

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（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、  
「船舶用固体素子レーダーの技術的条件」

平成28年7月26日

## 既存の船舶用マグネトロンレーダーの概要

- より遠くにある細かい物標を探知をするため、大電力化(25kW~50kWクラス)、短パルス(1.2 $\mu$ s以下)が一般的。
- 電波の発振素子としては、電子管(真空管)の一種である「マグネトロン」が使用されている。



マグネトロンの例

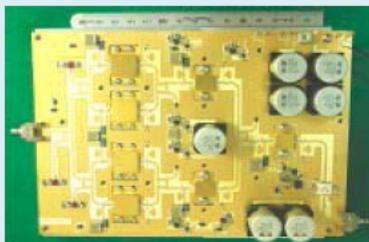
## マグネトロンレーダー

- 寿命が短い(使用頻度の高い大型船舶などでは3年に2回程度の交換が必要)
- 電子管の特性上、個体差があり発射される周波数がマグネトロンごとに微妙に異なる。



## 固体素子レーダーの概要

- 電波の発振素子に半導体素子を使用している。  
半導体素子の低価格化などにより船舶レーダー以外の分野(航空分野、陸上分野)でも普及しつつある。
- 低電力(300W~400W程度)、低電力で遠距離探知を補うため長パルス(20~30 $\mu$ s程度)を送信している。(短距離は従来同様短パルス)。
- 長パルスの送信により既存のマグネトロンレーダー等の無線機器への干渉が懸念されている。



固体素子(基板実装後)の例

## 固体素子レーダー

- 長寿命(10年以上発振素子の交換が不要)
- 周波数が安定している。
- 不要発射も低減

## 検討事項

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「船舶用固体素子レーダーの技術的条件」

## 検討経過

- 「船舶用固体素子レーダーの技術的条件」のうち、3GHz帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件については、平成24年2月17日に開催された第85回情報通信技術分科会において一部答申を得たことから、当委員会では、引き続き9GHz帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件について検討を行った。

船舶用固体素子レーダーの技術的条件

3GHz帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件（平成24年2月17日一部答申）

**9GHz帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件**

- 当委員会では、検討の促進を図るため「船舶用固体素子レーダー作業班（主任：林 尚吾 東京海洋大学 名誉教授）」において必要な技術的検討を行い、平成28年6月24日の第15回航空・海上無線通信委員会で委員会報告（案）を取りまとめた。
- また、同日以降、本報告（案）について意見募集を行い、その結果、（3件）の意見があり、うち、賛成意見1件、報告書の用語の修正等に係るもの1件であった。（他1件は対象外）

## 検討の内容

船舶用固体素子レーダーの技術的条件のうち、3GHz帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件の一部答申を得た際、9GHz帯船舶用固体素子レーダーの技術的条件について、以下の4項目について引き続き検討することとされた。

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

※1 距離レンジとは、数～数十海里先の物標が船舶のレーダー画面に映すようにするための距離設定をいう。

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

※2 SART (Search And Rescue Transponder) :

海上遭難の際に使用され、9GHz帯の船舶レーダー波を受信すると自動で応答して、遭難の位置等をレーダー画面に表示させるもの。

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

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

以上の4項目について技術試験事務において実証試験を行いデータを収集した。

## 技術試験事務の概要

実験例:ARPA機能への影響確認



平成25年度 新潟県沖で実証試験を実施  
最大船舶6台、地上レーダー4台の計10台を使用

主な固体素子レーダーの主な緒元

周波数	PON 9330MHz QON 9410MHz
空中線電力	最大400W
アンテナ利得	32dBi
回転数	24rpm
アンテナ高	17m

## 技術試験事務の実施内容及び結果

### 24海里レンジにおいて物標探知能力の確認

固体素子レーダー（QON）を運用している大型船が、同様に24海里レンジでレーダーを運用している他の大型船へ与える影響について実証実験を行った。

【結果】放射状の干渉波が観測されたが、干渉除去機能を使用することにより干渉波が除去された。

### SART信号表示の確認

固体素子レーダーからSARTに向けて電波を発射し、その応答の可否について実証試験を行った。

【結果】SART信号がレーダー画面へ表示されることを確認された。波高具合によっては、瞬間的にSARTの応答開始点、表示点数の不明瞭となる場面もあったが、受信側での機能改善等により対応可能

### 輻輳海域環境の確認

固体素子レーダーとマグネトロンレーダーが多数存在する輻輳状態をレーダー10台を用い実証試験を行った。

【結果】マグネトロンレーダーの画面に干渉波が確認されたが、干渉除去機能を使用することにより除去できることが確認された。また、周波数を離調すれば干渉除去機能なしでも干渉を回避できることが確認された。

