気球搭載遠赤外線干渉計 FITE 次回フライト計画

叶 哲生、芝井 広、住 貴宏、深川 美里、伊藤 優佑、山本 広大、会見 有香子、金子 有紀、 桒田 嘉大、小西 美穂子、蔡 承亨、佐々木 彩奈(阪大理)、 成田 正直、吉田 哲也、斉藤 芳隆、田村 啓輔(ISAS/JAXA)

遠赤外線干渉計 FITE(Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment)の前回実験の際起こった問題と、その対策及び次回フライトへ向けたゴンドラ及び各装置の改修について述べる。

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20mの基線長をもち、波長100µm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、 精度よく軸姿勢制御を行うために高 精度のリングレーザージャイロを用



Fig1: FITE 写真

いてゴンドラの位置情報を取得している。

FITEが観測を行う遠赤外線領域で観測されるのは、ダストの熱放射や原子・分子輝線などがあり、 特にダストの熱放射は星生成領域、原始惑星系円盤、銀河核スターバーストなどで極めて重要である。 しかし遠赤外線の観測は現在の装置では、地上での観測が難しいことと、回折限界の点で不利であるた め、他波長に比べ空間分解能が非常に悪くなっている。ESAのHershcel望遠鏡は10秒角の分解能を持 つが、光・近赤外線やミリ波・サブミリ波の観測に比べ10倍以上悪い。このため、FITEによって秒角 スケールの高解像観測を行うことで、星間塵や星間放射場の空間構造を直接観測によって明らかにする ことが期待される。

FITEの初フライトでは、基線長8mで固定して観測を行おうとしている。また、確実に姿勢制御が係 り、センサーで捕捉でき科学的に価値があるものとして、代表的な晩期型星であるIRC+10216を観測 する。この天体は、全天で2番目に明るい赤外線天体(中間赤外線で)として知られ、盛んな質量放出 をしており周囲にダストが分布していることが確実である。この星についてはすでに多くの高解像度観 測が行われているが、質量放出過程で生成されている筈のダストの観測は分解能が足らない。初フライ トでは基線長が8m固定であるため、高解像イメージは得 られない。しかし、遠赤外線強度分布の空間的な広がりに ついて、光源の輝度分布パターンを仮定することで鮮鋭度 の値から星の直径を知ることができると期待される。

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、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 再発の可能性が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いる。



Fig2: IRC+10216 の 100 µ m 像(IRAS)

2. CFRP ゴンドラ

次回フライトへ向け、FITEのゴンドラを新しく再製作する。現在のゴンドラは CFRP 角パイプを接 着して組み上げられた望遠鏡部と、アルミ製の角パイプを溶接した制御部からなっているが、新しいゴ ンドラは望遠鏡部と制御部を分けずに一つの構造にし、材質も全て CFRP で製作することを考えてい る。材質を CFRP に統一することでゴンドラの重量を削減し、さらにゴンドラをつる位置を最適にす ることで以前の望遠鏡部と制御部の重量バランスの問題を解決する。

前回製作した CFRP ゴンドラは、組み立てるのにエポキシ系接着剤を使用しているが、接着部が一 部破損するという問題があった。これは、CRFP 部材の接着を我々が行ったため技術不足から強度が弱 くなったことが考えられる。また、ブラジル実験場は非常に湿度が高くなることがあり、この高い湿度 によって接着部の強度が低下した可能性もある。さらに、接着部が破壊された部分の構造も破壊を誘発 するものになっていた。

これらの問題を解決する手段として、ゴンドラの組み立てには CFRP 部材を製作した業者に組み立 てを依頼する。実際の組み立ては、阪大の新しい実験室で温度と湿度を管理しながら行う。湿度と温度 対策としてゴンドラを塗装する。ゴンドラの構造も一部変更し、接着部に過度の力がかからない構造に する。その際には、構造解析を行い構造が妥当であるかどうかを入念に考える必要がある。さらに、ゴ ンドラが組み上がったら振動試験を行い、4G 程度の加重を掛けて接着部が破壊されないか調べる。こ れらの作業を行い接着部の強度に問題が無いか試験する。

3. リングレーザージャイロ

FITE は3軸姿勢制御を行うために、高性能のリングレーザージャイロによって位置情報を取得する。 FITE の姿勢制御は最終的に1秒角以下の姿勢安定精度が必要であるため、ジャイロから得られるデー タを移動平均することで、1秒角以下の精度でゴンドラの傾きや角速度等の情報を取得している。2010 年のブラジル実験では、この装置が正常に動作しなくなるという問題があった。問題は2度起こり、1 回目はジャイロに使用されているコンデンサーと IC の故障によって動作不良となり、2 回目は前に壊 れた箇所を修理した後に別の部分である加速度センサー部のボンディングしてある線が剥離してしま いアラインメントができなくなった。1 つ目については、雷のサージ、瞬停、その後の通電、電源系の 問題といった現地実験場であり得ると思われる事柄が原因になると考えられないため、部品の単独故障、 また 2 つ目については輸送時に大きな衝撃が加わったことが原因と結論づけるしかない。これらの故障 にいたるメカニズムを特定することができず防止策がとれないため、この問題の対策として考えているのは、フライトの際に同様の機能を持った代替品を用意し、再度故障した場合はすぐに代替品に交換できるようにしておくことである。

