

局地的豪雨や突風を監視する9 GHz帯固体化MPレーダ

9 GHz-Band Solid-State Multiparameter Radar for Observation of Local Torrential Downpours and Wind Gusts

水谷 文彦 和田 将一 平井 健一

■ MIZUTANI Fumihiko ■ WADA Masakazu ■ HIRAI Kenichi

局地的豪雨や突風による災害が増加しているなか、これらの原因となる積乱雲の内部を高精度に観測できる気象レーダの重要度がますます高まっており、小型・軽量で、観測地点への輸送や設置が容易な可搬型の気象レーダが求められている。

東芝は、マルチパラメータ (MP) 観測技術や送信部の固体化技術などを駆使し、降水現象測定の高精度化、大幅な小型・軽量化、割当周波数以外の不要な電波発射の抑制、及びライフサイクルコストの低減を実現した9 GHz帯固体化MPレーダを開発した。今後、9 GHz帯固体化MPレーダの実用化を進めて社会インフラ設備に組み込み、豪雨などのより高精度な観測データや予測情報を設備の運用者や市民に提供することにより、安心して安全な社会を実現していくことができる。

With the recent increase in disasters caused by anomalous weather events including local torrential downpours and wind gusts, weather radars have become essential for precipitation forecasts because they permit direct observation of the interior of rapidly growing cumulonimbus clouds. Small and lightweight weather radars allowing easy transportation and installation are therefore required for radar observations at the point of origin of torrential downpours.

Toshiba has developed a 9 GHz-band solid-state multiparameter (MP) weather radar that achieves high-precision observation while complying with the regulations for suppression of spurious emissions. This MP radar features smaller size, lighter weight, and reduced life-cycle cost, and incorporates the latest technologies including MP observation data processing and solid-state radar technologies. We are making efforts to supply the MP radar as a social infrastructure for more dependable rainstorm observation and forecasting services.

1 まえがき

近年、ゲリラ豪雨と呼ばれる突発的な局地的豪雨や突風による気象災害の事例が増加している。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、積乱雲内部の観測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、その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。

東芝は、長年にわたる気象レーダの開発を通じて、気象観測はもとより、ダムや下水道の放水管理や電力系統運用など社会インフラの管理に貢献してきた。

ここでは、新たにマルチパラメータ (MP) 観測技術や送信部に半導体素子を用いる固体化技術などを採用して開発した、雨量や風の状況を高精度に把握できる9 GHz帯固体化MPレーダの概要と特長について述べる。

2 9 GHz帯固体化MPレーダの概要

今回開発した9 GHz帯固体化MPレーダは、設置スペースを2 m四方とし、ビルの屋上などに設置できるよう建物の耐荷

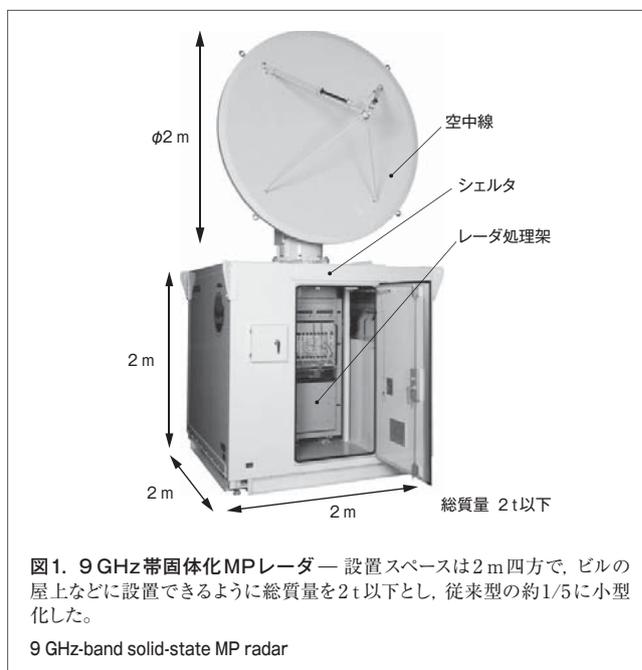


図1. 9 GHz帯固体化MPレーダ— 設置スペースは2 m四方で、ビルの屋上などに設置できるように総質量を2 t以下とし、従来型の約1/5に小型化した。

9 GHz-band solid-state MP radar

重を考慮して総質量が2 t以下となるようにし、2 m立方のシェルタ屋上に直径2 mの空中線を設置するタイプとした(図1)。これを実現するため、固体化増幅器や、小型で高性能な信号処理ユニット、ラックマウント型計算機などの採用により、シェ

