

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17901

研究課題名(和文) 高対称性分子の特性を活用した有機導電・磁性体の開発と熱電材料への展開

研究課題名(英文) Development of organic conducting and magnetic materials based on high-symmetric molecules for thermoelectric application

研究代表者

中野 義明 (Nakano, Yoshiaki)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：60402757

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)：Stilleカップリング反応を用いて結合させることにより、ベンゾトリチオフェンを中心骨格とするC3対称性分子1、2を合成した。分子1とTCNQを少量のアセトニトリルを加えながら混合磨砕し、得られた黒色粉末を洗浄することにより電荷移動錯体を得た。元素分析、振動分光測定から、分子1の価数は+1価近傍であると推測した。また、導電性、磁性の評価を行ったところ、半導体的挙動を示した。また、理論的解析により、分子1が+1価となった際には、電荷は1つのTPDT部位に局在化することが分かった。以上から、錯体中で分子1の価数は+1価近傍でC1対称性で安定化しており、分子内で電荷が不均化していると考えられる。

研究成果の概要(英文)：C3-symmetric molecules 1 and 2 were prepared via Stille coupling reaction between 2,5,8-tris(trimethylstannyl)benzo[1,2-b:3,4-b':5,6-b'']trithiophene and 2-(4H-thiopyran-4-ylidene)-4-bromo-1,3-dithiole (TPDT-Br) or 4,5-ethylenedioxy-4'-iodotetrathiafulvalene (EDO-TTF-I). Mixing and grinding 1 with TCNQ by the addition of small amount of acetonitrile and washing with acetonitrile afforded a charge transfer (CT) complex as black powder. The molecular charge of 1 was estimated as +1 by elemental analysis and vibrational spectroscopy. The electrical conducting and magnetic properties of CT complex were semiconducting behaviors. Theoretical analysis found that the charge is localized on one TPDT moiety of 1 upon one-electron oxidation. Therefore, molecule 1 has the charge of +1 with C1 symmetry, and shows the intramolecular charge disproportionation.

研究分野：物性有機化学

キーワード：分子性導体 分子磁性 高対称性分子 電荷移動錯体

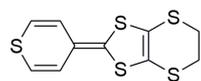
1. 研究開始当初の背景

金属フタロシアニン(D_{4h})、コロネン(D_{6h})、 C_{60} (I_h)等の高対称性分子は、分子の価数によっては縮退した電子状態をとる。しかしながら、このような場合、分子の対称性が低下することにより縮退のとけたより安定な状態へと変化する。このことはヤーン・テラー効果として知られており、ヤーン・テラー効果が相転移を誘起する等、相転移現象と密接に関連している。また、縮退軌道はフェルミ準位における状態密度の増大に寄与し、BCS理論によれば超伝導転移温度が向上する。さらに、縮退軌道は、分子の価数によっては強磁性的相互作用の発現、電子の局在化、非局在化の境界である Mott 転移の基準の緩和に寄与することが指摘されている。

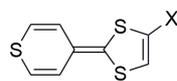
熱電材料の性能は、無次元性能指数 $ZT = S^2\sigma T/\kappa$ で表され、ゼーベック係数 S と電気伝導度 σ が大きく、熱伝導度 κ が小さいほど良い。つまり、電子にとっては結晶であるが、熱伝導の一端を担うフォノンにとってはガラスのような設計が必要である。一般的に有機材料は無機材料に比べて κ が小さく、熱電材料に求められる1つの条件を満たしている。実用化には性能指数 $ZT > 1$ が目安とされている中、有機熱電材料では、高分子材料である PEDOT:PSS の $ZT = 0.42$ が最高である。低分子材料では、OSRR-AuBr₂ 錯体で $ZT = 0.044$ が報告されている程度で、大幅に開発が遅れている。しかしながら、ペンタセン、ニッケルフタロシアニン、テトラチオテトラセンのような低分子系で、理論的に $ZT > 1$ の性能が予測されており、低分子系材料が優れた熱電特性を示す可能性は十分にある。

一方、これまでに我々は TP-EDTT 分子のようにチオピラン環を導入することが、高い次元性を実現するための有望な分子設計であるという知見を得ている。また、(EDO-TTF)₂PF₆ が室温直下で電子-格子相互作用が強く働いた金属-絶縁体転移や超高速かつ高効率の光誘起相転移を起こすことを明らかにしてきた。

