

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05532

研究課題名(和文) 拡張された圧力領域におけるNMR測定による有機マッシブディラック相の探索

研究課題名(英文) Search for massive Dirac phase by NMR in an extended pressure region

研究代表者

宮川 和也 (Miyagawa, Kazuya)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教

研究者番号：90302760

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では有機導体という分子を構成要素としたバルク試料におけるディラック電子系とその周辺物性が舞台である。有機導体におけるディラック電子系は圧力によって出現する 경우가多いが、本研究課題では印加圧力の大きさや精度、圧力様式などを拡張することにより、核磁気共鳴(NMR)測定を用いて、マッシブディラック相の探索を行った。その結果、マッシブディラック相の可能性のある圧力領域の指摘、常圧ディラック電子相の探索をすることができた。加圧方式においても、これまでの油圧クランプ方式を超える圧力印加や一軸加圧(歪)によるNMR測定を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ディラック電子系は電子の見かけの質量がゼロになることから通常のバンド電子と異なる振舞いをするのが広く知られている。このディラック電子系を出発点として、電子に質量を持たせるようにした系はマッシブディラック電子系と呼ばれ、ディラック電子系の特徴を有しており、これは単純にギャップの開いたバンド電子とは異なる。マッシブディラック電子の存在は理論的にはディラック電子系の出現時から指摘されてきたが、実際の実現例は少ない。本研究課題では圧力を制御することによって、可能性の高い圧力領域をしてきできた。加えて、常圧でもディラック電子を有する可能性のある物質や、加圧方式への挑戦を行った。

研究成果の概要(英文)：In this project, the organic compounds that consist of molecules and is bulk system, give the Dirac electron system. Most of organic Dirac electron system appear under pressure. We try to find massive Dirac electron system by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) measurements in extending pressure region, like as higher pressure than conventional clamp type cell and uni-axial pressure.

We found the pressure region where the massive Dirac state realizes, and ambient pressure organic Dirac system. Moreover, in the pressurization method, we have realized NMR measurement by pressure application that exceeds the conventional hydraulic clamp method and uni-axial pressurization (strain).

研究分野：物性物理

キーワード：ディラック電子系 有機導体 核磁気共鳴 輸送現象 圧力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

加圧が物質科学の機能性の開拓、発現機構の解明など様々な面においてきわめて有効な研究手法であることは広く認められるところである。有機導体は分子を構成要素とし、それらがファンデアワールス力で弱く結合することによって結晶をつくる。このため結晶格子は柔らかく圧力の物性への効果はとりわけ大きい。実際、0.数 GPa という無機物での一般的な値よりも1桁以上小さい圧力によって絶縁体-金属(超伝導)転移などの相転移が観測される(宮川等 Nature (2005))。NMR 測定は電子状態(スピン自由度)を微視的な立場から調べる研究手法であり、有機導体の物性研究で中心的役割を果たしている。NMR 測定は圧力下でも常圧と変わらない情報量を得ることができるというメリットを有すが、我々はこれを最大限に活かし、これまでモット転移や電荷秩序転移など絶縁化機構の解明(宮川等 Chem. Rev.(2004), Phys. Rev. B,(2000))、スピン液体候補物質の発見と超伝導(宮川等 Phys. Rev. Lett. (2003, 2010))、有機バルク試料でのディラック電子系の観測など重要な成果を上げている。

しかし、有機導体における加圧下 NMR 測定には約 3 GPa にひとつの境界がある。有機導体で一般的に使用されているオイルを圧力媒体としたピストンシリンダー型の圧力セルはその構成材料による NMR 測定量への影響が小さく、加えて高い静水圧性を実現するが、それ以上の圧力ではセルが破損する可能性が格段に上がる。一方、近年、別の加圧方式である(有機導体の NMR 測定では利用は難しく測定例の無い)キュービックもしくはダイヤモンドアンビルを用いた電気抵抗測定から、8 GPa という従来よりも一桁程度高い圧力で金属化し、有機物質としては最も高い超伝導転移温度を示す(β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂, J. Phys. Soc. Jpn, (2003))などこれまで充分と思われていた 3 GPa では物質の機能性開拓には不十分であると認識されつつあり、有機物質の高圧研究は開拓の場として益々注目されている。マッシュディラック相もその一つである。

