

## 気球搭載型遠赤外線干渉計 FITE:次期フライト計画と高強度フレームの開発

芝井 広、山本広大、佐々木彩奈、秋山直輝、寺農 篤、住 貴宏、深川美里、會見有香子、  
 栗田嘉大、小西美穂子（阪大理）、成田正直、吉田哲也、斉藤芳隆、土居明広（ISAS/JAXA）、  
 河野裕介（国立天文台）

遠赤外線干渉計 FITE (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment) の 2014 年フライトに向けた準備状況について、新しいゴンドラの強度試験結果を中心に記述する。

### 1. FITE 概要

遠赤外線領域で世界最高の空間分解能を達成し、原始惑星系円盤や星生成領域、晩期型星ダストシェルなどの詳細観測研究をすることを目的とする装置である。ペイロードである FITE 本体については SPIE New Room の記事を添付するので参照されたい。また、改良点を中心に、昨年度の大気球シンポジウム集録など ([1][2]) に記述されているので、これも参照されたい。

FITE の最終的な目標は最大 20 m の基線長をもち、波長 100  $\mu\text{m}$  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。

これまで、日伯共同気球実験の一環として、2008 年 11、12 月期、2010 年 11、12 月期にフライトを試みたが、いずれも打ち上げに至らなかった。そこで 2014 年度後期にオーストラリアでフライトすることを目指し、ペイロードを改造する。観測対象は中間赤外線でも明るい晩期型星および太陽系外惑星を候補とし、技術実証の目的もかねて行いたい。2014 年に成功すれば 2015 年度もフライトを実施したい。

### 2. 改良型 CFRP ゴンドラの製作

FITE は我が国の気球ペイロードとしては最大級、最重量級のものである。当初は主要構造にアルミ角パイプ溶接構造を採用していたが、ペイロード重量の大幅超過が発覚したため 2008 年のフライト前に、主要構造の半分を CFRP 角パイプ接着構造に変更した。CFRP 角パイプは専門メーカーの製造、接着組み立ては我々が行った。

2010 年になってフライト前のリハーサル後に、干渉計望遠鏡の受け板接着部分に亀裂が発生し

たため、このままではフライト出来ないと判断し、構造部品を追加する応急処置を行った。またそれ以外にも、ブラジル現地で接着作業を行った部分に複数個所の不具合（接着部の強度が不十分ではがれる）が発生した。それらについては応急処置 + 強度試験を行って性能を実証した。ブラジル現地は事前の我々の予想よりかなり高温高湿環境であり、エポキシ系接着剤の使用にあたっては低湿度作業スペースの準備など最大限の配慮・注意が必要であったと考えられる。

これらの経緯を考えると、この機会に主要構造と製造工程を見直して信頼性を向上させることが重要であると判断する。また気球フライト制御の観点からバラストを 450 kg から 850 kg 程度に増加させることになったため、この点からは構造の再設計・製作が必須である。

さらに、オーストラリアでフライトするためのペイロードに対する条件が、ブラジル時の条件よりも厳しいことが 2012 年になって明らかになった。そのため、構造設計と実証試験を大幅に見直す必要が発生した。

宇宙研の構造工学、気球工学の専門研究者と検討の結果、

- 重量軽減のため、CFRP を用いることはやむを得ない。
- 主要構造全体を新しいバラスト重量を考慮しつつ合理的に設計し、再製作する。
- 製造については温度湿度制御をするが、接着組み立て後に現品試験をすることで性能を証明する。

方法を取ることにし、新しいペイロードの構造体を製造し（図 1）。2013 年 9–10 月にかけて、宇宙研構造機能試験棟の設備を用いて、静荷重 10g に耐えることを実証する試験を、以下のように実施した。

