

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報告

諮問第 50 号「海上無線通信設備の技術的条件」

(平成 2 年 4 月 23 日諮問) のうち

「9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件」

航空・海上無線通信委員会

目次

I	検討事項	3
II	委員会及び作業班の構成	3
III	検討経過	3
IV	検討概要	4
	第1章 小型船舶用固体素子レーダーの概要	4
	第2章 検討の内容	5
	第3章 技術的条件の検討	11
	第4章 技術的条件	17
V	検討結果	18
別添 諮問第50号「海上無線通設備の技術的条件」のうち「9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件」		
		19
別紙		
	別紙1 航空・海上無線通信委員会 構成員一覧	20
	別紙2 9GHz帯小型船舶用固体素子レーダー作業班 構成員一覧	21
参考資料 令和3年度 9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討報告書（抜粋）		
		23

I 検討事項

航空・海上無線通信委員会（以下「委員会」という。）は、電気通信技術審議会諮問第50号「海上無線通信設備の技術的条件」（平成2年4月23日諮問）のうち、「9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和のための技術的条件」の検討を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会の構成は、別紙1のとおりである。

検討の促進を図るために、委員会の下に9GHz帯小型船舶用固体素子レーダー作業班（以下「作業班」という。）を設置し、9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件の緩和のための技術的条件についての調査を実施した。

作業班の構成は別紙2のとおりであり、必要に応じて、有識者にも作業班の参加を求めた。

III 検討経過

1 委員会での検討

(1) 第1回委員会（令和5年5月26日）

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和のための技術的条件に関する調査検討の進め方について検討を行った。また、検討の促進を図るために作業班を設置した。

(2) 第2回委員会（令和5年10月25日）

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和に関する報告案の取りまとめを行った。

2 作業班での検討

(1) 第1回作業班（令和5年6月22日）

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和のための技術的条件の検討の進め方について検討した。

(2) 第2回作業班（令和5年8月30日）

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和に向けた検討課題の抽出及び報告案について検討。

(3) 第3回作業班（令和5年9月27日）

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和に関する報告案の取りまとめを行った。

第1章 9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの概要

1.1 9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの概要

我が国における船舶用レーダーは、1950年代に国内での製造が許可されて以降、船舶への搭載が始まり、その後、SOLAS（海上における人命の安全に関する）条約により搭載が義務化されたこともあり、一定規模（総トン数や航行区域により規定）の船舶に航海用レーダーとして普及してきた。

一方、小型船舶を中心とした SOLAS による搭載義務のない漁船やプレジャーボート等への普及についても、海上交通の安全・安心の観点から搭載を促進することが望まれている。

このような中、従前のマグネトロン方式（発振、増幅等の電子回路を構成する素子として真空管の一種であるマグネトロンを使用するレーダー）のものに加え、令和元年の制度改正により導入可能となった固体素子レーダー（マグネトロンの代わりに半導体素子である FET（電界効果トランジスター）を用いた回路を使用するレーダー）が徐々に普及してきており、大型船舶に限らず、小型船舶用の固体素子レーダーの普及も望まれる状況にある。

1.2 検討の背景及び目的

船舶用レーダーは、従前のマグネトロン方式のものに加え、令和元年度の制度改正により導入可能となった S バンド（3GHz 帯）と X バンド（9GHz 帯）の固体素子レーダーが実用化され、大型船舶を中心に徐々に普及してきているが、一方で、小型船舶で使用される固体素子レーダーについては、以下の理由により日本国内における普及が限定的な状況となっている。

1点目は、利用者にとって固体素子レーダーが高価であるという点、2点目は、レーダーが無線機器でありその操作には無線従事者免許が必要になるという点である。

特に、大型船舶で用いるレーダー（無線設備規則第48条第1項のレーダー（以下「第3種レーダー」という。))は空中線電力の規定が無い（空中線電力は探知性能の要件により決まる）ことから、乗組員が無線従事者免許（海上無線通信士、海上特殊無線技士）を有していることが必須であるが、小型船舶では船舶の操縦者等が無線従事者免許を有しておらず、免許を取得することの負担が大きい。そのため、小型船舶へのレーダーの普及を促進するためには、空中線電力を探知性能の要求を満足する必要最小限に抑制し、無線従事者免許を不要とするための使用条件の緩和が望まれている。

しかしながら、現状において、マグネトロン方式の小型船舶用レーダーでは、既にそのような制度化がなされているが、固体素子レーダーでは、送信波形が異なることなどの理由で、マグネトロン方式の制度をそのまま適用することができない状況である。

このため、本件は、実用化されている固体素子を用いた船舶用レーダーのうち、9GHz帯を使用する小型船舶用固体素子レーダー（無線設備規則第48条第3項のレーダー（以下

「第4種レーダー」という。)) について、無線従事者免許を有しない者が操作可能な範囲を拡大するための技術的条件について検討を行うものである。

1.3 現状と問題点

無線設備規則第48条第3項に基づき、1980(昭和55)年郵政省告示第329号(船舶に設置する無線航行のためのレーダーで無線設備規則の規定を適用することが困難又は不合理であるもの及びその技術的条件)で規定された船舶用レーダー、いわゆる第4種レーダーは、小型船舶への普及促進のため運用にあたって従事者資格や定期検査が不要とされている。これはマグネトロンレーダーを対象としたもので、具体的には空中線電力5kW未満のものが該当する。

2019(令和元)年度の制度改正によって9GHz帯の船舶用レーダーにおいて、送信回路の素子として従来のマグネトロンに替えて固体素子を使用することが可能となった。

一方、現行の同告示では固体素子を用いた第4種レーダーに対応する技術基準は、空中線電力が200mW以下とされたため、船舶用レーダーとしての十分な性能を実現することが容易でなく、国内での製品化は遅れており市販の機種はほとんど無い状況である。

このように、告示による無線従事者免許不要の船舶用固体素子レーダーへの対応の遅れは、小型船舶等への固体素子レーダー普及に対して1つの障害となっている。さらに国内メーカーにおける製品化の遅れは、今後、国際間の競争力低下も懸念される。

また、本検討会の直接の目的ではないが、小型船舶等におけるレーダーの使用は、大型の商船等とは異なる状況を考える必要がある。すなわち、プレジャーボートや漁船の操縦者にも簡単に使いこなせるような操作性が望まれる。

第2章 検討の内容

2.1 検討の範囲

船舶用固体素子レーダーの技術的条件のうち、9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和のための技術的条件について検討する。

検討の範囲は表2.1-1の赤枠で囲った部分である。

なお、同表の赤枠以外の部分は、船舶用固体素子レーダーに関して平成31年に改正した現行の関係省令等に記載の技術基準であり、今回の検討は無線従事者不要で操作可能な小型船舶用固体素子レーダーの範囲拡大の実現を目指すものであることから、これらの基準については検討の対象外とする。

表 2.1-1 9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和のため検討範囲

法令により備え付けなければならないレーダー	小型レーダー (パルス幅 22 μ s 以下)	小型パルス圧縮方式 レーダー (パルス幅 22μs 以下)	小型 FM/CW レーダー (パルス幅 22 μ s を超える)
-----------------------	--------------------------------	---	---

一般的条件	国際海事機関（IMO）MSC 決議.192(79)「レーダー装置の性能基準に関する改正勧告」に規定に準拠するものであること。	当該レーダーに要求する性能に応じ、無線設備規則第 48 条の各規定に準拠すること
周波数帯	ア 中心周波数、占有周波数帯幅、周波数の許容偏差は、9,300MHz から 9,500MHz までの周波数帯の内側にすべて含まれるものであること。 イ 中心周波数については、特に指定をしないこととすること。	
電波の型式	PON、QON 又は VON であること。	F3N 又は QON であること。
パルス幅	PON 電波を使用する場合 1.2 μ s 以下 QON 電波又は VON 電波を使用する場合 22 μ s 以下	検討対象 22 μ s を超え 2ms 以下あること。
空中線電力	特段規定しない ^{※1}	検討対象 200mW を超えないこと。
パルス繰り返し周波数	3,000Hz（変動率の上限は+25%とする。）を超えないこと。	
干渉防止のための措置	QON 電波又は VON 電波を使用する場合は、他のレーダーに対して有害な干渉を防止する適当な措置を講じること。	他のレーダーに対して有害な干渉を防止する適当な措置を講じること。 ^{※2, 3}
測定法	測定法は、日本産業規格 JIS F0812「船舶の航海と無線通信機器及びシステム—一般要求事項—試験方法及び試験結果要件」、IEC62388「航海用レーダー—性能要件—試験方法及び試験結果要件」等に規定されている測定方法であること。	

※1 レーダーは空中線利得やパルス幅に応じて EIRP で探知性能を求めため、マグネトロン同様、技術的条件において空中線電力の規定はしない

※2 他のレーダーへの干渉を軽減するために、サイドローブ特性を十分に考慮することが望ましい

※3 空中線電力の緩和に伴い、DUTY 比、平均電力、パルスエネルギーに関する規定を追加。（検討対象）

2.2 具体的な検討項目

委員会では、9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの使用条件緩和のため、以下の項目について検討を行った。

- (1) 空中線電力
- (2) パルス幅
- (3) 干渉防止のための措置

2.3 検討結果

2.3.1 過去の調査検討と制度化の経緯

船舶用固体素子レーダーは、諮問第 50 号「海上無線通信設備の技術的条件」（平成 2 年 4 月 23 日諮問）のうち、「船舶用固体素子レーダーの技術的条件」として、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において検討が行われ、平成 24 年及び平成 28 年にそれぞれ一部答申がなされている。

平成 24 年の一部答申においては、固体素子レーダーの技術的条件の基礎が示され、3GHz 帯船舶用固体素子レーダーの制度化がなされた。当該制度化において、電波の型式に関して PON に加え QON を使用する場合に他のレーダーに対して有害な混信を防止する適当な措置として、次の条件が挙げられている。

- ・ PON 及び QON を組み合わせて使用する場合
 - ア PON のパルス幅は、 $1.2\mu\text{s}$ 以下であること。
 - イ QON のパルス幅は、 $22\mu\text{s}$ 以下であること。
 - ウ 繰り返し周波数は 3000Hz を超えないこと。また、他のレーダーと繰り返し周波数が同一の場合、繰り返し周波数を変動する機能を有し、かつデフォルトオンにすること。ただし、繰り返し周波数の変動率は、 $\pm 25\%$ を超えないこと。
 - エ デューティーサイクルは、 3.1% 以下であること。
 - オ 空中線電力は、尖頭電力で 250W 以下であること。
 - カ 1 秒当たりの平均電力は、 5.8W を超えないこと。
 - キ 尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は、 $5.5 \times 10^{-3} (\text{J})$ を超えないこと。

平成 28 年の一部答申においては、 9GHz 帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件が示され、第 4 種レーダーについても制度化がなされた。第 4 種レーダーに相当する固体素子レーダーは、昭和 55 年郵政省告示第 329 号を改正する形で追加され、同告示中の第一項第 1 号に以下のように定義されている。

※ 昭和 55 年郵政省告示第 329 号第一項第 1 号

空中線電力が二〇〇ミリワット以下のもの（ 9GHz 帯の周波数の電波を使用するレーダーであつて、電波法施行規則（昭和二十五年電波監理委員会規則第十四号。以下「施行規則」という。）第三十一条第二項第一号から第四号までに掲げるものに替えて半導体素子を使用するものに限る。）

また、使用するパルス幅は、FM/CW 方式の場合と、FM/CW 方式を除く場合とに分けて同告示第二項第 1 号（六）に下記のように定義された。

※ 昭和 55 年年郵政省告示第 329 号第二項第 1 号（六）

PON 電波のパルス幅は一・二マイクロ秒以下、QON 電波（FM/CW の場合を除く。）のパルス幅は二マイクロ秒以下及び QON（FM/CW の場合に限る。）又は F3N 電波の周波数掃引時間は二マイクロ秒を超え二ミリ秒以下であること。

FM/CW の場合と、それ以外（パルス圧縮方式）の二つが定義されたが、それらの空中線電力の上限値は、FM/CW 方式のレーダーを前提として一部答申された 200mW にまとめられ、現行制度となった。

船舶用レーダーの区分の概要を図 2.3-1 に示す。マグネトロンレーダーでは、船舶安全法第 2 条第 1 項の規定に基づく命令により、①船舶に備えなければならないレーダー、②無線設備規則第 48 条第 1 項のレーダー（以下「第 3 種レーダー」という。）及び③第 4 種レーダー、の 3 区分であったものが、固体素子レーダーにおいては、第 4 種レーダーの部

分が FM/CW の場合と、FM/CW を除く場合とに分けられたことから、現状では同図の右側のとおり 4 区分となっている。

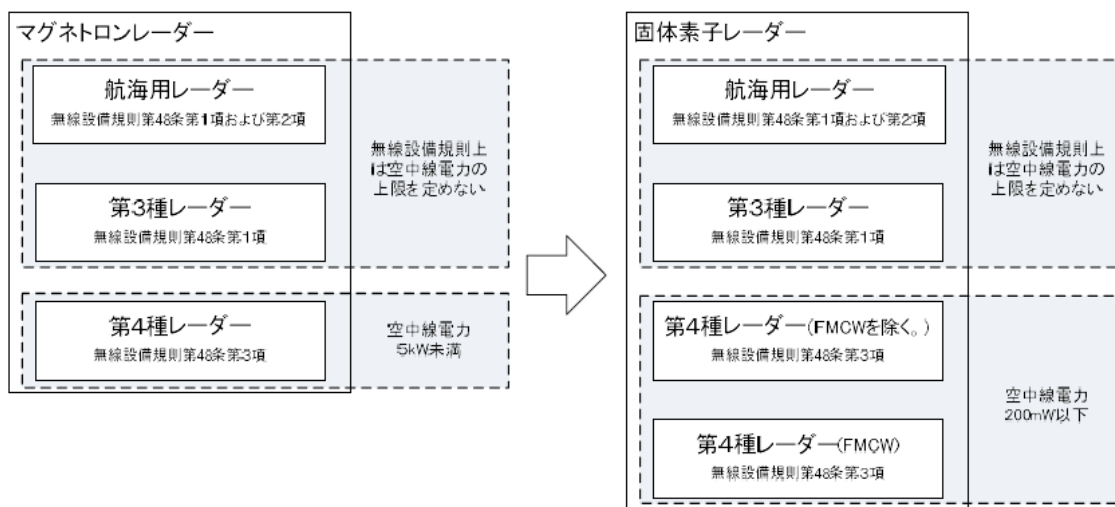


図 2.3-1 9GHz 帯船舶用レーダーの区分

2.3.2 船舶用固体素子レーダーの国内普及動向

船舶用固体素子レーダーの国内普及動向の例示として、令和5年7月末時点での工事設計認証件数を表 2.3-1 に示す。第4種レーダーの固体素子レーダーは認証取得件数が「0件」となっている。

証明規則第2条第1項に掲げる号	設備概要	認証件数
第28号の3	設備規則第48条第1項のマグネトロンレーダー（第3種レーダー）	500
第28条の4	設備規則第48条第1項の固体素子レーダー（第3種レーダー）	77
第29号	設備規則第48条第3項のマグネトロンレーダー（第4種レーダー）	195
第29号の2	設備規則第48条第3項の固体素子レーダー（200mW以下）（第4種レーダー）	0

表 2.3-1 国内の工事設計認証件数（令和5年9月時点）

2.3.3 諸外国の現状と動向

民生向けの小型船舶用固体素子レーダー（パルス圧縮方式）は、平成27年に Navico inc.（ノルウェー）から空中線電力 25W の機種が発売されたことを皮切りに海外の主要メーカーである Garmin Ltd.（米国）、Raymarine（現 FLIR、米国）の3社から相次いで市場投入された。2021（令和3）年時点で各社の船舶用レーダーの製品展開は固体素子レーダー

を主軸としたものとなり、わが国を除くサービス提供国での固体素子レーダーの販売比率は高いものと推定される。表 2.3-2 に各社の代表製品を示す。すべての機種がパルス圧縮方式であり、空中線電力は 10~250W の製品展開となっている。なお、パルス幅や繰り返し周波数が現行の国内基準を満足しないものがある。

メーカー名	GARMIN	Navico	Raymarine (現 FLIR)
空中線電力	50W/120W/250W	10W/25W	20W/55W/110W
送信パルス幅	0.04~65 μ s	0.04~96 μ s	0.04~79 μ s
繰り返し周波数	情報無し	520~2882 Hz	2083~4800 Hz

表 2.3-2 諸外国の小型船舶用固体素子レーダーの例

2.3.4 FM/CW レーダーの現状

平成 28 年度の情報通信審議会一部答申においては、第 4 種レーダーに相当する固体素子レーダーは FM/CW 方式のものしか実用化されていなかったことから、第 4 種レーダーに対応する技術基準は FM/CW 方式を前提としたものとなった。しかし、その後、民生向けに販売開始されたレーダーで FM/CW 方式を採用したものは世界的にも無くなり、検討時に北米・欧州で販売されていた FM/CW レーダーは工事設計認証を取得することなく生産中止となった。そのため、国内で入手可能な固体素子を用いた第 4 種レーダーは登場することなく、長期にわたって存在しない状態となっている。

2.4 干渉防止のための措置

2.4.1 他の船舶用レーダー及び無線局に対する干渉防止のための措置

平成24年及び平成28年の情報通信審議会一部答申の際の航空・海上無線通信委員会報告における他の船舶用レーダーとの共用検討結果及び参考資料に示すフィールド検証試験の結果を鑑み、電波の型式「PON」および「QON」を組み合わせる場合（単独での使用や同じ電波の型式の組み合わせを含む）は、他の無線システムに与える干渉を考慮し、平均EIRPが過大とならないために以下の規制を設けることが望ましい。

- ・過去の調査検討において示された値に適合すること。
- ・デューティサイクルは、3.1%以下であること。
- ・1秒当たりの平均電力は、5.8Wを超えないこと。
- ・尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は、 5.5×10^{-3} (J) を超えないこと。

また、他の船舶用レーダーに与える干渉を考慮すると、同期性の干渉（与干渉側レーダーと被干渉側レーダーの繰り返し周波数が同じとなる干渉）となる場合は干渉除去機能でも干渉縞を取り除くことが困難となる場合があるが、この対応方法として、ジッタ等の繰り返し周波数制御と干渉除去機能を用いることにより、減少・防止を図ることが必要である。

2.4.2 衛星（BS）放送に対する干渉の検証

衛星放送は、11GHz 帯の放送衛星からの電波を家庭等に設置されたパラボラアンテナで受信するが、この周波数のままで給電線を経て BS チューナーまで伝送するには減衰が大きく困難であることから、アンテナに取り付けられた局部発振器から出る 10,678MHz の信号と受信信号を混合し、1GHz～1.5GHz 帯の中間周波数（BS-IF）に変換し、その周波数の信号を同軸ケーブルを通じて受信機に伝送している。

そのため、この局部発振器の周波数と中間周波数との差が 9GHz 帯のレーダー用周波数と同一となり、干渉の恐れがある。

一方、当該干渉問題については、平成 28 年度の情報通信審議会一部答申の際の航空・海上無線通信委員会報告において、以下のとおり検討結果を示しており、今回の技術的条件の検討に際しては、平成 28 年度の検討の範囲を超えるものではないことから、今回の検討においても当該答申を踏襲することとする。

なお、平成 28 年度の一部答申において、船舶用固体素子レーダーの運用上の留意点とされた以下の事項については、引き続き留意していくことが望ましい。

【船舶用固体素子レーダーの運用上の留意点】

船舶固体素子レーダーから衛星放送への受信障害（BS-IF への干渉）について、発生する可能性が高くなる状況は、主に以下の二つのケースが考えられる。

- (1) 船舶内に本船用の船舶用固体素子レーダーと BS アンテナを近接した状態で設置している場合
- (2) 港湾内を航行あるいは港湾内に停泊している船舶の船舶用固体素子レーダーと、港湾付近の民家等に設置された BS アンテナが近接している場合

これらのケースにおいては、これまでどおり次のような対策を講じることで、船舶用固体素子レーダーからの影響を軽減することが望ましい。

- ア (1) の場合は、BS アンテナの設置位置、高さ等を考慮することにより影響を避けられることから、船舶運航関係者において積極的に対応する。
- イ (2) の場合は、現行と同様、受信障害が発生した場合は、被干渉側及び与干渉側で干渉回避のための所要の対策を講じる。
- ウ 港湾内等の民家等に設置された BS アンテナが近接するような場所で船舶用固体素子レーダーを使用する場合は、パルス幅が小さい短距離モードでの使用を推奨するといった対策をマニュアルに記載する等、当該レーダーの使用者への周知を積極的に行っていくことが望ましい。

ただし、平成 28 年度の一部答申と同様、固体素子を用いた船舶用レーダーから BS-IF 周波数へ与えるイメージ妨害の検討結果については、海上における利用環境を考慮した限定的なものである。また、今回想定した既存環境の変化等により重大な干渉の発生が確認された場合には、再度検討を実施する必要があることを付言する。

第3章 技術的条件の検討

3.1 技術的条件の検討にあたっての考え方

9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件の検討にあたっては、無線設備規則第48条第3項の規定に準拠しつつ以下の点について考慮することとした。

3.1.1 電氣的条件

電氣的条件については、従前どおりとすることが適当である。

3.1.2 測定法

測定法については、従前どおりとすることが適当である。

3.2 技術的条件の検討

3.2.1 一般的条件

一般的条件は従前どおりとすることが適当である。

3.2.2 周波数

周波数は従前どおりとすることが適当である。

3.2.3 電波の型式

電波の型式は従前どおりとすることが適当である。

3.2.4 パルス幅

電波の型式「PON」と「QON」を組み合わせで使用する場合、

- ・電波の型式「PON」のパルス幅は「 $1.2\mu\text{s}$ 以下」
- ・電波の型式「QON（FM/CWの場合を除く。）」のパルス幅は「 $22\mu\text{s}$ 以下」

とすることが適当である。

なお、電波の型式「QON（FM/CWの場合に限る。）」については、今回の検討の対象外であり、パルス幅についても従前どおりとする。

3.2.5 空中線電力

平成28年度の情報通信審議会一部答申においては、FM/CW方式レーダー以外のレーダーの空中線電力については、技術的条件としては規定しないことが適当であるとされた。

しかし、マグネトロンを用いる第4種レーダーの空中線電力は5kW未満であることを技術基準としているため、固体素子を用いる第4種レーダーにおいても、空中線電力の上限値によって規制する必要があると考えられる。

現行の技術基準である空中線電力 200mW 以下は、FM/CW レーダーを念頭としているため、パルス圧縮方式の固体素子レーダーとマグネトロンを用いる第4種レーダーとの比較に基づき改めて検討を行った。

3.2.6 平均 EIRP に基づく技術的条件の検討

平成 28 年度の情報通信審議会一部答申においては、「固体素子レーダーの平均 EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power : 等価等方放射電力) がマグネトロンレーダーの平均 EIRP を超えない範囲においては、同程度以下の影響となることが考えられる。」とされているため、平均 EIRP が第4種レーダーに相当するマグネトロンレーダーを超えない範囲を検討した。平均 EIRP (EIRP_{ave}) は下式で表される。

$$EIRP_{ave} = EIRP \times (T \times PRF) = (P_t \times G_a) \times (T \times PRF)$$

EIRP_{ave} : 平均EIRP (W)

EIRP : 等価等方放射電力(尖頭値) (W)

P_t : 空中線電力(尖頭電力) (W)

G_a : 空中線利得(倍)

T : 送信パルス幅(sec)

PRF : 送信繰り返し周波数(Hz)

ここで、空中線利得はレーダーの仕様、設置目的によって選定した空中線によって決定されるものであり、送信デバイスによらない。また、送信繰り返し周波数は、レーダーのレンジ設定に応じて必要な受信時間から定まるため、送信デバイスによらない。従って固体素子レーダーとマグネトロンレーダーとの比較においては同一の値であると仮定する。

上記仮定によれば、平均EIRP の比は、空中線電力とパルス幅との積の比によって求まる。マグネトロンレーダーの空中線電力を4.9kW、パルス幅を1.2μs、固体素子レーダーのパルス幅を22μsとすると、マグネトロンレーダーの平均EIRP を超えない範囲となる固体素子レーダーの空中線電力は、

$$P = \frac{4900 \times 1.2}{22} = 267 \text{ [W]}$$

となり、同値を超えない範囲の値として、250W が得られる。

3.2.7 探知性能に基づく検討

同一の物標に対して、誤警報率を等しくした状態で、同じ検出確率が得られる状態を探知性能が等しいと考え、送受信機の性能によって得られる受信信号の信号対雑音電力比(以下「SNR」という。)と、種々の信号処理の効果による検出確率の向上を併せてレーダーの性能を検討する必要がある。ここでは、検出確率を向上させる効果が

SNRを改善させる効果にほぼ等しいと考え、レーダー方程式から得られるSNRの式に信号処理の効果をシステムゲインの一部として乗算する形とした。

マグネトロンレーダー、固体素子レーダーのSNRに関するレーダー方程式はそれぞれ次のとおりとなる。

【マグネトロンレーダー】

$$SNR_M = \frac{P_{tM} \times G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times k T_s B_M} \times G_{sM}$$

【固体素子レーダー】

$$SNR_S = \frac{P_{tS} \times G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma \times \tau_s \times B_S}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times k T_s B_S} \times G_{sS}$$

P_t: 空中線電力 (W)

G_a: 空中線利得 (倍)

λ: 波長 (m)

σ: レーダー反射断面積 (m²)

τ: 送信パルス幅 (s)

R: 物標までの距離 (m)

k: ボルツマン定数 (J · K⁻¹)

T: システム雑音温度 (K)

B: 受信帯域幅 (Hz)

G_s: システムゲイン (倍)

※ 下付添え字M、S はそれぞれマグネトロン、固体素子に対応する値であることを示す。

ここで、マグネトロンレーダーの受信帯域幅はSNRを最適化するため、パルス形状の違いを考慮してパルス幅の逆数とすることが一般的である。また、固体素子レーダーのパルス圧縮利得 τ_s × B_S と受信帯域幅B_Sは相殺し、τ_sのみとなる。

したがってSNRは、次のようになる。

【マグネトロンレーダー】

$$SNR_M = \frac{G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times k T_s} \times P_{tM} \times \tau_M \times G_{sM}$$

【固体素子レーダー】

$$SNR_S = \frac{G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times k T_s} \times P_{tS} \times \tau_S \times G_{sS}$$

両式の右辺第1項は、送信デバイスに依存しない項であるため、マグネトロンレーダーと固体素子レーダーとの探知性能の差は空中線電力とパルス幅の積とシステムゲインによって導かれる。

両者のシステムゲインが等しいとした場合には、探知性能は空中線電力とパルス幅の積で定まり、マグネトロンレーダーと同等の探知性能を持つ固体素子レーダーの空中線電力は、前項と同様に、

$$P_{tS} = \frac{4900 \times 1.2}{22} = 267 \text{ [W]}$$

となる。

システムゲインについては、空中線電力案に関する2件の提案があった。提案内容は、それぞれ【参考資料（2021（令和3）年度 9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討報告書）】（以下「令和3年度調査検討報告書」という。）の「資料1-1」及び「資料1-2」のとおり。これらにおいて、固体素子レーダーのシステムゲイン（マグネトロンレーダーを1とした場合）は2(=3dB)、1(=0dB)程度であることが示されている。これに基づき、空中線電力の許容値がそれぞれ、150W、250Wと提案された。また、無線設備規則第14条第1項第6号の規定により、船舶用レーダーの空中線電力の許容偏差は、+/-50パーセント以内とされている。267Wを許容できる最大とするのであれば、+50パーセントした場合に同値を上回らない170Wが良いのではないかとの修正提案があった。

3GHz帯船舶用レーダーの検討時に従来空中線電力30kWが主流であった航海用マグネトロンレーダーに対して、空中線電力250Wの固体素子レーダーが相当機種として検討され、航海用固体素子レーダーの空中線電力を250W以下とする内容で、平成24年の一部答申に向けて委員会報告がなされている。同数値を基にシステムゲインの比を求めると、次式のとおりとなる。

$$\frac{G_{SS}}{G_{SM}} = \frac{30 \times 10^3 \times 1.2}{250 \times 22} = 6.545$$

したがって、3GHz帯船舶用レーダーの検討時の値に基づくと、空中線電力の許容値は、

$$P_{tS} = \frac{4900 \times 1.2}{22} \times \frac{1}{6.545} = 40.8 \text{ [W]}$$

となり、端数を切り捨てると40Wとなる。ただし、3GHz帯船舶用レーダーの技術的条件を検討した当時は、探知性能に基づいた電力選定ではなく、当時の技術で実現可能な固体素子レーダーを用いた干渉実験の結果に基づいた値であり、最終的に空中線電力を技

術的条件としては規定しないことが適当であると結論付けられたこと、および一般に小型・低価格である第4種レーダーが、航海用レーダーと同等な信号処理能力を有するかという点について考慮が必要である。

ここまでの検討のとおり、探知性能に基づいた検討では、マグネトロンレーダーに相当する空中線電力は40W~250Wとなり、固体素子レーダーの統一的なシステムゲインの規格が存在しないことから、各機種的设计思想や適応技術によって幅のある値となった。

令和3年度調査検討報告書における実験結果も踏まえた以上の検討から、従前の4種レーダーに相当する他の無線設備への影響を勘案すると、空中線電力は267W以下に抑える必要があり、レーダーの空中線電力の許容偏差(±50%)のうち、最大の偏差においても267Wを超えないことが望ましい。また、4種レーダー相当の探知性能を満たすために最低限必要な電力も267Wであるが、固体素子化により得られるシステムゲインを考慮することが可能であることから、170W以下とすることが適当である。

3.2.8 その他の技術的条件に関する検討

現状の固体素子を用いる第4種レーダーの技術基準では、空中線電力が200mWに制限されていることから、平均EIRPは極めて小さくなるため、3.2.6項で示した過去の情報通信審議会一部答申における平均EIRPを制限するための下記基準は含まれていない。

- (1) デューティサイクルは、3.1%以下であること。
- (2) 1秒当たりの平均電力は、5.8Wを超えないこと。
- (3) 尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は、 5.5×10^{-3} (J) を超えないこと。

しかしながら、空中線電力に加えて、パルス幅と繰り返し周波数を制限するのみでは、送信の態様によっては、平均EIRPを大きくすることができるため、空中線電力の上限値の規定に加えて、平均EIRPを制限する基準が必要になると考えられる。

現状の技術基準では、1つの繰り返し周期内に送信されるパルスの数を規定していない。したがって、過去の検討で用いられた供試機で採用されている電波の型式が「PON」の電波1波、及び「QON」の電波1波を送信する形態は実施例の一つであり、1つの繰り返し周期内に複数のPON電波とQON電波を送信することも可能である。

図3.1-1に複数のパルスを送信するレーダーの送信検波波形の例を示す。アメリカ合衆国連邦通信委員会(FCC)にて認証された船舶用固体素子レーダーの一例である。このような送信形態は、国内での制度化において検討されていないものであり、単位時間当たりの送信時間が占める割合が大きくなるため、予期しない干渉影響を生じる恐れがある。

空中線電力に加えて、デューティサイクルや、平均電力の規制によって、干渉検討がなされた範囲内に制限することができると考えられることから、(1)から(3)と同様の内

容を盛り込むことが適当と考えられる。

その他の一般的条件、環境条件、機能及び電氣的条件については、固体素子レーダーに対して特異なものとは言えないため、実用化されている第4種レーダーの基準に適合することが望ましい。

MODULATION CHARACTERISTICS(Cont.)

Pulse 6L:



図 3.1-1 複数の PON 電波及び QON 電波を送信する例（出典：FCC レポートより）

3.2.9 簡易な操作

第4種レーダーは、平成2年郵政省告示第240号第3項第6号（三）の規定により、法第4条第2号の適合表示無線設備であって、電波の質に影響を及ぼす外部の転換装置のないものであれば、技術操作に無線従事者の資格を要しないとされている。

※ 平成2年郵政省告示第240号第3項第6号（三）

昭和五十五年郵政省告示第三百二十九号（無線航行のためのレーダーで無線設備規則の規定を適用することが困難又は不合理であるもの及びその技術的条件を定める件）第一項第一号及び第二号に規定するレーダー（法第四条第二号の適合表示無線設備であって、電波の質に影響を及ぼす外部の転換装置のないものに限る。）

現在国内で固体素子レーダーとして、検定合格している航海用レーダーや工事設計認証を取得している第3種レーダーおよび海外で販売されている海外メーカー製レーダーのカタログ、取り扱い説明書による確認では、電波の質に影響を及ぼす外部の転換装置を備えるものは無いため、第4種レーダーとして固体素子レーダーが登場した場合にお

いても、簡易な操作の基準は満たされるものとする。

3.2.10 空中線

平成 28 年度の一部答申の際と同様に、パルス圧縮方式の固体素子レーダーは、他のレーダーへの干渉を軽減するために送信空中線のメインビーム以外の角度における EIRP は、できる限り低いものであることが望ましい。

3.2.11 電波防護指針

9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーは移動する無線局の無線設備であることから電波法施行規則第 21 条の 4 の安全施設の適用が除外される無線設備である。

第 4 章 技術的条件

9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーに関する技術的条件について、次のとおり定めることが適当である。

4.1 一般的条件

従前どおりとすることが適当である。

4.2 周波数帯

従前どおりとすることが適当である。

4.3 電波の型式

従前どおりとすることが適当である。

4.4 パルス幅

電波の型式「PON」と「QON」を組み合わせる場合、電波の型式が PON の場合は $1.2\mu\text{s}$ 以下、QON の場合は $22\mu\text{s}$ 以下とすることが適当である。

4.5 空中線電力

電波の型式「PON」と「QON」を組み合わせる場合、170W を超えないことが適当である。

4.6 パルス繰り返し周波数

従前どおりとすることが適当である。

4.7 干渉防止のための措置

PON 電波及び QON 電波を組み合わせて使用する場合、平均 EIRP が過大とならないようにするため、デューティー比は3.1%以下、1秒当たりの平均電力は5.8Wを超えないこと、尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は 5.5×10^{-3} (J)を超えないこと、とすることが適当である。

4.8 測定法

従前どおりとすることが適当である。

V 検討結果

航空・海上無線通信委員会は、電気通信技術審議会諮問第50号「海上無線通信設備の技術的条件」（平成2年4月23日諮問）のうち、「9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件」について、別添のとおりとりまとめた。

別添 諮問第 50 号「海上無線通設備の技術的条件」のうち「9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件」

海上無線通設備の技術的条件のうち、9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーに関する技術的条件については、次のとおり定めることが適当である。

1.1 一般的条件

そのレーダーに要求する性能に応じ、無線設備規則第 48 条の各規定に準拠すること。

1.2. 周波数帯

9,300MHz から 9,500MHz までとする。

1.3 電波の型式

P0N、Q0N であること。

なお、P0N 電波と Q0N 電波が同一周波数ポイントで発射される場合は V0N であること。

1.4 パルス幅

P0N 電波を使用する場合は $1.2\mu\text{s}$ 以下であること。

Q0N 電波を使用する場合は、 $22\mu\text{s}$ 以下であること。

1.5 空中線電力

170W を超えないこと。

1.6 パルス繰り返し周波数

3,000Hz（変動率の上限は+25%とする。）を超えないこと。

1.7 干渉防止のための措置

P0N 電波及び Q0N 電波を組み合わせて使用する場合は、デューティー比は 3.1%以下であること、1 秒当たりの平均電力は 5.8W を超えないこと、尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は 5.5×10^{-3} (J) を超えないこと。

1.8 測定法

測定法は、日本産業規格 JIS F0812「船舶の航海と無線通信機器及びシステム—一般要求事項—試験方法及び試験結果要件」、IEC62388「航海用レーダー—性能要件—試験方法及び試験結果要件」等に規定されている測定方法であること。

ただし、船舶安全法第 2 条第 1 項の規定に基づく命令により船舶に備えなければならないレーダー以外のレーダーにあっては、これら規定の一部を適用することが不合理である場合は、その条件を緩和することができる。

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 専門委員

令和5年10月25日現在（敬称略）

氏名	主要現職
主査 専門委員 小瀬木 滋	一般財団法人航空保安無線システム協会 技術顧問
委員 森川 博之	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
専門委員 石井 義則	一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会 常務理事
” 井手 麻奈美	MOL マリン&エンジニアリング 海洋技術事業部 研究員
” 伊藤 功	株式会社モコス・ジャパン 取締役
” 大槻 秀夫	日本無線株式会社 マリンシステム事業部 マリンシステム技術部 担当部長
” 竹内 康夏	ANA システムズ株式会社 ITアーキテクチャ部 マネジャー
” 山口 茂彦	国土交通省 航空局 交通管制部 管制技術課長
” 栗田 和博	日本航空株式会社 IT企画本部 IT運営企画部長
” 児玉 俊介	一般社団法人電波産業会 専務理事
” 齋藤 絵里	東芝インフラシステムズ株式会社 電波システム事業部 小向工場 センサシステム技術部 主務
” 高橋 裕之	海上保安庁 総務部 情報通信課長
” 竹之下 早苗	スカパーJSAT 株式会社 宇宙事業部門 専任部長
” 豊嶋 守生	国立研究開発法人情報通信研究機構 ネットワーク研究所ワイヤレス ネットワーク研究センター 研究センター長
” 生田目 瑛子	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会委員
” 南風立 千枝子	一般社団法人全国漁業無線協会 参与
” 福田 巖	東京海洋大学 学術研究院海事システム工学部門 海洋工学部 海 事システム工学科 准教授
” 藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授

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
9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダー作業班 構成員

令和5年9月27日現在（敬称略）

氏名	所属
【主 任】 福田 巖	東京海洋大学学術研究院 海事システム工学部門 海洋工学海事システム工学科 准教授
【主任代理】 塩田 貞明	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁波標準研究センター 電磁環境研究室 主任研究技術員
伊藤 功	株式会社モコス・ジャパン 取締役
戒田 英俊	古野電気(株) 船用機器事業部 開発設計統括部 開発部 レーダー機器開発課 課長
北澤 弘則	(株)K&Aスペクトラムインテグレーション 代表取締役社長
齋藤 壽寛	日本無線(株) マリンシステム事業部 マリンシステム技術部 船舶レーダグループ 担当課長
白江 克麻	国土交通省 海事局 安全政策課 船舶安全基準室
田北 順二	(一社)全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長
取香 諭司	(一社)全国漁業無線協会 専務理事
林 大介	(株)光電製作所 技術グループ 開発部 開発課 課長

2021(令和3)年度
9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの
規制緩和拡充に関する調査検討報告書

2022(令和4)年3月
9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの
規制緩和拡充に関する調査検討会

まえがき

この報告書は、総務省近畿総合通信局の委託を受け古野電気株式会社が事務局として、小型船舶用 9 GHz 帯固体素子レーダーの操作にかかる無線従事者資格についての規制緩和にむけ、おもに技術的な観点から調査検討を行った結果をまとめたものです。

調査および検討にあたり、ご尽力を賜った関係各位に深く感謝申し上げます。

令和 4 年 3 月
9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会
座長（神戸大学教授） 若 林 伸 和

目次

まえがき	25
1. はじめに	27
1.1. 調査検討の背景及び目的	27
1.2. 現状と問題点	28
1.3. 検討会における議論の概要	29
2. 調査検討	30
2.1. 過去の調査検討と制度化の経緯	30
2.2. 国内の現状	31
2.3. 諸外国の現状と動向	32
2.4. 第4種レーダー（FM/CWを除く）の条件	34
3. 干渉影響に関する実証実験	40
3.1. 供試レーダーの諸元	40
3.2. 陸上試験	42
3.3. 海上試験	48
4. 提言	51
4.1. 検討会のまとめ	51
4.2. 提言	53
5. おわりに	55
資料1-1	57
資料1-2	65
資料2	69
資料3	111
資料4	119

1. はじめに

わが国では 1950 年代に船舶用レーダーの輸入に続いて国内での製造が許可され、船舶へのレーダーの搭載が始まった。その後現在に至るまで、SOLAS（海上における人命の安全に関する）条約により搭載が義務化されたこともあり、一定規模（総トン数や航行区域により規定）の船舶への航海用レーダー装備が普及した。一方、主に小型船舶を中心とした SOLAS によるレーダー搭載の義務がない漁船やプレジャーボート等への普及についても、海上交通の安全・安心の観点から搭載を促進する必要がある。

20 世紀に開発、実用化された船舶用レーダーは、当初から発振、増幅等の電子回路を構成する素子として真空管の一種であるマグネトロン（磁電管）が使用されてきた。ほとんどの電子回路に真空管が使用されなくなりトランジスターなどの半導体に置き換わった 21 世紀の今日でも、船舶用レーダーにはいまだマグネトロンが広く使われている。これは、レーダーに使用するマイクロ波帯の高周波を発振し大電力に増幅することができる半導体が開発されていなかったためである。しかし、2000 年を過ぎた頃からは、レーダーに用いる程度の出力を有するマイクロ波帯で使用可能な半導体素子が開発製造されるようになった。そのため船舶用レーダーでも半導体素子である FET（電界効果トランジスター）を用いた回路で実現が可能となった。ガラス等の筒中において真空に近い状態での熱電子放出を利用した素子（真空管）に対して、半導体素子はソリッドステート（Solid state=固体の状態における現象を利用した素子）とも呼ばれる。そのため FET を用いたレーダーを固体素子レーダーまたは固体化レーダーと呼ぶことがある。

1.1. 調査検討の背景及び目的

大型の商船等で使用される固体素子レーダーは S バンド（3 GHz 帯）から始まり、現在では X バンド（9 GHz 帯）でも実用化され実際に船舶への装備が始まっている。一方、小型船舶への固体素子レーダーの装備はほとんど進んでいない。この理由として以下の 2 点が考えられる。1 つには利用者にとって機器がいまだ高価であるという点があろう。もう 1 つの要因として、レーダーは無線機器でありその操作には無線従事者免許が必要になることがあげられる。商船等で用いるレーダーは空中線電力も大きく、乗組員が無線従事者（海上無線通信士、海上特殊無線技士）の免許を受有していることが必須である。それに対して小型船舶では乗り組む操縦者等が無線従事者の免許を取得することは負担が大きい。そのため小型船舶へのレーダーの普及を促進するには、空中線電力を限って無線従事者免許を不要とする規制緩和

が望まれる。マグネトロンを用いた小型船舶向けのレーダーでは、すでにそのような制度化がなされているが、固体素子レーダーでは、送信波形が異なることなどから、マグネトロンレーダーに対する制度をそのまま適用することはできない。

本検討会は、小型船舶向けの固体素子レーダーにおいて、技術的にどこまでの規制緩和が可能であるかということについて、既存のレーダーへの影響を実験により明らかにし規制緩和の可能性を示すことが目的である。総務省近畿総合通信局調達事業「9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討」に対応して「9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会」を構成し、実験等の結果も踏まえて調査検討したものである。

1.2. 現状と問題点

無線設備規則第48条第3項に基づき、1980(昭和55)年郵政省告示第329号(船舶に設置する無線航行のためのレーダーで無線設備規則の規定を適用することが困難又は不合理であるもの及びその技術的条件)で規定された船舶用レーダー(以下、「第4種レーダー」という。)は、小型船舶への普及促進のため運用にあたって従事者資格や定期検査が不要とされている。これはマグネトロンレーダーを対象としたもので、具体的には空中線電力5kW未満のものが該当する。

2019(令和元)年度の制度改正によって9GHz帯の船舶用レーダーにおいて、送信回路の素子として従来のマグネトロンに替えて固体素子を使用することが可能となった。長寿命、高周波数安定、低不要発射といった固体素子の特性から、将来的には小型船舶向け船舶用レーダーも固体素子を用いるものに移行すると考えられる。しかしながら、現行の同告示では固体素子を用いた第4種レーダーに対応する技術基準は、空中線電力が200mW以下とされたため、船舶用レーダーとしての十分な性能を実現することが容易でなく、国内での製品化は遅れており市販の機種はほとんど無い状況である。一方、外国のメーカーが市販している固体素子レーダーを輸入して小型船舶等に装備されるケースがあるが、現状では無線従事者免許が不要となる空中線電力を超えたものである。

このように、告示による無線従事者免許不要の船舶用固体素子レーダーへの対応の遅れは、小型船舶等への固体素子レーダー普及に対して1つの障害となっている。さらに国内メーカーにおける製品化の遅れは、今後、国際間の競争力低下も懸念される。

また、本検討会の直接の目的ではないが、小型船舶等におけるレーダーの使用は、大型の商船等とは異なる状況を考える必要がある。すなわち、プレジャーボートや漁船の操縦者にも簡単に使いこなせるような操作性が望まれる。

1.3. 検討会における議論の概要

船舶用のマグネトロンレーダーは、開発実用化以来、現在に至るまで無変調、情報なしのパルス波を送信し、反射波との時間差を計ることで距離を計算するという原理を用いている。一般にその受信時間と送信時間のデューティ比は、1,000:1～5,000:1程度である。なお、パルスレーダーにおいては、空中線電力は尖頭値で表示する。

これまでに実用化された固体素子レーダーには、パルスレーダー以外の方式によるものもあったが、現在ではパルスレーダーが主流となっている。しかしマグネトロンレーダーとはデューティ比やパルス波の波形は異なっている。

本検討会では、固体素子を用いたパルスレーダーのうち第4種レーダーとして無線従事者免許を必要とせず運用できるものとして、空中線電力をいくらとするのが妥当かを検討している。初めにその値の理論的概算を行い、次に実際の機器を用いて他の既存レーダーへの干渉影響の試験を行うと共に、国内の主なメーカーからの意見を聴取することなどで議論を進めた。そのために、検討会を計4回開催した。その概要はつぎのとおりである。

