

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03802

研究課題名（和文）フォノンの熱流に起因した熱電・熱磁気効果:Beyond Boltzmannの解明

研究課題名（英文）Thermoelectric and thermomagnetic effect due to thermal phonon current:  
Clarification of beyond Boltzmann

研究代表者

松浦 弘泰 (Matsuura, Hiroyasu)

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・助教

研究者番号：40596607

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：熱電現象の解析には現象論的なボルツマン方程式を用いるのが一般的である。しかし、近年、ボルツマン方程式では議論しきれない領域『beyond Boltzmann』に新しい熱電特性が期待されている。そこで本研究では、フォノンドラッグやマグノンドラッグなどが絡んだ縦・横熱応答を微視的理論から解明した。また、様々な系での熱電効果の解明、熱電解析の手法開発を行った。さらに、極性・非極性構造相転移近傍のような状況での特異なフォノンが絡んだ新奇現象を実験から明かした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱電効果は温度勾配を電圧に変換する現象であり、近年、持続可能な社会形成のための環境調和型電源として期待されている。熱電効果やそれに関連した熱応答現象は様々な機構で生じることが知られているが、本研究では特にフォノンの熱流に由来した熱応答現象であるフォノンドラッグ効果に着目し、その特異な熱応答を微視的方法論より解明した。さらに関連した熱応答の諸現象を解明した。また特異なフォノン由来の新奇現象を解明した。これらの成果は基礎学理としての重要性だけでなく、熱応答を利用した電源開発に今後応用されることが期待される。

研究成果の概要（英文）：The phenomenological Boltzmann equation is commonly used to analyze thermoelectric phenomena. Recently, however, new thermoelectric properties are expected in the "beyond Boltzmann" region, which cannot be fully discussed by the Boltzmann equation. In this research, we elucidated longitudinal and transverse thermal responses such as thermoelectric and thermal Hall effects involving phonon drag and magnon drag from the microscopic theory, as well as thermoelectric effects in various systems. On the experimental side, we clarified novel phenomena related to unusual phonons in the vicinity of the polar-nonpolar structural phase transition.

研究分野：物性理論

キーワード：熱電効果 フォノンドラッグ マグノンドラッグ 極性構造 フォノン

### 1. 研究開始当初の背景

排熱を電気エネルギーに変換できる熱電材料は応用上はもとより、基礎科学の社会貢献という観点からも重要であり、多くの理論・実験研究が行われている。これまで、熱電の理論研究では、Luttinger による線形応答理論 (kubo-Luttinger の方法) に基づく形式的な微視的方法論は確立していたが、現象論的なボルツマン輸送方程式を用いるのが一般的であった。ボルツマン方程式の解析で充分である局面も多いが、ボルツマン方程式で議論しきれない領域『beyond Boltzmann』に新しい熱電特性が期待され、この領域での研究が今後の熱電材料開発には必須であると考えられている。

物質に温度勾配を与えると、電子やフォノンなどによる熱流が生じる。特に、フォノンの熱流が電子格子相互作用を通して電子の流れを引き起こす現象として、『フォノンドラッグ』が知られている。フォノンドラッグは、これまで、シリコンやゲルマニウムなどの低ドーブ不純物半導体で見られる大きなゼーベック効果の原因として、ボルツマン方程式を用いて議論されてきた。

研究開始の数年前に不純物バンドを持つ近藤絶縁体 FeSb<sub>2</sub> が、フォノンドラッグによる巨大ゼーベック効果を示すことが明らかにされた。そこで、研究代表者は、不純物バンドを考慮し、フォノンドラッグを Kubo-Luttinger の方法を用いて議論することで、実験で観測されたゼーベック係数の温度依存性と定量性を説明した。さらに、ゼーベック係数(S)が伝導帯の有効質量の二乗に比例し増大する顕著な有効質量依存性(ボルツマン方程式の解析では、S 有効質量)つまり、不純物バンドとフォノンドラッグの協奏による beyond Boltzmann を明らかにした。

上記のように、フォノンの熱流に起因した熱電効果では微視的理論で解析することで単純なボルツマン方程式では理解できないことが現れることがある。しかし、その熱電効果や熱磁気効果は、微視的理論から未だ十分に研究されていないのが現状であった。さらに、フォノンドラッグ効果と類似の現象としてマグノンドラッグ効果(磁性体の素励起であるマグノンと伝導電子との相互作用を通して電子系に流れを引き起こす効果)があるが、磁性体での熱電効果でも同様な状況であった。

