

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01125

研究課題名（和文）次世代CMB実験の為に広帯域・極低温回転半波長板の開発

研究課題名（英文）Development of rotating cold half wave plate for the next generation CMB experiment

研究代表者

片山 伸彦（Katayama, Nobuhiko）

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

研究者番号：50290854

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,000,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙初期の急激な加速膨張を预言するインフレーション仮説は、宇宙開闢後10のマイナス38乗秒、またエネルギースケールで10の16乗ギガエレクトロンボルトという極限の物理現象にもかかわらず、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の偏光観測により実験的な検証が可能である。日本では将来衛星計画LiteBIRD、またチリの地上望遠鏡POLARBEARやSimons Observatoryの計画が進められている。本研究では、偏光変調器の開発を行なった。小型試作器による検証から始めて、衛星計画に適用できる実機サイズに近い、実証器を開発・検証し、インフレーション仮説の検証の実現性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では実証機を使って、（1）大型化に伴う分割型リング磁石の磁場非一様性とそれに伴う発熱、（2）慣性モーメント増加に対して上がる要求トルクとそれに伴う駆動系の発熱、（3）駆動系及び波長板特性の非一様性が与える偏光特性に対する影響を調べ、（4）重量増加による保持機構の機械構造設計を行なった。更に実機で使用可能な大型のサファイア半波長板の開発を企業と共同して行なった。本研究の成果などによって、LiteBIRD衛星計画がJAXAの中型科学衛星第二号機として認められた。

研究成果の概要（英文）：The cosmic inflation hypothesis that predicts exponentially accelerated expansion of the early universe can be verified using the cosmic microwave background radiation despite the extreme physical phenomenon of 10 to the minus 38th seconds after the beginning of the universe and 10 to the 16th giga electron volts in the energy scale. Experimental verification is possible by (CMB) polarization observation.

In Japan, future satellite mission LiteBIRD, as well as Chilean ground-based telescopes POLARBEAR and Simons Observatory are underway.

In this research, we have developed a polarization modulator. Starting with verification using a small prototype, we developed and verified a demonstrator that is close to the actual size applicable to satellite planning, and demonstrated the feasibility of verifying the inflation hypothesis.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：宇宙背景輻射

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

観測的宇宙論と呼ばれる物理分野は、現代の技術力を駆使することで、「ビッグバンから宇宙は始まった」とする標準宇宙論を確立した。これにより、我々が住む宇宙は、たった6つのパラメータで記述できることが実験的に示され非常に大きな成功を収めている。観測精度が上がる一方で、宇宙が何故一様なのか、宇宙が何故平坦なのか、また我々が現在住む宇宙の構造の起源はどこから来たのかなど、標準宇宙論では説明できない観測事実が多く報告されている。こうした標準理論の枠を越える観測的事実を一挙に説明するため、佐藤勝彦氏、また Alan Guth 氏などにより GUT スケールに対応する初期宇宙にて指数関数的な空間膨張があったとするインフレーション仮説が提唱されている。インフレーション仮説はビッグバンの残り火である宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background=CMB) の B モード偏光を観測することにより検証が可能であり、世界的にその発見へ熾烈な競争が行われている。

2. 研究の目的

インフレーション探索を目的とした CMB 偏光観測の最大の問題が検出器の $1/f$ ノイズと系統誤差である。B-mode の検出に必要な感度は、超伝導遷移端センサー (Transition Edge Sensor = TES) ボロメータを使用して単一の検出器の感度を最大化すると共に、多素子化した焦点面で長期間観測することで初めて実現する。この TES ボロメータは $3 \times 10^{-16} \text{W}$ 程度の、3 ケルビン (以下 K) の CMB からくる一定の放射の上で揺らぐ放射の変化 ($10^{-9} \sim 10^{-16} \text{W}$) を熱量の変化として観測する。しかし、検出系に時間的な揺らぎが発生すると、シグナルによる揺らぎと検出器の揺らぎが縮退してしまう。

この困難を解決する方法として観測機器に偏光変調器を導入する方法がある。入射直線偏波に対して半波長板を周波数 $!h$ で回転させることによって、変調された偏光シグナルが周波数 $4!h$ に現れる。結果として偏光成分(Q;U) に対してのみ変調をかけることとなり、変調されたシグナルはロックイン法と同じ原理で $4!h$ の周波数で復調できる。さらに、変調周波数を検出器の $1/f$ ノイズよりも高い周波数に設定することで、検出器由来の揺らぎとシグナル揺らぎの縮退も解くことができる。故に、連続的に半波長板を回転させることで実験機器への要求を緩和することができる。