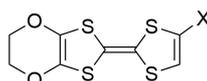
有機材料の超伝導転移温度が 10 K に留まっていることや、熱電特性の現状に鑑みると新材料の開発が課題であり、高対称性分子と TPDT や EDO-TTF の特性を活用することにより魅力的な物質群の創製が期待される。



TP-EDTT



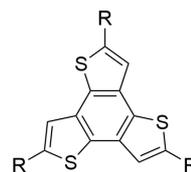
TPDT: X = H
TPDT-Br: X = Br



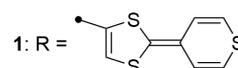
EDO-TTF: X = H
EDO-TTF-I: X = I

2. 研究の目的

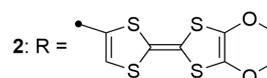
TP-EDTT、EDO-TTF 系導電体の知見、および、高い対称性を持つ分子の考察に基づき、ベンゾトリチオフェン (BTT) を中心骨格とし、3枚の羽根のように TPDT 骨格を導入した分子 1、EDO-TTF 骨格を導入した分子 2 を設計した。



BTT: R = H



1: R =



2: R =

3: R = Sn(CH₃)₃

分子 1、2 が混合原子価状態となる分子集合体において、分子の 3 回対称性が保たれた状態では分子内で電荷が均一となるが、ヤーン・テラー効果により分子の対称性が低下した状態では、分子内の電荷は不均化した状態をとりうる。このような特性を活用することにより分子内の電荷不均化がバルクの相転移を誘起するような系の実現が期待される。また、分子 1、2 が 3 電子酸化された 1^{3+} 、 2^{3+} の錯体は、モット絶縁体になると予想され、磁性材料の候補である。

本研究では、第 1 段階として上述のように多様な有機導電・磁性体の創出が期待される分子 1、2 を用いた電荷移動錯体を合成する。次に、これらの電荷移動錯体から熱電材料として有望な母体を選択し、特性の向上を図る。分子 1、2 を用いて電荷移動錯体を作製した際には、分子間に空隙が生じ、その空隙の中に、陰イオン等の対成分が存在すると期待される。ここで、空隙中に構造的乱れを導入することにより、格子熱伝導度を抑制し、 ZT を向上させる。

3. 研究の方法

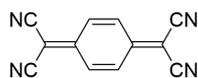
分子 1、2 を新規に合成し、その電荷移動錯体や他の高対称性分子の電荷移動錯体を作製する。電荷移動錯体の作製においては、物性研究を行うための良質な単結晶を得るため、電解法、混合法等の手法を用いる。得られた錯体について、X 線構造解析、導電性・磁性等の物性評価、分光学的測定を行う。単結晶が得られない場合は、粉末試料等について物性を検討する。以上の実験的研究に並行して、孤立分子や結晶構造を基に理論的解析を行う。

4. 研究成果

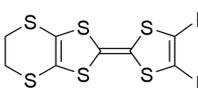
(1) 新規 3 回対称性分子の電荷移動錯体

Pd(PPh₃)₄ 存在下 DMF 中で Stille カップリング反応により、分子 3 と TPDT-Br、または、分子 3 と EDO-TTF-I をクロスカップリングさせることにより、それぞれ分子 1、2 を得た。

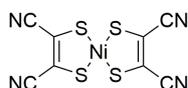
分子 1 と TCNQ に少量のアセトニトリルを加え、メノウ乳鉢上で混合磨砕し、真空乾燥を行ったところ黒色粉末を得た。分子 1 と TCNQ の混合比を 1:0.5、1:1、1:2、1:3 として作製した試料をそれぞれ C1、C2、C3、C4 と呼ぶ。



TCNQ



EDT-TTF-I₂



Ni(mnt)₂

図 1 に錯体 C1~C4 のラマンスペクトルを示す。励起光として 488 nm、532 nm のレーザーを用いた場合には、1450 cm⁻¹ 付近に TCNQ⁰ の C=C 伸縮モードに帰属されるバンド、2225 cm⁻¹ 付近に TCNQ⁰ の C≡N 伸縮モードに帰属されるバンド、2200 cm⁻¹ 付近に TCNQ⁻ の C≡N 伸縮モードに帰属されるバンドが観測された。また、785 nm のレーザーを用いた場合には、1390 cm⁻¹ 付近に TCNQ⁻ の C=C 伸縮モードに帰属されるバンドが観測された。

