

3-1 船舶用レーダーの性能試験

塩田貞明 北澤弘則

IMO レーダーの試験規格は国際規格 IEC62388 に定められており、その中にはレーダーの性能に関する試験項目がある。性能試験の中に探知能力に関する試験があり、特定の物標を定められた条件下で、実際に使用する環境に近い状態で試験することも求められている。NICT では無線機器試験法の研究開発のひとつとして、船舶用レーダーの性能試験に関する試験法の開発を実施してきたので、その概要と成果を紹介する。

1 まえがき

情報通信研究機構 (NICT) では、電波法に基づき総務省からの委託により型式検定試験を実施し、それに伴う無線機器試験法の研究開発を実施してきた。型式検定とは、国際海事機構 (IMO) や国際民間航空機関 (ICAO) 等の国際条約に基づいた試験で、人命安全や救難システムに用いられる無線機器が遭難時などの厳しい条件下においても定められた能力を発揮できるかを判定する試験である [1][2]。

型式検定対象の無線機器の中には「船舶に設置する無線航行のためのレーダー」すなわち船舶用レーダーと言われるものがある。型式検定試験の対象となっている船舶用レーダーは、IMO が定めた性能基準に準拠して作られていることから、IMO レーダーともいわれているが、その性能評価基準や性能評価方法については、国際規格である IEC62388 "Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Shipborne radar - Performance requirements, methods

of testing and required test results" [3] に記されており、国内型式検定試験もそれに準拠して実施されている。

IEC62388 は、2004 年 12 月に開催された IMO MSC 79 (海上安全委員会：Maritime Safety Committee) にて MSC.192 (79) [4] として採択されたレーダーの性能基準改定案をもとに制定された“船舶用レーダーの運用と性能の最低要件ならびに試験方法と要求される結果”を示したもので、2007 年 12 月に初版、2013 年 6 月に改訂版 (Edition2.0) が発行され現在に至っている。

Edition2.0 の制定にあたっては、船舶の安全航行をより一層確保するための探知性能の向上、スプリアス規制に関する ITU-R の勧告への対応、周辺機器 (自動衝突予防援助装置：Automatic Radar Plotting Aids (ARPA)、自動船舶識別装置：Automatic Identification System (AIS) 等) との統合などが盛り込まれていったが、その際、航海士の意見を取り込むべきと IMO からの要請があったとのことで、探知性能については、従来からの規格に加え陸地、海岸線あ

表 1 IEC62388 Edition 2.0 に記載されているダグラスシーステイト [3][6]

ダグラス シーステイト	平均風速 kn	有義波高 m	シーステイト 説明
0	< 4	< 0.2	平坦、大変穏やか
1	5 - 7	0.6	穏やか
2	7 - 11	0.9	さざ波
3	12 - 16	1.2	普通
4	17 - 19	2.0	荒れている
5	20 - 25	3.0	かなり荒れている
6	26 - 33	4.0	高い

注 1 有義波高は、高い方から 3 分の 1 の波の平均波高 (山から谷まで) として定義される。個々の波及び／又はうねりは、重合して著しく高い波になり、物標を不明瞭にする結果をもたらすかも知れない。本表は、局地的な風によって形成される波のみに適用されるものである。

注 2 シーステイトの評価の主観的性質のため、本表の値は、おおよそのものである。

注 3 うねりは、波高の評価を大変困難にする。

3 無線機器の試験技術の研究開発

るいは船舶などの基準物標、海面反射も考慮した特定の海象（シーステイト：表1参照）下における探知能力試験なども追加され、より実際の運用状態に近い条件下での試験が要求されることとなった [5]。

ちなみに、国内電波法は IEC62388 の制定に伴い、無線設備規則あるいは型式検定規則等関連規則の改訂が実施され、2008 年 7 月 1 日から IEC62388 に準拠した性能要件が適用され、現在の型式検定試験が実施されている。NICT では型式検定試験を円滑に実施するため、上記改訂に対し国内で実施可能な試験法を検討・整備してきた。

IEC62388 で記されている性能試験 (Radar performance) は、送信周波数と干渉 (Transmission and interference)、性能調整とモニタリング (Performance optimisation and monitoring)、利得と干渉除去機能 (Gain and anti-clutter functions)、信号処理 (Signal processing) などいくつかの項目に分かれ

ているが、ほとんどの項目は屋内で実施可能な試験 (例えば、送信周波数の計測、受信感度の測定等) であるが、特定の試験は屋外で実施する必要がある、実際に被試験レーダーを船舶 (試験船)、あるいは海岸線に準備した鉄塔等に設置する試験方法で行う必要がある。本文書では、主に屋外で実施する性能試験について、これまでに実施してきた検討と成果を紹介する。

