

2 波面センサー 1 可変形鏡による Dark-Zone コロナグラフ Dark-Zone coronagraph by a deformable mirror with 2 wavefront sensors

○深瀬雅央^{1,2}, 大矢正人^{1,2}, 西川淳^{2,3}, 藤井紫麻見⁴

*Masao Fukase^{1,2}, Masahito Oya^{1,2}, Jun Nishikawa^{2,3}, Shiomi Fujii⁴

Abstract: A stellar coronagraph system for observing terrestrial exoplanets directly is under development by combining unbalanced nulling interferometer (UNI), adaptive optics, and a focal mask coronagraph. However, our system is not obtained a sufficient high contrast yet. We thought that the remained speckle noise was produced by wavefront errors at the focal mask coronagraph. Therefore, we add Dark-Zone method to the system, which removes the wavefront errors inside the coronagraph. But the method is not controlling other waveforont errors by telescope optical system. Thus it is necessaly to remove both of the wavefront errors by a deformable mirror (DM) with 2 wavefront sensors The feature of this method is that phase and amplitude error is removable by one DM.

1. はじめに

観測機器の発達によって 90 年代以降、太陽系の外に存在する系外惑星が発見されるようになった。特に地球型系外惑星の直接撮像は、太陽系の様な惑星系の形成の仕組みや地球外生命体の研究に大いに役に立つ。このような系外惑星の直接撮像には約 10 桁のコントラストが必要であり、波面誤差を波長 λ としたときに、 $\lambda/10000$ [rms]まで抑えなければならない。我々はこれに対し、焦点面マスクコロナグラフ、非対称ナル干渉計（以下 UNI）を用いた高コントラスト撮像系による直接撮像を目指している。しかし、UNI と補償光学を組み合わせることで波面誤差を $\lambda/10000$ [rms]に抑えることはできるが、波面誤差を計測する補償光学の光路と最終像面に到達するコロナグラフを通る光路は異なるために残留スペックルノイズが発生してしまう（非共通光路誤差）。これを除去するために焦点面波面センシングを追加する。Dark-Zone は望遠鏡光学系による波面誤差の変化がないときの制御法であるので、変化があるときに対応するため、瞳面と焦点面の 2 つの波面センサーと 1 つの可変形鏡による複合的な制御によって Dark-Zone を維持する。

2. 2 波面センサー 1 DM 法による Dark-Zone 法の維持

焦点面波面センシングは、最終像面で検出される残留スペックルノイズの電場を測定し、Dark-Zone 法はその電場を可変形鏡(DM)で除去する。このとき望遠鏡光学系の時間的な変化によって入射波の位相と振幅に誤差が生じるが、この波面誤差は暗い焦点面で測定する Dark-Zone 法では時間変化に応答することができないため、除去することが難しい。

そこで、光量が十分な瞳面の波面センサーを用いて入射波の波面誤差を測定し、DMに補正を加えることでこれを除去する。具体的には初めに焦点面波面センシングによる結果から目標とする波面誤差を設定し、DMにその値をオフセ

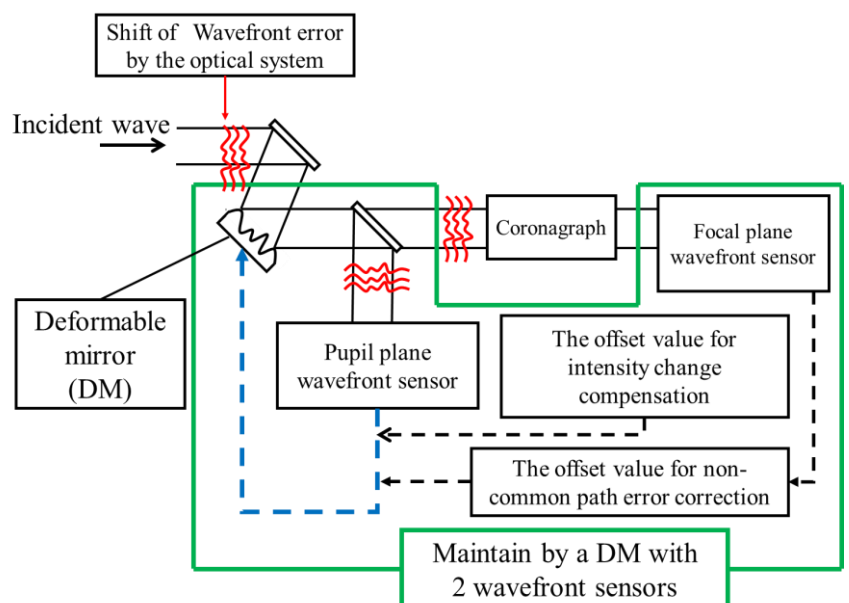


fig.1 The layout of 2 wavefront sensors and a deformable mirror

1 : 日大理工・院・物理 2 : 国立天文台・光赤外研究部 3 : 総研大 4 : 日大理工・教員・物理

ットする。入射波の波面誤差が変化しなければ常にこのオフセット値によって Dark-Zone 法は維持される。入射波の波面誤差が変化した場合は、瞳面の波面センサーでこれを検出する（位相誤差 $\Delta\phi$ と振幅誤差 $\Delta\alpha$ とする）。ここで使用している DM は位相誤差を補正するためのものであるため振幅誤差を直接補正することはできない。そのため振幅誤差 $\Delta\alpha$ によって発生する Dark-Zone 上の電場を丁度打ち消すような位相オフセット $\Delta\phi_\alpha$ を DM に加えることで、1 つの DM による位相・振幅補正を目指す。

3. 瞳面波面センサーの波面誤差測定

瞳面波面センサーで測定した結果をフーリエ解析し、DM に補正值を出力する。この時 DM の一辺あたりの素子数が 2^n でないため、入射光よりも広い範囲を含めてフーリエ解析をする。これにより高次のフーリエ解析が可能となり位相・振幅誤差をより正確に補正できる。

4. 今後の予定

Dark-Zone 法の実験が行われるまではシミュレーションによる数値計算を行い、1 つの DM だけで位相と振幅の両方を補正できるか確認を行なう。また瞳面波面センサーのフーリエ解析の範囲について検討する。

5. 参考文献

- [1] 大矢正：「系外惑星直接観測のための焦点面波面センシングを用いた 2 波面センサー法」, 第 50 回 光波センシング技術研究会 講演論文集, ISBN 978-4-86348-290-6, LST50-32, pp211-216, 2012.
- [2] J. T. Trauger, and W. A. Traub: "A laboratory demonstration of the capability to image an Earth-like extrasolar planet" Nature 446 (2007) 771.
- [3] A. Give'on, B. D. Kerna, and S. Shaklana: "Pair-wise, deformable mirror, image plane-based diversity electric field estimation for high contrast coronagraphy" Proc. SPIE 8151 (2011) 815110-1.