

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：85406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510216

研究課題名(和文)海難防止のための小型FRP船のレーダ探知性能向上に関する研究

研究課題名(英文)Research on Improvement of Performance to Detect Small FRP Boats by Marine Radar for Prevention of Marine Disasters

研究代表者

山田 多津人(YAMADA, TATSUTO)

海上保安大学校(国際海洋政策研究センター)・その他部局等・教授

研究者番号：90559220

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文): 船舶用レーダから反射信号データを記録する装置を開発した。この装置を使用して、小型FRP船の信号強度と2次元分布の特性について、レーダリフレクタの搭載及び非搭載の状況、また、アスペクト角を90°と0°とする状況で比較し解析を行った。主要な結果は次の通り。(1)リフレクタ非搭載時、船首が向首する小型FRP船のRCSは正横時の半分程度となる。(2)レーダリフレクタを搭載することでRCSは2倍程度向上する。(3)小型FRP船のエコーペイント特性(映像の大きさと形状)はアスペクト角に依存しない。(4)レーダリフレクタを搭載する方が映像サイズ(方位方向及び距離方向)は大きく表示される。

研究成果の概要(英文): We have developed a system for sampling the radar echo signals by A/D conversion of the receiving signals from ship-board radar. Using this system, we analyzed characteristics of radar signal intensity and the two-dimensional distribution from a small FRP boat which the radar reflector is installed or not in the situation of two aspect angles, which are 90(deg.) and 0(deg.). The major results are as follows. (1) In the situation with no reflector, the RCS of bow-aspect is less than half that of abeam-aspect. (2) By installing the radar reflector, the RCS increases more than twice as the amount as no reflector. (3) The echo paint characteristics which are size and shape are independent of aspect angle of boat. (4) Echo size (the bearing size and the range size) of the situation with reflector are bigger than that of the situation with no reflector.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：安全情報 海難防止 船舶 レーダ 小型FRP船 RCS

1. 研究開始当初の背景

2008年に発生した護衛艦「あたご」と小型漁船の衝突事故でも明らかのように、20トン未満の小型船と大型船との衝突事故は、小型船運航者の海中転落を引き起こす等、人命に関わる事故となることが多い。海上保安庁によれば、2003年～2007年までの5年間に、100トン以上の大型船と衝突した20トン未満の小型船の数は475隻であり、130人がその衝突で海中転落している。

大型船の船舶運航者は小型船の動静把握を慎重に行うことが求められるが、特に夜間や昼間でも視界不良時等では、目視による探知には限界があり、レーダの効果的な活用が必要となるものの、そもそもこのような小型船は、レーダには映像として表示されにくく、映像の判読、継続的な監視・追尾は、船舶運航者の長年の経験や勘に頼っている部分も大きい。

レーダ視認性の向上のために、平成14年7月1日以降に建造された小型船(漁船を含む)には、レーダ反射器の搭載が義務化されている。また、平成22年10月1日以降に建造される小型船には、新基準のレーダ反射器の搭載が義務化される状況にある。しかしながら、それ以前に建造された小型船や昼間のみを航行するものは除外されている他、取付け方によっては所定の効果を十分に発揮できない場合も報告されている。一方、空き缶を使った簡易なレーダ反射器で海苔網等の漁具のレーダ視認性を向上させる試みも実務者の中では行われていた。

2. 研究の目的

本研究では、上記のような背景の下、より科学的な視点から小型船(特に5トン未満のFRP製の船)のレーダ探知特性を明らかにし、レーダ反射器等の付加物の効果や影響を定量的に評価する等の実態解明による成果を基礎に、大型船の船舶運航者に対しては、レーダによる小型船探知について、経験や勘等に頼る部分をできるだけ排除した具体的なレーダ利用上の指針を明示したいと考えた。

また、小型船の運航者には大型船のレーダ視認性を向上させる手法について、どの程度の効果があるか等、定量的・具体的な効果の程度を明示することで、本件に関する理解を促し、結果として、船舶運航者の生命・財産を守り、また、事故防止による海洋環境の保全に寄与したいと考えた。

