

量子物性物理学研究室

1. メンバー

教授： 石橋 晃 011-706-9423 i-akira@es.hokudai.ac.jp
准教授： 近藤 憲治 011-706-9424 kkondo@es.hokudai.ac.jp
学生： 伊藤 蓮(M2)
石田 雄一(M1)
黄倉 侑人(M1)
小森 至瑠(B4)

2. 研究成果

視点をアトム (Atom) ・ ビット (Bit) ・ エネルギー (Energy) / 環境 (Environment) 空間 [ABE²空間] において、今後ナノテク・ナノサイエンス分野で得られる新しい効果や機能を既存の Si ベースの IT インフラ構造と接続し相乗効果を引出し、最終的にナノとマクロを結合することを目指している。

トップダウン系に対するアンチテーゼとして最近その重要性が認識されてきた一つの流れは、自律分散型相互作用など内在的ルールにより構造が決まっていくボトムアップ系である。バイオ系に代表される自律分散系その他、たとえば半導体量子ドットなど無機物のセルフアセンブル系を含め、広くボトムアップ系に期待が集まっている。しかしながら、両系は未だに専ら独立で、トップダウン、ボトムアップ両系の間に橋渡しすることは極めて重要にも係らず、未だ実現されていない。当研究室では、このような課題を解決しながら、新しい量子機能・高機能デバイス/システム創出を目指した研究を実験と理論の両面から進めている。

一般に、ムーアの法則に代表されるロードマップに沿った展開を示しつつも遂に限界が指摘され始めた Si ベースの LSI は、その構造が外在的ルールで決まるトップダウン型のシステムの代表格であるが、素子サイズ上、動作パワー上、及び製造設備投資上の限界がいわれて久しい。従来の「ボトムアップとトップダウンの統合」が両者のいいところ取りでナノ構造を作るというものであったのと異なり、当研究室では両者の相互乗り入れを可能とする和集合の観点から取り組んでいる。両者の構成原理が大きく異なるため容易ではないが、もしトップダウンーボトムアップの両系を繋ぐことができれば、今後ナノテク・ナノサイエンス分野で得られる新しい効果や機能を既存の Si ベースの IT インフラ構造と接続し相乗効果を引出しつつナノとマクロを結合することができる。

(a) 新型光電変換システムと極限高潔環境 (Clean Unit System Platform: CUSP) の展開

従来型の太陽電池では光進行方向と生成フォトンキャリア移動方向が平行であることに起因する光吸収とフォトンキャリア収集の間のトレードオフが存在するのに対し、図 1 に示す新型光電変換素子では、太陽光の進行方向とキャリアの移動方向を直交させることができ (図 1 左下断面図参照)、このトレードオフを解消することができる。そこでは太陽光の吸収とフォトンキャリアの収集効率の最適化が両立可能となり、異なるエネルギーギャップを有する半導体マルチストライプを用いて全太陽光スペ

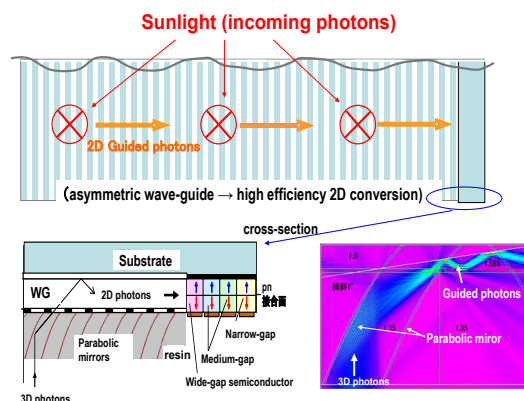


図 1 非対称導波路結合フォトン・フォトンキャリア直交型マルチストライプ半導体太陽電池 (上面図)。左下：同断面図、右下：テーパ非対称導波路の場合の導波シミュレーション。

クトルに亘って光電変換を実行することで究極の変換効率に迫ることができる。

今回3次元伝播太陽光を2次元伝播光化する導波路（リディレクション導波路）の一つの候補として、図1左下内挿図に示すような周期配列した放物線鏡を作製し、更に今回WGとしてテイパー非対称導波路を採用した。本系は、反射光学系を成すので、回折光学系と異なり、導波効率の波長依存性を小さく抑えることができる。図1右下にシミュレーション結果を示すが、良好な導波特性が期待される。

