

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03512

研究課題名(和文) 偏光制御内殻分光による強相関軌道対称性の決定と量子臨界相転移機構の解明

研究課題名(英文) Probing orbital symmetry in the quantum critical phenomena for the strongly correlated systems using the polarized core-level spectroscopy

研究代表者

藤原 秀紀 (Fujiwara, Hidenori)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：00397746

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：非従来型超伝導や金属絶縁体転移等の特異な物性を示す強相関化合物において、希土類4f軌道や遷移金属3d軌道等、強相関軌道の対称性が異常物性発現の重要な役割を担う。我々は強相関軌道の対称性を元素選択的に決定するべく、硬X線角度分解内殻光電子分光および軟X線吸収分光の直線偏光依存性を組み合わせた新しい研究手法を開発した。この手法を正方晶Ce化合物に対し適用し、その結晶場基底状態を実験的に解明可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した微視的分光手法は、光学過程で生成する内殻ホールを利用するため、元素選択的・サイト選択的、かつ局所的対称性に極めて敏感である。また中性子散乱実験で問題となるような測定困難な元素種も無いため、応用範囲が広く学術的な波及効果は極めて高い。また、次世代酸化物エレクトロニクス材料への応用が可能であるため、省エネルギーデバイス材料研究においても利用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The symmetry of the strongly correlated rare-earth 4f and transition-metal 3d orbital plays an essential role to drive the exotic phenomena such as unconventional superconductivity or metal-insulator transition. We have developed the new spectroscopic technique by using the linear polarization dependence of the hard-X-ray photoemission and X-ray absorption spectroscopies. By utilizing this technique, we have established the method to probe the ground-state 4f symmetry for the tetragonal Ce systems.

研究分野：強相関電子物性

キーワード：超伝導 磁性 光電子分光 X線吸収分光 強相関電子系

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

CeCu₂Si₂における非従来型超伝導の発見を契機として、異方的な電荷分布をもつ 4f 及び 3d 軌道を舞台とした強相関電子物性が注目されている。特に伝導電子の見かけの有効質量増大を伴う CeCu₂Si₂ 等の“重い電子”系超伝導体の電子相図は、銅酸化物高温超伝導体の相図と類似性があり、Ce 4f 基底状態の軌道対称性との相関が報告されている。このため、異方的な強相関軌道の対称性が異常物性発現機構に与える影響を明らかにすることは極めて重要である。しかしながら、一般に特定サイトの局所軌道対称性をマクロ測定から決定することは困難であるため、強相関電子物性の発現機構における軌道自由度の役割について、これまで詳細は明らかになっていなかった。そこで強相関軌道の軌道対称性を精密に決定し、強相関軌道の対称性と特異な物性発現機構の相関を解明するべく研究を行った。

2. 研究の目的

本研究の目的は強相関電子物性における軌道対称性の役割を解明することである。特に結晶中で局在イオンの振る舞いをする希土類 Ce 化合物において、X 線吸収分光 (XAS) と硬 X 線光電子分光 (HAXPES) の直線偏光依存性 (LD) を組み合わせた微視的精密測定手法を確立し、希土類化合物の結晶場基底状態を決定する。これにより、強相関軌道対称性と異常物性発現機構の相関を明らかにすることを目標に研究を推進した。

3. 研究の方法

従来、基底状態の対称性は、主に中性子散乱で結晶場パラメータを得て、帯磁率の異方性を結晶場モデルにより解析することにより議論されてきた。しかしながら、一般的に希土類化合物の結晶場エネルギーは僅か数 10 から数 100 K と小さく、帯磁率測定だけでは任意性が大きいと、より精密な研究手法の開発が要請されている。近年、電気双極子遷移の選択則を利用し、XAS の直線偏光依存性 (XAS-LD) による軌道対称性の決定方法が開発されたが、格子定数の等しい結晶面における 4f 対称性の決定は不可能であった。そこで、我々は硬 X 線角度分解内殻光電子分光 (HAXPES) と軟 X 線吸収分光 (XAS) の直線偏光依存性 (LD)、さらに帯磁率の異方性を組み合わせた新しい研究手法の開発を行った (図 1)。

内殻光電子スペクトルに現れる線二色性は、内殻ホールと 4f 電子との間に働く異方的なクーロン・交換相互作用に由来する。この手法は内殻ホール生成を伴うため、局所的な対称性に極めて敏感であり、元素選択的・サイト選択的に強相関不完全殻の軌道対称性を解明することが可能である。また中性子散乱実験で問題となるような測定困難な元素種も無く、汎用性の高い実験手法であるといえる。また、試料の向きを変えて HAXPES-LD を測定することにより、結晶軸に対して光電子放出方向を制御可能であるため、XAS-LD では判別できない面内の軌道対称性 (Σ-type または Π-type) まで精密に決定することができる (図 1)。