また研究開始当時、極性 非極性構造相転移を示すワイル物質 MoTe<sub>2</sub> では超伝導が現れるだけでなく、構造相転移近傍でゼーベック係数が増大する(と同時に巨大な出力因子が実現する)ことが分かっていた。このことから極性 非極性構造相転移付近では特異なフォノンに由来する新規物性が期待されていた。

### 2. 研究の目的

熱電現象の理論的解析には、これまで、現象論的なボルツマン輸送方程式を用いるのが一般的であった。しかし、近年、ボルツマン方程式では議論しきれない領域『beyond Boltzmann』に新しい熱電特性が期待されている。また、極性 非極性構造相転移付近では特異なフォノンに由来する新奇現象の可能性もある。そこで本研究では、熱電効果や熱ホール効果などの縦・横熱応答を微視的理論から解明・様々な系での熱電効果の微視的方法論からの解明・手法開発、さらに、極性 非極性構造相転移近傍のような状況でのフォノンが絡んだ新奇現象を実験から明らかにするのが目的である。

### 3. 研究の方法

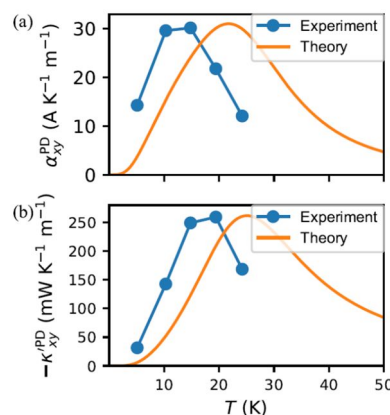
本研究計画は理論(松浦(研究代表者))と実験(高橋(研究分担者))から構成されている。理論の研究方法としては、上述した Kubo-Luttinger の方法を解析的・数値的方法を用いて解析した。またボルツマン方程式での限界を正確に議論するため、緩和時間近似(弾性散乱)では取り扱えない非弾性散乱を精密に扱うことが可能な変分原理の方法を用いた解析も行った。実験の研究方法は後述する。

### 4. 研究成果

#### (1) フォノンドラッグ由来の横熱応答効果の理論構築

最近、SrTiO<sub>3</sub> はフォノンドラッグ由来の巨大な熱ホール効果が観測され注目を集めている。そこで熱応答の微視的方法論である Kubo-Luttinger の方法に基づき、フォノンドラッグ由来の熱ホール効果、ネルンスト伝導度についての理論を構築した。図1は、ネルンスト伝導度(a)と熱ホール伝導度(b)の温度依存性について理論と実験の温度依存性を示す。これらの結果、実験と良い一致を示すことを明らかにした。この研究内容については現在論文を執筆中である。

図1(右図): (a)ネルンスト伝導度と(b)熱ホール伝導度の温度依存性。



(2) マグノンドラッグ効果と不純物バンドの協奏

・タングステンをドーブした強磁性ホイスラー合金薄膜での巨大無次元性能指数

タングステンをドーブした鉄ホイスラー合金 ( $\text{Fe}_2(\text{V}, \text{W})\text{Al}$ ) 薄膜は常温で大きなパワーファクター (PF) に由来した巨大な無次元性能指数 (ZT) ( $ZT \sim 5$ ) を示すことが発見された (B. Hinterleitner, et al., Nature **576** 85 (2019))。ZT が大きいほど熱電効率が高いが、よく知られた物質の ZT は通常 1 よりずっと小さいため、近年、 $ZT > 1$  を目標に物質探索が行われている。そのため、本研究は世界的に非常に注目されている。

そこで、これまでの“フォノンドラッグ効果と不純物バンドとの協奏での Beyond Boltzmann”の理論を、フォノンのエネルギースケールをマグノンのエネルギースケールに変えることにより、この巨大な PF が『マグノンドラッグ効果と不純物バンドの協奏による Beyond Boltzmann』により理解できることを微視的理論から明らかにした。(図2)

