

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05238

研究課題名(和文) 次世代物質開拓を目指した希土類硫化物における特異物性の機構解明と多極子由来の検証

研究課題名(英文) Elucidation of mechanism and verification of multipole origin for novel physical properties in rare-earth sulfides aimed at exploring new materials for the next generation

研究代表者

戎 修二 (Ebisu, Shuji)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10250523

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)：希土類三硫化物 $-R_2S_3$ の単結晶が極低温領域で示す特異物性、特に磁気転移点近傍の狭温度域における電気抵抗率の異常増減現象の機構解明を目指して、マイクロプローブを用いた μ SR 実験とマクロ物性測定を行った。当該現象は $-Sm_2S_3$ の $T > TC1$ と $-Dy_2S_3$ の $T > TN2$ の温度域における、磁気モーメントの短距離秩序による大きな磁気揺らぎに起因すると結論した。また、本系化合物中において希土類イオンの結晶場基底状態には複数の準安定状態が存在し、これらの共存により磁化容易軸が奇妙に交錯し、これらの状態間遷移が巨大な物性応答をもたらしていると考えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

狭い温度範囲で6桁にも及ぶ電気抵抗率の急増・急減というのは希有な現象であり、その機構を解明することはそれ自身が学術的に意義深く、また新しいタイプの巨大物性応答を示す化合物群を探索する手掛かりにもなり得る。外場に対して巨大な物性応答が得られれば、その物質は高効率・省エネルギー・低環境負荷で、ある機能を発揮する新材料となり、高機能電子デバイスへの展開が期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to elucidate the mechanism of the novel physical properties, especially the anomalous enhancement/restoration of electrical resistivity in the narrow temperature range near the magnetic transition temperature, for single crystals of rare earth sesquisulfides $-R_2S_3$, μ SR experiments using microprobe and macroscopic physical property measurements were carried out. We conclude that the phenomenon is caused by a large magnetic fluctuation due to the short-range ordering of magnetic moments in the temperature range of $T > TC1$ for $-Sm_2S_3$ and $T > TN2$ for $-Dy_2S_3$. In addition, we consider that there are multiple metastable ground states of rare-earth ions in the crystalline field of this compound, and the coexistence of these states leads to a strange crossing of the easy magnetization axes, and the transitions between these states cause gigantic physical property responses.

研究分野：物性物理分野

キーワード：希土類硫化物 単結晶育成 異常磁気伝導 電気抵抗率異常増減 巨大物性応答 磁化容易軸交換 磁場中試料回転 一軸圧

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

六種の結晶変態が知られる希土類三硫化物 R_2S_3 (R : 希土類元素) のうち、低温物性研究が乏しかった直方晶系の α 変態硫化物について、近年筆者らは自ら育成した単結晶を用いて、逐次磁気相転移とこれに伴う磁性・伝導・比熱に関する数々の特異物性を発見してきた。一連の物質群の中で Sm と Dy の硫化物は特に興味深く、数多くの巨大物性応答を示し、中でも磁気転移点近傍の狭温度域における電気抵抗率の 10-100 倍以上にも及ぶ異常増減は極めて希有な現象であり、磁場で急速に抑制されることも興味深いとその明確な機構は解明できていない状況であった。また α -Dy₂S₃ の磁場中比熱は、磁氣的秩序化が完了していると考えられる 1 K 以下の温度において、何らかの秩序化が存在することを示唆し、これが多極子によるものではないかと着想した。高対称な結晶構造を有する希土類化合物で見られることがある多極子秩序が、低対称な結晶構造を持つ本系化合物群 α -R₂S₃ においても励起項準位が基底項準位付近に存在することによる擬似的縮退により多極子秩序が起こりうると考え、種々の特異物性と電気四極子秩序の関連性の有無について検証することを考えた。

2. 研究の目的

α -R₂S₃ 単結晶における一軸応力下物性応答精査、超音波分光法による弾性率測定を通して多極子の存在を検証する。また、中性子回折や μ SR といったマイクロプローブを相補的に用いて未解明の α -R₂S₃ の磁気構造を明らかにするとともに、 α -R₂S₃ における特異物性の発現機構を解明し、次世代の希土類物質開拓の指針を与える。

