

北海道総合通信局
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

【報告書（概要版）】

1. 調査検討の概要

背景、目的、検討事項

背景

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、2015年世界無線通信会議（WRC-15）において、国際的な海上移動業務の無線周波数である150/160MHz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 Date Exchange System）として利用することが決定された。

今般、WRC-19において、このVDESを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分配等（以下、「VDES（衛星コンポーネント）」という。）が審議され、我が国が提案した周波数プラン（既存の地上業務に影響が生じないようにするため、地上業務の局の保護を前提とする）を軸とし、VDESを衛星で利用するための新規分配（二次）が合意され、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。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。

目的

本調査検討では、上記背景を踏まえて、VDES（衛星コンポーネント）として追加された衛星利用について、その新たなニーズに対応した我が国における運用の実現に必要な国内制度化も見据えた新たなVDES（衛星コンポーネント）に対する利用ニーズ等の分析をもとに当該システムに要求される条件を調査し、これと隣接する他の周波数使用との共用条件を導出する等、技術基準策定の礎となる技術的要求条件の導出を行う。

それに当たっては、有識者からなる「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」と、その下に作業班を設置し、必要な情報収集、実機を用いた検証等を実施する。

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
- VDES（衛星コンポーネント）のシステム要件の調査及び検討
- 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

1. 調査検討の概要 (続き)

VHFデータ交換システムの概要

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。

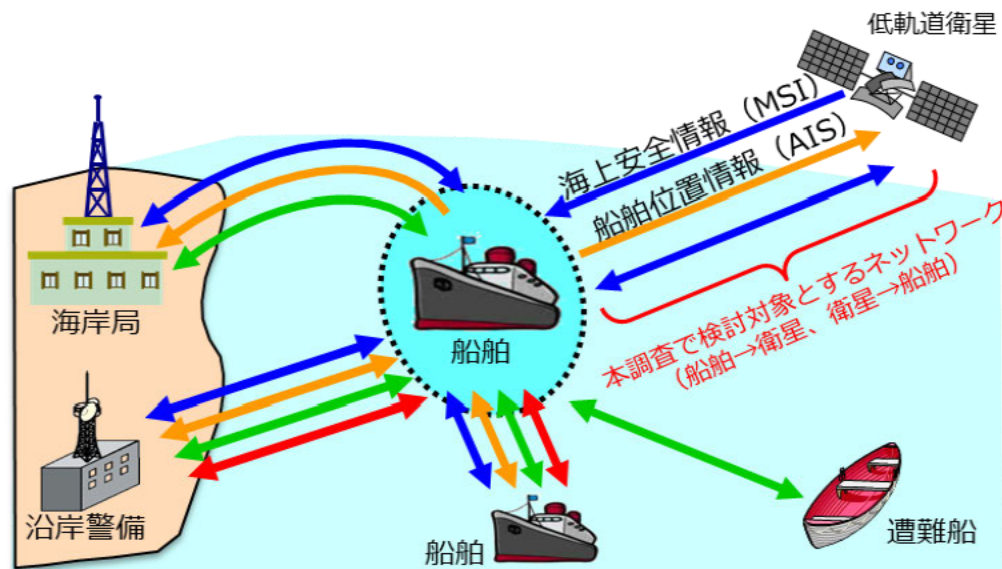
VDES = AIS + ASM + 地上VDE + 衛星VDE

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/>

VDESによる海上無線通信の高度化イメージ



- : VDE (VHFデータ交換)
- : AIS (船舶自動識別装置) 及び ASM (アプリケーション特定メッセージ)
- : 無線電話
- : DSC (デジタル選択呼出)

