

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18594

研究課題名（和文）有機導体における電荷秩序ドメインの配向制御と非線形異常ホール効果の顕在化

研究課題名（英文）Manifestation of nonlinear anomalous Hall effect by controlling charge-ordered domains in organic conductors

研究代表者

長田 俊人（Osada, Toshihito）

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：00192526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：有機導体  $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{I}_3$ の弱い電荷秩序状態は、反転対称性の破れたギャップの開いた傾斜Dirac電子系で非線形異常Hall効果の発現が期待される。しかし2種ドメイン間での相殺により観測は困難と予想される。そこで片方のドメインを選択形成させる電流磁場中冷却法で非線形異常Hall効果の観測を目指した。(1)通常冷却でも非線形異常Hall効果の観測に成功した。これはドメイン比率の不均衡を意味する。(2)電流磁場中冷却法によるドメイン選択の有意な効果は認められなかった。(3)非線形異常Hall効果の熱電アナロジーである非線形異常Ettingshausen効果を発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トポロジカル伝導現象は基礎・応用の観点から現代物性物理学の重要なトピックスの1つである。一方、有機分子性結晶は単純な電子構造を持ち、物質設計や物性制御の舞台を提供してきた。本研究は、有機分子性結晶においてトポロジカル伝導を初めて発現させたという意義を持つ。電流磁場中冷却法の有効性は確認できなかったが、観測を困難にするドメイン問題も大きな障害にはならないことが明らかとなった。さらに対応するトポロジカル熱電効果である非線形異常Ettingshausen効果の発見を通じ、トポロジカル物性物理の発展にも貢献できた。

研究成果の概要（英文）：The weak charge ordering state of an organic conductor  $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{I}_3$  is a gapped tilted Dirac electron system breaking inversion symmetry, which is expected to exhibit the nonlinear anomalous Hall effect. However, its observation is expected to be difficult due to the cancellation between the two types of domains. Therefore, we have attempted to observe the nonlinear anomalous Hall effect by selective forming of one domain by the current field cooling method. (1) We were able to observe the nonlinear anomalous Hall effect even with normal cooling. This implies an imbalance in the domain ratio. (2) No significant effect on selective domain forming was observed by the current field cooling. (3) We discovered the nonlinear anomalous Ettingshausen effect, which is a thermoelectric analogue of the nonlinear anomalous Hall effect.

研究分野：物性物理学（低次元物質の量子輸送現象・トポロジカル量子物性）

キーワード：非線形異常ホール効果 有機導体 ディラック電子系 電荷秩序 ドメイン 非線形異常エッチングスハウゼン効果

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

トポロジカル輸送現象は現代物性物理学の重要なトピックスの1つであり、量子 Hall 効果や量子スピン Hall 効果などのトポロジカル伝導効果を中心に研究が展開してきた。一方、有機分子性結晶は分子構造の複雑さに反して単純な結晶構造と電子構造を持ち、物質設計や物性制御の舞台を提供してきた。しかし 2020 年時点で導電性有機分子性結晶（有機導体）におけるトポロジカル輸送現象の観測例は知られていなかった。これはトポロジカル輸送の発現にはバンド構造が有限の Berry 曲率を持つ必要があるが、有機導体の多くは時間反転対称性と空間反転対称性を有するため Berry 曲率が消失することによる。

本研究代表者は 2020 年に有機導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> において電流誘起のトポロジカル伝導現象が発現し得ることを理論的に示した。この物質は常圧では 135K 以下で空間反転対称性の破れた電荷秩序絶縁体状態になるが、圧力を印加すると 1.2-1.3GPa 付近で 2 次元 massless Dirac 電子系へ相転移する。転移圧力直下の電荷秩序状態である「弱い電荷秩序状態」では、傾斜した Dirac コーンに小さなギャップの開いた massive Dirac 電子系が実現していると予想される。これは転移圧力の上下で層間磁気抵抗の面内磁場方位依存性を調べた以前の代表者らの実験によっても示唆されていた[1]。しかし時間反転対称性のため Kramers 対をなす 2 つの Dirac コーンは逆符号の Berry 曲率を持ち、平衡状態でのトポロジカル伝導は相殺されてしまう。一方電流を流した非平衡状態（current-carrying state）では、Dirac コーンの傾斜のためにバレー間の相殺が破れ、非線形なトポロジカル伝導が電流誘起される可能性がある。そこで Berry 曲率双極子を評価し、軌道磁化が電流誘起された「軌道 Edelstein 効果」と、異常 Hall 効果が電流誘起された「非線形異常 Hall 効果」が観測可能であることを定量的に示した。[2]。

