レーダブイの評価試験

中島 裕*・飯島 幸人**

Evaluation Test of Radar Bouy

H. Nakajima and Y. Iijima

Abstract

It is difficult to detect a small target on sea surface for a radar. If a target is active, even though it is small, a radar can detect it easily far away. The radar bouy is a so-called tranponder which receives a radar wave and transmits a UHF signals. Now-a-dys, it is used generally to find fishing nets. The coverage of radar bouy is calculated about 11~12 miles theoretically, but fisher men say that actual range is about 5~6 miles, sometimes 4 miles or so at sea.

Authors experimented evaluation tests for several times at sea and found the causes of shortage between the theoretical coverage and the actual. After some improvements for the equipment, good results were obtained.

1. ま え が き

現在高度に普及したレーダをより有効に利用するために、レーダの長所をいかし、その欠陥をおぎなうような各種の器機が考案されている。レーダブイは洋上に浮遊する物体の距離と方位をレーダと同一の精度で求め得るもので本質的にはレーダトランスポンダである。現在主として漁業用として用いられておるが、実用的には4~5浬程度しか受信出来ないという風評のあるレーダブイをとりあげ評価試験を実施し、その性能を向上させるため若干の改良をほどこし、良好なる結果を得たので報告する。

2. 実 験 目 的

本レーダブイ（以後ブイと呼称する）の系統図を図1に示す。図に示す如く洋上のブイと船上におけるレーダ、これに付加されるVHF受信装置から構成される。本システムではまずレーダ電波が発射され、ブイのマイクロ波受信機に受信され、そのパルスが一定のレベル以上であるとゲート回路が動作しブイ固有の識別パルスがVHF送信部より送り出されレーダ側のVHF受信装置によつて受信され、識別装置を経てレーダ指示器に送られる。故にブイの有効距離はマイクロ波とVHFの内、到達距離の短い方により決定される。まずVHFの有効通達距離について検討してみると、ブイの諸元より

送信アンテナ高 3m

*大島商船高専（山口県大島郡大島町）

**東京商船大学（東京都江東区越中島2の1）

受信アンテナ高 10m
 送信出力 1w
 アンテナ利得 0db として

距離対受信電力の関係を図示したのが図2である。VHF 受信機の受信感度としては、-100db 以上期待出来るのでこれより到達距離としては約21 哩前後となる。同様にマイクロ波の距離対受信電力を描いた理論曲線は図3となる。なお本図で点線は実測値である。本ブイのカタログ上の最低受信電力は-55dbmでありこれより有効距離は11 哩となるので最大

図1 レーダー系統図

図2 VHF 受信電力曲線

送信電力 1w
 送信アンテナ高 10m
 受信アンテナ高 3m
 アンテナ利得 0db

図3 レーダブイ (マイクロ波)

$$S = \frac{P \cdot G \cdot A}{4 \pi d^2} 4 \sin^2 \left(\frac{2 \pi H_1 H_2}{d \lambda} \right)$$

