

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14352

研究課題名（和文）次世代超大型電波干渉計の実現に向けた軽量無線干渉計技術の創出

研究課題名（英文）Lightweight wireless phase synchronization techniques for next-generation extremely large microwave interferometers

研究代表者

杉原 アフマッド清志（Sugihara, Ahmed Kiyoshi）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙探査イノベーションハブ・宇宙航空プロジェクト研究員

研究者番号：70867548

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：ソーラーセイルのような大面積・軽量宇宙構造体に薄型アレイアンテナを搭載し、数十m級の合成開口アンテナを現実的に宇宙空間で展開・運用する技術の成立性を示した。提案技術は3つの必須要素技術から構成される：(1)膜面搭載可能な薄型アンテナ技術、(2)アンテナ間の位相同期技術、(3)膜形状測定技術。それぞれ要素技術の成立性を試作・評価により確認し、提案技術全体の成立性を実験的に確認した。実用化に向け、構造体であるアルミ蒸着ポリイミド膜に直接アンテナを転写する技術とアンテナ配列を1次元化し収納効率を飛躍的に向上させる新方式も派生研究として研究を進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

受動・能動センサ、及び通信においてマイクロ波帯の設備は回折限界により角分解能・利得がアンテナ径に比例し制約される。この制約は物理的な要因に起源するため技術的改良では打破できず、アンテナの大型化によってのみ改善が可能である。本技術は静止軌道周回衛星に気象観測用放射計を初めて搭載する事を可能にするだけでなく、深宇宙探査、コンステレーション通信、月面電波天文台などアンテナの大面積化により機能向上が見込まれる多様な分野に応用が可能である。

研究成果の概要（英文）：The conducted research is a feasibility study on a single-satellite monolithic synthetic aperture antenna on extremely large membrane structures. Microwave instruments, active or passive, are subject to the diffraction limit whereby the spatial resolution is physically limited by aperture size. To explore larger apertures, we propose to place the antenna elements on large membrane structures, such as those demonstrated in solar sails. Three core challenges were identified: 1) thin membrane-placeable antenna elements; 2) a wireless synchronisation scheme for these elements; and 3) a position and phase calibration scheme to correct for membrane deformation. These challenges were addressed with experimental demonstrations. The demonstrated technology enables radiometers in geostationary orbits and interplanetary destinations as Jupiter and Saturn for the first time. Furthermore, a new concept using a long strip of membrane antennas was also explored, potentially achieving 100 m apertures.

研究分野：超大面合成開口アンテナ

キーワード：マイクロ波放射計 干渉型放射計 無線電波干渉計 薄膜アンテナ 衛星編隊飛行 衛星相対航法 膜面形状測定 超小型衛星惑星探査

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

可視光と比べ波長の長いマイクロ波帯のセンサ(放射計等)は回折限界により角分解能がアンテナ径に比例し物理的に制約される。地球観測等の分野では角分解能向上の需要が高く、開口合成を活用した次世代放射計コンセプトが多く提案されている。その中でも数十 m 級の開口が求められる低周波干渉計では衛星編隊飛行を活用したコンセプトが数件検討されているが、衛星間の大容量通信や精密相対位置制御が新たな課題として発生する。以上のため、コストとリスクの観点から 1 機の宇宙機で同等の開口面積を実現する方式が望ましい現状である。一方で宇宙飛行工学の分野では高い面積質量比を実現する薄膜宇宙構造体「ソーラーセイル」がすでに実証されており、特に「ソーラー電力セイル」においては膜上に太陽電池など薄膜デバイスを貼付する技術も実証されている。この様な超大面積構造体にアンテナを貼付し、一つの大面积アンテナとして運用する技術が確立されれば、放射計として前述の課題を打開できるだけでなく、惑星探査や通信など軽量・大面积アンテナを要する多様な分野の飛躍的発展が期待される。

## 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究の目的は数十 m 級の薄膜大面积宇宙構造体への貼付が可能である大面积アンテナの実現性を明らかにする事である。提案する技術は 3 つの要素技術から構成される。(1)薄型・軽量であり、膜面に貼付可能な薄型アンテナ素子技術。(2)アンテナ素子間の位相を同期させ、干渉計を構築する技術。(3)柔軟である膜構造体の変形量を測定し、アンテナ素子間の相対位置変化を補正する技術。以上 3 つの技術実証により超大型電波干渉計を実証する。課題(1)については先行研究・開発である JAXA 革新的衛星技術実証プログラムの「HELIOS 干渉計」において膜面に搭載可能である 2x2 アクティブ集積化アンテナ(AIAA)サブアレイ基板を製作している。本研究ではこのようなサブアレイ複数機を膜上で同期させることで開口合成を実現し、超大型電波干渉計技術を実証する。

## 3. 研究の方法

目的の課題(2)と(3)を段階的に調査する。課題(2)においては膜構造上の配線を不要とする無線周波数同期技術を実証する。特に、一枚のサブアレイ基板内で実現するため、必要最小限の部品数で成立する同期法を探り、試作による実証実験を行う。課題(3)においては課題(1)と(2)で製作した試作品を組み合わせた無線干渉計テストベッドを構築し、膜変形補正技術を検討する。具体的には干渉計サブアレイ間に既知の変形を与え、既知の位置に設置されたビーコンを観測する事で変形量を測定する技術を実証する。

