

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02344

研究課題名（和文）ジャイロトロンを用いたミリ波放電デトネーションの研究

研究課題名（英文）Study on millimeter-wave discharge detonation using a gyrotron

研究代表者

小紫 公也（Komurasaki, Kimiya）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：90242825

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：ミリ波ビームによって空气中で駆動されるデトネーション波に関する実験と数値シミュレーションを行った。94 GHz高出力ミリ波発振器ジャイロトロンを使用した実験では、ミリ波放電によって駆動されるデトネーション波において、微細なプラズマ構造に起因する高速な放電伝播を観察した。また、局所的な熱的非平衡も確認された。数値シミュレーションでは、微細構造と熱非平衡の効果を考慮した二次元物理モデルを用い、完全吸気条件および部分吸気条件におけるマイクロ波ロケットの推進性能を予測した。今後はこれらの成果を利用して、実スケールマイクロ波ロケットの開発と打ち上げ実験を計画している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、専らマイクロ波ロケットの研究開発のために東京大学にて開発・設置された大出力ミリ波源ジャイロトロンUT-94を利用し、多様な高速度撮像・分光装置を用いて、世界で初めて大気圧ミリ波放電のプラズマ構造、熱的非平衡現象などを詳細に分析し、マイクロ波支持デトネーション波伝播現象の物理モデル構築が行われた。本研究の成果は、今後予定されているマイクロ波ロケット打ち上げ試験のためのプロトタイプモデル設計ツールとして用いられ、さらに実用ロケットの設計、評価を通じて、その実現可能性や、他の打ち上げシステムに対する優位性、低コスト性の評価に資することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Experiments and numerical simulations were conducted on detonation waves driven by millimeter-wave beams in the air. A 94 GHz high-power millimeter-wave oscillator gyrotron was utilized to observe high-speed propagation caused by microscopic plasma structures along the detonation wave, as well as local thermal non-equilibrium. Numerical simulations, incorporating the effects of microscopic structure and thermal non-equilibrium, have successfully predicted the thrust performance of Microwave Rocket under the ideal and partial air refilling conditions. Using these results, development of a real-scale Microwave Rocket and a demonstrative launch of it are anticipated.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：エネルギー全般 航空宇宙工学 ミリ波 プラズマ 推進

1. 研究開始当初の背景

高エネルギー電磁ビームが空气中に駆動するデトネーション波の物理の解明は、それを利用するレーザー推進、マイクロ波ロケット、長距離ワイヤレス電力伝送などの工学的応用の実現に必要不可欠である。本研究では、大気放電実験用に新たに建設された世界でも特色のある東大ジャイロトロン発振器 UT-94（発振周波数 94 ギガヘルツ、出力サブメガワット級、発振時間 100 マイクロ秒）を使って、極超音速で伝播するミリ波放電駆動デトネーション波を観測し、プラズマ諸量の空間分布を計測することにより、ミリ波放電駆動デトネーション波伝播の物理モデルの構築・検証を行うことを目的とする。得られた知見を将来のマイクロ波ロケット（図 1）で想定される実スケールの現象に適用可能な 3 次元計算コードの開発につなげたい。

2. 研究の目的

(1)本研究の学術的背景、研究課題の核心をなす学術的「問い」

一般に輸送機において、航続距離とペイロード比（初期重量に対する貨物重量）はトレードオフの関係にあり、その制約は必要加速量の非常に大きな打ち上げロケットで最も顕著で、人工衛星や宇宙機の静止衛星軌道への打ち上げにおいては、ペイロード比 1%程度しか実現できないのが現状である。航空機やロケットに電磁ビームで遠隔に推進エネルギーを供給する試みはこの制約から解放されるひとつの有力な手段であり、ビームエネルギー推進機²⁾やマイクロ波ワイヤレス給電といった形で研究が進んでいる。

高エネルギー電磁ビームにより大気中に誘起される放電は電離波面が音速の 3 倍から 30 倍の速度で伸展し、電磁波吸収・加熱領域と衝撃波が伴って伝播する“デトネーション波”を駆動する。その過程で電磁エネルギーが効率的に圧力（推力）に直接変換されるため、受電のためのアンテナや整流器、加速機構などの機器を介したエネルギー変換が必要なく、工学的に大変有用な現象である。

