

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05441

研究課題名(和文) PPMSを利用した簡便型精密熱電能測定系の構築と多極子系の極低温異常熱電物性

研究課題名(英文) Construction of Thermoelectric Power Handy Measurement-System using PPMS and Thermoelectric Anomaly in Multipolar 4f-electron System at Low Temperatures

研究代表者

桑井 智彦 (Kuwai, Tomohiko)

富山大学・学術研究部理学系・教授

研究者番号：10251878

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：初年度に簡便型極低温熱電能・比熱測定装置を先ず構築した。既存の物性測定システムに磁気断熱消磁冷凍器(ADR)オプションを新たに導入し、これに自作の測定系をデザイン、設置した。結果、従来3日間必要だった実験時間を約半日に短縮、寒剤のヘリウム代的大幅な節約を達成した。次に多極子自由度に起因する異常を極低温で示すと期待される、プラセオジムPr、ネオジムNd、サマリウムSmを含む新奇新物質探索、合成開発を行い、作製報告のないニオブNbとアルミニウムAlを含むNdNb₂Al₂₀とSmNb₂Al₂₀などの単・多結晶試料作製に成功した。最終的に、ADRを用いて100個以上の物質群の極低温物性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、0.1 Kに至る極低温での熱・熱電物性を測定するにより、4f電子系化合物の新奇な熱電現象を複数見出すことができた。極低温での測定は、熱揺らぎに遮られる磁気モーメントや電子分布などの量子的自由度の異常な揺らぎを観測したいがためであり、100種類を超える化合物を作製し、量子揺らぎに起因すると思われる異常現象を複数とらえた。熱電能は温度差で起電力が生じるという基礎的物理量であるが、現在0.1Kの極低温までの測定を行える研究者は少数であり、独特な情報を得ることができた点学術的意義は大きい。また、将来を見据え、極寒の宇宙空間では、大きな熱電能を示す物質＝熱電素子としての有用性は大きい。

研究成果の概要(英文)：In the early stage of the research, I constructed a measurement system of thermo-power (TEP) and specific heat (HC) at low temperatures (LT). I installed an ADR option of a commercial PPMS (Quantum Design) which already worked at the laboratory, and equipped them with hand-made devices which enable to measure TEP and HC down to 90 mK. Thanks to this installation, I succeeded to save a lot of time and money for my measurements than before. Thereafter, I investigated new materials which are expected to manifest novel properties originated from degrees of freedom on multipoles in strongly correlated 4f-electron systems. Particularly, cubic compounds which include Pr, Nd, and Sm elements are highly suitable to this study. I succeeded to synthesize many polycrystalline and single-crystalline samples like new compounds NdNb₂Al₂₀ and SmNb₂Al₂₀ in my special method. A lot of samples over a hundred were synthesized finally, and their intriguing properties at LT have been found in the research.

