

令和 5 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01971

研究課題名（和文）中層大気変動精密観測のための多視野・多周波同時受信ミリ波分光ラジオメータの開発

研究課題名（英文）Development of millimeter-wave band multi-beam/multi-band spectroradiometer for precise observation of the middle atmosphere

研究代表者

中島 拓 (Nakajima, Taku)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・助教

研究者番号：90570359

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、中層大気変動現象の精密観測の実現に向けた次世代型ミリ波分光ラジオメータの基礎開発研究を行った。具体的には、空間方向に広視野・周波数方向に広帯域をカバーし、従来と比べて高時間分解能の受信機システムを目指し、平面集積型超伝導受信機回路、広帯域超伝導周波数変換器、局部発振器用可変帯域通過フィルタなどのハードウェアの開発と、局部発振器変調法を用いた新たな観測手法というソフトウェアの開発を実施した。さらに、これらの要素技術開発の成果を基にした新たなラジオメータの試験機を実験室に立ち上げた。以上の成果により、ミリ波分光法を用いた大気環境計測の高精度化に資する様々な技術的課題の解決に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中層大気に含まれる微量分子成分は、地球大気の温度構造を決める主要因であり、その力学過程と化学反応による変動は、グローバルな気候から局所的な気象に対して、大きな影響を及ぼしている。微量成分の挙動を観測的に調べ、さらにこれを基に将来の大気環境を予測することは、環境問題の解決にとって重要な情報を提供する。種々の大気変動メカニズムの基本原則の観測的な理解のためには、新たな観測装置により未踏の時間・空間スケールの観測領域の開拓が必須である。本研究は、従来にはない広い空間スケール、周波数スケールでのデータ取得を可能にする超低雑音なミリ波受信機システムを開発し、次世代の観測研究への道筋を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：We have developed the multi-beam, multi-band, and low noise receiver system to realize a next-generation millimeter-wave spectroradiometer for observing physical/chemical changes in the middle atmosphere. In this work, MMIC superconducting planar type receiver circuit, wide-band superconducting heterodyne mixer, frequency tunable band-pass filter, and frequency modulating local oscillator as a new observation method were developed. Moreover, a test bench receiver system for applying the above newly developed hardware devices and observation software was constructed in our laboratory. We have successfully solved various engineering issues to develop the next-generation millimeter-wave spectroradiometer for a high-sensitivity monitoring system of the atmospheric environment.

研究分野：電波天文学

キーワード：大気微量分子 大気ラジオメータ ミリ波・サブミリ波 超伝導ミキサ 帯域通過フィルタ 超伝導集積回路

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

成層圏から下部熱圏に至る中層大気に含まれる微量分子成分(二酸化炭素:CO₂、水蒸気:H₂O、オゾン:O₃、メタン:CH₄など)は、混合比10⁻⁶以下と極微量でありながら、地球大気の特徴的な温度構造を決める主要因であり、さらにその力学過程と化学反応による変動は、グローバルな気候から局所的な気象に対して、大きな影響を及ぼしていることが知られている。従って、微量成分の挙動を観測的に調べることは、地球大気の変動メカニズムを理解することであり、さらにこれを基に将来の大気環境を予測することは、環境問題の解決にとって重要な情報を供することにも繋がる。

しかし、大気微量成分の精確かつ連続的なモニタリング観測は、容易ではない。例えばO₃のモニタリングを見ると、“NDACC (The Network for the Detection of Atmospheric Composition Change)”による国際的な観測網があり、現在70カ所ほどの拠点が登録されているが、ここではO₃による吸収や散乱スペクトルを観測する「フーリエ分光計」や「ライダー」を用いる観測が一般的である。これらは、背景光源や散乱光源として太陽光や強力なレーザーが必要となるため、それぞれ昼間と夜間に観測が限られる。さらに、大気循環や地磁気環境との関係で重要な極域においては、白夜と極夜によっても観測が制限されてしまう状況である。近年のO₃観測では人工衛星による観測が重要となっているが、多くは太陽同期の円軌道を飛行しているため、時間分解能は半日~1日単位、空間分解能は数100 kmスケール程度であり、全球的な分布を俯瞰するには適しているが、速いタイムスケールの局所的な変動現象を調べる研究は不可能である。

