

令和 5 年 5 月 28 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22169

研究課題名（和文）多角的イメージング精密熱測定の開発

研究課題名（英文）Development of multiple thermodynamic measurements using imaging techniques

研究代表者

中澤 康浩（Nakazawa, Yasuhiro）

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60222163

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、非接触な温度計測である赤外線イメージング法を使って、分子性物質の微小単結晶の総合的な熱測定開発を行った。極微サイズの緩和型セル、断熱型用の極小容器を作成し、表面を黒色化し反射を抑制したセルを作成した。極細クロメル線（外径13 $\mu\text{m}$ ）をリード線に用い、熱浴からセルへの熱流入を最低限に抑制した。これらのセル部を赤外線カメラで観測するためGe窓を作った真空チャンバーの中に設置し、温度計の直接計測とイメージングのデータを比較してイメージングデータを使った熱容量計測を進めた。さらに温度変化の過程を、セル上の様々な位置における温度分布を含めて多角的にデータ化し、熱計測の信頼性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱的な考察は、新物質の性質の理解や、新物性の発現のためのスタート地点を与える。複雑な組成をもつ分子や原子の多成分系である各種の新材料、ナノ構造体では合成条件の問題もあり極微量試料しか得られないことが多い。本研究で、おこなった非接触法を用いて、10-100 $\mu\text{g}$ 程度の極微小結晶を対象に、多角的な熱測定をこれまで測定が困難な多くの物質の熱計測を可能にし、熱力学的な議論を行うために重要なステップになる。熱測定の汎用化、ダウンサイズ化、高精度化は新物質開発、材料開発と並行して常に求められるものであり、本研究は、その展開に大きな波及効果を与える。

研究成果の概要（英文）：In this project, we developed a comprehensive thermal measurement of micro single crystals of molecular materials using infrared imaging technique, which can be used as a non-contact temperature measurement. We constructed a micro-chip relaxation calorimetry cell and an ultra-small container for an adiabatic-type cell of which surface is coated by black color to suppress reflections. Ultra-thin chromel wires (13 micro m outer diameter) were used as a lead wire to minimize the heat flow from the heat bath into the cell. These cells were placed in a new vacuum chamber with a Ge window for observation by an infrared camera, and heat capacity measurements using imaging data were proceeded by comparing direct thermometer measurements and imaging data. In addition, the process of temperature change was also measured in multi-data including temperature distributions at various positions on the cells to investigate the reliability of the thermal measurement.

研究分野：物性熱力学

キーワード：赤外線イメージング 微小試料 熱容量 熱伝導

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

分子や原子の凝集系では構成ユニット内の各種の相互作用が、構造とその機能を決定している。電荷移動錯体や集積型金属錯体などの固体電子材料では、分子のもつ多彩な構造的自由度に電子、スピンという量子力学的な自由度が加わり、様々な電子系の相変化、物性変化をひきおこしている。これらの物質でおこる様々な相転移現象を理解し、その機構を解明するためには、エンタルピー、エントロピー、ギブズエネルギー変化を定量的に議論することができる絶対精度と相対感度を伴う「熱容量」の精密な測定は重要である。さらに、エネルギーやエントロピーの移動、非平衡流としての流れ、電子やイオンの拡散能を評価する「熱伝導」、「熱起電力」などを定量性高く測定できれば、様々な量子自由度を用いた化合物の蓄熱材料、熱はけ材料としての物質開発をする上で有用である。しかしながら、応用面で重要となる室温、それ以上の温度領域での熱的測定は、以下のような問題点が従来から存在していた。

1. 微量試料(1mg を切るような結晶、粉末ペレット)を用いた高感度の測定の汎用化が困難
  2. 同一試料、同一セットアップを使った熱容量、熱伝導、熱起電力の測定が困難
  3. 時間、空間分解測定が困難(局所情報、ダイナミクスに関する情報取得が困難)
- また、一方で、複雑な構造の分子や、複数の成分からなる多成分系化合物などでは試料作製が難しくなり、大型単結晶や mg オーダーを越えるようなバッチでの合成は試料作成面からの大きな困難が伴う。構造解析などで、現在では標準的に使われるような 10-100 $\mu$ g 程度の極微量単結晶を用いて、厳密な分子、原子自由度とその相関に関する熱力学的な議論を応用面で重要な中低温熱領域で展開するためには、測定技術の面での新しい考えが必要な状況にあった。多くの測定開発がすすめられてきたが、抜本的な解決には至っていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