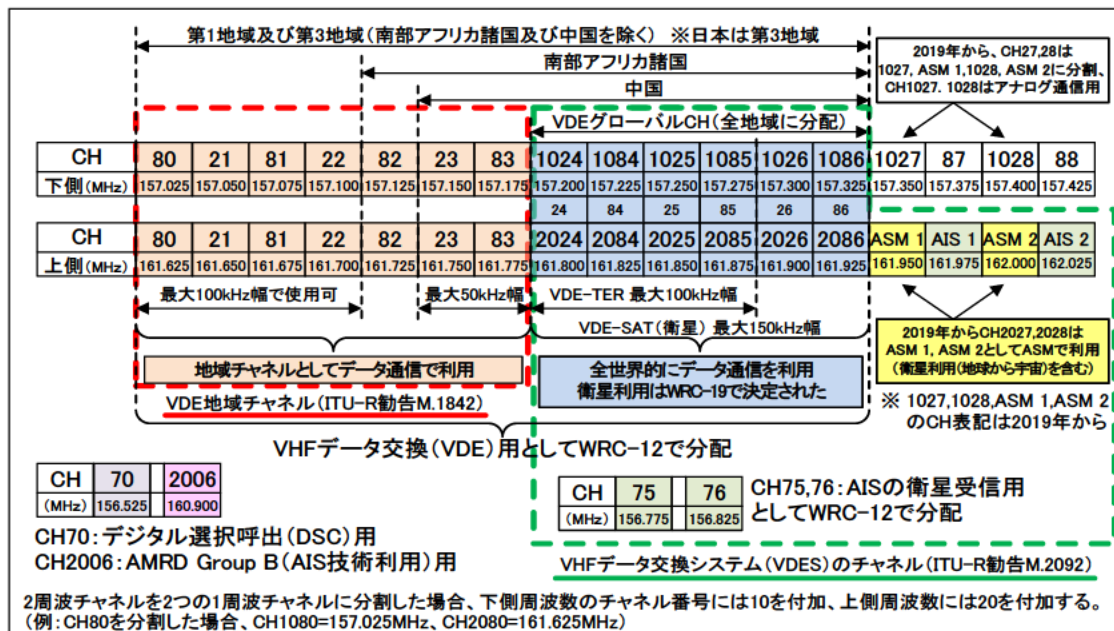
2. VDES (衛星コンポーネント) 利用に係る近年の海外動向等

VDES (衛星コンポーネント) 利用に係る近年のITU (国際電気通信連合) 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し、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。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、衛星VDE (海上移動衛星業務) は二次業務とされた。

周波数 分配 関係



2. VDES（衛星コンポーネント）利用に係る近年の海外動向等

VDES（衛星コンポーネント）利用に係る近年の海事関係、VDES衛星関係の動向

海上 交通 関係

【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。

【Saab、Orbcomm、およびAAC Clyde Spaceの契約】

- 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ました。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。

VDES 衛星 関係

【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とに成功した。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。

【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す。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す。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す。

3. VDES（衛星コンポーネント）の有力な利用シーン・ニーズ

利用シーン、情報ニーズ、課題

「想定される主な利用シーン」

- 最も多く想定されるのは、航行情報（特に海上安全情報）、気象・海象情報への活用である。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等が想定される。
- 漁業においては、漁船間での操業情報の通信や漁場の予測情報の通信への活用も期待されている。
- また、航海中の通信トラブル時のバックアップ回線としての利用も想定されている。

「具体的な情報の種類」

- 運航警報、海上安全情報、気象・海象データのニーズが多い。
- 特に、海象・気象情報においては、予報データではなく現在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とされる。
- その他、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等へのニーズもある。

「課題」

- 通信機器の整備に要する費用、通信費、衛星の整備・メンテナンス費用等、コストに関する課題が多く指摘されている。
- 機器については、現状のVHFのシステムをそのまま活用できるのかという点、さらに、システムのインターフェースの使い易さや、船舶への実装のし易さが指摘されている。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。
- 他に、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の課題が指摘されている。

