

## 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.

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  $\text{EuFe}_2\text{As}_2$  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た。 $\text{EuFe}_2\text{As}_2$  は、 $T_0 = 190$  K 近傍において鉄の磁気モーメントが反強磁性秩序すると同時に構造相転移を示す。圧力印加により  $T_0$  は急激に減少し、2.4 GPa 以上でバルク超伝導が発現する。我々は、圧力下  $^{57}\text{Fe}$  核共鳴前方散乱実験を用いて  $\text{EuFe}_2\text{As}_2$  の磁性と超伝導の相関を調べた。その結果、圧力及び温度共に常伝導と超伝導状態の間で  $^{57}\text{Fe}$  核共鳴前方散乱時間スペクトルの特徴に変化が観測された。このスペクトルの変化は、超伝導相内でのみ実現する特異な反強磁性状態が存在することを意味している。次に、この特異な反強磁性と超伝導の共存相が発現する起源を調べるため、Fe 原子の s 電子密度を反映する  $^{57}\text{Fe}$  核センターシフト及び 3d 電子空間分布 (軌道秩序) の情報を、圧力下で測定できるように核共鳴前方散乱実験の測定環境の高度化を試みた。現在のところ、4 K, 7 GPa までの測定に成功しており、3d 電子空間分布が変化する結果を得ることができた。

## 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、 $\beta\text{-YbAlB}_4$  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  $^{174}\text{Yb}$  放射光メスバウアー分光測定の研究を展開している。低温・高圧力下  $^{174}\text{Yb}$  放射光メスバウアー分光測定及び構造解析の結果、 $\beta\text{-YbAlB}_4$  では外部圧力による量子臨界性の抑制に、価数揺動時間スケールの変化と格子振動が強く関係していることを示した。一方、 $\alpha\text{-YbAlB}_4$  では、磁場誘起の Yb 4f 電子の四極子モーメントの変化を直接観測することに成功した。 $\alpha\text{-YbAlB}_4$  での磁場誘起の Yb 4f 電子の四極子モーメントの変化と結晶構造の関係を実験的に明らかにするために、単結晶低温・磁場中 X 線回

折測定も併せて行った。その結果、わずかな回折強度の磁場依存性を観測したが、その変化による原子位置変化だけでは、低温・磁場中  $^{174}\text{Yb}$  放射光メスバウアー分光測定の結果を説明できなことを明らかとなった。

### 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.

ドイツ及びスペインの研究機関との共同研究として、温度・圧力誘起の金属-絶縁体転移を示す  $\text{RNiO}_3$  の高圧力下 X 線回折及び  $^{61}\text{Ni}$  放射光メスバウアー分光測定の研究を行った。

また、国内他研究機関と協力して、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。今後の磁性材料としての性能向上のための指針となる Fe 電子状態の詳細が明らかになりつつある。

### IV 希土類化合物の磁性の研究

Study of Structure and Magnetism in Rare Earth Compounds

池田修悟・小林寿夫

Ikeda, S. and Kobayashi, H.

斜方晶  $Cmcm$  の結晶構造を持つ  $\text{EuTIn}_4$  (T: Ni, Pd, Pt) は、 $\text{Eu}^{2+}$  サイトが反強磁性転移を示す。 $\text{EuTIn}_4$  の反強磁性転移温度  $T_N$  に大きな差はないが、 $T_N$  以下の磁気異方性と磁化曲線は大きく異なる。 $\text{EuNiIn}_4$  は  $b$  軸方向が磁化容易軸の一軸異方性であり、 $T_N$  以下の  $b$  軸方向の磁化曲線は 5T までに 4 つの多段磁気転移を示す。一方  $\text{EuPdIn}_4$  及び  $\text{EuPtIn}_4$  では、それぞれ  $ab, ac$  軸が磁化容易軸の面内磁気異方性へ変化し、磁化曲線はスピントップ転移のみを示す。本研究では、 $^{151}\text{Eu}$  核メスバウアー分光測定と中性子回折実験から  $\text{EuNiIn}_4$  の磁気構造を明らかにし、多段磁気転移の起源として磁気フラストレーションが重要であることを明らかにした。さらに混晶系  $\text{Eu}(\text{Ni}_x\text{Pd}_{1-x})\text{In}_4$ ,  $\text{Eu}(\text{Ni}_x\text{Pt}_{1-x})\text{In}_4$  の単結晶を作製し、多段磁気転移と磁気異方性の関係についても議論した。

## V 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  $\text{CeIn}_3$  や  $\text{CeTIn}_5$  ( $T = \text{Rh, Co}$ ) においては、4f 電子の遍歴・局在性の変化に加えて、反強磁性相や超伝導相における測定を行う。また、Yb 系の重い電子系化合物  $\text{YbT}_2\text{Si}_2$  ( $T = \text{Co, Rh, Ir}$ ) は、ドイツのグループとの共同研究で、コンプトンプロファイルの二次元再構成解析から得られた電子構造と、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。