上記太陽電池作製ならびに医療等にも応用できる清浄環境であるクリーンユニットシステムプラットフォーム(CUSP)内のガス分子濃度を効率的に制御するために、あらたなガス交換ユニット(GEU)を開発した。併行して用いるファンフィルターユニット(FFU)は、一般的な中性能フィルターであっても、室内空気が数回転乃至10回転するうちに、US209Dクラス1万のクリーンルームと同等乃至それ以上の清浄度を実現することができる。今回のGEUは、図2に示すような“4端子素子”的な構成となっている。部屋の気密性を向上させることで、このガス交換ユニットを備えたCUSPシステムにより、US209Dクラス100級の清浄空間(病院の無塵室・手術室相当の清浄度)にグレードアップしてゆくことができる。

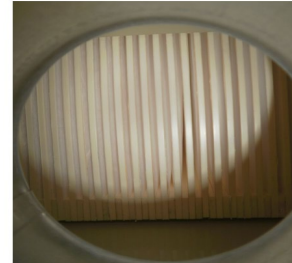


図1 新型のガス交換ユニット(GEU)：全体図(上)および開口部から除いた内部の様子(下)。

(b)理論

高次トポロジカル絶縁体の電子状態

全体の目的としては、物性理論の観点から、トポロジカルな磁性現象の解明を行い、物理学への新しい知見を導入することを目的としている。その中でトポロジカル絶縁体の特異なバンド構造を利用した新奇なスピンドバイスの提案ならびにスピン軌道相互作用の非可換ゲージ場の側面を活かしたデバイスの検討を行うことにより、スピントロニクスなどの工学にも寄与することを目指している。今年度の成果は以下のものである。

2018年6月に従来のトポロジカル絶縁体とは異なる“高次トポロジカル絶縁体”の概念がScience Advancesで発表された。それを受けて、彼らの論文で使用されたハミルトニアンを用いて、具体的な電子状態の計算等を行った。まず、高次トポロジカル絶縁体の概念を説明する。

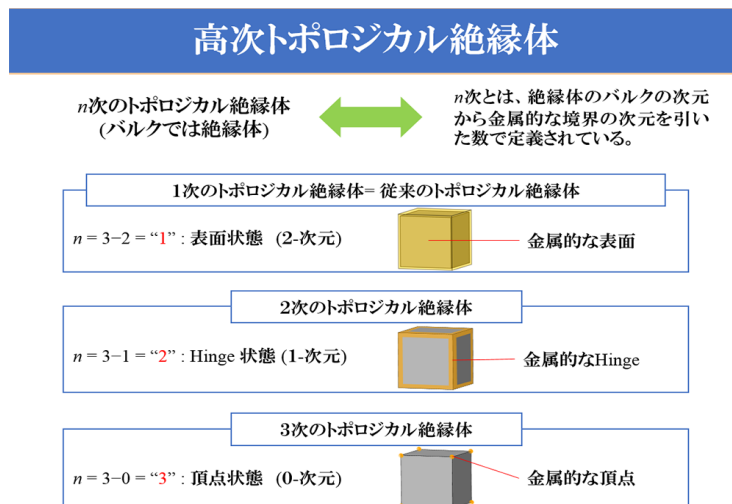


図3：高次トポロジカル絶縁体の概念図

図3にあるように、高次とっているのは、gapless状態の次元の余次元があがるので、高次と呼んでいる。例えば、3次元において、2次元表面のgapless状態の場合、その余次元は $3 - 2 = 1$ なので、1次のトポロジカル絶縁体=従来のトポロジカル絶縁体である。一方、ヒンジ（もしくは辺）にしかgapless状態がない場合、その余次元は $3 - 1 = 2$ なので、2次の高次トポロジカル絶縁体となる。そこで、この2次のトポロジカル絶縁体である以下のハミルトニアン H の電子状態をスラブ構造で計算した。

$$H(\mathbf{k}) = \left(M + t \sum_i \cos k_i \right) \tau_z \otimes \sigma_0 + \Delta_1 \sum_i \sin k_i \tau_x \otimes \sigma_i + \Delta_2 (\cos k_x - \cos k_y) \tau_y \otimes \sigma_0$$

使用したパラメーターは、 $M/t = 2.0$, $\Delta_1/t = 1.0$, $\Delta_2/t = 1.0$ である。図4はバンド図、図5はそれに対応する電子密度図である。

