

# レーダー装置の変遷

## Evolution of RADAR Development

菅原 博 樹      橋 本 英 樹      平 木 直 哉      板 垣 隆 博  
Hiroki Sugawara      Hideki Hashimoto      Naoya Hiraki      Takahiro Itagaki

河 原 登      島 田 尚      川 口 優  
Noboru Kawahara      Takashi Shimada      Masaru Kawaguchi

### 要 旨

当社は長年培ってきた高度なレーダー技術により幅広い分野に最適な製品を開発してきた。船用レーダー、海域監視レーダー、気象レーダー、空港監視レーダー、RC (Reinforced Concrete) レーダー、さらには特殊用途向けレーダーと船舶や航空機の安全航行支援や災害防止、非破壊検査など様々な顧客ニーズに応えながら、当社は今後もさらなる展開を図っていく。ここでは、当社の各種レーダーに関して、その技術動向と製品の変遷について紹介する。

### Abstract

JRC has applied the radar technology cultivated for years to marine radar, vessel traffic management system, meteorological radar, airport surveillance radar, reinforced concrete radar and special radar, etc. and has offered the equipment widely along the customer needs: support for safety navigation of a ship or an airplane, disaster prevention, and nondestructive search, etc. Here, it first introduces the evolution of the radar development of JRC, and, next, the trend of the radar technology is described.

### 1. まえがき

レーダーは電波を放射し、目標からの反射信号を検出して、目標の有無、距離、方向、速度、特徴等の情報を抽出するセンサー機器である。抽出された情報は使用用途に応じて選択されて利用されている。

レーダーは発明以来、半世紀以上となるが、信号処理・データ処理アルゴリズムの高度化やデバイス性能の向上に伴うレーダー性能向上・機能付加の開発に加え、小型軽量化、省電力化さらには欧州RoHS指令等の有害物質削減など環境性能にも配慮した開発が進められている。

当社は顧客ニーズに応えるため従来から多種多様な技術を搭載した製品を開発してきた。ここでは、当社のレーダー開発の歴史を振り返りながら、レーダーの各種技術についてその概要を紹介する。

### 2. レーダー開発の歴史

当社のレーダーの歴史は、1939年、世界初のキャビティマグネトロンの開発に成功し、1941年に艦艇用レーダーを製造したことに始まる。表1に当社のレーダー年表を示す。なお、各種レーダーにおける開発の歴史については章末の付録を参照いただきたい。

表1 日本無線レーダー年表  
Table.1 JRC radar chronology

年号	事柄
1939年	世界初のキャビティマグネトロンの開発
1941年	艦艇用レーダーの製造

1951年	連合国軍最高司令官総司令部 (GHQ) による船用レーダーの国内生産認可
1952年	国内初の船用大型レーダー (NMD-401) の開発 (1号機を航海訓練所練習船「北斗丸」に搭載)
1953年	3ユニット式船用小型レーダー (NMD-411) の開発
1954年	国内初の気象レーダー (NMD-451) の開発 (1号機を高円寺の気象研究所に納入)
1963年	国内初の2ユニット式船用小型レーダー (JMA-123) の開発
1972年	ASR (ASR-69) の1号機を福岡空港に納入
1977年	デジタル信号処理機能搭載の気象レーダー (JMA-224) の開発
1978年	国内初の魚場管理レーダー (JMA-800) の開発
1980年	国内初の空港気象レーダー (JMA-225) の開発 海上交通管理レーダー (JMA-9) の開発
1981年	ドップラー気象レーダー (JMM-1) の開発
1982年	港湾管理レーダーの海外 (サウジアラビア, エジプト) 納入
1986年	探鳥レーダー (JMA-777) の開発 地中探査レーダー (JEJ-51A) の開発
1988年	世界初のコンクリート探査専用レーダー (JEJ-60A) の開発
1990年	世界初の2周波レーダー (JMA-8122) の開発
1996年	プレジャー用液晶レーダーRADAR1000 (JMA-1011) の開発
1999年	世界初の一体型コンクリート探査専用レーダー (NJJ-85A) の開発
2003年	国内初のチャートレーダー (JMA-900) の開発 (航海訓練所練習船「ぎんが丸」に搭載) 国内初の波浪レーダー (JMA-239) の開発 固体化ASR (JPS-35) の開発

2007年	航空機搭載気象レーダー (JMA-500) の開発 MPレーダー (JMA-247) の開発
2008年	国内初の固体化船用レーダー (JMA-9172) の開発

### 3. レーダー技術の変遷

レーダーは基本構成図 (図1) に示すように、自身のアンテナから発射した電波の反射波を受信し、その受信信号を信号処理部、データ処理部を経由して表示器で映像化するとともに、ネットワークを通じて用途に応じたデータを配信することができる。以下に、レーダーを構成するブロックごとに技術概要を紹介する。

