

セプタム型導波管円偏波分離器を用いた ASTE 搭載サブミリ波 VLBI 観測用受信機の開発

大阪府立大学 修士2年 木澤淳基

1. 開発の背景

Doeleman らのグループはアメリカ本土-ハワイ間の 3 局の望遠鏡群を用いて 230GHz 帯での VLBI 観測を行い、銀河系中心に位置する電波源天体 SgrA* に存在するとされている超大質量ブラックホールについて、事象の地平線の直接的検出を試みた(Doeleman et al.2008)。2010 年にはこの望遠鏡群に ASTE を加えての VLBI 観測を行うため、ASTE 搭載用サブミリ波 VLBI 観測用受信機 1 号機が開発された(図 1 左)。現在、さらに両円偏波同時観測を実現するため、新たに円偏波発生の手法をセプタム型円偏波分離器へと変更したサブミリ波 VLBI 観測用受信機 2 号機の開発を進めている。

2. 受信機的设计

現在開発中の受信機 2 号機は円偏波発生手法を 1/4 波長板からセプタム型円偏波分離器へと変更しており、それに応じて 4K ステージ上のデザインも変更した。

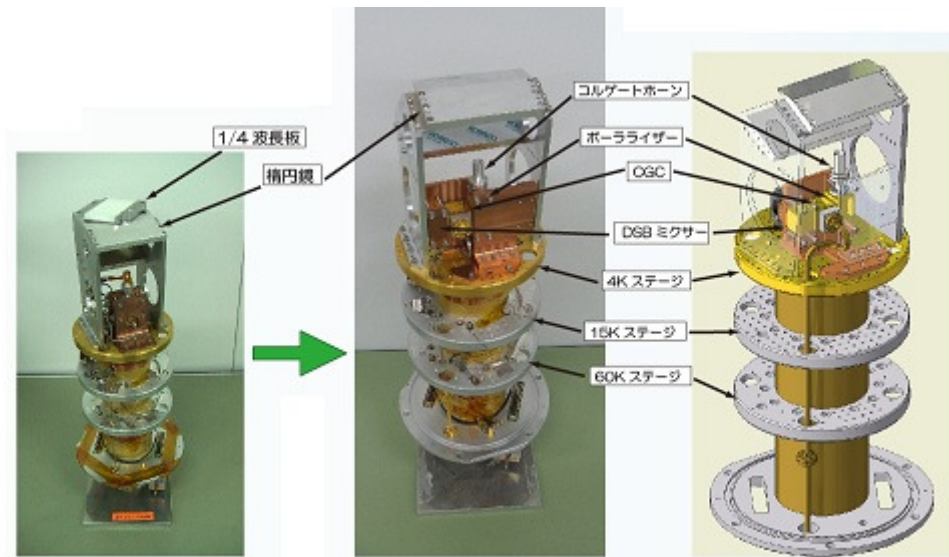


図 1 1 号機受信機(左)と 2 号機受信機(中)、2 号機受信機のイメージ(右)

2. 1 ブロックダイアグラム

副鏡より伝送された信号は 2 枚の冷却光学系素子(平面鏡、楕円鏡)を通じてコルゲートホーンへと給電される。LO 信号は SG より発振した信号を 12 通倍して入力している。

