

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05850

研究課題名(和文) 圧力誘起単一成分分子性超伝導体およびディラック電子系の開発

研究課題名(英文) Development of pressure induced single-component superconductors and Dirac materials

研究代表者

崔 亨波 (Cui, Hengbo)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・研究員

研究者番号：10425415

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)：(1), 単一成分分子性超伝導体の開発を目的とし、二量体構造を有する[M(hfdt)₂] (M=Au, Pd, Pt)と、二種類の[Pt(hfdt)₂]結晶を作製し、圧力下電気抵抗測定を行った。(2), 圧力下ディラック電子系である[Pd(dddt)₂]と同型構造[Ni(dddt)₂]の圧力下単結晶構造測定を行い、ディラックコーンの形成起源と中心金属置換が高圧物性に与える影響を明らかにした。(3), [Ni(ddds)₂]の圧力下単結晶構造解析を行い、3.1 GPaで、二量体内のNi-Se結合の消失とともにNi-Ni結合が生成し、11 GPaではSe-Se結合が一分子おきに生成することを発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単一成分分子性伝導体は、今まで研究されている二種類以上の組成からなる分子性伝導体と異なり、結晶中に一種類の分子しか存在しないため、理論的計算や物性の解明が比較的容易である。特に、単一成分分子性超伝導体とディラック電子系物質は、エネルギー節約材料として期待されことから、材料開発研究において非常に重要な位置を占めている。本研究で得られた結果は、将来の新規単一成分分子性機能材料開発と物性機構解明において新たな方向性と知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：(1), For development of single-component molecular superconductors, [M(hfdt)₂] (M = Au, Pd, Pt) with a dimer structure and two polymorphs of [Pt(hfdt)₂] crystals were synthesized. The electrical resistance under pressure was measured up to 20GPa. (2), The high pressure single crystal structure of [Pd(dddt)₂], which is a Dirac electron system under pressure, and the isostructural [Ni(dddt)₂] were measured. The origin of Dirac cone formation mechanism and the effect of central metal substitution on high pressure properties were investigated. (3), The high-pressure single crystal synchrotron X-ray diffraction was performed up to 11 GPa. two steps crystal structure transitions were found around 3 GPa and 11 GPa, respectively. Inside dimer, Ni-Se bond at ambient pressure was disappeared and new Ni-Ni bond were formed at 3.1 GPa, and two new Se-Se bonds were formed between two Ni(ddds)₂ molecule at 11GPa.

研究分野：物理化学

キーワード：単一成分分子性伝導体 ジチオレン金属錯体 超伝導体 ディラック電子系 高圧物性 高圧結晶構造

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

単一成分分子性伝導体の研究は、通常の分子性伝導体と異なり一種類の分子から形成され、多彩な機能性材料の開発と理論的検証が比較的容易であることから注目を集めている。本研究はホモ-ルモ-のエネルギー差が小さいジチオンレン金属錯体からなる単結晶を研究対象としている。しかし、この系は単結晶の作製が非常に困難なため、研究を始める時には二種類の常圧下金属と、我々が発見した三種類の圧力下金属およびフランスのグループが発見した二種類の圧力下金属しか発表されてない。また、圧力下において一例目の超伝導体とディラック電子系が新たに発見され、新規超伝導体とディラック電子系の開発の期待が高まった。

2. 研究の目的

単一成分分子性超伝導体である[Ni(hfdt)₂]と同様な配位子hfdt (hfdt = bis(trifluoromethyl) tetrathiafulvalenedithiolate)と新規配位子を合成し、遷移金属(Au, Pd, Pt, Cu, Co)と組み合わせることによる単一成分分子性単結晶を作製、結晶構造解析、ダイヤモンドアンビル(DAC)を用いた超高压下物性測定を通じて、新規な単一成分分子性超伝導体およびディラック電子系物質を発見し、物性解明を目標とした。

