

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800188

研究課題名(和文) 近藤半導体の異常磁気秩序相の解明と低対称構造に創出する新奇秩序相の研究

研究課題名(英文) Research on unusual antiferromagnetic order in Kondo semiconductor and exploring of novel ordered phase in low-symmetry structure

研究代表者

谷田 博司 (Tanida, Hiroshi)

広島大学・先端物質科学研究科・助教

研究者番号：00452615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：近藤半導体では強い電子相関のために、従来、磁気秩序を示す例はなかった。しかし CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>では転移温度が約30 Kという異常に高い温度で異常な反強磁性秩序を示す。本研究では、この異常な反強磁性秩序の発現機構の解明を試みるべく、高圧下での電気抵抗測定を行い、秩序消失の臨界圧力が約5 GPaであることを明らかにした。また、関連するRh置換系においても、臨界圧力は殆ど変化しないことを明らかにした。一方、Ho化合物HoFe<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>では多極子自由度の積極的関与の可能性が強く示唆される新規秩序相が磁場により誘起されることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Due to the strong hybridization effect between conduction electrons and Ce-4f electrons, there are no examples exhibiting magnetic order in Kondo insulators/semiconductors. However, CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> and related CeOs<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> shows an unusual antiferromagnetic order at enormously high transition temperature of T<sub>0</sub>=30 K. In order to clarify the origin of the magnetic ordering, we have examined the electrical resistivity under pressures using a high pressure cell. From the results, we found that the critical pressure of the disappearance of the magnetic order is about 5 GPa, even in the related Rh-doped samples as well. We also examined low temperature properties of HoFe<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>, and revealed that a new ordered phase, which could be strongly related to the multipole degrees of freedom, is induced by the magnetic field.

研究分野：強相関電子系

キーワード：強相関電子系 近藤半導体 反強磁性秩序 圧力効果

## 1. 研究開始当初の背景

高温では金属的であるにもかかわらず低温で *c-f* 混成に起因するギャップが形成され、半導体的挙動を示す系がある。それらは近藤半導体と呼ばれるが、強い混成効果ゆえに磁性は消失し、磁気秩序を示す系はないと考えられていた。ところがごく最近、反強磁性秩序 (AFM) を示す斜方晶  $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$  ( $\text{T}=\text{Ru}, \text{Os}$ ) が発見された。これらは近藤半導体で初の例である。一方、 $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$  は従来の近藤半導体と同様に非磁性のままである。本系は 2009 年に国内を中心に注目を集め始めたが、現在では海外でも研究が行われており、これまでの研究の結果、本系の AFM 秩序は所謂通常の AFM 秩序と比べ、以下のように異質であることが分かってきた。

異常に高い転移温度  $T_0$

最近接の Ce-Ce 間が 5.2 Å と離れていることや、近藤半導体ゆえの強い混成効果により磁性消失近傍であることを考慮すると、 $T_0 \sim 30$  K は異常に高い。通常磁気転移であるべき核磁気緩和率の発散的振舞もない。

異常な磁気異方性

Ce サイトの結晶場に由来する磁気異方性は大きく、*a c b* であるので秩序モーメント ( $m_{\text{AF}}$ ) は *a* 軸を向くはずだが、本系では  $m_{\text{AF}}//c$  の秩序が実現している。更に、 $H//c$  では  $H^*$  で  $c \rightarrow b$  へと向きを変える (スピントロップ転移)。*b* 方向は磁化困難軸のため磁化は極めて小さく、 $m_{\text{AF}}//b$  の秩序は通常の磁性体で期待される振舞ではない。また、 $H^*$  は圧力を加えると急増するが、Ce を La で置換すると急速に抑制され、Ce 濃度  $x \sim 0.9$  で消失する。即ち、La 置換によって最困難軸の  $m_{\text{AF}}//b$  が安定化する。一方、 $\text{Ru}(4d^7)$  を  $\text{Rh}(4d^8)$  で置換すると、容易軸を向く  $m_{\text{AF}}//a$  の秩序が実現する。

