示す。

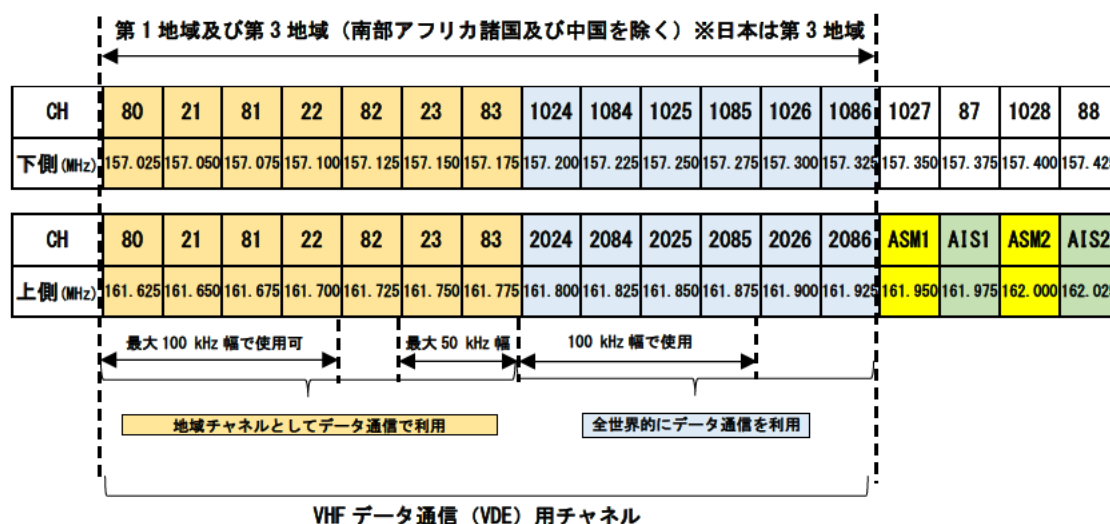


図 5.2-1 VDE 及び VDES 用チャンネル

図 5.2-1 において、橙で示されているチャンネルは地域でデータ通信用途に使用される VDE チャンネルであり、平成 29 年度の「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」において既に検討されているため、今回の検討対象からは除外する。

青で示されているチャンネルは衛星 VDE で使用するチャンネルである。地上で使われる全世界的に利用されるチャンネルを使用する VDE についても、青で示される 6 チャンネルのうち、Ch.24、Ch.84、Ch.25、Ch.85 を使用する。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 専用に割り当てられたチャンネルである。これらのことから、AIS、ASM 及び全世界的に利用するチャンネルを使用する地上 VDE と衛星 VDE を共用検討の対象とした。

本干渉検討では、大きく分けて 2 通りを考える。1 つ目は、既存のデータ通信が自局と他局間で通信中に衛星 VDE の干渉を受けることを想定した場合である。もう 1 つは、同じ船舶内で既存のデータ通信中に別体となる衛星 VDE 装置による干渉を受けることを想定した場合である。また、衛星 VDE では、船舶局が人工衛星局へ送信するアップリンクの場合と、人工衛星局から船舶局で受信するダウンリンクについてそれぞれ検討しなければならない。アップリンクでは、船舶局から送信するため近い距離で受信することが想定される。ダウンリンクは遠く離れた人工衛星より送信された信号を受け取るため、その影響を確認する。同じ船舶内における干渉については、同じ周波数帯だが装置及びアンテナが別であることから起こり得る干渉を想定した確認である。

それぞれの場合において、測定器等を用いた試験を実施し、衛星 VDE 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。

以上を踏まえ、試験の実施項目をまとめたものを表 5.2-2 に示す。

表 5.2-2 試験実施項目

実施項目	
船舶間通信中に他船 衛星 VDE アップリンク通信が干渉する	
地上 VDE	隣接チャネル干渉検討
ASM	隣接チャネル干渉検討
AIS	隣接チャネル干渉検討
船舶間通信中に衛星からの衛星 VDE ダウンリンク通信が干渉する	
衛星 VDE	同一チャネル干渉検討
船舶間通信中に自船 衛星 VDE アップリンク通信が干渉する	
ASM	隣接チャネル干渉検討
AIS	隣接チャネル干渉検討

表 5.2-2 の各実施項目をモデル図で表したものを図 5.2-2、図 5.2-3 及び図 5.2-4 に示す。

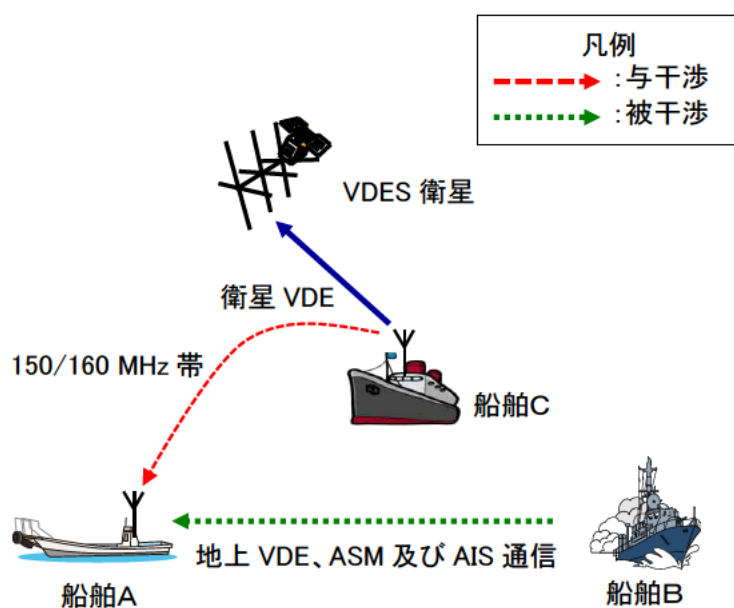


図 5.2-2 干渉モデル想定 1 (船舶間通信中に他船 衛星 VDE アップリンク干渉)

隣接チャネルにおける希望波と妨害波の受信レベル(DU 比)より、妨害波を出力する船から離れることで通信が成り立つまでの離隔距離(最小距離)を求める。

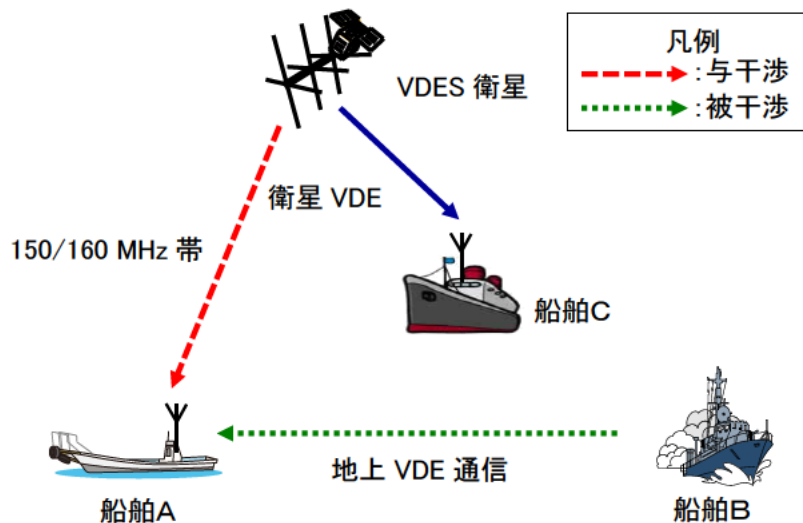


図 5.2-3 干渉モデル想定 2 (船舶間通信中に衛星からの衛星 VDE ダウンリンク干渉)

衛星 VDE のダウンリンクによる妨害波受信レベルのある環境(DU 比)において、船舶間の地上 VDE 通信が可能である最大距離を求める。

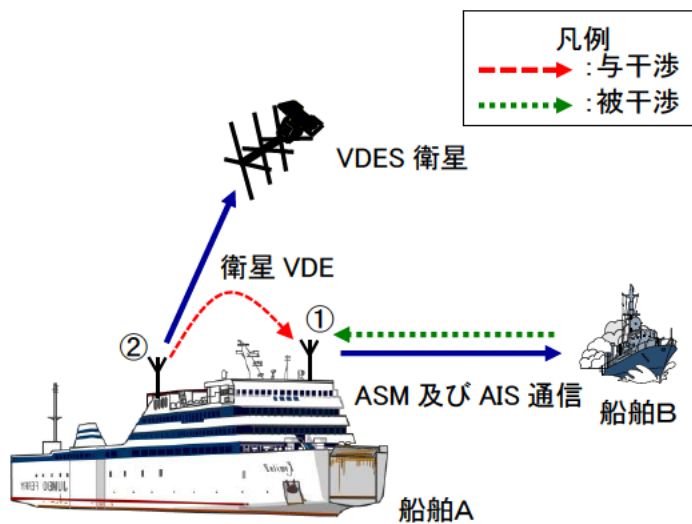


図 5.2-4 干渉モデル想定 3 (船舶間通信中に自船 衛星 VDE アップリンク干渉)

新たに衛星 VDE 設備の設置によるアンテナ増設で起こるアンテナ間干渉について、DU 比から通信が成り立つまでの離隔距離(上図におけるアンテナ間①②の最小距離)を求める。

5.2.2. 試験条件

4.2. 節に記載のとおり、試験は ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案をベースとして進めることとした。それより、各干渉モデルの試験条件(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。

5.2.2.1. 干渉モデル想定図 1

衛星 VDE の主な特性を表 5.2-3 に記載する。表中の赤枠で囲った 16QAM を妨害波として使用する。なお、青枠は使用する干渉波周波数を示している。

(1) 衛星 VDE 変調方式一覧(アップリンク)

表 5.2-3 検討対象 衛星 VDE(アップリンク)の変調方式一覧

送信帯域幅	50 kHz			
変調方式	QPSK/CDMA	PI/4 QPSK	8PSK	16QAM
電波の型式	G1D	G1D	G1D	G1D
周波数[MHz]	157.200+157.225, 157.275+157.275, 157.300+157.325 161.800+161.825, 161.859+161.875, 161.900+161.925			
空中線電力	12.5 W 以下	11 W 以下	10 W 以下	6 W 以下

(2) 試験の組み合わせ

表 5.2-4 試験の組み合わせ

ASM

	希望波	妨害波
	ASM	衛星 VDE
帯域幅	25 kHz	50 kHz
変調方式	PI/4 QPSK	16QAM

AIS

	AIS	衛星 VDE
帯域幅	25 kHz	50 kHz
変調方式	GMSK	16QAM

地上 VDE

	地上 VDE	衛星 VDE
帯域幅	100 kHz	50 kHz
変調方式	16QAM	16QAM

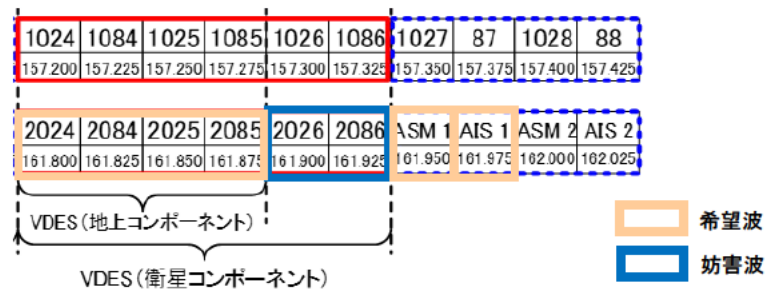


図 5.2-5 使用周波数

5.2.2.2. 干渉モデル想定図 2

(1) 衛星 VDE 変調方式一覧(ダウンリンク)

表 5.2-5 検討対象 衛星 VDE(ダウンリンク)の変調方式一覧

送信帯域幅	50 kHz				100 kHz	150 kHz
変調方式	BPSK /CDMA	BPSK	PI/4 QPSK	8PSK	BPSK /CDMA	BPSK /CDMA
電波の型式	G1D	G1D	G1D	G1D	G1D	G1D
周波数[MHz]	50 kHz: 157.200+157.225, 157.275+157.275, 157.300+157.325 161.800+161.825, 161.859+161.875, 161.900+161.925 100 kHz: 161.800 – 161.875 MHz 150 kHz: 161.800 – 161.925 MHz					
空中線電力	pfd マスクによる					

(2) 試験の組み合わせ

表 5.2-6 実験の組み合わせ

	地上 VDE	衛星 VDE
帯域幅	100 kHz	100 kHz
変調方式	16QAM	BPSK/CDMA

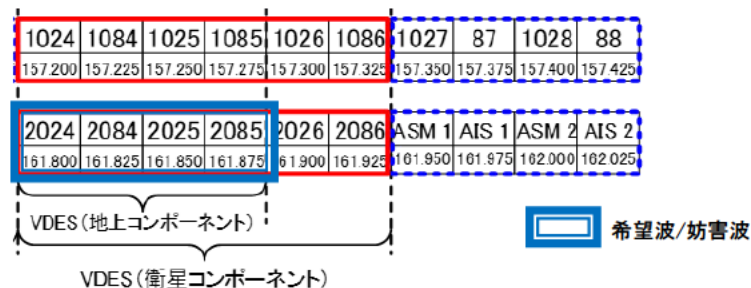


図 5.2-6 使用周波数

5.2.2.3. 干渉モデル想定図 3

干渉モデル想定図 1 と同様である。

5.2.2.4. 参照規格

ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案より、妨害波として扱う衛星 VDE 側の送信規格について抜粋したものを表 5.2-7 にまとめる。

(1) 送信規格

表 5.2-7 衛星 VDE の送信規格

参照規格	ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案
周波数偏差	1.5 ppm
変調スペクトラム 50 kHz チャンネル (アップリンク)	$\Delta f_c < \pm 25 \text{ kHz}$: 0 dBc $\pm 25 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 37.5 \text{ kHz}$: below the straight line between -25 dBc at $\pm 25 \text{ kHz}$ and -70 dBc at $\pm 37.5 \text{ kHz}$ $\pm 37.5 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 125 \text{ kHz}$: -70 dBc
変調スペクトラム 100 kHz チャンネル (ダウンリンク)	$\Delta f_c < \pm 50 \text{ kHz}$: 0 dBc $\pm 50 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 62.5 \text{ kHz}$: below the straight line between -25 dBc at $\pm 50 \text{ kHz}$ and -70 dBc at $\pm 62.5 \text{ kHz}$ $\pm 62.5 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 250 \text{ kHz}$: -70 dBc

(2) ダウンリンクの受信機入力電力

ダウンリンクについては、ITU-R 勧告の船舶側における受信機入力電力の算出例から引用する。妨害波として受ける場合は算出例の中で最も大きく示す値を用いることとする。

地上 VDE と衛星 VDE 間の相互運用と互換性を保証するため、地表における衛星からのダウンリンク波の電力束密度の制限値(以下、pfd マスク)は下記公式により規定される。 θ° は地表の水平面方向と衛星の方向間の角度から成る。

$\theta^\circ = \text{earth to satellite elevation angle}$

$$PFD(\theta^\circ)_{(\text{dBW}/(\text{m}^2 \cdot 4 \text{ kHz}))} = \begin{cases} -149 + 0.16 * \theta^\circ & 0^\circ \leq \theta < 45^\circ; \\ -142 + 0.53 * (\theta^\circ - 45^\circ) & 45^\circ \leq \theta < 60^\circ; \\ -134 + 0.1 * (\theta^\circ - 60^\circ) & 60^\circ \leq \theta \leq 90^\circ. \end{cases}$$

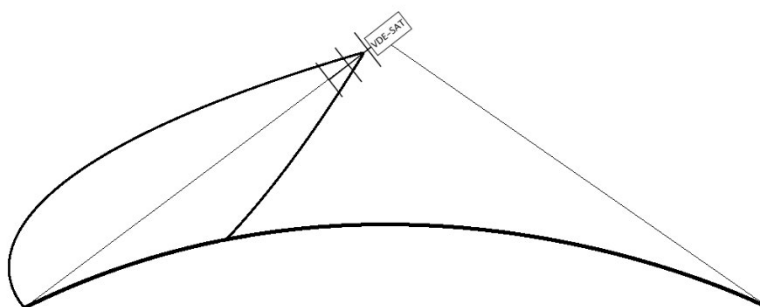


図 5.2-7 八木アンテナとそのメインローブが地球の地平線に向けられる様子

衛星アンテナの例として、円偏波八木アンテナによる検討結果となる。図 5.2-7 は、八木アンテナのメインローブが地球の地平線に向けられている様子を示している。細線は衛星からの視野を示しているが、通信範囲は八木アンテナのメインローブ内の領域に限定される。

衛星 VDE の受信機入力電力 算出例

表 5.2-8 送信側衛星局パラメータ

送信側の衛星局	
高度	600 km
最大レンジ(フットプリント)	直径 2830 km (高度 600 km の場合)
周波数偏差(送信搬送波)	±160 Hz 以内(例として 1 ppm 以下)
LEO 周回速度	8 km/s (最大ドップラーシフト ±4 kHz)
衛星側アンテナ	八木アンテナ(円偏波 3 エLEMENT)
ピークアンテナゲイン	8 dBi

表 5.2-9 受信側船舶局パラメータ

受信側の船舶局			
アンテナゲイン(仰角 0°)		2.15 dBi	
ノイズと妨害レベル			
	アンテナ雑音温度*	245.0	K
	LNA 雑音指数	6.0	dB
	LNA 雑音温度	813.8	K
	Feed loss noise temp at LNA LNA の Feed 損失雑音温度	0.0	K
	LNA のアンテナ雑音温度	245.0	K
	LNA のシステム雑音温度	1058.8	K
	LNA のシステム雑音温度	30.2	dBK
	*銀河背景アンテナ雑音温度は、160 MHz において 245 K である。 [ITU-R 勧告 P.372 - Radio Noise].		

表 5.2-10 仰角に応じた衛星 VDE のダウンリンクバジェット(pfd 最大時の受信機入力電力)

船舶から見た仰角 (degrees)	衛星 e.i.r.p. (円偏波) (dBW)	船舶と衛星 間距離 (km)	自由空間 損失 (dB)	偏波損失 (dB)	船舶アンテナ 想定利得 (dBi)	受信機入力電力 (dBm in 50 kHz)	C/N ₀ (dBHz)	C/(N ₀ +I ₀) (dBHz)
0	-2.2	2 829	145.7	3	3	-117.8	50.5	43.2
10	-2.2	1 932	142.4	3	3	-114.5	53.8	46.5
20	-2.2	1 392	139.5	3	2.5	-112.2	56.2	48.8
30	-2.4	1 075	137.3	3	1	-111.6	56.7	49.4
40	-3.3	882	135.5	3	0	-111.8	56.5	49.2
50	-4.7	761	134.3	3	-1.5	-113.4	54.9	47.6
60	-6.6	683	133.3	3	-3	-115.9	52.5	45.1
70	-9.5	635	132.7	3	-4	-119.1	49.2	41.8
80	-12.4	608	132.3	3	-10	-127.7	40.7	33.3
90	-15.7	600	132.2	3	-20	-140.9	27.5	20.1

妨害波を受けるデータ通信で使用する海上無線設備(以下「AIS」「ASM」及び「地上 VDE」という。)側については、無線設備規則及び ITU-R 及び IEC の各受信規格を抜粋したものを表 5.2-11 から表 5.2-16 にまとめる。

(3) AIS チャンネル

AIS の国際規格は、ITU-R 勧告 M.1371-5 から表 5.2-11 及び表 5.2-12 の通りに定められている。

表 5.2-11 AIS チャンネルを使用する AIS の国際規格

送信帯域幅	25 kHz
変調方式	GMSK
電波の型式	G1D
周波数[MHz] (*)	船舶局/海岸局: 161.975 162.025
空中線電力	船舶局/海岸局: 12.5 W 以下

* AIS の衛星受信用周波数は検討対象外

表 5.2-12 AIS の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		25 kHz
送信機	スロット変調マスク	0 dBc ($ \Delta f_c < 10 \text{ kHz}$)
		-25 dBc ($10 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)
		-70 dBc ($25 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 62.5 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャンネル選択度	20% PER @ 70 dB
	感度	20% PER @ -107 dBm

(4) ASM チャンネル

ASM の国際規格は、ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案から表 5.2-13 及び表 5.2-14 の通りに定められている。

表 5.2-13 ASM チャンネルを使用する ASM の国際規格

送信帯域幅	25 kHz
変調方式	$\pi/4$ QPSK
電波の型式	G1D
周波数[MHz] (*)	船舶局/海岸局: 161.950 162.000
空中線電力	船舶局/海岸局: 12.5 W 以下

表 5.2-14 ASM の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		25 kHz
送信機	スロット変調マスク 0 dBc は平均電力時	0 dBc ($ \Delta f_c < 8 \text{ kHz}$)
		-25 dBc ($8 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 16 \text{ kHz}$)
		-60 dBc ($16 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)
		-70 dBc ($25 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 62.5 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャネル選択度	20% PER @ 70 dB
	感度	20% PER @ -107 dBm

(5) 全世界的に利用する地上 VDE チャンネル

ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案は ASM 同様にスロット構成、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。これらのことから、試験について ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案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地上 VDE の国際規格は、ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案から表 5.2-15 及び表 5.2-16 のとおり 3 つの送信帯域幅によって定められている。

表 5.2-15 全世界的に利用するチャンネルを使用する地上 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(※)	6.5 – 12.5 W	

※勧告原文では Transmit average power と表記

表 5.2-16 全世界的に利用するチャンネルを使用する地上 VDE の送受信機のパラメータ

帯域幅		25 kHz	50 kHz	100 kHz
送信機	隣接チャネル電力	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 ($12.5 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)	-25 dBc ($25 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 37.5 \text{ kHz}$)	-25 dBc ($50 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 62.5 \text{ kHz}$)
		-70 dBc ($25 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 62.5 \text{ kHz}$)	-70 dBc ($37.5 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 125 \text{ kHz}$)	-70 dBc ($62.5 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 250 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャネル選択度	規定なし		
	感度(1% PER)	$\pi/4$ QPSK: -111 dBm 16QAM: -108 dBm	$\pi/4$ QPSK: -108 dBm 16QAM: -105 dBm	$\pi/4$ QPSK: -105 dBm 16QAM: -102 dBm

5.2.2.5. 妨害波

使用する妨害波を以下に示す。

アップリンク : 16QAM(50 kHz) : PN15 系列を使用した変調状態
ダウンリンク : BPSK/CDMA 変調(100 kHz) : PN15 系列を使用した変調状態。拡散符号は 0010、チップレートは 72 kcps、拡散率は 2

5.2.2.6. 測定項目

試験方法として、実験室内で実機を使った方法を採用した。検討項目は表 5.2-2 から以下の 2 つとなる。

- (1) 同一チャネル干渉試験
- (2) 隣接チャネル干渉試験

さらに、試験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(5.3.1.節で後述)を実施した。

既存無線設備によるデータ通信中に同一チャネルを衛星 VDE として使用した場合、既存のデータ通信と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、衛星 VDE が既存のデータ通信にどのように影響を与えるかについて、以下の 2 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 比から通信可能な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)であるか把握する。さらに、その DU 比から離隔距離を求める。

5.2.3. 試験手順

5.2.3.1. 使用機器

試験に用いる機器を表 5.2-17 に示す。

表 5.2-17 使用機器一覧

機器	形名	メーカー	備考
標準信号発生器 1	SMIQ03B	ローデ&シュワルツ	AIS 用希望波
標準信号発生器 2	E4438C	アジレント	ASM/地上 VDE 用希望波
標準信号発生器 3	MG3710A	アンリツ	妨害波
整合器	Z-164A	アンリツ	二信号特性値測定用パッド
電力レベル計	MT2605	アンリツ	コミュニケーションアナライザ

信号発生器と受信機は下図のように結線する。

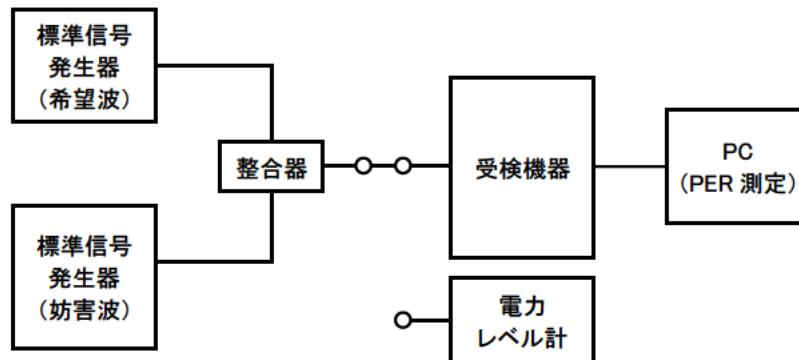


図 5.2-8 測定系

5.2.3.2. データ取得

本試験では希望波の受信機入力を基準感度+20 dB とした。基準感度では装置の不確かさか外来による不確かさか判別できないため、十分に受信性能を発揮するため基準感度より強い信号入力において測定するものである。

試験のデータ取得は以下の手順で行った。

(1) 干渉モデル想定 1

(ア) 隣接チャネル干渉試験

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。

AIS	161.900+161.925 MHz
試験周波数(50 kHz 離れ):	161.975 MHz
ASM	161.900+161.925 MHz
試験周波数(25 kHz 離れ):	161.950 MHz
地上 VDE	161.900+161.925 MHz
試験周波数(25 kHz 離れ):	161.800+161.825+161.859+161.875 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。

DU 比

1. 標準信号発生器 1 または 2 の出力を基準感度+20 dB(-87 dBm)に設定する。標準信号発生器 1 は測定する変調(AIS, ASM および地上 VDE)にて標準変調状態とする。
2. 標準信号発生器 3 を 16QAM 変調とし、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 3 を入力し、PER が 80%となるように標準信号発生器 3 の出力を調整し、その値を記録する。
4. 標準信号発生器 1 または 2 と標準信号発生器 3 の値から DU 比を算出する。以下の組み合わせで測定する。

(2) 干渉モデル想定 2

(ア) 同一チャネル干渉試験

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。

地上 VDE と衛星 VDE	
試験周波数(同一):	161.800+161.825+161.859+161.875 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。

DU 比

1. 標準信号発生器 3 を BPSK/CDMA 変調とし、出力をダウンリンク受信電力となる -111.6 dBm に設定する。
2. 標準信号発生器 2 を 16QAM 変調とし、標準信号発生器 2 と同一周波数に設定する。
3. 標準信号発生器 2 を入力し、PER が 99 %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。但し、標準信号発生器 2 の出力は規定感度値となる -102 dBm までの確認とする。
4. 標準信号発生器 2 と標準信号発生器 3 の値から DU 比を算出する。以下の組み合わせで測定する。

(3) 干渉モデル想定 3

(ア) 隣接チャネル干渉試験

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。

AIS 161.900+161.925 MHz

試験周波数(50 kHz 離れ): 161.975 MHz

ASM 161.900+161.925 MHz

試験周波数(25 kHz 離れ): 161.950 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。

DU 比

1. 標準信号発生器 1 または 2 の出力を基準感度+20 dB(-87 dBm)に設定する。標準信号発生器 1 は測定する変調(AIS, ASM)にて標準変調状態とする。
2. 標準信号発生器 3 を 16QAM 変調とし、標準信号発生器 1/2 と同一周波数に設定する。
3. 標準信号発生器 3 を入力し、PER が 80 %となるように標準信号発生器 3 の出力を調整し、その値を記録する。
4. 標準信号発生器 1 または 2 と標準信号発生器 3 の値から DU 比を算出する。以下の組み合わせで測定する。

5.2.3.3. 離隔距離の算出

測定及び試験結果より以下の計算式を用いて離隔距離を算出した。

また、離隔距離を算出する重要なパラメータであるアンテナ高については、IMO 決議 A.801(19) に記載の船舶側 4 m(小型船舶を想定)とし、もう一方は海岸局ではなく大型船舶を想定した 30 m 及び中型船舶を想定した 10 m を選定した。これらアンテナ高を組み合わせた離隔距離を算出する。

表 5.2-18 離隔距離の算出に用いたアンテナ高の組み合わせ(例)

送信アンテナ	受信アンテナ
30 m	10 m
30 m	4 m
10 m	4 m
4 m	4 m

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。

$$\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} < 0.5 \quad (\sin \theta \cong 0 \text{ のとき、} \sin \theta = \theta) \quad (3)$$

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

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.526-15(資料 5-5 参照)によるモデルを用い、海水の特性(導電率 $\sigma = 4 [\text{S/m}]$ 、比誘電率 $\epsilon_r = 80$)を考慮した近似を行った。また、地球半径 $a = 6,371.25 [\text{km}]$ とし、標準大気(4/3 倍)における等価地球半径 $a_e = 8,495 [\text{km}]$ として計算する。