3. 研究の方法

新規単一成分分子性超伝導体を開発するにあたって、配位子の候補物質として、二種類のジチオンレン配位子hfdtおよびMeS2dtを合成する。超伝導である[Ni(hfdt)₂]と同じ配位子を使用し、中心遷移金属NiをAu, Pt, Pd, Co, Cuとの置換を行い、単結晶作製を行う。圧力下ディラック電子系を発見した[Pd(ddd)₂]の中心金属をNi, Pt, Au, に置換した単結晶の作製、ddd配位子をセレン置換した配位子を利用して、新規単一成分分子性結晶を合成する。常圧と高压下での結晶構造解析、電気的性質測定、バンド構造計算を行うことにより、合成した単結晶の物性を明らかにする。金属状態および超伝導を示す結晶に関しては、多重極限下(超高压、強磁場、極低温)電気抵抗測定を通じて、超伝導状態の確認と高压下電子物性の解明を行う。

4. 研究成果

(1), 単一成分分子性超伝導体である[Ni(hfdt)₂] (8.1 GPa $T_c = 5.5$ K) と異なる結晶構造を持つ、単一成分分子性結晶[M(hfdt)₂] (M= Au, Pd, Pt), を作製し、電気抵抗を 23 GPa まで測定した。[Au(hfdt)₂]結晶は、二つの[Au(hfdt)]分子が弱いダイマーを形成し、末端のCF₃基により伝導層が分離された二次元的な積層構造を取っている(図 1a)。加圧成形試料の伝導度は $3.2 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 、活性化エネルギー(E_a)は 0.12 eV であり、[Ni(hfdt)]単結晶(0.14 eV)より小さく、比較的低い圧力で金属化が実現できると予想された。今回、大型単結晶の作製に成功し、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いた四端子法により圧力下電気抵抗測定を行った結果、[Au(hfdt)₂]単結晶の常圧下伝導度は $8 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 、 E_a は 120 meV であった。しかし、圧力印加による電気抵抗の急激な変化は観測されず、23.1 GPa での伝導度と E_a はそれぞれ 10 S cm^{-1} 、10 meV であった。室温伝導率は加圧とともにゆっくり減少し 15 GPa 付近で一定値に到達した後、ほとんど圧力依存性を示さない。一方、 E_a は 20 GPa 以上でも徐々に減少し、金属状態を実現するためには更に高い圧力が必要と考えている。[Pd(hfdt)₂]結晶は、[Pd(hfdt)₂]分子が強い二量体を形成し、常圧では半導体であり、加圧成形試料の室温伝導度(σ_{rt})は $3.7 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 、活性化エネルギー(E_a)は 0.16 eV である[3]。単結晶を用いて測定した結果、 σ_{rt} は $1.8 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 、 E_a は 155 meV である。圧力印加による電気抵抗と E_a の急激な変化は観測されず、19.8 GPa でも半導体のままで、 σ_{rt} は 0.3 S cm^{-1} 、 E_a は 57 meV であった。しかし、面間方向の電気抵抗測定を行った結果、圧力印加の影響が著しく、13 GPa では金属領域が現れ、70 K まで金属状態を保つことを発見した。一方、新規作製した[Pt(hfdt)₂]は[Ni(hfdt)₂]と同型構造で(図 1b)、常圧の σ_{rt} は $9 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ 、 E_a は 215 meV であった。室温電気抵抗率と E_a の加圧と共に急激に減少し、9 GPa では金属領域が現

