

滝沢美里、栗橋潤、齋藤悠、田中智明、米倉覚則、百瀬宗武、横沢正芳 (茨城大学) 木澤淳基、辻英俊、
阪口翼、片瀬徹也、木村公洋、阿部安宏、大西利和 小川英夫 (大阪府立大学)、小林秀行 (国立天文台)

1 概要

我々は茨城県日立市、高萩市に位置する 2 台の 32m アンテナを新 VLBI 局として整備を進めている。これらに搭載する広帯域 (6.5-8.8GHz) 受信機システムを開発し、2010 年 8 月に日立アンテナ、12 月に高萩アンテナに搭載し、6.7GHz 帯メタノールメーザー源、8GHz 帯連続波源のファーストライト受信に成功した。望遠鏡搭載時のシステム雑音温度は約 20K と良好な値を得た。

ただ、本受信機システムは常温フィードホーンと冷却 Dewar の RF 窓部分に水滴が付着し、雑音温度が高くなる問題が発生している。そこでホーン根元部分に電磁界解析を基に設計した空気循環用の直径 3mm の穴を 2 つ開けたフランジを設置し、2011 年 5 月にこのフランジを導入した受信機システムを日立アンテナに搭載した。

このフランジの穴を利用し、空気循環をさせた状態で冷却したところ、システム雑音温度は約 22K(LHCP)、21K(RHCP) であった。梅雨入り後の高湿度天候下でシステム雑音温度のモニターを続けた結果、約 3 週間後のシステム雑音温度は約 31K(LHCP)、24K(RHCP) であった。従来、冷却後 2 日間でシステム雑音温度が約 20K から約 70K まで上昇していたことと比較すると、このフランジによる改善が認められた。また、故意に水滴により雑音温度を悪化させて、穴の開いたフランジにより雑音温度が改善していく様子モニターングした。その結果、約 2 時間半で 30K 以下にまで改善し、既に付着した水滴についてもこの導波管が有効であることが認められた。

2 茨城 32m 鏡受信機の構成

茨城局のブロックダイアグラムは以下の通りである。

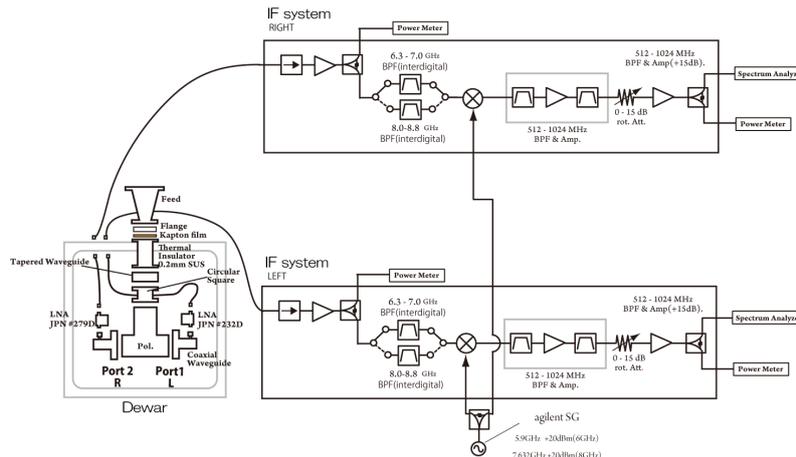


Fig.1 茨城 32m 鏡受信機ブロックダイアグラム

Dewar 内では、信号は断熱導波管を通り、ポーラライザーで偏波分離された後、HEMT アンブで増幅される。その後、巻き取り室内の IF 系に導かれる。

IF系では6.3-7.0GHz帯と8.0-8.8GHz帯のバンドパスフィルタを並列に接続し、切換器により通す信号の周波数を選択できるようにした。ここで周波数を500-1000MHzにダウンコンバートし、バックエンドへと導く。

3 受信機の性能

Fig.1のような回路でY-factor法を用いて受信機フロントエンド部の受信機雑音温度を測定した。Dewarは11Kに冷却した。LO信号の周波数は実際に高萩アンテナで使用される周波数に固定した。結果は6GHz帯で約22K(Y-factor~5.1dB)、8GHz帯で約15K(Y-factor~5.3dB)であった。

また、この受信機を高萩アンテナに搭載し、R-Sky法を用いてシステム雑音温度を測定した。Dewarは11Kに冷却し、LO信号の周波数は実際に高萩で使用される周波数に固定した。結果は、6GHz帯で約24K、8GHz帯で約20Kであった。すでに同様の受信機を搭載している日立アンテナと同程度の性能を得ることができた。

さらに、2010年12月の搭載後、6GHz帯、8GHz帯それぞれファーストライト受信に成功した。

4 水滴問題

2010年2月に搭載された6.7GHz帯受信機、2010年8月に搭載された6.7-8GHz帯の受信機にて、冷却Dewarとホーンを物理的に接合しているため、DewarのRF窓部分に水滴が生じ、雑音温度が高くなる問題が発生していた。

これを軽減するために新たにホーン根元部分に電磁界解析を基に設計した空気循環用の3mmの穴を2つ開けたフランジを設置し、2011年5月にこのフランジを導入した受信機システムを日立アンテナに搭載した。

