

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05447

研究課題名(和文) 多角的熱測定による分子ダイマー型Mott絶縁体における電荷秩序・電荷揺らぎの解明

研究課題名(英文) Multidirectionally thermodynamic study on charge order and charge fluctuation on molecular dimer Mott insulators

研究代表者

山下 智史 (Yamashita, Satoshi)

大阪大学・理学研究科・助教

研究者番号：40587466

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)：分子ダイマー型Mott絶縁体系の電荷秩序転移挙動および低温の励起構造を調べるため、電荷秩序・量子スピン液体相境界近傍の探索が可能な2種類の混晶塩に対して、熱容量測定・熱起電力測定などを行った。熱容量測定および熱起電力測定の両方で、磁化率の非磁性化と電荷秩序形成は必ずしも対応せず、本系の電荷秩序が高次相転移的な性質を有していることを明らかにした。量子スピン液体領域の電荷秩序相境界近傍では、これまでに報告されていたギャップレス励起とは別種の低エネルギー励起が存在することを発見した。また、本系では短距離の電荷秩序が形成される可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分子ダイマー型Mott絶縁体系の電荷秩序転移が高次相転移的な性質を持ち、温度低下に従って徐々に電荷秩序が成長するという特徴は、本系においては短距離の電荷秩序形成が可能であることを示している。量子スピン液体領域の電荷秩序相境界近傍において、ギャップレス励起とは別種の低エネルギー励起を観測したことを合わせて考察すると、量子スピン液体領域においても小規模の電荷秩序形成やその駆動力となる電荷揺らぎの影響が存在することを示唆している。この結果は、電荷揺らぎに焦点をあてることで量子スピン液体相の実現機構を解明できる可能性を示している。

研究成果の概要(英文)：We have performed heat capacity measurements and thermoelectric power measurements for two solid solution systems in order to clarify the charge order transition behavior and the excitation structure in molecular dimer Mott insulating system, which have phase boundary between quantum spin liquid phase and charge ordered phase. The both results of the heat capacity measurements and the thermoelectric power measurements indicate a higher order transition character in charge ordering of present systems. It is also suggested the non-magnetic transition and forming of charge ordering can be occurred independently. We found a new low-energy excitation structure distinguished from gap-less excitation in spin liquid state. A possibility of short range charge ordering was also suggested.

研究分野：固体物性・熱測定

キーワード：電荷秩序 分子性導体 強相関 熱容量測定 量子スピン液体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

$\kappa$ 型や $\beta$ 型の(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X や X[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>などの分子性導体では、分子がダイマーを形成するため各ダイマーあたり1つのホールまたは電子が存在し、10 K 級超伝導、反強磁性、量子スピン液体などの基底状態が得られる。[1]同一ダイマー上のクーロン反発(オンサイトクーロン反発)が強い場合には、各ダイマーに電子/ホールが局在することでクーロン反発を最小化した Mott 絶縁状態となる。しかし、Et<sub>2</sub>Me<sub>2</sub>Sb[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>では、ダイマーから4量体へと構造が変化し、電荷リッチな4量体と電荷プアーな4量体へと電荷が完全に分離する電荷秩序状態が実現し、 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>B(CN)<sub>4</sub> や EtMe<sub>3</sub>P[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>では、ダイマー内で電荷が片方に偏って隣接ダイマー間と Spin-Singlet 対を形成する Valence Bond Crystal (VBC) が実現する。[1,2]  $\kappa$ -D<sub>3</sub>(Cat-EDT-TTF)<sub>2</sub>においても電荷が片方の分子に偏った電荷秩序状態が実現する。[3]これらの分子ダイマー型 Mott 絶縁体における電荷秩序では、隣接相として量子スピン液体状態が観測されているという特徴がある。