このように本系の磁気異方性は、磁場、圧力、元素置換に極めて敏感であり、本来磁気秩序を抑制すべき混成効果が本質的に重要であることを強く示唆する。結晶の方向に依存した *c-f* 混成 (異方的混成) が重要ではないかと考えられる。

異常な圧力効果

圧力を加えると  $T_0$  は増加する。*c-f* 混成が強い場合 AFM 秩序は抑制されるはずだが、本系では逆に安定化している。さらに加圧すると  $T_0$  が高いにもかかわらず約 4 GPa で AFM 秩序は 1 次転移的に消失し、通常の金属へと変貌する。この異常は研究の初期に報告されたが、その起源は未解明のままである。

ジグザグ鎖構造と AFM 秩序

本系は結晶構造の観点でも興味深く、希土類サイトはジグザグ状に配列する。このとき、 $m_{\text{AF}}$  の向きによっては隣接サイトからの磁気双極子磁場が非対称となり、例えばダイマー結合を有するような非自明な磁気秩序を形成する可能性がある。

## 2. 研究の目的

圧力下での秩序消失後の金属化は、秩序形成と混成ギャップとの関連を強く示唆する。また、異方

的混成効果が重要であれば、秩序消失後は異方性が消失すると期待される。消失の起源解明は、形成の起源解明にも直接繋がると考えられる。一方、La や Rh 置換効果は磁気異方性を容易に変化させ、他の元素で置換した際にどのような変化が起きるのか興味深い。またごく最近、希土類サイトに局所反転対称性が無い場合、スピン軌道相互作用を通じて電気磁気効果の現れることが理論的に提案されている。本系は希土類サイトがジグザグ構造を成しており、その条件を満たす。そこで本研究では、以下の 3 点を目的とする。

結晶の主要 3 方向についての高圧下電気抵抗測定により、秩序消失近傍の振舞を詳しく調べ、混成ギャップや電気抵抗の異方的な振舞がどのように変化するかを明らかにする。

元素置換効果を更に発展させ、AFM 秩序の起源と異方的混成効果との関係を明らかにする。

$\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  以外にも、 $\text{RT}_2\text{Al}_{10}$  ( $\text{R}=\text{希土類}, \text{T}=\text{Fe}, \text{Ru}$ ) のうちスピンや軌道のモーメントが大きな重希土類系 ( $\text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$ ) を中心に、低い結晶対称性に由来した非自明な新奇秩序相の探索を行う。

## 3. 研究の方法

本研究は、近藤半導体  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の奇妙な反強磁性秩序形成の起源解明を目指すものである。また、希土類サイトのなすジグザグ鎖構造に創出する新奇秩序相の探索も行う。具体的方法は以下の通りである。

圧力下電気抵抗

AFM 秩序消失の臨界圧力よりも高い圧力へ到達可能な高圧セルを導入する。主に電気抵抗測定により、秩序消失近傍での  $T_0$  や混成ギャップの圧力依存性や異方性の変化を調べる。

元素置換効果

$\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の Ru を Rh で置換すると、磁化率は増大し、混成ギャップは抑制され、*c-f* 混成が弱まっていると考えられる。このとき、圧力下での振舞がどのように変化するかを調べる。

新奇秩序の探索

重希土類の  $\text{RT}_2\text{Al}_{10}$  ( $\text{R}=\text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$ ) を中心に磁化や電気抵抗といった基礎物性を中心に調べる。

## 4. 研究成果

圧力下の物性測定

高圧セルとして、NiCrAl をメインとしたアンビルタイプのセルを導入した。アンビルはタングステンカーバイト製のもので、北川ら (現東大理) によって開発されたものである。実際に加圧することで、10 GPa 程度の圧力を得ることができる。最高圧力の 10 GPa には届かぬものの、本研究実施上、十分な高圧である 6.5 GPa までの加圧に成功した。また、研究当初の計画には入っていなかったが、研究の後半、圧力下での磁化の挙動を調べるべく、圧力下磁化測定用の高圧セルも導入した。CuBe をメイ

ンとした、やはりアンビルタイプのセルで、アンビルは非磁性  $ZrO_2$  製である。これにより、磁化の小さい本系においても、約 2 GPa 程度までの圧力効果を調べることに成功した。磁化測定用の圧力セルは最終年度に導入したため、今後、色々と試行錯誤が必要であるが、本研究により、圧力下での電気抵抗率だけでなく、磁化も測定できる環境を整備することができた。

#### CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> および関連物質の圧力下物性

CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> については、既に研究当初から圧力実験が行われており、秩序消失の臨界圧力は  $P_c=3\sim 4$  GPa であると報告されていた。しかし、 $P_c$  近傍における詳細な圧力変化のデータはなく、そこで何が起きているのか明らかではなかった。特に、パラ領域で発達する近藤半導体的な電気抵抗率の増大が臨界圧力近傍で消失する様子が報告されていたが、それが  $P_c$  で消失するの否か、はっきりとしなかった。 $P_c$  まで近藤半導体的振舞が残るかどうかは、近藤半導体である CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> において反強磁性が発生する機構を考える上で、極めて重要であると考えられる。

そこで、本研究により  $P_c$  近傍の電気抵抗率の圧力依存性を詳細に調べた結果、予想に反し、近藤半導体的な電気抵抗率の増大は、 $P_c$  よりも低い 3 GPa 付近で消失することがわかった。また、本研究で得られた臨界圧力は、 $P_c\sim 4.7$  GPa であり、文献よりも高い  $P_c$  が得られた。原因は、圧力校正の違いにあると考えられる。また、本研究では、関連する元素置換系の Ce(Ru<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> についても圧力下電気抵抗測定を行い、 $x\sim 0.1$  では  $T_0$  は 27 K から 23 K に下がるものの、 $P_c$  は殆ど変わらず  $P_c\sim 4.5$  GPa であることがわかった。圧力下での電気抵抗率の温度依存性は最低温の振舞を除くと本質的に類似した特徴を有している。これは、磁化率が Rh 置換により大きく増加すること、混成ギャップが抑制されること、などの振舞を考慮すると意外な結果である。

また、最終年度に導入した磁化測定用圧力セルを用いて、圧力下での磁化測定を CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> および Rh 置換系について行い、両サンプルとも磁化率は圧力によって大きく抑制されることがわかった。

#### 希土類 RT<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> (T=Fe, Ru) の磁性

本研究では、R=Nd, Sm, Gd, Ho の単結晶試料について、低温の物性を詳細に調べた。以下、研究成果をそれぞれ記す。

#### NdFe<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>

$T_N\sim 3.9$  K の反強磁性体であるが、中性子回折実験の結果、秩序の波数は  $k=(0, 0.75, 0)$  であることがわかった。この秩序状態では、磁気構造に discommensuration の起きていることがわかった。CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> での波数  $k=(0, 1, 0)$  と異なり、両者の違いは遠距離相関の違いに由来すると考えられる。

#### SmRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>

$T_N\sim 12$  K の反強磁性体で、5 K 付近で逐次転移することがわかった。共鳴 X 散乱実験により磁気構造を解析したところ、5 K での転移は磁気構造の変

化で、 $k=(0, 0.76, 0)$  から  $k=(0, 0.75, 0)$  への非整合 - 整合転移であることがわかった。 $k=(0, 0.75, 0)$  の波数は、NdFe<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> と同じであり、NdFe<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> で見られる逐次転移の起源も、同様の非整合 - 整合秩序に由来すると考えられる。

#### GdT<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>

$T_N=17.5$  K と 16.5 K で NdFe<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> や SmRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> と同様に逐次転移を起こすが、他の希土類とは異なり、波数が温度依存性を示すという奇妙な振舞が見られた。詳細は現在論文投稿中であるが、秩序モーメントは bc 面内にあるとする、我々が以前に論文で報告した結果とコンシステントな結果が得られた。一方、磁気秩序相は他の希土類の反強磁性構造とは違ってそう単純ではなく、Gd に特有の事情によるものと考えられる。