一方、弱い電荷秩序状態にある現実の結晶では、空間反転の関係にある 2 種のドメインが結晶内部に混在し、非線形異常 Hall 効果や軌道 Edelstein 効果が相殺される困難が予想される。論文[2]ではこれを回避するために「電流磁場中冷却法」を提案した。これは系に電流と外部磁場を加えながら徐冷して弱い電荷秩序状態に入れる方法で（図 1）、相転移点近傍で発生したドメイン核に磁化を電流誘起し、これを外部磁場で配向させて片側のドメインの選択的形成を促すというものである。

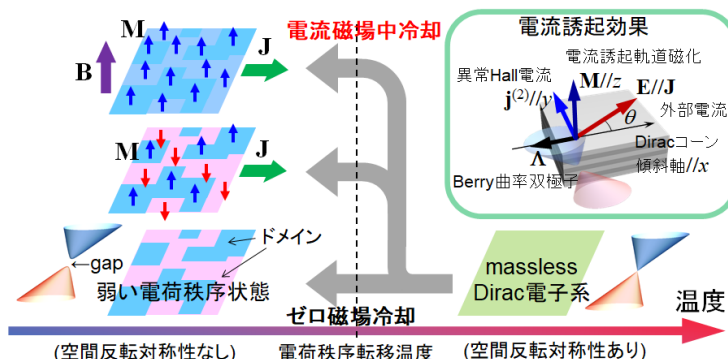


図 1 電流磁場中冷却法による電荷秩序ドメイン整理。挿入図は massive Dirac 電子系における電流誘起トポロジカル効果の配置。

- [1] "Anisotropy of Dirac cones and Van Hove singularity in an organic Dirac fermion system", A. Mori, M. Sato, T. Yajima, T. Konoike, K. Uchida, and T. Osada, Phys. Rev. B **99**, 035106 (2019)  
 [2] "Possible Current-Induced Phenomena and Domain Control in an Organic Dirac Fermion System with Weak Charge Ordering", T. Osada and A. Kiswandhi, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 103701 (2020); J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 128002 (2020).

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、トポロジカル輸送現象を有機導体で初めて観測することである。そのために層状有機導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の弱い電荷秩序状態における電流誘起の非線形トポロジカル輸送現象の可能性を調べる。実験の障害となる電荷秩序ドメイン間での相殺を局限するために、選択的に片側ドメインを形成させる新しいドメイン制御手法である「電流磁場中冷却法」の有効性を確認し、相殺されていた非線形異常 Hall 効果を顕在化させる。

### 3. 研究の方法

本研究では有機導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> を対象物質として、13T 超伝導磁石 + <sup>3</sup>He 冷凍機または 10T 超伝導磁石 + 試料回転機構と 2GPa ピストンシリンダー型圧力セルを用いて強磁場・低温・高圧環境における電気伝導および熱電効果の測定を行った。非線形異常 Hall 効果の測定では、正方形平板状に成形した単結晶の上面に 8 個の電極端子を放射状に配置し、向かいあう電流端子と対応する Hall 端子を切り替えて電流方向依存性を調べた。非線形異常 Ettingshausen 効果の実証実験では長方形平板状に整形した単結晶の縦方向に電流端子、両側面に Hall 端子の代わりに AuFe-クロメル熱電対を取り付けた試料を準備した。非線形信号成分（電流の偶関数）を取り出すため、測定は基本的に周波数  $\omega$  の交流電流を試料に流し、ロックイン増幅器を用いて周波数  $2\omega$  の交流応答を検出した。熱電特性に関しては実験に加え理論的検討も行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 弱い電荷秩序状態における massive Dirac 電子系の実証

$\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の「弱い電荷秩序状態」の電子構造を確認するために、磁気抵抗の温度依存性を圧力を変えて調べたところ、電荷秩序相の臨界圧直下の弱い電荷秩序状態における磁気抵抗の温度依存性にピーク構造が現れ、その磁場依存性が Dirac 点に小さなギャップが開いた 2 次元 massive Dirac 電子系の振舞いとして説明できることがわかり (図 2)、massive Dirac 電子系の存在が確認された[3]。

[3] "Experimental Confirmation of Massive Dirac Fermions in Weak Charge-Ordering State in  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>", K. Yoshimura, M. Sato, and T. Osada, J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 033701 (2021).