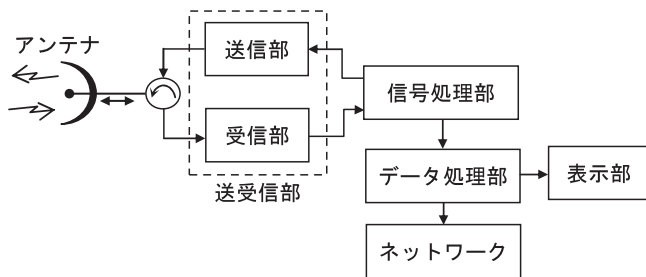


図1 レーダーの基本構成図  
Fig.1 Block diagram of radar system

#### 3.1 アンテナ

レーダーに使用されるアンテナは、最大探知距離や方位分解能を上げるために、高い利得や鋭い指向特性が要求される。一般にこのような特性を持つアンテナは、開口面積が大きくなるため、耐風特性や装備上の制約との兼ね合いも重要である。従って、観測対象、送信周波数、設置条件等により様々な方式のアンテナが用いられている。

船用レーダーのアンテナには従来からスロットアレイアンテナが広く用いられている。当社では、S/X両バンドのスロットアレイアンテナを1つのレドーム内に組み込み、異なる2つの周波数の情報取得を可能とした2周波アンテナ (図2) や、船舶の動揺補正機能を付加したスタビライズドアンテナを開発している。また、海域監視向けの陸上設置レーダーにおいては、降雨時の目標検出を向上させる円偏波アンテナや高分解能を実現させる狭ビームアンテナも開発している。

気象レーダーには、大型のパラボラアンテナが用いられる。マルチパラメータ気象レーダーでは、水平・垂直偏波を同時に送受信するための二偏波機能に対応した直径2.2mのパラボラアンテナを使用し、雨滴の偏平度から雨雪、ひょう、あられの推測を行ったり、高精度な雨量観測を行うための偏波情報を得ている。

航空機搭載用のレーダーでは、小型・軽量かつ堅牢な構造のアンテナが要求される。航空機搭載気象レーダー用のアンテナとして、温度、気圧、振動、衝撃等の様々な厳しい環境条件に耐えうるように設計された、直径10インチ共振型平面スロットアレイアンテナを開発している (図3)。

3次元の任意の方向へのビーム指向や、高速なビーム走査

を必要とする特殊用途向けレーダー等では、アレイを構成する各素子アンテナへの位相を制御することで電子的にビーム走査を行うフェーズドアレイアンテナも用いられる。当社では、1990年代に実用化が可能なフェーズドアレイアンテナを開発している (図4)。近年のデバイス技術の向上や製造方法の工夫による低価化等により、レーダー分野のみならず通信分野等でもフェーズドアレイアンテナの研究が進んでいる<sup>(1)</sup>。

さらに、アンテナ技術と信号処理技術を組合せ、複数方向の電波を同時に受信したり、干渉波や妨害波の方向にヌル (指向性の谷) を生成させる、デジタルビームフォーミングやアダプティブアンテナ技術等の進展が今後注目される。



図2 S/Xバンド2周波アンテナ  
Fig.2 S/X dual band radar antenna

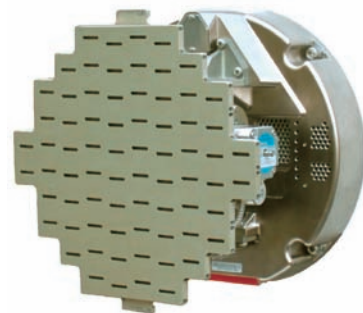


図3 航空機搭載気象レーダー用アンテナ  
Fig.3 Airborne weather radar antenna

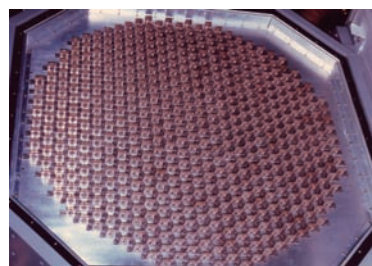


図4 追尾レーダー用フェーズドアレイアンテナ  
Fig.4 Phased array antenna for tracking radar

#### 3.2 送受信部

送受信部は、目標探知距離、分解能といったレーダーの一般的な性能を左右するのみならず、電波輻射の法的対応においてもその性能は重要である。ここではマグネトロンを使用した船用レーダーの不要発射の低減、近年開発が加速しつつある固体化送信機について紹介する。

### 3.2.1 不要発射の低減

従来パルス変調方式の船用レーダーでは、高効率送信機を安価に構成可能なマグネトロンが発振管として広く用いられている。近年の電波有効利用を目的とした占有周波数の狭帯域化のために不要発射低減が不可欠となっており、マグネトロン改良、マグネトロン駆動信号の改善、スプリアス抑圧フィルタの組込等により不要発射の少ない送信機を実現している。図5は船用レーダー送信機NKE-1125-6の送信特性を示しており、現行より厳しい規制として40dB/dec roll-offマスクを満足している。

