

Radar Target Enhancer の問題点について

－日本による調査レポート－

(和文・概要)

(英文レポートを希望の方は hayashi@e.kaiyodai.ac.jp にお知らせください。)

The survey-report by - Japan about the problem of

Radar Target Enhancer

(The Japanese and the overview)

As for being hoped for, [inform hayashi@e.kaiyodai.ac.jp](mailto:hayashi@e.kaiyodai.ac.jp) about the report of
English.

日本航路標識協会

海上保安庁

東京海洋大学 (林 尚吾)

アブストラクト

1990年代から市販されている Radar Target Enhancer は、小型で簡便なため広い用途が期待されている。日本でもこの Radar Target Enhancer を航路標識などへの利用に関して調査・検討を行なった結果、いくつかの問題点がわかった。

大きな問題点として自己発振現象が観測された。その一例を図 A-1 に示す。この他、電波暗室、湖上、海上で行なった実験において観測された現象を報告するとともに、多くの関係者にこの現象を共通の認識として持っていただくことを願う。

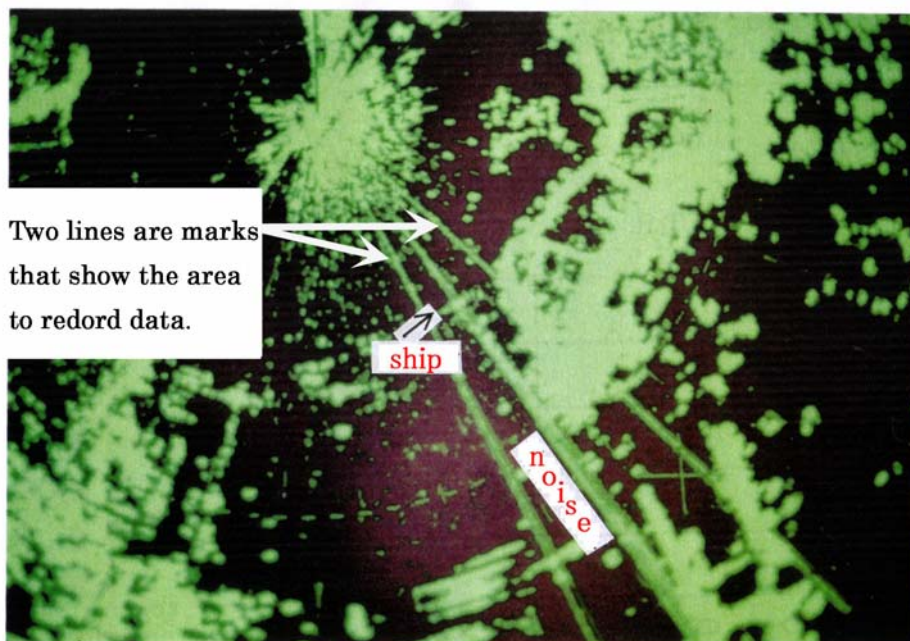


Fig.A-1 An example of a radar image of self-oscillation

なお、本レポートは、平成 9 年度および 10 年度に日本海事財団から事業補助金を受け、(財)日本航路標識協会において海上保安庁のご指導のもと専門委員会を設置した「レーダ映像強調技術利用に関する調査研究」(委員長：鈴木務電気通信大学名誉教授(現)、作業部会長：林尚吾東京海洋大学教授)の結果を踏まえ、さらに海上実験の結果をまとめたものである。

1. はじめに

船舶において、レーダは航行援助や遭難救助の際に非常に有用な計器である。しかしレーダの探知能力は、物標からの反射能力（レーダ反射断面積）や海面、雨雪からの不要な反射（レーダクラッタ）に大きく依存するため、小さな物標が探知できない場合がある。これを検知するためには、レーダクラッタを小さくするか、物標からの反射を強くすることが必要である。物標の反射を強くする航行援助システムは、歴史的にも多くの形式が研究されてきているが、日本ではレーマークビーコン、レーダビーコン、レーダレフレクタの3種類が利用されている。

これらの他に、英国などでレーダ電波の反射波を増幅させる装置が市販されている。これはアクティブなレーダターゲットエンハンサと呼ばれている。構成は、送信アンテナ、受信アンテナとマイクロ波増幅器から成り、レーダ電波を受信するとそれを単に増幅して送り返す装置である。従来のレーダレフレクタに代わって、航路標識やその付属施設としても有効な利用が期待されている。小型で簡便であることからさらに用途が広く、魚網ブイや海上構造物等へ幅広い利用が予想される。

このアクティブなレーダターゲットエンハンサは IMO 決議 A.615(15)^[1]に従っていることから、1995年10月、ITU-R も技術特性の勧告を発表した。（以下、この技術特性に従っているレーダターゲットエンハンサをここでは RTE と呼ぶ。）これを受けて各国で RTE の検討が始められるようになってきた。また2004年10月現在、RTE を国際的な許可標識とする申請が ISO に提出され、審議されているところである。

これら一連の決議、勧告の基礎となっているのは、巻末に示した文書^{[2][3][4][5][6][7][8]}である。製造メーカーのカatalog^[9]によれば、図1-1の通り、効果があるとされている。そこで、日本でも航路標識としての利用やレーダレフレクタに置き換えることの可能性などについて検討が行なわれた。しかし、その結果、机上におけるこれらの検討の過程でいくつかの問題が懸念された。つまり、RTE は構造が簡単で低価格である反面、サイドローブによる誤動作、近距離反射波の飽和によって他物標を消すマスキング、他のレーダへの誤送信、RTE による映像を大きな物標と誤る問題などが予想されたのである。

日本では、ITU-R 勧告などの国際海事機関等の勧告を改めて検証し、さらに、市販の RTE を用いて実証実験を行なった。その結果、懸念されていた現象がいくつか観測された。自己発振と呼ばれる現象により、レーダ画面が激しく乱されている。他にもいろいろなパターンの映像が得られている。次章以降で順に結果を示すが、結論として、現在市販されている RTE が国際的な許可標識となるにはまだ解決すべき問題が多々あり、時期尚早であると言わざるを得ない。

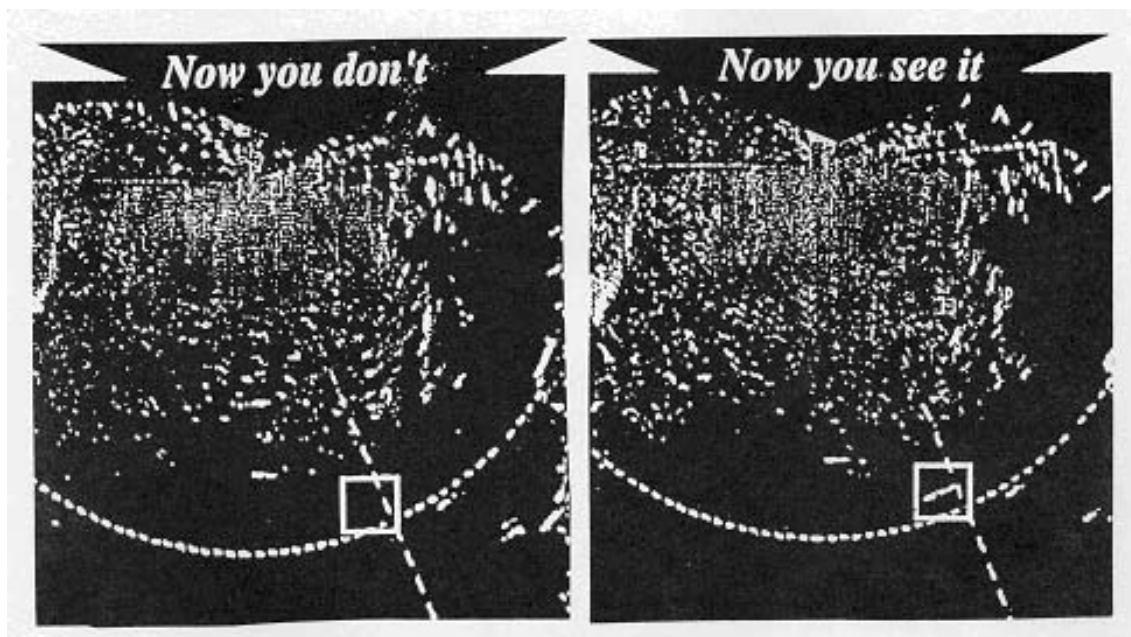


Fig.1-1 A radar image from RTE manufacturer's catalog

2. レーダターゲットエンハンサ

2. 1 レーダターゲットエンハンサとは

物標のレーダ電波に対する反射特性を強調する器具のことをいう。コーナレフレクタやルーネベルグレンズなども歴史的な器具である。このほかにも反射特性を強調する方式は種々研究開発されている。

ここでは ITU-R 勧告に従うアクティブなレーダターゲットエンハンサを対象とする。

同勧告では、船用レーダに混乱を与えないよう国際調整と技術特性に関して、「受信した船用レーダ電波に応答して受信信号を単に増幅し、自動的に送信するもの」と規定されている。よって RTE は識別符号を持たない、レーダエコーを強調する能動的なレーダ電波反射器具とみなせる。

2. 2 RTE の原理

今回の RTE は図 2-1 の概要に示すとおり送信アンテナと受信アンテナのついたマイクロ波増幅器で構成されている。RTE は ITU-R 勧告の所要条件に対応するために、水平面では無指向性で垂直ビーム幅が ± 15 度であるように製作された受信アンテナを持っている。このアンテナが受信波をマイクロ波増幅器に供給し、この増幅器の出力は同じ規格の送信アンテナを通して送信される。よって、2 本の送信/受信アンテナと増幅器の利得で強調さ

れ、全方向へ再送信し船用レーダにより受信されると、従来よりは強調された信号がレーダ指示器に表示される。

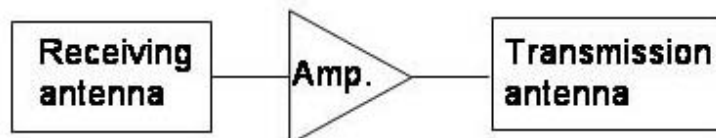


Fig.2-1 Block diagram of RTE

3. 航路標識として利用する RTE の開発に関わる検討

3. 1 ITU-R 勧告の検討

この装置は 1990 年頃から、ヨーロッパ各国（イギリス、ベルギー、アイルランド）において、物標からのレーダ反射信号を改善し、浮標または小型船をレーダでの認識を向上させることを目的として開発が始まり、1995 年 10 月に無線通信総会 RA-95 は正式に RTE の技術特性を表 3-1 に示すとおり承認している。

ITU-R で RTE の技術特性が勧告されたが、実用上の問題点が予想されるので、検討が必要な事項を次に挙げる。

- ・受信波形はリミッターにかける以外、他の処理は行なってはならない。
- ・増幅機能はあるものの近距離における増強機能の低下。
- ・エコーの増強程度の度合い、IMO 決議では、強調は大幅に超過してはならない。

なお、ITU-R 勧告等の経緯は次の通りである。

1987 年 IMO は「無線標識およびレーダ・トランスポンダ」に関する IMO 決議 A.615 を勧告

1994 年 イギリスのトリニティハウスは、実験報告を基に、ITU-R に新勧告案を提出

1995 年 無線通信総会で RTE の技術特性承認

1996 年 国際航路標識協会 IALA は RTE に関し、IMO 決議に準拠しており、灯浮標等を認識するのに効果があることとし、「RTE の報告書」を採択している。

項目	パラメータ	規格
アンテナ (送信および受信用)	偏波	9 GHz 帯においては、水平偏波を使用しているレーダへの応答に適していること。 3 GHz 帯においては、水平偏波と垂直偏波とを使用しているレーダへの応答に適していること。
	ビーム幅	水平 360 度 ± 3 dB 以内 垂直 ±15 度 ± 3 dB まで
増幅器	全帯域幅	9320 (2001 年 1 月 1 日より 9300)

		～9500MH z
	増幅度	2900～3100MH z アンテナ利得を含め最少 50 d B
	出力波形	出力は受信したパルスを増幅しただけのものでなければならず、リミッターにかける以外の処理は行なってはならない。 出力の遅延および延伸の程度は、受信したパルス幅の 10%または 10 n S のどちらか大きい方を越えてはならない。
	等価等方輻射電力	10W 以下

表 3 – 1 航行用浮標および小型船上で使用するためのレーダ反射増幅器装置の技術特性

3. 2 航路標識としての利用検討

海上保安庁では、沿岸および内海に電波標識として

- ・ 船用レーダ表示機に地形の映像と重ねて局方向の方位線表示するレーマークビーコン
- ・ 表示器に符号画像により設置場所の位置を表示するレーダビーコン

を設置している。

また航路標識の付属施設として表示器にその物標のレーダ反射特性を改善、強調するためにレーダ反射器を設置してレーダ搭載船舶の航行安全を図っている。しかしながら、現状では RTE はレーダ反射器と同様に航路標識の付属施設となる。

本調査研究では、RTE を新形式のレーダ反射器と位置づけて、規定勧告に沿って調査を進めた。

航路標識事業において RTE を利用する形として、次の 2 つの形態が考えられる。それぞれの航路標識への適合について考察する。

- (1) 航路標識の付属施設として使用する場合。
- (2) RTE を航路標識として使用する場合。

3. 2. 1 航路標識の付属施設として使用する場合

航路標識の付属施設として使用される形態が最も多いと考えられる。灯台、灯標、灯浮標等に併設して使用することで航路標識本体のレーダ映像の認識度を高める効果が期待される。反射効率の悪い小型の灯浮標への使用は特に有効と考えられ、船舶航行の指標となる灯浮標をレーダ映像として認知することが容易となる。

近年、船舶の接触により破損する灯浮標が増加し、問題となっているが、RTE を設置することによってレーダ映像で灯浮標の存在を船舶運航者に確実に認知させることが可能となり、接触防止に有効な手段になり得ると考えられる。

現在、レーダレフレクタが設置されている航路標識には、全てに RTE を設置することも考えられるが、レーダレフレクタに置き換えられるものか、あるいは併設するべきものかということから考える必要がある。

IALA では、併設するべきであるとの見解を示している。また東京海洋大学林尚吾博士の実験によると、受信したレーダパルスの波形をそのまま変形しないで返送した場合、反射波はあまりにもシャープすぎ、レーダ表示器に輝点として現れにくい。反射点に乱反射を起こすレーダレフレクタなどが存在して実効上波形を変化させることが必要であるとしている。

これは RTE を設置する航路標識の形状に応じ、レーダレフレクタと併設する場合、しない場合などが考えられるため、いろいろなケースについて実証実験を行い、設置の要件を決定する必要があると考える。

RTE が併設される航路標識には次のものが考えられる。

灯台 : 防波堤灯台に設置し、港口確認に有効。

灯標・立標 : 障害標識の認識度を高めるものとして有効。

灯浮標 : 灯浮標は一般的にレーダ映像として映りにくいので、航行の指標となる灯浮標および船舶接触の多い灯浮標に有効。

3. 2. 2 RTE を航路標識として使用する場合

レーダレフレクタの場合、航路標識に準じるものとして、青函連絡船の航行上の指標として航路に沿って単独設置（陸標）したことがかつてあった。設置周辺海域の特定ユーザに対しては、RTE が航路標識として機能することもあると考えられるが、一般的には、個別識別する機能を持たない RTE が航路標識となりうるのは、次に述べる例のように限定された条件の下と想定される。

近年、漁礁や海浜保全のための潜堤（潜水離岸堤）が設置されたことで、座礁や船底接触などの事故がある。このように海面下に設置された施設は航行船舶にとって大変危険なものであるが、一般の船舶が通常航行する水路に設置されることはない。

従って、地元の漁船など限定された船舶のみを対象に考えればよく、個別識別の機能と特に必要としない。これらの特定のユーザのための簡便な航行援助施設として、建設される可能性があると思われる。

個別識別のため、RTE の返送信号に簡単な符号を追加する方法も考えられる。この場合は、完全な航路標識として単独設置が可能となるが、これはレーダビーコンの簡易型として検討されるべきであろう。ITU-R では、RTE の受信信号の波形を変更してはならないと制限しているが、仮にこれが可能であったとしても符号化により装置が大型かつ高価にな

り、電力消費も増大し RTE の持つ簡便さという調書が失われてしまうことになれば、RTE の発展型というよりも、レーダビーコンの簡易型として検討されるべきと考える。

RTE の動作の信頼性の確保は重大な問題であり、機能監視も必要となろう。しかし、RTE には、異常警報回路の付加は費用の点から困難と考えられる。また正常に動作しているかどうかのパフォーマンスモニタの付加問題もあり、正規の航路標識として使用されるのは、信頼性の面でも解決すべき多くの課題がある。何らかの対策が必要となろう。

3. 3 技術的に検討すべき事項・調査事項

前述した原理およびイギリスの実験報告から次のような問題が挙げられる。

(1) 近距離における反射波出力の飽和

RTE は 25 kW レーダでは 4nm、5 kW レーダでは 1nm 以内で出力が飽和して増強の効果はなくなる。

(2) 消費電力

無指向性のアンテナを使用しているため RTE の効率が悪い。このため消費電力大きい増幅器が必要となり、電源の寿命が問題となる。

(3) 運用と普及

固定型、可搬型、小型、軽量、低価格、超寿命、電源、操作性および取付／取外しの容易さに関する実用的な検討を要する。

3. 4 実証実験の必要性和研究課題の提案

ここまで文献調査を基に、日本で航路標識として用いることを前提とした考察を行なったが、いくつかの問題点と研究課題が提起された。これら問題点を解明するため海上実証実験を行ない、実環境における受信状況の基礎的データを収集する。

提起された問題点を次に挙げる。

- ①近距離における RTE の増幅器飽和対策
- ②レーダレフレクタおよび RTE の併設または単独設置における反射波形調査
- ③受信感度調査
- ④マスキング対策
- ⑤出力制限機能確認
- ⑥受信条件調査
- ⑦消費電力調査
- ⑧RTE の送信出力調査
- ⑨増強度調査
- ⑩サイドローブ対策
- ⑪既存レーダビーコンによる符号の識別低下

