

宇宙遠赤外線干渉計 (FITE) プロジェクト：次回フライトに向けて

芝井 広、住 貴宏、深川美里、叶 哲生、伊藤優佑、山本広大、會見有香子、栗田嘉大、小西美穂子、佐々木彩奈、秋山直輝 (阪大理)、成田正直、吉田哲也、齊藤芳隆 (ISAS/JAXA)

遠赤外線干渉計 FITE (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment) の 2013 年フライトに向けた準備状況について、新しい Gondola 構造と改良型光学調整法[1]を中心に記述する。

1. FITE 概要

FITEは遠赤外線領域で、従来の観測装置にはない高空間分解能観測の達成を目指している。FITEの最終的な目標は最大20 mの基線長をもち、波長100 μm で1秒角の空間分解能を実現することである。FITEはMichelson天体干渉計を採用しており、飛翔体の観測装置としては世界初の試みである。FITEは、干渉計を構成する望遠鏡部と観測器全体の姿勢を安定させる姿勢制御部からなる。望遠鏡部には、天体からの光を2方向から導入し、中央の構造体内部の2枚の放物面鏡で集光する。集光された光はクライオスタット内に入り、内部に設置された冷却光学系で適当なF比に変換され検出器で検出される。FITEは1秒角の空間分解能で観測を行うので姿勢安定精度1秒角以下で姿勢を制御する。これを実現するためにFITEは3軸姿勢制御方式を採用し、高精度で3軸姿勢制御を行うために高精度リングレーザージャイロを用いてGondolaの位置情報を取得している。これらFITEの基本設計については[2],[3]を参照されたい。

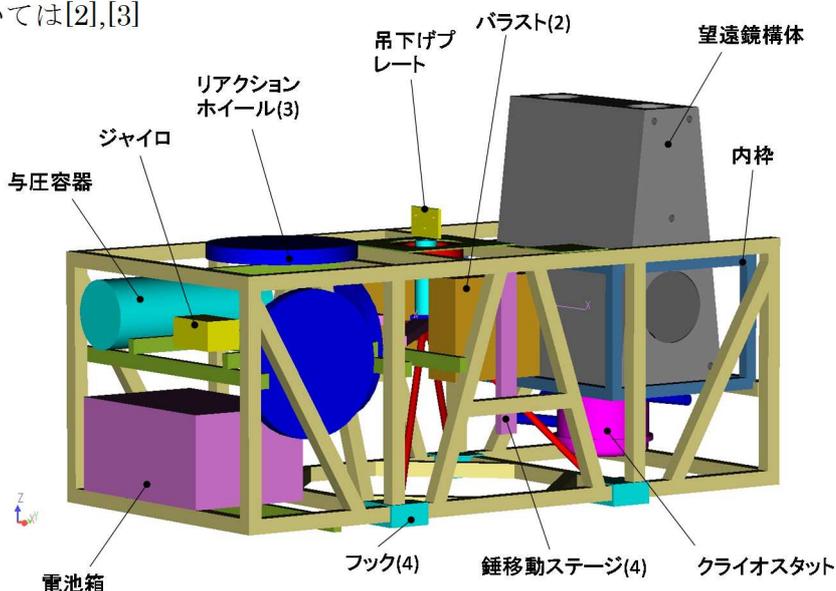
2008年11-12月、2010年11月～12月、2011年2月～3月の期間にブラジルの実験場で初フライトを計画していたが、光学系の運送中での破損、2回の実験中にジャイロが故障し代替品を用意したが原因が特定できず再発の可能性のあることからフライトを中止した。現在、次回のフライトへ向けて、問題になった部分の対策とその他の問題点の改修を行ってきた[4]-[7]。

2. 改良型 CFRP Gondola の製作

次回フライトへ向け、FITE のGondolaを新しく再製作する。再製作する理由は、CFRP 角パイプ接着構造が自作の接着により組み立てられたため、①構造強度の定量的評価ができていなかったこと、②制御部がアルミ角パイプ溶接構造であるために熱膨張係数の差を逃れるためにベルト締結で組み上げざるを得なかったこと、③Gondolaが一体で輸送できない大きさだったために、現地での準備作業量が増えていたことなどを解消するためである。