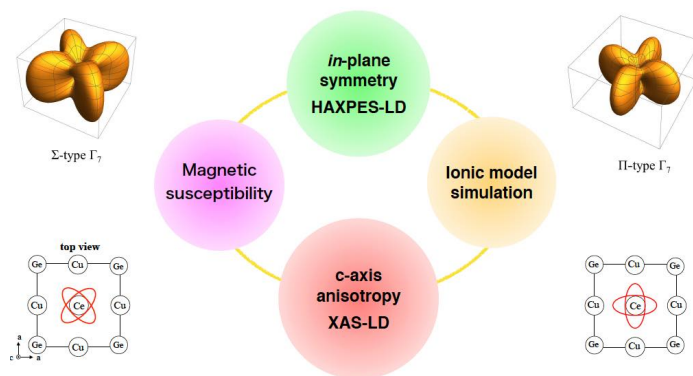


図 1) 正方晶 Ce 化合物に対する結晶場基底状態の決定方

4. 研究成果

(1) CeCu₂Si₂ に代表される正方晶 CeM₂X₂ 型化合物は、遷移金属元素種 (M = Cu, Ni, Ru 等) と X サイト (=Si, Ge) の化学的圧力効果により、主に 20 K 以下の低温領域において様々な磁気秩序や非フェルミ流体的振る舞い、さらに有効質量の増大を伴う非従来型の重い電子系超伝導を示す。これらの特異な物性の起源は、局所的な Ce 4f 電子と伝導電子の混成による近藤効果と Ruderman-Kittel-Kasuya-Yoshida (RKKY) 相互作用の競合に起因する。これまでは空間的拡がり狭い Ce 4f 電子を局在スピンとして扱い、伝導電子との混成効果が議論されてきたが、近年の XAS-LD を用いた研究から、基底状態における 4f 軌道対称性が量子臨界現象の発現機構に決定的な役割を与えることが報告されている。

我々は硬 X 線角度分解内殻光電子分光 (HAXPES) と軟 X 線吸収分光 (XAS) の直線偏光依存性 (LD) を組み合わせることで、基底状態における Ce 4f 軌道対称性の決定方法を確立した。まず、① XAS スペクトルと Ce³⁺ イオンモデル計算との比較から、 $\Gamma_6 = |J_z = 1/2\rangle$ 状態および $\Gamma_7 = \alpha |5/2\rangle \pm (1-\alpha)^{1/2} |3/2\rangle$ 状態の判定を行い、 Γ_7 対称性であれば c 軸異方性を司る異方性パラメータ α を決定する (図 1)。ついで、② Γ_7 基底の面内対称性を司る $J_z = 5/2$ 状態と $3/2$ 状態の線形結合の符号を HAXPES から決定する。さらに、③ 以上で得られた Ce 4f 軌道対称性を元に、帯磁率の異方性を説明することができれば、結晶場基底状態を正確に決定することが出来る。この手法を用いて、我々は、局在 4f 電子状態を示す CeCu₂Ge₂ に対し、Ce 4f 基底状態対称性の決定に成功した。

また、強磁性体 CeAgSb₂ に対する測定から、Ce 3d 内殻 HAXPES-LD の符号が、 Γ_7 対称性の CeCu₂Ge₂ に対して反転することを見出した (図 2)。これは CeAgSb₂ の基底状態対称性が Γ_6 対称性であることを示している。以上の結果は、HAXPES-LD が正方晶 Ce 化合物の全ての結晶場基底状態を決定可能であることを示している。今後、様々な物性を示す正方晶希土類化合物に対して系統的な研究を推進することにより、対称性と電子物性の相関の解明が期待される。

(3) 本研究手法は Ce 化合物以外の希土類化合物にも応用可能である。そこで、本研究期間において、量子臨界現象を示す Yb 化合物である YbAlB₄ や多極子秩序に由来する多様な物性を示す Pr 化合物等の様々な希土類化合物に対し研究を展開し、基底状態の決定に成功した。

(4) 銅酸化物高温超伝導体及び、軌道秩序を示すペロブスカイト型 Mn 酸化物 (Nd_{1-x}Sr_xMnO₃、La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn₂O₇) の金属絶縁体転移について本手法を適用し、3d 軌道対称性を反映した 2p 内殻 HAXPES-LD の観測に成功した。軌道秩序相転移に伴い LD が増大することを見出し、遷移金属酸化物でも HAXPES-LD が観測されることを実証した。

