

物性研だより

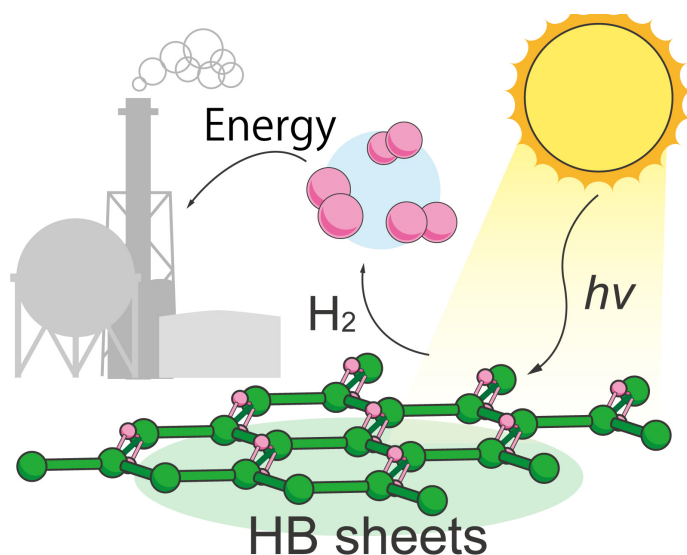
BUSSEIKEN DAYORI

第59巻

第4号

2020年1月

- 鉄系超伝導で超伝導状態を「光で作る」ことに成功
- ホウ化水素シートにおける光誘起水素発生
- フラストレート量子磁性体における量子相転移とハイブリッド励起



東京大学 物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2019 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

contents

1 鉄系超伝導で超伝導状態を「光で作る」ことに成功 鈴木 剛、岡崎 浩三、辛 埴

4 ホウ化水素シートにおける光誘起水素発生
河村 玲哉、平林 透、山口 晃、宮内 雅浩、Nguyen Thanh Cuong、石引 涼太、岡田 晋、
近藤 剛弘、藤田 武志、松田 巖

7 フラストレート量子磁性体における量子相転移とハイブリッド励起
林田 翔平、益田 隆嗣、松本 正茂

10 アメリカ物理学会 (APS) フェローに選出されて 押川 正毅

13 ISCOM2019 Poster Prize を受賞して 砂入 允哉

15 第 46 回応用物理学会講演奨励賞を受賞して 山本 航平

17 令和元年度 物性研究所一般公開の報告 徳永 将史

22 【物性研究所談話会】

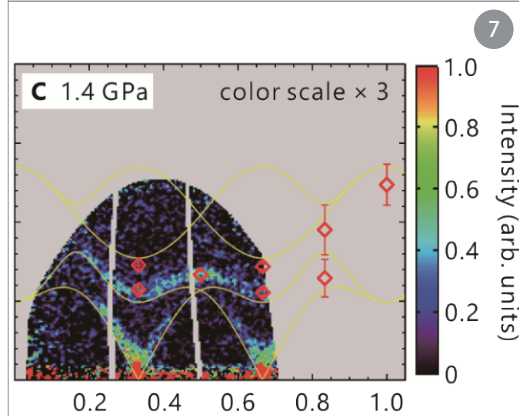
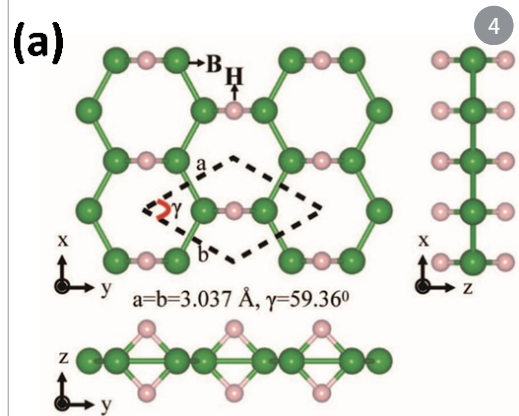
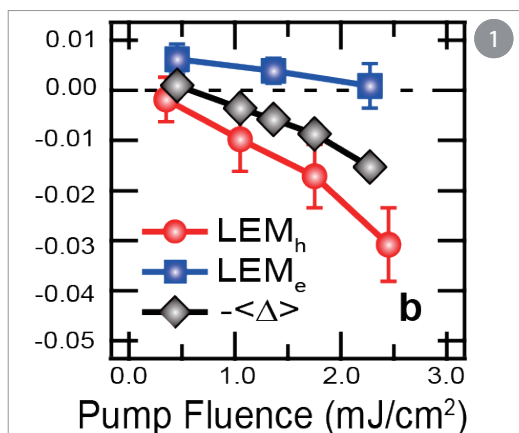
24 【物性研究所セミナー】

【その他】

31 ○物性研だより第 59 巻目録 (第 1 号～第 4 号)

編集後記

物性研だよりの購読について



鉄系超伝導で超伝導状態を「光で作る」ことに成功

附属極限コヒーレント光科学センター 鈴木 剛、岡崎 浩三、辛 埴

1. はじめに

FeSe 結晶は、鉄系超伝導体の中でも最も単純な結晶構造を持ち、さらに、常圧下では超伝導転移温度(T_c)は高々 10 K であるものの[1]、様々な極限条件下で T_c が上昇することから、これまでに多くの研究が実施されてきた。具体的な実現条件として、圧力[2]、単層化[3]、インターカレーション[4]などが用いられてきており、このような外場下における電子・格子状態を詳細に調べることで、「超伝導に対する好条件」が直接得られることが期待されている。そこで、近年の大強度超短パルスレーザー技術の発達に伴い、光電場が新たな外場として注目されている。この方法により、フェムト秒の時間スケールで光励起に伴う試料変化を誘起することが可能であり、さらに測定対象に対して余計な電極接触や形状加工が必要ないなど、従来の方法に比べて試料特性をより検出しやすい重要な特色を備えている。

光励起後の測定方法に注目すると、時間分解光電子分光法は、光励起後の過渡的な電子状態をバンド構造として直接観測できる点で非常に強力な手法であるといえる。さらに、高次高調波技術の発展に伴い、図 1a に示すように、軟 X 線領域に迫る光エネルギーのパルス光を発生させ、プローブ光として用いることができるようになってきた。これにより、Brillouin zone 全域に及ぶ広い運動量空間で測定が行うことが可能になり、特に鉄系超伝導の場合、Brillouin zone の中心(Γ 点、図 1b,e)にある正孔バンドだけでなく、Brillouin zone の端(M 点、図 1b,d)にある電子バンドの情報も得ることができる。

2. 実験結果と議論

このような背景の中、我々は、FeSe 結晶における光励起後の応答を、正孔及び電子バンド構造を直接観測することにより調べるために、高次高調波レーザーを用いて時間分解光電子分光測定を行った[5]。なお、本研究では全て、測定温度は T_c 以上の 15 K で行った。図 2a,b に、 Γ 点と M 点それぞれにおける、光電子スペクトルの時間変化を示している。縦軸のエネルギーは、フェルミエネルギー(E_F)を基準にした値で示している。光励起直後(遅延時間 = 0 ps)に、電子が高いエネルギーまで励起される様子がまず見て取れる。その後、元の状態に緩和していくとともに、よく見ると、光電子強度が時間に対して振動している様子が見て取れる。これをより詳しく見るために、図 2a,b で緑実線で囲った $E-E_F = [0, 1.0]$ eV を積分した時間変化の中で、振動成分のみを抽出したものを図 2c, d に示す。その結果、黒実線で示したように \cos 関数でよくフィットされた。また図 2e, f に、振動成分に対する高速フーリエ変換(Fast Fourier Transformation, FFT)の解析結果を示すが、周波数は 5.3 THz であり、さらに、振幅は励起強度に対して線形に増大することが分かった。これらの観測結果から、本研究で観測された振動は、図 2g に示した A_{1g} コヒーレントフォノンに相当し、さらに、変位励起型であることが分かった。興味深いことに、高圧下における FeSe 結晶では、 T_c が著しく上昇することが報告され

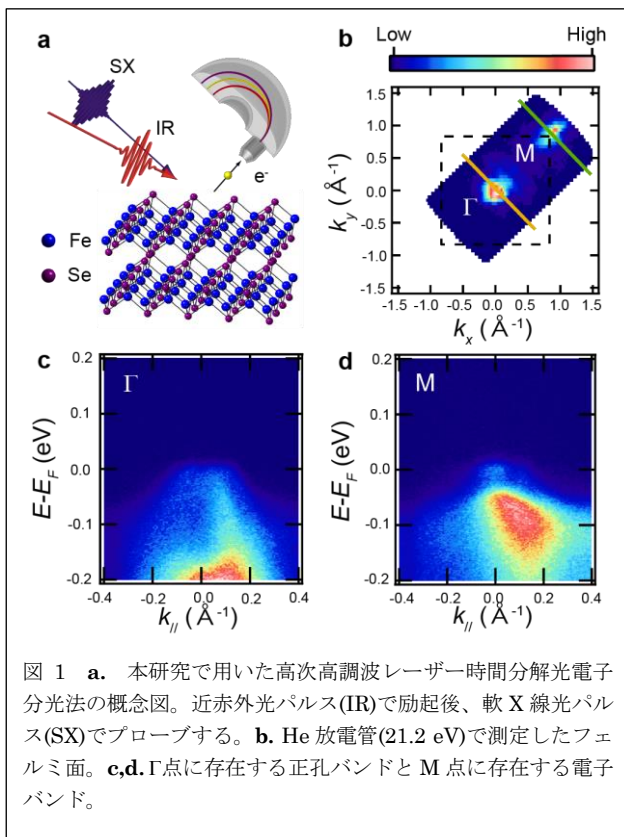


図 1 a. 本研究で用いた高次高調波レーザー時間分解光電子分光法概念図。近赤外光パルス(IR)で励起後、軟 X 線光パルス(SX)でプローブする。b. He 放電管(21.2 eV)で測定したフェルミ面。c,d. Γ 点に存在する正孔バンドと M 点に存在する電子バンド。

誘起に伴う超伝導ギャップが観測され、励起強度の増加と共に増強してくような振る舞いが観測された。今後、他の鉄系超伝導物質を対象にして研究を行っていき、また、他の測定手法による観測を行っていくことで、本研究で見出された光誘起超伝導の兆候が検証されていくことが期待される。

謝辞

本研究は、東京大学物性研究所(鈴木剛、染谷隆史、橋本嵩広、道前翔矢、渡邊真莉、藤澤正美、金井輝人、石井順久、板谷治郎、岡崎浩三、辛埴 各氏)、東京大学新領域(芝内孝禎氏)、及び京都大学(笠原成、松田裕司各氏)の共同研究により行われました。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)、JSPS 科研費(JP18K13498, JP19H00659, JP19H01818, JP19H00651)、文部科学省「光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)」(JPMXS0118068681)の助成のもとに行われました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] S. Kasahara, *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **111**, 16309 (2014).
- [2] K. Matsuura, *et al.*, Nat. Commun. **8**, 1038 (2017).
- [3] S. He, *et al.*, Nat. Mater. **12**, 605 (2013).
- [4] M. Burrard-Lucas, *et al.*, Nat. Mater. **12**, 15 (2013).
- [5] T. Suzuki, *et al.*, Communications Physics **2**, 115 (2019).
- [6] S. Kaiser, *et al.*, Phys. Scr. **92**, 103001 (2017).