P: レーダ送信電力=30kw

G: レーダアンテナ利得=30db

A: レーダブイアンテナ有効面積=2.43cm²

d: レーダ, レーダブイ間の距離

λ: 波長

H₁: レーダアンテナ高

H₂: レーダブイアンテナ高

有効距離を決定するのはマイクロ波系のため、これに重点をおき以下の実験項目を設定実施した。

- 1) マイクロ波アンテナの指向特性
- 2) マイクロ波受信電力の測定
- 3) 最大有効距離の測定

- 4) アンテナ傾斜試験
- 5) 結露現象について
- 6) 水圧テスト
- 7) 妨害波除去について

表 1

距離 (哩)	傾斜角		ビデオ 出力(V)		レーダ 映像		摘 要
	往	復	往	復	往	復	
0.9	0°		6.2		OK		
2.0	0°		4.8		OK		マイクロ波アンテナキャップ内に結露させてビデオ出力測定した所 4.3Vに低下した
2.1		0° 10° 30° 45° 60°	4.4	3.5 3.2 2.8 0.6 0.5	OK	OK	Bブイ(船上)……アンテナを傾斜させビデオ出力を測定
2.1		0° 15° 30°			OK 1/2 NO		Aブイ(海上)……アンテナを傾斜させる 約20°以上でレーダ映像出なくなる
2.8		0°		2.5	OK		Aブイ(海上)……約20°アンテナを傾斜させるとレーダ映像消滅する
3.0	0°		2.9		OK		
4.0	0°	0°	2.0	1.9	OK	OK	Bブイ(船上)……アンテナ90°傾斜しても映像出る Aブイ(海上)……約20°傾斜すると映像出ない
5.0	0°	0°	3.4	2.5 ~ 2.9	OK	OK	
6.0	0°	0°	3.0	2.5	OK	OK	
7.0	0°	0° 10° 20° 45° 60°	2.5	2.5 2.0 2.2 1.0 0	OK	OK	Bブイ(船上)……アンテナと傾斜させビデオ出力の測定
8.0	0°	0° 10° 20° 40°		2.0 0.6 0.4 0	OK NO NO NO		Bブイ(船上)……アンテナ10°以下の傾斜で映像出ない Aブイ(海上)……わずかな傾斜(測定不能)で映像出なくなる
8.2		0°			OK		
8.3	0°		2.0		1/2		Aブイ(海上)ではスキャナの2回転に1回映像が出る Bブイ(船上)ではスキャナ回転毎に映像が出る
8.6		0°			1/2		Bブイ(船上)の結果である
8.8		0°			OK		Bブイ(船上)の結果
8.8		0°			1/3		
9.0	0°	0°	1.7	1.4	1/3		Aブイ(海上)約10°傾斜すると映像出ない
9.3	0°		1.3		NO		レーダ映像出ない

(註) 表示方法 OK は毎回レーダ面に映像の出る場合
 1/3 はスイープ3回に1回映像の出る場合
 NO は映像の出ないもの

Bブイは船上でビデオ出力の測定に使用しながら通常動作を行わせた。
 レーダアンテナ高その他は図3に示してある。

3. 実験の結果

実験は最初2で挙げた各項について実施しその結果ビデオ増幅部の利得不足と、使用されている3スロットアレイマイクロ波アンテナの指向特性の不適が判明したのでそれぞれ改良をほどこし第1回の実験結果を勘案し、最大有効距離とアンテナ傾斜試験についてのみ第2回目の実験を実施した。第1回の結果を表1に、第2回目の実験結果を表2に示す。

3.1 マイクロ波アンテナの指向特性

無反射室にて垂直、水平各指向特性の測定を実施した。使用されているスロットアンテナの形状と垂直、水平各指向特性を図4に示す。これによると垂直指向特性のピーク幅はほぼ $\pm 9^\circ$ であり水平指向特性は最も感度の悪い所で -4db もの差がある。この特性は無指向性が望まれ、又風波によるアンテナ傾斜の避けられないブイ用のアンテナ特性としては不適當であり、環境条件に

表 2-1

距離 (哩)	レーダー 影像の状態			傾 斜 角 度	摘 要
	No. 1	No. 2	No. 3		
1.2	OK	OK	OK	0°	レ ー ダ 4 マイルレンジ 船のローリング 5~10°
	"	"	"	10°	
	"	"	NO	20°	
	"	"	"	30°	
	"	"	"	40°	
2.0	OK	OK	OK	0°	4 マイルレンジ
	"	"	"	10°	
	"	"	"	20°	
	"	"	"	30°	
	"	"	"	40°	
3.0	OK	OK		0°	4 マイルレンジ 船のローリング 5°~15°
	"	"		10°	
	"	"		20°	
	"	1/2		30°	
	"	3/4		40°	
4.0	OK	OK		0°	12マイルレンジ ロ ー リ ン グ 10~15°
	"	"		10°	
	NO	"		20°	
	"	"		30°	
	"	"		40°	
5.0	OK	OK		0°	" "
	"	"		10°	
	NO	"		20°	
	"	"		30°	
	"	1/2		40°	
6.0	OK	OK		0°	" "
	"	"		10°	
	NO	"		20°	
	"	"		30°	
	"	NO		40°	
7.0	OK	OK		0°	No. 1 ブイ 復航7.5哩で OK
	NO	1/2		10°	
	"	OK		20°	
8.0	NO	1/2		0°	No. 3 ブイ 復航に8.5哩で2/3出る
	NO	NO		10°	
9.0	NO	NO		0°	

