

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82108

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18743

研究課題名（和文）Yb化合物における極めて異常な価数変化の起源解明に関する研究

研究課題名（英文）Investigation of the origin of highly anomalous valence change in Yb compounds

研究代表者

辻井 直人（TSUJII, Naohito）

国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・主幹研究員

研究者番号：90354365

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：重い電子Yb化合物においては、圧力によってイオン半径の小さな3価状態が安定化される。しかし我々はYbCu<sub>5</sub>などの重い電子系物質において、圧力で逆にYb価数が減少し、リエントラント価数揺動を示すという極めて異常な現象を発見した。これは従来のc-f混成に基づく理解では説明困難であり、より詳細な研究が必要である。関連化合物YbInCu<sub>4</sub>系の圧力による物性と電子状態の変化を調べた結果、これらの物質においても圧力による価数の異常な減少が新たに見出された。さらに圧力による結晶構造の変化にも異常が見られることがわかり、Ybの4f電子とCuの3d電子の特異な混成が重要な役割を果たしていることが示唆される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の常識であった圧力による価数増加とは全く逆の現象を見出したことで、希土類を含む化合物について未知の新しい物理が存在することが示唆された。従来のc-f混成は局在4f電子と自由電子の混成を仮定するものであったが、より詳細なモデルが必要であることがわかる。今後も希土類の電子状態について新しい知見が得られ、様々な波及効果が期待される。一例として、本研究中でもYbの価数揺動によって大きな熱電能を示す物質Yb<sub>3</sub>Si<sub>5</sub>が見出された。これは熱電変換材料の開発に有益な指針を与える。また、磁場によって相転移を起こすYbCo<sub>2</sub>という物質も見出された。これは磁気冷凍材料などへの応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In the Yb-based heavy fermion compounds, Yb<sup>3+</sup> state is preferred under high pressure. However, we observed an unusual valence decrease of Yb in YbCu<sub>5</sub> under high pressure. This cannot be explained by the conventional c-f hybridization mechanisms. We therefore investigated several Yb-based compounds under high pressure. As a result, we found that an unusual valence decrease also appears in YbInCu<sub>4</sub>. Furthermore, we observed an anomaly in the pressure dependence of the lattice parameters. Our results indicate that the hybridization between 4f and the Cu-3d may play an important role.

研究分野：磁性

キーワード：Yb化合物 重い電子 価数揺動 圧力

### 1. 研究開始当初の背景

**Yb** や **Ce** などの **4f** 電子系は価数不安定性や伝導電子との結合によって生じる重い電子状態などにより様々な異常物性を生じ、非常に活発に研究されている。**Ce<sup>3+</sup>** は **4f** 軌道に電子が、**Yb<sup>3+</sup>** はホールがそれぞれ1個ドープされた電子配置をとるため、良い比較対象である。ここで、圧力を加えると **Ce** はイオン半径の小さな **4** 価の状態に向かうため、価数揺動が強まり、非磁性フェルミ液体状態が安定化される。一方、**Yb** 化合物ではイオン半径の大きな **Yb<sup>2+</sup>** 状態のエネルギーが高まるため不安定となり、価数揺動が抑制されて **Yb<sup>3+</sup>** の磁気秩序状態が安定となるといった対照的な振る舞いが観測される。このように、**Ce** と **Yb** では圧力に対する応答が逆向きであるが、いずれの場合も圧力は磁気秩序状態と非磁性フェルミ液体状態間のクロスオーバーを引き起こすため、量子臨界状態近傍の物性を調べる手段として良く用いられている。