ホウ化水素シートにおける光誘起水素発生

東京工業大学 河村 玲哉、平林 透、山口 晃、宮内 雅浩

筑波大学

Nguyen Thanh Cuong、石引 涼太、岡田 晋、近藤 剛弘

高知工科大学 藤田 武志

東京大学 松田 巖

1 はじめに

近年、グラフェンの特異な電子物性、光学特性に着目した研究開発が加速するなか、「Beyond グラフェン」と称される新規 2 次元シート状物質の創製が期待されている。中でもホウ素と水素からなる 2 次元状物質であるホウ化水素シートは「ボロファン」とよばれ、優れた電子材料特性や水素吸蔵特性が理論的に予想されていた。[1, 2] ごく近年、本稿の著者である近藤らを中心とした研究グループが、極めて温和で大量合成可能な溶液プロセスにより、ホウ化水素シートの合成に初めて成功した。[3] ホウ化水素シートの透過型電子顕微鏡像を図 1(a) に示す。この 2 次元状物質はホウ素と水素の組成比が 1 : 1 で、その化学式から導かれる質量水素密度は 8.5 % と非常に高く、150°C 以上の加熱により水素を放出できる。[3] 従来の水素キャリアである高圧水素ガスボンベ、水素吸蔵合金、有機ハイドライド等と比較して、軽量で爆発の危険もないため、新しい水素キャリア材料としての応用が期待されている。また、ホウ化水素シートの光吸収スペクトルを図 1(b) に示したが、吸収端が 2.8 eV で青色の波長以下の光を吸収する半導体的性質を示す。従来の水素キャリアとして知られる金属材料等に対し、この物質は半導体的光吸収を示すため、光励起によって様々な反応を起こすことが期待できる。すなわち、極めて温和な条件にて光照射のみで水素を発生できる可能性がある。本研究では、ホウ化水素シートにおける光誘起水素発生を目的とし、第一原理計算による電子構造の観点から水素生成機構を予想し、実験的に検証した。[4]

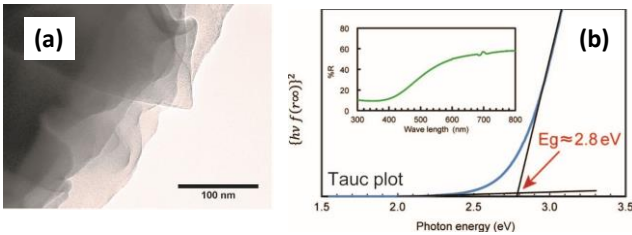


図 1 ホウ化水素シートの透過型電子顕微鏡像 (a)、光吸収スペクトル (b)。

2 結果および考察

電子顕微鏡、電子エネルギー損失分光、X 線光電子分光、赤外分光、X 線 2 体分布関数、昇温脱離分析等の構造解析の結果から予想されるホウ化水素シートの基本構造を図 2(a) に示す。この構造をもとに第一原理計算で求めた電子構造の結果を図 2(b) に示す。この結果、許容電子遷移としてホウ素の結合性軌道から反結合性軌道への遷移 ($\alpha \rightarrow \beta$: 2.4 eV) が示唆された。図 1(b) で見られた光吸収端はこの遷移に起因すると考えられる。一方、ホウ素の結合性軌道から水素の反結合性軌道への遷移 ($\alpha \rightarrow \gamma$: 3.8 eV) も示唆された。既往の理論研究において、ホウ化水素シートの反結合性軌道に関わる元素に電子をドーピングすることで、水素放出が容易になることが示唆されている。[2] 本研究の第一原理計算の結果から、ホウ化水素シートに紫外線を照射することで水素の反結合性軌道への電子遷移が可能となることから、常温・常圧下にて光照射のみで水素を放出することが期待できる。

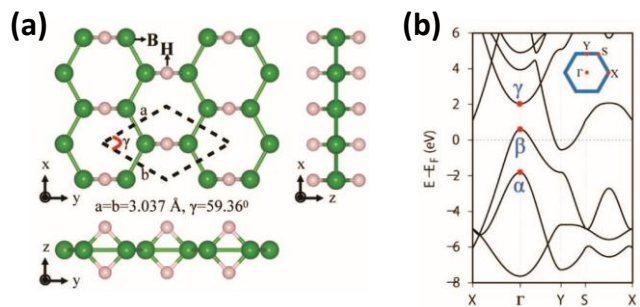


図 2 ホウ化水素シートの構造モデル (a)、第一原理計算によるバンド構造 (b)

次に、ホウ化水素シートに光照射した際の水素発生特性を 2 種類の光源の下、流通系反応容器を用いて評価した (図 3(a))。可視光の照射はホウ素の結合性軌道から反結合性軌道への遷移 ($\alpha \rightarrow \beta$) を起こすことができる一方、紫外線照射は水素の反結合性軌道への遷移 ($\alpha \rightarrow \gamma$) を起こすこと

ができる。この結果、第一原理計算の予想通り、紫外線の照射で水素が生成することが確認できた。また、閉鎖容器を用いて紫外線を照射したときの水素生成量を定量した(図 3(b))。ホウ化水素シートの光吸収係数から紫外線の侵入深さを求め、紫外線が照射されている領域のホウ化水素シートからどれだけ水素が生成したか計算したところ、ホウ化水素シートの質量の 8%にあたる水素を放出できることがわかった。ホウ化水素シートには合成過程の不純物としてごく微量のホウ酸が含まれるが、これらの不純物に紫外線を照射しても全く水素を生成しない。また、本実験は不活性ガスの雰囲気でおこなっているので、ホウ化水素シート自体の加水分解の影響もない。すなわち、図 3 にみられる水素分子はホウ化水素シート由来であると結論できる。

ホウ化水素シートはアセトニトリルやアルコール溶媒に高度に分散できることから、溶媒に分散した状態での輸送も可能である。溶媒を攪拌しながら光照射が可能であるため、より効率的に光をあてることができる。図 3(c)に、ホウ化水素シートをアセトニトリルに分散した溶液に対し、紫外線を照射した場合の水素生成を評価した。この結果、照射時間とともに線形に水素生成量が増加した。紫外線を照射している最中にこの溶液の温度を測定したところ、室温とさほど変わらない 28°Cを示した。この結果ならびに照射光の波長依存性から、光誘起水素生成は加熱によるものではなく、フォトンによる電子遷移に起因していると理解できる。図 3(d)に紫外線強度依存性を測定した結果を示す。この結果、水素を発生させるための紫外線強度に閾値がみられた。この現象は、従来の光触媒反応などの光量律速の反応とは異なり、水素生成には一定のフォトン密度が重要であることが示唆された。

以上の結果は、光励起した電子がホウ化水素シート自体のプロトンを自己還元して水素発生することを強く示唆しているが、光励起した正孔についても議論する必要がある。光照射前ではホウ素は負のイオン(B⁻種)で存在するが、光照射して水素が発生した後にホウ素は正(B⁺)ないし中性種(B⁰)として存在することが考えられる。水素脱離後の状態を評価するため、X線光電子分光(XPS)のサンプル交換チャンバーにて紫外線を照射して水素を脱離させた後に直ちにXPSを測定したところ、B⁺種の増加を確認した。この結果は、真空チャンバー内の酸素が励起状態のホウ化水素と反応したことを示唆している。こうした光照射前後の状態変化の解析は、ホウ化水素シートの再利用(水素の再貯蔵)に際して重要な知見となる。

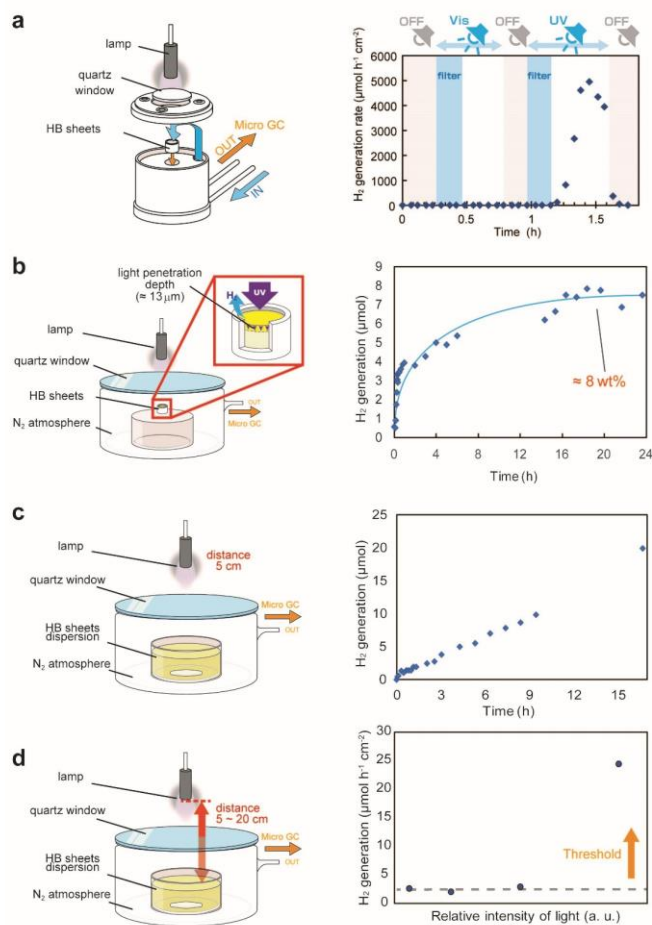


図 3 ホウ化水素における光誘起水素生成特性。(a) 流通反応系を用い可視光および紫外線を照射した場合、(b) 閉鎖容器を用いて測定した水素生成量、(c) ホウ化水素シートをアセトニトリルに分散した系での水素生成特性、(d) 水素生成の光強度依存性

3 おわりに

従来の水素吸蔵合金における質量水素密度は、高いものでも 2%程度だった。また、シクロメチルヘキサンのような有機ハイドライドも有望な水素キャリアとして知られているが、その質量水素密度は 6.2%で、水素放出には 300°C以上の加熱が必要であった。今回、我々が報告するホウ化水素シートは、既往の水素キャリアと比べて極めて大量の水素を、光照射という極めて簡便な操作で放出することがわかった。現行の車載用燃料電池には高圧水素タンクが搭載されているが、本研究成果により、安全・軽量・簡便なポータブル水素キャリアとしての応用を期待している。実用化のためには、より低エネルギーである可視光で機能すること、水素の再貯蔵方法の開発、ならびに、製造の低コスト化などが重要な課題と考えている。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (18H02055, 18H03874, 19H02551, 19H05046)、文部科学省元素戦略プロジェクト(研究拠点形成型)、公益財団法人熊谷科学技術振興財団、公益財団法人小笠原科学技術振興財団、公益財団法人小笠原科学技術振興財団、一般財団法人サムコ科学技術振興財団の助成のもと、おこなわれました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] Jiao et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **55**, 10292 (2016)
- [2] Abtew et al. *Phys. Rev. B* **83**, 094108 (2011)
- [3] Nishino et al. *J. Am. Chem. Soc.* **139**, 13761 (2017)
- [4] Kawamura et al. *Nature Commun.* **10**, 4880 (2019)

フラストレート量子磁性体における量子相転移とハイブリッド励起

物性研究所中性子科学研究施設 林田 翔平*1 益田 隆嗣
静岡大理学部 松本 正茂

*1 現：スイス連邦工科大学チューリッヒ校

概要

自発的対称性の破れた系におけるダイナミクスは、秩序変数の位相揺らぎに対応する南部・ゴールドストーン(NG)モードと振幅揺らぎに対応する振幅モードの二つに分類される。これらは独立に観測されるケースが多いが、ある条件下では混成することが知られている。有名な例としては、熱電材料のPbTeにおける音響フォノン(NGモード)と光学フォノン(振幅モード)が非調和項の存在のため強く混成するケースがある。フォノンスペクトルの再規格化により音響フォノンが抑制され熱伝導率が低くなり、高い性能指数が実現されている[1]。このような混成効果は自発的対称性の破れた系一般に存在するはずであるが、フォノン以外の系においては観測例が少ない。これは、NGモードがゴールドストーンの定理により保証されているのに対し、振幅モードは必ずしもその存在が保証されていないためである。たとえば磁性体で振幅モードが観測されるためには、低次元性やフラストレーション、量子臨界性などにより磁気モーメントが抑制されモーメントの伸縮が可能となる上に、振幅モードが安定に存在することが必要とされる。近年ヒッグスボソンの物性物理におけるアナロジーとして振幅モードが注目され、混成のない純粋な振幅モードの観測が、一次元鎖、二量体、正方格子、二本足梯子など、フラストレーションの存在しないスピン系においてさかんに試みられてきた[2]。そこで我々は、振動モードが安定に存在し得るフラストレーション系に着目し、圧力により量子臨界点を横切ることでどのようにスピンドダイナミクスが変化するかを、中性子非弾性散乱を用いて系統的に観測し、拡張スピン波理論による解析を行った。その結果、量子臨界点近傍で中性子スペクトルは再規格化され、NGモードと振幅モードの混成状態が出現することを明らかにした[3]。