3. 研究の方法

(1) 磁気構造の解明

α -Dy₂S₃ 単結晶を用いた中性子回折実験を米国 Oak Ridge 国立研究所で遂行する予定で試料も送付したのであるが、マシンタイムの確保が難しく進展しなかった。 α -Sm₂S₃ に関しては、Sm の中性子吸収断面積が大きいために中性子回折実験は難しい。研究分担者による μ SR 実験によって磁気構造を解明するヒントを得る。

(2) 電気四極子秩序の検証

エポキシ樹脂に単結晶試料を埋め込んだものを加圧することにより一軸圧を印加し、結晶場を変化させた状態で電気抵抗・磁化測定を行い、特異物性発現の有無を確認することにより、間接的に電気四極子秩序に由来するものであるかどうかを検証する予定で進めた。上記の方法で磁化に関しては測定することが可能であったが、電気抵抗率測定用の圧力セルでは、思惑通りの実験が困難であり、電気抵抗率に対して一軸圧が及ぼす直接的な効果は検証できなかった。

圧電素子で単結晶試料の平坦面を挟み込み、超音波分光法によって弾性率を測定し、四極子秩序状態発現の有無を検証する。こちらは、岩手大学の中西良樹氏との共同研究で α -Dy₂S₃ 単結晶に関して実験を行うことができた。他の α -R₂S₃ に関しては、一軸圧の明確な効果が検証できていないので、それ以上進めることは行わなかった。

(3) 巨大物性応答の機構解明

α -R₂S₃ ($R = \text{Sm, Dy}$) において、狭温度域における電気抵抗率の異常増減現象が確認される。電気輸送現象、熱輸送現象の解釈が本系化合物の巨大物性応答の機構解明に関連する可能性があり、ゼーベック効果・ホール効果・熱伝導率に関して精査し、導電機構について明らかにすることを当初考えた。しかし研究が進行する過程で、磁化容易軸の交錯が明らかとなり、磁化容易軸の制御ができない状態で種々の導電現象を測定することは混乱を増長させるので、磁化容易軸と特異物性の関連性について調べることを優先し、ここから得られる実験事実により機構解明を目指した。

(4) デバイス応用が可能となる特異物性発現希土類化合物の開拓

α -R₂S₃ においては、 $R = \text{Sm, Dy}$ がその巨大物性応答をデバイスに展開可能であると考え、その特異物性の機構解明に努めた。また同時に、硫化物以外の希土類カルコゲナイドについても、他元素置換や圧力印加の手法による結晶場基底状態の制御により、特異物性発現の可能性を探った。

4. 研究成果

(1) 中性子回折実験

α -Dy₂S₃ 単結晶を用いた中性子回折実験は、マシンタイムの確保が難しく進展しなかった。また α -Sm₂S₃ に関しては、Sm の中性子吸収断面積が大きいために中性子回折実験は難しい。

(2) μ SR 実験

研究分担者が、カナダの TRIUMF 研究員の協力を得ながらコロナ感染症の影響のため現地ではなく遠隔の操作により、 α - Sm_2S_3 と α - Dy_2S_3 に関して μ SR およびミュオンナイトシフト測定の実験を行い、次の知見を得た。 α - Dy_2S_3 においては、50 K 以下の温度で強い磁気揺らぎが観測され、それが高温側転移点 T_{N1} 以下、 T_{N2} の直上でも維持しており、短距離秩序の存在が明らかとなった。 T_{N1} 以下でミュオンスピンの回転信号が観測できなかったため、明確な長距離磁気秩序を確認できなかった。ただし、これは大きな磁気ゆらぎによるものである可能性があり、以前の粉末試料を用いた中性子線回折で $T_{N2} < T < T_{N1}$ で磁気秩序が観測できなかったこととコンシステントである。 α - Sm_2S_3 においても高温側転移点 T_{C1} より高温から磁気揺らぎが確認され、短距離秩序の存在が示唆された。ミュオンスピンの回転信号が観測されなかったため明確な長距離秩序は確認できなかったが、 T_{C1} 直上の 4K 付近から図 1, 2 に示すように緩和率の増大や揺らぎの減少が確認され、短距離秩序が長距離秩序化に向かっていくと解釈された。

