

系外惑星直接観測のための高コントラストコロナグラフシステムの開発

Developing a high contrast coronagraph system for direct detection of exo-planet

○大矢正人^{1,2}, 堀江正明^{1,2}, 西川淳², 田村元秀², 藤井紫麻見³

Abstract: A stellar coronagraph system for observing extra solar planets directly is under development by combining unbalanced nulling interferometer (UNI), adaptive optics, and a focal plane mask coronagraph. However, a sufficient high contrast is not obtained yet in the experiment. We thought that the remained speckle noise at the final coronagraph focal plane is caused by a non-common path error. We describe that our coronagraph system becomes practically higher contrast by upgrading the controlling method of adaptive optics with the wave front sensor assisted by focal plane wavefront sensing method, where two feedback loops are used. Furthermore, we describe that a secondary shadow by reflecting telescope is removed by cascaded eight-octant phase mask coronagraph.

1. はじめに

太陽系外惑星の観測は、天文学において重要なテーマの1つである。特に地球型惑星を直接に撮像し、生命存在の可能性を示す水や酸素などのスペクトルを検出することが次の最大のマイルストーンとなる。しかし、近くにある主星が大変明るいため、惑星の直接観測では約 10 桁のコントラストが必要であり、波面誤差を波長 λ に対し、 $\lambda/10000$ [rms]まで低減する必要がある。そこで、我々は、焦点面マスクコロナグラフや非対称ナール干渉計 (UNI), 補償光学などを組み合わせることによって、系外惑星を直接観測するための高コントラストコロナグラフシステム (図.1) を開発中である^[1]^[2]。一般の補償光学では、 $\lambda/1000$ [rms]の波面補償が限界と言われているが、UNIによる波面誤差拡大によって、 $\lambda/10000$ [rms]の波面補償が可能となる。

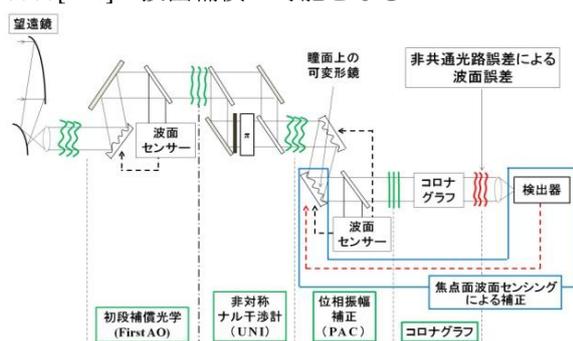


図.1 高コントラストコロナグラフシステムのレイアウトと焦点面波面センシングの追加

2. 焦点面波面センシング

図.1 の位相振幅補正(PAC)の補償光学の波面センサー光路での測定値が $\lambda/1000$ [rms]でも、コロナグラフを通過して最終的な焦点面検出器へ至る光路にある $\lambda/1000$ [rms]より悪い波面誤差 (非共通光路誤差) があ

れば、残留スペックルノイズが焦点面検出器で問題になるレベルで発生する。そこで、焦点面波面センシングの追加によって、この残留スペックルノイズを除去する。焦点面波面センシングは、瞳面に設置した可変形鏡と最終焦点像を観測する検出器を用いて、補正すべき像面上の電場を検出し、波面を制御してその電場を除去する。像面の1点の電場は、可変形鏡で特定周期のコサイン波状の位相を4種類加えて観測することで、求めることができる。求めた像面電場の負値に対応する電場を可変形鏡で発生させることにより、スペックルノイズを除去する。

3. 焦点面波面センシングの実験

図.2 のように、He-Ne レーザー ($\lambda=633\text{nm}$) の光を対物レンズでピンホール (直径 $5\mu\text{m}$) に集光し恒星像を模擬した。ピンホールを通過した拡散光をコリメーターレンズ (焦点距離 $f=400\text{mm}$) でコリメートすることで、恒星からのコリメート光をシミュレートしている。その後、2枚のレンズ ($f=200\text{mm}$) で入射瞳を再結像した場所に可変形鏡 (DM) を配置した。さらに、2枚のレンズ ($f=200\text{mm}$) でコリメート後、ビームスプリッターで光路を2つに分ける。片方の光路では、入射瞳を再結像した場所に波面の位相を測定するシャックハルトマン式波面センサー (WFS) を配置した。もう一方の光路では、焦点面の八分割位相マスク (EOPM)^[3]をクロスニコル配置の偏光子で挟み、絞りを透過後、焦点面の CCD で観測する (八分割位相マスクコロナグラフ)。EOPM は、中心から放射状に8領域に分かれ、隣り合った領域の位相差が π となっている。図.2 の EOPM 透過後の瞳面では、恒星光が瞳の外周に集中するため、絞りによって恒星光を除去できる。

1: 日本大学・院・物理 2: 国立天文台・光赤外研究部 3: 日本大学・教員・物理

