

9GHz 帯船舶用固体素子レーダーの  
周波数共用等に関する調査検討  
報告書

平成 25 年 11 月

9GHz 帯船舶用固体素子レーダーの  
周波数共用等に関する調査検討会



## まえがき

我が国では、船舶の航行の安全を確保するため、船舶安全法第 2 条に基づき、船舶に対して船舶用レーダーの設置を義務付けるとともに、電波法無線設備規則第 48 条においてその技術的条件が定められている。

船舶用レーダーは、安価で高出力なマグネトロンが発振素子として使用されている。しかし、マグネトロンは、寿命が短い（常用で 1 年）、不要発射が大きい、発射される周波数が不安定などの欠点がある。

近年、固体素子（半導体素子）の性能が向上し、船舶用レーダーへの導入も可能となっている。長寿命化、周波数が安定、不要発射が低減などの利点が多いものの、マグネトロンと比較して送信尖頭電力が非常に小さい（マグネトロン：～75kW、固体素子：～300W）。そのため、所要の送信エネルギー量を確保するにはパルス幅を伸長することが必要となり、実運用状態（他のレーダーと近距離で運用した場合等）によっては、他の船舶用レーダーに有害な干渉を起こす恐れがある。

情報通信審議会情報通信技術分科会航空・海上無線通信委員会（船舶用固体素子レーダー作業班）では、9GHz 帯船舶用固体素子レーダーの導入を可能とする検討を行っており、その検討過程で、既存のマグネトロンレーダーとの周波数共用および干渉（混信）除去の効果等において実際に電波を発射した試験を行って審議することとなった。本調査検討会では当該試験を実施し、航空・海上無線通信委員会における検討および技術基準案の策定に資することを目的とする。

具体的な試験および検討内容は、以下のとおりである。

- (1) 船舶用固体素子レーダーとマグネトロンレーダーとの干渉に関する検討
- (2) FMCW レーダーについて、同一周波数の運用によるマグネトロンレーダーとの干渉に関する検討
- (3) 船舶用固体素子レーダーによる、捜索救助用レーダートランスポンダ（9GHz 帯）からの信号の探知に関する検討
- (4) 船舶用固体素子レーダー相互およびマグネトロンレーダーとの相互運用時の ARPA（TT : Target Tracking）表示精度に関する検討

本報告書は、以上の内容を取りまとめたものである。



## 目次

第1章 9GHz帯船舶用固体素子レーダーの周波数共用について .....	1
1.1 目的.....	1
1.2 審議経過 .....	1
1.3 検証項目 .....	2
1.4 実験計画 .....	4
1.4.1 レーダー等の設定および実験条件 .....	4
1.4.2 実験項目 .....	5
第2章 実験概要.....	6
2.1 実施期間 .....	6
2.2 実験場所 .....	7
2.3 気象状態等.....	8
2.4 各レーダーの諸元.....	8
2.5 レーダーおよび船舶の全体配置.....	12
2.6 実験の条件設定 .....	16
2.6.1 測定の手順.....	16
2.6.2 収集するデータについて.....	17
2.6.3 反射器について .....	19
2.6.4 検討方法 .....	20
第3章 実験結果.....	21
3.1 実験1（マグネトロンレーダー同士における干渉状況の調査）について .....	21
3.1.1 実験内容の詳細と観測結果.....	21
3.1.2 配置状況 .....	21
3.1.3 実験項目 .....	22
3.1.4 観測の結果.....	22
3.1.5 実験1のまとめ .....	25
3.2 実験2（固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査）について .....	26
3.2.1 実験内容の詳細と観測結果.....	26

3.2.2	配置状況 .....	27
3.2.3	実験項目 .....	28
3.2.4	観測の結果.....	29
3.2.5	実験 2 のまとめ .....	42
3.3	実験 3（近距離において固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査）について .....	43
3.3.1	実験内容の詳細と観測結果.....	43
3.3.2	配置状況 .....	43
3.3.3	実験項目 .....	44
3.3.4	観測の結果.....	44
3.3.5	実験 3 のまとめ .....	50
3.4	実験 4（ARPA 機能に対する干渉の調査）について.....	51
3.4.1	実験内容の詳細と観測結果.....	51
3.4.2	配置状況 .....	51
3.4.3	実験項目 .....	54
3.4.4	観測の結果.....	55
3.4.5	実験 4 のまとめ .....	58
3.5	実験 5（FMCW レーダーが与干渉となる場合の調査）について.....	59
3.5.1	実験内容の詳細と観測結果.....	59
3.5.2	配置状況 .....	59
3.5.3	実験項目 .....	60
3.5.4	観測の結果.....	60
3.5.5	実験 5 のまとめ .....	62
3.6	実験 6（固体素子レーダーが被干渉となる場合の調査）について .....	63
3.6.1	実験内容の詳細と観測結果.....	63
3.6.2	配置状況 .....	63
3.6.3	実験項目 .....	65
3.6.4	観測の結果.....	65
3.6.5	実験 6 のまとめ .....	72
3.7	実験 7（FMCW レーダーが被干渉となる場合の調査）について.....	73
3.7.1	実験内容の詳細と観測結果.....	73

3.7.2	配置状況 .....	73
3.7.3	実験項目 .....	75
3.7.4	観測の結果.....	75
3.7.5	実験7のまとめ .....	77
3.8	実験8（複数のレーダーが同時に送信状態となる総合干渉の調査）について.....	78
3.8.1	実験内容の詳細と観測結果.....	78
3.8.2	配置状況 .....	78
3.8.3	実験項目 .....	79
3.8.4	観測の結果.....	79
3.8.5	実験8のまとめ .....	90
3.9	実験9（SARTの信号探知に関する調査）について.....	91
3.9.1	実験内容の詳細と観測結果.....	91
3.9.2	SARTの設置状況 .....	91
3.9.3	SARTの電気的特性.....	92
3.9.4	レーダー方式によるSARTの応答信号の表示について .....	93
3.9.5	SARTが応答する距離の観測 .....	94
3.9.6	実験の手順.....	95
3.9.7	配置状況 .....	96
3.9.8	観測の結果.....	97
3.9.9	実験9のまとめ .....	103
第4章	まとめ .....	104



# 第1章 9GHz 帯船舶用固体素子レーダーの周波数共用について

## 1.1 目的

既存の船舶用レーダーは、真空管の一種であるマグネトロンを使用しており、マグネトロンは寿命が短い、不要発射が大きい、発射される周波数が不安定などの欠点がある。

先に、3GHz 帯において、船舶用レーダーの増幅素子としてマグネトロンの代わりに船舶用固体素子である「半導体素子」の導入を可能とする制度改正が行われており、周波数のさらなる有効利用および機器の低廉化による普及促進のため、GMDSS の一次レーダーとして普及している 9GHz 帯において船舶用固体素子レーダーの制度化が求められている。

このような状況から、9GHz 帯船舶用固体素子レーダーと既存船舶用レーダーの周波数共用および干渉除去の効果などを確認する技術的試験、検証を行い、検証結果に基づく技術基準の検討および技術的条件案の策定に資することを目的に実施する。

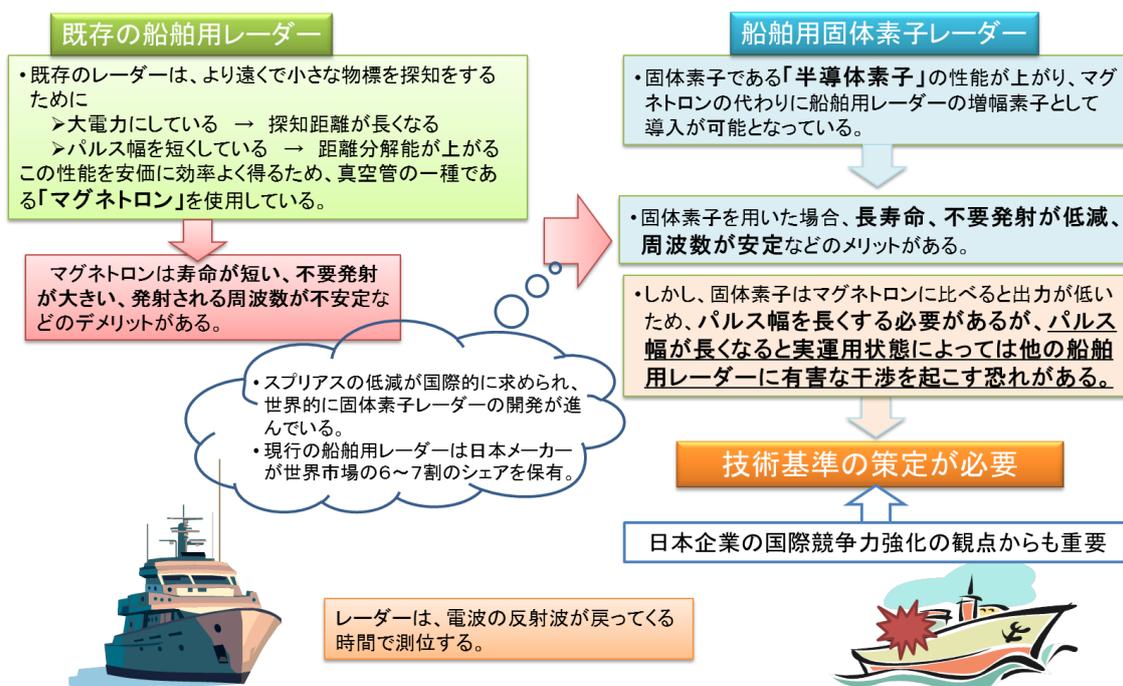


図 1.1-1 船舶用固体素子レーダーについて

## 1.2 審議経過

平成 24 年 2 月 17 日、情報通信審議会情報通信技術分科会において、船舶用固体素子レーダーのうち 9GHz 帯のレーダーについては、次項に示した検証項目の引き続いての検討を要することとなった。所要の検討を行うため、次に示す項目について検証を行う。

### 1.3 検証項目

- (1) 情報通信審議会情報通信技術分科会において引き続き検討を要するとされた項目
- ① 大型船舶で大洋航行中の場合、船舶用レーダーで使用する指示器の距離レンジは一般的に 24 海里であるため、距離レンジが 24 海里の場合における干渉に関して検証し、検討する。

24 海里レンジの検証は、「通常、使用する距離レンジが 24 海里レンジである」という情報通信審議会情報通信技術分科会航空・海上無線通信委員会（船舶用固体素子レーダー作業班第 4 回：平成 25 年 3 月 8 日）の報告を受けたことに基づいている。使用する距離レンジによりレーダー受信機の IF 帯域が変化するので、各レーダーが持つ受信 IF 帯域毎における影響を調べる。

したがって、大型船が 24 海里レンジで運用中に受ける影響と、大型船が 24 海里レンジで発射した固体素子のレーダー波（QON）が、近距離レンジおよび中距離レンジで動作している中型船／小型船に設置されるマグネトロンレーダーおよび船舶用固体素子レーダー（以下、固体素子レーダーという）へ与える影響について調べる必要がある。

- ② SOLAS 条約では、探索救助用レーダー・トランスポンダー（9GHz）（以下 SART という）からの信号を観測できることが義務付けられているが、固体素子レーダーで信号が観測可能か引き続き検討する。

SART は 9.3GHz～9.5GHz のレーダー波を受信した場合、規定された遅延時間以内に応答し、送信周波数を掃引しながら 12 回送信を繰り返している。これにより通常のレーダー反射とは違った信号列が観測できる。この信号列において、レーダー画面の中心から一番近い点が遭難位置（発信された位置）を表している。

SART の信号受信システムは、レーダーが信号圧縮等の処理をしていないことが前提となっている。しかし、固体素子レーダーはチャープ信号を圧縮する信号処理によって、大きな処理利得を得ることが前提であり、SART からの信号の表示が課題となっている。特に、SART 信号の始点が圧縮の信号処理との関係で適切に表示できなければ探索救助に影響を生じる。

- ③ 9GHz 帯を使用する船舶用レーダーは、3GHz 帯を使用する船舶用レーダーよりもはるかに使用台数が多いことから、既存のマグネトロンレーダーへの干渉の条件についてさらに検証する。

固体素子レーダーはマグネトロンレーダーよりも電力が 2 桁も低いため、性能の理由からマグネトロンレーダーと比較して数十倍長いパルスを用いる必要がある。輻射状態では単一時間内をパルスが埋め尽くすことが考えられる。9GHz 帯を使用する船舶用レーダーの数は、3GHz 帯を使用する船舶用レーダーの数と比べて非常に多いことから、輻射状態が一層厳しい環境となることが想定される。このことから、固体素子レーダーの輻射状態を擬似した信号を作り、マグネトロンレーダーおよび固体素子レーダーに照射・入力し、レーダー受信機が問題なく動作することを確認する必要がある。

- ④ 固体素子レーダーおよびマグネトロンレーダーと FMCW レーダーの使用周波数が異なる場合には、干渉が起きないことが確認されたが、同一周波数の運用による検証が実施されていないことから引き続き検討する。

平成 23 年度の実験は、FMCW レーダーの周波数が既存のマグネトロンレーダーおよび固体素子レーダーとは数十 MHz 異なる周波数帯で実施したため、干渉が発生しなかった。

FMCW レーダーの周波数をマグネトロンレーダーおよび固体素子レーダーと同じ周波数帯として実験を行う必要がある。

なお、本報告書では、FM-CW レーダーは FMCW レーダーと表記する。

## (2) 船舶用固体素子レーダー作業班において提案された検討項目

- ⑤ ARPA 機能に対する影響の検証

自動衝突予防援助装置 (Automatic Radar Plotting Aids : 以下 ARPA という) は、トラッキング (反射信号の追尾) を行うとともに、過去のデータから速度、方位を計算し、進路や自船との衝突の危険度を表している。実際の TT (Target Tracking) では、ターゲットのビデオ信号の重心を求め、それを中心としたゲートを設定し、衝突予防などについて計算を行っている。

ARPA の表示や計算については、固体素子レーダーについても同様であるため、複数の TT の処理を実行させた状態で、TT の状態や計算結果への影響を検証する。

## 1.4 実験計画

検証項目にしたがったレーダー等の設定や実験条件について以下に示す。実験計画の内容は情報通信審議会情報通信技術分科会航空・海上無線通信委員会（船舶用固体素子レーダー作業班第5回：平成25年4月25日）によって示されたものである。

### 1.4.1 レーダー等の設定および実験条件

#### 1.4.1.1 固体素子レーダーの設定

##### (1) 距離レンジの設定

- ・ 固体素子レーダーの24海里レンジにおけるマグネトロンレーダーとの干渉実験を行う。
- ・ 固体素子レーダーの3海里レンジにおける干渉実験を行う。
- ・ 実験時、同一設計の複数の固体素子レーダーを設置する場合は、24海里レンジと3海里レンジとする。

##### (2) 測定距離の設定

- ・ 与干渉レーダーと被干渉レーダー間の距離を2海里もしくは200mとした場合の干渉実験を行う。

##### (3) アンテナ回転の停止

- ・ マグネトロンレーダーとの干渉実験においては、干渉発生状況の確認のためにアンテナの回転を停止し、固定した状態で送信する。

##### (4) 送信チャンネルの設定

- ・ チャンネル変更が可能な機種は、Q0N電波の送信について2MHzステップで、9380MHz～9440MHzまで30chで送信できること。
- ・ マグネトロンレーダーとの干渉実験においては、マグネトロンレーダーの受信帯域を考慮し、送信チャンネルを変えて実施する。

##### (5) 送信モード

- ・ 干渉実験実施時の送信モードはミックスモード(V0N)とする。

#### 1.4.1.2 FMCW レーダーの設定

##### (1) 距離レンジ

- ・ 0.75海里レンジにおけるマグネトロンレーダーおよび固体素子レーダーとの干渉実験を行う。この場合、同じ周波数帯となるマグネトロンレーダー、チャンネルを変更できる固体素子レーダーを用意して影響を検討する。

##### (2) 測定距離

- ・ FMCWレーダーは送信出力が小さい(0.2W)ことから、干渉実験においては1海里から50m(もしくは最接近距離)まで近づいた2点における影響を検討する。

#### 1.4.1.3 マグネトロンレーダーの設定

- ・ 被干渉となる実験においては、パルス幅を変更して実施する。
- ・ 固体素子レーダーとの近距離での実験においては、短いパルス幅に設定し実施する。
- ・ ARPA 機能に対する干渉の検証の際、マグネトロンレーダーは 3 海里レンジ（パルス繰り返し周波数およびパルス幅は与干渉レーダーの設定を考慮して選択する）にて実施する。

#### 1.4.1.4 総合干渉実験時の設定

全てのレーダーが同時に送受信を行い、測定を実施する。

#### 1.4.2 実験項目

検証項目および実験計画で示されたレーダー等の設定および実験条件において、以下の内容で実験を実施する。

実験 1：マグネトロンレーダー同士における干渉状況の調査

実験 2：固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査

実験 3：近距離において固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査

実験 4：ARPA 機能に対する干渉の調査

実験 5：FMCW レーダーが与干渉となる場合の調査

実験 6：固体素子レーダーが被干渉となる場合の調査

実験 7：FMCW レーダーが被干渉となる場合の調査

実験 8：複数のレーダーが同時に送信状態となる総合干渉の調査

実験 9：SART の信号探知に関する調査

## 第2章 実験概要

前章で示した実験項目を基に、本調査検討会で実施した実験の概要を以下に示す。

### 2.1 実施期間

実験の設置作業および撤収作業も含めて、平成 25 年 9 月 8 日（日）～平成 25 年 9 月 14 日（土）の期間において実施した。

各実験項目の実施日程を表 2.1-1 に掲げる。

表 2.1-1 各実験項目の実施日程

日程	設置 作業	実験									撤収 作業
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
9/8（日）	○	○									
9/9（月）			○								
9/10（火）			○				○				
9/11（水）					○						
9/12（木）				○			○	○		○	
9/13（金）		○				○	○	○	○		
9/14（土）											○

## 2.2 実験場所

実験は、新潟県上越市の有間川レーダー試験場（以下レーダー試験場という）およびその周辺を使用する。実験場所は、複数の船舶用レーダーを、沿岸部もしくは船舶に設置することが可能であるため、マグネトロンレーダー、固体素子レーダーおよび FMCW レーダーの海上における実運用状態を模擬することができる。

実験場所の地図を図 2.2-1 に示す。同図 (a) は新潟県の広域地図を示し、図中の赤枠で示した個所が (b) 詳細地図の位置である。レーダー試験場から海を挟んで約 3.5km 離れた場所にコンビニエンスストアがある。詳細地図には有間川のレーダー試験場とコンビニエンスストアの位置をマーカーで示している。図 2.2-2 に実験場所の状況を示す。コンビニエンスストアからレーダー試験場方向の様子である。コンビニエンスストアとレーダー試験場間は、見通しが確保されているため、レーダー試験場付近だけでなく、コンビニエンスストアにもレーダーを設置する。

実験場所は、沖合を大型船等が航行する場合があり、周辺には漁港も多くある。そのため、実験中に本実験で準備したレーダー以外に、マグネトロンレーダーを設置した船舶が航行することもある。

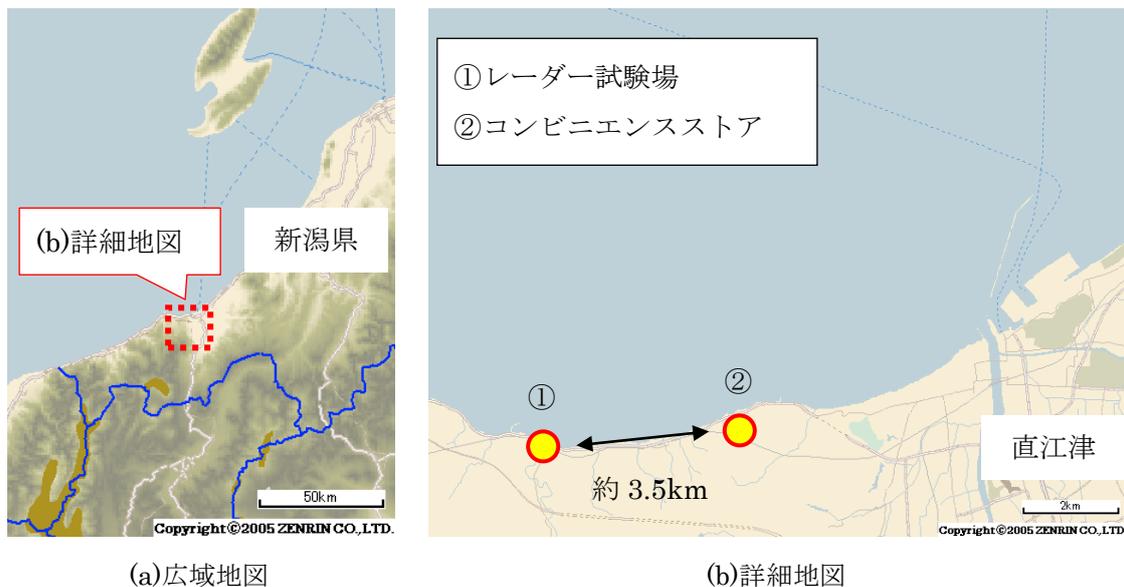


図 2.2-1 実験場所の概要



図 2.2-2 実験場所の状況

### 2.3 気象条件

実験期間中の気象条件を表 2.3-1 に掲げる。気象は、気象庁の気象統計データである。海況は、実験実施者による判定である。

表 2.3-1 実験期間中の気象条件

日付	9/8 (日)	9/9 (月)	9/10 (火)	9/11 (水)	9/12 (木)	9/13 (金)
天候	曇り時々雨	晴	晴	晴	雨のち曇り	晴
最高気温(°C)	24.0	26.7	26.5	27.0	26.8	28.9
最低気温(°C)	20.2	21.9	22.3	23.7	23.2	24.9
降水量 (mm)	1.5	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0
海況 <sup>注1</sup>	3	2	2	1	1	1

【注1】海況は WMO Sea State Code による。

### 2.4 各レーダーの諸元

実験で使用した各レーダーの諸元を表 2.4-1～表 2.4-8 に掲げる。本報告書では、マグネトロンレーダー3台を MAG-A 社、MAG-B 社、MAG-C 社、FMCW レーダー1台を FMCW-A 社、固体素子レーダー4台を SS-B 社-1、SS-B 社-2、SS-D 社、SS-E 社とする。

各レーダーの設定一覧を表 2.4-9 に掲げる。各設定は、名称を設定-1～設定-21 とする。表中の距離レンジは、レーダー画面の表示に関する設定値であり、エコーを表示することが

できる自船からの最大距離である。FMCW-A 社については、送信繰り返し周波数および周波数掃引時間を記載している。

各実験項目において、各レーダーの距離レンジは、観測対象物のエコーがレーダー画面内に入るように設定し、与干渉レーダーと被干渉レーダーのパルス繰り返し周波数およびパルス幅は、干渉の影響が顕著にでるような組合せを考慮して設定する。

表 2.4-1 マグネトロンレーダーA 社 (MAG-A 社)

送信周波数	9375MHz +/- 30MHz
空中線電力 (尖頭電力)	10kW (理論値)
アンテナ利得	28.5dBi
回転数	24rpm
アンテナ高	2m

表 2.4-2 マグネトロンレーダーB 社 (MAG-B 社)

送信周波数	9410MHz +/- 30MHz
空中線電力 (尖頭電力)	6kW (理論値)
アンテナ利得	28dBi
回転数	24rpm
アンテナ高	2m

表 2.4-3 マグネトロンレーダーC 社 (MAG-C 社)

送信周波数	9410MHz +/- 30MHz
空中線電力 (尖頭電力)	10kW (理論値)
アンテナ利得	30.1dBi
回転数	27rpm
アンテナ高	2m

表 2.4-4 FMCW レーダーA 社 (FMCW-A 社)

送信周波数	9320MHz~9385MHz
空中線電力 (尖頭電力)	100mW (理論値)
アンテナ利得	22dBi
回転数	24rpm
アンテナ高	3m

表 2.4-5 固体素子レーダーB社-1 (SS-B社-1)

送信周波数	P0N 9390MHz +/- 30MHz Q0N 9410MHz +/- 30MHz
空中線電力 (尖頭電力)	83W (理論値)
アンテナ利得	31.5dBi
回転数	24 rpm
アンテナ高	18m

表 2.4-6 固体素子レーダーB社-2 (SS-B社-2)

送信周波数	P0N 9390MHz +/- 30MHz Q0N 9410MHz +/- 30MHz
空中線電力 (尖頭電力)	76W (理論値)
アンテナ利得	31.5dBi
回転数	24 rpm
アンテナ高	25m

表 2.4-7 固体素子レーダーD社 (SS-D社)

送信周波数	P0N 9390MHz +/- 30MHz Q0N 9410MHz +/- 30MHz
空中線電力 (尖頭電力)	400W (理論値)
アンテナ利得	32dBi
回転数	24rpm
アンテナ高	17m

表 2.4-8 固体素子レーダーE社 (SS-E社)

送信周波数	P0N 9430MHz +/- 25MHz Q0N 9410MHz +/- 15MHz
空中線電力 (尖頭電力)	300W (理論値)
アンテナ利得	29dBi
回転数	24rpm
アンテナ高	15m

表 2.4-9 各レーダーの設定

レーダー	設定名称	距離レンジ (海里)	パルス繰り返し 周波数(Hz)	パルス幅 (us)
MAG-A 社	設定-1	0.75	2000	0.08
	設定-2	1.5	2000	0.2
	設定-3	3	2000	0.3
MAG-B 社	設定-4	0.75	2100	0.08
	設定-5	1.5	2100	0.08
	設定-6	3	1200	0.3
	設定-7	12	600	0.8
MAG-C 社	設定-8	0.75	2250	0.08
	設定-9	1.5	2250	0.08
	設定-10	3	1700	0.25
	設定-11	3	1200	0.5
FMCW-A 社	設定-12	0.75	200 <sup>注1</sup>	1000 <sup>注1</sup>
SS-B 社-1	設定-13	3	1500	P0N : 0.3 Q0N : 12.5
	設定-14	12	600	P0N : 1.2 Q0N : 18.3
SS-B 社-2	設定-15	3	1500	P0N : 0.3 Q0N : 12.5
	設定-16	24	600	P0N : 1.2 Q0N : 18.3
SS-D 社	設定-17	3	1600	P0N : 0.4 Q0N : 9.0
	設定-18	6	1500	P0N : 0.4 Q0N : 9.0
	設定-19	12	1400	P0N : 1.0 Q0N : 9.0
SS-E 社	設定-20	3	2280	P0N : 0.29 Q0N : 9.1
	設定-21	12	2280	P0N : 0.29 Q0N : 9.1

【注 1】 FMCW-A 社の設定については、送信繰り返し周波数、周波数掃引時間を記載している。

## 2.5 レーダーおよび船舶の配置

実験全体の配置を図 2.5-1 に示す。マグネトロンレーダー3 台および FMCW レーダー 1 台は船舶に設置し、固体素子レーダー4 台は地上に設置する。船舶は 6 隻用意し、そのうち 4 隻には、マグネトロンレーダーもしくは FMCW レーダーを設置する。2 隻は、ターゲット船もしくは、移動／警戒／SART 船として使用する。ターゲット船は反射器を取り付けたボートを曳航する。詳細は次節に記載する。移動／警戒／SART 船は実験項目毎に適宜役割を変更する。各役割の詳細は以下のとおりである。

移動船： 実験 4 において、ARPA で追尾するターゲットとして使用する。

警戒船： 実験で準備した船舶以外に対して、注意喚起を行い、安全に実験を実施するために使用する。

SART 船： 実験 9 において、SART を設置し海上に停泊するために使用する。

なお、船舶および固体素子レーダーにはそれぞれのレーダー画面上で位置を特定するため、船舶自動識別装置（Automatic Identification System：以下 AIS という）を設置した。

表 2.5-1 には、固体素子レーダー設置場所の一覧を掲げる。

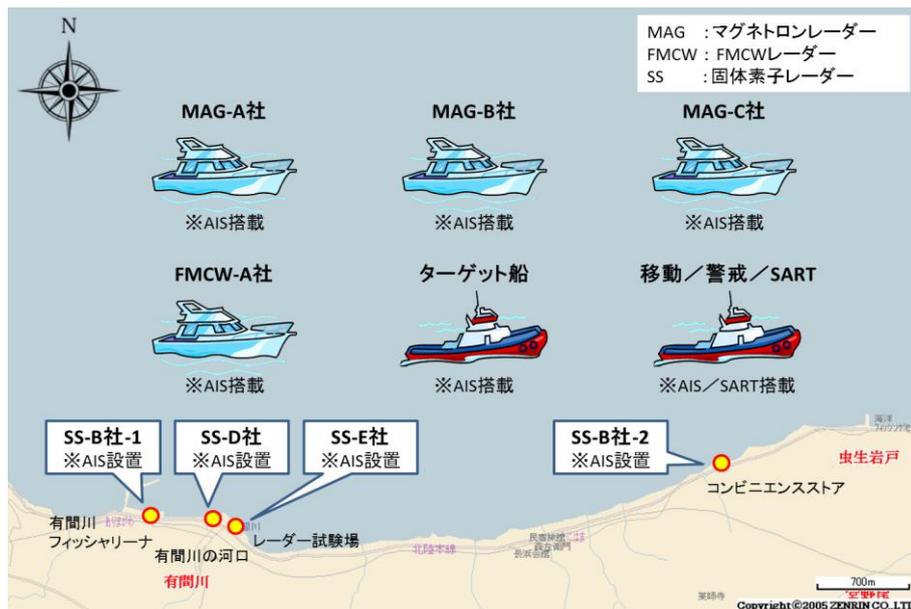


図 2.5-1 実験全体の配置

表 2.5-1 固体素子レーダーの設置場所

設置場所	固体素子レーダー
有間川フィッシャリーナ	固体素子レーダーB社-1 (SS-B社-1)
有間川の河口	固体素子レーダーD社 (SS-D社)
レーダー試験場	固体素子レーダーE社 (SS-E社)
コンビニエンスストア	固体素子レーダーB社-2 (SS-B社-2)

実験において使用した AIS の諸元を表 2.5-2 に掲げる。AIS は、簡易型であるクラス B の 3 種類を使用した。周波数については、実験期間中に周辺海域において捜索救助事案が発生する可能性を考慮し、国際的に使用されている周波数および日本国内で使用されている周波数以外の値とした。

表 2.5-2 AIS の諸元

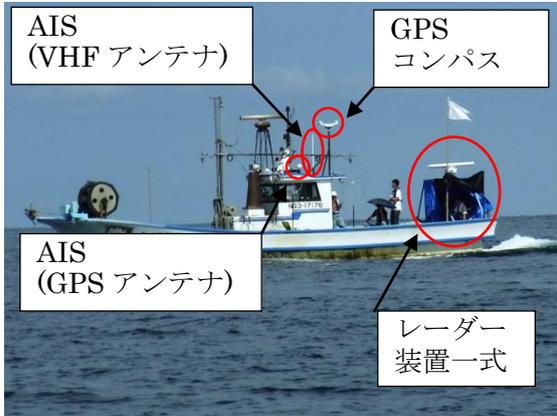
AIS	アイコム (株) 製 : MA-500TRJ 東京計器 (株) 製 : TRA-2000 古野電気 (株) 製 ; FA-50
クラス	クラス B
周波数	161.55MHz、161.85MHz
占有周波数帯幅	16kHz
VHF 送受信部	
空中線電力	2W
アンテナ利得	2.14dBi、2.15dBi、6.00dBi
GPS (Global Positioning System)	
受信チャンネル	12 チャンネルパラレル、12 衛星追尾
受信周波数	1575.42MHz
受信コード	C/A コード

レーダー画面をノースアップ (表示画面の上を真北とする) で保存するため、各レーダーには、GPS コンパスを設置した。使用した GPS コンパスの一覧を表 2.5-3 に掲げる。

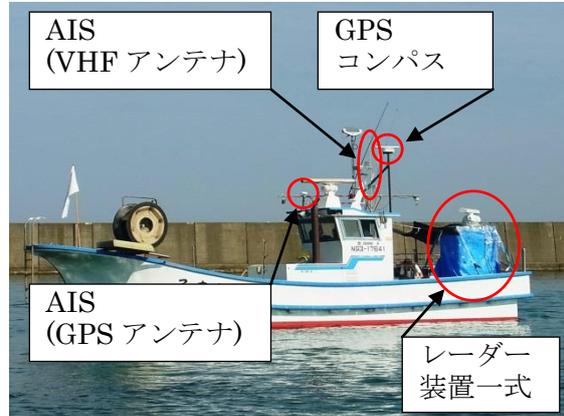
表 2.5-3 GPS コンパスの一覧

型番	製造会社
KGC-1	(株) 光電製作所
JLR-21	日本無線 (株)
JLR-31	日本無線 (株)
SC-30	古野電気 (株)

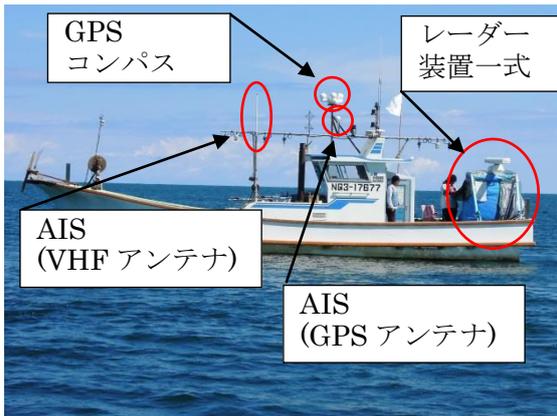
船舶 6 隻に設置したレーダーや AIS 等の状況を図 2.5-2 に示し、地上に設置した固体素子レーダー 4 台の設置状況を図 2.5-3 に示す。



(a)マグネトロンレーダーA社 (MAG-A社)



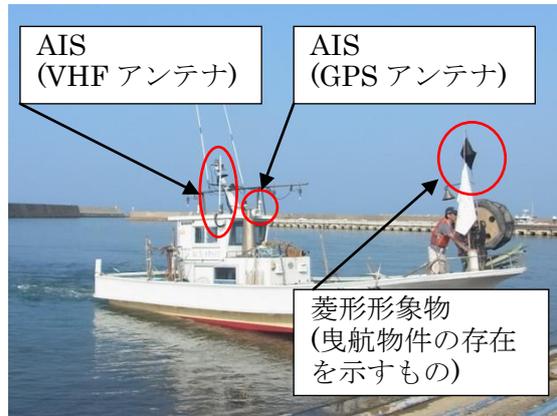
(b)マグネトロンレーダーB社 (MAG-B社)



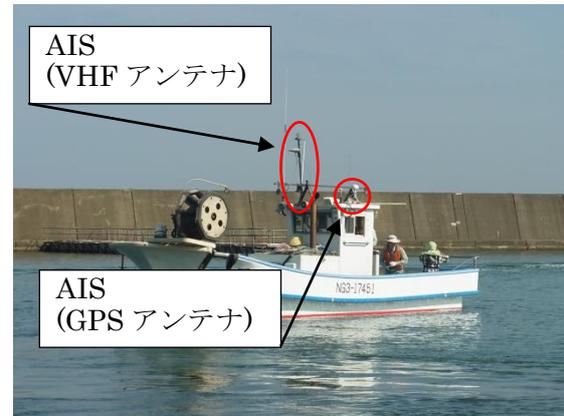
(c)マグネトロンレーダーC社 (MAG-C社)



