

局地的集中豪雨を監視するX帯固体化気象レーダ

X-Band Solid-State Weather Radar for Observation of Local Torrential Downpours

柏木 俊治 村野 隆 平井 健一

■ KASHIWAGI Shunji ■ MURANO Takashi ■ HIRAI Kenichi

近年、局地的豪雨や突風などによる災害が多発しており、レーダによる気象現象の観測が重要となってきた。

東芝は、これらの現象を捉えるための国内初^(注1)の運用機となるX帯(8~12 GHz帯)固体化気象レーダを国土交通省近畿地方整備局の鷺峰(じゅうぶ)山無線中継所へ納入した。

この気象レーダは、マルチパラメータ観測技術や送信機の固体化技術などを駆使し、高精度な降雨観測、大幅な小型・軽量化及びライフサイクルコストの低減を実現した。今後、豪雨などの高精度な観測データを様々なユーザーに提供することで、安全で安心な社会の実現に貢献することが期待できる。

With the occurrence of many disasters in recent years caused by anomalous weather events, including local torrential downpours and wind gusts, weather radars have become increasingly important for weather observation.

To capture such phenomena, Toshiba has developed the latest-model X-band solid-state weather radar. Through the application of new technologies such as multiparameter (MP) observation and a solid-state transmitter, the new weather radar achieves high-precision rainfall observation and features small size, light weight, and reduced life-cycle cost. This radar has been installed at the Jubusan Radio Relay Station of the Kinki Regional Development Bureau as the first in-service X-band solid-state weather radar in Japan. By providing useful weather observation data, it can contribute to the realization of a safe and secure society.

1 まえがき

近年、突発的な局地的豪雨(いわゆるゲリラ豪雨)や突風による気象災害が増加している。局地的豪雨や突風を引き起こす原因は、時には高度15 km以上にまで発達する積乱雲であることが多い。気象レーダは、積乱雲内部を観測することにより、その生成や発達の状況を監視することができ、更にレーダ観測データは降水予測などに生かすことができる。気象レーダは豪雨や突風の監視に不可欠な機材であり、その重要性はますます高まっている。

国土交通省では、この突発的な局地的豪雨の観測のため、平成21年度からマルチパラメータ観測技術を採用したX帯気象レーダの整備を全国で開始している。

ここでは、このマルチパラメータ観測技術に加え、送信装置に半導体素子を用いた固体化技術などを採用した、国内初の運用機となるX帯固体化気象レーダについて述べる。

2 X帯固体化気象レーダの概要

今回納入したX帯固体化気象レーダは、小電力で広範囲、かつ高精度な観測を実現するために、固体化送信装置や小型で高性能な受信信号処理装置などを採用している。

その結果、当社従来型の気象レーダ(電子管を用いた気象



図1. X帯固体化気象レーダの設置状況 — レーダは、近畿地方整備局の鷺峰山無線中継所の鉄塔上部に設置されている。

Installed X-band solid-state weather radar

レーダ)に比べ体積が約1/4、消費電力が約1/10の小型化と省電力を実現した。

更に、構成品を小型・軽量化することで鉄塔上部のレドーム内に主要機器を収納でき、導波管長による電波の減衰を最小化した。これにより安定かつ高精度な観測を実現した(図1、図2)。

