

# 量子液晶の物性科学

## News Letter Vol.9

2023年7月発行

### 目次

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1. 令和4年度領域研究会開催報告 .....  | 清水康弘 1                                |
| 2. 物理学会共催シンポジウム報告 .....  | 大串研也 4                                |
| 3. 「第2回量子物質開発フォーラム」開催報告 .....  | 大串研也 5                                |
| 4. 第4回 QLC 若手奨励賞   |                                       |
| 4-1 二次元準周期系におけるトポロジカル超伝導状態 .....   | 堀真弘 6                                 |
| 4-2 光第二高調波発生による $\text{MnTiO}_3$ 中の多極子ドメインの実空間観察 .....                                     | 関根大輝 7                                |
| 5. QLC チャンネルより   |                                       |
| 5-1 パルス磁場中超音波測定によって FFLO 超伝導状態における異方性の検出に成功 .....  | 今城周作 8                                |
| 5-2 Correlation-driven electronic nematicity in the Dirac semimetal $\text{BaNiS}_2$ ..... | BUTLER, Christopher J. 9              |
| 5-3 自動微分を用いた目的の性質を満たすハミルトニアン of 逆設計 .....  | 求幸年 10                                |
| 5-4 Exploring electron pairing symmetry in kagome superconductors .....                    | ZHONG, Yigui and and OKAZAKI, Kozo 11 |
| 6. 最近の研究から   |                                       |
| 【A01】 A サイト秩序型ペロブスカイト酸化物での A サイト反強磁性磁気構造 .....   | 島川祐一 12                               |
| 【B01】 高強度テラヘルツ分光技術が拓く量子非平衡系の物質科学 .....   | 廣理英基 13                               |
| 【C01】 散逸量子系におけるフロッケ・エンジニアリングとその応用 .....  | 佐藤正寛 14                               |
| 【D01】 磁気渦の粒子“スキルミオン”のナノ秒時空間イメージング .....  | 石坂香子 15                               |
| 7. 若手研究者の紹介  |                                       |
| 7-1 Investigation of the ground state properties of a novel kagome family .....            | SHARMA, Ramender Kuma 16              |
| 8. 「第16回物性科学領域横断研究会」開催報告 .....   | 芝内孝禎 17                               |
| 9. 国際会議のご案内 QLC2023 .....  | 戸田泰則 18                               |
| 10. その他  |                                       |
| 人事異動・受賞・アウトリーチ・メディア報道・プレスリリース .....  | 19                                    |
| 開催報告 .....   | 25                                    |
| 支援プログラムの紹介 .....   | 26                                    |
| 今後の予定 .....  | 27                                    |
| 編集後記 .....   | 28                                    |



新学術領域研究 令和元年度～5年度

量子液晶の物性科学

Quantum Liquid Crystals

<http://qlc.jp/>

## 令和4年度領域研究会開催報告

B01班 清水 康弘

2022年12月8日(木)～10日(土)の日程で名古屋大学坂田平田ホールにおいて、令和4年度領域研究会を開催しました。本新領域研究がスタートしてから早くも3年経ちましたが、ようやく現地開催が実現しました。オンライン参加とのハイブリッド形式でしたが、新たに本会場に導入されたウェブ会議システムにより、質疑応答も含め滞りなく行われました。最大で、現地57名、オンライン98名の参加がありました。3日間を通して、口頭発表33件(計画班26件+公募7件、うち9名はオンライン発表)、ポスター発表71件(一般52件+公募班19件)の講演がありました。英語スライドで日本語による講演を基本に行われました。

講演プログラムは、ネマティック超伝導、新物質開発、光励起現象、スピン液晶、新技術開発といった多岐にわたるトピックから構成されました。初日午後の前半のセッションでは、鉄系超伝導体の物性や新規超伝導体の開発に関する成果発表があり、質問時間内には到底収まらないほど活発な質疑がありました。後半のセッションでは、ポンプ・プローブ分光や磁気光学を始めとする量子液晶の光応答などに関するユニークな成果が発表されました。2日目の午前中には、Remoを用いたオンラインでポスター発表が開催され、2名の大学院生が4th QLC Young Researcher Award 授与されました。午後には、量子スピン液体やカイラル磁性体における実験と理論に関する近況が報告され、オンラインとオンサイトの参加者が入り混じって熱い議論が飛び交いました。3日目も引き続き新規超伝導体の開発や各種分光測定を始めとする様々なトピックの発表と議論があり、評価委員の先生方からも貴重なコメントを頂きました。

対面でしかない臨場感と緊張感を徐々に感じながら、3年間止まっていた時計の針が音を立てて動き出したようなブレイクストームを覚えた参加者の方も多いのではないでしょうか。単なる二次元と三次元世界の違い以上に、研究者らがひとつの空間をともにし、科学することの大切さを感じた3日間でした。



令和4年度領域研究会の参加者集合写真。

---

氏名 清水 康弘 (名古屋大学・理学研究科・講師)

令和 4 年度領域研究会 プログラム

**Thursday, December 8th.**

**Opening**

13:00-13:05 Opening Remark, Announcement SHIBAUCHI, Takasada

**Session 1:**

Chair : SHIMIZU, Yasuhiro

13:05-13:25 SHIBAUCHI, Takasada (University of Tokyo)  
“Enhanced Superconducting Pairing Strength near a Nematic Quantum Critical Point”  
13:25-13:45 OKAMOTO, Yoshihiko (University of Tokyo)  
“Superconductivity in Ternary Scandium Tellurides with 3d, 4d, and 5d Transition Metals”  
13:45-14:05 EISAKI, Hiroshi (AIST)  
“Competing order in 1144-type iron based superconductors”  
14:05-14:25 IKEDA, Hiroaki (Ritsumeikan University)  
“Development of first-principles calculations and multipole correlations”  
14:25-14:45 KASAHARA, Shigeru (Okayama University)  
“Puzzles of the superconducting state in tetragonal  $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ ”  
14:45-15:00 UCHIDA, Yoshiaki (Osaka University)  
“Shape control of materials using liquid crystals as reaction fields”  
15:00-15:15 HIRAI, Daigorou (Nagoya University)  
“Novel molecular orbital crystal and possible liquid crystal state in RuP”

**Session 2:**

Chair : ARITA, Ryotaro

15:40-16:00 OHGUSHI, Kenya (Tohoku University)  
“Metal-insulator transition on honeycomb lattice”  
16:00-16:20 OKAZAKI, Kozo (University of Tokyo)  
“HHG-laser-based time- and angle-resolved photoemission spectroscopy with wavelength-tunable excitation”  
16:20-16:40 HIRORI, Hideki (Kyoto University)  
“Harmonic generation from nonlinear THz spin dynamics in antiferromagnets”  
16:40-17:00 WADATI, Hiroki (University of Hyogo)  
“Time-resolved pump-probe measurements of ferromagnetic and antiferromagnetic thin films”  
17:00-17:20 TODA, Yasunori (Hokkaido University)  
“Optical vortex induced spatio-temporally modulated superconductivity in a high- $T_c$  cuprate”  
17:20-17:40 ARIMA, Taka-hisa (University of Tokyo)  
“Rotation Symmetry Breaking and Magnetic Skyrmion Lattice in  $\text{EuAl}_4$ ”  
17:40-17:55 OKAMURA, Yoshihiro (University of Tokyo)  
“Observation of topological magneto-optical effect from skyrmion lattice”  
17:55-18:10 UCHIDA, Masaki (Tokyo Institute of Technology)  
“Fabrication and control of  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  films by molecular beam epitaxy”

**Friday, December 9th.**

**Poster Session:**

Chair : KIMURA, Tsuyoshi

09:00-10:00 1 min. Preview, using “Zoom”  
10:00-12:00 Poster Presentation, using “Remo”

**Session 3:**

Chair : OKAMOTO, Yoshihiko

14:00-14:20 SHIMIZU, Yasuhiro (Nagoya University)  
“Spin dynamics of quantum spin liquid crystals”  
14:20-14:40 SHANNON, Nic (OIST)  
“Simulating the dynamics of quantum liquid crystals in spin-1 magnets”  
14:40-15:00 MOTOME, Yukitoshi (University of Tokyo)  
“Spin nematics meet spin liquids: numerical study of the  $S=1$  Kitaev model with biquadratic interactions”  
15:00-15:20 SHIMAKAWA, Yuichi (Kyoto University)  
“Orthogonal antiferromagnetism in quadruple perovskites driven by hidden kagomé lattices”

- 15:20-15:40 KOBAYASHI, Kensuke (University of Tokyo)  
“Physical properties measurement using diamond quantum sensors”  
15:40-15:55 YONEZAWA, Shingo (Kyoto University)  
“Symmetry breakings observed in quantum liquid crystals”

**Session 4:**

Chair : OHGUSHI, Kenya

- 16:20-16:40 KIMURA, Tsuyoshi (University of Tokyo)  
“Antiferromagnetic domain imaging via linear magnetoelectric effect”  
16:40-17:00 TOGAWA, Yoshihiko (Osaka Metropolitan University,)  
“Control of chiral spin response in chiral materials”  
17:00-17:20 SATO, Masahiro (Chiba University)  
“Quantum Version of Uniaxial Chiral Ferromagnets”  
17:20-17:40 ARITA, Ryotaro (University of Tokyo)  
“*Ab initio* search for functional magnets based on cluster multipole theory”  
17:40-17:55 ONOSE, Yoshinori (Tohoku University)  
“Chirality-dependent spin current generation in a helimagnet”

**Saturday, December 10th.**

**Session 5:**

Chair : TOGAWA, Yoshihiko

- 09:30-09:50 HANAGURI, Tetsuo (RIKEN)  
“Search for novel electronic nematic states by spectroscopic-imaging STM”  
09:50-10:10 SATO, Taku J (Tohoku University)  
“Magnetoelectric effect in  $\alpha$ -Cu<sub>2</sub>V<sub>2</sub>O<sub>7</sub>”  
10:10-10:30 ISHIZAKA, Kyoko (University of Tokyo)  
“Laser  $\mu$ ARPES study on atomically-thin transition-metal ditelluride flakes”  
10:30-10:50 KONTANI, Hiroshi (Nagoya University)  
“Novel quantum liquid crystal states in recently discovered strongly correlated metals”  
10:50-11:10 KUDO, Kazutaka (Osaka University)  
“Superconductivity in BaPt(As<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>) with honeycomb networks”  
11:10-11:30 TOHYAMA, Takami (Tokyo University of Science)  
“Exciton-Assisted Anisotropic Low-Energy Spin Dynamics in Photoexcited Mott Insulators”  
11:30-11:45 MATSUNO, Jobu (Osaka University)  
“Estimation of DM interaction at oxide interfaces”

**Closing**

- 11:45- Winner announcement, QLC Young Researcher Award: WADATI, Hiroki  
Closing Remark: SHIBAUCHI, Takasada

## 物理学会シンポジウム「金属、スピン系、超伝導体における様々な量子液晶状態」報告

A01 班 大串 研也

日本物理学会 2023 年春季大会は、3/22-25 にオンラインで開催されました。その中で、本新学術領域が発展させてきた「量子液晶の物性科学」に関して、シンポジウムを開きました。企画する際には、金属・スピン系・超伝導体における様々な量子液晶状態を、俯瞰的に扱うことを心掛けました。これにより、「いかなる微視的メカニズムにより異方性が獲得されるのか」「量子液晶状態の素励起・集団励起はいかなるものなのか」「量子液晶状態の普遍性と多様性を分類・整理できるのか」などの問題意識を浮き彫りにすることを目指しました。プログラムは下記の通りです。

1. はじめに(大串研也: 東北大理)
2. 量子液晶の発現機構と分類学(紺谷浩: 名大理)
3. カゴメ金属  $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$  における奇パリティ量子液晶(浅場智也: JST さきがけ)
4. Correlation-driven electronic nematicity in the Dirac semimetal  $\text{BaNiS}_2$  (Butler Christopher: RIKEN CEMS)
5. キタエフスピン液体におけるネマティック転移(藤本聡: 阪大基礎工)
6. キラル磁気超構造における集団共鳴運動(島本雄介: 大阪公立大)
7. 超音波で観る FFLO 超伝導の空間異方性(今城周作: 東大物性研)
8.  $^{17}\text{O}$ -NMR による  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  における超伝導スピンスメクティック状態としての FFLO 状態の観測(金城克樹: 京大院理)