(5) 以上に加え、XAS-LD を顕微分光手法に応用するべく、サブミクロン領域の XAS-LD を計測可能な時分割光電子顕微鏡の開発に参画した。将来的に軌道ドメインの計測やその時間発展の計測を見据えた研究展開が期待される。また、基底状態の対称性のみならず、励起状態の軌道対称性の研究まで見据え、共鳴非弾性軟 X 線散乱 (RIXS) を用いた電子構造研究を実施した。光イン-光アウトの分光手法の特徴を活かして外部磁場印加状態による電子構造研究を行うことにより、スピントロニクス候補材料であるハーフメタル型ホイスラー合金 Mn₂VAl のスピン偏極電子構造を磁場中でその場観測する手法を確立した。将来、希土類化合物の結晶場励起状態が観測可能なエネルギー分解能での測定が可能になれば、HAXPES-LD, XAS-LD, RIXS-LD の複合研究により、基底状態と励起状態の全ての対称性を決定することができると考えられる。

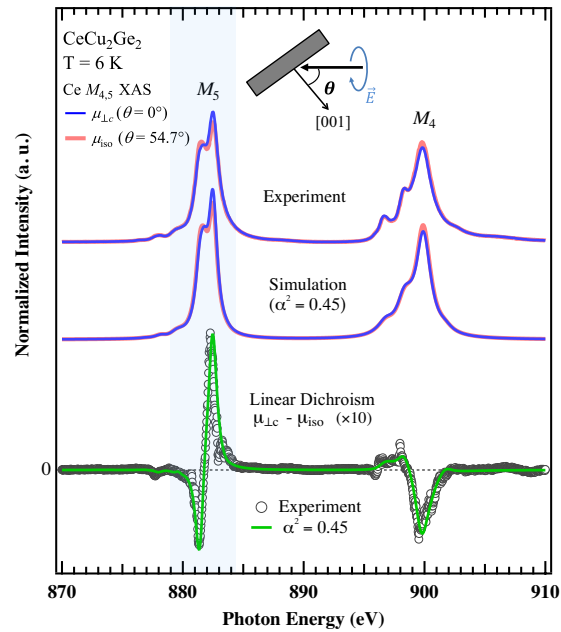


図 2) CeCu₂Ge₂ の Ce 3d-4f XAS-LD スペクトル

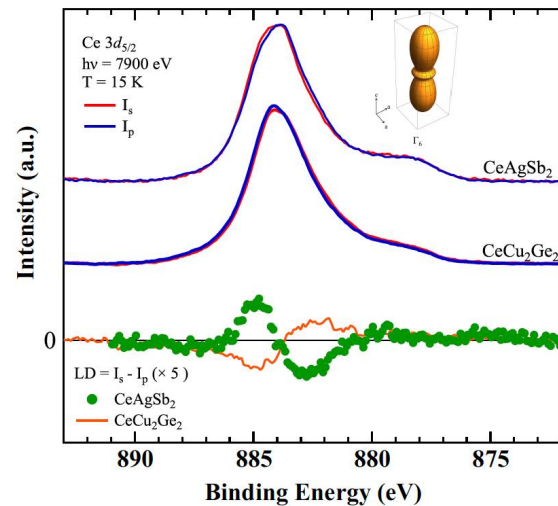


図 3) CeCu₂Ge₂、および CeAgSb₂ の Ce 3d HAXPES-LD スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Saitoh, H. Fujiwara, A. Yasui, T. Kadono, H. Sugawara, D. Kikuchi, H. Sato, S. Suga, A. Yamasaki, A. Sekiyama, S. Imada	4. 巻 102
2. 論文標題 Insight into Kondo screening in the intermediate-valence compound SmOs ₄ Sb ₁₂ uncovered by soft x-ray magnetic circular dichroism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165152-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.165152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Irizawa Akinori, Fujimoto Masaki, Kawase Keigo, Kato Ryukou, Fujiwara Hidenori, Higashiya Atsushi, Macis Salvatore, Tomarchio Luca, Lupi Stefano, Marcelli Augusto, Suga Shigemasa	4. 巻 5
2. 論文標題 Spatially Resolved Spectral Imaging by A THz-FEL	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 38 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/condmat5020038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Koya Nakagawa, Hidenori Fujiwara, Satoru Hamamoto, Sho Miyazaki, Yasuhiro Nakatani, Kentaro Kuga, Atsushi Higashiya, Toshiharu Kadono, Kenji Tamasaku, Makina Yabashi, Tetsuya Ishikawa, Takayuki Muro, Shin Imada, Akira Sekiyama, Kouichi Takase, Hiromi Kobori, Atsushi Yamasaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Observation of Electronic Structures in Sr-Based Iridates by Bulk-Sensitive Photoemission Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011146-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011146	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Satoru Hamamoto, Shuhei Fujioka, Yuina Kanai-Nakata, Kohei Yamagami, Kentaro Kuga, Hidenori Fujiwara, Takayuki Kiss, Hiroyuki S. Suzuki, Atsushi Higashiya, Atsushi Yamasaki, Shin Imada, Arata Tanaka, Yukiharu Takeda, Yuji Saitoh, Kenji Tamasaku, Makina Yabashi, Tetsuya Ishikawa, Akira Sekiyama	4. 巻 30
2. 論文標題 Local 4fElectronic Structure in PrAg ₂ In Studied by Polarized X-Ray Absorption and Photoemission Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011113-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Amina A. Abozeed, Keisuke Sano, Kensei Terashima, Atsushi Yamasaki, Atsushi Higashiya, Hidenori Fujiwara, Takayuki Kiss, Akira Sekiyama, Yoshihito Tanaka, Makina Yabashi, Kenji Tamasaku, Tetsuya Ishikawa, Shinichi Masubuchi, Shin Imada	4. 巻 30
2. 論文標題 Electronic States of an Antiferromagnet CeCuSb ₂ Studied by Linearly Polarized Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011104-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Fujiwara, Y. Kondo, S. Hamamoto, Y. Kanai-Nakata, K. Kuga, A. Yamasaki, A. Higashiya, T. Kadono, S. Imada, T. Kiss, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, T. Ebihara, A. Sekiyama	4. 巻 30
