

## IMO における船橋機器の進歩

海上保安庁交通部企画課 専門官 野口 英毅

### 1. 概要

船のブリッジには、レーダーや電子海図情報表示装置のような航海計器、衛星を含む無線通信機器のような様々な機器が装備され、船員とともに船の安全航行を担っています。国際航海を行う船では、どのような機器を装備しなければいけないか、国際海事機関（IMO）が作成する「海上における人命の安全のための国際条約」通称 SOLAS 条約で定められています。近年、車の操縦機器が進歩しているように、船の世界でも多くの進歩が SOLAS 条約にも見られるようになりました。本稿では、SOLAS 条約、特に無線機器を扱う第 IV 章と航海計器を扱う第 V 章における船橋機器の進歩について紹介したいと思います。

### 2. 無線機器の進歩

SOLAS 条約第 IV 章で取り扱う無線機器は、国際航海に従事する旅客船及び貨物船に対し、海上における遭難及び安全に関する世界的な制度、通称 GMDSS、に参加できるようにするため、その搭載が義務化されているものになります。従って、近年、搭載が増えているスターリンクのような通信機器については、任意で搭載するものであり、条約の中には記載がないこととなります。GMDSS は、1988 年に条約を改正し、1999 年から完全実施されています。しかし、近年の無線通信技術の進歩に伴い、条約を改正し GMDSS を近代化する作業が開始され、2022 年に条約が改正、2024 年から新たな GMDSS となりました（ただし、一部の通信機器では適用が 2028 年まで猶予されています）。

新たな GMDSS では、これまで GMDSS 用として IMO に認められた通信衛星は、インマルサット衛星のみでしたが、新たな通信衛星として、アメリカのイリジウム衛星及び中国の北斗衛星が認められました。ただし、北斗衛星については、国際電気通信連合において他の衛星との周波数調整が終わるまでは、GMDSS としての電波の発射ができないので、現時点において、利用は不可能です。新たな通信衛星の追加に伴い、船主は、船の走る海域や通信料等を考慮して、インマルサット衛星かイリジウム衛星を選べるようになりました。しかし、航行警報や気象警報の地域担当国が、どちらかの衛星からしか放送しないと、放送していない衛星の通信機を搭載した船舶には警報が届かないという問題が起こることから、IMO で認めた運用中の全ての通信衛星を通じて航行警報や気象警報を放送することを義務化するための条約改正が、現在、IMO で審議されています。日本でも、インマルサット衛星に加

えイリジウム衛星からも放送できるよう対応中（一部対応済）ですし、もし、北斗衛星の周波数調整が終了し運用可能となれば、北斗衛星を通じて航行警報や気象警報を放送しなければいけないこととなります。

これ以外の通信機器の進歩として、船舶の遭難時に、衛星にむけて自動的に無線信号を発信し、各国の遭難救助当局に信号及びその位置を伝達するイーパブは、この信号の受信衛星の軌道が低軌道から中軌道に変更（これにより位置特定までの時間が短縮される）したことに伴い、新たな衛星に対応する新しいイーパブに変わっています。また、これまでの中波無線機や中・短波無線機は、相手と通信するための周波数は手動で行われ、熟練した技術が必要でしたが、自動的に周波数調整ができるシステムが追加されました。さらに、中波で航行警報や気象警報を受信し、自動的に印字するナブテックスについても、陸上局から船に、中波に加え短波でもデジタルデータの送信が可能となる、ナブダットの船用受信機の性能基準が定められ、このための運用マニュアルが作成中です。

さらに、今後、無線機器関連で審議予定となっているもので、「インターネット通信を利用するための指針の作成」と「VHF 音声通信のデジタル化のための移行枠組みの作成」があります。

インターネット通信に関しては、航海計器である電子海図情報表示装置、通称 ECDIS が、2026 年から、国際水路機関が作成した新たな電子海図基準を扱えるようになり、海図情報に加え、潮流等の航海情報や航行警報のような海上安全情報等が、インターネット経由でダウンロード、ECDIS へ自動的に表示できるようになったことから、インターネット通信を、どのように安全かつタイムリーに利用できるかの指針を作成することとなっています。

VHF 音声通信については、デジタル化することにより、より明瞭な音声で通信が可能になり、アナログより効率的な周波数利用でチャンネル数の増加もできることから、国際電気通信連合による周波数の検討に加え、IMO でも、どのようにアナログ無線機からデジタル無線機に移行していくかについて、移行のための枠組みを作成することとなっています。

### 3. 航海計器の進歩

航海計器は SOLAS 第 V 章で規定されていますが、この第 V 章では、航海計器のみではなく航行警報、気象情報業務、捜索救助業務、航路標識業務のような沿岸国義務、水先人の移乗施設や船長の義務等の航行安全に関する事項が規定されています。

船で使う衛星航法システムについては、IMO の定める世界無線航法システムに従って認証される必要があります。これまでは、アメリカの GPS、ロシアの GLONASS、EU のガリレオ及び中国の北斗衛星航法システムが認証されていましたが、地域的な衛星航法システ

ムとしてインドの IRNSS 及び日本の QZSS (みちびき) が、追加で認証されています。

電子傾斜計は、船長等の操船者に船舶の傾斜に関する情報を提供し、運航に係る適切な意思決定を支援すること、また、海難事故が発生した場合に、船体の傾斜状況を把握し事故調査分析に役立てることを目的として、船舶の横揺れ傾斜角及び横揺れ周期を計測し船橋で表示するとともに、航海情報記録装置 (VDR) に記録する機器ですが、3,000 トン以上のコンテナ船及びバルクキャリアについて、2026 年に搭載が義務化されることとなっています。

これまでの紙海図に変わり、ディスプレイ上で海図や関連情報を表示できる電子海図情報表示装置、通称 ECDIS は、SOLAS 条約により、2002 年から一定以上の大きさの船舶に搭載されるようになりました。この ECDIS は、国際水路機関 (IHO) が作成した S-57 による電子海図データを表示するようになっていましたが、この電子海図データや航行警報等の他の情報をインターネット等でダウンロードし、ディスプレイ上に自動的に表示できる、新たな電子海図規格 S-100 が IHO で作成されたことから、S-57 に加え S-100 電子海図も表示できるよう、ECDIS の性能基準が改正されました。新たな基準では、船で作成した航路計画を陸上の海上交通センター等に送信し、陸上から変更した航路計画を船に返信できる機能を追加されています。S-100 シリーズには、電子海図に加え、表層潮流、精密水深、航行警報、気象情報等の様々情報が電子化されて、インターネット経由でダウンロードできるようになり、航海の安全に寄与することが期待されています。ただし、前述の無線機器で述べたように、インターネット通信は、SOLAS や他の国際規則で規定されておらず、また、サイバーセキュリティ対策をどうするか等の問題があり、今後 IMO で利用のための指針作りが作成されることとなっています。

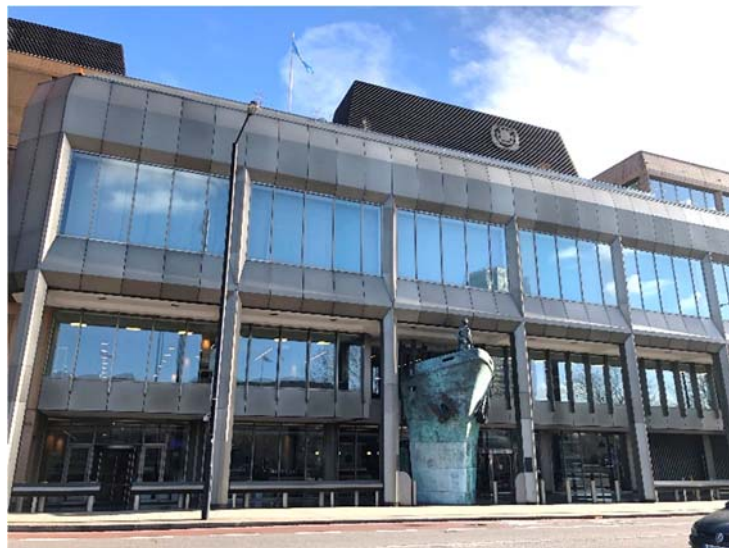
船舶の位置・速力・進路等の情報を、定期的に周囲の船舶に放送し、航海者が船の周囲の状況を把握するための船舶自動識別装置、通称 AIS も、ECDIS と同様、SOLAS 条約により、一定以上の船舶に搭載されるようになりました。この AIS は、SOLAS 条約に基づく船舶だけでなく、航行の安全に役立つばかりでなく、船の運航管理等の経済運航や海の船舶の動静把握にも資することが分かり、国内貨物船や漁船等にも普及してきています。この結果、AIS の電波が混雑してきたことから、この混雑解消と AIS 以外のデジタルデータを衛星も通じて送ることのできる、新たな AIS と言うべき、VHF データ交換装置、通称 VDES が開発されました。この VDES を AIS と同じように船舶に搭載できるようにするための、SOLAS 条約の改正作業が、現在、IMO で行われており、近い将来には利用が可能となることが期待されています。

#### 4. その他

前述のような無線通信機器や航海計器に加え、IMO では、現在、自動運航船が航行できるようにするための、新たな規則を作成しています。この規則は、任意でハイレベルな規則であることから、具体的な自動運航装置や無線通信機器の性能や搭載基準等については、さらに将来検討されることとなっています。この検討が開始されれば、SOLAS 条約第 IV 章や第 V 章についても改正が検討され、新たな機器やシステムが、将来、追加されるかもしれません。

#### 5. まとめ

本稿では、最近の IMO における船上機器の進歩について、概要をお話してきました。国際基準の作成現場は、英語に加え、多くの人に関係する大変な作業とされていますが、案外、数十人程度の小さな集団で作成され（もちろん、そのような機器を条約改正して搭載する場合は、大きな会議で多くの国の賛同が必要になりますが）、英語もたいしてうまくない人が参加しています。今後のデジタル技術の発展や気候変動、人口減少に伴い、さらに新たな機器や装置が誕生し、IMO で船の搭載について議論されていくことと思います。一度、そのような現場を見ていると、案外、楽しいかもしれません。