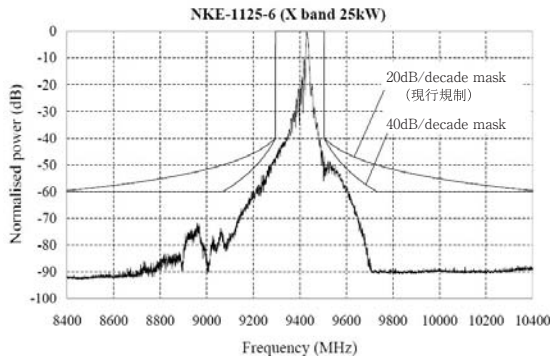


図5 NKE-1125-6の送信特性  
Fig.5 The spectrum of NKE-1125-6

### 3.2.2 固体化送信機

受信信号に含まれるドップラー周波数等の位相情報を利用するレーダーにおいては、クライストロンを用いた増幅方式が採用されている。

クライストロンやマグネトロン等の電子管は定期交換が必要であるが、近年の半導体の進歩に伴いレーダーのランニングコスト低減となる定期交換不要な固体化送信機が実用化されている。これはDDS (Direct digital synthesizer) 等で直接生成される発振波形を所定のマイクロ波まで周波数変換し、半導体増幅器にて所定の送信電力を得る方式である。増幅器に使用されるデバイスとして、3GHz程度まではシリコントランジスタが用いられている。また、良好な直線性を有するガリウムヒ素化合物半導体は1GHz～30GHz帯で採用され、当社ではガリウムヒ素化合物半導体を用いて電力合成により30kW以上の出力を得たSバンドの空港監視レーダーを開発している。Xバンド以上では各アンテナ素子に送信デバイスを装荷したアクティブアレイによって空間合成を行う方式の特殊用途向けレーダーでも用いられている。今後この周波数帯では高出力化のため窒化ガリウム等新デバイスの実用化が期待されている。



図6 JMA-9172-SAの送受信モジュール  
Fig.6 The TRX Module of JMA-9172-SA

固体化方式はメンテナンスフリー、不要発射低減、探知性能の向上などメリットが多い。今後、レーダー装置は固体化方式への転換が促進されるであろう。図6は固体化Sバンド船用レーダーJMA-9172-SAの送受信モジュールである。LDMOS-FETを使用し、250Wの送信電力を得ている。

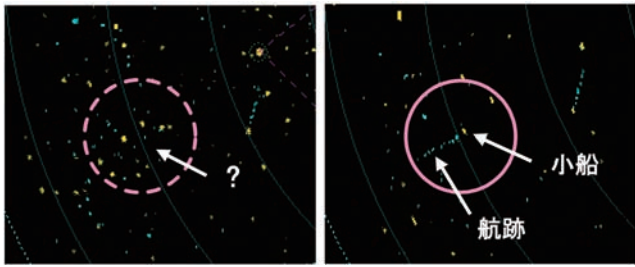
### 3.3 信号処理部

一般にレーダーの受信波には、目標からの反射波(所望波)だけでなく、海面、地面、雨雪等からの反射波(クラッタ)や他レーダーからの送信波(干渉波)等の不要波が混在し、その不要波の影響を受けて、目標探知性能が劣化する。信号処理部は、探知性能を高めるためにクラッタや干渉波の抑圧だけでなく、目標の探知精度を高めるために分解能を向上させることを目的としている。ここでは、探知性能を向上させるためのクラッタ抑圧技術や干渉除去技術、距離分解能を向上させるためのパルス圧縮技術について紹介する。

#### 3.3.1 クラッタ抑圧技術

主に地面からの反射波(グランドクラッタ)の抑圧には、目標信号とクラッタ信号のドップラー周波数の差異に着目して抑圧するMTI (Moving Target Indicator) と呼ばれる技術が有効である。位相情報を使用する場合をコヒーレントMTIといい、振幅情報のみを使用する場合をノンコヒーレントMTIという。

さらに、入力信号を様々なドップラー周波数成分に分解処理するドップラーバンクを通すことで、ドップラー情報を利用した探知性能の向上を図ることができる。図7に、ドップラーバンクを備えたコヒーレントレーダーと備えていないノンコヒーレントレーダーにおけるクラッタ抑圧性能の比較を示す。

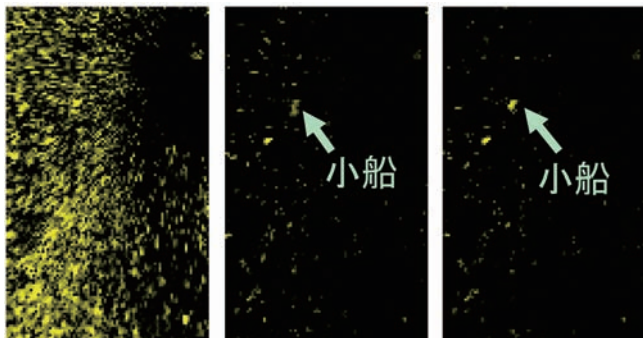


(a) ノンコヒーレントレーダー (b) コヒーレントレーダー  
図7 クラッタ抑圧性能の比較

Fig.7 Comparison of clutter suppression between the coherent radar and the non-coherent