しかし、実際に中層大気中では、より下層・高層の大気とも相互に結びつく様々な力学的要因と化学的要因によって、種々の時間スケールで変動が引き起こされている。従って、「このような大気変動現象メカニズムの基本原理は、本当はどうなっているのか?」という問いに対する観測的な理解は、新たな観測装置を実現することにより、未踏の時間・空間スケールの観測領域を開拓してこそ初めて明らかに出来ると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、大気観測における「未踏の時間・空間スケールの観測領域の開拓」を最終目標として掲げる。そのために、従来にはない広い空間スケール、周波数スケールでのデータ取得を可能にする超低雑音な大気観測用ミリ波受信機システムを開発し、次世代の観測研究への道筋を得ることを目標とし、具体的には下記の3つの技術的課題「①複数のビームを空に向けた(多方向・高空間分解能)」、「②複数の分子スペクトルを同時に観測する(広帯域・多周波同時受信)」、「③微弱な分子スペクトルを高い信号対雑音比(S/N比)で検出する(高時間分解能)」について、実験室レベルでの基礎開発研究に取り組む。

3. 研究の方法

本研究計画では、次世代ミリ波分光ラジオメータを用いた中層大気微量分子の観測計画(図1)のうち、前半部分

- (Phase-A)に位置付けた内容を実施する。具体的には、
- 1) 主に名古屋大学の実験室にて、新たなミリ波受信機に関する要素技術の開発
 - 2) 上記の要素技術を応用した新たなラジオメータの試作
 - 3) 大学構内で実際の大気のO₃スペクトルの試験観測を実施し、観測アイデア及び技術の立証

4. 研究成果

まず、実験室での要素技術開発では、空間方向に広視野・周波数方向に広帯域をカバーし、従来と比べて高時間分解能の受信機システムを目指し、平面集積型超伝導受信機回路、広帯域超伝導周波数変換器、局部発振器用可変帯域通過フィルタなどのハードウェアの開発と、局部発振器変調法を用いた新たな観測手法というソフトウェアの開発を実施した。

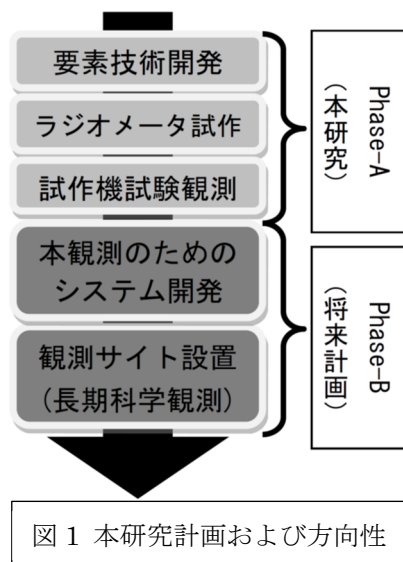


図1 本研究計画および方向性

(1) 平面集積型超伝導受信機回路の開発

1台のラジオメータで多方向の同時観測(広視野化)を実現するには、複数の視野(ビーム)を有するマルチビーム受信機が必要となる。従って、受信機部分の小型化が必須となるため、我々は導波管立体回路を用いるこれまでの受信機フロントエンド部をコプレナーウェーブガイド(CPW)による平面回路に置き換えることを目指し、超伝導受信機の二次元集積回路(MMIC)化の研究で既に実績のある国立天文台と共同研究を実施した。

