

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05846

研究課題名(和文) 末端に運動自由度を持つ置換基を配位子に導入した単一分子性伝導体の合成と物性研究

研究課題名(英文) Development of single-component molecular conductors by using extended TTF-type dithiolate ligands with freedom of movement

研究代表者

周 彪 (ZHOU, Biao)

日本大学・文理学部・教授

研究者番号：80434067

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：単一分子性伝導体[M(dmdt)₂] (M = Ni, Pd, Pt)系では、[M(tmdt)₂]系と分子構造が似ているが、分子の配列が異なるため、結晶構造が異なっている。dmdt配位子末端の回転自由度を持つメチル基があり、結晶構造が制御していることが考えられる。また、[M(dmdt)₂]系は温度依存性がほとんど示さない高い伝導度を示し、強い反磁性を示した。バンド構造計算より、[M(dmdt)₂]系はフェルミエネルギー付近にディラック・コーンが存在し、初の常圧分子性ディラック電子系であることを強く示唆されていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単一分子性伝導体により常圧分子性ディラック電子系が実現されたことから、他の高圧分子性ディラック系では不可能な物性測定を容易に行う事が出来る。常圧下で種々の物性測定により、分子性ディラック電子系の物理的な性質を明らかにすることがひとつの鍵となる。また、単一分子性伝導体の中心金属の違いにより電子物性が大きく異なる特徴があることから、分子性物質の電子構造や、機能を理解するのに重要な情報を提供できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The single-component molecular conductors are newly emerging molecular materials, which have brought about diverse electronic phases originating from intramolecular multi-orbitals. The single-component molecular conductors [M(dmdt)₂] (M = Ni, Pd, Pt) systems, are sought-after ambient-pressure molecular massless Dirac materials. Band calculations based on first-principles density functional theory reveal three-dimensional Dirac nodal lines lying approximately at the Fermi level. Temperature-insensitive conductivity and temperature-dependent spin susceptibility nearly vanishing at low temperature, in conjunction with the band-structure calculations, indicate that [M(dmdt)₂] systems host strongly correlated massless Dirac electrons with nodal lines at ambient pressure, not previously substantiated in molecular materials.

研究分野：機能物質化学

キーワード：単一分子性伝導体 ディラック電子系 分子運動自由度

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来の分子性金属は二種類以上の分子種から構成されていたのに対し、拡張 TTF 骨格を持つジチオレン配位子を用いた金属錯体[Ni(tmdt)₂]は初めての一種類の分子種から構成された単一分子性金属である(H. Tanaka, et al. *Science* **2001**, 291, 285)。また、申請者らはこの分子の中心金属の Ni を他の遷移金属原子に置換すると、結晶構造を同型に保ったままで物性が大きく異なる一連の単一分子性金属[M(tmdt)₂] (M = Au, Cu, Pt, Pd)を実現した。例えば、[Pt(tmdt)₂]は微小結晶を押し固めた粉末試料であるにもかかわらず、従来の分子性伝導体の常識を破る高い伝導性を示し、ヘリウム温度まで金属的伝導性を示した(B. Zhou, et al. *Adv. Mater.* **2009**, 21, 3596)。また、奇数電子を持つ[Au(tmdt)₂]は金属性を保ったまま 110 K という高い温度で反強磁性相転移をし(B. Zhou, et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, 128, 3872)、[Cu(tmdt)₂]は一次元ハイゼンベルグ鎖の振舞いを示し、13 K で反強磁性相転移をする事が判明した(B. Zhou, et al. *Inorg. Chem.* **2010**, 49, 6740)。しかしながら、[Ni(tmdt)₂]、[Pt(tmdt)₂]と同じ偶数電子を持つ[Pd(tmdt)₂]は強い電子相関により、50 K で反強磁性モット絶縁体になる興味深い結果を発表した(S. Ogura, et al. *Inorg. Chem.* **2016**, 55, 7709)。