第1回調査検討会（2021(令和3)年7月29日）

検討会の設置について、委員より承認された。過去の調査検討内容および、諸外国の固体素子レーダーの動向に関する情報について議論された。事務局より空中線電力（案）について提案があり、空中線電力（案）については引き続き検討することとなった。

第2回調査検討会（2021(令和3)年9月21日）

委員より、空中線電力（案）について提案があり、フィールド試験における試作機の空中線電力に関する仕様を承認した。2021年10月25日から2021年10月29日にかけてフィールド試験を実施する旨およびその試験内容、方法について提案があり、委員より承認された。

第3回調査検討会（2021(令和3)年12月2日）

フィールド試験結果について報告があり、試験を実施した条件において固体素子レーダーからの干渉信号が、小型船舶用レーダーが備える干渉除去機能によって除去可能であるという実験結果について、委員より承認された。空中線電力（案）について議論され、フィールド試験の結果をもって緩和可能な上限値を示すことはできるが、具体的な数値による提案は妥当ではないとの結論となった。

第4回調査検討会（2022(令和4)年2月21日）

第3回までの検討内容およびフィールド試験結果に基づいた報告書（案）について検討した。

2. 調査検討

2.1. 過去の調査検討と制度化の経緯

船舶用固体素子レーダーは、諮問第 50 号「海上無線通信設備の技術的条件」(1990(平成 2)年 4 月 23 日諮問)のうち、「船舶用固体素子レーダーの技術的条件」として、総務省 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において検討が進められ、委員会および作業班による各種試験・検討結果を基にした一部答申が 2012(平成 24)年、2016(平成 28)年にそれぞれなされている。

2012(平成 24)年の一部答申によって、固体素子レーダーの技術的条件の基礎が示され、3 GHz 帯船舶用レーダーが制度化された。PON 電波に加えて QON 電波を使用する場合に他のレーダーに対して有害な干渉を防止する適当な措置として、次の条件が挙げられている。

(4) PON 電波及び QON 電波を組み合わせて使用する場合

ア PON 電波のパルス幅は、 $1.2\mu s$ 以下であること。

イ QON 電波のパルス幅は、 $22\mu s$ 以下であること。

ウ 繰り返し周波数は、 3000Hz を超えないこと。また、他のレーダーと繰り返し周波数が同一の場合、繰り返し周波数を変動する機能を有し、かつデフォルトオンにすること。ただし、繰り返し周波数の変動率は、 $\pm 25\%$ を超えないこと。

エ デューティサイクルは、 3.1% 以下であること。

オ 空中線電力は、尖頭電力で 250W 以下であること。

カ 1 秒当たりの平均電力は、 5.8W を超えないこと。

キ 尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は、 5.5×10^{-3} を超えないこと。

2016(平成 28)年の一部答申をうけて、9 GHz 帯船舶用レーダーが制度化された。第 4 種レーダーに相当する固体素子レーダーは、1980(昭和 55)年郵政省告示第 329 号を改正する形で追加され、同告示第一項第 1 号に下記のように定義された。

1 空中線電力が二〇〇ミリワット以下のもの(九 GHz 帯の周波数の電波を使用するレーダーであつて、電波法施行規則(昭和二十五年電波監視委員会規則第十四号。以下「施行規則」という。)第三十一条第二項第一号から第四号までに掲げるものに替えて半導体素子を使用するものに限る。)

また、使用するパルス幅は、FM/CW の場合と、FM/CW の場合を除く場合とに分けて同告示第二項第 1 号(六)に下記のように定義された。

(六) PON電波のパルス幅は一・ニマイクロ秒以下、QON電波（FM/CWの場合を除く。）のパルス幅は二ニマイクロ秒以下及びQON（FM/CWの場合に限る。）又はF三N電波の周波数掃引時間は二ニマイクロ秒を超え二ミリ秒以下であること。

FM/CW の場合と、それ以外（パルス圧縮方式）の 2 種類が定義されたが、それらの空中線電力の上限値は、FM/CW 方式のレーダーを前提として一部答申された 200mW にまとめられたため、現行の制度となった。

船舶用レーダーの区分の概要を図 2.1-1 に示す。マグネトロンレーダーでは、船舶安全法第 4 条の規定に基づく命令により①船舶に備えなければならないレーダー（無線設備規則第 48 条第 1 項および第 2 項のレーダー（以下、「航海用レーダー」という。）、②船舶に備えなければならないレーダー以外のレーダー（無線設備規則第 48 条第 1 項のレーダー（以下、「第 3 種レーダー」という。）および、③第 4 種レーダー、の 3 区分であった（同図左）ものが、固体素子レーダーでは、第 4 種レーダーの部分が、FM/CW の場合と、FM/CW を除く場合とに分けられたため、合計で 4 区分となった（同図右）。

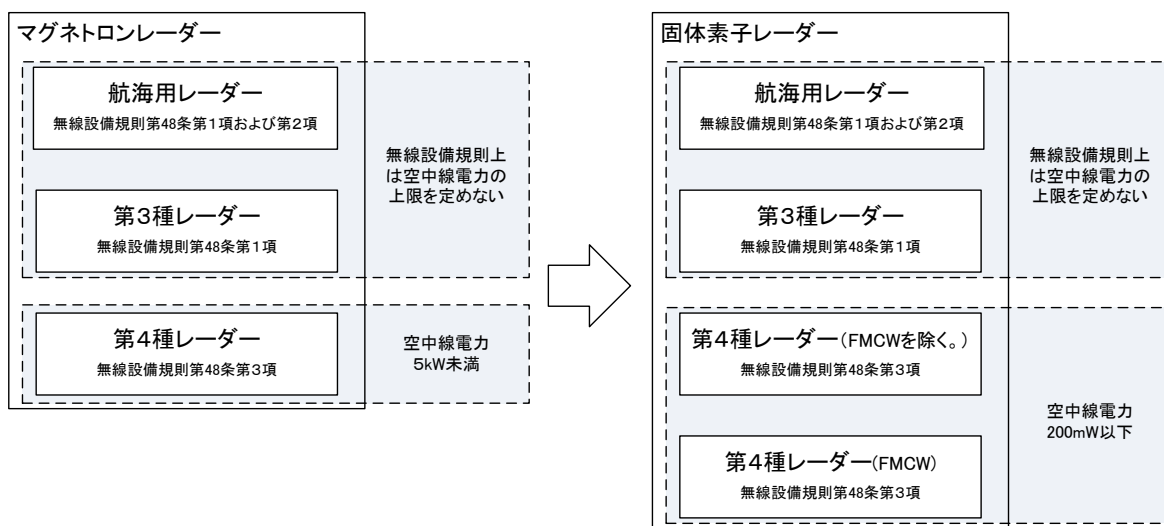


図 2.1-1 9 GHz 帯船舶用レーダーの区分

2.2. 国内の現状

国内での固体素子レーダーの普及程度を確認するため、電波法第 38 条の 24 による工事設計認証が取得された件数を調査した。その結果を、表 2.2-1 に示す。第 4 種レーダーとなる固体素子レーダーは認証取得件数が皆無（0 件）であることを確認した。

表 2.2-1 国内の工事設計認証件数（2021(令和3)年9月時点）




証明規則第2条 第1項に掲げる号	設備概要	認証件数
第28号の3	設備規則第48条第1項のマグネトロンレーダー (第3種レーダー)	329
第28号の4	設備規則第48条第1項の固体素子レーダー (第3種レーダー)	24
第29号	設備規則第48条第3項のマグネトロンレーダー (第4種レーダー)	151
第29号の2	設備規則第48条第3項の固体素子レーダー (200mW以下)(第4種レーダー)	0

2.3. 諸外国の現状と動向

2.3.1. 海外における小型船舶用固体素子レーダーの状況

民生向けの小型船舶用固体素子レーダー（パルス圧縮方式）は、平成27年に Navico inc.（ノルウェー）から空中線電力25Wの機種が発売されたことを皮切りに海外の主要メーカーである Garmin Ltd.（米国）、Raymarine（現FLIR、米国）の3社から相次いで市場投入された。2021(令和3)年時点で各社の船舶用レーダーの製品展開は固体素子レーダーを主軸としたものとなり、わが国を除くサービス提供国での固体素子レーダーの販売比率は高いものであると推定される。表2.3-1に各社の代表製品を示す。すべての機種がパルス圧縮方式であり、空中線電力は10～250Wの製品展開となっている。パルス幅や繰り返し周波数が現行の国内基準を満足しないものがある。

表 2.3-1 諸外国の小型船舶用固体素子レーダー

メーカー	GARMIN	Navico	Raymarine (現FLIR)
シリーズ名	Fantom	HALO	Quantum / Cyclone
空中線電力	50W / 120W / 250W	10W / 25W	20W / 55W / 110W
送信パルス幅	0.04～65 μ s	0.04～96 μ s	0.04～79 μ s
繰り返し周波数	情報無し	520～2882 Hz	2083～4800 Hz
外観			

※外観画像は各社製品サイトより引用

2.3.2. 海外の固体素子レーダーに関連する整合規格

海外において固体素子レーダーの導入が進んだ背景には、主要国、地域において認証を取得するために必要となる整合規格が、船舶用レーダーの送信デバイスを特定していなかったことが関与した可能性が考えられる。米国、カナダ、欧州での整合規格はそれぞれ下記のとおりである。

(1) 米国

CFR Title 47 Sections: 2.1046, 2.1047, 2.1049, 2.1051, 2.1053, 2.1055
80.209, 80.211, 80.213, 80.215

(2) カナダ

RSS-Gen: General Requirements for Compliance of Radio Apparatus
RSS-238: Shipborne Radar in the 2900-3100 MHz and 9225-9500 MHz Bands

(3) 欧州

ETSI EN 302 248: Navigation radar for use on non-SOLAS vessels

いずれの規格においても、国内法における電波の質に相当する周波数の偏差、幅および不要発射の強度に関する規定はあるが、パルス幅や繰り返し周波数、Duty比に関する規定はない。また、空中線電力に関する規定がある場合でも、上限値が60kW(RSS-238)である等、マグネトロンレーダーを念頭とするものである。しかし、固体素子レーダーを区別して規制する内容にはなっておらず、電波の質等の規格を満足する限りにおいて固体素子レーダーの認証を妨げるものではない。従って、諸外国において、法整備の面で固体素子レーダーの普及を妨げる要素が無かったと考えられる。

海外の法制度においては、固体素子レーダーの送信電力を制限する内容が含まれていないため、今後の半導体技術の進展により、より高出力な固体素子レーダーが登場する可能性も考えられる。

2.3.3. FM/CW レーダーの現状について

2019(令和元)年度の制度改正に先だって実施された技術基準検討時には、第4種レーダーに相当する固体素子レーダーはFM/CW方式のものしかなく、第4種レーダーに対応する技術基準はFM/CW方式を前提としたものとなった。しかし、同検討時以降、民生向けに販売開始されたレーダーでFM/CW方式を採用したものは世界的に無く、検討時に北米・欧州で販売されていたFM/CWレーダー(Broadband 4G Radar, Navico)が工事設計認証を取得することなく生産中止となった。そのため、国内で入手可能な固体素子を用いた第4種レーダーは登場することなく、長期にわたってこれが存在しない状態となった。図 2.3-1 に当時販売されていたFM/CWレーダーの製品サイトを示す。製品情報が、DISCONTINUED(製造中止)となっている。同メーカーの現行機種は2.3.1項に示したとおり、パルス圧縮方式を用いる固体素子レ

ーダーである。



出典：メーカー製品サイト (<https://www.simrad-yachting.com/simrad/type/radar/simrad-4g-bb-radar-kit>)

図 2.3-1 販売されていた FM/CW レーダー

2.4. 第4種レーダー（FM/CWを除く）の条件

2.4.1. 空中線電力

2016(平成28)年の一部答申に向けた委員会報告(2016(平成28)年7月26日)^{文献1)}では、空中線電力をFM/CWレーダー以外のレーダーについては、技術的条件としては規定しないことが適当であると結論付けた。しかし、マグネトロンを用いる第4種レーダーでは空中線電力の値が5kW未満であることを技術基準としているため、固体素子を用いる第4種レーダーにおいても、空中線電力の上限値によって規制する必要があると考えられる。現行規格である200mW以下は、FM/CWレーダーを念頭としているため、パルス圧縮方式の固体素子レーダーとマグネトロンを用いる第4種レーダーとの比較に基づき改めて検討した。

2.4.1.1. 平均EIRPに基づく検討

上記委員会報告では、「固体素子レーダーの平均EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power：等価等方放射電力)がマグネトロンレーダーの平均EIRPを超えない範囲においては、同程度以下の影響となることが考えられる。」とされているため、平均EIRPが第4種レーダーに相当するマグネトロンレーダー(以下、単に「マグネトロンレーダー」という。)を超えない範囲を検討した。

平均EIRP($EIRP_{ave}$)は下式で表される。

$$EIRP_{ave} = EIRP \times (T \times PRF) = (P_t \times G_a) \times (T \times PRF)$$

$EIRP_{ave}$ ：平均EIRP (W)、

EIRP：等価等方放射電力(尖頭値) (W)、

P_t : 空中線電力 (尖頭電力) (W)、
 G_a : 空中線利得 (倍)、
 T : 送信パルス幅 (sec)、
 PRF : 送信繰返し周波数 (Hz)

ここで、空中線利得はレーダーの仕様、設置目的によって選定した空中線によって決定されるものであり、送信デバイスによらない。また、送信繰返し周波数は、レーダーのレンジ設定に応じて必要な受信時間から定まるため、送信デバイスによらない。従って固体素子レーダーとマグネトロンレーダーとの比較においては同一の値であると仮定する。

上記仮定によれば、平均 EIRP の比は、空中線電力とパルス幅との積の比によって求まる。マグネトロンレーダーの空中線電力を 4.9kW、パルス幅を $1.2\mu s$ 、固体素子レーダーのパルス幅を $22\mu s$ とすると、マグネトロンレーダーの平均 EIRP を超えない範囲となる固体素子レーダーの空中線電力は、

$$P = \frac{4900 \times 1.2}{22} = 267 \text{ [W]}$$

となり、同値を超えない範囲の値として、250W が得られる。

2.4.1.2. 探知性能に基づく検討

同一の物標に対して、誤警報率を等しくした状態で、同じ検出確率が得られる状態を探知性能が等しいと考え、送受信機の性能によって得られる受信信号の信号対雑音電力比 (以下、「SNR」という。) と、種々の信号処理の効果による検出確率の向上を併せてレーダーの性能を検討する必要がある。ここでは、検出確率を向上させる効果が SNR を改善させる効果に略等しいと考え、レーダー方程式から得られる SNR の式に信号処理の効果をシステムゲインの一部として乗算する形とした。

マグネトロンレーダー、固体素子レーダーの SNR に関するレーダー方程式はそれぞれ次のとおりとなる。

【マグネトロンレーダー】

$$\text{SNR}_M = \frac{P_{tM} \times G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times kT_s B_M} \times G_{sM}$$

【固体素子レーダー】

$$\text{SNR}_S = \frac{P_{tS} \times G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma \times \tau_S \times B_S}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times kT_s B_S} \times G_{sS}$$

P_t : 送信電力 (W)、
 G_a : アンテナ利得 (倍)、

λ : 波長 (m)、

σ : レーダー反射断面積 (m^2)、

τ : 送信パルス幅 (s)、

R : 物標までの距離 (m)、

k : ボルツマン定数 ($J \cdot K^{-1}$)、

T_s : システム雑音温度 (K)、

B : 帯域幅、

G_s : システムゲイン (倍)

※ 下付添え字 M、S はそれぞれマグネトロン、固体素子に対応する値であることを示す。

ここで、マグネトロンレーダーの受信帯域幅は SNR を最適化するため、パルス幅の逆数程度とすることが一般的である。また、固体素子レーダーのパルス圧縮利得 $\tau_s \times B_s$ と受信帯域幅 B_s は相殺し、 τ_s のみとなる。

したがって SNR は、次のようになる。

【マグネトロンレーダー】

$$SNR_M = \frac{G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times kT_s} \times P_{tM} \times \tau_M \times G_{sM}$$

【固体素子レーダー】

$$SNR_S = \frac{G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma}{(4 \times \pi)^3 \times R^4 \times kT_s} \times P_{tS} \times \tau_S \times G_{sS}$$

両式の前半部分は、送信デバイスに依存しない項であるため、マグネトロンレーダーと固体素子レーダーとの探知性能の差は空中線電力とパルス幅の積とシステムゲインによって導かれる。

両者のシステムゲインが等しいとした場合には、探知性能は空中線電力とパルス幅の積で定まり、マグネトロンレーダーと同等の探知性能を持つ固体素子レーダーの送信電力は、前項と同様に

$$P_{tS} = \frac{4900 \times 1.2}{22} = 267 \text{ [W]}$$

と求まる。

システムゲインについて委員より情報提供があり、空中線電力 (案) に関する 2 件の提案があった。提案内容をそれぞれ資料 1-1、資料 1-2 に示す。これらにおいて、固体素子レーダーのシステムゲイン (マグネトロンレーダーを 1 とした場合) は 2 (= 3 dB)、1 (= 0 dB) 程度であることが示されている。これに基づき、空中

線電力の許容値がそれぞれ、150W、250W と提案された。また、無線設備規則第 14 条第 1 項第 6 号の規定により、船舶用レーダーの空中線電力の許容偏差は、+/-50 パーセント以内とされている。267W を許容できる最大とするのであれば、+50 パーセントした場合に同値を上回らない 170W が良いのではないかとの修正提案があった。

3 GHz 帯船舶用レーダーの検討時に従来空中線電力 30kW が主流であった航海用マグネトロンレーダーに対して、空中線電力 250W の固体素子レーダーが相当機種として検討され、航海用固体素子レーダーの空中線電力を 250W 以下とする内容で、平成 24 年の一部答申に向けて委員会報告^{文献²⁾} がなされている。同数値を基にシステムゲインの比を求めると、次式のとおりとなる。

$$\frac{G_{SS}}{G_{SM}} = \frac{30 \times 10^3 \times 1.2}{250 \times 22} = 6.545$$

したがって、3 GHz 帯船舶用レーダーの検討時の値に基づくと、空中線電力の許容値は、

$$P_{TS} = \frac{4900 \times 1.2}{22} \times \frac{1}{6.545} = 40.8 \text{ [W]}$$

と求まり、端数を切り捨てると 40W となる。ただし、3 GHz 帯船舶用レーダーの検討時は探知性能に基づいた電力選定ではなく、当時の技術で実現可能な固体素子レーダーを用いた干渉実験の結果に基づいた値であり、最終的に空中線電力を技術的条件としては規定しないことが適当であると結論付けられたこと、および一般に小型・低価格である第 4 種レーダーが、航海用レーダーと同等な信号処理能力を有するかという点について考慮が必要である。

2.4.1.3. 空中線電力に関する検討会における議論

上記のとおり、探知性能に基づいた検討では、マグネトロンレーダーに相当する空中線電力は 40W~250W となり、固体素子レーダーの統一的なシステムゲインの規格が存在しないことから、各機種の設計思想や適応技術によって幅のある値となった。また、マグネトロンレーダーについても同様にシステムゲインに機種間の差があることが想定されることから、探知性能が同等となる電力という表現の下で電力値を一意に定めることは適当ではない、と結論づけられた。

小型船舶向け固体素子レーダーを開発・製造する可能性のある国内メーカーからの具体的な数値による電力値の提案は 40W、150W、170W であった。これについて、検討会において次のような意見があった。

- ・固体素子レーダーへの移行にあたって、探知性能がマグネトロンレーダーより低下することの無いように願う。固体素子のメリットである周波数の安定性、低不要発射はユーザーにとっては直接のメリットにはならない。また第 4 種レーダーであればマグネトロンの寿命まで使用されることも少ないので、長寿命である点でのメリットも限定的である。干渉影響が同等以下であれば探知性能

が上回ることは歓迎される。

- ・4.9kW マグネトロンレーダーの性能が最低限維持される電力値となることを望む。
- ・現状 200mW 以下の規制は、国内での固体素子レーダーの普及を妨げている。速やかな規制緩和のために、空中線電力は航海用レーダーの事例と比べて過大となる印象を与えない程度に抑えておくべきではないか。

これらの検討をもとに実際の試作機器による試験の際の空中線電力を検討することとした。

2.4.2. その他の技術的条件

現状の固体素子を用いる第4種レーダーの技術基準では、空中線電力が200mWに制限されていることから、平均 EIRP は極めて小さくなるため、2.4.1 項で示した過去の一部答申に含まれる平均 EIRP を制限するための下記基準は含まれていない。

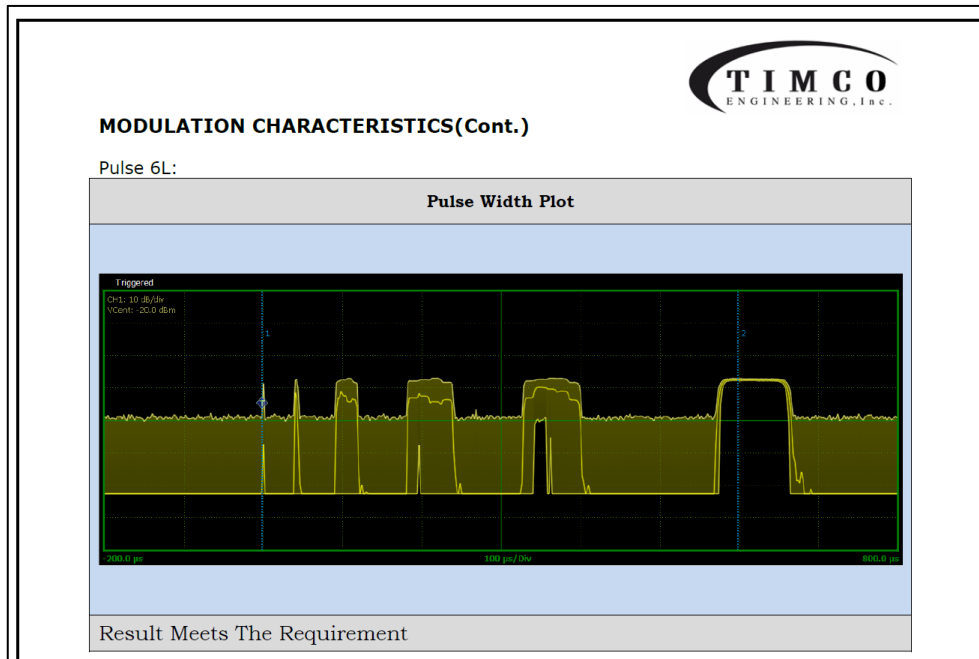
- (1) デューティサイクルは、3.1% 以下であること。
- (2) 1秒当たりの平均電力は、5.8W を超えないこと。
- (3) 尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は、 5.5×10^{-3} を超えないこと。

しかし、空中線電力に加えて、パルス幅と繰り返し周波数を制限するのみでは、送信の態様によっては、平均 EIRP を大きくすることができると考えられる。上限値の規定に加えて、平均 EIRP を制限する基準が必要になると考えられる。

現状の技術基準では、1つの繰り返し周期内に送信されるパルス数を規定していない。したがって、過去の検討で用いられた供試機で採用されている PON 電波1波、QON 電波1波を送信する形態は実施例の一つであり、1つの繰り返し周期内に複数の PON 電波、QON 電波を送信することも可能である。図 2.4-1 に複数のパルスを送信するレーダーの送信検波波形の例を示す。アメリカ合衆国連邦通信委員会 (FCC) にて認証された船舶用固体素子レーダーの一例である。このような送信形態は、国内での制度化において検討されていないものであり、単位時間当たりの送信時間が占める割合が大きくなるため、予期しない干渉影響を生じる恐れがある。

空中線電力に加えて、デューティサイクルや、平均電力の規制によって、干渉検討がなされた範囲内に制限することができると考えられることから、(1)から(3)と同様の内容を盛り込むことが適当と考えられる。

その他の一般的条件、環境条件、機能及び電氣的条件については、固体素子レーダーに対して特異なものとは言えないため、実用化されている第4種レーダーの基準に適合することが望ましい。



出典：FCC テストレポート <https://fccid.io/RAYHAL0/Test-Report/Revised-Test-Report-2588551>

図 2.4-1 複数の PON 電波、QON 電波を送信する例

2.4.3. 簡易な操作

第4種レーダーは、1990(平成2)年郵政省告示第240号第3項第6号(三)の規定により、法第4条第2号の適合表示無線設備であって、電波の質に影響を及ぼす外部の転換装置のないものであれば、技術操作に無線従事者の資格を要しないとされている。

(三) 昭和五十五年郵政省告示第三百二十九号(無線航行のためのレーダーで無線設備規則の規定を適用することが困難又は不合理であるもの及びその技術的条件を定める件)第一項第一号及び第二号に規定するレーダー(法第四条第二号の適合表示無線設備であって、電波の質に影響を及ぼす外部の転換装置のないものに限る。)

現在国内で固体素子レーダーとして、検定合格している航海用レーダーや工事設計認証を取得している第3種レーダーおよび海外で販売されている海外メーカー製レーダーのカタログ、取り扱い説明書による確認では、電波の質に影響を及ぼす外部の転換装置を備えるものは無いため、第4種レーダーとして固体素子レーダーが登場した場合においても、簡易な操作性の基準は満たされるものとする。

3. 干渉影響に関する実証実験

固体素子レーダーを用いる第4種レーダーの検討にあたり、同様の環境での使用が想定される小型船舶向けレーダーへの干渉影響等を確認するためフィールド試験を実施した。

フィールド試験は、コントロールされた条件での干渉影響を評価するための陸上試験と、実利用状況に近い条件で実映像を総合的に評価する海上試験とを実施した。試験は委員立ち合いのもと、事務局が実施した。

干渉を与える側となる固体素子レーダー（与干渉機）の空中線電力は、空中線電力（案）の最も大きい値である250Wとした。干渉を受ける側となる小型船舶用レーダー（被干渉機）は、国内で販売されている異なるメーカーの3機種とした。

フィールド試験は、2021（令和3）年10月26日から2021（令和3）年10月29日にかけて実施した。試験日程は下記のとおりである。

2021年10月26日（火）	陸上試験1日目
2021年10月27日（水）	陸上試験2日目
2021年10月28日（木）	装備移設作業
2021年10月29日（金）	海上試験

3.1. 供試レーダーの諸元

既存の他の周囲レーダーに対して、主に干渉影響を確認するためのフィールド試験を行うにあたり、固体素子レーダーを試作した。周囲に干渉を与えるかどうかを確認するためのものであるため、以下「与干渉機」と呼ぶ。

干渉を与えるかどうかの実験に際してもっとも厳しい条件とするために、上記の検討に基づき空中線電力を検討範囲内の最大である250Wとした。


一方、干渉の影響を確認するために、すでに製品化されている国内製の小型船舶向けレーダーを用意した。うち2台は4kW出力のマグネトロンレーダーで第4種レーダーに該当するものである。もう1台は、出力25Wの固体素子レーダーである。これらは干渉の影響を被るかいなかの確認に使用するため、以下「被干渉機」と呼ぶ。

試験で使用したレーダーの諸元を表3.1-1（与干渉機）および表3.1-2（被干渉機）に示す。

表 3.1-1 与干渉機仕様

仕様項目	仕様値
送信周波数	9,380~9,440MHz
空中線電力	250W
最大パルス幅	1.2 μ s (PON) / 22 μ s (QON)
最大パルス繰り返し周波数	3,000Hz
アンテナ利得	23dBi
アンテナビーム幅	3.9°
アンテナ回転数	24 - 48 r. p. m.

表 3.1-2 被干渉機仕様

項目	被干渉機 1	被干渉機 2	被干渉機 3
送信方式	マグネトロン	マグネトロン	固体素子
空中線電力	4 kW	4 kW	25W
パルス幅	0.08~1.0 μ s	0.08~1.0 μ s	0.08~1.2 μ s (PON) 5~18 μ s (QON)
繰り返し周波数	非公開	650~4000Hz	1100Hz
受信帯域幅	非公開	3~20MHz	1~15MHz
最大探知距離 (レンジ設定)	32 海里 (NM)	48NM	48NM
外観			

3.2. 陸上試験

3.2.1. 概要

船舶用レーダーが他の船舶用レーダーからの干渉を受ける場合、干渉源がマグネトロンか固体素子かにかかわらず、干渉波は管面上に放射状の光点として現れる。干渉除去機能は、同一距離における受信信号強度の方位方向の連続性に基づいて、連続性のないものを干渉と判断して除去する処理が一般的である。同機能が有効に作用する場合は、実存する物標からの受信信号を残し、干渉のみを除去することが可能であるが、干渉の時間的占有率の増加によって干渉と物標からの信号とが同一時刻となる条件が増加すると、物標からの信号も干渉と判断して除去し管面上からエコーが消失してしまう場合がある。したがって干渉除去機能の評価は、管面上から干渉による光点が除去できることのみならず、干渉を受けている状態での物標探知性能の評価も必要となる。

陸上試験では、あらかじめ定めた物標を被干渉機で探知している状態で、与干渉機から干渉信号を与え、物標が消失することなく干渉が除去できるかを確認した。物標を10スキャン中8スキャン以上探知できていれば合格とする。

3.2.2. 試験方法

探知対象となる物標は、海上1.5NMに配置した小型船舶と、陸上92mに設置したレーダーリフレクターの2種類とした。いずれもレーダー反射断面積は10 m²程度である。試験のイメージを図3.2-1に示す。

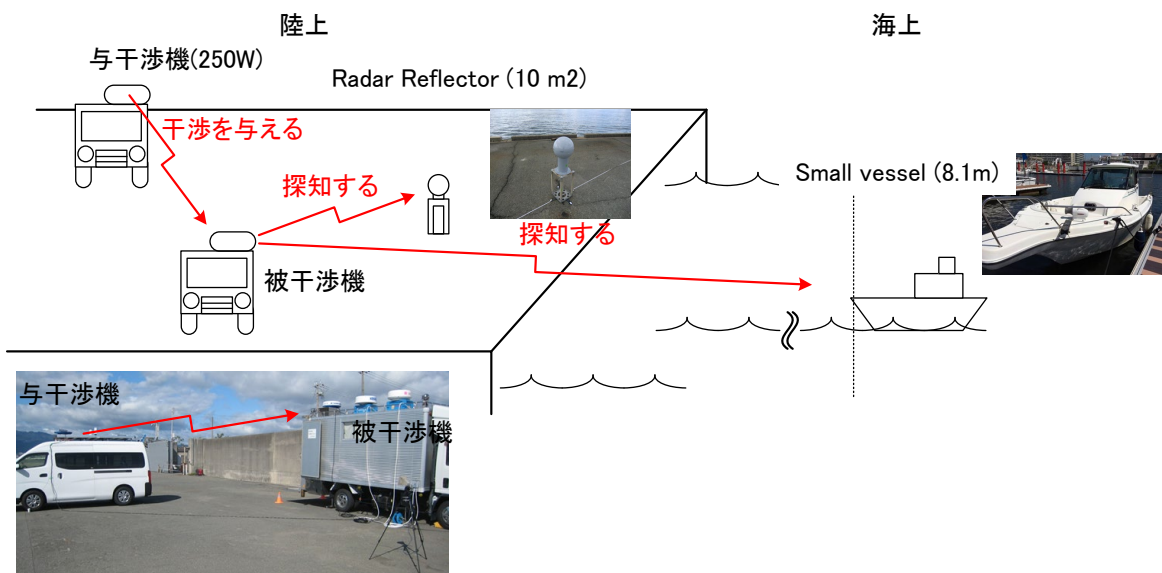


図 3.2-1 陸上試験概略図

与干渉機の出す干渉波の仕様を表 3.2-1 に示す。

アンテナを被干渉機方向に固定した場合、ビーム幅 3.9° 以内に被干渉機が入る確率が、アンテナ回転時に対して $360 / 3.9 = 92$ 倍となる。

干渉除去機能 (IR) が調整可能な被干渉機については、すべての干渉除去設定について試験を実施した。

表 3.2-1 干渉波仕様

ANT 回転	QON パルス 長 [us]	PRF* (繰り返し周 波数) [Hz]	備考
STBY	-	-	干渉波のない場合 (参考)
被干渉機方向に固定 (回転なし) / 回転 あり	11	約 3000	Duty 比 3.1% で PRF が無線設備規則上限値
	22	約 1500	Duty 比 3.1% でパルス長が無線設備規則上限値
		約 3000	パルス長、PRF とも無線設備規則上限値。 (Duty 比最大 6.6%)
		被干渉機と 同じ PRF	パルス長が無線設備規則上限値。 PRF は被干渉機と一致させる。

※：繰り返し周波数を変動する機能を有し、動作状態とした。変動幅は±25 パーセント以内

マグネトロンレーダーはマグネトロン自身の特性によって、送信周波数が特定値に定まらず、個体・温度・使用時間等によって変動する。最も厳しい条件を確認するため、マグネトロンレーダーの送信周波数に固体素子レーダーの QON 電波の送信周波数が一致するように、固体素子レーダーの送信周波数を調整する。調整には、ホーンアンテナとシグナルアナライザを用いる。調整時のシグナルアナライザ管面画像のイメージを図 3.2-2 に示す。マグネトロンレーダーの送信スペクトルに、固体素子レーダーの QON 送信周波数が一致していることが確認できる。

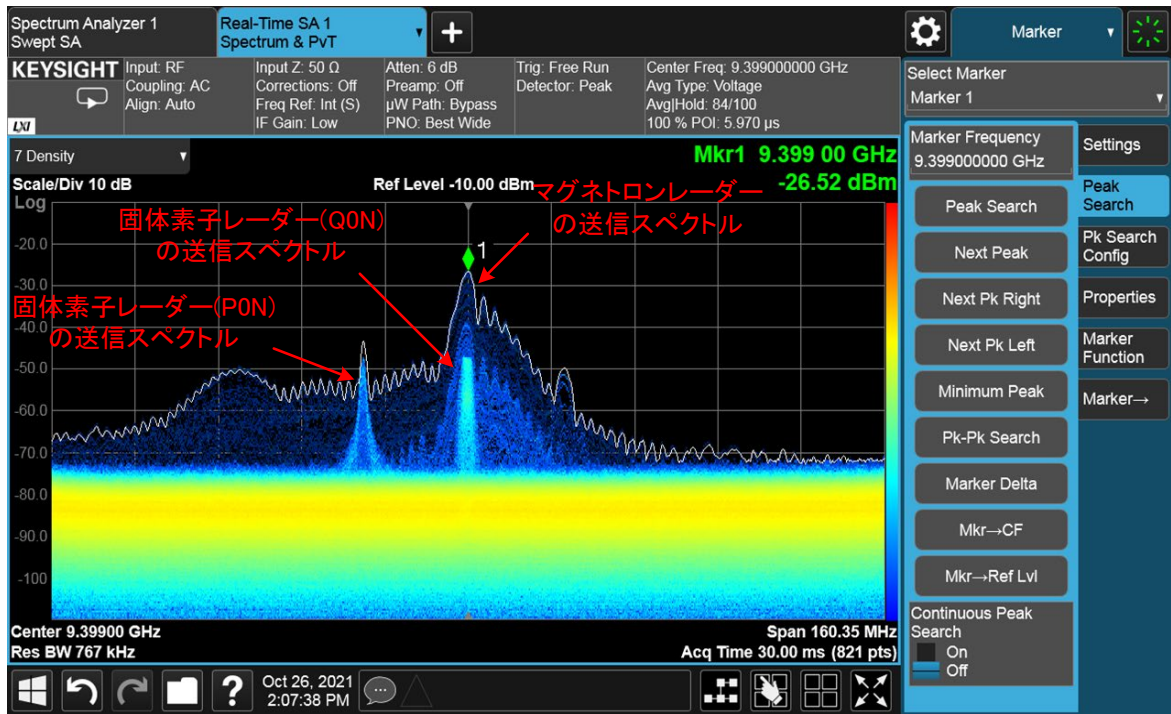


図 3.2-2 シグナルアナライザによる RF 周波数一致確認

3.2.3. 試験場所

兵庫県西宮市鳴尾浜3丁目に位置する鳴尾浜南岸（図 3.2-3 中、赤丸を付したところ）にレーダーを設置した。

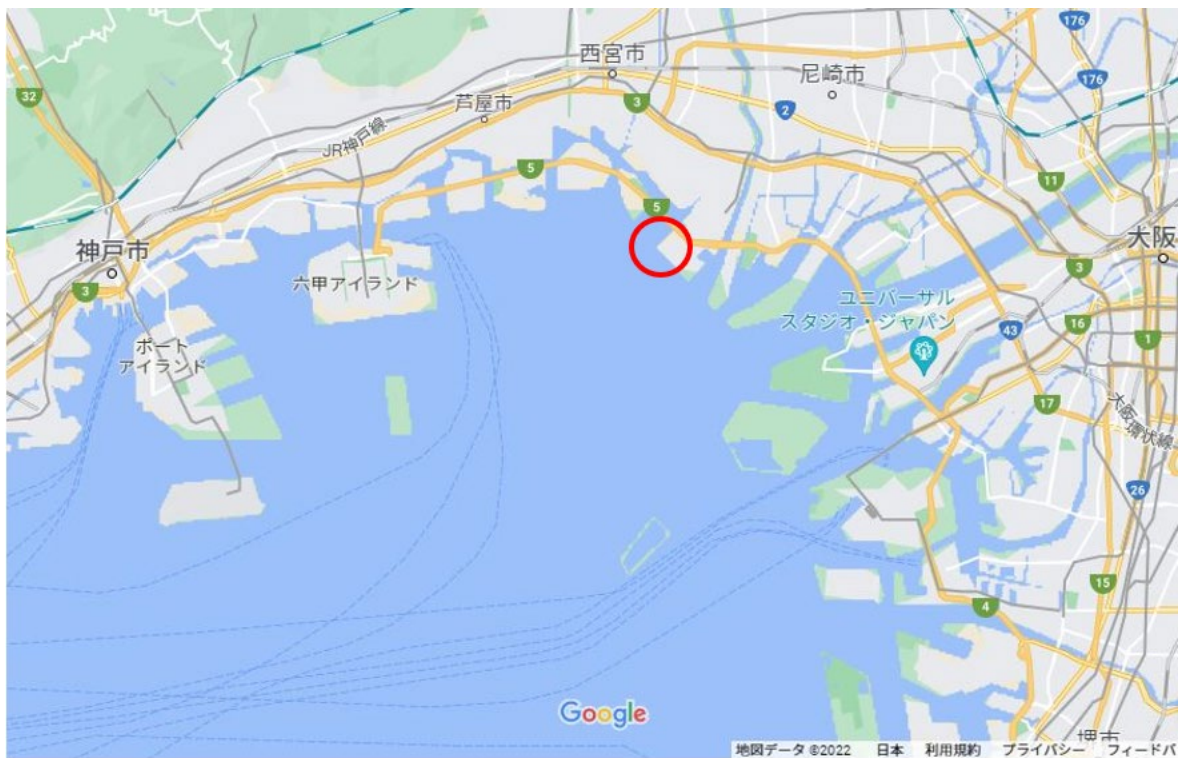


図 3.2-3 陸上試験場所（兵庫県西宮市鳴尾浜）

3.2.4. 結果

被干渉機 1、2、3 とも、いずれの条件でも物標を 10 スキャン中 8 スキャン以上探知できていた。結果を表 3.2-2～表 3.2-4 に示す。

空中線電力 250W の固体素子レーダーが干渉源となる場合でも、第 4 種レーダーの干渉除去機能によって干渉波は除去され、探知の支障とならないことを確認した。

アンテナ回転停止・Duty 比を最大とした試験では干渉量が単独かつアンテナを回転する条件と比べて 200 倍程度多くなるが、同条件でも干渉は探知の支障とならなかった。

表 3.2-2 陸上試験結果（被干渉機 1）

被干渉機 1 条件 物標 /レンジ, パルス仕様	与干渉機条件			10 スキャン中に 物標が映った スキャン数 (8 以上で合格)	
	ANT 回転	QON パルス幅 [us]	PRF [Hz]	IR 1	IR 2
小型船舶 @1.5NM レンジ：3NM パルス幅：0.5us PRF：816Hz アンテナ回転数：24rpm 受信帯域幅：記載なし	STBY	—	—	10	10
	回転あり	11	約 3000	10	10
		22	約 1500	10	10
		22	約 3000	10	9
		22	約 816*	10	10
	被干渉機方向 に固定	11	約 3000	9	10
		22	約 1500	9	9
		22	約 3000	8	8
		22	約 816	10	9
	リフレクター @92m レンジ：0.125NM パルス幅：0.08us PRF：1960Hz アンテナ回転数：24rpm 受信帯域幅：記載なし	STBY	—	—	10
回転あり		11	約 3000	10	10
		22	約 1500	10	10
		22	約 3000	10	10
		22	約 1960*	10	10
被干渉機方向 に固定		11	約 3000	10	10
		22	約 1500	10	10
		22	約 3000	10	10
		22	約 1960	10	10

※:被干渉機の PRF に一致させた値

表 3.2-3 陸上試験結果（被干渉機 2）

被干渉機 2 条件	与干渉機条件			10 スキャン中に 物標が映った スキャン数 (8 以上で合格)		
	ANT 回転 /レンジ, パルス仕様	QON パルス幅 [us]	PRF [Hz]	IR 弱	IR 中	IR 強
小型船舶 @1.5NM レンジ：3NM パルス幅：0.25us PRF：1700Hz アンテナ回転数：48rpm 受信帯域幅：6MHz	STBY	–	–	10	10	10
	回転あり	11	約 3000	10	9	10
		22	約 1500	10	10	10
		22	約 3000	9	10	10
		22	約 1700*	10	10	9
	被干渉機方向 に固定	11	約 3000	10	10	10
		22	約 1500	9	10	10
		22	約 3000	9	10	10
		22	約 1700	10	9	10
	リフレクター @92m レンジ：0.125NM パルス幅：0.08us PRF：4000Hz アンテナ回転数：48rpm 受信帯域幅：20MHz	STBY	–	–	10	9
回転あり		11	約 3000	9	8	9
		22	約 1500	9	8	10
		22	約 3000	10	10	10
被干渉機方向 に固定		11	約 3000	10	8	9
		22	約 1500	9	9	8
		22	約 3000	8	10	10

※:被干渉機に一致させた PRF、4000Hz は固体素子レーダーの技術基準を逸脱するため、非実施

表 3.2-4 陸上試験結果（被干渉機 3）

被干渉機 3 条件	与干渉機条件			10 スキャン中に 物標が映った スキャン数 (8 以上で合格)
	ANT 回転 /レンジ, パルス仕様	QON パルス幅 [us]	PRF [Hz]	
小型船舶 @1.5NM レンジ : 3NM パルス幅 : 0.6 / 13us PRF : 1100Hz アンテナ回転数 : 36rpm 受信帯域幅 : 5MHz	STBY	-	-	10
	回転あり	11	約 3000	10
		22	約 1500	10
		22	約 3000	10
		22	約 1100*	10
	被干渉機方向 に固定	11	約 3000	10
		22	約 1500	10
		22	約 3000	10
		22	約 1100	10
	リフレクター @92m レンジ : 0.125NM パルス幅 : 0.08 / 5us PRF : 1100Hz アンテナ回転数 : 48rpm 受信帯域幅 : 25MHz	STBY	-	-
回転あり		11	約 3000	10
		22	約 1500	10
		22	約 3000	10
		22	約 1100	10
被干渉機方向 に固定		11	約 3000	10
		22	約 1500	10
		22	約 3000	10
		22	約 1100	10

※:被干渉機に一致させた PRF

注 : 被干渉機 3 では、干渉信号が方位方向に引き延ばされたような映像表示となっている。被干渉機 3 の製造業者によると機器固有の処理によるものであり、固体素子レーダーの一般的な振る舞いでは無いとのこと。

全ての条件パターンの映像を資料 2 に示す。小型船舶のエコーは 3 NM レンジの映像の、約 40° 方向の 1.5NM 地点（赤丸で囲った部分）にある。リフレクターのエコーは 0.125NM レンジの映像の、約 350° 方向の 92m（0.05NM）地点（赤丸で囲った部分）にある。IR OFF では与干渉機から多くの干渉波が放射状に映っており、小型船舶やリフレクターのエコーにも一部重なる場合がある。IR を ON にし、干渉除去度合の設定を上げていくと、干渉波はほぼ映像に現れなくなり、物標エコーの視認性が向上する（被干渉機 1 : IR OFF→IR 1 →IR 2、被干渉機 2 : IR OFF→IR 弱 →IR 中→IR 強、被干渉機 3 : IR OFF→IR ON）。IR ON のいずれの設定でも、小型

船舶やリフレクターのエコーを、10 スキャン中 8 スキャン以上探知できることを確認した。

3.3. 海上試験

3.3.1. 概要

固体素子レーダーから干渉を受ける状態での小型船舶用レーダーの映像を、実環境に近い状態で評価するため、与干渉機および被干渉機を小型船舶へ装備し海上にてレーダー映像を取得した。

船上に装備したすべてのレーダーを送信状態とした上で、それぞれのレーダー管面上で干渉が探知の支障とならないことを確認した。

3.3.2. 試験方法

海上試験時の小型船舶への各レーダーの装備状況を図 3.3-1 に示す。試験海域において、装備した 4 台のレーダーを同時に送信し、それぞれのレーダー映像を目視により確認した。被干渉機のレーダー映像上で与干渉機およびその他のレーダーからの干渉信号が干渉除去機能により、探知の妨げとならないことを確認した。

試験中、固体素子レーダーとマグネトロンレーダーの定性比較を実施した。

レーダー設置高 4.5m における見通し距離 R(NM) は次の近似式で得られる。

$$R = 2.2 \times (\sqrt{4.5} + \sqrt{H})$$

H : 物標の高さ (m)

