

# 船舶用小型S帯固体化レーダーの開発

## Development of S-band Solid State Radar for Ship

若宮 大輔 川口 優  
Daisuke Wakamiya Masaru Kawaguchi

特  
集

### 要 旨

本稿で紹介する固体化レーダーは、従来のマグネトロンレーダーと比べて主に「長寿命」「維持費削減」「クラッタ内の物標探知性能向上」の長所を持つ。当社が今回開発した固体化レーダーは、空中線に指示機としてMFD (Multi Function Display) が接続された2ユニット構成であり、空中線の小型軽量化、各回路の高集積化などにより、質量は従来モデル (12ftモデル) 比で約50%減を実現した。送受信回路にはLD-MOS FETを採用し、10年以上の寿命を有するとともに、性能面においてはシステムの広ダイナミックレンジ化により従来機と比較して探知性能の向上を実現した。

### Abstract

The solid state radar introduced in this report mainly has advantages of "long life", "maintenance cost reduction", and "target detection performance enhancement in a clutter" compared with the magnetron radar. The solid state radar which JRC has developed this time consists of two units which connected MFD (Multi Function Display) as a display unit to the antenna. And the mass has satisfied the weight saving reduced about 50% compared with a conventional model (12ft model) by the antenna reduced it in size and weight and by the high integration of each circuit, etc. Since LD-MOS FET is adopted as a transceiver circuit, it has ten years or more of life. Moreover, the wide dynamic range of the system has improved in detection performance as compared with the conventional equipment with respect to the performance.

### 1. まえがき

船舶の安全航行のため、レーダーの稼働時間が長くなる状況を受けて、従来のマグネトロンに代わり半導体デバイスを使用した長寿命の固体化レーダーが注目されている<sup>(1)(2)</sup>。半導体技術の進歩に伴って、高周波帯において高出力を可能とする半導体デバイスの採用が可能となり、固体化レーダーを開発する上での技術的なハードルが下がってきた。さらに顧客からは、定期的なマグネトロン交換による高い維持費負担の軽減要求が高まっている。これらの動向を受けて、従来のマグネトロンレーダーから固体化レーダーへの移行が加速しつつある。

当社は、2009年にIMO性能基準に適合した国内初の船舶用S帯固体化レーダーJMA-9172-SAを製品化し、市場に投入した。本稿では、その技術資産を活用し、小型船舶市場を含めさらなる市場拡大を狙って、2014年6月に世界初の最小最軽量の船舶用S帯固体化空中線を含む新型S帯固体化レーダーを開発したので紹介する。

### 2. 固体化レーダーの利点

本稿で紹介する固体化レーダーは、従来のマグネトロンレーダーと比べて尖頭電力が1/100程度小さいがパルス幅が長い周波数変調パルス (FMパルス) を送信し、受信時にパルス圧縮処理することで、従来のマグネトロンレーダーと同等以上の探知性能を確保するものである。

以下に、固体化レーダーの主な利点について述べる。

#### 1. 維持費の大幅削減

本固体化レーダーは、定期交換が必要なマグネトロンに代わり、送信部に信頼性が高く定期交換が不要な半導体デバイスを使用しているため、マグネトロン交換に伴う維持費が大幅に削減できる。

#### 2. クラッタ内の物標探知性能向上

パルス圧縮比を高めたパルス圧縮処理をすることで、目標信号 (ターゲット) レベルを維持したまま、海面反射や雨雪反射などの不要信号 (クラッタ) レベルを低減して物標探知性能の向上を図ることができる。

また、マグネトロンレーダーと同様に受信信号の振幅情報だけでなく、位相情報を用いたコヒーレント処理が可能であるため、ターゲットとクラッタの速度情報の違いをドップラ処理によって検出することで、さらなる物標探知性能の向上を図ることができる。

#### 3. 同調調整が不要

マグネトロンレーダーは、送信周波数と受信周波数の差を補正する同調回路が必要であったが、本固体化レーダーは安定度の高い局部発振器で送受信回路を構成できるため、同調調整が不要である。

