

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03714

研究課題名(和文) 超伝導分子検出器を用いた原子分子ダイナミクス研究の革新

研究課題名(英文) Innovative approach to the study of atomic and molecular dynamics using superconducting molecular sensors

研究代表者

岡田 信二 (Okada, Shinji)

中部大学・工学部・准教授

研究者番号：70391901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：超伝導転移端センサー(TES)型マイクロカロリメータを『分子』検出器として利用した、新たな低エネルギー分子の高分解能質量分析法を確立した。GM冷凍機により冷却した円筒状熱輻射遮蔽とメッシュを導入し、超伝導素子の前面に熱輻射窓を設けず裸の状態で作動させることで、世界で初めてTES検出器による中性分子直接検出とその質量測定に成功した。本システムを低温静電型イオン蓄積リングに組み込むことで、他の追従を許さない原子分子衝突実験が可能となった。同時に開発した中性ビーム源を用いた、中性分子と蓄積イオンの合流衝突実験により、低温・希薄な宇宙環境におけるイオン-分子反応の研究に飛躍的な発展が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年高分解能X線検出器として注目を集めている超伝導転移端センサー型マイクロカロリメータを、低エネルギー中性粒子のエネルギー測定に応用することに成功した。これまでエネルギー分解能力を持たなかった原子分子衝突実験における生成中性分子の検出において、最先端検出器を駆使することで高分解能エネルギー分析(質量分析)を実現し、原子分子ダイナミクス研究に革新をもたらした点で大変意義深い。本測定技術は、低温イオン蓄積リングを用いた原子分子衝突実験への応用のみならず、今後、低エネルギー粒子の高分解能測定の新手法として多彩な分野への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have established a new high-resolution mass spectrometry method for low-energy molecules using an array of superconducting transition-edge-sensor (TES) microcalorimeters as a superconducting "molecular" detector. The TES detector was successfully operated without thermal radiation windows in front of the superconducting sensors by introducing cylindrical thermal radiation shields and meshes cooled by a GM refrigerator. This enabled the world's first successful direct detection of neutral molecules and their mass measurement by a TES detector. Incorporating this system into a low-temperature electrostatic ion storage ring enables unparalleled atomic and molecular collision experiments. The merging collision experiments of stored ions and neutral molecules using the simultaneously developed neutral beam source are expected to make a great leap forward in the study of ion-molecule reactions in the low-temperature and dilute space environment.

研究分野：原子物理実験

キーワード：超伝導検出器 イオン蓄積リング 原子分子物理 原子分子衝突実験 中性分子検出 分子進化過程
超伝導転移端マイクロカロリメータ TES

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

宇宙空間には、低温・低密度という化学の常識では非常に不利な環境にもかかわらず大量の星間ガス（原子・分子・イオン）が存在し、電波天文観測によってこれまで200種近くもの多様な分子が検出されている。これは、宇宙空間という極限環境下に於いても多種多様な反応が起きていることを示唆している。しかしながら、これらが如何に生成されたかは、単純な分子でさえ未だ幾多の仮定に基づく理解に留まっているのが現状である。例えば、直線炭素鎖分子は、炭素が直線上に長くつながる奇妙な構造を持ち、宇宙空間という特異な環境（低温・低密度）でのみ安定に存在できる（ C_7H 、 HC_9N 等）。これは宇宙で観測される分子種のうち実に40%もの割合を占め、観測史上最長の分子 $HC_{11}N$ においては、近年、その存否・柱密度（どこまで伸びるか）が、分子進化シナリオに大きな影響を与えると問題提起され注目を集めている[R.A. Loomis et al., MNRAS 463, 4175 (2016)]。このように、宇宙の化学進化・有機物の起源を議論する上で、これらの星間分子が如何に生成・崩壊するか、そのダイナミクスの理解は重要な役割を果たす。しかしながら、実験の困難さから反応過程の測定例が極めて少なく、理論的なシミュレーションや解析には高エネルギー、高温領域でのデータの外挿による推定値に頼っているのが現状である。特に、星間分子雲での分子進化は、活性化エネルギーの必要な反応や3体衝突反応は期待できず、分極力に支配されるイオンと中性原子分子による、低温環境下の低エネルギー衝突ダイナミクス（meV~eVの衝突エネルギー）の理解が肝要だが、これを地上で直接研究する手段は非常に限られていた。

最近、我々のグループは、原子・分子・光物理学における実験技術を用いた幅広い学術研究を目的とし、低温（4 K）、極高真空（ 10^{-10} Pa）環境下で動作する静電型イオン蓄積リング RICE [Y. Nakano et al., Rev. Sci. Instr. 88, 033110 (2017)] を開発した。これは、(1) 振動回転温度を4 Kまで冷却した原子分子イオンの長時間周回と、(2) 静電制御（磁場不使用）のため蓄積イオンの大きさ/質量数に制限が無いという、従来の蓄積リングには無かった大きな特徴を併せもつ。