(d) FMCW レーダーA社 (FMCW-A社)

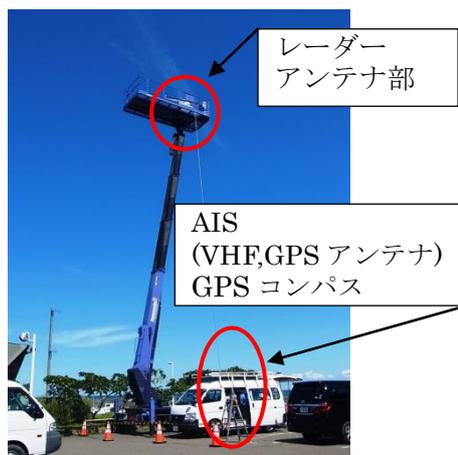


(e)ターゲット船

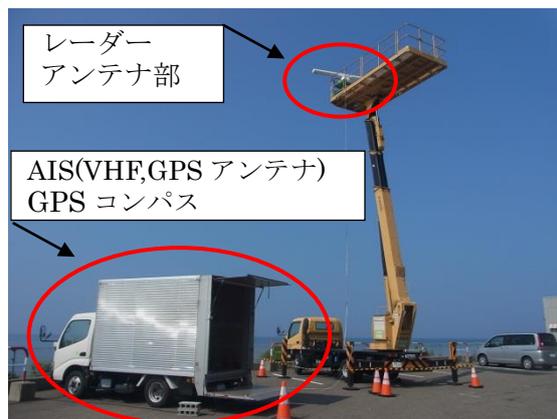


(f)移動/警戒/SART船

図 2.5-2 各船舶への設置状況



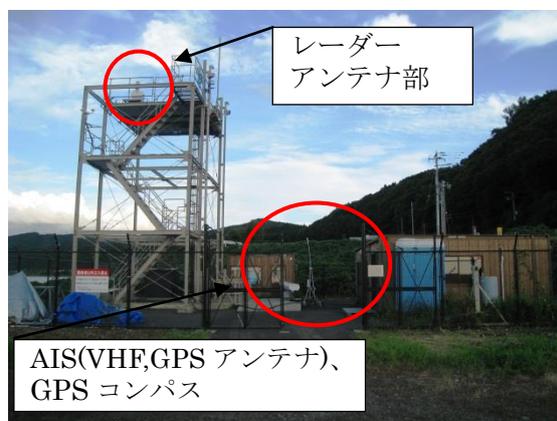
(a)固体素子レーダーB社-1 (SS-B社-1)



(b)固体素子レーダーB社-2 (SS-B社-2)



(c)固体素子レーダーD社 (SS-D社)



(d)固体素子レーダーE社 (SS-E社)

図 2.5-3 固体素子レーダーの設置状況

## 2.6 実験の条件設定

### 2.6.1 測定の手順

実験時の基本となる測定の手順を表 2.6-1 に掲げる。与干渉レーダーの送信の有無に応じて、被干渉レーダーの干渉除去機能の ON/OFF を設定し、与干渉レーダーの干渉の影響を被干渉レーダーの画面で観測する。

表 2.6-1 基本的な測定の手順

手順	与干渉レーダーの状態	被干渉レーダーの設定		
		干渉除去機能	設定の詳細	保存条件・測定時間
1	送信なし	OFF	STC,FTC,GAIN を調整。 TUNE は AUTO とする。	各 10 回転分（約 30 秒間）の画面を保存
2		ON	各スキンの関連処理はしない。	
3	送信あり	OFF	STC,FTC,GAIN を調整。 TUNE は AUTO とする。	
4		ON	各スキンの関連処理はしない。	

## 2.6.2 収集するデータについて

実験観測においては、干渉除去機能 ON /OFF の各設定においてレーダー画面の取得を行う。本実験で収集するデータの確認は、レーダー画面の主観的な評価となることから、オペレーターには装置に詳しい要員を配置し、実験前に各レーダーのオペレーターに、画面評価の基準や保存条件の統一を図る。

実験観測において収集するデータの条件については、以下のとおりとする。

### (1) 保存条件について

各実験項目において、レーダー画面 10 回転分のデータを保存する。なお、レーダー画面は、ノースアップとする。

### (2) 測定時間について

レーダーでの 10 回転分の測定は、比較的短い時間で実施できると思われるが、マグネトロンレーダーの送信周波数の測定時間、測定時の連絡のための時間、船舶の移動時間、反射器（ターゲット船）の曳航位置の調整などの時間を考慮する。

### (3) レーダーの距離レンジ、パルス繰り返し周波数、パルス幅の設定について

マグネトロンレーダーおよび固体素子レーダーの距離レンジ、パルス繰り返し周波数、パルス幅は、各実験項目において適宜変更する。

距離レンジの設定については、観測対象物のエコーがレーダー画面内に入り、各実験項目の検証を適切に実施できる値とする。

与干渉レーダーと被干渉レーダーのパルス繰り返し周波数およびパルス幅は、干渉の影響が顕著にでるような組合せを考慮して設定する。

### (4) 固体素子レーダーのアンテナ回転の有無について

干渉の発生する確率を上げるため、固体素子レーダーが与干渉レーダーとなる場合においてはアンテナを回転させず、アンテナのビーム方向を被干渉レーダーに向ける。アンテナのビーム方向を調整する際は、レーダー画面を確認しながら、アンテナの方向を作業員が手動で調整する。

### (5) 測定時の船舶について

レーダー画面をノースアップで保存するため、船舶に GPS コンパスを設置する。

測定は船舶を停泊させて行うため、波や風により測定中に船舶が移動しないよう、錨やシーアンカーを使用する。

#### (6) 干渉除去機能について

各レーダーによって干渉除去の方法は異なるが、各レーダーに搭載されている干渉除去機能を使用する。干渉除去機能の設定によっては、ノイズ、クラッタおよび物標の輪郭付近等のエコーレベルが低い信号が、レーダー画面上で表示面積が小さくなる場合や、映らなくなる場合がある。

このことから、実験においては、干渉除去機能を使用するうえで、レーダー画面上でターゲットの表示が小さくなる場合も影響度として考慮する必要がある。なお、各スキャンの関連処理は行わない。

#### (7) マグネトロンレーダーの送信周波数の測定について

マグネトロンレーダーの送信周波数は、マグネトロンレーダーが発射した電波を標準ホーンアンテナで受信し、スペクトラムアナライザで測定する。

#### (8) その他

本実験で使用した固体素子レーダー（SS-E社）は、実験期間中に機器に不具合が発生し交換したため、あらかじめ設定した機器の設定調整と異なるデータがある。また、GPSコンパスの船首方位の調整が不十分であったため、表示が他の固体素子レーダーとずれているレーダー画面があるが、物標の相対的な位置関係は変わらないため、収集したデータを評価に用いることとする。

### 2.6.3 反射器について

実験では、ターゲット船に反射器を設置したゴムボートを曳航させ、与干涉レーダーと被干涉レーダーの間に配置し、干渉の影響を検討する。

反射器は、水平面内で一様なレーダー反射断面積（Radar cross-section 以下 RCS という）である物を使用し、ターゲット船に近いゴムボートから  $2 \text{ m}^2$ 、 $5 \text{ m}^2$ 、 $10 \text{ m}^2$  とする。なお、使用する反射器の数は、実験項目に応じて適宜変更する。

反射器は海面から高さ  $2 \text{ m}$  の位置に設置し、各ゴムボートの間隔は、実験で使用するレーダーの性能（方位分解能）を考慮して  $65 \text{ m}$  とする。ターゲット船およびゴムボートを直線状に並べるため、ターゲット船は低速で移動し、各ゴムボート間の距離が  $65 \text{ m}$  に保てるよう各ゴムボートにシーアンカーを設置する。ターゲット船および反射器の曳航時のイメージを図 2.6-1 に示し、反射器の概観と曳航の様子を図 2.6-2 に示す。

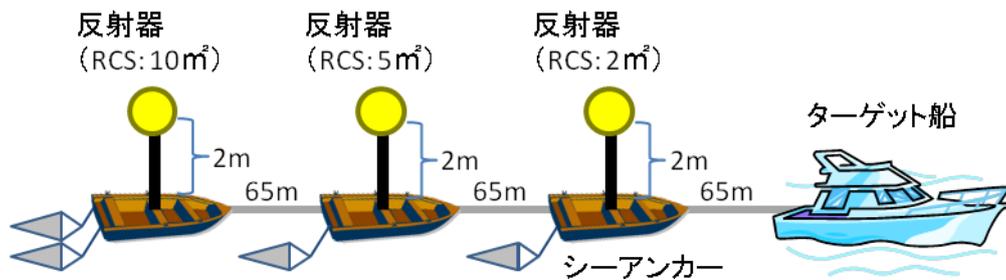
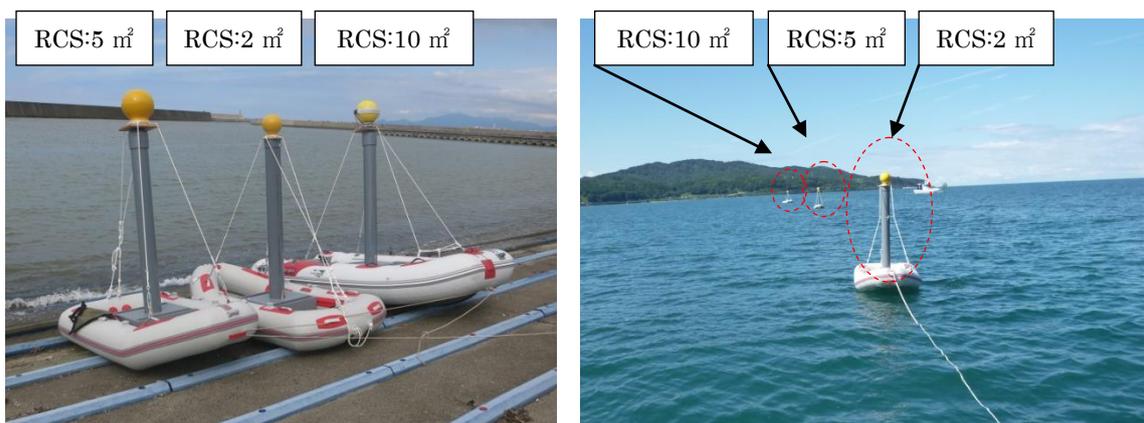


図 2.6-1 ターゲット船および反射器の曳航時のイメージ



(a) 反射器の概観

(b) ゴムボートの曳航の様子

図 2.6-2 反射器の概観と曳航の様子

#### 2.6.4 検討方法

実験 1～実験 3、実験 5～実験 8 においては、各実験項目で得られた 10 回転分のレーダー画面について、下記の I～III を検討し、干渉の影響を評価する。

- I. 干渉の有無とレーダー画面の比較を行い、干渉の影響を検討。
- II. 干渉除去機能の有無とレーダー画面の比較を行い、干渉の影響が除去されているか検討。
- III. 全てのレーダー画面において、反射器からのエコーが消失していないかの確認を行い、干渉の影響を検討。

反射器からのエコーの消失を確認することにより、海上における実運用状態において、他船やブイ等の物標からのエコーに対して干渉の影響がないか検討する。エコーの消失は、エコーが完全に消えた場合や雑音によりエコーの存在が確認できない場合とする。複数の反射器を同時に使用している場合には、エコーが 1 つでも確認できない場合を消失とする。消失の確認方法は、10 回転分のレーダー画面のうち、消失が確認できたレーダー画面の枚数とする。

なお、実験 4 は ARPA 機能に対する評価であり、実験 9 は SART 信号探知に関する検証であるため、検討方法については、各実験項目で記載する。

### 第3章 実験結果

実験 1～実験 9 の詳細な実験方法および検討結果を以下に述べる。

#### 3.1 実験 1（マグネトロンレーダー同士における干渉状況の調査）について

##### 3.1.1 実験内容の詳細と観測結果

マグネトロンレーダー2台を用いて、干渉の影響および干渉除去機能の性能についてデータを収録した。得られたデータは、既存のマグネトロンレーダーによる干渉の影響および干渉除去機能の性能を表していることから、固体素子レーダーとの干渉を比較する際の基準のデータとする。

発振素子としてマグネトロンを使用している場合、送信周波数の制御が困難であり、個体差も大きく、動作時の温度によって変化するので、データ収集の際には、送信周波数を標準ホーンアンテナを接続したスペクトラムアナライザで測定した。

##### 3.1.2 配置状況

実験 1 は、マグネトロンレーダーを設置した船舶（MAG-B 社/MAG-C 社）とターゲット船を用いた。各レーダーおよび船舶の配置を図 3.1-1 に示す。マグネトロンレーダーを設置した 2 隻の船舶を距離 2 海里で東西に停泊させ、両船の中間位置を中心に、ターゲット船を南北方向に周回させた。



図 3.1-1 実験 1 における配置図

### 3.1.3 実験項目

実験 1 の組合せを表 3.1-1 に掲げる。マグネトロンレーダー同士の干渉実験であることから、同じ周波数帯である 2 台のマグネトロンレーダーを用いた。表中には各実験項目の実施日程も記載した。

各マグネトロンレーダーの設定は、アンテナを回転させ、第 2 章 の表 2.4-9 より、MAG-B 社は設定-6、MAG-C 社は設定-11 とした。

表 3.1-1 実験 1 の組合せ

与干渉	被干渉		MAG-C 社 (設定-11)	MAG-B 社 (設定-6)	実施 日程
	周波数帯				
MAG-B 社 (設定-6)	同一		実験 1-1		9/8 (日) 9/13 (金)
MAG-C 社 (設定-11)	同一			実験 1-2	9/8 (日) 9/13 (金)

【注 1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

### 3.1.4 観測の結果

#### (1) 干渉なしの状態

干渉がない状態での実験結果を表 3.1-2 に掲げる。干渉がない状態（レーダーは自船のみ動作）においても、レーダー画面に干渉が現れる場合があったが、この干渉は実験で準備したレーダー以外からの干渉の影響と考えられる。なお、上記の干渉は、干渉除去機能を使用することにより、消去できることを確認した。

表中の反射器の位置は、測定を行った各船舶を基準にしたものである。反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができた。表中には、実験開始時にスペクトラムアナライザを使用して測定を行った各レーダーの送信周波数も記載している。

表 3.1-2 実験 1（干渉なしの状態）の結果

	送信 周波数	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
		反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
MAG-B 社 (設定-6)	9411MHz	東南東	0/10	東南東	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-C 社 (設定-11)	9413MHz	西	0/10	西	0/10	放射状の 雑音消去

(2) 干渉ありの状態

干渉がある状態での実験結果を表 3.1-3 に掲げる。反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

表 3.1-3 実験 1 (干渉ありの状態) の結果項目

項目	与干渉 (設定)	被干渉 (設定)	周波数帯	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
				反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
1	MAG-B 社 (設定-6)	MAG-C 社 (設定-11)	同一	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去
2	MAG-C 社 (設定-11)	MAG-B 社 (設定-6)	同一	東南東	0/10	東南東	0/10	放射状の 雑音消去

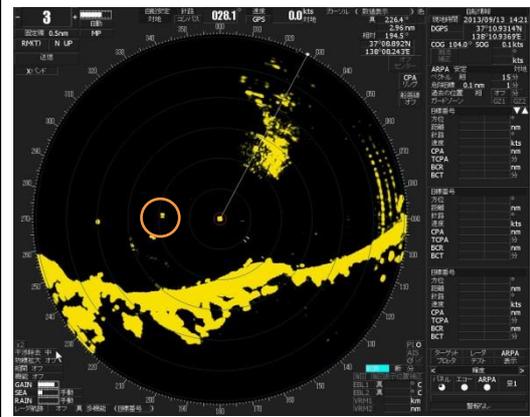
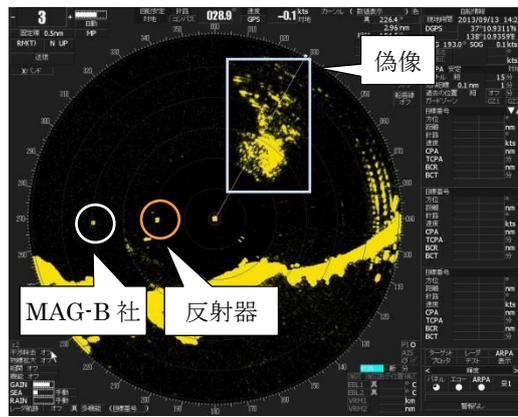
2 台のマグネトロンレーダーを同時に動作させ、干渉の有無でレーダー画面を比較した。レーダー画面の一例を図 3.1-2、図 3.1-3 に示す。レーダー画面はノースアップで保存しているため、レーダー画面の下(南)の部分が、固体素子レーダーが設置されている沿岸部である。赤色実線の丸印が反射器からのエコーであり、白色実線の丸印が MAG-B 社もしくは MAG-C 社のマグネトロンレーダーを設置した船舶のエコーである。マグネトロンレーダーのアンテナは、各船舶の船尾に設置しており、実験の際は、実験対象となる他のレーダーに船尾を向け、見通しを確保した。そのため、MAG-B 社とは反対方向の場所に表れているエコー(白色実線の四角で囲った部分)は、レーダーを設置した船舶の操舵室等による偽像である。

干渉除去機能 OFF で比較すると、干渉がある状態には放射状の雑音が多く発生していることが観測されたが、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

干渉除去機能 OFF

干渉除去機能 ON

干渉なし



MAG-B社からの干渉あり

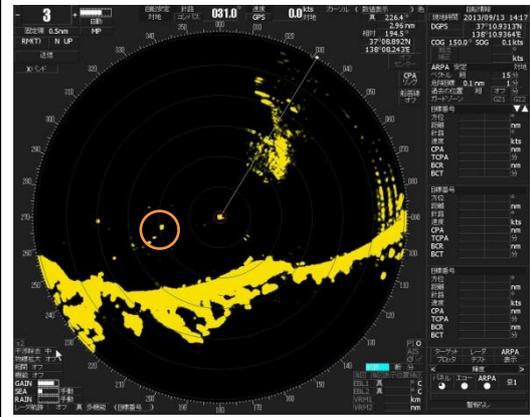
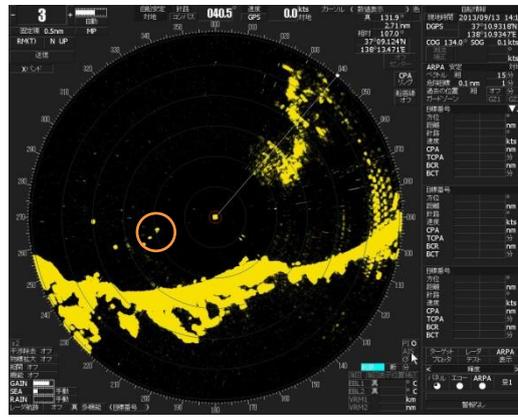


図 3.1-2 実験 1-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)

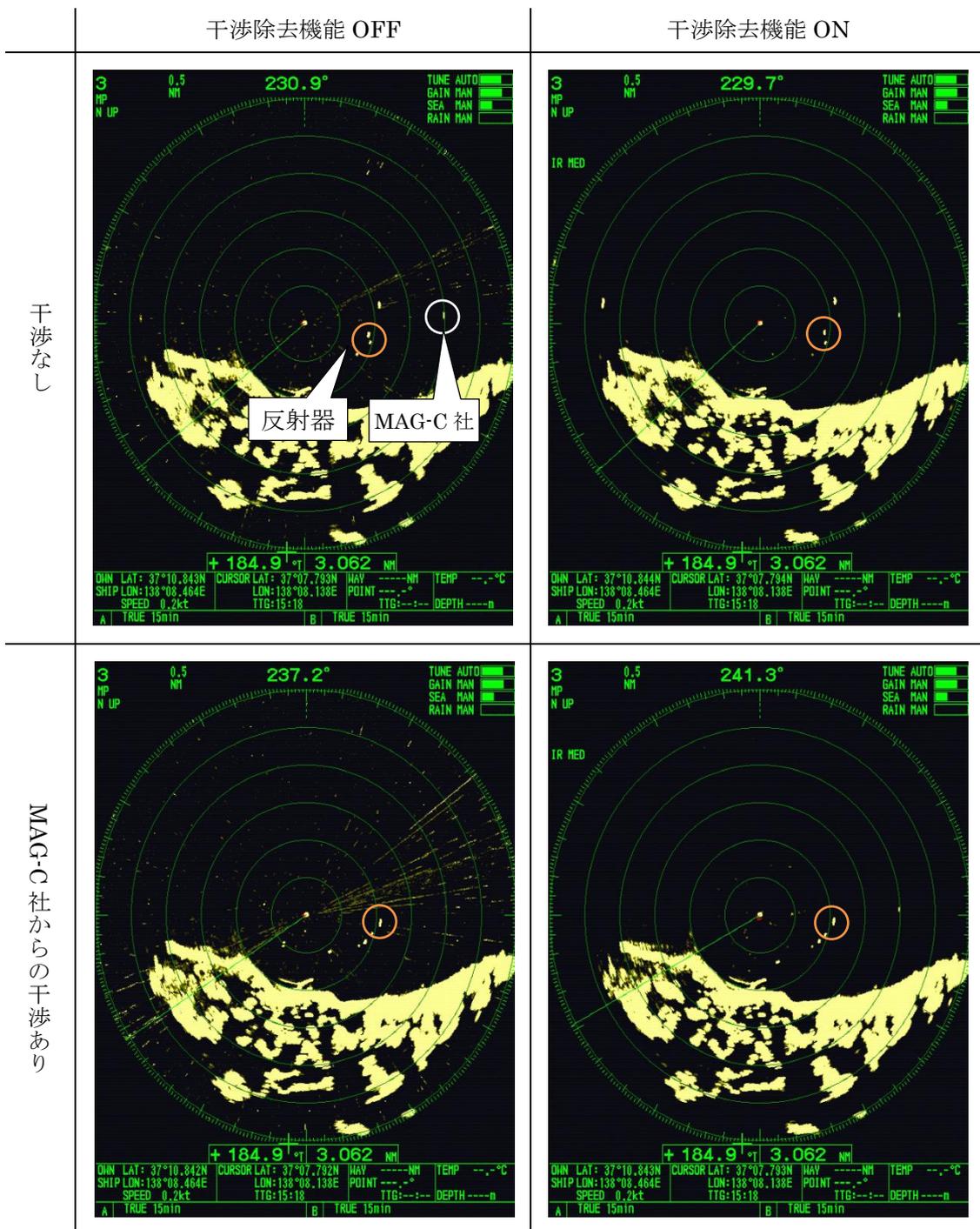


図 3.1-3 実験 1-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)

### 3.1.5 実験 1 のまとめ

マグネトロンレーダー2台を同時に使用し、干渉の有無においてレーダー画面の検討と評価を行った。マグネトロンレーダー同士でも、干渉の影響によりレーダー画面上に放射状の雑音が発生することが観測されたが、この放射状の雑音は、干渉除去機能により取り除くことが観測できた。

## 3.2 実験2（固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査）について

### 3.2.1 実験内容の詳細と観測結果

固体素子レーダーがマグネトロンレーダーに与える干渉の影響を観測した。

このとき、固体素子レーダーの距離レンジは3海里（設定-13、17、20）もしくは24海里（設定-16）とし、マグネトロンレーダーは、パルス幅が短い場合と長い場合の測定を実施した。

さらに、マグネトロンレーダーの受信フィルタの特性を考慮し、中心周波数から3dB、6dB、10dB、20dB分低下した周波数において、固体素子レーダーを送信した。得られたデータから、固体素子レーダーの周波数を変化させたときの干渉の影響を検証した。

実験に使用したマグネトロンレーダーの受信フィルタの特性を表3.2-1に掲げる。表中の離調周波数は、中心周波数から3dB、6dB、10dB、20dB分低下した周波数の中心周波数からの変化量（離調周波数）である。なお、離調周波数は高低があるが、実験で使用した固体素子レーダーの送信周波数が設定できる中心周波数から高い周波数への変化量を記載している。

実験時は、被干渉レーダーとなるマグネトロンレーダーの送信周波数をスペクトラムアナライザで測定し、表の値を使用して、各実験項目における固体素子レーダーの送信周波数を設定した。

表 3.2-1 マグネトロンレーダーの受信フィルタの特性

	MAG-B 社		MAG-C 社	
	設定-4,5	設定-6	設定-8	設定-11
3dB 分低下した 離調周波数	+16MHz	+14MHz	+16MHz	+2MHz
6dB 分低下した 離調周波数	+30MHz	+22MHz	+22MHz	+5MHz
10dB 分低下した 離調周波数	+37MHz	+28MHz	+29MHz	+8MHz
20dB 分低下した 離調周波数	+37MHz	+36MHz	+41MHz	+18MHz

【注1】表中の「離調周波数」は、中心周波数からの周波数の変化量を示す。

### 3.2.2 配置状況

実験 2 は、マグネトロンレーダーを設置した船舶 (MAG-B 社/MAG-C 社)、固体素子レーダー (SS-B 社-1/SS-B 社-2/SS-D 社/SS-E 社) およびターゲット船を用いた。各レーダーおよび船舶の配置を図 3.2-1 に示す。マグネトロンレーダーを設置した船舶を固体素子レーダーから距離 2 海里の位置に停泊させ、中間位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させた。

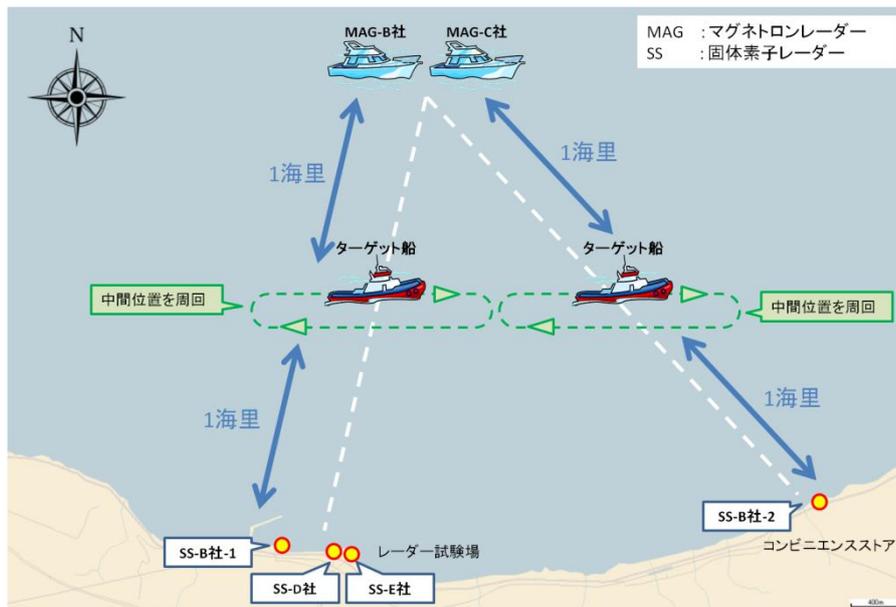


図 3.2-1 実験 2 における配置図

### 3.2.3 実験項目

実験 2 の組合せを表 3.2-2 に掲げる。固体素子レーダーが与干渉となり、マグネトロンレーダーが被干渉となることから、固体素子レーダーの送信周波数を変更し測定を行った。固体素子レーダーのアンテナの回転を行わない場合は、固体素子レーダーのアンテナのビーム方向をマグネトロンレーダーの方向に向けた。マグネトロンレーダーはアンテナを回転させ、各レーダーの設定は第 2 章 の表 2.4-9 より、パルス幅が短い場合は、MAG-B 社を設定-4,5、MAG-C 社を設定-8 とし、パルス幅が長い場合は、MAG-B 社を設定-6、MAG-C 社を設定-11 とした。MAG-B 社の設定-4 と設定-5 は、第 2 章 の表 2.4-9 より、パルス繰り返し周波数およびパルス幅は同じ値であり、距離レンジが異なる。距離レンジは、反射器のエコーがレーダー画面に映るように設定した。

表 3.2-2 実験 2 の組合せ

与干渉		被干渉	MAG-B 社/MAG-C 社		実施日程
		周波数帯	設定-4, 5, 8	設定-6, 11	
SS-B 社-1 (設定-13)	ANT 回転なし	同一	実験 2-1	実験 2-2	9/9 (月)
	ANT 回転あり	3dB 分低下	実験 2-3	実験 2-4	
		6dB 分低下	実験 2-5	実験 2-6	
		10dB 分低下	実験 2-7	実験 2-8	
		20dB 分低下	実験 2-9	実験 2-10	
SS-D 社 (設定-17)	ANT 回転なし	同一	実験 2-11	実験 2-12	9/10 (火)
	ANT 回転あり	3dB 分低下	実験 2-13	実験 2-14	
		6dB 分低下	実験 2-15	実験 2-16	
		10dB 分低下	実験 2-17	実験 2-18	
		20dB 分低下	実験 2-19	実験 2-20	
SS-E 社 (設定-20)	ANT 回転なし	同一	実験 2-21	実験 2-22	9/9 (月)
	ANT 回転あり	同一	実験 2-23	実験 2-24	
SS-B 社-2 (設定-16)	ANT 回転なし	同一		実験 2-25	9/10 (火)
	ANT 回転あり	3dB 分低下		実験 2-26	
		6dB 分低下		実験 2-27	
		10dB 分低下		実験 2-28	
		20dB 分低下		実験 2-29	

【注 1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

【注 2】表中の「ANT 回転」は、レーダーのアンテナ回転の有無を示す。

【注 3】表中の「\*\*dB 分低下」は、各マグネトロンレーダーの中心周波数から\*\*dB 分低下した周波数を示す。

### 3.2.4 観測の結果

#### (1) 干渉なしの状態

干渉がない状態での実験結果を表 3.2-3 に掲げる。干渉がない状態においても、レーダー画面に雑音が見られる場合があるが、この干渉は実験で準備したレーダー以外からの干渉の影響と考えられる。なお、上記の干渉は、干渉除去機能を使用することにより、消去できることを確認した。

反射器の位置については、各レーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。なお、MAG-B 社（設定-4）については、距離レンジの値よりも自船からターゲット船までの距離が長く、レーダー画面上で反射器が確認できなかった。よって、干渉除去機能の効果のみ確認した。

表 3.2-3 実験 2（干渉なしの状態）の結果

	送信 周波数	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
		反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
MAG-B 社 (設定-4)	9413MHz					放射状の 雑音消去
MAG-B 社 (設定-5)	9412MHz	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-B 社 (設定-6)	9413MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-C 社 (設定-8)	9417MHz	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-C 社 (設定-11)	9409MHz	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去

#### (2) 干渉ありの状態

干渉がある状態での実験結果を表 3.2-4 に掲げる。マグネトロンレーダー1 台と固体素子レーダー1 台を同時に動作させ、干渉の有無で比較すると、干渉除去機能 OFF の場合、干渉がある方が、放射状の雑音が多く発生することを全ての組合せにおいて観測した。さらに、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

反射器の位置については、ほとんどのレーダー画面において観測することができたが、実験 2-13 および実験 2-17 において、10 回転中 1、2 回消失する場合があった。

表 3.2-4 実験 2 (干渉ありの状態) の結果

項目	与干渉		被干渉 (設定)	周波数帯	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去 機能 の効果
	種別	設定 (ANT 回転)			反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
1	SS- B 社-1	設定-13 (回転なし)	MAG-B 社 (設定-4)	同一	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-13 (回転なし)	MAG-C 社 (設定-8)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
2		設定-13 (回転なし)	MAG-B 社 (設定-6)	同一	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-13 (回転なし)	MAG-C 社 (設定-11)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
3		設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-5)	3dB 分 低下	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-8)	3dB 分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
4		設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-6)	3dB 分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-11)	3dB 分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
5		設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-4)	6dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-8)	6dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去
6	設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-6)	6dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去	
	設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-11)	6dB 分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去	
7	設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-4)	10dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去	
	設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-8)	10dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去	
8	設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-6)	10dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去	
	設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-11)	10dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去	
9	設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-4)	20dB 分 低下	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去	
	設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-8)	20dB 分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去	
10	設定-13 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-6)	20dB 分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去	
	設定-13 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-11)	20dB 分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去	
11	SS- D 社	設定-17 (回転なし)	MAG-B 社 (設定-5)	同一	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転なし)	MAG-C 社 (設定-8)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
12		設定-17 (回転なし)	MAG-B 社 (設定-6)	同一	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転なし)	MAG-C 社 (設定-11)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
13		設定-17 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-5)	3dB 分 低下	南	0/10	南	1/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-8)	3dB 分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
14		設定-17 (回転あり)	MAG-B 社 (設定-6)	3dB 分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C 社 (設定-11)	3dB 分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去

15		設定-17 (回転あり)	MAG-B社 (設定-5)	6dB分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C社 (設定-8)	6dB分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
16		設定-17 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	6dB分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	6dB分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
17		設定-17 (回転あり)	MAG-B社 (設定-5)	10dB分 低下	南	2/10	南	1/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C社 (設定-8)	10dB分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
18		設定-17 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	10dB分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	10dB分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
19		設定-17 (回転あり)	MAG-B社 (設定-5)	20dB分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C社 (設定-8)	20dB分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
20		設定-17 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	20dB分 低下	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	20dB分 低下	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
21	SS- E社	設定-20 (回転なし)	MAG-B社 (設定-4)	同一	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-20 (回転なし)	MAG-C社 (設定-8)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
22		設定-20 (回転なし)	MAG-B社 (設定-6)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-20 (回転なし)	MAG-C社 (設定-11)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
23		設定-20 (回転あり)	MAG-B社 (設定-4)	同一	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-20 (回転あり)	MAG-C社 (設定-8)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
24		設定-20 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	同一	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-20 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
25	SS- B社-2	設定-16 (回転なし)	MAG-B社 (設定-6)	同一	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-16 (回転なし)	MAG-C社 (設定-11)	同一	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
26		設定-16 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	3dB分 低下	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-16 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	3dB分 低下	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
27		設定-16 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	6dB分 低下	南東	0/10	南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-16 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	6dB分 低下	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
28		設定-16 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	10dB分 低下	南東	0/10	南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-16 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	10dB分 低下	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
29		設定-16 (回転あり)	MAG-B社 (設定-6)	20dB分 低下	南東	0/10	南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-16 (回転あり)	MAG-C社 (設定-11)	20dB分 低下	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去

マグネトロンレーダーのパルス幅が短い場合のレーダー画面の一例を図 3.2-2、図 3.2-3 に示す。干渉除去機能 OFF で比較すると、干渉がある状態で放射状の雑音が多く発生していることが観測された。さらに、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。この時、固体素子レーダーのアンテナはマグネトロンレーダーに向けて固定した。