レーザー放電とミリ波放電の先端構造を比較するとマクロな構造は相似であるが、ミリ波放電にはプラズマの微細な構造がみられ、長時間露光写真(図 2)ではフィラメント状の放電痕が認められることを明らかにした。

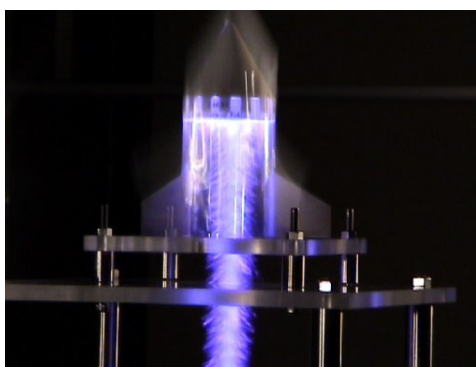


図 1 マイクロ波ロケット

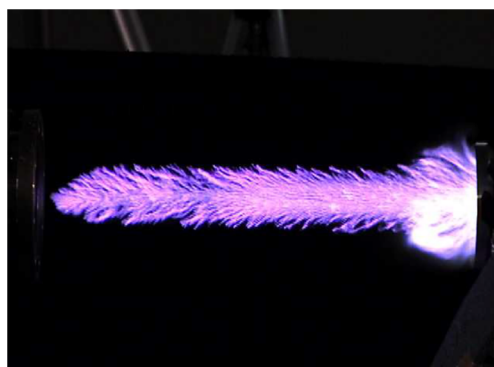


図 2 ミリ波放電の長時間露光写真

特にデトネーション波伝播速度は、その背後に生じる圧力（推力）を決定する主なパラメータであるが、その速度の電磁波電界強度への依存性は電磁波発振周波数やビーム径、集光 F 値などの実験条件によって変化して一意に定まらず、それらデトネーション波伝播を再現する解析モデルの構築を困難にしていた。特に熱流体现象から定まるチャップマン・ジュゲ理論デトネーション速度をもってしても実験データの傾向を全く説明することができなかったため、ストリーマ放電に類する電離波面伸展現象がデトネーション波伝播速度を律する可能性も示唆されつつ、誰もデトネーション波伝播速度の再現に成功しないまま現在に

至っている。

ミリ波放電とレーザー放電の物理現象の類似性も指摘がなされているが、その背景となる伝播速度のビーム強度依存性は、図 3 が示すようにレーザー放電と比較して低ビーム強度で速くて強いデトネーション波を生じるが、これは大きなペイロードを運ぶ直径数メートルの打ち上げロケットへの応用にはエネルギー的にも経済的（ビーム発振基地建設費用低減）にも大変有利であるとともに、「なぜミリ波放電はレーザー放電よりもデトネーション波伝播速度が大きいのか」という問いは、物理学のおよび工学的に大変興味深い。

その原因の一つの可能性として、レーザー放電には見られないミリ波放電特有のプラズマのマイクロ構造がある。図 4 は筑波大学のジャイロトロン設備を使ってビーム強度と雰囲気圧を様々に変え、高速度カメラで撮影されたプラズマ構造を 4 つの類型に分類したものである。特に繊維状構造や粒状構造の場合、加熱領域が空間的にまばらに存在し、プラズマの空間占有率が 50%以下となることがある。このような非均一な加熱や電界の局所的な集中などが放電進展速度に影響を及ぼし、結果的にデトネーション波の伝播速度を高めている可能性を示唆するに至っており、正しく伝播速度を推算するにはこのような 3 次元的なプラズマ構造にも詳細に切り込む必要があると考えられる。

