

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23244068

研究課題名(和文) 中性子磁気散乱高次過程の観測による強相関電子系の研究

研究課題名(英文) Study on strongly correlated electron systems by using high-order neutron magnetic scattering processes

研究代表者

岩佐 和晃 (Iwasa, Kazuaki)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00275009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,800,000円

研究成果の概要(和文)：電子の遍歴-局在転移、電子多極子秩序、さらに磁気・電荷秩序相と接する超伝導などの非自明な電子物性の機構解明には、磁気モーメントのミクロな秩序と揺らぎの観測が重要である。長年その目的に供されてきた中性子散乱法は、近年の線源性能の向上や高束線ビーム化により、従来は検出できなかった散乱シグナルの観測へと進展している。本研究では、ブリルアン散乱法や偏極中性子利用も視野に入れてこれまでアクセスできなかった測定への進化を目指しながら、遍歴-局在のデュアリティー性を示す近藤格子、鉄系超伝導の相図と磁気相関、ワイルフェルミオン系などを明らかにする成果を得た。

研究成果の概要(英文)：Observation of microscopic ordering and fluctuation are indispensable for revealing non-trivial electronic states in materials, for example, itinerant-localized transition, multipole ordering, and superconductivity in the vicinity of magnetic and charge ordered regions. Neutron scattering techniques, which have been applied for such studies, are progressing owing to recent upgrade of sources and production of high flux beam. In the present study, we attempted to perform previously unexplored measurements of the Brillouin scattering and polarized neutrons, and revealed dual nature of itinerant-localized state on the Kondo lattice systems, phase diagram and magnetic excitations of Fe-based superconductors, microscopic study of Weyl fermions, and so on.

研究分野：固体物性(中性子・X線散乱)

キーワード：強相関電子系 粒子線 物性実験 磁性

## 1. 研究開始当初の背景

電子の遍歴 - 局在転移、電子多極子秩序、磁気・電荷秩序相と接する超伝導、さらにスピントロニクスなどの物性機構の解明には、磁気モーメントのミクロな秩序と揺らぎの観測が重要である。中性子散乱法は長年その目的に供されてきた。一方、近年の世界的な中性子源の性能向上による中性子ビームの高束線化の発展により、従来は検出できなかった散乱シグナルが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、J-PARC で供給される高線束中性子ビームを用い、これまで一般的に考慮されてきた磁気双極子遷移過程に加え、高次多極子による磁気散乱過程に着目した。さらに加速器中性子源で実用できる偏極中性子制御技術を開発し、多極子散乱などを旨す。またこれまでアクセスできなかった高エネルギー励起測定への進化を目指す。これらに基づき、最近理論的な解析等が進んだ遍歴 - 局在のデュアリティー性を示す近藤格子のダイナミクス、超伝導電子対のスピン偏極などを明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

高次多極子の磁気散乱過程や量子スピン系の揺らぎなど特徴的な物理現象の観測は新奇物性の発見につながる。本研究において高度化した中性子散乱手法の確率を目指し、J-PARC MLF チョッパー分光器での中性子散乱技術の開発を進め、後述する強相関電子系における磁気状態の研究を並行した。

一方、本研究課題申請時において主要な実験設備とした日本原子力研究開発機構の研究用原子炉施設 JRR-3 が、東日本大震災以来、稼働停止である。また、J-PARC 物質・生命科学実験施設の中性子施設もしばしば運転が停止され、国内中性子散乱研究は予定よりも進捗しなかった。それを補うため海外中性子散乱や放射光 X 線散乱を用いて多角的研究を実施した。これらは、米国オークリッジ国立研究所(ORNL)、豪州原子力研究機構(ANSTO)、イローム大学、フランス Laboratoire Léon Brillouin 等との国際共同研究である。

## 4. 研究成果

### (1) 中性子散乱技術の開発

東北大学と KEK が共同で J-PARC MLF BL23 に建設している偏極中性子非弾性散乱装置 POLANO の整備に参画し、そこで導入する  $^3\text{He}$  フィルター法中性子スピン偏極装置 (SEOP) の開発を進めた。偏極したスピンを保持したまま中性子を輸送するための磁場空間設計のために有限要素法磁場解析ソフト FEMTET を導入し、スピン偏極を保持する磁場の均質性と連続性のシミュレーションを行い、最大直径 10 cm の偏極領域を実現できる磁気デバイスモデルを見出した。さらに磁場デバイスの実機を準備して磁場測定を行った結果、有