同式によると、海面 (高さ 0m) まで 4.7NM、高さ 5m の物標まで 9.6NM、高さ 20m の物標まで 14.5NM と求まる。

各レーダーはヘディングアップの表示とし、それぞれのレーダーで最長のパルス幅が使用されるレンジである 24NM レンジまでの観測とした。



図 3.3-1 海上試験装備状況

3.3.3. 試験海域

海上試験を実施した海域を図 3.3-2 に示す。試験海域は大阪湾北部である。沿岸部ののり養殖施設、船舶、淡路島や紀伊山地などの陸地を探知対象とした。

レーダー映像取得時に実験船舶から、船首方向を見た状況を図 3.3-3 に示す。



図 3.3-2 試験海域



図 3.3-3 海上試験時の海況

3.3.4. 試験結果

海上試験で取得した各レンジにおけるレーダー映像を資料3に示す。各レーダー映像とも船首方向が画面上方であり、試験海域において船首を南へ向けた映像である。近距離（～6NM）レンジでは、のり養殖施設や船舶などの孤立物標が、遠距離（12NM～）レンジでは、大阪湾沿岸部、紀伊山地、淡路島が探知されている。各被干渉機の送信仕様（パルス幅等）や、受信信号処理の違いによる映像表現の差は見られたが、探知される物標数に差は無かった。与干渉機から干渉を受ける状態での映像ではあるが、被干渉機1～3の映像には干渉による輝線は現れず、干渉による物標探知への影響は見られなかった。

固体素子レーダーの操作感、機能性能について従来の小型船舶向けレーダーと比較して特異なものは無かった。

4. 提言

4.1. 検討会のまとめ

検討会では、固体素子を用いる第4種レーダー（FM/CWを除く。）の規制緩和に向けた検討を行った。

(1) 必要な技術条件の調査

海外の小型船舶向けレーダーの市場は、パルス圧縮方式を用いる固体素子レーダーに移行し、調査時点で最も高出力なものは空中線電力250Wであった。海外の法制度は固体素子レーダーの空中線電力を制限するものではなく、今後半導体技術の進展により、より高出力な固体素子レーダーが登場する余地があることを確認した。

国内で実施された過去の調査検討での結論から、平均EIRPがマグネトロンレーダーの平均EIRPを超えない範囲とすることが、空中線電力の規格の基準の一つとなると考え、空中線電力4.9kWのマグネトロンレーダーと平均EIRPが同等となる固体素子レーダーの空中線電力250Wを得た。

2.4.1項に記したとおり、探知性能に基づいた検討では、マグネトロンレーダーに相当する空中線電力は40W～250Wとなり、固体素子レーダーの統一的なシステムゲインの規格が存在しないことから、各機種的设计思想や適応技術によって幅のある値となった。また、マグネトロンレーダーについても同様にシステムゲインに機種間の差があることが想定されることから、探知性能が同等となる電力という表現の下で電力値を一意に定めることは適当ではないと結論づけられた。

レーダーメーカーからの提供資料（資料1-1, 1-2）により、固体素子レーダー固有の信号処理によって平均EIRPがマグネトロンレーダーよりも低い場合であっても、マグネトロンレーダーと同等の探知性能が得られることが示された。性能の改善量は、信号処理の統一的な規格が存在しないことからメーカーによって様々であるため、同信号処理を前提に低減した空中線電力の提案値は、小型船舶向け固体素子レーダーを開発・製造する可能性のある国内メーカーから具体的な数値として40W、150W、170Wと幅を持つ値が提案された。

これについて、検討会において次のような意見があった。

- ・固体素子レーダーへの移行にあたって、探知性能がマグネトロンレーダーより低下することの無いように願う。固体素子のメリットである周波

数の安定性、低不要発射はユーザーにとっては直接のメリットにはならない。また第4種レーダーであればマグネトロン寿命まで使用されることも少ないので、長寿命である点でのメリットも限定的である。干渉影響が同等以下であれば探知性能が上回ることは歓迎される。

- ・4.9kW マグネトロンレーダーの性能が最低限維持される電力値となることを望む。
- ・現状 200mW 以下の規制は、国内での固体素子レーダーの普及を妨げている。速やかな規制緩和のために、空中線電力は航海用レーダーの事例と比べて過大となる印象を与えない程度に抑えておくべきではないか。

(2) フィールド検証試験の実施

複数の電力値の提案があったため、フィールド試験は、最も電力値の大きい 250W にて実施した。本調査検討で実施した試験条件においては、固体素子レーダーから、小型船舶向けレーダーへの干渉影響は各レーダーが備える干渉除去機能によって除去でき、かつ物標の消失といった副作用を生じないことを確認した。

固体素子レーダーの操作性は試験に用いた市販の小型船舶向けレーダーの操作性と異なるものは無く、従来のマグネトロンレーダーのユーザーからの移行に支障となるものは確認できなかった。

(3) 技術試験検証の評価・分析

固体素子を用いる第4種レーダー（FM/CW を除く。）の技術的条件について検討した結果をまとめるとつぎのとおりとなる。

① 電氣的条件

1) 空中線電力の許容値

固体素子を用いる第4種レーダー（FM/CW を除く。）の、既存の周囲レーダーへの干渉影響は空中線電力 250W で試験を行い影響がないことを本検討において確認した。空中線電力の許容値は、250W を超えない範囲で他の様々な要素も勘案して緩和の措置が取られることが望まれる。

2) 干渉防止のための措置

PON 電波および QON 電波を組み合わせて使用する場合（単独での使用や同じ電波型式の組み合わせを含む）は、平均 EIRP が過大とならないための規制を設けることが望ましい。

- ・過去の調査検討において示された値に適合すること。
- ・デューティサイクルは、3.1% 以下であること。
- ・1秒当たりの平均電力は、5.8W を超えないこと。
- ・尖頭電力と出力できる最も広いパルス幅の積は、 5.5×10^{-3} を超えないこと。

3) その他の条件

3-1) 周波数およびその指定周波数帯

現行の技術基準に適合すること。(平成 18 年総務省告示第 57 号)

3-2) 変調方式

現行の技術基準に適合すること。(昭和 55 年郵政省告示第 329 号)

3-3) スプリアス発射又は不要発射の強度

現行の技術基準に適合すること。(無線設備規則別表 3 号)

3-4) 空中線電力の許容偏差

現行の技術基準に適合すること。(無線設備規則第 14 条第 1 項第 6 号)

② 環境条件

1) 電源電圧変動

現行の技術基準に適合すること。(無線設備規則第 15 条第 1 項)

2) 温湿度条件

現行の技術基準に適合すること。(無線設備規則第 15 条第 2 項)

3) 振動・衝撃条件

現行の技術基準に適合すること。(無線設備規則第 15 条第 3 項)

③ 測定方法

現行の測定方法によること。(平成 16 年総務省告示第 88 号 別表第 59)

もしくは、これと同等以上の方法として登録証明機関により定められた方法 (TELEC-T313 など) によること。

4.2. 提言

固体素子を用いる第 4 種レーダー (FM/CW を除く) の空中線電力の許容値を検討するにあたり、本検討会においてはマグネトロンを用いた第 4 種レーダーの現行の範囲である 5 kW 未満に相当する出力として波形の違いなどを考慮して 250W 程度との試算を行い、これに基づき干渉試験を行った。その結果、空中線電力を 250W としても既存の周囲レーダーへの干渉影響は避けられることが示された。

これは、今回の検討の目的である、固体素子を用いた第 4 種レーダー (FM/CW を除く) の空中線電力を 250W まで緩和すればよいということを意味するのではなく、他の要素も含め総合的に決定されることが必要である。

それには、まず周囲状況・物標の探知能力との兼ね合いがある。探知能力向上のためには出力が大きい方がよいことは自明である。一方、干渉をはじめとする影響を考えた場合には出力は小さい方がよいとも言える。本検討会における実証のための試験は、同種のレーダーへの影響を評価するものであり、他の無線通信機器への影響等も調査する必要があるかもしれない。

前述のとおり、許容値の決定にあたって、国内の製造者 3 社から方式についての

工夫を加えることによりマグネトロンレーダー4.9kW に相当する能力を実現するために、それぞれ40W、150W、170Wまでの低減が可能であることが示された。

小型船舶への普及を図るため、第4種レーダーとして無線従事者免許を不要とするものであること、無線局を運用する場合において空中線電力は「通信を行うため必要最小のものであること」との電波法の理念に合致すること等を勘案し、可能な範囲での規制緩和とする必要がある。

そのためには、固体素子を用いた場合に空中線電力をどこまで小さくしても十分な周囲物標の探知能力を実現できるかというレーダーの最も重要な機能についての調査検討がさらに必要であり、これは今後の課題として考慮すべき事項となる。

この他、発振出力を大きくするためには、使用する固体素子の価格が高くなり、最終的には製品価格にも反映されることが考えられる。すでに外国において固体素子レーダーが市販されている状況も鑑み、国内製造者の競争力等にも配慮が必要であろう。産業育成、技術開発支援等の方策で対応していくことも検討した上での規制緩和となることが望まれる。

5. おわりに

本報告書は、2021(令和3)年度に実施した、「9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会」における審議、検討の結果をまとめたものである。その目的は、無線従事者免許を不要とする簡易な小型船舶向けレーダーにおいて、技術動向に合わせてマグネトロンレーダーから固体素子レーダーに移行しつつある現状に則して規制緩和の可能性を検討することであった。適切な緩和の拡充が行われることで、小型船舶へのレーダー設置の普及が促進され、海上における小型船舶の運航における安全安心の向上はもちろんのこと、小型船舶側の周囲探知能力の向上により、大型船も含めた海上交通全体の安全な航行環境の実現に寄与することを切に期待する。

資料 1 - 1

空中線電力に関する意見 1

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの 規制緩和拡充に関する調査検討会

第4種レーダーとすることが妥当な固体素子レーダーの空中線電力(案)
に関する意見書の補足資料

2021.09.21
日本無線(株)

取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

概要

固体素子レーダーの送信出力の許容値 (事務局提案:40W)についての見解

PT積および信号処理(4スイープ平均)によるSNR向上
を考慮して、
マグネトロンレーダー4.9kW相当の固体素子レーダーの
送信出力は、40Wでは足りない。
PT積を同じとした場合の267Wで同等

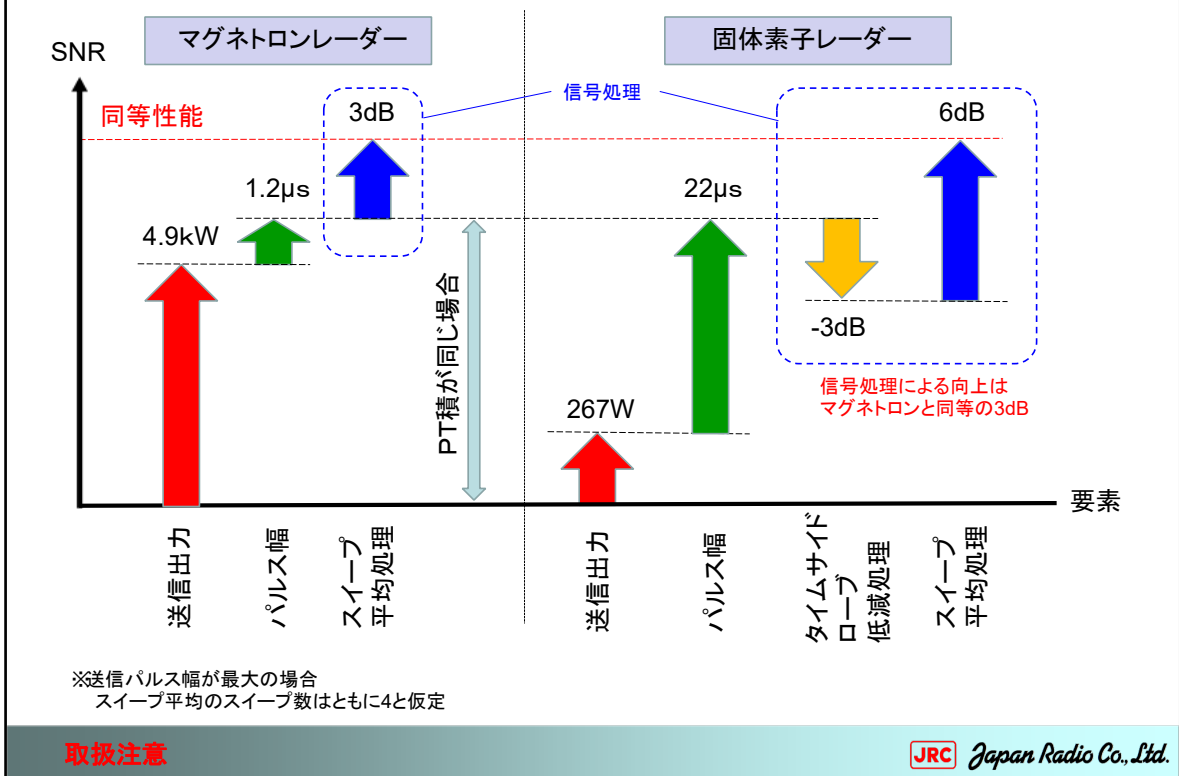
イメージを図1に示す。

- ・コヒーレント積分(固体素子レーダーで可能)によって、スイープ平均によるSNRの向上はマグネトロンレーダーより固体素子レーダーが有利
- ・固体素子レーダーでは、パルス圧縮方式特有のタイムサイドローブ低減のためにターゲット信号のロスが発生

取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

SNRの増減イメージ(図1)



送信出力を下げるには

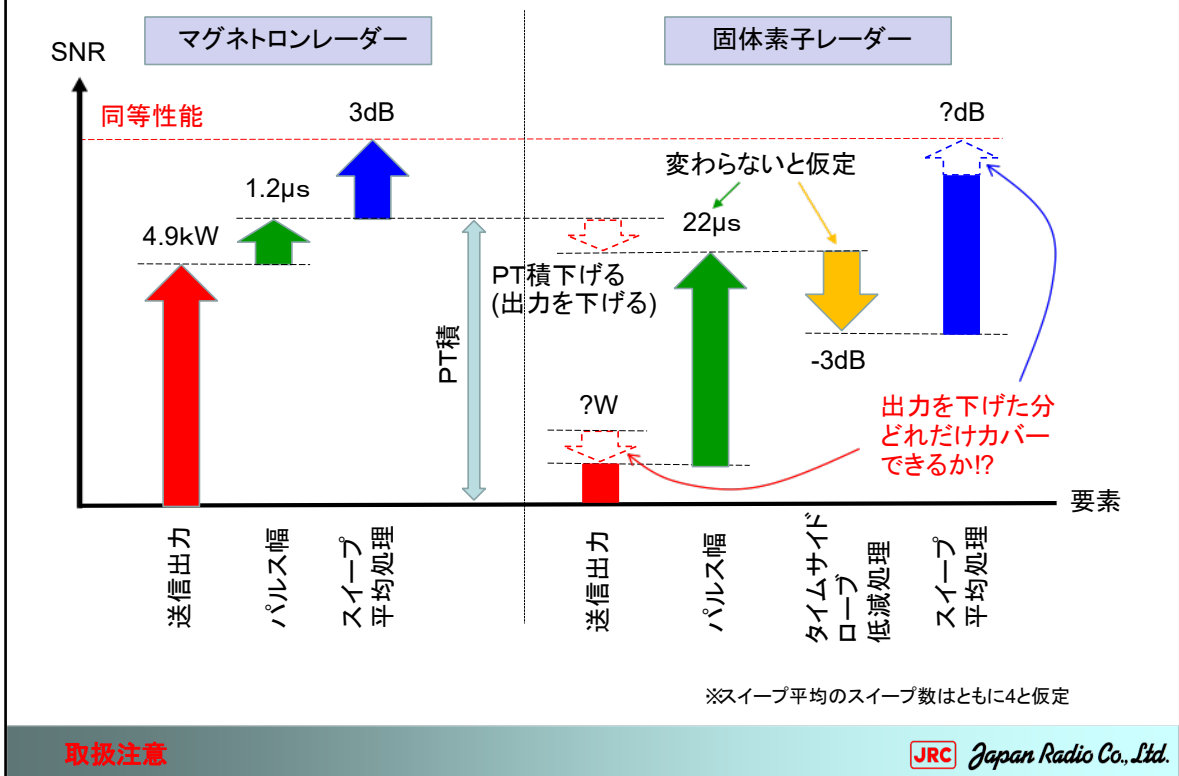
固体素子レーダーの送信出力を267Wから下げた場合、4.9kWのマグネトロンレーダー相当のSNRを確保するためには、スイープ平均等の信号処理でカバーする必要がある。

イメージを図2に示す。

取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

SNRの増減イメージ(図2)



送信出力の許容値は？

実際、どこまでカバーできるか？

例えば、8スイープの平均処理ができれば、コヒーレント積分の効果で9dB程度の向上が見込まれる。

(スイープ平均処理のスイープ数は、アンテナビーム幅、回転数、送信繰り返し周波数といったレーダー諸元と装置のハードウェア/ソフトウェアの制約で無造作に増やすことはできない。8スイープ取れない場合もあり)



4スイープの平均処理(6dB程度の向上)に対して、3dBの向上



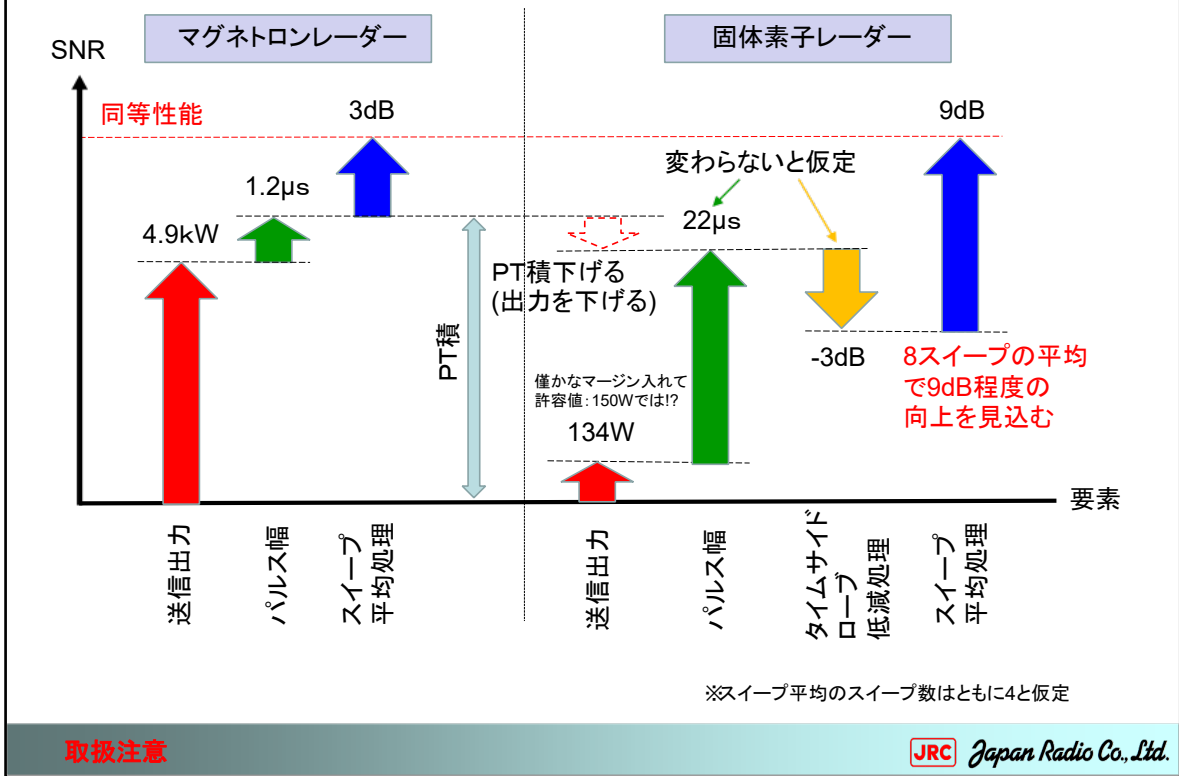
送信出力を3dB(半分)下げることができる。
つまり、許容値として $267W \div 2 = 134W$ (図3参照)

(僅かなマージン入れて切りがいいところで150Wあたりではどうか!?)

取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

SNRの増減イメージ(図3)



【参考】スweep平均処理の条件(1)

基本的にスweep平均処理は、アンテナ水平ビーム幅内のスweep数以下で実施。 → アンテナ長に依存

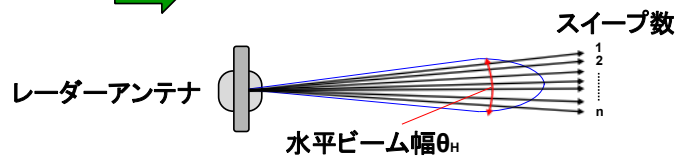


図4 ビーム幅内のスweep

1° あたりのスweep数Nは下記(図5参照)。

$$N = \frac{f_p [\text{Hz}]}{\frac{\omega [\text{rpm}] \cdot 360 [^\circ]}{60 [\text{s}]}} = \frac{f_p}{\omega \cdot 6}$$

1秒間のスweep数に相当 (500~3,000程度; 観測レンジに依存)

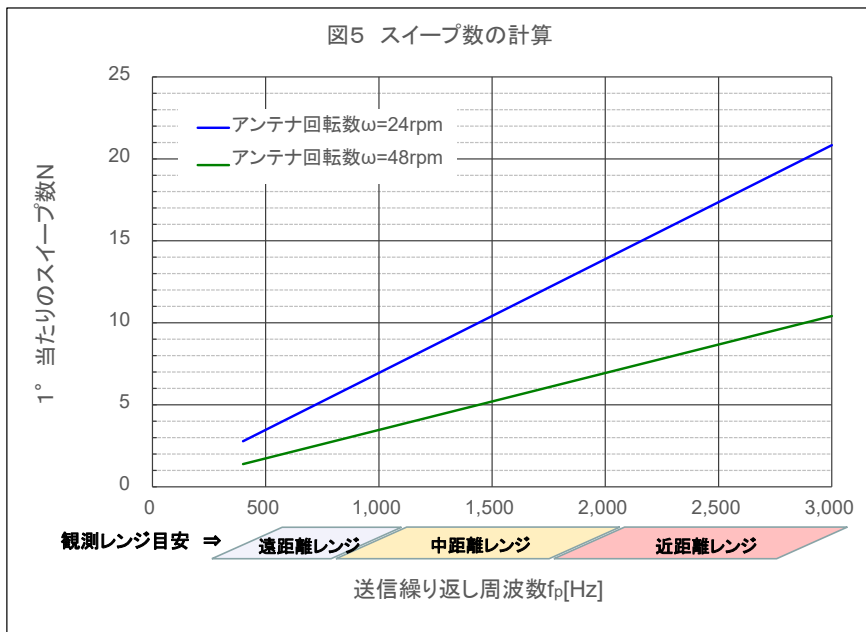
1秒間でアンテナが回転する角度

f_p : 送信繰り返し周波数[Hz]
 ω : アンテナ回転数[rpm]

取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

【参考】スイープ平均処理の条件(2)



【例】
N=4の場合

↓
ビーム幅2°以上
あれば、8スイープ
の平均が可能

取扱注意

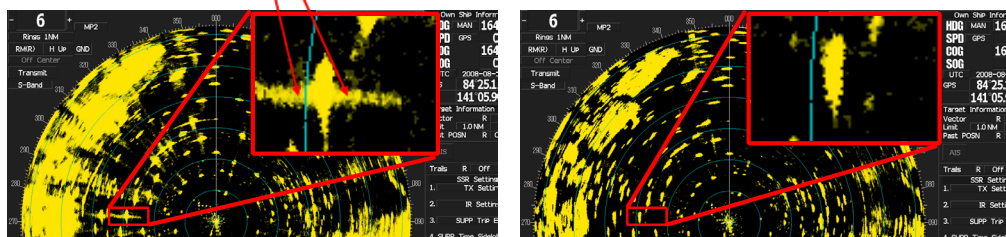
JRC Japan Radio Co., Ltd.

【参考】タイムサイドローブの映像例

タイムサイドローブ（電波反射の大きなターゲットの距離方向に発生する偽像）

タイムサイドローブ内の
ターゲット検出困難

→ 低減が必要



(a)パルス圧縮方式の映像

(b)P0Nパルス方式の映像
(マグネトロンレーダー)

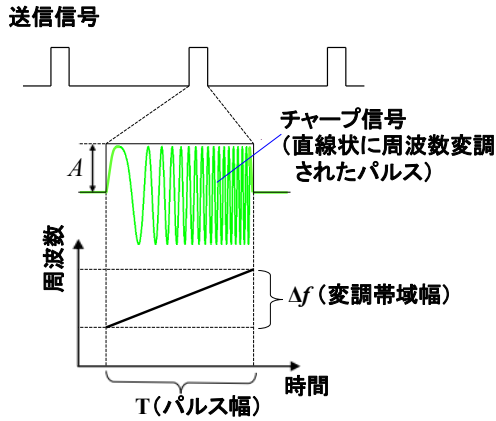
図6 タイムサイドローブ

取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

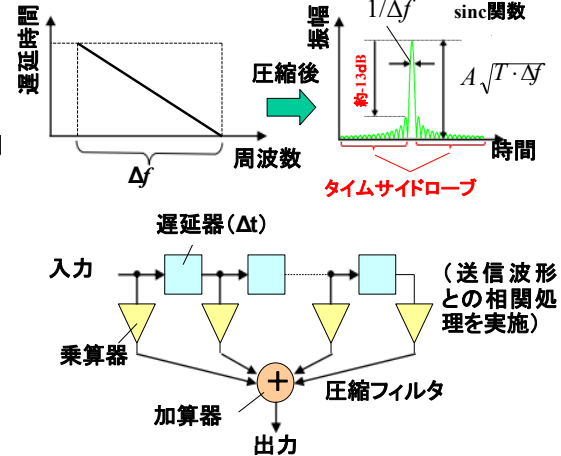
【参考】パルス圧縮

■送信



幅の広いパルス内で周波数を時間的に変化させ、送信波形を形成

■受信



周波数—遅延時間特性フィルタ(上図)に受信波形を通すと圧縮パルスを得る

処理の結果、タイムサイドローブ(偽像)が発生する。

図7 パルス圧縮の概要

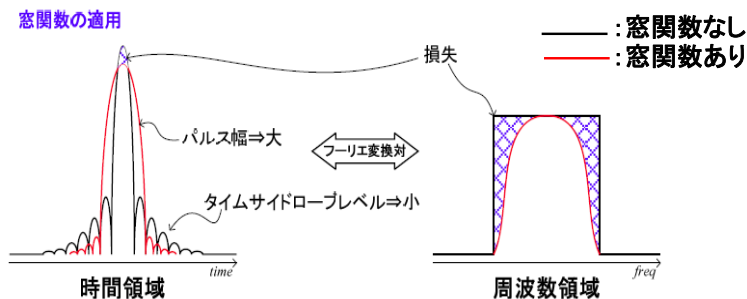
取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

【参考】タイムサイドローブの低減

一般的に、-13dBものタイムサイドローブは船舶用レーダーとして許容できない。 ➡ 低減する処理が必要(-40~-50dB程度)

低減する一例として、窓関数を用いる手法があるが、それによる信号ロスも考慮する必要がある。



※タイムサイドローブは低減するが、窓関数の処理内容に依存してパルス幅の広がりとともにS/Nのロスが生じる。

図8 タイムサイドローブ低減による信号ロス

取扱注意

JRC Japan Radio Co., Ltd.

資料 1 - 2

空中線電力に関する意見 2

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの 規制緩和拡充に関する調査検討会

第4種レーダーとすることが妥当な固体素子レーダーの
空中線電力(案)に関する意見書の補足説明

2021/09/21

株式会社光電製作所
技術グループ開発部
林 大介

当社意見書の主旨

当社意見

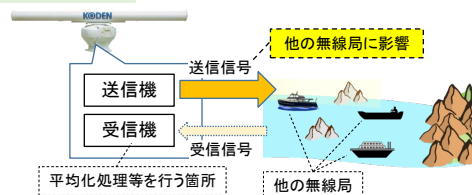
事務局からご提示頂いた空中線電力の規制値(案)の候補のうち**250Wが妥当**と考えます。

【事務局ご提示の規制値(案)候補】

- ❖ 第4種マグネトロンレーダーと同一のSNRが得られる固体素子レーダーの空中線電力は267Wである
→端数を切り下げ250W
- ❖ 第4種マグネトロンレーダーと同一の探知性能が得られる固体素子レーダーの空中線電力は41Wである
→端数を切り下げ40W

理由

- « 規制は**他の無線局に影響を与えないことが目的**であるため、基本的には空間に電波を放射する**送信機側の性能のみを対象**とし、“受信機側の”信号処理による改善量とは切り離すべきと考えます。
- « **平均化による改善はマグネトロンでも同様**に行っているため、“平均回数”の差による恩恵はないと考えます。“平均手法”の差による恩恵はありますが、処理損の影響でそれほど大きくはなりません。
- « 規制値を低くし過ぎることで、**ユーザーが固体素子化のメリットを享受しきれないことを懸念**します(長寿命・高信号品質など)。



平均化による改善量比較

平均回数	固体素子 Coherent	マグネトロン Non-Coherent	平均手法 による差	固体の処理損 (3dBを加味)
2	3.0 dB	1.5 dB	1.5 dB	-1.5 dB (0.7倍)
4	6.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	0.0 dB (1.0倍)
6	7.8 dB	3.8 dB	4.0 dB	1.0 dB (1.3倍)
8	9.0 dB	4.5 dB	4.5 dB	1.5 dB (1.4倍)
10	10.0 dB	5.1 dB	4.9 dB	1.9 dB (1.5倍)

補足説明

①固体素子のレーダー方程式

【前回検討会資料における式】

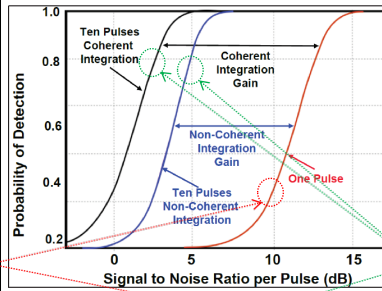
$$SNR = \frac{G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma \times P \times \tau}{(4 \times \pi^3) \times R^4 \times kT_s \times t}$$

$$SNR = \frac{G_a^2 \times \lambda^2 \times \sigma \times P \times \tau}{(4 \times \pi^3) \times L_m \times R^4 \times kT_s \times t}$$

G_a: アンテナ利得, A: 波長, σ: レーダー断面積, R: 距離, k: ボルツマン定数, T_s: システム雑音温度, P: 送信電力, t: パルス幅

より厳密な式では処理損失L_mがあるためSNRは低下。
「One Pulse」は実際にはもう少し左側にシフトする。
(本資料ではこれを3dBとした)

【前回検討会資料におけるグラフ】



②平均回数Mの一般的な算出式

$$M = \frac{\theta f}{6\omega}$$

θ: アンテナの水平ビーム幅,
f: 繰り返し周波数,
ω: アンテナ回転速度

いずれも固体素子・マグネトロンによって変わらない値

両方式の“回数”は基本的には同一にできる

平均回数が同じ場合、両方式の差は「Coherent」と「Non-Coherent」の差となる

③平均化による改善量を267Wに換算した場合

※「267W」: 第4種マグネトロンレーダーと同一のSNRが得られる固体素子レーダーの空中線電力

平均回数	固体素子 Coherent	マグネトロン Non-Coherent	平均手法による差	固体の処理損(3dB)を加味	改善量を267Wに換算
2	3.0 dB	1.5 dB	1.5 dB	-1.5 dB (0.7倍)	381W
4	6.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	0.0 dB (1.0倍)	267W
6	7.8 dB	3.8 dB	4.0 dB	1.0 dB (1.3倍)	205W
8	9.0 dB	4.5 dB	4.5 dB	1.5 dB (1.4倍)	191W
10	10.0 dB	5.1 dB	4.9 dB	1.9 dB (1.5倍)	178W

とはいえ、処理損失L_mや平均回数は各社で異なるため一概に論じることは適切ではない。

送信機側の性能のみで規制値を決定すべきと考えます

平均回数4回以上の改善は技術の進歩によるユーザーへの恩恵と考えるのはいかがでしょうか？

Koden Electronics Co., Ltd.

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの 規制緩和拡充に関する調査検討会

第4種レーダーとすることが妥当な固体素子レーダーの
空中線電力(案)の低減のための検討

2021/12/01

株式会社光電製作所
技術グループ開発部
林 大介

空中線電力(案)の低減のための検討

前提条件

電波法に従い、空中線電力は必要最小とすべき

固体素子化に伴うSNRの改善効果はあるが、
空中線電力は可能な範囲で大きくしたい

- φ 第4種マグネトロンレーダー4.9kW(パルス幅1.2us)とPT積が同じである固体素子レーダーの空中線電力は267W(22us).
- φ 信号処理による改善は可能だが、処理による損失もあり、その改善効果は限定的.
- φ 固体素子では近距離をPONで測定する必要がある、近距離のSNRは空中線電力の低下分そのまま劣化する.

改定提案

空中線電力の許容偏差(±50%)を考慮し、その上限をPT積以下とする.

→ **空中線電力(案): 170W(85~255W)**

【補足A】前回までの“平均処理”に関する議論に対し、別の観点から固体素子レーダーに必要な電力を計算.

	36NM	48NM	64NM
	2250Hz	1687Hz	1266Hz
1.0deg	191 W (135 W)	220 W (156 W)	254 W (180 W)
1.5deg	156 W (110 W)	180 W (127 W)	208 W (147 W)
2.0deg	135 W (95 W)	156 W (110 W)	180 W (127 W)
2.5deg	121 W (85 W)	139 W (99 W)	161 W (114 W)
3.0deg	110 W (78 W)	127 W (90 W)	147 W (104 W)

- ① 第4種レーダーで主に設定されている上限レンジから繰り返し周波数の限界を算出。
※(光速÷上限レンジ)÷2
- ② 第4種レーダーで主に用いられているアンテナの水平ビーム幅を仮定.
- ③ ①と②から平均回数を算出し、固体素子(コヒーレント)のマグネトロン(ノンコヒーレント)に対するSNR改善量を算出.
- ④ ③の結果から固体素子における処理損失(3dB)を考慮.
- ⑤ ④の結果にパルス幅の比率(22us/1.2us)を考慮して、マグネトロン4.9kWに相当する固体素子の空中線電力を算出.

139W~208W
(99W~147W) 48rpm時(24rpm時)

【補足B】近距離探知(PON)におけるSNRの劣化量を試算.

	4.9kWに対する SNR劣化量
50 W	20 dB
100 W	17 dB
150 W	15 dB
200 W	14 dB
250 W	13 dB

固体素子レーダーの空中線電力

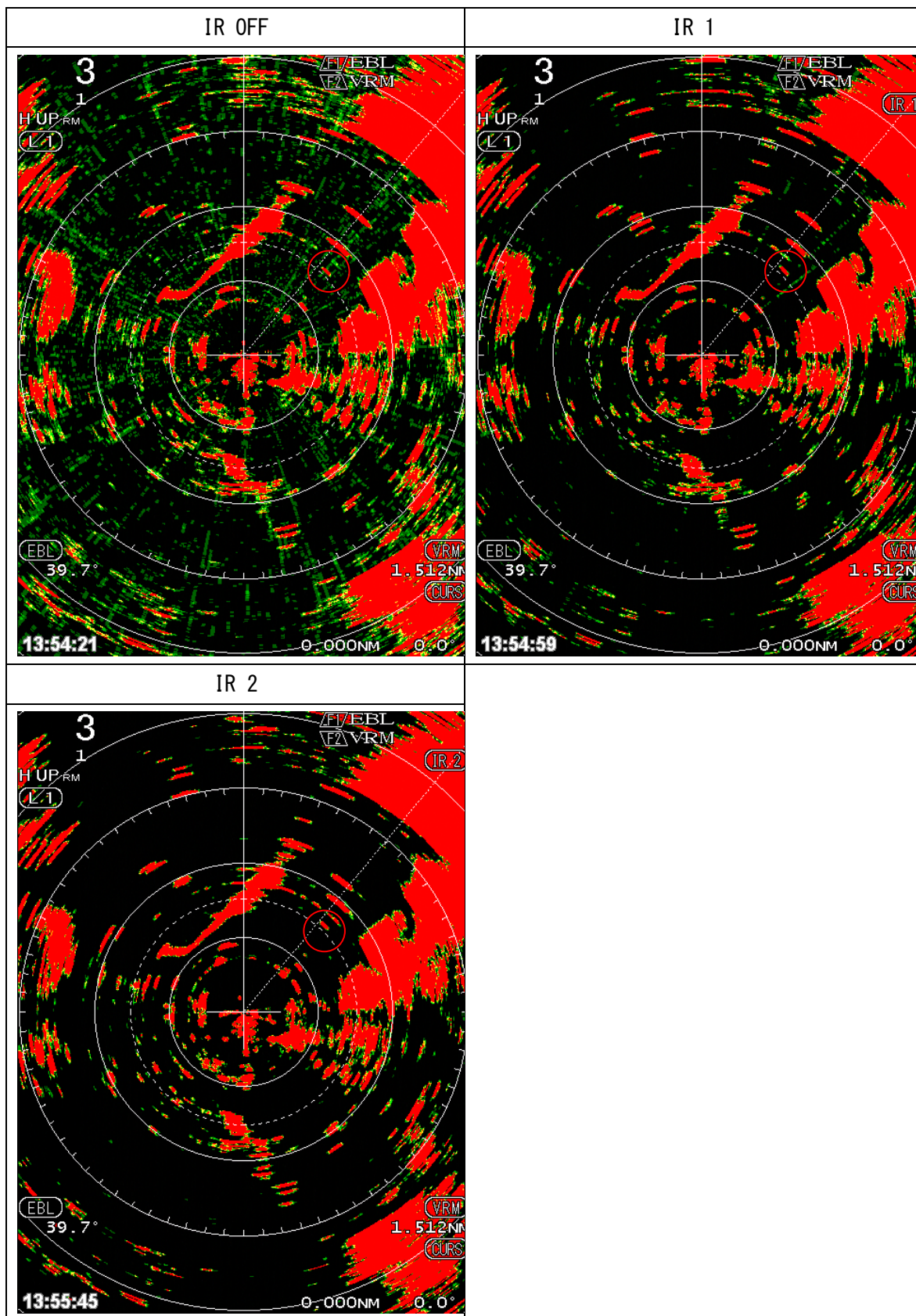
近距離でのSNR低下は避けられない(ただし近距離なので反射波のレベルも大きい)

資料 2

陸上試験結果映像

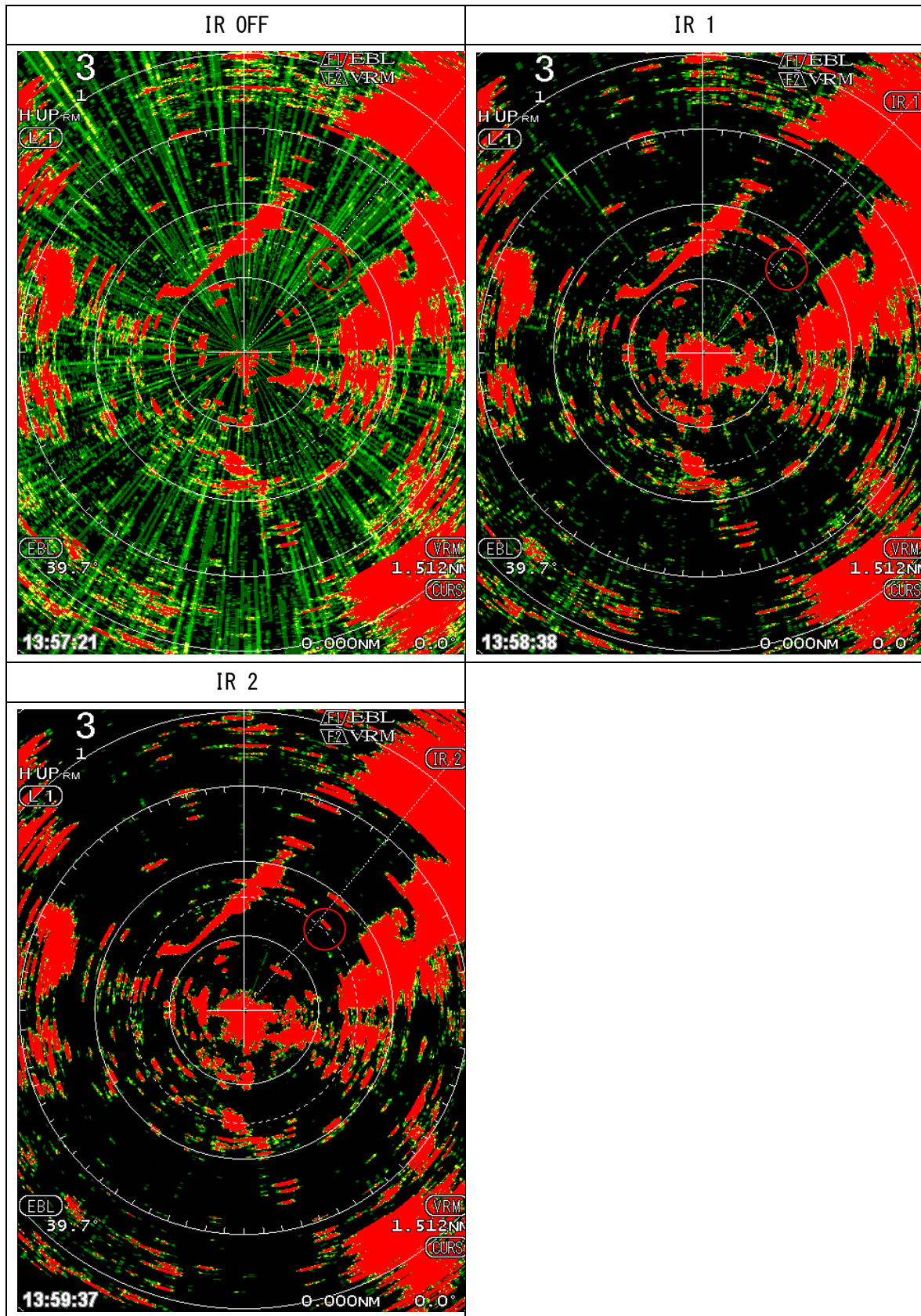
与干渉機 : STBY

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



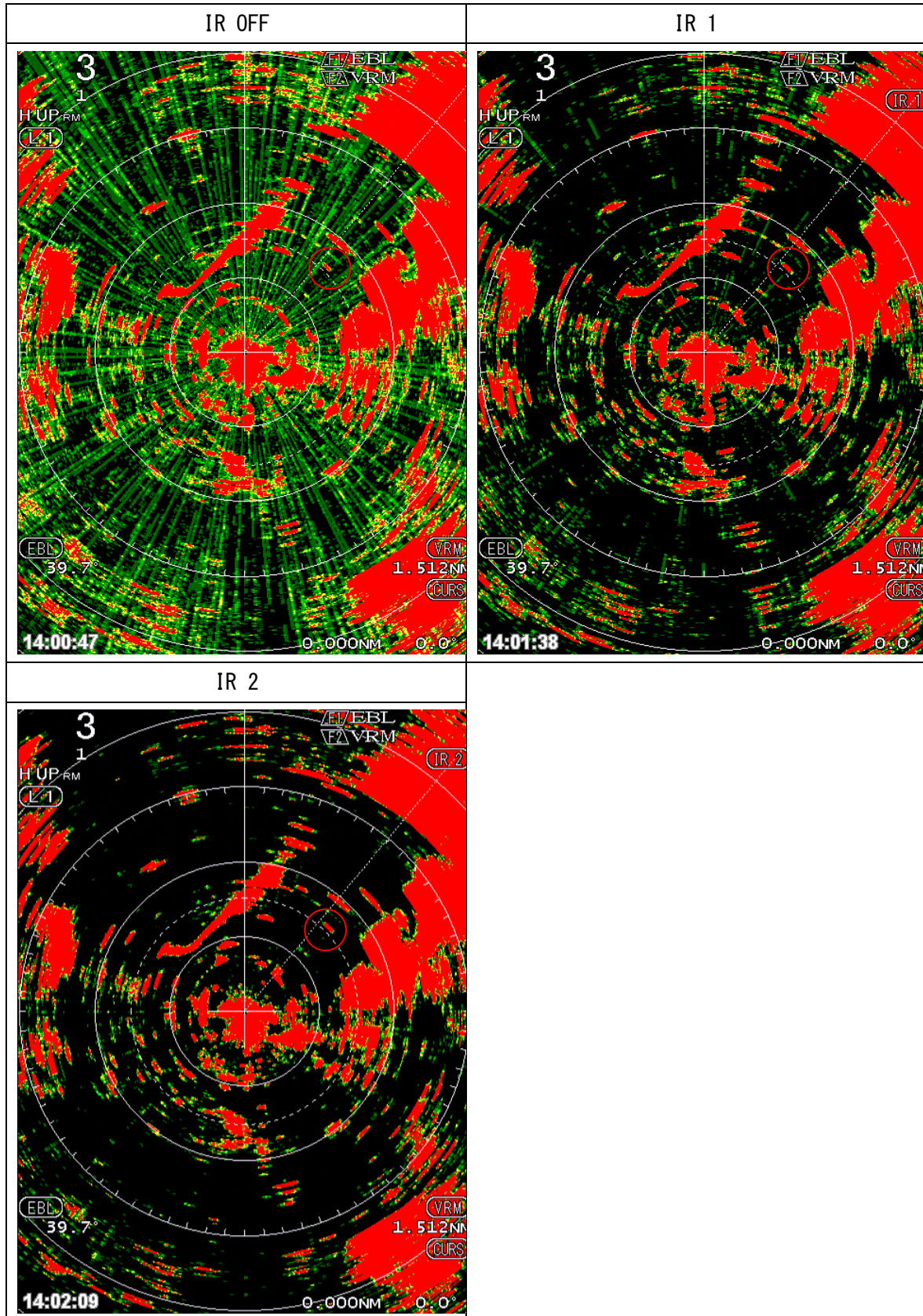
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