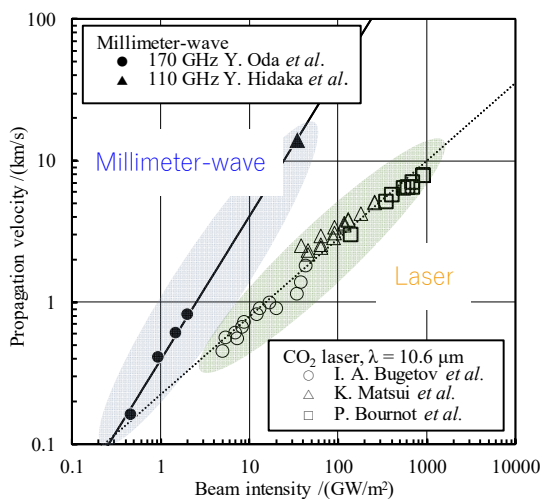


図 3 レーザー放電・ミリ波放電爆轟波伝播速度のビーム強度依存性の例

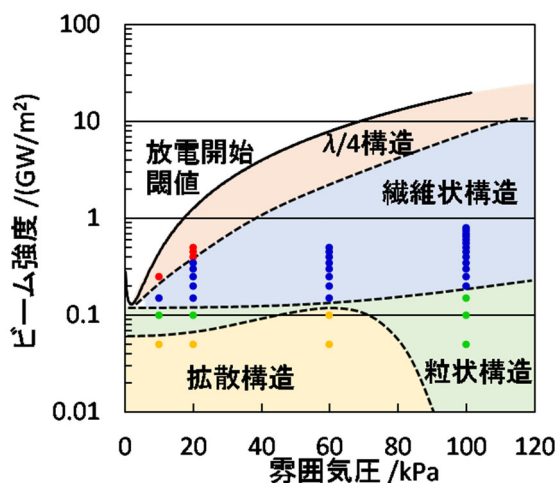


図 4 亜臨界強度条件下でのミリ波放電構造

以上の問いに対して、以下の研究目的を設けた。

【目的 1】大気圧下でミリ波放電を駆動し、ミリ波放電プラズマの 3 次元空間構造とそのプラズマの熱力学的パラメータを測定し、放電プラズマのマイクロな構造に迫ることが本研究の第 1 の目的である。このような研究を集中して行える環境および同種の測定例は世界に存在しない。さらに実験環境を利用し、同様な視点を有する外部研究者とも共同研究を実施したい。

【目的 2】さらに、それらのパラメータとデトネーション波伝播速度の関係を関連付ける物理モデルを提案し、測定データを用いて評価・検証することが第 2 の目的である。数値解析的に放電現象を再現することを試みる研究者に、その物理・数値モデルの検証のための詳細かつ信頼度の高いプラズマパラメータ測定データを提供するとともに、我々グループも多次元の数値解析コードを開発中であり、その検証・完成に向けて必要なデータを取得する。将来のマイクロ波ロケットで想定される実スケールの現象に適用可能な 3 次元計算コードの開発には必要不可欠である。

3. 研究の方法

(1) ミリ波放電現象の実験計測

UT-94 を用いたミリ波大気放電実験でプラズマの発光分光計を行って、電子温度、振動温度、回転温度の空間分布、プラズマ構造の遷移と励起モードの非平衡性の関係を調査した。Institute of Applied Physics of Russian Academy of Sciences の Alexander Vodopyanov 博士ら (24 GHz)、筑波大学(28 GHz)、福井大学(303 GHz)との共同研究により、広範な波長領域での現象解明を進めた。

(2) 2次元シミュレーションコード構築および検証

2次元シミュレーションを用いて実験で得られた放電現象を再現し、マイクロ波ロケットの設計最適化について検討した。

(3) ジャイロトロン UT-94 の性能向上とミリ波ビーム定量評価手法の開発

UT-94 の出力を設計値に近づける試みと、パルス発振ミリ波ビームの空間強度分布を短時間で定量的に測定できる新しい手法・装置の開発を行った。本手法は UT-94 の性能向上作業の効率化に欠かせなかった。

4. 研究成果

(1) ミリ波放電現象の実験計測

東京大学ジャイロトロン UT-94 で生成されたミリ波放電のプラズマ構造の高速カメラ撮影画像を図 5 に示す。筑波大学 28 GHz において観察されたのと同様に、ビーム強度の上昇に従って繊維状の構造から楕状の構造への遷移が見られた一方で、H-k 面においてこれまで観察されることがない四分の一波長程度の離散構造が観察され、従来考慮されていない構造形成メカニズムの存在が示唆された。