イギリス・ロンドン・エンバンクメントにある国際海事機関（IMO）  
IMO は国際連合（UN）の専門機関です

## バーチャル AIS 航路標識について

海上保安庁交通部企画課・航行安全課

海上保安庁では、船舶交通の安全確保を図るための取組みとして、船舶自動識別装置 (AIS) を活用し、航海用レーダー画面上にシンボルマークを仮想表示させる、「バーチャル AIS 航路標識」の運用を行っています。

AIS は、針路、速力などの船舶の動静に関する情報だけでなく、航行船舶の指標となるシンボルマークを表示させる機能を有しており、実際には存在しない航路標識を航海用レーダーの画面上において表示させることができます。

バーチャル AIS 航路標識は、実灯浮標に比べ、設置、管理が容易で迅速に実施できる利点があり、国際航路標識機関 (IALA) のガイドラインでは、気象、地形又は水路などの条件により物理航路標識の設置又は維持が困難な場合、船舶の通航パターンを効率化できる場合などに有効であるとされています。

一方、全ての船舶がバーチャル AIS 航路標識を表示できる環境にあるわけではないことなどの注意すべき点もあります。

国際的には、平成 16 年に国際海事機関 (IMO) において航海用レーダーの性能基準が改正されたことにより、航海用レーダーの画面上に AIS のシンボルマークを表示させることが義務付けられ、さらに、平成 26 年には、新シンボルマークが承認されました。

図 AIS 航路標識のシンボルマーク

	右舷標識	左舷標識	北方位標識	東方位標識	南方位標識	西方位標識	孤障標	立害標	安水標	全域標	特殊標	緊沈標	急船標
リアル・シンセ													
バーチャル													

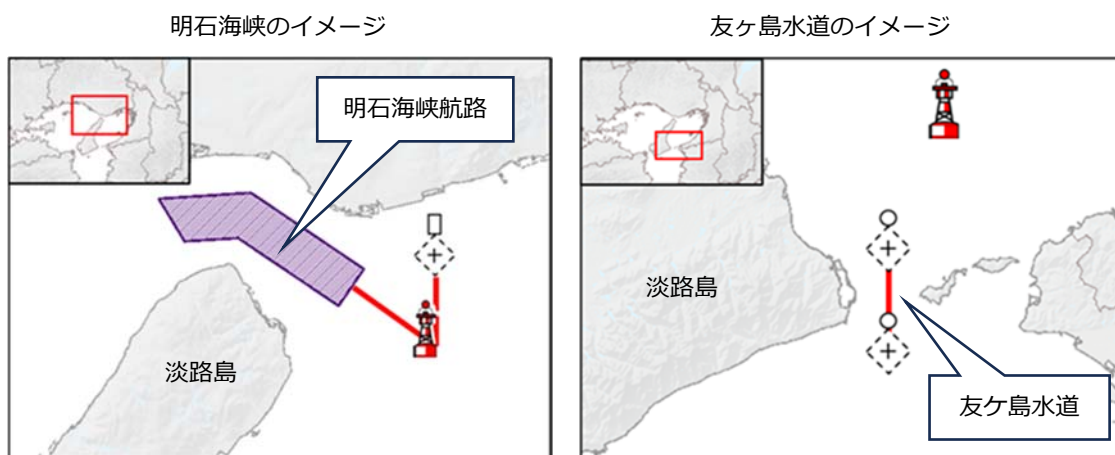
○ 我が国における最初のバーチャル AIS 航路標識

平成 20 年 3 月に明石海峡航路東口付近で発生した多重衝突海難を受け、官・学・民による航行安全対策検討調査委員会を開催し、同委員会において、船舶間の複雑な行き合いが生じる航路東入口付近での安全を確保するためには同海域の整流化が必要であり、そのためには船舶間に安全な距離を保持させ整然と航路に入航させることが最も重要である旨の結論を得たことから、海上保安庁では、平成 22 年 7 月から明石海峡航路東口付近に灯浮標を設置し、海上交通安全法第 25 条第 2 項の規定に基づく経路指定を行うことにより船舶交通の整流を図っています。

その後、平成 24 年 4 月から経路指定の基点をバーチャル AIS 航路標識により示す試行を開始しました。

また、由良瀬戸（友ヶ島水道）においては平成 25 年 3 月から同じく経路指定の基点をバーチャル AIS 航路標識により示す試行を開始しました。

両海域においても、その有効性が確認できたことから、平成 27 年 11 月 1 日より正式に運用を開始しています。



これ以降、推薦航路や経路指定箇所を示すためバーチャル AIS 航路標識の活用を行ってききましたのでその例を紹介いたします。

○ 伊豆大島西方海域の推薦航路について

東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海を結ぶ太平洋沿岸海域は、船舶交通量が多く、複雑な進路交差が生じ、重大海難が発生する蓋然性が高いことから、第 3 次交通ビジョン（平成 25 年 10 月、海上保安庁交通部）における課題として、船舶交通の安全性を向上させる取組みの検討を行いました。

平成 25 年 9 月、伊豆大島西方海域において発生した貨物船同士の衝突・転覆海難を受



け、官・学・民による調査研究委員会を開催し、同海域を対象とした船舶交通の整流化対策として、推薦航路を設置することにより船舶交通の整流化を図ることが望ましいとの結論が得られました。

平成 29 年 6 月の国際海事機関（IMO）による採択を経て、平成 30 年 1 月から伊豆大島西方海域の推薦航路の運用が開始され、同航路の両側端をバーチャル AIS 航路標識で表示しています。

#### ○ 潮岬沖海域の推薦航路について

第 4 次交通ビジョン（平成 30 年 4 月、海上保安庁交通部）に、東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海を結ぶ太平洋沿岸海域における安全対策として、伊豆大島西方海域に引き続き、潮岬沖の整流化対策の調査研究を実施することが明記されました。

官・学・民による調査研究委員会を開催し検討を進めたところ、潮岬沖にも推薦航路を設置することが望ましいとの結論が得られたことから、令和 4 年 11 月の IMO による採択を経て、令和 5 年 6 月から国内 2 例目となる推薦航路の運用が開始されています。

同航路も両側端をバーチャル AIS 航路標識で表示するとともに、推薦航路設定の検討において、推薦航路を航行する船舶の対象範囲が潮岬灯台の南 3.5 海里以内を航行する船舶となったことから、適用範囲を示す位置にもバーチャル AIS 航路標識を表示しています。

伊豆大島西方海域の推薦航路



潮岬沖海域の推薦航路



#### ○ 来島海峡航路西側海域の経路指定について

来島海峡航路は、潮流の流向によって通航方式が右側通航から左側通航に変わる世界で唯一の『順中逆西』航法が採用されており、航路の出入口付近において船舶同士の進路の交差が生じ、航路も大きく湾曲していることに加えて潮流も早いことから、全国でも有数の船の難所とされており、古くから海難が度々発生していました。

海上保安庁では、海上交通安全法の規定により来島海峡航路における安全対策を実施していましたが、同航路西側海域において令和3年及び令和5年に死者・行方不明者を伴う船舶同士の衝突が相次いで発生したことを受け、同種事故の再発防止を目的に、学識経験者、海事関係者、漁業関係者、関係官公庁が参加する航行安全対策委員会を開催しました。

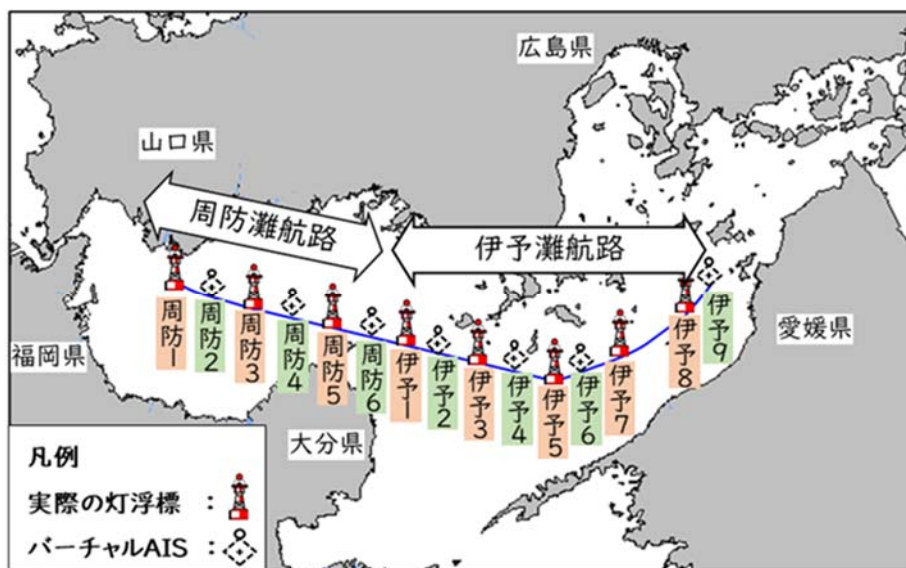
来島海峡航路西側海域の経路指定



同委員会での結論を踏まえ、来島海峡航路西口の入出航に係る経路の指定について、令和6年7月1日から運用が開始され、同経路の両側端にバーチャル AIS 航路標識を設置しています。

○ 伊予灘航路、周防灘航路における取組み

伊予灘航路、周防灘航路では、実在する灯浮標とバーチャル AIS 航路標識を交互に配置して推薦航路を示す取組みを平成30年10月から試行し、その有効性が確認されたことから、令和6年1月から正式に運用を開始しています。



○ バーチャル AIS 航路標識の緊急表示制度

令和3年7月、海上保安庁は、台風等の異常気象時における船舶の事故防止対策の一環として、バーチャル AIS 航路標識を一時的に表示する制度を創設しました。



本制度は、平成 30 年 9 月、関西国際空港の連絡橋にタンカーが衝突した事故などをきっかけとして、台風、津波その他の異常気象によって視界の悪化が見込まれる場合に、海上空港やシーバース、石油備蓄基地などの海上施設の付近に当該施設の管理者又は当庁が管理者に代わってバーチャル AIS 航路標識を一時的に表示することで、施設への船舶衝突事故の未然防止を図るものです。

令和 4 年 9 月、大型で猛烈な強さの台風第 14 号が近畿地方に接近することが予測されたため、阪神港堺泉北区に所在するシーバースの管理者からバーチャル AIS 航路標識を当庁が管理者に代わって表示することの申出があり、船舶の避難勧告等の発令に合わせて、制度創設後初となるバーチャル AIS 航路標識の緊急表示を実施しました。

