

Quantum Magnetism

量子物性学

I Fe 系超伝導体の純良試料育成と物性研究

Single Crystalline Preparation and Study of Magnetism in Iron-based superconductors

河智史朗・池田修悟・小林寿夫

Kawachi S., Ikeda, S., and Kobayashi, H.

フラックス法による化合物育成環境を整えることで、鉄系超伝導体の中で EuFe_2As_2 , SrFe_2As_2 の単結晶を育成し、圧力・磁場・低温の多重極限環境下における電子状態の研究を行ってきている。ここでは、 ^{57}Fe 核共鳴前方散乱法を用いて、さらに入射・散乱格子の偏光特性を利用することで、超微細相互作用の対称性を議論している。特に、国内他研究機関と協力して BaFe_2X_3 ($X=\text{S,Se}$) における軌道秩序と誘電特性及び圧力下超伝導発現機構についての研究を行なっている。

最初に発見された鉄系超伝導体 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ より高濃度の電子ドーピングが可能となった $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ における研究を進めている。 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ の基底状態は、水素置換量の増加により第一反強磁性相 $0 < x$ 、第一超伝導相 $0.04 < x < 0.2$ 、第二超伝導相 $0.2 < x < 0.42$ 、第二反強磁性相 $0.5 < x$ と多様な変化を示す。そのうち、超伝導機構の理解に未だ多くの課題が残っている第二超伝導相 ($x = 0.35$) と第二反強磁性相 ($x = 0.51$) の鉄のフォノンダイナミクスを明らかにするために、核共鳴非弾性散乱測定を行なっている。得られた結果の解析から、両者のフォノン状態密度の温度依存性に顕著な違いがあることが分かった。現在、得られた結果の究明に取り組んでいる。

II 価数揺動希土類化合物の物性研究

Study of Valence Fluctuating Phenomena in Rare-Earth Compounds

小林寿夫

Kobayashi, H.

国内他研究機関と協力して、価数揺動物質である $\beta\text{-YbAlB}_4$ とその異性体化合物である $\alpha\text{-YbAlB}_4$ の低温・高圧力・磁場中 ^{174}Yb 放射光メスbauer分光及び吸収分光測定の研究を展開している。 $\beta\text{-YbAlB}_4$ の ^{174}Yb 放射光メスbauer分光測定スペクトルから、価数揺動の時間スケールを抽出することに初めて成功した。その結果、ナノ秒スケール

ルのゆっくりした揺らぎが量子臨界性や異常金属状態の伝導に直接関係していることを示した。今年度は、Yb 価数揺動系準結晶・近似結晶での量子臨界性の研究を開始している。

また、本研究では、1K 以下の極低温環境が必要となる。そこで、国内他研究機関の協力を得て、高エネルギー放射光を用いる分光手法として 280 mK での測定に初めて成功した。

III 3d 遷移金属酸化物・化合物・合金の物性研究

Study of Magnetism in 3d Transition Metal Compounds

河智史朗・小林寿夫

Kawachi S. and Kobayashi, H.

国内他研究機関と協力して、酸化物永久磁石材料の主組成材料である M 型フェライト化合物に関する実験研究を行っている。特に、La-Co 置換による保持力向上の機構を Co 置換サイトを能動的に変えることにより明らかにすることを目指している。

電気磁気効果の背後にある物理現象の解明に向けた研究を行っている。BiFeO₃ は室温環境下でも巨大電気磁気効果を示す珍しい物質である。この効果を生み出すスピンと強誘電分極の結合には、鉄と酸素の軌道混成が深く関わっていることが示唆されている。我々は、基底状態における鉄と酸素の軌道混成機構の詳細を明らかにするため、10 K の温度で BiFeO₃ に静水圧力を印加したときの結晶構造の変化を圧力下粉末 X 線回折によって捉えた。観測された回折データから、強誘電分極方向の格子歪みが圧力印加に連れて大きくなっていることが明らかになった。また、高圧力領域 (~ 9 GPa) では、圧力誘起構造相転移があることが判明した。現在は圧力印加に伴う結晶の対称性や原子変位変数の詳細な解析を進めている。

単結晶基板上の CoPt 強磁性ナノワイヤーにおけるナノ構造に誘起された L₁₀ 秩序化に関する応用研究を国内他研究機関と協力して取り組んでいる。様々な条件下で生成された CoPt ナノワイヤーの磁性と構造の詳細を、放射光を用いた X 線回折測定や X 線磁気吸収測定、SQUID 磁束計を用いた磁化測定を通じて探索した。結果として、11 kOe 程の大きな保磁力を持った L₁₀ 秩序化 CoPt ナノワイヤーの作製に成功した。従来の方法より簡易化して作製された本研究成果は、将来のシリコン技術と互換性のあるスピントロニクスへの応用につながると期待される。

IV コンプトンプロファイル測定による電子状態の研究

Study of electronic states in Magnetic Material by using (magnetic) Compton profile measurement

小泉昭久
Koizumi, A.