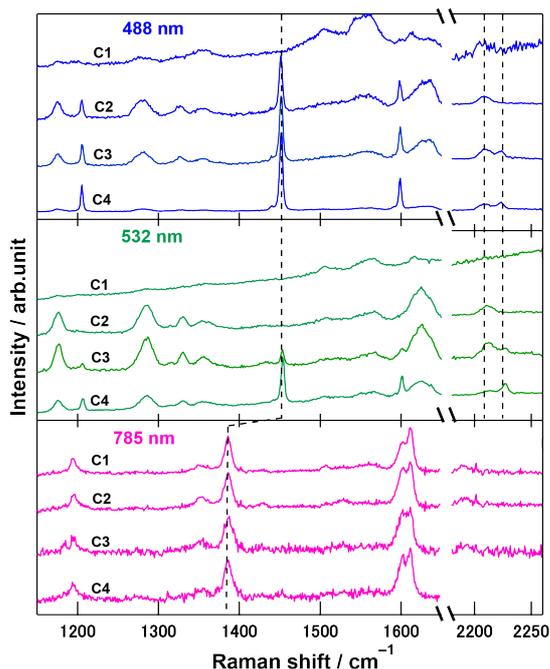


図 1 錯体 C1~C4 のラマンスペクトル。

ここで、488 nm、532 nm のレーザーを用いた場合のラマンスペクトルに注目すると、TCNQ の仕込み量を増やすにつれて、1450

cm⁻¹ 付近の TCNQ⁰ の C=C 伸縮モードと 2225 cm⁻¹ 付近の TCNQ⁰ の C≡N 伸縮モードに帰属されるバンドの強度が増大している。一方、785 nm のレーザーを用いた場合のラマンスペクトルでは、1390 cm⁻¹ 付近の TCNQ⁻ の C=C 伸縮モードに帰属されるバンドの強度はほとんど変化しない。したがって、分子 1 に対して TCNQ を過剰に加えたとしても、試料中の未反応の TCNQ⁰ が増えるだけで、分子 1 は +2 価まで酸化されることなく、1 電子酸化された 1⁺ の状態で酸化が止まっていると考えられる。

そこで、錯体 C1~C4 と同様の方法で分子 1 と TCNQ の混合比を 1:1.5 として作製した黒色粉末を得た後、余分な TCNQ⁰ をアセトニトリルで洗浄して取り除いた試料 (Cw) を作製した。錯体 Cw の元素分析を行ったところ、分子 1 : TCNQ = 1 : 0.9 と考えると、測定結果をよく再現することが分かった。ラマン分光法、元素分析の結果を合わせて考えると、分子 1 と TCNQ との錯体では、それぞれ +1 価、-1 価となり、(1⁺)(TCNQ⁻) のようになっていると考えられる。

錯体 C1、C4、Cw の加圧成型試料について、電気抵抗率の温度依存性を測定したところ、全て半導体的な導電挙動であり、290 K での電気抵抗率 ρ 、活性化エネルギー E_a は表 1 のようになった。錯体 Cw に比べて、試料 C1、C4 の比抵抗が増大していることは、余剰の TCNQ⁰ が導電経路中に存在することで抵抗が増大するためであると考えられる。また、試料 C1、Cw、C4 の活性化エネルギーがほぼ同じ値になっていることは、試料 C1、Cw、C4 に共通する局所的な要因が活性化エネルギーを支配しているためであると考えられる。

表 1 錯体 C1、C4、Cw の導電特性

	$\rho / \Omega \text{ cm}$	E_a / eV
C1	6.2×10^4	0.29
C4	5.2×10^4	0.30
Cw	2.4×10^4	0.29