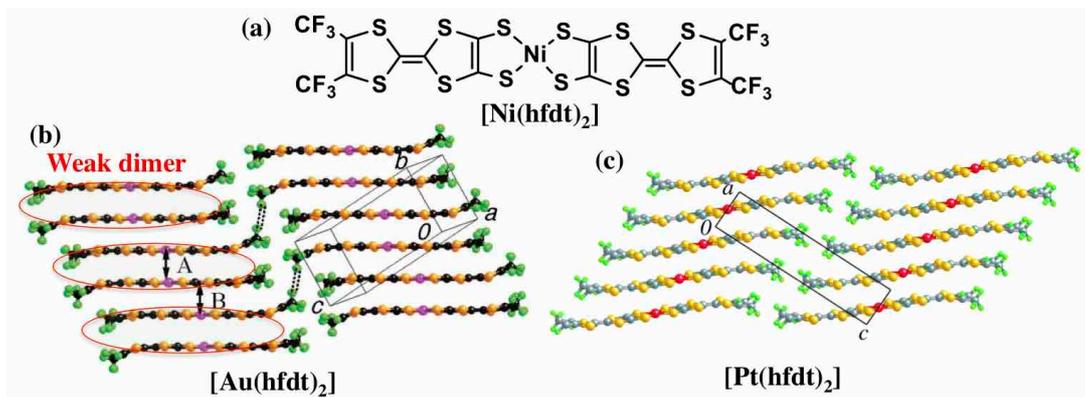


図 1. (a) [Ni(hfdt)₂]の分子構造, (b) [Au(hfdt)₂]結晶構造, (c) [Pt(hfdt)₂]結晶構造

れ、40 K 付近まで金属状態を保つ。11 GPa では、金属状態が更に低い温度まで安定し、5 K 付近では電気抵抗が僅かながら一旦上昇してから減少する。また、圧力下第一原理バンド計算を行った結果、8 GPa で金属バンドを形成することが判明した。7.2 GPa での磁気抵抗測定では強いスピン相互作用を持つ二次元系の性質を表す、低い磁場では磁気抵抗が上昇し、その後一旦減少してから上昇する電氣的性質が観測された。

(2), 圧力下ディラック電子系を発見した単一成分分子性結晶[Pd(dddtt)₂] (dddtt= 5,6- dihydro-1,4- dithiin- 2,3-dithiolate)に使用した配位子 dddd の Se 誘導体配位子 ddds を用いて中性の [Ni(dddss)₂]単結晶を作製した。結晶中、[Ni(dddss)₂]分子は強い Ni-Se 結合を持つ二量体を形成し、二量体は a 軸方向に積層する(図2)。DAC を用いた電気抵抗測定を行った結果、1.9 GPa での室温伝導度(σ_{rt})は $8 \times 10 \text{ S cm}^{-1}$ 、活性化エネルギー- E_a は 203 meV であった。低い圧力領域では、抵抗率と E_a は加圧とともに急激に減少し、10.8 GPaでは、 σ_{rt} は 3 S cm^{-1} 、 E_a は20 meV であった。しかし、それ以上の圧力では σ_{rt} と E_a は一定値に到達した後、ほとんど圧力依存性を示さない。22.1 GPa での σ_{rt} と E_a はそれぞれ 10 S cm^{-1} 、 $19_{\text{sep}}^{\text{[1]}} \text{ meV}$ であった。DAC を用いた高圧下单結晶構造解析を行った結果、3.1 GPaにおいて、二量体内の Ni-Se 結合が消失し、Ni-Ni 結合が新たに生成する構造相転移が発生し、11 GPaではNi-Ni 結合以外に新たにSe-Se結合が分子おきに生成することを発見した。また、この二段階の構造相転移が可逆的に起こることも判明した。

