

BUSSEIKEN DAVOR 第61巻 第1号 2021年度

ボース・アインシュタイン凝縮による超伝導を初めて確認 カミは地球を救う!? 原子層の積み木細工によるトポロジカル物質設計

~ 世界初となる高次トポロジカル絶縁体の実証 ~

パルス磁場中で瞬時に金属の電気抵抗を測る方法を開発





東京大学物性研究所

THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2021 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved. ISSN 0385-9843





contents

1	ボース・アインシュタイン凝縮による超伝導を初めて	【確認 岡崎 浩三
4	カミは地球を救う !?	廣井 善二
7	原子層の積み木細工によるトポロジカル物質設計	
	~ 世界初となる高次トポロジカル絶縁体の実証 ~	
	野	阳 亮、黒田 健太、近藤 猛
10	パルス磁場中で瞬時に金属の電気抵抗を測る方法を閉	刷発
	三田村	裕幸、綿貫 竜太、鬼丸 孝博
14	日本中性子科学会ポスター賞を受賞して	長谷川 舜介
15	日本表面真空学会学術講演会 講演奨励賞 (スチューデ	ント部門)を受賞して _{野口 亮}
17	本多記念研究奨励賞を受賞して	三輪 真嗣
18	令和2年度日本希土類学会学会賞(塩川賞)を受賞し	て上床美也

【物性研究所短期研究会】

20 〇物性研究所スパコン共同利用・CCMS 合同研究会「計算物質科学の新展開 2020」

24 【物性研究所セミナー】

【物性研ニュース】

27 〇人事異動

編集後記

物性研だよりの購読について

ボース・アインシュタイン凝縮による超伝導を初め て確認

極限コヒーレント光科学研究センター 岡崎 浩三

研究背景

多くの超伝導体は、Bardeen-Cooper-Schrieffer に よって提唱されたいわゆる BCS 理論によって理解される。 BCS 理論は電子対の起源である電子-格子相互作用が摂動 で扱える弱結合の場合を扱う理論であるが、強結合の場合、 超伝導はボース-アインシュタイン凝縮によって実現され ると考えられている。さらに、図1に示すように、弱結合 の BCS 超伝導と強結合の BEC 超伝導は、BCS-BEC クロ スオーバーを経て連続的につながっている[1]。BCS-BEC クロスオーバーは、フェルミ粒子のペアリングと凝集の理 解に非常に重要と考えられるが、ペアリングの強さを制御 するには2つのフェルミ粒子間の相互作用をコントロール する必要がある。極低温原子系の場合、この制御は磁場を かけることによる Feshbach 共鳴によって可能になる。固 体中の電子における BCS-BEC クロスオーバーの実現は、 様々な観点から非常に興味深い。例えば、図2に示すよう に、超伝導状態における Bogoliubov 準粒子(Bogoliubov quasiparticle, BQP)のバンド分散は、BCS 超伝導では特 徴的なバックベンディング型の分散になるが、クロスオー バー領域ではフラットバンドになり、BEC 超伝導では、 k = 0 でギャップが最小になる上凸型の分散になる、と いうような違いが見られることが期待される。さらに、 BEC 超伝導では、その転移温度 Tcのフェルミ温度 TFに



図 1: BCS-BEC クロスオーバーの相図。 T_c および Tはそ れぞれ凝集温度とペア形成温度。ペアリングの強さが強く なると Tと T_c が乖離し、T > T > T_c の温度領域において擬 ギャップが現れることが期待される。

対する比 TdTF(もしくは T。に比例すると考えられる超伝 導ギャップの大きさΔと TFに比例するフェルミエネルギー EFの比Δ/EF)が大きくなることから、BEC 超伝導はフェル ミ温度を基準として"高温の"超伝導であると言える。こ の超伝導メカニズムがより高いフェルミ温度を持つ物質で 実現できるようになれば、より高い温度での超伝導が実現 できる可能性もあり、BEC 超伝導の実現はより高い温度 での超伝導実現に非常に重要であると考えられる。しかし



図2: BCS 超伝導、クロスオーバー領域、BEC 超伝導における準粒子のバンド分散。BCS 超伝導では、バックベン ディング型のバンド分散となり、k = 0 近傍において下凸の分散になるが、クロスオーバー領域ではフラットバンド になり、BEC 超伝導では上凸の分散になることが期待される。

ながら、固体中の電子間の相互作用をコントロールするこ とが難しいため、これまで BCS-BEC クロスオーバーの確 固たる証拠は得られていなかった。Δ/εF~1 となる BCS-BEC クロスオーバー領域では、凝集が起こる温度より高 温でボース粒子とみなせるペアが形成され、その領域では 擬ギャップと呼ばれる現象が観測されることも期待される。 これまでいくつかの鉄系超伝導体においてもΔ/εF~1であ るとして BCS-BEC クロスオーバー領域の超伝導である 可能性が提案されていたが[2-5]、擬ギャップが観測され た例はなかった。

今回我々は、鉄系超伝導体 FeSe_{1-x}S_x[6-8]において、極 低温超高分解能レーザーARPES を用いて、超伝導状態に おけるバンド分散のS置換量依存性を観測し、図2のよう な BCS 超伝導から BEC 超伝導への変化に対応するS置 換量依存性となることを見出した。さらに、FeSe_{0.79}S_{0.21} に おいて擬ギャップを観測し、FeSe_{1-x}S_xにおける BCS-BEC クロスオーバーの確証を得た[9]。

実験結果

超伝導状態におけるバンド分散

図 3 は、FeSe_{1-x}S_x ($x = 0, 0.04, 0.13, 0.16, 0.21, T_c = 4$ -10 K)の超伝導状態(T = 2 K)における Brillouin ゾーン中心 付近 Γ -M 方向に沿った光電子強度の運動量-エネルギー依 存性を強度プロットしたものである。上段は-35 meV か ら+5 meV の範囲、下段はより E_F を拡大した-10 meV か ら+5 meV の範囲になっている。下段では、超伝導状態に おける BQP のバンド分散に対応する、エネルギー分布曲 線(EDC)のピーク位置を赤のマーカーで示している。この 結果から、x = 0 では下凸だった BQP バンド分散が、x =0.16 ではフラットになり、x = 0.21 では上凸になっている ことがわかり、まさに図2に示した BCS-BEC クロスオー バーにおける BQP バンド分散に対応していることがわか る。

擬ギャップの観測

我々はさらに、x = 0, 0.13, 0.21 の試料において、T = 2-25 K におけるフェルミ波数における EDC の詳細な温 度変化を測定した。この結果、x = 0 と x = 0.13 において は、 T_{c} (~ 10 K)以下で超伝導ギャップが開くのに伴うコ ヒーレンスピークがより低温で発達するのが観測されたの みであるのに対して、x = 0.21 では、 T^{*} ~15 K以下で擬 ギャップが開くことが観測された。x = 0.21 で上に凸の BQP バンド分散と擬ギャップが観測されたことから、 BEC 超伝導が実現していることの完全な証拠が得られた ことになる。

Δ/εFの置換量依存性

 $\Delta \ell_{\rm EF}$ がペアリングの強さの指標になると考えられること から、我々は $\Delta \ell_{\rm EF}$ のS置換量依存性を調べた。x = 0では BCS 超伝導的な下凸の BQP バンド分散、x = 0.21で上に 凸の BQP バンド分散と擬ギャップが観測されたことから、 $\Delta \ell_{\rm EF}$ はS置換とともに大きくなると予想されるが、この 予想に反して、実際には $\Delta \ell_{\rm EF}$ はS置換とともに小さくなる ことがわかった。このことは、FeSe1-xSx における BEC



図 3: 超伝導状態における Γ -M 方向に沿った FeSe_{1-x}S_xの ARPES 強度の運動量-エネルギー依存性。**a**-**e** はそれぞ れ x = 0, 0.04, 0.13, 0.16, 0.21において T = 2K で s 偏光のレーザーを用いた結果。**f**-**j** は E_F 近傍を拡大し、カラー スケールを変えたもの。赤のマーカーは BQP バンド分散に対応する。

超伝導実現のメカニズムに大きく関わっていると考えられ る。

考察

以上の結果から、x = 0.21 は BEC 超伝導に特徴的な上 凸の BQP バンド分散を示し、EDC の温度変化からは x = 0.21のみ擬ギャップを示すことがわかり、x=0.21におい て BEC 超伝導が実現していることが確認された。一方で、 ペアリングの強さの指標となるA/EFのS置換量依存性を見 ると、単一バンドの場合での理論からの予想に反して、S 置換とともにΔ/εFが小さくなることがわかった。我々は、 FeSe1-xSxにおける BCS-BEC クロスオーバーのメカニズ ムを次のように考察した。図2を見るとわかるように、 FeSe1-xSx では Brillouin ゾーン中心付近にフェルミ準位 (*E*_F)を横切るαバンドの直下にもう一本ホールバンド(βバ ンド)が存在する。αバンドとβバンドはスピン-軌道相互 作用が存在しなければΓ点において縮退すると考えられる が、実際にはスピン-軌道相互作用によって縮退が解けて いる。さらに、FeSeにおいては、 $T_s = 90 \text{ K}$ の構造相転移 温度以下において、電子ネマティック相と呼ばれる、電子 系が自発的に4回対称性を破り2回対称になることで、α バンドとβバンドの分裂幅が大きくなることが知られてい る[10]。FeSe1-xSx の電子ネマティック相への転移温度は、 S置換と共に低くなり、x = 0.17で転移温度が0Kとなる 電子ネマティック臨界点が存在し、x > 0.17においては最 低温においても4回対称を保った正方晶となる。x = 0.21 では電子ネマティック転移が抑制されていることから、α バンドとβバンドの分裂はスピン-軌道相互作用からの寄 与のみとなり、αバンドの頂上の位置から見積もられるεF が、E_Fとβバンドの頂上の位置の差よりも大きくなる。こ のことは、x = 0.21における超伝導状態において、 α バン ドがバックベンディング型の BQP バンド分散を示すと、 βバンドと混成し得ることを意味する。つまり、x = 0.21 においては、超伝導状態でβバンドもペアリングに寄与で きると考えられ、このことによって FeSe1-xSx ではS置換 とともにペアリングが強くなっていると考えられる。αバ ンドとβバンドの分裂幅は FeSe1-xSx における電子ネマ ティシティによって決まると考えられることから、 FeSe1-xSxにおける BCS-BEC クロスオーバーは電子ネマ ティシティによって制御されている、と結論づけることが できる。