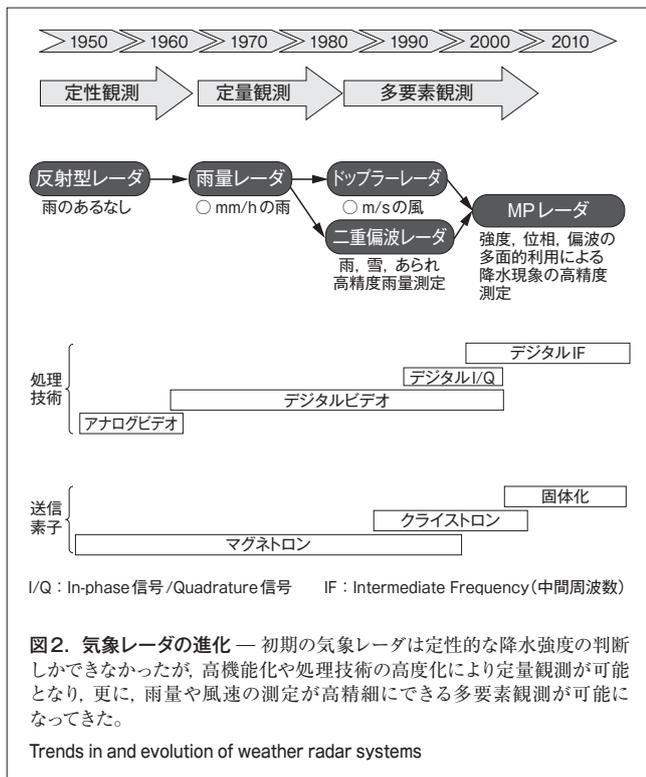
表1. 9 GHz帯固体化MPレーダの主な仕様
Main specifications of 9 GHz-band solid-state MP radar

項目	仕様
送信出力	200 W以上(水平偏波) 200 W以上(垂直偏波)
デューティ比	7%以下
最小受信電力	-110 dBm以下
観測距離	64 km以上
空中線利得	42 dB以上
ビーム幅	1.2°以下
送信パルス幅	1 ~ 64 μs(可変)
生成データ	Z_h : レーダ反射因子 (dBZ) V : ドップラー速度 (m/s) W : 速度幅 (m/s) Z_{DR} : 差分レーダ反射因子 (dB) LDR : 交差偏波比 (dB) Φ_{DP} : 偏波間位相差 (deg) K_{DP} : 比偏波間位相差 (deg/km) $\rho_{HV}(0)$: 偏波間相関係数 R : 降雨強度 (mm/h)

ルタ内部のレーダ処理架を高さ1,500 mmのラック1本に高集積化し、従来型の気象レーダに比べ約1/5に小型化した。主な仕様を表1に示す。

3 MP観測技術

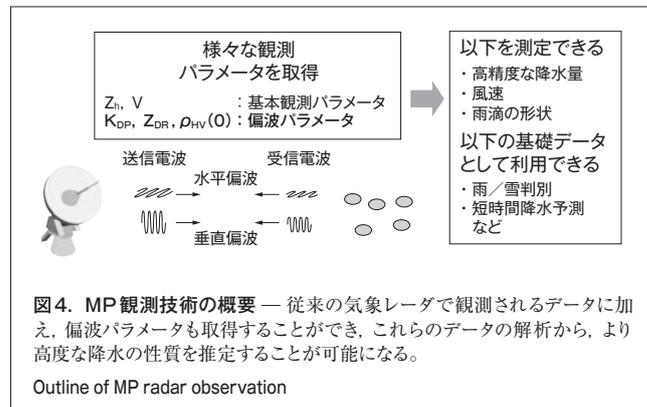
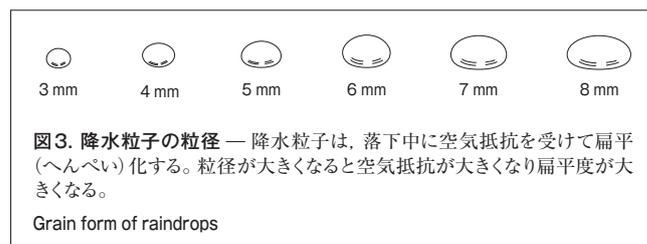
気象レーダは、降水粒子から反射されてくる電波の情報から降水現象を観測する機能を備えている。気象レーダの進化のトレンドを図2に示す。