我々は重い電子状態を示す立方晶 **YbCu<sub>5</sub>** において、量子臨界点近傍の電子状態を調べることを目的として、圧力下 **X** 線吸収分光測定を行った。興味深いことに、**Yb** 価数は **10 GPa** 以上で圧力とともに減少するという驚くべき振る舞いを観測した<sup>1)</sup>。さらに関連化合物 **Yb<sub>2</sub>Cu<sub>9</sub>** においては、構造相転移を伴った **Yb** 価数の急激な減少がわずか **2 GPa** で起こることを発見した<sup>2)</sup>。前記の通り、**Yb** 系では圧力によって価数は増加すると予想されるため、このような価数の減少は極めて異常である。従来の予想では、**Yb** 金属などで数 **100 GPa** 以上の超高压力では **4f** 軌道の混成が再び強まり、価数が減少する可能性が指摘されていた。しかしわずか **10 GPa** 程度で **Yb** 価数が減少することは、通常の **c-f** 混成モデルでは説明困難な現象であり、全く新しい物理を含んでいる可能性がある。

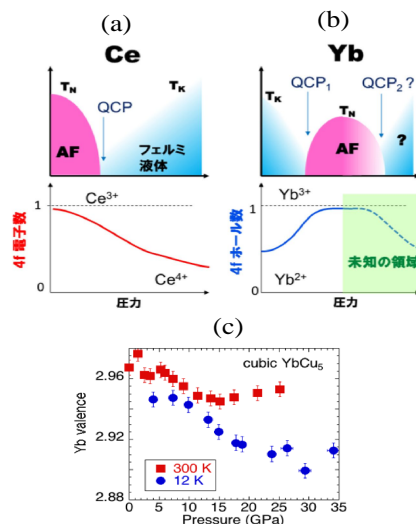


図1. Ce系、Yb系で予想される電子状態の圧力依存性と、**YbCu<sub>5</sub>** で観測された異常な価数減少<sup>1)</sup>

### 2. 研究の目的

我々が発見した **YbCu<sub>5</sub>** の圧力における異常な価数減少は、これまでの固体物理の常識からは理解が難しく、全く新しい機構を含んでいる可能性がある。そのためこの現象の詳細を明らかにし、起源を解明することが強く求められる。そこで我々は **YbCu<sub>5</sub>** を中心として、**Yb** 化合物の良質結晶を作製し、高压下物性測定、電子状態計測、構造解析を通して、類似の現象を調べ、機構を解明することを目的に研究を開始した。

### 3. 研究の方法

立方晶 **YbCu<sub>5</sub>** の良質試料作製のほか、関連する **Yb** 化合物の作製を行う。これらの試料を用いて、電気抵抗などの物性の圧力下測定を行うとともに、**X** 線電子分光測定、**X** 線吸収分光測定によりミクロな電子状態を明らかにする。特に、**X** 線吸収分光は圧力下の電子状態を得ることのできる優れた手段であり、強い輝度を持つ放射光 **X** 線を用いてダイヤモンドアンビルセルにより数 **10 GPa** の圧力を印加して圧力下の電子構造を明らかにする。さらに圧力下の結晶構造を放射光 **X** 線回折により明らかにする。

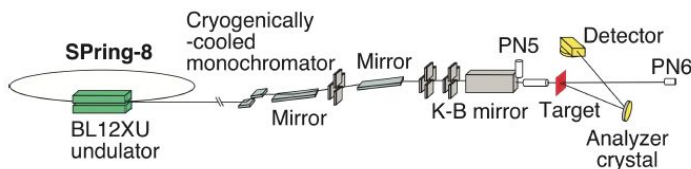


図2. 放射光 **X** 線吸収分光のセットアップ

### 4. 研究成果

立方晶  $\text{YbCu}_5$  関連化合物として、 $\text{YbInCu}_4$  型化合物に着目し、研究を行った。 $\text{YbInCu}_4$  では常圧において、 $T = 40 \text{ K}$  で価数転移が起こることが知られている。圧力を印加すると相転移温度が低下し、 $2.5 \text{ GPa}$  で完全に消失することが報告されている。しかし圧力下における Yb 価数の直接的な観測はなかった。我々はダイヤモンドアンビルセルで加圧した  $\text{YbInCu}_4$  を冷凍機で  $13 \text{ K}$  まで冷却した状態で Yb L3 端 X 線吸収分光測定を SPring-8 BL12XU で行った。その結果、圧力により約  $3 \text{ GPa}$  で Yb 価数の急激な増加を観測し、圧力誘起価数転移の直接観測に成功した<sup>3)</sup>。ここで、Cu の K 吸収端のプレピーク強度も同時に減少することを見出し、Yb 価数転移における 4f 電子の異常が Cu の電子状態の変化と連動していることが明らかとなった。