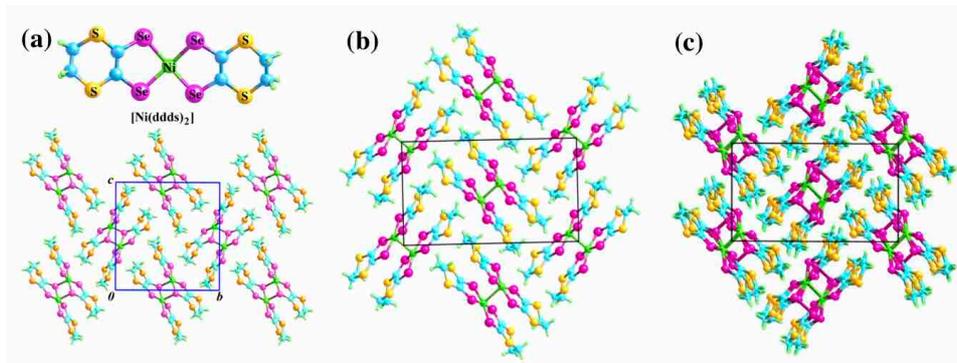


図 2. [Ni(dddss)₂]の分子および結晶構造(a)1bar, (b)3.1 GPa, (c)11GPa

(3), 単一成分分子性結晶の中心金属置換が物性に与える影響を調べるため、[Pd(dddtt)₂]と同型構造を取る[Ni(dddtt)₂]単結晶を作成し、高圧下電気抵抗測定を21.6 GPaまで行なった。金属錯体において、金属のd軌道が配位子のπ軌道に対する影響は非常に小さいため、高圧下での電氣的性質は一緒であると考えていた。しかし、[Ni(dddtt)₂]は常圧では絶縁体であり、約5 GPaから抵抗測定が可能となり、5.9 GPaでは、室温伝導度(σ_{rt})は $1.6 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 、 E_a は0.14 eVであった。室温抵抗率と E_a 圧力の増加とともに小さくなり、10.9 GPaで σ_{rt} が 1.2 S cm^{-1} 、 E_a は0.043 eVであった。しかし、それ以上の圧力では室温抵抗率と E_a はほとんど圧力依存性がなく、21.6 GPaでは σ_{rt} と E_a はそれぞれ 1.1 S cm^{-1} と0.046 eVであった。このような中心金属の置換による高圧物性の違いが生じた原因を明らかにするため、イギリスにある放射光施設を利用して、高圧下での単結晶構造解析を行なった。図3に[M(dddtt)₂](M=Ni, Pd)結晶データ (常圧下結晶データとの比)

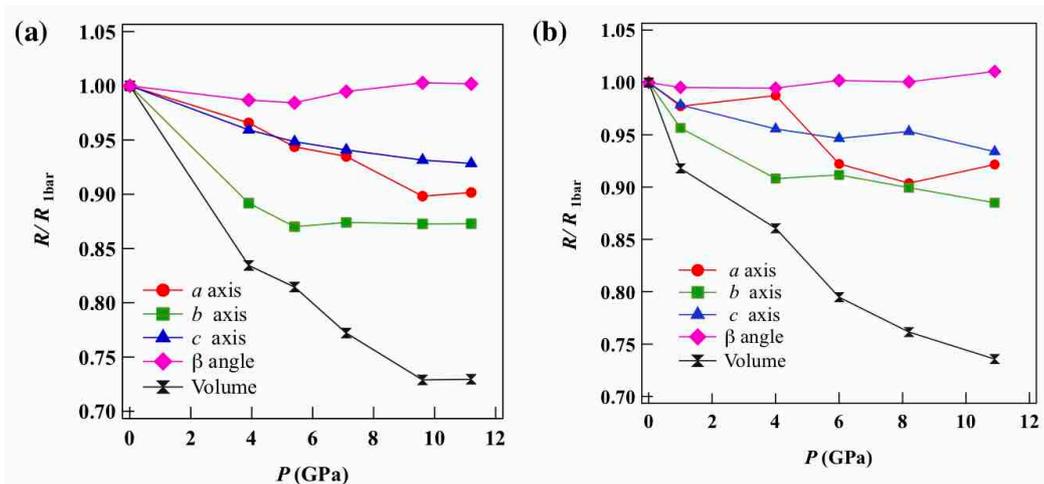


図 3. [M(dddtt)₂](M=Ni, Pd)結晶データの圧力依存性(a) [Ni(dddtt)₂], (b) [Pd(dddtt)₂]

