

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14406

研究課題名（和文）パルス磁場中精密測定で拓く有機固体の強磁場量子物性

研究課題名（英文）High-field quantum phenomena of organic solids investigated by precise measurements in pulsed fields

研究代表者

今城 周作（Imajo, Shusaku）

東京大学・物性研究所・特任助教

研究者番号：30825352

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では測定上の難点により強磁場研究が少ない有機伝導体に関して新奇量子状態の探索と評価を行うことを目標とし、パルス強磁場中で可能な精密物性測定手法の拡張を中心に研究を行なった。パルスマグネットは瞬間的ながらも強磁場の発生が可能であるが、短い発生時間やノイズ等の欠点があるために、一般的な物性測定とは異なる手法を用いる必要がある。本研究ではパルス磁場中の測定環境の整備により、有機伝導体の熱測定や超音波測定等の複数のパルス磁場中測定を可能とした。この測定環境を用いることで、FFLO超伝導状態をはじめとした有機固体が示す多彩な強磁場量子物性を研究することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パルス強磁場中の物性測定は定常磁場中の測定に比べて実験的難度が非常に高く、研究対象は測定上扱いやすい物質が選ばれやすい。本研究では測定難度の高い有機固体に対してパルス強磁場中精密物性測定を行うために、パルス磁場中測定手法の拡張を中心に研究を行い、実際に複数の有機固体のパルス強磁場測定を成功させた。有機物の単結晶のように微小・脆弱な固体でもパルス磁場中で精密測定が比較的容易になったことは、これまで未踏であったパルス強磁場研究の裾野を広げるだけでなく、従来の研究の測定精度や効率を上げることにも繋がっており、強磁場固体物性研究を押し上げる学術的・社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on extending the method of precise physical property measurements in pulsed high magnetic fields, aiming to investigate novel quantum states in organic conductors, which have not been widely studied in high magnetic fields due to the measurement difficulties.

Although pulsed magnets can generate high magnetic fields, some disadvantages, such as short pulse duration and large noises, make it necessary to use different methods from that used for usual physical property measurements. Here, we developed and improved measurement systems for pulsed-field measurements, which enables multiple measurements in a pulsed magnetic field, such as heat capacity and ultrasonic measurements of organic conductors. By using this systems, we succeeded in studying various high-field quantum properties occurred in organic solids, including the FFLO superconducting state.

研究分野：固体物理化学

キーワード：パルス強磁場 有機伝導体 装置開発 強磁場 有機超伝導体 FFLO

1. 研究開始当初の背景

「磁場」は電子のスピンや電子運動に直接作用するため、温度や圧力の変化では現れない量子効果および量子相を誘起させることが可能であり、固体電子物性では重要な役割をもつ。特に極低温・強磁場の極限環境では、有限温度において熱ゆらぎによって隠れていた多彩な物理が顔を出すため、様々な新奇量子物性の研究に寄与してきた。研究対象とする物性のエネルギースケールによって必要な磁場は変化し、数十ケルビンの物理を議論するには同じエネルギースケールである数十テスラ程度の磁場が必要とされる。数十ケルビンは室温から比較すると十分に低温であるが、磁場発生装置として普及している超伝導磁石でも約 20 テスラが発生上限であり、一般的には到達が非常に難しい。高温超伝導のような数十～数百ケルビンのエネルギースケールをもつ物性や極低温・強磁場量子極限に関する議論は通常の研究環境では困難とされる。短時間のパルス的な磁場を発生するパルスマグネットでは、100-1000 テスラ級の強磁場発生は可能であるが、短い発生時間や大きなノイズなどの問題から測定に困難な点が多く存在し、実際の実験で測定可能な物理量や対象試料は限られている。

