

## 【論文】

# 小型FRPボートのレーダ反射信号特性 ーリフレクタ搭載・非搭載での比較ー

山田 多津人<sup>1</sup> 水井 真治<sup>2</sup> 大岩 恭平<sup>3</sup> 尾崎 宏介<sup>3</sup>

## The Characteristics of Radar Signal from the small FRP Boat -Comparison of the Condition with Reflector and without Reflector-

Tatsuto Yamada<sup>1</sup>, Shinji Mizui<sup>2</sup>, Kyouhei Ooiwa<sup>3</sup> and Kousuke Ozaki<sup>3</sup>

### Abstract

It is difficult to detect small FRP boats on the radar screen at a greater distance since the Radar Cross Section (RCS) of these boats is so low. Therefore, it is recommended that the small FRP boat equips with a type approved radar reflector. A large number of theoretical studies have been made on radar reflector. However, at the actual sea area, the quantitative effects with the radar reflector on the boat are not yet clear enough. In this paper, authors examine the characteristics of radar signal intensity and echo paint from a small FRP boat which the radar reflector is installed or not in the situation of two aspect angles, these are 90° and 0°. The major results are as follows.

- (1) The signal intensity on echoes fluctuate 20dB and more.
- (2) In the situation without reflector, the RCS (Radar Cross Section) of bow-aspect is less than half that of abeam-aspect.
- (3) By installing the radar reflector, the RCS increases more than twice as the amount as without reflector.
- (4) The echo paint characteristics which are size and shape are independent of aspect angle of the boat.
- (5) Echo size (the bearing size and the range size) of the situation with reflector are bigger than that of the situation without reflector.

**Keywords:** Radio Navigation, Radar, Radar Cross Section, Echo Paint, FRP boat

### 1 はじめに

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（以下、「リフレクタ」と呼ぶ。）の設置が義務化されている。また、平成22年10月1日以降に建造された小型船には、新基準のリフレクタ

Received November 14, 2014

<sup>1</sup>海上保安大学校 yamada@jcga.ac.jp

<sup>2</sup>広島商船高等専門学校

<sup>3</sup>海上保安庁

の設置が義務化されている。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<sup>1)</sup>。本研究では、上記のような背景の下、5トン未満のFRP製の小型船（以下、「小型FRPボート」と呼ぶ。）について、2つのアスペクト角（90°及び0°）及びリフレクタの搭載（with）・非搭載（without）の状況で、実海域においてレーダ映像データを収集し、反射信号強度とRCS（Radar Cross Section（有効反射面積））を比較解析することで、実際の小型FRPボートに搭載したリフレクタの効果等について定量的な評価を行いその特性を明らかにした。また、レーダ映像面上の小型FRPボート映像について、エコーペイント（Echo Paint<sup>2)</sup>）に着目した定量的な解析を行い、その映像特性について明らかにした（ここで、エコーペイントとは、レーダ画面上に表示される反射信号の大きさと形状を表現する用語である）。

## 2 レーダ映像観測装置等

本研究の実施に当たっては小型FRPボートからの反射信号をアンテナ回転ごとに取得し解析することを想定したため、これまで著者らが開発した観測装置（アンテナ1回転分のレーダ映像を取得するための観測装置）<sup>3)</sup>に、指定した範囲のみの受信信号強度データを記録可能な制御装置を開発し付加した。

本装置では、レーダから出力される船首輝線信号と方位信号により、観測範囲を指定した上で、トリガ信号を基準に100MHzのサンプリング周波数でビデオ信号を12ビットのデジタル値に変換し一時メモリに保存する。更に当該指定した範囲のデータ取得が終了後、パーソナルコンピュータのハードディスクにファイル保存を自動的に行うことで1回の観測が終了する。この様に観測範囲を限定することで（40°程度まで）ハードディスクへのデータ転送に要する時間を短くし、アンテナ回転ごとのレーダ映像の連続取得が可能となる。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、データ取得実験時のパルス幅は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パルスに相当するスweepでレーダ映像が構成される）。なお、1スweep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バイトになるが、実際の観測では観測範囲に応じて1つのファイル容量は変化する。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である小型FRPボートの映像を確認した後、同映

像を含む一定の範囲のレーダ映像を切り出し、保存・処理することとした。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レーダ受信部に基準となるパルス信号（dBm）を入力し、ビデオ信号出力（V）との関係を求めておくことで、ビデオ信号（V）を受信信号強度（dBm）に変換できる。

## 3 小型FRPボートからの反射信号等の表現

小型FRPボートからのレーダ反射信号について、受信信号強度及びRCS、また、エコーペイントの一般的な考え方等について以下に説明する。

### 3.1 受信信号強度とRCSの表現

レーダの受信信号強度（受信電力）（ $p_r$ ）は、(1)式で求めることとした<sup>4)</sup>。

$$p_r = \frac{p_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \times 16 \sin^4 \left( \frac{2\pi h_1 h_2}{R\lambda} \right) \quad (1)$$