続いて  $\text{YbInCu}_4$  において、さらなる高圧下での価数変化を調べた。その結果、図 3 に示すように、 $10 \text{ GPa}$  以上では Yb 価数が 2 価に向かって減少するという  $\text{YbCu}_5$  と似た異常な振る舞いが観測された<sup>4)</sup>。 $\text{YbInCu}_4$  の置換系化合物  $\text{YbIn}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Cu}_4$  や  $\text{Yb}_{1-x}\text{In}_x\text{Cu}_4$  においても、類似した振る舞いが見出された<sup>4,5)</sup>。

この機構に関する知見を得るため、放射光 X 線による圧力下粉末 X 線回折実験を SPring-8 BL12 で行った。その結果、 $\text{YbInCu}_4$  において、圧力とともに格子定数が単調に減少するが、価数の異常な減少が起こる圧力域では、格子定数の収縮が緩やかになる傾向にあることが判明した(図 4)。さらに Cu の原子位置も同じ圧力域で異常が見られた。従って Yb の価数異常は配位子 Cu の d 軌道などとの混成が重要な役割を担っていると考えられる。ただし、 $\text{YbIn}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Cu}_4$  や  $\text{Yb}_{1-x}\text{In}_x\text{Cu}_4$  における Yb 価数は、加圧とともに一旦 3 価に向かって増加した後、ある圧力から減少に転じ、さらに高圧では再び増加するという、複雑な振る舞いを示している。 $\text{YbAgCu}_4$  や  $\text{YbCu}_5$  における価数異常と  $\text{YbInCu}_4$  の価数異常が異なるメカニズムで起こっている可能性があり、今後より詳細な研究が必要である。

Yb の価数揺動により、熱電物性にも顕著な影響が現れることもわかった。 $\text{Yb}_3\text{Si}_5$  では磁化率の解析により、 $180 \text{ K}$  程度の温度スケールの価数揺動が起こることがわかっている。我々は  $\text{Yb}_3\text{Si}_5$  の熱電能を測定し、約  $120 \text{ K}$  で大きな負のゼーベック係数  $-66 \mu\text{V/K}$  を観測した。この温度変化は、4f 電子の共鳴バンドによるモデルでよく説明でき、混成の温度パラメータは約  $210 \text{ K}$  と見積もられた。これは磁化率から求められた温度と非常に近く、価数揺動が巨大なゼーベック係数を導いていると理解された<sup>6)</sup>。

従来の c-f 混成では自由電子的な伝導電子バンドと局在 4f 軌道の混成をベースにしていた。これは Doniach 相図のように、多様な 4f 電子系の基底状態を、単一のパラメータ  $J_{cf}$  で説明することを可能にした。しかしながら、上記の異常な Yb 価数変化は Cu-3d など異方的な伝導電子が特異な混成をすることが関係していると考えられる。このような d + f 電子系には、これまでにない新奇な物性を示す物質が存在する可能性がある。一例として、我々は立方晶ラーベス化合物  $\text{YbCo}_2$  において新奇な磁場誘起相転移を見出した。この物質では  $0.3 \text{ K}$  まで磁気秩序がなく、 $7 \text{ J/K}^2 \text{ mol}$  という非常に大きな電子比熱を示す。さらに、磁場を印加すると相転移が現れることが比熱測定でわかった<sup>7)</sup>。 $\text{YbCo}_2$  では Co の 3d 電子が常磁性磁気モーメントを持っていると考えられ、3d と 4f の特異な混成が重要であることが期待される。3d と 4f が混成することによって単純な c-f 混成モデルでは説明ができない他の例として、 $\text{Yb}_4\text{TGe}_8$  ( $T = \text{Cr, Mn, Fe, Co, Ni}$ ) でも興味深い磁性が見出されており、さらなる研究が求められる<sup>8)</sup>。

