

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05174

研究課題名(和文) イッテルビウム系近藤格子の基底状態に関する普遍的な電子状態モデルの構築

研究課題名(英文) A construction of a universal electronic model for a ground state of the Yb-based Kondo lattice

研究代表者

佐藤 仁 (Sato, Hitoshi)

広島大学・放射光科学研究センター・准教授

研究者番号：90243550

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：Yb系化合物の基底状態は、Yb 4f電子と伝導電子状態との混成(c-f混成)によってコントロールされており、c-f混成が小さい場合は磁気秩序を示し、大きい場合は近藤効果により非磁性フェルミ液体となる。本研究では、同一結晶構造、類似の伝導電子状態をもちながら、c-f混成強度を反映する近藤温度が大きく異なるいくつかのYb系化合物の電子状態を光電子分光により調べ、基底状態を説明する電子状態モデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：A ground state of Yb-based compounds is controlled by the hybridization between the Yb 4f and conduction-band electronic states (c-f hybridization). The compounds with the weak c-f hybridization exhibit the magnetic order, while those with the strong c-f hybridization exhibit the Fermi liquid state with the non-magnetic order. In this study, we investigated the electronic structure of the selected Yb systems, which have the same crystal structure and similar conduction-band electronic states with the largely different Kondo temperature reflecting the c-f hybridization strength, by means of photoemission spectroscopy, and constructed the electronic model explaining the ground state of the Yb compounds.

研究分野：放射光物性

キーワード：cf混成 近藤効果 価数揺動 基底状態 イッテルビウム 光電子分光

1. 研究開始当初の背景

Yb系近藤格子の基底状態は、伝導電子とYb 4f電子との混成(c-f混成)が小さい場合はRKKY相互作用により磁気秩序を示し、大きい場合は近藤効果により非磁性フェルミ液体となる。後者では、通常Yb価数がYb²⁺とYb³⁺の間で揺らぐ価数揺動現象を示す。YbNi₃X₉ (X=Al, Ga)は、同じ結晶構造をもち、AlとGaの形式的な伝導電子数が同じでありながら、前者が反強磁性体($T_K \sim 3$ K (T_K は近藤温度でc-f混成の大きさを反映する)で前者に属し、後者が価数揺動系($T_K \sim 600$ K)で後者に属す。我々は硬X線光電子分光(HAXPES; 励起エネルギー $h\nu=6$ keV)、低エネルギー光電子分光(LEPES; $h\nu=7$ eV)により、Yb 4f電子状態と伝導電子状態密度(c-DOS)を明らかにし、c-DOS中のフェルミ準位(E_F)とYb 4fホール準位の位置関係から、YbNi₃X₉の基底状態を説明する電子状態モデルを考案した [Y. Utsumi *et al.*, Phys. Rev. B **86**, 115114 (2012)].

2. 研究の目的

YbNi₃X₉に対するHAXPES, LEPESの結果から考案した電子モデルは次のとおりである(Fig. 3参照)。YbNi₃Ga₉ではYb³⁺ 4fホール準位がYbNi₃Al₉と比較して E_F に近く、伝導電子(主にNi 3d電子)が移動することにより価数揺動状態になると考えられる。移動の結果 E_F がシフトし、 E_F 上のc-DOSがYbNi₃Ga₉で高くなり、このことが、YbNi₃Ga₉の T_K を上昇させる。この電子モデルは、YbNi₃X₉のように、同一結晶構造、類似の伝導電子状態をもつ他の物質系にも成立するだろうか。本研究では、物質系を拡張し、考案したモデルの普遍性の調査を行った。

3. 研究の方法

本研究では、物質系として、Yb₂Pt₆X₁₅ (X=Al, Ga), YbNiX₃ (X=Si, Ge), YbNi₂X₂, YbPd₂X₂を選択した。Yb₂Pt₆X₁₅はYbNi₃X₉と類似の層状構造をしており、特にYb周りの環境も類似している。いずれも非磁性で近藤効果優勢領域に属しているが、 T_K はYbNi₃X₉と同様、X=AlよりもX=Gaで高くなっている。従って、Ni(3d)とPt(5d)の違いを考慮しての比較研究が可能である。YbNiX₃, YbNi₂X₂, YbPd₂X₂に関しては、X=SiよりもX=Geで T_K が高くなる傾向にある。各々の物質系に対して、HAXPESによりYb 3d価数を見積もった。また特定の内殻ピークおよび価電子帯に現れるYb³⁺ 4f多重項のエネルギー位置より、フェルミ準位(E_F)、および、Yb³⁺ 4fホール準位のX, X'依存性を調べた。また、Yb₂Pt₆X₁₅に対してはLEPESを行い、 E_F 直下に現れる近藤ピークの直接観測と、角度分解測定により、c-f混成バンドの直接観測を行った。HAXPESはSPring-8, BL15XU, LEPESは、広島大学