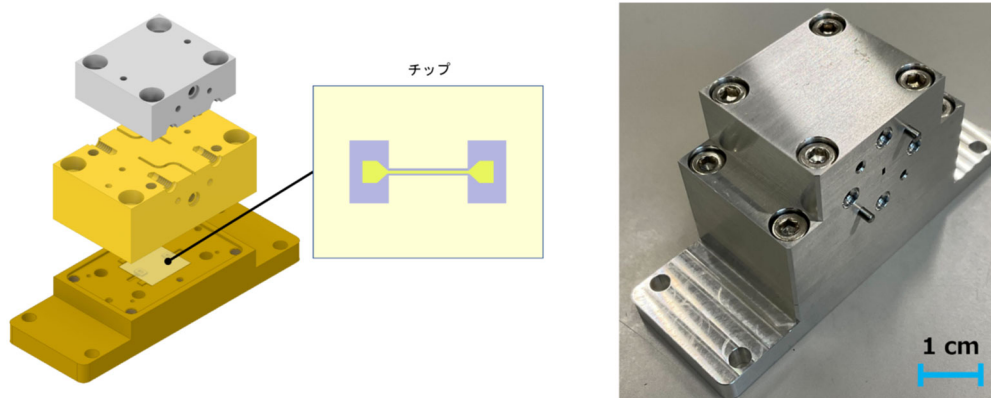


図 2 (左) 2 ポートテストブロックの 3D CAD 図面 (右) 実際にアルミ合金で製作されたテストブロックの外観

超伝導平面回路デバイスの精密な評価が出来るように、2 ポート回路の伝送特性を極低温下で評価できるテストブロックの設計を行った (図 2)。特に、ブロック内で使用される H ベンド導波管と、導波管-CPW 変換器 (プローブアンテナ) を新たに設計開発した結果、このテストブロックを用いて評価できる周波数帯は、それまで国立天文台で試作された MMIC 受信機の周波数である 125-163 GHz (帯域幅 38 GHz) に対し、およそ 2 倍の帯域 125-211 GHz (同 86 GHz) をカバーすることに成功した。また、実際に冷凍機を用いてこのブロックを 4 K まで冷却し、まずは単純な直線の CPW 線路のみではあるが、極低温下で 2 ポート間の伝送特性 (S パラメータ) を評価できることを示した (増倉 2023; Masukura et al. 2023)。

(2) 広帯域超伝導周波数変換器の開発

受信機の自己雑音を低減させるとともに、従来よりも高いダイナミックレンジを持つ直列接合型のミリ波帯超伝導ミキサを国立天文台と共同で開発した。180-250 GHz に感度を持つ広帯域性と、300 K の黒体放射強度入力に対しても十分な線形性を実現するため、超伝導トンネル接合を複数個直列に接続することで飽和しにくい構造とし、その特性インピーダンスが電波入力部と広い帯域に渡って整合するように、チューニング回路を設計した。

試作した素子の性能を実験室で評価した結果、局部発振周波数 200-240 GHz で雑音温度 50 K 以下、170-255 GHz で 75 K 以下という良好な雑音性能が確認された (図 3)。これは従来の同帯域の素子に比べて、2 倍以上の広帯域化に成功したことを意味する (溝口 2021; 中島他 2021)。