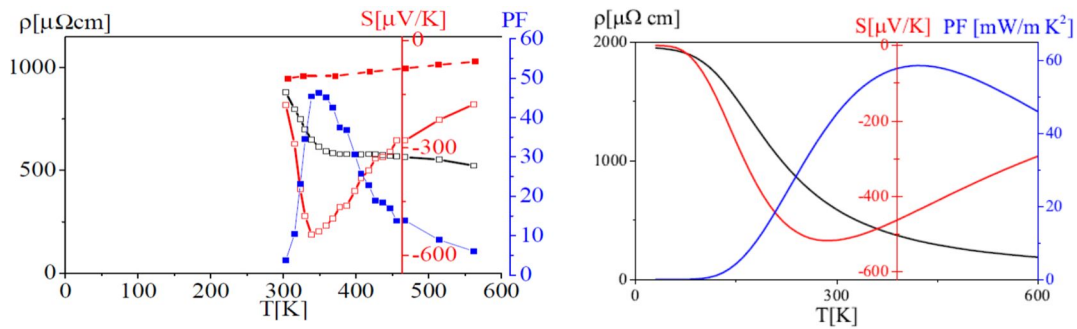


図2: 電気抵抗、ゼーベック係数、パワーファクターの温度依存性についての実験結果(左図)と理論結果(右図)

・カルコパイライト  $\text{CuFeS}_2$  での常温での熱電効果の解明

自然界にも豊富に存在するカルコパイライト  $\text{CuFeS}_2$  は、823K で反強磁性に磁気転移することから、磁性の観点からこれまで多くの研究が行われてきた。最近、自然界に存在する  $\text{Cu}_{1+x}\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$  ( $x=0.08$ ) は常温で  $-700 \mu\text{V/K}$  程度の大きなゼーベック効果を示すことが報告され、さらにマグノンドラッグとの対応も議論されているが、微視的理論との対応は明らかにされていないのが現状である。そこで本研究では、Kubo-Luttinger の線形応答理論により反強磁性マグノンドラッグの微視的理論を構築し、ゼーベック効果の実験結果と理論結果とを比較した。

図3ではゼーベック係数の理論結果と実験結果とを示す。は実験結果、黒線は  $L_{12}$  が  $L_{12}=1/e$  ( $-\mu$ )( $-f'$ ) ( $\dots$ ) ( $\dots$ )d で記述される寄与(ここではこの式を「ゾンマーフェルト・ベエテ(SB)関係式」とよぶ)であり、青線は反強磁性マグノンドラッグによるゼーベック係数、赤線は理論のゼーベック係数の合計値である。実線と点線は用いたパラメータの違いである。常温付近では、絶対値だけでなく温度依存性についても微視的な理論と実験値がよく一致することが分かった。(本研究は現在論文執筆中である。)

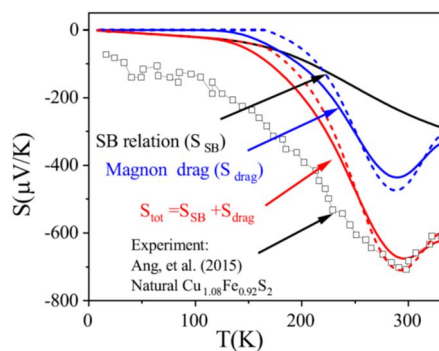


図3: カルコパイライト  $\text{CuFeS}_2$  のゼーベック係数の温度依存性。黒線はゾンマーフェルト・ベエテ関係式の範囲でのゼーベック係数、青線はマグノンドラッグの理論値、赤線は全ゼーベック係数である。実線と点線はパラメータの違いである。

(3) 様々な系での熱電効果の解明・熱電効果解析のための方法論の構築

・エキシトニック絶縁体の熱伝導

半導体や半金属中で、電子と正孔がクーロン力によって束縛状態(エキシトン)を形成し、それが BEC 的あるいは BCS 的に凝縮した状態はエキシトニック絶縁体と呼ばれる。エキシトンは電荷をもたないがエネルギーを持つため、電流には寄与しないが熱流には寄与する。このため従来の理論とは異なる熱応答を示す可能性がある。そこで、このエキシトニック絶縁体の熱伝導率について理論的に計算した。電子の熱流に由来した寄与(図4の黒線)だけでなく、電子とホール相互作用に由来した熱流も考慮し、エキシトニック絶縁体特有の寄与が生じることを明らかにした(図4の青線)。

