

科学研究費助成事業「新学術領域研究（研究領域提案型）」 研究概要
〔令和6年度事後評価用〕

令和6年6月30日現在

機関番号：12601
領域設定期間：令和元年度～令和5年度
領域番号：6101
研究領域名（和文）量子液晶の物性科学
研究領域名（英文）Physical Properties of Quantum Liquid Crystals
領域代表者
芝内 孝禎（SHIBAUCHI, Takasada）
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授
研究者番号：00251356
交付決定額（領域設定期間全体）：（直接経費）1,134,000,000 円

研究成果の概要

棒状や円盤状の分子系では、気体・液体・固体の三態のほかに、液晶と呼ばれる状態が現れるが、近年、様々な固体物質において液晶に類似した電子状態が次々と観測され始めている。このような電子状態は、スピン系・強相関金属・超伝導の各分野で独立に研究されてきたが、本新学術領域研究では、これらを「スピン液晶」・「電荷液晶」・「電子対液晶」と整理し、いずれも量子多体効果によって現れる点に着目し、「量子液晶」という新概念によって統一的に取り扱う。

本領域の目的は、既存の分野を超えた新しい連携により、量子液晶の物性を解明すること、またその制御を可能にすることである。特に、量子液晶の基底状態を解明するとともに、様々な量子液晶に現れる普遍性と多様性の基礎学理を探究する。また、先端技術を駆使して量子液晶の素励起の解明と制御を行い、柔軟に変化する液晶の特性と量子性による高速かつ巨大な応答を利用した将来の新技术への基礎を築くことを目指す。本領域では、研究の方法論により、A01「量子液晶物質の開発」、B01「量子液晶の精密計測」、C01「量子液晶の理論構築」、D01「量子液晶の制御と機能」の4つの研究項目に分類・組織化し、異なる物質を主な対象としてきた研究者を各項目に配置することで、新しい融合研究を促進するものである。

本新学術領域研究により、様々な新奇量子液晶状態を発見し、今まで以上の多様性が示されたほか、その分類を理論的に整理するための指針を提案するなど、大きな進展があった。さらに、量子液晶の揺らぎを発現機構とする非従来型の超伝導が実現することを実験的に検証することに成功した。その他、様々な量子液晶および関連物質の開発や、各種新しい研究手法の開発が進むことにより、様々な量子液晶関連物質における新しい機能の提案が示された。

今後の展開にむけた成果も得られた。キタエフ磁性体における量子スピン液体において、マヨラナ準粒子励起の証拠が示され、さらに磁場誘起型の量子液晶状態へのトポロジカル転移の存在が、実験および理論により示唆された。この結果により、量子液晶とトポロジーという研究領域の融合に向けて、新たな展開につながる事が期待される。

研究分野：物性物理学、固体化学、ナノサイエンス、光工学、量子ビーム科学、計算科学

キーワード：量子液晶、対称性の破れ、ネマティック、スピン液晶、電荷液晶、電子対液晶

1. 研究開始当初の背景

棒状や円盤状の構造を持つ分子の集団において、固体と液体の中間状態として、液晶状態が現れることが古くから知られている。ここで、液晶に異方性が現れる一因は、分子の構造が棒状や円盤状といった方向性を持っていることにある。その点で、異方性は構成分子自体に自明に内在している。これに対して、固体中の電子に着目すると、古典的には電子自体は方向性を持たないが、量子力学的なスピン自由度や軌道自由度により方向性が出現し、電子集団全体として非自明な異方性を獲得する場合がある。近年、様々な固体物質の電子状態において、液晶に類似した新奇な電子状態が次々と発見されている。例えば、ある種の強相関金属では、電荷ストライプや電子ネマティックと呼ばれる異方的な電子状態が観測され、結晶構造からは期待されない異方的な金属状態が現れる。磁性絶縁体では、絶対零度まで磁気秩序が現れない量子スピン液体の研究が盛んであるが、そのような状態でも結晶格子の回転対称性を破るスピン状態が示唆されてい