まとめ

VDES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。

4. VDES (衛星コンポーネント) のシステム要求条件

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

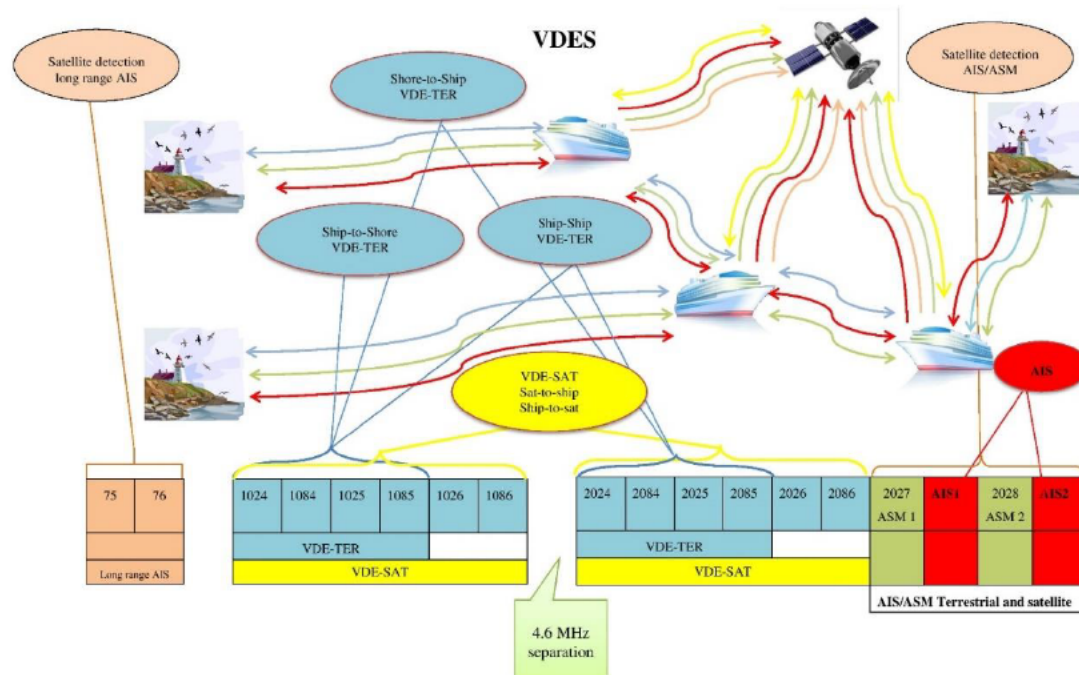


図. VDES概念図

出典: ITU-R勧告M.2092-0

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）※1に記載されている条件※2が使用できるものと考えられる。

※1: 以降の文章で改正案はこのITU-R文書番号を指す ※2: p.13に主な技術的パラメータとして記載

5. 周波数共用条件の検討

周波数共用条件検討の考え方

衛星VDEの周波数分配は、2019年に開催されたWRC-19において決定され、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、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。この結果により音声、地上VDE、ASM及びAIS（移動業務又は海上移動業務）は一次業務、衛星VDEは二次業務として無線通信規則において新たに分配が定められた。「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。

衛星VDEと既存無線設備の共用条件を求めるため、下記の検討項目について、実験室内において実機を用いた試験と、それを裏付ける数値計算を実施した。

(1) 干渉モデル想定1

隣接チャン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離隔距離（最小距離）を求める

(2) 干渉モデル想定2

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通信が成り立つ最大距離を求める

(3) 干渉モデル想定3

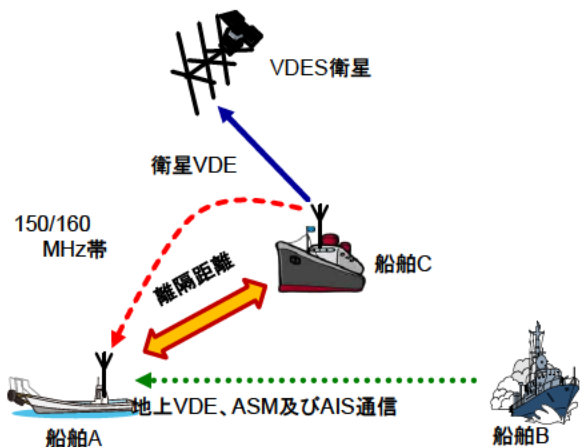
新たに衛星VDE設備の設置によるアンテナ増設で起こるアンテナ間干渉について、DU比から通信が成り立つ離隔距離（アンテナ間における最小距離）を求める

測定については、何れも同じ測定系となる。希望波を模した標準信号発生器と、妨害波側の標準信号発生器から出力される各信号を整合器で合成し、その信号を受検機器で受信できるよう測定器を接続している。また、電力レベル計は、受検機器へ入力する際の電力値確認に用いるものである。