コヒーレント信号処理により改善された信号は、CFAR (Constant False Alarm Rate) と呼ばれるしきい値処理により、一定の低い誤警報確率を保ちながら目標の検出を行う。

次に海面反射（シークラッタ）の抑圧に有効なスキャン相関処理について述べる。海面反射のように振幅が比較的ゆっくりと変動するクラッタ環境においては、スキャン毎のデータ相関が有効である。従来のスキャン相関は、数スキャンのデータを使用して、目標の相関性を確保しながら、クラッタの非相関性を利用して抑圧する。しかし、高速移動目標の場合、スキャン時間における位置ずれから目標の相関性が確保できず、クラッタと同様に抑圧する。そこで移動目標の探知性能の改善方式として、移動目標を追跡しながら、スキャン相関処理を施す新しい方式を開発している。その効果を図8に示す。



(a) 原画像 (b) 従来方式 (c) 新方式

図8 新方式スキャン間相関による移動目標探知の改善

Fig.8 Improvement of detection of moving target by the latest method.

### 3.3.2 干渉除去技術

複数のレーダーが比較的近距离に存在し、それらの送信周波数が近接しているとき、レーダー間での干渉が発生することがある。これらの干渉を抑圧する方法として、それぞれのレーダーの送信パルスの非同期性や送信パルスの無相関性を利用して、所望波と干渉波を分類して、抑圧する方法が用いられる。また、空間処理として、サイドローブキャンセラがある。これは主アンテナとその近傍に補助ア

ンテナを配置し、補助アンテナの振幅・位相を制御し、主アンテナ出力と加算することにより、サイドローブの干渉波方向にヌルを形成して、干渉波を抑圧する。さらに複数のアンテナで構成されるアレーアンテナにおいて、それぞれのアレーアンテナ出力の電力合成を制御し、複数の干渉波方向にヌルを形成するアダプティブアンテナもある。

### 3.3.3 パルス圧縮技術

遠距離かつ高分解能で目標を観測するためには、本来高い尖頭電力と幅の狭いパルス波を送信しなければならない。しかし、送信機を固体化したシステムでは、低い尖頭電力であっても変調を施した幅の広いパルスを送信し、受信信号を処理することにより、高探知性と高分解能を共に実現できるパルス圧縮方式が採用されている。送信波形には、鋭い自己相関数を持ったチャープ波形や擬似乱数符号による位相変調波形等が用いられる。パルス圧縮処理は、トランスバーサルフィルタやFFT等のデジタル演算処理によって実現される。

### 3.4 データ処理部

船用レーダーや空港監視レーダーのように航行物体を検出する監視レーダーと気象レーダーなどの観測用レーダーではデータ処理部の機能や構成が異なる。

監視用レーダーのデータ処理部は、信号処理部によりS/C比（信号対クラッタ比）が改善されたレーダー信号を入力とし、船舶や航空機などの目標の反射波を抽出し、目標の方位と距離をデジタル化する。目標の距離と方位の情報はアンテナの回転ごとに得られ、このデータを追尾処理することで特定の目標として認識するとともに針路・速力の算出処理が行われる。

船用レーダーや海域監視レーダーの付加処理機能として、レーダー波浪観測処理が実用化されつつある。これは、レーダー信号に含まれる海面からの反射信号を抑圧するのではなく、むしろ積極的に利用して対象海域の波高、波向、波速などを推定するものである。レーダー波浪観測の特長は、船舶が航行する先の海面の波浪状況を事前に認識することであり、船舶航行の安全確保、燃費向上によるエコ運航が可能となるとして期待されている。

気象レーダーのデータ処理部では信号処理部からの出力に対して、受信信号の特性解析や適切な映像表示に必要な処理が行われる。

特性解析としては、気象レーダーにおける気象情報（雨量、粒径、風向き、雷やウィンドシア等の特異領域の検出等）の抽出があり、信号振幅・位相・ドップラー速度の分布など各種解析処理が行われる。雨量情報については、3次元的に降雨エコーを収集し、そのエコー強度・ドップラー速度をメッシュ分けした3次元空間分布で表示して、各メッシュデータと他の観測データを合わせて処理することで積算雨量・移動予測量を推定するシステムが用いられている。その他の気象情報についても検出アルゴリズムの研究が続けられ、電子回路の高密度・高速化技術、プログラミング技術の向上に伴い、気象エコーをリアルタイムかつ定量的に高精度で自動観測することが可能となっている。