ここで、 $p_t$ は送信電力（mW）、 $G$ はアンテナ利得、 $\lambda$ は波長（m）、 $R$ はターゲットまでの距離（m）、 $\sigma$ はターゲットのRCS（m<sup>2</sup>）、 $h_1$ はレーダアンテナ高さ（m）、 $h_2$ はターゲットの有効反射高さ（m）である。(1)式は、ターゲットまでの距離が与えられる時、レーダの設定条件によって決定される要素（以下、「基本要素」と呼ぶ。）、ターゲットのRCS及び直接波と間接波による干渉効果の3つの要素に大別できる。すなわち、

- (a) 基本要素  $\left( \frac{p_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \right)$
- (b) RCSによる効果（ $\sigma$ ）
- (c) 干渉効果  $\left( 16 \sin^4 \left( \frac{2\pi h_1 h_2}{R\lambda} \right) \right)$

ここで、(b)については、実海面における船舶等のターゲットのRCSはアスペクト角等により変動することから、RCSの平均値または中央値（ $\sigma_m$ ）と変動する成分（ $\sigma_v$ ）に分けて表現することが可能である（ $\sigma = \sigma_m \pm \sigma_v$  但し、 $\sigma > 0$ ）。

一般的にはレーダの受信電力を(2)式により変換し1mWを0dBmとして表現する。

$$P_r = 10 \times \log(p_r) \quad (2)$$

この時、(a)～(c)の各要素を次の通り表現する。

$$G_m = 10 \times \log \left( \frac{p_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \right) \quad (3)$$

$$G_{\sigma} = 10 \times \log(\sigma) = 10 \times \log(\sigma_m + \sigma_v) \quad (4)$$

$$G_i = 10 \times \log\left(16 \sin^4\left(\frac{2\pi h_1 h_2}{R\lambda}\right)\right) \quad (5)$$

以上より、受信電力 (dBm) は(6)式として表現できる。

$$P_r = G_m + G_{\sigma} + G_i \quad (6)$$

(6)式において、小型 FRP ボートをターゲットとして想定する時、高速で移動中でなく（レーダとターゲット間の距離変化が小さく）、また、レーダ及びターゲットとも短時間的な海面の上下動が小さければ、受信信号強度の変動は RCS の変動に依存すると考えられる。RCS の確率分布はスワーリングの変動モデル<sup>5)</sup>として表現することが一般的であり、小型 FRP ボートのような小型で複雑な形状のターゲットの場合の確率密度は(7)式として表現可能と言われている。

$$P(\sigma) = \frac{4\sigma}{(\sigma_m)^2} \times \exp\left(\frac{-2\sigma}{\sigma_m}\right) \quad \sigma \geq 0 \quad (7)$$

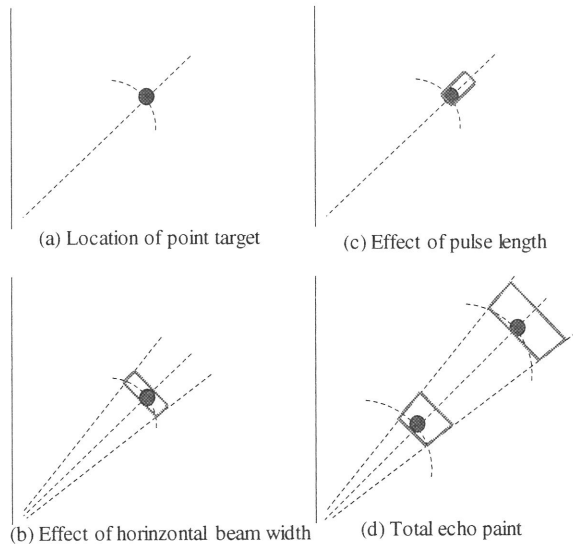


図1 エコーペイントの概要

### 3.2 エコーペイントの考え方

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つて表示されるものであり、一般的には「エコーペイント (Echo paint)」と呼ばれる。この原理を簡潔に図1に示す。同図中丸印 (●) 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

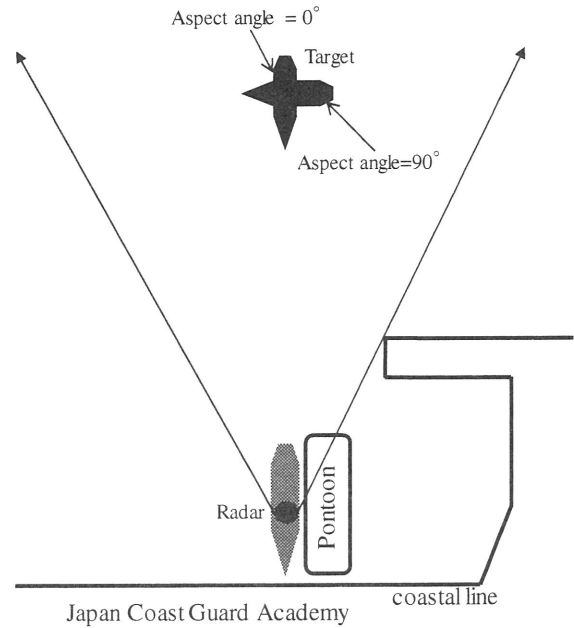


図2 データ取得状況の概要

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。一方、水平ビーム幅やパルス幅は、基本的にはピーク値から-3dBの範囲の値を採用しているものであり、所謂、一つの目安に過ぎない。特に実映像は設定感度によって変化する。実務者が小型FRPボートのレーダ映像を正しく判読するためには、このようなレーダ映像の定量的な表示特性を明らかにすることが必要であると考ええる。

