共同研究契約報告書

令和 元年　4月　24日

平成 31年　7月　9日付
「Second Earth Imager for TMT（SEIT）実現に向けた高コントラスト観測システムの開発」
研究代表者： 国立手大学法人北海道大学大学院工学研究院・講師・村上 尚史

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。

所在地： 札幌市北区北１３条西８丁目
名　称： 国立大学法人 北海道大学
代表者： 大学院工学研究院長　瀬戸口 剛　　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											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
SPLINE構築に向けた治具製作						←	—	—	—	—	—	→
Lyot stop製作								←	—	—	→	
装置安定化に対する取り組み												
ポストプロセス技術の開発				←	—	—	—	—	—	→		

(2)研究の成果の説明

我々は、TMT 時代の系外惑星探査に向けて、高コントラスト観測システム SEIT (Second Earth Imager for TMT) の開発を進めている。 SEITの基本構成として、大気揺らぎを補正するための極限補償光学、恒星光を低減するコロナグラフ、コントラストの向上（さらなる恒星光除去）と惑星のキャラクタリゼーションを目指すポストプロセス技術などを検討している。本研究課題では、 SEIT のプロトタイプの位置づけでもある口径 3.8mせいめい望遠鏡の高コントラスト観測システム SEICA (Second generation Exoplanet Imager with Coronagraph and Adaptive optics) への搭載に向けたコロナグラフ SPLINE (Savart Plate Lateral shearing Interferometric Nuller for Exoplanets) を開発することである。SPLINEは、共通光路の横シヤリング干渉計をベースとしており、4つの楔形方解石プリズムと四ホウ酸リチウム製サバール板を並べたシンプルな構成となっている。その基本原理は、望遠鏡からの光ビームに対して横シヤリング干渉を行い、偏光操作によりアクロマティックに打ち消し合う干渉を生じさせるというものである。横シヤリング干渉で重なった領域をしぼり (Lyot stop) で取り出すことで恒星光のみが除去され、恒星近傍の惑星を検出することが可能となる。

SPLINEは、SEICA補償光学のTweeter可変形鏡（大気揺らぎの高次成分を補正する）の後段に置かれる計画となっている。H29年度までに、構成する偏光プリズムの製作が完了し、装置のシステム化に着手した。また、偏光プリズムの微調のためのコンパクトな専用ホルダを製作した (平成29年度報告書)。H30年度は、SPLINEから天体光を検出器へ送るためのリレーレンズや、現実に近い観測を模擬するためのせいめい望遠鏡瞳の製作を行い、SPLINEの動作確認を行った (H30年度報告書)。

これを受けてR元年度に予定していた開発項目は、 (1) SPLINE構築に向けた治具製作、(2) Lyot stop の製造、(3) 装置安定化に対する取り組み、(4) ポストプロセス技術の開発、であった 。

(1)に関しては、昨年度までに製作したプリズム、ホルダ、治具、レンズなどをモジュール化するため、光学系を設置するベース板、光学素子のホルダおよびマウント類などの設計・製造を行った。これにより、SPLINEシステムとしてのモジュール化に向けて大よその見通しを得ることができた (図1)。また(2)とも関係して、SPLINE後段においてLyot stopにより余分な光を遮断するためには、望遠鏡瞳面をモニターしながらLyot stopの位置調整を行う必要がある。そこで、SPLINE出射後の光学系を2段

構成とし、下段が通常のサイエンス光路に、上段がLyot stop設置用の瞳面モニターとなるように光学系の再設計を行った（図1）。今後の開発目標の一つは、今年度に新たに検討した瞳モニター部分を製作することである。また、Tweeter補償光学部およびSPLINEのプリズム部は、高い温度安定性が必要と考えている。そこで今後は、これらの部分について温度安定化のためのカバーを設置し、その他の部分と熱的に遮断することを計画している。SPLINEを用いない撮像モードも重要と考えており、今後は撮像のみの観測モードの実現性についても検討を行う。