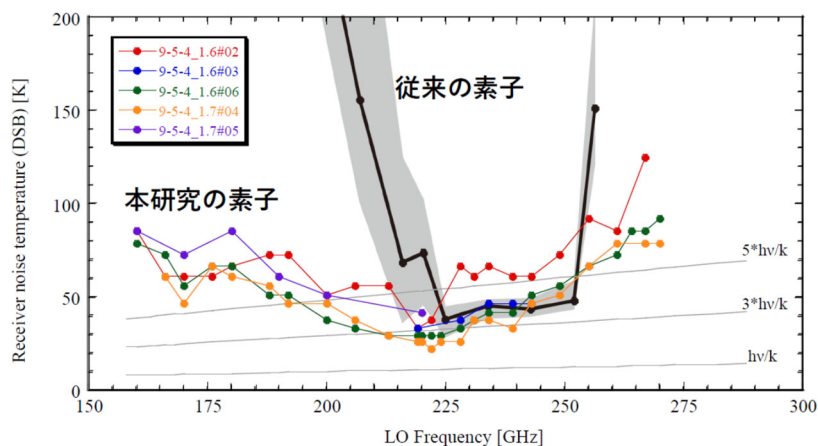


図 3 局部発振器 (LO) 周波数 150-275 GHz に対する受信機雑音温度 (DSB モード)。黒実線は従来の同帯域の素子性能、カラーが本研究で開発した新たな素子の性能を示す。

(3) 局部発振器用可変帯域通過フィルタの開発

受信機を持つ雑音を低減させて感度を向上させるために、ヘテロダイン検波に必須となる局部発振器を持つ雑音成分の低減に関する研究を実施した。200 GHz のミリ波帯において、周波数逡倍後の局部発振信号に対して狭帯域のバンドパスフィルタ (BPF) を使用することで、雑音の低減が実現できることを示した (入山 2020; 堀 2023)。

このようなミリ波帯 BPF としては、1/2 波長線路結合型の導波管回路を用いるのが一般的であるが、この BPF は特定の周波数に特化した空洞共振器を使用するため、フィルタの通過帯域は特

定の周波数に固定されてしまう。これは、様々な分子スペクトルを科学的な目的に応じて切り替えて観測する（すなわち LO 周波数を可変とする）ような観測装置には適さない。そこで本研究では、周波数と帯域幅がいずれも可変となる非常に汎用性の高い導波管型 BPF を新たに考案し、試作フィルタでその動作実証を行った（中島他 2023）。この汎用的な新たなフィルタは、様々な分野への応用も期待される（特許出願中）。

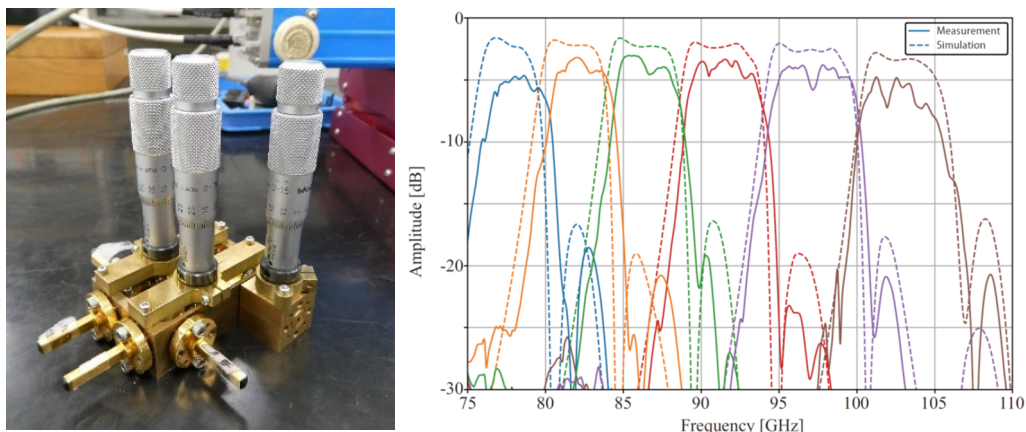


図 4 (左) ミリ波帯可変 BPF の外観 (右) 可変 BPF の 75-110 GHz に対する通過特性 (点線：電磁界解析、実線：VNA による実測)

(4) 局部発振器変調法を用いた新たな観測手法の開発

更に本研究では、従来あまり検討されてこなかったミリ波大気分子観測手法の改善に取り組んだ。現在の装置では、仰角スイッチングあるいは周波数スイッチングという手法で下層大気の影響を取り除いているが、電波望遠鏡を用いた遠方の天体観測の際に大気放射の影響を取り除く手法として近年新たに提案されている FMLO (局部発振器変調法) を大気観測に応用することを目指した。これは従来の観測手法に比べて、観測の効率を大幅に向上させることができるために、結果的に大気モニタリングの時間分解能の向上に寄与することが期待される。