図1のように、リングの周回軌道途中に直線部分を設け、蓄積イオンと同方向・同速度で中性分子を入射することで合流衝突（寄り添い衝突）させ、その中性生成物を前方で測定することで、分子の個性が明確に現れるエネルギー差の小さい低エネルギー衝突ダイナミクスの研究をする（=重心系における低エネルギー衝突実験）。これにより、低温環境下における低温孤立系化学反応、すなわち、宇宙空間の分子雲中での分子形成・崩壊過程を地上で再現することが可能となった。

化学反応で生成される生成物の最も確実な同定法は、その質量を測定することである。但し、生成分子が中性の場合、イオン化により電荷を持たせること無しには通常の方法は適用できない。生成中性分子が反応前のイオンとほぼ同じ速度を持つ衝突実験では、並進エネルギーの高精度測定により生成分子種の同定（質量測定）が可能となる。ところが、この生成中性分子フラグメントは、高々10 keVの運動エネルギーしか持たず、例えば半導体検出器等では、最表面でエネルギーを落としてしまい（Siで厚さ0.1 μm以下）空乏層まで届かない。従来、比較的検出効率が高いMCP（Micro-Channel Plate）が使用されてきたが、本質的にエネルギー弁別能力が無く、長らく低エネルギー中性粒子のエネルギー測定に関する技術革新が待望されていた。

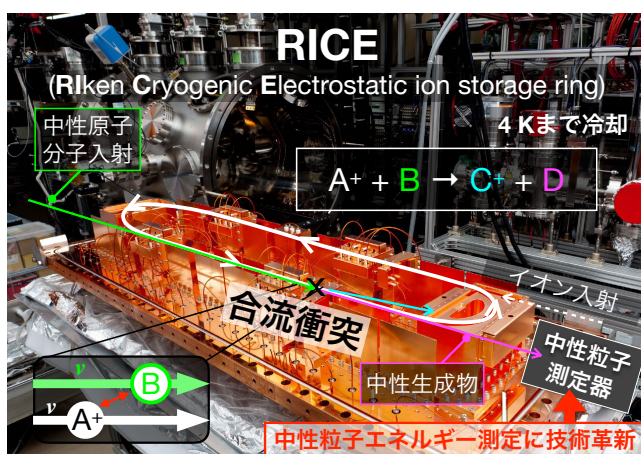


図1 極低温静電型イオン蓄積リング RICE の写真と RICE における合流衝突実験の概略

2. 研究の目的

我々は、星間空間で特徴的な分子の生成・崩壊過程を、星間分子雲の温度領域（10-100 K）のイオンと中性原子の衝突実験で再現し、**革新的中性分子測定技術を駆使した衝突ダイナミクスの系統的な研究**より、宇宙の化学進化モデルに定量的な制限を与えることを目標とする。近年、ALMA などの観測装置の感度向上により良質な観測データが急速に収集される中、これを裏付ける（又は反証する）反応基礎データが制限を与える学術的意義は極めて大きい。超伝導遷移端センサー（Transition Edge Sensor, TES）マイクロカロリメータは、入射粒子によって生じた吸収体における微量な温度上昇を、物質の常伝導から超伝導への急激な抵抗変化

を利用し、高感度で測定する熱量計である（右図）。主に、赤外からガンマ線までのエネルギー分解の単一光子検出器として、近年急速に発展を遂げている。本研究では、TES を光子ではなく『粒子』の検出に応用する。吸収体表面でエネルギーを落とす低エネルギー入射中性分子にも十分感度があり、且つ、高いエネルギー分解能を持ち合わせた理想的な検出器となり得る。4 K の低温蓄積リングの為、相性も良い。

本研究の目的は、世界で初めて TES を超伝導『分子』検出器として応用し、新たな高分解能質量分析装置を確立することで、原子分子衝突ダイナミクス研究にブレークスルーを起こすことである。圧倒的な性能を誇る理研の低温イオン蓄積リングに最先端多素子 TES を組み込むことで、今まで適切な観察手段を持たなかった、終状態を含めた直線炭素鎖分子の生成・崩壊過程に肉薄し、星間空間での化学進化の謎に迫る。TES の高分解能は、巨大分子イオン衝突実験における終状態も抑えることを可能とするため、生体分子研究・放射線生物学・基礎物理化学・クラスター科学への多彩な学術研究への展開や、低エネルギー粒子の高分解能測定の新手法としての波及効果が期待される。

3. 研究の方法

本研究グループが所有している X 線計測用に開発された TES 検出器を用いて「低エネルギー原子・分子」が測定可能なセットアップを構築し、ECR イオン源を利用した中性原子/分子ビーム入射試験を行う。一方で、中性分子ビーム合流衝突実験に向け「中性ビーム源」を開発する。これらを極低温静電型イオン蓄積リング RICE へ導入し、中性分子と蓄積イオンの合流衝突過程からの中性分子（最大 15 keV）を測定する事で、上述の実験研究を行う。