5. 周波数共用条件の検討 (続き)

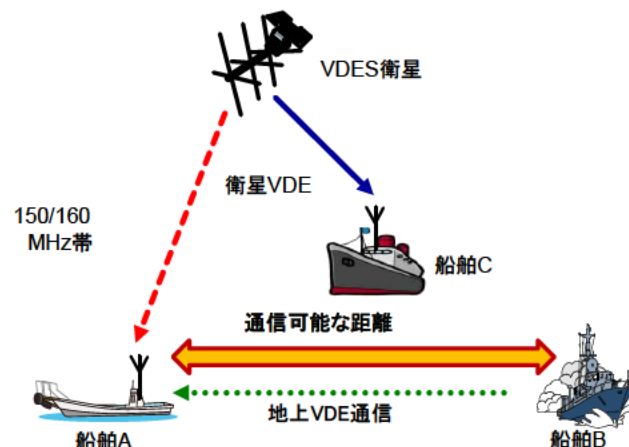
試験方法

干渉モデル想定1



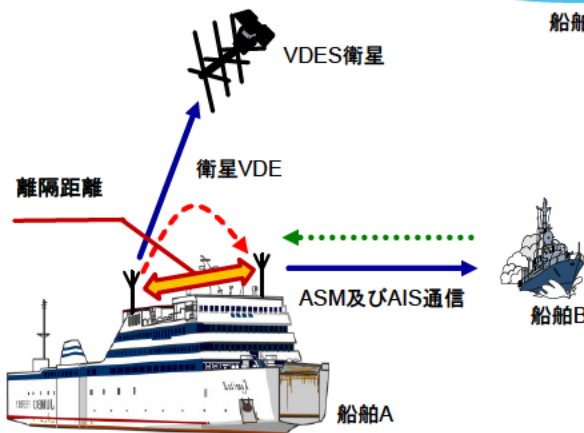
干渉モデル 想定1	希望波			妨害波
	地上VDE	ASM	AIS	衛星VDE
帯域幅	100 kHz	25 kHz	25 kHz	50 kHz
変調方式	16QAM	PI/4 QPSK	GMSK	16QAM

干渉モデル想定2



干渉モデル 想定2	希望波	妨害波
	地上VDE	衛星VDE
帯域幅	100 kHz	100 kHz
変調方式	16QAM	BPSK/CDMA

干渉モデル想定3



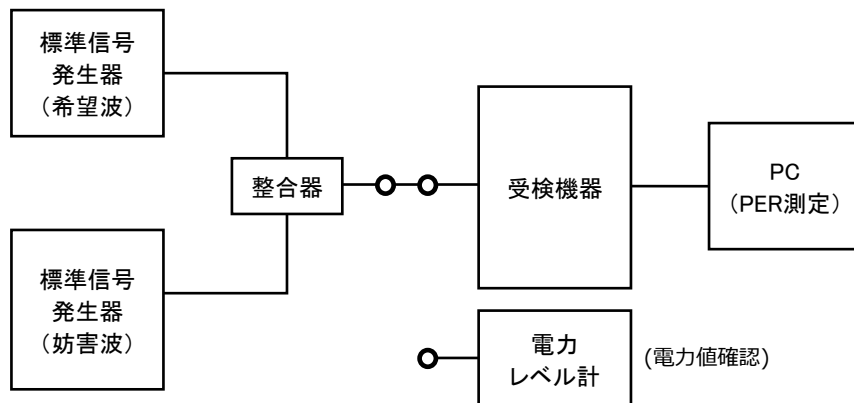
干渉モデル 想定3	希望波		妨害波
	ASM	AIS	衛星VDE
帯域幅	25 kHz	25 kHz	50 kHz
変調方式	PI/4 QPSK	GMSK	16QAM

