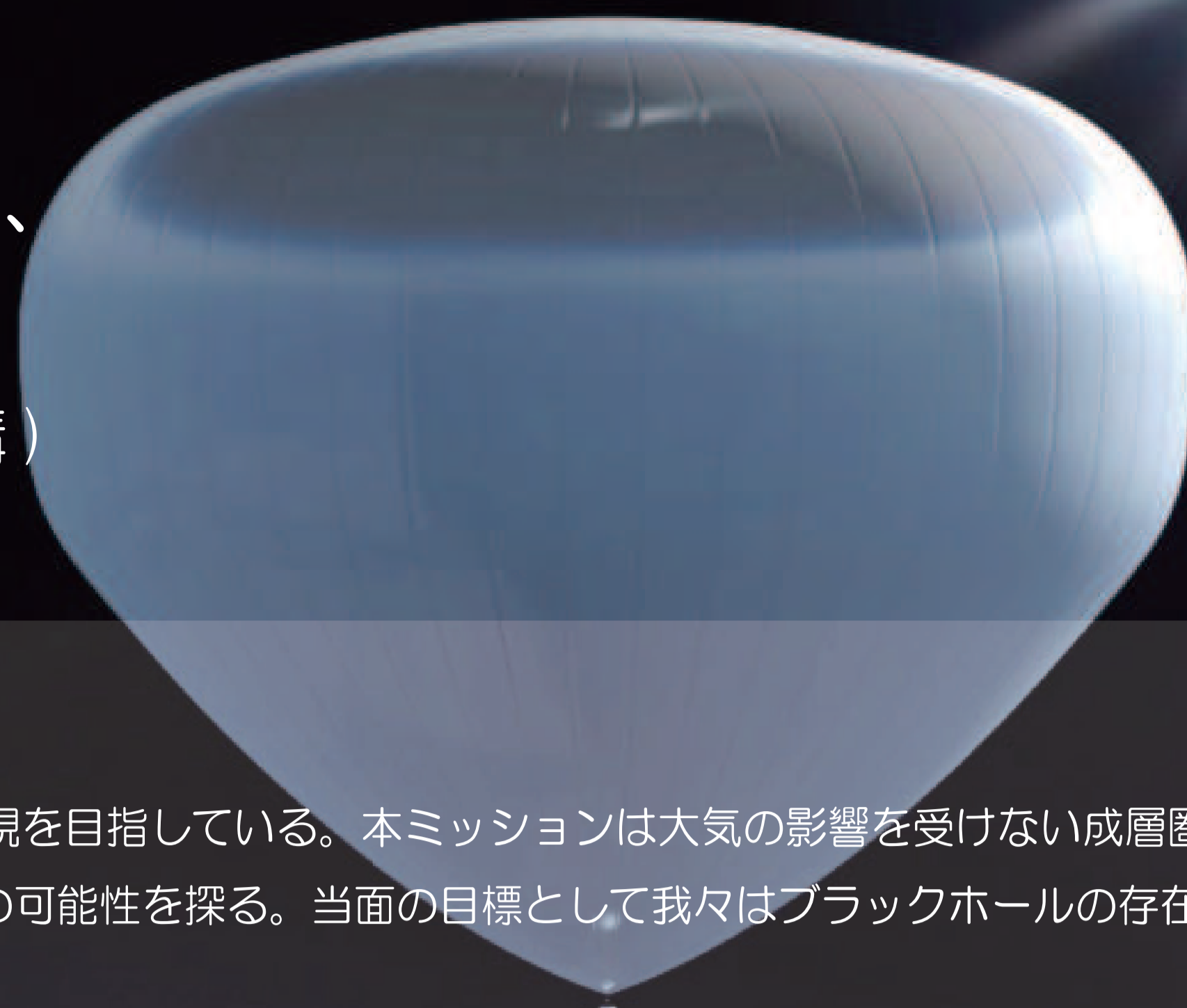


気球 VLBI 22GHz 帯望遠鏡用光学系および RF 系の開発

岡田 望、木村 公洋、大西 利和、小川 英夫 (大阪府立大学)、
 秋山 和徳、酒井 大裕、上原 顕太 (東京大学)、中原 聡美 (鹿児島大学)、
 河野 裕介、小山 友明、松本 尚子、山下一芳、鈴木 駿策、金口 政弘、
 本間 希樹 (国立天文台)、土居 明広、佐藤 泰貴 (宇宙航空研究開発機構)