2. 論文標題 Ground State Local 4f Symmetry of CeAgSb ₂ Probed by Linearly Polarized Hard X-ray Photoemission	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 10.7566/JPSCP.30.011101	6. 最初と最後の頁 011101-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Satoru Hamamoto, Yuina Kanai-Nakata, Hidenori Fujiwara, Kentaro Kuga, Takayuki Kiss, Atsushi Higashiya, Atsushi Yamasaki, Shin Imada, Arata Tanaka, Kenji Tamasaku, Makina Yabashi, Tetsuya Ishikawa, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, Hiroshi Amitsuka, Akira Sekiyama	4. 巻 29
2. 論文標題 Linearly Polarized Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy of PrBe ₁₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 012010-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.29.012010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 関山 明, 藤原秀紀, 中田惟奈, 濱本 諭, 今田 真	4. 巻 33
2. 論文標題 内殻光電子線二色性による強相関局在軌道対称性の決定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 177-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R.Y. Umetsu, H. Fujiwara, K. Nagai, Y. Nakatani, M. Kawada, A. Sekiyama, F. Kuroda, H. Fujii, T. Oguchi, Y. Harada, J. Miyawaki, S. Suga	4. 巻 99
2. 論文標題 Half-metallicity of the ferrimagnet Mn ₂ VAl revealed by resonant inelastic soft x-ray scattering in a magnetic field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134414-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.134414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kentaro Kuga, Yuina Kanai, Hidenori Fujiwara, Kohei Yamagami, Satoru Hamamoto, Yuichi Aoyama, Akira Sekiyama, Atsushi Higashiya, Toshiharu Kadono, Shin Imada, Atsushi Yamasaki, Arata Tanaka, Kenji Tamasaku, Makina Yabashi, Tetsuya Ishikawa, Satoru Nakatsuji, Takayuki Kiss	4. 巻 123
2. 論文標題 Effect of Anisotropic Hybridization in YbAlB ₄ Probed by Linear Dichroism in Core-Level Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 036404-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.036404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takuo Ohkochi, Hitoshi Osawa, Akinobu Yamaguchi, Hidenori Fujiwara, Masaki Oura	4. 巻 58
2. 論文標題 Present status of photoemission electron microscope newly installed in SPring-8 for time-resolved nanospectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 118001-1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab4b12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Hamamoto, Y. Kanai, S. Fujioka, Y. Nakatani, H. Fujiwara, K. Kuga, T. Kiss, A. Higashiya, A. Yamasaki, S. Imada, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Hidaka, T. Yanagisawa, H. Amitsuka, K.T. Matsumoto, T. Onimaru, T. Takabatake, A. Sekiyama	4. 巻 238