また、単一分子性伝導体は配位子分子末端置換基の違いによって分子構造、物性が異なる事が予想される。例えば、申請者らは[Cu(dmdt)₂]は、平面四配位構造を持つ[Cu(tmdt)₂]と違って、Cu が四面体配位構造をとり、95 K という高い温度において、磁性と伝導性がカップルした相転移をする事が判明した(B. Zhou, et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, 134, 12724)。さらに、小林らは単一分子性伝導体[Ni(hfdt)₂]の 7.5 GPa の圧力下における転移温度 5.5K の超伝導転移を報告した(H. Cui, et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, 136, 7619)。この中性単一分子による分子性超伝導体の実現により、従来の無機・有機物質群とは異なる新しい導電性物質群の創成が期待できるようになった。特に、水銀や鉛などの無機金属のように、常圧下での超伝導性を示す単一分子性超伝導体の実現が期待される。

更に、最近グラフェンや α -(BEDT-TTF)₂I₃ のような分子性ディラック電子系は質量ゼロの伝導電子をもつ、高いキャリア速度を示すため、新しい型の電気伝導体として注目されている。単一分子性伝導体は分子の HOMO-LUMO 準位差が比較的小さく、HOMO 由来のバンドと LUMO 由来のバンドの重なりにより金属化されている。一方、加藤らは小さいジチオレン配位子を持つ単一分子性伝導体[Pd(dddt)₂]が高圧下でディラック・コーンを形成していることを報告した(圓谷ら、*日本物理学会 2014 年秋季大会*, 9pAG-1)。拡張 TTF 骨格を持つ単一分子性伝導体の HOMO バンドと LUMO バンド混成が強められていることがわかり、常圧単一分子性ディラック電子系が実現できると考えられる。

2. 研究の目的

単一分子性伝導体は配位子分子末端に置換基を導入することにより、分子配列と分子間相互作用を調節することができ、物性を制御することができるという特徴を持っている。初めての単一分子性超伝導体[Ni(hfdt)₂]の結晶構造は配位子 hfdt 末端に導入した CF₃ 基によって、分断された積層構造となっていた。つまり、配位子分子末端に運動自由度の導入により、超伝導の発現に関与していると考えられる。そこで、本研究では、これまでの研究成果を発展させ、分子末端に運動自由度を有するジチオレン配位子と異なる中心金属が形成する単一分子性錯体を合成し、そ

これらの構造決定と物性測定を行い、新規の単一分子性伝導体・超伝導体の開発を目指している。特に、拡張 TTF 型ジチオレン配位子として、最も有名な有機超伝導体 TMTSF、BEDT-TTF と類似分子末端をもつ dmdt、etdt などを用いて、単一分子性錯体 $[M(L)_2]$ ($M = Ni, Pd, Pt, Au$)を中心に検討を行う。また、配位子分子末端置換基の違いにより、分子の配列を制御することができる。そしてこの制御を通して、HOMO バンドと LUMO バンドの重なりをコントロールすることにより、常圧単一分子性ディラック電子系の開発の検討も行う。

3. 研究の方法

具体的には以下のような実験を行い、その結果を検討する。

- (1) 配位子と錯体合成 本研究計画では、主に分子末端に運動自由度を有する拡張 TTF 型ジチオレン配位子 dmdt、etdtなどを合成し、中心金属を変えて単一分子性伝導体 $[M(L)_2]$ ($M = Ni, Pd, Pt, Au$ など)を一連に合成する。
- (2) 構造解析 得られた単一分子性伝導体の構造に関して、単結晶 X 線回折実験及び放射光粉末 X 線回折実験により、構造解析を行う。
- (3) 物性測定 得られた単一分子性伝導体の電気伝導性を調べるために、伝導度測定装置を用いて測定する。磁気特性、および電子状態の変化に伴う磁性への影響を検討するには、SQUID 装置と ESR 装置を用いて測定する。
- (4) 理論計算 単一分子性伝導体の電子状態を調べるために、密度汎関数理論(DFT)に基づいた Materials Studio の CASTEP モジュールを用いて理論計算を行う。

