

# 船舶運航の効率化に向けたVDES通信技術の開発

小林心\*<sup>1</sup> 前畑航平\*<sup>2</sup> 松原貴史\*<sup>1</sup> 瀧本朋樹\*<sup>3</sup> 中山龍一\*<sup>3</sup> 浅川貴史\*<sup>1</sup>

## Development of VDES Communication Technology for More Efficient Vessel Operations.

Kokoro KOBAYASHI, Kohei MAEHATA, Takashi Matsubara,  
Tomoki TAKIMOTO, Ryuichi NAKAYAMA and Takashi ASAKAWA

### Abstract

This paper aims to develop of a prototype communication base station (for coastal and vessel use) and carry out a field-based validation testing.

In the prototype development phase, we create specifications and develop prototype communication base stations based on VDES/AIS international standards and guidelines.

Subsequently, in the field validation phase, experiments will be conducted to collect propagation characteristics of VHF-band radio waves, which are essential for operational testing at the VDES experimental station currently under application. To achieve this, propagation tests will be conducted using VHF-band radio waves from existing AIS base stations. These tests will focus particularly on examining the propagation distance of the radio waves and the impact of obstacles.

Additionally, as part of another validation effort, we measure the electrical characteristics (VDES-designated frequency, occupied bandwidth, and output power) of the prototypes in a simplified anechoic chamber.

**Keywords:** VDES, vessel operation, Communication technology

### 1 まえがき

島国である我が国の物流において、海運は国民の生活に欠かせない重要な役割を果たしており、それを支えているのが船員であるが、近年船員の労働を取り巻く状況は厳しく、なり手の減少、あるいは定着率の低下等が問題となっている。船員の重要な業務の一つとして通信業務があるが、主に用いられるVHF音声無線はデジタル化されておらず、船舶数の増加による混信等が発生する状況にある。2019年、初のデジタル海上通信規格である「VDES (VHF Data Exchange System)<sup>1)</sup>」が導入された。そこで、著者らはVDESを利用して船員の負担軽減と船舶運航の効率化を図ることを目指している。本研究は通信基地局(海岸、船舶)試作機の開発とフィールドでの実証調査の2点を実施する。試作機の開発では、国際的な規格書等から試作機の仕様書を作成し

た上で製作を行う。次にフィールドでの実証調査では、現在申請中のVDES実験局での運用実験時に必要となるVHF帯電波の伝搬特性を収集するために同じVHF帯電波を用いるAIS<sup>2)</sup>基地局からの伝搬特性実験を行う。特に電波の到達距離や障害物による影響などを調査する。また、もう1つの実証調査として、完成した試作機に関して電気的特性について簡易電波暗室にて測定を行う。主な項目としては、VDES指定の周波数、周波数占有幅、出力電力とする。本論文では、特にフィールドでの実証調査について詳しく述べる。

### 2 VDESの特徴

これまで船舶間のVHF通信としては、位置情報などを共有する船舶自動識別装置AISや、AISを拡張し短いメッセージを送ることのできるASMが利

\* 1 電子機械工学科 \* 2 商船学科 \* 3 ○フューチャークエスト株式会社

表 1 海上デジタル通信の比較

	通信範囲	通信速度	交信簡便性
VDES	○ 通信範囲内にある陸上基地局+船舶	△ 数百 kbps メッセージ送受信が可能	◎ 位置情報から任意の相手呼び出し可能
携帯電話(陸上IP)	△ 陸上基地局と電波を送受信できる範囲のみ	○ 最大 4.9 Gbps (5G)	△ 相手の電話番号が必要
Starlink Kuiper (衛星 Internet Service)	◎ 地球上の広い範囲で利用可能	○ 最大 100 Mbps	△ 船舶用の通信サービスを設定する必要

用されているが、これらで通信可能なデータは通信内容・通信速度の面で限定的であった。VDES は AIS・ASM を拡張した船舶間・船陸間でのデータ通信に特化した通信規格であり、2019 年 11 月に VDES への周波数割り当てが国際電気通信連合で決定された。これを契機に我が国においても、総務省は VDES 規格に準じた「VHF データ交換装置」を新たに無線機の型式区分として設けた。データ通信は内容をデータとしてやり取りするため、「メッセージ」としての交信することができる。また、無線設備もデジタル化されたことにより、コンピューターへの接続が可能となり、処理の自動化やプログラムを用いた自動通信を行うことができる。船員の主な作業の一つである通信記録を自動化できる上、混信の問題の解消も期待できる。表 1 に海上デジタル通信の比較を示す。VDES は位置や運行情報が通信データに付随しており、直接対象と通信ができるため、安定した近距離通信が可能である。携帯電話は通信範囲が原則陸上のみとなる。衛星インターネットサービスに関しては、安定した通信ができるか未知数の部分があり、また利用料金についても不安が残る。

