

○丹羽佳人 (東大工), 田村友範, 増本博光, 郷田直輝, 小林行泰, 矢野太平 (国立天文台), 山田良透 (京大理)

Abstract

●JASMINE計画は、次期位置天文観測衛星プロジェクトのひとつで、星の位置を10マイクロ秒角の精度で観測することを目標としている。そのためには、観測中、望遠鏡周辺の温度変動を長時間安定化し、望遠鏡の各コンポーネントの熱変形をできるだけ抑えなければならない。もしそのような熱変形が生じてしまうと、望遠鏡の鏡や検出器の形状、及び光学系の位置関係が変動することによって望遠鏡の焦点面上での星像が移動し、それが実際の星の位置を観測する際の誤差になってしまうからである。

●小型JASMINE計画で目標の観測精度を達成するためには、望遠鏡周辺に対して数十分間、mkの温度安定度が要求される。しかし、その安定度を軌道上で達成するのは難しい。そこで、観測で得た星の位置情報を用いて熱変形を2次のモードまで推定し、星の位置決定誤差を補正する方針をとる。このとき3次以上の変形モードが生じないレベルまで温度変動を抑える必要があるが、それでも要求は0.1Kのオーダーまで緩和される。

●補正方法の妥当性に関しては、数値シミュレーションでは既に見通しがついているが、実際に地上実験において望遠鏡素材の熱変形特性を測定することにより、軌道上で想定される熱変形が2次の変形モードまでの推定によって要求される精度で補正されることを実証する必要がある。そこで、80K~180Kの環境下での数十分間の熱入力に対する望遠鏡素材の変形モードを開発中のレーザー干渉計型の高精度変位センサー(測定精度は1時間のRMS値で20pm)を用いて100pmの高精度で実測する実験を行っている。本ポスターでは、レーザー干渉計型変位センサーの概要および2次の変形モード測定のために考案したセットアップについて報告する。

Laser heterodyne metrology system

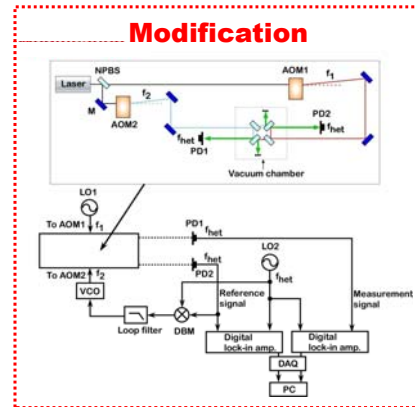
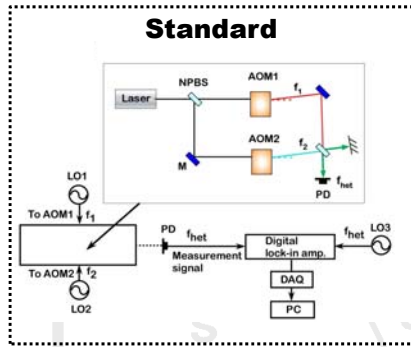
Laser heterodyne interferometry

◆変位センサーとしてsub-nmの変動を測定可能なレーザー干渉計を利用。

◆レーザー干渉計を用いた測距信号の取得方法としてヘテロダイン干渉法を採用。

◆周波数差 f_{het} をもつ2本のビームを干渉させることで f_{het} のうなり(光ビート信号)が検出される。干渉計の2本の光路長に差動変動が生じた場合、その変動量 δL は、ヘテロダイン信号の位相変化 $\delta\phi (=2\pi(\delta L)/\lambda)$ として現れる。位相変化 $\delta\phi$ を位相比較器で検出することで、光路長の差動変動量を測定することができる。

◆通常の感度レベルはnmオーダーであるが、外乱の影響をフィードバック制御で抑えることで、測定対象(右図中、真空チャンパー内の光路長差変動)のみ感度をもつ測距システムを構築。sub-nmの測定が可能となった。