4. 研究成果

本研究では、初の有機超伝導体 TMTSF と類似分子末端をもつジチオレン配位子 dmdt を用いて新しい単一分子性金属である $[M(dmdt)_2]$ ($M = Ni, Pd, Pt$)の微小単結晶を得ることができた。単結晶 X 線回折実験及び放射光粉末 X 線回折実験により、中性の $[M(dmdt)_2]$ ($M = Ni, Pd, Pt$)は互いに同型であることが判明した。

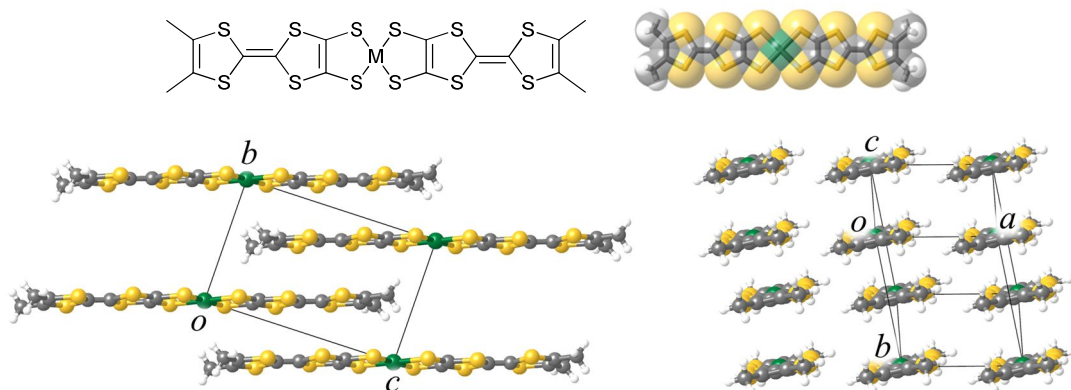


図1 $[Pt(dmdt)_2]$ の分子構造(上)と結晶構造(下)

図1に示した通り、 $[Pt(dmdt)_2]$ 分子中心金属のPt原子は、平面四配位で、末端部分までほぼ平面構造をとっている。 $[Pt(dmdt)_2]$ の結晶構造は $[Pt(tmdt)_2]$ と同様に、単位格子内にたった一個の分子しかなく、中心金属のPt原子は格子点に乗っており、コンパクトで単純な構造をしている。 $[Pt(dmdt)_2]$ は分子長軸方向($b+c$ 軸)に半周期ずつずれたように**b**軸方向に沿って積層構造をしている。この積層方向にファンデルワールス距離(3.7 Å)より短いS...S接触が複数存在しており、分子長軸方向($b+c$ 軸)向へ半周期のずれも手伝って、**b**、**c**軸方向に強い分子間相互作用が働いて

いると考えられる。しかし、 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ と $[\text{Pt}(\text{tmdt})_2]$ 分子長軸方向の配列が異なっていることが分かった。 $[\text{Pt}(\text{tmdt})_2]$ は a 軸に沿って分子がほぼ水平に配列しているが、 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ は a 軸よりやや斜めに配列している。また、 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ 結晶 a 軸の長さ(6.619 Å)は $[\text{Pt}(\text{tmdt})_2]$ 結晶(6.376 Å)より若干長いため、 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ 結晶 a 軸方向に分子間相互作用が無視できると考えられる。dmdt 配位子末端の回転自由度を持つメチル基があり、結晶構造が制御していることを考えられる。