## 4. 研究成果

### (1) サブアレイ間無線周波数同期技術の検討と実証実験に関する成果

局間の無線位相同期技術の文献調査から始め、無線通信の分野では同技術は開ループ方式と閉ループ方式に分類される事が明らかになった。両方式を検討し、シンプルな構成で成立する開ループ方式を選定した。本方式は往路通信が欠けるため位相ロックを実現する事が困難であるが、実現可能な周波数ロックと成果(3)で実証する位相較正プログラムを組み合わせることで干渉計を構築する。本方式は低位相雑音の基準周波数を送信するマスター局とそれを受信し局発信号を生成するスレーブ局から構成される。スレーブ局は分周器と PLL 回路のみで実現が可能であり、1 器のマスター局に対して多数のスレーブ局を運用する事が可能である。図 1(左)に試作したスレーブ局のブロック図と基板を示す。試作品の位相雑音特性を評価し(図 1(中))、マスター局の雑音特性を再現する事を確認した。次に電波無響室にて 2 局のスレーブ局を同時に運用し、同相の局発信号が生成されることを確認した(図 1(右))。

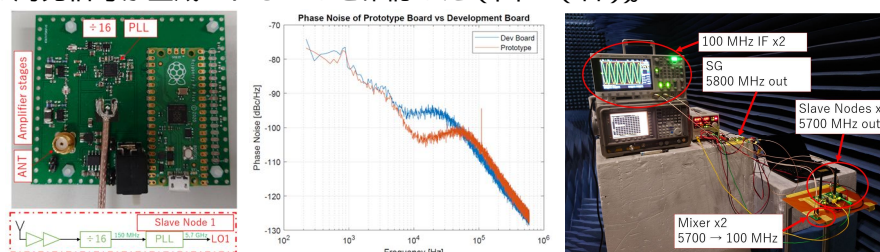


図 1 試作したスレーブ局とそのブロック図(左) スレーブ局の位相雑音特性(中) 複数のスレーブ局の同時駆動試験(右)

以上から、開ループ方式の無線周波数同期を基板 1 枚で実現できる構成を明らかにした。サブアレイ間の周波数同期にこのようなシンプルな方式を採用する試みは世界初であり、キューブサテライト未滿の極小型衛星でも採用が可能である。同相の局発信号で複数の干渉計サブアレイを駆動させる事で無線干渉計が成立する。

(2) 無線同期型干渉計の検討と実証実験に関する成果

試作したスレーブ局を干渉計サブアレイ基板に組み込み、4つのサブアレイからなる無線干渉計のテストベッドを製作し、無線干渉計の成立性を確認した(図2(右、中))。実験では干渉計をターンテーブルに設置し、固定されたビーコンに対しターンテーブルを回転させる事で干渉計の視野を横断するビーコンを模擬した。各サブアレイの局発は同期しているため、図2(左)が示す様に個別のサブアレイ間でもビーコンの位置に対して正しい位相差が生じている。

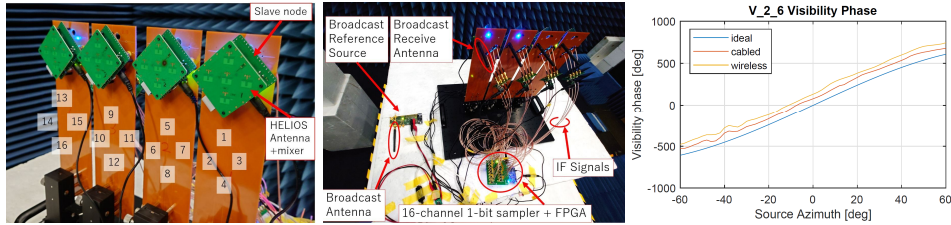


図2 4枚のサブアレイ基板からなる無線干渉計テストベッド(右、中) サブアレイ間局発同期を確認できる位相差測定結果(右)

以上より無線で局発を分配する方式で無線干渉計が成立する事を確認した。構造体が剛であれば現状の方式で実用的な干渉計となるが、薄膜構造体のような柔軟構造体上では膜変形の影響を測定・補正する技術が求められる。

(3) アンテナ形状の検討と実験の実証に関する成果

以上で製作した無線干渉計テストベッドを用いて膜形状の変形による影響を調査し、膜形状測定法を実証した。干渉計の膜形状測定法は先行研究[1]で提案した複数のビーコンを用いた方式を採用した。干渉計は3機のサブアレイ基板から構成され、各サブアレイは光学ベンチを用いて既知の変形を生じさせることができる(図3(右、中))。受信局をターンテーブル上に設置し、固定のビーコンを観測する事で干渉計の視野を横断するビーコン衛星を模擬した。複数のビーコン衛星を採用する場合はビーコン・干渉計間の位置は静止していても良い。各サブアレイ間では変形に応じた位相差が生じる。この位相差と既知のビーコン位置を用いて変形を推定する。結果、干渉計の変形を0.03(波長の3%)の精度で再現することに成功した(図3(左))。先行研究[2]で示したように、この精度は静止軌道等で干渉型放射計を実現する上で十分な精度である。

