

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01950

研究課題名(和文) GIGMICSのハレアカラ新望遠鏡への搭載に向けた赤外線中空ファイバーの開発

研究課題名(英文) Development of mid-infrared hollow core waveguide for GIGMICS on the new telescope at Haleakala

研究代表者

平原 靖大 (HIRAHARA, Yasuhiro)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：30252224

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：液体窒素温度冷却下で動作する中間赤外線高分散分光器(GIGMICS)と、開口径1.85m軸外し放物面を主鏡とする光赤外線望遠鏡PLANETSとの高効率かつ高安定な光学的結合を実現するために、新型の中空ファイバーを用いた赤外線冷却中空ファイバーの開発と特性評価を行った。この目的のために、赤外線中空ファイバーの特性を定量的に評価するために、新型の准共通光路波面分割型位相シフト干渉計を導入し、その性能評価を行った。また、世界で初めての1次元中空ファイバーバンドルの制作と性能評価を、マイクロレンズアレイとコヒーレントなレーザー光、および、各種のインコヒーレントな光源を用いて行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

赤外線中空ファイバーは生体内での赤外線計測や高出力レーザー光照射等の医療目的で開発された比較的新しいデバイスである。本研究で取り組んだ詳細な性能評価の結果と、それに必要な周辺の機器開発によって、このユニークな中空ファイバーが従来の中間赤外線多結晶ファイバーに比べて高い透過効率とFlexibilityを有し、赤外線天文観測装置の結合や惑星探査機搭載の赤外線計測装置内部の赤外線光学系への高い応用可能性を初めて示した。

研究成果の概要(英文)：Characterization of a new type of hollow fiber for highly efficient and stable optical coupling between a mid-infrared high dispersion spectrograph (GIGMICS), which operates under liquid nitrogen temperature cooling, and an optical-infrared telescope PLANETS, which uses a 1.85 m aperture off-axis parabolic plane as a primary mirror, and a new type of hollow fiber for infrared cooling. evaluation. For this purpose, a new type of associate common optical path wavefront-dividing phase-shifting interferometer was introduced to quantitatively characterize the properties of the infrared hollow fiber and its performance was evaluated. We also produced and evaluated the performance of the world's first 1D hollow fiber bundle using a microlens array, coherent laser light, and various incoherent light sources.

研究分野：赤外線天文学

キーワード：中空ファイバー 中間赤外線 分子分光学 振動スペクトル 高分散分光観測 惑星大気化学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽系内天体(惑星・衛星)の大気の組成に関する研究は、太陽系の形成史の解明や惑星大気諸現象の解明の上で重要である。多様な環境場(電磁場、温度・密度成層、紫外線照射)と、その時間変動は、個々の大気層に存在する、主要もしくは微量なガス分子の高分散分光観測によって読み解くことが可能である。永久双極子モーメントを有する分子種に対しては、並外れた透過力を持つミリ波・サブミリ波領域の電波望遠鏡による観測が有効である。とりわけ、2010年に稼働を開始したALMA(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)望遠鏡は、タイタン、イオ、海王星、冥王星などの太陽系内遠方天体の分子の回転スペクトルの空間分布を解明しつつある。その一方で、永久双極子モーメントをもたない分子種は、赤外領域の振動遷移によってのみ観測可能である。とりわけ、波長5~20 μm の赤外線領域は炭素骨格を有する有機物の多様な官能基の振動に伴う遷移が現れるために指紋領域と呼ばれ、炭素骨格の構造決定に用いられる有用なバンドである。また、無機化合物である NH_3 、 H_2S 、 SO_2 、および各種珪酸塩におけるSi-O骨格振動モードもこの領域に現れる。地球大気の窓である天文N-band(波長8~13 μm)は指紋領域の一部であり、このバンドでの高分散分光観測は、惑星・衛星大気での化学反応過程、光・電磁波との相互作用による突発的・周期的環境変動、金星・タイタンのスーパーローテーションの生起機構(“惑星気象”)等を観測的に明らかにするうえで重要であり、その手法の確立が本申請の核心部分である。これまでに惑星大気から30種類程度の分子が検出されたが、その多くは電波領域の観測結果で、赤外観測のみで検出されたものは10種類程度と極めて少ない。その最大の要因は、赤外線領域の分光観測に特化した、大気の透過率の高い良好な観測サイトの赤外望遠鏡と、常時運用可能な高分散分光観測装置が希少なことである。

この点で、ハワイ・ハレアカラサイトの標高や晴天率は世界的にも高い優位性をもつ。現在、研究分担者(鍵谷)らの努力によって運用が開始された東北大学T60望遠鏡のほか、平成28年度末にこのサイトへの新望遠鏡の建設が認可された口径1.8m軸外シグレゴリアン望遠鏡PLANETS(Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems)の開発を進めている。本研究の目的は、T60やPLANETSにGIGMICS(Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph)を設置し、惑星大気のスเปクトル線サーベイと様々な分子スเปクトルの時間変動モニタリング観測を実現することであり、科学的目標は太陽系内のガス惑星・衛星大気分子の微弱なスเปクトルの振動回転構造の観測による、大気ダイナミクスや大気化学プロセスの理解である。

2. 研究目的

これらの科学的目標を達成するための技術的課題は、ハレアカラサイトの厳しい環境基準制約を満たす観測装置群の占有スペースの縮小・高集積化、および、複数の異なる装置による同時観測の実現、にある。双方の課題の克服のため、本研究では、東北大学医工学研究科・工学研究科で独自に開発された、新型の高透過率・赤外線中空ファイバー(Hollow Core Waveguide, HCW, 図1参照)を素材とする、冷却ファイバーの設計・開発と、定量的な特性評価を、世界に先駆けて行う。従来の赤外線多結晶ファイバーと比べて構造上冷却による熱放射抑止と透過率の向上の可能性がある。常温の熱放射が支配的な中間赤外線領域での、微弱なスเปクトル観測では、光学素子自体の熱放射の抑止のための冷却が必須である。しかしながら、これまでに、低温冷却中空ファイバーの研究例や実用例は全くなされていない。また、GIGMICSは世界初のGeイマージョングレーティングを用いた分光器であり、N-band全域で波長分解能 $R = \lambda / \Delta\lambda \sim 40,000$ が実現可能で、C,N,O原子4つで構成される分子(直線分子の場合)の振動回転スเปクトルの分解と同時観測が可能である(図2)。T60には中間赤外線ヘテロダイン分光器MILAH(Mid Infrared LAsER Heterodyne Instrument)が設置され、きわめて狭帯域(0.01 μm)ながら、超高波長分解能 $R > 1,000,000$ を実現可能である。

