

気球VLBI Gondolaシステムの開発の進捗状況

土居明広¹、河野裕介²、馬場満久¹、木村公洋³、松本尚子²、小山友明²、鈴木駿策²、中原聡美¹⁰、坂東信尚¹、福家英之¹、村田泰宏¹、本間希樹²、上原顕太⁴、秋山和徳⁴、石村康生¹、田中宏明⁶、坂本啓⁷、荻芳郎⁴、小木曾望³、児玉峻³、荘司泰弘⁵、亀谷収²、樋口健⁹、萱場綾子¹¹、ほか検討協力者

¹宇宙科学研究所、²国立天文台、³大阪府立大学、⁴東京大学、⁵鹿児島大学、⁶防衛大学校、⁷東京工業大学、⁸大阪大学、⁹室蘭工業大学、¹⁰総合研究大学院大学、¹¹首都大学東京



要旨

科学気球で滞在可能な成層圏は、高周波数の電波帯の天文観測にとって、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、地上の天文台・スペースの人工衛星に次いで第三の観測プラットフォームとなる。我々は、ブラックホール撮像によるサイエンスの展開を当面の目標として、これまで実現されたことのない気球搭載型の干渉計電波望遠鏡局をVLBIで実現する検討をおこなっている。将来の気球高周波VLBIを実現するための技術的課題は、(A) 指向精度、(B) 主鏡の鏡面精度、(C) VLBI高速データ処理系の排熱、(D) 周波数標準系の搭載、(E) 局位置精度などがあげられる。現在は、そのフィージビリティスタディをおこなうための初号機を製作している。北海道広尾郡大樹町の JAXA 大樹航空宇宙実験場からの放球を想定しており、地上 VLBI局との基線の間で 22 GHz 帯でのフリンジ検出を目指す試験的なミッションである。周波数標準と高速データ記録系を含めた、VLBI局として必要なコンポーネントはすべて搭載するうえ、電源供給・局位置決定・姿勢決定・姿勢制御などの飛行体に必要なシステムを 500 kg のペイロードの中で実現する。2016年夏の放球に向け、準備を進めている。Gondolaシステムを地上で吊り、振り子運動で揺らした状態で、姿勢制御 & 局位置決定 & VLBI観測をおこなう試験に成功している。最近では、搭載予定OCXOの230GHz地上フリンジ検出実験(日本初の高周波VLBIの成功)、気密容器システムのフライトモデルの製作と熱真空試験、対振り子振動仰角駆動システムの開発をおこなうとともに、2号機サブミ主鏡試作モデルの製作もおこなっている。次年度、放球までの開発費と開発場所の確保が課題である。

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験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 大樹航空宇宙実験場
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)