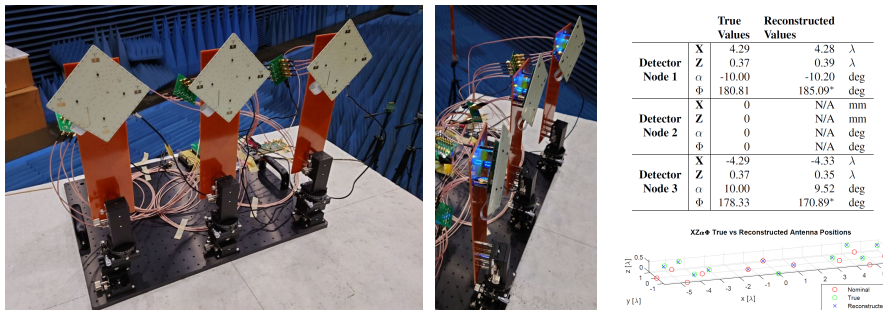


図3 既知の変形を生じさせた無線干渉計テストベッド(右、中) 変形の測定(左)

以上で薄膜構造体に貼付可能なサブアレイ基板を用いた超大型電波干渉計の要素技術を世界で初めて実証した。

(4) 成果の国内外における位置づけと将来の展望

成果の国内外における位置づけ

前述のように課題(1)から(3)における打開策の提案と解析・実験による実証はそれぞれ世界初の成果である。課題(2)(成果(1))で取り組む基準周波数分配技術については、無線通信局間の位相ロックが可能である閉ループ方式が主流となっている(バルセロナ工科大学、ルクセンブルク大学等)。図4に示す通り同方式では双方通信が必須となるため受信局にも送信機能が求められる。これにより小型基板1枚への集積化と省電力化が困難であり、また多数の受信局を運用する際には周波数調整も困難となる。提案した開ループ方式では送信はマスター局のみで行われるため、同時に運用できる受信局数の制限は実質的に解除され、また基準周波数の受信と観測信号の受信・復調を全て1枚のサブアレイ基板で実現した。現時点までこの方式が実用化に至らなかった要因には一般的に必須となる位相ロックが実現できない重大な欠点が挙げられるが、無線干渉計においては成果(3)で示したアンテナ形状測定で局発の位相ずれも含めて較正する事が可能であるため、この欠点の完全な克服に至った。

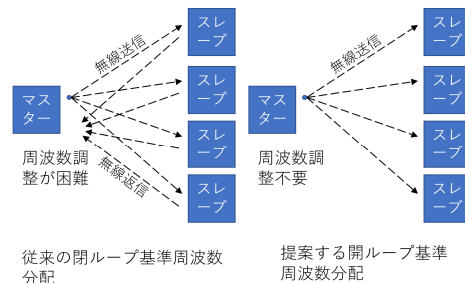


図4 従来の閉ループ基準周波数分配と提案する開ループ方式の比較

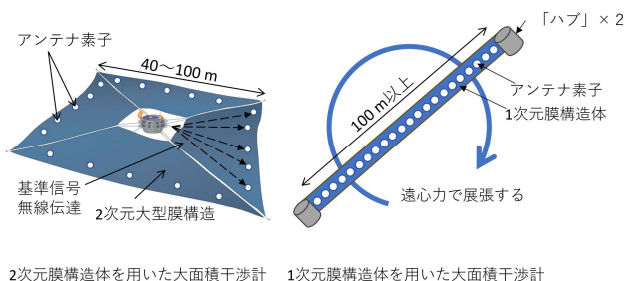
成果(2)においては成果(1)で実証したスレーブ局をサブアレイに搭載し、無線で局発信号を分配したマイクロ波干渉計を世界で初めて実証した。ESA・ESTEC、独航空宇宙センター等が提案する編隊飛行干渉計コンセプトは同技術を前提としており、実証に至っていない。この成果は本研究の目的である膜構造干渉計やキューブサテライト未満の極小型衛星群を採用した干渉計を世界で初めて実現するだけでなく、既存の干渉計においても基準分配の簡略化に貢献する。成果(3)は構造系が非常に柔軟であり形状が不確定な条件でも正しく機能するマイクロ波干渉計を世界で初めて実証した。従来では剛な構造系が採用され、変形量を最小化する事で較正問題を線形化し、アンテナ間の位置・位相を較正していたが、本研究では非線形最適化により大きな変形量を数値的に解くことに成功した。この較正プログラムでは各サブアレイの局発の位相ずれも較正するため、前述の通り開ループ周波数同期でも正しく干渉計を機能させることが出来る。以上成果(1)から(3)を組み合わせることで、世界で初めて薄膜構造体、又は極小型衛星群を採用したマイクロ波干渉計が実現可能となる事を確認した。

