

テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査 TSUKIMI (lunar Terahertz SURveyor for Kilometer-scale Mapping)

代表研究責任者 笠井 康子 国立研究開発法人情報通信研究機構
研究開発期間 令和3年度～令和6年度

【Abstract】

TSUKIMI (lunar Terahertz SURveyor for Kilometer-scale Mapping) is a new era in lunar share-riding small satellite mission. TSUKIMI plans to carry out passive terahertz remote sensing from polar circular orbit about 100km high using both H and V polarization at frequencies of 280 GHz and 500 GHz. The target of TSUKIMI is to obtain a map of the Terahertz (THz) permittivity of Lunar subsurface to identify rich area of ice-water contents. TSUKIMI will be the first THz mission to observe Luner subsurface.

1 研究開発体制

- 代表研究責任者 笠井 康子(国立研究開発法人情報通信研究機構)
- 研究分担者 宮本 英昭(東京大学大学院)
西堀 俊幸(国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)
前澤 裕之(大阪公立大学大学院)
本多 哲也(Space BD 株式会社)
- 総合ビジネスプロデューサ 宮本 英昭(東京大学大学院)
- ビジネスプロデューサ 笠井 康子(国立研究開発法人情報通信研究機構)
西堀 俊幸(国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)
前澤 裕之(大阪公立大学大学院)
伊藤 圭太(Space BD 株式会社)
- 研究開発期間 令和3年度～令和6年度
- 研究開発予算 総額 3,154 百万円 (内訳は以下の通り)

令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
220	923	1,699	312

2 研究開発課題の目的および意義

(1) 政策目標(アウトカム目標)

国際的に進められている月の開発利用に関し、我が国が ICT 分野において戦略的かつ優位に推進していくため、テラヘルツ波を利用した月面の水資源探査技術確立し、広域な水資源探査サーベイを実現することで、月での宇宙科学・探査や経済活動などの持続的な活動へ貢献する。また、これらにより、将来的な地球規模の激甚災害把握のための水蒸気観測や、惑星における詳細な宇宙資源探査サーベイ及びテラヘルツ大容量通信の宇宙利用の促進に寄与する。

(2) 研究開発目標(アウトプット目標)

月表面を構成する物質の物性推定に必要となる月面テラヘルツ波物性データベース、及び観測データからの物性を推定することを可能にする月面における散乱等を考慮したテラヘルツ電磁波伝搬モデルを含む解析アルゴリズムを開発し、月面の輝度温度分布を高精度(テラヘルツ波センサのシステム雑音温度 5000K 以下)に観測し、月面の水・氷含有量の推定分布の取得を可能とする多チャンネルテラヘルツ波センサを開発する。月周回軌道上での効率的な探査を実現するために必要な衛星とセンサを統一的に制御する衛星デジタル処理技術を開発する。超小型衛星に搭載可能な小型軽量のセンサ部とデータ処理部は合わせて 10kg 程度以下とする。また、これらの技術を統合し、宇宙での運用が可能なシステムを開発することで、高い空間分解能(10km 以下)かつ広域サーベイにより月面の水循環の実態を把握し、効率の良い資源獲得の指針が得られることを検証する。

3 研究開発成果(アウトプット)

3.1 (ア) 小型軽量の多チャンネルテラヘルツ波センサ開発

a) テラヘルツ波物性データベースの構築

テラヘルツ周波数帯における月土壌の誘電率物性の測定は過去に例がなく、実験装置システム検討から開始した。NASA などで使用されている標準的な模擬月土壌のテラヘルツ帯における誘電率物性を計測するた

め、試行錯誤の上、2系統のシステムを開発した。①高精度(測定誤差 1%程度)なアクティブ誘電率測定システム。これは熱真空チャンバー(40 - 400 K)による低温真空測定が可能である。②地球上での計測など、根本的な原理上の理由から、精度 σ は月面軌道上測定での $\sigma < 0.3K$ 程度より 10 倍以上悪い 5 K 程度となるが、観測原理の成立性を確認する目的でセンサ BBM を用いたパッシブ偏波強度測定システムを開発した。月面観測の再現のために H/V 偏波にて 30~70 度の放射角度で約 0.5 度の角度精度を保持している(様式 6 の p6 に図を示す)。アクティブ測定で計測した散乱を考慮した月模擬土壌(Anorthosite 型レゴリス)の誘電率は嵩密度 0.88 g/cm³ および 1.79 g/cm³ のときにそれぞれ、1.72 と 3.76 となった。また、酸化鉄・酸化チタンを多く含む Ilmenite 含有率を 0, 10, 20%とした時の誘電率はそれぞれ 3.74, 3.83, 3.97 を得た。これらは低い周波数の結果や理論的な考察とも一致する。これらをテラヘルツ波月模擬土壌データベースとして統合した。また、②のパッシブ観測により、みかけ誘電率を導出する本ミッションの観測原理を実験室スケールで実証し論文化した[Yamada et al., 2025]。

b) 月面における散乱等を考慮したテラヘルツ電磁波伝搬モデルを含む解析アルゴリズムの開発

テラヘルツにおける月土壌の誘電率推定の障壁となったのが、月面のラフネスやレゴリスのかさ密度など誘電率数値に影響を与える地質学的要素である。これらを相殺するため、観測した放射輝度の偏波比(RPR: Relative Polarization Ratio)及び RPR と観測角から決定される見かけ誘電率 ϵ (ABP: Apparent Bulk Permittivity)を以下のように本研究オリジナルの物理パラメータを独自に定義した。

$$\frac{R_{surf}(V)}{R_{surf}(H)} = \frac{1 - \frac{|\epsilon \cos \theta_{obs} - \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta_{obs}}|}{\epsilon \cos \theta_{obs} + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta_{obs}}}}{1 - \frac{|\cos \theta_{obs} - \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta_{obs}}|}{\cos \theta_{obs} + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta_{obs}}}}$$

ここで、 R_{surf} は月面から放射された放射強度の偏波成分(H:水平、V:垂直)、 θ_{obs} :観測角である。レゴリス中に氷が十分に豊富に含まれた場合(過去の探査結果や資源工学的な観点から 5wt%程度とした)の ABP と、氷が含まれない場合と区別するには、0.2 程度の ABP 差の観測が必要であることを明確にした。この ABP 差から要求される偏波分離度は -26dB である。本偏波分離度をセンサ光学系設計にフィードバックした。更に、開発した解析アルゴリズムや要求精度などはミッション要求書及びミッション要求書根拠文書としてまとめ、TSUKIMI 計画全体を推進する源泉となった。小さなチームなゆえに風通しが良く、サイエンスとセンサ開発が一体となって開発を推進している一例となった。

c) 多チャンネルテラヘルツ波センサの開発

月周回軌道や月面でのテラヘルツ波観測の例はない。テラヘルツ波を用いることで、水氷は存在する可能性があり、かつ掘削が可能と行った、最適な地下 0-10cm 程度の月サブサーフェスの放射観測が可能となる。地下 0-10cm の情報を得るために 280 GHz および 490 GHz の 2 帯域を選定した。さらに、偏波情報を考慮すれば輝度温度のみからみかけ誘電率の議論が可能なることに着目し、両周波数帯域で V/H 直交両偏波成分を独立に取得することにより、合計 4 系統の多チャンネルテラヘルツ波センサを開発した。様式 6 の p10 に、本センサの構成概要図を示した。本センサにおける偏波分離性能(XPD)は、アンテナ光学系で設計値として -33.6 dB、テラヘルツ検出器系において概ね実測値 -40 dB が得られており、上述の誘電率に関する議論を有意な誤差範囲内で達成すると期待される。

