

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22340098

研究課題名（和文） 複合環境制御下での熱測定による有機 π 電子系の研究研究課題名（英文） Investigation on electronic states of π -electrons systems consisting of organic molecules by heat capacity measurements by multiple conditions

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、分子性導体の微小単結晶を対象にした、外的パラメータを制御したカロリメトリ(比熱，熱容量測定)技術を開発し、極低温環境，強磁場下，加圧下，電場・電流印加下熱力学的情報を引き出すことを目指した。開発研究の結果，希釈冷凍機を用いて 100mK までの極低温実験が磁場中で可能となり、有機超伝導体，有機 π -d 電子系における磁気異方性や磁性と超伝導の関係を議論を行った。また加圧下，電流印加条件下での熱測定により分子性結晶の電荷・スピン・格子の自由度が引き起こす様々な量子現象を熱力学的に議論した。

研究成果の概要（英文）：In this project, development of calorimetry techniques at extremely low temperature region, high magnetic fields, pressures and with electronic currents etc. was performed. Using the calorimetric cell available down to 100 mK with various magnetic fields, we studied thermodynamic properties of π - and π -d electron systems of organics. We also studied heat capacity under pressures and applied current to discuss quantum behaviors of molecule-based compounds in terms of charge, spin, and lattice degrees of freedom.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	9,100,000	2,730,000	11,830,000
2011 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2012 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：熱容量，分子性導体，磁場，圧力

1. 研究開始当初の背景

分子性化合物は、柔らかい格子系の中で、量子性を伴う電子の多様な振る舞いが発現する系である。基本構成単位が分子であるため、結晶中の格子欠陥が少ないクリーンな系が構築され、その中で、分子の形状や積層配列に由来する低次元性の効果，電子格子相互作用，電子間相互作用が競合・協奏しあいな

がら多彩な物性変化を引き起こす。しかしながら、これらの物質は溶液から電解合成によって得られる多成分系の塩であり、同じ組成であっても数多くの多形が存在し、大型結晶の育成，大量合成が困難である。そのため、最低でも数 mg 以上のまとまった量が要求される標準的な比熱測定では実験が困難であり、熱力学的な視点からの研究はそれほど沢

山は報告されていない状況であった。

一方で、熱的な測定は、物質の様々な相転移、相変化を検出するとともに、温度計測の精度を使ったエネルギー分光法としての特色をもつ。そのため、物質の基底状態の基本的性質、そこから生じるスピンや電荷の自由度に基づく低エネルギー励起を検出するために有効である。さらに磁場、圧力など外的環境制御によって電子の量子性や格子構造と結合した新しい相転移、相変化が数多く見出されている。エントロピー的な視点にたちこれらの現象に情報を与えることは、固体物性の中でも重要な位置にある学術的研究課題であると考えられていた。また、この様な微小試料の様々な条件下での測定は、分子性化合物に留まらずより多彩な物質系の科学を切り開く意味でも重要であり、本研究の着想は今後の熱科学研究に向けて要望される状況にあった。

2. 研究の目的

本研究は、分子性化合物の様々なサイズや形状の結晶に関して微量かつ、外的環境を制御した条件下でのカロリメトリ技術を整備し、現在の分子性結晶の基礎研究で十分な熱力学的なデータが得られていない状況に対して進展をはかることを目的として計画された。輸送現象や構造解析、磁気測定、NMRなどの共鳴測定などが行われているのと同程度の量の試料により多角的な熱力学的パラメータに関する情報を得るようにすることを目指していくとともに、磁場、圧力、温などの各種示強性パラメータの変化を組み合わせ、相互の連結をはかることで分子性化合物の強相関効果の起源解明とあらたな現象開拓にむけた発展的な展開を図ることを目的とした。複数の制御可能な示強性パラメータを能動的に動かしながら熱容量やエントロピーの変化を定量的に検出する多元的な熱力学研究を進めることは、物性の解明のために必須である。本研究では、すでにある程度着手していた低温、磁場下の手法を広く物質に展開するとともに、強い磁場下、圧力下、電場下の測定を取り入れ分子性化合物の物性理解に新たな展開を開くことを目的とした。