の圧力依存性を示す。二種類の結晶は a 軸, c 軸と体積は圧力の増加とともに小さくなり、 β 角度は加圧とともに大きくなる。Ni塩において、 b 軸が4.9 GPaより低い圧力では圧力増加とともに小さくなるが、さらに高い圧力ではほとんど圧力依存性を示さない結果が得られた。測定した結晶構造を用いたDFTバンド計算ではギャップが加圧とともに小さくなり、電気抵抗測定結果とほぼ一致した結果が得られた。一方、Pd塩においては、6 GPa下結晶構造を用いたバンド計算ではディラックコーンが確認され、8 GPa以上の圧力では二つの結晶学的に特立した分子の内、一つの分子末端のエチル基に乱れが現れ、高圧下での電気抵抗の上昇の原因であることが判明した

(4), $[\text{Ni}(\text{ddt})_2]$ 単結晶は、 $(n\text{-C}_4\text{H}_9\text{N})[\text{Ni}(\text{ddt})_2]$ をアセトン中においてヨウ素酸化することにより作製した。二量体構造と三量体構造の二種類の針状結晶が同時に析出し、X線構造解析により区別した。原料である $(n\text{-C}_4\text{H}_9\text{N})[\text{Ni}(\text{ddt})_2]$ 結晶では二種類の独立した $\text{Ni}(\text{ddt})_2$ 分子が存在するが、末端ビニレン基はそれぞれ 28.2° と 38.2° で上下に曲がっている。三量体構造を持つ中性 $[\text{Ni}(\text{ddt})_2]$ 結晶は、単位格子内に二種類の独立した分子 (A,B) が存在し、分子 A のビニレン基末端はほぼ水平であるが、分子 B は片方のビニレン基だけが 9.6° 曲がっている。図 4a に示したように、三つの $[\text{Ni}(\text{ddt})_2]$ 分子が平行に並ぶ三量体を形成し、三量体は互いにほぼ直交し、チェッカーボード型に配列している。

三量体構造を持つ $[\text{Ni}(\text{ddt})_2]$ 単結晶の常圧伝導度は $7 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 、活性化エネルギー (E_a) は 58 meV である。ガスケットはステンレス SUS301、 $10 \mu\text{m}$ あるいは $5 \mu\text{m}$ の金線と金ペーストを用いて単結晶に四端子配線を行った。測定に用いた結晶の太さが約 $10 \mu\text{m}$ と非常に細かったため、配線した結晶の外側をアラルダイトとアルミナの混合物で薄い膜で覆って保護した。圧力媒体は Daphne Oil 7373 を使用し、圧力は室温においてルビー蛍光の R_1 ラインのシフトを測定することにより決定した。図 4d, e に圧力下電気抵抗率の温度依存性を示す。電気抵抗率は加圧とともに著しく減少し、8.9GPa では常圧に比べ 4 桁ほど小さくなり、温度変化が非常に小さい半導体となる($E_a=0.4 \text{ meV}$)。さらに 11GPa では金属状態になり、25K まで金属状態を保ち、さらに高い圧力では再び半導体になる。第一原理バンド計算では、6 GPa で金属的バンド分散が現れ実験結果とよく一致した。また、圧力下単結晶構造解析を行った結果、7 GPa まで構造相転移が起こらないことが確認された。