4 RTE の性能調査

4. 1 規格等の確認

4. 1. 1 本調査に使用した RTE の規格

調査に使用した RTE は、英国製の 2 基 (RTE1、RTE2 とする。) で、そのカタログ値は次の通りである。

- 1) 周波数範囲 9300~9500MHz
- 2) EIRP 最小 200mW
- 3) 最大応答レート 400~10000PPS
- 4) 動作最小パルス幅 50nS
- 5) 受信感度 最小-40dBm
- 6) 動作電圧範囲 10.5~18V
- 7) 消費電力 0.5W (代表値、レーダの数とその特性による)
- 8) 位置精度 1m 以内
- 9) 大きさ 直径 50mm、長さ 820mm
- 10) 重量 1.39 kg
- 11) アンテナ特性 水平 360 度±3dB、垂直ビーム幅±15 度
- 12) 通常の動作環境におけるレーダレンジの代表値

レーダ出力	レンジ
4kW	4.8 海里
25kW	8 海里
- 13) その他 形状などの詳細は参考資料 7 に示す。

4. 1. 2 内部構造の確認

①RTE1 のカバーをはずして内部構造を調べた。構造および回路概要を図 4-1 および 4-2 に示す。

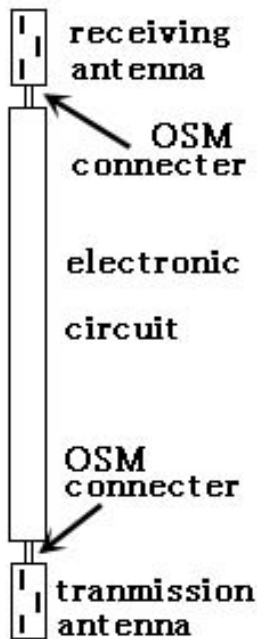


Fig. 4-1 Structure of RTE

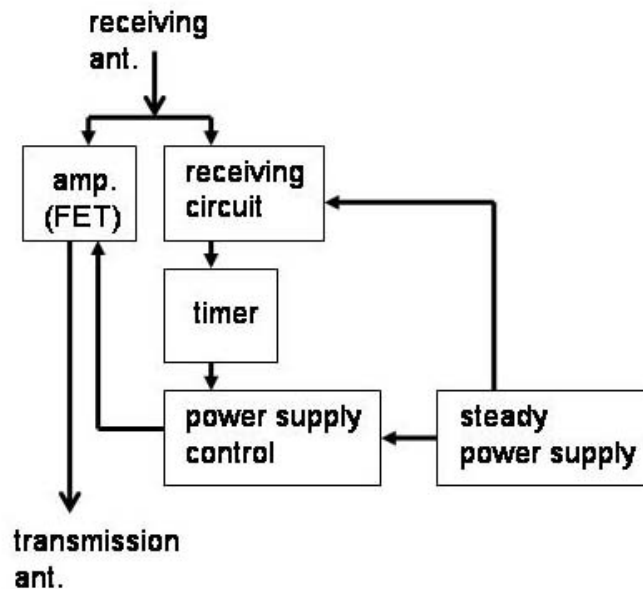


Fig. 4-2 Circuit block diagram of RTE

- ② 送受信アンテナは全く同一であり、スリット3個のスロットアンテナである。
- ③ 受信回路の検波段と後段の接続はコンデンサで行なわれているため、CWには応答しない。
- ④ 電源ケーブルは黒が+、白が-である。

4. 1. 3 消費電力の確認

信号発生器からの模擬レーダパルスをも RTE に当て、RTE への入力電流を測定した。結果は次の通りである。

待機時：40～50mA

動作時：約 400mA

4. 2 レーダ電波増幅回路の性能調査の概要及び結果

RTE のレーダ電波増幅回路に SG を接続し、パルス幅特性、入出力特性、周波数特性および電源電圧特性を計測した。また、入力パルスと回路電源の On/Off のタイミングを調査した。

4. 2. 1 入出力特性

SG を次のとおり設定し、入出力特性を計測した。

周波数 9400MHz

パルス幅 100ns および 300ns

入力信号強度 +5.0~-40.0dBm

RTE1 および RTE2 の測定結果をそれぞれ図 4-3 および 4-4 に示す。

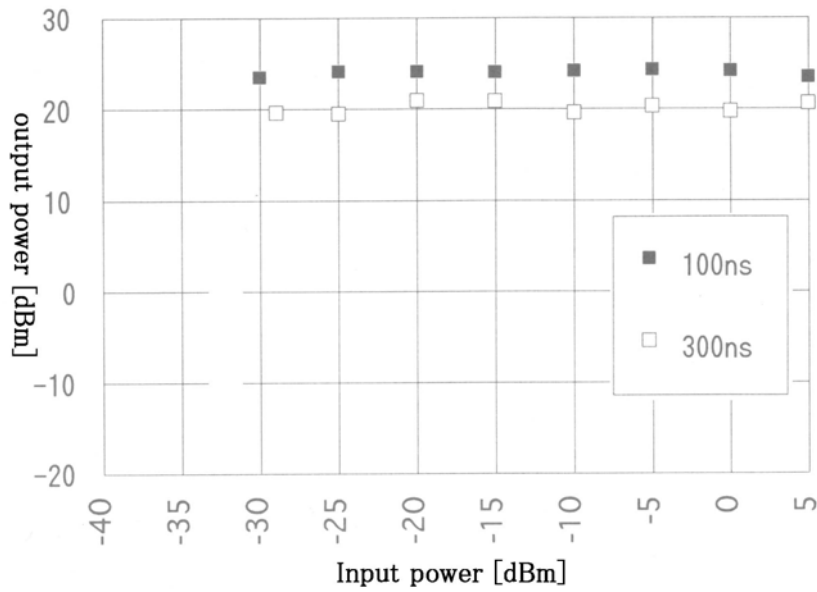


Fig. 4-3 Input voltage response of RTE1

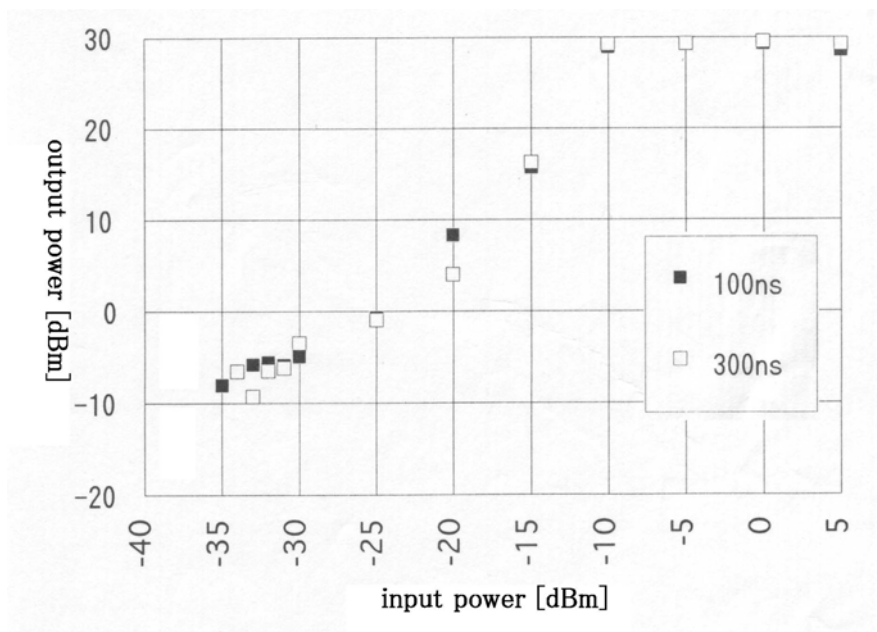


Fig. 4-4 Input voltage response of RTE2

RTE1 では、入力信号が-30dBm までは出力が飽和していた。しかし-30dBm よりも弱くすると一挙に出力が出なくなった。これはメーカーのカatalog性能の通りである。一方、RTE2 では、-10dBm までは飽和、-35dBm までは入力信号に比例して減少した。入力が-37dBm よりも低くなると出力が急激に低下した。この境界は非常に微妙であった。観測毎にほぼ-37~-39dBm の範囲で変化した。このような現象は増幅回路においては一般的である。しかし製品としてはカatalog性能を満たしていないことになる。また入力が-10dBm より弱くなると出力が低下していくため、比例して有効距離が短くなる。

4. 2. 2 パルス幅特性

SG を次のとおり設定し、パルス幅特性を計測した。

周波数 9400MHz

パルス幅 30~6000ns

入力信号強度 0.0、-10.0、-20.0dBm

RTE1 および RTE2 の測定結果をそれぞれ図 4-5 および 4-6 に示す。

RTE1 の入力パルス幅に対する増幅特性は、パルス幅が $0.4 \mu s$ より広がったとき出力が低下した。RTE2 ではこのような低下はないものの、4. 2. 1 の結果が示すとおり、入力信号強度が-20dBm に低下したとき出力全体が低下した。

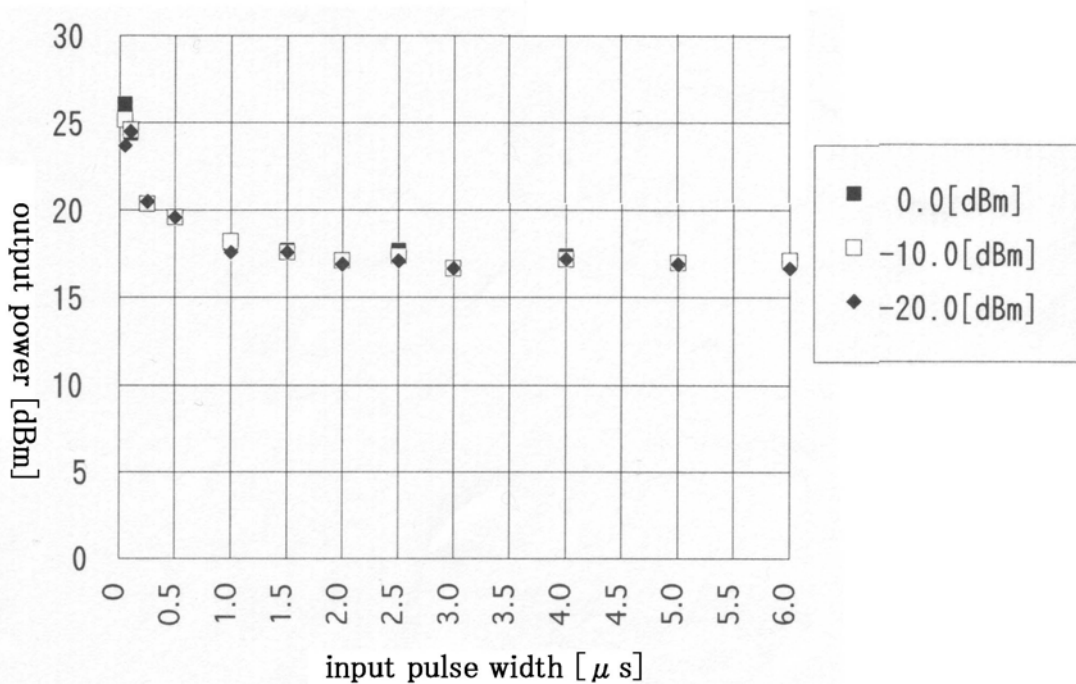


Fig. 4-5 Pulse width response of RTE1

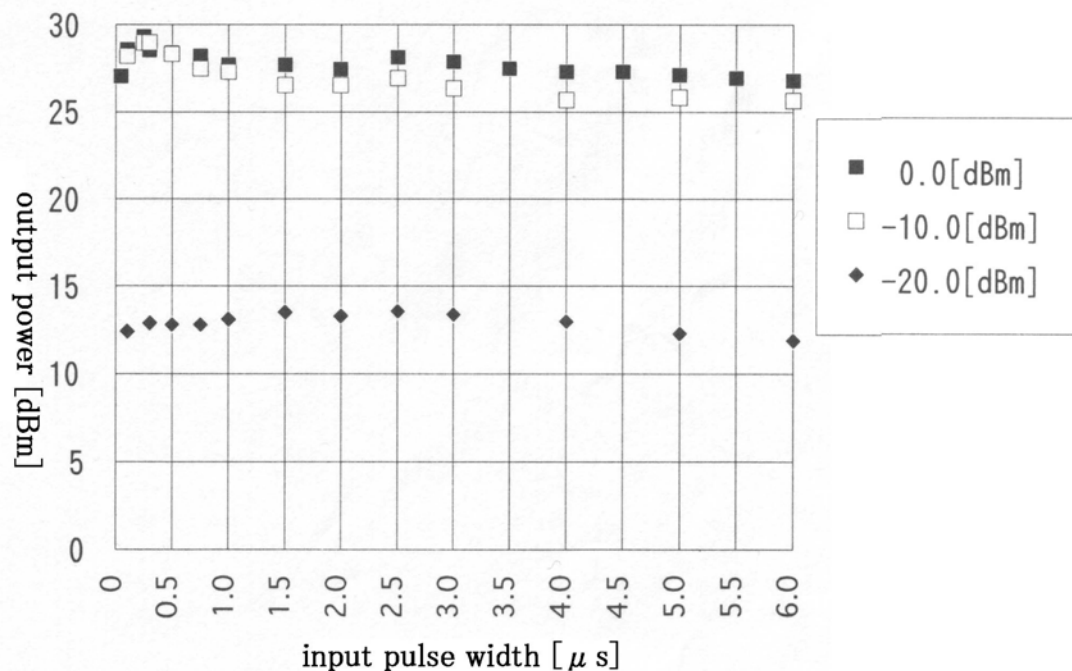


Fig. 4-6 Pulse width response of RTE2

4. 2. 3 周波数特性

SGを次のとおり設定し、周波数特性を計測した。

周波数 9400MHz

パルス幅 100ns

入力信号強度 0.0、-10.0、-15.0、-20.0dBm

RTE1 および RTE2 の測定結果をそれぞれ図4-7および4-8に示す。

RTE1 の周波数特性は、広帯域な増幅特性を示した。RTE2 も同様に広帯域であったが、入力信号強度が低下すると、9600MHz 以上では出力が低下する特性が観測された。

いずれの場合でも船用レーダの範囲を越える広帯域で増幅されている。船用レーダにのみ応答するための目的には好ましくない。実用上は何らかのフィルタで増幅帯域の制限が必要となろう。