Introduction

我々は気球 VLBI ミッションを検討しており、気球望遠鏡による世界初の成層圏電波干渉計の実現を目指している。本ミッションは大気の影響を受けない成層圏や宇宙空間におけるサブミリ波帯 VLBI・テラヘルツ帯干渉計などの実現を視野に入れた、新たな観測プラットフォームの可能性を探る。当面の目標として我々はブラックホールの存在の検証に繋がるブラックホールシャドウの直接撮像を行う上で理想的な VLBI の観測サイト獲得を目指している。

本ミッションでは初号機として 22 GHz 望遠鏡の開発を行っており、この初号機の開発・フライトを通じて気球独特の搭載環境 (振り子運動や低真空等) に対応する基礎技術の習得および二号機であるサブミリ波望遠鏡の実現に向けた技術的なアイデアの検証を行っている。本ポスターでは気球望遠鏡初号機 (22GHz 望遠鏡) の受信機開発や地上実験について報告する。

気球望遠鏡初号機 22 GHz 望遠鏡について

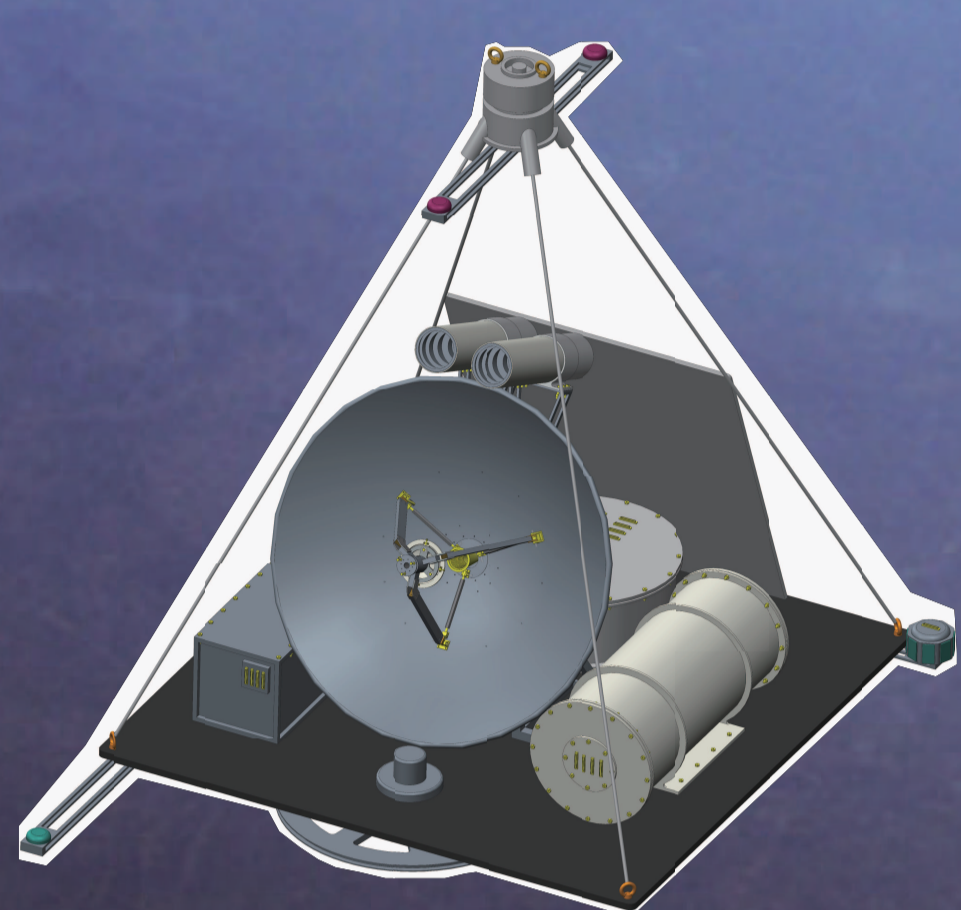


図 1. 22GHz 気球 VLBI 望遠鏡 CAD 図

望遠鏡概要

- 望遠鏡反射方式: カセグレン方式
- 周波数: 22 GHz
- 主鏡口径: 1.5 m
- 副鏡口径: 200 mm
- 鏡面精度: 0.25 mmRMS
- 観測サイト: 成層圏 (高度: 32 km)