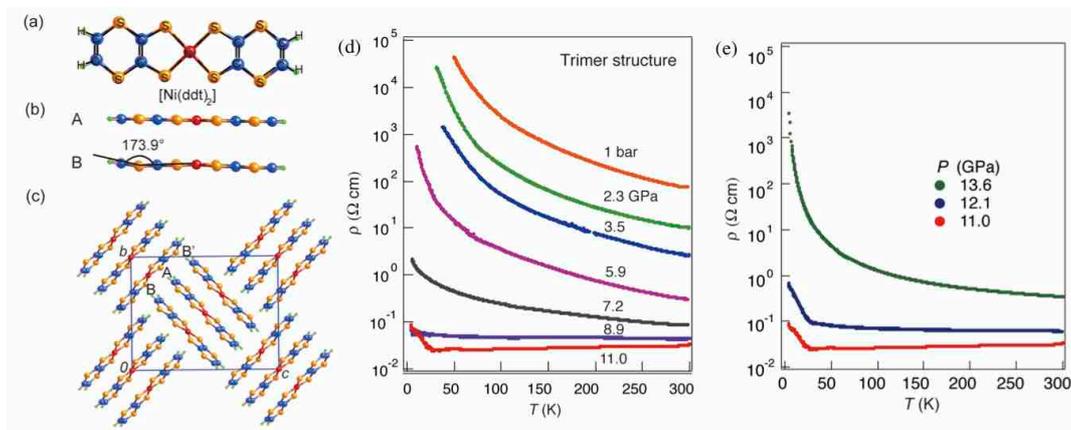


図 4. $[\text{Ni}(\text{ddt})_2]$ の(a), (b), (c)分子および結晶構造(d), (e)圧力下電気抵抗率の温度依存性

(5), DAC四端子抵抗測定法を用いてフランスの研究者との共同研究を行い、単一成分分子性結晶の高圧下電気抵抗測定を行うことにより、新規な二種類の単一成分超伝導体 $[\text{Au}(\text{RR}(\text{SS})\text{-dm-dddt})_2]$ を発見した。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 S. A. Sahadevan, A. Alexandre, N. Monni, P. Auban-Senzier, J. Cano, F. Lloret, M. Julve, H. B. Cui, R. Kato, E. Canadell, M. L. Mercuri, N. Avarvari	4. 巻 58
2. 論文標題 Magnetic Molecular Conductors Based on Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene (BEDT-TTF) and the Tris(chlorocyanilato)ferrate(III) Complex	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 15359 - 15370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b02404	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 P. Bourgeois-Hope, F. Lalibert, E. Lefran, G. Grissonanche, S. Ren, de Cotret, R. Gordon, S. Kitou, H. Sawa, H. Cui, R. Kato, L. Taillefer, N. Doiron-Leyraud	4. 巻 9
2. 論文標題 Thermal conductivity of the quantum spin liquid candidate EtMe3Sb[Pd(dmit)2]2: No evidence of mobile gapless excitations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. X	6. 最初と最後の頁 41051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevX.9.041051	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 M. Yamashita, Y. Sato, T. Tominaga, Y. Kasahara, S. Kasahara, H. Cui, R. Kato, T. Shibauchi, and Y. Matsuda	4. 巻 101
2. 論文標題 Presence and absence of itinerant gapless excitations in the quantum spin liquid candidate EtMe3Sb[Pd(dmit)2]2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 140407(R)
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.101.140407	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 Souto Manuel, Gullo Maria Chiara, Cui HengBo, Casati Nicola, Montisci Fabio, Jeschke Harald O., Valenti Roser, Ratera Imma, Rovira Concepcio, Veciana Jaume	4. 巻 24
2. 論文標題 Role of the Open-Shell Character on the Pressure-Induced Conductivity of an Organic Donor-Acceptor Radical Dyad	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 5500 ~ 5505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1002/chem.201800881	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 Suzumura Yoshikazu, Cui HenBo, Kato Reizo	4. 巻 87
2. 論文標題 Conductivity and Resistivity of Dirac Electrons in Single-Component Molecular Conductor [Pd(dddt) ₂]	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 084702 ~ 084702
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.87.084702	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 Lee Taehoon, Oshima Yugo, Cui Hengbo, Kato Reizo	4. 巻 87
2. 論文標題 Detailed X-band Studies of the d -Molecular Conductor $(\text{BETS})_2\text{FeCl}_4$: Observation of Anomalous Angular Dependence of the g -value	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 114702 ~ 114702
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.87.114702	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 CUI HengBo, KATO Reizo	4. 巻 28
2. 論文標題 Electrical Properties of Single-Component Molecular Crystals under High Pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Review of High Pressure Science and Technology	6. 最初と最後の頁 217 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4131/jshpreview.28.217	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 Cui Hengbo, Tsumuraya Takao, Yeung H.-M. Hamish, Coates S. Chloe, Warren R. Mark and Kato Reizo Kato	4. 巻 24
2. 論文標題 High Pressure Crystal Structure and Electrical Properties of a Single Component Molecular Crystal [Ni(dddt) ₂] (dddt = 5,6-dihydro-1,4-dithiin-2,3-dithiolate)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/molecules24101843	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