放射光科学研究センターのHiSOR, BL-1, および, BL-9Aで行った。清浄試料表面は超高真空中での破断によって得た。

4. 研究成果

YbPd₂X₂の一部を除き、全ての物質系に対して類似の結果が得られた。YbNi₃X₉の基底状態を説明する電子状態モデル(Fig. 3参照)は、ある程度普遍的に成立する。ここでは、例としてYb₂Pt₆X₁₅について述べる。Fig. 1に20 Kで得られたYb₂Pt₆X₁₅のYb 3d_{5/2} HAXPESスペクトルを示す。1520 eVのシングルピークがYb²⁺, 1525-1535 eVの多重項構造がYb³⁺によるものである。Yb₂Pt₆Ga₁₅ではYb²⁺ピークが支配的であり、一方Yb₂Pt₆Al₁₅ではYb³⁺多重項構造が支配的である。一般的に、 T_K が高いほどYb価数は2価に近づくので、実験結果は磁化率の温度依存性から予想される T_K の傾向($T_K \sim 60$ K (Yb₂Pt₆Al₁₅); $T_K > 1000$ K (Yb₂Pt₆Ga₁₅))と一致する。フィッティングによって得られた20 KでのYb価数は、Yb₂Pt₆Ga₁₅で2.31, Yb₂Pt₆Al₁₅で2.83であった。Yb₂Pt₆Ga₁₅のYb価数にほとんど温度変化は見られなかったが、Yb₂Pt₆Al₁₅に関しては、300 Kで2.93であり、降温とともに2価に近づく傾向を示した。Yb価数は T_K 近傍で変化が大きいので、これらの温度依存性の違いも両者の T_K の違いで定性的に説明できる。

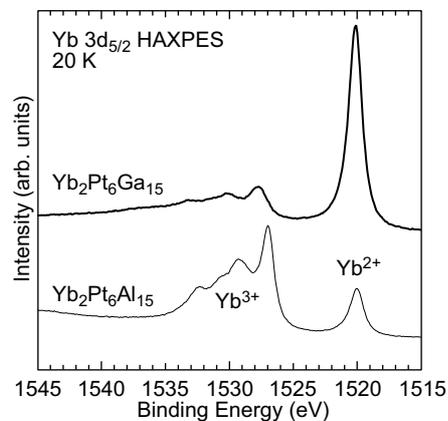


Fig. 1. 20 Kで得られたYb₂Pt₆X₁₅のYb 3d_{5/2} HAXPESスペクトル。

Fig. 2に20 Kで得られたYb₂Pt₆X₁₅の価電子帯HAXPESスペクトルを示す。 E_F 近傍にYb²⁺ 4fピーク、5-13 eVにYb³⁺ 4f多重項構造が観測されている。Yb₂Pt₆Al₁₅ではYb²⁺ 4fピークが弱く、Yb³⁺ 4f多重項構造がやや強く観測されており、Yb 3dスペクトルと一貫した傾向を示している。4-6 eVにみられる顕著なピークはPt 5d状態によるものであり、Yb₂Pt₆Ga₁₅で0.3 eV浅くなっている。この傾向はPt 4f内殻スペクトルにもみられており、c-DOS中の E_F が、Yb₂Pt₆Ga₁₅で相対的に低エネルギー側にシフトしたことを示している。一方Yb³⁺ 4f多重項構造は逆にYb₂Pt₆Ga₁₅で