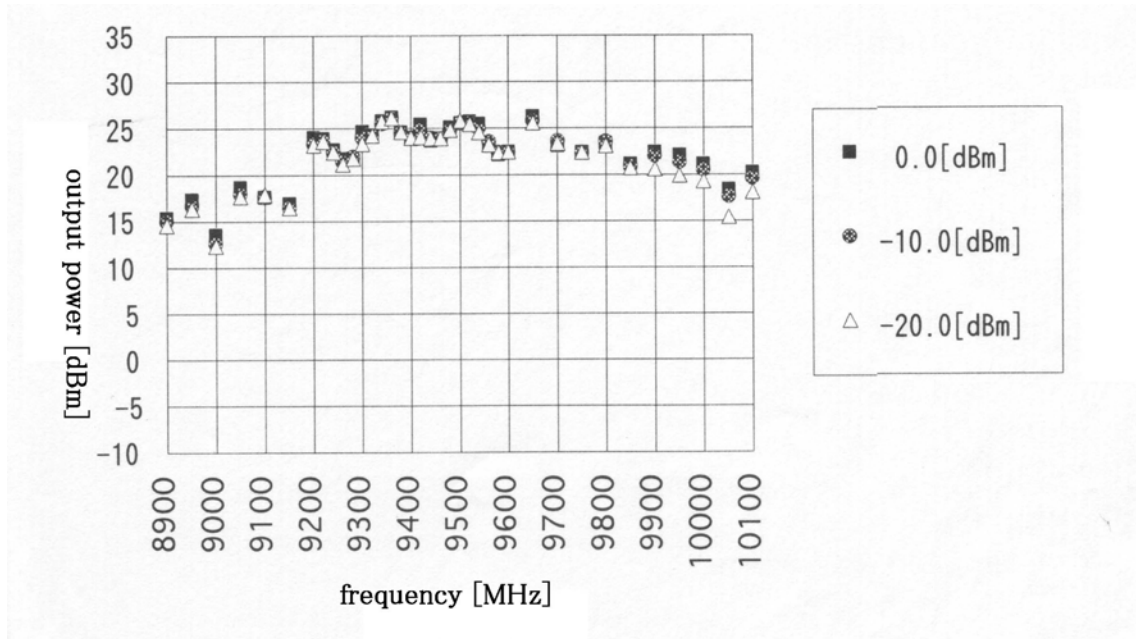


Fig. 4-7 Frequency response of RTE1

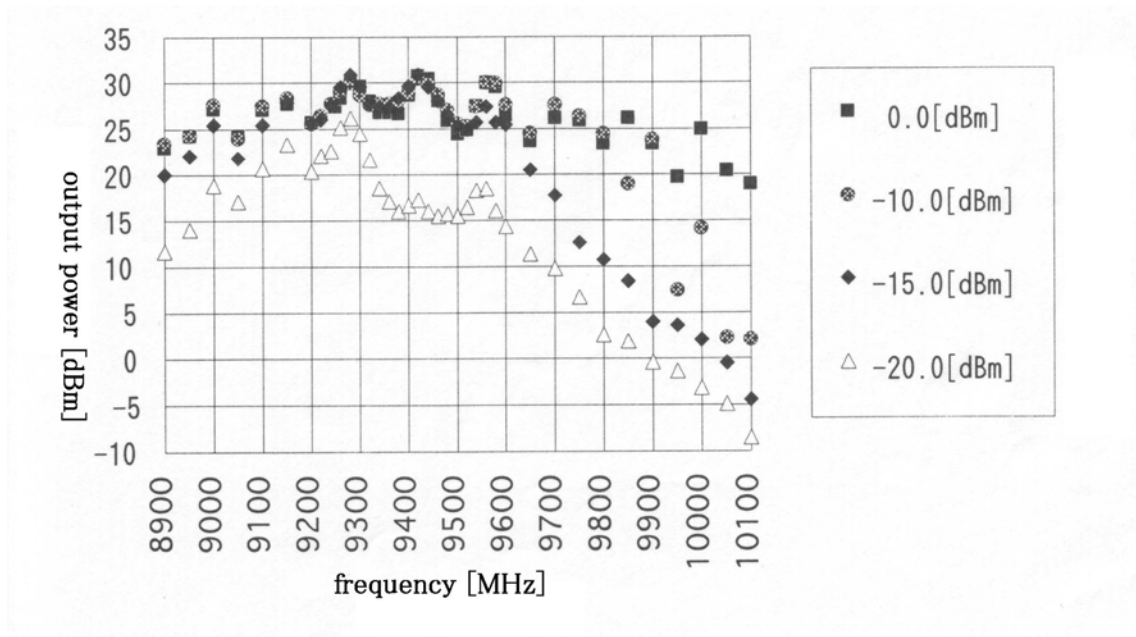


Fig. 4-8 Frequency response of RTE2

4. 2. 4 電源電圧特性

SGを次のとおり設定し、電源電圧の変化による増幅回路の出力の変化を観測した。

周波数 9400MHz

パルス幅 100ns

入力信号強度 0.0dBm

カタログ性能では、電源電圧は10.5~18Vであるが、8~15Vまで変化させて観測した。結果を図4-9および4-10に示す。

RTE1では11Vから出力が低下し、9Vで大きく減少した。

RTE2では10Vから出力が低下し、8Vで大きく減少した。

電源電圧として12Vが確保されていれば、出力の減少はないと考えられる。

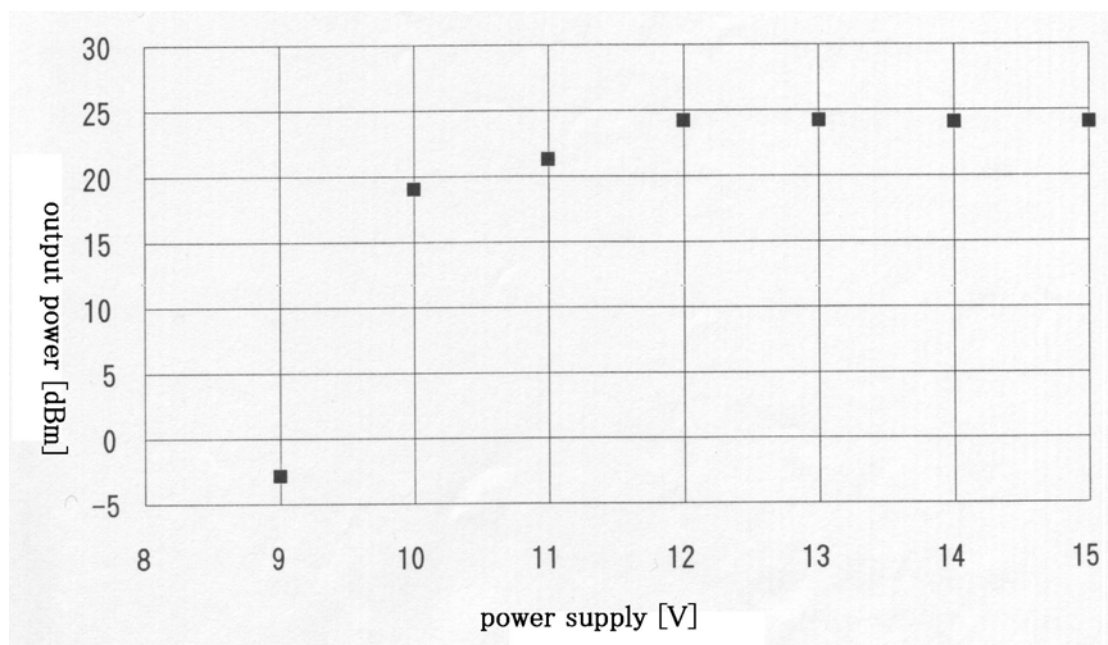


Fig.4-9 Power supply response of RTE1 (Input power 0.0dBm)

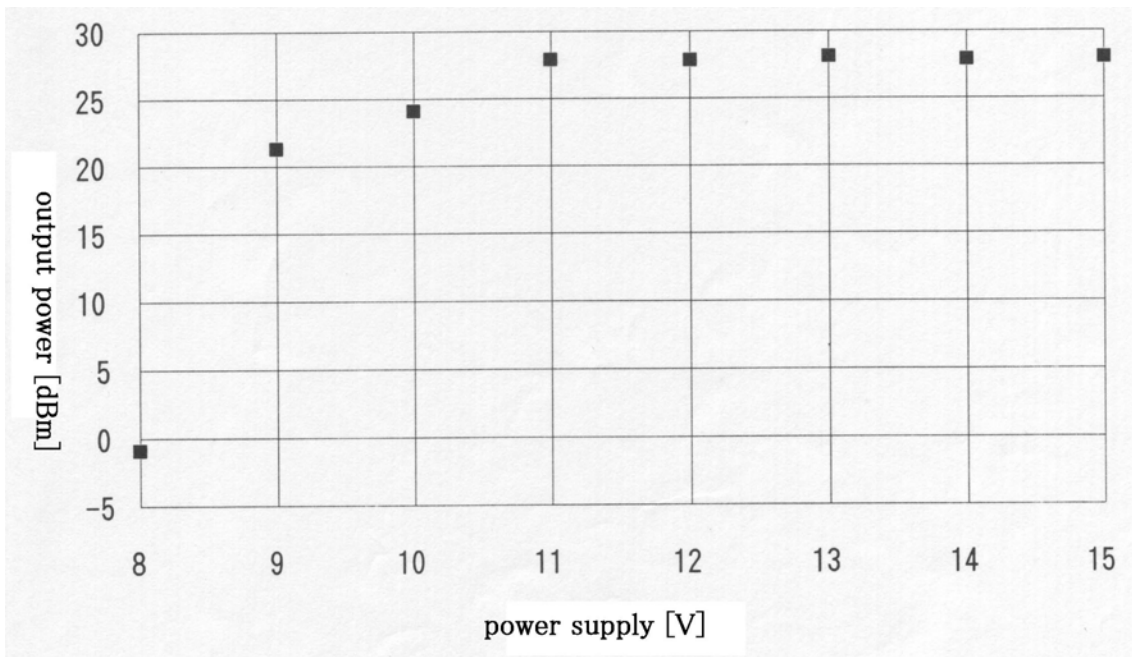


Fig.4-10 Power supply response of RTE2 (Input power 0.0 dBm)

4. 2. 5 入力パルスと電源のタイミング・チャート

レーダ電波増幅回路にパルス波が入力されてから、マイクロ波の増幅部が動作を始めるまでのタイミングを調査し、タイミング・チャートを作成した。レーダ電波増幅回路の動作は、回路内の受信部で電源制御用 IC が制御されることによるので、その On/Off を観測した。この調査は RTE1 のみについて行なった。

タイミング・チャートを図 4-11 に示す。その詳細は次の通りである。

- ・入力パルスが到来すると、 $5\mu\text{s}$ でマイクロ波の増幅部の電源電圧は通常の設定電圧になる。

- ・その後 2.5ms の間、マイクロ波の増幅部は On の状態を保つ。

- ・入力パルスが次々と到来すると On の状態は 5ms まで延び、さらに内部のワンショットマルチ (タイマー) 回路は連続的にトリガされるので、増幅部は連続して On の状態となる。

- ・1つ目の入力パルスで、マイクロ波の増幅部が On になり、続けて到来した 2つ目のパルスから増幅される。

つまり、ワンショットマルチ回路の作動時間 ; 2.5ms が、RTE が応答する最小パルス繰り返し周波数を決める要素となっている。

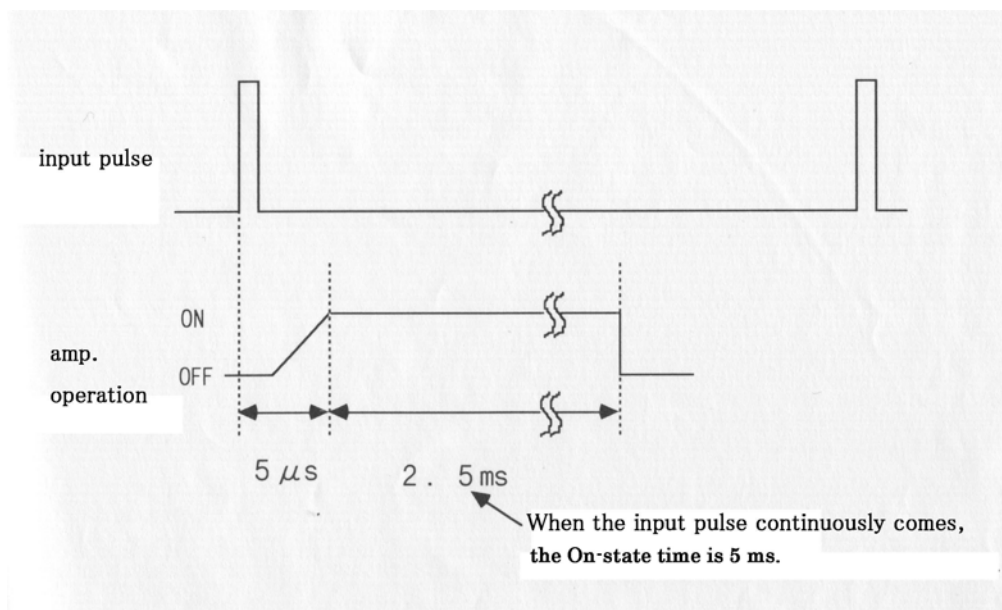


Fig.4-11 Timing chart

4. 3 電波暗室における RTE の性能調査および結果

RTE からアンテナを取り外し、アンテナ・パターンを計測した。次に SG のパルス波で RTE を動作させ、その応答波形およびスペクトルを観測した。近傍にレフレクタや別の RTE を配置し、受信される応答波形およびスペクトルの変化を観測した。

また SG の周波数設定を変え、RTE の周波数特性を計測した。

4. 3. 1 アンテナ・パターンの計測

RTE 本体からスロットアンテナを取り外し、そのアンテナパターン（垂直、水平）を計測した。測定結果を図 4-1 2 および 4-1 3 に示す。水平面内での無指向性は $\pm 2.5\text{dB}$ となり、垂直指向特性もほぼカタログ値どおりであった。

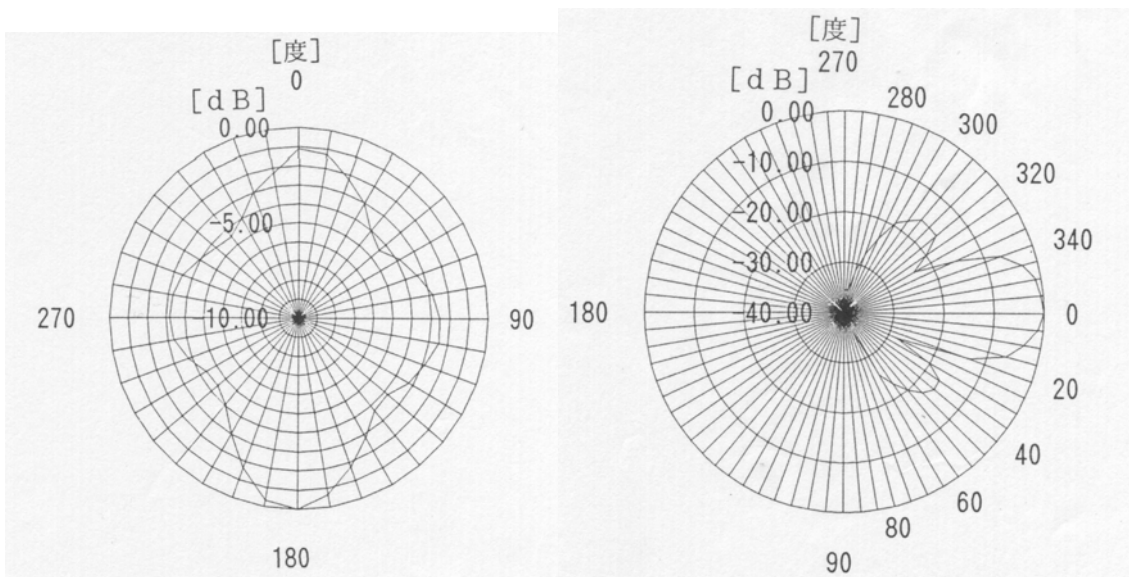


Fig. 4-12 Antenna pattern in horizontal plane

Fig.4-13 Antenna pattern in vertical plane

4. 3. 2 RTE の応答の波形およびそのスペクトルの計測

RTE から 1m の距離から SG の電波を照射して RTE を動作させ、応答の波形およびそのスペクトルを観測した。SG の設定は、周波数 9400MHz、パルス幅 100ns、パルス繰り返し 1000Hz である。

受信装置は、RTE から 9.2m 離れた位置に設置した。

4. 3. 2. 1 スペクトルの計測

RTE 2 を 1 台だけ動作させたときのスペクトルの結果を図 4-14 に示す。SG の設定と同様に 9400MHz を中心とするスペクトルが測定されている。

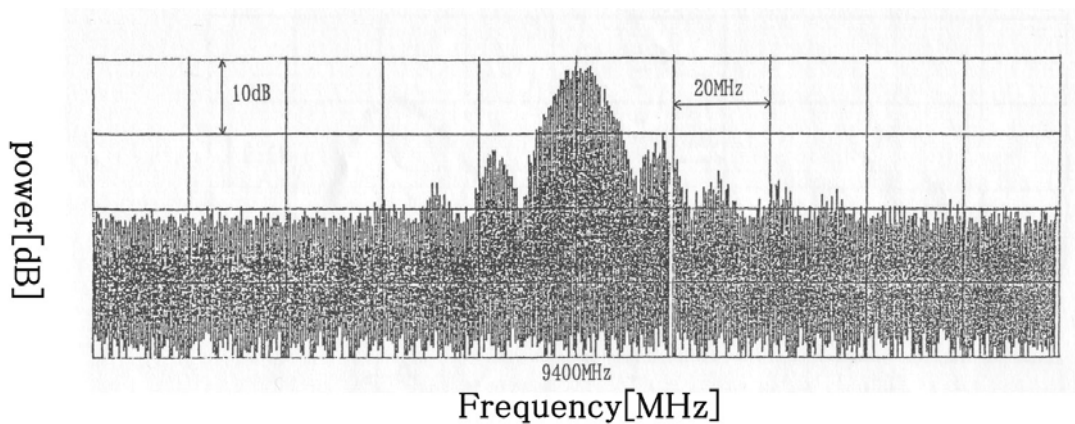


Fig.4-14 Spectrum of RTE

次に、RTE の自己発振現象（RTE 自身の出力で RTE が動作する現象）を調査する目的で、RTE の周りにレフレクタを3つ配置したときのスペクトルを図4-15に示す。RTE と各レフレクタの距離は約 3m に設定している。さらにレフレクタの配置を若干変化させたときのスペクトルの測定結果を図4-16に示す。図4-15および4-16内に示した A,B,C および D は自己発振現象のためにスペクトルが乱れた部分である。特に A および B はスペクトルの幅が狭いことから、その周波数で連続波に近い発振が起きていると考えられる。このスペクトルは左右に移動しており、周波数が変動していることを意味する。このような自己発振現象は応答波形の観測でも確認された。

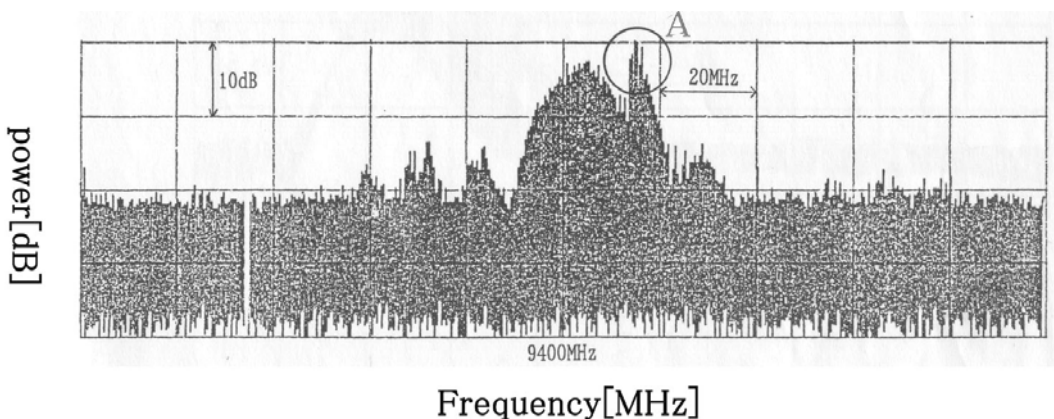


Fig.4-15 Spectrum of RTE with 3 corner reflectors

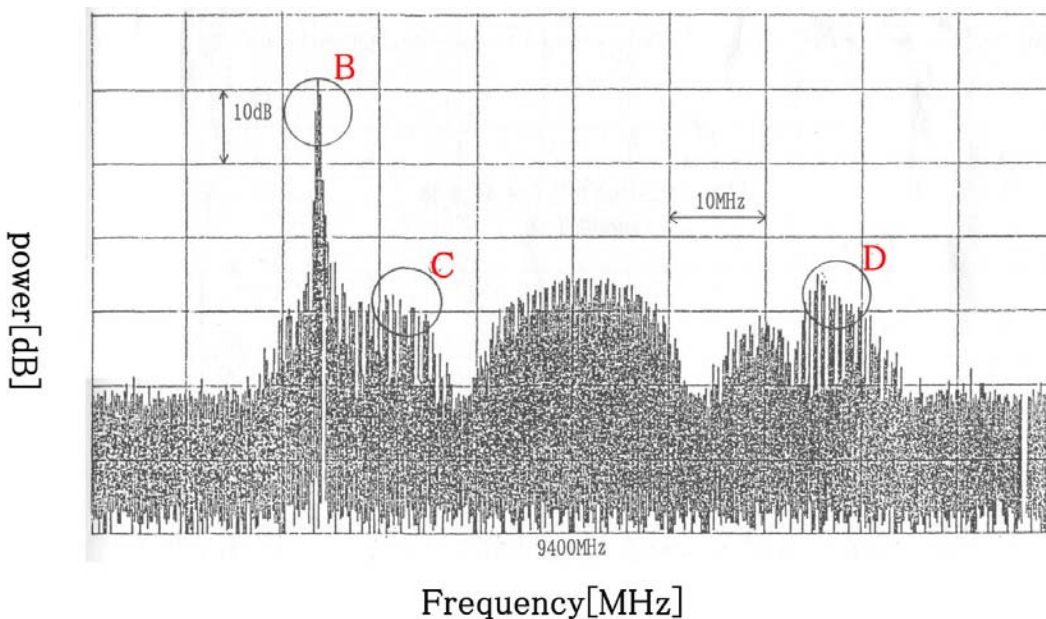


Fig. 4-16 Spectrum of RTE with 3 corner reflectors (other arrangement)