この2つの分光器にHCWを介してPLANETS望遠鏡からの中間赤外光を高効率で分割・導入できれば、技術的、科学的に世界に例のない観測システムとなる。すなわち、GIGMICSの広帯域(1 μm)分光エシエルイメージから多数の分子線(回転量子数、同位体置換種)の強度と圧力幅の情報を一気に得つつ、その中から数本のスเปクトル線を選択してMILAHで観測するこ

とで、ドップラー速度(最高 10m/s)、ドップラー幅からの温度情報の取得、地球大気の吸収から分離された同位体・微量大気成分の検出などが実現可能となる。得られたスペクトル線情報のリトリバル解析によって、[1]圧力広がりからドップラー広がりに至る広範囲の高度分布、[2]ドップラーシフトからの直接風速場・温度場のダイナミクスの解明、[3]微量成分大気や同位体置換種の検出による化学反応プロセスの解明が可能である。

そこで本研究においては、PLANETS 望遠鏡の開発、および、それと並行して、高効率な HCW の開発と性能評価を行い、それが最も効果を発揮する赤外線分光観測装置 GIGMICS および MILAHI に適用することで、感度向上や省スペース化を達成する。これが実現できれば、天文観測装置のみならず、新しい微弱赤外線測定機器や、極限環境における高出力レーザー光の導入機構、高感度ガスセンサ等の発展に資することが期待できる。名大・東北大の理学・工学分野の新たな連携体制構築により、ハワイでの惑星観測国際拠点を形成・強化する。

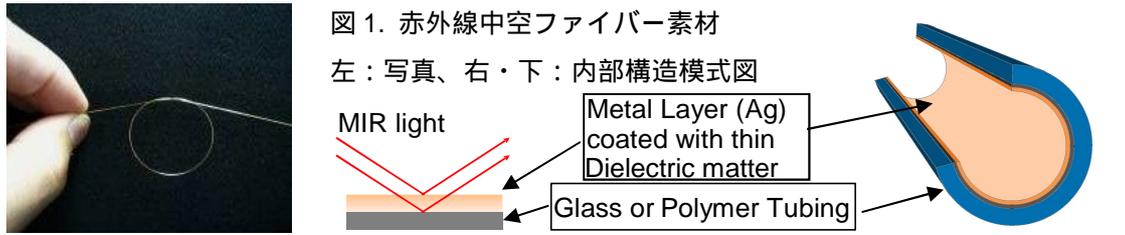


図 1. 赤外線中空ファイバー素材

左：写真、右・下：内部構造模式図

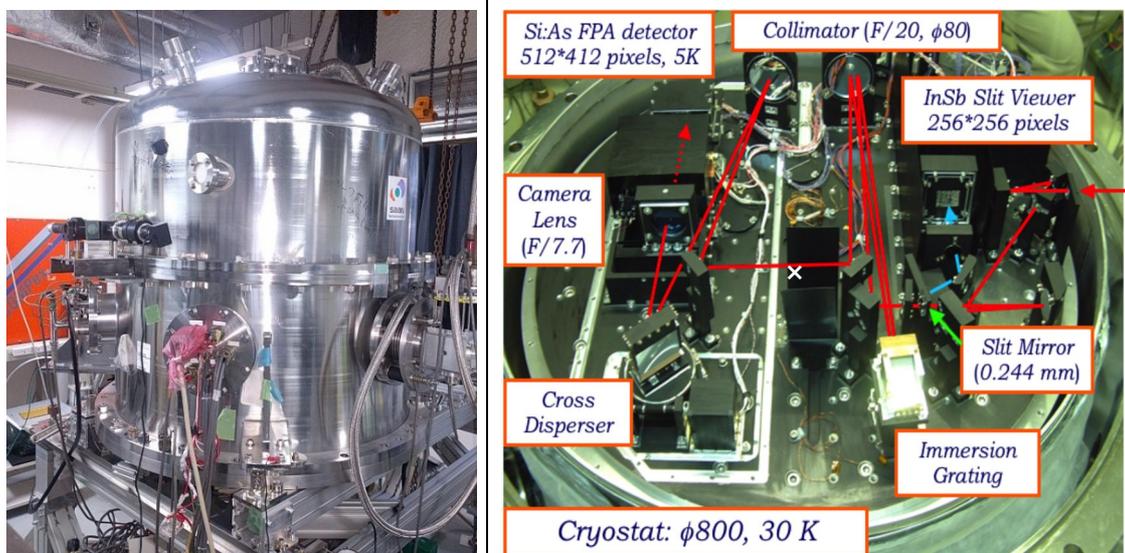


図 2 中間赤外線冷却エシエル分光器 GIGMICS 左：筐体全体 右：GIGMICS の内部光学系。本研究開発により、望遠鏡からの光を入射窓や折り返しミラーを介さずに、冷却中空ファイバーによる入射スリットミラーへの直結導入が実現可能となった。

3. 研究方法

(1) 天文観測対応 HCW の開発と光学性能評価

発振波長 $10\mu\text{m}$ の CO_2 レーザーや量子カスケードレーザー(QCL、ペルチェ冷却)、および、本科学研究費で新規に購入した発振波長 $14\mu\text{m}$ の QCL (液体窒素冷却)、太陽光集光用シーロスタット、および、高安定 SiC ランプなど、“コヒーレント光”および“自然光(“インコヒーレント光”)”とを光源とした HCW の透過率の精密測定用光学系(常温および液体窒素温度)を名古屋大学・東北大学のキャンパスの実験室において独自に構築しつつ行った。

