

# 導波管ロータリージョイントの開発

## Development of Waveguide Rotary Joint

石崎 庄治      張 替 幸 治      夏 原 啓 一  
Shoji Ishizaki      Yukiharu Harikae      Keiichi Natsuhara

羽 田 利 博      竹 内 秀 之      塩 田 俊 雄  
Toshihiro Haneda      Hideyuki Takeuchi      Shioda Toshio

### 要 旨

気象レーダーで観測されたデータは、天気予報をはじめ気象警報、防災活動のために広く有効利用されている。導波管ロータリージョイントは気象レーダーの中で、回転するアンテナ部と固定のペDESTAL間の回転をともなう電磁波の伝送に用いられる。気象レーダー装置に用いられる導波管ロータリージョイントは、安定した特性と長い寿命が要求される。

今回、気象レーダー用途に特化した機構部品の選定、伝送特性の最適化を行い、信頼性の高い導波管ロータリージョイントを開発したので紹介する。

### Abstract

Weather radar acquires conditions of weather, such as amount of rainfall and snowfall in the air. The observed data from weather radar are widely applicable for weather forecasts, weather alert and various other fields. Waveguide rotary joints allow the directional antenna to rotate while passing microwave signals to and from the transceiver. The rotary joints installed on the weather radar are required steady characteristics and long life operation. Since JRC has developed the waveguide rotary joints with high reliability that incorporated both mechanical components selection and optimized transmission characteristics specialized for weather radar, we introduce about this device in this paper.

## 1. まえがき

レーダーアンテナから放射される電磁波は、導波管を用いて給電され、あらゆる方向に可動するアンテナ部と、アンテナを支持するペDESTAL部間の電磁波の接続は円滑に行われる必要がある。導波管ロータリージョイントは自在に回転しながら、電磁波を伝送することが可能な部品で、アンテナ部とペDESTAL部間の導波管接続部に用いられる。

本稿では、導波管ロータリージョイントの動作原理を紹介し、気象レーダー用に信頼性を高めたロータリージョイントの特長について報告する。

## 2. 導波管ロータリージョイント開発品

Xバンド、Cバンド、Sバンド 3周波の気象レーダー用導波管ロータリージョイントを開発した。

### 2.1 Xバンド導波管ロータリージョイント

Xバンド気象レーダーはマルチパラメータレーダー（MPレーダー）と呼ばれる方式を採用している。MPレーダーは水平偏波、垂直偏波の2種類の電磁波を使い、精度の高い気象現象の観測が可能である。

回転をともない2種類の偏波をそれぞれ伝送できる2チャンネル導波管ロータリージョイントをアジマス（AZ）軸に、1チャンネルの導波管ロータリージョイントをエレベーション（EL）軸に採用している。

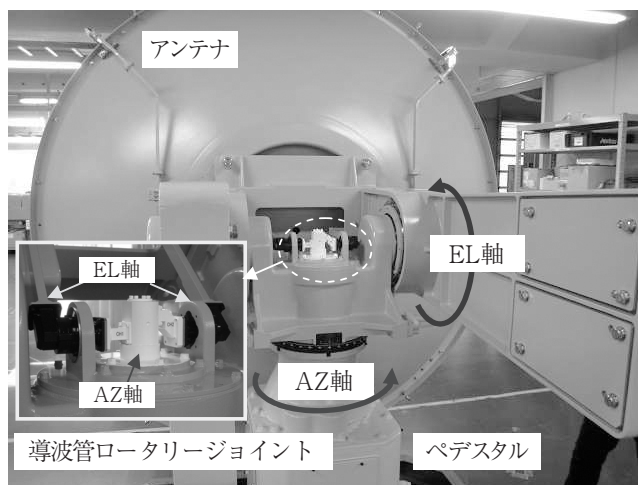
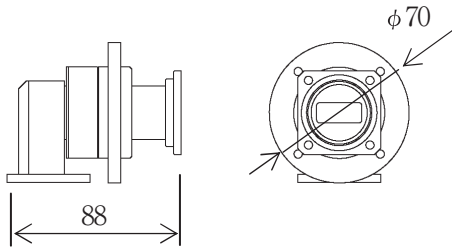


図1 Xバンド気象レーダーと導波管ロータリージョイント  
Fig.1 X band Weather Radar with Waveguide Rotary Joint

図1はXバンド気象レーダーアンテナ部とペDESTAL部である。2チャンネル導波管ロータリージョイントと1チャンネル導波管ロータリージョイントがペDESTALのAZ軸、EL軸の中心に位置している。