FMLO を O_3 分子のような線幅の非常に広い輝線にも適用可能かをモデルスペクトルにより調べ、適切な周波数変調パラメータを選ぶことで観測が出来る感触を得ており（彦坂他 2023）、今後は実際に大気分子スペクトルを受信して従来法と比較することで、その有用性を実証したい。

(5) 試験機の開発と観測実証

最終年度には、上述の要素技術開発の成果を基にした新たなラジオメータを試作し、名古屋大学構内の実験室に立ち上げた（図 5；谷川 2023）。

これを用いて、実際の大气 O_3 スペクトルの観測を試みたが、実験の途中で冷凍機の圧縮機よりヘリウムガスがリークしてしまうトラブルがあり、世界的に入手が困難となっている高純度のヘリウムガスが研究期間内に購入できなかったために、残念ながら、観測の実施には到達できなかった。これは、本研究課題終了後も今後の課題として継続していきたい。

以上の様に、本研究ではミリ波分光法を用いた大気環境計測の高精度化に資する様々な技術的課題の解決に取り組み、次世代の観測研究への重要な道筋を得ることができた。

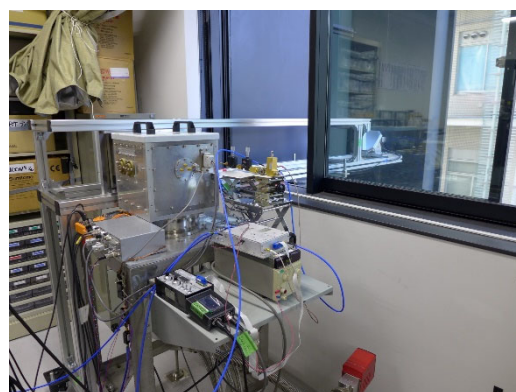


図 5 実験室に整備された試験観測用ミリ波ラジオメータ

<引用文献>

入山 奨基, 「ミリ波分光観測装置の高感度化に向けた局部発振信号由来の受信機雑音の低減」, 名古屋大学・修士論文 (2020)

谷川 貫太, 「100 GHz 帯大気オゾン観測テストベンチの光学系設計」, 名古屋大学・卒業論文 (2023)

中島 拓, 溝口 玄真, 山口 倫史, 加藤 智隼, 藤森 隆彰, 藤井 由美, 水野 亮, 江崎 翔平, 宮地 晃平, 藤井 泰範, 小嶋 崇文, Shan Wenlei, 鶴澤 佳徳, 野口 卓, 「200 GHz 帯直列接合型 SIS 素子の開発: 伝送線路と雑音温度特性の関係性」, 日本天文学会 2021 年秋季年会, Sep. 13-

15, 2021, オンライン

中島 拓, 堀 裕一, 小林 和宏, 立原 研悟, 「導波管型ミリ波帯可変帯域通過フィルタの開発」, 2023年電子情報通信学会総合大会, Mar. 7-10, 2023, 芝浦工業大学

彦坂 拓海, 中島 拓, 谷口 暁星, 萩本 将都, 長濱 智生, 原田 健一, 藤井 慎人, 下山 幸一郎, 竹沢 公佑, 「成層圏オゾン観測の高効率化を実現する周波数変調型局部発振器を用いたミリ波受信システム開発」, 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, May 21-26, 2023, 幕張メッセ
堀 裕一, 「ミリ波帯周波数可変導波管型バンドパスフィルタの開発」, 名古屋大学・修士論文 (2023)

増倉 明寛, 「平面統合型 SIS ミキサを用いたマルチビーム受信機のための導波管-コプレーナ線路変換器の設計及び極低温下での個別評価」, 名古屋大学・修士論文 (2023)