0.6 eV 深くなっている. $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ の $\text{Yb}^{3+} 4f$ 多重項構造は, Yb 価数が Yb^{2+} に近い事を反映してわずかにしか観測されていないが, HiSOR, BL-7 で Yb 4d-4f 共鳴光電子分光 ($h\nu=182$ eV) を行い, $\text{Yb}^{3+} 4f$ 光電子放出を強調させることで, $\text{Yb}^{3+} 4f$ 多重項構造のエネルギー位置を確認している. $\text{Yb}^{3+} 4f$ 多重項のシフトは, E_F より上にある $\text{Yb}^{3+} 4f$ ホール準位が, $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ で E_F に近い側にシフトしたことを示している. 以上の傾向は, YbNi_3X_9 で見られたものと一致しており, 非磁性領域(近藤効果優勢領域)から磁性領域(RKKY 優勢領域)へ移動したときに生じる共通の現象であることを示している. YbNiX_3 , $\text{YbNi}_2\text{X}'_2$ についても同様な結果が得られた. Fig. 3 に $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ に対する電子モデル図を示しておく. このモデルは実験結果の X 依存性と対応する.

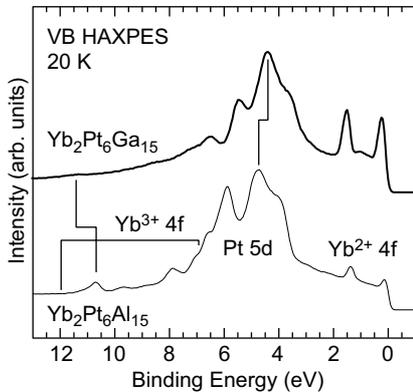


Fig. 2. 20 K で得られた $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ の価電子帯 HAXPES スペクトル.

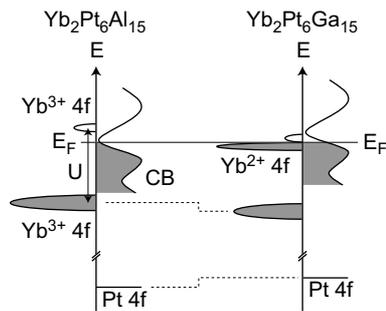


Fig. 3. $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ の電子モデル.

さらに考察をすすめるために, $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ で得られた結果を, YbNi_3X_9 の結果と比較した. 両物質系の T_K は, ~ 3 K (YbNi_3Al_9), ~ 60 K ($\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$), ~ 600 K (YbNi_3Ga_9), ~ 2100 K ($\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$) で, この順番で, c - f 混成が大きくなる. Ni(3d)系よりも Pt(5d)系で T_K が高い (YbNi_3Al_9 が反強磁性体で, $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ が非磁性なのは, Ni 3d が Pt 5d で置き換わり, T_K が上昇したためであると考えられる). E_F 上の c -DOS の大小が T_K の大小を反映しているとすれば, 価電子帯中の Pt 5d ピークは, Ni 3d ピークよりも E_F に近い位置に存在するはず

である. しかし, YbNi_3X_9 の Ni 3d ピークは ~ 2 eV にあり, Pt 5d ピークより E_F に近く, 期待とは逆の結果である. このことは, Pt 5d バンド幅を考慮することで解決できる. Pt 5d ピークは, Ni 3d ピークよりも深い位置にあるが, バンド幅が広いので, E_F 上の c -DOS が大きいと考えるのである. このことは, バンド計算からも確かめられた. Pt 5d ピークは, Ni 3d ピークよりも深い位置にあるが, E_F 上の c -DOS は Pt 5d の方が大きい結果が得られた. さらに, T_K とともに E_F 上の c -DOS が大きくなる結果も得られた.

$\text{Yb} 3d$ HAXPES から得られた 300 K での Yb 価数は 2.97 (YbNi_3Al_9), 2.89 ($\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$), 2.59 (YbNi_3Ga_9), 2.34 ($\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$) で, T_K とともに系統的に 2 価に近づく. モデルを適用すれば, T_K とともに $\text{Yb}^{3+} 4f$ ホール準位が E_F に近くなり, 伝導電子が移動しやすくなることで, 2 価に近づく. このことは, $\text{Yb}^{3+} 4f$ 多重項構造のエネルギー位置に反映される. 実際, $\text{Yb}^{3+} 4f$ 多重項で最も浅い位置にある 3H_6 ピークの位置は, 先の順番で 5.5, 5.8, 6.0, 6.6 eV である. 横軸を 3H_6 ピーク位置, 縦軸を Yb 価数としてプロットすると, Fig. 4 のようになり, 両者が相関していることが分かった.