背景に記したような熱力学測定を開発して行く上での問題点は、熱という量が、温度計を用いた温度計測でしかとらえることが出来ず、そのための試料の微小化、ダウンサイジング化に伴い、温度計の試料に対する相対サイズ比、温度勾配や温度分布、温度計測に割けては通れないリード線等の熱リークが致命的になる事に起因している。そのため、本研究では「非接触でセンサーの要らない温度計測」として 200 K 以上の温度領域で高い感度をもつ赤外線イメージング手法を絶対精度をもつ熱容量測定技術に適用する手法開発を取り入れた熱測定への展開をはかることを目的とした開発を進める。極微量の試料の絶対値測定の大きな障害となる付加物熱容量の削減を、これまで申請者が蓄積してきた低温領域での断熱法、緩和法、交流法などでのノウハウを使って進め、周囲と断熱性の極めて良い微小サイズステージの開発によって、電気計測系の熱リークの大幅な削減した上で、試料温度を相対感度の良いイメージング手法で決定する。非接触な温度計測法である赤外線イメージング法を使って、分子性化合物を中心とした物質群の微小単結晶、微量試料の熱容量測定、熱伝導、熱起電力などの総合的な熱測定開発を行うことを目的とした。従来型の熱容量測定の利点と非接触温度計測法のもつ利点を組み合わせ 200 K から室温以上の中低温域で、絶対値測定が困難な熱力学的な測定を新たな視点から進める。さらに空間分解能がとれる熱測定の利点を使い試料内の熱分布を考慮した熱計測への方向性を見出していくことも本研究の目的である。非接触法によるリード線等の熱リークの抑制は従来型熱測定の技術開発にも大きく寄与するとともに温度の不均一性に関する様々な問題にアプローチすることができる。

### 3. 研究の方法

本研究の遂行のために最も重要になるのは、検出部の作成と、赤外線イメージングによる非接触温度計測システムの構築、さらにそれによる極微チップ温度計による計測の整合性に関する評価である。これらを進めるために以下のような方法に従い段階的に開発を進めた。

#### (1) 微小結晶測定セルの作成

研究の第一ステップとして、試料を設置する極微熱測定セルの開発を進めた。さらに、微量の単結晶試料を想定した熱測定用緩和型セルと、超小型の薄肉 Cu 製の粉末試料に対するコンテナ型のセルを作成した。単結晶用緩和型セルは白金薄膜温度計のセンサー部のステージ

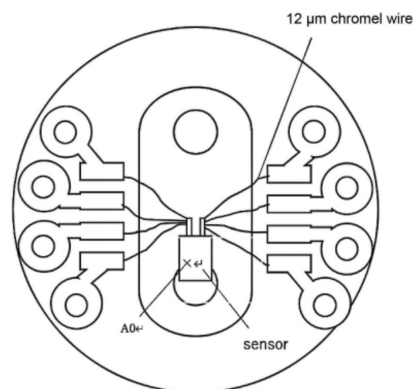


図 1 Pt チップ温度計を用いた緩和型の単結晶熱測定セル 反射を防ぐため各パーツは黒色でコーティングしている。

である  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の台座をそのまま使い、リード線にはクロメル、ステンレス、Pt-Ir の非銅系材料の材料を各種試しながら、熱浴から準断熱状態になるシステムとして熱系を構築した。リード線は温度域によって適性に違いがあるが室温付近では、熱伝導度と強度から極細クロメル線(外径  $13\mu\text{m}$ )が適正であると結論づけた。(図 1)にセル部も構造の模式図を示す。また固体結晶だけでなく、微結晶、粉末などの計測のための測定法である断熱法で用いるコンテナ型セルについては内容量  $3.5 \times 10^{-2}\text{cc}$  の容器を作成し、交換ガスを入れ密閉する方法を選択した。セルの写真を図 2 に示した。このセルに対しても外側に白金薄膜温度計を設置し周囲にリード線を巻きワニス等で固定することで十分なアンカーをとって使用した。