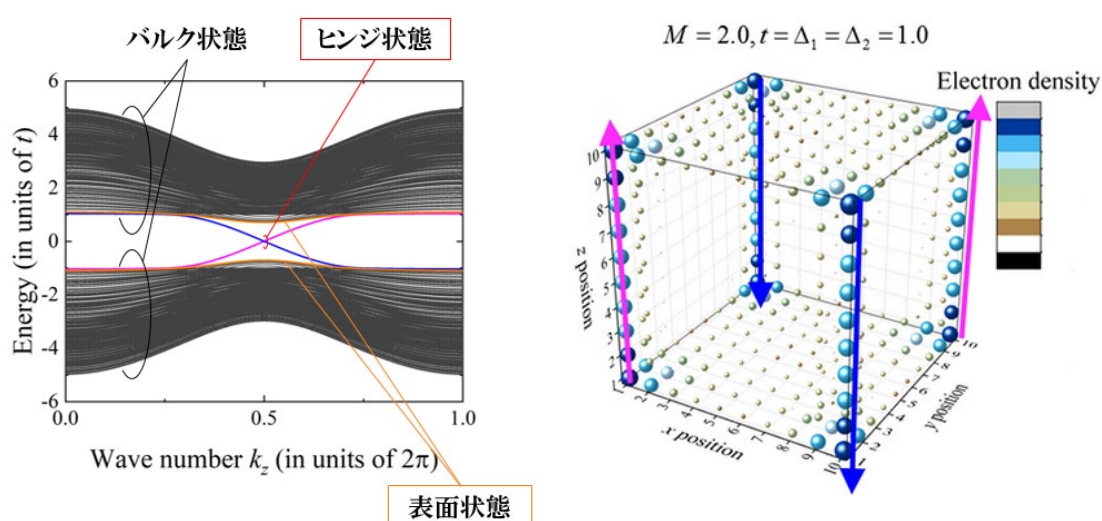


図4：2次トポロジカル絶縁体のバンド図 図5：2次トポロジカル絶縁体の電子密度

3. 成果発表（レフェリー制のあるジャーナルには * 印を付ける）

<原著論文>

- 1)* T. Hsieh, **A. Ishibashi**, M. Yasutake and S. Liang: “Tent-type Clean Unit System Platform for Sleep Environment Enhancement and non-contact Sleep Assessment”, *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.*, **124**(S3) (to be published) (2019)
- 2)* **A. Ishibashi**, M. Yasutake, T. Hsieh and S. Liang: “Clean Unit System Platform for Exercise Science and Sports Medicine”, *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.*, **124**(S3) (to be published) (2019)
- 3)* **A. Ishibashi**, T. Kasai and N. Sawamura: “Redirection Waveguide having Discrete Translational Symmetry for Photovoltaic Systems with Solar-Cell Units Placed at the Periphery”, *Energies*, **11**: 3498-1–3498-9 (2018)
- 4)* **A. Ishibashi**, N. Noguchi, T. Etoh, J. Matsuda, Y. Ohashi, “Clean Unit System Platform (CUSP) based upon 100%-feedback closed system”, *Proc. 35th Annual Tech. Meeting on Air Cleaning and Contamination Control*: 38–41 (2018)
- 5)* M. Inoue, K. Inubushi, D. Mouri, T. Tanimoto, K. Nakada, **K. Kondo**, M. Yamamoto, and T. Uemura:” Origin of biquadratic interlayer exchange coupling in Co2MnSi-based current-perpendicular-to-plane pseudo spin valves”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.**114**, 062401/1-5 (2019)
- 6) * **K. Kondo** and R. Itoh: "Quantum spin Hall phase in honeycomb nanoribbons with two different atoms: edge shape effect to bulk-edge correspondence", *Journal of Physics Communications* (to be published)

published) (2019).

