

【案】

資料-作-3-2

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

9 GHz 帯小型船舶用固体素子レーダー作業班報告（案）

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」

令和 5 年〇月〇日

【案】

目次

- I 検討事項
- II 委員会及び作業班の構成
- III 検討経過
- IV 検討概要
 - 第1章 小型船舶用固体素子レーダーの概要
 - 第2章 検討の内容
 - 第3章 技術的条件の検討
 - 第4章 技術的条件
- V 検討結果

別紙

- 別紙1 航空・海上無線通信委員会 構成員一覧
- 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

別添 一部答申（案）

- 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）

【案】

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（令和〇年〇月〇日）

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。（予定）

(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。（予定）

IV 検討概要

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）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

【案】

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(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。

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

【案】

	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 FMCW 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。			
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。			
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 以下であること。
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、日本工業規格 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 で探知性能を求めめるため、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

本委員会では、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

【案】

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、 5.5×10^{-3} 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。

【案】

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。

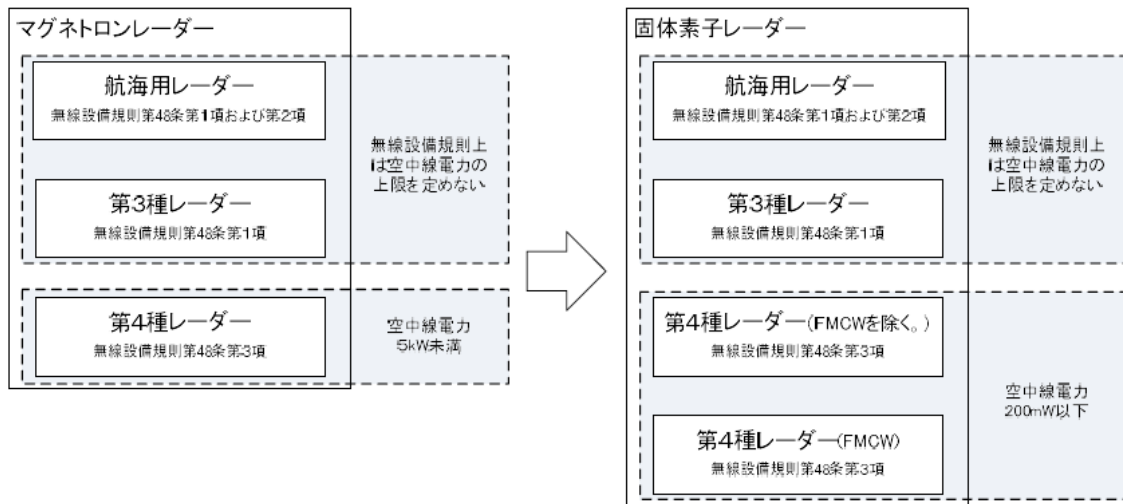


図 2.3-1 9GHz 帯船舶用レーダーの区分

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）

【案】

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であると推定される。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。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。

【案】

・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。

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。

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。

【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、これまで通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。

【案】

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。

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、空中線電力は従前どおり「 200mW 以下」のもののみであって、パルス幅についても従前どおりとする。

【案】

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、

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

【案】

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】

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

Pt: 送信電力 (W)

Ga: アンテナ利得 (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)

Ts: システム雑音温度 (K)

B: 帯域幅

Gs: 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。

【案】

【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送信電力は、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（=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。

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

【案】

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、

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

となり、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} 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

【案】

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。

【案】

※ 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つて、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

本件検討内容については、現行の船舶用固体素子レーダーの規定を超えるものではないことから、従前どおり電波防護指針に適合できる。

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。

【案】

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 μ s以下、QONの場合は22 μ 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} を超えないこと、とすることが適当である。

4.8 電波防護指針

既存の技術基準の範囲を超えないことから、従前どおり電波防護指針に適合できる。

4.9 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、別添のとおり一部答申（案）をとりまとめた。

【案】

別紙 1

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年〇月〇日現在（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
主査代理 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 小向事業所 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

【案】

別紙2

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年〇月〇日現在（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

【案】

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」についての一部答申（案）

【案】

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」についての一部答申（案）

船舶用固体素子レーダーに関する技術的条件のうち、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

PON、QON であること。

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

1.4 パルス幅

PON 電波を使用する場合 $1.2\mu\text{s}$ 以下

QON 電波を使用する場合 $22\mu\text{s}$ 以下

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

QON 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なければならない。

1.8 測定法

測定法は、日本工業規格 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。

【案】

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
（抜粋）

実証実験結果等について添付予定