

茨城 32m 鏡搭載用 6.7GHz～8GHz 帯冷却受信機の開発

大阪府立大学 修士 1 回生 木澤 淳基

1. はじめに

茨城県高萩市、日立市に位置している 2 台の 32m の電波望遠鏡は元々衛星通信用のアンテナであったが、通信技術の進歩に伴いその役目を終え、昨年 KDDI から国立天文台に譲渡された(図 1)。現在は新たに天文観測に活用するための整備が進められているところである。大阪府立大学では 2 台の電波望遠鏡(それぞれ日立局、高萩局と呼んでいる)に搭載する冷却受信機システムの開発を行っている。

観測する周波数帯としては、6.7GHz 帯のメタノールメーザー、8GHz 帯の連続波、22GHz 帯の水メーザーを計画しており、それぞれの周波数帯における冷却受信機の開発を進めている。この内、6.7GHz 帯観測用受信機は 2010 年 2 月に日立局に搭載されたが、受信機交換による負担の軽減のために今回新たに 6.7GHz 帯と 8 GHz 帯とを同時に受信することができる受信機の開発を行った。



図 1 茨城 32m 望遠鏡

2. 望遠鏡の構成

図 2 に望遠鏡の構成を示す。望遠鏡の光学系はカセグレンクーデ方式を採用しており、主鏡で集光された電波は副鏡と 4 枚の鏡を経て不動点にある受信機部分のフィードにて給電される。望遠鏡稼動時には Az 方向の回転とともに受信機室が回転する。フィードと冷却デューワーは回転しない部分に固定されている。IF 系と電源系も非回転部分に設置されている。真空ポンプは受信機立ち上げ時のみ使用する。冷凍機コンプレッサーは制御室に設置されており、IF 信号は制御室のバックエンド系へと導かれる。

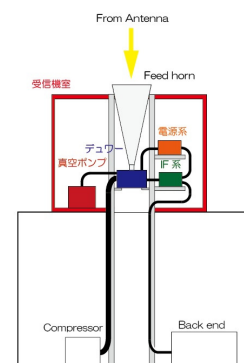


図 2 望遠鏡内の構成

2. 1 冷却デューワー

冷却デューワー内部の様子を図3に、受信機系のブロック図を図4に示す。受信機自身から発生する雑音を軽減するために観測時には冷却デューワー内は真空引きされ円偏波分離機およびLNAはおよそ10K程度に冷却される。冷却にはGM冷凍機(冷却能力は20Kにて



図3 デューワー内部の様子

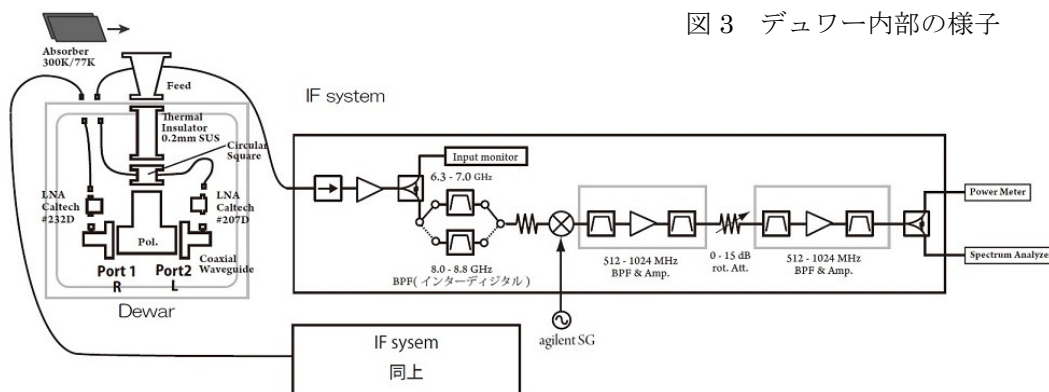


図4 受信機系のブロック図

○断熱導波管

常温部分と接続する導波管には断熱導波管を用いている(図5)。常温の熱を遮断し、効率よく冷却を行うために導波管部分の厚みを0.1mmにまで薄くしている。



図5 断熱導波管

○円偏波分離機

円偏波分離機は方形導波管部から入力された円偏波信号を中央の階段状のセパタム型構造にて偏波分離している(図6)。この円偏波分離機は今回新たに開発されたものであり、入力方形導波管のサイズを調整することで共振の立つ周波数を7.5GHz付近に持ってきている。そうすることで、6.7GHz帯(C帯)と8~8.8GHz帯(X帯)との同時受信を可能とし広帯域化を実現している。