$[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ の微小結晶を押し固めた試料の伝導度は室温で約 150 S cm^{-1} であり、温度依存性をほとんど示さない、10 K でも約 120 S cm^{-1} 僅かに減少し、高い伝導度を示した。磁化率は室温で $1.2 \times 10^{-4} \text{ emu} \cdot \text{mol}^{-1}$ であり、伝導電子のパウリ常磁性的な振る舞いが見られているが、温度の低下とともに、急激に減少し、120 K 以下でほとんど消失した。図 2 に示した通り、これまで非磁性状態で高い伝導度を示す分子性伝導体では観測された例がなく、低温物性に非常に興味を持たれる。

第一原理 DFT に基づくバンド構造計算を行ったところ、 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ では、常圧下でフェルミエネルギー付近にディラック・コーンが存在し(図 3)、 a^* 方向に沿って線上にディラック・ノード線を有するディラック物質であることを明らかにした。分子(有機)物質でのディラック電子系としては、二次元分子性伝導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ (1.5GPa以上)と $[\text{Pd}(\text{ddt})_2]$ (12.6GPa)がある。いずれも高圧下で見いだされた。したがって、 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ は初の常圧分子性ディラック電子系であるのではないかと考えている。

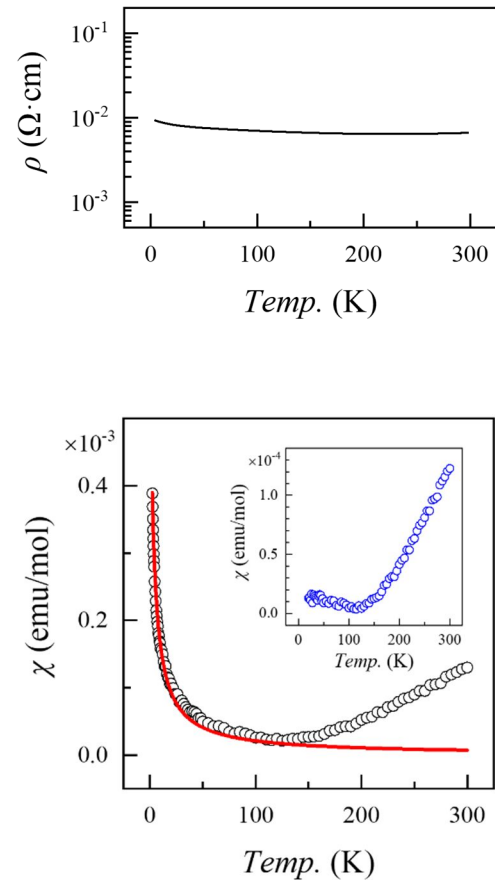


図 2 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ の電気抵抗(上)と磁化率(下)の温度依存性

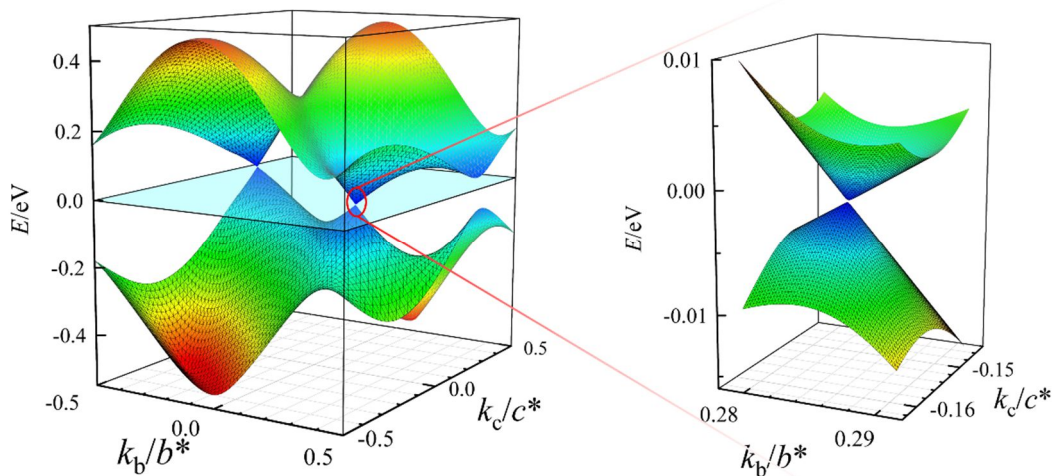


図 3 $[\text{Pt}(\text{dmdt})_2]$ のフェルミエネルギー付近でのバンド分散図(左)とディラック・コーン(右)