#### 4. 予熱時間が不要

マグネトロンレーダーでは、約3分の予熱時間を必要とするが、固体化レーダーでは予熱不要なため、システム起動後、直ちに送信し、かつPPI画面上に映像を表示することができる。

### 3. 装置構成

本固体化レーダーは、空中線に指示機のMFD (Multi Function Display)<sup>(3)</sup> を接続した2ユニット構成である。

空中線は、世界最小最軽量の8ftタイプ (NKE-2632; 回転数24rpm, NKE-2632-H; 回転数48rpm) と、高性能モデルの12ft (NKE-1632; 回転数24rpm) タイプから選択できる。

表1に総合形名と指示機画面サイズを、表2に空中線の仕様を、表3に指示機の仕様を示す。また、空中線と指示機の外観を図1および図2にそれぞれ示す。

表1 総合形名と指示機画面サイズ

Table 1 Type and Display Size

総合形名	空中線形名	指示機 (画面サイズ)
JMR-9282-S	NKE-2632	NCD-2272 (26インチ)
JMR-9282-SH	NKE-2632-H	
JMR-9272-S	NKE-1632	
JMR-7282-S	NKE-2632	NCD-2271 (19インチ)
JMR-7282-SH	NKE-2632-H	
JMR-7272-S	NKE-1632	

表2 空中線仕様

Table 2 Scanner Unit Specifications

空中線形名	NKE-2632	NKE-2632-H	NKE-1632
回転半径 [mm]	2,770	2,770	4,000
高さ [mm]	720	750	791
質量 [kg]	85	90	160
回転数 [rpm]	24	48	24
水平ビーム幅 [度]	2.7	2.7	1.9
垂直ビーム幅 [度]	25	25	25
電波型式	P0N/Q0N		
送信周波数	P0N : 3,035MHz Q0N : 3,060MHz ± 4MHz または, 3,065MHz ± 4MHz		
パルス幅1st (P0N) / パルス幅2nd (Q0N) / 繰り返し周波数	P0N : 0.07 μs - 1.14 μs Q0N : 4.6 μs - 18.3 μs 繰り返し周波数 : 640Hz - 2,280Hz		
尖頭出力	250W		

表3 指示機仕様

Table 3 Display Unit Specification

項目	仕様
寸法	NCD-2272 : 660 (W) × 1,100 (H) × 718 (D) mm NCD-2271 : 580 (W) × 1,100 (H) × 718 (D) mm
質量	NCD-2272 : 100kg NCD-2271 : 80kg
距離範囲	0.125/0.25/0.5/0.75/1.5/3/6/12/24/48/96NM
航跡表示	Off/0.25/0.5/1/3/6/10/15/30/60分
目標追尾, AIS	目標追尾 : 最大100目標 AIS : 標準500隻, オプション1000隻
ユーザマップ	表示点数100,000点 (マーク, ライン)



8ft空中線 NKE-2632  
8ft Scanner Unit NKE-2632



12ft空中線 NKE-1632  
12ft Scanner Unit NKE-1632

図1 固体化レーダー空中線  
Fig.1 Scanner Unit



NCD-2272  
(26 inch)



NCD-2271  
(19 inch)