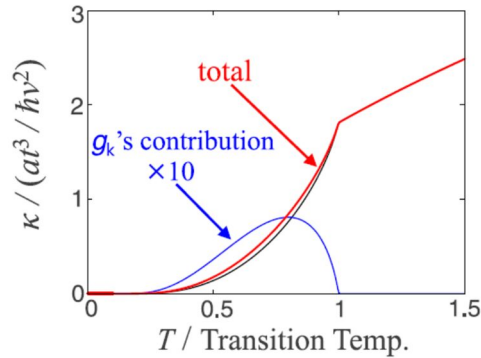


図4: 励起子絶縁体での熱伝導度の温度依存性。黒線は Sommerfeld-Bethe 関係式(電子の熱流に由来した寄与)の範囲内の熱伝導度、青線は電子-ホール相互作用に由来した熱流による寄与、赤線は全熱伝導度である。

・ディラック・ワイル電子系・ノーダルライン半金属、半金属での熱電効果の理論

ディラック・ワイル電子系、半金属等ではフォンドラック効果に由来した熱電効果を示す。そこで予備的研究として、Type-I, Type-II, Type-III ディラック電子系での熱電効果、ノーダルライン半金属薄膜での熱電効果、単純な半金属での電子ホール散乱に由来した熱電効果をボルツマン方程式の変分原理を用いた解析により明らかにした。

特に、ノーダルライン半金属薄膜での熱電効果では、ノーダルライン半金属表面に現れる表面状態に由来し巨大な熱電効果が現れることを明らかにした。(図5)

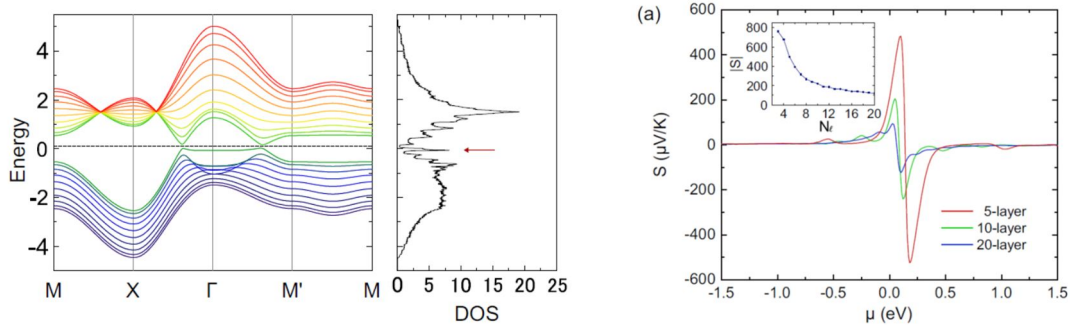


図5: ノーダルライン半金属の電子状態と状態密度(左図)とゼーベック係数の結晶の厚さ依存性(右図)。右図の の状態が表面状態の状態密度(DOS)である。右図は結晶を薄くするほど表面状態に由来して大きなゼーベック係数が現れることを示している。右図の Inset にはゼーベックのピーク値の厚さ依存性を示す。

・機械学習を用いた熱電解析の手法開発

電子の寄与による熱電効果に関して電流と熱流に関する Sommerfeld-Bethe 関係式( $L_{12}=1/e$  ( ) $(-μ)(-f'( ))$  ( ) $(d)$ )と呼ばれる関係式が成立する。この関係式を用いると、伝導度スペクトル( ( ))のみによりゼーベック係数を求めることができる。しかし、伝導度スペクトルは状態密度や群速度に加えて電子の輸送緩和時間に依存するため、理論的に求めることは難しいという問題がある。そこで、機械学習の手法により Sommerfeld-Bethe 関係式の逆問題を解くことで、電気伝導度とゼーベック係数の実験データから伝導度スペクトルや化学ポテンシャルを推定する手法を開発した。この手法を、近年注目されている  $Ta_4SiTe_4$  の実験データに適用することで伝導度スペクトルや化学ポテンシャルに加えて電子の寄与による熱伝導率や性能指数の上限を予測できることを明らかにした。