### 4 小型FRPボートからの反射信号の取得

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ボートとレーダからの距離を変化させ漂泊させた状態で反射信号データを記録した。小型FRPボートは、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、最新基準の型式承認を受けた2種類のリフレクタ<sup>6)</sup> (本論文ではリフレクタA及びリフレクタBとした) を搭載及び非搭載の状態にして、それぞれ連続するアンテナ40回転分のデータを収集した (但し、遠距離の場合は明確に小型FRPボートの映像が得られない場合もあったため、データ数は40未満の場合もあった)。当該データ取得状況の概要を図2に示す。観測対象とした小型FRPボートは海上保安大学校所有の「L2」艇であり、使用したレーダは、広島商船高等専門学校所属の練習船「ひかり」に搭載したXバンドレーダである。表1に小型FRPボートの主要目、表2に使用したレーダの主要目を示す。また、図3にポンツーンに係留している「ひかり」及びリフレクタ搭載時の「L2」の状況を示す。なお、リフレクタ搭載時の有効反射高さを実測結果から2.5m、リフレクタ非搭載時は小型FRPボートの船尾部の

表1 小型FRPボートの主要目

Gross tonnage	Under 5 tons
Length over all	9.00m
Breadth	2.20m
Depth	0.84m
Name	L2

表2 レーダの主要目

Height of radar antenna	3.6m
Transmission power	10kW
Transmission frequency	9410MHz±30MHz
Horizontal beam width	1.2°
Vertical beam width	22°
(Antenna gain)	(30dB)
Pulse length	0.08μs
Pulse repetition frequency	2000Hz
Antenna rotation speed	24rpm

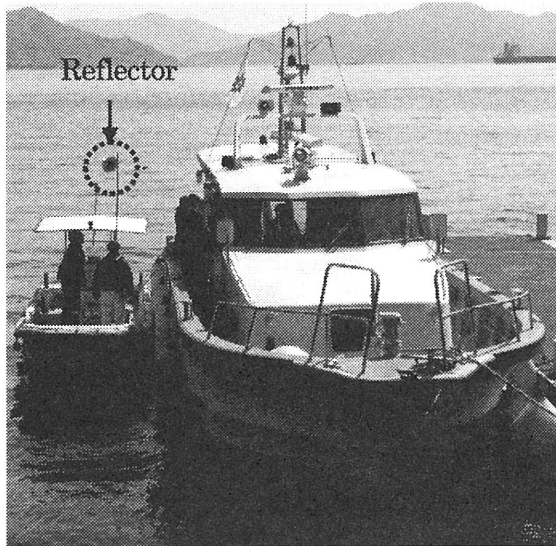


図3 ひかり及びL2 (リフレクタ搭載時)

構造物高を考慮して1.5mと仮定した。

図4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。

## 5 結果及び考察

### 5.1 受信信号強度とRCSの特性

図4に示す全てのデータについて、リフレクタの搭載・非搭載、また、アスペクト角90°及び0°の各ケース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適合させることで平均的なRCS (Radar Cross Section) を推測することとした。当該結果を図5 (アスペクト角90°) 及び図6 (アスペク

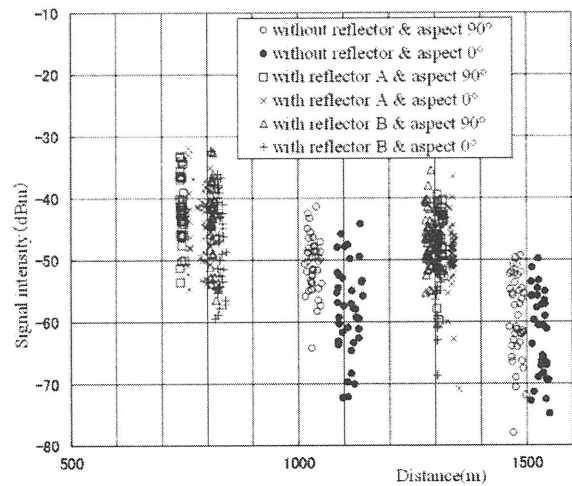


図4 計測した反射信号強度

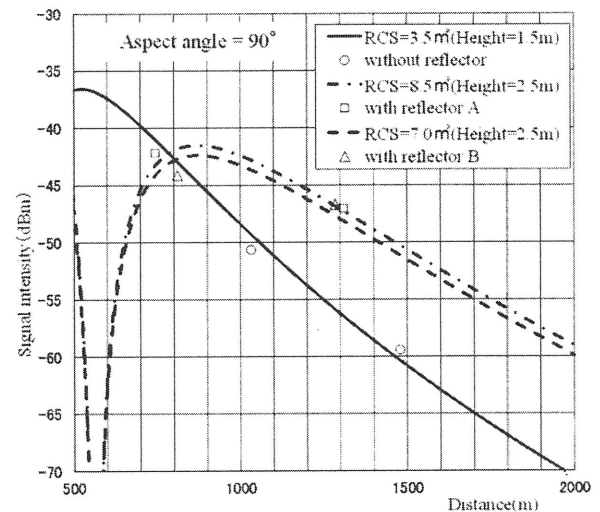


図5 平均信号強度と理論曲線  
(アスペクト角90°の場合)