限要素法での計算結果とよい一致をみると、偏極度の減少を最小に抑えることができる磁場分布であることを確認した。これにより J-PARC での偏極中性子用のデバイス設計を進められることを実証した (K. Ohoyama et al., J. Phys.: Conf. Series 502 (2014) 012051, J. Phys. Soc. Jpn. Suppl. A 82 (2013) SA036)。

高分解能チョッパー分光器 (J-PARC BL12 HRC) での中性子プリルアン散乱実験を進め、後述する非単結晶物質に対しても明確に励起構造を観測できることを実証した (S. Itoh et al., JPS Conf. Proc. 8, (2015) 034001)。中性子プリルアン散乱法では、サブ eV のエネルギーの中性子を用いて、散乱角が  $1^\circ$  以下の低角領域で高分解能測定を成立させる必要があり、入射中性子ビームのコリメーションを制御してバックグラウンドを低減する整備が進められた。本研究では、HRC の単色化デバイスであるフェルミチョッパーの回転中の応力計算を行ない、高性能化に向けた基礎データの提供と装置整備に尽力した。

### (2) Pr *f* 電子系における四極子近藤効果の候補物質における多極子自由度

三元化合物系  $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$  ( $T = \text{Ti, V}$ ),  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  ( $T = \text{Ir, Rh}$ ) では四極子近藤効果が示唆され、さらに低温で超伝導が観測されるなど極めて興味深い物性が明らかになりつつある。我々はこの系の中性子散乱実験により、基礎的な電子状態として重要である Pr 4*f* 電子の結晶場準位、および低温での秩序変数の決定を最初の目的とした。さらに 4*f* 自由度と伝導電子自由度の混成効果の評価を次の目標とした。

$\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$  に関しては、JRR-3 4G および米国 ORNL に設置された CTAX を用い、超伝導マグネットと  $^3\text{He}$  冷凍機を組み合わせる極低温強磁場実験を行った。その結果、この系の結晶場基底状態が非磁性二重項  $\Gamma_3$  であることを確認した。さらに低温・磁場下での誘起磁気モーメントの波数空間分布測により、 $H//[001]$  における秩序変数を四極子  $O_{20}$  と決定した (T. J. Sato et al., Phys. Rev. B 86 (2012) 184419)。これらの結果は  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$  の特異な物性を理解する重要な基礎的情報となった。その後、米国 SNS/HYSPEC 分光器等を用い、 $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$  の中性子非弾性散乱、および低温・磁場下中性子弾性散乱等を行い、この系の 4*f* 電子-伝導電子混成効果や秩序変数等を調べており、現在解析を進めている。

広島大学共同研究グループにより合成された  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  ( $T = \text{Ir, Rh}$ ) に対して、JRR-3 6G および J-PARC MLF BL14 の中性子非弾性散乱分光器を用いて、Pr 4*f* 電子の結晶場準位基底状態がやはり非磁性二重項  $\Gamma_3$  であることを明らかとした (K. Iwasa et al., J. Phys. Soc. Jpn. 82 (2013) 043707)。その後、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$  に指摘された低温秩序相に対して、フランス Laboratoire Léon Brillouin 6T2

中性子回折計での実験により磁場中で誘起される反強磁気反射を観測し、 $f$  電子多極子秩序の証拠を得た（岩佐和晃ほか：日本物理学会 2015 年秋季大会）。現在、秩序変数の対称性の決定を目指している。

さらに  $\text{PrCu}_4\text{Au}$  の電子状態を研究した。この物質も立方晶構造をとり、2.5 K 以下で磁気秩序する重い電子系であると指摘され、前述の物質同様に  $\text{Pr} 4f$  電子配置での強相関効果が富山大学グループにより指摘された。彼らが合成した試料を用い、JRR-3 6G、米国 SNS SEQUOIA、フランス Laboratoire Léon Brillouin G4-1 を用いて中性子散乱を行った（K. Iwasa et al., JPS Conf. Proc. 3 (2014) 011075）。その結果、 $\text{Pr} 4f$  電子の結晶場準位基底状態は三重項  $\Gamma_5$  であると結論した。さらに 4 K 以下で波数ベクトル  $(1/2, 1/2, 1/2)$  の反強磁気秩序が成長することを見出した。観測された飽和磁気モーメントが  $\Gamma_5$  基底状態から期待される値よりもかなり小さく、イオンあたり複数個の電子配置をとる系での電子混成効果によって引き起こされる部分遍歴電子状態と考えられる。