試料 Cw の磁化率 (χ) の 2~300 K における温度依存性を図 2 に示す。反磁性磁化率 (χ_{dia}) は、分子 1 : TCNQ = 1 : 1 と仮定し、パスカル法により $\chi_{\text{dia}} = -4.64 \times 10^{-4} \text{ emu mol}^{-1}$ と見積もった。磁化率は 300 K で $1.31 \times 10^{-3} \text{ emu mol}^{-1}$ を示し、キュリー常磁性的挙動を示した。観測された磁化率を $\chi = C / T + \chi_0$ の式を用いてフィッティングを行うと、 $C = 0.0875 \text{ emu K mol}^{-1}$ 、 $\chi_0 = 1.03 \times 10^{-3} \text{ emu K mol}^{-1}$ となった。キュリー定数から見積もったキュリー成分は 23% 程度で、試料 Cw が局在性の強いスピン系から構成されていることを示している。また、キュリー成分が 23% 程度存在することは、試料 Cw が固相反応により作製されたことによる不均一性が原因と考えられる。同様の磁化率の挙動が、同じく半導体的な導電性を示す

(EDT-TTF-I₂)₂[Ni(mnt)₂] ($\chi = 0.71 / (T + 8) + 2 \times 10^{-3}$) でも確認されている[1]。

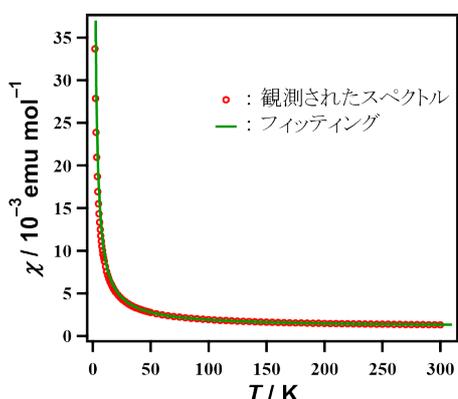


図2 錯体 Cw の磁化率の温度依存性。

密度汎関数法 (M11/cc-pVDZ) により、分子 1 の電子状態を理論的に解析したところ、中性状態の 1^0 は C_3 対称性となっており、最高被占軌道 (HOMO) は TPDT 部位に広がり、二重に縮退していることが分かった。また、HOMO と同じく TPDT 部位に広がる (HO-1)MO とのエネルギー差は、0.037 eV でほぼ縮退していることが分かった。一方 1 電子酸化された 1^+ では、ヤーン・テラー効果により縮退が解けるように構造が歪むことで安定化すると考えられるが、 1^+ では C_1 対称性が安定構造となった。また 1^+ では、3 つの TPDT 部位のうち 1 つの TPDT 部位がラジカルカチオンとみなせるように電荷、スピン密度が局在化しており、他の 2 つの TPDT 部位、中心骨格である BTT 部位は、ほぼ中性と同じ状態を保っていることが分かった。すなわち、 1^+ では、分子内で電荷が不均化していると考えられる。

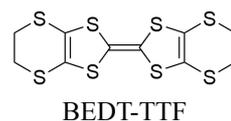
C_3 対称性を有する分子 1、2 を新規に合成することに成功し、分子 1 と TCNQ の電荷移動錯体を作製した。ラマン分光法や元素分析から、分子 1 と TCNQ はそれぞれ +1 価、-1 価近傍をとり、 $(1^+)(TCNQ^-)$ のようになっていると考えられる。導電性・磁性について評価したところ、本錯体は半導体的挙動を示すことが分かった。また、密度汎関数法による理論的解析の結果、 1^+ はヤーン・テラー変形した C_1 対称性が安定構造であり、電荷・スピン密度は、1 つの TPDT 部位に局在化していることが分かった。今後は、以上の知見を基に TCNQ よりも強い、あるいは、弱いアクセプター分子を用いて電荷移動錯体を作製することにより、分子 1 の価数が +1 価とは異なる錯体を作製し、様々な導電性・磁性を示す系を開発するとともに、有望な熱電材料を探索する。

引用文献

[1] T. Devic, B. Dohmercq, P. Auban-Senzier, P. Molinié, M. Fourmigué, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 2844 (2002)

(2) EDO-TTF-I の陽イオンラジカル塩

申請当初から予定していた 3 回対称性分子の羽根部分に相当する EDO-TTF-I を用いた有機導電体・磁性体の開発を行った。EDO-TTF-I と対応する陰イオンを含むエタノール溶液で定電流電解結晶成長を行うことにより、PF₆、AsF₆、SbF₆、NO₃、ペンタシアノプロペニド (C₃(CN)₅)、C(CN)₃ と EDO-TTF-I の陽イオンラジカル塩を得た。