一方で電離波面伝播速度 (図 6) は 28 GHz と同様の傾向を示しており、繊維状構造への遷移による電離波面伝播速度の増大が確かめられた。28 GHz と 94 GHz における発光分光計測から求めたプラズマの振動温度と併進温度を図 7 に示す。ビーム強度の増大に伴い振動温度と併進温度の非平衡が拡大する傾向が認められた。

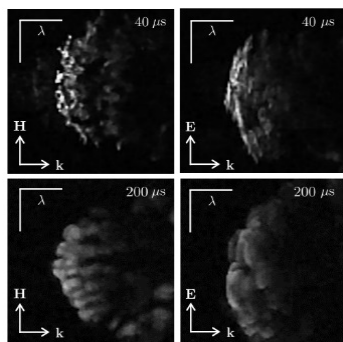


図 5 UT-94 で生成されたミリ波放電のプラズマ構造

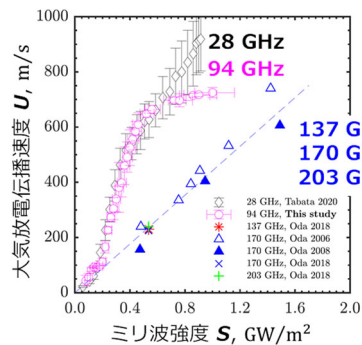


図 6 電離波面伝播速度のビーム強度依存性

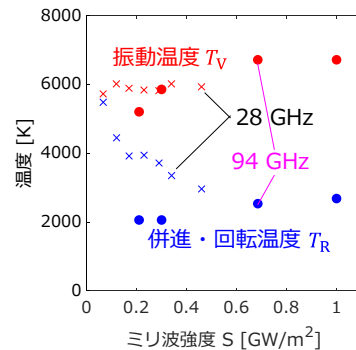


図 7 発光分光計測から求めた振動温度と併進温度

(2) 2次元シミュレーション

コード構築および検証

従来モデルに電離速度がガスの振動励起状態に依存するモデルおよび振動-並進非平衡モデルを組み込むことにより、一定の大気密度範囲で普遍的に実験結果を再現できる 2次元 CFD コードを開発した。(図 8)。空気吸い込み現象に関する二次元 CFD コードと組み合わせることで、マイクロ波ロケットの繰り返しパルス運転時の推進性能の評価を行い(図 9)、推進器形状の最適化を試みた。

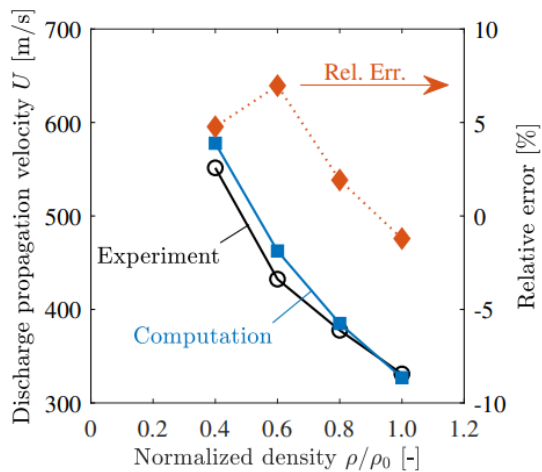


図8 電離波面伝播速度の初期大気密度依存性

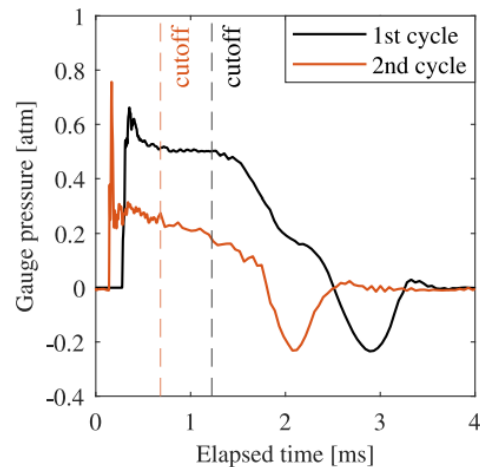


図9 繰り返しパルス運転時の推進性能

(3) ジャイロトロン性能向上とミリ波ビーム定量評価手法の開発

真空管表面への電子スパッタに伴う真空度悪化により、これまで電極電圧 45 kV、繰り返し周波数約 1 Hz の作動に制限されていたが、真空管の予加熱や電圧印加を繰り返して真空管表面状態を改善し、電極電圧 50kV にて、100 マイクロ秒を超え、繰り返し周波数 800 Hz を超える連続発振に成功した。