(注1) 2010年12月時点、当社調べ。

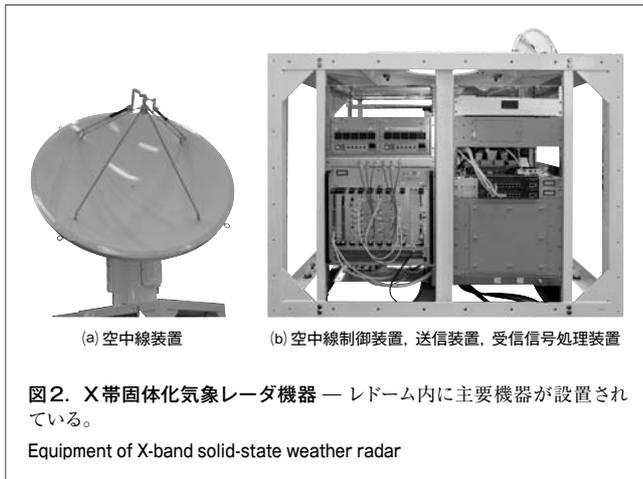


図2. X帯固体化気象レーダ機器 — レドーム内に主要機器が設置されている。

Equipment of X-band solid-state weather radar

表1. X帯固体化気象レーダの主要仕様
Main specifications of X-band solid-state weather radar

項目	仕様
観測範囲	半径80 km以上
送信周波数	9.7 ~ 9.8 GHzのうち1波
送信パルス幅	1 μ s, 32 μ s
送信尖頭(せんとう)出力	200 W以上(水平偏波) 200 W以上(垂直偏波)
ダイナミックレンジ	95 dB以上
レドーム直径	4.5 m以下
空中線直径	2.2 m以下
空中線利得	41 dB以上
ビーム幅	1.2°以下
距離分解能	150 m以下
グラントクラッタ除去	コヒーレントMTI方式
生成データ	受信電力(水平偏波, 垂直偏波) ドップラー速度 速度幅 偏波間位相差 偏波間相関係数

MTI: Moving Target Indicator (移動目標検出)

この気象レーダの主な仕様を表1に示す。

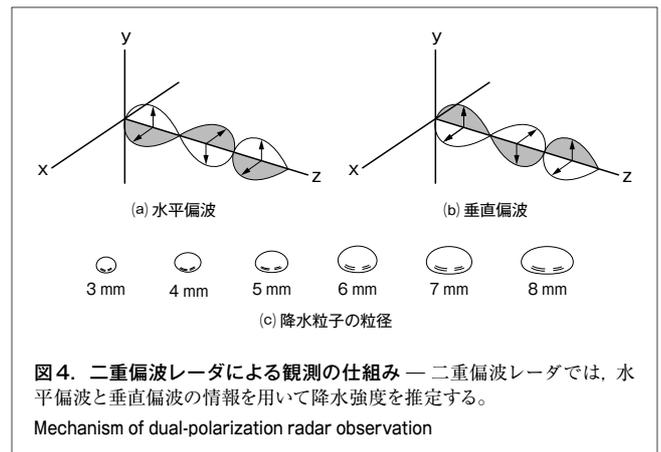
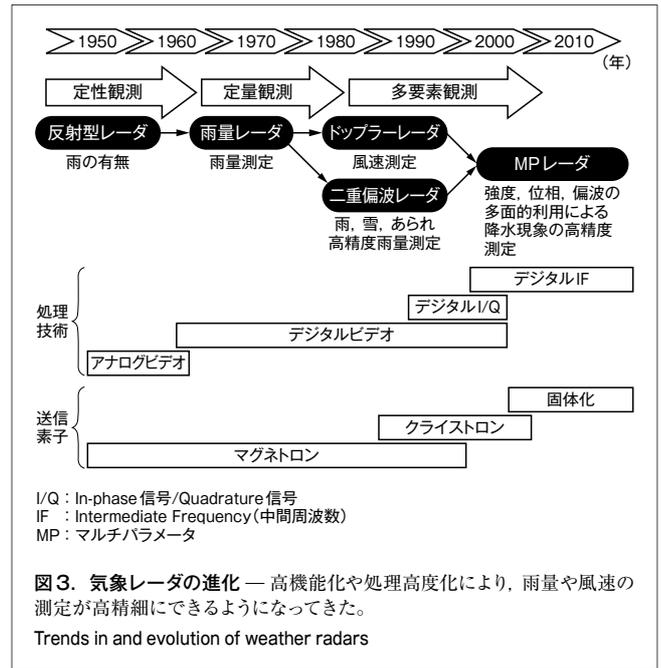
3 X帯固体化気象レーダの特長