TES 検出器：共同研究先のアメリカ国立標準技術研究所（NIST）が開発した TES と読み出し系を使用する。Mo-Cu 二層薄膜の TES 素子に 4 μm 厚ビスマス吸収体を実装し、目的の数 10 keV の原子分子検出に十分な吸収体厚を有する。有効面積は、素子当たり 300 × 320 μm²、240 素子全体で 23 mm² を有し、合流衝突からの中性分子フラグメントが臨む立体角の要求を満たす。素子の冷却には、二段式パルスチューブ断熱消磁冷凍機を使用する（ベース温度 50 mK）。

熱輻射・真空対策：本研究開発に於ける技術的最重要課題は、熱輻射・真空対策である。

通常、TES 素子（~50 mK）と真空窓（~300 K）の間には、図 3 左のように、測定したい X 線が透過できる程度の厚さの熱輻射遮蔽窓を各冷却ステージ（50mK, 3K, 60K）に配置する。しかし、低エネルギー中性分子は、X 線のように輻射窓を透過できない。このため、中性分子測定用には遮蔽窓を取り去らなければならない（図 3 右）。TES は 2 層薄膜の弱結合を利用した弱い超伝導体（超伝導転移温度 100 mK）であり、これまで前面の遮蔽窓無しで動作できるとは考えられておらず、実現した例も一つも無かった。

また、RICE は、低温（4 K）・超高真空（10⁻¹⁰ [Pa]）環境下で動作させることにより、原子分子イオンの長時間周回を可能にしているが、TES システムの真空は ~10⁻⁴ [Pa]と、大きく異なる。これらの熱輻射・真空対策のため、TES 検出器と RICE の間に、各冷却ステージに対する熱輻射遮蔽を兼ねた差動排気システムを構築し、さらに熱輻射遮蔽を強化するために、メッシュフィルターを導入する。

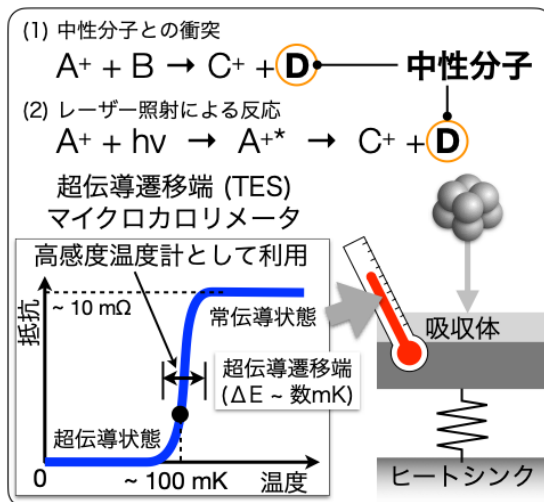


図 2 超伝導遷移端マイクロカロリメータの原理と中性分子測定への応用

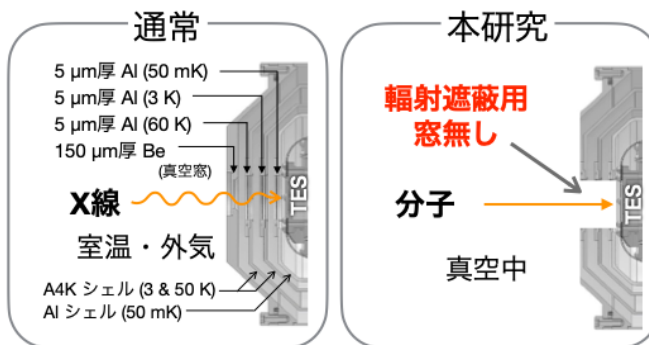


図 3 TES 検出器の熱輻射遮蔽の概念図。左側が通常の X 線測定用、右側が分子測定用セットアップ。

4. 研究成果

研究は、以下の通り段階的に実施した。

- (1) **50 mK 輻射遮蔽開口率の影響の調査**：まず、3 K、60 K 輻射窓はそのままに 50 mK 窓の輻射効果を評価した。50 mK 窓を完全に取り去ると、TES は直接 3 K の輻射を受け、ノイズスペクトルの低周波数成分 (< 1 kHz) は増し、TES 検出器のエネルギー分解能は 4.7 eV (Close) から 11.3 eV (Open) まで低下するものの、検出器としては機能することが確認された。図 4 に示したように、50 mK 窓を銅のメッシュ窓とし、その開口率 (輻射を受ける量) を調整することでエネルギー分解能を制御できることも分かった。
- (2) **TES 設置場所の検討**：TES は、これまで中性分子測定器を設置していた場所よりも離れた場所に設置することになるため、TES 設置予定場所にビーム検出器 MCP を設置し、ビームの拡がり方の測定を行い設置場所の最適化を行った。
- (3) **熱輻射遮蔽・差動排気**：分子の測定には、50 mK 窓だけでなく、3 K、60 K 遮蔽窓を取り除く必要があり、かつ、RICE の超高真空 (10^{-10} [Pa]) 環境と TES システム ($\sim 10^{-4}$ [Pa]) を両立させなければならない。これらを満たすため、4 K まで冷却可能な GM 冷凍機を搭載した差動排気チャンバーを製作した (図 5)。TES 検出面 (~ 100 mK) から RICE を見た視野角に、直接 4 K 以上の高温部が含まれないよう、RICE-TES 間に、GM 冷凍機で冷却した 2 層の内径 $\phi 10$ mm (4 K 遮蔽)、 $\phi 18$ mm (60 K 遮蔽) の円筒状輻射シールドを配置することで、TES 検出器への熱輻射を抑制した。さらに、この円筒シールドと、チャンバー間真空配管部の径をできるだけ小さくし、本チャンバーに大容量ターボ分子ポンプ (排気速度 > 1000 [l/s]) を取り付けることで差動排気を実現し、RICE への差圧を軽減した。