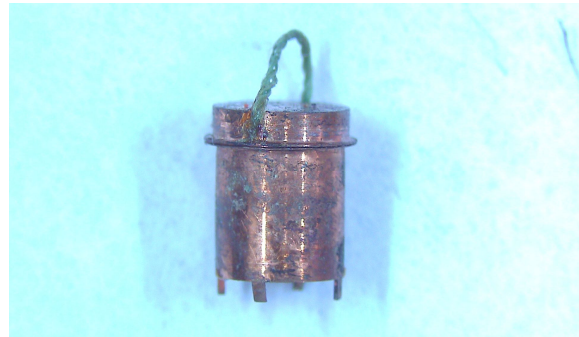


図 2 断熱熱容量計測にむけた内容量  $3.5 \times 10^{-2}\text{cc}$  のコンテナ型のセル。周囲にはリード線をアンカーし熱の出入りと温度の上昇から熱容量を決める。セルトップ部のイメージング計測を行う。

次いで、温度計測手法の評価を行った。まず、測定に用いる Pt チップ温度計の磁場中まで含めた較正を行った後、大気環境で赤外線イメージングシステムでの温度の変化とチップ温度計で測定した場合との対比から、イメージング法の熱測定への補正の評価をおこなった。その結果、赤外線の温度計測も熱容量測定の併用は十分に可能であることが判明した。

### (2)真空チェンバー、赤外線用光学窓の作成

イメージング計測の安定性を上げるための各種工夫を進めるとともに、絶対精度のある熱容量の測定を広い温度域で行うためのチェンバーユニットの作成を進めた。その中に、極微試料の計測に用いている断熱型の熱容量測定のユニット、緩和型の熱容量の測定ユニットの組込みを行った。熱浴にあたる部位には、セルノックスセンサー、極微サイズの Pt チップセンサーをつけ低温から室温、室温以上での温度制御が可能となるようにした。

計測を行うセル部は周囲とは完全に断熱状態をつくる必要があるため、高真空でのシールが必須になる。真空槽の窓材についても、Ge 系、サファイア、ZnSe などの材料評価を検討した結果、 $8\text{-}14\mu\text{m}$  帯域で深い吸収帯がなく、平坦な透過特性をもつ利点をいかし Ge 材料が適正であると考えた。厚みが  $1\text{mm}$ ,  $2\text{mm}$  で赤外線の反射率をおとすための表面加工を施した Ge 材料を窓材として用い、超高真空を保てるようなシール部位を作成しテスト実験を行った。拡散ポンプを用いて、熱計測が十分可能になる温度プロファイルイメージング測定が可能であることを確認した。この窓材によって真空チェンバー内でのイメージングを大気環境中ではほぼ同様の安定度で行うことができた。

### (3)測定系システムの構築

赤外線イメージングには、長い焦点距離と検出系にマイクロボロメータを用いた  $25\mu\text{m} \times 25\mu\text{m}$  の高解像度の顕微鏡の赤外線カメラを導入することで高いフレームレートでの分析を可能とした。緩和法、断熱法による熱測定ユニットを真空中で作動させることで、それぞれのユニットでの試料ステージの熱分布や温度安定性に関する定量的な評価を可能にするシステム構築をおこなった。

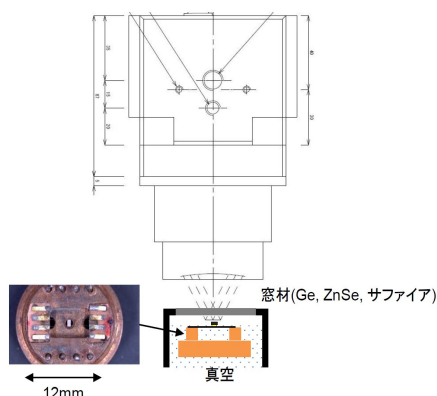


図 3 イメージングカメラを用いた熱容量測定セルのチェンバーと計測システムのセットアップ図

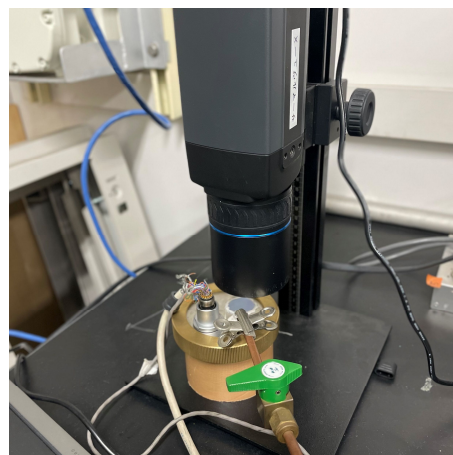


図 4 高解像度のイメージングカメラを用いた熱容量測定セルのチェンバーと計測システムのセットアップ図 トップフランジの Ge 窓からセル部の温度計測を非接触で行う。