本研究では、これまでの小型試作器で開発した成果をもとに、将来 CMB 偏光観測衛星に搭載するためのエンジニアリングモデルの作成に向けて、半波長板を 10K 以下に冷却しながら連続回転する偏光変調器の実機サイズの実証器を開発、性能評価を行う。

3. 研究の方法

偏光変調器は半波長板を低温下で連続回転させることで実現する。これに伴う技術的器課題は以下の通りである。

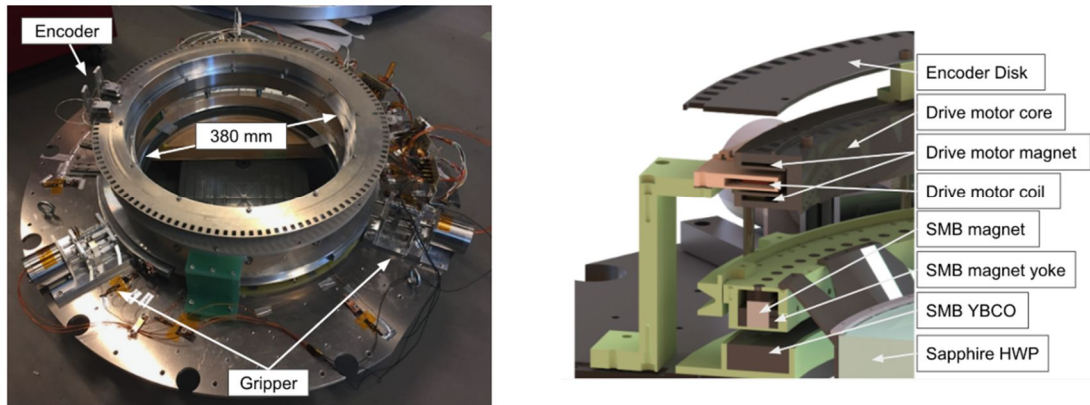
- 半波長板を 10K 以下に保ちつつ実現する連続回転機構 (駆動系、軸受) の開発
- 半波長板の放射率を低減する広帯域反射防止膜の開発
- 上記を統合した変調器の性能評価 (光学、熱、回転特性) と校正方法の確立

半波長板は透過型光学素子であるために、検出器は半波長板を直視する。この半波長板の温度が 10K 以上になると、半波長板を透過する 3K のシグナルよりも半波長板からの放射の寄与が支配的になる。変調器自身の熱放射を押さえるために低温 (4K) で実現する連続回転半波長板、また CMB 観測帯域 (50-350GHz) での広帯域反射防止膜は、まだ世界で誰も同時に実現したことがない。変調をかける光学素子はミリ波の広い観測帯域にて高い透過率及び変調効率が求められる。サファイアを用いて広帯域半波長板を実機サイズにて開発する。この半波長板は液体ヘリウム温度下で連続回転する必要があり、高温超伝導体を用いた浮上式磁気軸受を採用する。回転機構に半波長板を搭載した実証器にて低温下での偏光特性、熱的成立性を実験にて検証し、実現性評価を行う。