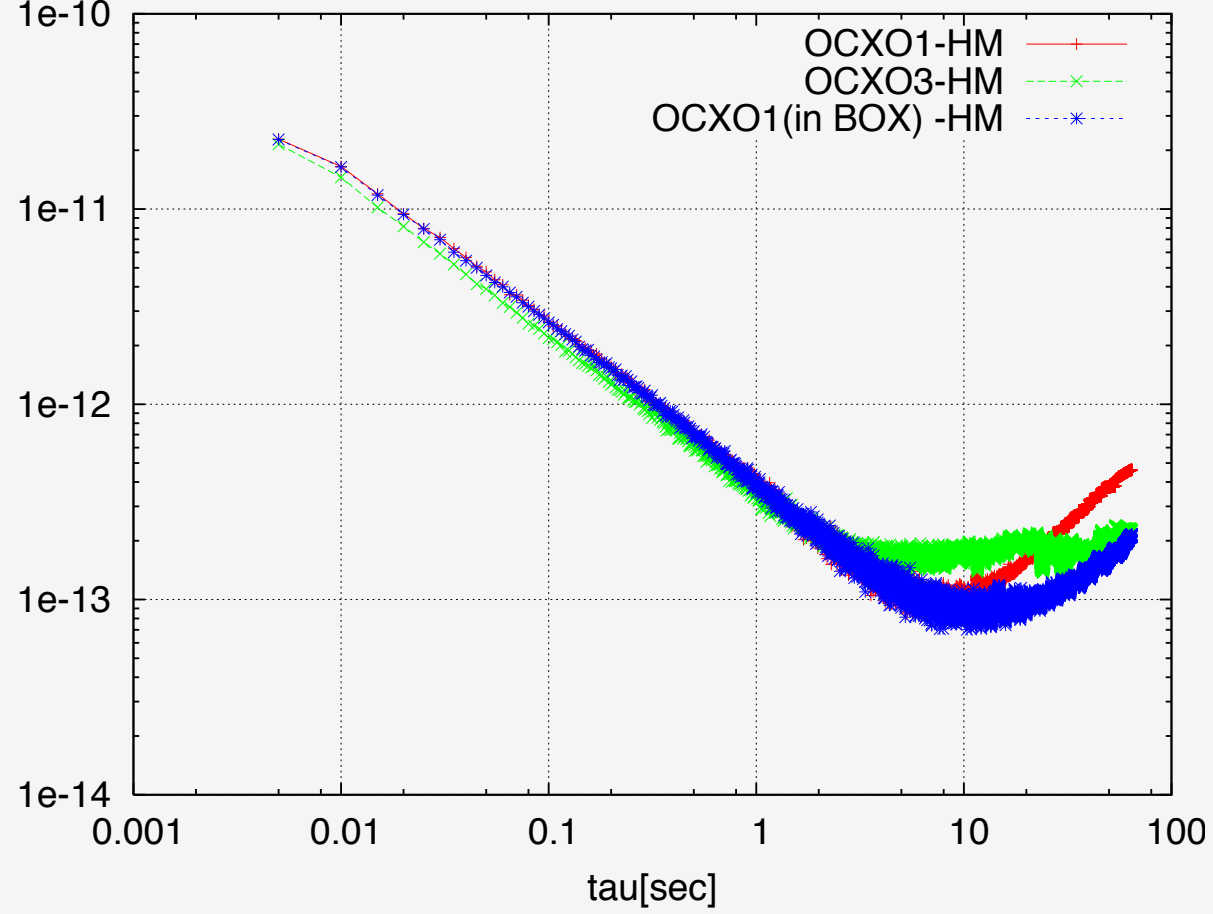
技術課題と解決策

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姿勢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) ボインティング (姿勢) ゆらぎ	真空用スタートラッカーの開発と衛星搭載用ファイバー光ジャイロの搭載
(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°C)	
(1) 大電力機器の熱放散	圧縮容器 (気圧) に入れ、(I) 内部では対流による強い熱伝達効率を得、(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、熱制御材のシールドによる熱歪の抑制
(2) 冷却系の搭載	将来のSIS受振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, FITE 等の実験に学ぶ

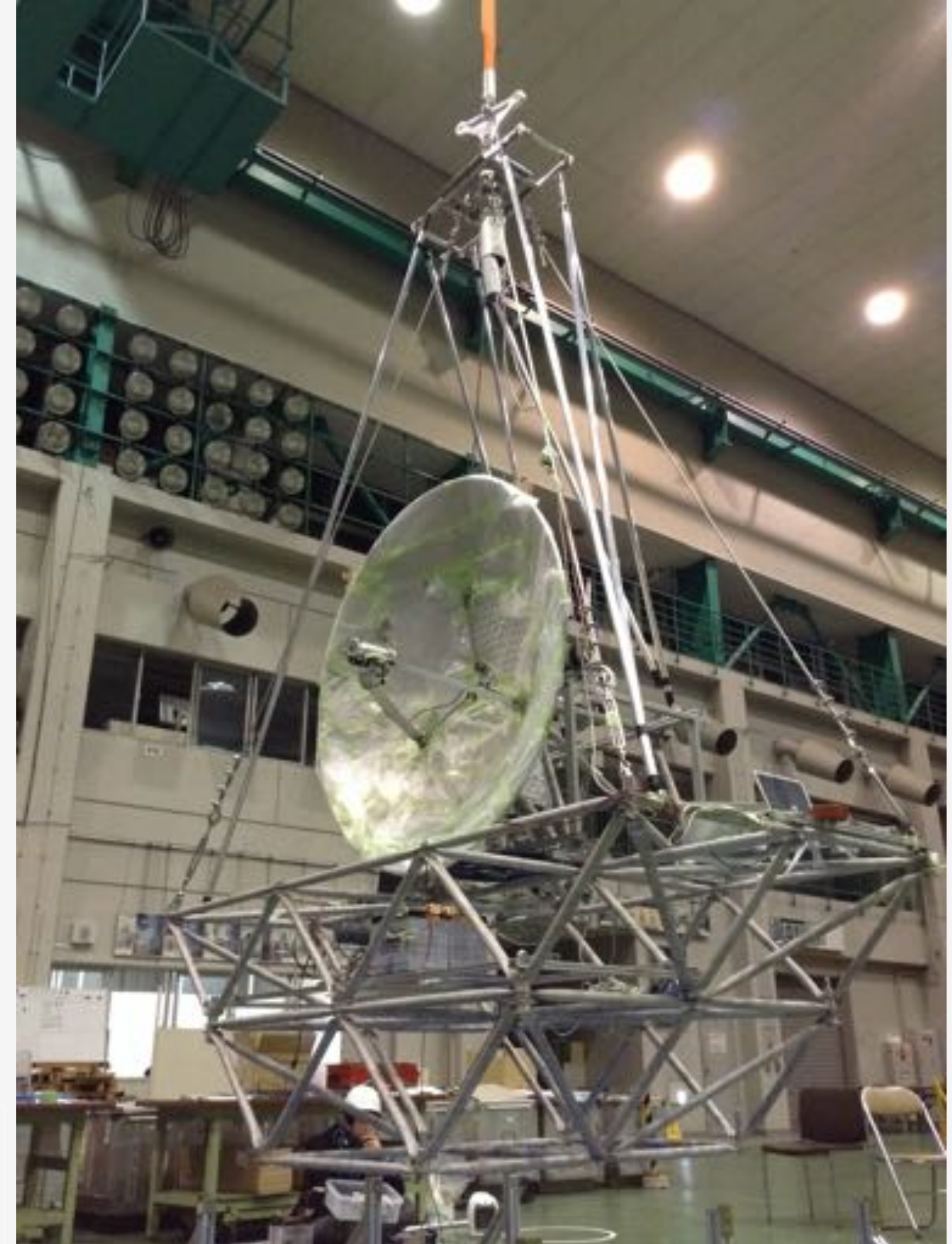
これまでの活動内容

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。Gondolaの構造設計とGondola構体の製造をおこなった。また、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、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。また、Gondolaシステム全体を吊った状態での VLBI観測試験をおこなった。

周波数標準源振OCXO アラン標準分散計測(9月)



Gondolaシステムの製造(11月)