はじめに、紺谷氏より量子液晶の分類学とカゴメ金属における電荷液晶の理論が紹介されました。続いて、浅場氏よりカゴメ金属  $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$  における奇パリティ対称性の破れについて、Butler 氏によりディラック半金属  $\text{BaNiS}_2$  における電子ネマティック状態について紹介されました。次に、藤本氏によりキタエフスピン液体候補物質  $\alpha\text{-RuCl}_3$  における磁場誘起 2 回対称状態について、島本氏によりキラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  における磁気ソリトン格子の集団励起について紹介されました。さらに、FFLO 超伝導について、今城氏から有機物質  $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(NCS)}_2$  に対する超音波実験、金城氏から無機物質  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  に対する NMR 実験が紹介されました。関連論文の一部を下記にリストアップしたので、是非ご参照下さい。

いずれの講演も、250 名以上の聴衆に恵まれ、活発な議論がなされました。量子液晶を探求する上でのポイントについて、個々の研究者なりの理解が得られたなら幸いです。講演をお引き受け下さった皆様、およびシンポジウムに参加して下さいの皆様、厚く感謝申し上げます。

参考文献:

- [1] C. J. Butler, Y. Kohsaka, Y. Yamakawa, M. S. Bahramy, S. Onari, H. Kontani, T. Hanaguri, and S. Shamoto, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **119**, e2212730119 (2022).
- [2] Masahiro O. Takahashi, Masahiko G. Yamada, Daichi Takikawa, Takeshi Mizushima, and Satoshi Fujimoto, *Phys. Rev. Res.* **3**, 023189 (2021). O. Tanaka, Y. Mizukami, R. Harasawa, K. Hashimoto, K. Hwang, N. Kurita, H. Tanaka, S. Fujimoto, Y. Matsuda, E.-G. Moon, and T. Shibauchi, *Nat. Phys.* **18**, 429 (2022).
- [3] Y. Shimamoto, Y. Matsushima, T. Hasegawa, Y. Kousaka, I. Proskurin, J. Kishine, A. S. Ovchinnikov, F. J. T. Goncalves, and Y. Togawa, *Phys. Rev. Lett.* **128**, 247203 (2022)
- [4] Shusaku Imajo, Toshihiro Nomura, Yoshimitsu Kohama, and Koichi Kindo, *Nat. Commun.* **13**, 5590 (2022).
- [5] K. Kinjo, M. Manago, S. Kitagawa, Z. Q. Mao, S. Yonezawa, Y. Maeno, K. Ishida, *Science* **376**, 397 (2022).
- [6] H. Kontani, R. Tazai, Y. Yamakawa, and S. Onari, *Adv. Phys.* **70**, 355 (2021). R. Tazai, Y. Yamakawa, S. Onari, and S. Kontani, *Sci. Adv.* **8**, eabl4108 (2022).

研究室 HP: <http://web.tohoku.ac.jp/mqp/>

大串 研也 (東北大学・大学院理学研究科・教授)

## 「第2回量子物質開発フォーラム」開催報告

A01 班 大串 研也

2023年1月6-7日に、第2回量子物質開発フォーラムを東北大学で開催しました。量子物質開発フォーラムは、経験と勘に頼る要素がある物質開発について情報交換を行うこと、世代を超えた研究者間の交流を促進することを目的としたフランクな研究会です。思い起こせば、第1回量子物質開発フォーラム(2020年10月1-2日開催)は、本新学術領域におけるオンライン研究会の走りとも言えるものでした。そのカウンターパートといった訳ではないのですが、第2回は対面開催にこだわりました。これは、大学院生・博士研究員を含む若手研究者のキャリア形成のためには、対面で交流することがとても重要だと考えたからです。全ての講演者は会場から発表し、聴講者はオンライン参加も可能というハイブリッド型を採りました。

当日は、少し長めに設定した質疑応答時間が足りなくなるほど、活発な議論が行われました。また、講演の合間に談笑する姿が見られたのは嬉しかったです。今回は、懇親会を開けなかったのですが(このニュースレターが届く半年以上前のことで、それなりに微妙な情勢でした)、今後より交友を深める機会があると良いですね。また、この機会に東北大学の関連研究室を見学することを推奨しました。私の研究室を訪ねて下さった方もいましたが、若くてやる気のある人と話すと、こちらも元気が出ます。学外で実験をする機会のない分野の方には、今回が初めての出張だった人もいるのではないのでしょうか。旅先で少しだけ羽を伸ばして、リフレッシュして下さったのなら幸いです。

末尾に、講演者とプログラムを掲載します。講演をして下さった皆様、および対面・オンラインで研究会に参加して下さい下さった皆様に、厚く御礼申し上げます。旅費を支援して下さい下さった事務局の皆様にも感謝いたします。

1. 杉浦 栞理(東北大学) “層状有機超伝導体におけるノイズ測定”
2. 池野辺 寿弥(東京大学) “ノーダルライン半金属 NaAlSi と NaAlGe における超伝導”
3. 青山 拓也(東北大学) “高機能ピエゾ磁石の探索”
4. 田中 克大(東京大学) “反強磁性体・フェリ磁性体におけるトンネル磁気抵抗効果”
5. 畑中 樹人(東京大学) “層間挿入された遷移金属ダイカルコゲナイドにおける磁気相互作用の第一原理研究”
6. 増木 亮太(東京大学) “非調和フォノン理論に基づく有限温度における構造最適化”
7. 永井 隆之(東京大学) “化学結合の観点から見たフェロアキシシャル相転移”
8. 佐藤 楓貴(東北大学) “ハニカム格子物質  $\text{Ru}(\text{Br}_{1-x}\text{I}_x)_3$  における金属絶縁体転移”
9. 山田 林介(東京大学) “ディラック半金属  $\text{CaIrO}_3$  における高移動度電子と電子相関効果”
10. 荻野 拓(産総研) “層状複合アニオン化合物の単結晶育成”
11. 篠田 祐作(名古屋大学) “空間反転対称性の破れた六方晶スカンジウム化合物  $\text{Sc}_6\text{MTe}_2$  における超伝導”
12. 越沼 輝成(産総研) “コンビナトリアルケミストリー法を用いた新規超伝導物質探索”
13. 西早 辰一(東工大) “分子線エピタキシー成長による  $\text{EuCd}_2$  薄膜の作製と多成分トポロジカルホール効果の観測”
14. 成塚 政裕(理研) “単層  $\text{NbSe}_2$  の分子線エピタキシー成長と走査トンネル分光イメージング”
15. 堀 惣介(大阪大学) “エピタキシャル  $\text{SrIrO}_3$  薄膜を用いた電流-スピン流変換現象”
16. 那波 和宏(東北大学) “スピン 1/2 フラストレート正方格子磁性体  $2\text{VOSO}_4 \cdot \text{D}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{D}_2\text{O}$  における磁気相互作用制御”

研究室 HP: <http://web.tohoku.ac.jp/mqp/>

大串 研也 (東北大学・大学院理学研究科・教授)

## 二次元準周期系におけるトポロジカル超伝導状態

堀真弘

この度は第 4 回 QLC 若手研究奨励賞を頂戴し、誠に光栄に存じます。このような賞を頂けたのは、普段の研究生活を支えていただいている先生方のおかげであり、この場をお借りして感謝を申し上げます。また、賞の選考に携わってくださった方々や、領域研究会で私のポスター発表を聞きにきてくださった先生方に心よりお礼申し上げます。

私の研究は、準結晶におけるトポロジカル超伝導の理論を確立しようとするものです。準結晶は、周期性が無いという点で通常の結晶と異なりますが、広い空間スケールで見た時に長距離の秩序が有るという点でランダム系とも異なるような、準周期性と呼ばれる特別な原子配置をもつ物質群のことで、1984 年に準結晶が発見されて以降、古典的な結晶学の枠組みに捉われない新たな物質科学が切り開かれてきました。

準結晶を理論的に研究するにあたって、私が対象としている現象はトポロジカル超伝導です。トポロジカル超伝導体では、系の端にマヨラナ準粒子が出現すると言われていています。世界的に開発が競われている量子コンピュータにおいて、このマヨラナ準粒子を活用できる可能性が指摘されていることもあって、トポロジカル超伝導の研究が近年活発に行われています。これまでに、準結晶においてトポロジカルではない通常の超伝導が観測されています。これを受けて我々は、準結晶におけるトポロジカル超伝導の実現可能性や、実現した際に系が示す性質を理論的に調べています。

具体的には、周期系におけるトポロジカル超伝導のモデルを、図 1 に示す(a)ペンローズ準結晶や(b)アンマン・ビーンカー準結晶へと拡張し、そこで実現される超伝導状態や系のトポロジを調べています。我々は自己無撞着方程式を解きトポロジカル指数を計算することで、トポロジカル超伝導状態が準結晶においても実現することを明らかにしました[1,2]。また準結晶に特徴的な空間的構造である、結晶では許されない特別な回転対称性や、鏡映対称性および自己相似性などを反映した超伝導状態が実現されることを確認しました。さらに、準結晶におけるトポロジカル転移を説明する上で、結晶と同様に波数空間を用いた解析が有効である可能性を議論しました。

今後は、量子現象における準結晶に固有の性質をより明確に示す研究を目指していきます。例えば準結晶における強束縛モデルでは、空間的に有限な領域のみで波動関数が値を持つような固有の束縛状態が実現することが知られています。我々はハルデーモデルを準結晶へ拡張した場合にも束縛状態が実現することを明らかにしました[3]。このようなモデルにおいて、2 次元準結晶を積層することにより高次トポロジカル超伝導を実現させ、準結晶固有の束縛状態との関係を調べたいと考えています。

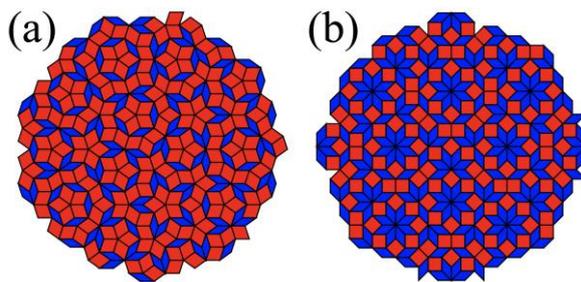


図 1:(a) ペンローズ準結晶。(b)アンマン・ビーンカー準結晶。

### 参考文献

- [1] M. Hori, R. Ghadimi, T. Sugimoto, T. Tohyama, and K. Tanaka, *JPS Conf. Proc.* **38**, 011062 (2023) [<https://doi.org/10.7566/JPSCP.38.011062>].
- [2] M. Hori, R. Ghadimi, T. Sugimoto, T. Tohyama, and K. Tanaka, *JPS Conf. Proc.* **38**, 011065 (2023) [<https://doi.org/10.7566/JPSCP.38.011065>].
- [3] R. Ghadimi, M. Hori, T. Sugimoto, and T. Tohyama, arXiv:2304.10699 [<https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.10699>].

研究室 HP: <https://www.rs.tus.ac.jp/tohyamalab/>

## 光第二高調波発生による $\text{MnTiO}_3$ 中の多極子ドメインの実空間観察

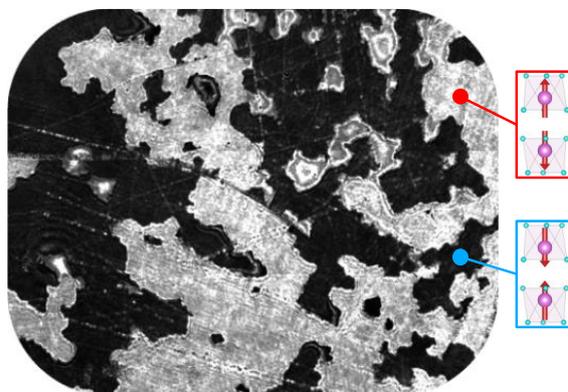
関根 大輝

この度は、第4回 QLC 若手研究奨励賞を頂き大変光栄に思います。指導教官である東北大学の松原正和 准教授の他、共同研究者の東京大学の佐藤樹 博士、徳永祐介 准教授、有馬孝尚 教授に改めて感謝申し上げます。本稿では、受賞対象となった研究内容について紹介させていただきます。

固体において電荷や磁化が秩序を持って整列することで、誘電性や磁性などの様々な性質が現れます。そのような秩序を物質中の電荷や磁化の空間分布を用いて記述したものを「多極子」と呼びます。多極子を用いると、様々な物理現象をミクロな観点から統一的に記述できることから近年注目を集めています。しかしながら、多彩な多極子の検出・制御手法は確立されていない部分が多く、様々な多極子を直接的に検出する手法の開拓が求められています。

本研究では、非線形光学効果の一種である光第二高調波発生 (SHG) を用いた多極子ドメインの実空間観察に取り組みました[1, 2]。SHG は、物質にレーザー光などの比較的強い光を照射すると、入射光の半分の波長の光が生じる現象です。原理的に、物質中の空間反転対称性の破れや時間反転対称性の破れに敏感なことから、通常的手法では検出が容易ではない反強磁性秩序や反強磁性ドメインをも直接的に検出・可視化する強力なプローブとなることが期待されています[3]。