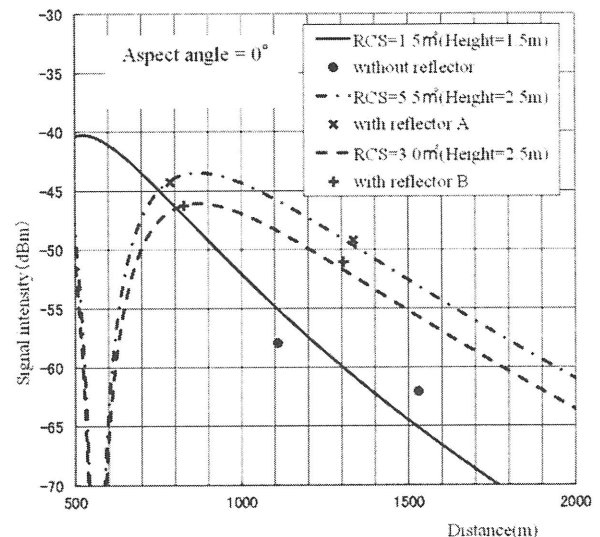


図6 平均信号強度と理論曲線  
(アスペクト角0°の場合)

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4の場合と同じである。

図5及び図6の結果から平均的なRCSを各ケース



表3 各ケースにおける平均的な RCS

	RCS(m <sup>2</sup> ) (Aspect 90°)	RCS(m <sup>2</sup> ) (Aspect 0°)
without reflector	3.5	1.5
with reflector A	8.5	5.5
with reflector B	7	3

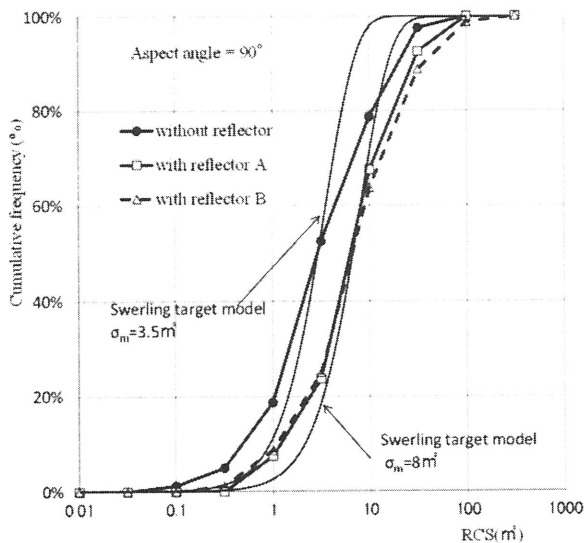


図7 RCSの累積確率分布(アスペクト角 90°)

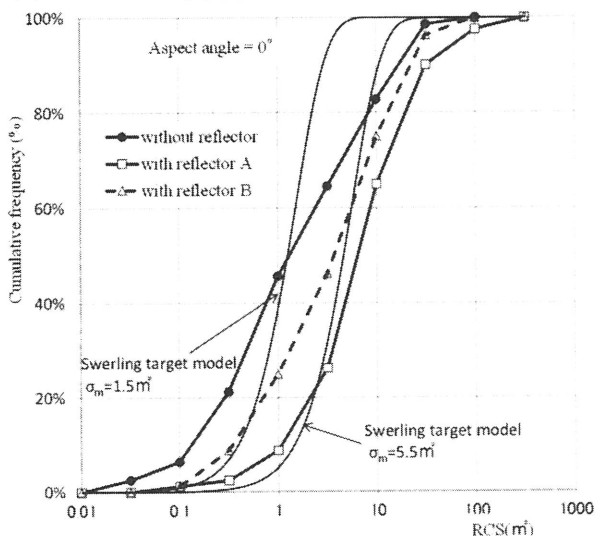


図8 RCSの累積確率分布(アスペクト角 0°)

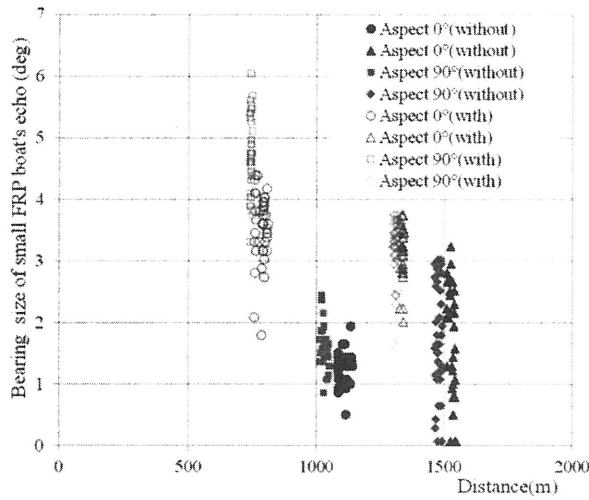
についてまとめると表3の通りである。リフレクタ搭載時には、どちらのリフレクタとも、アスペクト角 90°及び0°とも、2～3倍にRCSが向上していることが分かる(実海面でのリフレクタの定量的な効果を明らかにすることができた)。また、特にリフレクタ非搭載時には、アスペクト角 90°と0°を比較するとアスペクト角 0°では90°に比べて半分以下に低下している。この結果から、リフレクタを搭載しない小型船では、特に船首を向首する形態で他船に接近