4. クライオスタット

FITE は遠赤外線望遠鏡であり、遠赤外線を検出するために 検出器をクライオスタット内に設置し、極低温まで冷却しなけ ればならない。クライオスタットに液体ヘリウムを注入しさら にタンクを減圧して、超流動状態にすることで内部の温度はお よそ 2K 以下にまで冷却することができる。今回、実験期間中 にクライオスタットのヘリウムタンクにリークが発見され、さ らに超流動状態にするとスーパーリークが起こり温度も 6K に まで急激に上昇してしまうということが起こった。この症状は 以前にも起こっており、メーカーで調べてもらったところ、ヘ リウムタンク下面のシールしてある部分に使用されている

メタル 0-リングの劣化が原因であった。これまでは劣化の原



Fig3: 劣化部分

因はわかっていなかったがメーカーで原因特定のための試験を行ったところ、水分が存在する状態で異 種金属間ここでは配管(SUS)からヘリウムタンク(Al)に電流を流した結果、該当部に腐食が見られ たためこれが原因であると考えられる。またこの対策としてはこの部分をフランジ結合から溶接結合に することになっており、変更しても分解・組み立てには問題ないことが確認されている。

5. 光学系調整方法

FITE の4枚の平面鏡と2枚の軸外し放物面鏡からなるクライオスタット外の光学系は放物面鏡の焦 点が正しい位置で一致するように調整する。この調整は主に地上で行い、フライトして観測高度に到達 したときにずれた分を地上からコマンドを送り調整機構で調整する。地上での調整方法は、光学系の性 能を評価するためにハルトマンテストを行いその結果から放物面鏡の状態を予想して正しいと思われ る方向に調整を行い、再度ハルトマンテストを行って目標とする性能に近づけてゆくタというものだっ た。しかし、この方法の問題点として、リアルタイムでデータが取れないため調整の際に時間がかかり 効率が悪いということがあった。このハルトマンテストに代わる調整方法として、シャックハルトマン

波面センサーを使用した光学調 整方法を考案中である。この装置 はモニターを見ながらリアルイ ムで光学系の状態を確認可能で あり、調整の結果を素早く確認で きるようになり調整時間を大幅 に短縮できると期待される。現在、 装置を用いて動作試験を行い、実 際にこれを用いた FITE 光学系 の調整方法を検討している。



Fig4: シャックハルトマン波面センサー原理

6. 新オンボード PC

次回フライトへ向け、FITEのオンボードPCも一部変更を行う予定である。変更するのは、FITE に搭載されている遠赤外線検出器と調整用 CCD カメラの動作を担当している PC で、OPC2、OPC4 と呼ばれていた部分である。これらの PC は今までは制御部に置かれた与圧容器内に設置されていたが、 PC を新しいのに交換し設置場所も与圧容器外のクライオスタットの側面と望遠鏡内部に設置する。新 しい PC は光ファイバーまたは、ツイストペアケーブルで与圧容器内の PC にメモリンクし地上に送る データを受け渡す。このようにすることで、現状では数十本のケーブルを這わせているのを、大幅に減 らすことができる。しかし、新 PC は FITE が想定している低温低圧環境下での動作は保障されておら ず、新しい装置が出す電波が問題ないか確かめる必要があるため、低温低圧下での動作試験と電波干渉 試験を行う。そして、必要ならば保温等の対策をする。



Fig5: 構成の変更例 (OPC3)

参考文献

[1] Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment (FITE): Three-Axis Stabilized Attitude Control System

A. Nakashima, H. Shibai, M. Kawada, T. Matsuo, M. Narita, E. Kato, T. Kanoh, T. Kohyama, Y. Matsumoto, H. Morishita

Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, Vol. 8, No. ists27, pp. Tm_19-Tm_24, 2011(February).

[2] Development of Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment

T. Kanoh, H. Shibai, M. Fukagawa, T. Matsuo, E. Kato, Y. Itoh, M. Kawada,

T. Watabe, T. Kohyama, Y. Matsumoto, H. Morishita, K. Yamamoto, R. Kanoh,

A. Nakashima, M. Tanabe, M. Narita, and The FITE team

The 2nd Subaru International Conference on Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity, P53, Keauhou, Hawaii, March 9-12, 2009.

[3] 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

[4] 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9月30日-10月1日

[5] 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 10月 1-2日