放射光 X 線を用いた高分解能コンプトン散乱測定により、重い電子系化合物を対象にした電子構造の研究を行っている。Ce 系化合物 CeCoIn_5 の測定では、低温の非フェルミ液体状態において、反強磁性揺らぎに起因すると考えられる構造を観測している。さらに低温の超伝導相 ($T_c=2.3\text{K}$) における測定も行ったところ、揺らぎによる構造が消えることを確認した。これは、超伝導転移に伴い、超伝導ギャップが開いたことによる変化であると考えられる。一方で、コンプトン散乱測定に符号化開口マスクを利用することによって、空間分解能を維持し、且つ、観測強度を向上させるイメージング測定の開発にも取り組んでいる。

発表論文 List of Publications

- I-1** 河智史朗・平賀晴弘 (SungKyunKwan 大)・山浦淳一 (KEK)・飯村壮史 (NIMS)・筒井智嗣 (JASRI)・依田芳卓 (JASRI)・細野秀雄 (東工大)・小林寿夫 「高濃度水素置換 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ ($x = 0.35, 0.51$) における鉄のフォノン状態」日本物理学会 2023 年春季大会 (2023 年 3 月 オンライン開催)
- I-2** 池田修悟・神田智弘・河智史朗・青山拓也 (東北大)・大串研也 (東北大)・小林寿夫 「圧力下 ^{57}Fe 核共鳴前方散乱実験による梯子型鉄系化合物 BaFe_2Se_3 の磁性測」日本物理学会 2023 年春季大会 (2023 年 3 月 オンライン開催)
- II-1** Y. Sakaguchi, S Ikeda, N. Kawamura(JASRI), M. Mizumaki(JASRI), K. Kuga(東大), S. Suzuki(東大), S Nakatsuji(東大), and H. Kobayashi: Pressure-induced changes of valence fluctuation in $\beta\text{-YbAlB}_4$ probed by x-ray absorption spectroscopy. *Phys. Rev. B* **105** (2022) 155129-1-8.
- II-2** H. Kobayashi, Y. Sakaguchi, H. Kitagawa, M. Oura, S. Ikeda, K. Kuga(東大), S. Suzuki(東大), S. Nakatsuji(東大), R. Masuda(弘大), Y. Kobayashi(京大), M. Seto(京大), Y. Yoda(JASRI), K. Tamasaku(理研), Y. Komijani (Rutgers 大), P. Chandra (Rutgers 大), and P. Coleman (Rutgers 大) : Observation of a critical charge mode in a strange metal. *Science* **379** (2023) 908-912.
- II-3** 木下勇海・永澤延元 (JASRI)・増田 亮 (弘大)・依田芳卓 (JASRI)・中村優貴 (名大)・榊原祐弥 (名大)・米山 祐樹 (名大)・出口和彦 (名大)・小林寿夫 「価数揺動物質 AuAlYb の準結晶と近似結晶のメスバウアー分光法による電子状態の解明」日本物理学会 2023 年春季大会 (2023 年 3 月 オンライン開催)
- III-1** 瀧端真恩・河智史朗・河口沙織 (JASRI)・門林宏和 (JASRI)・伊藤利充 (産総研)・小林寿夫 「マルチフェロイック物質 BiFeO_3 における圧力下での結晶構造」、日本物理学会 2023 年春季大会 (2023 年 3 月 オンライン開催) .

- III-2** R. Toyama(東工大), S. Kawachi, J. Yamaura(東工大、KEK), Y. Murakami(KEK), H. Hosono(東工大) and Y. Majima(東工大): Large coercivity of 13 kOe in $L1_0$ -ordered CoPt on Si/SiO₂ substrates by hydrogen annealing. Jpn. J. Appl. Phys. **61** (2022) 065002.
- III-3** R. Toyama(東工大), S. Kawachi, J. Yamaura(東工大、KEK), T. Fujita(高知大), Y. Murakami(KEK), H. Hosono(東工大) and Y. Majima(東工大): Nanostructure-induced $L1_0$ -ordering of twinned single-crystals in CoPt ferromagnetic nanowires. Nanoscale Adv. **4** (2022) 5270.
- III-4** R. Toyama(東工大), S. Kawachi, J. Yamaura(東工大、KEK), T. Fujita(高知大), Y. Murakami(KEK), H. Hosono(東工大) and Y. Majima(東工大): Nanostructure-Induced $L1_0$ -Ordered CoPt Ferromagnetic Nanowires on Si/SiO₂ Substrates. Intermag 2023, IEEE Magnetism (May 15 - 19, 2023 in Sendai, Japan).
- IV-1** 小泉昭久・筒井智嗣 (JASRI)・辻成希 (JASRI)・海老原孝雄 (静岡大)「コンプトン散乱測定による重い電子系化合物 CeCoIn₅ の超伝導状態における電子構造の研究」日本物理学会 2023 年春季大会 (2023 年 3 月 オンライン開催)

大学院物質理学研究科

科学研究費補助金等

- 1 文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 (A)
研究課題 多層化合物六方晶フェライトにおける能動的サイト選択置換による革新的磁性材料開発
研究分担者 小林寿夫
- 2 文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究 (公募研究)
研究課題 放射光メスbauer分光法を用いた価数不安定性を持つ準結晶の基底状態の研究
研究代表者 小林寿夫
- 3 文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 (C)
研究課題 コンプトン散乱測定による重い電子系 Ce 化合物における電子構造の研究
研究代表者 小泉昭久
- 4 ひょうご科学技術協会 学術研究助成金 【特別枠】
研究課題 放射光を用いた精密物質科学的実験手法による低摩擦材料開発の基礎研究
研究代表者 小林寿夫