量子スピン液体は、反強磁性相互作用が働くスピン系において、極低温まで一切の秩序構造を示さず量子力学的な揺らぎを保持した状態である。2次元以上の反強磁性スピン系では、量子臨界点を除いてスピングャップが存在するという解釈が一般的であるが、分子ダイマー型 Mott 絶縁体で実現する量子スピン液体ではギャップレス励起が観測されており、かつ、熱容量と磁化率の関係から絶縁体でありながらフェルミ液体的な特徴を持つことが報告されている。[4,5]量子スピン液体が実現する3つの分子ダイマー型 Mott 絶縁体 EtMe<sub>3</sub>Sb[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>、 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub>、 $\kappa$ -H<sub>3</sub>(Cat-EDT-TTF)<sub>2</sub>の電子構造はいずれも正三角格子からずれており、ギャップレス励起の起源を量子臨界性に求めることは難しい。また、 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub>の重水素置換体やカチオンを混晶化させた X[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>系においても量子スピン液体の実現が報告されており、量子スピン液体は相として実現していると考えられる。ギャップレスな量子スピン液体の実現については、P.W.Anderson が定義した RVB モデルによる Spinon Fermi Surface と呼ばれるスピンによる疑似的なフェルミ面形成などによる説明が行われているが、ディスオーダーや電荷揺らぎなどがギャップレス励起を生み出す可能性も指摘されている。特に、電荷揺らぎに関しては、 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub> や EtMe<sub>3</sub>Sb[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>における誘電異常が報告されており、Dipole-Liquid や Dipole-Glass などといったダイマー内の電荷自由度も注目されている。[6]しかし、量子スピン液体のこれらの議論に決着はついておらず、ギャップレスな量子スピン液体相の実現における電荷揺らぎの役割は未解明である。

本研究では、分子ダイマー型 Mott 絶縁体における電荷秩序の実現とギャップレスな量子スピン液体相の実現という2つの特異的挙動が、複数の物質系において隣接しているという事実に着目した。隣接する相同士の物性探索を行う場合には相境界近傍の挙動を詳細に追及することが有効である。量子スピン液体に隣接する電荷秩序系のうち、X[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>については、サイズの異なるカチオンを混晶化させる XY[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> (カチオン混晶体)、中心金属の異なる M(dmit)<sub>2</sub> 分子を混晶化させる X[PdPt(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> (中心金属混晶体)の二種類の化学圧力導入手法が報告されている。これらの混晶比率は仕込み比率と強い相関があり、準連続的に電子状態をコントロールすることが可能である。カチオン混晶体(Et<sub>2</sub>Me<sub>2</sub>Sb)<sub>1-x</sub>(EtMe<sub>3</sub>Sb)<sub>x</sub>[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>の磁化率測定の結果では、混晶比率 x の上昇に伴い、電荷秩序温度が低下していく挙動が報告されている。また、量子スピン液体 電荷秩序境界を持つ中心金属混晶体 EtMe<sub>3</sub>Sb[Pd<sub>1-y</sub>Pt<sub>y</sub>(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>においては、Pt(dmit)<sub>2</sub>の比率が一定以上になると電荷秩序挙動を示すことが報告されている。よって、これらの系を用いて電荷秩序挙動が量子スピン液

体領域に近づくにつれてどのように変化しているかを常圧下において追跡することが可能である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、化学圧力によって電子構造が調整された分子ダイマー型 Mott 絶縁体に対して、熱容量測定、熱起電力測定などを用いて電荷秩序状態の転移挙動および低温の励起構造を多角的に調べ、強いオンサイトクーロン反発により通常は形成されない電荷秩序の形成機構を解明することにある。さらに、量子スピン液体相との相境界近傍の挙動から本系における電荷秩序状態と量子スピン液体相の関係を解明することを目指した。