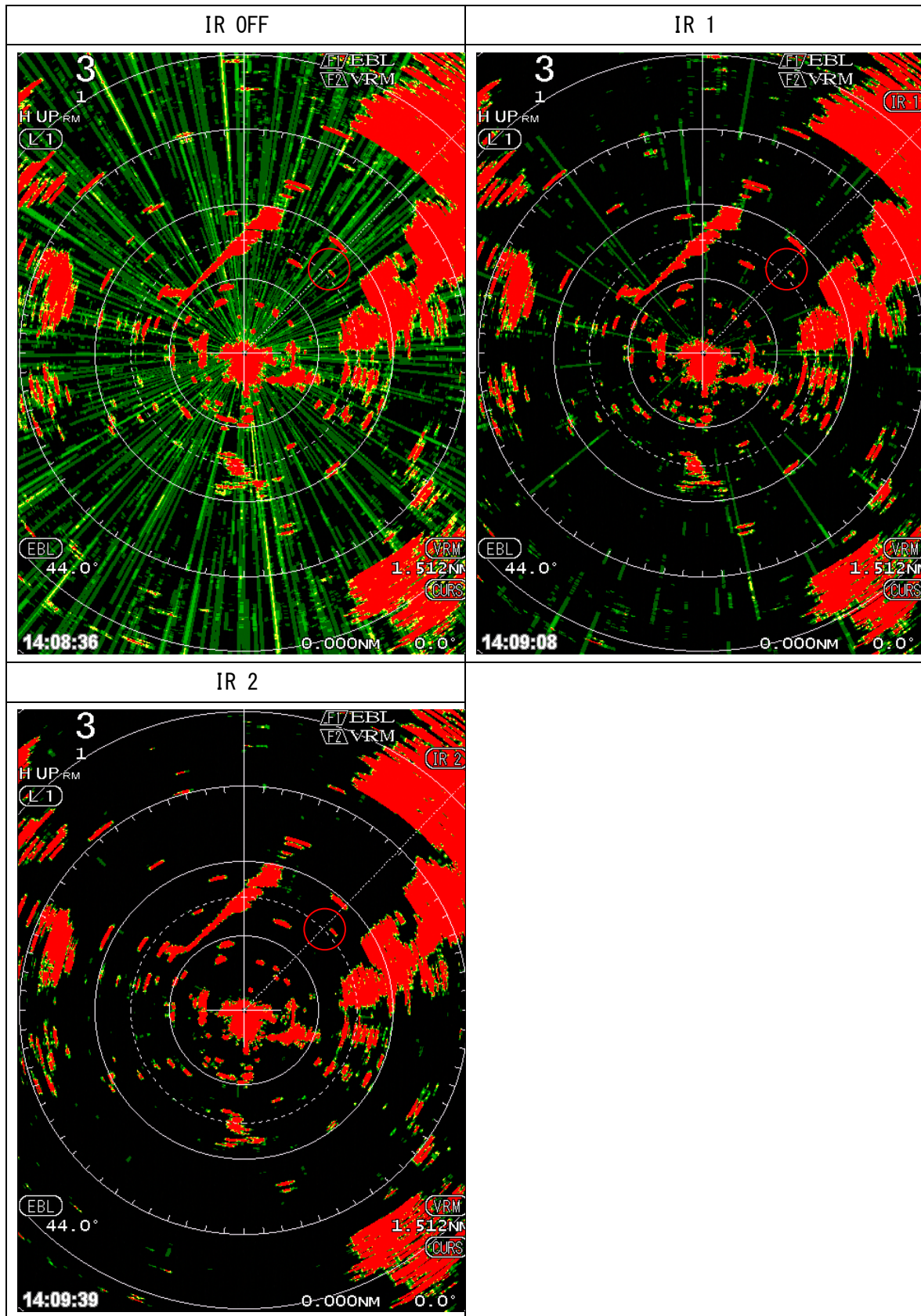
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



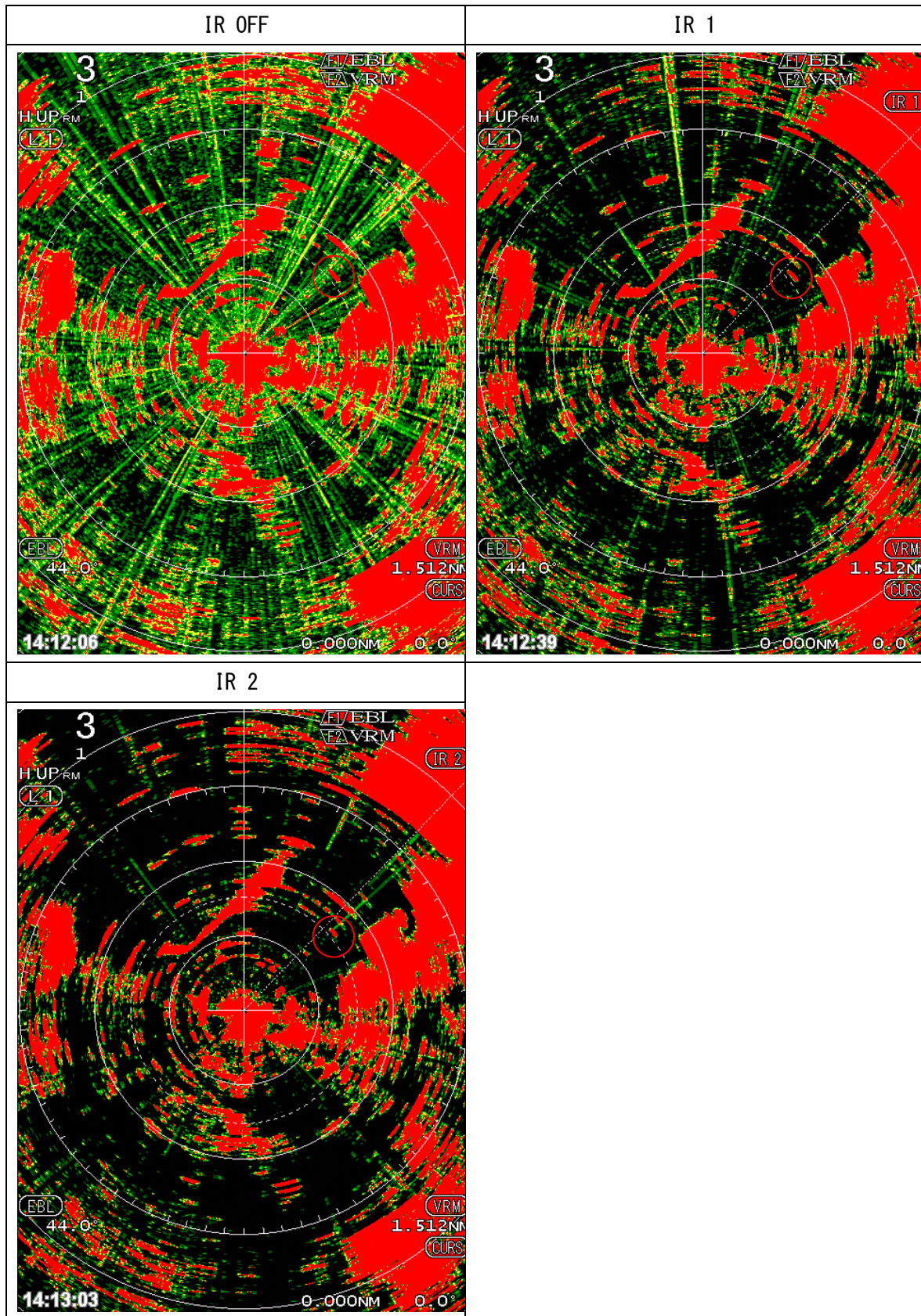
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



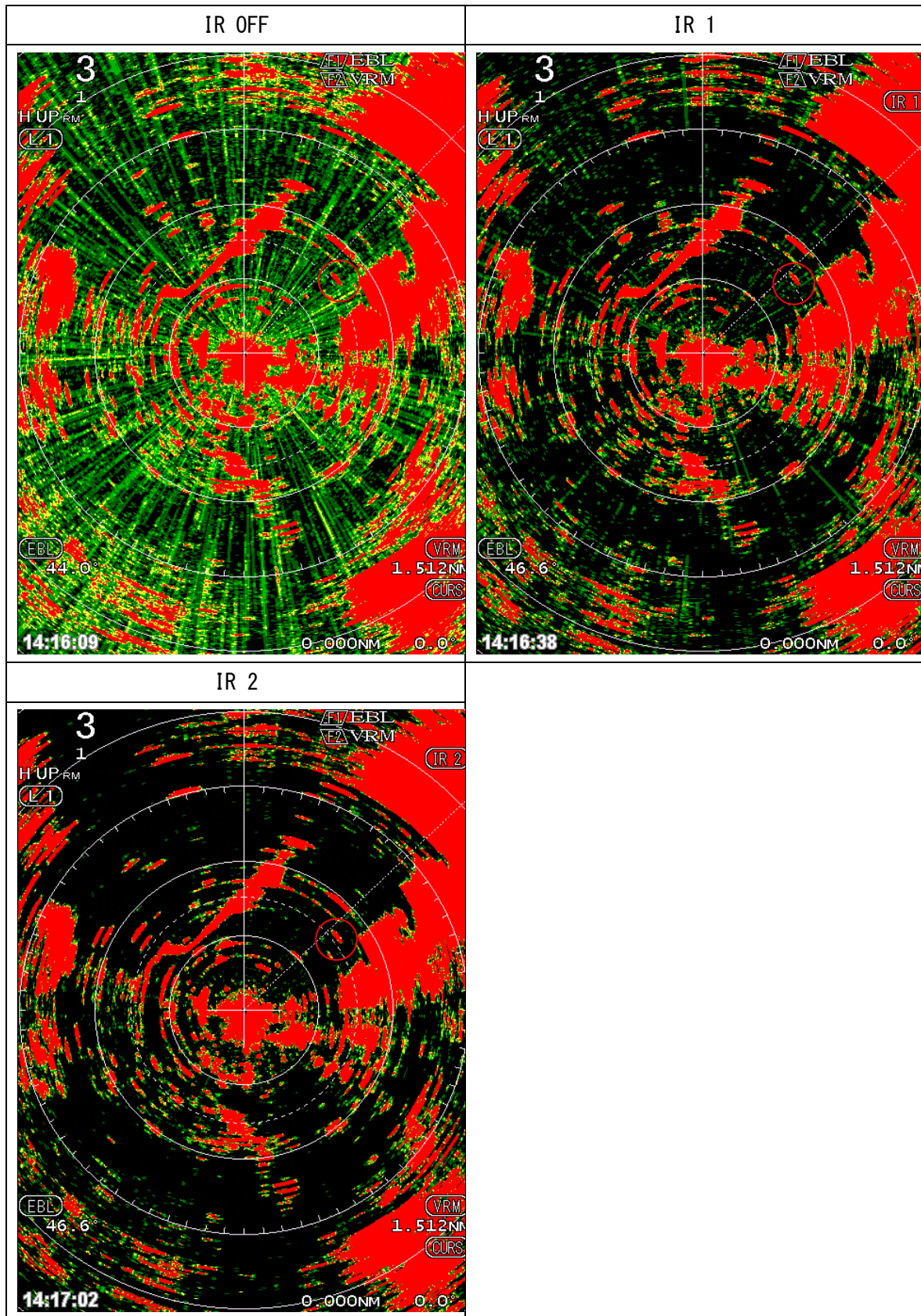
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF816Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



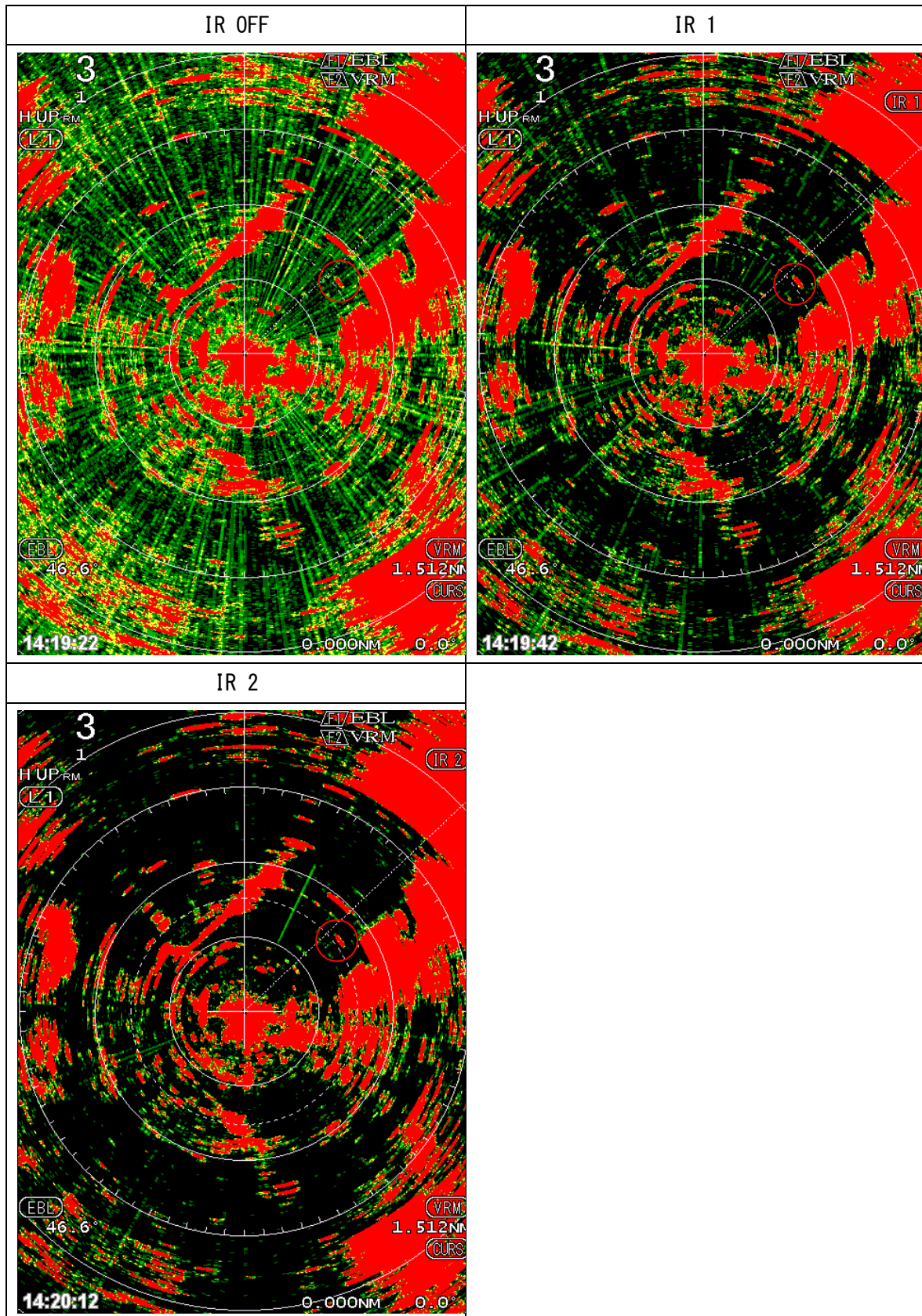
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 11us, PRF3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



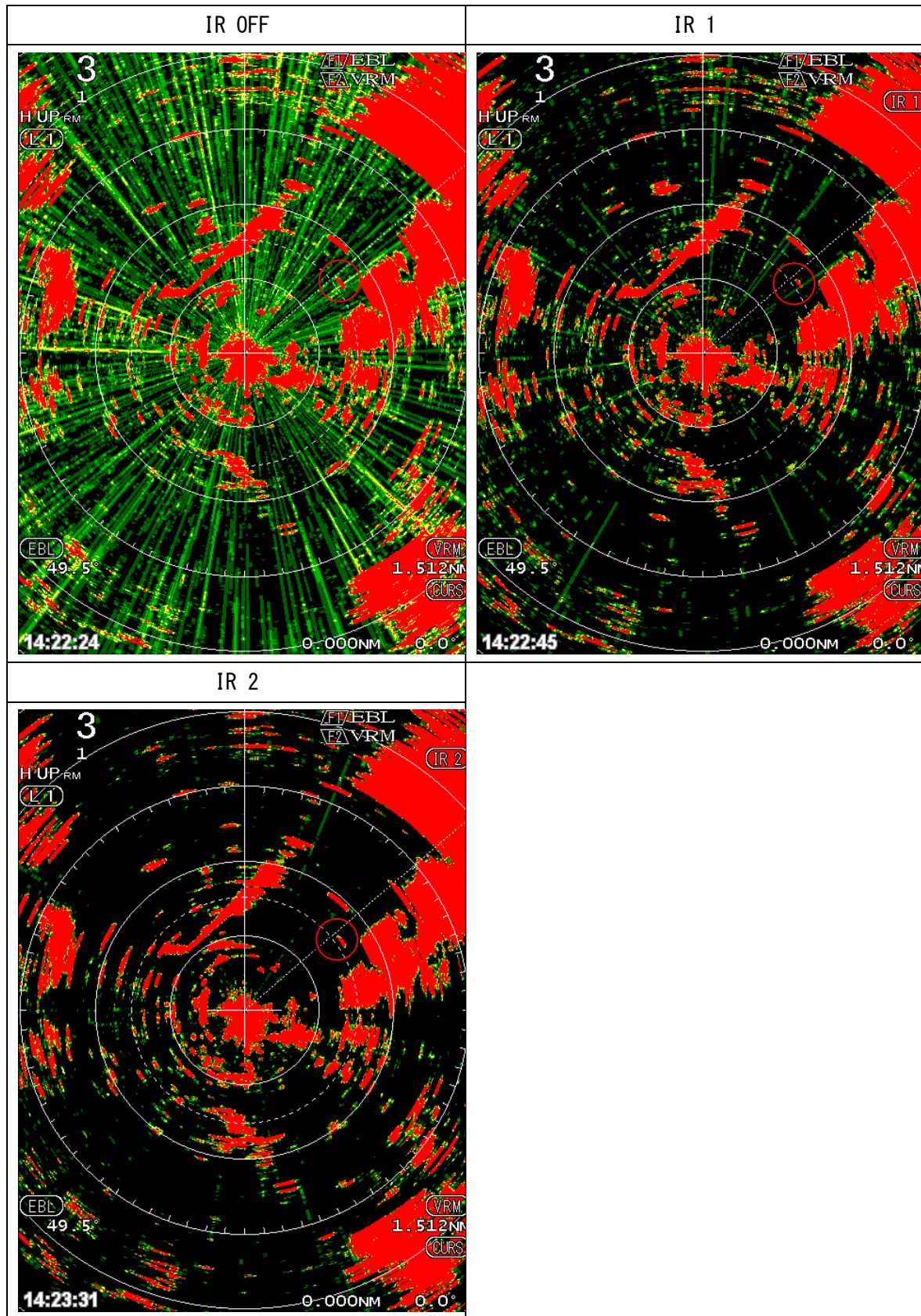
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



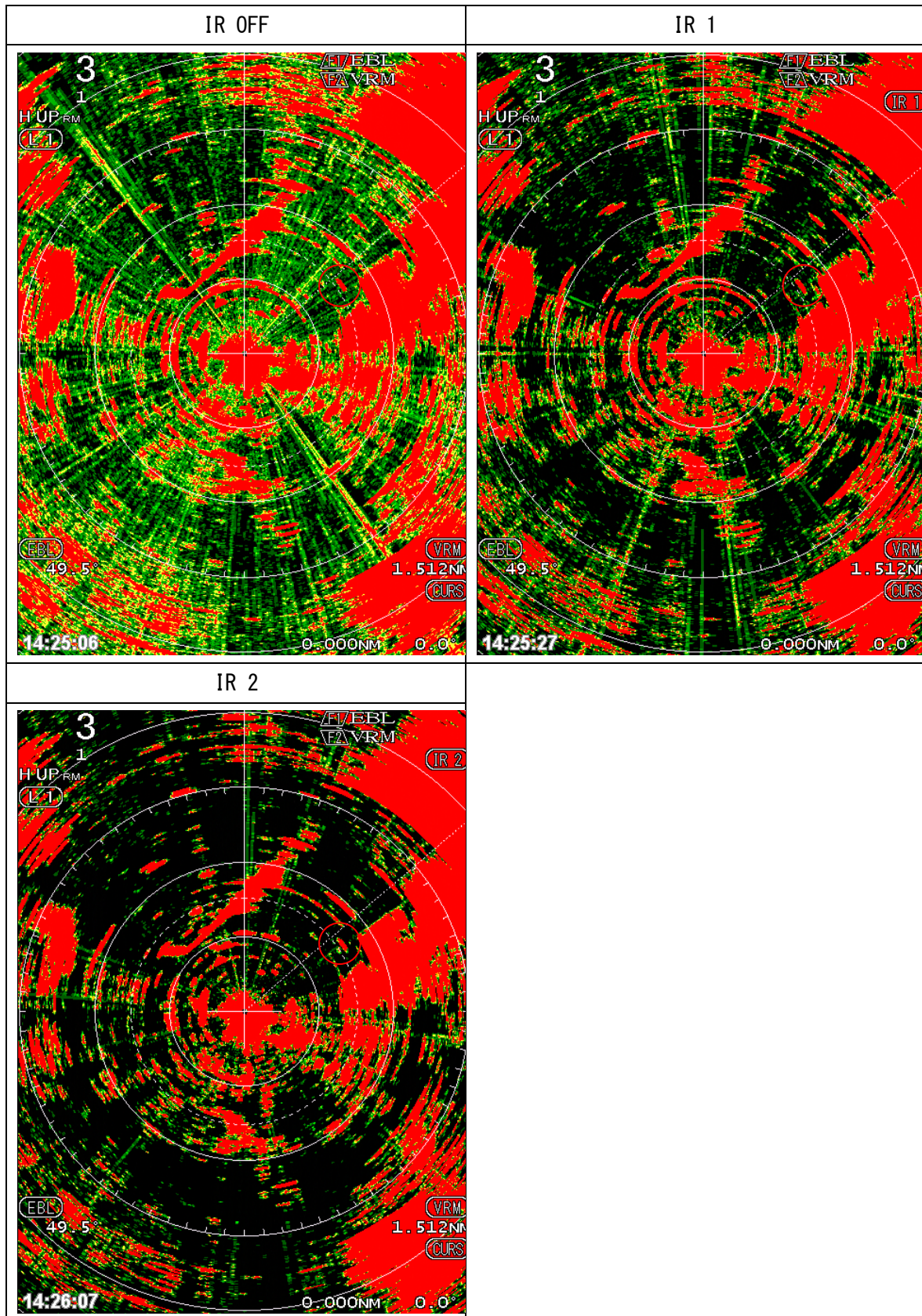
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz



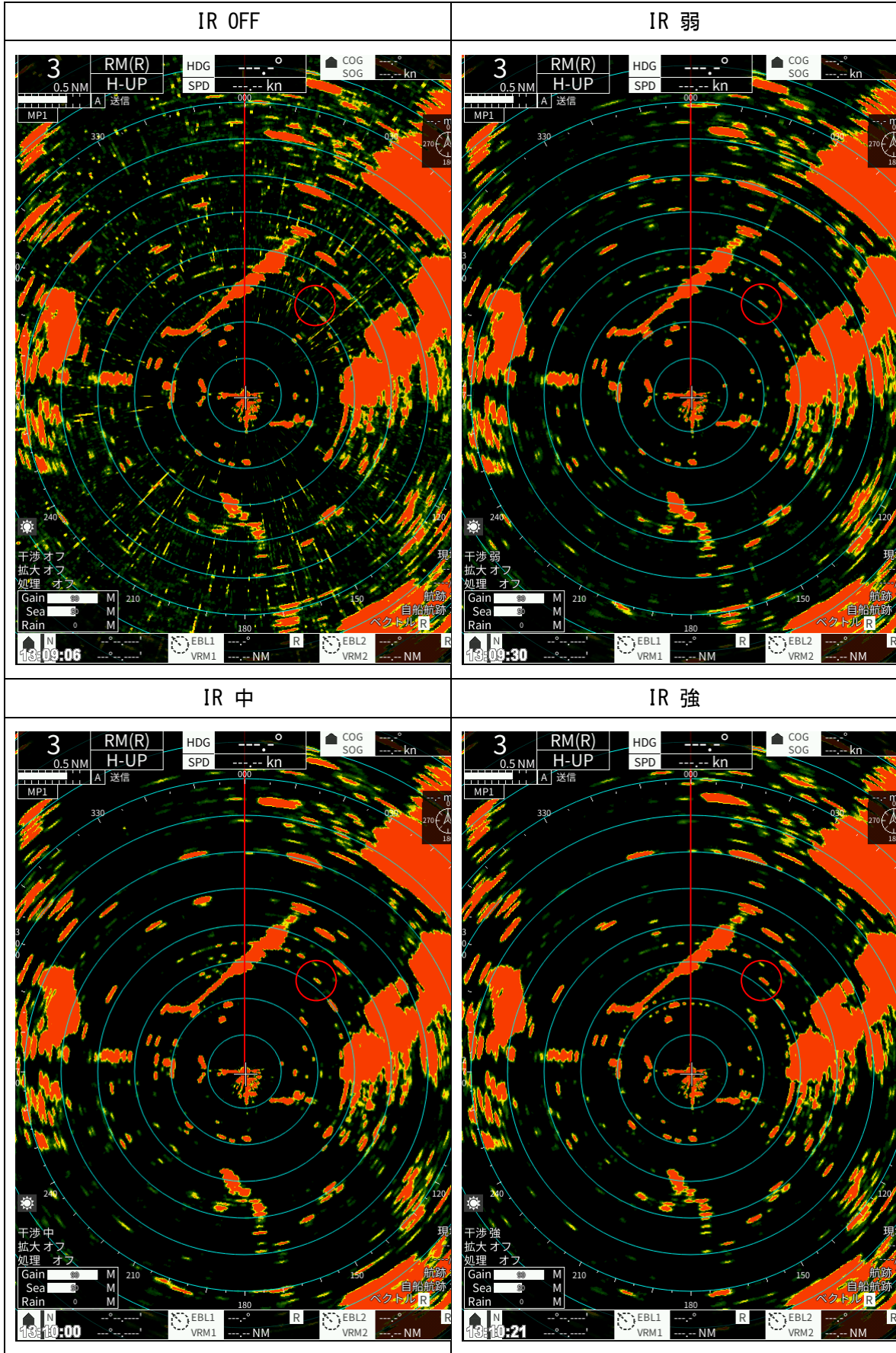
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF816Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.5us, PRF 816Hz

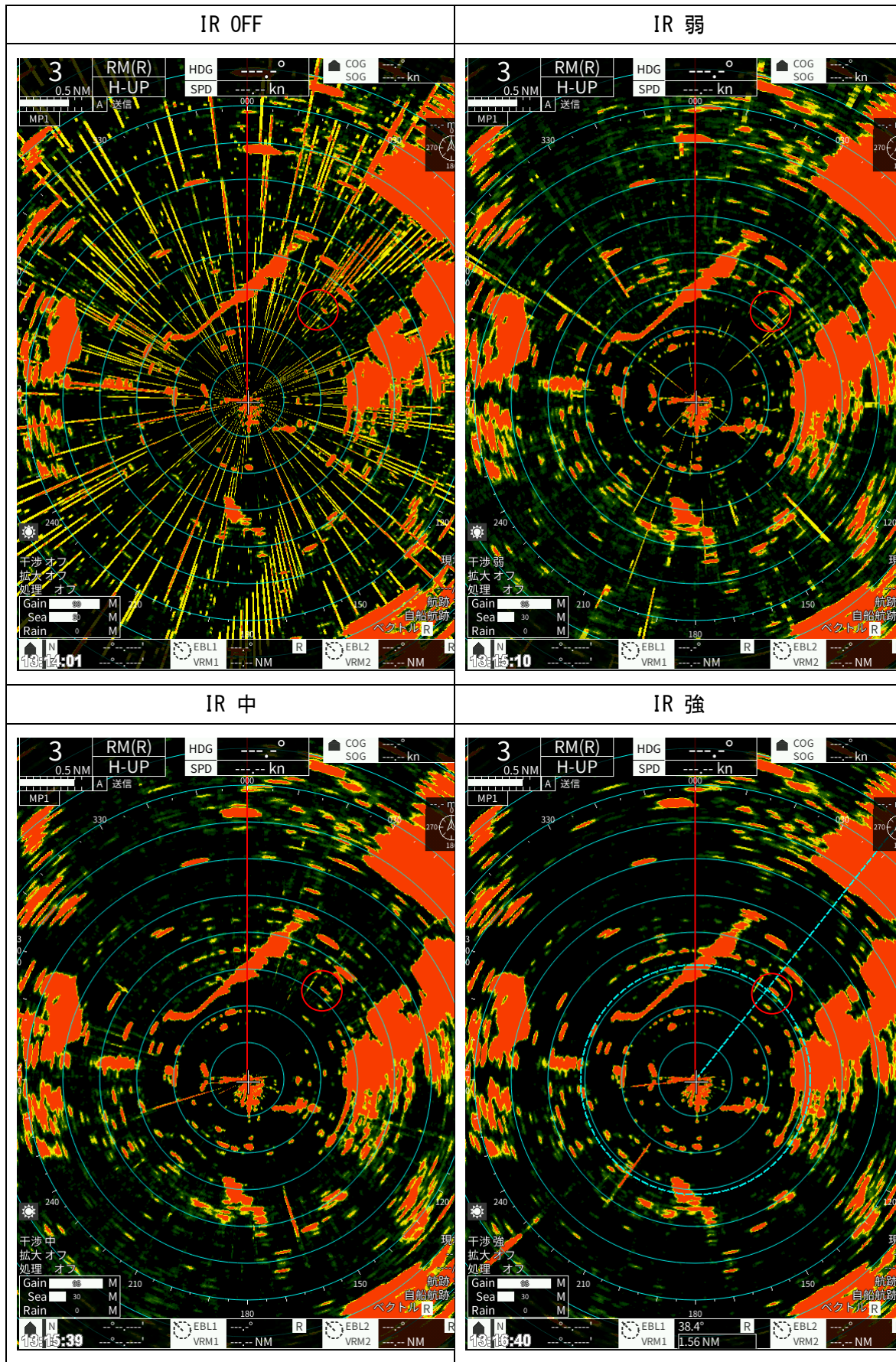


与干渉機 : STBY

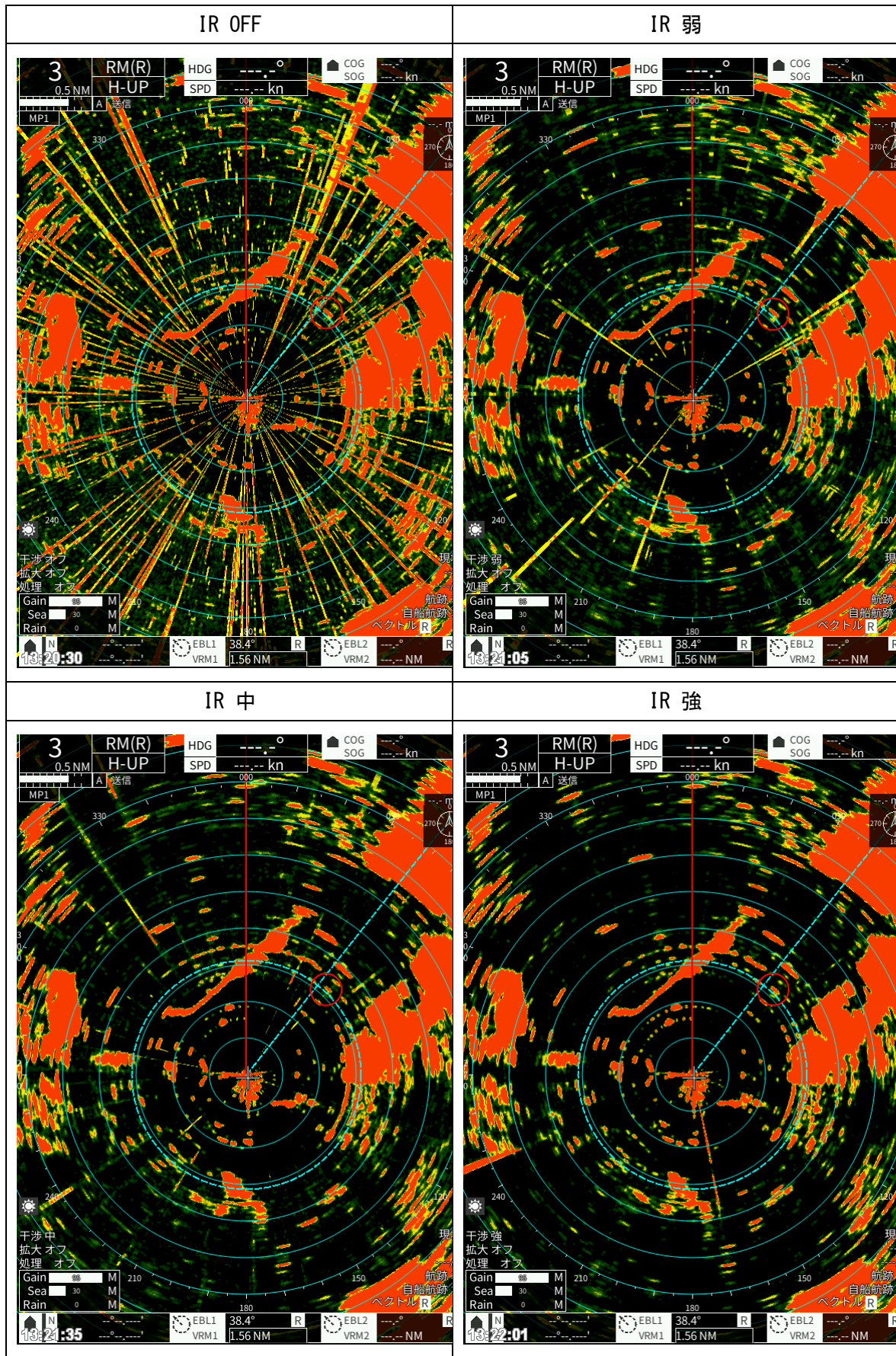
被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz



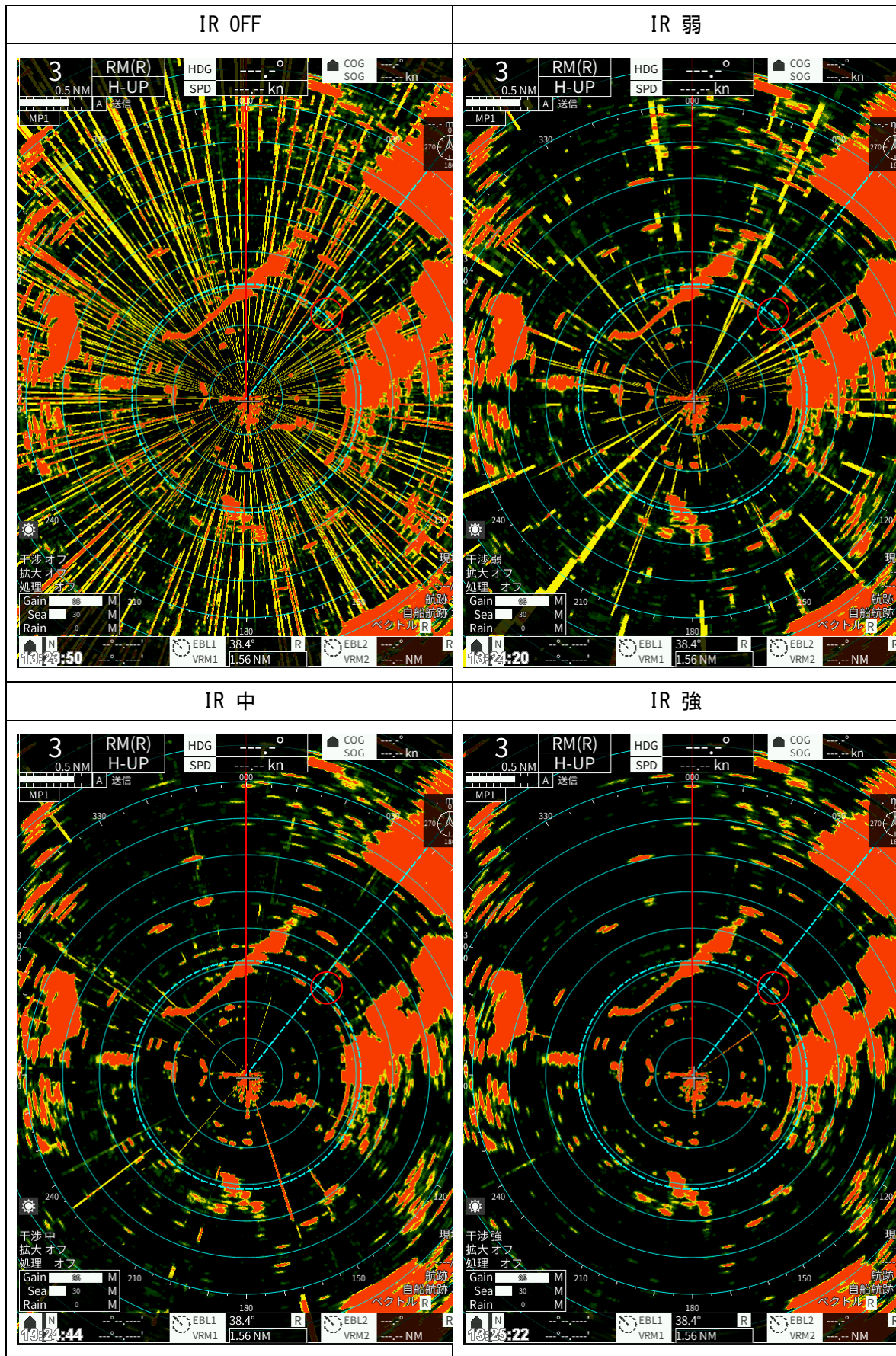
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz
 被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz



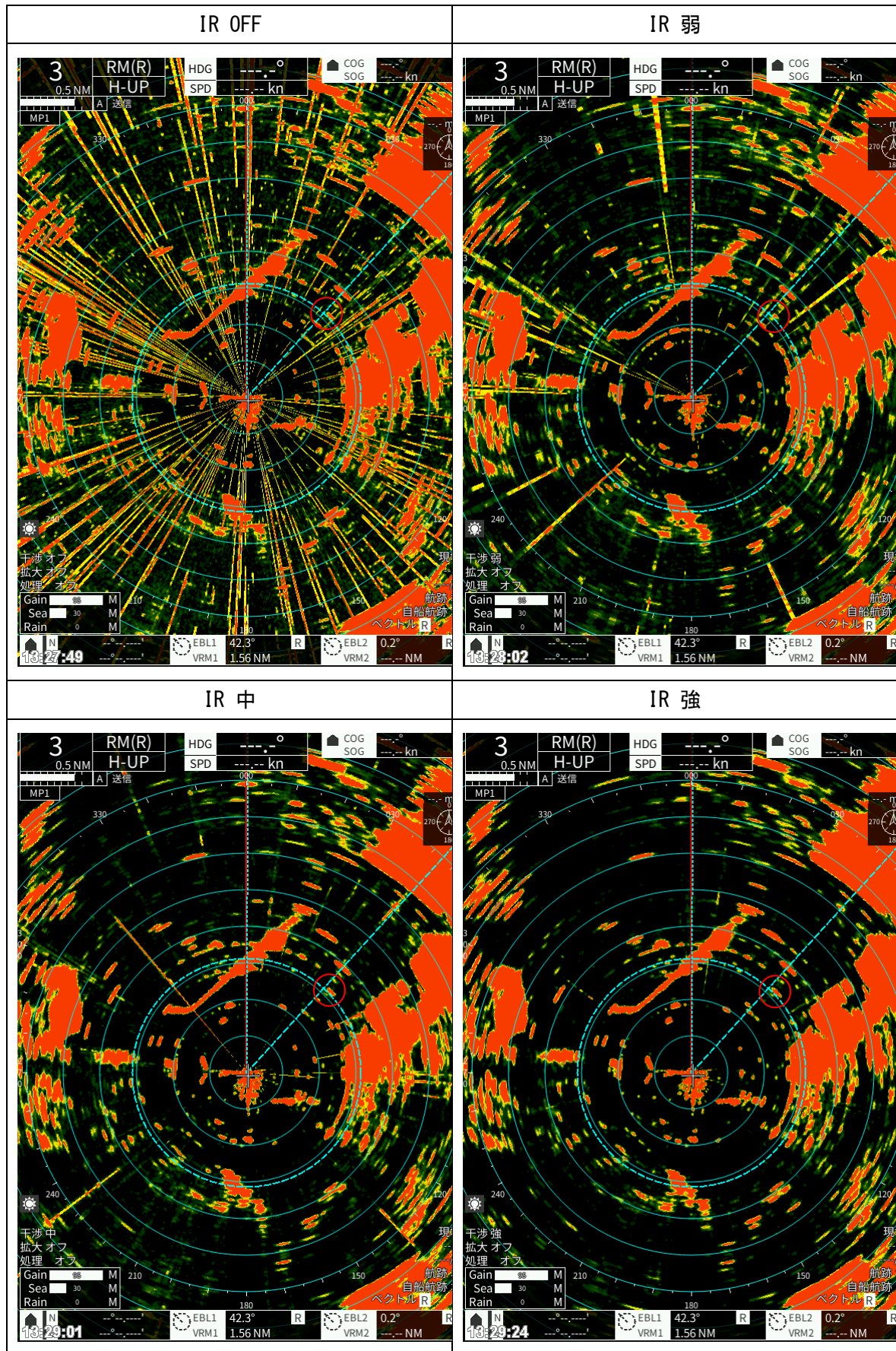
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1500Hz
 被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz



与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF3000Hz
 被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz

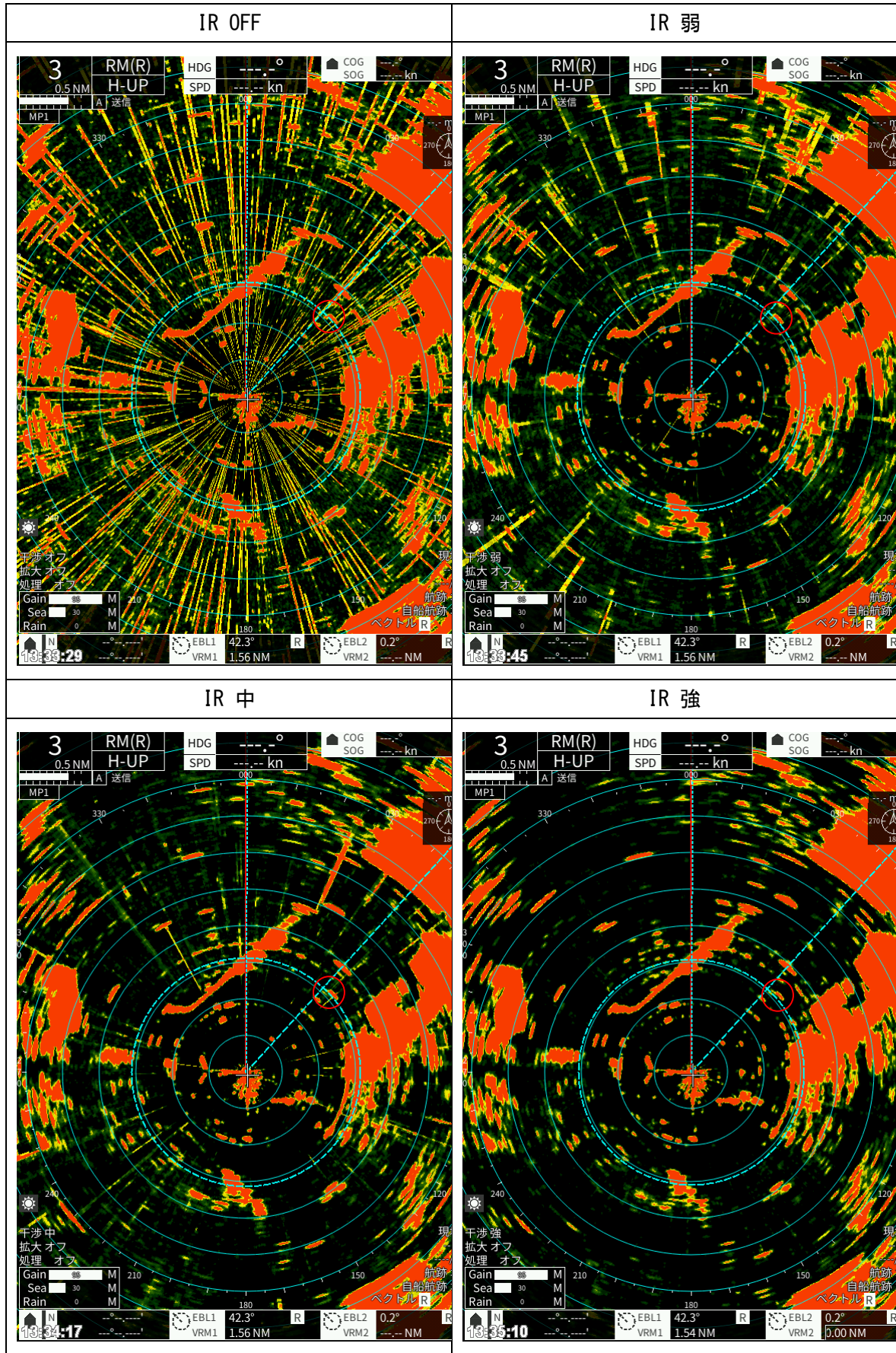


与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1700Hz
 被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz



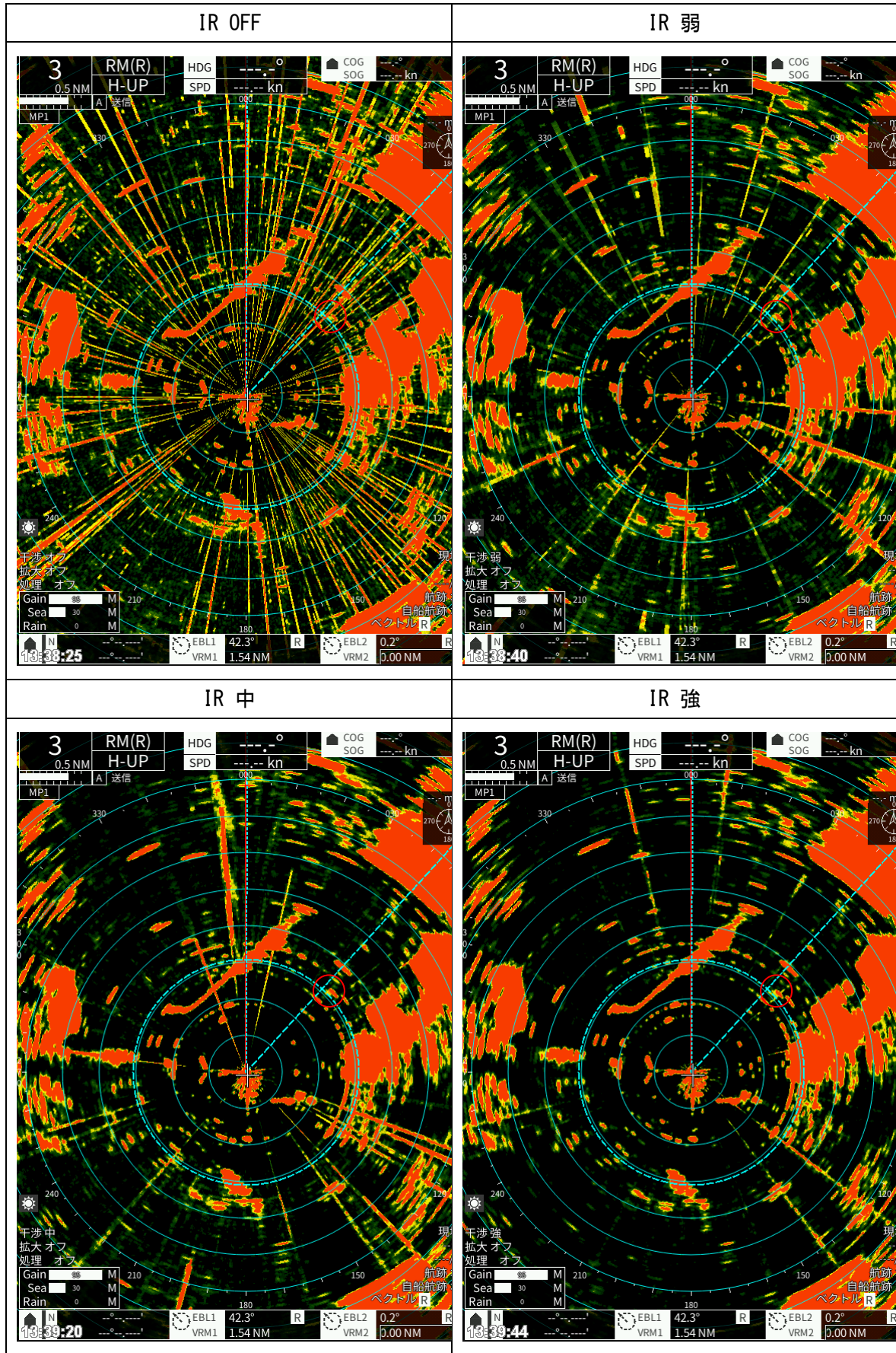
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz

被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz



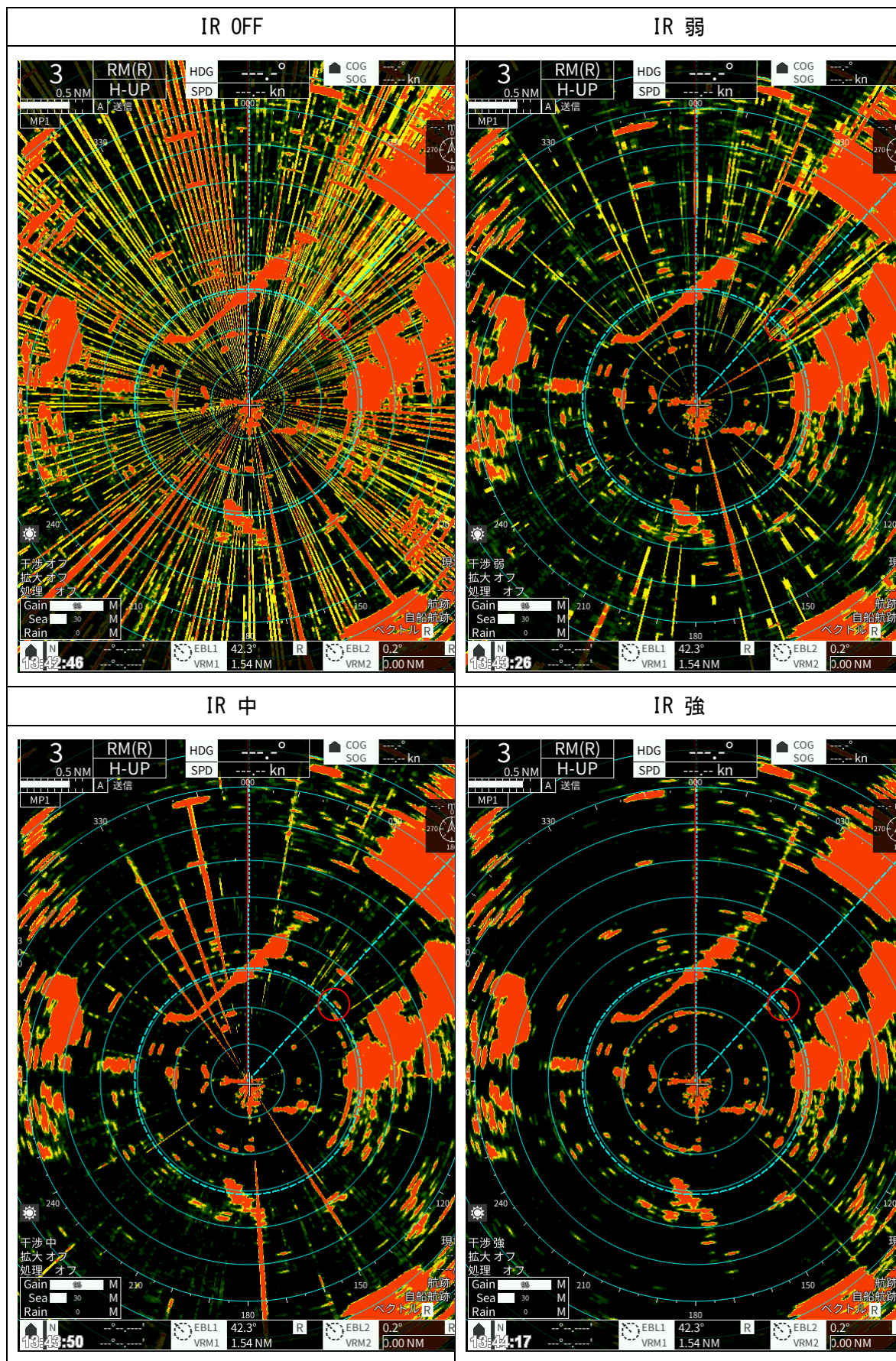
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz



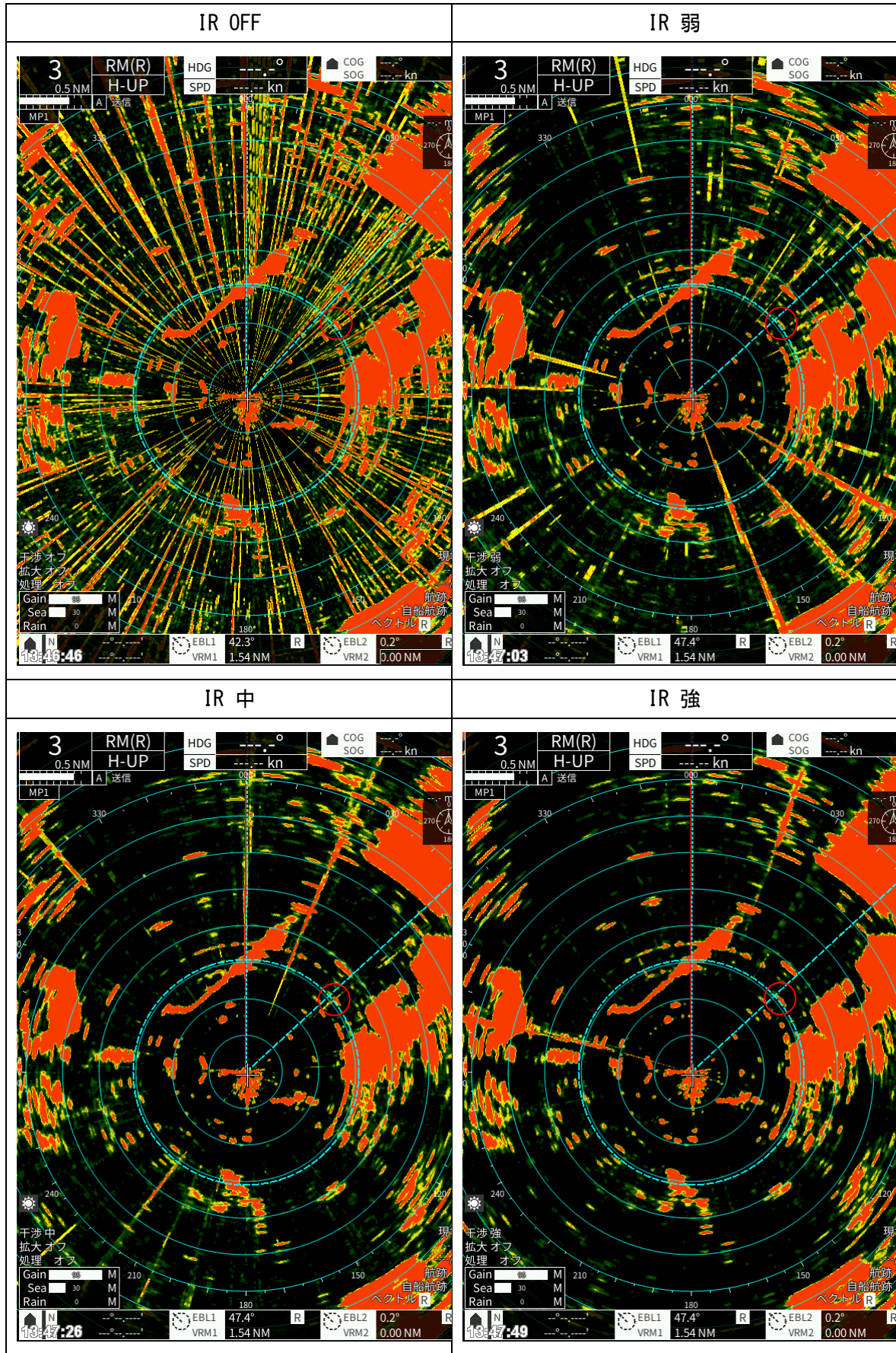
与干渉機：ANT 回転あり，QON パルス長 22us，PRF3000Hz

被干渉機 2：パルス長 0.25us，PRF 1700Hz



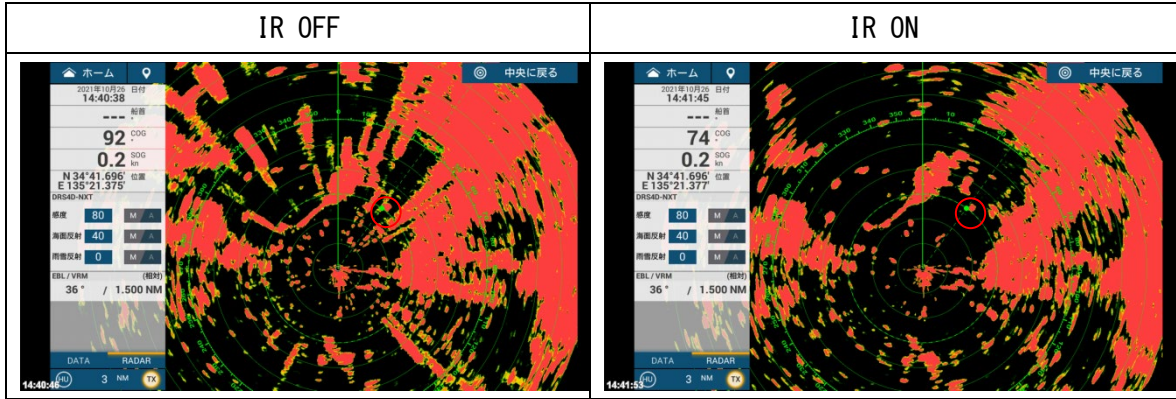
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1700Hz

被干渉機 2 : パルス長 0.25us, PRF 1700Hz



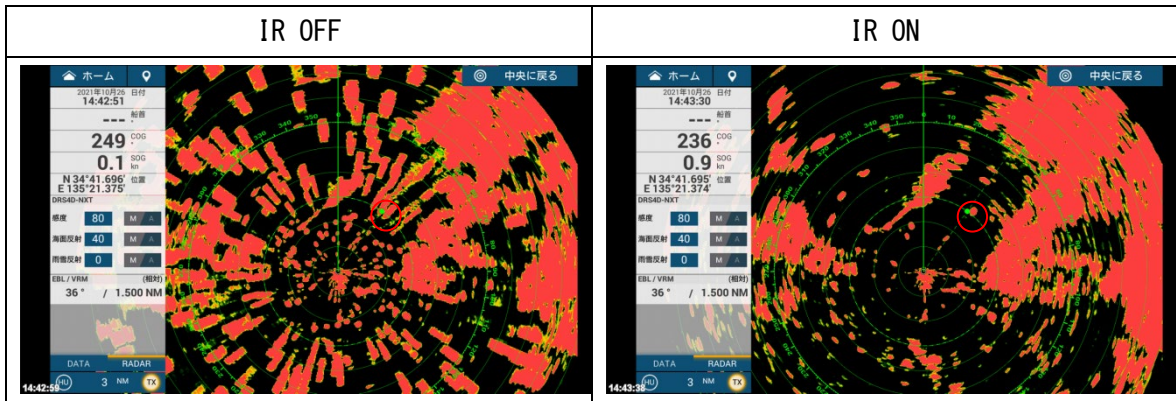
与干渉機 : STBY

被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz



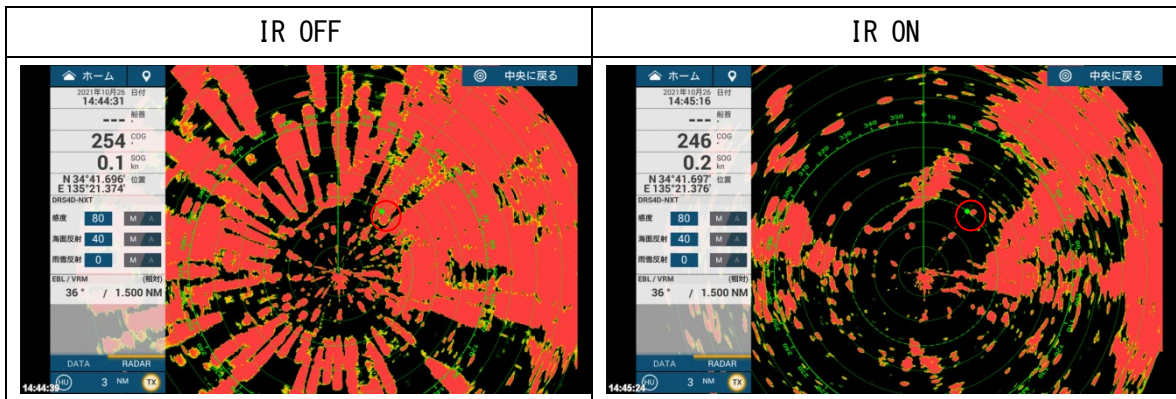
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz

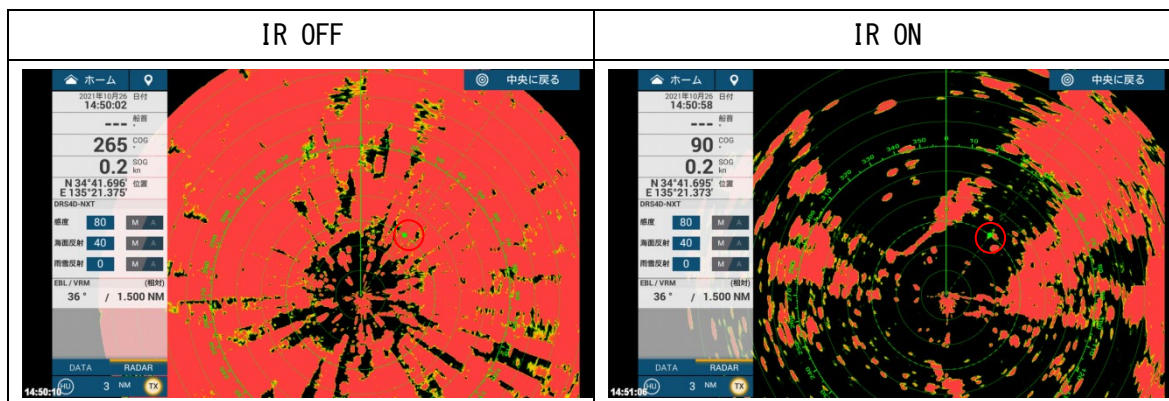


与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF 1500Hz

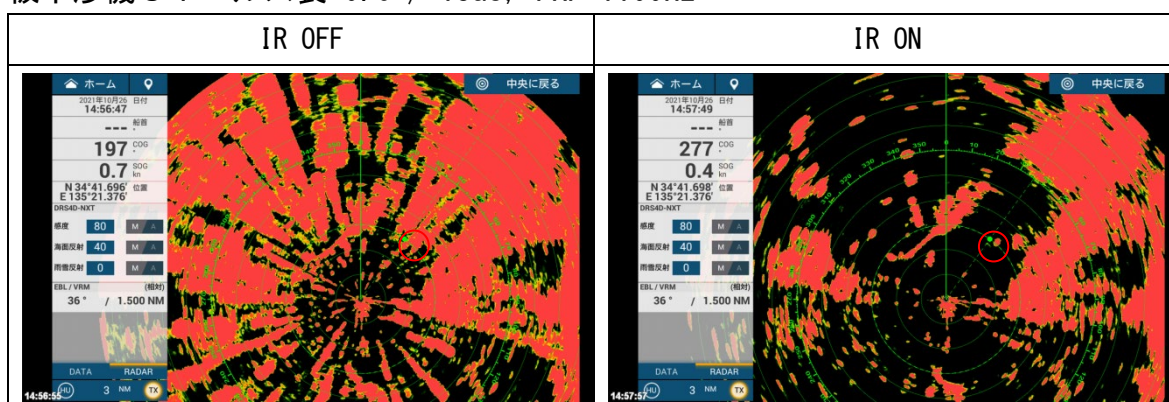
被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz



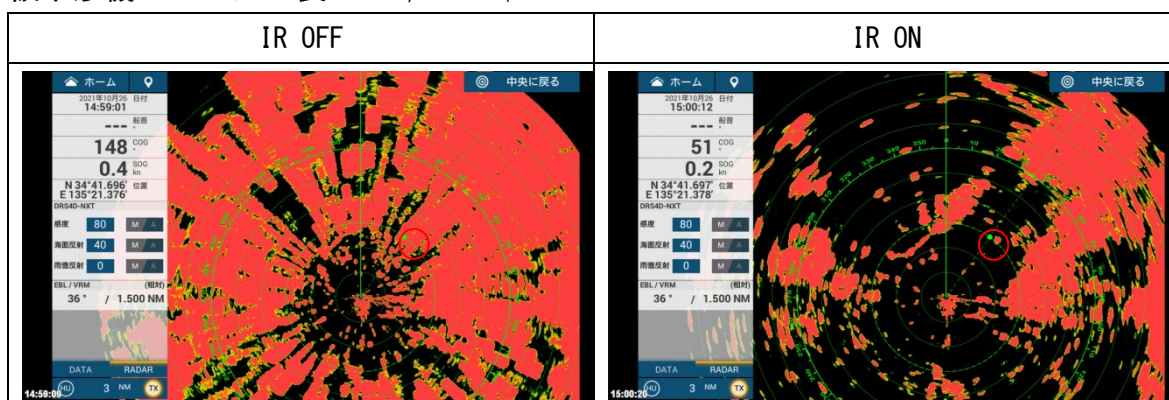
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF3000Hz
 被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz



与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1100Hz
 被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz

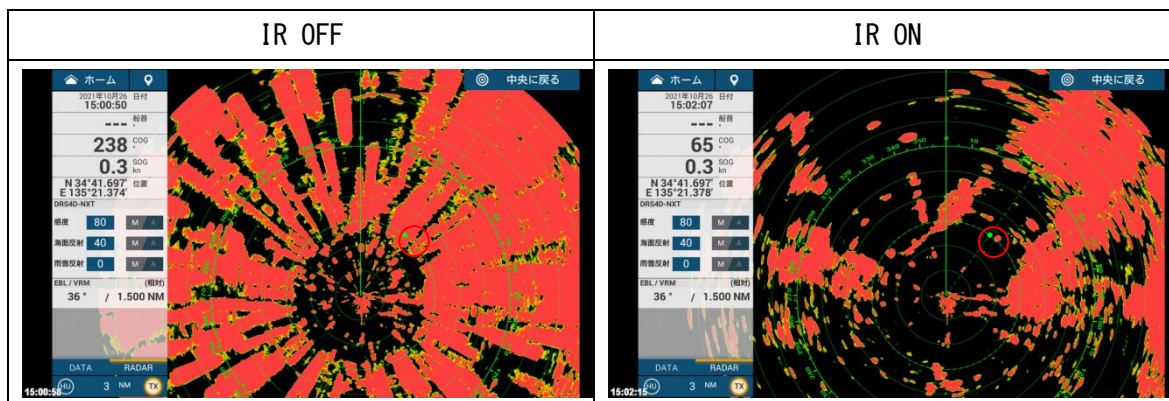


与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz
 被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz



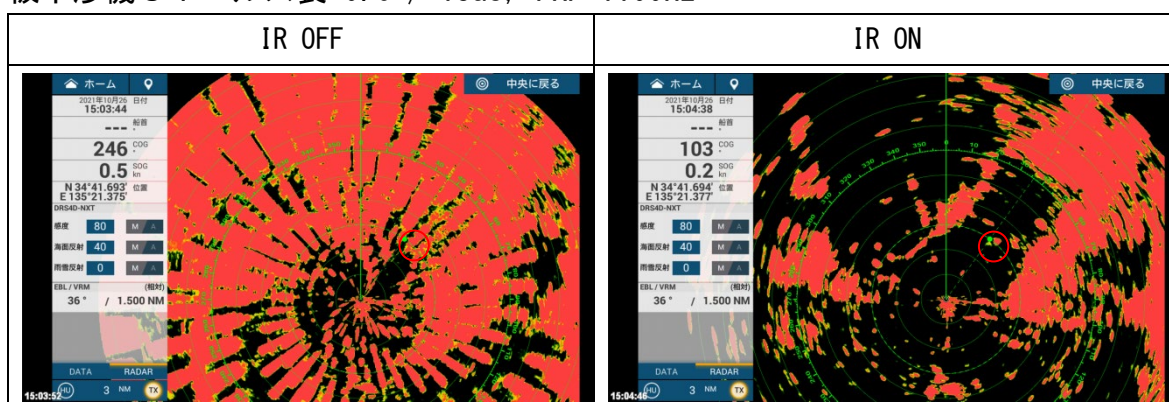
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz



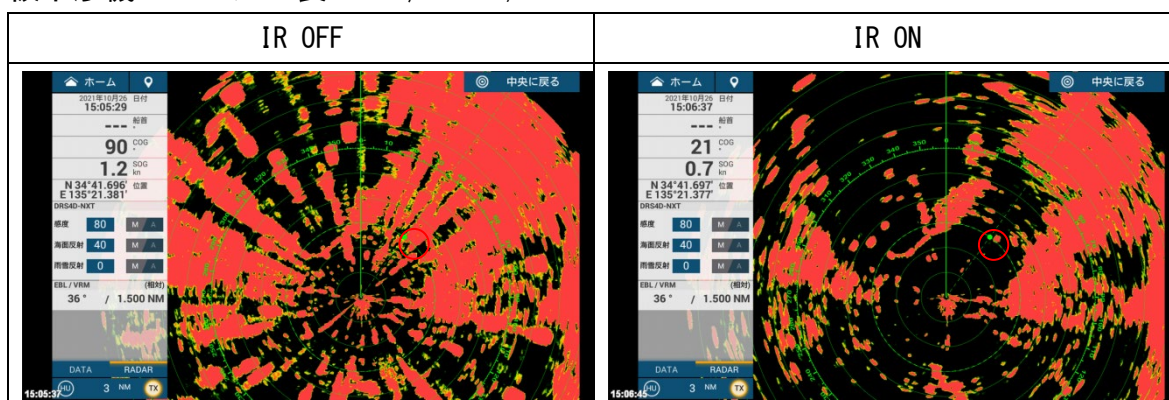
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF3000Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz



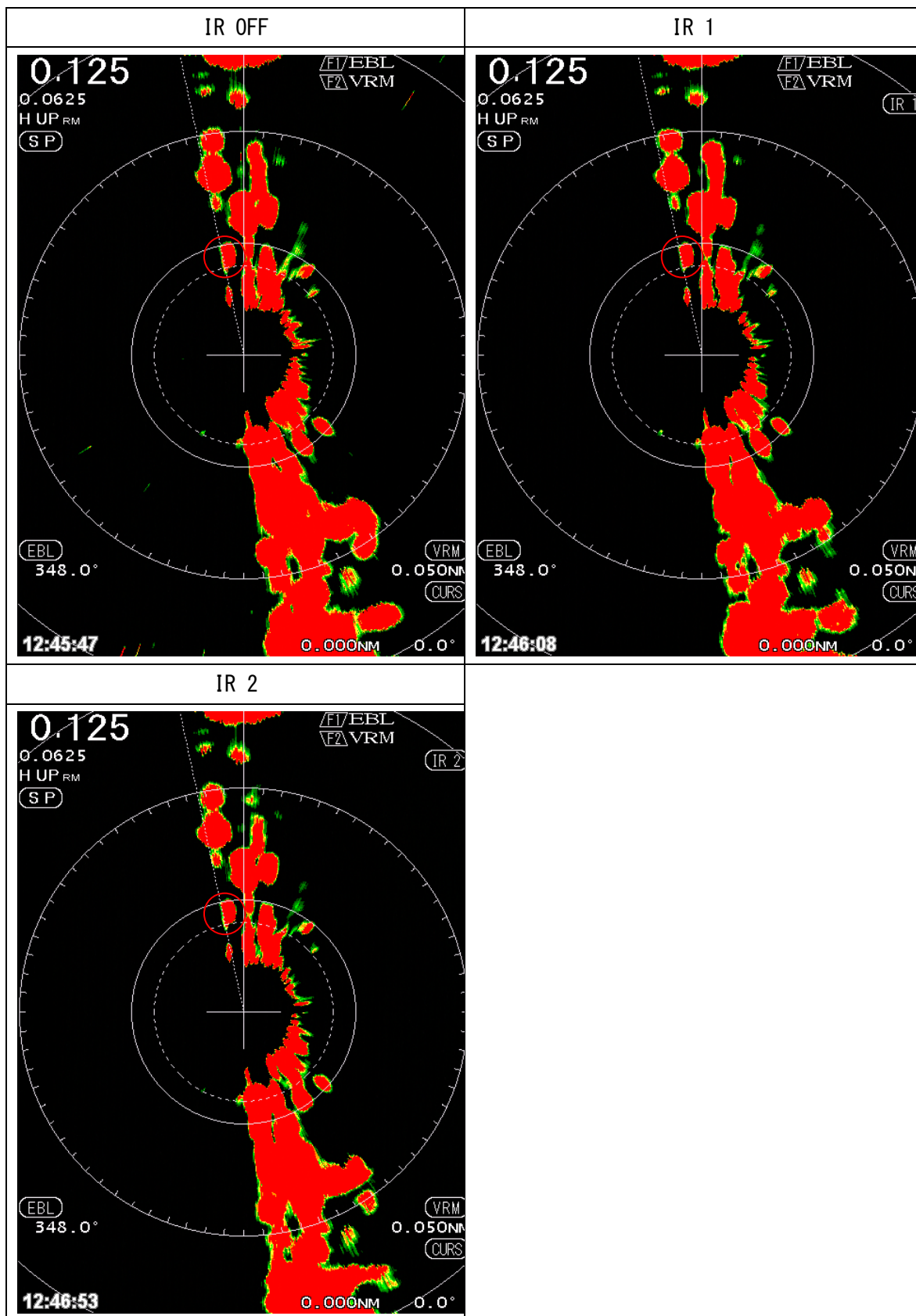
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1100Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.6 / 13us, PRF 1100Hz



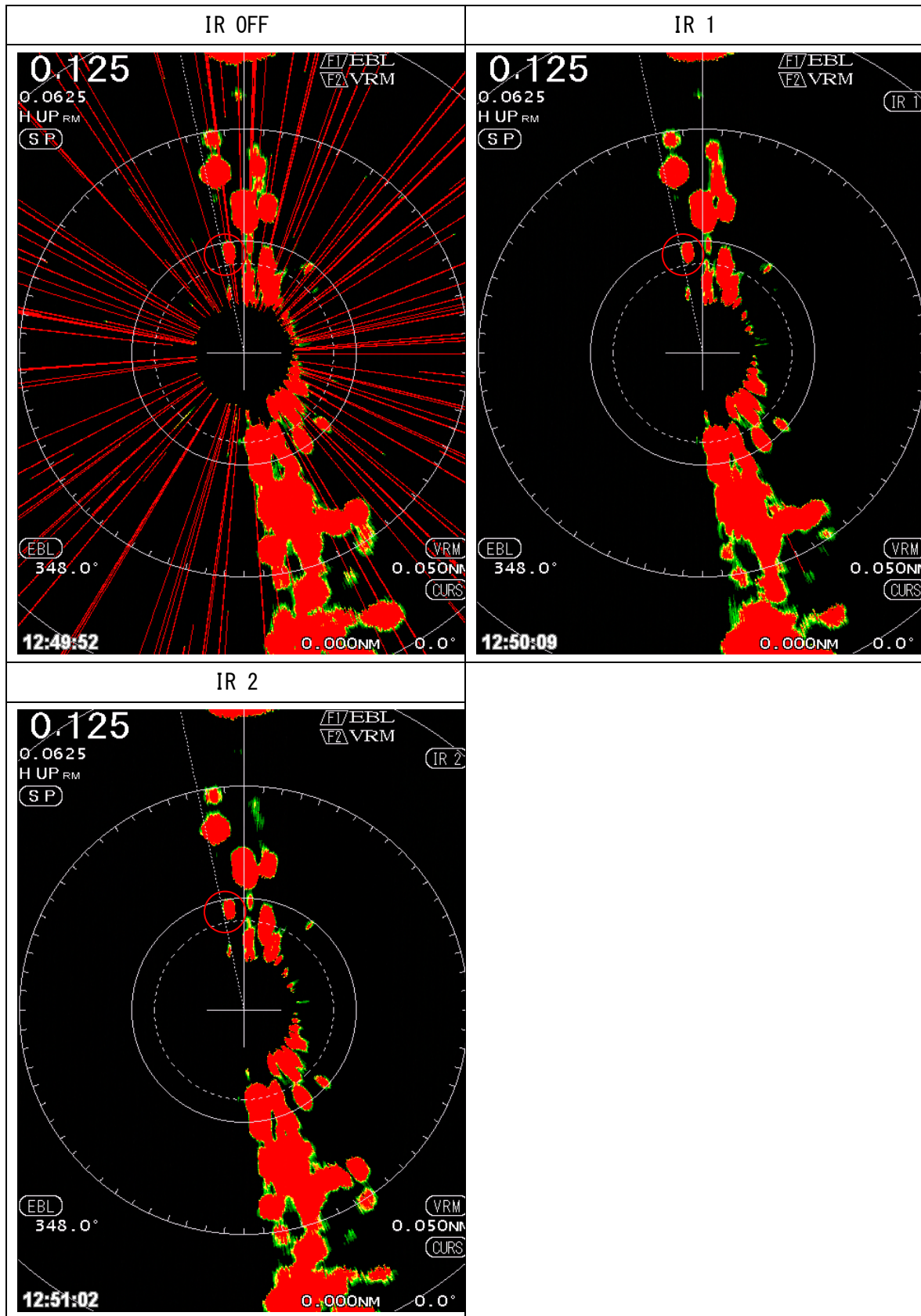
与干渉機 : STBY,

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



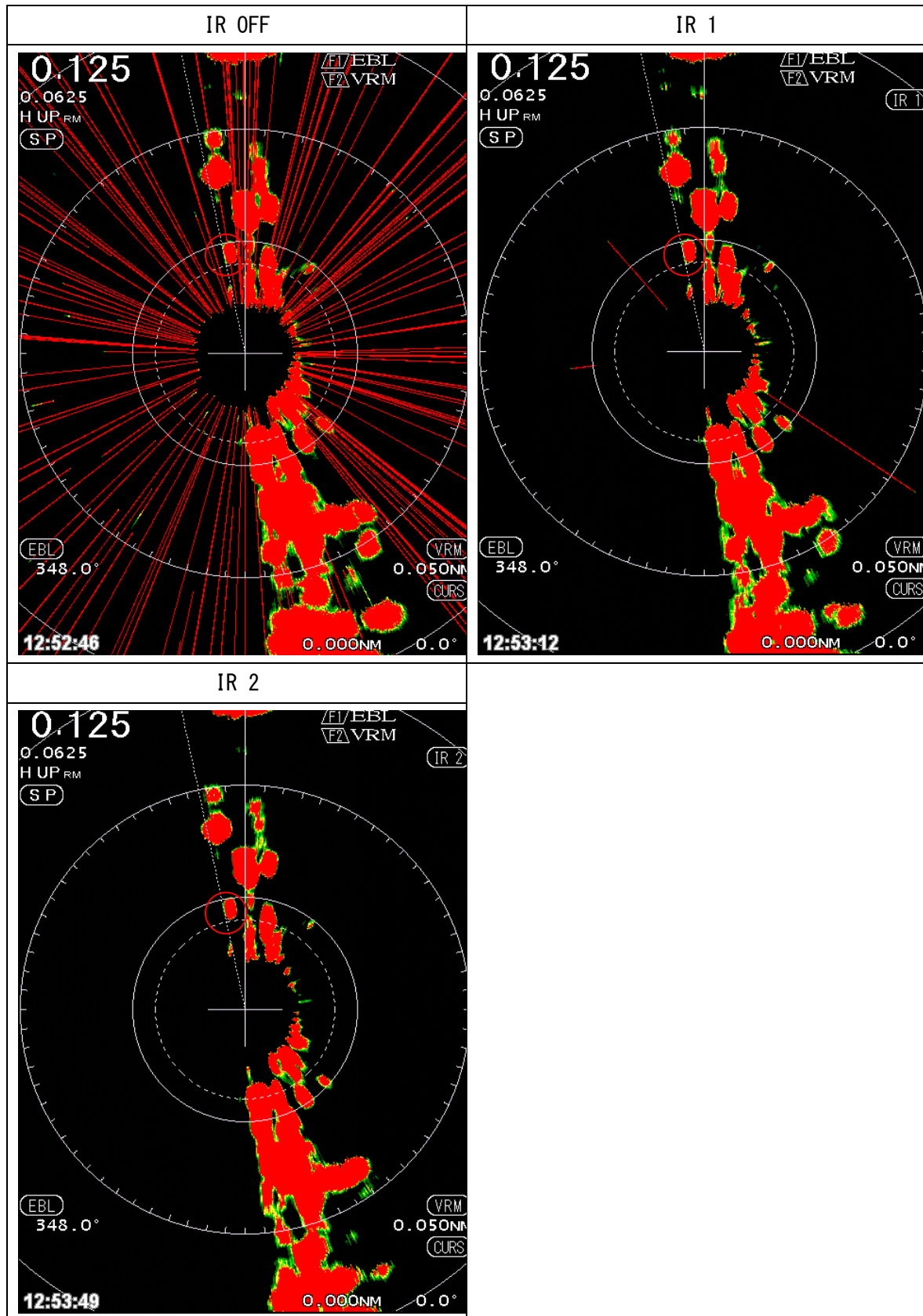
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



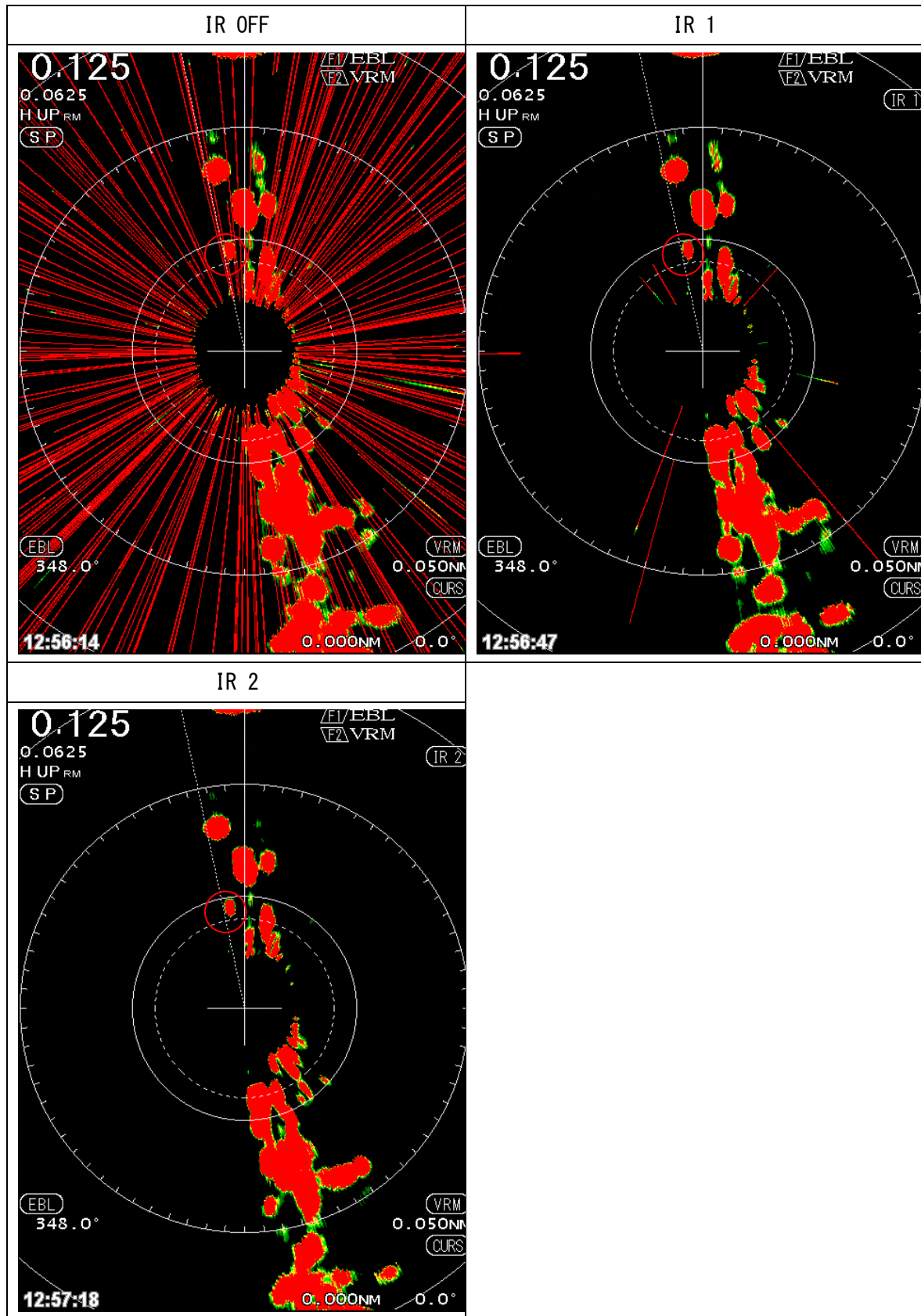
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



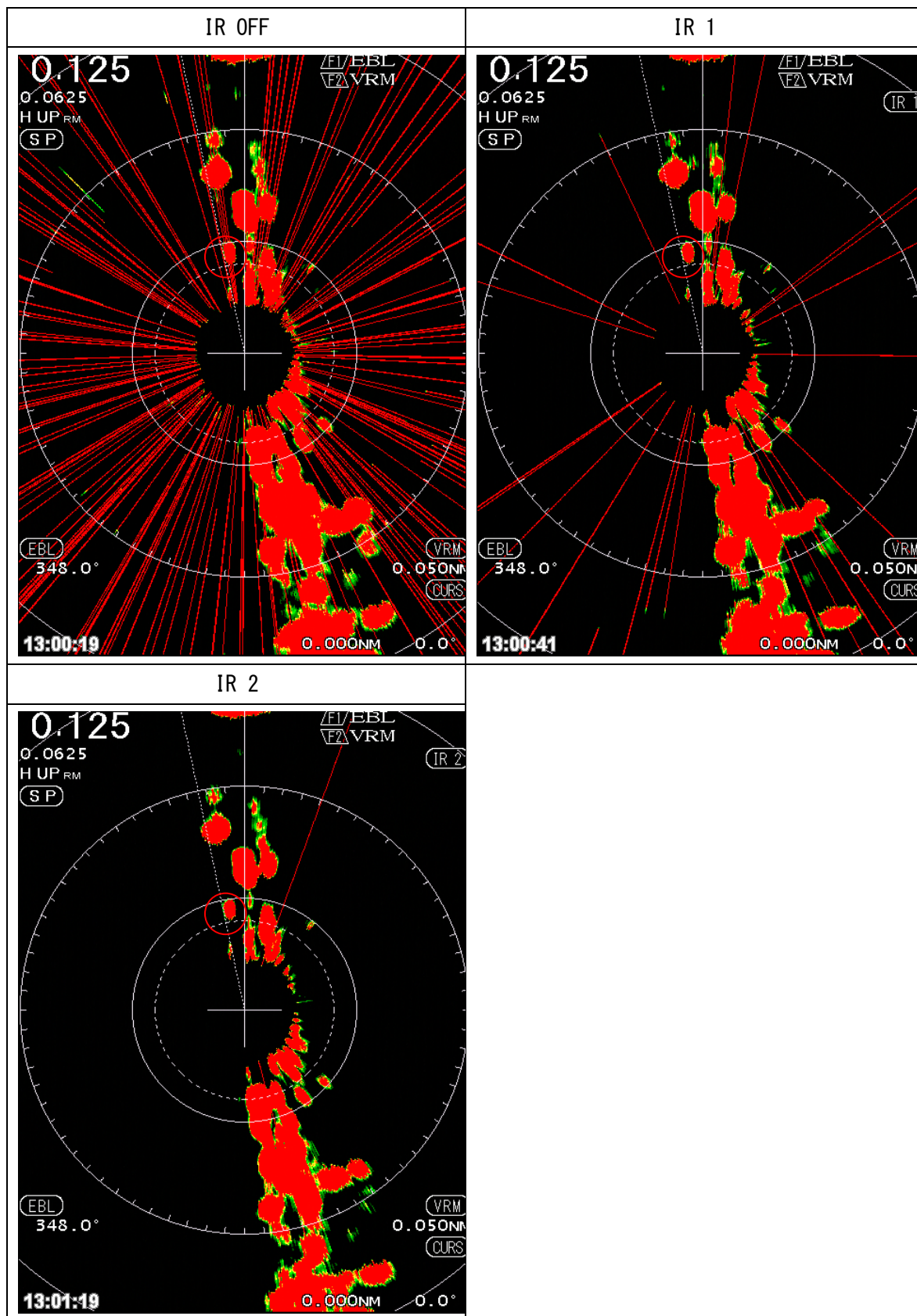
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