### 異なるレーダーでの同一周波数の確認を実施

FMCWレーダーを干渉レーダーとし、マグネトロン及び固体素子を被干渉として実証試験を行った。

【結果】被干渉側のレーダー画面に干渉波が確認されたが、干渉除去機能を使用することにより干渉波が除去されることを確認した。

## その他の検討内容

委員会では以下の項目についても検討を行った。

### 1 東京湾等の輻輳海域を想定した検討

【結果】固体素子レーダーを徐々に増加させていくとマグネトロンレーダーに干渉波が確認されたが、異なる周波数の場合は、干渉除去機能を使用することにより除去できることが確認された。一方、周波数が同一の場合、距離によっては、フィールドの実証試験と同様に干渉波を除去できない場面もあった。対策として、固体素子側にジッタ（周波数の変動成分）等の繰り返し周波数制御と干渉除去機能を用いることが必要である。

### 2 自動衝突予防援助装置※<sup>3</sup>に対する干渉の検討

【結果】干渉の影響がないことが確認された。

※<sup>3</sup> 自動衝突予防援助装置 ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) :  
レーダーによりトラッキング（反射信号の追尾）を行い、過去のデータから速度、方位を計算し、進路や自船との衝突の危険度を表す装置

### 3 他の無線システムとの干渉の検討

#### ①レーダービーコン

【結果】レーダービーコンからの応答については、搜索救助用レーダートランスポンダー（SART）の応答と同等原理であることから共用可能である。

#### ②衛星放送（BS-IFにかかるイメージ混信妨害）

衛星放送事業者を含め検討を行った結果、固体素子レーダーの平均EIRPがマグネトロンレーダーと比較して1/6程度であり、BS-IF周波数へ与える影響は既存の電波環境から悪化するものでないこと、既存電波環境においても重大な受信障害の事例の報告はないことから 海上利用環境に限定したものであれば共用可能であろうとの結論に至った。ただし、既存のマグネトロンレーダーと同様に干渉が生じた場合の受信障害対策を講じることを条件として共用可能である。

## 技術的条件の検討にあたっての考え方

- 9GHz帯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、以下の点について考慮することとした。

### 電気的条件

- SOLAS条約※4・法令に基づき船舶に備えなければならないレーダー（主に大型船舶用）
  - 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」及び関連規則並びにマグネトロンを用いた現行の船舶用レーダーの技術的条件等に準拠しつつ、パルス幅などマグネトロンレーダーと大きく異なる性能に係る部分を電気的条件とした。
- その他のレーダー（主に漁船・小型船舶用）
  - その性能、目的に応じた無線設備規則第48条の規定に準拠しつつ、パルス幅などマグネトロンレーダーと大きく異なる性能に係る部分を電気的条件とした。

※4 SOLAS条約（海上における人命の安全のための国際条約）：

船舶の堪航性（航海に堪えること）及び旅客や船員の安全を確保するために必要な船舶の構造、救命設備や航海道具などの技術基準について、国際的に統一された基準を定めるとともに、主管庁又は認定された団体による定期的な検査の実施、証書の発給、寄港国による監督（ポートステートコントロール）などの規定を定めたもの。

### 測定法

- 国際電気標準会議IEC60945の翻訳版である日本工業規格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に準拠した。

# 固体素子レーダーの技術的条件

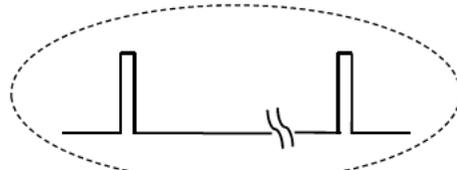
	義務レーダー	小型レーダー (パルス幅22μs以下)	小型FMCWレーダー (パルス幅22μsを超える)
一般的条件	国際海事機関 (IMO) MSC決議. 192 (79) 「レーダー装置の性能基準に関する改正勧告」に規定に準拠するものであること。	当該レーダーに要求する性能に応じ、無線設備規則第48条の各規定に準拠すること	
周波数帯※5	ア 中心周波数、占有周波数帯幅、周波数の許容偏差は、9,300MHzから9,500MHzまでの周波数帯の内側にすべて含まれるものであること。 イ 中心周波数については、特に指定をしないこととする。		
電波の型式	PON、QON又はVONであること。		F3N又はQONであること。
パルス幅	PON電波を使用する場合 1.2μs以下 QON電波又はVON電波を使用する場合 22μs以下		22μsを超え2ms以下あること。
空中線電力	特段規定しない※6		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。 ※7
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。		