研究分野：固体物理

キーワード：熱電能 強相関電子系 比熱 極低温 装置開発 物質探索

1. 研究開始当初の背景

申請者は、20 年以上にわたり希土類・アクチノイド元素を含む f 電子系化合物の低温物性研究を行っており、室温以下 0.1 K に至る極低温までの広い温度領域をカバーする熱電能 (TEP : S) 測定を国内で唯一実践していることが強みである。最近の成果として、30 年近く前に理論的に予言され(D.L. Cox: Phys. Rev. Lett. 1987, T.-S. Kim and D.L. Cox: 同 1995)、長らく存在が確定されなかった「四極子近藤効果 (QP-KE) による重い電子状態」が立方晶プラセオジム化合物 PrV_2Al_2 において発現することを室温以下、0.13 K にいたる極低温領域の TEP 測定により明らかにした(T. Kuwai et al.: J. Phys. Soc. Jpn. 2013)。QP-KE 効果は、 $4f$ 電子結晶場分裂により形成される非磁性の非クラマース Γ_3 基底二重項のもつ電気四極子モーメントが伝導電子に過剰遮蔽されることによって異常な電子状態を引き起こす。具体的には、特性温度 T_0 以下の極低温において伝導電子有効質量が対数的な温度依存性 ($-\ln T$ 的ふるまい) を伴い 1 J/mol K^2 を超えて大きく増強される異常物性 (非フェルミ液体異常) が現れる。有効質量の増強は、電子比熱係数 γ の値に直接反映されるため、極低温の比熱測定が必要不可欠かつ強力なプローブと認識されている。しかしながら、四極子モーメントは結晶中の歪みに敏感に応答し、四極子の自由度が歪みにより低温で解ける際に見かけ上 γ が増強されたような結果が得られることがある (例: PrInAg_2 ; Y. Isikawa et al.: J. Magn. Magn. Mater. 2007) ために、実際に観測された比熱異常のみを以って真に QP-KE 発現を確定させることはできない。一方、TEP は電子・正孔が電荷と熱の運び手であることを反映し、熱的寄与と電子の散乱による寄与から構成される物性量であり、比熱および電気抵抗率との相関が強い。10 年程前に仏国等の研究者により、 f 電子系化合物における γ と絶対零度極限の S/T (T : 温度) の強い相関が提唱(K. Behnia et al.: J. Phys.: Condens. Matter 2004)されて以降、TEP が電子の有効質量における異常を鮮明に捉え得る、比熱と並ぶ強力なプローブとして認識されている。

東大物性研・中辻らが 2011 年 6 月に公表した $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ の低温電気抵抗、比熱測定結果(A. Sakai and S. Nakatsuji: J. Phys. Soc. Jpn. 2011) に注目して、申請者はこの物質の多結晶試料の TEP 測定を行い、0.3 ~ 10 K の温度範囲で比熱の温度変化と連動したふるまいと重い電子系としての大きな S/T 絶対値を見出し、上述のように QP-KE の発現を実証させることに成功した。また、これに留まらず RT_2X_{20} 系 (R: 希土類元素, T: 遷移金属元素, X: Al と Zn) は、1 K 以下に至る極低温で見せる物性が非常に新奇であることが続々と国内研究者によって報告されており、未知の物理特性が秘められている可能性が高く、魅力的である。申請者が現在注目しているのは、 $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ 以外では高温側で近藤効果を示し、「磁場に鈍感な特異な秩序」が発現する極低温下で重い電子状態を示唆する大きな γ を持つ、サマリウム化合物 $\text{SmV}_2\text{Al}_{20}$ などであり、強磁場下でも (反強磁性的) 転移温度の低下が見られないといった新奇な異常が観測される。結晶場基底状態は Γ_8 四重項であり、磁気双極子の他に電気四極子および磁気八極子といった多極子を持つために多彩な異常を示すと考えられているが、これらの異常の起源は未だ明らかでなく、手探りしながらの物性データの収集・解析が研究者間で続けられている。申請者はこれら化合物の多結晶試料を作製し、単結晶での観測結果が再現されることを確認した上で、TEP に相転移に伴った大きな負ピークを形成することを見出し、さらに $\text{SmV}_2\text{Al}_{20}$ において転移温度以下の極低温での異常な重い電子状態を TEP により確認した。この成果は 2013 年に開催された国際会議 SCES2013 で発表した(T. Kuwai et al.: JPS Conf. Proc. 2014)。

2. 研究の目的

本研究は、0.1 K の極低温から室温付近までの広い温度範囲、さらに 100 キロエルステッド (kOe) 付近までの強磁場下での金属化合物の熱電能を簡便に測定できるシステムを構築し、最近大きく注目されている多極子自由度由来の異常物性を示す f 電子系立方晶 RT_2X_{20} ($R = \text{Pr, Sm}$ などの希土類元素; $T =$ 遷移金属元素, $X = \text{Al}$ や Zn など) 化合物に照準を絞り、その熱電特性を探ることを目的とする。目的達成のために、既存設備の物理特性測定システム (PPMS: カンタム・デザイン社) に ADR オプションを新たに搭載し、 ^3He オプションも併用して簡便型熱電能測定系を新たに構築する。並行して、定量的に正確な熱電能値を得るために必要となる、サイズの大きな純良単結晶育成を目指す。