### 3 フィールドでの実証調査

#### 3.1 海上での VHF 帯電波伝搬実験

VDES 電波を用いて、実地での通信試験を実施し、通信距離・気象条件等による電波強度や通信の安定性について評価する。なお、試作機を用いた試験局を開設し、海上での送受信に関する実証実験を行う予定であったが、電波関係の許認可の関係で送信が行えない結果となった。そこで、VDES で使用すると同様の VHF 帯を用いる VDES の先行規格 AIS 通信機での電波伝搬実験を行う。

#### 3.1.1 目的

海上での VHF 帯での無線通信に関して、AIS 機器を用いた計測を行い、通信距離や障害物の有無による電波伝搬特性について解析を行った。

#### 3.1.2 手法

大島商船高等専門学校の実習船「すばる（全長 14.5m、14 総トン、定員最大 24 名）」から AIS 情報を発信し、同校校舎屋上（アンテナ高 22m）にて情報を受信する。すばるの実験航路として小松港沖に以下の 3 つを設定した。

- 航路 A 送信地点と受信地点の間に障害物がなし
- 航路 B 送信地点と受信地点の間に障害物があり（笠佐島：最高地点 115m）
- 航路 C 送信地点と受信地点の間に障害物があり（飯の山：最高地点 263m、大島大橋）

実験日

令和 6 年 2 月 27 日 天候：晴れ 気温 8 度

風向・風速：東北東 6.1m、波の高さ：1 m

#### 3.1.3 実験結果と考察

実験で得られた電波強度を図 1 に示す。まず、航路に関して説明する。航路 A（図中赤の点線）は、受信地点（図中赤の三角）と実習船「すばる」（以下、すばる）間に障害物がない状態である。航路 B（図中青の点線）は、受信地点とすばるの距離関係は、航路 A とほぼ同じであるが、両者の間に島が障害物としてある状態である。最後に航路 C（図中緑の点線）は今回参考として実験を行った。障害物として山が存在し、さらに大島大橋も存在するという複合的な要因がある。通常、障害物がない状況では、電波強度は距離の 2 乗に反比例する。RSSI は対数関数（dB）であるため、RSSI 値との関係は単純な反比例となる。図 2 に航路 A、および B のデータを示す。障害物がない航路 A での RSSI は反比例となってい



図 1 実験航路と RSSI

る。3000m 付近で-30dB、4000m 付近で-60dB であり、理論的には 6000m 付近で-90dB となるが、グラフの推移で予測するとほぼ理論通りとなっている。一方、航路 B は、距離の違いに関わらず-80dB 程度の値となっている。さらに、RSSI の振れ幅は、航路 A に比べ大きい。これは、単純に島に遮蔽されただけでなく、島の山による回折の影響が考えられる。回折があるとすると、島から遠ざかるにしたがい、電波が遮蔽される割合が減る<sup>3)</sup>が、距離が遠ざかる方向でもあるために、今回の航路 B のような結果となったと想定される。特に AIS や VDES では電波の偏波面が垂直では、山などでも回折により伝搬的には有利に働くことが山間部のテレビや防災無線でも知られており、同様の効果だと考える。

最後に、今回は参考として行った航路 C であるが、図 1 を見ると、大島大橋の東側で RSSI が小さくなっている。この結果は、飯の山の影響が強いと考えられるが、大島大橋の西側は、山の影響よりも前に値が小さくなっている。これが、大型金属構造物の影響であるかどうかの判断は今回の実験だけでは難しいが、港湾施設のクレーンなどの影響<sup>4)</sup>と合わせ、引き続き調査する必要があると考える。

### 3. 2 電波暗室での送受信試験

総務省による実験試験局の許認可が期間内に得られなかったため、無線機のアンテナおよび、アンテナ以外からの副次的な高調波の輻射による影響を考慮し、電波暗室（簡易型）内で VDES 試作基地局を用いた電力特性試験、ならびに送受信試験を行った。