- 月面観測精度に大きく影響する CFRP アンテナ主鏡面精度について、鏡面アルミ層の溶射とショットピーニング表面処理を繰り返す事で、要求値 20 μ m に対し 15.6 μ m RMS の実績を達成した。
- テラヘルツ検出器の雑音温度要求値 5,000 K 以下に対して、アンテナ光学系と受信機を結合したサブシステム雑音温度として約 2,200 K @ 280 GHz, 3,750~4,250 K @ 490 GHz 帯を達成した。理論的には、 $\sigma < 1K$ の統計的誤差を 0.1 sec 以下の積分で得られると見込まれる。
- アンテナ FOV のサイエンス要求 1km に対し、幅 540m x 奥行 720 m(直下視の場合)程度となるように、衛星高度 100 km, アンテナ開口径を約 30cm とし、280 GHz 帯でのビームサイズを 0.3 deg 以下として設計した(衛星飛翔速度 1.8km/s 程度と上述の 0.1sec 積分)。

これらにより、世界でも初めてとなるテラヘルツ波周回衛星観測に見込みをつけたものである

3. 2 (イ)軌道上において衛星とセンサを統一的に制御する衛星デジタル処理技術

各機器の統一的制御、4 系統のセンサによる月面観測出力データの検出・デジタル化し、機器・環境情報を観測値と対応付けるデータ処理および保管、地上局ダウンリンク準備を衛星軌道上で自律的に実行することを目的とした衛星軌道上デジタル処理技術を実装したオンボードコンピュータ(S-OBC)およびソフトウェアを開発した。S-

OBC 開発に際しては、月周回軌道環境における各種耐性(温度・放射線など)を持つ部品、若しくは宇宙空間実用実績を備えている部品を選定しており、さらにコバルト 60 を線源とした TID 試験なども実施して、月周回軌道環境での運用が可能なデジタル処理部であることを検証した。さらに、上述のテラヘルツセンサと S-OBC を物理・電氣的に結合したサブシステム状態において、打上振動・衝撃・音響・熱真空試験などの宇宙環境模擬試験、および電氣的性能試験を実施し結果を得た。なお、S-OBC EM モデルの質量は、要求値 2.50kg に対して 2.40kg を達成した。これらにより宇宙品としての成立性を確認したものである。

3.3 (ウ)統合開発

当初は A 社と開発を開始したが、我々の目的が衛星センサ 100kg 以下に対し、A 社の方針が 150kg 級の開発となったため、B 社との開発に変更したという部分が最もタフであった。センサのアンテナ部分に駆動機構を搭載すると質量が増すため、小型衛星の衛星本体を振ることで視野角 40 度 \pm 20 度を担保する方針とした。衛星の設計では、衛星システムの構造系、熱制御系、電力系、通信制御系、姿勢制御系等の設計解析を実施するとともに、前記のセンサ部及びデータ処理部(S-OBC)と、衛星バス部のインタフェースが適合するようにインタフェース適合性解析を実施した。こうした設計解析に対しての実物検証試験として、単体で宇宙環境試験が実施されたセンサ部 EM を衛星バス部 EM に搭載した衛星システム EM を製造し、様式 6 の 12 ページに示す各種宇宙環境試験を実施した。これらの試験結果により、本衛星が軌道上で晒されると想定される環境においても正常に作動することが確認され、本衛星システムが耐久性や耐故障性を有し、長時間運用が可能であることの検証を実施した。開発仕様、および EM 実績値は下記の通りである。

- ・エンベロープ要求：W750 × L750 × H980 mm 以下 → EM 実績値：W597 × L686 × H812 mm
- ・質量要求：衛星システムとして 90 kg 以下 → EM 実績値：86.1 kg
- ・消費電力要求：観測運用時、センサ部に 71W 10 分以上を供給 → EM 実績値：71W 88 分相当
- ・運用計画等：衛星寿命 1 年以上、一周回毎に約 30 分、一日あたりでは合計 270 分の観測運用を計画。

また、これらの設計・試験結果を基に、令和6年度に詳細設計審査(CDR)を受審し、衛星システム EM の設計成立性が検証/確認され、PFM 設計への反映項目が洗い出された。また、この結果を踏まえ、衛星バス部のフライト実機製造を開始する準備として、部品・材料の手配、搭載機器の製作・試験等の作業を令和6年度に実施した。これらにより、我が国では初めてとなる月における小型衛星開発に目処をつけた。

4 政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた取組みの実施状況

内閣府における月面活動に関するアーキテクチャの検討における発表や議論、経産省の「月面におけるエネルギー関連技術開発」における水素エネルギー探査における検討を通じ、月での宇宙科学・探査や経済活動などの持続的な活動において、第一歩となる「探査」を担うことが示された。世界でもこのような探査計画はなく、中国や米国からの関心は高い。

また、我が国の将来的な地球規模の激甚災害把握のための水蒸気観測計画や、火星資源探査計画への波及が見られた。将来のシスルナ空間における長距離のテラヘルツ大容量通信で必ず必要となるテラヘルツ電磁波伝搬モデルを構築することにより、宇宙テラヘルツ通信のシミュレーションへの寄与が可能となった。また、コンソーシアム活動では(1)LUPEX など他の観測データなどと組み合わせたテラヘルツ観測によるデータを用いた横展開(2)500 名以上が参画したアウトリーチ活動(3)宇宙ミュージアム TeNQ における「TeNQ リサーチセンター特別イベント『宇宙資源探査のこれから』」(2023 年 3 月 25 日)の中での「講演会 月資源探査計画 TSUKIMI とは」を実施、国民や社会に対する活動を行った。

月科学・月資源工学に関するコンソーシアム活動

(1)テラヘルツ観測によるデータを用いた横展開

LUPEX の探査候補地点を例にして、既存の DTM の存在とその問題点について整理した。最高解像度の DTM は新たに LRO NAC (L と R) 画像にカメラ情報・世界座標を与え(3 つの画像ペア内で個別に処理)、シームレスなモザイク画像を作製し、バンドル調整を行った後で、ステレオ DEM を作製し、その後で SfS DEM を用いてモザイクを作り、アライメント調整を行うという形で達成できることを確認し、実際に一部地域については 3m/pix, 1m/pix のものを作製済。

(2)アウトリーチ活動

東京大学駒場祭において TSUKIMI 計画及び関連する月コンソーシアム活動の展示を行った。TSUKIMI 計画の原理や目標などを示したパネルの展示のほか、コンソーシアム活動に参加する民間企業の月面探査ローバーの体験展示なども行い、2日間の展示にも関わらず 500 名以上(推定)の一般市民が本計画に関する展示に興味を持ち、子供から大人まで老若男女問わず広く本計画及び月面での資源探査の重要性を周知する機会となった。