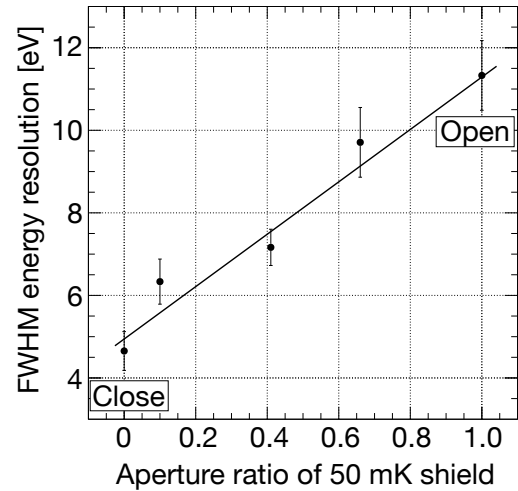


図 4 50 mK の熱輻射シールドの開口率を変化させて測定した TES 検出器のエネルギー分解能。分解能評価には MnKa(6 keV) X 線を使用。誤差棒は各 TES ピクセルの分散 RMS を示す [JPS Conf. Proc. 35, 011006(2021)]。

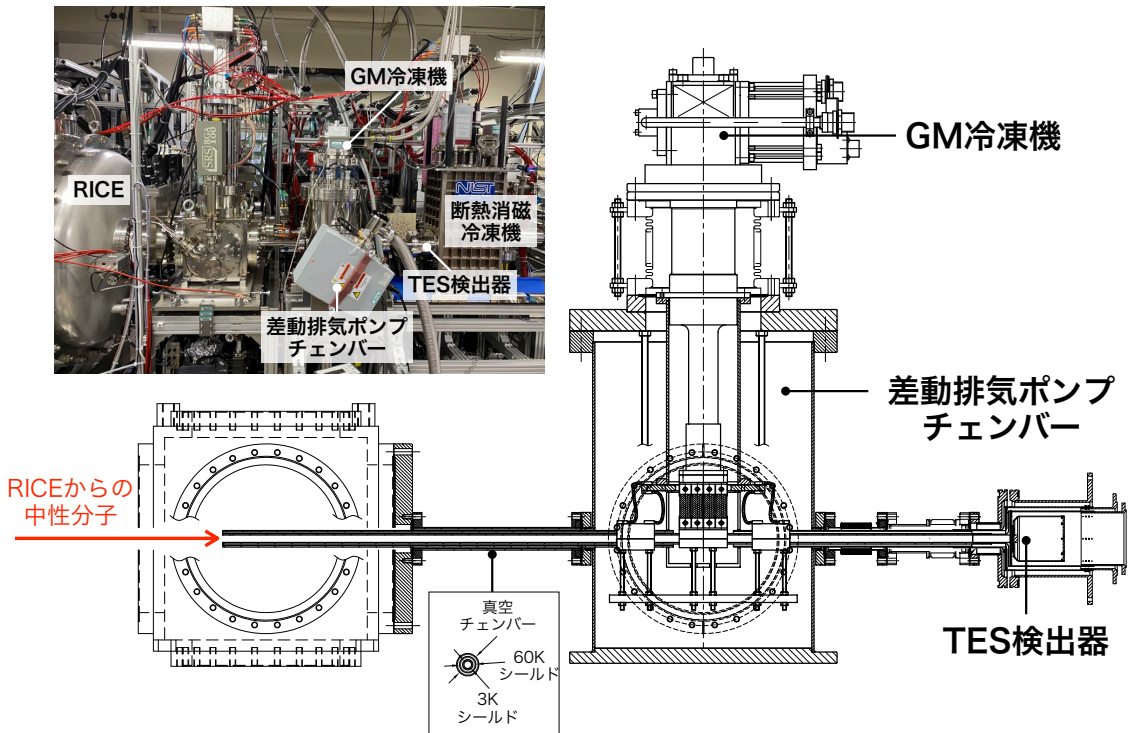


図 5 RICE 蓄積リングと TES 検出器との間の差動排気と熱輻射遮蔽を実現するために導入した、GM 冷凍機搭載の差動排気 RICE-TES 接続チャンバーの模式図と写真