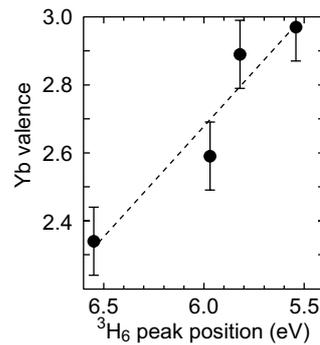


Fig. 4. YbNi_3X_9 , $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ の 3H_6 ピーク位置と Yb 価数の相関.

$\text{YbPd}_2\text{X}'_2$ については, $\text{Yb}^{3+} 4f$ 多重項のエネルギー位置だけに, 他の系とは逆の傾向が観測された. これが Pd(4d)系特有の現象かどうかは, 今後さらに物質系を拡張し, 研究を継続していく必要がある.

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 25 件)

- (1) A. Rousuli, S. Nakamura, H. Sato, T. Ueda, Y. Matsumoto, S. Ohara, E. F. Schwier, T. Nagasaki, K. Mimura, H. Anzai, K. Ichiki, S. Ueda, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Photoemission study of the electronic structure of Kondo lattices $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ (X=Al, Ga), Phys. Rev. B **96** 045117/7p (2017). 査読有.

- DOI:10.1103/PhysRevB.96.045117
- (2) H. Yamaoka, N. Tsujii, M. Suzuki, Y. Yamamoto, I. Jarrige, H. Sato, J.-F. Lin, T. Mito, J. Mizuki, H. Sakurai, O. Sakai, N. Hiraoka, H. Ishii, K. Tsuei, M. Giovannini, E. Bauer, Pressure - induced anomalous valence crossover in cubic YbCu₅ - based compounds, *Sci. Rep.* **7**, 5846/6p (2017). 査読有.
DOI:10.1038/s41598-017-06190-3
- (3) H. Sato, Y. Utsumi, K. Katoh, K. Mimura, S. Ueda, H. Yamaoka, A. Rousuli, M. Arita, K. Umeo, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Yb valence state in Yb₅Rh₄Ge₁₀, *Phys. Status Solidi C* **14**, 1600164/4p (2017). 査読有.
DOI:10.1002/pssc.201600164
- (4) S. Ishihara, K. Ichiki, K. Abe, T. Matsumoto, K. Mimura, H. Sato, M. Arita, E. F. Schwier, H. Iwasawa, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, T. Zhuang, K. Hiraoka, H. Anzai, The *c-f* hybridization effect in the subsurface region of YbInCu₄, *J. Elec. Spec. Relat. Phenom.* **220**, 66-68 (2017). 査読有.
DOI:10.1016/j.elspec.2016.12.009
- (5) T. Matsumura, Y. Kita, K. Kubo, Y. Yoshikawa, S. Michimura, T. Inami, Y. Kousaka, K. Inoue, S. Ohara, Chiral soliton lattice formation in monoaxial helimagnet Yb(Ni_{1-x}Cu_x)₃Al₉, *J. Phys. Soc. Jpn.* **86**, 124704/7p (2017). 査読有.
DOI:10.7566/JPSJ.86.124702
- (6) K. Ichiki, K. Mimura, H. Anzai, T. Uozumi, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, Hard x-ray photoemission study of the temperature - induced valence transition system EuNi₂(Si_{1-x}Ge_x)₂, *Phys. Rev. B* **96**, 045106/7p (2017). 査読有.
DOI:10.1103/PhysRevB.96.045106
- (7) S. Sinn, C. H. Kim, B. H. Kim, K. D. Lee, C. J. Won, J. S. Oh, M. Han, Y. J. Chang, N. Hur, H. Sato, B.-G. Park, C. Kim, H.-D. Kim, T. W. Noh, Electronic structure of the Kitaev material α -RuCl₃ probed by photoemission and inverse photoemission spectroscopies, *Sci. Rep.* **6**, 39544 (2016). 査読有.