湾曲した地上表面とアンテナ間で結ぶ直線との最小となる h [m] を式(5)で求める。

$$h = \frac{\left(h_1 - \frac{d_1^2}{2a_e}\right)d_2 + \left(h_2 - \frac{d_2^2}{2a_e}\right)d_1}{d} \quad (5)$$

ここで、 d_1 、 d_2 [m]とそれに付随する各パラメータは式(6)から式(10)で表される。

$$d_1 = \frac{d(1-b)}{2} \quad (6)$$

$$d_2 = d - d_1 \quad (7)$$

$$b = 2 \sqrt{\frac{(m+1)}{3m}} \cos \left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right) \quad (8)$$

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad (9)$$

$$m = \frac{d^2}{4a_e(h_1 + h_2)} \quad (10)$$

ゼロ回折損 h_{req} [m]の必要な距離を求める。

$$h_{req} = 0.522 \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}} \quad (11)$$

次に、手を加えた等価地球半径 a_{em} を計算する。これにより距離 d における限界 LOS (Line of Sight) を得ることができる。

$$a_{em} = 0.5 \left(\frac{d}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}} \right)^2 \quad (12)$$

ここで A_h は、近似式 4 に手を加えた等価地球半径 a_{em} を使用した損失計算である。 h は見通し線の最低地上高 [m]であり、式(9)で表される。

$$E = E_0 + \left(1 - \frac{h}{h_{req}} \right) A_h \quad (13)$$

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)。このとき、 h は見通し線の最低地上高 [m]であり、式(5)で表される。 h_{req} はゼロ回折損に必要な空間距離の高さ [m]であり、式(11)で表される。

近似式 4:

$$E = E_0 + F(X) + G(Y_1) + G(Y_2) \quad (14)$$

$F(X)$ 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(15)から式(23)で表される。

$$F(X) = 11 + 10 \log_{10} X - 17.6X \quad (15)$$

$$G(Y) = 2 + 20 \log_{10}(B + 0.1B^3) \quad (16)$$

$$B = \beta Y \quad (17)$$

$$X = \beta \left(\frac{\pi}{\lambda a_e^2} \right)^{\frac{1}{3}} d \quad (18)$$

$$Y = 2\beta \left(\frac{\pi^2}{\lambda^2 a_e} \right)^{\frac{1}{3}} h \quad (19)$$

$$\beta = \frac{1 - 1.6K^2 + 0.67K^4}{1 + 4.5K^2 + 1.53K^4} \quad (20)$$

$$K = K_v \quad (21)$$

$$K_v = K_H [\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi a_e}{\lambda} \right)^{-\frac{1}{3}} [(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2]^{-\frac{1}{4}} \quad (23)$$

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。

$$\begin{aligned} \text{アンテナ実効長:} & \quad 20 \log_{10}(\lambda/\pi) \\ \text{インピーダンス変換:} & \quad 10 \log_{10}(50 \Omega / 73 \Omega) \end{aligned}$$

なお、5.3 節より以降で示される各結果で示されている距離については、自由空間電波伝搬式(5.3.1.2 節以降のグラフ参照)と ITU-R 勧告 P.526 で示される近似式より算出している。2 波モデルの近似式 1 は直接波と反射波による合成により受信電力の変動が表れる式である。近似式 1 を用いる方法もあるが、実際は周囲環境に大きく依存し受信電力の変動も変化することが多いため、近似式 1 の結果では全体的な距離と電力の関係や傾向がわかりづらくなる。そのため、本算出では同じ傾きを示す自由空間伝搬式を使用した。

但し、グラフ上で ITU-R 勧告 P.526 で示される結果と自由空間伝搬式の結果が交差する点(交差ポイント)の後は、ITU-R 勧告 P.526 の結果を用いて距離を算出している。図 5.2-9 の通り、黒線で示される線が距離算出に使用する近似曲線となる。

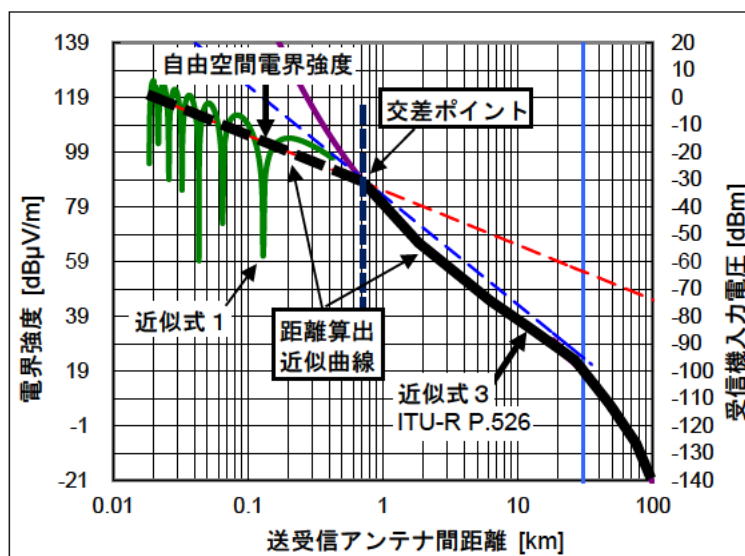


図 5.2-9 図の見方

5.3. 試験結果

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。なお、干渉モデル想定 1 と干渉モデル想定 3 の隣接チャネル干渉は同じ値となるが、設置場所や使用条件が異なることを考慮する。

各表中の結果を以下に示す。

結果 1 干渉モデル想定 1

DU 比及び離隔距離を表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討)

測定周波数 161.900 及び 161.925 MHz

項目			干渉モデル想定 1		
			(隣接チャネル干渉)		
			試験結果		
			地上 VDE	ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.800~161.875	161.950	161.975
DU 比 [dB]			58.2	71.2	76.0
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	0.27	0.11	0.06
	30 m	4 m	0.27	0.11	0.06
	10 m	4 m	0.27	0.11	0.06
	4 m	4 m	0.16	0.11	0.06
	送信側 (船舶 C)	受信側 (船舶 A)	離隔距離 [km]		

結果 2 干渉モデル想定 2

表 5.3-2 の通信可能な距離の算出については、5.2.2.4 節の表 5.2-10 に記載されている通り最も強い受信機入力電力が-111.6 dBm である。基準感度が-102 dBm のため、それよりも小さい入力電力である。よって、干渉モデル想定 1 と同様の希望波を+20 dB とした点における測定を進めると、希望波-82 dBm に対して干渉波-111.6 dBm となるため全く問題のない環境となる。

実際にはそのような状況となることは多々あると考えられるが、ここでは衛星 VDE より最大-111.6 dBm が変動なく入力されたと考えた場合、そのときの影響を受け始めるまでの距離を算出することとした。DU 比はシミュレーションにて 19.4 dB であることから、干渉波 -111.6 dBm より 19.4 dB 高い電力、即ち-92.2 dBm より小さい希望波が入力されると、受信に影響を受けやすくなることがわかる。このため、-92.2 dBm となる距離を求めたところ、表 5.3-2 の通りとなった。

表 5.3-2 DU 比と通信可能な距離(同一チャネル干渉検討)

測定周波数 161.800 – 161.875 MHz

項目			干渉モデル想定 2
			同一チャネル干渉
			試験結果
			地上 VDE
測定周波数 [MHz]			161.800-161.875
DU 比 [dB]			19.4
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	35.4
	30 m	4 m	22.9
	10 m	4 m	12.3
	4 m	4 m	7.9
	送信側 (船舶 B)	受信側 (船舶 A)	通信可能な距離 [km]

結果 3 干渉モデル想定 3

離隔周波数は表 5.3-3 となる。

表 5.3-3 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討)

測定周波数 161.900 及び 161.925 MHz

項目			干渉モデル想定 3	
			(隣接チャネル干渉)	
			試験結果	
			ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.950	161.975
DU 比 [dB]			71.2	76.0
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	0.11	0.06
	30 m	4 m	0.11	0.06
	10 m	4 m	0.11	0.06
	4 m	4 m	0.11	0.06
	送信側 (船舶②)	受信側 (船舶①)	離隔距離 [km]	

5.3.1. 試験結果の一般性確認

試験結果の一般性確認として、数値計算による結果と比較した。試験及び数値計算の結果を比較し同様の傾向が示される場合、試験結果を一般的な特性とみなすことができる。比較対象は、同一チャネル干渉検討の結果及び隣接チャネル干渉検討の結果について各 DU 比と通信可能な距離及び離隔距離とした。

5.3.1.1. 数値計算

周波数共用条件となる各 DU 比について、シミュレーションによる結果を記載する。通信可能な距離及び離隔距離は、各 DU 比から算出される値である。

計算結果 1 干渉モデル想定 1

DU 比及び離隔距離を表 5.3-4 に示す。

表 5.3-4 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 1		
			(隣接チャネル干渉)		
			試験結果		
			地上 VDE	ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.800~161.875	161.950	161.975
DU 比 [dB]			59.3	72.0	76.0
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	0.27	0.11	0.06
	30 m	4 m	0.27	0.11	0.06
	10 m	4 m	0.27	0.11	0.06
	4 m	4 m	0.16	0.11	0.06
	送信側 (船舶 C)	受信側 (船舶 A)	離隔距離 [km]		

計算結果 2 干渉モデル想定 2

通信可能な距離は表 5.3-5 となる。

表 5.3-5 DU 比と通信可能な距離(同一チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 2
			同一チャネル干渉
			試験結果
			地上 VDE
測定周波数 [MHz]			161.800-161.875
DU 比 [dB]			18.3
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	31.0
	30 m	4 m	21.8
	10 m	4 m	13.2
	4 m	4 m	7.3
	送信側 (船舶 B)	受信側 (船舶 A)	通信可能な距離 [km]

計算結果 3 干渉モデル想定 3

離隔距離は表 5.3-6 となる。

表 5.3-6 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 3	
			(隣接チャネル干渉)	
			試験結果	
			ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.950	161.975
DU 比 [dB]			72.0	76.0
アンテナ配置組合せ	30 m	10 m	0.12	0.07
	30 m	4 m	0.12	0.07
	10 m	4 m	0.12	0.07
	4 m	4 m	0.12	0.07
	送信側 (船舶②)	受信側 (船舶①)	離隔距離 [km]	

5.3.1.2. 試験結果との比較

(1) 数値計算結果と試験結果の比較

各干渉モデルの離隔距離について数値計算と試験結果を比較した。

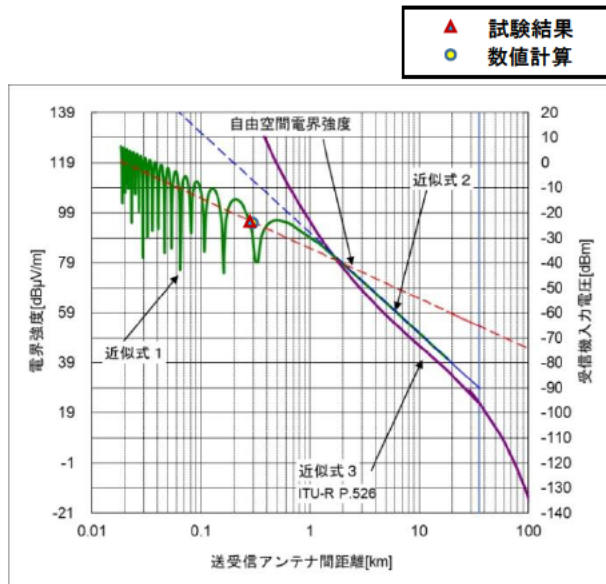
(ア) 干渉モデル想定 1 試験結果の比較

数値計算の結果を表 5.3-7 に示す。

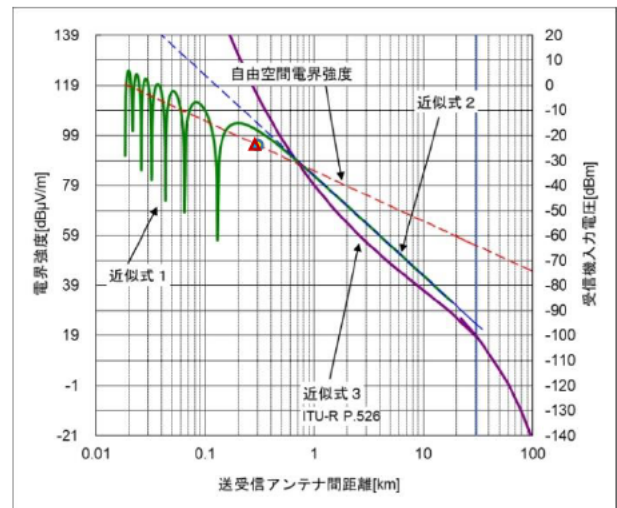
表 5.3-7 離隔距離比較(隣接チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 1					
			(隣接チャネル干渉)					
			試験結果			数値計算		
			地上 VDE	ASM	AIS	地上 VDE	ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.800– 161.875	161.950	161.975	161.800– 161.875	161.950	161.975
DU 比 [dB]			58.2	71.2	76.0	59.3	72.0	76.0
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	0.27	0.11	0.06	0.30	0.12	0.07
	30 m	4 m	0.27	0.11	0.06	0.30	0.12	0.07
	10 m	4 m	0.27	0.11	0.06	0.30	0.12	0.07
	4 m	4 m	0.16	0.11	0.06	0.16	0.12	0.07
	送信側 (船舶 C)	受信側 (船舶 A)	離隔距離 [km]					

表 5.3-7 の数値計算及び試験結果において、離隔距離はほぼ近い値を示しており、同様の傾向であることから、いずれにおいても一般的な特性とみなすことができる。

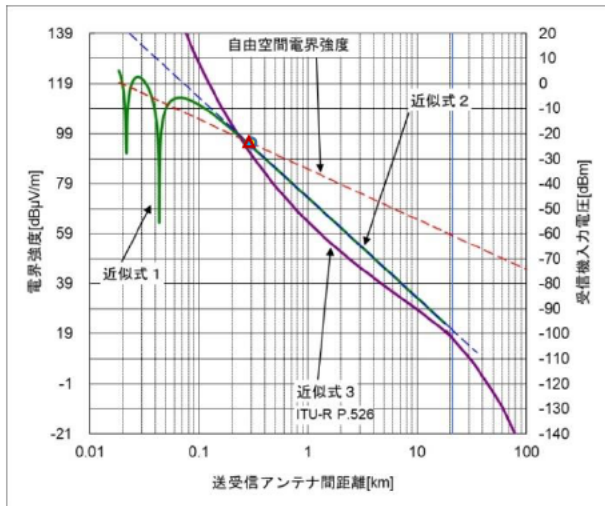


(a) 30 m と 10 m

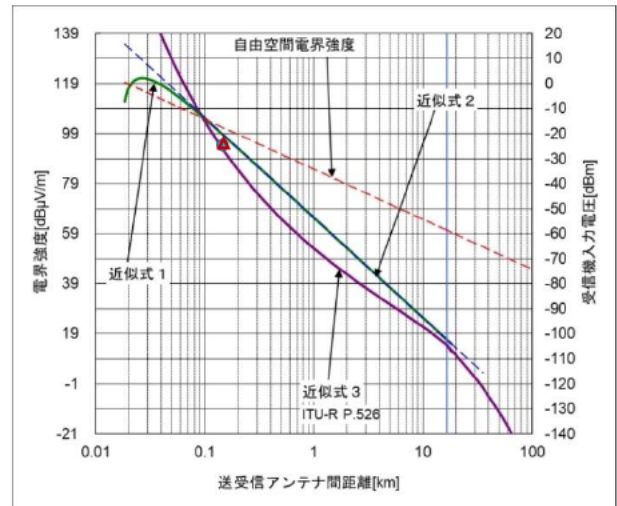


(b) 30 m と 4 m

図 5.3-1 離隔距離比較 (地上 VDE)

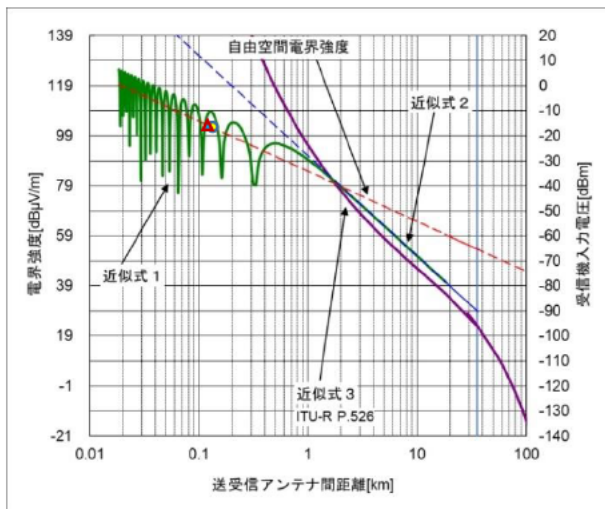


(c) 10 m と 4 m

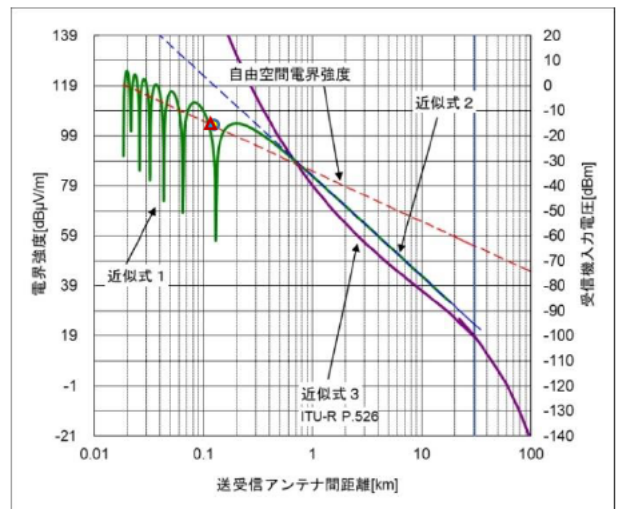


(d) 4 m と 4 m

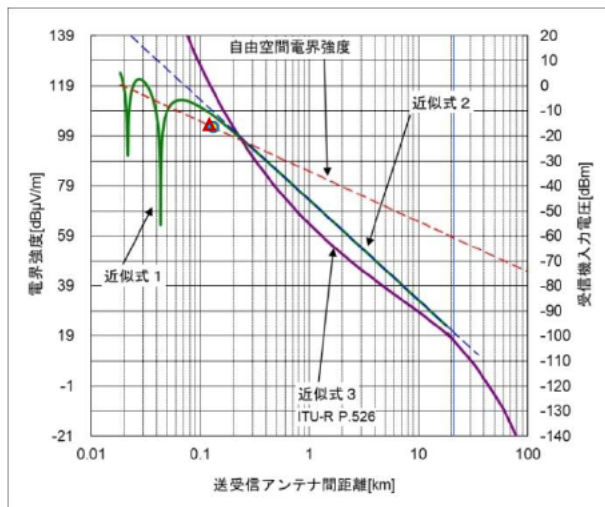
図 5.3-2 離隔距離比較 (地上 VDE)



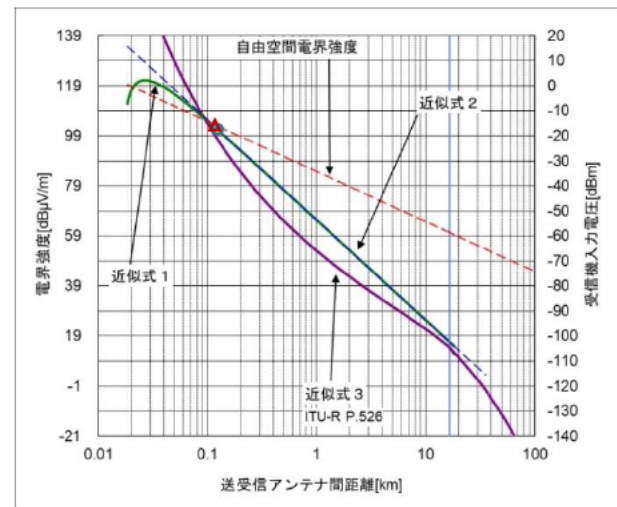
(a) 30 m と 10 m



(b) 30 m と 4 m

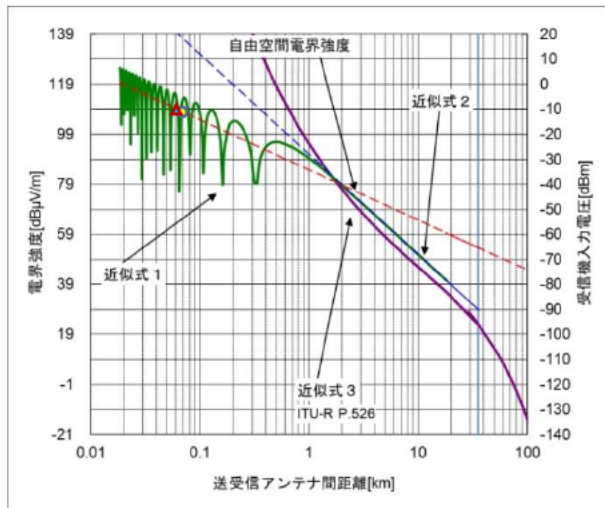


(c) 10 m と 4 m

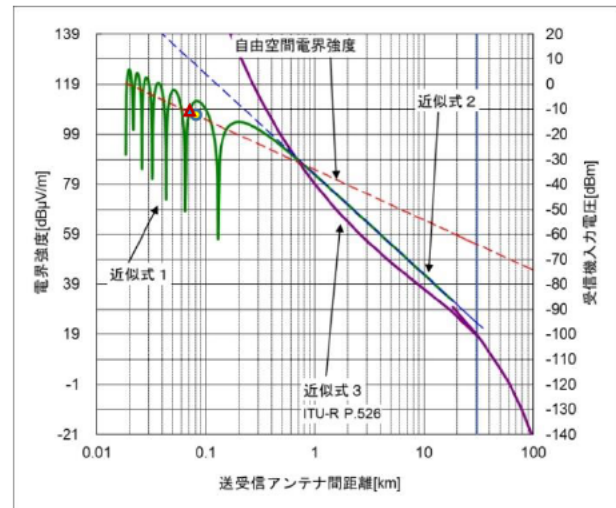


(d) 4 m と 4 m

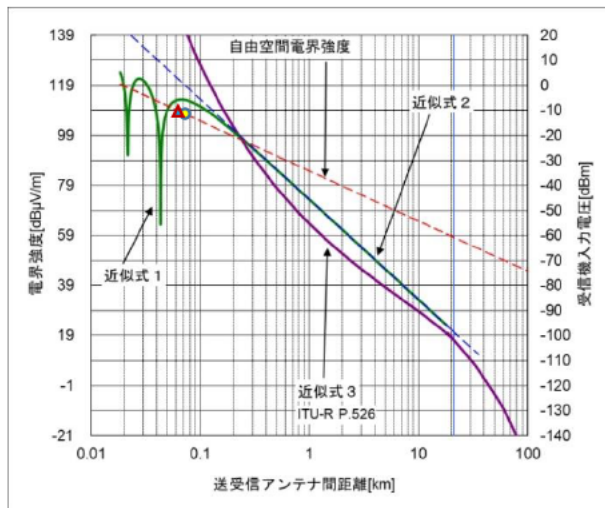
図 5.3-3 離隔距離比較 (ASM)



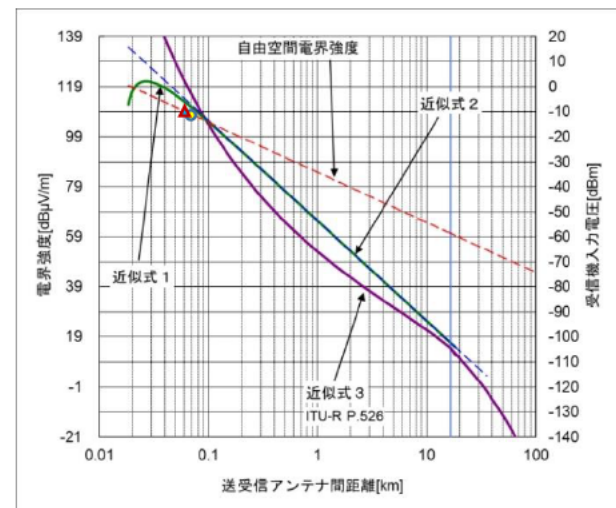
(a) 30 m と 10 m



(b) 30 m と 4 m



(c) 10 m と 4 m



(d) 4 m と 4 m

図 5.3-4 離隔距離比較 (AIS)

(イ) 干渉モデル想定 2 試験結果の比較

数値計算の結果を表 5.3-8 に示す。

表 5.3-8 通信可能な距離比較(同一チャネル干渉)

項目		干渉モデル想定 2 (同一チャネル干渉)	
		試験結果	数値計算
		地上 VDE	地上 VDE
測定周波数 [MHz]		161.800~ 161.875	161.975
DU 比 [dB]		19.4	18.3
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	35.4
	30 m	4 m	22.9
	10 m	4 m	12.3
	4 m	4 m	7.9
	送信側 (船舶 B)	受信側 (船舶 A)	通信可能な距離 [km]

表 5.3-8 の数値計算及び試験結果において、アンテナ高ごとに通信可能な距離は近い値を示しており、同様の傾向であることから、いずれにおいても一般的な特性とみなすことができる。

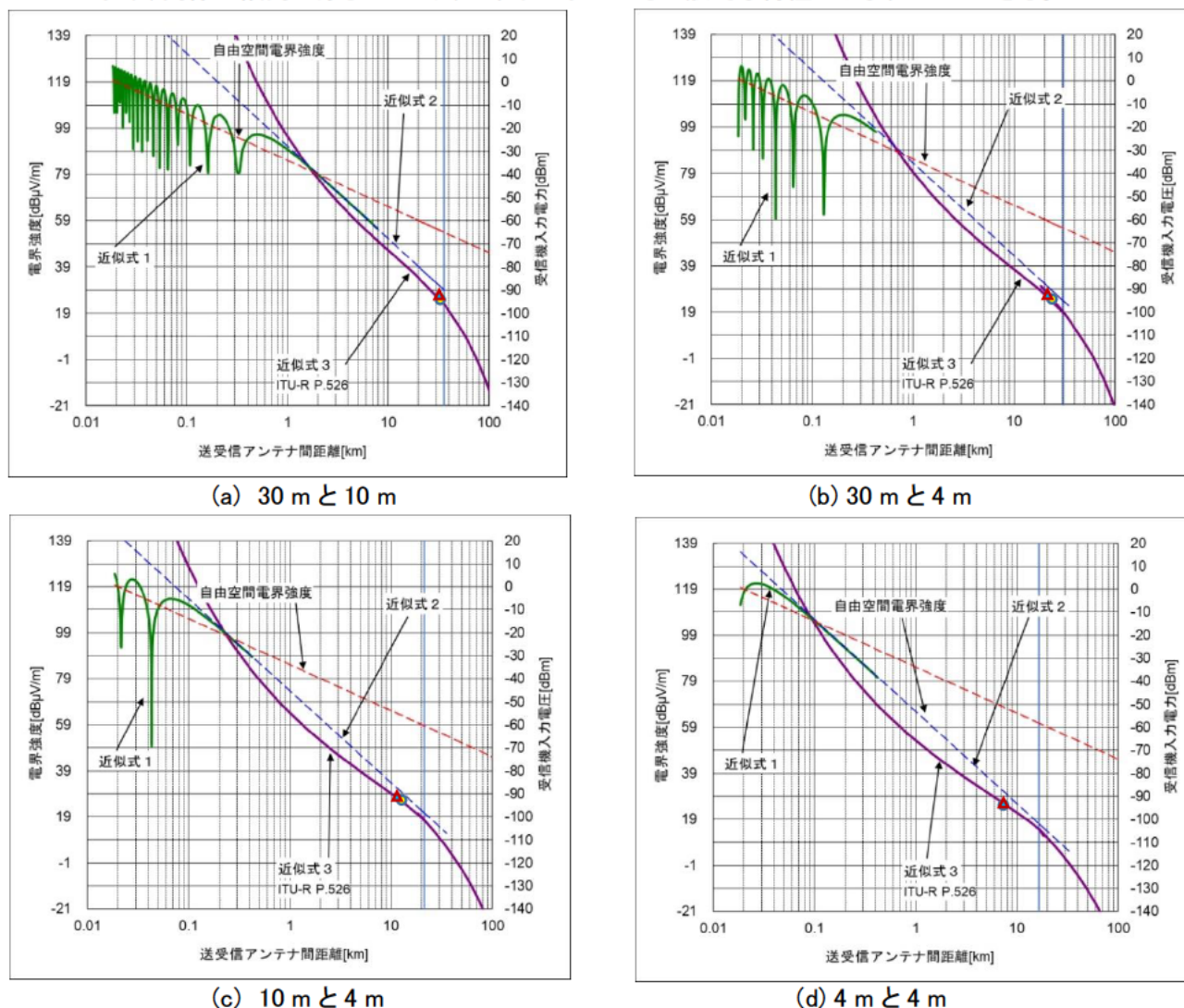


図 5.3-5 通信可能な距離比較 (地上 VDE)