望遠鏡打ち上げまでの行程

- 22 GHz 帯望遠鏡設計開始 (2013 年 04 月~)
- 地上 VLBI 実験 @ 水沢 (2013 年 12 月)
- OCXO 振り子環境試験 @ 臼田 (2014 年 02 月)
- 室内姿勢制御実験 @ ISAS
- VLBI システム動作試験 @ 水沢
- クレーン架台吊り下げ VLBI 観測
- RF および記録系の低温低真空実験 @ ISAS
- 22 GHz 気球 VLBI 観測 @ 大樹町

気球 VLBI 望遠鏡は地上実験として、VLBI フリンジの検出 (地上 VLBI 実験 @ 水沢) や時刻系の確認 (OCXO 振り子環境試験)、記録系の確認 (低温低真空実験)、姿勢系の確認 (室内での姿勢制御実験)、クレーン架台に載せた状態での吊り下げ VLBI 観測 [時刻系 + 姿勢系の確認] の総合試験等を行い、フライトに備える。フライトは北海道帯広大樹町の JAXA 大樹航空宇宙実験場からおこない、気球 VLBI 技術のフェジビリティを検証する予定である。(試験スケジュールは右上「望遠鏡打ち上げまでの行程」参照。)

22GHz 帯望遠鏡の光学系および RF 系について

i. 受信機ブロックダイアグラム

本望遠鏡光学系はクラシカルカセグレンを採用しており、主鏡、副鏡、ホーンで構成される。また、ホーンはビーム対称性の良いコルゲートホーンを採用した。

受信機の構成は、ホーンで給電された天体信号がセプタム型ポーライザーで偏波分離されたのち二つの増幅器で RF 信号を増幅され、Mixer で 0-2 GHz へとダウンコンバートされるものとなっている。レベルダイアを作成し、信号レベルを確認したところ、T=290 K のもと -80 dBm → -30 dBm 程度となるようにした。(「図 2. ブロックダイアとレベルダイア」参照。)