緊急表示は、船舶の航海用レーダー画面上に施設の付近にあたかも航路標識が実在するかのようなシンボルマーク（バーチャル AIS 航路標識）を表示させて施設の存在をみえる化し、「衝突の危険があるので施設から離れて航行してください」、「錨泊する際は、施設の周辺を避けてください」との意図を伝えます。

2022 年台風第 14 号接近時のバーチャル AIS 航路標識  
表示イメージ（実際のレーダー画面を基に作図）



バーチャル AIS 航路標識を緊急表示したことなどによって、船舶が施設に接近して航行したり、施設の近くに錨泊することが回避され、台風の強風にあおられて針路を保てなくなったり走錨したりして施設に衝突する事故を防ぐことができました。

#### ○ 終わりに

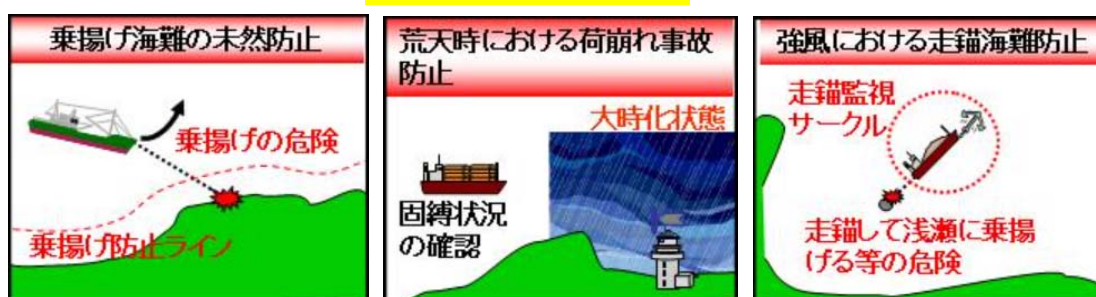
海上保安庁では、船舶交通の安全確保を図るため、これまでの実績も踏まえ、引き続きバーチャル AIS 航路標識にかかる取組みを進めていくこととしています。

## 海上保安庁による AIS を活用した航行支援システム

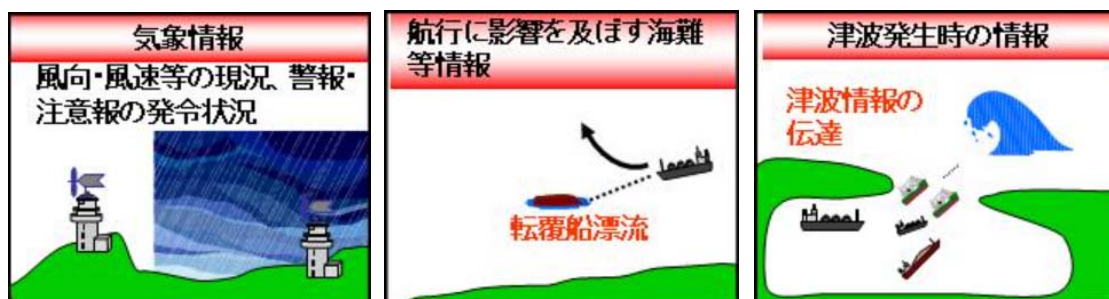
海上保安庁では、海上交通センター（海上交通センターがない海域においては管轄する管区海上保安部）から、AIS による情報提供を行っています。AIS を搭載している船舶は、次の事項を守ってください。

- AIS の電源を常時 ON
- 出港前に自船の AIS 情報が正しく入力されているか確認
- AIS 受信メッセージを定期的に確認

### 情報提供例（個別注意喚起）



### 情報提供例（各種の情報）



情報提供海域  
(青斜線部)



東京湾海上交通センター運用室

出典：海上保安庁交通部

[https://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/ais/ais\\_index.htm](https://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/ais/ais_index.htm)

## VDES 利用による安心・安全な海

(公財) 笹川平和財団 参与 工藤 栄介  
同 海洋政策研究所 客員研究員 渡辺 忠一

### ■ はじめに

少子化時代にあつて、海上が陸上と同程度に安心・安全、かつ、自由で迅速な情報交換可能な場でなければ、親は子供を海の業務に就くことを芳としないであろう。急速に進展する通信技術の支援を受けて、海での仕事や生活を豊かにできないか？ この問題意識を持ちながら、本稿を起すことにしました。

AIS (Automatic Identification System ; 船舶自動識別装置) 導入から約 25 年が経過しましたが、各種事由によって海上のデジタル化は陸上に比べ何周も遅れています。次世代 AIS とも称される VDES (VHF Data Exchange System) の概説と将来展望を述べます。

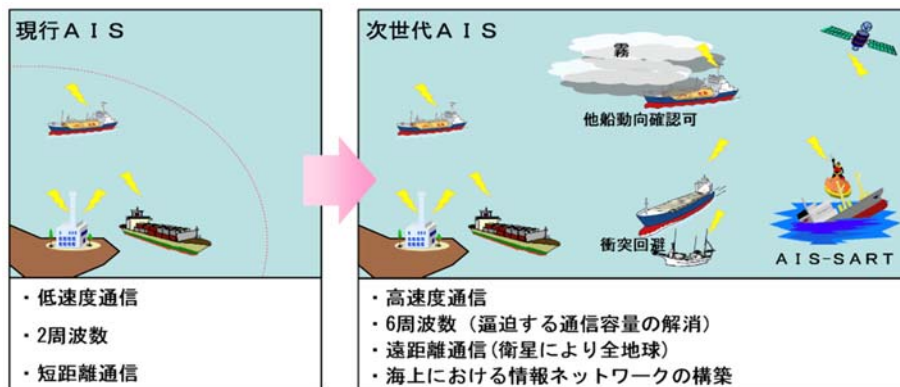
### ■ VDES (VHF Data Exchange System) とは

#### 1. 概要：

最近、AIS が普及したこともあり AIS 電波の容量不足が課題になってきた。そこで、AIS の課題を解決し船舶間ならびに船舶と陸上間で情報交換を確実にを行う通信手段として VDES が 2010 年代から IALA (国際航路標識機関) で考案され、IMO (国際海事機関) でも 2028 年にも AIS 代替の航行安全設備として規則化される状況です。(1)

VDES は現在の AIS 同様の周波数帯 (VHF 帯) を利用した双方向デジタル通信システムであり、国際 VHF や漁業無線等のアナログ通信と相互補完 (ハイブリッド) することで、確実な通信が可能です。(下図：次世代 AIS (VDES) 国際標準化のイメージ 参照)

この方式に衛星をリンクさせると、極海域を含むあまねく海が陸上と一体化したサイバー空間、即ち「衛星 VDES」となります。 **VDES = AIS + ASM + VDE + Sat**



<略語> :

- ・ VDES (VHF Data Exchange System)
- ・ 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

## 2. VDES の特徴 (メリット) :

上述の通り、VDES は AIS を包含しており、国際 VHF と極めて親和性が高いほか、次のような特徴があります。

- ① AIS では相手船が受信したことの確認が困難でしたが、VDES では、相手船の「AIS の船舶識別番号」を利用して、直接に個別の相互通信 (1対1) が容易にできます。  
即ち (i) 連絡したい相手船を正しく認識・特定して通信が可能で  
(ii) 相手船通信装置が受信したことの確認や  
(iii) 相手船の反応 (例えば時々刻々の操舵情報) 取得 が可能となります。  
因みに、現在の携帯電話や衛星 (Starlink 等) は、相手の「電話番号等」が判らないと通信できません。
- ② VDES の通信可能距離は数 10Km であり、携帯電話の通信域 (沿岸から約 10Km) 以遠の洋上でも利用可能となります。さらに衛星とリンクすることによって、同じ VDES 通信装置で、衛星直下の直径約 2,000Km の範囲が通信域となります。衛星機数を増やせば世界のあまねく海域にある、すべての船舶が船種を問わず利用可能となります。
- ③ 通信速度は AIS の 32 倍 (最大 307.2kbps) で、動画を送るほどの大容量にはなりません。船舶間・船陸間のデータリンクを確実に構成可能なシステムです。
- ④ AIS で問題になっている船舶の“なりすまし”やデータ改竄を防止すべく国際的な検討が進んでいるので、通信データの信憑性はより高いものになるはず。参考までに、Starlink 衛星、Inmarsat 衛星のブロードバンド通信 (Ka 周波数帯) は、政治的に利用できない国がありますが、地上 VDES は AIS 同様に世界中で利用できます。
- ⑤ なんとといっても一番のメリットは、AIS と同様に地上 VDES による安全に関する船舶間通信は基本的に無料となります。
- ⑥ 音声 (国際 VHF/漁業無線) とデータ (VDES) のハイブリッドで確実な通信が可能となります。即ち、デジタル通信の特性を活かして、皆さんも使われている LINE 同様



に文字+絵文字(ピクトグラム)通信も可能となります。また、漁労中など手許で VDES 端末が使えない場合でも、将来的にはパトランプ点灯、自動応答等によって通信が対応可能になると思われます。

- ⑦ アンテナは、AIS 同様に棒状の無指向性の簡単なアンテナで良く、端末も小型・軽量のものとなり、装置全体は省電力、低価格化が期待できます。なお、衛星 VDES は地上 VDES と同じ装置でシームレスに利用が可能となります。

### 3. VDES のユースケース：

IALA の検討結果は、ガイドライン (G.1117) として、IMO のアイデア他を含めて下記の通りまとめられています。我が国からも、「協調航法」他のユースケースを IALA に提言し採択されています。

また最近増加している“AIS なりすまし”への対策として VDES への期待が高まっています。

#### IALAガイドライン(G.1117)に記載のVDESユースケース

IMO e-navigation 戦略的実装 MSP サービス		その他のポテンシャル・ユースケース
MSP番号	VDES海事サービスの分類	
MSP-1	船舶交通サービス:情報サービス	<ul style="list-style-type: none"> <li>●R-MODE(GNSSのバックアップ)</li> <li>●メッセージフォワーディング</li> <li>●AtoN</li> </ul> <p>(以下は我が国から提言したユースケース)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●違法操業監視(IUU)</li> <li>●協調航法</li> <li>●海洋状況把握(MDA)</li> <li>●災害発生時緊急通信</li> </ul>
MSP-2	船舶交通サービス:航行援助サービス	
MSP-3	船舶交通サービス:交通整流サービス	
MSP4	港湾サービス	
MSP5	海上安全情報サービス	
MSP6	水先サービス	
MSP7	タグポート サービス	
MSP8	船陸間通報	
MSP9	海上遠隔医療支援サービス	
MSP10	海上支援サービス	
MSP11	水路図誌(海図)サービス	
MSP12	水路書誌サービス	
MSP13	氷海航行サービス	
MSP14	気象情報サービス	
MSP15	リアルタイム水路・海洋情報サービス	
MSP16	捜索救助サービス	