- (4) **熱輻射遮蔽の強化**：図 5 のように TES 検出器を RICE に接続した状態で、検出器全体の動作試験を実施したところ、いくつかの問題点が判明し、以下の様なシステム改造を実施した：
 - ① 円筒輻射シールドの接続部からの熱輻射の遮蔽強化
 - ② 円筒輻射シールドと RICE の間に存在する常温領域 (ゲートバルブから RICE までの

領域)からの放射が RICE 入口に設置された Au メッキのシャッターに一部反射し入ってくるのが実験結果と熱放射シミュレーションとの比較により判明した為、原因となっていたシャッターを取り除くなどの対策を実施

③ 更なる放射低減のため、円筒放射シールドへのピンホール付きキャップや金属製メッシュ熱放射窓の追加など、実験条件の最適化を実施

- (5) **ECR イオン源を用いた性能試験**: 効率的な検出器試験を実施するため、ECR イオン源を用いたセットアップを構築した (図 6 右)。ECR イオン源から特定のエネルギーの分子イオンビームを引き出し、直線部における残留ガスとの衝突により得られた中性の原子分子フラグメントを TES 検出器に入射する。但し、イオンビームそのものは、静電偏向器で曲げ TES へ入射しないようにする。本セットアップを用いた試験の結果、上記の金属製メッシュ熱放射窓を使用すると、メッシュにおける中性分子の反跳の影響で、検出効率及び質量分解能が低下することが明らかになった。
- (6) **微小孔赤外線フィルター**: 本結果を受けて、新たに微小孔赤外線フィルターを導入した。微小孔フィルターは、電磁波の回折・干渉を利用することで、赤外線の透過率を効果的に抑えることができる。また、粒子の透過率は大きくとることができるため、反跳による影響を大きく低減することが可能である。本フィルターを導入し再度 ECR イオン源を用いた試験を行ったところ、スペクトル応答関数・エネルギー分解能において性能向上が確認された。

以上のスタディの結果、最終的に得られた TES 検出器による中性分子のエネルギースペクトルを図 6 に示す。図中に示すように ECR イオン源から 4 keV の H_2^+ 分子イオンビームを引き出し、残留ガスとの衝突で中性化した H_2 分子とその解離により生じた H 原子を TES 検出器によって測定する事に成功した。TES 検出器のエネルギー較正には、本システムに組み込んだ ^{55}Fe 放射線源からの Mn K α X 線を利用した。

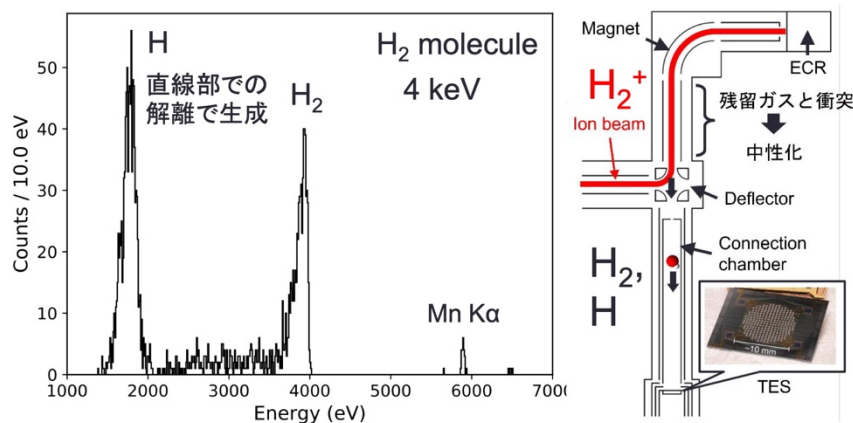


図 6 ECR イオン源を用いて得られた TES 検出器による H_2 分子及び H 原子の質量スペクトル

我々は、世界で初めて「TES 検出器を用いた低エネルギー原子分子の直接測定」に成功した。現在、更なる性能向上のための微小孔赤外線フィルターの開発や、得られた応答関数を理解するためのイオン衝突シミュレーション等を進めると共に、印刷公表の準備を進めている。一方で、中性分子と蓄積イオンの合流衝突実験に向けた「中性ビーム源」の開発も行い、RICE における中性炭素ビーム入射試験に成功した。これにより、TES 検出器を用いた世界初の中性分子と蓄積イオンの合流衝突実験の準備が整った。

