

2024 年度年次報告書

量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

2024 年度採択研究代表者

吉村 浩司

岡山大学 異分野基礎科学研究所
教授

原子核時計が切り拓く時空計測フロンティア

主たる共同研究者：

笠松 良崇（大阪大学 大学院理学研究科 教授）

山口 敦史（理化学研究所 開拓研究本部 専任研究員）

研究成果の概要

岡山グループは、固体結晶中の ^{229}Th アイソマー寿命が X 線照射により減少する「クエンチ現象」の解明に取り組んだ。X 線の照射条件や結晶温度を変えて寿命の変化を観測するための装置を開発し[1]、クエンチ現象を引き起こすメカニズムを解明した[2]。さらに、 ^{229}Th 励起用の真空紫外VUVパルスレーザーを開発し、固体結晶中の ^{229}Th の励起に成功した。レーザー分光および SPring-8 の X 線を用いた XAFS 観測[3]により固体中における ^{229}Th の配位構造などに関する重要な知見を得た。

理研グループは、岡山グループで開発したレーザーを理研グループの拠点に移設し、イオントラップ中の ^{229}Th の原子核励起を目指す実験の準備を進めた。レーザーとトラップを接続するインターフェースの設計および必要機器の調達を行った。イオン励起を確実に検出するためには、イオンをレーザー冷却し、個別に観測できるクローン結晶化状態にする必要がある。ここでは Ca^+ イオンと ^{229}Th イオンを同時にトラップして、 Ca^+ イオンの冷却を行うことで ^{229}Th イオンを間接的に冷却する「共同冷却」法を採用し、 Ca^+ のクローン結晶化および ^{232}Th と Ca^+ を同時トラップに成功した。また、連続波 VUV レーザーの開発に向けて必要なレーザー光源と除振台の調達を実施した。

大阪グループでは、希ガスマトリックス ^{229}Th 試料作成装置開発の準備、新しい ^{229}Th 結晶試料作成のための環境整備と基礎実験および相対論量子化学計算のための基礎研究を行った。装置開発では、必要な機器の選定とチャンバーの設計を行い、ターボ分子ポンプを入手した。結晶試料作成に関しては、 ^{232}Th 試料を確保し、実際に新規結晶試料の作成に取り組み、硝酸トリウムの新しい結晶の作成と分光測定による構造決定に成功した。また、化学計算によってトリウム錯体に適切な計算条件の検討などを行った。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Guan Ming, et al., “A method to detect the VUV photons from cooled $^{229}\text{Th}:\text{CaF}_2$ crystals”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B, **562**, 165647 (2025)
- 2) Guan Ming, et al., “X-ray induced quenching of the ^{229}Th clock isomer in CaF_2 ”, arXiv:2505.03852 (2025)
- 3) Sayuri Takatori, et al., “Characterization of the thorium-229 defect structure in CaF_2 crystals”, New J. Phys. **27** 043024 (2025)