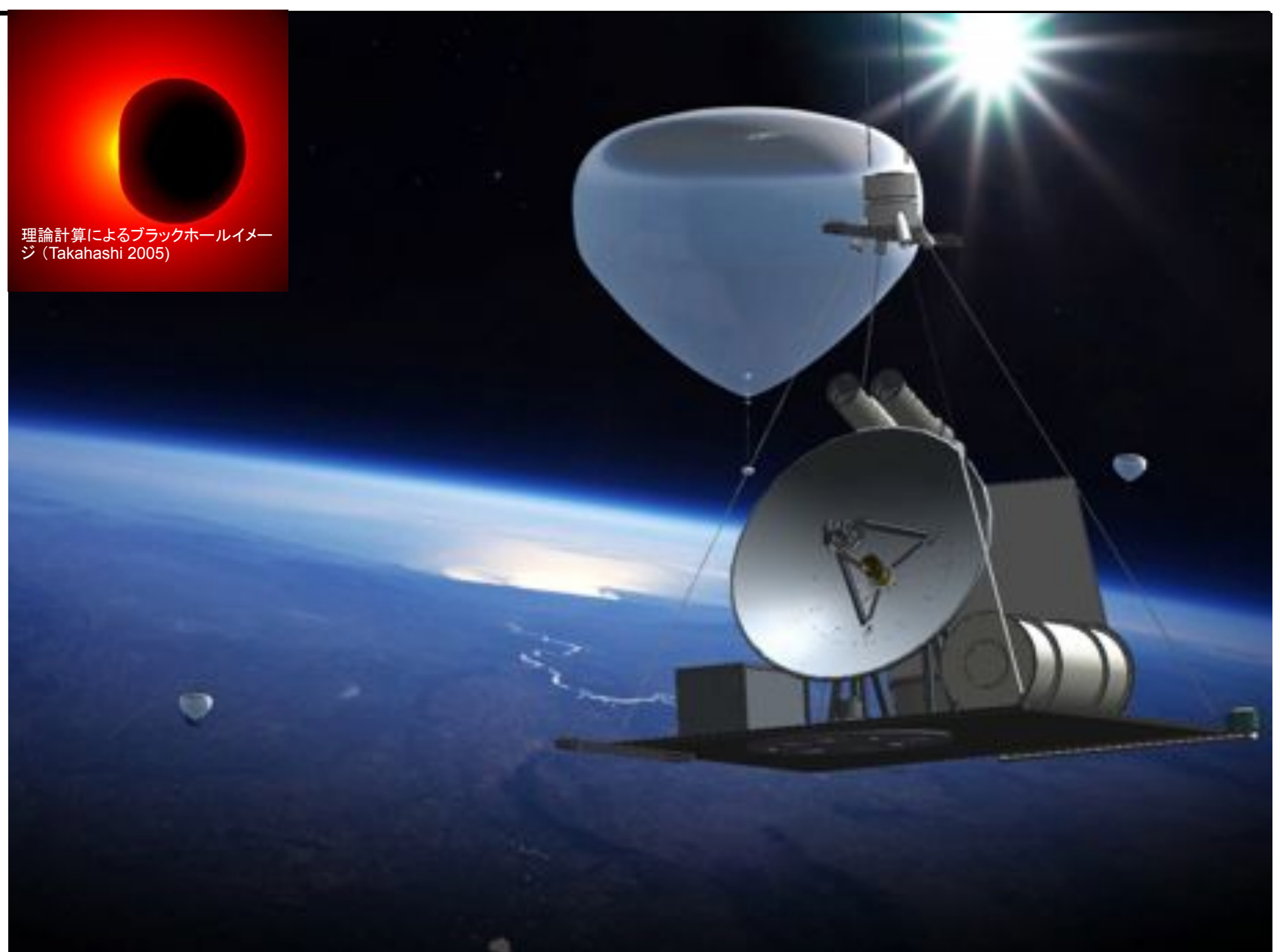


気球VLBI Gondolaシステムの開発の進捗報告

気球VLBI検討チーム：土居明広 (ISAS), 河野裕介 (国立天文台), 木村公洋 (大阪府立大学), 小山友明 (国立天文台), 本間希樹 (国立天文台), 岡田望 (大阪府立大M2), 松本尚子 (国立天文台), 佐藤泰貴 (ISAS), 山下一芳 (国立天文台), 鈴木駿策 (国立天文台), 金口政弘 (国立天文台), 秋山和徳 (東京大D3), 上原顕太 (東京大M2), 坂東信尚 (ISAS), 福家英之 (ISAS), 莊司泰弘 (ISAS), 石村康生 (ISAS), 田中宏明 (防衛大), 坂本啓 (東京工業大), 稲垣章弥 (東京工業大M2), 岸本直子 (摂南大), 荻芳郎 (東京大 生産研), 岩佐貴史 (鳥取大), 中原聡美 (鹿児島大M2), 村田泰宏 (ISAS), 小川英夫 (大阪府立大)



要旨 電波天文学の分野では、ブラックホールの直接撮像に向けた試みが始まっている。撮像に適すると思われるサブミリ波帯の電波(波長1mm以下)は、大気中を通過してくる際、吸収と揺らぎの影響を強く受けるため、少なくとも標高5000メートルクラスのサイトで観測する必要があると思われる。ブラックホールシャドウを分解するためには数千 km 以上の基線長が必要であるが、このような長基線では特に大気揺らぎの影響が甚大となり、地上VLBIの観測データのクオリティは限定されている。ブラックホール周辺をより確実に見通すには、より高周波帯での観測が必要になるため、観測はさらに困難となる。将来は、大気の影響を逃れることが出来る飛翔体ミッションが必要になると思われる。