### 3.5 表示部

表示部はレーダー装置の最終的なアウトプットの一つであり、またレーダー装置を運用するユーザに対して観測情報を的確に伝えることがその役割である。

船用レーダーでは、航海士が自船周辺の船舶動静や地理的状况を迅速的確に把握することが重要であり、このような要求にこたえるため従来表示されていたレーダーエコー、追尾目標のシンボルやAIS (Automatic Identification System) シンボルの表示に加え、同一画面上に電子海図を重畳表示できるチャートレーダーの導入が最近進んでいる (図9)。

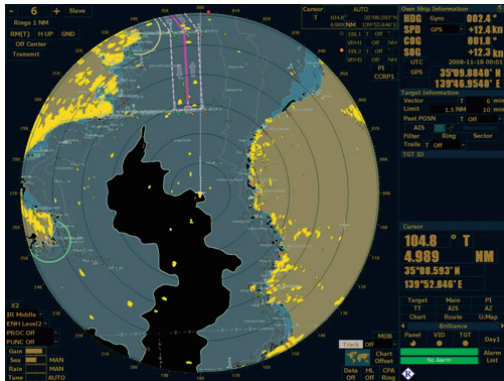


図9 チャートレーダーの表示例  
Fig.9 Example of Chart Radar Screen

港湾監視レーダーシステム (VTMS: Vessel Traffic Management system) では、複数のレーダー局により取得したレーダー画像を合成処理し、3画面程度の液晶ディスプレイを備えた表示装置を構成することで、少ない操作者により広い海域を同時に管理することが可能となっている。この表示装置はマルチファンクションコンソールと呼ばれ、レーダー情報の表示操作以外にデータベースやCCTV (Closed Circuit Television) の操作、国際VHF無線機による音声通話機能などVTMSの運用を行うためのほとんど全ての表示操作機能が実装される。

マルチパラメータ気象レーダーでは、ドップラー速度V、偏波間位相差変化率 $K_{DP}$ など多数のパラメータから降雨強度を高精度に算出し段階区分している。それぞれのパラメータによって降雨強度がどのように推定され、地形によるビーム遮蔽の補正や異常値 (非降水エコー) がどのように判定されたのかを容易に把握できるようQuality Flagをレーダーデータと並べて表示している。

空港気象ドップラーレーダーの場合、ドップラー速度Vパラメータの分布から風向・風速が急激に変化している狭い帯状域 (シアライン)、下降気流 (マイクロバースト) の有無を算出しているが、ドップラー速度Vはレーダー中心方向の風速ベクトル成分であり、段階区分で色をつけても経験を積まないと視覚的に風速場を判断することは難しい。そこでVVP (Volume Velocity Processing) 法により実際の風向・風速を矢羽根で表現し、シアライン、マイクロバーストも視覚的に判断しやすい画像で重ね合わせることで、航空機の運航に支障をきたすおそれのある風の急変場をリアルタイムに認識することが可能となっている (図10)。

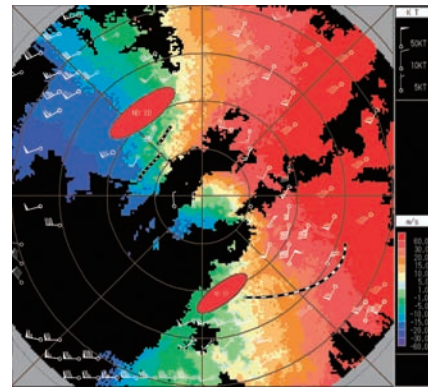


図10 気象レーダー画像表示例  
Fig.10 Example of Meteorological radar image

### 3.6 ネットワーク

近年、ブロードバンド環境の発展とデータ処理の高速、高分解能およびサービスの多様化によりネットワークを介して各種情報の配信および共有化が進んでいる。

気象レーダーでは各地のレーダーサイトから送られてくる多種類で大容量の観測データを複数の装置間で負荷分散し高速で合成処理、三次元処理する集約システム (図11) が構築されている。データ伝送においては高度なデータ圧縮や高速 Ethernet技術が用いられている。集約システムの導入が加速し大型化する中でシステムの安定運用に向けた技術開発や、消費電力削減、省スペースなど地球環境にやさしいシステム作りが求められている。

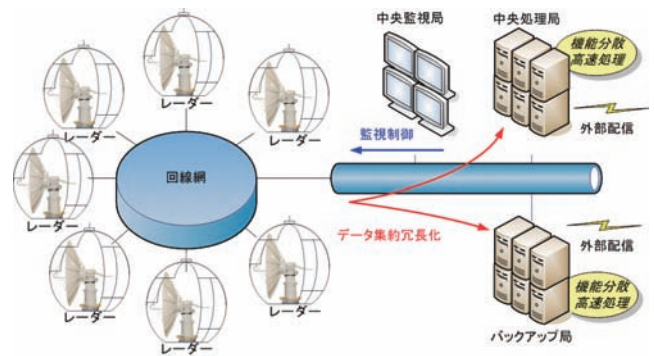


図11 気象レーダー集約システムの例  
Fig.11 Example of Meteorological radar collection system

## 4. あとがき

遠方に存在する目標の情報取得、非接触による認識といったレーダーのもつセンサー機能は今後も必要とされて、マグネトロン等の電子管を用いた従来方式から半導体素子を用いた固体化方式への転換が進むにつれて、ますます付加価値の高い製品作りが求められる。