電気特性の評価の結果、6.6~7.3GHzおよび8.0~8.8GHz帯において挿入損失0.2dB、反射損失20dB、アイソレーション20dB、位相差 $90^\circ \pm 5^\circ$ が得られている(図7)。

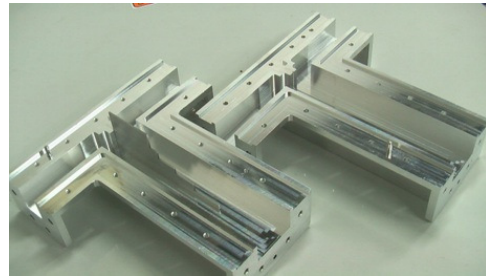
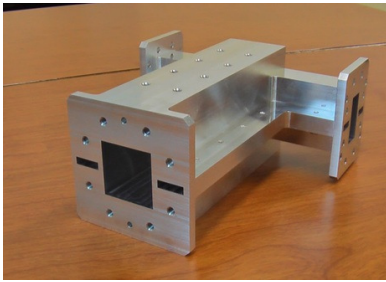


図 6 円偏波分離機の外観(左)とその内部の構造(右)

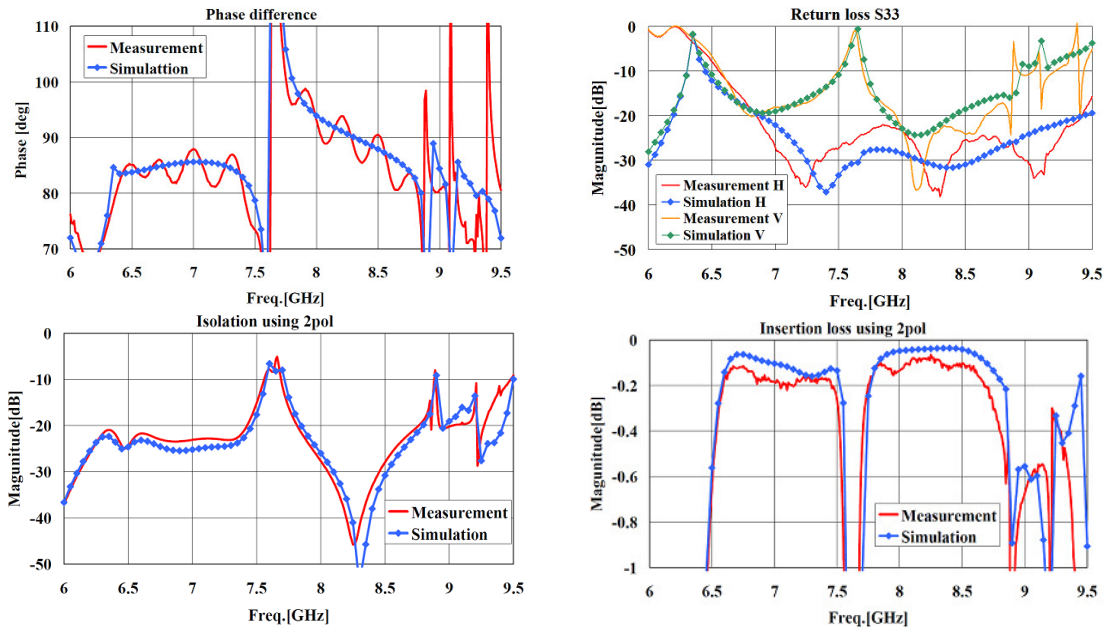


図 7 円偏波分離機の電気特性

○LNA

円偏波分離機にて分離された信号は初段 LNA(HEMT アンプ)にて増幅される。初段 HEMT アンプには JPL 製のものを用いている(図 8)。使用帯域は 4~12GHz であり大阪府立大学にて LNA 単体で評価を行ったところ、雑音温度 $T_{LNA} \sim 5K$ 、利得 $\sim 37dB$ という結果が得られた(図 9)。