VLBI gondola test flight model

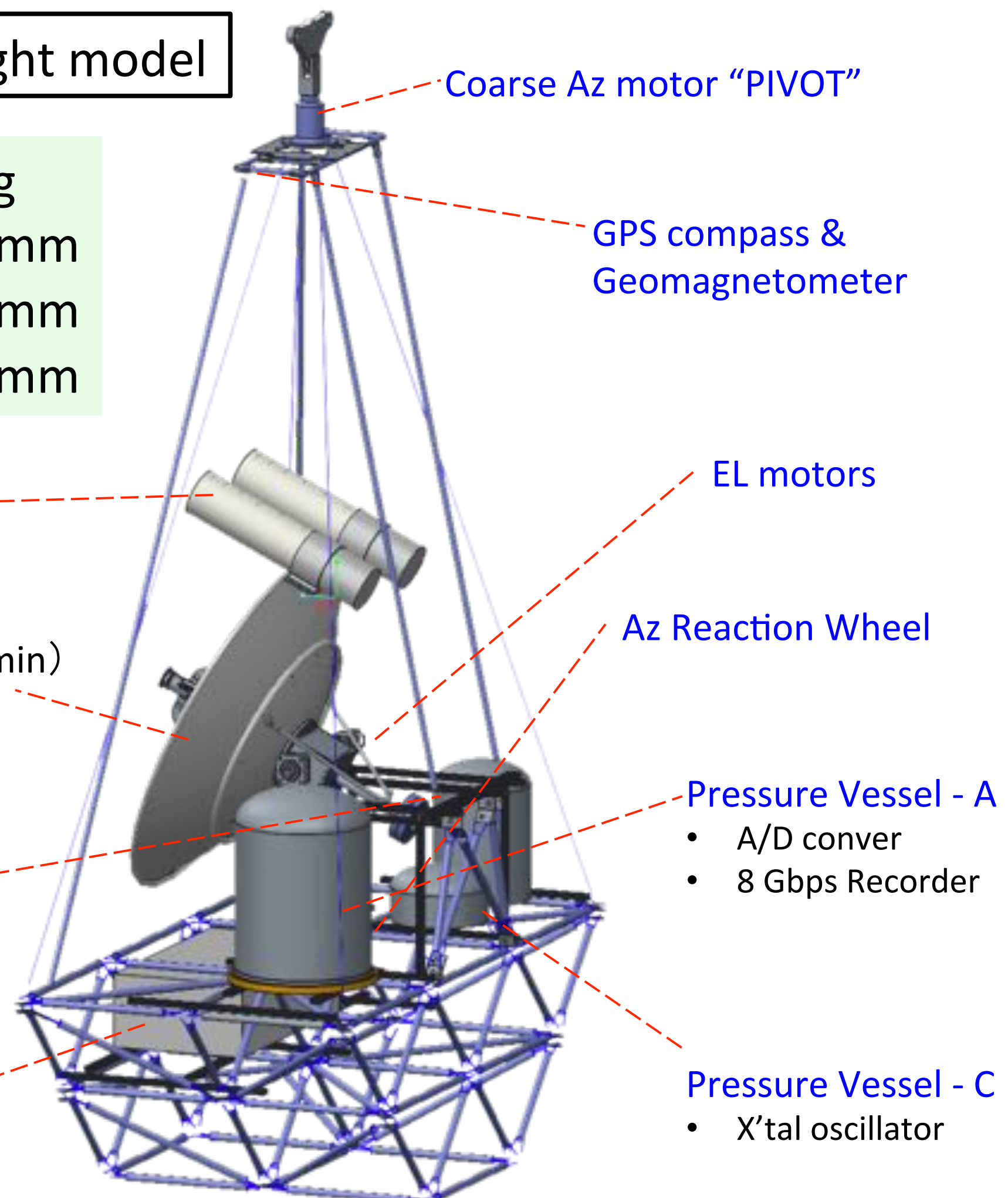
Total weight 500 kg
Height 4180 mm
Width 2600 mm
Depth 1400 mm

Daytime Star Trackers

Φ1.5m Radio Telescope
(22 GHz → HPBW = 30 arcmin)