(3)宇宙ミュージアム TeNQ

本ミッションに関連して得られた知見は、宇宙ミュージアム TeNQ に設置したコンソーシアム拠点を利用し、産業界を含め一般に広く公開された。(2021年12月15日～2023年3月31日)

「TeNQ リサーチセンター特別イベント『宇宙資源探査のこれから』(2023年3月25日)の中では「講演会 月資源探査計画 TSUKIMI とは」を開催し、関連イベントを含め、国内外を含めて8つの企業・団体が参加した上、イベント参加者はオンライン参加を含めて200名を超える大盛況となった。

他経済活動に波及する可能性のある多チャンネルテラヘルツセンサ宇宙品の開発技術

(1)テラヘルツ大容量通信の宇宙利用の促進

検討したテラヘルツアンテナの近傍界測定装置は超小型 LEO 衛星や成層圏飛行機(HAPS)による通信ネットワークやファイダリンク用のアンテナの地上検証にも貢献出来るように、アンテナ測定と校正の自動化を行い、上記システムが量産化にも対応出来るように設計の自由度を確保するとともに、測定装置の主要な構成部品を産業用のカタログ品で実現し、価格を抑えるように検討を行った。

(2)導波路型の偏波分離・周波数分離型のテラヘルツ検出器の開発

テラヘルツ帯において、導波路型の偏波分離器(OMT)、周波数分離器(FSF)の低損失化・小型化を行い、さらにショットバリアダイオードミキサ素子を FSF マウントに直接実装する手法に成功した。これによりテラヘルツの多チャンネル検出器を用いた様々な超小型衛星によるリモートセンシングの波及が期待される。

5 政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた計画

本研究開発の成果により、宇宙戦略基金の採択が決まった。その中では、政策目標(アウトカム目標)の達成に向けて、大成建設・デロイトトーマツといった経済エコシステムに対して底力のある大手企業や ispace といった月面産業を主とするベンチャー企業を座組みに加えている。月面における経済活動に対してはその座組みで推進していく。その中で、シスルナ空間の通信は支援してまいりたい。また、上記 JAXA ベンチャーなどにおけるスピニアウト技術も推進する計画である。

スピニアウト技術の例

(1)小型軽量の多チャンネルテラヘルツセンサ開発(多チャンネルセンサ宇宙品の開発)

a)高精度アンテナ放射特性解析技術

アライメント測定や鏡面精度測定結果を取り入れたテラヘルツ帯のアンテナ放射特性のサイドローブ予測解析と指向性予測解析(ポインティング)技術を検証し、その成果をツールとして製品化させる検討を行う計画である。JAXA ベンチャーを設立し、製品化について検討中。

b)宇宙用輝度温度校正源の設計技術

世界でトップレベルの反射損失を有する宇宙用テラヘルツ帯の輝度温度校正源(準光学な無反射終端)を開発し、製品化を狙う。JAXA ベンチャーを設立し、製品化について検討中。

c)宇宙用周波数選択膜の製造技術

準光学で周波数分離を行うための周波数選択膜の試作結果をまとめるとともに、宇宙用に対応する周波数選択膜の材料を選定した上で試作を行い、実用化研究を計画する。

d)テラヘルツ帯広帯域コルゲートホーンの設計技術

比帯域 60%程度の広帯域で使用可能なテラヘルツ帯のコルゲートホーン設計技術の実証を経て、リングローデッド型の整合部を持つコルゲートホーンの製造技術を一般化させる。

5.2 研究開発成果を発展させる後継プロジェクト

宇宙戦略基金事業

技術開発テーマ 月面の水資源探査技術(センシング技術)の開発・実証

技術開発課題名 テラヘルツ波リモートセンシング衛星による月地下浅部の資源探査

代表機関 国立大学法人東京科学大学

研究代表者 笠井 康子

実施期間 2025年～2029年

6 査読付き誌上発表論文リスト

- [1] Kobayashi, M., Miyamoto, H., Pál, B. D., Niihara, T., & Takemura, T. Laboratory measurements show temperature-dependent permittivity of lunar regolith simulants. *Earth, Planets and Space*, 75(1), 1–9. (2022)
- [2] Suyun Wang, Takayoshi Yamada (NICT), Kun-Shan Chen (Minerva Hdsar LLC), Yasuko Kasai (NICT), “TERAHERTZ SCATTERING AND EMISSION FROM THE LUNAR SURFACE”, IGARSS2022 978-1-6654-2792-0/22/\$31.00 ©2022 IEEE pp354–357(2022)
- [3] S Yamaguchi, Y Sugawara, S Nakasuka, Y Kasai, M Takeda, S Sakama, “Landing Method for Simple and Small Mars Lander Using Metal Foam”, *Aerospace Technology Japan* 21, 40–47 (2022)
- [4] Takayoshi Yamada, Philippe Baron, Lori Neary, Toshiyuki Nishibori, Richard Larsson, Takeshi Kuroda, Frank Daerden, Yasuko Kasai, “Observation Capability of a Ground-Based Terahertz Radiometer for Vertical Profiles of Oxygen and Water Abundances in Martian Atmosphere.”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 60 1–11 (2022)
- [5] William G. Read, Gabriele Stiller, Stefan Lossow, Michael Kiefer, Farahnaz Khosrawi, Dale Hurst, Holger Vomel, Karen Rosenlof, Bianca M. Dinelli, Piera Raspollini, Gerald E. Nedoluha, John C. Gille, Yasuko Kasai, Patrick Eriksson, Christopher E. Sioris, Kaley A. Walker, Katja Weigel, John P. Burrows, Alexei Rozanov, “The SPARC Water Vapor Assessment II: assessment of satellite measurements of upper tropospheric humidity”, *Atmospheric Measurement Techniques* 15(11) 3377–3400(2022)
- [6] Takayoshi Yamada, Makito Kobayashi, Yuki Uchiyama, Yutaka Hasegawa, Hiroyuki Maezawa, Hideaki Miyamoto, Yasuko Kasai, “An Experimental Study of Polarization Characteristics of Terahertz Emission”, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology* 15 1–7(2024)