2. 論文標題 Observation of the 4f ground-state symmetry in strongly correlated cubic Pr compounds probed by linearly polarized 3d core-level photoemission spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena	6. 最初と最後の頁 146885 ~ 146885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elspec.2019.07.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kentaro Kuga, Yuina Kanai, Hidenori Fujiwara, Kohei Yamagami, Satoru Hamamoto, Yuichi Aoyama, Akira Sekiyama, Atsushi Higashiya, Toshiharu Kadono, Shin Imada, Atsushi Yamasaki, Kenji Tamasaku, Makina Yabashi, Tetsuya Ishikawa, Satoru Nakatsuji, Takayuki Kiss	4. 巻 238
2. 論文標題 Linear polarization-dependent core-level photoemission spectroscopy in Yb-based valence fluctuating system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena	6. 最初と最後の頁 146889 ~ 146889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elspec.2019.08.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Aratani, Y. Nakatani, H. Fujiwara, M. Kawada, Y. Kanai, K. Yamagami, S. Fujioka, S. Hamamoto, K. Kuga, T. Kiss, A. Yamasaki, A. Higashiya, T. Kadono, S. Imada, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, A. Yasui, Y. Saitoh, Y. Narumi, K. Kindo, T. Ebihara, A. Sekiyama	4. 巻 98
2. 論文標題 Revising the 4f symmetry in CeCu ₂ Ge ₂ : Soft x-ray absorption and hard x-ray photoemission spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 121113(R)-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.121113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計43件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 久我健太郎, 姫野良介, 藤原秀紀, 濱本諭, 保井晃, 雀部矩正, 柴垣善則, 河村直己, 池永英司, 水牧仁一郎, 筒井智嗣, 木須孝幸, 関山明, 三村功次郎, 松波雅治, 竹内恒博
2. 発表標題 共鳴硬X線光電子分光による価数揺動系量子臨界物質 α -YbAl _{1-x} Fe _x B ₄ の電子構造研究
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢野慎弥, 竹内裕加里, 山神光平, 祖利目和明, 近藤広康, 永吉佑輔, 右衛門佐寛, 池田真司, 藤原秀紀, 石田茂之, 永崎洋, 関山明, 木須孝幸
2. 発表標題 6 eVレーザーARPESによるBi ₂ 212におけるbilayer splittingの温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野末悟郎, 有長祐人, 濱本諭, 藤原秀紀, 木須孝幸, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 東谷篤志, 山崎篤志, 今田真, 元売明瑞紗, 鈴木慎太郎, 田村隆治, 関山明
2. 発表標題 Au-Ga-Ce 1/1近似結晶の硬X線内殻・価電子帯光電子分光
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西本幸平, 藤原秀紀, 濱本諭, 有長祐人, 姫野良介, 近藤佑宥, 木須孝幸, 中川広野, 山崎篤志, 中田惟奈, 今田真, 東谷篤志, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 菅滋正, 梅津理恵, 関山明
2. 発表標題 題 直線偏光制御硬X線光電子分光によるホイスラー合金の価電子帯電子構造研究
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久我健太郎, 濱本諭, 中谷泰博, 金井惟奈, 藤原秀紀, 青山雄一, 関山明, 東谷篤志, 門野利治, 今田真, 山崎篤志, 田中新, 大浦正樹, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 北川健太郎, 木須孝幸
2. 発表標題 放射光光電子分光による量子臨界物質YbCo ₂ Ge ₄ の4f基底状態軌道対称性と混成効果の研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有長祐人, 濱本諭, 近藤佑宥, 藤原秀紀, 西本幸平, 姫野良介, 木須孝幸, 中田惟奈, 今田真, 田中新, 中川広野, 山崎篤志, 東谷篤志, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 山田瑛, 東中隆二, 松田達磨, 青木勇二, 関山明
2. 発表標題 内殻硬X線光電子線二色性による反強磁性体SmPt ₂ Si ₂ における4f軌道対称性の研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西本幸平, 藤原秀紀, 濱本諭, 有長祐人, 近藤佑宥, 木須孝幸, 山神光平, 山添康介, 宮脇淳, 原田慈久, 山崎篤志, 今田真, 東谷篤志, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 黒田文彬, 小口多美夫, 菅滋正, 梅津理恵, 関山明
2. 発表標題 磁場中共鳴非弾性軟X線散乱及び直線偏光制御硬X線光電子分光によるホイスラー合金Co ₂ FeSiの価電子帯電子構造
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原秀紀, 梅津理恵, 黒田文彬, 宮脇淳, 西本幸平, 櫻内利幸, 関山明, 入澤明典, 藤井将, 小口多美夫, 原田慈久, 菅滋正