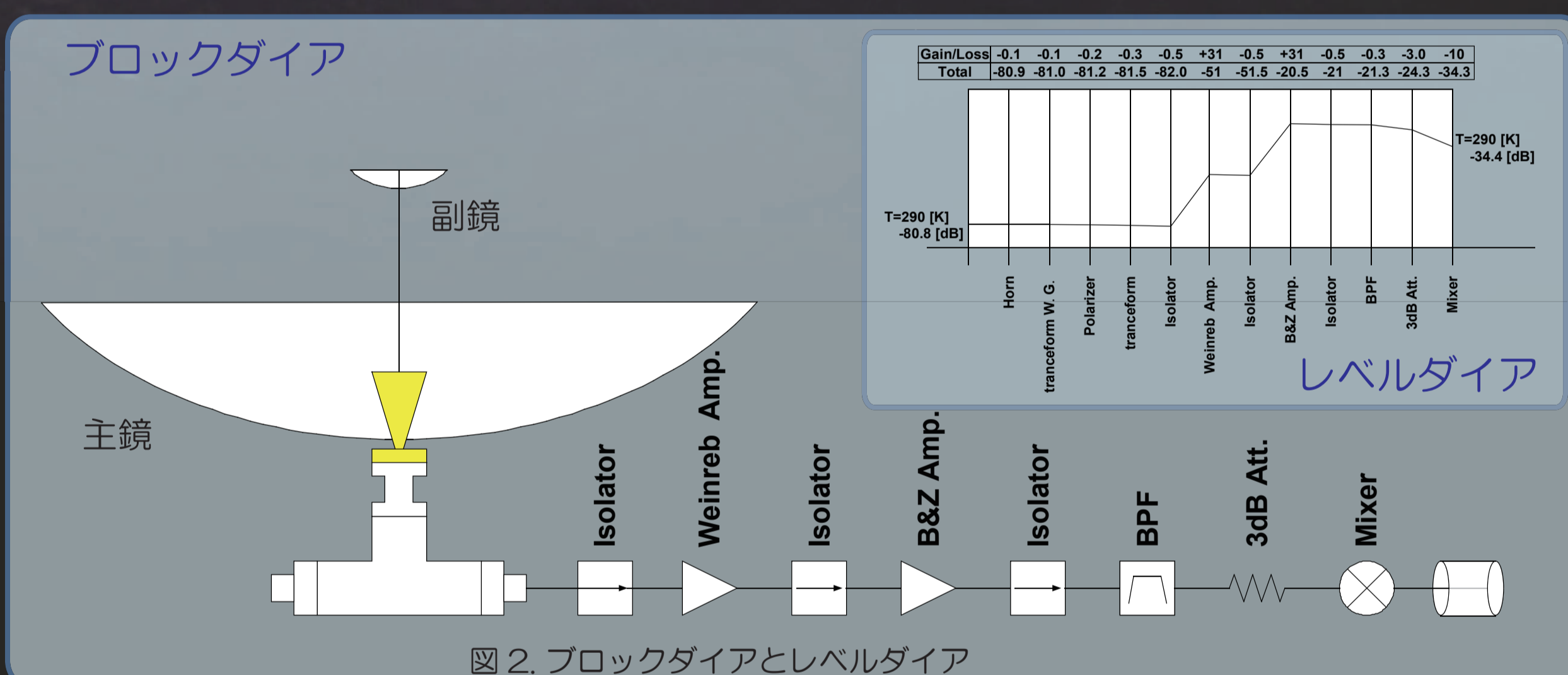


図 2. ブロックダイアとレベルダイア

ii. 光学系性能計算

光学系設計はガウス光学および物理光学 (GRASP) を用いて行い、アンテナビームパターンの計算を行った。その結果、開口能率 0.69 を達成し、ファーストサイドローレベルも 25 dBi 程度と十分低いものとなった。これは観測を行う上で十分な性能と考える。