#### HoT<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>

T=Ru は 5.2 K の反強磁性体で、強い異方性を示し、秩序相では  $m_{AF}/b$  であると考えられる。一方 T=Fe では 0.5 K まで秩序を示さず、また異方性は T=Ru の場合と比べ小さいことがわかった。HoT<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> 系で最大の成果は、T=Fe において、予想に反し磁場誘起で秩序相の発生することを見出したことである。弾性定数の詳細な測定の結果、転移温度へ向けて明瞭なソフト化を示すことがわかり、このことは、多極子自由度の凍結が磁場誘起相で起きていることを強く示唆するものである。本系の結晶構造は斜方晶で、非クラマースイオンである Ho<sup>3+</sup> の 4f 電子の結晶場準位はすべて 1 重項となり多極子自由度は持ち得ないが、励起状態の自由度を含めた、所謂擬縮退により秩序の起きている可能性が考えられる。

これまで、多結晶についての物性報告はあったものの、単結晶を用いた詳細な研究は行われていなかった。本研究で初めて単結晶を作製し、物性測定、特に弾性定数についての詳細な実験の結果によるところが非常に大きい。斜方晶系での多極子自由度の可能性のある系は本系が初めてである。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件) (すべて査読あり)

[原著論文]

1. Shuhei Kamikawa, Isao Ishii, Kohki Takezawa, Tatsuhiko Sakami, Fumiya Nakagawa, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, and Takashi Suzuki, Field Induced Phase Transition with Quadrupole Fluctuation in HoFe<sub>2</sub>Al<sub>10</sub> with Orthorhombic Symmetry, J. Phys. Soc. Jpn., 86 (2017) 044601 (6 pages)
2. Akihiro Kondo, Koichi Kindo, Hiroki Nohara, Michio Nakamura, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, Takashi Nishioka, Fe Substitution Effect on the High-Field Magnetization in the Kondo Semiconductor CeRu<sub>2</sub>Al<sub>10</sub>, J. Phys. Soc. Jpn., 86 (2017) 023705 (5 pages)
3. Hiroshi Tanida, Hiroki Nohara, Fumiya Nakagawa, Kosuke Yoshida, Masafumi Sera, and Takashi Nishioka, Drastic changes in electronic