7 査読付き口頭発表論文(印刷物を含む)リスト

8 その他の誌上発表リスト

- [1] 竹村知洋. “Numerical and simulating-material analyses for landers and rovers on Phobos and the Moon 着陸機とローバの安定性解析に向けた天体表層微地形の検討” 東京大学大学院工学系研究科修士論文
- [2] 塚本将史. “Geological analysis of bistatic radar images of lunar PSAs 月の永久影のバイスタティックレーダー画像の地質学的検討” 東京大学大学院理学系研究科修士論文
- [3] 高田泰至. “Behavior of granular materials due to vertical vibrations visualized by x-ray computed tomography (振動による粉粒体の挙動の X 線 CT を用いた観察)” 東京大学工学系研究科卒業論文
- [4] 清水俊輔. “Slope Distributions of Small Bodies: Implications for Surface Materials of Phobos and Deimos (小天体の傾斜分布からみたフォボス・ダイモスの表層物質)” 東京大学工学系研究科卒業論文
- [5] 小林 真輝人. “Experimental and theoretical study on UHF-terahertz sensing instruments for extraterrestrial missions(UHF-テラヘルツ帯を用いた固体天体探査用レーダー機器に関する実験的・理論的研究)” 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻博士論文
- [6] 桜田泰志. “小惑星表層の岩塊分布の検討と流動解析のための大規模高精細三次元モデル構築手法の開発.” 東京大学大学院工学系研究科修士論文
- [7] 鈴木泰典. “マイクロフォーカス X 線 CT を用いた小天体の岩石粒子の挙動に関する実験的検討(Experimental Study about the Behavior of Rock Particles on Small Bodies using Microfocus X-ray CT)” 東京大学大学院理学系研究科修士論文
- [8] 吉岡航輝. “Theoretical study on the lunar brightness temperature in the terahertz band for future TSUKIMI mission (THz 波帯における月面輝度温度の理論的研究)” 東京大学工学部システム創成学科卒業論文
- [9] 竹倉駿也. “Theoretical and Experimental Analysis of Electromagnetic Wave Propagation to Detect Putative Lunar Subsurface Ice(月地下浅部における水氷検出のための電磁波伝播に関する理論的・実験的検討)” 東京大学工学部システム創成学科卒業論文

9 口頭発表リスト

- [1] 笠井康子(NICT), 宮本英昭(東大), 西堀俊幸(JAXA), 前澤裕之(大阪公大), 本多哲也(Space-BD), “1A01 テラヘルツを用いた月面の広域な水エネルギー資源探査”, 第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [2] 宮本英昭(東大), 笠井康子(NICT), 西堀俊幸(JAXA), 前澤裕之(大阪公大), 山田崇貴(NICT), 王蘇芸, 逸見良道(NICT), 小林真輝人, 清水雄太, 神崎友裕, 竹村知洋, 鹿山雅裕(東大), “1A02 月科学・月資源工学と TSUKIMI 計画の位置づけ”, 第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [3] 王蘇芸, 山田崇貴, 笠井康子(NICT), “1A03 月面における散乱等を考慮したテラヘルツ電磁波伝搬モデル”, 第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)

- [4] 山田崇貴(NICT),金森英人(NICT),宮本英昭(東大),小林真輝人(東大),竹村知洋(東大),笠井康子(NICT)、“1A04 テラヘルツ波物性データベース構築のための実験室測定システムの開発”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [5] 小林真輝人,宮本英昭(東京大学),王蘇芸,山田崇貴,笠井康子(NICT)、“1A05 月シミュラント誘電率計測に基づく月地下浅部誘電率推定”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [6] 竹村知洋(東京大学),新原隆史(岡山理科大学),神崎友裕,小林真輝人,清水雄太,宮本英昭(東京大学)、“1A06 月資源探査に向けた月表層模擬物質の作製”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [7] 吉岡航輝,宮本英昭,逸見良道(東京大学),パール・ベルナデット(コンコリー天文台),小林真輝人,清水雄太,竹村知洋(東京大学)、“1A07 テラヘルツ波による観測に向けた月表層環境の検討”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [8] 平松和馬,中野幸夫(東京学芸大学),王蘇芸,金森英人,山田崇貴,笠井康子(NICT)、“1A08 月表面におけるテラヘルツ散乱の実験解析”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [9] 西堀俊幸(JAXA),内山由侑基(NICT),前澤裕之(大阪公立大学)、“1A09 TSUKIMI ミッション部の概念検討状況”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [10] 内山由侑基,川田宗靖,加藤一郎,笠井康子(NICT),長谷川豊,前澤裕之(大阪公立大学),西堀俊幸(JAXA)、“1A10 TSUKIMI 光学系の開発状況”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [11] 長谷川豊,前澤裕之(大阪公大),川田宗靖,笠井康子,山田崇貴,内山由侑基(NICT)、“1A11 TSUKIMI 計画センサ部テラヘルツ波フロントエンドの開発状況”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [12] Nguyen Tat Trung,田村亮祐,西堀俊幸(JAXA)堤卓也,濱田裕史,徐照男,Abdo Ibrahim,佐々木太郎,杉山弘樹,高橋宏行,中島史人(NTT)、“1A12 300GHz 帯直接検波型ラジオメータ開発とその宇宙実証ミッション検討状況について”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [13] 宮田浩旭,高橋涼(AES),山田崇貴,佐藤滋,笠井康子(NICT)、“1A13 軌道において衛星とセンサを統一的に制御する衛星デジタル処理技術の検討”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [14] 本多哲也,横山裕和,水野哲朗,脇村明宏(Space BD),永島隆(アクセルスペース)、“1A14 TSUKIMI ミッション要求に基づく衛星システム仕様検討とインターフェース検討状況”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [15] 永島隆,大熊成裕,倉本祐輔(Axelspace)、“1A15 100kg 級小型衛星バスの月周回ミッションへの応用と課題”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [16] 加藤一郎,山田崇貴,佐藤滋,笠井康子(NICT)、“1A16 月面探査において自律的位置情報を獲得する月面カメラの検討”、第 66 回宇宙科学技術連合講演会(熊本市)(令和 4 年 11 月 1 日-11 月 4 日)
- [17] 本多哲也“テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査 TSUKIMI”超小型衛星利用シンポジウム 2023(東京)(令和 5 年 2 月 21 日)
- [18] 笠井康子(NICT)、“宇宙からの観測データとは?”第 9 回 AI/データサイエンス公開講座(栃木県小山市)(令和 4 年 5 月 14 日)
- [19] 笠井康子(NICT),宮本英昭(東大),西堀俊幸(JAXA),前澤裕之(大阪公大),本多哲也(Space-BD)永島隆(アクセルスペース)、“テラヘルツ波を用いた月面の広域探査”、JpGU2022(千葉市)(令和 4 年 5 月 22 日-6 月 3 日)
- [20] 笠井康子(NICT),宮本英昭(東大),西堀俊幸(JAXA),前澤裕之(大阪公大),本多哲也(Space-BD)永島隆(アクセルスペース)、“テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査”、電子情報通信学会マイクロ波テラヘルツ光電子技術研究会(東京都港区)(令和 4 年 6 月 3 日)
- [21] 山田 崇貴(NICT)、“月のテラヘルツ地図を作る”、NICT オープンハウス 2022(東京都小金井市)(令和 4 年 6 月 24 -25 日)
- [22] 小林真輝人,宮本英昭(東京大学),王蘇芸,山田崇貴,笠井康子(NICT)、“将来の月探査に向けたテラヘルツ帯での誘電率に関する検討”、日本惑星科学会 2022 年秋季講演会(茨城県)(令和 4 年 9 月 20 日-9 月 23 日)
- [23] 王蘇芸,山田崇貴,笠井康子(NICT)、“Terahertz Emission of the Lunar Surface:Forward Modelling”、IRS2022(Greece)(令和 4 年 7 月 4 日-7 月 8 日)
- [24] 王蘇芸,山田崇貴,笠井康子(NICT)、“Forward Modelling for lunar terahertz exploration”、COSPAR2022(Greece)(令和 4 年 7 月 16 日-7 月 24 日)
- [25] 内山由侑基(NICT),西堀俊幸(JAXA),山田崇貴,佐藤滋,加藤一郎,Wang Suyun,川田宗靖,笠井康子(NICT)、“Development Progress of TSUKIMI mission:Optics”、Riken-NICT Joint Workshop on Terahertz Technology(埼玉県和光市)(令和 4 年 12 月 14 日-12 月 15 日)
- [26] 竹村知洋,新原隆史,宮本英昭,神崎友裕,小林真輝人,清水雄太、“Development of simplified lunar regolith