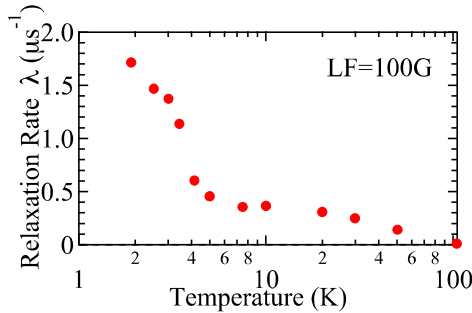


図 1 α - Sm_2S_3 の μ SR における緩和率の温度依存性

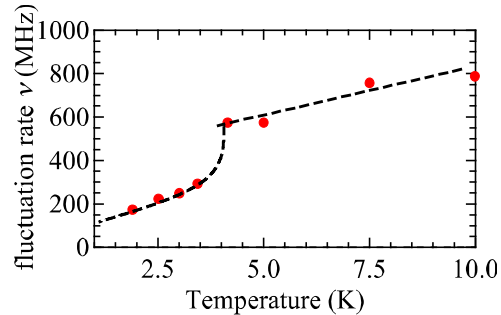


図 2 α - Sm_2S_3 の μ SR におけるゆらぎの温度依存性

以上、磁気構造の解明には至らなかったが、 α - Sm_2S_3 の T_{C1} より高温、 α - Dy_2S_3 の T_{N2} より高温での大きな磁気揺らぎの存在が微視的プローブによっても明らかとなった。

(3) 超音波測定による電気四極子秩序の検証

岩手大学の中西良樹氏との共同研究で α - Dy_2S_3 単結晶に関して、超音波分光法によって弾性率を測定し、四極子秩序状態発現の有無を検証した。 α - Dy_2S_3 の 1 K で残留するエントロピーが 1 T の磁場下で解放される現象が四極子秩序由来であるという仮定を肯定する結果は得られなかった。しかし、 T_{N1} において弾性異常が確認された。縦波・横波の超音波ともに、弾性異常を示したが、とくに b 軸方向の縦波測定により、 T_{N1} 直上の温度において数%に及ぶ弾性率の低下（弾性ソフトニング）が観測された。 α - Dy_2S_3 の T_{N1} での転移に関して、本当に磁気転移であるか否かの謎が深まる結果となった。低温における残留エントロピーと四極子秩序の関連性についても未解明であるが、四極子由来の可能性を残している。

(4) 磁化容易軸の交錯

予てより、 α - Sm_2S_3 と α - Dy_2S_3 において磁気転移点における磁化率の大きさが、柱状単結晶の横断面に相当する直方晶系の ac 面内において a 方向への磁場印加で大きくなる場合と c 方向への磁場印加で大きくなる場合があることが確認されていた。前者を a -easy、後者を c -easy と呼ぶことにする。さらには、 α - Dy_2S_3 において磁場中の単結晶回転により、磁化容易軸が交換することも確認されていた。本研究期間中に、同一の α - Dy_2S_3 単結晶育成バッチの中でも a -easy と c -easy が共存することが確認された。また、 α - Sm_2S_3 の強磁性ヒステリシスも a 方向への磁場印加時のみ、あるいは c 方向への磁場印加時のみ現れ、中には両方で現れるという場合も存在した。この後、この磁化容易軸の交錯と特異物性の関連性に注目して研究を遂行した。

(5) 一軸圧下の磁化率

微小単結晶をエポキシ樹脂に埋め込んで、横方向の自由度を残した状態で直接上下方向に加圧することで一軸圧の印加を試みた。 α - Pr_2S_3 単結晶に対して、この方法で一軸圧を印加し、磁化率を測定したところ、常圧下で見られた Van Vleck 常磁性が消失したことにより、この手法が有効であることを確認した。