容易面型スピン $S = 1$ 三角格子系

容易面タイプの異方性をもつ $S = 1$ スピン系は、量子相転移を示す系のプロトタイプの一つとして知られている。

スピン間相互作用が弱い場合は、Fig. 1(A)の左に示すように量子無秩序状態が基底状態であるが、相互作用が強くなると量子相転移が起こり、Fig. 1(A)の右に示すように秩序状態が出現する。このとき局所サイトの状態を考えると、第二励起状態 $|L\rangle$ は、秩序化したスピン方向のスピン演算子 S^{\parallel} のみによって基底状態 $|G\rangle$ から遷移される一方、第一励起状態 $|T\rangle$ はスピンに垂直方向の演算子 S^{\perp} のみによって遷移される。このことから、秩序化した $S = 1$ スピン系では、振幅揺らぎを有する状態 $|L\rangle$ が安定に存在し得ることになる。CsFeCl₃は容易面異方性を有する $S = 1$ スピンをもつ Fe²⁺ イオンが、Fig. 1(B)のように ab 面内で三角格子を形成する磁性体である。基底状態は量子無秩序状態であることが古くから知られていたが[4]、最近 1.0 GPa 程度の静水圧により秩序状態へと相転移することが報告された[5]。さらに、我々のグループで圧力下中性子回折実験を行い、磁気構造が非共線的な 120° 構造であることを明らかにした[6]。つまり、この物質は振幅モードが安定に存在し得るフラストレーション系であり、圧力により量子臨界点近傍にアクセス可能であることが分かる。モデルハミルトニアンは

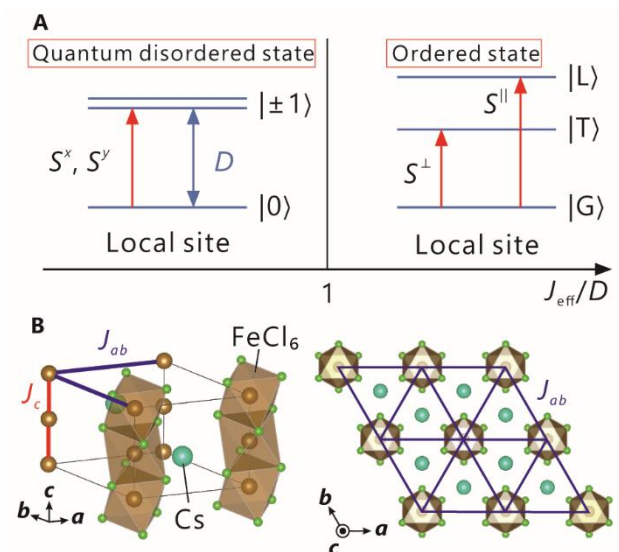


Fig. 1 (A) $S = 1$ 容易面タイプ反強磁性体のエネルギースペクトル模式図。(B)CsFeCl₃の結晶構造。

$\mathcal{H} = \sum_i D(S_i^z)^2 + J_c \sum_{\langle i,j \rangle, \text{chain}} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j + J_{ab} \sum_{\langle i,j \rangle, \text{plane}} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$
 で記述され、 D, J_c, J_{ab} が圧力で制御される。類似の系として、ハルデン物質として知られるCsNiCl₃が存在するが、大気圧で秩序化するため結合パラメータを制御するような系統的研究は困難であった。

実験結果と議論

物性研中性子施設が J-PARC で運営しているチョッパー分光器 HRC を用いて、大気圧下で測定された中性子スペクトルを Fig. 2(A)に示す。横軸の波数は $\mathbf{q} = (-k, 2k, 0)$ である。モードの数は1つであり、 $k = 1/3$ と $2/3$ で 0.6meV の異方性ギャップが存在しており、磁気励起の境界エネルギーは 1.3 meV となっている。この定性的なふるまいは先行研究[6]と一致しており、また分散は理論計

算(黄色曲線)で再現された。Fig. 2(B)のように 0.3GPa の圧力を印加すると、ギャップエネルギーは抑制される。さらに 1.4 GPa の圧力を印加し量子臨界点を少し超えると、Fig. 2(C)のようにスペクトルは大きく変化する。 $k = 1/3$ と $2/3$ からギャップレスな NG モードが立ち上がる様子が観測され、さらに高エネルギーの 0.55meV に別なモードも観測された。この量子臨界点近傍でのスペクトル構造をより詳細に調べるため、物性研中性子施設が日米協力事業により米国オークリッジ国立研の研究用原子炉 HFIR で運営している三軸分光器 CTAX を用いた測定も行った。Fig. 2(G)に示されるように、 $k = 1/3$ と $2/3$ での励起は分解能より広がっており、二つのモードが存在していることが示唆される。 $k = 5/6$ では明らかにブロードになっており、複数のモードが存在していることが示唆される。これらのス

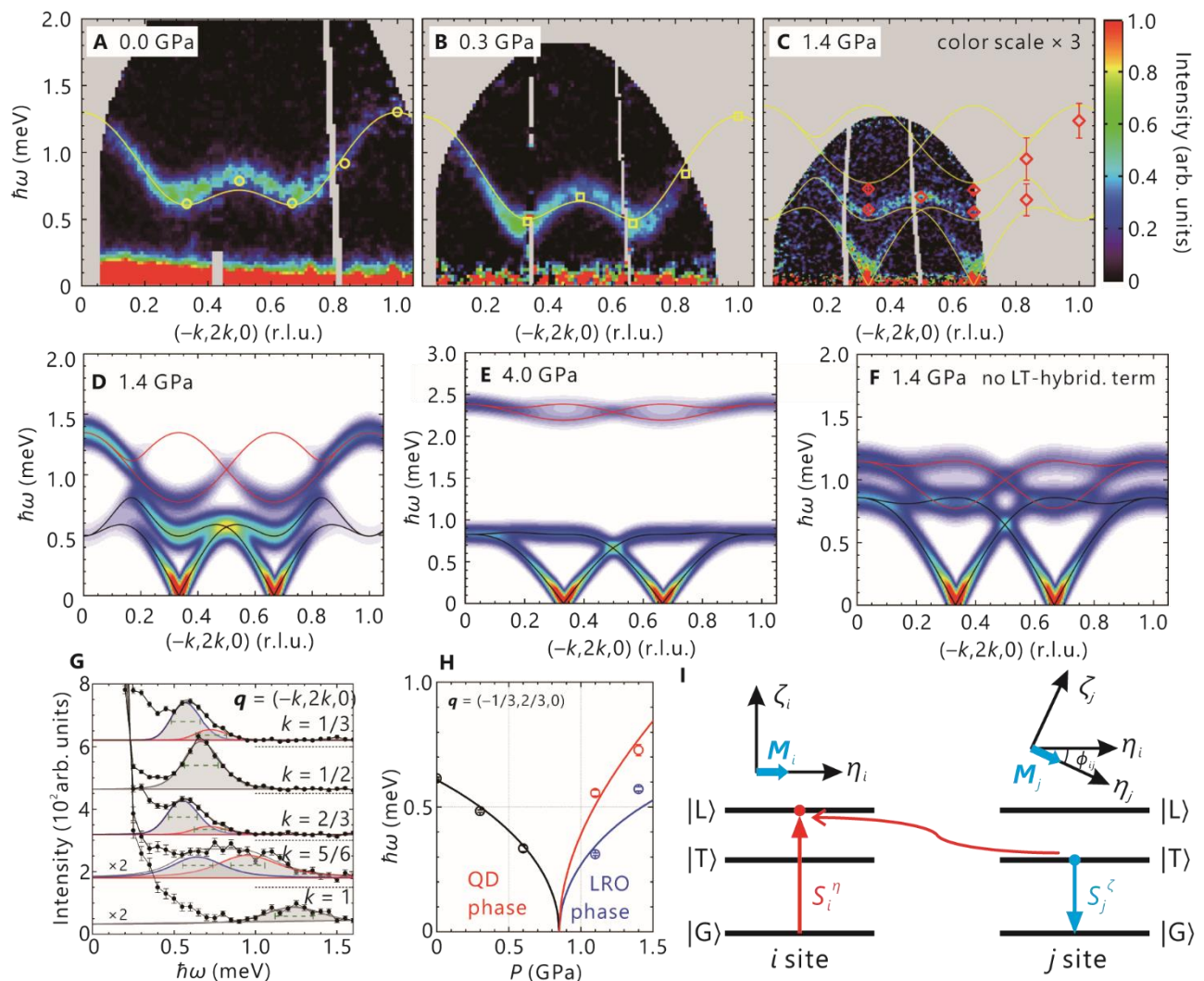


Fig. 2 (A)–(C)チョッパー分光器で測定されたCsFeCl₃の中性子散乱スペクトル実験データ(大気圧(A)、0.3GPa(B)、1.4GPa(C))。 (D)、(E)CsFeCl₃の中性子散乱スペクトル計算データ(1.4GPa(D)、4.0GPa(E))。 (F)ハミルトニアン混成項を無視した中性子散乱スペクトル計算データ。 (G)三軸分光器で測定された1.4 GPaにおけるCsFeCl₃の中性子散乱スペクトル実験データ。 (H) $\mathbf{q} = (-1/3, 2/3, 0)$ におけるモードエネルギーの圧力依存性。 (I) 混成項により j サイトの状態 $|T\rangle$ が i サイトの状態 $|L\rangle$ に飛び移る様子。

ベクトルを、分解能関数で畳み込まれたローレンツ関数でフィットして得られたピークエネルギーを、Fig. 2(C)の赤ダイヤでプロットした。二つの分光器による測定されたデータは、拡張スピン波理論による計算 (Fig. 2(D)) で再現されている。計算では4つのモードが存在しており、低エネルギーの二つのモードと高エネルギーの二つのモードは互いに交わることはなく、一番接近している $k=1/6, 5/6$ においては互いに反発している。さらに赤ダイヤの各データ点については、強度についても計算と比較したところ良い一致が見られた。 $k = 1/3$ において観測された各モードのエネルギーの圧力依存性は Fig. 2(H)の丸印ように示される。これらのエネルギーを、ハミルトニアン3つのパラメータが、 $J_c = -0.5 - 0.14 \times p, J_{ab} = 0.0312 - 0.0015 \times p, D = 2.345 + 0.365 \times p$ のように圧力 p に関して線形に変化すると仮定して計算すると、実線のように得ることができ、実験を再現している。このことから圧力により D, J_c, J_{ab} がよく制御され、量子相転移が存在していることが分る。

ハミルトニアンをスピンサイトにローカルな座標系で表すと、三角格子内の項については $\mathcal{H}_{ij}^{ab} = J_{ab} [\cos \phi_{ij} (S_i^\eta S_j^\eta + S_i^\zeta S_j^\zeta) + S_i^\xi S_j^\xi + \sin \phi_{ij} (S_i^\eta S_j^\zeta - S_i^\zeta S_j^\eta)]$ となる。ここで、 η 軸はスピンモーメント方向、 ζ 軸は結晶学的な ab 面内で η 軸に垂直な方向、 ξ は c 方向である。また ϕ_{ij} は i サイトと j サイトのスピンモーメントのなす角度である。この中で、 $S_i^\eta S_j^\zeta - S_i^\zeta S_j^\eta$ の項が縦揺らぎ状態 $|L\rangle$ と横揺らぎ状態 $|T\rangle$ を混成させる。たとえば、Fig. 2(I)のように j サイトの $|T\rangle$ が i サイトの $|L\rangle$ に移動するようなプロセスが存在する。これにより Fig. 2(D)の $k=1/6, 5/6$ においてモード反発が発生する。この混成効果は、 $\sin \phi_{ij}$ がゼロでないこと、すなわちスピンの非共線の秩序を有していることが必要である。 $S_i^\eta S_j^\zeta - S_i^\zeta S_j^\eta$ の混成項を意図的に落として計算すると、Fig 2(F)のようにモード混成は発生せずモード反発も起こらない。また、圧力を高くして量子臨界点から系が離れていくと、図 2(E)のようにモードのエネルギースケールが大きく離れるため、モードの反発は観測不可能となり、混成も弱くなる。このように、NG モードと振幅モードの混成は、フラストレーションに起因するスピン秩序の非共線性と系が量子臨界点近傍にあることにより、生じることが明らかとなった。

まとめと展望

容易面型スピン $S=1$ 三角格子磁性体 CsFeCl_3 のスペクトルの圧力変化を系統的に研究した。量子相転移が存在し、量子臨界点近傍ではスピン構造が 120° 構造であることに

よる非共線性に起因する振幅モードと NG モードの混成が生じていることが明らかとなった。混成効果がモードの寿命に与える影響は興味深く将来の課題である。また非共線秩序においては、磁場中でマグノンの非相反性が期待されており、磁場効果の研究も興味深い。モード混成は非共線秩序一般に存在することから、格子不整合なサイクロイド構造、パイロクロア格子における all-in all-out 構造、スキルミオン格子など様々な状態で混成状態が観測されることが期待される。さらに、電荷密度波、スピン密度波、冷却原子系など、磁性体以外の自発的対称性の破れた系について混成状態が観測されることも期待される。

謝辞

本研究は、萩原雅人氏(元物性研、現 KEK)、栗田伸之氏(東工大)、田中秀数氏(東工大)、伊藤晋一氏(KEK)、Tao Hong 氏(ORNL)、左右田稔氏(元物性研、現お茶の水女子大)、上床美也氏(物性研)との共同研究により行われた。瀧川仁氏に有益なコメントをいただいた。J-PARC の HRC 分光器による中性子実験は、東大物性研および KEK 物質構造科学研究所により採択された実験課題 2015S01、2016S01、2017S01 により行われた。ORNL の CTAX 分光器による中性子実験は、東大物性研中性子施設が運営する日米協力事業の支援により行われた。

- [1] O. Delaire *et al.*, Nat. Mater. **10**, 614 (2011).
- [2] B. Lake *et al.*, Phys. Rev. Lett. **85**, 832 (2000), A. Zheludev *et al.*, Phys. Rev. Lett. **89**, 197205 (2002), C. Rüegg *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93**, 257201 (2004), P. Merchant *et al.*, Nat. Phys. **10**, 373 (2014), A. Jain *et al.*, Nat. Phys. **13**, 633 (2017), T. Hong *et al.*, Nat. Phys. **13**, 638 (2017).
- [3] S. Hayashida *et al.*, Sci. Adv. **5**, eaaw5639 (2019).
- [4] H. Yoshizawa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **49**, 144 (1980).
- [5] N. Kurita and H. Tanaka, Phys. Rev. B **94**, 104409 (2016).
- [6] S. Hayashida *et al.*, Phys. Rev. B **97**, 140405 (2018).