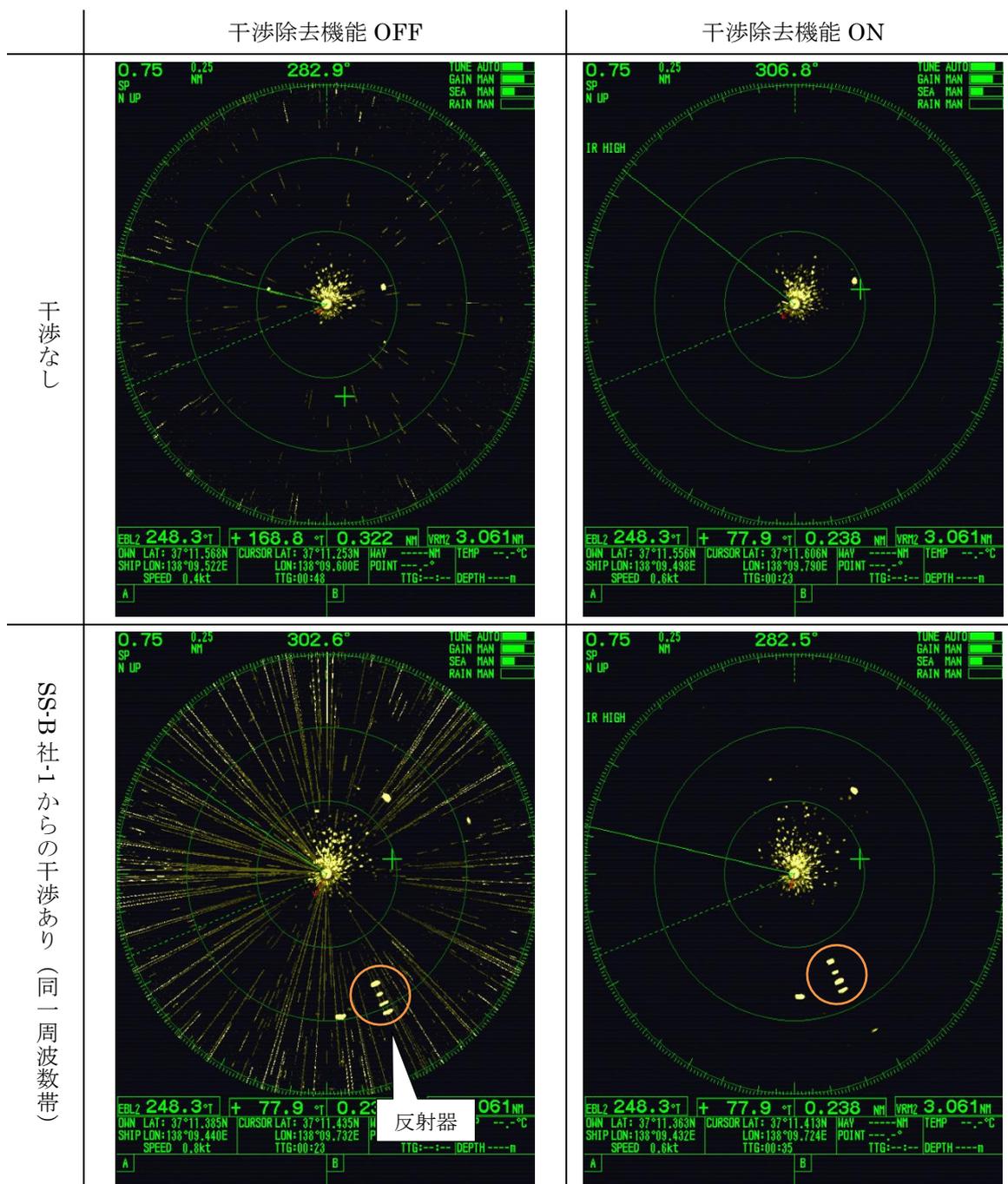


図 3.2-2 実験 2-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)

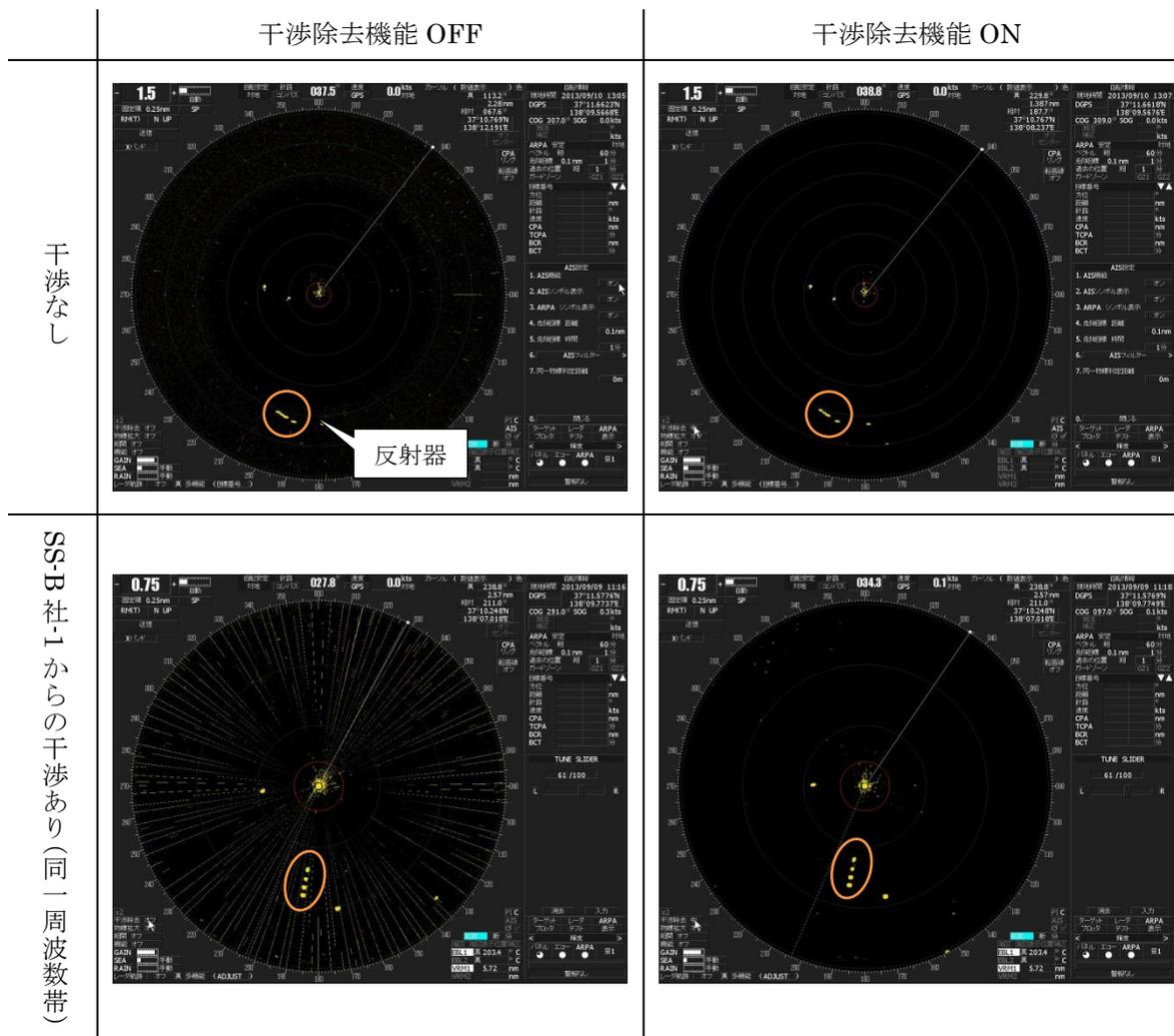


図 3.2-3 実験 2-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)

マグネトロンレーダーのパルス幅が長い場合のレーダー画面の一例を図 3.2-4、図 3.2-5 に示す。干渉除去機能 OFF で比較すると、干渉がある状態で放射状の雑音が多く発生していることが観測された。さらに、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。この時、固体素子レーダーのアンテナはマグネトロンレーダーに向けて固定した。

パルス幅が短い場合 (図 3.2-2、図 3.2-3) とパルス幅が長い場合 (図 3.2-4、図 3.2-5) のレーダー画面を比較すると、パルス幅が長い場合の方が干渉による放射状の雑音が多く発生している。

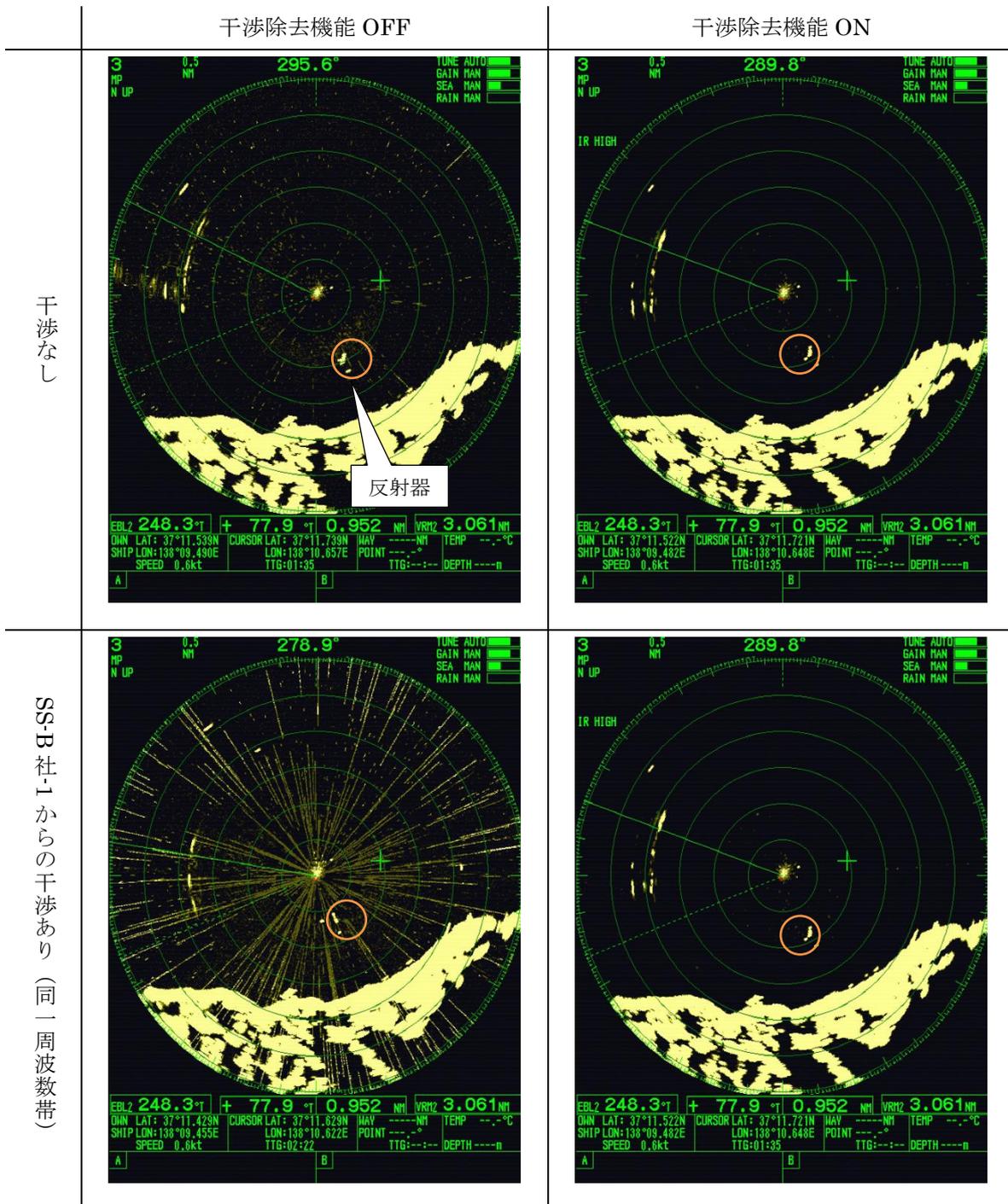


図 3.2-4 実験 2-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)

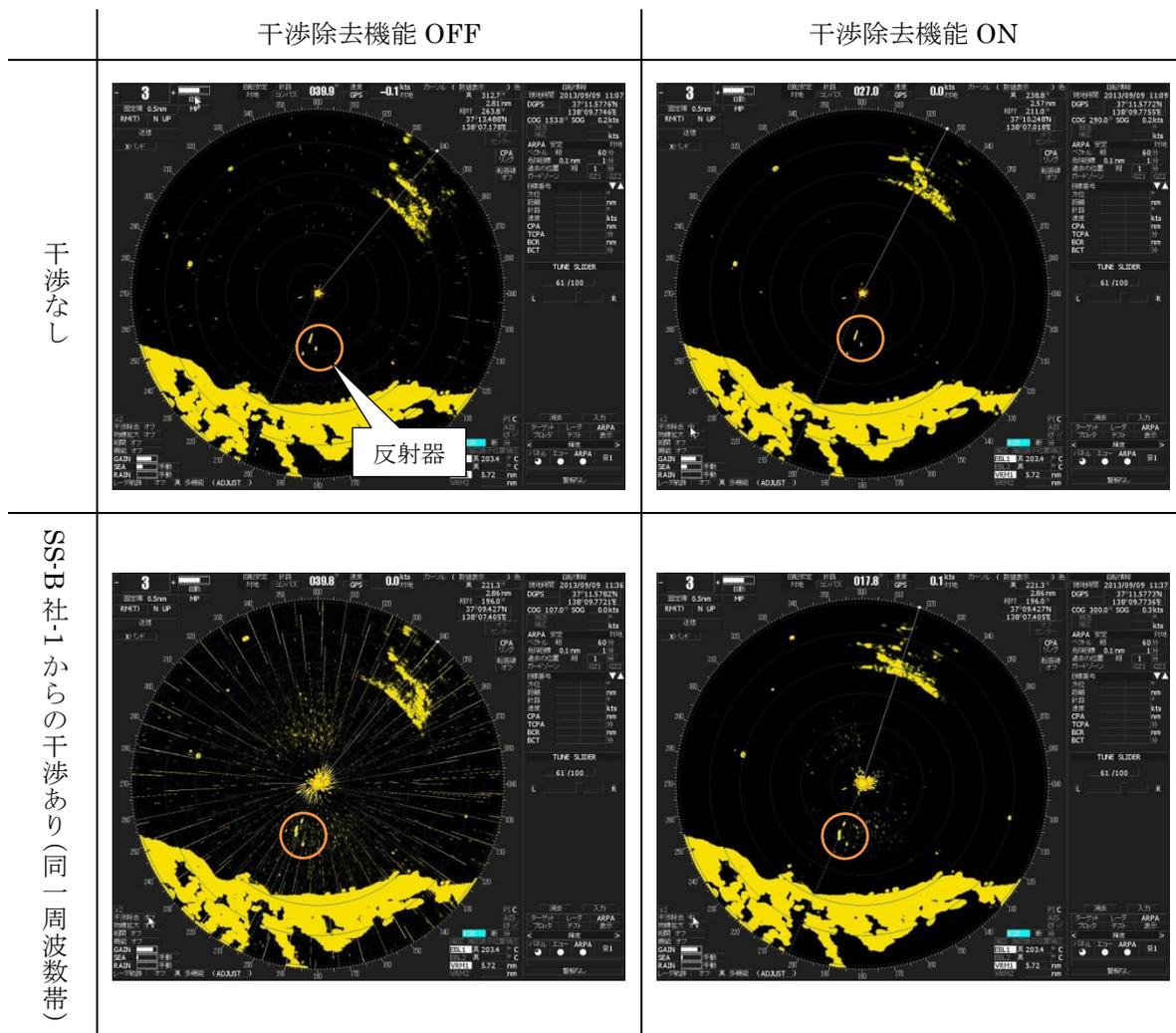


図 3.2-5 実験 2-2 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)

マグネトロンレーダーの受信フィルタの特性を考慮して、中心周波数から 3dB、6dB、10dB、20dB 分低下した周波数において、固体素子レーダーを送信した場合のレーダー画面の一例を図 3.2-6～図 3.2-9 に示す。この時、マグネトロンレーダーのパルス幅は長い設定とした。マグネトロンレーダーの干渉除去機能を OFF とした場合、固体素子レーダーの周波数を離調するにつれ、放射状の雑音が減少している。ただし、20dB 低下した周波数の場合においても、放射状の雑音が残っていた。干渉除去機能を使用した場合、固体素子レーダーの周波数に関わらず放射状の雑音を消去できることを確認した。

以上のことは、マグネトロンレーダーのパルス幅が短い場合でも同様の結果が観測された。レーダー画面は付属資料に記載する。

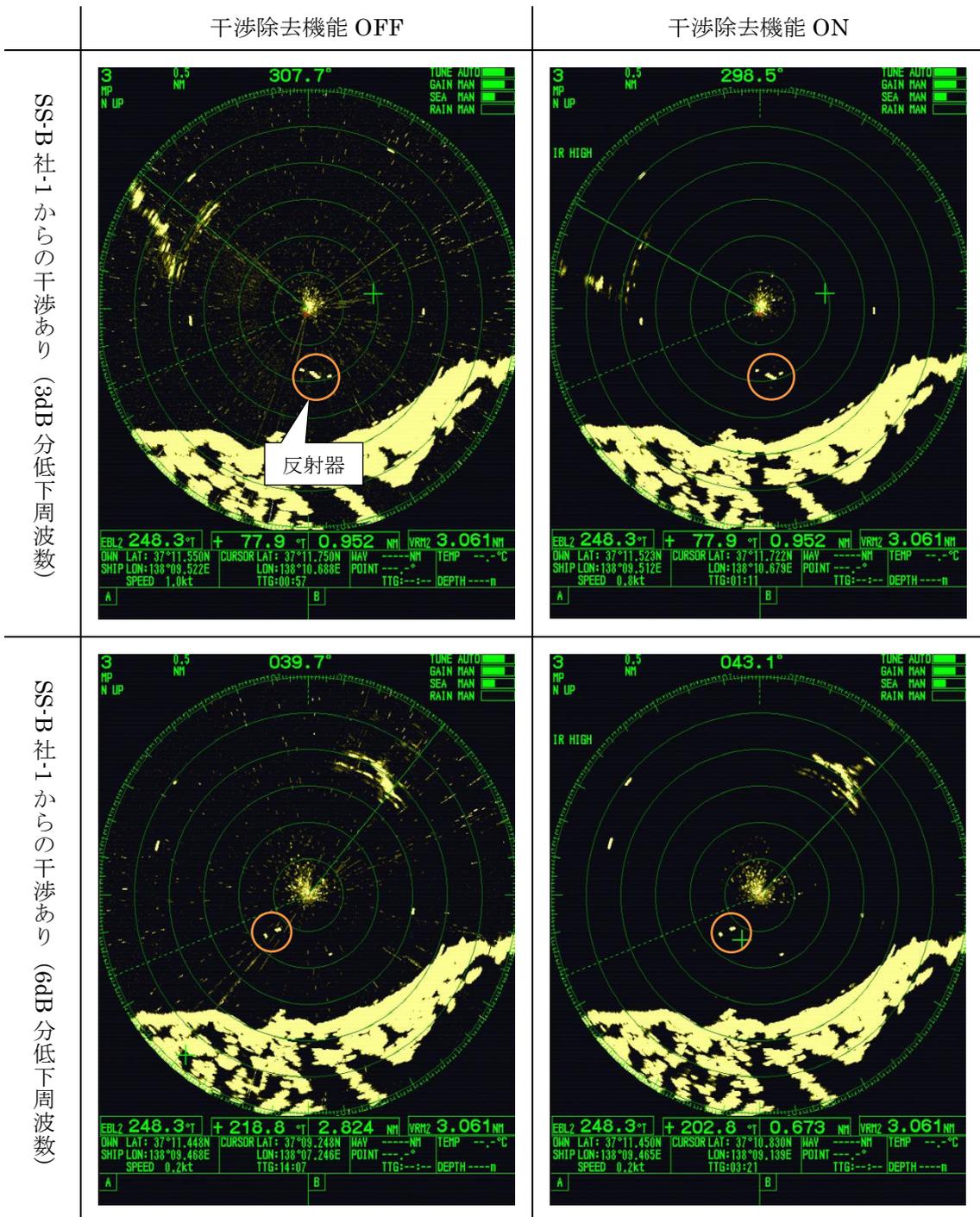


図 3.2-6 実験 2-4,6 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)

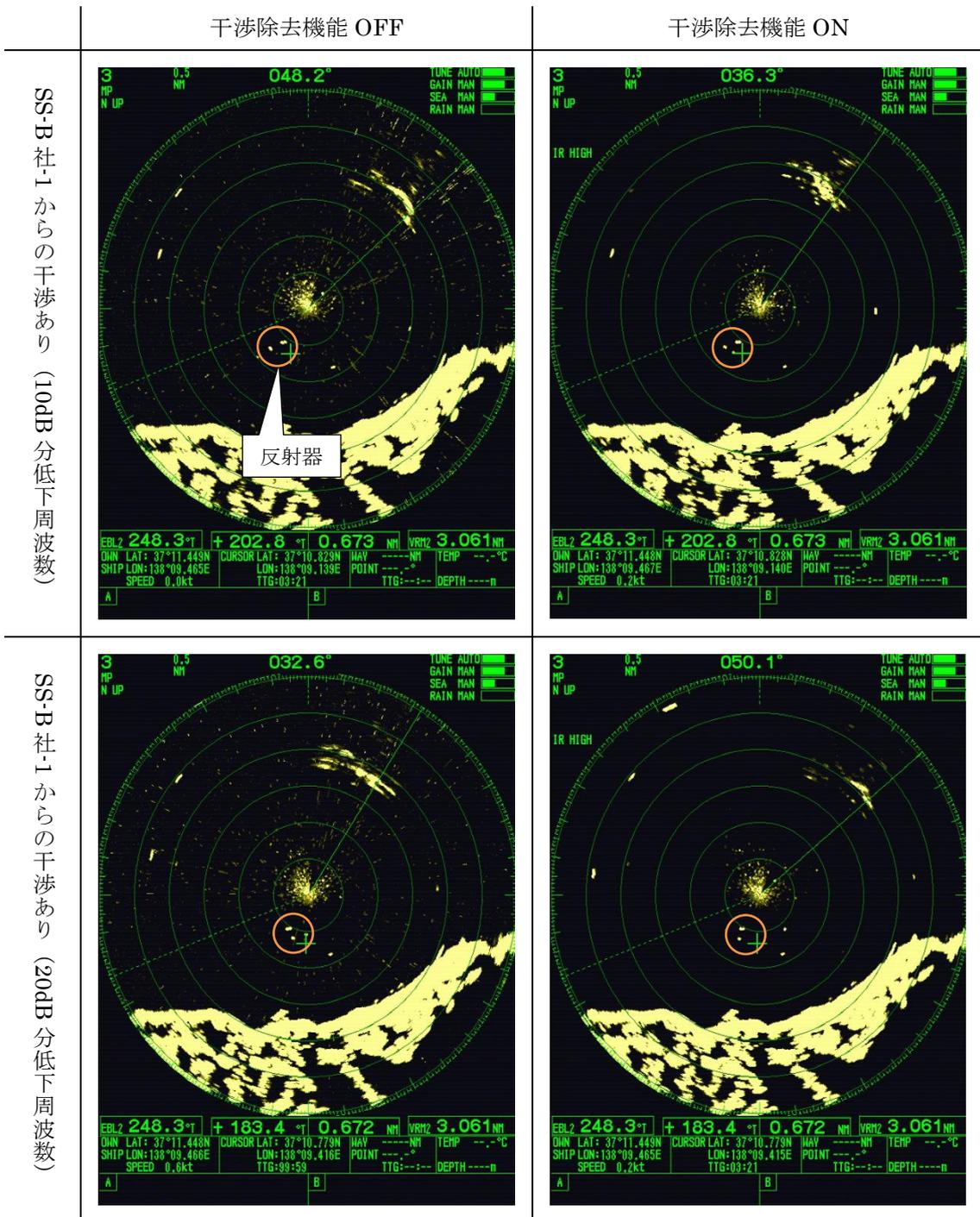


図 3.2-7 実験 2-8,10 におけるレーダー画面 (MAG-B社、設定-6)

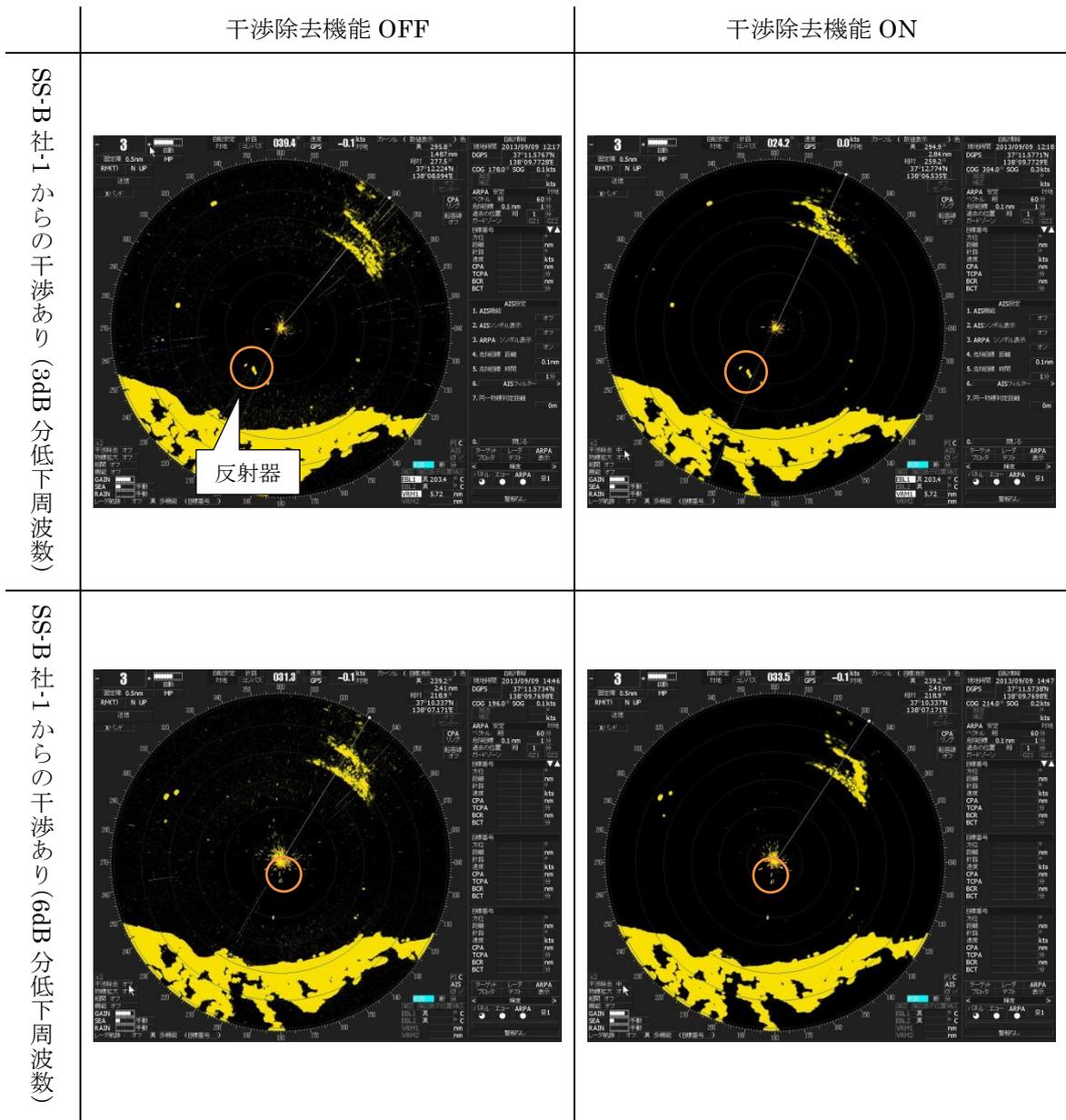


図 3.2-8 実験 2-4,6 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)

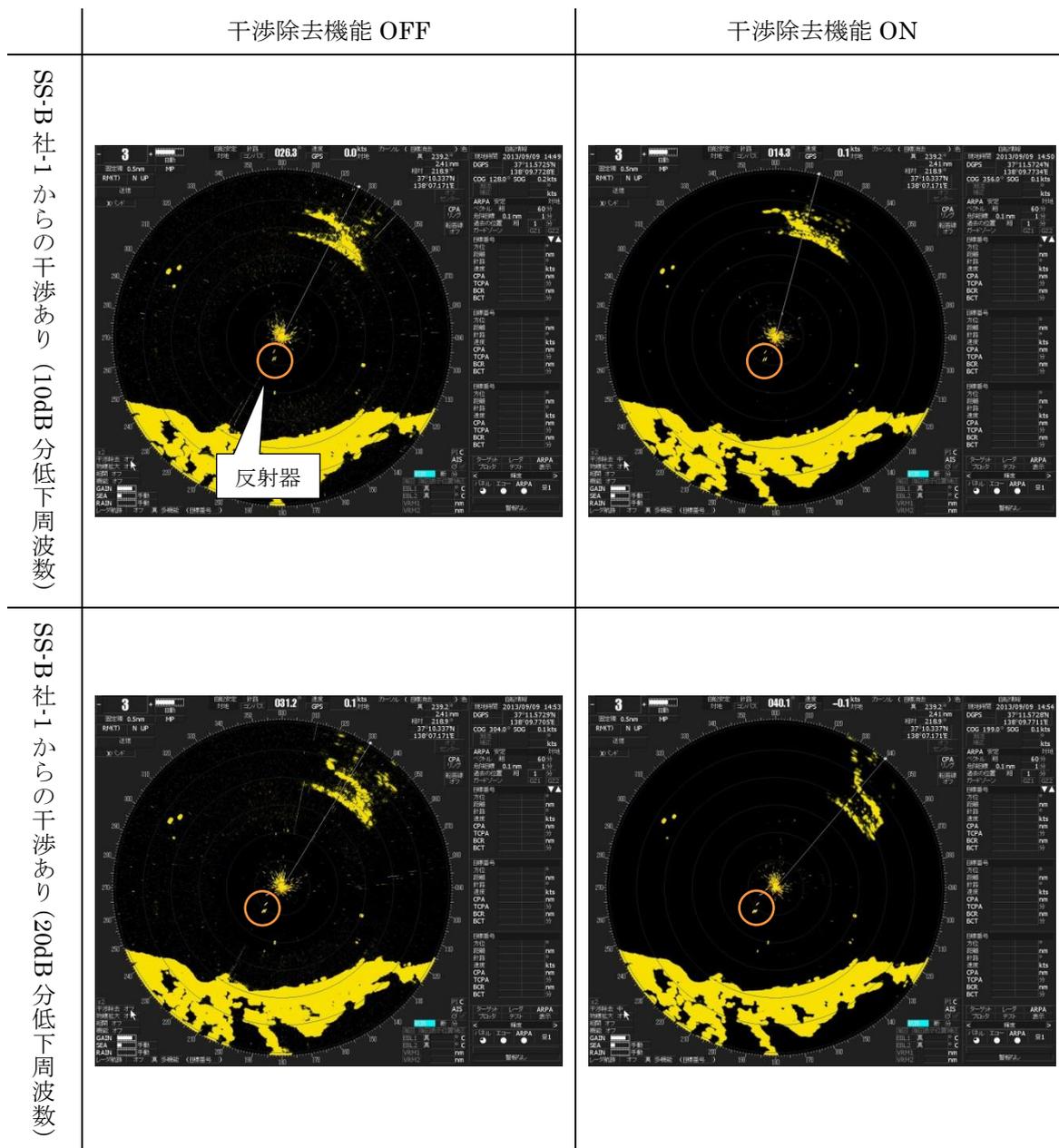
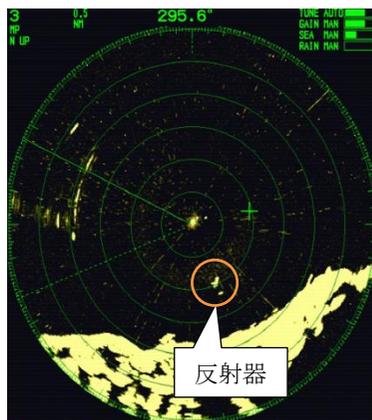


図 3.2-9 実験 2-8,10 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)

固体素子レーダーの距離レンジを変更した場合のレーダー画面の一例を図 3.2-10、図 3.2-11 に示す。固体素子レーダーの距離レンジが長い場合 (設定-16) の方が、短い場合 (設定-13) よりも干渉の影響による放射状の雑音が少ない。干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

干渉除去機能 OFF



(a) 干渉なし

干渉除去機能 OFF

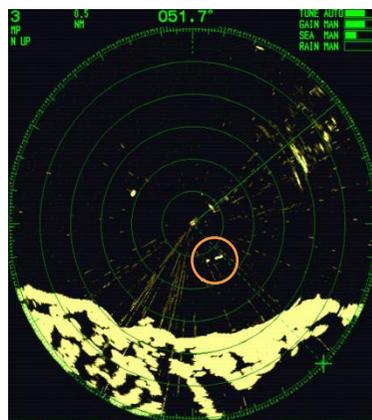


(b) SS-B 社-1 (設定-13、同一周波数帯) からの干渉あり

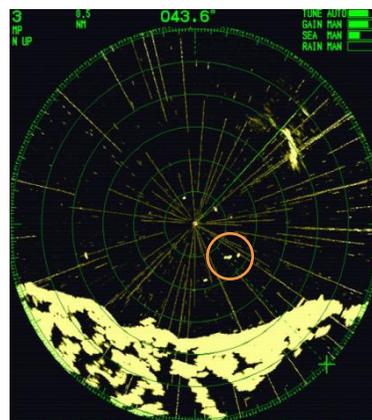
干渉除去機能 ON



(c) SS-B 社-1 (設定-13、同一周波数帯) からの干渉あり



(d) 干渉なし



(e) SS-B 社-2 (設定-16、同一周波数帯) からの干渉あり



(f) SS-B 社-2 (設定-16、同一周波数帯) からの干渉あり

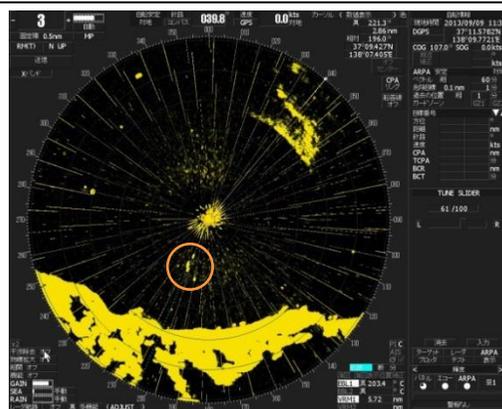
図 3.2-10 実験 2-2,25 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)

