

平成 29 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」 調査研究報告書(公開版)

【研究題目】

ガンマ線レーザー実現に向けた高効率ポジトロニウム生成材料の開発

【整理番号】

TK17-046

【代表機関】

AIST

【調査研究代表者（氏名、連絡先 TEL & Mail）】

氏名：大島永康 TEL：089-861-5203 E-mail：nagayasu-oshima@aist.go.jp

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】

東京大学：石田明

【TIA 外連携機関】（ある場合には記載）

九州大学 グローバルイノベーションセンター

【報告書作成者】

大島永康

【報告書作成年月日】

平成 30 年 3 月 30 日

【連携推進（具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等）】

本調査研究では、可視光や X 線に次ぐ次世代レーザーとして期待されている、ガンマ線レーザーの世界初実現の可能性を探索するため、高効率なポジトロニウム生成材料を試作した。ガンマ線レーザーの実現に成功すれば、原子核サイズに迫る超高精細撮像、精密外科的医療、超長距離通信、内部非破壊検査などの応用が期待される。電子とその反粒子である陽電子でできた原子・ポジトロニウムは、消滅時にガンマ線を発生するため、その大量生成でガンマ線レーザーとなり得る。

機関間の連携推進のため、産総研において東大側メンバーを交えた研究打合せを計 16 回行った。また、【調査研究内容】欄に記載したように、様々な国際・国内会議に出席し、国内外の研究者との意見交換や連携拡大を進めた。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

ガンマ線レーザー源として期待される大量のポジトロニウムを生成する方法を明らかにするため、主に (A) 高密度陽電子生成法開発と、(B) 陽電子-ポジトロニウム変換材料開発、の 2 項目について調査研究を進めた。以下に、それぞれの成果内容を記す。

(A) 高密度陽電子生成法開発

大量（高密度）のポジトロニウムの生成法について、数値シミュレーション等を用いて検討した結果、次のような生成法であれば、実現できることがわかった（①～③）。①既に実用化されている陽電子蓄積装置から大量の陽電子を一気に放出することで、高強度の陽電子パルス化ビームを得る。②陽電子ビームを、輝度増強装置を用いてマイクロビーム化する。③マイクロビームをポジトロニウム生成材料に照射し、高密度ポジトロニウムを得る。

装置の具体的な仕様が求まり、設計指針を明確にすることができた。なお、数値シミュレーションでは、京都大学の葛谷佳広氏、木野村淳氏にご協力いただいた。

(B) 陽電子-ポジトロニウム変換材料開発

ポジトロニウムの高密度での大量生成に適した材料として、①微細穴加工したシリカガラス、②ゾルゲル法による多孔質シリカ薄膜、の 2 つの方法を並行して試し、ガンマ線レーザー実現可能性を探った。

①の開発は、九州大学の藤野茂氏と協力して行った。可塑性をもつ SiO_2/PVA 重合体に、シリコン金型を押しつけ、インプリントによる穴加工の機能性シリカガラス材料を試作した。表面研磨が結果に大きく影響することが判明し、適切な研磨法を確立し、試作品が完成した。また、②の開発は、ゾルーゲル法によって多孔質シリカを石英基板上に作成した。なお、これらの試料の試作では、産総研の伊藤賢志氏、熊谷和博氏、広島大学の都留稔了氏にご協力いただいた。

①、②ともに、KEKのSPF(低速陽電子施設)にて、ガンマ線レーザーに必要なポジトロニウム大量生成が可能か、平成30年3月までに5日間のビームテストを行った。測定データの一部は、現在も解析中であるが、ポジトロニウム生成材料の知見が蓄積された。

学会発表等を以下に整理する。

<国際会議> 3会議に参加、発表3件

- 1) (招待講演) A. Ishida, "Recent progress in positronium experiments for Bose-Einstein condensation", Low Energy Antiproton Physics Conference 2018 (LEAP 2018), 2018年3月15日、パリ、フランス
- 2) (招待講演) A. Ishida, "Study on positronium Bose-Einstein condensation", The 3rd China-Japan Joint Workshop on Positron Science (JWPS2017), 2017年6月9日、合肥、中国
- 3) K. Shu, "Toward a Realization of Bose-Einstein Condensation of Positronium", 2nd Jagiellonian Symposium on Fundamental and Applied Subatomic Physics, 2017年6月6日、クラクフ、ポーランド