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 7件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamada S., Tatsuno H., Okada S., Hashimoto T.	4. 巻 200
2. 論文標題 Coevolution of the Technology on Transition-Edge-Sensor Spectrometer and Its Application to Fundamental Science	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 418 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02441-2	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 Hayakawa R., Yamada S., Tatsuno H., Fowler J. W., Swetz D. S., Bennett D. A., Durkin M., O'Neil G. C., Ullom J. N., Doriese W. B., Reintsema C. D., Gard J. D., Okada S., Hashimoto T., Ichinohe Y., Noda H., Hayashi T., the HEATES collaboration	4. 巻 200
2. 論文標題 Waveform Analysis of a 240-Pixel TES Array for X-Rays and Charged Particles Using a Function of Triggering Neighboring Pixels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 269 ~ 276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02449-8	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 Yamada S., Hayakawa R., Tatsuno H., Fowler J. W., Swetz D. S., Bennett D. A., Durkin M., O'Neil G. C., Ullom J. N., Doriese W. B., Reintsema C. D., Gard J. D., Okada S., Hashimoto T., Ichinohe Y., Noda H., Hayashi T., the HEATES collaboration	4. 巻 200
2. 論文標題 High Energy Background Event Identification Using Local Group Trigger in a 240-pixel X-ray TES Array	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 392 ~ 399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02468-5	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 Tatsuno H., Bennett D. A., Doriese W. B., Durkin M. S., Fowler J. W., Gard J. D., Hashimoto T., Hayakawa R., Hayashi T., Hilton G. C., Ichinohe Y., Noda H., O'Neil G. C., Okada S., Reintsema C. D., Schmidt D. R., Swetz D. S., Ullom J. N., Yamada S., the J-PARC E62 Collaboration	4. 巻 200
2. 論文標題 Mitigating the Effects of Charged Particle Strikes on TES Arrays for Exotic Atom X-ray Experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 247 ~ 254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02484-5	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 Igosawa R., Hirota A., Kimura N., Kuma S., Chartkunchand K. C., Mishra P. M., Lindley M., Yamaguchi T., Nakano Y., Azuma T.	4. 巻 153
2. 論文標題 Photodissociation spectroscopy of N20+ in the ion storage ring RICE	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 184305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0027805	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 Hirota A., Igosawa R., Kimura N., Kuma S., Chartkunchand K. C., Mishra P. M., Lindley M., Yamaguchi T., Nakano Y., Azuma T.	4. 巻 102
2. 論文標題 Radiative cooling dynamics of isolated N20+ ions in a cryogenic electrostatic ion storage ring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 23119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.102.023119	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 Nakano Y., Igosawa R., Iida S., Okada S., Lindley M., Menk S., Nagaoka R., Hashimoto T., Yamada S., Yamaguchi T., Kuma S., Azuma T.	4. 巻 35
2. 論文標題 Status of the Laser Spectroscopy and Merged-beam Experiments at RICE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 11006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.35.011006	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 Yamada Shinya, Hashimoto Tadashi, Okada Shinji, et al.	4. 巻 92
2. 論文標題 Broadband high-energy resolution hard x-ray spectroscopy using transition edge sensors at SPring-8	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013103 ~ 013103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0020642	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 Yan Daikang, Yamada Shinya, Okada Shinji, Hashimoto Tadashi, et al.	4. 巻 31
2. 論文標題 Transition-Edge Sensor Optimization for Hard X-ray Applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 2100505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/tasc.2021.3059972	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 岡田信二	4. 巻 56
2. 論文標題 多素子超伝導転移端センサー型マイクロカロリメータが拓く量子ビームを用いた物理学実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 低温工学	6. 最初と最後の頁 65 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2221/jcsj.56.65	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 Okumura T., Hashimoto T., Okada S., Yamada S., et al.	4. 巻 127
2. 論文標題 Deexcitation Dynamics of Muonic Atoms Revealed by High-Precision Spectroscopy of Electronic K X Rays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 53001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevlett.127.053001	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 Okumura Takuma, Hashimoto Tadashi, Okada Shinji, Yamada Shinya, et al.	4. 巻 31
2. 論文標題 Dynamical Response of Transition-Edge Sensor Microcalorimeters to a Pulsed Charged-Particle Beam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 2101704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/tasc.2021.3067793	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 Ichinohe Y., Yamada S., Okada S., Hashimoto T., et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Application of Deep Learning to the Evaluation of Goodness in the Waveform Processing of Transition-Edge Sensor Calorimeters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature 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) 10.1007/s10909-022-02719-7	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 -