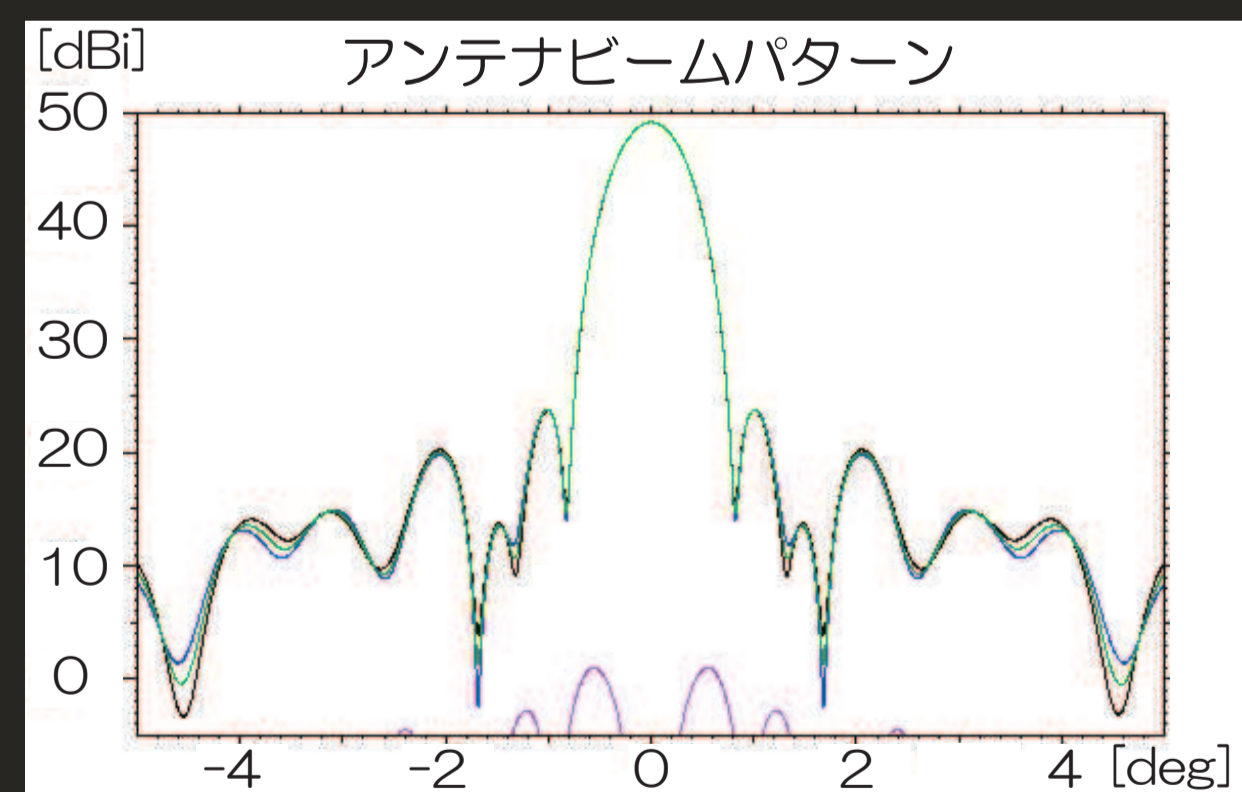


図 3. アンテナビームパターン

iii. 22GHz 帯 HEMT Amp. の性能評価

本受信機は Weinreb 製 HEMT Amp. を使用する。そこで我々はネットワークアナライザを用いてこの Amp. の単体性能を測定した。