3. 研究の方法

本研究計画では

1. 既存設備 (PPMS: カンタムデザイン社) を利用し、0.1 K にいたる極低温領域で、さらに最大 90 kOe の強磁場で簡便に測定できる極低温強磁場精密 TEP 測定系を新たに構築する
2. RT_2Al_{20} ($R = \text{Pr, Sm}$; $T =$ 遷移金属元素) 化合物および R サイト希釈系の純良大型単結晶の作製・育成を行い、それらの極低温強磁場 TEP をはじめとした基礎物性測定を推進し、内在する新奇異常物性の発見とそのメカニズムの解明を目指す

を基軸に据える。計画初年度内に 1 を完成させ、2 はこれと同時並行で推進し、次年度以降にさらに進展させていく。本研究は、すでに展開されている研究の延長線上にあり、遂行すべきことは明らかである。それは研究期間内に、新奇で特異な物理特性を示すと期待される RT_2Al_{20} 化合物およびその希釈系の純良大型単結晶の育成と簡易型極低温・強磁場精密 TEP 測定系の構築、それを軸とした基礎物性測定の推進と新奇異常特性の発見およびそのメカニズムの解明を目指すところにある。

4. 研究成果

本研究により得られた主な成果を以下に記す。

- (1) PPMS-ARD オプションを用いた断熱法による比熱測定、および 2 端子定常法による熱電能測定システムの構築

既存の設備物理特性測定システム PPMS に搭載できる磁気断熱消磁冷凍器 (ADR) を導入し、試料搭載部に自作の比熱・熱電能測定システムをデザインし、取り付けた。その結果、室温から最低温度 90 mK までおよそ 2 時間半で到達でき、各物理量測定後室温に戻るまで 8 時間程度で済むため、12 時間程度で一つの試料の測定が完了できるようになった。このことによりデータが 12 時間ごとに得られるため、測定効率が飛躍的に増大した。試料を作製しては測定、を繰り返すことができ、研究進展速度が速まった。

- (2) Pr を含む 1-2-20 系化合物および La 希釈効果の研究

単結晶、あるいは多結晶の $\text{PrTr}_2\text{Al}_{20}$ 系化合物群 (Tr は遷移金属元素) の試料作製を行い、得られた試料に対して、電気抵抗率や磁気特性、0.5 K 以上の比熱、2 K 以上の熱電能測定に加えて、前項で述べた PPMS-ADR に搭載した測定系で 0.5 K 以下の比熱、2

K以下の熱電能測定を行った。その結果 $Tr=V, Nb, Ta, Mo$ の試料では数 K 以下の熱電能には、比熱との強い連動性が観測され、比熱に見える非フェルミ液体的異常は伝導電子が担っていることがわかった。この異常の起源が四極子近藤効果であることを熱電能の測定より突き止めた。さらに La 希釈に対してこの異常がどのように変化するかを調べたが、La 希釈によって試料の純良性が低下するため、期待される異常の明確な観測は現時点ではまだ得られていない。

(3) $SmNb_2Al_{20}$ の合成と La 希釈系における非フェルミ液体異常の発見

研究期間の初期段階より行っていた $SmTr_2Al_{20}$ の La 希釈系における近藤効果の研究に加えて、本研究開始 2 年後にこれまで試料作製の報告のない $SmNb_2Al_{20}$ の多結晶試料の合成に成功した。Al や Nb 不純物のない、単相多結晶試料の作製には様々な工夫が必要であったが、2 年間の時間をかけたのちに独特な手法で成功に至ることができた。

(4) $NdNb_2Al_{20}$ の合成と 2 チャンネル近藤効果発現の可能性

当該研究期間の終盤には $NdNb_2Al_{20}$ の多結晶試料の作製に成功した。これまでこの試料の作製報告がなく、試料合成が難しいことが予測されたが、確立させた特殊手法で作成を試みたところ、特に困難なく成功することができた。比熱、熱電能を測定したところ、相転移温度が低く抑えられた物性を示すことが明らかとなった。さらにこれを含む $Nd1-2-20$ 系において 2 チャンネル近藤効果の発現が理論予測により期待されていたが、特徴的な非フェルミ液体的異常が比熱に測定されたことから、熱電能を精査し、2 チャンネル近藤効果であることの確証を目指しているところである。