2. 発表標題 磁場中共鳴非弾性軟X線散乱によるホイスラー合金Co ₂ MnSiのハーフメタル型電子構造の直接観測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Fujiwara, H. Aratani, Y. Nakatani, M. Kawada, Y. Kanai-Nakata, K. Yamagami, S. Fujioka, S. Hamamoto, K. Kuga, T. Kiss, A. Yamasaki, A. Higashiya, T. Kadono, S. Imada, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, A. Yasui, Y. Saitoh, Y. Narumi, K. Kindo, T. Ebihara, A. Sekiyama
2. 発表標題 Ground State Local 4f Symmetry in the Pressure Induced Superconductor CeCu ₂ Ge ₂ Probed by Polarized Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
3. 学会等名 8th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Sekiyama, Y. Kanai-Nakata, S. Hamamoto, H. Fujiwara, A. Tanaka, S. Imada, Y. Nakatani, S. Takano, T. Kashiuchi, K. Yamagami, M. Kawada, T. Kadono, K. Kuga, T. Kiss, A. Yamasaki, A. Higashiya, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, Y. Onuki, A. Kikkawa, Y. Taguchi and T. Ebihara
2. 発表標題 Polarization-dependent Angle-resolved Core-level HAXPES of Strongly Correlated Rare-earth Compounds: Formulations and Applications
3. 学会等名 8th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Hamamoto, Y. Kanai-Nakata, H. Fujiwara, K. Kuga, T. Kiss, A. Higashiya, A. Yamasaki, S. Imada, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Hidaka, T. Yanagisawa, H. Amitsuka, K.T. Matsumoto, T. Onimaru, T. Takabatake, A. Sekiyama
2 . 発表標題 Linear Dichroism in Core-level Photoemission Spectroscopy for Cubic Pr Compounds
3 . 学会等名 8th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kiss, K. Kuga, S. Hamamoto, Y. Takeuchi, K. Yamagami, Y. Nakatani, H. Yomosa, H. Kondo, K. Sorime, H. Fujiwara, A. Sekiyama, M. Oura, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa
2 . 発表標題 Development of High Efficient Photoemission Spectrometer for Soft- and Hard-X-ray
3 . 学会等名 8th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Fujiwara, H. Aratani, Y. Nakatani, M. Kawada, Y. Kanai-Nakata, K. Yamagami, S. Fujioka, S. Hamamoto, K. Kuga, T. Kiss, A. Yamasaki, A. Higashiya, T. Kadono, S. Imada, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, A. Yasui, Y. Saitoh, Y. Narumi, K. Kindo, T. Ebihara, A. Sekiyama
2 . 発表標題 Revising Ground State Local 4f Symmetry in the Pressure Induced Superconductor CeCu ₂ Ge ₂
3 . 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 藤原秀紀
2 . 発表標題 高精度X線電子分光によるハーフメタルホイスラー合金の電子構造研究
3 . 学会等名 第9回光科学異分野横断萌芽研究会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原秀紀
2. 発表標題 高精度X線電子分光によるハーフメタル型ホイスラー合金の磁性・電子構造研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原秀紀, 近藤佑宥, 瀧本諭, 川田萌樹, 荒谷秀和, 中谷泰博, 中田惟奈, 久我健太郎, 木須孝幸, 山崎篤志, 東谷篤志, 門野利治, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 保井晃, 斎藤祐児, 海老原孝雄, 関山明
2. 発表標題 直線偏光制御硬X線角度分解内殻光電子分光による正方晶強相関Ce化合物の4f基底状態対称性の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大河内拓雄, 大浦正樹, 大澤仁志, 山口明啓, 藤原秀紀, 関山明, 木下豊彦
2. 発表標題 静磁・交換エネルギー発現の時間スケールの同定 ~ 時分割計測のための試料物性の制御 ~
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大河内拓雄, 大浦正樹, 大澤仁志, 山口明啓, 藤原秀紀
2. 発表標題 磁気ダイナミクス解析の進展を目指した光電子顕微鏡装置の新規導入
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川広野, 矢野慎弥, 林田拓也, 中田惟奈, 小堀裕己, 藤原秀紀, 関山明, 東谷篤志, 門野利治, 今田真, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 高瀬浩一, 山崎篤志