3. 研究の方法

本研究の第一段階では、レーダ反射信号を定量的に測定可能なシステムの開発(レーダ映像観測装置)と実海域での試験データの取得とレーダ映像処理手法の検討を行った。この段階では、基本的には研究に必要な機器(ハード面)とデータ処理手法(ソフト面)の開発に重点を置いた。

第2段階は小型FRP船のレーダ映像の表

示特性を検討すると共に、レーダ反射器等の付加物による効果・影響について定量的な評価を、実海域でのデータ収集・解析に重点を置き実施した。

最終的には小型FRP船のレーダ視認性に係る特性をとりまとめ、国内の海事関係者が集う学会での研究成果の公表、また、海外での研究成果の公表を行った。

4. 研究成果

(1) レーダ映像観測装置の開発

図1にレーダ映像観測装置の概要を示す。レーダから出力される4つの信号(トリガ信号、船首輝線信号、方位信号、ビデオ信号)を信号変換器(Signal Converter)で整形した上で、レーダエコー変換ユニット(Radar Echo Converting Unit)で信号処理とA/D変換を行い、PCMCIAカードを通して計測用のPCにレーダ信号を所定の範囲で記録できる装置とした。

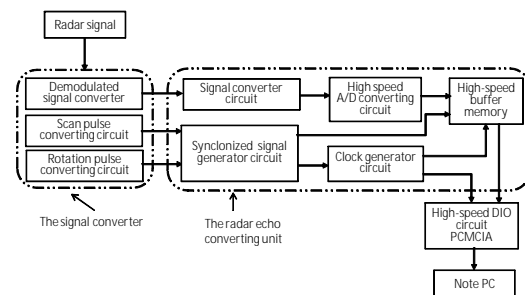


図1 レーダ映像観測装置の概要

レーダから出力されるビデオ信号は12ビットのデジタル値に変換される。今回使用したレーダは一般的な船舶用のXバンドレーダである。アンテナ回転周期は2.5秒であり、研究時の全ての実験を通じてパルス幅は0.08μs、パルス繰返し周波数は2000Hzとした(この設定により、アンテナ1回転当たり5000パルスに相当する)。なお、1パルス当たり4096データが記録可能であり、アンテナ1回転分のデータは約40Mバイトになるため、別にストレージをPCに接続して使用した。

観測装置の制御と必要なデータ保存処理等は専用のソフトを開発した。通常の船舶用レーダと同様にPPI表示によりターゲットを確認した後、Bスコープ表示に切り換え、所定の範囲のレーダ映像を切り出し、保存することとした。図2にPPI表示によるレーダ映像の一例を示す。レーダから出力されるビデオ信号は0～2.5Vの電圧信号であるので、あらかじめ基準信号発生器により信号出力とビデオ信号出力の関係を求めておき、電圧(V)を信号強度(dBm)に変換した。なお、処理ソフトにおけるレーダ映像についても、信号強度ごとに色調を変化させ信号強度の強弱が分かるような映像としている。

