

共同研究契約報告書

平成29年 4月 27日

平成29年 4月 27日付「軸外し非球面セラミック鏡を用いた赤外線用アサーマル光学系の開発」
研究代表者：京都産業大学 理学部 教授 河北 秀世

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



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 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|
| | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| 試験光学ユニットの 概念設計 | | | | ● | | | | | | | | |
| 試験光学ユニットの 詳細設計 | | | | | ● | ● | | | | | | |
| 試験光学ユニットの 製作・組上・調整 性能評価試験 | | | | | | | ● | ● | ● | ● | | ● |

(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、鏡から定盤までの冷却反射光学系すべてを低線膨張素材であるセラミックだけで製作した「赤外線用アサーマル光学系」を提案している。それにより、常温での機械精度の組上げだけで低温環境での高精度アライメントが初めて可能となる。

本研究では、セラミック製光学系の有効性の実証を目的として、試験光学ユニットを試作し、その性能を評価する。今年度は、製作・評価が容易な球面からなる光学ユニットの (a)設計、(b)製作、および (c)その検査、さらに (d)常温付近でのアサーマル性の確認までを目標として、まず(a)から(c)までを終了した。(d)についてはヒーターによる加熱システムを作成し、実験・解析を試みたが、空気ゆらぎの影響で必要とされる精度の光学性能評価には至らなかった。現在、実験・解析手法の改良を試みている。

【詳細】

(a) (b) コージライト製3枚球面光学ユニットの設計・製作

セラミックは、小さな線膨張係数、ガラスのような高い研磨性、さらに金属のような自由形状への加工特性といった特徴がある。そのため、鏡、その保持具、定盤を同一材料で製作した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。また鏡と保持具を一体物として製作することで、鏡と保持具の間で生じるアライメントエラーを原理的になくすことも可能となる。我々は、鏡から定盤まで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 (-100°Cから190°Cでの線膨張係数 $0.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) で製作することで、温度安定性が非常に高い「赤外線用アサーマル光学系」の実現を目指している。

コージライト製反射光学系の有効性を実証する試験光学系として、曲率半径200mm (主鏡) と100mm (副鏡) の同心球面鏡からなるF/8のオフナー光学系を設計した。オフナー光学系は、球面鏡を用いた等倍結像光学系で製作や評価が比較的容易であるだけでなく、赤外線装置では冷却コールドストップとして一般的に用いられる光学系である。アライメントエラー検証のため、半径200mmの主鏡はあえて入射サイドと出射サイドの二つに分割し、合計3枚の球面鏡の組合せとした。製作した試験光学ユニットを図1に示す。本ユニットは、鏡、その保持具、および定盤の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。治具を用いて基準面を合わせながら機械的に組上げているだけであり、光を使った光軸調整は行っていない。

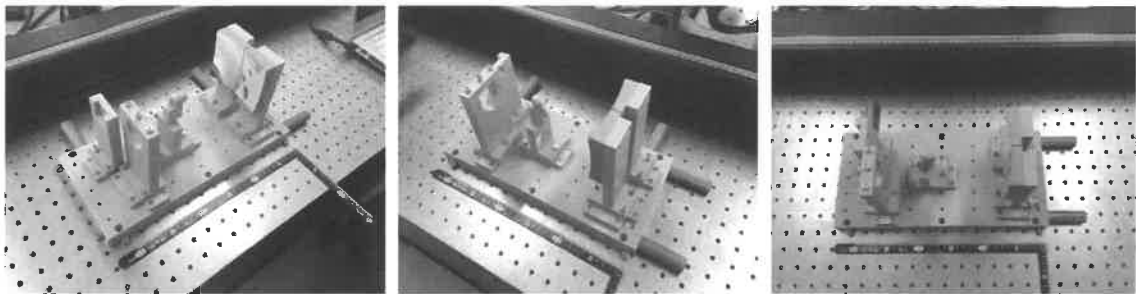


図1. コージライト製3枚球面光学ユニット：鏡、その保持具、定盤すべてをコージライトで製作し、インバー製ネジで締結している。位置決め用のブロック、光学試験用のスリット設置台やCマウント台も同様。球面鏡は、曲率半径200mmの鏡2枚と曲率半径100mmの鏡1枚でF/8、有効視野10mmの光学系をなしている。鏡は金コーティングをほどこし、面精度(P-V)は $\lambda/8$ ($\lambda=0.633\mu\text{m}$)を達成している。

(c) (d) アライメント検査、常温付近でのアサーマル性確認

アライメント検査のため、試験光学ユニットにF/8の単色光(波長 $0.633\mu\text{m}$)を入射して再結像させた像を焦点面に設置したCCDカメラで観察し、PSFのストレール比(以下SR)を求めた。本測定で用いたCCDカメラのピクセルスケール $4.65\mu\text{m}$ では、PSFを十分に分解できないため(エアリーディスク半径は $6.18\mu\text{m}$)、エンスクエアドエネルギーの測定値をモデル値と比較することでSRを推定した。モデル値には、無収差の回折限界PSFにガウス関数で畳み込み積分して得られるPSFの強度分布を用いている。

