

# 茨城 32m 電波望遠鏡搭載用 22GHz 帯冷却受信機の開発

森智彦、Soon Kang Lou、齋藤貴文、齋藤悠、米倉覚則、百瀬宗武、横沢正芳（茨城大学）  
長谷川豊、木村公洋、小川英夫（大阪府立大学）

## 1. 概要

茨城県高萩市・日立市にまたがる国立天文台茨城観測局内に設置されている 2 台の 32 m 電波望遠鏡に搭載する 22GHz 帯冷却受信機システムの開発について報告する。今回開発を行った受信機システムはデュワー構造をしており 20K 以下に冷却される。フィードホーンから入力された信号はポーラライザーで偏波分離された後、HEMT アンプで増幅される。さらに LO 信号によって 8GHz 帯、0.768GHz 帯にダウンコンバートされ制御室のバックエンドに送られる。2012 年 10 月に行った Y-factor 法による受信機雑音温度  $T_{rx}$  の測定では  $T_{rx}=50K$  程度であった。12 月に高萩局に 22GHz 帯冷却受信機を搭載し性能評価を行ったところ、 $T_{sys}^*=50K$  程度（天頂、大気込み）となった。大気の光学的厚みの測定結果は  $\tau = 0.06$  であったことから、受信機雑音温度は約 35K と見積もられた。また、大質量星形成領域 W49N の水メーザー源でファーストライト受信に成功した。

## 2. 22GHz 帯冷却受信機システムの構成

### 2.1 デュワーの設計

受信機システムの初段回路を格納するデュワー部分の設計には、Autodesk 社の 3 次元 CAD ソフト Inventor を使用した。デュワー内部は 20[K]以下に冷却され、高真空状態が保たれるように設計した。これによりデュワー搭載品の極低温状態が保たれ、雑音温度の低減化を図っている。

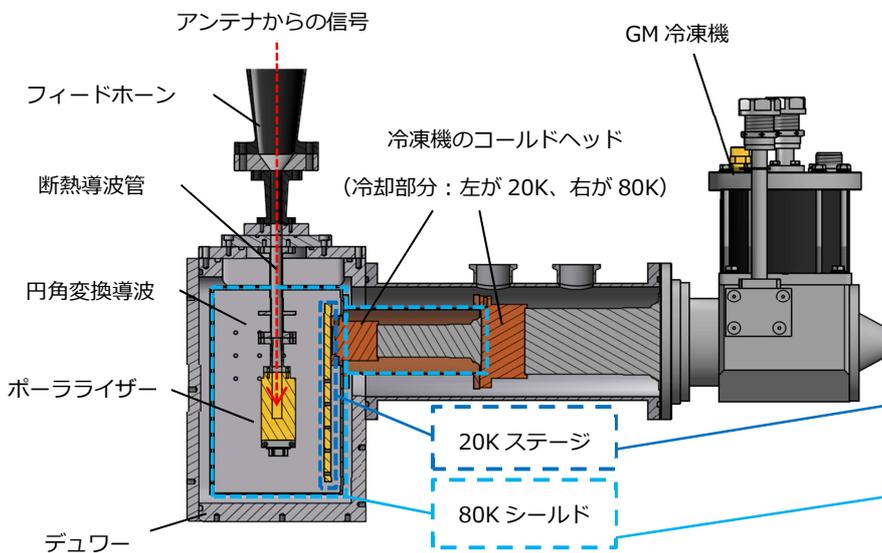


図 1 : 22GHz 帯冷却受信機の構成 (Inventor による模式図)

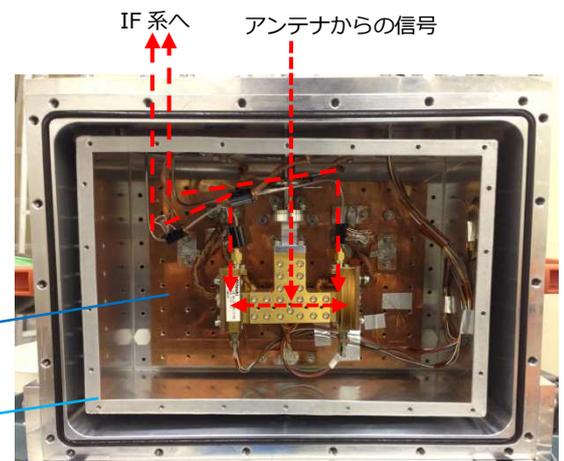


図 2 : 22GHz 帯冷却受信機のデュワー内信号経路 (破線)

