

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13504

研究課題名（和文）非平衡キャリアが示す熱電輸送現象の解明

研究課題名（英文）Thermoelectric transport of non-equilibrium carriers

研究代表者

岡崎 竜二（OKAZAKI, Ryuji）

東京理科大学・理工学部物理学科・准教授

研究者番号：50599602

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）：物質に電圧を印加すると、電圧に比例した電流が生じます。このよく知られた「オームの法則」とは対照的に、電流が電圧に比例しない現象は非線形伝導と呼ばれ、ダイオードやトランジスタのように、非線形伝導は現代のエレクトロニクスを支える基幹技術として普及しています。本研究では、電気抵抗だけでなく、熱電能（ゼーベック係数）が電流によってどのように変化するか（非線形ゼーベック効果）を実験的に測定するシステムの開発を進め、有機導体において電流によってゼーベック係数の絶対値が増大するという非自明な振る舞いを観測しました。また非線形伝導測定の問題点となる自己発熱の問題に対し、新たな温度評価手法の開発を行いました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非線形伝導は、近年、シリコンやゲルマニウムのような従来のバンド絶縁体だけでなく、モット絶縁体や電荷秩序絶縁体と呼ばれる強相関絶縁体において報告されており、それらの物質群では、数V/cmの電場で抵抗が1桁以上も変化する大きな非線形伝導が報告されています。それらは低電場で作動する新たなメモリ素子として応用上期待されるだけでなく、従来のメカニズムとは異なった、電場による電荷秩序の融解などの新しい非平衡物理現象を示すモデル物質としても注目されつつあり、本研究では通電時の抵抗の振る舞いだけでなく、ゼーベック係数も調べることで、そのような非平衡電子状態の知見を得ることに成功しました。

研究成果の概要（英文）：When the electric voltage is applied to the sample, the electrical current, which is proportional to the applied voltage, flows to the sample. In contrast to this well-known Ohm's law, the transport phenomenon in which the flowing current is not proportional to the applied voltage is called nonlinear conduction. As seen in various nonlinear electric components such as diodes and transistors, the nonlinear conduction becomes a fundamental technology for the present electronics. In this research, we have investigated the nonlinear Seebeck effect, in which the thermopower depends on the current as similar to the current-dependent resistivity in the nonlinear conduction, and have found that the absolute value of the thermopower is increased by applying electrical current in an organic-molecular-based conductors. We also developed a temperature evaluation method for the self-heating problem.

研究分野：物性物理学

キーワード：熱電効果 輸送現象 ゼーベック効果 電流効果 非線形伝導 非平衡電子状態

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

通常の半導体の伝導現象を担うのは図 1(a) のような熱励起キャリアであり、その性質は線形応答理論によって記述される。一方、半導体に強電場を印加する、もしくはバンドギャップを超える高エネルギーの光照射を行う場合(図 1(b))、励起キャリアは熱平衡から大きく隔たった強い非平衡状態に置かれ、電場や光強度に応じて伝導率が変化する非線形応答を示す。

非平衡キャリアが示す非線形伝導は様々な物質群で研究が行われており、古くはシリコンやゲルマニウムが示すホットエレクトロンやツェナー崩壊に始まり、最近ではモット絶縁体や電荷秩序絶縁体などの強相関電子系が示す非線形伝導の研究が進められている [1]。それらの強相関物質群では、数 V/cm の電場で抵抗が 1 桁以上も変化する大きな非線形伝導が報告されており、低電場で作動する新たなメモリ素子として応用的な観点からも研究の進展が期待されている。基礎理学的な観点から見ると、これらの非線形伝導現象は非平衡下の量子フェルミ気体の多体効果を反映した物理現象であり、固体物理学はもとより、異分野である統計基礎論においても格好の研究対象として注目され [2]、非線形伝導の研究は学際的研究として新たな展開を迎えている。