さらに 2012 年春になって、オーストラリアでフライトする場合の条件が定まったが、これによると「10g」で破壊しない強度を持つことが要求されている。これは従来よりも厳しい条件であるため、その後に設計の見直しを行った。さらに気球飛翔制御の観点から、バラストを 850kg (従来 450kg) 積載する必要が生じたことへの対応も必要であった。これらの対応のためにも、従来のGondolaを使用することは不可能であった。

図 1. 改良型Gondola概念図 (干渉腕省略)



まず構造強度の定量的評価のために、まず、使用する CFRP 角パイプの圧縮座屈破壊試験を実施した。被試験体は使用予定製品二種類を使用し、専門の試験会社で行った（図 2）。最も重要な部分に使用する予定の厚み 5.06mm の 100mm 角パイプ（長さ 800mm）2 本の試験の結果、図 3 のようにパイプの中位の層間剥離による座屈が生じた。これが最も予想しにくい破壊モードであったが、図 4 に占めるように 2 本ともに 60 トンまで耐えたので、このデータを参考に設計することとした。破壊以前の圧縮に対する剛性もほぼ一定で予想通りであった。なお圧縮座屈以外の強度については試験データがほぼ揃っていること、原材料繊維の引張強度からの推定が大きく異なるという予想はない。



図 2. CFRP 角パイプ座屈試験装置



図 3. 圧縮座屈破壊後

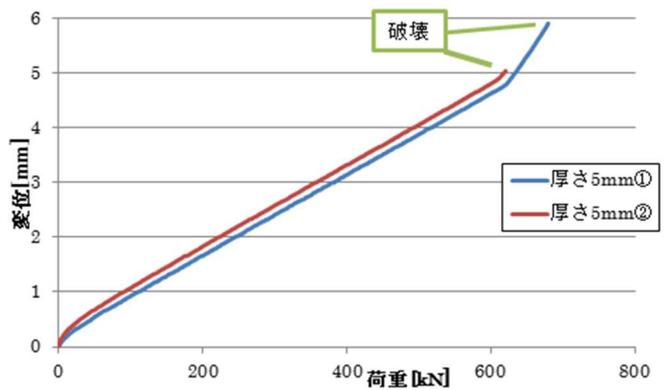


図 4. 全圧縮荷重と変位（収縮量）の測定結果

この試験結果や他のデータを参考にしながら新しい Gondola 構造の設計結果が図 1 である。従来より少し幅狭にすることで、標準のリーファコンテナにそのまま収容することができるようになり、節の冒頭で述べた問題点②と③が解消された。

この構造については①定量的な構造強度の評価のために、ANSYS による構造解析を実施途中である。Gondola 全体の一体としての解析は未完であるが、最も注意を払うべき部分については図 5 に示す例のように解析ができており、かなり余裕を持った設計ができています。主要 Gondola 構造全体の構造解析によって、オーストラリアでの打ち上げ条件を満たす設計であることを示す予定である。

さらに CFRP 角パイプ接着構造は、大気球搭載装置はもとより、スペース搭載品であまり例がなく、基本構造として信頼性があることを前提にす

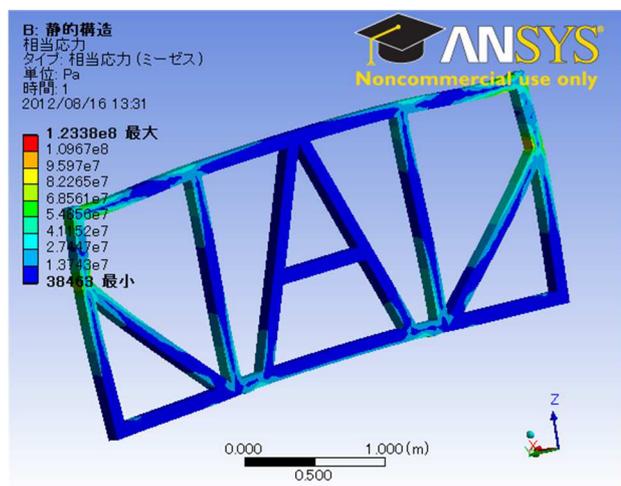


図 5. 側面だけの構造解析結果の例（静荷重）

ることができない。そこで、特に懸念される次の2点について、既に実施あるいは計画している。

一つは湿度管理などの作業・保管環境の管理である。原材料から角パイプの製造、切断、表面処理、接着、運送、塗装、試験すべてにわたって、温度湿度を測定し、制御している。現在、ゴンドラの接着工程に進んでおり、間もなく全体が組みあがる予定である。