### 2. 強度試験計画

強度試験は構造機能試験棟の大型スタンドに

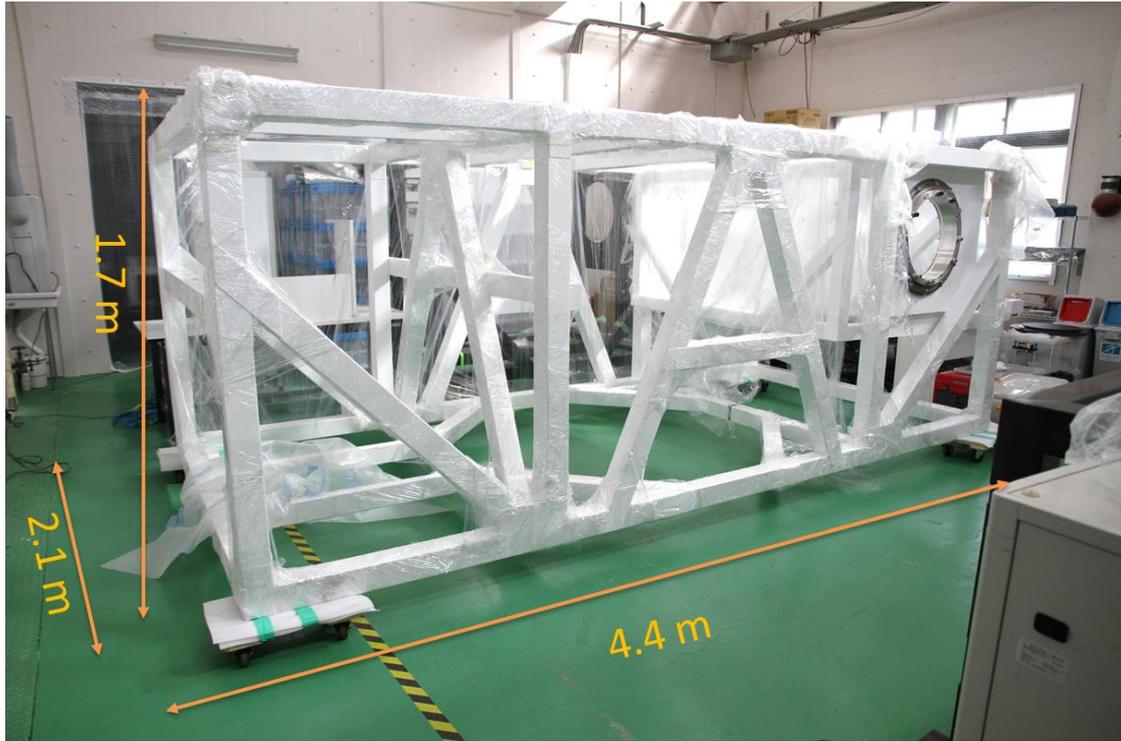


図 1. 新ゴンドラフレーム（白色塗装後）

設置し、油圧ジャッキ装置、多点モニター装置などの設備を使用して行った。ただし、試験の配置は図 3 に示すように、フレームを上下反転し、6 か所のロードセル付台座で荷重を受ける方法を採用した。実際には多くの機器がフレームの各所に搭載されるが、これを完全に模擬することができないため、有限要素法解析によって最も歪が大きい場所を選び出したところ、予想通りフレームの縦の柱であった。また有限要素法解析ではシミュレーションが困難な吊下げフック部についても、実際の強度が必須である。これら 2 点に加えて、全体的な構造についての試験ができるように工夫した。ただし以下の項目については、別途、試験が必要であることがわかっている。

試験の前に、ANSYS を用いて全体構造についての有限要素法解析を行った。なお、真のパイプ形状を再現することは計算量が膨大になって不可能なため、梁はすべて角柱で構成した。ただし角柱の縦弾性係数は、実際の CFRP 角パイプのものを用いた。この結果を図 4-9 に示す。