その一方、主に (1) ダイオードに代表される非線形素子のように、応用利用に直結する物理量が電気伝導率であること、(2) 非平衡下の物性測定という実験的な困難が存在すること、の 2 つの理由により、強い非平衡状態に置かれたキャリアの基礎物性に関しては、電気伝導率以外の物性評価は遅々として進んでいなかった。すなわち、非線形応答を示すキャリアは、「強い非平衡下におかれた電子状態は、電流などの非平衡量を用いてどのように記述されるのか？」という学術的問題に対するミナマルモデルとなるにも関わらず、その基礎研究に関しては不十分な状況が続いていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、バンド絶縁体や強相関効果によって絶縁性を示す電荷秩序絶縁体やモット絶縁体などに対して、強電場下や光照射下における熱電係数を測定し、強い非平衡環境下に置かれたキャリア特有の性質を明らかにすることである。具体的には、幅広い温度領域において通電下で熱電係数を評価可能な測定システムを開発し、酸化物や有機分子性半導体などの強相関物質を中心として通電下における熱電係数測定を進め、非線形伝導だけでは抽出不可能であった微視的パラメータを決定することを目指した。加えて、非線形伝導測定においては、通電時における自己発熱が大きな問題となることがよく知られているが、その自己発熱に対する実験の方針を踏まえつつ測定システムの開発を行うことを目標とした。

通電下の熱電係数の測定の先行研究として、理論研究では、Zebarjadi らはペルチェ係数が強電場下で増大することを計算で示している [3]。ペルチェ係数は化学ポテンシャルから測ったキャリアのエネルギーを表す物理量であるため、熱平衡では実現し得ない大きなエネルギーを有する非平衡キャリアが巨大なペルチェ係数を示す、という予測である。実験的には、電荷密度波絶縁体において密度波のスライディングによって非線形伝導が生じることが知られているが、非線形領域においてペルチェ係数とゼーベック係数が大きく異なるという、オンサーガーの相反定理の破れも指摘されており、非平衡状態特有の電子物性を探る上で大変興味深い [4]。

さらに近年では、電荷秩序を示す有機分子性半導体 θ -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄ において、電流通電によって、ゼーベック係数の符号が変わり、かつ絶対値が 10 倍程度増大することが Jawad らによって報告された [5]。また、通電によって増強されるゼーベック係数は、多軌道モット絶縁体 Ca₂RuO₄ においても報告されている [6]。一方、それらのメカニズムについては未解明であり、それらの特徴である電荷秩序やモット絶縁相に起因しているかどうかは明らかになっていない。そこで、本研究課題では、測定システムの開発ののち、より具体的な測定対象物質として、電荷秩序を示す有機分子性半導体 α -(BEDT-TTF)₂I₃ における通電下のゼーベック係数の測定を目的とした。

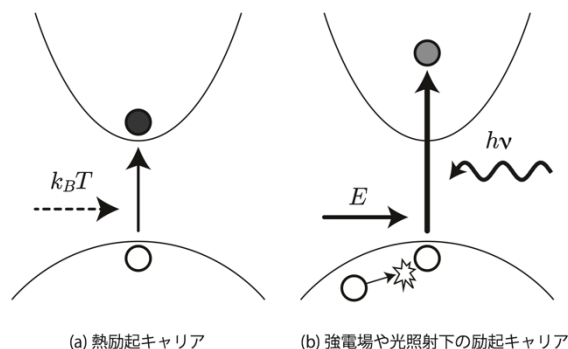


図1: (a) 熱励起によって生じる熱平衡状態におかれたキャリアと (b) 電場励起などによって生じる非平衡状態におかれたキャリア。

3. 研究の方法

本研究代表者はこれまでに、試料の黒体輻射を利用する赤外放射温度計を用い、電流通電下で自己発熱した試料温度を正しく評価し、モット絶縁体 Ca_2RuO_4 における本質的な非線形伝導・非線形ゼーベック効果の解明に取り組んできた [6]。しかしながら、これまでの測定は室温近傍に限られており、測定温度域を拡張する場合、室温以下の低温領域では黒体輻射強度が急激に減少するため、本手法の適用は不可能であった。

本研究では、低温域において、電圧測定に用いる導線のゼーベック効果を利用して自己発熱した試料の温度計測並びに電位差計測を行うことを目指した。さらに相補的な温度評価手法として、試料に金の微粒子を接着し、金微粒子の体積を用いた試料温度の評価や、高調波法による試料温度の評価にも取り組んだ。