また、ミリ波放電現象はミリ波ビームの強度分布に対して依存するが、従来のビーム強度分布測定は必要手順が多く、またパルスビームの正確な評価は困難であり、実験機会が制限されていた。ミリ波吸収板、液晶感温シートおよびビデオカメラの組み合わせによって、ミリ波パルスのエネルギーとミリ波強度分布の両方を同時、簡便かつ正確に測定する手法を提案し、その開発に成功した (図 10)。

これにより今後ミリ波強度を変数とするミリ波支持デトネーション実験研究を加速度的に行うことができる。

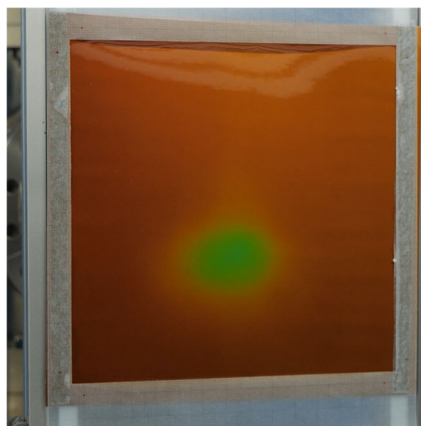


図10 液晶感温シートをミリ波吸収板に張り付けた新しい測定装置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Manabe Ayuto, Britz Hanco, Gutierrez Francois, Wetering Aida van de, Kinoshita Tatsuki, Komurasaki Kimiya, Kawashima Rei, Sekine Hokuto, Koizumi Hiroyuki	4. 巻 72
2. 論文標題 Numerical Analysis on Multi-Cycle Operation of Microwave Rocket with Reed Valve Air-Breathing System	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 JOURNAL OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES	6. 最初と最後の頁 29 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/jjsass.72.29	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 Tabata Kuniyoshi, Oda Yasuhisa, Komurasaki Kimiya, Manabe Ayuto, Kawashima Rei	4. 巻 62
2. 論文標題 Non-equilibrium aerodynamics between ionization-wave and shock-wave fronts in millimetre-wave supported detonation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 116001 ~ 116001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad00a1	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 -

1. 著者名 Kohei Matsui, Kimiya Komurasaki, Keisuke Kanda and Hiroyuki Koizumi	4. 巻 11(4), 327
2. 論文標題 Observation of Oblique Laser-Supported Detonation Wave Propagating in Atmospheric Air	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Aerospace	6. 最初と最後の頁 327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/aerospace11040327	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 -

1. 著者名 真鍋 亜佑斗、田畑 邦佳、高瀬 芳貴、森 映樹、小紫 公也、関根 北斗、辻 政裕、小田 靖久	4. 巻 30
2. 論文標題 板状誘電体 を用いたジャイロトロン RF出力強度分布の定量的測定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 プラズマ応用科学	6. 最初と最後の頁 51 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34377/aps.30.2_51	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 -

1. 著者名 谷口 知平、田畑 邦佳、真鍋 亜佑斗、玉川 俊幸、小紫 公也、小泉 宏之	4. 巻 6
2. 論文標題 マイクロ波ロケット打ち上げにおける最適な周波数の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 宇宙太陽発電	6. 最初と最後の頁 15～21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24662/ssps.6.0_15	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 -

1. 著者名 高瀬 芳貴、田畑 邦佳、真鍋 亜佑斗、小紫 公也、関根 北斗、小泉 宏之	4. 巻 7
2. 論文標題 マイクロ波ロケット用94 GHzジャイロトロン600 kW出力実現に向けて	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 宇宙太陽発電	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) 10.24662/ssps.7.0_1	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 -

