

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03520

研究課題名（和文）特異な構造を有する希土類化合物のベクトル磁化測定器による研究

研究課題名（英文）Study of rare earth compounds with unique structure by vector magnetometer

研究代表者

西岡 孝（Nishioka, Takashi）

高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授

研究者番号：10218117

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）：希土類化合物は一般に極低温で秩序を起し強い磁気異方性を示す。我々は磁化をベクトルとして測定するベクトル磁化測定により、特異な結晶構造を持つPr₃Al₁₁、Tb₂Tl₁₀ (T=Fe,Ru)、TbAlGe、CeAlSiなどの温度磁場相図を世界で初めて作成し、今まで見過ごされてきた、磁化の角度変化の重要性を明らかにした。また極低温を得る手段としてGM冷凍機を用いて、ヘリウムを完全にリサイクルシステムの開発に成功した。さらに、相転移を調べる1.2Kから測定可能な断熱法比熱測定装置を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

希土類化合物は、強い磁気異方性を持つことはよく知られていた。にもかかわらず、磁性を調べる最も基本的な磁化測定が、磁場方向の成分しか測定できない市販の磁化測定に甘んじてきた。我々は、横磁場を用いて、ベクトル磁化を測定することに成功し、全方位の磁化を測定することが重要であることを示した。これは、今後の磁性研究に大きな影響を与えるであろう。また、極低温の研究を行うにはヘリウムが不可欠であるが、我々はヘリウムをほとんど消費することなく極低温を実現するシステムを開発した。これにより、ヘリウムの入手が困難でも極低温研究ができることになる。研究者にとって装置開発は重要であるという教訓を与えたと思われる。

研究成果の概要（英文）：Rare earth compounds generally show strong magnetic anisotropy due to ordering at cryogenic temperatures. We have developed the world's first temperature-field phase diagrams of Pr₃Al₁₁, Tb₂Tl₁₀ (T=Fe,Ru), TbAlGe, and CeAlSi, which have unique crystal structures, using vector magnetization measurement, and clarified the importance of angular variation of magnetization, which has been overlooked until now. He also succeeded in developing a complete helium recycling system using a GM refrigerator as a means of obtaining cryogenic temperatures. Furthermore, we have developed an adiabatic specific heat measurement system that can measure the phase transition from 1.2 K.

研究分野：磁性

キーワード：希土類化合物 ベクトル磁化測定 GM冷凍機 比熱測定 磁性ワイル半金属 四重極相互作用

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

希土類化合物の磁性の基礎研究の中心は、希土類イオンサイトが一つであり、比較的単純な結晶構造を持つものであった。解析が複雑になり、希土類イオンの性質を理解する妨げになるためである。しかし、このような研究は 1970 年ころから進められてきた研究の流れを汲むもので、磁性イオンの性質はほぼ明らかになった。少なくとも実験研究としては、一定の成果が得られていた。そこで、一つの流れとして、より複雑な結晶構造を持つ物質へと関心が移り始めていた。複雑であるがゆえに面白いふるまいが期待されるからである。希土類化合物の磁性は軌道角運動量が残っているために複雑な磁気異方性を示すことが期待されるのが普通であるが、一番基礎的な磁化測定においては、主軸の測定のみ行われているのが現状であった。それは、磁場を発生させる方法が、超伝導ソレノイドを用いていたために、磁場に平行成分の測定が難しかったというだけでなく、磁化測定の装置は市販品を使うのが普通となっていたからである。

実験環境の問題として、極低温の実現がある。希土類化合物の磁性イオン間の相互作用は弱いために、基底状態を調べるためには 1 K 程度までの研究は不可欠である。この温度環境の実現は液体ヘリウムでは実現されていた。しかし、ヘリウムは希少資源であり、しかも様々な分野で非常に役に立つことがわかり、しかも新興国からの需要も高まってきていたために、研究で利用できるヘリウムにしわ寄せが来はじめていた。

我々はそのような研究背景の状況で、横磁場無冷媒マグネットを用いたベクトル磁化測定の開発を進め、さらにヘリウムの消費を抑えて極低温を実現するのに市販の GM 冷凍機を改良したものを発明し、物性測定を行えるシステムを開発を行っていた。