4. 研究成果

(1) 測定システムの開発

本研究では、まず室温以下の低温域において、通電下のゼーベック係数が測定可能なシステムの開発を行った。測定システムの模式図および写真を図2に示す。まず、試料両端に電流印加用の金線をつなぎ、かつ2つのヒーターを取り付ける。そのうち、電圧計測用に別途2本の金線を取り付け、かつそれぞれにコンスタンタン線を取り付けることで、電圧測定部の温度差を金-コンスタンタン熱電対で計測できるように設定する。具体的には、図2の概念図の電圧 V_A および V_B から、金とコンスタンタンの相対ゼーベック係数 $S_{\text{Au-Con}}$ を用いて接点部の温度 T_A および T_B を評価する。また、熱電対では接点と熱浴の間の温度差を評価することになり、別途熱浴の温度が必要となるため、熱浴の温度は抵抗温度計を用いて測定を行った。

本測定システムは、先行研究[5]を参考に構成した。文献[5]においては1 Hz以下の非常に遅い周波数の温度振動を試料に加え、ロックインアンプを用いて電位差を評価していた。本研究ではヒーター1とヒーター2を交互に直流で加熱し、直流のナノボルトメーターを用いて電位差を評価した。

より具体的には、試料に電流 I および温度差 ΔT が加えられたとき、計測される電圧 ΔV は $\Delta V(I, \Delta T) = RI + S\Delta T + V_0$ と与えられる。ここで、右辺第1項目の RI はオーミックな電圧であり、右辺第2項目の $S\Delta T$ は熱起電力を表す。右辺第3項目の V_0 はオフセット電圧である。非線形性を表現する場合は、一般的には上式において係数に電流依存性をもたせて表現し、 $\Delta V(I, \Delta T) = R(I)I + S(I)\Delta T + V_0$ のように上式を拡張する。よって、非線形抵抗 $R(I)$ は、 $R(I) = [\Delta V(+I_0, \Delta T) - \Delta V(-I_0, \Delta T)]/2I_0$ と評価でき、また通電下のゼーベック係数 $S(I)$ は、 $S(I) = [\Delta V(I, +\Delta T_0) - \Delta V(I, -\Delta T_0)]/2\Delta T_0$ と評価できる

(なお、ゼーベック係数は電流ゼロにおける値として定義されるが、ここでは通電状態における値を含めた形で拡張して考えている)。上式を用いて、電流及び温度差を適宜反転し、非線形抵抗および通電下のゼーベック係数を評価できるが、本研究では後に述べるよう精度向上が必

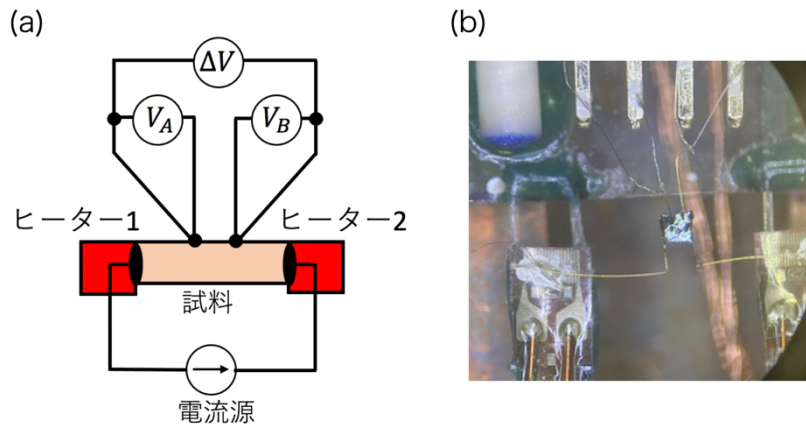


図2: (a) 通電下におけるゼーベック係数測定システムの概念図と (b) 実際の測定システムの試料部の写真。試料サイズは1mmほどである。

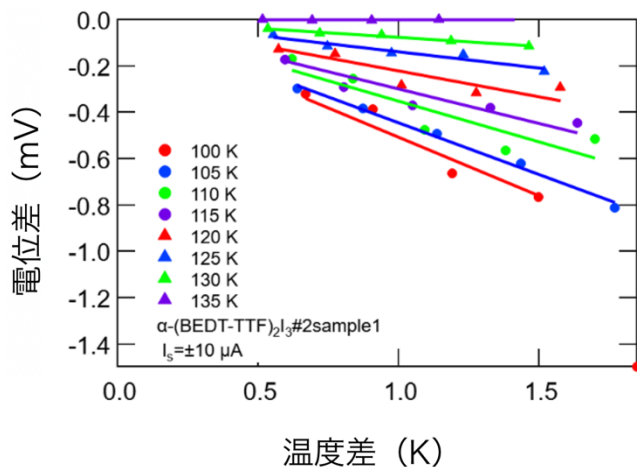


図3: 通電下において試料に印加した温度差と測定した電位差。

要であったため、試料に加える温度差を $+\Delta T_0$ と $-\Delta T_0$ の2点だけでなく、複数点加え、図3のように得られた電位差を線形フィットすることで、その傾きであるゼーベック係数を評価した。