凡例
 - - - - -> 与干渉
> 被干渉

5. 周波数共用条件の検討（続き）

試験結果

測定系は下図の通りとなり、何れの測定も同じ接続である。



試験結果と数値計算結果を以下に示す。

項目	干渉モデル想定 1 (隣接チャネル干渉)						干渉モデル想定 2 (同一チャネル干渉)		干渉モデル想定 3 (隣接チャネル干渉)					
	試験結果			数値計算			試験結果	数値計算	試験結果		数値計算			
	地上VDE	ASM	AIS	地上VDE	ASM	AIS	地上VDE	地上VDE	ASM	AIS	ASM	AIS		
	測定周波数 [MHz]		161.800-161.875	161.95	161.975	161.800-161.875	161.95	161.975	161.800-161.875	161.975	161.95	161.975	161.95	161.975
DU比 [dB]		58.2	71.2	76	59.3	72	76	19.4	18.3	71.2	76	72	76	
アンテナ高組合せ	30 m	10 m	0.27	0.11	0.06	0.3	0.12	0.07	35.4	31	0.11	0.06	0.12	0.07
	30 m	4 m	0.27	0.11	0.06	0.3	0.12	0.07	22.9	21.8	0.11	0.06	0.12	0.07
	10 m	4 m	0.27	0.11	0.06	0.3	0.12	0.07	12.3	13.2	0.11	0.06	0.12	0.07
	4 m	4 m	0.16	0.11	0.06	0.16	0.12	0.07	7.9	7.3	0.11	0.06	0.12	0.07
	送信側	受信側	離隔距離 [km]						通信可能な距離 [km]		離隔距離 [km]			

5. 周波数共用条件の検討（続き）

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

衛星VDEのアップリンク通信と既存の無線通信が隣り合うチャンネルを使用する場合、

- AISやASMは伝送速度や変調方式から、何れのアンテナ高の組合せでも60-120 mほど離れることで通信が成り立つ
- 地上VDEは、アンテナ高による影響が表れているが、その中で最大300 mの距離を離れる必要あり

干渉モデル想定 2

ダウンリンク通信時において同一チャンネルを使用した場合、おおよそ下記以上 離れた場合に受信に影響が出る。これは電波伝搬のアンテナ間距離が離れるにつれて受信機入力電力が下がる影響による。

- 小型船を想定したアンテナ高4mでは7-8 kmの範囲で通信可能
- 大型船舶と中型船舶を想定したアンテナ高30 mと10 mの組み合わせは、31-35 kmまでの範囲で通信可能

干渉モデル想定 3

同一船舶内において設備が違うことを想定した本モデルについて、隣接チャンネルによるアンテナ間干渉の結果は、離隔距離は干渉モデル想定1と同様である。

衛星VDEアップリンク通信と既存無線通信の干渉検討（干渉モデル想定1）について、船舶同士が近くに寄るような状況下においては、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。

ダウンリンク通信時において同一チャンネルを使用した場合（干渉モデル想定2）は、アンテナ高による伝達範囲の違いが表れる結果となった。遠く離れるにしたがい受信機入力電力が下がり、衛星の影響を受けはじめる結果となった。こちらでも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が、同じVDESのシステムにおいて同一チャン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が重要である。

同一船舶内の干渉（干渉モデル想定3）は、大型船の全長に匹敵するアンテナ間の距離確保が必要である。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間のチャン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。

6. VDES（衛星コンポーネント）の技術的要求条件

VDES（衛星コンポーネント）の的確な社会実装に向けて

課題と 対策案 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）については、AISと同様に、その有用性を最大限に実現する観点から、小型船舶を含め、多くの船舶で利用されることが望ましい。より導入が容易な簡易型VDESの実現や端末機器の小型・低廉化等、ITU等の国際機関における標準化や国際動向等を踏まえつつ、検討を進めることが望ましい。
今後の衛星VDESに関する検討や実証においては、多様なタイプの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、多様な関係主体が参画して取組を進めることが期待される。

課題と 対策案 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、0.3 km以上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ため、離隔距離が確保できるために共用可能と考える。
- 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。

課題と 対策案 3

【自船舶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. VDES（衛星コンポーネント）の技術的要求条件

周波数共用のための技術的要求条件

●周波数共用検討結果

干渉モデル	結果	コメント
干渉モデル想定1	共用可能	各システムで離隔距離は異なるが、通常使用する上で船舶間距離も保たれているため、共用することは可能。
干渉モデル想定2	共用可能	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が可能。 ITU-R勧告M.2092に示される運用を守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、共用することは可能。
干渉モデル想定3	条件付き共用可能	大型船舶でも必要なアンテナ間距離を得ることは困難。 ITU-R勧告M.2092に示される運用を守ることで干渉を起こさずに共用することは可能。