### 2.2 信号経路

茨城 32m 鏡では、アンテナで集光した電波をカセグレン・クーデ方式を用いたビーム伝送系でフィードホーンに導いている。フィードホーンの真下にある巻取室内の受信機に入力された信号は、断熱導波管・円角変換導波管を通り、ポーラライザーによって左右円偏波 (LHCP,RHCP) に分離され、HEMT アンプで増幅される。デュワーから IF 系に入力された信号は 1st LO 信号とミキ

シングされ 22GHz 帯から 8GHz 帯に、さらに、2nd LO 信号によって 512~1024MHz 帯にダウンコンバートされる。周波数変換された IF 信号は制御室のバックエンド系に導かれる。

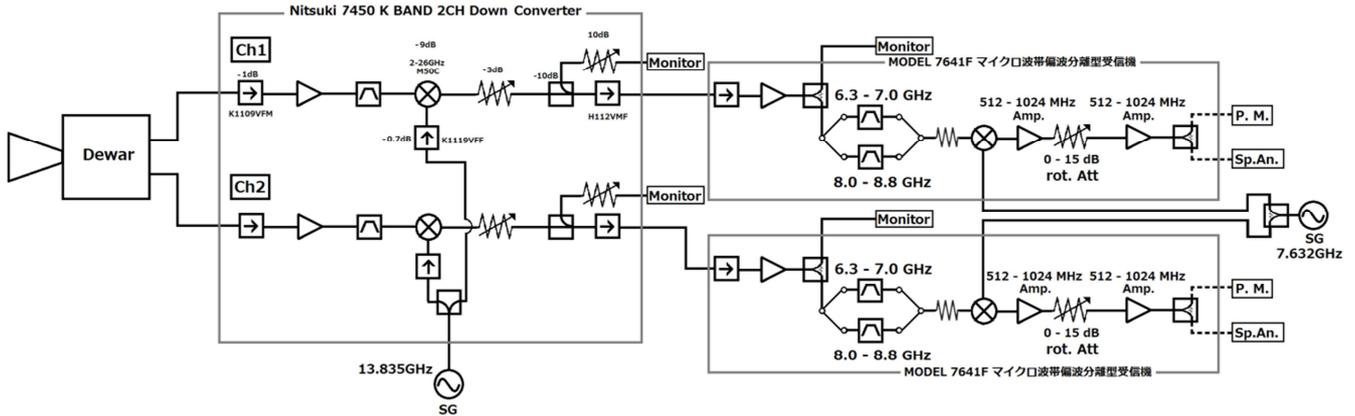


図 3 : 22GHz 帯冷却受信機の IF 系ブロックダイアグラム (高萩アンテナ)

### 2.3 各コンポーネントの性能

#### ポラライザー

大阪府立大学と共同で、電磁界解析ソフト HFSS を用いて 22GHz 帯ポラライザーを新たに設計した。完成したポラライザー (同じ設計のものが 2 つ) はベクトルネットワークアナライザを用いて性能測定を行った (詳細は茨城大学 Soon Kang Lou 他、ポスター参照)。

#### HEMT アンプ

HEMT アンプは日本通信機の冷却低雑音増幅器を 2 つ使用している。日本通信機が行った利得・雑音温度測定結果は以下の通り。

表 1 : HEMT アンプの利得と雑音温度 (周波数帯域 20.5~22.5GHz)

MODEL	Gain	Noise Temp.
70M004(RHCP)	Max 40.1 dB / Min 34.8 dB	Max 21.4 K
70M005(LHCP)	Max 39.7 dB / Min 34.5 dB	Max 22.3 K

## 3. 受信機性能測定と高萩アンテナへの搭載

### 3.1 Y-factor 法を用いた受信機雑音温度 $T_{RX}$ 測定

2012 年 11 月に大阪府立大学にて、Y-factor 法を用いた  $T_{RX}$  の測定を行った。測定は常温 300K と液体窒素で 77K に冷却した電波吸収体を 22GHz 帯冷却受信機のフィードホーン上に設置し、出力比から  $T_{RX}$  を導いた。IF 系は 22GHz 帯用のダウンコンバータと SG、6GHz 帯フィルター、アンプを接続し、パワーメータで電波強度を測定した。結果は以下の表のようになった。

表 2 : 22GHz 帯冷却受信機の受信機雑音温度  $T_{RX}$

	水メーザー	アンモニア
	22.23508 GHz ±350 MHz	23.694506 GHz ±350 MHz
LHCP	50 K	55 K
RHCP	45 K	50 K