温度プロファイルの各過程での空間的な温度勾配を評価するプロセスをとれるような設定も可能なようにした。図 3 は緩和型セルを組み込んだチェンバー、赤外線カメラのセットアップを示している。図 4 は配線、真空計を含めた本実験で用いた装置の写真である。

#### 4. 研究成果

##### (1) 熱容量計測の評価

赤外線イメージングを定量的な熱容量、熱伝導、熱起電力の測定に利用するため、これまですすめてきた装置を用い高真空環境下でチェンバー内でのイメージング計測の空間的、時間的なレゾリューションの評価を進め以下の成果を得た。

図 3 のような緩和型セルをチェンバー内に組み込み、Pt 温度計を用いたセンサーの平均温度の計測と温度計部でのイメージングデータの対比と絶対精度の検量を行う手法検討を行った。試料部位を黒色化し赤外線の反射率を抑えた効果も含めて検証を行った。これらの実験の結果から、以下の点が明らかになった。

1. イメージング手法による 試料セルの様々な場所における温度分布マッピングの解析が可能である。熱伝導の悪い部位には導電性ペースト等を用いることで温度均一性は向上し、問題への対応可能である。研磨したサファイアの薄板 25 $\mu\text{m}$  を基板とすることで温度均一度は飛躍的に上昇する。
2. 温度分布の平均化を行うと Pt 素子そのものの測定に、ほぼ対応する温度変化カーブが得られる。
3. 温度計の値とイメージングによる値の間は検量線によって校正が可能である。絶対値の違いは Ge 窓を用いていることと赤外線の反射に由来すると考えられる。
4. センサー部位の黒体化を行うことで計測の感度は上昇する。チェンバー内に熱電素子を多層構造にしたユニットをつくり、 $\pm 20$  程度の温度範囲で温度変化を比較的簡単に実現することができる。熱計測ができる温度の安定性は実現できるが、熱浴の温度を長時間で安定化させるためには更なる検討が必要であることも明らかになった。温度制御システムを新たに作り直すことができれば、温度範囲を拡張することが可能である。

さらに、緩和型熱量計、断熱型熱量計に使用する白金抵抗素子を用いた極微試料ステージ上での温度分布と極細クロメル線(外径 13 $\mu\text{m}$ )部位の温度分布 の特徴を明らかにするために、赤外線イメージングカメラの高い空間分解能(6 $\mu\text{m}$ )を利用し、詳細な温度マッピング計

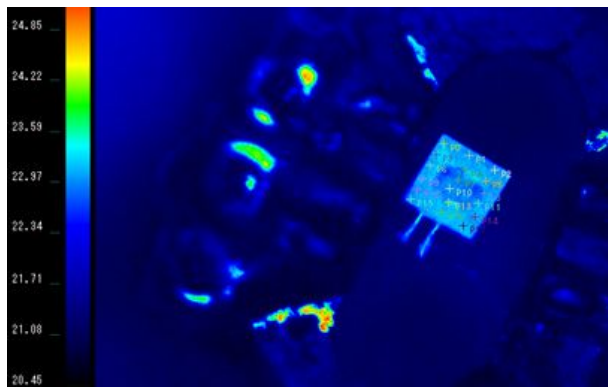


図 5 イメージングカメラを用いた熱容量測定セル部の温度分布の直接観測。Ge を通しての計測であるため温度の絶対値に少しずれが生じるが検量線によって校正が可能である。ステージ上の温度分布を調べるため+部の温度変化をすべて計測できる。

測を系統だてて行う実験を行った。緩和型、断熱型熱容量測定装置で、セルの平均的な温度変化プロファイル計測中での試料部での温度分布について詳細な解析を行った。図 5 の試料ステージ部に 18 箇所のポイントを取り、それぞれの部位の温度変化を計測した。その結果、温度変化の時間依存性は大きく変わらないが、試料ステージの中に数 mK 程度の分布が生じることが明らかになり(図 6)、熱の流れがステージ内でも生じている事が明らかになっている。研磨したサファイア板をステージ上