- simulants for resource explorations.”日本地球惑星科学連合 2022 年大会,PPS02-P-02、(千葉市)(令和 4 年年 5 月)
- [27] 竹村知洋, 吉岡航輝, 宮本英昭. “月表層における微小スケールの起伏の検討”、日本惑星科学会 2022 年大会,OF-03,(水戸)(令和 4 年年 9 月)
- [28] Miyamoto, H. “Martian Moons eXploration and Japanese lunar missions”、LUXEMBOURG Space Resources Week(ルクセンブルク)(令和 4 年 5 月 3 日)
- [29] 王 蘇芸, 笠井 康子(NICT)、“月面における散乱等を考慮したテラヘルツ電磁波伝搬モデル”、第 24 回惑星圏研究会(SPS2023)(宮城県仙台市)(令和 5 年 2 月 21 日)
- [30] 笠井 康子(NICT)、“「TSUKIMI とは何? What is TSUKIMI」 TeNQ リサーチセンター特別イベント「宇宙資源探査のこれから」(東京都文京区)(令和 5 年 3 月 25 日)
- [31] 逸見 良道, 笠井 康子, 山田 崇貴, 王 蘇芸, 佐藤 滋(NICT)、宮本 英昭(東大)、堀田 大貴、((株)セック)、永島隆、大熊成裕((株)アクセルスペース)渡邊 隼人、渋谷 明広(SpaceBD(株))、“Efficient Deep Space Exploration: Optimizing Lunar Orbit Analysis and Data Processing for TSUKIMI” 日本地球惑星科学連合 2023 年大会(千葉市)(令和 5 年 5 月 26 日)
- [32] 山田 崇貴(NICT)、“月のテラヘルツ地図を作る”、NICT オープンハウス 2023(東京都小金井市)(令和 5 年 6 月 23-24 日)
- [33] 逸見 良道, 笠井 康子, 山田 崇貴, 王 蘇芸, 佐藤 滋(NICT)、宮本 英昭(東大)、堀田 大貴、((株)セック)、永島隆、大熊 成裕((株)アクセルスペース)渡邊 隼人、渋谷 明広(SpaceBD(株))、“Optimizing Deep Space Exploration: A Study on Efficient Data Processing for Lunar Resource Exploration Project TSUKIMI”、AOGS2023 年大会(シンガポール)(令和 5 年 8 月 2 日)
- [34] 平松 和馬, 王 蘇芸, 山田 崇貴, 笠井 康子(NICT)、中野 幸夫(東京学芸大学)、“Experimental Analysis of Terahertz Scattering from the Lunar Surface”、AOGS2023 年大会(シンガポール)(令和 5 年 8 月 2 日)
- [35] 王 蘇芸, 笠井 康子(NICT)、“Terahertz Radiative Processes In Lunar Regolith” Juno Open Team Meeting Workshop(アメリカ・サンアントニオ)(令和 5 年 10 月 7-8 日)
- [36] 笠井 康子, 王 蘇芸(NICT)、TSUKIMI TEAM、“Introduction of TSUKIMI Lunar Project and application of their 3D scattering radiative transfer model to JUNO observation” Juno Open Team Meeting Workshop(アメリカ・サンアントニオ)(令和 5 年 10 月 7-8 日)
- [37] 笠井 康子(東京工業大/NICT)、TSUKIMI プロジェクトチーム(東大・JAXA・大阪公立大・SpaceBD)、“1I01 テラヘルツを用いた月面の広域な水エネルギー資源探査 - TSUKIMI - 概要”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [38] 宮本 英昭(東大)、笠井 康子(東京工業大/NICT)、小林 真輝人、吉岡航輝、竹村 知洋(東大)、逸見 良道(NICT)、大野 辰遼(北海道大)、鹿山 雅裕、清水 雄太、孫 辰浩(東大)、高橋 幸弘(北海道大)、西堀 俊幸(JAXA)、本多 哲也(SpaceBD)、前澤 裕之(大阪公立大)、山田 崇貴、王 蘇芸(NICT)、“1I02 TSUKIMI で目指す月科学・月資源工学”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [39] 小林 真輝人、宮本 英昭(東大)、“1I03 月シミュラントの誘電率に基づく TSUKIMI での観測要求の検討”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [40] 竹村 知洋、宮本 英昭、小林 真輝人、清水 雄太、吉岡 航輝(東大)、“1I04 月表層の起伏モデルから制約する TSUKIMI の最適観測角”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [41] 吉岡 航輝、宮本 英昭、小林 真輝人、清水 雄太、竹村 知洋(東大)、“1I05 EFOV を踏まえた位置決定精度と輝度温度誤差の検討”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [42] 逸見 良道(NICT)、笠井 康子(東京工業大/NICT)、TSUKIMI MissionTeam(TSUKIMIMission)、“1I06 衛星軌道暦とセンサ観測角に基づく観測領域シミュレータの開発”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [43] 山田 崇貴、金森 英人(NICT)、宮本 英昭(東大)、笠井 康子(東京工業大/NICT)、竹村 知洋(東大)、Wang Suyun(NICT)、TSUKIMI プロジェクトチーム (TSUKIMI プロジェクトチーム)、“1I07 テラヘルツ波物性データベース構築”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [44] 金森 英人、山田 崇貴(NICT)、笠井 康子(東京工業大/NICT)、“1I08 月面環境を想定した実験室テラヘルツ分光測定システムの開発”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [45] 平松 和馬(学芸大)、王 蘇芸、山田 崇貴(NICT)、笠井 康子(東京工業大/NICT)、中野 幸夫(学芸大)、“1I09 月表面におけるテラヘルツ散乱の実験解析”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [46] 王 蘇芸、山田 崇貴(NICT)、笠井 康子(東京工業大/NICT)、“1I10 月面における散乱等を考慮したテラヘルツ電磁波伝搬モデル”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [47] 許 雅俊、王 蘇芸(NICT)、笠井 康子(東京工業大/NICT)、“1I11 機械学習に基づく月表面誘電率のリトリーバルアルゴリズム”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)