今回は対象物質として  $\text{MnTiO}_3$  を選びました。本物質は 65 K 以下で  $c$  軸方向にコリニアな反強磁性秩序を示します。対称性の観点からは、反強磁性相において磁気単極子・磁気四極子・磁気トロイダル双極子という時間反転対称性および空間反転対称性を共に破る多極子を持つと予想されている他[4]、結晶の回転歪みによって特徴づけられる電気トロイダル双極子の存在も示唆されています。SHG 強度の空間分布の温度依存性を測定した結果、65 K 以上では空間的に一様な SHG 強度分布が得られるのに対し、65 K 以下では SHG 強度および空間分布が大きく変化することが分かりました[1]。解析の結果、電気トロイダル双極子に由来するフェロアキシャル秩序は一様に揃ったシングルドメインを形成しているのに対し、磁気単極子・磁気四極子・磁気トロイダル双極子に由来する反強磁性秩序は明瞭な明暗模様が示す通りマルチドメインを形成していることが分かりました[2] (図参照)。このように、SHG というプローブのポテンシャルをうまく利用することで、様々な多極子を分離検出し、それら多極子に由来するドメインの大きさや形状などを非破壊・非接触で直接観察することに成功しました。今後はレーザー波長の変化や外場印加などにより、多極子の本質にさらに迫ることができればと考えております。



図： $\text{MnTiO}_3$  における、磁気単極子・磁気四極子・磁気トロイダル双極子から成る反強磁性ドメインの SHG 像。異なるドメインを明暗によって区別できる。

### 参考文献

- [1] D. Sekine, T. Sato, Y. Tokunaga, T. Arima, and M. Matsubara, JPS Conf. Proc. **38**, 011121 (2023) [<https://journals.jps.jp/doi/abs/10.7566/JSPSCP.38.011121>].
- [2] D. Sekine, T. Sato, Y. Tokunaga, T. Arima, and M. Matsubara, To be submitted.
- [3] 松原正和, 望月維人, 木村剛, 固体物理 **51**, 173 (2016).
- [4] T. Sato, N. Abe, S. Kimura, Y. Tokunaga, and T. Arima, Phys. Rev. Lett. **124**, 217402 (2020) [<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.124.217402>].

研究室 松原グループ HP : <https://web.tohoku.ac.jp/sspp/matsubara/>

関根 大輝 (東北大学・理学研究科・光物性物理研究室・博士3年)

## パルス磁場中超音波測定によって FFLO 超伝導状態における異方性の検出に成功

B01 班 今城 周作

超伝導状態は二つの遍歴的な電子が対を形成し、その電子対が凝縮することによって生じます。通常の超伝導状態では、対を組む 2 つの電子の運動量はそれぞれ  $k$  と  $-k$  のように符号が逆で絶対値が同じになります。つまり、電子対としての重心運動量は合計して 0 となります。一方、1964 年に Fulde, Ferrell と Larkin, Ovchinnikov は  $k$  と  $-k+q$  のように運動量の絶対値が異なる電子対の凝縮を提案し、現在は FFLO 状態として知られています。この FFLO 状態では電子対が有限の重心運動量  $q$  をもつこととなります。この  $q$  によって、FFLO 状態は実空間で超伝導と常伝導の部分が周期変調するという性質を示すことが知られています。しかし、FFLO 状態が発現するためには複数の条件を満たす必要があり、現実のほとんどの超伝導体では実現しないと考えられています。更に、FFLO 状態が現れるのは強磁場の極限環境に限られるため、可能な実験が制限されています。そのため、これまでに FFLO 状態の実空間の周期変調性を実験的に検出した例はありませんでした。

有機超伝導体は純良な単結晶が得られやすく、低次元性等の特徴により FFLO 状態が安定して発現する可能性が期待されています。しかし、有機超伝導体の単結晶は小さく割れやすいため実験上の取り扱いが難しい場合が多くあります。本研究では FFLO 状態を実験的に検出するための挑戦として、有機超伝導体の強磁場物性測定手法の開発を行ってきました。その一つとして有機超伝導体でもパルス磁場中超音波測定が可能となりました。

そこで、FFLO 候補物質の一つである有機超伝導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub> のパルス強磁場中の音速測定を行いました。得られた音速の磁場依存性の結果が図 1 です。温度は 1.6 ケルビンで、磁場は伝導面内方向の  $c$  軸に平行に印加されており、縦波を  $b$  軸に印加した場合が青、 $c$  軸の場合が赤のデータです。黄色で示した 21-25 テスラの強磁場領域のみで音波の印加方向に対して音速が異なった変化を示すことがわかりました。この磁場範囲は FFLO 状態が発現すると理論的に予想されたパウリ極限と臨界磁場の間に合致していることから FFLO 状態であるとわかりました。

音波の変位方向が  $b$  軸に平行な場合(青)のみ、FFLO 状態内で音速が増大する磁場領域が見られました。周期的な空間変調性による弾性定数の変化を考慮すると、インセットに示すような  $b$  軸方向に空間変調構造が強く現れていると予想されます。この方向は、この物質の理論計算で得られたフェルミ面の形状に由来したネスティングと呼ばれる方向に一致しています。

今回はこれまで難しかった有機物の FFLO 状態の検出や空間変調性の議論が超音波測定によって可能であることを示しました。今後は他の FFLO 候補物質も測定することで、物質間比較を通して FFLO 状態の更に詳細な議論をしたいと考えています。

参考文献

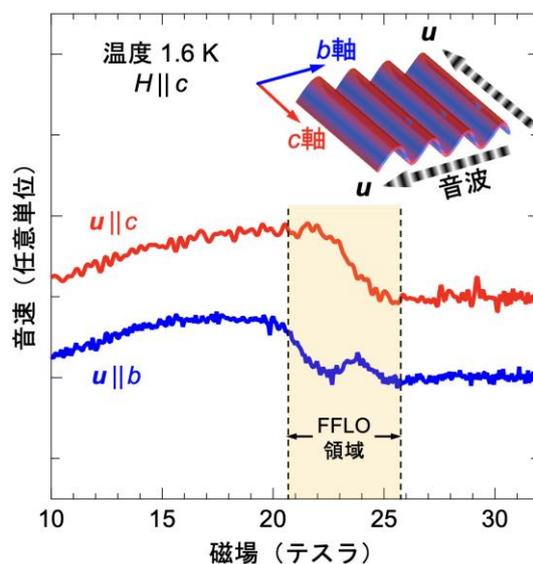
[1] S. Imajo et al., *Nat. Commun.* **13**, 5590 (2022). [<https://doi.org/10.1038/s41467-022-33354-1>]

図 1: 有機超伝導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub> の 1.6 K における音速の磁場依存性。青、赤のデータではそれぞれ  $b$  軸と  $c$  軸に並行に縦波を印加している。FFLO 状態が現れる磁場領域(黄色)のみで赤と青の振舞いが異なる。インセットは FFLO の空間変調パターン

研究室 HP: <https://kindo.issp.u-tokyo.ac.jp/>

今城周作 (東京大学・物性研究所・特任助教)

## Correlation-driven electronic nematicity in the Dirac semimetal BaNiS<sub>2</sub>

B01 班 Christopher J. Butler

The discovery and understanding of new electronic phases that break the lattice symmetries of a host crystal are of fundamental interest and potential technological utility. Symmetry breaking in electronic behavior that is caused by electron-electron correlations is of intrinsic interest as a quantum many-body problem, and is also known to coincide, in cuprate and Fe-based materials, with unconventional superconductivity. Unusual symmetry breaking phases include various density waves, orbital or spin nematic and smectic phases, electronic glassy phases, skyrmion lattices and others. While such broken symmetry phases are embodied in a microscopic order parameter, on the other hand, some electronic behaviors can be allowed or enforced by global, topological band properties. These can include band inversion resulting in robust semimetallic band crossings at isolated Dirac nodes or extended ‘nodal-lines’ within the Brillouin zone. Unusual phenomena have been suggested to emerge when both local correlations and global topological effects coexist in the same material, but example materials that realize such systems remain relatively few and these phenomena are yet to be fully elucidated.

Among the materials attracting interest in this regard is the Dirac semimetal BaNiS<sub>2</sub>. This material hosts layered square nets of Ni, providing an exemplary 2D correlated-electron system. It also hosts topologically guaranteed Dirac nodal-lines formed from the Ni *d* bands.

In the work described here [1], we investigated BaNiS<sub>2</sub> using scanning tunneling microscopy (STM), an unparalleled tool for the discovery and characterization, *via* atomically resolved tunneling spectroscopy, of microscopic symmetry-breaking charge configurations. We exploit the sub-unit-cell resolution of STM to discover bond-order electronic nematicity in bands above the Fermi

level. We also use the capability of STM to observe interference patterns of electronic quasiparticles scattered by impurities, in this case to obtain information about the Dirac nodes of BaNiS<sub>2</sub>, and to understand the underpinnings of bond-order nematicity in momentum space. With the help of calculations in the density wave equation framework, we understand the nematicity in terms of a *d*-form factor energy correction in the Brillouin zone, ultimately emerging from interference of spin fluctuations within the Ni square net. We finally discuss how the *d*-form factor nematicity and Dirac bands co-exist in this system.

Our observations help to understand both the correlated-electron and topological phenomena in BaNiS<sub>2</sub> and more generally demonstrate the capabilities of STM to discover and visualize microscopic symmetry-breaking configurations resulting from electronic correlations in other, newly emerging material systems.

### References

[1] C. J. Butler, Y. Kohsaka, Y. Yamakawa, M. S. Bahramy, S. Onari, H. Kontani, T. Hanaguri and S. Shamoto, *Proc. Natl. Acad. Sci.* **119**, (49) e2212730119 (2022) [<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2212730119>].

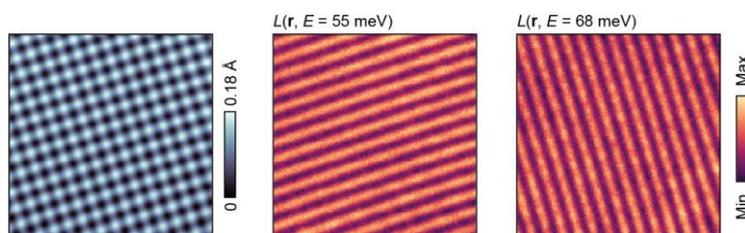


Fig. 2: STM topography (left, 4×4 nm<sup>2</sup> field of view) of the four-fold symmetric Ni square net in BaNiS<sub>2</sub>, and (center and right) paired, two-fold symmetric bond-order patterns in the electronic density of states.

Group HP: <https://cems.riken.jp/en/laboratory/epmrt>

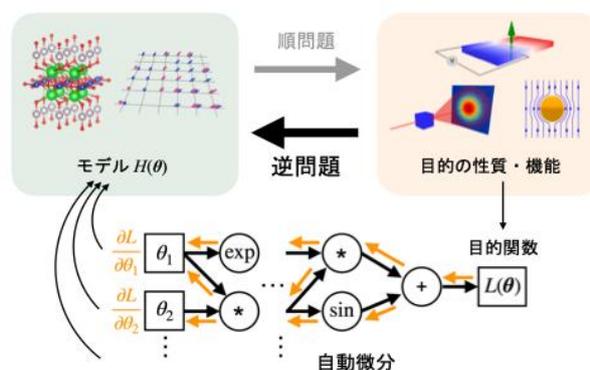
Christopher J. Butler (RIKEN · CEMS · Research Scientist)

## 自動微分を用いた目的の性質を満たすハミルトニアン の逆設計

C01 班 求 幸年

物質科学に携わる研究者であれば、誰しも一度は望みの性質を示す物質や材料を自在に作り出すことを夢見ることでしょう。計算機シミュレーションは、こうした夢の実現に向けたアプローチの一つです。そこでは、先人たちの研究の蓄積や研究者の経験・勘、あるいは第一原理計算などに基づいてモデルを構築し、モデルに含まれるパラメータを変化させながら網羅的に調べることによって、最適な物質を探索するという作業がしばしば行われます。しかし、パラメータ数が多くなると計算コストが膨大となるため、ほとんどの研究は変数が少ないモデルに限定されてきました。こうした困難を克服する可能性を持つアプローチの一つに、目的の性質から逆にモデルや物質を推定するという「逆問題」があります。近年、機械学習を援用した研究が盛んに行われていますが、機械学習に必要な物性データを集めることには膨大な労力がかかります。さらに、実際の計算には莫大な計算リソースが必要となることや、学習データの範囲を超えた推定は難しいといった問題点も残されていました。

