

気象庁向け気象ドップラーレーダー

Meteorological Doppler Radar for Japan Meteorological Agency

長田 正嗣 河原 登 羽田 利博
Masashi Nagata Noboru Kawahara Toshihiro Haneda

要 旨

気象ドップラーレーダーは気象庁が従来の観測に加え各地で発生する集中豪雨や局地的大雨などを監視するため全国に配備しているレーダーである。降水域の風向・風速を正確に捉えるため、従来よりも高品質・高精度の性能を有している。空中線は直径4mのパラボリアンテナを装備しており、観測条件により回転速度を選択することができる。送受信装置はCバンド・クライストロン・タイプで最新の高圧モジュレータを備えており、周波数安定度の高い電波を出力することができる。全国16台の気象ドップラーレーダーのうち、当社が13台納入し国の防災事業に貢献している。(2010年3月現在)

Abstract

Meteorological Doppler Radar is the radar which has been installed throughout Japan by the Japan Meteorological Agency to detect intense and localized heavy rainfall in all regions. In order to detect the wind direction and speed in an area of rainfall, this radar has functions with higher quality and precision than previous equipment. The antenna installed is parabolic, 4m in diameter, and its revolution speed can be chosen according to observation mode. The transmitter is the C-band klystron type with latest high voltage modulator, and can output radio waves with highly stable frequencies. Out of the 16 Meteorological Doppler Radars in Japan, JRC has supplied 13, and these are contributing to Japan's disaster prevention operations. (as of March 2010)

1. まえがき

気象レーダーはパラボリアンテナを回転させながら電波(マイクロ波)を放射し、半径数百kmの広範囲内に存在する雨や雪を観測するものである。放射した電波が雨や雪に反射して戻ってくるまでの時間から雨や雪までの距離を、受信した電波(レーダーエコー)の強さから雨や雪の強さを観測する。

気象ドップラーレーダーは、雨や雪の強さに加え、受信した電波の位相のズレから、雨や雪の動き(風向・風速)を観測することができる。これらの情報を数値予報モデルの初期値として使用することで、予報精度の向上が見込まれる。また、近年では竜巻や都市型豪雨による災害が多く発生しており、これらの気象現象を予測することも求められている。

気象庁では予報精度の向上を実現させるために、観測精度の高い気象ドップラーレーダーの導入を2005年より開始した。日本は山地が多いため、レーダーの設置場所によっては各レーダーが受け持つ観測範囲が周囲の地形の影響を受ける。気象庁ではこのことを考慮して、国土のほぼ全域をカバーするようにレーダーを20ヶ所に配置している。2010年3月末時点で、16ヶ所がドップラー化されている中で、当社は13台納入しており、この事業に貢献している。

本稿では、気象庁向け気象ドップラーレーダーのシステム概要と特長を紹介する。

2. システム概要

気象ドップラーレーダーは、レドーム装置、空中線装置、空中線制御装置、送受信装置(送信部・受信部)、接続導波管、遠隔制御・監視信号集約箱、分電盤、無停電電源装置から構成される。

本レーダーシステムは、気象レーダー観測処理システム(以下ROPSと称す)と接続し観測を行っている。従来の降雨強度観測に、降水粒子の視線方向の移動成分を検出するドップラー観測が加えられている。降雨強度観測の観測範囲は半径400km(パルス幅 $2.5\mu s$)、ドップラー観測の観測範囲は半径150km(パルス幅 $1.0\mu s$)である。二つの観測モードの切り替えは、ROPSより行われている。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ROPSより供給されている。本レーダーシステムからは、30MHzに変換した受信IF信号と、送信の基となる30MHzの基準IF信号を出力しており、ROPSにてドップラー信号処理を行っている。