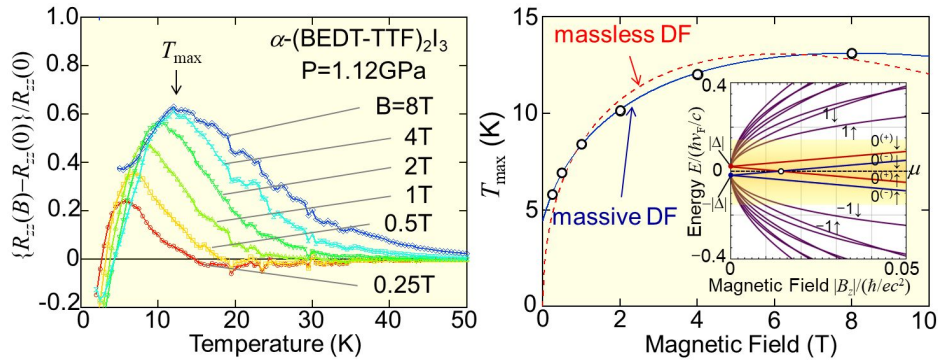


図 2 (左)  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の弱い電荷秩序状態における磁気抵抗の温度依存性のピーク構造。(右) massive Dirac 電子を示唆する磁場依存性。

##### (2) 有機導体 $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> における非線形異常 Hall 効果の観測

有機導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の弱い電荷秩序状態において、電流誘起の非線形異常 Hall 効果の実験的観測を試みた[4]。約 1.25 GPa の静水圧を印加し、室温から 4.2 K までゼロ磁場中で冷却して測定を行ったところ、試料は 30K 程度まで金属的な電気抵抗を示した後、低温で電荷秩序が十分抑制された弱い電荷秩序絶縁相に入ることが確認された。Dirac コーン傾斜軸に対して電流方向を変えて非線形異常 Hall 効果の測定を行った。直流測定では Hall 電圧には端子配置の不完全性による抵抗成分が混入するので、電流方向を逆転して電流反転に対し対称な非線形成分のみを取り出した。これは角周波数  $\omega$  で電流反転を繰り返す交流電流を用いて、角周波数  $2\omega$  の電圧信号を検波する交流測定の方法と同等である。得られた非線形異常 Hall 信号は電流が小さいときは電流の 2 乗に比例し、非線形異常 Hall 電場は電流方向にかかわらず常に右上方向を向いている (図 3)。これは電流の向きによらず常に試料の右上方向に正の電荷蓄積が起こることを意味する。この異方性と整流性は Dirac コーンの傾斜方向を反映していると考えられ、非線形異常 Hall 効果の発現を強く示唆する。また温度依存性や圧力依存性の測定から、非線形異常 Hall 信号は弱い電荷秩序状態で大きく現れ、massless Dirac 電子状態では現れないことも確認できた。当初の予想に反して、通常のゼロ磁場冷却でも非線形異常 Hall 効果が観測された事実は、電荷秩序ドメイン間の相殺が不完全であることを意味する。得られた信号強度は論文[2]の理論的見積りとの 10%程度であり、2 種のドメイン体積に初めからその程度の均衡の破れがあったことを示唆している。

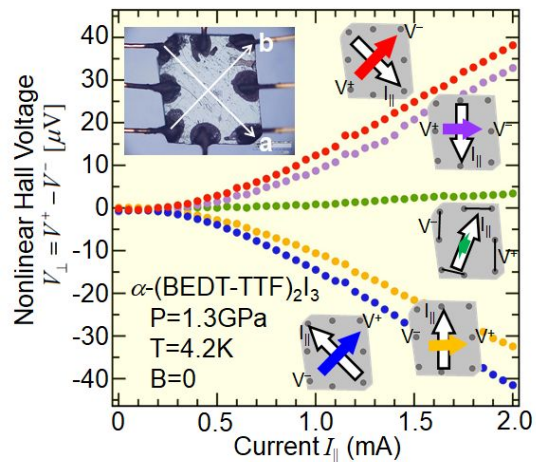


図 3  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の弱い電荷秩序状態における非線形異常 Hall 効果。

[4] "Observation of possible nonlinear anomalous Hall effect in organic two-dimensional Dirac fermion system", A. Kiswandhi and T. Osada, J. Phys.: Condens. Matter **34**, 105602 (2022).