3. 研究の方法

研究目的を達成するため、具体的には、以下の4点を大きな柱として研究の展開をはかってきた。

(1) 極低温、磁場下でのカロリメトリセルの微小型化と二次元 π 、 π -d系化合物を中心

とした熱力学的研究

極低温で絶対値が $\pm 2\%$ 以内の確度で決定ができるカロリメトリセルをデザインし、希釈冷凍機に搭載した低温・磁場下熱容量測定装置を作成する。これを用いて、分子性三角格子 Mott 絶縁体でフラストレーションによって生じる液体的な基底状態の検証と、その低エネルギー励起を検討する。スピン液体基底状態をもつことで広く注目される κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ と対比させながら、三角格子性と一次元的なスタック構造の特徴をあわせもつ EtMe $_3$ Sb[Pd(dmit) $_2$] $_2$ 、三角格子にホールがドーブされた系である κ -(BEDT-TTF) $_4$ Hg $_{2.89}$ Br $_8$ 、 κ -(BEDT-TTF) $_4$ Hg $_{2.78}$ Cl $_8$ の電子状態を議論する。さらにはアニオン部の 3d 電子の磁性と二次元的な π 電子伝導性が結び付いた κ -(BETS) $_2$ FeBr $_4$ 、 κ -(BETS) $_2$ FeCl $_4$ などでの励起構造の特徴を調べ、これらの物質の高磁場中での熱測定を行う。

(2) 加圧下での熱測定開発と整備

磁場、低温と組み合わせた分子性化合物の熱力学的な測定を行う。現状の微小単結晶を用いた測定システムの検出感度をあげ、さらに方向を制御した磁場中での測定と組み合わせた実験を行う。磁場印加による熱容量の変化を、同一結晶を用いて行った緩和法の磁場中測定データを使って絶対値較正し、エントロピー評価を行う。同時に、一軸圧測定も検討し、Mott 絶縁体や電荷秩序絶縁体などで研究されている温度-圧力相図に対する熱力学的な観点から検証と、エントロピーに関する知見を得る。

(3) 電圧印加、電流印加条件下での熱測定

電圧、電流印加下での熱測定手法を確立し、強相関効果によって生じる大きな電荷揺らぎと格子振動の関係を熱的な立場から明らかにする。対象とする物質は、顕著な非線形伝導を示す θ -(BEDT-TTF) $_2$ CsZn(SCN) $_4$ と、その関連物質で電荷秩序を形成する θ -(BEDT-TTF) $_2$ RbZn(SCN) $_4$ とした。温度変化を伴う、比較的大きな電気抵抗率を示すこれらの物質に対して、発熱分を出来るだけ熱浴に逃がすかたちで定常状態熱測定を行うノウハウを開発する。加圧下、磁場中測定とも組み合わせ、多角的な展開を目指す。

4. 研究成果

(1) 極低温・磁場下での微小結晶用測定熱容量セルの開発

100 μ g 程度の単結晶を用いて、希釈冷凍機温度の超低温から 100 K 程度までの温度領域で熱容量測定を行う装置の開発を行った。図 1

のように簡易型の希釈冷凍装置（大阪大学）にセルを搭載した。この冷凍機は、超伝導磁石と組み合わさった温度可変インサート中で使用可能であるため、試料搭載から最低温まで半日で冷却が可能となった。またこのセルは分子科学研究所の大型希釈冷凍装置にも搭載することができ、最大磁場 16T までの印加が可能になる。結晶に対して様々な方向から磁場印加が可能になるように試料設置面を完全に固定できるようにし、磁化率の異方性によるトルク等の影響を受けないようなセルの作成にも成功した。

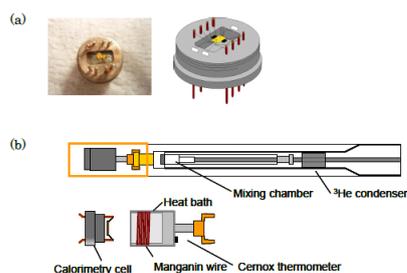


図 1 極低温カロリメトリーセル

(2) 分子性化合物の低温、磁場印加環境下での熱測定

① 有機三角格子塩の極低温、磁場中熱容量によるスピン液体状態の熱力学的理解

有機三角格子物質であり基底状態がスピン液体を示す κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の熱力学的な性質を BEDT-TTF の両端のエチレン基を d 化した試料について調べ、その挙動を評価した。その結果、Mott 絶縁体状態であるにもかかわらず有限の γ 値を示すこと、約 6 K 程度に格子熱容量に異常が現れることを報告した。