#### 成果の国内外におけるインパクト

本研究の成果としてソーラーセイルのような薄膜宇宙構造体にアンテナ素子を貼り付け数十 m 級のマイクロ波干渉計を構築する技術を実証した。地球観測における放射計では、現在軌道上で運用される唯一の干渉計 SMOS(ESA)は 7m 程度の開口を実現し、気象観測では静止軌道では世界初のマイクロ波放射計の実現に向けて GeoSTAR(NASA)等も同等の開口で検討が進められている。提案の技術は編隊飛行に依存する事無く開口直径を数十 m 級に向上させる現実的な術を示した。さらに、マイクロ波放射計を飛躍的に軽量化できる観点からも新たな応用が期待される。宇宙機の総質量の最小化が求められる惑星探査等の分野では放射計搭載の前例が希少であり、木星へは 2011 年に JUNO 探査機が初めて 1m 級の放射計を搭載した。将来の探査ミッションでは口径を飛躍的に向上した高空間分解能・高感度マイクロ波放射計の木星・土星等への投入が可能となる。

#### 今後の展望：薄膜構造体を採用したマイクロ波放射計の形状の検討

研究開始当時ではソーラーセイルの実績に着目し、2次元(正方形)の膜構造を想定した。一方で、干渉型放射計は 1次元に長いアンテナ列を回転(スキャン)させることで2次元像を生成する事が可能である。図 5 に示すように素子配列を一次元化する事で同等の開口サイズに要する構造質量が飛躍的に削減できる。同じくソーラーセイルの分野で検討が進められた「ソーラーブレードセイル」では km 級膜構造体の検討もなされた。このような画期的な宇宙機構造に深宇宙航行以外の用途がここで初めて示され、今後の展望としてこの様な構造の挙動の研究も進める。



2次元膜構造体を用いた大面積干渉計 1次元膜構造体を用いた大面積干渉計

図 5 アンテナ配列を 1次元化する事でさらなる軽量化・大面積化が見込まれる。

#### 今後の展望：アンテナ基板の薄膜化、及び ASIC を用いた小型化・省電力化

本研究では概念の実証のため、民生用部品を剛な基板に実装する工程を採用した。膜構造体に貼付するサブアレイは基板 1 枚での成立を確認したが、実用化においては基板材の薄膜化も望ましい。第 1 段階の試作として膜構造体に用いられるアルミ蒸着ポリイミド膜に直接アンテナを転写した膜面アンテナを試作した(図 6)。今後はこのような工程で製作したアンテナのアレイ化を検討する。また、民生部品は汎用的であり、薄膜構造体での運用に必ずしも最適ではない。小型化の観点からは必要部品を一つの集積回路に搭載する事が望ましく、省電力化の観点からは不要な機能の除去が望ましい。求められる機能を ASIC で実現する事で数百以上のサブアレイ基板を現実的に製作・運用する事が可能になる。



図 6 薄膜アンテナ試作品

#### < 引用文献 >

- [1] A. K. Sugihara El Maghraby, H. Park, A. Camps, A. Grubišić, C. Colombo and A. Tatnall, "Phase and Baseline Calibration for Microwave Interferometric Radiometers Using Beacons," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 58, no. 8, pp. 5242-5253, Aug. 2020, doi: 10.1109/TGRS.2019.2949891.
- [2] A. K. Sugihara El Maghraby, A. Grubišić, C. Colombo and A. Tatnall, "A Novel Interferometric Microwave Radiometer Concept Using Satellite Formation Flight for Geostationary Atmospheric Sounding," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 56, no. 6, pp. 3487-3498, June 2018, doi: 10.1109/TGRS.2018.2800534

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Takeda, S. Takeda, S. Koike, K. Sawada, M. Fujita, Y. Takahashi, M. Moritani, Y. Saito, H. Hagiwara, S. Tamura, K. Nagai, S. Kanamaru, K. You, S. Shirane, D. Mitchao, M. Matsushita, A. K. Sugihara, Y. Takao, C. Hatakeyama, H. Sakamoto	4. 巻 2
2. 論文標題 Thermal Control of Array Antenna Transmitters Attached on Space Membrane Structures	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Evolving Space Activities	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.57350/jesa.114	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 該当する

1. 著者名 K. Sugiura, Y. Takao, A. K. Sugihara, Y. Sugawara and O. Mori	4. 巻 208
2. 論文標題 Formation Flying Along Artificial Halo Orbit around Sun-Earth L2 Point for Interferometric Observations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 36-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.actaastro.2023.03.040	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 該当する

1. 著者名 A. Russo, B. Robb, S. Soldini, P. Paoletti, G. Bailet, C. R. McInnes, J. Reveles, A. K. Sugihara, S. Bonardi and O. Mori	4. 巻 3
2. 論文標題 Mechanical Design of Self-Reconfiguring 4D-Printed OrigamiSats: A New Concept for Solar Sailing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Space Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

1. 著者名 S. Yamada, A. K. Sugihara and O. Mori	4. 巻 20
2. 論文標題 Numerical Analysis on Optimal Deployment Configuration of Tightly-Folded Device-Laden Space Membrane,	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

1. 著者名 Yuki Takao, Osamu Mori, Masanori Matsushita, Ahmed Kiyoshi Sugihara	4. 巻 181
2. 論文標題 Solar electric propulsion by a solar power sail for small spacecraft missions to the outer solar system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 362-376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actaastro.2021.01.020	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 -