4. 3. 2. 2 応答波形の計測

RTE1 台を動作させたときの応答を、レーダ受信機を通して受信した。その波形を 500 回分同時に表示した結果を図 4-17 に示す。上下に細かく高周波数の振動波形が見られるのは、レベル変動がこの範囲にわたって起こっていたことを示すものである。

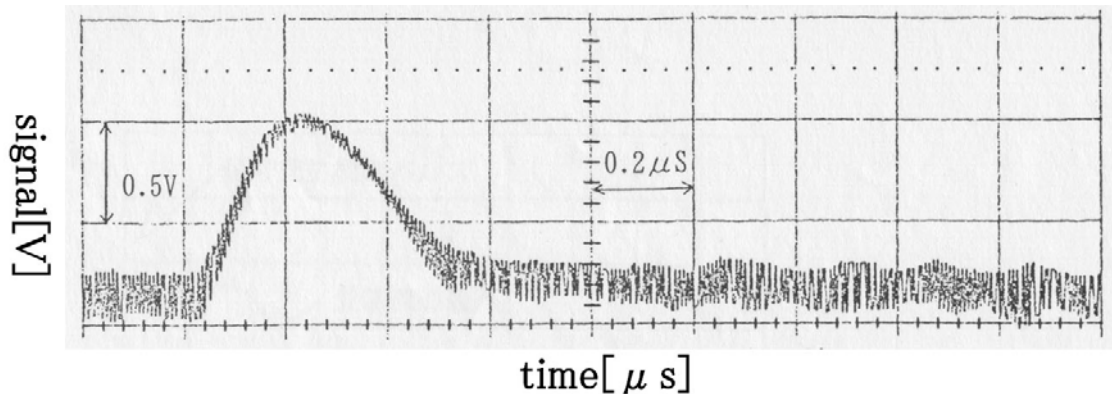


Fig. 4-17 Received pulse shape from RTE (500 times)

また、RTE2 台を約 50cm の距離に設置して、2 台とも動作させたときの 500 回分の波形を重ねて表示した結果を図 4-18 に示す。RTE1 台の場合と比較して、A の部分では 2 台の RTE が作動した結果として受信信号が強くなった部分であり、B の部分では 2 台の RTE 間で相互に送受信を繰り返したことで信号が時間的に伸びたことが観測されている。

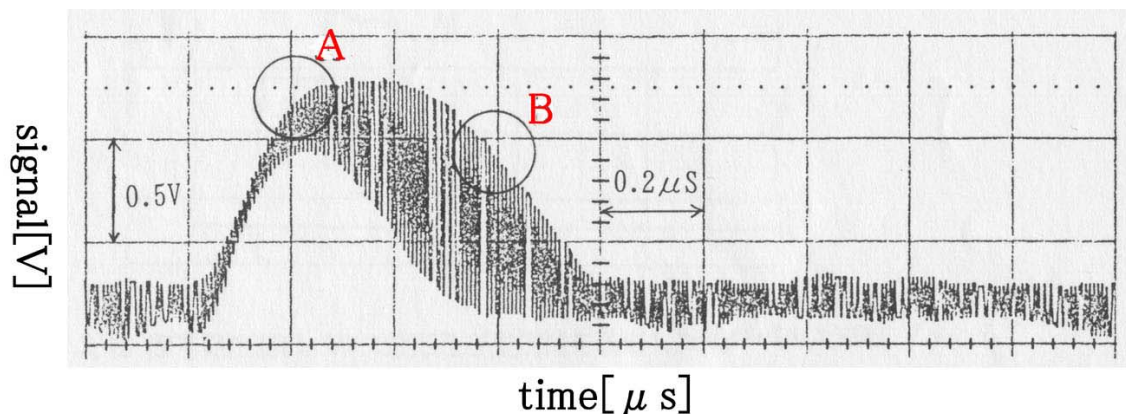


Fig.4-18 Received pulse shape from two RTEs (500 times)

次に、2 台の RTE を約 10m の距離に設置して計測した 1 回分の結果を図 4-19 に示す。図中の A,B の部分は本来は何も信号のないところであるが、2 台の RTE が干渉しあって発振がおり、その成分が検波されたことによって現れたものである。持続波

となったときには検波成分はパルスを入力信号とは時間的な同期関係が無くなり、信号全体のレベルが上昇した。このような現象が起こると、ちょうどレーマークを受信したときのように、レーダ画面に筋となって観測されることになる。

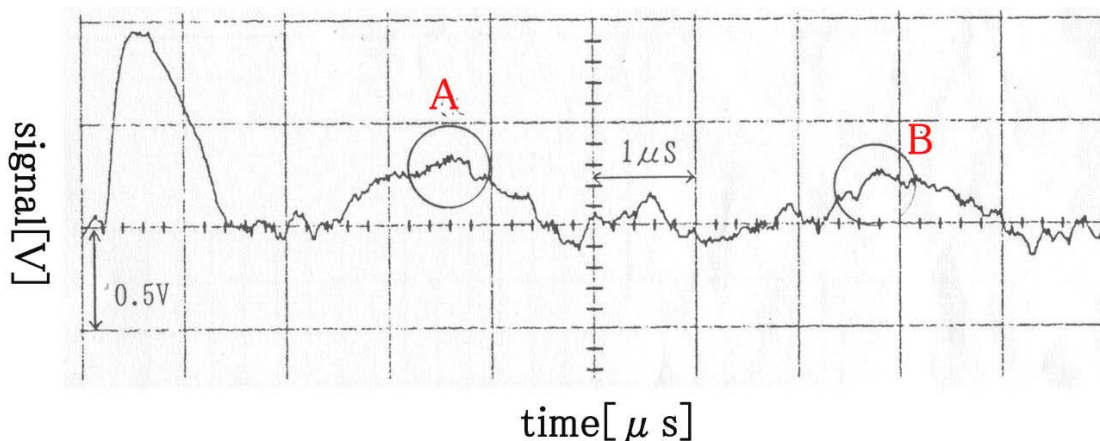


Fig. 4-19 Received pulse shape from two RTEs

自己発振現象は複数の RTE が近傍に設置された場合には容易に発生する。実験では 2 台の RTE の距離が約 11m 以内では自己発振が起こった。

また RTE が 1 台でも、入力と出力のアンテナが外部の反射物を介在して結合すれば自己発振を起こす。これは予備調査中にも観測されていた。ここでは RTE の近傍でレフレクタを移動させながら、特に波形が乱れる状況を観測した。実験では RTE とレフレクタの距離が 73cm のところで大きく乱れた。その状況を図 4-20 に示す。

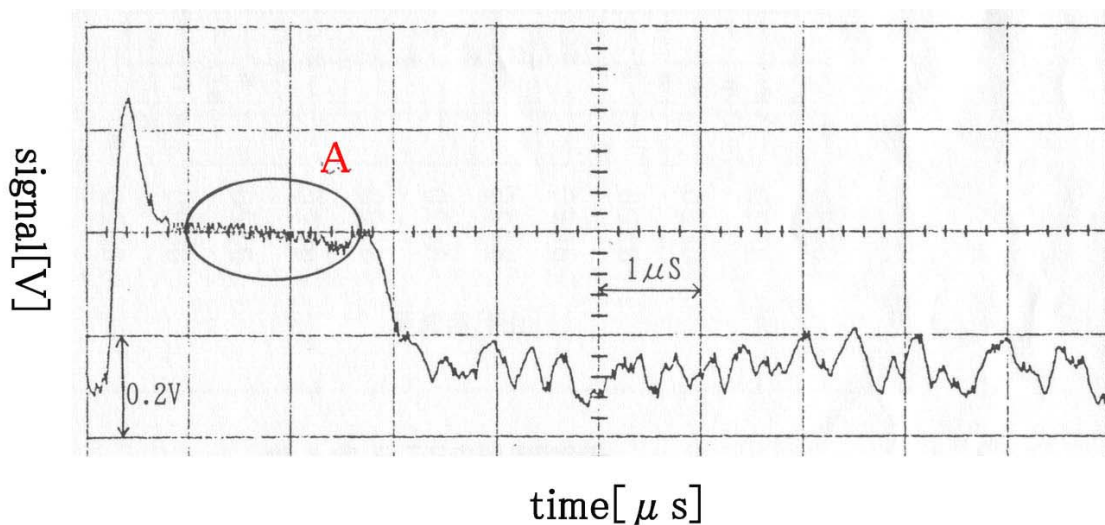


Fig.4-20 Received pulse shape from RTE with a corner reflector

図中の A の部分が、自己発振によってパルスが伸びた部分である。入出力間の結合が微妙なようで、伸びる長さやレベルも変動していた。

この応答波形の計測で用いた SG のパルス波形およびレーダ受信機を通過した後のパルス波形を図 4-21 に示す。見易さのために 2 つの波形のオフセットを変えて表示している。受信波形はレーダ受信機のビデオ増幅特性に影響されるので、幅が広がっている。

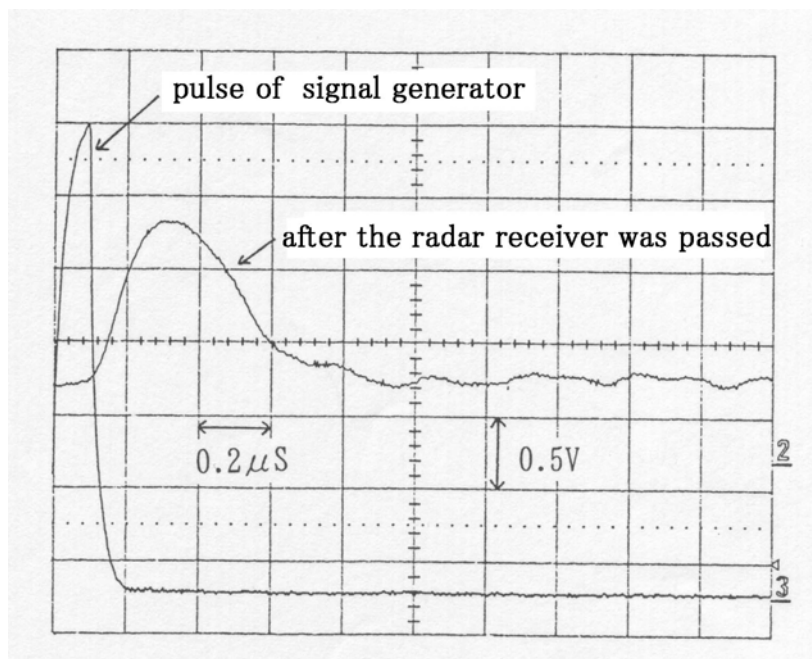


Fig. 4-21 Pulse shape before and after the radar receiver was passed

4. 3. 2. 3 RTE の周波数特性

RTE1、2 をそれぞれ電波無響室内に設置して SG のパルス波を照射して、照射した周波数に対する応答特性を計測した。結果を図 4-22 に示す。

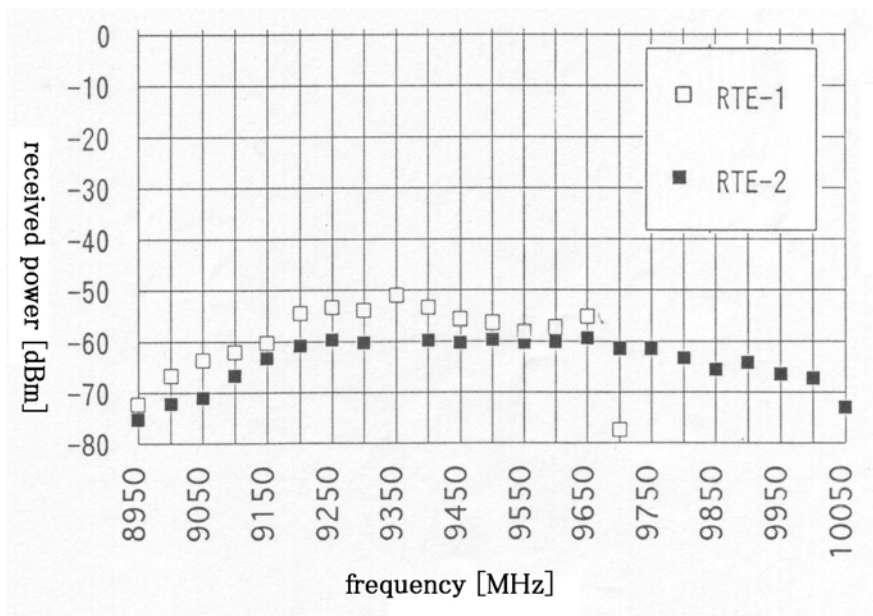


Fig. 4-22 Frequency response of RTE

4. 3. 2. 4 使用測定器類

信号発生器：HP 8684B

周波数計：HP 5351B

スペクトラムアナライザ：HP 70206A など

デジタルオシロスコープ：LeCroy 9345

4. 4 基本性能調査の考察

ここまでの結果から運用面、技術面における課題として次の2点が挙げられる。

4. 4. 1 有効距離の検討

RTE の有効距離は、レーダから送信した電波を RTE が受信し、RTE 内で増幅された後に送信した電波をレーダが受信できる距離をいうものとする。この意味は RTE に受信された電力よりも強く送信され、RTE による増幅の効果が有効である場合をいう。RTE の最小受信感度の約 -30dBm よりも強く受信され、増幅された応答波が最大で 30dBm (約 -15dBm 以上の入力に対して) で送信される。その波がレーダに受信されたときに STC による受信感度の制限値を超える強度で受信されなければ表示されない。つまり、

①レーダから遠くなれば、RTE への入力信号が弱くなり、増幅の効果が現れない。

②レーダの近距離では STC の受信感度による制限を受けて表示されない。

ことになる。したがって、これらの制限を受けない距離にある場合のみ RTE の応答波がレーダに表示されることになる。近距離すぎても遠距離すぎても効果は無いことにな

る。

船用レーダの性能条件を、送信出力 25kW、空中線利得 30dB、総合受信感度 -114dBm とし、RTE の送受信アンテナ利得をそれぞれ 5dB、S/N を考慮したマージンを 3dB とする。2. 1 項で計測した入出力特性から有効距離を求めると、RTE1 は 14km、RTE2 は 4km となる。RTE2 については十分な効果が期待できない他、このような性能のばらつきは問題となろう。

4. 4. 2 レフレクタとの併設もしくは RTE を複数設置した場合の問題

電波無響室内試験の結果、RTE と一定の距離に反射物または他の RTE がある場合、レーダ受信波形が大きく乱れる自己発振現象を確認した。このときレーダと RTE の同期関係が失われるため、レーダ指示器上には画面中央と RTE を結ぶ方位線付近に発振した電波による映像が現れ、レーダの使用に妨害を起こすことになる。

この現象は、RTE の近傍を航行する船舶が反射物となって発生することも十分考えられ、また発生の予測は困難である。したがって、設置にあたっては妨害の発生に関して十分な考慮が必要である。

5. RTE の湖上における性能調査

RTE の実用性の評価試験を野外で行なった。初期の野外試験としては、試験に使用する以外の船用レーダの影響が少ない場所が望ましいため、内陸の湖（茨城県霞ヶ浦）を選定した。

船用レーダに対する RTE の応答特性、および RTE が 2 台存在する場合や付近にコーナレフレクタなどの強い反射体がある場合などに発生する自己発振（シンギング）の状況について、前章で述べた電波無響室内の実験結果に基づく評価・確認試験を行なった。

5. 1 湖上における試験

試験は霞ヶ浦北東部（茨城県土浦市）で行なった。霞ヶ浦の選定理由は以下の通りである。

- ・レーダと RTE の距離を十分に離すことができ、また自由に移動できる水面があること
- ・他の船用レーダがほとんどないため、観測に用いた船用レーダに対する RTE の応答を観測できること
- ・海面に比べて波が少ないので、クラッタのレーダ映像への影響が少ないこと

5. 2 観測方法

2 隻の小型ボートにそれぞれ RTE を搭載し、湖面を自由に移動できるようにした。

1 台のボートにはコーナレフレクタを搭載し、必要に応じて設置した。コーナレフレクタを使用しない場合には、レーダ映像に影響を与えないように船底に倒して電波吸収材で覆うこととした。

湖岸には、船用レーダを搭載した東京商船大学研究用レーダ車（以下、「レーダ車」とする）を設置し、そのレーダ映像によって RTE の動作状況を観察した。

PP I 表示されたレーダ映像を写真およびビデオによって記録するとともに、レーダ受信機から取り出したトリガ／ビデオ信号を、デジタル変換して収集・保存した。

同時に、レーダ車から 50m 程離れた地点に比較調査用の小型レーダ（送信出力 5kw）を設置し、レーダ映像をビデオテープに録画した。

最後に、霞ヶ浦を航行している遊覧船（総トン数約 50 トン）を利用した試験を行なった。遊覧船に RTE 1 台を設置して通常通り航行し、RTE の動作状況を観測した。信号の記録方法は小型ボートを用いた試験と同様に行なった。