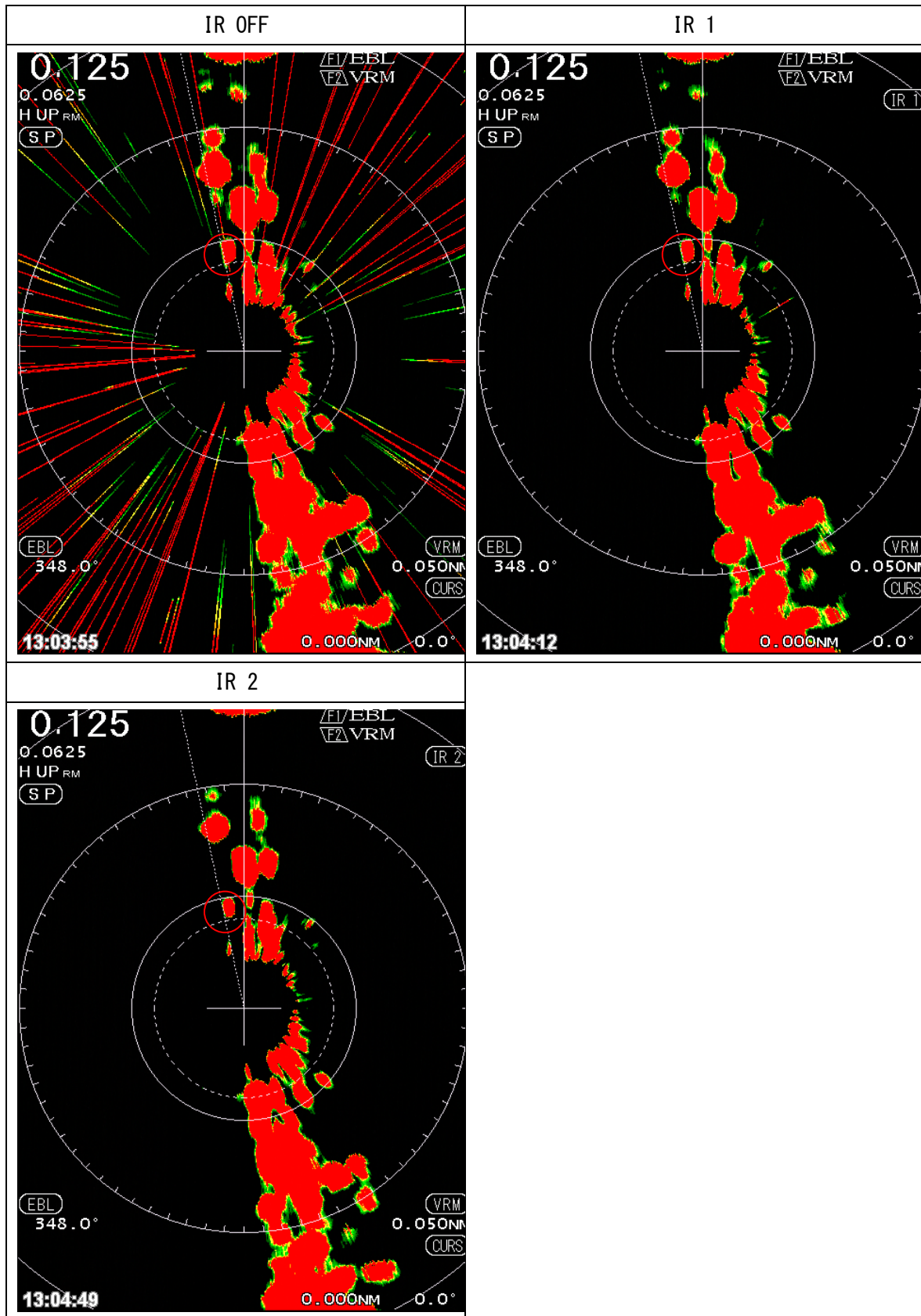
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1960Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



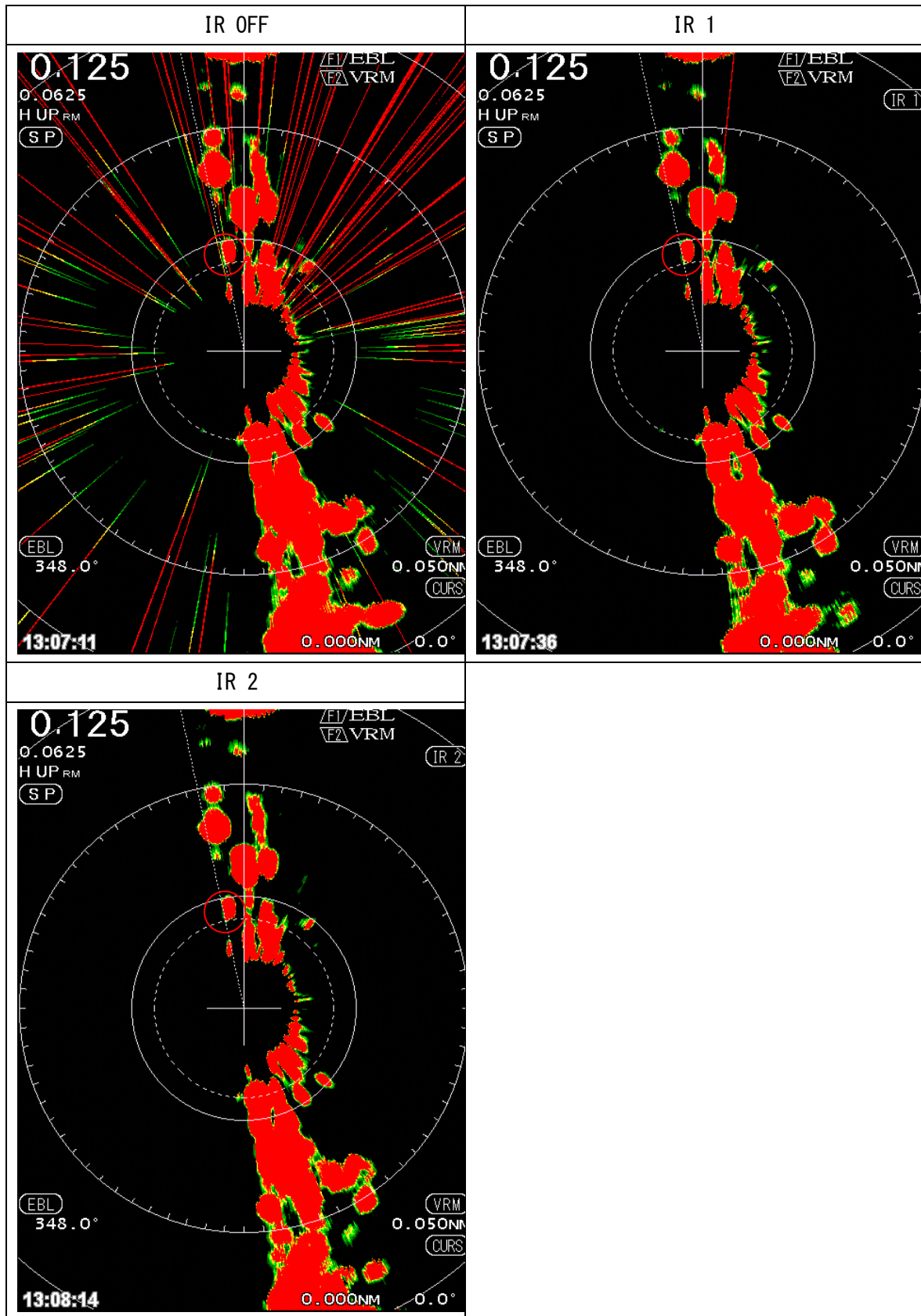
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



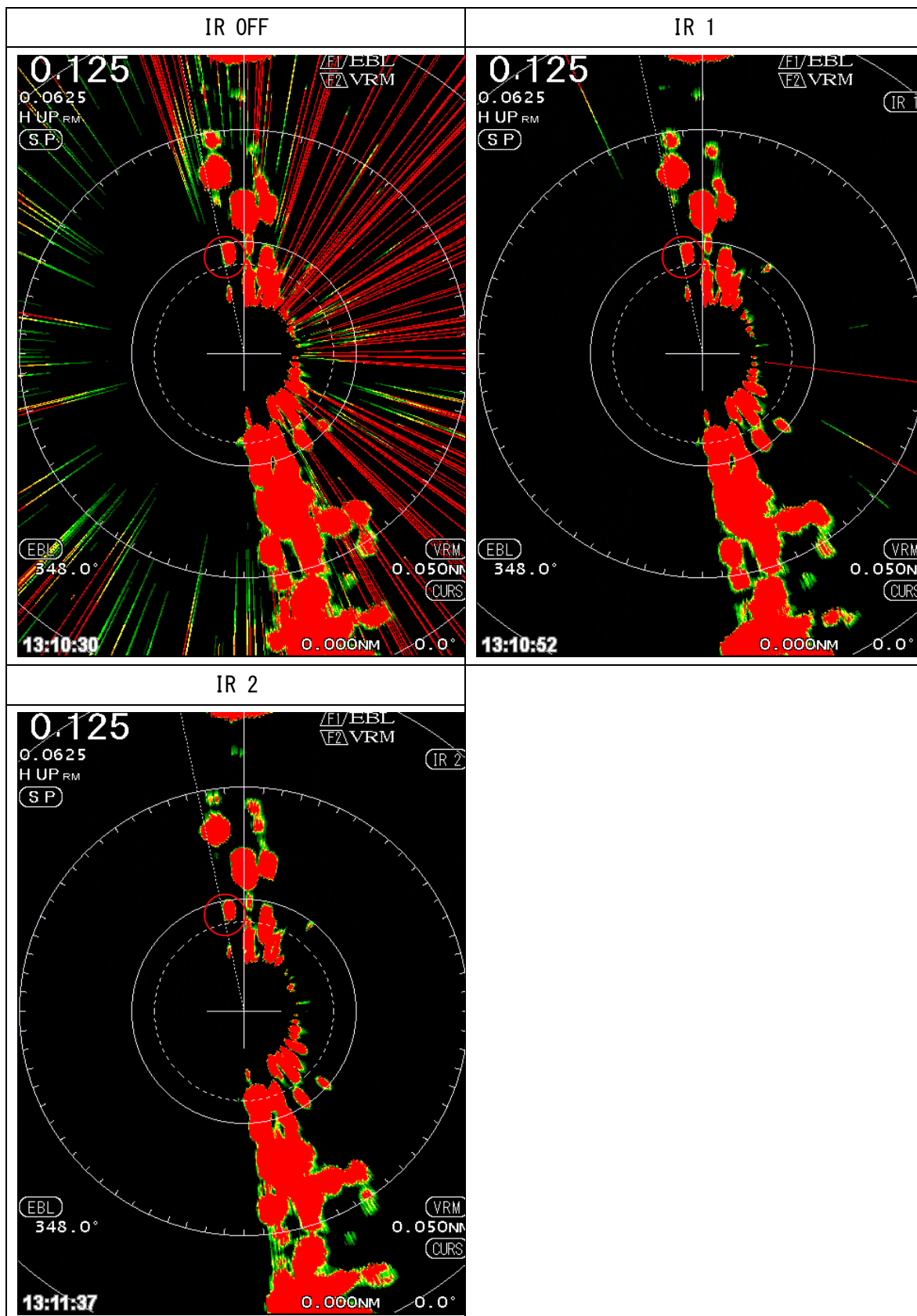
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



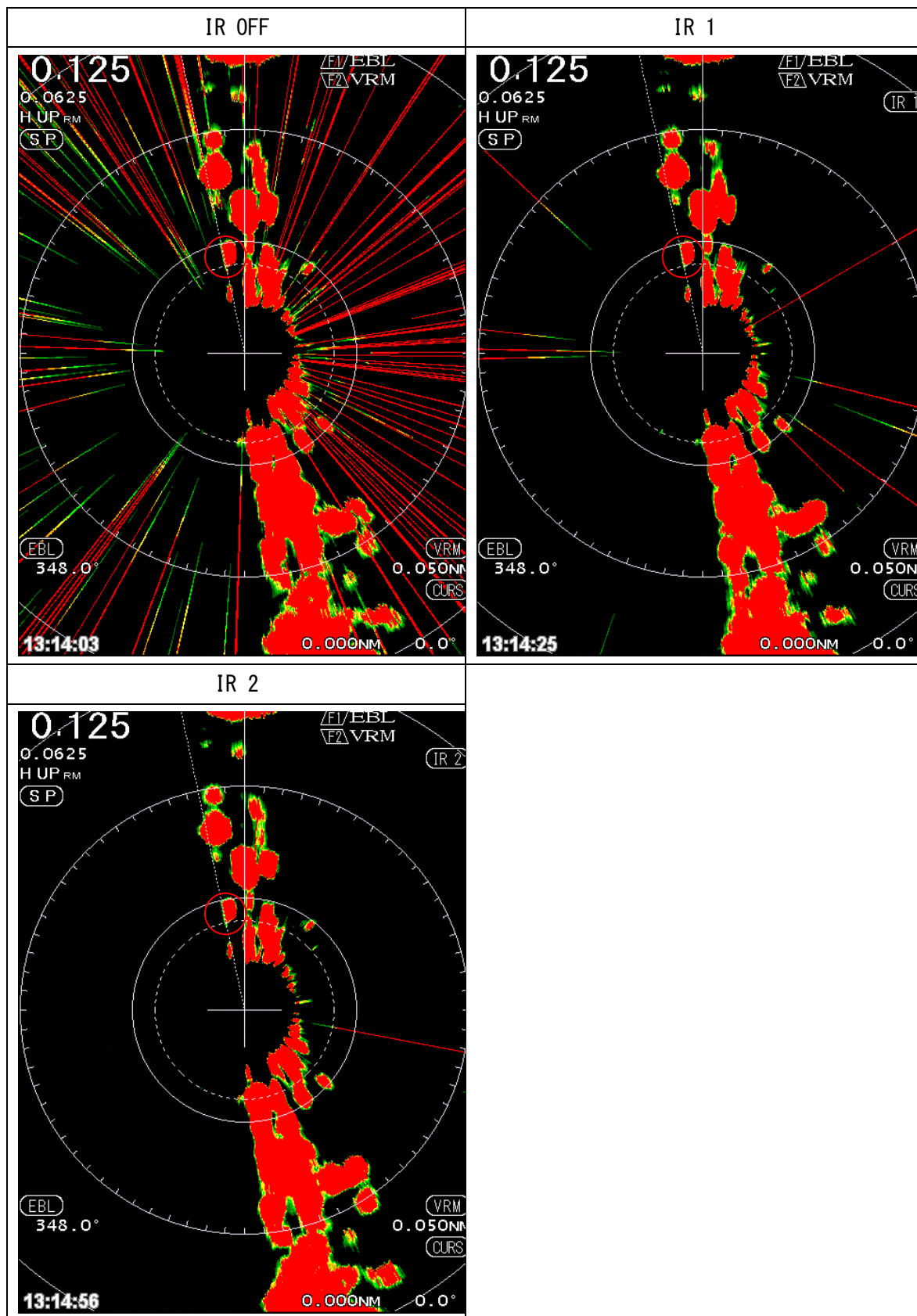
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF3000Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz



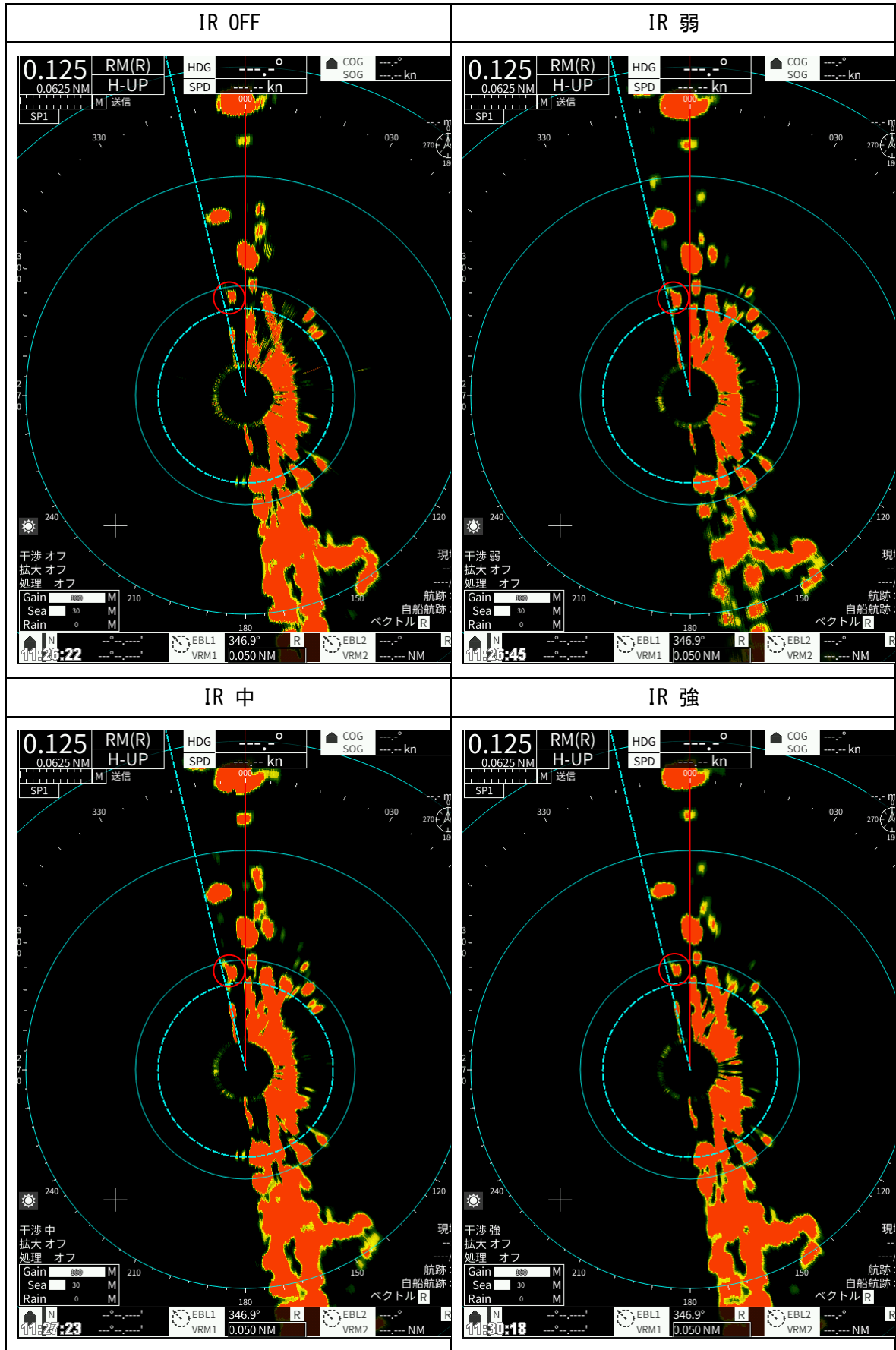
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1960Hz

被干渉機 1 : パルス長 0.08us, PRF 1960Hz

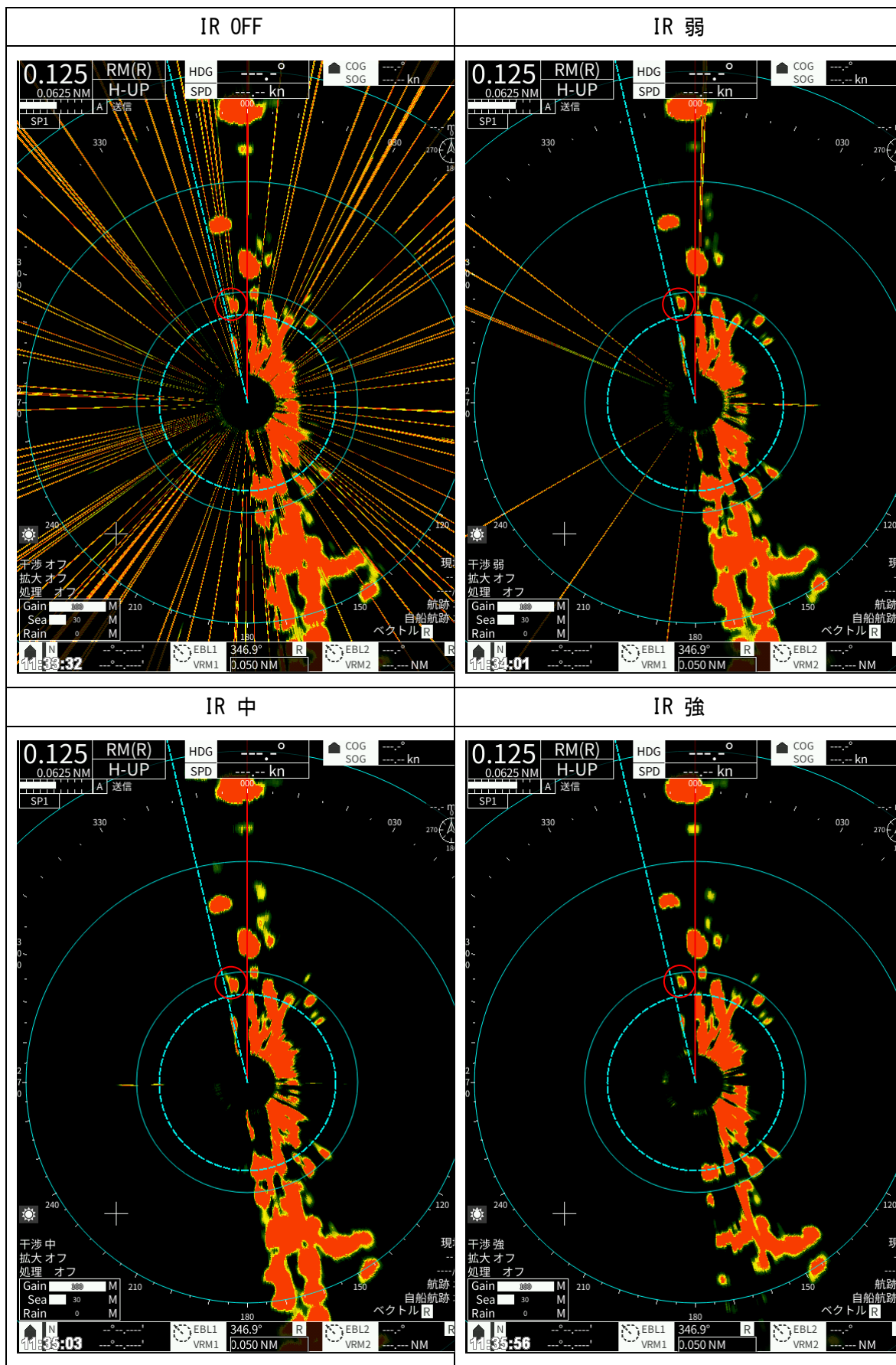


与干渉機 : STBY

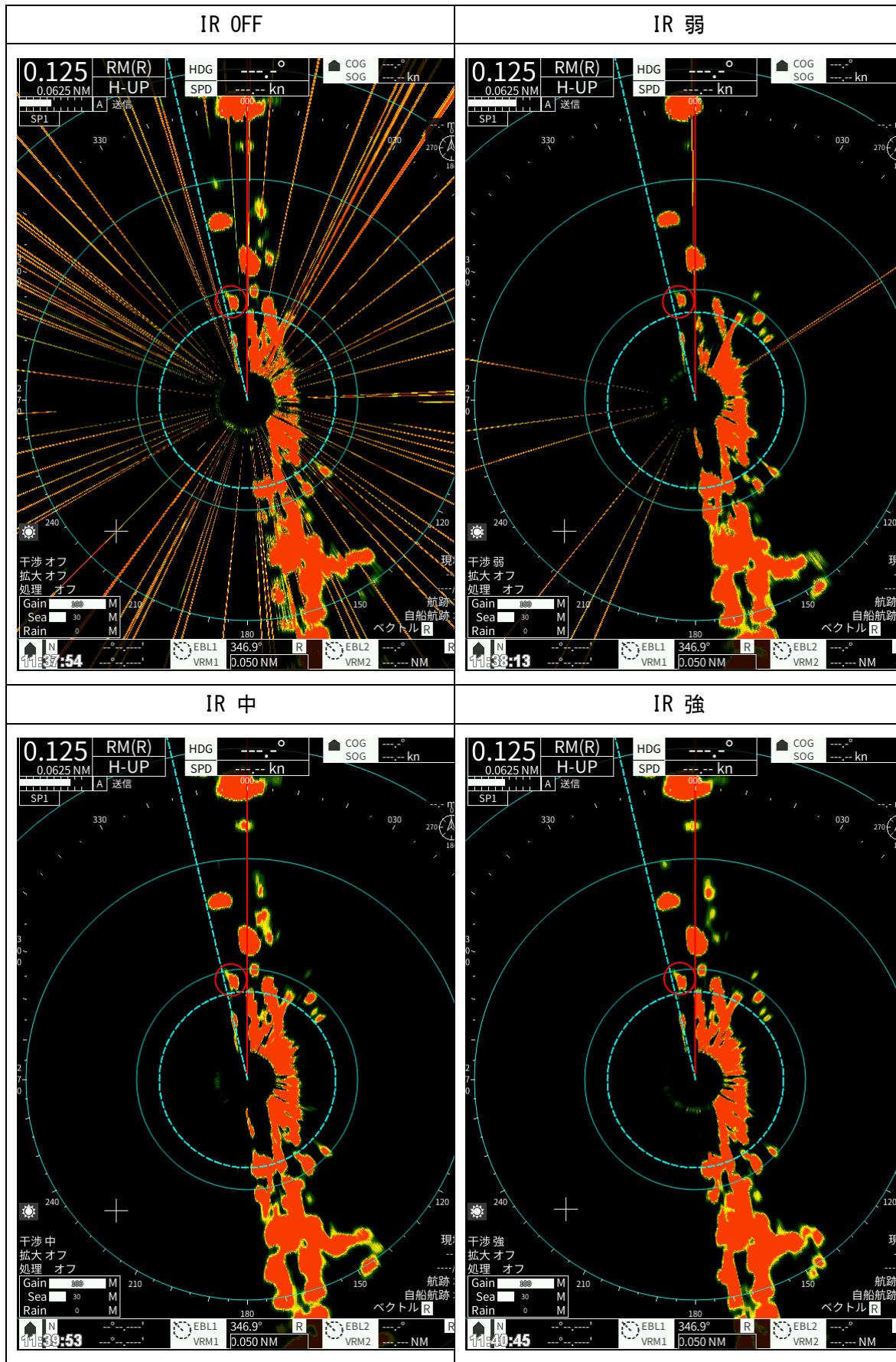
被干渉機 2 : パルス長 0.08us, PRF 4000Hz



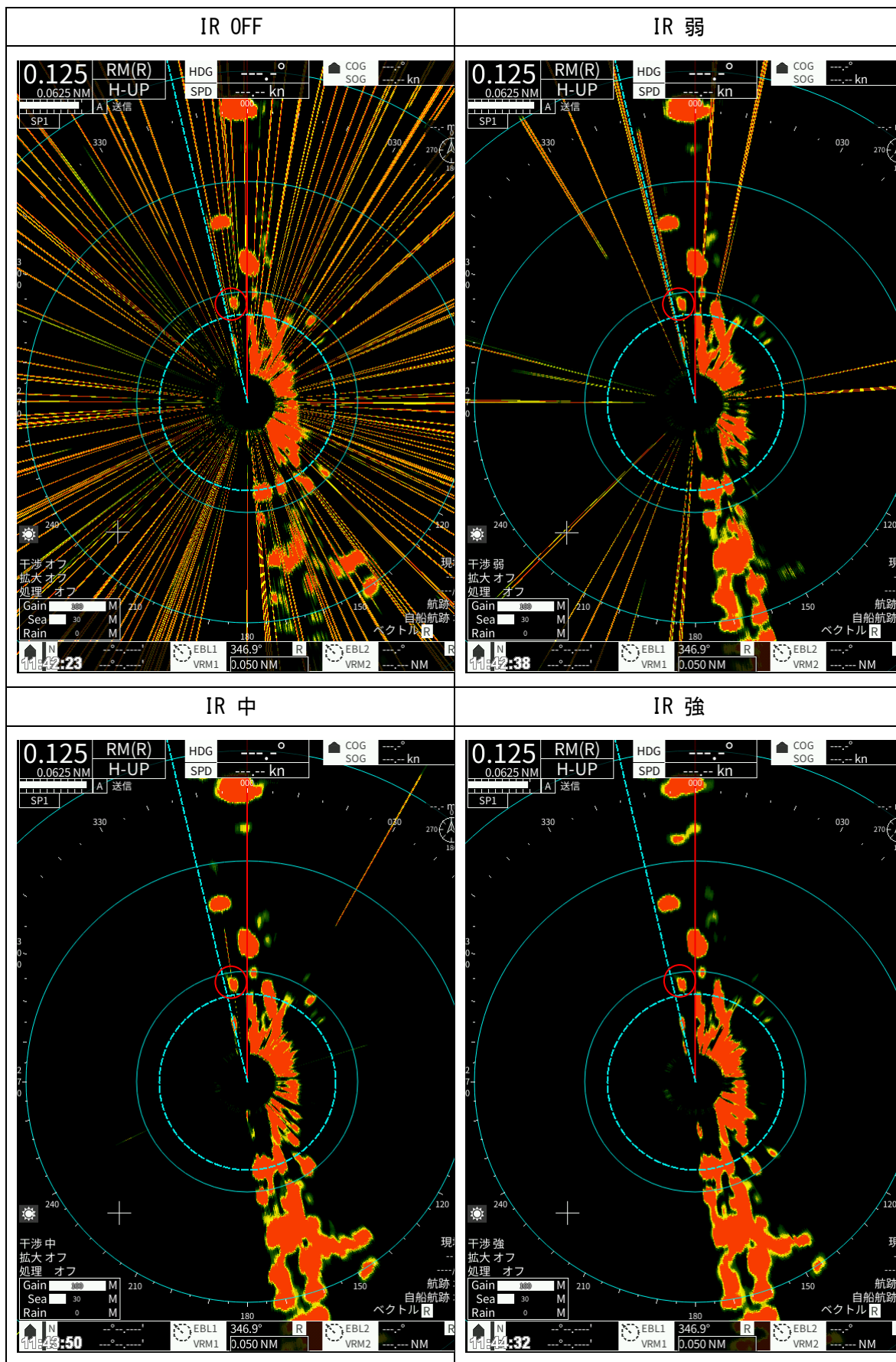
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz
 被干渉機 2 : パルス長 0.08us, PRF 4000Hz



与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1500Hz
 被干渉機 2 : パルス長 0.08us, PRF 4000Hz

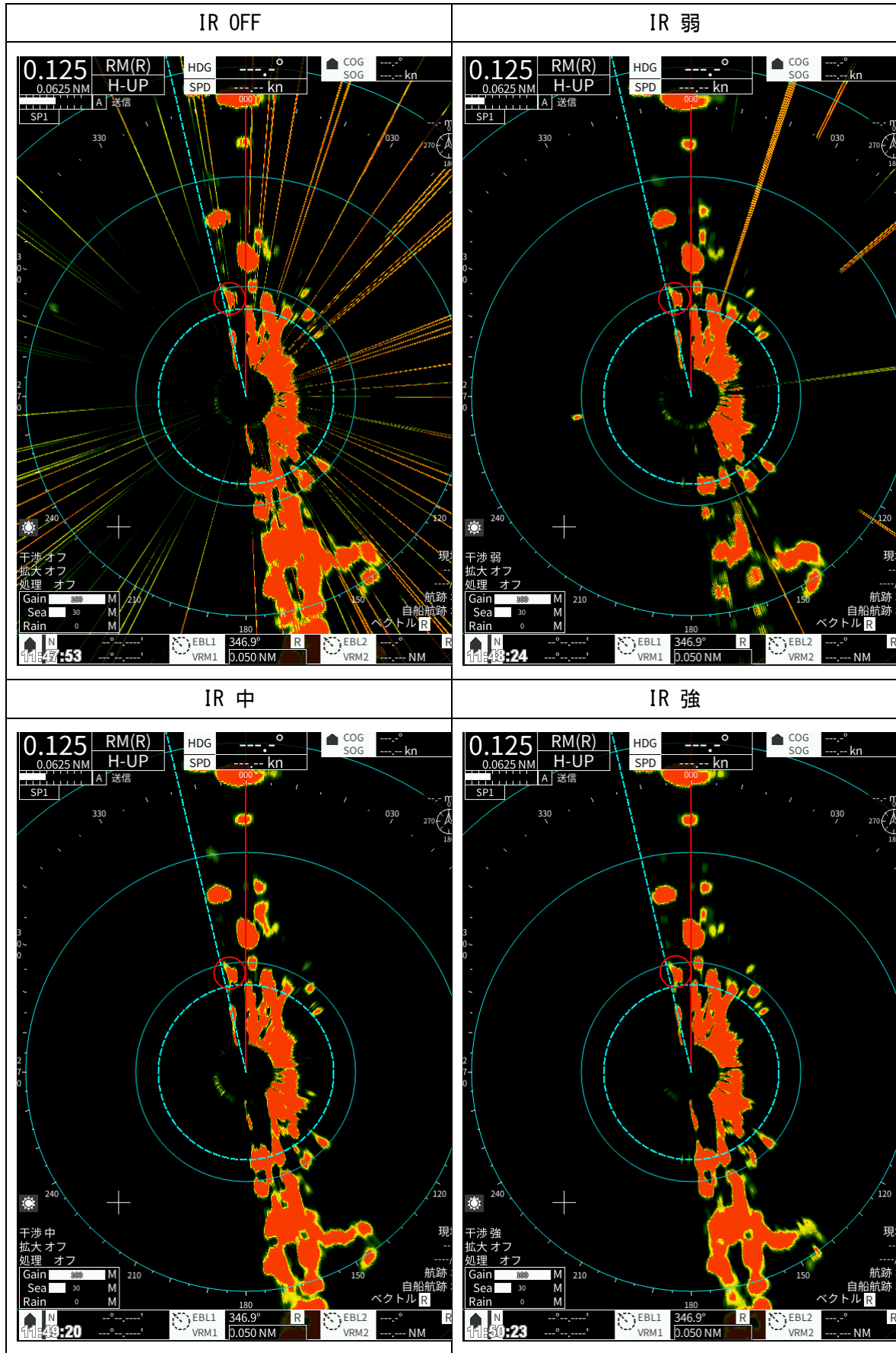


与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF3000Hz
 被干渉機 2 : パルス長 0.08us, PRF 4000Hz



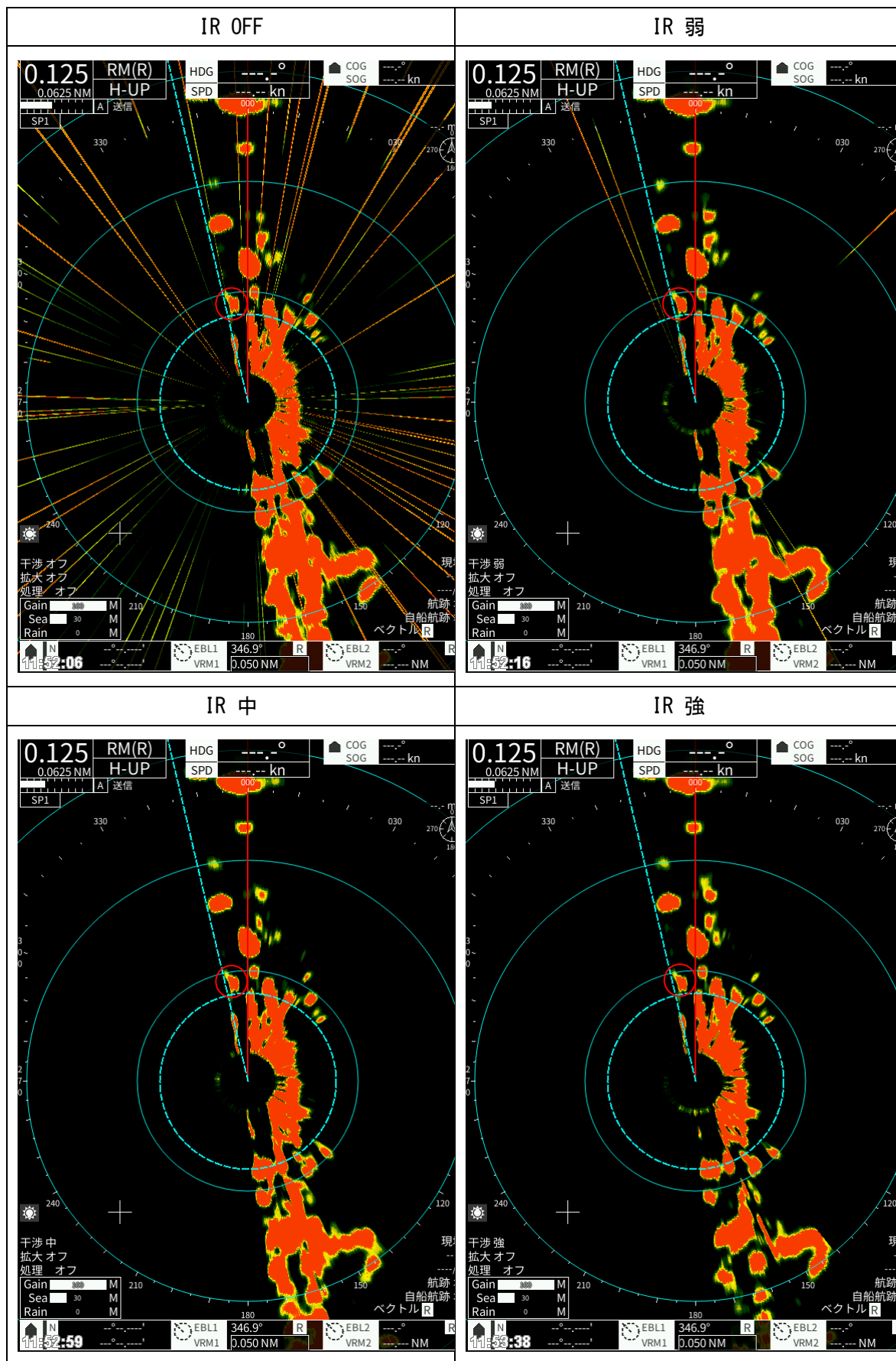
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz

被干渉機 2 : パルス長 0.08us, PRF 4000Hz



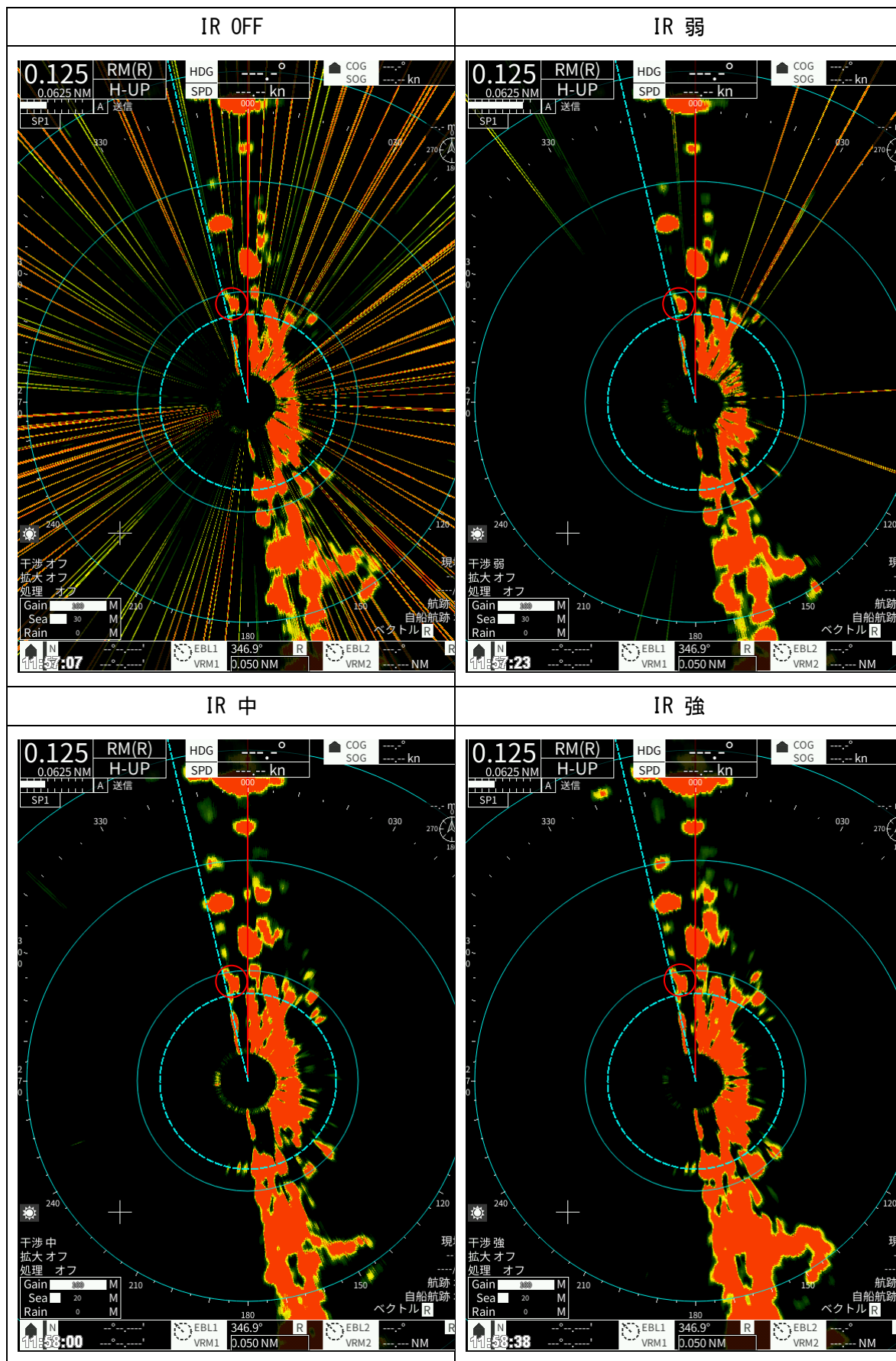
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 2 : パルス長 0.08us, PRF 4000Hz



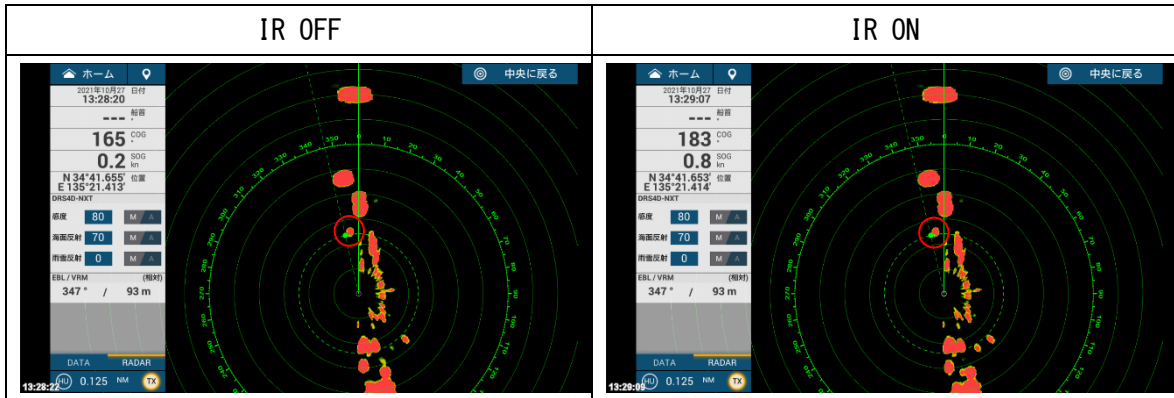
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF3000Hz

被干渉機 2 : パルス長 0.08us, PRF 4000Hz



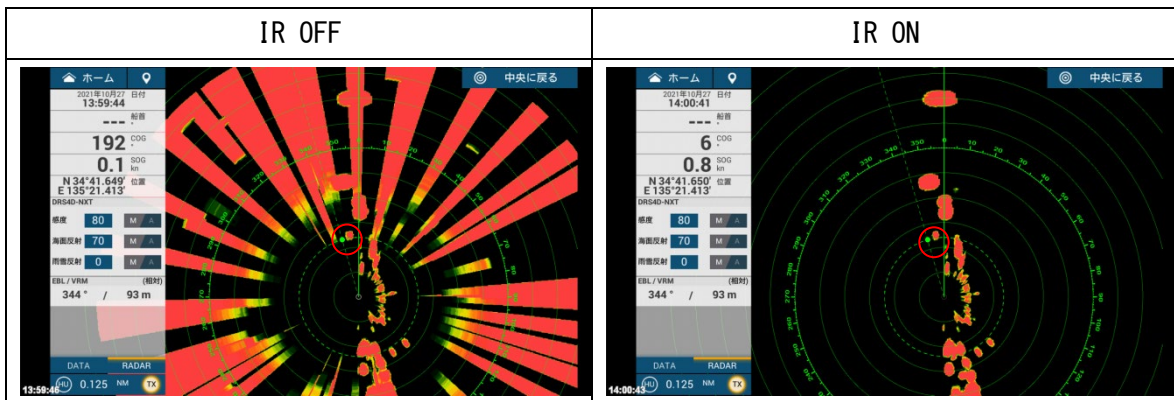
与干渉機 : STBY

被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz



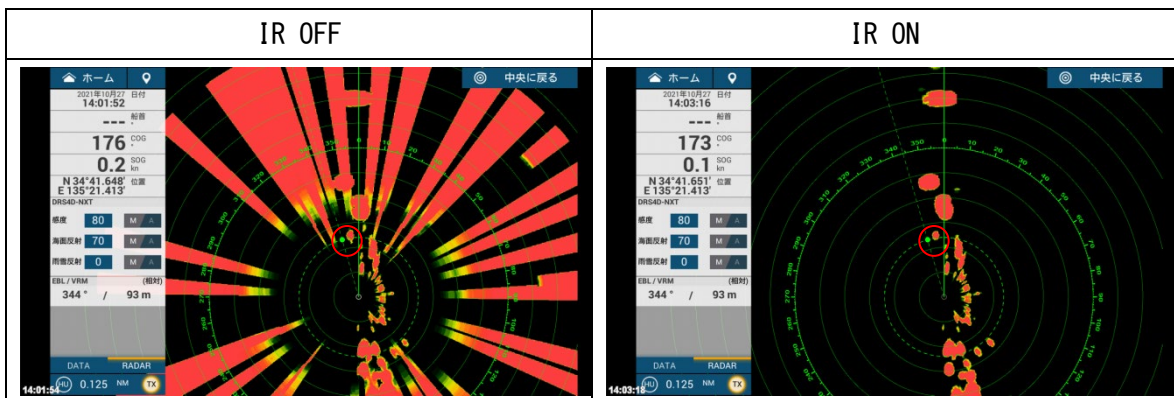
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz

