

Xバンド小型気象レーダーの開発

Development of X Band Compact Weather Radar

西田 啓 藏 中川 幸 彦 岡 島 健
Keizo Nishida Yukihiro Nakagawa Ken Okajima

山 本 壮 志 大河原 聡
Soshi Yamamoto Satoshi Okawara

要 旨

近年、気象状況の急変にともなう集中豪雨、急速に発達する積乱雲によりもたらされる短時間強雨・雹、竜巻や突風による自然災害が多発している。これらの現象の監視、解析を行う上で空間的・時間的に高分解能を有したXバンド気象レーダーの重要性が急増している。しかし、従来のXバンド気象レーダーでは、付帯設備、メンテナンスなどの費用が大きいたことが装置導入の障壁となっている。そこで当社は空中線部、送受信部、信号処理部、及び保守性などの改善により、80%以上の軽量化、従来と同等の観測処理範囲、75%以上の省電力化、低価格、装備・保守が容易なXバンド小型気象レーダーを開発した。この装置の導入により、気象観測、予測による自然災害への対応及びこれら自然現象の解析が可能となる。

Abstract

In recent years, the natural disasters are occurring frequently by the followings; the local severe rain accompanying sudden change of a weather situation, the strong rain for a short time, hail, tornado and the gust by the cumulonimbus cloud which progresses quickly. When conducting the surveillance and analysis of these phenomena, the importance of X band weather radar with high resolution in space and time is increasing rapidly. However, in the conventional X band weather radar, it has a barrier of introduction of equipment that expenses, such as carrying-in facility, and maintenance, are large, the expenses in ancillary facility are the barrier to introduce the equipment. Then, JRC has developed the X band compact weather radar with the weight reduction of more than 80%, the performance of the detection distance equivalent to the conventional, power saving of more than 75%, low price, easy installation and maintenance by the improvement of an antenna, a transceiver unit, a signal processing unit, and maintainability, etc. The introduction of this equipment allows measures to weather survey and the natural disasters by the prediction, and the analysis of these natural phenomena is enabled.

1. まえがき

気象レーダーは、気象現象を把握する上で重要な社会インフラの一つである。しかし、気象レーダー導入にあたり、設置搬入時の費用や運用を継続していくためのメンテナンス費用が重要な課題となっている。これは、見通しのよい鉄塔の上や山頂などに気象レーダーを設置し、24時間連続して運用されることに起因する。

また、近年では竜巻やゲリラ豪雨の発生しやすい局所の観測や、災害時で機能不全となったレーダーサイトのバックアップのために、可搬性や機動性の優れたシステム構成が要求される。

そこで、設置搬入が容易で可搬性や機動性に優れ、かつ運用費を抑えたXバンド小型気象レーダーを開発した。

本稿では、Xバンド小型気象レーダーのシステム概要、主要諸元及び特長について紹介する。

2. 概要

Xバンド小型気象レーダーは、従来の固体化レーダーの性能を維持しつつ、小型低消費電力化を実現している。図1にXバンド小型気象レーダーの外観図を、図2に系統図を示す。

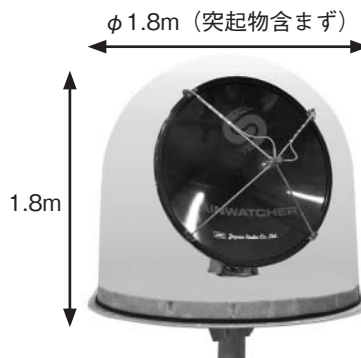


図1 Xバンド小型気象レーダーシステム外観図
Fig.1 External Appearance of X Band Compact Weather Radar System

