2023 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	石田 明
研究機関名	東京大学
所属部署名	大学院理学系研究科
役職名	助教
研究課題名	反物質量子凝縮体によるガンマ線レーザーの実現
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日

研究成果の概要

本研究の目標は、電子とその反粒子である陽電子の束縛状態にある反物質系であるポジトロニウム (Ps) によるボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) を実現し、さらに Ps-BEC を光源としたガンマ線レーザーに応用することである。ステージ 1 においては、Ps-BEC を実現すべく、(1) Ps を生成・濃縮・冷却するナノ反応器、(2) Ps レーザー冷却、(3) 高密度陽電子ビーム制御システム、の三つの必須要素技術開発を進めた。2023 年度の開発進展状況を以下に整理する。(1) ナノ反応器：Ps-BEC 実現の候補材料として試作した二酸化ケイ素 (シリカ) ナノ材料 3 種類 (シリカエアロゲル、ナノプロセッシング、規則配列シリカナノ粒子) について、性能評価を継続した。評価は高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所 (IMSS) 低速陽電子実験施設 (SPF) の陽電子ビームラインにおける Ps 飛行時間 (Ps-TOF) 測定により、Ps 生成率と Ps の運動エネルギー分布を測定する方式で実施した。材料中で Ps を熱化冷却させるべく、冷凍機で冷却した材料における測定を可能にし、暫定的な測定結果を得た。データ解析とシミュレーション構築を行い、今後の材料開発に向けた準備を進めた。(2) Ps レーザー冷却：真空中における一次元 Ps レーザー冷却の原理実証に世界に先駆けて成功し、1.2 K 以下の温度に相当する速度までの Ps 冷却を達成した。これは、目標温度である 10 K の 1/8 もの低温である。また、機械学習を活用したデータ解析手法の開発を進めた。(3) 陽電子ビーム制御システム：高密度陽電子ビーム集束システムの開発および Ps 生成材中での高密度陽電子・Ps の挙動を調査するためのシミュレーションベースの研究を継続した。