次いで、アニオンラジカル塩である EtMe₃Sb[Pd(dmit)₂]₂ の熱力学的な性質についても本研究で開発したセルを用いて行った。熱容量測定の結果から本物質でも、先の κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ と同様に、ギャップのないスピン液体が形成されることが明らかになった。また、このスピン液体的な特徴が顕著になる極低温領域より上側の $T=3.7$ K 付近にブロードな hump 構造があらわれ、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ で知られている 6 K の熱異常に対応することが明らかになった。さらに、Pd(dmit)₂ 系電荷移動塩でおこるスピン液体相と周辺相との関係を調べる目的で、EtMe₃Sb[Pd(dmit)₂]₂ を中心にカチオン部である X 変えて、 t'/t を変化させた各種の塩での熱力学的性質の変化を調べた結果、図 2 に示したように、反強磁性を示すカチオン X=Me₄Sb, EtMe₃As, Et₂Me₂P, 電荷秩序を示す

X=Et₂Me₂Sb, EtMe₃P の熱容量測定結果には、有限の γ が現れないが、熱容量の温度依存性は顕著に異なる。 $T=0$ からの立ち上がりをも βT^3 でフィットして決めた β を t'/t の関数としてみなすと、 $t'/t=0.87$ 付近にピークを示す。さらにスピン液体相近傍での性質を詳細に調べるためにカチオン部を部分置換によって混晶化した試料に関する測定も行くと、この変化は再現でき、また hump 構造が系統的にずれていくことが分かった。スピン液体から反強磁性相へ変化する近傍でも熱力学的な挙動に大きく変化が現れる。

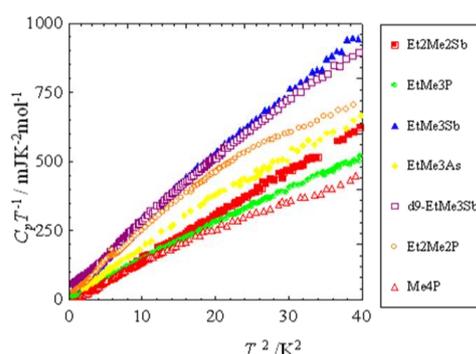


図 2 カチオンの相違による低温熱容量の温度依存性の系統的な変化

② 有機 π -d 系の熱力学的性質

超伝導、磁性が共存することで知られる κ -(BETS)₂FeBr₄, κ -(BETS)₂FeCl₄ 塩で最大 10 T までの磁場を二次元面に平行に加え、磁気相転移、超伝導転移の面内異方性を調べた。アニオン部の 3d 電子の磁性が一次元的な異方性をもつため、その方向に磁場を印加すると三次元的な反強磁性秩序は抑制され低次元性特有のブロードなピークが現れる。さらに相互作用の大きさを異なった物質間でスケールすることによって、二つの塩の特徴が统一的に説明できることが明らかになった。

(3) 高圧下熱測定手法の開発と分子性化合物の圧力下熱測定

① 装置の整備

極微サイズの酸化ルテニウムチップ・白金薄膜チップを温度センサー、ヒーターとして用いて、高精度の四端子交流ブリッジを温度振幅の計測に用いた半定量的な交流熱測定法の装置を作成し、100 μ g - 数 mg 程度の単結晶試料、あるいは粉末試料のペレットに対して最大 1.6 GPa の圧力下での実験を行った。温度領域に応じて二種類の試料ホルダーを使いわけることによって、1K-20 K, 20 K-200 K の領域での連続測定が可能となった。