(5) $RTr_2(X_{0.1}Al_{0.9})_{20}$ の作製と物性測定

1-2-20 系化合物には Al 系 1-2-20 化合物と Zn 系 1-2-2-化合物が存在する。Zn 系では Zn の 16C サイトと呼ばれる特別なサイトを他原子が占めた新 4 元化合物 1-2-2-18 系を作った場合に物性が大きく変貌することが報告されている。一方、Al 系では同様な報告がなく、その方向に向けた研究の進展がない。そこで、我々のグループでは、 $RTr_2(X_{0.1}Al_{0.9})_{20}$ について X 元素として Si, Ge, In に選び多結晶および単結晶試料の育成・作製を試みた。その結果、Si と Ge では狙った組成にならなかった可能性は否定できないが、1-2-20 系で示していた物性が大きく変化することを見出した。今後さらに詳細、丁寧な試料作製を進展させ、Al の 16C サイトの果たす役割を追求する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hiroshi Tanida, Keisuke Mitsumoto, Yuji Muro, Tadashi Fukuhara, Yukihiro Kawamura, Akihiro Kondo, Koichi Kindo, Yuji Matsumoto, Takahiro Namiki, Tomohiko Kuwai, Takeshi Matsumura	4. 巻 30
2. 論文標題 Magnetic Properties in Tetragonal Antiferromagnet CeCoSi	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011156-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSCP.30.011156	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 M. Fujihala, S. Mitsuda, R. A. Mole, D. H. Yu, I. Watanabe, S. Yano, T. Kuwai, H. Sagayama, T. Kouchi, H. Kamebuchi, M. Tadokoro	4. 巻 101
2. 論文標題 Spin dynamics and magnetic ordering in the quasi-one-dimensional S= 1/2 antiferromagnet Na ₂ CuS _{0.4} Cl ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 024410-1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.101.024410	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. Tanida, K. Mitsumoto, Y. Muro, T. Fukuhara, Y. Kawamura, A. Kondo, K. Kindo, Y. Matsumoto, T. Namiki, T. Kuwai, T. Matsumura	4. 巻 88
2. 論文標題 Successive Phase Transition at Ambient Pressure in CeCoSi: Single Crystal Studies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054716-1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.88.054716	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 Hiroshi Tanida, Keisuke Mitsumoto, Yuji Muro, Tadashi Fukuhara, Yukihiro Kawamura, Akihiro Kondo, Koichi Kindo, Yuji Matsumoto, Takahiro Namiki, Tomohiko Kuwai, Takeshi Matsumura	4. 巻 88
2. 論文標題 Successive Phase Transition at Ambient Pressure in CeCoSi: Single Crystal Studies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054716-1~10
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 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 Ito Seiya, Seki Kazuho, Amakai Yusuke, Murayama Shigeyuki, Takano Hideaki, Momono Naoki, Kuwai Tomohiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Dense Kondo behavior in the low-temperature resistivity and specific heat for amorphous Ce50Al50 alloy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 101310 ~ 101310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5045753	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 Amakai Yusuke, Murayama Shigeyuki, Momono Naoki, Takano Hideaki, Kuwai Tomohiko	4. 巻 536
2. 論文標題 Magnetic and transport properties of amorphous Ce-Al alloy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 173 ~ 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.09.111	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 Amakai Yusuke, Murayama Shigeyuki, Momono Naoki, Takano Hideaki, Kuwai Tomohiko	4. 巻 536
2. 論文標題 Magnetic and transport properties of amorphous Ce-Al alloy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 173 ~ 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.09.111	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45件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Tomohiko Kuwai, Kota Oike, Yuya Otsubo, Yosikazu Isikawa