(ウ) 干渉モデル想定 3 試験結果の比較

数値計算の結果を表 5.3-9 に示す。

表 5.3-9 離隔距離比較(隣接チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 3			
			(隣接チャネル干渉)			
			試験結果		数値計算	
			ASM	AIS	ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.950	161.975	161.950	161.975
DU 比 [dB]			71.2	76.0	72.0	76.0
アンテナ配置 組合せ	30 m	10 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	30 m	4 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	10 m	4 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	4 m	4 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	送信側 (船舶②)	受信側 (船舶①)	離隔距離 [km]			

表 5.3-9 の数値計算及び試験結果において、離隔距離はほぼ近い値を示しており、同様の傾向であることから、いずれにおいても一般的な特性とみなすことができる。

なお、関係するグラフは図 5.3-3 及び図 5.3-4 と同等である。

5.3.1.3. 妥当性確認の結果

5.3.1.2.節の結果より、数値計算の結果と試験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試験の結果は一般的な特性とみなすことができる。

5.4. 衛星 VDE データ通信と既存データ通信の共用条件

干渉モデル想定 1 である、衛星 VDE へのアップリンク通信時と既存データ通信が隣り合うチャネルを使用する場合、試験で求めた各離隔距離について AIS や ASM は伝送速度が低く、変調方式も地上 VDE と比較し単純化されており、いずれのアンテナ高の組み合わせであっても 60—120 m 程度の近距離のときに影響が表れる結果となった。地上 VDE は、アンテナ高による離隔距離の差異が表れている中で、最大 300 m まで離隔距離を取る結果となった。船舶同士が近くに寄るような状況下では、伝送速度や誤り訂正の選択により影響の緩和を図るなどの対処が有効である。

干渉モデル想定 2 のダウンリンク通信時において同一チャネルを使用した場合は、アンテナ高による伝達範囲の違いが顕著に表れている。小型船を想定したアンテナ高 4 m では 7—8 km、アンテナ高 30 m と 10 m の組み合わせでは 31—35 km の距離を離れると衛星の影響を受ける結果となった。いずれのケースも見通し内で起こるため、伝送速度や誤り訂正の選択により影響の緩和を図るなどの対処が有効である。しかし、同じ VDES のシステムにおいて同一チャネルを同時に使用することを避けるため、お互いのスロット管理をしておくことを推奨する。

干渉モデル想定 3 の同一船舶内における隣接チャネル干渉については、アンテナ間の距離を確保するには大型船の全長に匹敵するため現実的ではない。同じ船舶内において使用する場合は、お互いの放射指向性が干渉しない様に 2 つのアンテナを配置するなど装備の工夫で影響の緩和が図れるが、お互いの送信スロットを管理することで干渉しないよう使用することが望ましい。

ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案 Annex 6 は、円滑にリソース共有を図ることについて記載している。特に、地上と衛星 VDE 間のチャネル干渉については地上を優先とし、地上 VDE 使用中に同じ周波数とスロットの使用を禁じている。

このようにして、ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案では周波数やスロットが管理される仕組みが導入され、且つ受信状況を確認しつつ各局がスロットを利用する仕組みとなっており、衛星 VDE を含めた運用が考慮されていることから、最新の ITU-R 勧告 M.2092 に従うことにより衛星 VDE との共用は可能であると推察される。

第6章 VDES(衛星コンポーネント)の技術的要求条件

既存データ通信無線設備について、第4章及び第5章で述べた技術的条件及び試験結果から求めた周波数共用条件について示す。

6.1. VDES(衛星コンポーネント)の的確な社会実装に向けて

これまでに挙げた課題と、その対応についてまとめると下記の通りである。

(1) 実際の利用シーンや具体的ニーズに鑑みたシステム要求条件の明確化

VDES(衛星コンポーネント)は、その有用性を最大限に実現する観点から、将来的に小型船舶を含む全ての船舶に実装されることが望まれる。そのためには、簡易型の VDES(小型で扱いやすく、無線従事者免許不要で、安価で導入しやすい等)の実現が期待され、かつ、船舶に設置するための簡易端末の開発・実用化も必要と思料される。

そのため、今後の衛星 VDES に関する検討や実証においては、様々な船舶への応用性という観点から、より多様で実践的な条件や用途を想定した取組・検討が求められる。

また、その際、“アナログからデジタルへ”という我が国の DX 化の潮流を十分に念頭に置き、衛星 VDES の導入・活用が海洋航行等の分野における DX 推進に顕著に貢献し得るという位置づけの下で、官民間わず多様な関係主体が参画して必要な取組が進めれるべきである。

(2) 他局とのデータ通信における共用検討

試験結果から隣接チャネルで使用する場合、最大で 0.3 km の離隔距離が必要である。船舶の長さが 250—300 m 級の大型船舶が停止するために要する距離は 3.75—6 km といわれており、通常は 0.5 km 以上の間隔が保たれている。よって、隔離距離が確保できることから共用可能と考える。

同一チャネルにおける干渉においては、小型船想定は約 7 km、大型と中型船間では約 31 km の離隔距離となる。それ以上離れると衛星からの影響を受け始めることになるが、ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案において、衛星 VDE と地上業務の共用については地上の通信が優先される仕組みとなっているため、ITU-R 勧告に従って運用することで安全に使用できる。

(3) 自船内のデータ通信における共用検討

同一船舶内の隣接チャネルによる干渉については、アンテナ間の距離を確保するには大型船の全長に匹敵するため現実的ではない。

同一船舶内にて使用する場合は、互いの送信スロットを管理することで干渉しないよう使用することが望ましく、同勧告でも記載されていることから勧告に従うことで使用できる。

6.2. 周波数共用条件まとめ

第 5 章で求めた試験結果から、周波数共用条件として各干渉モデルの離隔距離を示す。干渉検討の諸元などについては 5.2 節の試験方法を参照のこと。

結果 1 干渉モデル想定 1

DU 比及び離隔距離について表 5.3-25 の再掲として表 6.2-1 に示す。

各変調方式で比較すると、地上 VDE(変調方式 16QAM)の使用時が最も遠い距離 0.3 km の距離を確保する必要があるが、6.1 節(2)で記載したように通常の運航では大きく船間距離を取るため、干渉の影響は少ないと考えられる。また、海岸局側も常に電波の状態を監視しており、適宜変調方式や伝送速度を変化させながら運用するため、周波数共用について問題ないと推察する。

表 6.2-1 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 1					
			(隣接チャネル干渉)					
			試験結果			数値計算		
			地上 VDE	ASM	AIS	地上 VDE	ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.800-161.875	161.950	161.975	161.800-161.875	161.950	161.975
DU 比 [dB]			58.2	71.2	76.0	59.3	72.0	76.0
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	0.27	0.11	0.06	0.30	0.12	0.07
	30 m	4 m	0.27	0.11	0.06	0.30	0.12	0.07
	10 m	4 m	0.27	0.11	0.06	0.30	0.12	0.07
	4 m	4 m	0.16	0.11	0.06	0.16	0.12	0.07
	送信側 (船舶 C)	受信側 (船舶 A)	離隔距離 [km]					

結果 2 干渉モデル想定 2

DU 比及び離隔距離について表 5.3-26 の再掲として表 6.2-2 に示す。

衛星 VDE からダウンリンクによる干渉を受けている状況下において、地上 VDE のデータ通信を同一チャネルで実施した場合の離隔距離は表 6.2-2 となる。衛星から届く電界強度は弱く、通常通りアンテナが高くなるに従って遠い距離まで通信することが可能である。最新の ITU-R 勧告 M.2092 に示される運用を守る(地上の通信が優先である)ことで衛星との通信と、地上の通信の住み分けができており、周波数を共用することは可能と推察する。

表 6.2-2 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 2	
			(同一チャネル干渉)	
			試験結果	数値計算
			地上 VDE	地上 VDE
測定周波数 [MHz]			161.800~ 161.875	161.975
DU 比 [dB]			19.4	18.3
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	35.4	31.0
	30 m	4 m	22.9	21.8
	10 m	4 m	12.3	13.2
	4 m	4 m	7.9	7.3
	送信側 (船舶 B)	受信側 (船舶 A)	通信可能な距離 [km]	

結果 3 干渉モデル想定 3

DU 比及び離隔距離について表 5.3-27 の再掲として表 6.2-3 に示す。

同一船舶内における干渉について、離隔距離の算出条件は干渉モデル想定1と同様であるため、表 6.2-1 と同様の結果である。表 6.2-3 に示す距離以上を確保する必要があるが、大型船舶でも 100 m 以上を確保するには船の船首と船尾ほど離す必要があること、またアンテナの取り付け箇所は限られていることから現実的ではない。ITU-R 勧告 M.2092 に示される運用を守る(AIS や ASM が優先、衛星 VDE のリソース割当を共有する等)ことで干渉が防止でき、周波数を共用することは可能と推察する。

表 6.2-3 DU 比と離隔距離(隣接チャネル干渉検討)

項目			干渉モデル想定 3			
			(隣接チャネル干渉)			
			試験結果		数値計算	
			ASM	AIS	ASM	AIS
測定周波数 [MHz]			161.950	161.975	161.950	161.975
DU 比 [dB]			71.2	76.0	72.0	76.0
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	30 m	4 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	10 m	4 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	4 m	4 m	0.11	0.06	0.12	0.07
	送信側 (船舶②)	受信側 (船舶①)	離隔距離 [km]			

6.3. 技術的パラメータ

衛星 VDE について、ITU-R 勧告 M.2092-0 改正案にて定められた衛星 VDE の技術的条件について変調方式及び帯域幅毎に示す。

衛星 VDE の国際規格について、表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1 衛星 VDE の技術特性(アップリンク)

送信帯域幅	50 kHz			
変調方式	QPSK/CDMA	PI/4 QPSK	8PSK	16QAM
電波の型式	G1D	G1D	G1D	G1D
伝送速度	4.2 ksps	33.6 ksps	36 ksps	56.4 ksps
空中線電力	12.5 W	11 W	10 W	6 W

表 6.3-2 衛星 VDE の技術特性(ダウンリンク)

送信帯域幅	50 kHz				100 kHz	150 kHz
変調方式	BPSK /CDMA	BPSK	PI/4 QPSK	8PSK	BPSK /CDMA	BPSK /CDMA
電波の型式	G1D	G1D	G1D	G1D	G1D	G1D
伝送速度	4.2 ksps	33.6 ksps	33.6 ksps	33.6 ksps	36 ksps	56.4 ksps
空中線電力	pfd マスクによる					

表 6.3-3 衛星 VDE の送受信機のパラメータ

送信帯域幅		50 kHz
送信機	隣接チャネル電力 0 dBc は平均電力時	0 dBc ($ \Delta f_c < 25 \text{ kHz}$)
		-25 dBc ($25 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 37.5 \text{ kHz}$)
		-70 dBc ($37.5 \text{ kHz} \leq \Delta f_c < 125 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャネル選択度	記載なし
	感度	記載なし

衛星を活用した VHF データ交換システム(VDES)の導入による
海上無線通信の高度化に向けた調査検討会
設置要綱

1 目的

船舶に搭載されている無線通信機器は、デジタル通信技術の活用によるデータ通信等の高度化へ対処するため、国際的な海上移動業務の無線周波数である 150MHz 帯におけるアナログ音声用の周波数の一部を「VHF データ交換システム(VDES:VHF Data Exchange System)」として利用することが世界無線通信会議(WRC-15)において決定され、我が国においてもこの導入に向けた関係の制度が平成 30 年 7 月に整備されたところである。

今般、この VDES について、地上に加えて衛星でも利用可能とするための新たな周波数を二次業務として分配することが WRC-19 において合意され、陸上と船舶との間又は船舶相互間に加え、船舶と衛星との間においてもデータ通信を活用することが可能となった(以下、「VDES(衛星コンポーネント)」という。)。これにより、航行の安全の確保だけでなく各種業務の効率化など通信の高度化の実現や海上における人命の安全の向上などが期待されている。

このため、この VDES(衛星コンポーネント)として追加された電波利用について、その新たなニーズとこれに対応したシステム運用形態、及び他の電波利用との周波数共用条件等、国内制度化を視野においた技術基準策定の礎となる技術的要求条件の導出を目的とし、総務省北海道総合通信局に「衛星を活用した VHF データ交換システム(VDES)の導入による海上無線通信の高度化に向けた調査検討会」を設置する。

2 調査検討事項

- (1) VDES(衛星コンポーネント)に関する利用ニーズ、システムとしての要求条件等
- (2) VDES(衛星コンポーネント)と他の無線通信業務との周波数共用条件
- (3) (1)及び(2)を踏まえた技術的要求条件

3 調査検討会の設置及び運営

- (1) 調査検討会の構成員は別紙のとおりとする。
- (2) 調査検討会に座長及び副座長を置き、総務省北海道総合通信局長が予め指名する。
- (3) 座長は、調査検討会を招集し主宰する。
- (4) 座長は、必要に応じ構成員以外の関係者の出席を求め意見を聞くことができる。
- (5) 副座長は座長を助け、座長不在時にその職務を代行する。
- (6) 座長は、必要に応じ専門的な検討を行うための作業班を置くことができる。
- (7) 作業班に属すべき構成員及び当該事務を掌理する主査は座長が指名する。
- (8) 調査検討会及び作業班は、遠隔操作等の方法により開催することができる。
- (9) やむを得ない事情がある場合、構成員は座長の承認を得て代理の者を調査検討会に出席させることができる。

(10) その他、本調査検討会の運営に必要な事項は、座長が定めるところによる。

4 議事等の公開

(1) 調査検討会は、原則として公開とする。ただし、会議を公開することにより当事者若しくは第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害する恐れがある場合、その他の座長が必要と認める場合については、非公開とする。

(2) 調査検討会で使用した資料、及び議事要旨については原則として総務省北海道総合通信局のホームページに掲載し公開する。ただし、公開することにより当事者若しくは第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害する恐れがある場合、その他の座長が必要と認める場合については、非公開とすることができる。

5 スケジュール

本調査検討会はその設置の日から令和3年3月までの間、開催する。

6 事務局

調査検討会の事務局は、総務省北海道総合通信局無線通信部電波利用企画課に置く。

附 則

この要綱は、令和2年11月13日から施行する。

別紙：構成員名簿

後掲のとおり。

別紙：構成員名簿

構 成 員

(五十音順、敬称略)

氏 名	所 属
おおがね たけお 大鐘 武雄	北海道大学 大学院情報科学研究院 教授
かわくぼ せいじ 川久保 盛二	八重洲無線(株) 執行役 第二技術部 部長
ささもり たかゆき 笹森 崇行	北海学園大学 工学部 電子情報工学科 教授
すがわら たかし 菅原 隆志	北海道総合通信局 無線通信部長
すぎの しん じ 杉野 伸治	アイコム(株) 第6設計部 海洋技術課 技師
たきた じゅんじ 田北 順二	(一社)全国船舶無線協会(水洋会部会) 事務局長
なかがわ ひろやす 中川 裕康	古野電気(株) 船用機器事業部 営業企画部 規格検定課 課長
のぐち ひで き 野口 英毅	海上保安庁 交通部 企画課 国際技術開発室 専門官
ひらき としゆき 開 敏之	新日本海フェリー(株) 取締役 海務部長
みやでら よしお 宮寺 好男	日本無線(株) マリンシステム事業部 企画推進部 事業企画グループ 課長
わたなべ ただいち 渡辺 忠一	(公財)笹川平和財団 海洋政策研究所 特別研究員
オブザーバー参加	
やながわ のぶゆき 柳川 延之	北海道機船漁業協同組合連合会 代表理事専務

資料 2 作業班の設置について

作業班の設置について

1 目的

本調査検討会の検討事項である、VDES(衛星コンポーネント)と他の無線通信業務との周波数共用条件、及び VDES(衛星コンポーネント)の技術的要求条件を取りまとめるため、本調査検討会設置要綱 第3(6)に基づき、本調査検討会の下に作業班を設置する。

2 作業班で扱う検討事項

- VDES(衛星コンポーネント)利用に係る近年の海外動向等の調査
- VDES(衛星コンポーネント)の有力な利用シーン・ニーズの調査(必要に応じ当事者ヒアリング等実施)
- VDES(衛星コンポーネント)のシステム要件条件の調査及び検討
- VDES(衛星コンポーネント)と既存業務との周波数共用条件の技術的検討
- 上記の検討結果を踏まえた VDES(衛星コンポーネント)の技術的要求条件の検討

[第1回会合]具体的な調査検討方針・項目の確認

[第2回会合]上記事項に係る調査検討結果の確認① ⇒ 第2回調査検討会への中間報告

[第3回会合]第2回調査検討会及び上記調査検討結果の確認② ⇒ 第3回調査検討会への最終報告

3 作業班の体制

作業班の体制は調査検討会構成員及びその所属組織の中から選定し以下のとおりとする。

なお、必要に応じ、これ以外の構成員からの参加を妨げない。

(敬称略)

氏 名	所 属
笹森 崇行	北海学園大学 工学部 電子情報工学科 教授
今田 吉彦	日本無線株式会社 マリンシステム技術部船用通信グループ長
川久保 盛二	八重洲無線株式会社 執行役 第二技術部部長
杉野 伸治	アイコム株式会社 第6設計部海洋技術課 技師
中川 裕康	古野電気株式会社 船用機器事業部 営業企画部 規格検定課長
川口 浩則	北海道総合通信局 電波利用企画課長

4 作業班の運営

- (1) 主査は作業班を主宰し、検討事項にかかる審議取りまとめを行う。
- (2) 作業班の運営事務局は(請負業者)が担い、審議スケジュール管理、開催案内その他必要な事項の連絡を行う。
- (3) 作業班の開催はメール又は web ツールによるリモート形式によることを基本とする。

資料 4 利用シーン・ニーズ調査

【シーン・ニーズ資料】VDES利用ニーズ、活用シーンについてのヒアリング結果

実施時期： 令和3年1月13日(水)～1月19日(火)

実施方法： アンケート回答者のうち4名に対しウェブヒアリング形式で実施

対象者氏名 (敬称略)	1. 船舶による衛星VDES利用が期待されるシーン(有力な活用現場・用途)	2. 衛星からのブロードキャストによる提供がメリットを生む情報	3. 衛星利用システムに対する使用上の懸念や機能面での要望	4. 衛星VDESの利用シーン・ニーズに関して参考となる先行事例(海外の取組等)	5. 1～4に関連した、我が国での衛星VDES(端末側地上局に限る)の整備に係る情報や提案など
渡辺 忠一	●海事・海洋向けの中速度業務用IoT衛星通信として活用される以下のような潜在的ニーズを有する。 1)領海外:「協調航法」に利用(小型船舶を含めた安全安心確保)①衝突回避の為の針路確認:安全情報交換(言語翻訳を含む)、針路予定情報交換。②航行警報情報共有:ヒヤリ・ハット情報(漁網位置、流木、浅瀬等)を船舶から発信し共有する。 2)領海外:航行警報情報の放送(特にNAVAREA-XI海域、領海外向け) 3)漁場(携帯通話域外):漁協・漁船間の操業情報デジタル通信、沖合と家族の間のメール交換。 4)漁場:スマート漁業の為の、海洋情報収集・送信(リアルタイム通信)を行い、漁場予測情報を受信する。また、漁船位置情報を産地証明や食の安全安心に係る情報提供に利用する。 5)全海域:危険航海警報に使用(AISで位置情報を定期的に送信し、座礁・衝突等の危険が予測される場合に、VDES経由で警報を発信する。レジャー船・漁船を含む) 6)全海域:船舶(デジタルシップ)のエンジン等の監視。 7)領海外:無人船時代の小型船舶向け安心情報の提供。 8)全海域:荷物追跡・・・海運企業にメリット 9)全海域:無人船の監視用回線のバックアップ回線(回線断の船舶のみ対象。高速回線が途絶えるなどのトラブル等が発生したときに備えたワンショット・コマンドとして利用等) ●貴重な帯域を有効活用するには、少なくとも当面は業務用に特化して活用することが有効と料する。	●下記が挙げられる。 1)航行警報に関わる情報―水面、水中の状況・状態に関する情報等―の共有(協調航法に利用。漁網位置、流木・藻、浅瀬等の情報他) 2)燃費改善のための海流データ。 3)漁場予測データ(例:目当ての魚がたくさん獲れそうなど) 4)海図更新情報(現実には古い海図を頼りに航行している船舶はゼロではないと料され、事故につながりやすい。そこを自動更新(または更新情報の送付)ができれば安全増進につながる。) 5)産地証明の為の信号 ●これらの情報がメリットを十分に生むには、衛星VDESの活用を小型船舶にまで広げることが必要であり、そのためには簡易型衛星VDES端末の開発・導入が有効。	●本調査では、小型船舶搭載VDES端末(「簡易型衛星VDES端末」)の技術的な開発・利用を可能とする検討を、通信条件面で進めていただきたい。 ●第1回検討会にて「今回、特に干渉関係を検討いただけると期待している。どの程度のアベラビリティがあるのかをお示しいただき、利用面からプッシュしていただきたい」と発言しており、この点の検討をぜひ進めていただきたい。 ●国には、衛星VDES利用に関する用途認可、サービス提供主体認可、公と私の領域区分、標準化等を行う体制と制度的枠組みの整備を進めていただきたい。国際ジョイントベンチャー形式や、民間利用分野での電気通信事業者認可のあり方等に関する検討が行われるとともに、「VDES衛星」の運営(コスト回収を含む)が可能な課金体系が早く提示されることを期待する。	●下記の動きに注目している。 1)ノルウェイのNorsat-2。NORSAT-2衛星は、NORSATからESA(欧州宇宙機関)通信部に提案し実現したもので、ESA関係国(イギリス、ドイツ、イタリア、スペイン、オランダ他)でも通信実験が行われIEEE他論文が多数投稿されている。また、オーストラリアでもNorsat-2を利用した通信実験が実施されている。 2)事業化に關し、2020年8月にSaab他がVDES衛星2機の打上げ計画発表。デンマークはVDES Alliance(衛星コンステレーション60機)の計画を2020年9月に発表。(AIS・VDES衛星と並行して、SIGINT衛星開発のフォローが重要と考える。)なお、衛星は、①小型衛星コンステレーション、②ソフト定義型送受信機による広帯域の研究開発が盛ん。 3)船舶端末関係は、Kongsberg、Saab(R60)他が既に製品を開発・販売している。 4)議論、専門家会議としては、IALA、IMO、ITU等が中心で活動中。国内では、笹川平和財団(海洋政策研究所)が「衛星VDES委員会」の活動中。	●下記の提案をしたい。 1)「簡易型衛星VDES端末」の無線従事者免許を不要にするための施策の検討 2)現行の漁網AIS発信機を我が国で利用可能とする移行計画を策定し関係規則見直し(AMRD導入まで並行して利用可能となるような施策) ●これらの対応は、ヒヤリ・ハット情報の共有という意味でも大切であるし、VDESの本格的普及・定着の前段でのAISなど関連スキームの導入促進という点でも重要。
田北 順二	●商船向けには航行関連情報の放送、サーチ&レスキュー関係、航路等の航海情報の送信・受信等。商船の場合、航行の安全に役に立つかどうかが一番重要な観点である。 ●漁船向けには漁網の位置や、周囲にどのような漁船がいるか等の用途がある。 ●プレジャー関係はインターネット同様の使い方になり、沿岸を航海することが多いことから衛星まで使うシーンは少ないであろう。 ●衛星VDESは多くの船に情報を迅速に渡せることがメリットである。通信手段は衛星の他にも多くあるが、無線機の受信状態によっては安定に受信できないこともある。衛星を経由すると比較的確実に情報が伝わるメリットがある。	●気象、海象、航行の安全に関する情報が提供されれば有効に活用できる。 ●漁船向けには、水温等を含めた一般的な海象情報が得られるのがよいだろう。 ●電子海図情報表示装置(ECDIS)は、電子海図(ENC)が最新にアップデートされている必要がある。衛星経由で電子海図を自動アップデートすると仮定した場合、データ容量の問題、通信料金の負担等への影響が出てくる。海図のバージョンをチェックして、古い場合はポップアップでワーニングを出すだけでも効果はあり、その場合はさほどの容量は必要ない。	●通信回線が大容量のやり取りに耐えうるか、通信コストが見合うかが懸念。 ●AISの技術を使っているため、完全な互換性を持つシステムにできるのかも懸念する。船舶に搭載している機器とのインターフェースが重要。VDESのデータをECDISの大画面に表示したり、グラフィカルに表示したりできるか。今後のITU-Rの勧告、機器の検定試験の規格に注目する必要がある。 ●機器の構成がブラックボックスになれば操作部分、表示部分がなくなりコストが下がるが、現状のAISをそのまま取り込む場合はコストが上がる。ユーザーが望むことがVDESで実現できるかがキーになる。VDESの機器はコストを下げて提供しなければユーザーからは受け入れられにくい。	●特殊な分野での情報のため、あまりオープンになっていないと見受ける。新たな情報として入手したものはない。	●関連するITU-Rの勧告や、日本が中心となりIMOに提案しようとしているSOLAS条約の改正(VDESを搭載すればAISと同等とみなす)とも関係してくる。これらを反映した国内の制度整備を行っていく必要がある。
開 敏之	●携帯電話のエリアから離れた海域では衛星経由で電波を取ることに制限があるため、衛星VDESにより様々な情報が簡単に取れるようになればメリットはある。 ●船舶電話以外の通信手段を持つことで、海難発生時の陸上との連絡において安全性が高まる。バックアップ回線としての活用のほか、海難やテロの際、海上保安庁等と直接連絡を取れるようになれば有効であろう。 ●商業的な利用の余地があれば、乗客が船内で過ごす間のインターネット接続などへの活用シーンは考えられる。	●海象、気象情報が最重要。予報と実際の海象がどの程度異なるのか、予報より急激に悪くないかといった情報が実測データとして得られると有効。 ●現状、気象予報データの取得にはタイムラグが生じるため、リアルタイムに状況がわかる手段があると有効に活用できる。	●特別な装置が必要になるのか、現状のVHFのシステムをそのまま活用できるのかを懸念する。費用面での負担が大きいと導入に二の足を踏むところが出てくる。現状の装置を使うのが理想的。 ●データがどのようにディスプレイされるのかも重要なポイント。図や絵などグラフィカルな表示がされるとよい。	●特になし	●導入時の費用面の補助等、不明な点が多いため様々な情報を提供いただきたい。 ●漁船やプレジャーボートにも広く浸透するように、設備導入のための支援制度にも力を入れていただき、小さな船にも浸透するよう検討いただけるとよい。
野口英毅	●海上安全情報をGMDSSIに備えられているEnhanced Group Calling(EGC)等で、VHF海岸局の届かないところに放送する通信衛星として用いるのが最もやりやすい。 ●気象観測データ、海象データが送れるようになるだろう。 ●捜索救難の利用としては、捜索計画を作る場合等、海図上に図形で船や飛行機の航路情報を送りやすい。ただし、緊急時(遭難時のサーチ&レスキュー等)は音声通信がメイン。デジタルデータ通信はデータの打ち込み、表示、それを見て情報を打ち込み返す手間が発生する。それらを定型化してワンクリックで送信できるようにする可能性は考えられる。 ●送信、受信はVDESで可能だが、それを映し出すヒューマンマシンインターフェースとなるナビゲーションalディスプレイである電子海図情報表示装置(ECDIS)の問題がある。IHO(国際水路機関)では、次世代の電子海図基準となるS-124等で海上安全情報を送るよう計画しており、IALA(国際航路標識協会)でも航路標識情報のS-201がある。将来、これらの基準で情報をデジタルデータ化する際、データ量が膨大になる問題があるため、これらの問題を解決する必要が出てくる。	●海上安全情報をレーダーやECDISに視覚的に表示できることがデジタル化のメリット。さらに、ビッグデータとして蓄積したデータから分析や解析ができる二次的な利用の面でもメリットがある。 ●北極海の航路では測量が十分になされていない。北極海を航行する船舶から、水深を自動的に1時間に1回程度の頻度で送り、データとして取り込めば将来的にメリットが出てくると思われる。 ●情報が視覚化される際にどこでどう表示するか、それをどう読み取るかが課題。 ●視覚化のための画面については、ブリッジにあるツールではレーダー、ECDIS、統合航海装置の画面になるだろう。それ以外に専用の情報画面が将来出てきてよい。	●衛星を誰が運用しその費用をどう分配するか、地上波との共用に係る利用頻度等の課題がある。受信面では、広い範囲で船のVDES局からの電波を拾いきれるかという問題も出てくる。衛星が増えれば、隣の衛星との干渉の問題も出てくる。 ●最終的には課金の問題がユーザーにとっての最大の関心事。 ●船と船会社でデータを送る時など、1対1で通信をする場合は秘匿性が求められ、暗号化が必要になってくる可能性もある。	●ノルウェーは北極海を中心に衛星を運用し、アイスマップを送ることを想定している。海上安全情報に近いものを考えているようだ。	●地上系のVDESも利用も検討する必要がある。 ●安全だけでなく漁場の情報等、経済に利するような使い方も必要になってくるであろう。 ●SOLAS条約では300トン以上の船舶には衛星AISの搭載が義務づけられている。AISの機能はVDESの中にもあるため、VDESが使えるようになれば、船が自発的にVDESを積むことによる経済的メリットが出てくるだろう。現在、ノルウェー、シンガポールと共同で、SOLAS条約に対しVDESを搭載すればAISと同等とみなす改正を提案している。また今後は第4章のGMDSSの近代化の中で、海上安全情報通信でのデジタル化の話も出てくるだろう。