2. 研究の目的

本課題では、これまでのクランプ方式とは異なる方式である対向アンビル方式によってクランプ方式の加圧限界を倍以上引き上げた圧力領域での有機物質を対象とした NMR 実験技術を確認する。圧力環境として静水圧とともに固体圧力媒体を用いた異方的な圧縮法も開発する。本研究では、この実験技法を用いてパラメータの上限を単に上げるだけではなく、有機物質のもつ柔らかな格子を最大限に生かし、強相関ディラック電子における対称性の破れと質量の獲得を伴う新規な相転移という非自明かつ物理学の根幹に関わる問題の解明を行う。有機導体の中には常圧では電荷秩序絶縁体もしくは金属であるが加圧により有効質量ゼロのディラック電子系に転移する系が存在する。電荷秩序の存在は電子間に強い相関が働いていることを示すことから、強相関ディラック電子系が実現している可能性が高い。実際、有機ディラック電子系では電荷不均化がディラック相の実現に関与していると考えられている。有機導体というバルク結晶であるため、グラフェン等他のディラック電子系では難しい NMR による実験が可能である。微視的プローブである NMR は電荷不均化、ディラックコーンの形状を圧力下で評価可能な有機ディラック電子系研究には不可欠なプローブである。理論研究から有機物質でのディラック電子系は加圧による電子相間やバンドパラメータの変化により、2つのディラック点が合体あるいは消滅することでトポロジカルな対称性が異なるいくつかの電子相に転移する可能性が示唆されている(Suzumura, Kobayashi, Crystals 2012)。この問題は質量ゼロの粒子が相互作用により、対称性の低下を伴い質量を獲得するという物理学の深遠な問題を、多体電子系で探求するという意義がある。当初、4 GPa 程度と見積もられた相転移圧は電子相関のない場合であり、電荷秩序相が隣接する有機導体ではより高圧で実現すると思われる。実際、我々の 2 GPa における NMR 研究によって電子相関によってディラックコーンが無相関のそれよりも変形していることを実験的に示した。すなわち 4 GPa よりも高圧で相転移が起こる可能性がある。有機導体でのマッシュディラック相の存在は理論的に指摘されているものの、その実現に必要な圧力などは電子相関や格子形に依存するため、未だ存在が確認されていない。いわば方位も縮尺の無い地図に、マッシュディラックという島が示されている状態である。そこで等方的(静水圧、電子相関制御)、異方的(格子のジオメトリー、バンドパラメータ制御)圧下での NMR 測定をより高圧まで拡張し、電子相間、対称性の破れ、励起ギャップの有無を明らかにしこの問題の解答を得る。

3. 研究の方法

油圧クランプ方式だけでなく超高压下での有機導体試料を用いた NMR 測定を可能にする。このためこれまで有機導体で実績のあるクランプセル方式から新たに対向アンビル方式に取組む。セルのパーツの多くはクランプ方式と同じく磁性は小さい材料であるが、一部に磁化の大きな部分がある。試料空間、素材の吟味など開発を行い、シフトが無機物の1桁以上小さい有機導体でも利用可能にする。有機導体の柔らかな格子をさらに生かすため、異方的圧力下での測定を開始する。これらにより、バンド幅、格子のジオメトリーの制御を可能とする。制御された超高压を利用し相互作用するディラック電子系を圧力によって相転移させマッシュディラック相を実現、質量の獲得過程といった非自明な問題の解明に取組む。

4. 研究成果

ディラック電子系が実現する有機導体 α -(BEDT-TTF)₂I₃ 塩の圧力下 ¹³C NMR の測定を行った。この物質は常圧低温では電荷秩序絶縁体となり、加圧によって絶縁相が消失するとディラック