本研究では、任意の物理的な性質に対して、それを実現するモデルを自動的に構築する新しい手法を開発しました(右図) [1]。具体的には、ニューラルネットワークなどにおいて大量の変数の最適化に用いられる自動微分というアルゴリズムを逆問題に適用することによって、目的の物性を実現するようにモデルパラメータを自動的に最適化するアプローチです。この手法では、網羅的な探索は必要ないため、パラメータ数の増加に伴う困難は大幅に低減されます。そのため、広範な変数空間の中から、これまでにないモデルや物質を発見することが可能となります。



この新しい手法の Proof of Concept として、二つの具体例に適用しました。一つ目は、異常ホール効果の最大化です。まず、蜂の巣構造上の強束縛モデルに適用することによって、我々のアルゴリズムが、自発的な量子異常ホール効果を示すことで有名なハルデインモデルを自動的に再発見できることを示しました。さらに、三角格子上的モデルに適用することで、ハルデインモデルの 6 倍という巨大な量子異常ホール効果を示す新しいモデルを生成することに成功しました。二つ目の例は、太陽光の照射によって発生する起電力の最大化です。ここでは、遍歴電子と局在スピンの相互作用するモデルに本手法を適用することで、約 700 A/m<sup>2</sup> の光電流を発生するモデルを自動的に生成することに成功しました。この値は、ゲルマニウム半導体やペロフスカイト材料である BaTiO<sub>3</sub>、ワイル半金属として知られる TaAs などと比べて、同等かより大きなものです。

今回新たに提案した手法は、目的とする物性やそれを実現するためのモデルを任意に選ぶことが出来る高い汎用性を有しています。また、広範な変数空間の中を自動的に探索するため、経験や勘に基づく従来の物質設計では到達することが難しい新しいモデルや物質、指導原理を発見することが可能です。自動設計によるアプローチは、コンピュータの性能の向上につれてさらに有用となっていくことが予想されます。本計算手法をさらに発展させ、様々な対象に適用していきます。

本研究は乾幸地氏との共同研究によるものです。

## 参考文献

[1] K. Inui and Y. Motome, *Commun. Phys.* **6**, 37 (2023) [<https://doi.org/10.1038/s42005-023-01132-0>]

研究室 HP: <http://www.motome-lab.t.u-tokyo.ac.jp>

求 幸年 (東京大学・大学院工学系研究科・教授)

## Exploring electron pairing symmetry in kagome superconductors

D01 ZHONG, Yigui and OKAZAKI, Kozo

The kagome lattice, made of corner-shared triangles, is an exciting platform for emergent quantum phenomena [Fig. 1(a)]. Due to the wave-function interference, the electronic structure of the kagome lattice features flat band, Dirac Fermion, and van Hove singularities that result in a rich interplay between topology, geometry, and correlations. For kagome metals with the van Hove singularities near Fermi energy, the high density of states combining with the frustrated lattice geometry are predicted to support novel electronic orders. Recently, in a topological kagome metal  $AV_3Sb_5$  ( $A = K, Rb, Cs$ ), superconductivity that intertwines with charge density wave (CDW), nematicity and loop current is observed. To date, the origin of superconductivity and its interplay with other symmetry-breaking orders remain rigorous debate.

To address this, we first test the electron-phonon coupling (EPC) which could driver Bardeen-Cooper-Schrieffer superconductivity. Using laser-based angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) and Eliashberg function analysis, we experimentally extract the EPC strength  $\lambda$  by determining the EPC-induced kinks in the electronic band structure [1]. Our results reveal an intermediate EPC with  $\lambda = 0.45-0.6$ , which can the superconducting (SC) transition at a temperature on the same magnitude of the experimental SC transition temperature  $T_c$ . Moreover, we find that V  $3d$ -orbital EPC is enhanced by about 50% in the isovalent-substituted  $Cs(V_{0.93}Nb_{0.07})_3Sb_5$  with an elevated  $T_c = 4.4$  K. These results suggest that EPC can play an important role on the superconductivity in  $CsV_3Sb_5$ .

To further illuminate the microscopic pairing mechanism and the cooperation/competition between multiple phases, a fundamental issue is to determine the SC gap symmetry, which can be directly measured by ARPES. However, the relatively low  $T_c$  renders the precise ARPES determination of the gap in the SC state extremely challenging. Considering the accessibility in terms of temperature and possible influence of CDW, we select  $Cs(V_{0.93}Nb_{0.07})_3Sb_5$  and  $Cs(V_{0.86}Ta_{0.14})_3Sb_5$  for the SC gap measurement (denoted as Nb0.07 and Ta0.14 respectively). The Nb0.07 sample exhibits a  $T_c$  of 4.4 K and a CDW transition at  $T_{CDW} = 58$  K, whereas the Ta0.14 sample exhibits a  $T_c$  of 5.2 K, but no clear CDW transition. Our high-resolution ARPES results [2] uncover a robust nodeless, nearly isotropic and orbital-independent SC gap in the momentum space of these two  $CsV_3Sb_5$ -derived kagome superconductors [Fig. 1(b)].

The robust isotropic SC gaps in presence or absence of the CDW seem to be consistent with a conventional  $s$ -wave pairing, which is supported by the EPC studies. Precisely, these results do not rule out other nodeless pairing states due to the lack of phase information in ARPES measurement. Additionally, our recent muon spin relaxation rate measurements on the Ta0.14 sample provide also provide evidence for the potential presence of time-reversal symmetry-breaking superconductivity, highlighting the need for further examination.

[1] Y. Zhong *et al.*, *Nature Communications* **14**, 1945 (2023) [<https://doi.org/10.1038/s41467-023-37605-7>].

[2] Y. Zhong *et al.*, *Nature* **617**, 488 (2023) [<https://doi.org/10.1038/s41586-023-05907-x>].

Group HP: <https://okazaki.issp.u-tokyo.ac.jp/>

ZHONG, Yigui (Univ. of Tokyo • Institute for Solid State Physics • Project Researcher)  
OKAZAKI, Kozo (Univ. of Tokyo • Institute for Solid State Physics • Associate Professor)

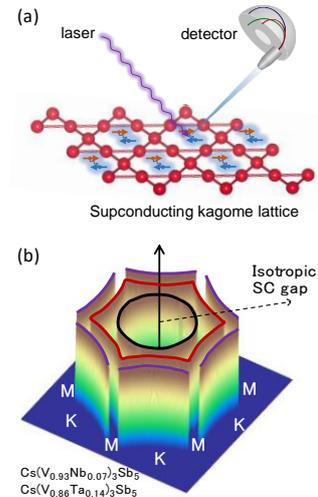


Fig. 1: Isotropic SC gap symmetry in  $CsV_3Sb_5$ -derived kagome superconductors. (a) Schematic plot of ARPES and kagome lattice. (b) SC gap structure in the momentum space measured by ARPES.

## A サイト秩序型ペロブスカイト酸化物での A サイト反強磁性磁気構造

A01 班 島川 祐一

我々の研究グループは A01「量子液晶物質の開発」班の中で、高圧合成やエピタキシャル薄膜成長など、非平衡での物質合成も駆使した新物質開発を担当し、新規な物性開拓を目指している。主として遷移金属酸化物を対象として合成と物性評価研究を行ってきたが、最近、珍しい磁気構造を有する物質群を見出した。

ペロブスカイト構造酸化物の中には A サイトのカチオンが 1 : 3 で秩序配列するものがあり、一般式  $AA_3B_4O_{12}$  で表される。この構造の物質はこれまでも数多く報告されているが、そのほとんどは高圧法により合成されたものである。この物質群では A および B の両サイトに遷移金属イオンが入ることが大きな特徴であり、単純ペロブスカイト構造酸化物  $ABO_3$  では B-B 相互作用（もしくは酸素を介した B-O-B 超交換相互作用）が多くの物性発現において重要であるのに対して、 $AA_3B_4O_{12}$  では B-B に加えて A-B や A-A などの相互作用もはたらくことになる。特に、A に磁性イオン、B サイトに非磁性イオンが入ると直交する酸素平面 4 配位の A サイト間の磁気相互作用のみによる特異な A サイト磁性が現れる。例えば、A サイトに  $Cu^{2+}$  ( $S=1/2$ ) が入った場合には、 $CaCu_3Ge_4O_{12}$  および  $CaCu_3Sn_4O_{12}$  では強磁性となるが、 $CaCu_3Ti_4O_{12}$  では最近接の  $Cu^{2+}$  スピンが全て反平行となる G 型反強磁性となる [1]。同様の G 型反強磁性は A サイトに  $Mn^{3+}$  ( $S=2$ ) が入った  $YMn_3Al_4O_{12}$  でも現れるが、 $LaMn_3V_4O_{12}$  では B サイトが遍歴的非磁性の  $V^{3.75+}$  で A サイトの Mn が 2 価の高スピン ( $S=5/2$ ) となり、この  $Mn^{2+}$  スピンはペロブスカイト構造の(111)面で 120 度の角度で配列する [2]。さらに最近になって、 $CaFe_3Ti_4O_{12}$  と  $CaCo_3Ti_4O_{12}$  では、それぞれ A サイトの  $Fe^{2+}$  ( $S=2$ ) と  $Co^{2+}$  ( $S=3/2$ ) のスピンの互いに直交する 3 つの磁気副格子からなる複雑な磁気構造をつくることも明らかとなった (右図)。ここでは、強いスピン軌道相互作用に加えて、第 3、4 近接までの相互作用がこの特異なスピン構造を安定化させるために重要な役割を果たしている。

上記の物質群は全て立方晶の結晶構造であり、A サイトは高い対称性を保った中でさまざまな反強磁性磁気構造が発現していることになる。実はこの結晶構造の A サイトは第 2 近接サイトの配列がカゴメ格子を作っている。この  $J_2$  カゴメ格子のスピンフラストレーションを解消するスピン配列として、上記に挙げたさまざまな磁気構造が現れると考えている。

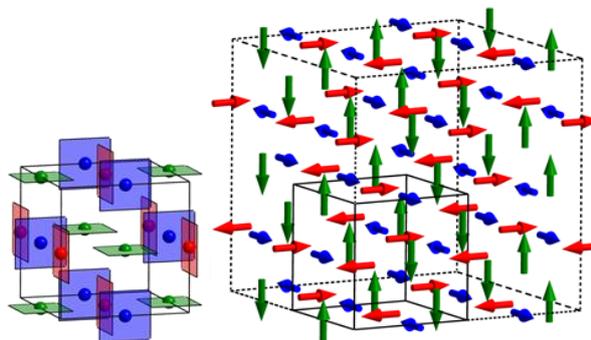


図  $CaFe_3Ti_4O_{12}$  の結晶構造と  $Fe^{2+}$  スピンの磁気構造

## 参考文献

- [1] Y. Shimakawa and T. Saito, *Physica Status Solidi B*, **249**, 423-434 (2012). DOI: 10.1002/pssb.201147477  
 [2] T. Saito, M. Toyoda, C. Ritter, S. Zhang, T. Oguchi, J. P. Attfield, and Y. Shimakawa, *Phys. Rev. B*, **90**, 214405/1-6 (2014). DOI: 10.1103/PhysRevB.90.214405  
 [3] M. Amano Patino, F. D. Romero, M. Goto, T. Saito, F. Orlandi, P. Manuel, A. Szabo, P. Kayser-Gonzalez, K. H. Hong, K. Alharbi, J. P. Attfield, and Y. Shimakawa, *Phys. Rev. Research*, **3**, 043208/1-8 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevResearch.3.04320  
 [4] M. Amano Patino, F. Denis Romero, H. -J. Koo, M. Avdeev, S. D. A. Injac, M. Goto, M. -H. Whangbo, and Y. Shimakawa, *Commun. Mater.*, **3**, 51/1-7 (2022). DOI: 10.1038/s43246-022-00274-y

研究室 HP: <https://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~shimakgr/index.html>

(京都大学・化学研究所・教授)

## 高強度テラヘルツ分光技術が拓く量子非平衡系の物質科学

B01 班 廣理英基

テラヘルツ (THz) 光とは、おおよそ振動数  $0.1 \sim 30$  THz、エネルギー  $0.4 \sim 120$  meV の電磁波のこと指します。この周波数帯は、固体において超伝導ギャップやフォノン、スピン共鳴、半導体におけるプラズマ振動や不純物に束縛された電子、励起子の束縛エネルギーなど物性を特徴付ける多彩な振動や素励起が存在し、物性研究の観点から大変魅力的な周波数帯に対応します。近年、フェムト秒パルスレーザーによって発生が可能になった THz パルスは、物質の複素誘電率を直接導出できることから、主に物性評価のための光源として発展してきました。一方で、最近の THz パルスの高強度化の技術革新は目覚ましく、物質の電気的・磁氣的性質や結晶構造を励起・制御するためのパルスの外場としても応用され始めています[1]。レーザー光や THz パルスの電場や磁場強度を強くして固体物質を強く駆動すると、その電子状態やスピン構造を反映して非線形な光学応答を示します[2,3]。このような非線形応答は、物性の理解を深めるとともに、超高速でかつ非熱的な物性の変調や制御へとつながるため、基礎・応用面においても重要な研究分野になっています。