本研究で対象とする有機固体は、弱い分子間力によって結晶が形成されているため、発現する量子物性のエネルギースケールは比較的低い場合が多く、外場応答が敏感である。そのため、パルス強磁場と有機固体の組み合わせは、実験室内でも量子物性の強磁場極限までの研究を可能とする。更に、有機固体は図 1 のように分子サイズや特徴的な形状をもつ分子から構成された結晶であることから、極めて純良な単結晶の合成が比較的容易であり、量子物性の本質的な議論をする上で最適な研究対象であると考えられる。しかしながら、有機化合物の単結晶は溶液中の合成によって得られるために基本的に微小単結晶でしか得られない場合が多い。また、柔らかさという利点の裏で、脆弱性という欠点をもつことから、実験をする上での結晶の破損が問題となることも頻繁にある。これら測定上の問題点が多いため有機固体の研究は世界的に主流ではなく、また、パルス磁場中での先行研究は数は極めて少なかった。

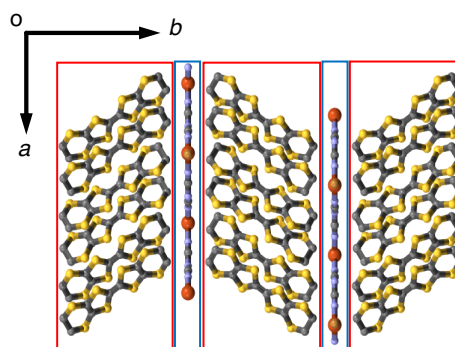


図 1. 有機伝導体の結晶構造の例。

2. 研究の目的

パルス磁場中での新規測定手法の開発や精密測定装置の整備は、これまで未踏であった強磁場領域での物性議論を実現させられると期待できる。そのため、本研究では、パルス強磁場中で可能な物性測定手法の拡張を行う。同時に、低いエネルギースケールをもつ分子性結晶を研究対象にすることで、測定・物質の両面から量子物性の強磁場極限へとアプローチをかける。現状として、有機伝導体の強磁場研究は測定上の難点からほぼ未開拓であり、有機伝導体の新奇量子状態の探索と評価を行うことを目標とした。特に、有機化合物内で分子の配列や形状などの分子自由度に影響されて示す π 電子に特有な強磁場超伝導状態を議論することを中心とした。

3. 研究の方法

研究目的の達成には、基礎としてパルス磁場中測定環境の整備が不可欠であり、これに加え、構築された環境を用いて強磁場中の有機固体で現れる超伝導状態などの新奇量子物性の議論を行うことが必要とされる。

測定手法としては熱容量や磁場侵入長、音速等の特に熱力学量の計測を中心とする。そのための初期段階として、高速で高精度でデータ収集が可能な電子機器の整備を行う。その測定系に合わせて、各種量を測定可能な極低温パルス磁場中測定用多機能プローブを作成する。また、試料に対する磁場角度制御などが可能な機構を搭載することで、測定の自由度を上げ、様々な強磁場物性へのアプローチ、例えば、正確な熱力学相図の作成を可能とし、多面的な量子物性の議論へと展開する。対象とする有機固体の単結晶の大部分は、自身で過去に液中電解合成法によって合成したものを使用し、一部は共同研究者に依頼して得る。

主な研究対象の量子物性の一つとして、強磁場超伝導状態である Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov (FFLO) 状態に注目する。有機固体における FFLO 状態は 10-30 テスラの強磁場を低次元伝導面に平行に磁場を印加した際にしか発現しないと考えられているため、上述で開発に挑戦するパルス磁場中角度分解測定法を用いて、アプローチする。まずは、先行研究で FFLO 状態を示すと期待されている候補物質の有機伝導体に対して、先行研究で行われていなかった種々の測定を行う。また、FFLO 状態の確認がされていない類縁物質においても種々の測定を行うこ

とで FFLO 候補物質の探索を行う。

また、FFLO 状態を示す物質やその類縁体の超伝導状態以外の周辺物性も精査することで FFLO 状態発現に必要なパラメータの議論や、新しい量子物理の探索を行う。

4. 研究成果

初年度は基礎部分である測定装置開発を従点的に行った。本課題で主体としていたパルス磁場中の熱測定装置の開発であるが、測定プローブ設計の刷新、温度計の最適化、新規測定手法の導入により、既に世界最高精度であったパルス磁場中比熱測定の新規測定精度の向上や測定可能温度範囲の拡張に成功し、効率的に研究を行えるようにした (S. Imajo et al., Rev. Sci. Instrum. 92, 043901, (2021).)。また、電気抵抗や磁気トルク、磁場侵入長、超音波などの各種測定についても、磁場に対する角度依存性を正確に測定するため、精密角度回転機構の設計・開発を行うことで各種磁場角度分解測定の実現環境を整備した。また、先行研究が存在する物質を用いて試験測定を行うことで、開発した測定環境が本研究の目的の達成に十分であることを確認した。