将来の人工衛星ミッションへの道筋を見出すために、技術検証・科学初期成果を目指した科学気球ミッションを検討している。科学気球で到達可能な成層圏は、電波天文にとっては、スペースと同様、大気の影響をほぼ完全に避けることのできるサイトであり、大気揺らぎの問題を抜本的に解決する。現代の科学気球は～100日間の滞在能力を持ちつつあり、人工衛星の約1/10の観測時間を得られ、さらに、記録メディアの回収が可能のため通信回線速度の制限を受けない等、大変魅力的なプラットフォームである。我々は現在、気球搭載型の電波望遠鏡VLBI局の開発をおこなっている。成層圏における VLBI 観測はこれまで世界で実現されていない。技術的な実現性をフライト実証により確認する必要がある。我々は、技術的なフィージビリティスタディのために、2号機の10%スペックでおこなう実験的な気球VLBI Gondolaシステム(初号機)を計画した。地上VLBI局との基線の間で 22 GHz 帯(波長13mm)での干渉縞検出と撮像を目指す試験ミッションである(この初号機ではブラックホールはおそらく写らない)。2013年度から、電波望遠鏡サブシステムの開発・地上VLBIプリング試験、搭載する周波数標準源振の振り子加速度環境における周波数安定度試験をおこない、今年度は、Gondola構造体・姿勢決定および姿勢制御システムの実機を開発、方位角姿勢制御実験をおこなった。

ミッションの概要

初号機の目的	次号機「230/350 GHz 気球VLBI局」を見据えた、低周波版フライト実機によるフィージビリティスタディ
初号機の成功基準	22 GHz フリンジ検出(世界初の成層圏電波干渉計・VLBI)
放球場所	JAXA 大樹宇宙実験場
放球日時	第一候補: 9月1日前後の明け方 第二候補: 5月1日前後の夕刻
レベルフライト要求時間	3 時間
高度	TBD (昼間用STTの設計で調整)
回収要求	あり
重量(バラスト含まず)	500 kg
電力	500 W
目標天体	3C 84 (相関強度～10 Jy) 連続波 (第一候補の場合)
観測中の仰角	20～70 deg
観測中の方位角	太陽方向に対しほぼ反対(北西) (第一候補の場合)