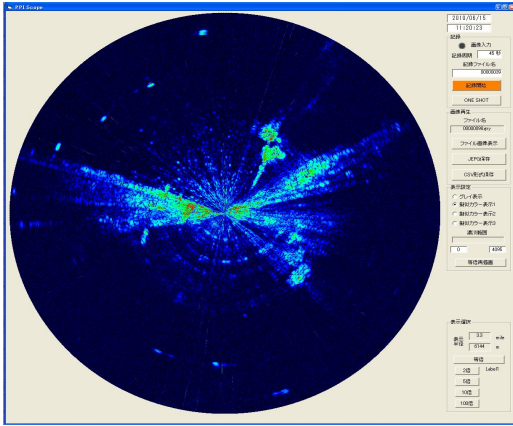


図2 PPI表示の例

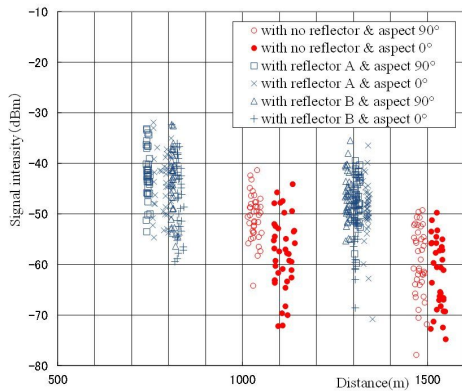


図3 計測した信号強度

(2) 小型FRP船の反射信号特性
海上保安大学校(呉市若葉町)の前面海域を実験海域として小型FRP船をレーダから異なる距離の場所に漂泊させた状態でレーダ映像を記録し、反射信号強度の特性を検討した。小型FRP船は、アスペクト角を 90° (レーダから船を真横に見る状態)及び 0° (レーダに船首が向く状態)の2つの状況とし、また、2種類のレーダリフレクタを搭載及び非搭載の状態にして、それぞれ約40個のデータを収集し解析を行った。

図3に計測した小型FRP船の信号強度を示す。図は縦軸が信号強度(dBm)、横軸はレーダからの距離(m)である。それぞれの記号は図中の凡例に示している通りである。各ケースとも20dB以上の変動を示していることが分かるものの、この状況では一般的な傾向は把握し難い。このため、アスペクト角 90° 及び 0° それぞれについて平均信号強度を算出し、レーダ方程式による理論値とフィットさせることで平均的なRCS(Radar Cross Section)を推測することとした。この時、有効反射高については、レーダリフレクタ非搭載時は1.5m、リフレクタ搭載時はその設置高さから2.5mとして理論値を計算した。当該結果を図4(アスペクト角 90°)及び図5(アスペクト角 0°)に示す。なお、両図とも図中の縦軸、横軸及び記号は図3の場合と同じである。

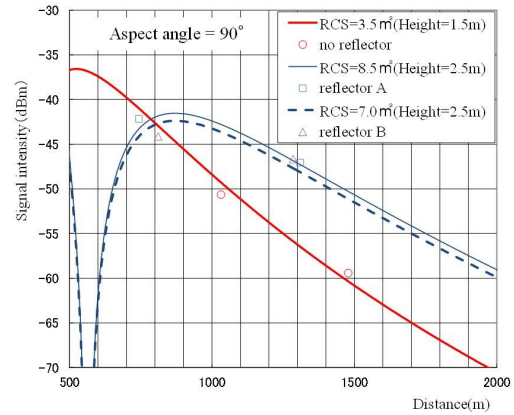


図4 平均信号強度と理論値(90°)

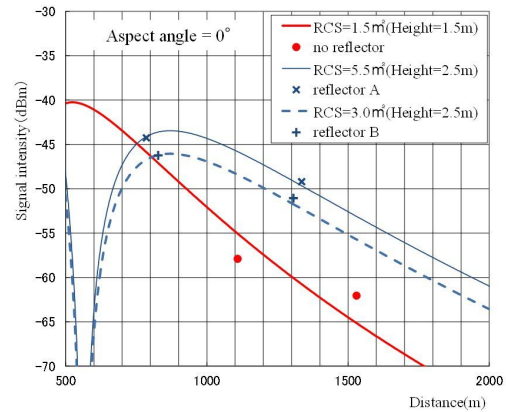


図5 平均信号強度と理論値(0°)

