

# 固体化気象レーダー

## Solid State Meteorological Radar

末 永 宏            田 村 英 樹            中 川 幸 彦  
Hiroshi Suenaga    Hideki Tamura        Yukihiro Nakagawa

能木場 裕 也        石 内 豊  
Yuya Nokiba        Yutaka Ishiuchi

### 要 旨

近年、気象状況の急変にともなう集中豪雨、局地的大雨、都市型竜巻が近年多発しており生活圏における安全を常時確保するため、気象レーダーの重要性が急増している。

気象レーダーの設置場所の大多数は地理的、環境的悪条件下にあり、なおかつ安定した稼働を保証するため、現行の寿命が短く、保守点検の必要なクライストロン、マグネトロンに代わる固体増幅素子を用いた気象レーダーへの需要、要求が高まっている。

このような背景のもとに、当社が開発したSバンド固体化気象レーダーを例に紹介する。実機においては、実地評価を行い、従来気象レーダーと遜色ない性能を確認、運用開始した。

### Abstract

In recent years, the importance of meteorological radar has been rapidly increasing in order to always keep inhabited areas safe from local torrential rains, local down pours and urban type tornados which are occurring because of rapid climatic changes.

Most meteorological radar systems are installed in sites with unfavorable geography and climate, and in order to guarantee stable operation even under such conditions, there is increasing demand that meteorological radar use solid state components instead of the currently used klystrons and magnetrons which have short lives and require maintenance and inspections. Therefore, the S band solid state meteorological radar developed by JRC is here introduced as an example of a desirable system.

The system was installed and evaluated at actual sites, it was confirmed that the performance was not inferior to conventional meteorological radar, and actual operation has commenced.

## 1. まえがき

気象レーダー運用において、重要な要件のひとつに、“環境的悪条件下での安定運用”があげられる。嵐、台風、大雪、大雨などの悪天候下でも安定動作しなければならない。さらに気象観測という性質から、山の頂上など地形的にも簡単にアクセスできない場所にレーダー自体が設置されることが多い。

以上のような条件下で、安定動作に加えてメンテナンスフリーな気象レーダーを実現する手法として、最近実用化されてきている高出力の送信用高周波固体増幅素子を採用した。さらに気象レーダーに必要な観測能力を確保するため、比較的小さい送信ピーク出力でもシステム利得を得ることのできるパルス圧縮技術を組み合わせて、固体化気象レーダーを開発した。

本稿では、Sバンド10kW固体化気象レーダーのシステム概要と特長を主に、Xバンド(MPレーダー用)、Cバンド(マグネトロン代替、5kW)用固体化送信部の概要も紹介する。

## 2. システム概要

気象レーダーは、主にレドーム装置、空中線装置、空中線制御装置、送信装置、受信装置、接続導波管、デジタル変復調装置、信号処理装置、遠隔制御監視装置、分電盤、無停電電源装置等から構成される。図1にシステム系統図を示す。

本レーダーシステムにおいて、特長的な部分は送信装置及び信号処理装置であり、それぞれ固体化送信部、デジタル変復調部、信号処理部である。

Sバンド固体化気象レーダーの場合は、降雨強度観測およびドップラー観測(降雨粒子の視線方向の移動成分観測)の観測モードを備える。

- ・降雨強度観測  
観測範囲は440キロメートル、  
ロングパルス(ノンチャープパルス+チャープパルス)、
- ・ドップラー観測  
観測範囲は220キロメートル  
ショートパルス(ノンチャープパルス+チャープパルス)

