

令和 5 年 5 月 18 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01932

研究課題名（和文）ハビタブル惑星探査時代に向けたスペースコロナグラフ技術の開発

研究課題名（英文）Development of technologies for space coronagraph towards exploration of habitable exoplanets

研究代表者

村上 尚史（Murakami, Naoshi）

北海道大学・工学研究院・講師

研究者番号：80450188

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：生命が期待される系外惑星（太陽以外の恒星がもつ惑星）の探査のためには、明るい恒星光を広い波長帯域にわたり強力に（10桁レベルに）除去し、微弱な惑星を直接捉えてスペクトル分析などによる特徴づけを行う高コントラスト観測技術が必要不可欠である。本研究課題では、このような科学目標を目指して、将来観測テクノロジーの研究開発を推進した。具体的には、焦点面位相マスク、瞳面アポダイザ、ダークホール制御技術などの研究開発を行い、さまざまな独自技術の室内実証を行った。さらに、これらの開発研究を通じて、2種類の高コントラスト観測シミュレータを北海道大学に構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命を宿す「第二の地球」探査を目指したロードマップとして、将来のスペース望遠鏡による高コントラスト観測が検討されている。このような科学目標は、天文学分野にとどまらず、多くの人々にとって興味を抱くテーマであろう。しかしながら、明るい恒星の周りの極めて微弱な惑星を捉えることは非常にチャレンジングであり、観測技術のさらなる発展が望まれる。本研究課題を通じて、高コントラスト観測に関するさまざまな独自技術を発展させるとともに、その研究開発拠点を整備することができた。これらの研究成果は、将来のスペース探査ミッションへの技術的貢献に向けた重要な足掛かりになると期待される。

研究成果の概要（英文）：For exploration of exoplanets (planets around stars other than the Sun) where life is expected, high-contrast imaging technologies are required for strongly suppressing bright starlight with a level of 1/10 billion over a broad wavelength range to directly detect and spectrally characterize extremely faint planetary light. Aiming for such a scientific goal, we prompted the development of future observation technologies. In particular, we carried out research and development of various technologies in terms of focal-plane phase masks, pupil-plane apodizers, dark-hole control techniques and so on. Besides, we constructed two laboratory simulators of the high-contrast imaging technologies at Hokkaido University throughout these studies.

研究分野：天文光学

キーワード：太陽系外惑星 コロナグラフ 補償光学 バイオシグネチャー

1. 研究開始当初の背景

系外惑星(太陽以外の恒星がもつ惑星)は、現代天文学の主要な研究テーマの一つである。これまでに、ドップラー法(惑星の引力により生じる、恒星のふらつきを捉える手法)やトランジット法(恒星の前面を惑星が通過することで生じる、恒星の減光を捉える手法)などの間接的な手法により、4000個に迫る惑星が発見されている(研究開始当初。現在では5000個を超えている)。地球クラスの小型惑星が普遍的に存在することも明らかとなり、さらには生命居住可能領域(ハビタブルゾーン)に存在する地球クラス惑星も発見されはじめている。一方、明るい恒星を除去して惑星を「直接」捉える観測技術(高コントラスト観測技術)の発展も目覚ましく、主に地上大型望遠鏡での巨大惑星の観測が報告されはじめている。

系外惑星の観測的研究の究極目標の一つは、ハビタブルゾーンに存在する地球型惑星を直接検出し、その光を分析することにより生命の存在を示す指標(バイオシグナチャー)を発見することである。その実現に向けて、口径30m級の地上超大型望遠鏡やスペース望遠鏡による高コントラスト観測が検討されている。地上超大型望遠鏡では、その圧倒的な解像度を活かして、主星のごく近傍の探査が可能となる。達成可能なコントラスト(惑星/恒星光度比)は大気揺らぎにより制限されるものの、 10^{-8} が実現できれば晩期型星のハビタブル惑星の発見が期待される。一方、将来のスペース望遠鏡では、大気揺らぎのない安定な環境により 10^{-10} の極限的なコントラストが期待されるため、太陽型星周りのハビタブル惑星探査が目標となっている。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、太陽型星周りの地球型惑星が示すバイオシグナチャーを探査するための観測技術を獲得することである。特に、将来のスペース望遠鏡ミッションを見据えて、極限高コントラストの実現を目指した3つの要素技術(1: フォトニック結晶焦点面位相マスク、2: 瞳面アポダイザ、3: ダークホール制御技術)を軸に研究開発に取り組む。個々の要素技術の開発だけでなく、それらを統合することにより、多様な惑星の探査に向けた広い視野、効率的なスペクトル分析に向けた広い波長帯域、任意の望遠鏡に適用可能な高い汎用性、を同時に有する独自の観測システムの実現を目指す。このような研究開発を通じて、ハビタブル惑星探査を目指す将来のスペース望遠鏡ミッションに対して、技術的貢献をするための基盤を確立することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、上述の3つの要素技術を軸に研究開発に取り組む。明るい恒星を除去して惑星を直接捉える高コントラスト観測のため、コロナグラフの開発が重要となる。これまでに、さまざまなコロナグラフ手法が提案されている。我々は、焦点面位相マスク法の開発に取り組んでいる。これは、天体が結像する焦点面において、光波位相を適切に変調させる光デバイスを設置することで、打ち消し合う光波干渉を利用して恒星光を除去するものである。本研究課題では、精細な位相変調が期待できる、フォトニック結晶波長板にもとづく位相マスクの開発を行った。

