

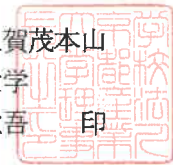
共同研究契約報告書

平成30年4月27日

平成29年8月1日付「超低熱膨張セラミック製反射光学系の低温環境におけるアサーマル性評価」
研究代表者：京都産業大学 神山天文台・主任研究員・猿楽祐樹

上記共同研究契約について、下記のとおり報告いたします。

住 所：京都府京都市北区上賀茂本山
名 称：学校法人京都産業大学
代表者：理事長 柿野 欽吾 印



記

1. 成果報告書（別紙のとおり）
2. 使用実績報告書（別紙のとおり）

以上

成果報告書

1. 研究の実績

(1) 研究の実施日程

研究項目	実 施 日 程											
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
(a) 試験光学ユニットの基本性能評価				●	●	●						
(b) 試験光学ユニットの追加工(設計・製作・組上げ・調整)						●	●	●	●			
(c) 低温波面測定用マウント類の設計・製作								●	●	●		
(d) アサーマル性評価												●

(2) 研究の成果の説明

【概要】

TMTの集光力を生かした高感度の赤外線高分散分光器の実現には、素子の大型化や広帯域化などに伴う様々な技術的課題を解決する必要がある。我々はその一つとして、鏡から光学定盤までの反射光学系すべてを超低熱膨張セラミックとして知られるコージライトのみで製作した「赤外線用アサーマル光学系」を提案し、本研究ではその有効性の初実証を目的としている。

今年度は、コージライト製光学系のアサーマル性評価を目標として、試験光学ユニット(3枚球面系、昨年度課題で製作)の常温/低温における波面収差の変化を干渉計を用いて測定した。その結果、収差の変化量はほぼゼロ(波長 $2\mu\text{m}$ 換算)を達成し、赤外線装置の光学系応用に十分に高いアサーマル性をもつことを実証した。これにより、常温での機械精度の組上げだけで低温環境での回折限界の高精度アライメントが初めて可能となる。

【詳細】

(a) 試験光学ユニットの基本性能評価

セラミック材であるコージライト(CO220, CO720)は、小さな線膨張係数($\text{CTE} \sim 1 \times 10^{-6} / \text{K}$ @10-300K)、ガラスのような高い研磨性、金属のような自由形状への加工特性といった特徴をもつ。そのため、鏡、その保持具、定盤を同一材料で製作することができ、アサーマルな冷却反射光学系の実現に有望な材料である。図1はコージライト製光学系の有効性検証のため昨年度製作した試験光学ユニットである。曲率半径200mm(主鏡)と100mm(副鏡)の同心球面鏡を用いた等倍結像光学系(オフナー系)をなしている。アライメント誤差検証のため、主鏡はあえて第1鏡と第3鏡の二つに分割した3枚の球面鏡からなる光学系としてある。あらかじめ設定した基準面と治具を用いて機械的に組み上げただけであり、光を使った光軸調整は行っていない。単色光($0.633\mu\text{m}$)を入射して得られるPSFを測定した結果、VINROUGE(観測波長2-5 μm : TMT用赤外線高分散分光器のプロトタイプ装置として開発中)の最短使用波長となる $2\mu\text{m}$ においてストレール比(以下SR) >0.9 を達成していることまで昨年度示した。

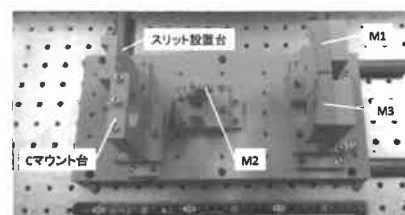


図1. 試験光学ユニット: 鏡、その保持具、定盤すべてをコージライトで製作し、インバー製ネジで締結している。曲率半径200mmと100mmの球面鏡でF/8、有効視野10mmの光学系(オフナー系)をなしている。鏡は金コーティングをほどこし、面精度(P-V)は $\lambda/8$ ($\lambda=0.633\mu\text{m}$)を達成している。

今年度は、光学系の完全な収差情報を得るため、干渉計を用いて波面誤差を測定した(図2、図3)。その結果から試験光学ユニットの波長 $2\mu\text{m}$ における換算SR-1が得られた。これによりVINROUGEでも機械的な組上げだけで十分に高い回折限界のアライメント精度が得られることを明確に示した。

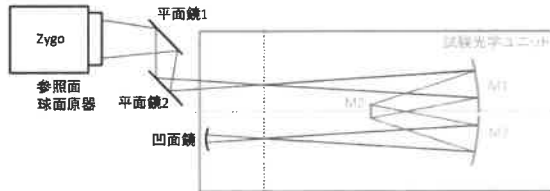


図 2. 波面収差測定のための光学レイアウト: Zygo に球面原器と絞りをつけて F/8 のビームを試験光学ユニットに入射。その間には光軸合わせのため平面鏡を 2 枚挿入している。試験光学ユニットを通じたビームは凹面鏡で反射され、同じ光路を通して Zygo に戻る。