一方、図4に示した通り、[Ni(dmdt)₂]の粉末圧縮ペレット試料の伝導度は室温(295 K)で200 S/cm、温度依存性をあまり示さずに、低温(10 K)でも100 S/cm と高い値を示した。磁化率測定では、[Ni(dmdt)₂]は強い反磁性を示し、磁化率は室温で 0.3×10^{-4} emu/mol、以降は70 K で -2.2×10^{-4} emu/molを示すまで低下し続けた。[Ni(dmdt)₂]の物性挙動は[Pt(dmdt)₂]と酷似しており、抵抗率と同様にディラック電子系であることが示唆されていた。[Pt(dmdt)₂]では磁化率が120 Kでのゼロまでしか低下しなかったこと、その変化量が[Pt(dmdt)₂]で 1.2×10^{-4} emu/molであったのに対し、[Ni(dmdt)₂]では倍以上の 2.5×10^{-4} emu/molであることから、より強くディラック電子系性が現れていると考えられる。また、¹³C-NMRの測定の結果でも、[Ni(dmdt)₂]の方が強くディラック電子系性が発現していると示唆されていた。第一原理バンド計算では、[Pt(dmdt)₂]とよく似ているバンドエネルギー曲線とDOSが得られ、ディラック・コーンの存在が確認された。これにより、[Ni(dmdt)₂]が確かにディラック電子系であると証明された。更に、[Ni(dmdt)₂]のフェルミ面が[Pt(dmdt)₂]より細くなっており、金属性が低くなっていたと考えられる。

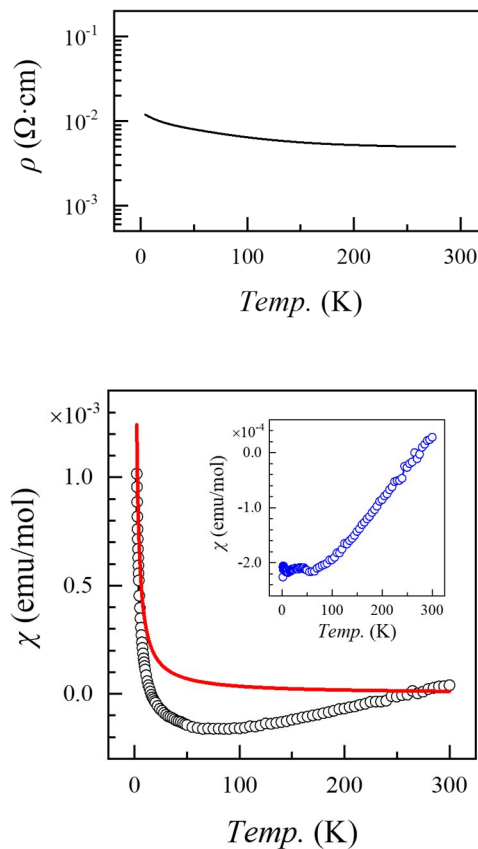


図4 [Ni(dmdt)₂]の電気抵抗(上)と磁化率(下)の温度依存性

また、最も有名な有機超伝導体 BEDT-TTF と類似分子末端をもつ拡張 TTF ジチオレン配位子 etdt を用いて、新しい単一分子性伝導体[Au(etdt)₂]の合成と物性測定を行なった。図5に示した通り、単結晶 X 線構造解析結果、中性[Au(etdt)₂]は、溶媒分子である THF を含んでおり、非常に珍しい単一分子性伝導体である。中心金属 Au は平面四配位であり、錯体全体はだいたい平面的な構造を成していたが、配位子の末端部分が少し折れ曲がった構造を成していた。これは含んでいる THF 分子の影響であると考えられる。[Au(etdt)₂]はダイマーを形成し、*ab*面に二次元構造を作り、*c*軸方向に沿って層状構造をしていた。粉末試料の伝導度は室温で0.2 S/cm であり、半導体的な振る舞いを示した。また、約0.6%磁性不純物($S = 1/2$)をのぞくと室温での磁化率は非常に低い値 3.0×10^{-5} emu/mol であり、バンドギャップを持つ非磁性状態にあると予想される。

