

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6月24日

既存の船舶用マグネトロンレーダーの特徴

- 既存の船舶用レーダーは、より遠くにある細かい物標を探知をするため、大電力化、短パルス化が一般的。
- この性能を安価に効率よく得るため、電波の発振素子として、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

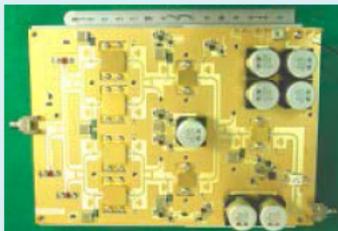
しかし、マグネトロンを用いたレーダーは…

- 寿命が短い（大型商船などでは3年に2回程度の交換が必要）
- 電子管という特性上、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。

といったデメリットがある。

固体素子レーダーの特徴

- マグネトロンに代わり、電波の発振素子に半導体素子を使用したレーダーが、技術の進展や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）で一般化しつつある。
- また、マグネトロンと比較して長寿命（10年以上交換が不要）、周波数が安定しているといったメリットがある。



固体素子（基板実装後）の例

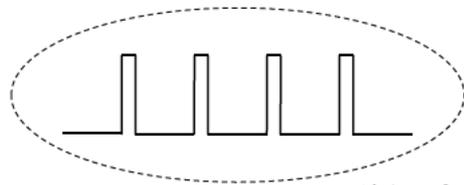
しかし、固体素子を用いたレーダーは…

- マグネトロンに比べると出力が低く、（400W程度）、既存の船舶用レーダーと同等の性能を満足するためには、パルス幅を長くする必要。
- ただし、パルス幅を長くすると運用状況によっては既存のマグネトロンレーダーに干渉を与えるおそれがある。

といったデメリットがある。

レーダーの原理

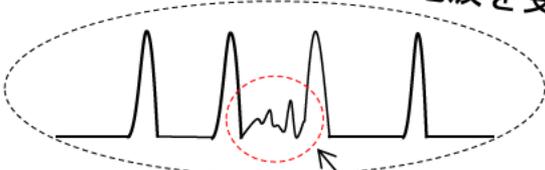
回転アンテナ



送信波形の例

- レーダーで使用するマイクロ波は、非常に直線性が高く一直線上に進み、その進行線上に船舶等の物標があれば、マイクロ波はそれらによって反射される。
- その反射波を電波を発射した場所で受信することにより、その反射波が返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、それぞれの物標までの正確な距離を知ることができる。

レーダー電波を規則正しい間隔（パルス幅）で送信
← 船舶に反射したレーダー電波を受信して、距離や大きさを算出



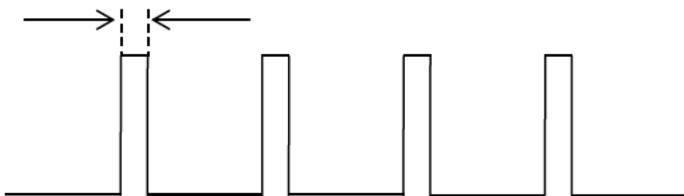
船舶からと思われる
反射波の例



表示部

マグネトロンレーダーの特徴

短パルス
(PON電波)

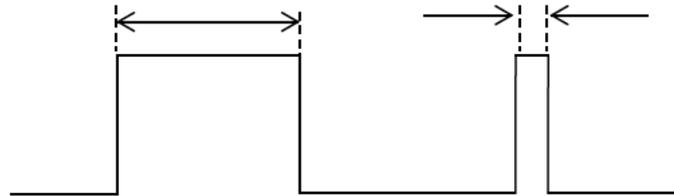


- マグネトロンレーダーは、送信時間が短いパルス（短パルス）を大電力（25kW～）で送出し、その反射波により船舶等の物標を探知する。
- パルスを送出している時間が短いため、長距離・短距離双方の物標を同時に探知できる。

固体素子レーダーの特徴

長パルス
(QON電波)

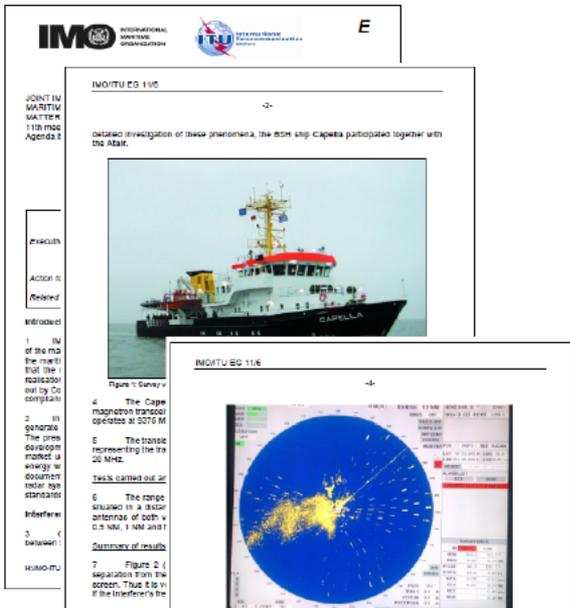
短パルス
(PON電波)