<著書>

なし。

<特許>

・国際特許

1) 石橋 晃 : PCT/JP2018/035015、光導波装置、光電変換装置、建築物、電子機器、移動体
および電磁波導波装置、2018年09月21日

・国内特許

4. 学術講演

4-1. 学術講演 (国際学会・国際シンポジウム)

<招待講演>

- 1) **A. Ishibashi**: “Multi-striped orthogonal photon-photocarrier-propagation solar cells (MOP3SCs) with new asymmetric redirection waveguides”, Advanced Energy Materials 2018, Finstown Castle Hotel, Dublin, Ireland (2018-08)
- 2) H. Teramoto*, A. Tsuchida, Y. Kabata, **K. Kondo**, K. Nabeshima, S. Izumiya and T. Komatsuzaki, “Normal forms in singularity theory for geometric classifications of band structures”, TraX International Conference, Madrid, Madrid (Spain) (2018-05).
- 3) H. Teramoto*, A. Tsuchida, Y. Kabata, **K. Kondo**, K. Nabeshima, S. Izumiya and T. Komatsuzaki,” Normal forms in singularity theory for geometric classifications of local band structures”, Telluride Workshop "Geometry of Chemical Reaction Dynamics in Gas and Condensed Phases”, Telluride (United States) (2018-07).
- 4) H. Teramoto*, A. Tsuchida, Y. Kabata, **K. Kondo**, K. Nabeshima, S. Izumiya, M. Toda and T. Komatsuzaki,” Normal Forms in Singularity Theory for Geometric Classifications of Band Structures”, Dynamics Days Europe 2018, Loughborough (United Kingdom) (2018-09).

<一般講演>

- 1) **A. Ishibashi**, M. Yasutake, T. Hsieh and S. Liang: “Clean Unit System Platform for Exercise Science and Sports Medicine”, International Workshop on Exercise Science and Sports Medicine, Shibuya, Tokyo, Japan (2019-03)
- 2) T. Hsieh, **A. Ishibashi**, M. Yasutake and S. Liang: “Tent-type Clean Unit System Platform for Sleep Environment Enhancement and non-contact Sleep Assessment”, International Conference on Medical Physics, Medical Engineering and Informatics, Shibuya, Tokyo, Japan (2019-03)
- 3) **A. Ishibashi** and N. Sawamura: “Asymmetric redirection waveguide with discrete translational symmetry for multi-striped orthogonal photon-photocarrier-propagation solar cells (MOP3SCs)”, 2018 IEEE International Conference on Advanced Manufacturing (IEEE ICAM 2018), Yunlin, Taiwan (Province of China) (2018-11)

《ポスター発表》

- 1) **A. Ishibashi**, T. Kasai, Y. Ohkura and N. Sawamura : “Redirection Waveguide for Concentration Solar Cell Systems”, The 19th RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo, Japan (2018-12)
- 2) R. Itoh* and **K. Kondo**,” Fermi arcs for Weyl semimetals and line-node semimetals in topological insulator superlattice”, 10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS10), Austria (Linz) (2018-08).
- 3) Y. Ishida* and **K. Kondo**, “A Dependence of the Skyrmion Hall Effect on the Gilbert Damping Constant”, 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018), Tokyo (The University of Tokyo) (2018-09).
- 4) S. Komori* and **K. Kondo**: “Manifestation of Quantum Anomalous Hall Phase in Modified Qi-Wu-Zhang Model”, The 19th RIES-HOKUDAI International Symposium "So", Jozankei View Hotel, Sapporo, Japan (2018-12).
- 5) R. Itoh* and **K. Kondo**: “A Study of Fermi Arcs for Weyl Semimetals and Line-Node Semimetals”, The 19th RIES-HOKUDAI International Symposium "So", Jozankei View Hotel, Sapporo, Japan (2018-12).

- 6) Y. Ishida* and **K. Kondo**: “Influence of the Gilbert Damping Constant on the Skyrmion Hall Effect”, The 19th RIES-HOKUDAI International Symposium "So", Jozankei View Hotel, Sapporo, Japan (2018-12)

4-2. 学術講演（国内学会・国内その他）

<招待講演>

- 1) A. Ishibashi*, N. Sawamura, T. Matsuoka, H. Kobayashi and T. Kasai : “Multi-striped Orthogonal Photon-Photocarrier Propagation Solar Cell (MOP3SC) in Waveguide-Coupled Scheme”, 第28回日本MRS年次大会(2018-12)