5. 3 使用機器

使用した船用レーダの要目を表 5-1 に、レーダのビデオ信号を記録したデジタルオシロスコープの要目を表 5-2 に示す。レーダ映像の信号強度を、指定した範囲について 2 次元的に記録できる。

表 5-1 船用レーダの要目

送信周波数	9410MHz±30MHz
尖頭出力	25kW
送信パルス幅	0.1 μs(1.5 マイルレンジ、ショートパルス時) 0.2 μs(3 マイルレンジ、ショートパルス時)
パルス繰返周波数	1900Hz
アンテナ長さ	9 フィート
偏波面	水平偏波
指向特性	水平ビーム幅 0.8 度 垂直ビーム幅 25 度

表 5-2 A/D 変換器の要目

サンプリングレート	1ns/ポイント～1 s/ポイント 主に用いたのは 2ns～5ns/ポイント
A/D 変換ビット数	8～9 ビット
メモリ長	2Mbyte

レーダ車での観測状況を図5-1および5-2に示す。

RTE を設置したボートは、長さ7mおよび5mの2隻で、船外機を備えている。いずれもFRP（強化プラスチック）製で、デッキプレートはない。

コーナレフレクタは1辺約40cmの三角型で、有効反射断面積は100㎡である。

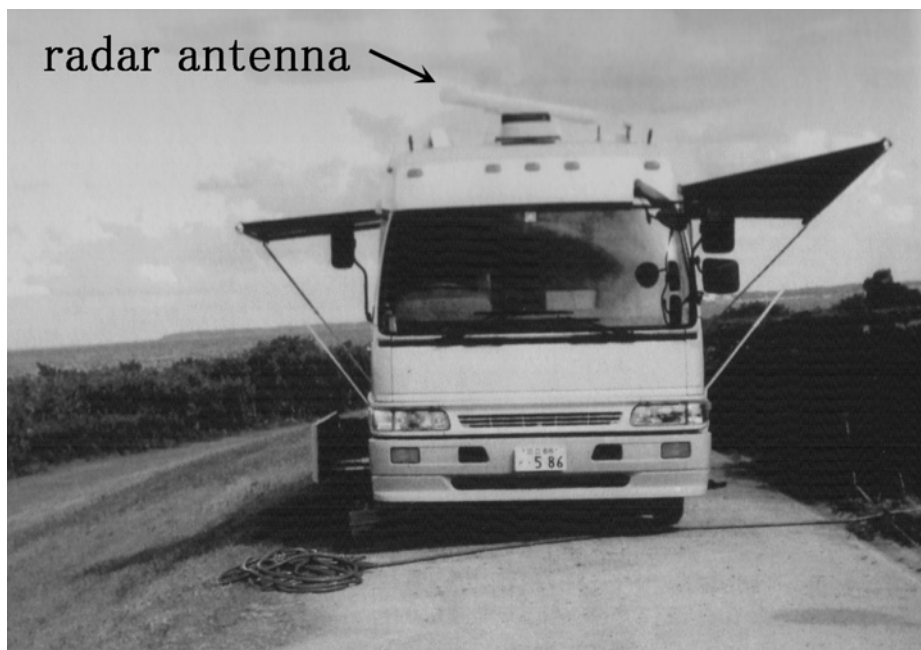


Fig. 5-1 Radar car

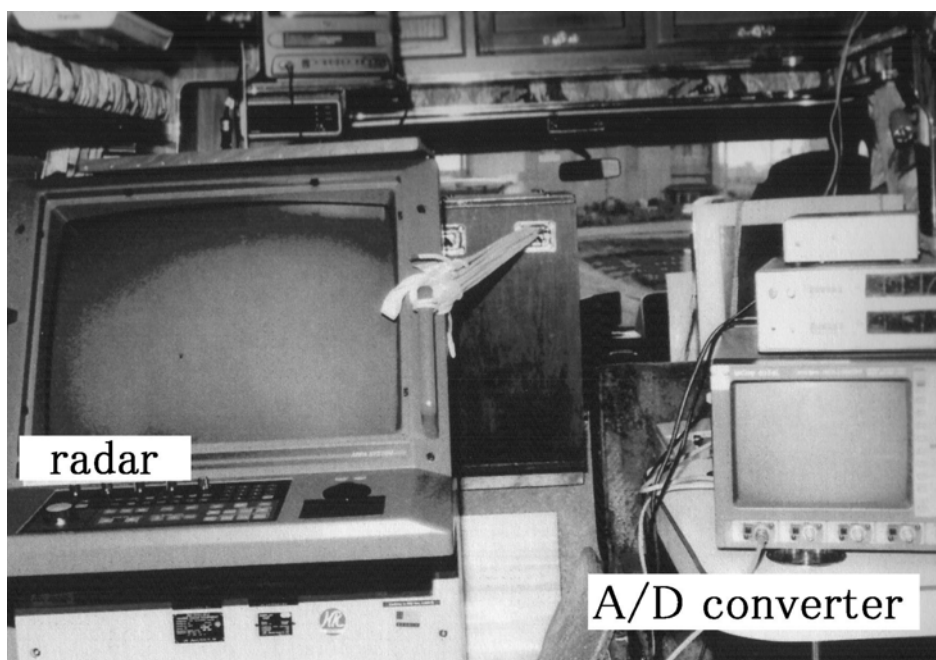


Fig. 5-2 Inside of radar car

5. 4 試験内容

観測時のレーダのアンテナ高さは水面から約 10m、RTE の高さは平均約 1mであった。この場合のハイトパターンを図 5-3 に示す。2.5 マイル付近まで十分な信号強度が得られ、特に 0.4 マイル～2 マイル付近までが安定していることがわかる。

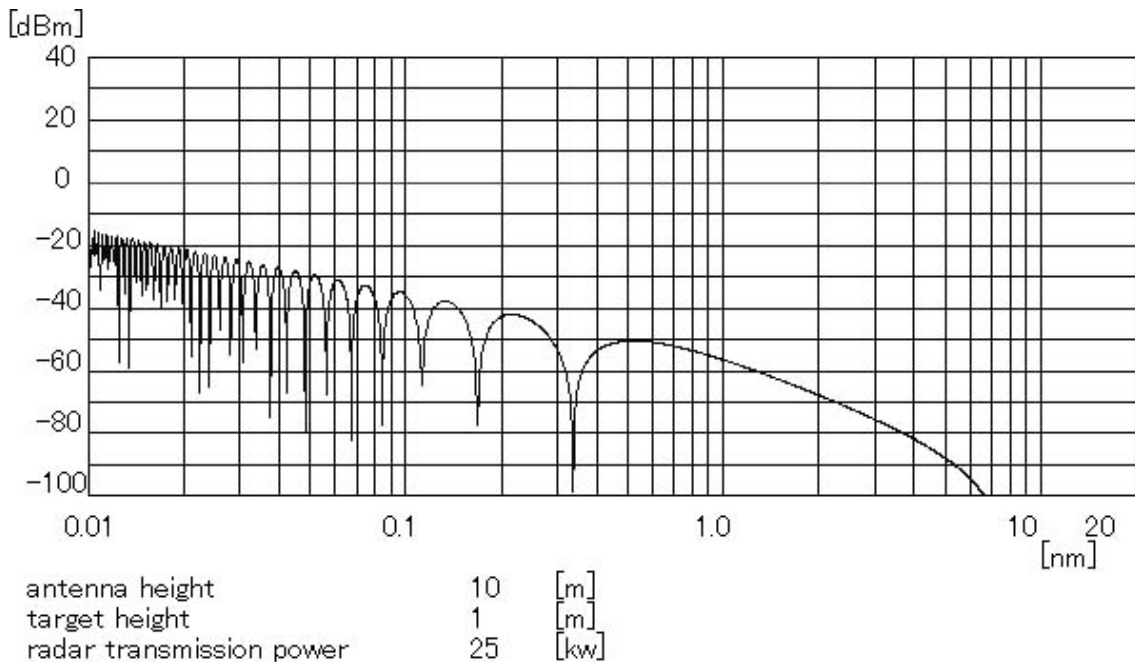


Figure 5-3 Field pattern of RTE

観測場所で実際にボートを移動させて信号を観測したところ、レーダ車から 1 マイル付近が特に安定しており、またボートも容易に停泊できる場所であった。そこで 1 マイル近辺で、次の条件でレーダ映像を観測した。

- ・ 1.1 マイル地点にボートを停泊したときの観測
 - (1) ボートのみ
 - (2) ボート上にコーナレフレクタを設置
 - (3) ボート上で RTE を動作
 - (4) ボート上で RTE を動作させ、同時にコーナレフレクタを設置
 - (5) 2 台のボート上でそれぞれ RTE を動作
- ・ ボートを移動させながらの観測
 - (6) RTE を動作させた状態でレーダに接近
- ・ RTE 1 台を霞ヶ浦の遊覧船に搭載した観測
 - (7) 距離の変化による RTE の信号の変化
 - (8) 船体の向きの変化による RTE の信号の変化

5. 5 湖上における試験結果

5. 5. 1 RTE の効果

ボートのみの場合のレーダ映像をBスコープ方式で図5-4(1)に示す。縦軸は方位方向を表わし、横軸は距離方向を表わす。また信号強度は白色から黒色へと強いことを表わしている。この場合、方位方向に145点、距離方向に10000点の測定データがあり、各点は-25~-95dBmの範囲の測定値である。図5-4(1)と同一のデータを用いたウォーターフォール形式で表示した図を図5-4(2)に示す。また、図5-4(2)中の、ボートからの反射信号の部分拡大し、図5-4(3)に示す。

ウォーターフォール形式とは、縦軸を信号強度、横軸を距離として表わしたレーダ信号を、Bスコープ状に方位方向に並べる3次元図的な表示方式である。

図5-4(1)で、1.1マイル付近の矢印で示す部分が対象となる信号である。最大強度の信号は-69dBmであった。この場合は距離が近いため信号も強く、また湖面も穏やかであったため、ボートのレーダ映像は明瞭である。左下から右上に並ぶ短線は、比較調査用の予備レーダによる干渉である。

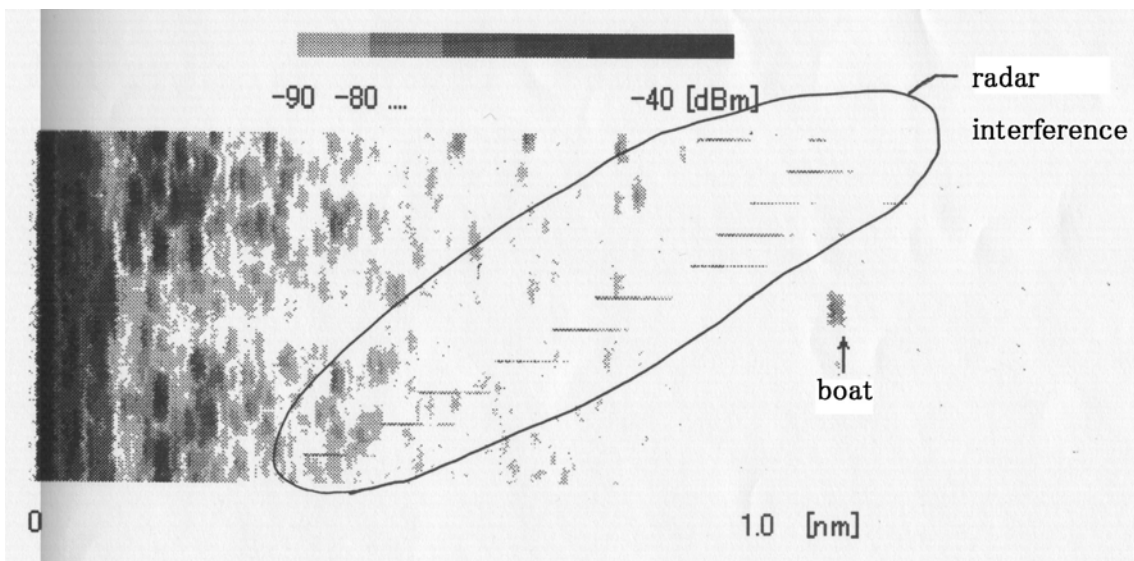


Fig. 5-4(1) Radar image of a boat by B-scope

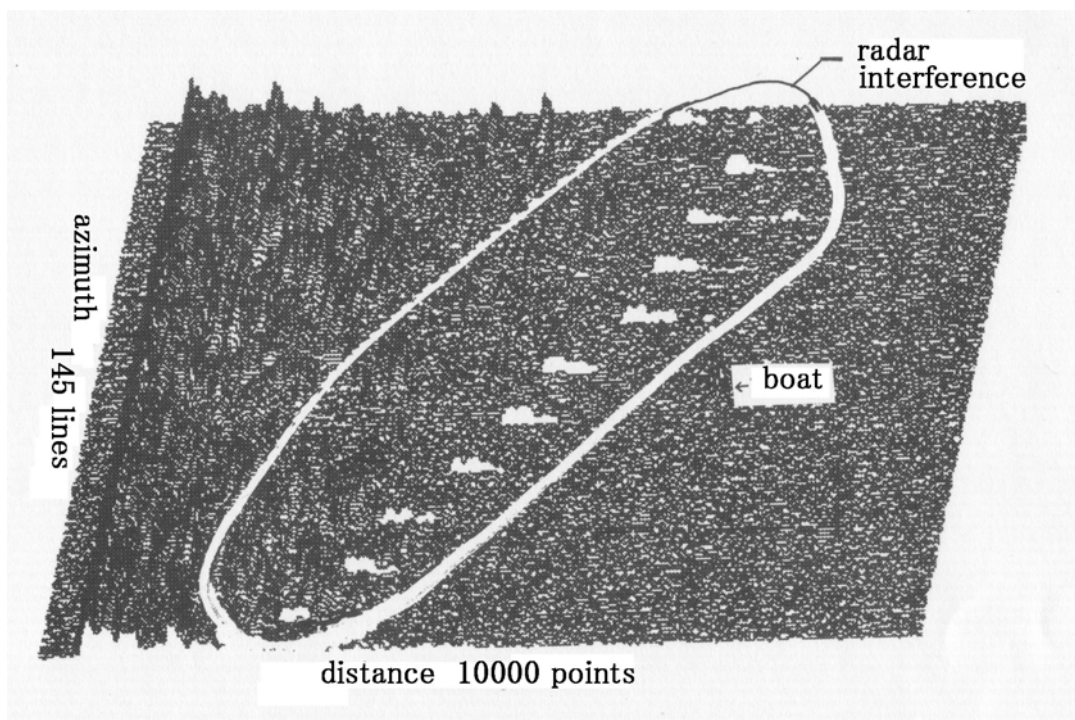


Fig. 5-4(2) Radar image of a boat by water fall diagram

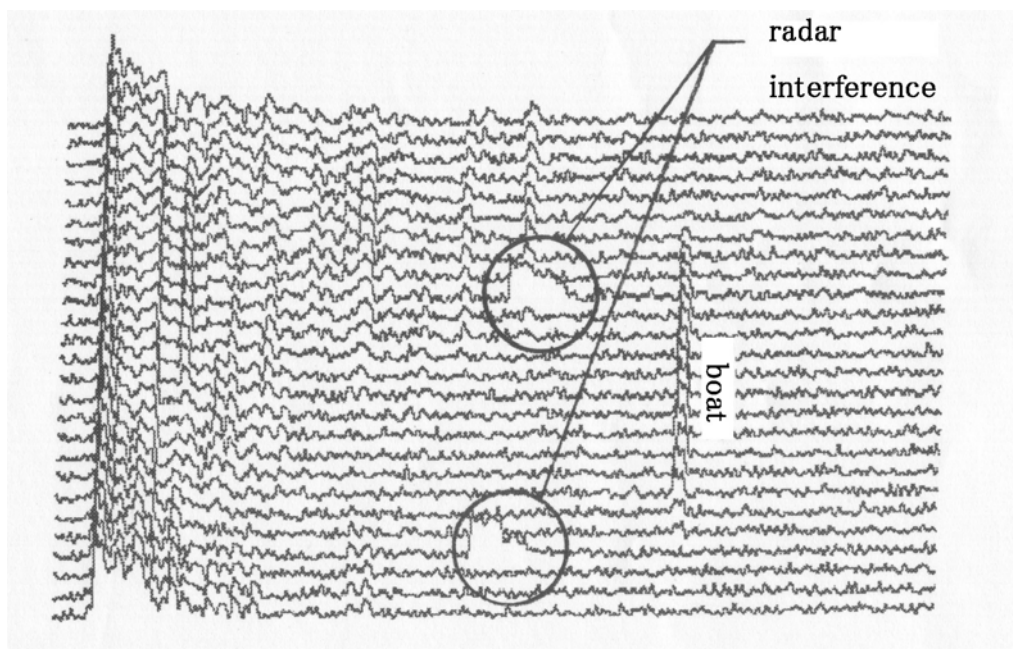


Fig. 5-4(3) Expansion of Figure 5-4(2)

図5-5に、ボート上にコーナレフレクタを設置した場合のレーダ映像を示す。映像の大きさはほとんど変化せず、信号の強度のみが増した。最も強い部分で -58dBm であった。

図5-6はボート上で RTE を動作させた場合のレーダ映像である。最大強度の信号は-53dBmであった。

図5-7にボート上で RTE を動作させ、同時にコーナレフレクタを設置した場合の映像を示す。このときの最大強度は-52dBmである。図5-4(1)のボートのみの場合に比べて、アンテナの回転する方向(図の下方向)へ映像が伸びている。これは、レーダのメインビームに対する RTE の応答が、メインビーム通過後も続き、増幅された信号が捉えられたものと考えられる。この場合の映像の伸び(アンテナの回転方向)は、RTE が動作していない場合の図5-4(1)に示した映像に比べて、時間にして約5.2ms分であった。RTE の応答は、最後のパルスを受信してから5ms間送信アンテナが作動状態となること、性能試験で確かめられている。⁽¹⁾しかし、図5-7における伸びはスイープ毎に必ず現れているわけではなく、また図5-6に示した RTE 単独の場合では全く生じていないので、パルスを受信し始めてから5ms間作動状態となる特性によるとは言えない。RTE とコーナレフレクタの位置関係によって生じた RTE 間の干渉現象であると考えられる。

