気球搭載遠赤外線干渉計FITE：放物面鏡調整機構の開発

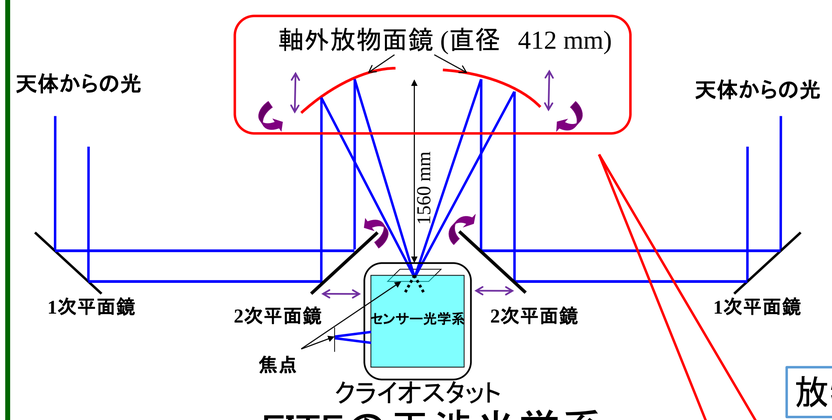
寺農　篤、芝井　広、佐々木彩奈、伊藤哲司、中道みのり、住　貴宏、深川美里、桒田嘉大、小西美穂子（大阪大）
山本広大（京都大）、成田正直（宇宙研/JAXA）

概要

我々は気球搭載遠赤外線干渉計（Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment: FITE）を開発しており、波長100 μmにおいて1秒角の空間分解能を実現しようとしている。FITEはFizeau型の2ビーム干渉計であり、2枚の軸外放物面鏡で共通の焦点に集光し干渉させる。そのため、高精度な光学調整が必要である。そこで、我々は高精度に放物面鏡の位置と姿勢を6軸制御できる独自の機構を開発した。この機構は、6本の軸が持ちつ持たれつの状態に連結した構造を持つ、準パラレル機構と呼ぶべきものである。この機構を用いて放物面鏡を目標の位置と姿勢に配置するための、各軸の長さを計算する制御プログラムを作成し、レーザー測長器を用いて精度測定を行った。さらに気球高度（35000 m）を想定した真空低温試験を行い、FITEで使用するための要求を満たしていることを確認した。

1　放物面鏡調整機構

FITEの干渉光学系は、以下の図のように4枚の平面鏡と2枚の放物面鏡から構成される。干渉フリンジパターンを観測するために、フライト時に放物面鏡を調整する必要がある。これは、上空での温度差による熱収縮と、姿勢制御による重力変形の効果を補正するためである。