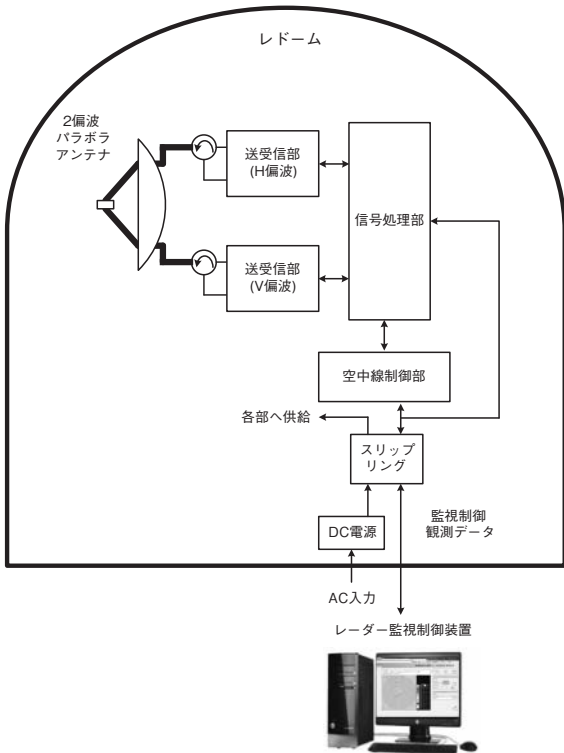


図2 Xバンド小型気象レーダーシステム系統図
Fig.2 System diagram of X Band Compact Weather Radar System

従来品は鉄塔の上に空中線を設置し、シェルタなどの屋内に送信機、受信機、空中線制御装置、信号処理装置、データ収集装置などを設置していた。

今回開発したXバンド小型気象レーダーは、レドームの中にこれらの装置を組み込み、一体型センサとしたオールインワン構造である。

レーダーシステムの主要構成部品である送受信部、信号処理部、空中線制御部は、駆動部の上に配置し、ロータリージョイントを使わない構造とすることで、部品点数の大幅な削減を図った。

各部への電源供給、監視制御とデータ配信はスリップリングを介している。レーダーの監視制御はLANを使用しており、レーダー監視制御装置は汎用PCで構成している。

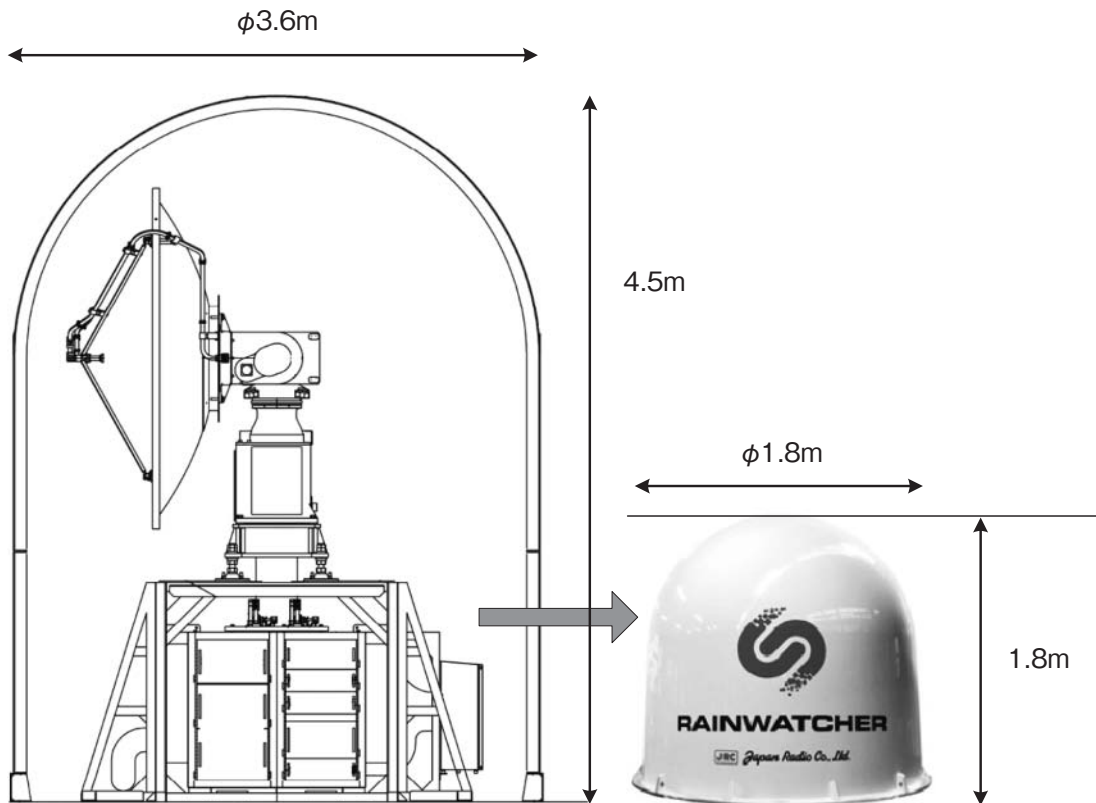
3. 主要諸元

従来品と開発品の主要諸元の比較表を表1に示す。

レドーム径は従来品と比較して約半分の $\phi 1.8\text{m}$ となり、大幅に縮小化を図った。これにより質量は従来品約 $2,500\text{kg}$ に対して 350kg 以下となり、80%以上の軽量化に成功した。図3に従来品と開発品の大きさの比較を示す。