各装置の監視信号、制御信号など、レーダーとROPS間の全ての信号は遠隔制御・監視信号集約箱を経由して接続されている。

各装置の電源は単相交流200V/100Vを使用しており、10kVAの無停電電源装置にて全装置バックアップされている。図1にシステム系統図を示す。

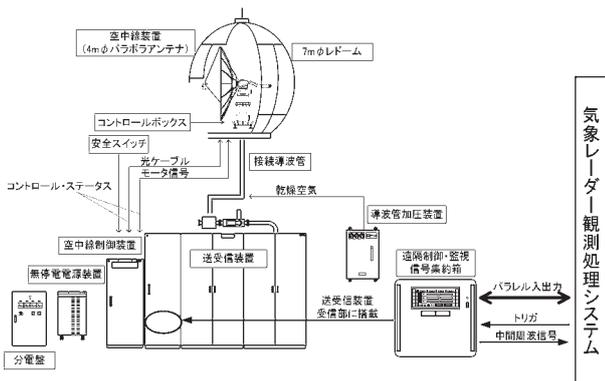


図1 システム系統図
Fig.1 System Diagram

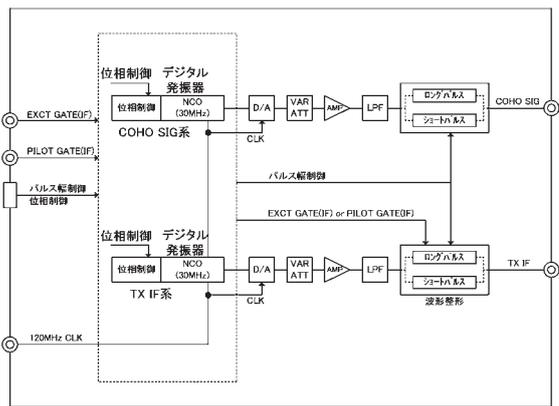


図2 COHO-IFユニット系統図
Fig.2 COHO-IF Unit Diagram

3. 主要諸元

- 送信管：クライストロン
- 送信周波数：5250MHz～5370MHzのうち指定される一波
- パルス幅：2.5 μ s +20% -0%
- 1.0 μ s +20% -0%
- パルス繰り返し周波数：1500Hz以下で可変
(クライストロンのデューティを超えない範囲)
- 送信出力：250kW \pm 0.3dB (送信管出口における尖頭電力)
- 雑音指数：3dB以下
- 雑音指数安定度： \pm 0.5dB以下
- 最小受信信号 (Smin)：-97dBm以下
- 高周波発振器安定度： 10^{-9} 以下
- 中間周波数：30 \pm 0.1MHz
- 中間周波発振器安定度： 10^{-7} 以下
- IF通過帯域幅：14MHz以上
- 強度信号ダイナミックレンジ：80dB以上
- 強度信号直線性：50dB以上にわたって \pm 1dB以下
- 種信号：波形整形による狭帯域化に対応可能
パルス幅毎に異なる整形が可能
- 反射鏡：直径4mパラボリアンテナ
- ビーム幅：-3dB電力点 1.2°以下 (E面, H面共)
- 利得：42dBi以上
- サイドローブレベル：-26dB以下
- 水平回転速度：1,4,6rpm
- 垂直走査範囲：-2°～45°
- 消費電力：10kVA以下

4. 特長

本レーダーシステムの特長を以下に示す。

(1) 基準信号波形整形回路 (COHO-IFユニット)

受信部内のCOHO-IFユニットにて波形整形を行った基準信号を生成している。図2に系統図を示す。

COHO-IFユニットでは、ROPSから供給される位相制御信号と120MHzのクロック信号を用いて周波数30MHzのデジタルIF信号をDDSによって発生させる。DDSから発生したデジタルIF信号は14ビットのD/A変換ICによってアナログ信号に変換され、レベル調整及び増幅後にLPFによりD/A変換時に発生する不要な高周波成分を抑圧する。

送信種信号を生成する回路では、ROPSから入力されるトリガ (EXCT GATE IF, PILOT GATE IF) によりパルス変調を行い、送信パルス幅 (ロングパルス2.5 μ s またはショートパルス1.0 μ s) 毎に独立した波形整形用のフィルターでバースト信号の波形整形を行う。ここで生成された信号が30MHzの送信種信号 (TX IF) となる。この信号は高性能STALOの信号とミキシングしRFの送信周波数に変換し送信部に出力する。

また、パルス変調を行わない信号を、30MHzの基準信号 (COHO SIG) としてROPSに出力する。

(2) クライストロン送信機

ドップラー信号処理を行う上で重要なのは、安定した位相情報である。そのために、基準信号から作られた種信号を増幅し送信するクライストロンを送信管として使用している。

クライストロンを動作させるためには、大電力の高圧パルスを印加する必要がある。この高圧パルスは高圧電源部と変調部で生成されている。ここでは、メンテナンス性を向上させるために小型化したユニットを複数使用している。各ユニットの出力を合成することで大電力を実現させている。図3に送受信装置、図4に送信機の外観を示す。



