

90°位相遅延器と直交偏波分離器を用いたVERA搭載用70-116GHz帯広帯域円偏波分離器の開発

論文リンク
SCAN ME

論文リンク

SCAN ME



亀山 晃^{ab}, 小川英夫^a, 大西利和^a, 増井翔^b, 石井峻^b, 秦和弘^c
(a:大阪公立大学, b:国立天文台, c:名古屋市立大学)

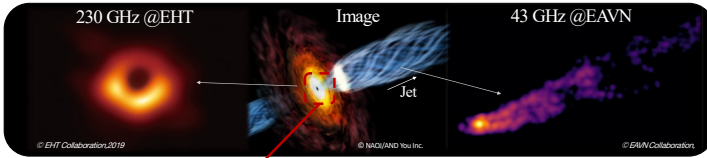
※本研究はJSPS科研費 JP20J23670, Scientific Research(A) 22H00157, 国立天文台 共同研究の助成を受けたものです。
※本研究はKameyama et al. 2026 <https://doi.org/10.1007/s10762-026-01165-w>に投稿した内容です。

研究背景

超大質量ブラックホール(BH)

- 太陽の10万倍～10億倍以上の質量を持つ天体
- 光でさえも脱出できないほど強い重力場を形成
- 光速に近い速さでガス噴出「ジェット」を放出

これまでの観測的ブラックホールの研究

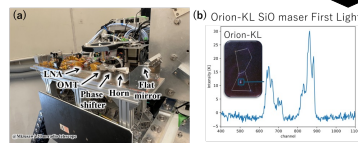


ブラックホール周辺の降着円盤や相対論的ジェットの成分は高温のプラズマガスからなるシンクロン放射の性質:
高周波ほど透過率が良くなり、ジェットのより深く見通すことができる
→86 GHz帯周辺がジェットの生成・加速機構の解明に最適

ngEAVN(next generation East Asia VLBI Network)の構築

- EAVN: 東アジア地域～15台の電波望遠鏡からなるVLBIネットワーク。現在、6.7, 22, 43GHz観測が主要観測帯域
- EAVNの高周波化(～110GHz)が期待されている(ngEAVN)
 - ngEAVNのメリット:
 - BH付近の領域を分解可能な画質と感度
 - GMVA(アメリカを中心としたVLBIネットワーク)に比べてジェット運動を追跡できる高頻度の観測

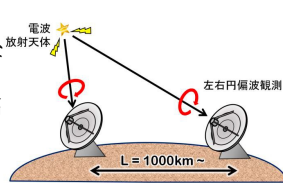
EAVN参加の国内VLBIネットワーク(VERA)を～110GHz帯までR&Aアップグレード計画



- 2022年～25年
- 水沢局、石垣局への常温受信機テスト搭載
 - 望遠鏡性能評価、VLBI観測を数回実施(フリンジ初検出)

円偏波分離器の必要性と偏波分離方法

- VLBI観測では、望遠鏡間の偏波の向きの時間変化が存在しない円偏波がよく使用される。
- 円偏波観測を行うには、円偏波を直行偏波に変換させる円偏波分離器(CP)が必要



- 本受信機で採用した円偏波分離方法

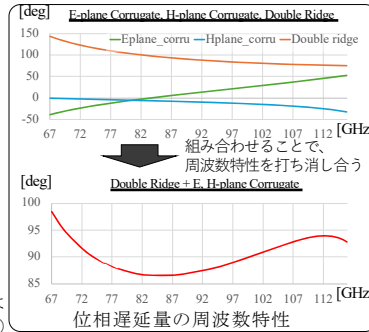
導波管90°位相遅延器と直交偏波分離器を用いた方法

- 位相遅延器で片偏波の位相を90°遅延させることで直交偏波に変換
- 目標スペック
 - 帯域:70-116GHz
 - 反射損失: -20 dB
 - 挿入損失: 0.5 dB
 - 交差偏波分離度: -25dB

採用モデルの概念図

位相遅延器(PS)

- 本設計では、Double-ridge typeとCorrugate typeの合計3種類を組み合わせたPhase Shifterを採用
- Double ridge type (70～150 deg)
- H-plane Corrugate type (-40～0 deg)
- シミュレーションモデル