DOI:10.1038/srep39544
- (8) H. I. Tanaka, K. Suekuni, K. Umeo, T. Nagasaki, H. Sato, G. Kutluk, E. Nishibori, H. Kasai, T. Takabatake, Metal - semiconductor transition concomitant with a structural transformation in tetrahedrite Cu₁₂Sb₄S₁₃, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 014703/6p (2016). 査読有.
DOI:10.7566/JPSJ.85.014703
- (9) Y. Matsumoto, T. Ueda, S. Ohara, Single crystal growth and heat capacity measurements of triangular lattice R₂Pt₆Ga₁₅ (R=rare earth), *J. Phys.: Conf. Ser.* **683**, 012035/5p (2016). 査読有.
- DOI: 10.1088/1742-6596/683/1/012035
- (10) H. Sato, Y. Utsumi, J. Kodama, H. Nagata, M. A. Avila, R. A. Ribeiro, K. Umeo, T. Takabatake, K. Mimura, S. Motonami, H. Anzai, S. Ueda, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Electronic structure of YbNiX₃ (X=Si,Ge) studied by hard x-ray photoemission spectroscopy, *Phys. Stat. Solidi C* **12**, 620-623 (2015). 査読有.
DOI:10.1002/pssc.201400312
- (11) H. Sato, Y. Utsumi, J. Kodama, M. Arita, H. Anzai, K. Mimura, K. Shimada, S. Ueda, N. Tsujii, H. Namatame, M. Taniguchi, Photoemission study on YbZn_{1-x}Sn_xCu₄, *J. Phys.:Conf. Ser.* **592**, 012016/5p (2015). 査読有.
DOI:10.1088/1742-6596/592/1/012016
- (12) H. J. Im, M. Iwataki, S. Yamazaki, T. Usui, S. Adachi, M. Tsunekawa, T. Watanabe, K. Takegahara, S. Kimura, M. Matsunami, H. Sato, H. Namatame, M. Taniguchi, Electronic structure of Mott - insulator CaCu₃Ti₄O₁₂: Photoemission and inverse photoemission study, *Solid State Commun.* **217**, 17-20 (2015). 査読有.
DOI:10.1016/j.ssc.2015.05.007
- [学会発表] (計 8 3 件)
- (1) 佐藤仁, A. Rousuli, 大原繁男, 松本裕司, 前田和夫, 長崎俊樹, 三村功次郎, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 生天目博文, YbA₂X₂ (A=Ni,Pd; X=Si,Ge) の硬 X 線光電子分光, 日本物理学会第 73 回年次大会, 22-25 Mar 2018, 東京理科大学
- (2) 三村功次郎, 市木勝也, 阿部晃大, 松本孝之, 明渡悠, 川上晃希, 魚住孝幸, 田口幸広, A. Rousuli, 阿次富洋介, 赤嶺拓, 仲村愛, 辺土正人, 仲間隆男, 大貫惇睦, 藤本巧, 喜舎場英吾, 浜野卓, 光田暁弘, 和田裕文, 佐藤仁, Eu 4*d-4f* 共鳴光電子分光から観た Eu 化合物の *c-f* 混成強度, (1)に同じ
- (3) 矢田達也, 加納敏明, 二宮博樹, 大原繁男, 直方晶 Yb₂Pd₃Al₉ の単結晶育成と電子物性, (1)に同じ
- (4) 佐藤嵩晃, 二宮博樹, 大原繁男, キラル螺旋磁性体 Yb(Ni_{1-x}T_x)₃Al₉ (T=Co, Cu) の電流磁気効果, (1)に同じ
- (5) 佐藤仁, Awabaikeli Rousuli, 植田拓也, 大原繁男, 松本裕司, 長崎俊樹, 三村功次郎, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 生天目博文, 近藤格子系 YbNi₂X₂ (X=Si, Ge) の硬 X 線光電子分光, 第 31 回放射光学会年会, 8-10 Jan 2018, つくば国際会議場
- (6) 有田将司, 佐藤仁, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 谷田博司, 平野航, 小山内湧人, 林健人, 伊賀文俊, Sm_{1-x}Yb_xB₆ の角度分解光電子分光, (5)に同じ
- (7) 三村功次郎, 水牧仁一朗, 河村直己, 池永英司, 保井晃, 筒井智嗣, 佐藤仁, 魚住孝幸, 光田暁弘, 大原繁男, SPring-8