### 発表論文 List of Publications

- I-1** S. Ikeda, Y. Tsuchiya, T. Kikegawa(KEK-PF), H. Kobayashi: Evaluation of the isomer shifts via  $^{57}\text{Fe}$  nuclear forward scattering technique with  $\alpha$ -Fe under an external magnetic field. *Hyperfine Interact.* **241** (2020) 28.
- I-2** S. Ikeda, Y. Tsuchiya, T. Kikegawa(KEK-PF), H. Kobayashi: “Magnetic properties of  $\text{EuFe}_2\text{As}_2$  under pressure studied by nuclear forward scattering of synchrotron radiation.” *Inter. Conf. on the Appl. of the Mössbauer Effect* (Dalian, China, Sept. 2019) (ポスター賞)
- I-3** S. Ikeda: 「Coexistence of Superconductivity and Antiferromagnetism in  $\text{EuFe}_2\text{As}_2$  Studied by  $^{57}\text{Fe}$  and  $^{151}\text{Eu}$  Nuclear Forward Scattering.」 *DICP Symposium on Mössbauer Spectroscopy Related to Synchrotron Radiation and Free Electron Laser* (Dalian, China, Sept. 2019)
- II-1** H. Kitagawa, S. Ikeda, S. Suzuki(東大), K. Kuga(東大), S. Nakatsuji(東大), R. Masuda(京大), Y. Kobayashi(京大), M. Seto(京大), Y. Yoda(JASRI), K. Tamasaku(理研), and H. Kobayashi: Synchrotron-radiation-based  $^{174}\text{Yb}$  Mössbauer spectroscopic studies on  $\text{YbAlB}_4$  at low temperatures, *Int. Conf. Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019)* (Okayama Japan, Sept. 2019)
- III-1** N. Nagasawa, S. Ikeda, R. Masuda(京大), Y. Kobayashi(京大), M. Seto(京大), K. Tamasaku(理研), J. A. Alonso(マドリッド大), M. J. Martinez-Lope(マドリッド)

- 大), M. M. Abd-Elmeguid(ケルン大), and H. Kobayashi “Synchrotron Radiation-based  $^{61}\text{Ni}$  Mössbauer Spectroscopy of Rare-earth Nickelates.” Inter. Conf. on the Appl. of the Mössbauer Effect (Dalian, China, Sept. 2019)
- IV-1** S. Ikeda, K. Kaneko(原研), Y. Tanaka, T. Kawasaki(原研), T. Hanashima(CROSS), K. Munakata(CROSS), A. Nakao(CROSS), R. Kiyonagi(原研), T. Ohhara(原研), K. Mochizuki(東大), A. Kondo(東大), K. Kindo(東大), Y. Homma(東北大), M. D. Frontzek(Oak Ridge), and H. Kobayashi: Multi-step magnetic transitions in  $\text{EuNiIn}_4$ . J. Phys. Soc. Jpn. **89** (2020) 014707.
- V-1** A. KOIZUMI, G. MOTOYAMA(島根大), Y. Kubo(日大), T. YAMAMURA(東北大), and Y. Sakurai(JASRI): Change of Electronic Structure Associated with Hidden Order Transition in  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  Studied by Compton Scattering Experiment, JPS Conf. Proc. **30**, 011170 (2020).
- V-2** A. KOIZUMI, G. MOTOYAMA(島根大), Y. Kubo(日大), T. YAMAMURA(東北大), and Y. Sakurai(JASRI): Change of Electronic Structure Associated with Hidden Order Transition in  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  Studied by Compton Scattering Experiment, Int. Conf. Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (Okayama Japan, Sept. 2019)
- V-3** 小泉昭久・片山大地・Jumaeda Jatmica(静岡大)・松本紳(筑波大)・時井真紀(筑波大)・小林寿夫, 辻成希(JASRI)・筒井智嗣(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  $\text{CeIn}_3$  の反強磁性相における電子構造の研究」日本物理学会第75回年次大会(名古屋大学東山キャンパス2020年3月)

## 大学院物質理学研究科

### 博士前期課程

|        |   |
|--------|---|
| 片山 大地  | コンプトン散乱測定で調べた重い電子系化合物 $\text{CeIn}_3$ の2次元電子占有数密度分布   |
| 北川 勇人  | 重い電子系化合物 $\text{YbAlB}_4$ の放射光を用いた結晶構造及び電子状態の磁場効果に関する研究   |
| 富田 健史  | 梯子型鉄系化合物 $\text{BaFe}_2\text{X}_3$ ( $\text{X}=\text{S}, \text{Se}$ ) の $^{57}\text{Fe}$ メスバウアー分光法による研究 |
| 永田 晃太郎 | 圧力下 $^{57}\text{Fe}$ 核共鳴前方散乱実験による $\text{SrFe}_2\text{As}_2$ の磁性と超伝導の研究                                 |

## 科学研究費補助金等

- 1 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

**2** 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

**3** 公益財団法人カシオ科学技術財団

研究課題 放射光メスbauer分光測定による FeAs 系化合物の超伝導発現機構の解明

研究代表者 池田修悟