焦点面マスク法は、望遠鏡瞳が円形の場合、恒星光を理論上完全に除去できる。しかしながら、円形の望遠鏡瞳を得るためには、特殊な望遠鏡(軸外し望遠鏡など)が必要となる。一般的な望遠鏡は、望遠鏡瞳に副鏡やその支持機構の影をもつ。このような望遠鏡瞳では、コロナグラフの性能が著しく劣化してしまう。どのような望遠鏡デザインにも適応するためには、瞳面に設置する補助的な光デバイス(瞳面アポダイザ)が必要となる。本研究課題では、位相マスクと組み合わせる高いコントラストを得るための瞳面アポダイザの開発を行う。

コロナグラフにより恒星光を強力に除去できたとしても、装置由来のノイズが残ってしまう。これは、望遠鏡や観測装置内の光学素子により光波面が乱されることで、コロナグラフで除去できない恒星光がスペckル状となって現れるためである。したがって、コロナグラフ前段で光波面制御を行い、残留スペckル光をさらに除去する技術(ダークホール制御)が必要となる。現在、可変形鏡(deformable mirror, DM)を用いたダークホール制御技術の開発が世界的に行われている。本研究課題では、空間光変調器(spatial light modulator, SLM)を用いた開発を進める。SLMは一般的に、DMに比べて制御素子数が圧倒的に多いため、より広い領域にわたりダークホール制御が可能となる。本開発項目は、SLMを用いた観測の可能性を追求するとともに、将来の多素子DMを想定したダークホール制御の基礎開発をいち早く推進する狙いがある。

4. 研究成果

(1) 広い波長帯域で動作する焦点面位相マスクの実現を目指し、主に2つのアプローチに取り組んだ。一つは、フォトニック結晶波長板を直交偏光子で挟む手法(以後、偏光フィルタリング法)もう一つは、多層波長板による広帯域化(以後、多層波長板法)である。これまでに、複数種類の3層位相マスクの試作を行っている。本研究課題では、これまでに試作した位相マスクの性能評価を実施した。恒星モデルとして多波長の人工光源を用い、コロナグラフの室内実証試験によりコントラスト評価を行った。また、さまざまな誤差要因(波長板の軸方位やリタレーション誤差、偏光フィルタリング法における偏光子の消光比など)を想定し、期待されるコントラ

ストの理論予測を数値計算により求めた。その結果、多層波長板法のみでハビタブル惑星探査に必要な 10^{-10} オーダのコントラストを目指す場合、製造誤差などによる性能劣化に極めてシビアであることが分かった。また偏光フィルタリング法では、偏光子の有限な消光比に起因した漏れ光により、高いコントラストが得られる波長帯域が狭くなることも見出された。数値解析の結果、中程度の設計コントラストの多層波長板マスクと偏光フィルタリング法によるハイブリッド解により、これらの誤差要因があっても広い波長帯域にわたり高コントラストに到達し得ることが示唆された。

これらの知見を受けて、偏光フィルタリング法との併用を想定した 3 層位相マスクの設計を行った。将来のスペース望遠鏡ミッションを想定し、与えられた波長帯域に対して性能が最大となる(最良のコントラストが得られる)ように設計パラメータを最適化するアルゴリズムを開発し、これを用いて広い波長帯域で強力な恒星光除去が期待できる設計解を得た(文献)。