- properties of Kondo semiconductor  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  induced by Rh doping: Anisotropic transport properties in the antiferromagnetic ordered state, *Phys. Rev. B* 94 (2016) 165137 (10 pages)
4. Shuhei Kamikawa, Isao Ishii, Yoshihito Noguchi, Hiroki Goto, Takahiro Fujita, Fumiya Nakagawa, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, and Takashi Suzuki, Elastic Softening in  $\text{HoFe}_2\text{Al}_{10}$  due to the Quadrupole Interaction under an Orthorhombic Crystal Field, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 85 (2016) 074604 (6 pages)
  5. Yukihiro Kawamura, Junichi Hayashi, Keiki Takeda, Chihiro Sekine, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, and Takashi Nishioka, Structural Analysis of Novel Antiferromagnetic Material  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  and Its Related Compounds under Pressure, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 85 (2016), 044601 (7 pages)
  6. Yuya Hayashi, Shun Takai, Takeshi Matsumura, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, Kazuyuki Matsubayashi, Yoshiya Uwatoko, and Akira Ochiai, Kondo Effect in  $\text{CeXc}$  ( $\text{Xc}=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ ) Studied by Electrical Resistivity Measurements under High Pressure, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 85, (2016), 034704 (7 pages)
  7. Hiroshi Tanida, Michio Nakamura, Masafumi Sera, Takashi Nishioka, and Masahiro Matsumura, Rapid growth of Localized nature of carriers in the Kondo semiconductor  $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$  with nonmagnetic ground state due to small Rh doping, *Phys. Rev. B*, 92, (2015) 235154 (8 pages)
  8. Shun Takai, Takeshi Matsumura, Hiroshi Tanida, and Masafumi Sera, Incommensurate-commensurate magnetic phase transition in  $\text{SmRu}_2\text{Al}_{10}$  *Phys. Rev. B*, 92,(2015)174427 (10 pages)
  9. Shin-ichi Kimura, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, Yuji Muro, Toshiro Takabatake, Takashi Nishioka, Masahiro Matsumura, and Riki Kobayashi, Relation between c-f hybridization and magnetic ordering in  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ : An optical conductivity study of  $\text{Ce}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Al}_{10}$  ( $x<0.05$ ), *Phys. Rev. B*, 91, (2015) 241120(R) (5 pages)
  10. Kosuke Yoshida, Ryo Okubo, Hiroshi Tanida, Takeshi Matsumura, Masafumi Sera, Masahiro Matsumura, Chikako Moriyoshi, and Yoshio Kuroiwa, Pr- and La-doping effect on the magnetic anisotropy in the antiferromagnetic phase of Kondo semiconductor  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ , *Phys. Rev. B*, 91, (2015) 235124 (13 pages)
  11. Julian Robert, Françoise Damay, Kotaro Saito, Alexandre M. Bataille, Florence Porcher, Gilles Andre, Arsen Gukasov, Jean M. Mignot, Hiroshi Tanida, and Masafumi Sera, Neutron diffraction study of magnetic order in  $\text{NdFe}_2\text{Al}_{10}$ , *Phys. Rev. B*, 90, (2014) 224425 (8 pages)
  12. Masahiro Matsumura, Naoya Tomita, Junichirou Matsuoka, Yasuki Kishimoto, Harukazu Kato, Kentaro Kitagawa, Takashi Nishioka, Hiroshi Tanida, and Masafumi Sera, Ru-NQR Study for Novel Phase Transition in  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ , *J. Phys. Soc. Jpn.*, 83, (2014)103705 (5 pages)
  13. Hiroshi Tanida, Hiroki Nohara, Masafumi Sera, Takashi Nishioka, Masahiro Matsumura, and Riki Kobayashi, Collapse of spin gap by Ru-site substitution in the antiferromagnetic Kondo semiconductor  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ , *Phys. Rev. B*, 90,(2014) 164124, (6 pages)
  14. Riki Kobayashi, Koji Kaneko, Kotaro Saito, Jean M. Mignot, Gilles Andre, Julian Robert, Shuichi Wakimoto, Masaaki Matsuda, Songxeu Chi, Yoshinori Haga, Tatsuma D. Matsuda, Etsuji Yamamoto, Takashi Nishioka, Masahiro Matsumura, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, Influence of Electron Doping on Magnetic Order in  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ , *J. Phys. Soc. Jpn.*, 83,(2014) 104707 (5 pages)
  15. Takeshi Matsumura, Keisuke Kunimori, Akihiro Kondo, Kei Soejima, Hiroshi Tanida, Fumitoshi Iga, and Masafumi Sera, Appearance of Antiferromagnetic Dipole Order in  $\text{Ce}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{B}_6$  with Pr Ion Doping, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 83, (2014), 094724 (7 pages)
  16. Hiroshi Tanida, Michio Nakamura, Masafumi Sera, Akihiro Kondo, Koichi Kindo, Takashi Nishioka, and Masahiro Matsumura, Collapse of anisotropic hybridization gap below 20 K in Kondo semiconductor  $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ , *J. Phys. Soc. Jpn.*, 83, (2014), 084708 (6 pages)
- [国際会議録]
1. S Kamikawa, I Ishii, H Goto, K Takezawa, F Nakagawa, H Tanida, M Sera, T Suzuki, Anomalous Antiferromagnetic Phase Diagram in  $\text{HoRu}_2\text{Al}_{10}$ , *Journal of Physics: Conference Series*, 807,(2017) 012010. (6 pages)
  2. Shuhei Kamikawa, Isao Ishii, Yoshihito Noguchi, Hiroki Goto, Takahiro K. Fujita, Fumiya Nakagawa, Hiroshi Tanida, Masafumi Sera, and Takashi Suzuki, Elastic Softening in  $\text{HoFe}_2\text{Al}_{10}$ , ICM2015 (Barcelona), *Physica Procedia*, 75, (2015), 187-191 (5 pages)
  3. Noraina Adam, Edi Suprayoga, Budi Adiperdana, Hanjie Guo, Hiroshi Tanida, Saidah Sakinah Mohd-Tajudin, Riki Kobayashi, Masafumi Sera, Takashi Nishioka, Masahiro Matsumura, Shukri Sulaiman, Mohamed Ismail Mohamed- Ibrahim, and Isao Watanabe, Muon sites in  $\text{Ce}(\text{Ru}, \text{Rh})_2\text{Al}_{10}$  investigated by using Density Functional Theory from the view point of electronic potential,  $\mu\text{SR}2014$  (Grindelwald), *J. of Phys.: Conf. Ser.*, 551, (2014), 012053 (7 pages)
- [学会発表] (計45件)
1. 上川修平, 石井勲, 竹澤巧基, 酒見龍裕, 谷

