

材質の異なる小物標のレーダ有効反射面積

松野保久, 古川慎太郎

Radar Cross Sections of Small Targets of Various Materials

Yasuhisa Matsuno and Shintaro Furukawa

Keywords : Radar cross section, Reflection strength, Small target

Abstract

Six different materials which are used for net pens and fishing gears were tested to measure their radar cross sections. The values of radar cross sections were in the following order (larger to smaller): iron, aluminum foil, bamboo, polystyrene foam, wood and polyvinyl chloride. Bamboo gave about 3 times larger value than wood or polyvinyl chloride, and the value doubled in polystyrene foam. The radar cross section increased 3.5 times, when the wood was covered with aluminum foil. The iron material showed about 100 times larger value than the non-metallic. Some correlation was found between the geometric, the calculated and the radar cross sections of iron material, but not for the non-metallic materials.

レーダは自船の位置測定とともに、他船の動向、障害物の存在を知るために船舶の安全航行上必要不可欠の航海計器であることは論を待たない。しかし小型船¹⁾、漁具^{2,3)}、浮標など小物標の探知は自船からの距離、気象・海象条件等により困難な場合も多く、操船者を悩ませ、時として接触、折損などの事故が発生する。そこで筆者らはそれら小物標を確実にレーダで探知できる、安価で小型のレーダ映像強調装置の開発を検討中である。そのための基礎データを得ることを目的として、養殖生簀、網あるいは縄漁具等に多く使用されている各種材質のレーダ波反射強度を測定し、2, 3の知見を得たのでここに報告する。

方 法

レーダ反射波強度測定のための構成を Fig. 1 に示した。レーダ受信機回路よりビデオ信号およびレーダパルス発射信号をトリガー信号としてオシロスコープに取り込み、

小物標からの反射電圧を測定した。使用レーダは JRC 製 (JMA-2254) で、測定時の諸元を Table 1 に示した。またオシロスコープはソニー・テクトロニクス社製 (TD3012) を使用した。

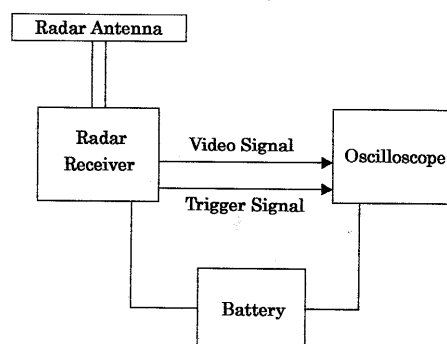


Fig. 1 A block diagram for measurements of radar cross sections of small targets.

Table 1 Specification of the radar used for measurements

Transmit Power	4kW
Antenna Gain	500
Transmit Frequency	9410±30MHz
Wave Length	3cm
Horizontal Beam Width	2.0°
Vertical Beam Width	30.0°
Pulse Length	0.08 μs
Repeating Frequency	2250Hz

今回の測定場所は鹿児島市与次郎の長水路（幅53m×長さ650m）とした。標的となる小物標は、両岸より水平に張られた細いロープの略中央、水路幅の中央付近に垂下した。使用した小物標は Fig. 2 に示したように、材質は塩化ビニール、発泡スチロール、木材、鉄材、アル