- [48] 西堀 俊幸(JAXA), 内山 由侑基(NICT), 長谷川 豊, 前澤 裕之(大阪公立大)、“1I12 TSUKIMI ミッション部の基本設計状況”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [49] 内山 由侑基(NICT), 西堀 俊幸(JAXA)、“1I13 TSUKIMI 光学系の開発状況”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [50] 長谷川 豊, 前澤 裕之(大阪公立大), 西堀 俊幸(JAXA), 内山由侑基, 佐藤 滋, 鷺 和俊(NICT), 笠井 康子(東京工業大/NICT), 大野 辰遼, 高橋幸弘(北海道大学)、“1I14 TSUKIMI センサテラヘルツ波フロントエンドの開発状況 2023”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [51] 田村 亮祐, 西堀 俊幸(JAXA)、“1I15 宇宙用 300GHz 帯 LNA をキーデバイスとする衛星搭載用ラジオメーターの開発検討報告”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [52] 大野 辰遼, 高橋 幸弘(北海道大学), McLeod Sofia, Holden Lachlan, Chin Tat-Jun(The University of Adelaide)、“1I16 TSUKIMI ミッション小型衛星搭載位置決定補助用カメラの開発”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [53] 宮本 英昭(東大), 熊本 篤志(東北大), 小林 真輝人(東大), 笠井 康子(東工大), 竹倉 駿也, 吉岡 航輝, 孫 辰浩(東大)、“1K07 月資源探査としての電磁波地下探査”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [54] 大野 辰遼, 高橋 幸弘(北海道大学), 佐藤 滋(NICT)、“2I01 TSUKIMI ミッション小型衛星搭載オンボードコンピュータの開発”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [55] 本多 哲也, 渡邊 隼人, 水野 哲朗, 脇村 明宏, 中原 さとる(SpaceBD), 石亀 一郎(シスルナテクノロジーズ)、“2I02 TSUKIMI 開発仕様に基づく衛星バスシステム検討とインタフェース検討状況”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [56] 澁谷 吉彦, 石亀 一郎(シスルナテクノロジーズ)、“2I03 50kg 級超小型衛星バスの月周回ミッションへの応用と課題”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [57] 笠井 康子(東京工業大/NICT)、“2I04 まとめ・総合討論”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [58] 笠井 康子(東京工業大/NICT), TSUKIMI チーム(東大・JAXA・大阪公立大・SpaceBD)、“4N05 相乗り小型衛星による月面周回軌道からのテラヘルツ波リモートセンシング”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [59] 山田 崇貴(NICT), 金森 英人(NICT), 小林 真輝人(東大), 竹村 知洋(東大), 宮本 英昭(東大), 長谷川 豊(大阪公立大), 前澤 裕之(大阪公立大), 内山 由侑基(NICT), 西堀 俊幸(JAXA), 大野 辰遼(北海道大学), 鷺 和俊(NICT), 笠井 康子(NICT)、“月周回テラヘルツ波資源 探査に向けた開発及び実験室物性測定”、第 24 回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ(山梨大学)(令和 5 年 11 月 20-11 月 21 日)
- [60] 金森 英人, 山田 崇貴, 笠井 康子(NICT)、“サブミリ波帯におけるレンズ及び黒体標準素材の複素屈折率測定”、第 24 回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ(山梨県甲府市)(令和 5 年 11 月 20-11 月 21 日)
- [61] 長谷川 豊, 前澤 裕之(大阪公立大), 西堀 俊幸(JAXA), 笠井 康子, 鷺 和俊, 山田 崇貴, 佐藤 滋, 内山 由侑基(NICT), 大野 辰遼, 高橋 幸弘(北海道大学)、“月資源探査衛星 Tsukimi 搭載 270/500 GHz 常温受信機の開発状況 2023”、第 24 回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ(山梨県甲府市)(令和 5 年 11 月 20-11 月 21 日)
- [62] 王 蘇芸(NICT)“Progress on Forward Model for Subsurface Retrievals of Icy Moons”、SWI science consortium & operations meeting(ドイツ)(令和 5 年 11 月 14 日)
- [63] 吉岡航輝, 宮本英昭(東京大学), Pal Bernadett(コンコリー天文台), 逸見良道(NICT), 竹村知洋, 小林真輝人(東京大学)、“THz 波帯における月表層輝度温度の理論的研究”、日本地球惑星科学連合 2023 年度大会(千葉市)(令和 5 年 5 月 26 日)
- [64] 小林真輝人, 宮本英昭, 竹村知洋(東京大学), Pal Bernadett(コンコリー天文台)、“Temperature dependence of permittivity can help determine the amount of water ice in lunar and Martian regolith”、日本地球惑星科学連合 2023 年度大会(千葉市)(令和 5 年 5 月 26 日)
- [65] 竹倉駿也, 宮本英昭, 小林真輝人(東京大学)、“Numerical study of the propagation of electromagnetic waves to detect putative water-ice in complex permittivity structures of the lunar regolith”、日本地球惑星科学連合 2023 年度大会(千葉市)(令和 5 年 5 月 26 日)
- [66] 小林真輝人, 宮本英昭(東京大学)、“TSUKIMI テラヘルツ波観測による偏波比と推定誘電率に基づく水氷濃集領域の判別”、日本惑星科学会 2023 年秋季講演会(広島市)(令和 5 年 10 月 11 日-10 月 13 日)
- [67] 吉岡航輝, 宮本英昭, 竹村知洋, 小林真輝人, パールベルナデット(東京大学), 逸見良道(NICT)、“テラヘルツ波帯における月表層輝度温度の検討”、日本惑星科学会 2023 年秋季講演会(広島市)(令和 5 年 10 月 11 日-10 月 13 日)
- [68] 竹村知洋, 宮本英昭, 小林真輝人, 吉岡航輝(東京大学)、“TSUKIMI テラヘルツ波観測において月表層のマルチスケールの起伏がもたらす影響”、日本惑星科学会 2023 年秋季講演会(広島市)(令和 5 年 10 月 11 日-10 月 13 日)

