

先端技術センター光学設計チームによる光学計測事例の紹介

○小原直樹、都築俊宏（国立天文台/先端技術センター）

概要

国立天文台先端技術センター光学設計チームは、高い光学設計技術に加えて最新の光学計測装置による高精度計測技術をもとに、光学システムの設計から性能確認・納品に至る開発機能を提供し、国際競争力のある天文機器開発を支援している。本講演では、光学設計チームの紹介に続いて、最近導入した計測機器（高精度フィゾー干渉計、高精度ヘキサポット、微小ビームプロファイラなど）を用いた計測事例について説明する。

1. 光学設計チームについて

国立天文台先端技術センター光学設計チームは、①光学システムの設計から納品に至る開発機能を提供する、②国際的に競争力のある新規天文光学技術の開発を支援する、というミッションのもとで活動している。これまで国立天文台の各プロジェクトからの依頼や大学との共同開発研究という形で、地上から宇宙まで様々な観測装置の光学系開発に加え、将来の観測装置に向けた光学要素技術開発も行ってきた。

光学設計チームは、光学技術の専門家3名（専門領域はそれぞれ光学設計、光学薄膜、光学計測）で構成されており、Zemax、CodeV、LightTools等のソフトウェアを活用した光学システム設計、システムを構成するコンポーネントの仕様作成・調達、コンポーネント・光学システムの性能確認を実施している（図1）。また、業務遂行にあたり、複数プロジェクトの計測ニーズに応じた高精度計測機器を順次導入している。本講演では、これら計測機器を用いた光学計測の最新事例を2例紹介する。

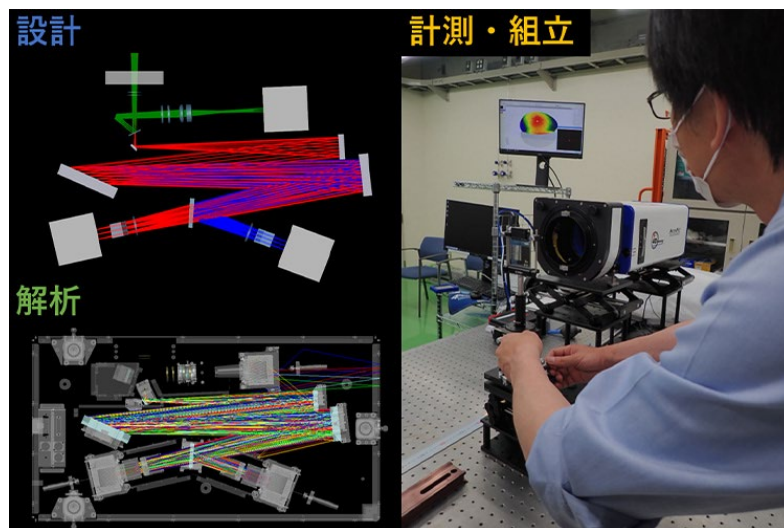


図1．光学設計チームの業務 (<https://atc.mtk.nao.ac.jp/design/>)

2. 光学計測の事例紹介

2.1 コーティングによる変形評価

光学設計チームは、京都大学せいめい望遠鏡の観測装置 TriCCS の面分光ユニット（Integral Field Unit、以下 IFU）の開発を行っており、先端技術センター熱構造設計チームと協力しながら IFU の設計・部品調達・組立を実施中である。IFU には高い光利用効率が求められるため、利用する光学素子には高反射コーティングを採用した。高反射コーティングを形成する多層膜は 10 ミクロン程度の厚さがあり、コーティングによる光学素子の変形が課題となる。

この変形に対する設計要求は、ロバスト性の高い変形量の指標である PVr 値で $\lambda/20$ 以下である。変形が大きい場合は、高反射コーティングと反対側の面に相殺膜を付与することで変形を緩和することができる（図 2）。