また、室内試験によるコントラストの波長特性評価の結果は、さまざまな誤差要因を考慮した数値計算による理論性能とは一致しなかった。そこで、位相マスクの内部で偏光状態がどのように変調されているかを詳細に知る必要があるとの認識に至り、試作した多層位相マスクの偏光特性評価のための測定系を構築した。得られた評価結果に対し、コロナグラフ室内試験と比較するなどの考察を進めた。その結果、天体光波に所望の位相以外の望まれない位相変調が生じている可能性など、今後さらなる調査が必要な要因を見出した。

(2) 瞳面アポダイザの開発では、国立天文台において独自の設計ソフトウェアが開発されている。本研究課題では、新たなワークステーションを導入することにより、さまざまな望遠鏡デザインに対して、高コントラストと高スループットを両立する最適なアポダイザ設計のための環境整備を進めた。これにより、スペース望遠鏡にとどまらず、地上超大型望遠鏡での惑星探査も見据えた設計を併せて推進した(文献)。また、開発した設計ソフトウェアのさらなる改良を行い、従来よりも解像度の高い設計解や、8 分割位相マスク(恒星光を 8 領域に分け、隣り合う領域間を通る光波に の位相差を与えるデバイス)以外との併用を想定した設計解を得た(研究開始当初は、8 分割位相マスクとの併用を想定したアポダイザ設計にとどまっていたが、本研究課題を通じて、他種の位相マスクを想定したアポダイザ設計も実施した)。

さらに、これまでに試作した瞳面アポダイザに対して、8 分割位相マスクと組み合わせたコロナグラフ試験光学系を構築し、上述(1)と同様に、多波長光源を恒星に見立てた室内試験を実施した。その結果、副鏡とスパイダの影を持つ複雑な望遠鏡瞳を想定した場合でも、可視の広い波長帯域にわたり恒星光を強力に除去できることを実証した。

(3) ダークホール制御技術では、広く開発が行われている DM ではなく、SLM による基礎研究および技術開発を推進した(図 1)。まず、細かな位相制御ができない SLM でも高いコントラストを実現するため、ハーフトーン手法を応用した新たな制御アルゴリズムを提案した。計算機シミュレーションおよび室内試験を実施し、位相分解能の劣る波面補正デバイスでも高いコントラストが得られることを実証した(文献)。

また、これまでは主に、単一星まわりの惑星探査を検討してきたが、連星系観測も視野に入れた検討も新たに行った。まず、計算機シミュレーションによる原理実証を行い、その実現性などについて調査した。さらに、2 台の人工光源により連星系を模擬した室内試験を行い、開発した制御アルゴリズムを適用したところ、連星系まわりにおいて 10^{-8} オーダのコントラストの実証に成功した(文献)。ダークホール制御における光波面補正のため、スペckル電場測定(波面センシング)が必要である。連星ダークホール制御のための独自の波面センシング法も新たに提案し、その実証試験も行った。

さらに、多波長で同時にダークホール制御を実現するための新規技術も提案した(文献)。本手法についても室内シミュレータにより実証試験を推進した。異なる波長のレーザー光源 2 台を用いて、離れた 2 波長で独立にダークホール制御ができることを実証した。また、性能を制限している要因として、実験室の大気揺らぎに注目し、その影響を低減するための対策を行った。具体的には、テストベッドの安定化や、揺らぎに強いコロナグラフ法との組み合わせ試験などを実施した。提案する多波長ダークホール制御が実現されれば、高効率・短時間でのスペクトル分析や、複数バンド同時の測光観測(光度変動観測)などにより、新たな系外惑星サイエンスが拓けると期待している。

(4) 上述の研究開発を通じて、北海道大学において 2 種類の高コントラスト観測シミュレータ

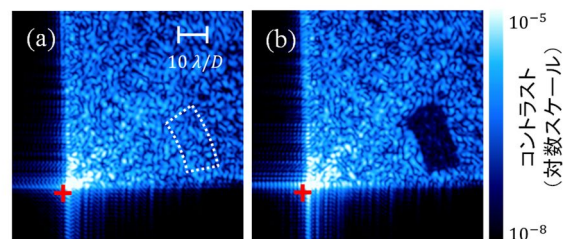


図1：高コントラスト観測シミュレータEXIST(詳細は(4)を参照)でのダークホール制御試験の例。(a) ダークホール制御前の恒星モデル像(+印は、恒星モデル像中心の位置)。(b) ダークホール制御後の恒星モデル像。画像aの白点線領域にわたりスペckル光が強力に除去され、推定コントラストレベル 1.4×10^{-8} に達している。