- [69] 宮本英昭(東京大学), 鈴木直志(ispace), 鹿山雅裕(東京大学), 橋爪光(茨城大学), 堀田任晃(千代田化工建設), 白津英仁(横河電機)、“月表層浅部の水資源分布マップ生成シナリオ”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [70] 宮本英昭(東大), 熊本篤志(東北大), 小林真輝人(東大), 笠井康子(東工大), 竹倉駿也, 吉岡航輝, 孫辰浩(東大)、“月資源探査としての電磁波地下探査”、第 67 回宇宙科学技術連合講演会(富山市)(令和 5 年 10 月 17 日-10 月 20 日)
- [71] Koki Yoshioka, Hideaki Miyamoto (Utokyo), Ryodo Hemmi (NICT), Bernadett Pal, Makito Kobayashi, Yuta Shimizu, Tomohiro Takemura(Utokyo)、“Theoretical Study on the Lunar Brightness Temperature in the Terahertz Band”、AGU Annual Meeting 2023 (San Francisco)(令和 5 年 12 月 13 日)
- [72] 山田 崇貴(NICT)、“Lab experiment for surface properties of the moons”、JUICE-SWI Science Consortium Meeting(ドイツ)(令和 6 年 4 月 15 日-4 月 17 日)
- [73] 鷲 和俊(NICT)“The TSUKIMI Mission”、JUICE-SWI Science Consortium Meeting(ドイツ)(令和 6 年 4 月 15 日-4 月 17 日)
- [74] 笠井 康子(東工大、NICT)、宮本 英昭(東大)、西堀 俊幸(JAXA)、前澤 裕之(大阪公立大)、本多 哲也(SpaceBD)、“月面周回軌道からのテラヘルツ波リモートセンシング”、Japan Geoscience Union Meeting 2024(千葉市)(令和 6 年 5 月 27 日)
- [75] 鷲 和俊(NICT)“The TSUKIMI Mission”、ARTS Workshop 2024(スウェーデン)(令和 6 年 6 月 6 日)
- [76] 山田 崇貴(NICT)、金森 英人(NICT)、小林 真輝人(東大)、竹村 知洋(東大)、宮本 英昭(東大)、笠井 康子(東工大)、“Development of a Terahertz Laboratory Measurement System for Future TUSKIMI Observations”、AOGS2024(韓国)(令和 6 年 6 月 26 日)
- [77] 平松 和馬(NICT、東京学芸大)、Suyun Wang(NICT)、中野 幸夫(東京学芸大)、山田 崇貴(NICT)、笠井 康子(NICT、東工大)、“Experimental analyses on terahertz wave characterization of bulk density and moisture content for lunar simulants”、AOGS2024(韓国)(令和 6 年 6 月 26 日)
- [78] 笠井 康子(東工大)、宮本 英昭(東大)、西堀 俊幸(JAXA)、前澤 裕之(大阪公立大)、本多 哲也(SpaceBD(株))“TSUKIMI – lunar Terahertz SURveyor for Kilometer-scale Mapping”、AOGS2024(韓国)(令和 6 年 6 月 27 日)
- [79] Suyun Wang (NICT)、笠井 康子(NICT、東工大)、“Model-based physical parameter retrieval for passive terahertz wave observations of the Moon” AOGS2024(韓国)(令和 6 年 6 月 27 日)
- [80] Hao-Yu YANG (東工大、NICT)、笠井 康子(東工大)、Suyun Wang(NICT)、松永隆生(学芸大)、青木 優(東工大)、“Reproducing of Ganymede Brightness Temperature Observation from Microwave Radiometer/juno with a Scattering-inclusive Radiative Transfer Model”、AOGS2024(韓国)(令和 6 年 6 月 27 日)
- [81] 山田 崇貴(NICT)、“月のテラヘルツ地図を作る”、NICT オープンハウス 2023(東京都小金井市)(令和 6 年 6 月 23-24)
- [82] Yuki Uchiyama, Toshiyuki Nishibori, Tomohiro Ishida, Takayoshi Yamada, Hideto Kanamori and Yasuko Kasai, “Development of a Calibration System for 280 and 490 GHz dual band Terahertz radiometer of Moon Mapping Surveyor”、IRMMW-THz 2024(オーストラリア)(令和 6 年 9 月 6 日)
- [83] 笠井 康子(東工大/NICT)、西堀 俊幸(JAXA)、宮本 英昭(東大)、前澤裕之(大阪公立大)、本多 哲也(SpaceBD)、TSUKIMI チーム(東工大、NICT、JAXA、東大、大阪公立大、SpaceBD、北大、アデレード大)、“1E01 テラヘルツを用いた月面の広域な水エネルギー資源探査 – TSUKIMI – 概要”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [84] 長谷川 豊、鷲 和俊、山田 崇貴(NICT)、西堀 俊幸(JAXA)、前澤 裕之(大阪公立大)、本多 哲也(SpaceBD)、高橋 幸弘(北大)、宮本 英昭(東大)、笠井 康子(NICT、東工大)、“1E02 TSUKIMI 衛星システム開発進捗概要報告 2024”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [85] 押上 祥子(NICT)、逸見 良道(JAXA)、TSUKIMI プロジェクトチーム(TSUKIMI プロジェクト)、“1E03 TSUKIMI 観測シミュレーション”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [86] 宮本 英昭(東大)、笠井 康子(東工大、NICT)、小林 真輝人、竹村 知洋、吉岡 航輝(東大)、逸見 良道(JAXA)、大野 辰遼(北大)、鹿山 雅裕、清水雄太、孫 辰浩、戸井田 愛理(東大)、高橋 幸弘(北大)、西堀 俊幸(JAXA)、本多 哲也(SpaceBD)、前澤 裕之(大阪公立大)、山田 崇貴(NICT)、“1E04 TSUKIMI 計画が目指すサイエンス”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [87] 竹村 知洋、宮本 英昭、小林 真輝人、清水 雄太、吉岡 航輝(東大)、“1E05 TSUKIMI 観測で考慮すべき月表層の起伏効果”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [88] 孫 辰浩、宮本 英昭、小林 真輝人(東大)、“1E06 Mini-RF と Diviner の観測が示唆する月表層における誘電率の温度依存性”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [89] 戸井田 愛理、宮本 英昭、小林 真輝人(東大)、“1E07 月面模擬物質の誘電率”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [90] 山田 崇貴(NICT)、小林 真輝人(NICT、東大)、内山 由侑基、長谷川 豊(NICT)、前澤 裕之(大阪公立大)、宮本

- 英昭(東大)、金森 英人、笠井康子(NICT)、“THz 波物性データベース構築のための実験室測定:表面輻射偏波依存性実証”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [91] 吉岡 航輝, 宮本 英昭, 小林 真輝人, 竹村 知洋(東大)、“1E09 輝度温度データを用いた水氷濃集領域の制約に関する検討”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [92] 西堀 俊幸, 石田 智大(JAXA), 内山 由侑基, 長谷川 豊(NICT), 前澤 裕之(大阪公立大)、“1E10 TSUKIMI センサ部 EM の状況”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [93] 石田 智大(JAXA), 内山 由侑基(NICT), 西堀 俊幸(JAXA)、“1E11 TSUKIMI アンテナ光学系の近傍界測定による遠方界放射特性の推定”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [94] 内山 由侑基(NICT)、西堀 俊幸、石田 智大(JAXA)、山田 崇貴、佐藤滋、笠井 康子(NICT)、“較正源とホーンアンテナの開発状況”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [95] 前澤 裕之(大阪公立大)、西堀 俊幸、石田 智大(JAXA)、長谷川 豊、内山 由侑基、山田 崇貴、加藤 一郎、鷺和俊(NICT)、笠井 康子(東工大)、大野 辰遼(BPS)、高橋 幸弘(北大)、“1E13 Tsukimi の多チャンネルテラヘルツ波受信機の開発・実験の進捗報告”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [96] 藤田 伸哉, 澁谷 吉彦, 熊井 あすか, 早坂 朋也, 石亀 一郎(シスルナテクノロジーズ)、“1E15 50kg 級超小型衛星バスの月周回ミッションへの応用と課題”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [97] 本多 哲也, 佐野 伊彦, 中原 さとる, 脇村 明宏, 渡邊 隼人(SpaceBD)、“1E16 TSUKIMI バスシステム詳細設計状況ならびにバスシステム試験結果”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [98] Chin Tatjun, Mcleod Sofia, Chng Chee-Kheng, Rodda Matthew(The University of Adelaide), Ono Tatsuharu(北大), Shimizu Yuta, Kobayashi Makito(東大), Hemmi Ryodo(NICT,JAXA), Miyamoto Hiridy(東大), Takahashi Yukihiro(北大), Kasai Yasuko(NICT,東工大)、“1E17 「TSUKIMI」ミッションのための視覚ベース自律測位手法の開発” 第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [99] 青木 優, 笠井 康子(東工大,NICT)、“1E19 月サブサーフェスを考慮したテラヘルツ波放射伝達モデル”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [100] 金森 英人、山田 崇貴、笠井 康子(NICT)、“1E21 THz 波物性データベース構築のための実験室測定:粒子系物質の偏光度検出”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [101] 平松 和馬(NICT、東京学芸大)、王 蘇芸(NICT)、中野 幸夫(東京学芸大)、笠井 康子(NICT、東工大)、“1E22 月表面におけるテラヘルツ実験解析”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [102] 鷺和俊、長谷川 豊(NICT)、西堀 俊幸(JAXA)、前澤 裕之(大阪公立大)、本多 哲也(SpaceBD)、高橋 幸弘(北大)、宮本 英昭(東大)、笠井康子(NICT、東工大)、“2E11 資源探査のための月周回衛星 TSUKIMI”、第 68 回宇宙科学技術連合講演会(姫路市)(令和 6 年 11 月 5 日-11 月 8 日)
- [103] 内山 由侑基(NICT)、西堀 俊幸(JAXA)、石田智大(JAXA)、山田崇貴(NICT)、佐藤滋(NICT)、笠井康子(NICT)、“小型 THz センサ搭載の較正源の開発”、第 25 回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ(福井)(令和 6 年 11 月 21 日-22 日)
- [104] 金森 英人(NICT)、笠井 康子(NICT、東京科学大学)“テラヘルツ帯における低温物質の複素誘電率関数の測定”、第 25 回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ(福井)(令和 6 年 11 月 21 日-22 日)