謝辞

本研究は以下の方々(橋本 嵩広、大田 由一、都築 章宏、 長島 椿、福島 昭子、笠原 成、松田 祐司、松浦 康平、 水上 雄太、芝内 孝禎、辛 埴 各氏)との共同研究です。ま た、文部科学省科学研究費補助金 新学術領域(研究領域提 案型)「量子液晶の物性科学」(JP19H05824, JP19H05826)、 「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」(JP15H05852)、 JSPS 科 研費 (JP19H00651, JP19H01818, JP18H05227, JP19H00649, JP18H01177, JP18K13492, JP20H02600) の助成のもとに行われました。

参考文献

- M. Randeria and E. Taylor, Annu. Rev. Condens. Matter Phys. 5, 209 (2014).
- [2] T. Shimojima et al., Sci. Adv. 3, e1700466 (2017).
- [3] H. Miao et al., Nat. Commun. 6, 6056 (2015).
- [4] S. Rinott et al., Sci. Adv. 3, e1602372 (2017).
- [5] Y. Lubashevsky et al., Nat. Phys. 8, 309 (2012).
- [6] F.-C. Hsu *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 105, 14262 (2008).
- [7] A. E. Böhmer et al., Phys. Rev. B 87, 180505 (2013).
- [8] S. Kasahara *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 111, 16309 (2014).
- [9] T. Hashimoto et al., Sci. Adv. 6, eabb9052 (2020).
- [10] M. D. Watson *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 053703 (2017).

カミは地球を救う!?

最近、少し変わった研究分野に片足を突っ込んでいる。 2020年12月末に出された東大のプレスリリースをご覧い ただきたい[1](この文章を読んでいただけるならそれで十 分です)。これまで物性物理学的に面白い物質を探し求め てきたが、もちろんそういう物は世間の役に立たない場合 が多い(というか、ほとんど実社会に貢献するものではな い)。定年退職まであと5年となった身の上としては、生 きているうちに少しでも人様の役に立つ研究をしたいと 思って、しかし、こうなったわけではない。2019年末、 新型コロナウィルスが武漢で拡がり始めたころ、当時ご退 職寸前であった中性子科学研究施設の柴山充弘先生から、 超越化研という会社の岩宮陽子さんと高エネルギー加速器 研究機構名誉教授の川合將義先生を紹介された。そこで初 めて「超越コーティング」という技術の話を伺った。正直 言って第一印象は「何と胡散臭いことか」であった。普通 の紙に怪しげなコーティング液を塗ると強度が増して水を はじくようになり、プラスチックの代用品に使えるという のである。もちろん、プラスチックゴミ問題が世間を騒が せていることは知っていたし、生分解性プラスチックや環 境に優しい材料に多くの関心が集まっていることもあり、

「素晴らしい、これ(紙)で地球は救われる」と素直に思っ た。しかし、ではなぜ、こんな画期的な技術がこれまで世 間に広く認知されずにきたのかという疑問がふつふつと湧 いてくる。ちなみに、岩宮さんは 20 年近くこの研究を やってこられ、限定的ではあるがすでにさまざまな応用に も使われている。何しろ専門外の目ではその研究分野にお ける位置付けと価値を正しく評価することは困難であり、 むしろそういうことを教えてほしいと思ったが、これを理 解するには長い時間がかかった(実は今でも根っこのとこ ろは理解できていない気がする)。

岩宮さんは 1990 年代から女性起業家の草分けとして活 躍され、2001 年文部科学大臣賞(科学技術功績者)、2003 年第二回日本環境経営大賞「独創的環境プロジェクト賞」、 2004 年世界優秀女性起業家賞、2008 年特許庁長官賞など 数多くの賞を受賞されている。2012 年に超越化研を立ち 上げ、この超越コーティングに関する研究開発を推進して こられた。岩宮さんはいわば天才肌の人であり、優れた直

物質設計評価施設 廣井 善二

感力とパワフルな行動力を駆使して研究に邁進してこられ たが、このタイプの人の多くは他人に伝えるために「通訳」 を必要とする。川合先生は高エネ研をご退職後、岩宮さん の研究に触れて同調され、強力にサポートしてこられたの である。お二人の話を聞いてだんだんと分かってきたこと は、やろうとしていることやその解釈はほぼ正しいので あるが、科学的な裏付けにいささか問題があるというこ とであった。というわけで、前置きがとても長くなったが、 柴山先生と私の出番と相成った次第である(柴山先生は さっさと東海に行ってしまわれたが)。



図1 超越コーティングを施した紙の走査電子顕微鏡写真(上)と 写真中の黄色線に沿う化学組成の線分析結果(下)。物質設計評 価施設電子顕微鏡室の技術専門職員である浜根大輔氏による。 数十µm径のセルロースファイバーの表面に約3µm厚のシリカ 層(微量のチタンを含む)が形成されていることが分かる。

古来さまざまな用途に用いられてきた紙は、草や木か ら作られるセルロース繊維からなる環境に優しい材料であ る。しかしながら、特に水に弱いという欠点をもつためプ ラスチックの代用品にはなりにくい。この欠点を補うため、 さまざまなコーティング技術が開発されてきたが、従来の コーティング剤には環境に有害な物質が含まれていたり、 また、大きな設備投資を含むコストの増大が問題となって いた。超越コーティング技術はゾルゲル法の応用であり、 ケイ素の有機物であるメチルトリメトキシシランを主成分 とし、少量のチタンテトラプロポキシドなどを反応促進剤 として含む低粘性のコーティング液剤を用いる(私はゾル ゲル法など使ったこともなく、この手の有機物質名を聞く だけで鳥肌の立つ「無機」人間である)。普通のコピー紙 や和紙をコーティング液剤に浸した後に常温で 30 分程度 乾燥するだけの簡単な方法によって、紙を構成する複雑に 絡み合った、数十ミクロン径のセルロースファイバー表面 に、3 ミクロン程度の厚さをもつシリカ層(より正確には、 メチル基などの有機基を含むシリコーン層)が均一に形成 される(図1)。この反応は図2に示すように、紙に吸着さ れた僅かな水や大気中の水蒸気を用いて、チタンテトラプ ロポキシドの助けにより自発的に素早く進行するため、反 応中に紙が劣化することはない。ちなみに通常のゾルゲル 法ではケイ素アルコキシドの加水分解反応を促進するため



図 2 超越コーティングにより、紙ストローなどを構成するセル ロースファイバー上にシリカ皮膜が形成される機構を説明する模 式図。最初に、液剤中のメチルトリメトキシシランのオリゴマー (図左上)が紙や大気中に存在する少量の水分子と加水分解反応し て Si-OH のシラノール基が生成される。次に 2 つのオリゴマー のシラノール基同志が脱水反応によりシロキサン結合を作って繋 がる。さらにメチルトリメトキシシラン分子のシラノール基はセ ルロースファイバー上の水酸基と脱水反応して Si-O-C 結合に よりファイバー表面に固定される(図右下)。生成されたシロキサ ンネットワークは多くの空隙をもつため柔軟性を有し、そこに残 存するメチル基(R)が撥水性をもたらす。

に多量の水と酸または塩基触媒が必要となり、紙のコー ティングには使えない。

形成されたシリカ層は強固な Si—O—Si のシロキサン結 合からなるネットワークを有し、セルロースファイバーに 強く化学結合するため紙の機械的強度が増大する。一方、 そのシロキサンネットワーク中には比較的大きなナノサイ ズの隙間が存在するため構造変形が容易に起こり、紙本来 の柔軟さは損なわれない。また、シリカ皮膜は無色透明で あり(図 3a)、コーティング紙はもとの風合いを保つ(図 3b)。 さらに、シロキサンネットワーク中には多くのメチル基が 残されるため、コーティング紙は撥水性を獲得する(図 3c)。 コーティングされた紙ストローは3日間水に浸けても全く 形状および強度に変化は見られなかった(図 3d)。本コー ティング液剤は環境汚染の原因となる物質を含まず、コー ティング紙は廃棄後に自然環境において無害な物質に分解 されると予想される。



図 3 (a) コーティング液を固化して作製したバルク体。(b) 超 越コーティングを施した紙製品。(c) コーティング紙上に滴下 された水滴。(d) コーティングあり(左)、なし(右)の紙スト ローを水に浸してから3日後の様子。

以上のように、超越コーティングは紙素材の環境適合 性を損なわずに強度と撥水性などを付与する優れたコー ティング技術である。超越コート紙はさまざまな用途にお いてプラスチック材料を置き換えることができるだろう。 生活素材から工業製品、水に強い段ボール紙、焼却可能な マルチシートなどの農業分野、廃棄可能なシャーレなどの 医療分野を含むさまざまな分野に有用である。また、単純 な浸漬法だけでなく簡便な塗布法やプリント技術が使える ことから低コストであり、紙素材だけでなく紙製品におい てもその形状を損なうことなく塗工処理できる。さらに、 超越コーティングを木材に適用すると良好な耐候性を示し、 繊維にも応用が可能である。また、コーティング皮膜には 多くのナノ空隙が含まれるため、そこに触媒や化学物質を 添加することができ、基材の特性を損なわずに用途に応じ てさまざまな機能性をもたせることも可能となる。超越 コーティング技術応用の拡大により、少しでもプラスチッ クの使用が抑制され、持続可能な社会実現に向けて一歩前 進することを期待する。