(2)については、SPLINEで恒星光を強力に除去するため、望遠鏡瞳面の極めて細かい構造であるセグメントギャップやスパイダの影響を丁寧に遮蔽する必要がある。この場合、Lyot stopの遮蔽部には極めて精細なパターニングが必要である。この設計は、すでにH29年度に行っている。R元年度は、観測当初の技術的なリスクを低減するため、より簡便なLyot stopの可能性について検討を行った。セグメントギャップおよびスパイダの影響を考慮しない簡易Lyot stopでどの程度恒星光が除去されるかを、計算機シミュレーションにより評価した。その結果、精細なパターンのない簡略化Lyot stopを用いても、SEICAでの当面の目標コントラスト（PSFピークで$10^{-1.5}$） に到達できることが示唆された。この検討結果を踏まえR元年度は、簡易型Lyot stopの製造を行った。

(3)については、(1)に記載した温度安定化の対策がなされてからの検討が望ましいと考え、R元年度は実施しなかった。

(4)については、コロナグラフ後のポストプロセス技術として、スペックルナリング技術およびスペックル測定技術の開発を実施した。特筆すべき報告としては後者で、欧州で提案された自己コヒーレントカメラ(SCC)法を、SEICA用SPLINEに応用することを新たに検討した。開発に成功すれば、大気揺らぎに起因した残留恒星光を、画像処理により強力低減できると期待している。R元年度は、SEICA用SPLINE実機とは別にシミュレータを構築し（図2左）、提案した技術の実証試験に着手した。恒星光の強力な除去の実証には至っていないが、原理実証に向けて一定の見通しを得ることができた（図2右）。

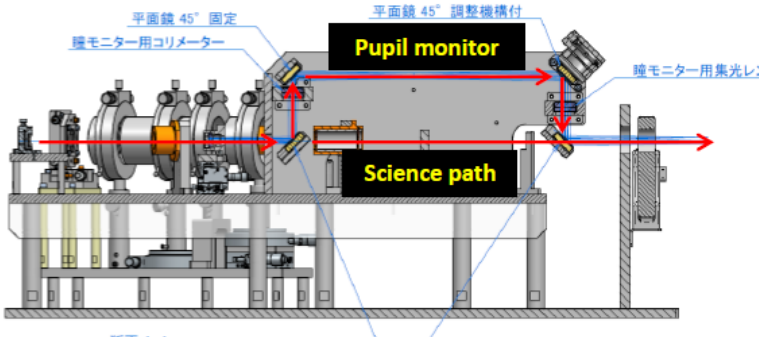
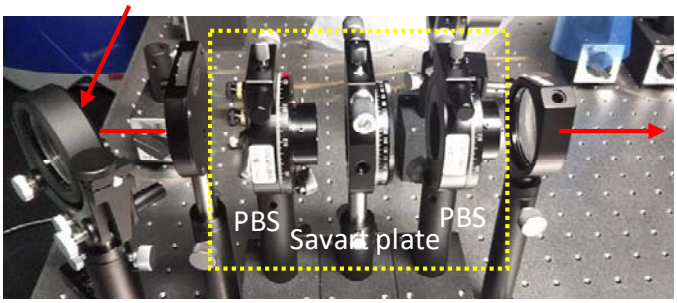


図1： SEICA搭載用SPLINEの光学系。光路を2段構成とし、下段を通常のサイエンス光路、上段を瞳面モニタ（R2年度以降に構築予定）とした。



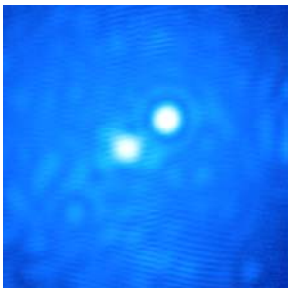


図2：(左) R元年度に新たに提案した、SPLINE用スペックル測定技術（自己コヒーレントカメラ法）の実証試験機。(右) 実証試験機で得られた観測像。このデータを解析することにより、スペックル電場の測定および除去が期待される。