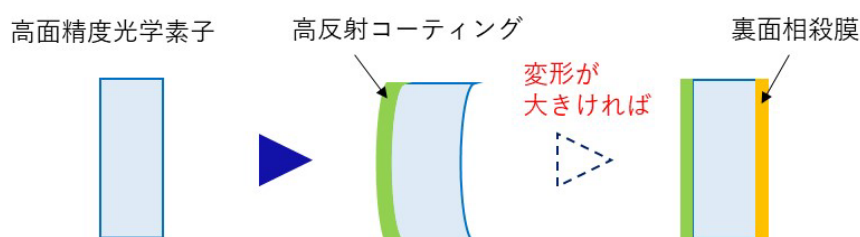


図 2. 高反射コーティングによる変形と相殺膜による変形緩和

コーティングによる変形量は多層膜の構成だけでなくコーティング装置や成膜条件によっても変わるため、相殺膜の採用を判断するには実測が必要である。計測には光学設計チームが保有するフィゾー干渉計（4D Technology 社、AccuFiz E100S）を使用した（図 3）。本計測器には、①低コヒーレンス光源オプションにより裏面反射光の影響なく平行平板を測定することができる、②空間キャリア方式の 1 ショット測定により振動・空気揺らぎの悪い条件下で測定できる、という特徴がある。



図 3. 変形評価のセットアップ

IFU に採用予定の 2 種類の高反射コーティングに対して、コーティング前後の形状を測定し変形を評価した結果、1 つのミラーに対して相殺膜が必要であることが分かった（図 4）。変形の大部分が理論で予想されたパワー成分であること、本測定の実験精度が $PVr\ 0.03\lambda$ （別サンプルで評価）であることから、得られた結果は十分信頼できる。今後、必要な相殺膜の厚さを実測により確認する予定である。

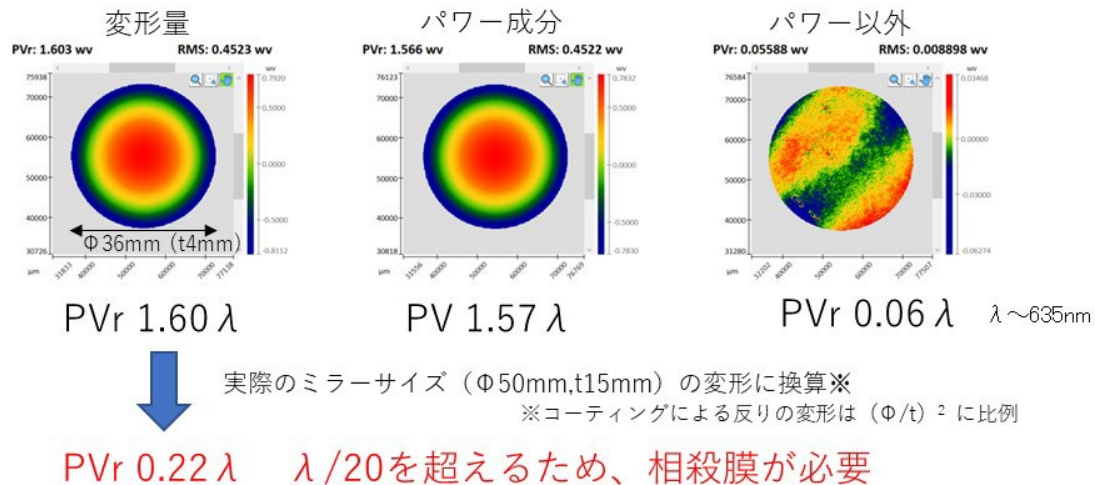


図4. コーティングによる変形評価の結果

2.2 合成開口光学系の結像評価

光学設計チームは、将来の大型宇宙望遠鏡のための基礎研究開発として、回折光学素子 (Diffractive Optical Element、以下 DOE) による合成開口望遠鏡の検討を行っている。大型望遠鏡を構成するにあたり多数の小型衛星によるフォーメーションフライトを想定しており、DOE を利用するメリットとして、①平板で構成され低重量、②光学素子の設置精度要求が低い、ことが挙げられる。

今回、開発初期の原理検証実験として、2つの DOE (それぞれ 30 mm角) による結像を評価した。光源には、先端技術センターが保有するフィゾー干渉計 (Zygo, GPI-XP) を平行光源として利用した。DOE により結像したスポットは、ビームプロファイラ (光響、LaseView-CA50-NCG) により 2 次元画像として取得した。合成開口による結像を得るため、光学設計チームが所有するヘキサポッド (PI, H-850.H2) を利用して、DOE を精密に配置した (図5)。