る。また、電子対が形成される超伝導状態においても、非自明な異方性を持つネマティック超伝導や対密度波などの新奇的な超伝導状態が盛んに議論されている。

2. 研究の目的

このように様々な物質群で出現している液晶に類似した電子状態については、これまでは各論的に、強相関金属・スピン系・超伝導のそれぞれの分野で独立に研究されていた。本新学術領域研究では、これらを「電荷液晶」・「スピン液晶」・「電子対液晶」と整理し、いずれも量子多体効果によって現れる点に着目し、「量子液晶 (Quantum Liquid Crystals, QLC)」という新概念によって統一的に取り扱う。既存の分野を超えた新しい連携により、量子液晶の物性を解明すること、またその制御を可能にすることを目的としている。特に、量子液晶の基底状態を解明するとともに、様々な量子液晶に現れる普遍性と多様性の基礎学理を探究する。また、先端技術を駆使して量子液晶の素励起の解明と制御を可能にし、柔軟に変化する液晶の特性と量子性による高速かつ巨大な応答を利用した将来の新技术への基礎を築くことを目指している。

3. 研究の方法

本領域では、研究の方法論により以下の4つの研究項目に分類・組織化し、異なる物質を主な対象としてきた研究者を各項目に配置することで、新しい融合研究を促進する。

- ・研究項目 A01「量子液晶物質の開発」：固体化学の様々な合成手法を駆使して、量子液晶状態の舞台となる新物質の開発を行う。
- ・研究項目 B01「量子液晶の精密計測」：各種先端精密物性計測技術を用いるとともに、異なる技術を組み合わせた新しい測定手法を開発し、量子液晶電子状態の実験的解明を行う。
- ・研究項目 C01「量子液晶の理論構築」：様々な理論的方法を駆使して、種々の量子液晶の秩序パラメータの定式化、その揺らぎが他の物性に与える影響を研究し、物質・機能の設計を行う。
- ・研究項目 D01「量子液晶の制御と機能」：微細加工技術を用いた量子液晶のナノサイエンス、および最近急速に発展してきた超高速光技術による状態制御と機能開拓を行う。

これらの連携研究を総括班の主導により推進する。開発した物質を精密計測し、理解した上で制御し、機能開拓への道筋を総合的に探究する舞台を提供することで、量子液晶の物性科学の基礎学理の構築を目指す。

4. 研究の成果

- (1) 本領域研究により、量子液晶の多様性・普遍性に関する大きな進展があった。以下、重要な成果の一部を紹介する。

① いくつかの新奇的な量子液晶状態が見いだされ、今までにない量子液晶の多様性が示された。例えば、鉄系超伝導体では今まで最近接の鉄元素を結ぶ方向の量子液晶が知られていたが、それとは45°異なる方向を示す量子液晶状態を発見した。これは、化学組成などを調整することにより、任意の方向に量子液晶の向きを制御できる可能性を示唆する結果である。また別の例では、イリジウム酸化物やカゴメ超伝導体において、原子間にループ電流が流れるナノ電磁石が実現した量子液晶状態が発見された。その他、超伝導体にける電子対液晶状態や、メゾスコピックスケールの量子液晶波の観測、さらにはノーダルライン半金属における量子液晶など、様々な新奇量子液晶が見つかった。

② 多様な量子液晶の分類を理論的に整理するための指針が示された。量子液晶秩序の空間反転対称性および時間反転対称性の有無により、4つの秩序に分類し、定量解析を可能とする量子液晶構造因子・形状因子という物理量が提案された。実際に空間反転対称性および時間反転対称性の両方が破れた電荷ループ電流状態が、本領域の実験研究によりイリジウム酸化物やカゴメ超伝導体で発見されている。さらに、未発見のスピンループ電流状態の研究に発展することが期待される。

③ 量子液晶の揺らぎを発現機構とする非従来型の超伝導が実現することを実験的に検証することに成功した。量子液晶の量子臨界点近傍で、揺らぎの増大に付随した電子対増強を示す結果が得られ、重い電子系超伝導体などで議論されている磁気揺らぎと異なる新しい機構として注目されている。これは、高温超伝導機構の研究にも重要な示唆を与えるものである。