近年、半導体や絶縁体といった固体物質を、強いレーザー電場によって駆動すると、バンド構造の非調和性を反映して発生する固体からの高次高調波発生が精力的に研究されています [2]。最近我々は、駆動する外場として THz パルスの電場成分の代わりに、強い磁場成分を発生することに成功しスピン系の非線形応答の観測や制御ができるようになってきました。メタマテリアルと呼ばれる非対称な螺旋型の金属構造を考案し、入射する THz パルスの磁場成分を物質内部で数百倍に増大させ、最大のピーク磁場が 3 Tesla 以上に達する技術を開発しました。この強力な THz 磁場パルスを、スピン波 (マグノン) の共鳴周波数が THz 周波数帯にある反強磁性体( $\text{HoFeO}_3$ )に加えると、スピンの非線形な応答として、第二、第三高次高調波の発生を実現しました[3]。さらに、室温付近でスピン再配列転移という現象を示し、結晶軸に対してスピンの異なる方向で安定点を持つ反強磁性体( $\text{Sm}_{0.7}\text{Er}_{0.3}\text{FeO}_3$ )に対して、この強力な THz 磁場で励起するとスピン方向がピコ秒の時間スケールで高速に変化するスイッチング現象を発見しました。これは、周期的な THz 磁場によってスピン系を強く駆動すると、磁氣的なフロック状態が生成し、これによりスピンが感じる自由エネルギーを高速に変調することによって生じることがわかってきました。今後、スピンポンピングやスピンホール効果といったマグノンと伝導電子スピンとの相互作用により生じるスピン流生成、またフォノンとスピン間の角運動量の転写過程に着目し、固体中の素励起間の結合や相互作用の解明を目指します。

高強度な THz パルスは、STM におけるトンネルバイアスとしても利用できます (図 1) [4]。非平衡の量子ダイナミクスは現在の物性物理学の最先端のテーマであり、その実験的手法の開発は重要な研究課題です。非自明な空間構造・対称性の破れによって特徴づけられる特異な電子状態を持つ量子液晶物質などにおいても、光励起直後の電子状態を原子スケールの空間分解能とフェムト秒スケールの時間分解能で観測することはその秩序形成や素励起間の微視的な関係を理解する上で強力な手段になります。この目標に向けて、我々は THz パルス発生技術を活かして、低温、強磁場下で動作する時間分解 THz-STM の開発を行っています。

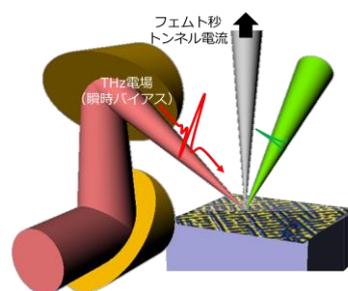


図 1: 時間分解 THz-STM の概念図。

### 参考文献

- [1] H. Hirori, A. Doi, F. Blanchard, K. Tanaka, *Applied Physics Letters* **98**, 091106 (2011).
- [2] K. Nakagawa, H. Hirori, Y. Kanemitsu *et al.*, *Nature Physics* **18**, 874 (2022).
- [3] Z. Zhang, Y. Kanemitsu, H. Hirori *et al.*, *Nature Communications* **14**, 1795 (2023).
- [4] T. Tachizaki, K. Hayashi, Y. Kanemitsu, H. Hirori, *APL Materials* **9**, 060903 (2021).

研究室 HP: <https://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~opt-nano/index.html>

## 散逸量子系におけるフロッケ・エンジニアリングとその応用

C01 班 佐藤正寛

私の本新学術領域研究で期待される役割は、量子液晶（とりわけスピン液晶やスピン液体的状態）における非平衡現象の特徴を予言すること、及び、その特徴を検出する実験方法を理論的に提案することです。固体結晶を非平衡化する典型的な方法の1つは高強度の電磁波（レーザー）を系に印加することであり、これにより時間方向に周期的な外場を含む系（周期駆動量子系）が実現します。この周期駆動系の最も単純な理解は、レーザー印加前のハミルトニアンにレーザーと系の結合項を加えた周期的ハミルトニアン  $H(t) = H(t+T)$  ( $T$ はレーザーの周期)によるシュレディンガー方程式から得られます。このシュレディンガー方程式は、非平衡系の中で比較的簡単なクラスに属しており、フロッケの定理（ブロッホの定理の時間版）を用いて解析できます。特にレーザー角振動数  $\omega = 2\pi/T$  が系の典型的なエネルギーより大きいときは、 $1/\omega$  展開法により、 $T$  よりも遅い時間スケールの時間発展を記述する静的な有効ハミルトニアン  $H_{eff}$  を定義できます。うまく系とレーザーとの結合を選択すると、 $H_{eff}$  が  $H(t)$  から大きく変わり、興味深い物性を期待できる  $H_{eff}$  が得られます。このようにして、周期外場の印加により望みの物性を持つ系を外場印加の短時間に生成する方法をフロッケ・エンジニアリングと呼びます。 $H_{eff}$  の計算は容易である為、この10年でフロッケ・エンジニアリングは物性分野に広く浸透し、また光物性実験グループで盛んにこのエンジニアリングが探究されています。

しかし、上記のフロッケ理論による解析には大前提があります。すなわち「系は周期外場とは結合するが、周りの環境とは結合しない孤立量子系である」という設定で上記シュレディンガー方程式は正当化されます。ところが、固体系にレーザーを照射するとき、エネルギーなどが環境に散逸していくプロセスは通常無視できず、その散逸が物理現象を大きく変化させる可能性さえあります。そこで、我々は数年前から、散逸効果を含んだフロッケ・エンジニアリングの理論を発展させてきました[1,2]。散逸がある系では一見普遍的な議論が困難に思えますが、例えば、環境と結合する系にレーザーを十分長時間印加すれば、散逸効果とレーザーによるエネルギー供給が釣り合っ非平衡定常状態が実現すると期待

できます(図1)。我々は、散逸効果を取り込んだ密度行列の時間発展を記述する GKSL 方程式（リンドブラッド方程式）を出発点として、レーザー駆動系の非平衡定常状態の密度行列の性質を解析しました。その結果、現象論的な静的散逸項を含む GKSL 方程式系では、非平衡定常状態の密度行列を  $1/\omega$  展開で導く方法を構築しました[1]。これにより、散逸量子系の任意の物理量のフロッケ・エンジニアリングを定量的に議論できます。また、より微視的な環境と系の結合した全系の時間発展から導いた GKLS 方程式の非平衡定常状態の密度行列についての一般論も構築し[2]、非平衡定常状態がフロッケ・ギブス状態～密度行列  $\rho \propto \exp(-\beta H_{eff})$  の状態～で近似できる条件を明らかにしました。これまで、現実的な設定での周期駆動散逸系の非平衡定常状態の性質の多くは未解明でしたが、我々の一連の研究により、幾つかの重要な性質が明らかとなりました。今後もこの延長線上の研究を進めることで、実験と比較可能なレーザー駆動フロッケ・エンジニアリングの理論が発展してゆくと期待できます。

## 参考文献

[1] T. N. Ikeda and M. Sato, *Sci. Adv.* **6**, eabb4019 (2020). [DOI : 10.1126/sciadv.abb4019]

[2] T. N. Ikeda, K. Chinzei, and M. Sato, *SciPost Phys. Core* **4**, 033 (2021). [10.21468/SciPostPhysCore.4.4.033]

研究室 HP: <http://physics.s.chiba-u.ac.jp/satol/>

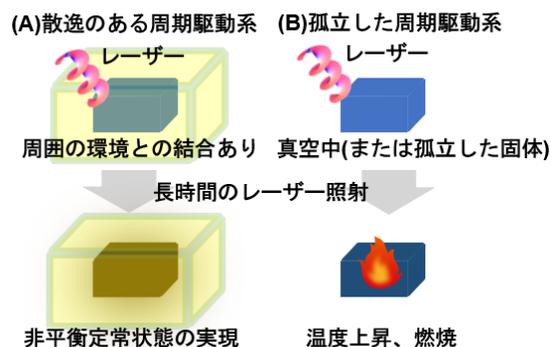


図 1:(A)散逸のあるレーザー駆動系と(B)孤立したレーザー駆動系の長時間後のイメージ図。

## 磁気渦の粒子“スキルミオン”のナノ秒時空間イメージング

D01 班 石坂 香子

磁気スキルミオンは磁性体中の電子スピン集団が作る渦状のナノ磁気構造です。トポロジカルに守られた粒子の性質を持ちつつ結晶中をスピーディに動き回ることから次世代情報担体として期待されており、その運動論に関心がもたれています。しかしながら、磁気スキルミオンのサイズは小さく（今回は 160 ナノメートル程度）、直接ダイナミクスを観察することは簡単ではありません。このため、私達は「超高速時間分解ローレンツ電子顕微鏡」という計測システムを開発しました。これは、超短パルスレーザーとローレンツ電子顕微鏡法を組み合わせることにより、ナノメートルの空間分解能とピコ～ナノ秒の時間分解能を可能とした磁気イメージング計測手法です。ナノ秒パルスレーザーに駆動される磁気スキルミオンの挙動を調べることで、ナノ秒スケールで磁気スキルミオンが分裂、変形、ドリフトし、マイクロ秒領域で再び結合して元の状態に戻るという一連の可逆なサイクルを実時間観測することに成功しました（図 1）。また、画像を詳細に解析することにより、生成した磁気スキルミオンの動き出しに 5 ナノ秒程度の遅れがあること、パルスレーザーによる瞬間加熱から 400 ナノ秒程度遅れて 6 角形状のクラスターが形成されることなどを明らかにしました。これらは、今回観察された磁気スキルミオンの運動における摩擦や相互作用の効果を示しています。さらに、緩和過程におけるスキルミオンの再結合の時間スケールにはばらつきがあることを見出し、これが確率的現象であることを確認しました。現在、磁気スキルミオンや磁気ストライプをはじめとする様々なスピン液晶を対象とし、光パルスだけでなく電流パルスに対する応答についても可視化するべく、計測を進めています。

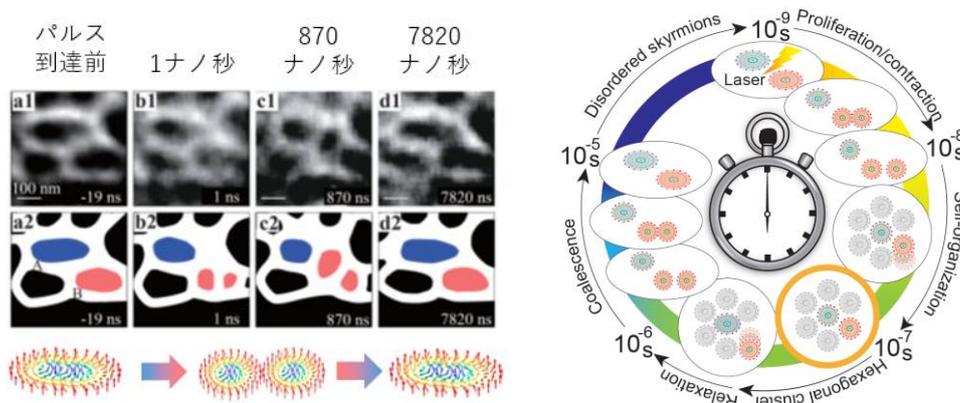


図 1: 磁気スキルミオンのナノ秒ダイナミクス。(左)パルス到達前、到達後 1 ナノ秒、870 ナノ秒、7820 ナノ秒後のローレンツ像。(右)観測されたダイナミクスの模式図。パルス照射→スキルミオンの分裂・変形→自己配列→クラスター形成→緩和→再結合というプロセスが、1 ナノ秒( $10^{-9}$  s)から 10 マイクロ秒( $10^{-5}$  s)にかけて観測される。

### 参考文献

- [1] T. Shimojima, K. Ishizaka, et al., “Nano-to-micro spatiotemporal imaging of magnetic skyrmion’s life cycle”, *Science Advances* 7, eabg1322 (2021).
- [2] プレスリリース:「柔らかいスキルミオンの挙動を解明－10 億分の 1 秒の精度でムービー計測－」理化学研究所 2021 年 6 月 17 日.