電子系が現れる。測定圧力は常圧からディラック電子が出現する領域まで行った。磁場を試料の伝導面に対して平行になるように印加することによって、軌道自由度(ランダウゼロモード)の影響を排除した状態で行っている。室温付近では、温度の効果により二次元電子系と見なせる振舞いをした後、より低温では急速に緩和時間、ナイトシフトの減少を観測した。これはディラック電子系のバンド構造に期待されるものである。さらに低温にすると電子相関の効果により、ディラックコーンの先鋭化をナイトシフトの温度依存性から再確認した。これに対して緩和率の温度依存性はナイトシフトとコリンガの関係式から期待されるそれよりも大きく増大し、それが低温になるほど顕著になることを見出した(図 1)。これは、質量ゼロのディラック電子系が低温において電子相関の効果から質量を獲得する前駆現象の可能性がある。増大は傾いたコーンをもつディラック電子系特有の電子散乱によるという理論とも良い一致を見せており、マッシブディラック相の探索に重要な手がかりを得ることができた。

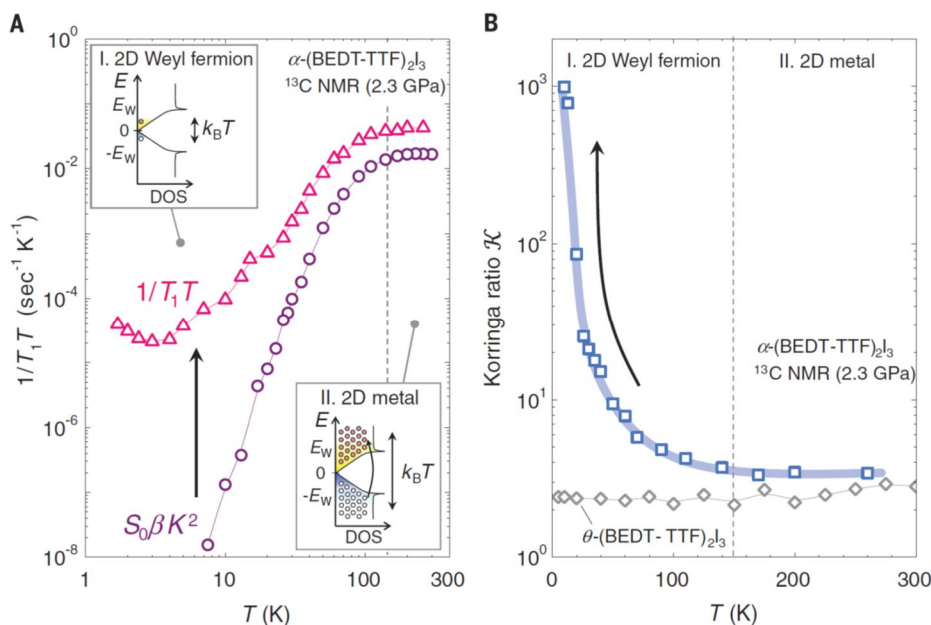


図 1: α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ のディラック電子相(2.3 GPa)における ^{13}C NMR 測定結果。(A) スピン-格子緩和率($1/T_1$)の温度依存性。(B) 観測されたシフトと緩和率から求めた Korringa 比。同時にプロットしているのは電気抵抗が低温で金属であり、Fermi 流体である θ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ である。 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は低温での著しい増大を観測した。

加えて、圧力セルにより小型のものを用いて、試料空間が狭く制限される強磁場中でも試料の回転を可能とすることによって磁場を伝導面内で回転してみたり、ランダウゼロモードが顕著となる磁場配置にしてみたりして NMR 測定を行っている。