[学会発表] 計42件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 岡田信二
2. 発表標題 超伝導転移端センサーによるX線精密分光と低速中性分子測定
3. 学会等名 第4回 ExpRes Dojo 道場 “Precision Detection / Detector” (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田信二
2. 発表標題 超伝導遷移端マイクロカロリメータを用いた原子分子物理実験
3. 学会等名 原子衝突学会 第43回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kuma
2. 発表標題 Dynamics of cold molecular ions in a cryogenic electrostatic ion storage ring and superfluid helium droplets
3. 学会等名 The 22nd East Asian Workshop on Chemical Dynamics (EAWCD 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamada S., Tatsuno H., Okada S., Hashimoto T.
2. 発表標題 Coevolution of the Technology on Transition-Edge-Sensor Spectrometer and Its Application to Fundamental Science
3. 学会等名 18th International Workshop on Low Temperature Detectors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田信二
2. 発表標題 多素子超伝導転移端センサーが拓く量子ビームを用いた物理学実験
3. 学会等名 日本学術振興会超伝導エレクトロニクス146委員会 第15回センシングシステム分科会/第18回通信・情報処理分科会 合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Kuma, Takuma Okumura, Shinji Okada, Tadashi Hashimoto, Shinya Yamada, Yuji Nakano, Toshiyuki Azuma
2. 発表標題 Superconducting transition-edge sensor for mass spectrometry of neutral molecules
3. 学会等名 The 8th electrostatic storage devices conference (ESD8, Tianjin, China) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久間晋、岡田信二、奥村拓馬、橋本直、山田真也、中野祐司、玉川徹、東俊行
2. 発表標題 精密 X 線検出器 TES を用いた極低温衝突反応実験
3. 学会等名 原子衝突学会 第44回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久間晋
2. 発表標題 The X-Ray Calorimeter Meets the Cryogenic Ion Storage Ring
3. 学会等名 第1回宇宙における物質進化(r-EMU)--原子核・原子・分子--シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田彩音、伊五澤涼、木村直樹、久間晋、P. M. Mishra、K. Chartkunchand、中野祐司、山口貴之、東俊行
2. 発表標題 極低温静電型イオン蓄積リングRICEを用いたN20+の輻射振動冷却III
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田彩音、伊五澤涼、木村直樹、久間晋、P. M. Mishra、K. Chartkunchand、中野祐司、山口貴之、東俊行
2. 発表標題 極低温静電型イオン蓄積リング RICE における N20+ の輻射振動冷却の観測
3. 学会等名 第20回分子分光研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯澤正登実、飯田進平、大阿久貴博、河上剛、東俊行、中野 祐司
2. 発表標題 合流ビーム実験に向けた中性ビーム源の開発 IV
3. 学会等名 日本物理学会 第75 回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村直樹、廣田彩音、飯澤正登実、久間晋、田沼肇、山口貴之、中野祐司、東俊行
2. 発表標題 極低温静電型イオン蓄積リングRICE での分光実験に向けたCaH ⁺ イオンビームの生成
3. 学会等名 日本物理学会 第75 回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椎名陽子、江淵欣久、羽尾真礼、安原杏香、中野裕司
2. 発表標題 低温移動度分析を用いた異性体分別技術の開発
3. 学会等名 原子衝突学会 第44回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椎名陽子、中野祐司
2. 発表標題 低温移動度分析を用いた異性体分子の分別
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯澤正登実、飯田進平、大阿久貴博、河上剛、東俊行、中野祐司
2. 発表標題 合流ビーム実験に向けた中性ビーム源の開発 III
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大阿久貴博、河上剛、飯澤正登実、飯田進平、東俊行、中野祐司
2. 発表標題 合流ビーム実験に向けた中性ビーム源の開発
3. 学会等名 原子衝突学会 第44回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Iizawa, S. Iida, S. Kuma, T. Azuma, Y Nakano
2. 発表標題 Photodetachment of negative ion beams for the ion-neutral merged-beam experiments at RICE
3. 学会等名 31st International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Nakano, Yoko Shiina, Kazunari Takaya, Hirokazu Ueta, Takato Hirayama
2. 発表標題 Development of a cryogenic ion mobility spectrometer for an isomer-selected photoexcitation and reaction studies
3. 学会等名 31st International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯澤正登実、大阿久貴博、河上剛、飯田進平、久間晋、木村直樹、Chartkunchand Kiattichart、岡田信二、東俊行、中野祐司
2. 発表標題 極低温イオン蓄積リング RICE と中性ビーム源を用いた中性炭素原子と水素分子イオンの合流ビーム実験 II
3. 学会等名 原子衝突学会第45回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村直樹、廣田彩音、伊五澤涼、久間晋、P. M. Mishra、K. Chartkunchand、M. Lindley、山口貴之、中野祐司、東俊行
2. 発表標題 極低温静電型イオン蓄積リング RICE で探る三原子分子 N ₂ O ⁺ の冷却ダイナミクス
3. 学会等名 原子衝突学会第45回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須田博貴、橋本直、久間晋、中野祐司、岡田信二、山田真也、et al.
2. 発表標題 超伝導転移端検出器による中性分子の質量分析
3. 学会等名 原子衝突学会第45回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣田彩音、伊五澤涼、木村直樹、久間晋、Kiattichart Chartkunchand、Preeti Mishra、Matthew Lindley、山口貴之、中野祐司、東俊行
2. 発表標題 極低温静電型イオン蓄積リングRICEを用いたN ₂ O ⁺ の輻射振動冷却IV
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河上剛、飯澤正登実、大阿久貴博、飯田進平、久間晋、木村直樹、Chartkunchand Kiattichart、岡田信二、東俊行、中野祐司