Pressure Vessel - B
• Down Converters
• Operation PCs
• Gyroscope Sensors

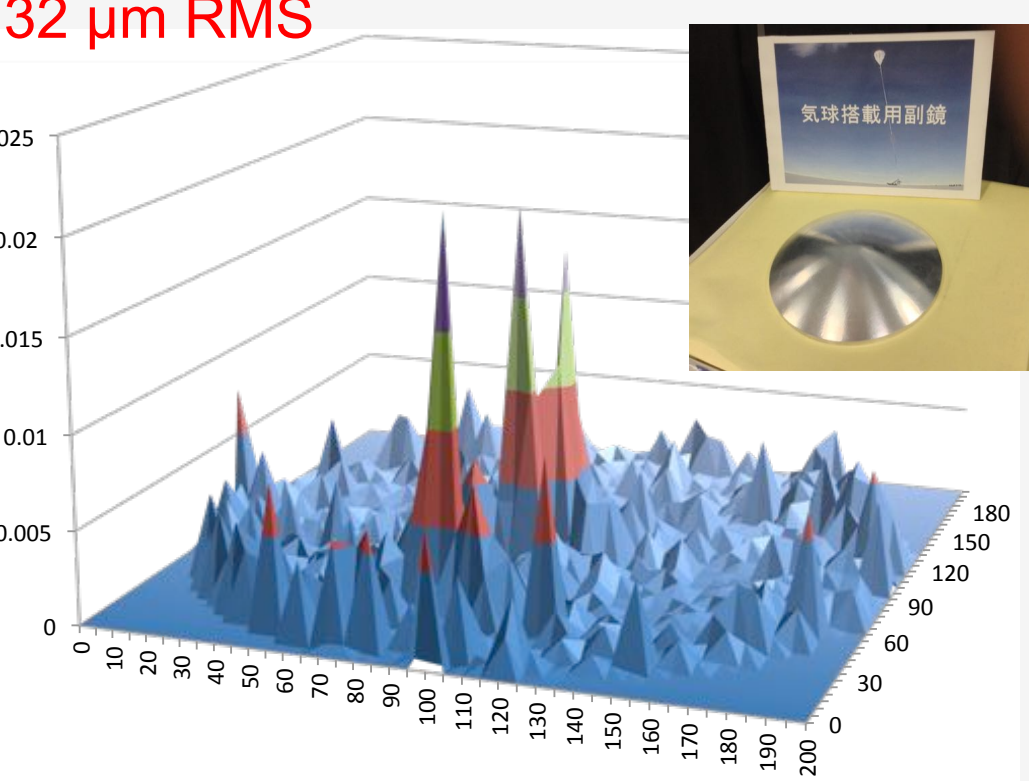
Li-ion Batteries



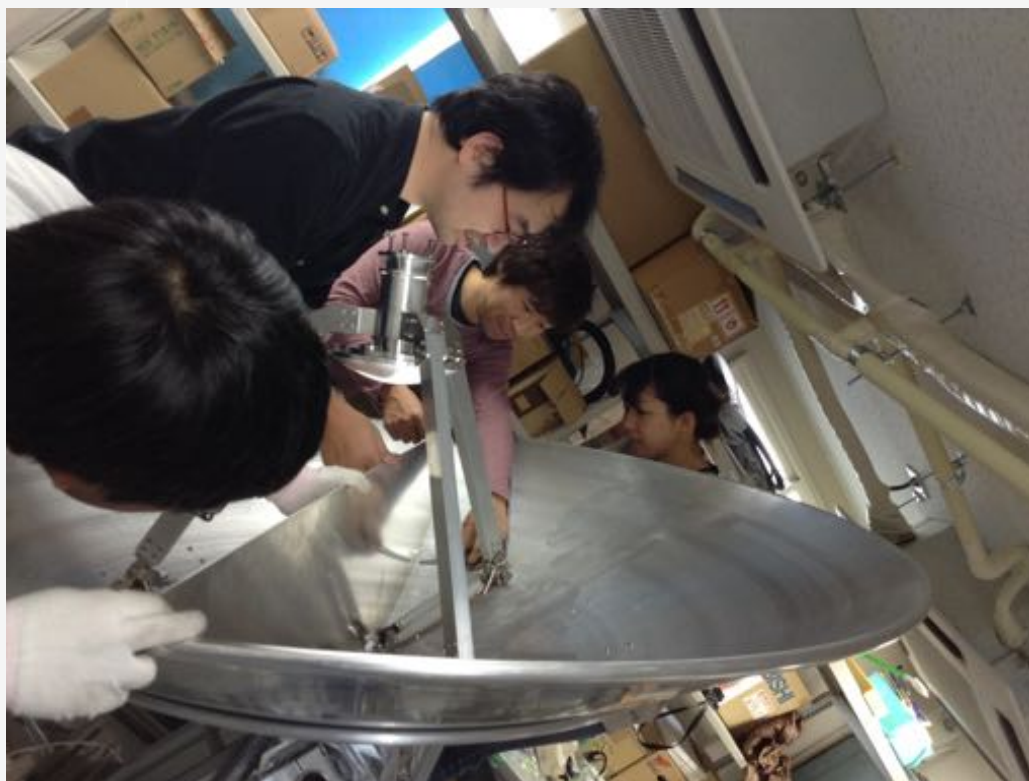
これまでの活動内容

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。

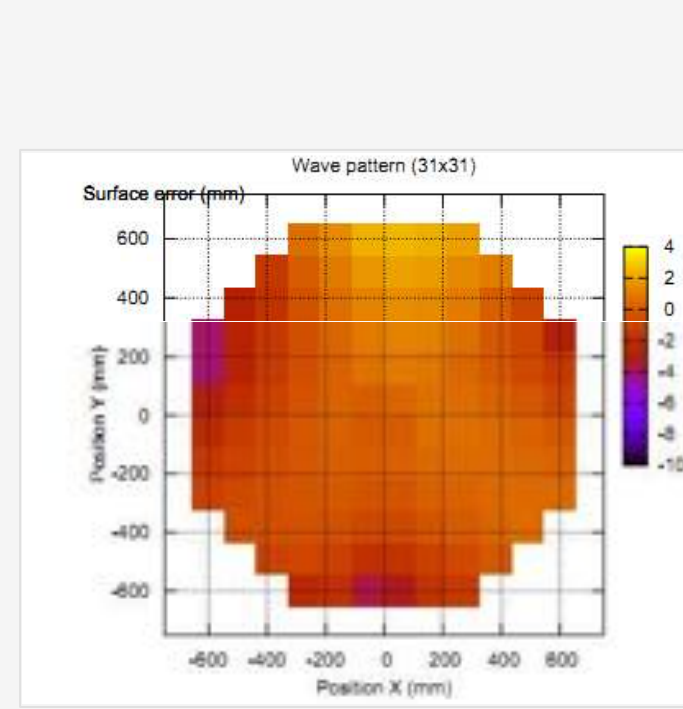
レーザー計測による副鏡面測定(11月)



電波望遠鏡の組立(12月)



スマート副鏡ホログラフィー実験(12月)