ディラック電子系では磁場の伝導面垂直成分が存在するとランダウゼロモードとよばれる特異な状態が形成される。一方で伝導面に対して平行磁場の条件では、上述のようにゼロモードは形成されない。磁場によってスピンの上下に対応して準位分裂が起こる。この際、電子とホールの小さなフェルミ面が形成されるが、これが強い相関によって対を作り、ギャップを開けるエキシトニック絶縁体状態が実現している可能性がある。これを調べるため、磁場中で圧力セルを回転可能な機構をプローブに組み込み、磁場の方向を正確に制御し、磁場を伝導面平行に印加した状況で伝導面内の電気抵抗の測定をポストドク研究員とともに行った。擬二次元伝導体であるため、単純な 4 端子測定では測定量に伝導面間と伝導面内の成分が交じり合うことが期待される。これでは、磁場によって抵抗が変化した場合、どちらの成分によるものかといった議論が難しい。そこで、端子配置や端子数を増やし、さらにポアソン方程式を解くなどして面間、面内成分の分離をはかった。この結果、比較的弱い抵抗の磁場依存性が観測された。この振舞いの説明の一つとして、移動度の磁場による抑制が考えられる。その原因の一つとして NMR 測定で指摘した、エキシトニック絶縁体状態への揺らぎが考えられる。

つぎに α -(BETS) $_2$ I $_3$ 塩の測定を行った。これは上述の加圧下でディラック電子系が出現する BEDT-TTF 塩(α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$)の BEDT-TTF 分子内側の硫黄原子をセレンに置換した分子(BETS)を用いた塩である。常圧において、金属-絶縁体転移を起こし、これは α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ と同じ電荷秩序形成によるものと考えられてきた。しかし、近年、X 線の構造解析により、絶縁体状態において、 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ のような結晶構造の対称性の破れが起こっていないことが指摘され、その絶縁化のメカニズムに興味もたれている。 α -(BETS) $_2$ I $_3$ の ^{13}C NMR は以前に測定

が報告されているが、今回はより詳細に温度依存性や磁場の印加方向依存性を測定した。室温からシフトなどが急激に減少するが、絶縁化が起こる温度以下でも α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ で見られたような分子サイトの対称性の破れは観測されていない。絶縁化のひとつの可能性として、Se 置換によるスピン軌道相互作用の増加によるトポロジカル絶縁体が挙げられる。

常圧においてディラック電子系が期待される単一成分分子性導体 Pt(dmit) $_2$ 塩の 4 端子抵抗測定を試みた。この物質はバンド計算によれば圧力を印加しなくてもディラック電子系が形成されるといわれる物質で、さらにノーダルディラックラインの存在も指摘されている。試料が極微小のため、残念ながら途中で 4 端子測定ができなくなったが 2 端子測定での抵抗の温度依存性は温度に対して弱いものであり、ディラック電子系と矛盾しない結果が得られた。さらにディラック電子系に関連した現象を調べるべく ^{13}C NMR 測定を行った。その結果、室温付近から $1/T_1$ 、シフトともに温度の低下に対して温度のべき乗則で減少していく振る舞いが観測された。この温度依存性は定性的には、ディラックコーンとノーダルディラックラインによる有限の状態密度の存在によって説明可能である。一方で定量的な部分はまだ不十分であり、今後、磁場依存性などの測定が必要となる。

加圧方式に関して、対向アンビル方式を用いて油圧クランプ方式の上限を超える 6 GPa までの安定した加圧に成功した。これ以上の圧力の場合にはセルの組み立て時の微妙な調整に依存して破損やパーツの変形が起きることがあり今後の課題となる。異方的圧力に関しては、圧力媒体にエポキシ系接着剤を用いるため、エポキシ系接着剤を入れる時に試料が動いても試料の配置を変更できないといった問題がある。これに関して、接着剤を入れる際に試料配置が変わらないようにするなど注意しエポキシ樹脂の充填前後で NMR 信号に変化が無い(重点に伴ってアクシデンタルに試料の向きが変わってしまうことが無い)こと成功した。一方、金属線で巻いたコイルと試料の間には固さには差があり、異方的圧による圧縮率が異なる。このためコイル中にもどのように試料を設置するかによって異方的圧力が試料に効率的に印加されないという課題を見出した。このように加圧方式に関しては課題も見出せたが概ね使用可能領域の拡大に成功した。