というような内容をまとめた論文が米国化学会の雑誌 Industrial & Engineering Chemistry Research に掲載さ れた[2]。正直言って、ど素人がこのような論文を書くに は大きな抵抗があったが、岩宮さんや川合さん、柴山さん、 浜根さんのバックアップのお陰でなんとか形にすることが できた。当初、科学研究としてのレベルの低さ(素人だか ら大目に見てください)と社会的なインパクトへの期待(皆 さん、超越コーティング紙ストローを使いましょう)から、 専門誌ではなく「宣伝誌」の Nature や Science 向きでは ないかと思ったが、それらの系列雑誌も含めて全てエディ ターの壁を越えられず撃沈した。さらに Journal of American Chemical Society にも門前払いをくらい、その 編集者からこの聞いたこともないが内容的にはフィットす る雑誌を紹介されたのである。しかしながら、超越コー ティングを科学論文として世に出すという最低限の目標は とにかくクリアできた。お陰様でプレスリリースもさせて いただき、現在、いくつかの問い合わせを受けている。た だ、思ったほど社会の反響が大きくないのが少々残念だが。

最後にもう一言。この研究を通して実感したことは、 岩宮さんのサポーターの多さである。知り合った人々は彼 女の人柄と才能、行動力に惹かれ、彼女の研究がうまくい くことを心から願っている。今回のプレスリリースをご覧 になったお一人から、「ようやく彼女の成果が科学的な裏 付けを得て日の目を見ましたね」とお言葉を頂いた。私も 今ではサポーターの一人であり、今回このような機会にお いてお手伝いをさせていただくことができ有り難く思って いる。岩宮さんの益々のご活躍と社会へのご貢献を心から 応援している。

 $[1] \ http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=12021$

[2] Y. Iwamiya, M. Kawai, D. Nishio-Hamane, M. Shibayama, Z. Hiroi, Modern Alchemy: Making "Plastics" from Paper. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 60, 355-360 (2021).

原子層の積み木細工によるトポロジカル物質設計

~ 世界初となる高次トポロジカル絶縁体の実証 ~

極限コヒーレント光科学研究センター 野口 亮、黒田 健太、近藤 猛

概要:

トポロジカル絶縁体では、電子構造の非自明なトポロ ジーに保護された金属的なエッジ(表面)状態がバルクバン ドギャップ中に現れる。2005 年に Z2 指数で特徴づけられ る二次元のトポロジカル絶縁体が提唱されて以降、トポロ ジカル物質の分類に関する研究は急速に発展を遂げてきた。 2007 年には 3 次元の「強いトポロジカル絶縁体(STI)」・

「弱いトポロジカル絶縁体(WTI)」の存在が予想され、その 性質が理論と実験の両面で詳しく調べられてきている [1]。 一方で近年、これまでの分類では見落とされていたトポロ ジカル絶縁体相が存在することが分かってきた。特に Z2 指数の拡張といえる Z4 指数による分類を考えると、Z4=2 となる物質が「高次トポロジカル絶縁体(HOTI)」となる ことが提唱された。HOTIは、2つのSTIを重ねた状態と 理解することができ、バルクと表面は絶縁体となるが、結 晶の稜線(ヒンジ)にギャップレスな状態(トポロジカルヒ ンジ状態)が形成される。実際に、半金属であるビスマス において高次トポロジカル相に由来するヒンジ状態の存在 が報告されている [2]。ヒンジ状態は、後方散乱の抑制さ れる一次元スピン偏極状態であり、スピン流デバイスへの 応用に有望であると考えられる。しかし、バルク電子も伝 導してしまう半金属では、ヒンジ状態だけを取り出すこと は困難である。そのため、バルクが絶縁体となる物質中で のHOTIの実証が求められていた。本研究で我々は、擬一 次元の結晶構造をもつビスマスハライド Bi₄X₄ (X=Br, I)に 注目した。Bi₄X₄では擬一次元鎖が van der Waals 力(vdW 力)によって積み上げられており、単層構造であるβ-Bi₄I₄ ではWTI相が、二層構造となるα-Bi₄I₄では通常絶縁体相 が実現する [3]。一方で、α-Bi4I4 と似た二層構造で構成 される Bi4Br4 は、Z2 指数の範囲では通常の絶縁体となる が、Z4 まで考えた場合に HOTI となることが理論計算か ら指摘された(図 1) [4]。我々は、試料の擬一次元性に よって劈開面中に多数のヒンジが形成されることを利用し て、角度分解光電子分光(ARPES)によるヒンジ状態の観 測を行い、Bi4Br4 において HOTI 相が実現していること を示した [5]。



図 1: Bi₄X₄ (X=Br, I)で実現する積層構造とトポロジカル相の概略。単層構造(A-stacking)の β -Bi₄I₄はWTI となるのに対して、 ずらしながら積み上げた二層構造(AA'-stacking)の α -Bi₄I₄は通常 絶縁体、180°回転させながら積み上げた二層構造(ABstacking)のBi₄Br₄はHOTIとなる。



図 2: (a) 擬一次元 Bi₄Br₄の結晶構造。(b) 単結晶試料の光学顕微 鏡図。(c) 劈開した試料表面のレーザー顕微鏡図。多数のステッ プが形成されていることが分かる。



図 3 (a) レーザーARPES で測定した Bi₄Br₄のフェルミ準位での光電子強度分布。(d) 一次元鎖方向の ARPES 像と (c) フェルミ準位近傍 の強度に注目してコントラストを変えた場合。(b) 下段の ARPES 像から抽出された、ディラック点近傍での運動量分布曲線。(e) **N**点近 傍でのエネルギー分布曲線。(f) 上段の赤枠の領域をさらに精密測定した ARPES 結果。(g) 曲率プロットによって抽出された cut 5 での ARPES 像のピーク構造。(h-j) 通常絶縁体である α -Bi₄I₄の ARPES 像と運動量分布曲線。通常絶縁体相に対応して、ギャップ中に状態は 観測されていない。

実験結果:

本研究では、物性研究所で開発された高分解能レーザー (スピン分解)ARPES 装置 [6,7]と、Diamond Light Source(英国)および Stanford Synchrotron Radiation Lightsource(米国)の放射光 ARPES 装置、Elettra(イタ リア)の顕微 ARPES 装置を用いて Bi₄Br₄の電子構造を調 べた。また、ヒンジ状態に由来する試料の局所伝導度測定 を行うため、筆者(野口)がテキサス大学オースティン校に 滞在して、Lai 研究室で開発されたマイクロ波インピー ダンス顕微鏡(MIM)を用いた。

Bi₄Br₄は、図 2(a) に示すように Bi₄X₄ 擬一次元鎖を回転させながら積み上げた構造(AB-stacking)で構成されており、その結果として Z₄=2の HOTI となることが予想されていた。この場合、結晶の上面である(001)面と側面である(100)面の間のヒンジにギャップレスなトポロジカルヒンジ状態が出現する。本研究で行った局所伝導度測定では、試料のエッジ近傍で高い MIM 信号が検出され、ヒンジ状態の存在が示唆された。また、Bi₄Br₄の単結晶はリボン型である [図 2(b)] が、試料の擬一次元性を反映して、劈開面中には多数のステップ構造が出現する [図 2(c)]。

そのため、劈開面中でヒンジ状態の密度が大きくなると予 想される。本研究では、この試料の擬一次元性を活かすこ とで、マクロな測定である ARPES によるヒンジ状態の検 証が可能となった。

本研究でレーザーARPESにより精密測定した Bi4Br4の フェルミ面を図 3(a) に示す。(001) 表面ブリルアンゾー ン端に島状の強度に加えて、線状に伸びる弱いシグナルが 観測された。島状の光電子強度は、バルク伝導帯のスペク トルテールであると考えられる。図 3(d) に示す擬一次元 鎖方向の ARPES 像からは、強度の強いホール型のバンド が分散を見せている様子が分かり、これらはバルクの価電 子帯と考えられた。バルクの伝導体と価電子帯は M点付 近で最も接近し、図 3(e) に示すように 0.3 eV 程度のバン ドギャップが形成されていることが分かった。一方で、強 度の弱い光電子シグナルに注目すると、図 3(c) に示すよ うにすべての ARPES 像でフェルミ準位をよぎる分散が観 測されていることが分かる。この分散は運動量分布曲線か らも確かめられる [図 3(b)]。この分散は、さらなる精密 測定によっても同様に観測され「図 3(f)]、曲率プロット によってピーク構造を抜き出したところ、図 3(g) に示す

8

ように線形の分散が形成されていることが分かった。一方 で、通常の絶縁体であるα-Bi₄I₄の場合では、Bi₄Br₄で観 測されたようなバルクバンドギャップ中の線形分散は観測 されなかった[図 3(h~j)]。これらの結果は、バルクの異 なるトポロジーに由来して線形分散が出現・消失している ことを示唆しており、Bi₄Br₄において HOTI 相が実現し ていることを示す結果であると言える。

また、劈開面中には2種類のヒンジが存在し、それぞれ 反対向きにスピン偏極していると考えられる。そのため、 従来の STI・WTI の場合とは異なり、線形分散を形成す る光電子のスピン偏極は全体として消失することが予想さ れる。本研究で実際にスピン分解 ARPES を行ったところ、 Bi₄Br₄のギャップ中状態を形成する光電子は、通常のト ポロジカル表面状態で見られるようなスピン偏極を示さな いことが分かった。この結果から、Bi₄Br₄で実現する HOTI 相がβ-Bi₄I₄で実現している WTI 相とは性質が異 なっていることが確かめられた。

まとめと今後の展望:

本研究により、擬一次元のビスマスハライドでは擬一次 元鎖の積み方に依存したトポロジカル相が実現しているこ とが分かった。特に Bi₄Br₄ では、バルクが絶縁体となる 物質で初めて HOTI 相が実現していることが示された。本 物質中では擬一次元鎖が vdW 力によって積み上げられて いるため、劈開により大量のスピン流が生成されるという 特徴がある。HOTI としての性質は薄片試料にしても維持 されると期待されるため、今後は結晶の剥離によって取り 出された薄片試料によるスピントロニクスデバイスへの展 開が期待される。

謝辞:

本研究は東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材 料研究所の笹川崇男准教授、東京大学大学院工学系研究科 の有田亮太郎教授、東京大学大学院工学系研究科の平山元 昭特任准教授、大阪大学大学院理学研究科の越智正之助教、 産業技術総合研究所物質計測標準研究部門ナノ材料構造分 析研究グループの白澤徹郎主任研究員、テキサス大学オー スティン校 Keji Lai 准教授らとの共同研究として行われま した。テキサス大学での共同研究は、理学系研究科大学院 学生国際派遣プログラムの支援を受けて遂行されました。 この場をお借りして御礼申し上げます。

- [1] M. Z. Hasan and C. L. Kane, Rev. Mod. Phys. 82, 3045 (2010).
- [2] F. Schindler et al., Nat. Phys. 14, 918 (2018).
- [3] R. Noguchi et al., Nature, 566, 518 (2019).
- [4] F. Tang, H. C. Po, A. Vishwanath, and X. Wan, Nat. Phys. 15, 470 (2019).
- [5] R. Noguchi *et al.*, Nat. Mater. (2021). <u>https://doi.org/10.1038/s41563-020-00871-7</u>
- [6] K. Yaji et al., Rev. Sci. Instrum. 87, 053111 (2016).
- [7] K. Kuroda et al., J. Vis. Exp. 136, e57090 (2018).

パルス磁場中で瞬時に金属の電気抵抗を測る方法を開発

附属国際超強磁場科学研究施設 三田村 裕幸 横浜国立大学大学院工学研究院 綿貫 竜太 広島大学大学院先進理工系科学研究科 鬼丸 孝博

とを突き止めました[1]。これにより、機械的振動を抑制でき れば、純良金属の磁気抵抗を測定する場合でもデータの積算 時間は従来考えられていたものに比べれば短くても良いこ とが導かれます。むしろ磁場発生時間が短くなることで抵 抗測定中に試料に電流を流す時間も短くなるため、出力信 号を大きくするために電流値を大きくしても試料の発熱量 が抑えられるという利点が生まれます。また、電磁石自体 もコンパクトになると機械的振動の抑制も容易になります。

一方、磁場発生時間を短くすることに伴い、これに見合 う高速測定が必要となります。もし究極的にノイズやバッ クグラウンドが無視できるならば簡便な直流4端子法で問 題ないのですが、現実には諸々の対策を施してもこれらは 除去しきれずに残ってしまいます。直流法ではノイズや バックグラウンドの周波数帯域より早い時間応答はできな いので高速測定には不向きです。そのため、磁気抵抗測定 の高速化には交流4端子法が必須となります。



図1 (左側)整数(n=1,2,...,5)周期で検波したときの通過利得。(右側)1周期と2周期で検波した時の通過利得に重み をつけて足し合わせたもの。重みを変えることで望みの周波数成分を消去できる(それぞれ上段が実部で下段が虚部)。

【研究の背景】

パルス磁場中で純良金属の磁気抵抗を測る技術を獲得す ることは、我々強磁場業界の長年の懸案でした。一般的に ある程度以上の強い磁場を生成するには、瞬間的な大電流 を電磁石に流す方法がとられます。強い磁場中での純良金 属の磁気抵抗測定では、信号が小さいためノイズを平滑化 するのに長時間のデータの積算が必要であり、パルス磁場 下での測定は難しいと考えられてきました。そのため、パ ルス磁場中での磁気抵抗測定は、微細加工によって信号を 大きくした試料か、あるいは半導体や半金属などの電気抵 抗が元々高い物質に限られていました。

【実験結果】

本研究グループでは、パルス磁場中での有線測定に特有 な主たるノイズが、不均一な磁場を持つ電磁石やプローブ 等の機械的振動によって引き起こされた電磁誘導であるこ



図 2 横浜国立大学で作成された LaB₄の磁気抵抗の測定結果。純良単結晶でしか観測できない量子振動が観測されている。1 周期(左図)で検波した結果と2 周期(中図)で検波した結果を足して2 で割ると、低周波ノイズに起因する細かな振動が除去され、本質的な量子振動だけが残る(右図)。この操作は、図1右側のa=0.50のケースに相当する。右図の横軸の分解能は中図と同じにも関わらず、劇的にノイズが除去されている。

一般的に交流信号を精度よく復調するには位相検波法 が用いられます。これは元の信号が、

$$f(t) = A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t \qquad (\ensuremath{\vec{x}}\ 1)$$

で表されるときに、両辺に $2\cos\omega_0$ および $2\sin\omega_0$ を掛け 合わせると三角関数の倍角の公式によりそれぞれ

 $f(t) \times 2\cos\omega_0 t = A (1 + \cos 2\omega_0 t) + B\sin 2\omega_0 t \quad (\vec{x} 2)$

 $f(t) \times 2 \sin \omega_0 t = A \sin 2\omega_0 t + B (1 - \cos 2\omega_0 t)$ (式3) が成り立ちます。一般的なアナログ的位相検波法では2倍 波をローパスフィルタによって除去して定数部分A, Bを抽 出しますが、これには非常に長い時間(多くの振動回数)が 必要となります。他方、数値位相検波法では、変調周期 $2\pi/\omega_0$ のちょうど整数倍の周期で積分することで2倍波を 除去することができます。後者では、原理的に変調周期の 1倍や2倍の非常に短い時間で復調を完了することが可能 です。ただそれと引き換えに、変調周波数以外の周波数成 分を除去する性能は劣化します。

本研究グループは、復調に用いる積算周期数の違いに よって、変調周波数以外の周波数成分が通過する割合が異 なることを初めて見出し、この性質をうまく使うことで、 短い積分時間内で従来の数値位相検波では除去しきれな かった周波数のノイズを除去できることを理論(図 1)と実験 (図 2)で実証しました[2, 3]。この方法は複数試料の同時測定 に伴う干渉効果の除去にも強力な方法になります(図 3)。

一般に、交流4端子法で時間分解能を向上させるために 変調周波数を上げてゆくと、電圧端子間から得られる出力 信号が入力電流に対し'位相が回転'してゆく現象が昔か らよく知られていましたが、その理由はよくわかっていま せんでした。本研究グループは、'位相が回転'している



図3 2つの試料を異なる周波数(20 kHz と 31.25 kHz)で同時に測定した場合の一方の試料(銀線、31.25 kHz で変調)の測定結果。左上 図は1周期、左下図は2周期で検波した場合の解析結果を示す。どちらも相手の試料から来る干渉信号(31.25 kHz - 20 kHz = 11.25 kHz) が重畳している。右下図は1周期と2周期の結果を適切な重み付けで足し合わせたもの。干渉効果による振動が首尾よく消えている。 赤線が試料本来の磁気抵抗を表す実部で青線が配線の相互インダクタンスにより現れる虚部をそれぞれ示す。右上図は干渉効果の除去 に必要な積算時間の幅を表している。従来の OFDM 法(紫色の枠)に比べて本研究で新たに示された方法(橙色の枠)の方が格段に短い時 間で干渉信号を分離できることがわかる。

のではなく電流ラインと電圧ラインの間の相互インダクタ ンスの効果が虚部に重畳しているためであることを突き止 めました。一般に相互インダクタンスの大きさは配線の幾 何学的形状に由来し試料の抵抗値とは無関係なので、試料 の抵抗値が小さいほどその影響は相対的に大きくなります。 また、この場合の入力電流に対する出力電圧の大きさは変 調周波数に比例します。これらのことは、低抵抗の測定ほ ど変調に用いることのできる周波数の上限値が低くなるこ とを意味します。配線の取り方を工夫することで相互イン ダクタンスの大きさはある程度は抑えることはできるもの の、雑感では1 m Ω以下の低抵抗の測定における変調周波 数は高々数+kHz程度が限界と考えられます。

本研究グループでは、位相の情報を含めた絶対値の正確 な測定を目指すために、ケーブルは同軸線の内外を使い、 初段のプリアンプは差動にし、前置フィルタ等を入れずに プリアンプで直接受ける方式を採用しました(図 4)。これ は、フィルタ等によって入力インピーダンスを下げずに済 むので、途中の配線での電圧降下を抑えることができます。 更に、プリアンプや後置フィルタ等がもたらす位相のズレ と利得を較正しておくことで、線間の浮遊容量が小さいという前提が成り立つ範囲で、実部と虚部を任意性なしに直交分離することができます(図 5)。

これらの工夫により、低抵抗の測定における変調周波数 の上限である数十 kHz に対し数 10~100 マイクロ秒程度 の時間分解能での測定が可能になりました。また、「交流 4 端子法では測定結果の絶対値に信頼がおけない」という これまでの常識が覆され、非常に精度の高い電気抵抗測定 が簡易に行えるようになりました。

【今後の展開】

これまで難しいとされた純良金属の磁気抵抗の測定が本 研究の成果により容易にできるようになったことは、材料 研究や物性物理学の基礎研究に非常に大きな進歩をもたら すものと考えられます。また、本研究で示されている新し い信号処理技術は、パルス磁場中での輸送測定に限らず、 他の研究分野のあらゆる交流測定技法において時間分解能 の向上に役立つ可能性があります。



図4 測定回路の模式図とデータ解析のフロー。市販の装置(PPMS,米国カンタムデザイン社製)でおよそ1時間かかる測定(下段右端グラフの緑線)を1/90秒程度(右端グラフの赤線)で実行できる。試料は白金線。

