

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： 石田 雄一(M2)、黄倉 侑人(M2)、小森 至瑠(M1)、
周 子凌(M1)、余 佳興(M1)、森島一輝(B4)

2. 研究成果

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ている Si ベースの LSI や従来型太陽電池は、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。

SDGs (*Sustainable Development Goals*: 持続可能な開発目標) の観点からも、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して、新しいエネルギー・環境科学技術を実現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、光電変換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。

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った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・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 基盤やエネルギー・環境インフラ構造と接続し相乗効果を引出すことができる。

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

図1に示すように、①太陽からの光をハーベストする部分と光電変換を行う部分とを空間的に分離することで耐候性・長期信頼性向上を実現しつつ、更に②光ハーベスト部分に離散的併進対称性を有する全く新しい導波路を採用することで高集光と長距離導波を両立する。特に、フォトンの進行方向とフォトキャリアの移動方向が直交した、マルチストライプ構造を有する新しい光電変換デバイス・システムを構成する

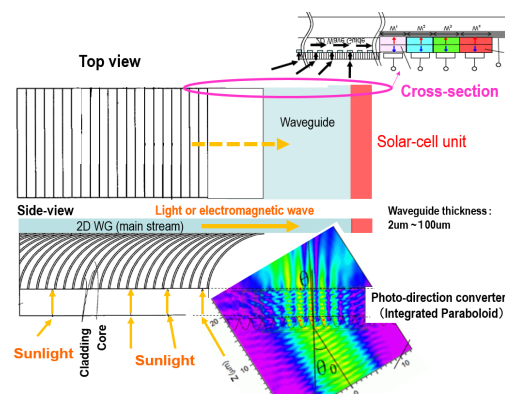


図1 新型導波路結合光電変換システムの上面図(中央)と、その断面図(下段)。下段右は、光進行方向変換層の光導波シミュレーション。右上は、マルチストライプフォトンフォトキャリア直交型光電変換素子の断面図。

ことにより、太陽光の吸収とフォトキャリアの収集効率の最適化を両立可能とし、全太陽光スペクトルに亘って光電変換を行うことを目指し、太陽光の伝播方向を変換するリディレクション導波路の端に、太陽電池を配置する。その際に用いる導波路構造について、根源的な問題として空間反転(左右)対称性を持つ構造では、時間反転対称性と相まって、3次元より2次元導波光化した光が再び3次元光化することの抑制が難しいが、左右非対称な導波路(WG)では、この制約から解放されて変換効率向上へ繋がるも期待される。

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)内では、図2左下式(2)に示す通り、到達清浄度 $n = S\sigma / \gamma F$ が得られ、高

清浄度が実現する。しかも内部の清浄化後は無負荷運転となるためフィルタの寿命が極めて長く、維持コストが安く、又“省エネ”上の優位性を持つ。図2に示す T-CUSP では、内外の界面に面積 A 、厚み L 、分子拡散定数 D を有するガス交換膜(GEM)を用いることで、図2の(3)式より導かれる換気風量 $F = AD/L$ なる対応原理(スケーリング則)に従って機械換気風量 F と同等の換

気が実現できる。ガス分子濃度を空気流の出し入れに頼ることなく、対応の必要な分子のみに着目してその濃度を制御でき、環境中立な成分である窒素を動かさないの

(b)理論

スカーミオンの電流駆動における数値解と Thiele 方程式による解析解との比較検討

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得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