(2) 有機導体における通電下のゼーベック係数

Jawadらによって報告された有機分子性導体 θ -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄における、通電による巨大なゼーベック係数の増強[5]であるが、その起源については未解明である。そのメカニズムを探る上で障害となりうる要素として、(1) θ -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄では2種類の波数ベクトルをもつ電荷秩序が共存しており、電荷秩序と非線形輸送現象の関連を議論する上で複雑な系であること、かつ(2) θ -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄では、明瞭な電荷秩序相転移が観測されておらず、クロスオーバー的(ガラス的)に低温の電荷秩序状態に移行するため、電荷秩序の形成と非線形ゼーベック効果の発現の関連性の議論が困難であること、の2点が挙げられる。

本研究では、そのような課題を克服するため、(1) 1種類の波数ベクトルの電荷秩序をもち、かつ(2) 電荷秩序相転移が明瞭な α -(BEDT-TTF)₂I₃における通電下ゼーベック効果の測定を試みた。 α -(BEDT-TTF)₂I₃は、 $T=136$ Kにおいて電気抵抗率の急激な変化(金属絶縁体転移)を伴った、電荷秩序相転移を示し、核磁気共鳴や放射光 X 線回折、第二高調波測定などから低温相において、電荷秩序が形成されていることが判明している。さらに、低温相において、非線形伝導も複数のグループにおいて報告されており、電荷秩序の並進運動など、電荷秩序と非線形輸送現象の関連についてもこれまでに議論が行われている。よって、 α -(BEDT-TTF)₂I₃は電荷秩序と非線形ゼーベック効果の関わりを調べる上で適した物質であると言え、本研究では、この α -(BEDT-TTF)₂I₃に電流を流した状態におけるゼーベック係数の測定を行った。

図4に得られたゼーベック係数の温度依存性を示す。赤色のプロットが電流ゼロで測定したゼーベック係数の温度依存性を表し、緑色で示した文献データと定性的に同様の振る舞いであることがわかる。136 K以上の高温相においては、正の金属的なゼーベック係数の温度依存性が得られており、先行研究で得られたホール係数の温度依存性の振る舞いと合致している [7]。低温相においては、系の絶縁化に伴って、ゼーベック係数の絶対値が増加しており、ホール係数の結果同様キャリア濃度の減少を示唆している。次に、本測定システムで測定した通電下のゼーベック係数の温度依存性を青色のプロットで示すと、ゼロ電流で測定した結果(赤色)と比較

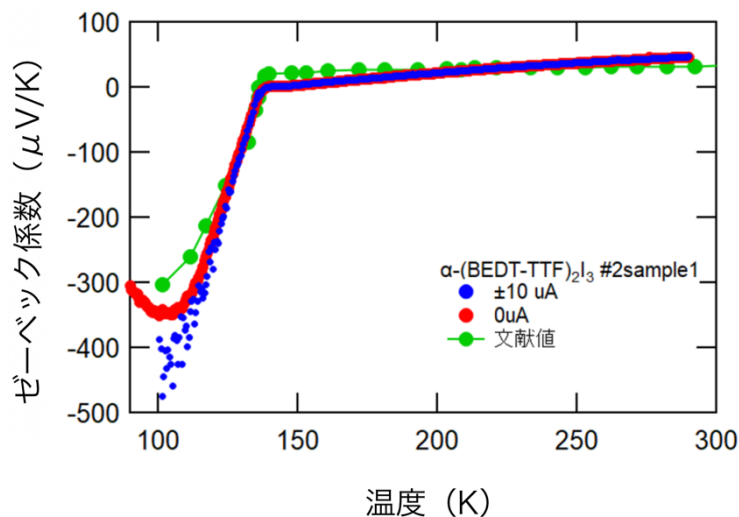


図4: 通電下において測定したゼーベック係数の温度依存性。文献値はK. Bender et al, Mol. Cryst, **108**, 359-371 (1984)より引用。