図 2. CFRP 角パイプ個別試験

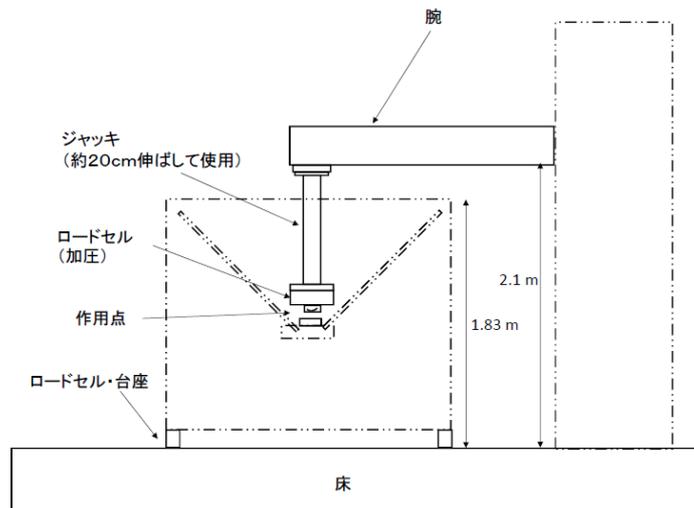


図 3. フレーム強度試験配置

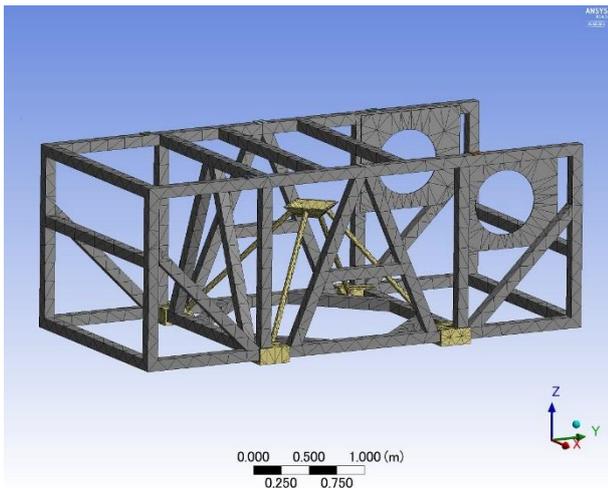


図 4. 有限要素法解析 — メッシング結果

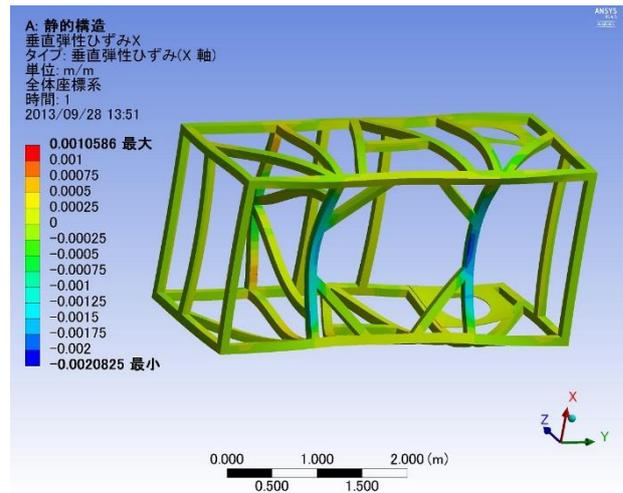


図 7. 有限要素法解析 — X 方向垂直歪

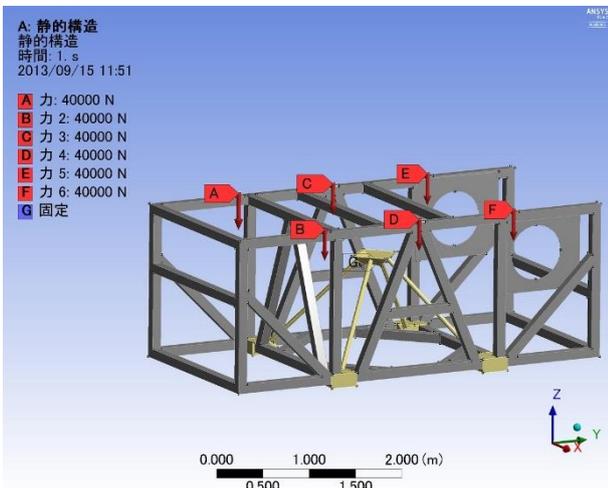


図 5. 有限要素法解析 — 荷重点

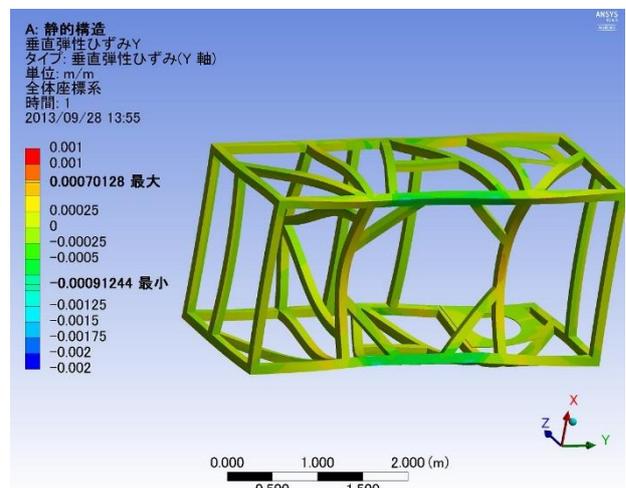


