

令和 5 年 6 月 10 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K21858

研究課題名（和文）多自由度相関係における巨大負熱膨張現象の理論研究と物質探索

研究課題名（英文）Theoretical study and materials search on gigantic negative thermal expansion phenomena in correlated electron systems

研究代表者

望月 維人（Mochizuki, Masahito）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：80450419

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）：温度降下による磁気相転移に伴い結晶体積の膨張を引き起こす「磁性誘起負熱膨張物質」の物質探索の指針を理論的に設計し、物質合成との連携により新しい巨大負熱膨張物質の発見を目指した。特に、MX₆八面体（Mは遷移金属イオン、Xは配位子イオン）の稜共有構造で構成される遷移金属八ニカム格子化合物において、反強磁性秩序に伴う巨大な負熱膨張現象の発現を理論的に予言した。また、その磁性誘起負熱膨張の普遍的な物理的起源を明らかにした。ここで明らかにした物質設計指針に基づき、八ニカム格子反強磁性体のデータベースを検索し、実際に反強磁性転移に伴う負熱膨張を発現する新しい負熱膨張物質を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温度降下に伴い結晶体積が膨張する負熱膨張物質と、通常の（温度降下により結晶体積が収縮する）物質とを複合させると、それぞれの体積膨張と収縮が相殺し、温度が変わっても体積や長さに変化しにくい材料を作ることができる。昨今、ますます精緻化してきている光学素子、計測機器、精密機械の製造において、このような材料への要請が高まっており、精力的にその研究が進められている。本研究では、磁気転移に伴う負熱膨張現象の物質設計・探索の新しく普遍的な指針を示し、それに従って新しい負熱膨張を見出した。このことは、これまで研究者の経験と勘に頼らざるを得なかった負熱膨張物質の探索に革新的な寄与をもたらすと期待される。

研究成果の概要（英文）：We theoretically designed a guide for material search for magnetism-induced negative thermal expansion (NTE) materials, which induce crystal volume expansion due to magnetic phase transition with lowering temperature and aimed to discover new NTE materials in collaboration with material synthesis. We have theoretically predicted the occurrence of giant NTE phenomena associated with antiferromagnetic ordering in transition metal honeycomb-lattice compounds consisting of edge-shared MX₆ octahedra, where M and X are a transition metal ion and a ligand ion, respectively. We have also clarified the universal physical origin of the magnetism-induced NTE. Based on the material design guidelines clarified here, we searched the database of honeycomb-lattice antiferromagnets and found a new NTE material that actually exhibits NTE associated with a magnetic phase transition to antiferromagnetic order.

研究分野：理論物性物理学

キーワード：負熱膨張現象 八ニカム格子反強磁性体 交換相互作用 磁気体積効果 磁気相転移 逆ペロフスカイト型マンガン窒化物 スピン-格子結合 反強磁性秩序

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

通常の物質は温度降下により結晶体積が収縮するが、稀に温度降下により体積が膨張する「負の熱膨張現象」を示す物質がある。このような物質は、光学素子や計測機器などの精密化・精緻化に伴い産業応用上の観点からも基礎物理学の観点からも益々重要視されてきており、近年では国内外で精力的に研究・開発が行われている。しかし、負熱膨張現象の物理機構は未解明なことが多く、系統的かつ戦略的な研究開発や物質開拓が行われているとは言い難かった。特に、その物質探索は物質合成に携わる研究者の経験や勘、さらには運に頼るところが大きかった。

2. 研究の目的

本研究では、近年我が国において相次いで発見されている新しいタイプの負熱膨張物質を念頭に「磁性や軌道、電荷の秩序化に伴って巨大な負熱膨張を発現する強相関電子系化合物」の微視的な理論モデルを構築し、その物理メカニズムを解明することを第1の目的とした。さらに、このようにして解明したメカニズムから、巨大な負熱膨張が期待される物質の一般的な設計指針を立案し、物質合成・物性測定 of 専門家と協力して新規物質を探索することを第2の目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、まず研究代表者である望月(理論担当)が「強相関電子系において長距離秩序が誘起する負熱膨張現象の発現機構の解明」に取り組んだ。特に、近年発見された磁性や電荷自由度の相転移を伴う負熱膨張物質を対象に、これらの物質の詳細な結晶構造、電子構造、電荷やスピン自由度と格子のカップリングを考慮した微視的な理論モデルを構築し、このモデルを数値計算や解析計算により解析することで現象を確実に再現する。その上で、本質的でないものを削ぎ落として要素演繹的な方法により、これらの物質の負熱膨張現象の物理メカニズムに迫った。