### (3) 高次多極子秩序による金属-非金属転移への不純物効果

高次多極子秩序型の金属 - 非金属転移を示す  $\text{Pr}_{1-x}\text{R}_x\text{Ru}_4\text{P}_{12}$  への元素置換効果を研究した。まず、約 10 K 以下でリエントラントに再金属化する  $\text{Pr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Ru}_4\text{P}_{12}$  の磁気励起や構造転移を調べた。図 1 に転移温度と置換濃度  $x$  に対する相図を示す。この Ce 置換は電荷ドープの効果を生み、フェルミ面の消失による非金属化条件を失わせて高次多極子の秩序が弱くなり、Metal I 相から Nonmetal 相への転移温度は急速に低下する。その結果、低温でも  $f$  電子軌道の縮退が解けずに大きなエントロピーが残り、新たに Metal II 相への二段目

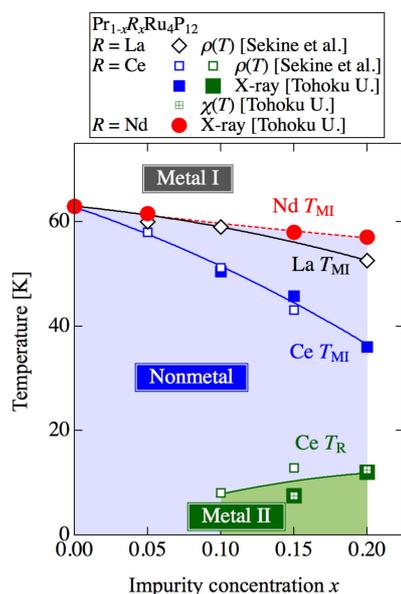


図 1.  $\text{Pr}_{1-x}\text{R}_x\text{Ru}_4\text{P}_{12}$  ( $R = \text{La}, \text{Ce}, \text{Nd}$ ) の相図 (K. Iwasa et al., Physics Procedia 75 (2015) 179)。

の相転移に至ることが分かった (K. Saito et al., Phys. Rev. B 89 (2014) 075131)。

次に磁性 Nd イオン置換効果を調べた。 $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$  の非金属相は非磁性多極子秩序であるにも関わらず、磁性不純物 Nd に対して強固に保たれることを見出した。4f 電子を持たない La 置換に比べても転移温度の低下、すなわち秩序の抑制はわずかであり、Pr イオンサイトの希釈による相互作用の減少を補う効果を磁気不純物がもたらすと考えられる。これは、置換された Nd イオンの磁気モーメントとそれに隣接する Pr の間の磁気相互作用エネルギーの利得が多極子軌道秩序状態をアシストするためと解釈した (K. Iwasa et al., Physics Procedia 75 (2015) 179)。

### (4) 鉄系超伝導体

鉄系超伝導体並びに関連する超伝導物質系においてはスピンや軌道といった非従来型の自由度が超伝導ペア形成の機構として注目されていた。超伝導機構の実験的解明にはそれらの自由度の揺らぎを直接観測することが望ましい。とりわけ、スピン自由度の揺動に関しては中性子非弾性散乱での直接観測が可能であり、さらに偏極中性子を用いてスピン自由度のみの情報を得ることも可能である。特に高エネルギー領域での中性子非弾性散乱が重要な情報を与えると言える。一方、軌道自由度に関しては中性子による直接観測は困難であるが、格子の揺らぎ（フォノンや局所揺らぎ）等を介しての観測の可能性がある。そこで、中性子を含む複数の量子ビームの散乱手法を駆使してこれらの揺らぎと超伝導発現の関連を解明することを目的とした。また、本研究が開始した時点で見いだされていた鉄系超伝導体は鉄の 2 次元正方格子を骨格とした物質群であった。従って、二次元性と超伝導機構の関連に大きな興味を持たれた。そこで、次元性を少し落とした準一次元梯子型化合物における超伝導の可能性を探ることも目的とした。