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の判別しかできなかったが、その後のデジタル技術の進歩により、時間雨量単位の定量的な降水強度を把握できるようになった。更に近年では、ドップラー効果を応用したドップラーレーダ⁽¹⁾による風観測や、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、図3のような降水粒子の粒径を加味した降水測定が可能になってきた。MP観測技術は、図4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、より高度な降水の性質を推定できる技術である。

特に、比偏波間位相差 (K_{DP}) というパラメータは降水強度と強い正の相関を持つと言われており、降水強度観測の高精度化に寄与すると期待されている。

電波は通過媒体によってその性質が異なり、降水粒子中を電波が通過する際には、空気中を通過する際に比べて電波の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3のように平たい形状となる。平たくなった降水粒子に水平偏波と垂直偏波が同時に当たると、位相は降水粒子に対する反射断面積が大きい水平偏波のほうがより遅れることになる。地点ごとの水平偏波と垂直偏波の偏波間位相差 (ϕ_{DP}) を検出し、その情報を視線方向(電波の進む方向)に1 kmごとの差分を取ったデータが K_{DP} で、領域内の降水量を高精度に観測できるパラメータである。MPレーダではこのほかにも、偏波間相関係数 ($\rho_{HV}(0)$)、差分レーダ反射因子 (Z_{DR}) といった偏波パラメータや、通常のドップラーレーダと同様にレーダ反射因子 (Z_h) やドップラー速度 (V) といったパラメータも同時に取得可能である。



4 9 GHz 帯固体化MPレーダの特長

9 GHz帯固体化MPレーダは、小型かつ軽量で輸送や設置が容易であるとともに、送信部の固体化などにより従来と比べ維持コストが低減した。更に、送信部の固体化により、免許で付与される周波数帯以外の不要電波（スプリアス）の抑制に成功したことで、電波資源の有効利用が可能である。

4.1 操作性及びメンテナンス性に優れた気象レーダ

9 GHz帯固体化MPレーダは消費電力が3 kVA以下で、単相200 V (50/60 Hz)、容量15 A以上の商用電源が準備できれば動作が可能である。また、外部ネットワークとLAN接続が可能であり、遠隔地からレーダを制御したり、観測データを遠隔地に転送することができる。

輸送の際には、空中線とシェルタを切り離し、**図5**に示すように積載量3 t程度のトラックに載せて輸送することができる。また、輸送後の設置作業も数時間程度で可能である。

更に、送信部の固体化などによりメンテナンスが容易となっている。従来の気象レーダの送信部はマグネトロンやクライストロンなど電子管を用いており、これらは一般的に寿命が短く、定期的な交換が必要であった。また、交換の際には高電圧部を含む電子管を扱うことから、作業に熟練した技術を要した。これに対して、固体化増幅器のMTBF（平均故障間隔）は4万時間以上と算出されている。今回、送信部を固体化したことで送信部の寿命が大幅に向上するとともに、固体化増幅器を含めた送信部のユニット化を図ったことにより、万一故障した際でも容易に交換することが可能になった。更に、空中線の駆動機構についても、長寿命部品の採用によりライフサイクルコストの大幅な低減に成功した。