- BL09XUに構築した共鳴 HAXPES 技術の現状, (5)に同じ
- (8) S. Ohara, T. Kano, K. Hyodo, K. Kishimoto, T. Ueda, H. Ninomiya, Synthesis, structure and magnetism in honeycomb magnets of RNi_3Al_9 , RNi_3Ga_9 , $R_2Pt_6Ga_{15}$ and $R_2Rh_3Ga_9$ (R: rare-earth elements), International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena, 26-28 Sep 2017, Hachimantai, Japan
- (9) 三村功次郎, 保井晃, 池永英司, 河村直己, 水牧仁一郎, 筒井智嗣, 佐藤仁, 魚住孝幸, 光田暁弘, 大原繁男, 硬 X 線領域における共鳴光電子分光の進展と展望, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 21-24 Sep 2017, 岩手大学
- (10) 松本孝之, 市木勝也, 安齋太陽, 阿部晃大, 石原涼奈, 竹下遼平, 魚住孝幸, 佐藤仁, Awabaikeli Rousuli, 上田茂典, 田口幸広, 藤本巧, 喜舎場英吾, 光田暁弘, 和田裕文, 三村功次郎, 硬 X 線光電子分光による $Eu(Rh_{1-x}Ir_x)_2Si_2$ の温度誘起価数転移の研究 II, (9)に同じ
- (11) 野地祐磨, 大城佳祐, 中島伸夫, 圓山裕, 佐藤仁, 上田茂典, 硬 X 線光電子分光によるアナターゼ型酸化チタンの表面バンドベンディングの研究, (9)に同じ
- (12) 加納敏明, 兵藤一志, 大原繁男, 直方晶 $R_2Rh_3Ga_9$ (R: 希土類元素) の磁性, (9)に同じ
- (13) 成瀬淳基, 兵藤一志, 佐藤嵩晃, 大原繁男, 新しい Yb 系化合物 $Yb_2Rh_3Si_5$ の単結晶育成と物性, (9)に同じ
- (14) A. Rousuli, S. Nakamura H. Sato, T. Ueda, Y. Matsumoto, S. Ohara, T. Nagasaki, K. Mimura, H. Anzai, K. Ichiki, S. Ueda, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Electronic structure of $Yb_2Pt_6X_{15}$ (X=Al, Ga) studied by photoemission spectroscopy, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES17), 16-21 Jul 2017, Prague, Czech
- (15) H. Ninomiya, Y. Matsumoto, T. Moyoshi, A. Nakao, K. Ohishi, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Ohara, Neutron diffraction study of antiferromagnetic $ErNi_3Ga_9$ in magnetic fields, (14)に同じ
- (16) H. Ninomiya, T. Sato, K. Inoue, S. Ohara, Specific heat of the chiral - soliton - lattice phase in $Yb(Ni_{0.94}Cu_{0.06})_3Al_9$, (14)に同じ
- (17) A. Rousuli, H. Sato, S. Nakamura, T. Ueda, Y. Matsumoto, S. Ohara, E. F. Schwier, M. Zheng, K. Shimada, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, Angle - resolved photoemission spectroscopy study on $Yb_2Pt_6Ga_{15}$, International Workshop on Strong Correlations and Angle - Resolved Photoemission Spectroscopy (CORPES17), 2-7 Jul 2017, Hiroshima, Japan.