α - Dy_2S_3 の磁化容易軸が異なる試料に対して、一軸圧の印加実験を行い次の興味深い現象を発見した。 a -easy 試料の磁化困難方向 (c 軸) に一軸圧と磁場を印加し、その後一軸圧を除荷することにより、試料が c -easy に変化した (図 3)。

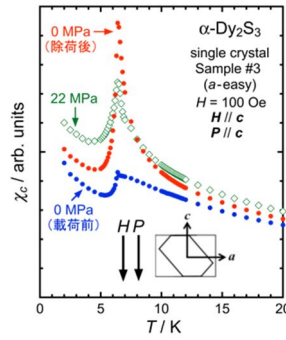


図3 α -Dy₂S₃ の一軸圧荷後除荷による磁化容易軸の交換

(6) 磁化容易軸と電気抵抗率の関係

α -Dy₂S₃ の *a*-easy 試料の電気抵抗率が室温で極めて大きくなる傾向が確認された。最近になって育成できる試料がごとく *a*-easy 試料になる傾向が生じていて、対比実験が不十分であることは否めないが、*a*-easy 試料では降温により一層電気抵抗率が大きくなるので、磁気転移点まで冷却する以前に電気抵抗が測定不能になってしまい、電気抵抗率の異常増減現象が確認されていない。*a*-easy 試料に静水圧を印加すると電気抵抗率が激減し、磁気転移点でも測定可能になり、圧力下ではわずかに電気抵抗率のピークが見られたが、除荷後は全く見られなくなった(図4)。このことから、 α -Dy₂S₃ において電気抵抗率の異常増減現象が見られるのは、*c*-easy 試料のみであるという仮説を立て、検証中である。

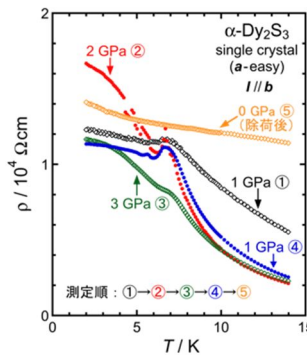


図4 α -Dy₂S₃ の *a*-easy 試料における静水圧荷後除荷による電気抵抗率の変化

α -Sm₂S₃ の磁化容易軸が異なる試料に対して電気抵抗率を対比して測定した。この場合はどちらの試料でも電気抵抗率の異常増減現象が確認された。しかも、図5, 6に示すようにともに 10⁵-10⁶ もの電気抵抗率の増大と回復が観測された。このように、電気抵抗率の変化量には大きく試料依存性があることも明らかになり、磁化容易軸に試料依存性があることに関連していると考えられる。すなわち、 α -Sm₂S₃ や α -Dy₂S₃ において希土類イオンの基底状態が複数存在し、この混在の仕方によって磁化容易軸の違いや電気抵抗率の異常増減の大小の違いを生じさせていると考えられる。

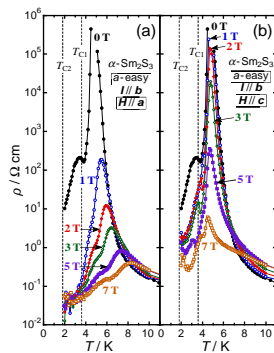


図5 α -Sm₂S₃ の *a*-easy 試料における電気抵抗率の温度・磁場依存性

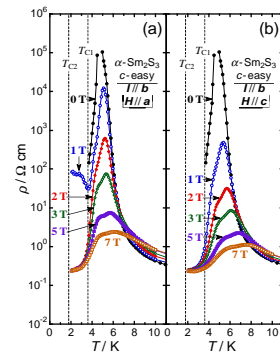


図6 α -Sm₂S₃ の *c*-easy 試料における電気抵抗率の温度・磁場依存性

さらに、 α - Sm_2S_3 の磁化容易軸が異なる試料に対して磁場を印加していくと、急速に電気抵抗率の増大が抑制されていくが、その時の電気抵抗率のピークがどのように温度変化するかにも磁化容易軸の違いによる明確な差異が現れ (図 5, 6) Sm モーメントの短距離磁気秩序成長過程の磁気状態と伝導の間の密接な関連性が明らかになった。