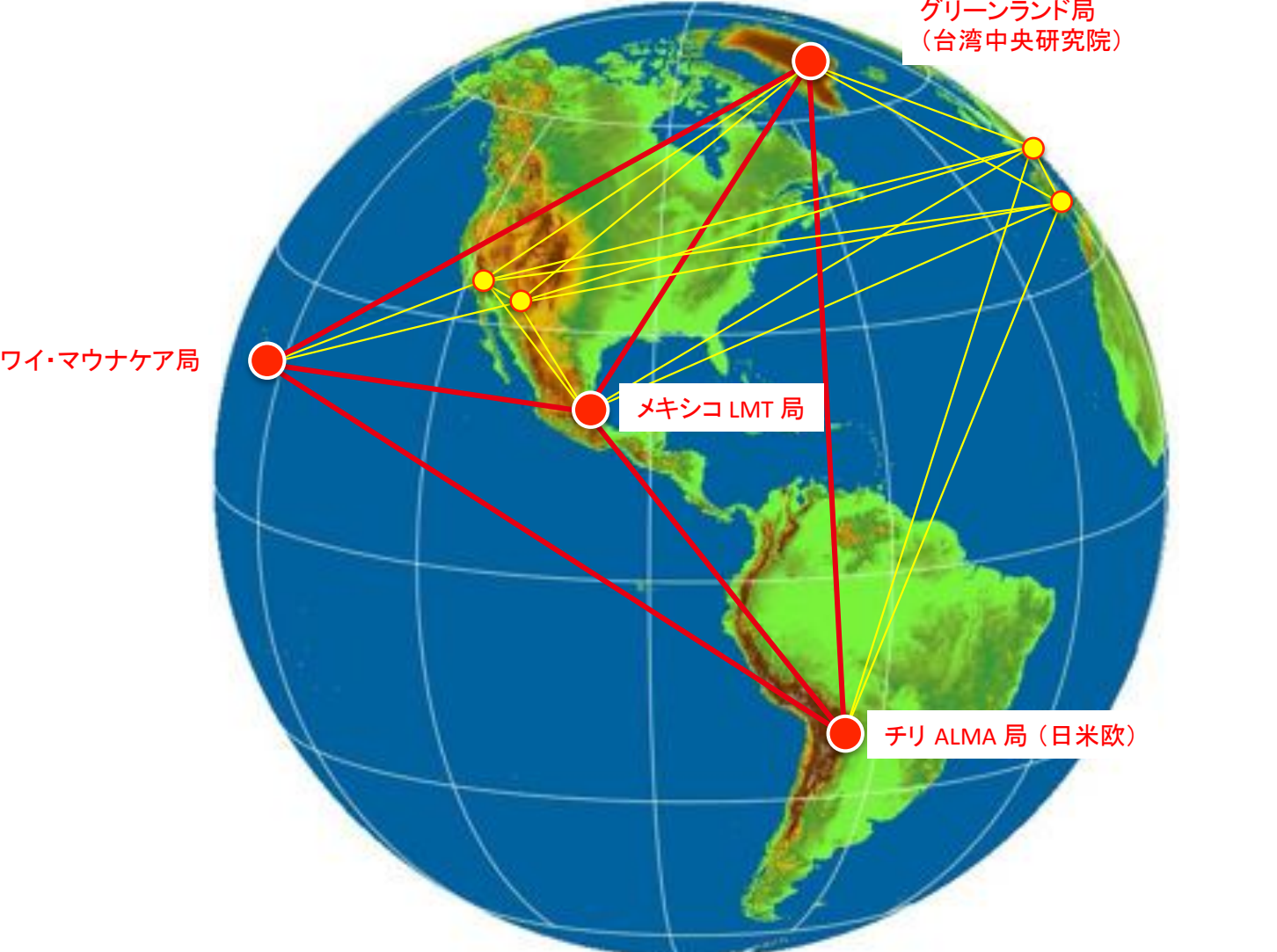
技術課題と解決策

気球—Gondola系の振り子環境 (振幅 0.1°, 周期～20 秒間)	
(1) 周波数標準源振の周波数ゆらぎ	高精度姿勢センサによる変動重力環境モニターを用いた、変動周波数を補償する技術の開発
(2) ポインティング (姿勢) ゆらぎ	真空用スタートラッカの開発と衛星搭載用ファイバー光シグナル伝送
(3) 位置ゆらぎ	高精度姿勢センサ出力からの位置変動推定と、多次元空間フリンジサーチアルゴリズムの開発

気球高度の物理環境 (低真空～5 hPa, 気温～50℃)	