また、今後更なる規制強化が見込まれるスプリアス等の電波の質に対する法的規則への対応に加え、レーダー装置

相互間の干渉対策など、レーダーが使用される様々な条件下で最適に動作可能な知的システムの実現が必要となるであろう。

当社は今後も保有するレーダーコア技術に新技術を融合させ、ユーザの要求に応えられるレーダーを開発していく。

用語一覧

- AIS : Automatic Identification System
- ASR : Airport Surveillance Radar
- CAN : Controller Area Network
- CCTV : Closed Circuit Television
- CFAR : Constant False Alarm Rate
- CRT : Cathode Ray Tube
- DDS : Direct digital synthesizer
- FFT : Fast Fourier Transform
- GHQ : General Headquarters
- IMO : international Maritime Organization
- LAN : Local Area Network
- LDMOS-FET : Laterally Diffused MOS-FET
- MED : Marine Equipment Directive
- MTI : Moving Target Indicator
- PPI : Plan Position Indicator
- RC : Reinforced Concrete
- SSR : Secondary Surveillance Radar
- VTMS : Vessel Traffic Management System
- VVP : Volume Velocity Processing

参考文献

- (1) "Practical Active Phased Array Antenna is the Assembly of Sub-arrays with Partial Drive Technique",  
2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)

【付録】

各種レーダー開発の歴史

【船用レーダー】

1951年に国内生産がGHQから許可になり、1952年にわが国初の国産化による商船用大型レーダーNMD-401 (図12)形が販売され、1号機が航海訓練所練習船「北斗丸」に装備された。本レーダーは、ハードチューブタイプパルサーによるXバンド30kWの送受信機、5フィートの反射形アンテナを持つ空中線と固定型偏向コイルによる12インチCRTの指示機からなる3ユニットシステムであった。翌1953年には、ラインタイプパルサーによって変調された30kWの送信出力で、3/5フィートのアンテナを持ち、回転偏向コイルによる7インチCRTの指示機からなる3ユニットシステムの小型レーダーNMD-411が販売された。



図12 NMD-401型船用レーダー  
Fig.12 Marine radar equipment NMD-401

1963年に大きな技術革新を行い、従来の反射型アンテナをスロットアレイアンテナに変え、電源を半導体化し、バランスドミキサーを採用して徹底的な軽量化をすすめ、わが国初の空中線に送受信機を内蔵したいわゆる2ユニットシステムの小型レーダーJMA-123を小型船向けに販売した。当時としては装備導波管を不要とするなど、軽量化のための多くのアイデアが満載された特長の多いレーダーであった。その後、時代に即したデバイス技術を活用した技術革新を重ね、マグネトロンを除く送受信機の完全固体化や、CRTのPPI (Plan Position Indicator) 方式からTVCRTのラスタースキャン方式を採用した指示機のデジタル化が進み、安価なレーダーを提供できるようになった。それに伴い船用レーダーも多様化し、航海用以外に漁労用として使用されるようになると、使用目的に合ったレーダー性能が要求されるようになった。1986年以降、海鳥群を探索するための探鳥レーダーJMA-777、操業状況を監視するための多機能レーダーJMA-3726、定置網用のブイ等を探索するためのブイレーダーJMA-7750などを漁船向けの専用レーダーとして販売を開始した。又、1990年に1台の空中線でSバンド/Xバンドの電波を送受信可能にした2周波レーダーJMA-8122を世界で始めて航海用レーダーとして商船用に販売を開始し、海況に応じた最適なレーダー性能が容易に得られるため、航海士への負担が軽減された。

1996年に船用レーダーでは初めてのプリントアンテナを採用した1.5kWの液晶レーダーRADAR1000 (JMA-1010) を、世界で最も安いレーダーとしてプレジャー市場に投入したところ、大きな反響を得た。このレーダーに関する記事がいろいろなプレジャー関連雑誌に掲載され、ピーク時年間7,000台強を出荷し、この市場でのJRCというブランド名を築き上げることが出来た。

近年、メモリの大容量化やCPUの高速化が急速に進み、レーダー指示機も処理能力が飛躍的に増大している。このような技術的背景のもと2003年わが国で始めてチャートレーダーJMA-900シリーズを開発し、1, 2号機が航海訓練所練習船「ぎんが丸」に装備された。本レーダーは、2台の空中線と7台の指示機で構成され、指示機間は、CANとLANでネ

ットワーク化されている。

2008年、送信機にマグネトロンを使用しない固体化Sバンド船用レーダーをわが国で初めて開発し、欧州検定(MED; Marine Equipment Directive)を取得した。マグネトロン交換が不要となることでレーダーのランニングコストが大幅に削減可能となり、全世界の船主から大きな期待が寄せられている。