単結晶 X 線構造解析の結果、これらの塩のうち C(CN)₃ 塩以外は、組成が EDO-TTF-I : 陰イオン = 2 : 1 であった。EDO-TTF-I 分子は 2 量化しながら積層しており、BEDT-TTF 導電体で β 型と呼ばれる分子配列をとっていた (図 3)。また、ヨウ素に関する原子間短距離接触については、全ての塩で共通して I...陰イオン、I...S 接触が観測され (図 4)、ヨウ素が結晶構造の構築に重要な寄与をしていることが分かった。

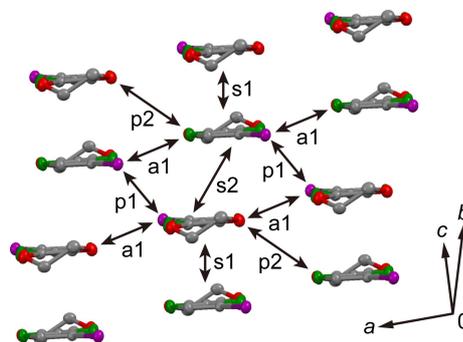


図3 (EDO-TTF-I)₂PF₆ における EDO-TTF-I 分子の分子配列と隣接分子間の HOMO の間の重なり積分。s1 = 11.9、s2 = 7.9、a1 = 1.0、p1 = 5.8、p2 = 2.0 × 10⁻³ (300 K)。

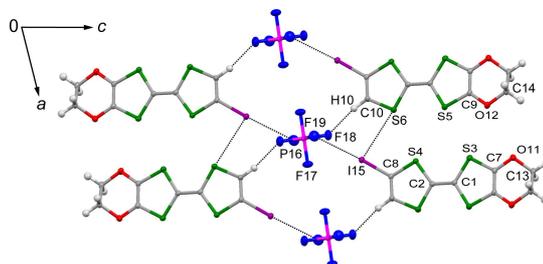


図4 (EDO-TTF-I)₂PF₆ における原子間短距離接触。

導電性は半導体的挙動、磁化率は、室温付近で $6.5 \sim 7.5 \times 10^{-4}$ emu mol⁻¹ 程度で、低温部で極大を持つ局在スピン系の挙動であった。例えば、PF₆ 塩について Bonner-Fisher モデルに鎖間相互作用 (zJ') を導入したモデルを用いて磁化率の解析を行ったところ、 $|J|/k_B = 67.1$

K, $zJ/k_B = -61.1$ K と見積もられた (図 5)

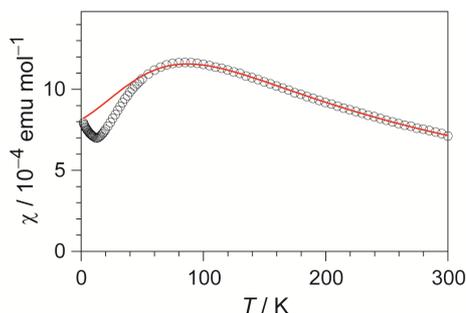


図 5 (EDO-TTF-I)₂PF₆ の磁化率の温度依存性。

さらに、PF₆、AsF₆、SbF₆、NO₃、C₃(CN)₅ 塩のラマンスペクトルを測定したところ、EDO-TTF-I 分子の 3 つ C=C 伸縮振動モードに帰属される ν_6 、 ν_7 、 ν_8 モードは、低温までバンドの分裂は見られなかったことから、全ての EDO-TTF-I 分子は均一の電荷 (+0.5) を有していると考えられる (図 6)。以上より、これらの塩では強く 2 量化することによりモット絶縁体となっていると考えられる。