2 屋外における性能試験

2.1 測定場所の調査・検討

IEC62388 によると、屋外で実施するレーダー性能試験などは、海岸もしくは海上の試験船で行うこととしている。また、レーダーの性能試験は、通常、型式試験当局が選定した試験施設で行われるが、これらの試験施設周辺には、指定された試験で必要とされる試験物標及び地形があり、適当な水上試験距離を確保で

表 2 IEC62388 Edition 2.0 に記載されている基準物標 [3][6]

物標の種類 ^e	物標の特徴 海面上高さ (m)	探知距離 ^f	
		Xバンド (海里 (NM))	Sバンド (海里 (NM))
海岸線 ^g	隆起 60	20	20
海岸線 ^g	隆起 6	8	8
海岸線 ^g	隆起 3	6	6
SOLAS 対象船 (> 5,000 gross tonnage) ^g	10	1	11
SOLAS 対象船 (> 500 gross tonnage) ^g	5.0	8	8
レーダー反射器付 小型船 IMO 性能基準適合 ^a	4.0	5.0	3.7
コーナーリフレクタ付浮標 ^b	3.5	4.9	3.6
一般的な浮標 ^c	3.5	4.6	3.0
レーダー反射器無し 10 m 長小型船 ^d	2.0	3.4	3.0
水路標識 ^c	1.0	2.0	1.0

a IMO 改訂レーダー反射器性能基準 (MSC164 (78)) - レーダー断面積 (RCS) は、Xバンドに対し 7.5 m²、Sバンドに対し 0.5 m²。使用される反射器は、指定されている RCS から 50 % より大きく超えないこと。

b 物標は、Xバンドに対し 10 m²、及びSバンドに対し 1.0 m²と見なされる。

c 典型的浮標は、Xバンドに対し 5.0 m²、及びSバンドに対し 0.5 m²と見なされる。RCSがXバンドに対し 1.0 m²、及びSバンドに対し 0.1 m²の1 mの高さの典型的な水路標識に対して、探知距離はそれぞれ 2.0 海里 (NM) 及び 1.0 海里 (NM) となる。

d 10 m 小型船の RCS は、Xバンドに対し 2.5 m²、及びSバンドに対し 1.4 m²と見なされる (分布物標と見なされる)。

e 反射器は点物標と見なされ、船舶は複合物標、海岸線は分布物標 (岩肌の多い海岸線の典型的な値、しかしながら、それは外形による)。

f 実際に得られる探知距離は、大気の状態 (例えば、水蒸気ダクト)、物標の向きや速力、物標の材質及び構造を含む各種要素に影響される。これら及びその他の要素は、全ての距離にわたって、物標探知の性能を高めたり、低下させたりもする。レーダー反射は、探知距離と自船位置の間で、アンテナと物標の中心高さ、物標の構造、シーステイト及びレーダーの周波数のような要素に依存する信号マルチパスによって、減じられたり、高められたりもする。

g IEC62388 Ed.2 Annex D.7 参照

注 1 RCS 値は、物標の特徴や向きによって 30 dB 程度で変化し、探知距離の変化に帰着する (IEC62388 Ed.2 Annex D 参照)。

注 2 探知距離の性能予測は、CARPET によるソフト計算から得られる (CARPET: レーダー性能解析ソフト: コンピューター支援レーダー性能評価ツール)。

きることが条件となっており、IEC62388で記されている最小限のクラッター（レーダー画面上の擾乱のことで、海面反射、雨雪反射などに起因する）における探知距離（Range of first detection in minimal clutter）の要求は表2のとおりで、これらの物標が可能な限り確認できる状況でなければならない。

さらに、探知能力の試験に関しては、クラッターのない穏やかな海での試験ばかりでは無く、シーステイト2～5のクラッターが存在する状態で探知能力を確認する試験もある。よって、試験場所としては、シーステイトの低い穏やかな状態が続くばかりではなく、ある程度シーステイトの高い状態も得られる海域等を選定する必要がある。

また、性能試験としては上記に示した物標探知能力のほか、基本精度（距離あるいは方位精度）、最小距離（物標を識別できる最も近い距離）、方位分解能あるいは距離分解能の試験といったレーダーの基本性能を確認する試験も実施する必要があるため、これらも考慮した試験場所の選定が必要となる。よって、試験場所の選定にあたっては、試験当局担当者ばかりではなく、船舶用レーダーに精通した有識者の助言等を得ながら調査を実施した。