一般に、信号検出の時間分解能を上げるには変調に用い る周波数を上げるのが常道ですが、放送や電気通信のよう に法的に使用を許可された周波数帯域が限定されているな どの理由から安易に周波数を上げられない場合には、本研 究の新信号処理方式はとりわけ効力を発揮します。例えば、 この方式は放送・通信分野で現在使用されている直交周波数 分割多重方式 (orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM)よりも短い時間幅の情報で、さまざまな周波数成 分で構成される、いわゆるブロードバンド信号を復調でき ることが本研究で理論的に示されています。したがって、 ポスト 5G を含む放送・通信分野において、信号密度向上 による通信の高速化・耐障害性・耐干渉性の改善が期待で きます。また、医療分野では超音波診断装置、MRI など のイメージング装置において高速化・高解像度化が期待で きます。センサ分野では電子コンパス、加速度センサ、ミ リ波レーダー、超音波ソナーなどの自動運転技術に必要な デバイスにおける感度、時間応答および混線防止性能の向 上に資すると考えられます。



図 5 広島大学で作成された PrIr₂Zn₂₀の純良単結晶の磁気抵抗 の測定結果。実部(赤線)のみに試料由来の量子振動が観測さ れ、虚部(青線)には振動がほとんど見られない。この測定で は、アンプとフィルタによる位相の回転角と利得があらかじめ 較正されており、この結果は、任意性なしに実部と虚部の直交 分離が一意的に決定されていることを示している。

【謝辞】

本研究成果は、横浜国立大学大学院工学研究院、ドレス デン強磁場研究所、本研究所の榊原俊郎教授および国際超 強磁場科学研究施設との共同研究によるものです。本研究 における実験は横浜国立大学低温科学研究センター、ドレ スデン強磁場研究所および本研究所国際超強磁場科学研究 施設にて行われました。本研究の一部は、日本学術振興会 の「頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進 プログラム」(課題番号;R2604/研究科題名;新奇量子 物質が生み出すトポロジカル現象の先導的研究ネットワー ク)および、科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号; 26400329、17K05534)、文部科学省科学研究費補助金新 学術領域研究(研究領域提案型)(課題番号;15H05886(J-Physics)/研究科題名;強相関多極子物質の開発)の補助 によるものです。

【参考文献】

- H. Mitamura, R. Watanuki, E. Kampert, T. Förster, A. Matsuo, T. Onimaru, N. Onozaki, Y. Amou, K. Wakiya, K. T. Matsumoto, I. Yamamoto, K. Suzuki, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, M. Tokunaga, K. Kindo, and T. Sakakibara, Rev. Sci. Instrum. 91, 125107 (2020).
- [2] H. Mitamura, PCT/JP2017/009539, 09 March 2017.
- [3] H. Mitamura, PCT/JP2019/015560, 10 April 2019.

日本中性子科学会ポスター賞を受賞して

中性子科学研究施設 益田研究室 博士後期課程2年 長谷川 舜介

この度、2020年11月に開催された日本中性子科学会第 20回年会にて「マルチフェロイック物質 Ba2MnGe2O7に おける軌道混成音響マグノン」という題目で講演を行い、 ポスター賞を受賞する栄誉に恵まれました。今回の中性子 科学会年会は中性子・中間子を用いた研究を中心として開 催され、95件の発表の中から、7件の発表者に贈られまし た。以下、研究内容について簡単にご紹介します。

マルチフェロイクスとは(反)強磁性と(反)強誘電が共存 する物質群を指します。スピン由来のマルチフェロイック 物質においては、スピン軌道相互作用によって、スピン以 外の自由度と強く混成した磁気励起(例えば、エレクトロ マグノンやマグノン-フォノンカップリング)の存在が知ら れています。しかし、それらの励起エネルギーは高いため、 バルクの磁気特性との関係性は議論されてきませんでした。

そこで私は、マルチフェロイック物質 Ba2MnGe2O7 に おいて、中性子非弾性散乱による低エネルギー磁気励起と バルク磁化測定によるスピンフロップ磁場の温度依存性を 測定し、その関係性を議論しました[1]。

本研究の対象物質である $Ba_2MnGe_2O_7$ は $T_N = 4 K$ で S = 5/2を持った Mn^{2+} イオンのスピンが ab 面内を向いた コリニア反強磁性秩序を示すと同時に、磁場下において自 発電気分極を示すマルチフェロイック物質です[2]。ESR 測定から容易面型の磁気異方性が、磁化測定では容易面内 の磁気異方性がスピンフロップ転移によって確認されてい ます[3,4]。私ははじめに、容易面内のスピンフロップ磁 場の方位依存性を測定することで、その起源がスピンネマ ティック相互作用であることを明らかにしました。また、 平均場エネルギーを計算することでスピンフロップ磁場の 温度依存性を再現し、スピンネマティック相互作用が各温 度においてどの程度の大きさを持つか評価しました。この 結果を踏まえ、J-PARC MLFの装置である DNA(BL-02) を用いて非弾性中性子散乱実験を行い、磁気 Γ 点 Q = (1, 1)0, 0.5)に見られるマグノンギャップの温度変化を高エネル ギー分解能で測定しました。この結果を解析したところ、 Ba₂MnGe₂O₇のマグノンギャップは電子スピンと原子核 スピンの相互作用である超微細相互作用が大きく寄与して いる稀有な例であることが明らかになりました。この理由

は Ba₂MnGe₂O₇の磁気異方性が数+ µeV と他の磁性体に 比べ非常に小さく超微細相互作用のエネルギースケールと 同程度であること、Mn²⁺の原子核スピンが大きい 2 点が 挙げられます。

一方、電子スピンと電気分極の関係性においては、磁化 測定と中性子散乱で評価した磁気異方性ギャップが磁気 モーメントではなく電気分極でスケールされることを見出 しました。この結果は、音響マグノンが軌道と強く混成し た非自明な励起であることを示しています。また、簡便な バルク磁気特性測定により非自明な磁気励起の存在を予見 できることを示しており、マルチフェロイック物質の研究 に新たな方向性を与えると考えています。

本講演を行うにあたり、益田隆嗣先生、浅井晋一郎助教、 林田翔平博士、松浦直人博士をはじめ、多くの方々にお世 話になりました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

- [1] S. Hasegawa *et al.*, to be published.
- [2] H. Murakawa et al., Phys. Rev. B 85, 174106 (2012).
- [3] T. Masuda et al., Phys. Rev. B 81, 100402(R) (2010).
- [4] Y. Iguchi et al., Phys. Rev. B 98, 064416 (2018).

日本表面真空学会学術講演会 講演奨励賞(スチューデント部門)を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 近藤研究室 野口 亮

この度、2019年日本表面真空学会学術講演会にて、講 演奨励賞(スチューデント部門)を受賞させていただきま した。この賞は、表面・真空科学技術の発展に貢献しうる 優秀な一般講演論文に対して授与されるものです。例年は 翌年の5月にある学会の総会で表彰式が行われていました が、本年度は新型コロナウイルス感染症の影響で予定が変 更になり、2020年11月に開催された学術講演会において オンライン表彰式を開催していただきました。由緒ある学 会からこのような栄誉ある賞をいただき、大変光栄です。 また指導教員である近藤猛先生と、物性研の尾崎泰助先生、 小森文夫先生、黒田健太助教、河村光晶助教、特別教授室 の辛埴先生をはじめ、本研究にご協力いただいたすべての 共同研究者の皆様に、この場を借りて心より感謝申し上げ ます。

受賞対象となったのは「レーザースピン分解 ARPES で 調べる Ag/Au(111) の量子井戸閉じ込めによるスピン分裂 バンド制御」です。近年、スピン分裂を示す電子状態の制 御が、次世代スピントロニクスの発展に向けて重要な課題 となっています。特に、空間反転対称性の破れた系でスピ ン軌道相互作用(SOC)によるスピン分裂が生じるラシュバ 効果が、スピン電荷変換など様々なスピン現象を引き起こ す効果として注目されています。ラシュバ効果はポテン シャル勾配と電荷分布の非対称性によって生じており、こ れまで、電場印加や表面原子吸着を通したポテンシャル勾 配の変調によるラシュバ効果の制御が報告されてきました。 一方で、電荷分布依存性を通したラシュバ効果の制御は、 実験的に確立されていませんでした。

本研究では、典型的な金属量子井戸薄膜として知られる Ag/Au(111) に注目して、電荷分布に依存したラシュバ効 果の発現を調べました。Ag/Au(111) の量子井戸状態は、 これまで角度分解光電子分光(ARPES)と理論計算によっ て調べられており、自由電子の放物線型のバンドが出現し、 その電荷分布が膜厚と量子数に系統的な依存性を示すこと が指摘されていました [1]。さらに Au 原子が大きな SOC をもたらすため、量子井戸中のラシュバ効果を調べるため には最適な系であるといえます。しかし、ラシュバ効果の 膜厚依存性の追跡にはスピン分解能に加えて高いエネル ギー分解能が必要とされるため、従来のARPES やスピン 分解 ARPES (SARPES)ではその解明が困難でした。

そこで我々は、物性研で開発された超高分解能レーザー SARPES [2,3] による電子状態の精密測定を通して、量子 井戸バンドがラシュバ効果によってスピン分裂しているこ とを示しました。さらに多数の薄膜を作製して測定を行い、 ラシュバ効果の大きさが膜厚と量子数に系統的な依存性を 見せることを見出しました。このことは、量子井戸状態の 電荷分布が膜厚に依存する結果であると考えられます。そ こで、第一原理計算によって量子井戸バンドのスピン分裂 機構を調べたところ、ラシュバ効果の大きさは、量子数に 依らず、界面近傍の電荷密度と各原子の SOC の大きさの みであらわされることが分かりました。本結果は、量子井 戸薄膜で実現するラシュバ効果のスケーリング則というこ とができ、物質に依らない議論に基づいているため、ヘテ ロ構造を利用したスピントロニクスデバイス開発への幅広 い応用が期待されます [4]。

これまで物性研で修士・博士課程の5年近くを過ごして きましたが、多くの方々との出会いに恵まれて、数多くの 貴重な経験を積むことができました。今後は、物性研で学 んだ技術をもとに、スピン物性の更なる発展に貢献してい きたいと思っています。今後ともどうぞよろしくお願い申 し上げます。



- F. Forster, E. Gergert, A. Nuber, H. Bentmann, L. Huang, X. G. Gong, Z. Zhang, and F. Reinert, Phys. Rev. B 84, 075412 (2011).
- [2] K. Yaji, A. Harasawa, K. Kuroda, S. Toyohisa, M. Nakayama, Y. Ishida, A. Fukushima, S. Watanabe, C. Chen, F. Komori, and S. Shin, Rev. Sci. Instrum. 87, 053111 (2016).
- [3] K. Kuroda, K. Yaji, A. Harasawa, R. Noguchi, T. Kondo, F. Komori, and S. Shin, J. Vis. Exp. 136, e57090 (2018).
- [4] R. Noguchi, K. Kuroda, M. Kawamura, K. Yaji, A. Harasawa, T. Iimori, S. Shin, F. Komori, T. Ozaki, and T. Kondo, Submitted (arXiv:2012.11289).