上記2種である。

本レーダーシステムが、送信等のために必要なタイミング信号は、デジタル変復調部より供給され、信号処理はすべてデジタル化されている。

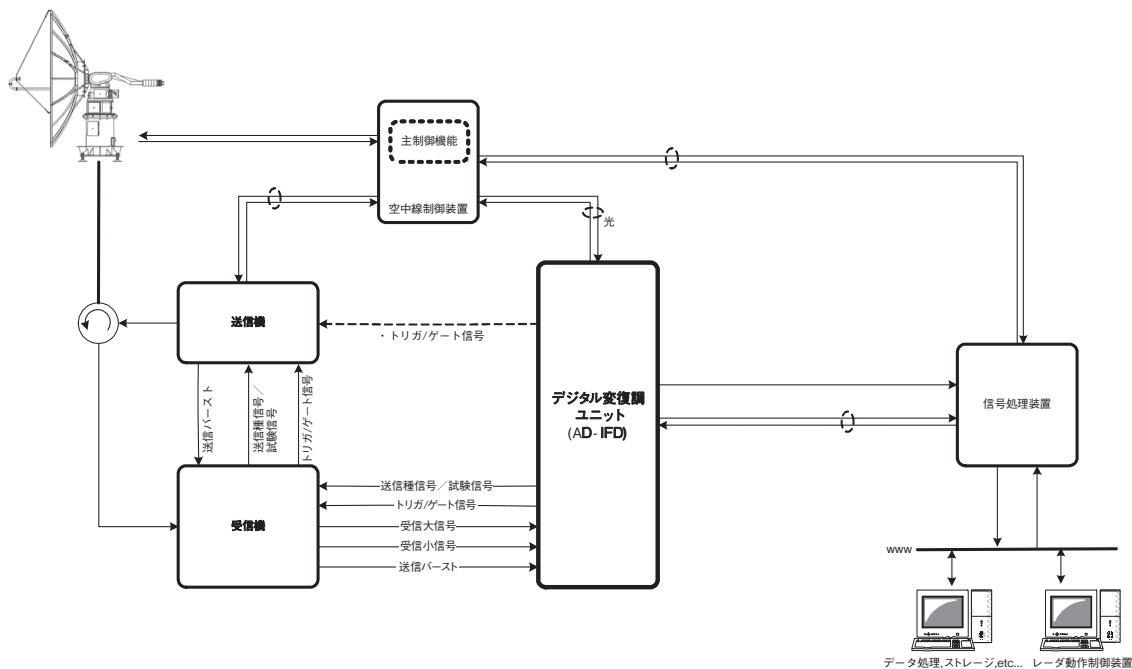


図1 固体化気象レーダーシステム系統図  
Fig.1 Solid State Meteorological Radar System Diagram

なお、今後の気象レーダーの展開として、Xバンド、Cバンドの固体化気象レーダーも同様に製品展開中である。

### 3. 主要諸元

表1 固体化送信機の主要諸元  
Table 1 Main Specifications of Solid State Transmitter

	Sバンド 固体化気象レーダー	Cバンド 固体化気象レーダー	Xバンド 固体化MPレーダー
送信出力	10kW	5kW	400W(200W×2)
送信周波数	2850MHz±5MHz	5250~5370MHz	9350~9450MHz もしくは 9700~9800MHz
送信素子 (最終段)	固体増幅素子 8並列出力	固体増幅素子 4並列出力	固体増幅素子 4並列出力
合成数	24モジュール	16モジュール	2モジュール
パルス繰り返し周波数	ドップラー観測用： 500Hz ~1800Hz 雨量強度観測用： 250Hz ~900Hz	260~500Hz	1500Hz以下

#### 4. 特長

本レーダーシステムの主な特長を以下に示す。

##### (1) 固体化送信機

高出力の送信用高周波固体増幅素子を採用し、観測に必要なレーダー探知性能の実現に必要な出力を達成するために、出力素子を最終出力段に8個並列とした。上記を1モジュール化したうえで、さらに同モジュールを24個並列接続し、10kWの出力を得ている。図2に送信段ブロック図を示す。

出力段をモジュール化することで、素子の特性ばらつきをモジュール単位で吸収し、装置の不安定化を最小限にとどめることができ、信頼性の向上を図る。モジュール化により万が一の故障時に送信を停止することなく、故障モジュールを交換でき、また交換までの間、最大出力ではないが、若干の出力低下だけで気象レーダーの運用を可能としている。

さらに、モジュールの結合数により最大出力を選択可変することができ、顧客の要求、任意のレーダー規模等に柔軟に対応可能となっている。

クライストロンレーダーの場合、必要な探知性能（探知距離、距離分解能）を得るために500kW程度の出力が必要となる。

固体化気象レーダーの場合はパルス圧縮技術を用いた信号処理技術と併用することにより、従来（500kW）の50分の1である10kW出力で、従来型クライストロンレーダーに遜色ない性能を得ることができる。