Masukura, A., Shan, W., Ezaki, S., Kojima, T., Nakajima, T., and Mizuno, A., "Silicon Membrane-Based Waveguide-to-Superconducting CPW Transitions at 2 mm Band", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 33,5, pp.1-5 (2023)

溝口 玄真, 「200 GHz 帯広帯域超伝導ミキサの低雑音化の研究」, 名古屋大学・修士論文 (2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Taku Nakajima, Kazuji Suzuki, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa, Masayuki Ishino, and Issei Watanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 Propagation in Superconducting Niobium Rectangular Waveguide in the 100 GHz band	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics	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 -

1. 著者名 Masukura Akihiro, Shan Wenlei, Ezaki Shohei, Kojima Takafumi, Nakajima Taku, Mizuno Akira	4. 巻 33
2. 論文標題 Silicon Membrane-Based Waveguide-to-Superconducting CPW Transitions at 2 mm Band	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2023.3267331	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 Sakuma K., Rachi S., Mizoguchi G., Nakajima T., Mizuno A., Sekiya N.	4. 巻 33
2. 論文標題 A Superconducting Dual-Band Bandpass Filter for IF Signals of Multi-Frequency Millimeter-Wave Atmospheric Spectrometer	5. 発行年 2023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.2023.3254482	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35件（うち招待講演 2件/うち国際学会 10件）

