

キーワード：#量子 #冷却原子 #極低温衝突 #化学反応制御 発行日：2025 年 1 月 15 日（水）

※ 本資料は、現在大阪大学 量子情報・量子生命研究センター所属の教員が前任研究機関において行なった研究成果であるため、本センターより参考としてお知らせするものです。

冷却原子気体における分子生成過程の量子制御に成功 — フェッシュバッハ共鳴により極低温衝突をコントロール —

◇ 研究成果のポイント

- ✓ 冷却原子系^{※1}での衝突過程における反応経路を外部磁場により制御することに成功しました。
- ✓ フェッシュバッハ共鳴^{※2}近傍での三体衝突^{※3}において、様々なスピン状態をもつ分子が生成されることを確認しました。
- ✓ 今後、冷却原子中の化学反応制御のための新たな手法として期待されます。

◇ 本成果は、「Nature Physics 誌」のオンライン版に 2025 年 1 月 9 日に掲載されました。

雑誌名: Nature Physics

論文タイトル: Controlling few-body reaction pathways using a Feshbach resonance

著者: Shinsuke Haze^{1*}, Jinglun Li¹, Dominik Dorer¹, José P. D’Incao^{1,2}, Paul S. Julienne^{1,3}, Eberhard Tiemann⁴, Markus Deiß¹, and Johannes Hecker Denschlag¹

1 Institut für Quantenmaterie and Center for Integrated Quantum Science and Technology IQST, Universität Ulm, Ulm, Germany

2 JILA, NIST and Department of Physics, University of Colorado, Boulder, CO, USA

3 Joint Quantum Institute, University of Maryland and NIST, College Park, MD, USA

4 Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Germany

DOI: 10.1038/s41567-024-02726-3

URL:<https://www.nature.com/articles/s41567-024-02726-3>

なお、本研究は以下の研究助成によって得られました。

科学技術振興機構（JST）先端国際共同研究推進事業 ASPIRE「量子情報と量子生命科学を包括する国際共同研究網の構築（研究代表者：水上 渉）」（JPMJAP2319）

および

科学技術振興機構（JST）ムーンショット型研究開発事業ムーンショット目標 6「2050 年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現（プログラムディレクター：北川勝浩）」の研究開発プロジェクト「イオントラップによる光接続型誤り耐性量子コンピュータ（プロジェクトマネージャー：高橋優樹）」（JPMJMS2063）

◇ 概要

Ulm 大学 Institute of Quantum Matter の土師慎祐 博士研究員（現：大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授）および Johannes Hecker Denschlag 教授、JILA の José P. D’Incao 教授、NIST の Paul S. Julienne 教授、Hannover 大学の Eberhard Tiemann 教授らの共同研究グループは、冷却原子気体中のフェッシュバツハ共鳴を用いて極低温反応過程を量子制御することに成功しました。

今回の研究成果では、原子間の三体衝突反応における分子生成パスが様々なスピン状態へと分岐されることが確認され、またそれが外部印加された磁場によりコントロール可能であることが示されました。この成果は今後、冷却原子系での化学反応を自在に制御するための新手法として期待されます。

◇ 研究の背景

レーザー冷却された原子気体はその制御性の良さから、原子物理、精密測定、量子情報科学といった様々な分野で研究されてきました。近年では特に、中性原子の量子コントロール技術を駆使した化学反応に関する研究に注目が集まっています。これまでの研究ではマイクロケルビン以下の極低温領域に冷却された原子や分子の反応や衝突過程を精密に計測することで、その量子力学的性質が化学反応を支配する大きな鍵となることがわかってきました。さらに近年では、そういった反応過程を量子的に制御する研究が活発に行われています。

◇ 研究成果

このような流れの中、今回の研究では冷却原子気体中（ルビジウム原子）の分子生成パスを外部から印加した磁場によりコントロールすることに成功しました。特にフェッシュバツハ共鳴と呼ばれる共鳴散乱領域においては、原子間衝突により生成される分子が様々なスピン特性を持つ状態へと分岐され（図.1 参照）、印加磁場の強度を変化させることでそれぞれの分子状態の占有数を自在に制御できることがわかりました（図.2 参照）。さらに、低磁場領域では抑制されていた分子生成チャンネルが散乱共鳴に近づくにつれて開放され、その生成レートを 2 桁程度増大させることが可能であることも発見されました。