図2 固体化レーダー指示機  
Fig.2 Display Unit

#### 4. 空中線内部回路構成

本固体化レーダー空中線の機能ブロック図を図3に示す。

空中線は、輻射部、送受信回路、信号処理回路、駆動部、電源・インタフェース回路で構成される。

従来モデル (JMA-9172-SA) から基板数を削減 (8枚⇒4枚) し、構成を簡素化することで小型化を実現した。

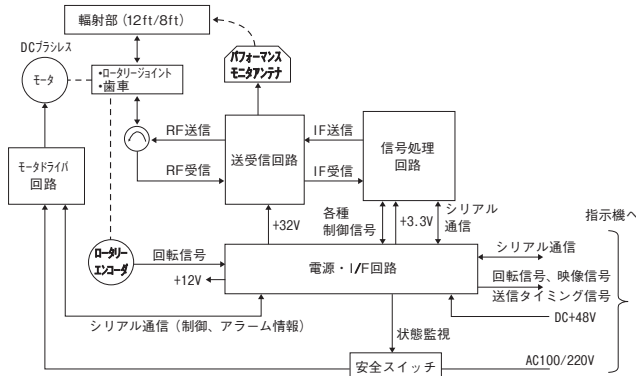


図3 固体化レーダー空中線機能ブロック図  
Fig.3 Scanner Function block diagram

##### 1. 輻射部

空中線を小型軽量化するためには、輻射部の小型軽量化が重要である。このため、輻射部の長さを従来機の12ftから8ftに短縮し、さらに内部構造を軽量化した。

例えば、マグネトロンレーダーに比べて送信電力が低いという固体化レーダーの特長を活かして、輻射部への給電方法を従来の導波管から小型軽量の同軸管に変更した。これらにより、従来モデルの12ft輻射部 (質量45kg) と比較して約44%の軽量化 (質量25kg) に成功した。

##### 2. 送受信回路

本回路は、Sバンドの周波数領域で尖頭出力250Wを得るLD-MOS FETを採用し、送受信部として10年以上の寿命を実現している。図4に外観を示す。

送信部では、信号処理部から出力される中間周波数帯の送信波形をダブルスーパーヘテロダイン方式で3GHz帯までアップコンバートしてパワーアンプで増幅した後、輻射部に給電する。

受信部では、探知性能を向上させるために受信信号を広ダイナミックレンジで処理する必要がある。そのためSTC (Sensitivity Time Control: 感度時間調節) 機能を実装して、後段の信号処理回路にSTC処理された受信信号を供給する。

本回路において、プリント基板の信号パターン長の短縮と小型部品の採用により小型化を実現した。

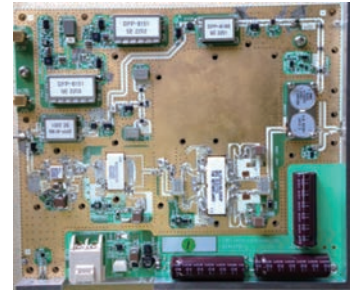


図4 送受信回路  
Fig.4 TRX Module Overview

##### 3. 信号処理回路

信号処理部は、送信波形を生成して送信部に供給し、受信部から出力される受信信号をパルス圧縮し、各種信号処理を実施した後、映像信号として指示機に伝送する。

送信波形は、メモリに記憶されたデータテーブルを参照しながら、高速D/Aコンバータを用いて中間周波数帯のアナログ信号として生成される。データテーブルには、P0NおよびQ0N両形式における送信パルス毎の波形データが、スプリアス特性を考慮した形で格納されている。

受信部から出力されるアナログ受信信号は、本回路に搭載された高速A/Dコンバータでデジタル信号に変換された後、I-Q検波処理、干渉除去処理、パルス圧縮処理の順で実施される。

パルス圧縮された信号は、後続のドップラ処理などによって目標検出性能の向上が図られた後、P0NおよびQ0N受信信号の合成処理などが実施され、D/Aコンバータにてアナログ信号に変換され指示機に伝送される。

なお本信号処理部は、上記送受信に関する制御・処理の他、指示機-空中線間の通信制御、空中線内各回路の制御も実施しており、空中線全体のシステムを制御している。

本回路は、高速高集積FPGAや高速メモリ (DDR3, SDRAM) などの高速動作部品の採用による部品点数の削減、基板配線パターン縮小によって、多層A5サイズ以下の1枚基板 (現行面積の1/4以下) で実現した (図5)。