【シーン・ニーズ資料】VDES利用ニーズ、活用シーンについてのアンケート結果

実施時期： 令和2年12月15日（火）～12月23日（水）
実施方法： ウェブアンケートにより簡易アンケートを実施

（※）ヒアリング実施対象者

回答者氏名 （敬称略）	本調査開始前に、衛星VDESというシステム自体をご存じでしたか？	本調査開始前に、国内外で衛星VDES導入の動きがあることをご存じでしたか？	船舶による衛星VDES利用は、どのようなシーン（現場・用途）に適しているとお考えですか？ アイデアベースでも結構ですのご回答ください。	システムユーザーの立場に立ったとき、衛星からのブロードキャストでの提供が大きなメリットを生む情報として、こういった情報が考えられますか？	衛星利用という点に伴って発生する課題として、こういった課題が想定されますか？	わが国での取組に当たり参考とすべき他国の情報（具体的な取組や政策的対応等）があれば、概略をご紹介ください。	衛星VDESの利用促進・課題解決のために必要な政策的対応について、ご意見をお書きください。
渡辺 忠一 （※）	はい。	はい。	第一回研究会時にご説明させて頂いた内容と一部重複いたしますが、下記の通り箇条書きで記載させていただきます。 1) 領海外：航行警報情報の情報共有（協調航法に利用。漁網位置、流木、浅瀬等の情報を船舶から海岸地球局に送信することで、情報を共有する） 2) 領海外：航行警報情報の放送（特にNAVAREA-XI海域、領海外向け） 3) 漁場（携帯通話域外）：漁協・漁船間の操業情報デジタル通信、沖合と家族の間のメール交換。 4) 漁場：スマート漁業の為に、海洋情報収集・送信（リアルタイム通信）を行い、漁場予測情報を受信する。また、漁船位置情報を産地証明に利用する。 5) 全海域：危険航海警報に使用（AISで位置情報を定期的に送信し、座礁・衝突等の危険が予測される場合に、VDES経由で警報を発信する。レジャー船・漁船を含む） 6) 全海域：船舶（デジタルシップ）のエンジン等の監視。 7) 領海外：無人船時代の小型船舶向け安心情報の提供。 8) 全海域：荷物追跡。 9) 全海域：無人船舶の監視用回線のバックアップ回線（回線断の船舶のみ対象）（注：詳細説明、参考図は、下記の海洋政策学会研究発表（渡辺他）を参照下さい。） https://oceanpolicy.jp/jsop/1top/%E7%AC%AC12%E5%9B%9E%E5%B9%B4%E6%AC%A1%E5%A4%A7%E4%BC%9A%E8%B3%87%E6%96%99.pdf	1) 航行警報情報の情報共有（協調航法に利用。漁網位置、流木、浅瀬等の情報他） 2) 燃費改善のための海流データ。 3) 漁場予測データ 4) 海図更新情報	1) 衛星整備費用の負担をどのようなビジネスモデルで回収するか。 2) 衛星は広域通信が可能な為、逆に混信が多くなり、呼損が発生する可能性が大きくなる。 3) 世界どこでも共通に、常時利用できるか（オペラビリティ） 4) 地上VDES、海外の防空レーダー等の干渉が原因の通信断。	1) 東シナ海では、アリババ通販でAIS発振器を販売しており、漁網等に取り付けて活発に利用している（規則違反の通信装置であるが） 2) 中国ではAIS装置を標準装備させる政策を取っていると聞く。 3) デンマークのVDES Alliance（衛星コンステレーション）では、政府から補助金が支出され、戦略的整備を計画。 スエーデンSaabのVDES衛星計画には、軍関係利用も含まれる。	1) 小型船舶（漁船、レジャー船）、内航船を含めて、全船舶装備とするための政策。 本件に関しては、第一回研究会にてご依頼の通り、下記検討をお願い致します。 ①小型船舶搭載可能な衛星VDES端末の無線従事者免許を不要とするための政策対応。 ②上記①が可能となる小型船舶搭載端末仕様の検討（送信出力、アンテナ利得を含む回線設計）、 ③上記①を前提とした、回線利用率（呼損）の向上に必要な施策 ④WRC-19の衛星VDES周波数認可は、二次業務となっているが、安全に関わる通信利用のために一次業務への変更。また、将来の利用拡大時の周波数拡張に向けた前広な準備（変更対応が容易な端末の整備等） 2) 衛星コストの負担を公的利用・民間利用のデュアルユースで回収する制度の検討・整備（電気通信事業者によるサービス可能性検討他） 3) 海外VDES衛星を自国同様に利用できるようにローミングサービスに向けた政策展開。
田北 順二 （※）	衛星VDESについては存じております。2～3年前から関連の委員会、検討会で衛星VDESの説明がありました。	総務省関係の委員会、検討会でITU-R等の動向に関連した内容で説明があり、存じておりました。	前回の検討会で総務省殿からご説明のありました海上安全情報(MSI)の放送、捜索救助(SAR)通信、航海情報(航路等)情報通信へ利用できると考えます。	上記質問3の海上安全情報(MSI)以外には、気象、海象情報もユーザーにとっては有益と考えます。	衛星利用の場合は、VHF等の通信手段との比較で、通信費の増大が課題になると思います。	特に、ございませんが、第1回目の検討会で紹介のあった欧米等での取り組みが参考になると思います。	衛星VDESの利用促進のためには、ユーザーへの衛星VDESのメリットの啓蒙活動と何らかの費用負担面の補助が必要と思います。
開 敏之 （※）	全く知りませんでした。	全く知りませんでした。	陸岸から離れた海域での高精度の航海参考情報の入手	荒天時の実測海象データ（波高等）	専用の機器の整備費用	特にありません	設備費用の補助、色々な情報を持つ機関等との連携、有用な情報の提供を受けること
野口英毅 （※）	知っていた。	知っていた。	低・中速度通信であることから、海上安全情報等のEGC放送、また、AISの補足情報通信に適している。また、低・中速度通信で頻度の多くない通信、例えば、気象・海象観測データの通信にも利用可能。	これまで、中短波で受信しなければならないMSI情報等をデジタルで視覚化できる点	課金の問題、地上波との共用に係る利用頻度の課題（衛星数とも関連）	ノルウェー、デンマーク等の北欧で研究が盛んです。特にノルウェーはすでに衛星を運用していますので、今後の彼らの利用想定等を知れば、参考になると思います。	衛星のみではなく、VDES全体の利用促進と合わせた政策が必要であり、特に海岸局の整備が必要と思います。
川久保 盛二	知っていました。	知っていました。	衛星を経由する事により、今まで通信が届かなかった遠距離で船舶の運航情報の通信が可能になり、海難救助などに生かせると思います。	海上安全情報、航海情報、沿岸情報、船舶情報などの提供。	地球全体を網羅させる為の衛星数の確保に時間がかかるのではないかと。衛星運用費用の負担。		諸外国との連携、国際機関会合への参加。
中川裕康	存じておりました。	存じておりました。	A1海域外、（特に極海域）を航行する船舶とのデータ交換（MSIなどのデータ）。AISサービスエリア（通達）範囲の拡張（船舶トラッキング範囲の拡張、LRITの代替利用）	水路通報／航行警報の放送（FAX/EGC/NAVTEXなどに加えた補足手段として。） GPS補足信号放送（停波陸上局の代わり。GBAS?SBAS?）	妨害・スプーフィングへの対処。 可用性（衛星数、通信可能時間）		将来ユーザに訴求するために既存システムと明確に差別化された用途を特定し提示。（盛り込みすぎるとぼやける。） 機器開発や、実証実験実施への敷居を下げる。機器開発・実験環境整備への援助。実験局開局手続き等を容易にする。開発・実験資金調達・補助。特区の設定（離島など？実電波通信実験を実施しやすい環境・場所）
道山 元	存じておりました。	ノルウェーが取り組んでいたことを存じておりました。	同じフォーマット形式での放送で、受信側でもそれが可能ならば、一般的なミニポートなどの小型船から、漁船、大型のコンテナ船まで、利用可能と思います。	ECDISやPBや漁船のチャートプロッター上にグラフィカルな気象・海象・潮汐・潮流状況／予想図を重ねて表示することが有効と思います。	ジャミングや海賊放送に使われる可能性の問題や、VDESにおいて複数の認証された衛星プロバイダーの出現により統一された技術基準の確定やインターオペラビリティの確保に時間を要すること。特に、海の世界でセキュリティとセーフティ分野の境目が曖昧になっている点に留意する必要があるかと。	特になし。	先に日本が開発を完了させ、IMOやIMO-ICAO、IMO-ITU、WRCなどで早期に文書をライズする。そのためにも、複数の関係者間で一つの組織体を策定する必要があるや。
大鐘武雄	いいえ	いいえ	海洋ブイのデータを船舶が行い、収集したデータを衛星を利用してデータセンターに集約。海洋ブイが比較的安全になる可能性があるかも？そうすれば今よりもっと多くのブイを設置できると期待される	他の船舶、氷山などの位置情報。氷山は難しいとしても、船舶は自身の位置を正確に把握できるので、レーダーで見つけにくい船舶も発見できる	帯域幅が限られるので、多数のユーザからの情報を吸い上げるより回線のアクセス制御方法が重要となる		設置許可が必要であれば、迅速に、かつ、低費用で行えることでしょうか。
杉野 伸治	存じ上げておりませんでした。	存じ上げておりませんでした。	自国周辺海域や他国へ航行する日本の船舶の位置情報／行き先などの情報を明確化することで、遠くの場所からの海上安全の支援に生かせると考えられます。	航行先の天候情報や周辺海域の危険船の有無をリアルタイムに得られると大きなメリットがあるのではないかと考えます。	現時点でも既に発生している課題とは思いますが、衛星システムが活発になるにつれて宇宙ゴミの問題や衛星のメンテナンスがより大きな課題になるのではないかと考えられます。	存じ上げません。	システムが複数になると、ユーザーサイドも複数機のシステムが必要となってしまうコスト的な負担となり、新システムへの利用が進まないと考えます。従来システム(AISなど)から完全に移行できるような道筋を立て、支援するような対応が必要ではないかと考えます。

衛星を活用したVHF データ交換システム (VDES) の導入による
海上無線通信の高度化に向けた調査検討会

VHFデータ交換システム (VDES) について

総合通信基盤局電波部
基幹・衛星移動通信課

VHFデータ交換システムの概要

1

VHFデータ交換システム (VDES : VHF Data Exchange System)

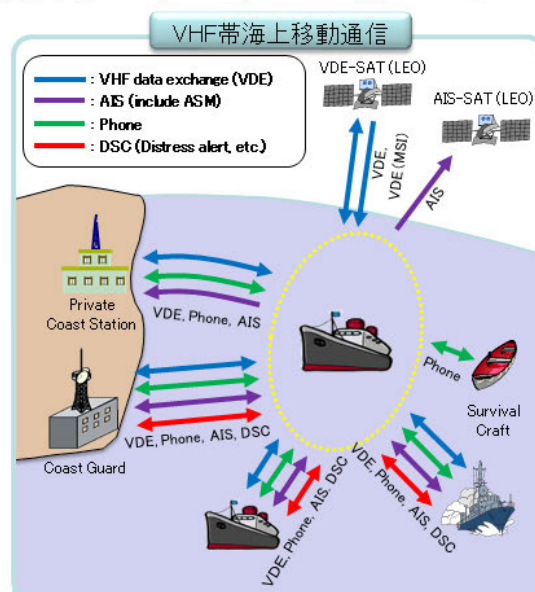
- ・地上で用いるVHFデータ交換（地上VDE：全世界的に用いられているVDEチャンネル）、低軌道衛星によるVHFデータ交換（衛星VDE）、AIS（船舶自動識別装置）及びASM（AISを応用したメッセージ交換）をまとめてVHFデータ交換システム（VDES）として扱っている

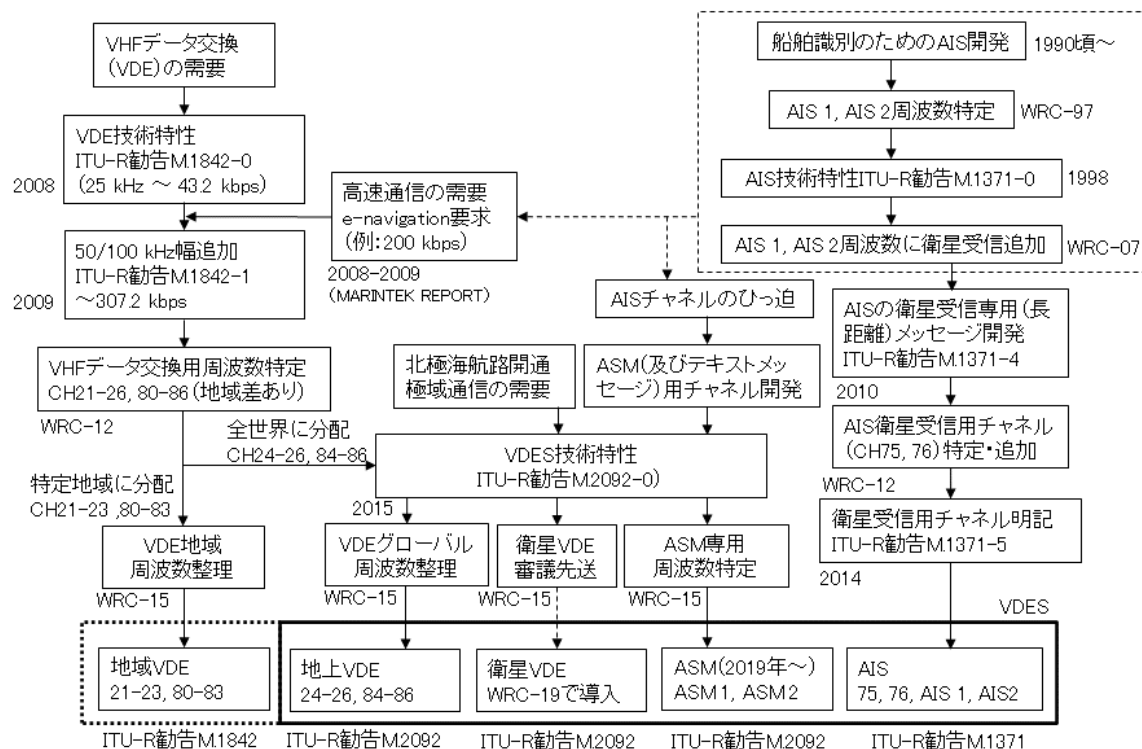
VDES = AIS + ASM + 地上VDE + 衛星VDE

データ伝送速度 AIS : 9.6 kbps
 ASM : 19.2 kbps
 VDE : 最大307.2 kbps

- ・国際航路標識協会（IALA）が中心となってVDESを開発。
- * VDESという呼称は、2012年12月に東京で開催された海上保安庁主催「次世代AIS国際標準化のためのワークショップ」において、日本からの提案が採用された。
- * IALAガイドライン「VHF Data Exchange System (VDES) Overview 1117」にVDESに関する詳細な記載がある。

<http://www.iala-aism.org/product/vhd-data-exchange-system-vdes-overview-1117/>





2019年世界無線通信会議(WRC-19)の結果 議題1.9.2「VDES衛星コンポーネントの導入」

<概要>

RR 付録第18号に記載されたVHF帯における海上での移動通信に係る周波数利用の規定について、VDESの衛星での利用のために、船舶自動識別装置（AIS）、アプリケーション特定メッセージ（ASM）、地上でのVDES利用、同帯域及び隣接帯域の既存業務に対し追加の制約を課すことなく、海上移動衛星業務の周波数分配及び規制条項について検討するもの。

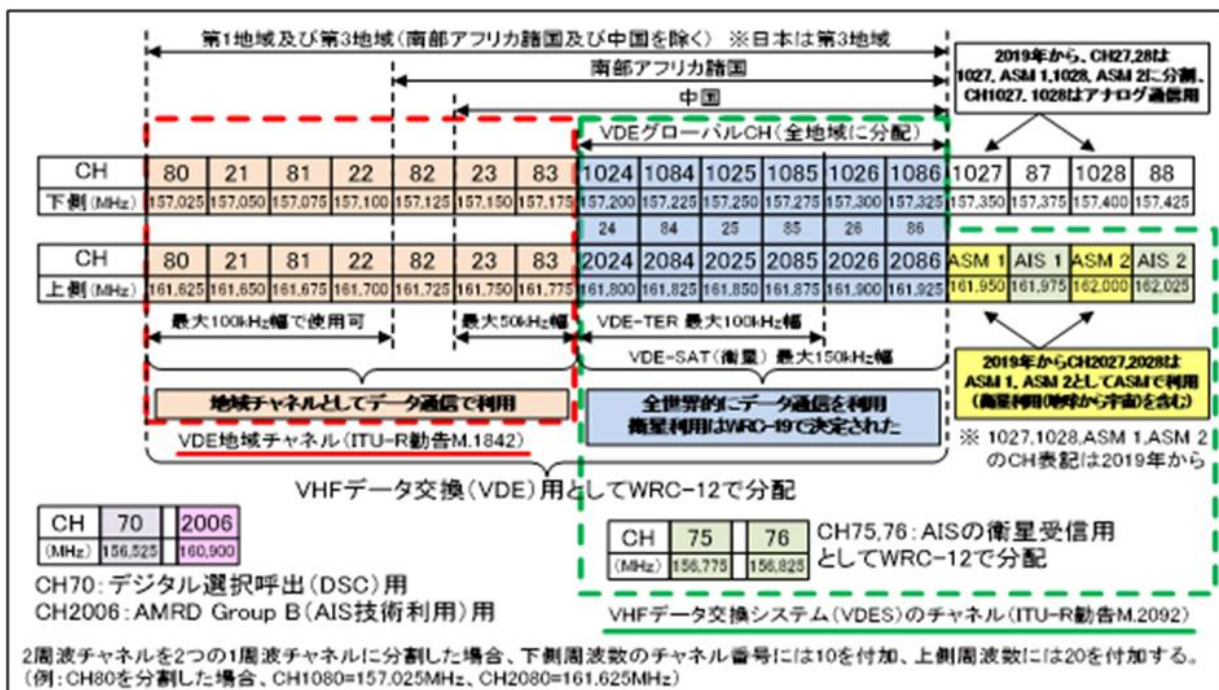
【WRC-19の結果】

- RR付録第18号が改定され、国際VHFのチャンネル表のVDES周波数で衛星VDE（VDESの衛星コンポーネント）の運用が認められた。
- RR第5条の周波数分配表に、157.1875-157.3375MHz帯及び161.7875-161.9375MHz帯の海上移動衛星業務が新たに二次分配された。また、脚注第5.228AB号及び第5.228AC号が追加され、この周波数帯の海上移動衛星業務（地球から宇宙）及び海上移動衛星業務（宇宙から地球）の使用はRR付録第18号に従い運用される非静止衛星システムに限ること、また、当該周波数帯の海上移動衛星業務（宇宙から地球）の使用はRR第9.21号に従い、関係国*の合意を得ることが規定された。
- 脚注第5.208A号及び第5.208B号並びに決議第739(WRC-15)表1-2が改定され、上記周波数帯の使用において、電波天文業務を保護することが規定された。
- RR付録第18号のチャンネル表及び注m)、mm)、w)、wa)、ww)、x)、xx)、z)、zx)及びzz)の変更や削除（議題9.2関連の期限見直しなどを含む）が行われた。

*アゼルバイジャン共和国、ペラルーシ共和国、中華人民共和国、大韓民国、キューバ、ロシア連邦、シリア・アラブ共和国、北朝鮮、南アフリカ共和国及びベトナム社会主義共和国

海上VHF帯(国際VHF帯)データ通信用チャンネル

4



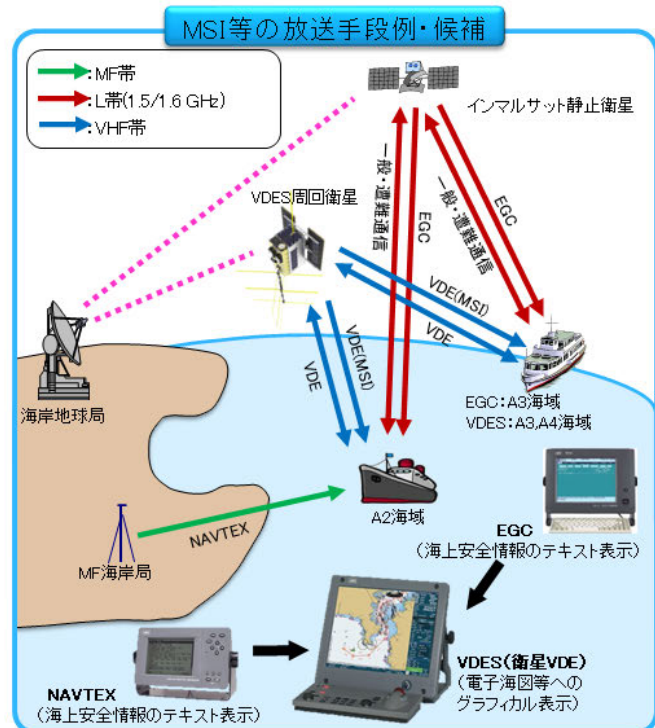
国際VHFの全チャンネルは無線通信規則付録第18号を参照

【参考】VDEグローバルチャンネル(地上波)を用いたアプリケーション例

5

- 捜索救助(SAR) 通信
 - ・ 捜索救助サービス(海上における捜索救助活動に係わる各種情報収集・交換)
- 海図及び海事出版物
 - ・ 海図サービス(海図情報の提供、電子海図の更新・ライセンス供与)
 - ・ 海事出版物サービス(海図など海事出版物の訂正・更新に関する情報)
- 航路等情報(Route Exchange)
 - ・ 船舶通航(VTS) サービス(船舶位置、目的地や運航計画などを利用して管制)
 - ・ 航行支援サービス(VTSの一環、船上における航行意思決定等を支援する)
 - ・ 交通構成サービス(VTSの一環、危険状況を回避し、安全・効率的な運航を提供)
 - ・ 地域港湾サービス(港湾での停泊位置、港湾情報、運航計画などの情報提供)
 - ・ 海上安全情報(MSI) サービス(公的機関からの航行警報や気象警報など)
 - ・ 水先サービス(安全・効率的な水先案内業務のための情報)
 - ・ タグサービス(タグボートや通船などの安全・効率的な業務のための情報)
 - ・ 船舶通報サービス(船舶内の規定された情報の自動／半自動通報)
 - ・ 海事支援サービス(船会社、港湾当局、救助会社間等との通信支援)
 - ・ 実時間海路・環境情報サービス(潮流、波高、海洋生息環境、航行規制等の情報)

- 海上安全情報(MSI)の放送
 - ・ MSI、氷海域情報、気象情報
 - ✓ ホイップアンテナで受信可
 - ✓ 全地球上がサービスエリア
但し、衛星数が少なければ即時性に欠ける
 - ✓ GMDSS近代化での導入目標
- 捜索救助(SAR)通信
 - ・ 捜索救助サービス
 - ・ 遠隔医療支援サービス
- 航路等情報(Route Exchange)
 - ・ 船舶通航(VTS)サービス
 - ・ 交通構成サービス
 - ・ 船舶通報サービス
 - ・ 海事支援サービス
 - ・ 実時間海路・環境情報サービス



ご清聴有り難うございました。

衛星VDES導入に対する国際動向等を踏まえた

技術的検討の必要性

1. VDES(衛星コンポーネント)の使用周波数
2. 周波数割当計画
3. VDES(衛星コンポーネント)による干渉検討
4. AIS及びASMの使用周波数
5. 干渉モデル

衛星を活用したVHF データ交換システム(VDES)の導入による
海上無線通信の高度化に向けた調査検討会

(第1回)

令和2年(2020年)11月13日

日本無線(株)マリンシステム事業部企画推進部事業企画グループ 宮寺

 **日本無線株式会社**

1. VDES(衛星コンポーネント)の使用周波数



VDESの衛星コンポーネント(衛星VDE:VDE-SAT)

衛星VDEは、船舶局と人工衛星局間でデータ通信を行うシステムで、衛星VDE(VDE-SAT)への周波数分配は2019年10月から11月に開催された2019年世界無線通信会議(WRC-19)で決定され、2021年1月よりVDESを衛星通信でも使用できることとなった。

衛星VDEでは低軌道周回衛星と船舶との間で通信を行うため、船舶側は海上VHF通信で用いる通常のVHFアンテナ(全長1 m程度のホイップアンテナ)を使用して衛星通信を行うことができる。

衛星VDEが使用する周波数は下図のとおり(世界共通)。

大部分の周波数はVDESの地上コンポーネント(地上VDE:VDE-TER)と共用する。

チャンネル番号	1024	1084	1025	1085	1026	1086	2024	2084	2025	2085	2026	2086
VDE-SAT (二次分配)	船舶から衛星 衛星から船舶 (157.1875-157.3375 MHz)						船舶から衛星 衛星から船舶 (161.7875-161.9375 MHz)					
VDE-TER (一次分配)	船舶から海岸 海岸から船舶 船舶から船舶 (157.1875-157.2875 MHz)						海岸から船舶 船舶から船舶 (161.7875-161.8875 MHz)					

WRC-19で定められたVDES(衛星VDE及び地上VDE)の使用チャンネルと用途

2. 周波数割当計画



周波数割当計画によるVDES用周波数の割当

WRC-19の結果を受け、我が国の周波数割当計画が下記抜粋のように改正された。

別表3-4 156.025-162.025MHz帯海上移動無線通信業務の周波数表

チャンネル番号	注	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	
80	wa), y)	157.025	161.625		○	○	○
21	wa), y)	157.050	161.650		○	○	○
81	wa), y)	157.075	161.675		○	○	○
22	wa), y)	157.100	161.700		○	○	○
82	wa), x), y)	157.125	161.725		○	○	○
23	wa), x), y)	157.150	161.750		○	○	○
83	wa), x), y)	157.175	161.775		○	○	○
24	w), x)	157.200	161.800		○	○	○
1024	w)	157.200	157.200	○*	○*		
2024	w)	161.800	161.800	○*	○*		
84	w), x)	157.225	161.825		○	○	○
1084	w)	157.225	157.225	○*	○*		
2084	w)	161.825	161.825	○*	○*		
25	w), x)	157.250	161.850		○	○	○
1025	w)	157.250	157.250	○*	○*		
2025	w)	161.850	161.850	○*	○*		
85	w), x)	157.275	161.875		○	○	○
1085	w)	157.275	157.275	○*	○*		
2085	w)	161.875	161.875	○*	○*		
26	w), x)	157.300	161.900		○	○	○
1026	w)	157.300					
2026	w)		161.900				
86	w), x)	157.325	161.925		○	○	○
1086	w)	157.325					
2086	w)		161.925				
1027	zz)	157.350	157.350		○		
ASM 1	z)	161.950	161.950				
87	zz)	157.375	157.375		○		
1028	zz)	157.400	157.400		○		
ASM 2	z)	162.000	162.000				
88	zz)	157.425	157.425		○		
AIS 1	f), l), p)	161.975	161.975				
AIS 2	f), l), p)	162.025	162.025				

* このチャンネルの使用は、デジタル変調方式のものに限る。

w) 157.1875-157.3375MHz及び161.7875-161.9375MHz(第24、第84、第25、第85、第26、第86、第1024、第1084、第1025、第1085、第1026、第1086、第2024、第2084、第2025、第2085、第2026及び第2086チャンネルに相当)の周波数帯は、VHFデータ交換システム(VDES)用として特定される。VDESの地上部分及び衛星部分は、最新版のITU-R勧告M.2092に規定される。これらのチャンネルは、フィーダリンクに使用してはならない。これらのチャンネルは、連続する複数の25kHzのチャンネルを結合して、50kHz幅、100kHz幅又は150kHz幅のチャンネルとして使用することができる。このチャンネルの使用は、以下のとおり。

