

2025 年度年次報告書

先端国際共同研究推進事業

【2024 年度採択 次世代のための ASPIRE 量子分野】

【研究課題名】

電荷秩序を用いたトポロジカル物質の磁気機能開拓

研究代表者：

ヒルシュベルガー マクシミリアン（東京大学 大学院工学系研究科 准教授）

相手側研究代表者：

SCHOOP Leslie（プリンストン大学 化学専攻 教授）

1. 研究進捗状況と成果

① 研究構想

<実施したこと>

米国側研究者および日本側研究者共同研究を進める中で、電荷秩序を示す 10 種以上の新規量子物質を合成することができた。日本側の学生が数か月間にわたり米国側研究者を受け入れ、共同で電荷秩序物質のメソスコピックデバイスを作製し、電子物性測定を実施した。日本側の学生および研究者が、大型放射光施設 SPring-8（兵庫）ならびに高エネルギー加速器研究機構 KEK の Photon Factory（茨城・つくば）において X 線散乱実験を実施した。さらに、日本側の学生が米国の大型施設（オークリッジ国立研究所〔テネシー州〕、国立強磁場研究所〔フロリダ州タラハシー〕）を訪問し、共同研究者とともに実験を行い、量子物質の物理特性を評価した。

<得られた成果>

日本側および米国側の共同研究においては、電荷秩序とカゴメ格子構造を併せ持つ物質、とりわけ化学組成式 RM_3T_2 (R =希土類元素、 M =遷移金属、 T =Si または Ge) で表される固体を重点対象として研究を推進した。対象物質に対して詳細な物性評価を実施し、その成果として電荷秩序固体に関する国際学術誌での共同論文 2 報を公表した[Phys. Rev. Res. **7**, 033032 (2025); Adv. Mater. **38**, e13015 (2025)]。さらに、別の共同研究論文 1 報を国際学術誌に投稿するとともに、日本側参画者が国際会議において招待講演を複数件実施した。

② 国際頭脳循環の促進

提案どおり、学生 1 名がドイツ・ハンブルクの DESY の PETRA-III 放射光施設において共鳴弾性 X 線散乱実験を実施した。また、ドイツ・シュトゥットガルトのマックス・プランク研究所を訪問して共同研究者との議論を行った。共同研究に参画する日本側メンバー 2 名が、2025 年 8 月に米国フロリダ州タラハシーにおいて強磁場下実験を実施した。さらに、日本側大学院生 2 名が 2026 年 3 月および 4 月にプリンストン大学に滞在して研究活動を行い、加えて日本側メンバー 2 名とともに米国コロラド州デンバーで開催された米国物理学会 (APS) March Meeting に参加した。日本側研究代表者は、ドイツおよびカナダにおける国際会議 4 件で招待講演を行った。その他の日本側参画者も国際会議 2 件に参加した。

当初計画に加えて、学生 1 名が米国テネシー州のオークリッジ国立研究所を訪問し、電子顕微鏡実験を実施した。また、当初計画を超えて米国側研究者の来日回数を拡充した。

<得られた成果>

当初計画から一部変更が生じたものの、日本側の学生および若手研究者による海外滞在日数の合計は 124 日に達した。加えて、2025 年度における米国側若手研究者の東京大学内研究室での滞在日数の合計は 192 日であった。

2. 代表的な成果事例

Misawa, R., Kriener, M., Yamada, R., Nakano, R., Jovanovic, M., Schoop, L. M., and Hirschberger, M. Chemical Enhancement of Superconductivity in LaRu_3Si_2 with Mode-Selective Coupling between Kagome Phonons and Flat Bands. *Physical Review Research*, **7**, 033032 (2025).

概要： $\text{LaRu}_3(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ において化学圧で c 軸方向を調整し、Ru 4d 由来のカゴメ平坦バンドを保ったまま超伝導を増強した研究。比熱測定では $x = 0.07$ まで状態密度の有意な増大が見られ、それに伴っ

て超伝導転移温度も上昇する。第一原理計算は、格子膨張によってカゴメ層間の不利な混成が弱まり、平坦バンド電子の局在性が強まることを示している。

Misawa, R., Kitou, S., Yamada, R., Gaggl, T., Nakano, R., Shibata, Y., Okamura, Y., Kriener, M., Baral, P. R., Nakamura, Y., Ōnuki, Y., Takahashi, Y., Arima, T.-h., Jovanovic, M., Schoop, L. M., and Hirschberger, M. Successive Orthorhombic Distortions in Kagome Metals by Molecular Orbital Formation. *Advanced Materials*, **38**, e13015 (2026).

概要：希土類系カゴメ金属 RRu_3Si_2 において、高温六方晶相から低温斜方晶相へ至る構造相転移を、シンクロトロン X 線回折と散漫散乱の解析で調べた研究。低温相ではカゴメ原子の層間ダイマー化が見いだされ、その起源として kagome $4d_{z^2}$ 軌道間の分子軌道形成が提案されている。さらに、電気陰性度と原子半径を用いて六方晶相の安定性を評価する枠組みを与え、高対称なカゴメ金属設計への指針を示している。