2. 研究の目的

今まであまり注目されてこなかった特異な結晶構造をもつ物質の単結晶をいくつか合成して、全方位のベクトル磁化測定を行い、ほとんど報告されたことのない角度磁場相図を作成し、磁気異方性を明らかにする。この目的のために、主に次の 3 つの開発を進めた。1 つ目はベクトル磁化測定システムの精度向上と電磁石のベクトル磁化測定システムの開発、2 つ目は冷凍機の振動で測定が不可能と思われてきた断熱法比熱測定の開発、3 つ目はヘリウムガスの完全なリサイクルである。

3. 研究の方法

研究に用いる単結晶試料は、フラックス法を用いて作成し、方位は結晶面の XRD を行うことで決定した。ベクトル磁化測定は市販の横磁場無冷媒マグネットに自作の振動試料型磁化測定器 (VSM) を組み込んだ。また同様の電磁石を用いたシステムも作成する。断熱法比熱測定は、通常の方法で行うが、輻射シールド、試料の保持、冷凍機を停止した測定などを試みた。ヘリウムの回収は自転車のポンプを改良した圧縮機、スクロールポンプ、バランスボールを組み合わせて行った。

4. 研究成果

特異な楕を持つ単結晶の作成はすべて Al 自己フラックス法で行った。作成に成功した試料は、複数の磁性イオンサイトを持つ斜方晶 $\text{La}_3\text{Al}_{11}$ 型 R_3Al_{11} ($\text{R} = \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$), $\text{Y}_2\text{Al}_3\text{Si}_2$ 型 RAl_2Si_3 ($\text{R} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$), RAl_3 ($\text{R}=\text{Gd}$: 六方晶 Ni_3Sn 型), Tb : 三方晶 BaPb_3 型, Ho : 三方晶 HoAl_3 型, Er : 六方晶), 磁性イオンサイトは 1 つであるが特異な構造を持つ直方晶 $\text{YFe}_2\text{Al}_{10}$ 型 R_2Al_{10} ($\text{R}=\text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$; $\text{T}=\text{Fe}, \text{Ru}$), 正方晶 $\alpha\text{-ThSi}_2$ 型 RAlSi ($\text{R} = \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}$), 直方晶 YAlGe 型 RAlGe ($\text{R} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$) である。磁化測定に十分な大きさの試料の育成ができた。すべての測定の交流磁化測定を行ったが、ベクトル磁化測定は半年ほどの時間がかかるために、 $\text{Pr}_3\text{Al}_{11}$, $\text{TbFe}_2\text{Al}_{10}$, $\text{TbRu}_2\text{Al}_{10}$, TbAlGe , RAlSi ($\text{R} = \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Tb}_2\text{Al}_3\text{Si}_2$, HoAl_3 のみで行った。ベクトル磁化測定装置は、研究開始時点でほぼ完成していたが、試料の振動に若干の負荷感があり、これを改善して測定精度の向上を図った。無冷媒マグネットで安定に磁化測定ができるのは 4K 程度であり、操作が簡便でないために、2 K 程度まで測定可能な電磁石と冷凍機を用いたベクトル磁化測定システムの開発を試みた。ベクトル磁化測定と冷凍機の試験まで完了した。

断熱法比熱測定は、研究開始当初 15 K からの測定しかできなかった。この主な原因は輻射シールドが不十分であったためであった。新たに輻射シールドを設けることで、4K 程度まで下げることができるようになった。しかし、温度振動が大きすぎて断熱法比熱測定は難しかった。そこで、アデンダの保持を絹糸から薬包紙を固めた細い筒にして強固にすることで、2 K 程度から測定できるようになった。しかし、4 K 以下の測定精度は十分とはいえなかった。そこで、冷凍機を停止して測定することを試みた。液化したヘリウムは 0.03 L 程度であったが、1 時間強 1.3 K 以下を保持した。これは、10 K 程度までの測定を可能にした。4 K 以上は冷凍機を運転した状態でも精密測定が可能であるので、2 つの方法を組み合わせることで、液体ヘリウム環境と同じ精度で断熱法による比熱測定ができるようになった。現在ヘリウム 3 温度で同様な測定を試み