出典:「船舶航行と衛星VDES」(今津 隼馬、令和3年7月)



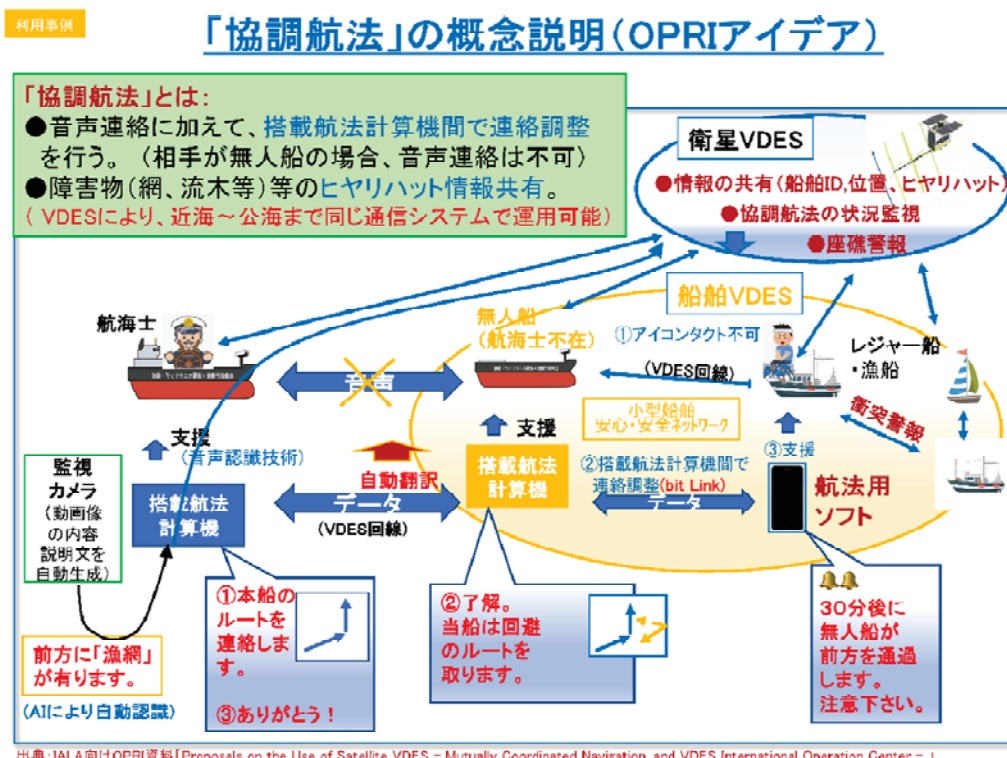
次に、「協調航法」他の詳細を説明します。

## ■ 「協調航法」による航行安全の向上

### 1. 概要：

現在、商船は国際 VHF を利用し、漁船は漁業無線／携帯電話を主として利用しているため、両者間の通信手段が極めて貧弱な状態です。このような状況下で「無人船」のプロジェクトが進んでおりますが、音声頼りの通信では乗組員がいない船とのやり取りはどうすればいいのでしょうか？

このような事情を背景に、海洋政策研究所は VDES を利用した「協調航法」（下記機能）を関係者に例示しております。（下図参照（2））



その骨格は下記の通りです。

- ① 音声に加えてデジタル通信を併用し、搭載計算機支援機能を活用した相手船への進路通知／調整を行う。【安全・安心の多重化】
- ② 航行の障害となる「漁網／流木等の位置」、AIS 信号を「断」にしている船舶の識別、航路筋を、周辺の船同士が共有したり、船舶からの海流情報等を入手する。【航行支援の共助】

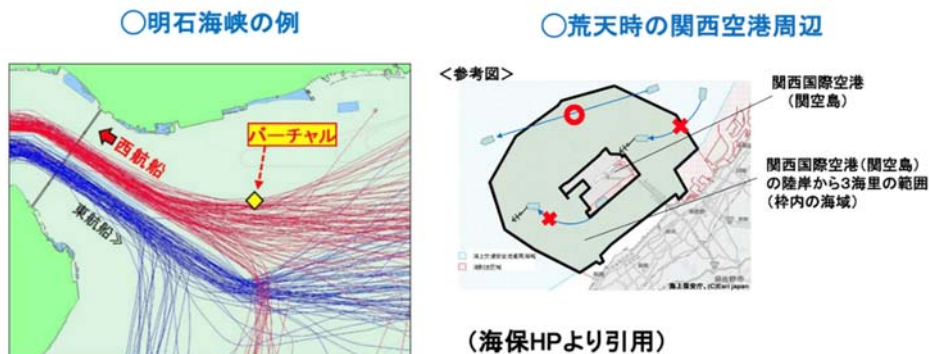
以下にもう少し詳しく説明をさせていただきます。

### 2. 危険海域の通報及び警告：

現在、海上保安庁等では AIS チャンネルを利用して「バーチャル AIS による航路明示」等



を実施しております。即ち、バーチャルなブイの位置情報を発信したり、本船側に走錨による座礁危険警報の発信が行われておりますが、今後、VDES 導入によりこのような通信は、ASM 通信として独自に割り当てられた周波数を使用し、通知メニューの増加が期待されま



今後の VDES 利用の発展型として、次のようなことも考えられます。

- ① 沿岸海上保安機関等は、該船の時々刻々の航跡情報を入手し、座礁の恐れがある場合には、該船に警報を発する。これは、海図や水路の情報が古かったりした場合に有効なバックアップになります。

**利用例 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ポイダンス(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、航海士のスマホに警告発信が可能(\*)**となる。(音声で警告通報を発信してもブリッジが無人の場合に有効)  
 (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)

(\*)現在開発中のBAM(Bridge Alarm Management)の機能に、航海士向けエージェント機能を追加し、重要アラームの場合、船内どこにいても、航海士に情報が届く仕組みで可能。

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

海上保安機関 (国内)

乗揚げ海難の未然防止

衛星VDESシステム

●世界中の船舶の動向把握  
●リアルタイム双方向通信  
(位置情報収集+陸から指示可能)  
(約60基のVDES衛星を整備する事で、常時接続が可能。)

今後移行

監視対象船 実航路 指定航路 浅瀬

①危険通報 航海士スマホに直接警報が届く

②回避操舵遠操(Op) 安全運行監視センター (第三者機関等)

- ② 大型船では船内 LAN 装備が一般になってきているので、VDES 経由で、当直員以外の該人のスマホにも警報伝達が可能になります。

3. 多言語対応 :

国際 VHF 利用時には、英語のみならず多種の言語が飛び交いますが、VDES のデジタル性を活かして、言語変換が容易となるため、国際間通信として利便性が高くなります。

因みに、最近のスマホ等では音声認識・翻訳がセンターサーバーの支援を受けて自由に行えますが、洋上では、センターサーバーとの高速通信が困難なため、船内装置だけで対応することが求められます。この理由から海洋政策研究所では 2021 年に Android スマホ単体でも翻訳ができることを確認しました。今後の技術進歩を受けて VDES アプリソフト（船内）で翻訳機能が一般化することが期待されます。

#### 4. 収集情報の二次利用：

船舶運航情報ならびに実海域目撃情報／ヒヤリハット情報／乗組員健康情報等の膨大なデータを収集し AI 分析することで、船舶の安全・乗組員の安心、そして最適航路選定による燃費改善（温暖化防止への寄与）が図られることが期待されます。

#### ■ VDES の貢献が期待できる分野

AIS の利用と普及の経緯を見ると、当初の予定以上に様々な利用が普及しています。従って、VDES の利用に関しては、前述のとおり IALA や IMO 等で検討深掘りが実施されていますが、将来は利用者各人の創意工夫・カスタマイズが可能になるため、現在の予測以上に利用事例が多くなることが期待されます。

例えば、下記①～④は、海洋政策研究所から IALA のユースケースガイドライン(G.1117) 向けに補足提案させていただいた項目（1）ですし、⑤については欧州／日本に於ける港湾管理関係者が検討されています。

- ① 違法操業監視（IUU）
- ② 協調航法（自律航行船のバックアップを含む）
- ③ 海洋状況把握（MDA）
- ④ 災害発生時緊急通信
- ⑤ 温暖化ガス排出削減（経済速度の運航状況を、航路全般で衛星 VDES を利用して観測／誘導することが検討されています。）

#### ■ VDES 導入を目指した内外の取り組み

##### 1. 各国の取り組み（国際動向）：

これまで、VDES に関する検討をしてきた IALA は、2024 年 8 月に政府間組織（IGO）に移行した。また、IMO では、2028 年 1 月に、関連規則の改訂施行を計画しており、各国で、実装／事業化に向けた活動が活発になっています。

なお、VDES 衛星は、ノルウェーが、北極海で静止衛星が見えないため、世界初の VDES 衛星／Norsat-2 衛星を打ち上げました。最近、Saab・AAC Clyde Space・ORBCOMM の

3 社も協業し VDES 衛星を打ち上げています。また、中国は独自に VDES 衛星通信実験を展開しており、昨年の IALA 会合では、北極海航路を睨んで、中国から日本海を経由してベーリング海峡まで、衛星 VDES 通信を行ったことを発表しています。

アジアでは、韓国が VDES アプリケーションに熱心で、シンガポールは港湾管理への適用を検討されています。また、2024 年秋開催のマラッカ協力フォーラムにて、VDES が話題に取り上げられ、しとすと社会実装の機運が高まっています。

## 2. 国内の取り組み：

わが国では、民間企業を中心に創設された「衛星 VDES コンソーシアム」が中心になって、海外とも連携しながら、VDES の事業化に向けた取り組みを実施しています。