2. 発表標題 温度依存HAXPESによるIr酸化物絶縁体におけるスレーター性の観測
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西本幸平, 藤原秀紀, 中田惟奈, 濱本諭, 久我健太郎, 木須孝幸, 門野利治, 今田真, 東谷篤志, 山崎篤志, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 菅滋正, 梅津理恵, 関山明
2. 発表標題 直線偏光制御X線光電子分光によるハーフメタル型ホイスラー合金Co ₂ MnSiの電子構造研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤佑宥, 藤原秀紀, 濱本諭, 中田惟奈, 川田萌樹, 高野彩佳, 久我健太郎, 木須孝幸, 東谷篤志, 山崎篤志, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 関山明
2. 発表標題 鉄単体の磁場中硬X線光電子分光による光電子磁気円二色性の観測
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱本諭, 藤原秀紀, 木須孝幸, 東谷篤志, 山崎篤志, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 中村直貴, 東中隆二, 松田達磨, 青木勇二, 関山明
2. 発表標題 充填スクッテルダイト化合物PrFe ₄ P ₁₂ に対する硬X線内殻光電子線二色性の観測
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 姫野良介, 久我健太郎, 藤原秀紀, 濱本諭, 保井晃, 雀部矩正, 柴垣善則, 河村直己, 池永英司, 水牧仁一朗, 筒井智嗣, 木須孝幸, 三村功次郎, 関山明
2. 発表標題 共鳴硬X線光電子分光による価数揺動系量子臨界物質beta-YbAlB4の電子構造研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱本諭, 中田惟奈, 久我健太郎, 藤原秀紀, 木須孝幸, 東谷篤志, 山崎篤志, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 日高宏之, 柳澤達也, 網塚浩, 松本圭介, 鬼丸孝博, 高畠敏郎, 関山明
2. 発表標題 立方晶 Pr 化合物の内殻光電子線二色性による 4f 軌道対称性の決定
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西本幸平, 藤原秀紀, 有長祐人, 山神光平, 山添康介, 宮脇淳, 原田慈久, 黒田文彬, 小口多美夫, 木須孝幸, 関山明, 菅滋正, 梅津理恵
2. 発表標題 磁場中共鳴非弾性 X 線散乱によるホイスラー合金 Co2FeSi のスピン偏極電子構造
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久我健太郎, 中田惟奈, 藤原秀紀, 山神光平, 濱本諭, 青山雄一, 関山明, 東谷篤志, 門野利治, 今田真, 山崎篤志, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 中辻知, 木須孝幸
2. 発表標題 内殻光電子スペクトル線二色性による量子臨界物質 -YbAl1-xFexB4 の 4f 軌道対称性決定
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 姫野良介, 久我健太郎, 藤原秀紀, 瀧本諭, 保井晃, 雀部矩正, 柴垣善則, 河村直己, 池永英司, 水牧仁一朗, 筒井智嗣, 木須孝幸, 三村功次郎, 関山明
2. 発表標題 共鳴硬 X 線光電子分光による価数揺動系物質 -YbAlB_4 および -YbAlB_4 の電子構造研究
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西本幸平, 藤原秀紀, 瀧本諭, 有長祐人, 姫野良介, 近藤佑宥, 木須孝幸, 中川広野, 山崎篤志, 中田惟奈, 今田真, 東谷篤志, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 菅滋正, 梅津理恵, 関山明
2. 発表標題 直線偏光制御硬X線光電子分光によるハーフメタル型ホイスラー合金 Mn_2VAI の価電子帯電子構造研究
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧本諭, 近藤佑宥, 藤原秀紀, 木須孝幸, 東谷篤志, 山崎篤志, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 中村直貴, 東中隆二, 松田達磨, 青木勇二, 関山明
2. 発表標題 充填スクッテルダイト化合物 $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ に対する直線偏光依存硬X線内殻光電子分光
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有長祐人, 瀧本諭, 近藤佑宥, 藤原秀紀, 西本幸平, 姫野良介, 木須孝幸, 中田惟奈, 今田真, 中川広野, 山崎篤志, 東谷篤志, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 山田瑛, 東中隆二, 松田達磨, 青木勇二, 関山明
2. 発表標題 内殻硬X線光電子線二色性による反強磁性体 SmPt_2Si_2 の4f軌道対称性研究
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅滋正, 藤原秀紀, 梅津理恵, 黒田文彬, 小口多美夫, 関山明, 原田慈久, 宮脇淳
2. 発表標題 摂動下での軟X線領域の共鳴非弾性散乱の展望: V, Cr酸化物やHeusler合金など
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Fujiwara, H. Aratani, Y. Nakatani, M. Kawada, Y. Kanai, S. Hamamoto, K. Kuga, T. Kiss, A. Yamasaki, A. Higashiya, T. Kadono, S. Imada, A. Tanaka, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, A. Yasui, Y. Saitoh, Y. Narumi, K. Kindo, T. Ebihara, and A. Sekiyama