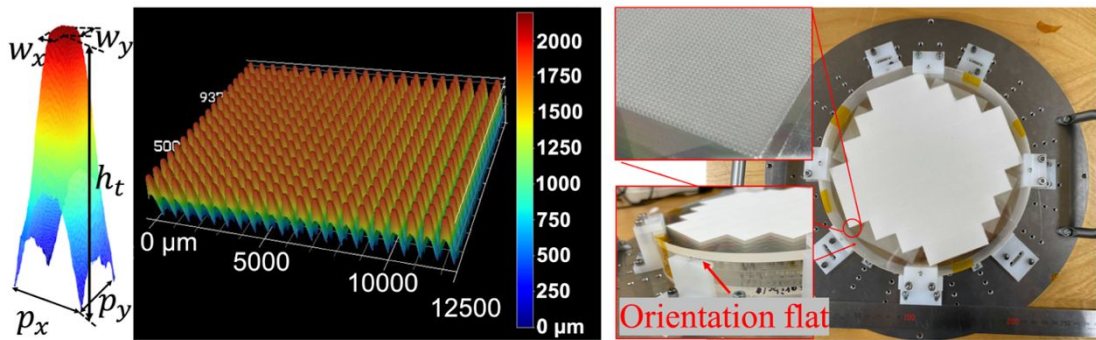
4. 研究成果

本研究によって 10 編以上の科学成果論文を発表することができた。特に広帯域反射防止膜の成形と広帯域において高透過率・変調効率を持つ多層半波長板の設計と製作に関して、世界をリードする研究となった。広帯域の反射防止膜を直径 302mm のアルミナ板に製作して、MUSTANG2 実験用のローパスフィルタとして使用した。また、回転機構の開発においても、低発熱化に関して著しい進捗があり、宇宙環境で使用出来る偏光変調機の目処がたった。大口径のサファイア半波長板の製作に関して、京セラ株式会社との共同研究により、直径 480mm のサファイア板を製作す

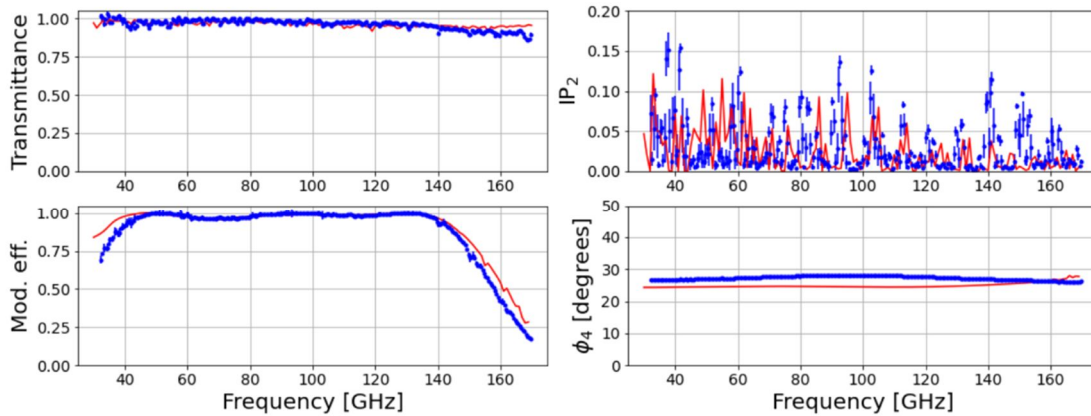
ることが出来るようになった。また、サファイア多層板は、(1) 低温で使用する、(2) ロケット打ち上げ時の振動に耐える、為に接着法が未解決であったが、重力波検出実験 KAGRA の研究者の提案により水ガラスを使って接着する方法を開発した。平坦度を高く保つ必要があり、京セラとの共同研究により、直径 330mm のサファイアに関しては平坦度が数 μ 以下に研磨することが出来、接着方法が確立された。多数の試験片を使用して水ガラスによる接着の引張及び切断応力を測定して多層サファイア板が打ち上げ時の振動に耐える事を確認して発表した。



本研究で製作した直径 330mm サファイア半波長板を使用した実証機用の回転機構と保持機構



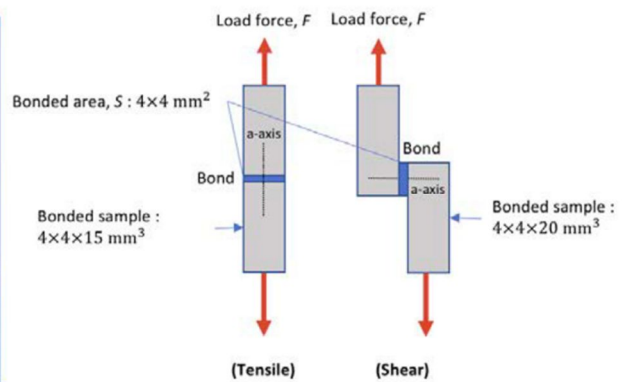
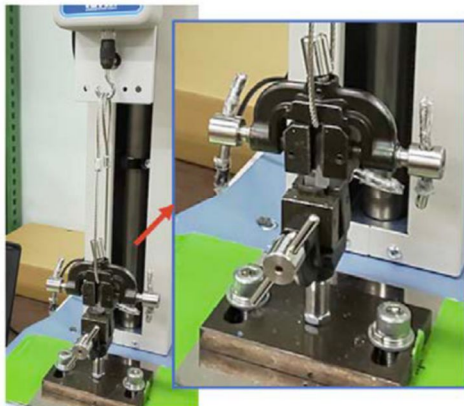
直径 200mm のサファイアにレーザー加工された広帯域反射防止膜。左はデジタル実体顕微鏡を使用して測定した結果。