して、低温相でゼーベック係数の絶対値が増大していることが分かった。なお、通電下のデータのばらつきが大きいのが、これは通電下においては、得られる電圧のうち、オーミックの項が100 mV程度であり、熱起電力の項が100 μ Vのオーダーと、それらの間に1,000倍程度の違いがあり、オーミックの項にレンジを合わせる必要があるため、このばらつきが生じているものと考えられる。一方、不確かさを含めても、電流によるゼーベック係数の絶対値の増大は有意であり、この結果は、先行研究において θ -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄で得られた通電によるゼーベック係数の増大と定性的に同様の振る舞いであり、電荷秩序の存在が通電下のゼーベック係数の増大に関係していることが示唆される。

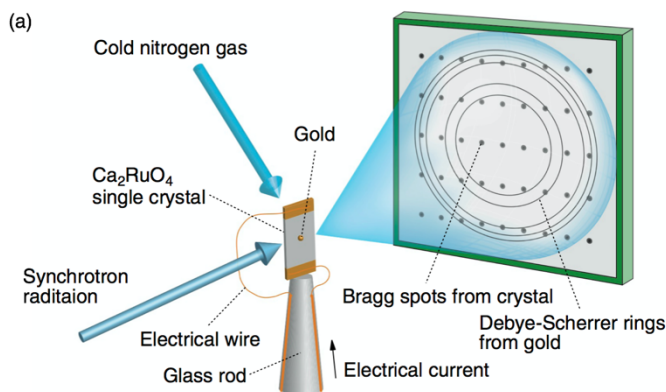


図5: 金微粒子を用いた試料温度評価の実験の概念図。R. Okazaki et al., JPSJ **89**, 044710 (2020)より引用。

(3) 試料温度の評価法の開発

並行して、通電時の物性測定の問題点となる、自己発熱の影響

を取り除くため、既存の温度評価方法以外の試料温度評価手法の開発も進め、主に(a)金の微粒子を用いた試料温度評価手法と(b)高調波測定手法を用いた温度評価手法の2つの手法の開発を行った。

金微粒子を用いた測定の概念図を図5に示す。実験では数 μm の大きさの金微粒子を試料表面に付着させ、その格子定数を読み取ることで試料温度を評価した。実験は放射光施設(KEK photon factory)にて行い、得られる振動写真を用いて、単結晶試料(Ca_2RuO_4)から得られるブラッグ点と、多結晶の金微粒子から得られるデバイリングを同時に評価することが可能となる。図6にはこのようにして評価した試料温度と、冷媒吹付けの設定温度を比較したデータを示す。通電時には、これら2つの温度の間に大きな差異が存在することが分かり、このような発熱を加味して、非線形伝導実験を行う必要があることを示している。本実験では、通電時の発熱を加味した状態で試料温度を評価し、その結果、試料温度が一定である状態であるにもかかわらず、試料の格子定数が純粋に電流によって変化することを見出した(図7)。

さらに相補的な手法として開発を行った高調波法とは、試料に角振動数 ω の交流電流(もしくは交流電圧)を印加し、角振動数 ω の基本波成分と角振動数 3ω の3次の高調波成分をロックインアンプを用いて同時に評価する手法であり、基本波成分から試料の平衡温度を、高調波成分からは非線形伝導成分を分離して評価することが可能となる。従来の直流法や短パルス法と比較すると、微小電流で非線形成分を評価できることが本手法のメリットである。本研究では、ソース電流(もしくはソース電圧)の有する非線形ひずみやロックインアンプ内部のオペアンプの有する非線形性を取り除くためブリッジ回路を構成し、ソース電圧の3乗に比例する本質的な3次高調波成分を精度良く測定することに成功した(図8)。

以上の成果の多くは共同研究によるものであり、特に、当研究室の学生の皆様、田村雅史教授(東京理科大学)、小林賢介博士、中尾裕則教授、熊井玲児教授、村上洋一教授(KEK)、中村文彦教授(久留米工業大学)、谷口博基教授、寺崎一郎教授(名古屋大学)に深く感謝申し上げます。

<引用文献>

- [1] H. Aoki *et al*, Rev. Mod. Phys. **86**, 779 (2014).
- [2] F. Ritort, Adv. Chem. Phys. **137**, 31 (2008).
- [3] M. Zebarjadi *et al*, Appl. Phys. Lett. **91**, 122104 (2007).
- [4] G. Kriza *et al*, Phys. Rev. B **41**, 5451 (1990).
- [5] M. A. Jawad *et al*, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 033707 (2015).
- [6] Y. Nishina, R. Okazaki *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 093707 (2017).
- [7] T. Ivek *et al*, Phys. Rev. B **96**, 075141 (2017).