アメリカでの研究生活で良く使う単語に“chat”があります。“Do you have time to chat today?”という風に使われます。直訳すれば雑談する、という意味になりますが、中身は真剣な科学的議論だったりもします。しかし、雑談との明確な境界はなく、むしろ雑談から新しいアイデアが生まれたりするわけです。もちろん日本や他の国でもそういうことはありますが、ごく個人的な印象では、日本やヨーロッパでは(アメリカに比べ)論文の読み込みや、独りで籠って行う研究のウェイトが大きく、アメリカでは chat に象徴される口頭での議論が相対的により大きな位置を占めるように感じます。研究中心のシニアな教授が一日中誰かと chat している(ように見える)ため、多数産み出される論文をいつ書いているのか、皆が不思議に思っているというケースもありました。

chat 中心の文化とも関連するかもしれませんが、研究の流行がアメリカの方が激しく、何かが注目されると多くの研究者が一斉に取り組む、という傾向が、(これも日本を含めどこの国にもありますが)アメリカでは一層強いように感じます。この点では、長年にわたる地道な研究の積み重ねがものを言う物質開発などの分野では、日本が強みを持っているのでしょう。とは言え、アメリカの研究者が、流行ではないところから新しいアイデアを出すことも多く、アメリカの研究の層の厚さを感じます。一方、chat を中心にコミュニケーションが行われているため、アメリカ国外で良い論文を書いても、アメリカになかなか浸透しないという問題はあります。いったんアメリカの有力な研究者に注目されると、「ロコミ」で急速に浸透するわけですが、論文に限らず、研究者の採用に関しても日本以上に「コネ社会」であるように思います。ただし、「コネ」を通じて優れた人材を集め、実力はフェアに評価しようという雰囲気は強く感じます。

アメリカの大学の多くは美しいキャンパスを持ち、学生は映画のようなキャンパスライフを謳歌しているように見えます。そのような場所で、世界中から集まった優秀な人材と chat していると、なんとも素晴らしい夢のような環境だと思えてきます。しかし、どのような社会にも光と影があり、アメリカは特にそのコントラストが激しい国です。そして、一流大学のキャンパスの中だけにいると、「光」を凝縮したものだけを見ることになります。光と影の具体的な現れは、巨大な貧富の格差です。アメリカには600人以上の(資産10億ドル≒1000億円以上を持つ)ビリオネア

がいる一方で、(相対的)貧困率は17.4%と先進国の中では高くなっています。国民健康保険制度の不在もあって、例えば乳児死亡率は1000人あたり5.7と日本の2倍以上、先進国中で最悪の水準にあります。アメリカは移民の国であるだけでなく、国内でも移住が盛んに行われて来たこともあり、地域によって治安や所得水準、そして教育レベルが大きく異なり、まさに別世界のようです。スラムで育った少年少女の大多数にとっては、一流大学の美しいキャンパスやそこで行われている最先端の研究は全く別世界なのでしょう。

アメリカには寄付の文化が根付いており、最近、実業家で元ニューヨーク市長でもあるマイケル・ブルームバーグ氏が低・所得家庭の学生の学費支援のため2000億円をジョンズホプキンス大学に寄付したように、大学に対する寄付も盛んです。また数学者出身で、ヘッジファンドで大成功をおさめ2兆円を超える資産を築いたジム・サイモンズ氏が設立したサイモンズ財団のように基礎研究の支援を行うケースもあります。チャールズ・マンガー氏がカブリ理論物理学研究所(KITP)に70億円あまりを寄付して建設された、KITPを訪問する研究者のための素晴らしい宿舎の恩恵を、つい最近私も蒙ったところです。このような寄付文化はもちろん大変素晴らしいことであり、貧困対策の寄付も多く行われていますが、貧富の格差はますます増大しているようです。このような格差に対する反感が、(その反感の「正しい」表し方であったかは別として)世界に衝撃を与えた2016年の大統領選挙の結果を導いた大きな要因であったと言えるでしょう。このような空気は、アメリカでも、大学の美しいキャンパスの中だけにいると、なかなかわからないことです。



カブリ理論物理学研究所(KITP)宿舎(Charles T. Munger Physics Residence)の共用ラウンジ

ISCOM2019 Poster Prize を受賞して

凝縮系物性研究部門 森研究室 砂入 允哉

この度、“Anhydrous Proton Conductivity in Imidazolium Hydrogen Carboxylates: Effects of Hydrogen-Bond Manners and Molecular Motions” という題目にて、13th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2019) の Poster Award を受賞する榮譽に浴しました。これは、ISCOM2019 にて発表された 75 件のポスター発表の中から、6 件の発表者に学会議長ならびに組織委員から授与されるものであります。

本研究で扱うプロトン(水素カチオン H⁺)伝導体は、燃料電池の電極・電解質として重要な役割を果たす物質であり、未来の水素エネルギー社会の構築に重要な物質です。その中でも無水有機プロトン伝導体は、「無水」固体であることから 100 °C 以上の中温度域で動作可能であり、かつ「有機」物質の豊富な物質多様性を活かした幅広い物質設計が可能な物質群です。さらに本物質群は、多くのプロトン伝導体に含まれる「水分子」を介さずにプロトンを伝導するため、基礎学術的にも興味深い物質群です。

森研究室では、有機固体中の無水プロトン伝導機構の解明、ならびに高プロトン伝導性固体の開発を目指して、有機酸-塩基型プロトン伝導体であるイミダゾール-ジカルボン酸塩(図 1) [1, 2] の類縁体を合成し、粉末試料を用いてプロトン伝導性と結晶構造の相関について研究を進めていました。その中で我々は、単結晶試料を用いたプロトン伝導性の調査と無水プロトン伝導に寄与する要素の探索が必要だと考えましたが、本塩の単結晶試料、特にプロトン伝導度測定に使用可能なほど大きなサイズの単結晶は作製が難しく、[2] これまで実現できていませんでした。

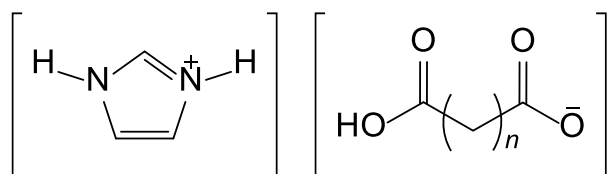


図 1. イミダゾール-ジカルボン酸塩の化学構造

本研究では、結晶育成時の温度制御を緻密に行うことで、本塩の大きく良質な単結晶の作製に初めて成功し、単結晶

試料を用いてプロトン伝導度の異方性の測定や高温 X 線構造解析を行うことで、本系の無水プロトン伝導を実現する種々の要素を見出してきました。[3, 4] プロトン伝導度の異方性の調査では、イミダゾール(塩基)とジカルボン酸(酸)が形成する水素結合ネットワーク構造、ならびに酸-塩基分子間水素結合の「静的な」構造要素が無水プロトン伝導に重要であることを明らかにしました(図 2 左)。^[3] 次の調査として我々は最近、水素結合サイト間のプロトン移動に寄与するような「動的な」(「ダイナミクス」)要素の調査を行っており、今回ポスター賞を頂いた発表では、高温 X 線構造解析によって明らかになった、分子ダイナミクスとその効果について議論しました。

私が単結晶を作製した類縁体の中でも 100 °C 以上の中温度域で比較的高い伝導度を示したイミダゾール-コハク酸塩(図 1: $n = 2$)について、構成分子のダイナミクスを調べるため、結晶構造の温度依存性を調査しました。その結果、80 °C 以上で構造転移を示し、イミダゾール分子の配向が無秩序化することを見出しました。この分子配向の無秩序化はイミダゾールの分子平面上で生じており、平面内回転運動の活性化が起こっていると考えられます(図 2 右)。興味深いことに、プロトン伝導度測定の結果から、本物質のプロトン伝導度が 80 °C 以上から顕著に増大することが示されています。プロトン伝導度の増大と分子運動の活性化がともに 80 °C 以上で生じること、さらに、イミダゾール分子運動の回転方向は水素結合ネットワークと平行であり、面内のプロトン伝導を促進する方向と考えられることから、イミダゾール分子運動が本物質の無水プロトン伝導を促進していると考えられます。

無水有機プロトン伝導体の結晶構造中で分子運動の効果を含めた伝導機構の理解は未だなされておらず、今回の成果は無水プロトン伝導の実現に構成分子の「静的な」配列構造と「動的な」運動性の両方が重要な役割を果たすことを示した非常に興味深い結果です。^[4] 今後、理論研究者との共同研究によるプロトン移動ポテンシャルの計算や、中性子準弾性散乱実験による分子運動とプロトン伝導の相関のさらなる調査を行う予定です。

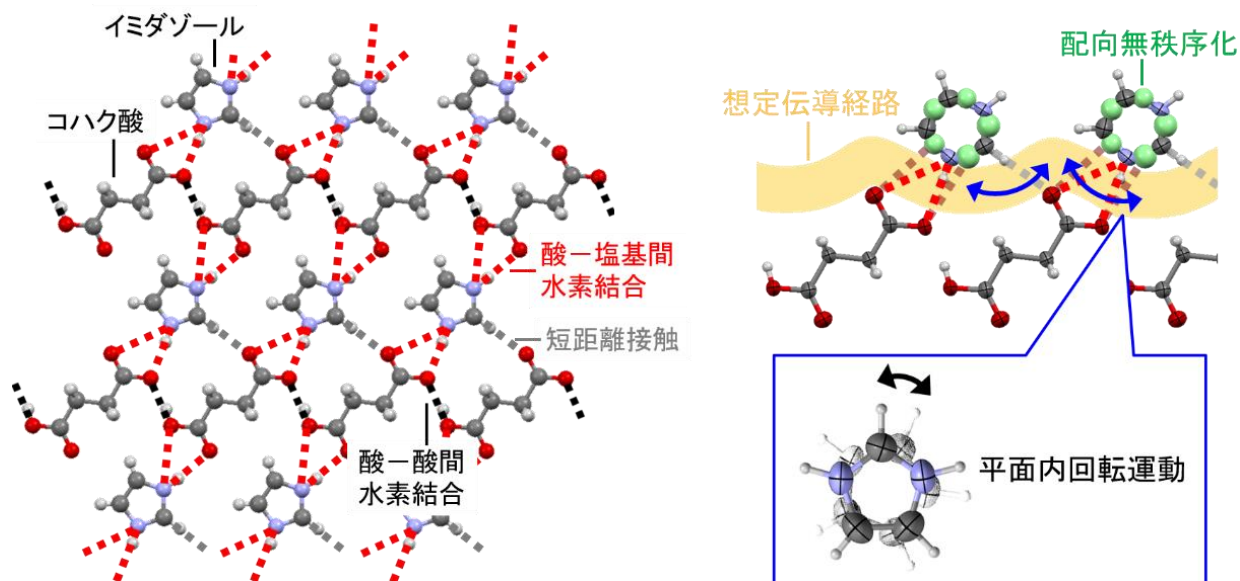


図2. イミダゾール-コハク酸塩の(左) 室温における結晶構造中の水素結合ネットワークと(右) 高温 (> 80 °C) におけるイミダゾール分子の配向無秩序化と平面内回転運動

最後に、研究遂行にあたり、数多くの貴重なご助言とご指導をいただきました森初果 教授に深く御礼申し上げます。また、物性研究所の出倉駿 特任助教、上田顕 元助教(現 熊本大学 准教授)、藤野智子 助教、金沢大学の水野元博 教授、井田朋智 准教授、分子科学研究所・機器センターの方々にも大変お世話になりました。この場をお借りして感謝申し上げます。

- [1] J. C. MacDonald, P. C. Dorrestein, and M. M. Pilley, *Cryst. Growth Des.*, **1**, 29 (2001).
- [2] K. Pogorzelec-Glaser, Cz. Pawlaczyk, A. Pietraszko, and E. Markiewicz, *J. Power Sources*, **173**, 800 (2007).
- [3] Y. Sunairi, A. Ueda, J. Yoshida, K. Suzuki, and H. Mori, *J. Phys. Chem C*, **122**, 11623 (2018).
- [4] Y. Sunairi, S. Dekura, A. Ueda, T. Ida, M. Mizuno, and H. Mori, *submitted*.