④ キタエフ磁性体における量子スピン液体において、マヨラナ準粒子励起の証拠が示され、さらに磁場誘起型の量子液晶状態へのトポロジカル転移の存在が、実験および理論により示唆された。この結果により、量子液晶とトポロジーという研究領域の融合に向けて、新たな展開につながる事が期待される。

⑤ さらに、様々な量子液晶および関連物質の開発や、各種新しい研究手法の開発が進むことにより、様々な量子液晶関連物質における新しい機能の提案が示された。具体例としては、磁性高温超伝導体において超伝導磁束により磁気層のスピンを制御を可能とし、高速・低消費電力のオール超伝導回路に向けた要素開発を行ったことや、3段階の調光機能を有する反強磁性体の開発、巨大圧力熱量効果を示す新物質開発により熱制御に利用できることを実証したことなどが挙げられる。さらに、量子液晶の制御と機能を担当したD01班では、異方的

な軌道秩序を持つ強相関モット絶縁体において、光照射誘起の強い方向性を持つ歪の発生が見いだされ、思い通りの偏極を持つ光音響波 (MHz~GHz) の発生への提案がなされた。また、カイラルスピン物質がサブテラヘルツ帯で動作する材料として機能することが示され、数百 GHz のサブテラヘルツ帯にも及ぶ広帯域で可変な共鳴特性により、現行の 5G 通信技術を超える次世代通信システムへの技術開発につながることを期待される。非磁性絶縁体 FeSi においては、新しいトポロジカル表面状態を発見され、電流による磁化制御機能を実現した。希少元素を使用しない磁気メモリ (MRAM) への応用が期待できる。

- (2) これ以外にも、新物質の開発や各種新しい研究手法の開発が進むなど、各研究項目で多角的な研究が順調に遂行された。本領域の 5 年間の研究により、多岐にわたる研究成果が得られ、768 編の論文、318 件の国際会議基調・招待講演などで発表された。公表された論文は、Nature (5 編) Science (5 編) Nat. Mater. (1 編) Nat. Nanotechnol. (1 編) Nat. Phys. (5 編) Nat. Commun. (33 編) Sci. Adv. (11 編) Adv. Mater. (1 編) Adv. Func. Mater. (2 編) ACS Nano (2 編) JACS (6 編) Nano Lett. (5 編) PNAS (12 編) Phys. Rev. X (9 編) Phys. Rev. Lett. (34 編) などハイインパクトジャーナルに多く掲載された。本新学術領域の計画研究メンバー間、および公募研究メンバーを含む共同研究も多く実施されており、103 編の共同研究論文が出版されている。これらの結果に関し、113 件のプレスリリースを行い、78 件の新聞記事を含む 163 件のメディア報道につながった。
- (3) 初年度末から約 2 年間あまり、コロナ禍の影響によりオンサイトでの研究会の開催が不可能となったが、各種オンラインプラットフォームの活用により、研究会、セミナー国際会議などを主催するとともに、領域動画サイト「QLC チャンネル」にて研究成果の解説ビデオなどを配信し、領域研究の活性化に努めた。また、総括班経費により共同研究の成果としての論文掲載料のサポートを行い、領域内連携を促進した。
- (4) 領域内若手研究者支援として、グループ間の研究者交換プログラムを 26 件実施し、若手研究奨励賞を 5 年間で 12 名に授与した。また、若手研究者海外渡航を 29 件支援し、コロナ禍中にはオンライン国際会議への参加登録料支援を 9 件行った。コロナ禍により渡航が制限されたため、若手研究者支援を別の形で強化するための QLC 若手コロキウムを開始した。これは、大学院生やポスドク研究員などの若手研究者が、自分の研究を他分野の若手研究者にわかりやすく解説するオンラインの取り組みで、相互理解を促進するものである。計 12 回開催し、若手研究奨励賞受賞者を含む 38 名の若手研究者がコロキウムで発表を行い、毎回若手研究者同士で活発な議論が行われた。さらに、オンラインを活用した若手研究者育成の取り組みとして、若手研究者による研究成果のわかりやすい解説を依頼して、領域の動画サイト「QLC チャンネル」にてビデオ配信している。現在までに公開している 44 本の動画のうち、25 本の「研究解説」と 4 本の「実験室・研究室から」は若手研究者が作成、解説を行っているものである。
- (5) 国際活動として、2021 年 5 月には領域主催の国際会議 International Conference on Quantum Liquid Crystals (QLC2021) をオンライン開催した。8 カ国から 274 名の登録があり、非常に有意義な議論が行われた。2023 年 8 月に主催した国際会議 QLC2023 では、北海道大学にて開催し、海外 5 カ国からの参加者 11 名を含む 170 名を超える研究者が一堂に会した。入国規制の完全撤廃が同年 4 月末だったため、海外からの参加者は限定的だったが、いずれのセッションも活発な議論が繰り広げられた。また、若手研究者のポスター発表に投票を行い、2 名に Young Researcher Award を授与した。国際活動を強化するために、2022 年度より Institute for Complex Adaptive Matter (ICAM) による支援が始まった、量子物質科学の日欧米の 10 の研究プロジェクトから組織された国際スーパーネットワーク Quantum Materials Accelnet (QMAC) に日本で唯一参画している。量子物性の若手研究者の国際交流や国際共同研究を推進・支援する取り組みで、本領域を核として、我が国の量子物質の研究の発展に資するものである。この枠組みにより Rice 大学の博士研究員が東京大学に 3 か月滞在するなどの国際交流・共同研究につながっている。