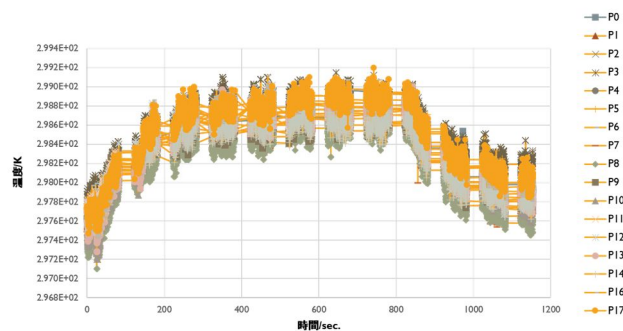


図 6 試料ステージ上の各点での緩和法による温度変化のプロファイル。温度上昇はヒーター部の加熱によって生じており 830 秒でヒーター加熱をやめることで温度が指数関数的に減少する。ステージ上の温度差は最大 5mK であり僅かな分布が生じていることを示している。

に着けることで温度差がほぼ無くなることも明らかになった。一方で、極細ワイヤーの中の温度分布は小さい。これは、試料ステージ近傍で急速な温度変化が生じているためである。ワイヤー部の熱容量は計測時に考えなくても緩和法計測の絶対値が良くあっている事は、ここから理解できる。一方で輻射の効果については、緩和法の計測手法から断熱法と異なり大きく絶対値に影響を与えていない点も温度プロファイルの空間、時間分布から明らかになった。

## (2)イメージングを用いた熱伝導の計測システムの開発

熱容量計測の測定チェンバー内に熱伝導の計測を行うために作成したセルを設置することができる。周辺環境が断熱真空状態になるため、厳密に絶対値を出すための計測手法を取り入れることが可能である。イメージング測定手法によって調べることによって温度勾配を確認しながら熱伝導率の計測も可能になる。しかしながら、定常法による熱伝導等の計測は熱伝導の良いサファイヤや金属の計測の場合には温度分布が一定の勾配にならないため、その絶対値の決定には多くの問題があることが指摘された。これらの事から、イメージング計測と定常法の併用し温度勾配が生じている部位を取り出し、そこでの温度分布を定量的に作り出さないと熱伝導率の絶対値の評価には大きな影響がある。同時計測で温度勾配を正しく把握しながら測定を行うことが必要であることがわかった。また、試料全体だけでなく、温度勾配が得られている部位を局所的に解析することで熱伝導率は概算できる。試料の熱の流れの変化を抑えることで厚みの異なる結晶などのデータの解析も可能になる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 E. Yesil, S. Imajo, S. Yamashita, H. Akutsu, Y. Saito, A. Pustogow, A. Kawamoto, and Y. Nakazawa	4. 巻 107
2. 論文標題 Thermodynamic properties of the Mott insulator-metal transition in a triangular lattice system without magnetic order	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 045133 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.045133	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 T. Nomoto, S. Yamashita, H. Akutsu, Y. Nakazawa, and R. Kato	4. 巻 105
2. 論文標題 Systematic study on thermal conductivity of organic triangular lattice system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 245133 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.245133	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. Imajo, N. Kato, R. J. Marckwardt, E. Yesil, H. Akutsu, and Y. Nakazawa	4. 巻 105
2. 論文標題 Persistence of fermionic spin excitations through a genuine Mott transition in -type organics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 125130 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/10.0008964	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 T. Kusamoto, C. Ohde, S. Sugiura, S. Yamashita, R. Matsuoka, T. Terashima, Y. Nakazawa, H. Nishihara, and S. Uji	4. 巻 95
2. 論文標題 An Organic Quantum Spin Liquid with Triangular Lattice: Spinon Fermi Surface and Scaling Behavior	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 306-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210411	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 Y. Matsumura, S. Yamashita, H. Akutsu, and Y. Nakazawa	4. 巻 48
2. 論文標題 Thermodynamic measurements of doped dimer-Mott organic superconductor under pressure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Low Temp. Phys.	6. 最初と最後の頁 51 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/10.0008964	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 Y. Matsumura, S. Imajo, S. Yamashita, H. Akutsu, and Y. Nakazawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Electronic Heat Capacity and Lattice Softening of Partially Deuterated Compounds of $(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 2 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst12010002	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. Imajo, T. Kobayashi, A. Kawamoto, K. Kindo, and Y. Nakazawa	4. 巻 103