- 田博司, 世良正文, 鈴木孝至, 斜方晶化合物  $\text{HoRu}_2\text{Al}_{10}$  における磁場誘起四極子秩序, 日本物理学会第 72 年次大会(大阪大), 平成 29 年 3 月 20 日
2. 松村武, 山本昇由, 谷田博司, 世良正文,  $\text{GdRu}_2\text{Al}_{10}$  におけるサイクロイド型磁気構造の温度変化, 日本物理学会第 72 年次大会(大阪大), 平成 29 年 3 月 20 日
  3. 近藤晃弘, 金道浩一, 山本昇由, 片岡真一, 谷田博司, 世良正文, 川端文, 高畠敏郎, 西岡孝, パルスマグネットを用いた近藤半導体  $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$  ( $T=\text{Ru}, \text{Os}, \text{Fe}$ )の圧力下磁気抵抗, 日本物理学会第 72 年次大会(大阪大), 平成 29 年 3 月 19 日
  4. 山本昇由, 世良正文, 谷田博司, 松村武, 近藤半導体  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  及びその置換系の Hall 効果, 日本物理学会第 72 年次大会(大阪大), 平成 29 年 3 月 19 日
  5. 小林理気, 谷田博司, 世良正文, Matthias D. Frontzek, 左右田稔, 益田隆嗣, 吉澤英樹, 阿曾尚文, 金子耕土, 脇本秀一, 郷地順, 上床美也, 氷上忍,  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の Rh 置換によるインタラクシオンクロスオーバー, 日本物理学会第 72 年次大会(大阪大), 平成 29 年 3 月 19 日
  6. 谷田博司, 片岡真一, 山本昇由, 松村武, 世良正文, 北川健太郎, 西岡孝,  $\text{Ce}(\text{Ru}_x\text{Rh}_{1-x})_2\text{Al}_{10}$  の圧力効果 III 電気抵抗, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  7. 谷田博司, 片岡真一, 山本昇由, 立岩尚之, 松村武, 世良正文, 西岡孝,  $\text{Ce}(\text{Ru}_x\text{Rh}_{1-x})_2\text{Al}_{10}$  の圧力効果 IV 磁化測定, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  8. 近藤晃弘, 金道浩一, 中川史也, 片岡真一, 谷田博司, 世良正文, 川端文, 高畠敏郎, 西岡孝, 近藤半導体  $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$  ( $T=\text{Ru}, \text{Os}$ )における磁場誘起相の磁場方向依存性 II, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  9. 小林理気, 谷田博司, 世良正文, Matthias D. Frontzek, 左右田稔, 益田隆嗣, 吉澤英樹, 阿曾尚文, 金子耕土, 脇本秀一, 上床美也, 氷上忍, 中性子回折実験による  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の Rh 置換誘起相の研究, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  10. 西岡孝, 加藤治一, 松村政博, 谷田博司, 世良正文,  $\text{TbT}_2\text{Al}_{10}$  ( $T=\text{Fe}, \text{Ru}$ )のベクトル磁化測定, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  11. 山本昇由, 谷田博司, 松村武, 世良正文, 近藤半導体  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  及びその関連物質のホール効果測定, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  12. 岡亮太, 谷田博司, 世良正文,  $\text{RMnGe}$  ( $R=\text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}$ )の低温物性, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  13. 上川修平, 石井勲, 後藤弘季, 中川史也, 谷田博司, 世良正文, 鈴木孝至,  $\text{HoRu}_2\text{Al}_{10}$  の磁場中弾性率 II, 日本物理学会 2016 年秋季大会(金沢大), 平成 28 年 9 月 15 日