図3 送受信装置外観

Fig.3 External View of Transmitter/Receiver



図4 送信機(変調架)外観

Fig.4 External View of Transmitter (Modulator Rack)

クライストロン交換に使用するチェーンブロックを取り付ける金具を電力増幅架内に装備しており、レーダーサイト毎に異なる局舎構造に左右されず、クライストロンの交換ができるようになっている。また、機器搬入口の狭いレーダーサイトにも搬入できるように、送信部の筐体は分割可能な構造とした。

(3) 固体化TRリミッター (図5参照)

固体化TRリミッターは従来型のTRリミッターと比較して以下の特長がある。

- ・放射性物質を使用しないため、人体や環境に及ぼす影響がない。
- ・寿命が長く、レーダーの耐用年数まで交換する必要がない。

外部から磁界を変化させることにより伝送方向を変化させるラッチングサーキュレータを三段直列に接続し、送信タイミングに合わせて伝送方向を変化させ、受信機入力の遮断/受信の切替を行う。送信時には通過方向をダミーロード側とし、受信機側に漏れてくる送信時波(大電力)が受信機に到達しないように制御を行う。受信時にはその逆を行う。

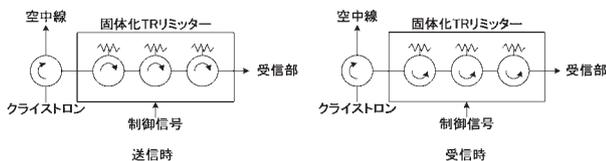


図5 固体化TRリミッター動作概念図

Fig.5 Concept of Solid-state TR Limiter Operation

(4) スプリアスフィルター

他の無線局への混信を防止する目的で、スプリアスフィルターを取り付けている。日本国内では狭いエリア内で5GHz帯の電波が多く使用されていることから、フィルター

には非常に高い性能が要求された。

通過帯域幅：送信周波数±3MHz以下 (3dB低下点)

通過帯域外減衰：

送信周波数±5MHzでの減衰量10dB以下

送信周波数±10MHzでの減衰量20dB以下

送信周波数±60MHzでの減衰量60dB以下

これらの性能を満足させるために、スプリアスフィルター内部を約0.24MPaの乾燥空気に加圧させている。加圧の圧力が異常な場合、フィルター内にて反射が発生する可能性がある。そこで圧力異常になったとき、強制的に送信を止めるインターロック機能を送信部は備えている。

(5) 空中線装置

パラボラアンテナ面の方位角及び仰角を検出するための角度検出器には、12bitパラレル信号出力のロータリーエンコーダを使用している。この角度信号を伝送する途中でのノイズ等による影響を軽減させるために、パラレル信号をシリアル信号に変換している。パラレル/シリアルの変換は、S/P INTF基板にて行っている。仰角側角度信号は、EL制御部内S/P INTF基板にてシリアル信号に変換し、冗長化した2本のスリッピングを経由してAZ制御部内S/P INTF基板に送る。これにより、スリッピング数を削減しつつ接触不良によるデータ不良を低減している。方位角側角度信号は、AZ制御部内S/P INTF基板にてシリアル信号に変換し、EL制御部から送られてくる仰角角度信号と合成し、光シリアル信号に変換して空中線制御装置に出力している。これらの構成により、故障率の低減、保守性の向上を実現している。

空中線装置は最大毎分6回転(6rpm)で水平回転することができる。通常運用では4rpmにて使用されているが、ROPSからの回転速度制御により1rpmまたは6rpmでの水平回転も可能である。図6に外観図、図7に系統図を示す。