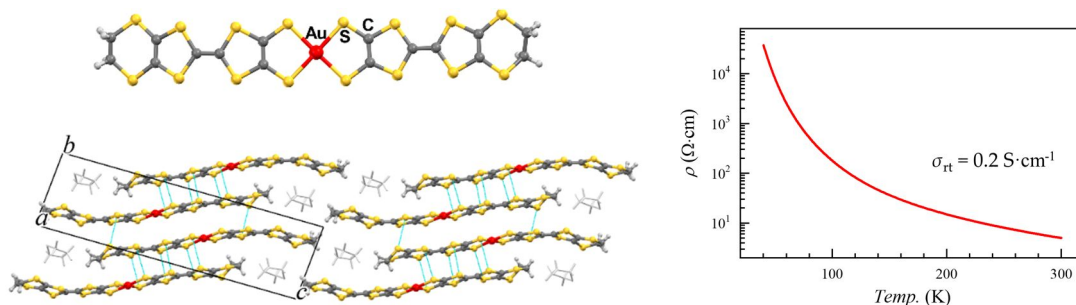


図5 [Au(etdt)₂]の構造(左)と電気抵抗の温度依存性(右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sakaguchi Kazuha, Zhou Biao, Idobata Yuki, Kamebuchi Hajime, Kobayashi Akiko	4. 巻 10
2. 論文標題 Syntheses, Structures, and Physical Properties of Neutral Gold Dithiolate Complex, [Au(etdt) ₂]·THF	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1001 ~ 1001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10111001	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 Hiraki Ko-ichi, Takahashi Toshihiro, Akiba Hiroshi, Nishio Yutaka, Zhou Biao	4. 巻 10
2. 論文標題 Microscopic Observation of Spin Polarization by d Localized Spin in Type BETS Based Organic Superconductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1055 ~ 1055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10111055	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 Hassanien Abdou, Zhou Biao, Kobayashi Akiko	4. 巻 6
2. 論文標題 Spontaneous Antiferromagnetic Ordering in a Single Layer of (BETS) ₂ GaCl ₄ Organic Superconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2000461 ~ 2000461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.202000461	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 Takagi Rina, Gangi Hiro, Miyagawa Kazuya, Nishibori Eiji, Kasai Hidetaka, Seo Hitoshi, Zhou Biao, Kobayashi Akiko, Kanoda Kazushi	4. 巻 2
2. 論文標題 Multiorbital antiferromagnetic metal induced by intramolecular self-doping	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 33321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.033321	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 Kawamura Taiki, Ohki Daigo, Zhou Biao, Kobayashi Akiko, Kobayashi Akito	4. 巻 89
2. 論文標題 Tight-Binding Model and Electronic Property of Dirac Nodal Line in Single-Component Molecular Conductor [Pt(dmdt) ₂]	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 074704 ~ 074704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.074704	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 Miyazaki Yusuke, Zhou Biao, Tsuji Hiroaki, Kawatsura Motoi	4. 巻 22
2. 論文標題 Nickel-Catalyzed Asymmetric Friedel-Crafts Propargylation of 3-Substituted Indoles with Propargylic Carbonates Bearing an Internal Alkyne Group	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 2049 ~ 2053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c00465	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 Oshimoto Kohei, Zhou Biao, Tsuji Hiroaki, Kawatsura Motoi	4. 巻 18
2. 論文標題 Synthesis of substituted benzo[b][1,4]oxazepine derivatives by the reaction of 2-aminophenols with alkynones	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 415 ~ 419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ob02450f	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 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 75117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 Biao Zhou, Shoji Ishibashi, Tatsuru Ishii, Takahiko Sekine, Ryosuke Takehara, Kazuya Miyagawa, Kazushi Kanoda, Eiji Nishibori, Akiko Kobayashi	4. 巻 55
2. 論文標題 Single-component molecular conductor [Pt(dmdt) ₂] - 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 該当する