<引用文献>

- 1) H. Yamaoka, N. Tsujii, M. Suzuki, et al., 'Pressure-induced anomalous valence crossover in cubic  $\text{YbCu}_5$ -based compounds', *Sci. Rep.* **7**, 5846 (2017).
- 2) H. Yamaoka, N. Tsujii et al., 'Reentrant valence transition in  $\text{YbCu}_{4.5}$  under pressure', *Phys. Rev. B* **97**, 085106 (2018).
- 3) H. Yamaoka, A. Ohmura, Y. Furue, N. Tsujii, H. Ishii, N. Hiraoka, 'Direct observation of pressure-induced Yb valence transition in  $\text{YbInCu}_4$ ', *J. Phys. Soc. Japan* **90**, 124801 (2021).
- 4) H. Yamaoka, A. Ohmura, N. Tsujii, Y. Furue, H. Ishii, N. Hiraoka, 'Electronic and crystal

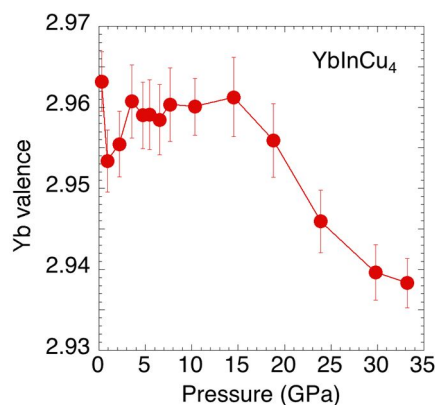


図 3.  $\text{YbInCu}_4$  で観測された圧力による Yb 価数の減少

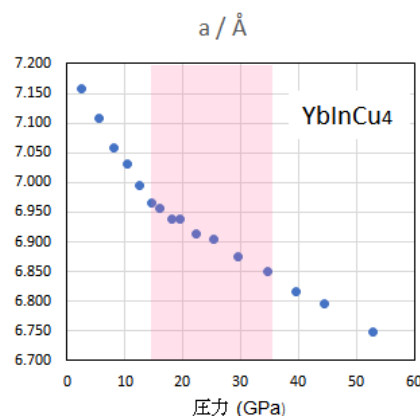


図 4.  $\text{YbInCu}_4$  の格子定数の圧力依存性

- structures of YbInCu<sub>4</sub>-based compounds under pressure**, J. Phys. Soc. Japan **92**, 064704 (2023).
- 5) **H. Yamaoka, S. Yamanaka, A. Ohmura, N. Tsujii, J. Valenta, Y. Furue, H. Sato, H. Ishii, N. Hiraoka, C. Michioka, H. Ueda, K. Yoshimura**, 'Valence transitions in Yb<sub>1+x</sub>In<sub>1-x</sub>Cu<sub>4</sub> studied by high-resolution x-ray absorption spectroscopy, x-ray diffraction, and photoelectron spectroscopy', J. Phys. Soc. Japan **91**, 124701 (2022).
  - 6) F. Ahmed, J. Valenta, N. Tsujii, A. Hussain, N. Jabeen, T. Mori, 'The low and high temperature thermoelectric properties of Yb<sub>3</sub>Si<sub>5</sub>', Mater. Res. Express **8**, 075504 (2021).
  - 7) **J. Valenta, N. Tsujii, H. Yamaoka, F. Honda, Y. Hirose, H. Sakurai, N. Terada, T. Naka, T. Nakane, T. Koizumi, H. Ishii, N. Hiraoka, T. Mori**, 'Unusually strong electronic correlation and field-induced ordered phase in YbCo<sub>2</sub>', J. Phys.: Condens. Matter **35**, 285601 (2023).
  - 8) **H. Yamaoka, S. Yamanaka, M. Hikiji, C. Michioka, N. Tsujii, H. Sato, N. Hiraoka, H. Ishii, K. Yoshimura**, 'Temperature and pressure dependences of the electronic and crystal structures of Yb<sub>4</sub>TGe<sub>8</sub> studied by high-resolution x-ray absorption spectroscopy, x-ray diffraction, and photoelectron spectroscopy', J. Phys. Soc. Japan **91**, 024704 (2022).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 F. Ahmed, J. Valenta, N. Tsujii, A. Hussain, N. Jabeen, T. Mori	4. 巻 8
2. 論文標題 The low and high temperature thermoelectric properties of Yb <sub>3</sub> Si <sub>5</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Research Express	6. 最初と最後の頁 75504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2053-1591/ac128a	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 H. Yamaoka, Y. Ohmura, Y. Furue, N. Tsujii, H. Ishii, N. Hiraoka	4. 巻 90
2. 論文標題 Direct Observation of Pressure-Induced Yb Valence Transition in YbInCu <sub>4</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 124801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.124801	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. Yamaoka, E.F. Schwier, Y. Yamamoto, T. Kawai, N. Tsujii, N. Hirao, N. Hiraoka, H. Ishii, J. Mizuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Pressure-induced transitions in RCo <sub>5</sub> studied by x-ray emission spectroscopy, x-ray diffraction and density functional theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 255501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ac62a5	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 該当する