〔学会発表〕 計56件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 Ahmed Kiyoshi Sugihara, Takehisa Wada, Tamotsu Suda, Shigeo Kawasaki, Tomoyo Shibata, Masahiro Fujita, Osamu Mori and Ayako Torisaka
2. 発表標題 Status of HELIOS-R Membrane-Deployed Microwave Interferometer Demonstration Mission
3. 学会等名 75th International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ahmed Kiyoshi Sugihara, Yuki Takao, Atsushi Kumamoto, Takaaki Matsuura, Tomoyo Shibata, Ayako Torisaka and Osamu Mori
2. 発表標題 Multi-static Radar Tomography of Small Bodies with Micro-miniature Solar Sails
3. 学会等名 75th International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tomoyo Shibata, Ahmed Kiyoshi Sugihara, Ayako Torisaka and Osamu Mori
2. 発表標題 Time-of-flight-based relative displacement measurement on ultra-small space structures for deep space exploration
3. 学会等名 75th International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 杉原 アフマッド清志
2. 発表標題 フォーメーションフライト衛星群・大面積膜構造体に配置可能な薄型マイクロ波干渉計の技術実証
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉原 アフマッド清志, 藤田 雅大, 楠本 哲也, 芝田 朋世, 菊地 隼仁, 森 治
2. 発表標題 分離型小型着陸機のランデブー・ドッキングにおける電波航法システムの概念検討
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菊池 隼仁, 杉原 アフマッド清志, 森 治
2. 発表標題 超小型着陸機による小天体表面サンプリング手法に関する検討
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中条 俊大, 高尾 勇輝, 多々良 飛鳥, 中嶋 哲大, 安田 萌恵, 小林 大輝, 荒井 湧介, 渡邊 奎, 立川 璃子, 尾崎 直哉, 森 治, 宮崎 康行, 松下 将典, 杉原 アフマッド清志, 鳥居 航, 富木 淳史, 松浦周二
2. 発表標題 超小型ソーラー電力セイルの開発研究と月以遠探査への応用
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会, 2023年10月
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高尾 勇輝, 中条 俊大, 多々良 飛鳥, 中嶋 哲大, 安田 萌恵, 小林 大輝, 荒井 湧介, 渡邊 奎, 立川 璃子, 尾崎 直哉, 森 治, 宮崎 康行, 松下 将典, 杉原 アフマツト清志, 鳥居 航, 富木 淳史, 松浦周二
2. 発表標題 超小型ソーラー電力セイルによる惑星間空間探査ミッション
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会, 2023年10月
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 治, 高尾 勇輝, 松下 将典, 杉原 アフマツト清志, 宮崎 康行, 佐藤 泰貴, 奥泉 信克, 久保 勇貴, 尾崎 直哉, 船瀬 龍, 西山 和孝, 月崎 竜童, 田畑 邦佳, 森下 貴都
2. 発表標題 小型ソーラー電力セイルによる外惑星領域探査
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松下 将典, 高尾 勇輝, 杉原 アフマツト清志, 森治, 楠本 哲也, 藤田 雅大, 中川 雄登, 大木 春仁, 西村尚, 保田 瞬, 渡邊 秋人, 堀利行, 伊藤 裕明, 佐藤 泰貴, 宮崎 康行, 奥泉 信克, 大月 幸穂, 鶴谷 柊朔, 中川 果帆, 米田 大晟, 芝田 朋世, 山川 真以子, 金丸 宙, 森谷 元喜, 永井 和希, 竹田 有希, 坂本 啓, 白根 篤史, 岡田 健一
2. 発表標題 発電・アンテナ機能を有する軽量膜展開構造物HELIOS-Rの開発状況
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉原 アフマツト清志, 和田 武尚, 須田 保, 藤田 雅大, 川崎 繁男, 森 治
2. 発表標題 マイクロ波干渉計を応用した膜面形状測定法
3. 学会等名 第33回 アストロダイナミクスシンポジウム
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 藤田 雅大, 杉原 アフマッド清志, 森 治, 津田 雄一
2. 発表標題 遠方ターゲットに対して適用可能なビーコンを用いた相対航法誘導
3. 学会等名 第33回 アストロダイナミクスシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ahmed Kiyoshi Sugihara, Takehisa Wada, Tamotsu Suda, Yuichiro Nada, Masahiro Fujita, Shigeo Kawasaki, Osamu Mori
2. 発表標題 Wireless Reference Frequency Distribution for Membrane-Deployed Distributed Microwave Interferometer Concept
3. 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takao, Y., Mori, O., Kikuchi, S., Oki, Y., Sugihara, A. K., and Kusumoto, T.
2. 発表標題 Constellation Around Small Bodies Using Spinning Solar Sails Under Simultaneous Orbit-Attitude-Structure Control
3. 学会等名 6th International Symposium on Space Sailing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mori, O., Masanori, M., Sugihara, A. K., Takao, Y., Chujo, T., Miyaszaki, Y., Satou, Y., Okuizumi, N., Sakamoto, H., Funase, R., Ozaki, N., Kubo, Y., Watanabe A.
2. 発表標題 New Solar Power Sail Program in the Post-OKEANOS Era
3. 学会等名 6th International Symposium on Space Sailing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 M. Fujita, A. K. Sugihara, O. Mori and Y. Tsuda
2 . 発表標題 Study on Deep Space Relative Radio Navigation Using Beacons
3 . 学会等名 34th International Symposium on Space Technology and Science ( 国際学会 )
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 A.K. Sugihara, T. Wada, T. Suda, M. Fujita, S. Kawasaki, O. Mori
2 . 発表標題 WIRELESS REFERENCE FREQUENCY DISTRIBUTION FOR MEMBRANE-DEPLOYED DISTRIBUTED MICROWAVE INTERFEROMETER CONCEPT
3 . 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Ahmed Kiyoshi Sugihara, Keisuke Sugiura, Osamu Mori
2 . 発表標題 Multifaceted Reflectivity Control Devices for Fuel-free and Extremely High Precision Formation Control
3 . 学会等名 11th International Workshop on Satellite Constellations & Formation Flying ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Ahmed Kiyoshi Sugihara, Takehisa Wada, Tamotsu Suda, Yuichiro Nada, Masahiro Fujita, Shigeo Kawasaki, Osamu Mori
2 . 発表標題 A SINGLE-SATELLITE APPROACH TO LARGE APERTURE MICROWAVE INTERFEROMETRIC RADIOMETRY USING FLEXIBLE MEMBRANE STRUCTURES
3 . 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Sugiura, Yuki Takao, Ahmed Kiyoshi Sugihara, Yoshiki Sugawara, Osamu Mori
2. 発表標題 Simultaneous Orbit-Attitude Control of Formation Flying Solar Sails around Sun-Earth L2 Using Reflectivity Modulation
3. 学会等名 73rd International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiki Sugawara, Toshihiro Chujo, Yuki Kubo, Testsuya Kusumoto, Masahiro Fujita, Ahmed Kiyoshi Sugihara, Osamu Mori, Yasutaka Satou, Nobuo Kenmochi, Kenichiro Sawada, Yuki Akizuki, Ayako Torisaka, Shuji Matsuura, Takayuki Kotani, Kohji Tsumura, Kotaro Ikeda, Saya Kobayashi, Saburo Matsunaga, Junichiro Kawaguchi
2. 発表標題 Feasibility study and development status of Transformable spacecraft
3. 学会等名 73rd International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Kubo, Toshihiro Chujo, Ahmed Kiyoshi Sugihara, Tetsuya Kusumoto, Masahiro Fujita, Junichiro Kawaguchi, Yoshiki Sugawara
2. 発表標題 Preliminary study on system and mission sequence design for Transformer mission
3. 学会等名 73rd International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ahmed Kiyoshi Sugihara, Takehisa Wada, Tamotsu Suda, Shigeo Kawasaki, Yuichiro Nada, Masahiro Fujita, Osamu Mori
2. 発表標題 On-Orbit Demonstration of Microwave Aperture Synthesis on Deployable Membrane Structure: Status Report
3. 学会等名 73rd International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ahmed Kiyoshi Sugihara, Keisuke Sugiura, Osamu Mori: Multi-faceted Reflectivity Control Devices
2. 発表標題 Vectoring Solar Radiation Pressure for High Precision Formation Control
3. 学会等名 73rd International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 O. Mori, Y. Tsuda, T. Saiki, T. Chujo, Y. Takao, M. Matsushita, A. K. Sugihara, Y. Miyazaki
2. 発表標題 Next-generation Small Body Sample Return GDI, STARMINE Team and HELIOS Team
3. 学会等名 ISAS Planetary Exploration Workshop 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉原 アフマッド清志, 杉浦 圭佑, 森 治
2. 発表標題 多面型液晶デバイスを応用した極高精度相対位置・姿勢アクチュエータ
3. 学会等名 第32回 アストロダイナミクスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉浦 圭佑, 高尾 勇輝, 杉原 アフマッド清志, 菅原 佳城, 森 治
2. 発表標題 太陽-地球系L2点でのソーラーセイルフォーメーションフライトにおける姿勢・軌道制御
3. 学会等名 第32回 アストロダイナミクスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田 雅大, 杉原 アフマッド清志, 森 治, 津田 雄一
2. 発表標題 電波干渉法を適用した相対電波航法の初期検討
3. 学会等名 第32回 アストロダイナミクスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 分島 彰男, A. Bose, D. Biswas, 森 治, 杉原 アフマッド清志, 川崎 治, 坂下 哲也, 和佐 有祐, 菅野 隆行, 小林 智之
2. 発表標題 月面洞窟内作業ロボットへの無線電力伝送に向けたGaN整流素子の適応検討
3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会第34回学術講演会 (JASMAC-34)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中条 俊大, 高尾 勇輝, 多々良 飛鳥, 渡邉 奎, 安田 萌恵, 小林 大輝, 中嶋 哲大, 木下 幹大, 荒井 湧介, 上野 晟太郎, 森 治, 宮崎 康行, 松下 将典, 杉原 アフマッド清志, 鳥居 航, 富木 淳史, 津田 雄一, 佐伯 孝尚, 松永 三郎, 超小型ソーラー電力セイル研究チーム
2. 発表標題 超小型ソーラー電力セイルによる深宇宙航行技術実証計画
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田 雅大, 杉原 アフマッド清志, 森 治, 津田 雄一
2. 発表標題 複数宇宙機に対する電波を用いた同時相対軌道決定手法の初期検討
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊 秋人, 酒井 良次, 堀 利行, 伊藤 裕明, 松下 将典, 杉原 アフマツド清志, 高尾 勇輝, 森 治, 佐藤 泰貴, 宮崎 康行, 奥泉 信克, 川崎 繁男, 坂本 啓, 白根 篤史, 岡田 健一
2. 発表標題 発電・アンテナ機能を有する軽量膜展開構造物の開発と運用準備状況