1. 著者名 Tetsuo Asaji, Yoshiharu Ito, Hiroki Fujimori, Biao Zhou	4. 巻 123
2. 論文標題 Ring-Puckering Motion of Azetidinium Cations in a Metal-Organic Perovskite [(CH ₂) ₃ NH ₂][M(HCOO) ₃] (M = Zn, Mg) - A Thermal and 1H NMR Relaxation Study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4291-4298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b11789	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 Kouichi Watanabe, Yusuke Miyazaki, Masataka Okubo, Biao Zhou, Hiroaki Tsuji, and Motoi Kawatsura	4. 巻 20
2. 論文標題 Nickel-Catalyzed Asymmetric Propargylic Amination of Propargylic Carbonates Bearing an Internal Alkyne Group	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 5448-5451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.8b02325	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 Shiori Sugiura, Kazuo Shimada, Naoya Tajima, Yutaka Nishio, Taichi Terashima, Takayuki Isono, Reizo Kato, Biao Zhou, Shinya Uji	4. 巻 87
2. 論文標題 Magnetocaloric Effect in Layered Organic Conductor -(BETS) ₂ FeCl ₄	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 44601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.044601	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 Shiori Sugiura, Kazuo Shimada, Naoya Tajima, Yutaka Nishio, Taichi Terashima, Takayuki Isono, Reizo Kato, Biao Zhou, Shinya Uji	4. 巻 87
2. 論文標題 Magnetocaloric Effect in Layered Organic Conductor λ - $(\text{BETS})_2\text{FeCl}_4$	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 44601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.044601	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 Yukiko Tsuchi, Hiroataka Watanabe, Masaki Kogawa, Biao Zhou, Hiroaki Tsuji, Motoi Kawatsura	4. 巻 59
2. 論文標題 Double amination of 2-fluoroallylic acetates by palladium catalysts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 1264-1267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2018.02.047	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 Rina Takagi, Dita Puspita Sari, Saidah Sakinah Mohd-Tajudin, Retno Ashi, Isao Watanabe, Shoji Ishibashi, Kazuya Miyagawa, Satomi Ogura, Biao Zhou, Akiko Kobayashi, Kazushi Kanoda	4. 巻 96
2. 論文標題 Antiferromagnetic Mott insulating state in the single-component molecular material $\text{Pd}(\text{tmdt})_2$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214432
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 -

1. 著者名 Yuji Imai, Biao Zhou, Akiko Kobayashi	4. 巻 2
2. 論文標題 Dielectric Properties of Methanol Molecules Incorporated in Porous Coordination Polymer Crystal, $[\text{La}_2\text{Cu}_3(\text{IDA})_6]$ (IDA = $[\text{NH}(\text{CH}_2\text{COO})_2]_2^-$)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Accounts of Materials & Surface Research	6. 最初と最後の頁 101-109
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 Rina Takagi, Hiro Gangi, Kazuya Miyagawa, Biao Zhou, Akiko Kobayashi, 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
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 -