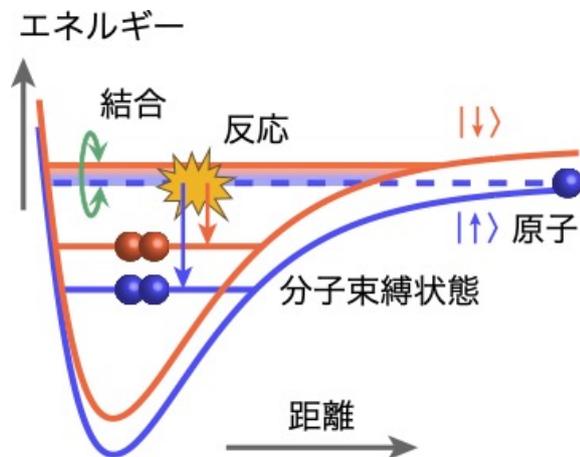


図 1：
分子ポテンシャル: 二つの分子状態（赤線と青線）が強く結合（フェッシュバツハ共鳴）することで、三体衝突時に異なるスピン特性を持つ分子が生成される。

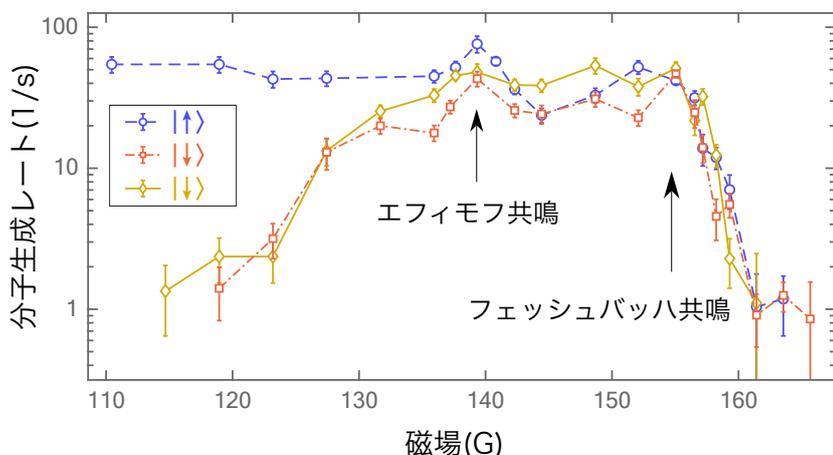


図 2 :
分子の生成レート:印加する磁場の大きさによって、それぞれの分子状態の占有数が大きく変化する様子が観測された。

◇ 今後の展望

今後、今回開発された手法を他の原子・分子種にも適応することで、新奇な化学反応過程の探索やそのメカニズムの解明への応用が見込まれます。特に極低温領域における化学反応では物質の持つ量子力学的な特性が重要な役割を担うことが予測されていますが、近年になってようやく関連する研究成果が報告されるようになってきました。本研究成果はそのような未踏領域の物性研究への第一歩といった位置付けにあり、今後更なる進展が期待されています。

土師慎祐 博士研究員（現：大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授）のコメント

本研究成果ではフェッシュバツハ共鳴法といった冷却原子系において古くから知られる技法を積極的に利用することによって、原子の三体化学反応を自在に制御することに成功しました。これにより、冷却原子研究で用いられてきたレーザー冷却やフェッシュバツハ共鳴のような伝統的な手法の持つパワーフルさや有用性を改めて示すことができたと思っています。今後はそれらを新たな技術やアイデアと組み合わせることにより、冷却原子研究を更に深化させようと考えています。

◇ 用語説明

※1 冷却原子系

レーザー冷却によって極低温領域に準備された中性原子気体のこと。通常、マイクロケルビン以下の温度にまで冷却することができる。

※2 フェッシュバツハ共鳴

二つの粒子が特定の部分波散乱する状態とその近傍に存在する分子束縛状態が結合することによる共鳴散乱現象。外部印加された磁場強度を変化させることにより、結合強度を制御することができる。

※3 三体衝突

三つの粒子の近距離衝突のこと。衝突後には二つの粒子が束縛状態へと移り二原子分子を形成する。その際に放出されるエネルギーは分子と残された原子の運動エネルギーへと変換される。

◇ SDGs 目標



◇ 本件に関するお問い合わせ先

[研究に関すること]

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター

准教授 土師 慎祐

Tel: 06-6850-8451

e-mail: shinsuke.haze.qiqb [at] osaka-u.ac.jp

[報道に関すること]

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター

企画室 プレスリリース窓口

Tel: 06-6850-6590

e-mail: press_qiqb [at] ml.office.osaka-u.ac.jp

※ 上記の [at] は@に置き換えてください。