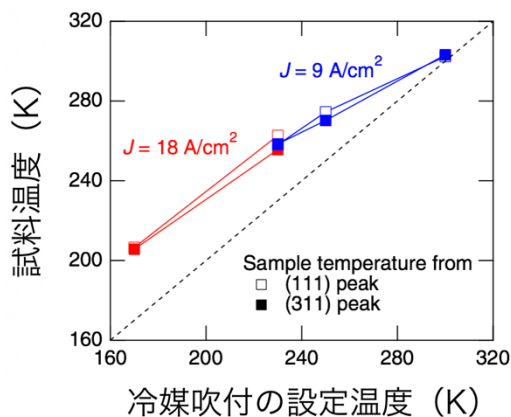


図6: 設定温度と発熱した試料温度との比較。
R. Okazaki *et al.*, JPSJ **89**, 044710 (2020)より引用。

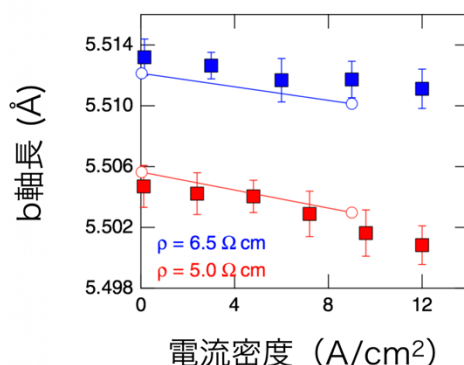


図7: 電流に依存する格子定数の振る舞い。
R. Okazaki *et al.*, JPSJ **89**, 044710 (2020)より引用。

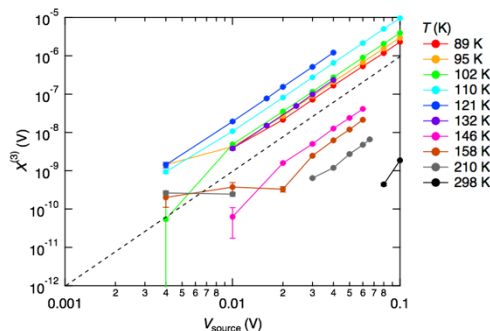
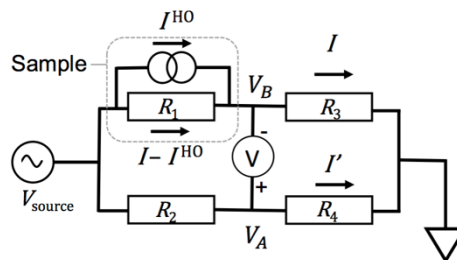