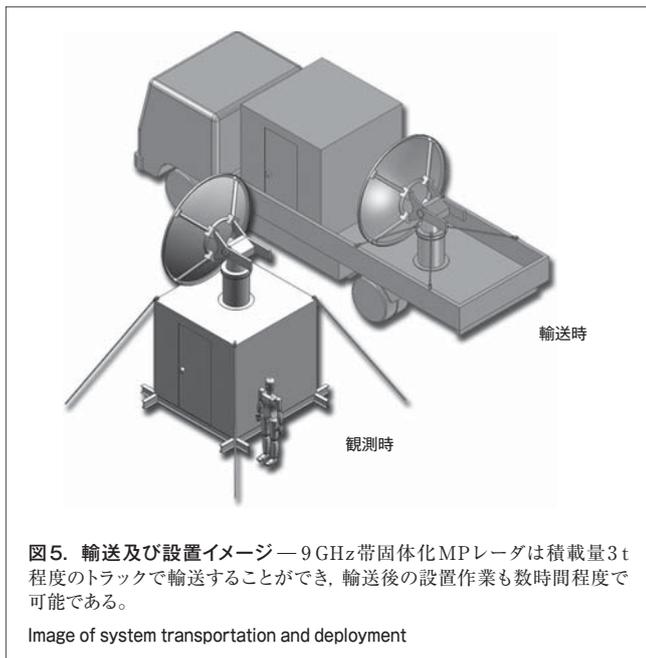


図5. 輸送及び設置イメージ—9 GHz帯固体化MPレーダは積載量3 t程度のトラックで輸送することができ、輸送後の設置作業も数時間程度で可能である。

Image of system transportation and deployment

4.2 送信部の固体化による電波資源の有効利用

従来のクライストロンなどの電子管を用いた送信部では、200 kW級の大きな送信電力を得ることができるが、不要な周波数帯の電波が多く含まれるという問題があった。この問題を解決するために当社は、総務省の委託研究「クライストロン送信機デジタル波形成形技術及び固体素子等を用いたレーダ技術の研究開発」において、半導体素子を用いた5 GHz帯固体化気象レーダを開発した⁽²⁾。9 GHz帯固体化MPレーダでは、5 GHz帯固体化気象レーダで培った固体化技術を活用しており、半導体素子に窒化ガリウム (GaN) を用いて開発した固体化増幅器⁽³⁾を採用した。

この固体化増幅器で得られるピーク送信電力は200 Wと従来型の1/100 ~ 1/1,000程度である。しかし、固体化増幅器は従来型と比べて長いパルスを送出できることから、その長パルスの送信波に周波数変調を加え、受信時にパルス圧縮処理を施すことで、従来と同等以上の性能を発揮することができた。また、導波管の長さを小さくすることで導波管ロスを極小化した。

更に、近距離から遠距離まで抜けのない観測を実現するために、長パルスによるパルス圧縮観測とともに、1 μ sの短パルスを用いる従来の手法も併用して観測している。このように同一周波数帯で短パルスと長パルスを併用して観測すると、長パルスで観測すべき受信データに短パルスで観測した受信データが混入するため、本来あるべき距離の観測データ以外にもエコーを受信してしまうという問題が生じてしまう。この問題を解決するために、2.5 MHz離れた二つの基準信号発生器を

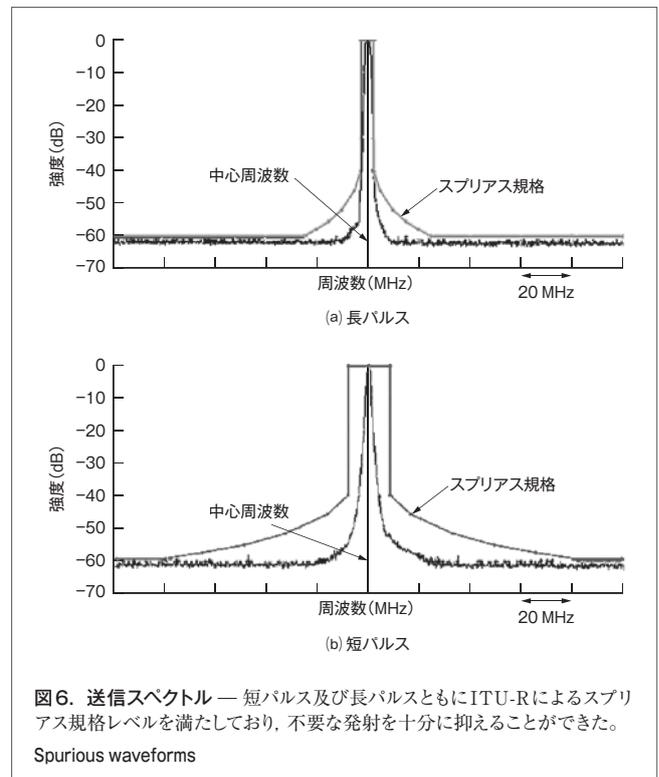
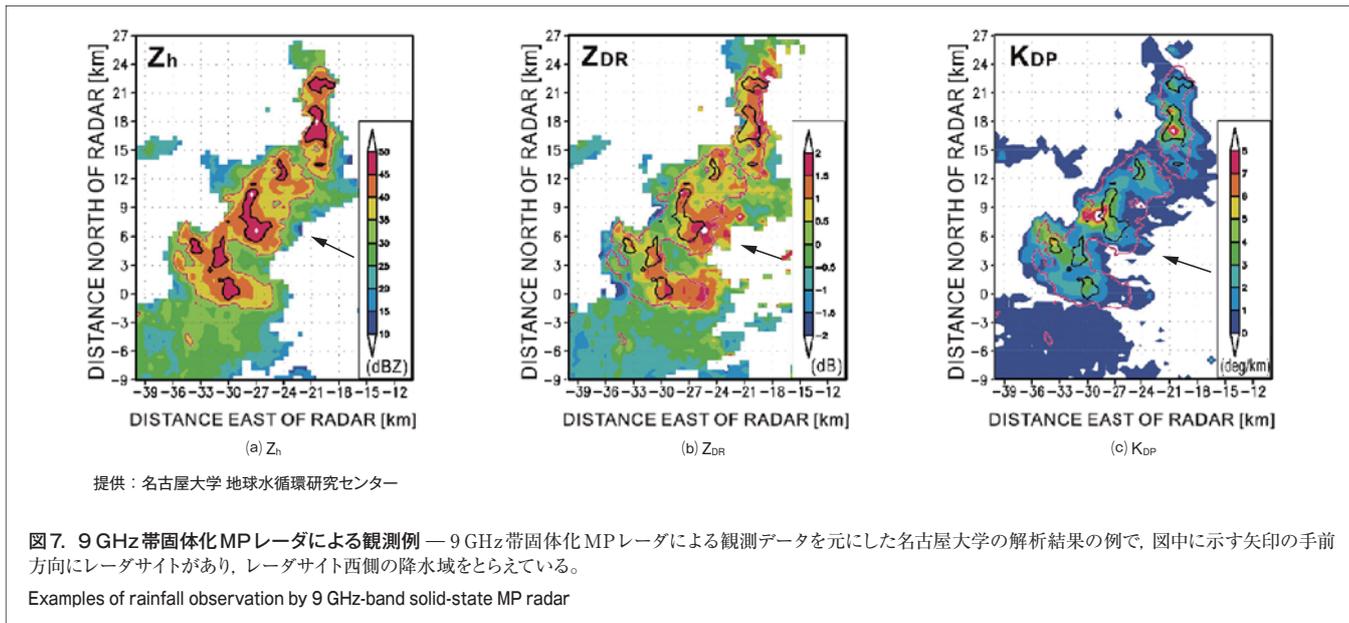