1. 発表者名 中島 拓, 溝口 玄真, 山口 倫史, 加藤 智隼, 藤森 隆彰, 藤井 由美, 水野 亮, 江崎 翔平, 宮地 晃平, 藤井 泰範, 小嶋 崇文, Shan Wenlei, 鶴澤 佳徳, 野口 卓
2. 発表標題 200 GHz帯直列接合型SIS素子の開発：伝送線路構造と雑音特性の関係
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 溝口 玄真, 中島 拓, 藤森 隆彰, 水野 亮, 鶴澤 佳徳, 小嶋 崇文, 藤井 泰範, Shan Wenlei, 宮地 晃平, 江崎 翔平
2. 発表標題 大気微量分子観測のための200 GHz 帯SIS 受信機の開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島 拓, 彦坂 拓海, 増倉 明寛, 齊藤 善治, 溝口 玄真, 長濱 智生, 水野 亮
2. 発表標題 次世代ミリ波大気分光観測装置の開発と新たな国際融合研究プロジェクト
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島 拓
2. 発表標題 ミリ波～テラヘルツ波分光技術の地球大気環境計測応用
3. 学会等名 シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端VIII」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤 善治, 中島 拓, 水野 亮, 長濱 智生, 鈴木 和司, 田島 治, 安達 俊介
2. 発表標題 ミリ波大気観測装置の長期安定運用を実現する強度較正源の機械式冷却化
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀 裕一, 中島 拓, 山本 宏昭, 水野 亮, 児島 康介, 小林 和宏, 西村 良太, 立原 研悟, 福井 康雄
2. 発表標題 局部発振器信号の高純度化による受信機雑音の低減
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 彦坂 拓海, 中島 拓, 谷口 暁星, 萩本 将都, 原田 健一, 下山 幸一郎, 竹沢 公佑, 藤井 慎人
2. 発表標題 大気オゾン分光観測の高効率化を実現する周波数変調局部発振器を用いた受信システム開発
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷口 暁星, 中島 拓, 彦坂 拓海, 田村 陽一
2. 発表標題 周波数変調による高効率ミリ波分光の実現と大気分子観測への応用
3. 学会等名 研究集会「宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤 善治, 中島 拓, 水野 亮, 長濱 智生, 鈴木 和司, 田島 治, 安達 俊介
2. 発表標題 機械式冷却電波吸収体を用いたミリ波大気ラジオメータの較正系の開発
3. 学会等名 シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端VIII」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Nakajima, G. Mizoguchi, Y. Saito, T. Nagahama, A. Mizuno
2. 発表標題 Research on a Next-Generation Ground-Based Millimeter-Wave Atmospheric Radiometer
3. 学会等名 The 21st EA Sub-mm-wave Receiver Technology Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 拓磨, 關谷 尚人, 中島 拓, 小瀬垣 貴彦
2. 発表標題 多輝線同時観測分光観測装置に用いる超伝導DB-BPFの開発
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中島 拓, 溝口 玄真, 齊藤 善治, 長濱 智生, 水野 亮, 谷口 暁星, 藤森 隆彰, 児島 康介, 小林 和宏, 鈴木 和司, 林 拓磨, 關谷 尚人, 田島 治, 安達 俊介, 大塚 稔也, 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 藤井 泰範, SHAN Wenlei, 江崎 翔平, 宮地 晃平, 渡邊 一世
2. 発表標題 南極/北極における中層大気環境計測のための広帯域ミリ波分光ラジオメータの開発研究
3. 学会等名 第21回 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷口 暁星, 田村 陽一, 中島 拓, 池田 思朗, 竹腰 達哉, 川邊 良平, 遠藤 光, Stefanie Brackenhoff, LMT/B4R collaboration, DESHIMA collaboration
2. 発表標題 次世代大型サブミリ波望遠鏡の分光観測に向けたデータ科学の応用
3. 学会等名 第21回 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 溝口 玄真, 中島 拓, 水野 亮, 藤森 隆彰, 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 藤井 泰範, SHAN Wenlei, 江崎 翔平, 宮地 晃平
2. 発表標題 200GHz帯広帯域広ダイナミックレンジ超伝導ミキサの開発
3. 学会等名 第21回 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤 善治, 溝口 玄真, 中島 拓, 水野 亮, 長濱 智生, 鈴木 和司, 田島 治, 安達 俊介, 大塚 稔也
2. 発表標題 ミリ波大気ラジオメータにおける機械式冷却電波吸収体を用いた較正系の開発
3. 学会等名 第21回 ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Nakajima, K. Suzuki, T. Kojima, Y. Uzawa, M. Ishino, and I. Watanabe
2. 発表標題 Development of Superconducting Waveguide for Ultra-Low-Loss Propagation in Millimeter-Band Receiver
3. 学会等名 RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Nakajima, K. Suzuki, T. Kojima, Y. Uzawa, M. Ishino, and I. Watanabe
2. 発表標題 Propagation in Superconducting Niobium Rectangular Waveguide in the 100 GHz band
3. 学会等名 The 35th International Symposium on Superconductivity (ISS2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 A. Masukura, W. Shan, S. Ezaki, T. Kojima, T. Nakajima, A. Mizuno
2 . 発表標題 Measurement of waveguide-to-CPW transitions on planar-integrated SIS mixer at 3.3 K
3 . 学会等名 RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Hikosaka, T. Nakajima, A. Taniguchi, M. Hagimoto, T. Nagahama, K. Harada, M. Fujii, K. Shimoyama, K. Takezawa
2 . 発表標題 Development of a receiving system using Frequency-Modulating Local Oscillator to improve the efficiency of atmospheric ozone observation