その結果、RF 帯域 11-26 GHz で Gain 30 dB が得られ、これはカタログの性能表と比較しても妥当な性能と考えられる。

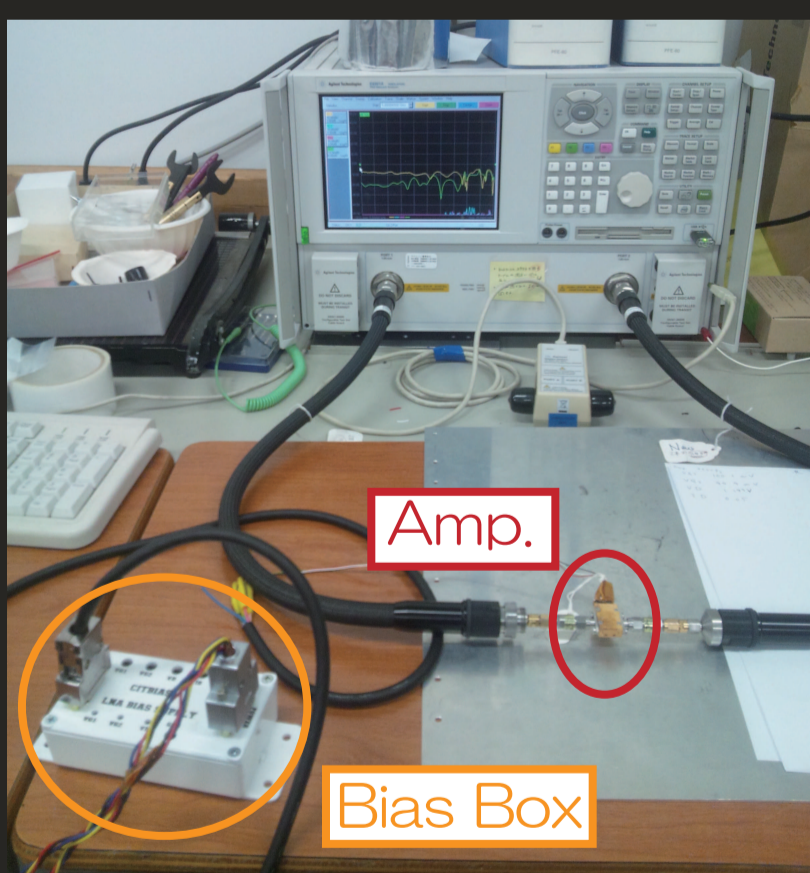
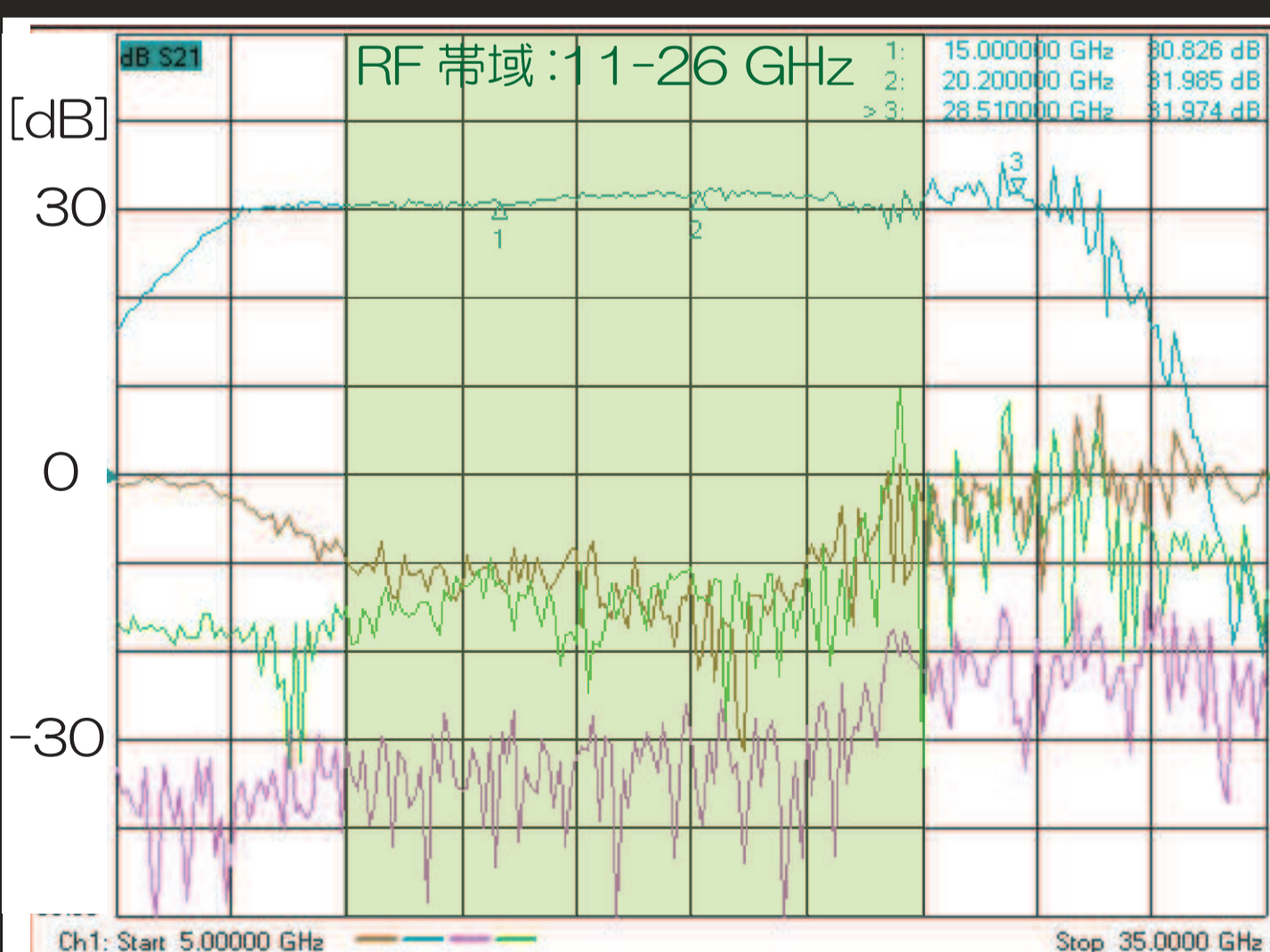