FACET (Facility of Coronagraphic Elemental Technologies) および EXIST (Exoplanet Imaging System Testbed) の構築・整備を行った(図2, 文献)。FACETでは、高コントラスト観測のための光デバイスや要素技術(コロナグラフ位相マスクや瞳面アポダイザ、ダークホール制御や波面センシングなど)の基礎的な研究開発を、EXISTではこれらを統合したシステムレベルでの原理実証と性能向上を目指した研究開発を推進している。本研究課題を通じて、これらの施設において定常的に 10^{-8} オーダのコントラストが得られる環境が整った。さらには、恒星モデル遠方ではあるが、FACETにおけるベストコントラストは 10^{-9} オーダに到達した(文献)。本研究課題により開発された光デバイスや要素技術、整備された研究開発拠点は、ハビタブル惑星探査を目指す将来のスペース望遠鏡ミッションへの技術的貢献に向けた重要な足掛かりになると期待している。

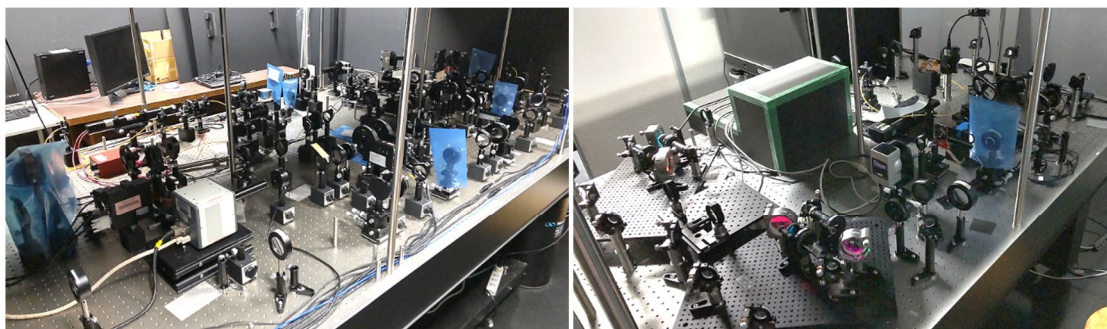


図2：本研究課題を通じて構築・整備された高コントラスト観測テクノロジーの研究開発拠点 (左) FACETおよび(右) EXISTの外観。

<引用文献>

- 林寛昭, 村上尚史, 土生圭一郎, 西川淳, 「フォトリソグラフィにもとづく広帯域離散型6次ベクトル渦マスクの設計」, 日本天文学会2021年秋季年会講演予稿集 V247b (2021).
- J. Nishikawa, N. Murakami, et al., "Combination of apodized pupil and phase mask coronagraph for SCExAO at Subaru Telescope," Proc. SPIE, 11447, 114474T (2020).
- N. Murakami, K. Yoneta, H. Ichien, S. Sudoh, K. Habu, J. Nishikawa, "Construction of EXIST (Exoplanet Imaging System Testbed) toward future space coronagraphs," Proc. SPIE, 11443, 114432M (2020).
- K. Yoneta, N. Murakami, H. Ichien, S. Sudoh, J. Nishikawa, "Halftone Wave Front Control: Numerical Simulation and Laboratory Demonstration," Astron. J., 163, 112 (2022).
- K. Yoneta, N. Murakami, R. Koike, J. Nishikawa, "Binary-star wavefront control based on a common-path visible nulling coronagraph," Astrophys. J. Suppl. Ser., 262, 48 (2022).
- 浅野瑞基, 村上尚史, 米田謙太, 「地球型系外惑星観測を目指した広帯域ダークホール制御系の開発」, 日本天文学会2022年秋季年会講演予稿集 V237a (2022)
- K. Yoneta, S. Sudoh, H. Hayashi, M. Asano, J. Nishikawa, N. Murakami, "Recent progress of the facility for coronagraphic elemental technologies (FACET)," Proc. SPIE, 12180, 1218027 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kenta Yoneta, Naoshi Murakami, Ryuta Koike, Jun Nishikawa	4. 巻 262
2. 論文標題 Binary-star wavefront control based on a common-path visible nulling coronagraph	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 48 (9pp.)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac892e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kenta Yoneta, Seiji Sudoh, Hiroaki Hayashi, Mizuki Asano, Jun Nishikawa, Naoshi Murakami	4. 巻 12180
2. 論文標題 Recent progress of the facility for coronagraphic elemental technologies (FACET)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 1218027 (9pp.)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2628451	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kenta Yoneta, Naoshi Murakami, Hikaru Ichien, Seiji Sudoh, and Jun Nishikawa	4. 巻 163
2. 論文標題 Half-tone Wave Front Control: Numerical Simulation and Laboratory Demonstration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 112 (10pp.)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ac35e0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Naoshi Murakami, Kenta Yoneta, Kenya Kawai, Hajime Kawahara, Takayuki Kotani, Motohide Tamura, and Naoshi Baba	4. 巻 163
2. 論文標題 Polarization-based Speckle Nulling Using a Spatial Light Modulator to Generate a Wide-field Dark Hole	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 129 (12pp.)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ac3510	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Naoshi Murakami, Kenta Yoneta, Hikaru Ichien, Seiji Sudoh, Keiichiro Habu, Jun Nishikawa	4. 巻 11443