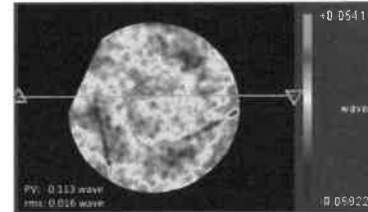


図 3. 波面収差マップ: 往復分の収差を含むため光学系の収差は半分になる。回折限界の性能を持つ TMT 装置用光学系の製作が可能。

(b) (c) 試験光学ユニットの追加工、低温測定用マウント類の設計・製作

常温での測定と同様に干渉計を用いて低温での波面収差を測定するための準備について説明する。干渉計のビームを折り返すための鏡もクライオスタットに収めるため、Cマウント台(図1参照)を外してコージライト製凸面鏡を新たに取り付けた(常温測定では焦点の後方で折り返したため凹面鏡を用いたが、定盤に設置するには焦点の前方で折り返す必要があるため凸面鏡を用いている)。この追加工を加えた試験光学ユニットをコールドワークサーフェスにマウントするパーツを熱伝導率の良い無酸素銅で製作した。設計ではコージライトと銅の熱収縮率の違いによって定盤にストレスが生じないようにする工夫を施している。そしてクライオスタットをZygoが設置された防振台にマウントする機構を製作した。これはリニアガイドレールとマイクロメータを組み込んで光軸方向への位置調整が可能になっている。これらをセットアップした様子を図4に示す。



図 4. 低温波面収差測定のためのセットアップ: 図 2 の凹面鏡を凸面鏡に変えた光学レイアウト。

(d) アサーマル性評価

試験光学ユニットの波面収差を常温(298K)と低温(80K)において測定した結果を図5に示す。冷却前後での波面収差の差は干渉計の測定精度以下であり、目的波長の $\lambda > 2\mu\text{m}$ では言うまでもなく、可視波長においても無視できるレベルである。この結果からコージライト製光学系はTMT用赤外線高分散分光装置への応用に十分に高いアサーマル性をもつことが示された。

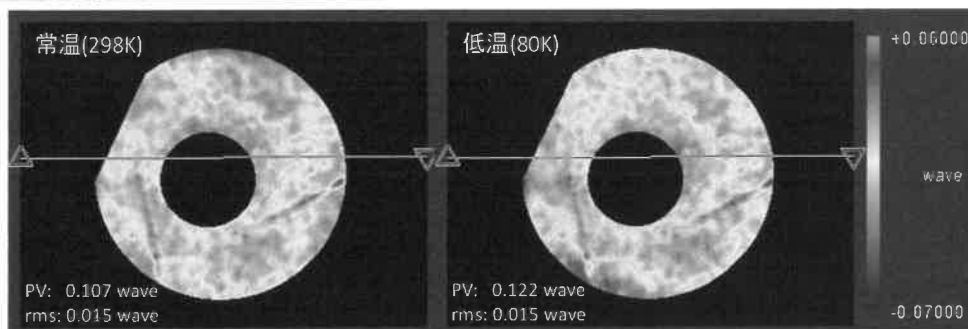


図 5. 常温/低温で測定した波面収差の比較: 視野中心はクライオスタットのウィンドウで生じる干渉パターンにマスクをかけている。また左上の直線的な領域は凸面鏡に生じたチッピングをカットした領域である。

使用実績報告書

大学名 京都産業大学

研究題目 超低熱膨張セラミック製反射光学系の低温環境
におけるアサーマル性評価

研究代表者 猿楽 祐樹

1. 総括表

区分	費目	予算額(円)	決算額(円)	研究費の充当額(円)	備考
支出	物品費	3,400,000	3,400,000	3,400,000	
	旅費	0	0	0	
	その他の経費	0	0	0	
	合計	3,400,000	3,400,000	3,400,000	
収入	研究費の額	3,400,000	3,400,000	/	
	自己調達額	0	0		
	その他	0	0		
	合計	3,400,000	3,400,000		

2. 決算費目別内訳

(A) 支出

a 物品費(中項目:設備備品費・消耗品費)

中項目	品名	仕様	数量	単価 (税込/円)	金額 (税込/円)	発注 年月日	検収 年月日	支払 年月日	備考
設備備品費	VinRougeテスト光学系追加加工	京セラ㈱	1	1,296,000	1,296,000	2017/12/7	2018/2/28	2018/3/30	
設備備品費	クライオスタット用パーツ	フォトコーディング	1	2,104,000	2,104,000	2018/2/1	2018/3/30	2018/4/27	
計					3,400,000				

b 旅費(中項目:国内旅費・外国旅費)

中項目	摘要	金額(円)	支払年月日	備考
	該当なし			
計		0		

c その他の経費(中項目:会議費・消費税相当額等)

中項目	摘要	数量	単価(円)	金額(円)	発注年月日	検収年月日	支払年月日	備考
	該当なし							
計				0				

(B)収入

種別	摘要	金額(円)	備考
研究費の額	国立天文台からの振込	3,400,000	
自己調達額	0	0	
その他	0	0	
計		3,400,000	

(注) 研究の実施に際し、収入を得た場合や取引相手先からの納入遅延金が発生した場合には、収入の欄におけるその他に計上すること。