(4)極性構造の不安定性に由来したフォノンによる熱電現象や新規物性を示す材料の合成と測定  
 3 元系材料 XYZ(X:アルカリ土類や希土類, Y:遷移金属, Z:14,15 属元素)は X 元素のイオン半径と Y+Z の金属結合半径の比によって様々な構造をもつことが知られている。その中でも EuAuBi は LiGaGe 型の極性構造をもつことが知られている。さらに Eu とイオン半径が近い Sr では多結晶試料での構造解析により室温では非極性構造をとることが知られているが、低温での構造解析はされておらず、EuAuBi のような極性構造への相転移が期待される物質である。一方で両物質とも、大型単結晶の合成はされておらず、詳細な物性報告は無い。そこで、これらの物質の単結晶合成を行い、構造解析と輸送現象を測定することで、極性構造に伴う新奇現象の開拓を試みた。

EuAuBi と SrAuBi は真空での Bi フラックス法を用いることで大型単結晶の合成に成功した。放射光を用いた単結晶 X 線回折により構造を決定した。基礎物性は磁化や電気抵抗率の測定を室温から 0.3K までの広い温度範囲で行っている。

EuAuBi と SrAuBi は真空での Bi フラックス法を用いることで大型単結晶の合成に成功した。EuAuBi は室温から低温まで極性構造をもち、さらに低温約 4K での反強磁性転移と約 2K での超伝導転移を観測し、磁性と極性を併せ持つ珍しい超伝導体であることを始めて明らかにした(図)。さらに、臨界磁場に大きな異方性があり、極性軸と同じ方向に磁場をかけた場合にはパウリ極限を超える大きな臨界磁場を示した。一方で SrAuBi は、室温では非極性構造であるが、240K 付近で EuAuBi 同様の極性構造に相転移することを発見した。さらに、2.4K 付近で超伝導転移が観測され、この系でも極性構造と超伝導が共存することを明らかにした。そして、この極性構造をもとにしたバンド計算の結果、Bi の p 軌道に由来した強いスピン軌道相互作用によるラッシュバ型のスピン分裂バンドと、結晶対称性に保護されたディラックバンドが存在することを明らかにした。そのため、これらに系では、このトポロジカルなバンド構造に由来した特異な超伝導状態が実現していることが期待される。

一方で、両物質の熱電効果は室温で  $10 \mu\text{V}/\text{K}$  程度と小さく、温度低下とともに減少する金属的な振る舞いを示した。低温でフォノンドラッグ的なピーク構造をもつが数  $\mu\text{V}/\text{K}$  程度と小さい。極性構造相転移温度が高く、その不安定性によるフォノンドラッグ効果の増大は今のところ見られていない。今後相転移温度を制御し、構造相転移の臨界点での熱電物性の測定が必要である。