国内電波法が施行された当初は、試験場所となる特定の海岸線（海岸線沿いの場所）、あるいは試験船を確保することが困難であったことから、東京湾アクアラインの海ほたるパーキングエリアの一部を借用し、その近隣を航行する船舶などを確認することで暫定的に試験を実施した。しかし、この海域は比較的海象の穏やかな状況が続き、探知能力を確認するために基準となる試験物標なども少なく、また、航行する船の大きさや距離は、その時々で変わってしまうことなどから、試験条件を満足する特定の海域あるいは海域を航行することができる船舶（試験船）が必要であるとの判断に至り、海岸線沿いの試験場所の確保、試験船の確保の両面から調査・検討することとなった。

2.2 海岸線にレーダーを設置した試験

IEC62388によれば、海岸線に被試験レーダーを設置した状態で試験してもよいこととなっているが、海面から15 mの高さにレーダーのアンテナが設置できることや規定の試験物標が確認できること、シーステイト2～5の状態が発生する可能性が高い海域であることが必要な条件となる。また、レーダーの要求性能として最小距離の規定もあるが、その規定値はレーダーの設置場所から水平距離40 m以内となっている。海面から15 mの高さを確保するには、必要に応じてレーダーを設置することができる鉄塔等を設置することとなるが、最小距離の確認試験を実施することを考

慮すると、常時発生するクラッターの原因となる地面からの反射をできる限り減らすため、被試験レーダーはできる限り海岸線（海沿い）に設置できることが必要となる。

これらの条件を考慮し、シーステイト3以上の状態が発生する可能性が高い海域として日本海側、さらにNICTからのアクセスなども考え、新潟県糸魚川市親不知海岸を中心とした、富山県入善町から新潟県上越市名立までの約100 kmにおける海岸線を調査対象とし試験場所の調査を行った。

調査の結果、IEC62388の要求条件（表2）で規定されている全ての物標が一度に確認できる場所は見つけることはできなかったが、シーステイトの条件や、近くの定期航路や漁協からの備船により特定の船舶を物標とした試験ができること、規定された海岸線がいくつか確認できること、さらに、海域に特定の物標（ブイなど）の設置が可能なことなど、試験場所としての条件を満たす項目が多いことから新潟県上越市有間川漁港付近を選定し、ここに試験サイトを整備することにした。

有間川に整備したレーダー性能試験サイト外観は図1のとおりである（注記：本試験サイトの場所選定・設計等はNICTで実施しているが、施工及び管理の主体は型式検定試験を担当する総務省である）。鉄塔の高さは、被試験レーダーを最上部に設置したとき、アンテナの高さが海面から約15 mの位置になるように設計されている。船舶用レーダーには送受信機がアンテナ筐体と一体となっている2ユニット型（Up Mast型とも言う）と送受信機が別の筐体となっている3ユニット型（Down Mast型とも言う）があるが、3ユニット型の試験を実施するとき、送受信部を設置するための場所（箱）を鉄塔の直下に準備した。レーダーの指示部（表示器）は観測室に設置され、ここから海の状態を見ながら試験を行うことができるような構成になっている。

海上には各試験を実施するために基準となる物標

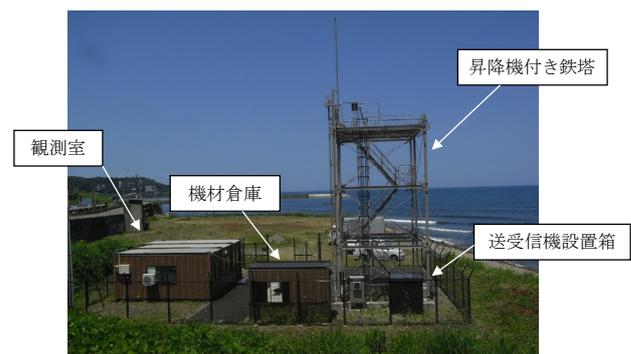


図1 有間川レーダー性能試験サイト

3 無線機器の試験技術の研究開発

(基準物標)を特定の位置に設置する必要があるが、レーダーより40 m及び1海里(以下NM)の位置に基準物標を準備した(図2参照)。

40 mに設置した物標(図3)は、繊維強化プラスチック(FRP)の支柱に海面から3.5 mとなる位置にレーダー反射断面積10 m²(X-bandにおける値)のルーネベルグレンズを取り付けた固定物標である。