図4及び図5の結果から平均的なRCSを各ケースについてまとめると表1の通りである。同表でアスペクト角 90° はabeam-aspect、アスペクト角 0° はbow-aspectと表現している。リフレクタ搭載時では、リフレクタの種類にもよるものの、アスペクト角 90° 及び 0° とも、2~3倍にRCSが向上していることが分かる。アスペクト角の状況による違いはあるものの、リフレクタの定量的な効果を明らかにすることができた。また、特にリフレクタ非搭載時では、アスペクト角 90° と 0° を比較するとアスペクト角 0° では 90° に比べて半分以下に低下している。この結果から、リフレクタを搭載しない小型船では、特に船首を向首する形態で他船に接近する時は、他船レーダに自船の映像が表示され難い状況であることが分かる。レーダを運用する船舶運航者その他、小型船の運航者についても、この特性を認識する必要があるものと考えられる。

表1 各ケースにおける平均的なRCS

	RCS(m ²) (abeam-aspect)	RCS(m ²) (bow-aspect)
with no reflector	3.5	1.5
with reflector A	8.5	5.5
with reflector B	7	3

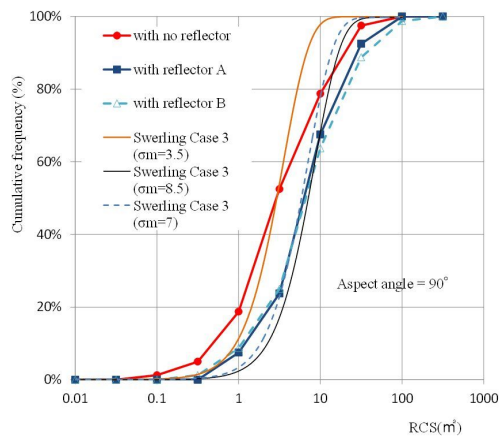


図 6 RCS の累積確率分布 (90°)

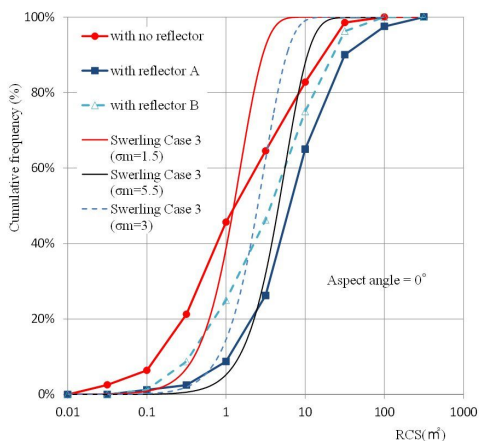


図 7 RCS の累積確率分布 (0°)

次に信号強度の変動成分に着目した解析結果を報告する。表 1 の通り平均的な RCS が条件として与えられる時、RCS の確率分布がスワーリングの変動モデルとして表現可能であると言われている。今回の各ケースにおける実際の信号強度から求めた RCS を確率分布として表現し、スワーリングのモデルとの比較を行うことで、RCS の変動特性を比較検討した。当該結果を図 6 及び図 7 に示す。両図とも縦軸が確率 (頻度%)、横軸が RCS (対数 m²) である。アスペクト角が 90° の場合におけるリフレクタ搭載時のケースでは、比較的スワーリングのモデルと良い一致を見せている。一方、リフレクタ非搭載時、また、アスペクト角 0° のケースではスワーリングのモデルと一致しているとは言い難い。RCS が小さい程、この不一致の傾向が見取れるが、今回の解析では定量的な両者の比較評価まではできていない。しかしながら、実際の小型 FRP 船の RCS の確率分布モデルを明示した意義は大きいと考える。実際のレーダ映像面では映像が時に表示されたり、時に消えたりする (表示されない) 状況となるのであり、船舶運航者には系統的・継続的なレーダ観測が求められているが、必ずしもその具体的な方法等は明示的でない。RCS の変動成分の確率的な実態については、今後の課題として、更なる検討を継続していきたいと