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(RCSが半分程度に低下する)ことが分かる。レーダを運用する船舶運航者の他、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する。一方、リフレクタの搭載状態ごとのアスペクト角 0°と90°の比較では、リフレクタ非搭載時が2 m<sup>2</sup>、リフレクタ A が3 m<sup>2</sup>、リフレクタ B が4 m<sup>2</sup>と異なる差分を示している。観測時の小型FRPボートの姿勢安定度やリフレクタの設置方法等の状況による違い等が影響した可能性が推測されるが、今回の解析からはその原因特定はできない。本事項については、今後更なる観測等を通じて検討したい。

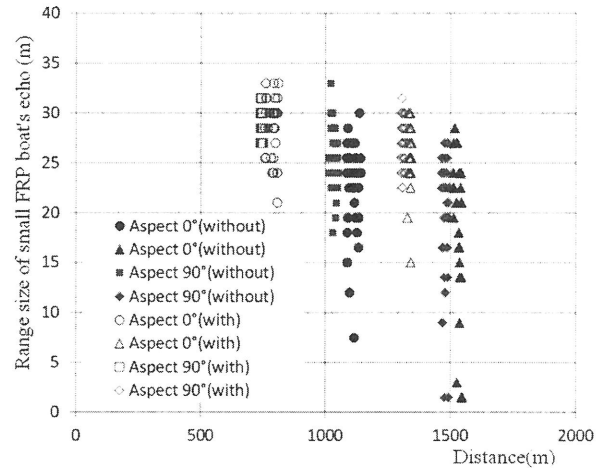
次に信号強度の変動成分に着目した解析結果を報告する。表3の通り平均的なRCSが条件として与えられる時、RCSの確率分布がスワーリングの変動モデル(7式)として表現可能であると言われている。今回の各ケースにおける実際の信号強度から求めたRCSを累積確率分布として表現し、スワーリングのモデルとの比較を行うことで、モデルとRCSの変動特性を比較検討した。当該結果を図7及び図8に示す。両図とも縦軸が頻度(%)、横軸がRCS(対数m<sup>2</sup>)である。アスペクト角が90°の場合におけるリフレクタ搭載時のケースでは、比較的スワーリングのモデルと良い一致を見せている(なお、図7では、リフレクタ A 及び B の累積分布がほぼ重なっていることから、モデルにおける $\sigma_m$ を8 m<sup>2</sup>とした結果を示している)。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て取れるが、今回の解析ではこれ以上詳細な両者の比較評価まではできていない。しかしながら、小型FRPボートのRCSの確率分布の実測値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明らかにすることで、例えば、アンテナ何回転分のレーダ映像を連続して観測すれば、どの程度の確率で映像を探知可能となるか等が表現可能と考える。現時点では、データ数も限定的であるので、詳細なモデル化は困難であるが、今後、更なる検討を継続していきたいと考えている。

## 5.2 小型FRPボートのエコーペイントの特性

一般的に、レーダ画面上におけるターゲット映像はレーダの設定感度によって変化する。今回測定に



(a) 映像の方位方向への広がり



(b) 映像の距離方向の広がり

図9 小型FRPボートの映像の広がりとの関係

使用したレーダでは、-85dBm 程度が雑音レベルであり、小型FRPボートの映像をできるだけ大きくまた、確実に表示する設定感度として、本解析時は-70dBmを閾値としてレーダ映像のエコーペイントの特性（映像の大きさ（広がり）と形状）を検討することとした。5.1と同様にアスペクト角90°と0°、また、リフレクタの搭載（ここではRCSの効果がより高かったリフレクタAのケースを解析対象とした）と非搭載時のデータにより解析を行った。

図9に小型FRPボートの映像の広がりとの関係を示す。図(a)は各ケースにおける映像の方位方向の広がり（図の縦軸を角度（deg））を示し、図(b)は距離方向の広がり（図の縦軸を距離（m））を示している。また、図中の凡例は、リフレクタ搭載（with）及び非搭載（without）、アスペクト角90°及び0°ごとに異なる記号で示している。同図から、小型FRPボートまでの距離による計測値のばらつき範囲は異なるものの、リフレクタの搭載時及び非搭載時における2つのアスペクト角による計測値のばらつき傾向には大きな差異は見られない。一方、リフレクタ搭載時の方が非搭載時より、方位方向及び距離方向共に大きな計測値を示す傾向が分かる（映像の範囲が大きい傾向がある）。特にこの傾向は方位方向の映像の広がりの方がより顕著である。