図2はEL軸用1チャンネル導波管ロータリージョイントの外観と仕様、図3はAZ軸用2チャンネル導波管ロータリージョイントの外観と主な仕様である。



用途	Xバンド EL軸用
周波数	9.3~9.8 GHz
導波管	WRJ-10
VSWR	1.10 以下
挿入損失	0.1 dB以下
耐電力	50 kW

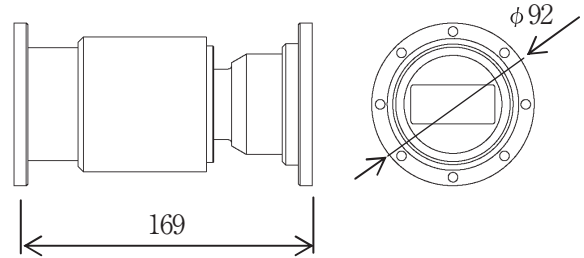
図2 XバンドEL軸用導波管ロータリージョイント外形と仕様

Fig.2 X band EL Rotary Joint Outline and Specification

## 2.2 Cバンド, Sバンド導波管ロータリージョイント

Cバンド, Sバンド気象レーダーは雨量レーダー, ドップラーレーダーと呼ばれる方式を採用している。Cバンド, Sバンドの導波管ロータリージョイントは, 入出力導波管が直線上に位置する構造となる。

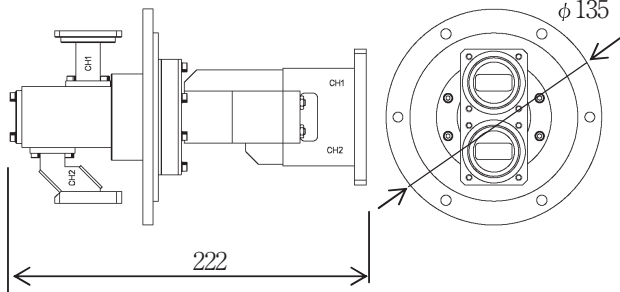
図4は, Cバンド導波管ロータリージョイントの外観と仕様, 図5はSバンド導波管ロータリージョイントの外観と仕様である。



用途	Cバンド
周波数	5.25~5.5 Hz
導波管	WRJ-5
VSWR	1.10 以下
挿入損失	0.1 dB以下
耐電力	300 kW

図4 Cバンド導波管ロータリージョイント外形と仕様

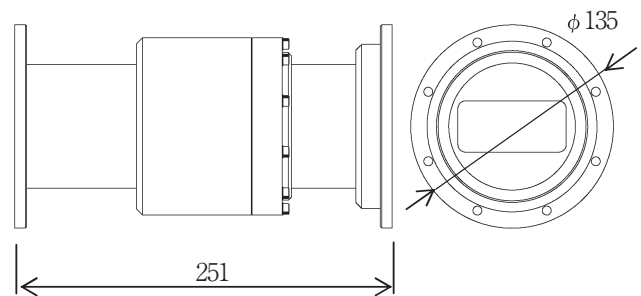
Fig.4 C band Rotary Joint Outline and Specification



用途	Xバンド AZ軸用 (2チャンネル)	
周波数	9.3~9.8 GHz	
導波管	WRJ-10	
チャンネル	CH1	CH2
VSWR	1.20 以下	1.20 以下
挿入損失	0.2 dB以下	0.3 dB以下
耐電力	50 kW	50 kW

図3 XバンドAZ軸用導波管ロータリージョイント外形と仕様

Fig.3 X band AZ Rotary Joint Outline and Specification



用途	Sバンド
周波数	2.7~2.9 GHz
導波管	WRJ-3
VSWR	1.10 以下
挿入損失	0.1 dB以下
耐電力	350 kW

図5 Sバンド導波管ロータリージョイント外形と仕様

Fig.5 S band Rotary Joint Outline and Specification

### 3. 導波管ロータリージョイント動作原理

#### 3.1 回転可能な電磁波伝送

回転をとめない電磁波を伝送させるには軸対称の伝送モードを利用する必要がある。軸対称の伝送モードは、同軸TEMモード、円形導波管の $TM_{01}$ モードがある。当社気象レーダーでは広帯域化が望め、多チャンネル構造が可能な同軸TEMモードで回転部の伝送を行っている。

TEMモードは、導波管と異なりカットオフ周波数が存在しない伝送線路である。しかし、同軸線路の寸法によっては高次モードが発生し、特性インピーダンスがTEMモードのそれとは違ってくるため、円滑な電磁波の伝送が困難となる。したがって、基本モードのみが伝搬する同軸寸法とする。図6は伝送モードの模式図である。