## 3. 研究の方法

本研究では、カチオンサイズ調整および中心金属種の選択によって、反強磁性秩序状態、量子スピン液体状態、電荷秩序状態の基底状態が得られる  $X[M(\text{dmit})_2]_2$  系のカチオン混晶体および中心金属混晶体に着目した。本研究では、量子スピン液体塩と電荷秩序塩のカチオン混晶体  $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_x(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{1-x}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  および中心金属混晶体  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}_{1-y}\text{Pt}_y(\text{dmit})_2]_2$  を用いて、量子スピン液体-電荷秩序相境界の挙動に焦点を当てた。熱容量測定は量子スピン液体に特徴的なギャップレスな励起を定量的指標で検出できる有効な測定手段である。混晶系においては不純物やディスオーダー効果も影響するが、熱容量の磁場依存性などを調べることによって、本質的なギャップレス励起と区別することが可能である。また、電荷秩序の転移挙動についても転移に伴う熱容量異常を評価することで電荷秩序の形成過程を追跡することが可能である。本研究では、 $(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{1-x}(\text{EtMe}_3\text{Sb})_x[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  系では、相転移温度付近での熱容量測定の結果と磁化率測定の挙動を比較することで電荷秩序転移挙動を追跡した。また、後述する熱容量測定によって得られた高次相転移的な挙動が本質的なものであるかどうかについて調べるため、 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pt}(\text{dmit})_2]_2$  に対して熱起電力測定を行った。混晶化によるディスオーダー効果の検証と量子スピン液体と電荷秩序状態のコンタミネーションについて検証するために、 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}_{1-y}\text{Pt}_y(\text{dmit})_2]_2$  の磁場下熱容量を系統的に調査した。なお、熱容量測定に関してはこれまでの研究で開発してきた自作の緩和型熱量計を使用し、熱起電力測定および誘電測定装置については、結晶サイズが小さな混晶塩の測定可能な装置を新たに作成して測定した。

## 4. 研究成果

$(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{1-x}(\text{EtMe}_3\text{Sb})_x[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  における電荷秩序転移挙動を熱容量測定によって検証した。混晶化されていない純粋な  $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  の熱容量測定では、磁化率測定における非磁性化温度と同じ 70 K において明瞭な転移挙動が観測された。一方、 $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_{0.12}(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{0.88}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  では、磁化率測定では 50 K に非磁性化が観測されているが、熱容量測定では明瞭な転移過程が観測されなかった。一方で、30 K を中心とした広い温度領域において、 $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_{0.12}(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{0.88}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  の熱容量は純粋塩である  $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  の熱容量よりも顕著に高いという結果が得られた。低温から 70 K までの領域における混晶体の純粋塩に対する過剰エントロピーは、 $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  における電荷秩序の転移エントロピーとおおよそ同じオーダーであった。よって、混晶体においても低温では電荷秩序状態が実現している可能性は高く、電荷秩序転移挙動がブロード化したと考えられる。この結果より、本系の電荷秩序転移が本質的に高次相転移的な性質を有しているという可能性が示された。しかし、単純に混晶化によるディスオーダー効果により転

移が不明瞭になったという可能性も考えられる。このため、磁化率測定によって電荷秩序挙動が観測されている純粋な電荷秩序塩  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pt}(\text{dmit})_2]_2$  の熱起電力測定を行った結果、非磁性化近傍温度では熱起電力の kink のみが観測され、電荷秩序形成に相当する熱起電力の大きな変化が低温で非磁性化温度より 50 K 程度低い温度で観測された。この傾向は  $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_{0.12}(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{0.88}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  における磁化率と熱容量の傾向のズレとよく一致しており、本系の電荷秩序転移が 2 次以上の高次相転移またはクロスオーバー的な性質を持っていると考えられる。

カチオン混晶体  $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_{0.12}(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{0.88}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  では、明瞭な転移挙動が観測されなかったため、電荷秩序転移が緩やかに進行している可能性と低温まで電荷秩序が完成されず揺らぎを残している可能性が考えられる。このため、極低温熱容量測定により  $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_{0.12}(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{0.88}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  の励起構造を調べた。量子スピン液体の低温熱容量には金属と同様に状態密度に比例した係数  $\gamma$  を持つ T-linear 項が存在するが、ギャップの開いた電荷秩序状態では係数  $\gamma$  はゼロとなる。ゼロ磁場では、不純物スピンによる磁気熱容量が存在したが、磁場印加によってこの影響は抑制され 4 T 以上の磁場下で、 $\gamma$  の値はゼロとなることを確認した。よって、励起構造は純粋な電荷秩序物質  $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  と同じくギャップが開いた構造であることが確認された。一方、非磁性化が観測されず量子スピン液体領域にあると考えられるカチオン混晶体  $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_{0.19}(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{0.88}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  では、高磁場下でも一定の  $\gamma$  項が残留する挙動が確認された。本物質では、熱容量の磁場依存性が常磁性的ではなく熱容量が単調に減少する傾向が確認された。この傾向は、ギャップレス励起とは別の低エネルギー励起が存在している可能性を示している。