干渉除去機能 OFF



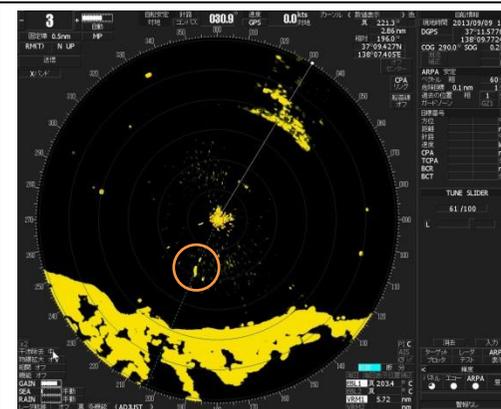
(a) 干渉なし

干渉除去機能 OFF

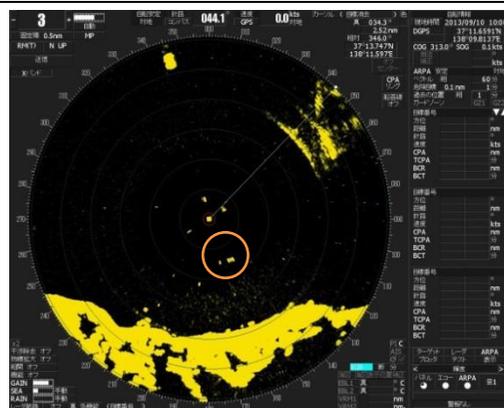


(b) SS-B 社-1 (設定-13、同一周波数) からの干渉あり

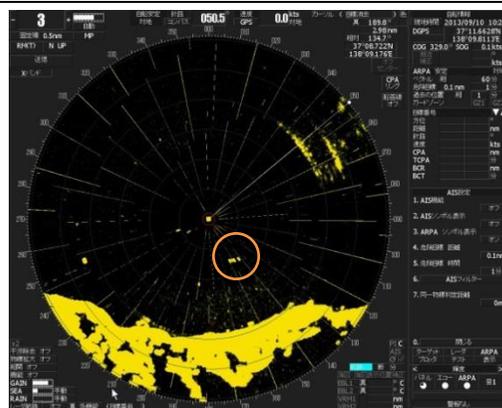
干渉除去機能 ON



(c) SS-B 社-1 (設定-13、同一周波数) からの干渉あり



(d) 干渉なし



(e) SS-B 社-2 (設定-16、同一周波数) からの干渉あり



(f) SS-B 社-2 (設定-16、同一周波数) からの干渉あり

図 3.2-11 実験 2-2,25 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)

### 3.2.5 実験2のまとめ

同じ周波数帯に設定した固体素子レーダー1台による干渉では、マグネトロンレーダーのパルス幅を変化させ、放射状の雑音の発生状況の違いを観測した。さらに、固体素子レーダーの距離レンジを変化させた場合の観測を行った。固体素子レーダーの距離レンジを3海里から24海里に変更することにより、干渉による放射状の雑音が減少することが観測できた。なお、全ての組合せにおいて、干渉除去機能を使用することにより放射状の雑音を消去できることを確認した。

マグネトロンレーダーの中心周波数から3dB、6dB、10dB、20dB分低下した周波数に固体素子レーダーの送信周波数を合わせた干渉では、固体素子レーダーの送信周波数をマグネトロンレーダーの中心周波数から離調させるほど放射状の雑音が減少することが観測できた。ただし、20dB分低下した周波数の場合でも、干渉除去機能OFFにおいて放射状の雑音が完全に消えることはなかった。なお、全ての組合せにおいて、干渉除去機能を使用することにより放射状の雑音を消去できることを確認した。

### 3.3 実験3（近距離において固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査）について

#### 3.3.1 実験内容の詳細と観測結果

実験2と同様の実験内容でマグネトロンレーダーと固体素子レーダーの距離を短くした場合の干渉による影響を観測した。得られたデータからレーダー間の距離の変化による干渉の影響の違いを調査した。

さらに、固体素子レーダーのアンテナ回転を停止し、アンテナのビーム方向をマグネトロンレーダーに向けることにより、干渉の影響が顕著に現れるようにした。得られたデータを固体素子レーダーのアンテナを回転させた場合と比較し、干渉による影響の違いを検討した。

#### 3.3.2 配置状況

実験3は、マグネトロンレーダーを設置した船舶（MAG-B社/MAG-C社）、固体素子レーダー（SS-B社-1/SS-D社/SS-E社）およびターゲット船を用いた。各レーダーおよび船舶の配置を図3.3-1に示す。固体素子レーダーから距離700mの位置にマグネトロンレーダーを設置した船舶を停泊させ、中間位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させた。なお、実験場所の海域においては、ターゲット船が安全に航行できる場所は固体素子レーダーから距離350m程度の所であった。

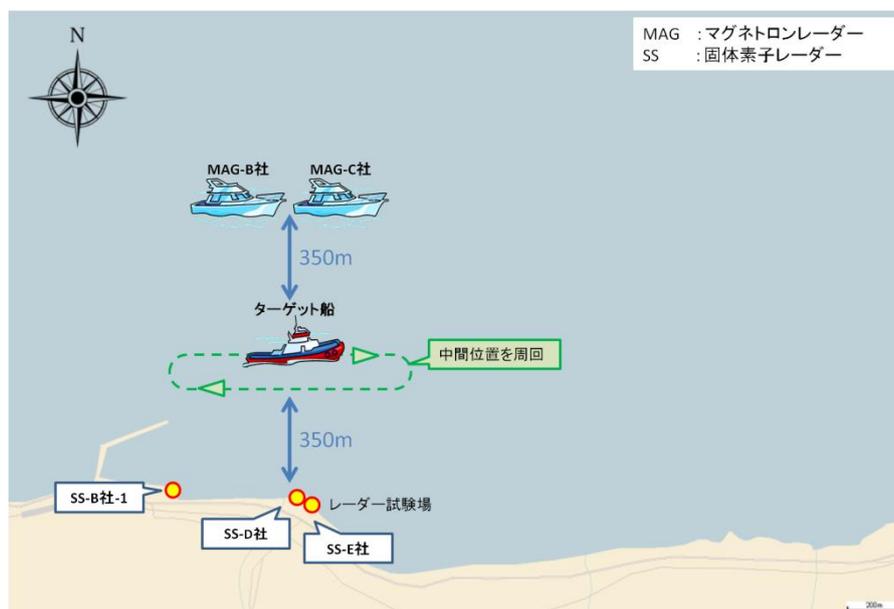


図 3.3-1 実験3における配置図

### 3.3.3 実験項目

実験 3 の組合せを表 3.3-1 に掲げる。固体素子レーダーが与干渉となり、マグネトロンレーダーが被干渉となることから、固体素子レーダーの送信周波数を変更し測定を行った。固体素子レーダーのアンテナの回転を行わない場合は、固体素子レーダーのアンテナのビーム方向をマグネトロンレーダーの方向に向けた。

各マグネトロンレーダーは、アンテナを回転させた状態とした。レーダー間の距離が短い  
ため、各レーダーの設定は第 2 章 の表 2.4-9 より、MAG-B 社は設定-4、MAG-C 社は設定-8 とした。

表 3.3-1 実験 3 の組合せ

与干渉		被干渉		MAG-B 社(設定-4)／ MAG-C 社(設定-8)	実施 日程
		周波数帯			
SS-B 社-1 (設定-13)	ANT 回転なし	同一		実験 3-1	9/12(木)
	ANT 回転あり	同一		実験 3-2	
SS-D 社 (設定-17)	ANT 回転なし	同一		実験 3-3	9/12(木)
	ANT 回転あり	同一		実験 3-4	
SS-E 社 (設定-20)	ANT 回転なし	同一		実験 3-5	9/12(木)
	ANT 回転あり	同一		実験 3-6	

【注 1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

【注 2】表中の「ANT 回転」は、レーダーのアンテナ回転の有無を示す。

### 3.3.4 観測の結果

#### (1) 干渉なしの状態

干渉がない状態での実験結果を表 3.3-2 に掲げる。干渉がない状態においても、レーダー画面に雑音が見られる場合があるが、この干渉は実験で準備したレーダー以外からの干渉の影響と考えられる。なお、上記の干渉は、干渉除去機能を使用することにより、消去できることを確認した。

反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

表 3.3-2 実験 3 (干渉なしの状態) の結果

	送信 周波数	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
		反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
MAG-B 社 (設定-4)	9413MHz	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-C 社 (設定-8)	9415MHz	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去

(2) 干渉ありの状態

干渉がある状態での実験結果を表 3.3-3 に示す。マグネトロンレーダー1 台と固体素子レーダー1 台を近距離で同時に動作させ、干渉がないときと比較すると、干渉除去機能 OFF の場合、干渉がある状態の方が、放射状の雑音が多く発生することを全ての組合せにおいて観測した。さらに、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

表 3.3-3 実験 3 (干渉ありの状態) の結果

項目	与干渉		被干渉 (設定)	周波数帯	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去 機能 の効果
	種別	設定 (ANT 回転)			反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
1	SS- B社-1	設定-13 (回転なし)	MAG-B社 (設定-4)	同一	南東	0/10	南東	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-13 (回転なし)	MAG-C社 (設定-8)	同一	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
2	SS- B社-1	設定-13 (回転あり)	MAG-B社 (設定-4)	同一	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-13 (回転あり)	MAG-C社 (設定-8)	同一	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去
3	SS- D社	設定-17 (回転なし)	MAG-B社 (設定-4)	同一	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転なし)	MAG-C社 (設定-8)	同一	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去
4	SS- D社	設定-17 (回転あり)	MAG-B社 (設定-4)	同一	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-17 (回転あり)	MAG-C社 (設定-8)	同一	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去
5	SS- E社	設定-20 (回転なし)	MAG-B社 (設定-4)	同一	西南西	0/10	西南西	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-20 (回転なし)	MAG-C社 (設定-8)	同一	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
6	SS- E社	設定-20 (回転あり)	MAG-B社 (設定-4)	同一	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去
		設定-20 (回転あり)	MAG-C社 (設定-8)	同一	南西	0/10	南西	0/10	放射状の 雑音消去

レーダーの画面の一例を図 3.3-2～図 3.3-4 に示す。固体素子レーダーのアンテナのビーム方向をマグネトロンレーダーに向けて固定した状態の方が、アンテナが回転している状態に比べ、放射状の雑音が多く発生していた。放射状の雑音が多く発生している場合にも、干渉除去機能により、雑音を消去できることを確認した。

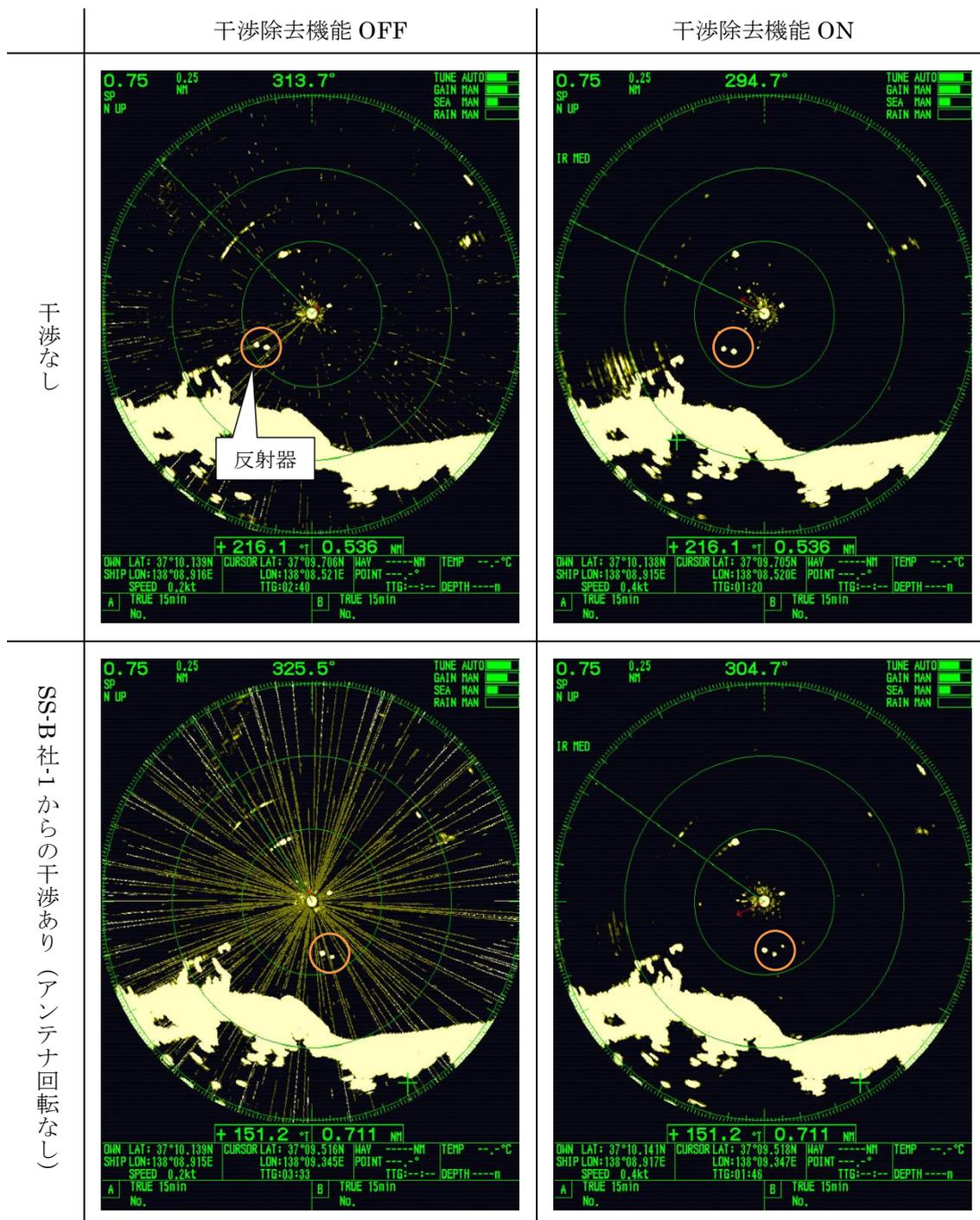


図 3.3-2 実験 3-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)

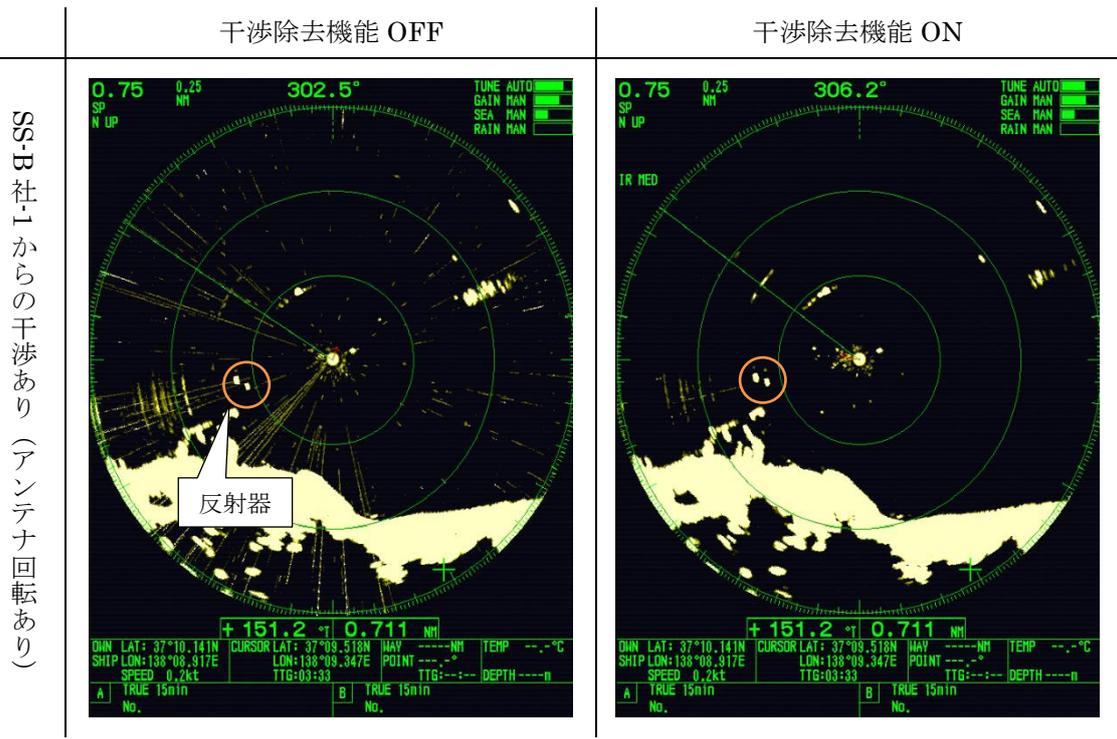


図 3.3-3 実験 3-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)

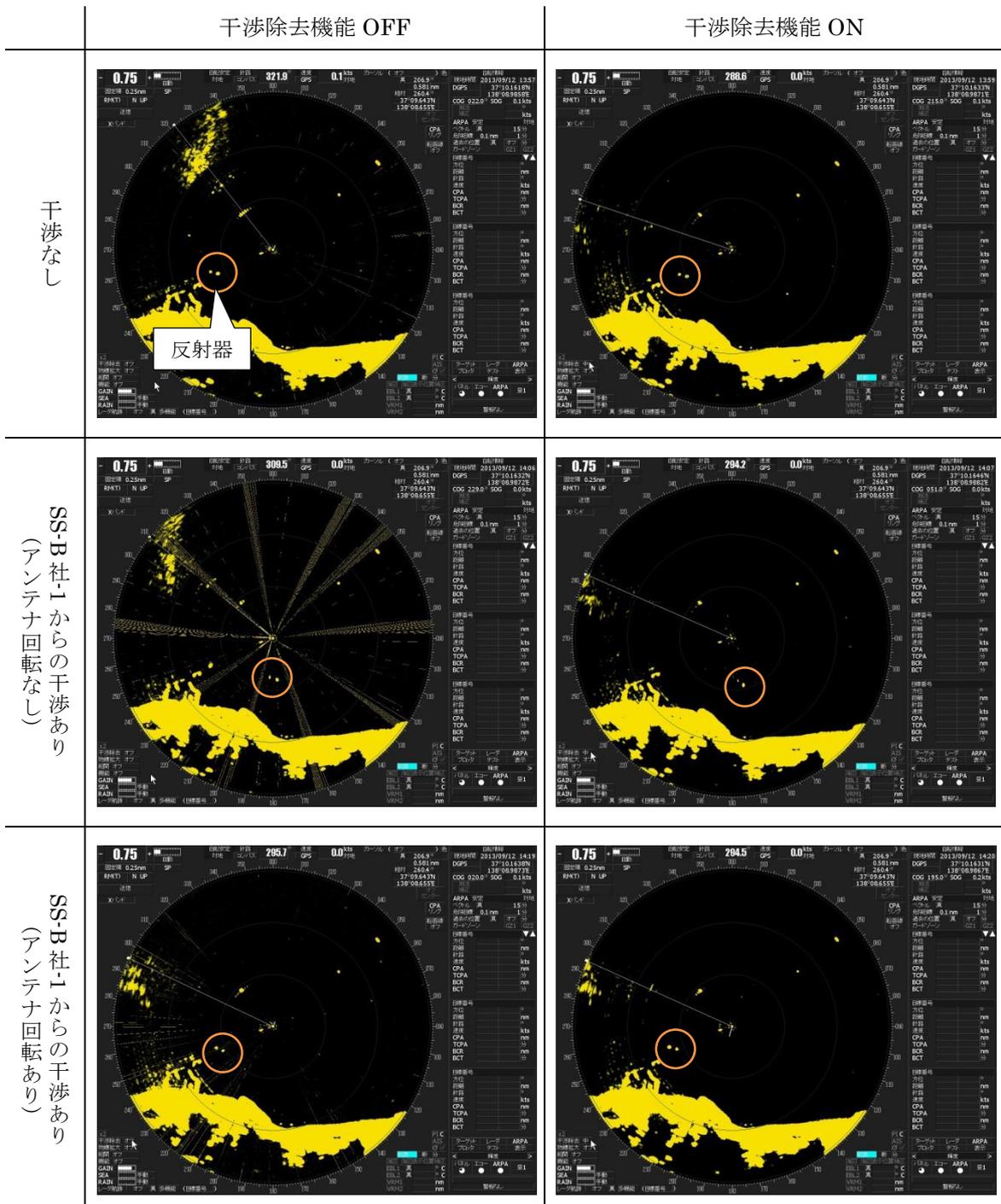


図 3.3-4 実験 3-1,2 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)

ここで、実験 2-1 と実験 3-1 の結果を用いて、与干渉レーダーと被干渉レーダーの距離の違いによる干渉の影響を確認する。実験 2-1 は、マグネトロンレーダー (MAG-B 社/MAG-C 社) と固体素子レーダー (SS-B 社-1) の距離を約 2 海里に設定し、実験 3-1 は、マグネトロンレーダーと固体素子レーダーの距離を約 700m (約 0.38 海里) に設定した。実験 2-1、実験 3-1 共に、SS-B 社-1 を設定-13 としてアンテナの回転を停止し、MAG-B 社を設定-4、MAG-C 社を設定-8 とした。

比較のために、図 3.2-2、図 3.2-3、図 3.3-2、図 3.3-4 で示した干渉ありのレーダー画面 (干渉除去機能 OFF) を図 3.3-5、図 3.3-6 に再掲する。実験 2-1 で得られたデータが図の左側であり、実験 3-1 で得られたデータが図の右側である。レーダー画面を比較すると、実験 3-1 の方がレーダー画面を占める放射状の雑音の割合が高い。これは、レーダー間の距離が短くなり、マグネトロンレーダーのアンテナのメインローブだけでなく、サイドローブによる干渉のレベルも上がったことで、レーダー画面に雑音として表示された。なお、図 3.2-2、図 3.2-3、図 3.3-2、図 3.3-4 で示したとおり、干渉除去機能により放射状の雑音を消去できることを確認した。

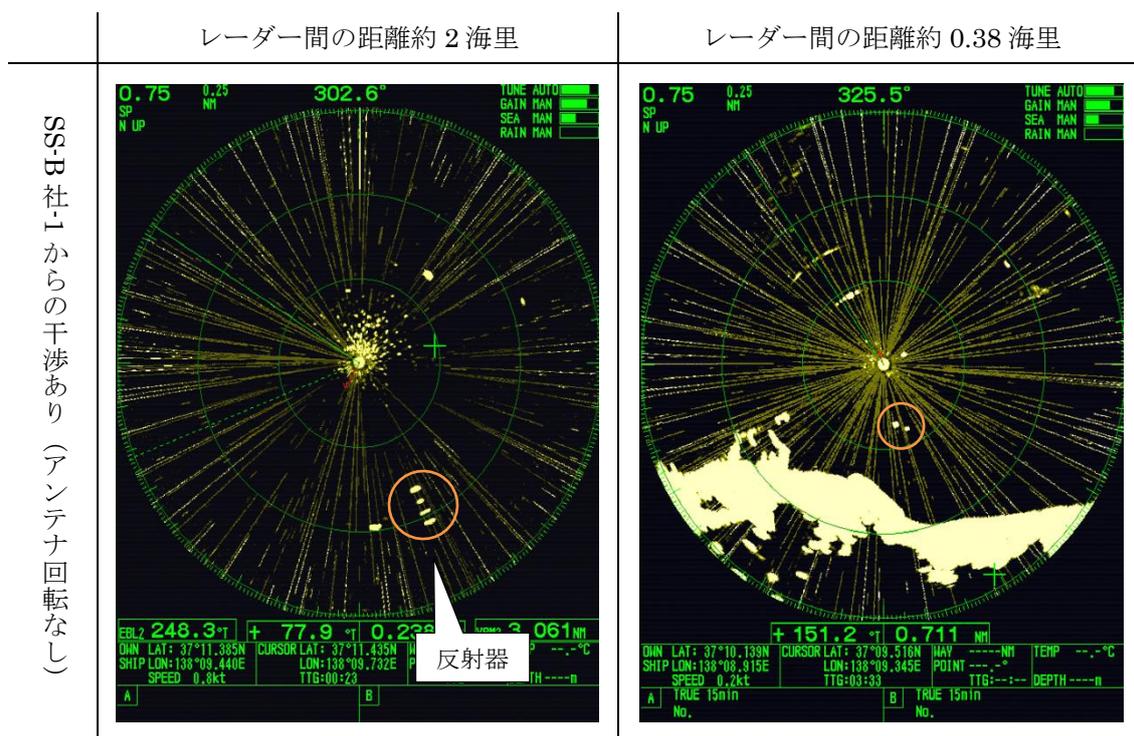


図 3.3-5 実験 2-1、3-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4、干渉除去機能 OFF)

レーダー間の距離約 2 海里

レーダー間の距離約 0.38 海里

SS-B 社-1 からの干渉あり  
(アンテナ回転なし)

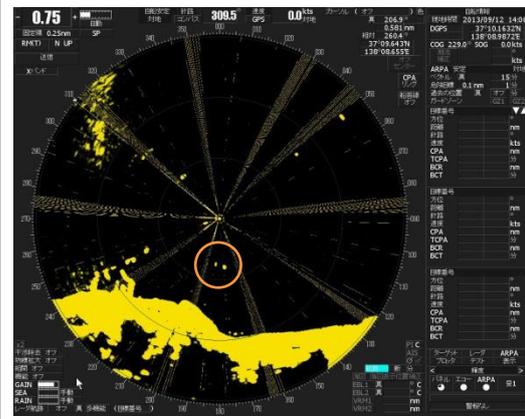
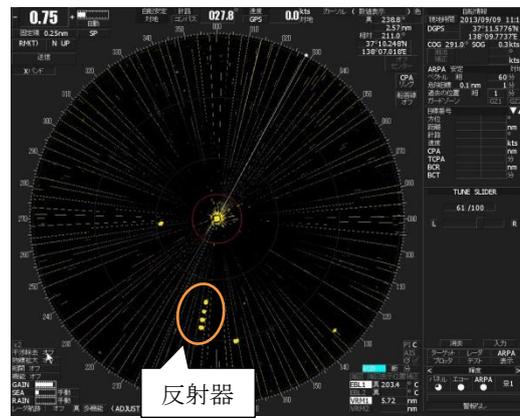


図 3.3-6 実験 2-1、3-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8、干渉除去機能 OFF)

### 3.3.5 実験 3 のまとめ

同じ周波数帯に設定した固体素子レーダー1 台による近距離での干渉では、レーダー画面に放射状の雑音が発生したが、マグネトロンレーダーの干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

マグネトロンレーダーと固体素子レーダーの距離が短くなると、長い場合に比べて、レーダー画面を占める放射状の雑音の割合が高いことが観測された。これは、レーダー間の距離が短くなり、レーダーアンテナのメインローブの受信電力だけでなく、サイドローブの受信電力もレーダー画面に放射状の雑音として表示されたためである。

### 3.4 実験4 (ARPA 機能に対する干渉の調査) について

#### 3.4.1 実験内容の詳細と観測結果

固体素子レーダーがマグネトロンレーダーの ARPA 機能に与える干渉の影響について観測した。固体素子レーダーを停波もしくは送信させた状態で、ARPA 機能を装備したマグネトロンレーダーにより ARPA データ (真針路、対地速度等) の記録を行い、干渉による影響を調査した。さらに、送信周波数が FMCW レーダーの周波数帯と同一のマグネトロンレーダーにおいても、同様に実験を行い、干渉による影響を観測した。なお、ARPA の設定の詳細は付属資料に述べる。ARPA で追尾するターゲットは、実験場所の海域内で航行させた船舶 (以下、移動船という) とした。本実験では移動船が安定して旋回を行うことは困難であったため、移動船が直線的に航行するときに ARPA 機能の観測を行った。

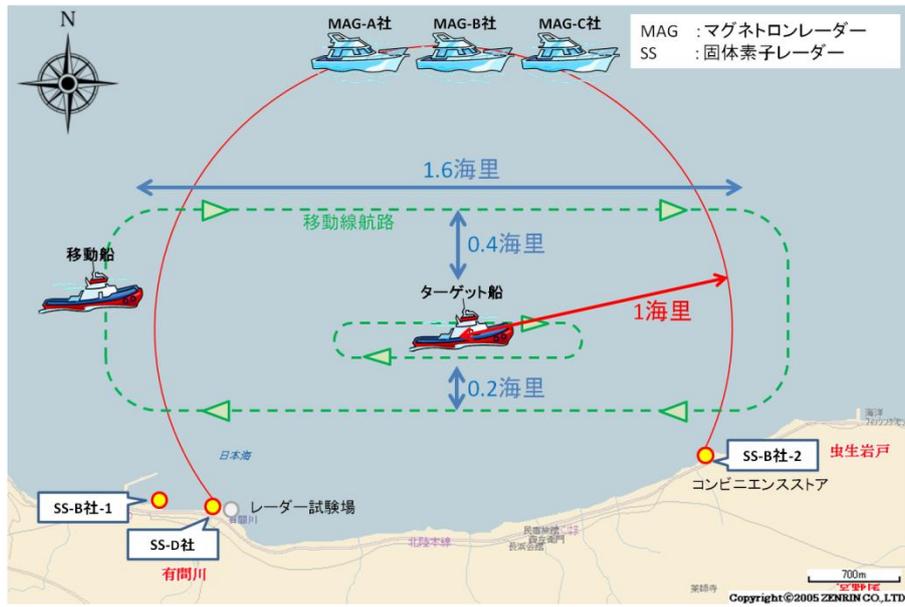
シナリオ1では、追尾目標 (移動船) の航行針路と固体素子レーダーもしくは FMCW レーダーの干渉が直角となるように追尾目標を移動させて、ARPA の真針路の情報に対する影響を観測した。

シナリオ2では、追尾目標の航行針路と固体素子レーダーもしくは FMCW レーダーの干渉が同一方向となるように追尾目標を移動させて、ARPA の対地速度の情報に対する影響を観測した。

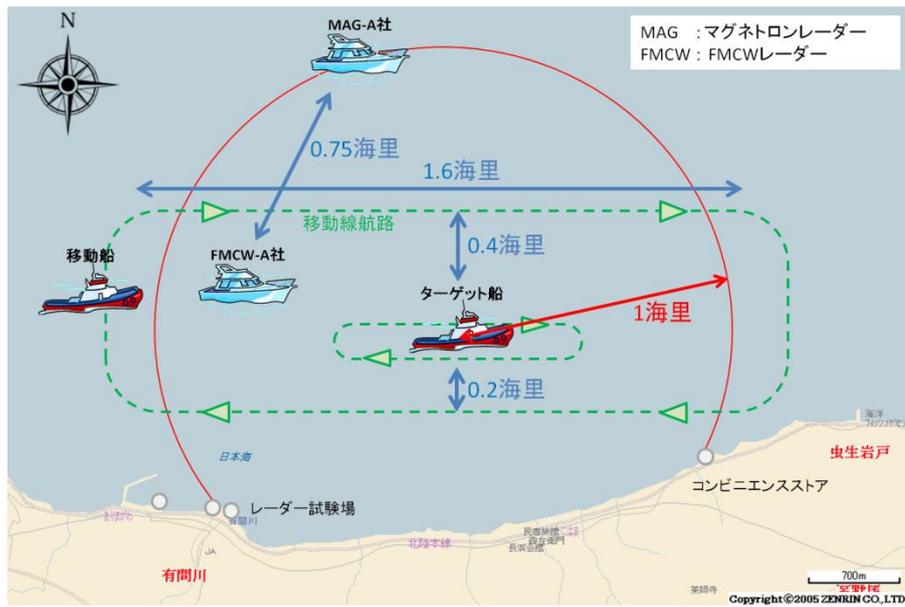
なお、実験で使用した AIS はクラス B であり、GPS 受信機にのみ接続し、他の航法機器とは接続していない。

#### 3.4.2 配置状況

実験4は、マグネトロンレーダーを設置した船舶 (MAG-A 社 / MAG-B 社 / MAG-C 社)、固体素子レーダー (SS-B 社-1 / SS-B 社-2 / SS-D 社)、FMCW レーダーを設置した船舶 (FMCW-A 社)、ターゲット船および移動船を用いた。各レーダーおよび船舶の配置について、シナリオ1を図 3.4-1、シナリオ2を図 3.4-2 に示す。

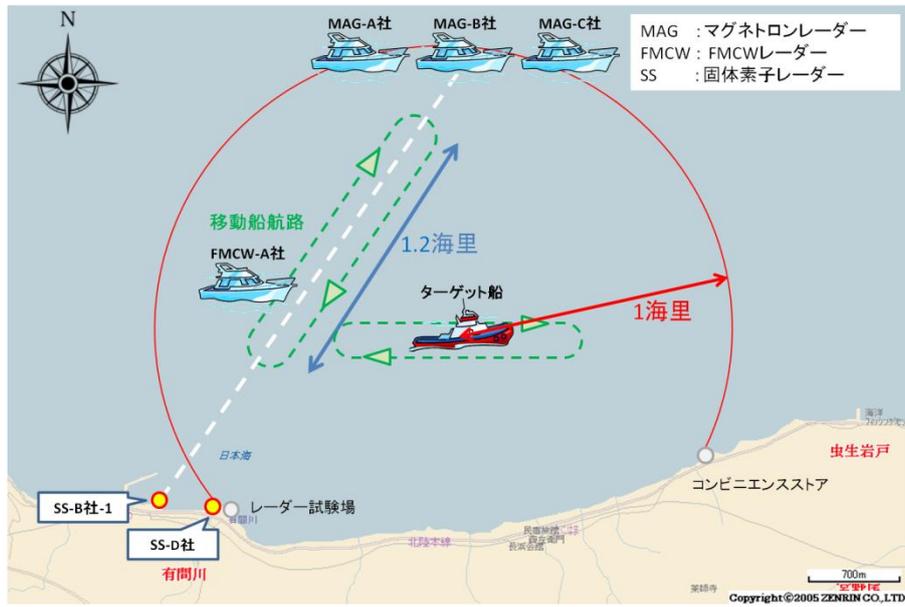


(a)実験項目 1~4

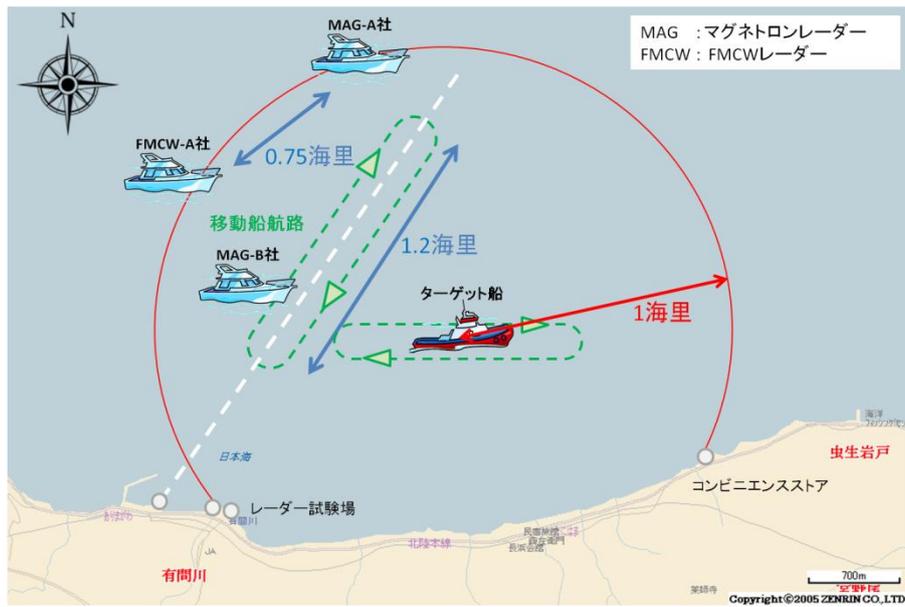


(b)実験項目 5

図 3.4-1 実験 4 シナリオ 1 における実験配置図



(a)実験項目 1~4



(b)実験項目 5

図 3.4-2 実験 4 シナリオ 2 における実験配置図

### 3.4.3 実験項目

実験 4 の組合せを表 3.4-1 に掲げる。本実験では、全てのレーダーのアンテナを回転させた状態とした。固体素子レーダーの距離レンジは、3 海里もしくは 24 海里とし、SS-B 社-1 を設定-13、SS-D 社を設定-17、SS-B 社-2 を設定-16 とした。固体素子レーダーの送信周波数は MAG-B 社と MAG-C 社と同一周波数帯となる 9410MHz とした。マグネトロンレーダーは 3 海里レンジでパルス繰り返し周波数とパルス幅が固体素子レーダーの設定値に近い条件を実現するために、各レーダーの設定は第 2 章 の表 2.4-9 より、MAG-A 社は設定-3、MAG-B 社は設定-6、MAG-C 社は設定-10 とした。