② 有機超伝導体、電荷移動塩の圧力下熱測定

κ 型の構造をもつ超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ および κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br とその BEDSe-TTF との混晶塩の圧力下熱測定を行い熱容量のとびが圧力印加に伴って熱容量がどのように変化するかを追跡した。Mott 境界に近いところでは超伝導に伴う熱異常が $\Delta C_p T^{-1}$ として約 60 mJK⁻²mol⁻¹ と大きな値になり、強結合的になり比熱の跳びを示すが、圧力の印加によって転移温度が下がると次第に転移そのものが小さくなり跳びが弱結合的になることを見出した。T_c の系統的な変化が観測され、媒体の固化等による不均一な圧力印加が原因とは考えられず、Mott 境界から金属領域へ変化することによっておこる本質的な変化であると考えられる。また、常圧下 83K で中性-イオン性転移を示す TTF-TCNQ に関する圧力実験を行った。0.25GPa 以下の弱圧領域では殆ど転移温度に変化が現れないが、0.35GPa 以上に加圧していくと転移の上昇とともにピークがブロード化し、さらに二次転移へと変化していくことを見出した。熱異常そのものは大きくなっていき、弱圧では見られないスピンや電荷に関わるエントロピーが現れることを示唆している。

③ 圧力誘起強磁性転移の熱測定

有機 - 無機複合錯体 Cu₂(OH)₃(CH₃CO₂)₂·H₂O の圧力下熱測定を行い常圧での反強磁性相が 1.4 GPa の静水圧の印加によって強磁性相へ変化する様子を圧力、磁場を変化させた熱力学測定的測定によって調べた。この物質は Cu²⁺ が二次元的に配列しているが、層内にフラストレートした構造があり、複数の磁気的な相互作用が拮抗しているため、外部条件の変化によって磁気的な特徴が変化する。粉末試料 2 mg 程度をペレット状に成型した試料の両端に微小サイズの酸化ルテニウムチップをつけ、本研究で開発した高圧熱測定装置を用いて測定を行った。1.4 GPa 以下では、磁気相転移に基づくピーク構造は、磁場の印加によって低温側に移動する反強磁性特有の性質を示すが、1.4 GPa 以上の圧力印加下では 2.2 K のピークが 10 mT や 50 mT といった非常に弱い磁場で、高温側にシフトしていくという強磁性的に特徴的な振る舞いが見られた。

(4) 電流印加条件下での熱測定

隣接する分子間で働く強いクーロン相互作用によって電荷の揺らぎが大きくなり、短距離的な電荷秩序の相関が発達し絶縁体的な挙動を示す θ -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄ 塩で、電荷のゆらぎを電流印加によって制御した状態での熱容量測定の開発を進めた。四端子法で端子をつけた試料を緩和法セルにのせ、

リード線を通して逃げる熱の定量的な評価を行いながら定常状態をつくり、その上でサブヒーターによる加熱により温度変化を生じさせながら緩和法、AC 法による熱測定をおこなった。ヒーティングパワーが電気抵抗の変化によって変化するため、抵抗変化が大きい極低温では安定して測定できないが、4K から上の温度領域では測定が十分に可能であることが判明した。電流印加下でのこの試料の熱容量は 2mA の電流印加下 5-20 K の範囲内では熱容量に大きな変化は現れてはいない。電荷秩序のバルクとしての抑制にはこれ以上の電流印加が必要であることが明らかになった。

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 26 件)