- 固体素子レーダーは、低電力（～400W）であるため、送信時間が長いパルス（長パルス）を用いて物標を探知している。
- しかし、長パルスを送出している時間は、特に近距離の物標を探知できないため、同時に低電力の短パルスを送出し、長パルスの短所を補完している。

- 船舶用固体素子レーダーは既に多くの国で開発中か実用化がなされている状況

例1



大型船舶向けの固体素子レーダーについてはドイツでも開発中であり、その開発状況を国際会議で発表（2015年10月）。

例2



小型船舶向けの固体素子レーダーについては、既に数社より販売がなされ、米国、欧州、中国、ロシア等で認証を取得済（（小型FMCWレーダーの例））。

既存の船舶用レーダーは日本メーカーが世界市場の6～7割のシェアを保有



日本企業の国際競争力強化の観点からも
固体素子レーダーの技術的条件の早期策定が必要

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（今回の検討対象）

- 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、●件の意見があり、・・・した。

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、引き続き検討することとされた箇所を中心に検討を行った。

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。

24海里レンジ（注1）で固体素子レーダー（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、新潟県において実証実験を行った。

その結果、被干渉側のレーダー画面（干渉除去機能はOFF）に放射状の雑音を観測したが、レーダーに通常備え付けられている干渉除去機能を使用することにより、雑音がレーダー画面から消去された。

従って、距離レンジが24海里の場合におけるレーダー同士の干渉については、干渉除去機能を用いることにより防止することが可能であり周波数の共用は特段の問題はない。

（注1）24海里レンジとは、24海里（約45km）先の船舶等の物標が本船のレーダー画面に映せ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。

固体素子レーダーはマグネトロンレーダーよりも送信パルス幅が長いため、SART（注2）が適切に応答するか、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実験を行った。

その結果、マグネトロンレーダーと同様に、レーダー画面にSARTからの信号がレーダー画面へ表示されたことを確認した。（ただし、実験においては、SARTの応答開始点、表示点数の不明瞭となる場合もあったため、固体素子レーダーのSART表示については受信側での対応も必要となる場合も考えられる）。

従って、固体素子レーダーの信号処理や空中線電力等の条件が合致すれば、IMOで規定されている船舶用レーダーの要求条件を満足すると考えられる。

（注2）SART (Search And Rescue Transponder) :

船舶遭難の際に使用され、周囲の船舶が使用する9.3GHz~9.5GHzのレーダー波を受信すると、9GHzの電波で応答し、自身の位置を周囲の船舶のレーダー画面に表示させるもの。

検討の内容

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。

固体素子レーダーはマグネトロンレーダーよりも送信パルス幅が長いため、東京湾などの狭い海域でこれらが多数存在する「ふくそう状態」となると、一定時間内、レーダーパルスが埋め尽くしてしまう。

当委員会では、これについて実証実験を行い、レーダーのふくそう状態を擬似した状態を作り、最大8台のレーダーを同時に受信状態におき、その受信部に入力した。

その結果、与干渉レーダーが増えると被干渉側のレーダー画面に放射状の雑音が増加することが観測され、干渉除去機能を用いれば消去できることが確認でき、干渉除去機能を使用しない場合においても、与干渉側レーダーの送信周波数を離調させることにより、雑音が減少されることが確認できた。

そのほか、机上でも固体素子レーダー（与干渉側）のふくそう状態(200隻)を擬似した信号ををマグネトロンレーダー実機（被干渉側）の受信部に入力し検証を行い、こちらも干渉除去機能を使用することにより雑音が消去されることが確認できた。

しかしながら固体素子レーダーと従来のレーダーの繰り返し周波数が同一の場合は、干渉が目標と同じブロック状となり、干渉除去機能では消去困難な状況が発生する場合があった。