1 NMの物標は、当初、水深があることから図4のような浮揚式スパーブイ(浮揚式のブイであるが長いチェーンを使わず本体が海中に伸びた構造。設置中心からの移動が少ないことや、波等による傾きが小さいという利点を持つ)を用いて海上に固定設置していた。しかし、冬期の有間川沿岸海域は、海が非常に荒れた状態が続くことがしばしばあり、その間ルーネベルグレンズの取り付け金具が破損してルーネベルグレンズが流失したり、支柱自体が折れて流失したりするなどのトラブルが発生した。また、ブイを固定するために海中に設置されているチェーン等のメンテナンスにコストと時間がかかることや、試験実施期間以外には本

試験サイトは無人死亡してしまうことなどから、人のいないときに固定物標が破損あるいは流失してしまった場合などに迅速な対応が難しいことを考慮し、現在は海上への定常的な固定設置はせず、試験実施期間中のみアンカーにて所定の位置に物標(図5の左側)を設置する方法を取っている。

海上に設置する基準物標は、海域の荒れた状態の試験でも使用する必要があることから、移動(海上への設置あるいは撤去)が容易で、海象の悪い状態でも破損・流失のない強固な試験物標の開発が今後の課題となっている。

実際の試験では、上述した海上の特定位置に設置する基準物標と、海上を移動することのできる基準物標を用いて実施する。方位分解能試験あるいは距離分解能試験は海上の2つの物標がレーダー画面上で分離されたときの実際の距離を測定するが、その際海上を移動する物標として、小型エンジン付きのボートにルーネベルグレンズを取り付けたものを準備し(図5:右側)、固定物標を中心に距離方向あるいは方位方向に



図2 有間川レーダー試験サイト(鉄塔側から海を見た景観)



図4 1 NM 固定物標(スパーブイ方式)



図3 40 m 物標



図5 1 NM 固定用物標(左側)と移動物標(右側)

移動させることで試験を実施している。

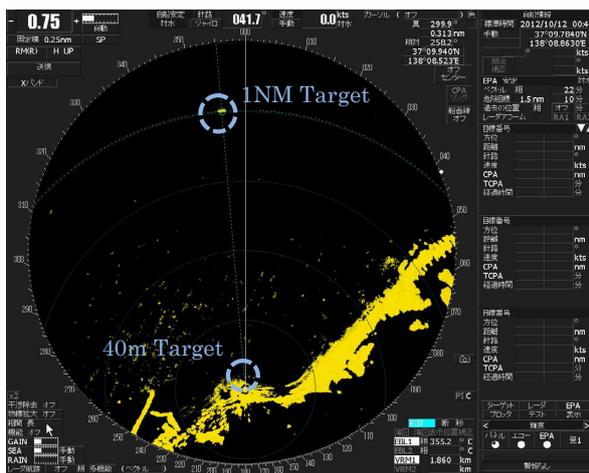
一例として、有間川試験サイトに設置したレーダーから観測できる基準物標と、それを利用した方位分解能試験のレーダー映像を図6に示す。

探知性能試験としては、その他、有間川試験サイトから確認できる定期航路船(直江津-佐渡島(図7:あかね))や有間川漁港の漁船、試験サイトから特定の距離の海岸線や岸壁を観測することにより実施するが、それらの物標が性能評価用として適当なものかについても、性能が既知である基準レーダーの受信電力から当該物標のレーダー反射断面積(RCS: radar cross-section)を評価し、IEC62388に記載の情報(Annex D: Factors that influence target detection等)を考慮しながら試験の妥当性について検証できるよう準備してきた。

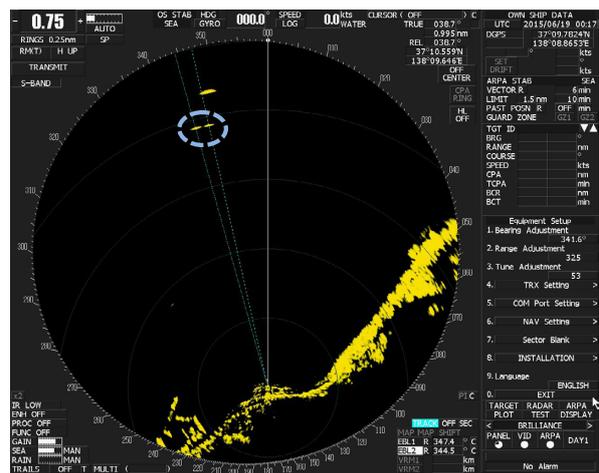
物標のRCSは、レーダーより出力されるビデオ信号(レーダー受信機で受信・検波した信号)を取録し、