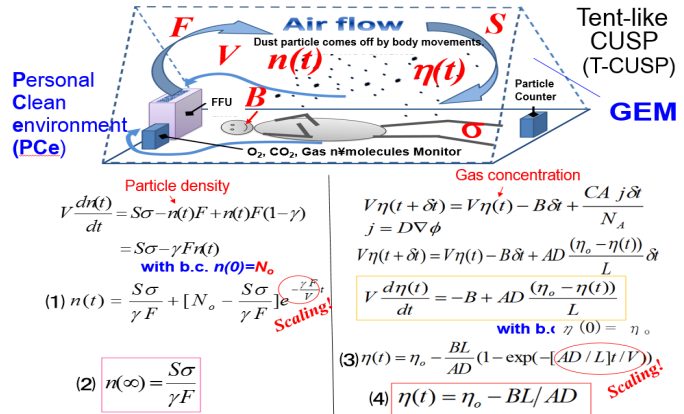


図2 テント式CUSP(T-CUSP)内での粒子数とガス分子濃度分析

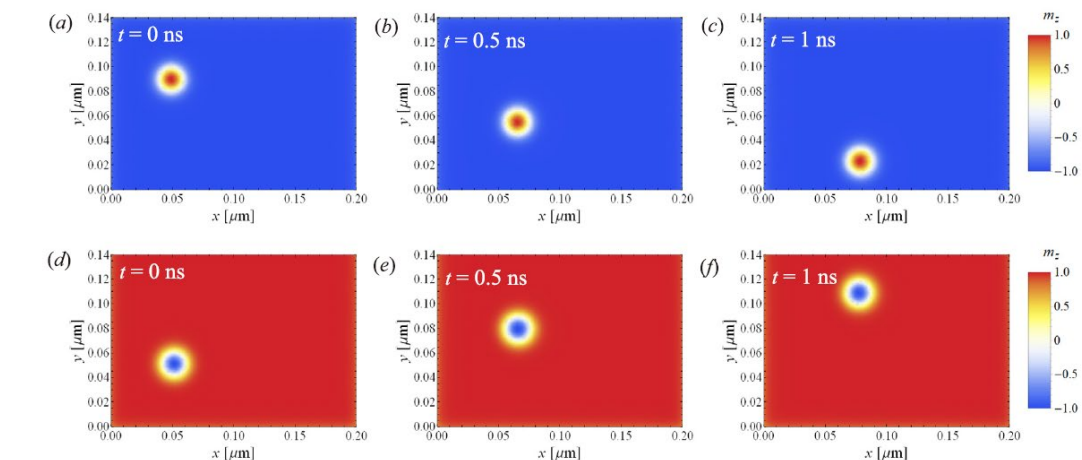


図3 : The time evolution of skyrmion motion (a), (b), and (c) with the skyrmion charge of $Q = +1$ and (d), (e), and (f) with the skyrmion charge of $Q = -1$ in the case of $\alpha = 0.3$.

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。今年度は、磁気構造のうち、トポロジカルな励起であるスカーミオンの電流駆動について研究を行った。スカーミオンはトポロジカル電荷を有しているためにロバストであり、スピン流で駆動できるため、論理回路やメモリへの応用が期待されている。スピン流で強磁性体中のスカーミオンを駆動するとスカーミオンホール効果(SkHE)が起きる。そのSkHEのGilbert-damping定数 α 依存性を調べた。図3(a),(b),(c)は α が0.3であるときのトポロジカル電荷が+1であるときのSkHEの時間変化で、図3(d),(e),(f)は α が0.3であるときのトポロジカル電荷が-1であるときのSkHEの時間変化である。それぞれ、進行方向に対して、右と左に偏向している。この偏向の大きさをマイクロマグネティックシミュレーションとThiele方程式の両方で比較すると図4のようになる。その結果、Gilbert-damping定数が小さくなるとマイクロマグネティックシミュレーションとThiele方程式の解の乖離が大きくなることがわかり、これは、Gilbert-damping定数が小さい場合、スカーミオンが激しく揺らぐために剛体近似が成り立たなくなるためとわかった。