もう一つは構造強度の保証である。全体が組みあがってから、実機の強度試験（10g）を行うこととした。ただしこの試験においては荷重を付加する前後で CFRP 角パイプ接着部が破壊していないかどうかを確認する必要がある。そこで超音波による接着部の非破壊検査（NDI）を実施することにした。このために必要な検査基準片（図6）を製作した。

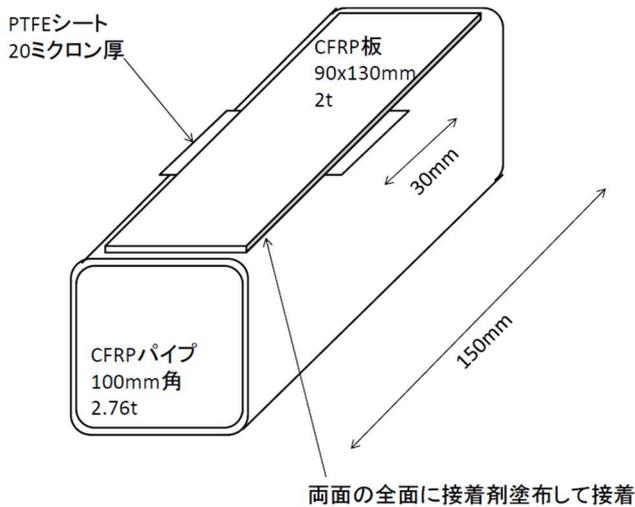


図6. 超音波非破壊検査（NDI）基準片

また、CFRPは黒色であり太陽光による温度上昇が懸念される。そこで太陽光エネルギーをほぼ反射する塗料をもちいて温度上昇が極力起きないようにする予定である。CFRP表面に堅牢な塗膜を形成するために、表面処理、プライマー塗装、本塗装、保護塗装の4工程を実施することにした。既に試験塗装が完了し、評価中である。

ゴンドラと気球との連結部についても、新たに設計した。これについては、気球トレインの設計と関係するので協議が必要である。I/Fが合意できれば最終設計・製作へとすすみたい。

3. 新光学系調整方法の開発

FITEはスペースも含めて地上で無いところに浮いた状態での初めての干渉望遠鏡である。打ち上げ前の精密な光学調整が必要であるが、2008年、2010年のブラジルでの実験準備では、現地の悪天候や停電が原因で思うように光学調整を進めることが出来なかった。

そこでもっと短期間で効率の良い調整作業ができるように、新しい調整装置を開発中である[1]。これは名づけて、「2ビーム同時シャックハルトマン波面計測装置」と呼べるものであり、左右の放物面鏡の波面誤差（つまり鏡の調整誤差）を同時に計測できる装置である（図7）。これまでは片方のビームずつ、ハルトマンテストによる計測を繰り返す手法であった。

このためには特殊な基準球面鏡（300mm径でF/0.5より明るい）が必要であったので、図8のように製作した。さらに一つの波面センサーで、2つの波面誤差を計測するシステムを構築する必要がある。このために、特殊なトリプレット対物レンズを光学設計し組み上げ、ビームエクパンダー、ビーム切替機構などもすべて自主開発した。調整機構全体の構成図を図9に示す。