常磁性金属相における  $a$ - $b$  面内での磁気相関の発達を広い組成・温度範囲において、米国 ORNL に設置された HB-3 分光器を中心に測定した。測定結果を遍歴反強磁性体の磁気励起スペクトル関数を用いて解析し、その面内異方性を定量的に見積もった。図 2 に  $\hbar = 10$  meV で測定した面内異方性比の温度依存性を示す。これらの結果より、ドーピングが増すにつれて面内異方性が增大すること、母物質での  $\hbar = 28$  meV での磁気相関の面内異方性は  $T_N$  に向けて増大するにも関わらず、 $\hbar = 10$  meV ではほぼコンスタントであるなどの興味深い結果が得られた。これらの実験結果は大凡 RPA 計算結果で説明出来ると結論した (S. Ibuka et al., Physica C 507 (2014) 25)。一方、電子ドープ系の局所構造の超伝導転移に伴う歪みに関して EXAFS を用いた研究を行った。その結果 Fe-Fe 距離の平均自乗変位に超伝導転移に伴う異常

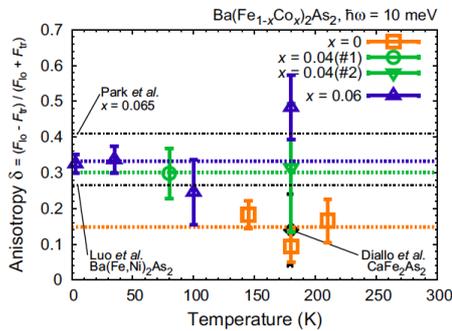


図2. Ba(Fe,Co)<sub>2</sub>As<sub>2</sub> の  $\hbar\omega = 10$  meV における面内磁気相関の異方性の温度依存性。(Physica C 507 (2014) 25 より転載。)

を見いだした(M. Y. Hacisalihoglu et al., Phys. Chem. Chem. Phys. 18 (2016) 9029)。

同族置換系超伝導体である BaFe<sub>2</sub>(As,P)<sub>2</sub> の多結晶および単結晶試料育成方法を最適化し(メカニカルアロイング法を応用して前駆体合成法を開発(K. Z. Takahashi et al., J. Cryst. Growth 446 (2016) 39)) 得られた試料を用いた X 線平均構造解析と中性子全散乱実験による局所構造解析を行った。後者は米国 LANL の NPDF 分光器を用いた。

磁気トルク測定より構造・磁気相転移より高温側で電子系が C<sub>4</sub> 対称性を破るいわゆる電子ネマティック相が示唆されていた。我々は、これを検証するために粉末中性子回折実験データを用いた動径分布関数(PDF)解析および単結晶試料を用いた精密磁化測定を行った。X 線構造解析で得られる平均構造と中性子 PDF 解析から得られる局所構造の比較から興味深い差異が見いだされたが、定量的な評価が難しく現在も解析を続けている。

その他、梯子型鉄系化合物 (Ba,Cs)Fe<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> の広い組成範囲での中性子回折実験をと電気抵抗測定等と組み合わせ、この系の組成・温度相図を完成した(T. Hawai et al., Phys. Rev. B 91 (2015) 184416)。さらに BaFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> において高圧下での超伝導化を観測した(H. Takahashi et al., Nature Mater. 14 (2015) 1008)。また、(Ba, Cs)Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> に関しても圧力下物性測定を行うことで金属化が確認された(T. Hawai et al., in preparation)。

以上の鉄系超伝導体研究を通じて2016年3月に博士号取得者を輩出した。

#### (5)異常ホール伝導系のワイルフェルミオン

SrRuO<sub>3</sub> は T<sub>c</sub> = 165 K 以下で強磁性かつ温度や磁化に対して非単調に振舞う異常ホール効果を示す金属と報告された。スピン軌道相互作用を起源とするバンド交差が、運動量空間でのワイルフェルミオン(質量ゼロのディラック電子)で記述され、これが運動量空間でのモノポールとしてもたらす“磁場”が異常ホール効果の起源となる。そこで、磁化以外の非自明な内部磁場を中性子非弾性散乱実験で直接的に検出することを目的とした。