各実験項目において、2 種類のシナリオを実施し、AIS と ARPA の真針路と対地速度のデータおよびレーダー画面を記録した。

表 3.4-1 実験 4 の組合せ

与干渉	被干渉		MAG-A 社 (設定-3)	MAG-B 社 (設定-6)	MAG-C 社 (設定-10)	実施 日程
	周波数帯					
干渉なし		実験 4-1			9/11(水)	
SS-B 社-1 (設定-13)	同一		実験 4-2		9/11(水)	
SS-D 社 (設定-17)	同一		実験 4-3		9/11(水)	
SS-B 社-2 (設定-16)	同一		実験 4-4		9/11(水)	
FMCW-A 社 (設定-12)	同一		実験 4-5			9/11(水)

【注 1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

#### 3.4.4 観測の結果

各シナリオにおいて取得した AIS と ARPA のデータから、測定時刻毎の対地速度と真針路について AIS と ARPA の差異を求め、その変化の度合いを算出し、干渉の有無や干渉除去機能 ON/OFF の条件の違いで比較した。ただし、ARPA のベクトルは、捕捉追尾を開始してから約 30 秒後に表示されるが、捕捉追尾の開始初期には変動が大きいため、表示値が落ち着くまでの約 1～3 分間のデータは使用しなかった。

シナリオ 1 では真針路への影響、シナリオ 2 では対地速度への影響を観測した。

AIS と ARPA の真針路の差異について、干渉がない状況の結果を表 3.4-2、固体素子レーダーによる干渉がある状況の結果を表 3.4-3 に掲げる。表の値は、同一時刻に取得した AIS と ARPA のデータの差異である。干渉がない状況では-4.4 度 (MAG-A 社 干渉除去機能 OFF)、干渉がある状況では-6.5 度 (MAG-B 社 干渉除去機能 OFF) が最大の差であった。なお、正負の符号は AIS のデータを基準として、AIS より ARPA の真針路の角度が小さい場合をマイナス値で示した。干渉除去機能 ON の真針路の差異の結果について、干渉の有無で比較すると著しい差異はなかった。

表 3.4-2 AIS と ARPA の真針路の差異 (干渉なし/シナリオ 1)

	真針路 (度)	
	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
MAG-A 社	-4.4～1.7	-2.4～2.3
MAG-B 社	-3.0～1.6	-1.9～1.6
MAG-C 社	-2.1～1.1	-1.6～1.8

表 3.4-3 AIS と ARPA の真針路の差異 (干渉あり/シナリオ 1)

	真針路 (度)	
	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
MAG-A 社	-4.6～0.9	-1.4～0.0
MAG-B 社	-6.5～1.3	-2.3～1.6
MAG-C 社	-1.8～1.5	-1.3～1.6

干渉がある状態で AIS と ARPA の真針路の差異が最大となった MAG-B 社の結果を図 3.4-3 に示す。同図には MAG-B 社の干渉がない状況の結果も示す。AIS と ARPA の変化は図 3.4-3 に示すとおり干渉の有無で著しい差異はなかった。その他の真針路の結果については付属資料に掲載する。なお、AIS のデータの更新間隔は 30 秒、ARPA のデータの更新間隔は 2 秒～3 秒であった。

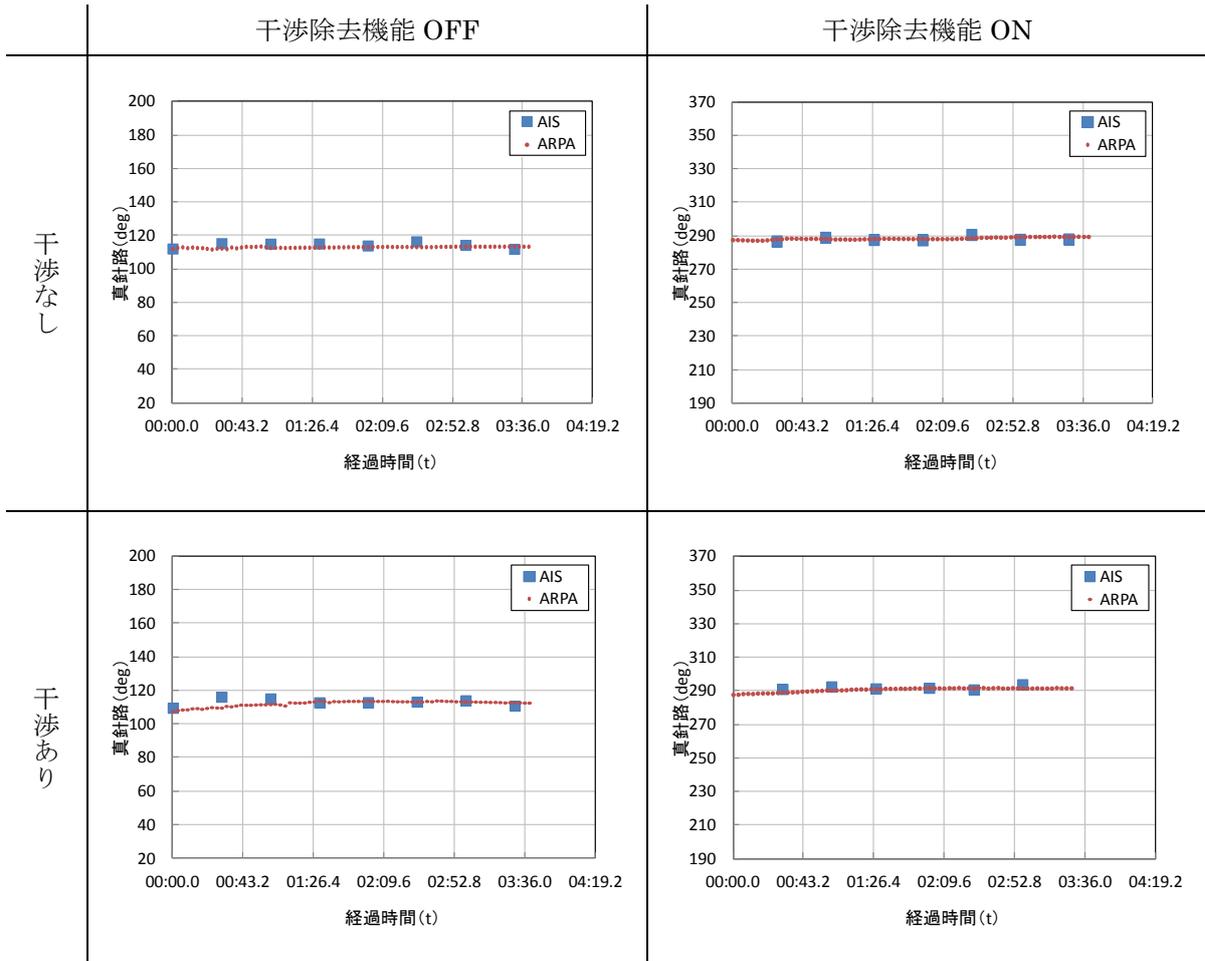


図 3.4-3 AIS と ARPA による真針路の差異の比較 (MAG-B 社)

AIS と ARPA の対地速度の差異について、干渉がない状況の結果を表 3.4-4、固体素子レーダーによる干渉がある状況の結果を表 3.4-5 に掲げる。表の値は、同一時刻に取得した AIS と ARPA のデータの差異である。干渉がない状況では-0.9 ノット (MAG-B 社 干渉除去機能 OFF)、干渉がある状況では-0.5 ノット (MAG-B 社 干渉除去機能 ON) が最大の差であった。なお、正負の符号は AIS より ARPA の対地速度が遅い場合はマイナス値で示した。干渉除去機能 ON における対地速度の差異の結果について、干渉の有無で比較すると著しい差異はなかった。

表 3.4-4 AIS と ARPA の対地速度の差異 (干渉なし/シナリオ 2)

	対地速度 (ノット)	
	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
MAG-A 社	-0.4~0.3	0.0~0.3
MAG-B 社	-0.9~0.3	0.2~0.4
MAG-C 社	-0.4~0.2	0.0~0.1

表 3.4-5 AIS と ARPA の対地速度の差異 (干渉あり/シナリオ 2)

	対地速度 (ノット)	
	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
MAG-A 社	-0.2~0.3	-0.1~0.5
MAG-B 社	-0.2~0.3	-0.5~0.2
MAG-C 社	-0.2~0.2	-0.3~0.1

干渉がある場合は、AIS と ARPA の対地速度の差異が最大となった MAG-B 社の結果を図 3.4-4 に示す。同図には MAG-B 社の干渉がない場合の結果を示す。AIS と ARPA の変化は図 3.4-4 に示すとおり干渉の有無で著しい差異はなかった。その他の対地速度の結果については付属資料に掲載する。

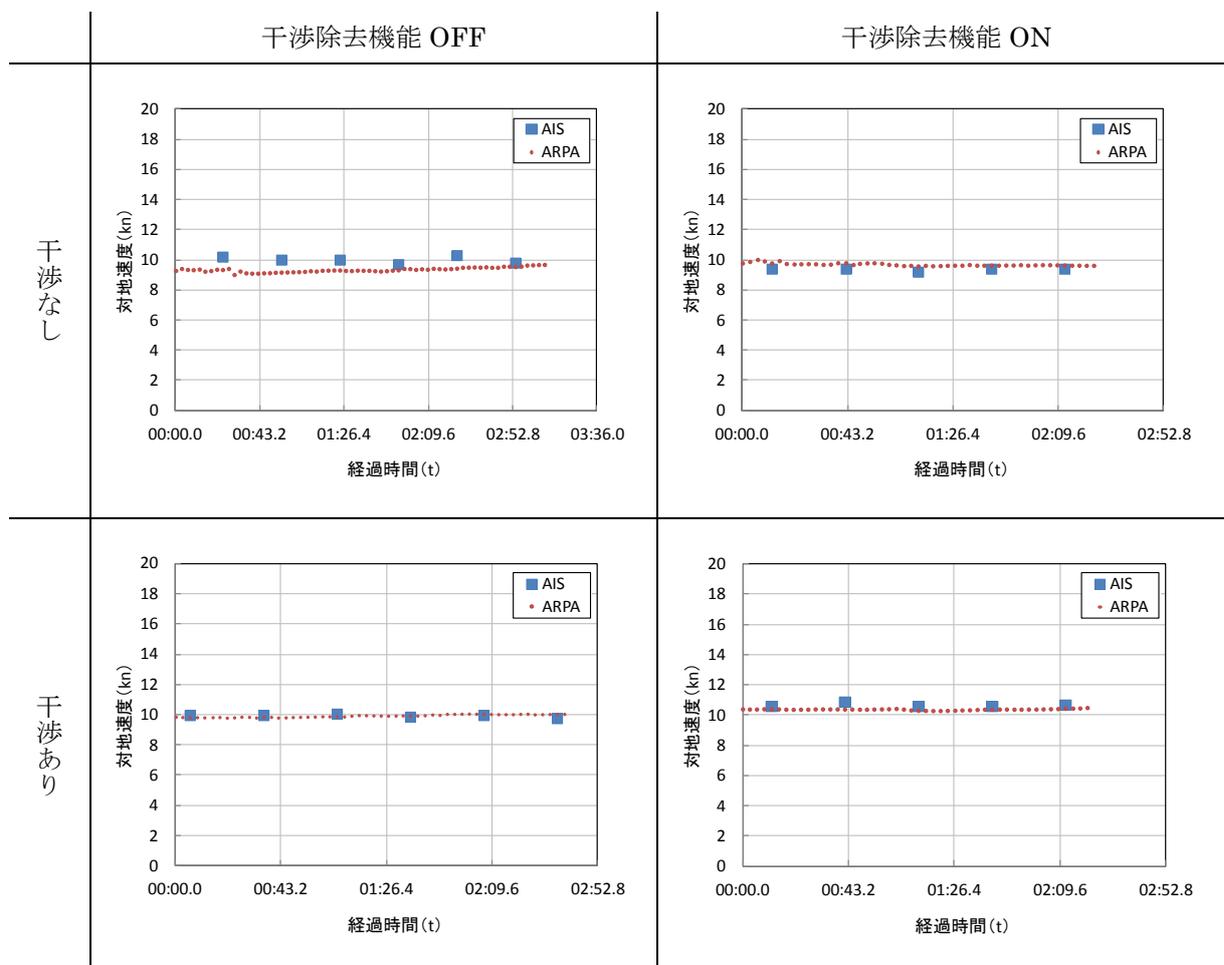


図 3.4-4 AIS と ARPA による対地速度の差異の比較 (MAG-B 社)

### 3.4.5 実験 4 のまとめ

干渉の有無で AIS と ARPA の真針路と対地速度のデータを比較した結果、与干渉レーダーとして固体素子レーダーもしくは FMCW レーダーが 1 台の場合、ARPA への著しい干渉の影響は観測されなかった。

### 3.5 実験5（FMCWレーダーが与干渉となる場合の調査）について

#### 3.5.1 実験内容の詳細と観測結果

FMCWレーダーがマグネトロンレーダーに与える干渉の影響を観測した。

このとき、FMCWレーダーと周波数が一致するマグネトロンレーダーを用いて、異なる受信条件で測定を行った。得られたデータから、FMCWレーダーとマグネトロンレーダーの周波数帯が一致した状態における干渉の影響の違いを調査した。

#### 3.5.2 配置状況

実験5は、マグネトロンレーダーを設置した船舶（MAG-A社）、FMCWレーダーを設置した船舶（FMCW-A社）およびターゲット船を用いた。各レーダーおよび船舶の配置を図3.5-1に示す。マグネトロンレーダーを設置した船舶とFMCWレーダーを設置した船舶を距離0.75海里で南北に停泊させ、両船の中間位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させた。



図 3.5-1 実験5における配置図

### 3.5.3 実験項目

実験 5 の組合せを表 3.5-1 に掲げる。本実験では、それぞれのレーダーのアンテナを回転させた状態とする。マグネトロンレーダーと FMCW レーダーの送信周波数が同様な値であることを確認した後に測定を行った。各レーダーの設定は第 2 章 の表 2.4-9 より、マグネトロンレーダーの受信特性を考慮して設定-1 と設定-3 を使用した。

表 3.5-1 実験 5 の組合せ

与干渉	被干渉	MAG-A 社		実施日程
	周波数帯	設定-1	設定-3	
FMCW-A 社 (設定-12)	同一	実験 5-1	実験 5-2	9/13 (金)

【注 1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

### 3.5.4 観測の結果

#### (1) 干渉なしの状態

干渉がない状態での実験結果を表 3.5-2 に掲げる。干渉がない状態においては、レーダー画面に雑音が見られる場合があるが、この干渉は実験で準備したレーダー以外からの干渉の影響と考えられる。なお、上記の干渉は、干渉除去機能を使用することにより、消去できることを確認した。

反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

表 3.5-2 実験 5 (干渉なしの状態) の結果

	送信周波数	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能の効果
		反射器の位置	反射器の消失回数	反射器の位置	反射器の消失回数	
MAG-A 社 (設定-1)	9358 MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の雑音消去
MAG-A 社 (設定-3)	9355MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の雑音消去

#### (2) 干渉ありの状態

干渉がある状態での実験結果を表 3.5-3 に示す。マグネトロンレーダー 1 台と FMCW レーダー 1 台を同時に動作させ、干渉の有無で比較すると、干渉除去機能 OFF の場合、干渉がある状態の方が、放射状の雑音が多く発生することを全ての組合せにおいて観測した。さらに、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

MAG-A 社が設定-1 の場合のレーダー画面の一例を図 3.5-2 に示し、設定-3 の場合の一例を図 3.5-3 に示す。設定-1 より設定-3 の方が、干渉による放射状の雑音が多く発生しているが、いずれも干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

表 3.5-3 実験 5 (干渉ありの状態) の結果

項目	与干渉 (設定)	被干渉 (設定)	周波数帯	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
				反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
1	FMCW-A 社 (設定-12)	MAG-A 社 (設定-1)	同一	南東	0/10	南東	0/10	放射状の 雑音消去
2	FMCW-A 社 (設定-12)	MAG-A 社 (設定-3)	同一	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去

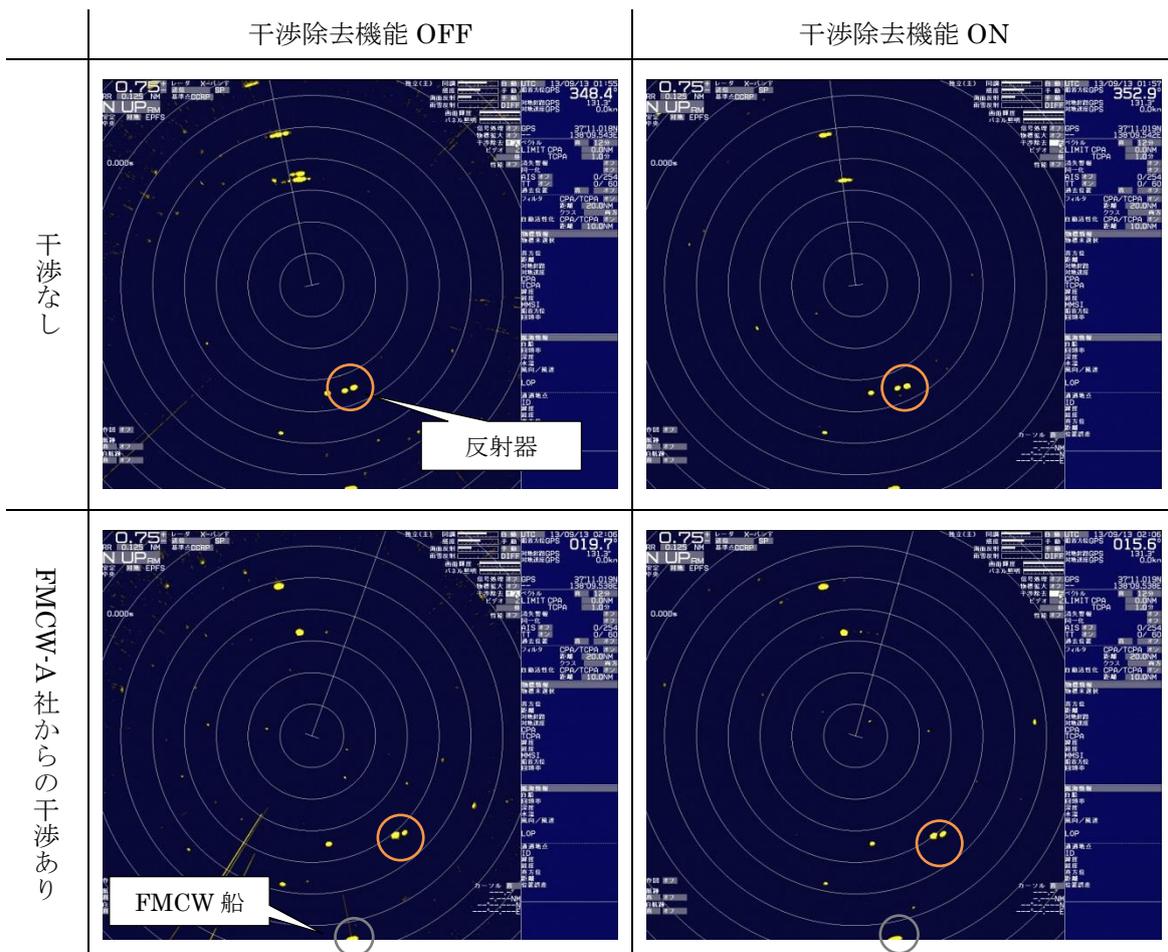


図 3.5-2 実験 5-1 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定-1)

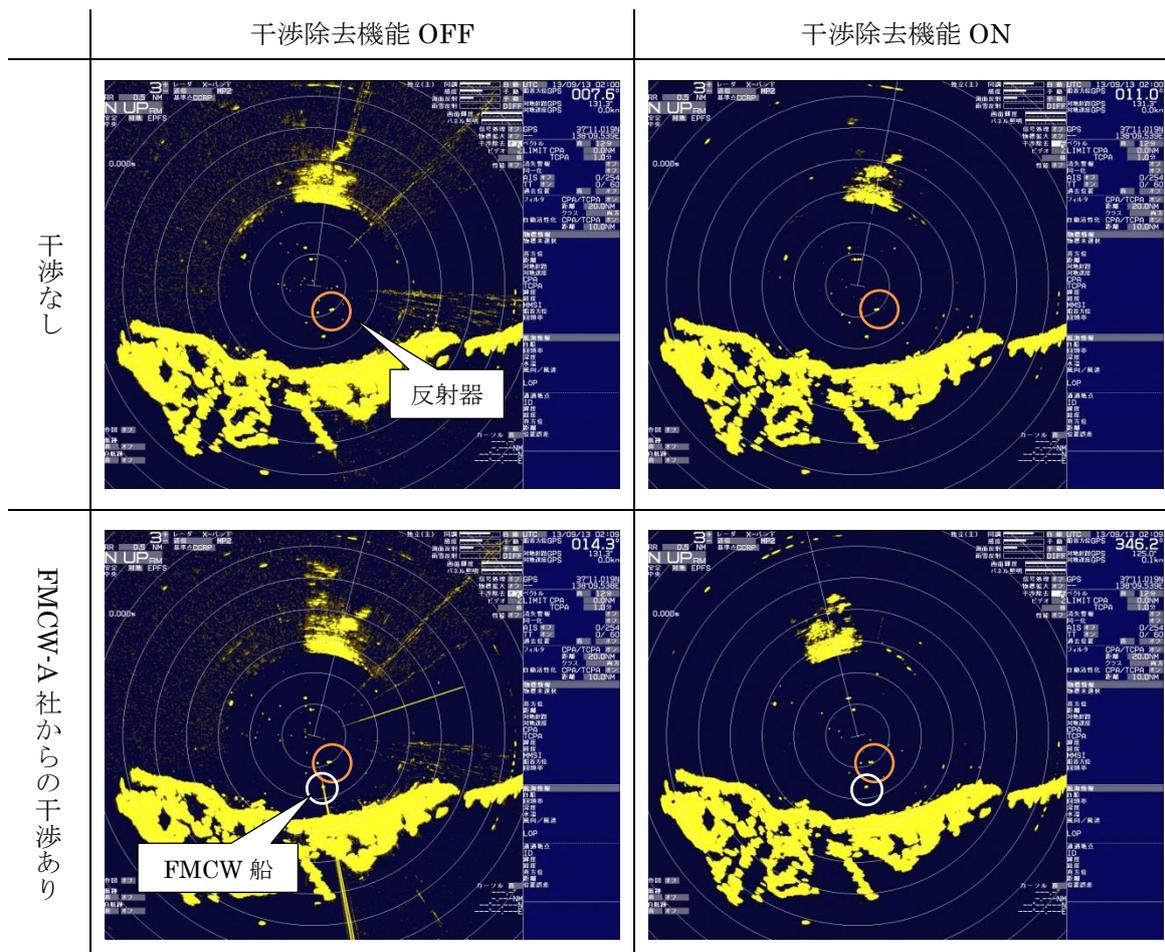


図 3.5-3 実験 5-2 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定-3)

### 3.5.5 実験 5 のまとめ

マグネトロンレーダー1台と FMCW レーダー1台を同じ周波数帯で同時に使用すると干渉の影響により放射状の雑音が発生するが、マグネトロンレーダーのパルス繰り返し周波数やパルス幅の設定に関わらず、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

### 3.6 実験6（固体素子レーダーが被干渉となる場合の調査）について

#### 3.6.1 実験内容の詳細と観測結果

マグネトロンレーダー、固体素子レーダー又は FMCW レーダーが、固体素子レーダーに与える干渉の影響を観測した。得られたデータから与干渉レーダーの違いによる固体素子レーダーにおける干渉の影響の違いを調査した。

#### 3.6.2 配置状況

実験6は、マグネトロンレーダーを設置した船舶（MAG-B社/MAG-C社）、固体素子レーダー（SS-B社-1/SS-B社-2/SS-D社/SS-E社）、FMCWレーダーを設置した船舶（FMCW-A社）およびターゲット船を用いた。

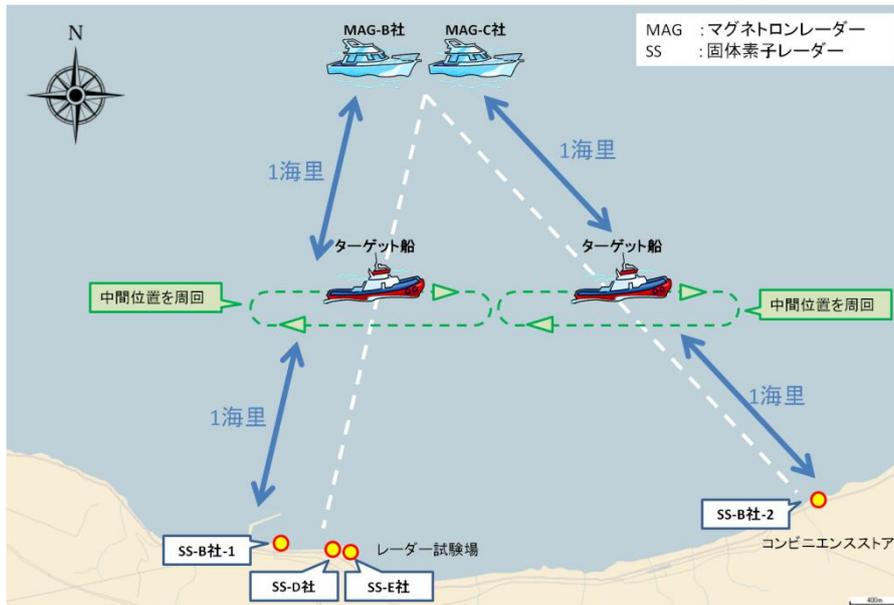
図3.6-1に、固体素子レーダー相互の干渉における配置図を示す。ターゲット船は、固体素子レーダーの画面で確認できる1海里の位置を中心に東西方向に周回させた。

図3.6-2(a)に、マグネトロンレーダーからの干渉における配置図を示す。マグネトロンレーダーを設置した船舶を固体素子レーダーから2海里の位置に停泊させ、中間位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させた。

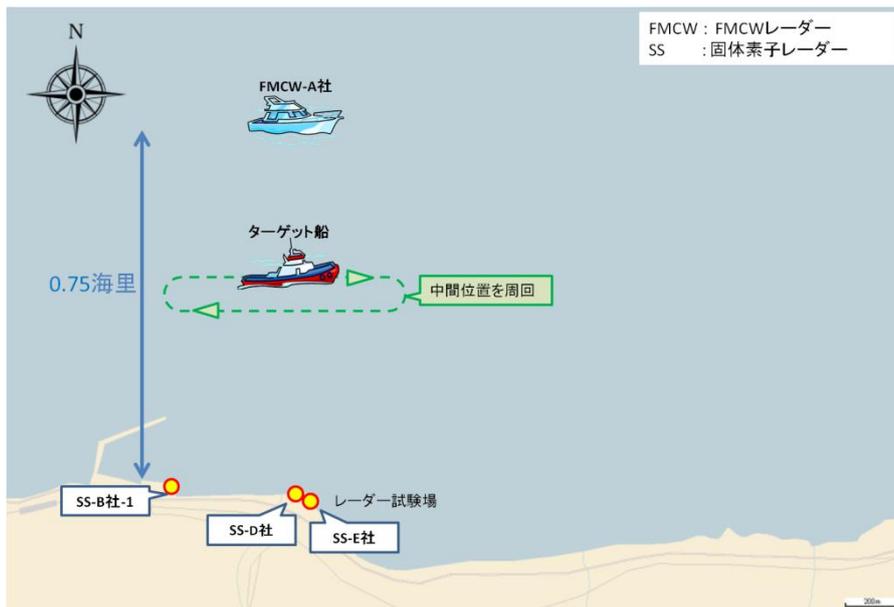
図3.6-2(b)に、FMCWレーダーからの干渉における配置図を示す。FMCWレーダーを設置した船舶を固体素子レーダーから距離0.75海里の位置に停泊させ、両船の中間位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させた。



図 3.6-1 固体素子レーダー相互の干渉における配置（実験6 項目1~3）



(a) マグネトロンレーダーからの干渉における配置 (実験項目 4~9)



(b) FMCW レーダーからの干渉における配置 (実験項目 10~12)

図 3.6-2 実験 6 項目 4~12 における配置図

### 3.6.3 実験項目

実験 6 の組合せを表 3.6-1 に掲げる。本実験では、全てのレーダーのアンテナを回転させた状態とする。FMCW レーダーは、固体素子レーダーの受信帯域内で送信することができないため、最も近い周波数に設定した。各レーダーの設定は第 2 章 の表 2.4-9 より、固体素子レーダーの距離レンジを 3 海里（設定-13、15、17、20）とし、MAG-A 社を設定-3、MAG-B 社を設定-6 とした。

表 3.6-1 実験 6 の組合せ

与干渉	被干渉		SS-B 社 (設定-13, 15)	SS-D 社 (設定-17)	SS-E 社 (設定-20)	実施 日程
	周波数帯					
SS-B 社-1 (設定-13)	同一		/	実験 6-1	実験 6-2	9/13(金)
SS-D 社 (設定-17)	同一			実験 6-1	実験 6-3	9/13(金)
SS-E 社 (設定-20)	同一			実験 6-2	実験 6-3	9/13(金)
MAG-A 社 (設定-3)	同一		実験 6-4	実験 6-5	実験 6-6	9/10(火)
MAG-B 社 (設定-6)	同一		実験 6-7	実験 6-8	実験 6-9	9/10(火)
FMCW-A 社 (設定-12)	近接		実験 6-10	実験 6-11	実験 6-12	9/12(木)

【注 1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

### 3.6.4 観測の結果

#### (1) 干渉なしの状態

干渉がない状態での実験結果を表 3.6-2 に掲げる。干渉がない状態においては、レーダー画面に雑音が見られる場合があるが、この干渉は実験で準備したレーダー以外からの干渉の影響と考えられる。なお、上記の干渉は、干渉除去機能を使用することにより、除去できることが確認した。反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

表 3.6-2 実験 6 (干渉なしの状態) の結果

	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
	反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
SS-B 社-1 (設定-13)	北東	0/10	北東	0/10	放射状の 雑音消去
SS-B 社-2 (設定-15)	北西	0/10	北西	0/10	放射状の 雑音消去
SS-D 社 (設定-17)	北	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去
SS-E 社 (設定-20)	北北西	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去

(2) 干渉ありの状態

干渉がある状態での実験結果を表 3.6-3 に示す。マグネトロンレーダー1台と、固体素子レーダー1台又はFMCWレーダー1台を同時に動作させ、干渉の有無で比較すると、干渉除去機能 OFF の場合、干渉がある状態の方が、放射状の雑音が多く発生することを全ての組合せにおいて観測した。さらに、干渉除去機能を使用することにより、与干渉レーダーの種類に関わらず、放射状の雑音を消去・減少できることを確認した。

反射器の位置については、ほとんどのレーダー画面において観測することができたが、実験 6-3 および実験 6-12 において、10 回転中 1、2 回消失する場合があった。

表 3.6-3 実験 6 (干渉ありの状態) の結果

項目	与干渉 (設定)	被干渉 (設定)	周波数帯	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
				反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
1	SS-B 社-1 (設定-13)	SS-D 社 (設定-17)	同一	北	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去
	SS-D 社 (設定-17)	SS-B 社-1 (設定-13)	同一	北東	0/10	北東	0/10	放射状の 雑音消去
2	SS-B 社-1 (設定-13)	SS-E 社 (設定-20)	同一	北北西	0/10	北北西	0/10	放射状の 雑音減少
	SS-E 社 (設定-20)	SS-B 社-1 (設定-13)	同一	北東	0/10	北東	0/10	放射状の 雑音消去
3	SS-D 社 (設定-17)	SS-E 社 (設定-20)	同一	北北西	1/10	北北西	1/10	放射状の 雑音減少
	SS-E 社 (設定-20)	SS-D 社 (設定-17)	同一	北北東	0/10	北北東	0/10	放射状の 雑音消去
4	MAG-A 社 (設定-3)	SS-B 社-2 (設定-15)	同一	北西	0/10	北西	0/10	放射状の 雑音消去
5	MAG-A 社 (設定-3)	SS-D 社 (設定-17)	同一	北	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去
6	MAG-A 社 (設定-3)	SS-E 社 (設定-20)	同一	北西	0/10	北西	0/10	放射状の 雑音消去
7	MAG-B 社 (設定-6)	SS-B 社-2 (設定-15)	同一	北西	0/10	北西	0/10	放射状の 雑音消去
8	MAG-B 社 (設定-6)	SS-D 社 (設定-17)	同一	北	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去
9	MAG-B 社 (設定-6)	SS-E 社 (設定-20)	同一	北西	0/10	北西	0/10	放射状の 雑音消去
10	FMCW-A 社 (設定-12)	SS-B 社-1 (設定-13)	近接	北	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去
11	FMCW-A 社 (設定-12)	SS-D 社 (設定-17)	近接	北	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去
12	FMCW-A 社 (設定-12)	SS-E 社 (設定-20)	近接	北西	1/10	北西	2/10	放射状の 雑音消去

レーダー画面の一例を図 3.6-3～図 3.6-9 に示す。

なお、SS-E 社については、干渉がない場合でも多くの放射状の雑音が表示されており、干渉除去機能を使用した場合にも雑音が消去できず一部残っている場合があった。

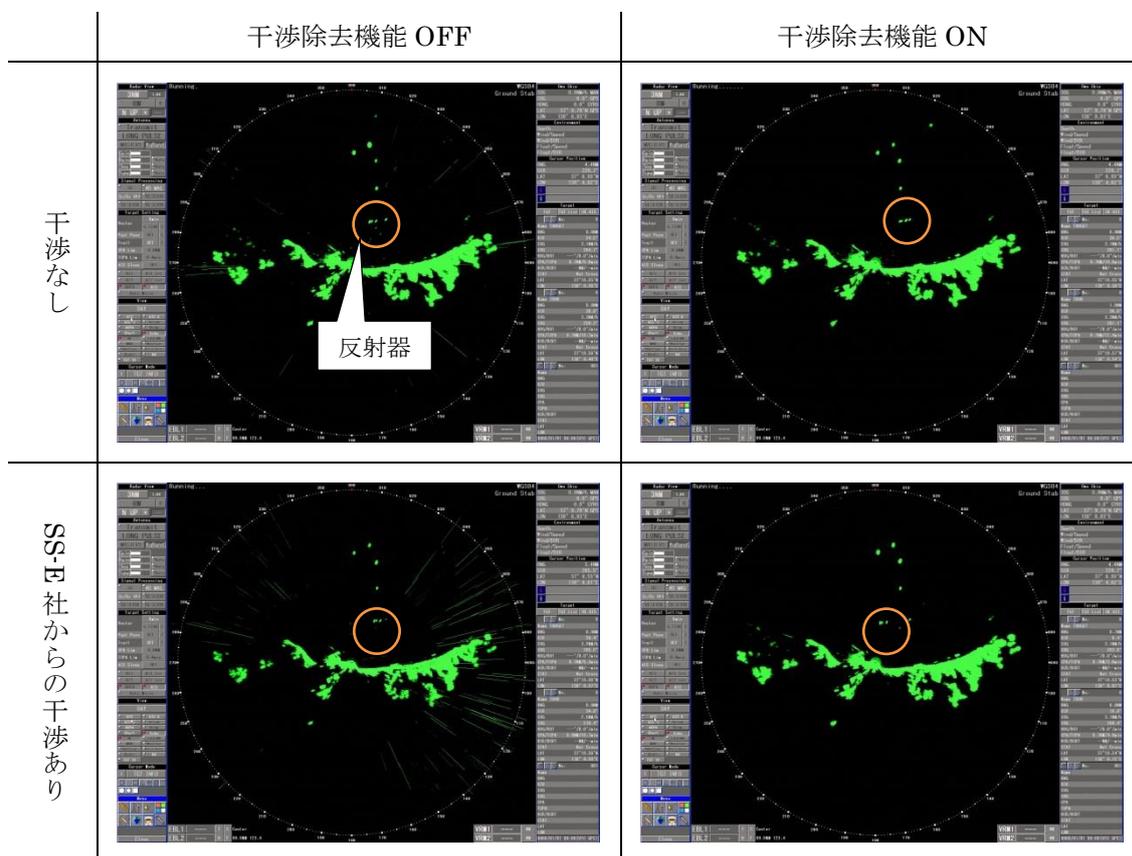


図 3.6-3 実験 6-3 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)