第 46 回応用物理学会講演奨励賞を受賞して

分子科学研究所 山本 航平

このたび、2018 年 9 月に東京工業大学大岡山キャンパスで行われた第 66 回応用物理学会春季学術講演会において、「X 線自由電子レーザーによる時間分解共鳴磁気光学カー効果測定でみる Co/Pt 薄膜の磁化ダイナミクス」と題して行った講演が、応用物理学会講演奨励賞に選ばれました。この講演の主な内容は博士課程在籍時に所属した物性研究所和達研究室において行われました。この場を借りて、研究内容についてご紹介したいと思います。

光によって磁性を変化させる研究は 1980 年代にはじまり、多様な磁性体で様々な現象が発見されてきました。特に光の円偏光による磁化の向きを制御する研究は、磁気記録媒体などへの応用も期待されます。このような現象は複数の磁性元素を含むような物質で主に報告されていることから、元素選択的な磁化の光誘起ダイナミクス測定が重要な役割を果たしてきました。特に重要な磁性元素を含む 3d 遷移金属は軟 X 線により 2p → 3d 吸収端での測定ができることから、様々な放射光の技術を用いた軟 X 線パルスによるポンプ-プローブ法による時間分解測定が行われてきました。しかしながら、高い垂直磁気異方性を示し、記憶デバイスへの展開も期待される 3d 元素/5d 元素の多層膜・合金薄膜に対しては、大きい磁気シグナルが得られる 5d 元素の吸収端が軟 X 線領域に存在しないため、その元素ごとのダイナミクスは直接測定されていませんでした。

私は 5d 元素の磁性の光誘起ダイナミクスにアプローチするため、X 線自由電子レーザー-SACLA を用いた、元素の吸収端における共鳴現象をもちいた磁気光学効果の元素選択的な時間分解測定手法開発を行ってきました。SACLA では短パルス(数 10fs、通常の放射光では~50 ps)の X 線がえられ、この特徴を生かすことに高速な現象に対する時間分解測定を行うことが可能になります。硬 X 線のビームライン(BL)と真空紫外領域の BL が整備されており、共同利用に供されています。SACLA BL3 で供給される硬 X 線領域には Pt L 吸収端があり、大きな磁気円二色性を示すことが知られています。この吸収端を利用して FePt 薄膜の時間分解 X 線磁気円二色性測定をおこない、

Pt の消磁のダイナミクスを観測することに成功しました[1]。しかしながら硬 X 線領域には強い磁気由来の信号が得られる 3d 元素の吸収端がないため、複数の磁性サイトを同一セットアップで測定することが困難です。

私たちは 3d M 端と 5d N 端がえられる真空紫外領域に着目して、実験を行いました。SACLA BL1 では 150 eV 程度以下の直線偏光の X 線が得られます。これを用いて時間分解共鳴磁気光学カー効果測定を Fig. 1 のようなセットアップで行いました。本装置は松田巖研究室と共同で開発をしてきました[2]。これまで SACLA BL1 で最初の結果が得られていましたが、光誘起のダイナミクスを決定できるデータは得られていませんでした。今回、装置の制御などを見直し、また新たに BL1 に導入された XFEL パルスのジッタ補正のシステムを総合的に駆使することにより、明確なデータを得ることに成功しました[3]。実験は Co M 吸収端、Pt N 吸収端を用いて行いました。吸収端のエネルギーは現在所属している分子科学研究所の放射光施設 UVSOR において吸収スペクトルを取ることで決定しました¹。Co と Pt でことなる光誘起磁化ダイナミクスを示し、Pt のほうが消磁にかかる時定数が 6 倍程度であることを見出しました。このエネルギー領域では高次高調波レーザーなどによる報告もありますが、透過配置もしくは面内磁化膜の反射配置の磁気円二色性・カー効果測定であり、面直磁化膜の反射配置による測定は SACLA からの高強度の X 線により可能になったものです。

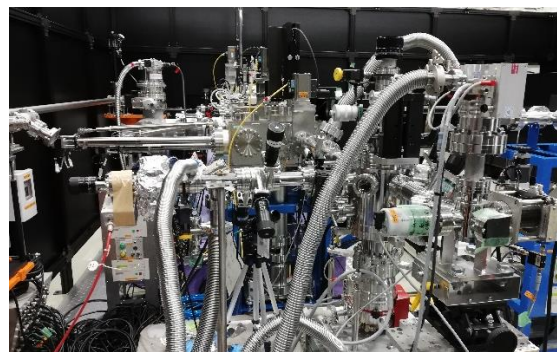


Fig. 1 SACLA BL1 に構築した時間分解磁気光学カー効果測定装置。

¹ UVSOR BL5B は、SACLA BL1 が供給する真空紫外領域の光エネルギーをカバーしており、静的な性質を押さえることができました。

今回得られた結果の説明として、以下のようなプロセスを検討しています。最初にレーザーが照射されると、状態密度の点から励起エネルギー程度の領域にある Co が優先的に励起されます。励起された Co のマジョリティスピンは super diffusive current として Pt 層に流れ込み、結果として、Co の速い消磁と Pt の遅いプロセスが実現され、最終的にはどちらも熱的に励起された状態に達するという過程を考えています。これらの影響により、異なる時定数を発現していると考えています。

SACLA BL1 におけるポンプ-プローブ法による時間分解磁気光学カー効果測定は、SACLA 基盤開発プログラムに採択され、松田巖先生を代表者として「汎用型軟 X線オプトスピントロニクス実験装置の開発」として、新しい測定装置が立ち上げられており、将来的に共用の装置として提供されるものと思われます[4]。

本研究は物性研・和達大樹氏(現・兵庫県立大)、松田巖氏、平田靖透氏(現・防衛大)、山本達氏(現・東北大)、Souliman El Moussaoui 氏、SACLA・久保田雄也氏、大和田成起氏、矢橋牧名氏と技術スタッフの協力を得て行いました。測定に用いた試料は東北大金研・関剛齋氏、高梨弘毅氏に提供いただきました。ここに記して感謝いたします。

- [1] K. Yamamoto, Y. Kubota, Y. Hirata, K. Takubo, Y. Uemura, R. Fukaya, K. Tanaka, W. Nishimura, T. Ohkochi, M. Suzuki, T. Katayama, T. Togashi, K. Tamasaku, M. Yabashi, Y. Tanaka, T. Seki, K. Takanashi, and H. Wadati "Ultrafast demagnetization of Pt magnetic moment in L10-FePt probed by hard x-ray free electron laser" *New J. Phys.* accepted (2019)
- [2] Sh. Yamamoto, Y. Kubota, K. Yamamoto, Y. Takahashi, K. Maruyama, Y. Suzuki, R. Hobara, M. Fujisawa, D. Oshima, S. Owada, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, Y. Hirata, S. Yamamoto, M. Kotsugi, H. Wadati, T. Kato, S. Iwata, S. Shin, and I. Matsuda "Femtosecond resonant magneto-optical Kerr effect measurement on an ultrathin magnetic film in a soft X-ray free electron laser" *Jpn. J. Appl. Phys.* 57, 09TD02-1-4 (2018)
- [3] K. Yamamoto, S. E. Moussaoui, Y. Hirata, S. Yamamoto, Y. Kubota, S. Owada, M. Yabashi, T. Seki, K. Takanashi, I. Matsuda, H. Wadati "Element-

selective tracking ultrafast demagnetization process in Co/Pt multilayer thin films by the resonant magneto-optical Kerr effect" arXiv:1910.01556

[4] http://xfel.riken.jp/topics/sacla_basic_development_2019.html

令和元年度 物性研究所一般公開の報告

一般公開委員長 徳永 将史

令和となって初めての東京大学柏キャンパス一般公開が10月25日(金) および26日(土)の二日間行われました。柏キャンパス全体のキャッチコピーは新元号になったことを受けて「柏で感じる！令和の科学」になりました。今年の秋は関東地方への大型台風の上陸が続き、これまでに例のない記録的な暴風雨を経験することになりました。一般公開初日も台風21号の影響で大雨となり、千葉県内でも多くの方が洪水被害に見舞われました。被災された皆様には心よりお見舞い申し上げます。初日の大雨と強風にもかかわらず、一般公開に多くの方がご来場くださいました。物性研究所への来所者数をパンフレット配布枚数で集計すると、初日が1,096名、二日目が2,361名、合計では昨年度とほぼ同数となる3,500名弱でした。

今年の企画の概要を図1のガイドマップを参照しながら振り返ります。物性研究所の一般公開のキャッチコピーは、「もの」または「マテリアル」というキーワードを用いたものが例年使われてきました。今回のコピーは「もの」が

二回入った「探し出せ！「もの」の中のすごいもの」でした。今回は一般の企画9件に加え、ミニドローン飛ばすプログラミングイベント、サイエンス・カフェを行いました。また26日には柏キャンパス全体のイベントとして女子中高生向けの進学促進イベントが開催され、今年は物性研究所が幹事部局として協力しました。所内各所の企画に置かれているクイズラリーで正解のスタンプを集めた方には、ロゴ入りのフリクション・ボールペンまたはルービック・キューブを進呈しました。

一般の企画では毎年恒例となっている施設紹介等に加えて、今年の新作を発表している企画も充実しており、リピーターを多数抱える一般公開のイベントでも多くの方にご満足をいただけているようです。図2の写真が示すように家族連れの来場者も多く、企画も未就学児から高齢者まで幅広い年齢層に対応しています。過去の展示も含めてこれまで一般公開企画のアイデアには秀逸なものも多く、この二日間だけしか体験できないのはもったいない気がします。



展示ガイド

おすすめ順路
 スタート(受付) → A棟1階 → 中庭を通り抜けて → 1D棟 → 2C棟・3K棟 → 4~7A棟6階 → 8A棟6階

イベント案内

A かんたんプログラミング体験

・ドローンを動かしてみませんか？
ミニドローンを飛ばすプログラムを体験できます。
・高校生以下対象。
・A棟1階中庭(受付裏)で整理券配布。
(10時、12時、14時に配布。先着順)
・毎時00、20、40分開始、各回10分。
(初回10時20分～、最終回16時00分～)

B サイエンス・カフェ

・日時：10/26(土) 12:30～
・場所：A棟6階ラウンジ
・テーマ：「磁石はどんなに強くなる？」
・話題提供：野村 肇宏(助教)
・ファシリテーター：鈴木 博之 (URA)
目に見えない力で人を惹きつける磁石。強い磁場を作ると何ができるのか？若い研究者と一緒に磁場作りの未来を考えます。