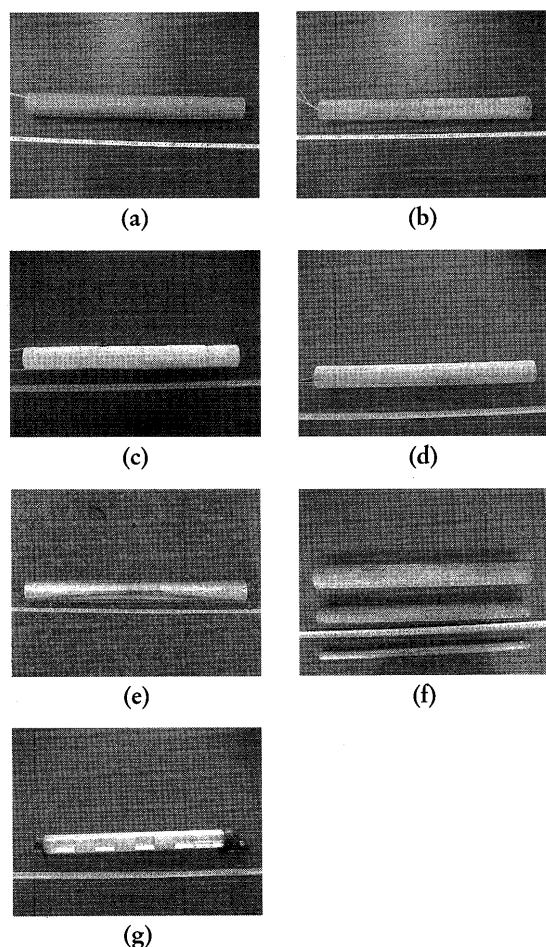


Fig. 2 Photographs of different materials as small targets.
a: Polyvinyl chloride pipe e: Log with aluminum foil
b: Bamboo f: Iron pipes
c: Polystyrene foam g: Reflector
d: Log

ミ箔そして市販リフレクターのアルミ材であった。なお各材質の小物標の大きさは、市販リフレクター（直径55mm×長さ550mm）と同一大の円柱形に統一した。なお規格品である塩化ビニールパイプは直径43mm（小）・60mm（大）を、鉄パイプは直径20mm（小）・43mm（中）・60mm（大）を使用し、長さはリフレクターと同一の550mmとした。

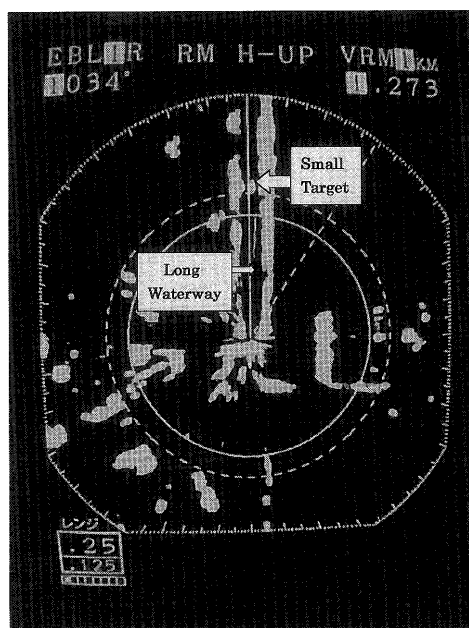


Fig. 3 An example of the radar image of a small target.



Fig. 4 An example of the waveform of a small target on an oscilloscope.

各小物標からの反射電圧の測定にあたっては、レーダアンテナの回転を止め、主ロープが正確に小物標方向を向くように手動調節する必要があった。そのため Fig. 3 に示した小物標のレーダ映像と、Fig. 4 に示したオシロスコプのエンベロープ映像が最大になるよう配慮した。

また測定 of 偶然誤差除去のため128回の反射信号電圧を平均した。平均回数を n 回としたとき, 信号対雑音比 (S/N 比) は理論上 $n^{1/2}$ 倍に改善されるので, 今回の測定においては 21dB 向上する。

小物標の有効反射面積 σ (m^2) を求めるレーダ方程式は次に示すとおりである⁴⁾。

$$\sigma = \frac{P_r \cdot (4\pi)^3 \cdot R^4}{16 \cdot P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sin^4 \left[\frac{2\pi \cdot a_s \cdot a_e}{\lambda \cdot R} \right]} \quad (1)$$

ここで

- P_r : 受信電力 (W)
- P_t : 送信電力 (W)
- R : レーダアンテナと小物標との距離 (m)
- G : アンテナ利得
- a_s : 地球の曲率を考慮したレーダアンテナ高さ (m)
- a_e : 地球の曲率を考慮した小物標の高さ (m)
- λ : 波長 (m)