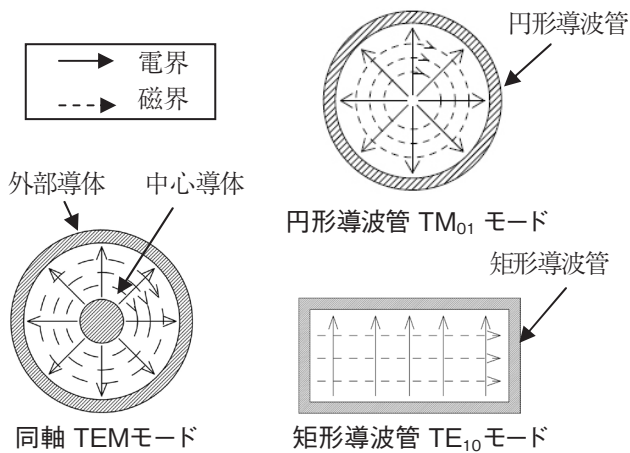


図6 同軸伝送線路と導波管電送線路の構造と伝送モード  
Fig.6 Coaxial Transmission Mode and Construction, Waveguide Transmission Mode and Construction

#### 3.2 矩形導波管と同軸線路の結合

送受信装置とアンテナのインタフェースである矩形導波管 $TE_{10}$ モードと回転伝送線路の同軸TEMモードを円滑かつ低損失で変換することが、導波管ロータリージョイント設計の要である。また、耐電力性能の確保と伝送損失の劣化防止のため、導波管内に大気圧より高圧の乾燥空気を供給する。

図7は伝送モードが変換される状態を表現した電磁界シミュレーション結果例である。

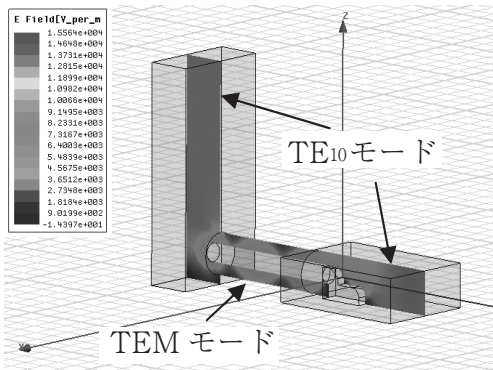


図7 伝送モードが変換されて電磁波が伝搬の様子  
Fig.7 Translation of the Transmission Mode

### 4. 当社の導波管ロータリージョイント特長

気象レーダーには、10年もしくは15年という長期的かつ連続安定動作が要求されている。軸受けの損傷による伝送特性悪化、空気シール部品の劣化による空気漏れ量の増加の課題がある。これらの解決するために取り入れられた本導波管ロータリージョイントの特長を以下に示す。

ここでは特にCバンド導波管ロータリージョイントを例に説明を加える。

#### 4.1 高負荷荷重耐性

導波管ロータリージョイントの軸受けには、ラジアル荷重とスラスト荷重が同時に加わるので、その両方を受け持つことができるアンギュラ玉軸受けを採用している。図8に示すように、アンギュラ玉軸受けは軸受けの作用点距離が大きく、モーメント荷重の負荷能力が大きい。一般的なラジアル軸受けに比較し約8倍の耐久性向上が確認された。

回転試験装置を製作し、耐久性の評価を行った。この試験装置は、導波管ロータリージョイントに加熱、ラジアル荷重、スラスト荷重を同時に負荷しながら、導波管ロータリージョイントを回転させることができる。気象レーダー運用時に想定される負荷より大きい負荷を導波管ロータリージョイントに加えることにより、短期間で耐久性の確認をすることができた。

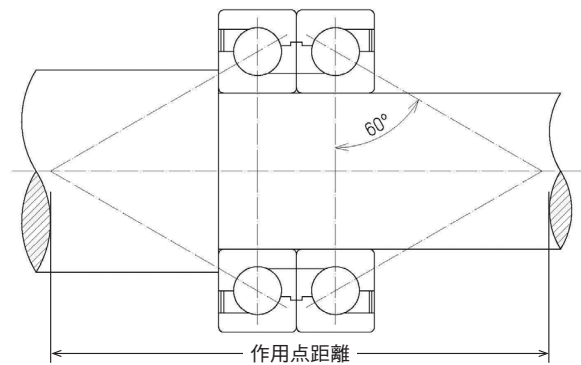


図8 アンギュラ玉軸受けの作用点距離  
Fig.8 Point of Action Distance Angular Contact Ball Bearings

#### 4.2 二重化空気シール構造

気象レーダーの送受信装置とアンテナを結ぶ導波管に水分が侵入すると伝送特性が劣化する。水分、水蒸気が導波管内に侵入することを防止し、耐電力性能の確保のために導波管管内には一定圧力の乾燥空気が供給されている。