#### 3. 2. 1 目的

電波暗室を用いて外部に電波を放出しないかたちで、開発した VDES 試作基地局が正確に通信できることを確認することを目的とする。

#### 3. 2. 2 手法

実験では、VDES 試作基地局からの出力電波の質に関する試験と送受信に関する試験を行う。共に、

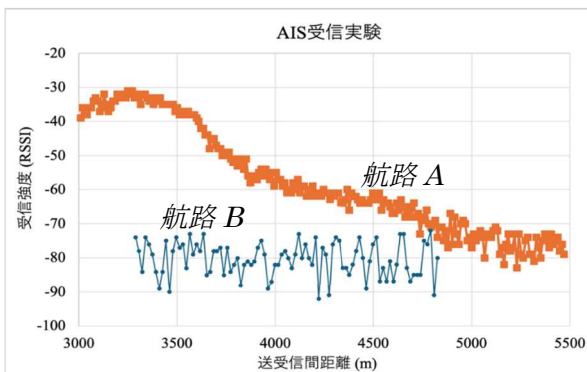


図 2 受信実験結果

技術適合基準ならびに実験試験局の許認可を得られていないため、減衰器(-10dB ~ -60dB)を用いて、1W または 12.5W の送信出力を十分低減させ、同軸ケーブルにて計測器と相手側無線装置と接続し、実際のアンテナを用いての通信を模擬する。接続に関するイメージを図 3 に示す。

#### (1) 電力および通信帯域測定

テストモードを用いて、VDES の送信を行う。アンテナ出力には、高周波スペクトラムアナライザの入力許容範囲 (+27dBm PEP) を超えないよう、減衰器を調整する。送信出力は、1W と 12.5W とし、この出力を高周波スペクトラムアナライザにて受信する。

スペクトラムアナライザ側では、リアルタイム・スペクトラムモード（超高速スキャン）を使用し、ピークホールドにて測定を行う。なお、本来は AIS、ASM、VDE の送受信周波数は違っているが、今回の実験では伝送フォーマット、および変調方式による送信帯域幅の確認を行うことを目的とするため、同一の周波数にて実験を行う。

#### (2) 模擬通信実験

VDES 試作基地局（海岸用）からの送信を VDES 試作基地局（船舶用）で受信する通信実験を行う。本来は、双方にアンテナを装着して実験を行いたいですが、今回使用の電波暗室（1m×1m×1m）ではアンテナ間の十分な距離が取れない。簡単に説明すると、150MHz の波長 λ は 2m であり、電解強度の特性を考えると少なくとも 2λ は離す必要がある。予備実験にて電波暗室内でアンテナからの放射電解強度を測定したところ、送信出力そのままの値となっており、そのまま受信すると入力段を破壊する可能性がある。そこで、減衰器により-60dB 減衰させ、1W の出力を 1μW (-30dBm) となるようにし、試作基地局どうしを同軸ケーブルにて接続した。

送信モードにて、MMSI（海上移動業務識別コー

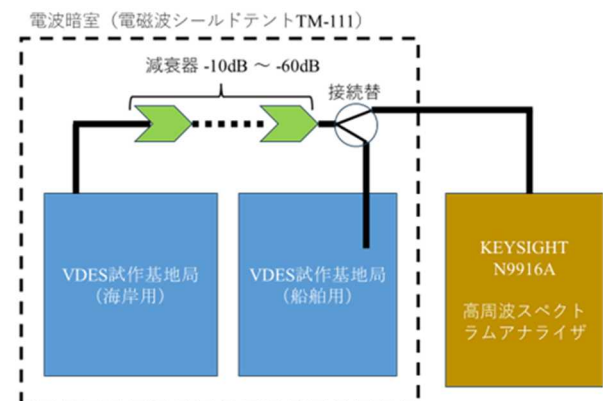


図 3 試験装置イメージ



ド)、LAT (緯度)、LON (経度) の情報で正常通信が行えているかの確認を行う。

### (3) テストモードでの出力間隔、および DUTY 比の確認

テストモードの繰り返し送信モードでの出力間隔、および DUTY 比 (ON/OFF 比率) の確認を行う。これは、今後の技術適合基準取得に必要な項目となるため事項であり、確認を行う。