- (18) M. Arita, H. Sato, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, H. Tanida, W. Hirano, Y. Osanai, K. Hayashi, F. Iga, Angle - resolved photoemission study of $Sm_{1-x}Yb_xB_6$, (17)に同じ
- (19) A. Rousuli, 中村将吾, 佐藤仁, 植田拓也, 松本裕司, 大原繁男, 長崎俊樹, E. F. Schwier, M. Zheng, 島田賢也, 有田将司, 生天目博文, 谷口雅樹, $Yb_2Pt_6Ga_{15}$ の角度分解光電子分光, 日本物理学会第 72 回年次大会, 17-20 Mar 2017, 大阪大学
- (20) 福良哲司, 脇田高德, 藤原孝将, 寺嶋健成, 佐藤仁, 生天目博文, 谷口雅樹, 池田直, 村岡祐治, 横谷尚睦, 電子誘電体 $YbFe_2O_4$ の正逆共鳴光電子分光, (19)に同じ
- (21) 山岡人志, 山本義哉, 辻井直人, 吉田雅洋, 津田俊輔, 佐藤仁, A. Rousuli, 有田将司, 島田賢也, J. Lin, 平岡望, 石井啓文, K.-D. Tsuei, 水木純一郎, $YbCu_{2-x}Ga_x$ における Yb 価数の温度・圧力依存性, (19)に同じ
- (22) 佐藤嵩晃, 松本裕司, 大原繁男, Co 置換による三方晶 RNi_3Al_9 (R=Gd, Dy, Er, Yb) における磁気秩序の抑制, (19)に同じ
- (23) 兵藤一志, 加納敏明, 松本裕司, 大原繁男, 歪んだハニカム構造を持つ直方晶 $R_2Ir_3Ga_9$ (R=Ce-Nd, Sm-Lu) の単結晶育成, (19)に同じ
- (24) 佐藤仁, 内海有希, 加藤健一, 三村功次郎, 上田茂典, A. Rousuli, 有田将司, 梅尾和則, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 光電子分光による $Yb_5Rh_4Ge_{10}$ の Yb 価数状態の研究, 第 29 回放射光学会年会, 7-9 Jan 2017, 神戸芸術センター
- (25) 石原涼奈, 市木勝也, 阿部晃大, 松本孝之, 三村功次郎, 佐藤仁, 有田将司, 岩澤英明, E. F. Schwier, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, T. Zhuang, 平岡耕一, 安齋太陽, 希土類化合物 $YbInCu_4$ の subsurface 領域における混成効果の定量評価, (24)に同じ
- (26) 三村功次郎, 魚住孝幸, 佐藤仁, 上田茂典, 光田暁弘, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, $EuPd_2Si_2$ のバルク Eu 3d スペクトルにおける多体効果, (24)に同じ
- (27) 福良哲司, 脇田高德, 藤原孝将, 寺嶋健成, 佐藤仁, 生天目博文, 谷口雅樹, 池田直, 村岡祐治, 横谷尚睦, $YbFe_2O_4$ の共鳴逆光電子分光, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 13-16 Sep 2016, 金沢大学
- (28) 石原涼奈, 市木勝也, 阿部晃大, 松本孝之, 三村功次郎, 佐藤仁, 有田将司, E. F. Schwier, 岩澤英明, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, T. Zhuang, 平岡耕一, 安齋太陽, 角度分解光電子分光法を用いた $YbInCu_4$ の sub-surface 領域における混成効果, (27)に同じ
- (29) 三村功次郎, 魚住孝幸, 佐藤仁, 上田茂典, 光田暁弘, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, バルク Eu 3d 内殻スペクトルから見た $EuPd_2Si_2$ の温度誘起価数転移, (27)に同じ
- (30) 二宮博樹, 佐藤嵩晃, 松本裕司, 大原繁