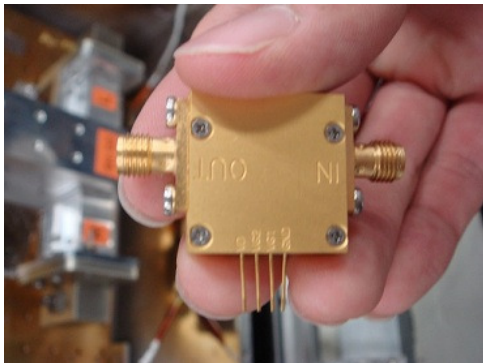


図 8 JPL 製の HEMT アンプ

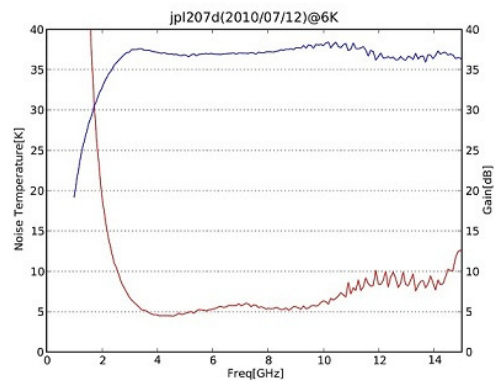


図 9 LNA 単体での測定結果

2. 2 常温 IF 系

初段 LNA にて増幅された信号は常温の IF 系へと導かれる(図 10)。常温 IF 系のブロック図を図 4 に示している。6.3~7.0GHz 帯と 8.0~8.8GHz 帯のバンドパスフィルターが並列に接続しており、切り替えスイッチにより通過させる信号の周波数帯を選択できるようにした。500~1000MHz 帯にダウンコンバートした後でバックエンド系へと導かれていく。

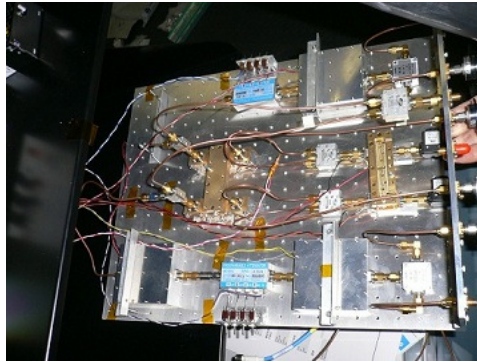


図 10 IF 系コンポーネント

3. 受信機性能評価、RF 窓水滴対策

3. 1 受信機性能評価

円偏波分離機、LNA を含めた受信機フロントエンド部の受信機雑音温度の測定を行った。測定は図 のような回路を組んで、Y-factor 法を用いて評価を行った。入力する LO 信号の周波数を変化させて受信機雑音の変化を調べた。測定の結果、6.3GHz~7.0GHz 帯において $T_{RX} \sim 20K$ 、8.0~8.8GHz 帯において $T_{RX} \sim 15K$ という結果が得られた。Y-factor の値のスペクトルを図 11 に示す。

