

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

池田修悟・小林寿夫

Ikeda, S. and Kobayashi, H.

我々は、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 及び $\text{K}_x\text{Fe}_{2-y}\text{S}_2$ 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た。 EuFe_2As_2 に関しては、2.7 GPa 近傍で磁性と超伝導が共存し、さらにこの共存状態において現在まで観測されていない新しい磁気構造を観測した。また磁性と超伝導の共存及び磁気構造の変化が現れる起源として、室温で現れる格子定数の負の圧縮率による異常な電子状態が寄与している可能性を指摘した。この点を明らかにするため、我々は核共鳴前方散乱実験から、低温・圧力下において Fe 原子の s 電子密度を反映するセンターシフトを測定することを試みた。核共鳴前方散乱からセンターシフトを測定するためには、参照物質と測定試料を同時に測定し、両化合物の ^{57}Fe 原子核のエネルギー準位間の差を解析する必要がある。永久磁石によりスピン方向を揃えて ^{57}Fe 原子核間の遷移を制限した $\alpha\text{-Fe}$ を参照物質として用いた結果、 $\alpha\text{-Fe}$ と圧力下における EuFe_2As_2 を同時に測定したスペクトルに対して良い解析結果を得ることができた。今後センターシフトの詳細な圧力依存性を測定し、低温・圧力下での電子状態の変化の解明を目指す。

$\text{K}_x\text{Fe}_{2-y}\text{S}_2$ は、主要母物質がモット絶縁体の本質的相分離化合物である。この $\text{K}_x\text{Fe}_{2-y}\text{S}_2$ に関して我々は、低温・圧力下の核共鳴前方散乱、電気抵抗及び X 線構造解析から、6 GPa 近傍において金属絶縁体転移、磁性・非磁性転移及び構造相転移が現れることを明らかにすることが出来た。

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

池田修悟・小林寿夫

Ikeda, S. and Kobayashi, H.

国内他研究機関と協力して、重い電子系 Yb 化合物において初めて超伝導状態が観測された $\beta\text{-YbAlB}_4$ ($T_c = 80$ mK) とその類似の化合物である $\alpha\text{-YbAlB}_4$ の ^{174}Yb 放射光メスbauer分光、X 線吸収・発光分光測定の研究を展開した。

高圧力下 X 線吸収分光測定及び構造解析の結果、 β -YbAlB₄ の圧力下電気伝導測定で観測されている異常に Yb イオンの価数変化が関係していることを示した。さらに、低温・高圧力・強磁場下での X 線吸収分光測定の結果、2.5GPa 以上約 8 GPa 以下の最低温で、Yb イオンの価数変化では説明できない吸収スペクトルの磁場依存性を観測した。この結果は、 β -YbAlB₄ の圧力誘起磁気秩序と磁場誘起のメタ磁性転移に関係し散ると考えられる。一方、¹⁷⁴Yb 放射光メスバウアー分光測定から、Yb イオンの価数揺動時間を実験的に求めることに初めて成功した。その温度依存性から Yb イオンの価数揺動ダイナミクスと量子臨界性の関係を考察した。

III 3d 遷移金属酸化物・化合物の物性研究 Study of Magnetism in 3d Transition Metal Compounds

池田修悟・小林寿夫
Ikeda, S. and Kobayashi, H.

国内他研究機関と協力して、科学技術振興機構・産学共創基礎基盤研究に採択されている M 型フェライト化合物に関する実験研究を行った。M 型フェライト化合物に関しては、既に基礎的、実用的な研究が多くの実験手法を用いて行われている。しかし、全ての実験結果が矛盾なく説明されているわけではない。本年度、永久磁石材料の主成分化合物である Fe サイトを Co で置換した M 型フェライト化合物の ⁵⁷Fe メスバウアー分光の磁場依存性測定を行った。解析から得られた、超微細相互作用定数の磁場依存性は、結晶学的に異なる 5 つの Fe サイトのうち 3 つは、単純な Fe³⁺ イオン状態からは説明できないことが分かった。この結果を説明するためには、Fe イオンにわずかな残量軌道成分の存在が必要であり、実用磁石材料としての M 型フェライト化合物の磁気異方性を考察する上で重要な結果となった。さらに、Fe K-edge X 線吸収・発光分光測定の結果から、その発光スペクトルの強度が La 及び Co 置換で変化することを観測した。この原因は、現在のところ明らかではないが、理論研究との共同研究も開始した。

ドイツ及びスペインの研究機関と共同で、温度・圧力誘起の金属-絶縁体転移を示す RNiO₃ の高圧力下 X 線回折及び X 線吸収・発光分光実験を行った。その結果、YbNiO₃ での圧力誘起絶縁体-金属転移においては、構造変態をとまなわれないことが分かった。一方、高圧力下 Ni K-edge X 線吸収・発光分光の結果からは、絶縁体相では加圧とともに吸収エッジが低エネルギー側にシフトし、金属相ではその圧力依存性がほとんどないことが分かった。この結果は、希土類イオンの置換による絶縁体-金属転移の機構と圧力誘起の絶縁体-金属転移の機構が異なることを示唆する重要な結果である。すなわち、構造相転移をとまなわず圧力誘起絶縁体-金属・量子転移を実験的に研究する系として RNiO₃ が最適な化合物の一つであることが示された。

IV 希土類化合物の磁性の研究

Study of Structure and Magnetism in Rare Earth Compounds under High Pressure

池田修悟・小林寿夫

Ikeda, S. and Kobayashi, H.