### 5.2.1 映像の方位方向の広がり特性

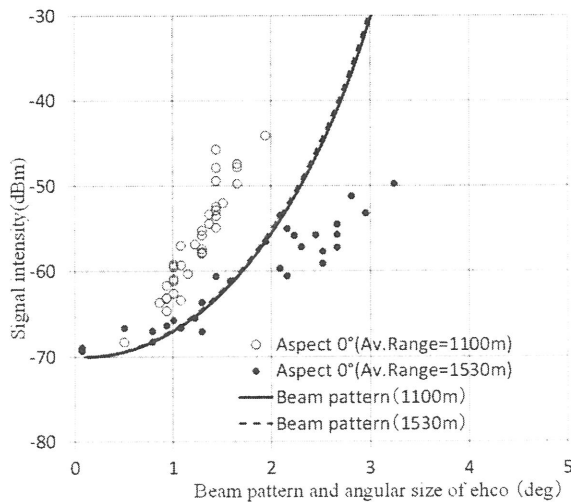
映像の方位方向の広がりについてより詳細に検討するために、アンテナの水平面のビームパターン（以下、「ビームパターン」と呼ぶ。）による効果（次式による）との比較を試みた。

$$L_H = 10 \times \log \left( \frac{p_H}{p_{\max}} \right) \quad (8)$$

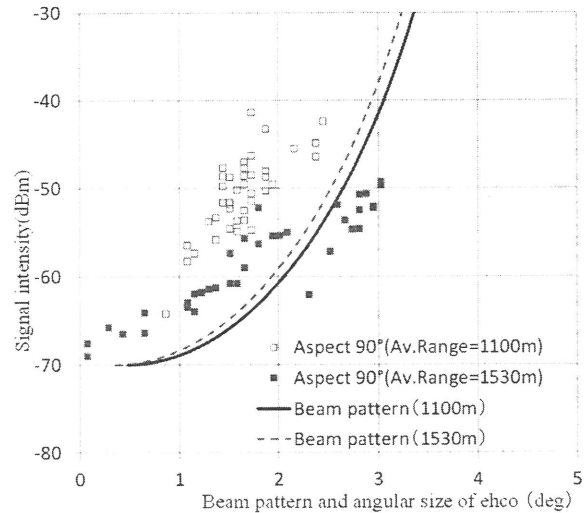
$$\text{但し、} p_H = \left( \frac{\sin(u/2)}{u/2} \right)^8 \quad u = \frac{\pi \times a}{\lambda} \times \sin(\beta)$$

ここで、 $p_H$ はビームパターンであり、一般的なレーダのパターンを採用<sup>7)</sup>し、 $p_{\max}$ はその最大値である。また、 $\beta$ を相対方位角（deg）、 $a$ をアンテナの横方向の開口長（m）とする。表1に小型FRPボートの長さ及び幅を示しているが、この物理的な大きさ（レーダまでの距離に応じた角度（deg）に変換する）と、((8)式による）ビームパターンの効果が加わり、映像の方位方向の広がりになると考えられる。

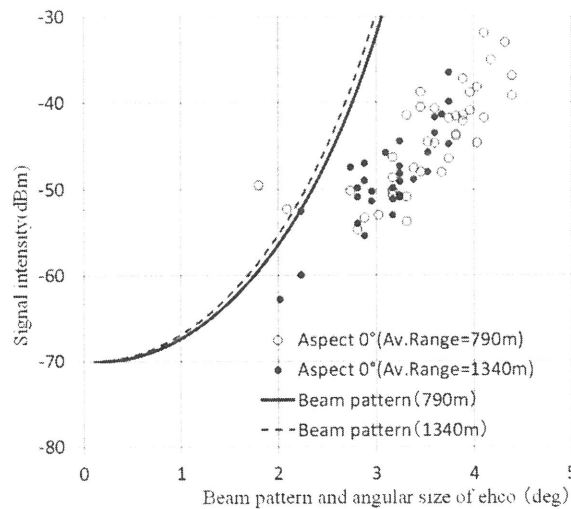
図10に映像の方位方向の広がりとの比較結果を示す。この図で縦軸は信号強度（dBm）、横軸はビームパターン及び映像の広がり角度（deg）である。ビームパターンの効果は、閾値である-70dBmと当該信号強度との差分に相当するビームパターンの角度に、小型FRPボートの物理的な大きさ（観測地点の平均距離を考慮した角度）を加えたものである。なお、同図中(a)及び(c)はアスペクト角0°のケースであり、(b)及び(d)がアスペクト角90°のケースである。また、(a)及び(b)がリフレクタ非搭載時、(c)及び(d)がリフレクタ搭載時である。(a)～(d)を比較すると、計測値の分布の傾向は、リフレクタの搭載条件に関わらず、アスペクト角による差異はあまり見られない。すなわち、映像の方位方向の広がり傾向からは、小型FRPボートの向きを推測することは不可能であることが分かる。一方、リフレクタ非搭載時と搭載時では、非搭載時の計測値はビームパターン付近またはビームパターンよりも小さな値を示しているのに対して、搭載時の計測値はビームパターンよりも大きな値を示している傾向が顕著である。すなわち、リフレクタを搭載するこ