1. 著者名 真鍋 亜佑斗、福成 雅史、山口 裕資、立松 芳典、林 一生、池田 亮介、梶原 健、高橋 幸司、坂本 慶司、玉川 俊幸、田畑 邦佳、谷口 知平、小紫 公也、假家 強、南 龍太郎、今井 剛、小田 靖久	4. 巻 6
2. 論文標題 東大ジャイロトロン電子ビーム引き出し試験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 宇宙太陽発電	6. 最初と最後の頁 34～37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24662/ssps.6.0_34	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 -

1. 著者名 谷口 知平、田畑 邦佳、真鍋 亜佑斗、玉川 俊幸、小紫 公也、小泉 宏之	4. 巻 6
2. 論文標題 マイクロ波ロケットの打ち上げコストを最小とする伝送周波数及び伝送光学系の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 宇宙太陽発電	6. 最初と最後の頁 51～58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24662/ssps.6.0_51	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 -

1. 著者名 Nakamura Yusuke, Komurasaki Kimiya	4. 巻 29
2. 論文標題 Theory and modeling of under-critical millimeter-wave discharge in atmospheric air induced by high-energy excited neutral-particles carried via photons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 105017 ~ 105017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/ab8e4c	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 -

1. 著者名 Oda Yasuhisa, Takahashi Masayuki, Ohnishi Naofumi, Komurasaki Kimiya, Sakamoto Keishi, Imai Tsuyoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 A study on the macroscopic self-organized structure of high-power millimeter-wave breakdown plasma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 075010 ~ 075010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/ab9d67	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 -

1. 著者名 Sintsov Sergey, Tabata Kuniyoshi, Mansfeld Dmitry, Vodopyanov Alexander, Komurasaki Kimiya	4. 巻 53
2. 論文標題 Optical emission spectroscopy of non-equilibrium microwave plasma torch sustained by focused radiation of gyrotron at 24 GHz	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 305203 ~ 305203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ab8999	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 Matsui Kosumo, Komurasaki Kimiya, Hatakeyama Waku, Shimamura Kohei, Fujiwara Kohei, Yamaoka Hidehiko	4. 巻 2020
2. 論文標題 Development of a 100?mW-Class 94?GHz High-Efficiency Single-Series Rectifier Feed by Finline for Micro-UAV Application	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Active and Passive Electronic Components	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/4072325	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 -

1. 著者名 Tabata Kuniyoshi, Harada Yuki, Nakamura Yusuke, Komurasaki Kimiya, Koizumi Hiroyuki, Kariya Tsuyoshi, Minami Ryutaro	4. 巻 127
2. 論文標題 Experimental investigation of ionization front propagating in a 28GHz gyrotron beam: Observation of plasma structure and spectroscopic measurement of gas temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 063301 ~ 063301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5144157	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 -

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Ayuto Manabe, Yoshiki Takase, Tatsuki Kinoshita, Francois GUTIERREZ, Hokuto Sekine, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya Komurasaki
2. 発表標題 Effect of Reed Valve 's Length on the Thrust Performance of Microwave Rocket in Multi-Cycle Operation
3. 学会等名 34th International Symposium on Space Technology and Science, Kurume, Japan (国際学会)
4. 発表年 2023年 ~ 2024年

1. 発表者名 Yoshiki Takase, Ayuto Manabe, Eiki Mori, Tatsuki Kinoshita, Kimiya Komurasaki, Hokuto Sekine, Hiroyuki Koizumi
2. 発表標題 Output Power Enhancement of UT-94 Gyrotron for Microwave Rocket Launch
3. 学会等名 The 11th Asian Joint Conference on Propulsion and Power, Kanazawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2023年 ~ 2024年

1. 発表者名 真鍋亜佑斗, 中谷友紀, 木下竜綺, 小紫公也, 関根北斗, 小泉宏之
2. 発表標題 94GHzジャイロトロンを用いた放電構造遷移の観測と発光分光計測
3. 学会等名 令和5年度宇宙輸送シンポジウム, 相模原
4. 発表年 2023年 ~ 2024年

1. 発表者名 鈴木颯一郎, 高橋聖幸, 松倉真帆, 山田峻大(東北大), 真鍋亜佑斗, 木下竜綺, 小紫公也
2. 発表標題 電磁波の反射計測による94 GHzミリ波放電現象の電離波面進展速度及び放電構造の観測
3. 学会等名 第40回プラズマ・核融合学会年会, 岩手
4. 発表年 2023年~2024年

