

航空・海上無線通信委員会報告 概要

「海上無線通信設備の技術的条件」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6年2月13日
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

検討の背景等

背景

- 9GHz帯の船舶用固体素子レーダーは平成31年の制度改正以降、大型船舶を中心に徐々に普及してきている。
- 一方、小型船で使用される固体素子レーダーについては、日本国内において無線従事者資格不要で操作可能な範囲が限られていることから、ほとんど普及していない状況。

検討課題

- 小型船舶用のマグネトロンレーダーでは、空中線電力が「5kW未満」のものは無線従事者資格が不要となる措置がとられているものの、固体素子レーダーについては条件が厳しいままとされている。
- このため、小型船舶用固体素子レーダーの使用条件を緩和するための検討を行う。

【現状】

- 無線従事者資格不要で使用できる小型船舶用レーダーのうち固体素子レーダー（以下「第4種固体素子レーダー」という。）の空中線電力は「200mW以下」と規定されている。

【課題】

- 第4種固体素子レーダーの「200mW以下」の規定は、FM/CW方式を前提とした値であり、パルス圧縮方式のレーダーでは実現不可能。
- このため、現状で市販されている第4種固体素子レーダーにおいて技術基準適合機器は存在しない状況。

無線従事者不要で使用可能な第4種レーダーの現状

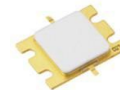
【マグネトロンレーダー】



第4種レーダー

空中線電力
5kW未満

【固体素子レーダー】



第4種レーダー（FM/CWを除く）

第4種レーダー（FM/CW）

空中線電力
200mW以下

パルス圧縮方式では
200mWで実現できないため
市販品がない

9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件に関する検討課題

今回の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際しては、平成31年に改正した船舶用固体素子レーダー関係規定のうち、以下の赤字部分を改正することを目標とし、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こととし、技術的条件の改正に際して、既存の関係規定の範囲を超えた検討は対象外とする。(赤字以外は従前どおり。)

	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22μs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22μs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。			
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 μs以下 QON電波又はVON電波を使用する場合 22 μs以下		要検討	22 μsを超え2ms以下あること。
空中線電力	特段規定しない※1		要検討	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切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切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、デューティー比、平均電力、パルスエネルギーに関する規定を追加。(要検討)

技術的条件の検討の方向性について考察するにあたり、9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダー（第4種レーダー）を設置することが想定される船舶及びその使用条件等について以下のとおり整理した。

当該レーダーの搭載が想定される船舶

- 操作に無線従事者を要しない、又は無線局の定期検査が不要な第4種レーダー対象小型船舶
- プレジャーボート

当該レーダーによる検出目標

当該レーダーを搭載することが想定される船舶の場合、ほとんどのブリッジ高は約5 m以下（一部のプレジャーボートではそれ以上（10 m程度）の高さを有する場合もある。）であることから、アンテナ高10 m程度のレーダーで検出する目標として、以下のものが想定される。

- 漁船で使用するボンデン（浮き）
- 航路ブイ
- 他の船舶
- 海岸線

当該レーダーの利用条件等

- 他の9 GHz帯船舶用レーダーと共用するため、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切な措置を講じなければならない。
- 運用に際して、無線従事者を要しない。

【第3種レーダーと第4種レーダーの比較表】

	第3種レーダー	第4種レーダー
利用条件	<ul style="list-style-type: none"> ・原則、海上を航海中に航路上にある物標を検出するために利用。 ・原則、無線従事者を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原則、海上を航海中に航路上にある物標を検出するために利用。 ・原則、無線従事者を要しない。
A社アンテナ特性（水平ビーム幅）	1.0° ～1.9°（オープンアンテナ）	1.0° ～1.9°（オープンアンテナ） 3.9° ～5.2°（レドームアンテナ）

技術的条件の検討の方向性について（案）

9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件の検討の方向性を以下のとおり設定した。
なお、検討対象は、9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダーのうち、パルス圧縮方式のレーダーとする。

空中線電力

- マグネトロンレーダーと同等の探知性能を得るために必要とされる空中線電力を検討する必要があるが、固体素子レーダーの統一的なシステムゲイン規格が存在しないため、空中線電力を一意に定めることは適当ではないとされている。
- 一方、実態としては、国内メーカーからは、40W、150W、170Wという値が提示された。
- このため、探知性能と他のレーダーとの共用条件等を勘案した場合、いずれの値が適当か検討した。
- なお、電波の型式「Q0N（FM/CWの場合に限る。）」については今回の検討対象外とし、従前どおりとする。

パルス幅

- 電波の型式「P0N」と「Q0N（FM/CW方式の場合を除く。）」を組み合わせる使用する場合のそれぞれのパルス幅を検討した。
- 既存のパルス圧縮方式レーダーと同様に、「P0N」については「1.2μs以下」、「Q0N（FM/CW方式の場合を除く。）」については「22μs以下」とすることで性能面を満足することが可能か検討した。
- なお、電波の型式「Q0N（FM/CW方式の場合に限る。）」については今回の検討対象外とし、従前どおりとする。