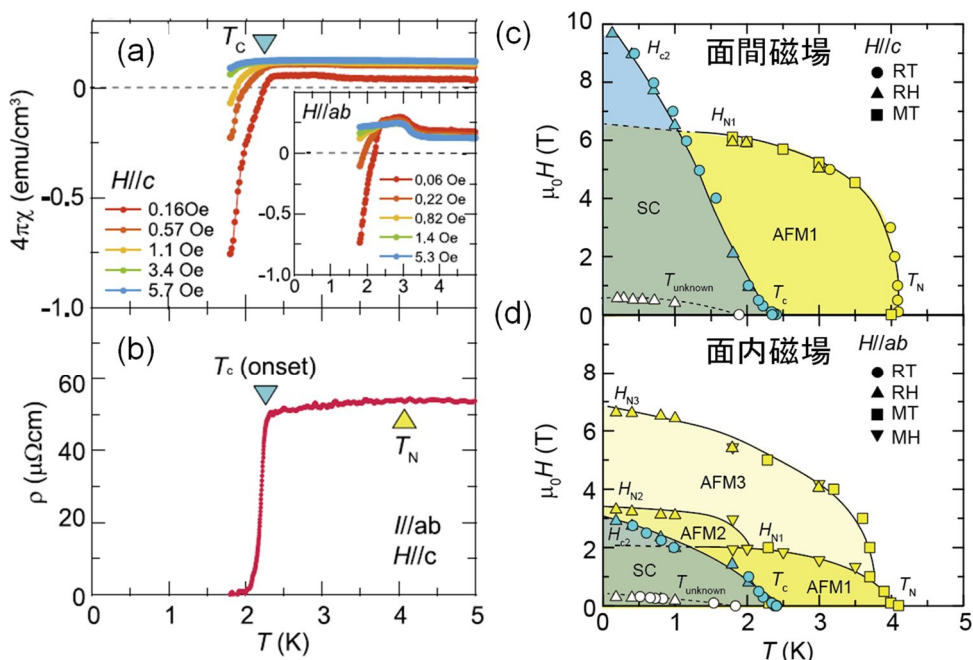


図 1. (a)低温での磁化率の温度依存性(マイスナー効果の測定). (b)低温での電気抵抗率の温度依存性. (c)面間磁場と(d)面内磁場での磁気・超伝導相図.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Mizoguchi Tomonari、Matsuura Hiroyasu、Ogata Masao	4. 巻 105
2. 論文標題 Thermoelectric transport of type-I, II, and III massless Dirac fermions in a two-dimensional lattice model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205203 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.105.205203	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 Hirosawa Tomoki、Schafer Frank、Maebashi Hideaki、Matsuura Hiroyasu、Ogata Masao	4. 巻 91
2. 論文標題 Data-Driven Reconstruction of Spectral Conductivity and Chemical Potential Using Thermoelectric Transport Properties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 114603 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.91.114603	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 Takahashi Keigo、Matsuura Hiroyasu、Maebashi Hideaki、Ogata Masao	4. 巻 107
2. 論文標題 Thermoelectric properties in semimetals with inelastic electron-hole scattering	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115158 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.107.115158	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 Onose M.、Takahashi H.、Saito T.、Kamiyama T.、Takahashi R.、Wadati H.、Kitao S.、Seto M.、Sagayama H.、Yamasaki Y.、Sato T.、Kagawa F.、Ishiwata S.	4. 巻 6
2. 論文標題 Spin-charge coupling and decoupling in perovskite-type iron oxides (Sr <sub>1-x</sub> Bax) <sub>2</sub> /3La <sub>1/3</sub> FeO <sub>3</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 094401 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevMaterials.6.094401	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, Onose Masaho, Kobayashi Yasuhito, Osaka Takahiro, Maeda Soushi, Miyake Atsushi, Tokunaga Masashi, Sagayama Hajime, Yamasaki Yuichi, Ishiwata Shintaro	4. 巻 10
2. 論文標題 Possible helimagnetic order in Co <sup>4+</sup> -containing perovskites Sr <sub>1-x</sub> CaxCoO <sub>3</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 111116 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0101473	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 Takahashi Hidefumi, Akiba Kazuto, Takahashi Masayuki, Mayo Alex H., Ochi Masayuki, Kobayashi Tatsuo C., Ishiwata Shintaro	4. 巻 92
2. 論文標題 Superconductivity in a Magnetic Rashba Semimetal EuAuBi	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 013701 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.013701	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 Mayo Alex H., Takahashi Hidefumi, Ishiwata Shintaro, Gornicka Karolina, Winiarski Michal J., Jaroszynski Jan, Cava Robert J., Xie Weiwei, Klimczuk Tomasz	4. 巻 9
2. 論文標題 Enhancement of the Magnetoresistance in the Mobility Engineered Compensated Metal Pt <sub>5</sub> P <sub>2</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2201120 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.202201120	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 Mayo Alex Hiro, Richards Jon Alexander, Takahashi Hidefumi, Ishiwata Shintaro	4. 巻 90
2. 論文標題 High-Pressure Synthesis of a Massive and Non-Symmorphic Dirac Semimetal Candidate MoP <sub>4</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 123704-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.123704	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 Mayo Alex Hiro, Takahashi Hidefumi, Bahramy Mohammad Saeed, Nomoto Atsuro, Sakai Hideaki, Ishiwata Shintaro	4. 巻 12