フィードホーンに送られている乾燥空気をこのフランジまで送り、フランジの穴から空気が逃げる仕組みである(Fig.2、Fig.3)。



Fig.2 左：従来のフランジ、右：新たに開発されたフランジ

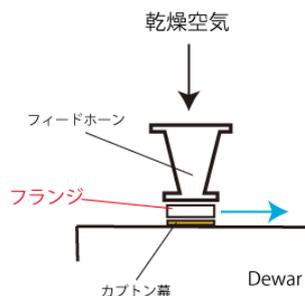


Fig.3 フランジ導入効果のイメージ

2011年5月23日に日立アンテナにこのフランジを導入した受信機を搭載した。搭載後に乾燥空気の供給を開始し、フランジの2つの穴のうち1つを開け、空気循環させた状態で冷却した。冷却完了後のシステム雑音温度は約22K(LHCP)、21K(RHCP)であった。その後開けておいた1つの穴に直径2.2mmのノイズソース注入用のプローブを挿入したが、プローブと穴の隙間を通じて空気循環は保たれている。この状態で梅雨入り後の高湿度天候下でシステム雑音温度のモニターを続けた。

2011年5月23日~6月16日の8GHz帯におけるシステム雑音温度はFig.4のようになった。

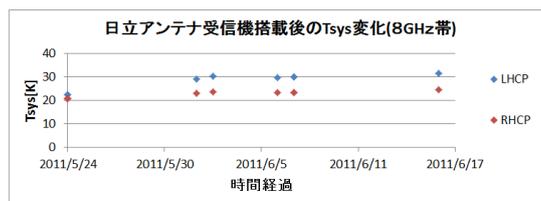


Fig.4 日立アンテナのシステム雑音温度の変化(8GHz帯)

受信機搭載から1ヶ月後のシステム雑音温度は高湿度天候下で約31K(LHCP)、24K(RHCP)であった。従来、冷却後2日間でシステム雑音温度が約20Kから約70Kまで上昇していたことと比較すると、この導波管の導入による改善が認められた。

更にこの導波管の効果を調べるため、日立アンテナにおいて、故意に雑音温度を悪化させ、穴の効果により雑音温度が改善していく様子を測定する実験を行った。乾燥空気の供給を停止し、導波管の穴を塞ぎ、湿った空気を溜めた状態で一日置いたところ、雑音温度は約200Kまで悪化した(水滴が溜まった)。再び乾燥空気の供給を開始し、2つの穴のうち1つを開けて雑音温度が改善していく様子を10分に1回R-SKY法で測定した。結果はFig.5、Fig.6の通りである。

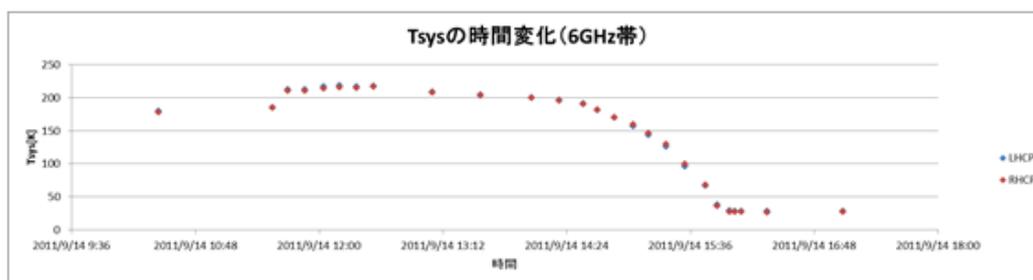


Fig.5 乾燥空気送風による雑音温度の変化(6GHz帯)

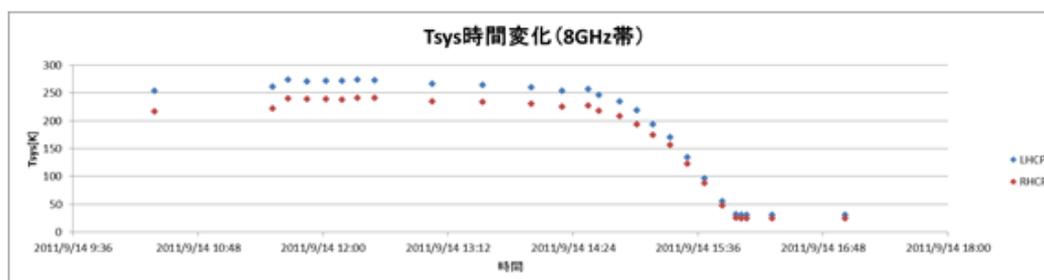


Fig.6 乾燥空気送風による雑音温度の変化(8GHz帯)

約2時間で雑音温度が30K以下まで下がり、性能が改善した。このフランジによりすでに付いてしまった水滴を乾燥させることができるということが判明した。

これら2つの実験により、穴の開いたフランジの有用性が認められた。

フランジに開けた穴の大きさは3mmであるが、この大きさではホーン内の乾燥空気が漏れすぎてしまい、デハイド(乾燥空気充填装置)が常に稼働している状態であるため、デハイドにかなりの負担がかかる。そのため、現在は穴の上からアルミテープを貼り、その上から約1mmの穴を開けることで空気の抜ける量を少なくしている。穴を小さくしたことによるTsysへの影響はほとんどない。この場合、デハイドは約10分に1度の頻度で稼働する。デハイドにかかる負担をさらに小さくするため、穴をさらに小さくする実験を行った。その結果、穴の大きさ約0.5mmでデハイドが約22分に1度、0.3mm程度で約30分に1度の稼働頻度であった。0.5mm程度の大きさの穴であれば、デハイドの稼働回数を現在の1/2、0.3mm程度の大きさであれば1/3に減らせることが分かった。理想的には30分以上に1回の稼働頻度が好ましい。

しかし、0.5mm、0.3mmでRF窓の水滴を防ぐことができるかどうかについては、未確認である。今の時期は湿気が少なく水滴は付着しないため、来年度、梅雨の時期にTsys測定を行い、検証する必要がある。