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 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Urai Mizuki, Miyagawa Kazuya, Sasaki Takahiko, Taniguchi Hiromi, Kanoda Kazushi	4. 巻 124
2. 論文標題 Quantum Disordering of an Antiferromagnetic Order by Quenched Randomness in an Organic Mott Insulator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 117204-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.117204	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 Yamamoto Riku, Furukawa Tetsuya, Miyagawa Kazuya, Sasaki Takahiko, Kanoda Kazushi, Itou Tetsuaki	4. 巻 124
2. 論文標題 Electronic Griffiths Phase in Disordered Mott-Transition Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 046404-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.046404	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 Takehara R., Sunami K., Miyagawa K., Miyamoto T., Okamoto H., Horiuchi S., Kato R., Kanoda K.	4. 巻 5
2. 論文標題 Topological charge transport by mobile dielectric-ferroelectric domain walls	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaax8720-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aax8720	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 Taiga, Sunami Keishi, Miyagawa Kazuya, Takagi Rina, Zhou Biao, Kobayashi Akiko, Kanoda Kazushi	4. 巻 100
2. 論文標題 C13 NMR evidence for strong electron correlation and antiferromagnetic order in the single-component molecular material Pd(tmdt)2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 075117-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.075117	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 Urai Mizuki, Furukawa Tetsuya, Seki Yasuhide, Miyagawa Kazuya, Sasaki Takahiko, Taniguchi Hiromi, Kanoda Kazushi	4. 巻 99
2. 論文標題 Disorder unveils Mott quantum criticality behind a first-order transition in the quasi-two-dimensional organic conductor $(\text{ET})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245139-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.245139	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 K. Sunami, F. Iwase, K. Miyagawa, S. Horiuchi, K. Kobayashi, R. Kumai, and K. Kanoda	4. 巻 99
2. 論文標題 Variation in the nature of the neutral-ionic transition in DMTTF-QCl4 under pressure probed by NQR and NMR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125133-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.125133	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 Biao Zhou, Shoji Ishibashi, Tatsuru Ishii, Takahiko Sekine, Ryosuke Takehara, Kazuya Miyagawa, Kazushi Kanoda, Eiji Nishibori and Akiko Kobayashi	4. 巻 55
2. 論文標題 Single-component molecular conductor $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]_a$; a three-dimensional ambient-pressure molecular Dirac electron system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3327-3330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc00218a	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 K. Miyagawa, T. Sato, H. Hashimoto, M. Kodama, K. Ohnoh, A. Ueda, H. Mori, and K. Kanoda	4. 巻 88
2. 論文標題 Charge Order and Poor Glass-forming Ability of an Anisotropic Triangular-lattice System, $(\text{BEDT-TTF})_2\text{TlCo}(\text{SCN})_4$, Investigated by NMR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 034705-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JPSJ.88.034705	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 T. Sato, K. Kitai, K. Miyagawa, M. Tamura, A. Ueda, H. Mori and K. Kanoda	4. 巻 18
2. 論文標題 Strange metal from a frustration-driven charge order instability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Materials	6. 最初と最後の頁 229-233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1038/s41563-019-0284-9	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 K. Sunami, T. Nishikawa, K. Miyagawa, S. Horiuchi, R. Kato, T. Miyamoto, H. Okamoto and K. Kanoda	4. 巻 4
2. 論文標題 Evidence for solitonic spin excitations from a charge-lattice; coupled ferroelectric order	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaau7725-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aau7725	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 Takayuki Isono, Shiori Sugiura, Taichi Terashima, Kazuya Miyagawa, Kazushi Kanoda and Shinya Uji	4. 巻 9
2. 論文標題 Spin-lattice decoupling in a triangular-lattice quantum spin liquid	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1509-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-04005-1	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 -