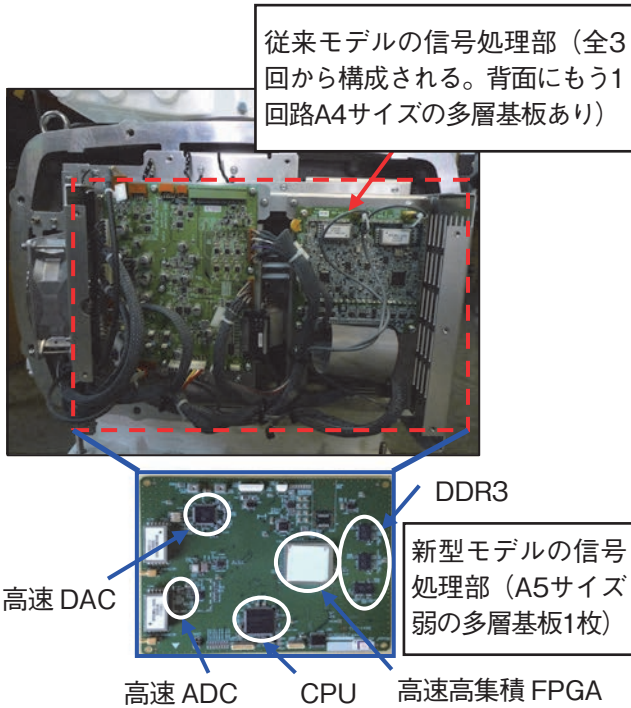


図5 信号処理回路外観と従来機種比較

Fig.5 Signal Processor Unit overview and comparison with current model

#### 4. 駆動部

輻射部を回転させる駆動部のモータは、大型S帯マグネトロンレーダーで十分実績があるDCブラシレスモータを引き続き使用しつつ、モータドライバ回路の統合を図り、小型化を実現した。また、駆動部に供給するAC電圧は、基板上のスイッチ設定でAC100V系/AC220V系のいずれでも使用可能とした。

モータの回転制御においては、輻射部が風の影響を受ける際に発生する回生電流を抑制し、従来使用していた回生吸収回路を削減した。

またモータドライバ回路の制御は、信号処理回路からシリアル通信で行われ、従来のモータ回転ON/OFF制御に加え、駆動部の状態監視機能を追加した。この機能は、過負荷によるモータを含む回路の異常発熱や、電源の過電圧、低電圧異常などの情報をモータドライバ回路から取得し、信号処理回路を経由して指示機へ伝達することで駆動部の各種異常情報を操作者に知らせることができる。

#### 5. 電源・インタフェース回路

各回路に供給する電圧を生成する電源部と主に信号処理回路と接続される各種信号のインタフェース部を1枚基板に集約し、小型化を実現した(図6参照)。本電源回路から供給する電圧は、各回路の主電源(+32V, +12V, +3.3V)のみとし、回路部品を削減して小型化した。

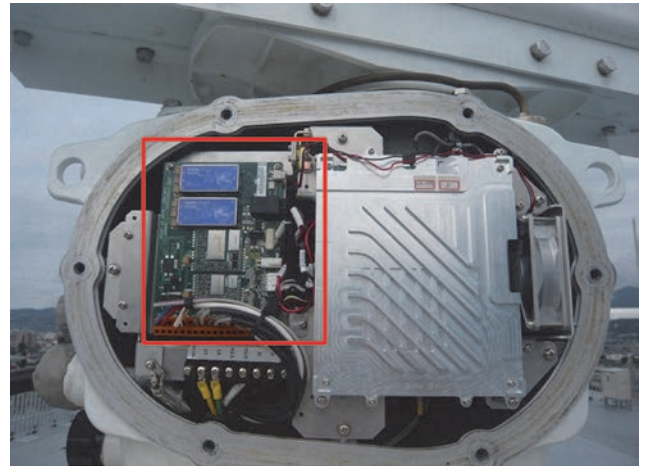


図6 電源・インタフェース回路外観

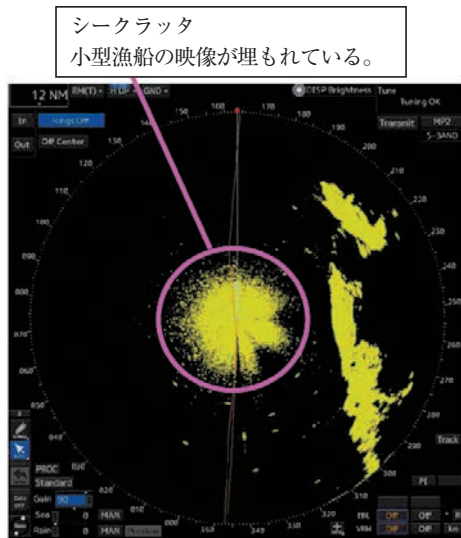
Fig.6 Power Supply and Interface Circuit overview