磁化率測定より基底状態が量子スピン液体であることが示唆される中心金属混晶体  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}(\text{dmit})_2]_2$  の熱容量では、ゼロ磁場では量子スピン液体物質  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  よりも大きな係数  $\gamma$  が得られた。また、量子スピン液体領域にあると考えられるカチオン混晶体  $(\text{EtMe}_3\text{Sb})_{0.19}(\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb})_{0.88}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  と同じく低温熱容量は磁場に対してほぼ単調に減少するが、高磁場下では一定の  $\gamma$  値が保持される結果が得られた。この磁場下における  $\gamma$  値は  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  よりも小さな値となった。磁化率測定で電荷秩序化が示唆される  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}(\text{dmit})_2]_2$  では、前述の電荷秩序を示すカチオン混晶体と同じく、いわゆる常磁性スピン成分に由来する Schottky 熱容量的な挙動が観測された。X[M(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> 系において、電子物性・磁気物性を担う分子は基本的に M(dmit)<sub>2</sub> であり、カチオン層は閉殻電子構造であるため、カチオン混晶体では混晶化に伴うディスオーダー効果は低く、中心金属を混晶化させた  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}_{1-y}\text{Pt}_y(\text{dmit})_2]_2$  は相対的にディスオーダー効果が高いと考えられる。しかし、このようなディスオーダー効果の大小による低温熱容量への影響は少なく、カチオン混晶体および中心金属混晶体の双方で共通した結果が得られた。量子スピン液体領域にある混晶体においては、ギャップレス励起およびこれとは別種の磁場によって単調に熱容量が抑制される低エネルギー励起の存在を確認した。量子スピン液体領域かつ相境界近傍でのみ観測される傾向であることから、量子スピン液体と電荷秩序状態の本質的なコンタミネーションの効果であると考えられる。一方、電荷秩序領域にある混晶体では、励起構造はギャップ的であり、低温熱容量には常磁性スピンの振舞いが観測された。常磁性スピンが単純な不純物効果に依らない場合、電荷秩序の組み残しによる孤立スピンである可能性が高く、相境界近傍では電荷秩序が不完全になる可能性を示す結果である。よって、少なくとも混晶化は長距離の電荷秩序形成に対しては大きな阻害要因となりうると思われる。

以上、本研究ではカチオン混晶体および中心金属混晶体の2種類の  $X[M(\text{dmit})_2]_2$  系物質に焦点をあて、電荷秩序転移挙動および量子スピン液体 電荷秩序相境界近傍の励起構造を熱容量測定、熱起電力測定によって調べた。熱容量測定における明瞭な転移挙動が磁化率の非磁性化と一致した振る舞いが得られた物質は、 $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$  のみであった。その他の混晶体および純粋体において、電荷秩序は明瞭な熱異常を示さず、熱起電力測定では二段階の転移挙動が確認された。また、低温熱容量測定では、量子スピン液体と電荷秩序状態のコンタミネーション効果による低エネルギー励起や電荷秩序の組み残しによる常磁性スピンの振る舞いを示唆する結果が観測された。これらの結果より、本系の電荷秩序は本質的に高次相転移の性質を有しており、混晶系や  $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pt}(\text{dmit})_2]_2$  においては非磁性化と電荷秩序の形成は必ずしも一致せず、電荷秩序は温度低下とともに緩やかに成長していくことが明らかとなった。この傾向は、非常に短距離の非磁性化または電荷秩序が存在することを意味しており、量子スピン液体側の相境界近傍では観測された両相のコンタミネーション等に起因した低エネルギー励起の存在とも矛盾しない。この結果は、量子スピン液体領域においても、短距離の電荷秩序形成もしくはその駆動力となる電荷揺らぎの影響が存在しうる可能性を示す結果であり、分子ダイマー型 Mott 絶縁体の本質的な特徴を解明する上で重要な指標となりうる。

#### 参考文献

- [1] K. Kanoda and R. Kato. *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.*, **2**,166 (2011)
- [2] Y. Yoshida et al., *Nature Physics* **11**, 679–683 (2015)
- [3] T. Isono et al., *Nature Commun.* **4**, 1344(2013)
- [4] S. Yamashita, et al., *Nat. Phys.* **4**, 459-462(2008).
- [5] S. Yamashita et al., *Nat. Commun.*, **2**, 275/1-275/6 (2011)
- [6] M. A. Jawad et al., *Phys. Rev. B* **82**, 125119(2010)