また、VDES 衛星の技術開発は、2022 年度より開始された、「経済安全保障重要技術育成プログラム／船舶向け通信衛星コンステレーションによる海洋状況把握技術の開発・実証」において、事業化を視野に開発が進んでいます。

なお、海上保安庁ならびに総務省では、VDES 関係調査研究／委員会が開催され、実装備に向けたシステム検討や通信規則整備が進行中です。

## 3. 海洋政策研究所の取り組み

急進展する宇宙や通信分野の技術を海洋に利用するべく、海洋政策研究所では、2013 年から「海洋と宇宙の政策連携」を標榜し、海洋基本計画と宇宙基本計画に数次にわたり政策提言活動を行ってきました。(3)

その一環として、2020～21 年度「衛星 VDES に関する委員会」（委員長・東京海洋大学名誉教授・今津隼馬氏）を設置し、第 4 期海洋基本計画に衛星 VDES が新しい施策として位置づけられるようになりました。

また、国際航路標識機関に対しては、2020 年から ①衛星 VDES の全般的な審議促進、②「協調航法」など VDES の利用ケースの検討、③VDES 運用に関するガイドライン策定に関する IALA 向け提案等の活動をしております。

今後は、商船と漁船・小型船舶などが現場海域で通信が不自由な現状を改善すべく、VDES があらゆる船舶、あらゆる海域で、有益であることの実証試験をする予定です。(4)

## ■ 全船装備に向けた活動と今後の課題

海洋の安心安全を向上するためには、商船のみでなく、漁船・レジャー船他を含めた「全船舶」が、共通のコミュニケーション手段を持つことが大切です。このため、VDES に関連して、関係各機関が連携し、下記のような啓発活動が行われております。

- ① 国際機関等における政策検討ならびに標準化検討：

IMO では、2028 年 1 月の SOLAS 条約改正の発効に併せて関連する決議等を策定中です。ITU では、VDES 関連標準 (M.2092-1) を発行し現在、改訂版に向けた見直し中です。

② 有益性実証：

IALA/ESA (欧州宇宙機関) では各種実証試験結果が発表されていますが、海洋政策研究所でも上述の通り VDES の有益性実証事業の中で全船舶装備の啓発活動も実施中です。

③ 周知活動：

衛星 VDES コンソーシアムを中心に、AIS 未装備船向け VDES 利用も含めた提案/PR 活動を始めております。

④ 小型船舶用の普及型端末 (安価) の開発：

小型船向け普及のためには、安価な端末が有効なため、関係メーカーが検討を開始しています。

⑤ 法制面等の整備：

上記活動を踏まえて、衛星 VDES コンソーシアム/経済安全保障事業 (経産省) / 海洋政策研究所/関係省庁が連携し、最終的に法制化する等の検討が実施されることが期待されます。

⑥ 人材育成

少子高齢化時代の安心・安全を、デジタル技術で補完することも念頭に、海洋 DX 人材育成を、階層的に実施していく仕組みの検討が必要になっています。

## ■ おわりに

「海洋情報創造立国」の国是の下に、豊かで安全な海洋利用のための一手段としての VDES があらゆる船舶に社会実装される時が来ることを願い、この共通の目標に向け、関係各位のご理解とご協力をお願い申し上げます。

### <参考文献>

- (1) 「G.1117 VHF DATA EXCHANGE SYSTEM (VDES) OVERVIEW」  
(IALA Hp : <https://www.iala.int/product/g1117/>)
- (2) 「衛星 VDES を利用した「協調航法」について」  
(渡辺 忠一、日本航海学会 航法システム研究会 2021 年度春季研究会)
- (3) 「衛星 VDES に関する提言」  
(海洋政策研究所、2022 年)
- (4) 「衛星 VDES の有益性実証 事業について」  
(田中 広太郎、海洋政策学会年次大会、2023 年 12 月)

## レーダーの進歩 固体化レーダーの登場

古野電気株式会社 営業企画部 商品企画課 高島 恵美

### はじめに

従来の船舶用レーダーはマグネトロンを使用してマイクロ波を発生させていましたが、近年は固体素子（半導体）を使用して電波を生成するレーダーへの注目が高まっています。固体素子の英名である Solid State Device の Solid State の部分が和訳され、「固体化レーダー」という通称で呼ばれています。

### 固体化レーダーの仕組み

固体化レーダーは、送信出力がマグネトロンに比べて低く、送受信部の消費電力が低減されます。マグネトロンでは数 kW あった送信出力が、固体化では数十～数百 W の出力となります。このような低電力で高い探知性能を得るため、パルス圧縮という技術を用いてピーク電力を確保します。

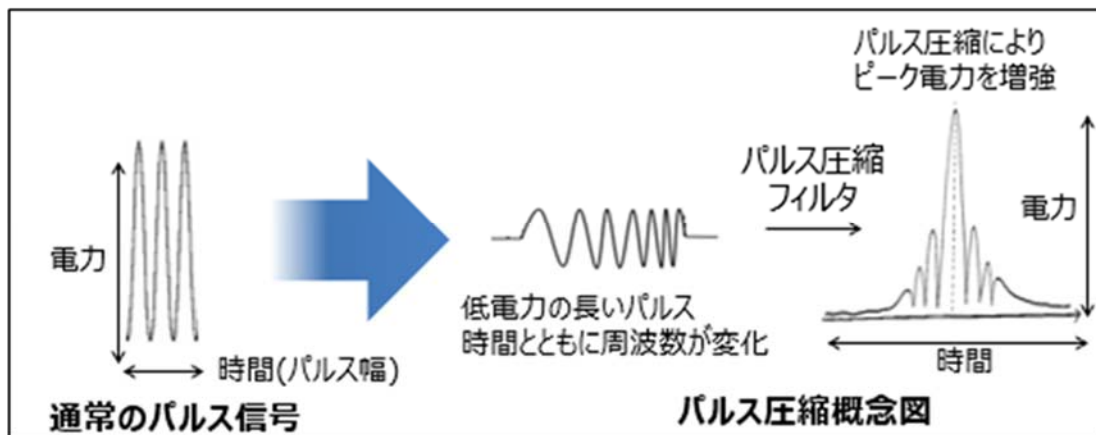


図1 パルス圧縮

### 固体化レーダーの利点

#### 1. メンテナンスコストと手間の削減

マグネトロンは使用するにつれて劣化が生じるため定期交換が必要ですが、固体素子は半永久的に劣化が生じないため、交換に伴うコストや手間を削減できます。

#### 2. 最小探知距離が向上

固体化レーダーは、受信時にパルス圧縮フィルターを通して受信信号のパルス幅を狭く

します。これにより距離分解能が高くなり、マグネトロンレーダーと比較して最小探知距離が向上しています。至近距離の障害物もクリアに捉えるため、狭水道の航行時などに役立ちます。

### 3. 安定した探知性能

マグネトロンレーダーでは経年劣化による探知性能の低下が避けられませんでした。固体素子の経年劣化は極めて少ないので、長期間に渡り安定した性能を発揮します。マグネトロンの消耗を気にして送信を止める必要もありません。

### 4. 余熱時間不要の即時送信

固体素子はマグネトロンと違って余熱が不要なため、電源を入れるとすぐに送信可能な状態となります。マグネトロンレーダーのように電源を入れてから数分間待機する必要はありません。

### 5. 送電波資源の効率的な活用

送信周波数にばらつきがあるマグネトロンレーダーと異なり、固体化レーダーでは決まった周波数の電波を生成することができます。占有する周波数帯幅が少なく、電波資源の効率的な活用に貢献します。

### 6. 電波干渉の減少

不要な電波の抑制が可能で、周囲への電波干渉を減少させることができます。

## 固体化レーダーの特長を活かした機能「ターゲットアナライザー™」

古野電気でも固体化レーダーを開発・実用化しており、さらに固体化レーダーならではの特長を活用し、今までにない新たな価値提案を行っています。

固体化レーダーでは、前述のとおり決まった周波数の電波を発生させることができ、位相が安定するため、その位相情報を活用したドップラ信号処理が行えます。これにより、マグネトロンレーダーにはない先進的なターゲット検知機能を実現できます。

古野電気の固体化レーダーに搭載されたターゲットアナライザー™機能は、固体化レーダーのドップラ効果を利用したターゲットの接近判定により、自船に接近してくるターゲットで衝突の可能性がある船を自動判定し、他の船とは異なる色で表示する機能です。危険物標だけを赤色で表示することで、視覚的にわかりやすくなり、早期の危険察知や進路選択、回避行動を支援します。また、レインモードは雨エコーを青色で表示します。雨エコーと危険物標、危険ではない物標を同時に表示することができますので、雨を避けながら航行する時に便利です。