図 4. Amp. 測定 (上図)。
 図 5. Amp. 測定の結果 (右図)。



iv. 受信機の構築

望遠鏡 Front End Box (以下、FE Box) 内に受信機コンポーネントの構築を行った。以下に受信機写真およびパンキャラを示す。

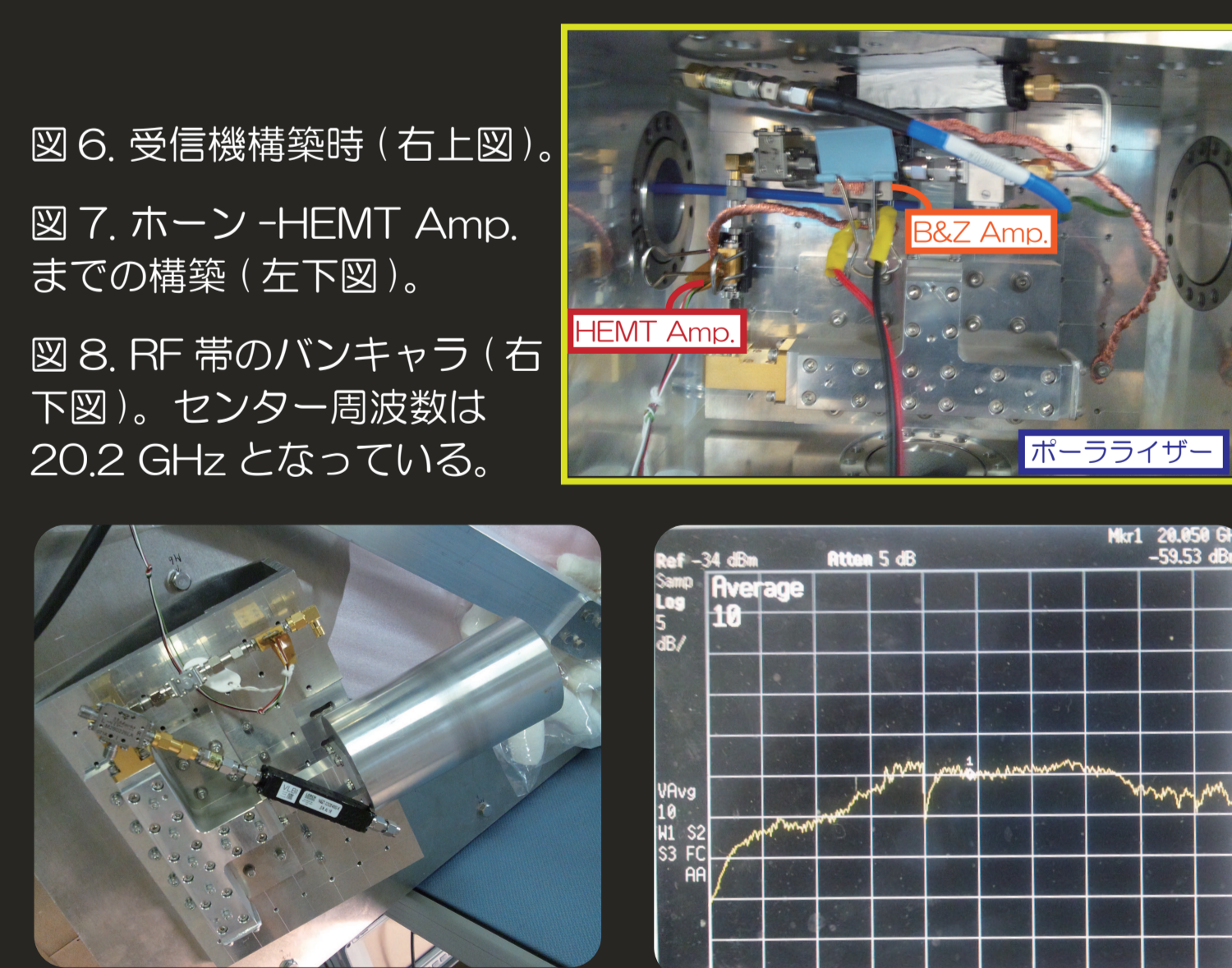


図 6. 受信機構築時 (右上図)。
 図 7. ホーン + HEMT Amp. までの構築 (左下図)。
 図 8. RF 帯のパンキャラ (右下図)。センター周波数は 20.2 GHz となっている。

水沢での地上 VLBI 実験

2013 年 12 月、水沢局にて望遠鏡の組み立てを行い、その後、地上 VLBI 実験として IPSTAR (静止人工衛星) の受信や水沢 10m 鏡とのフリンジの検出、ホログラフィーの検証を行った。

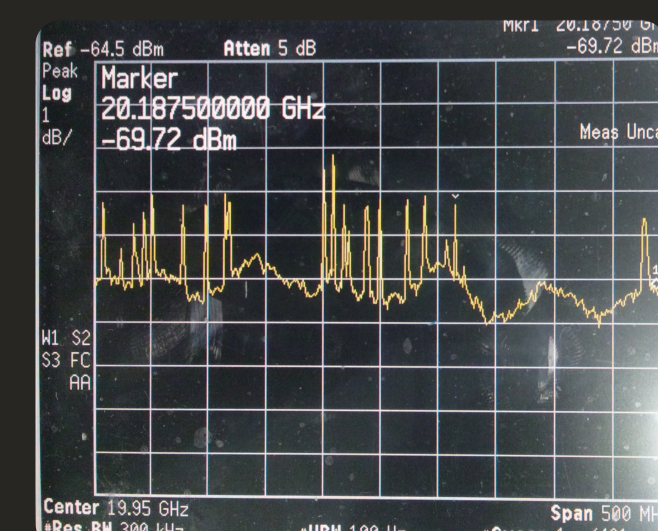


図 9. 22GHz 気球望遠鏡と水沢 20 m 鏡 (左図)。
 図 10. IPSTAR 受信時のパンキャラ (右図)。この時の中心周波数は 19.95 GHz である。