3.1 マルチパラメータ観測技術

気象レーダは、電波を送信し、降水粒子から反射されてくる電波の情報から降水現象を観測する装置である。気象レーダの進化のようすを図3に示す。

初期の気象レーダは、反射電波の強さから8段階程度の定性的な降水強度を判別することしかできなかったが、その後デジタル技術の進歩により、単位時間ごとの定量的な降水強度を把握できるようになり、近年では、ドップラー効果に応用したドップラーレーダによる風観測もできるようになった。

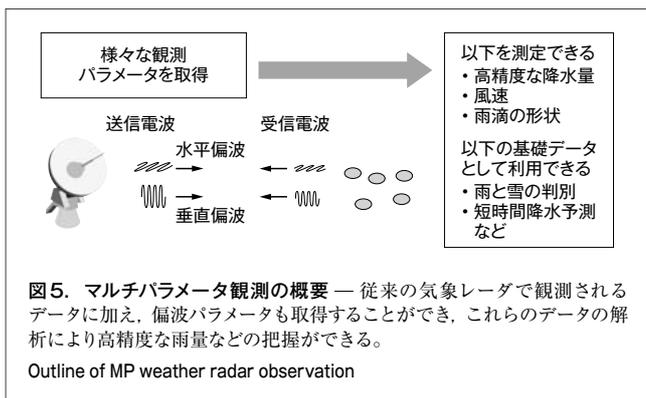
更に、水平と垂直の二つの偏波を利用した二重偏波レーダにより、降水粒子の粒径を加味した降水観測ができるようになった(図4)。



電波は、降水粒子中を通過する際、空気中を通過する場合に比べて位相に遅れが生じる。また、降水粒子が大きくなると落下時に空気抵抗を受けることから、図4(c)に示すように平たい形状となる。

平たくなった降水粒子を水平偏波と垂直偏波の電波が同時に通過すると、降水粒子に対する反射断面積が大きい水平偏波の位相がより遅れることになる。この偏波間に生じた位相差を偏波間位相差 (ϕ_{DP}) と呼ぶ。 ϕ_{DP} の電波進行方向の変化量 (比偏波間位相差: K_{DP}) は降水強度と強い相関を持っている。この特性を利用することで、降水の粒子形状までを考慮した高精度の降水強度を観測することができる。

マルチパラメータ観測技術は、図5に示すようにこれらの機能を統合し、降水から反射される電波の強度、位相、偏波など多くのパラメータから、詳細な気象現象を把握することができる技術である。



この気象レーダは、この降雨強度観測を高精度化するための ϕ_{DP} に加え、雲中の雪や氷が降雨に変化する兆候を捉えることのできる偏波間相関係数(ρ_{HV})と、一般的な水平偏波の受信電力(P_h)及び垂直偏波の受信電力(P_v)、風の状況を測定できるドップラー速度(V)及び速度幅(W)のパラメータも同時に取得できるので、これらのパラメータを利用して様々な気象現象を解析することができる。