5. 主な発表論文等 (受賞等を含む)

〔論文発表〕全 768 編 (うち領域内共同研究 103 編) より抜粋 (すべて査読あり)

- 1) *H. Yoshimochi, R. Takagi, J. Ju, N. D. Khanh, H. Saito, H. Sagayama, H. Nakao, S. Itoh, Y. Tokura, T. Arima, S. Hayami, T. Nakajima, *S. Seki, "Multistep topological transitions among meron and skyrmion crystals in a centrosymmetric magnet", *Nat. Phys.* **20**, 1001-1008 (2024). DOI: 10.1038/s41567-024-02445-9
- 2) T. Asaba, A. Onishi, Y. Kageyama, T. Kiyosue, K. Ohtsuka, S. Suetsugu, Y. Kohsaka, T. Gaggli, Y. Kasahara, H. Murayama, K. Hashimoto, R. Tazai, H. Kontani, B. Ortiz, S. Wilson, Q. Li, H. Wen, *T. Shibauchi, *Y. Matsuda, "Evidence for an odd-parity nematic phase above the charge density wave transition in a kagome metal", *Nat. Phys.* **20**, 40-46 (2024). DOI: 10.1038/s41567-023-02272-4
- 3) *R. Tazai, Y. Yamakawa, H. Kontani, "Charge-loop current order and Z_3 nematicity mediated by bond order fluctuations in kagome metals", *Nat. Commun.* **14**, 7845 (2023). DOI: 10.1038/s41467-023-42952-6
- 4) T. Hayashida, K. Kimura, *T. Kimura, "Electric field-induced magnetochiral dichroism in a ferroaxial crystal", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **120**, e2303251120 (2023). DOI: 10.1073/pnas.2303251120