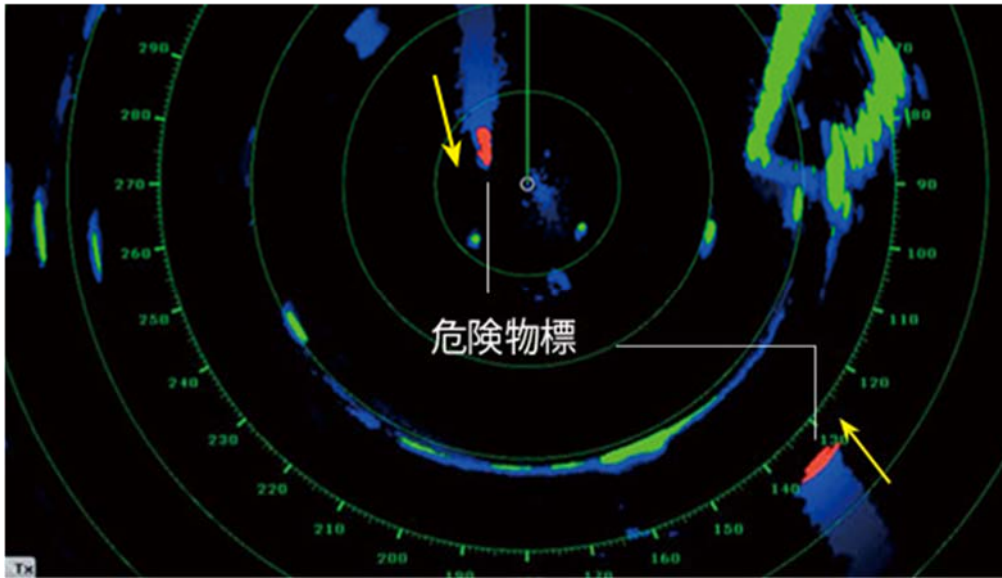


図2 危険ターゲットの色を変えて表現するターゲットアナライザー™機能

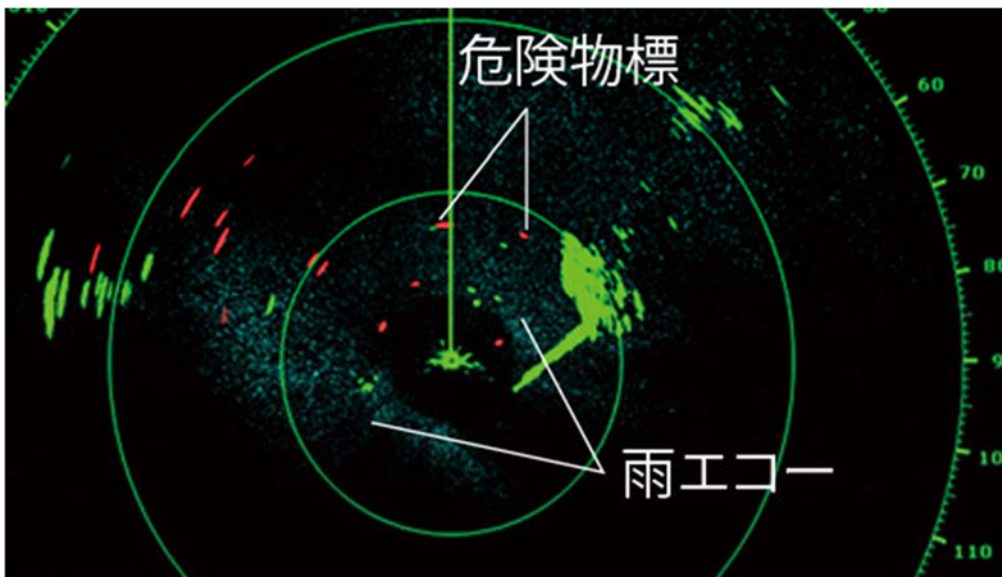


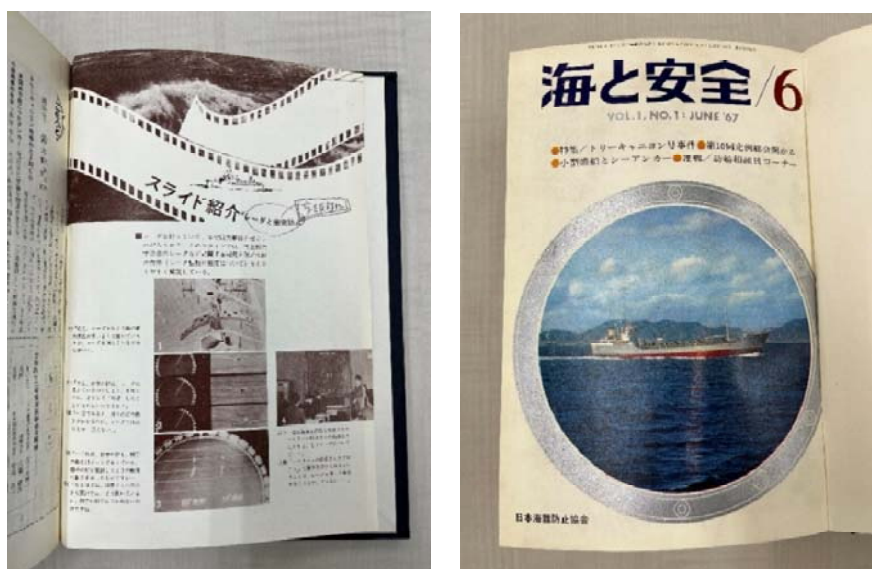
図3 ターゲットと雨雪反射のエコーの色が違ってわかりやすい

### 固体化レーダーの今後

レーダーの連続稼働が必要とされる大型商船や陸上の監視局では、マグネトロン交換不要というメンテナンス性向上の観点から、固体化レーダーの導入が増加しています。一方で、小型船舶への普及はまだ進んでいません。国内においては、小型船舶での固体化レーダー導入促進のため、2024年末、固体化レーダーの無線従事者免許を不要とする使用条件の緩和が総務省の官報にて発表されました。ユーザーにとって免許取得・更新の障害がなくなり、今後は広く固体化レーダーの普及が進むと見られています。

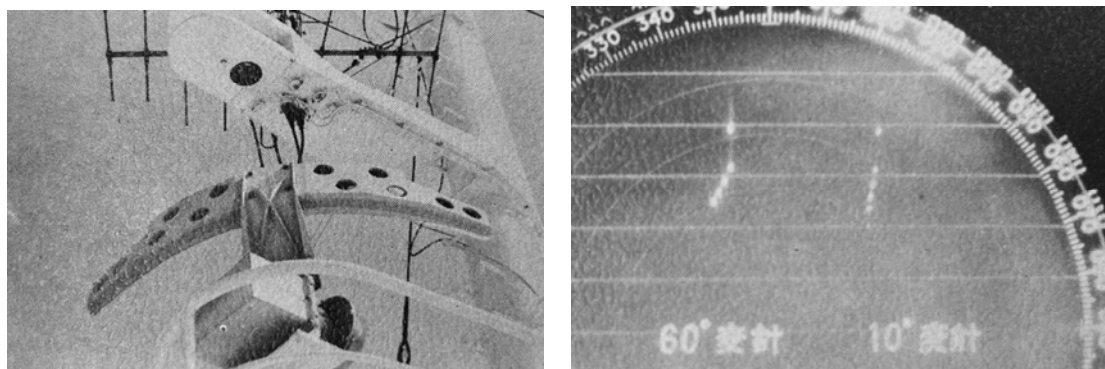
日本海難防止協会は1958年に創立し、「海と安全」は1967年（6月）に第1号が誕生しました。それまでは「日本海難防止協会報」という、冊子ではなく新聞形式で情報を発信していました。協会の書庫には協会報第1号から保存され、往時を偲ぶことができます。

さて、「海と安全」で一番古いレーダーに関する記載は何号か。探してみたところ、第1号には既に掲載されていましたので紹介します。



海と安全 第1号

「スライド紹介」という記載が見えると思います。第1号発刊の1967年度の事業計画を見てみますと、全国30か所で海難防止講習会、40地区で巡回講習会を行っており、「スライド映画の製作4本、幻灯機20台、同フィルム432本、映画用既成フィルム10本を購入」との記載があり、当時から視覚教育が行われていたことがわかります。ここで紹介されているスライドは、その中の一つなのでしょう。



当時のレーダーアンテナとレーダースクリーン

※「60°変針」と「10°変針」の文字は、教材のスライドに記載されたものです。

## 安全な航海をサポートする 「new pec smart」アラート機能のご紹介

株式会社マップル・オン 取締役 高橋 裕亮

小型船舶向け航海支援アプリ「new pec smart」の開発・販売を行なっている、株式会社マップル・オンの高橋です。今回は「new pec smart」の機能の一つである、「アラート機能」について紹介させていただきます。

先に「new pec smart」について簡単に説明させていただきます。

「new pec smart」は、(一財)日本水路協会が発行する航海用電子参考図 new pec を、iOS・Android スマートフォン・タブレット上で表示させる専用の航海支援アプリで、海上特有のハザード情報（浅瀬、魚礁、定置網など）や海底地形・大型船の航路・灯台といった、航海に必要な情報を網羅しており、沿岸小型船舶に備える海図の代替設備として、日本小型船舶検査機構（JCI）が定める要件を満たしております。

マップル・オンは、(一財)日本水路協会の new pec ファミリーの一員として、航海の安全に寄与しております。



「new pec smart」に表示させる地図は、オンラインで常に最新の情報を見る事ができますが、海上でオフラインになった時の為に事前にダウンロードしておくことも可能です。



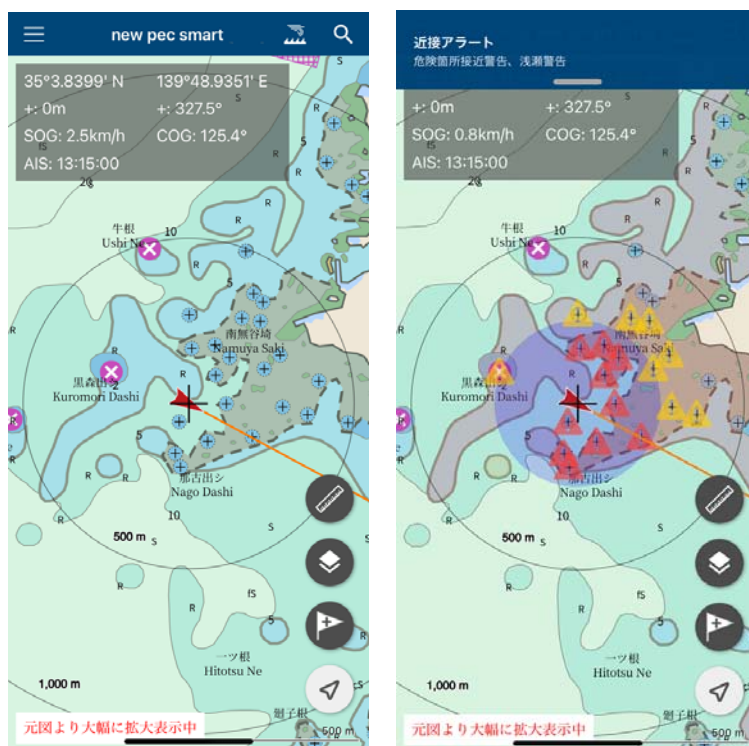
※ アラート機能は iOS 版にのみ搭載される機能で、Android 版は現在開発中です（2025 年 1 月現在）。



浅瀬や岩礁、他船が多い沿岸区域では、常にアプリを見ながら操船する事は危険です。そこで、new pec の持つハザード情報と、スマートフォンの GPS から取得出来る現在地・進行方向・速度から事前に危険を察知し、ユーザーへ聴覚・触覚といった視覚に頼らない方法で通知するのが「アラート機能」です。

アラート機能には「近接アラート」と「離脱アラート」の2種類があります。「近接アラート」は航行中に自船に危険が迫った時に、「離脱アラート」は走錨中や航海ルートから自船が離れてしまった時に、幾つかの方法でアラートを出します。