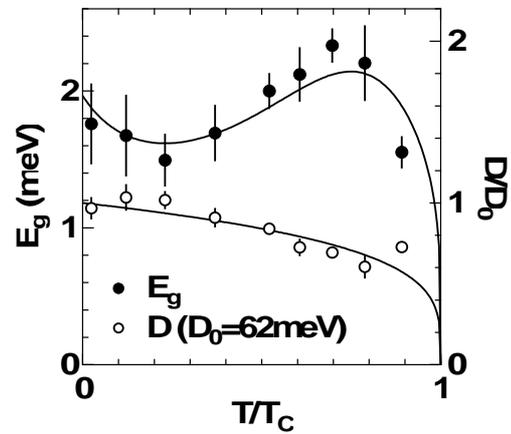


図3. SrRuO<sub>3</sub> のスピン波の分散関係  $E(Q) = DQ^2 + E_g$  におけるスティッフネス定数  $D$  とスピン波ギャップ  $E_g$  の温度依存性 (S. Itoh et al, accepted by Nature Communications)。

SrRuO<sub>3</sub> の粉末試料を用いて J-PARC HRC で中性子非弾性散乱実験を行った。スピン波の動的構造因子は粉末平均すると、(000) 近傍のみで中性子散乱強度が期待できるが、その領域にアクセスできる実験方法は、前述の中性子ブリルアン散乱法のみである。

中性子非弾性散乱結果は、T<sub>c</sub> 以下の領域でスピン波の、また T<sub>c</sub> では臨界散乱の動的構造因子で記述できることを明らかにした。T<sub>c</sub> 以下でのスピン波分散関係は、Q の小さい領域で  $E(Q) = DQ^2 + E_g$  と表わすことができた。また、これまでの理論では、D(T) と E<sub>g</sub>(T) は低温から T<sub>c</sub> に向かって単調に減少する振舞を示すことが知られている。図3に示すように、SrRuO<sub>3</sub> における D(T) は磁化の温度変化に比例し、T<sub>c</sub> に向かって単調に減少した。D(T) に対する実線は、磁気ブラッグ反射の温度変化から決定した自発磁化 M(T) である。一方、E<sub>g</sub>(T) は、非単調な温度依存性を示し、異常ホール伝導度  $\chi_{xy}(T)$  の関数として記述できることを明らかにした。図の実線は  $E_g(T) = aM(T) / [1 + b \chi_{xy}(T) / M(T)]$  でフィットしたものである。a, b はパラメーターである。ワイルフェルミオンは、これまで主に絶縁体表面や界面の輸送特性で議論されてきたが、本研究は、ワイルフェルミオンが輸送特性以外の現象(スピンダイナミクス)においても重要な役割を果たしていることをはじめて示した(S. Itoh et al, accepted by Nature Communications, 伊藤晋一ほか: 日本物理学会第71回年次大会)。

#### (6)カイラル構造相転移と電子状態

Ce<sub>3</sub>T<sub>4</sub>Sn<sub>13</sub> (T = Co, Rh) は大きな電子比熱係数を示し、電気抵抗の温度依存性が弱い物質であり、いわゆる近藤半導体と考えられる。一方、構造相転移を伴うバンドギャップ形成も指摘されており、その電子状態は未解明である。KEK Photon Factory での X 線散乱実験

により低温相はカイラル対称性を持つ結晶構造であることを見出した。さらにフランス Laboratoire Léon Brillouin および Institut Laue-Langevin での中性子非弾性散乱の結果、反強的相関を持つスピンギャップ形成を見出した。これらの現象が、カイラル対称性(ワイルフェルミオン)に起因するかの解明が今後の課題である(大友優香, 巢山和哉, 岩佐和晃ほか: 日本物理学会 2015 年秋季大会)。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 13 件)

S. Itoh (1 番目), Y. Endoh, T. Yokoo (3 番目), 他 5 名, "Wely Fermions in Spin Dynamics of Metallic Ferromagnet SrRuO<sub>3</sub>," accepted by Nature Communications (2016).

K. Z. Takahashi, D. Okuyama, T. J. Sato, "Utilization of mechanical alloying method for flux growth of single crystalline BaFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub>," J. Cryst. Growth 446 (2016) 39-41, 査読あり, doi:10.1016/j.jcrysgro.2016.04.047.