すでに原理確認を終え、詳細設計を完了し、必要な部品を取り揃えた段階である。まもなく実機を組み上げて、FITE干渉計で実際に調整する段階に進む予定である。

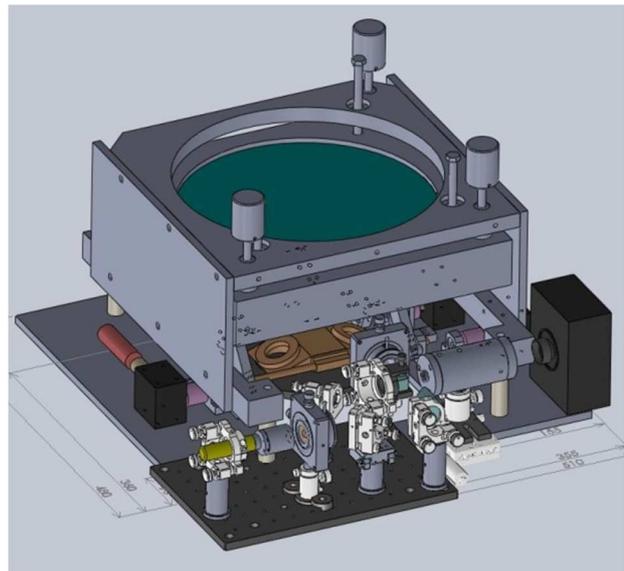


図7. 新型2ビーム同時波面計測装置外観図



図 8. 300mm 径で F/0.5 の高精度基準球面鏡

4. 2013 年フライトに向けて

以上に記述したこと以外に、より軽量の平面鏡の新規開発、耐環境搭載 PC の採用、放物面鏡駆動用準平行機構の新規開発、新型遠赤外アレイセンサーの開発などを進めており、成功した開発成果は取り入れる計画である。

また、姿勢制御用駆動機構の能力アップ、バッテリーの能力アップなどを既に行った。また、これまで現地で不具合が生じた装置については、調査し修理と対策を施した。

これらについては紙面の都合からここでは記述しないが、下記の引用文献その他を参照されたい。

参考文献

- [1] "Development of New Optical Adjustment System for FITE (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment)"
A. Sasaki, et al., SPIE 8445, 2012
- [2] "Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment (FITE): Three-Axis Stabilized Attitude Control System"
A. Nakashima, et al., Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, Vol. 8, No. ists27, pp. Tm_19-Tm_24, 2011.
- [3] "Development of Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment"
T. Kanoh, et al.,
The 2nd Subaru International Conference on Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity, P53, Keauhou, Hawaii, March 9-12, 2009.
- [4] FITE2008年実験経過と2010年の初フライト計画
芝井 広 他、大気球シンポジウム 2009年
- [5] 気球搭載遠赤外線干渉計FITE: 初観測に向けて
芝井 広 他、日本天文学会 2010年春季年会 3月24 - 27日
- [6] 遠赤外線干渉計FITEのフライト計画
叶 哲生 他、大気球シンポジウム 2010年
- [7] 気球搭載遠赤外線干渉計FITE次回フライト計画
叶 哲生 他、大気球シンポジウム 2011年

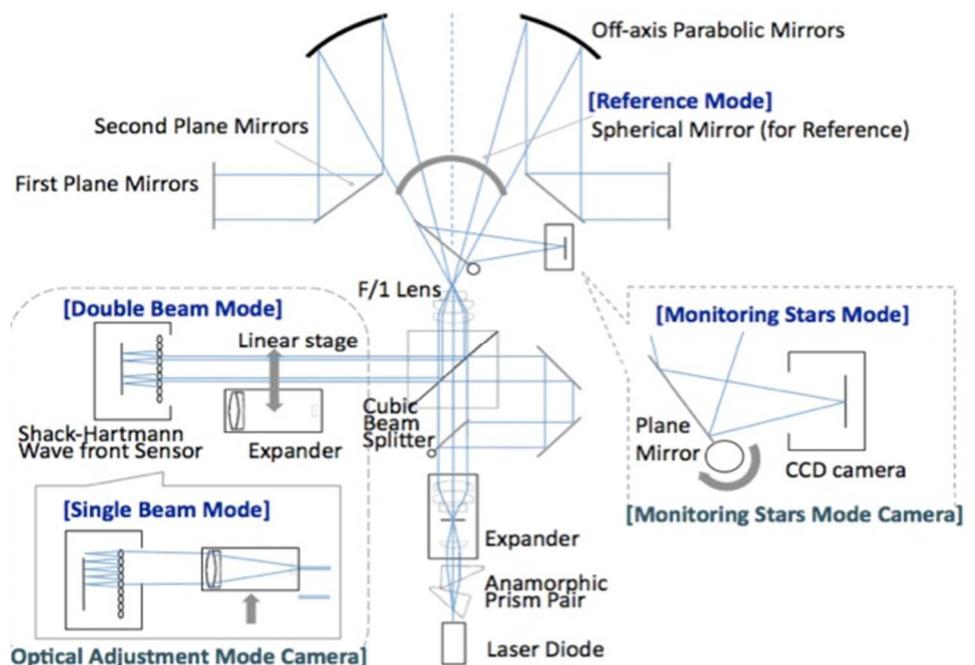


図 9. 新放物面鏡調整機構
概念図