特に、導波管ロータリージョイントは回転しながらも、規定の空気漏れ量以下で導波管内圧を維持する必要がある。

当社の導波管ロータリージョイントでは、空気シール部品を二重に設置している。また、これらの空気シール部品は軸受けの両側に位置する。空気シール部品は軸受けに充填されているグリースの保持にも有効に作用し、軸受けの耐久性向上に役立っている。

図9は、二重に空気シール部品を取り付けた導波管ロータリージョイントの軸部品である。軸受けを挟み込むように、空気シール部品が位置していることを示している。

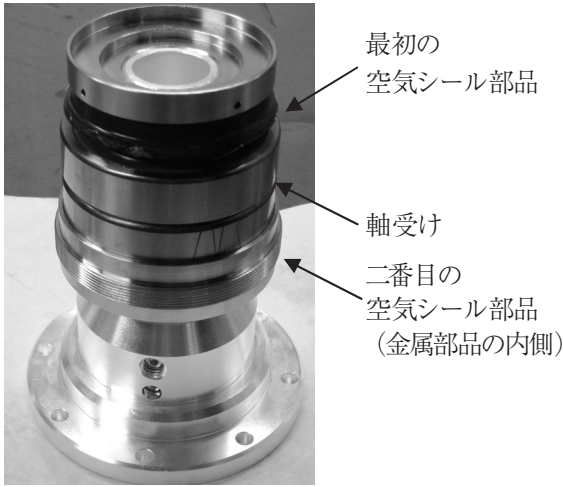


図9 空気シール部品の構成

Fig.9 Composition with Air Sealed Structure

#### 4.3 安定した電気特性

今回製品化した導波管ロータリージョイントは、用途が気象レーダーに限定され、使用周波数帯域が限られている。使われる周波数帯域が最良伝送特性となるように、伝送特性の合わせ込み設計を行っている。そのため、一般的な汎用用途に市販されている導波管ロータリージョイントに比較し、使用周波数帯域の伝送特性、特に反射特性が優れている。

同時に、高い精度で作られた部品を組み立てることにより、導波管ロータリージョイント変換部部品群の相対的な位置精度を高くすることができた。その結果、電気特性のばらつきが極めて小さく、安定した性能の導波管ロータリージョイントを生産することに成功している。従来行っていた機械的な調整および電氣的調整を不要とした。

図10は、Cバンド導波管ロータリージョイントのS11反射特性例である。使用周波数範囲において、気象レーダー導波管ロータリージョイントは従来使用していた汎用導波管ロータリージョイントに比べ反射損失が10dB程度改善されている。

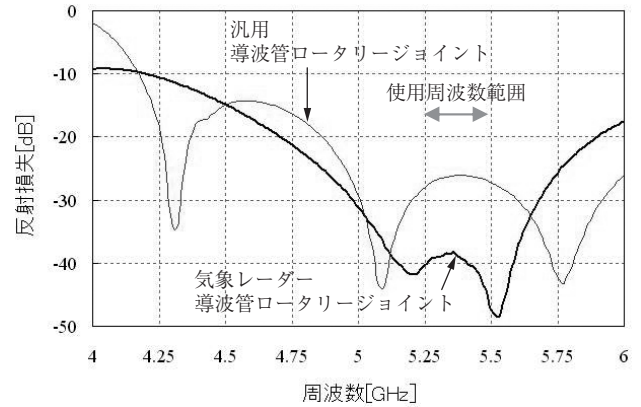


図10 Cバンド導波管ロータリージョイントのS11反射特性  
Fig.10 S11 Parameter of C band Waveguide Rotary Joint

#### 5. あとがき

本稿では、安定した電気特性と長寿命を求められる導波管ロータリージョイントの概要および特長について紹介した。今回、気象レーダー用途に適した高信頼性の導波管ロータリージョイントを製品化し、市場へ供給することができたことで、今後の安定的な気象データの収集に貢献できることを期待する。

最後に多大な支援と指導を頂いた 関係各位に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- (1) 末永宏,田村英樹,中川幸彦,能木場裕也,石内豊: “固体化気象レーダー” 日本無線技報 No.62, 2012
- (2) 長田正嗣,河原登,羽田利博: “気象庁向け気象ドップラーレーダー” 日本無線技報 No.58, 2010

#### 用語一覧

AZ: Azimuth (方位角)  
EL: Elevation (仰角)  
TE: Transverse Electric Mode  
TEM: Transverse Electromagnetic Mode  
TM: Transverse Magnetic Mode  
VSWR: Voltage Standing Wave Ratio (電圧定在波比)