研究室 HP: <http://ishizaka.t.u-tokyo.ac.jp>  
<https://cems.riken.jp/jp/laboratory/esprt>

石坂 香子 (東京大学大学院・工学系研究科・教授)

## Investigation of the ground state properties of a novel kagome family

B01 SHARMA, Ramender Kuma

The kagome lattice is a celebrated frustrated lattice in 2D to harbor distinct ground states, which include disordered ground state like a quantum spin liquid [1] and discrete magnetically ordered ground states. While  $S \geq \frac{1}{2}$  kagome materials have been at the forefront of research because of their potential to stabilize the spin liquid state, less attention has been paid to comprehend the kagome materials with  $S \geq \frac{1}{2}$ . However, interesting ground states are predicted for kagome lattice with  $S \geq \frac{1}{2}$  [2]. We are involved at understanding the physical properties of a kagome family with chemical formula  $\text{Li}_9\text{X}(=\text{Cr, Fe, V})_3\text{P}_8\text{O}_{29}$  [3,4], which was discovered more than two decades ago, but recently got considerable attention because of the realization of a one-third magnetization plateau and classical spin liquid ground state in the  $S=5/2$  kagome material  $\text{Li}_9\text{Fe}_3\text{P}_8\text{O}_{29}$  [5]. The material shows an antiferromagnetic order at 1.3K and the plateau physics is easily accessible with a moderate value of magnetic field because of a weak  $J(\sim 1\text{K})$ . This family is found to host several trivalent ions with  $S=1, 3/2$  and  $5/2$  and in turn a variety of ground states. We further investigated the role of quantum fluctuations in selecting the ground state by studying the sister kagome material  $\text{Li}_9\text{Cr}_3\text{P}_8\text{O}_{29}$  [6] with active  $t_{2g}$  orbitals and a lower spin quantum number ( $S=3/2$ ). It is found to show a ferromagnetically ordered ground state with the Curie temperature 2.7K and the Curie-Weiss temperature  $\sim 3\text{K}$ , see Fig. (1). Interestingly, the material shows the survival of magnetic correlation above the ordering temperature in a wider temperature range. The ground state properties of this material is dominated by the nearest neighbor ferromagnetic exchange coupling and the presence of additional antiferromagnetic couplings, significantly weaker than the 1<sup>st</sup> nn, has been observed. The magnitude of DM interaction term is quite small ( $10^{-3}\text{meV}$ ) and the ferromagnetism is purely emerging as a result of super-exchange interaction. One of the main features of this family is that the corner sharing  $\text{XO}_6$  octahedra form a 2D kagome lattice in the  $ab$ -plane, without maintaining the  $C_6$  symmetry and it is speculated to be impacting the physical properties of this family.

In addition to that, we are also trying to develop a holistic understanding about the ground state properties of the  $S=1$  member of this family, which does not retain any magnetic ordering down to 2K [4], but appears to have a rather complex ground state. We plan to conduct high pressure NMR experiment to drive the system towards magnetic ordering by perturbing the local energy scales and studying the phase diagram under pressure.

References:

- [1] L. Balents, Nature (London) **464**, 199 (2010).  
 [2] L. Messio, C. Lhullier, and G. Misguich, Phys. Rev. B. **83**, 184401 (2011).  
 [3] S. Poisson, F. d'Yvoire, Nguyen-Huy-Dung, E. Brety, and P. Berthet, J. Solid state Chem. **138**, 32 (1998).  
 [4] M. Onoda and S. Takada, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 034002 (2020).  
 [5] E. Kermarrec, R. Kumar, R. Henaff, B. Koteswararao, P. L. Paulose, P. Mendels and F. Bert. Phys. Rev. Lett. **127**, 157202 (2021). <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.127.157202>  
 [6] R. Kumar, A. Chakraborty, S. Fukuoka, F. Damay, E. Kermarrec, P. L. Paulose, Y. Ihara. Phys. Rev. B **107**, 134432 (2023). <https://journals.aps.org/prb/pdf/10.1103/PhysRevB.107.134432>

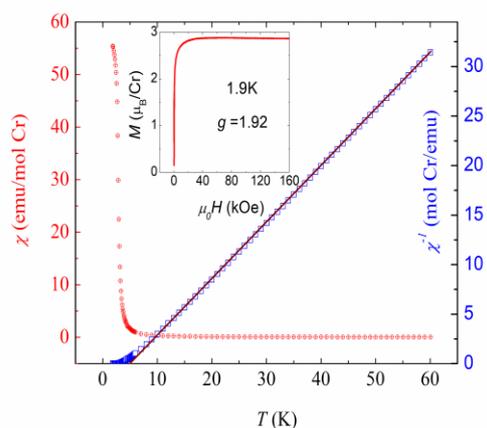


Fig. 1: (left y-axis) Thermal variation of susceptibility ( $\chi$ ) and inverse susceptibility ( $1/\chi$ ) (right y-axis). Inset shows the magnetic isotherm at 1.9K for  $\text{Li}_9\text{Cr}_3\text{P}_8\text{O}_{29}$ .

## 「第16回物性科学領域横断研究会」開催報告

領域代表 芝内孝禎

2022年11月25日(金)、26日(土)の2日間にわたって、第16回物性科学領域横断研究会がオンライン開催されました。この研究会は、物性科学に関連した新学術領域研究および学術変革領域研究(A)の領域が合同で開催するものであり、今回は「機能コアの材料科学」領域代表の松永克志名古屋大学教授と本領域代表の芝内が中心となって運営を担当しました。既存領域10領域に加え、2022年度に採択された4つの学術変革領域が参加しました。本領域からは、芝内領域代表による「領域紹介」、B01班代表の花栗哲郎氏による「分光イメージングSTMで見る量子液晶」の講演があり、活発な議論が行われました。また、パラレル口頭セッションとして30件の若手講演が行われ、本領域からは、東京大学 Hirschberger グループの山田林助助教による「強相関ディラック半金属 CaIrO<sub>3</sub> の量子極限における巨大磁気抵抗と電荷密度波形成」、東京大学求グループの清水宏太郎大学院生による「スピンモアレ超構造: 帆空間描像による位相シフトがもたらすトポロジカル相の解析」、大阪大学新見グループの蔣男助教による「らせん磁性体の内部自由度制御」の3件の非常に質の高い発表がありました。若手講演から、最優秀若手奨励賞2名および若手奨励賞3名が選出され、本領域からは清水宏太郎さんが最優秀若手奨励賞を受賞しました(図1は授賞式の様子です)。次回は、2023年11月24日(金)、25日(土)の2日間の日程で、名古屋工業大学にてオンライン開催の予定となっております。引き続き、メンバーの皆さまのご協力をよろしくお願いいたします。



最優秀若手奨励賞  
清水 宏太郎(東京大学)  
「スピンモアレ超構造: 補空間描像による  
位相シフトがもたらすトポロジカル相の解析」

図1: 最優秀若手奨励賞に選ばれたC01班求グループの清水宏太郎氏の授賞式の様子。

研究会 HP: <https://www.rs.tus.ac.jp/ryoikiudan>

芝内孝禎 (東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授)

## 国際会議のご案内 QLC2023

D01 班 戸田 泰則

2023年8/8(火) - 8/10(木)の日程で開催されます International Conference on Quantum Liquid Crystals 2023 (QLC2023) に関しまして、現地委員から案内させていただきます。北海道大学(北大)はJR札幌駅の北側(大通り公園とは反対側)にあり、会場となる工学部は北大のちょうど中心部に位置しております(図1①)。最寄り駅の地下鉄南北線北12条駅からは、北13条門を通過してイチョウ並木(図1④)を抜けていただくと10分程度で到着します。JR札幌駅から歩く場合は、正門まで10分弱と大学構内の移動時間10分強の合わせて約20~30分の所要時間になります。ポプラ並木や農場、牧場など、一般的な大学とは趣の異なる自然が広がっております。お時間が許せばぜひご堪能ください。今回の国際会議は招待講演13件(米国6件、欧州1件、アジア2件、国内4件)を含む計147件の講演申し込みがあったと聞いております。また本新学術領域最終年度にして初の対面による国際会議となります。「量子液晶」の成果発信および国際交流の場として、3日間が充実したものになることを祈ります。

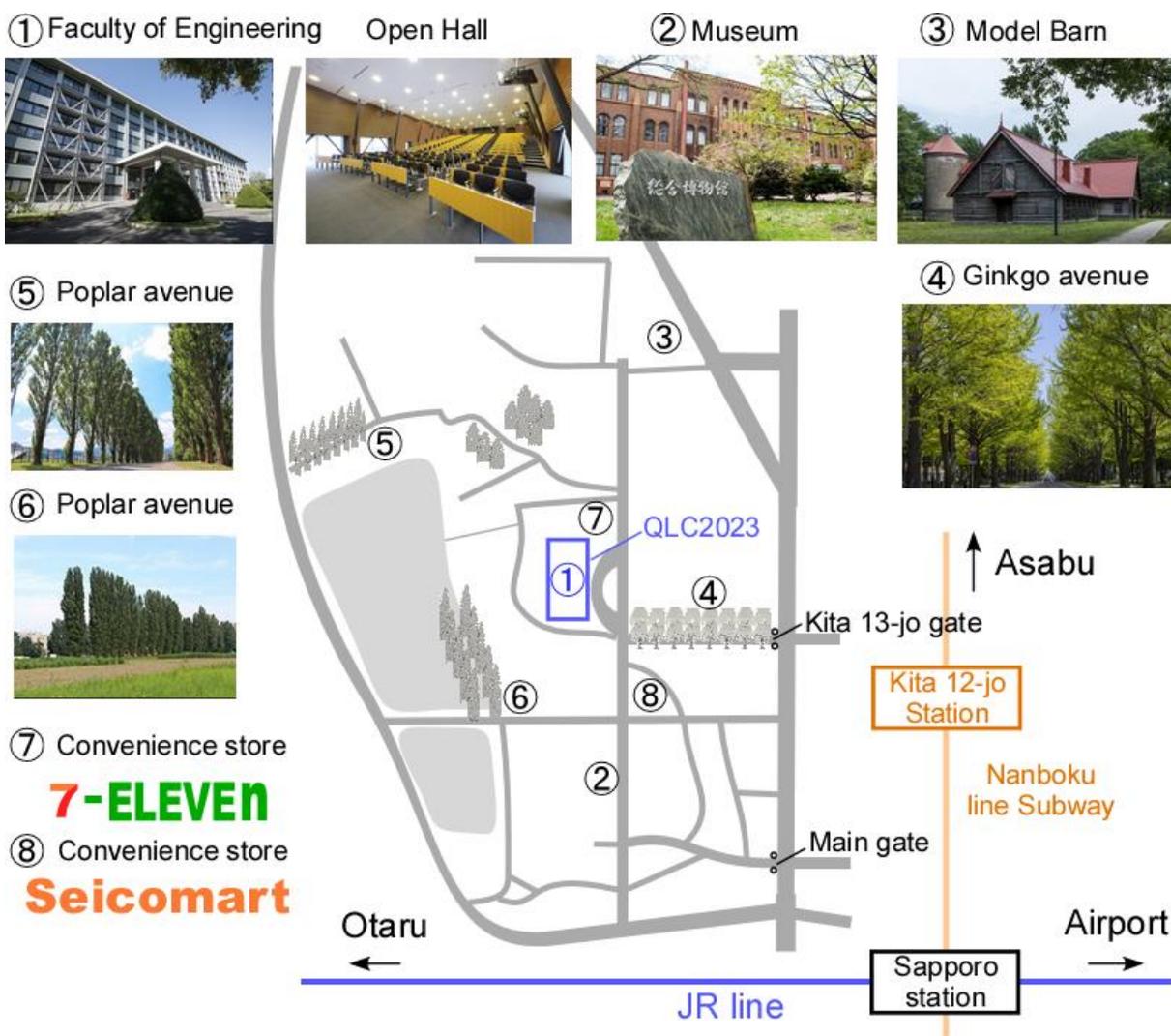


図1: QLC2023の会場となる北海道大学のキャンパスマップ。工学部①はほぼ中央に位置し、最寄り駅の地下鉄南北線、北12条駅からは徒歩約10分、JR札幌駅からは徒歩約20~30分。

戸田 泰則 (北海道大学・大学院工学研究院・教授)

## ●人事異動

当領域のPD・特任研究員として、B01 班に SHARMA, Ramender Kumar 氏（北海道大学 学術研究員）が 2022 年 10 月 1 日付で着任しました。

東京大学 大学院新領域創成科学研究科の木村剛教授が、2023 年 4 月 1 日付で東京大学 工学系研究科 教授へ異動（所属変更）しました。

東京理科大学 理学部第一部応用物理学科の遠山貴己教授が、2023 年 4 月 1 日付で東京理科大学 先進工学部物理工学科 教授へ異動（所属変更）しました。

京都大学 大学院理学研究科の米澤進吾准教授が、2023 年 4 月 1 日付で京都大学 大学院工学研究科 教授へ異動（所属変更）しました。

当領域のPD・特任研究員（C01 班）時本純氏（東京理科大学 理学部）が、2023 年 4 月 1 日付で東京理科大学 先進工学部物理工学科へ異動（所属変更）しました。