また、送信電力を従来の 200W から 125W に減らしたが、長パルス幅を $32\mu\text{sec}$ から $50\mu\text{sec}$ に広げることで従来と同等の観測処理範囲(80km)を実現している。

さらに消費電力においては、従来品 $2,000\text{VA}$ に対して 450VA を達成し、75%以上の省電力化を実現した。



質量80%軽量化

図3 Xバンド気象レーダーの従来品と開発品の大きさの比較

Fig.3 Comparison of Size between conventional and X Band Compact Weather Radar

表1 Xバンド気象レーダーシステムの従来品と開発品の主要諸元の比較

Table 1 Comparison of main specifications between Conventional and X Band Compact Weather Radar System

項目	従来品	開発品
レドーム	φ3.6m (高さ4.5m)	φ1.8m
アンテナ直径	φ2.2m	φ1.2m
ビーム幅	1.2° (3dB電力低下点)	2.0° (3dB電力低下点)
偏波面	水平偏波, 垂直偏波 交差偏波抑圧度 30dB以上 (水平偏波, 垂直偏波ともに)	
空中線利得	43dBi以上	38dBi以上
水平回転速度	0.1~6.0rpm	
垂直範囲	-2° ~182°	
耐風速	60m/s以下	
送信周波数	9,350~9,450MHz又は9,700~9,800MHz	
パルス幅	短パルス: 1μsec 長パルス: 32μsec	短パルス: 1μsec 長パルス: 50μsec
パルス繰り返し周波数	1,500Hz以下	2,000Hz以下
送信出力	200 W (H偏波) 200 W (V偏波)	125 W (H偏波) 125 W (V偏波)
距離分解能	150m	25m~250m (12.5m毎に設定)
観測処理範囲	半径80km	
総質量	約2,500kg	350kg以下
動作温度範囲	-20~50℃	0~50℃ ※
消費電力	2,000VA以下	450VA以下
使用電源	200VAC, 1φ2W 50/60Hz	100~230VAC, 1φ2W 50/60Hz

※ヒータ内蔵により, -20~50℃に対応可能。

4. 特長

4.1 空中線部の軽量化と低価格化

反射鏡の材質にCFRPを使用することで, 従来のアルミ製のパラボラアンテナと比較して軽量化と低価格化を実現している。CFRP製の空中線の電気的性能は, アルミ製の空中線と同等の性能を維持している。

パラボラアンテナの軽量化により, 駆動電力の低減を実現すると共に, モーターや軸受けへの負荷を少なくして耐久性の向上を図った。また仰角をマイナス仰角も考慮し, -2°から+182°まで駆動可能としたため広範囲な鉛直断面観測が可能となった。

4.2 送受信部のライフサイクルコスト低減とスプリアス抑制

H偏波・V偏波それぞれに送受信部を備えている。観測性能と耐久性を実現するために, 高出力の高周波固体増幅素子を採用している。マグネトロンやクライストロンのように定期交換の必要がなく, 低消費電力であるため総合的なライフサイクルコストを大幅に低減することができる。

送信部は電波有効利用のための狭帯域化や送信波スプリアス抑制に対応している。受信機では従来機種と同等の性能を維持しつつ小型化を実現している。また, 送受信部をパラボラアンテナの近くに配置することにより, 給電線を極力短くすることが可能となり, 電力損失の抑制と軽量化の双方を実現した。

4.3 信号処理部の小型化及び処理高速化

従来品では, ソフトウェアにより信号処理を行っていたが, 専用のDSPによる処理を行うことで, 装置の小型化及び処理の高速化を実現した。2偏波同時送信だけでなく単偏波交互送信にも対応しているため, 直線偏波抑圧比 (LDR) も含め, レーダー反射強度 (Z), ドップラー速度 (V), 速度幅 (W) に加えて, 反射因子差 (ZDR)・偏波間位相差 (φDP)・偏波間位相差変化率 (KDP)・偏波間相関係数 (ρHV) の2偏波レーダーにおけるすべての出力データに標準で対応している。