.....

本多記念研究奨励賞を受賞して

この度、公益財団法人・本多記念会の第41回(令和2年 度)本多記念研究奨励賞を2020年11月に受賞致しました。 本受賞は文献[1]-[5]をはじめとした共同研究成果が評価 されたものです。この場をお借りして大阪大学の鈴木義茂 氏、石橋翔太氏、松田健彰氏、塚原拓也氏、河辺健志氏、 Frederic Bonell 氏、冨田博之氏、小西克典氏、塩田陽一 氏、縄岡孝平氏、後藤穰氏、田村英一氏、産業技術総合研 究所の湯浅新治氏、福島章男氏、久保田均氏、薬師寺啓氏、 野崎隆行氏、今村裕志氏、谷口知大氏、東北大学の白井正 文氏、辻川雅人氏、高輝度光科学研究センターの中村哲也 氏、鈴木基寛氏、小谷佳範氏、豊木研太郎氏、物質・材料 研究機構の宝野和博氏、大久保忠勝氏らをはじめとした共 同研究者の皆様、推薦して下さった森所長、書類準備を補 助して下さった総務係の大平様、関係者の皆様に深く感謝 致します。

受賞対象の研究は「界面磁性の電気的制御に関する研究」 です。主な業績のひとつは金属ナノ磁石の電気応答を利用し たマイクロ波検波機能の高感度化です。Fe と MgO の界面に ある垂直磁気異方性(磁極の向きやすさ)を利用し、スピント ルク(電流電圧が磁極の運動に与える影響)の効率を最大化す ることにより実現しました。このマイクロ波検波機能は本研 究によりスピントロニクスデバイスを用いて半導体ショット キーダイオードの3倍を実現しました。もうひとつの業績は

金属ナノ磁石における電界効果の機構を放 射光の利用により解明したことです。

業績に関する同様の話は以前の物性研 だよりで書かせて頂きましたので、今回 は授賞式の感想を述べたいと思います。 授賞式は仙台のホテルで行われ、その日 の午前中には東北大学金属材料研究所に ある本多記念館の見学が行われました。 私はこの記念館の見学ははじめてであ り、とても新鮮でした。本多光太郎先生 のお名前は存じておりましたが、私は純 粋な金属工学分野の研究者ではないた め、業績のみならず研究や人生に対する

量子物質研究グループ 三輪 真嗣

姿勢を初めて共有させて頂き大変有意義なものとなりました。 受賞の際には本多先生の伝記や色紙も頂き、所員室で大事に 保管しています。研究では日々の目標設定の多くを我々個人 が行います。少しでも気が緩むと、多くのリソースを無駄遣 いする危険と常に背中合わせです。このような中で、今一度 気を引き締める機会となる貴重な体験をさせて頂きました。

- S. Miwa *et al.* "Highly sensitive nanoscale spintorque diode" Nat. Mater. 13, 50 (2014).
- [2] S. Miwa *et al.* "Strong bias effect on voltage-driven torque at epitaxial Fe/MgO interface" Phys. Rev. X 7, 031018 (2017).
- [3] S. Miwa *et al.* "Voltage controlled interfacial magnetism through platinum orbits" Nat. Commun. 8, 15838 (2017).
- [4] T. Kawabe et al., "Electric-field-induced changes of magnetic moments and magnetocrystalline anisotropy in ultrathin cobalt films" Phys. Rev. B 96, 220412(R) (2017).
- [5] S. Miwa *et al.* "Perpendicular magnetic anisotropy and its electric-field-induced change at metaldielectric interfaces" J. Phys. D: Appl. Phys. 52, 063001 (2019). [Topical Review].



令和2年度日本希土類学会学会賞(塩川賞)を受賞して

この度「希土類化合物の磁性と超伝導の圧力効果の研究」 という題目で令和2年度日本希土類学会学会賞(塩川賞)の 栄誉を賜り、日本希土類学会第38回講演会にて受賞講演 を行わせて頂き、有り難うございました。日本希土類学会 会長今中信人先生(大阪大学教授)、学会賞選考委員会の先 生方および関係された諸先生方に感謝いたします。受賞に 関わる研究に関しまして、熊本大学教養部で高圧力下物性 研究についての手ほどきを頂いた巨海玄道先生(九州大学 名誉教授)、埼玉大学で研究室立ち上げを一緒に行った小 坂昌史先生(埼玉大学)、東京大学物性研究所で高圧下低温 物性研究を一緒に行った、藤原直樹先生(京都大学)、辺土 正人先生(琉球大学)、松林和幸先生(電気通信大学)、岡田 卓氏、郷地順先生(物性研究所)及び東堂栄氏、森多美子氏、 中澤(小山)和子氏、宗像孝司氏(CROSS)、長崎尚子氏、 多くの研究員、学生および秘書の皆様、共同研究を通して お世話になった諸先生方にお礼申し上げます。

日本希土類学会は、"希土類に関心がある者が相つどい、 相互の知識を交換し、希土類の科学と技術を進歩向上させ ることを目的とし、1982年11月に希土類研究会として発 足し、1995年に日本希土類学会と改名して今日に至って います。年1回の希土類討論会が開かれ、今年は37回目 となります。討論会では、希土類に関心がある研究者、技 術者、経営者が集い、希土類に関して多岐にわたって知識 の交換が行われています。興味を持たれた方は是非、参加 頂ければと思います。

身の回りの希土類に注目してみると、磁気(磁石)、光(蛍 光体、発光体)、エレクトロニクス(イオン伝導)、エネル ギー(水素貯蔵、燃料電池)、触媒(排ガス浄化)、医療・生 理学(医薬品、バイオテクノロジー)など、多肢に渡る分野 で活用・研究がなされております。また、最近は、高圧下 ではありますが室温超伝導物質としても注目されています。 私と希土類元素との関わりは、琉球大学(嘉手納・矢ヶ崎研 究室、1981-83年)での、"CsCl型 Ce 化合物 CeAg1-xInxの 低温物性研究"に始まります。広島大学(岡本・藤井研究室、 1983-89年)においても、"CsCl型希土類金属間化合物 CeZn1-xCux の物質探索研究"を行い、重い電子系物質の低 温物性研究を行って来ました。熊本大学(巨海研究室、

物質設計評価施設 上床 美也

1989 年)に赴任後も、"希土類金属間化合物の圧力効果"を 主に研究を行い、精度の良い圧力効果の研究を行うため "定荷重式ピストンシリンダー型圧力発生装置を開発"し、 多重極現環境下の物性測定を行いました。当時、圧力下の 低温物性測定はクランプタイプの圧力装置が主体であり、 温度変化による圧力の変化や、圧力を変化に伴なう測定 ケーブル等の取り外しに関連するトラブルが激減した事を 思い出します。当時、圧力下の物性研究は、各種相互作用 の圧力依存性(磁気秩序の圧力依存性など)を主体に研究さ れていたように思います。しかし、Ce 化合物や U 化合物 においては、加圧下で秩序相が消失し、重い電子状態が出 現する現象(量子臨界現象)が明らかになり、圧力効果の研 究が発展してきています。埼玉大学(1995年)赴任後も引 き続き圧力下物性研究を行うと共に、希土類金属間化合物 の新物質探索や純良単結晶作製を行いました。また、非磁 性 NiCrAl 合金を用いたハイブリッド式ピストンシリン ダー型圧力発生装置開発を行い、3 GPa を超える物性測定 を可能としました。物性研究所(2001年)赴任後は、より 良い静水圧下での高圧下物性測定を目指し、種々の物性測 定に特化した圧力発生装置の開発を行って来ました。最近 はクランプ式キュービック圧力発生装置の開発に成功し、 15 GPa、9 T、10 mK までの多重環境下物性測定が可能 となっています。この様にして開発出来た各種圧力装置を 用いた希土類化合物の圧力下物性測定を行い、 CePtSi₂(中野智仁:新潟大学)、PrTi₂Al₂₀、PrV₂Al₂₀(松 林和幸:電気通信大学)および CeNiC₂(片野進:埼玉大学、 郷地順:物性研究所)が高圧下で量子臨界現象を示すとと もに臨界点近傍で非従来型超伝導を発見する成果を上げる ことが出来ました。また、Yb 化合物における圧力誘起磁 気秩序状態の発見などの成果を上げることが出来たのも装 置開発の賜だと思います。