そのレベル変動から推定する(図8は収録したビデオ信号の表示画面例。Aスコープは縦軸:信号レベル、横軸:時間、Bスコープは縦軸:距離、横軸:方位の表示である)。

有間川試験サイトで試験をする上で、規格への適合性判定を難しくしている要因としては、有間川試験サイト沿岸海域でよく発生する波面の揃ったうねりによる海面反射の影響がある。波面の揃ったうねりは、レーダー画面上では長く連なった映像となるため、特定の物標を確認(分離を評価)することを難しくする場合がある(図9)。特に分解能の試験においては、距離あるいは方位方向に置かれた2つの物標が問題なく分離されていることを確認するため、10あるいは20スキャン(画面の更新回数)のうち8あるいは16スキャン以上、2つの物標が分離されていることを確認しなければならないが、ここにうねりが重なると分離の判定を難しくしてしまうことになる。また、レーダーから



(基準物標)

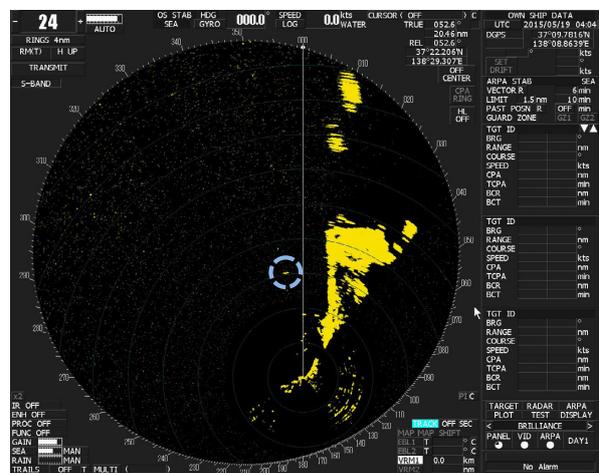


(方位分解能試験)

図6 鉄塔に設置したレーダーより観測される映像



(佐渡汽船:あかね)



(遠距離感度:あかねを観測)