有効視野中心で測定したエンスクエアドエネルギーを図2に示す。この図からSR=0.2-0.6と見積られる(収束光を作るレンズの収差を含む)。有効視野中心から上下左右に3-3.5mm離れた4点でも同程度のSR値が得られた。この結果から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)の最短観測波長となる2 μm においてSR=0.92-0.96と算出される。さらにVINROUGEで使用する鏡の枚数(現設計で10枚)でのSRに換算するとSR=0.85-0.93となる。実際には鏡の面形状(コージライトで非球面鏡は実現可能)や設置間距離の違いを考慮する必要があるが、概算としていわゆる回折限界(SR>0.8)を達成しており、機械的な組上げだけで十分に高いアライメント精度が得られているといえる。VINROUGEはF/15の望遠鏡への搭載を前提に設計しているため、本試作はより厳しい製作条件を課していることになる。また、鏡とその保持具を一体物として製作することでアライメント精度のさらなる向上も見込める。

続けて、アサーマル性をまず常温付近(300-325K)で確認するため、ヒーターで試験光学ユニットを昇温して上記と同様のPSF測定を行った。しかし、試験光学ユニットと空気の温度差による空気ゆらぎの影響のため必要とされる高精度な性能評価までには至らなかった。

【今後】

上記の常温付近でのアサーマル性評価を、恒温槽内あるいは真空環境の空気ゆらぎのない状態で行う。その後、実際の使用環境となる低温(<77K)において同様の性能評価を行い、最終的なアサーマル性を確認したい(H29年度)。これら基本検証の後に、実際の分光器(VINROUGE)で用いる”非球面”光学系を作成し、その性能評価を行う予定である。

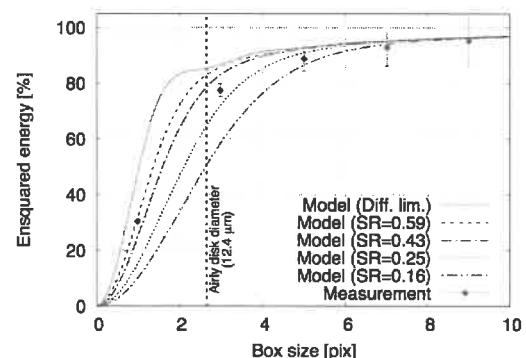


図2. PSFのエンスクエアドエネルギー(視野中心)：横軸はエネルギーを積分する正方形領域1辺の長さで、単位はCCD画像のピクセル値。モデル値は無収差の回折限界PSF(Diff. lim.)とそれにガウス関数で畳み込み積分して得られるPSF(SR=0.16-0.59)を示している。

使用実績報告書

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 | 設備備品費 | 2,599,560 | 0 | 0 | |
| | 消耗品費 | 440 | | | |
| | その他の経費 | 0 | | | |
| | 合計 | 2,600,000 | 2,600,000 | 2,600,000 | |
| 収入 | 研究費の額 | 2,600,000 | 2,600,000 | | |
| | 自己調達額 | 0 | 0 | | |
| | その他 | 0 | 0 | | |
| | 合計 | 2,600,000 | 2,600,000 | | |

2. 決算費目別内訳

(A) 支出

a 設備備品費

| 種別 | 仕様 | 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 |
|-----------------------|----------------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| 温度モタ | 218S | 1 | 412,560 | 412,560 | H28.12.5 | H28.12.22 | H29.1.31 | |
| コーンジェイト テスト光学 系 | P00091-ST5-001 | 1 | 2,187,000 | 2,187,000 | H29.2.17 | H29.3.27 | H29.4.28 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 計 | | | 2,599,560 | 2,599,560 | | | | |

b 消耗品費

| 種 別 | 仕 様 | 数 量 | 単 価 (円) | 金 額 (円) | 支 払 年 月 日 | 備 考 |
|--------|----------|-----|------------|------------|------------|-----|
| インデックス | TGK-212R | 1 | 90 | 90 | H29. 4. 28 | |
| インデックス | TGK-211B | 1 | 90 | 90 | H29. 4. 28 | |
| ファイル | V10-3CB | 1 | 170 | 170 | H29. 4. 28 | |
| 蛍光ペン | WKS12-OR | 1 | 90 | 90 | H29. 4. 28 | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 計 | | 4 | 440 | 440 | | |

c その他の経費

| 種 別 | 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 | | | | | | | | |

(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 | 2,600,000 | |
| 自 己 調 達 額 | | 0 | |
| そ の 他 | | 0 | |
| 計 | | 2,600,000 | |

(注) 共同研究の実施に際し、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。