1. 発表者名 木下竜綺, 真鍋亜佑斗, Aida van de Wetering, 関根北斗, 小紫公也, 小泉宏之
2. 発表標題 マイクロ波ロケット内の高温残留気体が後続する放電パルスに及ぼす影響
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会, 富山
4. 発表年 2023年~2024年

1. 発表者名 中谷友紀, 真鍋亜佑斗, 木下竜綺, 小紫公也, 田畑邦佳, 関根北斗, 小泉宏之
2. 発表標題 ミリ波放電プラズマの発光分光温度計測によるミリ波吸収率の推定
3. 学会等名 日本航空宇宙学会 第55期年会講演会, 日本橋
4. 発表年 2023年~2024年

1. 発表者名 Yoshiki Takase, Ayuto Manabe, Eiki Mori, Tatsuki Kinoshita, Kimiya Komurasaki, Hokuto Sekine, Hiroyuki Koizumi
2. 発表標題 Output Power Enhancement of UT-94 Gyrotron for Microwave Rocket Launch
3. 学会等名 the 11th Asian Joint Conference on Propulsion and Power, Kanazawa (国際学会)
4. 発表年 2022年~2023年

1. 発表者名 Eiki Mori, Ayuto Manabe, Yoshiki Takase, Hokuto Sekine, Kimiya Komurasaki, Masahiro Tsuji, Yasuhisa Oda, Ryutaro Minami and Tsuyoshi Kariya
2. 発表標題 Quantitative Intensity Distribution Measurement of High power MMW Beam from a Gyrotron
3. 学会等名 13th International Symposium on Applied Plasma Science, Stuttgart, Germany (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Ayuto MANABE, Kuniyoshi TABATA, Yoshiki TAKASE, Eiki MORI, Kimiya KOMURASAKI, Hokuto SEKINE, Hiroyuki KOIZUMI
2. 発表標題 2D Full-Cycle Simulation of Air-Breathing Microwave Rocket
3. 学会等名 Space Propulsion 2022, Estoril, Portugal (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 真鍋壘佑斗, 高瀬芳樹, 森映樹, 木下竜綺, 小紫公也, 関根北斗, 小泉宏之
2. 発表標題 UT-94 ジャイロトロンのマルチパルス発振試験
3. 学会等名 第8回宇宙太陽発電 (SSPS) シンポジウム, 東京
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 高瀬芳貴, 真鍋壘佑斗, 森映樹, 小紫公也, 関根北斗, 小泉宏之
2. 発表標題 マイクロ波ロケット打上げ用小ボア径ジャイロトロンの高出力化
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会, 熊本
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 真鍋亜佑斗、辻政裕、小田靖久、高瀬芳貴、森映樹、小紫公也、南龍太郎、假家強
2. 発表標題 液晶サーマルシートを用いたビームプロファイル計測の定量評価法の研究
3. 学会等名 第14回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Kuniyoshi Tabata, Ayuto Manabe, Kimiya Komurasaki, Tsuyoshi Kariya, Ryutaro Minami, Tsuyoshi Imai, Yasuhisa Oda, Masafumi Fukunari, Yusuke Yamaguchi, Yoshinori Tatematsu, Kazuo Hayashi, Ryosuke Ikeda, Ken Kajiwara, Koji Takahashi, and Keiji Sakamoto
2. 発表標題 High-Power Microwave Oscillation of a 94 GHz Gyrotron for Air-Breakdown Plasma Observations in Microwave Rocket
3. 学会等名 IRMMW-THz 2021, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真鍋亜佑斗、田畑邦佳、高瀬芳貴、小紫公也、假家強、南龍太郎、今井剛、小田靖久、福成雅史、山口裕資、立松芳典、林一生、池田亮介、梶原健、高橋幸司、坂本慶司
2. 発表標題 94 GHz ジャイロトロン内のビームプロファイル推定及びビームを用いた大気放電進展観測
3. 学会等名 第 65 回宇宙科学技術連合講演会, オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田畑邦佳、真鍋亜佑斗、高瀬芳貴、小紫公也、假家強、南龍太郎、今井剛、小田靖久、福成雅史、山口裕資、立松芳典、林一生、池田亮介、梶原健、高橋幸司、坂本慶司
2. 発表標題 94 GHzジャイロトロン内の大電力化と それにより駆動されるデトネーション波の観測