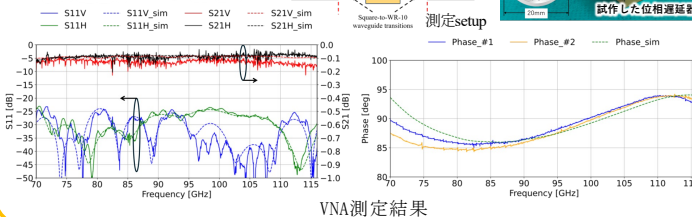


$$X_{pol} = 10 \log \left[\frac{1 + \gamma^2 + 2\gamma \cos \theta}{1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos \theta} \right] [dB] \quad (1)$$

$$\gamma = (|S_{21}^V| / |S_{21}^H|), \quad \theta = 90^\circ - \alpha$$

実測結果

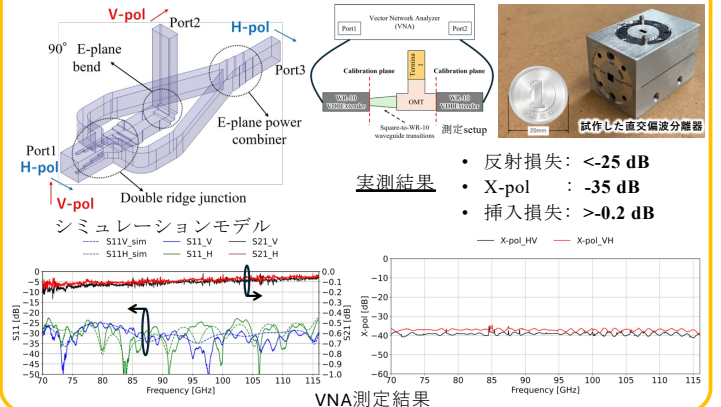
- 反射損失: <-25dB
- 位相遅延量: 90±4deg
- 挿入損失: >-0.2dB



VNA測定結果

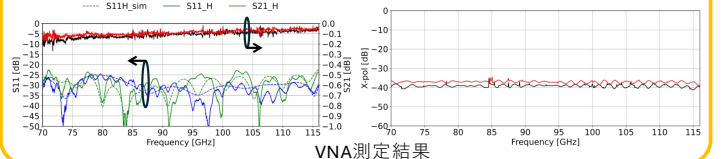
直交偏波分離器(OMT)

- 本設計では、double-ridgeポイフットジャンクション型OMTを採用



実測結果

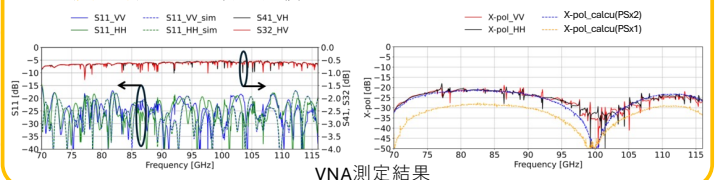
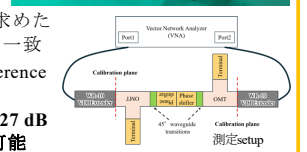
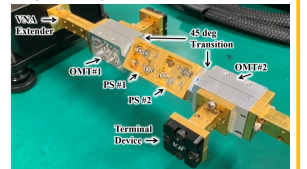
- 反射損失: <-25 dB
- X-pol: -35 dB
- 挿入損失: >-0.2 dB



VNA測定結果

円偏波分離器(CP)

- 試作した70-116GHz帯PSとOMTを用いて、円偏波分離器(CP)のVNA測定を実施
- 測定手法として、2つのCPを繋げた状態(Back-to-back構成)で実施
 - 反射損失: <-20 dB (CP2つ分)
 - X-pol: <-21 dB (CP2つ分)
 - 挿入損失: >-0.7dB (CP2つ分)
- PS(2つ分)の実測結果を用いて式①から求めたX-pol(青線)がCP2つ分のX-pol(赤、黒線)と一致
 - CP2つ分のX-polはPS 2つ分のphase differenceとamplitude errorsから求められる
- PS1つ分の実測結果から求めたX-pol:<-27 dB(黄色線)がCP1つ分と見積もることが可能



VNA測定結果

まとめと今後について

- これまで比帯域30%程度であった90度位相遅延器を比帯域50%の70-116 GHzで実現し、円偏波分離器として測定を行った。
- 結果として、シミュレーションと概ね一致する結果が試作したPSとOMTで得られた。また、Back-to-back構成でCPの測定も行い、CP2つ分のX-polがPS 2つ分のphase differenceとamplitude errorから求めたX-polで表現することができ、CP 1つ分のX-polは-27dB以下と見積もることができた。
- 今後は、本器を冷却受信機に組み込み、受信機システム全体での性能評価および今季搭載を進める。