  14. 谷田博司, 中川史也, 吉田康助, 松村武, 世良正文, 北川健太郎, 西岡孝,  $\text{Ce}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Al}_{10}$  の圧力効果 II, 日本物理学会第 71 回年次大会(2016 年)(東北学院大), 平成 28 年 3 月 21 日
  15. 近藤晃弘, 金道浩一, 中川史也, 片岡真一, 谷田博司, 世良正文, 川端文, 高畠敏郎, 西岡孝, 近藤半導体  $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$  ( $T=\text{Ru}, \text{Os}$ )における磁場誘起相の磁場方向依存性, 日本物理学会第 71 回年次大会(2016 年)(東北学院大), 平成 28 年 3 月 21 日
  16. 中川史也, 谷田博司, 松村武, 世良正文, 西岡孝, 松村政博,  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  における Ce-, Ru-サイト置換効果, 日本物理学会第 71 回年次大会(2016 年)(東北学院大), 平成 28 年 3 月 21 日
  17. 上川修平, 石井勲, 後藤弘季, 中川史也, 谷田博司, 世良正文, 鈴木孝至,  $\text{HoRu}_2\text{Al}_{10}$  の磁場中弾性率, 日本物理学会第 71 回年次大会(2016 年)(東北学院大), 平成 28 年 3 月 21 日
  18. 谷田博司, 中川史也, 吉田康助, 松村武, 世良正文, 北川健太郎, 西岡孝, 松村政博,  $\text{Ce}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Al}_{10}$  の圧力効果, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大), 平成 27 年 9 月 17 日
  19. 谷田博司, 中川史也, 吉田康助, 松村武, 世良正文, 西岡孝, 松村政博,  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の異方的物性と結晶構造の考察, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大), 平成 27 年 9 月 17 日
  20. 宗重瑞稀, 松村武, 谷田博司, 世良正文,  $\text{RAIGe}$  ( $R=\text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$ )の異常な強磁性, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大), 平成 27 年 9 月 17 日
  21. 世良正文, 吉田康介, 谷田博司, 松村武, 西岡孝, 松村政博,  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の磁気異方性への Pr, La ドープ効果, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大), 平成 27 年 9 月 17 日
  22. 中川史也, 吉田康介, 高井駿, 谷田博司, 松村武, 西岡孝, 松村政博,  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の AFM 秩序に与える Nd ドープ効果と Pr, Sm ドープ効果の比較, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大), 平成 27 年 9 月 17 日
  23. 吉田康介, 谷田博司, 松村武, 世良正文, 西岡孝, 松村政博,  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  における Ru サイト置換効果, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大), 平成 27 年 9 月 17 日
  24. 松村武, 高井駿, 宗重瑞稀, 谷田博司, 世良正文,  $\text{RRu}_2\text{Al}_{10}$  ( $R=\text{Sm}, \text{Gd}$ )における格子不整合磁気秩序, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大), 平成 27 年 9 月 17 日
  25. 近藤晃弘, 金道浩一, 中川史也, 吉田康助, 谷田博司, 世良正文, 川端文, 高畠敏郎, 西岡孝,  $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$  ( $T=\text{Ru}, \text{Os}$ )置換系におけるスピンギャップの磁場効果 II, 日本物理学会 2015