次年度以降は、これらの装置を用いて、本課題で目的としていた有機超伝導体の強磁場電子状態の研究を行なった。まず、比熱測定では、代表的な有機超伝導体の一つ、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br に対する伝導面内 30 テスラ以上強磁場における電子熱容量の磁場依存性を初めて明らかとした。この結果を踏まえ、この物質の超伝導発現の起源を議論する上で重要な情報となる超伝導ギャップを決定することに成功した (S. Imajo et al., Phys. Rev. B 103, L060508 (2021).)。この物質において、精密角度回転機構を搭載した測定プローブを用い、図 2 のように電気抵抗測定から磁場を伝導面に精密に水平に印加した際の臨界磁場 H_{c2} の決定を行った。更に、加えて TDO を用いた磁場侵入長測定も行うことで、電子スピンの超伝導破壊効果に関連した Pauli 限界磁場付近で相転移を示唆する異常を観測し、通常の均一な超伝導から FFLO 超伝導へと相転移していることを示唆する有力な証拠を掴んだ (S. Imajo et al., Crystals 11, 1358 (2021).)。これら結果をベースとして、その他の試料においても精密角度回転磁場中で各種の測定を行い、FFLO 超伝導状態の特徴や起源の詳細を議論することに成功した。特に、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ の超音波測定からは弾性定数の異常 (S. Imajo et al., Nat. Commun. 13, 5590 (2022).)、 λ -(BETS)₂GaCl₄ の磁気熱量効果測定からは FFLO 相への相転移の一次相転移性やエントロピー変化など (S. Imajo et al., Phys. Rev. B 103, L220501 (2021).) の FFLO 超伝導を議論する上で重要な物理パラメータを明らかとした。

上述したこれら FFLO 候補物質は強相関電子系に属しており、バンド幅制御により超伝導を示すフェルミ液体相から Mott 転移や電荷秩序転移を示すことが知られている。化学置換を用いた化学圧力制御によってこれら周辺物性の理解にも挑戦した。特に、図 3 のようにフェルミ液体相において 50 テスラ超級の強磁場量子振動測定を行うことで電子の有効質量やフェルミ面の化学圧力変化等を明らかにし、超伝導状態の背景にあるフェルミ液体相の強相関性について定量化することに成功した (S. Imajo et al., Phys. Rev. Lett. 125, 177002 (2020).)。これにより隣接する秩序相がもつ自由度の量子的な揺らぎが超伝導の形成に重要な役割を果たしていることを示した。

本研究にて開発された測定環境はこれまで難しかった分子性有機固体の強磁場研究を実現化し、国内外からの注目を浴びている。実際に、国内・海外の研究者からこれら測定環境を用いた共同実験を新規に複数件依頼された。これによって上述の類縁物質以外にも各種パルス強磁場測定することで、超伝導以外の様々な量子物性の研究

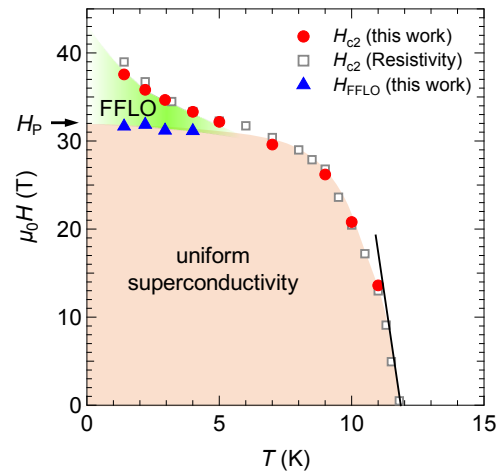


図 2. κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の超伝導状態の伝導面に磁場を印加した際の磁場—温度相図。