2. 論文標題 Magnetic Generation and Switching of Topological Quantum Phases in a Trivial Semimetal - EuP3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 011033-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.12.011033	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 Hosoi Masashi, Tateishi Ikuma, Matsuura Hiroyasu, Ogata Masao	4. 巻 105
2. 論文標題 Thin films of topological nodal line semimetals as a candidate for efficient thermoelectric converters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085406-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.085406	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 Endo Junya, Matsuura Hiroyasu, Ogata Masao	4. 巻 105
2. 論文標題 Effect of paramagnon drag on thermoelectric transport properties: Linear response theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045101-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.045101	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 Matsuura Hiroyasu, Ogata Masao, Mori Takao, Bauer Ernst	4. 巻 104
2. 論文標題 Theory of huge thermoelectric effect based on a magnon drag mechanism: Application to thin-film Heusler alloy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214421/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.214421	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 Takarada Shinta, Ogata Masao, Matsuura Hiroyasu	4. 巻 104
2. 論文標題 Theory of thermal conductivity of excitonic insulators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165122-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.165122	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 松浦弘泰、前橋英明、小形正男、福山秀敏	4. 巻 55
2. 論文標題 フォノンドラッグによるゼーベック効果-Boltzmann理論を超えて-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 固体物理 (株 アグネ技術センター)	6. 最初と最後の頁 325-335
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 Takahashi Hidefumi, Aono Kai, Nambu Yusuke, Kiyonagi Ryoji, Nomoto Takuya, Sakano Masato, Ishizaka Kyoko, Arita Ryotaro, Ishiwata Shintaro	4. 巻 102
2. 論文標題 Competing spin modulations in the magnetically frustrated semimetal EuCuSb	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.174425	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29件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 K. Takahashi, H. Matsuura, H. Maebashi, and M. Ogata
2. 発表標題 Transport in semimetals: contribution from electron-hole scattering
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 M. Ogata, H. Matsuura, N. Tujii, and T. Mori
2. 発表標題 Theory of thermoelectric effect based on antiferromagnetic magnon drag in natural chalcopyrite $\text{Cu}_{1+x}\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$
3. 学会等名 APS March Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Kato, H. Matsuura, and M. Ogata
2. 発表標題 2nd International Symposium on Trans-scale Quantum Science
3. 学会等名 Theory on transport properties of chiral phonons and its application to $\alpha$ -quartz (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤純矢、松浦弘泰、小形正男
2. 発表標題 熱電応答における弱局在の理論
3. 学会等名 日本物理学会 (秋季大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦弘泰, 小形正男, 辻井直人, 森孝雄
2. 発表標題 カルコバイライト $\text{Cu}_{1+x}\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$ におけるマグノンドラッグ効果の理論的研究
3. 学会等名 日本物理学会 (春季大会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤将貴、松浦弘泰、戸川欣彦、小形正男
2. 発表標題 カイラルフォノンの熱輸送の理論と $\alpha$ -quartz への応用
3. 学会等名 日本物理学会 (春季大会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋慶伍、松浦弘泰、前橋英明、小形正男
2. 発表標題 電子ホール散乱を持つ半金属の磁場下でのHall Lorenz 比
3. 学会等名 日本物理学会 (春季大会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松浦弘泰、小形正男、辻井直人、森孝雄
2. 発表標題 カルコバイライト $\text{Cu}_{1+x}\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$ におけるマグノンドラッグ効果の理論的研究
3. 学会等名 日本熱電学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤将貴、松浦弘泰、小形正男
2. 発表標題 Theory on transport properties of chiral phonons and its application to $\alpha$ -quartz