(7) 双晶の疑いの払拭

各種特異物性が、単結晶試料の双晶等による不完全さがもたらしているのではないかという疑問も少なからず存在した。通常の α - R_2S_3 単結晶では長手に対する側面のファセットは 6 面現れ、X 線によって決定される面方位と外観形状の面の傾きに矛盾はない。さらに偶々であるが α - Sm_2S_3 単結晶において、側面ファセットとして 11 面を有する結晶が得られた。この結晶面を全て特定し、外観形状の面の傾きに矛盾が無いことが確認された。したがって、外観上で双晶とは認められない単結晶については、内部で双晶状態になっているとは考えにくく、特異物性が双晶由来ではないと結論した。

(8) α - Sm_2S_3 の特異な磁気的挙動の整理と電気抵抗率異常増減現象発現機構の考察

α - Sm_2S_3 の T_{C1} における零磁場冷却磁化が示すピークは、磁区構造の形成によるものであり、 Sm モーメントの短距離磁気秩序が長距離秩序化する過程で起こっていると考察した。さらに、図 7 の磁化、比熱と電気抵抗率の比較図から、 Sm モーメントの短距離秩序発達過程で電気抵抗率が増大し、長距離秩序に至るにつれて減少していると考察した。

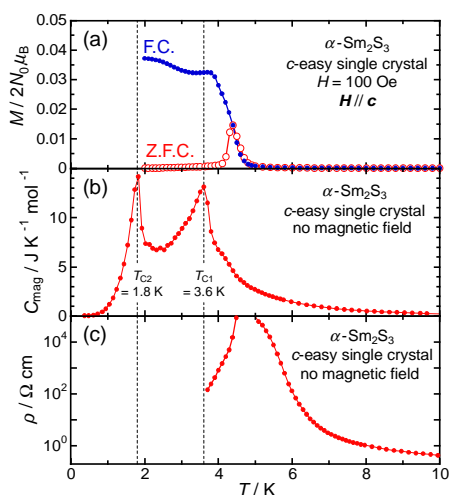


図 7 α - Sm_2S_3 の(a)磁化, (b)比熱, (c)電気抵抗率の温度依存

(9) 交流磁化率

α - Dy_2S_3 の低温側転移点 T_{N2} において、交流磁化率の虚数成分が周波数に依存する極めて明瞭なピークを示すことを発見した。類似の現象は α - R_2S_3 ($R = \text{Gd}, \text{Tb}$) では見られず、唯一 α - Sm_2S_3 の高温側転移点 T_{C1} においてのみ見られた。 α - Dy_2S_3 の T_{N2} と α - Sm_2S_3 の T_{C1} というのは、共通してその高温部で電気抵抗率の異常増減が確認される温度である。これは短距離秩序状態にある Sm や Dy の磁気モーメントの交流磁場に対する挙動が位相遅れを伴っていることを意味しており、これが電気抵抗率の異常増減に密接に関連していると結論した。

(10) 他の希土類カルコゲナイドにおける物性

薄片状の RSe_2 や $\text{R}_8\text{Se}_{14.8}$ 単結晶が静水圧化で金属化する現象については、再現性がなかなか得られなかったが、薄片内の直交する 2 方向間の異方性が重要であることが判明し、特定の方向に電流を流したときに金属化が起きるのであるということが推測され、これから検証を進めたい。 LaSe_2 や $\text{Tb}_8\text{Se}_{14.8}$ で発見した圧力誘起金属転移であるが、 NdSe_2 や $\text{Dy}_8\text{Se}_{14.8}$ でも不明瞭ながらそれらしい振舞が見られたことがあるので、異方性に注意して再検証を進める。 GdTe_3 が強磁場中で磁化率の温度依存性に奇妙な極小が現れることを見出した。