図3は、Sバンド10kW固体化送信装置の外観である。また、図4には、固体化送信機の構成例を示す。



図3 Sバンド10kW固体化送信装置  
Fig.3 S Band 10 kW Solid State Transmitter

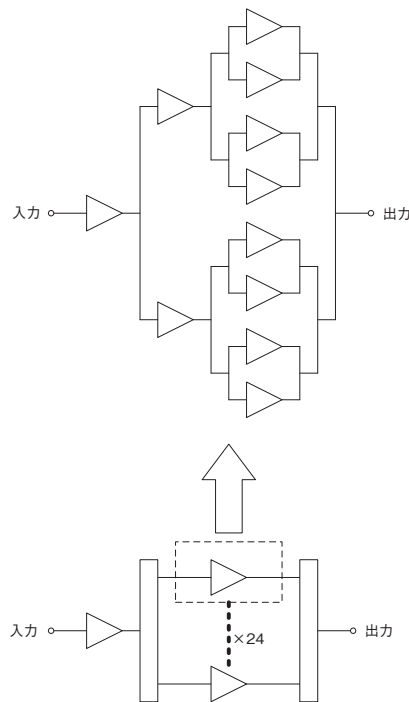
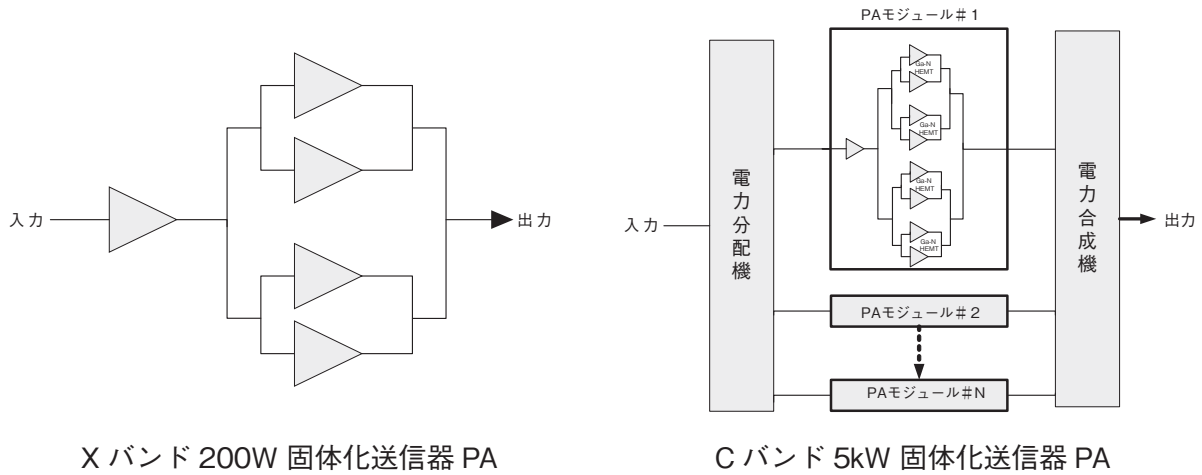


図2 送信段ブロック図 10kW (24モジュール)  
Fig.2 Transmission Stage Block Diagram 10 kW (24 Modules)



Xバンド 200W 固体化送信器 PA

Cバンド 5kW 固体化送信器 PA

図4 固体化送信機の構成例

Fig.4 Example of Solid State Transmitter Configuration

(2) デジタル変復調部

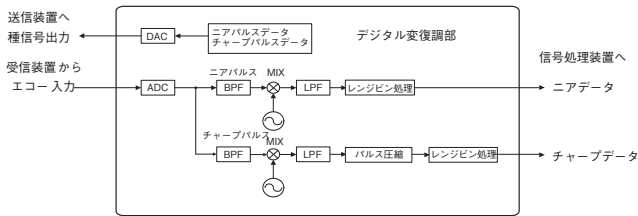


図5 デジタル変復調部ブロック図

Fig.5 Block Diagram of Digital Modulation/ Demodulation Portion

図5は、デジタル変復調部ブロック図である。デジタル変復調部においては、送信用種信号生成、変調処理、復調処理、パルス圧縮処理、受信データ出力、送信タイミング信号制御等の全てをデジタル処理している。図6に、デジタル変復調部の外観を示す。

変調部においては、送信に必要なタイミング信号を発生し、これらタイミング信号に同期して送信ごとに初期位相を管理された無変調パルス（ニアパルス）と遠距離用チャープ変調パルス（チャープパルス）種信号を送信装置に出力する（図7参照）。

一方、復調部では、受信装置からの信号を変調部に同期してAD変換（アナログデジタル変換）し、位相情報を管理しながら、ニアパルス帯域とチャープパルス帯域の受信信号を個別にIQ信号（複素信号）の形式でベースバンドに復調する。

チャープパルス帯域の受信信号は、復調されたIQデータに干渉除去処理等を行った後、パルス圧縮処理を行ない、ニアパルス帯域のデータと共に後段の信号処理装置へリアルタイムで高速転送する。図8に結果を示す。