- 第1024、第1084、第1025及び第1085チャンネルは、船舶から沿岸、沿岸から船舶及び船舶から船舶の通信に特定するほか、これらの通信に制約を課すことなく、船舶から衛星及び衛星から船舶の通信に使用することができる。
- 第2024、第2084、第2025及び第2085チャンネルは、沿岸から船舶及び船舶から船舶の通信に特定するほか、これらの通信に制限を課すことなく、船舶から衛星及び衛星から船舶の通信に使用することができる。
- 第1026、第1086、第2026及び第2086チャンネルは、船舶から衛星及び衛星から船舶の通信に特定し、VDESの地上部分に使用してはならない。
- 第24、第84、第25及び第85チャンネルは、船舶から沿岸及び沿岸から船舶の通信に特定する。

VDES(地球から宇宙)の使用は、同じ周波数帯で運用される地上システムに対して有害な混信を生じさせ、保護を要求し、また、将来の発達を妨げてはならない。

2029年12月31日まで、第24、第84、第25、第85、第26及び第86チャンネルは、デジタル変調を使用する他の海上移動業務の局に対して有害な混信を生じさせ、又は保護を求めないこと及び影響を受ける他の主管庁と調整することを条件として、最新版のITU-R勧告M.1084に規定されるアナログ変調でも使用することができる。

wa) 第一地域及び第三地域では、以下のとおりとする。

157.0125-157.1125MHz及び161.6125-161.7125MHz(第80、第21、第81及び第22チャンネルに相当)の周波数帯は、最新版のITU-R勧告M.1842に規定される連続する複数の25kHzのチャンネルを使用するデジタルシステムの利用に特定する。

157.1375-157.1875MHz及び161.7375-161.7875MHz(第23及び第83チャンネルに相当)の周波数帯は、最新版のITU-R勧告M.1842に規定される連続する2つの25kHzのチャンネルを使用するデジタルシステムの利用に特定する。157.125MHz及び161.725MHz(第82チャンネル)の周波数は、最新版のITU-R勧告M.1842に規定されるデジタルシステムの利用に特定する。

(以下略)

z) ASM 1及びASM 2チャンネルは、最新版のITU-R勧告M.2092に規定されるアプリケーション特定メッセージ(ASM)に使用される。

zz) 第1027、第1028、第87及び第88チャンネルは、港務通信及び船舶通航のための単一周波数アナログチャンネルとして使用される。

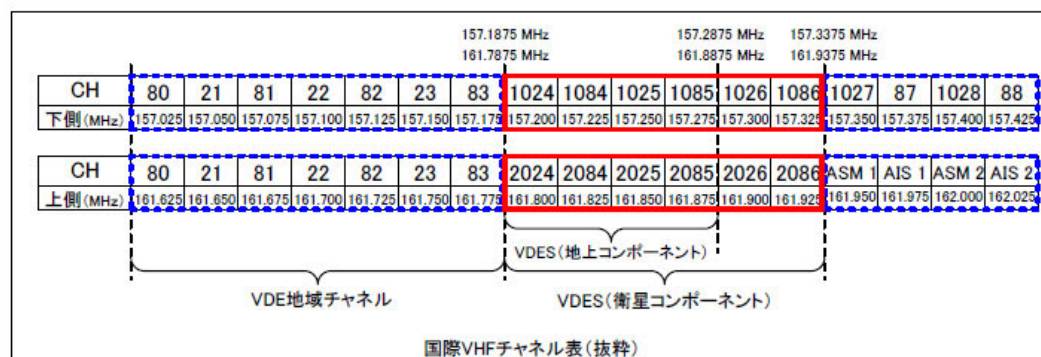
【周波数割当計画】別表3-4 156.025-162.025MHz帯海上移動無線通信業務の周波数表(抜粋)

3. VDES(衛星コンポーネント)による干渉検討

新たな業務を導入する際には、周波数割当計画により、同一周波数及び隣接周波数を使用している既存業務との共用(干渉)検討を行い、干渉を生じさせない又は生じさせたとしても許容できる範囲内である必要がある。

技術的検討(干渉検討)に必要な周波数配列の組合せ(干渉モデル)

VDES(衛星コンポーネント)と同一周波数及び隣接周波数を整理すると下図のような配列になる。



- 同一周波数利用システムへの干渉
 - VDES(地上コンポーネント): VDES(衛星コンポーネント)からの被干渉検討要
- 隣接周波数利用システムへの干渉
 - VDE地域チャンネル(CH 21-23及び80-83): VDE地域チャンネルはVDESと同様のVHFデータ交換(VDE)であるため、VDES(衛星コンポーネント)と一体のシステムと考えられるため、干渉検討は不要と考える
 - アナログ音声チャンネル(CH 1027、87、1028及び88): VDES(地上コンポーネント)及びVDE地域チャンネル導入の際に検討済みのため、今回の干渉検討の評価対象から外せると考える
※ 平成28年度「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調査検討」
 - ASM及びAISチャンネル(ASM 1/2及びAIS 1/2): VDES(衛星コンポーネント)からの被干渉検討要

4. AIS及びASMの使用周波数



AIS及びASM(ご参考)

➤ 船舶自動識別装置(AIS)

船舶自動識別装置(AIS:Automatic Identification System)は、船舶の位置情報や針路、船速などの航海情報、船名や貨物の情報を定期的に放送し、他船から放送されたこれらの情報を常時受信し表示するシステムであり、船舶の識別のために用いられている。周波数は海上VHFのAIS 1(161.975 MHz)及びAIS 2(162.025 MHz)チャンネルが用いられる。その他に、長距離用(衛星での受信用)として、CH75(156.775MHz)及びCH76(156.825 MHz)が用いられている。

AISでは、船舶の動向に関する情報だけでなく、アプリケーション毎に定義されたメッセージを交換できるアプリケーション特定メッセージ(ASM:Application Specific Message)を利用することにより、安全航行に関する情報や任意のメッセージ交換も可能である。通信文の交換が簡易に行える利便性のために、近年、ASMが少しずつ利用されるようになってきている。

➤ ASM専用チャンネル

AIS搭載船舶の増加に加え、AISを利用したASMの使用頻度が高くなってきたことから、徐々にAISチャンネルが逼迫してきたため、ASMのようなメッセージ交換はAISとは別のチャンネルで運用させるべき検討がITU-R(国際電気通信連合無線通信部門)で行われた。2015年世界無線通信会議(WRC-15)において、ASM専用チャンネルの導入が全世界的に認められ、2019年1月よりASM 1(161.950 MHz)及びASM 2(162.000 MHz)チャンネルが使用できることとなった。

VDESによるASMIは、(AISによるASMでなく)ASM専用チャンネル(ASM 1及びASM 2)を用いたASMの通信を示す。

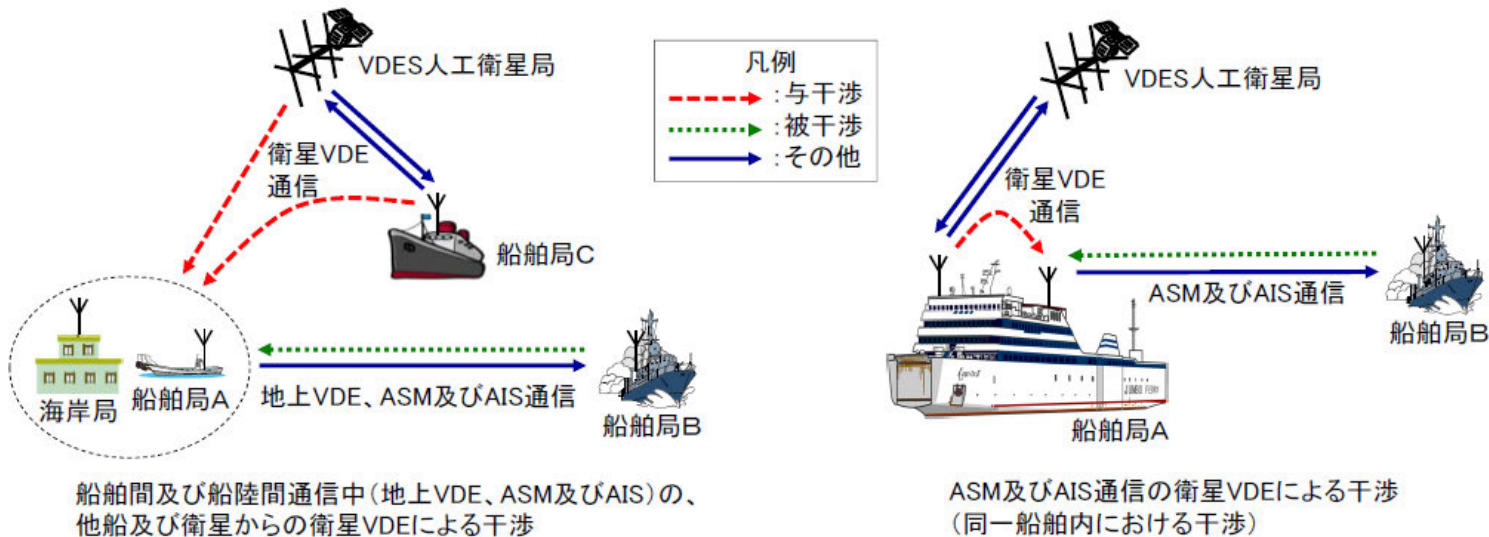
5. 干渉モデル

技術的検討が必要な干渉について、周波数関係を整理すると次のような組み合わせ(干渉モデル)になる。

- 与干渉: 衛星VDE 周波数 157.200-157.275 MHz (CH1024,1084,1025,1085: 地上VDEへの干渉)
周波数 161.800-161.875 MHz (CH2024,2084,2025,2085: 地上VDEへの干渉)
周波数 161.800-161.925 MHz (CH2024,2084,2025,2085,2026,2086: ASM及びAISへの干渉)
- ◆ 被干渉: 地上VDE 周波数 157.200-157.275 MHz (CH1024,1084,1025,1085: 衛星VDEからの同一周波数干渉)
周波数 161.800-161.875 MHz (CH2024,2084,2025,2085: 衛星VDEからの同一周波数干渉)
- ◆ 被干渉: ASM 周波数 161.950、162.000 MHz (ASM 1/2: 衛星VDEからの隣接チャネル漏洩電力等による干渉)
- ◆ 被干渉: AIS 周波数 161.975、162.025 MHz (AIS 1/2: 衛星VDEからの隣接チャネル漏洩電力等による干渉)

実際の運用形態は下図が想定できる。

これらを考慮した机上計算及び必要に応じてこれらを模した測定系を用いて、技術的検討を行う必要があると考える。



「衛星VDESの国内導入に向けた環境整備」 (我国の取組方策の検討)

令和2年11月13日

公益財団法人 笹川平和財団 海洋政策研究所(OPRI)
特別研究員
渡辺 忠一

1

はじめに

<発表内容>

1. 海洋政策研究所の概要紹介(海洋宇宙連携関連の活動を中心に)
2. 衛星VDESとは
 2. 1 現行AIS(Automatic Identification System)の利用現状と課題
 2. 2 VDES(VHF Data Exchange System; 次期AIS)概要
 2. 3 衛星VDES関連の国際動向
3. 衛星VDESの国内導入に向けた環境整備(課題)の検討
 2. 1 利用ニーズの検討
 2. 2 衛星VDESの事業化検討
 2. 3 環境整備課題と対策私案
4. まとめ

2

1. 海洋政策研究所の概要紹介 (海洋宇宙連携関連の活動を中心に)

3

OPRI概要

公益財団 笹川平和研究所 海洋政策研究所のご紹介

前身にあたる「海洋政策研究財団」は「人類と海洋の共生」を目指して2000年から海洋政策の研究、政策提言、情報発信等を行うシンクタンク活動を開始。海洋に特化したシンクタンクとして、笹川平和財団海洋政策研究所は財団のミッション・ステートメントに掲げられている「新たな海洋ガバナンスの確立」に向けて貢献。



4

海洋宇宙連携に関する2019・2020年度の取組み

シンポジウム「第2回宇宙を用いたグローバルな海洋監視に関するシンポジウム-アジア太平洋地域における海洋宇宙協力に向けて」を2019年10月4日に開催した(第1回は2019年2月に開催)。
「宇宙を用いたグローバルな海洋監視の最新技術動向と将来」(2月8日)
アジア太平洋地域における海洋宇宙協力の可能性について漁業の監視等の議論を深めた。

「第2回 海洋宇宙連携に関する勉強会」(2019年7月)

勉強会では、AI(人工知能)と衛星VDESの2点の最新動向を踏まえて、2018年11月に開催した第1回勉強会(合宿)の議論を発展させるため「海洋宇宙連携を実現化するためのシステム像・ビジネス像」というテーマで、24名の参加者が3つのグループに分かれて、グループディスカッションを行った。各グループからは、「SDGsの観点からのVDESによる商船・漁船両者の利益追求」などの具体的な提案が示された。



衛星VDESに関する検討(2019年5月)

新たな海洋宇宙連携像の構築に向けた検討のなかで、次世代のAIS(自動船舶識別装置: Automatic Identification System)として想定されているVDESに着目し、「衛星VDES情報交換会」を開催した。ノルウェーが2017年にNORSAT-2(AIS+VDE)衛星を打上げて実験運用を行うなど幾つかの国でも検討が進みつつあることを踏まえて、検討ロードマップや衛星VDESへの期待などについて議論を行った。

「衛星VDESによる航法勉強会」(2020年1・2月)

国際電気通信連合(ITU)の会合(WRC-19、2019年秋開催)において、VHF帯に周波数割当てが決定し、衛星VDESの運用に向けた整備が可能となってきたことを受けて、その実利用の一形態として、船舶間通信の将来の可能性を検討するため、「衛星VDESによる航法勉強会」を開催した。この成果は、IALA(国際航路標識協会)の会議で、構築した利用形態(協調航法)の具体像を発表し、国際連携を模索するべくプレゼン資料にまとめた(コロナ禍の為、プレゼン実施を2020年9月に実施)。

「衛星VDES委員会活動」(2020年9月～、委員長:今津東京海洋大名誉教授、OPRI主催)

衛星VDES国際運用機関創設並びに「協調航法」普及を目的に委員会(OPRI主催)を9月より開始。今後、シンポジウム開催並びに国際連携化を予定。

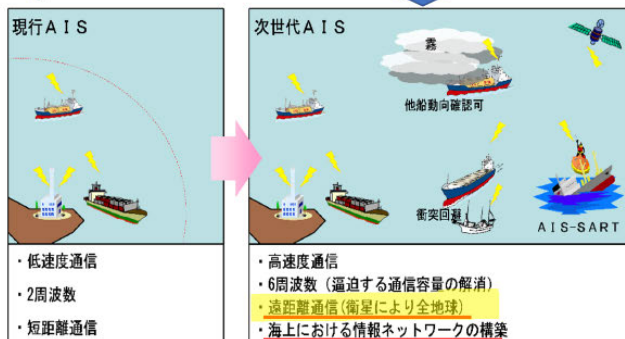
5

OPRI海洋宇宙連携活動紹介(衛星VDES国際運用機関の創設に向けての検討)

0) 従来、海上VHF帯(156-162MHz)の電話(アナログ)が利用されてきた

1) 並行して、デジタル化となり、船舶自動識別装置(現行AIS)が導入されている

2) 現在、次世代AIS(VDES: VHF Data Exchange System)として、双方向デジタル通信により、海洋における情報通信ネットワークの構築を可能とする改良が検討されている(2019年11月にITUにて衛星を含むVDES周波数割当てが決定し、衛星通信システムが本格的に実施可能に)



次世代AIS(VDES)国際標準化のイメージ(海保HPより)

NORSAT2概要

衛星重量: 約20Kg
衛星大きさ: 20×30×44cm
電力: 約60W
VDES搭載装置: 約1.5Kg

◆OPRIでは現在、下記ミッション達成に向けて、技術調査・利用検討・国際連携に関する政策研究を実施中

＜OPRIミッション＞
衛星VDES運用国際機関の立上げを通じて世界・国益確保を図る。
(我国プレゼンス確保)

VDES衛星コンステ(約60機)



VDES運用
国際機関
(日本)

航行船舶



6

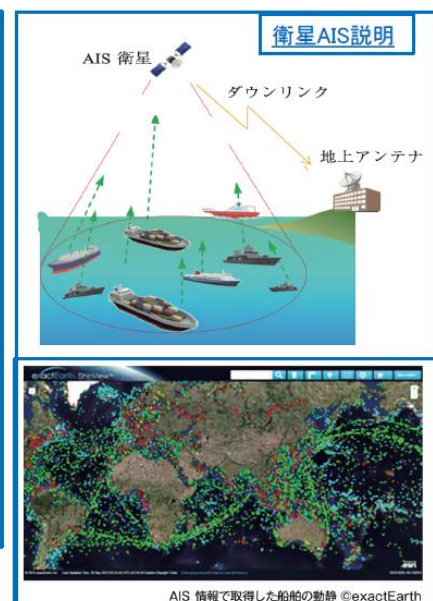
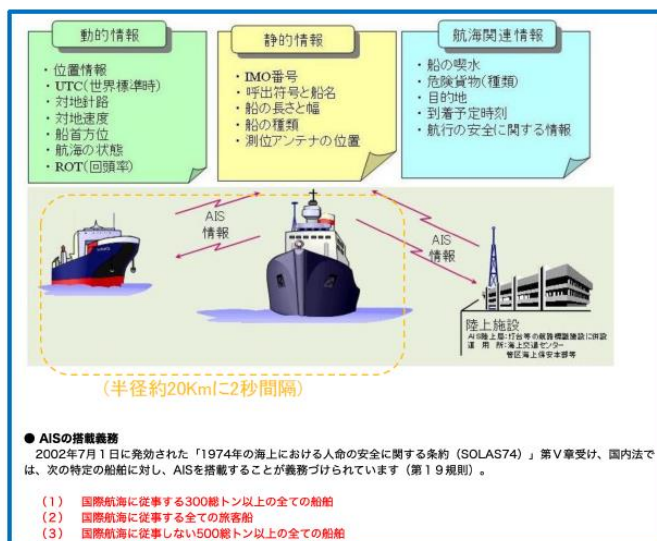
2. 衛星VDESとは

7

現行AIS

AIS(船舶自動識別装置)の概要

- AISは、船舶の識別符号、種類、位置、針路、速力、航行状態及びその他の安全に関する情報を自動的にVHF帯電波で送受信し、船舶局相互間及び船舶局と陸上局の航行援助施設等との間で情報の交換を行うシステム(夜間・雨天時にも有効)
- 衛星AISは、衛星受信機で船舶AIS信号を受信(モニタ)する(送信は不可)
(世界中の船舶AIS情報をリアルタイム(約1分間隔)で入手可能(米国民間企業経由))



8

AIS利用の現状

- 船舶間で相手船の位置・進路を電子海図に表示し、安全航行に利用
- 陸上では、領海内を中心に、船舶動向監視等の海上保安業務に利用
また、入港時の連絡調整に利用する等、多用途で利用（必須）

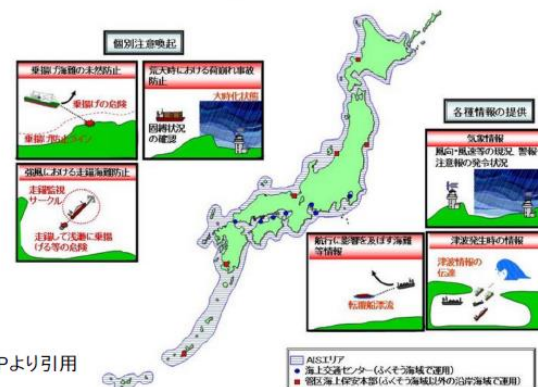
船舶の航行安全に利用(洋上)



海上保安業務に利用(陸上)



- AIS 陸上局のカバーエリアと航行支援システムによる情報提供の例



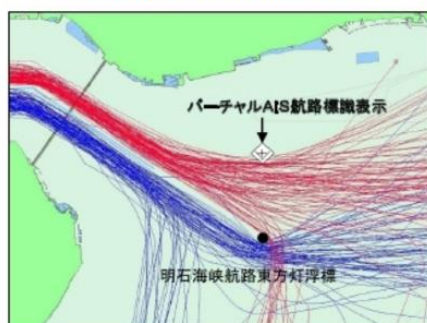
海保HPより引用

9

バーチャルAISによる航路監視・海域保護

- バーチャルAISとは、実物ブイを設置する代わりに、海岸地球局よりバーチャルブイ位置情報をAIS信号を利用し発信することで、船舶搭載のAIS受信機表示盤上にブイマークを表示するシステム。（海保で現在運用中）

○明石海峡の例(既に運用)



○荒天時の関西空港周辺 (今後の適用アイデア)



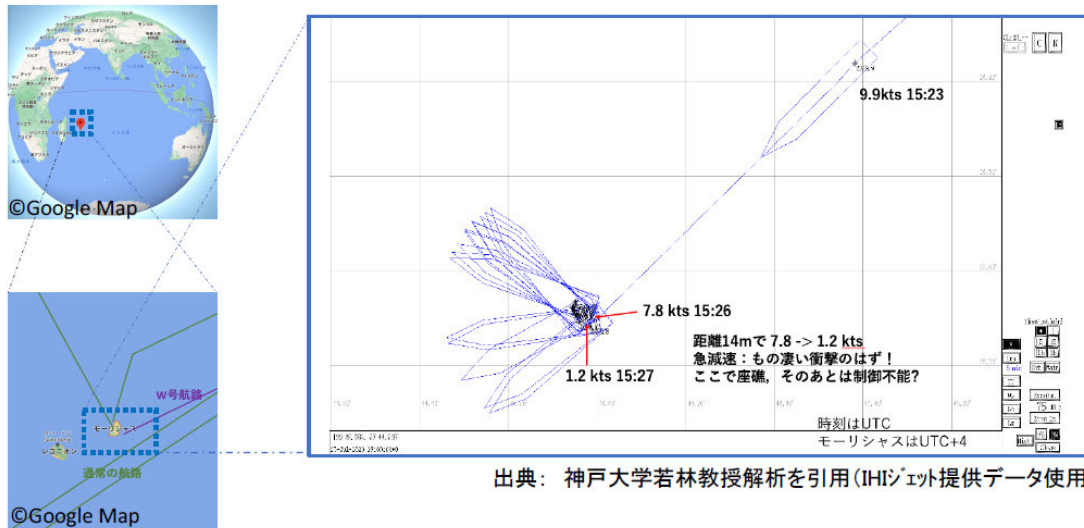
海保HPより引用

<コメント>

- バーチャルAISで通航標識や保護海域を示すことで、船舶の安全航行並びに侵入禁止区域への侵入を抑えることが可能となる。地上VDESが未整備の海域や、公海上（遠方海域）の危険海域を、衛星VDES経由で通知できる。
- 実物ブイは、通航障害・故障等が発生する、景観悪化、関係団体調整が困難等のデメリットがある。また、潮の干満・風浪等で、危険海域が時間変化する場合、バーチャルAISが有効である。

衛星AISによる航路解析(WAKASHIOの例)

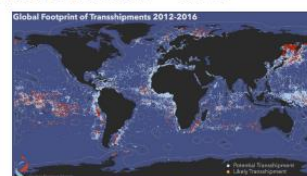
- 事故前後の航路データを取得(1分間隔)/解析が可能。
- WAKASHIOの例:(下図参照)
AISデータより、船速が急減速となり、船首方向が不安定になったことが判る。



11

不審船(瀬取り)等の監視/違法漁業監視で利用

- 海洋監視は、衛星AIS情報+リモセン衛星+目視+知見データを組合せて実施されている。
- AIS情報は、下記の情報を得るのに有効であり、グレー船の抽出に貢献。
 - ①AIS信号On/Offを繰り返す
 - ②AIS情報の欺瞞が多い船舶の抽出
(静的船舶DB(船名、トン数、船長幅他)と矛盾)
(漁船と送信しながら漁場以外で行動、船体縦横比等造船工学的と矛盾)
 - ③行動履歴分析 (White List, Black List船データベース整備)
通常(標準)ルートから逸脱する船舶
AIS追尾データ動的分析し、定期航行ルートを平時に解析
- 違法漁業(IUU)監視分野で、Global Fishing Watchは継続的監視に利用
(今後10年以内に、すべての大規模漁業(世界の海上漁獲量の約4分の3を占める約30万隻のボート)を追跡し、小規模漁船を追跡する能力を高めることを目指している)



出典: GFWのHPより引用

12

現行AIS利用の課題

- ①単行通信のため、相手船が受信したかの確認が取りにくい。
- ②全船舶搭載では無い。
国際航海に従事する総トン数300トン以上のすべて船舶、国際航海に従事しない総トン数500トン以上の貨物船、及び旅客船(大きさを問わず)は、海上人名安全条約(SOLAS)で搭載義務化されているが、小型の船舶(漁船、レジャー船等の非搭載義務船)のAISによる情報共有が遅れている。
(漁業後継者確保、ヨットレース時の義務化等の施策が展開中)
- ③AIS装置の電源OFFも可能。
艦艇はAIS搭載義務は無い。危険物運搬船はOFF可能。不審船もOFFが多い。
- ④AIS情報は欺瞞が可能(入港規制、内容の精査が必要)
- ⑤東シナ海他では、無線規則違反のAIS装置も利用されている。
- ⑥衛星AISのデータ受信率があまり良くない。
衛星は広域受信が可能であり、船舶が輻輳する海域では、AIS信号の発信がAISの時間分割信号処理能力を超えるため。
- ⑦衛星AISは、通信傍受であるとの法解釈があり、我国の取り組みが遅れた。
(商用AIS情報は有償)
- ⑧地上AIS受信海岸局の通信範囲は、アンテナ設置場所によるが概ね約20~40Kmの領海内のみ。(EEZ全域カバーされていない)

関連事項: 最近、位置決定誤作動によりAIS信号内の位置データ不良が懸念
(航法衛星信号のスプーフィング(なりすまし)による)

13

VDESとは

●1960年頃より、入出港時の連絡・付近の船舶との連絡に、「海上VHF帯(156-162Mhz)の電話」が利用されてきた。近年、音声を補助・代替するべく、予定航路・港湾情報・安全情報をデジタル伝送するVDES (VHF Data Exchange System)システムが開発されている。

●VDESは次期AISと云われており、従来のAISに以下の機能(ASM、VDE、Sat)を追加したシステムである。

VDES(VHF Data Exchange System) = AIS + ASM + VDE + Sat

AIS(Automatic Identification System): 自船ID、位置、速度等を周りの船に発信するシステム(放送)

ASM(Application Specific Messages): 特定ID船舶等から特定船舶等に向けてメッセージ送信を行う(単行通信)

VDE(VHF Data Exchange): 船舶間で、双方向通信を行う(双方向通信)

Sat(Satellite): 高度約600Kmの周回通信衛星。

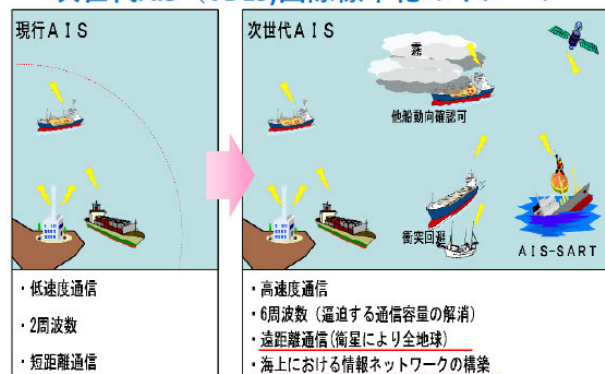
注意:「VDES」定義には衛星が含まれているが、地上VDESと区別するため、衛星を中心にしたVDESを「衛星VDES」と呼称する。

●AISは不特定多数に向けて情報発信するシステムであるが、ASMIは、特定の船舶間でメッセージ送信が可能となるため、利用が増加している。一例として、投錨中の船舶が流されている時に、海保からアラームを発出する等の利用もある。

●VDEは、海上における情報ネットワークの構築が可能となり、サーバー利用も可能となる。船舶間で衝突回避の為に相互リアルタイム通信や、船舶-陸上ユーザー(港湾会社等)間の業務通信への利用が期待されている。

●AIS電波は、海上で約20Kmが通信区域であったが、VDES衛星を利用する事で、半径約2,000Kmが通信可能となる。
また、コンステレーション(約60機)を構成する事で、世界中をリアルタイム通信可能となる。