各小物標の測定反射電圧 (受信機ビデオ出力) に対する MIC (Microwave Integrated Circuit) 入力電力を知ることができる入出力特性曲線より受信電力比 (dBm) を求め, そして受信電力 (W) に変換し, この値を (1) 式に代入して有効反射面積を算出した。

なお測定期間中の海象は全て静穏な状態であり, 気象・海象による悪影響は無視できた。

結果および考察

Fig. 5(A) に非金属の測定結果を示した。有効反射面積は塩化ビニール, 木材, 発泡スチロール, 竹材の順に大きくなる傾向がみられた。旗竿としてよく使用される竹材は塩化ビニール, 木材の約3倍, 浮きとして使用される発泡スチロールの約2倍であった。木材に厚さ $12 \mu m$ のアルミ箔を巻きつけたとき, 木材のみの約3.5倍となり, アルミ箔の効果がみられた。日本無線(株)の内部資料によれば, 水面上高さ 2 m の旗竿 (直径30mmのもの 1 m と直径15mmのもの 1 m の合計 2 m) の有効反射面積は $0.013 m^2$ であり, この竿にアルミ箔を巻きつけたとき, 同面積は $0.189 m^2$ と 14.5倍に達している。旗竿の材質およびアルミ箔の厚さ等が不明であるので, 今回の測定結果と単純に比較できないが, 軽量であるアルミ箔の効果は期待できる。しかしながら, 有効反射面積そのものが極めて小さな値であるため, レーダ映像強調装置の材質として使用するには更に形状等改良の必要がある。

Fig. 5(B) に金属の測定結果を示した。鉄パイプはその直径が大きくなるに従い有効反射面積も大きくなった。

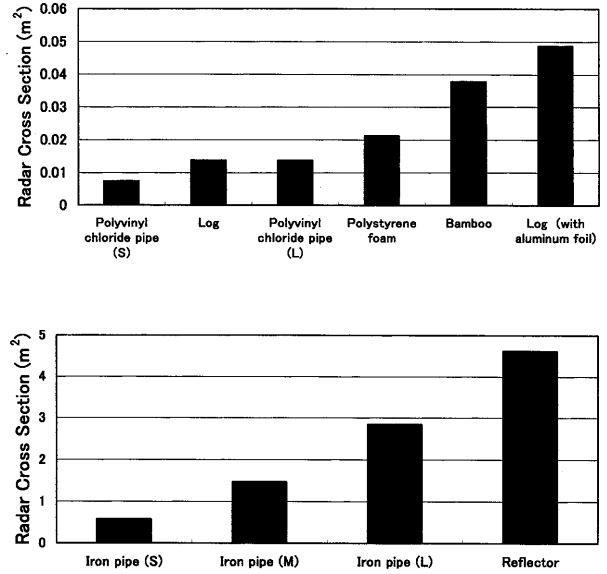


Fig. 5 Radar cross sections of different materials.
(A): Non-metallic material
(B): Metallic material

しかもその値は, 今回測定した非金属の約100倍を示した。またアルミニウム製のリフレクターは約 $4.6 m^2$ と最大値を示した。

物標が全方向に対し一様にレーダ波を完全反射すると仮定すれば, 今回測定した円筒形の物標の有効反射面積は次式⁵⁾から求めることができる。

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot l^2}{\lambda} \quad (2)$$

ここで

- r : 円筒の半径 (m)
- l : 円筒の長さ (m)

また, 有効反射面積は物標の幾何学的投影面積に比例する¹⁾との報告もみられる。よって Fig. 5 に示した各小物標の (2) 式から計算した有効反射面積と, 幾何学的投影面積を, そして測定した有効反射面積も合わせて Table 2 に示した。非金属小物標の測定有効反射面積は幾何学的投影面積, 計算有効反射面積とも大小関係にバラツキがみられ関係は認められなかった。しかし金属小物標である3種類の鉄パイプ L, M, S の測定有効反射面積は幾何学的投影面積, 計算有効反射面積が大きくなるに従い大きくなる傾向にあった。しかも測定, 計算両有効反射面積の値が鉄パイプ M, S ではほぼ一致した。