#### 6. 筐体部

輻射部の小型軽量化により、駆動部を含めた筐体への物理的負荷が軽減され、筐体強度の見直しにより質量を削減した。また、内部回路の集約・小型化や送信電力の給電に従来の大電力用導波管に代わって同軸ケーブルが採用できるなど省スペース化した。

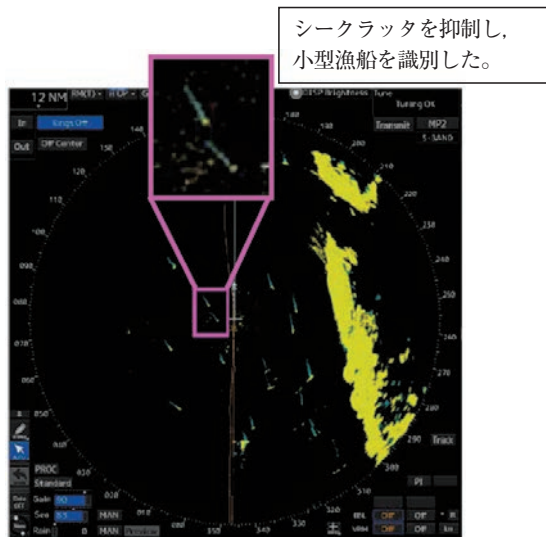
#### 5. レーダー性能評価試験

本固体化レーダー空中線を使用したレーダー性能評価の一例を図7に示す。2章 固体化レーダーの利点“2. クラッタ内の物標探知性能向上”で述べていることの実船評価を実施した結果、シークラッタ内に埋もれている小型漁船群を明瞭に探知することができた。これは、従来機と比較して受信部および信号処理部を広ダイナミックレンジ化したことによる。



シークラッタ  
小型漁船の映像が埋もれている。

信号処理前



シークラッタを抑制し、  
小型漁船を識別した。

信号処理後

図7 レーダー性能評価例

Fig.7 Radar performance evaluation example

参考文献

- (1) 須藤正則 菅原博樹 沢柳雅哉 時枝幸伸 “X帯船舶用固体化レーダーの開発”, 日本無線技報, No.58号, pp.42-46, 2010.
- (2) 須藤正則 菅原博樹 沢柳雅哉 時枝幸伸 “IMOに適合する船舶用Sバンド固体化レーダーの開発”, 日本無線技報, No.54号, pp.21-25, 2008.
- (3) 松山秀考 溝口武 三野秀樹 亀井義之 柿徳男 “新型マルチファンクションディスプレイの開発”, 日本無線技報, No.67号, pp.37-41, 2016.

用語一覧

- ADC: Analog to Digital Converter (A/D変換機)
- AIS: Automatic Identification System (船舶自動識別装置)
- DAC: Digital to Analog Converter (D/A変換機)
- DDR3 SDRAM: Double-Data-Rate3 Synchronous Dynamic Random Access Memory
- FPGA: field-programmable gate array
- IMO: International Maritime Organization (国際海事機関)
- I-Q: In-phase (同相成分) Quadrature (直交成分)
- P0N: (電波型式の内, パルス無変調, 変調信号なし, 無情報の意味)
- PPI: Plan Position Indicator (極座標指示方式)
- Q0N: (電波型式の内, パルス期間中に角度変調, 変調信号なし, 無情報の意味)
- SAW: Surface Acoustic Wave (表面弾性波)
- SDRAM: Synchronous Dynamic Random Access Memory (同期型ダイナミックRAM)

6. あとがき

本小型固体化レーダー空中線は、Sバンドレーダーとして、IMO要件に適合する世界最小最軽量を実現した。今後の固体化レーダーの普及に貢献する製品になると考える。今回の小型軽量化によって、大型商船のみならず従来装備できなかった小型船にも採用が可能となり、幅広い分野の船舶において、その安全航行支援の最先端を走ることを願う。