次世代AIS (VDES)国際標準化のイメージ

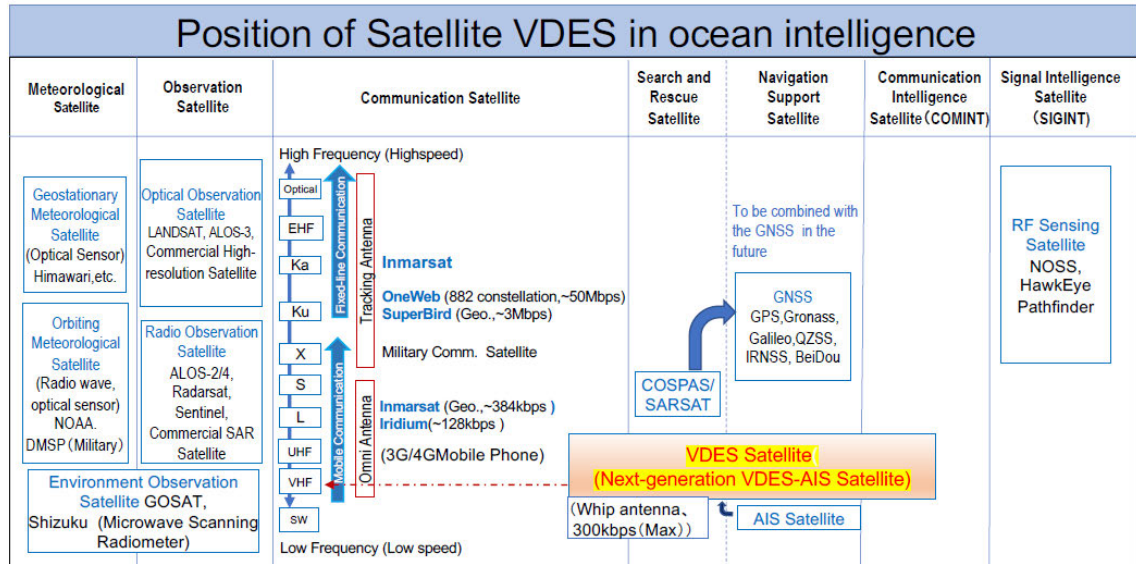


(出典: <http://www.kaiho.mlit.go.jp/soshiki/koutsuu/shingiyutsu.html>)

14

衛星VDESは、「海事・海洋向け中速度の業務用IoT衛星通信」

- VDES衛星は、通信＋捜索救難＋航法支援＋通信インテリジェンスの領域をカバーする(下図)。
- 衛星VDESはVHF帯電波を利用するため、無指向アンテナを利用して、省電力、低コストで遠距離に確実な通信が可能のため、小型船舶等を含めて海洋デジタル通信インフラ構築が期待できる。
(インマルサット、SuperBird、OneWeb衛星は、指向性の高い周波数帯(レバンド以上)を利用)
- 回線速度は中速度(最大300Kbps程度)であるが、人命に関わる様な業務用IoT衛星回線として期待。



出典：IALA eNAV-26向けOPRIプレゼン資料（案）

15

現行AIS v.s. 地上VDES v.s. 衛星VDESの比較一覧

陸 領海 (12海里=約22.2Km) EEZ (200海里=370.4Km) 公海 携帯* 地上VDES AIS (約40KmΦ) AIS (約40KmΦ) 衛星VDES (約4,000KmΦ/衛星) *: 領海内でも通信不可エリアがある			
	現行AIS	地上VDES	衛星VDES
機能	自船の位置・船速・針路・船名・貨物情報を定期的に送信(不特定多数に)。	ASM(特定目的にメッセージ送信)+VDE(双方向通信)機能を付加。	ASM(特定船舶間通信)+VDE(洋上双方向通信網)+Sat(遠方通信)機能を付加。航行安全情報の放送を受信可能。
通信距離	近くの船舶間(洋上で約20Km) 衛星AIS(受信のみ)は全球	同左。海保はほぼ領海内をカバーと推察	遠距離(領海外でも可能) (半径約2,000Km)
通信区域	海上どこでも可能	同左	同左 (イリジウム、インマルサットは利用禁止国がある)
装備が容易か	1～2mの無指向性アンテナでOK。AIS装置はWi-Fi通信可能な物もあり扱い容易。	同左	同左 (インマルサット、スーパーバード等は追尾アンテナが必要のため場所を選ぶ)
費用(装置代)	数10万円～約200万円	未定(同左程度と推察)	同左
費用(通信費)	無料 (但し、衛星AISは有料)	同左(但し、アプリ利用費用は未定)	衛星費用負担は未定。 民間ビジネスモデルにより無償化を検討可能

16

衛星VDESの利用事例と方向性

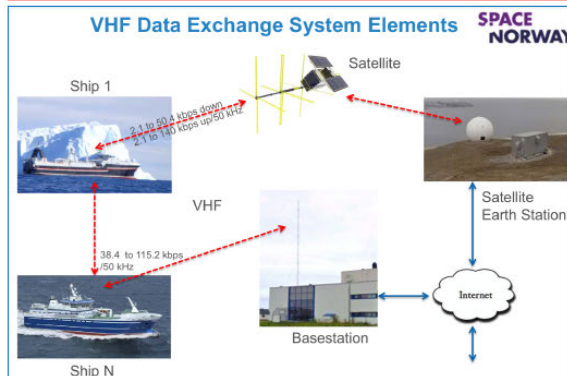
<NORSAT-2事例>

●ノルウェーは、2017年7月にNORSAT-2(VDES衛星)を打上げ、北極海で実験運用中(下図参照)

- ◆用途: ①北極海の海水データ送信等、NAVREA情報配信
責任海域の航海安全情報の放送、
②GPS補正情報配信(放送)、
③半島反対側の船舶との通信、
④遠方船舶と海岸地上局間の通信、等で利用
- ◆通信速度: ①船舶-船舶間は、38.4~115.2kbps
②船舶-衛星間は、2.1~140 kbps

<既存海上通信の通信速度>:

- インマルサットBサービス: データ通信9.6kbps
- インマルサット第4世代衛星(静止衛星)を使ったサービス(BGAN)
 - ・IPデータサービス: 32.64~384kbps
 - ・音声電話: 高圧縮4kbps
 - ・指向性アンテナを静止衛星に向ける必要あり。
- NTTドコモ: ワイドスターII
 - ・上り最大144kbps・下り最大384kbps。
- 船舶用イリジウム衛星電話「OpenPort」
 - ・最大128kbps
 - ・(従前のイリジウム衛星電話の通信速度は2.4kbps)
- イリジウムネクスト(L帯) 最大1.4Mbps



出典: 「Norsat-2 AIS+VDES」 (NORWAGIAN SPACE CENTER)
nfas.autonomous-ship.org/gmknfas-170215/6_mikrosat.pdf

<利用の方向性>

- ①衛星が優位な「放送形式(1対多)」(同報)で、海の安全情報を遠距離・広域に放送配信に利用する。(衛星の優位性)
- ②扱いやすいVHF帯であり、無指向アンテナの為、小型船舶等を含む共通インフラへ
- ③VDESの用途は音声での情報交換の補完をチャット形式で行うことが中心であり、双方向で通信可能であり、協調航法通信に最適。
- ④画像等の大容量データは、直接伝送は困難だが、VDESメッセージからリンクする形式とし、データの「存在」をチャットで共有し間接伝送可。
- ⑤船舶IoTデータ回線(冗長回線)に利用。

17

VDESのユーザーは誰か・衛星のメリットは何か

IALA HPIに下記の通り記載されている。

(<https://www.iala-aism.org/technical/connectivity/vdes-vhf-data-exchange-system/>)

●WHO ARE THE USERS OF VDES

Current users of AIS and...

1. Mariners; including those engaged in Commercial Trans-ocean and inland waterway shipping & light commercial operations, fisheries, marine transportation services, recreational activities, ocean and waterway research, and maritime monitors.
2. Administrations, VTS, Port authorities, Maritime Authorities, and Regulatory Authorities.
3. Organizations, scientific, environmental, educational, industrial and other service providers for Maritime industry.

●WHAT ARE THE BENEFITS OF THE SATELLITE COMPONENT OF VDES?

The VDES satellite component provides very large area coverage cost effectively, this is particularly important in the Polar Regions outside geostationary satellite coverage. In addition, VDES satellite can assist with coverage beyond the range of terrestrial VDES, or where VDES infrastructure does not exist.

The satellite component of VDES may increase the ship terminal adoption rate as a cost effective, global (but low capacity) capability while the terrestrial VDES is widely deployed.

As an example, NAVAREA XIX is 1500 km wide at 75 N and the North-South distance is more than 2000 km between 65 N and 85 N. This area is poorly served with affordable communications, and this is the reason Norway launched its Norsat-2 satellite with a VDES test transceiver in July 2017. Two such satellites in polar orbits would provide automatic store and forward VDES messaging for typically 10 minutes 26 times per day for latitudes higher than 70 degrees. A terrestrial VDES base station may have limited coverage range, and there are very few islands with access to the internet and power in the Arctic. Providing coverage with a terrestrial solution only would not be possible in these regions.

18

POTENTIAL USES OF VDES

To assist in identifying possible options for use of VDES a number of potential scenarios have been developed. These are presented to provide context for development and implementation of digital communications, including VDES.

The use cases are cross referenced to Maritime Service Portfolios as noted in Table 3.

IALA Guideline 1117 – VHF Data Exchange System (VD
Edition 1.0 December 2016

Table 3 Potential VDES Uses cross-referenced to IMO SIP MSP

Potential uses of VDES	MSP Reference
SAR Communications	MSP 9 - Telemedical Maritime Assistance Service (TMAS) MSP 16 - Search and Rescue (SAR) Service
Maritime Safety Information	MSP 5 - Maritime Safety Information (MSI) service MSP 13 - Ice navigation service MSP 14 - Meteorological information service MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services
Ship Reporting	MSP 8 - Vessel shore reporting MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services
Vessel Traffic Services	MSP 1 - VTS Information Service (IS) MSP 2 - VTS Navigation Assistance Service (NAS) MSP 3 - VTS Traffic Organization Service (TOS); MSP 4 - Local Port Service (LPS) MSP 6 - Pilotage service MSP 7 - Tugs service
Charts and Publications	MSP 11 - Nautical chart service MSP 12 - Nautical publications service MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services
Route Exchange	MSP 1 - VTS Information Service (IS) MSP 2 - VTS Navigation Assistance Service (NAS) MSP 3 - VTS Traffic Organization Service (TOS); MSP 4 - Local Port Service (LPS) MSP 5 - Maritime Safety Information (MSI) service MSP 6 - Pilotage service MSP 7 - Tugs service MSP 8 - Vessel shore reporting MSP 10 - Maritime Assistance Service (MAS) MSP 11 - Nautical chart service MSP 12 - Nautical publications service MSP 13 - Ice navigation service MSP 14 - Meteorological information service MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services MSP 16 - Search and Rescue (SAR) Service
Logistics	MSP 7 - Tugs service

19

VDES国際動向

衛星VDESシステムの国内外動向

- 我が国は、長年、e-Navigationを提唱しており、IALA（国際航路標識協会、我が国（海保）が技術委員会議長）にて、標準化検討等が実施されてきた。
- ノルウェーは、ESA（欧州宇宙機関）通信部に、VDES衛星を提案し、ESAからの受託を受けた。
ノルウェーは、2017年7月にVDES衛星（NORSAT-2）を打上げ、北極海で実証実験を実施・運用中（NORSAT-1はAIS衛星、-3は電波探知衛星）
- ESAのイギリス・ドイツ・イタリア・スペイン・スウェーデン・デンマーク&カナダ（NORSAT衛星BUS開発）が熱心に活動中。
アジア地区では日本以外に豪州・中国・シンガポール・韓国が熱心。
- これらの活動を元に、2019年11月にITUにて衛星を含むVDES周波数割当てが決定した。
- IALAからIMOに、VDESをAIS同様の利用を可能にする認可申請が提出済（認可後は、新造船はVDES搭載に移行と予測）

- OPRIは、海洋デジタル化促進に関する政策研究の一貫で、衛星VDES国際運用機関を立上げる事を、2020年9月のIALA会合にて提言すると同時に、衛星VDES委員会設立を計画。

<OPRIミッション>：衛星VDES国際運用機関の立上げに貢献し世界への貢献（プレゼンス確保）・国益確保を図る。

=>海上保安庁で検討中の地上系VDESに加え、「衛星VDES委員会」を9月に設立し、オールジャパンで促進する。

尚、今後、各国より専門家の参加を得て、国際検討WGへ発展していきたいと考えている。

<メリット>

- 海洋国家としての優位性を活かし、インド太平洋戦略に貢献。
- 全船舶共通の海洋情報共有インフラが構築可能であり、海洋デジタル社会を実現することで、海洋産業振興にも寄与。

- 2020年8月24日に、Saab・Orbcomm・AAC Clyde Space社より、2022年にVDESデモンストレーション衛星を打上げる計画が発表された。

NORSAT2概要



註）VDES衛星は超小型衛星（約20Kg）であり、低価格で、小型ロケットでも打上げ可能。

- 2020年9月29日のIALA会合で、デンマーク委員からVDES ALLIANCEを結成し、2028年までに60基体制の計画が提案された。
- その他

20

VDES関係の規格(整備状況)

- IALA: 国際航路標識協会(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities、NGO)
 - > IALAガイドラインG1117(VHF DATA EXCHANGE SYSTEM (VDES)OVERVIEW) (2016年12月発行済)
 - > IALAガイドラインG1139(VDES技術仕様) (第3版を2019年6月発行)
- ITU-R: ITU(International Telecommunication Union)の無線通信部門
 - > ITU-R勧告M.2092(VDES技術条件) (M.2092-0(*)を2015年10月に発行、現在M.2092-1向け改定作業中)
 - (*: Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band)
 - > ITU WRC-19会合で衛星VDES周波数が利用可能に
- IMO: 国際海事機関(International Maritime Organization、IGO)
 - > SOLAS条約(*)でAISの搭載要件を規定。(※:海上における人命の安全のための国際条約)
 - > SOLASを改正して「AIS又はVDES」とする提案を受けて、近日会合予定。
- IEC: 国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission、NGO)
 - > AIS規格は作成済
 - > 現在、ASM規格を検討中
 - > VDES規格は未着手
- VDES Alliance:
 - > デンマークのStefan Pielmeier氏(IALA ENAV委員会WG3議長)がAllianceの設立を呼びかけ中。

21

Saab,Orbcomm,AAC Clyde Spaceが2022年にVDES衛星打上げを発表(20200824)



An Orbcomm satellite provides AIS communications to shipping (source: スウェーデン: Saab)

New VDES satellite will drive e-navigation and autonomous shipping

25 Aug 2020 by Martyn Wingrove

VHF data exchange will be expanded outside of coastal areas to transfer navigation and IoT information

Saab, Orbcomm and AAC Clyde Space signed a contract for a new satellite that will use the VHF Data Exchange System (VDES) for maritime communications.

They are planning to build and launch a nanosatellite into low Earth orbit (LEO) to test using VDES for communications, extending current coastal VDES into the oceans.

Saab expects a successful trial will lead to a new constellation of these small VDES satellites for global coverage.

Saab chief strategy officer Christian Hedelin said this investment will open new applications for data exchange and internet of things (IoT).

"This is a very exciting project where Saab is testing new technology in space, which we think will become the enabler of future secure communication services and applications," he said. This VDES package will enable safer, more sustainable and greener shipping with spin-off potential for other industries.

Satellite VDES will also be a new automatic vessel tracking standard augmenting existing networks, such as the automatic identification system (AIS). All ships in service with VDES can carry out two-way communications with each other across the globe, like a secure wireless internet for shipping, Saab said.

VDES will enable better vessel positioning and communications, with 32 times more bandwidth than AIS. It will facilitate better e-navigation due to its greater capabilities for transferring voyage data. VDES could also be used as a communications channel for data between an unmanned vessel and onshore control centre.

E-navigation and other solutions based on the VDES technology have the potential to deal with the growing global maritime traffic, leading to safer and more optimal traffic management, which will save a lot of fuel and emissions, said Mr Hedelin.

"With the deployment of this technology, we will also contribute to a more sustainable society," he said.

AAC Clyde Space will manufacture the spacecraft, while Orbcomm will contribute its satellite operating, vessel tracking and IoT experience and Saab the VDES technology.

This project is co-funded by the Swedish Transport Administration (Trafikverket).

"The new LEO nanosatellites are part of what is now called new-space and this project is a good example of how industry can develop powerful and cost efficient space-based solutions," said Mr Hedelin.

"Saab entering into this business with its technology is a significant opportunity for all involved."

This initial project will test and develop these technologies in preparation of a future operational VDES satellite constellation with global coverage.

The VDES project will begin in October 2020, followed by the launch of the demonstration satellite in the middle of 2022. After this, commissioning, testing and demonstration will continue until Q1 2023.

(出典: <https://www.rivieramm.com/news-content-nub/new-vdes-satellite/>)

22

デンマークのIALA委員からVDES ALLIANCEの結成計画発表 (2020年9月29日のIALA会合にて)

- ・極域利用から開始
- ・船舶エンジンモニタ等の新たな利用等を検討
- ・2021年からパイロットプロジェクト開始



2028年までに
60基体制の計画



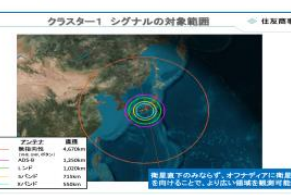
23

SIGINT衛星の動向

船舶はAIS信号以外にレーダ、衛星通信電波を発信しており、AISオフの船舶も位置計測が可能になっている。



- 米国HawkEye360社は、2018年12月に電波監視衛星PathFinder3基(1クラスター)を打上げ、商用データ提供サービスを開始した。本年+1クラスター打上げを予定。(住友商事は同社株主で、国内代理店)
- 米国HawkEye360社は、2020年末に、第2クラスター(3基)を打上げ、観測間隔を45〜90分に短縮の予定。
- ノルウェーは、Norsat-3を本年打上げ予定。
- KleosSpace社(ルクセンブルグ)は4衛星を計画。

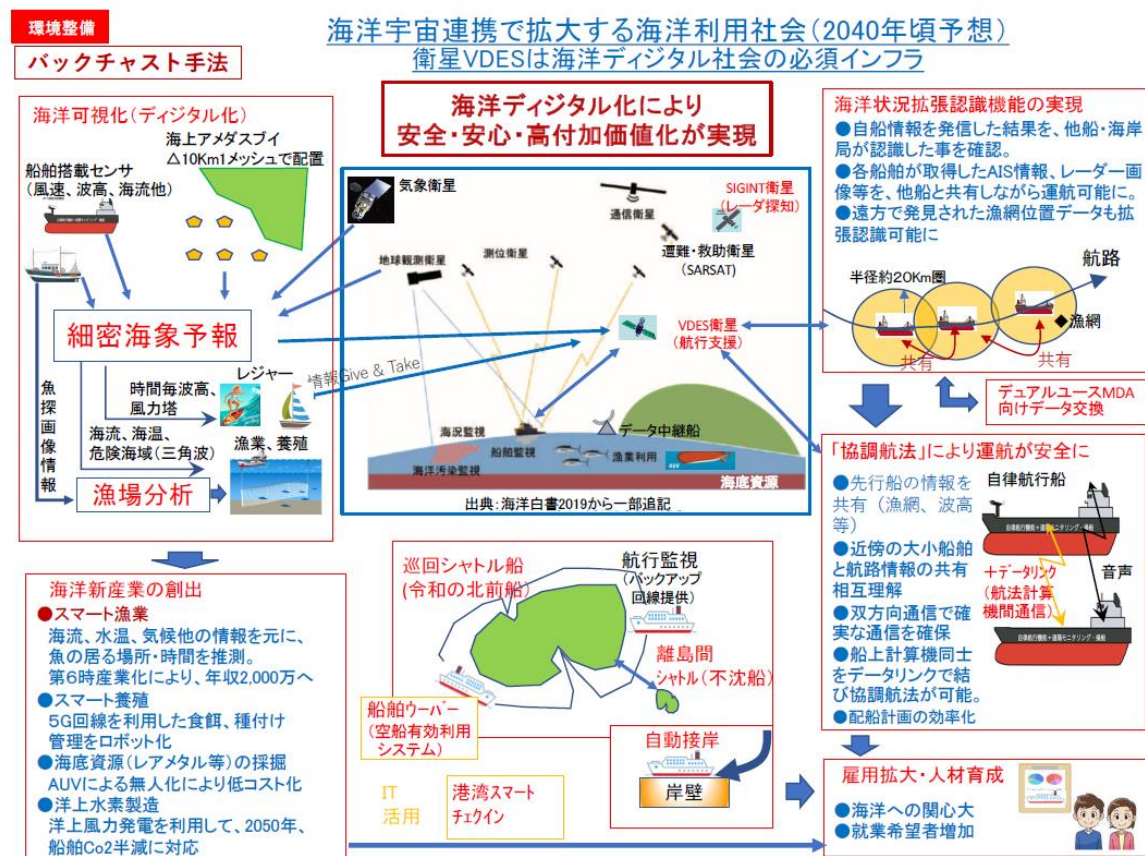


出典: HawkEye360社HP及び住友商事資料「電波観測衛星の優位性とその活用について」より引用

24

3. 衛星VDESの国内導入に向けた 環境整備(課題)の検討

25

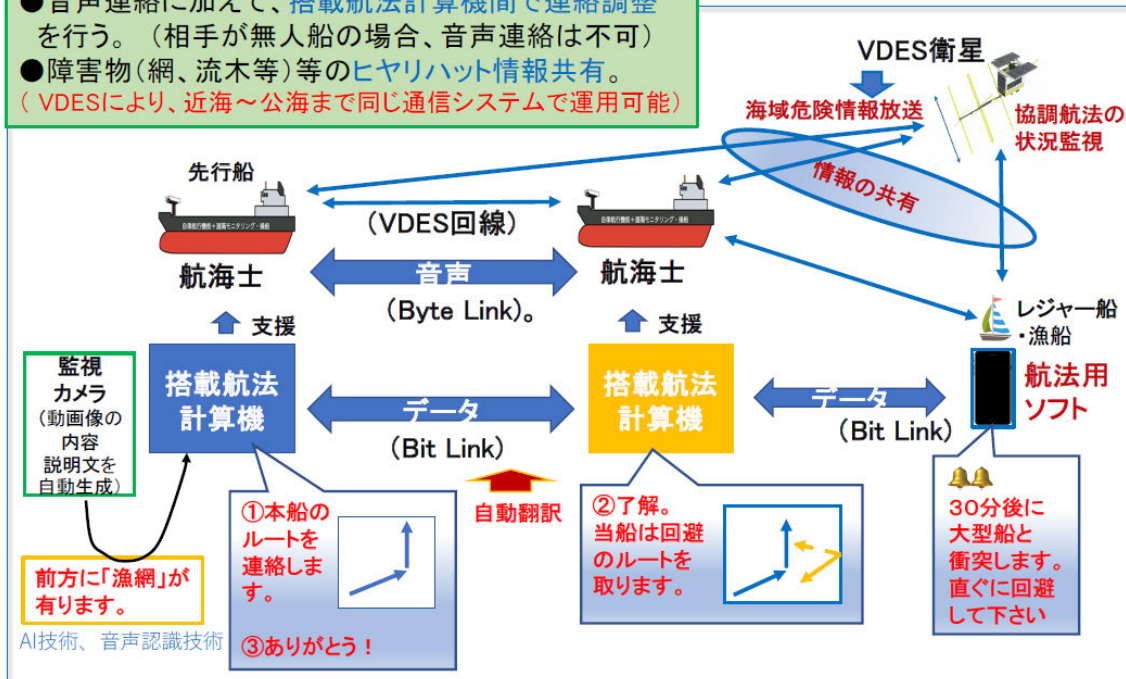


26

「協調航法」の概念説明(OPRIアイデア)

「協調航法」とは:

- 音声連絡に加えて、搭載航法計算機間で連絡調整を行う。(相手が無人船の場合、音声連絡は不可)
- 障害物(網、流木等)等のヒヤリハット情報共有。
(VDESにより、近海～公海まで同じ通信システムで運用可能)



出典:IALA向けOPRI資料「Proposals on the Use of Satellite VDES – Mutually Coordinated Navigation, and VDES International Operation Center –」

27

協調航法で利用可能なAI技術(例)

動画の内容説明文の自動生成

・ビデオの内容を表す文をAI技術(「リカレントニューラルネットワーク」)で生成
・従来手法では誤認識が多かったが、「高精度被写体物体認識」を導入し、文脈の把握を安定させることで、高精度化を実現

	従来: A man is drinking. 本法: A <u>girl</u> is doing <u>makeup</u> .	登場人物の性別や、物体の正確な認識が可能になり、精度向上
	従来: A dog is playing with a dog. 本法: A <u>boy</u> is playing with a dog.	
	従来: A man is riding a car. 本法: A <u>woman</u> is riding a <u>boat</u> .	
	従来: A man is riding a bicycle. 本法: A man is riding a <u>bike</u> .	