10 出願特許リスト

11 取得特許リスト

12 国際標準提案・獲得リスト

13 参加国際標準会議リスト

14 受賞リスト

- [1] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局「宇宙を活用したビジネスアイデアコンテスト」(S-Booster 2022): 笠井康子、審査員特別賞”TSUKIMI(月見):Lunar Terahertz surveyor for SUnKilometer-scale Mapping,2022 年 12 月 15 日
- [2] 吉岡航輝, “Theoretical study on the lunar brightness temperature in the terahertz band for future TSUKIMI mission(THz 波帯における月面輝度温度の理論的研究)”, 東京大学工学部長賞, 2023 年 3 月

15 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

- [1]“テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査”プロジェクト説明会”令和3年12月15日
- [2]“総務省研究委託「テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査」委託先に選定 共同プロジェクト「TSUKIMI」開始 新たな産官学連携の形を実現する月の資源探査プロジェクト”令和3年12月15日
- (2) 報道掲載実績
- [1]“月科学・月資源工学推進コンソーシアムの設置と参加企業・団体の募集について”、東京大学工学部、令和3年12月15日
- [2]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、読売新聞オンライン、令和3年12月16日
- [3]“SpaceBD、JAXAらとテラヘルツ波で月の水資源探査”、航空新聞、令和3年12月16日
- [4]Yahoo!ニュース 月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」
- [5]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、ニフティニュース (@nifty ニュース)
- [6]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、au Web ポータル
- [7]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、livedoor ニュース
- [8]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、dメニューニュース
- [9]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、BIGLOBE ニュース
- [10]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、Infoseek ニュース
- [11]“月の水のありか、小型衛星で探査へ…24年度にも打ち上げ「世界に先駆けて地図にしたい」”、goo ニュース
- [12]“科学でE・マスクに挑め 情報通信研究機構上席研究員 笠井康子”、日本経済新聞 2022年8月15日
- [13]“科学でイーロン・マスクに挑め 宇宙の世界の宝を探す 情報通信研究機構上席研究員 笠井康子(人間発見)”、日本経済新聞 2022年8月21日
- [14]“研究に専念できるパラダイス(笠井康子)”、RIKEN NEWS(理化学研究所)、令和5年4月1日
- [15]“木星氷衛星探査機 JUICE を搭載したロケットが打上げに成功！テラヘルツで生命居住可能性を探る”、情報通信研究機構プレスリリース、令和5年4月17日
- [16]“「テラヘルツ波」で宇宙の宝探し、木星・月面で始動”、日本経済新聞、令和5年4月20日
- [17]“「宇宙資源」研究の第一人者・宮本英昭教授が考える、産業革命に匹敵する未来の大イベントとは？
- [18]“【伊東せりか宇宙飛行士と考える地球の未来#19】”、ワープスペース/WarpSpace、令和5年5月31日
- [19]“「宇宙資源」研究の第一人者・宮本英昭教授が考える、産業革命に匹敵する未来の大イベントとは？”、Forbes JAPAN、令和5年6月3日
- [20]“宇宙産業の全体像とこれからの Space BD に訊く！ 市場性等を加速させる3つの余白とは”、宙畑、令和5年7月7日
- [21]“宇宙分野におけるSDGsの取り組みと連携についての研究 第67回宇宙科学技術連合講演会の発表から”、岩田敏彰@デジタル化推進アカデミー学長のブログ、令和5年12月20日
- [22]“月の「宝の地図」をつくる日本発超小型衛星、テラヘルツ波利用”、日経XTECH、令和6年4月30日・日経エレクトロニクス、令和6年6月号

16 ホームページによる情報提供

- [1] TSUKIMI ミッション公式 HP <https://www.tsukimi.one/>
- [2] NICT 公式 HP <https://www2.nict.go.jp/ttrc/thz-sensing/ja/tsukimi/>

研究開発による成果数

	令和3年度	令和4年度	令和5年度
査読付き誌上発表論文数	0件(0件)	4件(3件)	1件(1件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
その他の誌上発表数	4件(0件)	5件(0件)	0件(0件)
口頭発表数	0件(0件)	30件(3件)	41件(6件)
特許出願数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
特許取得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
国際標準提案数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
国際標準獲得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
受賞数	0件(0件)	2件(0件)	0件(0件)
報道発表数	2件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
報道掲載数	11件(0件)	2件(0件)	8件(0件)

	令和6年度	合計
査読付き誌上発表論文数	1件(1件)	6件(5件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件(0件)	0件(0件)
その他の誌上発表数	0件(0件)	9件(0件)
口頭発表数	33件(9件)	104件(18件)
特許出願数	0件(0件)	0件(0件)
特許取得数	0件(0件)	0件(0件)
国際標準提案数	0件(0件)	0件(0件)
国際標準獲得数	0件(0件)	0件(0件)
受賞数	0件(0件)	2件(0件)
報道発表数	0件(0件)	2件(0件)
報道掲載数	1件(0件)	22件(0件)

注1:各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注2:「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読(peer-review(論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等(Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む)を計上する。

注3:「査読付き口頭発表論文数(印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集(電子媒体含む)に掲載された論文等(ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。)を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等(電子情報通信学会技術研究報告など)は、「口頭発表数」に分類する。

注4:「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等(査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む)を計上する。

注5:PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。(何カ国への出願でも1件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6:同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数(印刷物を含む)」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。