- 1 光とレーザー
レーザーで遊ぼう！
光の色は何色だろうか？
- 2 3 強磁場施設公開
世界一強い磁場を作り出す施設。
磁場が強すぎて、驚きの現象が！！
- 4 物性科学とスーパーコンピュータ
スパコンを身近に。何がスーパーか、解説します！
- 5 目で見える物性理論
おもちゃで物性理論を体験しよう。
- 6 グラフェンの超能力
グラフェンづくりに挑戦！
磁石が浮く？ 氷が切れる？
実験してみよう。
- 7 ミクロの世界の旅人～中性子～
中性子って何？
中性子で何がわかるの？
- 7 磁石のミクロな世界
ミクロの世界の分子・結晶構造を見てみよう！
- 7 ナノ磁石の電極(スピン)を操る
とても小さな磁石のN極とS極を逆にする方法を考えます！
- 7 ハイドロジェノミクス @ISSP
自由自在な水素を使いこなすには？
水素研究を紹介します。
- 8 ゴール!!
クイズラリー、アンケートの景品交換はこちら。

クイズラリー

★マークの展示でクイズに挑戦。
正解スタンプを4個以上集めた方に、物性研オリジナルグッズをプレゼント！

1 D棟 「光とレーザー」 光の波が振動方向を持つ性質を何と呼ぶ？	2 C棟 「世界一の強磁場」 室内で発生できる磁場の世界記録は、何テスラ？	3 K棟 「世界一の強磁場」 メガガウスって何テスラ？	4 A棟6階 「物性科学とスパコン」 物性研スパコンをアルパワーで使うには、家庭用コンセント(1500W)がいくつくらい必要？	7 A棟6階 「グラフェンの超能力」 グラフェンは何でできている？	7 A棟6階 「ミクロの世界の旅人」 中性子の重さは？
--	--	--	--	--	--

*数に限りがあります。

図1: 2019年度版の物性研ガイドマップ。



図2: 中性子グループの展示会場の様子(上)と物性犬Tシャツ(下)。

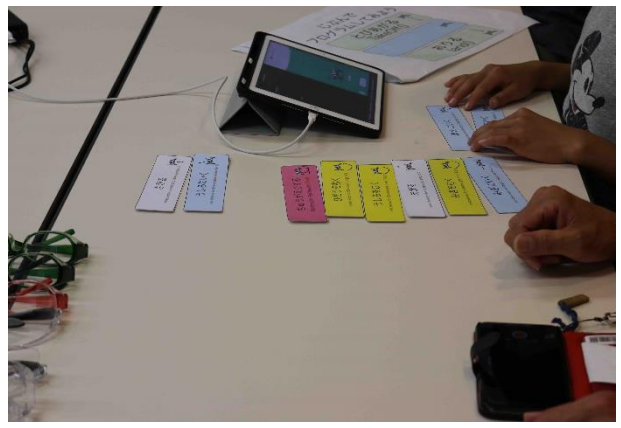


図3: 使用されたミニドローン(上)とプログラミングの様子(下)。



図4: サイエンス・カフェのちらし(上)と会場の風景(下)。

個人的な感想としては、少し経費をかけて体裁を整えたものを常設展示すれば、子連れで物性科学を楽しめる科学博物館として十分魅力のある施設になりそうだと感じています。ちなみにこの写真でスタッフが着用しているTシャツは物性研究所の人気キャラクター「物性犬」をデザインに取り入れた人気の品ですが、残念ながら非売品となっています(図2下)。今年度は一般公開にご協力くださった方の一部にお配りしていましたが、来年以降どうなるかは未定です。

プログラム上はイベント扱いになっていますが、新企画

として本館6階でミニドローンの飛行体験がありました。この企画は情報技術室の福田氏と矢田氏が中心となって運営され、来場者がプログラム・コードを打ち込んでドローンを操作するという内容でした(図3)。安全上の配慮からドローンの飛行は本館6階の閉じた部屋の中で保護具を着用した少人数を対象として行い、参加者は整理券を配布して調整しました。参加者を高校生以下に限定した企画でしたが、二日目には整理券が配布開始予定時刻を待たずになくなってしまふほど人気を博しました。来年度から小学校でプログラミング教育が必修化されることもあり、小学生の子供を連れた親御さんの関心も高かったようです。

もう一つのイベントとして、毎年恒例のサイエンス・カフェが26日昼に開催されました(図4)。今年は物性研究所の強磁場グループの悲願であった1,000Tの磁場発生が実現したことを記念して、小濱研究室の野村氏とURAの鈴木氏によるサイエンス・カフェ「磁石はどんどん強くなる?」になりました。本館6階のラウンジがほぼ満席になる来場者を迎える中、(ノーベル賞受賞には生まれが早すぎた?)マイケル・ファラデーによる電磁誘導の法則などを紹介しつつ、それを実感できる模擬実験などを通じて、サイエンスを気楽に楽しめるひと時を演出していただきました。

また、一般公開にあわせて今年の新しい試みとして少人数の生徒・学生に実験を体験してもらう体験ツアーを実施しました。物性研究所の一般公開は、約10年前までは各研究室の実験室で行われており、来場者は研究が行われている現場の雰囲気を感じる機会がありました。その後来場者の利便性を考えて、現在では会場を本館6階と低層棟の二箇所に集約しています。展示が見やすくなった反面、研究の現場を見る機会が減ってしまったことを補うため、昨年度、廣井委員長が発案で研究の“コア”な部分を体験してもらう体験ツアーが企画されました。昨年度の反省を踏まえ、ツアー参加者と一般来場者が重ならないよう、今年度は参加者を事前に決定し、一般公開とは独立した企画として体験ツアーを実行しました。体験ツアーを実施くださった研究室とその内容を記したスライドが図5上にあります。例年団体で見学に来所される古河中等教育学校、飯山高等学校、茨城工業高等専門学校の3校に参加を打診したところ積極的なご希望があったため、各学校に参加する20~30名の生徒・学生を選定していただきました。当日の参加者はまじめで熱心な方が多く、時にはメモを取りながら説明を聞いて、普段学校ではできない実験を体験していました。

女子中高生限定の進学促進イベントとしては、柏キャンパスの一般公開に合わせてこの数年行われている「未来をのぞこう！」があります。午前の部として物性研究所ではチョコレートの美味しさとココアバターとの関係を科学する「チョコレート・サイエンス」の実習がありました(図 6)。これは、広報室の餅田氏らが KEK 在籍時に構築したプログラムで、日産財団のリカジョ賞準グランプリを受賞した人気イベントです。今回も噂を聞きつけて遠くは仙台や愛媛からの参加者もあったそうです。午後の部では新領域創成科学研究科、大気海洋研究所の参加者と合同でパネルトークが行われました。パネリストとして物性研究所からは森研究室の藤野氏が参加され、参加者の質問に対して女性研究者の先輩の立場から回答されていました。

以上のように今年度の一般公開も企画が盛り沢山で、柏キャンパス全体で大変活況を呈しました。私の記憶では、六本木時代の物性研究所の一般公開は 5 年に一度の頻度で開催されており、もっと落ち着いた雰囲気イベントだったように思います。それが柏移転を期に、地域住民の方に親しんでいただけるよう毎年の開催になったそうです。その後柏キャンパスの部局が増えるにつれて規模も拡大し、今では近隣の皆様楽しんでいただける毎年恒例のイベントとして定着しています。特に梶田先生のノーベル賞受賞が発表された 2015 年以降は総来場者数が 1 万人規模になり、各種の移動販売車も来所するなど、お祭りの様な賑わいを見せています。こうした子供からお年寄りまで幅広く楽しんでいただけるイベントとして定着したことは大変素晴らしいと思います。一方で子供にもわかりやすいように簡略化すると、物性研究所で行われている最先端の研究のホットな内容が十分伝えられなくなる心配もあります。現在物性研究所内の多くの研究室では、大学院進学を志望する学生の不足に悩まされています。一般公開の様々な企画展示、体験ツアー、女子学生向け進学促進イベントなどを通じて、将来物性科学の研究を志す学生が一人でも増えることを願っています。

この記事の文末にあたり、今回の一般公開の企画運営にご尽力くださった皆様に感謝申し上げます。一般の企画や体験ツアーなどは常次副委員長に取りまとめでいただきました。郷地委員は体験ツアーの説明に加えて当日のボランティア活動の支援などご協力をいただきました。後藤委員はボランティアの取りまとめとガイドマップの作成でご尽力いただきました。鈴木 URA にはサイエンス・カフェの企画を取り仕切っていただきました。準備の終盤になって予定外のトラブルなどありましたが、サイエンス・カフェのイメージを示していただきました。餅田委員には



図 6: チョコレイト・サイエンス(上)とパネルトーク(下)の会場風景。

Web デザインを始め、所外への情報発信をわかりやすくまとめていただきました。またリケジョイベントでもチョコレート・サイエンスの講師として活躍されました。青木事務長、久保副事務長、大島副事務長の 3 名には常任委員として実務全般を滞りなく進めていただきました。一般公開委員に加えて、企画・イベントを担当してくださった方、ボランティア活動をしてくださった方、体験ツアーの講師の先生方、すべての皆様のお力で無事に一般公開を終えられたことを皆様と一緒に喜びたいと思います。そして特に総務係を中心とした事務の方々のご支援に心より感謝申し上げます(図 7)。予想以上の大雨と強風の中、予定にない雨風対策が必要になりました。所内で発生する問題を次々に解決される様子を拝見し、普段の研究生活でもこのようなご支援をいただけていることを改めて痛感した次第です。来年度は常次委員長の下、よりよい一般公開が恵まれた天気の中で開催されることをお祈りします。



図 7: チーバくん(左)と物性犬(右)の笑顔の裏には見えない努力が…。

物性研究所談話会

標題: THz-ARPES band structure movies of Dirac surface currents

日時: 2019年11月1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)

講師: Ulrich Höfer

所属: Department of Physics, Philipps-University of Marburg, Germany

要旨:

Time-resolved photoelectron spectroscopy combines femtosecond pump-probe techniques with angle-resolved photoelectron spectroscopy (ARPES). New opportunities for this powerful technique arise in combination with THz excitation. As an example, I will explain how THz-ARPES can be used to measure electron transport in the Dirac surface state of a three-dimensional topological insulator in a contact-free fashion and with femtosecond time-resolution. We induce electrical currents in these states with strong THz transients and directly access their dynamics in momentum space with subcycle time resolution. As a result of spin-momentum locking, the accelerated spin-polarized electrons reach ballistic mean free paths of several hundreds of nanometers. Topological insulators are thus promising materials for future lightwave-driven electronics [1].

Subcycle THz-ARPES does not only provide a way of observing carrier transport directly in non-trivial band structures. The method may well herald a new era of time-domain investigations of surface and bulk band structures of new materials and phenomena, ranging from topology to high-temperature superconductivity. I will briefly discuss perspectives as well as experimental difficulties of the technique.

[1] J. Reimann, S. Schlauderer, C. P. Schmid, F. Langer, S. Baiertl, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, A. Kimura, C. Lange, J. Güdde, U. Höfer, and R. Huber, *Nature* 562, 396 (2018).

講師紹介

Ulrich Höfer 先生は、表面物理学の分野で世界的に著名な研究者です。主に時間分解二光子光電子分光を用いた固体表面・界面電子や吸着分子が示す超高速な光励起ダイナミクスを対象とした研究を展開されています。談話会では、先生の研究グループが世界で初めて成功したテラヘルツポンプ角度分解光電子分光について解説して頂く予定です。物性研における光科学・表面科学そしてそれらの融合研究との関連性も深い内容で、興味深いお話が伺えると思います。是非、皆様ご参加下さい。

標題: Entropic elasticity and negative thermal expansion in a simple cubic crystal

日時: 2019年11月28日(木) 午後4時~午後5時

場所: 物性研究所本館6階 大講義室(A632)

講師: Igor Zaliznyak

所属: Brookhaven National Laboratory

要旨:

While most solids expand when heated, some materials show the opposite behavior: negative thermal expansion (NTE). NTE is common in polymers and biomolecules, where it stems from the entropic elasticity of an ideal, freely-jointed chain. The origin of NTE in solids had been widely believed to be different, with phonon anharmonicity, and specific lattice vibrations that preserve geometry of the coordination polyhedra - rigid unit motions (RUMs) - as

leading contenders for explaining NTE. Our neutron scattering study of a simple cubic NTE material, ScF₃, overturns this consensus [1]. We observe that the correlation in the positions of the neighboring fluorine atoms rapidly fades on warming, indicating an uncorrelated thermal motion, which is only constrained by the rigid Sc-F bonds. These experimental findings lead us to a quantitative theory of NTE in terms of entropic elasticity of Coulomb floppy network crystal, which is applicable to a range of open framework ionic solids featuring floppy network architecture [2]. Our theory is in remarkable agreement with experimental results in ScF₃, describing NTE, the phonon frequencies, the structural phase transition governed by entropic stabilization of criticality, and the entropic compressibility. We thus find that NTE in a family of insulating ceramic crystals stems from a simple and intuitive physics of entropic elasticity of an under-constrained floppy network, which has long been appreciated in soft matter and polymer science but has been broadly missed by the hard condensed matter community. Our results reveal the formidable universality of the NTE phenomenon across soft and hard matter [1,2].