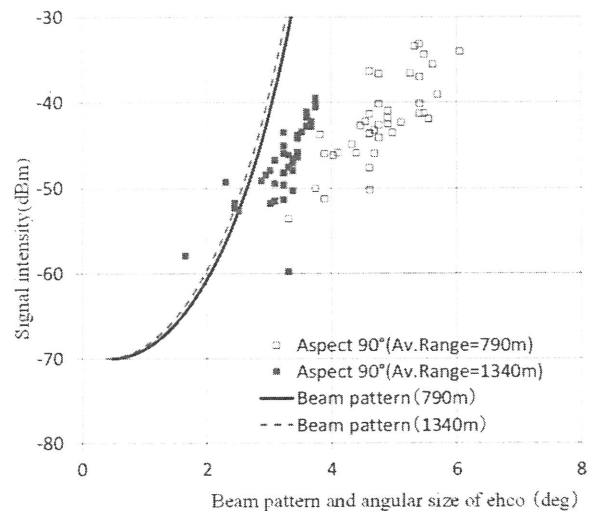
(a) リフレクタ非搭載 (0°)



(b) リフレクタ非搭載 (90°)



(c) リフレクタ搭載 (0°)



(d) リフレクタ搭載 (90°)

図10 アンテナ水平面のビームパターンの効果と映像の方位方向の広がり

とにより小型FRPボートの方位方向の映像が大きくなる事が分かる(分布の傾向から判断して2倍程度大きくになっている)。3.2で既述の通り、一般的には、エコーペイントの方位方向の大きさは、水平ビーム幅で説明されるが、実際のレーダ映像では、設定感度とビームパターン等により変化するものであり、また、リフレクタ搭載及び非搭載によって異なる傾向を示すことを明らかにできたと考える。

### 5.2.2 映像の距離方向の広がり特性

表2に示す通り、パルス幅は一定の値(0.08 $\mu$ s)で計測実験を実施したが、映像の距離方向の広がり、図9(b)で示す通り相当に変動する。距離方向の映像特性を検討するために、全ての計測値について、5mごとにクラス分けし頻度を求めた。当該結果を図11に示す。同図中、縦軸は頻度(%)、横軸は距離方向の映像の広がり(m)、リフレクタ非搭載時を実線、搭載時を点線で示している。

方位方向の場合と同様に、リフレクタの搭載、非搭載に関わらず、アスペクト角による差異は見られないことから、映像の距離方向の広がり傾向からは、小型FRPボートの向きを推測することは不可能であることが分かる。また、リフレクタを搭載する方が距離方向に大きな映像となる頻度が高い(ばらつきが小さくなり、安定した映像となる)ことが分かる。

### 5.2.3 映像の形状特性

図1で示した通り、水平ビーム幅とパルス幅の効果により、小型FRPボートのような小型のターゲットの映像面上の形状はレーダからの距離により変化する。方位方向の映像の広がり角度を距離(m)に変換し、距離方向の映像の広がりとの比(ここでは「映像アスペクト比」と呼ぶこととする。)を求めることで、形状特性の検討を行った。当該結果を図12に示す。同図中、縦軸に映像アスペクト比、横軸に