(1) 大電力機器の熱放散	与圧容器 (気圧) に入れ、内部では対流による高い熱伝達効率を得、(II) 外気温との大きな温度差を大きな表面積で接続する
(2) 放射冷却と対流冷却の低効率	

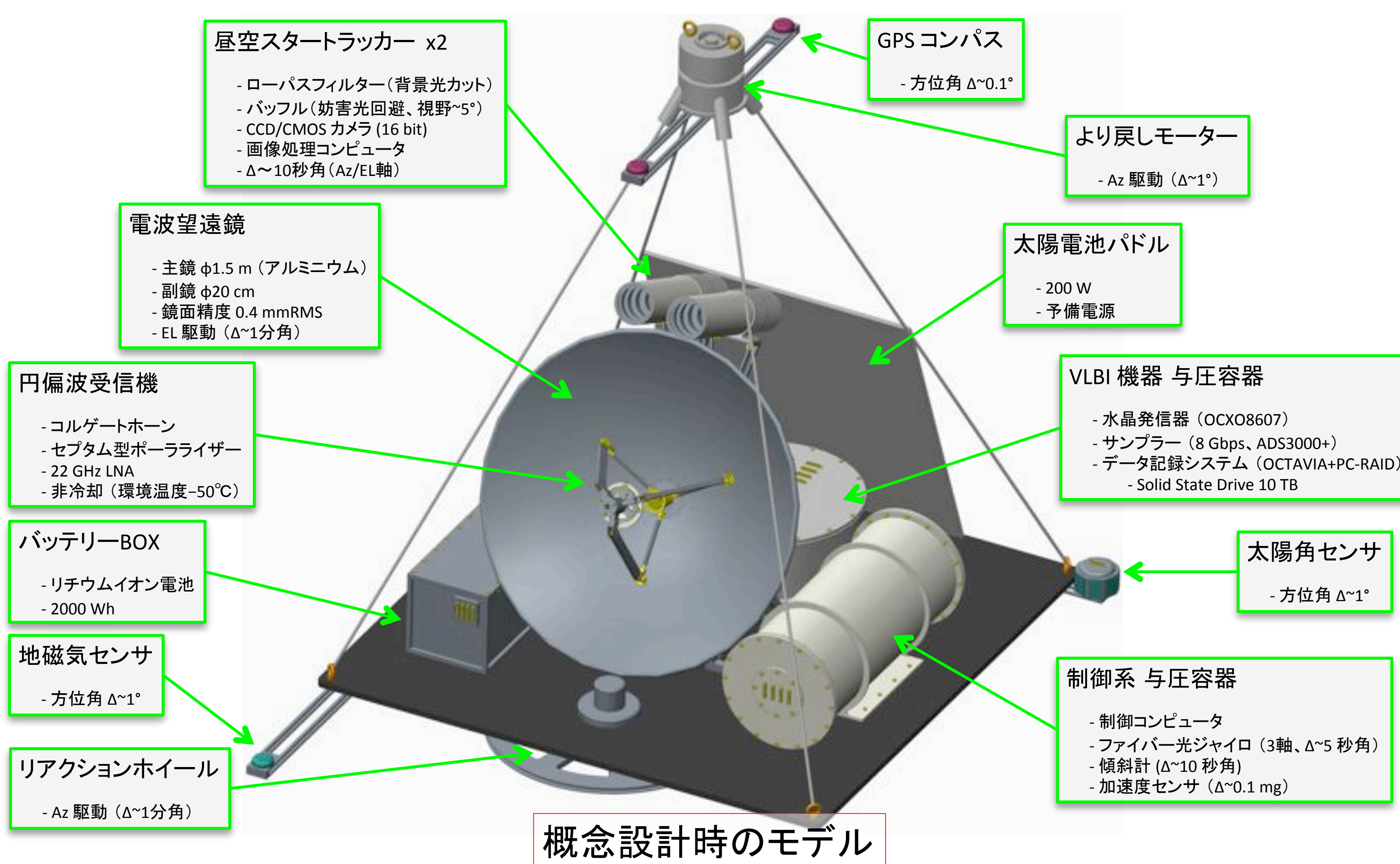
高周波の搭載電波望遠鏡 (初号機の搭載機器には該当しない)	
(1) 軽量鏡の鏡面精度	低コストの軽量鏡による自重変形の抑制と、熱制材料のシールドによる熱歪の抑制
(2) 冷却系の搭載	将来のSIS受信機搭載に必要な技術 (He冷却, 本ミッションでは搭載しない) を BSMILES, FITTE 等の実験に学ぶ