干渉防止のための措置

- 他のレーダーに対して有害な干渉を防止する適切な措置を講じることが求められることから、空中線電力が200mW以下の場合には定めていなかった、デューティ比、平均電力、パルスエネルギーに関する規定が必要。
- 一方、一般的条件、環境条件、機能及び電気的特性は、固体素子レーダーに特有な条件がないことから、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。
- よって、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} (J) を超えないこと」とすることで問題ないか検討した。
- なお、衛星放送への受信障害（BS-IFへの干渉）については、実環境において重大な干渉が発生するようなことがあれば、改めて検討することが望まれる。

その他

その他の項目については、平成24年及び平成28年の情報通信審議会一部答申の内容を踏襲し、従前どおりとすることが望ましい。
なお、第4種レーダーは、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こととされており、第4種の固体素子レーダーであっても、簡易な操作の基準は満たされるものと考える。

1. 検討課題

9GHz帯小型船舶用固体素子レーダー（第4種固体素子レーダー）のうち、パルス圧縮方式のレーダーの空中線電力について、以下の3通りの方法で検討した。

① 平均EIRP※¹に基づく検討

過去の調査検討会報告をもとに、第4種固体素子レーダーの平均EIRPが、第4種マグネトロンレーダーを超えない範囲で検討。

② 探知性能に基づく検討

同一の物標に対して、SNR※²と信号処理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。

③ 3GHz帯レーダーの実績に基づく検討

3GHz帯船舶用レーダーの検討時に、空中線電力30kWの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報告された内容をもとに検討。

※1 平均EIRP : 空中線を等方性アンテナに置き換えたときに必要な電力(Equivalent Isotropically Radiated Power : 等価当方輻射電力) の平均値

※2 SNR : 信号対雑音比(Signal to Noise Ratio)SN比 雑音に対する性能指標

① 平均EIRPに基づく検討

【平均EIRP($EIRP_{ave}$)の算出式】

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

空中線を等方性アンテナに置き換えたときに必要な電力

空中線によって決定するため、同一とする

レンジ設定によって決定するため、同一とする

$EIRP_{ave}$: 平均EIRP (W)
 EIRP : 等価等方輻射電力(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)

- 空中線利得 G_a と送信繰返し周波数 PRFを、マグネトロンレーダーと固体素子レーダーで同一と仮定。
 ⇒ 平均EIRPは、空中線電力 P_t とパルス幅 Tとの積の比によって求まる。
- 各パラメータを、現行規格の上限値で設定
 (マグネトロンレーダー) パルス幅 : 1.2 μ s、空中線電力 : 4.9kW
 (固体素子レーダー) パルス幅 : 22 μ s

→ 固体素子レーダーの空中線電力Pは、 $P = \frac{4900 \times 1.2}{22} = 267$ [W] ⇒ **「250W」とする。**

② 探知性能に基づく検討

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。

【レーダー方程式】

(マグネトロンレーダー)

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

(固体素子レーダー)

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

B_M : パルス幅 τ_M の逆数程度

添え字M : マグネトロン、S : 固体素子

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

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

送信デバイスに依存しないため、
同一とする

システムゲイン
(利得)は同一とする

G_a : 空中線利得(倍)
 λ : 波長(m)
 σ : レーダー反射断面積(m²)
 R : 物標までの距離(m)
 k : ボルツマン定数(J・K⁻¹)
 T_s : システム雑音温度(K)
 B : 帯域幅
 P_t : 空中線電力(W)
 τ : 送信パルス幅(s)
 G_s : システムゲイン(倍)

システムゲイン G_s を、マグネトロンレーダーと固体素子レーダーで同一と仮定。
 ⇒ 探知性能は、空中線電力 P_t とパルス幅 τ との積の比によって求まる。

→ 「① 平均EIRPに基づく検討」と同様に、「**250W**」とする。

③ 3GHz帯レーダーの実績に基づく検討

3GHz帯船舶用レーダーの報告値（マグネトロンレーダー30kWが、固体素子レーダー250W相当）をもとに、システムゲインの比を求める。

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

G_{SS} : 固体素子レーダーのシステムゲイン
G_{SM} : マグネトロンレーダーのシステムゲイン

⇒ システムゲインは6.545倍と求まる。

「固体素子レーダーの空中線電力Pは、

$$P = \frac{4900 \times 1.2}{22} \times \frac{1}{6.545} = 40.8 \text{ [W]} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{「40W」}$$

ただし、3GHz帯船舶用レーダーの報告値（マグネトロンレーダー30kWが、固体素子レーダー250W相当）については、以下の2点を考慮すべきである。

- ・ 探知性能に基づいた選定値ではなく、当時の技術で実現可能な固体素子レーダーを用いた結果に基づいた値。
- ・ 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が必要であるかという点。

空中線電力 (5)