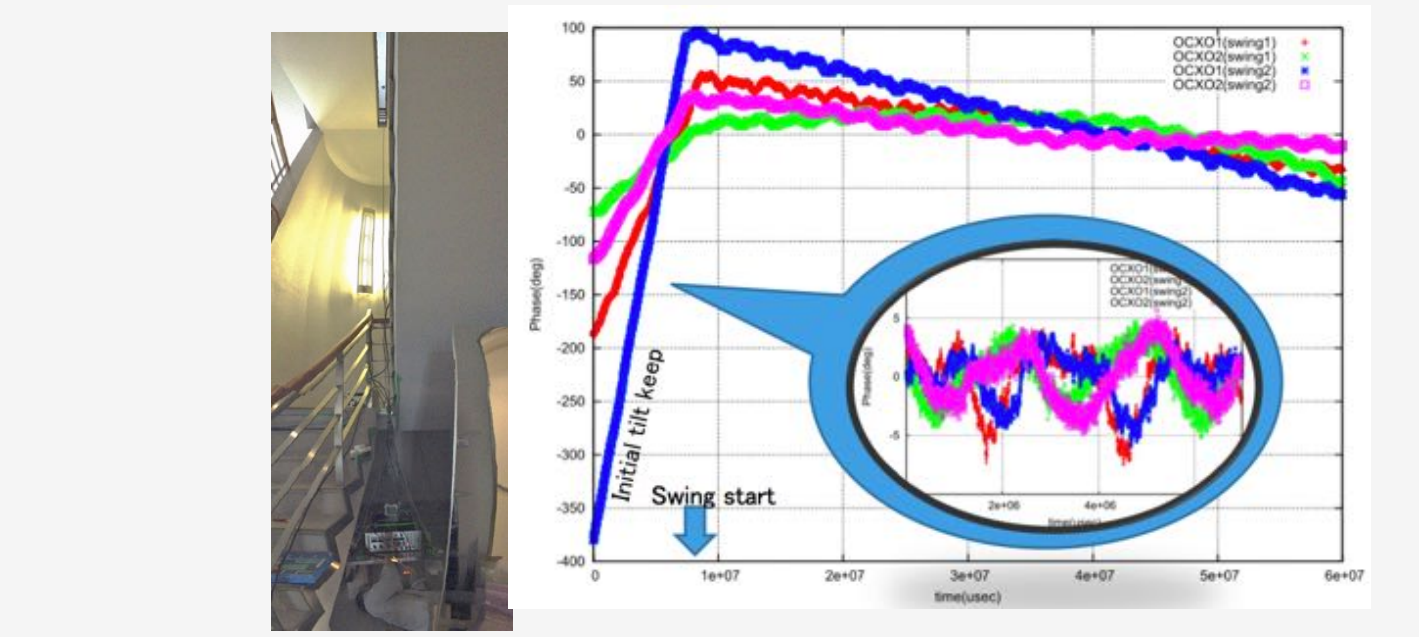
単一鏡ファーストライト(12月)



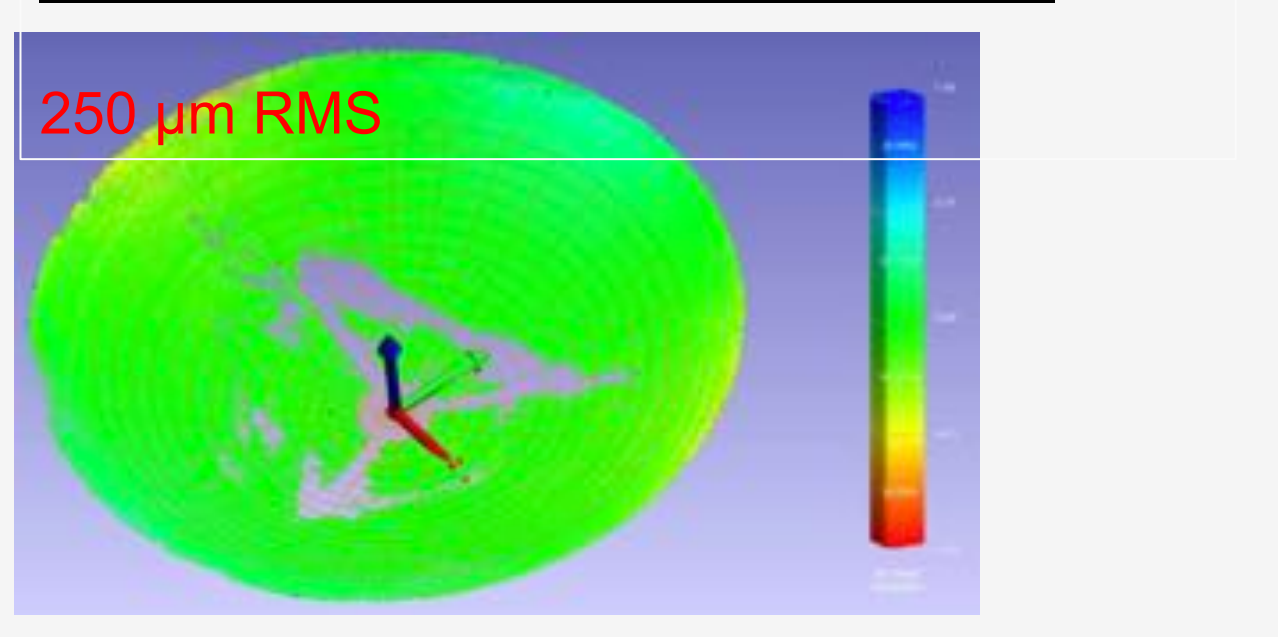
気球1.5m--水沢10mの間で干渉縞検出(12月)