(11) α - R_2S_3 の特異物性に関する総括

α - Sm_2S_3 と α - Dy_2S_3 で見られる電気抵抗率の異常増減現象は、短距離磁気秩序状態にある磁気モーメントが大きく揺らいでいることに起因していると結論した。磁気揺らぎの主因の一つとして、希土類イオンの結晶場基底状態が準安定のものを含めて複数あり、これにより磁化容易軸が奇妙に交錯し、異なる基底状態間の遷移に伴って巨大な物性応答をもたらしていると考察した。これらを検証するために、単結晶育成条件の変更や熱的アニール、磁場による状態の安定化などによる磁化容易軸の制御を試みる。磁化容易軸の制御が可能になれば、これを積極的に利用して巨大物性応答を発現させ、デバイス展開が図れると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Zhao L.J., Ebisu S.	4. 巻 557
2. 論文標題 Successive weak-ferromagnetic transitions in $-Sm_2S_3$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 169502 ~ 169502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2022.169502	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 Guo Q., Bao D., Zhao L.J., Ebisu S.	4. 巻 617
2. 論文標題 Novel magnetic behavior of antiferromagnetic GdTe ₃ induced by magnetic field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 413153 ~ 413153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2021.413153	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 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 0件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Shuji Ebisu, Ryoma Nakatsuka, Lijuan Zhao, Masanori Miyazaki
2. 発表標題 Exchange between easy-magnetization axes in $-Dy_2S_3$ single crystal induced by uni-axial pressure.
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lijuan Zhao, Rie Asano, Masanori Miyazaki, Shuji Ebisu
2. 発表標題 Magnetic susceptibility of $-SmRS_3$ (R = Tb, Dy) single crystal: Effect of the multiplexing of rare earth in $-Sm_2S_3$.
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masanori Miyazaki, Lijuan Zhao, Ryoma Nakatsuka, Yipeng Cai, Kenji M Kojima, Shuji Ebisu
2. 発表標題 μ SR study of successive magnetic transitions in R_2S_3 ($R = Sm, Dy$).
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戒修二, 山川大智, 照井陵大, 堀井隆太, Zhao Lijuan, 宮崎正範
2. 発表標題 -Dy ₂ S ₃ の交流磁化率
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Zhao, M. Miyazaki and S. Ebisu
2. 発表標題 Relationship between easy-magnetization axis and anomalous enhancement of electrical resistivity in R_2S_3 .
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 照井陵大, Muhamad Anif Bin Mat Nasir, 久保純喜, 堀井隆太, 宮崎正範, 戒修二
2. 発表標題 -Dy ₂ S ₃ 単結晶の磁化容易軸の交錯と導電性
3. 学会等名 第58回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 戒修二, 照井隆大, 堀井隆太, Muhamad Anif Bin Mat Nasir, 宮崎正範
2. 発表標題 -Dy ₂ S ₃ の単結晶のac面内磁化容易軸
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 戒修二, Guo Qing, Bao Di, Zhao Lijuan, 宮崎正範
2. 発表標題 層状化合物GdTe ₃ の比熱と磁化率に及ぼす磁場の効果
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 Lijuan Zhao and Shuji Ebisu
2. 発表標題 Comparison of magnetization of weak-ferromagnetic compound -Sm ₂ S ₃ between single crystal and polycrystalline samples.
3. 学会等名 ICSTR; International Conference on Science & Technology Research, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lijuan Zhao and Shuji Ebisu
2. 発表標題 Weak-Ferromagnetic Properties of -Sm ₂ S ₃ single crystal.
3. 学会等名 Muroran-IT Rare Earth Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木祐馬, 長谷川綾音, 松本裕大, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 Tb8Se14.8単結晶の圧力下電気抵抗率
3. 学会等名 第57回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 照井陵大, 佐々木卓摩, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 (K, Cs) _x GdSe _{3-y} の単結晶育成と磁氣的性質