図8: 高調波法において構成したブリッジ回路と3次の高調波電圧の様子。

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 1件）

1. 著者名 Sakabayashi H., Okazaki R.	4. 巻 103
2. 論文標題 Crossover from itinerant to localized states in the thermoelectric oxide [Ca ₂ CoO ₃] _{0.62} [CoO ₂]	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.125119	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 Kurita K., Yagisawa M., Okazaki R.	4. 巻 60
2. 論文標題 Electrical resistivity and thermopower of hole-doped delafossite CuCoO ₂ polycrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 013001 ~ 013001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abd448	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 Kurita Kanji, Sakabayashi Hokuto, Okazaki Ryuji	4. 巻 30
2. 論文標題 Scaling in Transport Coefficients of Hole-doped CuRhO ₂ Single Crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 11191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011191	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 -
1. 著者名 Okazaki Ryuji, Kobayashi Kensuke, Kumai Reiji, Nakao Hironori, Murakami Youichi, Nakamura Fumihiko, Taniguchi Hiroki, Terasaki Ichiro	4. 巻 89
2. 論文標題 Current-induced Giant Lattice Deformation in the Mott Insulator Ca ₂ RuO ₄	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044710 ~ 044710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.044710	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 Shiraishi Yuuka, Tanabe Kenji, Taniguchi Hiroki, Okazaki Ryuji, Terasaki Ichiro	4. 巻 126
2. 論文標題 Interplay between quantum paraelectricity and thermoelectricity in the photo-Seebeck effect in a SrTiO ₃ single crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 045111 ~ 045111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5106384	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 Kurita K., Sakabayashi H., Okazaki R.	4. 巻 99
2. 論文標題 Correlation in transport coefficients of hole-doped CuRhO ₂ single crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.115103	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 Ito Naoko, Ishii Mayu, Okazaki Ryuji	4. 巻 99
2. 論文標題 Enhanced Seebeck coefficient by a filling-induced Lifshitz transition in KxRhO ₂	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 41112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.041112	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 Okazaki R., Ito S., Tanabe K., Taniguchi H., Ikemoto Y., Moriwaki T., Terasaki I.	4. 巻 98
2. 論文標題 Spectroscopic signature of trimer Mott insulator and charge disproportionation in BaIrO ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.205131	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 Tomiyasu Keisuke, Ito Naoko, Okazaki Ryuji, Takahashi Yuki, Onodera Mitsugi, Iwasa Kazuaki, Nojima Tsutomu, Aoyama Takuya, Ohgushi Kenya, Ishikawa Yoshihisa, Kamiyama Takashi, Ohira Kawamura Seiko, Kofu Maiko, Ishihara Sumio	4. 巻 1
2. 論文標題 Quantum Paramagnet Near Spin State Transition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Quantum Technologies	6. 最初と最後の頁 1800057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qute.201800057	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 Takahashi Hidefumi, Ishiwata Shintaro, Okazaki Ryuji, Yasui Yukio, Terasaki Ichiro	4. 巻 98
2. 論文標題 Enhanced thermopower via spin-state modification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 24405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.024405	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12件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 M. Ishii, R. Okazaki, M. Tamura
2. 発表標題 Nonlinear conduction detected by the harmonic measurement in an organic molecular conductor -(BEDT-TTF)2I3
3. 学会等名 APS March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂林北斗, 歌川響, 岡崎竜二
2. 発表標題 高温領域におけるCa3Co4O9の面内異方性測定
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井まゆ, 神田直輝, 箱田優華, 岡崎竜二
2. 発表標題 高調波測定による非線形伝導現象の検出と発熱の検証
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kurita, H. Sakabayashi, and R. Okazaki
2. 発表標題 Scaling in transport coefficients of hole-doped CuRhO ₂ single crystals
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 栗田寛士, 八木沢昌也, 岡崎竜二
2. 発表標題 CuCoO ₂ 多結晶の合成と熱電特性
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (物性)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井まゆ, 伊藤菜緒子, 岡崎竜二, 安井幸夫
2. 発表標題 層状ロジウム酸化物K _{0.5} RhO ₂ の輸送・磁気特性
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (物性)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡崎竜二
2. 発表標題 層状ロジウム酸化物の熱電効果
3. 学会等名 第二回コバルト研究会, 東北大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗田寛士, 坂林北斗, 岡崎竜二
2. 発表標題 CuRh _{1-y} Mg _y O ₂ 単結晶における低温での電気抵抗率と熱起電力の相関
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 (2019年), 九州大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoko Ito, Mayu Ishii, Ryuji Okazaki
2. 発表標題 Transport properties in the layered Rh oxide K _x RhO ₂
3. 学会等名 The 3rd Asian Conference on Thermoelectrics (ACT3) & The 5th Micro & Nanoscale Heat Transfer and Energy Workshop (MNHTE2018), Taiwan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kanji Kurita, Hokuto Sakabayashi, Ryuji Okazaki
2. 発表標題 Thermoelectric properties of CuRh _{1-y} Mg _y O ₂ single crystals
3. 学会等名 The 3rd Asian Conference on Thermoelectrics (ACT3) & The 5th Micro & Nanoscale Heat Transfer and Energy Workshop (MNHTE2018), Taiwan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田寛士, 坂林北斗, 岡崎竜二
2. 発表標題 単結晶CuRh1-yMgyO2の熱電特性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会, 同志社大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryuji Okazaki
2. 発表標題 Seebeck effect in Ca2RuO4 under current
3. 学会等名 基盤S研究会「NESS 2018」, 京都大学(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者ホームページ https://www.rs.tus.ac.jp/okazaki lab/ 研究者ホームページ https://www.rs.tus.ac.jp/okazaki lab/index.html</p>

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