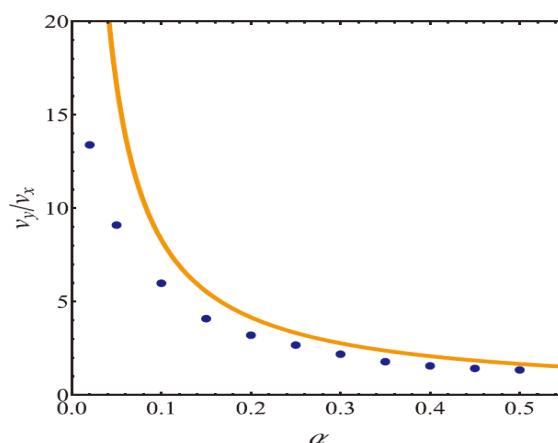


図4:スカーミオンのx方向とy方向の速度の比の α 依存性。青丸が数値解で、オレンジの線がThiele方程式の解析解。

そして、現実の系では、Gilbert-damping定数が小さいので、マイクロマグネティックシミュレーションを使用しないとSkHEの解析は正しくないことを定量的に明らかにした。

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, Y. Liu, S. Liang, M. Yasutake and A. Ishibashi: “The Tent-type Clean Unit System Platform for Air Cleaning and Non-contact Sleep Assessment”, Proceed-ings of the 3rd International Conference on Computational Biology and Bioinformatics (ICCB 2019), Association for Computing Machinery, New York, NY, Unit-ed States: 47–51 (2019)
- 2)* A. Ishibashi, N. Sawamura, T. Matsuoka, H. Kobayashi and T. Kasai: “Asymmetric Waveguide-Coupled Scheme for Multi-stripped Orthogonal Photon-Photocarrier-Propagation Solar Cell (MOP3SC)”, Transactions of the Materials Research Society of Japan, 44(5): 187–191 (2019)
- 3)* A. Ishibashi, M. Yasutake, T. Hsieh and S. Liang: “Clean Unit System Platform for Exercise Science

- and Sports Medicine”, *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 124(S3): 356– (2019)
- 4)* 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 & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 124(S3): 187–188 (2019)
- 5)* **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* **3** 055007-1-055007-12 (2019).
- 6)* Y. Ishida and **K. Kondo**: "An effect of the Gilbert damping constant on the skyrmion Hall effect ", *J. Magn. Mater* **493**, 165687-1-165687-7 (2019).
- 7)* Y. Ishida and **K. Kondo**: " Theoretical comparison between skyrmion and skyrmionium motions for spintronics applications ", *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, SGGI04-1- SGGI04-7 (2019).

<著書>

なし。

<特許>

・国際特許

1. S. Hara, S. Haraichi and A. Ishibashi : EP 2613340 B1, “Device Manufacturing Apparatus and Method Therefore” (2019年)

・国内特許

1. 石橋 晃 : 特願2019-143540、光無線給電装置および光無線給電移動体、2019年08月05日

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>

なし

<一般講演>

- 1) T. Hsieh*, S. Liang, **A. Ishibashi**, Y. Liu and M. Yasutake : “The Tent-Type Clean Unit System Platform for Air Cleaning and Non-Contact Sleep Assessment”, The 4th Int. Conf. Biomedical Imaging, Signal Processing (ICBSP 2019), Nagoya City University, Nagoya, Japan (2019-10)
- 2) **A. Ishibashi***, Y. Ohkura and N. Sawamura : “Towards a Planer Photon-harvesting Waveguide having Discrete Translational Symmetry with Open Core Geometry”, The 1st Optical Wireless and Fiber Power Transmission Conference, PACIFICO Yokohama, Japan (2019-04)
- 3) Y. Ishida* and **K. Kondo**:” Topological Hall Effects and Topological Spin Hall Effects Caused by a Skyrmion and a Skyrmionium”, The 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2019), Las Vegas, USA (2019-11).

《ポスター発表》

- 1) Z. Zhou*, C. Chiu, S. Liang and **A. Ishibashi** : “Comparison of the relation between dusts particles and mass in Clean Unit System Platform (CUSP) by different devices”, The 20th RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo, Japan (2019-12)
- 2) Y. Ohkura*, N. Sawamura, T. Kasai and **A. Ishibashi** : “Asymmetric Redirection Waveguide for Concentration Solar Cell Systems”, The 20th RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo, Japan (2019-12)
- 3) Y. Ishida* and **K. Kondo**: “A Study of Dynamics of Skyrmioniums by Spin Transfer Torque”, 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019), Nagoya University, Higashiyama Campus, Nagoya, Japan (2018-09).
- 4) S. Komori and **K. Kondo**:” Higher-Order Topological Insulator Taking into Consideration Uniaxially Anisotropic Hopping”, The 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2019), Las Vegas, USA (2019-11).