図 8. 有限要素法解析 — Y 方向垂直歪

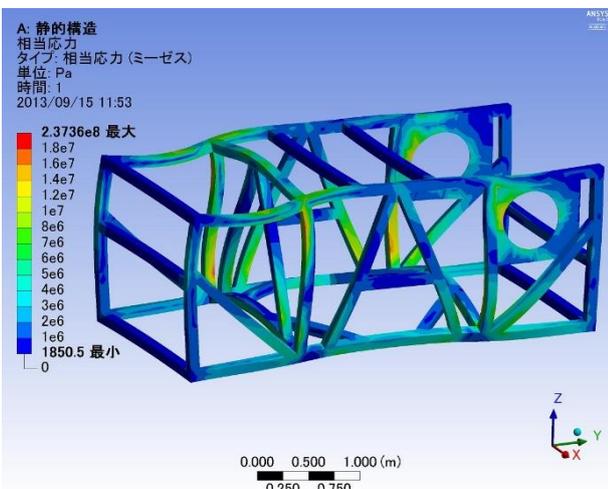


図 6. 有限要素法解析 — ミーゼス応力

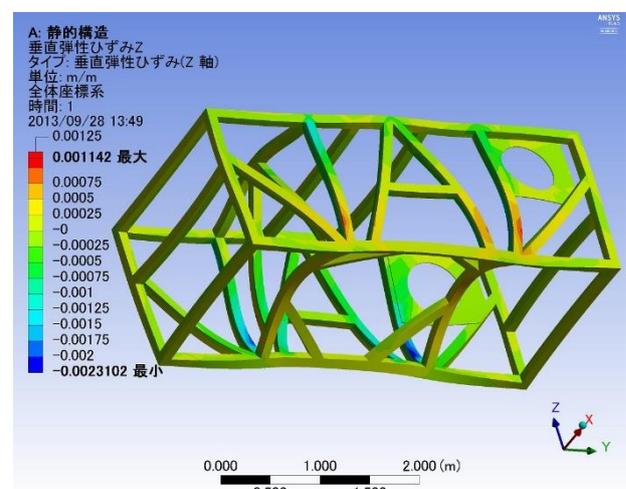


図 9. 有限要素法解析 — Z 方向垂直歪

### 3. 有限要素法解析

まず図4は吊下げフック部も含めたメッシング結果である。次に図5が荷重点である。FITEの打ち上げ時には全重量が2.4トンに達すると考えられる。静荷重10gで耐えることがじょうけんであるので、合計24トンの静荷重を4トンずつ計6か所で均等に支えることとした。