左上は透過率、左下は変調効率、右上は、右下は位相



平坦に研磨された直径 100mm のサファイア半波長板を積層して接着した



サファイア試験片を使って応力の測定をしている所

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Toda Takayuki, Sakurai Yuki, Ishino Hirokazu, Matsumura Tomotake, Komatsu Kunimoto, Katayama Nobuhiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Mechanical strength and millimeter-wave transmittance spectrum of stacked sapphire plates bonded by sodium silicate solution	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 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JATIS.8.1.014008	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 Takaku Ryota, Wen Qi, Cray Scott, Devlin Mark, Dicker Simon, Hanany Shaul, Hasebe Takashi, Iida Teruhito, Katayama Nobuhiko, Konishi Kuniaki, Kuwata-Gonokami Makoto, Matsumura Tomotake, Mio Norikatsu, Sakurai Haruyuki, Sakurai Yuki, Yamada Ryohei, Yumoto Junji	4. 巻 29
2. 論文標題 Large diameter millimeter-wave low-pass filter made of alumina with laser ablated anti-reflection coating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 41745 ~ 41745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.444848	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 Komatsu Kunimoto, Ishino Hirokazu, Katayama Nobuhiko, Matsumura Tomotake, Sakurai Yuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Design of a frequency-independent optic axis Pancharatnam-based achromatic half-wave plate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems	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) 10.1117/1.JATIS.7.3.034005	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 Sekimoto Yutaro, Katayama Nobuhiko, Komatsu Kunimoto, Matsumura Tomotake, Sakurai Yuki, Terao Yutaka, et. al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Concept design of low frequency telescope for CMB B-mode polarization satellite LiteBIRD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. SPIE 11453, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy X	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) 10.1117/12.2561841	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 Takaku R., Hanany S., Imada H., Ishino H., Katayama N., Komatsu K., Konishi K., Kuwata-Gonokami M., Matsumura T., Mitsuda K., Sakurai H., Sakurai Y., Wen Q., Yamasaki N. Y., Young K., Yumoto J.	4. 巻 128
2. 論文標題 Broadband, millimeter-wave anti-reflective structures on sapphire ablated with femto-second laser	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 225302 ~ 225302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0022765	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 Sugai H., Katayama N., Matsumura T., et. al.	4. 巻 199
2. 論文標題 Updated Design of the CMB Polarization Experiment Satellite LiteBIRD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 1107 ~ 1117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02329-w	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 Sakurai Yuki, Matsumura Tomotake, Katayama Nobuhiko, Iida Teruhito, Komatsu Kunimoto, Sugai Hajime, Ohsaki Hiroyuki, Terao Yutaka, Hirota Yukimasa, Enokida Hisashi	4. 巻 1293
2. 論文標題 Development of a contact-less cryogenic rotation mechanism employed for a polarization modulator unit in cosmic microwave background polarization experiments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012083 ~ 012083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1293/1/012083	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 Sakurai Yuki, Matsumura Tomotake, Katayama Nobuhiko, Iida Teruhito, Komatsu Kunimoto, Sugai Hajime, Ohsaki Hiroyuki, Terao Yutaka, Hirota Yukimasa, Enokida Hisashi	4. 巻 1293
2. 論文標題 Development of a contact-less cryogenic rotation mechanism employed for a polarization modulator unit in cosmic microwave background polarization experiments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012083 ~ 012083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1293/1/012083	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 Komatsu Kunimoto, Matsumura Tomotake, Imada Hiroaki, Ishino Hirokazu, Katayama Nobuhiko, Sakurai Yuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Demonstration of the broadband half-wave plate using the nine-layer sapphire for the cosmic microwave background polarization experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JATIS.5.4.044008	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 Hazumi M., Kaneko D., Katayama N., Matsumura T., Sugai H. et. al.	4. 巻 194