以上、距離約1マイルにおける観測での信号強度についてまとめると、

- ・ボート単独の場合とコーナレフレクタ設置時の信号強度の差は11dB
- ・RTE を動作させた場合はさらに強調されて16dBの差

であった。ただしこの数値はアンテナ高さによっても変化するものである。

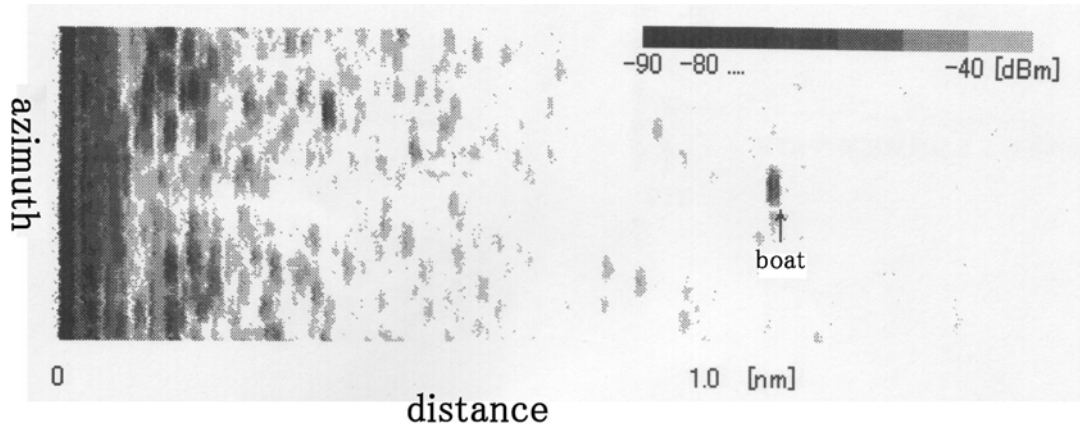


Fig. 5-5 Radar image of a boat with a corner reflector

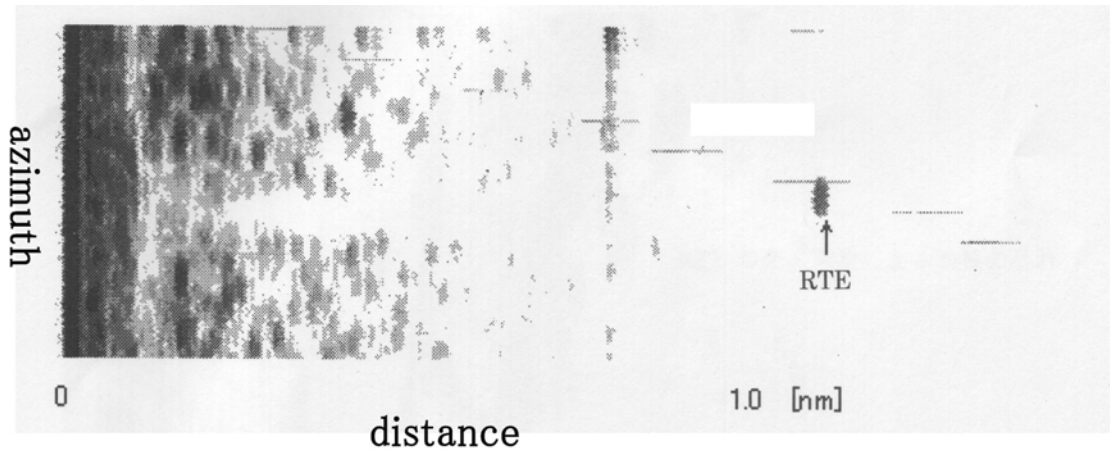


Fig. 5-6 Radar image of a boat and RTE

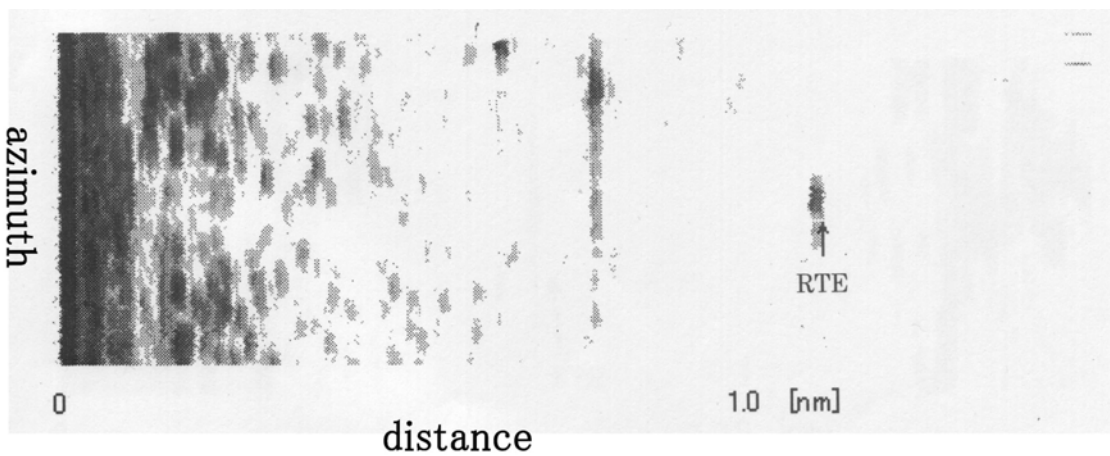


Fig. 5-7 Radar image of a boat and RTE with a corner reflector

5. 5. 2 RTE のレーダ映像としての現われ方

5. 5. 1 に示したような良好な状態で強調された映像は、毎スキャン、確実に得られたわけではなかった。その理由としては次のことが考えられる。

- ・別の RTE との位置関係
- ・RTE とコーナレフレクタの位置関係
- ・レーダと RTE の位置関係

これらについて、それぞれの状況を考察する。

5. 5. 2. 1 RTE を 2 台動作させた場合

RTE を 2 台動作させたときの映像を図 5-8 に示す。RTE1 はレーダからの距離 0.9 マイル地点 (図中↑部分) で動作している。RTE2 は映像として現れていないが、RTE1 の近辺で動作している。このとき RTE1 は、レーダ電波を受けて本来の応答をした後も、自己発振により電波を送信していた。上から 4 分の 1 位に横方向に広がる線状の信号が、自己発振によるものである。レーダ電波に同期せずに送信されるため、レーダ映像上では、レーダと RTE1 を結ぶ方位線上の周辺に信号が現れる。これは電波暗室内実験時にも認められた現象である。図 5-8 に示した状況は、RTE1、RTE2 でそれぞれの送受信波がやり取りされ続けた結果であると考えられる。このような現象を自己発振あるいはシンギングと呼ぶ。

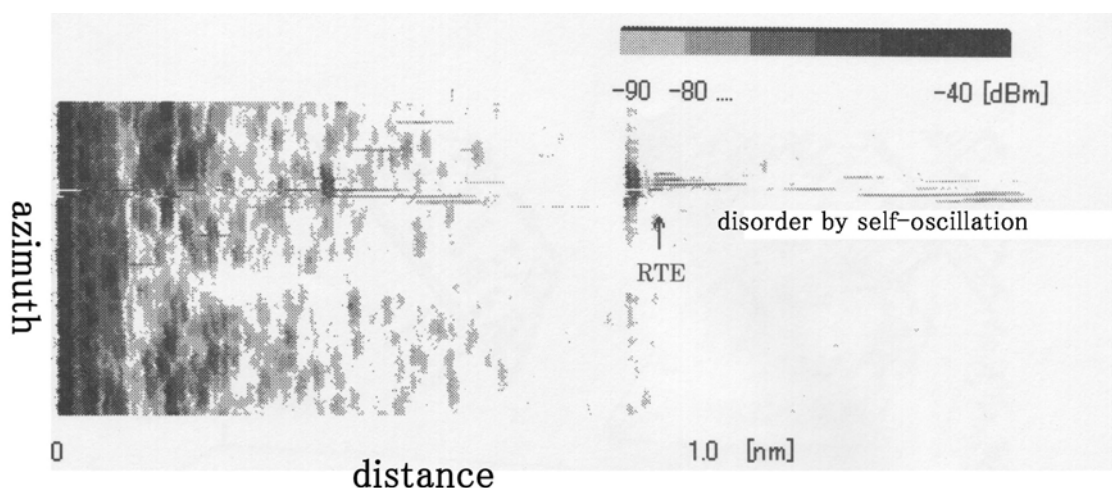


Fig. 5-8 Radar image of two RTEs

5. 5. 2. 2 RTE の付近にコーナレフレクタなどの良好な反射体がある場合

RTE が 1 台の場合でも、付近にコーナレフレクタあるいは似たような形状の反射率の良好な反射体があれば、やはり RTE が応答した送信波を受信して自己発振を起こす。

この現象も前年度の電波無響室内実験で確認されている。今回の観測では遊覧船上に設置したときに顕著に生じた。その観測例を図5-9に示す。

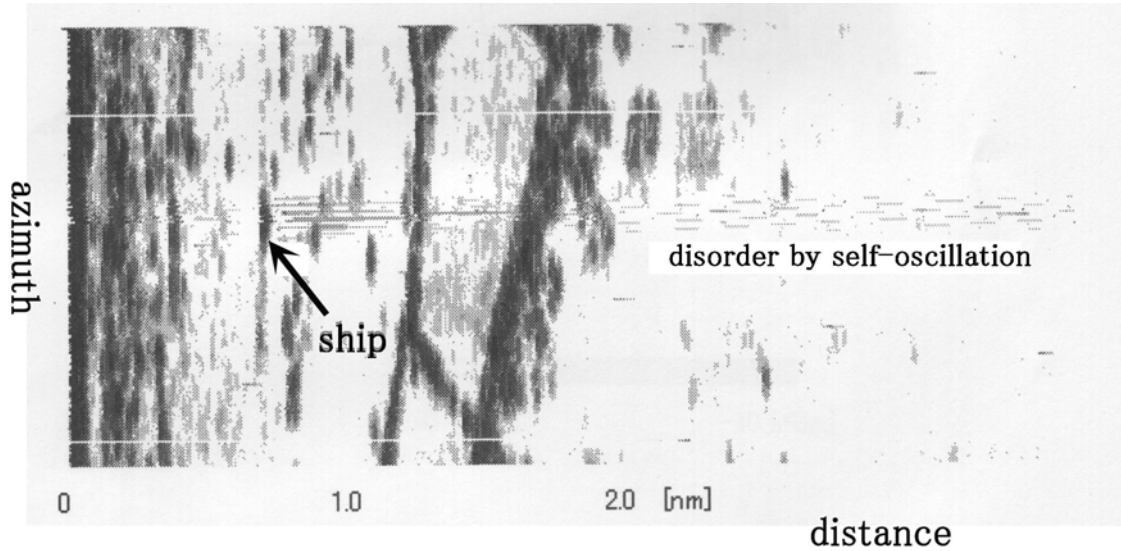


Fig. 5-9 Radar image of RTE installed on the excursion ship

この例では RTE は1台のみが動作しているのであるが、図5-8とよく似た状況で映像が乱れている。さらにもう1例を図5-10に示す。

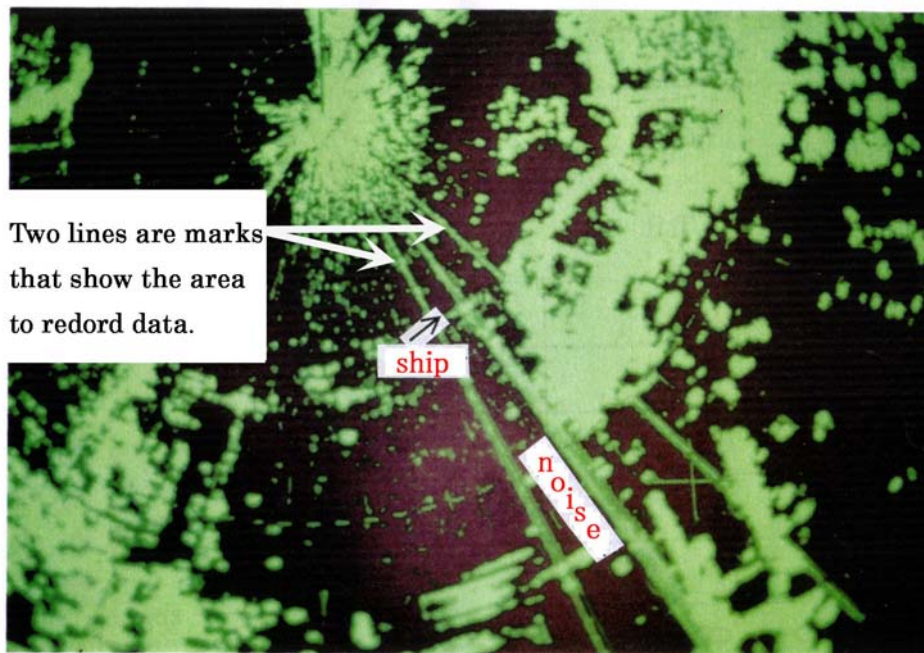


Fig. 5-10 Photograph of radar image of RTE on the excursion ship

左上のレーダ映像の中心から、右下へ3本の直線状の映像があるが、その中央が映像の乱れである。両側の2本は、A/D変換器によってデータを記録する範囲を表わすマークラインであり、レーダの信号とは関係ない。

RTEは遊覧船の前面に取り付けた。船舶の屋上部分に取り付けられれば、RTEのアンテナと同じ高さにコーナレフレクタの役割をする構造物がなくなるので、このような現象は生じなかったとも考えられる。しかし、この遊覧船での設置状況に限らず、RTEだけをマストよりも高く取り付けることは容易ではない。今回の遊覧船への取り付け方法は簡便さを優先した方法であるが、取り付け状況は通常の船舶と大差ないと考えられる。遊覧船の前面に取り付けたため、遊覧船がレーダに向かって航行するとき、またレーダの前を横切るように航行するとき、自己発振による映像が連続して現れ、レーダ映像を乱すことが観測された。

5. 5. 2. 3 RTEがレーダに近づいた場合

これまで述べた他にレーダ映像が乱れた状況は、RTEがレーダに近づいた場合であった。その例を図5-11および5-12に示す。

RTEを設置したボートが、レーダから0.7マイル程度に接近したとき、ボートのレーダ映像が円周方向に広がった。レーダとの距離が近くなってサイドローブにも応答したためと考えられる。

図5-11では、A/D変換器の目盛の関係で、わずか角度20度分の扇形の範囲を記録・表示したものであるが、実際には図5-12に示すように、時計での5時の方向から11時の方向まで偽像が現れた。同一円上に広がっていることを判り易くするために、レーダの可変距離環（点線の円）を重ねて表示している。

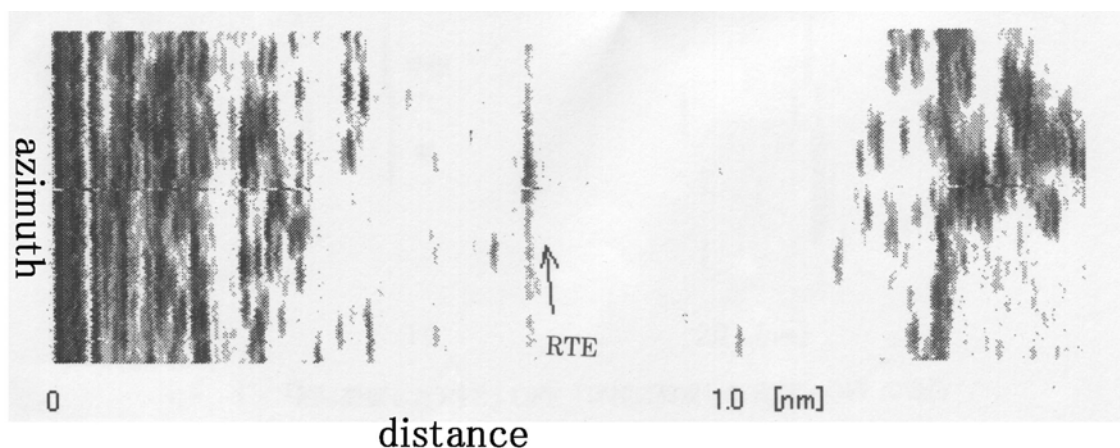


Fig. 5-11 Radar image when RTE approached radar

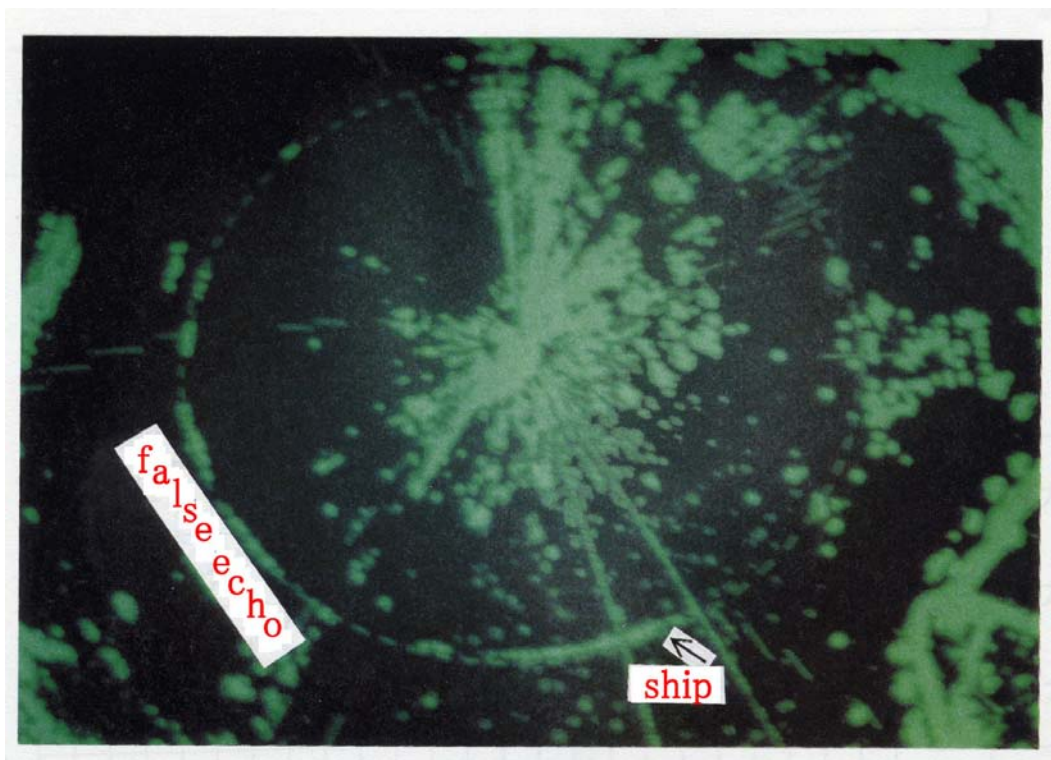


Fig. 5-12 Photograph of radar image when RTE approached radar

図5-12の中で、中央から右下に向かう2本の直線は、A/D変換器によってデータを記録・保存する範囲を示す信号収集時の便宜用のマークであり、レーダの信号には関係ない。