##### (3) 電流磁場中冷却法の有効性の検証

「電流磁場中冷却法」により 2 種のドメイン体積比率を拡大による非線形異常 Hall 効果の顕在化を起こせるかどうかの検証実験を行った。1.25 GPa の圧力下で直流電流と外部磁場を加えて電流磁場中冷却を行った際の縦抵抗の温度依存性と同一条件でゼロ磁場冷却を行った際の縦抵抗の温度依存性との間に差異は認められなかった。特に 30K 以下の弱い電荷秩序状態において抵抗値は完全に一致した。これはドメイン境界に沿ったエッジ伝導や境界散乱を反映したドメイン配置の違いによる抵抗変化ないことを意味する。さらに電流磁場中冷却を行った場合と

ゼロ磁場冷却を行った場合で、低温の弱い電荷秩序状態で同一端子を用いて測定した非線形異常 Hall 効果の大きさの比較を行った (図 4)。これらの信号の大きさはほぼ同じで、電流磁場中冷却により定数倍に増加するような兆候は見出せなかった。以上は電流磁場中冷却法による電荷秩序ドメイン制御ができていないことを示唆する結果である。

本系では非線形異常 Hall 効果を発現させるために積極的にドメイン配向を制御する必要のないこと、電流磁場中冷却法ではドメイン制御を行うことは困難であることが結論できる。この原因として、転移時のドメイン核の大きさが予想より遥かに小さく電流磁場下で一方の電荷配置のドメインを選択するエネルギー利得が小さ過ぎる可能性、電荷配置が結晶の短距離の乱れに強くロッキングされている可能性が考えられる。

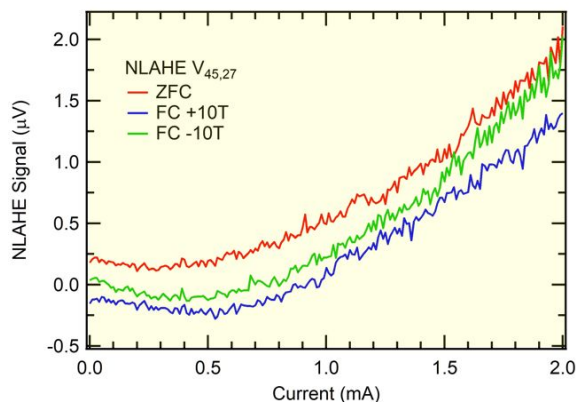


図 4 電流磁場中冷却(FC±10T)とゼロ磁場冷却(ZFC)を行った場合の非線形異常 Hall 効果の比較。

#### (4) 非線形異常 Ettingshausen 効果の提唱と実証

非線形異常 Hall 効果の熱電アナロジーとして、新しい非線形トポロジカル熱電現象である「非線形異常 Ettingshausen 効果」の可能性を議論した[5]。異常 Ettingshausen 効果は異常 Nernst 効果の相反現象で、ゼロ磁場で時間反転対称性が破れているときに電流に直交する方向に温度勾配が生ずる現象である。異常 Hall 効果と同様に、時間反転対称のある系では Kramers 対をなす 2 つの Dirac コーン間の相殺のため異常 Ettingshausen 効果は起こらない。しかし系を非平衡な current-carrying state にすると非線形異常 Ettingshausen 効果が電流誘起される可能性がある。 $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の弱い電荷秩序状態において「熱電 Berry 曲率双極子」を定義し、観測可能な大きさの非線形異常 Ettingshausen 効果が発現することを定量的に示した (図 5 左)。また現実の系では非線形異常 Ettingshausen 効果は非線形異常 Hall 効果と同時に現れるので、両者が共存する場合の特性についても議論した。

次に  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の弱い電荷秩序状態において非線形異常 Ettingshausen 効果の実験的検証を試みた。結晶の縦方向に電流を流し左右側面の温度を熱電対で測定した。その結果、電流の偶関数として優位な大きさの温度差を観測し (図 5 右)、非線形異常 Ettingshausen 効果の実験的確認に成功した。これは無機物質を含め新しいトポロジカル輸送現象の発見である。なお本現象についても電流磁場中冷却の効果は認められなかった。

[5] "Possible Nonlinear Anomalous Thermoelectric Effect in Organic Massive Dirac Fermion System", T. Osada and A. Kiswandhi, J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 053704 (2021).