ているが、簡単ではないようだ。

我々の低温実験はすべて GM 冷凍機を用いて行っている。GM 冷凍機の冷却ステージは 3.5K 程度までは下がるので、室温で 20 L のヘリウムガスを液化して、0.03 L 程度の液体ヘリウムを得て、これを真空ポンプで排気することで 1.2 K 程度の低温を得ている。これは、液体ヘリウムを用いた実験の 1/100 以下であるため、空気中に放出しても 7000 L のヘリウムボンベで 1 年間は毎日実験できることになる。このヘリウムの完全回収を目指して、ヘリウムをクリーンな状態で完全回収する安価なシステム開発した。重要なポイントは、我々のシステムでは、20 L のヘリウムガスで十分な実験ができるために、回収システムはヘリウム影木下記のような大容量のものである必要はないということであった。そのために、自転車の空気入れにヒントを得て、小型の圧縮機を自作した。また、ガスバックとしてバランスボールを使用した。数時間の利用でのヘリウムの透過はほとんどなかった。それに、スクロールポンプと液体窒素トラップを組み合わせると、99 % 以上のヘリウムガスを回収することに成功した。これにより、7000 L のボンベ 1 本で少なくとも 100 年以上の極低温実験が可能になる。この方法を活用することで、研究におけるヘリウム不足問題は解決されると思う。

ベクトル磁化測定の結果については、代表的な 4 種類（直方晶 Pr₃Al₁₁, 直方晶 Tb₂Al₁₀ (T=Fe, Ru), 正方晶 CeAlSi, 三方晶 HoAl₃) について以下で述べる。

直方晶 La₃Al₁₁ 型 R₃Al₁₁ (R=希土類イオン) は希土類イオンのサイトが 2 つあるために、近藤効果が関与する R=Ce 以外、あまり研究が行われていない。複数の磁性イオンサイトがある磁性をベクトル磁化測定で解明できないかということを考え、近藤効果の影響がない Pr₃Al₁₁ のベクトル磁化測定を行った。その結果、2 つの磁性イオンは完全に分離でき、それぞれの役割は明らかになった。また、その振る舞いは、教科書に書かれて反強磁性体の分子場理論や結晶場で定量的にも説明できることが分かった。ただし、主軸の振る舞いで任意の方向の磁化は理解できるので、この試料の場合はベクトル磁化測定を使う必要はなかったが、極端な磁気異方性のために、正確に主軸の測定をするという点ではベクトル磁化測定が有用であった。

YFe₂Al₁₀ 型 CeRu₂Al₁₀ は、分子場近似から予測される磁気転移よりも 100 倍以上高い磁気転移を持つため、この磁気転移は希土類化合物の相互作用である RKKY 相互作用とは異なった起源をもつのではないかということを我々は 2009 年に提案し、その後さまざまな研究が行われてきた。この起源の 1 つとして重要なのは結晶構造の特異性にあると考え、近藤効果が重要な役割を果たさない同じ結晶構造をもつ TbFe₂Al₁₀ と TbRu₂Al₁₀ の全方位のベクトル磁化測定を行い、いくつかの温度での全方位の角度磁場相図を作成した。得られた相図は、若干の違いがあるものの似た構造であり、上で述べた R₃Al₁₁ とは異なり、主軸の磁化だけでは説明できない複雑なものであった。この磁気異方性が、結晶構造の特徴である希土類イオンのジグザグと強く関係していることを明らかにした。