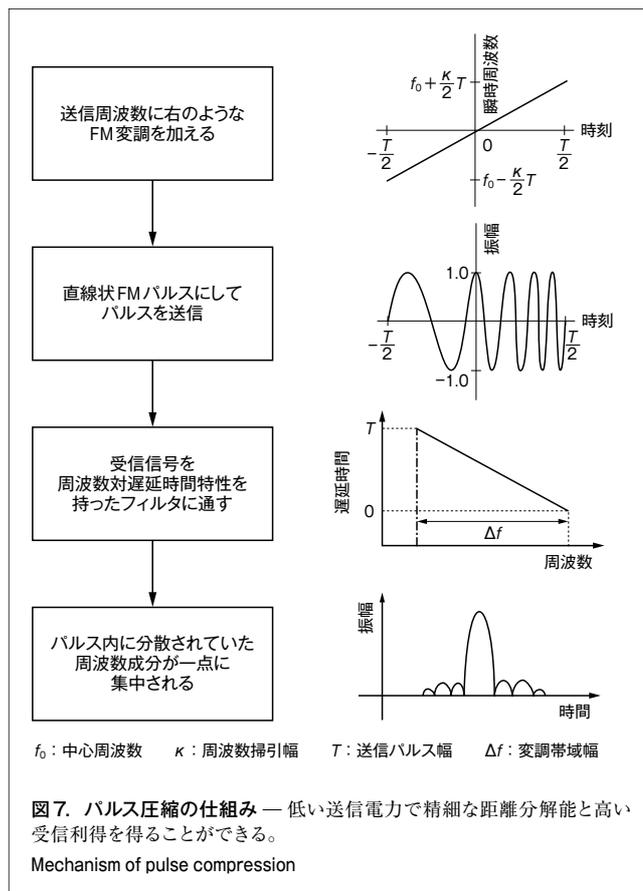
3.2 送信装置の固体化

従来の気象レーダはクライストロンなどの電子管を用いた送信装置を使用しており、約100 kWの大きな送信電力を得ることができる反面、消費電力や装置規模が大きくなり、加えて約1～2年周期で電子管を交換する必要がある。

そこで、この気象レーダでは、クライストロンなどの電子管に劣らない観測性能を小さな送信電力で得ることのできる、パルス圧縮技術を用いた固体化送信装置(図6)を採用することで、装置を小型化するとともに、消費電力の低減及び定期交換部品の排除によるランニングコストの大幅な削減を実現した。今回採用した固体化送信装置には、半導体素子に窒化ガリウム(GaN)を使用している⁽¹⁾。

3.3 パルス圧縮技術の適用

これまでの気象レーダでは、観測範囲を広くするために送信パルス幅を広くする必要があるが、一方で細密な距離分解能を得るためには送信パルス幅を狭くする必要があるという矛



盾する問題があった。

この気象レーダでは、この問題を解決し、小電力で広範囲かつ高精度の観測を実現するためにパルス圧縮技術を適用している。

このパルス圧縮とは、送信パルスに特殊な変調を施してパルス幅の広い送信信号を送信し、受信処理でその受信信号を復調して幅の狭いパルスに変換する技術である(図7)。

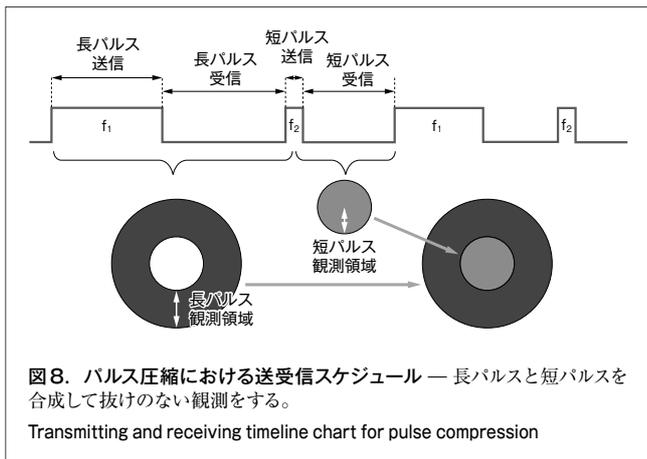
この気象レーダでは、 $32\mu s$ の幅の広い送信パルス(長パルス)に直線状FM(Frequency Modulation)変調を施し、パルス圧縮を行うことで細密な距離分解能150 mを実現している。

一方、一般的にレーダは送信中には受信できないため、長パルスを送信している間の近距離の観測ができなくなる。この問題を解決し、近距離から遠距離まで抜けのない観測を実現するため、パルス圧縮のための長パルスとともに、近距離観測用の短いパルスの観測を併用している(図8)。

ただし、長パルスと短パルスの併用により、気象状況によって長パルスの受信信号に短パルスの受信信号が混入する弊害があるため、長パルスと短パルスの周波数を若干ずらすことで、この混入による弊害を回避している。