(2) PLANETS 望遠鏡の架台および主鏡支持機構の製作と評価

建築用トラスを用いた軽量の経緯台式望遠鏡架台と、主鏡の能動支持機構の設計を独自に行い、東北大学キャンパスおよび飯館観測所において組み立てを行った。

(3) 日本国内における PLANETS 軸外し放物面主鏡の最終研磨

米国において製作した PLANETS 軸外し放物面主鏡を搬入し、ロボットアーム研磨機を用いて主鏡面の形状を 3 点ひきずり計測法を適用しつつ、最終研磨を行った。

4. 研究成果

研究項目(1)

まず、HCW を用いた新たな冷却 HCW の開発を行った。冷却機構として、(1)真空の保持 (2)

液体窒素による冷却 (3)真空断熱による低温の維持、を満たす三重管機構(図3上)、周辺機器との結合機構を設計・開発した。最終的に、シールド内の真空度 9.0×10^{-3} Pa が得られ、到達最低温度 78 K でも入射・出射窓の結露は認められなかった。

詳細な光軸調整を行ったうえで、内径 0.7mm、長さ 2 m の耐冷却性を有するポリイミド被覆 HCW の、入射・出射窓の透過率を含めた全透過率を計測したところ、この HCW 単体の透過率は 77 %/m と求められた。冷却下において HCW 内部への結露の影響は認められず、液体窒素注入による冷却に伴い、出射光の強度が最大で約 10 %上昇することが初めて確認された。また、当該 HCW に対する入射・出射光の広がり角の増大による光学的な“ケラレ”の影響のない最適な入射光の F 比を明らかにできた。これにより GIGMICS 内部への窓や鏡を排した直接接続の実現への道を拓いた。

次に、中間赤外線ヘテロダイン分光器 MILAHI のミキサ素子への局部発振(LO)赤外レーザー光(コヒーレント光)および望遠鏡による集光(自然光)の導入における、内径 1mm HCW の適用性への検証実験を行った。光の入射条件に依存する中空光ファイバの適切な特性評価を行うため、中空光ファイバに光を入射する光学系の検討を行い、入射ビームの広がり角とスポットサイズを基に、焦点距離 149 mm の ZnSe 平凸球面レンズを入射光学系に採用した。その結果、(i) CO₂ レーザーと発振波長 9.6 μm の QCL を結合効率 90 %以上で HCW に入射でき、透過効率 > 85 %/m で伝送できることを見出した。また、(ii)この入射光学系を用いて太陽光を 89.6 %/m の効率で伝送することにも成功し、PLANETS などの望遠鏡で集光したインコヒーレント光でも、平行光に近い条件で入射することでレーザーと同等の高効率伝送を実現できることを初めて確かめた。そして(iii) 発振波長 10 μm の CO₂ レーザーを LO とするレーザーヘテロダイン分光器のブレードモデル (BBM) を構築し、光学系に HCW と結合光学系(i)を組み込んだうえで発振波長 10.3 μm での QCL レーザーヘテロダイン分光試験観測を行った結果、QCL の輝線スペクトルの検出器に成功した。この結果、HCW で光を伝送してファイバケーブルで混合する光学系でのレーザーヘテロダイン分光が原理的に成立することを初めて示した。

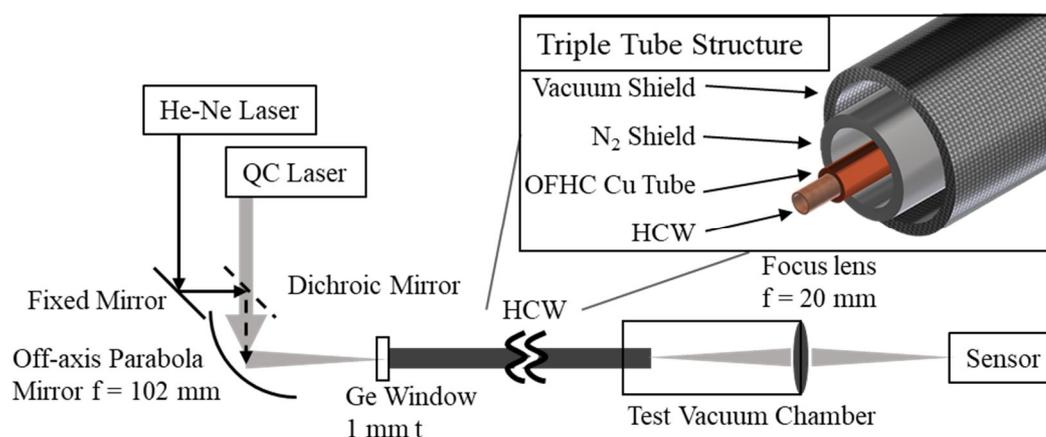


図3：中空ファイバー冷却用の三重管構造(上)と性能評価用光学系(下)

研究項目(2)

2019年度において、口径 3.8m せいめい望遠鏡の知見を参考にしつつ PLANETS 望遠鏡の軽量架台(経緯台)の設計を行った。図4に示すとおり、米国ハワイ州マウイ島ハレアカラ観測サイトでの内惑星観測に必要な低緯度(>5°)支持が可能なトラス構造を得た。方向支持構造には 36 点支持の whiffletree を採用し、板パネとリニアモーターからなる warping harness を組み合わせることにより、各支持点の支持圧を自由度 33 で能動制御することとした。2020年度に軸方向支持構造の 1/3 に相当する whiffletree の試験器を用いて、支持点に組み込んだロードセルにより支持力制御の時間安定性と再現性を検証する試験を行った。その結果、各支持点の支持力 100~200 N に対して生じる制御ヒステリシスは 0.1N 以下となり、支持力の変化による主鏡の変形を十分小さく抑えられることがわかった。また、有限要素法を援用して 24 点ラテラル支持機構の望遠鏡の自重変形補正の評価を行い、良好な結果を得た。