α -ThSi₂ 型 RAlSi の研究は、同じ結晶構造の典型的重い電子系強磁性体 CeSi_{2-x} の参照物質という興味で行った。CeAlSi は CeSi_{2-x} と同じ結晶構造を持つものの、近藤効果の特徴は全く見られず、Ce は局在している。しかし、イオン間の距離から Ce 原子から出た 3 つの電子は Si と Al に供給されてプニクトゲンの配置となり、自由電子はほとんどと推測され、Zintl 相であると考えられる。しかし、電気抵抗は金属的挙動を示すので、半金属という予測は縦て多知。CeAlSi は 8 K 程度で強い面内異方性を持つ強磁性体に転移することを明らかにして、ac 面と ab 面のベクトル磁化測定を秩序相で行ったところ、ac 面内は特に異常は見られなかったが、ab 面内で非常に強い磁気異方性が見られた。通常の磁化測定では、正方晶の場合、a 軸と c 軸だけしか調べないが、ベクトル磁化測定は全容を調べることができる。結果として、 $\langle 110 \rangle$ 方向に非常に強い磁気異方性を持つことが分かった。正方晶の面内で強い磁気異方性が測定された初めての例である。その後、CeAlSi の結晶構造は α -ThSi₂ 型構造が秩序化した LaPtSi 型であるという報告がなされた。この場合、結晶の空間反転対称性が破れて、磁性ワイル半金属が実現しているということが、海外のグループの研究で発見され、現在活発な研究が行われている。この特異な磁気異方性がワイル半金属と関連しているかは興味の持たれるところであるが、ワイル半金属の理論に磁気異方性の予測はなく、現時点ではわからない。当初意識していた近藤効果とは全く別の物理へと変化していったが、地道に研究することが重要であることを示しているのではないだろうか。

希土類元素と非磁性の 13 族の 1:3 化合物は半世紀以上前から研究が行われてきた。これらの大部分は立方晶 AuCu₃ 型に結晶化し、四重極秩序を引き起こすことが明らかになった。ところが、RAl₃ は、R=La~Gd では六方晶 Ni₃Sn 型、R=Er~Lu では立方晶 AuCu₃ 型、その中間の R = Tb, Dy, Ho では結晶構造がそれぞれ異なり、複数の希土類イオンサイトがある複雑な構造となっている。CeAl₃ は最初の重い電子系化合物であり、相当の研究が行われてきてはいるものの、R=Tm は非磁性基底状態で、四重極秩序を起こさないこともあり、あまり研究が行われていない。複雑な構造を持つ中間については、物理的な興味からの研究は全く行われていなかったといってもよい。しかし、これらの構造は RAl₃ の 2 次元面の重なり方が異なっているだけで、お互い強く関係していることに注目した。その結果、例えば HoAl₃ では立方晶の層が 60 % 存在することになり、四重極秩序の可能性が考えられる。我々は、様々な単結晶の比熱測定から、9 K 程度にある反強磁性転移のほかに 2 つの 1 次転移的な異常を発見した。ただしこれら 2 つの転移の異常は多結晶ではわずかであり、実際最近行われた多結晶の研究では観測されていない。単結晶でも、育成の仕方で大きく異なる。このベクトル磁化測定を行ったところ、c 面内で四重極相