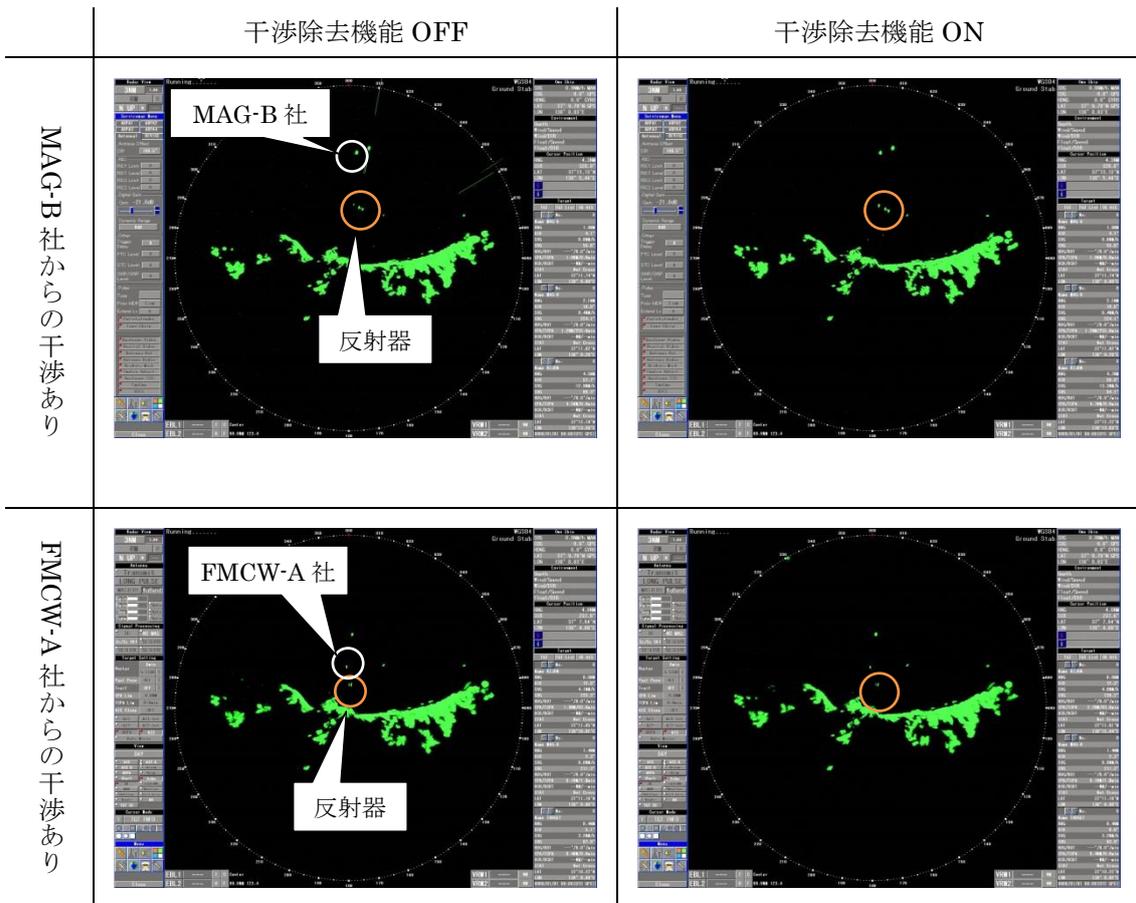
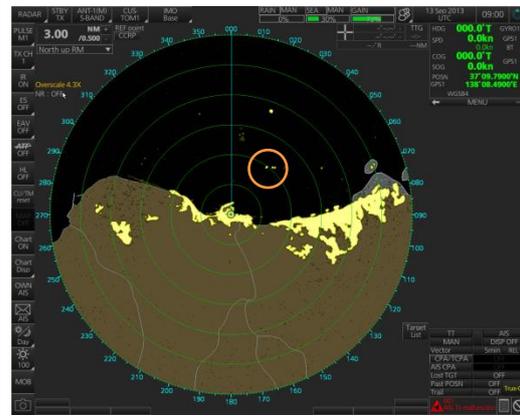
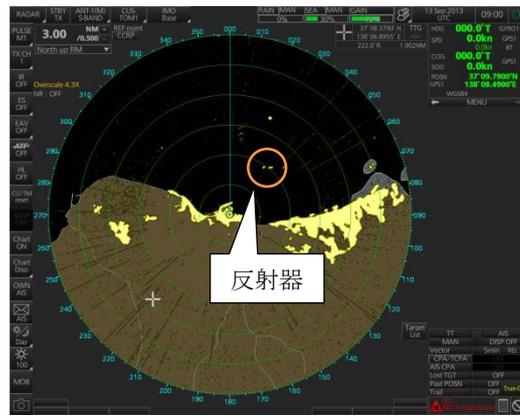


図 3.6-4 実験 6-8、11 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)

干渉除去機能 OFF

干渉除去機能 ON

干渉なし



SS-B社からの干渉あり

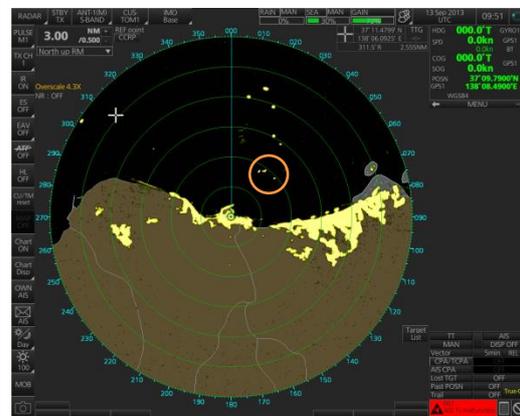
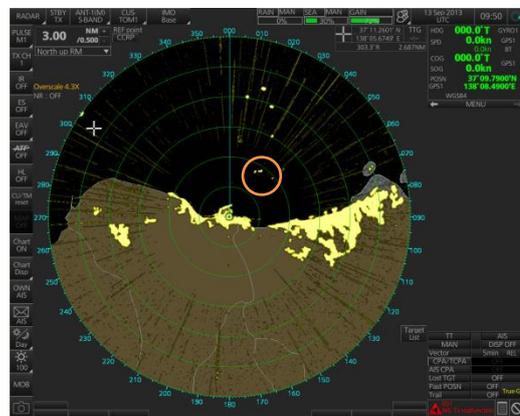
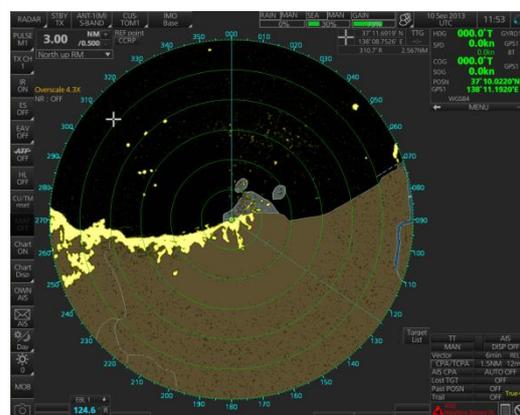
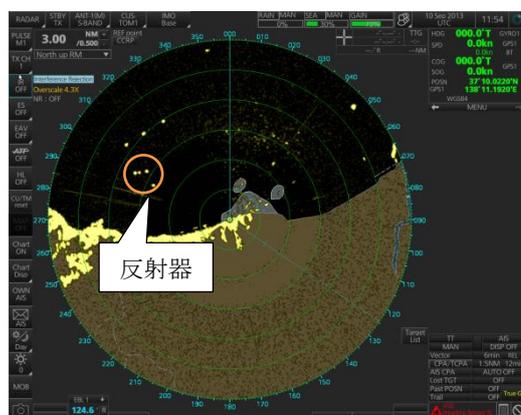


図 3.6-5 実験 6-2 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)

干渉除去機能 OFF

干渉除去機能 ON

干渉なし



MAG-B社からの干渉あり

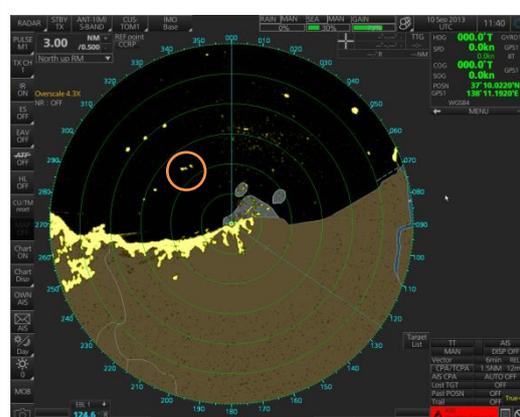
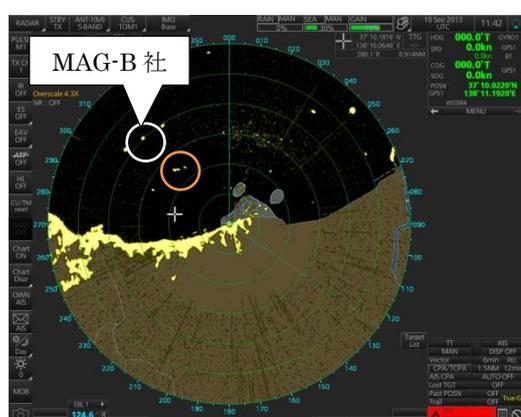


図 3.6-6 実験 6-7 におけるレーダー画面 (SS-B 社-2、設定-15)

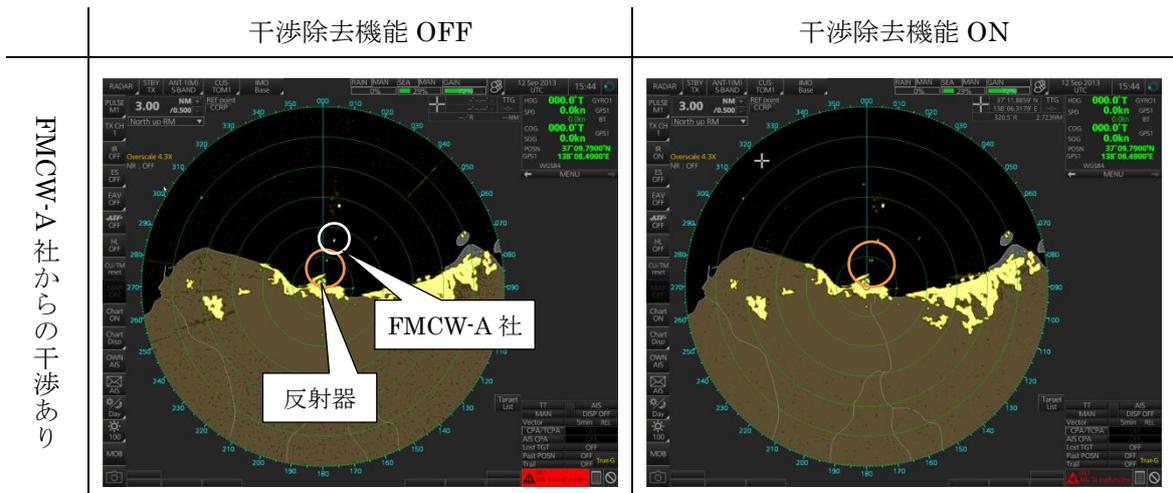


図 3.6-7 実験 6-10 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)

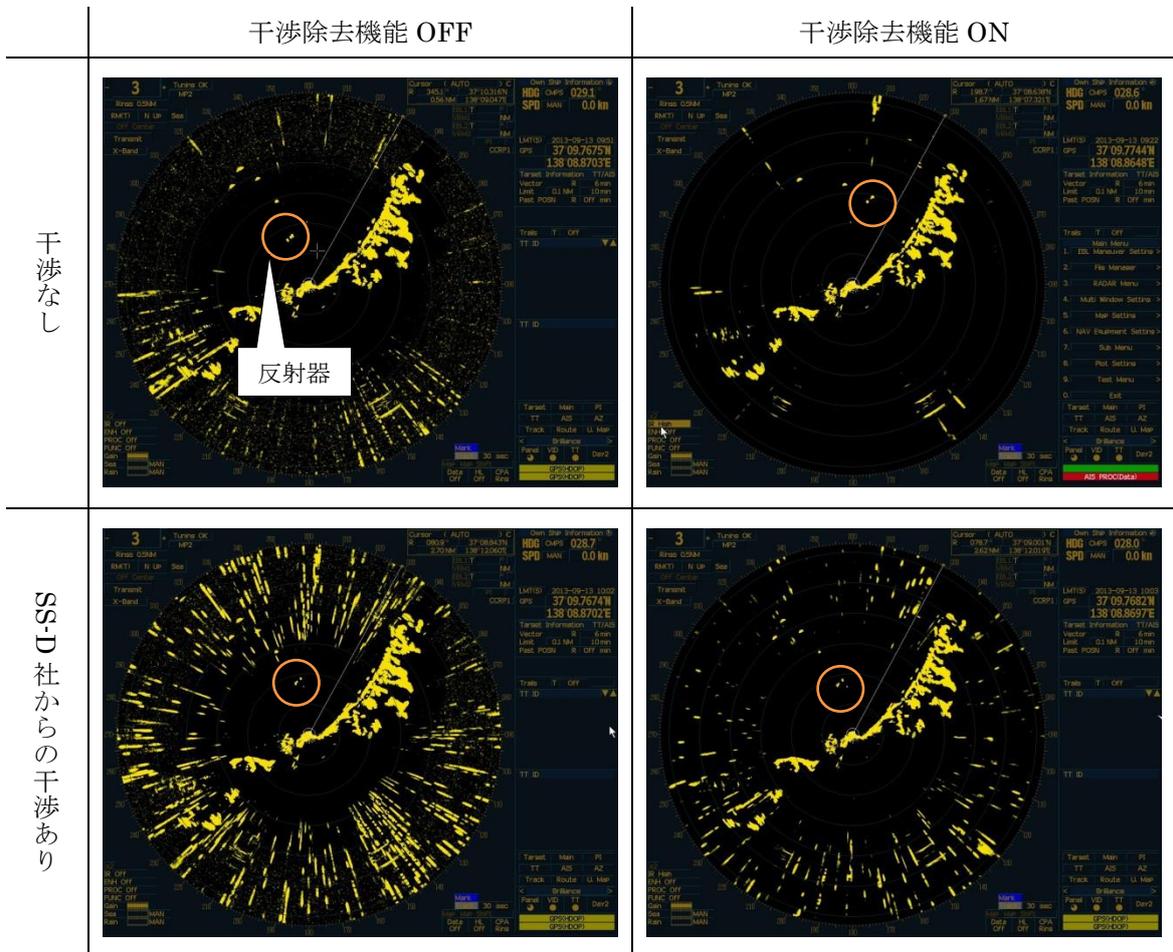


図 3.6-8 実験 6-3 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)

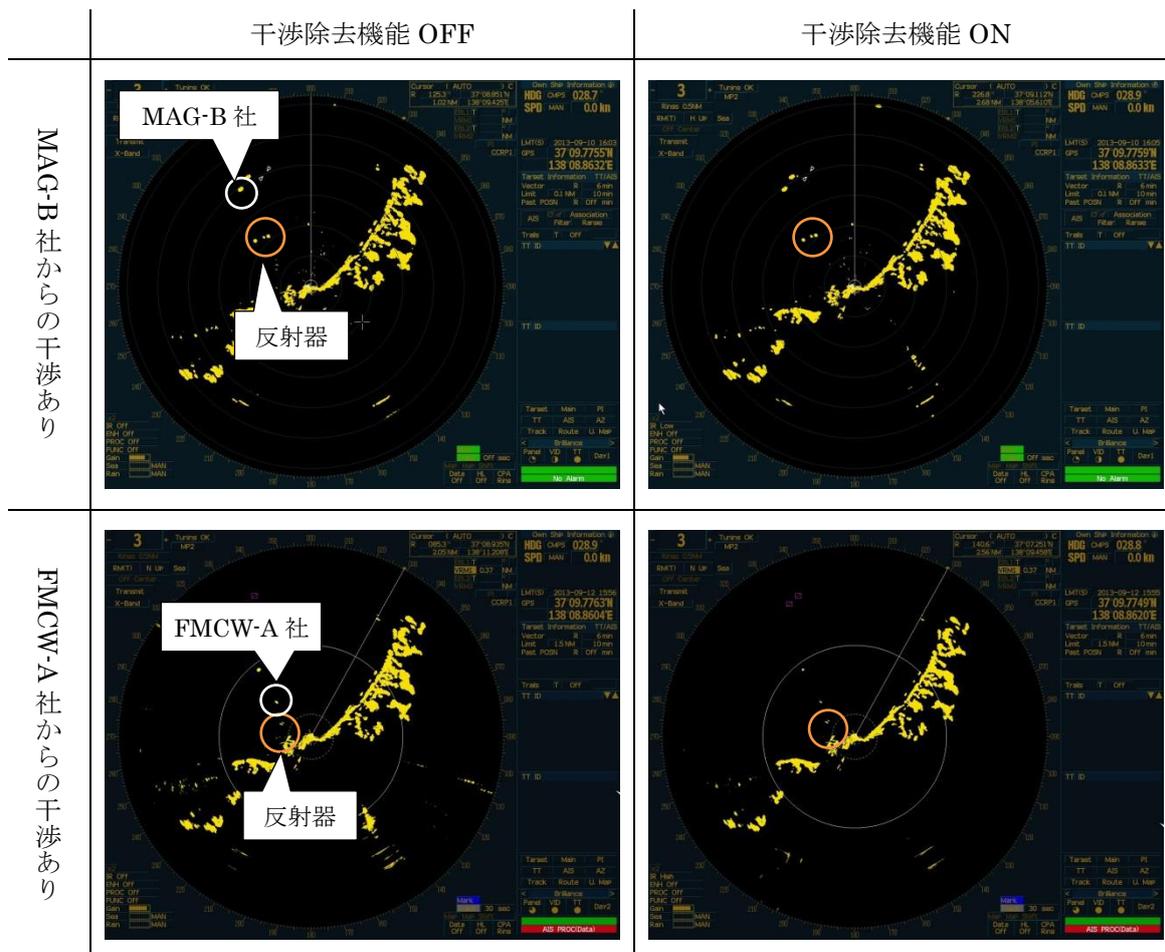


図 3.6-9 実験 6-9、12 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)

### 3.6.5 実験 6 のまとめ

マグネトロンレーダー、固体素子レーダー又は FMCW レーダーのいずれか 1 台と固体素子レーダー 1 台を、同じ周波数帯もしくは近接した周波数で同時に使用すると、干渉の影響により放射状の雑音が発生するが、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

### 3.7 実験7 (FMCW レーダーが被干渉となる場合の調査) について

#### 3.7.1 実験内容の詳細と観測結果

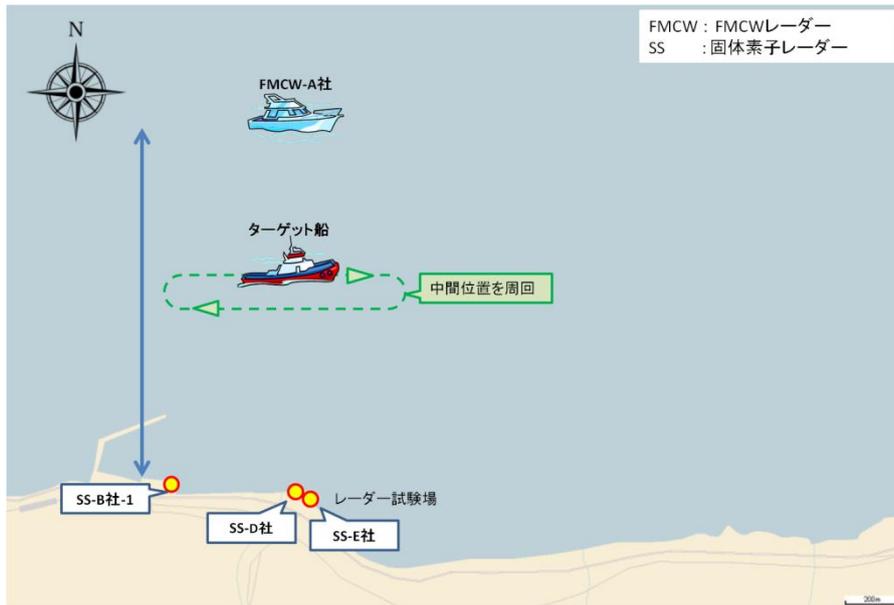
マグネトロンレーダー又は固体素子レーダーが、FMCW レーダーに与える干渉の影響を観測した。得られたデータから与干渉レーダーの違いによる FMCW レーダーにおける干渉の影響の違いを調査した。

#### 3.7.2 配置状況

実験7は、マグネトロンレーダーを設置した船舶 (MAG-A 社)、FMCW レーダーを設置した船舶 (FMCW-A 社)、固体素子レーダー (SS-B 社・1/SS-D 社/SS-E 社) およびターゲット船を用いた。各レーダーおよび船舶の配置を図 3.7-1 に示す。

同図 (a) に、固体素子レーダーからの干渉における配置図を示す。FMCW レーダーを設置した船舶を固体素子レーダーから距離 0.75 海里の位置に停泊させ、中間位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させた。

同図 (b) に、マグネトロンレーダーからの干渉における配置図を示す。FMCW レーダーを設置した船舶とマグネトロンレーダーを設置した船舶を距離 0.75 海里の位置で南北に停泊させ、両船の中間位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させた。



(a) 固体素子レーダーからの干渉における配置 (実験項目 1~3)



(b) マグネトロンレーダーからの干渉における配置 (実験項目 4)

図 3.7-1 実験 7 における配置図

### 3.7.3 実験項目

実験7の組合せを表3.7-1に掲げる。本実験では、全てのレーダーのアンテナを回転させた状態とする。固体素子レーダー（SS-E社）は、FMCWレーダーの受信帯域内で送信することができないため、最も近い周波数に設定する。固体素子レーダーの距離レンジは、3海里（設定-13、17、20）とし、MAG-A社を設定-3とした。

表 3.7-1 実験7の組合せ

与干渉	被干渉		FMCW-A社 (設定-12)	実施 日程
	周波数帯			
SS-B社-1 (設定-13)	同一		実験 7-1	9/12(木)
SS-D社 (設定-17)	同一		実験 7-2	9/12(木)
SS-E社 (設定-20)	近接		実験 7-3	9/12(木)
MAG-A社 (設定-3)	同一		実験 7-4	9/13(金)

【注1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

### 3.7.4 観測の結果

#### (1) 干渉なしの状態

干渉がない状態での実験結果を表3.7-2に掲げる。干渉がない状態においては、レーダー画面に雑音が見られる場合があるが、この干渉は実験で準備したレーダー以外からの干渉の影響と考えられる。なお、上記の干渉は、干渉除去機能を使用することにより、消去できることを確認した。反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

表 3.7-2 実験7（干渉なしの状態）の結果

	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
	反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
FMCW-A社 (設定-12)	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去

(2) 干渉ありの状態

干渉がある状態での実験結果を表 3.7-3 に示す。固体素子レーダー1 台と FMCW レーダー1 台を同時に動作させ、干渉の有無で比較すると、干渉除去機能 OFF の場合、干渉がある状態の方が、放射状の雑音が多く発生することを全ての組合せにおいて観測された。さらに、干渉除去機能を使用することにより、与干渉レーダーの種類に関わらず、放射状の雑音を消去できることを確認した。レーダー画面の一例を図 3.7-2 に示す。

反射器の位置については、ほとんどのレーダー画面において観測することができたが、実験 7-2 において、10 回転中 1 回消失する場合があった。

表 3.7-3 実験 7 (干渉ありの状態) の結果

項目	与干渉 (設定)	被干渉 (設定)	周波数帯	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
				反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
1	SS-B 社-1 (設定-13)	FMCW-A 社 (設定-12)	同一	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の 雑音消去
2	SS-D 社 (設定-17)	FMCW-A 社 (設定-12)	同一	南南東	1/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
3	SS- E 社 (設定-20)	FMCW-A 社 (設定-12)	近接	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
4	MAG-A 社 (設定-3)	FMCW-A 社 (設定-12)	同一	北	0/10	北	0/10	放射状の 雑音消去

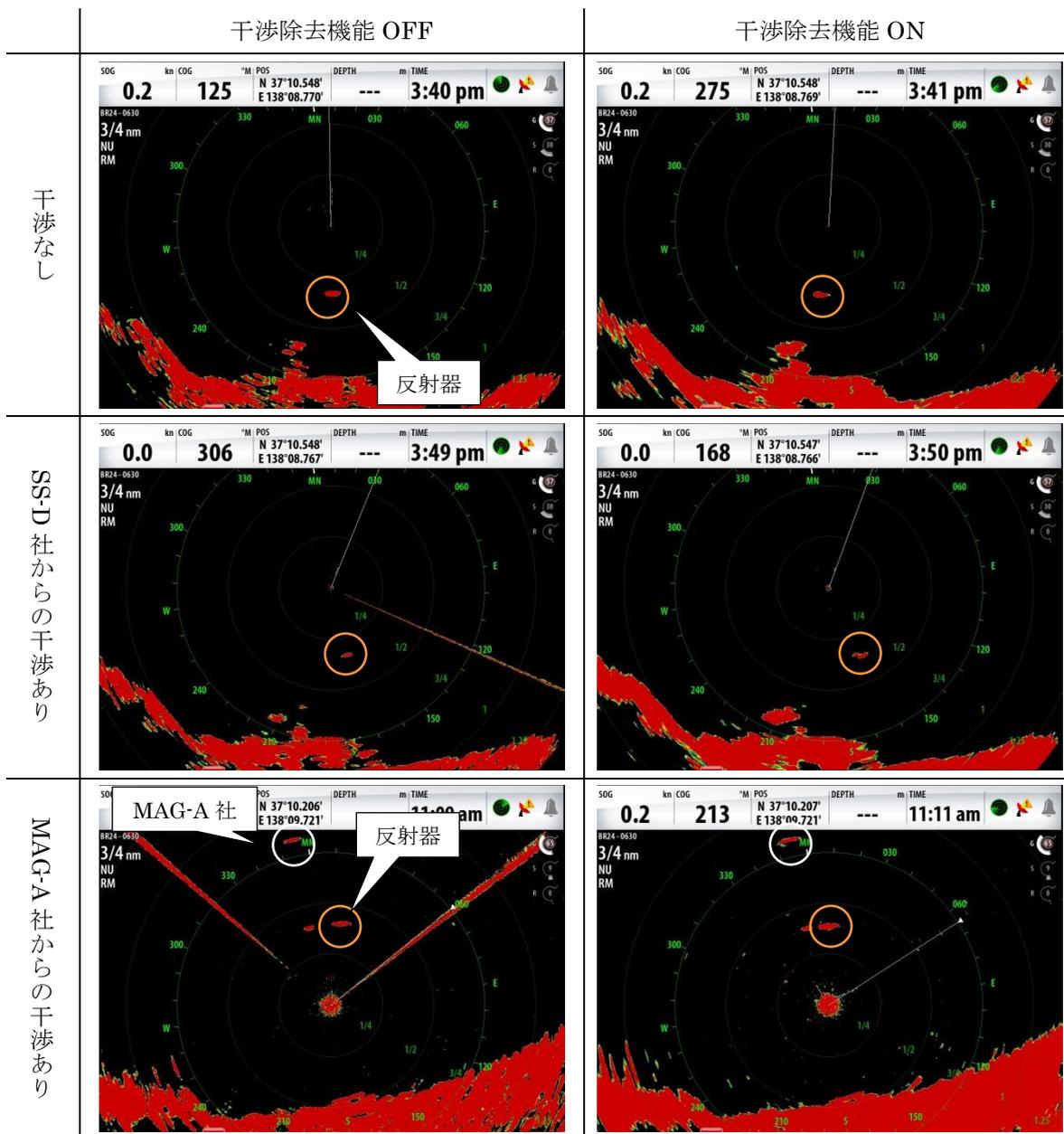


図 3.7-2 実験 7-2、4 におけるレーダー画面 (FMCW-A 社、設定-12)

### 3.7.5 実験 7 のまとめ

FMCW レーダー 1 台と、マグネトロンレーダー又は固体素子レーダー 1 台を、同じ周波数もしくは近接した周波数で同時に使用すると、干渉の影響により放射状の雑音が発生するが、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

### 3.8 実験 8（複数のレーダーが同時に送信状態となる総合干渉の調査）について

#### 3.8.1 実験内容の詳細と観測結果

マグネトロンレーダー、固体素子レーダーおよび FMCW レーダーが送受信している状況において、干渉の影響を観測した。このとき、固体素子レーダーの距離レンジは 3 海里（設定-13、17、20）もしくは 24 海里（設定-16）とし、マグネトロンレーダーは、パルス幅が短い場合と長い場合の測定を実施した。得られたデータから、与干渉レーダーが 1 台の場合の結果と比較し干渉の影響の違いを調査した。

#### 3.8.2 配置状況

実験 8 は、マグネトロンレーダーを設置した船舶(MAG-A 社/MAG-B 社/MAG-C 社)、固体素子レーダー (SS-B 社-1/SS-B 社-2/SS-D 社/SS-E 社)、FMCW レーダーを設置した船舶 (FMCW-A 社) およびターゲット船を用いる。各レーダーおよび船舶の配置を図 3.8-1 に示す。

実験 2 と同様に、マグネトロンレーダーを設置した船舶を固体素子レーダーから距離 2 海里の位置に停泊させ、各マグネトロンレーダーおよび各固体素子レーダーから等距離となる位置を中心にターゲット船を東西方向に周回させる。FMCW レーダーを設置した船舶は、マグネトロンレーダーから距離 0.75 海里の位置に停泊させた。

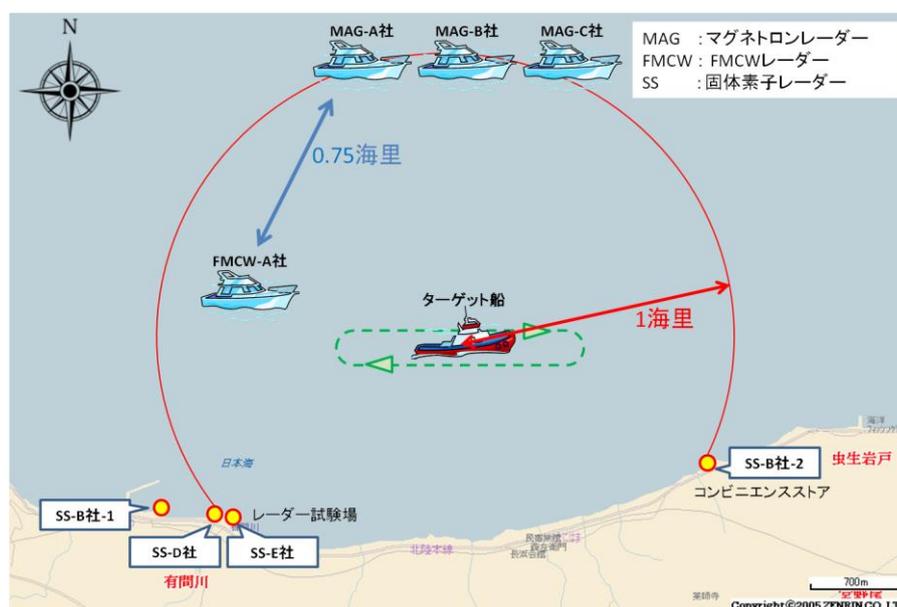


図 3.8-1 実験 8 における配置図

### 3.8.3 実験項目

実験 8 の組合せを表 3.8-1 に掲げる。本実験では、全てのレーダーのアンテナを回転させた状態とする。各レーダーの設定は第 2 章 の表 2.4-9 より、マグネトロンレーダーのパルス幅が短い場合は、MAG-A 社を設定-2、MAG-B 社を設定-5、MAG-C 社を設定-9 とし、パルス幅が長い場合は、MAG-A 社を設定-3、MAG-B 社を設定-6、MAG-C 社を設定-11 とした。各固体素子レーダーの送信周波数は 9410MHz に設定した。

表 3.8-1 実験 8 の組合せ

レーダー (設定)	実験項目	実施日程
MAG-A 社 (設定-2) MAG-B 社 (設定-5) MAG-C 社 (設定-9) FMCW-A 社 (設定-12) SS-B 社-1 (設定-13) SS-B 社-2 (設定-16) SS-D 社 (設定-17) SS-E 社 (設定-20)	実験 8-1	9/13 (金)
MAG-A 社 (設定-3) MAG-B 社 (設定-6) MAG-C 社 (設定-11) FMCW-A 社 (設定-12) SS-B 社-1 (設定-13) SS-B 社-2 (設定-16) SS-D 社 (設定-17) SS-E 社 (設定-20)	実験 8-2	9/13 (金)

【注 1】表中の「実験\*-\*」は、「実験番号-項目番号」として示す。

### 3.8.4 観測の結果

#### (1) 干渉なしの状態

干渉がない状態での実験結果を表 3.8-2 に掲げる。干渉がない状態においては、レーダー画面に雑音が現れる場合があるが、この干渉は実験で準備したレーダー以外からの干渉の影響と考えられる。なお、上記の干渉は、干渉除去機能を使用することにより、消去できることを確認した。反射器の位置については、全てのレーダー画面において観測することができたが、反射器からのエコーが小さくなる場合があった。

表 3.8-2 実験 8 (干渉なしの状態) の結果

	送信 周波数	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能 の効果
		反射器 の位置	反射器の 消失回数	反射器 の位置	反射器の 消失回数	
MAG-A 社 (設定-2)	9358 MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-A 社 (設定-3)	9355 MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-B 社 (設定-5)	9413 MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-B 社 (設定-6)	9411 MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-C 社 (設定-9)	9418MHz	南	0/10	南	0/10	放射状の 雑音消去
MAG-C 社 (設定-11)	9413 MHz	南南東	0/10	南南東	0/10	放射状の 雑音消去