2. 発表標題 極低温イオン蓄積リングRICEを用いた中性ビームと分子イオンビームの合流実験 I
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯澤正登実、大阿久貴博、河上剛、飯田進平、久間晋、木村直樹、Chartkunchand Kiattichart、岡田信二、東俊行、中野祐司
2. 発表標題 極低温イオン蓄積リングRICEを用いた中性ビームと分子イオンビームの合流実験 II
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村拓馬、橋本直、久間晋、中野祐司、岡田信二、山田真也、et al.
2. 発表標題 宇宙環境下における分子イオン反応の観測を目指して：超伝導検出器による質量分析
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江淵欣久、安原杏香、椎名陽子、中野裕司
2. 発表標題 エレクトロスプレイオン源の開発と矩形波イオンファネルによるイオン輸送
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田信二
2. 発表標題 超伝導転移端センサーが拓く量子ビーム実験
3. 学会等名 東北大学 素粒子・核物理学講座セミナー・新学術領域「量子ビーム応用」セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村拓馬、橋本直、久間晋、中野祐司、岡田信二、山田真也、et al.
2. 発表標題 宇宙環境下における分子イオン反応の観測：超伝導検出器による質量分析II
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会（オンライン、2021年）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大阿久貴博、飯澤正登実、河上剛、飯田進平、久間晋、木村直樹、Chartkunchand Kiattichart、岡田信二、東俊行、中野祐司
2. 発表標題 極低温イオン蓄積リングRICEを用いた中性ビームと分子イオンビームの合流実験
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会（オンライン、2021年）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須田博貴、中野祐司、山田真也、岡田信二、橋本直、久間晋、et al.
2. 発表標題 超伝導カロリメータを用いた低温下の星間分子計測実験（2）
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Okada
2. 発表標題 Accelerator-based physics experiments pioneered by superconducting TES microcalorimeters
3. 学会等名 TGSW2021 - Universe Evolution and Matter Origin（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須田博貴、橋本直、久間晋、中野祐司、岡田信二、山田真也、et al.
2. 発表標題 超伝導転移端検出器を用いた中性分子検出器の開発
3. 学会等名 原子衝突学会第46回年会（オンライン開催）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久間晋 et al.
2. 発表標題 RICE & TES: the ion storage ring meets the X-ray calorimeter
3. 学会等名 r-EMU Workshop 2021（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田真也 et al.
2. 発表標題 Status of the X-ray microcalorimeter application : from molecules to exotic atoms
3. 学会等名 r-EMU Workshop 2021（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ichinohe Y., Yamada S., Okada S., Hashimoto T., et al.
2. 発表標題 Application of deep learning to the waveform processing of transition-edge sensor calorimeters
3. 学会等名 19th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD19)（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuno H., Hashimoto T., Okada S., Yamada S., et al.
2. 発表標題 Measurement of thermal crosstalk from charged particles absorbed in the Si substrate of a microcalorimeter array
3. 学会等名 19th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD19) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原山朔弥、木村直樹、久間晋、Kiattichart Chartkunchand、飯澤正登実、山口貴之、中野祐司、東俊行
2. 発表標題 グラフェンシートを用いた低雑音高速中性粒子検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村拓馬、橋本直、久間晋、中野祐司、岡田信二、山田真也
2. 発表標題 宇宙環境下における分子イオン反応の観測: 超伝導検出器による質量分析!!!
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuji Nakano et al.
2. 発表標題 Cryogenic storage-ring experiments on the collisions and radiative processes of interstellar molecules
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河上剛、飯澤正登実、篠塚礼、高橋紘平、中井悠貴、町田光、大塚颯人、椎名陽子、中野祐司
2. 発表標題 合流ビーム実験に向けた中性原子ビーム開発
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会（オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原山朔弥、木村直樹、久間晋、Kiattichart Chartkunchand、飯澤正登実、山口貴之、中野祐司、東俊行
2. 発表標題 極低温静電型イオン蓄積リング RICE を用いた N20+ の輻射振動冷却 V
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会（オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯澤正登実、久間晋、木村直樹、Kiattichart Chartkunchand、原山朔弥、山口貴之、中野祐司、東俊行
2. 発表標題 極低温イオン蓄積リングRICEを用いたC2-の時間分解レーザー誘起電子脱離スペクトルの測定
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会（オンライン）
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
研究 分 担 者	久間 晋 (Kuma Susumu) (50600045)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・専任研究員 (82401)	

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	山田 真也 (Yamada Shinya) (40612073)	立教大学・理学部・准教授 (32686)	
研究分担者	中野 祐司 (Nakano Yuji) (20586036)	立教大学・理学部・准教授 (32686)	
研究分担者	橋本 直 (Hashimoto Tadashi) (20732952)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究副主幹 (82110)	

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		
米国	米国国立標準技術研究所 (NIST)		