※5 船舶に設置する航行用レーダーの許容偏差については、従来どおり使用周波数帯内とする。固体素子レーダーについてはマグネトロンレーダーに比べ使用周波数帯域幅は小さいものの、同一周波数による干渉を軽減するため繰り返し周波数制御機能等を要することを条件とするため広帯域指定とすることとした。

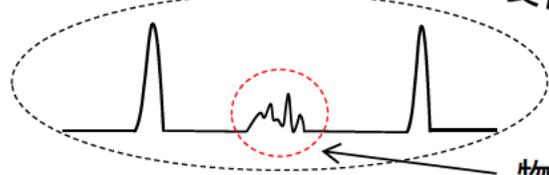
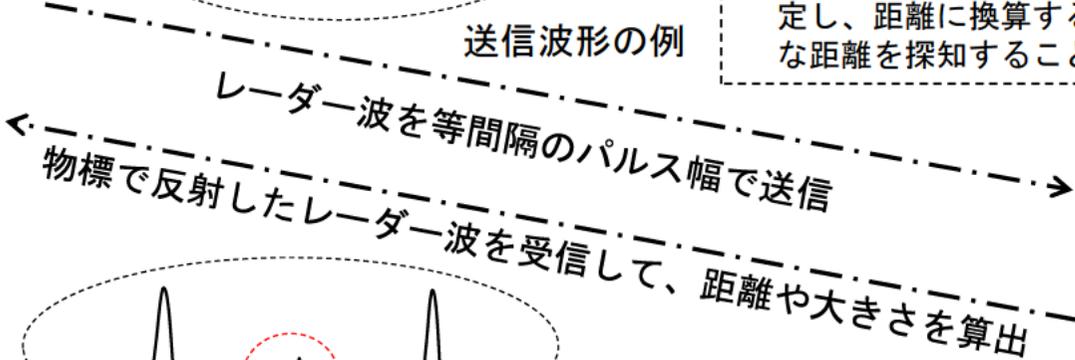
※6 レーダーは空中線利得やパルス幅に応じてEIRPで探知性能を求めため、マグネトロン同様、技術的条件において空中線電力の規定はしない

※7 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

## レーダーの原理



送信波形の例

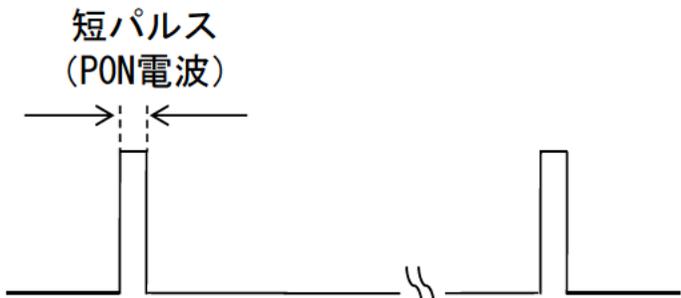


物標からの反射波

- 国際的な共通周波数として3GHz帯及び9GHz帯を使用。当該周波数帯は、非常に直線性が高いため一直線上に進む特徴がある。よって、送信波の直線状に物標があれば、電波は反射される。
- その反射波が送信箇所に戻ってくるまでの時間を測定し、距離に換算することにより、物標までの正確な距離を探知することができる。

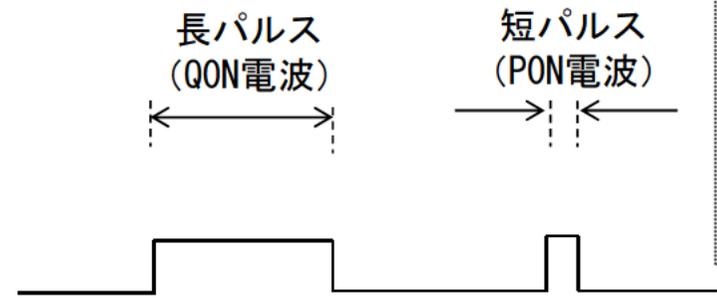


## マグネトロンレーダーの特徴



- マグネトロンレーダーは、送信時間が短いパルス（短パルス）を大電力（25kW～）で送出し、その反射波により船舶等の物標を探知する。
- パルスを送出している時間が短いため、長距離・短距離双方の物標を同時に探知できる。

## 固体素子レーダーの特徴



- 固体素子レーダーは、低い電力（～400W）であるため、送信時間が長パルス（長パルス）を用いて物標探知をしている。
- 長パルスは近距離の物標解析の能力が落ちるため、同時に低電力の短パルスを送出し、レーダーの性能を維持している。

<b>PON</b>	P:無変調パルス O:変調信号のないもの N:無情報
<b>QON</b>	Q:パルスで角度変調 O:変調信号のないもの N:無情報