3.4 メンテナンス性の向上

今回採用した固体化送信装置のMTBF(平均故障間隔)は4万時間以上(4.5年以上)であり、従来の電子管を用いた送



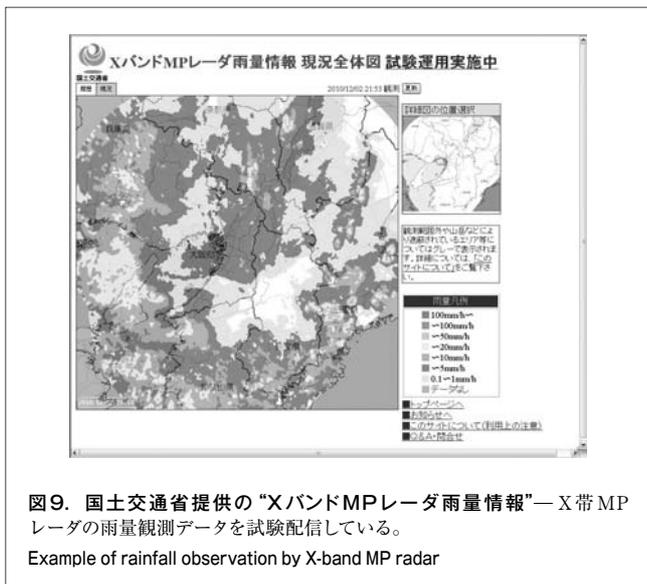
信装置に比べ、送信部の寿命が大幅に向上した。また、送信装置が小型なユニットとなり、加えて高電圧も不要になったことで、設置調整期間が大幅に短縮され、万一の故障時にも容易に交換を行うことができるようになった。

また、固体化送信装置はレドーム内に設置されるが、送信周波数や送信電力、送信波はそれらの測定用の導波管をあらかじめ設けておくことにより、鉄塔上での作業を不要にした。

更に観測データのMTI (Moving Target Indicator: 移動目標検出) 調整に必要となるI/Q (In-phase 信号/ Quadrature 信号) データを蓄積するデータ蓄積装置も構成機器として備え、各種処理を行う前の生データを取得できるようにした。取得したデータを基にオフラインシミュレーションを行える機能を設け、現地調整作業の短縮を実現した。

4 観測データの試験配信

この気象レーダにより得られた高精度の観測データは、豪



雨時の避難行動や防災活動などに役だてるため、国土交通省で整備された他のX帯マルチパラメータレーダ (MPレーダ) の観測データとともに、各種処理が加えられ、インターネットで試験配信されている (図9)⁽²⁾。

5 あとがき

この気象レーダは、国土交通省で近年の局地的集中豪雨を監視することを目的とし整備された国内初の固体化送信装置を使用したX帯固体化気象レーダであり、マルチパラメータ観測技術や固体化送信装置の採用によって小型化や省電力、ライフサイクルコストの低減を実現できた。

謝 辞

X帯固体化気象レーダの運用開始にあたり、ご指導、ご協力をいただいた国土交通省 近畿地方整備局並びに関係部署各位に深く感謝の意を表します。

文 献

- (1) 旭 保彰 他. X帯気象レーダ用GaN固体化電力増幅器. 東芝レビュー. 63, 2, 2008, p.58 - 61.
- (2) 国土交通省. “XバンドMPレーダ雨量情報”. <<http://www.river.go.jp/xbandradar/index.html>>. (参照2010-12-02).
- (3) 吉田 孝 監修. 改定レーダ技術. 電子情報通信学会, 1996, 307p.
- (4) 和田将一 他. 電波資源を有効に利用する5GHz帯固体化気象レーダ. 東芝レビュー. 63, 7, 2008, p.48 - 51.
- (5) 水谷文彦 他. 局地的豪雨や突風を監視する9GHz帯固体化MPレーダ. 東芝レビュー. 64, 10, 2009, p.62 - 65.



柏木 俊治 KASHIWAGI Shunji
社会システム社 小向工場 電波通信技術部主務。
気象防災システムの開発設計に従事。
Komukai Operations



村野 隆 MURANO Takashi
社会システム社 小向工場 電波通信技術部参事。
気象防災システムの開発設計に従事。
Komukai Operations



平井 健一 HIRAI Kenichi
東京エレクトロニクスシステムズ(株) 電波応用技術部主務。
気象レーダシステムの開発設計に従事。
Tokyo Electronic Systems Corp.