(註) 第2回の実験は 船上にレーダを、遠浅の砂浜で適当な水深の所にブイを設置した。

ブイの動揺は常時 $\pm 10^\circ$ 前後であつた。

影像の表示は表1と同様である。

表 2-2

距 離 (哩)	レーダー影像の状態			摘 要
	No. 1	No. 2	No. 3	
2.0	OK	OK	OK	レ ー ダ 4 哩レンジ
3.0	"	"	2.7 哩で消える	電 池 消 耗 (No. 3)
4.0	"	"		レ ー ダ 12 哩レンジ
5.0	"	"		
6.0	"	"		
7.0	"	"		
8.0	"	"		
9.0	"	"		
10.0	"	"		
11.0	"	"		
12.0	"	"		
13.0	12.5 哩で OK	12.0 哩消える		バッテリー電圧低下しレーダ動作せず 実験中止

図4 3スロット アンテナの指向特性

図4-(b)

よる感度変化を押えるためには小素子数による低利得方式とし、ビデオ増幅部で利得を稼ぐべきであるという理由により、1応3スロットのうち一つの穴を埋め2スロットとしたものの特性を図5に、又新たに2スロットアンテナとして製作したものの特性を図6に示す。図6によると垂直ビーム幅 $\pm 17^\circ$ であり、水平指向特性も 360° にわたりほぼ一様の特性を示している。

3.2 マイクロ波受信電力の測定

ブイ用 VHF 送信部のトリガに必要なマイクロ波受信電力を測定するためにあらかじめブイのマイクロ波受信機（クリスタルビデオ方式）のビデオ増幅部の利得直線性、ゲートのシュミット回路をトリガするための最低ビデオ出力等の測定を実施したところ、ビデオ部の利得 74db VHF 送信部トリガ最低レベル 0.7[V]を得た。ビデオ増幅部がかなり低いレベルより飽和していたのでこの測定のため直線増幅可能な如く改造した。測定構成

図5 2スロット アンテナの指向特性

3.3 最大有効距離の測定

3.3.1 図7の構成でブイAを洋上に浮べて実際の使用状態で測定した表1の結果より、アンテナ直立時の最大有効距離は約9浬であり図3の理論曲線より推定すると11浬前後まで受信出来るはずであるのでビデオ部の利得不足と思われる。この時のレーダーアンテナ高20m、ブイアンテナ高3mであり電波見透距離は約13.8浬となる。

3.3.2 第1回の実験結果よりビデオ増幅部の利得を94dbと向上させその結果マイクロ波最低受信電力は-55dbmとなった。マイクロ波アンテナは図6の特性のスロットも使用し下記の組合せで第2回目の実験を2日間にわたり実施した。第1日目の結果を表2の1に、第2日目の結果を表2の2に示してある。このときのブイのNo. は次のような構成である。

- No. 1 [3スロットアンテナ+ハイゲインビデオ]
- No. 2 [2スロットアンテナ+ハイゲインビデオ]
- No. 3 [3スロットアンテナ+ローゲインビデオ]

第2回目の実験は実際の使用状態により近づけるためと海上におけるブイアンテナの

としては図7の構成で陸上側にレーダおよびVHF受信装置、実験船にブイA、Bを搭載し、ブイBはビデオ出力の測定、ブイAは測定に際して海上に投入動作させアンテナ傾斜試験その他に用いた。この測定で得た距離対ビデオ出力の関係は表1に示してある。

実験室内で図8の構成でマイクロ波SGよりパルス幅、パルス繰返周波数等をレーダと同一の諸元で与え、同軸変換部分その他についてはVSWRを測定、補正をほどこし受信電力を決定した。1例として図9にマイクロ波入力とビデオ出力の関係を、図10にSG〜クリスタルマウント間の整合状態を示す。表1の結果に補正をほどこした値を図3にプロットしてある。尚VHF送信部をトリガし得る最低マイクロ波入力は-43dbmであつた。

図6 2スロット アンテナの指向特性

R_V : VHF 受信装置

T_{V1} : ブイAの VHF 送信部

T_{V2} : ブイBの VHF 送信部

R_{U1} : ブイAのマイクロ波受信部

R_{U2} : ブイBのマイクロ波受信部

T_{RS} : レーダー

図7 測定構成

傾斜角度を正確に測定、保持する必要性より船上にレーダ（アンテナ高6 m）を遠浅の砂浜で適当な水深の所にブイの設置した電波見透距離は約9.3 哩となった。最大有効距離に関しては表2-1, 2より No. 2 が最良の結果を示しているが第1日の結果と第2日の結果においていちじるしい差が認められる。この差はすべてのブイについて認められるので伝搬状態の差に起因するものと推定される。