- 年秋季大会(関西大),平成27年9月17日
26. 上川修平, 石井勲, 後藤弘季, 中川史也, 谷田博司, 世良正文, 鈴木孝至,  $\text{HoFe}_2\text{Al}_{10}$  における磁場誘起相転移, 日本物理学会 2015 年秋季大会(関西大),平成27年9月19日
  27. 宗重瑞稀, 高井駿, 中村至央, 谷田博司, 松村武, 世良正文, 希土類斜方晶 R-Al-Ge 化合物の磁性 III, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月22日
  28. 富田直矢, 松村政博, 田島史郷, 北川健太郎, 加藤治一, 西岡孝, 谷田博司, 世良正文, 新奇相転移系  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の電子ドープ効果(Rh置換)の NQR による研究, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月22日
  29. 林健人, 飛田祐志, 左近涼, 小山内湧人, 佐藤仁, 谷田博司, 佐藤桂輔, 伊賀文俊, 価数揺動系  $\text{Tm}_x\text{R}_{(1-x)}\text{B}_6$  (R= Yb, Y)の物性と高圧合成法による  $x = 0.5$  の合金作製, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月22日
  30. 上川修平, 石井勲, 野口慈仁, 後藤弘季, 藤田貴弘, 中川史也, 谷田博司, 世良正文, 鈴木孝至,  $\text{HoFe}_2\text{Al}_{10}$  の歪み応答, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月22日
  31. 中川史也, 野原大貴, 谷田博司, 松村武, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 反強磁性近藤半導体  $\text{Ce}(\text{Ru}_{0.95}\text{Rh}_{0.05})_2\text{Al}_{10}$  における Ce サイトの La 置換効果, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月23日
  32. 吉田康助, 谷田博司, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 反強磁性近藤半導体  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の磁化容易軸の Ce, Ru サイト置換効果, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月23日
  33. 高井駿, 中村至央, 松村武, 谷田博司, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 近藤半導体  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の電子状態に与える Sm 置換効果(II), 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月23日
  34. 近藤晃弘, 金道浩一, 中川史也, 吉田康助, 高井駿, 谷田博司, 世良正文, 川端丈, 高島敏郎, 西岡孝,  $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$ (T=Ru, Os)置換系におけるスピギャップの磁場効果, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月23日
  35. 谷田博司, 中川史也, 吉田康助, 高井駿, 世良正文, 北川健太郎, 西岡孝, 松村政博,  $\text{Ce}(\text{Ru}_{0.95}\text{Rh}_{0.05})_2\text{Al}_{10}$  の圧力効果, 日本物理学会 第 70 回年次大会(2015 年)(早稲田大),平成27年3月23日
  36. 安田明子, 阪口友唯, 谷田博司, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 池田修悟, 小林寿夫,  $\text{RFe}_2\text{Al}_{10}$ (R=Nd, Gd)の  $^{57}\text{Fe}$  メスバウアー分光測定による磁性の研究, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月7日
  37. 上川修平, 石井勲, 野口慈仁, 後藤弘季, 藤田貴弘, 中川史也, 谷田博司, 世良正文, 鈴木孝至,  $\text{HoRu}_2\text{Al}_{10}$  の歪み応答, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月7日
  38. 富田直矢, 豊島宏史, 田島史郷, 松村政博, 加藤治一, 北川健太郎, 西岡孝, 小林理気, 谷田博司, 世良正文, 電子ドープ新奇相転移系  $\text{Ce}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Al}_{10}$  の Al-NQR, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月8日
  39. 高井駿, 中村至央, 松村武, 谷田博司, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 近藤半導体  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の電子状態に与える Sm 置換効果, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月8日
  40. 中川史也, 野原大貴, 谷田博司, 松村武, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 磁化容易軸 a の近藤半導体  $\text{Ce}(\text{Ru}_{0.95}\text{Rh}_{0.05})_2\text{Al}_{10}$  における Ce サイトの La 置換効果, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月8日
  41. 宗重瑞稀, 世良正文, 松村武, 谷田博司, 中村至央, 高井駿, 希土類斜方晶 R-Al-Ge 化合物の磁性 II, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月8日
  42. 谷田博司, 中川史也, 吉田康助, 高井駿, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 近藤半導体  $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$  の置換・磁場・圧力効果, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月9日
  43. 吉田康助, 大久保亮, 谷田博司, 松村武, 世良正文, 西岡孝, 松村政博, 近藤半導体  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  :Ce サイトの Pr 置換効果, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月9日
  44. 世良正文, 中川史也, 吉田康助, 野原大貴, 谷田博司, 松村武, 西岡孝, 松村政博,  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$  の異常反強磁性秩序状態に対する Ce, Ru サイト置換効果, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月9日
  45. 近藤晃弘, 金道浩一, 中川史也, 吉田康助, 高井駿, 谷田博司, 世良正文, 西岡孝,  $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$  (T=Ru, Os, Fe)の T サイト置換系における強磁場磁化過程 II, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大),平成26年9月9日

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

谷田 博司( TANIDA HIROSHI )  
 広島大学・大学院先端物質科学研究科・助教  
 研究者番号:00452615

### (2)研究分担者

なし