考えている。

(3) 小型 FRP 船の映像特性

実画面でのレーダの映像はターゲットの物理的な大きさよりも距離及び方位方向に拡大された映像となって表示されるものであり、一般的には「エコーペイント (Echo point)」と呼ばれる。この原理を簡潔に図 8 に示す。同図中赤い丸でポイントターゲットをイメージしている。水平ビーム幅の効果により映像は方位方向に拡大される (同図(b))、また、パルス幅の効果により距離方向に映像が拡大される (同図(c))。レーダ映像は両者の効果が合成されて現れる (同図(d)) が、方位方向の拡大効果はターゲットまでの距離により変化することから、映像の形状はレーダからターゲットまでの距離により変化することになる。この様なレーダ映像の表示特性を定量的に把握することは、小型 FRP 船のレーダ映像を正しく判読するために必要となる。

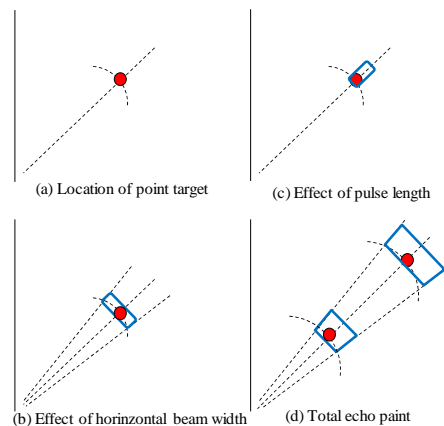


図 8 エコーペイントの概要

一般的にレーダの設定感度によってレーダ映像の大きさは変化することから、本解析時は -70dBm を閾値としてレーダ映像の特性を検討することとした。(2)と同様にアスペクト角 90° と 0°、また、レーダリフレクタの搭載と非搭載時のデータを取得し解析を行ったが、結果的にはエコーペイントはアスペクト角には依存しないことが明らかとなった。図 9 にアスペクト角 0° の時の映像の方位方向の広がりを示す。同図中、縦軸は信号強度 (dBm)、横軸は映像の広がり角度 (deg) である。図中の実線及び破線は理論的なアンテナパターンの計算結果である。図 10 はアスペクト角 90° の場合であり、図の表現は図 9 と同様である。両図のプロット点の傾向から、アスペクト角による差異は見られないことが分かる。映像の距離方向についても同様の結果であった。このことから、今回の検討対象とした小型 FRP 船 (5 トン未満) であれば、映像の形状のみからその船の向きを推定することは不可能であることが分かる (漂泊している小型船 (移動していな

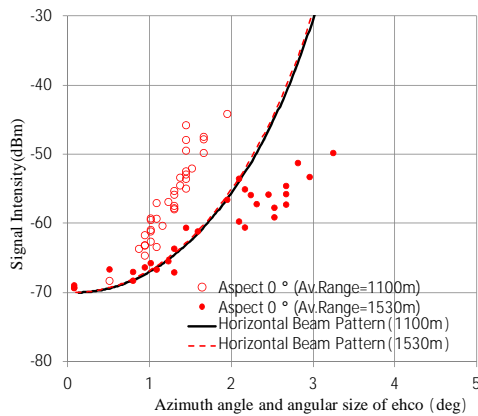


図9 映像の方位方向の広がり (0°)

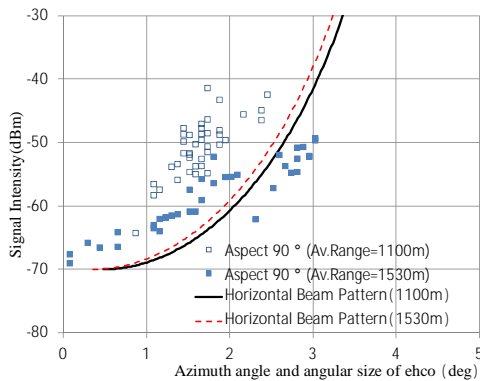


図10 映像の方位方向の広がり (90°)