- 5) H. Zhao, R. Blackwell, M. Thinel, T. Handa, S. Ishida, X. Zhu, A. Iyo, H. Eisaki, *A. N. Pasupathy, *K. Fujita, "Smectic pair-density-wave order in EuRbFe₄As₄", *Nature* **618**, 940-945 (2023). DOI: 10.1038/s41586-023-06103-7
- 6) Y. Zhong, J. Liu, X. Wu, Z. Guguchia, J.-X. Yin, A. Mine, Y. Li, S. Najafzadeh, D. Das, C. Mielke III, R. Khasanov, H. Luetkens, T. Suzuki, K. Liu, X. Han, T. Kondo, J. Hu, S. Shin, *Z. Wang, *X. Shi, Y. Yao, *K. Okazaki, "Nodeless electron pairing in CsV₃Sb₅-derived kagome superconductors", *Nature* **617**, 488-492 (2023). DOI: 10.1038/s41586-023-05907-x
- 7) *Y. Watanabe, A. Miyake, M. Gen, Y. Mizukami, K. Hashimoto, T. Shibauchi, A. Ikeda, M. Tokunaga, T. Kurumaji, Y. Tokunaga, *T. Arima, "Double dome structure of the Bose-Einstein condensation in diluted $S=3/2$ quantum magnet", *Nat. Commun.* **14**, 1260 (2023). DOI: 10.1038/s41467-023-36725-4
- 8) K. Mukasa, *K. Ishida, S. Imajo, M. Qiu, M. Saito, K. Matsuura, Y. Sugimura, S. Liu, Y. Uezono, T. Otsuka, M. Čulo, S. Kasahara, Y. Matsuda, N. E. Hussey, T. Watanabe, K. Kindo, *T. Shibauchi, "Enhanced superconducting pairing strength near a pure nematic quantum critical point", *Phys. Rev. X* **13**, 011032 (2023). DOI: 10.1103/PhysRevX.13.011032
- 9) R. Tazai, S. Matsubara, Y. Yamakawa, S. Onari, *H. Kontani, "A rigorous formalism of unconventional symmetry breaking in Fermi liquid theory and its application to nematicity in FeSe", *Phys. Rev. B* **107**, 035137 (2023). DOI: 10.1103/PhysRevB.107.035137
- 10) *C. J. Butler, Y. Kohsaka, Y. Yamakawa, M. S. Bahramy, S. Onari, H. Kontani, *T. Hanaguri, S. Shamoto, "Correlation-driven electronic nematicity in the Dirac semimetal BaNiS₂", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **119**, e2212730119 (2022). DOI: 10.1073/pnas.2212730119
- 11) *Y. Shimamoto, Y. Matsushima, T. Hasegawa, Y. Kousaka, I. Proskurin, J. Kishine, A. S. Ovchinnikov, F. J. T. Goncalves, Y. Togawa, "Observation of collective resonance modes in a chiral spin soliton lattice with tunable magnon dispersion", *Phys. Rev. Lett.* **128**, 247203 (2022). DOI: 10.1103/PhysRevLett.128.247203
- 12) O. Tanaka, *Y. Mizukami, R. Harasawa, K. Hashimoto, K. Hwang, N. Kurita, H. Tanaka, S. Fujimoto, Y. Matsuda, E.-G. Moon, *T. Shibauchi, "Thermodynamic evidence for field-angle dependent Majorana gap in a Kitaev spin liquid", *Nat. Phys.* **18**, 429-435 (2022), News & Views. DOI: 10.1038/s41567-021-01488-6
- 13) *H. Kontani, R. Tazai, Y. Yamakawa, S. Onari, "Unconventional density waves and superconductivities in Fe-based superconductors and other strongly correlated electron systems", Invited Review Paper, *Adv. Phys.* **70**, 355 (2021). DOI: 10.1080/00018732.2022.2144590