1. 著者名 H. Yamaoka, S. Yamanaka, M. Hikiji, C. Michioka, N. Tsujii, H. Sato, N. Hiraoka, H. Ishii, K. Yoshimura	4. 巻 91
2. 論文標題 Temperature and pressure dependences of the electronic and crystal structures of Yb <sub>4</sub> TGe <sub>8</sub> studied by high-resolution x-ray absorption spectroscopy, x-ray diffraction, and photoelectron spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 24704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.024704	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 Naohito Tsujii	4. 巻 67
2. 論文標題 Preparation and Thermoelectric Properties of Yb-doped Si Clathrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 529-535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.67.529	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. Yamaoka, H.O. Jeschke, X. Yang, T. He, H. Goto, N. Hiraoka, H. Ishii, J. Mizuki, Y. Kubozono	4. 巻 102
2. 論文標題 Electronic structures of Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> and AgxBi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> under pressure studied by high-resolution x-ray absorption spectroscopy and density functional theory calculations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155118(1)-(13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.155118	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 該当する

1. 著者名 N. Tsujii and H. Sakurai	4. 巻 67
2. 論文標題 Metamagnetic transition and magnetocaloric effect of PrMnGe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 103-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.67.103	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. Yamaoka, S. Yamanaka, A. Ohmura, N. Tsujii, J. Valenta, Y. Furue, H. Sato, H. Ishii, N. Hiraoka, C. Michioka, H. Ueda, K. Yoshimura	4. 巻 91
2. 論文標題 Valence transitions in Yb <sub>1+x</sub> In <sub>1-x</sub> Cu <sub>4</sub> studied by high-resolution x-ray absorption spectroscopy, x-ray diffraction, and photoelectron spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 124701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.124701	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 該当する

1. 著者名 H. Yamaoka, A. Ohmura, N. Tsujii, Y. Furue, H. Ishii, N. Hiraoka	4. 巻 92
2. 論文標題 Electronic and crystal structures of YbInCu <sub>4</sub> -based compounds under pressure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 64704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.064704	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 該当する

1. 著者名 J. Valenta, N. Tsujii, H. Yamaoka, F. Honda, Y. Hirose, H. Sakurai, N. Terada, T. Naka, T. Nakane, T. Koizumi, H. Ishii, N. Hiraoka, T. Mori	4. 巻 35
2. 論文標題 Unusually strong electronic correlation and field-induced ordered phase in YbCo <sub>2</sub>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 285601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/acca5a	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 該当する