このような研究で解明した物理メカニズムから、高い普遍性と一般性を持つ物質探索の指針を設計し、どのような物質において巨大な負熱膨張が期待できるかを研究分担者である勝藤(物質合成・物性測定)に提案した。フラックス法やフローティングゾーン法による物質合成の経験が豊富な勝藤は、その設計指針をもとに新物質を合成・探索した。さらに作成した物質を、歪ゲージを用いた結晶体積の温度・組成依存性の精密測定、磁気・軌道・電荷状態や相転移挙動を磁化測定や誘電性測定、光学測定を駆使して調べた。

4. 研究成果

(1) 逆ペロフスカイト型マンガン窒化物が示す物性の包括的な理解

研究代表者・望月が提唱した「逆ペロフスカイト型マンガン窒化物において非共線反強磁性秩序への相転移に伴って発現する負熱膨張現象」の理論をさらに深化・発展させ、この物質群における「様々な磁気秩序」と「負熱膨張発現の可否」を系統的に説明することに成功した。具体的には、逆ペロフスカイト型マンガン窒化物が示す「5g型反強磁性秩序」、「4g型反強磁性秩序」、「強磁性秩序」などの多彩な磁気秩序の発現や、5g型反強磁性秩序の存在下で、マンガンスピ間に働く交換相互作用がある条件を満たした場合に「負の熱膨張」が起こることを系統的に説明・解明した。これらの考察や検証に基づき、「現代化学誌」や「日本物理学会誌」に解説記事を執筆した。磁性誘起負熱膨張を起こす典型例であるこの物質の包括的な理解と整理が完成したことで、この現象の背後にある普遍的な物理機構の解明や、新物質探索のための指針策定、効果・現象の巨大化を目指す研究への重要な足掛かりができたと言える。また、半世紀以上もの長い歴史を持つこの重要な研究分野におけるブレイクスルーを二本の解説記事として発表したことは、分野を牽引・開拓する重要な意義を持つと考えている。

さらに、磁性誘起負熱膨張を起こす典型物質の包括的な理解が完成したことで、この現象の背後にある普遍的な物理機構の解明や、新物質探索のための指針策定、効果・現象の巨大化を目指す研究への重要な足掛かりができたと言える。同時に、この重要な現象を理解するために、検証が必要な様々な問題点や謎を洗い出した。特に重要な問題として、研究代表者の理論では、金属磁性体である本物質群を、局在スピンモデル(古典ハイゼンベルグモデル)で取り扱っている。これはこの物質の金属伝導はマンガンの4s軌道電子が担っているのに対し、Mn3d軌道の電子スピンは局在電子として振る舞っているという素朴な仮説に基づいている。この仮説は、非共線の磁性を取り扱える第一原理計算手法等による、電子構造および磁気構造の計算から検証されるべきものである。また、研究代表者の理論では特異な反強磁性秩序の発現は「負熱膨張現象」が起こるための必要条件であり、Mnスピン間の複数の交換相互作用がある条件を満たさないと負熱膨張が起こらないことが予測されている。この理論予測を、同じく非共線の磁性を取り扱える第一原理計算手法による「交換相互作用係数の微視的な計算」と「実験研究」との連携により検証に取り組んだ。

(2) 磁性誘起負熱膨張物質の発見のための探索指針の策定

磁性誘起負熱膨張物質の典型例である逆ペロフスカイト型マンガン窒化物における、特殊な反強磁性秩序の発現や、磁気相転移、磁性誘起負熱膨張の機構を完全に説明することに成功した基礎理論から、磁性誘起負熱膨張を発現する未知の物質を探索する上で、指針となる条件を明らかにした。まず、結晶構造として、MX 八面体 (M は遷移金属イオン、X は配位子イオン) が稜共有や面共有でつながるネットワークを含む結晶構造が有望であることを提唱した。また、最近接交換相互作用の表式を導出し、解析することで、「d-p 軌道混成の強度が強くなる傾向を持つ eg 軌道系」、「電荷移動エネルギーが小さい重い遷移金属イオンを含む系」、「強磁性交換の寄与が強くなるフント結合の強い系」が磁性誘起負熱膨張の発現に有利であることを見出し、Mn, Fe, Co, Ni などの遷移金属イオンを含む化合物が有利であることを指摘した。

(3) モリブデン酸化物における磁性・電荷・軌道の結合を解明

モリブデン酸化物 $\text{La}_5\text{Mo}_4\text{O}_{16}$ において、磁性と結晶格子、軌道自由度の結合に由来する負熱膨張現象が発現する可能性を探索した。結果的には、この物質系では期待していた負熱膨張現象は発現しなかったが、この系が多彩な磁性や電荷・軌道状態を発現し、それらの状態を温度や磁場などの外部パラメータによって制御できることを発見した。さらに、特筆すべき成果として、絶縁体であるこの物質中の磁気-軌道ドメインを隔てるドメイン壁が、電子構造の再構成に起因する電気伝導性を持つことを発見した。これらの物理現象の背後には強相関電子系におけるスピン、電荷、軌道といった多自由度の相関・競合があり、負の熱膨張現象の背後にある物理と根を同じくしている。したがって、新しい負熱膨張物質の発見を目指す上での重要な知見が得られたと考えている。

(4) モリブデン酸化物における磁性・電荷・軌道の結合を解明

特異な結晶格子構造と非自明な磁気構造のカップリングに起因する「負熱膨張現象」を示す磁性化合物の理論的な探索・設計を目的に、八ニカム型結晶構造を持つ反強磁性体における磁性誘起負熱膨張現象の可能性や条件を理論的に調べた結果、反強磁性秩序への磁気相転移に伴った面内格子定数の磁性誘起負熱膨張現象が起こりうることを理論的に予言した。この物質群の結晶構造は、MX₆ 八面体の 2 次元稜共有ネットワークにより構成されており、遷移金属イオンが八ニカム格子を形成している。八ニカム格子を持つ反強磁性体は数多くの物質例が知られており、物質探索を行う上で、普遍的かつ典型的な物質群とすることができる。これらの物質では、上記の特殊な結晶構造のために、遷移金属イオン上にある磁化間に働く相互作用が、異なる結合パスに由来する相反する寄与から構成される。つまり、遷移金属イオン間の直接 180 度ボンドに起因する反強磁性交換相互作用と、配位子イオンを介した遷移金属イオン間の間接 90 度ボンドに起因する強磁性交換相互作用である。これらの、二種類の交換相互作用のボンド長依存性を通じた磁気-格子結合の効果と、磁氣的相互作用、格子の弾性エネルギー項を考慮した八ニカム格子上の古典スピン-格子結合モデルを構築し、これを古典モンテカルロ法を用いた解析した。比熱や磁気相関関数、線形体積膨張率などの物理量の温度依存性を調べることで、ある条件下では、温度降下により反強磁性への磁気相転移が起こると同時に、結晶体積が膨張する「反強磁性転移誘起負熱膨張現象」が起こることを発見した。さらに、その物理機構について、あるメカニズムを仮定して計算結果を定量的に再現することで解明することに成功した。上記の成果を、論文にまとめて発表した。また、学会等での成果発表を行った。

(5) 磁性・格子・電荷の動的結合現象へのアプローチ

本研究では磁性誘起負熱膨張物質におけるスピン-格子結合、スピン-電荷結合と、それらに由来する温度体積効果や交差相関応答を解明してきた。最終年度では、これまでの研究成果に立脚した新しい方向性や展望を模索した。特に、平衡状態の物理を超えて、これまでの研究で明らかにした、磁性(スピン)と、結晶構造(格子)、原子変位、電荷(誘電分極)の結合が引き起こす非平衡現象や外場応答、励起現象、動的相転移といった新しい現象の探索・解明に取り組んだ。まず、三角格子上における伝導電子と局在スピンの結合を記述する近藤格子系において、光照射による 120 度スピン構造の発現を理論的に発見し、その物理機構を解明した。時間発展方程式に基づいて、系の電子構造と局在スピンの構造の時間変化を追ったところ、1. 光照射による電子励起、2. 動的繰り込み効果によるバンド幅現象とギャップ形成、3. 励起電子の緩和、低エネルギーバンドの部分的一様占有状態の形成という 4 つのプロセスを経て、光照射下の非平衡定常状態として「擬ハーフフィリング状態」と呼ぶべき電子構造が発現し、この状態で安定化される磁気構造(今の場合は 120 度スピン構造)が実現することを明らかにした。この物理機構は、三角格子近藤格子系に限らず、スピン-電荷結合系において普遍的に期待される一般的なものであり、今後理論と実験のさらなる研究が期待される。また、スピン-格子-電荷結合を媒介として、遷移金属酸化物 CuO におけるエレクトロマグノン励起の研究を、フランスのラマン分光実験グループと共同で進め、この物質の中間温度領域で実現する磁気強誘電相で観測されているテラヘルツ周波数帯のエレクトロマグノン励起スペクトルを完璧に再現した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yuto. Uwabo, Masahito. Mochizuki	4. 巻 90
2. 論文標題 Proposed Negative Thermal Expansion in Honeycomb-Lattice Antiferromagnets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 104712/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.104712	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 T. Katsufuji, M. Miyake, M. Naka, M. Mochizuki, S. Kogo, T. Kajita, Y. Shimizu, M. Itoh, T. Hasegawa, S. Shimose, S. Noguchi, T. Saiki, T. Sato and F. Kagawa	4. 巻 3
2. 論文標題 Orbital and magnetic ordering and domain-wall conduction in ferrimagnet La5Mo4O16	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013105/1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.013105	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 M. Miyake, and M. Mochizuki	4. 巻 101
2. 論文標題 Creation of nanometric magnetic skyrmions by global application of circularly polarized microwave magnetic field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094419(1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.094419	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. Tanaka, R. Sugawara, and M. Mochizuki	4. 巻 4
2. 論文標題 Theoretical study on stabilization and destabilization of magnetic skyrmions by uniaxial-strain-induced anisotropic Dzyaloshinskii-Moriya interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 034404(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.4.034404	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 望月維人	4. 巻 第75巻
2. 論文標題 「温めると縮む磁石の謎がついに解けた！」	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 第3号(130-138)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 望月維人	4. 巻 第15巻
2. 論文標題 「局所電場印加による磁気スキルミオン書き込み技術の理論設計」	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本磁気学会報「まぐね」	6. 最初と最後の頁 1月号(192-198)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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. Shimizu, and M. Mochizuki	4. 巻 101
2. 論文標題 Theoretical study on slit experiments in Rashba electron systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045301(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.045301	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 M. Mochizuki, T. Koide, M. Ikka, and A. Takeuchi	4. 巻 META2019
2. 論文標題 Microwave-Active Dynamics of Magnetic Skyrmions under Application of a Tilted Magnetic Field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of META 2019 Lisbon - Portugal	6. 最初と最後の頁 609-610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 M. Mochizuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Dynamical magnetoelectric phenomena of skyrmions in multiferroics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Sciences Reviews	6. 最初と最後の頁 1(20190017)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/psr-2019-0017	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 望月維人	4. 巻 582
2. 論文標題 「冷やすと膨らむ不思議な磁石 半世紀の謎がついに解けた」	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 現代化学	6. 最初と最後の頁 9月号(26-29)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 T. Koide, A. Takeuchi, and M. Mochizuki	4. 巻 100
2. 論文標題 DC spinmotive force from microwave-active resonant dynamics of skyrmion crystal under a tilted magnetic field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 014408(1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.014408	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 望月維人	4. 巻 88
2. 論文標題 「磁気スキルミオンのマイクロ波誘起現象と素子機能」	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 7月号(460-464)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 A. Takeuchi, S. Mizushima, and M. Mochizuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Electrically driven spin torque and dynamical Dzyaloshinskii-Moriya interaction in magnetic bilayer systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9528(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-46009-x	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 K.-J. Kim, M. Mochizuki, and T. Ono	4. 巻 12
2. 論文標題 Prediction of topological Hall effect in a driven magnetic domain wall	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 053006(1-3)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab1801	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 L. V. Abdurakhimov, S. Khan, N. A. Panjwani, J. D. Breeze, M. Mochizuki, S. Seki, Y. Tokura, J. J. L. Morton, and H. Kurebayashi	4. 巻 99
2. 論文標題 Magnon-photon coupling in the noncollinear magnetic insulator Cu ₂ OSeO ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 140401(R)(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.140401	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. Saiki, S. Ohkubo, K. Funahashi, T. Yamazaki, T. Kajita, and T. Katsufuji	4. 巻 101
2. 論文標題 Change in the optical spectrum of BaV ₁₀₀ 15 with applied uniaxial strain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 121111(R)(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.121111	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14件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Masahito Mochizuki
2. 発表標題 Theory of Magnetism-Induced Negative Thermal Expansion in Inverse Perovskite Antiferromagnets
3. 学会等名 International Conference on Condensed Matter Physics (CONMAT2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上保友人, 望月維人
2. 発表標題 ハニカム格子遷移金属化合物における負熱膨張現象の理論的探索
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中康平, 朝日透, 望月維人
2. 発表標題 張力ひずみ由来の異方性ジャロシンスキー守谷相互作用による磁気スキルミオンの安定化・不安定化の理論研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahito Mochizuki
2. 発表標題 Microwave-Active Dynamics of Magnetic Skyrmions under Application of a Tilted Magnetic field
3. 学会等名 The 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahito Mochizuki
2. 発表標題 Microwave-Induced Dynamical Phenomena of Magnetic Skyrmions
3. 学会等名 The 4th International Conference ``Nanomagnetism and spintronics" (Sol-SkyMag 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahito Mochizuki
2. 発表標題 Microwave-driven dynamics of magnetic skyrmions
3. 学会等名 The 5th International Workshop on Topological Structures in Ferroic Materials (TOP02019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三宅将之, 中惇, 勝藤拓郎, 望月維人
2. 発表標題 La5Mo4016の電子状態と伝導性ドメイン壁に関する理論研究
3. 学会等名 日本物理学会第75年次大会(2020年) 18pB21-1
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中康平, 朝日透, 望月維人
2. 発表標題 一軸張力ひずみによるスキルミオン相安定化・不安定化の理論研究: 基底状態相図と有限温度相図
3. 学会等名 日本物理学会第75年次大会(2020年) 18pB21-9
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北山圭亮, 望月維人
2. 発表標題 Floquet理論を用いた $-(BEDT-TTF)_{213}$ の光誘起トポロジカル相転移の理論研究
3. 学会等名 日本物理学会第75年次大会(2020年) 19aB21-8
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中康寛, 望月維人
2. 発表標題 有機導体 $-(BEDT-TTF)_{213}$ における円偏光誘起トポロジカル状態の性質
3. 学会等名 日本物理学会第75年次大会(2020年) 19aB21-9
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮島悠輔, 村田優介, 田中康寛, 望月維人
2. 発表標題 ニューラルネットワークによるn状態クロック模型のKT転移の検出
3. 学会等名 日本物理学会第75年次大会(2020年) 19pK36-2
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Kitayama, Masahito Mochizuki
2. 発表標題 Theoretical study of Photo-induced phase transition in $-(BEDT-TTF)_{213}$ using Floquet theory
3. 学会等名 International Conference on Topological Materials Science 2019 (TopoMat2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中康寛, 望月維人
2. 発表標題 スピン軌道相互作用のある電子系における円偏光誘起スピン偏極の理論: 数値計算とフロケ解析
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 11aD10-1
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水宏太郎, 望月維人
2. 発表標題 Rashba電子系におけるスリット型電子干渉実験の理論研究
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 10aD15-7
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>早稲田大学先進理工学部応用物理学科 望月維人研究室のホームページ http://www.f.waseda.jp/masa_mochizuki/index.html</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
研究分担者	勝藤 拓郎 (Katsufuji Takuro) (00272386)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	

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
---------	---------