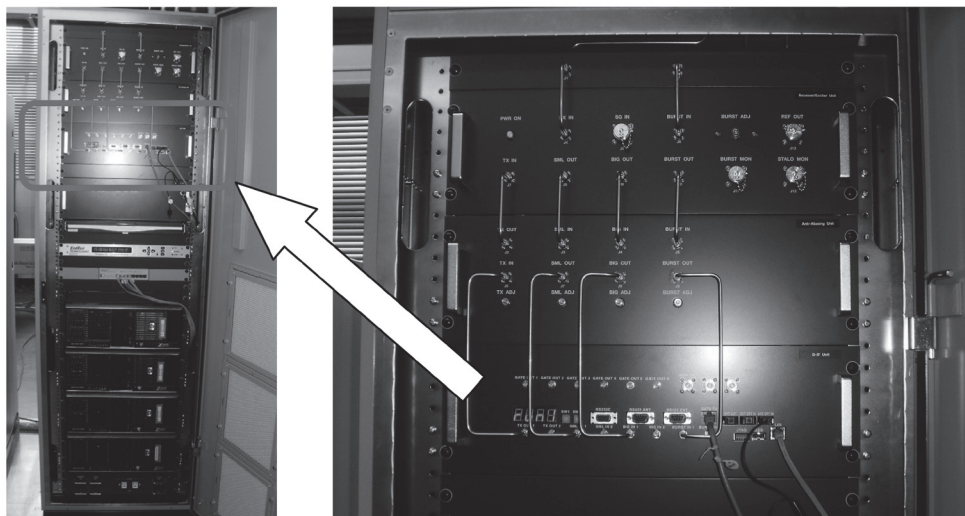


図6 デジタル変復調部（右図最下段 デジタル変復調部）

Fig.6 Digital Modulation/Demodulation Portion (Lowest Stage at Right - Digital Modulation/Demodulation Portion)

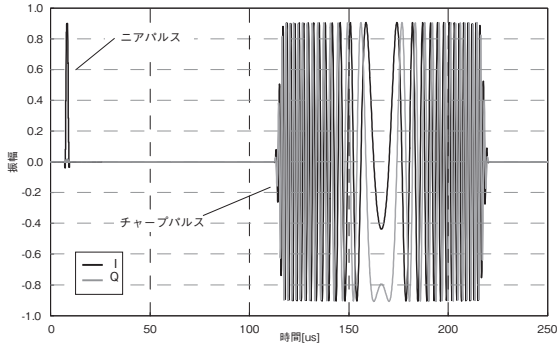


図7 ニア、チャープパルス  
Fig.7 Near Range and Chirp Pulses

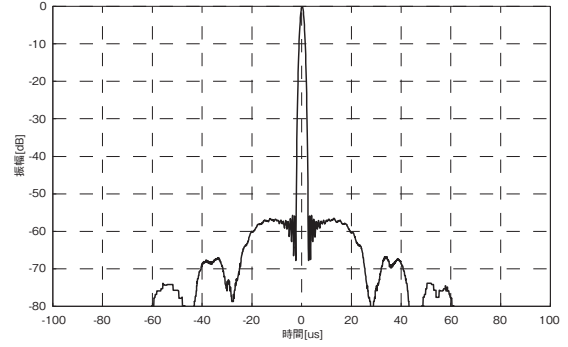


図8 パルス圧縮結果(log表示)  
Fig.8 Pulse Compression Results (Log Display)