図6. 送信スペクトル—短パルス及び長パルスともにITU-Rによるスプリアス規格レベルを満たしており、不要な発射を十分に抑えることができた。

Spurious waveforms



短パルスと長パルスに用いている。それぞれの送信波のスプリアス波形(図6)は、ともにITU-R(国際電気通信連合無線通信部門)によるスプリアス規格を満たしており、不要な発射を十分に抑えることができた。また、9 GHz帯固体化MPレーダの占有帯域幅は4 MHzと認められているが、短パルス及び長パルスの周波数を分離して同時に送信した際の帯域幅は3.65 MHzとなっており、十分に占有帯域を満足している。

4.3 MP観測技術による観測例

9 GHz帯固体化MPレーダで観測されたデータ(表1に示す生成データ)を元にして、名古屋大学により解析された結果の一例を図7に示す。Vについては自動折返し処理による補正が可能である。また、水平偏波だけを送信することで交差偏波比(LDR)の観測も可能である。これらの観測データを元に、 K_{DP} などを用いた降水量算出の処理ができるようになった。また、将来的には、 Z_h 、 Z_{DR} 、及び K_{DP} を組み合わせた高度で精度の高い雨量の算出や、 $\rho_{HV}(0)$ や Z_{DR} などの観測データを組み合わせて、雨、雪、あられなどの降水粒子の種類を識別することができる期待される。更に、9 GHz帯固体化MPレーダで観測されたデータや解析されたデータを気象予測モデルなどに入力し、短時間の降水予測などに生かすことが可能になる。

5 あとがき

局地的豪雨や突風を高精度に観測できる、小型で軽量な9 GHz帯固体化MPレーダを開発した。この装置は、耐風速性を高めるためにレドームを設置したり、鉄塔の屋上に空中線や高周波増幅器だけを設置して、階下の機器室にレーダ処理架を設置したりするなど、ユーザーの使用環境に応じてフレキ

シブルなシステム構築が可能である。

今後、9 GHz帯固体化MPレーダで得られる高精度の雨量情報を用いた、短時間降雨予測への発展が期待される。将来的には、研究向けのシステムにとどまらず、豪雨や突風などの危険情報や予測情報を社会インフラ設備の運用者や市民に対して提供できるよう更に開発を推進し、安心で安全な社会の実現に貢献していく。

文献

- (1) 石澤 寛, ほか. 那覇空港気象ドップラーレーダ. 東芝レビュー. 59, 6, 2004, p.44 - 47.
- (2) 和田将一, ほか. 電波資源を有効に利用する5 GHz帯固体化気象レーダ. 東芝レビュー. 63, 7, 2008, p.48 - 51.
- (3) 旭 保彰, ほか. 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.



水谷 文彦 MIZUTANI Fumihiko

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



和田 将一 WADA Masakazu, D.Eng.

社会システム社 電波システム事業部 電波システム技術部参事, 工博. 気象防災システムのエンジニアリング業務に従事。
Defense & Electronic Systems Div.



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.