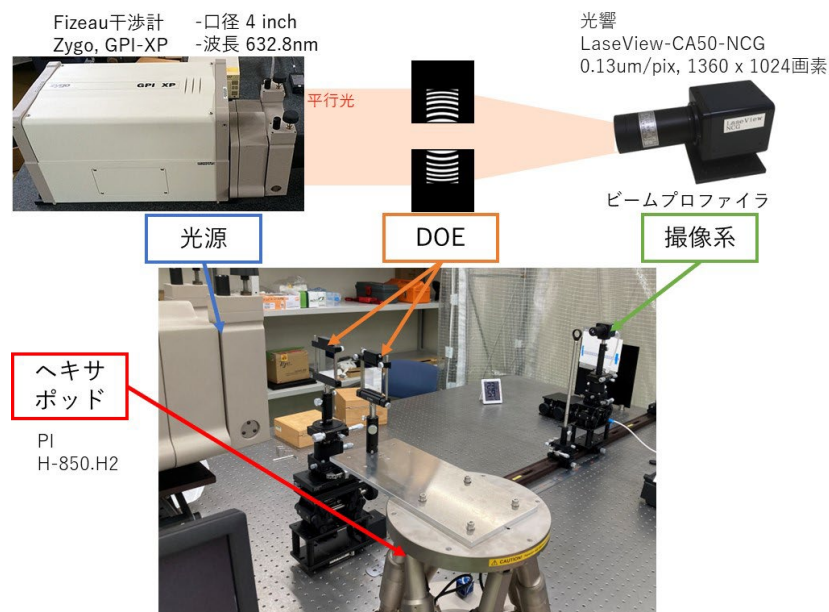


図5. 合成開口による結像の計測セットアップ

実験の結果、単一の DOE による結像は理論とほぼ一致することが分かった。一方、2つの DOE による結像は、単一の DOE より小さなスポットが得られたものの理論と有意な差異が認められる(図6)。原因としては、実験環境の振動、アライメントずれ、および入射光学系の収差が考えられる。今後、これらを改善した上で DOE を用いた合成開口望遠鏡のフィジビリティを確認する予定である。

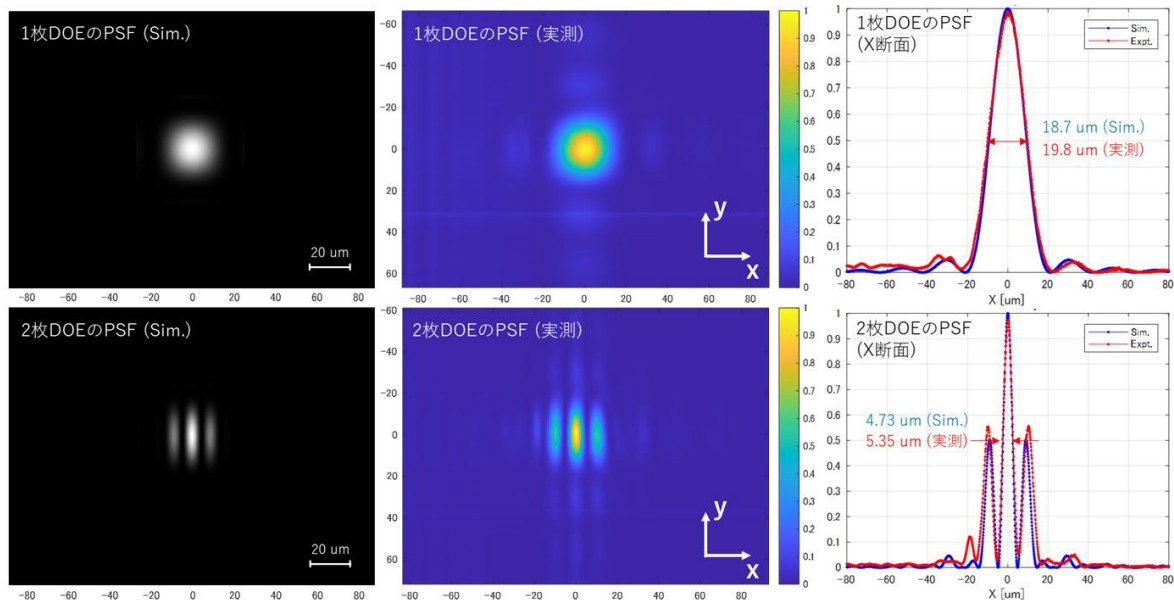


図6．合成開口による結像評価結果

3. まとめ

国立天文台先端技術センター光学設計チームの紹介と、光学計測の最新事例の紹介を行った。光学設計・計測・コーティングで困りごとがありましたら、ぜひ光学設計チームにご相談ください。