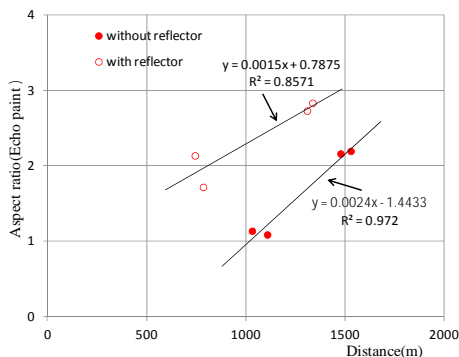


図11 レーダ映像のアスペクト比

い場合)については、その船首(向首)方向をレーダ映像のみから知ることはできない。

図11に方位方向の広がりを映像の長さに変換した上で、距離方向の広がりとの比をとり、アスペクト比と表現し、リフレクタの搭載及び非搭載の状況を比較している。アスペクト比が1の場合は、映像が円形を示すことになり、1より小さい場合は縦長、1より大きい場合は横長の映像となる。同図から距離が遠くなる程レーダ映像は横長の映像となることが分かる。また、リフレクタを搭載している時は比較的近距离からでも横長の映像となって表示されることが分かる。

以上の通り、小型FRP船の映像形状からは船首方向の判読は不可能であること、また、距離による映像形状の変化を定量的に明ら

かにできた。

本研究の成果について(1)~(3)としてまとめた。大型船及び小型船の運航者双方の実務者の視点に立ち、これまで明示的ではなかった小型FRP船のレーダ信号特性や映像特性、リフレクタの効果等について明らかにできたことにより、船舶運航者の映像判読等について一定の指針を示すことができたと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

山田多津人、送電線及び小型FRP船のレーダ反射信号特性とレーダによる船舶映像の追尾特性に関する基礎的研究(博士論文 東京海洋大学) 2012年3月(査読あり)

田中隆博、山田多津人、松田真司、山本淳、VDR(航海情報記録装置)による海上交通観測 レーダデータからの船舶航跡の取得、日本航海学会論文集第126号、pp.39~46、2012年3月(査読あり)

水井真治、山田多津人、清田耕司、月坂明広、Analysis of the Two Dimensionally Distributed Radar Echoes of the Small FRP Boats、広島商船高等専門学校 紀要第34号、pp.45~51、2012年3月(査読なし)

山田多津人、水井真治、月坂明広、清田耕司、Signal Analysis of Radar Echoes from the Small FRP Boat、Asia Navigation Conference 2012 Organized by Japan Institute of Navigation, pp.145~151, 2012年11月(査読あり)

山田多津人、水井真治、月坂明広、清田耕司、小型FRPボートからのレーダ反射信号の解析、日本航海学会誌183号、p66、2013年1月(査読なし)

山田多津人、水井真治、月坂明広、中川義教、Echo Point Characteristics of the Small FRP Boat on the Radar Screen、Asia Navigation Conference 2013、Hosted by Korean Institute of Navigation and port Research、pp.461-467、2013年10月(査読あり)

山田多津人、水井真治、月坂明広、中川義教、レーダ画面上の小型FRPボートのエコーポイント特性、日本航海学会誌187号、p34、2014年1月(査読なし)

[学会発表](計3件)

山田多津人、水井真治、月坂明広、清田耕司、Signal Analysis of Radar Echoes from the Small FRP Boat、Asia Navigation Conference 2012

Organized by Japan Institute of Navigation, 2012年11月

山田多津人、水井真治、月坂明広、中川義教、Echo Paint Characteristics of the Small FRP Boat on the Radar Screen、Asia Navigation Conference 2013、Hosted by Korean Institute of Navigation and port Research、2013年10月

山田多津人、大岩恭平、尾崎宏介、小型FRP船のレーダ映像解析-レーダ追尾特性に関する基礎的検討-、日本航海学会第129回講演会 海上交通工学研究会セッション、2013年11月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田多津人 (YAMADA TATSUTO)

海上保安大学校 (国際海洋政策研究センター)・教授

研究者番号：90559220

(2) 研究分担者

水井真治 (MIZUI SHINJI)

広島高等商船専門学校・教授

研究者番号：50249843