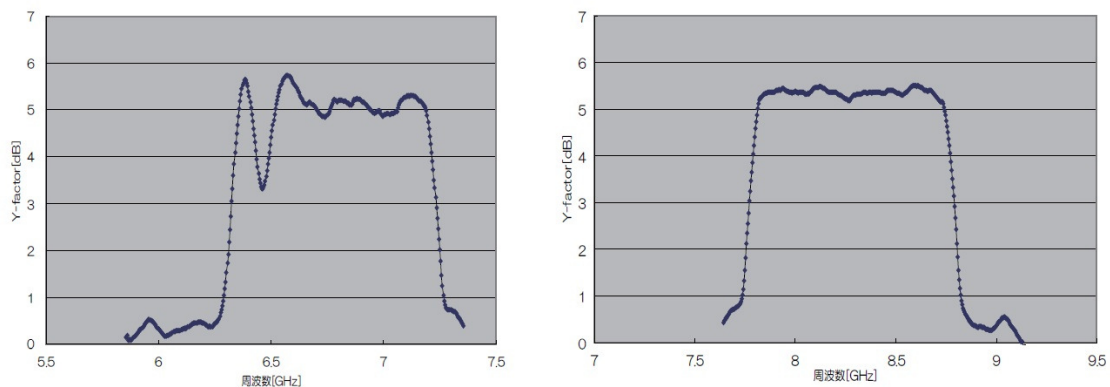


図 11 Y-factor 測定のスเปクトル

3. 2 RF 窓の水滴対策

2010 年 2 月に搭載された 6.7GHz 帯受信機にて、冷却デューワー内部からの放射により RF 窓が冷却され露が発生する問題が発生している。受信機は露からの輻射を受信し雑音温度が上昇してしまうことから発生する露を軽減する必要がある。6.7GHz 帯~8GHz 帯用受信機では、

○フィード根元の部分にカプトン膜を張り、空気の循環を制限する。

○フランジ～断熱導波管間に赤外線吸収体ゴアテックスを張り、デュワー内から RF 窓への輻射を軽減する(図 12)。

等の処置をとり冷却実験を行った。この結果、RF 窓に発生する露の量を軽減することに成功した(図 13)。またフィード根元部に張ったカプトン膜に多少の露の付着が見られたが、フィード内には乾燥空気を循環させているために実際の観測時にはさらに軽減されることが期待できる。

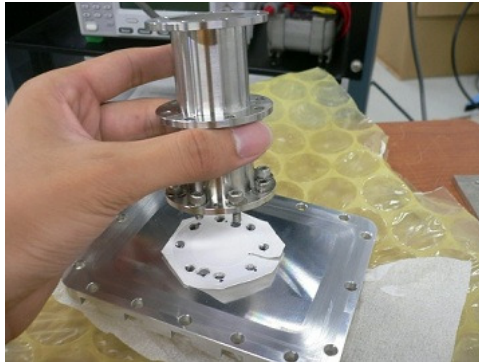


図 12 ゴアテックスの貼り付け

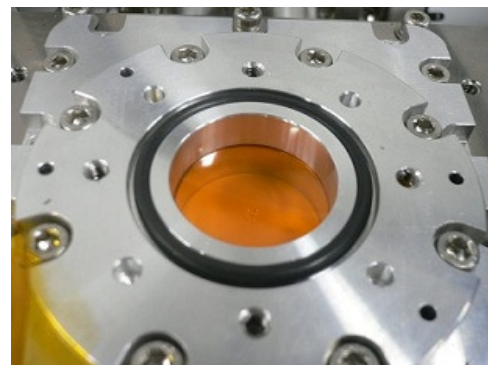
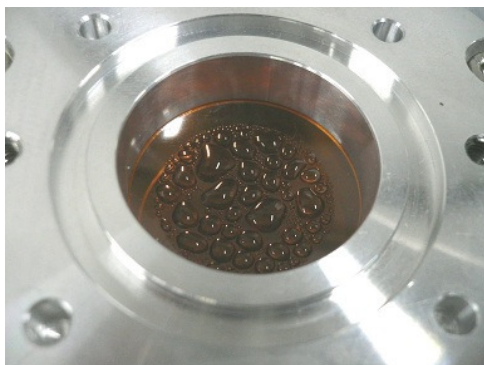


図 13 水滴対策前(左)と対策後(右)

4. まとめと今後

2010年8月8日に搭載済みであった6.7GHz帯用受信機と交換する形で、6.7GHz帯～8GHz帯用受信機の搭載を行った。現在性能評価と試験観測を行っている段階であり、今後科学的観測に移っていく予定である。