【気象レーダー】

1950年に気象研究所を中心に気象レーダー委員会が設立され、波長10cm、送信出力250kWの気象観測用レーダーが試作された。続く1951年には運輸省から補助金を得て波長3cmの気象レーダーの研究が行われ、その結果Aスコープ、PPI、RHI (Range Height Indicator) が表示できる本格的な気象レーダーNMD-451 (図13) が開発され、1954年に当時高円寺にあった気象研究所に1号機が納入された。その後、同型の機器が東京中央气象台、大阪管区气象台に設置され、気象庁におけるレーダー気象観測業務が開始された。



図13 NMD-451型気象レーダー

Fig.13 Meteorological radar equipment NMD-451

1977年、デジタル信号処理技術を採用したJMA-224型気象レーダー装置を札幌管区气象台に納入した。この装置は、デジタル化した角度信号で空中線制御を行い、受信ビデオ信号処理にデジタル演算処理を本格的に採用した装置であった。以後、デジタル信号処理が主流になっていった。

1980年、空港周辺の降雨雪の強度と擾乱度を観測する目的で、国産第1号機のJMA-225型空港気象レーダー装置を開発し、新東京航空地方气象台(成田)に納入した。この装置は、デジタルビデオマップ表示、カラーブライトディスプレイ表示を採用し、マイクロコンピュータ制御による狭帯域伝送で航空会社にレーダー画像を配信した。全国の主要民間空港8空港に設置され、1995年度にドップラー気象レーダー装置に更新されるまで使用された。

1981年、降水雲の構造を研究することを目的としたJMM-1型ドップラー気象レーダーを開発し、気象研究所に納入した。この装置は、送信管にクライストロンを使用し、信号の自己相関を利用したパルスペア方式による信号処理でドップラー速度及び速度の分散を観測した。国内外の局地的

な観測を行うため、シェルタに収納した可搬型構造で機動性に優れていた。1990年には北海道大学理学部のドップラーレーダーに二偏波機能が付加され、1994年には防災科学研究所向けに二偏波ドップラーレーダーが納入されるなど、大学/研究所でドップラー気象レーダーの導入が続き、延べ15研究所用レーダーを納入した。

1988年、レーダー装置とレーダーエコーデジタル化装置を一体化したJMA-42型気象レーダー装置を開発し、名古屋地方气象台に納入した。この装置は、気象状況に応じて4種類の観測モードが選択でき、自動的にレーダー観測とデータ処理を行い、処理画像をカラー表示するとともに、エコー強度図、エコー頂高度図、1時間積算降水強度図を作成し、本庁設置の中央コンピュータに伝送した。

1995年、航空機の離着陸に影響を与える低層ウィンドシアを探知する目的で、JMA-79型空港気象ドップラーレーダー装置を新東京国際空港に納入した。この装置は、空港周辺の気象変化を常時監視し、降水の広がりや強度等を探知すると共に、マイクロバーストやバーストフロントなどに代表される低層ウィンドシアを検出し、リアルタイムで航空関係機関に配信した。直径7mの大口径パラボラアンテナ、送信管にクライストロンを使用し、信号処理は、パルスペア方式とFFT方式の両方を備えていた。両方式の特長を生かした混信除去、グラウンドクラッタ除去、2次エコー除去等の処理を行い、ウィンドシア検出精度の向上を追求した本格的な空港ドップラー気象レーダーとなった。

2008年、小型ビジネスジェットが雷雲などを避けて安全に運行する目的で、JMA-500型航空機搭載気象レーダーを開発、米国連邦航空局の型式認定を所得した。この装置は、高空、低温の過酷な環境下においても安定に動作し、240海里先の雷雲を検出することができる。2008年、都市型豪雨対策を研究する目的で、JMA-247型MPレーダーを防災科学技術研究所に納入した。この装置は、水平・垂直の2種類の電波を発射し、複数のパラメータを観測して、その組み合わせによって降水量等を求める“偏波機能”を持っている。強い雨では雨滴が扁平になることから、偏波間位相差変化率 $K_{dp}$ を用いて、より正確に降雨強度Rが求められる。強い雨に対しては、反射成分Zよりも $K_{dp}$ の方が、雨滴の粒径分布との相関が良く、高い精度で降水量が観測できる。

【空港監視レーダー】

1960年代前半より、航空交通量増加の兆しが見られ、主官庁により国内航空管制レーダー網の段階的整備が策定された。当社はこれに先立ち、空港監視一次レーダー(ASR; Airport Surveillance Radar)、二次監視レーダー(SSR; Secondary Surveillance Radar)の試作及び型式認定申請を計画した。

SSRについては、先行他社が多かったことから参入を断念したが、ASRについては1967年に試作を完了、運輸省電子航法研究所に型式認定評価試験を依頼し合格した。基本ASR装置に続いて、クライストロン増幅型送信装置、ブライトディスプレイ装置、周波数ダイバーシティ型送信装置等を開発した。

