

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

Mito, T., Nakai, Y.

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。SmB₆ 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、4*f* 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。SmB₆ については最新の高圧力技術との組み合わせにより 10 GPa まで、SmS については S 元素を NMR 観測が可能な ³³S 同位体で濃縮した試料を準備して 3.2 GPa までの測定を行った。

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

Mito, T., Nakai, Y.

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 ³¹P-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 α -EuP₃ についても NMR 測定に取り組んでいる。

III Shastry-Sutherland 格子の核磁気共鳴

NMR studies of Shastry-Sutherland lattice compounds

水戸 毅・中井 祐介
Mito, T., Nakai, Y.

幾何学的フラストレーションを持つ系では、スピンアイス、量子スピン液体状態、分数磁化プラトールなどの興味深い量子状態が生成されることが知られている。Shastry-Sutherland 格子を有する系では、幾何学的フラストレーションのために分数磁化プラトールや多彩な磁気構造が報告されており、微視的な観点からこの系の磁気構造や磁気的なゆらぎを明らかにするために NMR 実験に取り組んでいる。

IV 高エントロピー合金型超伝導体の微視的研究

Microscopic studies of high-entropy-alloy-type superconductors

水戸 毅・中井 祐介
Mito, T., Nakai, Y.

高エントロピー合金 (HEA) とは、5 種類以上の異種金属が均等に近い比率で固溶した特殊な合金であり、構造材料や耐熱材料などの分野で近年盛んに研究が行われている。2014 年以降には様々な HEA 超伝導体も報告され、超高压下でも超伝導状態を維持すること、高い耐放射線特性をもつ超伝導であることが報じられ、HEA 超伝導体の新奇な特性に注目が集まっている。本研究では、NMR および NQR の元素選択的な長を活かして、HEA 型超伝導体に対して微視的な局所構造と電子状態の解明に取り組んでいる。

発表論文 List of Publications

- I-1 S. Yoshida, T. Koyama, H. Yamada, Y. Nakai, K. Ueda, Y. Haga (JAEA), K. Kitagawa (Univ. Tokyo), T. Mito: Symmetry Analysis of Zero-Field Antiferro-quadrupole Order in CeB₆: Extremely Low-Frequency ¹¹B-NQR Study, J. Phys. Soc. Jpn. **92**, 034702 (2023)
- I-2 水戸毅、吉田章吾: Sm 化合物における特異な非磁性-磁性転移: SmS の ³³S-NMR 研究、高圧力の科学と技術 **32**, 3-11 (2022)

- I-3** S. Yoshida, T. Koyama, H. Yamada, Y. Nakai, K. Ueda, Y. Haga (JAEA), K. Kitagawa (Univ. Tokyo), T. Mito: Systematic NMR Study of Intermediate Valence Compound SmS, The 29th International Conference on Low Temperature Physics, LT29, 2022 年
- I-4** 吉田章吾, 北川健太郎 (東大院理), 山田陽彦, 小山岳秀, 中井祐介, 上田光一, 水戸毅, 芳賀芳範 (原子力機構先端研): 金色相 SmS の低温, 高圧下で現れるギャップ状態と磁気秩序状態の ^{33}S -NMR 測定による研究 II、日本物理学会 2022 年秋季大会 2022 年
- I-5** 西川智稀, 吉田章吾, 中井祐介, 上田光一, 水戸毅, 伊賀文俊 (茨城大理): 近藤絶縁体 SmB_6 における NMR 緩和率の磁場角度依存性、日本物理学会 2022 年秋季大会 2022 年
- I-6** 吉田章吾, 平岡奈緒香 (東大院理), 北川健太郎 (東大院理), 武藤哲也 (島根大総合), 芳賀芳範 (原子力機構先端研), 中井祐介, 水戸毅: SmS 金色相における特異なギャップ状態 -高圧下における ^{33}S -NMR と帯磁率の研究-, 日本物理学会 2023 年春季大会 2023 年
- I-7** 上田朔 (東大院新領域), 片上舜 (東大院新領域), 吉田章吾, 中井祐介, 水戸毅, 水牧仁一朗 (熊本大理), 岡田真人 (東大院新領域): 核磁気共鳴法へのデータ駆動科学的手法の開発、日本物理学会 2023 年春季大会 2023 年
- II-1** Takuto Fujii, Yusuke Nakai, Michihiro Hirata (Tohoku Univ.), Yasumasa Hasegawa, Yuichi Akahama, Koichi Ueda, and Takeshi Mito: Giant Density of States Enhancement Driven by a Zero-Mode Landau Level in Semimetallic Black Phosphorus under Pressure, *Phys. Rev. Lett.* **130**, 076401 (2023)
- II-2** Y. Nakai, T. Fujii, Y. Koshita, M. Hirata (Tohoku Univ.), Y. Hasegawa, Y. Akahama, K. Ueda, T. Mito: High-Field NMR Study of Black Phosphorous under Hydrostatic Pressure, The 29th International Conference on Low Temperature Physics, LT29, 2022 年
- II-3** 横山駿, 中井祐介, 水戸毅, メイヨーアレックス浩 (阪大基礎工), 高橋英史 (阪大基礎工), 石渡晋 (阪大基礎工): トポロジカル半金属 $\alpha\text{-EuP}_3$ の NMR による研究、日本物理学会 2022 年秋季大会 2022 年
- II-4** 藤原健太, 藤井拓斗, 中井祐介, 上田光一, 赤浜裕一, 水戸毅: 圧力誘起半導体-半金属転移近傍におけるディラック電子系物質黒リンの ^{31}P -NMR による研究 II、日本物理学会 2023 年春季大会 2023 年
- III-1** T. Mito, T. Nakayama, K. Miyamoto, Y. Nakai, K. Ueda, S. Gabani (Slovak. Acad. Sci.), G. Pristas (Slovak. Acad. Sci.), K. Flachbart (Slovak. Acad. Sci.), K. Siemensemeyer (Hahn Meitner Institut Berlin), N. Shitsevalova (Natl. Acad. Sci. Ukraine): NMR Study on the Shastry-Sutherland Magnet TmB_4 , The 29th International Conference on Low Temperature Physics, LT29, 2022 年

IV-1 水谷聖, 中井祐介, 水戸毅, Md. Riad Kasem (都立大理), 水口佳一 (都立大理): 高エントロピー合金型超伝導体 TrZr_2 ($\text{Tr} = \text{遷移金属}$) の NQR による局所構造の研究、日本物理学会 2022 年秋季大会 2022 年

IV-2 水谷聖, 中井祐介, 水戸毅, Md. Riad Kasem (都立大理), 水口佳一 (都立大理): TrZr_2 ($\text{Tr} = \text{遷移金属}$) における高エントロピー合金化サイトの NMR/NQR から見た局所構造・電子状態の研究、日本物理学会 2023 年春季大会 2023 年

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

藤原健太 : ディラック電子系における圧力・磁場効果の研究

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

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