第1日の天候 気温 24.9° ガス 視界 1 NNW 風力 2

第2日の天候 気温 33.7° 晴 視界 5 NNE 風力 2

電波見透距離約9.3 哩であり、これらより判断すると表2の1の結果が通常の状態であり、表2

図 8

マイクロ波入力-ビデオ出力曲線

図 9

の2の12 哩以上というのは海上においてスーパーリフラクションの状態が発生していたとも考えられる。

3.4 アンテナ傾斜試験

3.4.1 第1回の実験では第4図の構成で船上でブイBを動作させアンテナ傾斜によるビデオ出力の変化を測定、同時に船体反射を考慮してブイAを海上で動作させながら陸上側レーダで映像を確認測定した。

海上での正確なアンテナ傾斜角度の保持は困難を極めたが、3スロットアンテナを使用して実施した表1の結果では4 哩地点で $\pm 20^\circ$ 傾斜で映像が消滅しているが、2スロットアンテナを使用しているNo. 2においては表2の1にみられる如く7 哩で、 $\pm 20^\circ$ 傾斜でも映像は表われており、アンテナ指向特性の実験結果

図 10

との関連において3スロットアンテナの垂直指向特性がシャープに過ぎ、そのためブイの傾斜による指向性の欠陥がよく現われている。又2スロットアンテナを使用した場合垂直指向特性におけるビーム幅の拡大とそのためのアンテナ傾斜時の有効距離の増加については改善のあとがみられる。

3.5 結露現象について

北洋漁業等に使用される場合アンテナキャップ内に水滴が付着するいわゆる結露現象による感度低下が考えられるので、ナイロン製アンテナキャップ内に結露させその出力の低下状況を測定してみた。表1より乾燥状態でビデオ出力 4.8[V]、結露状態で 4.3[V] と低下した。これ等は受信入力に換算しそれぞれ -22.4dbm, と -23dbm であり大きな影響はないようである。

3.6 水圧テスト

ブイを動作状態のまま5分間ずつ、5mきざみで25mまで沈下させ、引上げては動作の確認をしたが全く異常は認められなかった。

3.7 妨害除去について

ブイはその機能上無指向性の受信、送信を行っているが、このため受信可能範囲に多数のレーダが動作していると親レーダへの応答以外に他船のレーダによる応答が親レーダの映像面に表われて甚しい干渉を与える。

このため VHF 受信装置の信号処理部でシフトレジスタと論理回路により3回の相関をとり、他船レーダによる非同期の信号を除去し干渉を防止している。実験海域の館山附近は船舶通航量の多い海域であるが実験期間を通じて他船のレーダによる干渉は殆んど認められなかった。しかし相関を1回にしたところ多くの干渉が認められた。またブイの識別については3台のブイを並べて同時に作動させておき観測をしたが混信はまったく認められなかった。

4. 結 論

今回評価試験を実施したブイの受信アンテナ高は3mであり、この対照となる漁船のレーダ空中線高はほぼ 5~10m前後と低く、かつレーダ送信電力、空中線利得等も中、小型である事などを考慮すると、その最大有効距離は通常の伝搬状態においてブイアンテナが $\pm 20^\circ$ 前後の傾斜を示す様な海面の状態では8.5海里前後であるといえる。方位分解能と距離分解能に言及すれば、原理的に前者はレーダアンテナの水平面ふく射角で、後者は VHF 信号のパルス幅によつて決定さ

れるので識別システムによつて一定しない。しかし実用上は船側より見てまったく同一線上に2個のブイが並ぶことはあまり無いと思われるし、その様な場合走行しながら測定を行えば方位分解能よりして問題は無いと考えられる。むしろ問題は近距離におけるレーダサイドローブによる誤動作であろう。

【質問】

2回の相関ではノイズが除去しきれないとあるが、2回程度で使用可能程度が除去できると思うが、また使用パルス幅はどの位か。

(大 条 広)

【解答】

VHF 信号の使用パルス幅は $60\mu\text{S}$ と $80\mu\text{S}$ であり、これが一つの信号を形成して連続して発射される。ここでノイズと言っているのは他船レーダによつてブイが叩かれ、その信号が本船に入ってくることであり、いわば干渉のようなものであるので除去は困難である。