- 男, 一軸性キラル螺旋磁性体 YbNi_3Al_9 及び $\text{Yb}(\text{Ni}_{0.94}\text{Cu}_{0.06})_3\text{Al}_9$ の磁場中比熱, (27)に同じ
- (31) 岸本一真, 濱田浩史, 植田拓也, 二宮博樹, 松本裕司, 大原繁男, 複数の磁気相を持つ DyNi_3Ga_9 および $\text{Dy}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ の電流磁気効果, (27)に同じ
- (32) H. Sato, Y. Utsumi, K. Katoh, K. Mimura, S. Ueda, H. Yamaoka, A. Rousuli, M. Arita, K. Umeo, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Yb valence state in $\text{Yb}_5\text{Rh}_4\text{Ge}_{10}$, 20th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19), 5-9 Sep 2016, Halle, Germany
- (33) H. Sato, H. Nagata, F. Iga, Y. Osanai, K. Mimura, H. Anzai, K. Ichiki, S. Ueda, T. Takabatake, A. Kondo, K. Kindo, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Different valence states of Tm in YbB_6 and YB_6 , The 39th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX2016), 3-8 Jul 2016, Zurich, Switzerland
- (34) S. Ishihara, K. Ichiki, K. Abe, T. Matsumoto, K. Mimura, H. Sato, M. Arita, E. F. Schwier, H. Iwasawa, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, K. Hiraoka, H. Anzai, Hybridization effect in sub-surface region of YbInCu_4 , (33)に同じ
- (35) S. Ohara, Single-crystal growth and magnetic properties of RNi_3Al_9 , RNi_3Ga_9 , and $\text{R}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ (R=rare-earth), Rare Earths 2016, 5-10 Jun 2016, Sapporo, Japan, Invited.
- (36) A. Rousuli, 中村将吾, 佐藤仁, 植田拓也, 松本裕司, 大原繁男, 長崎俊樹, 三村功次郎, 安齋太陽, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 近藤格子系 $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ (X=Al, Ga) の硬 X 線光電子分光, 日本物理学会第 71 回年次大会, 19-22 Mar 2016, 東北学院大学
- (37) 中村友紀, 松本裕司, 大原繁男, 河野洋平, 中村翔太, 橘高俊一郎, 榊原俊郎, 芳賀芳範, Z. Fisk, 重い電子系反強磁性体 YbNi_2Si_2 の磁場中比熱, (36)に同じ
- (38) 松本裕司, 中村友紀, 大原繁男, 芳賀芳範, Z. Fisk, 河野洋平, 中村翔太, 橘高俊一郎, 榊原俊郎, 重い電子系反強磁性体 YbNi_2Si_2 の単結晶育成と磁性, (36)に同じ
- (39) 二宮博樹, 植田拓也, 栗本迅, 松本裕司, 大原繁男, キラル構造をもつ RNi_3Al_9 及び RNi_3Ga_9 (R:希土類元素)の磁化過程, (36)に同じ
- (40) A. Rousuli, 中村将吾, 佐藤仁, 植田拓也, 松本裕司, 大原繁男, 長崎俊樹, 三村功次郎, 安齋太陽, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 近藤格子系 $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ (X=Al, Ga)の硬 X 線光電子分光, 第 29 回日本放射光学会年会, 9-11 Jan 2016, 三井ガーデンホテル柏の葉
- (41) A. Rousuli, 佐藤仁, 長崎俊樹, 伊賀文俊, 石井克弥, 和田徹, 林健人, 三村功次郎, 安齋太陽, 市木勝也, 上田茂典, E. F. Schwier, 岩澤英明, 島田賢也, 近藤晃弘, 金道浩一, 高島敏郎, 生天目博文, 谷口雅樹, 近藤半導体置換系 $\text{Yb}_{1-x}\text{Zr}_x\text{B}_{12}$ における Yb 価数の変化, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 16-19 Sep 2015, 関西大学
- (42) 山岡人志, 辻井直人, 鈴木通人, 山本義哉, I. Jarrige, 佐藤仁, J.-F. Lin, 水戸毅, 櫻井裕也, 平岡望, 石井啓文, K.-D. Tsuei, 酒井治, 水木純一郎, M. Giovannini, E. Bauer, Cubic YbCu_5 系化合物の高圧下における Yb 価数の異常な振舞い, (41)に同じ
- (43) 二宮博樹, 小林拓也, 松本裕司, 大原繁男, キラル化合物 RNi_3Ga_9 (R:希土類元素)の弱磁場領域における磁化の異常, (41)に同じ
- (44) 松本裕司, 植田拓也, 大原繁男, 六方晶 $\text{R}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ (R:希土類元素)の単結晶育成と磁性, (41)に同じ
- (45) H. Sato, H. Nagata, F. Iga, K. Mimura, S. Ueda, K. Fukuda, Y. Tobita, K. Ishii, K. Hayashi, Y. Osanai, Y. Takita, T. Takabatake, A. Kondo, K. Kindo, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Valence state of Tm in YbB_6 and YB_6 , 20th International Conference on Magnetism, 5-10 Jul 2015, Barcelona, Spain
- (46) S. Ohara, H. Ninomiya, Y. Matsumoto, Y. Kousaka, K. Ohishi, J. Akimitsu, Chiral magnetism in rare-earth intermetallic compounds YbNi_3Al_9 and $\text{Yb}(\text{Ni}_{0.94}\text{Cu}_{0.06})_3\text{Al}_9$, (45)に同じ

[その他]

本研究の主要な部分が, 学位論文としてまとめられた. Awabaike Rousuli, Electronic structure of Kondo insulator $\text{Yb}_{1-x}\text{Zr}_x\text{B}_{12}$ and Kondo lattice $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ (X=Al, Ga) studied by photoemission spectroscopy, 広島大学大学院理学研究科, 2017年9月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 仁 (SATO, Hitoshi)
 広島大学・放射光科学研究センター・准教授
 研究者番号: 90243550

(2) 研究分担者

有田 将司 (ARITA, Masashi)
 広島大学・技術センター・技術専門職員
 研究者番号: 20379910

(3) 研究分担者

大原 繁男 (OHARA Shigeo)
 名古屋工業大学・工学研究科・教授
 研究者番号: 60262963