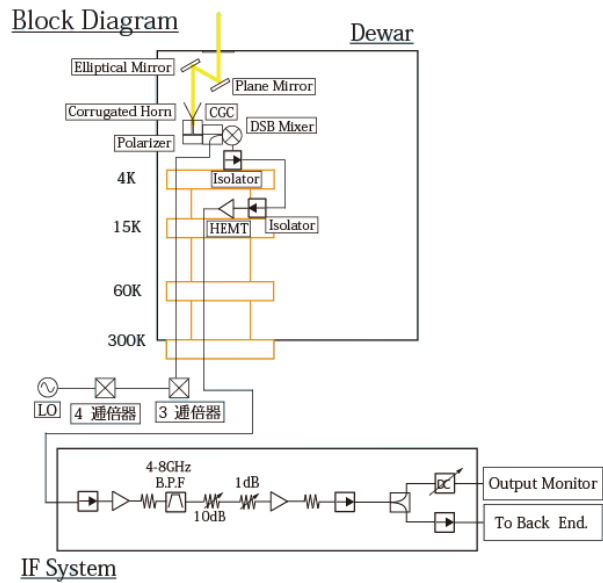


図 3 2号機のブロックダイアグラム

2. 2 受信機の仕様

受信機の仕様は以下の通りである。

- 受信機タイプ : ϕ 170 カートリッジ型受信機
- 受信偏波 : 円偏波(左右どちらからを選択)
- 周波数帯 : 230 GHz 帯
- LO 入力方式 : SG \rightarrow \times 4 通倍器 \rightarrow \times 3 通倍器
- 光学系 : 冷却光学系
- ミクサー : DSB ミクサー
- IF 周波数帯 : 4~8GHz
- 受信機雑音 : 50K 程度
- システム雑音 : 150K 程度

2. 3 光学系の設計

光学系はガウシアン光学を用いて、Frequency Independent Matching Of Gaussian Beams に基づいて設計を行い、物理光学手法(GRASP)を用いてビームパターンの計算を行った。(図 4)。また新たな光学系に必要なコルゲートホーンと楕円鏡を製作し、これらについても物理光学近似を用いてホーンパターンの計算を行った(図 5)。

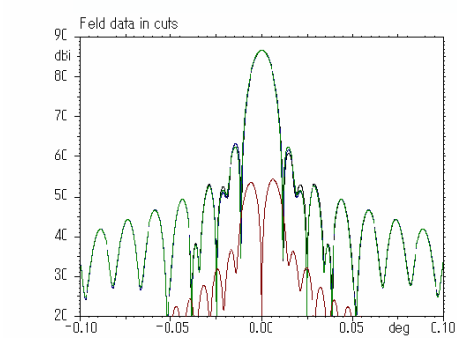


図4 アンテナビームパターンの計算

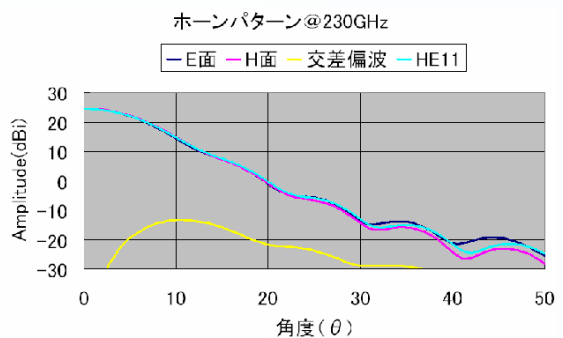


図5 ホーンパタンの計算

2. 3セプタム型円偏波分離器

円偏波発生には新たに開発したセプタム型導波管円偏波分離器を用いている(図6)。

230GHz帯では非常に小さく、直線導波管を足してブロック構造に納めている。

この周波帯ではこれまでに実用化された例はない。

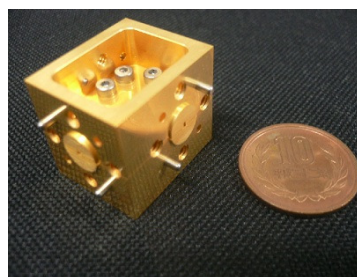


図6 セプタム型円偏波分離器

導波管入力部は $0.82 \times 0.82\text{mm}$ と非常に小さい(図7)。

また、セプタム部が 0.15mm と非常に薄く独立に製作するのが困難なため、下部パーツとセプタム部とを一体化した2ピース構造となっている。

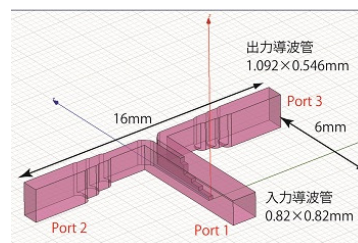


図7 円偏波分離器の導波管回路

常温にてシミュレーションを行ったところ、220~240GHzにおいて挿入損失 0.8dB 以下、反射損失 20dB 以上、アイソレーション 30dB 以上、位相差 $90 \pm 5^\circ$ 以内という結果が得られている。