図4, 図5に観測データの例を示す。レーダー反射強度は降水からの電波反射強度を表し, ドップラー速度はレーダーに向かってくる又は遠ざかるベクトル成分の風速値を表している。また, 偏波間相関係数は降水粒子のそろい具合を示し, 偏波間位相差変化率は途中降雨による減衰の影響が少ないために降水強度推定を高精度で行える。

観測データの品質は従来品と同等となっている。

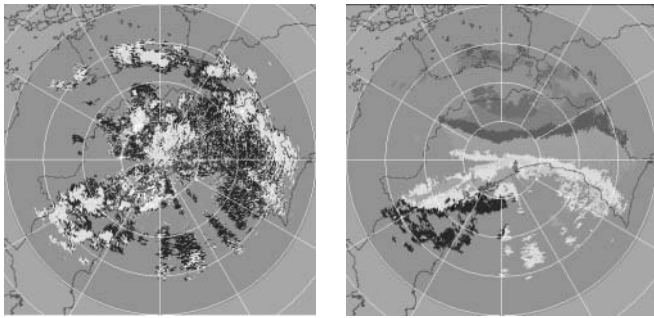
4.4 可搬性・保守性及び拡張性

装置は100~230VACの電源入力に対応している。電源ケーブル一本と, レーダー監視制御装置との間にLANケーブルを接続することで稼動可能である。そのため, 設置に必要なケーブルは従来品と比較して大幅な削減が実現できた。

消費電力は従来品と比較して約75%低減, 総質量は350kg以下で耐震動性構造も考慮されているため, 固定局だけでなく車両に搭載し可搬型として運用することも可能である。

レーダーの監視制御及び観測制御に汎用PCを使用しているため, システムの運用に最低限必要な気象レーダー本体と汎用PCの構成で観測可能である。

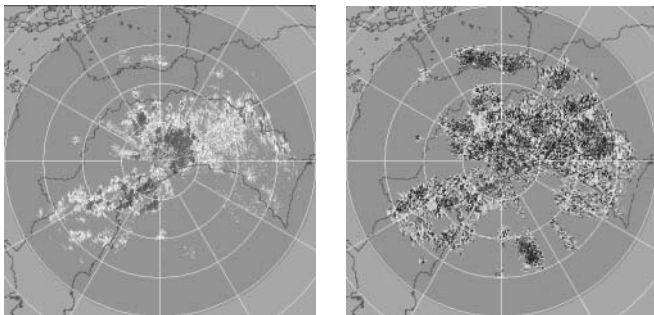
保守性として, 空中線や送受信部のBIT (Built-In Test) 機能を有し, 測定器を使わずにリモートメンテナンスが可能である。また, 拡張性として, さらに高度な解析/表示機能を有する機器を接続可能である。



レーダー反射強度
Radar Reflectivity
ドップラー速度
Doppler Velocity

図4 観測データ例1

Fig.4 Example Image of Observational Data



偏波間相関係数
Correlation Coefficient
偏波間位相差変化率
Specific Differential Phase

図5 観測データ例2

Fig.5 Example Image of Observational Data

5. 導入実績

当Xバンド小型気象レーダーの初号機が2014年3月に高知大学に導入された。(図6参照) 高知県は、太平洋に面し、海上からの暖湿な気流が四国山地に吹き付け、組織化した積乱雲群が発生しやすい地域である。また、国内でも竜巻発生数が多い地域であり、竜巻の発生や発達メカニズムの解析が期待される。



図6 高知大学設置例

Fig.6 Kochi University Installation Example

6. あとがき

年々気象現象は激しさを増し、短時間で雨雲が急激に発生・成長する豪雨による甚大な被害が社会にもたらされている。これに対応していくためには、緻密な気象観測と地域への即時情報提供が必要と考える。従来よりも安価で小型軽量及び機動性に優れたXバンド小型気象レーダーによって、このような豪雨発生・成長の予測精度の向上に貢献し、自然災害の早期発見・早期対応をすることで、社会生活の安全を確保することが期待される。

用語一覧

- LAN: Local Area Network
- PC: Personal Computer
- CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic (炭素繊維強化プラスチック)
- Z: Radar Reflectivity (レーダー反射強度)
- V: Doppler Velocity (ドップラー速度)
- ρ HV: Correlation Coefficient (偏波間相関係数)
- KDP: Specific Differential Phase (偏波間位相差変化率)
- DSP: Digital Signal Processor