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 H. Cui, H. H.-M. Yeung, C. S Coates, T. Minamidate, R. Kato
2. 発表標題 Pressure Induce Structure Transitions of Single-Component Molecular Crystal [Ni(ddd)s]2 (ddd)s=5,6-dihydro-1,4-dithiin-2,3-diselenolate)
3. 学会等名 ISCOM2019 @Tomar, Portugal (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 M. Uebe, H. Cui, R. Kato
2. 発表標題 Synthesis and Electronic Properties of Bilayer Type Molecular Conductors Based on Asymmetrical Donor Molecules
3. 学会等名 ISCOM2019 @Tomar, Portugal (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 崔亨波、上辺将士、Yeung Hamish、加藤礼三
2. 発表標題 単一成分分子性結晶[Au(ddd)t]2とその類縁体の結晶構造および伝導性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 @九州大
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 崔亨波、上辺将士、加藤礼三
2. 発表標題 超高圧下におけるテルルを有する有機 ドナー単結晶の電氣的性質
3. 学会等名 日本物理学会第99秋季年会 @岐阜大
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 加藤礼三、Yeung Hamish、崔亨波、南館孝亮、鈴木順三
2. 発表標題 高压下における単一成分分子性導体[Pd(dddt)2]の結晶および電子構造
3. 学会等名 日本物理学会第99秋季年会 @岐阜大
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 崔亨波、Y. Hamish、C. Chloe、加藤礼三
2. 発表標題 超高压下における単一成分分子性結晶[Ni(ddds)2]の構造相転移および伝導性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会 @同志社大,
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. H. Lee, Y. Oshima, T. Minamidate, Y. Saito, A. Kawamoto, N. Matsunaga, H. B. Cui, and R. Kato
2. 発表標題 Multi-Frequency ESR Studies of $(\text{STF})_2\text{FeCl}_4$
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会 @同志社大, 2018.9.9-12
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. B. Cui, T. Tsumuraya, H. Yeung, C. Coates, and R. Kato
2. 発表標題 High Pressure Electrical Properties of Single-Component Molecular Crystals Based on Small-Size Metal Dithiolene Complexes
3. 学会等名 Conductivity and Magnetism in Molecular Materials, Gordon Research Conference, Emergent Materials and Phenomena as Foundation for Future Molecule-Based Devices, @Smithfield, USA, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. B. Cui, T. Tsumuraya, H. Yeung, C. Coates, and R. Kato
2. 発表標題 Chemical Modification and Pressure Effect of Mmallsized Single-Component Molecular Conductors
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC2018) @仙台, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤礼三、崔亨波、川相義高、圓谷貴夫
2. 発表標題 単一成分分子性導体[Pt(hfdt)2]の新しい多形結晶の構造と伝導物性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 @九州大
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崔亨波、上辺将士、Yeung Hamish、加藤礼三
2. 発表標題 単一成分分子性結晶[Au(dddt)2]とその類縁体の結晶構造および伝導性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 @九州大
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上辺将士、崔亨波、加藤礼三
2. 発表標題 非対称ドナー分子が構築するBi layerタイプ分子性導体の合成と電子物性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 @九州大
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崔亨波、圓谷貴夫、Yeung Hamish、Coates Chloe、加藤礼三
2. 発表標題 三量体構造を持つ単一成分分子性結晶[Ni(ddt) ₂](ddt= 1,4-dithiin-2,3-dithiolato)の圧力印加による金属化
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 崔亨波、圓谷貴夫、加藤礼三
2. 発表標題 Electrical Properties of Single-Component Molecular Conductors under High Pressure
3. 学会等名 ISCOM2017 (The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 崔亨波、圓谷貴夫、加藤礼三
2. 発表標題 超高压下による単一成分分子性結晶[M(hfdt) ₂](M= Pd, Pt)の金属化
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
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