1. 著者名 Furukawa Tetsuya, Kobashi Kazuhiko, Kurosaki Yosuke, Miyagawa Kazuya, Kanoda Kazushi	4. 巻 9
2. 論文標題 Quasi-continuous transition from a Fermi liquid to a spin liquid in $-(\text{ET})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 307-1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-02679-7	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 Hirata Michihiro, Ishikawa Kyohei, Matsuno Genki, Kobayashi Akito, Miyagawa Kazuya, Tamura Masafumi, Berthier Claude, Kanoda Kazushi	4. 巻 358
2. 論文標題 Anomalous spin correlations and excitonic instability of interacting 2D Weyl fermions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1403 ~ 1406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aan5351	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 Rina Takagi, Dita Puspita Sari, Saidah Sakinah Mohd-Tajudin, Retno Ashi, Isao Watanabe, Shoji Ishibashi, Kazuya Miyagawa, Satomi Ogura, Biao Zhou, Akiko Kobayashi, and Kazushi Kanoda	4. 巻 96
2. 論文標題 Antiferromagnetic Mott insulating state in the single-component molecular material Pd(tmdt)2	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214432-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.214432	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 V. Ilakovac, S. Carniato, P. Foury-Leylekian, S. Tomic, J.-P. Pouget, P. Lazic, Y. Joly, K. Miyagawa, K. Kanoda, and A. Nicolaou	4. 巻 96
2. 論文標題 Resonant inelastic x-ray scattering probes the electron-phonon coupling in the spin liquid - (BEDT-TTF)2Cu2(CN)3	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184303-1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.184303	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 Rina Takagi, Hiro Gangi, Kazuya Miyagawa, Biao Zhou, Akiko Kobayashi, and Kazushi Kanoda	4. 巻 95
2. 論文標題 Spin-gapped Mott insulator with the dimeric arrangement of twisted molecules Zn(tmdt)2	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224427-1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1103/PhysRevB.95.224427	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7件（うち招待講演 1件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 宮川 和也, 佐藤 拓朗, 橋本 凌, 上田 顕, 森 初果, 鹿野田 一司
2. 発表標題 q-(BEDT-TTF) ₂ X 塩のスピン-スピン緩和時間測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuya Miyagawa, Matsuno Manabu, Michihiro Hirata, Tamura Masafumi, and Kazushi Kanoda
2. 発表標題 Spin and valley degree of freedom in a bulk massless-Dirac electron system, a-(BEDT-TTF) ₂ I ₃ under magnetic fields
3. 学会等名 APS March Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Miyagawa, M. Matsuno, T. Taniguchi, D. Liu, M. Hirata, M. Tamura, K. Kanoda
2. 発表標題 Symmetry breaking of spin and valley degree of freedom in an organic massless-Dirac system, a-(BEDT-TTF) ₂ I ₃ under magnetic field
3. 学会等名 International Conference on Magnetism 2018 (ICM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuya Miyagawa, Takuro Sato, Himuro Hashimoto, Akira Ueda, Hatsumi Mori, Kazushi Kanoda
2. 発表標題 13C NMR Study on Charge Ordered Insulator, q-(BEDT-TTF) ₂ TiCo(SCN) ₄
3. 学会等名 APS Mach Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Miyagawa
2. 発表標題 Magnetism and Superconductivity of Organic Triangular Lattice System
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuya Miyagawa, Hiroshi Ooike, Hiromi Taniguchi, Kazushi Kanoda
2. 発表標題 13C NMR Study on Organic Triangular Lattice Systems, k-(BEDT-TTF)2Cu2(CN)3 and k-(BEDT-TTF)4Hg2.89Br8
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems(SCES 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮川和也, 稲垣雄介, 加藤直也, 田村雅史, 鹿野田一司
2. 発表標題 13C NMR による k-(BEDT-TTF)2I3の低温磁性
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017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
---------	---------------------------	-----------------------	----