図7 鉄塔より確認できる船舶の一例

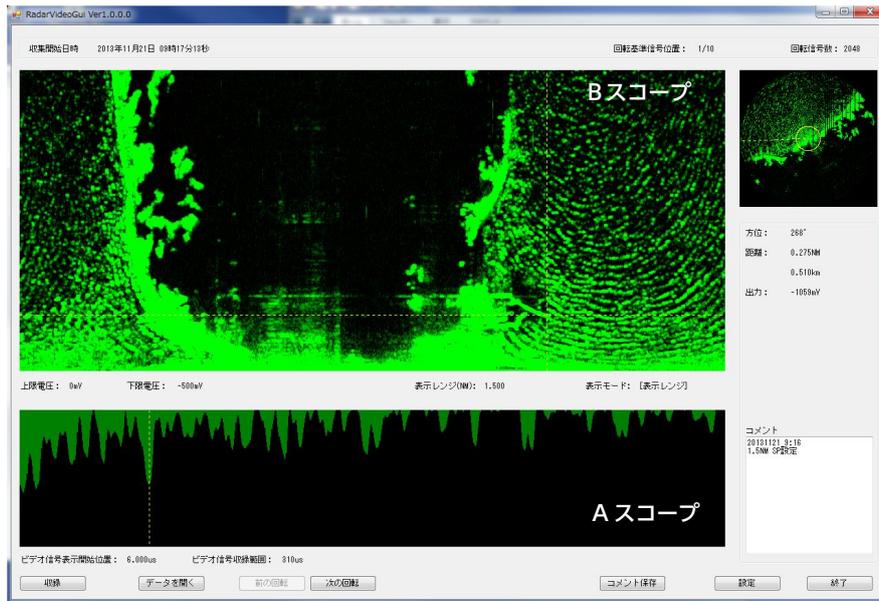


図8 レーダービデオ信号収録装置の表示画面

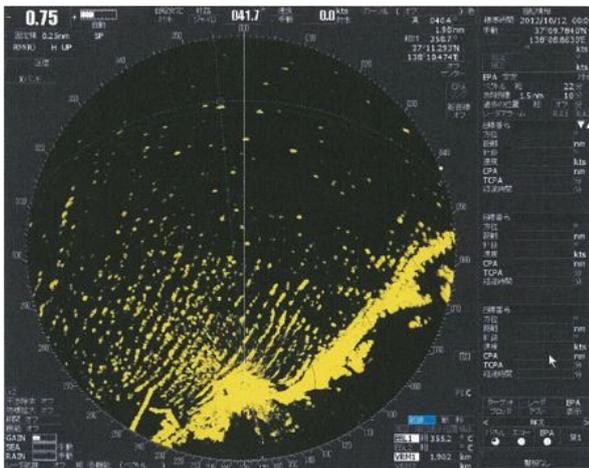


図9 有間川試験サイト付近のうねりのレーダー映像

40 m 以内で物標が探知できることを確認する試験項目もあるが、こちらも同様に陸地と 40 m に設置した物標の間に連続的にうねりが重なると、陸地と物標の分離を確認することが難しくなる。このようなうねりの影響を避けるため、うねりの特性を観測し、うねりの影響が比較的少なくなるような位置へ基準物標を配置してきた。しかし、本試験サイトで試験あるいは評価実験を重ねるうち、当初想定していたうねりの発生方向や、それに対する基準物標（特に 40 m の位置に設置した固定物標）の設置位置にズレがあることが判明し、基準物標の設置位置の見直しが必要であることが分かってきた。有間川試験サイト付近の海域は、刺し網漁の重要な漁場であることから、物標の海上への設置、特に固定物標の設置位置は地元漁協との協議の上の実施してきたこともあり、簡単に変更することはできないが、今後改善していかなければならない課題

となっている。

また、有間川ではダクト効果と思われる、見通し距離よりも遠い距離で物標が探知される状態が、しばしば発生することが確認されている [7]。探知能力の要件は、ダクト効果の無い状態が条件となっているので、試験サイト付近でダクトが発生する条件について調査し、試験結果に影響が出ないように試験方法を改善していく必要がある。

さらに、図5に示したように現在海上に設置している物標は、レーダー反射器の高さが、海面から 3.5 m の位置になるようボート上に設置したものであるため、トップヘビーで少々不安定な構造となっている。そのため、海象が少し悪くなると動揺が大きくなり、RCS の変動も大きくなってしまふことから、試験に支障をきたすこともあった。IEC62388 では、海象の悪い状態における探知能力確認試験もあることから、海象の悪い状況でも安定して試験ができる試験物標や試験環境を整備することも今後の課題と考えている。

2.3 船舶に被試験レーダーを設置した試験

IEC62388 によれば、レーダーの性能試験は船舶に設置した状態で実施しても良いこととなっているが、船舶に設置した状態で試験の方がユーザーの立場に立った性能評価となることは明白である。よって、NICT では被試験レーダーを実際の船舶に設置した試験についても検討・実施してきた。

試験海域は 2.1 で記した条件を基本として調査し、有間川試験サイトから近い位置にあること、IEC で規定されている物標の条件に近い物標が確認できることなどから、富山湾及び能登半島沿岸を船舶を用いた試

験海域として選定した。確認できる物標等を考慮しながら決定した試験海域及び試験ルート（試験船が航行するルート）の概略を図10に示す。

被試験レーダーのアンテナの高さは海面から15 mに設置する必要があることから、漁船等の小型船舶では規定の高さに確保するのは困難である。よって、499トンクラス以上の船舶で、規定の高さにアンテナを設置できる船舶の借用を調査した。図11は試験ルートの調査などで協力頂いた船舶であるが、総トン数745トンの船舶で、第二レーダーの設置位置が海面から高さ15 m付近となり規定を満足するものであった。

船舶を用いた性能確認は、上記海域に設置されている浮標、航行する船舶、島、海岸線などを表2に記された規定の試験物標に近い実在の物標を持って観測することにより行う。試験ルート1では主として七ツ島の大島(海拔約62 m)あるいは荒三子島(海拔約59 m)を20 NMの距離から観測することを、試験ルート2

では主に虻が島(海拔約4.5 m)を8~6 NMの距離から確認することを、それぞれ想定したルートである。また、その他表2に記載されている物標については、七尾港及び富山港付近に設置された浮標や、往来する船舶により実施することが可能であることを確認している。

試験ルート1では主に遠距離感度の試験となる「Xバンドレーダー及びSバンドレーダーにおいて20 NMの距離から検出する海面からの高さ60 mの海岸線」を観測する試験を実施することになるが、対象物標の外観とレーダー画面での表示例を図12、13に示す。

試験ルート2の虻が島は「Xバンドレーダー及びSバンドレーダーにおいて8 NMの距離から検出する海面からの高さ6 mの海岸線」あるいは「Xバンドレーダー及びSバンドレーダーにおいて6 NMの距離から検出する海面からの高さ3 mの海岸線」を想定した



図10 船舶における試験時の試験海域と試験ルート



図11 試験物標調査などに使用した船舶と試験風景



図 12 大島(左: 海拔 62 m)と荒三子島(右: 海拔 59 m)