斜方晶 CeGa は 6 K で反強磁性転移を示す化合物であり、これまでの研究から磁場により反強磁性転移が消失する近傍で量子臨界点が存在し、非フェルミ液体的な振る舞いが現れることが知られている。ここで我々は、ブリッジマン法により CeGa の単結晶を育成し、圧力下磁化測定を行った。その結果、磁場だけでなく静水圧下でも反強磁性転移を消失させることができることが分かった。今後は磁場と圧力の両変数による量子臨界現象の違いについて議論する予定である。また全く物性研究が行われていなかった YbCo₅P₃ に対してフラックス法により単結晶試料の育成に成功し、その磁性と伝導を明らかにした。

V (磁気) 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.

ドイツのグループとの共同研究として、Yb 系の重い電子系化合物 YbT₂Si₂ (T = Co, Rh, Ir) を対象に高分解能コンプトンプロファイルの角度依存測定を行い、その二次元再構成解析から運動量密度分布及び電子占有数密度を求め、電子構造の研究を行っている。T = Rh の試料は、量子臨界現象を示す可能性が指摘されており、多くの関心を集めている。T = Co, Ir の試料での測定結果や、各試料に対応するバンド計算の結果、また、ドイツのグループによる光電子分光実験との比較を通じて、この系のフェルミ面の変遷や量子臨界へ至る筋道を明らかにしたい。

VI レーザー逆コンプトン散乱による円偏光高エネルギー γ 線の発生と磁気コンプトン散乱測定への応用

Generation of circularly polarized high energy γ -ray by laser-Compton scattering and its application to magnetic Compton scattering measurement

小泉昭久
Koizumi, A.

ニュースバルの BL1 において、電子ビームとレーザー光との逆コンプトン散乱による円偏光高エネルギー γ 線の生成とその応用実験についての研究を行っている。位相子を用いてレーザー光の円偏光の向きを切り替えることによって、発生する γ 線の円偏光を制御することができる。これを利用して、偏光切り替えによる磁気コンプトン散乱測定を行ない、磁気コンプトン・プロファイルの積分値からスピン磁気モーメントの磁場変化を観測している。

発表論文 List of Publications

- I-1 中村 歩・池田修悟・小林寿夫：「(Sr,K)Fe₂As₂ の単結晶育成と物性」日本物理学会 2015 年秋季大会（関西大学 2015 年 9 月）
- I-2 池田修悟・土屋 優・張 小威(KEK-PF)・亀卦川卓美(KEK-PF)・岸本俊二(KEK-PF)・依田芳卓(JASRI)・小林寿夫：「AF₂As₂ (A: Sr, Eu) の磁性と超伝導」日本物理学会 2015 年秋季大会（関西大学 2015 年 9 月）
- I-3 土屋 優・池田修悟・岸本俊二(KEK-PF)・亀卦川卓美(KEK-PF)・平尾直久(JASRI)・今田沙織(JASRI)・大石泰生(JASRI)・小林寿夫：「K_xFe_{2-y}S₂ の圧力誘起相転移の研究」日本物理学会第 70 回年次大会（東北学院大学 2016 年 3 月）
- I-4 池田修悟・土屋 優・張 小威(KEK-PF)・亀卦川卓美(KEK-PF)・岸本俊二(KEK-PF)・小林寿夫：「核共鳴前方散乱実験による圧力下 EuFe₂As₂ の電子状態の研究」日本物理学会第 70 回年次大会（東北学院大学 2016 年 3 月）
- I-5 池田修悟：「⁵⁷Fe 核共鳴前方散乱実験による鉄系超伝導体 EuFe₂As₂ の磁性と超伝導の相関」構造物性研究センタープロジェクト「P-V-T-dε/dt 構造物性」キックオフ研究会（構造物性研究センター 2016 年 2 月）
- I-6 H. Kobayashi: Nuclear resonance scattering on iron-based high-*T_c* superconductors. The 33rd International Conference on Applications of Mössbauer Effect (Hamburg, Germany, 2015 年 9 月).
- I-7 Y. Tsuchiya, S. Ikeda, and H. Kobayashi: ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopic studies of single-crystalline K_xFe_{2-y}S₂ and K_xFe_{2-y}Se₂. The 33rd International Conference on Applications of Mössbauer Effect (Hamburg, Germany, 2015 年 9 月).
- I-8 S. Ikeda, Y. Tsuchiya, X. Zhang(KEK-PF), S. Kishimoto(KEK-PF), T. Kikegawa(KEK-PF), Y. Yoda(JASRI), and H. Kobayashi: Study of magnetism and superconductivity in EuFe₂As₂. International Workshop on Itinerant-Electron Magnetism (Kyoto, Japan, 2015 年 9 月)