[1] D. Wendt, et al., *Sci. Adv.* 5: eaay2748. (2019).

[2] A. V. Tkachenko, I. A. Zaliznyak. *arXiv:1908.11643* (2019).

講師紹介

Igor Zaliznyak 先生は、強相関・磁性分野の中性子散乱研究で世界的に著名な研究者です。主に非弾性散乱分光器を用いて、量子スピン系や高温超伝導物質のダイナミクスを対象とした研究を展開されてきました。談話会では、固体物理とソフトマターの負の熱膨張現象をフロッピーネットワーク理論でユニバーサルに解釈可能であることを、ScF₃ の負の熱膨張を例に解説していただく予定です。是非、皆様ご参加下さい。



物性研究所セミナー

標題：極限コヒーレント光科学セミナー：The Challenges of University Startup: Mindset for Overcoming Crisis 大学発ベンチャーの挑戦 ~危機を乗り越えるマインドセット~

日時：2019年11月12日(火) 午後1時~午後3時

場所：物性研究所本館6階 第一会議室(A636)

講師：セツト ジイヨン

所属：東京大学 先端科学技術研究センター

要旨：

The speaker has been involved in a university startup since 2002, right at the beginning of the period when the Japanese government is calling and promoting Hiranuma plan to increase the number of university patents by 10 fold in 10 years, and a bold vision to create 1,000 university startups in 5 years. By 2006, 1,627 startups were created fulfilling the original vision.

The speaker will talk about the case study based on the speaker's experience in operating a university technology startup. The focus will be on a few technology commercialization stories, the challenges faced, and the required mindset to overcome them in order to build a sustainable and profitable company.

標題：量子物質・ナノスケールセミナー：Resonantly hybridized excitons in moiré superlattices in van der Waals heterostructures

日時：2019年11月12日(火) 午後2時~午後3時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：Prof. Alexander Tartakovskii

所属：Department of Physics and Astronomy, University of Sheffield, UK

要旨：

Recent years have seen significant effort in exploration of monolayer semiconductors such as transition metal dichalcogenides (TMDs) MoS₂, WS₂, MoSe₂, WSe₂ etc. Of particular interest is a possibility to combine few-atomic-layer crystals to create artificial heterostructures with tailored electronic and optical properties. This route opens possibilities inaccessible for traditional semiconductors, where the strict lattice matching requirement limits possible combinations of materials in a heterostructure. In contrast, atomically-thin layers of two-dimensional materials can be assembled in vertical stacks held together by relatively weak van der Waals forces, allowing for coupling between monolayer crystals with incommensurate lattices and arbitrary mutual rotation. The lattice constant difference and the mutual rotation angle present new degrees of freedom for the design of novel meta-materials.

A profound consequence of using these new degrees of freedom is the emergence of an overarching periodicity in the local atomic registry of the constituent crystal structures, known as a moiré superlattice. Its presence in graphene/hexagonal boron nitride structures led to observation of the Hofstadter butterfly spectra, and recently culminated in the discovery of the intriguing superconductor-insulator transition at magic twist angles. In my talk, I will show that in semiconducting heterostructures built of incommensurate MoSe₂ and WS₂ monolayers, excitonic bands can hybridize, which results in the resonant enhancement of the moiré superlattice effects. MoSe₂ and WS₂ are specifically chosen for the near degeneracy of their conduction band edges to promote the hybridization of intra- and interlayer excitons. For MoSe₂/WS₂ heterostructures with almost aligned pairs of monolayer crystals, the resonant

mixing of the electron states leads to amplified effects of the heterostructure's geometrical moiré pattern on the dispersion of the hybridised excitons. Further in my talk, I will also discuss the tuning of the band-structure in van der Waals heterostructures containing alloys such as $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Se}_2$, where novel hybridisation and moiré superlattice effects are also observed.

Sheffield 2D Materials group web-site: <https://ldsd.group.shef.ac.uk/research/2d-materials/>

References:

1. E. M. Alexeev, D. A. Ruiz-Tijerina, M. Danovich, M. J. Hamer, D. J. Terry, P. K. Nayak, S. Ahn, S. Pak, J. Lee, J. I. Sohn, M. R. Molas, M. Koperski, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. S. Novoselov, R. V. Gorbachev, H. S. Shin, V. I. Fal'ko & A. I. Tartakovskii, "Resonantly hybridized excitons in moiré superlattices in van der Waals heterostructures", NATURE 567, 81 (2019).
2. A. Catanzaro, A. Genco, A. Kozikov, L. Sortino, C. Louca, D. Gillard, E. Alexeev, R. Pisoni, L. Hague, K. Einsslin, K. S. Novoselov, A. I. Tartakovskii, "Resonant electronic and excitonic hybridisation in heterobilayers made from transition metal dichalcogenides alloys", unpublished.

標題：ナノサイエンスセミナー：Fe-based superconducting thin films: current status and new perspective

日時：2019年11月27日(水) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：Professor Silvia Haindl

所属：Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology

要旨：

Thin films of Fe-based superconductors (Fe-pnictides, Fe-chalcogenides) have been synthesized and studied for about one decade in more than 500 publications. Despite the plethora of compounds within the family of new superconductors, the majority of thin film studies focused on FeSe ($\text{FeSe}_{1-x}\text{Tex}$) and $\text{BaFe}_{2-x}\text{CoxAs}_2$, because these compounds could be grown easily and successfully by pulsed laser deposition (PLD) and they showed, furthermore, high critical current densities ($10^5 - 10^6 \text{ Acm}^{-2}$) at liquid helium temperatures. Ultrathin Fe-chalcogenide films show also an electrostatic doping effect in electric-double-layer-transistor devices. In addition, the boost of transition temperature to 65 – 75 K in monolayer FeSe films grown by molecular beam epitaxy (MBE) has raised many new questions on the superconducting mechanism. Thin films of the more complex, layered anion compounds of Fe-oxyarsenides are less investigated because their synthesis is more difficult. Recently, progress was made in growing Fe-oxyarsenides and new heterostructures including different types of pnictide layers by using PLD. After giving an overview about the current status of thin film growth of the different Fe-based superconductors I will turn towards selected own investigations. Besides the conventionally explored high-field applications, new perspectives for Fe-based superconductors in the field of electronic devices will be discussed.



標題：機能物性セミナー：Molecular Devising and Device Engineering of Organic Electronics

日時：2019年11月28日(木) 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：Prof. Hong Meng

所属：北京大学

要旨：

Organic electronics based on the thin film devices, including organic thin film transistors (OTFTs), organic light emitting diodes (OLEDs), organic photovoltaics (OPVs) and organic electrochromic devices (OECs) are envisioned both great interest in academia and industry. The properties of organic semiconductor materials are directly governed by the molecule structures. In this talk I will present the recent work conducted in our lab for molecule design strategies. Examples include searching high mobility organic semiconductors and dielectric materials ($\sim 50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ with V_t of 0.5 V) with unique properties for OTFT and OLED applications; high fluorescence and fine tuning color efficiency of electrochromic materials with D-A conjugated polymers for dual-mode display and military camouflage applications; energy level controlling of hole transport materials and interface engineering of materials for perovskite solar cell applications. Detailed studies on the electrochemical and photoelectronic properties as well as the device performance of these new semiconductors and interface materials are discussed, last I will share stories of our new discovery of AC-Planar electroluminescent devices.

標題：理論セミナー：Proof of absence of local conserved quantity in $S=1/2$ XYZ chain with a magnetic field

日時：2019年11月29日(金) 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：白石 直人

所属：学習院大学

要旨：

The distinction of integrability and non-integrability, which are strongly related to the notion of chaos, plays a pivotal role in quantum many-body physics. Integrability and non-integrability are roughly equivalent to the presence and the absence of local conserved quantities. The presence of local conserved quantities prevents thermalization and mixing, which are relevant to broad research fields including the application of the Kubo formula [1], transport properties [2], and the scrambling in a black hole [3]. Since integrable systems have some unphysical properties as explained above, almost all many-body systems in nature are considered to be non-integrable. Therefore, it is a surprise that no concrete quantum many-body system has been proven to be non-integrable in spite of its ubiquitousness. Even worse, some researchers believe that non-integrability is out of scope of analytical investigation, and non-integrability can be only presumed with help of numerical simulations. To overcome this pessimistic belief, in this presentation, we rigorously prove that a particular quantum many-body system, the spin-1/2 XYZ chain with a magnetic field, is indeed non-integrable in the sense that this system has no nontrivial local conserved quantity [4]. The proof of non-integrability exploits a bottom-up approach, in which we demonstrate that all the candidates of local conserved quantities cannot be conserved. Any nontrivial conserved quantity in this model turns out to be a sum of operators supported by at least half of the entire system. Our approach can apply to other $S=1/2$ systems including the Heisenberg model with the next nearest-neighbor interaction.

References:

- [1] M. Suzuki, *Physica* 51, 277 (1971), A. Shimizu and K. Fujikura, *J. Stat. Mech.* 024004 (2017).
- [2] X. Zotos, F. Naef, and P. Prelovsek, *Phys. Rev. B* 55, 11029 (1997).
- [3] S. H. Shenker and D. Stanford, *J. High Energ. Phys.* 2014:67 (2014).
- [4] N. Shiraishi, arXiv:1803.02637

標題：ナノサイエンスセミナー：Resolving atomic motions on a crowded surface

日時：2019年12月4日(水) 午後3時～午後4時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：Professor Joost Winterlin

所属：Ludwig-Maximilians-Universität München

要旨：

Using a combined high speed-variable temperature STM we have resolved the diffusion of adsorbed atoms on a surface completely covered by co-adsorbed molecules. This process, diffusion on a crowded surface, is important in heterogeneous catalysis because it randomizes the adsorption layer and is thus the basis for the reaction kinetics. O atoms on a completely CO-covered Ru(0001) surface were observed to move across the surface almost as fast as on the bare ruthenium surface. This effect cannot be explained by one of the diffusion mechanisms known from 3D solids, namely vacancy diffusion, interstitial diffusion, direct exchange, ring exchange, etc. A new lattice diffusion mechanism is proposed in which fast density fluctuations in the adsorption layer frequently open low-energy pathways for the travelling atom. The mechanism may play a general role in heterogenous catalysis.

標題：ナノサイエンスセミナー・機能物性セミナー：機能物性&ナノサイエンスセミナー（FHIから3名の講演）

日時：2019年12月5日(木) 午後2時～午後4時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：(1) Ralph Ernstorfer (2) Mariana Rossi (3) Takashi Kumagai

所属：Fritz-Haber Institute of the Max-Planck Society, Berlin, Germany

要旨：

マックス・プランク協会フリッツ・ハーバー研究所の3名の研究者が物性研究所を来所し、連続セミナーを行います。

- (1) Dr. Ralph Ernstorfer “Hot carrier and phonon dynamics in semiconductors investigated with trARPES and femtosecond electron diffraction” 14:00-14:45
- (2) Dr. Mariana Rossi “Elucidating anharmonic quantum nuclear effects in hydrogen dynamics at finite temperatures” 14:45-15:30
- (3) Dr. Takashi Kumagai “Near-Field Physics and Chemistry in Plasmonic STM junctions” 15:30-16:15



標題：理論セミナー：Heat- and laser-driven non-equilibrium transport in quantum magnets

日時：2019年12月6日(金) 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：佐藤 正寛

所属：茨城大学理学部

要旨：

In the last decades, non-equilibrium phenomena have been intensively explored and several theoretical methods treating them have been developed. Spintronics, electronics, mesoscopic physics, non-equilibrium statistical physics, multiferroics, optics, cold atoms, etc. have abundantly contributed to the development. Motivated by these progresses, in recent years, we have tried to find/explore new interdisciplinary topics among these fields, especially, focusing on heat- [1,2,3] or laser-driven [4,5,6] phenomena.