## ●受賞報告

山根聡一郎氏（固体量子物性研究室）が“2021 年度先端光・電子デバイス創成学卓越大学院研究 Grant 成果報告会最優秀発表賞”を受賞しました（2022/4/7）。

<http://www.e-takutsu.ceppings.kyoto-u.ac.jp/activities/>

山根聡一郎氏（固体量子物性研究室）が“29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29), Best Poster Award”を受賞しました（2022/8/24）。

[https://www.lt29.jp/prizes\\_awards.html](https://www.lt29.jp/prizes_awards.html)

打田正輝准教授が“第 4 回（2022 年度）強磁場フォーラムフロンティア奨励賞”を受賞しました（2022/11/25）。

<https://mgsl.issp.u-tokyo.ac.jp/himag-forum/frontier.html>

芝内孝禎教授が、American Physical Society “Outstanding Referee” に選ばれました（2023/2/25）。

<https://journals.aps.org/OutstandingReferees>

今城周作特任助教が“第 20 回物性研究所 所長賞 ISSP 学術奨励賞”を受賞しました（2023/3/1）。

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=17999>

石川孟助教が“第 17 回（2023 年）日本物理学会若手奨励賞 [領域 3]”を受賞しました（2023/3/23）。

<https://www.jps.or.jp/activities/awards/jusyosya/wakate2023.php>

西村俊亮氏（小林研究室）が“2023 年春季大会 日本物理学会学生優秀発表賞”を受賞しました（2023/3）。

[https://www.jps.or.jp/activities/awards/gakusei/2023\\_student\\_presentation\\_award.php](https://www.jps.or.jp/activities/awards/gakusei/2023_student_presentation_award.php)

林田健志氏（木村研究室）が“2023 年春季大会 日本物理学会学生優秀発表賞”を受賞しました（2023/3）。

[https://www.jps.or.jp/activities/awards/gakusei/2023\\_student\\_presentation\\_award.php](https://www.jps.or.jp/activities/awards/gakusei/2023_student_presentation_award.php)

山岸茂直氏（木村研究室）が“2023 年春季大会 日本物理学会学生優秀発表賞”を受賞しました（2023/3）。

[https://www.jps.or.jp/activities/awards/gakusei/2023\\_student\\_presentation\\_award.php](https://www.jps.or.jp/activities/awards/gakusei/2023_student_presentation_award.php)

遠山貴己教授が“日本物理学会 JPSJ 査読者賞” に選ばれました（2023/3/24）。

<https://journals.jps.jp/page/jpsj/referees/outstanding>

川崎猛史講師が“2023年度名古屋大学教養教育院全学教育担当教員顕彰”を受賞しました(2023/3/30)。

<https://www.ilas.nagoya-u.ac.jp/about-ILAS.html#ILAS-award>

有田亮太郎教授が“文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)”を受賞しました(2023/4)。

[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/mext\\_01224.html](https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_01224.html)

島川祐一教授が“粉体粉末冶金協会 第61回 研究功績賞”を受賞しました(2023/6/6)。

[https://www.jspm.or.jp/application/files/1616/8084/3297/2022\\_Award.pdf](https://www.jspm.or.jp/application/files/1616/8084/3297/2022_Award.pdf)

島川祐一教授が“日本セラミックス協会 第77回 学術賞”を受賞しました(2023/6/7)。

[https://www.ceramic.or.jp/act/award/kyoukaisho\\_list.html](https://www.ceramic.or.jp/act/award/kyoukaisho_list.html)

平井大悟郎准教授が“第12回新化学技術研究奨励賞”を受章しました(2023/6/26)

[https://www.jaci.or.jp/recruit/page\\_02\\_12\\_2023.html](https://www.jaci.or.jp/recruit/page_02_12_2023.html)

## ●アウトリーチ

### A01 班 公募研究

島川祐一, 一般向け講演会・セミナー: “2022年度粉末冶金入門講座”, (粉体粉末冶金協会, 2022/7/13)

島川祐一, 一般向け講演会・セミナー: “令和4年度中性子産業利用報告会”, (中性子産業利用推進協議会, 2022/7/15)

<https://neutron.cross.or.jp/ja/events/220714-15/>

大串研也, 小中高向け授業・実験・実習: “大学出張講義「超伝導の探求」”, (宮城県泉館山高校, 2022/10/15)

島川祐一, 一般向け講演会・セミナー: “IRCCS 研究シーズ提案セミナー「遷移金属酸化物新物質の新機能特性」”(名古屋大学協力会, 2023/2/1)

工藤一貴, 一般向け講演会・セミナー: “第12回 理学研究フォーラム/第11回 研究交流セミナー、「新しい超伝導体を創る」”, (大阪大学大学院理学研究科, 2023/3/13)

<https://www.sci.osaka-u.ac.jp/ja/event/11582/>

### A01 班 公募研究

佐々木孝彦, 広報誌・パンフレット: “日本全国!こんなところにスゴイ人 銅像スター調査隊! - 本多光太郎-”, (東京都江戸川区子ども未来館, 2022/10/2)

平井大悟郎, 小中高向け授業・実験・実習: “女子学生のための理系進学セミナー”, (日本物理学会名古屋支部, 2023/6/24)

### B01 班 計画研究

C. J. Butler, 花栗哲郎, 一般向け講演会・セミナー: “電荷液晶とディラック電子の共存を発見”, (QLCチャンネルビデオ, 2023/1/27)

<https://youtu.be/t0MEchCyiQU>

石原滉大, 芝内孝禎, 一般向け講演会・セミナー: “ウラン化合物におけるカイラリティを持つ超伝導状態を解明”, (QLCチャンネルビデオ, 2023/6/29)

<https://youtu.be/G52gdMtINTA>

#### B01 班 公募研究

米澤進吾, 小中高向け授業・実験・実習: “京都府立南陽高校 サイエンスリサーチ科夏季実習”, (京都府立南陽高校, 2022/7/16, 7/29, 8/8)

#### C01 班 計画研究

乾幸地, 求幸年, 一般向け講演会・セミナー: “自動微分を用いた目的の性質を満たすハミルトニアンの逆設計”, (QLC チャンネルビデオ, 2023/3/27)

<https://youtu.be/Ia6W6CnEKfA>

#### D01 班 計画研究

小林研介, 小中高向け授業・実験・実習: “令和4年度「東大の研究室をのぞいてみよう! ~多様な学生を東大に~」”, (東京大学, 2023/3/28)

Yigui Zhong, 岡崎浩三, 一般向け講演会・セミナー: “Exploring electron pairing symmetry in Kagome superconductors”, (QLC チャンネルビデオ, 2023/5/10)

<https://youtu.be/2V3A1jsmlWw>

### ●メディア報道

#### A01 班 計画研究

島川祐一、和達大樹, “兵庫県大ら、希土類フリー酸化物で光スイッチング観測” (OPTRONICS ONLINE, 2023/1/12)

<https://optronics-media.com/news/20230112/79888/>

島川祐一、和達大樹, “(レーザー関連) 兵庫県立大学他/酸化物磁性薄膜における光磁化スイッチングの実現 - 希土類フリー酸化物で世界初の光スイッチングを観測! -” (Optinews, 2023/1/13)

<https://optinews.info/2023/01/13/uni-hyogo/>

島川祐一、和達大樹, “兵庫県立大学など、ニッケル・コバルト酸化物薄膜をレーザー照射で光磁化スイッチング”, (日経 XTECH, 2023/1/23)

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02122/00193/>

岡本佳比古, “磁場加えると大きく膨張 東大物性研など新材料発見”, (科学新聞, 2023/2/10)

岡本佳比古, “磁場で膨らむセラミック”, (日経産業新聞, 2023/2/15)

岡本佳比古、平井大悟郎, “Group led by The Institute for Solid State Physics at The University of Tokyo discovers new material that significantly expands when a magnetic field is applied: Shows promise for new actuators”, (Science Japan, 2023/3/23)

<https://s.j.jst.go.jp/news/202303/n0323-02k.html>

#### A01 班 公募研究

佐々木孝彦, “有機物質における量子スピン液体の機構解明に光-パイ電子のゆらぎと絡み合った分子格子振動の特異な温度依存性を初めて観測-” (日本経済新聞オンライン, 2022/12/28)

[https://www.nikkei.com/article/DGXZRS646984\\_Y2A221C2000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXZRS646984_Y2A221C2000000/)

佐々木孝彦, “CROSS ら、パイ電子ゆらぎと絡んだ分子格子振動観測”, (OPTRONICS ONLINE, 2023/1/5)

<https://optronics-media.com/news/20230105/79809/>

平井大悟郎、岡本佳比古, “Group led by The Institute for Solid State Physics at The University of Tokyo

discovers new material that significantly expands when a magnetic field is applied: Shows promise for new actuators”, (Science Japan, 2023/3/23)

<https://sj.jst.go.jp/news/202303/n0323-02k.html>

#### B01 班 計画研究

和達大樹、島川祐一, “兵庫県大ら, 希土類フリー酸化物で光スイッチング観測” (OPTRONICS ONLINE, 2023/1/12)

<https://optronics-media.com/news/20230112/79888/>

和達大樹、島川祐一, “(レーザー関連) 兵庫県立大学他/酸化物磁性薄膜における光磁化スイッチングの実現 - 希土類フリー酸化物で世界初の光スイッチングを観測! -” (Optinews, 2023/1/13)

<https://optinews.info/2023/01/13/uni-hyogo/>

和達大樹、島川祐一, “兵庫県立大学など、ニッケル・コバルト酸化物薄膜をレーザー照射で光磁化スイッチング”, (日経 XTECH, 2023/1/23)

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02122/00193/>

芝内孝禎、笠原成、今城周作, “量子液晶ゆらぎ 非従来型超電導の要因 東大、実験的裏付け”, (日刊工業新聞, 2023/3/16)

<https://news.yahoo.co.jp/articles/d830c85505946bf15d62a1d02a8aa29d34f7a396>

芝内孝禎、有馬孝尚, “磁気構造が壊れても復活する、東大がすごい物質発見”, (日刊工業新聞, 2023/3/20)

<https://news.yahoo.co.jp/articles/f5868b6ba4cc5c8571f0ed5ce6c9601a94403e5b>

#### B01 班 公募研究

井原慶彦, “銅のカゴメ反強磁性体 渦巻き磁気構造形成”, (日刊工業新聞, 2022/7/14)

今城周作、芝内孝禎、笠原成, “量子液晶ゆらぎ 非従来型超電導の要因 東大、実験的裏付け”, (日刊工業新聞, 2023/3/16)

<https://news.yahoo.co.jp/articles/d830c85505946bf15d62a1d02a8aa29d34f7a396>

#### D01 班 計画研究

戸川欣彦, “Magnetic superstructures as a promising material for 6G technology” (PHYSORG, 2022/6/20)

<https://phys.org/news/2022-06-magnetic-superstructures-material-6g-technology.html>

戸川欣彦, “Magnetic superstructures resonate with global 6G developers” (EurekAlert!, 2022/6/21)

<https://www.eurekalert.org/news-releases/956461>

戸川欣彦, “次世代通信に活用期待のキラル磁気ソリトン格子-磁気超構造の集団共鳴運動観測に成功-” (科学新聞, 2022/7/1)

小林研介, “東大、ナノダイヤモンド中の量子センサ特性を機械学習することで磁場の正確なイメージングを可能に”, (日本経済新聞電子版, 2022/9/1)

[https://www.nikkei.com/article/DGXZSP639129\\_30082022000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXZSP639129_30082022000000/)

小林研介, “東大、ナノダイヤモンド磁場イメージングを正確化”, (OPTRONICS ONLINE, 2022/9/2)

<https://optronics-media.com/news/20220902/78409/>

小林研介, “機械学習で正確性 50 倍 ダイヤ量子センサー 東大、磁場計測に提案”, (日刊工業新聞, 2022/9/5)

<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/647253>

小林研介, “東大、ナノダイヤモンドと機械学習による高精度磁場イメージングを実現”, (マイナビニュース, 2022/9/5)

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20220905-2446581/>

小林研介, “正確性 50 倍向上、東大が精密計測に成功したダイヤモンド量子センサーの実力”, (ニュースイッチ, 2022/9/6)

<https://newsitch.jp/p/33638>

有馬孝尚、芝内孝禎, “磁気構造が壊れても復活する、東大がすごい物質発見”, (日刊工業新聞, 2023/3/20)

<https://news.yahoo.co.jp/articles/f5868b6ba4cc5c8571f0ed5ce6c9601a94403e5b>

## ●プレスリリース

### A01 班 計画研究

島川祐一、和達大樹, “酸化物磁性薄膜における光磁化スイッチングの実現—希土類フリー酸化物で世界初の光スイッチングを観測!—”, (京都大学化学研究所, 2023/1/18)