S. Itoh, T. Yokoo, T. Masuda, H. Yoshizawa, M. Soda, Y. Ikeda, Soshi Ibuka, D. Kawana, T. J. Sato, Y. Nambu, Keitaro Kuwahara, S.-i. Yano, J. Akimitsu, Y. Kaneko, Y. Tokura, M. Fujita, M. Hase, K. Iwasa, H. Hiraka, T. Fukuda, K. Ikeuchi, K. Yoshida, T. Yamaguchi, K. Ono, Y. Endoh: "Science from the Initial Operation of HRC," JPS Conf. Proc. 8, 034001 (2015) [6 pages], 査読あり, DOI: 10.7566/JPSCP.8.034001.

K. Iwasa, A. Yonemoto, S. Takagi, S. Itoh, T. Yokoo, S. Ibuka, C. Sekine and H. Sugawara, "Nd-ion substitution effect on *f*-electron multipole order of PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub>," Physics Procedia 75 (2015) 179-186, 査読あり, DOI: 10.1016/j.phpro.2015.12.193.

H. Takahashi, A. Sugimoto, Y. Nambu, T. Yamauchi, Y. Hirata, T. Kawakami, Maxim Avdeev, K. Matsubayashi, F. Du, C. Kawashima, H. Soeda, S. Nakano, Y. Uwatoko, Y. Ueda, T. J. Sato, Kenya Ohgushi, "Pressure-induced superconductivity in the iron-based ladder material BaFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>," Nature Materials, 14, (2015) 1008-1012.7) 査読あり, DOI: 10.1038/NMAT4351

T. Hawaii, Y. Nambu, K. Ohgushi, F. Du, Y. Hirata, M. Avdeev, Y. Uwatoko, Y. Sekine, H. Fukazawa, J. Ma, S. Chi, Y. Ueda, H. Yoshizawa, T. J. Sato,

"Temperature and composition phase diagram in the iron-based ladder compounds Ba<sub>1-x</sub>Cs<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>," Physical Review B, 91, (2015) 184416-1-11, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevB.91.184416

S. Itoh (1 番目), T. Yokoo (2 番目), 他 10 名: "Neutron Brillouin Scattering Experiments with Pulsed Neutrons on High Resolution Chopper Spectrometer HRC," J. Phys.: Conf. Series 502 (2014) 012043 (5 pages), 査読あり, doi: 10.1088/1742-6596/502/1/012043.

S. Ibuka, Y. Nambu, T. Yamazaki, M. D. Lumsden, T. J. Sato: "Anisotropic inplane spin correlation in the parent and Co-doped BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>: a neutron scattering study," Physica C, 507 (2014) 25-30, 査読あり, DOI: 10.1016/j.physc.2014.09.012.

K. Saito, C. Laulhe, T. Sato, L. Hao, J.-M. Mignot, K. Iwasa: "Emergence of reentrant metal-nonmetal transition in Pr<sub>0.85</sub>Ce<sub>0.15</sub>Ru<sub>4</sub>P<sub>12</sub> and Pr(Ru<sub>0.95</sub>Rh<sub>0.05</sub>)<sub>4</sub>P<sub>11</sub>," Phys. Rev. B 89 (2014) 075131-1-8, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevB.89.075131.

K. Ohoyama, T. Yokoo, S. Itoh, J. Suzuki, K. Iwasa, T. J. Sato, H. Kira, Y. Sakaguchi, T. Ino, T. Oku, K. Tomiyasu, M. Matsuura, H. Hiraka, M. Fujita, H. Kimura, T. Sato, J. Suzuki, H. M. Shimizu, T. Arima, M. Takeda et al.: "Basic Concepts of Polarisation Analysis for Neutron Chopper Spectrometer POLANO at J-PARC," J. Phys. Soc. Jpn. Supplement A 82 (2013) SA036-1-6, 査読あり, DOI: 10.1143/JPSJS.82SA.SA036.

K. Iwasa (1 番目), 他 9 名, "Well-Defined Crystal Field Splitting Schemes and Non-Kramers Doublet Ground States of *f* Electrons in PrT<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> (T= Ir, Rh, and Ru)," J. Phys. Soc. Jpn. 82 (2013) 043707-1-5, 査読あり, DOI: 10.7566/JPSJ.82.043707.

S. Itoh (1 番目), Y. Endoh, T. Yokoo (3 番目), 他 4 名: "Neutrons Brillouin Scattering with Pulsed Spallation Neutron Source - Spin-Wave Excitations from Ferromagnetic Powder Samples -, " J. Phys. Soc. Jpn. 82 (2013) 043001-1-4, 査読あり, DOI: 10.7566/JPSJ.82.043001.