In the present seminar, I would like to report two of our recent results for non-equilibrium spin transport. The first topic is the spin Seebeck effect in a spin-nematic state [3]. This offers a route between spintronics and quantum magnetism. The second is the theoretical study of the laser-driven rectification of DC spin current in non-centrosymmetric magnetic insulators [5]. This study is the first proposal for the spin-current version of shift current (spin version of solar cell), and results from connecting several ideas in spintronics, optics, multiferroics, and non-equilibrium physics. I would like to explain these results focusing on their essential aspects.

[1] D. Hirobe, MS, et al, Nat. Phys. 13, 30 (2017).

[2] D. Hirobe, MS, et al, PRB95, 241112(R) (2017). Editor's Suggestion.

[3] D. Hirobe, MS, et al, PRL123, 117202 (2019).

[4] H. Fujita and MS, PRB95, 054421 (2017), Editor's suggestion; PRB96, 060407(R) (2017); Sci. Rep. 8, 15738 (2018); H. Fujita, Y. Tada, and MS, New. J. Phys. 21, 073010 (2019).

[5] H. Ishizuka and MS, PRL122, 197702 (2019); arXiv:1907.02734.

[6] T. N. Ikeda and MS, arXiv:1910.00146.

標題：ナノサイエンスセミナー：XTIP - A dedicated beamline for synchrotron X-ray scanning tunneling microscopy

日時：2019年12月9日(月) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：Dr. Nozomi Shirato

所属：Center for Nanoscale Materials, Argonne National Laboratory

要旨：

A result of combining synchrotron X-ray radiation and scanning probe microscopy is a powerful microscope which can image and examine materials with unprecedented details. Synchrotron X-ray scanning tunneling microscopy (SX-STM) is designed for real space imaging of objects on a surface at the atomic limit and simultaneously obtaining electronic, chemical or magnetic contrast. At Advanced Photon Source in Argonne National Laboratory, XTIP beamline, the world's first dedicated beamline for SX-STM has been constructed. The beamline mainly consists of circular and linear polarizer with switching rate of 1Hz, a spherical grating monochromator with more than 4000 resolving power and KB mirrors to focus beam down to tens of micrometer. The beamline can produce a photon flux of 1011-1013 photons per second at 1keV. The capabilities of the beamline will benefit the communities to explore chemical, magnetic and electronic properties of materials at atomic resolution. Recently, a commissioning of the beamline has

been conducted, and in this talk, preliminary status of the beamline and measurements from commissioning will be discussed.

標題：理論セミナー：Magnetic properties in the generalized Kitaev model

日時：2019年12月13日(金) 午後4時～

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：古賀 昌久

所属：東京工業大学理学院物理学系

要旨：

The Kitaev model [1] have attracted much interest in condensed matter physics since the possibility of direction-dependent Ising interactions has been proposed in realistic materials [2]. One of the important features characteristic of the Kitaev models is the fractionalization of the spin degree of freedom. In the Kitaev model with $S = 1/2$ spins, the spins are exactly shown to be fractionalized into itinerant Majorana fermions and localized fluxes. Two energy scales for distinct degrees of freedom yield interesting finite temperature properties, such as a double-peak structure in the specific heat and plateau in the entropy [3]. This fractionalization is closely related to the existence of the local Z_2 symmetry in the system.

The existence of the local Z_2 symmetry is known even in the generalized spin- S Kitaev model [4], while it is still unclear whether or not the spin fractionalization occurs in the system. To clarify this, in this study, we examine thermodynamic properties in the generalized Kitaev model by means of the thermal pure quantum state method. We then clarify the existence of the double-peak structure in the specific heat and plateau in the entropy [5]. These suggest the existence of fractionalization even in this spin- S Kitaev model. Magnetic properties in the mixed-spin Kitaev model are also discussed.

[1] A. Kitaev, Ann. Phys. 321, 2 (2006).

[2] G. Jackeli and G. Khaliullin, Phys. Rev. Lett. 102, 017205 (2009).

[3] J. Nasu, M. Udagawa, and Y. Motome, Phys. Rev. B 92, 115122 (2015).

[4] G. Baskaran, D. Sen, and R. Shankar, Phys. Rev. B 78, 115116 (2008).

[5] A. Koga, H. Tomishige, and J. Nasu, J. Phys. Soc. Jpn. 87, 063703 (2018).

標題：極限コヒーレント光科学セミナー：誤り耐性量子コンピュータの実現に向けて ～連続量光量子情報処理

日時：2019年12月17日(火) 午後3時～午後4時30分

場所：物性研究所本館6階 第一会議室(A636)

講師：遠藤 護

所属：東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻

要旨：

量子重ね合わせ状態や量子エンタングルメント状態という、量子力学特有の性質を巧みに利用した量子コンピュータは、処理すべき情報量が爆発的に増大する現代社会において渴望されている。Google の研究チームが量子超越性に関する論文を発表するなど、特に最近では大きく着目されている[1]。実際、Shor の素因数分解アルゴリズム、Grover の探索アルゴリズムなどの量子アルゴリズムを量子コンピュータで実装することで、非常に高速な計算が可能となることが知られている。しかし、上記アルゴリズムを現実的に行うことができる誤り耐性量子コンピュータが実現するのは 20 年後以降とされ[2]、技術的・理論的な課題は数多く残されているのが現状である。



本セミナーの冒頭では、こうした状況を整理する意味も込めて、量子コンピュータの概要を示し、誤り耐性量子コンピュータ実現に向けた世界各国の取り組みについても俯瞰する。

次に、我々のグループで注力している光の直交位相振幅に量子状態をエンコードする連続量光量子情報処理を紹介する。現在の量子コンピュータ研究の主流である超伝導トランズモン方式や、イオントラップ方式と比較して、光を用いる手法はスケーラビリティが高く、室温環境下でも動作し、さらに光通信技術との親和性が非常に高い、といった特徴を持つ。本セミナーでは、その中でも①時間多重大規模量子エンタングルメント状態生成[3]と、②全光量子メモリ[4]、に関する直近の成果を紹介したい。

[1] F. Arute et al, Nature 574, 505-510 (2019)

[2] 日本経済新聞電子版 2019年11月22日「量子コンピューター、20年で実用化 政府ロードマップ」

[3] W. Asavanant et al, Science 366, 373-376 (2019)

[4] Y. Hashimoto et al, PRL 123, 113603 (2019)

物性研だより第 59 巻目録 (第 1 号～第 4 号)

物性研だより第 59 巻第 1 号

膨張させるとスピン配列がねじれる磁石の発見	酒井 英明、徳永 将史、石渡 晋太郎	1
室温で巨大な応答を示すワイル反強磁性体 Mn_3Sn の薄膜化に成功		
～反強磁性デバイス開発を大きく前進～	肥後友也、Danru Qu、大谷義近、中辻 知	4
周囲の温度に応答する高分子ハイドロゲルの物性評価	呉羽 拓真	7
エヌエフ基金 第 7 回(2018 年度)研究開発奨励賞を受賞して	池田 暁彦	10
第 23 回日本放射光奨励賞を受賞して	黒田 健太	12
物性研に着任して	岡崎 浩三	14
外国人客員所員を経験して	Susumu Takahashi	16
客員所員を経験して	松本 祐司	18
	摂待 力生	20
	山口 博則	22

【物性研究所短期研究会】

○軟 X 線放射光科学のアップシフト	23
○「量子多体効果が生み出す液晶的電子状態」	27

【ISSP ワークショップ】

○Novel Phenomena in Quantum Materials driven by Multipoles and Topology	32
---	----

【物性研究所談話会】	36
------------	----

【物性研究所セミナー】	38
-------------	----

【物性研ニュース】

○人事異動	52
-------	----

編集後記

物性研だよりの購読について

物性研だより第 59 巻第 2 号

グラフェンをトポロジカル絶縁体に	春山 純志、中村 壮智、勝本 信吾	1
超高速・超指向性・完全無散逸の 3 拍子がそろった理想スピン流の創発と制御		
～『弱い』トポロジカル絶縁体の世界初の実証に成功～	野口 亮、黒田 健太、近藤 猛	4
強磁場で解き明かすトポロジカル磁気相転移		
ースキルミオン格子から創発磁気モノポール格子へー		
金澤 直也、藤代 有絵子、十倉 好紀、三田村 裕幸、三宅 厚志、松尾 晶、金道 浩一、徳永 将史		7
異なるタイプのスピン分裂バンドの共存	矢治 光一郎、小森 文夫、ビシコフスキー アントン、田中 悟	10
日本中性子科学会ポスター賞を受賞して	長谷川 舜介	13

第 13 回日本物理学会若手奨励賞(領域 5)を受賞して	玉谷 知裕	14
第 24 回日本物理学会論文賞を受賞して	北川 健太郎	16
第 13 回日本物理学会若手奨励賞を受賞して	酒井 明人	18
外国人客員所員を経験して	Natalia DRICHKO	20

【物性研究所談話会】	21
【物性研究所セミナー】	22
【物性研究所ニュース】	
○人事異動	33
○東京大学物性研究所教員公募について	35
編集後記	

物性研だより第 59 巻第 3 号

トポロジカル半金属 Cd_3As_2 薄膜における量子化表面伝導の観測	打田 正輝 徳永 将史	1
分子金属界面のスピン流-電流変換	一色 弘成、近藤 浩太、三輪 真嗣、大谷 義近	4
2018 年度高分子研究奨励賞を受賞して	Li Xiang	7
CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials の JPSJ ポスター賞を受賞して	平井 大悟郎	9
SNS2019 の Young Researchers Award を受賞して	鈴木 剛	11
SPRUC 2019 Young Scientist Award を受賞して	久保田 雄也	13
外国人客員所員を経験して	Jinguang Cheng	15

【物性研究所短期研究会】		
○物性研スパコン共同利用・CCMS 合同研究会「計算物質科学の新展開」	17	
○「高圧合成による新規材料開発と高圧下測定技術の集結」	20	
第 64 回物性若手夏の学校開催報告	清水 真	25
【物性研究所談話会】	28	
【物性研究所セミナー】	29	
【物性研ニュース】		
○人事異動	38	
○東京大学物性研究所の客員教授(准教授)公募のご案内	40	
○東京大学物性研究所教員公募について	42	
○東京大学物性研究所特任研究員の公募について	44	
○東京大学物性研究所教員公募について	46	
○東京大学物性研究所教員公募について	50	
○平成 30 年度外部資金の受入について	52	
編集後記		

物性研だより第 59 巻第 4 号

鉄系超伝導で超伝導状態を「光で作る」ことに成功	鈴木 剛、岡崎 浩三、辛 埴	1
ホウ化水素シートにおける光誘起水素発生		4
河村 玲哉、平林 透、山口 晃、宮内 雅浩、Nguyen Thanh Cuong、石引 涼太、岡田 晋、近藤 剛弘、藤田 武志、松田 巖		
フラストレート量子磁性体における量子相転移とハイブリッド励起	林田 翔平、益田 隆嗣、松本 正茂	7
アメリカ物理学会(APS)フェローに選出されて	押川 正毅	10
ISCOM2019 Poster Prize を受賞して	砂入 允哉	13
第 46 回応用物理学会講演奨励賞を受賞して	山本 航平	15
令和元年度 物性研究所一般公開の報告	徳永 将史	17
【物性研究所談話会】		22
【物性研究所セミナー】		24
物性研だより第 59 巻目録 (第 1 号～第 4 号)		31
編集後記		
物性研だよりの購読について		



編集後記

以下、少し長くなって恐縮ですが、押川先生の記事に着目させていただきます。APSフェローの選出は、これまでの受賞者を見ても大変な名誉なことだと思います。そして、アメリカでの研究環境については、共感される読者の方々も多いと思います。丁度、アメリカ大統領選挙が始まっていますが、ニュースの中からも多民族国家、chat、上手な環境づくりなど通じることが多く感じられます。ちなみに、アメリカでは、私のようなリサーチアドミニストレータの協会があり、社会的にも研究環境整備に関する体制が確立されています。一方、ヨーロッパでは、勿論、研究で有名な大学はありますが、マックスプランクに代表されるように、大学は教育、研究は研究所という棲み分けを元に、研究所では当然研究活動を中心とした研究環境が作られています。押川先生も書かれたように、アメリカとヨーロッパの間でも研究環境に関する違いも多いわけですが、欧米にはあって日本には欠けていることとしては、官僚における博士人材です。この構造的な課題のしわ寄せが、研究現場での研究時間の確保を難しくしているように思います。まあ、そのため(?) URA が必要になっていることも確かですが。

今回も研究に関する文面を書くスペースが無くなってしまいました。

鈴木博之

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