<一般講演>

《口頭発表》

- 1) **石橋 晃***、黄倉 侑人、澤村 信雄：「フォトン・フォトキャリア直交型マルチストライプ 半導体太陽電池に向けた離散的併進対称性を有する新しい非対称導波路構造」、日本応用物理学会 2019年春季大会、東京工業大学（大岡山）、Japan（2019-03）
- 2) **石橋 晃***：「フォトンフォトキャリア直交型太陽電池の非対称導波路の進展とクリーン環境CUSPの展開」、平成30年度 物質・デバイス領域共同研究拠点事業『新型太陽電池並びに清浄環境の新展開～ 次世代デバイス・システムの展望』研究会（電子研学術講演会）、北海道大学、Japan（2018-07）
- 3) **石橋 晃***、野口 伸守、江藤 月生、松田 順治、大橋 美久：「孤立・閉鎖系高清浄環境クリーンユニットシステムプラットフォーム」、第35回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会、早稲田大学国際会議場（2018-04）
- 4) 小森 至瑠*、近藤 憲治：“高次トポロジカル絶縁体で発現するヒンジ状態のロバスト性”、日本物理学会第74回年次大会、福岡（九州大学）（2019-03）。
- 5) 伊藤 蓮*、近藤 憲治：“2種類の原子を加えたHoneycombナノリボンにおける2次元量子スピホール相の研究”，第66回応用物理学会春季学術講演会、目黒区（東工大）、（2019-03）。
- 6) H. Teramoto*, A. Tsuchida, Y. Kabata, **K. Kondo**, K. Nabeshima, S. Izumiya, M. Toda and T. Komatsuzaki,” 結晶点群、時間反転対称性の下でのバンド構造の幾何学的分類 特異点論の観点から”、第65回トポロジーシンポジウム 松本市（2018-08）。

《ポスター発表》

- 1) M. Yasutake and **A. Ishibashi***: “Clean Unit System Platform for Materials Research and Beyond”，第28回日本MRS年次大会～循環型社会のためのマテリアルズイノベーション B4-P19-049, 北九州国際会議場（2018-12）
- 2) 大橋 美久、松田 順治*、**石橋 晃**：「高清浄環境CUSP（クリーンユニットシステムプラットフォーム）の近況の紹介」、平成30年度北海道トライアル新商品展示会、北海道庁（2019-02）
- 3) 松田 順治*、**石橋 晃**：「一家に1部屋「どこでもクリーンルーム」！！」、第32回ビジネスEXPO 2018、アクセスサッポロ（札幌市）（2018-11）
- 4) 松田 順治*、**石橋 晃**：「CUSPがもたらす高清浄環境の福祉機器応用～「どこでもクリーンルーム」」、第45回国際福祉機器展示会～45th International Home Care & Rehabilitation Exhibition、東京ビッグサイト（2018-10）
- 5) **石橋 晃***、澤村 信雄、河西 剛：「フォトンフォトキャリア直交型太陽電池用のための新しい非対称導波路」、平成30年度ファブシステム研究会臨時総会、産業技術総合研究所（つくば中央）（2018-10）
- 6) **石橋 晃***、安武 正弘：「ミニマルファブとシナジーを發揮するクリーンユニットシス

- テムプラットフォーム (CUSP) の医療・介護応用展開可能性」、平成30年度ファブシステム研究会臨時総会、産業技術総合研究所 (つくば中央) (2018-10)
- 7) 石橋 晃*、河西 剛、近藤 憲治、澤村 信雄: フォトン・フォキャリア直交型半導体太陽電池に向けた周期配列放物線鏡付テーパー非対称導波路構造の作製評価」、第8回物質・デバイス領域共同研究拠点活動報告会及び平成29年度ダイナミック・アライアンス成果報告会 ~拠点・アライアンスの大学機能強化への貢献~、北海道大学、Japan (2018-06)
 - 8) 石橋 晃*、河西 剛、近藤 憲治、澤村 信雄: 周期配列放物線鏡付テーパー導波路具有光子・フォトキャリア直交型半導体太陽電池」、PV Japan 2018、Pacifico 横浜 (横浜市) (2018-06)
 - 9) 石橋 晃*、安武 正弘、松田 順治、大橋 美久: フォトン・フォトキャリア直交型半導体太陽電池プラットフォーム及び孤立閉鎖系清浄環境としてのクリーンユニットシステムプラットフォーム (CUSP)」、PV Japan 2018、Pacifico 横浜 (横浜市)、Japan (2018-06)
 - 10) 石橋 晃*、河西 剛、近藤 憲治、澤村 信雄: 「フォトンフォトキャリア直交型太陽電池用非対称導波路のミニマルファブによる作製可能性」、平成30年度ファブシステム研究会定期総会、産業技術総合研究所 (つくば中央) (2018-04)
 - 11) 石橋 晃*、野口 伸守、江藤 月生、松田 順治、大橋 美久: 「CUSP (クリーンユニットシステムプラットフォーム) 開発過程で発見した新技術「拡散換気」のミニマルファブ応用可能性」、平成30年度ファブシステム研究会定期総会、産業技術総合研究所 (つくば中央) (2018-04)