3. 学会等名 第57回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中塚亮磨, Zhao Lijuan, 山川大智, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 -Dy ₂ S ₃ 単結晶の物性に及ぼす圧力効果
3. 学会等名 第57回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戎修二, 中塚亮磨, Zhao Lijuan, 佐々木祐馬, 照井陵大, 宮崎正範
2. 発表標題 -Dy ₂ S ₃ の磁性と伝導に及ぼす圧力効果
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 宮崎正範, Zhao Lijuan, 中塚亮磨, Cai Yipeng, 小嶋健児, 戎修二
2. 発表標題 μSRからみた $-R_2S_3$ ($R = Dy, Sm$)の磁氣的逐次相転移
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 Q. Guo, M. Miyazaki and S. Ebisu
2. 発表標題 Single Crystal Growth and Magnetic Properties of Newly found $GdNi_{0.1}Te_{0.9}$ Compound.
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戎 修二, 上田 隆介, 鮑 迪, 井上 正樹, 宮崎 正範
2. 発表標題 層状希土類化合物 $CeSe_2$ の伝導に及ぼす圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Di Bao, Qing Guo and Shuji Ebisu
2. 発表標題 Preparation of New Antiferromagnetic Compound $Gd_7Ni_{19}As_{13}$.
3. 学会等名 Muroran-IT Rare Earth Workshop 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lijuan Zhao, Qing Guo and Shuji Ebisu
2. 発表標題 Magnetization Curves of Weak-Ferromagnetic Compound -Sm ₂ S ₃ .
3. 学会等名 Muroran-IT Rare Earth Workshop 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中塚亮磨, 山口将生, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 -Dy ₂ S ₃ 単結晶におけるDyサイトの物性に及ぼす効果
3. 学会等名 第56回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lijuan Zhao, Qing Guo, Ryota Terui, Masanori Miyazaki and Shuji Ebisu
2. 発表標題 Magnetization curves for various single crystals of weak-ferromagnetic -Sm ₂ S ₃ .
3. 学会等名 第56回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上正樹, 片山知哉, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 Dy ₈ Se _{14.8} 単結晶の低温物性
3. 学会等名 第56回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木祐馬, 鈴木一生, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 Tb8Se14.8単結晶の圧力下電気抵抗率
3. 学会等名 第56回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Di Bao, Qing Guo, Masanori Miyazaki and Shuji Ebisu
2. 発表標題 Preparation of antiferromagnetic Gd7Ni19As13 with a hexagonal crystal structure.
3. 学会等名 第56回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戎修二, 井上正樹, 佐々木祐馬, 中塚亮磨, 宮崎正範
2. 発表標題 層状希土類化合物Dy8Se14.8の低温物性
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 浅野理恵, 井上正樹, 国慶, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 -Sm2S3単結晶の低温物性と希土類複合化の効果
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 上田隆介, 鮑迪, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 CeSe ₂ 単結晶の電気抵抗率に及ぼす圧力効果
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 工藤慎也, 村上陸, 中村光輝, 吉澤正人, 中西良樹, 戎修二
2. 発表標題 希土類硫化物 -Dy ₂ S ₃ の弾性率測定
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 上田隆介, 鮑迪, 中塚亮磨, 金澤竜太, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 CeSe ₂ 単結晶の磁性と伝導
3. 学会等名 第55回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上正樹, 佐々木祐馬, 久未将人, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 Dy ₈ Se _{14.8} 単結晶の育成と電氣的・磁氣的性質
3. 学会等名 第55回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅野理恵, Zhao Lijuan, 国慶, 宮崎正範, 戎修二
2. 発表標題 -Sm2S3単結晶における磁気構造制御の試み
3. 学会等名 第55回応用物理学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戎修二, 浅野理恵, Zhao Lijuan, 国慶, 宮崎正範
2. 発表標題 -Sm2S3単結晶の弱強磁性磁化曲線
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分 担 者	宮崎 正範 (Miyazaki Masanori) (30634357)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教 (10103)	

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