相互作用の特徴と思われる、対称性の変化が、温度、磁場によって大きく変化する様子が確認された。我々が知る限り非立方晶で四重極秩序が観測された初めての例である。

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nishioka Takashi, Nakanishi Kaito, Tokunaga Hiroto	4. 巻 38
2. 論文標題 Strong In-plane Magnetic Anisotropy in Weyl Semimetal Related Material CeSiAl	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011076(6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.38.011076	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 Nishioka Takashi, Moriyama Kazuaki, Okazaki Takuto, Miyamoto Satoru, Kado Tsuneo	4. 巻 2164
2. 論文標題 Adiabatic specific heat measurement at very low temperatures using GM refrigerator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012073 ~ 012073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2164/1/012073	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 Gouda Kaiki, Nishioka Takashi	4. 巻 2164
2. 論文標題 Angular-field magnetic phase diagram of b-plane at 4 K of YAlGe-type TbAlGe with zigzag-chain	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012072 ~ 012072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2164/1/012072	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 Nishioka, S., Nishioka, T.	4. 巻 30
2. 論文標題 Role of Two Inequivalent Pr ³⁺ Ions in Pr ₃ Al ₁₁	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011147(6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011147	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 Ohno, K., Tajima, F. Nishioka, T.	4. 巻 30
2. 論文標題 Magnetic Field-angle Phase Diagram in the Ordered State of TbRu ₂ Al ₁₀	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011163(6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011163	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 Koyama, H., Nakanishi, K. Nishioka, T.	4. 巻 30
2. 論文標題 Development of 1 K Refrigerator Using 0.1 W GM Cryocooler	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011195(6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011195	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 Kawamura, Y., Sekine, C. Nishioka, T.	4. 巻 1016
2. 論文標題 Carrier Concentration of CeFe ₂ Al ₁₀ as a Candidate of Thermoelectric Material	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 672 - 677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.1016.672	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 西岡颯太郎, 西岡孝, 八木雄輔, 棕田秀和	4. 巻 170
2. 論文標題 無冷媒冷凍技術と低温物性測定技術を融合した新しい装置開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 大阪大学低温センターだより	6. 最初と最後の頁 8 - 13
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 Sato M., Yamamoto Y., Nishioka T., Kodama K., Mochizuki N., Ushioda M., Nakada R., Tsunakawa H.	4. 巻 45
2. 論文標題 Constraints on the Source of the Martian Magnetic Anomalies Inferred From Relaxation Time of Remanent Magnetization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 6417 ~ 6427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL077498	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 Kawamura Yukihiro, Sekine Chihiro, Matsubayashi Kazuyuki, Uwatoko Yoshiya, Nishioka Takashi	4. 巻 941
2. 論文標題 Transport and Thermodynamic Properties of CeRu ₂ Al ₁₀ Controlled by Pressure at around Critical Pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 1378 ~ 1383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.941.1378	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40件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 T. Nishioka, K. Moriyama, T. Okazaki, S. Miyamoto, T. Kado
2. 発表標題 Adiabatic specific heat measurement at very low temperatures using GM refrigerator
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 G. Kaiki, T. Nishioka
2. 発表標題 Angular-field magnetic phase diagram of b-plane at 4 K of YAIGe-type TbAlGe with zigzag-chain
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 合田海輝, 西岡孝
2. 発表標題 YAlGe型R-AlGe (R=希土類化合物) における単結晶育成法とその物性
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎択人, 西岡孝, 森山和明, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 GM冷凍機による比熱測定を試み
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤戸健登, 柏原稔, 西岡孝, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 ヘリウム圧縮装置の開発
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎将一朗, 西岡孝, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 光学測定用1K冷凍機の開発
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会, 山口大学 on Web, (2021/7/31) ・森川泰樹, 加藤治一, 西岡孝, 励起子絶縁体候補物質
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森川泰樹, 加藤治一, 西岡孝
2. 発表標題 励起子絶縁体候補物質Pr _{0.5} Ca _{0.5} CoO ₃ および周辺物質の核磁気共鳴測定
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 合田海輝, 西岡孝
2. 発表標題 希土類化合物RAlGe (R=希土類元素)の単結晶育成と磁性
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 西岡孝, 岡崎択人, 森山和明, 宮本悟, 門恒夫
2. 発表標題 GM冷凍機による比熱測定装置の開発