5. 国際学会および国際シンポジウムの組織

<組織・運営委員>

7. 科研費、助成金等の取得状況

- 1) 研究代表者: 石橋 晃、基盤研究 B 一般、非対称導波路結合光子・フォトキャリア直交型マルチストライプ半導体太陽電池の研究、2016~2018年度
- 2) 研究代表者: 近藤憲治 科学研究費助成事業 (基盤研究 (C)) 4,810千円: 「スピン軌道相互作用が強い物質及び現象のトポロジーに基づく研究とスピン素子への応用」
- 3) 研究代表者: 笹倉 弘理、研究分担者: 近藤憲治 科学研究費助成事業 (基盤研究 (B)) 18,980千円: 「量子ドット内蔵光ファイバーを用いた光子を介する遠隔電子スピン間制御」
- 4) 研究代表者: 植村 哲也、研究分担者: 近藤憲治 科学研究費助成事業 (挑戦的萌芽研究) 3,900千円: 「核電気共鳴を用いた全電氣的核スピン制御法の確立」
- 5) 研究代表者: 近藤憲治、共同研究者: 佐久間昭正 (東北大)、小峰啓史 (茨城大)、寺本 央 (北大)、CSRN 東北大学スピントロニクス学術連携研究プロジェクト、スピントロニクスデバイス理論研究領域、250千円: 「トポロジカルな性質を持つ物質とその応用の研究」

8. その他

[国内外の学会・委員会の役職]

- 1) 石橋 晃: 第 28 回日本 MRS 年次大会オーガナイザー (2018 年 06 月 01 日~2019 年 03 月 31 日)
- 2) 石橋 晃: 光給電検討委員会委員 (2017 年 07 月 01 日~2019 年 03 月 31 日)
- 3) 石橋 晃: 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 技術委員 (2017 年 07 月 10 日~2019 年 03 月 31 日)
- 4) 石橋 晃: 産業技術総合研究所ファブシステム研究会委員 (2010 年 02 月 01 日~2020 年 03 月 31 日)

[併任・兼業]

- 1) 石橋 晃: 産業技術総合研究所客員研究員 (2010 年 04 月 01 日~2020 年 03 月 31 日)

- 2) 石橋 晃: レーザー学会光無線給電技術専門委員会委員
- 3) 石橋 晃: シーズテック株式会社 (北海道大学発ベンチャーカンパニー) 技術担当取締役 (CTO) (2007.04 - 現在)

4)

[新聞・雑誌・放送等]

- 1) 小森至瑠: (指導教官 近藤憲治 准教授) が「北大理学部同窓会賞 (2019)」を受賞。北海道大学電子科学研究所のトップページ。

[教育活動]

石橋 晃:

○ 修士論文副査

1. 伊藤 蓮: 「2種原子からなるハニカム・ナノリボンの2次元量子スピホール相の理論研究」

近藤 憲治:

○ 修士論文主査

1. 伊藤 蓮: 「2種原子からなるハニカム・ナノリボンの2次元量子スピホール相の理論研究」

○ 修士論文副査

1. 川口 悟司: 「 λ' -(BEDT-STF)₂GaBr₄ の電氣的磁氣的特性の研究」
2. 森田 大貴: 「FLEX-S 近似に基づいた銅酸化物高温超伝導体における1粒子スペクトラル関数の解析」
3. 桐越研光: 「有限温度 Bose-Einstein 凝縮相における多体効果を自己無撞着に取り込む変分法の構成」
4. 河野 航: 「Abrikosov 格子状態における Hall 効果の微視的研究」

○ 博士論文副査

1. Xiaotian Si: 「Number-Phase Fluctuations in Isolated Superconductors」

[学会会員]

石橋 晃

日本物理学会

応用物理学会

IEEE (Senior Member)

レーザー学会

Materials Research Society of Japan

日本空気清浄協会

近藤憲治

Editorial Board Member for Scientific Reports (published by Nature Publishing Group)

日本物理学会

応用物理学会

日本磁気学会

米国 **Material Research Society**