(2) 干渉ありの状態

干渉がある状態での実験結果を表 3.8-3 に示す。FMCW レーダーについてはターゲット船から 1 海里程離れており、レーダー画面においてターゲット船を確認することはできなかった。SS-B 社-2 (設定-16) については、距離レンジが長い為、距離 2 海里程の場所で周回しているターゲット船のエコーに関して、レーダー画面上で詳細な検討を行うことは困難であった。

マグネトロンレーダー 3 台、固体素子レーダー 4 台、FMCW レーダー 1 台を同時に動作させ、干渉の有無で比較すると、干渉除去機能 OFF の場合、干渉がある状態の方が、放射状の雑音が多く発生することを全ての組合せにおいて観測した。干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去・減少できることを確認した。反射器の位置については、ほとんどのレーダー画面において観測することができたが、実験 8-1 において、10 回転中 1 回~3 回消失する場合があった。

レーダー画面の一例を図 3.8-2~図 3.8-15 に示すマグネトロンレーダーのパルス幅の違いで比較すると、図 3.8-2 と図 3.8-9、図 3.8-3 と図 3.8-10、図 3.8-4 と図 3.8-11 より、パルス幅が長い場合の方が干渉による放射状の雑音が多い。

固体素子レーダーが被干渉となる場合において、与干渉レーダーが 1 台である実験 6 の結果と本実験結果を比較すると、放射状の雑音が多いことが、図 3.8-14 と図 3.6-3、図 3.8-13 と図 3.6-5 から確認できる。したがって、与干渉レーダーの台数が多い方が、放射状の雑音も増えることが観測できた。

表 3.8-3 実験 8 (干渉ありの状態) の結果

項目	与干渉(設定)	被干渉(設定)	干渉除去機能 OFF		干渉除去機能 ON		干渉除去機能の効果
			反射器の位置	反射器の消失回数	反射器の位置	反射器の消失回数	
1	MAG-A 社 (設定-2) MAG-B 社 (設定-5) MAG-C 社 (設定-9) FMCW-A 社 (設定-12) SS-B 社-1 (設定-13) SS-B 社-2 (設定-16) SS-D 社 (設定-17) SS-E 社 (設定-20)	MAG-A 社 (設定-2)	南	0/10	南	0/10	放射状の雑音消去
		MAG-B 社 (設定-5)	南	0/10	南	0/10	放射状の雑音消去
		MAG-C 社 (設定-9)	南南西	0/10	南南西	0/10	放射状の雑音消去
		FMCW-A 社 (設定-12)	ターゲット船から 1 海里以上離れている。				放射状の雑音消去
		SS-B 社-1 (設定-13)	北東	1/10	北東	1/10	放射状の雑音消去
		SS-B 社-2 (設定-16)					放射状の雑音消去
		SS-D 社 (設定-17)	北東	0/10	北東	0/10	放射状の雑音消去
		SS-E 社 (設定-20)	北	1/10	北	3/10	放射状の雑音減少
		2	MAG-A 社 (設定-3) MAG-B 社 (設定-6) MAG-C 社 (設定-11) FMCW-A 社 (設定-12) SS-B 社-1 (設定-13) SS-B 社-2 (設定-16) SS-D 社 (設定-17) SS-E 社 (設定-20)	MAG-A 社 (設定-3)	南南西	0/10	南南西
MAG-B 社 (設定-6)	南南西			0/10	南南西	0/10	放射状の雑音消去
MAG-C 社 (設定-11)	南南西			0/10	南南西	0/10	放射状の雑音消去
FMCW-A 社 (設定-12)	ターゲット船から 1 海里以上離れている。				放射状の雑音消去		
SS-B 社-1 (設定-13)	北東			0/10	北東	0/10	放射状の雑音消去
SS-B 社-2 (設定-16)							放射状の雑音消去
SS-D 社 (設定-17)	北			0/10	北	0/10	放射状の雑音消去
SS-E 社 (設定-20)	北北西			0/10	北北西	0/10	放射状の雑音減少

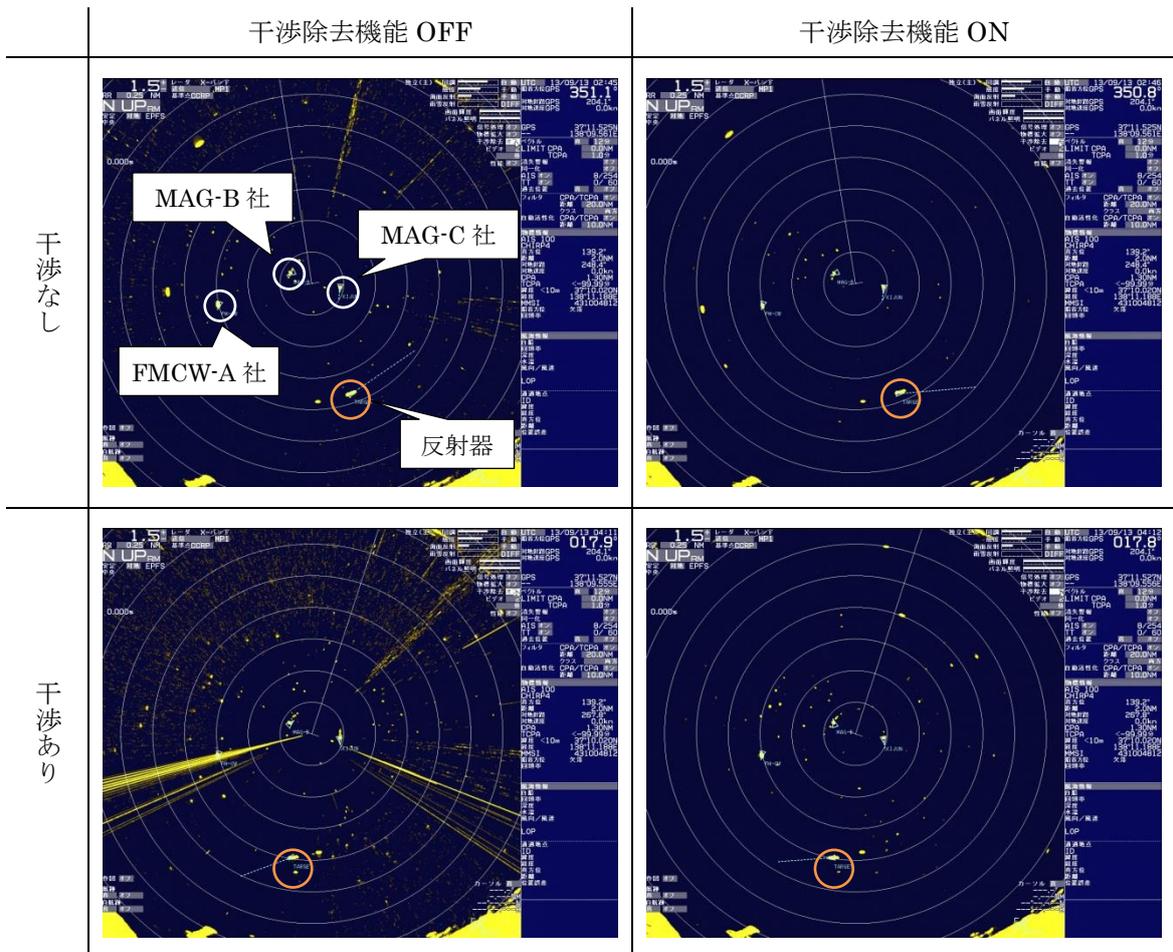


図 3.8-2 実験 8-1 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定-2)

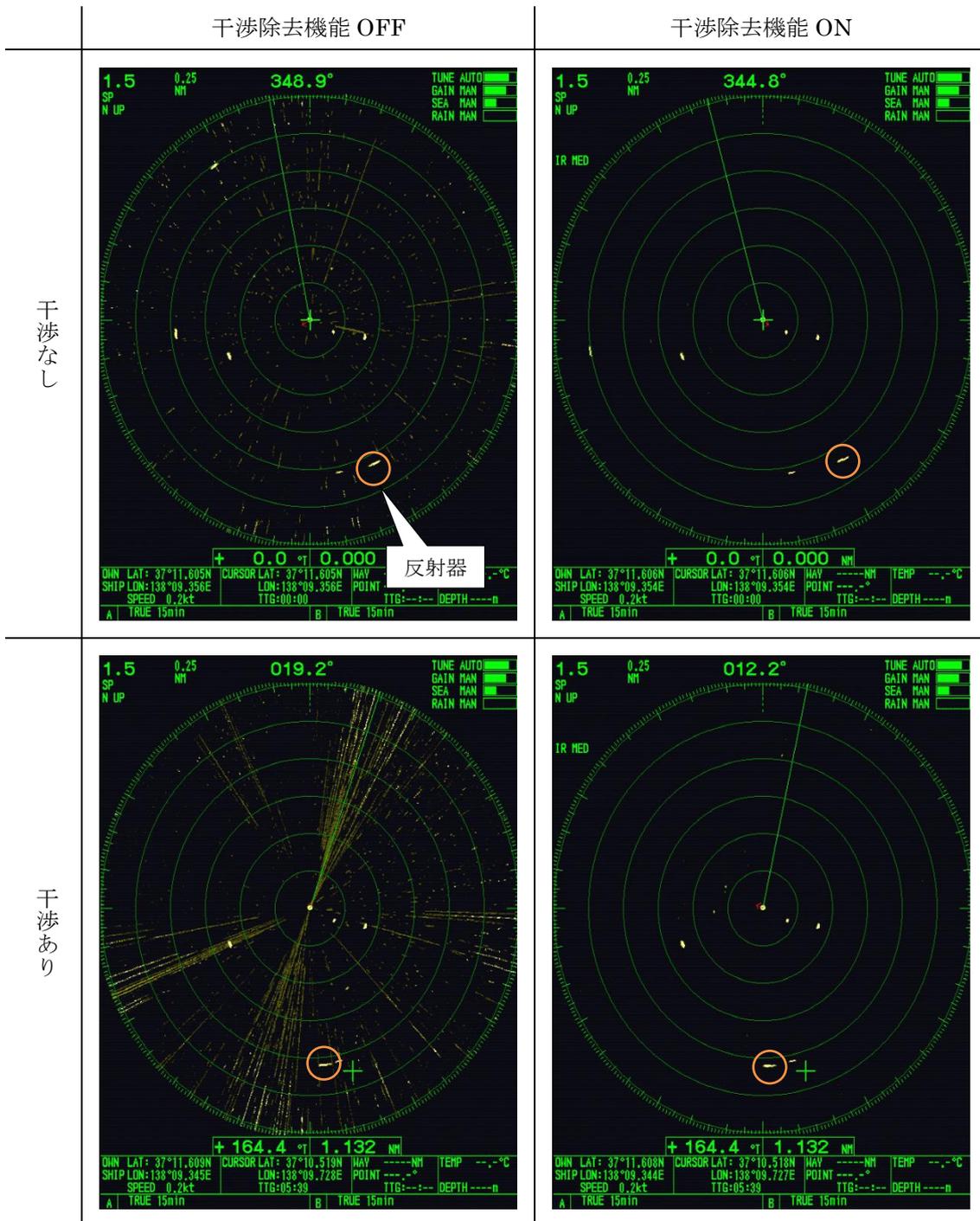
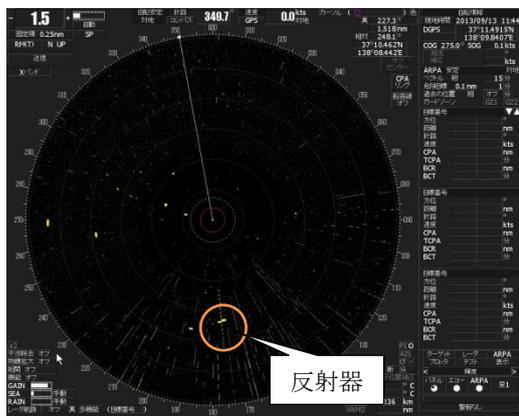


図 3.8-3 実験 8-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-5)

干渉除去機能 OFF

干渉除去機能 ON

干渉なし



干渉あり



図 3.8-4 実験 8-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-9)

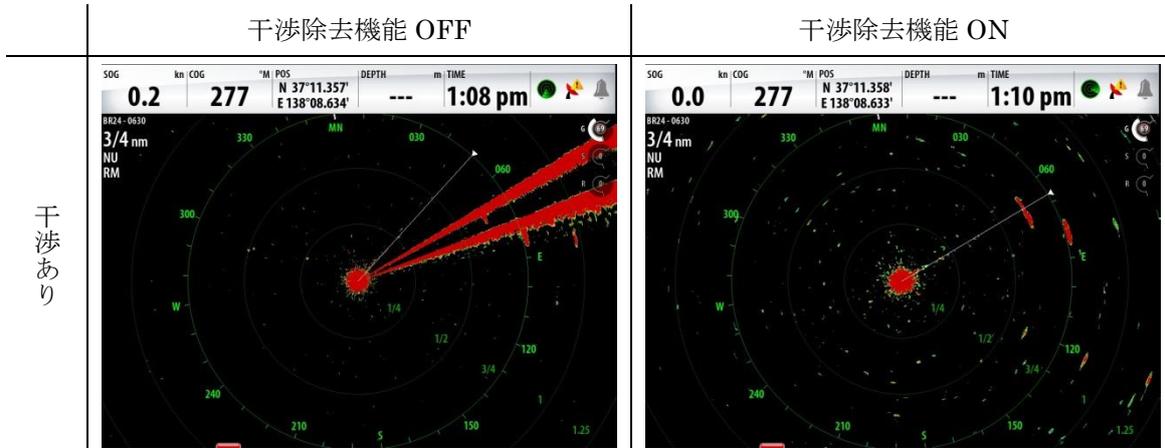


図 3.8-5 実験 8-1 におけるレーダー画面 (FMCW-A 社、設定-12)

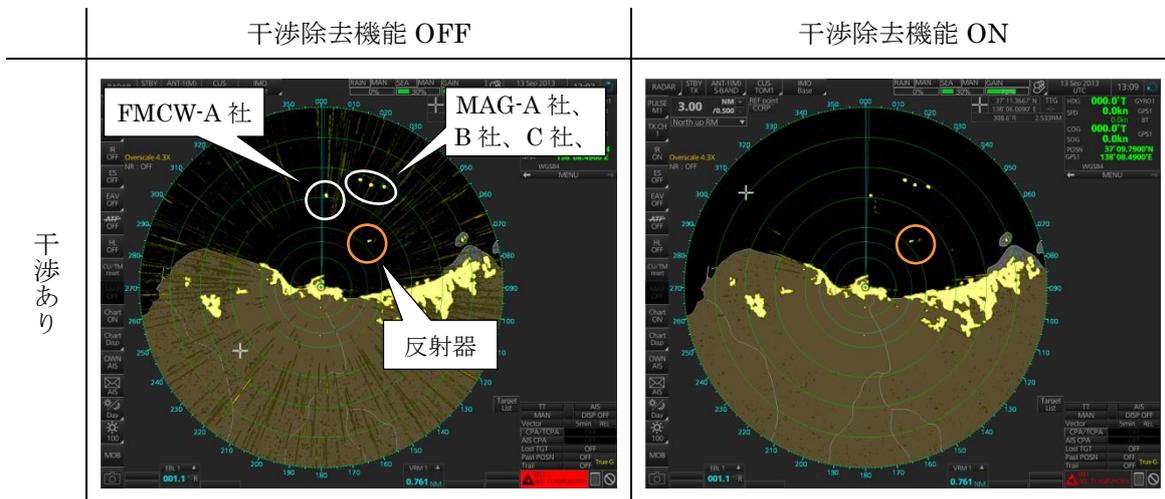


図 3.8-6 実験 8-1 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)

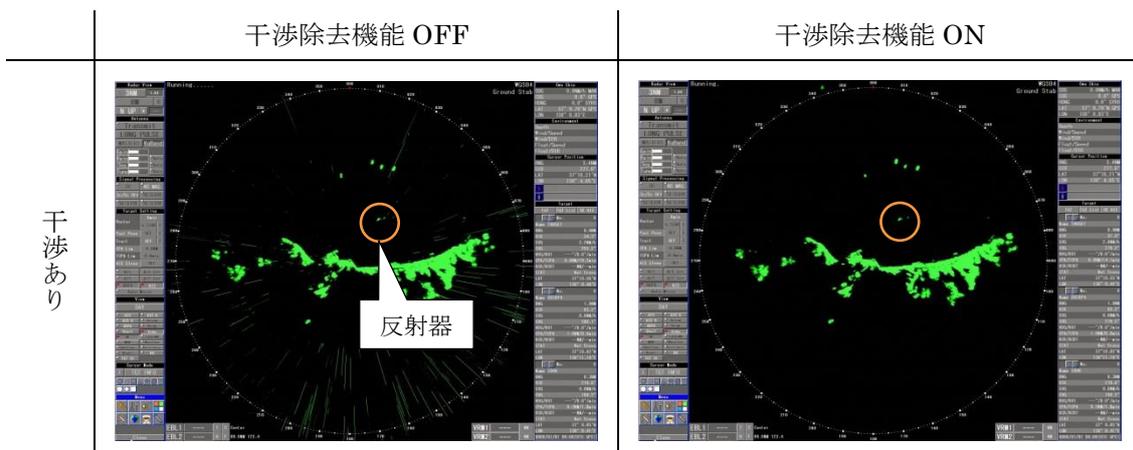


図 3.8-7 実験 8-1 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)

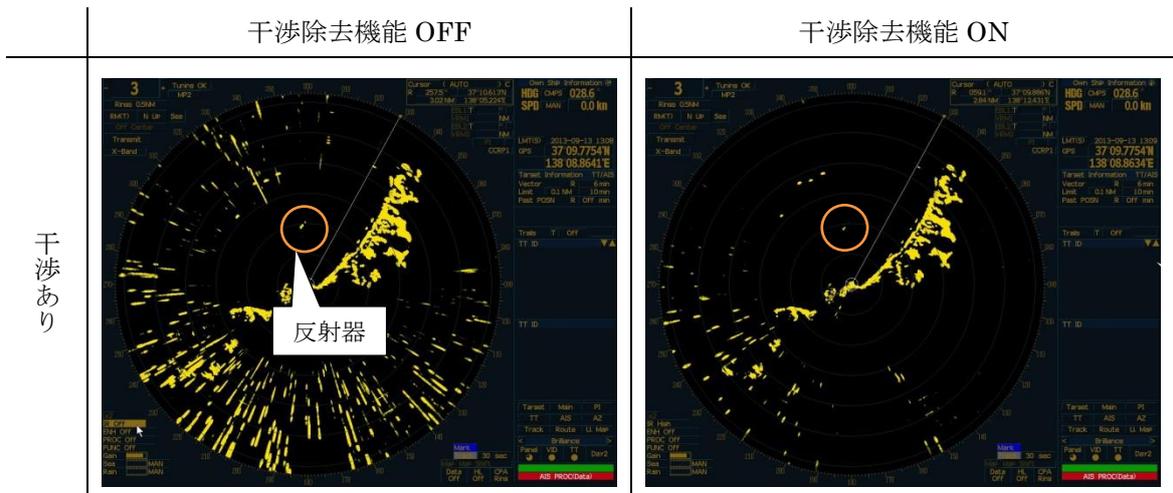


図 3.8-8 実験 8-1 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定・20)

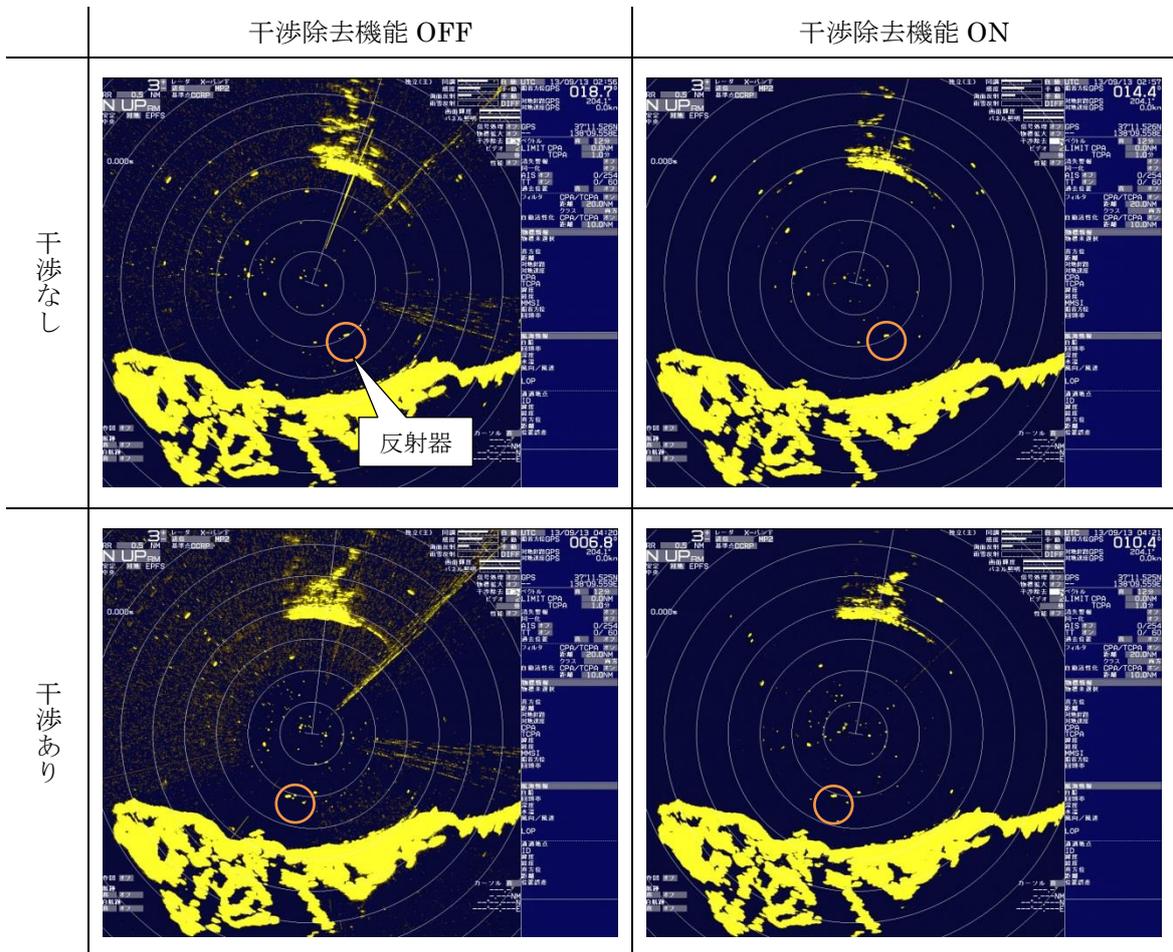


図 3.8-9 実験 8-2 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定・3)

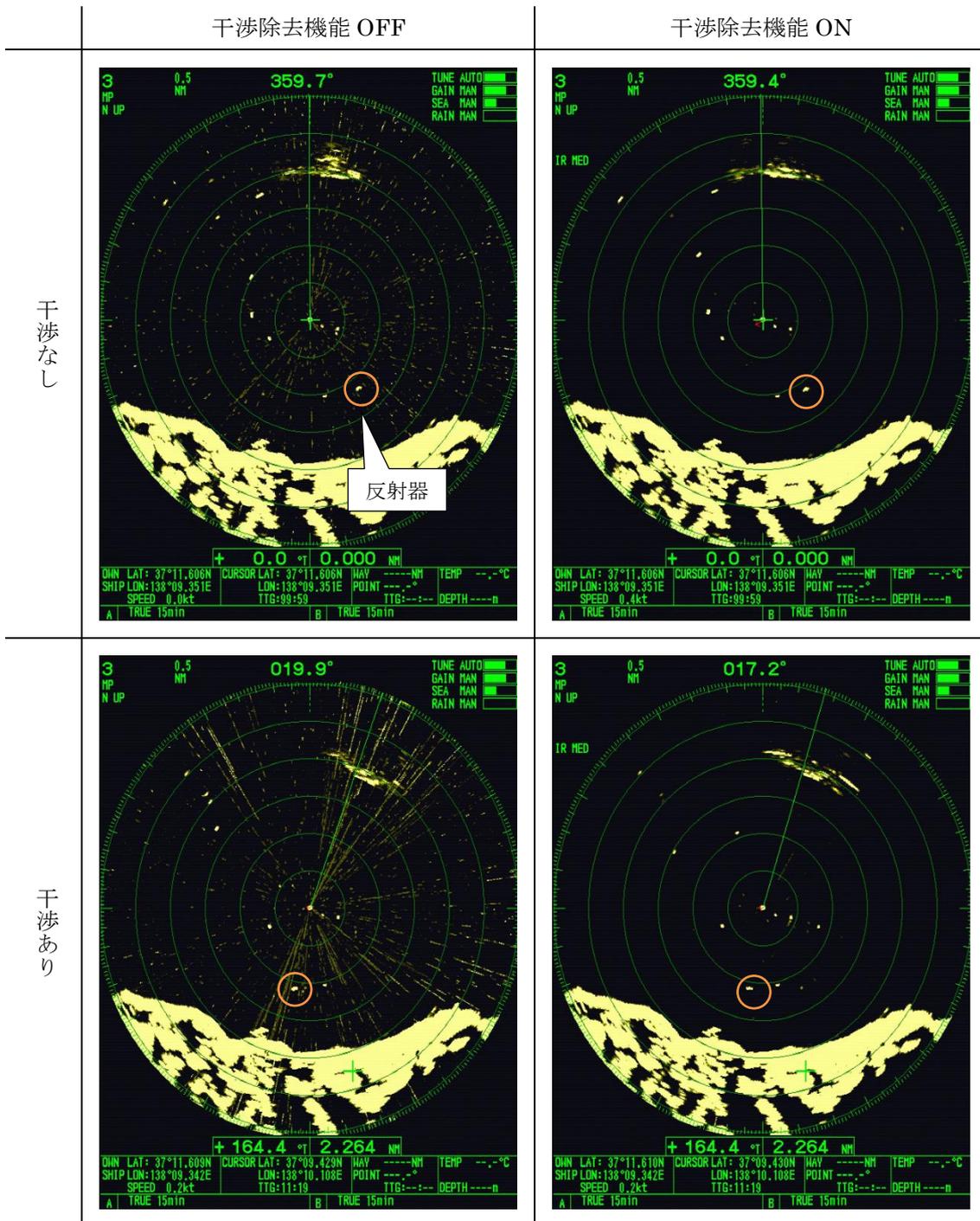
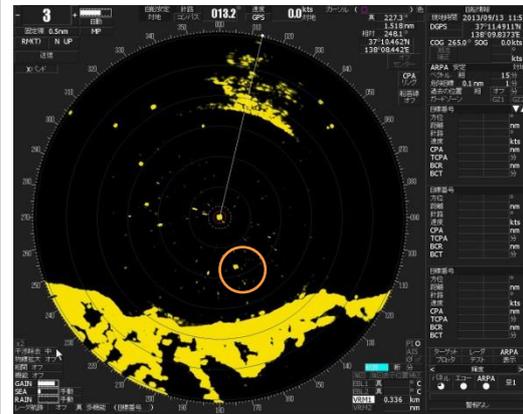
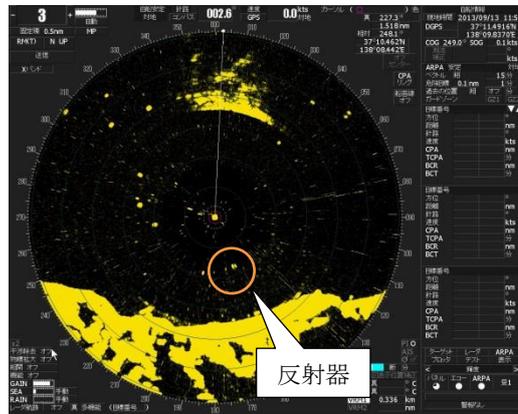


図 3.8-10 実験 8-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)

干渉除去機能 OFF

干渉除去機能 ON

干渉なし



干渉あり

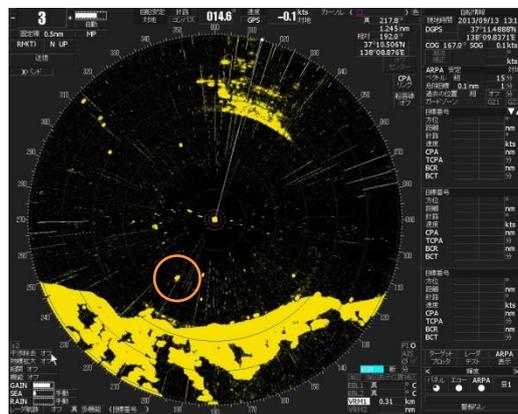


図 3.8-11 実験 8-2 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)



図 3.8-12 実験 8-2 におけるレーダー画面 (FMCW-A 社、設定-12)

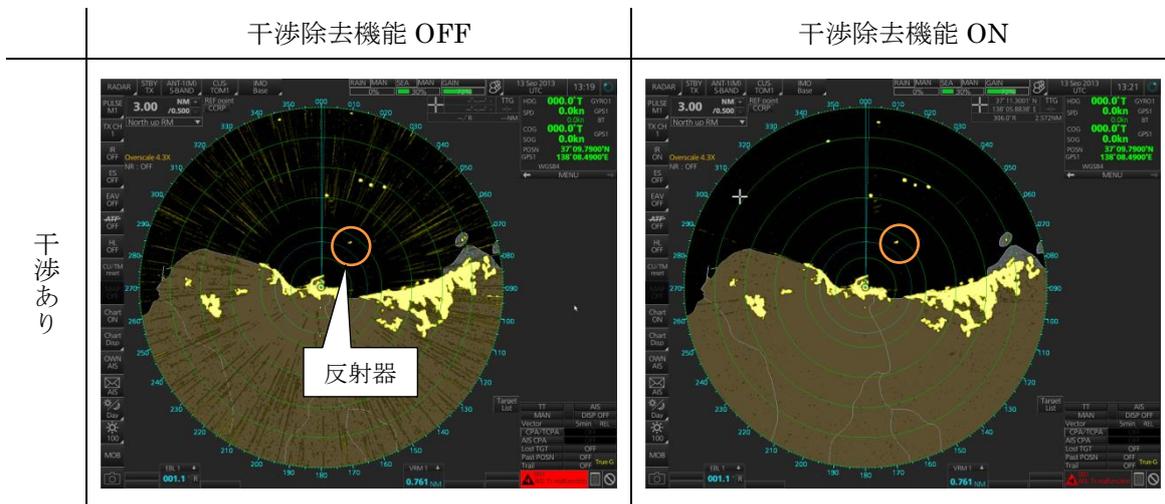


図 3.8-13 実験 8-2 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)

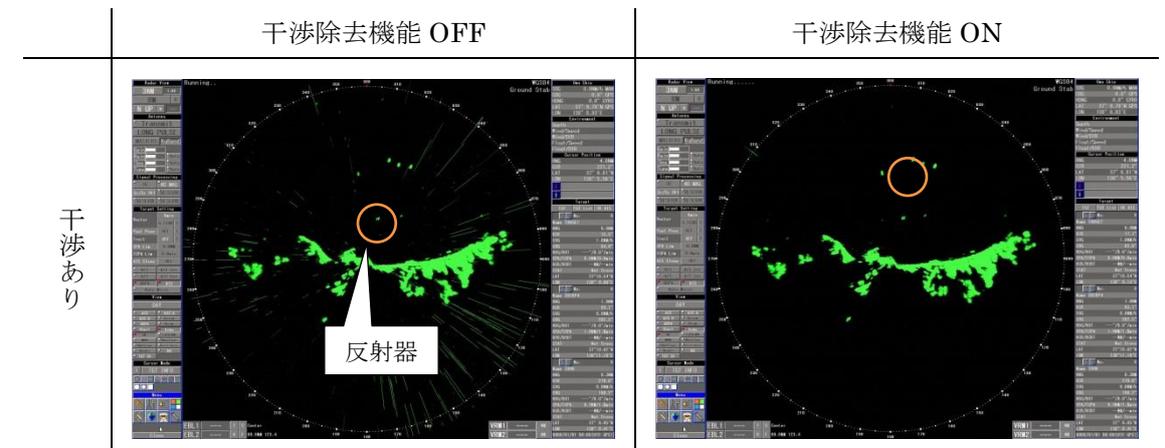


図 3.8-14 実験 8-2 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)

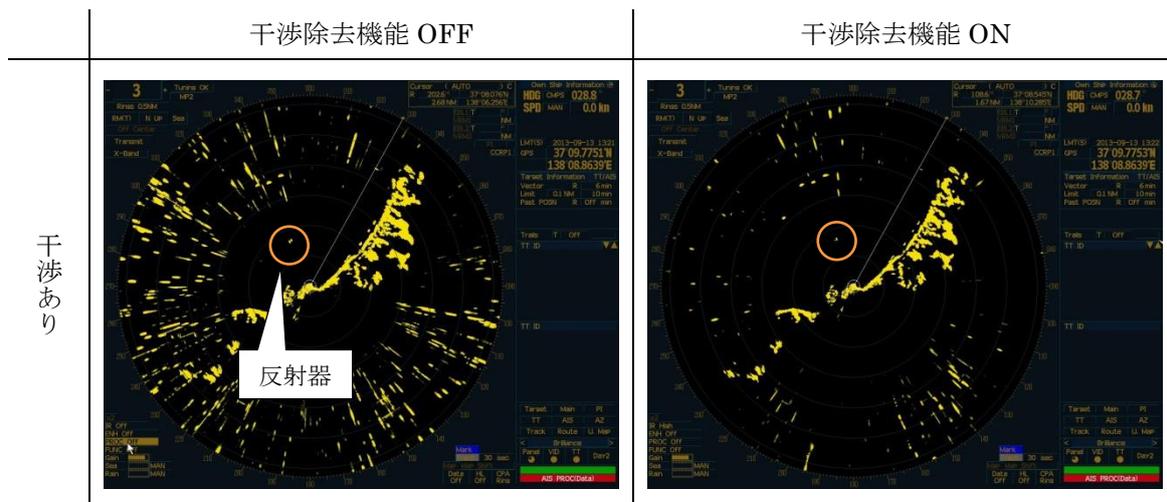


図 3.8-15 実験 8-2 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)

### 3.8.5 実験 8 のまとめ

マグネトロンレーダー3台、固体素子レーダー4台、FMCWレーダー1台を同時に使用した場合、各レーダーには、干渉の影響により放射状の雑音が観測されたが、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できることを確認した。

