

GLT 230GHz CPRx-W の開発

大阪府立大学 宇宙物理学研究室 長谷川 豊

1 GLT Project

台湾中央研究院 (ASIAA) は、グリーンランド中央部、標高 5000m の Summit Site に、口径 12m の主鏡を持つ電波望遠鏡 GLT (Green Land Telescope) を建設する計画を進めている。

本計画では ALMA, SMA など相手基地局とした地上最長クラスのサブミリ波帯 VLBI 観測によって、M87 銀河中心に存在すると期待されるブラックホール・シャドウの直接検出を第一目標としている (図 1)。

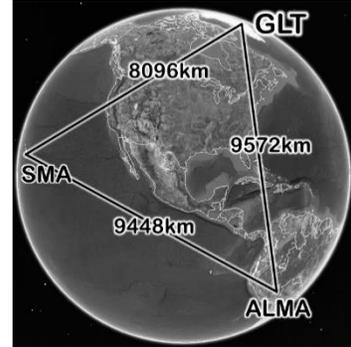


図 1: GLT による超長基線 VLBI

2 230GHz CPRx-W の開発

我々は、GLT に搭載する 230 GHz 帯カートリッジ受信機 CPRx-W の開発を担当している。本受信機の要求仕様の大部分は ALMA Band 6 受信機相当であるが、大きく異なる点として 230 GHz 帯では従来実用報告の無かった導波管円偏波分離機を採用し、左右円偏波信号を直接分離検出できるという特徴を有する。

加えて、近年我々が初めて実用化した、導波管周波数フィルタを用いたサイドバンド分離手法を採用することで IF 帯域幅 8GHz と両サイドバンド分離の両立を達成している。この代償として観測可能周波数 RF Band が半分近くに制限されているが、本受信機は VLBI 観測用であり、実用上問題とならない。

表 1	GLT CPRx-W	ALMA Band 6
RF Band	215-245 GHz	211-275 GHz
IF Band	4-12 GHz	5-10 GHz
Polarization	Dual Circular	Orthogonal
Sideband Separation	WG Filter	2SB-Mixer
Trx-SSB	< 100 K	< 80 K
IRR	> 15 dB	> 10 dB

その他の仕様を含めた、CPRx-W と ALMA 受信機の仕様比較表を上表 1 に示した。また、下図 2 に完成した CPRx-W の写真を示した。

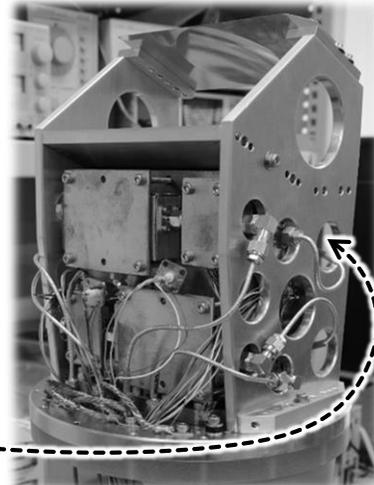
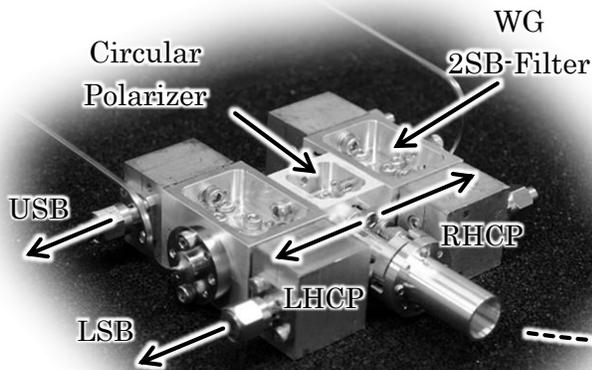


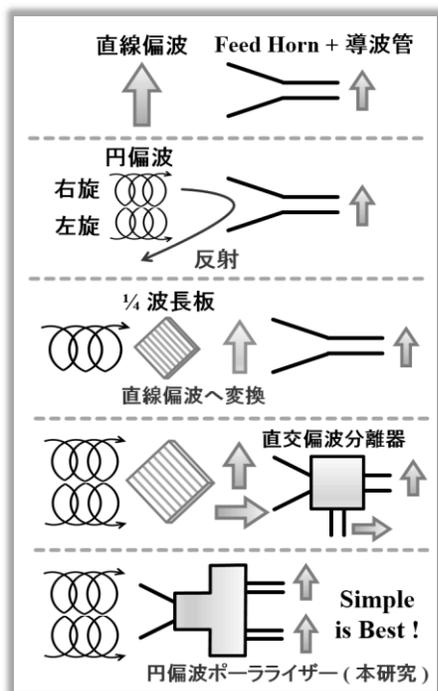
図 2
CPRx-W 完成写真
(輸出直前)

3 230 GHz 帯 WG-CP の開発

3-1. WG-CP について

mm / submm 波帯における左右円偏波を分離する手法としては、導波管セプタム型円偏波分離器 (Wave-Guide septum type Circular Polarizer, WG-CP) を用いるのが最も手軽である (図 3)。WG-CP は一般的に対応帯域幅が狭いが、観測周波数が定められている VLBI 観測においては、その欠点も目立たない。