アラートには「注意」と「警告」があり、自船から設定した距離に浅瀬や危険箇所が迫った場合には黄色で「注意」を、さらに設定範囲を超えて近づいた場合には赤色で「警告」を示します。



通常画面

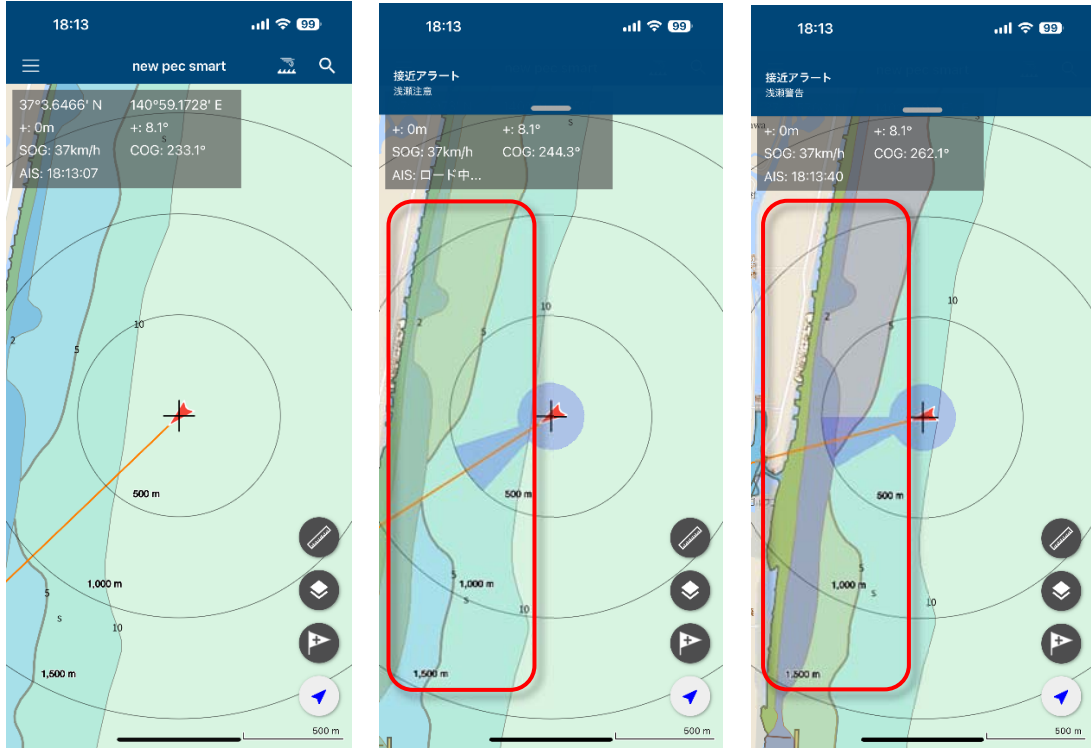
アラート機能有効時

アラートはアプリがホーム画面の状態でも確認出来る「プッシュ通知」、スマートフォンがポケットに入っても気づくように「音声」「バイブレーション」、画面を伏せて置いても分かるよう「フラッシュ」の4種類の方法が設定出来ます。

「近接アラート」には「浅瀬」、「危険箇所」、「他船 (AIS)」の3種類があります。近接アラートは自船に対して設定距離を全方位でサーチする方式と、航行速度によって自船周辺・針路方向の範囲を変更してサーチする方式が選べます。

■ 近接アラート 浅瀬

安全等深線や干潮帯等に自船が接近すると注意・警告を出します。



通常時

注意アラート

警告アラート

安全等深線（この画面では5m）に近づくと、等深線の内側が黄色に変わります。更に近づくと赤色に変わります。

■ 近接アラート 危険箇所

暗岩や洗岩などの航行危険障害物や定置網等に自船が接近すると注意・警告を出します。



## ■ 近接アラート 他船 (AIS)

当アプリでは、AIS (自動船舶識別装置) を搭載している船舶の情報を、インターネット経由で取得して表示する機能が搭載されています。

この AIS 情報から、自船と他船が接近すると注意・警告を出します。

他船アラート ➡

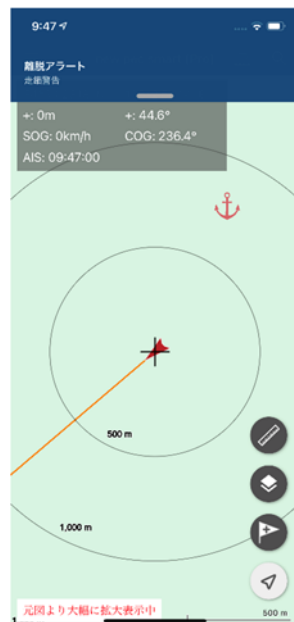
※ インターネットに接続出来ないエリアではこの機能は利用出来ません。あらかじめご注意ください。



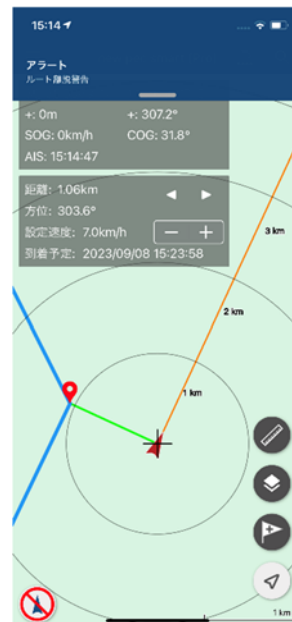
## ■ 離脱アラート

離脱アラートには、「走錨アラート」と「ルート離脱アラート」があります。「走錨アラート」は、錨泊 (アンカリング) する際に投錨地点を登録しておくことで、自船が流された場合に注意・警告を出します。

「ルート離脱アラート」は、航海計画を事前にアプリ上で作成し、ナビゲーションモードに設定している際に航海計画上のルートから離れると注意・警告を出します。



走錨アラート



ルート離脱アラート

最後に、当アプリは操船時の危険を回避する補助が目的のアプリですので、必ず目視による安全確認を行いながらご利用下さい。



## 三次元重心検知転覆予知波高計

東京海洋大学 教授 渡邊 豊

### 1. 頻発する原因不明な転覆事故

船舶の転覆事故は、古くから現在に至るまで発生し続けており、特に最近では大型船から漁船に至るまで、転覆事故の発生は顕著になってきている。例えば、2024年12月29日に生じたイスタール港でコンテナ船転覆事故は、岸壁に接岸中にコンテナを本船に荷役している最中に生じた<sup>1)</sup>。日本でも上記と同様な事故が最近生じている。2022年7月31日に、徳山下松港コンテナふ頭に接岸荷役中のコンテナ船が転覆した<sup>2)</sup>。現在のコンテナ輸送においては、コンテナ船に積み込まれるコンテナの重量、積載品目、仕向け地等のすべての情報は、荷役開始前にコンテナターミナルにより完全に把握されており、かつ、本船の燃料タンクと水タンクの残量、バラストの充填状況、喫水計測値なども、出航前にすべて明らかである。そのため、造船所で作成された排水量曲線図に基づき、本船の復元力計算（以後、既往理論と記す）が事前になされた後に、荷役作業が行われている。船積みコンテナの情報も、本船の船体と積載状態の情報も、明らかであるのに転覆事故が生じている事実は、注目すべきである。

さらに深刻であるのは、漁船の転覆事故である。例えば、2024年12月20日に青森県大間沖で生じたマグロ漁船の転覆事故<sup>3)</sup>は、その典型である。漁船は、沖に出てから漁獲するため出航前の船体と積載情報ありきの既往理論は適用不可である。大間の転覆事故で命を落とした船長は、漁業歴数十年の大ベテランかつマグロの初セリ入荷落札価格の日本新記録の保持者であった。この事実は、豊富な出漁経験を有し洋上での卓越した漁労操船ノウハウを有する漁業者においても、転覆限界を事前に察知することは難しいことを示している。

### 2. 三次元重心検知転覆予知波高計

この問題を解決するには、船体情報も積載情報も未知のまま転覆危険性を的確に数値で示す、新たな考え方が必要である。この目的で発明され開発されてきたのが、三次元重心検知転覆予知波高計である。同理論の考え方と実証は後述するとし、ここでは最新のプロトタイプを紹介する。図1左は、パソコン版のプロトタイプであり、必要となるハードウェアは、パソコンのほかネットショップで誰でも購入可能なモーションセンサー（アマゾンで六千円台）のみである。図1右は、マイコン版のプロトタイプであり、必要なハードウェアは、

マイコン(Raspberry pi Zero2 上位機種)、モーションセンサー、転覆危険度表示用のLED、そして、モバイルバッテリーである。



図1 三次元重心検知転覆予知波高計プロトタイプ (左: パソコン版, 右: マイコン版)

この技術に必要な入力情報は、モーションセンサーから得られる Heave (垂直方向の加速度) と Roll (左右方向への回転角速度) のみであり、船体情報も積荷や漁獲の積載情報も、一切無用である。

計測開始後に数分で船体重心並びに転覆限界重心が検知され、リアルタイムに転覆危険性が百分率で示されてゆく。合わせて Roll 限界角との関係から、転覆限界波高も示される。

### 3. 三次元重心検知理論

本理論は、既往理論とは考え方が全く異なる。まず、船体には左右同時に復元力が発生すると仮定し、この復元力をばね力学に相似させる。海面に波があってもある一定の水深以下では水中の揺動は皆無となることから、Roll の支点は船体の下方にあると仮定する。この仮定に基づき、船体には、①上下方向に単振動、②左右方向に Roll、③Roll 傾斜に伴う水平方向への変位、の3つが生じるとして、連立方程式を立てると、復元力のばね定数と質量が

消去されて、入力を Heave 周波数と Roll 周波数のみとして、重心( $l$ )、転覆限界重心( $l_{max}$ )、Roll 角( $\theta$ )、転覆限界 Roll 角( $\theta_{max}$ )、船体に影響を与えている波高( $h$ )、転覆限界波高( $h_{max}$ )が出力される 4) (図 2)。