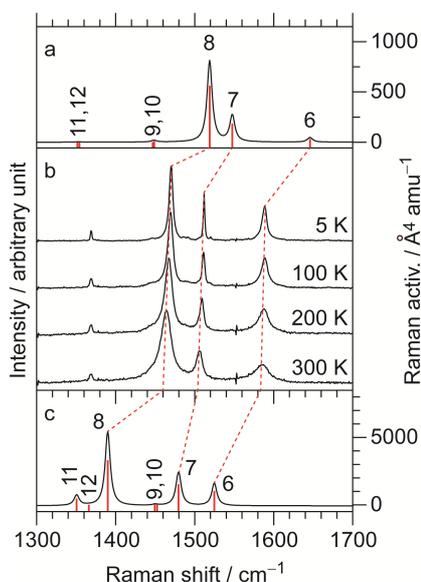


図 6 (b) (EDO-TTF-I)₂PF₆ のラマンスペクトルの温度依存性。B3LYP/aug-cc-pVTZ(-PP)レベルで計算した(a) EDO-TTF-I⁰、(b) EDO-TTF-I⁺ のラマンスペクトル。

一方 C(CN)₃ 塩では、C(CN)₃ 陰イオンの構造的乱れが激しいために完全な構造決定には至っていないが、元素分析と X 線構造解析により、EDO-TTF-I : C(CN)₃ = 3 : 1 で、水分子も含まれていることが示唆された。また、EDO-TTF-I 分子は BEDT-TTF 導電体で α' 型と呼ばれる分子配列をとっており、ドナー分子配列は PF₆ 塩等と異なっていた。しかしながら、EDO-TTF-I 分子間に PF₆ 塩等と同様の I...S 接触が観測されたことから、やはりヨウ素が結晶構造の構築に重要な寄与をしてい

ると考えられる。

導電性は半導体的挙動、磁化率は、室温付近で 1.2×10^{-3} emu mol⁻¹ 程度で、70 K 付近で極大を持つ局在スピンの挙動であった。さらに、C(CN)₃ 塩のラマンスペクトルを測定したところ、室温から低温まで PF₆ 塩等とは全く異なるスペクトルが観測された。ラマンシフトやバンドの数から、EDO-TTF-I 分子の電荷は不均化しており、C(CN)₃ 塩は電荷不均化絶縁体と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 16 件)

D. V. Konarev, S. I. Troyanov, K. A. Ustimenko, Y. Nakano, A. F. Shestakov, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya, Formation of {Co(dppe)}₂{ μ_2 - η^2 : η^2 - η^2 - η^2 -[(C₆₀)₂]} Dimers Bonded by Single C-C Bonds and Bridging η^2 -Coordinated Cobalt Atoms, *Inorg. Chem.*, 54(10), 4597-4599 (2015), 査読有
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b00637

D. V. Konarev, A. V. Kuzmin, Y. Nakano, M. A. Faraonov, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya, Coordination Complexes of Transition Metals (M = Mo, Fe, Rh, and Ru) with Tin(II) Phthalocyanine in Neutral, Monoanionic, and Dianionic States, *Inorg. Chem.*, 55(4), 1390-1402 (2016), 査読有
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b01906

D. V. Konarev, A. V. Kuzmin, Y. Nakano, S. S. Khasanov, M. Ishikawa, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya, SnPhPc phthalocyanines with dianion Pc²⁻ and radical trianion Pc³⁻ macrocycles: syntheses, structures, and properties, *Dalton Trans.*, 45(26), 10780-10788 (2016), 査読有
DOI: 10.1039/C6DT01132B

D. V. Konarev, Y. Nakano, S. S. Khasanov, A. V. Kuzmin, M. Ishikawa, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya, Magnetic and optical properties of layered (Me₄P⁺)[M(IV)O(Pc³⁻)]⁻ (TPC)_{0.5}-C₆H₄Cl₂ salts (M = Ti and V) composed of π -stacking dimers of titanyl and vanadyl phthalocyanine radical anions, *Cryst. Growth Des.*, 17(2), 753-762 (2017), 査読有
DOI: 10.1021/acs.cgd.6b01612

D. V. Konarev, S. I. Troyanov, A. V. Kuzmin, Y. Nakano, M. Ishikawa, M. A. Faraonov, S. S. Khasanov, A. L. Litvinov, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya, The Salts of Copper Octafluoro- and Hexadecafluorophthalocyanines Containing [Cu^{II}(F₈Pc)⁴⁻]²⁻ Dianions and [CuF₁₆Pc]⁻ Monoanions, *Inorg. Chem.*, 56(4), 1804-1813 (2017), 査読有
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b01932

D. V. Konarev, S. S. Khasanov, M. Ishikawa, Y. Nakano, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya, Tetrabutylammonium Salts of Aluminum(III) and Gallium(III) Phthalocyanine Radical Anions Bonded with Fluoren-9-olato⁻ Anions and Indium(III) Bromide Phthalocyanine Radical Anions, *Chem. Asian J.*, 12(8), 910-919 (2017), 査読有

DOI: 10.1002/asia.201700138, 2017/3/24.