1. Development of Heat Capacity Measurement System for Single Crystals of Molecule-Based Compounds S. Fukuoka, Y. Horie, S. Yamashita and Y. Nakazawa, *J. Therm. Anal. Cal.*, 査読有 (2013) in press DOI:10.1007/s10973-013-3069-4.
2. Magnetic Transition in Dimerized Radical Cation Salt of (BPDT-TTF)₂ICl₂ Studied by Heat Capacity Measurements, G. Y. Guan, S. Fukuoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, H. Taniguchi and Y. Nakazawa, *J. Therm. Anal. Cal.* 査読有 (2013) in press DOI:10.1007/s10973-013-3015-5.
3. Calorimetric Investigation of Phase Transitions Occurring in Molecule-Based Magnets, M. Sorai, Y. Nakazawa, M. Nakano, Y. Miyazaki, *Chemical Reviews* 査読有 113, PR41-PR121 (2012) DOI: 10.1021/cr300156s.
4. Thermodynamic Properties of κ -(BEDT-TTF)₂X Salts: Electron Correlations and Superconductivity, Y. Nakazawa, S. Yamashita, *Crystals* 査読有 2, 741-761 (2012) DOI:10.3390/cryst2030741.
5. Microchip-Calorimetry of Organic Charge Transfer Complex which Shows Superconductivity at Low Temperatures, Y. Muraoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, *Thermochimica Acta* 査読有, 532, 88-91 (2012) DOI: 10.1016/j.tca.2011.02001.
6. Magnetic Heat Capacities of κ -BETS₂FeBr₄ Measured by Micro-Chip Calorimeter, S. Fukuoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, A. Kobayashi and H. Kobayashi, *Physica Status Solidi*, 査読有 C9, 1174-1176 (2012) DOI:10.1002/pssc.201100640.
7. Charge Transport and Intra-Dimer Charge Disproportionation in Triclinic-EtMe₃P[Pd(dmit)₂]₂, where dmit is 1,3-dithiole-2-thione-4,5-dithiolate, T. Yamamoto, Y. Nakazawa M. Tamura, A. Nakao, Y. Ikemoto, T. Moriwaki, A. Fukaya, R. Kato and K.