1. 著者名 Masaki Kogawa, Hiroataka Watanabe, Mitsuaki Yamamoto, Yukiko Tsuchi, Biao Zhou, Motoi Kawatsura	4. 巻 28
2. 論文標題 Regioselective Three-Component Coupling by the Palladium-Catalyzed Reaction of 2-Fluoroallylic Acetates with Phenols and Imides	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 1071-1074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0036-1588143	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 S. Uji, T. Terashima, T. Konoike, T. Yamaguchi, S. Yasuzuka, A. Kobayashi, B. Zhou	4. 巻 95
2. 論文標題 Internal Field Effect on Vortex States in Layered Organic Superconductor λ -BaFe _{1-x} GaxCl ₄ (x=0.37)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.165133	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19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 川村泰喜、周彪、小林昭子、小林晃人
2. 発表標題 単一成分分子性導体中のディラックノーダルライン系における電子相関効果
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 関根孝彦、須波圭史、宮川和也、秋元健汰、周彪、石橋章司、小林昭子、鹿野田一司
2. 発表標題 Dirac nodal line物質M(dmdt) ₂ (M = Ni, Pt)の ¹³ C-NMR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 周彪
2. 発表標題 ポラス結晶に取り込まれたゲスト分子に由来する誘電特性
3. 学会等名 第56回熱測定討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川村泰喜、周彪、小林昭子、小林晃人
2. 発表標題 単一成分分子性導体[Pt(dmdt) ₂]のエッジにおける電子相関効果
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 中島良太、周彪
2. 発表標題 純有機単一分子性伝導体[H(etdc)]の合成、構造および物性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂口一葉、周彪
2. 発表標題 単一分子性伝導体[M(etdt) ₂] (M = Ni, Au)の合成および物性について
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋元健汰、周彪
2. 発表標題 単一分子性伝導体[Ni(dmdt) ₂]の合成と構造
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kajimura, B. Zhou
2. 発表標題 Synthesis, structure and magnetic properties of a manganese complex with extended-tetrathiafulvalene dicarboxylate ligand
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚原直輝、周彪
2. 発表標題 (1,3,5-)-1,3,5,-シクロヘキサントリカルボン酸を用いたMn(II)ポーラス結晶の合成、構造及び物性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 峯沢文弥、田嶋尚也、西尾豊、周彪、加藤礼三
2. 発表標題 -BETS2FeCl4系の金属 - 絶縁体転移
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根孝彦、須波圭史、竹原陵介、宮川和也、周彪、小林昭子、鹿野田一司
2. 発表標題 常圧masslessディラック電子系Pt(dmdt)2の13C NMR測定
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 B. Zhou, S. Ishibashi, T. Ishii, T. Sekine, R. Takehara, K. Miyagawa, K. Kanoda, E. Nishibori, A. Kobayashi
2. 発表標題 Single-Component Molecular Conductor [Pt(dmdt)2]-An Ambient Molecular Dirac Material
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Nakajima, B. Zhou
2. 発表標題 Synthesis, Structures, and Properties of Novel Molecular Conductors Based on Extended-Tetrathiafulvalene Dicarboxylate Donors
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島良太、周彪
2. 発表標題 拡張型TTFジカルボン酸配位子を有するコバルト錯体の構造と物性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋泰賀、須波圭史、宮川和也、周彪、小林昭子、鹿野田一司
2. 発表標題 単一分子種伝導体Zn(tmdt) ₂ の压力下 ¹³ C-NMR測定
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉浦菜理、鴻池貴子、寺嶋太一、周彪、宇治進也
2. 発表標題 磁場誘起超伝導体 (BETS) ₂ FeBr ₄ の磁束状態
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋泰賀、須波圭史、宮川和也、高木里奈、周彪、小林昭子、鹿野田一司
2. 発表標題 単一分子種伝導体Pd(tmdt) ₂ の ¹³ C-NMR測定
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中島良太、周彪
2. 発表標題 dmit-(COOH) ₂ を用いたマンガン及びコバルト錯体の合成と構造
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Biao Zhou
2. 発表標題 A New Series of Single-Component Molecular Conductors, [M(dmdt) ₂] (M = Ni, Pd, Pt, Au)
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2017) (国際学会)
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
---------------------------	-----------------------	----

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