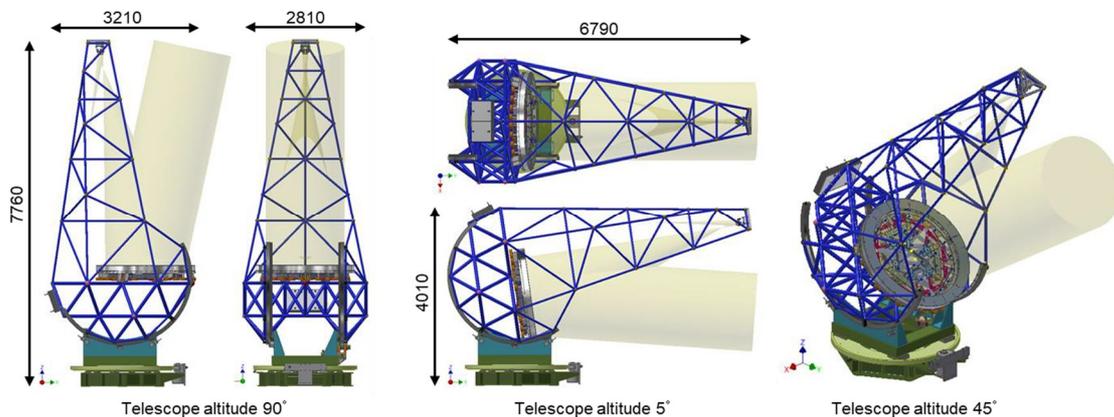


図 4： PLANETS 望遠鏡の軽量経緯台の設計結果

研究項目(3)

米国 ITT/Exelis 社において製作した PLANETS 軸外し放物面主鏡(クリアセラム製、重量 510kg、直径 1.85m、焦点距離 4330mm、軸外し角 23.46°)を 2019 年度に日本に輸送し、2021 年度以降、ロジストラボ社のロボットアーム研磨機に(2)で開発した能動支持機構を介して設置し、同社と協力してこの主鏡面の形状を 3 点ひきずり計測法を適用しつつ、最終研磨を行った。ロボットアームを用いたひきずり 3 点計測法では、ある計測パスに沿った形状の二階微分に相当する局所曲率の変化を計測したのち、これを 2 階積分することで形状を導出する。単一の経路に沿った計測からは形状の 2 次成分は定まらないが、本研究において、相互に交差する複数の直線パスのほか、新たな計測治具を製作し、閉じた円環パスの計測を組み合わせた。

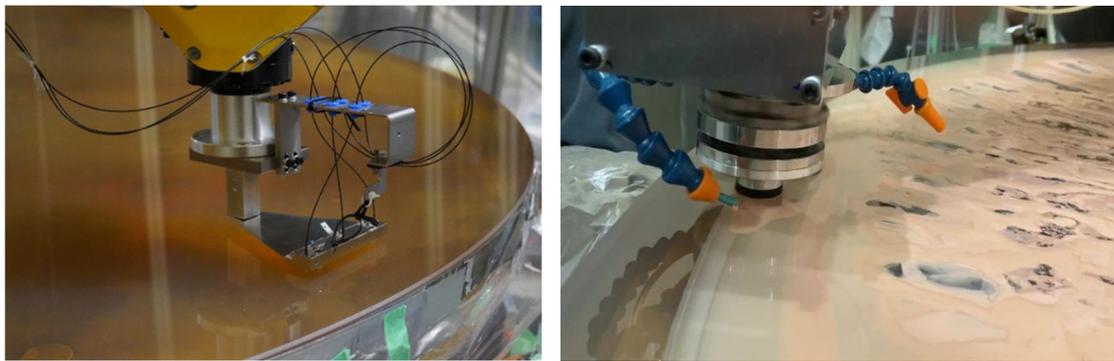


図 5: LogistLab 社の新型ロボットアーム研磨機(左：形状計測、右：CeO₂ スラリー研磨)

そして 2022 年度において、計測の信頼性を飛躍的に向上させることに成功した。図 6 に、2023 年 2 月 9-13 日の 96 時間の研磨前後の形状計測結果を示す。Zernike 6 項以下を除く形状誤差は 220nm から 150nm RMS に向上した。図 3 に示す通り、研磨パッドの滞留時間から期待される研磨分布は特徴が 109nm RMS でよく一致していて、修正研磨はほぼ期待通りの結果である。今後、更に研磨サイクル数 3、総研磨時間 ~ 300h で目標形状誤差 45 nm RMS の達成が期待できる。