3 . 学会等名 RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 A. Mizuno, G. Mizoguchi, D. Tsutsumi, T. Nakajima, T. Nagahama, N. Sekiya, K. Sakuma, Y. Tomikawa, M. K. Ejiri, and R. Kataoka
2 . 発表標題 A study on the influence of energetic particle precipitation by using a new multi-frequency mm-wave spectrometer at Syowa Station
3 . 学会等名 The 5th ISEE Symposium "Toward the Future of Space-Earth Environmental Research" (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 A. Masukura, W. Shan, S. Ezaki, T. Kojima, T. Nakajima, A. Mizuno
2 . 発表標題 Waveguide-to-Coplanar Waveguide Transition for Multi-BeamMillimeter-Wave Atmospheric Observation using a Planar- Integrated SIS Element
3 . 学会等名 The 5th ISEE Symposium "Toward the Future of Space-Earth Environmental Research" (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名	T. Hikosaka, T. Nakajima, A. Taniguchi, M. Hagimoto, T. Nagahama, K. Harada, M. Fujii, K. Shimoyama, K. Takezawa
2. 発表標題	Development of a receiving system using a frequency-modulated local oscillator to improve the efficiency of atmospheric ozone observation
3. 学会等名	The 5th ISEE Symposium "Toward the Future of Space-Earth Environmental Research" (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	A. Masukura, W. Shan, S. Ezaki, T. Kojima, T. Nakajima, A. Mizuno
2. 発表標題	Silicon Membrane Based Superconducting Waveguide-to-CPW Transitions at 2 mm Band
3. 学会等名	The Applied Superconductivity Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	K. Sakuma, G. Mizoguchi, T. Nakajima, A. Mizuno, N. Sekiya
2. 発表標題	A superconducting dual-band bandpass filter for IF signals of multi-frequency millimeter-wave atmospheric spectrometer
3. 学会等名	The Applied Superconductivity Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	中島 拓, 鈴木 和司, 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 石野 雅之, 渡邊 一世
2. 発表標題	純二オブ材による導波管共振器を用いた超伝導導波管の伝送特性の測定
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 中島 拓, 鈴木 和司, 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 石野 雅之, 渡邊 一世
2. 発表標題 超低損失立体回路の実現に向けた超伝導ニオブ導波管の伝送特性の測定
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 Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Takafumi Kojima, Akihiro Masukura, Tac Nakajima, Akira Mizuno
2. 発表標題 Experimental Study of Silicon Membrane Based Superconducting Waveguide-to-CPW Transitions
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 堀 裕一, 中島 拓, 小林 和宏, 加藤 渉, 児島 康介, 山本 宏昭, 立原 研悟, 水野 亮
2. 発表標題 ミリ波帯周波数可変導波管型バンドパスフィルタの開発
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 彦坂 拓海, 中島 拓, 谷口 暁星, 萩本 将都, 長濱 智生, 原田 健一, 藤井 慎人, 下山 幸一郎, 竹沢 公佑
2. 発表標題 大気オゾン分光観測の高効率化に向けた周波数変調局部発振器を用いた受信システム開発
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 水野 亮, 範 士迅, 長浜 智生, 中島 拓, 後藤 宏文, 大山 博史
2. 発表標題 昭和基地におけるミリ波観測から導出したオゾン鉛直分布の評価および新たな多輝線分光観測のための観測手法と解析プログラムの開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島 拓, 鈴木 和司, 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 石野 雅之, 渡邊 一世
2. 発表標題 ニオブ材を用いた超伝導矩形導波管の100 GHz帯における損失評価
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島 拓, 堀 裕一, 小林 和宏, 立原 研悟
2. 発表標題 導波管型ミリ波帯可変帯域通過フィルタの開発
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中島 拓, 鈴木 和司, 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 石野 雅之, 渡邊 一世
2. 発表標題 純ニオブ材による導波管共振器を用いた超伝導導波管の伝送特性の測定
3. 学会等名 フォトニックネットワークシンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀 裕一, 中島 拓, 小林 和宏, 加藤 渉, 児島 康介, 山本 宏昭, 立原 研悟, 水野 亮
2. 発表標題 ミリ波帯周波数可変導波管型バンドパスフィルタの開発
3. 学会等名 フォトニックネットワークシンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 彦坂 拓海, 中島 拓, 谷口 暁星, 萩本 将都, 長濱 智生, 原田 健一, 藤井 慎人, 下山 幸一 郎, 竹沢 公佑
2. 発表標題 成層圏オゾン観測の効率化を実現する周波数変調型局部発振器を用いたミリ波受信システム開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 可変バンドパスフィルタ	発明者 中島 拓, 堀 裕一, 小林 和宏	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-4888	出願年 2023年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔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