図6がミーゼス応力の結果である。最大24MPaであり、最も応力が大きい個所が予想通り、縦柱の下部から約1/3の個所であり、曲げ変形であることが確認できた。図7-9は各軸方向の垂直歪、最大値は2000ppm程度である。この解析では梁の要素を縦弾性係数が同じ角柱で代用している。したがって歪は実際の角パイプより大きくでると考えてよいので、角パイプの場合は2000ppm以下であろう。

試験直前に角パイプへの横荷重が角パイプを圧縮座屈させる恐れに気づき、急遽個別試験を行った(図2)。また、このモードの詳細な強度解析も実際の角パイプ形状で行った。その結果、対策が必要と判断して、角パイプが横荷重で圧縮座屈しにくい方法に変更した。

### 4. 試験

試験の配置の様子を図10に示す。前述のようにフレームを上下反転して設置し、接地面には6か所にロードセルを置き、スペーサーで調整しながら荷重が均等になるようにした。

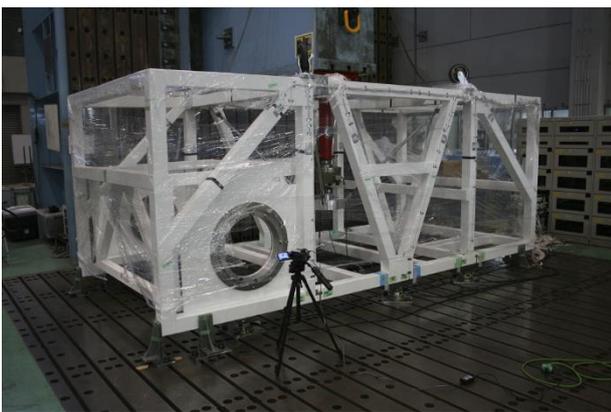


図10. 試験時の設置の様子

また試験前に合計100か所近くに歪ゲージを設置し、シミュレーションとの整合性を確認できるようにした。

本試験は10月2日に行った。時間と手間をかけて、歪ゲージをモニターしながら慎重に、予定

の最大荷重まで加えた。繊維が部分的に破壊して発生すると思われる音は頻繁に生じていたが、破壊には至らなかった。

また10月3日には追加の試験を行った。これは望遠鏡本体が取り付けられる内枠と称するフレームの取り付け部の強度を確認するためであったが、これも破壊には至らなかった。

この強度試験の前後に、CFRP角パイプ接着部に損傷がないかどうかを確認するために、超音波探傷を行った。

### 5. 結果

これら、有限要素法解析、強度試験、超音波探傷の結果の整理と解析を進めているところであり、総合的には静荷重10gに対して破壊しないであろうと判断できている。ただし個別の試験が数項目、有限要素法解析などが追加が必要であり、現在進めているところである。年内には最終的な合格判断をすることができると考えられる。

### 6. 2013年フライトに向けて

以上に記述したこと以外に、新放物面鏡調整機構、耐環境搭載PCの採用、放物面鏡駆動用準パラレル機構の新規開発、新型遠赤外アレイセンサーの開発などを進めており、これらの成果を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。

### 謝辞

構造機能試験棟でのフレームの強度試験にあたっては、佐藤(英一)、峯杉、竹内、下瀬の各氏に多大な支援を受けたことを感謝する。

### 参考文献

- [1] 気球搭載型遠赤外線干渉計FITE：次期フライト計画と高強度フレームの開発  
芝井 広 他、日本天文学会 2013年秋季年会 9月10-12日
- [2] 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 広他、大気球シンポジウム 2012年