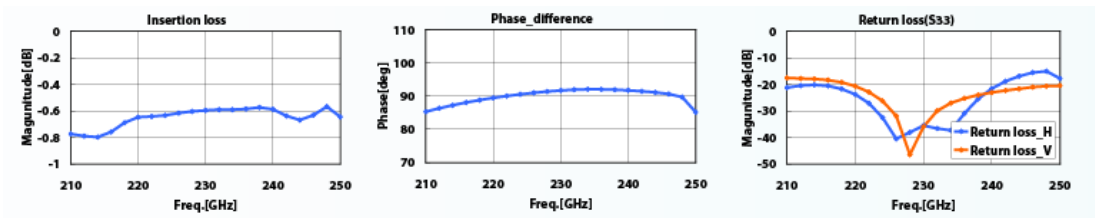


図8 シミュレーション結果

3. 常温での電気特性の評価

200GHz 帯のネットワークアナライザーを整備し、円偏波分離器の電気特性の評価を行っている。この測定系では信号発生器から発生させた 17~20GHz の源振信号を通倍器で 12 通倍することにより 230GHz 帯の信号を発生させ、円偏波分離器へと入力している。

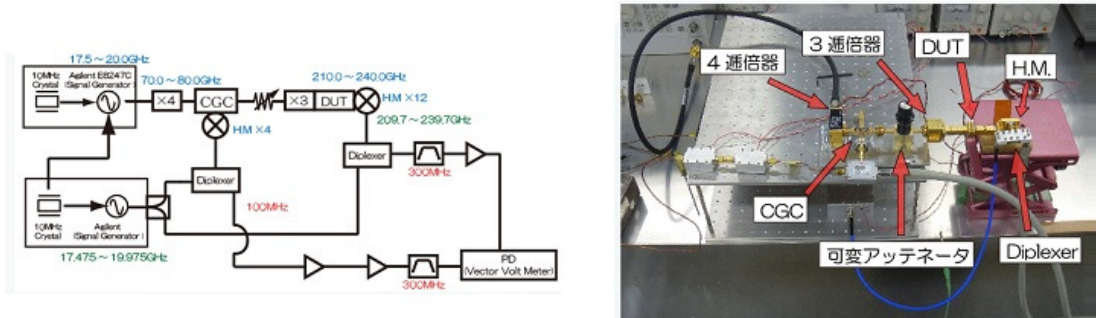


図9 ネットワークブロック図(左)と測定系(右)

円偏波分離器の挿入損失の測定を行ったところ、シミュレーションと大きく異なる結果となった。原因を調査した結果、ハーモニックミキサへの入力レベルが大きくなると、IF 出力が低下する傾向にあることが判明した。そのため、測定系の途中にある可変アッテネータを用いて入力レベルの最適化を行う必要がある。

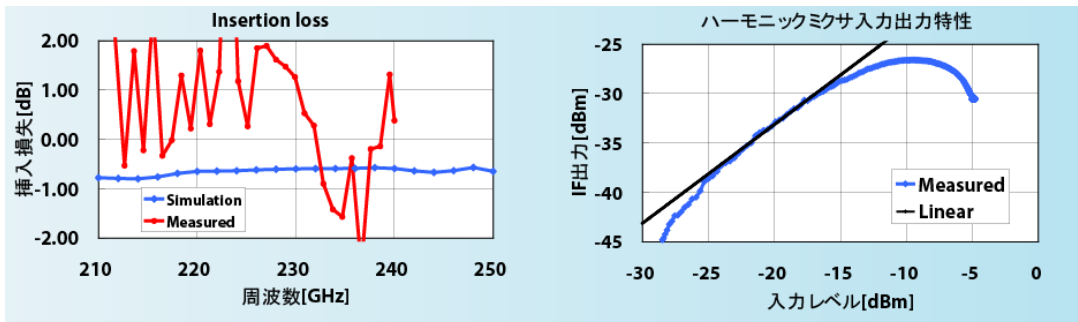


図10 測定結果 (左)円偏波分離器の挿入損失 (右)ハーモニックミキサの入出力特性

4. まとめ今後の予定

- ・円偏波発生手法をセプタム型導波管円偏波分離器へと変更、2号機受信機的设计を行った。
- ・新たに 200GHz 帯でのネットワーク測定システムの整備を行った。
- ・円偏波分離器の常温での電気特性の評価を進めている。

今後の予定

- ・受信機コンポーネントを組み立て、冷却性能評価試験を行う。
- ・高周波ネットワーク測定系の確立、円偏波分離器の電気的特性の評価を引き続き行っていく。