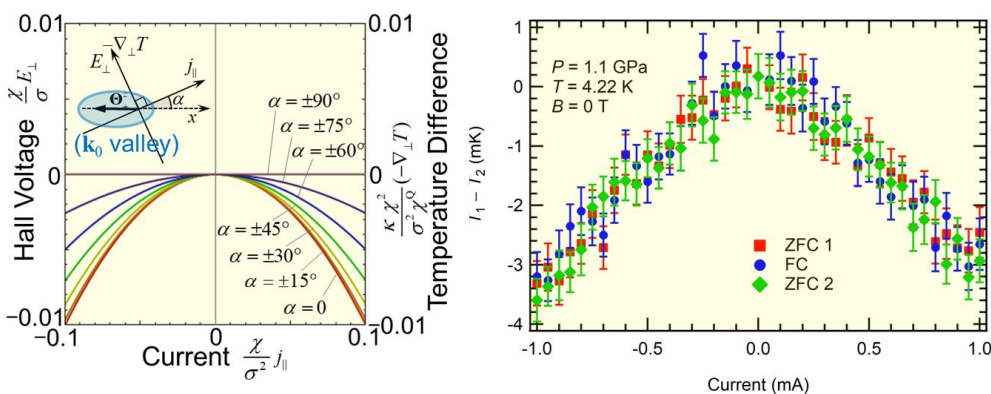


図 5 (左) 非線形異常 Hall/Ettingshausen 効果の電流依存性。(右)  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> の弱い電荷秩序状態における非線形異常 Ettingshausen 効果。

以上のように、弱い電荷秩序状態という反転対称が破れた状態を用いて、有機導体で初めてトポロジカル輸送現象を発現させることに成功した。本成果の一部は、以下の日本語解説として出版されている。

[6]「有機ディラック電子系におけるトポロジカル輸送現象」, 長田俊人, 固体物理 **57**, 227 (2022).