- 5) K. Morishima*, S. Komori, and **K. Kondo**:” A Study of Fermi Arcs in Type-II Weyl Semimetals”, The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium "ki", Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan (2019-12).
- 6) S. Komori* and **K. Kondo**:” A Study of Higher-Order Topological Insulator with Uniaxially Anisotropic Hopping”, The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium "ki", Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan (2019-12).
- 7) Y. Ishida* and **K. Kondo**:” Topological Hall Effects and Topological Spin Hall Effects Caused by a Skyrmion”, The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium "ki", Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan (2019-12).
- 8) Y. Ishida* and **K. Kondo**:” A Study of Topological Hall Effects and Topological Spin Hall Effects Caused by a Skyrmion”, 2019 International Symposium of RIES & CEFMS, Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan (2019-12).

4-2. 学術講演（国内学会・国内その他）

<招待講演>

- 1) 石橋 晃*：「新型導波路および同導波路結合光電変換システム」、第21回光無線給電検討会 兼 第6回レーザー学会光無線給電技術専門委員会、電気通信大学、Japan (2020-02)

<一般講演>

《口頭発表》

- 1) 石橋 晃*：「フォトンフォトキャリア直交型太陽電池の進捗と清浄環境CUSPの展開」、2019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、北海道大学、Japan (2019-07)
- 2) 小森 至瑠*、近藤 憲治： “一軸異方性を有するホッピングが高次トポロジカル絶縁体へ与える影響”、第80回応用物理学会秋季学術講演会、札幌（北海道大学札幌キャンパス）(2019-09) .
- 3) 森島 一輝*、近藤 憲治： “Type-IIワイル半金属におけるフェルミアーク”、第80回応用物理学会秋季学術講演会、札幌（北海道大学札幌キャンパス）(2019-09) .
- 4) 石田 雄一*、近藤 憲治： “スカーミオンによるトポロジカル・ホール効果及びトポロジカル・スピン・ホール効果”、第80回応用物理学会秋季学術講演会、札幌（北海道大学札幌キャンパス）(2019-09) .

《ポスター発表》

- 1) T. Hsieh*, C. Chen, **A. Ishibashi** and S. Liang : “The Tent-type Clean Unit System Platform for Air Cleaning and Non-contact Sleep Assessment”, The 5th Hokkaido University Cross-departmental Symposium 第5回北海道大学部局横断シンポジウム, Hokkaido University, Japan (2019-11)
- 2) C. Chiu*, Z. Zhou, T. Hsieh, S. Liang and **A. Ishibashi** : “A versatile isolated closed-system, Clean Unit System Platform (CUSP), and its application for sleep enhancement-system design and performance verification”, The 5th Hokkaido University Cross-departmental Symposium 第5回北海道大学部局横断シンポジウム, Hokkaido University, Japan (2019-11)
- 3) 黄倉 侑人*、河西 剛、澤村 信雄、石橋 晃： 「非対称導波路結合集光型太陽電池における方向変換層の構造と性能評価」、日本応用物理学会 2020年春季大会、上智大学、東京、Japan (2020-03)
- 4) 余 佳興*、澤村 信雄、石橋 晃： 「Mechanical Simulation for Asymmetrical Waveguides for Concentrator Solar Cells」、日本応用物理学会 2020年春季大会、上智大学、東京、Japan (2020-03)
- 5) 周 子凌*、Chiu Ching-Yu、Liang Sheng-Fu、石橋 晃： 「Comparison of the dust particles number and mass using new sensor module in Clean Unit System Platform (CUSP)」、日本応用物理学会 2020年春季大会、上智大学、東京、Japan (2020-03)