2. 論文標題 Construction of EXIST (Exoplanet Imaging System Testbed) toward future space coronagraphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 114432M (8pp.)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2560450	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenta Yoneta, Naoshi Murakami, Koki Yoshida, Ryuta Koike, Takayuki Kotani, Hajime Kawahara, Naoshi Baba, Motohide Tamura	4. 巻 11451
2. 論文標題 Speckle reduction technique using the self-coherent camera for the common-path visible nulling coronagraph	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 114513Y (7pp.)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2560471	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jun Nishikawa, Naoshi Murakami, Julien Lozi, Olivier Guyon, Keiichiro Habu, Hikaru Ichien, Kenta Yoneta, Seiji Sudoh, Kosuke Kumaki, Shiomi Kumagai, Nemanja Jovanovic, Frantz Martinache	4. 巻 11447
2. 論文標題 Combination of apodized pupil and phase mask coronagraph for SCEXAO at Subaru Telescope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 114474T (6pp.)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2560839	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 米田謙太, 村上尚史
2. 発表標題 連星系における系外惑星探査のための波面測定技術の開発
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村上尚史
2. 発表標題 バイオシグネチャー探査を目指した広帯域6次コロナグラフ位相マスクの開発
3. 学会等名 第11回 宇宙における生命ワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenta Yoneta, Naoshi Murakami, Jun Nishikawa
2. 発表標題 Half-tone wave-front control and a common-path visible nulling coronagraph toward direct detection of exoplanets
3. 学会等名 SI-Thru2022 (Sensing and Imaging through Scattering and Fluctuating Field in Biology, Telecommunication, Astronomy) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoshi Murakami, Kenta Yoneta, Mizuki Asano, Hiroaki Hayashi, Jun Nishikawa
2. 発表標題 Technology development of coronagraph and wavefront control for astronomical high-contrast imaging
3. 学会等名 International Symposium on Comprehensive Understanding of Scattering and Fluctuated Fields and Science of Clairvoyance (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenta Yoneta, Seiji Sudoh, Hiroaki Hayashi, Mizuki Asano, Jun Nishikawa, Naoshi Murakami
2. 発表標題 Recent progress of the facility for coronagraphic elemental technologies (FACET)
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野瑞基, 村上尚史, 米田謙太
2. 発表標題 地球型系外惑星観測を目指した広帯域ダークホール制御系の開発
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田亨, 村田泰宏, 田村隆幸, 住貴宏, 鈴木大介, 田村元秀, 村上尚史, Roman宇宙望遠鏡検討チーム
2. 発表標題 Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡計画: 日本の参加の現状
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米田謙太, 林寛昭, 浅野瑞基, 村上尚史, 村松大海, 田中洋介, 西川淳
2. 発表標題 12分割6次位相マスクを用いた高コントラスト観測の室内実証
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西川淳, 米田謙太, 村上尚史, 林寛昭, 浅野瑞基, 村松大海, 田中洋介
2. 発表標題 大口径望遠鏡コロナグラフ向けの可視広帯域24分割6次位相マスクの開発
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松大海, 西川淳, 村上尚史, 林寛昭, 米田謙太, 浅野瑞基, 田中洋介
2. 発表標題 系外惑星観測のための位相マスクの位相差の測定
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松大海, 西川淳, 村上尚史, 林寛昭, 米田謙太, 浅野瑞基, 田中洋介
2. 発表標題 系外惑星高コントラスト直接撮像のための位相マスクの位相差の測定
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上 尚史, 米田 謙太, 西川 淳
2. 発表標題 太陽系外惑星探査を目指した波面揺らぎ補正技術の開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 第42回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西川淳
2. 発表標題 High-contrast coronagraph for direct detection of exoplanets