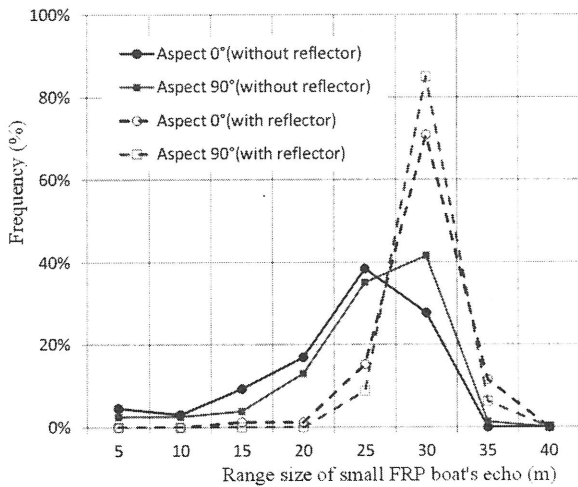


図 11 映像の距離方向の広がり傾向

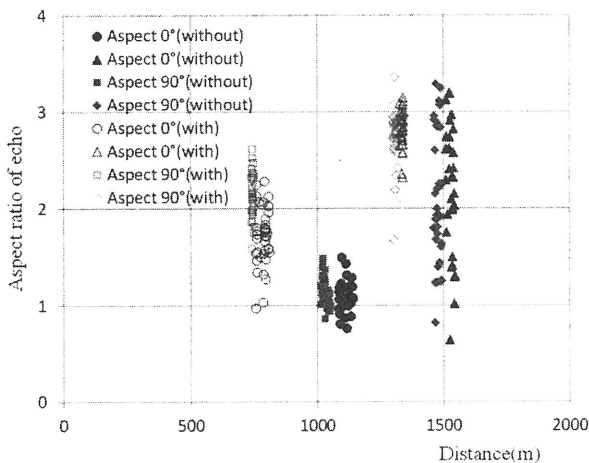


図 12 映像アスペクト比と距離の関係

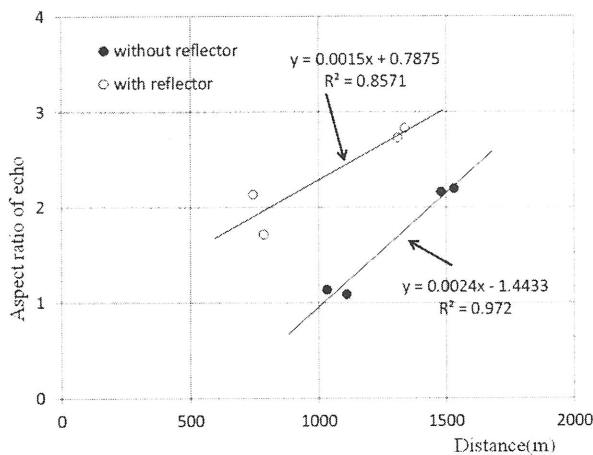


図 13 リフレクタ搭載及び非搭載時の映像アスペクト比 (平均)

距離 (m) としている。各記号は凡例にある通り、図 9 と同様である。なお、映像アスペクト比が 1 であれば円形の映像であり、1 未満であれば縦長の映像、1 を超えると横長の映像となる。各ケースとも距離が大きくなるにつれて横長の映像となる傾向が明らかであり、定性的な説明と一致している。また、

5.2.1 及び 5.2.2 と同様に、小型 FRP ボートの向き (アスペクト角) による差異はない。リフレクタの搭載・非搭載の比較では、搭載している場合の方が近距離でも横長の映像となる傾向が見て取れる。各ケースにおける映像アスペクト比を平均し、リフレクタの搭載及び非搭載という条件でまとめた結果を図 13 に示す。この図から、リフレクタ搭載時及び非搭載時のレーダから小型 FRP ボートまでの距離と映像アスペクト比との関係を把握することが可能である。但し、現時点では今回使用した小型 FRP ボートに限定されるので、種々のタイプのボートでも同様の傾向を示すのか更なる検証も必要であると考えられる。

## 6 まとめ

リフレクタを搭載することにより、RCS が大きくなり、そのことで、反射信号強度も大きくなり、小型 FRP ボートが探知し易くなることは定性的には当たり前のことである。本研究では、2 つのアスペクト角、リフレクタの搭載・非搭載による実海面での反射信号強度と RCS の特性、また、リフレクタの搭載条件による映像の大きさと形状 (エコーペイント) の特性について、定量的な解析により明らかにした。本研究の成果をまとめると以下の通りである。

- (1) レーダ信号強度は 20dB 以上変動する。このため設定感度にもよるが、実海面での小型 FRP ボートの映像は毎回表示される訳ではない。実務者はこのような特性を理解して、連続的・系統的な観測を行う必要がある。
- (2) リフレクタ非搭載時、船首が向首する小型 FRP ボートの RCS は正横時の半分程度となる。すなわち、行き会い状態等の浅い角度による見合い関係にある小型 FRP ボートの探知は正横時よりも困難になる。
- (3) 新基準で型式承認を受けたリフレクタを搭載することで、実海面で計測された RCS は 2 倍程度向上する。
- (4) 小型 FRP ボート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。このため、映像の形状から小型 FRP ボートの向きを推定することはできない。
- (5) リフレクタを搭載する方が映像の広がり (方位方向及び距離方向) が大きくなる。すなわち、映像の大きさからも探知され易い環境を提供することになる。

本研究では、大型船及び小型船の運航者双方の実務者の視点に立ち、これまで明示的でなかった小型 FRP ボートのレーダ反射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から、船舶運航者の映像判読等について一定の指針を提供できたと考える。一方、対象とした小型 FRP ボートが 1 隻であること（限定的）やリフレクタの搭載方法等、より実務的な視点に合わせた方法による解析も必要であると考えている。また、観測したデータ数も限定的であるので、より詳細な解析を進めるために実海域での観測実験を通じて種々のデータを蓄積・解析していくことが必要であると考えている。このような事項を含めて今後の課題として更に研究を進めていく予定である。

## 謝辞

研究の実施に当たり協力頂いた関係各位に感謝します。また、本研究は JSPS 科研費 23510216 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 第四管区海上保安本部ホームページ  
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/04kanku/contents/blog/000870.html>
- 2) Alan BOLE, Bill DIELY, Alan WALL, *Radar and ARPA Manual (Second Edition)*, ELSEVIER Ltd., 2005, 89-95.
- 3) 水井真治 山田多津人 月坂明広 中川義教, 小型 FRP 船映像の 2 次元分布の解析, 日本航海学会論文集, 124(2011), 71-77.
- 4) 今津隼馬 榎野 純, 「電波航法」, 成山堂, 2012, 64.
- 5) Peter SWERLING, Probability of Detection for Fluctuating Targets, IRE Trans. IT-6, 1960, 269-308.
- 6) 日本小型船検査機構, 航海用レーダ反射器の取り扱いについて,  
[http://www.jci.go.jp/topics/pdf/topi\\_h221004.pdf](http://www.jci.go.jp/topics/pdf/topi_h221004.pdf)
- 7) 吉田孝他, 「レーダ技術」, コロナ社, 1976, 120-124.