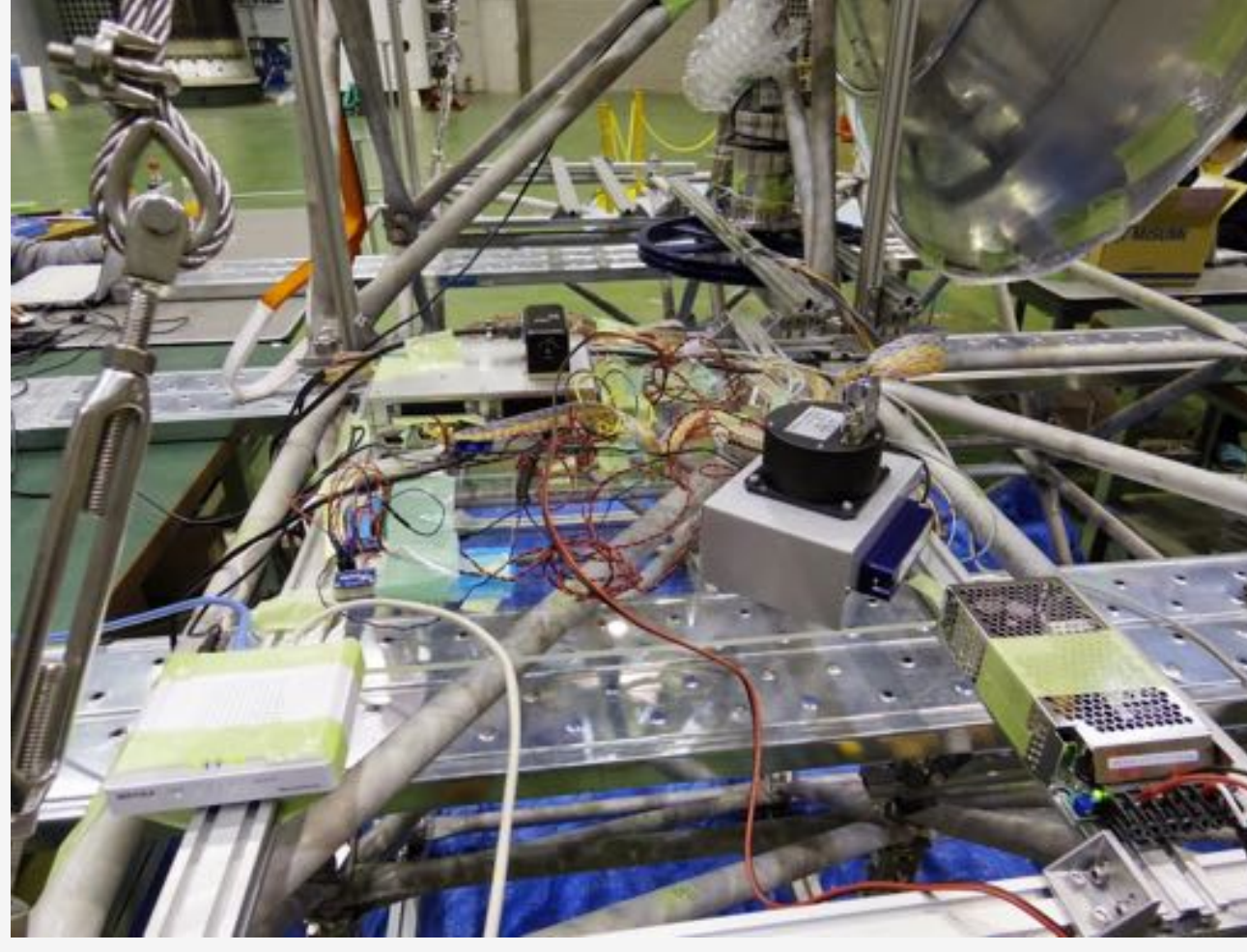
OCXO周波数標準源振の7m振り子実験(2月)



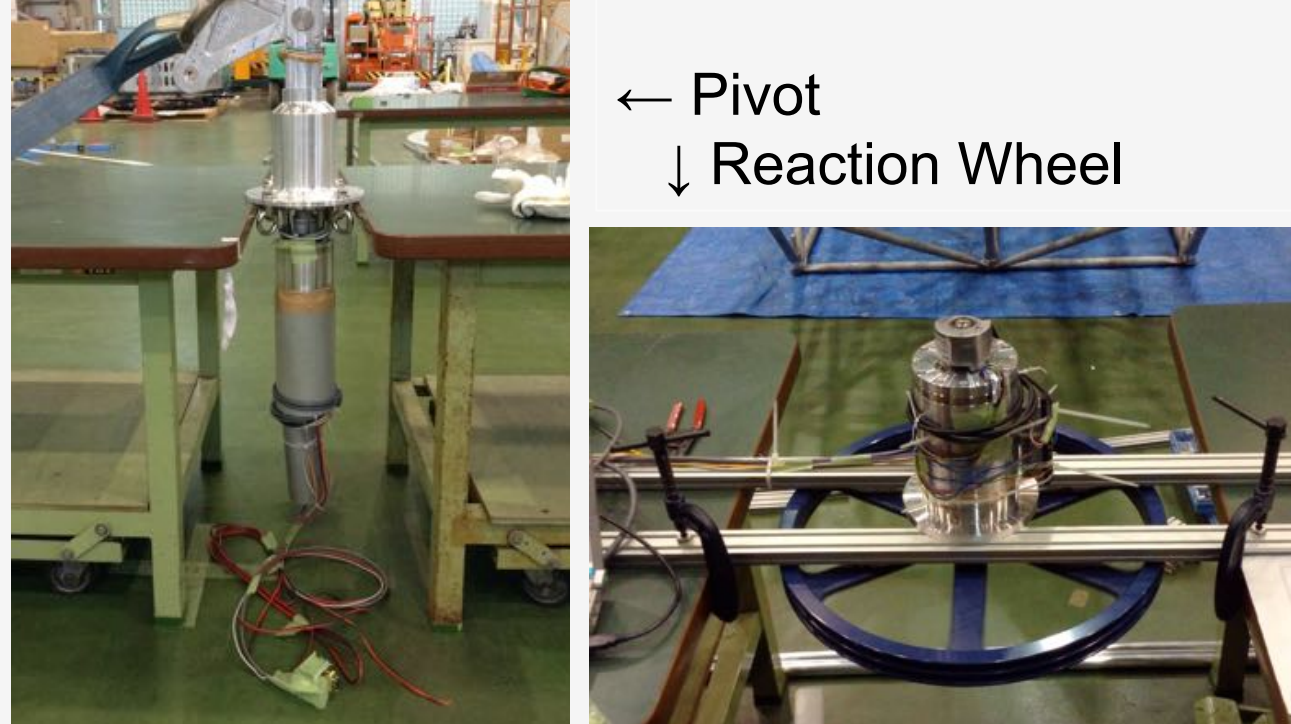
フォトグラメトリーによる主鏡面測定(4月)