3. 学会等名 第10回 宇宙における生命ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米田謙太, 村上尚史, 小池隆太, 西川淳
2. 発表標題 連星系における系外惑星探査のためのダークホール技術の開発2
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大平泰広, 村上尚史, 須藤星路, 西川淳
2. 発表標題 偏光2チャンネル型位相マスクコロナグラフのための焦点面波面センサーの開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林寛昭, 村上尚史, 土生圭一郎, 西川淳
2. 発表標題 フォトニック結晶にもとづく広帯域離散型6次ベクトル渦マスクの設計
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米田謙太, 村上尚史, 一圓光, 須藤星路, 西川淳
2. 発表標題 ハーフトーン手法を用いた高コントラスト観測のためのダークホール制御技術の開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米田謙太, 村上尚史, 一圓光, 小池隆太, 須藤星路, 西川淳
2. 発表標題 高コントラスト観測システムテストベッドEXISTの開発2
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小池隆太, 米田謙太, 村上尚史, 西川淳
2. 発表標題 連星系における系外惑星探査のためのダークホール技術の開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米田謙太, 村上尚史, 一圓光, 小池隆太, 須藤星路, 西川淳
2. 発表標題 高コントラスト観測システムテストベッドEXISTの開発
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上尚史
2. 発表標題 ハビタブル系外惑星探査に向けたコロナグラフ試験機の構築
3. 学会等名 第9回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米田謙太, 村上尚史, 一圓光, 小池隆太, 西川淳
2. 発表標題 SLMを用いたダークホール技術に関する研究: 計算機シミュレーション
3. 学会等名 第9回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊木公亮, 西川淳, 藤井紫麻見, 村上尚史
2. 発表標題 Shaped Pupil を用いたコロナグラフ
3. 学会等名 第9回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoshi Murakami, Kenta Yoneta, Hikaru Ichien, Seiji Sudoh, Keiichiro Habu, Jun Nishikawa
2. 発表標題 Construction of EXIST (Exoplanet Imaging System Testbed) toward future space coronagraphs
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenta Yoneta, Naoshi Murakami, Koki Yoshida, Ryuta Koike, Takayuki Kotani, Hajime Kawahara, Naoshi Baba, Motohide Tamura
2. 発表標題 Speckle reduction technique using the self-coherent camera for the common-path visible nulling coronagraph
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun Nishikawa, Naoshi Murakami, Julien Lozi, Olivier Guyon, Keiichiro Habu, Hikaru Ichien, Kenta Yoneta, Seiji Sudoh, Kosuke Kumaki, Shiomi Kumagai, Nemanja Jovanovic, Frantz Martinache
2. 発表標題 Combination of apodized pupil and phase mask coronagraph for SCEXAO at Subaru Telescope
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上尚史
2. 発表標題 系外惑星のバイオシグナチャー探査に向けた多層広帯域コロナグラフマスクの開発
3. 学会等名 第8回宇宙における生命ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西川淳
2. 発表標題 超高コントラストコロナグラフの開発
3. 学会等名 第8回宇宙における生命ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一円光、村上尚史、西川淳
2. 発表標題 8分割位相マスクコロナグラフのためのダークホール制御技術の開発
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土生圭一郎、村上尚史、西川淳、Raphael Galicher、Pierre Baudoz、Fabien Patru、小室佑介、馬場直志、田村元秀
2. 発表標題 広帯域コロナグラフ観測を目指した多層8分割位相マスクの開発
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川淳、村上尚史、一円光
2. 発表標題 8分割位相マスクとバイナリ瞳を併用したコロナグラフ：すばる用詳細設計
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Murakami
2. 発表標題 Photonics technology toward high-contrast imaging instruments
3. 学会等名 In the Spirit of Lyot 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Nishikawa, N. Murakami, K. Habu, H. Ichien, S. Sudo, J. Lozi, O. Guyon, K. Kumaki, S. Kumagai
2. 発表標題 Combination of apodized pupil and phase mask coronagraph for Subaru Telescope
3. 学会等名 In the Spirit of Lyot 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	西川 淳 (Nishikawa Jun) (70280568)	国立天文台・TMTプロジェクト・助教 (62616)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	米田 謙太 (Yoneta Kenta)		
研究 協力者	田中 洋介 (Tanaka Yosuke)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------