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2023-01-18>

島川祐一, “サブミリメートルの長距離にも渡る水素の表面拡散を観測—活性水素の利用に新しい道—”, (京都大学化学研究所, 2023/1/23)

<https://www.kuicr.kyoto-u.ac.jp/sites/topics/230123/>

岡本佳比古、平井大悟郎, “磁場により体積が大きく膨張する新材料の発見—新たなアクチュエータ材料としての応用に期待—”, (東京大学物性研究所, 2023/1/25)

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=17491>

### A01 班 公募研究

佐々木孝彦, “有機物質における量子スピン液体の機構解明に光—パイ電子のゆらぎと絡み合った分子格子振動の特異な温度依存性を初めて観測—”, (東北大学金属材料研究所, 2022/12/28)

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1484.html>

平井大悟郎、岡本佳比古, “磁場により体積が大きく膨張する新材料の発見—新たなアクチュエータ材料としての応用に期待—”, (名古屋大学, 2023/1/25)

<https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2023/01/post-449.html>

### B01 班 計画研究

和達大樹、島川祐一, “酸化物磁性薄膜における光磁化スイッチングの実現—希土類フリー酸化物で世界初の光スイッチングを観測!—”, (兵庫県立大学, 2023/1/12)

<https://www.sci.u-hyogo.ac.jp/news/index.html>

[https://www.sci.u-hyogo.ac.jp/news/puresuririsu\\_wadatiR050112.pdf](https://www.sci.u-hyogo.ac.jp/news/puresuririsu_wadatiR050112.pdf)

芝内孝禎, “カゴメ格子物質で実現する不純物に強い非従来型超伝導”, (東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2023/2/14)

<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10067.html>

芝内孝禎、笠原成、今城周作, “超伝導の新しいメカニズム「量子液晶揺らぎによる電子対形成」の検証に成功”, (東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2023/3/9)

<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10102.html>

笠原成、芝内孝禎、今城周作, “超伝導の新しいメカニズム「量子液晶揺らぎによる電子対形成」の検証に成功”,

「量子液晶」ニュースレター Vol.9 (2023年7月)

(岡山大学, 2023/3/9)

[http://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release\\_id1058.html](http://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id1058.html)

芝内孝禎、有馬孝尚, “一度壊れて復活する電子の秩序配列—元素置換による量子性の出現—”, (東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2023/3/10)

<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10109.html>

廣理英基, “テラヘルツ波とスピン振動の高効率な結合による巨大スピン応答の観測—超高速スピントロニクス応用への期待—”, (京都大学化学研究所, 2023/3/31)

<https://www.kuicr.kyoto-u.ac.jp/sites/topics/230331/>

芝内孝禎、浅場智也、末次祥大, “1ナノメートル半導体量子細線の作製に成功—量子の熱帯魚パターンが拓く未来のナノテック—”, (東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2023/5/4)

<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10180.html>

芝内孝禎, “第4の超伝導状態「フェルミ面を持つ超伝導」の発見”, (東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2023/5/18)

<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10203.html>

芝内孝禎, “ウラン化合物におけるカイラリティを持つ超伝導状態を解明”, (東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2023/6/1)

<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10229.html>

#### B01 班 公募研究

今城周作、芝内孝禎、笠原成, “超伝導の新しいメカニズム「量子液晶揺らぎによる電子対形成」の検証に成功”, (東京大学物性研究所, 2023/3/10)

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=18056>

浅場智也、末次祥大、芝内孝禎, “1ナノメートル半導体量子細線の作製に成功—量子の熱帯魚パターンが拓く未来のナノテック—”, (京都大学, 2023/5/8)

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2023-05-08>

#### C01 班 計画研究

求幸年, “狙った物性を示す物質を自動設計する理論手法を開発—ホールセンサーや太陽光発電の性能向上に応用—”, (東京大学大学院工学系研究科, 2023/3/2)

<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2023-03-02-001>

佐藤正寛, “テラヘルツ波とスピン振動の高効率な結合による巨大スピン応答の観測—超高速スピントロニクス応用への期待—”, (千葉大学, 2023/4/3)

[https://www.chiba-u.ac.jp/others/topics/info/3isosdgs\\_1.html](https://www.chiba-u.ac.jp/others/topics/info/3isosdgs_1.html)

有田亮太郎, “反強磁性体におけるトポロジカルホール効果の実証に成功—磁気情報の新しい読み出し手法としての活用に期待—”, (東京大学大学院工学系研究科, 2023/4/21)

<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2023-04-21-002>

有田亮太郎, “超伝導の最適化:精密転移温度評価理論に基づく、新高温超伝導物質の予言”, (理化学研究所, 2023/4/21)

[https://www.riken.jp/press/2023/20230421\\_2/index.html](https://www.riken.jp/press/2023/20230421_2/index.html)

#### D01 班 計画研究

石坂香子, “2次元物質の電子構造の直接観測 —原子層の数の偶奇で大きく変わる性質を発見—”, (東京大学大学院工学系研究科, 2022/6/29)

<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2022-06-29-002>

有馬孝尚、芝内孝禎, “一度壊れて復活する電子の秩序配列—元素置換による量子性の出現—”, (東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2023/3/10)

<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10109.html>

岡崎浩三, “カゴメ格子を持つ超伝導体の電子を直接観測 —特異な超伝導状態「カイラル超伝導」実現の可能性—”, (東京大学物性研究所, 2023/4/27)

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=18479>

小林研介, “量子制御に新手法 — “ねじれ” で量子トンネル確率を自在に制御—”, (東京大学大学院理学系研究科, 2023/5/27)

<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2023/8465/>

小林研介, “量子センサを自在に並べる! —狙った位置にナノサイズの“方位磁針”をつくる—”, (東京大学大学院理学系研究科, 2023/6/14)

<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2023/8482/>

#### D01 班 公募研究

小野瀬佳文, “数学の原理で高周波の新型音響導波路を開発〜超低エネルギー損失な次世代高周波フィルターやセンサーへの応用目指す〜”, (東北大学金属材料研究所, 2023/1/4)

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1486.html>

## ●開催報告

### 第35回 QLC セミナーを名古屋大学（東山キャンパス）にて開催しました。

講師：乗松航 氏（名古屋大学工学研究科）

日時：2022年12月16日（月）10:30～

場所：名古屋大学（東山キャンパス）理学館506室、およびZoomを併用したハイブリット開催

タイトル：SiC基板上ツイスト2層グラフェンの作製と電子状態

アブストラクト：<http://qlc.jp/2022/12/07/35thqlcseminar/>

担当：紺谷浩（名古屋大学）

### 第37回 QLC セミナーを理化学研究所（和光事業所）にて開催しました。

講師：Nic SHANNON 氏（OIST）

日時：2023年2月15日（水）14:00～15:00

場所：理化学研究所 和光事業所 研究本館 156号室

タイトル：Observing Magnetic Monopoles in Spin Ice via Electron Holography

アブストラクト：<http://qlc.jp/2023/02/03/37thqlcseminar/>

担当：花栗哲郎（理化学研究所）

### 第9回 QLC 若手コロキウムをオンライン開催しました。

日時：2023年2月20日（月）13:30～14:30

講演者：第4回若手研究奨励賞、受賞者2名

講演者1：関根大輝 氏（東北大学大学院理学研究科）

タイトル：MnTiO<sub>3</sub>中の多極子ドメインの実空間イメージング

講演者2：堀真弘 氏（東京理科大学大学院理学研究科）

タイトル：二次元準周期系におけるトポロジカル超伝導状態

アブストラクト：<http://qlc.jp/2022/12/19/9thqlcyoungcolloquium/>

担当：和達大樹（兵庫県立大学）

### 第38回 QLC セミナーを東北大学（片平キャンパス）にて開催しました。

講師：David Cortie 氏（ANSTO）

日時：2023年2月24日（金）10:00～11:30

場所：東北大学 多元物質科学研究所（片平キャンパス）西一号館 2階セミナー室

タイトル：The effect of strong non-magnetic disorder and amorphization in a 3D topological insulator

アブストラクト：<http://qlc.jp/2023/02/06/38thqlcseminar/>

担当：佐藤卓（東北大学）

### 第36回 QLC セミナーを東京大学（柏キャンパス）にて開催しました。

講師：江口学 氏（ウィーン工科大学）

日時：2023年3月1日（水）15:00～

場所：東京大学 柏キャンパス 基盤棟 物質系講義室（2B6）

タイトル：Weyl Kondo semimetal

アブストラクト：<http://qlc.jp/2023/01/31/36thqlcseminar/>

担当：芝内孝禎（東大新領域）

### 第39回 QLC セミナーを東京大学（柏キャンパス）にて開催しました。

講師：Romain Grasset 氏（Laboratoire des Solides Irradiés, Ecole Polytechnique）

日時：2023年5月26日（金）13:00～

場所：東京大学 柏キャンパス 基盤棟 物質系講義室（2B6）

タイトル：Higgs boson in superconductors

アブストラクト：<http://qlc.jp/2023/05/12/39thqlcseminar/>

担当：芝内孝禎（東大新領域）

### 第10回 QLC 若手コロキウムをオンライン開催しました。

日時：2023年5月26日（金）16:00～

講演者1：今城周作 氏（東京大学物性研究所）

タイトル：Pomeranchuk 効果に対する超強磁場の影響

講演者2：大村周 氏（名古屋工業大学大学院工学研究科）

タイトル： $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X における超短パルス誘起非線形電荷ダイナミクスの解析

アブストラクト：<http://qlc.jp/2023/04/24/10thqlcyoungcolloquium/>

担当：渡部洋（立命館大学）、時本純（東京理科大学）

### 第40回 QLC セミナーを名古屋大学（東山キャンパス）にて開催しました。

講師：森本高裕 氏（東京大学大学院工学系研究科）

日時：2023年6月8日（木）14:00～

場所：名古屋大学（東山キャンパス）理学館 506室

タイトル：幾何学位相に駆動された非線形応答現象

アブストラクト：<http://qlc.jp/2023/05/31/40thqlcseminar/>

担当：紺谷浩（名古屋大学）

## ●支援プログラムの紹介

総括班では、若手育成支援プログラムとして、(1) 海外派遣支援、(2) 交換プログラム、(3) 若手研究奨励賞、国際活動支援プログラムとして、(1) 国際会議開催および支援、(2) 海外研究者招聘・国際ビデオ講義、(3) シンポジウム提案、研究活動支援プログラムとして、(1) 研究会主催、(2) QLC セミナー、(3) 共同研究支援、などの支援プログラムを実施しています。

●今後の予定

**International Conference on Quantum Liquid Crystals 2023 (QLC2023) を北海道大学にて開催します。**

日時：2023年8月8日（火）～10日（木）

場所：北海道大学 工学研究院 オープンホール

\*最新情報は下記 HP 掲載先をご確認ください。

(HP 掲載先) <http://qlc.jp/2022/11/22/qlc2023/>

**The 14th APCTP Workshop on Multiferroics を東京大学本郷地区キャンパスにて開催します。**

日時：2023年10月19日（木）～21日（土）

場所：東京大学本郷地区キャンパス武田先端知ビル

\*最新情報は下記 HP 掲載先をご確認ください。

(HP 掲載先) [http://crystal.k.u-tokyo.ac.jp/14th\\_apctp/](http://crystal.k.u-tokyo.ac.jp/14th_apctp/)

## ●編集後記

2019 年度に発足した本新学術領域もいよいよ最終年度となりました。コロナ禍により対面形式での研究会が実施できない期間が続きましたが、本号では対面、ハイブリッド形式で実施された研究会の開催報告も掲載されています。新型コロナウイルス感染症が感染症法上、季節性インフルエンザと同じ 5 類に移行されたこともあり、本年度は対面での研究会が多数開催されることを見込まれます。また、本号でも紹介されているとおり、8 月には本新学術領域が主催する国際会議、QLC2023 も北海道大学で現地開催される予定です。多くの量子液晶研究者が集結し、本新学術領域の集大成となることが期待されます。

量子液晶ニュースレター編集局： 小林研介(東京大学) [kensuke@phys.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:kensuke@phys.s.u-tokyo.ac.jp)

永崎洋(産総研) [h-eisaki@aist.go.jp](mailto:h-eisaki@aist.go.jp)

岡崎浩三(東大物性研) [okazaki@issp.u-tokyo.ac.jp](mailto:okazaki@issp.u-tokyo.ac.jp)

## 量子液晶の物性科学

文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」（令和元年度～5年度）

新学術領域研究

「量子液晶の物性科学」ニュースレター 第9号

2023年7月 発行

領域事務局：[office@qlc.jp](mailto:office@qlc.jp)

領域ホームページ：<http://qlc.jp/>