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 安藤開, 合田海輝, 西岡孝
2. 発表標題 ワイル半金属候補物質 -ThSi ₂ 型RAlGe (R=Ce, Pr, Nd) の単結晶育成と磁気異方性
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鄧賢達, 合田海輝, 山崎将一, 西岡孝
2. 発表標題 フラストレート系 BaPb ₃ 型TbAl ₃ -xGexの単結晶育成と磁性
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡崎 択人, 西岡孝, 宮本悟, 門恒夫
2. 発表標題 GM冷凍機による比熱測定の開発II
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 合田海輝, 西岡孝
2. 発表標題 ジグザグ構造を持つYAlGe型TbAlGeのベクトル磁化測定
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 雅彦, 山本 裕二, 西岡 孝, 小玉 一人, 望月 伸竜, 潮田 雅司, 中田 亮一, 網川 秀夫
2. 発表標題 Constraints on the Source of the Martian Magnetic Anomalies Inferred From Relaxation Time of Remanent Magnetization
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 合田 海輝, 西岡 孝, 山本 佳奈, 宮本 悟, 門 恒夫
2. 発表標題 0.1 W 冷凍機における倒立型冷凍機の製作
3. 学会等名 2020年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森山和明, 柏原稔, 西岡孝
2. 発表標題 1 K GM冷凍機におけるヘリウムガスの回収ついて
3. 学会等名 2020年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柏原稔, 西岡孝, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 コストパフォーマンスに優れたヘリウムの完全回収方法
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 合田海輝, 西岡孝
2. 発表標題 YAlGe型希土類化合物の磁性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森山和明, 西岡孝, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 GM冷凍機による断熱法比熱測定
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高山榛佳, 西岡孝, 藤井一太, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 0.1 W GM 冷凍機における反転型の開発
3. 学会等名 2019年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野航輔, 田島史郷, 西岡孝, TbRu2Al10の4Kにおける角度-磁場相図
2. 発表標題 TbRu2Al10の4Kにおける角度-磁場相図
3. 学会等名 2019年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾浦翔梧, 加藤治一, 柴田凌, 西岡孝
2. 発表標題 ホランダイト型マンガン酸化物へのカチオン導入
3. 学会等名 2019年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野航輔, 西岡孝, TbT2Al10 (T=Fe,Ru)の磁気相図
2. 発表標題 TbT2Al10 (T=Fe,Ru)の磁気相図
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 高山榛佳, 西岡孝, 宮本悟, 門恒夫
2. 発表標題 0.1W GM冷凍機によるトップローディング型1K冷凍機の開発
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 西岡孝, 合田海輝, 山本佳奈, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 倒立型1K GM冷凍機の開発
3. 学会等名 日本物理学会2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野航輔, 西岡孝
2. 発表標題 TbRu2Al10の角度磁場相図
3. 学会等名 日本物理学会2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤治一, 濱松太一, 西岡孝
2. 発表標題 ペロブスカイト型コバルト酸化物の核磁気共鳴測定
3. 学会等名 日本物理学会2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haruka Koyama, Kaito Nakanishi, Takashi Nishioka
2. 発表標題 Development of 1K refrigerator using 0.1W GM cryocooler
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosuke Ono, Fumisato Tajima, Takashi Nishioka
2. 発表標題 Magnetic field-angle phase diagram in the ordered state of TbRu ₂ Al ₁₀
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019), Okayama Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sotaro Nishioka, Hajime Nakamori, Takashi Nishioka
2. 発表標題 Role of two inequivalent Pr ³⁺ ions in Pr ₃ Al ₁₁
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takashi Nishioka, Hiroto Tokunaga, Kaito Nakanishi, Sotaro Nishioka
2. 発表標題 Strong in-plane axial magnetic anisotropy of tetragonal -ThSi_2 -type ferromagnetic CeSiAl
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳永浩人, 西岡颯太郎, 中西海斗, 西岡孝
2. 発表標題 CeSi _{2-x} Al _x の磁性
3. 学会等名 2018年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野航輔, 小野寺蓮太, 西岡颯太郎, 西岡孝, 徳永浩人, 西岡颯太郎, 中西海斗, 西岡孝
2. 発表標題 YbFe ₂ Al ₁₀ 型RRu ₂ Al ₁₀ (R=重希土類) の交流磁化率
3. 学会等名 2018年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西岡颯太郎, 西岡孝, 徳永浩人, 西岡颯太郎, 中西海斗, 西岡孝
2. 発表標題 断熱法比熱測定装置の開発
3. 学会等名 2018年度応用物理・物理系学会 中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳永浩人, 仲西海斗, 西岡孝, 西岡颯太郎
2. 発表標題 正方晶 $\text{-ThSi}_2\text{型RSi}_2\text{-xAI}_x$ (R=希土類元素) の磁性
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 西岡颯太郎, 藤井一太, 高山榛佳, 西岡孝, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 倒立型0.1W GM冷凍機による1K環境の開発
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 川村幸裕, 林純一, 武田圭生, 関根ちひろ, 西岡孝
2. 発表標題 RT2Al10 (R=希土類, T=Fe, Ru, Os)系の低温・高圧下X線回折
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 山本佳奈, 西岡颯太郎, 住友洋介, 仲西海斗, 西岡孝, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 倒立型1K GM 冷凍機の開発
3. 学会等名 高知大学海洋コア総合研究センター 設立15周年記念公開シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高山様佳, 西岡颯太郎, 藤井一太, 西岡孝, 宮本悟, 門恒男
2. 発表標題 上部冷却型1 K GM冷凍機の開発
3. 学会等名 日本物理学会2019年年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野航輔, 西岡孝
2. 発表標題 RRu2Al10 (R=重希土類)の磁気相図
3. 学会等名 日本物理学会2019年年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Robert M. White、西岡 孝	4. 発行年 2021年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 368
3. 書名 磁性の量子論 (第3版)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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