#### 3. 2. 3 実験結果と考察

##### (1) 電力および通信帯域測定

まず、AIS (1W) での実験結果を図4に示す。1W は dBm 換算で 30dBm、実験では -20dB の減衰器を装着しているため 10dBm となり、実験結果と一致している。帯域幅に関しては 25kHz がチャンネル幅となるが、この要件も十分満たしている。次に、ASM (1W) での実験結果を図5に示す。AIS 同様に送信出力および帯域幅に関して要件を満たしている。

1W 出力の最後は VDE の実験結果である。VDE では規格上、帯域幅として 100kHz が使用可となっているが、図6のように実験結果も同様の帯域幅となっている。信号の強さに関しては、7dB 減となっているが総体的な出力としては 1W になると考えられる。再度スロープの信号がやや暴れた感じとなっているが概ね台形の形状であることがわかる。

以上の3つもモードともに、サイドスロープおよび直近には、問題となるスプリアスは見られない。今後は、技術適合基準を受けるにあたり、スプリアスに関して詳しく調査する予定となっている。

1W 出力にて、AIS、ASM および VDE のテストモードでの送信出力、ならびに帯域に関する確認が取れたため、送信出力を 12.5W に上げ、AIS と VDE の出力特性を比較する。

12.5W は dBm 換算で約 41dBm となる。そのため先の実験の -20dB の減衰ではスペクトラムアナライザの入力許容範囲の限界に近いとため、減衰器を -40 dB 減衰として実験を行う。

まず 12.5W 出力での AIS モードでの特性であるが、図7のように送信出力に関しては 0.36dBm となっている。理論上も 1dBm 弱となり、ほぼ所定の出力となっている。帯域幅およびサイドスロープの特性も非常になだらかとなっており、不要なスプリアスなどはみられない。

12.5W 出力での VDE モードの結果を図8に示す。こちらも 1W 出力時と同様の傾向にある。先の AIS モードでは、サイドスロープならびにグラウンドノイズレベルが -60dB 以下であるが、VDE ではやはりサイドスロープ、特に下側で不要な放射が見られる。

### (2) 模擬通信実験

先にも述べたように、本来は送受信ともにアンテナを接続し、通信試験を行うべきであるが、許認可



図4 条件 周波数 : 161.975MHz / Type : AIS (GMSK) / Power : 1W / ATT : -20dB

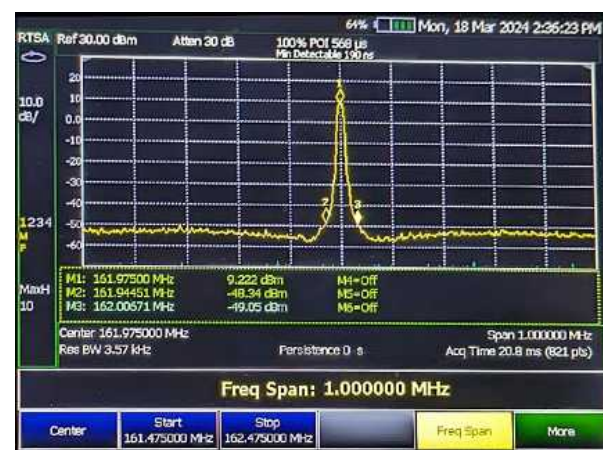


図5 条件 周波数 : 161.975MHz / Type : ASM (Link Id1) / Power : 1W / ATT : -20dB

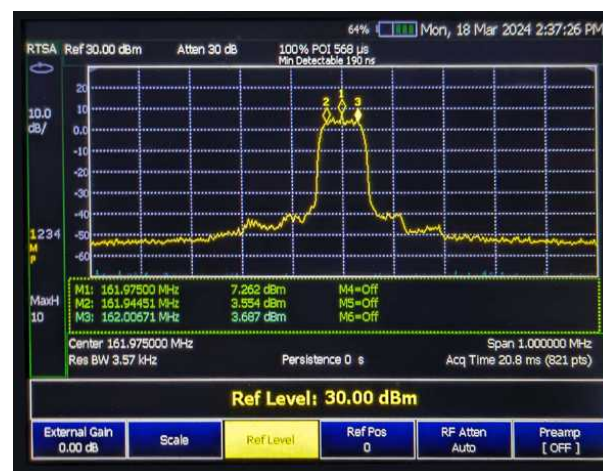


図6 条件 周波数 : 161.975MHz / Type : VDE-TER (Link Id17) / Power : 1W / ATT : -20dB

の関係から、今回は極力外部に副次的なものも含め不要な電波を放出しないよう努めた。

まず、電波暗室は 50dB 以上 (100kHz-6GHz) の減衰特性を持つ電磁シールドテントを用い、さらに送受信装置間は、-60dB の減衰器を挿入した上で同