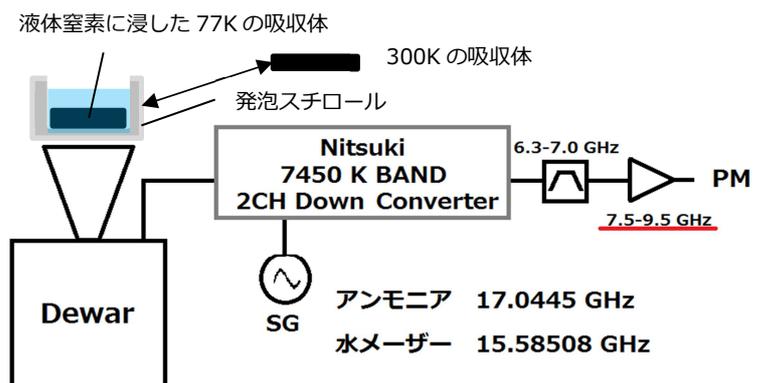


図 4 : 実験室での Y-factor 法による  $T_{RX}$  測定時の IF 系

### 3.2 R-Sky 法を用いたシステム雑音温度 $T_{sys}^*$ の測定

$T_{sys}^*$  は R-Sky 法を用いて測定した。電波吸収体はフィードホーン上部に挿入し、Sky は AZ=135°, EL=85°方向を観測した。また、EL を変えて Sky の出力を測定し、大気の光学的厚み  $\tau$  を求めた。観測周波数は水メーザー 22.235GHz±256MHz である。結果は  $T_{sys}^* = 50$  K 程度となり十分な性能が得られた。 $T_{sys}^*$  と  $\tau$  からアンテナ込みの  $T_{RX}$  を求めた。

表 3 : 22GHz 帯冷却受信機の性能 (アンテナ搭載時)

	$T_{sys}^*$	$T_{sys}$	$\tau$	$T_{RX}$
LHCP	57 K	54 K	0.06	37 K
RHCP	55 K	52 K	0.06	35 K

アンテナ搭載後の  $T_{RX}$  の測定結果は実験室での測定結果と約 20K の差がある。原因として 77K の吸収体がフィードホーンのビームを十分にカバーできていなかったことが考えられる。

### 3.3 水メーザー源の試験観測

2012 年 12 月 6 日に大質量星形成領域 W49N の水メーザー源を試験観測し、ファーストライト受信に成功した。

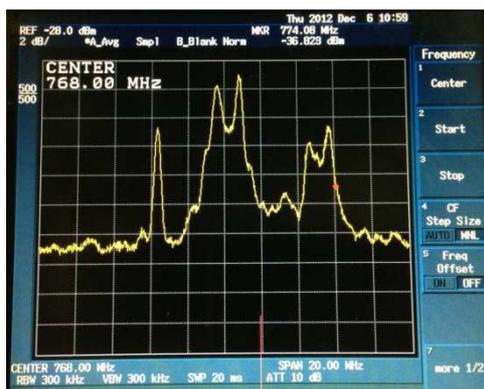


図 6 : スペアナで測定した W49N のスペクトル (LHCP)

Center Freq : 768 MHz , Span:20 MHz

Log scale : 2 dB/div , Ref Level:-28.0 dBm

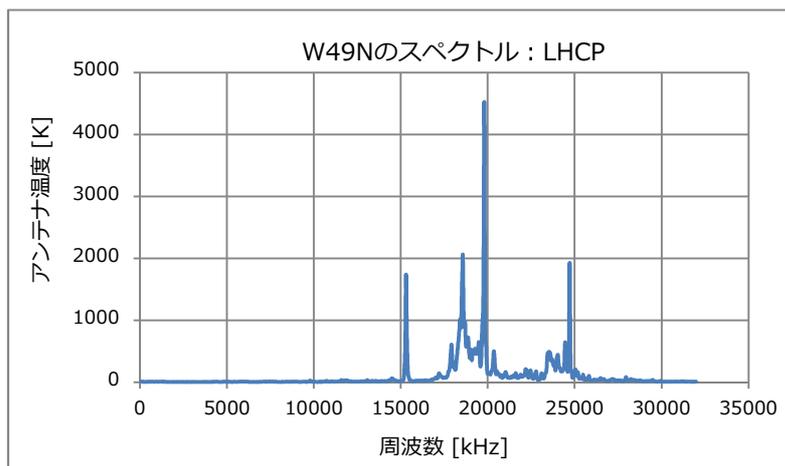


図 7 : ON-OFF 観測から求めたスペクトル

縦軸はフィード効率を 1 と仮定したときのアンテナ温度  $T_A^*$

横軸は 0~32MHz にダウンコンバートした周波数

## 4. 今後の展望

22GHz 帯冷却受信機システムのリニアリティ測定、開口能率・指向精度測定、および試験観測を行う予定である。また、22GHz 帯冷却受信機の 2 号機を製作中であり、将来的には高萩・日立アンテナに 22GHz 帯冷却受信機を搭載し 2 素子干渉計を構築する。