ブラックホール直接撮像を目指す地上電波望遠鏡群



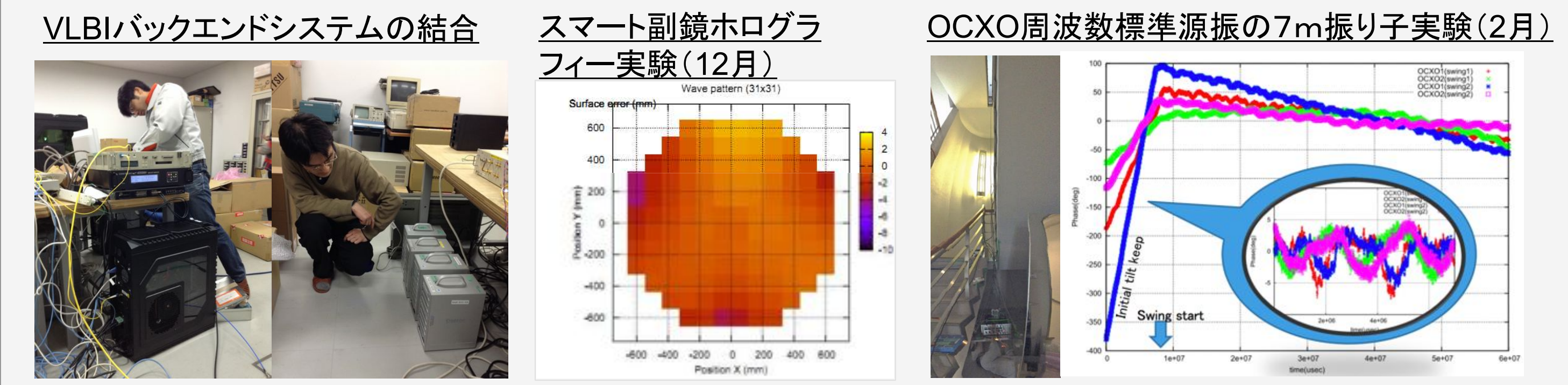
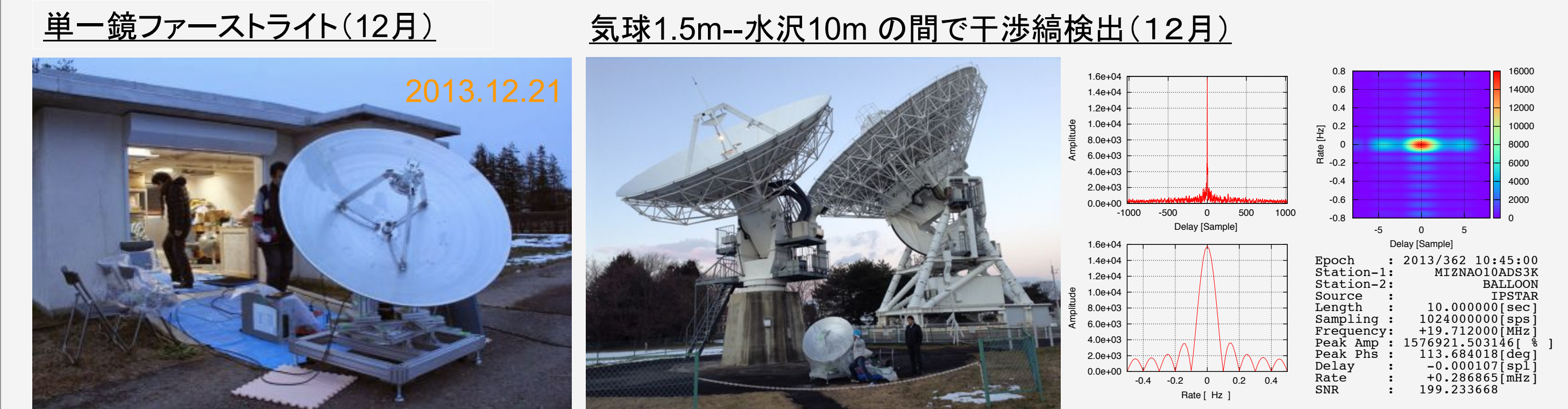
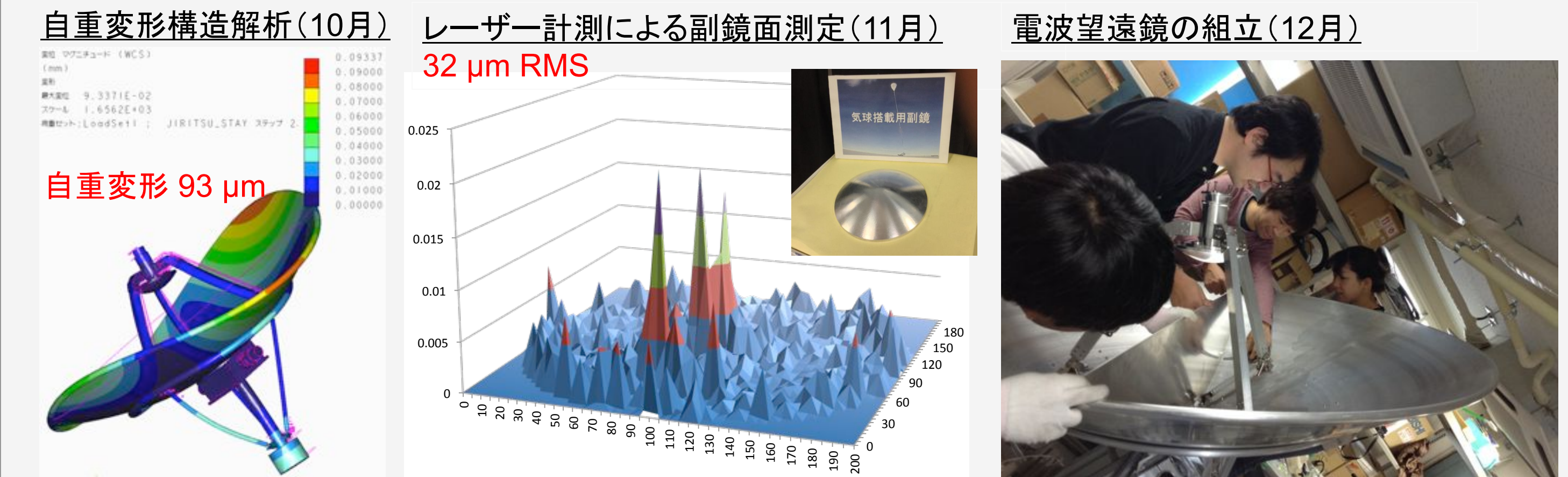
Event Horizon Telescope (EHT) project (Doeleman, 本間、ほか) などにより、ブラックホール撮像を目指した国際VLBI網が形成されつつある。このうち、周波数 300 GHz 以上の電波(サブミリ波)のVLBI観測をおこなえる可能性のあるサイト(標高5000 m相当)は数カ所しかない(図中の赤)。

