

## Electrophysics

## 電磁物性学

### I サマリウム化合物における磁性 - 非磁性転移の研究

Study of nonmagnetic-magnetic transition in samarium compounds

水戸 毅・中井 祐介・藤井 拓斗

Mito, T., Nakai, Y., Fujii, T.

希土類元素を含む化合物が示す様々な物性を、希土類元素の種類によって特徴づけることを目的に、サマリウム (Sm) 化合物の磁性、電気伝導性、Sm 価数に注目した研究に取り組んでいる。SmB<sub>6</sub> や SmS は、常圧下では Sm 価数が 2~3 価間の中間価数状態をとり、非磁性の半導体 (近藤半導体) であるが、圧力の印加によって金属的かつ磁性を示すようになる。これらの物質は、近年ではトポロジカル近藤半導体の候補としても注目されており、4f 電子状態やギャップの圧力依存性を核磁気共鳴 (NMR) 測定によって調べている。

### II トポロジカル物質の微視的研究

Microscopic study on topological materials

水戸 毅・中井 祐介・藤井 拓斗

Mito, T., Nakai, Y., Fujii, T.

トポロジカル物質で観測される新奇な特性である高い移動度、巨大磁気抵抗、非自明な表面状態などは、バンド反転や線形分散と密接に関連している。黒リンはグラフェンに似た 2 次元層状構造をとり、常圧下約 0.3 eV のギャップを有する半導体である。圧力印加に従ってギャップの大きさが減少し、約 1.5 GPa において半金属状態に転移するという報告がなされ、トポロジカル電子状態の発現が期待されている。本研究では、黒リンについて温度、圧力を変化させ、系統的な <sup>31</sup>P-NMR 測定を行っている。新奇なトポロジカル電子状態を示すと期待される  $\alpha$ -EuP<sub>3</sub> についても NMR 測定に取り組んでいる。

### III 層状超伝導体 NaSn<sub>2</sub>As<sub>2</sub> およびその類縁物質の核磁気共鳴

NMR studies of layered superconductor NaSn<sub>2</sub>As<sub>2</sub>

水戸 毅・中井 祐介・藤井 拓斗  
Mito, T., Nakai, Y., Fujii, T.

新規な層状超伝導体  $\text{NaSn}_2\text{As}_2$  は、van der Waals 力という非常に弱い力で結合した  $\text{SnAs}$  を伝導層とする二次元的な層状物質であるが、バルク超伝導を示す。層間の結合が弱いいため、層間に存在する元素を変更することで、超伝導のみならず、熱電材料・電極材料など多彩な物性が発現することがわかりつつある。本研究では、核磁気共鳴の元素選択的な特長を活かして、本物質群に対して微視的な構造および電子状態の解明に取り組んでいる。

## IV 多極子秩序系の核四重極共鳴、核磁気共鳴

NQR and NMR studies on multipolar ordering systems

水戸 毅・中井 祐介・藤井 拓斗  
Mito, T., Nakai, Y., Fujii, T.

電氣的、磁氣的多極子秩序を示すと考えられる化合物について、核四重極共鳴 (NQR) と核磁気共鳴 (NMR) を用いた研究を行なっている。 $\text{CeB}_6$  は、3.3 K 以下において反強四極子秩序を示す物質であるが、この物質について初めて  $^{11}\text{B}$ -NQR 観測に成功した。また、0.05 T の極弱磁場下での  $^{11}\text{B}$ -NMR 測定にも成功した。秩序状態での  $^{11}\text{B}$ -NQR スペクトル測定の結果、これまで考えられてきた  $O_{xy}$  型の反強四極子秩序構造で期待される形状変化が観測されなかった。また、磁場中反強四極子相で誘起される内場が有限の磁場下でゼロになる振る舞いが観測され、磁場中とゼロ磁場中では反強四極子秩序構造が異なる可能性を示唆する新しい実験結果が得られた。

## V ユーロピウム化合物の核磁気共鳴による研究

NMR studies on europium compounds

水戸 毅・中井 祐介・藤井 拓斗  
Mito, T., Nakai, Y., Fujii, T.

ユーロピウム (Eu) を含む化合物が示す磁性や Eu 価数について、NMR 測定による研究を行なっている。Eu は 3 価で非磁性であるのに対し、2 価では軌道角運動量を持たないにもかかわらず、 $7\mu_{\text{B}}$  もの大きな磁気モーメントを持つという特徴がある。特に、擬一次元 Eu 硫化物  $\text{Eu}_2\text{BiS}_4$  の磁性について NMR 測定を用いて調べている。