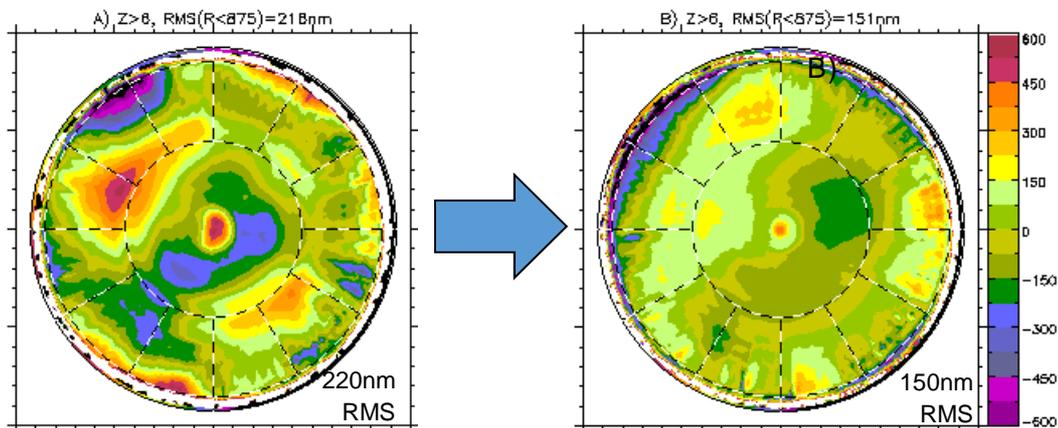


図 6: 100 時間の研磨前後の形状差

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 S. Itoh, D. Ishihara, T. Wada, T. Nakagawa, S. Oyabu, H. Kaneda, Y. Hirahara and the SMI consortium	4. 巻 8
2. 論文標題 Simulations of the spectral resolving power of a compact space-borne immersion-echelle spectrometer using mid-infrared wave tracing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JATIS.8.2.025004	査読の有無 有
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 H. Nakagawa, S. Tsukada, T. Katagiri, Y. Kasaba, I. Murata, Y. Hirahara, Y. Matsuura and A. Yamazaki	4. 巻 62
2. 論文標題 Mid-infrared laser heterodyne spectrometer by hollow optical fiber and its newly designed coupler	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 A31-A36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/AO.475426	査読の有無 有
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 H. Maeshima, K. Matsumoto, Y. Hirahara, T. Nakagawa, R. Koga, Y. Hanamura, T. Wada, K. Nagase, S. Oyabu, T. Suzuki, T. Kokusho, H. Kaneda and D. Ishikawa	4. 巻 51(2)
2. 論文標題 Infrared Absorption and Its Sources of CdZnTe at Cryogenic Temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 564-576
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11664-021-09361-1	査読の有無 有
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 R. Koga, T. Suzuki, F. Tsuchiya, T. Sakanoi and Y. Hirahara	4. 巻 907(1)
2. 論文標題 ALMA observation of SO ₂ gas originating from Io's volcanic plume and lava areas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/2041-8213/abd39f	査読の有無 有
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 M. Kagitani, T. Sakanoi, Y. Kasaba, Y. Hirahara, M. Kurita, J. R. Kuhn, S. V. Berdyugina and M. Emilio	4. 巻 11451
2. 論文標題 High dynamic-range observation using a 1.8-m off-axis telescope PLANETS: feasibility study and telescope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 1144543-1 - 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2556458	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

1. 著者名 H. Maeshima, K. Matsumoto, Y. Hirahara, T. Nakagawa, T. Wada, K. Nagase, S. Oyabu, T. Suzuki, T. Kokusho, H. Kaneda, R. Ito and D. Ishikawa	4. 巻 11451
2. 論文標題 Transmittance measurement of low/high-resistivity of CdZnTe at cryogenic temperature for material selection of the immersion grating of SPICA SMI	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 114515X-1 - 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2562042	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

1. 著者名 Y. Hirahara, R. Ito, Y. Yokoyama, Y. Matsuura, T. Katagiri, H. Nakagawa, Y. Kasaba, and A. Yamazaki	4. 巻 11451
2. 論文標題 Development of the liquid nitrogen cooled hollow core waveguide fiber for the mid-infrared region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 114516C-1 - 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561187	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