## 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 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tetsuya Nomoto, Shusaku Imajo, Satoshi Yamashita, Hiroki Akutsu, Yasuhiro Nakazawa, Alexander I. Krivchikov	4. 巻 135
2. 論文標題 Construction of a thermal conductivity measurement system for small single crystals of organic conductors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Analysis and Calorimetry	6. 最初と最後の頁 2831-2836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10973-018-7799-1	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 Satoshi Yamashita, Yasuhiro Nakazawa, Akira Ueda, Hatsumi Mori	4. 巻 95
2. 論文標題 Thermodynamics of the quantum spin liquid state of the single-component dimer Mott system k-H <sub>3</sub> (Cat - EDT - TTF) <sub>2</sub> .	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184425/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.184425	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 Yuki Matsumura, Shusaku Imajo, Satoshi Yamashita, Hiroki Akutsu and Yasuhiro Nakazawa	4. 巻 32
2. 論文標題 Thermodynamic Investigation by Heat Capacity Measurements of k-type Dimer-Mott Organic Compounds with Chemical Pressure Tuning	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics B	6. 最初と最後の頁 1840024 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217979218400246	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 Tetsuya Nomoto, Satoshi Yamashita, Hiroki Akutsu, Yasuhiro Nakazawa, Alexander Krivchikov	4. 巻 88
2. 論文標題 Phonon Glass Induced by Electron Correlation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073601/1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.073601	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10件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Satoshi Yamashita
2. 発表標題 Systematic Heat Capacity Measurements for Quantum Spin Liquid Phase in Dimer Mott system
3. 学会等名 The 6th Joint Meeting of the 73rd Calorimetry Conference and the 25th International Conference on Chemical Thermodynamics (CALCON-ICCT 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Yamashita
2. 発表標題 Thermodynamic Study on Charge-Ordering in Organic Dimer Mott Systems
3. 学会等名 International Symposium of Structural Thermodynamics for Young Thermodynamisists (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下智史, 野本哲也, 坏広樹, 中澤康浩
2. 発表標題 -(BEDT-TTF) <sub>2</sub> RbZn(SCN) <sub>4</sub> における電荷ガラス状態の低温熱容量
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 山下智史, 中澤康浩, 上田康平, 加藤礼三
2. 発表標題 Dimer-Mott絶縁体における電荷秩序形成機構に関する熱的研究
3. 学会等名 第53回熱測定討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下智史, 中澤康浩, 上田康平, 加藤礼三
2. 発表標題 EtMe3Sb[Pd1-xPt <sub>x</sub> (dmit) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> 混晶塩の電荷秩序状態に関する熱的研究
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 山下智史
2. 発表標題 電場下における物性測定手法
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下智史
2. 発表標題 分子性電荷移動塩の高圧下比熱
3. 学会等名 東北大金研ワークショップ「多自由度が協奏する分子システムの科学」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下智史, 中澤康浩, 上田康平, 加藤礼三
2. 発表標題 電荷秩序相近傍のX[M(dmit) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> (M=Pd, Pt)の低温熱容量
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下智史, 野本哲也, 坏広樹, 中澤康浩
2. 発表標題 分子性導体における電荷ガラス状態の電場制御
3. 学会等名 第55回熱測定討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Yamashita
2. 発表標題 Thermodynamic Investigation on the Excitation Structure of the Organic Quantum Spin Liquid State
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on the New Frontiers of Thermal Studies of Material (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>阪大化学熱学レポート, X[Pd(dmit)2]2系の低温熱容量と電子構造の関係性  <a href="http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/rcst/2018/index.html.ja">http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/rcst/2018/index.html.ja</a>          阪大化学熱学レポート, 量子スピン液体物質の低温熱容量における乱れの効果  <a href="http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/rcst/2018/index.html.ja">http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/rcst/2018/index.html.ja</a>          阪大化学熱学レポート 水素結合型量子スピン液体物質 -H3(Cat-EDT-TTF)2の低温熱容量  <a href="http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/rcst/2017/index.html.ja">http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/rcst/2017/index.html.ja</a></p>
--

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