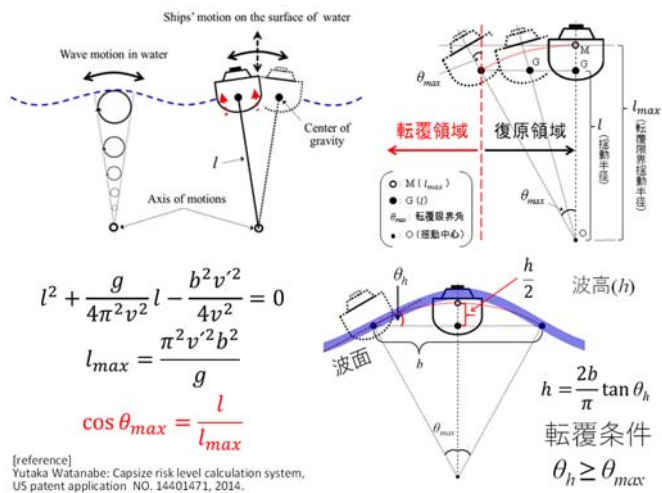


図2 三次元重心検知理論

#### 4. 基礎実証実験

気仙沼においてボート型の漁船と総トン数2トンの漁船を海面上に浮かべ、これらの船に、氷や海水を積み荷として積み込んでゆき、転覆させた。船内に図1に示したプロトタイプを設置して Heave と Roll を計測した。三次元重心検知理論をリアルタイムに適用した結果が図3である。転覆の瞬間に、転覆危険度は95%以上に達していた。転覆危険度が高くなれば、船体はわずかな傾斜でも転覆することを確認できた。



図3 三次元重心検知理論を実証した基礎実験（総トン数2トンの自走漁船）

#### 5. 応用実証実験

船舶は、陸上の輸送機関と異なり、その規模が桁違いに相違する。例えば、小型漁船や交通艇は数十トン、近海離島航路の船舶であれば数百トン、大型フェリーや外航船ともなれば数千トンから数十万トンにまで、規模が拡大する。したがって、三次元重心検知理論が船舶に適用できるか否かを検証するためには、規模の桁が異なる船舶のロールとヒープを計測して、三次元重心検知理論適用結果を比較検討する必要がある。そこで、規模の桁がそれぞれ異なる船舶に対して、三次元重心検知理論を適用することにした（図4）。

これらの船舶に乗船して図1に示したプロトタイプを船内に設置して、航海中に三次元重心検知理論を適用した。その結果を表1に示す。

船舶名称	船舶写真	運航主体	計測日	計測時間(分)	全長(m)	全幅(m)	総トン数
南海フェリー あい		南海 フェリー	2022年 9月15日	6	108	18	2825
福岡市営渡船 きんいん1		福岡県 福岡市	2022年 8月3日	6	27.6	8	120
福岡市営渡船 フラワーのこ		福岡県 福岡市	2022年 10月4日	6	31.2	10	169
福岡市営渡船 みどり丸		福岡県 福岡市	2022年 8月9日	6	29	6.4	94
やよい		東京 海洋大学	2024年 8月6日	6.9	17.8	4.3	19

図4 三次元重心検知理論適用船舶 5) 6)

船 船	計測結果		三次元重心検知理論適用結果				
	$\nu'$ (Hz)	$\nu$ (Hz)	$l$ (m)	$l_{max}$ (m)	$b$ (m)	$h_{max}$ (m)	$\theta_{max}$ (度)
南海フェリー・あい	0.203	0.147	6.511	10.182	10.182	11.983	50.249
福岡市営渡船・きんいん1	0.460	0.230	1.790	2.470	3.406	2.063	43.577
福岡市営渡船・フラワーのこ	0.335	0.197	2.901	4.213	6.111	4.097	46.486
福岡市営渡船・みどり丸	0.439	0.287	1.529	2.302	3.443	2.469	48.398
本学・やよい	0.527	0.391	0.943	1.490	2.307	1.797	50.735

表1 三次元重心検知理論適用結果

これを見ると、船型が大きいほど転覆限界波高  $h_{max}$  は大きくなる傾向を確認できるが、転覆限界角度  $\theta_{max}$  は船型によらず大差がないことも分かる。この理由としては、船体に影響を与える波高は、波の波長が Roll に伴う船体の水平方向への変位幅の2倍となるときに、顕著になるからと考えられる 4)。つまり、小型船に危険な波は、大型船にとっては周期が小さく波長も短いため、船体が複数以上の周期の波の上に乗る形になり船体は傾斜しない。これに対して大型船にとって危険な波長が長く長周期な波は、小型船にとっては、船体は始終波面にへばり付く形となり、波面に対しての船体傾斜は顕著にならない。

## 6. 大間転覆事故の原因究明

事故当日の事故海域の有義波高は約 1m であったと報告されている 3)。表1においてこの事故漁船と船型が比較的近いのは、東京海洋大学のやよいである。そこで、転覆限界波高 ( $h_{max}$ ) をこの事故に当てはめてみる。やよいの  $h_{max}$  は 1.797m と計算されている。この波高は、気象庁が公開している有義波高の解説 7) から判断すると、2~3 時間に一度は転



覆の危険にさらされる値（有義波高の2倍の値）となっている。さらに、事故当時に、この漁船が既にマグロの漁獲を得ていたと想定すると、その状態での  $h_{max}$  はさらに低い値になっていたと想定できる。気象庁の解説 7) によれば、10～20分に一度は有義波高の1.5倍程度の波高が出現するとのことであるので、転覆のリスクはかなり高い状態であったと想定できる。

この事実は、豊富な出漁経験を有し洋上での卓越した漁労操船ノウハウを有する漁業者においても、転覆限界を事前に察知することは難しいことを示している 8)。

## 7. 転覆事故防止研究における最も大切なこと

三次元重心検知理論を生み出す前に、不思議に思っていたことがある。転覆事故防止に関する既往研究がとても少ないことと、特に、実物の船舶を転覆させた既往研究がほとんど見当たらなかったことである。そう感じていた当時に、痛ましい韓国のセウォル号転覆事件が生じた。この事件の転覆原因は、いまだに完全には解明されていないが、諸説の中の一つに、過積載であったことがあげられる。運航船社が過積載を隠すために船底にあるバラスト水を抜き、その分より多くのトラックを船内に導き入れていた。確かにこの方法であれば、喫水鑑定結果を排水量曲線図に落とし込んでも、過積載を見抜くことはできない。しかし、現実には重心は上昇し、転覆一触即発の状態に出港したのであろう。

震災復興の縁を受けて、三次元重心検知理論は、気仙沼の諸氏の協力により、実物の漁船を転覆させる実験により実証された。同実験実施にご協力を賜った諸氏に、この場を借りて深く感謝の意を表する。

### 参考文献

- 1) <https://www.fnn.jp/articles/-/808044>, 貨物積み込み作業中に船体が傾き“転覆”積み方に問題あり バランス保てなかったか トルコ・イスタンブール | FNN プライムオンライン, アクセス日: 2024年12月30日.
- 2) <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001572071.pdf>, 徳山下松港内航コンテナ船転覆事故における 港湾分野の対応, アクセス日: 2024年12月30日.
- 3) <https://news.ntv.co.jp/n/rab/category/society/ra0c11661742564b67943e53ae052a0bdc>, 3億円の一番マグロ漁師が行方不明 青森県大間町沖で漁船転覆 発見された同乗者1人は死亡 初競りに向け出漁か, アクセス日: 2024年12月20日.
- 4) 渡邊, 転覆危険度算出システム, 特許番号 6131247, 2017年4月.
- 5) <https://nankai-ferry.co.jp/intro/>, 南海フェリー船舶紹介, アクセス日: 2024年11月18日.
- 6) <https://www.city.fukuoka.lg.jp/kowan/kyakusen/sennpakusyoukai.html>, 福岡市営渡船, 船舶紹介, アクセス日: 2024年11月18日.
- 7) <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/wave/comment/elmknwl.html>, 有義波、有義波高, 気象庁, 有義波、有義波高, アクセス日: 2025年1月3日.
- 8) 小野寺望鈴, 三次元重心検知理論に基づく海難事故分析, 東京海洋大学大学院修士論文, 2025年3月.

# 三次元重心検知転覆予知波高計



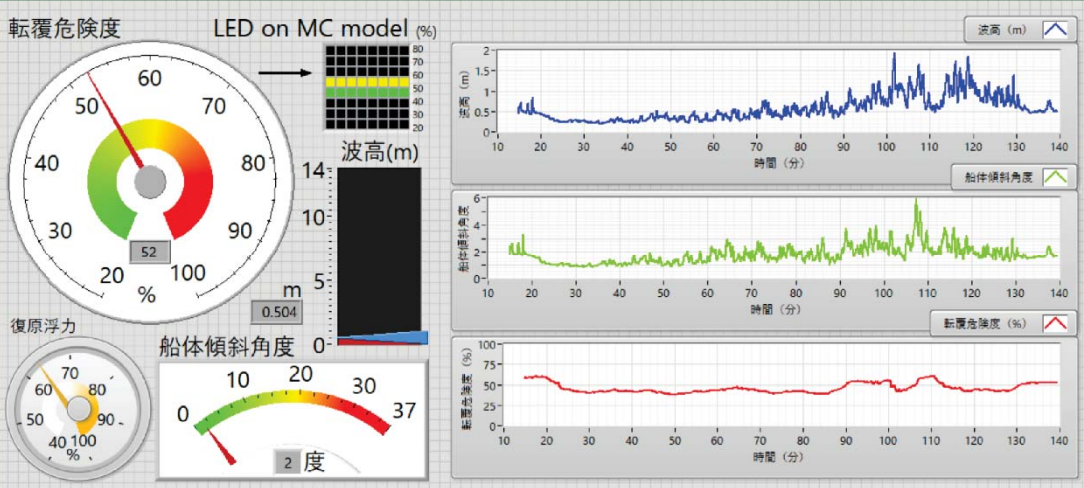
**実船計測実験例 中型フェリー**

- 航路：和歌山港 → 徳島港
- 計測日：2022年9月15日
- 波浪予報：1m ~ 1.5m

引用：南海フェリー

実船計測中

センサー



◎本技術に必要な入力情報は、モーションセンサーから得られるHeave(垂直方向の加速度)とRoll(左右方向への回転角速度)のみであり、船体情報も積荷や漁獲の積載情報も、一切無用です。  
 ≪東京海洋大学オープンラボ制度による製品化実施企業募集中≫