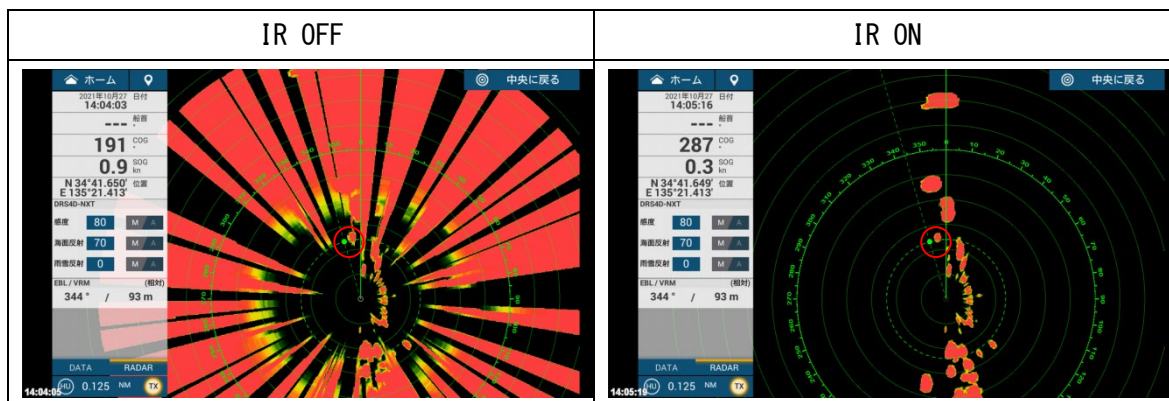


与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF 1500Hz

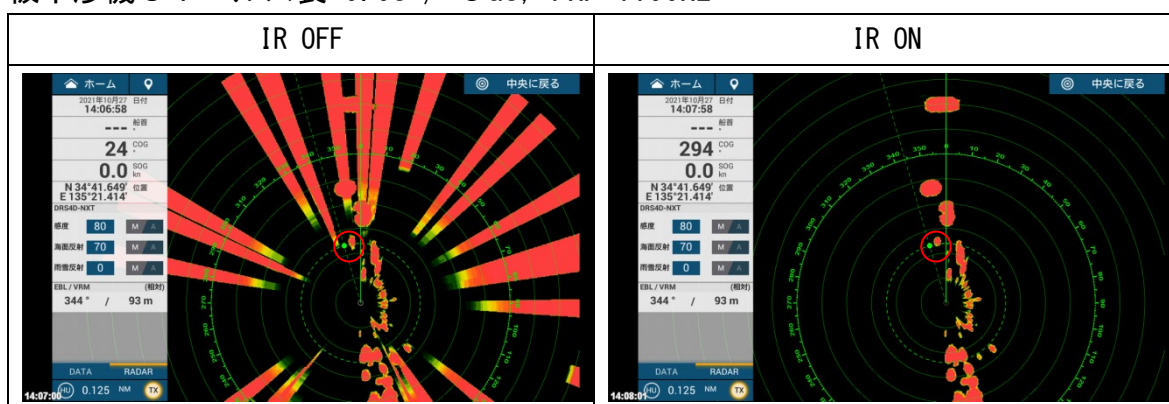
被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz



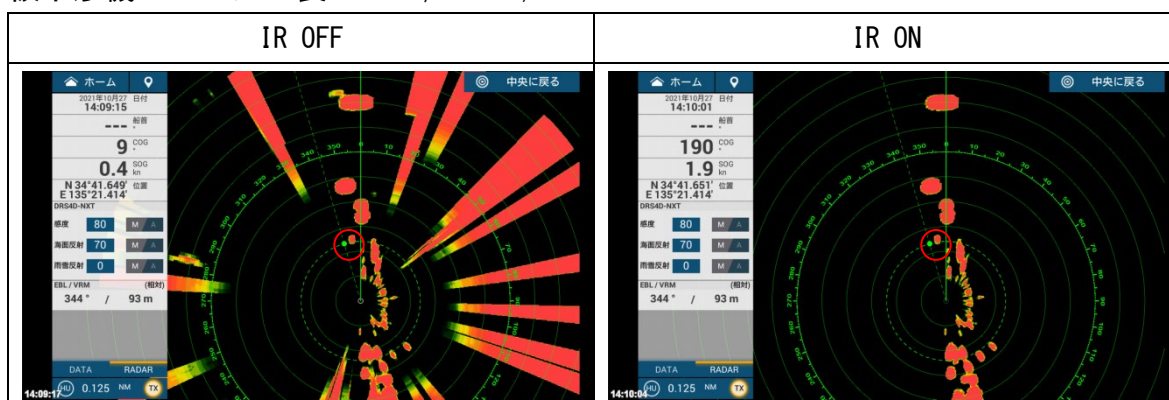
与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF3000Hz
 被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz



与干渉機 : ANT 被干渉機方向に固定, QON パルス長 22us, PRF1100Hz
 被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz

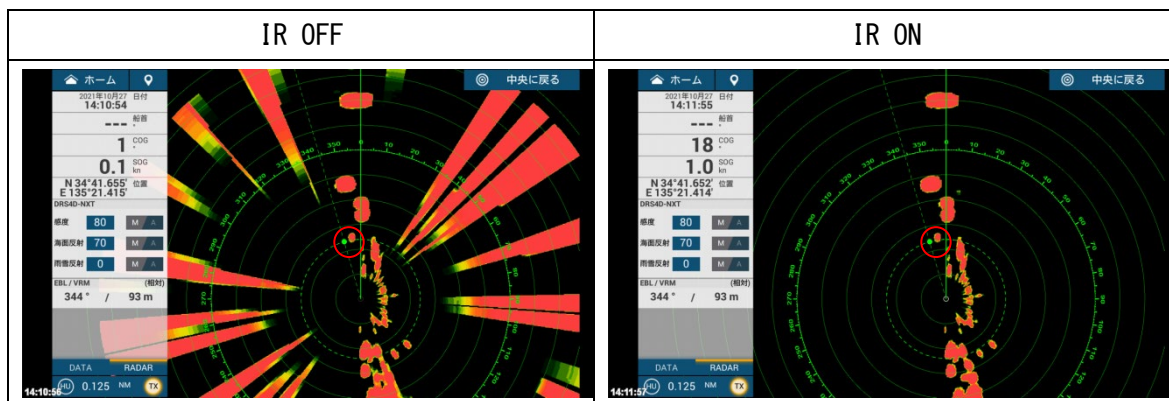


与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 11us, PRF 3000Hz
 被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz



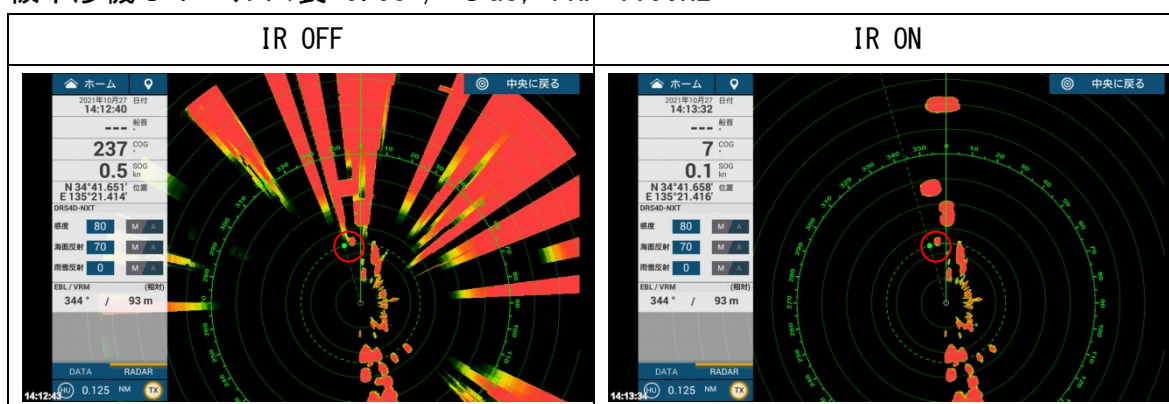
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1500Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz



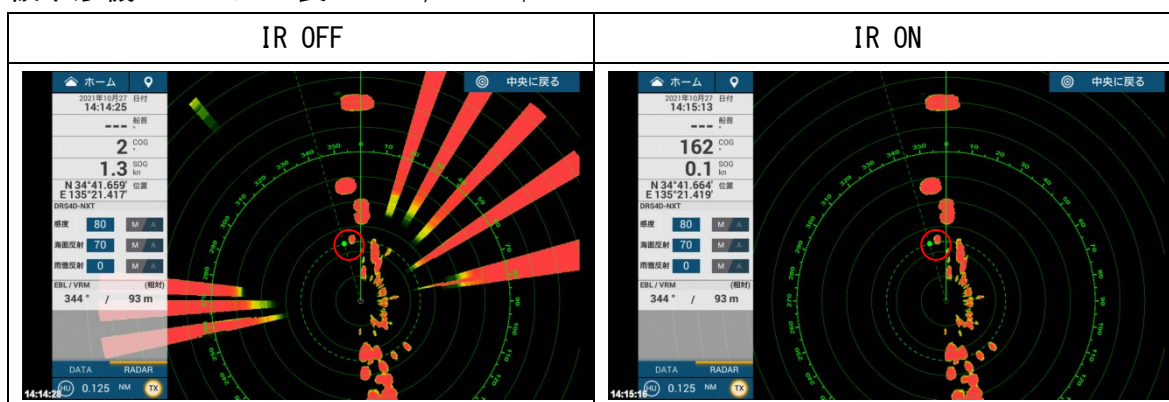
与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF3000Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz



与干渉機 : ANT 回転あり, QON パルス長 22us, PRF1100Hz

被干渉機 3 : パルス長 0.08 / 5 us, PRF 1100Hz

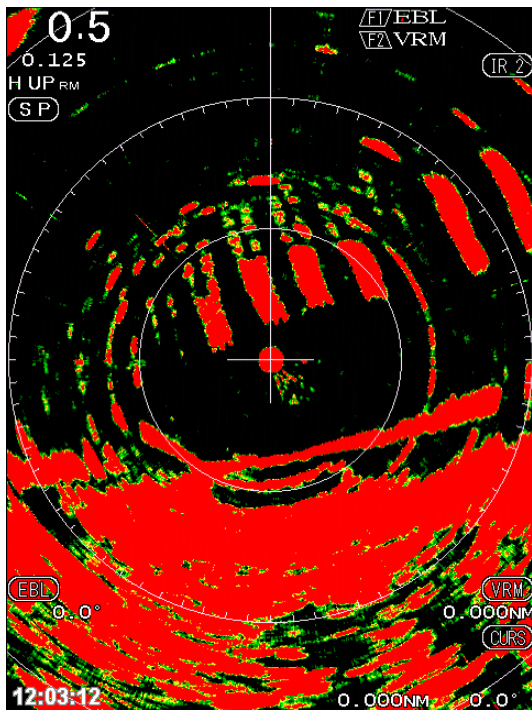


資料 3

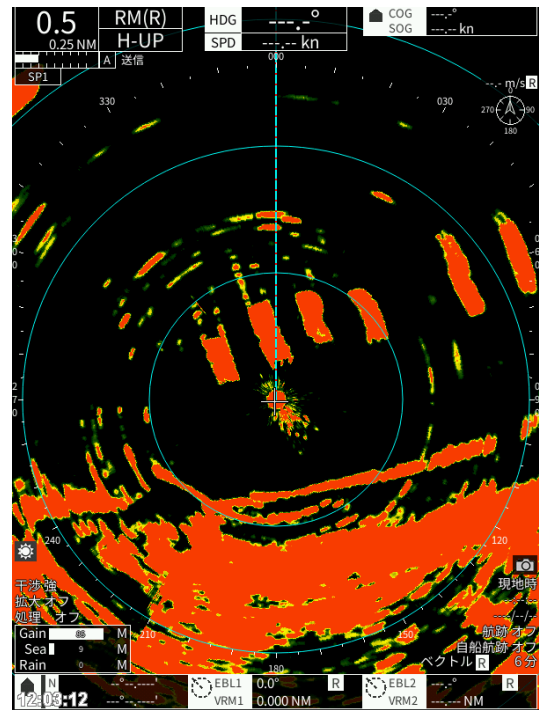
海上試験結果映像

海上試験取得映像 (0.5NM レンジ)

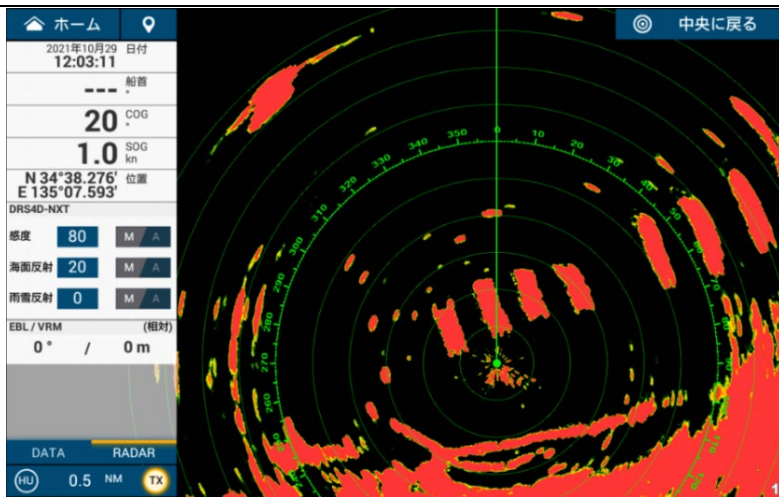
被干渉機 1



被干渉機 2

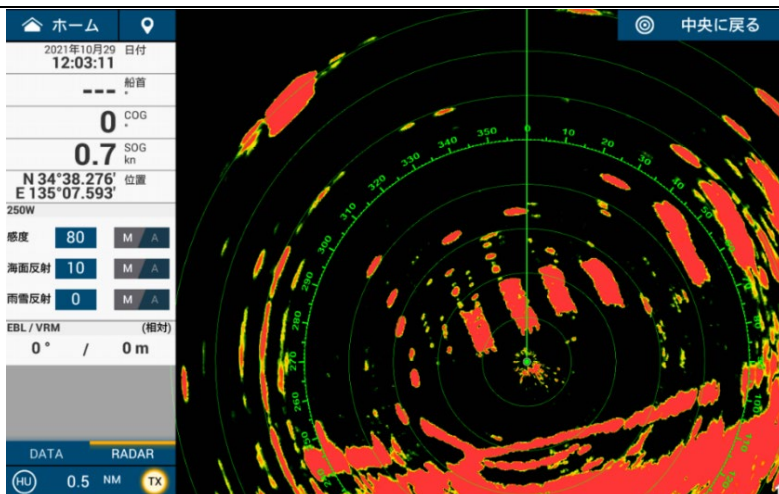


被干渉機 3



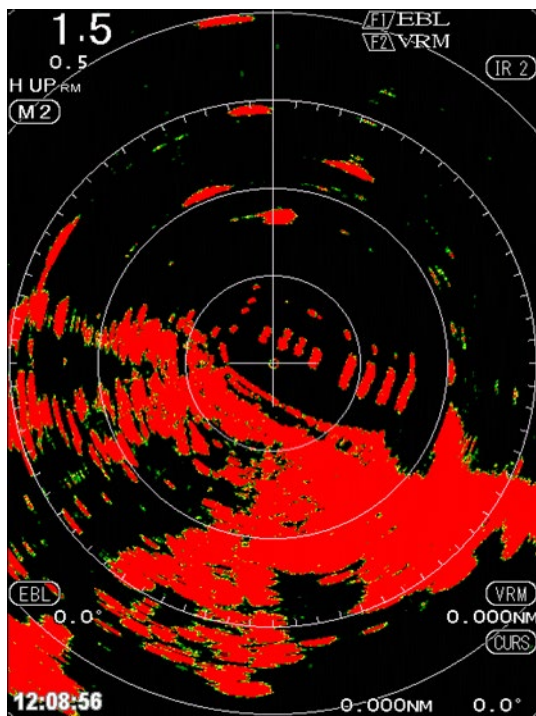
0.5NM レンジでの映像例
干渉による影響は見られない。
船首方向のエコーはのり養殖施設。

与干渉機 (参考画像)

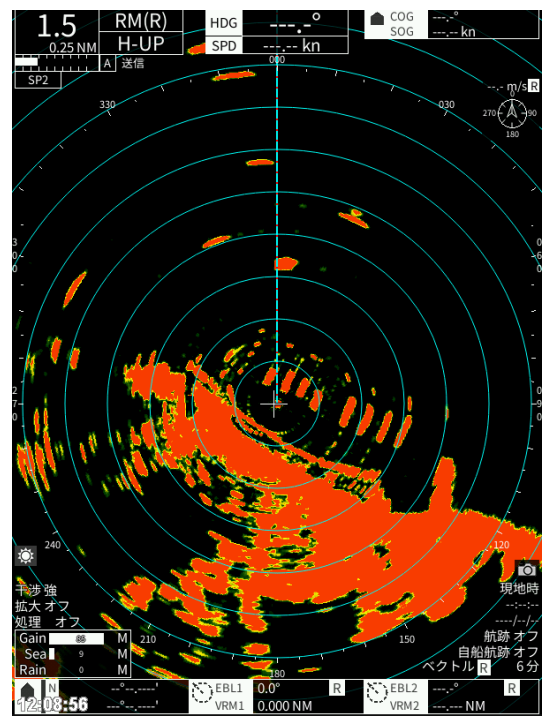


海上試験取得映像 (1.5NM レンジ)

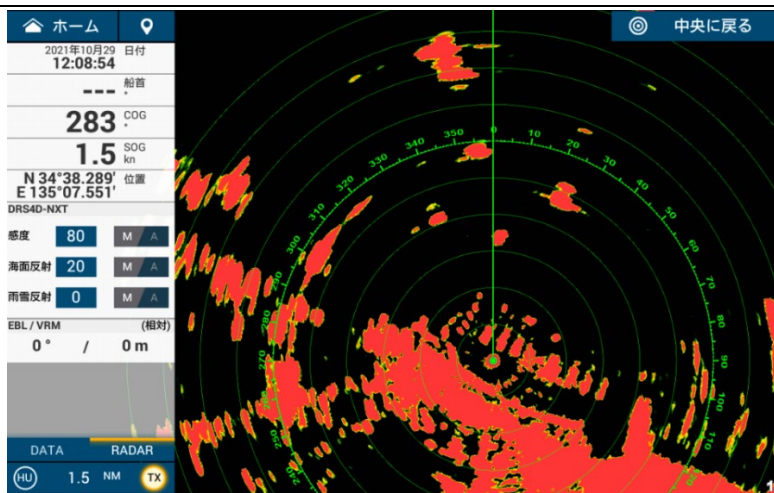
被干渉機 1



被干渉機 2

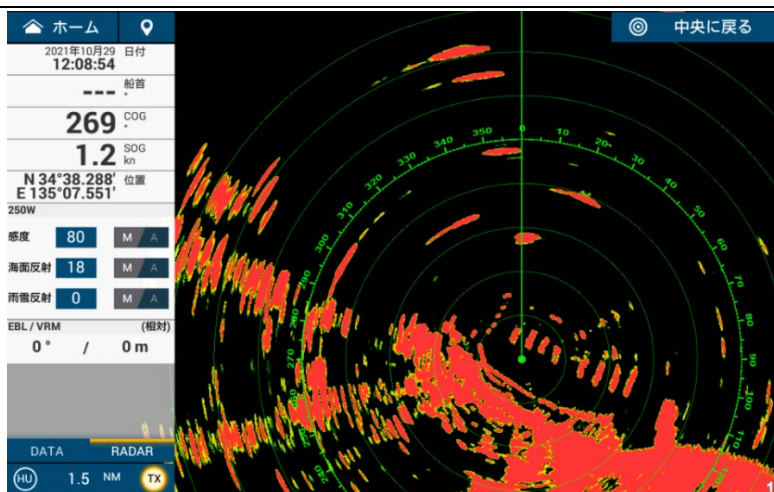


被干渉機 3



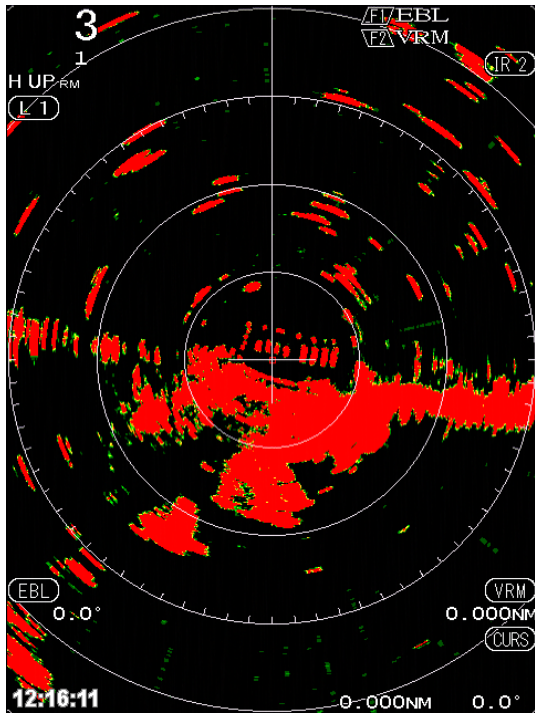
1.5NM レンジでの映像例
干渉による影響は見られない。

与干渉機 (参考画像)

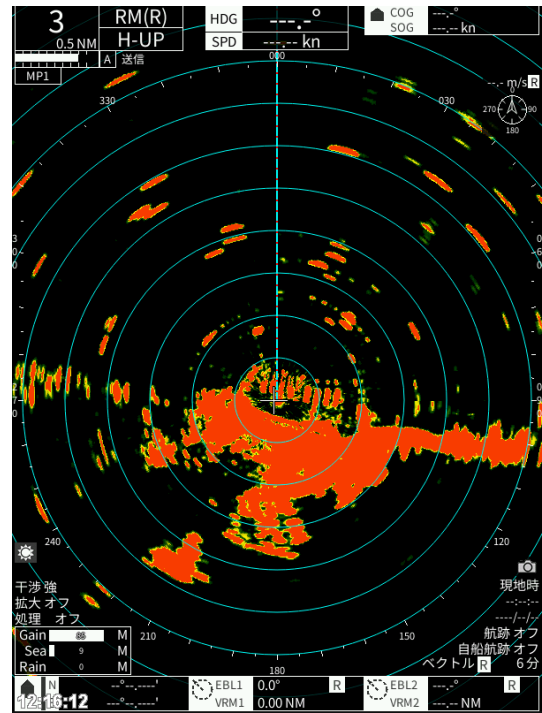


海上試験取得映像（3NMレンジ）

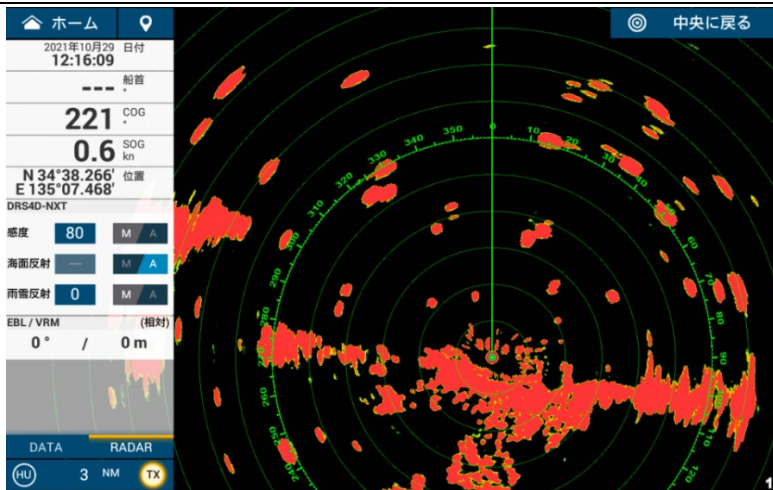
被干渉機 1



被干渉機 2

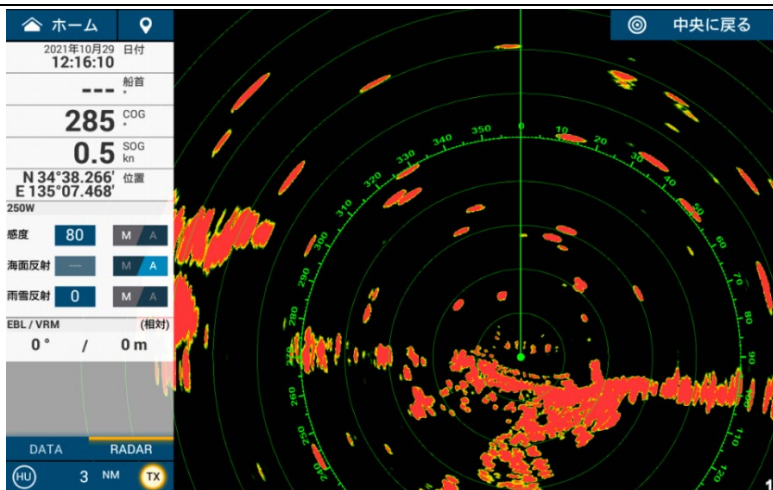


被干渉機 3



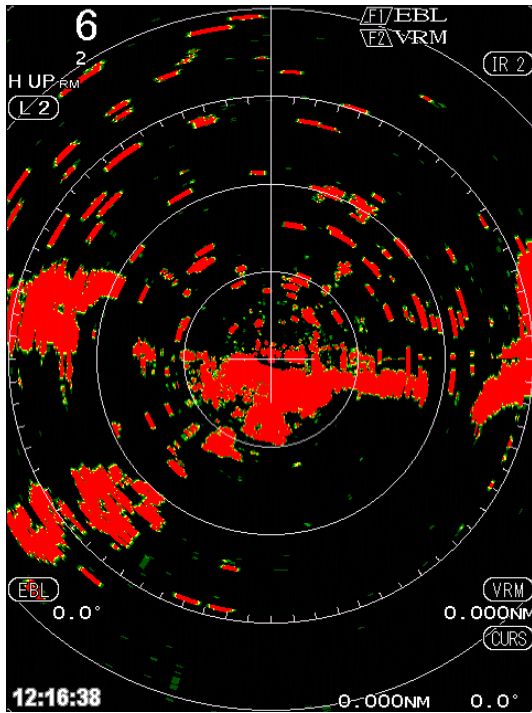
3NMレンジでの映像例
干渉による影響は見られない。

与干渉機 (参考画像)

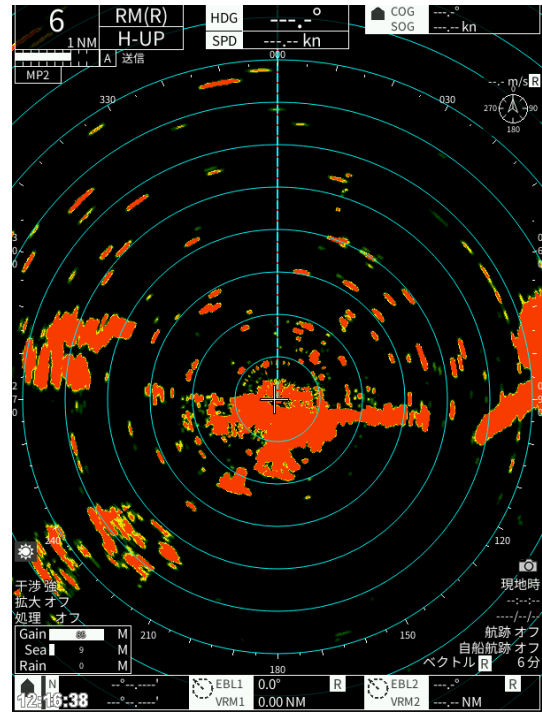


海上試験取得映像（6NMレンジ）

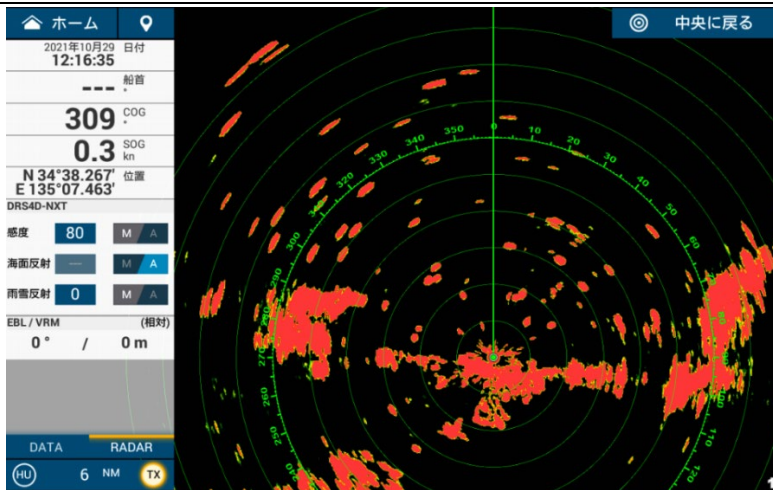
被干渉機 1



被干渉機 2

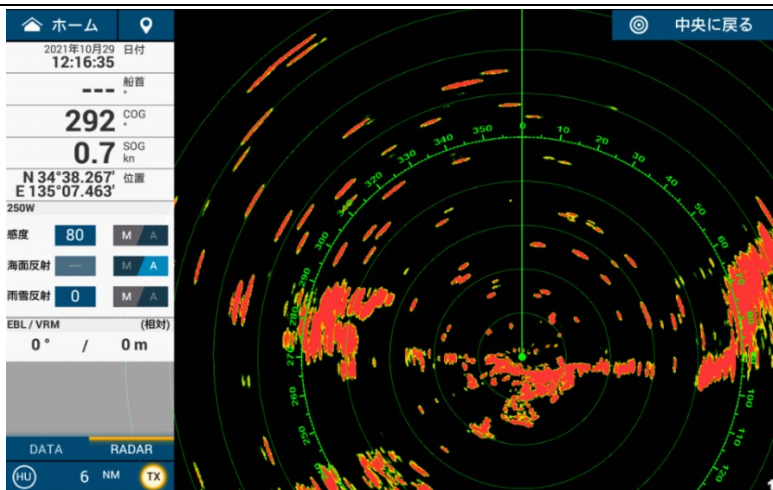


被干渉機 3



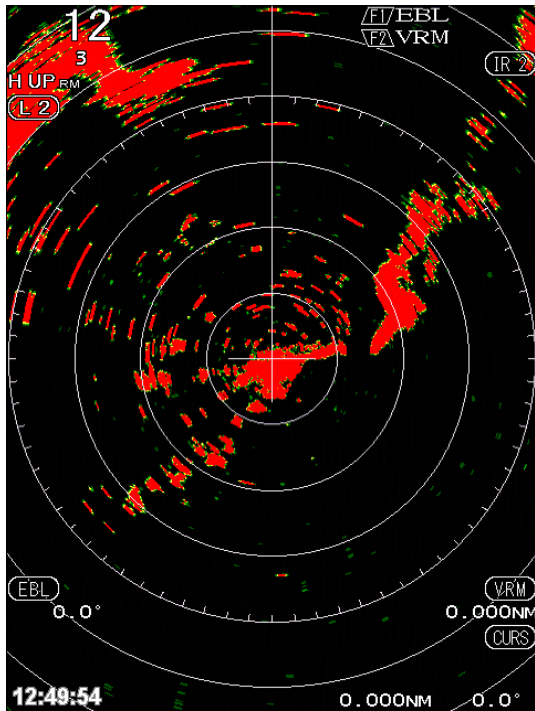
6 NMレンジでの映像例
干渉による影響は見られない。

与干渉機 (参考画像)

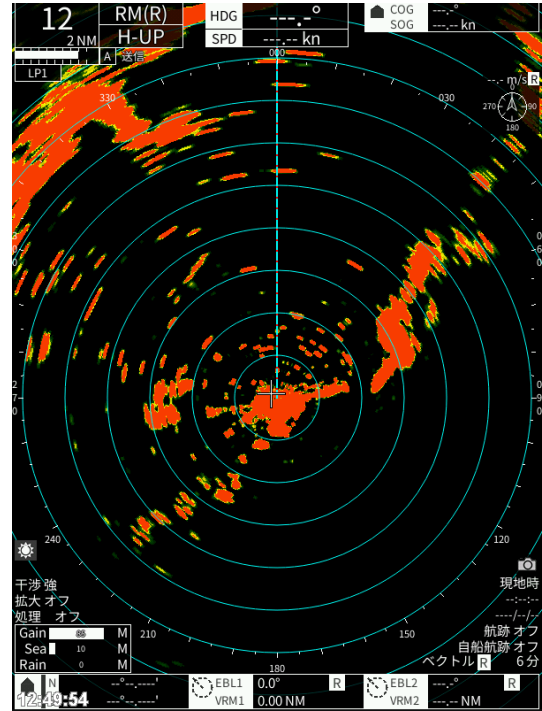


海上試験取得映像 (12NM レンジ)

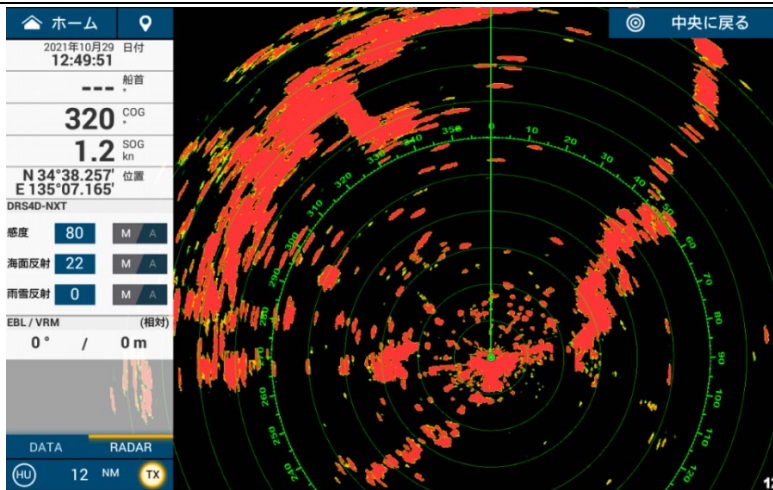
被干渉機 1



被干渉機 2

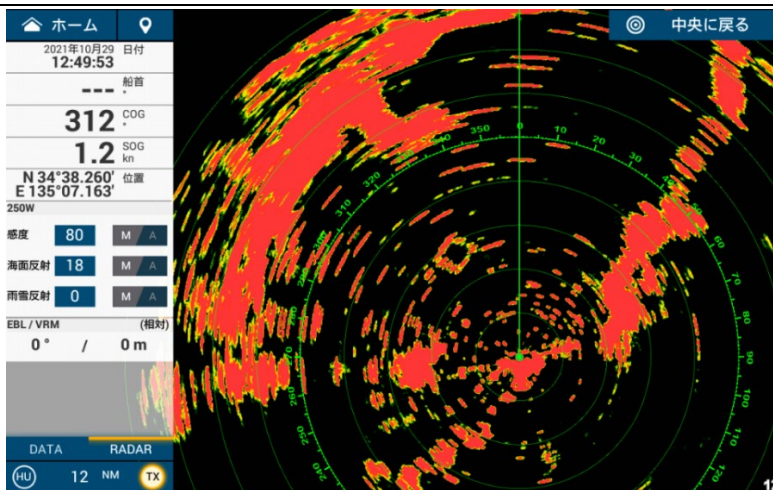


被干渉機 3



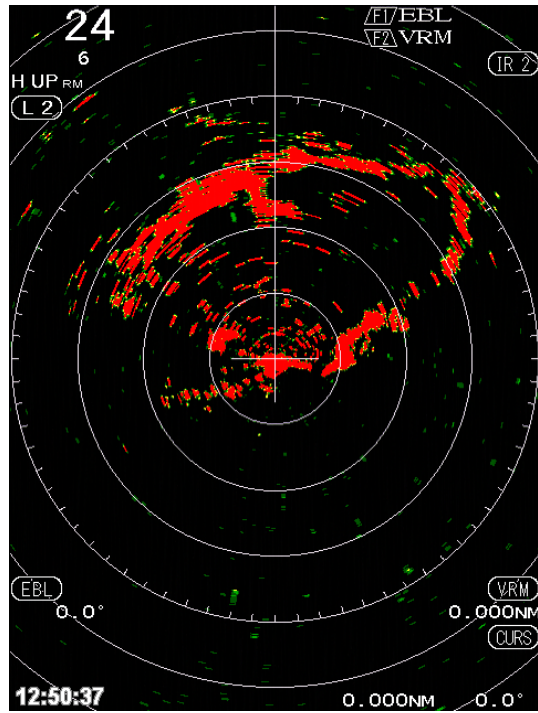
12NM レンジでの映像例
干渉による影響は見られない。
11 時方向に関西国際空港の空港島および連絡橋が映る。

与干渉機 (参考画像)

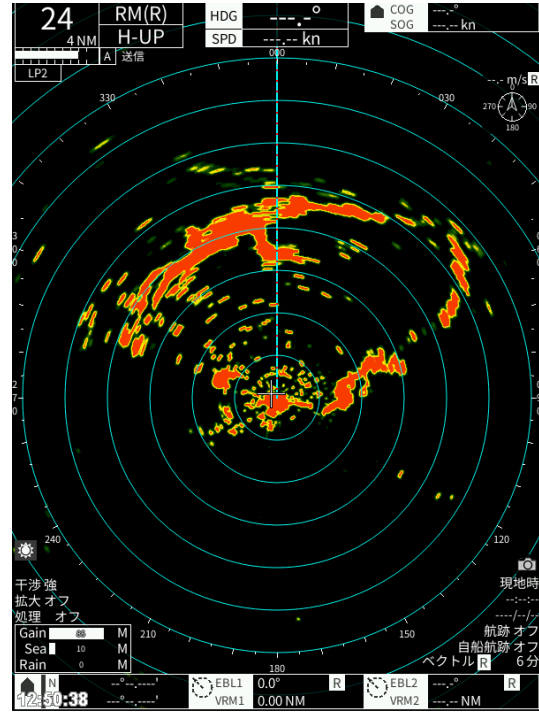


海上試験取得映像 (24NM レンジ)

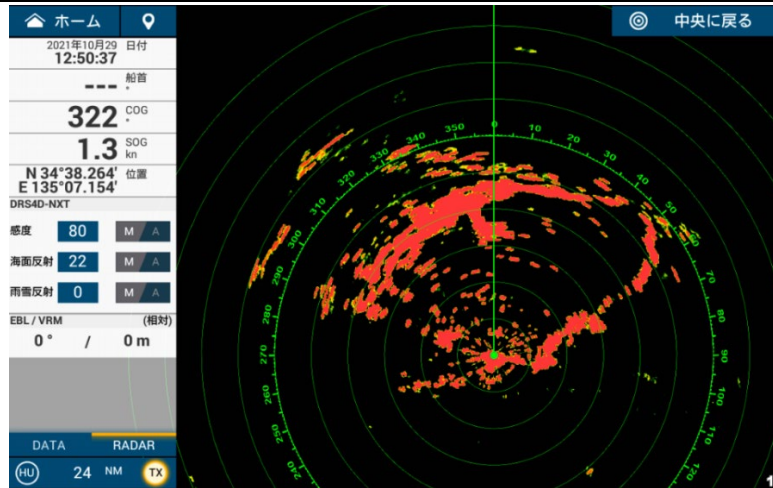
被干渉機 1



被干渉機 2

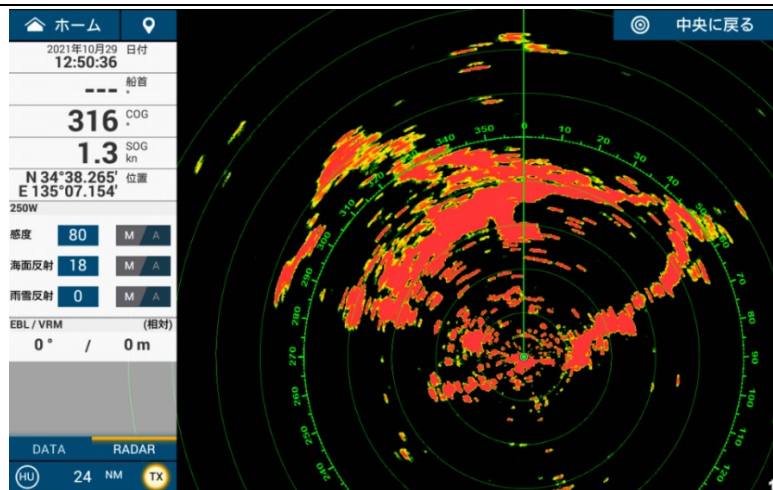


被干渉機 3



24NMレンジでの映像例
干渉による影響は見られない。

与干渉機 (参考画像)



資料 4

検討会 各回議事録および会合資料

9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会

第1回会合 議事録

I. 日 時

令和3年7月29日（木） 13時00分～15時00分

II. 場 所

古野電気株式会社 研修センター2F 第1研修室

III. 出席者

(1) 委員（敬称略）

若林 伸和 （座長：国立大学法人神戸大学）
河合 正 （副座長：兵庫県立大学）
福田 巖 （国立大学法人東京海洋大学） Web 参加
平塚 真人 （一般社団法人全国船舶無線協会近畿支部）
田北 順二 （一般社団法人全国船舶無線協会水洋会部会）
伊藤 雅之 （公益社団法人神戸海難防止研究会）
平井 寛 （公益社団法人関西小型船安全協会）
足立 祐樹 （ヤンマー船用システム株式会社）
船越 通暁 （日本無線株式会社）
秋波 孝重 （株式会社光電製作所）
戒田 英俊 （古野電気株式会社）

(2) オブザーバー

鬼頭 俊夫 （総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長）
小森 一秀 （総務省近畿総合通信局無線通信部航空海上課 課長）
浦 隆文 （水産庁 瀬戸内海漁業調整事務所 指導課長）
川口 優 （日本無線株式会社）
林 大介 （株式会社光電製作所） Web 参加

(3) 主催者

淵江 淳 （総務省近畿総合通信局長）
堀内 和広 （総務省近畿総合通信局無線通信部長）

(4) 傍聴者

中野 勝仁 （総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長補佐）
宮原 和彦 （総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課企画推進担当チーフ）

(5) 事務局

森 健一、岩田 和信、清水 昭典、國富 綾子、吉本 隆志（以上、古野電気株式会社）

IV. 配布資料

- 第1回検討会 議事次第
- 資料 1-1 規約（案）
- 資料 1-2 固体素子レーダーについて
- 資料 1-3 過去の調査検討内容について
- 資料 1-4 諸外国の動向について
- 資料 1-5 空中線電力（案）について
- 資料 1-6 実施計画（案）について

V. 会議内容

- (1) 開会
- (2) 近畿総合通信局長あいさつ
- (3) 古野電気株式会社 森執行役員のあいさつ
- (4) 出席者の紹介
- (5) 配布資料の確認
- (6) 規約（案）について
事務局より、資料 1-1 規約（案）の内容について説明され、構成員はこれを承認した。
- (7) 秘密情報の取り扱いについて
事務局より、秘密情報の取扱いについて説明が行われた。
- (8) 座長の選出について
事務局より、互選により座長を選出する旨の説明が行われた。構成員から座長の推薦がなかったため、事務局より神戸大学 若林教授を推薦する旨が説明され、構成員はこれを承認した。
- (9) 副座長の選出について
本検討会の副座長について、若林座長から兵庫県立大学 河合准教授が指名され、構成員はこれを承認した。
- (10) 座長挨拶と概要説明
若林座長から、座長就任に際して挨拶が行われた。また下記概要説明が行われた。
 - ・船舶用レーダーの装備について
 - ・マイクロ波発生装置（マグネトロン、固体素子）について
 - ・ユーザー視点で考えた場合、簡易 AIS が普及した事例と同様、安価であることや、従事者資格不要であることがポイントとなってくる
- (11) 本検討会の目指すべき最終着地点の概要
事務局より、添付資料 1 「はじめに」（当日配布なし）に基づき、本検討会概略の説明が行われた。
- (12) 調査検討会の検討内容等について
 - (ア) 固体素子レーダーについて

資料 1-2 に基づき、固体素子レーダーについて説明され、意見交換・質疑応答が行われた。(P. 5 誤記あり 誤) 200mW 未満 正) 200mW 以下)

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

- ・ P. 1 300 トン以上の船舶の説明に「国際航海あり」も追加が必要ではないか。
⇒確認しましたところ、船舶用レーダーの装備義務については、旅客船及び300 トン以上の船舶が必要(国際航海無も同様)、ただし国際航海に従事しない150 トン未満の旅客船は不要でした。
- ・ P. 3 固体素子の「低い電力(～400W)」とP. 4 「250W～600W」の表記を揃えた方がいいのではないか。
⇒「～400W」に統一します。
- ・ P. 6 FM/CW レーダーの販売終了理由について、予想でもよいので理由を書いていただくと本検討の参考になると思います。
⇒第2回検討会で報告します。