2. 発表標題 Properties of New Compound SmNb2Al20 and Novel Non-Fermi-Liquid Behavior in Its Sm-Diluted System at Low Temperatures
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 Hiroshi Tanida, Keisuke Mitsumoto, Yuji Muro, Tadashi Fukuhara, Yukihiro Kawamura, Akihiro Kondo, Koichi Kindo, Yuji Matsumoto, Takahiro Namiki, Tomohiko Kuwai, Takeshi Matsumura
2. 発表標題 Magnetic Properties in Tetragonal Antiferromagnet CeCoSi
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 木村駿介, 犬飼春陽, 桑井智彦
2. 発表標題 立方晶PrTr ₂ Al ₂₀ (Tr = Ti, V)のAlサイトのSiおよびGe置換系の物性
3. 学会等名 2019年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋有沙, 木村駿介, 桑井智彦
2. 発表標題 立方晶NdV ₂ Al ₂₀ のAlサイトのGe置換効果
3. 学会等名 2019日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神西優希, 木村駿介, 桑井智彦
2. 発表標題 立方晶PrCr ₂ Al ₂₀ のAlサイトのGe置換効果
3. 学会等名 2019日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽土航, 木村駿介, 桑井智彦
2. 発表標題 PrTr ₂ Al ₁₂ O (Tr = Ti, V)のAl サイトのIn 置換系単結晶の作製と低温物性
3. 学会等名 2019日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷田博司, 室裕司, 福原忠, 桑井智彦
2. 発表標題 単結晶CeCoSiの逐次相転移
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 小金勇也, 桑井智彦
2. 発表標題 単・多結晶SmMo ₂ Al ₁₂ O化合物の低温基礎物性
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 日比野菜奈, 水野真菜, 桑井智彦
2. 発表標題 PrTr ₂ Al ₁₂ O(Tr=Nb, Ti, Ta)のLa希釈系の物性
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 雨海有佑, 桑井智彦他
2. 発表標題 アモルファスCeAl合金の磁性と構造因子
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 日比野菜奈, 水野真菜, 桑井智彦
2. 発表標題 PrTr ₂ Al ₁₂₀ (T=Nb, Ti)のLa希釈系の物性測定
3. 学会等名 2018年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷田博司, 桑井智彦他
2. 発表標題 CeCoSiの磁性と圧力効果
3. 学会等名 2018年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小金勇也, 桑井智彦他
2. 発表標題 SmMo ₂ Al ₁₂₀ の試料作製と基礎物性
3. 学会等名 2018年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大坪裕耶, 桑井智彦他
2. 発表標題 SmNb ₂ Al ₂₀ の単サイト希薄系の異常な極低温物性
3. 学会等名 2018年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田鴻, 桑井智彦他
2. 発表標題 SmTa ₂ Al ₂₀ のLa希釈系の近藤効果と異常な残留エントロピー
3. 学会等名 2018年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村駿介, 羽土航, 日比野菜奈, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 PrTi ₂ Al ₂₀ のAl-Si置換効果
3. 学会等名 2018年度日本物理学会北陸定例学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 雨海有佑, 村山茂幸, 桃野直樹, 高野英明, 桑井智彦他
2. 発表標題 アモルファスCeAl合金の磁性
3. 学会等名 日本物理学会2018秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原理賀, 桑井智彦他
2. 発表標題 正方カゴメ格子反強磁性体Cu ₆ AlBiO ₄ (SO ₄) ₅ ・KClにおけるスピン液体の可能性
3. 学会等名 日本物理学会2108秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷田博司, 室裕司, 福原忠, 桑井智彦他
2. 発表標題 CeCoSiの磁性と圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会2018秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Amakai, S. Murayama, N. Momono, H. Takano, T. Kuwai
2. 発表標題 Magnetic and Transport Properties of Amorphous Ce-Al Alloy
3. 学会等名 Strongly Correlated Electron Systems 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 雨海有佑, 一兜博人, 村山茂幸, 桃野直樹, 高野英明, 桑井智彦, 上床美也
2. 発表標題 アモルファスCe-Ruの低温物性II
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日比野菜奈, 尾池光太, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 PrNb ₂ Al ₁₂₀ およびLa希釈系の熱電・熱物性
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 尾池光太, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 SmNb ₂ Al ₁₂₀ およびLa希釈系の極低温熱電・熱物性
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小金勇也, 尾池光太, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 SmMo ₂ Al ₁₂₀ の試料作製と基礎物性