2. 論文標題 Thermodynamic evidence for the formation of a Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov phase in the organic superconductor $\kappa\text{-(BETS)}_2\text{GaCl}_4$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 L22050 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L220501	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. Imajo, S. Sugiura, H. Akutsu, Y. Kohama, T. Isono, T. Terashima, K. Kindo, S. Uji, and Y. Nakazawa	4. 巻 3
2. 論文標題 Extraordinary $\pi$ -electron superconductivity emerging from a quantum spin liquid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Res.	6. 最初と最後の頁 033026 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.033026	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. Imajo, K. Kindo and Y. Nakazawa	4. 巻 103
2. 論文標題 Symmetry Change of d-wave superconductivity in kappa-type organic superconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 L060508 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L060508	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 R. Yoshimoto, S. Yamashita, H. Akutsu, Y. Nakazawa, T. Kusamoto, Y. Ohshima, T. Nakano, H. M. Yamamoto, and R. Kato	4. 巻 11
2. 論文標題 Electric Dipole Induced Bulk Ferromagnetism in Dimer Mott Molecular Compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 1332 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-79262-6	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 E. Yesil, S. Imajo, T. Nomoto, S. Yamashita, H. Akutsu, and Y. Nakazawa	4. 巻 89
2. 論文標題 Variation of Electronic Heat Capacity of $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ Induced by Partial Substitution of Donor Layers	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 073701 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/jpsj.89.073701	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. Hino, T. Nomoto, S. Yamashita, and Y. Nakazawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Single Crystal Heat Capacity Measurement of Charge Glass Compound $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{CsZn}(\text{SCN})_4$ Performed Under Current and Voltage Application	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1060 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10111060	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 S. Imajo, H. Akutsu, A. Akutsu-Sato, A. L. Morrirt, L. Martin and Y. Nakazawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Effects of Electron Correlations and Chemical Pressures on Superconductivity of b"-type Organic Compounds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Res.	6. 最初と最後の頁 033184 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.1.033184	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 T. Nomoto, S. Yamashita, H. Akutsu, Y. Nakazawa, A. I. 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 J. Phys. Soc. Jpn.	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 該当する