2. 空中線電力の検討結果

空中線電力に関する前ページまでの検討結果 (①～③) を踏まえ、以下のとおり整理した。

【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提言】

- ・ 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ため、マグネトロンレーダーに相当する空中線電力は40W～250Wと幅のある値。
- ・ マグネトロンレーダーについてもシステムゲインに機種間の差があることから、「探知性能が同等となる電力値」を一意に定めることは適当ではない。
- ・ 具体的な数値による電力値の提案は40W、150W、170W。



上記を踏まえ、航空・海上無線通信委員会において、以下のとおり検討を行った。

前提条件

電波法に従い、空中線電力は必要最小限とすべき。



固体素子化に伴うSNRの改善効果はあるが、検出能力の確保のため、空中線電力は可能な範囲で大きくすることが望ましい。

- ・ 第4種マグネトロンレーダー4.9kW(パルス幅1.2 μ s)とPT積が同じ固体素子レーダーの空中線電力は「267W(パルス幅22 μ s)」
- ・ 信号処理による検出能力の改善は可能だが、処理による損失もあることから、改善効果は限定的
- ・ 固体素子では、近距離の検出をPONで測定する必要あり、近距離のSNRは空中線電力の低下分、そのまま劣化する。

結論

レーダーの空中線電力の許容偏差 ($\pm 50\%$) を考慮し、その上限を P T 積以下とする

→ **空中線電力：170W (85～255W)**

パルス幅

現行基準におけるパルス幅

平成28年の9GHz帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件に関する情報通信審議会一部答申において、第4種固体素子レーダーの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定義された。（これを受け、「昭和55年郵政省告示第329号」において、以下のとおり定義）

【昭和55年郵政省告示第329号（抜粋）】

P0N電波のパルス幅は一・二マイクロ秒以下、Q0N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Q0N（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。

検討対象レーダーのパルス幅

今回の航空・海上無線通信委員会において検討対象としたレーダーは、小型船舶用のパルス圧縮方式レーダー（第4種レーダー）であり、現行基準のうち、「FM/CW方式」のものを除いたレーダーである。



検討の結果、現行基準におけるP0N電波及びQ0N電波（FM/CWの場合を除く。）のパルス幅と同じとすることが適当であることから、以下の値とすることが適当。

P0N電波を使用する場合 : 1.2 μ s以下
Q0N電波又はV0N電波※を使用する場合 : 22 μ s以下

※ 一つの繰り返し周期内に複数のP0N電波とQ0N電波を送信することも可能であることから、従前どおり「V0N電波」も記載。

干渉防止のための措置

現状の第4種固体素子レーダーの技術基準では、空中線電力が200mWに制限されているため、平均EIRPは極めて小さくなることから、平成28年の航空・海上無線通信委員会報告における平均EIRPを制限するための下記基準は含まれていなかった。

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であることから、下記基準を追加する。

- (1) デューティ比は、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。

その他

- その他の項目については、平成24年及び平成28年の情報通信審議会一部答申の内容を踏襲し、**従前どおり**とする。
- 第4種レーダーは、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こととされており、**第4種の固体素子レーダーであっても、簡易な操作の基準は満たされるもの**と考える。
- 本件資料5ページに記載した当該レーダーの利用条件等を考慮し、衛星放送（BS）に対する干渉対策の考え方については、平成28年の航空・海上無線通信委員会報告における提言を踏まえ、14ページに記載のとおりとする。

今回の技術的条件改正の検討は、これまで3種レーダーとして免許可能であり、免許実績もあるレーダーを、4種レーダーとして免許するためのものであり、共用対策の考え方は、平成28年7月26日の航空・海上無線通信委員会報告において検討された内容に含まれているため、レーダーの区分に関わらず変わるものではない。

よって、BSに対する干渉対策の考え方についても、同委員会報告を踏襲し、以下のとおりとする。

- 平均EIRPがマグネトロンレーダーより小さい9GHz帯船舶用固体素子レーダーからBS-IF周波数へのイメージ混信妨害を与える影響は、既存のマグネトロンレーダー以下になると考えられ、これまでと同様に影響はないと考えられる。
- 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。
- 既存のマグネトロンレーダーの運用に当たっては衛星放送の適正な受信障害については留意して運用していることから、船舶用固体素子レーダーの導入においても引き続き同様に留意していくことが望ましい。
- （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。
- 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。

9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件改正案

前ページまでの検討結果を踏まえ、9 GHz帯小型船舶用固体素子レーダーの技術的条件を下表のとおり改正することが望ましい。(赤枠以外は従前どおり。)

	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22μs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22μs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。			
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 μs以下 QON電波又はVON電波を使用する場合 22 μs以下		同左	22 μsを超え2ms以下あること。
空中線電力	特段規定しない※1		170Wを超えないこと。	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切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切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 デューティ比：3.1%以下、1秒あたりの平均電力：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：5.5×10⁻³ (J) を超えないこと、とする。