

# 令和4年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目： 個人研究 研究期間：令和4年10月～令和5年9月

研究課題名： $Z_3$ ネマティック電子秩序の制御と創発現象

ラボ長

所属：物質創成専攻・物性物理学領域

氏名：細井 優

## 研究成果

### [研究目的]

固体中に存在する電子は、スピンや軌道などの量子力学的な自由度に由来した様々な量子秩序状態が現れる。中でも電子状態が非自明な異方性を示す「電子ネマティック秩序」は、固体と液体の中間状態である液晶状態の一つに準えて注目を集める。このような電子ネマティック秩序の発現には、等価な量子力学的な自由度の存在が鍵を握っており、従来までの研究では“2つ”の自由度が縮退した物質に起こる「 $Z_2$ ネマティック状態」に焦点が当てられてきた。しかし最近では“3つ”の自由度が縮退した系( $Z_3$ 状態)にも、「 $Z_3$ ネマティック状態」という新奇現象の可能性が指摘され、新たな研究展開を迎えつつある。

そこで本研究では、“3つ”の量子力学的自由度を有する物質として、3つの等価な電子バレーを有するトリプルバレー物質ビスマスや(図1(a)), Zigzag型の反強磁性秩序ベクトルが等価な3方向に発達しうるハニカム磁性体に注目した(図1(b))。両者は全く異なる物質群であるものの、 $Z_3$ ネマティック秩序という俯瞰的な切り口からの視点に基づく理解を確立させることを目指している。いずれの物質でも歪みを導入することで、バレー自由度や反強磁性秩序ベクトルを制御できると期待されており、歪み印加に伴う新たな新奇物性開拓に繋がりたいと考えている。

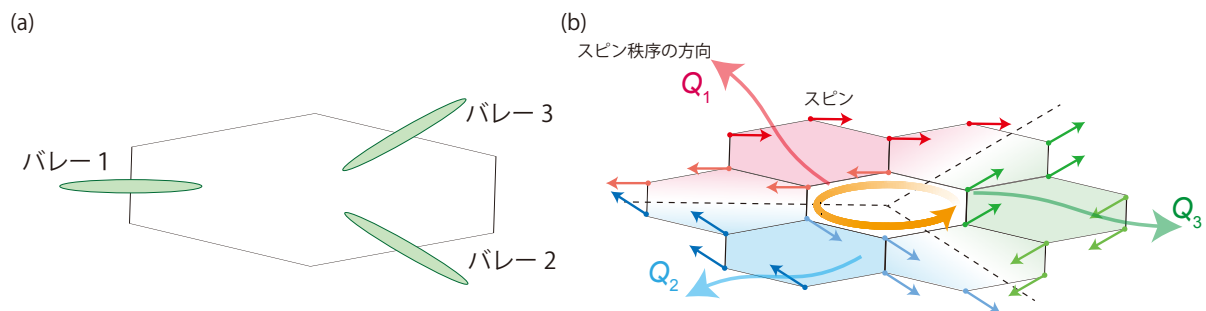


図1 3つの量子力学的自由度が存在する  $Z_3$ 状態の例。(a)ビスマスにおける3つの等価な電子バレーの模式図。(b)ハニカム格子磁性体における3つの反強磁性秩序ベクトルの模式図。

### [研究成果]

ビスマスにおいては、歪みの対称性に応じた3つのバレー制御と、バレー制御に伴う電気伝導機構の解明を目指している。バレー制御と電気伝導を結びつける上で、重要なパラメータとなるのが、各バレーの状態密度である。各々のバレー状態密度が歪みによって変化することを定量的に

評価するために、量子振動の歪み依存性を調べることを目標に掲げていた。量子振動によるバレー状態密度の変化と歪みの対称性による選択的制御の可能性を探るためには、単に量子振動を観測するだけでは不十分であり、磁場方向や歪みの印加方向を変えながら測定する必要がある。そのために、試料に対する磁場角度を可変的に制御可能な水平磁場を印加できるスプリットマグネットが必要であった。当初計画では令和4年度中に、スプリットマグネットに温度可変インサート VTI を搭載した冷凍機の立ち上げおよび、それらに組み合わせる歪み装置を積載したプローブの開発を行うことを予定していた。冷凍機の立ち上げに当たってデュワーの真空断熱層の修理などの予定外のトラブルがあったものの、令和5年1月に入って本格稼働に至った。その結果、ビスマスの量子振動の歪み依存性の観測に成功しており、歪みによるバレーの状態密度変化を実験的に観測することに成功した。また、平行してバレーの状態密度変化をもとに、歪み下のバレー電気伝導の理論的なモデルの構築も進めており、歪みによる電気抵抗変化である弾性抵抗応答とバレー状態密度変化を結びつけることにも取り組んできた。実験で観測されたバレーの歪み応答は、構築したバレー伝導モデルによる予測とも対応しており、当初目的であったバレー制御とそれに伴う電気伝導機構解明に概ね成功したといえる。これらの成果の一部について、令和4年度末に行われた日本物理学会 2023 年春季大会において、学会発表を行なった[学会発表 1]。今後、再現性等を担保した上で、近く論文投稿を予定している。

ハニカム磁性体においては電気磁気現象の開拓と歪みによる反強磁性秩序ベクトル制御およびその検出を目指している。令和4年度中は予備実験として、LCR メータを用いた液体ヘリウムベッセル中での誘電率測定手法開発に取り組み、誘電率測定に必要な条件出し等を行なった。電気磁気効果測定には、誘電率の磁場角度依存性を調べる必要があり、スプリットマグネットと組み合わせで行う。上記のビスマスの量子振動測定時に開発した歪み機構搭載型インサートは、誘電率測定用の同軸線を別に通しており、ビスマスの測定の目処が立ち次第、ハニカム磁性体の電気磁気効果測定に移行できる準備を済ませている。

**キーワード：Z3 ネマティック秩序，バレー，歪み，反強磁性，電気磁気効果，ハニカム磁性体**

#### 研究経費（R4 年度）の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
635,295 円	164,705 円	0 円	0 円	0 円	800,000 円

#### 共同研究者等

(1) 共同研究者（氏名・所属）

なし

(2) 研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））

橘風夢 物質創成専攻 修士2年

石田健太郎 物質創成専攻 修士1年

阪口真衣 電子物理科学科 学部4年生

## 発表論文等（令和5年3月31日現在）

〔雑誌論文〕

〔著書〕

〔学会発表〕

[1] 細井優, 橘風夢, 阪口真衣, 石田健太郎, 下澤雅明, 木下雄斗, 徳永将史, 井澤公一: 「ピスマスにおけるバレー操作と歪み下電気伝導」 日本物理学会 2023年春季大会 (2023年)

〔その他〕

## 外部資金獲得状況・申請状況

・科学研究費補助金（挑戦的研究・萌芽）申請中

## 参考となるHP等