1. 著者名 H. Nakagawa, S. Tsukada, Y. Kasaba, Y. Hirahara, Y. Matsuura, T. Katagiri, I. Murata and A. Yamazaki	4. 巻 11451
2. 論文標題 Broadband mid-IR fiber optics for heterodyne spectroscopy in solar system exploration missions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 114516B-1 - 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561939	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74件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 永田 和也、鍵谷 将人、笠羽 康正、坂野井 健、平原 靖大、栗田 光樹夫
2. 発表標題 PLANETS望遠鏡の開発 : 能動主鏡支持機構などを用いた最終研磨における研磨量削減の試み
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鍵谷 将人、坂野井 健、永田 和也、笠羽 康正、平原 靖大、栗田 光樹夫、Kuhn Jeffry、Berdyugina Svetlana、Emilio Marcelo
2. 発表標題 High dynamic range observation using a 1.8-m off-axis telescope PLANETS: feasibility study and telescope assembly
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoki Tsukada, Hiromu Nakagawa, Isao Murata, Yasuhiro Hirahara, Yasumasa Kasaba, Takashi Katagiri, Yuji Matsuura, Akiho Miyamoto, Atsushi Yamazaki
2. 発表標題 Development of mid-IR heterodyne spectrometer with hollow optical fiber for solar system exploration
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神原 歩、*坂野井 健、平原 靖大、市川 隆、鍵谷 将人、笠羽 康正、大友 綾、永田 和也
2. 発表標題 惑星観測用近赤外カメラTOPICSと高分散エシエル分光撮像装置ESPRITの開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚田 悟輝, 中川広務, 村田功, 平原靖大, 笠羽康正, 片桐崇史, 松浦祐司, 宮本明歩, 山崎敦
2. 発表標題 中空光ファイバを用いた太陽系内探査用 中間赤外レーザーヘテロダイン分光器の開発
3. 学会等名 惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根岸昌平, 古賀亮一, 趙彪, 平原靖大, 李源, 伊藤文之, 笠羽康正
2. 発表標題 木星衛星イオの表面環境を模擬した低温SO ₂ 霜の赤外分光イメージング
3. 学会等名 惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂野井 健 , 鍵谷 将人, 中川 広務, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 平原 靖大, 栗田 光樹夫, Jeff Kuhn, Svetlana Berdygina, Marcelo Emilio
2. 発表標題 高コントラスト望遠鏡PLANETSの開発状況と惑星・衛星近傍の希薄ガス発光の検出可能性
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂野井健, 鍵谷将人, 永田和也, 中川広務, 笠羽康正, 平原靖大, 花村悠祐, 栗田 光樹夫, Jeff Kuhn, Svetlana Berdygina, Marcelo Emilio
2. 発表標題 ハイコントラスト望遠鏡「PLANETS」：開発の現状と今後
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田 和也, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 笠羽 康正, 平原 靖大, 花村悠祐, 栗田 光樹夫, 森本 悠介, 高橋 啓介
2. 発表標題 能動支持機構などによる1.8m軸外し望遠鏡 PLANETS主鏡の最終研磨量削減
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鍵谷将人, 永田和也, 花村悠祐, 平原靖大, 栗田光樹夫, 坂野井健, 笠羽康正
2. 発表標題 1.8m軸外し望遠鏡PLANETSの開発状況
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田 和也, 坂野井 健, 鍵谷 将人, 市川隆, 笠羽 康正, 大友綾, 平原 靖大
2. 発表標題 近赤外撮像装置 TOPICS の検出器駆動と冷却システムの開発
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根岸昌平, 古賀亮一, 趙彪, 平原靖大, 李源, 伊藤 文之, 笠羽康正, 山崎敦
2. 発表標題 イオ表面環境を模擬した低温SO2微粒子の2D FT Mid IR 分光装置の開発
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田悟輝, 中川広務, 村田功, 平原靖大, 笠羽康正, 片桐崇史, 松浦祐司, 山崎敦, 宮本明歩
2. 発表標題 中空光ファイバを用いた惑星探査用中間赤外レーザーヘテロダイン分光器の開発
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古賀亮一, 平原靖大, 根岸昌平, 土屋史紀, 今井正亮
2. 発表標題 太陽系天体大気・火山プルームおよび表面における硫黄化合物種の物理・化学過程について
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鍵谷 将人, 永田 和也, 坂野井 健, 笠羽 康正, 平原 靖大, 花村悠祐, 栗田 光樹夫, 森本 悠介, 高橋 啓介
2. 発表標題 引き摺り3点計測法による1.8m軸外し望遠鏡PLANETS主鏡の形状計測
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 永田 和也, 坂野井 健, 鍵谷 将人, 市川隆, 笠羽 康正, 大友綾, 平原 靖大
2. 発表標題 近赤外撮像装置 TOPICS の検出器駆動と冷却システムの開発
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 永田 和也, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 笠羽 康正, 平原 靖大, 花村悠祐, 栗田 光樹夫, 森本 悠介, 高橋 啓介
2. 発表標題 能動支持機構などによる1.8m軸外し望遠鏡PLANETS主鏡の最終研磨量削減
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 平原靖大
2. 発表標題 GREX-PLUSで目指す星間分子分光
3. 学会等名 GREX-PLUS サイエンス検討会(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鍵谷 将人, 永田 和也, 平原 靖大, 花村 悠祐, 栗田 光樹夫, 坂野井 健, 笠羽 康正
2. 発表標題 1.8m軸外し望遠鏡PLANETS主鏡の形状計測と研磨
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田 和也, 坂野井 健, 鍵谷 将人, 市川 隆, 笠羽 康正, 大友 綾, 平原 靖大
2. 発表標題 近赤外撮像装置TOPICSの検出器駆動と冷却システムの開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根岸 昌平、古賀 亮一、趙 彪、平原 靖大、李 源、伊藤 文之、笠羽 康正、山崎 敦
2. 発表標題 イオ表面環境を模擬した低温SO ₂ 霜の2D FT-MIR分光装置の開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古賀 亮一、平原 靖大、根岸 昌平、李 源、趙 彪、伊藤 文之、今井 正亮、山崎 敦
2. 発表標題 木星衛星イオの環境を想定したSO ₂ 霜の紫外線照射による変性実験
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田 悟輝、中川 広務、村田 功、平原 靖大、笠羽 康正、片桐 崇史、松浦 祐司、山崎 敦
2. 発表標題 中空光ファイバを用いた惑星探査用中間赤外レーザーヘテロダイン分光器の開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 趙彪, 古賀亮一, 平原靖大, 根岸昌平, 李源, 伊藤文之, 笠羽康正, 松原英雄
2. 発表標題 准共通路波面分割型位相シフト干渉法による遠赤外線イメージング分光器の開発
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 李源, 古賀亮一, 平原靖大, 榎木谷海, 松原英雄, 中川貴雄, 和田武彦
2. 発表標題 Immersion Grating材料選定のための低温赤外線透過率精密測定装置の開発
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 榎木谷海, 松原英雄, 中川貴雄, 和田武彦, 平原靖大, 古賀亮一, 李源, 山口遼大
2. 発表標題 Immersion Grating 材料の極低温中間赤外線屈折率測定手法の開発
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 永田 和也, 坂野井 健, 鍵谷 将人, 市川隆, 笠羽 康正, 大友綾, 平原 靖大
2. 発表標題 近赤外撮像装置 TOPICS の検出器駆動と冷却システムの開発
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 伊藤 哲司, 石原 大助, 和田 武彦, 中川 貴雄, 大藪 進喜, 金田 英宏, 平原 靖大, SPICA-SMI コンソーシアム
2. 発表標題 中間赤外線波動追跡計算を用いた宇宙機搭載用イマージョンエシエル高分散分光器における波長分解能の評価
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 古賀亮一, 根岸昌平, 平原靖大, 李源, 趙彪, 今井正堯, 伊藤文之, 山崎敦
2. 発表標題 木星衛星イオの環境を想定したSO ₂ 霜の紫外線照射実験及び中間赤外測定
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古賀亮一, 根岸昌平, 平原靖大, 伊藤文之
2. 発表標題 ALMA 電波望遠鏡を用いた木星衛星イオの火山噴火起源SO ₂ ガスの分光観測
3. 学会等名 第22回分子分光研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤文之, 古賀亮一, 根岸昌平, 平原靖大
2. 発表標題 極低温での SO ₂ 固体への紫外光照射実験と赤外測定
3. 学会等名 第22回分子分光研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎木谷海, 松原英雄, 中川貴雄, 和田武彦, 平原靖大, 古賀亮一, 李源, 山口遼大
2. 発表標題 Immersion Grating 材料の屈折率測定方法の開発
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 趙 彪、平原靖大、古賀亮一、根岸昌平、李源、伊藤文之、笠羽康正、和田武彦、松原英雄
2. 発表標題 准共通光路波面分割型位相シフト干渉法による2D FT-IR分光器の性能評価
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 李源、古賀亮一、平原靖大、榎木谷海、松原英雄、中川貴雄、和田武彦
2. 発表標題 HCWを用いたImmersion Grating材料の極低温赤外線透過率測定装置の開発
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 古賀亮一、根岸昌平、平原靖大、趙彪、李源、伊藤文之、今井正堯
2. 発表標題 木星衛星イオの環境を想定したSO ₂ 霜の生成及び変性実験