6. RTEの海上における性能調査

RTEを実際の使用状況に近い状態で試験するため、付近に船舶が航行し、船用レーダが多く使用されている海域（東京湾・千葉港）において試験を行なった。湖上における試験と同様に、船用レーダに対するRTEの応答特性、およびRTEが2台存在する場合や付近にコーナレフレクタがある場合などに発生する自己発振の状況について試験した。

6.1 海上における試験

前章の通り、霞ヶ浦における試験では、RTEによってレーダ映像が強調される場合が確認できた。しかし同時に様々なRTEの偽像が現れることも観測・確認された。ここでは、複数の船用レーダが存在する、より実際の使用状況に近い海上で試験を行なった。

試験の場所は東京湾・千葉港第7号浮標近辺で、付近にはタグボート、および千葉港への出入港船が常時十数隻程度航行している状況であった。

6. 2 観測方法

RTE 1 台を千葉港第 7 号浮標に、別の 1 台を見回り船「ふさひかり」（船用レーダ搭載、千葉海上保安部所属）に設置し、レーダ車を、第 7 号灯浮標近辺をよく見渡せる中央埠頭南西角に設置した。第 7 号灯浮標（以下、浮標とする）とレーダ車の距離は約 1 マイルである。概況図を図 6-1 に示す。

レーダアンテナ、第 7 号浮標に設置した RTE（以下、「浮標に設置した RTE」とする）、見回り船に設置した RTE（以下、「船に設置した RTE」とする）の高さはそれぞれ約 10m、7m、6m である。

「浮標に設置した RTE」と「船に設置した RTE」のスイッチを ON/OFF し、レーダ車のレーダ映像上で動作状況を確認し、レーダ映像の記録、保存を行なった。記録、保存方法は 5. 2 で述べた方法と同様である。このとき、レーダ車で記録、保存を行なうと同時に、「ふさひかり」に搭載された船用レーダでも、「浮標に設置した RTE」の動作状況を観測した。

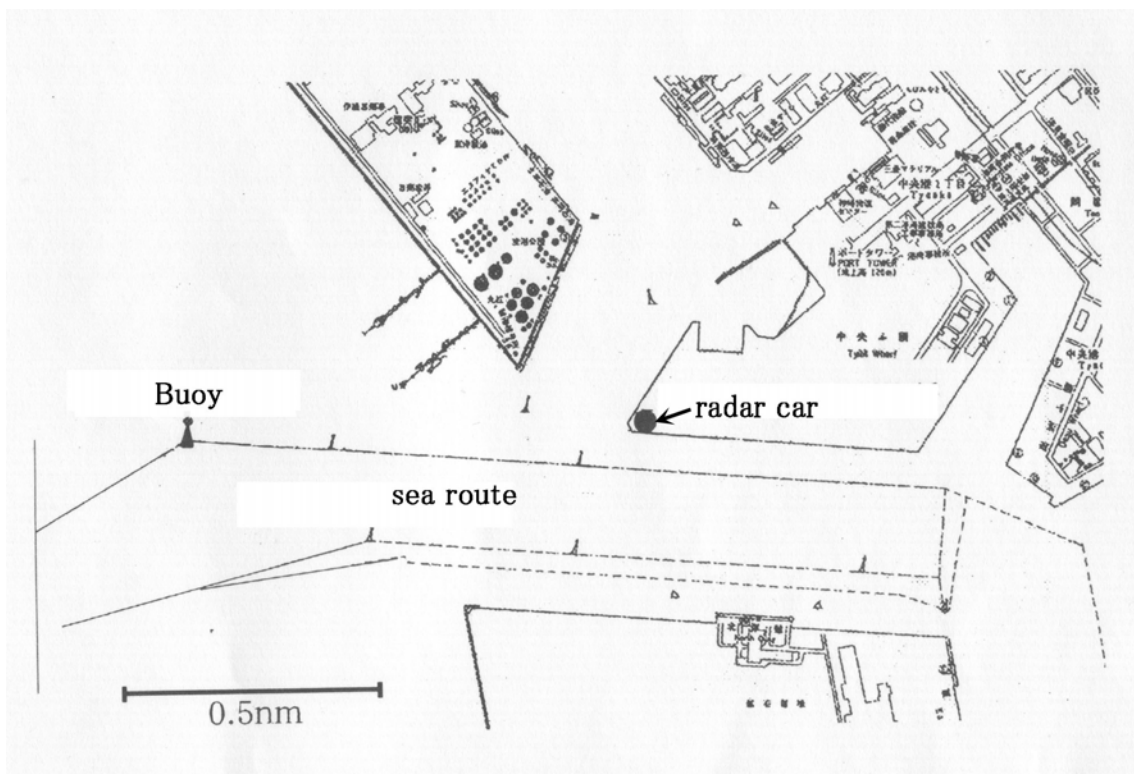


Fig. 6-1 Position of the radar car and buoy

6. 3 使用機器

使用した船用レーダ、A/D変換器、およびコーナレフレクタは、湖水（霞ヶ浦）で

の試験時と同じ機器である。

6. 4 試験内容

レーダアンテナ、「浮標に設置した RTE」、および「船に設置した RTE」の高さをパラメータとして求めた受信強度のハイトパターンを図 6-2 および 6-3 に示す。浮標はレーダアンテナから約 1 マイルの地点にあり、ハイトパターンの検討により、強い反射波を得られる距離にあることがわかる。一方、「船に設置した RTE」は 1 マイル付近および 2 マイルの付近では特に反射波が弱くなるので、試験時にはこの点に注意する必要がある。

海上における RTE の動作状況を調査するために、次の状況について、レーダ反射信号を観測した。

- ・浮標のみ
- ・「浮標に設置した RTE」を動作
- ・「浮標に設置した RTE」を動作させ、近くにコーナレフレクタを設置
- ・「浮標に設置した RTE」と「船に設置した RTE」を動作させ、船を移動して両者の距離を変える

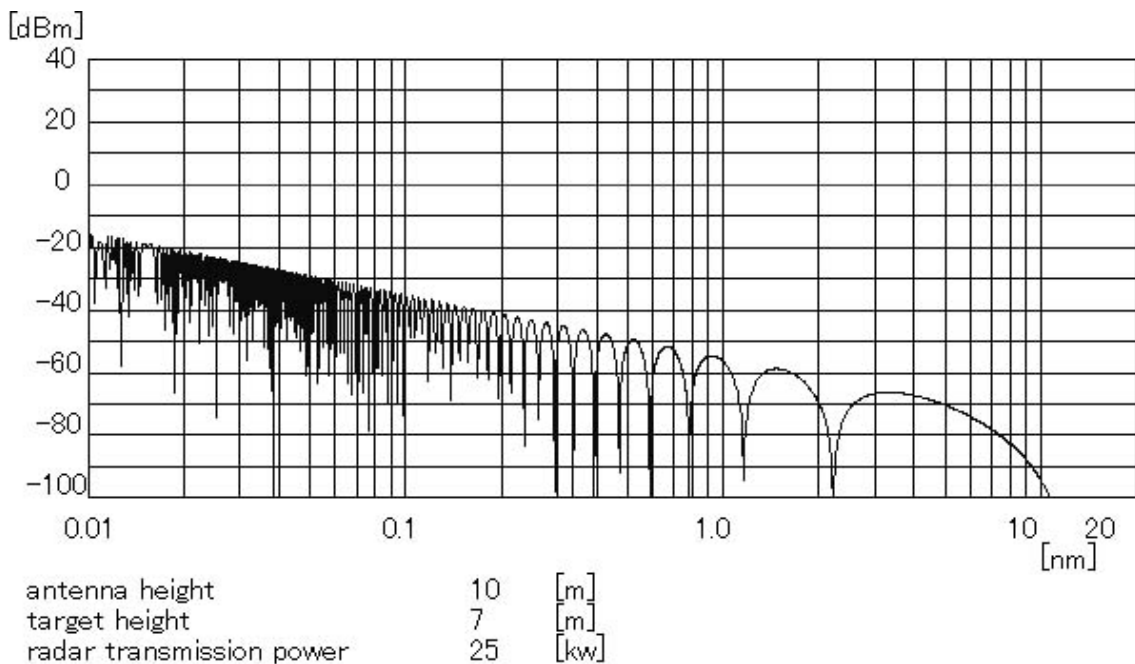


Fig. 6-2 Field pattern for 'buoy RTE'

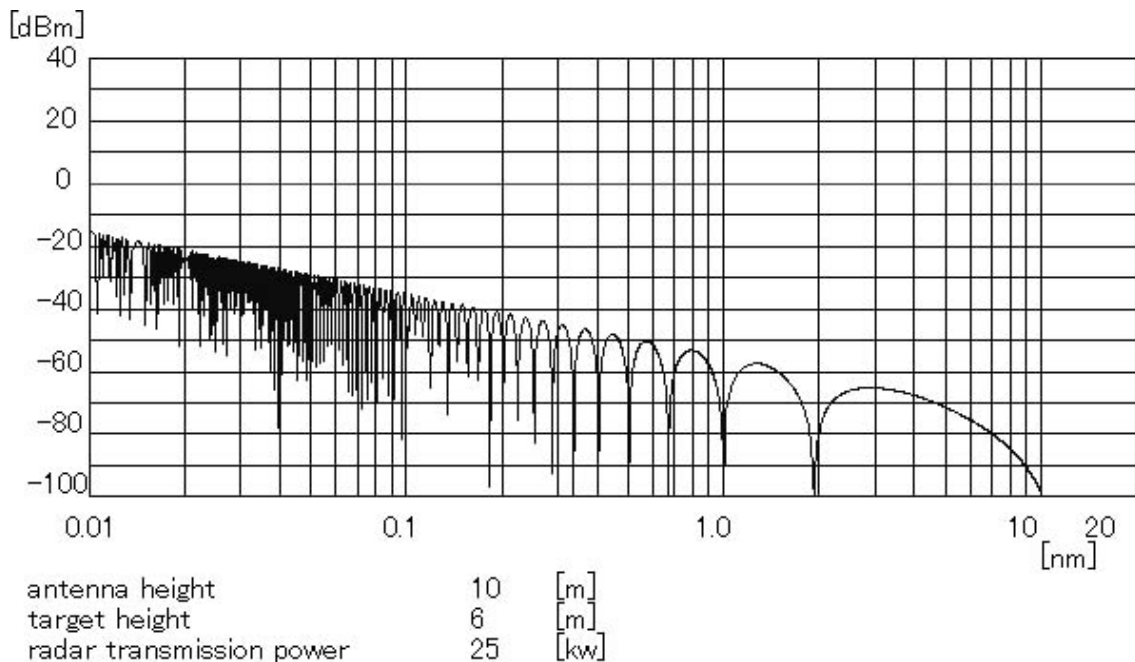


Fig. 6-3 Field pattern for 'vessel RTE'

海上における RTE の動作状況を調査するために、次の状況について、レーダ反射信号を観測した。

- ・浮標のみ
- ・「浮標に設置した RTE」を動作
- ・「浮標に設置した RTE」を動作させ、近くにコーナレフレクタを設置
- ・「浮標に設置した RTE」と「船に設置した RTE」を動作させ、船を移動して両者の距離を変える

6. 5 海上における試験結果

6. 5. 1 RTE の効果

レーダ映像の B スコープ表示を図 6-4 に示す。横軸は距離を、縦軸は方位方向を表わす。アンテナスキャン方向は図の上から下方向になる。

約 1 マイルの地点に、今回の観測で RTE を設置した浮標と船舶がある。それぞれに RTE が搭載されているが動作はしていない。浮標のレーダ映像と船のレーダ映像は、方位方向にほぼ同じくらいの広がりを持っている。

この状態で、「浮標に設置した RTE」のみを動作させた場合のレーダ映像を図 6-5 に示す。図 6-4 と比較して、浮標の映像がアンテナの回転方向に広がっているが、全体に両側に延びるのではなく、図の上方向にのみ延びている。つまり、レーダアンテナがブイの方向に向く手前から RTE の応答が始まっていることを示している。この延び

の方向は、霞ヶ浦における実験観測結果を示した図5-7の場合と逆になっている。

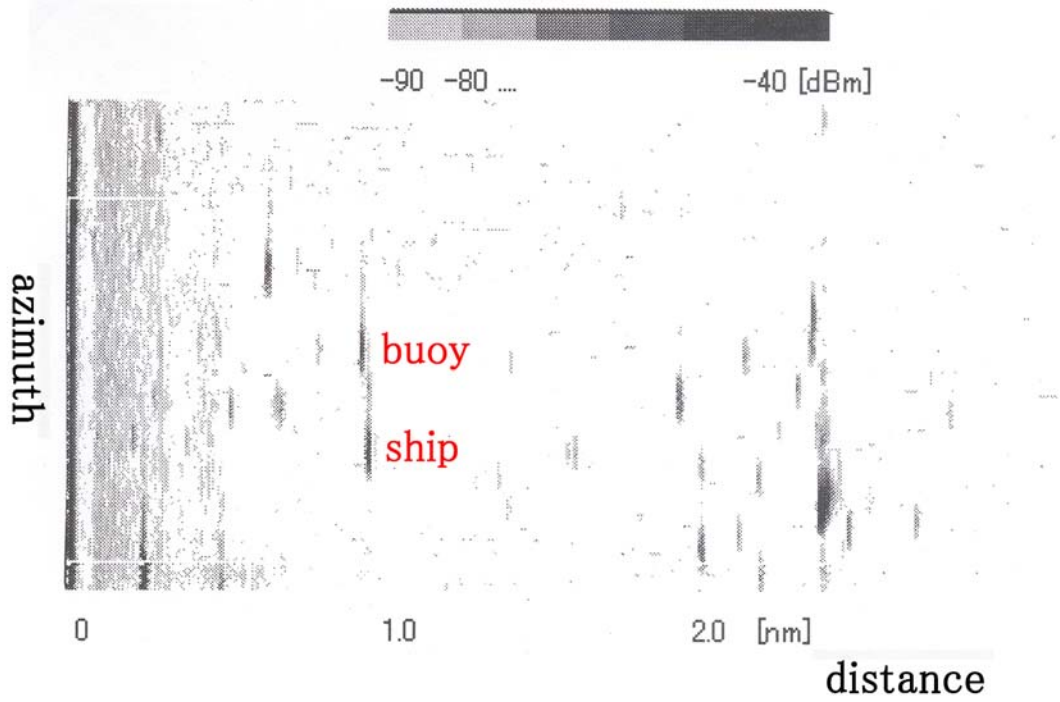


Fig. 6-4 B-scope display of Radar image

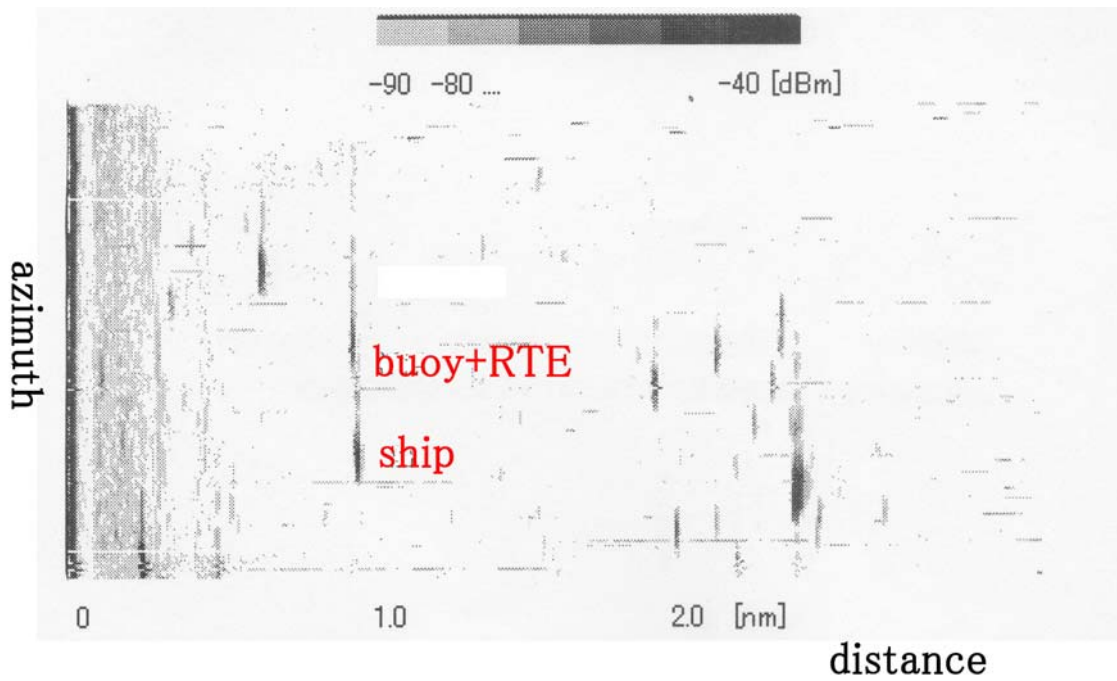


Fig. 6-5 Radar image of operating 'buoy RTE'