- 6) 石橋 晃*、周 子凌、Hsieh Tsung-Hao、Liang Sheng-Fu、安武 正弘：「孤立・閉鎖系清浄環境CUSPとその睡眠分析応用」、日本応用物理学会 2019年秋季大会、北海道大学、Japan (2019-09)
- 7) 石橋 晃*、黄倉 侑人、余 佳興、澤村 信雄：「非対称導波路結合集光型太陽電池及び周期配列放物線鏡付テーパー非対称導波路とSi系太陽電池の結合」、日本応用物理学会 2019年秋季大会、北海道大学、Japan (2019-09)

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>

- 1) 石橋 晃：第1回 Optical Wireless Power Transmission Conference, Program Committee (2018年10月01日~2019年04月30日)

7. 科研費、助成金等の取得状況

- 1) S. Liang and A. Ishibashi (台湾国立成功大学(TWN))：「清浄環境CUSPを利用した睡眠品質の数値解析の検討」、2019年度、130千円
- 2) 安武 正弘、石橋 晃(日本医科大学)：「新型高清浄環境技術(CUSP)による高齢者ウェルネス・健康増進への展開」、2019年度、200千円
- 3) 榎本 良治、石橋 晃(東京大学宇宙線研究所)：「放射線検出器 γ Iと清浄環境CUSPの結合の展開」、2019年度、100千円
- 4) 松田 順治、石橋 晃(飛栄建設株式会社)：「病院・家庭環境導入用テント式CUSP量産可能タイプの完成」、2019年度、650千円
- 5) 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(基盤研究(B)) 17,550千円：「スピン軌道トルクによるハーフメタル強磁性体磁化制御とそのデバイス応用」
- 6) 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(基盤研究(B)) 17,550千円：「ワイル半金属を用いた電流誘起スピン軌道トルクの解明とそのデバイス応用」
- 7) 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：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)
- 2) 石橋 晃：レーザー学会光無線給電技術専門委員会委員 (2018年09月01日~2020年03月31日)
- 3) 石橋 晃：独立行政法人日本学術振興会科学研究費委員会専門委員(審査委員)
- 4) 近藤憲治：**Editorial Board Member for Scientific Reports (published by Nature Publishing Group)**. (2016年- 現在)
- 5) 近藤憲治：磁気学会 スピントロニクス専門研究会 世話人(2019年4月- 現在)

[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：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)

[新聞・雑誌・放送等]

- 1) Liang Sheng-Fu、石橋 晃：自由時報(台湾) 2019年08月07日 「就怕睡不著!

成大與北海道大學合作研究睡眠感測與改善」

2) Liang Sheng-Fu、石橋 晃：中華日報 (台灣) 2019 年 08 月 07 日 「成大偕日校 跨國續研究睡眠感測」

3) Liang Sheng-Fu、石橋 晃：台灣國立成功大學新聞中心 2019 年 08 月 07 日 「成大醫資所與日本北海道大學電子所國際合作 建構全方位睡眠促進方案」

[教育活動]

石橋 晃：

○ 博士論文副査

1. Kauer Manpreet, “Plasmonic-Dielectric Hybrid Composite Structure for Solar Energy Harvesting and Water Purification”
2. Doan Tung Anh, “Microstructured Resonant Infrared Absorbers and Emitters for Spectroscopic Sensing and Thermal Heating Applications”

○ 修士論文副査

1. 石田 雄一：「トポロジカル磁気渦構造のマイクロマグネティクスによる理論研究—スピン트로ニクスにおける応用への考察」

近藤 憲治:

○ 修士論文主査

1. 石田 雄一：「トポロジカル磁気渦構造のマイクロマグネティクスによる理論研究—スピン트로ニクスにおける応用への考察」

○ 修士論文副査

1. 村田 達志: 「相互作用する 3 次元 Bose 気体における異常次元の評価」

○ 博士論文副査

1. 河野 航：「VARIATIONAL THEORIES WITH MANY-BODY CORRELATIONS FOR DILUTE BOSE {EINSTEIN CONDENSATES}」

[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

日本物理学会

応用物理学会

日本磁気学会

米国 **Material Research Society**