2. 発表標題 Ground-state 4f symmetry in CeCu ₂ Ge ₂ probed by soft x-ray absorption and hard x-ray photoemission spectroscopy
3. 学会等名 J-Physics Annual Meeting FY2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Fujiwara, R. Y. Umetsu, K. Nagai, F. Kuroda, H. Fujii, T. Oguchi, A. Sekiyama, Y. Harada, J. Miyawaki, S. Suga
2. 発表標題 Resonant Inelastic X-ray Scattering on Half-metallic Ferrimagnet Mn ₂ VAl
3. 学会等名 RIXS-RXS-workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原秀紀
2. 発表標題 軟X線電子分光によるハーフメタルホイスラー合金の電子構造研究
3. 学会等名 第8回光科学異分野横断萌芽研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	藤原秀紀, 服部竜大, 永井浩大, 金井惟奈, 山神光平, 木須孝幸, 東谷篤志, 山崎篤志, 門野利治, 今田真, 播木敦, 魚住孝幸, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 木村剛, 桑原英樹, 関山明
2. 発表標題	Mn 2p 内殻光電子スペクトル線二色性による ペロブスカイト型Mn 酸化物の金属絶縁体転移の研究
3. 学会等名	日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	山神光平, 藤原秀紀, 木須孝幸, 播木敦, 魚住孝幸, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 小野瀬佳文, 十倉好紀, 関山明
2. 発表標題	偏光制御X線光電子分光を用いた電子ドープ型銅酸化物高温超伝導体Nd _{2-x} Ce _x CuO ₄ の電子状態観測
3. 学会等名	日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	H. Fujiwara
2. 発表標題	Revising the 4f symmetry in CeCu ₂ Ge ₂ probed by polarized hard X-ray photoemission spectroscopy
3. 学会等名	International Workshop on Trends in Advanced Spectroscopy in Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	近藤佑宥, 金井惟奈, 濱本諭, 藤原秀紀, 川田萌樹, 榎内利幸, 高野彩佳, 久我健太郎, 木須孝幸, 東谷篤志, 門野利治, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 海老原孝雄, 関山明
2. 発表標題	硬X線光電子分光を用いた希土類化合物CeAgSb ₂ の基底状態における電子状態の解析
3. 学会等名	第32回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	櫻内利幸, 金井惟奈, 濱本諭, 藤原秀紀, 久我健太郎, 木須孝幸, 東谷篤志, 山崎篤志, 門野利治, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 海老原孝雄, 関山明
2. 発表標題	角度分解内殻光電子線二色性を用いた価数揺動物質YbNi ₂ Ge ₂ における4f 基底状態対称性の決定
3. 学会等名	第32回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	H. Fujiwara, R. Y. Umetsu, K. Nagai, F. Kuroda, H. Fujii, T. Oguchi, A. Sekiyama, Y. Harada, J. Miyawaki, S. Suga
2. 発表標題	Electronic structure of the half-metallic ferrimagnet Mn ₂ VAl probed by resonant inelastic soft X-ray scattering under magnetic field
3. 学会等名	The first international Workshop on Momentum Microscopy & Spectroscopy for Materials Science (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	久我健太郎, 金井惟奈, 藤原秀紀, 山神光平, 濱本諭, 青山雄一, 関山明, 東谷篤志, 門野利治, 今田真, 山崎篤志, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 中辻知, 木須孝幸
2. 発表標題	内殻硬X線光電子分光線二色性によるYbAlB ₄ の結晶場基底状態と異方的混成効果
3. 学会等名	日本物理学会第74回年次大会 (2019)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	櫻内利幸, 金井惟奈, 濱本諭, 藤原秀紀, 久我健太郎, 木須孝幸, 東谷篤志, 山崎篤志, 今田真, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 石川哲也, 海老原孝雄, 関山明
2. 発表標題	角度分解内殻光電子線二色性による価数揺動物質YbNi ₂ Ge ₂ の4f基底状態対称性の決定
3. 学会等名	日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 川田萌樹, 中谷泰博, 荒谷秀和, 金井惟奈, 瀧本諭, 近藤広康, 藤原秀紀, 久我健太郎, 木須孝幸, 山崎篤志, 田中新, 玉作賢治, 矢橋牧名, 東谷篤志, 石川哲也, 門野利治, 今田真, 大貫惇睦, 青木大, 関山明
2. 発表標題 X線内殻光電子線二色性による重い電子系CeRu ₂ Si ₂ の4f基底状態軌道対称性の決定
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

光電子を通じた電子の軌道混成状態の観測 - 物質中の電子の広がりを可視化 -
https://www.riken.jp/press/2019/20190726_2/index.html

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関