このような受賞までの研究生活を振り返ってみますと、 新しい物性現象を発見するためにはこれまでに実現出来て いない測定環境を実現し、多くの探索測定を効率よく行う ことが重要で有ったように思います。そのため、誰でも使 用可能な装置開発および測定環境の構築が不可欠であり、 共同利用を使命の一つとする物性研究所とは、良くマッチ ングしているのではと感じています。あと数年間の研究生 活ですが残された時間をこれまで以上に測定環境の開発に 努めたいと思います。

今回の受賞に当たっては、これまで協力いただいた緒先 生方に再度御礼を申し上げるとともに、今後少しでもお役 に立てることを願って筆を置かせていただきます。

物性研究所短期研究会

物性研究所スパコン共同利用・CCMS 合同研究会 「計算物質科学の新展開 2020」

会場:東京大学物性研究所 オンライン開催

住所:千葉県柏市柏の葉 5-1-5

日時: 2020年12月21日(月)13:00 ~ 2020年12月22日(火)16:45

□協賛

計算物質科学人材育成コンソーシアム PCoMS

□所内組織委員

尾崎泰助、川島直輝、杉野修、野口博司、福島鉄也、樋口祐次、森田悟史、春山潤、河村光晶、福田将大、井戸康太 □プログラム編成協力者

大槻純也(岡山大学)、合田義弘(東京工業大学)、黒木和彦(大阪大学)、濱田幾太郎(大阪大学)、高野宏(慶応義塾 大学)

東京大学物性研究所では計算物質科学の発展のために スーパーコンピュータ・システムB(通称 ohtaka, 2020年 10 月より運用開始)とシステム C(通称 enaga, 2018年1 月より運用開始)を広くコミュニティに提供し、スーパー コンピュータの全国共同利用拠点としての活動を展開して いる。本研究会は共同利用スパコンやソフトウエア開発・ 高度化プロジェクトの利用者による成果報告会と、計算物 質科学研究センター(CCMS)の活動報告会を兼ねた計算物 性科学コミュニティの合同研究会である。

システム C は稼働開始から 2 年ほどが経過し、本格的 な活用が行われている一方、システムBが性能の高い新機 種に更新され、今後多数の研究成果が創出されるものと期 待される。また、2020 年から新たに「富岳」プロジェク トが始まり、計算規模の飛躍的向上に伴う研究の新展開が 見込まれる。これら計算資源を用いることにより超大規模 計算やハイスループット計算が進められ、その結果、膨大 な計算結果の利活用を本格的に考える必要が出てきた。そ して、それを可能にするための機械学習やデータ駆動科学 の方法が、いよいよ物性研究に浸透してきた。これらの最 近の動向を踏まえ、これからの 10 年で計算物質科学にど の様な新展開が期待できるのか、また期待だけでなく、現 状を正しく理解し、どの様な方向で計算科学の研究を展開 していくべきか、情報を交換しながら議論するための場を 提供するのが本研究会の目的である。

今回は、新型コロナウイルス感染症対策の観点から研究 会はオンライン形式で開催された。参加登録者は例年より やや多い153名であった。研究会では、1件の特別講演、 19 件の招待講演、26 件のポスター発表があった。ポス ター発表においては議論の活発化のために、まず一人2分 間のショートトークの枠を設け、その後、ZOOM のブ レークアウトルーム機能ならびに WEB 上の掲示板を活用 した議論の場を設けた。さらに、今回はポスター賞を設け、 所内組織委員及び招待講演者の協力のもと厳正な審査を行 い、(下記の)3件を選んだ。

今回の研究会の特徴は次のとおりである。1日目の特別 講演では国立情報学研究所の船守美穂氏がデータリポジト リに関する動向を紹介し、それを受けて物性研究所の吉見 氏が物性研での実例を紹介した。2日目には、物性研の福 田氏により、最近更新されたシステムBに関する説明が行 われた。オンライン開催にもかかわらず質疑応答が活発に 行われ、例年通りかそれ以上の活況を呈した。

成果報告会としては初めてのオンライン開催ということ で、座長とその補助者の役割分担、セキュリティと利便性 のバランスへの配慮に関して試行錯誤を繰り返すなど、バ タバタとした準備となってしまった。それに伴う負担が少 数の組織委員に集中するなどの問題が発生したが、担当者 の献身的な努力のおかげで、概ね成功裏に研究会を終了す ることができた。

プログラム

12月21日(月)

- 13:00~13:40 船守美穂(国立情報学研究所)世界のオープンサイエンスの動向―クラウド上への研究活動の移行
- 13:40~14:10 吉見一慶(東京大学) 計算物質科学でのデータ利活用に向けて~物性研究所データリポジトリ運用に向けた取り組みの紹介
- 14:30~14:50
 野村悠祐(理化学研究所)

 機械学習を用いた2次元J1-J2ハイゼンベルグ模型の研究
- 14:50~15:10 大槻純也(岡山大学) 動的平均場理論による非局所相関の計算とGPU化
 15:10~15:30 松本正和(岡山大学)

水素無秩序氷に隠された秩序

- 15:30~15:50 中村壮伸(産業技術総合研究所)物理的に妥当な自由エネルギー地形の定義
- 15:50~16:50 ショートトーク (一人2分)
- 16:50~17:50 ポスター発表
- P1 松本宗久(高エネルギー加速器研究機構)材料開発における計測・設計データ統合とデータ空間の多峰性に対する アプローチ
- P2 Tu Wei-Lin(東京大学物性研究所)自動微分を応用するテンソルネットワーク法
- P3 春山潤(東京大学物性研究所)古典密度汎関数理論を用いた Lennard-Jones 液体・剛体球系の分布関数計算
- P4 浅野優太(東京大学物性研究所)音波の分子動力学シミュレーション
- P5 為本尚樹(東京大学物性研究所) 膜変形とカップリングした反応拡散系によるパターン形成
- P6 小野頃太(岐阜大学)ボルツマン方程式ソルバーの開発とフェムト秒金属発光ダイナミクスへの応用
- P7 佐藤龍平(東京大学) Li(CB9H10)の Li 伝導機構に関する分子動力学計算
- P8 山本剛史(東京大学物性研究所)ピン止め効果のある1次元ジョセフソン接合列における弾性散乱
- P9 鈴木隆史(兵庫県立大学)蜂の巣格子 Heisenberg-Γ模型の基底状態
- P10 濱田智之(物質・材料研究機構)遠赤外・THz域におけるグラフェン吸光度の第一原理計算
- P11 中西亮(東京大学)磁場掃引中の Ginzburg-Landau モデル上に現れる二次元磁気パターンの時間発展
- P12 吉山幸太(東京大学)高次テンソルくりこみ群による2次元正方格子 Edwards-Anderson 模型の研究
- P13 横田猛(東京大学物性研究所)汎関数繰り込み群に基づいた密度汎関数理論による電子系の相関エネルギー密度汎 関数の構築
- P14 城塚達也(茨城大学)拘束密度汎関数理論によるプロトン移動の分子動力学シミュレーション
- P15 樋口祐次(東京大学物性研究所)全原子分子動力学法とDFTB分子動力学法によるリン脂質二重膜上の負の水和
- P16 品岡寬(埼玉大学) Solving the Bethe–Salpeter equation with exponential convergence Iv
- P17 森田悟史(東京大学物性研究所)角転送行列を用いたテンソルくりこみ群
- P18 明石遼介(東京大学) Chemical Physics of Superconductivity in Layered Yttrium Carbide Halides From First Principles

P19 井戸康太(東京大学物性研究所)物質科学シミュレーションのポータルサイト MateriApps の紹介

P20 小田竜樹(金沢大学) Analysis on Magnetic Anisotropy Energy in the Material for Spintronics Applications

P21 日詰湧真(東京大学)遷移金属 V, Nb の超伝導におけるスピン揺らぎ効果の第一原理計算

- P22 Muhammad Widianto (Kanazawa University) Group-Theoretical Analysis of Puckered Group-V Two-Dimensional Bilayer Materials
- P23 井本文裕(名古屋大学) Robust density optimization method of orbital-free density-functional theory
- P24 松谷健太(山形大学)第一原理計算とリバースモンテカルロ法による高圧 GeO2 ガラスの構造解析
- P25 Bui Thi Kieu My (名古屋大学) Gallium-Gallium Weak Bond that Incorporates Nitrogen at Atomic Steps during GaN Epitaxial Growth
- P26 長川健太(名古屋大学)第一原理分子動力学計算による GaN/(Al2O3)1-x(SiO2)x 界面構造の解明
- P27 石井浩平(東京大学物性研究所)電子・フォノン相互作用によるバンドギャップ補正における選択則

12月22日 (火)

$9:40 \sim 10:00$	陣内亮典(豊田中研)
	アクティブラーニングによる機械学習力場自動生成とその応用
$10:00 \sim 10:20$	笠松秀輔(山形大学)
	拡張アンサンブル法・第一原理計算結合フレームワークによる固体中の配置不規則性の大規模サンプリ
	ング
$10:20 \sim 10:40$	大久保毅 (東京大学)
	テンソルネットワーク法による量子スピン模型の基底状態計算
$10:40 \sim 11:00$	河村光晶(東京大学)
	スピン揺らぎおよびスピン-軌道相互作用を考慮した超伝導密度汎関数理論の精度検証
$11:20 \sim 11:40$	石井史之(金沢大学)
	第一原理計算による異常輸送現象の研究
$11:40 \sim 12:00$	篠田渉(名古屋大学)
	粗視化分子動力学法による脂質膜相分離、抗菌ペプチド作用の研究
$12:00 \sim 12:20$	東後篤史(物材機構)
	AiiDA というテクノロジについて
$13:20 \sim 13:50$	福田将大(東京大学)(井戸康太(東京大学))
	スパコン更新
$13:50 \sim 14:10$	志賀基之(原子力機構)
	階層的並列化された第一原理経路積分計算
$14:10 \sim 14:30$	福島鉄也 (東京大学)
	KKR 法を用いた有限温度におけるホイスラー合金の電子状態と伝導特性の計算
$14:30 \sim 14:50$	越野幹人 (大阪大学)
	モアレ2次元物質における電子およびフォノンの理論
$15:10 \sim 15:30$	榊原寛史(鳥取大学)
	第一原理バンド計算からの有効模型導出-応用と新手法-
$15:30 \sim 15:50$	渡辺豪(北里大学)
	分子シミュレーションによる液晶の微視的描像解明
$15:50 \sim 16:10$	福田将大 (東京大学)
	DFT を用いた2次元表面物質の網羅的構造探索と評価方法
16:10~16:30	井戸康太 (東京大学)
	変分モンテカルロ法を用いた強相関電子系における動的構造因子の計算法
16:30~ クロー	ジング