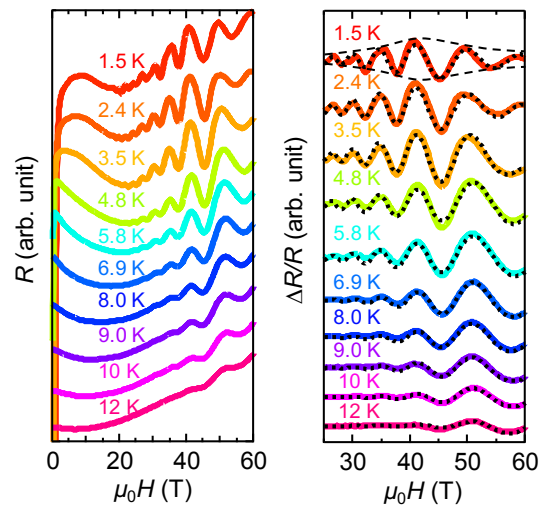


図 3. パルス磁場中電気抵抗測定によって得られた有機超伝導体 β'' -(BEDT-TTF)₄[(H₃O)Ga(C₂O₄)₃]C₆H₅NO₂ の強磁場量子振動の温度依存性。

も行うことに成功し(例えば、S.Imajo et al., Phys. Rev. B 103, L201117 (2021).)、次の研究課題へと発展させた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Allenspach S., Puphal P., Link J., Heinmaa I., Pomjakushina E., Krellner C., Lass J., Tucker G. S., Niedermayer C., Imajo S., Kohama Y., Kindo K., Kramer S., Horvatic M., Jaime M., Madsen A., Mira A., Laflorencie N., Mila F., Normand B., Ruegg C., Stern R., Weickert F.	4. 巻 3
2. 論文標題 Revealing three-dimensional quantum criticality by Sr substitution in Han purple	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 23177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.023177	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 Imajo S., Miyake A., Kurihara R., Tokunaga M., Kindo K., Horiuchi S., Kagawa F.	4. 巻 103
2. 論文標題 Quantum transport of topological spin solitons in a one-dimensional organic ferroelectric	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L201117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L201117	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 Imajo S., Kobayashi T., Kawamoto A., Kindo K., Nakazawa Y.	4. 巻 103
2. 論文標題 Thermodynamic evidence for the formation of a Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov phase in the organic superconductor $-(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L220501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L220501	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 Girod C., LeBoeuf D., Demuer A., Seyfarth G., Imajo S., Kindo K., Kohama Y., Lizaire M., Legros A., Gourgout A., Takagi H., Kurosawa T., Oda M., Momono N., Chang J., Ono S., Zheng G.-q., Marcenat C., Taillefer L., Klein T.	4. 巻 103
2. 論文標題 Normal state specific heat in the cuprate superconductors $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ and $\text{Bi}_{2+y}\text{Sr}_{2-x-y}\text{La}_x\text{CuO}_6$ near the critical point of the pseudogap phase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.214506	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 該当する