- 船舶搭載の監視カメラ画像データから、自動的に対象船舶、障害物(漁網)等の認識に応用できる。
- 結果として、データが圧縮され、VDES等の中速度回線で送信しやすくなる。

音声認識技術

Siri
(DARPA発、自然言語処理を利用して質問に答えるシステム)

自動通訳機(POCKETALK)
(70カ国以上)

- 船舶間の音声連絡(Byte Link)を、自動翻訳して母国語で通信することで、認識誤りを回避できる。
- 航法計算機から、航海士間の連絡に利用可能。
(目・両手が自由に使えるより安全に)

28

衛星VDES導入による危険航海警告方式の検討(より安全に)

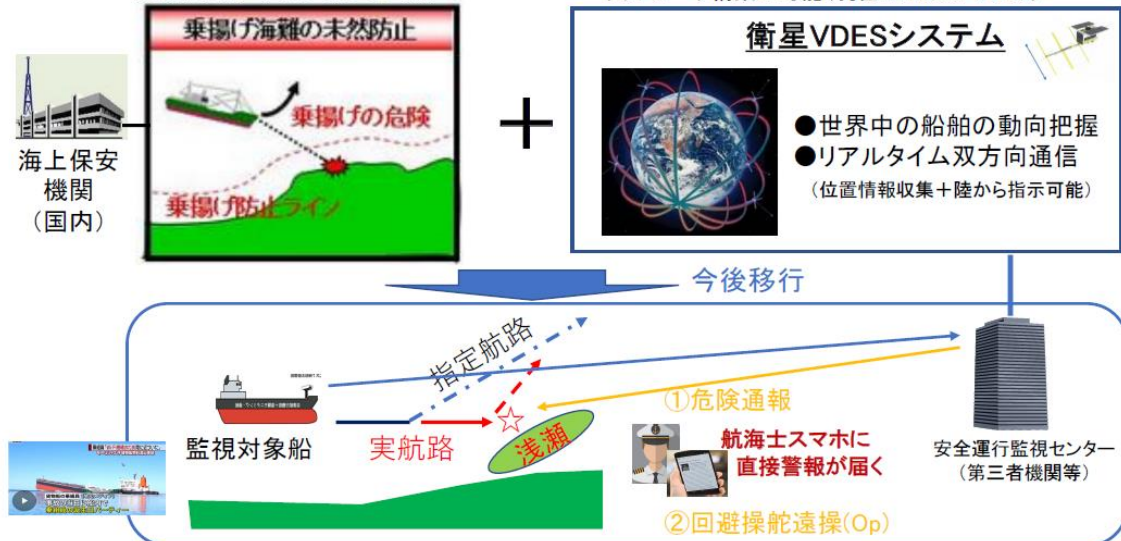
●2040年には内航船の50%が無入船になる予測がある。また外航船でも船員ヒューマンエラーによるフォールトアボイダンス（障害要素排除）システムが求められている。

⇒衛星VDESを利用して、第3者機関がリアルタイム遠隔監視することで、直接、航海士のスマホ向けに警告発信が可能となる。（警告通報を発信してもブリッジ無人の場合に有効）

（監視技術は、国内では運用中。回避制御のバックアップ実施可否は要検討）

＜現状＞：海保では船舶AIS情報を受信して、海難未然防止のアラームを該当船舶に送信（ASMチャンネルで）している。

●VDESはIALA・ITUで導入準備が終了している。
衛星VDES整備(計約60基)を行う事で、船舶一地上
ネットワーク構築が可能(現在はNorsat-2のみ)

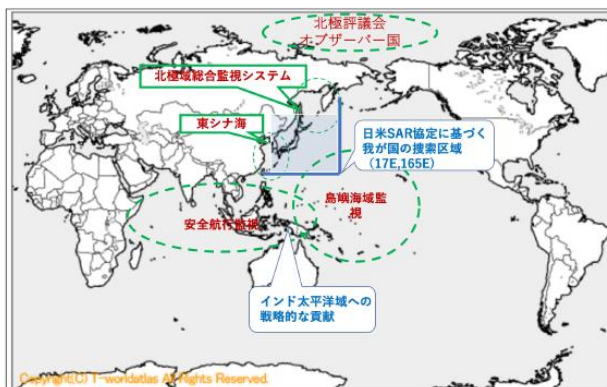


環境整備

海洋宇宙連携体制の活動エリア

- 地政学的優位性は軍備に優る
- ＞我国は海洋国家。⇒多くの日本人と船が世界の海で働いている
排他的経済水域(EEZ)面積は世界第8位(中国は11位以下)。貿易量の99.7%が海上輸送。保有船腹量は世界第2位
 - ＞我国が調整国を行っている「世界航行警戒業務エリア」は、南シナ海・マラッカ海況を含む
 - ＞「日米SAR協定に基づく我が国の搜索区域」を加えると、ほぼ
「自由に開かれたインド太平洋」への展開が可能
- OPRIがこれまで活動してきた国・団体との連携を継続発展していく(北極から南太平洋他へ)

NAVAREA XI海域



(註) NAVAREA XIとは

我が国が権限と責任を有する世界航行警報業務エリア(1977年のIMO総会決定)

我国は、下図の通り、NAVEA XIの調整国となり、約40年間運用(情報配信他)を実施しており、世界から評価を受けている。

尚、同海域は、南シナ海からインド洋へ通じる海域であり我国に取っても最重要海域である。

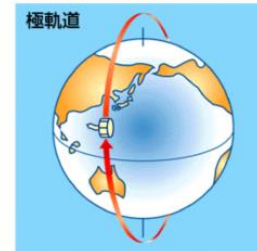
VDES衛星軌道の検討

A案：極軌道に約60機(コンステ)運用。(全世界を対象に、同一時刻に通信可能となる)

航行支援衛星
(VDES衛星：約60機)

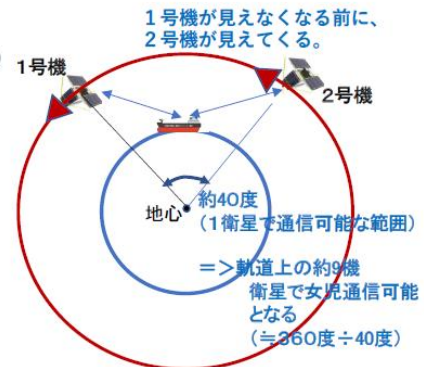
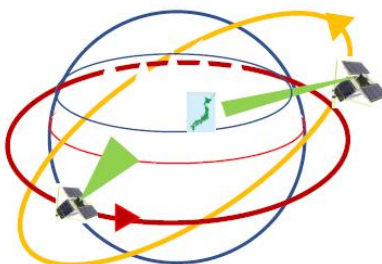


Step1: Norsat-2を利用
Step2: Norsat-2と補完する
VDES衛星を打上げる。
Step3: 60機打上げ。



B案：赤道直下(マラッカ海峡)を優先

(赤道上空約600KmのI軌道とする事で、マラッカ海峡を1.5時間毎に通信可能)



C案：日本上空の可使時間が長くなる様な軌道

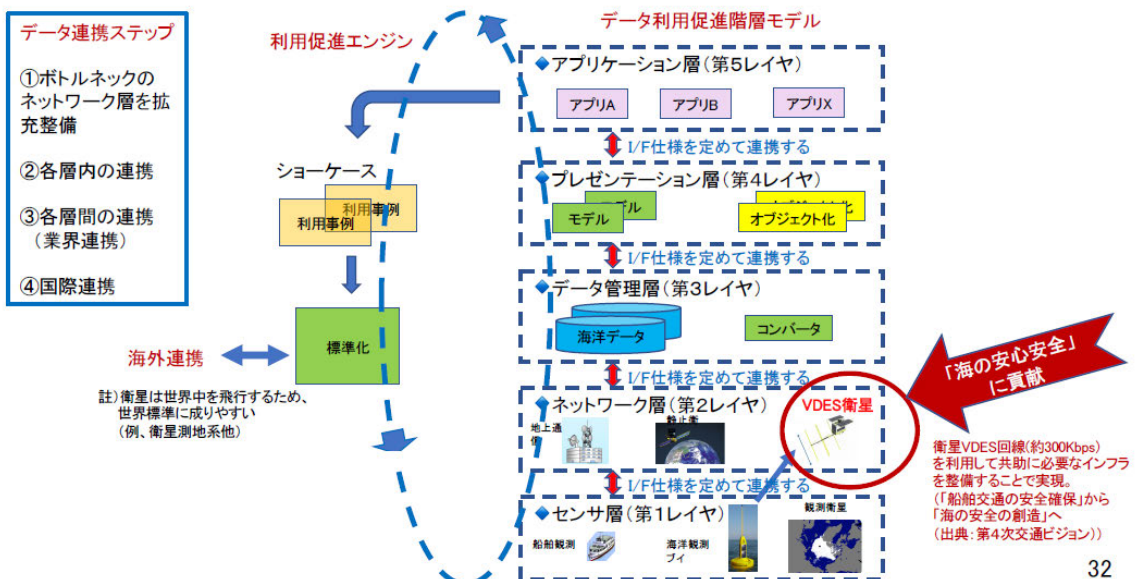
(軌道傾斜角約40度、高度600Kmのサブ同期軌道(*)にする)

(*: 毎日同時刻にほぼ同一経度を通る軌道)

31

データ連携促進の為の階層モデル (例)

- 海洋情報創出アプリケーション整備は、下図に示す通り階層的な整備を行う。
- 海洋のデジタル・ディバイド解消を図るべく、生活用通信と並行して業務用通信(衛星VDES)の拡充整備を行うことで、データ連携・流通が加速する。
- 衛星VDESは、遠方海域での、人命に係る通信、航海・入港等の為の業務用回線の充実、確達性向上が期待され、関連アプリの整備を急ぎ行う事が重要。

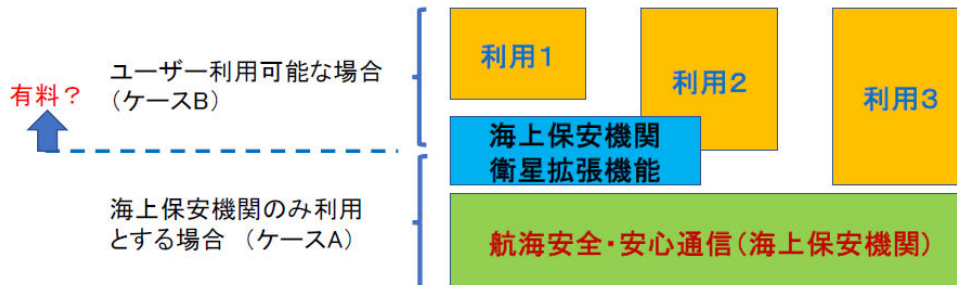


32

事業化検討(衛星VDES利用形態(費用)について)

●前提事項:

- 1) 衛星VDESの利用形態(公的サービス &/or 有料サービス)の考え方は、今後、関係機関(海上保安庁、総務省他)が決定する事項である。
尚、利用形態は、下記2ケースの発生が想定される。(当面、ケースBを中心に検討)



- 2) 利用事例(ケースB)として下記等を想定(例) => 海洋インテリジェンス事業拡大へ
自律航行船からの情報、自律航行船に必要な情報、並びに沿岸域海洋データ流通を
念頭に下記を検討。

- ① 船舶取得航行IoTデータ(AIS、レーダ、風向風速、海流、波高他)の船舶間リンク運用。
- ② 衛星MDA情報配信(疑似AISとして)
- ③ 海洋観測ブイ、洋上風力設備の観測データ・取得データを伝送。
- ④ 商船会社と支配船の間の重要通信として利用。
- ⑤ その他



33

衛星VDESにより生じる変化

<技術的な変化>

- 通信の**確達性**の確保
双方向通信のため、自船の情報が
確実に伝わった事を確認できる。
- 航海の**安心安全が向上**
(自律航行船、ヒューマンエラー対応)
- 海洋IoT(業務用)インフラが構築される
出入港に関する日時調整、海洋可視化
向上等に寄与
- 船舶位置情報管理が高度化(抑止力)
(Sigint衛星との相乗効果で現状AIS課題解決)
- 海洋監視エリアが世界全域に広がり
リアルタイム監視が可能に
- 衛星で使用する通信周波数は、世界無
線通信会議(WRC-19)で正式認可を受
け、利用可能になった。

<社会的な変化>

- 水上船は隠れられないとの意識変化
宇宙から位置情報が取得できるため
- 「協調航法」(共助)の深化
衛星VDESにより、大型船(外航船・内航
船)・小型船(漁船・レジャー船)の連携が
深まる。(位置情報共有者が増加)
- VDESにより、近海～公海まで同じ通信
システムで運用が可能となる。
- 海洋情報のデジタル化・民間参加が加速
- 魚の産地証明が促進される。
- 船舶位置情報の監視制御が可能になる。
- インド・太平洋地域への海洋からの貢献
に寄与(可能)
- CO2排出量減に貢献(Just in Arrival)
入港日時を正確にすることで、無駄な増速に
よる燃料増を回避可能に

34

衛星VDESの国内導入に向けた環境整備(課題)と対策私案

課題	対策私案(たたき台)
1. 国内向け利用ユーザー開拓 (海洋デジタル化の促進)	● 公的機関での利用(海上保安業務、MDA他) => PFI化の検討 ● 海運・造船・水産・レジャーコミュニティ形成 ● 高付加価値ビジネス創出 => 海洋デジタルの促進
2. 政策・法制	● 衛星VDES利用の政策的な目標の設定 ● ニーズ実現のための政策検討・整備(免許、法制他) (電気通信事業者による免許取得可能 v.s. SPC/PFI) ● 国際標準化(IALA、ITU、IMO他)を促進・国際調整 利用アプリの統制(認可)を行う機関を確認(IALA?)し対応 ● 国内の衛星VDES利用推進機関を創設(アジア地区へ)
3. 技術開発	● アプリ開発環境整備(エッジコンピューティング、AI処理) 実衛星可視時間15分/周回 => TestBed/開発シミュレータ整備 (=>「衛星VDES利用研究所(仮称)」へ発展) ● 携帯/地上VDES/衛星VDES回線の統合運用技術開発 (ルータで実現?) ● 端末の小型化技術 ● 超小型衛星開発、コンステレーション運用技術開発 ● 国の研究機関で技術開発を主導
4. 事業化検討	● 収益モデル検討 (ゼロ円ビジネス検討 v.s. ユーザー負担(暗号通信可能)) ● 国際運用機関の創設(衛星・アプリ共同利用・運用が目的) ● 周辺国との周波数調整(ロシア、中国、韓国他) ● 電気通信事業法・商法の専門家による法整備検討

35

4. まとめ

まとめ

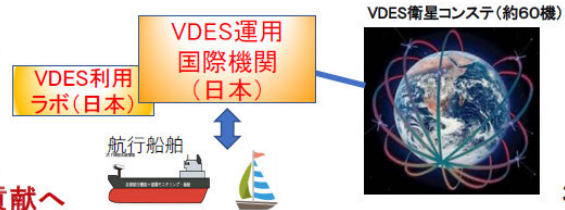
衛星VDES概要並びに利用事例案を述べた上で、衛星VDESの国内導入に向けた環境整備（課題）と対策私案を述べた。今後、下記項目に関し、関係各位殿のご支援を頂きながら、衛星VDESの社会実装に向けて努めて行きたい。

- VDES衛星は世界中を周回している為、国内のみならず国際的な連携を取ることが有効である。一方、自らVDES衛星を利用し、現場課題解決に資する事を並行して実施すべく国内利用開拓・課題整理が重要である。
- 衛星VDESにより、世界中の船舶間／船陸間をリアルタイムで双方向・デジタル通信接続（海洋クラウド網構築）が可能となる。（無人船統制のバックアップ回線にも最適）
（海上人命安全の更なる向上と船舶運用のデジタル化促進。尚、約60機のマイクロ衛星群の整備が必要）
- 水産関係では、安心安全確保が後継者確保の必須アイテムであると同時に、衛星VDES利用により産地証明の厳密化が強化されることによる、水産物付加価値アップ（売上増）に向けた検討も重要である。
- 海洋国家の地政学的優位性を生かし、海洋状況把握（MDA）分野で、優位性を確保できる。
（デュアルユースMDA促進により、人間の安全保障確保に貢献）
- 衛星VDESの国際運用機関創設に関与することで、「海洋・宇宙・サイバー」の分野で、我国のプレゼンスを確保し、海洋からのインド・太平洋地区発展に貢献出来る絶好の機会となる。（世界益、即、国益）

<OPRIミッション>

衛星VDES運用国際機関の立上げを通じて世界・国益確保を図る。
（我国プレゼンス確保）

→ インド・太平洋地区への海洋からの貢献へ



周波数割当計画（令和３年１月１日現在） 抜粋

国 際 分 配 (MHz)			国 内 分 配 (MHz)		無 線 局 の 目 的	周 波 数 の 使 用 に 関 す る 条 件
第一地域 (1)	第二地域 (2)	第三地域 (3)	(4)		(5)	(6)
	5. 217	5. 217				
148-149. 9 固定 移動（航空移動（R）を除く。） 移動衛星（地球から宇宙） 5. 209 5. 218 5. 218A 5. 219 5. 221	148-149. 9 固定 移動 移動衛星（地球から宇宙） 5. 209 5. 218 5. 218A 5. 219 5. 221		148-149. 9 J51 J53 J54 J55 J55A	移動衛星（地球から宇宙） J49	電気通信業務用 公共業務用	電気通信業務用での使用は、携帯移動衛星データ通信とする。
				陸上移動	公共業務用 放送事業用 一般業務用	
149. 9-150. 05	移動衛星（地球から宇宙） 5. 209 5. 220		149. 9-150. 05	移動衛星（地球から宇宙） J49 J56	電気通信業務用 公共業務用	電気通信業務用での使用は、携帯移動衛星データ通信とする。
150. 05-153 固定 移動（航空移動を除く。） 電波天文 5. 149	150. 05-154 固定 移動 5. 225		150. 05-154. 44 J51	陸上移動	公共業務用 放送事業用 一般業務用	一周波方式による使用に限る。
153-154 固定 移動（航空移動（R）を除く。） 気象探知						
154-156. 4875 固定 移動（航空移動（R）を除く。） 5. 225A 5. 226	154-156. 4875 固定 移動 5. 226	154-156. 4875 固定 移動 5. 225A 5. 226	154. 44-154. 62	陸上移動	簡易無線通信業務用	割当ては、別表 7-1 による。
			154. 62-154. 7 J51	陸上移動	公共業務用	
156. 4875-156. 5625	海上移動（遭難及びDSCを用いた呼出し） 5. 111 5. 226 5. 227		154. 7-156 J51	陸上移動	公共業務用	二周波方式による使用は、159. 3-160. 6MHz 帯と対とする。
			156-156. 7625 J18 J60 J61	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	
156. 5625-156. 7625 固定 移動（航空移動（R）を除く。） 5. 226	156. 5625-156. 7625 固定 移動 5. 226					
156. 7625-156. 7875 海上移動 移動衛星（地球から宇宙） 5. 111 5. 226 5. 228	156. 7625-156. 7875 海上移動 移動衛星（地球から宇宙） 5. 111 5. 226 5. 228	156. 7625-156. 7875 海上移動 移動衛星（地球から宇宙） 5. 111 5. 226 5. 228	156. 7625-156. 7875 J18 J60 J61	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表 3-4 及び別表 3-5 による。
				移動衛星（地球から宇宙） J63	公共業務用	
156. 7875-156. 8125	海上移動（遭難及び呼出し） 5. 111 5. 226		156. 7875-156. 8125 J18 J60 J61	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表 3-4 及び別表 3-5 による。
156. 8125-156. 8375 海上移動 移動衛星（地球から宇宙） 5. 111 5. 226 5. 228	156. 8125-156. 8375 海上移動 移動衛星（地球から宇宙） 5. 111 5. 226 5. 228	156. 8125-156. 8375 海上移動 移動衛星（地球から宇宙） 5. 111 5. 226 5. 228	156. 8125-157. 1875	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表 3-4 及び別表 3-5 による。
				移動衛星（地球から宇宙） J63	公共業務用	
156. 8375-157. 1875 固定 移動（航空移動を除く。） 5. 226	156. 8375-157. 1875 固定 移動 5. 226					
157. 1875-157. 3375 固定 移動（航空移動を除く。） 海上移動衛星 5. 208A 5. 208B 5. 228AB 5. 228AC	157. 1875-157. 3375 固定 移動 海上移動衛星 5. 208A 5. 208B 5. 228AB 5. 228AC		157. 1875-157. 3375	海上移動 海上移動衛星 J47 J48 J63B J63C	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表 3-4 及び別表 3-5 による。
				移動衛星（地球から宇宙） J63	公共業務用	

国 際 分 配 (MHz)			国 内 分 配 (MHz)		無 線 局 の 目 的	周 波 数 の 使 用 に 関 する 条 件
第一地域 (1)	第二地域 (2)	第三地域 (3)	(4)		(5)	(6)
5.226	5.226					
157.3375-161.7875 固定 移動 (航空移動を除く。)	157.3375-161.7875 固定 移動		157.3375-157.45	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4及び別表3-5による。
				移動衛星 (地球から宇宙) J63	公共業務用	
			157.45-159.3 J51 J62	移動 (航空移動を除く。)	公共業務用 一般業務用	
			159.3-160.6 J51	陸上移動	公共業務用	二周波方式による使用は、154.7-156MHz 帯と対とする。
			160.6-160.975	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4による。
			160.975-161.475 J51 J62	移動 (航空移動を除く。)	公共業務用 一般業務用	
			161.475-161.7875	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4による。
5.226	5.226					
161.7875-161.9375 固定 移動 (航空移動を除く。) 海上移動衛星 5.208A 5.208B 5.228AB 5.228AC	161.7875-161.9375 固定 移動 海上移動衛星 5.208A 5.208B 5.228AB 5.228AC		161.7875-161.9375	海上移動 海上移動衛星 J47 J48 J63B J63C	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4による。
5.226	5.226					
161.9375-161.9625 固定 移動 (航空移動を除く。) 海上移動衛星 (地球から宇宙) 5.228AA	161.9375-161.9625 固定 移動 海上移動衛星 (地球から宇宙) 5.228AA		161.9375-161.9625	海上移動 海上移動衛星 (地球から宇宙) J63A	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4による。
5.226	5.226					
161.9625-161.9875 固定 移動 (航空移動を除く。) 移動衛星 (地球から宇宙) 5.228F	161.9625-161.9875 航空移動 (OR) 海上移動 移動衛星 (地球から宇宙) 5.228C 5.228D	161.9625-161.9875 海上移動 航空移動 (OR) 5.228E 移動衛星 (地球から宇宙) 5.228F	161.9625-161.9875	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4による。
				航空移動 (OR) J64 移動衛星 (地球から宇宙) J65	公共業務用	
5.226 5.228A 5.228B	5.228C 5.228D	5.226				
161.9875-162.0125 固定 移動 (航空移動を除く。) 海上移動衛星 (地球から宇宙) 5.228AA	161.9875-162.0125 固定 移動 海上移動衛星 (地球から宇宙) 5.228AA		161.9875-162.0125	海上移動 海上移動衛星 (地球から宇宙) J63A	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4による。
5.226 5.229	5.226					
162.0125-162.0375 固定 移動 (航空移動を除く。) 移動衛星 (地球から宇宙) 5.228F	162.0125-162.0375 航空移動 (OR) 海上移動 移動衛星 (地球から宇宙) 5.228C 5.228D	162.0125-162.0375 海上移動 航空移動 (OR) 5.228E 移動衛星 (地球から宇宙) 5.228F	162.0125-162.05	海上移動	電気通信業務用 公共業務用 一般業務用	割当ては、別表3-4による。
				航空移動 (OR) J64 移動衛星 (地球から宇宙) J65	公共業務用	
5.226 5.228A 5.228B 5.229	5.228C 5.228D	5.226				
162.0375-174 固定 移動 (航空移動を除く。)	162.0375-174 固定 移動		162.05-169 J66	固定 陸上移動	公共業務用 放送事業用	放送事業用での使用は、占有周波数帯幅が100kHz 以下の場合に限る。

別表 3-4 156.025-162.025MHz帯海上移動無線通信業務の周波数表

チャネル番号	注	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	m)	156.025	160.625		○	○	○
01	m)	156.050	160.650		○	○	○
61	m)	156.075	160.675		○	○	○
02	m)	156.100	160.700		○	○	○
62	m)	156.125	160.725		○	○	○
03	m)	156.150	160.750		○	○	○
63	m)	156.175	160.775		○	○	○
04	m)	156.200	160.800		○	○	○
64	m)	156.225	160.825		○	○	○
05	m)	156.250	160.850		○	○	○
65	m)	156.275	160.875		○	○	○
06	f)	156.300		○			
2006	r)	160.900	160.900				
66	m)	156.325	160.925		○	○	○
07	m)	156.350	160.950		○	○	○
67	h)	156.375	156.375	○	○		
08		156.400		○			
68		156.425	156.425		○		
09	i)	156.450	156.450	○	○		
69		156.475	156.475	○	○		
10	h), q)	156.500	156.500	○	○		
70	f), j)	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	q)	156.550	156.550		○		
71		156.575	156.575		○		
12		156.600	156.600		○		
72	i)	156.625		○			
13	k)	156.650	156.650	○	○		
73	h), i)	156.675	156.675	○	○		
14		156.700	156.700		○		
74		156.725	156.725		○		
15	g)	156.750	156.750	○	○		
75	n), s)	156.775	156.775		○		
16	f)	156.800	156.800	遭難、安全及び呼出し			
76	n), s)	156.825	156.825		○		
17	g)	156.850	156.850	○	○		
77		156.875		○			
18	m)	156.900	161.500		○	○	○
78	m)	156.925	161.525		○	○	○
1078		156.925	156.925		○		
2078	nm)		161.525		○		

19	m)	156.950	161.550		○	○	○
1019		156.950	156.950		○		
2019	mm)		161.550		○		
79	m)	156.975	161.575		○	○	○
1079		156.975	156.975		○		
2079	mm)		161.575		○		
20	m)	157.000	161.600		○	○	○
1020		157.000	157.000		○		
2020	mm)		161.600		○		
80	wa), y)	157.025	161.625		○	○	○
21	wa), y)	157.050	161.650		○	○	○
81	wa), y)	157.075	161.675		○	○	○
22	wa), y)	157.100	161.700		○	○	○
82	wa), x), y)	157.125	161.725		○	○	○
23	wa), x), y)	157.150	161.750		○	○	○
83	wa), x), y)	157.175	161.775		○	○	○
24	w), x)	157.200	161.800		○	○	○
1024	w)	157.200	157.200	○*	○*		
2024	w)	161.800	161.800	○*	○*		
84	w), x)	157.225	161.825		○	○	○
1084	w)	157.225	157.225	○*	○*		
2084	w)	161.825	161.825	○*	○*		
25	w), x)	157.250	161.850		○	○	○
1025	w)	157.250	157.250	○*	○*		
2025	w)	161.850	161.850	○*	○*		
85	w), x)	157.275	161.875		○	○	○
1085	w)	157.275	157.275	○*	○*		
2085	w)	161.875	161.875	○*	○*		
26	w), x)	157.300	161.900		○	○	○
1026	w)	157.300					
2026	w)		161.900				
86	w), x)	157.325	161.925		○	○	○
1086	w)	157.325					
2086	w)		161.925				
1027	zz)	157.350	157.350		○		
ASM 1	z)	161.950	161.950				
87	zz)	157.375	157.375		○		
1028	zz)	157.400	157.400		○		
ASM 2	z)	162.000	162.000				
88	zz)	157.425	157.425		○		
AIS 1	f), l), p)	161.975	161.975				
AIS 2	f), l), p)	162.025	162.025				

* このチャネルの使用は、デジタル変調方式のものに限る。

一般的な注

a) 主管庁は、船舶相互間並びに港務通信及び船舶通航用の周波数を、無線通信規則第51.69号、第51.73号、第51.74

- 号、第51.75号、第51.76号、第51.77号及び第51.78号に定める条件に従って運用する軽飛行機及びヘリコプターと主に海上の支援作業に従事する船舶又はこれに参加する海岸局との通信のために使用することができる。ただし、公衆通信と共用するチャンネルの使用は、関係主管庁と影響を受ける主管庁との間の事前合意を条件とする。
- b) この表に掲載されたチャンネル(第06、第13、第15、第16、第17、第70、第75及び第76チャンネルを除く。)は、関係主管庁と影響を受ける主管庁との間の特別な取決めによることを条件として、高速データ送信及びファクシミリ送信にも使用することができる。
- c) この表に掲載されたチャンネル(第06、第13、第15、第16、第17、第70、第75及び第76チャンネルを除く。)は、関係主管庁と影響を受ける主管庁との間の特別な取決めによることを条件として、直接印刷電信及びデータ送信に使用することができる。
- d) この表の周波数は、無線通信規則第5.226号に定める条件に従い、内陸水路における無線通信にも使用することができる。
- e) 主管庁は、25kHzチャンネルに混信を生じさせないことを基本とし、最新版のITU-R勧告M.1084に従い、以下の条件の下で、12.5kHzチャンネルのインターリーブを認めることができる。
- － この表の遭難及び安全の周波数、船舶自動識別装置(AIS)の周波数並びにデータ交換の周波数の25kHzチャンネル(特に第06、第13、第15、第16、第17、第70、AIS 1及びAIS 2チャンネル)への影響並びにITU-R勧告M.489-2で定める技術的特性への影響がないこと。
 - － 12.5kHzチャンネルのインターリーブの導入及びそれに伴う国内要件の制定は、影響を受ける主管庁との調整を条件とする。
- 個別的な注
- f) 156.3MHz(第06チャンネル)、156.525MHz(第70チャンネル)、156.8MHz(第16チャンネル)、161.975MHz(AIS 1チャンネル)及び162.025MHz(AIS 2チャンネル)の周波数は、捜索救難活動及びその他安全関連の通信を目的とする航空機局にも使用することができる。156.525MHz(第70チャンネル)、161.975MHz(AIS 1チャンネル)及び162.025MHz(AIS 2チャンネル)の周波数は、デジタル選択呼出又はAIS技術若しくはその両方を使用した航行の安全の高度化に係る自律型海上無線機器にも使用することができる。このような使用は、最新版のITU-R勧告M.2135に従うものとする。
- g) 第15及び第17チャンネルは、実効輻射電力が1Wを超えず、主管庁の領海内で使用される場合に当該国の国内規則に従うことを条件として、船上通信にも使用することができる。
- h) ヨーロッパ海上地区及びカナダでは、第10、第67及び第73チャンネルは、無線通信規則第51.69号、第51.73号、第51.74号、第51.75号、第51.76号、第51.77号及び第51.78号に定める条件に従って、個々の関係主管庁によって、共同の捜索救難活動及び地域の汚染防止作業に従事する船舶局、航空機局及びこの作業に参加する陸上局間の通信のためにも使用することができる。
- i) a)に定める目的のために優先する最初の周波数は、156.450MHz(第09チャンネル)、156.625MHz(第72チャンネル)及び156.675MHz(第73チャンネル)とする。
- j) 第70チャンネルは、遭難、安全及び呼出しのためのデジタル選択呼出しにのみ使用する。
- k) 第13チャンネルは、世界的基礎で航行安全通信に使用されるチャンネルとし、主として船舶相互間の航行安全通信とする。このチャンネルは、関係主管庁の国内規則に従うことを条件として、船舶通航及び港務通信にも使用することができる。
- l) AIS 1及びAIS 2チャンネルは、地域的基礎で他の周波数が同じ目的のために特定される場合を除き、世界的な運用が可能な船舶自動識別装置(AIS)に使用される。このような使用は、最新版のITU-R勧告M.1371に従うものとする。
- m) これらのチャンネルは、影響を受ける主管庁との調整の対象となることを条件として、単一周波数チャンネルとして使用することができる。単一周波数の使用においては、以下の条件が適用される。
- － これらのチャンネルの低い方の周波数部分は、船舶局及び海岸局によって単一周波数チャンネルとして運用することができる。
 - － これらのチャンネルの高い方の周波数部分を使用する送信は、海岸局に限る。
 - － 主管庁の許可及び国内規則による規定がある場合にあっては、これらのチャンネルの高い方の周波数部分は船舶局の送信に使用することができる。AIS 1、AIS 2、ASM 1及びASM 2チャンネルへの有害な混信を避けるため、全ての予防策をとるものとする。
- nn) これらのチャンネルによる送信は、海岸局に限る。主管庁の許可及び国内規則による規定がある場合にあっては、これらのチャンネルは船舶局の送信に使用することができる。AIS 1、AIS 2、ASM 1及びASM 2チャンネルへの有害な混信を避けるため、全ての予防策をとるものとする。
- n) AISを除き、第75及び第76チャンネルの使用は、航行に関連する通信のみに制限されるものとし、出力を1W以下に制限することにより、第16チャンネルへの有害な混信を避けるための全ての予防策をとるものとする。
- o) (未使用)
- p) AIS 1及びAIS 2チャンネルは、船舶から送信されるAISを受信するための移動衛星業務(地球から宇宙)にも使用することができる。
- q) 第10及び第11チャンネルを使用する場合は、第70チャンネルへの有害な混信を避けるための全ての予防策をとるものとする。
- r) 海上移動業務において、160.9MHz(第2006チャンネル)の周波数は、最新版のITU-R勧告M.2135に従ってAIS技術を使用する自律型海上無線機器用(航行の安全の高度化に係るものを除く。)とする。この自律型海上無線機器の送信は、送信機の輻射電力が100mWに制限され、空中線の高さが海面から1mを超えてはならない。海上移動業務においてこの周波数は、将来のアプリケーションやシステム(例えば、新しいAISのアプリケーションや船外システム等)のために保留する。主管庁が実験的な使用を認める場合は、固定業務及び自律型海上無線機器(航行の安全の高度化に係るものを除く。)を含む移動業務の局に対して有害な混信を生じさせてはならず、また、それらの局からの保護を要求してはならない。
- s) 第75及び第76チャンネルは、船舶局からの長距離用AIS情報(メッセージ番号27:最新版のITU-R勧告M.1371参照)を受信するために移動衛星業務(地球から宇宙)にも割り当てらる。
- t) (未使用)
- u) (未使用)
- v) (未使用)
- w) 157.1875-157.3375MHz及び161.7875-161.9375MHz(第24、第84、第25、第85、第26、第86、第1024、第1084、第1025、第1085、第1026、第1086、第2024、第2084、第2025、第2085、第2026及び第2086チャンネルに相当)の周波数帯は、VHFデータ交換システム(VDES)用として特定される。VDESの地上部分及び衛星部分は、最新版のITU-R勧告M.2092に規定される。これらのチャンネルは、フィードリンクに使用してはならない。これらのチャンネルは、連続する複数の25kHzのチャンネルを結合して、50kHz幅、100kHz幅又は150kHz幅のチャンネルとして使用することができる。このチャンネルの使用は、以下のとおり。
- － 第1024、第1084、第1025及び第1085チャンネルは、船舶から沿岸、沿岸から船舶及び船舶から船舶の通信に特定するほか、これらの通信に制約を課すことなく、船舶から衛星及び衛星から船舶の通信に使用することができる。
 - － 第2024、第2084、第2025及び第2085チャンネルは、沿岸から船舶及び船舶から船舶の通信に特定するほか、これらの通信に制限を課すことなく、船舶から衛星及び衛星から船舶の通信に使用することができる。
 - － 第1026、第1086、第2026及び第2086チャンネルは、船舶から衛星及び衛星から船舶の通信に特定し、VDESの地