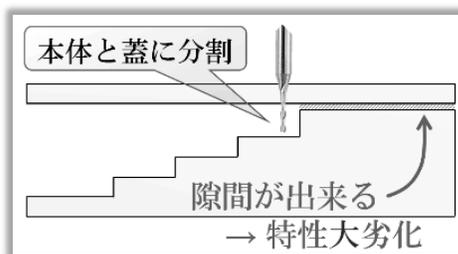
この WG-CP は従来より 50 GHz 程度までで実用されてきたが、それ以上の周波数帯域での実用例は皆無である。この原因としては、1. 従来型の WG-CP のほとんどが導波管サイズに対して極めて薄いセプタム (階段状の金属壁) を持つ (Ex: 15:1) ため、単純なスケールダウンでは構造に無理が生じる事、2. 厚いセプタムを持つものを設計できたとしても、WG-CP ユニット間に微小な隙間が生じた結果想定外の高次モードが発生し、周波数特性が大きく劣化してしまう事などが挙げられる (図 4)



← 図 3: mm / submm 波帯での左右円偏波分離法

一般に、ヘテロダイン受信機は直線 1 偏波にしか感度を持たない。スリットを持つ誘電体板を 45° 傾けて位相遅延を起こし、片円偏波を直線 1 偏波に変換する手法があるが、周波数特性が激しかったり挿入損失が大きいなど、欠点が目立つ

WG-CP を用いる手法は、受信機構成がシンプルなうえに、対応帯域内では特性も非常に良く、VLBI 観測にとっては大変有利である。



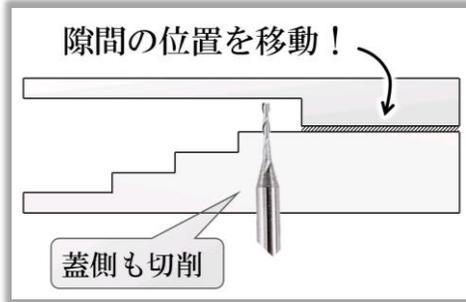
← 図 4: WG-CP の構造と隙間

隙間により階段の段数が増えて見える。

3-2. 230 GHz 帯 WG-CP を実現するために

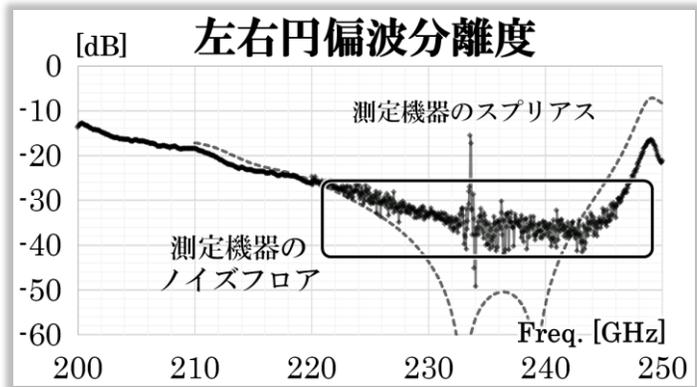
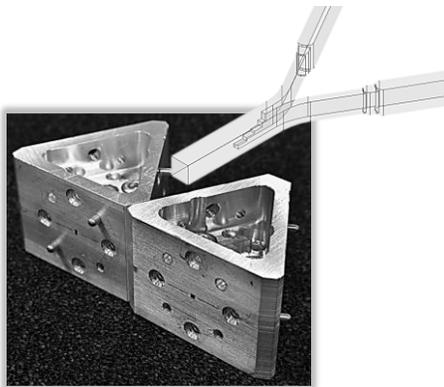
230 GHz 帯域用 WG-CP の実現には、3-1 で記した構造的問題の解決は必須である。そこで我々はまず、導波管サイズ・セプタム厚さ比 5:1 程度と十分に厚くした場合でも従来と遜色無い特性を達成できるモデルの開発を始め、4 段のセプタムを持つモデルがこれを実現できる事を突き止めた。次に、生じた隙間をどうにかして埋める手法を考案しようとした。例えば、セプタム上面から押さえ板をネジで押して WG-CP ユニットの上手く歪ませる手法などである。しかし、こうした手法は破損のリスクを避けられず、また根本的な解決にもなっていない。ここで、我々は発想を逆転させた。

図 5 に 230GHz WG-CP の構造概念図を示した。本構造は隙間を排除するのではなくそれによる影響を抑えるものである。すなわち、隙間による階段数の増加を防ぐために、隙間ができる位置をズラす手法を考案した。加えて、生じる隙間を含めた解析モデルを最適化する事で、さらに隙間の影響を抑制できないかと考えた。この結果、従来の 10 倍大きな隙間ができたとしても、特性がほとんど劣化しないモデルを設計できた。これを実際に製作して周波数特性を実測した結果、生じた隙間が $14\mu\text{m}$ 程度と特定できるほど解析結果とよく一致し、230 GHz 帯 WG-CP の開発 / 実用化を達成した。



← 図 5: 新方式 WG-CP の構造と隙間

切削加工による WG-CP の製作では、通常は図 4 のような導波管回路 + 蓋の構造であるが蓋側にもセプタム最上段の一段分だけ回路を掘る事が可能である。これにより生じる隙間を移動させた。



(左) 図 6: 230GHz WG-CP rev 1 の実物写真と解析モデル図

(右) 図 7: 左右円偏波分離度の実測結果 (実線) と設計値 (点線)

実測結果から、210-245 GHz で逆偏波の混入量が -20dB (1%) 以下である事が分かる。

また、実測値を再現するような隙間の厚さを求めたところ $14\mu\text{m}$ 程度である事が分かった。

4 まとめ、将来の展望

我々は、230 GHz 帯にて十分実用可能な WG-CP の開発に成功し、これを用いた受信機が GLT に搭載される。本成果により 230GHz 帯 VLBI の実現され、これによるブラックホールシャドウの直接検出が期待される。また、本成果を他の望遠鏡にも適用する事で、サブミリ波帯 VLBI ネットワークの拡大に貢献できることを期待する。