- Yakushi, *J. Phys. Soc. Jpn.* 査読有, 80, 123709 1-4 (2011) DOI:10.1143/JPSJ.80.123709 .
8. Charge Transport and Hall Effect in Rubrene Single-Crystal Transistors under High Pressure, Y. Okada, K. Sakai, T. Uemura, Y. Nakazawa J. Takeya *Phys. Rev. B* 84, 245308 1-5(2011) DOI: 10.1103/PhysRevB.84.245308.
9. High-Pressure AC Calorimetry System Using Pt Chip Thermometer M. Danda, Y. Muraoka, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, *Netsu Sokutei*, 査読有 W39 29-32 (2011).
10. AC Heat Capacities of κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ Measured by Microchip Calorimeter, Y. Muraoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, and Y. Nakazawa *J. Phys. Conf. Series*, 査読有 320(2011) 012027 1-6 DOI:10.1088/1742-6596/320/1/012027.
11. Vibrational Spectra of [Pd(dmit)₂] Dimer (dmit=1,3-dithiole-2-thione-4,5-dithiolate): Methodology for Examining Charge, Inter-Molecular Interactions, and Orbital, T. Yamamoto, Y. Nakazawa M. Tamura, T. Fukunaga, R. Kato and K. Yakushi, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有 80, 074717 1-16 (2011) DOI: 10.1143/JPSJ.80.074717.
12. Magnetic Relaxation of Single-Molecule Magnets in an External Magnetic Field: An Ising Dimer of a Terbium(III)-Phthalocyaninate Triple-Decker Complex, K. Katoh, T. Kajiwara, M. Nakno, Y. Nakazawa, W. Wernsdorfer, N. Ishikawa, B. K. Breedlove, and M. Yamashita, *Chem. Eur. J.* 査読有 17, 117-122 (2011) DOI:10.1002/chem..201002026 .
13. Gapless Spin Liquid of an Organic Triangular Compound Evidenced by Thermodynamic Measurements S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, M. Tamura, R. Kato, *Nature Commun.* 査読有 2, 275 1-6 (2011) DOI: 10.1038/ncomms1274.
14. Magnetic Troque Evidence for the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov State in the Layered Organic Superconductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂, B. Bergk, A. Demuer, I. Sheikin, Y. Wang, J. Wosnitza, Y. Nakazawa, R. Lortz, 査読有 *Phys. Rev. B* 83, 064506 1-7(2011) DOI: 10.1103/PhysRevB.83.064506.
15. The Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov State in the Organic Superconductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ as Observed in Magnetic Torque Experiment, B. Bergk, A. Demuer, I. Sheikin, Y. Wang, J. Wosnitza, Y. Nakazawa and R. Lortz, *Physica C* 査読有, 470, S586-S588 (2010) DOI: 10.1016/j.physc.2009.11.151.
16. Critical Behavior of Two Molecular Magnets Probed By Complementary Experiments, M. Czapla, R. Pelka, P. M. Zielinski, A. Balanda, M. Makarewicz, A. Pacyna, T. Wasiutynski, Y. Miyazaki, Y. Nakazawa, A. Inaba, M. Sorai, F. L. Pratt, R. Podgany, T. Korzeniak, and B. Sieklicka, *Phys. Rev. B* 査読有 82, 094446 1-9 (2010) DOI:10.1103/physRevB.82.094446.
17. Charge Fluctuation of the Superconducting Molecular Crystals, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, R. Kato, K. Yakushi, H. Akutsu, H. Yamamoto, A. Kawamoto, S. S. Turner, and P. Day, *Physica B* 査読有 405, S237-S239 (2010) DOI: 10.1016/j.physb.2009.11.059.
18. Low Temperature Heat Capacity Measurements of the Spin-Liquid State of Hydrogenated and Deuterated κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃, S. Yamashita, T. Yamamoto, and Y. Nakazawa, *Physica B* 査読有 405, S240-S243 (2010) DOI: 10.1016/j.physb.2009.12.053.
19. Low-Temperature Heat Capacity Measurements of κ -Type Organic Superconductors under Pressure, N. Tokoro, S. Fukuoka, O. Kubota, and Y. Nakazawa, *Physica B* 査読有 405, S273-S276 (2010) DOI: 10.1016/j.physb.2009.12.087.
20. Heat Capacity Measurements of Chiral and Racemic Molecular Magnets, S. Fukuoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, H. Higashikawa, and K. Inoue, *Physica B* 査読有 405 S19-S22 (2010) DOI: 10.1016/j.physb.2009.02.002.
21. Single-Chain Magnets Constructed by Using the Strict Orthogonality of Easy-Planes: Use of Structural Flexibility to Control the Magnetic Properties, T. Kajiwara, H. Tanaka, M. Nakano, S. Takaishi, Y. Nakazawa, and M. Yamashita *Inorg. Chem.* 査読有 49, 8358-8370 (2010) DOI: 10.1021/ic100843k.
22. Thermodynamic Properties of the Kagome Lattice in Volborthite, S. Yamashita, T. Moriura, Y. Nakazawa, H. Yoshida, Y. Okamoto and Z. Hiroi, *J. Phys. Soc. Jpn.* 査読有 79, 083710 1-4 (2010) DOI: 10.1143/JPSJ.79.083710.
23. 分子スピンのフラストレーションで現れたスピ液体状態 中澤康浩 査読有 *パリティ* 25, No.4, 68-72 (2010) .
24. Low-Temperature Heat Capacity of Heptacopper(II) Complex [Cu₇(μ_3 -Cl)₂(μ_3 -OH)₆-(D-pen-disulfide)₃] N. Tokoro, S. Yamashita, A. Igashira-Kamiyama, J. Fujioka, T. Konno, and Y. Nakazawa, *J. Therm. Anal. Calor.* 査読有 99, 149-152 (2010) DOI: 10.1007/s10973-009-0514-5.
25. Heat Capacities of Antiferromagnetic Dimer-Mott Insulators in Organic Charge-Transfer Complexes, S. Yamashita and Y. Nakazawa *J. Therm. Anal. Calor.* 査読有 99, 153-157 (2010) DOI: 10.1007/s10973-009-0566-6.
26. Thermodynamic Investigation of Coordination-Networked Systems of [Mn₄] Single-Molecule Magnets under Pressure, O. Kubota, S. Fukuoka, Y. Nakazawa, K. Nakata, M. Yamashita and H. Miyasaka, *J. Phys. Condens. Matt.* 査読有 22 026007 1-5 (2010) DOI: 10.1088/0953-8984/22/2/026007.

[学会発表] (計 19 件)

1. π -d 系分子性導体 BETS 塩の面内磁場下熱測定 福岡脩平, 山下智史, 山本貴, 中澤康浩, 藤原秀紀, 白旗崇, 高橋かず子, 日本物理学会 2013 年 年

会 (広島), 2013 年 3 月 26-29 日, 26pXN13.

2. X[Pd(dmit)₂]₂ 系における量子スピン液体- 電荷秩序近傍の低温熱挙動, 山下智史, 福岡脩平, 中澤康浩, 上田康平, 崔亨波, 山本浩史, 加藤礼三 日本物理学会 2013 年 年会 (広島), 2013 年 3 月 26-29 日, 28pXN6.