上部分に使用してはならない。

- 第24、第84、第25及び第85チャンネルは、船舶から沿岸及び沿岸から船舶の通信に特定する。

VDES（地球から宇宙）の使用は、同じ周波数帯で運用される地上システムに対して有害な混信を生じさせ、保護を要求し、また、将来の発達を妨げてはならない。

2029年12月31日まで、第24、第84、第25、第85、第26及び第86チャンネルは、デジタル変調を使用する他の海上移動業務の局に対して有害な混信を生じさせ、又は保護を求めないこと及び影響を受ける他の主管庁と調整することを条件として、最新版のITU-R勧告M.1084に規定されるアナログ変調でも使用することができる。

- wa) 第一地域及び第三地域では、以下のとおりとする。

157.0125-157.1125MHz及び161.6125-161.7125MHz（第80、第21、第81及び第22チャンネルに相当）の周波数帯は、最新版のITU-R勧告M.1842に規定される連続する複数の25kHzのチャンネルを使用するデジタルシステムの利用に特定する。

157.1375-157.1875MHz及び161.7375-161.7875MHz（第23及び第83チャンネルに相当）の周波数帯は、最新版のITU-R勧告M.1842に規定される連続する2つの25kHzのチャンネルを使用するデジタルシステムの利用に特定する。

157.125MHz及び161.725MHz（第82チャンネル）の周波数は、最新版のITU-R勧告M.1842に規定されるデジタルシステムの利用に特定する。

157.0125-157.1875MHz及び161.6125-161.7875MHz（第80、第21、第81、第22、第82、第23及び第83チャンネルに相当）の周波数帯は、デジタル変調を使用する他の海上移動業務の局に対して有害な混信を生じさせ、又は保護を求めないこと及び影響を受ける他の主管庁と調整することを条件として、最新版のITU-R勧告M.1084に規定されるアナログ変調でも使用することができる。

- x) アンゴラ、ボツワナ、エスワティニ、レソト、マダガスカル、マラウイ、モーリシャス、モザンビーク、ナミビア、コンゴ民主共和国、セيشェル、南アフリカ共和国、タンザニア、ザンビア及びジンバブエでは、157.1125-157.3375MHz及び161.7125-161.9375MHz（第82、第23、第83、第24、第84、第25、第85、第26及び第86チャンネルに相当）の周波数帯は、デジタル変調の発射用とする。中華人民共和国では、157.1375-157.3375MHz及び161.7375-161.9375MHz（第23、第83、第24、第84、第25、第85、第26及び第86チャンネルに相当）の周波数帯は、デジタル変調の発射用とする。

- y) これらのチャンネルは、影響を受ける主管庁と調整することを条件として、単一又は複信の周波数チャンネルとして運用することができる。

- z) ASM 1及びASM 2チャンネルは、最新版のITU-R勧告M.2092に規定されるアプリケーション特定メッセージ（ASM）に使用される。

- zz) 第1027、第1028、第87及び第88チャンネルは、港務通信及び船舶通航のための単一周波数アナログチャンネルとして使用される。

RECOMMENDATION ITU-R P.526-15

Propagation by diffraction

(Question ITU-R 202/3)

(1978-1982-1992-1994-1995-1997-1999-2001-2003-2005-2007-2009-2012-2013-2018-2019)

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.

Keywords

diffraction, irregular terrain, obstacles, knife-edge, aperture, screen

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:

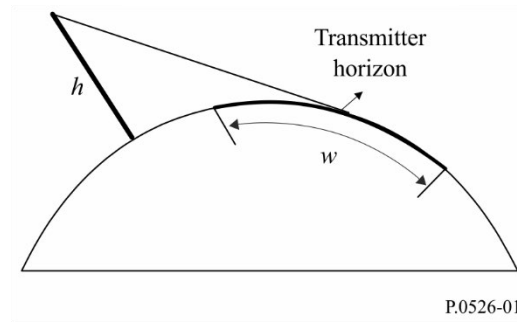
$$w = \left[\frac{\lambda a_e^2}{\pi} \right]^{1/3} \text{ m} \quad (4)$$

where:

λ : wavelength (m)

a_e : effective Earth radius (m)

FIGURE 1
Definition of penumbra width



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:

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

and

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

or, in practical units:

$$K_H = 0.36 (a_e f)^{-1/3} \left[(\epsilon - 1)^2 + (18\,000 \sigma / f)^2 \right]^{-1/4} \quad (11a)$$

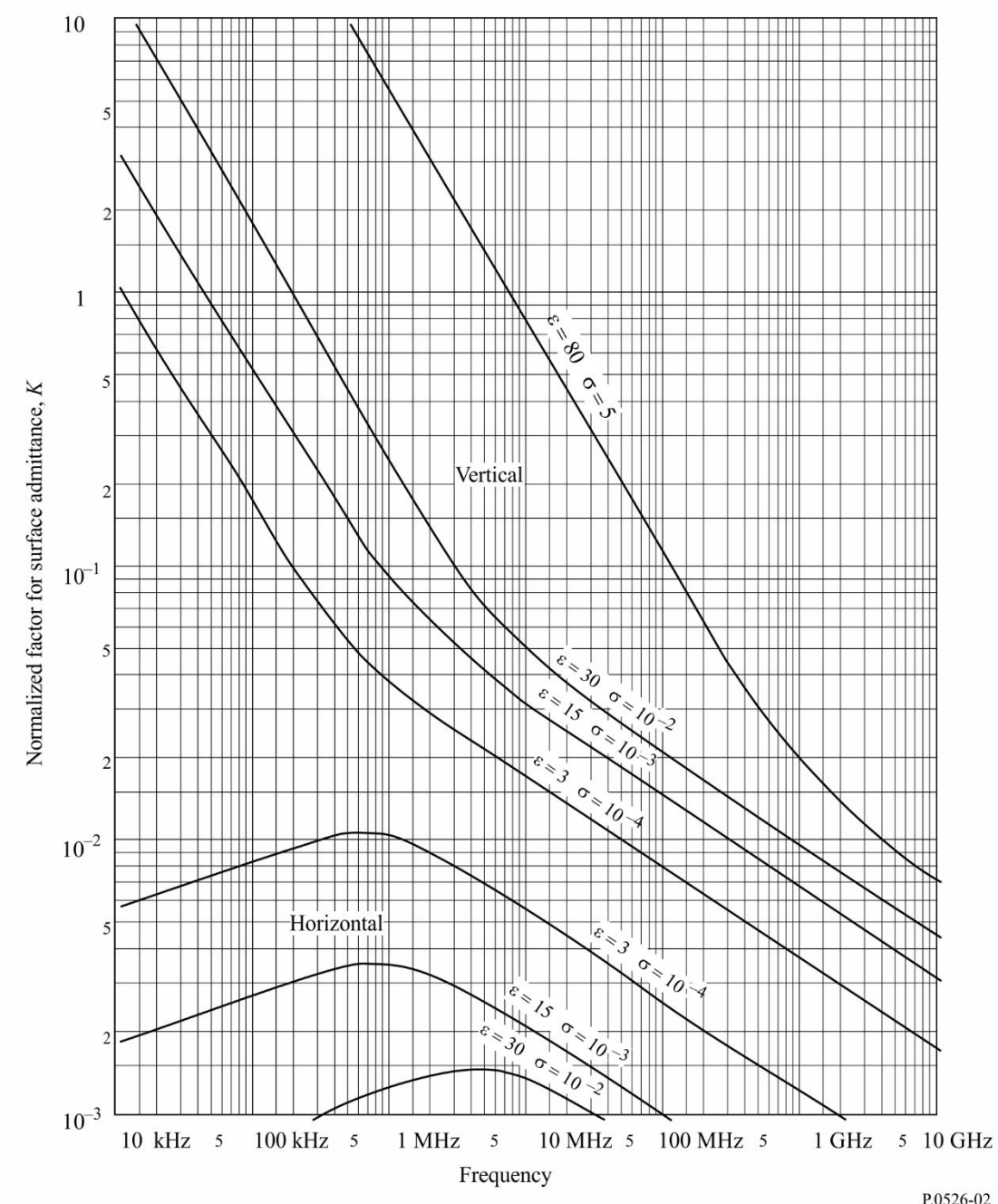
$$K_v = K_H \left[\epsilon^2 + (18\,000 \sigma / f)^2 \right]^{1/2} \quad (12a)$$

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:

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

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

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

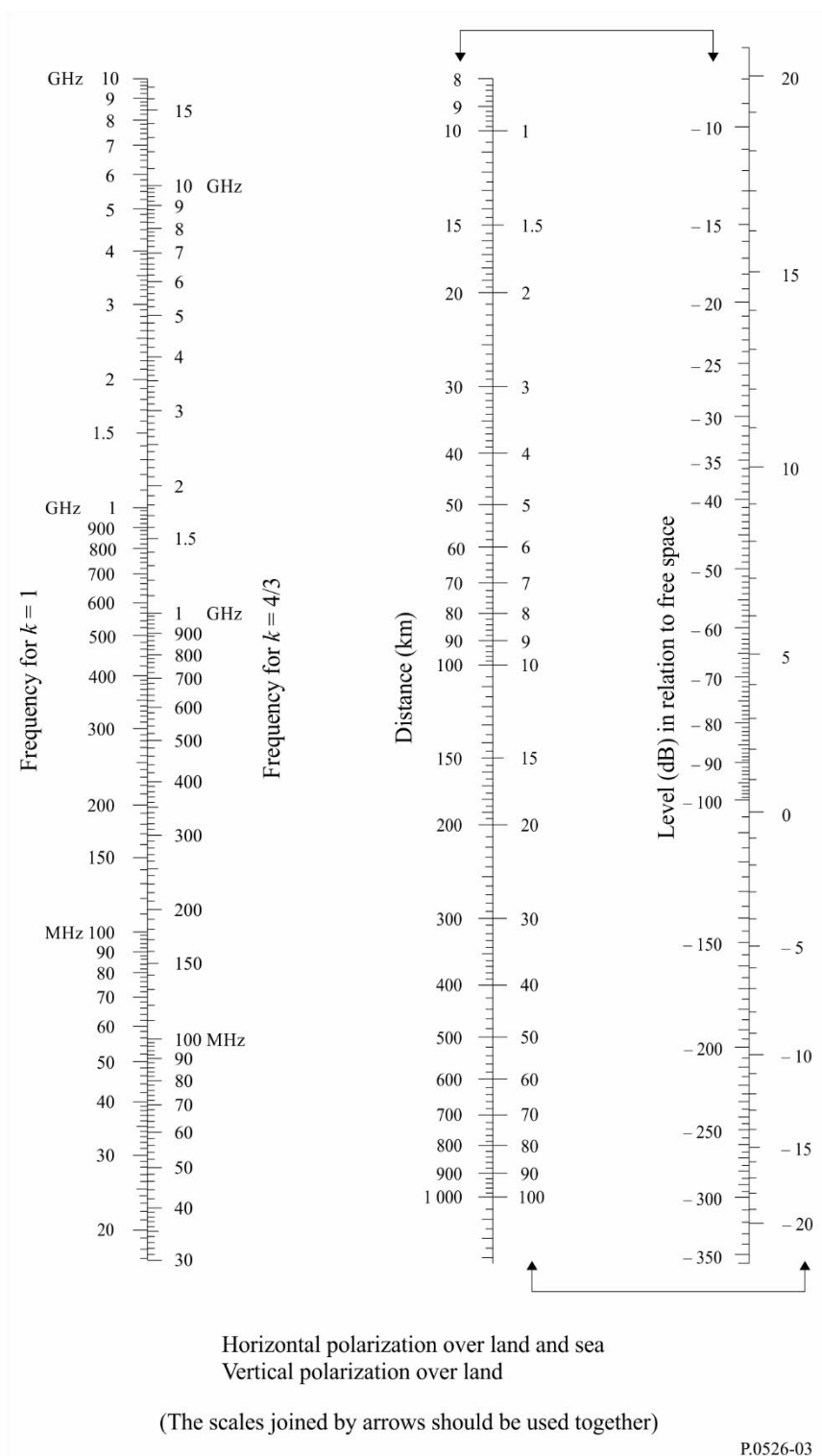


FIGURE 4
Diffraction by a spherical Earth – height-gain

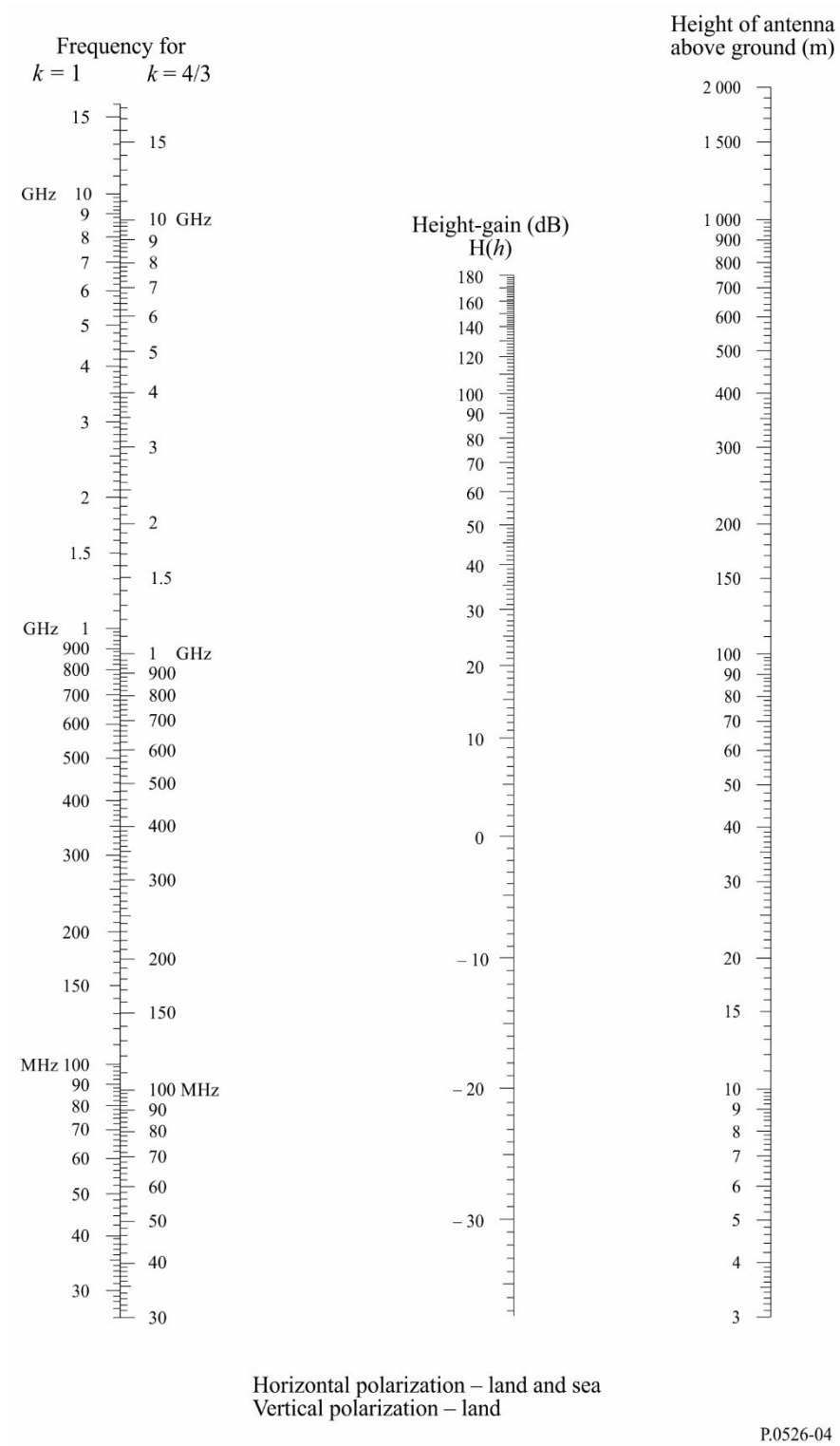


FIGURE 5
Diffraction by a spherical Earth – effect of distance

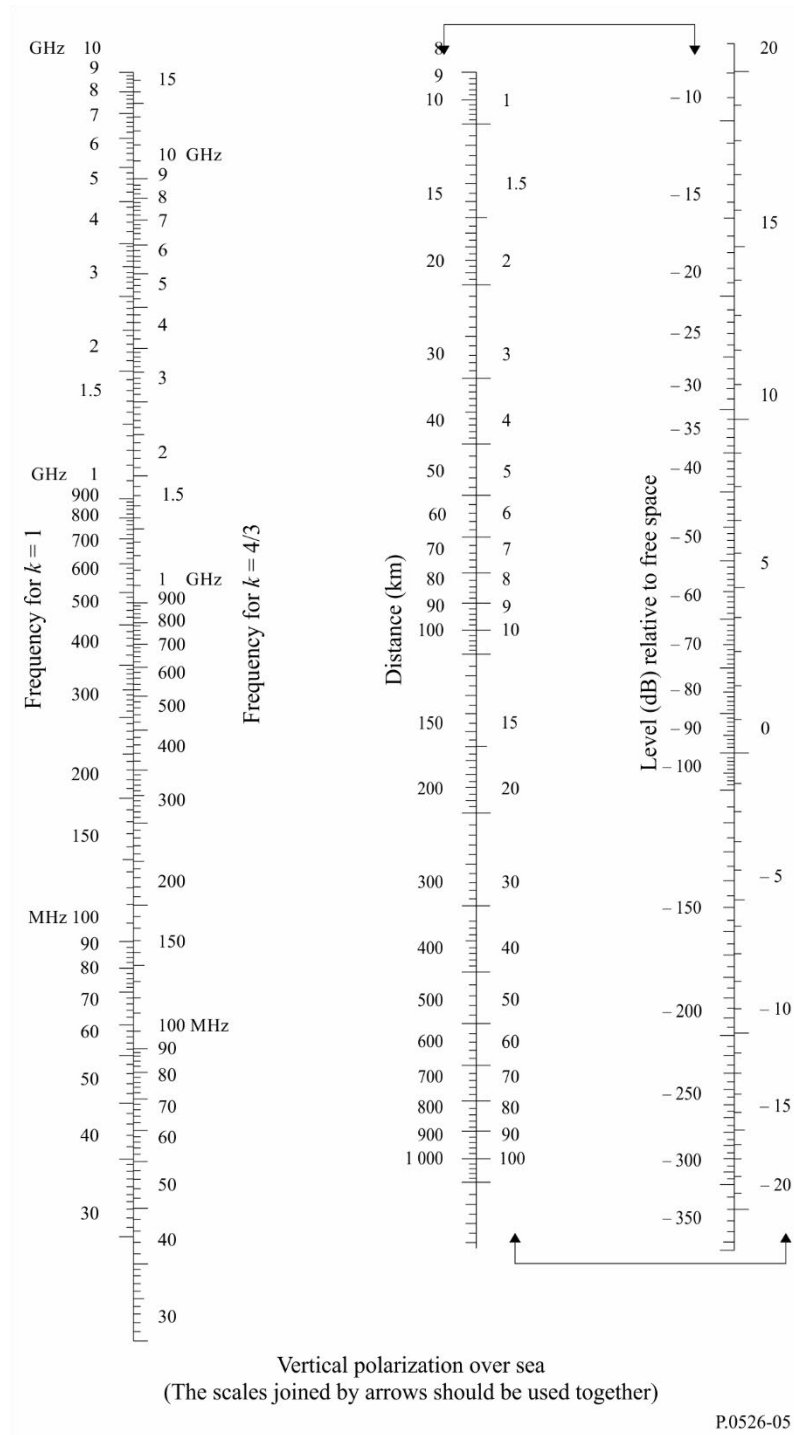
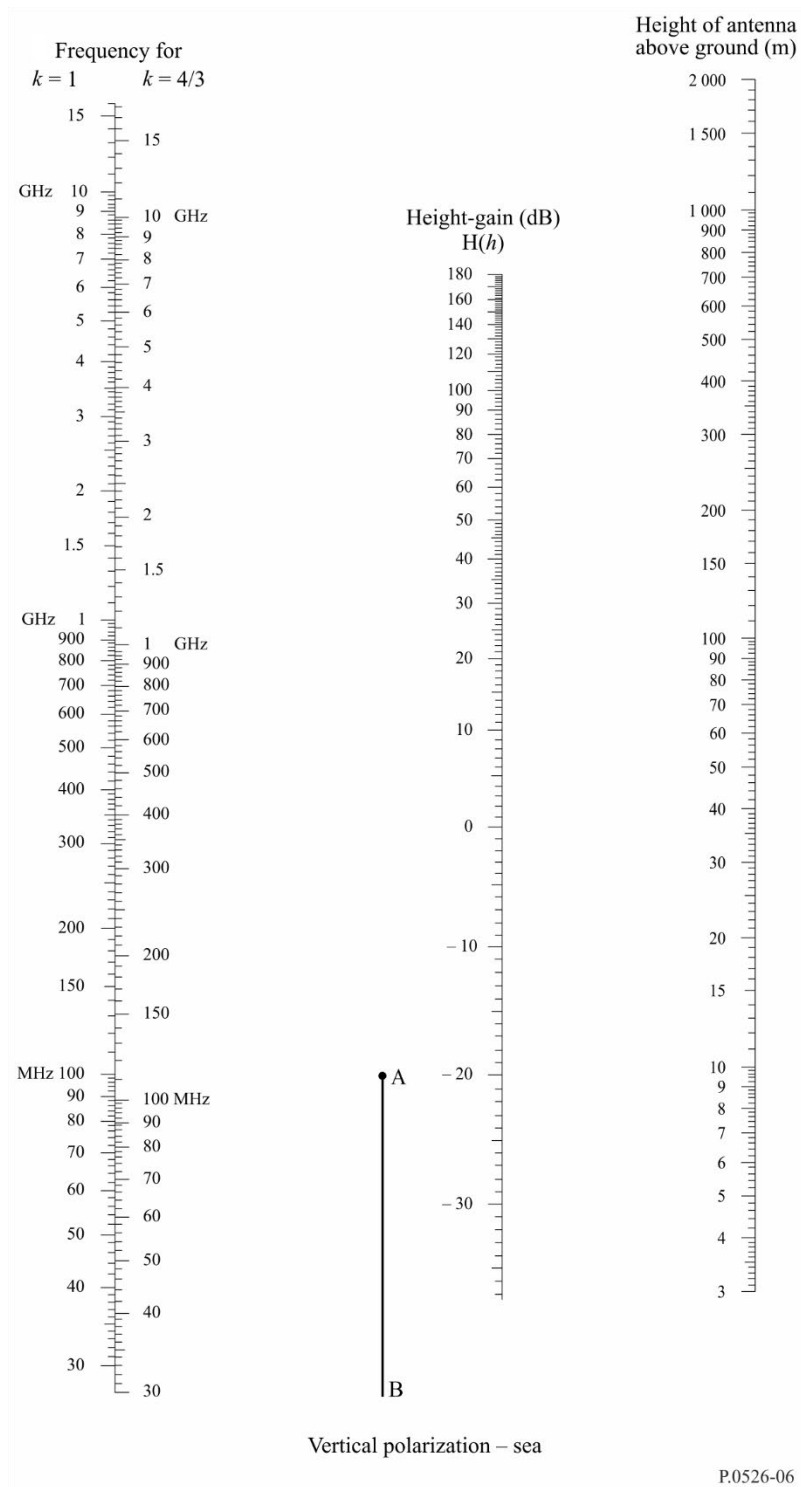


FIGURE 6
Diffraction by a spherical Earth – height-gain



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:

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

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:

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

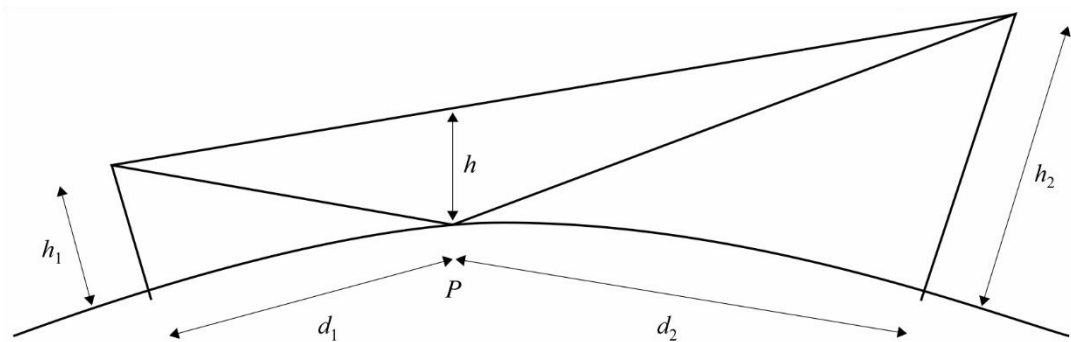
4 Diffraction over isolated obstacles or a general terrestrial path

Many propagation paths encounter one obstacle or several separate obstacles and it is useful to estimate the losses caused by such obstacles. To make such calculations, it is necessary to idealize the form of the obstacles, either assuming a knife-edge of negligible thickness or a thick smooth obstacle with a well-defined radius of curvature at the top. Real obstacles have, of course, more complex forms, so that the indications provided in this Recommendation should be regarded only as an approximation. These models do not take into account the profile transverse to the direction of the radio link, which may have a significant effect on diffraction loss.

In those cases where the direct path between the terminals is much shorter than the diffraction path, it is necessary to calculate the additional transmission loss due to the longer path.

The data given below apply when the wavelength is fairly small in relation to the size of the obstacles, i.e. mainly to VHF and shorter waves ($f > 30$ MHz).

FIGURE 7
Path clearance



P: Reflection point

P.0526-07

4.1 Single knife-edge obstacle

In this extremely idealized case (see Figs 8a) and 8b)), all the geometrical parameters are combined together in a single dimensionless parameter normally denoted by v which may assume a variety of equivalent forms according to the geometrical parameters selected: