物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第 63 巻
第 1 号
2023 年度

ディラック半金属のフロッケ・エンジニアリング：
巨大誘導レイリー散乱の観測と機構解明

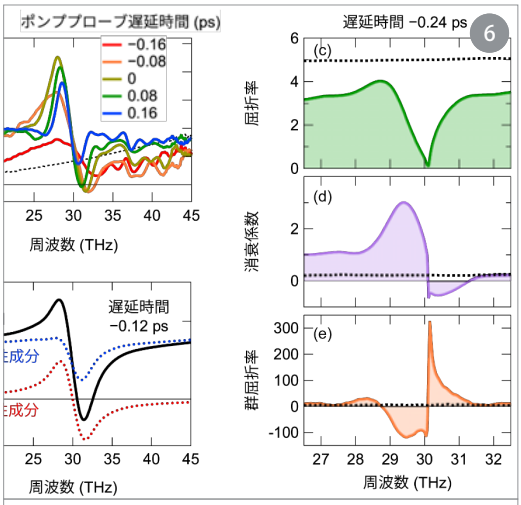
大気下でもホールと電子の双方を
伝導可能な新しい分子性半導体材料の開発に成功

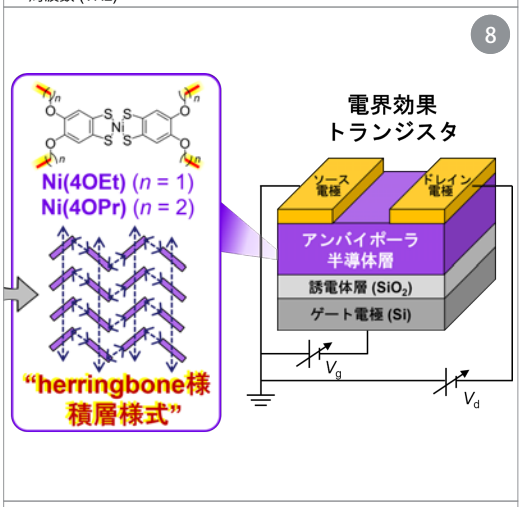
磁場により体積が大きく膨張する新材料の発見

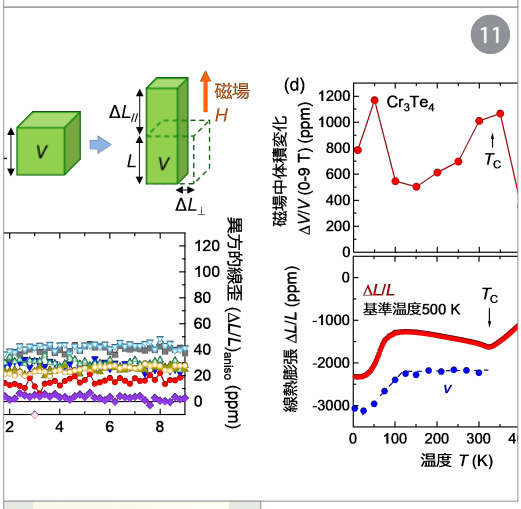
東京大学 物性研究所
THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO
Copyright ©2023 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.
ISSN 0385-9843

第 63 巻
第 1 号
2023 年度

contents







1 所長退任にあたって 森 初果

4 所長就任にあたって 廣井 善二

6 ディラック半金属のフロッケ・エンジニアリング：
巨大誘導レイリー散乱の観測と機構解明 室谷 悠太、神田 夏輝、松永 隆佑

8 大気下でもホールと電子の双方を伝導可能な新しい分子性半導体材料の
開発に成功 伊藤 雅聡、藤野 智子、森 初果、尾崎 泰助

11 磁場により体積が大きく膨張する新材料の発見 岡本 佳比古

14 量子物質ナノ構造ラボ (Q ナノラボ) の共同利用開始 三輪 真嗣、鈴木 博之

15 ～日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して～ 藤本 知宏

16 「日本物理学会若手奨励賞」を受賞して 永井 瞭

18 2nd International Symposium on Trans-Scale Quantum Science Poster Award
を受賞して 松田 拓也

19 「TSQS2022」ポスター賞を受賞して 室谷 悠太

20 「テラヘルツ科学の最先端 IX」の最優秀若手研究者賞を受賞して 中川 真由莉

21 外国人客員所員を経験して Yongmin Kim

【ISSP ワークショップ】
22 ○物性女性若手研究交流会 2022
25 ○「カイラル物質科学の新展開」開催報告
29 【物性研究所談話会】
30 【物性研究所セミナー】
【物性研ニュース】
42 ○東京大学物性研究所人事異動一覧
43 ○東京大学物性研究所教員公募について
49 ○東京大学物性研究所特任研究員公募について
編集後記
物性研だよりの購読について

所長退任にあたって

森　初果

あと1月余りで2期5年の所長任期が満了となります。この3年はコロナ禍で誰にとっても環境が激変する「動」の時代だったと思いますが、私にとっては皆様の協力を得ながら駆け抜けた、あっという間の5年間でした。年度末となり、廣井善二次期所長の新しい船出に向けての準備も順調に進んでおりますので、これを機にこれまでを振り返り、物性研の現状をご報告できればと思います。

2004 年の国立大学法人化により、縦糸として大学の自主・自立性を生かした特色ある運営が求められる中、横糸として、2010 年には学術コミュニティー連携のコアとなる共同利用・共同研究拠点(共共拠点)制度が始まりました。共共拠点の第2期3年目の2018年に瀧川前所長から任務を引き継ぎましたが、制度として定常状態になる一方、大学経営の自立化、財源の多様化も求められ、運営費交付金の毎年 1%の減少、それに伴うポストの削減、そして2018 年度からは共共拠点のプロジェクト費 26%減が行われ、経費削減も定常化しています。これは、共共拠点の運営において大きな課題であるばかりでなく、世界的にみても日本の研究力、教育力の低下に繋がる喫緊の課題となっています。

東京大学では、2015 年に就任した五神真前総長の下、大学が世界の公共財として SDG's 等地球規模の課題解決へ向けての駆動力となるべく、社会に開かれた大学活動が推進されました。2021 年に就任した藤井輝夫総長の下では「誰もが来たくなる大学」として、全構成員および多様なタスクフォースが参画する、包摂性のある対話型の大学運営が進められ、研究教育を基盤としながらも大学の機能が益々拡大する時代へと突入しています。

その中で、物性研では「物性科学分野における世界最高水準の研究をコミュニティーと共に推進する」ため、以下の 5 つのミッションを鑑みて運営しております。(1)1 つの大学では開発・維持管理することが難しい中・大型の設備・装置を技術開発から行い、コミュニティーの共同利用・共同研究に供すること、(2)このラージスケール規模の研究(中・大型の設備・装置による先端計測・制御)と、新たな研究のシーズを創出する舞台となるスモールスケール規模の研究(物質・システム開発、先端測定、理論など)が協働し、新たな学術領域を切り拓くこと、(3)次世代育成、(4)国際化、(5)社会との連携等。(https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/about.html)

特に(2)に関しては、六本木キャンパス時代には出入口が1 つでしたが、2000 年の柏キャンパス移転後、それも分散する中、部門・施設がセクショナリズムに陥ることなく、ボトムアップの研究が連携し新しい学術の発展に繋がるよう、瀧川前所長時代の2017年に、横断型研究グループ(量子物質研究グループと機能物性研究グループ)が設置されました。2018 年の私の就任時には、次なる課題として、この横断型研究グループを発展させること、その先の将来計画を拾い上げて推進すること、ジェンダー・国際性など研究者の多様性を拡げること、コミュニティーにも供する研究基盤を整えることを掲げ、構成員と共に運営を進めてまいりました。

量子物質研究グループでは、数々の量子物質、特に興味深いトポロジカル物質が開発され、先端計測、理論研究により研究が進展しました。さらに、新たな量子物質のナノ加工でスピントロニクス分野の発展にも繋がり、2022 年からはフランス・グルノーブルにて、大谷義近教授を中心としたスピントロニクスの国際プロジェクトも開始されています。学内連携としては、2019 年、中辻知教授を機構長とするトランススケール量子科学国際連携研究機構が設立されました。本学大学院理学系研究科、物性研、カブリ数物連携宇宙研究機構、低温科学研究センターとの連携で、物性物理学から宇宙物理学、量子情報学と、広範な量子科学の研究を進めています。

機能物性研究グループでは、2018 年に井上圭一准教授を迎え、物性研で初めてバイオサイエンスの研究室が誕生しました。JST クレスト、学術変革等のプロジェクトをスタートさせながら、光応答性のタンパク質の光、磁場下での機能制御、計算・データ科学について所内外連携研究も進めて成果を挙げ、短期研究会等の開催を通じてコミュニティーの核となっています。また、同グループではホタルの生物発光の機構解明や太陽電池の機能制御、テラヘルツによる化学反応制御、フロッケエンジニアリング、電池・燃料電池の固液界面科学と、機能物性の基盤研究を連携し

て進めています。さらに、2021 年からは、ナノ、オペランド測定など時空間先端測定法を駆使して、同グループと企業との間で産学連携プロジェクトが開始され、その成果が基礎研究にもフィードバックされています。

2021 年度は第 2 期共共拠点の最終評価、第 3 期の申請年度だったこともあり、その前年 2020 年 12 月に国際外部評価を受けました。量子物質研究グループの活動は世界的にも際立つ成果、機能物性研究グループは分野開拓に向けた高いシナジー効果で今後のさらなる発展に期待する、という評価をいただきました。(https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/docs/ReviewReport_2021.pdf)

国際外部評価を受けるにあたり、将来計画委員会を発足させて意見交換したところ、物性研究をさらに進展させるためには、「(シリコンばかりでなく)トポロジカル物質、生体系物質等、新規物質を対象に、ナノ加工・素子形成、そして先端計測・センシングにまで一気通貫で扱えるクリーンルーム施設が欲しい」、「マテリアル研究にデータ科学研究を融合させる仕組みが必要」と意見集約されました。そこで「量子物質ナノ構造ラボ(Q ナノラボ)」の構築、および「マテリアルデータ・コモンズ」の推進を所の将来計画プロジェクトとして提案し、外部評価委員会より高い評価を受けました。さらに、同委員会からは「ダイバーシティの問題については、生活環境や子育て環境を整えた上で、外国人 PI、特に女性 PI の数を増やす努力をすることが一つの解決策である」というコメントもいただきました。

「量子物質ナノ構造ラボ(Q ナノラボ)」の構築については、その後、勝本信吾教授を中心に計画が進められ、2022 年 3 月、新物質開発、ナノ加工・素子形成、量子計測・量子センシング・極限環境測定を一気通貫して行う Q ナノラボの設置が実現しました。所内公開を経て、2023 年 4 月からは共同利用にも供されます。この運営にあたっては、東京大学の寄付金である東京大学基金とのマッチングファンドで進めています(https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt156)。基金のホームページには、2023 年 2 月に開催された物性研一般講演会「デジタル→量子の時代!?　量子コンピュータ、実現への壁」のページをリンクし、勝本教授による Q ナノラボの紹介ビデオがアップされる予定ですので、ご覧いただければ幸いです。3 月末の勝本教授のご定年退職に伴い、Q ナノラボは 4 月から三輪真嗣准教授を委員長とし、同月着任予定の橋坂昌幸准教授も参画する予定です。

もう 1 つの将来計画プロジェクト「マテリアルデータ・コモンズ」では、合成・計測・計算データが創出される物性研の強みを生かし、データ同化科学やデータ駆動科学を駆使して、物質や物性予測をする環境の構築を目指しています。そのプロトタイプは、2019 年に設置された、物性研初の企業との社会連携研究部門「データ統合型材料物性研究部門」の活動です。第一原理計算、および機械学習でデザインした新規磁石材料を実験で合成実証し、大きな成果を挙げています。さらに、2022 年より、文科省の「データ創出・活用型マテリアル開発研究プロジェクト」の横串となるデータ連携部会の活動に参画しています。NIMS では主に実験データの集約を行っているのに対し、物性研では、尾崎泰助教授、川島直輝教授、吉見一慶特任研究員を中心に、計算データの収集を軸にしたデータリポジトリ事業、データ科学ソフトウエアの整備・開発を行い、マテリアルデータ科学の振興に努めています。

国際外部評価、および共共拠点評価でも指摘された人材の多様化については、まず 2021 年に男女共同参画・ダイバーシティ委員会を設置しました。その委員会が中心となり、2021 年、2022 年と 2 年連続で ISSP Women's Week に研究会等を開催し、女性研究者の招待講演、パネルディスカッションを通して、物性科学分野の女性研究者のビジビリティー(認知度・存在感)は上がり、ネットワーク構築が進んだと感じています。さらに、2022 年度には大学本部からのポストも獲得し、物性科学全分野を対象とした女性限定教員公募を行い、2023 年 4 月には東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻から林久美子氏(生物物理)が教授として、本学大学院工学系研究科物理工学専攻から高木里奈氏(物性実験)が准教授として着任予定です。今後も多様な人材が物性科学の研究に参画し、学術が発展することを願っています。

また、コミュニティーにも供する中・大型装置・設備の基盤整備は、物性研の大きなミッションです。国際超強磁場科学研究施設の「強磁場コラボラトリー」プロジェクト(物性研、大阪大学大学院理学研究科先端強磁場科学研究センター、東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター)は、マスタープラン 2020、ロードマップ 2020 に採択され、令和 3 年度補正予算で 100T サイエンスを展開するための装置が導入されており、5 月には若手准教授が着任して推進が強化されます。中性子科学研究施設では、2011 年 3 月 11 日の震災から 10 年間ストップしていた定常中性子炉 JRR-3 が 2021 年 2 月に再稼働となり、2022 年度には震災前と同じ稼働率で動き、次年度は電気代の値上がりにもかかわらず JAEA のご尽力で、前年同様、100%の稼働率で共同利用に供する予定です。また、軌道放射物性研究施設では、次世代放射光施設ナノテラスでの

活動を見据えた仙台分室を 2022 年 11 月に開設し、SPring-8 播磨分室における活動の 2/3 が移転、2024 年のファーストビームに向けて準備を進めています。

最後になりましたが、この 5 年間、物性研協議会、人事選考協議会、共同利用施設専門委員会、各種運営委員会の委員としてご支援いただいた所外の先生方には心より御礼申し上げます。所内においては、副所長をお務めいただいた吉信淳教授、企画委員の先生方、URA のお二人にも多くのお仕事を担っていただきました。そして所の円滑な運営にご協力くださった全ての構成員に大変感謝しております。所長業と研究の両立のため、上田顕元助教(現熊本大准教授)、藤野智子助教、出倉駿特任助教には大変助けられました。物性研 OB からの温かいお言葉も忘れることはできません。また、最初の年は矢作直之事務長、そしてこの 4 年間は青木敦弘事務長を筆頭とする事務の皆様、所長秘書の茂木尚子氏には本当にお世話になりました。

4 月からは副学長として東京大学と物性研の更なる発展のため精励してまいります。皆様方には引き続き物性研の活動へご支援、ご鞭撻を賜りますよう切にお願い申し上げ、筆をおきたいと思います。

所長就任にあたって

廣井 善二

2023 年 4 月から所長を務めることになりました廣井善二です。この機会をお借りして就任のご挨拶をさせていただきます。森初果前所長には 5 年間の長きに亘り物性研の舵取りをしていただき、心から感謝申し上げます。私はその後を継ぎ、第 17 代目として定年までの 3 年間を努めさせていただきます。

私が京大化研から物性研に助教授として着任したのは、六本木から柏キャンパスへの移転を 1 年余り後に控えた 1998 年 12 月 1 日でした。当初は次年度からの着任を考えていましたが、当時の安岡弘志所長に「決まったのなら早く来い」と言われ、何もない寒い六本木の所員室に辿り着いたのを覚えています。そのお陰で柏移転に伴う補正予算のおこぼれに与ることができ、安岡先生には大変感謝しています。その後も安岡先生には上田寛先生と一緒によくランチに連れて行っていただきました。食事をしながら安岡先生が何か研究所に関するお話をされると、上田先生が「そりゃええわ」と相槌を打たれて、その話が次の所員会の議題として出てきました。なるほど所の運営に関する重要事項は六本木ランチで決まるものか、と妙に納得したものです。あれからすでに 24 年が経ちました。その間、恵まれた環境の中で好きな研究を自由にさせてもらい、今の私は物性研に育ててもらったと言っても過言ではありません。そして幸か不幸か、私の研究室は「終い」の準備に入っているので(その割には学生や博士研究員は増えましたが)、残された 3 年間を所長業に専念することで、物性研にできる限りの恩返しをしたいと思っています。

2000 年 4 月の柏移転から所員もずいぶん入れ替わり六本木時代を懐かしむ方も稀となり、結果として物性研は柏の地にすっかり根を下ろしました。さらに歴史を遡ると、1957 年の設立以来 65 年の歴史の中で約 20 年毎に大きな改組が行われ、現在の物性研は第三世代にあたります。柏移転を睨んで行われた前回 1996 年の改組時に示された指針は「伝統的な固体物理学の枠組みを超えた、物性科学の総合的研究を展開し、物性研究の国際拠点を目指す」でした。実際、移転に伴う大幅な実験施設の拡充を契機に物性研は共同利用研として顕著な発展を遂げ、当初の目標をほぼ達成したと思います。大規模施設に関しては、2006 年に国際超強磁場科学研究施設、2011 年に計算物質科学研究センター、2012 年にレーザーと放射光が合体した極限コヒーレント光科学研究センターが設立されました。さらに、東日本大震災で止まっていた中性子科学研究施設の原子炉 JRR-3 は、2021 年に再稼働して共同利用を再開しています。また、軌道放射物性研究施設の軟 X 線分光装置については、西播磨の SPring-8 から、現在仙台に建設中の新放射光施設ナノテラスへ移行しつつあります。

前回の改組からすでに四半世紀が過ぎ、その間に物性研を取り巻く研究環境はずいぶんと変化し、学問の流れも大きく推移しています。当初の強相関電子系の華々しい隆盛から、現在ではトポロジーをキーワードとする研究が注目を集め、さらに、非平衡物理やナノ物質研究、量子情報、データ科学などの興味深い研究分野へと展開しています。物性研で”big science”を担う大規模施設には前述のようにさまざまな変革がありましたが、主に”small science”を担う研究部門もこのような流れに対応することが求められており、現在の部門の体制が適当かどうかは検討の余地があると感じています。この点に関しては瀧川仁前々所長も、2013 年 4 月の物性研だよりの着任挨拶で触れられました。その変革の一つとして、瀧川所長時代の 2016 年には量子物質と機能物性という 2 つの横断的な研究グループが作られ、所内の風通しが随分と良くなりました。そして森所長時代には、2 名の女性人事を含めて多くの所員人事が行われ、本年 4 月以降に特任 1 名を含む 7 名の所員が着任することとなりました。新たな風が吹き込みサイエンスの幅が大きく拡がろうとしている今が、物性研の研究組織を見直すチャンスであると考えます。かつて物性研には様々な分野をリードする「大先生」が何人もいらっしゃいましたが、時の流れとともに学問は細分化され、言わば群雄割拠の時代になってきました。また、六本木と柏という立地条件の差も少なからずあり、物性研の求心力は低下しつつあると認めざるを得ません。この状況を少しでも改善し、より魅力的な物性研を作っていくためには新たなサイエンスの芽を育て、コミュニティを作り上げていくことが肝要です。この春に新型コロナ禍も収束に向かおうとしているのは吉報であり、2023 年度からは中断していた人の流れが回復

し、多くの研究会や行事を企画することが可能となるでしょう。いち早く所内外の人々が集う活気ある場所に戻り、コミュニティの輪を拡げていきたいと思います。新たなアイデアや共同研究に繋がる対面の機会を積極的に設けますので、多くの方々の柏キャンパス訪問を期待します。

私の所長としての重要な任務は、第四世代の物性研へ向けて橋渡しをすることだと考えています。キャンパス移転のような大事業もなく、施設の時限も撤廃された結果、組織変革のチャンスを見出すことは困難になっていますが、それでもどこかで見直しを始めなければ組織はジリ貧をたどるものと危惧します。私の任期は3年と限られており、また拙速な改革も危ういことから、まず将来構想ワーキンググループを立ち上げ、次なる物性研の指針について突っ込んだ議論を始めたいと思っています。基礎的な物質科学の先導的研究所、また国立大学共同利用・共同研究拠点として時代の変化とニーズに対応していくため、適切な部門や施設構成、人員配置等を検討し、将来の物性研にとって必要な施策を見出し、それをもとに次の所長へ着実にバトンタッチしたいと思います。ただ、今の私に明確なビジョンがあるわけではありません。将来構想はやってみないと分からないものです(無責任ですみません)。過去の経験に囚われて頭の硬くなった年寄りにできるのは、今後の物性研を担う、想像力豊かな若い世代の新鮮なアイデアを活かすことです。さらには、コミュニティ、およびこれまで物性研と大なり小なり関わりを持ってくださった多くの「物性研サポーター」の皆様からの、厳しくも温かいご意見が大変重要だと考えています。皆様のお知恵を借りて次世代の物性研の礎を築いていきたいと思います。

さて、所長業を始める前の2月初めにこの原稿を書いているわけですが、4 月から果たしてどういうことになるのか恐ろしくもあり楽しみでもある、というのが正直なところです。12 月の所員会後、所長秘書の茂木さんから指令をもらい、1 月初めに東條會舘なる所で写真を撮ってもらいました。この皇居の西に鎮座する由緒正しい写真館は、おそらく歴代所長の写真撮影が行われてきた場所なのでしょう。驚いたのは撮影の前に同じフロアの美容室に行くようにとの指示で、少しはまともに見られるようにとのお計らいでした、多分。生まれて初めて美容室に行き、眉毛を描いてもらうという未知の体験に戸惑いましたが、このような経験ができるのも所長になるお陰です。ちなみに、たくさん撮った写真の中から女性陣の投票によって選ばれた 3 枚の写真は、4 月以降順次お披露目されることでしょう。また、4 月 12 日の日本武道館での東大入学式にはガウンを羽織って参列するのだそうです。今後の未体験ゾーンを楽しみにしつつ、責務を果たすべく日々務めて参る所存です。この話の顛末は3年後の「所長退任にあたって」までお待ちください。

4 月からの新体制では、副所長を国際超強磁場科学研究施設の松田康弘所員にお願いし、6 名の企画委員とともに着実に所の運営を行って参ります。六本木ランチならぬ柏ランチ(@お魚倶楽部はま)で和やかに所の重要事項を話し合う機会があればと思います。予算に関しては、社会情勢やさまざまな要因による電気代の大幅高騰をどのように対処すべきか、いま非常に厳しい状況にあります。所内の皆様とともにこの難局を乗り超えていきたいと思いますので、ご協力の程どうぞよろしくお願いいたします。先に改革、改革と書きましたが、現状にも微力ながらひとつずつ丁寧に対応し、皆様が安心して働ける環境を一層整えていきます。

所長就任にあたっては歴代所員の先輩方から、「自然体で」あるいは「特徴ある運営をやれ」との励ましのお言葉をいただきました。私がモットーとしているユニークであることを忘れずに所長としての重責を全うすべく精進したいと思います。物性研およびコミュニティの皆様には今後ともご指導、ご鞭撻を賜りますよう何卒よろしくお願い申し上げます。

ディラック半金属のフロッケ・エンジニアリング：巨大誘導レイリー散乱の観測と機構解明

極限コヒーレント光科学研究センター　室谷 悠太
極限コヒーレント光科学研究センター　神田 夏輝
極限コヒーレント光科学研究センター　松永 隆佑

研究背景

周波数Ωで周期的に時間変化する電場を物質に与えてコヒーレントに相互作用させると、物質中の電子の固有状態にはエネルギー空間上で$\hbar\Omega$だけ離れた周期的なサブバンド(フロッケ・サブバンド)が形成される。こうして周期的な光電場によって固体の電子状態を人為的に操作し、新たな性質を引き出すフロッケ・エンジニアリングの研究が近年盛んに進められている[1]。しかしこれまでの研究は理論面が大きく先行している。実験的には時間分解角度分解光電子分光によってフロッケサブバンドを占有する電子状態を観測した例が有名であるが[2]、フロッケサブバンドを形成したときに電気伝導や光吸収といった基本的物性にどのように影響を与えるのかはこれまでほとんど明らかにされていない。

松永研究室では代表的な3次元ディラック半金属であるヒ化カドミウム(Cd_3As_2)に注目し、フロッケ状態を形成した際に生じる応答関数の変化を詳細に調べるための研究を進めている。ディラック半金属中の電子は質量0の相対論的粒子として振る舞い、室温でも散乱時間が150 fsと非常に長く、コヒーレントな相互作用を起こしやすい。また長波長の光でもバンド間遷移が可能であり、光吸収による加熱を抑制できるという点でフロッケ・エンジニアリングを実践するのに適した物質である。長波長の光源として、松永研究室では10-50 THz帯の周波数を持つマルチテラヘルツパルス光源開発を進めてきた[3]。本研究では、周波数30 THz(波長10 μm)でパルス幅180 fsの狭帯域高強度パルスをポンプ光として用い、さらに試料の応答関数を複素量として計測するために12-45 THz帯をカバーしてパルス幅30 fsの位相安定広帯域パルスをプローブ光として用いて、図1のようなポンププローブ分光を行った[4]。

実験結果

ヒ化カドミウム薄膜にポンプ光を照射している間の吸収スペクトルの変化をプローブ光で計測したところ、ポンプパルスの周波数(30 THz)を挟んで低周波側に吸収ピーク、高周波側に光学利得のピークが現れ、誘導放出を伴うほどの巨大な非線形応答が生じることを発見した(図2(a))。この分散型の特異なスペクトル構造は、従来の理論では全く予想されていなかった応答であるが、詳細な理論計算との対応から、ポンプ光と共鳴する遷移周波数を持ったフロッケサブバンド間の遷移に起因する現象であることを解明した(図2(b))。この過程がこれまで見落とされていたのは、光電場との二次の相互作用を媒介する反磁性結合が軽視されていたためである。平衡状態では反磁性結合は光吸収に寄与しないが、ポンプ光が当たっている間は無視できなくなる。以上の微視的な理解に基づいて巨視的な有効模型を作ることで、この現象がプラズマ振動にアシストされた「誘導レイリー散乱」として記述できることも見出した。

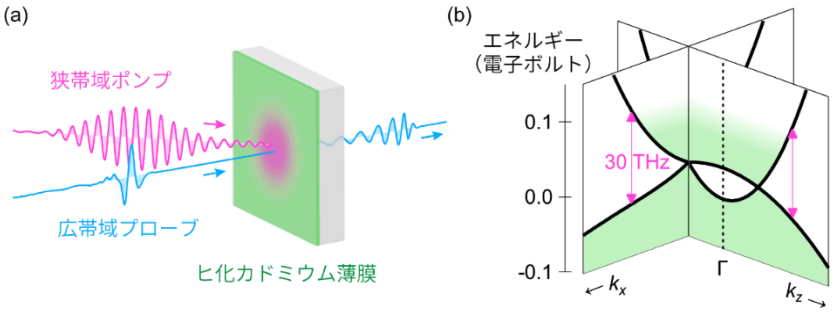


図1。(a) ヒ化カドミウム薄膜に対して周波数30 THzの強いマルチテラヘルツポンプパルス(図中、狭帯域ポンプ)を照射し、その際の複素応答関数の変化を12-45 THz帯の周波数成分からなる広帯域プローブパルスによって計測する。(b) ヒ化カドミウムのバンド構造の模式図。黒の曲線が交差する点の付近において電子は質量ゼロとして振る舞う。緑色は電子分布を示す。周波数30 THzのポンプパルスによってバンド間遷移を引き起こすことができる。

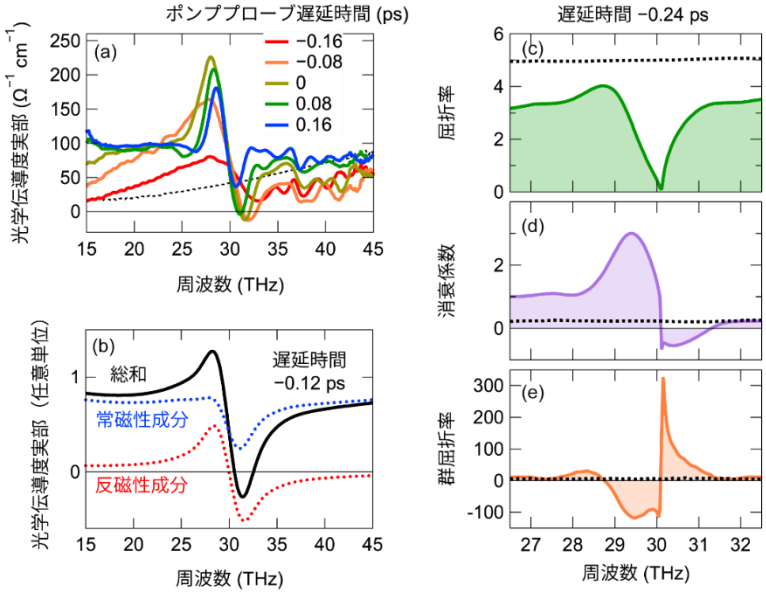


図 2 (a) ヒ化カドミウムの吸収スペクトルの変化を計測した実験結果。28 THz において巨大な吸収ピークが出現し、31 THz では逆に吸収が減少して負の値に達している。(b)微視的モデルによる光学伝導度の理論計算。青は常磁性電流、赤は反磁性電流の寄与を表す。(c),(d),(e) 屈折率、消衰係数および群屈折率スペクトルの実験結果。点線は光照射前の値を示す。消衰係数がゼロまたはそれ以下の値を示す周波数において群屈折率が 300 を超えることを示している。

離散的な 2 準位系における非線形光学応答では、誘導レイリー散乱は大きな影響を与えないことが知られている。それは誘導レイリー散乱が光励起による屈折率変化に比例して生じる現象であり、通常は光を照射しても屈折率変化は非常に小さいことに起因している。しかし半金属の場合、もともと存在するキャリアの数が少ないため、光照射によってプラズマ振動周波数が著しくブルーシフトし、マルチテラヘルツ帯で巨大な屈折率変化が生じる[5]。それに伴って誘導レイリー散乱が巨大に現れることを明らかにした。

今後の展開

誘導レイリー散乱に付随する現象として、屈折率が周波数に対して急峻に変化するという、巨大な屈折率分散が生じる（図 2(c)(d)）。本研究では 100 GHz 近い帯域幅にわたって群屈折率が 300 を超える、つまり伝搬する光の群速度が 300 分の 1 程度に小さくなる様子も観測された（図 2(e)）。このようにして光の群遅延を操作することはスローライト生成と呼ばれ、光情報処理の一翼を担うものとして期待が持たれている。一般に金属的な物質はバンドギャップがないためどの周波数の光も散逸が無視できず、誘導レイリー散乱のようなコヒーレントな現象の発現には向かないと考えられてきた。本研究によって、半金属に対して赤外光を照射すると室温でも無散逸なスローライト生成が可能であることが明らかになった。今後もフロッケ・エンジニアリングの考え方によって物質の新しい機能性を引き出す研究が発展することが期待される。

謝辞

本研究は物性研究所の池田達彦助教、松田拓也研究員、吉信淳教授、小林洋平教授およびカリフォルニア大学サンタバーバラ校の Susanne Stemmer 教授らの研究グループとの共同研究によるものである。なお本研究は、JST さきがけ（課題番号 JPMJPR20LA, JPMJPR2006）、JST CREST（課題番号 JPMJCR20R4）、文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)（課題番号 JPMXS 0118068681）、及び文部科学省科学研究費補助金（課題番号 JP19H01817, JP20J01422, JP20H00343, JP21K13852）の支援を受けて行われた。

REFERENCES

[1] T. Oka and S. Kitamura, Annu. Rev. Condens. Matter Phys. **10**, 387 (2019).

[2] F. Mahmood *et al.*, Nat. Phys. **12**, 306 (2016).

[3] N. Kanda *et al.*, Opt. Exp. **29**, 3479 (2021).

[4] Y. Murotani*, N. Kanda* *et al.*, Phys. Rev. Lett. **129**, 207402 (2022). (*: equal contribution)

[5] N. Kanda *et al.*, Nano Lett. **22**, 2358 (2022).

大気下でもホールと電子の双方を伝導可能な新しい分子性半導体材料の開発に成功

物性研究所・凝縮系物性研究部門　伊藤 雅聡、藤野 智子、森 初果
物性研究所・附属物質設計評価施設　尾崎 泰助

研究の背景

有機物から構成される有機半導体材料は、現在主流のシリコンに代表される無機半導体にはない柔軟性や溶液加工性といった特長をもつ半導体材料である。これらの特徴から、フレキシブルデバイスへの応用や、高温高真空を必要としない低コストかつ環境低負荷なデバイス製造の実現といった産業応用に対する期待が高まっている。

半導体材料は主に、プラスの電荷をもつキャリア（ホール）を伝導する p 型半導体と、マイナスの電荷をもつキャリア（電子）を伝導する n 型半導体に大別されるが、近年では p 型と n 型のどちらとしても機能する「アンバイポーラ半導体」が次世代型の半導体材料として注目されている。このアンバイポーラ半導体の特性は、これまでに p 型半導体と n 型半導体を混合した複合材料や、一部のポリマー材料などにおいて見出されてきた。しかし、複合材料においては界面におけるキャリア伝導効率の低下が依然として問題となっているほか、分子量分布を有し結晶性に乏しいポリマー材料においては、詳細な構造的分析に基づく伝導機構の解明や性能向上に向けた分子設計指針の確立が依然として困難である。そこで、これらの障害をクリアする単一成分・低分子型材料の開発が望まれていたが、現在その開発の主流となっている π 共役系分子においてはアンバイポーラ型電荷輸送特性の発現に必要となる電子構造 [1] の実現が難しく、特に大気下でも安定に駆動するために必要な電子構造上の要求 [2] の達成は極めて困難であった。

研究の内容と成果

本研究において我々は、ニッケル元素を中心金属に据えた d/π 共役系分子であるニッケルジチオレン錯体に着目した。このニッケルジチオレン錯体は、狭いエネルギーギャップやフロンティア軌道の深いエネルギー準位といった特徴的な電子構造を有し、大気下でもアンバイポーラ半導体として駆動するために必要な要件を満足する有望な候補であると言える。また、これらの分子は大気中の水・酸素に対して安定性が高く、金属材料としては比較的安価なニッケルを用いて簡便に合成できる点も魅力的である。しかし、ニッケルジチオレン錯体においてアンバイポーラ半導体としての応用を検討した例は数例 [3-5] にとどまっており、詳細な構造的分析やそれに基づくキャリア移動度向上に向けた分子設計の改良は全く手つかずの状態であった。

我々はこれまで、カテコール縮環型のニッケルジチオレン錯体を開発 [6] し、上述の特徴的な電子構造と詳細な構造的分析を可能にする優れた結晶性を見出すとともに、分子間距離の近接による強力な分子間相互作用を可能にする平面性の高い分子構造を観察していた。この知見を基に本研究では、酸化に対する安定性の強化と優れた溶液加工性の付与を指向し、配位子にベンゼン環が縮環し、さらに鎖長の異なるアルコキシ置換基を導入した 3 種の新規ニッケルジチオレン錯体 Ni(4OMe)（炭素数が 1 の置換基を導入）、Ni(4OEt)（n = 1、炭素数が 2 の置換基を導入）、Ni(4OPr)（n = 2、炭素数が 3 の直鎖の置換基を導入）（図 1）を新たに設計した。また、合成から単結晶構造解析とそれに基づく理論計算、FET デバイスの作製、特性評価までを一貫して行った。

電気化学測定や光学測定の結果から、合成したいずれの錯体も他のニッケルジチオレン錯体と同様、狭いエネルギーギャップやフロンティア軌道の深いエネルギー準位といった特徴的な電子構造が見出された。これにより、アンバイポーラ半導体が大気下でも安定に駆動するための電子構造上の要件を満足することを確認した。また、いずれの錯体も単結晶 X 線構造解析に耐える優れた結晶性を示し、分子間距離の近接による強い分子間相互作用の形成を可能にする平面性の高い単分子構造を共通して示した。その一方で、アルコキシ置換基の伸長による分子形状の僅かな変化が、分子積層構造に劇的な変調をきたすことが見出された。炭素数 1 の置換基を導入した Ni(4OMe)は 1 次元的な分子積層構造を示した一方で、炭素数 2、あるいは 3 の置換基を導入した Ni(4OEt)や Ni(4OPr)はヘリングボーン様の分子積層構造を示した（図 1）。これは、Ni(4OEt)や Ni(4OPr)の X 字型の分子形状により、隣接 2 分子が相互に貫入することでより近接しようとした結果生じたものと考えられる。また、Ni(4OEt)や Ni(4OPr)ではこの特徴的

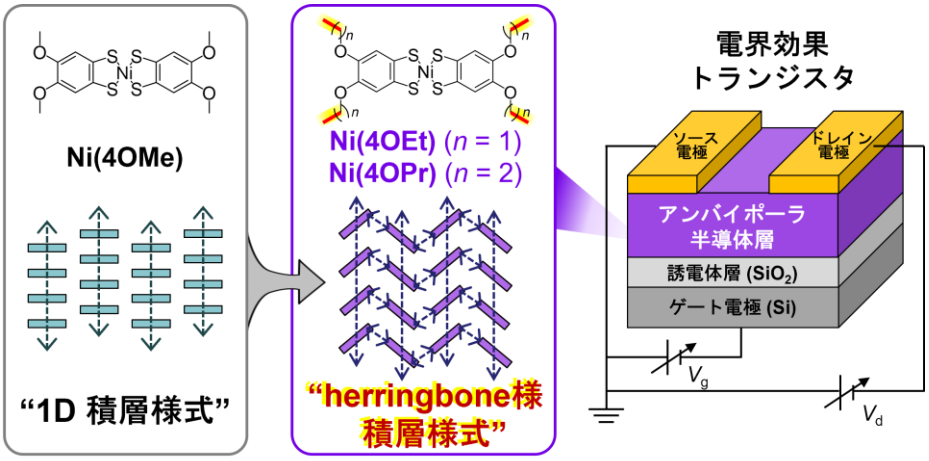


図 1：(左)本研究で設計した新規ニッケルジチオレン錯体 Ni(4OMe)、Ni(4OEt)、および Ni(4OPr)の構造式ならびに分子積層様式の模式図。(右)新規錯体をアンバイポーラ半導体層として使用し、特性評価を行った電界効果トランジスタ(FET)の構造の模式図。

な分子積層構造を反映し、隣接分子間における有効な相互作用が結晶中の 2 方向で形成されることが理論計算によって示され、実デバイスにおける安定的なキャリア伝導を可能にする 2 次元的なキャリア伝導パスの確保が示唆された。

これらの錯体は、上述の高い結晶性と、有機溶媒への溶解性に基づく優れた薄膜加工性という、一見相反する特性を両立した。特に、Ni(4OEt)や Ni(4OPr)では、溶液塗布プロセスの一種であるブレードコート法[7]により、数十 nm 厚の結晶性薄膜を比較的簡便に得ることに成功した。この結晶性薄膜中においても、Ni(4OEt)と Ni(4OPr)に特徴的なヘリングボーン様の分子積層構造が再現され、効率的なキャリア伝導を可能にする高秩序層の形成が観察された。この結晶性薄膜を活性層として使用した電界効果トランジスタ(FET、図 1)の特性評価においては、アンバイポーラ型の電荷輸送特性が大気下でも安定的に観測された。半導体材料の性能の指標として重要なキヤリア移動度や、スイッチング素子としての性能の重要な指標であるオン・オフ比は、これまでの単一成分・低分子型アンバイポーラ半導体材料の大気下における性能としては最高水準である。

まとめと今後の展望

本研究で設計された新規ニッケルジチオレン錯体は、大気中の水分や酸素に対する卓越した安定性と、高秩序層の形成を可能にする結晶性、有機溶媒への溶解性に基づく優れた薄膜加工性、さらには高いキャリア移動度と大きなオン・オフ比といった特性をバランスよく兼ね備えた、新しいアンバイポーラ型分子性半導体材料である。また、単結晶 X 線構造解析による原子レベルでの詳細な構造的分析に基づく、電子構造やキャリア伝導機構の詳細な解析を行うことにより、これまでポリマー材料では確立されてこなかった半導体材料の性能向上に向け、分子形状に着目した新たな分子設計指針を与えることができた。本研究で着目したような d/π 共役系分子は、中心金属と配位子との組み合わせによる分子設計自由度の高さも特徴の 1 つであり、これを活用した分子積層様式や電子構造の変調、さらにはこれらに基づく優れた電荷輸送特性の実現といった展開が期待される。また、このような精細な材料設計戦略は、導電性材料にとどまらず、磁性、光学応答などといった多様な機能性を指向した分子性材料の設計に適用可能な普遍的戦略であり、次世代有機エレクトロニクスデバイスの発展に対する多大な貢献が期待される。

謝辞

本研究成果は、東京大学物性研究所 Lei Zhang 大学院生(研究当時)、横森 創 研究員(研究当時、現：立教大学理学部化学科助教)、産業技術総合研究所電子光基礎技術研究部門 東野 寿樹 主任研究員、大阪公立大学大学院工学研究科 牧浦 理恵 准教授、武野 カノクワン 研究員との共同研究によるものである。また、本研究にあたり東京大学物性研究所 矢島 健 助教と河村 光晶 助教(研究当時、現：東京大学情報基盤センター特任講師)のご協力をいただいた。本研究は、JSPS 科学研究費助成事業(課題番号：JP16H04010, JP17K18746, JP18H05225, JP21K18597, JP22H00106, JP21K05018)、JST さきがけ(課題番号：JPMJPR22Q8)、MEXT 科学研究費助成事業新学術領域研究(課題番号：JP18H05516, JP19H05715, JP20H05206,

JP22H04523）、公益財団法人内藤記念科学記念財団、池谷科学技術振興財団研究助成、村田学術振興財団、花王芸術・科学財団、JST Spring GX（課題番号：JPMJSP2108）の支援により実施された。

掲載論文

M. Ito, T. Fujino*, L. Zhang, S. Yokomori, T. Higashino, R. Makiura, K. J. Takeno, T. Ozaki, H. Mori* "Ambipolar nickel dithiolene complex semiconductors: from one- to two-dimensional electronic structures based upon alkoxy chain lengths" (2023) *Journal of the American Chemical Society*, **145**, 2127-2134.

また、本論文は Supplementary Cover にも選出された。

参考文献

[1] M. L. Tang, A. D. Reichardt, P. Wei, Z. Bao, *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 5264.

[2] D. M. De Leeuw, M. M. J. Simenon, A. R. Brown, R. E. F. Einerhand, *Synth. Met.* **1997**, *87*, 53.

[3] T. D. Anthopoulos, S. Setayesh, E. Smits, M. Cölle, E. Cantatore, B. De Boer, P. W. M. Blom, D. M. De Leeuw, *Adv. Mater.* **2006**, *18*, 1900.

[4] T. D. Anthopoulos, G. C. Anyfantis, G. C. Papavassiliou, D. M. De Leeuw, Appl. *Phys. Lett.* **2007**, *90*, 122105.

[5] G. C. Papavassiliou, G. C. Anyfantis, G. A. Mousdis, *Crystals* **2012**, *2*, 762.

[6] S. Yokomori, S. Dekura, A. Ueda, R. Kumai, Y. Murakami, H. Mori, *J. Mater. Chem. C* **2021**, *9*, 10718.

[7] M. Chen, B. Peng, S. Huang, P. K. L. Chan, *Adv. Funct. Mater.* **2020**, *30*, 1905963.

磁場により体積が大きく膨張する新材料の発見

附属物質設計評価施設　　岡本 佳比古

ある物体に磁場を加えることで形状や大きさが変化する現象は磁歪（磁場誘起歪）と呼ばれ、大きな磁歪を示す材料は、磁場により変位や駆動力を得る磁歪アクチュエータに実用されてきた。現状ではピエゾ効果を用いた圧電アクチュエータにかなりのシェアが奪われているものの、磁歪アクチュエータは、精密位置決め素子やマイクロマシンの駆動部、力や位置の変化のセンサ、超音波を用いたソナーや洗浄機といった、様々な機器に使用されてきた歴史をもつ。これまで大きな磁歪を示す磁歪材料として、鉄と希土類金属の合金である Terfenol-D などの超磁歪材料が開発されてきたが、磁歪はいずれの場合においても強磁性体の磁石としての性質である自発磁化の発現に伴って生じ、それ以外で大きな磁歪を示す例はほとんど知られていなかった。

我々は、Cr（クロム）と Te（テルル）の化合物 Cr_3Te_4 の焼結体が、9 T の磁場を加えたときに最大で 1200 ppm（1 ppm は百万分の一。1200 ppm は 0.12%に対応する。）に達する巨大な体積の膨張を示すことを発見した。この大きな磁場中の体積膨張は、マイナス 260 °C から 80 °C にいたる広い温度領域で現れる、磁場中で形状をほとんど保ったまま体積が変化する、幅広い磁場範囲でほとんど磁場に比例するといった特徴をもち、磁場中の異方的な格子変形を利用した新しい機構に基づく磁場誘起歪現象であることが明らかになった。Cr 化合物磁性体が次世代の磁歪材料として有望であることを示し、さらに磁歪材料の候補物質の幅を大きく広げると期待される成果である。本成果は、2023 年 1 月に Applied Physics Letters 誌に掲載され[1]、同年 1 月 24 日にプレスリリースされた[2]。本論文は筆者と、筆者が 2022 年 3 月まで所属していた名古屋大学大学院工学研究科の竹中研究室のメンバー、物性研究所 X 線測定室の矢島助教の共著論文である。以下、本論文の内容を紹介する。

強磁性体に磁場を加えたときに生じる歪の研究には長い歴史がある。最も古典的な例は鉄やニッケルといった単体金属である。磁場により磁化させることで数 ppm から数 10 ppm の長さの変化が生じる。磁場を加えることで形状が変化するということは、何らかの入力されたエネルギーや信号を機械的な動きに変換するアクチュエータと呼ばれる素子に使用できることを意味する。鉄やニッケルにおける最大で数 10 ppm という小さい磁歪では不十分だが、1960 年代に 2000 ppm を超える巨大な歪を示す Terfenol-D などの超磁歪材料が開発され、磁歪アクチュエータの材料に用いられた。これらの強磁性体における歪は、磁場を加えることによる強磁性磁区の整列に伴って生じる。そのため体積変化は小さく、磁化が飽和する強磁場領域で歪は飽和する。それに対して、磁場を加えることで大きな体積変化を示す（強制体積磁歪と呼ばれる）物質がまれにあり、インバー合金がその代表例である。インバー合金は磁性と体積の相関による磁気体積効果によって広い温度範囲で非常に小さい熱膨張を示し、低膨張材料として使用されているが、この磁気体積効果が大きな磁場中体積変化の発現にとっても重要な役割を担う。

我々は、磁歪材料の候補物質としてほとんど認識されていなかった Cr 化合物の磁性体に着目することで、$LiInCr_4S_8$ や $AgCrS_2$ といった複数の物質において大きな体積変化を伴う磁場誘起歪現象を発見してきた[3-5]。$LiInCr_4S_8$ は反強磁性秩序を示す T_N = 24 K の直下で、$AgCrS_2$ は T_N = 42 K の反強磁性秩序温度において、9 T の磁場を加えることで 700 ppm を超える大きな体積膨張を示した。強磁性金属であるインバー合金と異なりこれらの Cr 化合物磁性体は反強磁性絶縁体である。磁気秩序、強いスピン格子結合や幾何学的フラストレーションといった Cr 化合物磁性体ならではの特徴に基づく新たな体積変化の発現機構の存在が示唆されるが、一方で、低温で起こる磁気秩序相転移が磁場中体積変化にとって本質的な役割を担うため、大きな体積変化は室温よりかなり低い温度領域においてのみ実現した。そのため、これらの現象を体積機能として捉えると用途が限定される。そこで我々は、T_C = 330 K という高い温度で強磁性転移を示す Cr_3Te_4 に着目した。Cr_3Te_4 は上記の $LiInCr_4S_8$ や $AgCrS_2$ と異なり強磁性体だが、Cr 化合物磁性体ならではの特徴が生かされれば、従来の磁歪材料と異なる磁性と体積が相関した現象が発現する可能性があると考えた。実際に、図 1(a)に示した Cr_3Te_4 の焼結体試料を合成し磁場中で線歪測定を行ったところ、室温を含む広い温度範囲で大きな体積膨張を示すことを見出した。

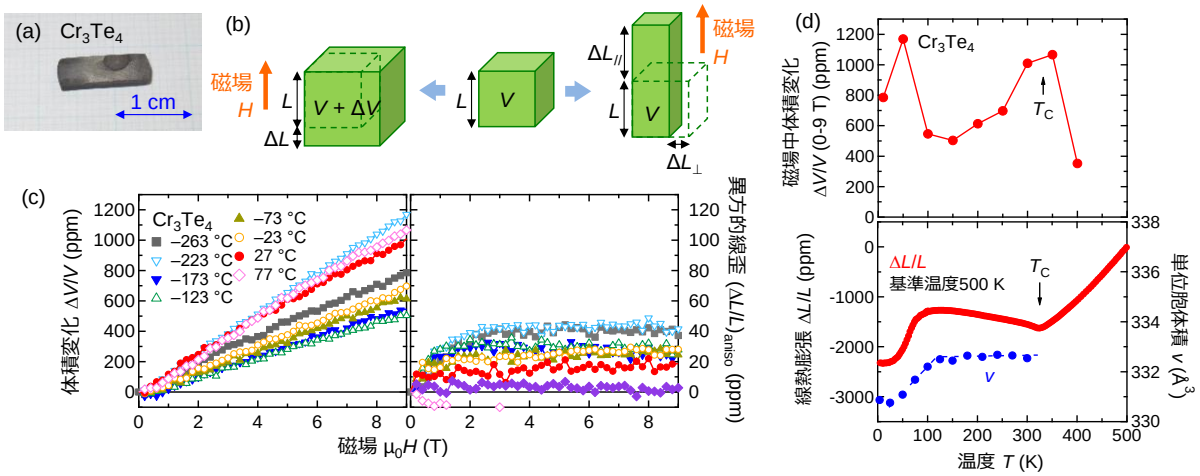


図 1. Cr_3Te_4焼結体における磁場中体積変化. (a) 合成されたCr_3Te_4焼結体. (b) 磁場誘起歪の概略図. Cr_3Te_4の磁場誘起歪は, 体積変化を伴う等方的な歪（左）と, 体積変化を伴わない異方的な歪（右）の二種類の成分に分解できる. (c) Cr_3Te_4 焼結体の磁場誘起歪. 左：等方的な歪に伴う体積変化. 右：異方的な歪. (b)の右図の$\Delta L_{\perp}$に対応する. (d) 上：Cr_3Te_4焼結体の 9 T の磁場を加えたときに生じる体積変化. 下：Cr_3Te_4焼結体の 500 K を基準とする線熱膨張（左軸）と, 粉末 X 線回折実験により求めた単位胞体積（右軸）.

図 1(c)に、Cr_3Te_4焼結体試料の様々な温度で測定された磁場誘起歪を示した。Cr_3Te_4 焼結体試料に現れる磁場誘起歪は体積変化を伴う等方的な歪(図 1(b)左)と形状の変化を伴う異方的な歪(同右)の二種類の成分の足し合わせで説明できる。このうち後者は強磁性的な磁化曲線の振る舞いと良く対応し、長さの変化$(\Delta L/L)_{aniso}$は高々数十 ppm と強磁性体においてよく見られる小さい値を示した(図 1(c)右)。従って、Cr_3Te_4 の強磁性体としての磁歪は通常の振る舞いといえる。それに対して前者の体積変化は、図 1(c)の左図に示したように、9 T の磁場を加えたときに最大で $\Delta V/V = 1200$ ppm に達する巨大な値を示した。この値は既存の Cr 化合物磁性体における体積変化の最大値と比べて 2 倍近く大きいだけでなく、インバー合金に匹敵するとても大きな値である。特に図 1(d)の上図に示したように、9 T の磁場を加えたときに、室温において 1000 ppm を超える大きな体積膨張を示したこと、350 K 以下の全ての温度領域で 500 ppm を超える大きな体積膨張を示したことは特筆すべきである。

Cr_3Te_4 の磁場誘起体積変化は、磁気秩序温度付近で特に大きな値を示した点で他の Cr 化合物磁性体 $LiInCr_4S_8$ や $AgCrS_2$ と同様である。従って、これらの硫化物と同じように、磁気秩序が大きな体積変化の発現にとって重要と考えられるが、広い温度範囲で大きな体積変化が現れる点で異なる。この違いは、熱膨張の振る舞いに現れている。図 1(d)の下図に Cr_3Te_4 の焼結体試料の線熱膨張(ある温度を基準とする試料の長さの変化)を示したが、T_C 以下の 120–330 K の幅広い温度範囲で、温度が低下すると体積が増加する負の熱膨張を示した。つまり、常磁性相から温度を下げるとより大きな体積をもつ強磁性相に変化したが、その変化が緩やかに現れた。この点は、$LiInCr_4S_8$ や $AgCrS_2$ の T_N において不連続な体積変化が生じたことと異なる。結果として、この温度領域において磁場を加えることで強磁性秩序がより発達し、これが大きな磁場誘起歪として現れたと考えられる。

Cr_3Te_4 焼結体の熱膨張には、磁気秩序に伴う焼結体の体積変化が単位胞の体積変化と一致しないという特徴がある。この点は $LiInCr_4S_8$ や $AgCrS_2$ と異なる。様々な温度で行われた粉末 X 線回折測定の結果によると、強磁性秩序に伴い異方的な格子変形を示した。具体的には、高温の常磁性相から低温の強磁性相への変化に伴って、単位胞の b 軸長と c 軸長は伸びるが、a 軸長は縮む。結果として、図 1(d)の下図に示したように、単位胞の体積 v が温度低下に伴い増加する(つまり、負の熱膨張を示す)温度領域は存在しない。この焼結体の熱膨張と単位胞の体積の温度変化の不一致は、Cr_3Te_4 焼結体における熱膨張が材料組織効果によることを示唆する。材料組織効果とは、焼結体を構成する結晶粒が異方的な格子変形をするときに、焼結体試料に存在する空隙の形状の変化を伴う影響で、結晶粒と焼結体の体積変化が一致しない効果である。例えば、単位胞が正の熱膨張を示すにも関わらず負の熱膨張が現れるなど、焼結体の熱膨張においてはよく知られる効果である[6,7]。Cr_3Te_4 における強磁性相転移に伴う負熱膨張が材料組織効果に起因するということは、磁場により誘起される体積変化にも材料組織効果が関与している可能性が高い。筆者

が調べた限り、材料組織効果により大きな磁場誘起体積変化が実現した例は見当たらない。Cr_3Te_4 において、新しい機構により大きな磁場誘起体積変化が生じたといえるかもしれない。Cr スピネル酸化物における大きな体積変化を伴う 1/2 磁化プラトー状態への相転移など、様々な現象が見出されてきた Cr 化合物磁性体に現れた、新しいタイプの磁気・体積相関現象といえるだろう。

[1] Y. Kubota, Y. Okamoto, T. Kanematsu, T. Yajima, D. Hirai, and K. Takenaka, Appl. Phys. Lett. **122**, 042404 (2023).

[2] https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=17491

[3] T. Kanematsu, M. Mori, Y. Okamoto, T. Yajima, and K. Takenaka, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 073708 (2020).

[4] T. Kanematsu, Y. Okamoto, and K. Takenaka, Appl. Phys. Lett. **118**, 142404 (2021).

[5] Y. Okamoto, T. Kanematsu, Y. Kubota, T. Yajima, and K. Takenaka, J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 023710 (2022).

[6] F. H. Gillery and E. A. Bush, J. Am. Ceram. Soc. **42**, 175 (1959).

[7] K. Takenaka, Y. Okamoto, T. Shinoda, N. Katayama, and Y. Sakai, Nat. Commun. **8**, 14102 (2017).

量子物質ナノ構造ラボ(Q ナノラボ)の共同利用開始

2023 年度量子物質ナノ構造ラボ運営委員長　三輪 真嗣
研究戦略室　鈴木 博之

物性研究所では、新物質の合成を通して物性科学を先導することを目的として物質合成室や化学分析室をはじめとした複数の共通施設を有する附属物質設計評価施設の設置、そして分野横断型の量子物質研究グループ及び機能物性研究グループの発足などの組織改革を行ってきました。いずれにおいても物質合成は大きな柱です。近年登場した量子物質においては、空間形状及びエッジ構造等が物性において決定的な役割を果たします。従って薄膜成長や微細加工技術で作製されるナノ構造が重要となり、量子効果やトポロジカル効果等の新奇物性が注目を集めています。このように新規に創成された量子物質のナノ構造・素子化、そこに生じる諸現象測定への需要が高まっており、新たな系で発見された現象は物質合成へのフィードバックにより新機能素子へと発展する可能性を秘めています。

新物質を微細加工する方法として、所内ではナノスケール物性研究部門の設備利用がありました。しかし、新物質においては一般的な加工技術に留まらず技術開発が必要な場合が多くあります。更にその物性測定にも先端技術が必要です。これらに要する時間の短縮を考えると、新物質合成の行われる所内において加工と計測まで行えるシステムの整備が望ましいことがわかります。物性研では量子物質研究グループで開発された量子物質において、素子化を行い新奇物性である磁気スピンホール効果の発見に至った例があるものの、物質開発の当初から新奇量子効果が期待されていたにも関わらず、素子の実現に 3 年もの年月を要しました。このようにナノ構造や素子化に対するニーズは非常に高いものの、計測までの一連のシステムの欠如が研究におけるボトルネックになっています。

そこで新奇物質–量子ナノ構造–ナノ表面計測・ナノ量子計測を一気通貫するシステムを構築し、新奇物質及びそのナノ構造の開発から量子計測へ直結させることをコンセプトとし、物性研究所は「量子物質ナノ構造ラボ(Q ナノラボ)」を昨年の 2022 年 3 月に共通施設として開設し、勝本教授が運営委員長を務めました。また、このプラットフォームを活用して、物質開発から微細加工、そして先端計測までの一貫した研究環境の中で、将来の量子科学の創成を担う量子ネィティブ人材の育成に資することも目的としています。令和 5 年度から共同利用も開始しました。ご利用をお考えの方におかれましては量子物質ナノ構造ラボ HP での「利用相談」から担当者と具体的な相談を行って下さい。

なお、本ラボの運営にあたりましては、東京大学基金も活用しております。こちらもぜひご協力とともに、関係者等への周知をお願いできればと思います。

（FSI 基金）https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt156

～日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して～

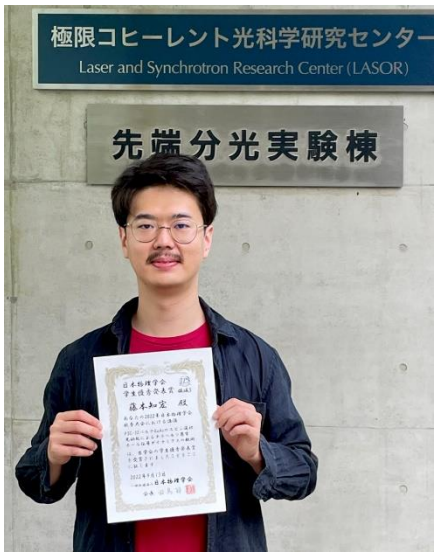
極限コヒーレント光科学研究センター　　松永研究室　修士 2 年　藤本 知宏

この度、2022 年 9 月に東京工業大学で開催された日本物理学会秋季大会にてポスター発表を行い、学生優秀発表賞(領域 5)を受賞する栄誉に与りました。この栄誉は物性研の研究室を横断する多くの方々のご協力があってのものです。この場をお借りしまして、栗原貴之助教、室谷悠太研究員、神田夏輝助教、金昌秀研究員、秋山英文先生、松永隆佑先生に深い感謝を申し上げます。

受賞対象となった発表は「バルク GaAs のスピン選択光励起によるテラヘルツ異常ホール伝導ダイナミクスの観測」です。発表内容について以下で簡単にご説明いたします。円偏光を物質に照射すると、人為的に時間反転対称性を破ることによって物質中の電子が持つ自由度を操作することができ、時間反転対称性の破れによる効果はホール伝導として他の現象と区別して検出できるため、興味深い研究が盛んに行われています。その中でも、代表的な半導体である砒化ガリウム(GaAs)に円偏光を当てると、スピン偏極したキャリアが生成されるため、スピン流から電流への変換を実現する逆スピンホール効果が初めて実証された舞台としても知られています。しかしその逆スピンホール効果が高速に変化する電場に対してどのように応答するのかについては知見が少なく、またそれ以外のメカニズムによる円偏光照射による異常ホール伝導が生じるのかについても明らかではありませんでした。

そこで本研究では、GaAs に円偏光を当てた時に生じるホール伝導度の変化を、テラヘルツパルス電場の偏光回転によって調べる実験を行いました。その結果、バンドギャップを超える円偏光パルスを照射することで誘起されるテラヘルツパルスの偏光回転、つまり異常ホール伝導を観測することに成功し、さらに時間遅延を 2 次元的に制御して詳細に調べることで、質的に全く異なる二つの異常ホール伝導が出現することを明らかにしました。そのうちの一つは円偏光後に生じる偏光回転であり、約 100 ps の寿命で減衰することがわかりました。この寿命は電子のスピン緩和時間と一致することから、円偏光により励起されたスピン偏極電子による逆スピンホール効果であると結論づけました。もう一つのテラヘルツ偏光回転は、円偏光を照射している最中に特徴的な振動構造を持つことがわかりました。これはプローブテラヘルツ電場が試料の空間反転対称性を破ることで円偏光による光電流が流れるようになるという、電場誘起円偏光ガルバノ効果による現象であるとすると、円偏光の照射中のみ出現すること及び特徴的な振動構造を持つことをうまく説明することができました。

これらの結果は、半導体におけるスピンホール効果の周波数特性や高速ダイナミクス、及び非線形電流の発生メカニズムを明らかにする重要な結果であると考えられます。



「日本物理学会若手奨励賞」を受賞して

機能物性研究グループ 杉野研究室　博士課程 3 年　　永井 瞭

この度、2023 年の日本物理学会 若手奨励賞を受賞しました。若手奨励賞とは、およそ 37 歳以下の研究者に与えられる賞であり、日本物理学会全体では毎年 50 名ほどに授与されます。また、日本物理学会は研究分野ごとに領域に分かれており、私の研究分野は領域 11（統計力学、物性基礎論、応用数学、力学、流体物理）に所属するのですが、領域 11 では 4 名に授与されます。数多くの研究が行われている中で、このような光栄な賞をいただくことができ大変光栄に思います。

今回受賞に至った研究題目は「機械学習による交換相関汎関数の構築」です。様々な物質の電子の状態を理論計算する手法として、密度汎関数理論(Density Functional Theory, DFT)という理論があるのですが、この研究は DFT の精度向上に関わるものです。本来、多体電子の状態を求めるには多体シュレディンガー方程式を解く必要があるのですが、解くために必要な時間・空間計算量が原子数（正確には基底関数の数）の指数関数に比例して増加します。一方で、DFT は多体シュレディンガー方程式と同じ解をはるかに少ない計算コストで計算することを可能とする理論です。ただし、計算量を落とした代償としてその方程式の中に陽に書き下せない項が発生します。この項は電子密度の汎関数であり、交換効果と相関効果と呼ばれる効果を含むことから、交換相関汎関数と呼ばれます。実用的にはさまざまな方法で近似した汎関数を用いるのですが、精度や汎用性に問題がありました。

我々はこの未知の項を機械学習手法で近似する方法を研究してきました。DFT より高精度な波動関数理論で教師データを生成し、機械学習モデルの一種であるニューラルネットワークに汎関数の形を学習させます。学習させたモデルを DFT で解くべき方程式(Kohn-Sham 方程式）の中に代入し、解析関数と同じように扱います。

この研究を始めたきっかけは、私が学部 4 年生（東大理学部物理学科）だった頃に行った理論演習という授業で常行研究室から与えられたテーマがきっかけです。その際に、一次元 2 体系という厳密解を求めやすいモデル系での汎関数構築法を考案しました[1]。大学院では杉野研究室に入ったのですが、研究室が変わった手前違うテーマで研究を行おうと考えていたのですが、修士一年の頃にインターンで伺った理化学研究所（中嶋隆人氏）のグループの方から汎関数の構築について興味を持っていただき、議論の機会をいただきました。その結果、3 次元の実際の物質系に拡張できる兆しが立ち、かなりうまくいきそうだったので、そのまま機械学習汎関数の研究を行うことになりました[2][3]。その後、杉野研究室でもたくさんの議論や指導をいただき、また汎関数開発の大家である Kieron Burke 教授(UCI)の研究室に数ヶ月留学する機会もいただきました。その際に Burke group の OB である Li Li 氏(Google Research)に研究に興味を持っていただき、その後も継続して議論を行いました。また、学会で時間依存 DFT についての専門家である鈴木康光氏に興味を持っていただき、時間依存 DFT への機械学習汎関数構築法の応用について共同研究を行いました[4]。

本研究テーマは流行りの機械学習を組み合わせたものであり、一見キャッチーな研究に見えますが、DFT という非常に複雑なフレームワークに機械学習を効果的に組み込むのは簡単ではなく、たくさんの考察が必要でした。これまでの多くの方に研究を支えていただけなければ、受賞に至るまでの研究を行うことはできなかったと思います。そういった意味で、私自身が恵まれた環境で研究できたことに感謝申し上げます。

謝辞

若手奨励賞は基本的に自薦で応募するのですが、今回応募したきっかけは共同研究者であり恩師である明石遼介氏による後押しでした。この場を借りて感謝申し上げます。また、これまでの共同研究者である春山潤助教、鈴木康光氏にも感謝申し上げます。また、研究のきっかけや有用な議論をくださった杉野修教授、Kieron Burke 教授、Li Li 氏、常行真司教授、中嶋隆人氏と各グループメンバーの皆様にも感謝申し上げます。

また、本研究はJSPS科研費JP20J20845の助成を受けたものです。

参考文献

[1] Ryo Nagai, Ryosuke Akashi, Shu Sasaki, and Shinji Tsuneyuki. Neural-network kohn-sham exchange-correlation potential and its out-of-training transferability. The Journal of Chemical Physics, 148(24):241737, 2018.

[2] Ryo Nagai, Ryosuke Akashi, and Osamu Sugino. Completing density functional theory by machine learning hidden messages from molecules. npj Computational Materials, 6(1):1-8, 2020.

[3] Ryo Nagai, Ryosuke Akashi, and Osamu Sugino. Machine-learning-based exchange correlation functional with physical asymptotic constraints. Physical Review Research, 4(1):013106, 2022.

[4] Yasumitsu Suzuki, Ryo Nagai, and Jun Haruyama. Machine learning exchange-correlation potential in time-dependent density-functional theory. Physical Review A, 101(5):050501, 2020.

2nd International Symposium on Trans-Scale Quantum Science Poster Award を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター　松永研究室　学振特別研究員（PD）　　松田 拓也

この度、2022 年 11 月に開催された 2nd International Symposium on Trans-Scale Quantum Science にてポスター賞を受賞いたしました。本賞は非専門家に対しても研究内容をわかりやすく紹介できる優秀な発表を行った若手研究者を表彰するものであり、主催団体の一つであるトランススケール量子科学国際連携研究機構より授与されました。このような栄えある賞を同研究室所属の室谷悠太研究員と共にいただくことができ、この上なく嬉しい限りです。受賞対象となった研究は「Extreme nonequilibrium states in strongly-correlated Weyl antiferromagnet studied by terahertz spectroscopy（テラヘルツ分光による強相関ワイル反強磁性体における極端非平衡状態の研究）」です。2018 年に物性研に着任して以来、一貫して Mn_3Sn の電磁応答とその非平衡ダイナミクスをテラヘルツ分光法によって明らかにしてきました。以下、研究背景と内容について紹介いたします。

2015 年に中辻教授らの開発した Mn_3Sn という物質は反強磁性体であるにも関わらず巨大な異常ホール効果を室温で示すことで近年大きな注目を集めています [1]。2017 年に磁気ワイル粒子が発見されたことでワイル磁性体とも呼ばれており、また、電子間に強い多体相関が働く系としても知られています [2]。テラヘルツ波の透過測定を行うためには大面積薄膜試料が必要ですが、2018 年にバルクに匹敵する巨大応答を示す大面積 Mn_3Sn 薄膜試料が開発されました [3]。これに時宜を得てテラヘルツ帯における Mn_3Sn 薄膜の電磁応答を調べる研究を、2018 年着任後すぐスタートすることができました。異常ホール効果を示す試料に電磁波を照射すると、透過波の偏光回転現象として観測されます。そのため偏光分解テラヘルツ時間領域分光計測システムを構築してテラヘルツ帯における Mn_3Sn 薄膜の異常ホール効果を調べました。厚み 50 nm の Mn_3Sn 薄膜のテラヘルツ偏光回転を 6 THz の広帯域に渡って調べたところ数 THz の帯域で 4 mrad.の偏光回転角が観測され、その帯域ではほぼ無散逸な電流が生じていることがわかりました。この結果から、サブピコ秒の時間分解能で異常ホール効果の非平衡ダイナミクスを調べる実験が可能であることが明らかとなりました [4]。

さて、本研究では高強度超短パルスレーザーを Mn_3Sn 薄膜に照射することで非平衡状態を作り、テラヘルツ波パルスによってホール伝導度スペクトルを時間分解計測する、ポンププローブ測定を磁場中で行いました。励起密度 0.5 mJ cm^{-2} のポンプ光を照射した直後 100 fs 以内で異常ホール効果が減少する振る舞いを確認しました。これは電子分布関数が急激に変化することによる内因性異常ホール効果の超高速変化として説明できることを明らかにしました [5]。さらに励起密度を上げていくと、ある閾値を超えたところから異常ホール効果が減少するだけでなく、サイクロトロン共鳴が現れることを発見しました。これは平衡状態と比べて、キャリアの輸送特性が劇的に変化したことを意味しています。本研究の結果は、高密度光励起されたキャリアによって強相関効果が遮蔽されることでバンド構造そのものが大きく変化した結果、ワイル粒子の性質が顕在化したことを示唆しています。本成果は、極端非平衡状態における量子多体系のバンド構造変化を時間分解ホール伝導度測定から明らかにしたものであり、今後様々な強相関電子系の隠れた性質を探る手法を開拓した結果であると考えられます。

本研究は、東京大学の松永隆佑准教授、中辻知教授、島野亮教授、肥後友也特任准教授、神田夏輝助教、吉川尚孝助教、平井誉主在氏、松尾拓海氏、Hanyi Peng 氏との共同研究です。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

[1] S. Nakatsuji et al., Nature 527, 212 (2015).
[2] K. Kuroda et al., Nat. Mater. 16, 1090 (2017).
[3] T. Higo et al., Appl. Phys. Lett. 113, 202402 (2018).
[4] T. Matsuda et al., Nat. Commun. 11, 909 (2020).
[5] T. Matsuda et al., arXiv: 2206.06627.

左側は室谷研究員。右側筆者。

「TSQS2022」ポスター賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター　松永研究室　特任研究員　　室谷 悠太

2022 年 11 月に行われたシンポジウム「2nd International Symposium on Trans-Scale Quantum Science (TSQS2022)」において、トランススケール量子科学国際連携研究機構よりポスター賞を授与されました[1]。この賞は、研究の学術的内容を深く理解し、非専門家向けに分かりやすく紹介する優秀な発表を行った若手研究者を表彰するものです。授賞式は 2022 年 11 月 11 日に東京大学小柴ホールで行われました。会議名の「トランススケール」という言葉にも表れているように、本シンポジウムは分野横断的な交流の場でしたが、その中で異分野の先生方と刺激的な議論を交わし、発表を楽しんでいただけたことは大きな自信となりました。このような栄えある舞台でポスター賞を受賞できたことを大変光栄に思います。

受賞対象となった発表のタイトルは「Light-induced anomalous Hall effect in 3D Dirac semimetal Cd_3As_2 revealed by THz spectroscopy」です。最近の物性物理において、周期的に時間変化する外場を使って物質の状態や性質を制御するフロッケ・エンジニアリングの理論的開拓が進み、その実験的検証が急務となっています。松永研では昨年、周期的な光電場の下にある三次元ディラック半金属 Cd_3As_2 の光学的性質がフロッケ状態間の遷移に支配され、誘導レイリー散乱と呼ばれる特異な形を取ることを示しました[2]。今回の研究では、三次元ディラック半金属に円偏光を当てると電子状態のトポロジーが変化し、フロッケ・ワイル半金属状態となって異常ホール効果が生じるという理論的予測を検証することを目指しました。具体的には、光子エネルギーの小さい円偏光マルチテラヘルツ波（周波数 33 THz）を Cd_3As_2 薄膜に照射し、生じる異常ホール効果を単一周期テラヘルツパルスの偏光回転として時間分解計測しました[3]。

実験を進めて分かったのは、フロッケ・ワイル半金属状態による寄与を遥かに凌ぐ別のメカニズムが存在することです。すなわち、プローブとして印加した電場が物質の反転対称性を破り、そこに円偏光が入ってくることで実励起されるキャリアが運動量の偏りを伴うために異常ホール電流が流れるメカニズムを見出しました。これはトポロジカル半金属に限らない普遍的な現象と考えられ、実際に半導体 GaAs やグラフェンなどで散発的に提案されていたものではありましたが、時間分解計測の強みを生かしてはっきりと実証したのは本研究が最初と考えています。

また、円偏光が試料を通過し終わった後も、比較的長い時間にわたって異常ホール効果が残り続けることも発見しました。異常ホール伝導度の周波数依存性から、これは光励起されたキャリアがディラック点近傍に溜まり、時間反転対称性の破れを持続させていることによるものと考えられます。この現象はキャリアのカイラリティと密接な関係があるため、光を使ったカイラリティ制御が可能であることを示唆しています。

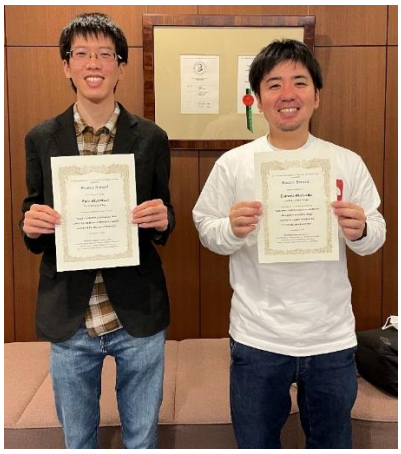
以上のように、本研究は当初の予想を超えてさまざまな側面から光と物質との相互作用に関する理解を深める重要な成果となりました。物性研内に限っても、神田夏輝 助教、松永隆佑 准教授、吉信淳 教授、小林洋平 教授、岡隆史 教授など、多くの方々にお力添えいただいたからこそこの地点に到達できたものと考えています。この場を借りて、ご協力いただいた全ての方々に感謝申し上げます。

参考文献

[1] シンポジウム公式ページ https://www.tsqs2022.org/

[2] Y. Murotani*, N. Kanda* *et al.*, Phys. Rev. Lett. **129**, 207402 (2022). (*equal contribution)

[3] Y. Murotani *et al.*, arXiv:2211.02229 [cond-mat.mtrl-sci] (2022).



同時に受賞した松田拓也氏（右）と

「テラヘルツ科学の最先端 IX」の最優秀若手研究者賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター　松永研究室　博士後期課程 2 年　　中川 真由莉

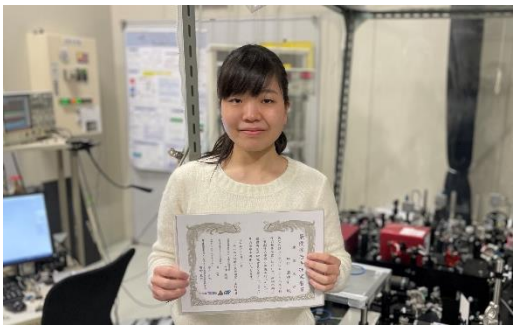
この度、2022 年 11 月に福井で開催されたシンポジウム「テラヘルツ科学の最先端 IX」で最優秀若手研究者賞を受賞させていただきました。この賞はテラヘルツ分光学およびその関連分野に関する優れた研究成果を得た 40 歳以下の者を対象とするもので、このような賞をいただくことができてとても光栄です。この場をお借りして松永隆佑准教授、神田夏輝助教や小林洋平教授、乙津聡夫博士、伊藤功氏をはじめ本研究でお世話になっている方々に深くお礼申し上げます。

対象となった発表は「フリーランニングパルスレーザーに適用可能な非同期サンプリング法におけるジッター補正法の開発」についての内容です。非同期サンプリング法 (ASOPS) を用いるとテラヘルツ分光を高速かつ高い周波数分解能に行えるため、ガスなどの細い吸収線を含む周波数スペクトルの観測に応用されていますが、従来は測定の進行速度を安定化させ、信号積算を可能にするために、レーザーを精密にフィードバック制御するという技術的難易度が高く実験環境の安定性にも依拠する方法や、分光用の光源に加えてテラヘルツ帯の CW レーザーが必要となる手法がとられていました。そこで我々は制御も CW レーザーも必要ない簡便で低コストな方法として、実験中に測定速度の情報をモニターすることで後から正確な波形に補正する方法を考案し、実証しました。実験では周波集制御を全く行わないフリーランニングの Yb ファイバーレーザーを光源として、ASOPS によるテラヘルツ電場の時間波形測定が行われたため、大きなジッターやドリフトを含む時間波形が取得されました。しかし本手法を使って時間軸を補正することで、信号積算による信号-雑音比の向上が可能となり、2 THz 以上の高周波数成分を含むパワースペクトルを得ることができました。また、補正しきれなかったジッター量を評価し、テラヘルツ分光に十分な 0.1 ps 以下まで時間軸精度を回復できていることがわかりました。この結果は高周波領域まで相殺されることなく広帯域に積算測定できることを示しています。さらに、低圧にした水蒸気の測定実験で得られた周波数スペクトルは、1 GHz 以下の細い吸収線幅と吸収強さの両方がデータベースとよく一致し、本補正法を使った ASOPS においても高い周波数分解能が示されました。

本手法では、レーザーを制御する必要がないため、気温や湿度などの変動が大きい環境であってもが安定的に実験することができ、制御機構が要らないことで市販のレーザーなどを自由に光源として選ぶことがでると考えられます。これによって室外での実験や長時間の測定、低繰り返しのポンプパルスと組み合わせたポンププローブ測定など、ASOPS の応用範囲が大きく広がったと考えております。

今後は Ti: Sapphire レーザーを用いた高感度化に取り組み、タンパク質を励起した際の特異な凝縮現象について、ASOPS の高速性と高周波数分解能を活かした時間変化測定によってメカニズムを調べていく予定です。

博士課程から物性研に編入して改めて ASOPS の立ち上げを行うことで、これまでの知識不足を実感したり大変な部分もありましたが、物性研の強みを生かし研究室内外の様々な方々にご協力いただいて視野を広げ、良い成果につなげることができてうれしいです。



外国人客員所員を経験して

Yongmin Kim
Dankook University
yongmin@dankook.ac.kr

Arrived in the late Summer, I am now ready to leave at the very end of the Winter. The last six months of my stay at the ISSP as a visiting professor was a feeling of being “exiled to a boring heaven”. (In contrast, living in Korea is sometimes called "living in an exciting hell".) I worked with the people at the International MegaGauss Science Laboratory (IMGSL) - ISSP, wherein one of the best high magnetic field facilities is located, capacitor-bank-driven 60 T magnets, single-turn coil 150 T, and flux compression 1000 T explosive magnets. Research scientists including graduate students working at the IMGSL are as good as the facilities. For this reason, most of the time while my staying at ISSP, I loved to work in the laboratory to utilize such nice systems and to meet people. From my wife’s point of view, I was “exiled to a boring heaven”. Physicists love to put materials in extreme conditions, such as extremely small (nanomaterials), high pressure, and/or low temperature. Because materials sometimes or maybe most of the time, reveal their nature or show new phenomena under such extreme conditions. A high magnetic field is one of those extreme environments. In IMGSL, it is possible to put nanomaterial in a high-pressure cell, lower the temperature below 4 K and apply magnetic fields as high as one thousand- tesla. For the scientist side, this is a heavenly condition.

To supply such nice scientific research conditions, many countries developed and maintain large high magnetic facilities. For the same reason, a school of Korean scientists is trying to convince the Korean government to build a high magnetic field facility in Korea. My experiences here at IMGSL will not only be limited to my personal development but also to contribute to the development of Korea's high magnetic field facilities that are expected to be built in the future. I would like to thank the professors at the IMGSL for allowing me such a great opportunity. I also thank the group secretaries and the ISSP -ILO staff members for providing so much hospitality during my stay here. Farewell to my ISSP-ILO #2 green bicycle. How hard must it have been for you to drag my heavy body around for the past six months!

ISSP ワークショップ

物性女性若手研究交流会 2022

【日時】2022 年 11 月 15 日(火) 10:00-16:00
【場所】東京大学物性研究所６Ｆ大講義室
【提案者】［代表］ 三輪真嗣、井手上敏也、井上圭一、押川正毅、小濱芳允、中島多朗、野口博司、藤野智子、松田巌、Lippmaa Mikk（所属は全員が東京大学物性研究所）

理工系の研究分野で少数である女性研究者の活躍を推進するため、物性研究所は 2021 年度より ISSP Women's Week を開始しました。今年度は 11/14 の週を ISSP Women's Week 2022 と定義し、研究会や複数のセミナー、そして FD・SD 研修を行いました。具体的には研究会及びセミナーでは女性研究者による講演を準備し、FD・SD 研修では女性研究者が少数であることの一因であるアンコンシャス・バイアスに関する研修を行いました。この ISSP ワークショップ「物性女性若手研究交流会 2022」は ISSP Women's Week 2022 に行われたものです。物性女性若手研究交流会 2022 は口頭発表・ポスター発表・パネルディスカッションの 3 部から構成され、様々な物性科学分野の女性の大学院生及び若手研究者を 25 名招待し、これらの研究者間及び物性研究所の構成員とのネットワークを構築することにより、女性研究者の活躍に資することを目的として開催しました。また、ワークショップ運営のために物性研究所の全部門・グループから所員 1 名以上を募ったワーキンググループが構成され、研究会を運営しました。

当日までに 43 名の現地参加登録と 20 名のオンライン聴講登録があり、当日は 24 名の若手女性教員/研究員及び大学院生全員が物性研究所 6 階で発表を行い、盛況のうちに終えました。研究会のプログラムは下記のとおりです。

プ ロ グ ラ ム

10:00 所長挨拶、趣旨説明
10:15 村田慧（東大生産研） 「有機金属フタロシアニン錯体の光機能開拓」
10:30 杉浦栞理（東北大金研） 「熱測定を用いた有機伝導体における強磁場超伝導相の観測」
10:45 水津理恵（名大理） 「強相関分子でつくる二次元構造体の構造と物性探索」
11:00 新屋ひかり（東北大通研） 「スピントロニクス材料の探索に向けた第一原理計算手法の開発」
11:15 野澤恵理花（お茶大基幹研） 「複雑系アプローチで目指す新食感食品の創出」
11:30 若林里衣（九大工） 「水圏機能ペプチド超分子の創製と細胞作用」

13:00 ポスター講演
・石井梨恵子（東大物性研） 「物質合成技術～新物質の開発を目指して～」
・石橋未央（東大理） 「フェリ磁性体を用いたレーストラックメモリの開発」
・北岡幸恵（産総研新原理） 「第一原理計算による磁性材料の解析」
・北村未歩（KEK 物構研） 「KEK-PF BL-28A におけるマイクロ ARPES システムの開発」
・小見山遥（京大化研） 「表面弾性波を用いた共振器マグノメカニクス」
・今野雅恵（東大物性研） 「微生物ロドプシンのメカニズム研究と植物オプトジェネティクスへの応用」
・Xiaoni Zhang（東大物性研） 「Topological atomic sheet of hydrogen boride, synthesized from YCrB4」
・清水未来（東大物性研） 「低温液化室の業務紹介－女性技術職員と大型設備の運用－」
・田財里奈（京大基研） 「新規カゴメ超伝導 AV3Sb5 の量子相転移の理論」
・辻川夕貴（東大物性研） 「二次元表面上の特異なホウ素形状の研究」

・中川真由莉（東大物性研）　「『非同期サンプリング』を使ったテラヘルツ分光システムの開発」
・Mingxuan Fu（東大理）　「Strange metal and quantum criticality due to entanglement between multipoles and conduction electrons」
・吉岡晴香（東大物性研）　「原子状水素吸着 Cu(997)表面におけるギ酸の反応」
・浦井瑞紀（東大工）　「NMR を用いた強相関分子性物質の磁性研究」
・田中のぞみ（阪大レーザー研）　「高強度極端紫外光と物質の相互作用」
・María del Carmen Marín Pérez（東大物性研）
「Functional conversion of light-driven outward proton pump rhodopsin」
・八木亜樹子（名大理）　「デンドリマー担体を鍵とした難溶性π共役ポリマーの合成」
・松倉里紗（近大生物理工）　「分子動力学シミュレーションを用いた HSP シャペロンサイクルの解明と新規薬剤の作用機構」

15:00 パネルディスカッション
16:00 終了

本研究会の特色として、パネルディスカッションの実施があります。このパネルディスカッションでは、進路・キャリアパスの選択、研究効率化、ライフイベントとの両立をトピックスとして議論が行われました。

ひとつ残念であったことは、女性研究者の方が産休や育休を取得する際、「研究室が忙しくて大変そうだと取得しづらい」「卒業シーズンだと休暇中も学生と連絡を取り続ける必要がある」ということが往々にして行われている事実を知ったことです。本来、このような休暇は我々が暮らす資本主義社会における労働者の権利であり「卒業シーズン等、研究室が忙しいかどうか・代わりの人員を確保できるかどうか」といったことと無関係に行われるべきものです。上司にあたる研究室の主宰者やグループの年長者は率先して環境を整える必要があります。

研究業界において『研究の世界は独特だから』という理不尽な理由でコンプライアンス違反が起きず、研究者の前に労働者として人として当たり前の暮らしが当たり前のようにできる日を願っています。

文責：三輪真嗣
物性研究所量子物質研究グループ
男女共同参画・ダイバーシティ推進委員会 2022 年度委員長

集合写真

ポスター講演の様子

パネルディスカッションの様子

ISSP ワークショップ

「カイラル物質科学の新展開」開催報告

明治大学理工学部・物性研究所物性理論研究部門　　楠瀬 博明

会場：東京大学柏キャンパス　物性研究所 本館 6 階 大講義室および Zoom 開催
日時：2022 年 12 月 22 日 9:00 ～ 12 月 24 日 12:00
世話人：楠瀬博明（明治大・物性研、代表）、岸根順一郎（放送大）、佐藤琢哉（東工大）、常次宏一（物性研）、
戸川欣彦（大阪公立大）、山本浩史（分子研）

左右対称性の破れを表すカイラリティは、物理学、化学、生物学、宇宙科学など自然界の幅広いスケールを横断する重要概念である。近年、カイラリティが関わる諸分野の研究が大きな展開を見せており、カイラリティを介して電磁場、電子スピン、軌道、フォノン、熱流といった様々な物理自由度の結びつきが生み出されている。そこで、カイラリティをキーワードに、これらの諸分野を架橋して自然科学に新たな視座を持ち込み、物質科学に新しい潮流をもたらすことを目的として ISSP ワークショップ「カイラル物質科学の新展開」を 2022 年 12 月 22 日から 24 日までの 3 日間にわたりハイブリッド形式で開催した。

研究会では、特にカイラル磁性、カイラルフォノン、カイラリティ起源の交差相関現象、理論、カイラリティの可視化やカイラリティ誘導スピン選択性(CISS)などのテーマに焦点をあて、磁性・光学・フォノニクス・スピントロニクス分野ならびに有機化学分野の幅広い研究の進展を振り返るとともに、カイラリティに関する周辺分野の最新の研究成果を共有することで、更なる展開を模索する場を目指した。

当初の予想を大幅に上回る 200 名の参加登録があり、3 日間で延べ 500 名(現地 164 名、オンライン 336 名)の幅広い分野と年齢層の参加があり、後記のプログラムに示すように招待講演 17 件、一般講演 20 件、ポスター23 件の研究発表をもとに活発な議論が行われた大変充実した内容の研究会となった。カイラリティの基本概念を共有しつつ、互いに研究背景が異なる研究者が一堂に会して、それぞれの視点から研究を眺めることで、現状と課題が浮き彫りになり、新しい共同研究の芽も生まれたと思われる。多彩な自由度が関与するカイラル物質科学は、自由な発想のもとで若手研究者が活躍する格好の舞台であり、物質科学のルネサンスを促す格好のテーマである。このような研究会を、代表的な共同利用施設である物性研究所が主体となって開催したことは大変有意義であった。

最後に、コロナ渦の様々な制限があるなかで研究会の運営を支えてくださった物性研の森所長をはじめとする所員の先生方、学生さん、理論事務の辻さん、鈴木さん、物性研共同利用係および総務係の方々にこの場を借りて感謝申し上げたい。

プログラム

12 月 22 日（木）

座長	**常次 宏一**	**スピンカイラリティ**	
	森 初果	東大 物性研	所長挨拶
22a0	楠瀬 博明	明大 理工	はじめに
22a1	大原 繁男	名工大 院工	希土類カイラル磁性体における磁性の制御
22a2	増田 英俊	東北大 金研	らせん磁性金属 $MnAu_2$ における電流誘起スピン偏極の観測によるキラリティーのゼロ磁場検出
22a3	三田村 裕幸	東大 物性研	完全三角格子反強磁性体におけるスピン'カイラリティ'の誘電的観測
22a4	美藤 正樹	九州工大 院工	単軸カイラル磁性体の「カイラルソリトン格子形成における非平衡磁化」と「磁歪効果」

座長	**山本 浩史**	**カイラルフォノン**	
22a5	佐藤 琢哉	東工大 理	らせん物質におけるカイラルフォノンの観測
22a6	野村 肇宏	東大 物性研	Cu_2OSeO_3 と $Co_9Zn_9Mn_2$ におけるフォノン磁気カイラル効果
22a7	加藤 将貴	東大 理	カイラルフォノンの熱輸送の理論と α-quartz への応用
22p1	村上 修一	東工大 理	カイラル結晶での電流/磁化/カイラルフォノン相互変換の理論
22p2	常次 宏一	東大 物性研	カイラルフォノンのエネルギー分散について
22p3	松村 武	広大 先進理工	反転対称性を持たない希土類化合物における結晶対称性とカイラル磁気構造
座長	**佐藤 琢哉**	**カイラル交差相関**	
22p4	三輪 真嗣	東大 物性研	キラルスピントロニクスデバイス
22p5	広部 大地	静岡大 理	Chirality-induced intrinsic charge rectification in a Te-based transistor
22p6	伊藤 哲明	東京理科大	カイラル構造を持つ単体 Te の電流誘起磁性とその実証
22p7	近藤 浩太	理研 CEMS	キラル分子を用いた熱誘起磁気抵抗効果の観測
座長	**佐藤 琢哉**	**カイラリティ・スピン流理論**	
22p8	石塚 大晃	東工大 理	Anomalous Hall effect related to spin chirality in spin-orbit coupled systems
22p9	明楽 浩史	北大 工	らせん状原子鎖における電流誘起スピン偏極・軌道偏極とスピン流・軌道流
22p10	星野 晋太郎	埼玉大 理工	局在電子軌道におけるスピン流とカイラリティ

12 月 23 日（金）

座長	**戸川 欣彦**	**カイラリティ観測**	
23a1	坂野 昌人	東大 工	カイラル半導体テルル単体におけるスピン構造の観測
23a2	松田 達磨	都立大 院理	カイラル構造を持つ金属間化合物の単結晶合成と dHvA 効果測定によるフェルミ面の研究
23a3	宮本 幸治	広大 放射光	角度分解光電子分光によるカイラル結晶のカイラリティの可視化
23a4	岡本 裕巳	分子研	キラル光学効果によるイメージングとその展開
座長	**戸川 欣彦**	**CISS**	
23a5	岸根 順一郎	放送大	CISS 理論の現状と展望
23a6	山本 浩史	分子研	有機キラル超伝導体におけるスピン流生成
23a7	加藤 健晃	三重大 工	CISS 効果により有限分子鎖両端で誘起される電子状態の解析
23a8	宮島 大吾	理研 CEMS	軌道偏極に基づく Circular Photogalvanic Effect

ポスターセッション

座長	**岸根 順一郎**	**カイラル物質科学の展開 I**	
23p1	速水 賢	北大 理	ミクロな多極子からみたカイラリティ自由度
23p2	戸川 欣彦	大阪公立大 工	無機系 CISS の開拓と展望
23p3	佐藤 正寛	千葉大 院	磁性体・超伝導体・光のカイラリティ
23p4	德永 祐介	東大 新領域	コランダム類縁物質におけるキラル関連物性
23p5	井手上 敏也	東大 物性研	ファンデルワールスナノ物質におけるカイラル物性
23p6	石井 和之	東大 生研	ポルフィリンキラル会合体の科学

12 月 24 日（土）

座長	**楠瀬 博明**	**カイラル物質科学の展開 II**	
24a1	加藤 康之	東大 工	創発磁気モノポール格子における隠れたトポロジカル転移の理論解析

24a2	望月 維人	早稲田大 先進理工	磁性強誘電体におけるキラリティとダイナミクス
24a3	木村 剛	東大 新領域	キラル結晶およびフェロアキシャル結晶におけるキラリティ制御
24a4	宍戸 寛明	大阪公立大 工	TSi_2(T:Nb, Ta)無機結晶におけるカイラリティ誘起スピン選択性
24a5	船戸 匠	慶應大 スピン研	表面弾性波を用いたヘリシティ流生成とスピン起電力
24a6	茶園 宙弥	京大 理	アナポール・モノポール超伝導体における超伝導圧電効果
	岸根 順一郎	放送大	おわりに

ポスターセッション

23PS1	奥村 駿	東大 物性研	Instability of skyrmion strings induced by the spin-polarized current
23PS2	山家 椋太	東大 工	ハニカム格子遍歴磁性体で発現する多彩なスキルミオン結晶相
23PS3	濵中 秀有	京大 理	一次元系における非エルミート表皮効果の解析
23PS4	室谷 悠太	東大 物性研	三次元ディラック半金属における光・アイソスピン変換と異常ホール効果
23PS5	林 浩章	NIMS/北大 総化院	$GdOs_2Si_2$ が示すトポロジカルホール効果と磁気秩序状態の解明
23PS6	鈴木 黎弥	茨城大 理	非調和ポテンシャルを持つフォノン系のフロッケ・エンジニアリング
23PS7	荒川 直也	中大 理	ノンコリニア反強磁性体における新しいマグノンドラッグとマグノンスピントロニクスの特異な温度・磁場依存性
23PS8	加藤 彰人	放送大	Phonon-induced electric toroidal monopole in a helical chain
23PS9	姚 大鵬	東工大 理	ジャロシンスキー守谷相互作用を持つ強磁性体におけるフォノン角運動量の変換
23PS10	鈴木 裕太	東大 総合文化	カイラル金属表面でのスピン輸送と電流スピン流変換
23PS11	大石 栄一	立命館大 理工	α水晶に対する円偏光ラマン分光
23PS12	多賀 光太郎	京大 化研	NiFe 薄膜におけるスピン波と表面弾性波の強結合の研究
23PS13	神田 夏輝	東大 物性研	カイラリティ制御に向けたマルチテラヘルツ光パルスの電場ベクトル観測法
23PS14	加藤 雄介	東大 総合文化	Spin parity effects in monoaxial chiral ferromagnetic chain
23PS15	清水 宏太郎	東大 工	一次元カイラル磁性体における磁場誘起ダイナミクスの理論研究
23PS16	島本 雄介	大阪公立大 工	キラル磁気ソリトン格子の集団共鳴運動
23PS17	庄司 大希	大阪公立大 工	ソリトン集団励起スペクトルを用いた微視的相互作用の系統的評価
23PS18	古谷 峻介	東大 総合文化	Quantum limit of uniaxial chiral ferromagnets
23PS19	山根 悠	兵県大 院理	六方晶カイラル化合物 La_3TrGaS_7 (Tr=Fe, Co, Ni)における一次元磁性
23PS20	荒川 智紀	産総研	円偏波マイクロを用いた螺旋磁性体の磁気共鳴現象の解明
23PS21	本間 佳哉	東北大 金研	Eu 系カイラル磁性体のメスバウアー分光
23PS22	仲澤 一輝	東大 工	Vector Neel chirality に誘起されるトポロジカルスピンホール効果
23PS23	佐々木 遼	理研 RQC	表面弾性波のフォノン角運動量による強磁性磁化制御の観測

12 月 23 日（金）午前セッション終了後の写真撮影

物性研究所談話会

標題：令和４年度後期　客員所員講演会
日時：2023 年 2 月 17 日(金) 午前 9 時 15 分 – 午前 10 時
場所：物性研究所本館　大講義室（A632）・Online 同時開催
要旨：
9:15 ～　KIM, Yongmin（Department of Physics, Dankook University）

Optical transitions of organic-inorganic hybrid lead-halide perovskite single crystals under pulsed magnetic fields

標題：令和４年度　物性研究所　退職記念講演会
日時：2023 年 3 月 3 日(金) 午後 3 時 – 午後 4 時 30 分
場所：物性研究所本館　大講義室（A632）・Online 同時開催
要旨：

15:00-15:10　所長挨拶

15:10-15:20　勝本 信吾 先生　業績紹介

15:20-16:30　勝本 信吾 先生　ご講演

講演題目　　「ラジオ少年と半導体の半世紀」

物性研究所セミナー

標題： Interfaced organic semiconductors: Thermally-activated self- assembly and in-situ oxidation of reduced decaazapentacenes

日時： 2022 年 12 月 12 日(月) 午後 2 時 –

場所： 物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師： Prof. Thomas Jung

所属： Swiss Nanoscience Institute and Universiy of Basel

要旨：

Organic semiconductors make cheap, flexible and environmentally friendly electronic devices which do not rely on doping by rare elements. Applications range from OLED displays and solar cells to e-Paper and logic or display circuitry embedded in everyday devices. The intrinsic electronic properties of the material and its interaction with contacting interfaces is important to understand and tune the device characteristics and functionality.

Pentacene and its chemical derivatives are not only the “small molecule” organic semiconductor with the highest intrinsic mobility, but also provide a model system to investigate local chemical and physical properties at surfaces. [2] It is remarkable, that single molecular layers can be operated and doped in thin film transistors (TFTs) [3-5] and that the molecular packing in the monolayer modifies the Shockley surface state in contacting metal substrates [6, 7]. Pyrazinacenes, on the other hand are a newly synthesized class of molecules which complement to p-type pentacene derivatives with their closely related molecular structure and their nitrogen (N) content. [1] We report on the supra-molecular interactions and self-assembly of octa-azatetracene and deca-azapentacenes, two different lengths molecules in this class. The compounds are imaged individually and form structurally related chains. Their oxidation on-surfaces is compared to the dehydrogenation in solution. Experimental evidence is provided by Scanning Tunneling Microscopy and X-ray Photoelectron Spectroscopy and temperature dependent transport experiments of planar thin film transistors with an active channel region of 1-3 molecular monolayers.

References

[1] D. Miklik, et al. Communications Chemistry 2021, 10.1038/s42004-021-00470-w

[2] K. Mueller et al., J. Phys Chem C, 116, 2012, 10.1021/jp308058u

[3] C. Vanoni, et al. Appl. Phys. Lett. 2009, 94, 253306. 10.1063/1.3159835

[4] C. Vanoni, et al. Appl. Phys. Lett. 2007, 90, 193119. 10.1063/1.2738382

[5] T. Hählen, et al., Appl. Phys. Lett. 2012, 101, 033305, 10.1063/1.4737214

[6] K. Mueller et al., Phys Rev. B 79, 245421, 2009, 10.1103/PhysRevB.79.245421

[7] A. Scheybal et al., Phys Rev. B 79, 115406, 2009, 10.1103/PhysRevB.79.115406

標題：パルス強磁場を活用した分子性導体の研究
日時：2022 年 12 月 16 日(金) 午後 2 時 – 午後 3 時
場所：Online
講師：今城 周作　特任助教
所属：物性研究所　金道研究室
要旨：

分子性化合物は「弱い分子間力を起源とした積層構造」と「分子の自由度を有する」という特徴をもつ。前者の特徴は敏感な外場応答や低いエネルギースケールの物理現象に繋るため、強磁場を活用することで磁場に鈍感な物性であっても極限状態へ実験的にアクセスすることができる。また後者は、多彩な分子設計や分子形状に依存した特異な分子配列・結晶構造を生み出すことで、多くの興味深い量子現象が現れる基盤となる。一方で、分子性化合物は、その結晶合成に多くの専門的な技術が必要であり、更に弱い分子間力による積層に起因した柔らかい結晶であるため、実験的には取り扱いが困難である。そのため分子性化合物のパルス強磁場研究は盛んではない。

本講演では、私たちが近年進めてきた分子性化合物のパルス強磁場研究の中でも特に(超)伝導性を示す電荷移動錯体の強磁場量子物性の研究成果を中心に紹介した。

標題：「3 次元ディラック物質 Co3Sn2S2 における光誘起カイラルゲージ場」「テラヘルツエレクトロニクスを用いたグラフェンにおける超高速光電変換過程の計測」
日時：2022 年 12 月 19 日(月) 午後 1 時 – 午後 3 時
場所：Online
要旨：

1. 吉川 尚孝 氏（東京大学 理学系研究科 島野研究室 助教）

【題目】

3 次元ディラック物質 Co3Sn2S2 における光誘起カイラルゲージ場

【概要】

3 次元の線形分散を示す 3 次元ディラック半金属やワイル半金属は、線形分散の交点(ディラック点・ワイル点)の周辺の電子が質量ゼロの相対論的な粒子として振る舞い、特異な伝導特性を示すことから注目を集めている。3 次元ディラック半金属に円偏光を照射すると、光の周期電場がディラック電子と結合するカイラルゲージ場として働き、系の時間反転の破れに伴ってディラック点がワイル点ペアへと分裂するフロッケワイル半金属状態が実現することがフロッケ理論に基づいて提案された[1]。我々は、3 次元ディラック電子系である常磁性相の Co3Sn2S2 を対象に中赤外光ポンプ-テラヘルツ(THz)波プローブ分光を行い、円変光誘起の異常ホール効果が発現することを見出した。実験で得られたポンプ光の強度と周波数の依存性を Co3Sn2S2 のフロッケ状態を記述する有効模型と比較すると、円偏光によるカイラルゲージ場がディラックバンドの分裂をもたらし、有限のベリー曲率が生じることで異常ホール効果が現れたことが示唆された[2]。

[1] S. Ebihara, K. Fukushima, and T. Oka, Phys. Rev. B 93, 155107 (2016).
[2] N. Yoshikawa et al., arXiv:2209.11932.

2. 吉岡 克将 氏（NTT 物性科学基礎研究所 量子固体物性研究グループ）

【題目】

テラヘルツエレクトロニクスを用いたグラフェンにおける超高速光電変換過程の計測

【概要】

超高速かつエネルギー効率の高い光-電気変換は次世代の超高速通信に不可欠な要素技術である。光熱電効果を利用したグラフェン光検出器は、ゼロ暗電流で動作しかつ 200GHz を超える動作速度を達成できるとの期待から、新たな光電変

換素子として有望視されている。しかしながら、その期待とは裏腹にこれまでの実証動作速度は約 70GHz に留まっていた。そこで我々は、オンチップ THz 分光法[1]と酸化亜鉛(ZnO) ゲート構造[2]を用いて動作速度の制限を克服し、グラフェン光検出器の動作速度が 220GHz に達することを示した。さらに、光電流のダイナミクスを詳細に調べることで、グラフェンにおける光電変換過程の全貌を定量的に明らかにすることに成功した[3]。

[1] K. Yoshioka et al., Appl. Phys. Lett. 117, 161103 (2020).
[2] N. H. Tu, K. Yoshioka et al., Commun. Mater. 1, 7 (2020).
[3] K. Yoshioka et al., Nat. Photon. 16, 718–723 (2022).

標題：【MDCL 合同セミナー】二次元非平衡定常系における連続対称性の破れと相転移
日時：2023 年 1 月 13 日(金) 午後 4 時 – 午後 5 時
場所：物性研究所本館 6 階 大講義室(A632)と Online
講師：中野 裕義
所属：東京大学物性研究所
要旨：

短距離相互作用する二次元平衡系において、連続対称性の自発的破れと結びつく相転移は禁止されている。この結果はマーミン・ワグナーの定理と呼ばれ、ハイゼンベルグスピン系や固体結晶のような幅広い平衡系に対して成立する。

平衡状態を離れ、非平衡定常状態に注目する時、マーミン・ワグナーの定理の対応物は知られていない。さらに、Vicsek モデルのような群れ現象を記述する非平衡モデルにおいて、連続対称性の自発的破れと結びつく長距離秩序が二次元系でも安定に存在できることが 90 年代から知られていた。この結果は、非平衡系では平衡系ほど強く二次元長距離秩序が制限されていないことを示唆している。

講演者は最近、一様せん断流下にある二次元 O(2)モデルの数値的・理論的解析を行い、このモデルが二次元系であっても O(2)対称性の自発的破れと結びつく長距離秩序を持つことを示した[1,2]。このモデルはせん断流を小さくしていくことで平衡系に漸近する。Vicsek モデルのような群れ現象のモデルは平衡極限を持たない。この点で本モデルは非平衡系における連続対称性の破れの起源に関して、見通しの良い議論を行うことができる。

本講演では、Vicsek モデルのような非平衡系で連続対称性の破れが起こるモデルを簡単にレビューし、そのあとで講演者が得た一様せん断流下にある二次元 O(2)モデルの数値解析の結果をまとめながら、連続対称性の破れの起源を議論した[3]。

[1] H. Nakano, Y. Minami, and S. Sasa, Long-Range Phase Order in Two Dimensions under Shear Flow, Phys. Rev. Lett. 126, 160604 (2021)
[2] Y. Minami and H. Nakano, Rainbow Nambu-Goldstone Modes under a Shear Flow, Phys. Rev. Lett. 126, 141601 (2021)
[3] Y. Minami and H. Nakano, Origin of long-range order in a two-dimensional nonequilibrium system under laminar flows, arXiv:2212.06390

標題：クライオ 1 分子ナノスコピーの展望：個々の分子を光で見ることと細胞の中を見るために考えていること
日時：2023 年 1 月 19 日(木) 午前 10 時 – 午前 11 時 30 分
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室（A615）
講師：藤芳 暁
所属：東京工業大学
要旨：

細胞の機能は分子ネットワークによって実現･調整されていると信じられている。しかし、人類はその実体を可視化する方法を持っていない。そこで、我々は分子ネットワークを可視化することを目指してクライオ蛍光顕微鏡を 10 年余り開発している。その結果、光で個々の分子を見ることの利点や欠点が分かってきた。講演では、最近実証した極低温に冷やした試料にある個々の分子をナノレベルの分解能で観察する方法「クライオ 1 分子ナノスコピー」について紹介しながら、その展望について議論したい。さらに、ナノスコピーを細胞内観察へ応用するために取り組んでいる研究について紹介した。

標題：キタエフ量子スピン液体に対する磁場効果と準粒子励起
日時：2023 年 1 月 20 日(金) 午前 11 時 – 午後 0 時
場所：Online
講師：那須 譲治　准教授
所属：東北大学大学院理学研究科
要旨：

絶対零度まで磁気秩序を持たない量子スピン液体は、およそ半世紀に渡って磁性分野における主要なテーマのひとつとして研究が続けられている。量子スピン液体候補物質として、三角格子やカゴメ格子など幾何学的フラストレーションを有する格子上の量子スピン系がこれまで主な研究対象だったが、近年、キタエフ量子スピン液体に注目が集まっている。この状態は、Kitaev によって提案された量子スピン模型の厳密な基底状態として実現し、そこからの素励起は、量子スピンが遍歴するマヨラナ粒子と局在するバイゾン励起に分裂したかのような準粒子として記述される。さらに、ある種のイリジウム酸化物やルテニウム化合物がその候補物質として注目され、実験、理論ともに精力的な研究が行われている。キタエフ量子スピン液体のもつ特異な性質のひとつは、磁場によってマヨラナ準粒子系がトポロジカルに非自明になり、非可換エニオンと呼ばれる準粒子が現れることにある。特に最近、キタエフ候補物質 α-RuCl3 の磁場下での物性測定が行われており、磁気秩序が消失し強制強磁性状態になる前に中間相が存在し、そこで磁気励起スペクトルに連続体が現れたり、熱ホール伝導度の半量子化の可能性が指摘されるなど、ホットな話題となっている。本講演では、キタエフ量子スピン液体に対する磁場効果を基礎的なところから概観し、最新の話題も含めて紹介した[1]。

[1] レビューとして Y. Motome and J. Nasu, J. Phys. Soc. Jpn. 89, 012002 (2020).

標題：2-D Terahertz Spectroscopy of Cuprate Superconductors
日時：2023 年 1 月 23 日(月) 午後 1 時 – 午後 3 時
場所：6F 大講義室 ＆ Online
講師：Albert Liu
所属：Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter
要旨：

Quantum materials, systems in which quantum effects lead to unique macroscopic phenomena with tremendous technological potential, comprise the forefront of condensed matter physics research. In particular, collective

excitations associated with broken-symmetry phases have attracted tremendous attention as powerful windows into their microscopic physics and dynamics. However, spectroscopy of these collective excitations has been hindered by the so-called 'terahertz gap', which refers to difficulties in generation and detection of radiation in the terahertz frequency range, where many relevant modes of quantum materials are found.

In response to this challenge, we translate a technique known as 2-D spectroscopy [1], an optical analogue of multi-dimensional NMR spectroscopy, into the terahertz frequency range. We implement, for the first time, 2-D Terahertz Spectroscopy in a non-collinear, reflection geometry, enabling study of opaque materials and isolation of their constituent terahertz nonlinearities. We apply this technique to the Josephson plasma resonance [2] in La2-xSrxCuO4, a layered high-temperature superconductor, to distill the underlying plasmon correlations. Measurements of the superconducting transition provide evidence of an unconventional phase-disordering transition without pair breaking. I will conclude with an outlook for light-induced phase transitions.

[1] S. T. Cundiff and S. Mukamel, Phys. Today 66 (44), 2013.
[2] Y. Laplace and A. Cavalleri, Adv. Phys. X 1 (3), 2016.

標題：ISSP/IPMU/KEK Informal Meeting on "θ=π"
日時：2023 年 1 月 25 日(水) 午後 1 時 – 午後 5 時
場所：物性研究所本館 6 階 大講義室（A632）
要旨：

Overview：
The first joint meeting among ISSP/IPMU/KEK theory groups.
The theme is "θ＝π" in field theories, and its relation to spin systems. There seems to be recent new understandings of physics at θ＝π by using new techniques in numerical computations in field theories. We start with the reviews of how the ground state at θ＝π in 2d field theories has been understood in the past and discuss its relation to 4d Yang-Mills theories. The recently proposed techniques to simulate θ＝π physics and their results will be presented.

Organizers: Ryuichiro Kitano, Norikazu Yamada, Masahito Yamazaki, and Masaki Oshikawa

Program：
13:00-13:20 Speaker: Masaki Oshikawa (ISSP)
Title: Mini introduction to the relation among spin systems, non-linear sigma models and the WZW model
13:20-13:50 Speaker: Masahito Yamazaki (Kavli IPMU)
Title : Relation between 4d SU(2) YM and 2d CP1 model
13:50-14:20 Speaker: Norikazu Yamada (KEK)
Title: Gapped or gapless, case of 4d SU(2) YM at θ＝π
14:20-15:00 Break
15:00-16:00 Speaker: Katsumasa Nakayama (Riken)
Title : Gapped or gapless, case of 2d CP1 at θ＝π
16:00-17:00 Discussion

標題：超伝導マイクロ波共振器を用いたグラフェンヘテロ積層超伝導体のマイクロ波応答測定
日時：2023 年 1 月 26 日(木) 午後 0 時 15 分 – 午後 1 時 15 分
場所：Online
講師：田中 未羽子
所属：凝縮系物性研究部門 井手上研 助教
要旨：

超伝導体のバンド内電子応答は DC 極限ではゼロ抵抗を示すが有限周波数では電子の慣性に由来する有限のインダクタンスを示し、その値はクーパー対の結合の強さやオーダーパラメータの対称性など様々な特性を反映する。Van der Waals 物質は熱力学的に不安定な構造も含めて多彩なヘテロ構造を作れるという特長があり、近年ではツイストヘテロ積層における強相関状態や超伝導が注目されている[1,2]。

本研究では基板上の 2 次元マイクロ波共振器と van der Waals 物質を結合するという新しい手法を用いて magic-angle twisted 2 層グラフェンの超伝導相のマイクロ波応答を測定した。共振周波数のシフトから慣性インダクタンスを見積もり、温度やゲート依存性からオーダーパラメータの対称性について議論した。この手法は他の van der Waals 超伝導体にも応用が可能であり、超伝導物性の新たな強力な測定手法としての展望についても説明した。

[1] Y. Cao, et al. Nature, 556, 43 (2018).
[2] JM. Park, et al. Nature, 590, 249 (2021).

標題：Semi-classical simulation of spin-1 magnets
日時：2023 年 2 月 1 日(水) 午後 4 時 – 午後 5 時
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室（A615）
講師：Prof. Nic Shannon
所属：沖縄科学技術大学院大学（OIST）
要旨：

Systems based on spin-1 moments exhibit many fascinating properties, as demonstrated by recent work on spin-nematics, Fe-based superconductors, and cold atom systems. However, because spin-1 moments support quadrupoles, they cannot be described using O(3) vectors, even in the classical limit. For this reason, conventional Monte Carlo and molecular-dynamics simulations fail to describe many of the most interesting phenomena.

In this talk, we introduce a new method of simulating spin-1 magnets at a (semi-)classical level [1]. Our approach is based on a representation of spin-1 moments within the group U(3), and allows us to explore the thermodynamics and dynamics of spin liquid and spin nematic phases, as well as conventional magnetic order.

As an applications, we explore the dynamics of the ferroquadrupolar (FQ) phase in the spin-1 bilinear biquadratic (BBQ) model on a triangular lattice, previously discussed as a prototype for unconventional magnetism in NiGaAs, and the spin-1 Kitaev model with competing biquadratic exchange [2].

[1] Kimberly Remund, Rico Pohle, Yutaka Akagi, Judit Romhanyi and Nic Shannon, Phys. Rev. Research 4, 033106 (2022)
[2] Rico Pohle, Nic Shannon and Yukitoshi Motome, https://arxiv.org/abs/2212.10040

標題：第一原理電子状態計算による磁性材料のデータ駆動型探索
日時：2023 年 2 月 3 日(金) 午後 4 時 – 午後 5 時
場所：Online and Lecture Room A632 , ISSP(Hybrid)
講師：深澤 太郎
所属：国立研究開発法人 産業技術総合研究所
要旨：

近年の機械学習手法の発展を背景に、データ駆動型の材料探索手法が注目されている。我々は第一原理電子状態計算によるデータ創出を基軸として新規磁性材料の手法開発に取り組んできたが、このような探索に可用なデータが十分に集積されているとはいえないのが現状である。そこでデータの蓄積を進めていきながら、データが少ない場合にも有効な手法から開発していくことが必要だと考えている。

第一原理計算の手法開発はデータの可用性を高める点においても重要である。我々は Korringa-Kohn-Rostoker (KKR) グリーン関数法と Coherent potential approximation (CPA) を組み合わせた手法を用い、ドープ系などの非化学量論的な系をとりあつかう手法を発展させてきた。とくに磁性材料の開発で重要となる原子サイト間の磁気結合の強さを見積もる手法として Liechtenstein 法に着目し、ドープ系でのキュリー温度の見積もりや、これまでは不可能であった規模の系のスピン波分散の計算手法を開発へと展開してきた。たとえばネオジム磁石の典型的な主相化合物でありユニットセルに 68 個の原子を含む Nd2Fe14B の理論的なスピン波分散を計算し中性子散乱等の実験との比較も可能となった。

またマテリアルズ・インフォマティクス的な取り組みとして、初期データがすくない状況でも有効な機械学習の手法であるベイズ最適化に注目した材料探索手法の開発を行っている。また提案材料の実現性に結びつく生成エネルギーの予測手法が重要と考え、多元系において機能性の期待される準安定状態が最安定相と比べてどれだけエネルギー的に乖離しているかを調べる手法の開発を行ってきた。この手法では複数の競合相を同時に考慮することが可能であり、CPA を用いて計算した非化学量論的な系もデータとして用いることができる。これらを実際に磁石化合物系の第一原理計算のデータに適用することで、元素添加が磁石化合物の熱的安定性に与える影響を解析し、未発見の準安定相が存在する可能性について理論的に提案を行った。

標題：Tip-enhanced Raman Spectroscopy for Nanoscale Chemical Imaging of Surfaces
日時：2023 年 2 月 8 日(水) 午前 11 時 – 午後 0 時
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)および Online
講師：Renato Zenobi
所属：スイス連邦工科大チューリッヒ校
要旨：

Tip-enhanced Raman Spectroscopy (TERS) is a nanoscale chemical analysis and imaging method with a spatial resolution of <10 nm, even at ambient conditions [1]. TERS relies on the enhancement of the local electromagnetic field by a plasmonic metal nanostructure that is scanned over the sample by means of a scanning probe microscope, using either AFM or STM feedback. Analogous to SERS, the local electromagnetic field of Raman scattered light is enhanced by many orders of magnitude in TERS, large enough to render monomolecular films and 2D materials spectroscopically visible that would otherwise be optically too thin to be analyzed with conventional vibrational spectroscopy.

In the first part of the presentation, the working principle, experimental realization, and capabilities of TERS will be presented [1]. Several practical aspects will be discussed, including interpretation (and misinterpretation) of TERS spectra due to issues such as tip contamination and sample decomposition triggered by the very high local field under the TERS tip. Recent data from our lab shows that this is due not primarily a thermal effect, but rather due to plasmon-driven, photocatalytic reactions [2]. Strategies to mitigate sample decomposition, for imaging studies of fragile samples

over extended periods of time, and strategies to improve the reproducibility of TERS, especially for investigation of biological samples, will be presented.

In the second part of the presentation, applications of TERS to the spatially resolved chemical analysis and imaging of molecular nanomaterials and surfaces at the nanoscale will be discussed. Examples from recent TERS studies in our laboratory will be chosen, such as two-dimensional polymers [3], biological nanostructures such as amyloid forming proteins, self-assembled monolayers, model membranes, and cell membranes [4, 5], and catalysts [6, 7].

[1] J. Stadler, T. Schmid, and R. Zenobi, Developments in and Practical Guidelines for Tip-Enhanced Raman Spectroscopy, Nanoscale 4 (2012) 1856-1870.

[2] J. Szczerbiński, L. Gyr, J. Kaeslin, and R. Zenobi, Plasmon-driven Photocatalysis Leads to Products Known from E-Beam and X-Ray-induced Surface Chemistry, Nano Lett. 18 (2018) 6740-6749.

[3] F. Shao, W. Wang, W. Yang, Z. Yang, Y. Zhang, J. Lan, A.D. Schlüter, and R. Zenobi, In-Situ Nanospectroscopic Imaging of Plasmon-Induced Two-Dimensional [4+4] Photopolymerization on Au(111), Nature Commun. 12 (2021) 4557.

[4] Y. Pandey, N. Kumar, G. Goubert, and R. Zenobi, Nanoscale Chemical Imaging of Supported Lipid Monolayers using Tip-Enhanced Raman Spectroscopy, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 50 (2021) 19041-19046.

[5] D. Mrđenović, W. Ge, N. Kumar, and R. Zenobi, Nanoscale Chemical Imaging of Human Cell Membrane using Tip-Enhanced Raman Spectroscopy, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 61 (2022) e202210288.

[6] H. Yin, L.-Q. Zheng, W. Fang, Y.-H. Lai, N. Porenta. G. Goubert, H. Zhang, H.-S- Su, B. Ren, J.O. Richardson, J.-F. Li, and R. Zenobi, Nature Catal. 3 (2020) 834-842.

[7] Z.-F. Cai, J.P. Merino, W. Fang, N. Kumar, J.O. Richardson, S. De Feyter, and R. Zenobi, Molecular-Level Insights on Reactive Arrangement in On-Surface Photocatalytic Coupling Reactions Using Tip-Enhanced Raman Spectroscopy, J. Am. Chem. Soc. 144 (2022) 538-546.

標題：半導体ナノ粒子からの高次高調波発生：バンド内電流制御による発生機構解明

日時：2023 年 2 月 9 日(木) 午前 11 時 – 午後 0 時

場所：物性研究所 D120

講師：中川 耕太郎

所属：京都大学化学研究所

要旨：

高次高調波発生(HHG)は、アト秒スケールの分光や極端紫外域の光源としての応用が期待され、精力的に研究されている非線形光学現象である。近年では固体からの HHG が観測され、発生効率などが結晶のバンド構造を反映し、気体とは異なる発生メカニズムが提案されている[1]。固体では、バンド間遷移とバンド内遷移の両者により HHG が発生すると議論されているが、実験的にそれらを制御し、HHG 効率を議論した研究はない。そこで我々は、半導体ナノ粒子を用いて、バンド内遷移を制御し、HHG 効率向上と発生機構の解明を目指している[2,3]。ナノ粒子では、量子閉じ込め効果によりサイズで電子状態を制御することができる。異なるサイズのナノ粒子の HHG 効率や実励起キャリア密度を測定し、HHG におけるバンド内遷移の役割を解明した[3]。

[1] S. Ghimire, A. D. DiChiara, E. Sistrunk, P. Agostini, L. F. DiMauro and D. A. Reis, Nat. Phys. 7, 138 (2011).

[2] K. Nakagawa, H. Hirori, Y. Sanari, F. Sekiguchi, R. Sato, M. Saruyama, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. Mater. 5, 016001 (2021).

[3] K. Nakagawa, H. Hirori, S. A. Sato, H. Tahara, F. Sekiguchi, G. Yumoto, M. Saruyama, R. Sato, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Nat. Phys. 18, 874-878 (2022).

標題：The MPRG
日時：2023 年 2 月 15 日(水) 午前 10 時 30 分 – 午前 11 時 30 分
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室（A615）又は Online
講師：山田 昌彦
所属：学習院大学
要旨：

We have proposed a new framework to solve various quantum many-body problems named a matrix product renormalization group (MPRG) [1]. MPRG solves the sign problem of conventional Monte Carlo methods and can be regarded as generalization of a density matrix renormalization group (DMRG) in one dimension. Compared with DMRG, MPRG is directly applicable to infinite systems, higher-dimensional systems, finite-temperature systems, and even to open quantum systems. In particular, a nonvariational variant of MPRG can be used to simulate non-Hermitian models like the Yang-Lee model with a Yang-Lee edge singularity.A variational variant of MPRG has a further application to many Hermitian systems. By utilizing a continuous projected entangled pair state (cPEPS), we can even solve two-dimensional systems at finite temperature. As for the accuracy, cPEPS outperforms PEPS with about a one-digit-higher precision when the same bond dimension is used. The finite-temperature observables like a specific heat are also calculated and compared with a quantum Mote Carlo simulation. Due to the absence of a sign problem, a Trotter error, or a finite-size effect, the observables can easily be extrapolated to the thermodynamic limit only by the bond dimension scaling.

[1] Masahiko G. Yamada et al., arXiv:2212.13267 (2022).

標題：1 分子散乱イメージングによる回転分子モータータンパク質の構造ダイナミクス研究
日時：2023 年 2 月 16 日(木) 午前 10 時 – 午前 11 時 30 分
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室（A615）
講師：大友 章裕
所属：分子科学研究所
要旨：

金ナノ粒子を標的の生体分子モーターに結合させ、分子の動きを追跡する 1 分子散乱イメージングでは、マイクロ秒の時間分解能とオングストロームの位置決定精度を達成することができる(1)。我々はこの手法を 2 つの回転分子モーターの複合体である V-ATPase に適用し、その回転運動を直接可視化することで、V-ATPase が ATP 加水分解エネルギーを利用してナトリウムイオンを膜輸送する仕組みの一端を明らかにした(2)。本セミナーでは 1 分子計測法による生体分子モーター研究の概要、解明した V-ATPase の回転機構について発表するとともに、最近取り組んでいる V-ATPase を改造し新たな分子モーターをつくる試みについても紹介した。

(1) Ando J., et al, Biophys. J., 115 (2018)
(2) Otomo A., et al, PNAS, 118 (2022)

標題：Monte Carlo sampling in tensor-network representation
日時：2023 年 2 月 20 日(月) 午後 1 時 – 午後 2 時
場所：Online
講師：藤堂 眞治
所属：東京大学 物理学専攻
要旨：

Many classical and quantum lattice models can be represented as tensor networks. However, the exact contraction of a tensor network is generally exponentially expensive, and some approximation is usually required. In numerical simulations based on the tensor networks, approximations with the singular value decomposition are widely used. On the other hand, various contraction methods based on randomized algorithms have also been proposed. Unfortunately, with a simple weighted sampling, it is difficult to control the accuracy because the expected value variance diverges rapidly as the network grows. In this talk, I propose a new tensor contraction method based on Monte Carlo sampling. The proposed method combines the stochastic basis transformation of tensors with the Markov chain Monte Carlo framework. It can entirely remove the systematic error due to a finite bond dimension in the approximate tensor-network contraction while controlling the variance of measurements.