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 治, 佐伯 孝尚, 吉光 徹雄, 古賀 勝, 狩谷 和季, 田邊 宏太, 目黒 裕章, 佐藤 直樹, 中塚 潤一, 香河 英史, 道上 啓亮, 澤井秀次郎, 後藤 健太, 富永 晃司, 丸 祐介, 古川 克己, 長田 泰一, 曾根 理嗣, 宮崎 康行, 宮澤 優, 杉原 アフマツド清志, 渡邊 秋人, 樋口 健
2. 発表標題 月面活動の共通キー技術
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠本 哲也, 杉原 アフマツド 清志, 大平 元希, 森 治
2. 発表標題 柔軟膜構造物の軌道上における展開挙動の安全性評価
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉原 アフマツド清志, 堀内 晋一郎, 川崎 治, 森 治
2. 発表標題 月面運用に向けたマイクロ波無線電力伝送技術実証の活動状況
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉原 アフマッド清志, 藤田 雅大, 楠本 哲也, 和田 武尚, 川崎 航大, 森 治, 川崎 繁男
2. 発表標題 衛星間電波・光学相対航法センサの実証と将来像
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉原 アフマッド清志, 和田 武尚, 須田 保, 藤田 雅大, 川崎 繁男, 森 治
2. 発表標題 多機能膜構造体実証機HELIOS搭載干渉計センサの開発状況
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高尾 勇輝, 森 治, 渡邊 秋人, 武井 祥平, 江川 主民, 藤井 樹里, 楠本 哲也, 杉原 アフマッド清志, 大木 優介, 菊地 翔太
2. 発表標題 ソーラーセイルを用いた自律飛行型ターゲットマーカの研究開発
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松下 将典, 高尾 勇輝, 杉原 アフマッド清志, 他
2. 発表標題 発電・アンテナ機能を有する軽量膜展開構造物HELIOSと軽量薄膜太陽電池パドルの開発状況
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 津田 雄一, 中条 俊大, 佐伯 孝尚, 森 治, 丸 祐介, 鳶生 有理, 脇田 茂, 高尾 勇輝, 杉原 アフマツド清志, 松下 将典, 鳥居 航, 宮崎 康行, 超小型ソーラー電力セイルによる航行技術実証WG
2. 発表標題 STARMINE計画 深宇宙軌道間輸送機による超小型探査プラットフォームの実現
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐伯 孝尚, 津田 雄一, 森 治, 鳶生 有理, 丸 祐介, 武井 悠人, 澤田 弘崇, 中西 洋喜, 三樹 裕也, 菊地 翔太, 高尾 勇輝, 杉原 アフマツド清志, 山田 和彦, 船瀬 龍, 菊池 隼仁, 次世代小天体サンプルリターンWG
2. 発表標題 次世代小天体サンプルリターンミッションの工学検討状況
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋 哲大, 中条 俊大, 高尾 勇輝, 多々良 飛鳥, 渡邊 奎, 安田 萌恵, 小林 大輝, 木下 幹大, 荒井 湧介, 上野 晟太郎, 立川 璃子, 鳥袋 秀晃, 森 治, 宮崎 康行, 松下 将典, 杉原 アフマツド清志, 鳥居 航, 富木 淳史, 津田 雄一, 佐伯 孝尚, 松永 三郎
2. 発表標題 STARMINEミッションにおける超小型ソーラー電力セイルのシステム検討
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅原 佳城, 久保 勇貴, 中条 俊大, 佐藤 泰貴, 劔持 伸朗, 藤田 雅大, 楠本 哲也, 杉原 アフマツド清志, 森 治, 秋月 祐樹, 澤田 健一郎, 鳥阪 綾子, 杉浦 圭佑, 小林 紗也, 小林 寛之, 大槻 真嗣, 松浦 周二, 小谷 隆行, 津村 耕司, 松永 三郎
2. 発表標題 トランスフォーマー宇宙機の検討状況
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 森 治, 佐伯 孝尚, 津田 雄一, 鳶生 有理, 松下 将典, 杉原 アフマツド清志, 高尾 勇輝, 楠本 哲也, 藤田 雅大, 船瀬 龍, 尾崎 直哉, 宮崎 康行, 中条 俊大
2. 発表標題 遠方探査戦略とキー技術
3. 学会等名 第24回惑星圏研究会 (SPS2023)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A, K. Sugihara, T. Wada, T. Suda, S. Kawasaki, Y. Nada, M. Fujita, O. Mori
2. 発表標題 On-Orbit Demonstration of Microwave Aperture Synthesis on Deployable Membrane Structure: Status Report
3. 学会等名 73rd International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A, K. Sugihara, T. Wada, T. Suda, Y. Nada, M. Fujita, S. Kawasaki, O. Mori
2. 発表標題 A Single-Satellite Approach to Large Aperture Microwave Interferometric Radiometry using Flexible Membrane Structures
3. 学会等名 International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松下将典, 森治, 渡邊秋人, 酒井良次, 高尾勇輝, 杉原アフマツド清志, HELIOSプロジェクトチーム
2. 発表標題 大電力・軽量の太陽電池膜(世界最軽量級展開型太陽電池パドル)の開発状況と運用計画
3. 学会等名 超小型衛星利用シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	松下将典, 高尾勇輝, 杉原アフマッド清志, 森治, 楠本哲也, 大平元希, 杉浦圭佑, 藤田雅大, 池田宏太郎, 渡邊秋人, 堀利行, 伊藤裕明, 佐藤泰貴, 奥泉信克, 宮崎康行, 中村和行, 久原隆博, 畠山千尋, 藤田彩花, 山田修平, 山川真以子, 名田悠一郎, 竝木芳, 鈴木賢, 高崎健太郎, 保田瞬, 武田真司, 森谷元喜, 小池修平, 坂本啓, 他
2. 発表標題	膜展開構造体を応用した大面積アンテナ技術: HELIOSにおける技術実証
3. 学会等名	第22回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	杉原 アフマッド清志, 和田 武尚, 須田 保, 名田 悠一郎, 藤田 雅大, 川崎 繁男, 森 治
2. 発表標題	発電・アンテナ機能を有する軽量膜展開構造物HELIOSの開発と運用計画
3. 学会等名	第22回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	松下 将典, 高尾 勇輝, 杉原 アフマッド清志, 森 治, 佐藤 泰貴, 宮崎 康行, 奥泉 信克, 川崎 繁男, 渡邊 秋人, 伊藤 裕明, 堀 利行, 中村 和行, 畠山 千尋, 久原 隆博, 楠本 哲也, 藤田 雅大, 山田 修平, 名田 悠一郎, 大平 元希, 山川 真以子, 竝木 芳, 池田 宏太郎, 杉浦 圭佑, 藤田 彩花, 武田 真司, 坂本 啓, 白根 篤史, 岡田 健一
2. 発表標題	発電・アンテナ機能を有する軽量膜展開構造物HELIOSの技術詳細
3. 学会等名	第65回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Y. Nada, M. Fujita, Y. Takao, A.K. Sugihara and J. Kawaguchi
2. 発表標題	Novel communication methodology for radio interferometer system with free-to-join-and-leave spacecraft
3. 学会等名	72nd International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年	2021年