レーダ映像強調装置を小型の舟艇類, 漁具, 浮標に取り付ける為には, 軽量, 小型, 安価である必要がある。同装置は受波エネルギーを電子回路を通し, 増幅して返

Table 2 Radar cross sections and geometric project areas of different materials

Material	Reader cross section		Geometric project area (m ²)
	Measured (m ²)	calculated (m ²)	
Polyvinyl chloride pipe (S)	0.00751	1.36214	0.02365
Log	0.01373	1.74227	0.03025
Polyvinyl chlorige pipe (L)	0.01372	1.90066	0.03300
Pokystyrene foam	0.02127	1.74227	0.03025
Bamboo	0.03779	1.74227	0.03025
Log with aluminum foil	0.04872	1.74227	0.03025
Iron pipes (S)	0.58189	0.63355	0.01100
Iron pipe (M)	1.46164	1.36214	0.02365
Iron pipe (L)	2.84997	1.90066	0.03300
Reflector	4.62211	1.74227	0.03025

す方法と、受波エネルギーを直接、損失を極力抑えて返す方法が考えられる。前者は別の項で論じたい。後者の場合、アルミ箔を巻きつけての効果が認められたこと、および鉄材の反射効率が高かったことを考慮すれば、軽い材質の表面に鉄粉などを塗布する等の方法により、小さな幾何学的投影面積を、より大きな面積に匹敵する効果を生じせしめ、有効反射面積の増大を図ることができる。今後、そのより有効な材質を検討したい。

海上にある小物体の有効反射面積測定の結果は極めて少ない。よって今回他の報告と比較することができなかった。今後更に基礎データの蓄積に努め、レーダ映像強調装置開発の一助としたい。

要 約

養殖生簀、網あるいは縄漁具等に多く使用されている材質6種類について、基本的な形状を円柱形（直径55mm×長さ550mm）とし、有効反射面積を測定した。

その結果、有効反射面積は塩化ビニール、木材、発泡スチロール、竹材、アルミ箔、鉄材の順で大きくなった。竹材は塩化ビニール、木材の約3倍、発泡スチロールの約2倍であった。アルミ箔は異なる材質のものに巻きつける方法で、有効反射面積を約3.5倍大きくすることができた。鉄材の有効反射面積は予想を越え大きな値をとり、塩化ビニール他非金属材料の約100倍となった。

物標形状の幾何学的投影面積およびレーダ波を完全反射するものと仮定する計算式より求めた計算有効反射面積と鉄材の測定有効反射面積の値は略一致する傾向にあり、相関関係が推定できた。しかし塩化ビニール他非金属材料は相関を見出すことはできなかった。

最後に、測定を実施するにあたり協力いただいた本学環境情報科学講座航海グループに所属する4年生学生の平口幸生君ならびに藤健太郎君に謝意を表す。

参考文献

- 1) 井関 貢 (1955): 船用3種レーダーの小型船反射強度について (第3報). 日本航海学会誌, 13, 43-51.
- 2) 神鳥 昭 (1965): 定置漁具のレーダー映像について-I. シイラづけのレーダー映像と探知距離. 日本航海学会誌, 32, 7-14.
- 3) 神鳥 昭 (1967): 定置漁具のレーダー映像について-II. シイラづけ探知障害についての考察. 日本航海学会誌, 36, 111-117.
- 4) 楠 順三, 庄司和民 (1957): 船用3種レーダーの小型船反射強度について (第4報). 日本航海学会誌, 15, 41-51.
- 5) 落合徳臣, 茂在寅男 (1959): "レーダの理論と実際". 海文堂, 東京, p.41