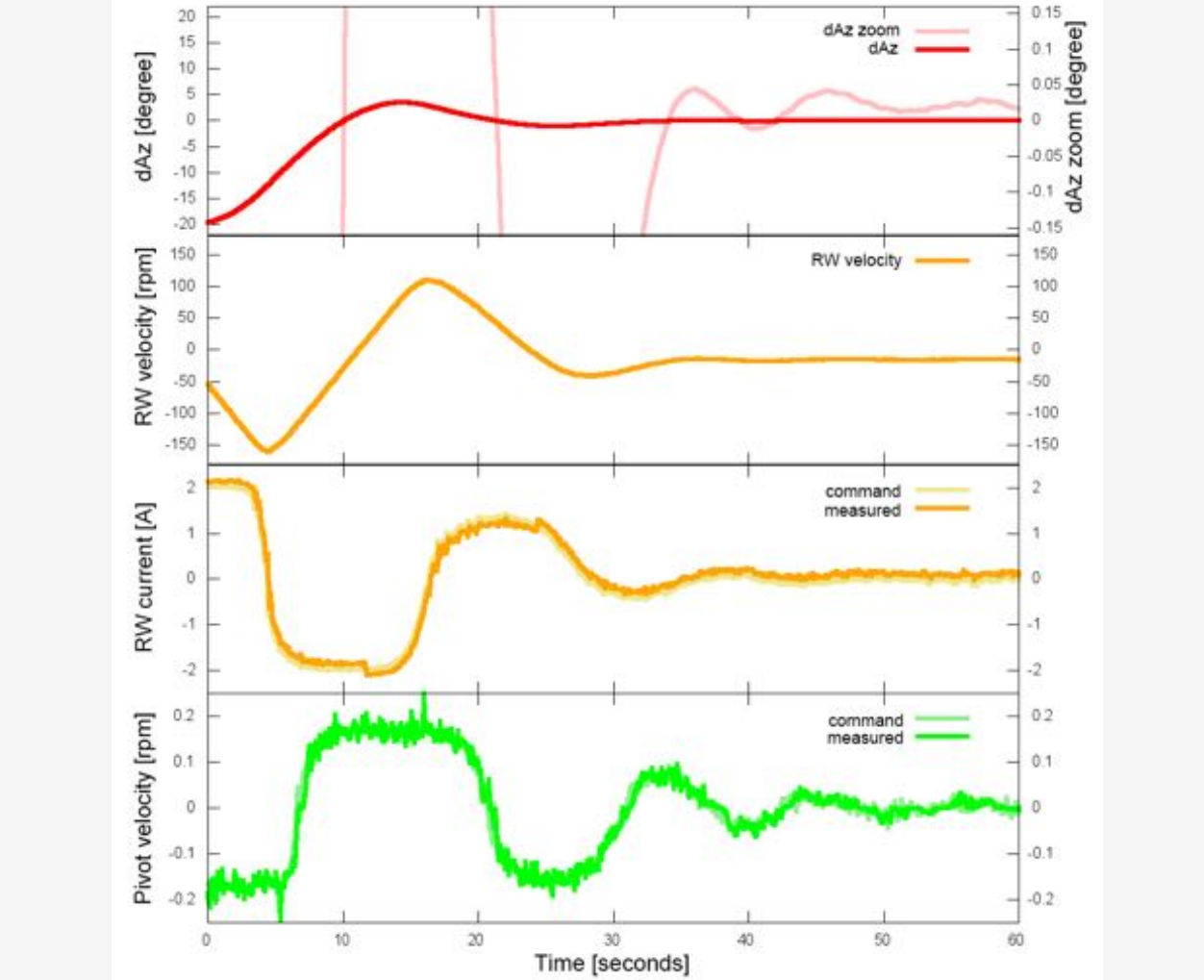
姿勢決定系BBM(10月)



姿勢制御アクチュエータの開発(10月)