1 . 発表者名 T. Kusumoto, M. Matsushita, Y. Takao, A. K. Sugihara, O. Mori, Y. Sato, Y. Miyazaki, N. Okuizumi, S. Kawasaki, A. Watanabe, H. Ito, T. Hori, K. Nakamura, C. Hatakeyama, T. Kuhara, S. Yamada, M. Fujita, Y. Nada, G. Ohira, M. Yamakawa, K. Namiki, Y. Kimishima, K. Ikeda, K. Sugiura, H. Takahashi, A. Fujita, et al.
2 . 発表標題 Development of a Multifunctional Lightweight Membrane
3 . 学会等名 Small Satellite Conference 2021 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 O. Mori, M. Matsushita, A. K. Sugihara, Y. Takao, N. Okuizumi, Y. Miyazaki, Y. Satou, H. Furuya, T. Chujo, K. Watanabe, S. Matunaga, R. Funase and A. Watanabe
2 . 発表標題 HELLIOS and 6U CubeSat Missions using Generalized Solar Power Sails
3 . 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2021) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. K. Sugihara, T. Wada, T. Suda, Y. Nada, M. Fujita, S. Kawasaki and O. Mori
2 . 発表標題 Microwave Interferometric Radiometry with Distributed Antenna Elements on Flexible Membrane Structures
3 . 学会等名 6th Federated and Fractionated Satellite Systems Workshop ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. K. Sugihara, T. Wada, T. Suda, Y. Nada, M. Fujita, S. Kawasaki and O. Mori
2 . 発表標題 Microwave Interferometric Radiometry with Distributed Antenna Elements on Flexible Membrane Structures
3 . 学会等名 6th Federated and Fractionated Satellite Systems Workshop ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 A. K. Sugihara, T. Wada, T. Suda, Y. Nada, M. Fujita, S. Kawasaki and O. Mori
2. 発表標題 Microwave Interferometric Radiometry with Distributed Antenna Elements on Flexible Membrane Structures
3. 学会等名 6th Federated and Fractionated Satellite Systems Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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