- II-1** 阪口友唯・池田修悟・河村直己(JASRI)・水牧仁一朗(JASRI)・鈴木慎太郎(東大)・久我健太郎(東大)・中辻 知(東大)・石松直樹(広島大)・小林寿夫: 「多重極限環境下における β -YbAlB₄ の X 線吸収分光 III」日本物理学会 2015 年秋季大会 (関西大学 2015 年 9 月)
- II-2** 鶴川絵里・阪口友唯・池田修悟・小林寿夫: 「層状 Yb 化合物の圧力下の物性研究」第 56 高圧討論会 (JMS アステールプラザ 2015 年 11 月)
- II-3** Y. Sakaguchi¹, S. Ikeda, K. Kuga(東大), S. Suzuki(東大), S. Nakatsuji(東大), N. Hirao(JASRI), Y. Ohishi(JASRI), and H. Kobayashi: Pressure-induced local structural changes in heavy Fermion β -YbAlB₄. *J. Phys. Soc. Jpn.* **85** (2016) 023602-1-4
- III-1** 永澤延元・池田修悟・下田愛子(京大)・和氣 剛(京大)・田畑吉計(京大)・中村裕之(京大)・小林寿夫: 「単結晶 M 型 Sr フェライトの強磁場下 ⁵⁷Fe メスバウアー分光」第 39 回日本磁気学会学術講演会 (名古屋大学 2015 年 9 月)
- III-2** N. Nagasawa, S. Ikeda, A. Shimoda(京大), T. Waki(京大), Y. Tabata(京大), H. Nakamura(京大), and H. Kobayashi: Single-crystalline M-type Sr hexaferrites studied by ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopy. The 33rd International Conference on Applications of Mössbauer Effect (Hamburg, Germany, 2015 年 9 月)
- III-3** H. Kobayashi, S. Ikeda, Y. Yoda(JASRI), N. Hirao(JASRI), Y. Ohishi(JASRI), J.A. Alonso, M.J. Martinez-Lope, R. Lengsdorf, D.I. Khomskii, and M.M. Abd-Elmeguid Pressure-induced unusual metallic state in EuNiO₃. *Phys. Rev. B* **91** (2015) 195148-1-9
- V-1** 田中博之・山口明・郷地順・川崎郁斗・住山昭彦・小泉昭久・伊藤真義(JASRI)・櫻井吉晴(JASRI): 「液体 ⁴He の高分解能コンプトン散乱実験」日本物理学会 2015 年秋季大会 (関西大学 2015 年 9 月)
- V-2** 小泉昭久・D. Vyalikh (ドレスデン大)・K. Kummer (ESRF)・C. Geibel (マックス・プランク)・伊藤真義 (JASRI)・櫻井吉晴 (JASRI): 「コンプトン散乱二次元再構成実験による YbIr₂Si₂ の電子構造の研究」日本物理学会第 70 回年次大会 (東北学院大学 2016 年 3 月)
- V-3** A. Koizumi, Y. Kubo(日大), G. Motoyama (島根大), T. Yamamura (東北大), M. Itou(JASRI), and Y. Sakurai(JASRI): Visual understanding of the hidden-order transition in URu₂Si₂ by high-resolution x-ray Compton scattering. *Phys. Rev. B* **92** (2015) 125112-1-6
- VI-1** 山口将志・武元亮頼・小泉昭久・天野壯・橋本智・堀 史説 (阪府大)・宮本修治: 「レーザー Compton 散乱ガンマ線ビームを用いた磁気 Compton 散乱測定」第 12 回日本加速器学会年会 (プラザ万象 2015 年 8 月)

VI-1 宮本修治・山口将志・武元亮頼・松本卓也・橋本智・天野壯・小泉昭久：「準単色偏光 LCS ガンマ線による物性研究」日本物理学会2015年秋季大会（関西大学2015年9月）

大学院物質理学研究科

博士後期課程

阪口 友唯：重い電子化合物 YbAlB_4 の高圧力下における構造および電子状態に関する研究

博士前期課程

鵜川 絵里：層状 Yb 化合物の圧力下構造物性

中村 歩：K 置換 SrFe_2As_2 単結晶育成とその電子状態に関する研究

科学研究費補助金等

1 科学技術振興機構 産学共創基礎基盤研究

研究課題 遷移金属元素の価数に着目した鉄系酸化物磁石の実用材周辺の基礎科学とその高性能化に向けた物質設計指針の提案

研究グループ代表 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

研究課題 局在多極子と伝導電子の相関効果

研究分担者 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 価数揺動 Y b 化合物の特異な価数揺動ダイナミクスと量子臨界性に関する研究

研究代表者 小林寿夫

研究分担者 池田修悟