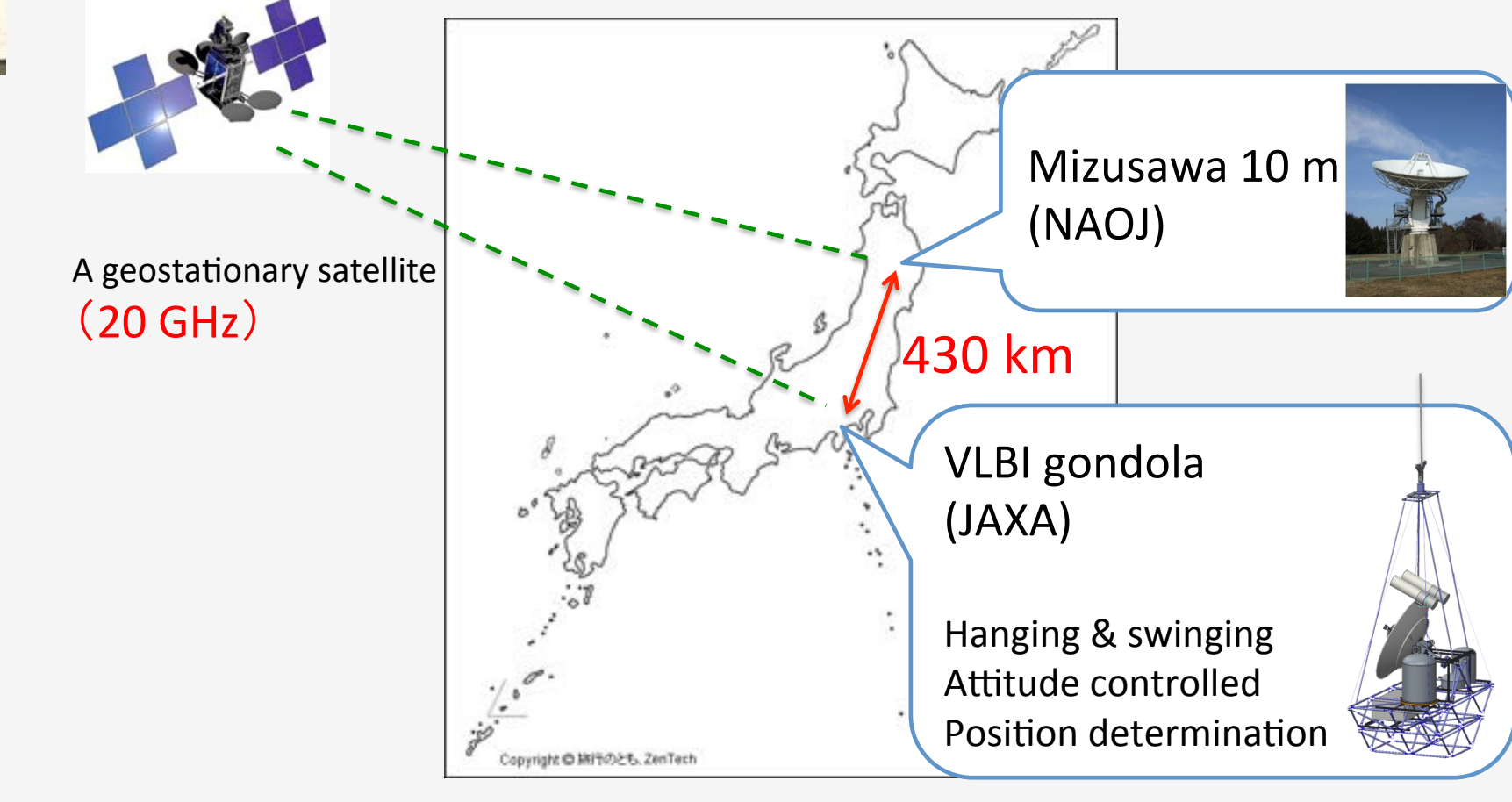


姿勢制御実験(12月-1月)



地上吊りGondola VLBI実験(3月)

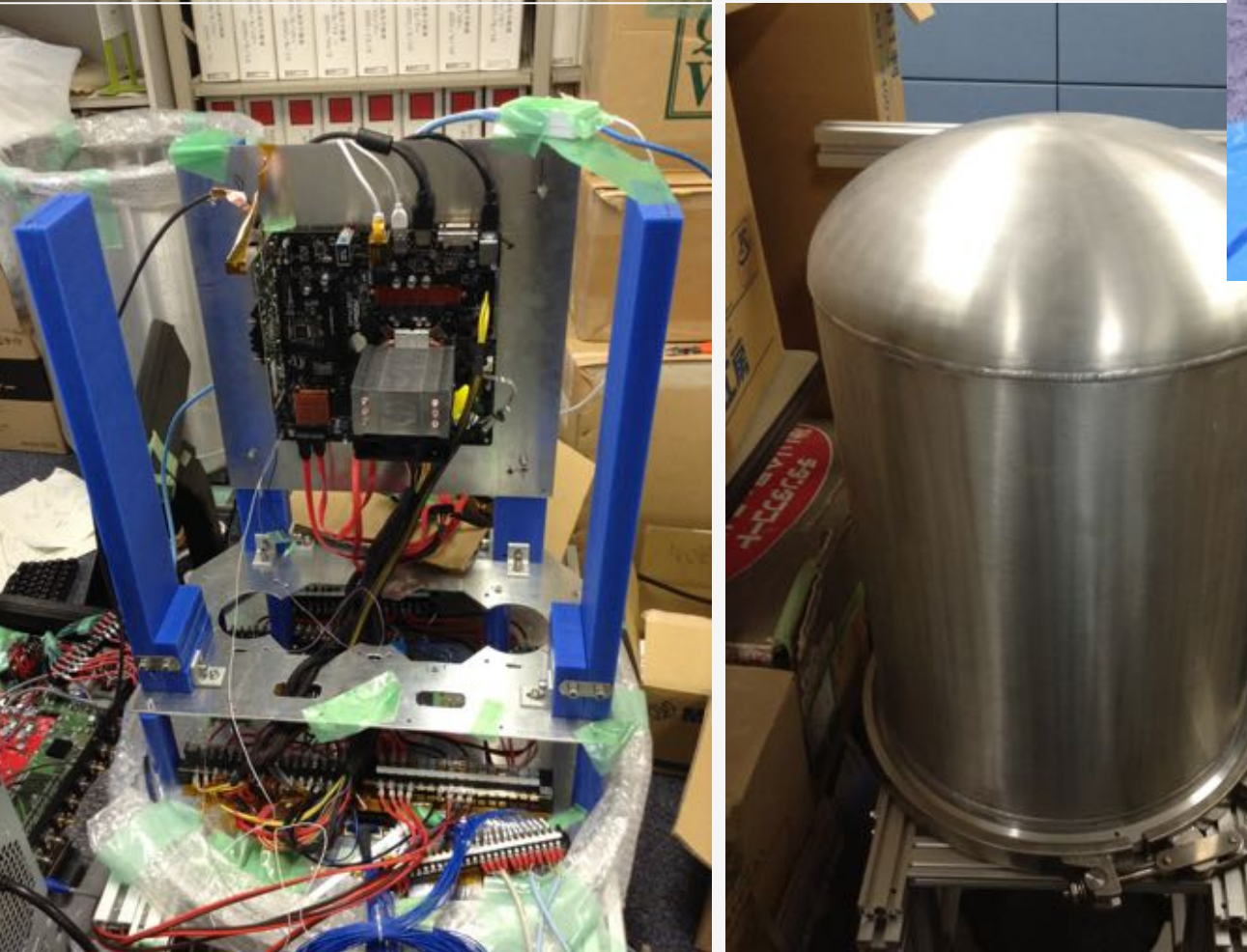
平面鏡を介して電波を試験棟室内に導き、室内でクレーン懸垂したGondola望遠鏡(自動姿勢制御しながら)で受信し、VLBI観測をおこなった(相模原市-水沢市間基線長 426 km)。振り子振動で揺れていたが、オンボードセンサによる局位置変動補正により、干渉縞のコヒーレンスはほぼ完全に復帰した。



230 GHz フリンジ検出実験(4月)



高速データ記録 気密容器システムの開発(9月)



電源BOXの製作(9月)