3. 学会等名 第 65 回宇宙科学技術連合講演会, オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真鍋亜佑斗, 田畑邦佳, 高瀬芳貴, 小紫公也, 川嶋 嶺
2. 発表標題 マイクロ波ロケットのマルチパルス運転の2次元解析
3. 学会等名 第61回航空原動機・宇宙推進講演会, 米子
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayuto MANABE, Kuniyoshi TABATA, Yoshiki TAKASE, Eiki MORI, Masahiro TSUJI, Yasuhisa ODA, Rei KAWASHIMA and Kimiya KOMURASAKI
2. 発表標題 Beam Intensity Measurement of UT-94 Gyrotron
3. 学会等名 The 29th Annual Meeting of IAPS, Hakata (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kuniyoshi Tabata, Hanco Britz, Kimiya Komurasaki, Rei Kawashima, and Hiroyuiki Koizumi
2. 発表標題 2D Full-Cycle Simulation of Air-Breathing Microwave Rocket
3. 学会等名 Space Propulsion 2020, Estoril, Portugal (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Ayuto Manabe, Johannes Jacobus Britz, Takashi Takeuchi, Kuniyoshi Tabata, Tomohei Taniguchi, Toshiyuki Tamagawa, Kimiya Komurasaki, Rei Kawashima, Hiroyuki Koizumi
2. 発表標題 2D Full Engine Cycle Simulation for Microwave Rocket
3. 学会等名 Asian Joint Conference on Propulsion and Power (AJCPP), Online (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Tomohei Taniguchi, Kuniyoshi Tabata, Kimiya Komurasaki, Tsuyoshi Kariya, Ryutaro Minami, Tsuyoshi Imai, Yasuhisa Oda, Masafumi Fukunari, Keishi Sakamoto
2. 発表標題 Development of a High-Power Millimeter-Wave Oscillator Gyrotron Intended for Microwave Rocket Research
3. 学会等名 Asian Joint Conference on Propulsion and Power (AJCPP), Online (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Hayashi, Tomohei Taniguchi, Yuki Harada, Takashi Takeuchi, Tsuyoshi Imai, Kenishi Sakamoto, Kimiya Komurasaki, Yoshinori Tatematsu, Yuusuke Yamaguchi, Ken Kajiwara, and Kojis Takahashi
2. 発表標題 Development of a High Power Gyrotron Prototype for GW-Class Microwave Beam Source Study
3. 学会等名 IRMMW-THz 2020, Online (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 谷口知平, 田畑邦佳, 真鍋亜佑斗, 玉川俊幸, 小紫公也, 小泉宏之
2. 発表標題 マイクロ波ロケット打ち上げにおける最適な周波数の提案
3. 学会等名 第6回宇宙太陽発電(SSPS)シンポジウム, オンライン
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 真鍋亜佑斗, 玉川俊幸, 田畑邦佳, 谷口知平, 小紫公也, 假家強, 南龍太郎, 今井剛, 小田靖久, 福成雅史, 林一生, 池田亮介, 梶原健, 高橋幸司, 坂本慶司
2. 発表標題 東大ジャイロトロンでのビーム引き出し試験
3. 学会等名 第6回宇宙太陽発電(SSPS)シンポジウム, オンライン
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 田畑 邦佳, Britz Hanco, 谷口 知平, 小紫 公也, 川嶋 嶺, 小泉 宏之
2. 発表標題 マイクロ波ロケットにおける気体温度の非平衡が推進性能に与える影響
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 谷口 知平, 田畑 邦佳, 小紫公也, 假家 強, 南龍 太郎, 今井 剛, 小田 靖久, 福成 雅史, 坂本 慶司
2. 発表標題 マイクロ波ロケット研究に向けた94GHz大電力ミリ波光源ジャイロトロンの開発
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Microwave Rocket http://www.al.t.u-tokyo.ac.jp/mwp/ja/index.html

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