[7]「有機ディラック電子系における非線形トポロジカル輸送現象」, 長田俊人, A. Kiswandhi, 日本物理学会誌 **77**, 233 (2022).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Osada Toshihito	4. 巻 93
2. 論文標題 Hofstadter Butterfly and Broken-Symmetry Quantum Hall States in $\pi$ -Type Organic Dirac Fermion Systems	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 034711-1~6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.93.034711	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 Kiswandhi Andhika, Ochi Tomotaka, Taen Toshihiro, Sato Mitsuyuki, Uchida Kazuhito, Osada Toshihito	4. 巻 107
2. 論文標題 Quantized thermoelectric Hall plateau in the quantum limit of graphite as a nodal-line semimetal	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195106-1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.107.195106	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 Osada Toshihito	4. 巻 20
2. 論文標題 Broken-Symmetry Quantum Hall State in an Organic Dirac Fermion System	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPSJ News and Comments	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJNC.20.06	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 Taen Toshihiro, Kiswandhi Andhika, Osada Toshihito	4. 巻 108
2. 論文標題 Magnetic-field periodic quantum Sondheimer oscillations in thin-film graphite	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235411-1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.108.235411	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 Kiswandhi Andhika, Osada Toshihito	4. 巻 34
2. 論文標題 Observation of possible nonlinear anomalous Hall effect in organic two-dimensional Dirac fermion system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 105602-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ac3fd5	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 長田俊人	4. 巻 57
2. 論文標題 有機ディラック電子系におけるトポロジカル輸送現象	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 227~240
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 長田 俊人、アンディカ・キスワンディ	4. 巻 77
2. 論文標題 有機ディラック電子系における非線形トポロジカル輸送現象	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 233~238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11316/butsuri.77.4_233	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 Osada Toshihito, Ochi Tomotaka, Taen Toshihiro	4. 巻 91
2. 論文標題 Thermoelectric Hall Effect at High-Magnetic-Field Quantum Limit in Graphite as a Nodal-Line Semimetal	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 063701-1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.063701	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 Kashiwagi Masaki, Taen Toshihiro, Uchida Kazuhito, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Osada Toshihito	4. 巻 61
2. 論文標題 Weak localization on moire superlattice in twisted double bilayer graphene	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 100907-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac934a	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 Osada Toshihito, Kiswandhi Andhika	4. 巻 90
2. 論文標題 Possible Nonlinear Anomalous Thermoelectric Effect in Organic Massive Dirac Fermion System	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 053704-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.053704	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 Osada Toshihito	4. 巻 90
2. 論文標題 Thermoelectric Effect at Quantum Limit in Two-Dimensional Organic Dirac Fermion System with Zeeman Splitting	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 113703-1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.113703	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 Yoshimura Kenta, Sato Mitsuyuki, Osada Toshihito	4. 巻 90
2. 論文標題 Experimental Confirmation of Massive Dirac Fermions in Weak Charge-Ordering State in (BEDT-TTF) <sub>2</sub> I <sub>3</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 033701-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.033701	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19件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長田俊人
2. 発表標題 型層状有機結晶における3次元ディラック点
3. 学会等名 日本物理学会（2024年春季大会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 田縁俊光, Anhika Kiswandhi, 長田俊人
2. 発表標題 薄膜グラファイトにおける磁場に周期的な量子Sondheimer振動の温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会（2024年春季大会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 柏木聖生, 内田和人, 渡邊賢司, 谷口尚, 長田俊人
2. 発表標題 摺れ積層グラフェンにおけるモアレ超格子中弱局在効果II
3. 学会等名 日本物理学会（第78回年次大会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Anhika Kiswandhi, Toshihito Osada
2. 発表標題 Thermoelectric Hall conductivity of topological nodal line semimetal ZrSiS
3. 学会等名 日本物理学会（第78回年次大会）
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 長田俊人, 佐藤光幸
2. 発表標題 有Dirac電子系における対称性の破れた量子Hall状態と角度依存エッジ伝導
3. 学会等名 日本物理学会 (第78回年次大会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長田俊人, 足立洋駿, 田縁俊光, Andhika Kiswandhi
2. 発表標題 強磁場領域における半金属薄膜の量子Sondheimer効果
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 田縁俊光, Andhika Kiswandhi, 長田俊人
2. 発表標題 強磁場下において薄膜グラファイトが示す磁場に周期的な抵抗振動と膜厚依存性
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 Andhika Kiswandhi, Tomotaka Ochi, Toshihiro Taen, Mitsuyuki Sato, Kazuhito Uchida, Toshihito Osada
2. 発表標題 Quantized thermoelectric Hall conductivity in straight nodal line semimetal: the case of graphite
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 長田俊人, 柏木 聖生, アンディカ・キスワンディ
2. 発表標題 質量のある有機ディラック電子系における非線形伝導
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 佐藤光幸, 長田俊人
2. 発表標題 多層ディラック電子系での低温強磁場下熱電測定
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 Andhika Kiswandhi, Toshihito Osada
2. 発表標題 Quantum thermoelectric Hall effect study on bulk graphite under magnetic field up to 10 T
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 田縁俊光, 長田俊人
2. 発表標題 薄膜グラファイトにおける磁場に周期的な抵抗振動と膜厚に対する依存性
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 長田俊人, 越智友崇
2. 発表標題 強磁場量子極限下のノーダルライン半金属における量子熱電効果
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 Andhika Kiswandhi, Toshihito Osada
2. 発表標題 Nonlinear Anomalous Transport in the Weak Charge Order Phase of $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ -(BEDT-TTF)2I3
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 長田俊人
2. 発表標題 有機ディラック電子系におけるトポロジカル輸送
3. 学会等名 日本物理学会 (第77回年次大会) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 越智友崇, 長田俊人
2. 発表標題 強磁場量子極限下のグラファイト薄膜における量子熱電効果の探索
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 長田俊人
2. 発表標題 量子極限下の有機Dirac電子系 -(BEDT-TTF)2I3における量子熱電効果
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 Andhika Kiswandhi , Toshihito Osada
2. 発表標題 Nonlinear Anomalous Hall Effect in -(BEDT-TTF)2I3 under High Pressure
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 田縁俊光, 長田俊人
2. 発表標題 人工積層によって界面を導入したグラファイトの作製と輸送特性評価
3. 学会等名 日本物理学会 (2021年秋季大会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

長田研究室  
<https://osada.issp.u-tokyo.ac.jp/>

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