Y. Nakano, Y. Takahashi, K. Ishida, M. Ishikawa, H. Yamochi, M. Uruichi, Crystal structure and physical properties of radical cation salt based on 4,5-ethylenedioxy-4'-iodotetrathiafulvalene (EDO-TTF-I) with iodine bonding ability, *Mater. Chem. Front.*, 2(4), 752-759 (2018), 査読有

DOI: 10.1039/c7qm00575j

D. V. Konarev, A. V. Kuzmin, Y. Nakano, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, R. N. Lyubovskaya, Synthesis and properties of N-methylimidazole solvates of vanadium(II), chromium(II) and iron(II) phthalocyanines. Strong NIR absorption in V^{II}(MeIm)₂(Pc²⁻), *Dalton Trans.*, 47(13), 4661-4671 (2018), 査読有

DOI: 10.1039/c8dt00459e

〔学会発表〕(計 3 4 件)

大江佳毅, 高橋佑輔, 中野義明, 石川学, 矢持秀起, 売市幹大, 含ヨウ素 TTF 誘導体 (EDO-TTF-I) を用いた陽イオンラジカル塩の構造と物性, 第 9 回分子科学討論会 2015 東京, 2015 年 9 月 16 ~ 19 日, 東京工業大学大岡山キャンパス

中野義明, 大江佳毅, 石川学, 矢持秀起, 売市幹大, 3 回対称性ドナー分子を用いた電荷移動錯体の合成と物性評価, 第 10 回分子科学討論会 2016 神戸 2016 年 9 月 13 ~ 15 日, 神戸ファッションマート

Y. Nakano, Y. Oe, M. Ishikawa, H. Yamochi, M. Uruichi, Development of Organic Electronics Material Based on C₃-Symmetric Molecule", The 12th International Conference on Nano-Molecular Electronics (ICNME2016), 2016/12/14-16, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan

中野義明, ヨウ素結合能を有する EDO-TTF-I の陽イオンラジカル塩における構造の類似性と物性, 造形科学第 4 回公開シンポジウム, 2017 年 10 月 19 ~ 20 日, 東京工業大学蔵前会館

石田耕大, 高橋佑輔, 中野義明, 石川学, 矢持秀起, 賣市幹大, 含ヨウ素ドナー分子 EDO-TTF-I から成る (EDO-TTF-I)₂XF₆ (X = P, As, Sb) の構造と物性, 日本化学会第 98 春季年会 (2018), 2018 年 3 月 21 日, 2018 年 3 月 20 ~ 23 日, 日本大学理工学部船橋キャンパス

M. Ishikawa, Y. Nakano, Y. Oe, Y. Takahashi, H. Yamochi, M. Uruichi, Development of Organic Conductors Based on Molecular

Symmetry and Halogen Bonding Interaction, Asia Pacific Society for Materials Research (APSMR) 2017 Annual Meeting, 2017/7/27-30, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan [invited]

Y. Nakano, Y. Oe, Y. Takahashi, M. Ishikawa, H. Yamochi, M. Uruichi, Development of Organic Conductors Based on Orbital Degeneracy and Iodine Bond Ability, The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017), 2017/8/27-9/1, Yoshida Campus, Kyoto University, Kyoto, Japan

D. V. Konarev, M. A. Faraonov, S. S. Khasanov, A. V. Kuzmin, Y. Nakano, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya, Crystal Structures, Optical and Magnetic Properties of Radical Anion Salts Based on Metal Phthalocyanines, The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017), 2017/9/24-29, Miyagi Zao Royal Hotel, Zao, Japan

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<http://mms.ltm.kyoto-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中野 義明 (NAKANO, Yoshiaki)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 60402757

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

石川 学 (ISHIKAWA, Manabu)
京都大学・環境安全保健機構・研究員
研究者番号: 80563923

大塚 晃弘 (OTSUKA, Akihiro)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 90233171

矢持 秀起 (YAMOCHI, Hideki)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 20182660