- 14) *S. Kasahara, H. Suzuki, T. Machida, Y. Sato, Y. Ukai, H. Murayama, S. Suetsugu, Y. Kasahara, T. Shibauchi, T. Hanaguri, Y. Matsuda, "Quasiparticle nodal plane in the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov state of FeSe", *Phys. Rev. Lett.* **127**, 257001 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevLett.127.257001
- 15) *S. Ishida, D. Kagerbauer, S. Holleis, K. Iida, K. Munakata, A. Nakao, A. Iyo, H. Ogino, K. Kawashima, M. Eisterer, and H. Eisaki, "Superconductivity-driven ferromagnetism and spin manipulation using vortices in the magnetic superconductor EuRbFe₄As₄", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **118**, e2101101118 (2021). DOI: 10.1073/pnas.2101101118
- 16) *T. Shimojima, Y. Motoyui, T. Taniuchi, C. Bareille, S. Onari, H. Kontani, M. Nakajima, S. Kasahara, T. Shibauchi, Y. Matsuda, *S. Shin, "Discovery of mesoscopic nematicity wave in iron-based superconductors", *Science* **373**, 1122-1125 (2021). DOI: 10.1126/science.abd6701
- 17) T. Yokoi, S. Ma, Y. Kasahara, S. Kasahara, T. Shibauchi, N. Kurita, H. Tanaka, J. Nasu, Y. Motome, C. Hickey, S. Trebst, and *Y. Matsuda, "Half-integer quantized anomalous thermal Hall effect in the Kitaev material candidate α -RuCl₃", *Science* **373**, 568-572 (2021). DOI: 10.1126/science.aay5551
- 18) *M. O. Takahashi, M. G. Yamada, D. Takikawa, T. Mizushima, S. Fujimoto, "Topological nematic phase transition in Kitaev magnets under applied magnetic fields" *Phys. Rev. Res.* **3**, 023189 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevResearch.3.023189
- 19) *T. Hata, Y. Teratani, T. Arakawa, S. Lee, M. Ferrier, R. Deblock, R. Sakano, A. Oguri, *K. Kobayashi, "Three-body correlations in nonlinear response of correlated quantum liquid", *Nat. Commun.* **12**, 3233 (2021). DOI: 10.1038/s41467-021-23467-4
- 20) *M.-T. Huebsch, T. Nomoto, M.-T. Suzuki, R. Arita, "Benchmark for *ab initio* prediction of magnetic structures based on cluster-multipole theory", *Phys. Rev. X* **11**, 011031 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevX.11.011031
- 21) *H. Kontani, Y. Yamakawa, R. Tazai, S. Onari, "Odd-parity spin-loop-current order mediated by transverse spin fluctuations in cuprates and related electron systems", *Phys. Rev. Res.* **3**, 013127 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevResearch.3.013127
- 22) H. Murayama, K. Ishida, R. Kurihara, T. Ono, Y. Sato, Y. Kasahara, H. Watanabe, Y. Yanase, G. Cao, Y. Mizukami, T. Shibauchi, *Y. Matsuda, *S. Kasahara, "Bond directional anapole order in a spin-orbit coupled Mott insulator Sr₂(Ir_{1-x}Rh_x)O₄", *Phys. Rev. X* **11**, 011021 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevX.11.011021
- 23) K. Mukasa, K. Matsuura, M. Qiu, M. Saito, Y. Sugimura, K. Ishida, M. Otani, Y. Onishi, Y. Mizukami, K. Hashimoto, J. Gouchi, R. Kumai, Y. Uwatoko, *T. Shibauchi, "High-pressure phase diagrams of