Tu Wei-Lin (東京大学)



山本 剛史(東京大学)



城塚 達也 (茨城大学)

物性研究所セミナー

標題:理論セミナー:Learning the constitutive relation of polymeric flows with memory 日時:2021年2月12日(金) 午後4時~午後5時 場所:On Zoom 講師:John MOLINA 所属:京都大学 大学院工学研究科 要旨:

While our knowledge of Polymer Physics has greatly evolved over the past century, the complex rheology of non-Newtonian fluids remains an open area of research. In particular, we have yet to fully understand the coupling between the microscopic dynamics of the entangled polymer chains and the macroscopic flow properties of the polymer melt. Multi-scale simulations (MSS), which simultaneously couple both micro and macro degrees of freedom, have been developed to address this issue, but their computational cost has limited them to simple flows and small system sizes. In this talk, we will present a learning strategy capable of inferring the constitutive relation for the stress of polymeric flows with memory. The learned constitutive relation can then be used within macro-scale flow simulations, allowing us to update the stresses in the fluid in a manner which satisfies the dynamics of the underlying microscopic model.

We assume that the constitutive relations can be expressed in differential form, as a function of the velocity gradient and stress, but no assumptions are made on their functional form. The required training data is obtained from stress trajectories generated during microscopic polymer simulations. This data is then used within a Gaussian Process (GP) regression scheme, in order to infer the most likely constitutive equation. We tested the method on a simple microscopic model (non-interacting Hookean dumbbells) and successfully recovered the exact constitutive relation (i.e., the Maxwell model). The resulting macroscopic flow simulations give the same level of accuracy as MSS at a small fraction of the cost. This opens the door for establishing a bottom-up design framework for polymeric materials. Finally, we will discuss extensions needed to learn the constitutive relation of more complex microscopic polymer models (i.e. the Doi-Takimoto Slip-Link model of entangled polymer melts) as well as applications to other Soft Matter systems (e.g., colloidal dispersions or cellular tissues).

Ref.

Seryo N, Sato T, Molina JJ, and Taniguchi T, Physical Review Research 02, 033107 (2020) Seryo N, Molina JJ, and Taniguchi T, Nihon Reoroji Gakkaishi (J Soc. Rheol. Jpn.), in press (2021)

標題:理論インフォーマルセミナー: Magnetization plateaus of two-dimensional geometrically frustrated quantum spin systems from the one-dimensional perspective.

日時:2021年2月17日(水) 午後4時~午後5時

場所:On Zoom

講師: Dr. Shunsuke C. Furuya

所属:Ibaraki University

要旨:

The Lieb-Schultz-Mattis theorem has recently drawn a renewed interest from theoretical physicists for its close connection to anomalies of quantum field theories. The U(1) flux-insertion argument is advantageous to discuss the

Lieb-Schultz-Mattis theorem. It provides a simple method to investigate the Lieb-Schultz-Mattis theorem in quantum spin systems on magnetization plateaus, the well-known Oshikawa-Yamanaka-Affleck condition. In this presentation, we first discuss an inspiring example of the flux insertion argument in quantum spin systems on the checkerboard lattice. The simple flux insertion argument with the periodic or the tilted boundary condition fails to forbid the unique gapped ground state. This failure originates from the fact that we need to impose an extra symmetry to exclude the possibility of the unique gapped ground state from the checkerboard-lattice quantum spin systems. We show how to incorporate the extra symmetry and the flux insertion argument.Next, we move on to kagome-lattice antiferromagnets. We give our attention to the 1/3 magnetization plateau of kagome antiferromagnets, where the Oshikawa-Yamanaka-Affleck condition admits the unique gapped ground state. We discuss the 1/3 magnetization plateau of a spin-1/2 three-leg spin tube based on an anomaly of SU(3) Wess-Zumino-Witten theory and relate it to the 1/3 plateau of the kagome antiferromagnet.

標題:理論セミナー: Sparse sampling approach to efficient ab initio and many-body calculations at finite temperature

日時:2021年2月19日(金) 午後4時~午後5時 場所:On Zoom 講師:Assist. Prof. Hiroshi Shinaoka 所属:埼玉大学 要旨:

Efficient ab initio calculations of correlated materials at finite temperatures require compact representations of the Green's functions both in imaginary time and in Matsubara frequency. We have recently proposed a general procedure [1] which generates sparse sampling points in time and frequency from compact orthogonal basis representations, such as Chebyshev polynomials and intermediate representation (IR) basis functions [2]. These sampling points accurately resolve the information contained in the Green's function, and efficient transforms between different representations are formulated with minimal loss of information.

In this talk, we introduce compact orthogonal basis representations with a peculiar focus on the IR basis. As a demonstration, we apply the sparse sampling scheme to diagrammatic GW and second-order Green's function theory calculations of a hydrogen chain of noble gas atoms and of a silicon crystal. Furthermore, we demonstrate its efficiency in Migdal-Eliashberg calculations considering the retardation effect in phonon-mediated superconductors [3]. Finally, we will briefly discuss the extensions of the sparse sampling approach to two-particle quantities [4].

[1] J. Li, M. Wallerberger, N. Chikano, C.-N. Ye, E. Gull, HS, PRB 101, 035144 (2020).

[2] HS, J. Otsuki, M. Ohzeki, K. Yoshimi, PRB 96, 035147 (2017).

[3] T. Wang, T. Nomoto, Y. Nomura, HS, J. Otsuki, T. Koretsune, R. Arita, PRB 102, 134503 (2020).

[4] M. Wallerberger*, HS*, A. Kauch, arXiv:2012.05557

標題:理論セミナー:Impact of anisotropic interactions on cubic Eg quadrupole orders 日時:2021年2月24日(水) 午後4時~午後5時

場所:On Zoom

講師:Kazumasa HATTORI

所属: Tokyo Metropolitan University

要旨:

Multipole degrees of freedom and their orders in strongly correlated electron systems have attracted growing interest in recent years. In several cubic Pr-based f-electron systems with two f electrons per a Pr ion, it is reported that they possess non-Kramers doublet crystalline-electric field ground state with Eg quadrupole and Txyz type octuple moments. They show various quadrupole orders, non-Fermi liquids, superconductivity, and many interesting low temperature properties [1].

In this study, we analyze a model with non-Heisenberg (non-XY type) anisotropic interactions present in the real quadrupole systems. We find that their effects are drastic and even qualitative changes emerge in their ordered phases. In this talk, first we show results of mean-field analysis for interacting quadrupole moments in a cubic fcc lattice [2]. We demonstrate that novel partial ordered states at high temperature are generally realized rather than a simple quadrupole order with a single wave number. In the second part, we analyze a "double transition" observed in PrV2Al20, which is expected to be triggered by the ferro Txyz octuploe order [3]. We propose a simple scenario for the double transition when the anisotropic quadrupole interactions in addition to simple octupole-octupole one are taken into account [4]. The magnetic-field vs temperature phase diagrams are also examined and several field-induced phases are proposed for the field directions [001], [110], and [111].

.....

[1] T. Onimaru and H. Kusunose, J. Phys. Soc. Jan. 85, 082002 (2016).

[2] H. Tsunetsugu, T. Ishitobi, and KH, arXiv.2102.06346.

[3] A. Sakai et al., unpublished; A. S. Patri et al., Nat. Comm. 10, 4092 (2019).

[4] T. Ishitobi and KH, unpublished.



【研究部門等】

〇令和2年12月28日付け

(採用)

氏	名	所 属	職 名	備考	
陳	少 强	機能物性研究グループ	特任教授	華東師範大学電子工程系 教授より	

〇令和3年2月1日付け

(採用)

氏	名	所 属	職 名	備	考
奥村	駿	機能物性研究グループ	特任助教	大学院工学系研究科 より	日本学術振興会特別研究員

〇令和3年2月15日付け

(辞 職)

氏	名	所 属	職 名	備	考
肥後	友 也	量子物質研究グループ	特任助教	大学院理学系研究科	特任准教授へ

編集後記

今号は研究紹介と受賞報告が4件ずつです。僭越ながら私も寄稿させて頂いていますが、 近藤先生からは前号から立て続けに寄稿頂いています。もう2件の研究紹介も非常に興味 深いと思いました。強磁場の三田村さんの記事は、パルス強磁場中で純良金属の磁気抵抗 を瞬時に測定する技術を開発した、という内容で、量子振動の観測にも成功したとのこと です。私はスペクトロスコピーが専門で輸送測定には詳しくないですが、PPMSで1時間 かかる測定が1/90秒程度で実行できてしまう、というのは非常に印象的です。廣井先生の 記事も興味深く拝読させて頂きました。プレスリリースも読ませて頂きましたが、2015年 に世界で生産されたプラスチックのうち、79%が自然環境に流失したと考えられている、 というのは衝撃的であり、自分の無知を思い知らされました。生分解性プラスチック開発 の重要性も再認識しました。紹介されていたコーティング剤で、宇宙から飛ばして地球に 帰還できる折り紙飛行機が開発できそうだというのも興味深く、それを実証するための実 験が柏キャンパスで行われたということにも驚きました。皆様、ぜひご一読ください。

岡 崎 浩 三

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