(3) 信号処理部

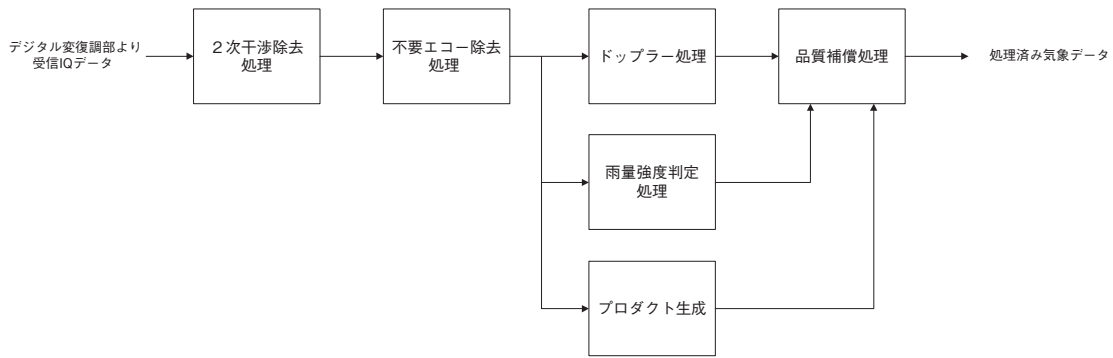


図9 信号処理ブロック図  
Fig.9 Signal Processing Block Diagram

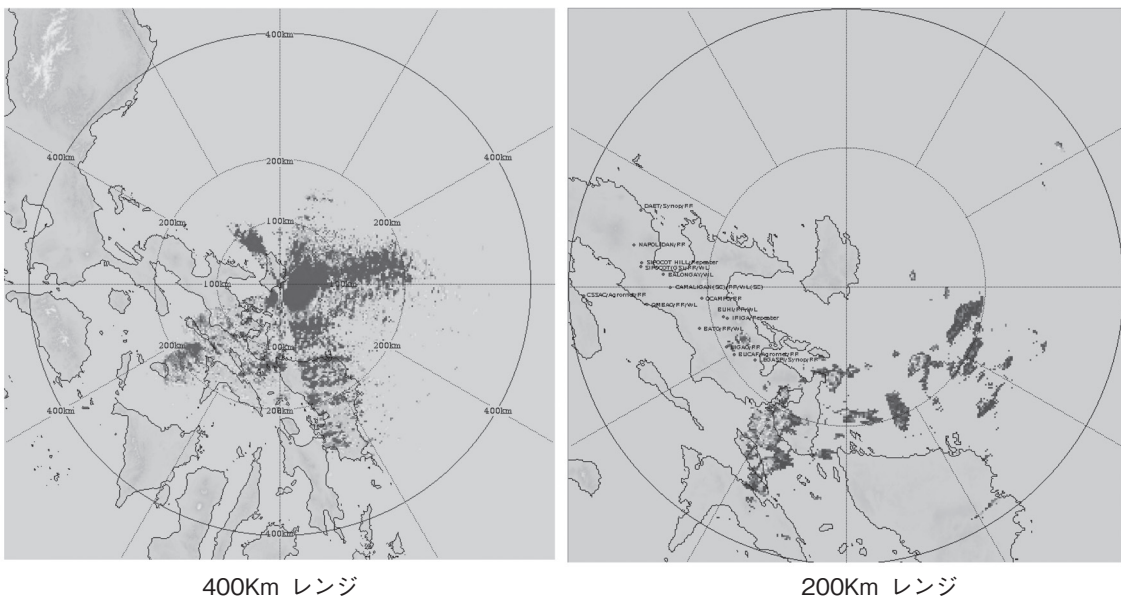


図10 観測データ (例)  
Fig.10 Observation Data (Example)

信号処理部（図9にブロック図を示す。）では、高速デジタル演算により、リアルタイムで気象レーダー用信号処理を実行する。受信データは、IQ信号形式（複素信号）でデジタル変復調部からリアルタイムで入力される。

信号処理部はIQデータを受け取ると、地形や干渉波による不要信号の除去処理の後、受信信号の振幅情報より降雨強度を推定、ドップラー（位相）情報より視線方向の風向・風速を測定し、リアルタイムで気象観測データとして送出する。図10に、観測データの例を示す。

また、近年普及が進むマルチパラメータレーダー（2偏波レーダー）では、水平偏波および垂直偏波を同時送受信することで、両偏波受信信号の強度や位相の差分情報を取得し各種気象データの測定処理を行う。

## 5. あとがき

気象予報の生活への即時反映、予測精度向上、より詳細な観測情報の収集が求められている中で、メンテナンスフリー、かつ、より小規模な送信出力で、従来型レーダーに遜色ない性能と、より安定した、安全な運用・設置が可能な固体化気象レーダーは、今後、従来型気象レーダーからの換装需要、新規気象レーダー局の開設需要が急激に増えることが予想される、より開発を促進し製品の投入を確実にすることにより、正確な気象観測、予測による自然災害からの未然の保護、積極的な安全対策に貢献できることを期待する。

### 参考文献

- (1) 日本無線技報 No.54 2008-24

### 用語一覧

チャープパルス：パルス圧縮をおこなうためにパルス内を周波数変調した信号

ADC：(アナログ/デジタル変換器)

BPF：Band Pass Filter：(帯域通過フィルタ)

CW：Continuous Wave：連続波のこと

DAC：(デジタル/アナログ変換器)

IQ信号：Imaginary/Quadrature信号（ベクトル処理をおこなうために基準信号に対して0° / 90° 成分に分解した信号）

LPF：Low Pass Filter：(低域通過フィルタ)

MIX：Mixer：(周波数変換器、ミキサー)

MPレーダー：Multi Parameterレーダーのこと。(水平偏波、垂直偏波の信号を同時処理することで従来に無いさまざまな降雨のパラメータを得ることができる。)

PA：Power Amplifier：(大電力増幅器)