<国内会議> 8会議に参加、発表13件

日本物理学会第73回年次大会(2018年)(2018年3月22~25日、東京理科大学)

- 4) 石田明「ボース・アインシュタイン凝縮を目指したポジトロニウム冷却 I」
- 5) 周健治「ボース・アインシュタイン凝縮を目指したポジトロニウム冷却 II」
- 6) 大島永康「高密度ポジトロニウム生成のための陽電子ビーム高輝度化技術の研究」
第1回産総研微細構造解析プラットフォーム設備利用講習会 陽電子プローブと機能材料および関連課題(2018年3月13日、つくば(産総研))

7) 周健治「ナノ空孔材料を利用した高密度・低温ポジトロニウムの生成」

NMIJ 成果報告会(2018年2月2日、つくば(産総研))

- 8) 大島永康「ガンマ線レーザー実現に向けた高効率ポジトロニウム生成法の開発」
京都大学原子炉実験所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」(2017年12月8日、京都大学原子炉実験所)

9) 石田明「ボース・アインシュタイン凝縮実現を目指したポジトロニウム冷却」
第9回TIAシンポジウム -TIAが生み出すイノベーション- (2017年10月2日、東京)

- 10) 大島永康「ガンマ線レーザー実現に向けた高効率ポジトロニウム生成材料の開発」
第60回放射線化学討論会(2017年9月27日、つくば(産総研))

11) 周健治「ボース・アインシュタイン凝縮を目指したポジトロニウム冷却」
12) 大島永康「高密度ポジトロニウム生成のための陽電子ビーム高輝度化法の研究」

日本物理学会2017年秋季大会(2017年9月13日、宇都宮大学)

- 13) 周健治「ボース・アインシュタイン凝縮を目指したポジトロニウム冷却 I」
- 14) 村吉諄之「ボース・アインシュタイン凝縮を目指したポジトロニウム冷却 II」

第54回アイソトープ・放射線研究発表会(2017年7月6日、東京大学弥生講堂)

- 15) 周健治「ボース・アインシュタイン凝縮を目指したポジトロニウム冷却」
- 16) 大島永康「高密度ポジトロニウム生成のための陽電子ビーム高輝度化法の検討」

<学位論文> 1件

- 17) 村吉諄之、修士学位論文、2017年度(2018年1月25日)、東京大学

<受賞> 1件

18) 周健治、第 60 回放射線化学討論会 (2017 年 9 月 27 日、つくば (産総研)) 最優秀賞 若手口頭発表部門

【今後の活動予定】

＜チームとしての活動予定＞

今回の調査研究チームを継続するとともに、今回の調査研究でご協力いただいた方々との研究活動の拡大を検討する。

＜新たな資金獲得の方針＞

平成 30 年度の「かけはし」に継続申請する。また、2019 年度の科研費 (平成 30 年 11 月募集) に応募する。

＜調査研究計画＞

(A) 高密度陽電子生成法開発

2018 年度は、高強度陽電子マイクロビームの生成光学系を、ビーム空間電荷効果を考慮して設計する。また、産総研の陽電子マイクロビームを用いて、開発材料のポジトロニウム生成効率について評価する。

(B) 陽電子-ポジトロニウム変換材料開発

2018 年度は、ビームテストの結果を解析し、試作した試料のポジトロニウム生成効率を明らかにする。効率が不十分な場合は、試料の設計や製作手順の改良を行う。2 つの試料作成法を比較し、ガンマ線レーザーに使用する方法を検討・決定する。ガンマ線レーザーにはポジトロニウムの大量生成だけでなく、レーザーを用いたポジトロニウムの高速冷却も不可欠である。試料に適した冷却用レーザーの開発を並行して進めるとともに、ポジトロニウムの温度測定法を開発する。

以上