3. 学会等名 Stat & QuantPhys Autumn School 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤将貴、松浦弘泰、小形正男
2. 発表標題 カイラルフォノンの熱輸送の理論と -quartz への応用
3. 学会等名 キラル物性若手研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦弘泰
2. 発表標題 Beyond Boltzmann熱電研究の現状と今後の狙い
3. 学会等名 科研費キックオフミーティング (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyasu Matsuura
2. 発表標題 線形応答理論に基づいた熱電理論(Theory of Thermoelectric Effect Based on Linear Response Theory)
3. 学会等名 IEEE Kansai/Shikoku Joint Sections Magnetics Society Chapter Lecture (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松浦弘泰
2. 発表標題 熱電の理論あれこれ
3. 学会等名 トポロジカル熱電変換物性の最前線 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤将貴、松浦弘泰、戸川欣彦、小形正男
2. 発表標題 カイラルフォノンの熱輸送の理論と $\alpha$ -quartz への応用
3. 学会等名 カイラル物質科学の新展開 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三石夏樹, 杉田悠介, 上谷学, 秋葉智起, 坂野昌人, 堀場弘司, 組頭広志, 酒井英明, 高橋英史, 石渡晋太郎, 求幸年, 石坂香子
2. 発表標題 V族遷移金属テルライドMTe <sub>2</sub> (M = V, Nb, Ta)の電子構造と一次元鎖構造不安定性
3. 学会等名 2022年日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋英史, 高橋優之, メイヨアレックス浩 秋葉和人, 小林達生, 越智正之, 石渡 晋太郎
2. 発表標題 極性半金属EuAuBiにおける磁性と超伝導特性
3. 学会等名 2022年日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古賀淳平, 千足勇介, 中村飛鳥, 秋葉智起, 高橋英史, 下志万貴博, 石渡晋太郎, 石坂香子
2. 発表標題 超高速時間分解電子回折を用いたTaTe <sub>2</sub> の光誘起相転移の研究
3. 学会等名 2022年日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木剛, 久保田雄也, 三石夏樹, 赤塚俊輔, 古賀淳平, 坂野昌人, 増淵寛, 田中良和, 大隅寛幸, 玉作賢治, 矢橋牧名, 高橋英史, 石渡晋太郎, 町田友樹, 松田巖, 石坂香子, 岡崎浩三
2. 発表標題 時間分解X線回折測定によるVTe <sub>2</sub> における超高速格子変調ダイナミクスの観測
3. 学会等名 2023年日本物理学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大井喬, 小内貴祥, 八島光晴, 棕田秀和, 高橋優之, 高橋英史, 石渡晋太郎
2. 発表標題 極性構造を有する新奇超伝導体EuAuBi/SrAuBiのNMR/NQR
3. 学会等名 2023年日本物理学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋英史
2. 発表標題 Eu-based semimetal as a possible centrosymmetric topological magnet
3. 学会等名 The International Conference on Frustration, Topology and Spin Textures (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋英史, 高橋優之, メイヨーアレックス浩 秋葉和人, 小林達生, 越智正之, 石渡 晋太郎
2. 発表標題 極性構造を有するEu系化合物における超伝導と磁気秩序の共存
3. 学会等名 2022 年日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野瀬雅穂, 高橋英史, 佐賀山基, 山崎裕一, 石渡晋太郎
2. 発表標題 第一原理計算を活用した準安定な新規Aサイト秩序ペロブスカイト型鉄酸化物の高圧合成
3. 学会等名 2022 年日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋慶伍, 松浦弘泰, 前橋英明, 小形正男
2. 発表標題 半金属における熱電効果の理論的研究: 電子ホール散乱の寄与
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 H. Matsuura
2. 発表標題 Theory of Thermoelectric and Thermal Responses based on Linear Response Theory
3. 学会等名 The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics (2021 ICFPE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣澤智紀, F. Schaefer, 前橋英明, 松浦弘泰, 小形正男
2. 発表標題 熱電測定を用いたデータ駆動による伝導度スペクトルの再構成
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 松浦弘泰、高橋英史、小形正男
2. 発表標題 MoTe <sub>2</sub> における熱電効果の理論的研究
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 賣田真太、小形正男、松浦弘泰
2. 発表標題 励起子絶縁体の熱伝導率に関する理論的研究II
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 遠藤純矢、松浦弘泰、小形正男
2. 発表標題 熱電現象におけるパラマグノンドラッグの理論
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 高橋英史、青野快、南部雄亮、鬼柳亮嗣、野本拓也、坂野昌人、石坂香子、有田亮太郎、石渡晋太郎
2. 発表標題 磁性半金属EuCuSbにおけるフラストレーションに起因した特異な磁気基底状態の解明
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年



〔図書〕 計1件

1. 著者名 松浦弘泰、小形正男	4. 発行年 2022年
2. 出版社 (株)シーエムシー・リサーチ	5. 総ページ数 22
3. 書名 計算科学を活用した熱電変換材料の研究開発動向	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室横断若手研究会 <a href="https://sites.google.com/view/collaborationmeeting">https://sites.google.com/view/collaborationmeeting</a>
---

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	高橋 英史  (Takahashi Hidefumi)  (50748473)	大阪大学・大学院基礎工学研究科・講師    (14401)	

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		
オーストリア	ウィーン工科大学		