同時に使用するレーダーが多い場合には、放射状の雑音がレーダー画面を占める割合は高くなることを観測した。

### 3.9 実験9 (SARTの信号探知に関する調査) について

実験9では、捜索救助用レーダー・トランスポンダーの応答と表示について、固体素子レーダーの画面を観測して評価を行った。

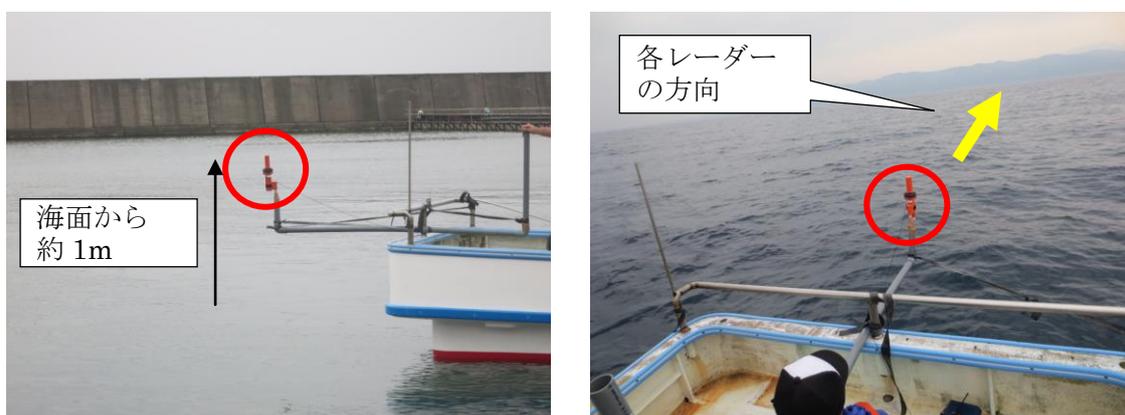
#### 3.9.1 実験内容の詳細と観測結果

捜索救助用レーダー・トランスポンダー (Search And Rescue Transponder : 以下 SART という) の応答と表示に関する評価を行った。

固体素子レーダーの電波を SART に照射して、SART が応答することおよびレーダー画面上に表示された状態を観測した。実験では、海上に設置した SART と固体素子レーダー (SS-B 社・1/SS-D 社/SS-E 社) を使用した。また、マグネトロンレーダー (MAG-B 社)、FMCW レーダー (FMCW-A 社) についても固体素子レーダーと比較するため、SART の表示と応答の状態について観測した。なお、実験で使用した SART は、無線設備規則 (昭和 25 年 11 月 30 日電波監理委員会規則第 18 号) 第 45 条の 3 の 3 第 1 項第 2 号第二号の規定に基づき 1 回の応答送信を 12 回の周波数掃引で信号を構成する標準の SART を 8 回の周波数掃引に改造したものを使用した。

#### 3.9.2 SART の設置状況

実験時における SART の設置状況を図 3.9-1 に示す。SART は海面から約 1m の高さで設置した。実験時は、各レーダーから SART が常に見えるよう船尾に設置した。



(a) 船尾への設置

(b) 実験時の設置

図 3.9-1 SART の設置状況

### 3.9.3 SART の電気的特性

本実験で使用した SART の電気的特性を表 3.9-1 に掲げる。実効受信感度の詳細は付属資料に述べるが、電波暗室内にて温度一周波数特性を測定した。また、SART の外観を図 3.9-2 に示す。

表 3.9-1 SART の電気的特性（実測値）

項目	仕様								
型名	TBR-610								
応答表示	レーダー波を受信することにより、応答信号を発射し、可視又は可聴モニターによる応答表示が動作すること。								
実効受信感度の概略	温度 25° の時の条件 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>9353MHz</td> <td>-50.8dBm</td> </tr> <tr> <td>9410MHz</td> <td>-50.6dB</td> </tr> </table> 温度 55° の時の条件 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>9353MHz</td> <td>-50.2dBm</td> </tr> <tr> <td>9410MHz</td> <td>-49.9dBm</td> </tr> </table>	9353MHz	-50.8dBm	9410MHz	-50.6dB	9353MHz	-50.2dBm	9410MHz	-49.9dBm
9353MHz	-50.8dBm								
9410MHz	-50.6dB								
9353MHz	-50.2dBm								
9410MHz	-49.9dBm								
実効輻射電力	955mW (+29.8dBm) ,								
電波の発射時間	63.6 $\mu$ s								
掃引周波数の範囲	9174MHz~9543MHz								
周波数掃引時間	7.5 $\mu$ s								
周波数掃引回数	8 回								
応答の遅延時間	0.4 $\mu$ s 程度								
掃引復帰時間	0.4 $\mu$ s								



図 3.9-2 SART の外観

### 3.9.4 レーダー方式による SART の応答信号の表示について

ここでは、固体素子レーダーと FMCW レーダーにおける SART の応答信号の表示状態について示す。各レーダー方式の原理の詳細については付属資料に述べる。

#### (1) 固体素子レーダーの場合

固体素子レーダーは、周波数変調をしたパルス幅の広い送信信号を送信して、目標からの反射波を周波数変調に対応したパルス圧縮等の信号処理を行う事で、パルス幅を狭くかつ大きな振幅のパルスに変換する方式である。

固体素子レーダーにおいて、正常時は受信信号の周波数変化特性とパルス圧縮フィルタの周波数変化特性が一致するため、パルス圧縮処理後にパルス幅  $1/B$  のパルス信号が出力される。しかし、受信信号の周波数変化特性とパルス圧縮フィルタの周波数変化特性に不一致が生じた場合、不一致の程度に応じて、パルス圧縮後の出力の距離方向にレンジサイドローブが生じる。この不一致の程度が大きくなるにつれて、レンジサイドローブのレベルが上昇し、最悪条件ではレンジサイドローブがメインローブのレベルと同程度まで上昇する。この場合、受信信号が引き延ばされたような出力となることから、ライン状に表示されることもある。なお、信号処理により SART の応答信号を正常に表示することは可能である。また、SART 信号との周波数変化特性が一致すれば特性差異が小さくなり、距離方向への引き延ばされ方は軽微になると考えられる。

#### (2) FMCW レーダーの場合

本実験で使用した FMCW レーダーは、送信周波数を 9320MHz~9385MHz において 65MHz の帯域を周波数掃引しており、SART の掃引周波数は 9174MHz~9543MHz であることから、0~223MHz のビート周波数が発生する。FMCW レーダーはビート周波数をフーリエ変換し、距離に換算するので、SART を設置した船舶の方向に干渉が入ったような表示となる。実際には FMCW レーダーの AD コンバータのサンプリングレートによって、感度やサンプルするビート信号に違いが生じるため、FMCW レーダーの受信タイミングで送信されていたとしても表示されない可能性も考えられる。

### 3.9.5 SART が応答する距離の観測

本実験で使用した各レーダーの諸元を表 3.9-2 に再掲する。IMO で規定されているレーダーの性能基準 MSC. 192 (79) には、海拔 15m のアンテナの高さを持つことが示されている。MAG-B 社と FMCW-A 社はアンテナを船舶に設置していることよりアンテナの高さはそれぞれ約 2m、約 3m であるため、今回の実験で使用した MAG-B 社および FMCW-A 社は IMO で規定されているレーダーの性能基準を満たしていない。

SART までの距離の変化と受信電力を図 3.9-3 に示す。各レーダーの諸元を用いて、レーダーと SART の距離を変化させた時の海面反射波を考慮した理論計算の結果である。海面反射波については、海面において電波が完全に反射し、位相が反転した状況（反射係数 = -1）として検討した。計算に使用した式の詳細については、付属資料で述べる。なお、MAG-B 社と FMCW-A 社はアンテナ高が低いことから、海面反射波との干渉によるハイトパターンの強弱の変化の間隔は、陸上に設置した固体素子レーダーとは異なる。その結果、図 3.9-3 に示されている理論計算値では、左下に空中線電力の低い FMCW-A 社のハイトパターンが示され、MAG-B 社のハイトパターンが空中線電力、アンテナ利得、アンテナ高の差異に対応した強度で示されている。また、アンテナ高が低い MAG-B 社は見通しが確保される 5.8 海里まで計算を実施した。

本実験で使用した SART の実効受信感度は、 $-50\text{dBm} \pm 2\text{dB}$  程度である。図中には  $-50\text{dBm}$  を赤いラインで表示する。SART の実効受信感度を  $-50\text{dBm}$  とすると、2 海里の距離では図中の赤い円で示すとおり全ての固体素子レーダーで応答し、5 海里の距離では図中の青い円で示すとおり SS-D 社だけが応答することが示された。

固体素子レーダーと SART が 2 海里の距離において、SART の応答状況およびレーダー画面上の表示状況の観測を行い、IMO Resolution A.802(19) で規定されている 5 海里の距離において SART が応答する状況を観測した。

表 3.9-2 レーダーの諸元

	SS-B 社-1	SS-D 社	SS-E 社	MAG-B 社	FMCW-A 社
空中線電力	83W	400W	300W	6kW	100mW
アンテナ利得	31.5dBi	32dBi	29dBi	28dBi	22dBi
アンテナ高	18m	17m	15m	2m	3m

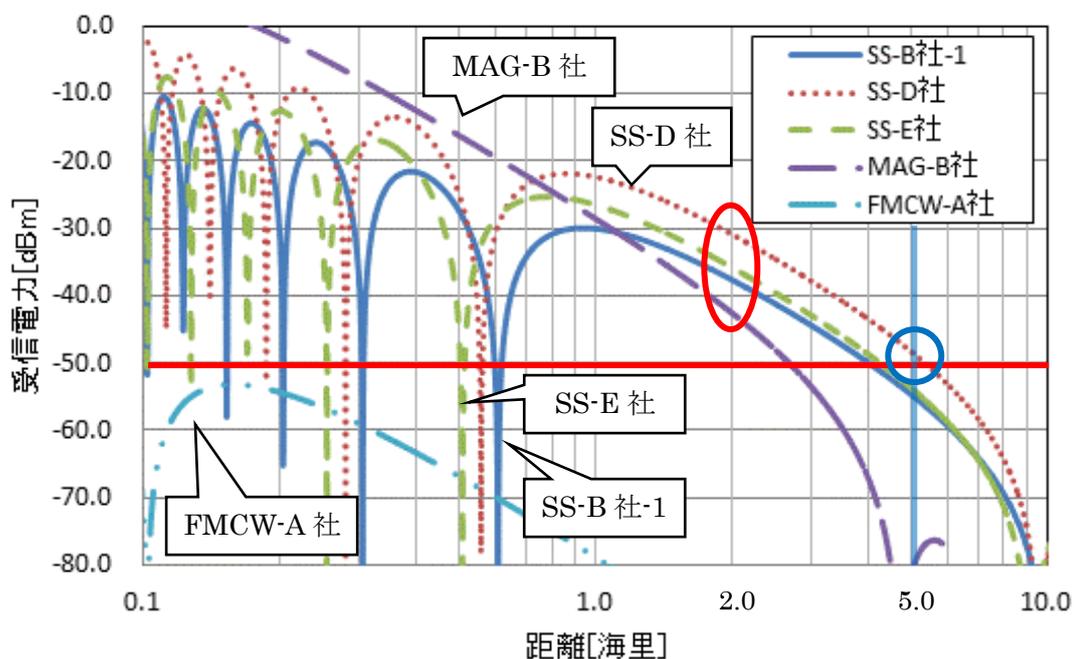


図 3.9-3 SART までの距離の変化と受信電力

### 3.9.6 実験の手順

船舶に SART を設置した後、以下の手順で実験を実施した。

- ① 固体素子レーダーから SART が応答する 2 海里の距離に SART を設置した船舶を停泊。
- ② SART を設置した船舶を 2 海里の距離に停泊させた状況で、各レーダーで SART の応答および表示をレーダー装置で画面を観測して記録した。(AIS 情報を表示可能なレーダー装置については重畳させ記録した。)
- ③ 記録したレーダー画面から、SART の応答と表示の観測、AIS 情報との比較の観測を行った。
- ④ 2 海里でのレーダー画面の記録後、SART を設置した船舶を沖合に移動させながら各レーダー装置で画面を観測して記録した。

### 3.9.7 配置状況

実験 9 における各レーダーの配置状況を図 3.9-4 に示す。

- ・ 固体素子レーダーと応答状況を比較するため、マグネトロンレーダーを設置した船舶は固体素子レーダーに近い陸側に配置した。
- ・ FMCW レーダーは、SART の応答を確認するために距離レンジを 2 海里にし、距離は 0.75 海里に配置した。
- ・ 2 海里の距離における SART の応答と表示の観測後、SART を設置した船舶は沖合の方向（北方向）に固体素子レーダーから 7 海里の位置まで移動した。



図 3.9-4 実験 9 における配置図

### 3.9.8 観測の結果

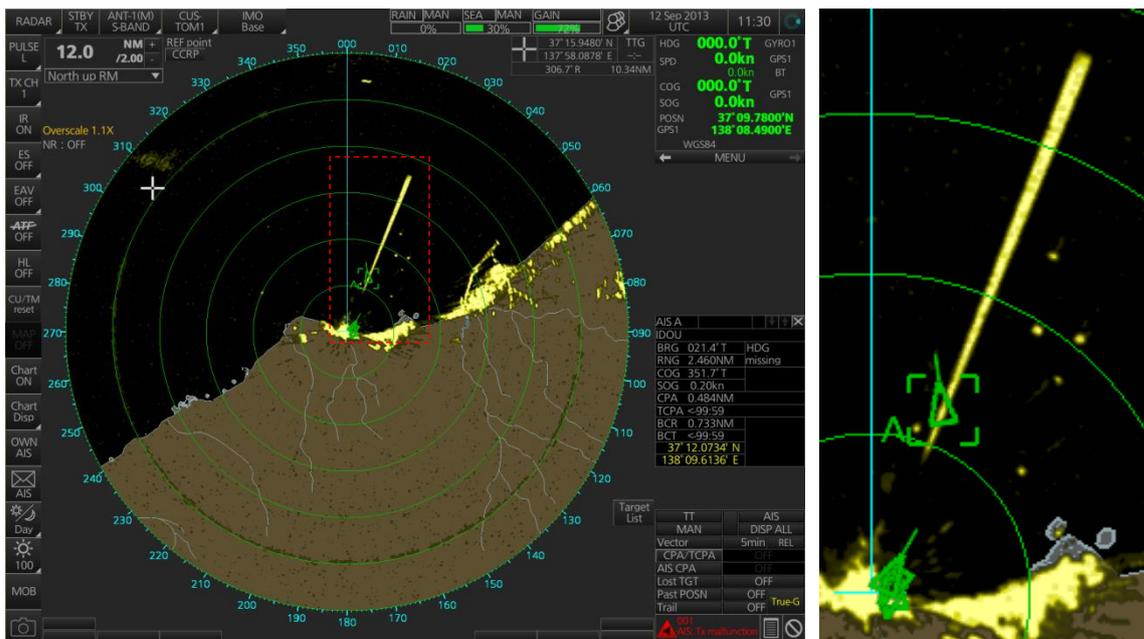
#### 3.9.8.1 レーダー画面における SART の応答表示の観測

SART が応答する約 2 海里の距離で各レーダー画面を記録し、SART の応答表示の状況を観測した。また、SART 信号の開始点にあわせて重畳して表示させている AIS 情報の表示状況も観測した。

##### (1) SS-B 社-1

SS-B 社-1 の SART 信号を表示したレーダー画面の一例を図 3.9-5 に示す。SART 信号の 8 点全てをレーダー画面に表示させるため、距離レンジを 12 海里とした。

SS-B 社-1 のレーダー画面には SART 信号が 8 点ではなくライン状に表示されていることが観測された。また、AIS 情報よりも手前から SART 信号の開始点が表示されていることも観測された。



(a) 12 海里レンジのレーダ画面

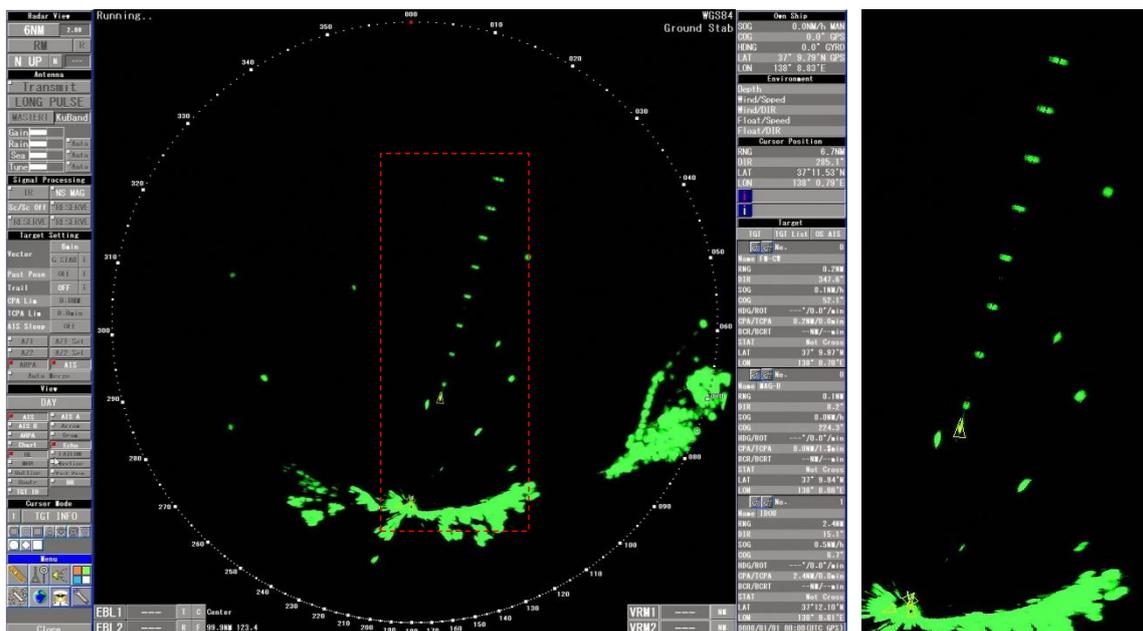
(b) 左図赤枠部分拡大

図 3.9-5 SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (SS-B 社-1)

## (2) SS-D 社

SS-D 社の SART 信号を表示したレーダー画面の一例を図 3.9-6 に示す。SART 信号の 8 点全てをレーダー画面上に表示させるため、距離レンジを 6 海里でのオフセット表示とした。

SS-D 社のレーダー画面には SART 信号が 8 点で表示されたことが観測された。また、SART を設置した船舶の AIS 情報による船舶の表示位置と SART 信号の開始点の位置とが一致しており、所定の SART 信号が表示されていることが観測された。



(a) 6 海里レンジのレーダー画面

(b) 左図赤枠部分拡大

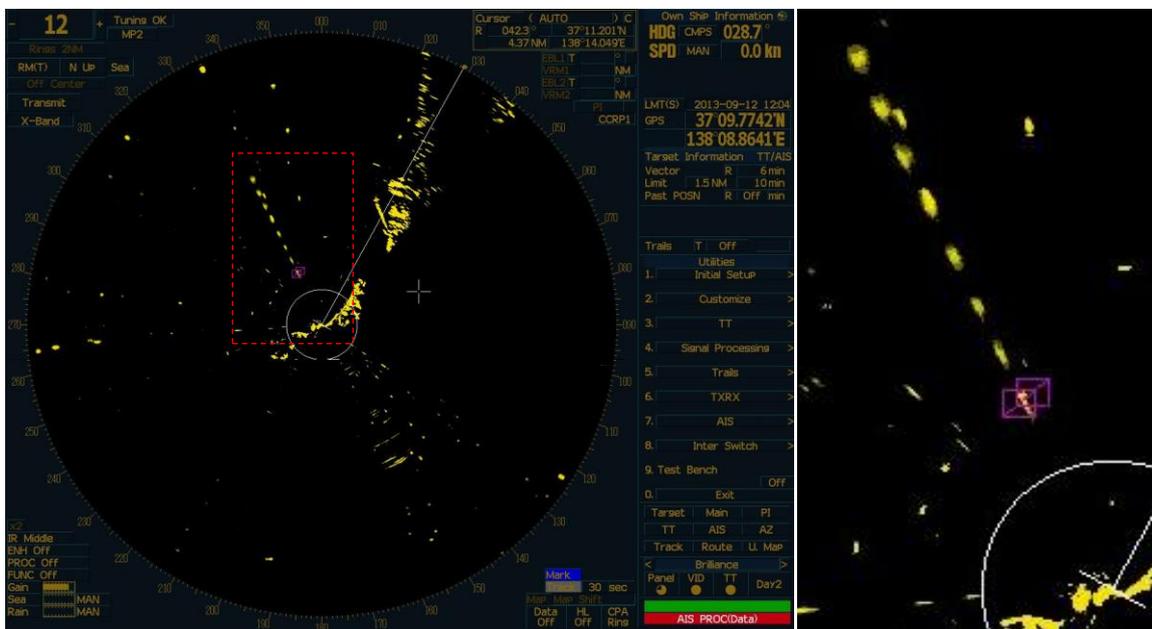
図 3.9-6 SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (SS-D 社)

### (3) SS-E 社

SS-E 社の SART 信号を表示したレーダー画面の一例を図 3.9-7 に示す。SART 信号の 8 点全てをレーダー画面上に表示させるため、距離レンジを 12 海里とした。

本実験で使用した SS-E 社は、AIS 情報をレーダー画面に表示させることはできたが、機器の性能上、重畳させたレーダー画面を記録することはできなかった。そこで、重畳させてレーダー画面を記録することができるマーカ（図中の赤いマス）を用いることで当該船舶の位置に AIS 情報の代わりにマーカを表示させて記録を行った。

SS-E 社のレーダー画面には SART 信号が 8 点で表示されていることが観測できた。ただし、AIS 情報に基づいて示すマーカ位置よりも手前から SART 信号の開始点が表示されていることが観測された。



(a) 12 海里レンジのレーダー画面

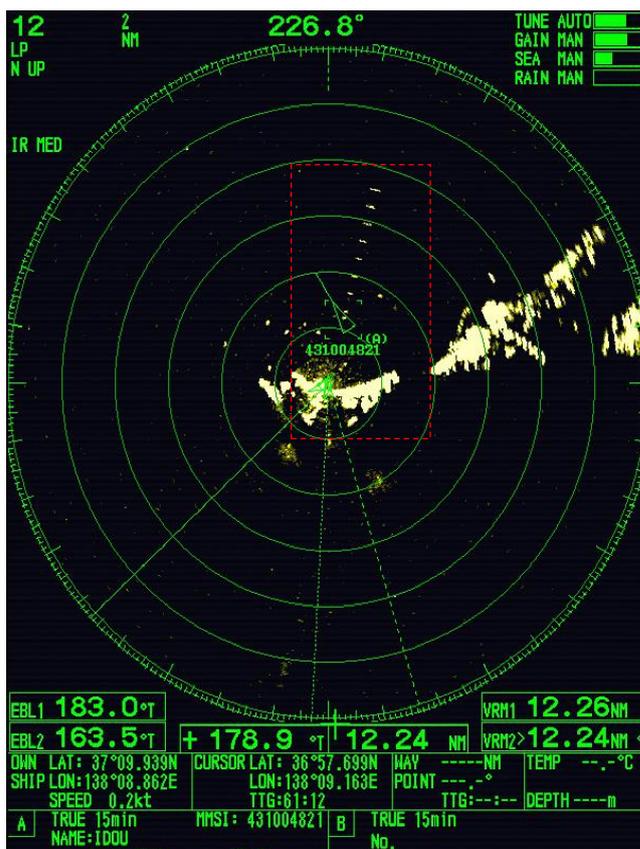
(b) 左図赤枠部分拡大

図 3.9-7 SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (SS-E 社)

#### (4) MAG-B 社

MAG-B 社の SART 信号を表示したレーダー画面の一例を図 3.9-8 に示す。SART 信号の 8 点全てをレーダー画面上に表示させるため、距離レンジを 12 海里とした。

MAG-B 社のレーダー画面には SART 信号の 8 点が表示されていることが観測された。また、SART を設置した船舶の AIS 情報に基づく船舶の表示位置と SART 信号の開始点の位置が一致していることから、所定の SART 信号が表示されていることが観測された。



(a) 12 海里レンジのレーダー画面



(b) 左図赤枠部分拡大

図 3.9-8 SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (MAG-B 社)

(5) FMCW-A 社

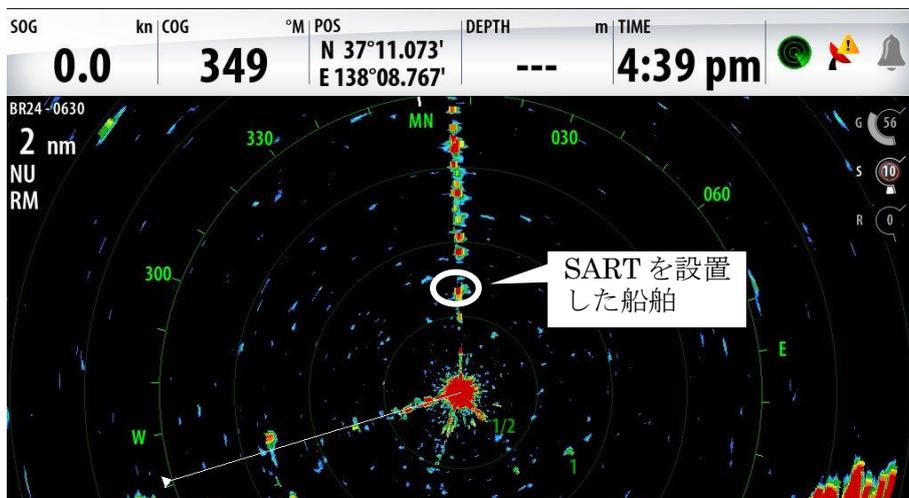
FMCW-A 社の SART 信号が表示されたレーダー画面の一例を図 3.9-9 に示す。FMCW-A 社の距離レンジは最大の 2 海里とした。

本実験で使用した FMCW-A 社と AIS の組合せでは、AIS 情報をレーダー画面に重畳させて記録することはできなかった。そこで、SART を設置した船舶のみが表示されたレーダー画面 (a) と SART が表示されたレーダー画面 (b) を比較し、SART を設置した船舶の位置と SART 信号の開始点の比較を行った。

実験では信号処理や受信タイミングにより、図 3.9-9 のように SART の応答信号が表示された。ただし、SART 信号が表示されたレーダー観測画面は、記録した画面の中の数枚である。さらに、海面反射波を考慮した理論計算では、本実験で使用した FMCW レーダーでは SART が応答可能な受信電力には至らないため、図 3.9-9 の SART 信号の表示は他のレーダーによって SART が応答し、FMCW レーダーの画面に表示された。



(a) 0.75 海里位置における SART を設置した船舶の表示画面



(b) 0.75 海里位置における SART 表示

図 3.9-9 SART 信号が表示されたレーダー画面の一例

### 3.9.8.2 5 海里の距離における SART の動作と応答率の考察

IMO Resolution A.802(19)には、アンテナ高 15m で 5 海里の距離で SART が応答することが示されている。この規定に基づいて、固体素子レーダーと SART との距離が 5 海里の場合における SART の応答動作の観測を行った。本実験では、SART の応答動作を評価するにあたり、IMO レーダー性能基準の MSC.192 (79) に記載された検出性能を参考に、レーダー画面に SART が表示される割合を求めて検討を行った。なお、MAG-B 社および FMCW-A 社については、アンテナ海拔高が約 2m であり、IMO に規定されるレーダーに該当できないことから、応答率は固体素子レーダーについてのみ求めることとした。

本報告書では SART を設置した船舶が 5 海里の距離における各レーダーが観測したレーダーの観測画面数中に SART 信号が表示されたレーダー観測画面数を、応答率と定義して応答率を算出した。応答率の算出式を以下に示す。

$$\text{応答率(\%)} = \frac{X}{Y} \times 100$$

ただし

X : 5 海里の位置における SART 信号が表示された観測画面数

Y : 5 海里の位置における観測画面枚数

SART までの距離が 5 海里における固体素子レーダーの送信出力、アンテナ利得および応答率の算出結果を表 3.9-3 に掲げる。SS-D 社のみ応答率が 100%となった。

本実験で使用した SART の実効受信感度は、設置状態によって概ね±2dB 程度の変化があるため、理論計算上では SART の実効受信感度を下回る SS-B 社-1 についても、低い応答率ではあったが SART が応答していた。

表 3.9-3 応答率の算出結果（固体素子レーダー）

	空中線電力 (dBm)	アンテナ利得 (dBi)	応答率 (%)	
			2 海里	5 海里
SS-B 社-1	49.2	31.5	100%	8%
SS-D 社	56.0	32.0	100%	100%
SS-E 社	54.8	29.0	93%	0%

### 3.9.9 実験9のまとめ

本実験では、固体素子レーダーおよび FMCW レーダーによる SART の応答と表示に関する観測を実施した。

SART の応答表示については、

- ・ SART 信号がライン状に表示され、AIS 情報とは一致していないレーダー画面が観測された。パルス圧縮フィルタの周波数変化特性と一致しない場合、距離方向にレンジサイドローブが生じたためと考えられる。
- ・ その一方、今回の実験で使用した固体素子レーダーはそれぞれ信号処理方式が異なり、SART 信号用の検出フィルタを特別に設定しておく方式などの信号処理を行うことで SART 信号が 8 点で表示され、AIS 情報と SART 信号の開始点が一致したレーダー画面も観測することができた。

このことから、固体素子レーダーにおいては特別な信号処理を行うことでマグネトロンレーダーと同様に SART 信号を表示することができると考えられる。

SART の応答については、

- ・ 固体素子レーダーでも 5 海里の距離で SART が応答することを観測することができた。なお、SART が応答した固体素子レーダー（SS-D 社）は、空中線電力およびアンテナ利得が高いレーダーであった。

SART の応答と表示については、固体素子レーダーにおいてもマグネトロンレーダーと同様の観測ができたレーダーも存在したことから、信号処理や空中線電力の条件が合致すれば IMO の要求条件を満足するレーダーとして使用することができる。

## 第4章 まとめ

本調査検討会においては、情報通信審議会情報通信技術分科会の検討方針のもとに、船舶用固体素子レーダー作業班において、検証が必要とされた項目について実験を実施し検討を行った。実験の結果を踏まえ、各項目における検討結果および考察を以下に述べる。

- ① 大型船舶で大洋航行中の場合、船舶用レーダーで使用する指示器の距離レンジは一般的に 24 海里であるため、距離レンジが 24 海里の場合における干渉に関して検証し、検討する。

(対応・考察)

距離レンジが 24 海里の場合について、干渉に関する検証の確認を行うため、実験 2、8 を実施した。

マグネトロンレーダー1 台と固体素子レーダー1 台を同時に動作させ、固体素子レーダーの距離レンジを 3 海里もしくは 24 海里に設定した場合、マグネトロンレーダーの画面には、干渉除去機能を使用しない場合、干渉の影響により映像上の放射状の雑音が観測された。干渉除去機能を使用することにより、固体素子レーダーの距離レンジに関わらず、映像上の放射状の雑音を消去できた。

マグネトロンレーダー3 台、固体素子レーダー4 台および FMCW レーダー1 台が同時に動作した状況において、固体素子レーダーの距離レンジを 3 海里もしくは 24 海里に設定した。固体素子レーダーの距離レンジに関わらず全てのレーダーにおいて干渉除去機能を使用しない場合、干渉の影響により映像上の放射状の雑音が観測された。干渉除去機能を使用することにより、被干渉レーダーの種類に関わらず映像上の放射状の雑音を消去できた。

- ② SOLAS 条約では、搜索救助用レーダー・トランスポンダー (9GHz) (以下 SART という) からの信号を観測できることが義務付けられているが、固体素子レーダーで信号が観測可能か引き続き検討する。

(対応・考察)

固体素子レーダーで SART からの信号が観測可能かを確認するため実験 9 を実施した。実験の結果からマグネトロンレーダーと同様に SART の応答と表示が観測できた装置もあることから、信号処理や空中線電力等の条件が合致すれば固体素子レーダーも IMO の運用要求条件を満足する。

- ③ 9 GHz 帯を使用する船舶用レーダーは、3GHz 帯を使用する船舶用レーダーよりもはるかに使用台数が多いことから、既存のマグネトロンレーダーへの干渉の条件についてさらに検証する。

(対応・考察)

マグネトロンレーダー3台、固体素子レーダー4台および FMCW レーダー1台を使用し干渉の影響を確認するため実験 2、3、6、8 を実施した。与干渉レーダーが増えると、干渉による放射状の雑音が多く発生したが、干渉除去機能を使用することにより、映像上の放射状の雑音を消去できた。

周波数の違いによる影響の変化を検討するため、被干渉レーダーの受信フィルタの特性を考慮し、与干渉レーダーの送信周波数を変更して実験を行った。干渉除去機能を使用しない場合において、周波数を変更することにより、放射状の雑音を減少させることが観測できた。なお、実験において干渉の有無や干渉除去機能の有無に関わらず反射器が消失したことがあるが、消失は 10 回転中 1 回～3 回であるため、干渉の影響ではなく、電波伝搬における位相干渉条件が変化し反射器からのエコーが減少したことに起因すると考えられる。

実験では、全てのレーダーのパルス繰り返し周波数を合わせることは、レーダーの設計変更のための詳細な検討が必要であり、困難であった。したがって、各レーダーの設定ができるだけ近い値になるように設定し、干渉の影響が顕著に現れる状況で実験を行った。パルス繰り返し周波数が一致した複数のレーダーを同時に使用した場合、放射状の雑音だけでなく、他の雑音が増えることが予想される。雑音が増えた場合には、干渉除去機能により消去することができない可能性もあるため、さらに多くのレーダーが近傍で同時に使用される場合（例えば海峡での輻輳状態等）について、詳細な検討が必要であると考えられる。

- ④ 固体素子レーダーおよびマグネトロンレーダーと FMCW レーダーの使用周波数が異なる場合には、干渉が起きないことが確認されたが、同一周波数の運用による検証が実施されていないことから引き続き検討する。

(対応・考察)

固体素子レーダーおよびマグネトロンレーダーと FMCW レーダーの同一周波数の運用による検証のため、実験 5、7 を実施した。FMCW レーダーが与干渉レーダーとなる場合、被干渉レーダーのマグネトロンレーダーおよび固体素子レーダーの画面に放射状の雑音が発生したが、干渉除去機能を使用することにより、放射状の雑音を消去できた。

与干渉レーダーがマグネトロンレーダーもしくは固体素子レーダーの場合、被干渉レーダーの FMCW レーダーの画面に放射状の雑音が発生したが、干渉除去機能を使

用することにより、放射状の雑音を消去できた。

⑤ ARPA 機能に対する影響の検証

(対応・考察)

ARPA 機能に対する影響の検証のため実験 4 を実施した。実験 4 では固体素子レーダーもしくは FMCW レーダーの 1 台を与干渉レーダーとし、パルス繰り返し周波数やパルス幅を固体素子レーダーにできる限り近付けて設定したマグネトロンレーダーを被干渉レーダーとして、AIS と ARPA の真針路と対地速度のデータとレーダー画面を記録した。記録した AIS と ARPA の真針路と対地速度のデータを比較し、干渉の有無による差がないことを確認した。

## あとがき

本調査検討会においては、これまで情報通信審議会 船舶用固体素子レーダー作業班で検証が必要とされた固体素子レーダーと既存のマグネトロンレーダーおよび FMCW レーダーとの周波数共用条件および干渉（混信）除去の効果等について、マグネトロンレーダー 3 台、固体素子レーダー 4 台および FMCW レーダー 1 台を用い、実際の運用状況を模擬した環境で、海上試験を実施した。

第 4 章 掲記のとおり、予定した検証項目についての検証がなされたものであり、今後、本報告書が技術基準の検討および技術的条件の策定に利用されることを期待する。

最後に、本調査検討会にご参加を賜り、貴重なご意見ならびに検討、審議を頂いた構成員および実験等にご協力頂いた全ての方々に深甚なる感謝の意を表します。