3. bi-layer 系(Et-4BrT)[Ni(dmit)₂]₂ の低温熱容量 吉本 諒, 山下智史, 中澤康浩, 草本哲郎, 加藤礼三, 日本物理学会 2013 年 年会 (広島), 2013 年 3 月 26-29 日, 28pXN7.

4. Thermodynamic Natures of Magnetic Field Induced Phase Transition in Chiral Magnets, S. Fukuoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, H. Higashikawa, and K. Inoue, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Or-20F.

5. Thermodynamic Study of Chemical Pressure Effect on Quantum Spin Liquid, S. Yamashita, S. Fukuoka, Y. Nakazawa, K. Ueda, H. M. Yamamoto, and R. Kato, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Or-22F.

6. High Pressure Calorimetry System Using Chip-Type Sensors, M. Danda, Y. Muraoka, N. Tokoro, and Y. Nakazawa, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Or-23F.

7. Single Crystal Calorimetry for Organic Radical Cation Salts Consisting of B PDT-TTF Molecules, G. Guan, S. Yamashita, T. Yamamoto, H. Taniguchi, and Y. Nakazawa, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Pos-16.

8. Heat Capacity of Nanographene at Low Temperatures, Y. Horie, Y. Nakazawa, K. Takai, and T. Enoki, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Pos-24.

9. Development of Single Crystal Calorimetry at Low-Temperatures and under Pressures, Y. Nakazawa, ICCT2012, Buzios, (Brazil), 2012, August 5-10, CO-TC2.

10. Application of Low Temperature Relaxation Calorimetry for Detecting Quantum Behaviors of Low-Dimensional Spin System, S. Yamashita, S. Fukuoka, Y. Nakazawa, ICCT2012 Buzios, (Brazil), 2012, August 5-10, TC02.

11. 分子性化合物材料の熱的特徴と熱電能, 中澤康浩, 学振産業と応用研究会 2012 年 5 月 26 日 大阪大学.

12. 有機三角格子化合物のスピン液体状態の熱的性質, 中澤康浩, フラストレーションセミナー (大阪大学) 2012 年 1 月 31 日 大阪大学.

13. スピン液体状態を示す分子性化合物の低温熱測定, 中澤康浩 東北大 GCOE 研究会-金属錯体の固体物性科学最前線- 2012 年 1 月 20 日.

14. Thermodynamic Properties of the Spin-Liquid State in Organic Charge Transfer Salts, Y. Nakazawa, Tamura Symposium, Osaka, 2011 年 12 月 5 日.

15. 熱測定の重要性と有効性 - 電子物性研究を例として -, 中澤康浩, 熱測定討論会 若手の会

(桐生) 2011 年 10 月 21 日.

16. Specific Heat of Spin Liquid State in Organic Triangular Salts, Y. Nakazawa, Frustrated Magnetic and Other Systems, Canada, 2011 年 5 月 29 日.

17. Thermodynamic Studies of Electronic Properties of Organic Charge Transfer Salts, Y. Nakazawa, 21 st IUPAC International Conference on Chemical Thermodynamics ICCT-2010, Tsukuba Japan. 2010 年 8 月 5 日.

18. Thermodynamic Study of Organic Frustrated System which Show Spin-Liquid Behaviors, Y. Nakazawa, CalCon2010 The 65 th Calorimetry Conference, Colorado Springs, Colorado, USA. 2010 年 7 月 22 日.

19. Thermodynamics of Molecular Assembled Systems -Superconductivity, Magnetism and a Spin Liquid-, Y. Nakazawa, Joint Symposium of Universite de Strasbourg and Osaka University, Strasburg, France. 2010 年 7 月 1 日.

〔図書〕 (計 2 件)

1. 大学院講義物理化学 (東京化学同人) 7.5 比熱測定 2012 年 3 月 中澤康浩 査読有.

2. 物理化学実験法 (東京化学同人) 監修千原秀昭, 編集 徂徠道夫, 中澤康浩 査読有 2011 年 9 月.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/nakazawa/>

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab.macro/report/index.html.ja>

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

山本 貴 (YAMAMOTO TAKASHI)

大阪大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号 : 20511017