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 鍵谷将人、高橋啓介、平原靖大、栗田光樹夫、森本 悠介、花村悠祐、永田和也、坂野井健、笠羽康正
2. 発表標題 引き摺り3点計測法による1.8m軸外し望遠鏡 PLANETS 主鏡の研磨
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 中川 貴雄, 前嶋 宏志, 松本 光生, 和田 武彦, 磯部 直樹, 石原 大助, 野津 翔太, 森 昇志, 野村 英子, Inga Kamp, 本田 充彦, 平原 靖大, 金田 英宏, SPICA SMI チーム
2. 発表標題 H2O スノーライン検出を目指すSPICA高分散分光観測シミュレーション
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂野井 健, 鍵谷 将人, 鈴木 駿久, 笠羽 康正, 小原 隆博, 秋山 正幸, 平原 靖大, 栗田 光樹夫
2. 発表標題 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS による高コントラスト観測: 現状と展望
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 良太, 平原 靖大, 横山 裕二, 松浦 裕司, 片桐 崇史, 中川 広務, 笠羽 康正, 山崎 敦
2. 発表標題 中間赤外線冷却中空ファイバーの開発 I
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 駿久, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 笠羽 康正, 平原 靖大, 栗田 光樹夫
2. 発表標題 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS の主鏡支持構造の開発状況
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯部 直樹, 和田 武彦, 金田 英宏, 國生 拓摩, 鈴木 仁研, 平原 靖大, 大藪 進喜, 芝井 広, 笠羽 康正, 坂野井 健, 石原 大助, 大坪 貴文, 中川 貴雄, 長勢 晃一, 松原 英雄, 山岸 光義, Shiang-Yu Wang, 大山 陽一, 他 SMI コンソーシアム
2. 発表標題 SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI のフェーズ A の技術開発の進捗
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前嶋 宏志, 松本光生, 平原 靖大, 中川 貴雄, 和田 武彦, 長勢 晃一, 大藪 進喜, 鈴木 仁研, 國生 拓摩, 金田 英宏, 伊藤 良太, 石川 大智
2. 発表標題 SPICA/SMI搭載 中間赤外線 Immersion grating : 材料選定のための 極低温でのCdZnTeの透過率測定
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚田 悟輝, 中川 広務, 村田 功, 平原 靖大, 笠羽 康正, 片桐 崇史, 松浦 祐司, 宮本 明歩, 山崎 敦
2. 発表標題 中間赤外中空ファイバを用いたレーザーヘテロダイン分光器の信号取得効率の評価
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神原 歩, 坂野井 健, 鍵谷 将人, 笠羽 康正, 大友 綾, 平原 靖大
2. 発表標題 惑星大気高分散分光観測のための近赤外分光器ESPRITの開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀 亮一、平原 靖大、鈴木 達也、土屋 史紀、鍵谷 将人、坂野井 健、木村 智樹、吉川 一郎、吉岡 和夫、村上 豪、山崎 敦
2. 発表標題 ひさき衛星とALMAで観測されたイオの火山活動と大気・イオプラズマトーラスの関係
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂野井 健、鍵谷 将人、平原 靖大、栗田 三樹夫、鈴木 駿久、笠羽 康正、小原 隆博、岡野 章一、クーン ジェフ、ベルディギユナ スベトラーナ、マルチェロ エミリオ
2. 発表標題 High-contrast imaging of planetary and satellite atmospheres by the 1.8 m off-axis PLANETS telescope
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大藪 進喜、金田 英宏、和田 武彦、石原 大助、長勢 晃一、内山 瑞穂、伊藤 哲司、國生 拓摩、平原 靖大、前嶋 宏志、笠羽 康正、坂野井 健、鈴木 仁研、中川 貴雄、松原 英雄、山岸 光義、Shiang-Yu Wang、大山 陽一、他 SMI コンソーシアム
2. 発表標題 SPICA 搭載中間赤外線観測装置:ESA 審査に基づく概念検討・設計の進捗
3. 学会等名 2020年秋季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀 亮一、平原 靖大、鈴木 達也、土屋 史紀、坂野井 健
2. 発表標題 ALMA で検出された木星衛星イオの二酸化硫黄噴火ガス
3. 学会等名 2020年秋季日本天文学会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 鍵谷 将人, 坂野井 健, 笠羽 康正, 平原 靖大, 栗田 光樹夫
2 . 発表標題 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS の開発状況
3 . 学会等名 2020年秋季日本天文学会
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Nakagawa, S. Tsukada, Y. Kasaba, Y. Hirahara, Y. Matsuura, T. Katagiri, I. Murata and A. Yamazaki
2 . 発表標題 Broadband mid-IR fiber optics for heterodyne spectroscopy in solar system exploration missions
3 . 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Hirahara, R. Ito, Y. Yokoyama, Y. Matsuura, T. Katagiri, H. Nakagawa, Y. Kasaba, and A. Yamazaki
2 . 発表標題 Development of the liquid nitrogen cooled hollow core waveguide fiber for the mid-infrared region
3 . 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Kagitani, T. Sakanoi, Y. Kasaba, Y. Hirahara, M. Kurita, J. R. Kuhn, S. V. Berdyugina and M. Emilio
2 . 発表標題 High dynamic-range observation using a 1.8-m off-axis telescope PLANETS: feasibility study and telescope design
3 . 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Maeshima, K. Matsumoto, Y. Hirahara, T. Nakagawa, T. Wada, K. Nagase, S. Oyabu, T. Suzuki, T. Kokusho, H. Kaneda, R. Ito and D. Ishikawa
2. 発表標題 Transmittance measurement of low/high-resistivity of CdZnTe at cryogenic temperature for material selection of the immersion grating of SPICA SMI
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田和也, 鍵谷将人, 笠羽康正, 坂野井 健, 平原靖大, 栗田光樹夫
2. 発表標題 PLANETS望遠鏡の開発 : 主鏡研磨の最適化
3. 学会等名 第22回惑星圏研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀亮一, 土屋史紀, 鈴木達也, 平原靖大, H.T.Smith, 木村智樹, 村 上 豪, 吉川一朗, 吉岡和夫, 山崎 敦, 鍵谷 将人, 坂野井 健
2. 発表標題 木星衛星からの大気・内部物質散逸
3. 学会等名 第22回惑星圏研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂野井 健, 鍵谷将人, 笠羽康正, 平原靖大, 栗田 光樹夫, 中川広務, 小原隆博, 岡野章一, 秋山正幸, S. Berdygina, M. Emilio
2. 発表標題 PLANETS低散乱軸外し望遠鏡の観測と開発の現状
3. 学会等名 第22回惑星圏研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花村悠祐, 古賀亮一, 平原靖大, 栗田光樹夫, 高橋 啓介, 鍵谷将人, 坂野井 健, 笠羽康正
2. 発表標題 PLANETS望遠鏡の開発: ロボットアーム研磨機3点引きずり計測法による 主鏡の形状測定
3. 学会等名 第22回惑星圏研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神原 歩, 坂野井 健, 鍵谷将人, 笠羽康正, 大友 綾, 平 原靖大, 市川 隆
2. 発表標題 惑星大気近赤外観測用高分散分光装置ESPRIT搭載の検出器制御系と 冷却系の開発
3. 学会等名 第22回惑星圏研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚田 悟輝, 中川 広務, 村田 功, 平原 靖大, 笠羽 康正, 片桐 崇史, 松浦 祐司, 宮本 明歩, 山崎 敦
2. 発表標題 Evaluation of the efficiency of the mid-IR laser heterodyne spectrometer using hollow fibers
3. 学会等名 第22回惑星圏研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神原 歩, 坂野井 健, 平原 靖大, 市川 隆, 鍵谷 将人, 笠羽 康正, 大友 綾, 永田 和也
2. 発表標題 近赤外高分散分光器ESPRIT搭載の検出器駆動と冷却システムの開発
3. 学会等名 2021年春季日本天文学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田 武彦, 金田 英宏, 石原 大助, 長勢 晃一, 内山 瑞穂, 伊藤 哲司, 國生 拓摩, 平原 靖大, 土川 拓朗, 前嶋 宏志, 大西 崇介, 松本 光生, Huang Ting-Chi, 榎木谷 海, 海老原 大路, 笠羽 康正, 坂野井 健, 大藪 進喜, 鈴木 仁研, 中川 貴雄, 松原 英雄, 山岸 光義, Shiang-Yu Wang, 大山 陽一, 他 SMI コンソーシアム
2. 発表標題 SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI: Phase-A 技術開発・検討結果報告
3. 学会等名 2021年春季日本天文学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前嶋 宏志, 松本 光生, 平原 靖大, 古賀 亮一, 花村 悠祐, 中川 貴雄, 和田 武彦, 長勢 晃一, 大藪 進喜, 鈴木 仁研, 國生 拓摩, 金田 英宏, 石川 大智
2. 発表標題 中間赤外線用 Immersion grating の開発: 極低温での低抵抗/高抵抗型 CdZnTe の吸収係数評価
3. 学会等名 2021年春季日本天文学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平原 靖大
2. 発表標題 スペースからの中間赤外線高分散分光による宇宙化学
3. 学会等名 G-REXサイエンス検討会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前嶋宏志, 松本光生, 平原靖大, 中川貴雄, 和田武彦, 長勢晃一, 大藪進喜, 鈴木仁研, 國生拓摩, 金田英宏, 伊藤良太, 石川大智
2. 発表標題 SPICA/SMI搭載 中間赤外線 Immersion grating : 材料選定のための 極低温でのCdZnTeの透過率測定
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会年会
4. 発表年 2019年~2020年