●技術的パラメータ

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
空中線電力	12.5 W	11 W	10 W	6 W

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
空中線電力	pfdマスクによる					

衛星VDEの技術特性（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 ($25 \text{ kHz} = < \Delta f_c < 37.5 \text{ kHz}$)
		-70 dBc ($37.5 \text{ kHz} = < \Delta f_c < 125 \text{ kHz}$)
受信機	隣接チャネル選択度	記載なし
	感度	記載なし

調査検討会 構成員

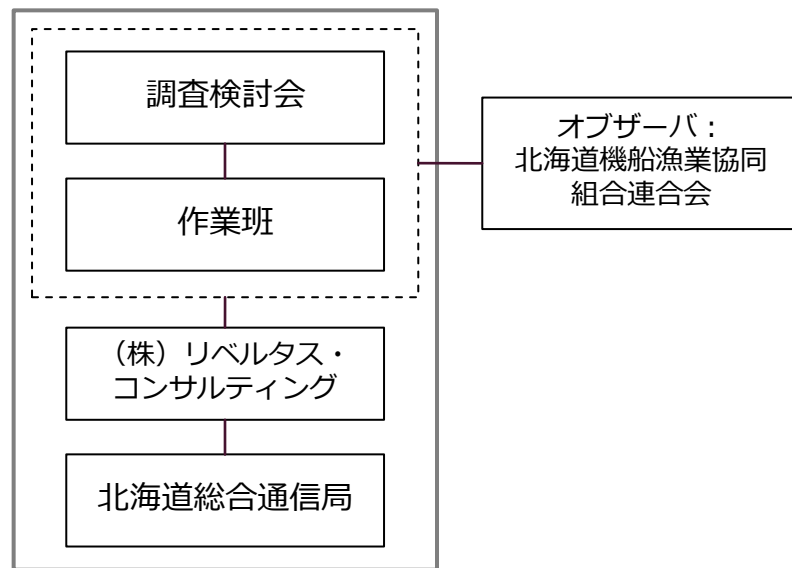
氏名 ※敬称略		所属・役職
構成員 (※1)	大鐘 武雄	北海道大学 大学院 情報科学研究院 教授
構成員 (※2)	笹森 崇行	北海学園大学 工学部 電子情報工学科 教授
構成員	川久保 盛二	八重洲無線 (株) 執行役 第二技術部 部長
構成員	菅原 隆志	北海道総合通信局 無線通信部長
構成員	杉野 伸治	アイコム (株) 第6設計部 海洋技術課 技師
構成員	田北 順二	(一社) 全国船舶無線協会 (水洋会部会) 事務局長
構成員	中川 裕康	古野電気 (株) 船用機器事業部 営業企画部 規格検定課 課長
構成員	野口 英毅	海上保安庁 交通部 企画課 国際技術開発室 専門官
構成員	開 敏之	新日本海フェリー (株) 取締役 海務部長
構成員	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
構成員	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	柳川 延之	北海道機船漁業協同組合連合会 代表理事専務
事務局	北海道総合通信局無線通信部電波利用企画課 (株式会社リベルタス・コンサルティング)	

※1 調査検討会 座長
 ※2 調査検討会 副座長、作業班主査

調査検討日程

	日時	調査検討概要
第1回 調査検討会	令和2年11月13日 (金) 14:00-16:00	座長、副座長の選任を行い、調査検討方針・項目、実施体制を確認するとともに、最新情報の交換を行った。
第2回 調査検討会	令和3年3月4日 (木) 13:30-15:30	第1回、第2回作業班会合の議事結果の報告を行った上で、中間報告の内容について協議した。
第3回 調査検討会	令和3年3月19日 (金) 13:30-15:30	報告書案の最終確認を行った。

- 上記期間内に作業班会合を全3回、開催した。
- 実証試験は、試験機を用いて日本無線 (株) において実施した。



実施体制