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 F. Ahmed, 辻井直人、J. Valenta、森孝雄
2. 発表標題 価数揺動系Yb <sub>3</sub> Si <sub>5</sub> における高い熱電出力因子
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻井直人、三宅厚志、徳永将史、J. Valenta、桜井裕也
2. 発表標題 DyCo <sub>9</sub> Si <sub>4</sub> の強磁場物性と磁気熱量効果
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤仁、田中祐、松本拓真、前田和大、辻井直人、河村直己
2. 発表標題 X線発光分光によるYbCu <sub>5</sub> -xAl <sub>x</sub> の電子状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岡人志、大村彩子、古江優作、辻井直人、石井啓文、平岡望
2. 発表標題 Yb化合物におけるYb価数の異常な圧力変化 (II)
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大村 彩子、山岡 人志、辻井 直人、石井 啓文、LIAO Yen-Fa
2. 発表標題 高压下における YbInCu <sub>4</sub> 系物質の結晶構造解析
3. 学会等名 第61回高压討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岡人志、大村彩子、古江優作、辻井直人、石井啓文、平岡望
2. 発表標題 Yb化合物におけるYb価数の異常な圧力変化 (I)
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 辻井直人, 櫻井裕也
2. 発表標題 R14Ni3In3 (R: 希土類) の磁気エントロピー変化
3. 学会等名 第36回希土類討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻井直人
2. 発表標題 Yb系価数揺動化合物における熱膨張
3. 学会等名 紛体粉末冶金協会 2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tsujii and H. Sakurai
2. 発表標題 Metamagnetic transition and magnetocaloric effect in PrMnGe
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古江優作、大村彩子、石川文洋、de Visser Anne、辻井直人、山岡人志
2. 発表標題 小型静水圧セルの開発とYbCu <sub>x</sub> の物性測定
3. 学会等名 高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岡人志、佐藤仁、引地将仁、山中俊介、道岡千城、辻井直人、石井啓文、平岡望、島田賢也、吉村一良
2. 発表標題 Yb4TGe8系のX線発光分光、光電子分光、X線回折による電子状態と結晶構造の測定
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 辻井直人、桜井裕也
2. 発表標題 PrMnGeおよび関連物質のメタ磁性と磁気熱量効果
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本拓真、田中祐、前田和大、佐藤仁、辻井直人、河村直己
2. 発表標題 X線発光分光によるYbCu5-xAlxの電子状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Sato, Y. Tanaka, K. Maeda, T. Matsumoto, K. Mimura, S. Ueda, N. Kawamura, N. Tsujii
2. 発表標題 Electronic structure of YbCu5-xAlx studied by means of x-ray spectroscopy
3. 学会等名 The 15th Asia Pasific Physics Conference (APPC15) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

https://samurai.nims.go.jp/profiles/tsujii_naohito 辻井直人 https://samurai.nims.go.jp/profiles/tsujii_naohito 辻井直人 https://samurai.nims.go.jp/profiles/tsujii_naohito 辻井直人 https://samurai.nims.go.jp/profiles/tsujii_naohito/publications#article
---

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
研究分担者	山岡 人志  (Yamaoka Hitoshi)  (30239850)	国立研究開発法人理化学研究所・放射光科学研究センター・専任研究員   (82401)	
研究分担者	櫻井 裕也  (Sakurai Hiroya)  (60421400)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主任研究員   (82108)	
研究分担者	大村 彩子  (Ohmura Ayako)  (60425569)	新潟大学・自然科学系・准教授   (13101)	

	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
連携研究者	鈴木 通人  (Suzuki Michito)  (10596547)	東北大学・金属材料研究所・准教授   (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
連携研究者	柳町 治  (Yanagimachi Osamu)  (60005957)	一般財団法人総合科学研究機構・総合科学研究センター・特任研究員    (82121)	

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