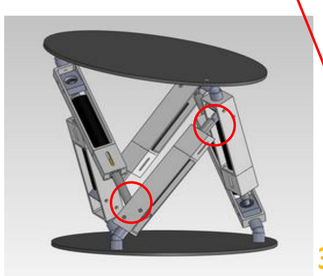


FITEの干渉光学系

要求精度
- 結像性能　1秒角
- 2光束の角度差　7.5秒角
- 2光束の光路差　80 μm

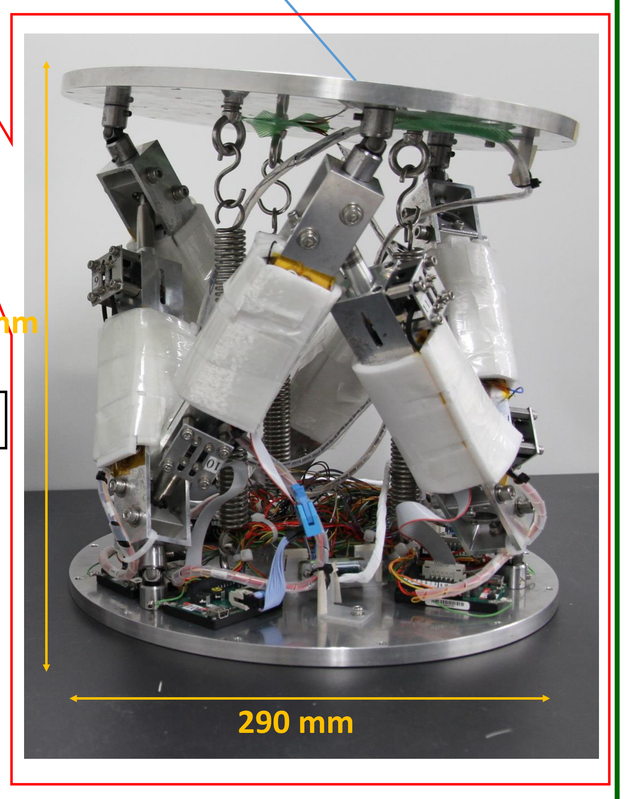
（PI社、M-850KWAH）

ヘキサポッド

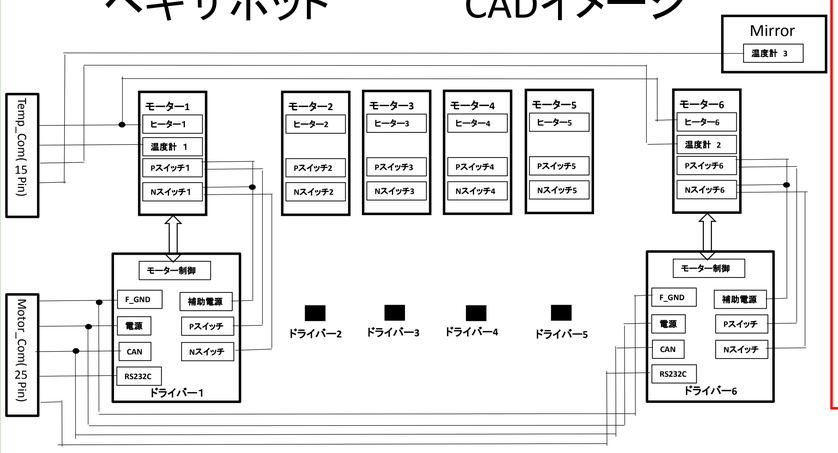


CADイメージ

放物面鏡（直径412 mm、18 kg）取り付け部



放物面鏡調整機構完成写真

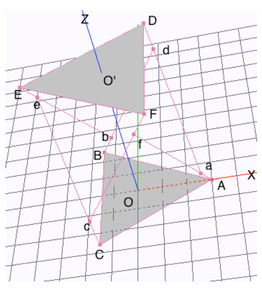


ブロック図

6本の軸の長さを変化させることで放物面鏡の配置を並進3方向（x,y,z）、回転3方向（ϕ,θ,α）で制御する。回転はz-x-z型のオイラー角である。赤丸で示した6本の軸が持ちつ持たれつの状態に連結した構造により、モーターを1本ずつ制御することが可能である。

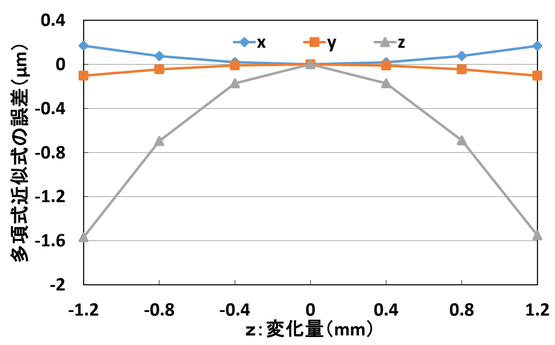
2　制御プログラム

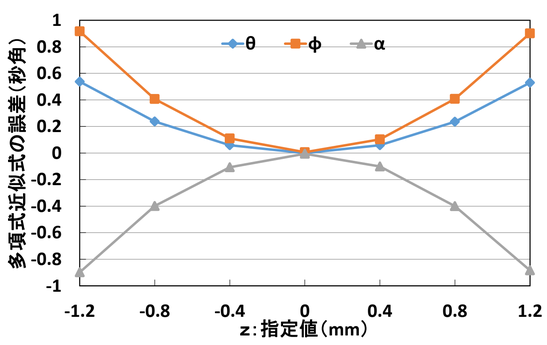
観測中に高速で計算するため、軸の長さを決定する計算を1次の多項式近似式で導出した。目標の位置と近似式で求めた位置の差をMathematicaを使用して比較し、適当か判断する。



機構の座標

ストローク量　　光軸方向（z）～1 mm

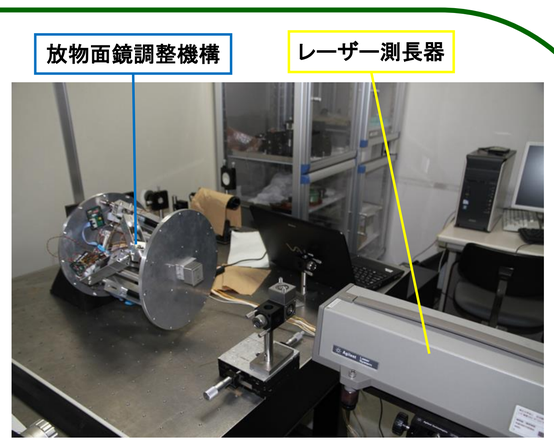




要求精度以内の誤差なので1次の多項式近似の式で十分である。
2次の項の誤差が現れているので、2次関数にフィッテングすることでどの程度の変化量まで近似式が適用できるか見積もることができる。