当社のASR初号機は、1972年に、運輸省航空局制定型式ASR-69型空港監視レーダー装置として福岡空港に納入した。その後、ASR-74型、ASR-82型、ASR-91型そしてASR-2000型へとおよそ10年毎に航空局型式が更新される中、当社でも2003年にGaAsパワーFETによるAB級固体化アンプ合成による送信機試作を完了し、初期のマグネトロン型からクライストロン型そして固体化送信機型へと性能向上・信頼性向上の客先要求に応え、順次換装に向け対応中である。新旧取り混ぜ、2004年度時点で合計8空港への納入を果たしている。

#### 【海域監視レーダー】

領海200海里規制が敷かれてから、小型漁船による沿岸操業が活発になると、操業権の無い小型船の侵犯が増加するようになり、各漁協単位で自衛手段を考えなければならなかった。この手段としてレーダーによる監視が提案され、漁協の協力を得て、所轄官庁に9740MHzという周波数を割当ててもらった。この特殊周波数のマグネトロンは新日本無線に開発依頼し、1978年わが国で初めて50kw、9フィートアンテナの魚場管理レーダーJMA-800を開発して、1号機を北海道オホーツク沿岸の雄武漁協に設置した。

1980年、本四公団坂出工事事務所に本四架橋建設用海上交通管理レーダーJMA-9を納入し、港湾管理レーダーのスタートとなった。

1985年、IMOは決議書A.578 (14) を採択し、「自国領海における海洋汚染の防止、海上航行の安全確保は各国政府の責任である」とした。港湾監視レーダーを含むVTMSが、航行安全確保と海上交通効率の向上及び海洋汚染リスクの軽減手段として有効であるとして、この決議書に、導入すべきVTMSの組織、作業、VTMSの構成及び機能等のガイドラインが示された。

当社は、1982年にサウジ・ヤンブー港、エジプト・アレキサンドリア港、1983年にクエート・シュワイバ港、1983年に韓国・ウルサン港などに、ほぼIMO決議の主旨に添った港湾管理レーダーシステムを納入してきた。

IMO決議書の採択後は、海岸局設備、港湾通信設備や気象/海象監視システムとの組み合わせといった大規模システムの受注が増え、同時に国際的受注競争が熾烈になってきた。

技術的には、複数のレーダー送信局の映像をマイクロ波や光通信によるレーダーリレーで結んだマルチレーダー設備を基本システムとし、自動追尾処理や運航管理データ（船名・速度・方向・航跡等の情報）重畳表示処理が一般的になってきた。

当社でも、1987年にマカオ港VTMS、1991年にタイ・レムチャバン港VTMS、1993年にマラッカ海峡VTMS、1995年に博多港監視レーダー設備等を納入した後、汎用PCおよび必要な機能をPCIカードに搭載したコンパクトかつ低価格なVTMS装置を毎年提供している。

#### 【RCレーダー】

RCレーダーは電磁波を使用した非破壊探査装置であり、コンクリート構造物の修繕や改築、保守などの工事におい

て、鉄筋、電気配線管、ガス管、水道管などの切断事故防止を目的として使用される。また近年では、コンクリート構造物に対して品質確保検査の目的でも使用され、注目が高まっている。その理由は、コンクリート構造物の品質は、施工状態（鉄筋の配筋状態や空洞の有無等）によって大きく左右されるため、コンクリート打設後に、施工状態を非破壊で確認することが重要なためである。

コンクリート内部の非破壊探査方法としては電磁誘導方式、X線方式、超音波方式等があるが、金属以外の材質は検知困難であったり、探査や解析に時間がかかるなどの問題点がある。その点、電磁波レーダー方式のRCレーダーは、コンクリート内部の面的な情報を鉄筋、空洞を問わず短時間に計測し、表示することが可能であるため、機能・性能の面においてバランスに優れた装置である。

日本無線では、1988年に地中探査レーダーの原理をコンクリートに応用した世界初のRCレーダーJEJ-60Aを開発、1999年には従来比で約1/10の小型・軽量化に成功した世界初の一体型RCレーダーNJJ-85Aハンディサーチを開発、これにより足場の悪い現場等での作業性が大幅に改善された。2003年にはカラーディスプレイ、無線通信プリンタ、メモ리카ードの採用により操作性をより一層向上させたNJJ-95Aを開発、2006年には探査深度をより高深度化したNJJ-95Bの開発を行ってきた。

2009年にはハンディサーチシリーズの最新モデルであるNJJ-105 (図14) を開発、密接鉄筋の探査に必要な高分解能化という市場要求に対して、従来の小型・軽量・長時間動作という特長はそのままに、送受信回路の高帯域化 (300～2300MHz) を行い、高分解能化を実現した。又、新機能の搭載や新型アンテナの開発により浅埋鉄筋の探査精度向上も行っている。



図14 ハンディサーチNJJ-105  
Fig.14 HANDY SEARCH NJJ-105