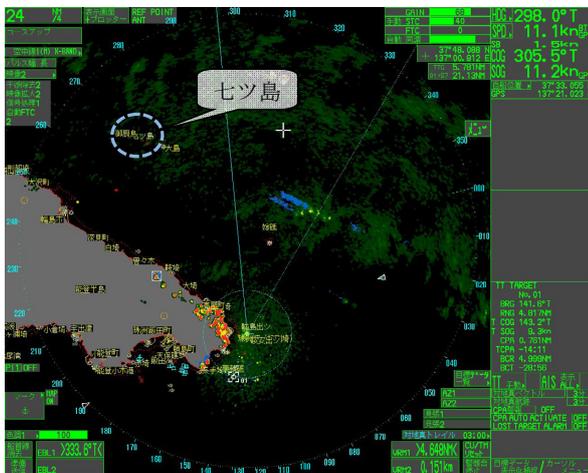


図 13 20 NM の距離から七ツ島を観測したレーダー画像

ターゲットとなる。また、富山港付近に設置されている浮標あるいは七尾港に設置された航路ブイなどを「X-band レーダーでは 4.6 NM の距離から、S-band レーダーでは 3 NM から検出する一般的な航路ブイ」、「X-band レーダーでは 2 NM の距離から、S-band レーダーでは 1 NM から検出する水路標識」あるいは「X-band レーダーでは 4.9 NM の距離から、S-band レーダーでは 3.6 NM から検出するレーダー反射器付き航路ブイ」として観測することを想定したルートとなるが、対象物標の外観とレーダー画面での表示例を図 14、15 に示す。

日本において使用されている浮標式(航路ブイ)の RCS は、IEC62388 で規定されているコーナーリフレクタ付浮標(X-band レーダーでは 10 m²、S-band レーダーでは 1.0 m² の RCS 値)と比較して大きな RCS を持っていることが多いため、基準物標として適さない場合が多い。このような場合、試験時にはこれに相当する物標を新たに準備するか、あるいは確認する浮標の形状あるいは RCS 等を把握し、計算(例えば IEC62388 に記載されているレーダー解析ソフト

CARPET : radar analysis software: Computer Aided Radar Performance Evaluation Tool[8] を利用する等)により評価する必要もあると考えている。

船舶を用いた試験は、実際に船舶の動揺も加味されることなどから、より使用状況に近いユーザーの立場に立った試験であるといえるが、船舶で特定の場所へ移動しながら観測することから、試験に要する時間が長くなり、また、試験に使用する船舶によって海面からの高さ、設置状況(マスト等電波が反射する恐れのある船体構造等)の違い、試験実施日の天候などの違いにより、結果(レーダー画面に表示される物標や海面反射などの状態)が変化してしまうという問題がある。試験で使用する船舶の固定化(試験船の保有)ができたとしても、条件の良い時に即船を出せる体制などを確保しなければ、試験条件を一定に確保することは難しく、また、試験担当者のスキルと経験への依存度も大きくなることから、公平な試験の実施は容易ではないと考えている。

3 まとめ

IEC62388 に従ったレーダー性能試験は、もちろん海外検定機関でも実施されているが、近年、船舶(試験船)を用いて実施(被試験レーダーを船舶に設置して試験)する機関はほとんど無くなってしまい、海岸線に設置した鉄塔などから試験物標などを観測する方法で実施するところが主になっている。

しかし、船舶用レーダーは船舶に設置して使用するもので、実際にはロール・ピッチなどの動揺のある状況下で用いられる無線機器であり、また、前述のとおり IEC62388 の改訂にあたっては、実際の使用状況下での試験(ユーザーの立場に立った試験)も考慮されたことのひとつであったことから、船舶に搭載して実施する試験を基本とする必要があると考えている。