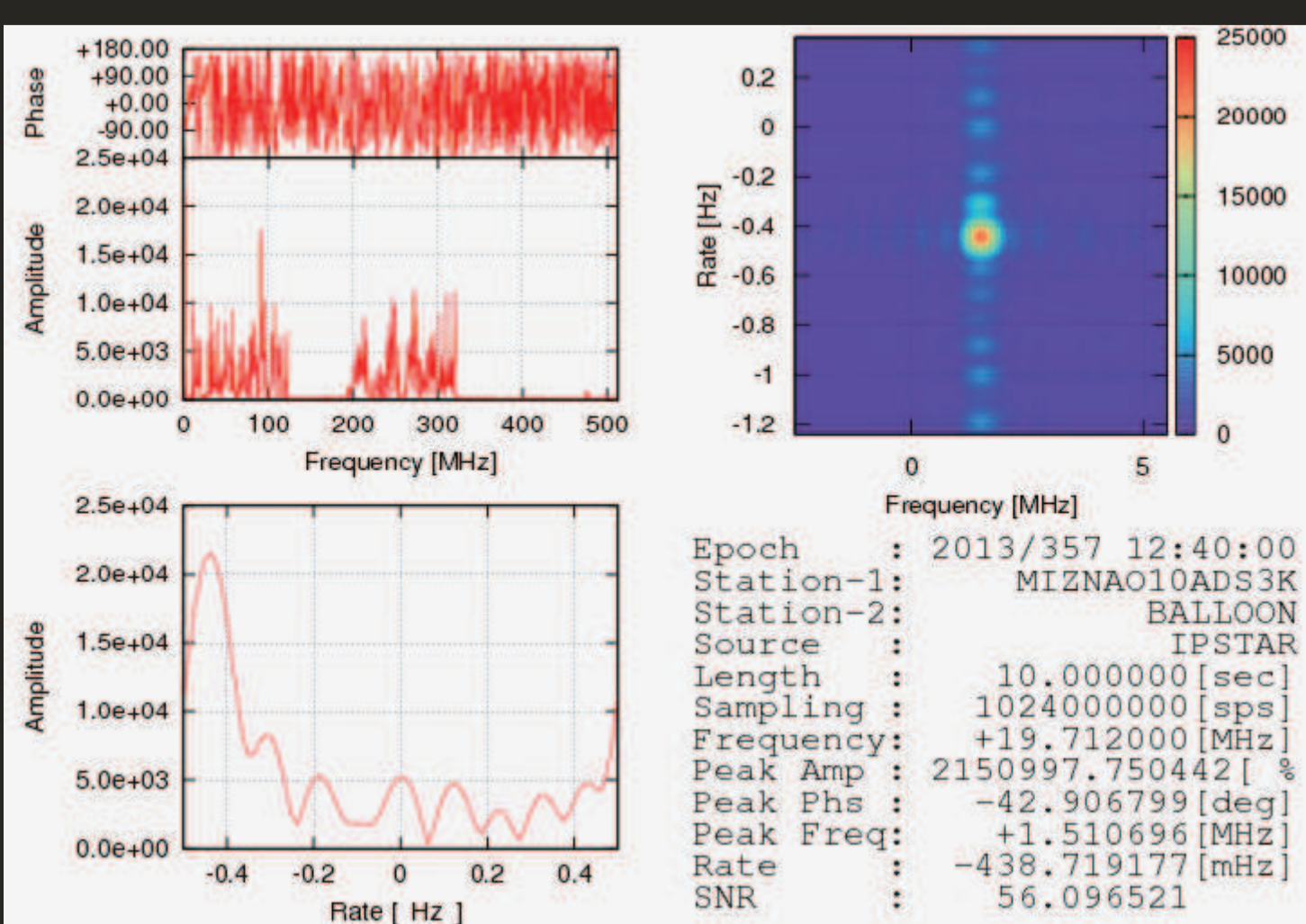


図 11. 気球望遠鏡 (1.5m 鏡) と水沢 10m 鏡のフリンジ検出の結果。

まとめと今後

我々は気球 VLBI 望遠鏡を用いた世界初の飛翔体干渉計の実現を目指している。

現在は、その初号機となる 22 GHz 望遠鏡の開発および評価を行い、光学系設計や受信機の構築を終えている。

今後は、姿勢系の確認や、時刻系・記録系・姿勢系の総合試験を予定しており、来年以降のフライトを目指している。