標題：X 線回折で見る多極子秩序
日時：2023 年 2 月 24 日(金) 午前 11 時 – 午後 0 時
場所：Online
講師：田中 良和
所属：理化学研究所　放射光科学研究センター
要旨：

放射光光源の発展によって、いままで見えなかったものが見えるようになってきました。従来の実験室における X 線回折とは全く異なる次元の世界が拡がったといえるでしょう。それは単に X 線の強度が、何桁もの強度が上がったことだけではなく、X 線の偏光やエネルギーが自由に操作できるようになったことに因ります。

今回、ご紹介するのは放射光光源を用いた X 線回折による CeB6 の反強電気四極子秩序の観察とマルチフェロイック物質六方晶フェライトの磁気的な多重秩序変数の観察についての二つのトッピクスです。

CeB6 は低温で反強四極子秩序相（II 相 TQ=3.2 K 以下）、反強磁性秩序相（III 相 TN=2.4 K 以下）を示します。これらの相が特異な温度-磁場依存性を示すことが知られています。ゼロ磁場での III 相の磁気構造および、その高磁場側の III’ 相の磁気構造はすでに中性子回折実験によって解明されています。しかし II 相の秩序状態はほぼ四半世紀の間不明でした。中性子回折実験を用いて、外部磁場を印加することによって波数ベクトル[1/2, 1/2, 1/2]に対応する反射面で回折強度があることが見つけられており間接的に、反強電気四極子秩序が確認されている状態でした。我々は、放射光光源から得られる大強度の X 線によって、Ce 4f 電子一つが織りなす反強電気四極子秩序を確認しました。この X 線回折の強度は通常の Bragg 回折の 100 万分の 1 程度です。我々は、磁場中でこの反射を観察することによって Ce 4f 電子が形成する電気四極子が磁場によって回転する様子を確認することができました。[1]　六方晶フェライトはマルチフェロイック物質の一種で、電気分極や磁化などの秩序変数が互いに絡み合うことで非自明な電気磁気応答を示すことが知られています。共鳴 X 線回折を用いると、物質中で形成される複雑な磁気構造、ドメイン構造を可視化することができます。今回ご紹介する物質は Y 型六方晶フェライト Ba1.3Sr0.7CoZnFe11AlO22 と Z 型六方晶フェライト Sr3Co2Fe24O41 でです。これらの物質はそれぞれ Alternating longitudinal conical (ALC)構造、Transverse conical (TC)構造と称されるコニカル磁気構造を示し、異なる 2 種類の波数ベクトルで記述される磁気モーメント成分によって構成されることがわかっています。これらの磁気モーメントの各成分がそれぞれ独立した磁気衛星反射、もしくは Bragg 反射に寄与するため、共鳴 X 線回折を用いると各磁気モーメント成分を別々に測定することができます。我々は、これらの反射を調べることで、複雑な磁気構

造を 2 つの成分へ分離して観察することに成功しました。これを利用し外部磁場による磁気ドメイン構造への影響を観察することができ、二種類の磁気ドメイン間の結合の有無、すなわち一方の磁気ドメイン制御を介して他方のドメイン構造が同時に制御されるか否かについてそれぞれの六方晶フェライトに対して明らかにすることができました。[2]　セミナーでは、多極子の定義、非共鳴 X 線回折、共鳴 X 線回折、円偏光を用いた X 線回折によるカイラリティの判別などについてもご説明しました。

[1] Yoshikazu Tanaka, Koichi Katsumata, Susumu Shimomura, and Yoshichika Ōnuki, “Manipulating the Multipole Moments in CeB6 by Magnetic Fields”, JPSJ, 74, 2201 (2005).

[2] 上田大貴、田中良和、木村剛、“マルチフェロイック物質における共鳴 X 線回折による磁気ドメイン観察”、日本放射光学会誌 33(5) 334 (2020).

標題：「Materials Data Repository(MDR)**の開発と運用**」「MDR XAFS DB　**放射光データの統合と公開はいかにしてできたか**」

日時：2023 年 2 月 27 日(月) 午後 3 時 – 午後 4 時

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室（A632）

要旨：

1. 田邉 浩介（国立研究開発法人物質・材料研究機構）

題目：Materials Data Repository(MDR)の開発と運用

概要：Materials Data Repository(MDR)は、物質・材料機構の運用するデータリポジトリであり、材料科学のためのメタデータによる検索や DataCite DOI 付与などの特徴を持っています。この発表では、これらの特徴に加えて、MDR の開発から運用に至るまでの数々の課題への対応、さらに将来の展望についてお話しします。

2. 石井 真史（国立研究開発法人物質・材料研究機構）

題目：MDR XAFS DB　放射光データの統合と公開はいかにしてできたか

概要：私たちは、SPring-8、立命館大学、北海道大学、KEK と協力して、多機関連携型のデータベース、MDR XAFS DB(https://doi.org/10.48505/nims.1447)を作成して、公開しました。データ形式、メタデータの整備状況が全く異なる各機関の X 線吸収分光スペクトルをまとめ上げ、登録機関の違いを全く感じさせることなく横断検索することを可能にした方法について、概要をご紹介します。

標題：脂質分子の枯渇効果によるバクテリオロドプシン 2 次元結晶形成の検討

日時：2023 年 3 月 6 日(月) 午後 2 時 – 午後 3 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室（A615）

講師：須田 慶樹

所属：九州大学

要旨：

膜貫通型タンパク質は脂質二重層の中に埋まっている。このタンパク質は他の膜貫通型タンパク質と相互作用して、多量体を形成することがある。多量体形成はタンパク質の機能発現に重要であるが、多量体形成の駆動力は明らかにされていない。仮説として、直接の相互作用に由来する水素結合やイオン結合の形成による説明も考えられる。しかしバクテリオロドプシン(bR)のように、それらの結合が見られないタンパク質も存在する。bR は 3 量体を形成する。さらに 3 量体が膜の中で集合して 2 次元結晶を形成する（図 1）。しかし bR 単量体間、3 量体間に水素結合やイオン結合は見られない。本研究では bR の結晶形成に着目して、膜貫通型タンパク質の多量体形成駆動力を研究した。特に駆動力として脂質分子

の枯渇効果の可能性を検討した。

理論研究から検討するにあたり、3 量体を形成しない変異型 bR 単量体は、野生型 bR3 量体よりも 10. 2 倍も高い濃度でないと結晶形成を開始しないという実験結果に注目した。本研究では bR 単量体と 3 量体の相図をそれぞれ計算し、結晶形成開始濃度(critical concentration: CC)とその比(critical concentration ratio: CCR)を求め、実験結果と比較した。bR3 量体、単量体、脂質分子をそれぞれ剛体円盤へ、生体膜を 2 次元平面へモデル化した。円盤間には直接の引力は働いてなく、脂質分子の枯渇効果による実効引力のみが結晶形成の駆動力になる。ここで、生体膜系を 2 次元系へモデル化した理由は以下の通りである。bR の大部分は疎水的なアミノ酸によって構成されており、膜の疎水部に埋まった状態にある。それゆえ、bR の膜に対して垂直の運動は、bR の疎水部を水中に露出することになりエネルギー的に不利であると考えられる。従って bR の運動は膜に対して側方的な 2 次元的な運動に限定されると考え、bR 結晶形成を 2 次元円盤系での相転移として捉えた。

Free volume theory と thermodynamic perturbation theory それぞれから bR の相図を求め、CCR を計算した。脂質分子を剛体円盤としてモデル化した場合、いずれの理論から計算した CCR も実験結果と半定量的に一致した。このことから、脂質分子の枯渇効果が bR 結晶形成の主要な駆動力である可能性が示唆された。一方、脂質分子を理想気体としてモデル化した場合、理論と実験の CCR は定量的に一致しなかった。このことは脂質分子間の斥力が枯渇効果を高め、膜貫通型タンパク質間相互作用に重要である可能性を示している。

東京大学物性研究所人事異動一覧

【研 究 部 門 等】

発令日	氏 名	部門・施設名等	職 名	備 考

〈 採 用 〉

R5.1.1	中野 裕義	附属物質設計評価施設	助教	慶應義塾大学理工学部物理情報工学科 日本学術振興会特別研究員より

〈 辞 職 〉

R5.1.31	池田 達彦	物性理論研究部門	助教	理化学研究所量子コンピュータ研究センター 研究員へ
	橋本 慧	附属中性子科学研究施設	特任助教	岐阜大学工学部化学・生命工学科 助教へ

〈 任期満了 〉

R5.2.28	KIM YONG MIN JOSEPH	附属国際超強磁場科学研究施設	特任教授	檀国大学物理学科 教授へ

東京大学物性研究所教員公募について

１．職名および人数

助教　１名

２．所属

物性研究所附属物質設計評価施設

３．就業場所

物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

４．公募内容

物質・材料開発を志向し、第一原理的手法に基づき物質科学に新展開をもたらす方法論開拓・シミュレーション研究を行う。また附属物質設計評価施設・尾崎研究室の助教として、国内プロジェクト、国際連携、所内共同研究、大学院生指導等にも積極的に貢献できる意欲ある若手研究者を希望する。

５．応募資格

博士号または同等の資格を有する、または着任までに取得見込の方

６．契約時期

採用決定後なるべく早い時期

７．任期

任期は 5 年とする。ただし、再任は可とし 1 回を限度とする

８．試用期間

採用された日から 6 月間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）

９．応募締切

令和 5 年 4 月 21 日（金）必着

10．提出書類

（イ）応募の場合

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）

（ロ）推薦の場合

○推薦書

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）

11．提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

電話：04-7136-3207　Email：issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp

○郵送の場合

「附属物質設計評価施設（尾崎研究室）助教応募書類在中」、又は「附属物質設計評価施設（尾崎研究室）助教推薦書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「附属物質設計評価施設（尾崎研究室）助教応募」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること（応募の場合、推薦書または意見書は、作成者から書類提出先へ直送のこと）

※勤務日 2～3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　附属物質設計評価施設　教授　尾崎 泰助

e-mail: t-ozaki@issp.u-tokyo.ac.jp

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日～1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

学歴・職務経験等を考慮して決定。昇給制度あり

諸手当：賞与（年 2 回）、通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

○東京大学物性研究所教授会の議を経て審査決定します。ただし、適任者のない場合は決定を保留します。

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。そのため、着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○提出書類等は返却しませんので、了解の上、応募または推薦してください。また、履歴書は本公募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 1 月 27 日

東京大学物性研究所長　　森　初果

東京大学物性研究所教員公募について

1．職名および人数
　特任助教　1名
2．所属
　東京大学物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター
3．就業場所
　東京大学物性研究所
　柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）
　附属極限コヒーレント光科学研究センター　軌道放射物性研究施設 播磨分室（SPring-8 内）
　（兵庫県佐用郡佐用町光都 1−1−1）
4．公募内容
　原田所員と協力して、高輝度軟 X 線を用いた新たな顕微分光イメージング開発を意欲的に推進する研究者を公募する。研究室が参画する JST CREST 課題「反応リマスターによるエコ材料開発のフロンティア共創（研究代表者：唯美津木）」の研究に従事する。X 線顕微イメージングおよび分光分析の経験があることが望ましい。
5．応募資格
　博士号または同等の資格を有する、または着任までに取得見込の方
6．契約期間
　採用決定後なるべく早い時期より令和 6 年 3 月 31 日まで
7．任期および更新の有無
　更新する場合が有り得る。更新する場合は年度ごとに行う。
　更新は、予算の状況、従事している業務の進捗状況、契約期間満了時の業務量、勤務成績、勤務態度、健康状況等を考慮のうえ判断する。ただし、更新回数は 4 回、在職できる期間は令和 10 年 3 月 31 日を限度とする。
8．試用期間
　採用された日から 6 月間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）
9．応募締切
　令和 5 年 4 月 28 日（金）必着
10．提出書類
　（イ）応募の場合
　○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）
　○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）
　○主要論文の別刷（3 編、コピー可）
　○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）
　○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）
　○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）
　（ロ）推薦の場合
　○推薦書
　○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）
　○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）
　○主要論文の別刷（3 編、コピー可）
　○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）
　○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

11. 提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

電話：04-7136-3207　Email：issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp

○郵送の場合

「物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター（原田研究室）特任助教応募書類在中」、又は「物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター（原田研究室）特任助教推薦書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター（原田研究室）特任助教応募」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること（応募の場合、推薦書または意見書は、作成者から書類提出先へ直送のこと）

※勤務日 2～3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　極限コヒーレント光科学研究センター　教授　原田慈久

e-mail: harada@issp.u-tokyo.ac.jp

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日～1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

学歴・職務経験等を考慮して決定。

諸手当：通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

○東京大学物性研究所教授会の議を経て審査決定します。ただし、適任者のない場合は決定を保留します。

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。そのため、着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○提出書類等は返却しませんので、了解の上、応募または推薦してください。また、履歴書は本公募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 2 月 20 日

東京大学物性研究所長　　森　初果

東京大学物性研究所教員公募について

１．職名および人数

助教　１名

２．所属

物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター

３．就業場所

物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

４．公募内容

松永研究室では、光と物質の相互作用の中で現れる新規物性現象とその機能性を明らかにする研究を行っている。本公募では、松永准教授と協力して、大学院生の教育および所内共同研究や共同利用に携わりながら、光物性物理学研究と光技術開発を推進し、自身の専門を深めながら研究の幅を広げることに意欲のある若手研究者を募集する。超高速レーザー分光または物性物理学のいずれかにおいて高い知見と実験技術を有していることが望ましい。

５．応募資格

博士号または同等の資格を有する、または着任までに取得見込の方

６．契約時期

採用決定後なるべく早い時期

７．任期

任期 5 年、再任可。ただし、1 回を限度とする。

８．試用期間

採用された日から 6 月間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）

９．応募締切

令和 5 年 4 月 28 日（金）必着

10．提出書類

（イ）応募の場合

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）

（ロ）推薦の場合

○推薦書

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

11．提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

電話：04-7136-3207　Email：issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp

○郵送の場合

「物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター教員応募書類在中」、又は「物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター教員推薦書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター教員応募」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること（応募の場合、推薦書または意見書は、作成者から書類提出先へ直送のこと）

※勤務日 2～3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　附属極限コヒーレント光科学研究センター　准教授　松永隆佑

e-mail: matsunaga@issp.u-tokyo.ac.jp

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日～1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

学歴・職務経験等を考慮して決定。昇給制度あり

諸手当：賞与（年 2 回）、通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

○東京大学物性研究所教授会の議を経て審査決定します。ただし、適任者のない場合は決定を保留します。

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。そのため、着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○提出書類等は返却しませんので、了解の上、応募または推薦してください。また、履歴書は本公募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 2 月 22 日

東京大学物性研究所長　　森　初果

東京大学物性研究所特任研究員公募について

1．職名および人数

特任研究員　1名

2．所属

物性研究所国際超強磁場科学研究施設・小濱研究室

3．就業場所

物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

4．公募内容

本研究室では、強磁場下での超伝導体の物性測定、中性子回折実験および核磁気共鳴実験を目標に、様々なパルス強磁場発生装置を開発している。このような新規技術の開発、もしくは開発した特殊磁場環境を用いた実験に興味のある意欲的な若手研究者を募集する。これまでの強磁場実験の経験は問いません。

5．応募資格

着任時点で博士の学位を有する者

6．契約時期

採用日

7．任期

採用日～令和7年3月31日

更新する場合があり得る。更新する場合は、年度ごとに行う。

更新は、予算の状況、従事している業務の進捗状況、契約期間満了時の業務量、勤務成績、勤務態度、健康状況等を考慮のうえ判断する。ただし、更新回数は2回、在職できる期間は令和9年3月31日を限度とする。

8．試用期間

採用日から6月間（東京大学教職員就業規則第8条による）

9．応募締切

令和5年6月9日（金）必着　※ただし、適任者が決まり次第締め切ります。

10．提出書類

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○これまでの研究業績の概要と今後の研究計画（A4用紙2枚程度）

○研究業績一覧（特に重要な論文に○印を付けること）

○応募者についての意見を聞ける方（2名）の氏名、所属、連絡先

11．提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581　千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

電話：04-7136-3207　Email：issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp

○郵送の場合

「物性研究所国際超強磁場科学研究施設（特任研究員）応募書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所国際超強磁場科学研究施設（特任研究員）」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること

※勤務日2～3日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　国際超強磁場科学研究施設　准教授　小濱 芳允

Email：ykohama@issp.u-tokyo.ac.jp

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日～1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

月額 30～35 万円程度（年齢、経験年数等により異なる）

諸手当：通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○応募書類等は返却しませんので、了解の上、応募してください。また、履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 2 月 6 日

東京大学物性研究所長　　森　初果

編　集　後　記

2023 年度の第 1 号では 3 件の研究紹介と 5 件の受賞報告等がありました。研究紹介の最初の 1 件はディラック半金属におけるフロッケエンジニアリングというタイトルで物質の性質をレーザーにより詳細に調べたものです。次の 2 件はどちらも新物質合成に関するものでアンバイポーラ有機半導体材料と磁歪材料です。前者は有機半導体では困難な大気中での電子輸送ができる材料を、後者は磁場で体積が変わる量がとても大きい材料を発見したことが面白い点です。受賞報告や学会報告は多くが写真付きで紹介されており、ぜひご覧ください。そして、今号の特徴的な点は新旧所長のまとまったコメントが掲載されていることです。森所長前所長の総括及び廣井新所長の構想の一部をぜひ熟読して頂いて、お二人の考えを共有して頂ければと思います。

三　輪　真　嗣

物性研だよりの購読について

物性研だより発行のメール連絡を希望される方は共同利用係まで連絡願います。

また、物性研だよりの送付について下記の変更がある場合は、お手数ですが共同利用係まで連絡願います。

記

1．送付先住所変更（勤務先⇔自宅等）
2．所属・職名変更
3．氏名修正（誤字脱字等）
4．配信停止
5．送付冊数変更（機関送付分）
6．メール配信への変更

変更連絡先：東京大学物性研究所共同利用係
〒277-8581　柏市柏の葉 5-1-5
メール：issp-kyodo@issp.u-tokyo.ac.jp