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Y. Nakazawa, E. Yesil, S. Imajo, S. Yamashita, and H. Akutsu
2. 発表標題 Thermodynamic Properties around the Metal-Insulator Phase Boundary in the Dimer-Mott Organic Compounds
3. 学会等名 Multiscale Phenomena in Condensed Matter (Multis 2022) (On-line) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Nakazawa
2. 発表標題 Introduction of Calorimetry and its Application for Researches
3. 学会等名 Virtual International Assembly on Calorimetry and Thermal Analysis (VIACTA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Nakazawa, E. Yesil, Y. Matsumura, S. Imajo, S. Yamashita, and H. Akutsu
2. 発表標題 Quantum Features around the Mott Boundary in Organic $\pi$ -electrons Compounds
3. 学会等名 2nd International Workshop Thermal Conductivity of Solid State at Low Temperatures (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Nakazawa
2. 発表標題 Thermal Conductivity of Organic Charge Transfer Complexes with Strong Correlation in 2D $\pi$ -Electrons Layers
3. 学会等名 The International Advanced Research Workshop "Thermal Conductivity of Solid State at Low Temperature" (Online) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Nomoto, S. Yamashita, H. Akutsu, and Y. Nakazawa
2. 発表標題 Magnetic-Field-Induced Transition of Charge-Glass Former Containing a Magnetic Transition Metal
3. 学会等名 MULTIS 2021(Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 E. Yesil, S. Yamashita, Y. Nakazawa, H. Akutsu, Y. Saito, and A. Kawamoto
2. 発表標題 Thermodynamic Picture of a Quantum Liquid-Liquid Transition Occurring in the Geometrically Frustrated Organic Complexes
3. 学会等名 MULTIS 2021(Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤康浩
2. 発表標題 熱測定による分子性電荷移動塩の物性研究
3. 学会等名 九州大学先端物質化学研究所セミナー（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤康浩, Emre Yesil, 今城周作, 山下智史, 坪 広樹
2. 発表標題 二次元ダイマー型電荷移動錯体の電子状態と量子相転移
3. 学会等名 第57回熱測定討論会（オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Nakazawa
2. 発表標題 -Electron Physics in Molecule-based Charge Transfer Complexes Showing Spin-Liquid and Superconducting Properties
3. 学会等名 International Virtual Conference on Advances in Molecular Materials Research (AMMR 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Nakazawa
2. 発表標題 Thermodynamic Studies of Novel Molecular Ferromagnets in Dimer-Mott Charge Transfer Compounds
3. 学会等名 International Advanced Study Conference on Condensed Matter & Low Temperature Physics (CMLTP) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Nakazawa
2. 発表標題 Possibility to Tune Thermodynamic Parameters of Organic Spin Liquids Using Chemical Substitutions
3. 学会等名 International Symposium of Thermal and Entropic Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Nakazawa <sup>1</sup> , Y. Matsumura, S. Imajo, E. Yesil, S. Yamashita, and H. Akutsu
2. 発表標題 Merging of Electronic Phases in Charge Transfer Complexes with Multiple Quantum Degrees of Freedom
3. 学会等名 International Symposium of Thermal and Entropic Science(on-line) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中澤康浩, 今城周作, Enre Yesil, 山下智史, 坏広樹
2. 発表標題 フラストレーションをもつ分子性電荷移動塩の電子状態
3. 学会等名 第56回熱測定討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野本哲也, 山下智史, 坏広樹, 中澤康浩, A. Krivchikov
2. 発表標題 -BETS213の電場誘起金属状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年会
4. 発表年 2020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 電場制御による $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{RbZn}(\text{SCN})_4$ の電荷ガラス状態
3. 学会等名 日本物理学会2020年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Nakazawa, S. Imajo, T. Nomoto, E. Yesil, S. Yamashita, and H. Akutsu
2. 発表標題 Possibility to Tune Thermodynamic Parameters of Organic Spin Liquids Using Chemical Substitutions
3. 学会等名 International Workshop of Thermal and Entropic Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Nakazawa
2. 発表標題 Thermodynamic properties of p-electrons spin-liquid compounds studied by accurate heat capacity measurements
3. 学会等名 The 13th Japanese-Russian International Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野本哲也, 山下智史, 坏広樹, 中澤康浩, A. Krivchikov
2. 発表標題 - $(\text{BEDT-TTF})_2\text{I}_3$ の低温電子状態に関する熱的研究
3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村祐希, 今城周作, 山下智史, 坏広樹, 中澤康浩
2. 発表標題 相境界近傍に位置する 型有機超伝導体の熱力学的挙動
3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中亮, 野本哲也, 山下智史, 坏 広樹, 中澤康浩
2. 発表標題 有機超伝導体 $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{NH}_4\text{Hg}(\text{SCN})_4$ における化学置換効果
3. 学会等名 第13回分子科学討論会 (名古屋)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福地宗太郎, 山下智史, 坏 広樹, 中澤康浩, 藤原秀紀
2. 発表標題 有機磁性超伝導体 $-(\text{BETS})_2\text{FeBr}_4$ の電子熱容量の磁場方向依存性の検出
3. 学会等名 第13回分子科学討論会 (名古屋)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山 柗近, 野本哲也, 山下智史, 坏 広樹, 中澤康浩, Tadeusz Wasiutynski
2. 発表標題 分子性結晶を用いた高感度圧力下熱容量測定法の開発と応用
3. 学会等名 第13回分子科学討論会 (名古屋)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野 晶子, 坏 広樹, 中澤 康浩
2. 発表標題 キラル極性有機伝導体 (BEDT-TTF)2S-PROXYL-CONHCH2SO3の構造と物性
3. 学会等名 第13回分子科学討論会 (名古屋)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村祐希, 今城周作, 山下智史, 坏広樹, 中澤康浩
2. 発表標題 型有機超伝導体の相境界近傍における熱的パラメーターの磁場依存性
3. 学会等名 第55回熱測定討論会 (東大阪)
4. 発表年 2019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 (東大阪)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪大学大学院理学研究科 附属熱・エントロピー科学研究センターHP  <a href="http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/">http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/</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
--	---------------------------	-----------------------	----

## 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			
インド	Visva-Bharati University			
ポーランド	Institute of Nuclear Physics			
ウクライナ	Inst. of Low Temp. Phys.			