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原理賀, 森田克洋, 満田節生, 遠山貴巳, 桑井智彦
2. 発表標題 J1-J2-J3正方カゴメ量子スピン磁性体の合成、構造、磁性
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日比野菜奈, 尾池光太, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 PrNb ₂ Al ₁₂₀ の La 希釈系の物性測定
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小金勇也, 尾池光太, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 SmMo ₂ Al ₁₂₀ の作製と極低温基礎物性
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高嶋一将, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 Tm ₆ Tr ₄ Al ₁₄₃ (Tr=Mo,W) の単結晶育成と低温物性
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青木沙耶香, 松本裕司, 桑井智彦
2. 発表標題 磁場に鈍感な相転移をもつ SmV ₂ Al ₁₂₀ の V サイトの Nb 置換効果
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 舛田翔, 松本裕司, 桑井智彦
2. 発表標題 多結晶 PrMo ₂ Al ₁₂ O ₂₀ 系の低温物性
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本裕司, 桑井智彦
2. 発表標題 立方晶 CeCr ₂ Al ₁₂ O ₂₀ 型結晶構造を持つ PrIr ₂ Sn ₂ Zn ₁₈ の単結晶育成と基礎物性
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松田鴻, 尾池光太, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 SmTa ₂ Al ₁₂ O ₂₀ の La 希釈系の異常な極低温物性
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 尾池光太, 松本裕司, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 SmNb ₂ Al ₁₂ O ₂₀ の La 希釈系低温物性
3. 学会等名 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前田萌子, 佐藤美紀, 水島俊雄, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 PrV2Al20のLa希釈系単結晶育成と低温物性
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金岡宏太郎, 佐藤美紀, 水島俊雄, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 PrCr2Al20のLa希釈系の物性
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 尾池光太, 金谷知幸, 佐藤美紀, 水島俊雄, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 多結晶SmNb2Al20の作製と基礎物性
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三宅一平, 古山竜壮, 水島俊雄, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 SmTi2Al20とSmV2Al20のLa希釈系の異常な熱電・熱物性
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上出悠介, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和
2. 発表標題 単結晶ErT ₂ Al ₁₀ (T=Ru, Fe)の育成と結晶磁気異方性
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 室裕司, 蜂矢健人, 福原忠, 桑井智彦
2. 発表標題 反強磁性近藤半導体CeRu ₂ Al ₁₀ のZn置換効果
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 室裕司, 福原忠, 桑井智彦
2. 発表標題 Shastry-Sutherland型近藤新化合物Yb ₂ T ₃ Ga ₁₀ (T=Ru, Os)の磁性
3. 学会等名 2016年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上出悠介, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和
2. 発表標題 単結晶TbFe ₂ Al ₁₀ の結晶磁気異方性
3. 学会等名 2016年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岡本昌士, 上出悠介, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和
2. 発表標題 単結晶HoRu ₂ Al ₁₀ の結晶磁気異方性
3. 学会等名 2016年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 村松淳, 上出悠介, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和
2. 発表標題 立方晶TbFe ₂ Sn ₂ Zn ₁₈ の単結晶育成と磁気的性
3. 学会等名 2016年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 日比野菜奈, 前田萌子, 尾池光太, 水島俊雄, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 PrNb ₂ Al ₁₂₀ のLa希釈系の基礎物性
3. 学会等名 2016年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 尾池光太, 佐藤美紀, 水島俊雄, 石川義和, 桑井智彦
2. 発表標題 SmNb ₂ Al ₁₂₀ の単相多結晶試料作製と低温物性
3. 学会等名 2016年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

教員業績データベースシステム（研究発表）
<https://uteva.u-toyama.ac.jp/IST>

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
--	---------------------------	-----------------------	----