- FeSe_{1-x}Te_x: Correlation between suppressed nematicity and enhanced superconductivity", *Nat. Commun.* **12**, 381 (2021). DOI: 10.1038/s41467-020-20621-2
- 24) *T. Shibauchi, T. Hanaguri, Y. Matsuda, "Exotic superconducting states in FeSe-based materials", *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 102002 (2020), Invited Review Paper, Featured in JPS Hot Topics. DOI: 10.7566/JPSJ.89.102002
 - 25) T. Hayashida, Y. Uemura, K. Kimura, S. Matsuoka, D. Morikawa, S. Hirose, K. Tsuda, T. Hasegawa, *T. Kimura, "Visualization of ferroaxial domains in an order-disorder type ferroaxial crystal", *Nat. Commun.* **11**, 4582 (2020). DOI: 10.1038/s41467-020-18408-6
 - 26) *I. Kostylev, *S. Yonezawa, Z. Wang, Y. Ando, Y. Maeno, "Uniaxial-strain control of nematic superconductivity in Sr_xBi₂Se₃", *Nat. Commun.* **11**, 4152 (2020). DOI: 10.1038/s41467-020-17913-y
 - 27) *T. Sato, N. Abe, S. Kimura, Y. Tokunaga, T.-h. Arima, "Magnetochiral dichroism in a collinear antiferromagnet with no magnetization", *Phys. Rev. Lett.* **124**, 217402 (2020), Editors' Suggestion. DOI: 10.1103/PhysRevLett.124.217402
 - 28) K. Ishida, M. Tsujii, S. Hosoi, Y. Mizukami, S. Ishida, A. Iyo, H. Eisaki, T. Wolf, K. Grube, H. v. Löhneysen, R. M. Fernandes, *T. Shibauchi, "Novel electronic nematicity in heavily hole-doped iron pnictide superconductors", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **117**, 6424-6429 (2020). DOI: 10.1073/pnas.1909172117
 - 29) *S. Kasahara, Y. Sato, S. Licciardello, M. Čulo, S. Arsenijević, T. Ottenbros, T. Tominaga, J. Böker, I. Eremin, T. Shibauchi, J. Wosnitzer, N. E. Hussey, Y. Matsuda, "Evidence for an Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov State with Segmented Vortices in the BCS-BEC-Crossover Superconductor FeSe", *Phys. Rev. Lett.* **124**, 107001 (2020). DOI: 10.1103/PhysRevLett.124.107001
 - 30) I. Errea, F. Belli, L. Monacelli, A. Sanna, T. Koretsune, T. Tadano, R. Bianco, M. Calandra, R. Arita, F. Mauri, *J. A. Flores-Livas, "Quantum crystal structure in the 250-kelvin superconducting lanthanum hydride", *Nature* **578**, 66-69 (2020). DOI: 10.1038/s41586-020-1955-z
 - 31) *D. Hirobe, *M. Sato, M. Hagihara, Y. Shiomi, T. Masuda, E. Saitoh, "Magnon Pairs and Spin-Nematic Correlation in the Spin Seebeck Effect", *Phys. Rev. Lett.* **123**, 117202 (2019). DOI: 10.1103/PhysRevLett.123.117202
- 〔国際会議における招待講演〕 全 318 件より抜粋
- 1) K. Ohgushi, "Piezomagnetic effect in altermagnets", Quantum Materials Symposium 2024, Yongpyong, Korea, 2024/2/17-19, Invited.
 - 2) T. Arima, "Multiple-wavevector magnetic order", 4th Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering, Dongguan, China, 2023/12/2-8, Invited [Plenary].
 - 3) T. Kimura, "Optical microscope imaging of antiferromagnetic domains via linear magnetoelectric effect", International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2023 (SCES2023), Incheon, Korea, 2023/7/2-7, Invited.
 - 4) T. Shibauchi, "Nematic quantum critical points and unconventional superconducting states in Fe(Se/S/Te)", Superstripes 2023 Quantum in Complex Matter, Ischia, Italy, 2023/6/26-7/01, Invited [Plenary].
 - 5) H. Kontani, "Even- and odd-parity density waves and superconductivity in kagome metals and other strongly correlated metals", Superstripes 2023 Quantum in Complex Matter, Ischia, Italy, 2023/6/26-7/01, Invited [Plenary].
 - 6) K. Kobayashi, "Three-body correlation in nonequilibrium quantum liquid", 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29), Sapporo, Japan / Online, 2022/8/18-24, Invited.
 - 7) T. Hanaguri, "Superconductivity, nematicity and topology in Fe(S,Se,Te)", 13th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity & High Temperature Superconductors 2022 (M2S2022), Vancouver, Canada, 2022/7/17-22.
 - 8) T. Shibauchi, "Field-angle dependent Majorana gap in a Kitaev spin liquid state of α -RuCl₃", American Physical Society (APS), March Meeting, online, 2021/03/15-19, Invited.
- 〔受賞〕 全 77 件より抜粋
- 1) 木村剛, "令和 6 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 (科学技術賞、研究部門)", (文部科学省, 2024/4/17).
 - 2) 求幸年, "令和 6 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 (科学技術賞、研究部門)", (文部科学省, 2024/4/17).
 - 3) 有田亮太郎, "Highly Cited Researchers" 2019-2023, (Clarivate Analytics 社).
 - 4) 佐藤卓, "令和 4 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 (研究部門)" (文部科学省, 2022/4/8).
 - 5) 有馬孝尚, 木村剛, "2021 年度(第 67 回)仁科記念賞", (公益財団法人仁科記念財団, 2021/11/9)
 - 6) 有馬孝尚, "第 17 回本多フロンティア賞", (公益財団法人本多記念会, 2020/11/6).
 - 7) 木村剛, "2019 Fellow of the American Physical Society", (American Physical Society, 2019/09/18).

ホームページ等

「量子液晶」領域ホームページ <http://qlc.jp>

領域動画サイト「QLC チャンネル」 <https://www.youtube.com/channel/UCT4ychc-2b0hflUuJPLIYNQ>