1. 著者名 Imajo S., Sugiura S., Akutsu H., Kohama Y., Isono T., Terashima T., Kindo K., Uji S., Nakazawa Y.	4. 巻 3
2. 論文標題 Extraordinary π -electron superconductivity emerging from a quantum spin liquid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 33026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.033026	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 Imajo Shusaku, Kindo Koichi	4. 巻 11
2. 論文標題 The FFL0 State in the Dimer Mott Organic Superconductor $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1358 ~ 1358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11111358	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 BlundeII Toby James, Brannan Michael, Mburu-Newman Joey, Akutsu Hiroki, Nakazawa Yasuhiro, Imajo Shusaku, Martin Lee	4. 巻 7
2. 論文標題 First Molecular Superconductor with the Tris(Oxalato)Aluminate Anion, $-(\text{BEDT-TTF})_4(\text{H}_3\text{O})\text{Al}(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot \text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$, and Isostructural Tris(Oxalato)Cobaltate and Tris(Oxalato)Ruthenate Radical Cation Salts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Magnetochemistry	6. 最初と最後の頁 90 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/magnetochemistry7070090	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 Matsumura Yuki, Imajo Shusaku, Yamashita Satoshi, Akutsu Hiroki, Nakazawa Yasuhiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Electronic Heat Capacity and Lattice Softening of Partially Deuterated Compounds of $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 2 ~ 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst12010002	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 Imajo S., Kato N., Marckwardt R. J., Yesil E., Akutsu H., Nakazawa Y.	4. 巻 105
2. 論文標題 Persistence of fermionic spin excitations through a genuine Mott transition in -type organics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.125130	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 Imajo Shusaku, Dong Chao, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Kohama Yoshimitsu	4. 巻 92
2. 論文標題 High-resolution calorimetry in pulsed magnetic fields	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 043901 ~ 043901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0040655	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 Imajo S., Kindo K., Nakazawa Y.	4. 巻 103
2. 論文標題 Symmetry change of d-wave superconductivity in -type organic superconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L060508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L060508	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 Imajo S., Akutsu H., Kurihara R., Yajima T., Kohama Y., Tokunaga M., Kindo K., Nakazawa Y.	4. 巻 125
2. 論文標題 Anisotropic Fully Gapped Superconductivity Possibly Mediated by Charge Fluctuations in a Nondimeric Organic Complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 177002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.177002	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 Mukasa Kiyotaka, Ishida Kousuke, Imajo Shusaku, Qiu Mingwei, Saito Mikihiro, Matsuura Kohei, Sugimura Yuichi, Liu Supeng, Uezono Yu, Otsuka Takumi, Culo Matija, Kasahara Shigeru, Matsuda Yuji, Hussey Nigel E., Watanabe Takao, Kindo Koichi, Shibauchi Takasada	4. 巻 13
2. 論文標題 Enhanced Superconducting Pairing Strength near a Pure Nematic Quantum Critical Point	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 11032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.13.011032	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 Nomoto Tetsuya, Imajo Shusaku, Akutsu Hiroki, Nakazawa Yasuhiro, Kohama Yoshimitsu	4. 巻 14
2. 論文標題 Correlation-driven organic 3D topological insulator with relativistic fermions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-37293-3	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 Imajo S., Matsuyama N., Nomura T., Kihara T., Nakamura S., Marcenat C., Klein T., Seyfarth G., Zhong C., Kageyama H., Kindo K., Momoi T., Kohama Y.	4. 巻 129
2. 論文標題 Magnetically Hidden State on the Ground Floor of the Magnetic Devil's Staircase	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 147201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.147201	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 該当する

1. 著者名 Imajo Shusaku, Nomura Toshihiro, Kohama Yoshimitsu, Kindo Koichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Emergent anisotropy in the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov state	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5590
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-33354-1	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8件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 木村尚次郎, 今城周作, 巖正輝, 桃井勉, 萩原政幸, 植田浩明, 小濱芳允
2. 発表標題 クロムスピネル酸化物HgCr ₂ O ₄ のパルス強磁場下比熱測定
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 今城周作, 野村肇宏, 小濱芳允, 金道浩一
2. 発表標題 FFLO超伝導におけるネマティック応答
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 小林拓矢, 築田春希, 安村乃絵瑠, 谷口弘三, 今城周作, 松尾晶, 金道浩一
2. 発表標題 有機反強磁性体 -(BEDSe-TTF) ₂ GaCl ₄ の磁気トルク法による磁気構造の研究
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 福岡脩平, 今城周作, 岡太耀, 井原慶彦, 河本充司, 金道浩一
2. 発表標題 型BETS塩における負の磁気抵抗と磁場誘起絶縁体金属転移
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 松村祐希, 今城周作, 山下智史, 坏広樹, 中澤康浩
2. 発表標題 型有機超伝導体の相境界近傍における熱的挙動
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 石田浩祐, 向笠清隆, 今城周作, 邱明;, 斎藤三樹彦, 松浦康平, 杉村優一, 金道浩一, 芝内孝禎
2. 発表標題 鉄系超伝導体Fe(Se,Te)のネマティック量子臨界点近傍における輸送特性
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 今城周作
2. 発表標題 超音波で観るFFLO超伝導の空間異方性
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会(量子液晶シンポジウム)(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今城周作
2. 発表標題 パルス強磁場を活用した分子性導体の研究
3. 学会等名 第17回強磁場フォーラム総会(招待講演)
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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