図6 空中線外観図

Fig.6 External View of Antenna

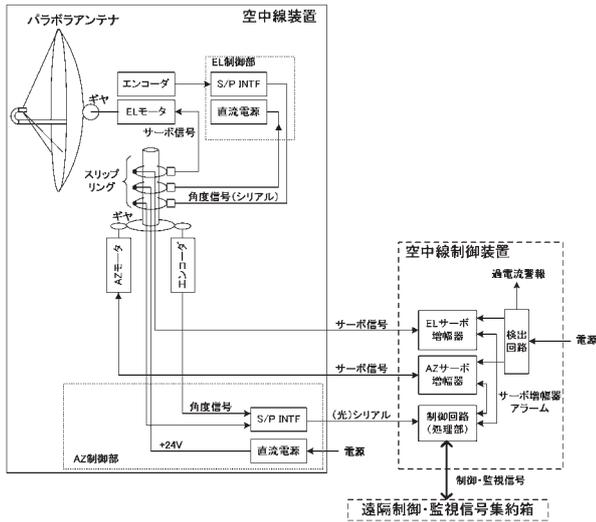


図7 空中線系統図
Fig.7 Antenna System Diagram

5. 納入実績

本レーダーシステムの納入実績を以下に示す。図8に気象ドップラーレーダーの配備状況を、また図9に気象ドップラーレーダーの観測画面の表示例を示す。

(1) 2006年度

- 新潟レーダー : 2006年12月運用開始
- 仙台レーダー : 2007年02月運用開始
- 名古屋レーダー : 2007年02月運用開始

(2) 2007年度

- 函館レーダー : 2007年11月運用開始
- 福岡レーダー : 2007年11月運用開始
- 釧路レーダー : 2007年12月運用開始
- 松江レーダー : 2008年01月運用開始
- 種子島レーダー : 2008年02月運用開始

(3) 2009年度

- 札幌レーダー : 2009年08月運用開始
- 石垣島レーダー : 2009年12月運用開始
- 広島レーダー : 2009年12月運用開始
- 大阪レーダー : 2010年03月運用開始
- 福井レーダー : 2010年03月運用開始

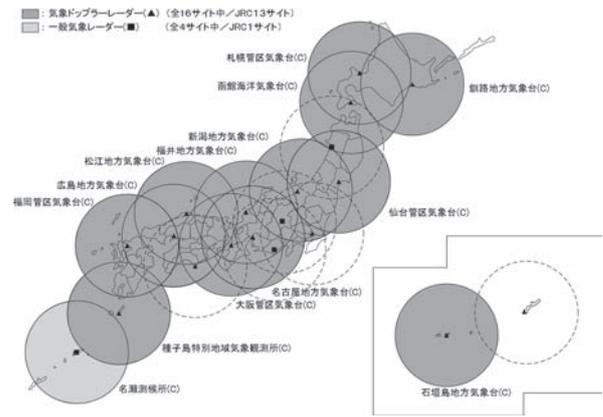


図8 気象ドップラーレーダーの配備状況
Fig.8 State of Meteorological Doppler Radar Installations

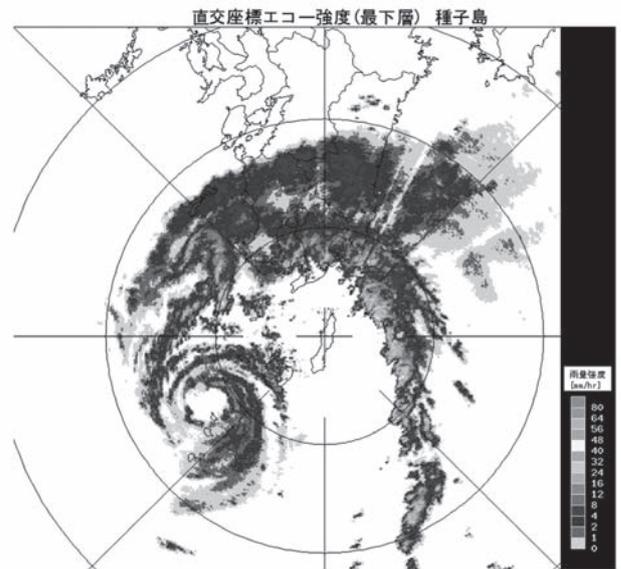


図9 気象ドップラーレーダーの観測画面の表示例
Fig.9 Display Example of Meteorological Doppler Radar Observation

6. あとがき

気象予報の精度向上が求められている中、「気象ドップラーレーダー」は高品質で高精度な気象データの出力を実現している。今後の気象予報の精度向上および生命や財産の安全安心に貢献できることを期待したい。

最後に本レーダーシステムの納入先であり、多大なご支援とご指導を頂いた気象庁殿を始め、関係各位に感謝申し上げます。

用語一覧

- ROPS: Radar Observation and Processing System
- TR: Transmitter Receiver
- S/P: Serial/Parallel
- AZ: Azimuth
- EL: Elevation
- DDS: Direct Digital Synthesizer
- LPF: Low Pass Filter
- COHO: COHerent Oscillator
- STALO: STABLE Local Oscillator