## 発表論文 List of Publications

- I-1** Shogo Yoshida, Hajime Ueda, Tetsuya Mutou, Shun Katakami, Masato Okada, Yuichi Yokoyama, Masaichiro Mizumaki, Naoka Hiraoka, Kentaro Kitagawa, Yoshinori Haga, Takuto Fujii, Yusuke Nakai, Takeshi Mito: Unique Band Structure of Pressure Induced Semiconducting State in SmS Characterized by  $^{33}\text{S}$ -Nuclear Magnetic Resonance Measurements, *J. Phys. Soc. Jpn.* 93, 013702 (2024).
- I-2** Hajime Ueda, Shun Katakami, Shogo Yoshida, Takehide Koyama, Yusuke Nakai, Takeshi Mito, Masaichiro Mizumaki, Masato Okada: Bayesian approach to  $T_1$  analysis in NMR spectroscopy with applications to solid state physics, *J. Phys. Soc. Jpn.* 92, 054002 (2023)
- I-3** Hajime Ueda, Shun Katakami, Shogo Yoshida, Takehide Koyama, Yusuke Nakai, Takeshi Mito, Masaichiro Mizumaki, Masato Okada: Efficient NMR measurement and data analysis supported by the Bayesian inference : The case of the heavy fermion compound  $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ , *Journal of Magnetic Resonance* 357, 107585 (2023)
- I-4** Shogo Yoshida (Invited): Anomalously weak magnetism near a pressure-induced magnetic transition in SmS, *The 10th International Workshop on the Dual Nature of f-Electrons*, 2023 年
- I-5** 吉田章吾, 合田翔, 平岡奈緒香, 北川健太郎, 武藤哲也, 上田朔, 片上舜, 岡田真人, 横山優一, 水牧仁一朗, 芳賀芳範, 藤井拓斗, 中井祐介, 水戸毅: SmS 金色相における特異なギャップ状態 II、日本物理学会 第 78 回年次大会
- I-6** 西川智稀, 藤井拓斗, 中井祐介, 水戸毅, 伊賀文俊: 近藤絶縁体  $\text{SmB}_6$  単結晶試料の角度制御 NMR 測定、日本物理学会 第 78 回年次大会
- I-7** Nishikawa Tomoki, Fujii Takuto, Nakai Yusuke, Mito Takeshi, Iga Fumitoshi: Angle-controlled  $^{11}\text{B}$ -NMR studies of Kondo insulator  $\text{SmB}_6$ , *International Conference on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE2023)*
- I-8** 西川智稀, 藤井拓斗, 中井祐介, 水戸毅, 伊賀文俊:  $^{11}\text{B}$ -NMR 測定で観測される近藤絶縁体  $\text{SmB}_6$  の低温異常、日本物理学会 2024 年春季大会
- II-1** Yusuke Nakai, Takuto Fujii, Kenta Fujiwara, Michihiro Hirata, Yasumasa Hasegawa, Takuji Nomura, Yuichi Akahama, Takeshi Mito: Unraveling the Nature of Dirac Fermions in Black Phosphorus through Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, *International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2023 (SCES2023)*
- II-2** 横山駿, 藤井拓斗, 中井祐介, 水戸毅, メイヨーアレックス浩, 高橋英史, 石渡晋太郎: トポロジカル磁性半金属  $\alpha\text{-EuP}_3$  の角度分解  $^{31}\text{P}$ -NMR 測定、日本物理学会 第 78 回年次大会
- II-3** 横山駿, 藤井拓斗, 中井祐介, 近藤雅起, 酒井英明, 花咲徳亮, 水戸毅: 磁性ワイル半金属候補物質  $\text{EuMg}_2\text{Bi}_2$  の Eu-NMR による研究、日本物理学会 2024 年春季大会

**III-1** Shota Nakanishi, Yusuke Nakai, Yosuke Goto, Yoshikazu Mizuguchi, Takuto Fujii and Takeshi Mito: Site-Selective NMR/NQR Study on Layered Tin Pnictide Superconductor  $\text{NaSn}_2\text{Pn}_2$  ( $\text{Pn} = \text{P}$  and  $\text{As}$ ), J. Phys. Soc. Jpn. 93, 023703 (2024).

**III-2** Shota Nakanishi, Yusuke Nakai, Takeshi Mito, Yosuke Goto, Yoshikazu Mizuguchi: Low-Temperature Anomalies in Novel Layered Superconductor  $\text{NaSn}_2\text{As}_2$  Detected by NMR/NQR, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2023 (SCES2023)

**IV-1** Takeshi Mito, Hiroki Mori, Keisuke Miyamoto, Taichi Tanaka, Yusuke Nakai, Koichi Ueda, Fumitoshi Iga, Hisatomo Harima: A Possible New Phase in Zero-field Region in Antiferro-quadrupole Ordered Phase of  $\text{CeB}_6$ , International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2023 (SCES2023)

**V-1** 金子廉, 山根悠, 藤井拓斗, 中井祐介, 山口明, 住山昭彦, 水戸毅: 擬一次元 Eu 化合物  $\text{Eu}_2\text{BiS}_4$  の NMR による研究、日本物理学会 第 78 回年次大会

## 物質科学専攻

### 博士後期課程

- 中西祥太 : 新奇層状物質の微視的電子状態の研究  
吉田章吾 : Sm 化合物の高圧下物性研究

### 博士前期課程

- 金子廉 : 低次元 Eu 化合物の NMR 法による研究  
西川智稀 : トポロジカル絶縁体の NMR 法を用いた研究  
水谷聖 : 高エントロピー合金超伝導体の微視的研究  
横山駿 : 磁性トポロジカル半金属の NMR 法を用いた研究  
横山瑛俊 : 黒リン単結晶試料の NMR 法による研究

## 科学研究費補助金等

- 1 科学研究費補助金 (2021 年度~2023 年度) 基盤研究 (C) 課題番号:21K03475  
研究課題 「高圧下におけるディラック半金属/トポロジカル絶縁体のバンド構造と磁気効果」  
研究代表者 水戸毅
- 2 科学研究費補助金 (2021 年度~2023 年度) 基盤研究 (C) 課題番号:21K03450  
研究課題 「NMR 測定からアプローチするディラック電子の特異な反磁性と磁場下の電子状態」  
研究代表者 中井祐介