Measurement test of the laser heterodyne metrology system

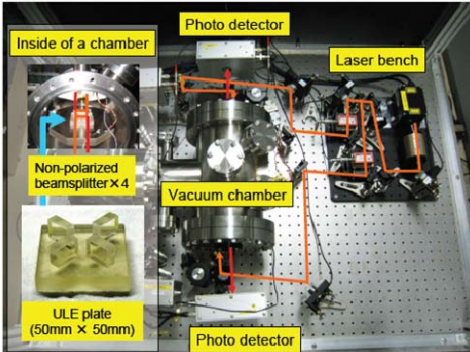
主な検証項目

- 鏡の3自由度の動き(Length, Pitch, Yaw)の同時分離測定
- sub-nm 精度での長時間測定

⇒多自由度同時測定が可能であることを確認

⇒1時間のRMS値で20pmの精度で測定が可能であることを確認

変位センサーの測定精度検証のためのセットアップ

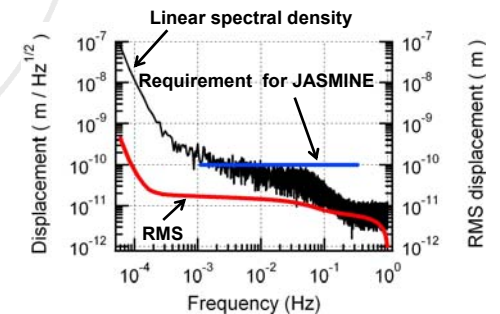


◆レーザーベンチ上で2本に分けられたビームは、AOMを用いて50kHzの周波数差をつけられた後、真空チャンパー内で再結合され、その干渉光(光ビート信号)は光検出器で受光される。

◆光ビート信号の位相変化から2本のビームの光路長差変動が検出される。2つの光ビート信号が検出されるように光学系を組むことで、共通モードノイズリダクションによって、真空チャンパー内の光路長変動のみを検知することができる。

◆真空チャンパー内の光学系を低膨張ガラス(ULE)上に組むことで、サブナノメートルの測定精度の検証が可能となった。測定精度検証の結果、1時間のRMS値で20pmの精度で測定が可能であることが確認され、JASMINEで要求される測定精度、15分のRMS値で100pmを満たしていることが実証された。(Niwa et al. Applied Optics, Vol. 48, Issue 32, pp. 6105-6110)

Metrology interferometer noise level

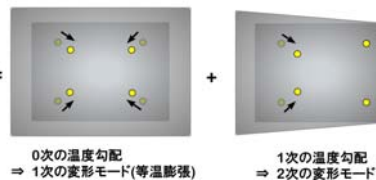


Heterodyne interferometer configuration for measurement of thermal deformation

JASMINE望遠鏡素材の熱変形問題

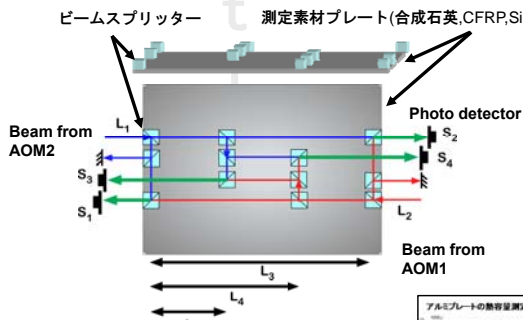
望遠鏡素材(合成石英、CFRP、Si)が熱変形することで、焦点面上での星像位置が真の位置からずれて検出されてしまう(下図参照)。熱変形のうち2次のモードまでの変形に関しては、観測データを用いて補正することで対処する。3次以上の変形モードに関しては、その大きさは微小であり観測で問題にならないと見込んでいるが、地上実験で熱変形量を実測し、検証する必要がある。

Detector surface distortion



熱変形測定のためのセットアップ

●微小変形量測定システム



●加熱/冷却システム

◆80~180Kの環境下での熱変形量測定が可能となるように、クライオスタットに冷凍器との熱バスをON/OFFできる機構を導入。

◆性能テストとして、アルミプレートの冷却および低温での熱容量測定を実施。正常な測定ができていることを確認している。

◆望遠鏡素材上にビームスプリッターを配置。AOMで周波数差(~50kHz)をつけた2本のビームを入射させ、再結合によって生じる干渉光を4つのフォトディテクターで受光する。

◆PD出力信号S1の出力が0になるように、AOMでレーザー周波数の位相制御をすることで、望遠鏡素材の各区分における膨張・収縮量(δL3, δL4, δL5)を外乱の影響(δL1 or δL2)を受けずに直接検出することが可能。現在セットアップ中。

各フォトディテクターで検出される長さ変動

PD出力信号の変動	検出される長さ変動	
	位相制御 無	位相制御 有
δS1	-δL3+(δL1-δL2)	0
δS2	δL3+(δL1-δL2)	2δL3
δS3	(2δL5-δL3)+(δL1-δL2)	2δL5
δS4	(2δL4-δL3)+(δL1-δL2)	2δL4