従って、レーダー同士の干渉については、ジッタ等の繰り返し周波数制御と干渉除去機能を用いれば減少、防止でき、周波数の共用は可能である。

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

FMCWレーダーを与干渉レーダーとし、マグネトロンレーダー及び固体素子レーダーを被干渉レーダーとして実証実験を行った結果、被干渉側のレーダー画面に放射状の雑音を観測したが、干渉除去機能を使用することにより雑音が消去されることを確認した。

従って、FMCWレーダーと固体素子レーダーおよびマグネトロンレーダーとの同一周波数における干渉は、干渉除去機能を用いて防止することが可能であり、特段の問題はない。

検討の内容

- また、当委員会では、情報通信技術分科会において引き続き検討することとされた以外についても、以下のとおり検討を行った。

i. 自動衝突予防援助装置（注3）に対する干渉の検討

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

実験は、固体素子レーダーもしくはFMCWレーダーの1台を与干渉レーダーとし、ARPAを搭載したマグネトロンレーダーを被干渉側としてARPAとAIS (ARPAの比較用として設置)の真針路と対地速度のデータに差異は認められず、干渉の影響がないことが確認された。

（注3）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）を行うとともに、過去のデータから速度、方位を計算し、進路や自船との衝突の危険度を表すもの。

実際のTT (Target Tracking) では、ターゲットのビデオ信号の重心を求め、それを中心としたゲートを設定し、衝突予防などについて計算を行っている。

ii. 他の無線システム（レーダービーコン）との干渉の検討

レーダービーコンは、大型構造物等への船舶への衝突を防ぐため、周囲の船舶が使用する9.3GHz～9.5GHzのレーダー波を受信すると、自身の送信周波数を掃引し、応答のための電波を発射しレーダー画面に輝点を表示するものである。

固体素子レーダーを用いた際のレーダービーコンの応答については、搜索救助用レーダートランスポンダー（SART）の応答と同原理であること、現在、我が国においては他の手段に代わられ、急速にレーダービーコンの数が減少していることから特段の問題はない。

検討の内容

iii. 衛星放送に対する干渉の検証

BS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際、アンテナ直下の局部発振器から出る10,678MHzの信号と混合し、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、局部発振周波数と中間周波数の差が9GHz帯のレーダー用周波数と同一になり、BS-IF周波数への干渉の恐れがある。

当委員会では、BS-IF周波数へ与える干渉は、送信電力あるいはパルス幅などの個々のパラメータが関係している可能性も考慮したが、衛星放送事業者への確認等により平均EIRPで既存環境への評価を行った。

その結果、固体素子レーダーの平均EIRPは、既存のマグネトロンレーダーより小さく、BS-IF周波数へ与える影響も既存のマグネトロンレーダー以下となり、これまで同様、影響はないものと考えられる。

合わせて既存の9GHz帯船舶用レーダーがBS放送へ与える影響を調査したが、これまでに重大な受信障害となった事例の報告は見当たらなかった。

ただし、上記の固体素子レーダーからBS-IF周波数へ与える干渉の検討については、船舶用固体素子レーダーに限ったものであり、海上における利用環境を考慮した限定的なものと考えべきである。

また、固体素子レーダーの運用にあたっては、既存のマグネトロンレーダーと同様に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。

- 船舶内に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。
- 港湾内を航行あるいは港湾内に停泊している船舶の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状態で受信障害が発生した場合は、現行と同様、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。

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、無線設備規則第48条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。

電気的条件

- SOLAS条約（注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、マグネトロンレーダーと大きく異なる性能に係る電気的条件（パルス幅等）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、それとは大きく異なる性能に係る電気的条件（パルス幅等）とした。

（注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。

船舶安全法第4条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

項目	技術的条件
一般的条件	無線設備規則第48条の各規定に準拠しつつ、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。
パルス幅	PON電波を使用する場合 1.2 μ s以下であること。 QON電波を使用する場合 22 μ s以下であること
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。
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。

船舶安全法第4条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であって、PON又はQON電波を使用するレーダー

項目	技術的条件
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
周波数帯	9,300MHzから9,500MHzまでとする。
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。
パルス幅	PON電波を使用する場合 1.2 μ s以下 QON電波を使用する場合 22 μ s以下
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切な措置を講じなければならない。
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、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。

船舶安全法第4条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であって、F3N又はQ0N電波を使用するレーダー

項目	技術的条件
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
周波数帯	9,300MHzから9,500MHzまでとする。
電波の型式	連続波のものにあつてはF3N、断続波のものにあつては、Q0Nであること。
周波数掃引時間	2ms以下あること。
空中線電力	200mWを超えないこと。
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当な措置を講じなければならない。
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、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。