本研究では、気球で打ち上げる電波望遠鏡のフライト実証をおこない、上空でのフリンジ検出をおこなう。



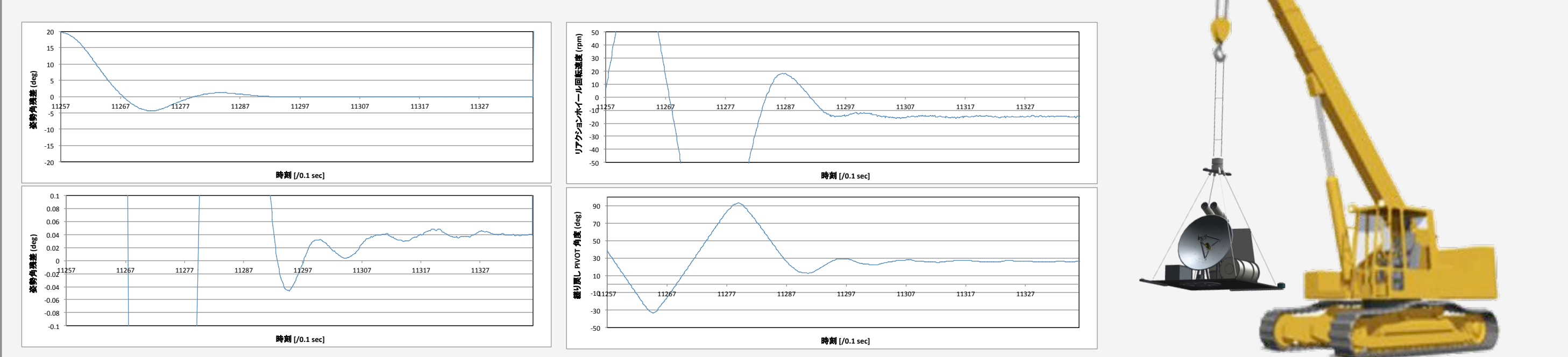
2013年度の活動内容

電波望遠鏡をほぼ完全にインハウスで製作し、国立天文台水沢へ移送、地上用架台のうえで単一望遠鏡として立ち上げた後、VLBIバックエンドシステムを接続し、水沢10m電波望遠鏡と結合し、電波干渉計としての干渉縞を検出した。電波ホログラフィーによる鏡面形状計測をおこなった。また、VLBIの心臓部である周波数標準源振を7mの振り子に搭載し、安定度試験をおこなった。



姿勢制御実験 (12月—1月)

Pivot (繰り戻し) + Reaction Wheel 同時駆動



2014年4月—12月の活動内容

口径1.5メートルの主鏡形状をフォトグラメトリーにより30μmの精度で形状計測した。気密容器の熱・構造概念設計、および、Gondolaの構造設計をおこなった。また、Gondola構体の製造、姿勢決定系システムBBMと姿勢制御系アクチュエータの開発をおこない、Gondolaに搭載し、簡易電源を用いて姿勢制御実験をおこなった。また、周波数標準源振 OCXO の温度安定度試験をおこない、仕様を満たすことを確認した。搭載用VLBIバックエンドシステムの開発をおこなっている。