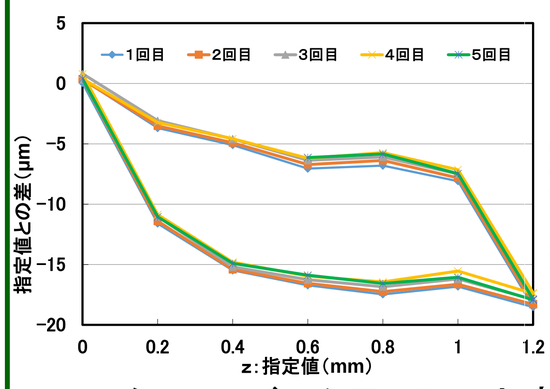
3　光学試験

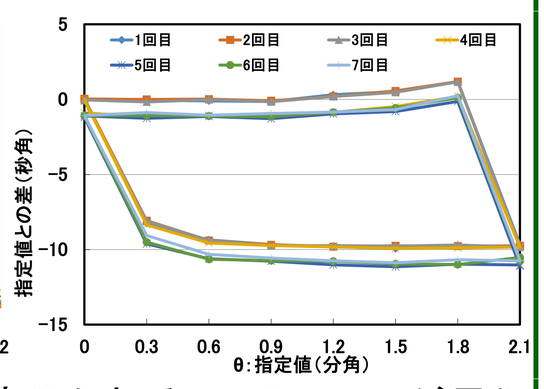
- 試験内容
レーザー測長器（HP5529A、Agilent）を用いてz方向は0.2 mmずつ1.2 mmまで、θ方向は0.3分角ずつ2.1分角まで測定する。



光学試験風景

- 結果



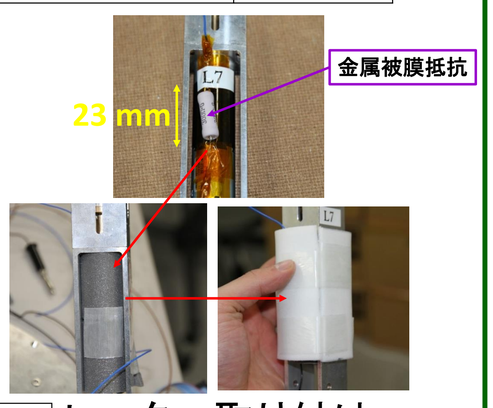


モーターのバックラッシュと考えられるヒステリシスが見られたが、再現性からそれぞれの経路の揺らぎ（光軸方向 2 μm、鏡の傾き方向 2秒角）以内の精度で制御できる。

4　気球環境試験

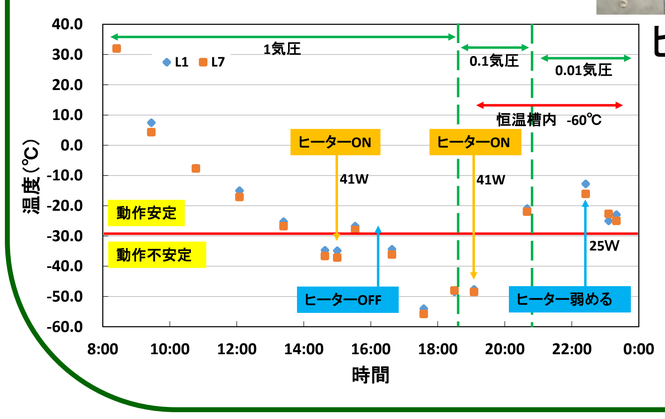
- 試験内容
300Ωの金属被膜抵抗（ヒーター）を取り付け、35000 mの気球環境（0.01気圧、-50℃）でも安定して機器が動作する温度まで上昇するか調べる。

機器	使用温度範囲
モーター（A-max 22）	-60℃・・・+85℃
ギア(GP22S)	-20℃・・・+80℃
エンコーダ(tacho MR512IMP)	-25℃・・・+85℃
ドライバ(EPOS 24/2)	-10℃・・・+45℃
スイッチ(PM-L24)	-25℃・・・+55℃



ヒーター取り付け

- 結果



気球環境でも動作温度まで保温できることを確認した。全体での必要最低限の熱量（25 W）を求めた。

5　まとめ

1. FITEで使用する放物面鏡調整機構が完成した。
2. 軸の長さを決定する計算式は、干渉フリンジを得るために必要なストロークの範囲内では1次の多項式近似の式で十分である。
3. モーターのバックラッシュと考えられるヒステリシスが見られたが、再現性から光軸方向 2 μm、鏡の傾き方向 2秒角以内の精度で制御できる。
4. 適当なヒーターを取り付けることで、35000 mの気球環境でも機器は安定して動作する。全体で25 W以上の電力が必要である。