2. 論文標題 LiteBIRD: A Satellite for the Studies of B-Mode Polarization and Inflation from Cosmic Background Radiation Detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 443~452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02150-5	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 Sakurai Yuki, Matsumura Tomotake, Iida Teruhito, Kanai Hiroaki, Katayama Nobuhiko, Imada Hiroaki, Ohsaki Hiroyuki, Terao Yutaka, Shimomura Toshiki, Sugai Hajime, Kataza Hirokazu, Yamamoto Ryo, Utsunomiya Shin	4. 巻 28
2. 論文標題 Design and Thermal Characteristics of a 400 mm Diameter Levitating Rotor in a Superconducting Magnetic Bearing Operating Below at 10 K for a CMB Polarization Experiment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2797302	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 Suzuki A., Kaneko D., Katayama N., Matsumura T., Sugai H. et. al.	4. 巻 193
2. 論文標題 The LiteBIRD Satellite Mission: Sub-Kelvin Instrument	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 1048~1056
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-018-1947-7	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 Iida T, Sakurai Y, Matsumura T, Sugai H, Imada H, Kataza H, Ohsaki H, Hazumi M, Katayama N, Yamamoto R, Utsunomiya S, Terao Y	4. 巻 278
2. 論文標題 Thermal analysis of a prototype cryogenic polarization modulator for use in a space-borne CMB polarization experiment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 012011 ~ 012011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/278/1/012011	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 Kashima Shingo, Hazumi Masashi, Imada Hiroaki, Katayama Nobuhiko, Matsumura Tomotake, Sekimoto Yutaro, Sugai Hajime	4. 巻 57
2. 論文標題 Wide field-of-view crossed Dragone optical system using anamorphic aspherical surfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 4171 ~ 4171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.57.004171	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 Matsumura Tomotake, Sakurai Yuki, Katayama Nobuhiko, Sugai Hajime, Imada Hiroaki, Ishino Hirokazu, Hazumi Masashi, Takaku Ryota, Komatsu Kunimoto	4. 巻 10708
2. 論文標題 Prototype design and evaluation of the nine-layer achromatic half-wave plate for the LiteBIRD low frequency telescope	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. SPIE 10708, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy IX	6. 最初と最後の頁 1070847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2312431	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 Y. Sakurai, T. Matsumura, N. Katayama, H. Kanai, T. Iida	4. 巻 28
2. 論文標題 Development of a cryogenic remote sensing thermometer for CMB polarization experiment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 29th IEEE International Symposium on Space THz Technology ISSTT2018	6. 最初と最後の頁 169~174
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 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 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Yuki Sakurai
2. 発表標題 Development of space compatible polarization modulator
3. 学会等名 B-mode from space 2019, Munich, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桜井雄基
2. 発表標題 偏光変調器に搭載する超電導磁気軸受およびその周辺低温技術
3. 学会等名 第2回超電導応用研究会シンポジウム/第3回冷凍部会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸田貴之
2. 発表標題 LiteBIRD衛星で利用する多層偏光変調板の接着とその振動耐性の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋@山形大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桜井雄基
2. 発表標題 LiteBIRD衛星計画低周波望遠鏡搭載に向けた偏光変調器の開発概要
3. 学会等名 日本物理学会 2019年春@九州大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高久諒太
2. 発表標題 超短パルスレーザーを用いたLiteBIRD波長板用広帯域モスアイ反射防止構造の小径試料作製と光学的評価
3. 学会等名 日本物理学会 2019年春@九州大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉山真也
2. 発表標題 LiteBIRDに向けた連続回転半波長板の角度構築を行うアルゴリズム開発 II
3. 学会等名 日本物理学会 2019年春@九州大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松国幹
2. 発表標題 LiteBIRD偏光変調器の小型広帯域多層半波長板の低温ミリ波偏光性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2019年春@九州大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳澤雅人
2. 発表標題 アルミナに対するモスアイ加工を用いたミリ波帯域における反射防止構造の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2019年春@九州大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Imada (LAL/CNRS, France)
2. 発表標題 Beam pattern simulation including a wave plate
3. 学会等名 B-mode from space 2019, Munich, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunimoto Komatsu (Okayama University, Japan)