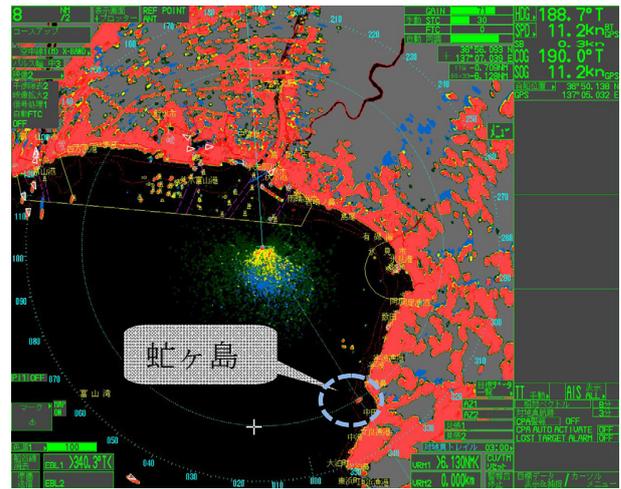


図 14 虹ヶ島と 6 NM の距離からレーダーで確認した虹ヶ島と富山湾の映像

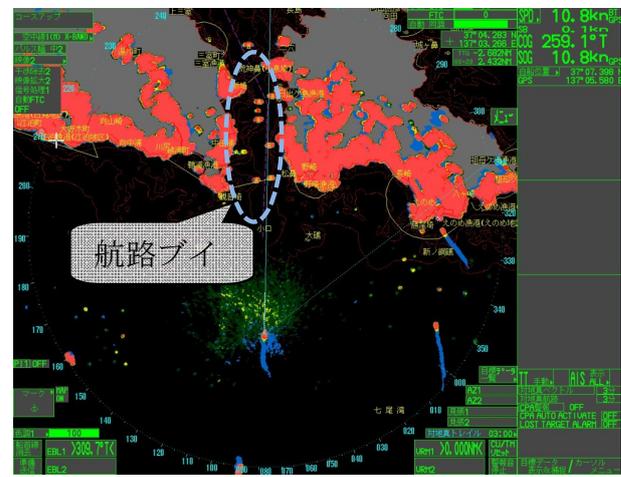
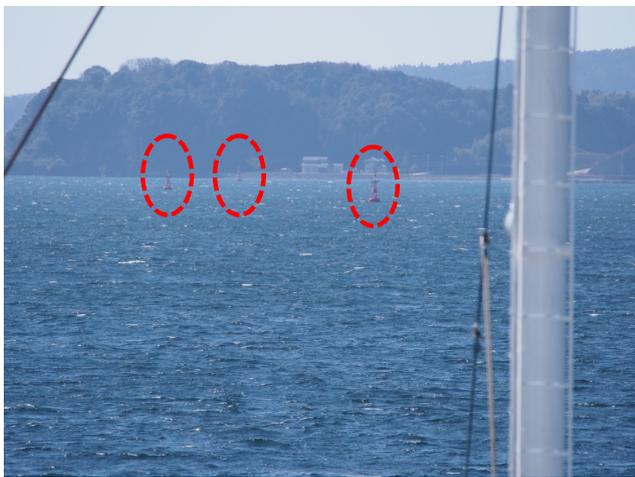


図 15 七尾南湾の水路標識とレーダーで確認した映像

したがって、海岸線に設置した試験においても、船舶に設置した状況で試験と同等の結果あるいは評価が得られるよう、これまでに船舶にレーダーを搭載して調査・試験してきた経験やデータ等を応用し、海岸線からの性能試験の充実を図りながら、試験環境あるいは試験方法を開発していくことが今後の課題である。

また、試験の公平性を考慮した場合、天候などに左右されないシミュレーションは有効な手段となるので、近年進化してきた任意波形発生器などの技術を応用したシミュレーションによる性能試験の開発も検討していく必要があると考えている。

謝辞

有間川試験サイトの構築や維持、試験の実施に多大なご協力いただいた有間川町内会の皆様及び直江津漁協の皆様へ感謝する。また IEC62388 に基づいたレーダー性能試験法の開発や有間川試験サイトの構築の基礎を築くとともに、同試験サイトにおける型式検定試

験の実施方法について、多くの有益な議論と助言を頂いたテストベッド研究開発運用室の宮澤義幸マネージャーに、深く感謝したい。

【参考文献】

- 1 <http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/equ/typetest/> , 総務省, 電波利用ホームページ
- 2 宮澤義幸「無線機器の型式検定業務」, NICT News 2013年4月号, pp.9-10, April 2013.
- 3 IEC 62388 Edition 2.0 "Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Shipborne radar - Performance requirements, methods of testing and required test results," June 2013
- 4 IMO Resolution MSC.192 (79), "Revised performance standards for radar equipment," 2004.12.6 採択
- 5 田北 順二「船舶用レーダー国際規格の動向」日本無線技報, no.48, pp. 78-81, 2005.
- 6 国土交通省「航海用レーダー, 電子プロット装置, 自動物標追跡装置及び自動衝突予防援助装置の型式承認試験基準」2008.
- 7 落合徳臣, 茂在寅男, レーダー理論と実際, 海文堂出版株式会社, 1959.
- 8 CARPET <https://www.tno.nl/en/focus-area/defence-safety-security/information-superiority/carpet-computer-aided-radar-performance-evaluation-tool/>, TNO.

塩田貞明 (しおた さだあき)

電磁波研究所
電磁環境研究室
主任研究技術員
EMC 測定、レーダー技術、電波計測

北澤弘則 (きたざわ ひろのり)

電磁波研究所
電磁環境研究室
専門調査員
EMC 測定、レーダー技術、電波計測