T. J. Sato, S. Ibuka, Y. Nambu, T.

Yamazaki, T. Hong, A. Sakai, S. Nakatsuji: "Ferroquadrupolar ordering in PrTi<sub>2</sub>Al<sub>20</sub>," Physical Review B 86 (2012) 032030-1-4, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevB.86.184419.

[学会発表](計6件)

伊藤晋二:「HRCにおける中性子ブリルアン散乱と金属強磁性体SrRuO<sub>3</sub>のスピン波」(招待講演)第4回物構研サイエンスフェスタ・第7回MLFシンポジウム、つくば国際会議場(茨城県つくば市) 2016年3月15日-16日

大山研司、坂口将尊、横尾哲也、南部雄亮、伊藤晋二、猪野隆、大河原学、藤田全基:「偏極中性子散乱装置POLANOでの磁場接続評価」第4回物構研サイエンスフェスタ・第7回MLFシンポジウム、つくば国際会議場(茨城県つくば市) 2016年3月15日-16日

S. Itoh, "Neutron Brillouin Scattering Experiments on HRC and Spin Waves in Metallic Ferromagnet SrRuO<sub>3</sub>," (invited), 15th Japan-Korea Meeting on Neutron Science, Hotel Nonshim, Busan, Korea, 6 - 8 January 2016

岩佐和晃, 松本圭介, 鬼丸孝博, 高畠敏郎, J.-M. Mignot, J.-L. Meuriot, A. Goukassov:「中性子回折によるPrIr<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>における反強四極子秩序の観測」日本物理学会2015年秋季大会、関西大学千里山キャンパス(大阪府吹田市) 2015年9月16日-19日

岩佐和晃, 齊藤耕太郎, 佐藤貴宏, 米本在, L. Hao, C. Laulhé, J.-M. Mignot, 中尾裕則, 村上洋一, 伊藤晋二, 横尾哲也, 川名大地:「PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub>の金属-非金属転移に対する元素置換効果の中性子・X線散乱による研究」東京大学物性研究所短期研究会「スクッテルライト化合物及び関連物質を舞台とした強相関電子系物理の新展開」東京大学物性研究所柏キャンパス(千葉県柏市) 2014年10月10日-12日(依頼口頭講演)

K. Ohoyama, T. Yokoo, S. Itoh, K. Iwasa, M. Ohkawara, N. Kaneko, J. Suzuki, M. Nanbu, H. Hayashida, T. Ino, T. Oku, H. Kira, S. Tasaki, M. Takeda, K. Hayashi, H. Kimura and T. J. Sato, "Polarisation Analysis Neutron Spectrometer, POLANO, at J-PARC," Polarised Neutrons for Condensed Matter Investigations 2014 (PNCMI 2014), Sydney, Australia, 15 - 19 September 2014 [招待講演]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩佐 和晃 (IWASA, Kazuaki)  
東北大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 00275009

(2) 研究分担者

伊藤 晋一 (ITO, Shinichi)  
高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授  
研究者番号: 00221771

大山 研司 (OHYAMA, Kenji)  
茨城大学・大学院理工学研究科応用粒子線科学専攻・教授  
研究者番号: 60241569

佐藤 卓 (SATO, Taku)  
東北大学・多元物質科学研究所・教授  
研究者番号: 70354214

(3) 連携研究者

富安 啓輔 (TOMIYASU, Keisuke)  
東北大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号: 20350481

横尾 哲也 (YOKOO, Tetsuya)  
高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授  
研究者番号: 10391707

益田 隆嗣 (MASUDA, Takatsugu)  
東京大学・物性研究所・准教授  
研究者番号: 90313014

平賀 晴弘 (HIRAKA, Haruhiro)  
高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特任准教授  
研究者番号: 90323097

奥 隆之 (OKU, Takayuki)  
日本原子力研究開発機構・J-PARC センター・研究主幹  
研究者番号: 10301748

吉良 弘 (KIRA, Hiroshi)  
(財)総合科学技術機構・東海事業センター利用研究促進部・技師  
研究者番号: 50400239

倉本 義夫 (KURAMOTO, Yoshio)  
高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別教授  
研究者番号: 70111250