2. 発表標題 Demonstration of mm-wave performance of small prototype LiteBIRD LFT AHWP at around 20K
3. 学会等名 B-mode from space 2019, Munich, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiki Nomura (Saitama University, Japan)
2. 発表標題 Characterization of the energy loss of a ferromagnetic material for LiteBIRD polarization modulator
3. 学会等名 B-mode from space 2019, Munich, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinya Sugiyama (Saitama University, Japan)
2. 発表標題 Development of the prototype onboard FPGA to reconstruct the position angle of the LiteBIRD PMU HWP using optical encoder
3. 学会等名 B-mode from space 2019, Munich, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Takaku (University of Tokyo, Japan)
2. 発表標題 The development of SWS as a broadband AR in a large area using laser ablation for LFT
3. 学会等名 B-mode from space 2019, Munich, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片山伸彦, 松村知岳, 菅井肇, 大崎博之, 寺尾悠 他
2. 発表標題 宇宙マイクロ波背景放射Bモード偏光観測衛星LiteBIRD の偏光変調器の開発
3. 学会等名 天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片山伸彦, 松村知岳, 菅井肇, 大崎博之, 寺尾悠他
2. 発表標題 宇宙マイクロ波背景放射Bモード偏光観測衛星LiteBIRDの偏光変調器の開発概要
3. 学会等名 物理学会2018年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小松国幹, 片山伸彦, 松村知岳, 菅井肇, 大崎博之, 寺尾悠 他
2. 発表標題 LiteBIRDの偏光変調器に用いる広帯域多層半波長板の開発 (2)
3. 学会等名 物理学会2018年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobu Katayama
2. 発表標題 LiteBIRD
3. 学会等名 APRIM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Hirota, Y. Terao, H. Ohsaki, T. Matsumura, Y. Sakurai, H. Sugai and N. Katayama
2. 発表標題 Evaluation of Loss Characteristics of Superconducting Magnetic Bearings for LiteBIRD Satellite by Three-dimensional Finite Element Method Analysis
3. 学会等名 The 30th International Symposium on Superconductivity (ISS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Ohsaki, Y. Terao, Y. Hirota, Y. Sakurai, T. Matsumura, H. Sugai, S. Utsunomiya, N. Katayama, H. Kataza and H. Imada
2. 発表標題 Rotational Loss Analysis of Superconducting Magnetic Bearings for a Polarization Modulator
3. 学会等名 2018 Applied Superconductivity Conference (ASC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣田幸真, 大崎博之, 寺尾悠, 松村友岳, 桜井雄基, 片山伸彦, 菅井肇
2. 発表標題 三次元有限要素法解析による LiteBIRD 衛星に搭載する超電導磁気軸受の損失特性評価
3. 学会等名 第27回 MAGDAコンファレンス in Katsushika (MAGDA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Shimomura, Y. Terao, H. Ohsaki, Y. Sakurai, T. Matsumura, H. Sugai, S. Utsunomiya, H. Kataza, R. Yamamoto, H. Imada and H. Kanai
2. 発表標題 Numerical Analysis of Spring Characteristics and Rotational Loss of Superconducting Magnetic Bearings for a Polarization Modulator
3. 学会等名 The 10th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials (PASREG 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下村俊貴, 寺地祐介, 寺尾悠, 大崎博之, 桜井雄基, 松村知岳, 片山伸彦, 菅井肇, 今田大皓, 山本亮, 宇都宮真, 片ザ宏一
2. 発表標題 偏光変調器に用いる超電導磁気軸受の電磁的特性解析
3. 学会等名 第94回 2017年度春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下村俊貴, 寺地祐介, 寺尾悠, 大崎博之, 桜井雄基, 松村知岳, 片山伸彦, 菅井肇, 今田大皓, 山本亮, 宇都宮真, 片ザ宏一
2. 発表標題 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験のための偏光変調器用超電導軸受の発熱特性
3. 学会等名 第29回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD29)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 桜井雄基, 松村知岳, 片山伸彦, 小松国幹, 杉山真也, 高久諒太
2. 発表標題 LiteBIRD科学衛星のための偏光変調器の開発状況
3. 学会等名 第18回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Sakurai, Tomotake Matsumura, Nobuhiko Katayama, Hiroaki Kanai, Teruhito Iida
2. 発表標題 Development of a cryogenic remote sensing thermometer for CMB polarization experiments
3. 学会等名 29th IEEE International Symposium on Space THz Technology ISSTT2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Sakurai et. al.
2. 発表標題 Design and development of a polarization modulator unit based on a continuous rotating half-wave plate for LiteBIRD
3. 学会等名 SPIE2018 Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018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	寺尾 悠 (Terao Yutaka) (00777823)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教 (12601)	
研究分担者	大崎 博之 (Ohsaki Hiroyuki) (10203754)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授 (12601)	
研究分担者	菅井 肇 (Sugai Hajime) (50291422)	一般財団法人日本気象協会・ 課員 (82692)	

6. 研究組織（つづき）

	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	金子 大輔 (Kaneko Daisuke) (60790342)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・研究員 (82118)	
研究分担者	松村 知岳 (Matsumura Tomotake) (70625003)	東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・准教授 (12601)	

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