1. 発表者名 鈴木 駿久, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 笠羽 康正, 平原 靖大, 栗田 光樹夫
2. 発表標題 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS の主鏡支持構造の開発状況
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 伊藤良太, 平原靖大, 横山裕二, 松浦裕司, 片桐崇史, 中川広務, 笠羽康正, 山崎敦
2. 発表標題 中間赤外線冷却中空ファイバーの開発 I
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 磯部直樹, 和田武彦, 金田英宏, 國生拓摩, 鈴木仁研, 平原 靖大, 大藪進喜, 芝井広, 笠羽康正, 坂野井健, 石原大 助, 大坪貴文, 中川貴雄, 長勢晃一, 松原英雄, 山岸光義, Shiang-Yu Wang, 大山 陽一, 他 SMI コンソーシアム
2. 発表標題 SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI のフェーズ A の技術開発の進捗
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 中川貴雄, 前嶋宏志, 松本光生, 和田武彦, 磯部直樹, 石原大助, 野津翔太, 森昇志, 野村英子, Inga Kamp, 本田充彦, 平原靖大, 金田英宏, SPICA SMI チーム
2. 発表標題 H2O スノーライン検出を目指すSPICA高分散分光観測シミュレーション
3. 学会等名 2020年春季日本天文学会年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Toshihisa Suzuki, Masato Kagitani, Takeshi Sakanoi, Yasumasa Kasaba, Yasuhiro Hirahara
2. 発表標題 Development status of PLANETS telescope main mirror support system for observing planetary atmosphere
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 古賀 亮一, 鈴木 達也, 平原 靖大, 土屋 史紀, 鍵谷 将人, 坂野井 健
2. 発表標題 ALMAアーカイブデータ解析による木星衛星イオの二酸化硫黄大気の火山噴火成分の検出
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 笠羽 康正, 坂野井 健, 鍵谷 将人, 平原 靖大, 三澤 浩昭, 熊本 篤志, 土屋 史紀, 村田 功, 中川 広務, 木村 智樹, 小原 隆博, 岡野 章一, Zarka P
2. 発表標題 大学規模の太陽系地上観測所、その将来計画：東北大の場合
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Masato Kagitani, Takeshi Sakanoi, Toshihisa Suzuki, Yasuhiro Hirahara, Yasumasa Kasaba
2. 発表標題 High dynamic-range observation using a low-scattered light telescope PLANETS: design and feasibility study
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 伊藤 良太, 平原 靖大, 松浦 祐司, 高見 康介, 中川 広務, 笠羽 康正, 山崎 敦
2. 発表標題 中間赤外線中空ファイバーの 低温環境下での透過率測定
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 鈴木達也、平原靖大、古賀亮一、坂野井健
2. 発表標題 ALMAアーカイブデータを用いたイオの大気供給源の推定
3. 学会等名 惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2019年～2020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	松浦 祐司 (Matsuura Yuuji) (10241530)	東北大学・医工学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	鍵谷 将人 (Kagitani Masato) (30436076)	東北大学・理学研究科・助教 (11301)	
研究分担者	中川 広務 (Nakagawa Hiromu) (30463772)	東北大学・理学研究科・助教 (11301)	

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
---------	---------