(イ)過去の調査検討内容について

事務局より、資料 1-3 に基づき、過去の調査検討内容について説明された。意見・質疑応答はなかった。

(ウ)諸外国の動向について

事務局より、資料 1-4 に基づき、諸外国の動向について説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

- ・今回の検討内容とは異なるが、海外ではパルス幅、Duty 比についても緩和されているようだが、国内についても今後の課題として検討されないのか。

➤ オブザーバー：

- ・現状特に制限はない。ユーザー向けにより便利なように、パルス幅も含めて検討いただいて幅広にご提案いただきたい。

➤ 委員：

- ・船舶用レーダーは安全に関わる機器で国際法でも重要な位置付けとなっており、パルス幅等は国際法や様々な干渉検討を元に制定されているため、簡単に変えることは難しい。海外のパルス幅の広いレーダーが入ってくると船舶用レーダーへの干渉が懸念される。

➤ 委員：

- ・P. 4 海外では干渉の問題がなかったと書かれているが、国内では船舶の運行形態が異なるため海外より厳しい規制がある。

- 事務局：
 - ・資料 1-4 の P. 5 パルス幅 (22 μ s 以下)、Duty 比 (3.1%以下) の案を元に実験を進めてよいか。
- 委員：
 - ・海外に比べて日本では規制があるという背景を元に、国内の規定に基づいて決定した、ということ盛り込んでほしい。

(エ) 空中線電力 (案) について

事務局より、資料 1-5 に基づき、空中線電力 (案) について説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

-- 意見交換・質疑応答 --

- 委員：
 - ・40W の前提として信号処理による探知性能向上を上げているが、信号処理機能が装備されなければ、マグネトロン 4.9kW レーダーと同等といえないとも読めるが、そのあたりはどうか。
- 事務局：
 - ・第 4 種レーダーの中にも 4.9kW、4kW、2kW などのバリエーションがあり、40W を境に 3 種、4 種レーダーの住みわけができていくと思われる。
- 委員：
 - ・信号処理で SNR が改善できるから電力を抑えてよいという理論はどうかと思う。信号処理の良し悪しで必要な電力が変わることもあるので、実験を踏まえてもつと電力が必要だということであれば、上げないといけない。海外製品に対抗するために大きな電力も必要となり、国内用と海外用の 2 種類用意しないとイケないということではメーカーにとっても困るので、競争力を上げるためできるだけ大きい値での緩和を検討いただきたい。干渉の影響は検討されているため、電力は柔軟に対応してもよいのではないか。

(オ) 実施計画 (案) について

事務局より、資料 1-6 に基づき、実施計画 (案) について説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

-- 意見交換・質疑応答 --

- 委員：
 - ・資料 1-3 P. 4 干渉縞が干渉除去機能により除去されるとあるが、大型船では大丈夫だが小型船では動揺が大きいためターゲットが外れる、ということがないように確認してほしい。
- 委員：
 - ・内航船だけでなく外航商船の航海士等も、ゲイン、STC、FTC 等、映像の調整に不慣れな場合があり、レーダーが適切に使いこなされていないということも耳に

する。小型船舶を対象とした製品化に際しては、さらに操作に不慣れなことも想定されるため、できる限り操作を自動化し、可能であれば調整フリーの操作性の良いものとなるよう是非検討していただきたい。

➤ 委員:

・マグネトロンから固体素子に変わる上で、操作性が変わるか。

➤ オブザーバー:

・操作性に関しては変わらない。大型船にくらべて小型船ではレーダーの操作に専念できないため、他の作業と平行して簡単に操作できるものという方向で開発を進めたい。

➤ 委員:

・海難防止の観点から、大型船と小型船の事故事例を見ると、操作者の技量に起因するものがあるため、小型船舶向け製品では自動機能等を追加する方が良い。

➤ 委員:

・メーカーでは、固体化レーダー特有の情報を生かして、接近物標の色を変えたり、接近物標を自動捕捉する機能を追加するなど、海難防止に貢献する製品開発を進めている。

➤ 委員:

・固体化になることで価格帯がどうなるかがユーザーにとって興味があり、GPSも安価になることによって普及したため、固体化レーダーについても検討いただきたい。

(13) その他

事務局より、第2回調査検討会は、9月下旬の開催を予定している。詳細は、後日、事務局より別途調整のこととした。

(14) 閉会

以上

◆ 調査検討の背景

- 船舶用レーダーの終段素子がマグネトロンから固体素子へ移行する途上にあつて、現行の法制度では、従来操作資格不要で利用できたレーダー(第4種レーダー)と同等スペックとなる固体素子レーダーの操作に無線従事者資格が必要となる

◆ 調査検討の目的

- 従来の第4種レーダー利用者が、資格取得等の負担なしに固体素子レーダーへの移行できるように、操作資格が必要な固体素子レーダーの一部を操作資格不要となるように規制緩和するための礎となる技術的要求条件を導出する
- 具体的な検討対象は空中線電力
 - 現行制度 マグネトロン:5kW未満, 固体素子:200mW以下(マグネトロンの2万5000分の1)
 - 規制緩和後(案) マグネトロン:5kW未満, 固体素子:40W以下(125分の1)

◆ 固体素子利用のメリット

- 長寿命(実質的に送信素子の交換不要)
- 高安定(高周波数精度、低不要発射)
- 安価(飽和技術であるマグネトロンに対し、半導体技術の進展によって低価格化の進行)

9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会
第2回会合 議事録

I. 日 時

令和3年9月21日（火） 14時00分～16時15分

II. 場 所

オンライン + 古野電気株式会社 研修センター2F 第4研修室

III. 出席者

(1) 委員（敬称略）

若林 伸和 （座長：国立大学法人神戸大学） 会場参加
河合 正 （副座長：兵庫県立大学）
福田 巖 （国立大学法人東京海洋大学）
平塚 真人 （一般社団法人全国船舶無線協会近畿支部）
田北 順二 （一般社団法人全国船舶無線協会水洋会部会）
伊藤 雅之 （公益社団法人神戸海難防止研究会）
平井 寛 （公益社団法人関西小型船安全協会）
足立 祐樹 （ヤンマー船用システム株式会社）
船越 通暁 （日本無線株式会社）
秋波 孝重 （株式会社光電製作所）
戒田 英俊 （古野電気株式会社） 会場参加

(2) オブザーバー

鬼頭 俊夫 （総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長）
小森 一秀 （総務省近畿総合通信局無線通信部航空海上課 課長）
浦 隆文 （水産庁 瀬戸内海漁業調整事務所 指導課長）
川口 優 （日本無線株式会社）
林 大介 （株式会社光電製作所） Web 参加

(3) 主催者

堀内 和広 （総務省近畿総合通信局無線通信部長）

(4) 傍聴者

中野 勝仁 （総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長補佐）
宮原 和彦 （総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課企画推進担当チーフ）

(5) 事務局

岩田 和信、清水 昭典、松口 知弘、國富 綾子、吉本 隆志
（以上、古野電気株式会社）

IV. 配布資料

第2回検討会 議事次第

資料 2-1 第1回会合議事録（案）

資料 2-2 FM/CW レーダーについて

資料 2-3 日本無線株式会社_意見書

資料 2-4 株式会社光電製作所_意見書

資料 2-5 フィールド試験機材について

資料 2-6 9GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーのフィールド試験実験計画（案）

資料 2-7 実験計画進捗

V. 会議内容

- (1) 開会
- (2) 配布資料の確認
- (3) 第1回会合議事録（案）について

事務局より、資料 2-1 第1回会合議事録（案）の確認が行われた。そのさい、8月に各委員へメール配信した内容から一部変更がある旨の説明があった。

（変更点）

第1回会合のあと、空中線電力（案）について、日本無線株式会社殿と株式会社光電製作所殿からご意見書をいただき、その内容を議事録に入れていたが、これらは第1回会合後の事象であるため、議事録からは削除し本日第2回の議題とする。

- (4) FM/CW レーダーについて

資料 2-2 に基づき、FM/CW レーダーについて事務局より説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

その際、資料の内容は本検討会とは別に開発した内容を含むことの補足説明があった、

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

- ・「FM/CW レーダー映像例」の資料で干渉が出ることがよくわかった。
- ・FM/CW レーダーでは周波数を変えているが、周波数掃引幅はどのくらいか。
- ・FM/CW レーダーは一般的にマグネトロンレーダーに比べて、周波数帯が 9.41GHz からかなり低い方で使われている。周波数を変えて既存レーダーの周波数とできるだけ離すことで、干渉を回避しようとしたのではないかと思われるが、その場合でも資料「FM/CW レーダー映像例」のような干渉が出るのか。

➤ 事務局：

- ・周波数の変調幅について実際に評価した個体では、50MHz 程度最大で掃引していた。
- ・周波数分離の効果だが、離しているとはいえ船舶用レーダーの割当て周波数 9.3-9.5GHz 内でマグネトロンは 9.4GHz 付近を使用している。この 9.4GHz 離すとすると、9.3GHz 付近か 9.5GHz 付近になるが、そうすると端の方はせいぜい 50MHz くら

いしか離せていない状態。フィルタの実用上の問題になるが、市販できるようなコストで 9.41GHz で 50MHz 帯の周波数を十分に減衰させるようなフィルタを製品に実装するのは難しく、受信機に入ってくる段階で信号を落としてしまうということは難しい。次に受信機に入ってからとなると、受信信号のレベルが非常に高いのでローノイズアンプの出力で干渉波によって信号が抑圧されるとか、LNA ノイズフロアが上昇してしまうような状態となる。さらに非常に強い信号がミキサに入ることによって、ミキサの歪みなどが発生し、それらが IF 出力に影響を及ぼしてしまうのではないかと思う。よって、周波数分離の効果は見込めない（干渉がなくなるらない）。

➤ 委員：

・よくわかった。FM/CW レーダーはレーダー周波数帯の一番低い方を使っているというようなデータがあった。9.41GHz と 9.3GHz の一番低い方だと十分に離れていると思ったが、神戸空港での比較（資料 2-2「FM/CW レーダー映像例」）では周波数はどのような設定だったのか。

➤ 事務局：

・このときに使用した FM/CW レーダーは周波数を変更できないので、規格の 9.3GHz 付近。干渉を及ぼすマグネトロンレーダーは、通常の船舶用なので 9.41GHz 付近。

➤ 委員：

・FM/CW の周波数をもっと離すとよかったのではないかと思うが、いろいろな問題、規制がある。そのうち技術的な問題が解決されて見直されることがあるかもしれないが、現状直観的にアナログ回路で干渉を除去するのは難しいと考える。

➤ 委員：

・よくわかった。現状の周波数で使用されているのであれば、実用に耐えない気がする。割当て周波数の拡大や新技術などで解決できるかもしれないが、現状では船舶用レーダーとして使うのは難しいと思う。

(5) 空中線電力（案）について

第 1 回資料 1-5 に基づき、空中線電力（案）について事務局より説明された。そのあと、資料 2-3 に基づきメーカー A 社様から、続いて、資料 2-4 に基づきメーカー B 社様から説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

【各社の空中線電力（案）】

- ・事務局 : 40W
- ・メーカー A 社 : 150W
- ・メーカー B 社 : 250W

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

・メーカーA社殿（以下、「A社」と記載する）とメーカーB社殿（以下、「B社」と記載する）の説明は基本的に同じだと思う。A社の150WとB社の250Wの差は、あくまでもA社の説明されていたコヒーレントと非コヒーレントの違いだけで、B社の仰っていたように信号処理でだいぶばらつくと思う。最終的には固体素子レーダーを普及させないといけない。そうすると、ユーザーの観点で見て、現行のマグネトロンレーダーより性能が劣っては意味がない。ユーザーへのメリットを生かすという点で、空中線電力は大きい方の250Wにすべきではないか。

➤ 委員：

・前回の40Wは遠慮したな、という印象。アンテナの回転数は24、48rpm（2秒に1回）回るので、小型船舶用のレーダーも同様と考えていいのか、またビーム幅が2度くらいとしてグラフを出していただいたが、小型船舶はスキャナも小さくなりもう少し広がるか、という気がする。だかといって閉域いっぱい取れるということも言わない方がいいかなという気はする。フィールド試験では大きい250Wから実施し、どこまでの出力で干渉を与えないで済むかのデータが次回出てくればよいと期待している。

➤ 委員：

・大型船のレーダーは出力が大きいので、電波の人体への影響を考えてマストへ上がる時注意していた。今回の小型船でもこういったことは考慮されていると思うが、4.9kWマグネトロンレーダーと比べて固体素子レーダーの267Wの方がトータル時間を考えて、時間あたりに出る周囲に出る電力量は小さいと考えてよいのか。

➤ 事務局：

・1パルスで考えた場合、PT積（尖頭送信電力×送信パルス幅）で送信エネルギーが決まるので、人体への影響という観点では1秒間あたりの平均電力で考えると、マグネトロンと固体素子で違いはない。ただし、送信繰り返し周波数について、マグネトロンではスペックで決まっていたが、固体素子の場合Duty比を高めるなどでマグネトロンより高く設定することもできるので、その場合マグネトロンよりも高くなる。航海用レーダーではこの項目に規制があるので、同様に規制を設ければより安全となる。

➤ オブザーバー：

・小規模の漁業者の観点だと、自分のレーダーの性能が上がるのであれば固体素子へ変えるモチベーションになるが、他のレーダーへの干渉が下がるとかという点では変えるモチベーションにはならないと考える。そのため、性能向上分の出力をおさえて周りへの干渉を抑えるか、出力そのまま性能向上を生かすかという話になると、後者の方が漁業者の観点ではよい。

- 委員：
 - ・最終的に普及することが目的なので、特に小型船では普及という観点で考えていくことは重要である。そのため、漁業者が交換しようという意識にならなければいけないので、性能がよくなったという点は一つのアピール材料になる。
- 委員：
 - ・現在、空中線電力で討論しているが、海外メーカーはパルス幅が大きいものを製品化している。本検討会では、パルス幅は変えずにあくまで国内の仕様に基づいて討論しているが、この空中線電力とパルス幅の関係はどうか。
- オブザーバー：
 - ・パルス幅の国内法上限値 $22\mu s$ は、固体素子レーダーの技術基準策定の際決められたので、本検討会ではここをベースに考えていこうという話だった。
 - ・この規制がなければという話だが、今まで固体素子の技術基準を策定する上で干渉の影響が一番懸念しているのがパルス幅であり、それに関して様々な検討があつて決まった値が $22\mu s$ なので、この検討を再度行うというのは大掛かりな議論になり、本検討会では難しい。
 - ・実際、パルス幅が $50\mu s$ や $100\mu s$ のレーダーが周りで回っていたら、マグネトロンレーダーは干渉で使用できないと思うので、本検討会でこのような長いパルス幅で検討するのはハードルが高い。
 - ・空中線電力に関しては説明の補足になるが、低く制限すべきでないとする。どこに線を引くかということだが、説明では信号処理でカバーできるとしたが、理想的な条件を考えた場合なので、現実的にはカバーできないことも十分考えられる。スイープ数も積分数もレーダーによって変わってくると思う。また、固体素子では電波型式は、PON と QON で運用するのが一般的で PON はパルス圧縮できないのでマグネトロンレーダー（電波型式 PON）と比較すると電力だけの差になる。こういった観点からも電力はあまり低くすべきではなく、可能であれば大きい方の 250W にすべき。
- 委員：
 - ・普及という観点で、まずは国内マーケットからという点は理解した。
- 委員：
 - ・海外マーケットを視野に入れるのは次の段階かと思う。パルス幅を延ばすと、最小探知距離や距離分解能などに影響はないのか。
- 事務局：
 - ・距離分解能で言えば、周波数変調幅。（QON は周波数変調）
周波数変調幅を広げると距離分解能は良くなるが、パルスレーダーで送信中に受信ができないのでパルス幅を延ばすと PON（無変調）で見る距離が長くなり、QON に切り替わる手前の探知性能は若干下がると考えられる。
- 委員：
 - ・これから実験をしていく中で、大きい電力から始めて、必要があれば下げていくという方法がよいと思う。

(6) フィールド試験機材について

資料 2-5 に基づき、フィールド試験機材について事務局から説明された。

その際、資料「被干渉機概要」について誤字訂正があることの説明があった。

【誤字訂正箇所】

資料「被干渉機概要」の被干渉機 1 のパルス幅： $0.10\sim 1.0\mu s \Rightarrow 0.08\sim 1.0\mu s$

(7) フィールド試験実施計画（案）について

資料 2-6 に基づき、フィールド試験実施計画（案）について、事務局から説明された。

(8) 実施計画進捗について

資料 2-7 に基づき、実施計画進捗について、事務局から説明され資料 2-5 ～ 2-7 について意見交換・質疑応答が行われた。

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

・資料「被干渉機概要」について、繰り返し周波数と、繰り返し周波数の変動機能の有り無しを入れた方がよい。なぜかという点、干渉除去機能に関してお互いのレーダーの繰り返し周波数が同一の場合に最も干渉の縞模様が出て、これが非常に問題になるからである。

・干渉実験において周波数をあわせるという調整をするが、繰り返し周波数も同じようにあわせて実験すれば一番悪い条件での評価ができるのではないか。

➤ 委員：

・被干渉機側の設定条件について詳細がないことに関しては、A 社殿からも会合前に指摘されているので、フィールド実験までに記載したものを作成いただく。

➤ 事務局：

・繰り返し周波数については試験できるかわからないので、そのあたりも含めて後日回答する。

(9) 全体質疑

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

・固体素子レーダーの普及は重要な視点である。また、海外に対しても優位性を示せるような方向にもっていければよい。

➤ 委員：

・日本のメーカーが海外でも活躍できるような方向にもっていければよい。

(10) その他

事務局より、フィールド試験の日程、及び、見学について説明があった。

(11) 閉会

9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会
第3回会合 議事録

I. 日 時

令和3年12月2日(木) 14時00分～16時00分

II. 場 所

オンライン + 古野電気株式会社 研修センター2F 第4研修室

III. 出席者

(1) 委員 (敬称略)

若林 伸和 (座長：国立大学法人神戸大学)
河合 正 (副座長：兵庫県立大学)
福田 巖 (国立大学法人東京海洋大学) オンライン参加 (14:15 から参加)
平塚 真人 (一般社団法人全国船舶無線協会近畿支部)
田北 順二 (一般社団法人全国船舶無線協会水洋会部会)
伊藤 雅之 (公益社団法人神戸海難防止研究会)
平井 寛 (公益社団法人関西小型船安全協会)
足立 祐樹 (ヤンマー船用システム株式会社)
船越 通暁 (日本無線株式会社)
秋波 孝重 (株式会社光電製作所)
戒田 英俊 (古野電気株式会社)

(2) オブザーバー

鬼頭 俊夫 (総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長)
小森 一秀 (総務省近畿総合通信局無線通信部航空海上課 課長)
川口 優 (日本無線株式会社)
林 大介 (株式会社光電製作所) オンライン参加

(3) 主催者

堀内 和広 (総務省近畿総合通信局無線通信部長)

(4) 傍聴者

中野 勝仁 (総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長補佐)
宮原 和彦 (総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課企画推進担当チーフ)
倉田 哲史 (総務省近畿総合通信局無線通信部航空海上課 上席電波検査官)

(5) 事務局

岩田和信、清水昭典、松口知弘、國富綾子、吉本隆志、後藤英公、中谷文弥
(以上、古野電気株式会社)

IV. 配布資料

- 第3回検討会 議事次第
- 資料 3-1 第2回会合議事録（案）
- 資料 3-2 フィールド試験結果
- 資料 3-2（別紙）フィールド試験結果一覧
- 資料 3-4 提言内容（案）
- 資料 3-5 実験計画進捗
- 空中線電力（案）の低減のための検討（B社作成資料）

V. 会議内容

- (1) 開会
- (2) 配布資料の確認
 - 追加資料として、B社の「空中線電力（案）の低減のための検討」が、1部あることが説明された。
- (3) 第2回会合議事録（案）について
 - 事務局より、資料 3-1 第2回会合議事録（案）の確認が行われた。
- (4) フィールド試験結果について
 - 資料 3-2 に基づき、フィールド試験結果について事務局より説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

- ・海上試験では密接した場所に4つのレーダーを設置しているが、
 - ① これだけ密接しているから干渉が大きいのか。
 - ② 干渉除去機能（IR）はずっとONにしているのか？それとも、必要時のみONとするのか？
- について、お答えいただきたい。

➤ 事務局：

- ・① 干渉が多いのは、密接しているから
- ② 与干渉機が回ってない状況でも干渉はある
(資料 3-2 別紙：2/41 項の「IR OFF」がそのレーダー画面例)
そのため、干渉除去機能をONにして、見え方により設定をかえて見えやすいところで運用するのが一般的。

➤ 委員：

- ・承知した。干渉除去機能をONすれば、干渉がなくなり、目標物が探知できたという結論でよいか？

➤ 事務局：

- ・その結論でよい。

-
- 委員：
 - ・映像例でスタンバイのときに干渉が出ているが、これは他の3台のレーダーが回っていることによるものか？
 - 事務局：
 - ・1台ずつ実験しているので、スタンバイで干渉出ている原因は、海の方からきている環境によるもの（陸上試験の場合）。
 - ・陸上試験は1台ずつ実施し、海上試験は4台同時に実施した。

-
- 委員：
 - ・海上試験の設置条件で、資料の写真を見ると、A社とB社のレーダーは、与干渉機の垂直ビーム幅に入っているのではないか。一方、C社のレーダーは高さをずらしているから、垂直ビーム幅に入っていないのではないか。これによる違いは問題ないのか？
 - 事務局：
 - ・厳密に角度を測って設置しているわけではない。
 - 委員：
 - ・厳密に考えると設置条件が違うので、結果に影響するかもしれないが、船舶の設置スペースの問題もあり、今回の設置方法しかなかった。
 - ・今回の資料はわかりにくい箇所があるので、そういった部分は最終報告書で改善してほしい。

-
- 委員：
 - ・海上試験映像例に関して、24マイルの結果までしかないが、これ以上のレンジは対象外としたのか？
 - 事務局：
 - ・各レーダーのスペックを確認し、レンジを上げてもパルス幅が変わらない場合は、干渉影響はかわらないものとして判断した。その結果、24マイルが上限となった。
 - 委員：
 - ・そういった条件の設定根拠を記載してほしい。
 - 委員：
 - ・補足すると、今回の実験ではこれ以上遠方のターゲットがなかったことも根拠の一つである。
 - 委員：
 - ・今回の設置状況（高さ）から、24マイルがレーダーの見える上限ではないか。ただし、その旨の注釈は入れておくべきである。

- 委員：
 - ・スライド3 与干渉機送信条件の「※2」で「繰り返し周波数を変動する機能を有し」とあるが、実際どれくらい変動させているのか？
 - 事務局：
 - ・設備規則では上限が25%となっているので、その範囲内で変動させている。
-

- 委員：
 - ・スライド5 被干渉機2 実験結果で表のリフレクタの下部に「PRF：4000Hz」とあるが、これは3000Hzの上限25%があるから、この数値になるのか。
 - 事務局：
 - ・その通り。
-

- 委員：
 - ・スライド6 被干渉機3 実験結果で「IR ON」はあるが、「IR OFF」はないのか？
 - 事務局：
 - ・今回の結果は、「IR OFF」はない。各社IRの設定調整ができるものとできないものがあり、被干渉機3（フルノ製）は設定ないので、1パターンのみ。
-

- 委員：
 - ・スライド9 被干渉機3 映像例で「IR OFF」のときの映像が真っ赤で干渉が大きい但实际上これくらい干渉がでるものか？通常、ゲインなどで調整するものではないか？
- 事務局：
 - ・ゲインの設定をしても（下げても）、このような映像であった。
- 委員：
 - ・被干渉機3は固体素子だが、マグネトロンと固体素子の違いが影響しているのか？
- 事務局：
 - ・その通り。

(5) 提言内容（案）について

資料3-3に基づき、提言内容（案）について事務局より説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

-- 意見交換・質疑応答 --

- 委員：
 - ・スライド3 技術的条件についての中で、デューティサイクル3.1%以下、1秒当たりの平均電力は5.8Wを超えないこと、尖頭電力とパルス幅の積は 5.5×10^{-3} を超えないこと、の3条件あるが、これに関しての意見はないか。

- 委員：
- ① 「1秒当たりの平均電力は5.8Wを超えないこと」の根拠を教えてください。
 - ② パルス幅の上限は $22\mu s$ なので、そこから計算し尖頭電力の上限が決まるのか？
- 事務局：
- ・②はその通り。
 - ・①については、平成24年の情報通信審議会に答申された内容で、そこには①だけでなく、上記3条件に加えて、繰り返し周波数が3000Hzを超えないこと、空中線電力が250Wを超えないことが入っている。この答申の内容を決めるための実験が第1回会合で説明した過去の調査検討会である。
 - ・当時、技術的に実現できるレーダーのスペックで実験し問題なかったなので、そのスペックがそのまま採用された。
- 委員：
- ・①平成24年の情報通信審議会の資料に今回の具体的数値が出ているのか？
 - ・②平均電力の定義は？
- 事務局：
- ・①はその通り。
 - ・②について、まず固体素子の原理は長いパルスを送って探知性能をかせぐ。一方、パルスを送っている間探知ができないので、それを補うために短いパルスも送っている。1つのパルス繰り返し周期の中に複数のパルスがあるイメージ。短いパルスと長いパルスの1つずつであればわかりやすいが、1つずつというのが条件となっているわけではない。パルスが3、4つあって、くりかえし周波数が同じ(3000Hz)で、パルス幅の条件が定められている場合では、パルスが時間的に占有する量が増えていくので、それに上限を与える目的で、長い時間で見ると平均した電力(1秒当たりの平均電力)を制限すれば、時間内に含まれるパルスの合計などが制限される。あくまで推測だが、このような理由からではないかと思われる。
- 委員：
- ・平成24年の情報通信審議会の答申がいきているのか？
- オブザーバー：
- ・即答できない。
- 委員：
- ・スライド3技術的条件は、唐突に出てきた感じが強いので、根拠は示してほしい。
-
- 委員：
- ・本検討会で、電力をどこまで落とせるかという実験はしていないため、最終的に1つの値としては出せない。
 - ・電波法第54条第2号で「空中線電力は必要最小のものであること」が基本である。

- ・実験で実施した 250W が最終提言値となるとは考えていない。
 - ・これらをもとに、メーカーとしての意見を聞きたい。
- オブザーバー：
- ・4種レーダーの探知性能としての基準がなければ決めるのは難しい。ここは一つの課題と考える。
 - ・信号処理による改善を考えて、前回提案した 150W が妥当と考える。
 - ・製品を作るうえで、新しいレーダーであれば、お客様はよく見えること期待するので、最低限 4.9kW マグネトロンレーダーの性能を維持すべき。ただし、現状のデバイスで 150W を実現しようとする、それなりの価格になるので、実際作るとなると、もう少しパワーを下げたものを作ることになる。今後は、デバイスの価格が下がることも考えられる。
- オブザーバー：
- (資料「空中線電力(案)の低減のための検討」に基づいて説明)
- ① 第4種レーダーで主に設定されている上限レンジや水平ビーム幅などの値から平均回数を算出し SNR 改善量を算出。これに処理損失、パルス幅比率を考慮。
 - ② 近距離探知はマグネトロンと変わらないため、SNR の劣化量を試算。
- ・①②より、170W が妥当ではないか(空中線電力の許容偏差の上限+50%を加味)。
- 委員：
- ・水平ビーム幅は3度実現できるなら、電力は小さめでもよいのではないか。
 - ・レンジに関しては、小型船だと実質 24 マイルレンジも使わないことが多いので、それよりも下で考えればよいのではないか。
- 委員：
- ・空中線電力の許容偏差±50%は決まっているのか。
- 委員：
- ・マグネトロンの場合、ふれ幅が大きいこともあってこの値になったと考えられる。
- オブザーバー：
- ・一般的に、水平ビーム幅が狭いほどアンテナが長くなる。第4種レーダーの一般的な水平ビーム幅は、2度か2.5度くらい。
 - ・水平ビーム幅が広がると、その分ビーム幅内における電波を出す回数が増える。そうすると、信号処理の効果がうまれてくる。一方、ビーム幅が広いとアンテナが短くなるので、利得が下がり、探知性能が落ちる。こういった両面から考えないといけない。
- 委員：
- ・第1回で事務局として提案した通り、S バンド(3GHz 帯) 固体化の事例に基づき 40W と提案。
 - ・S バンド固体化のときは、「〇マイルの物標が見えること」というような基準があり、それを満たすように決められたという経緯があるが、今回の4種レーダーの場合、探知性能としての基準がない。
- 委員：

- ・最終的に、メーカーとして、170W、150W、40W の3意見が出た。

➤ 委員：

- ・メーカー以外の方の意見を聞きたい

➤ オブザーバー：

- ・40W 提案の根拠としてSバンド固体化の事例に基づいたとあったが、4種レーダーをつくる際の基準は、義務レーダーの性能に合わせているのか？それとも、そういった視点で考えていないのか？

➤ 委員：

- ・Sバンドの事例では、たとえば、「Aというターゲットがある距離から見えること」というのが数条件あって、これに対して、30kWマグネトロンで満足した、250W固体化で満足した、だから同等であるという結論とした。

➤ 委員：

- ・4種レーダーの基準がないため、メーカーごとに判断して、ターゲットを決めてつくっていると考え。当然、遠くまで見えた方がよいが、一方、小型向けであるので価格を抑えるために性能を必要最小限にすることも考えているのではないか。
- ・このターゲットが、メーカーごとに異なるため、意見が別れていると考える。

➤ 委員：

- ・C社は、すでに25W固体化を出しているが、決してそれがあから40Wと提案しているわけではない。

➤ 委員：

- ・ユーザーサイドの立場だと、4.9kWマグネトロンの性能は最低限維持してほしい。
- ・価格についても同等レベルであれば、メンテナンスなどのメリットで購買意欲につながられるので、このバランスをうまく考えてほしい。

➤ 主催者：

- ・現状、5kW未満マグネトロン、200mW以下固体素子が無線従事者資格不要となっている。ただし、200mW以下固体素子だと、現状5kW未満マグネトロンに比べて性能が劣る。ここを上げられないかというのが大前提にある。
- ・ユーザーサイドとして遠くまで見えた方がよいというのはわかるが、単にPT積の計算から250Wとするのではなく、信号処理その他のいろいろなものを加味して、どこまで下げることができるかという議論をしてほしい。

➤ 委員：

- ・ユーザーサイドの意見はないか。

➤ 委員：

- ・5kW未満マグネトロンを装備しているは、小型のプレジャー船などが主である。このような船で、5年以上船を所有している例は少ない。そのため、マグネトロンを交換する例も少ない（お客様の立場でも、マグネトロンを交換するものと理解している方は少ない）。つまり、固体素子のメリットであるマグネトロン交換不要は

あまり効果がない。

- ・ユーザーとしては、価格のメリットがないと普及しない。
- ・性能と価格を考えた上での落としどころを見いだせればよいと考える。

➤ 委員：

- ・海上での安全に寄与するためには、今ままでつけてない船につけてもらうために、価格と操作性（ややこしい調整なくなる）のメリットを出さないといけない。
- ・素子は、出力が上がると価格が上がる。
- ・規制緩和としてどうするかについては、今回出た意見を併記していくような感じなり、最終的に総務省の判断になると考える。
- ・海難防止の観点から考えると、早く規制緩和してほしい。

➤ 傍聴者：

- ・最近、海外製の 20、30W 製品を買われたお客様が、無線従事者免許いるのか？という問い合わせが多かった。だから、このところを解決するよう規制緩和できればと考えている。

➤ 事務局：

- ・第 1 回会合で説明した諸外国の動向について、北米など海外市場では、新製品がすべて固体素子へ置き換わっている。
 - ・海外大手 3 社では、電力に着目すると、10W～250W までの製品群がある。

➤ 委員：

- ・海外製 3 社の固体素子レーダーを国内で使用したいという申請があったとき、近畿総通としてはどのように対応しているのか？

➤ 傍聴者：

- ・日本国内の認証を取得していないと許可しない。

➤ 委員：

- ・Raymarine 製は、繰り返し周波数が国内規制の 3000Hz を超えているのではないのか？

➤ 事務局：

- ・第 1 回の資料はカタログ値なので、国内は設定を変えているかもしれない。

➤ 傍聴者：

- ・Raymarine 製は、海外認証取得し、国内認証に合致しているということで入ってきているので、問題ない。

➤ オブザーバー：

- ・国内認証を取る場合は、国内規制に合致していないと許可が出ない。

➤ 委員：

- ・最終報告のまとめ方が難しい。報告書は事務局で作成し、年明けなるべく早い時期に各委員へ確認をお願いしたい。

➤ 委員：

- ・業者の聞き取りでは、固体素子は探知性能が低いという意見があった。
- ・探知性能をキープして、価格メリット出さないと切り替わらないと考える。

➤ オブザーバー：

- ・メーカーサイドとしては、作るからには当然買ってもらわないといけない。
- ・「性能」といっても、探知距離性能がすべてではない。たとえば、探知距離は落ちるが、天気が悪いときによく見える（雨などをきれいに消すことで）というアピールも可能。こういったかたちで、探知距離以外のメリットでアピールして価格を落とすという努力はしていかないといけないと考える。

(6) 実施計画進捗について

資料 3-4 に基づき、提言内容（案）について事務局より説明され、意見交換・質疑応答が行われた。

(7) 全体質疑

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

- ・現在、大型船の衝突事故は AIS などの効果で減ってきているが、小型船の衝突事故は減ってきていないというのが実情である。そのため、このようなレーダーが早く規制緩和されて小型船に装備されることで、衝突事故予防につながっていけばよいと考える。

➤ 委員：

- ・日本は、小さな漁船が非常に多いので、これらに対する安全性の向上は重要課題である。本検討会が、こういったことの一助になればと考える。

➤ 傍聴者：

- ・マグネトロンと固体素子で、消費電力の差はあるのか？

➤ 委員：

- ・省電力をアピールできるレベルではない。

➤ オブザーバー：

- ・大型船向けのレーダーの場合は省電力を多少アピールできたが、小型ではそこまでのレベルではない。スイッチ入れたらすぐ送信できる（マグネトロンにある予熱時間がいらぬ）といったところはある。

(8) 閉会

9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会
第4回会合 議事録

I. 日 時

令和4年2月21日(月) 14時00分～16時00分

II. 場 所

オンライン + 古野電気株式会社 本館5F 第3応接室

III. 出席者

(5) 委員 (敬称略)

若林 伸和 (座長：国立大学法人神戸大学) 現地参加
福田 巖 (国立大学法人東京海洋大学)
平塚 真人 (一般社団法人全国船舶無線協会近畿支部)
田北 順二 (一般社団法人全国船舶無線協会水洋会部会)
伊藤 雅之 (公益社団法人神戸海難防止研究会)
平井 寛 (公益社団法人関西小型船安全協会)
足立 祐樹 (ヤンマー船用システム株式会社)
船越 通暁 (日本無線株式会社)
秋波 孝重 (株式会社光電製作所)
戒田 英俊 (古野電気株式会社)

(6) オブザーバー

鬼頭 俊夫 (総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長)
小森 一秀 (総務省近畿総合通信局無線通信部航空海上課 課長)
川口 優 (日本無線株式会社)
林 大介 (株式会社光電製作所)

(7) 主催者

堀内 和広 (総務省近畿総合通信局無線通信部長)

(8) 傍聴者

中野 勝仁 (総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長補佐)
宮原 和彦 (総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課企画推進担当チーフ)
倉田 哲史 (総務省近畿総合通信局無線通信部航空海上課 上席電波検査官)

(5) 事務局

岩田和信、清水昭典、松口知弘、國富綾子、吉本隆志、後藤英公、中谷文弥
(以上、古野電気株式会社)

IV. 配布資料

第4回検討会 議事次第

資料4-1 第3回会合議事録（案）

資料4-2 これまでの検討経過について

資料4-3 調査検討報告書(概要)

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討報告書（案）

V. 会議内容

(1) 開会

(2) 配布資料の確認

(3) 第3回会合議事録（案）について

事務局より、資料4-1 第3回会合議事録（案）の確認が行われた。

(4) これまでの検討経過について

資料4-2に基づき、これまでの検討経過について事務局より説明された。

(5) 調査検討報告書（案）について

調査検討報告書（案）第1章に基づき、若林座長より、第2章に基づき、事務局より説明された。

➤ 委員：

・第2章の電力に関する机上計算の技術的箇所は、河合先生にも重点的に確認いただき、特に大きな意見はなかった。

・Sバンドでマグネトロン30kWが固体素子250Wに相当するということなので、小型船舶で同じ250Wというのは大きすぎると思う。

・電力を上げることで、既存レーダーに影響を与えるのが一番困るので、その確認をフィールド試験で実施し、その内容を第3章に記載している。

調査検討報告書(案) 第3章に基づき、事務局より説明された。

➤ 委員：

・フィールド試験は、合計3日間で実施。今回は第2章の机上計算に基づき、電力値を上限の250Wで実験した。一方、電力をどこまで下げれば探知できなくなるのか、という実験が残っている感はある。

調査検討報告書(案) 第4章 4.1 に基づき、事務局より説明された。4.2、第5章に基づき、若林座長より説明された。

-- 意見交換・質疑応答 --

- 委員：
 - ・こちらで一連の検討会は終わりになるが、最後にどこか、今後の検討事項を列記した方がよいかと思うがいかがか。

- 委員：
 - ・今後の課題として、探知性能に関する実験（電力をどこまで下げることができるか）、他の機器への影響などの確認が必要かと思う。そちらでよいか。

- 委員：
 - ・探知性能に関して 250W を、どこまで下げられるか、下げることによってどうなるか、という点を簡単に述べて、次の課題として投げておくとよいのでは。

- 委員：
 - ・4.2 か 5 章に追加する。そちらは座長に一任いただいて、後日事務局より回覧する。

- オブザーバー：
 - ・今回の検討会のまとめとして 40～170W となっているので落としどころとして、もう少し材料が必要ではという話が出てくると思う。そのための探知性能確認の方法、対象機器や基準の目安を今後考える必要があるのでは。

- 委員：
 - ・今後の課題として触れておく必要がある。

- 事務局：
 - ・他の無線局への影響については、Xバンドの大型レーダーについて、気象レーダーなどへの影響は確認し問題なかったという検討結果が出ている。第1回検討会で過去の検討結果を掲載しており、確認済みかと思う。

- 委員：
 - ・他のとは、他の無線局ではなく他の機器のこと。

調査検討報告書(案) 添付資料、議事録、規約に基づき、若林座長より説明された。
(委員よりの意見・指摘等なし)

調査検討報告書(案)を調査検討報告書とすることが、委員により承認された。

(6) 調査検討報告書概要(案)について

資料 4-3 に基づき、調査検討報告書概要(案)について事務局より説明され、意見交換・
質疑応答が行われた。

-- 意見交換・質疑応答 --

➤ 委員：

- ・最後に提言(3)を作って今後の課題を箇条書きにしてもう1ページ追加したい。
他、特になければ案をとって最終的にご承認いただく。
最後報告書も追加し、事務局から連絡させていただく。

調査検討報告書概要版(案)を調査検討報告書概要版とすることが、委員により承認され
た。

(7) 各委員、オブザーバーの挨拶

(8) その他

事務局より、成果物(調査検討報告書、調査検討報告書概要)について説明があった。

- ・本日(第4回会合)の議事録、今後の検討課題を追加した調査検討報告書を、2/25ま
で回覧するので、3/2までに確認してほしい
- ・調査検討報告書概要についても、今後の検討課題を追加したものを、2/25まで回覧す
るので、3/2までに確認してほしい

(9) 古野電気株式会社 松口本部長あいさつ

(10) 近畿総合通信局 堀内通信部長あいさつ

(11) 閉会

文献

- 1) 航空・海上無線通信委員会報告 (2016(平成 28)年 7 月 26 日、情報通信審議会 情報通信技術分科会)
- 2) 航空・海上無線通信委員会報告 (2012(平成 24)年 2 月 17 日、情報通信審議会 情報通信技術分科会)

「9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会」規約

第1条 （調査検討会の名称）

本調査検討会の名称は、「9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会」（以下「本件検討会」という。）とする。

第2条 （調査検討会の目的）

本件検討会では、小型船舶向けとなるレーダー（以下、「第4種レーダー」という。）の範囲を拡充する基準策定の基礎資料としての以下の技術的要求条件を取りまとめる。

- (1) マグネトロンを使用した第4種レーダーと同等と見なされる規制値の検証
- (2) (1)の規制値のパルス圧縮型固体素子レーダーと5kW未満のマグネトロンレーダーとの干渉影響度比較の検証
- (3) 簡易な操作性の検証
- (4) 空中線電力以外に必要な技術要求条件の検証
- (5) その他付随する事項

第3条 （調査検討会の設置期間）

本件検討会は、令和3年7月29日から令和4年3月31日まで設置する。

第4条 （調査検討会の構成）

本件検討会は、別表に定める構成員（以下「構成員」という。）により構成するものとする。

- 2 本件検討会構成員は、本件検討会の設置期間中は原則変更しないものとする。なお特段の事由により変更等が必要な場合は本件検討会の承認を得るものとする。
- 3 本件検討会に座長及び副座長を置く。
- 4 座長は、構成員の互選により定める。
- 5 副座長は、座長が指名する。

第5条 （調査検討会の開催）

本件検討会は座長が主宰し招集する。

- 2 本件検討会は、必要に応じて随時開催することができる。
- 3 本件検討会は、必要に応じて書面又はEメールによる稟議に代えることができる。
- 4 事前に事務局の承認を得て、構成員の指名により、指名する構成員と同じ大学または法人に所属する代理人（以下「代理人」という。）が出席することができる。
- 5 本件検討会における議論や討議に当たっては、座長の了解を得た上で構成員以外にオブザーバー（以下「オブザーバー」という。）が参加でき、オブザーバーに意見を求めることができる。
- 6 オブザーバーは同じ組織から複数名選出することを妨げない。

第6条（事務局）

本件検討会の庶務等は、別表に定める事務局（以下「事務局」という。）が行う。

第7条（経費の運用）

本件検討会の活動に必要な費用は、近畿総合通信局「9GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討」の請負代金から運用することができ、本件検討会の活動に必要な費用の決定、承認、支払等は事務局が行う。

第8条（活動内容）

令和3年度活動内容は、本件検討会にて定めるものとする。なお、活動内容に変更が必要と認められる場合は、調査検討会の承認を経て活動内容を変更することができる。

第9条（秘密保持義務）

構成員、代理人、およびオブザーバーは本件検討会において知りえた秘密情報（総務省行政、技術等）を第三者に開示もしくは漏洩してはならず、または第8条に定める本件検討会の活動以外の目的に使用してはならない。本件検討会の構成員は、本件検討会にかかる事項を検討するに際し、所属する組織を超えて協力等を仰ぐ必要があると判断する場合は、その相手方を特定の上、事務局を通じて総務省に通知の上、了承を得ることとし、当該相手方に構成員が負う義務と同等の義務を課し、当該相手方の行為に責任を負うものとする。

- 2 構成員、代理人、およびオブザーバーは知り得た個人情報について、その保護を定めた法の趣旨に則り、関連する法令及び規則などの定めを順守する。
- 3 本条は本件検討会設置期間終了後も有効に存続するものとする。

第10条（知的財産権の取扱い）

本件検討会で生じた成果物に関し、著作権法第27条及び28条に定める権利を含む全ての著作権及び本件検討会過程で生じたノウハウ（営業秘密）は総務省に帰属し、総務省が独占的に使用するものとする。構成員、代理人、およびオブザーバーは総務省に対し一切の著作者人格権を行使しないこととし、第三者をして行使させないものとする。

第11条（規約に定めのない事項）

この規約に定めるもののほか、本件検討会の運営に関して必要な事項が生じた場合には、本件検討会において都度審議して定めることができる。

附則

この規約は、令和3年7月29日から施行する。

以上

別表

調査検討会委員名簿

五十音順, 敬称略

◎座長, ○副座長

- 秋波 孝重 株式会社光電製作所 海上営業部 関西営業所 所長
- 足立 祐樹 ヤンマー船用システム株式会社 営業統括部
販売促進グループ 課長
- 伊藤 雅之 公益社団法人神戸海難防止研究会 上席研究員
- 戒田 英俊 古野電気株式会社 船用機器事業部 開発設計統括部 開発部
レーダー機器開発課 課長
- 河井 正 兵庫県立大学大学院 工学研究科電子情報工学専攻
回路・システム工学部門 光・波動工学研究グループ 准教授
- 田北 順二 一般社団法人 全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長
- 平井 寛 公益社団法人 関西小型船安全協会 事務局長
- 平塚 真人 一般社団法人 全国船舶無線協会 近畿支部 事務局長
- 福田 巖 東京海洋大学学術研究院 海事システム工学部門
海洋工学部海事システム工学科 助教
- 船越 通暁 日本無線株式会社事業本部 関西支社
- ◎若林 伸和 神戸大学大学院 海事科学研究科・海洋政策科学部 教授
- オブザーバー
- 鬼頭 俊夫 総務省近畿総合通信局無線通信部電波利用企画課 課長
- 小森 一秀 総務省近畿総合通信局無線通信部航空海上課 課長
- 浦 隆文 水産庁 瀬戸内海漁業調整事務所 指導課長
- 川口 優 日本無線株式会社
- 林 大介 株式会社光電製作所

事務局 (古野電気株式会社)

清水 昭典
岩田 和信
森 健一
松口 知弘
吉本 隆志
國富 綾子

9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討報告書

2022 年 3 月発行

令和 3 年度総務省請負事業

製作：9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダーの規制緩和拡充に関する調査検討会

発行：古野電気株式会社

〒662-8580 兵庫県西宮市芦原町 9-52

TEL：0798-65-2111（代表） FAX：0798-63-1020

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。