軸ケーブルにて接続した。その後、スペクトラムアナライザで信号強度が-30dBm で確認した後、実験を実施した。実験では試作基地局 (海岸用) に設定画面で、MMSI とローケーション (GNSS 情報) の設定を行い、AIS を送信可とした。その後、定時送信にて試作基地局 (船舶用) が情報を受信し、その内容を確認した。実際の画面を図 9 に示す。

今回は、模擬通信実験での AIS 通信実験となったが、先のテストモードでの結果などから VDE についても問題なく通信が行えると考えられる。

#### 4 あとがき

今回、船員の負担軽減と船舶運航の効率化を目的とした VDES 通信試作機の開発とそれを用いたフィールド実証試験を行った。フィールド実証試験では、VHF 帯電波の伝搬実験や電波暗室での送受信試験を通じて、VDES の通信特性と実用性を検証した。今回の結果を踏まえて、これまで利用してきた AIS 技術に加えて VDES 通信を利用することで船舶間や船陸間のデータ通信による情報交換の高度化が期待できることが示された。一方、VDES は 4 つのチャンネルを束ね 100kHz 帯域により転送容量の増加を生み出している。したがって、既存の国際 VHF の帯域を消費しているともいえる、既存の通信を圧迫することがないように運用規則の確立が問題である。このため、モデルとなる海域をさだめ、VDES だけでなく既存通信網との共存に主眼をおいた実証実験が重要である。

海上で働く人々の安全と作業負担の軽減に貢献する可能性については、VDES 通信によってどのようなサービスを誰に提供するかが非常に重要である。今後は世界的に本通信規格の導入が進むことが予測されることから、この通信技術を最大限活用したサービスの開発とその普及が求められる。特に、日本では船員のみならず労働者の著しい現象が今後予測されることから、作業や操作の自動化による作業者の負担軽減や自律航行船によるサポートがより必要になる。今後は、新しい海上デジタル通信規格である VDES 通信の特性を十分に把握したうえで、将来的に日本のみならず世界のスタンダードとなるような先進的な事例の創出を目指す。

#### 5 謝辞

本研究は、国土交通省の交通運輸技術開発推進制度 JPJ002223 の助成を受けたものである。



図 7 条件 周波数 : 161.975MHz / Type : AIS (GMSK) / Power : 12.5W / ATT : -40dB



図 8 条件 周波数 : 161.975MHz / Type : VDE (TER Link ID17) / Power : 12.5W / ATT : -40dB

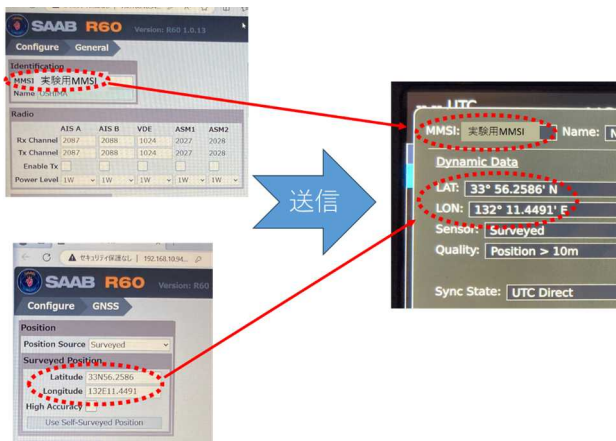


図 9 VDES 試作基地局における通信実験結果

参考文献

- 1) IALA, G1139 - The Technical Specification of VDES, Edition 3, (2019)
- 2) IEC, IEC 62320-1 Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Automatic identification system (AIS), Edition 2.0, (2015)
- 3) 平井 正一, 藤井 敬久, 斎藤 弘, VHF および UHF による山岳回折伝ぱんの実験, 情報通信研究機構研究報告, 4 巻, 16 号, pp.141–156, (1958)
- 4) 佐藤 尚登, 宮崎 保光, 竹中 康雄, 西 隆昭, 田口 一夫, 航行用 100kHz 帯電波に及ぼす巨大架橋の影響について, 日本航海学会論文集, 83 巻, pp.49–56, (1990)