また映像は安定ではなく、時折、自己発振が原因と考えられる映像の乱れが生じた。その例を図6-6および図6-7に示す。映像の乱れはいずれも数秒～十数秒間続いて消えることを繰り返した。

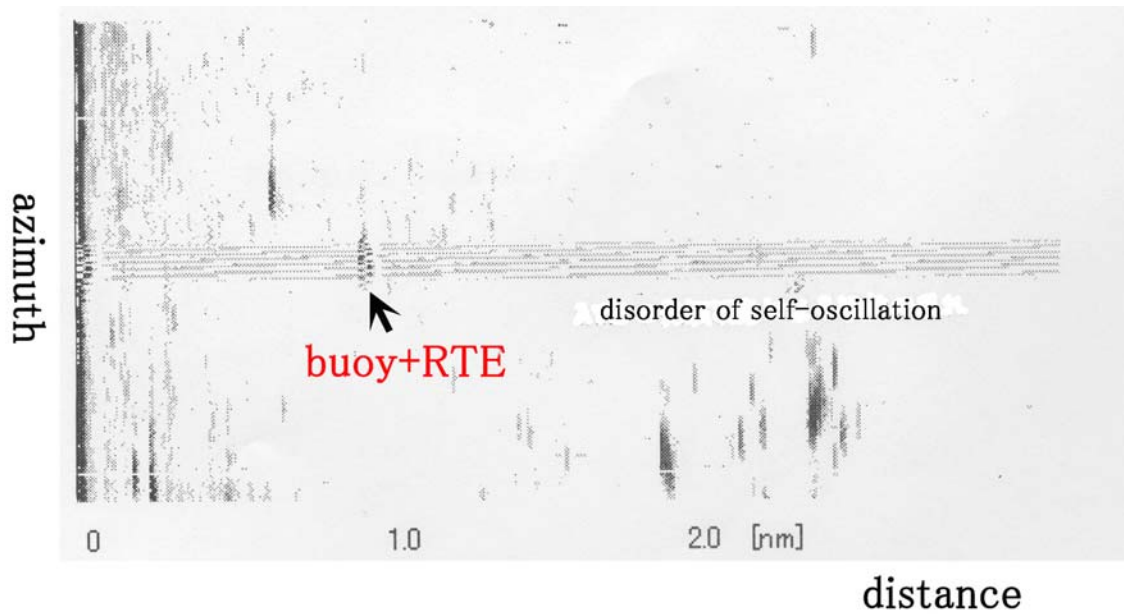


Fig. 6-6 Radar image of disorder by self-oscillation of 'buoy RTE'

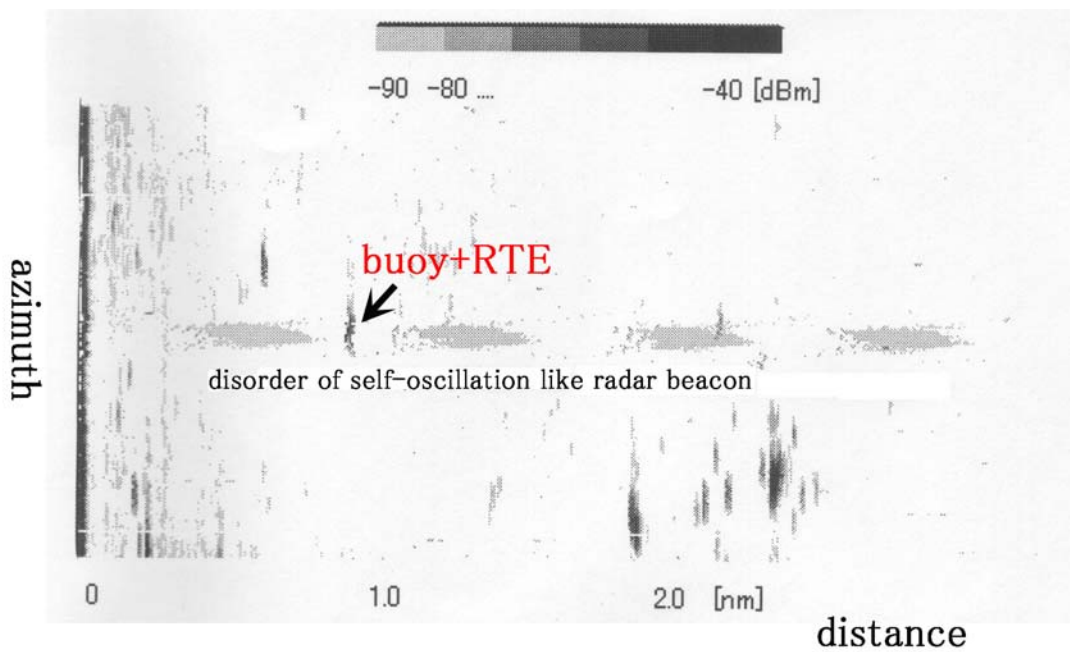


Fig. 6-7 Radar image of disorder by self-oscillation of 'buoy RTE'

6. 5. 2 RTE のレーダ映像への影響

6. 5. 2. 1 RTE の付近にコーナレフレクタなどがある場合

図6-6および6-7では、「浮標に設置した RTE」のみを動作させた映像の一例を示した。ここでは、動作している RTE の近くにコーナレフレクタを設置した場合の例を図6-8に示す。映像の乱れはいずれも数秒～十数秒間続いて消えることを繰り返したが、コーナレフレクタを設置した場合の方が設置しない場合より頻繁に発生した。

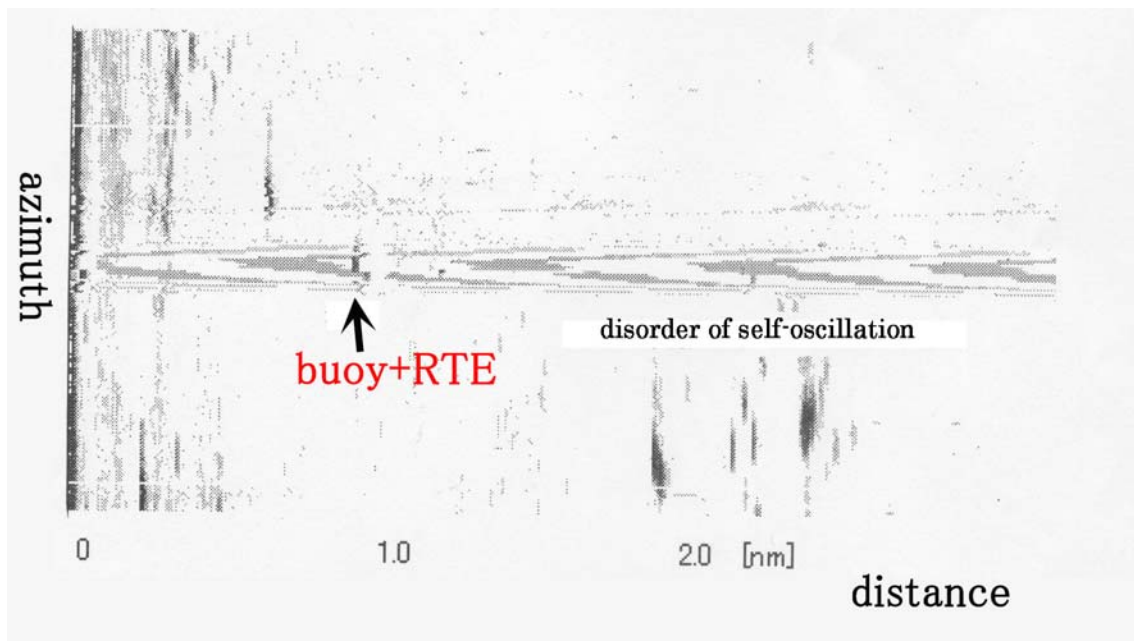


Fig. 6-8 Radar image of disorder by self-oscillation of 'buoy RTE' with a corner reflector

6. 5. 2. 2 レーダアンテナとの距離を変化させた場合

「船に設置した RTE」と「浮標に設置した RTE」の距離を徐々に離し、距離の違いによるレーダ映像の変化を観測した。

始めに、浮標の 250m 遠方で、「船に設置した RTE」を動作させた。このときのレーダ映像を図6-9に示す。船と浮標の距離は約 1 マイル、船とレーダ車の距離は約 1.1 マイルである。図6-5のときと同じように、船のレーダ映像が、図の上方向のみに延びている。同じ位置関係のまま、「浮標に設置した RTE」も動作させた場合のレーダ映像を図6-10に示す。船のレーダ映像も、浮標のレーダ映像も図の上方向のみに延びている。

次に船を浮標の遠方 500m に移動し、同様の観測を行なった。「浮標に設置した RTE」は同じ結果が得られたが、「船に設置した RTE」については動作の有無にかかわらず、レーダ映像に変化は見られなかった。さらに船を移動し、浮標の遠方 3 マイルまで観測

を続けたが、RTEの有無によるレーダ映像の変化は認められなかった。

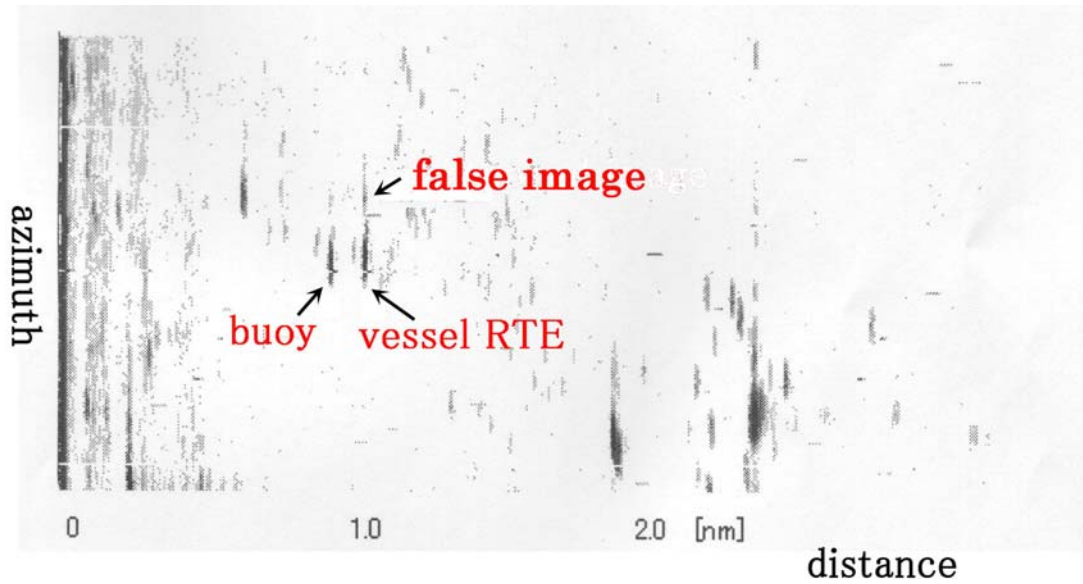


Fig. 6-9 Radar image of 'vessel RTE'

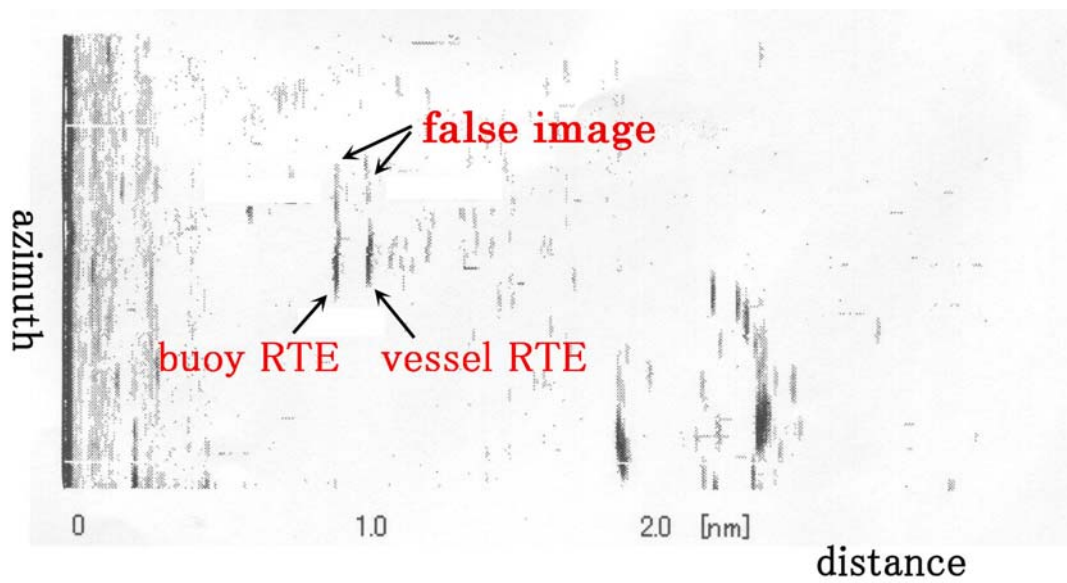


Fig. 6-10 Radar image of 'buoy RTE' and 'vessel RTE'

7. 性能試験結果のまとめと考察

RTEに関する実験での観察結果のまとめを次に述べる。

- (1) RTE はレーダパルス波のパルス幅を変えずに送り返すため、レーダ P P I 上では輝点が小さすぎて映像にならないことを予測した。実際にはレーダ受信機の増幅特性で受信信号のパルス幅が広がることや、映像信号の長さが伸びることで映像を表示できた。
- (2) レーダ P P I 映像で RTE の両サイドの円周方向に広がって見える映像は、物標の反射強度と RTE からの応答信号の電力比率が好条件の場合にのみ観測される。
- (3) RTE を作動させたときに、映像の変化がわずかに認められることもあった。しかし、ほとんどは効果が認められない状況であった。映像の変化を認められたのは、RTE を設置したボートや浮標などの位置が明瞭にわかっていたことで映像の変化を認識しやすかったことが背景にある。
- (4) 条件により自己発振現象を起こすことが電波無響室での性能試験で指摘されていたが、湖上実験においても確認された。主に近傍に複数の RTE が存在していた場合と遊覧船に載せたときに自己発振現象による映像の乱れとして観測された。
- (5) 海上実験では、湖上実験ほどの強烈な自己発振現象は観測されなかった。自己発振現象は、発振がよく起こりやすいように特定の位置に設置したコーナ・レフレクタや複数の RTE を近傍に設置した場合のみであった。この原因としては、周囲で多数のレーダが使用されている状況では自己発振現象が持続して発振の振幅が大きくなり成長するまでに至らなかったことが推定される。
- (6) 海上実験では、強調された映像が少し観測されたものの顕著な強調効果を観測できることは無かった。ブイの映像の位置をあらかじめ知っていたので、ブイのレーダ映像が若干大きくなった変化がわかった程度である。

RTE の湖上および海上実験を通じてのまとめを述べる、

- ① 湖上実験では自己発振現象による異常映像が観測された。
- ② 一方、海上実験では異常映像は出なかったものの顕著な強調効果は得られなかった。
- ③ 映像の出方が安定せず、周囲の状況や RTE の取りつけ状態等

で RTE の応答が変わってしまった。

RTE を設置した物標等の反射映像だけが強調されることなく、レーダ映像の画面を乱すような状況が発生したことは、実際の運用においては極めて重大なことである。

英国でこのような RTE が市販されているが、我が国に輸入され広範囲にわたって利用されるようになった場合にはレーダ映像に及ぼす悪影響はきわめて大きいと予想される。

8. おわりに

ITU-R(Doc.8 /31)で示されている RTE の技術特性で増幅器の出力波形に関する記述には、「出力は受信波形を増幅しただけのものでなくてはならず、リミッタにかける以外の処理は行ってはならない。出力の遅延および延伸の程度は受信したパルス幅の 10% または 10ns のどちらか大きいほうをこえてはならない」とされている。

この記述内容は、「単なる増幅器」としての性能を規定しているものであって、自己発振現象を抑制するための記述がなされていない。さらには RTE における増幅度の「アンテナ利得を含め最小 50dB」との性能の基準は、自己発振現象による妨害の発生を考慮していないとも考えられる。

英国からの報告によれば海上実験では良い結果が示され、取りつけ効果を示す内容を記述しているが、自己発振現象についての考察やその観測結果がなにも触れられていない。ただ、良い結果が現れているのはコーナ・レフレクタを併用しているときであったことが、英国の報告からわかるが、自己発振現象の問題には全く触れられていない。

我が国としては、ITU-R(Doc.8 /31)による RTE の特性の束縛はひとまず考慮せず、独自に、「自己発振せず、映像を強調するようにパルス幅も増大させ、レーダ映像を乱さない範囲で映像の表示面積を明瞭に増大強調できる信号処理を伴った RTE」の開発が必要であろうと考えている。

参考文献

- [1] IMO resolution A.615 (15), Radar Beacons and Transponders, 19.Nov.1987
- [2] ITU-R 8C/7-E, Proposed Draft New Recommendation Technical Parameters of Radar Target Enhancers, 31.Aug.1994
- [3] ITU-R 8C/23-E, Draft New Recommendation Trials of Radar Target Enhancers, 25.Nov.1994
- [4] ITU-R 8/31-E, Draft New Recommendation ITU-R M. [Doc. 8/31] Technical Parameters of Radar Target Enhancers, 30.Jan.1995
- [5] IALA Radio Navigation Committee RNAV 3/7/3, Radar Target Enhancers, 19.Mar.1995
- [6] IALA Radio Navigation Committee RNAV 6/WG1/1, Report on Trial with Radar Target Enhancers, 25.Sep.1996
- [7] IALA Conference, 1998, Active Radar Target Enhancers for Buoy Radar Signature Enhancement
- [8] Trial with Radar Target Enhancers (Supporting Paper)
- [9] Phalconet catalogue