

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： 周子凌(D1)、森島一輝(M2)、王瀟涵(M2)、洪性百(M2)、
成瀬貴彦(M1)、高橋一仁(M1)、加藤直人(M1)、王昱博(M1)

2. 研究成果

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は異なり、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・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。

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上に橋渡しする事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。

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。特に、空間的な機能縮退を解消することで効率的な太陽光発電と低環境負荷の高清浄環境が実現できる。

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

光を収穫 (ハーベスト) する部分 (受光部) とこの光を電力化する光電変換部 (発電部) を空間的に分離し、2次元的に接続する (2-Dimensional PhotoRecepto-Conversion Scheme: 2DPRCS) というアイデアに拠って、発電と給電という今までは独立して議論されることの多かった2つの分野が遭遇してきた困難や目標が一気に解決することを目指している。図1に示す導波路シミュレーションにより、縦長楕円から横長楕円へ切り替わる部分で、角度 θ が $80 \sim 86$ 程度を得られると3次元から2次元への変換効率が70%以上確保できることが判った。右下図の各線の色は、図1上の構造図に A、

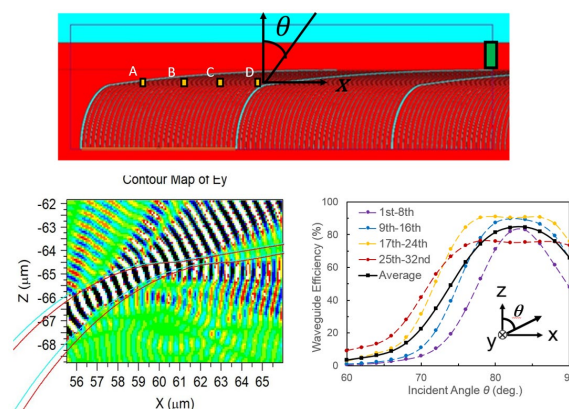


図1 離散的併進対称性導波路 (DTSWG) のシミュレーション。上) 構造図、系統図、左下) 縦長楕円から横長楕円へ切り替わる部分での光の導波の様子、右下) 縦長楕円から横長楕円へ切り替わる部分に光源を置いて出射角 θ を振ったときの2次元導波路内 (上図右上の緑色のモニター) への到達効率の計算結果。

B、C、D で示す光源の水平方向の設置位置に対応する。図1上の構造図の湾曲した3本の矢や幅広のラインは、 $1\ \mu\text{m}$ 幅のクラッド層に対応する。その間に32本(チャンネル)の湾曲導波路が存在し、そのコア層を挟む細い $0.4\ \mu\text{m}$ 厚のクラッド層を配してある(図1上の構造図では黒細線に対応する)。

モニターAは1-8本目、Bは9-16本面、Cは17-24本目、Dは25-32本目を代表する。図.1右下図から分かるように出射角 θ を $76\sim 86$ 度程度に制御すれば、チャンネル位置に拠らず約80%以上の3D-to-2D変換効率が得られることが分かった。

今後、この新しい導波路を以って、窓に貼り付けたり、建築物の屋根や側壁材として景観を損なうことなく全面に用いることができ、ZEB(zero-energy building)やZEH(zero-energy house)等近未来社会を支える基幹技術を実現してゆきたい。

また、半導体クリーンルームに留まらず、一般住宅やワークプレイス・オフィスを構成する各部屋においても無菌・無塵環境は、今後益々重要となる。この一つとして、図1に示すようにCUSPシステムを応用し、災害時でもコロナウィルスを拡大させない、感染症まん延防止用対策用新CUSPシステム「CAQLEA(カクリア)」を実現した(物質・デバイス拠点事業基盤共同研究において飛栄建設(株)共同)。今後、新型高潔浄環境CUSP技術を、病院、養護老人施設や民間住宅にも適用して、布団用CUSP、並びにベッド用テント式CUSPにより廉価かつ安定して高潔浄環境をもたらすことで、生活品質(QOL)向上に貢献できる。幼児から高齢者まで各年代のユーザーを想定してデザインをブラッシュアップし、チタニア等の酸化物質塗布などを通じて難燃性(或いは、光触媒機能)の付与を実現するとともに、新型コロナ等感染症対策への応用も可能となると期待される。CUSPはその内外等圧性により、新型コロナ等空気感染が危惧される感染症をうつさず・うつされない(相互感染リスクゼロ)究極的な安全・安心システムとなると期待される。

(b)理論

Type-I と Type-II のワイル半金属の磁気伝導率計算とカイラルアノマリーの一般公式

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を利用した新奇なスピnde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。

今年度はType-I と Type-II のワイル半金属の磁気伝導率計算を行い、結果を比較することにより、Type-II ではカイラルアノマリーによって、負だけでなく正の磁気抵抗効果が起こることを見出し、それを説明する過程で、ワイルコーンが傾いた場合にも適用可能なカイラルアノマリーの一般公式を見出した。

ワイル半金属は、ワイルコーンの傾きによって、図1のようにType-I と Type-II に分類される。Type-I の場合、磁気抵抗効果を計算すると常にカイラルアノマリーによって、負の磁気抵抗効果が起こるが、Type-II については定かではなかった。我々はモデルハミルトニアンを用いて、計算することにより、図2のように、Type-II の場合には、Positive-Chirality の場合は負の磁気抵抗効果が起こるが、Negative-Chirality の場合はカイラルアノマリーによって正の磁気抵抗効果が起こることを発見した。



図2 右)新CUSPシステムCAQLEA内観、及び、左)同外観。

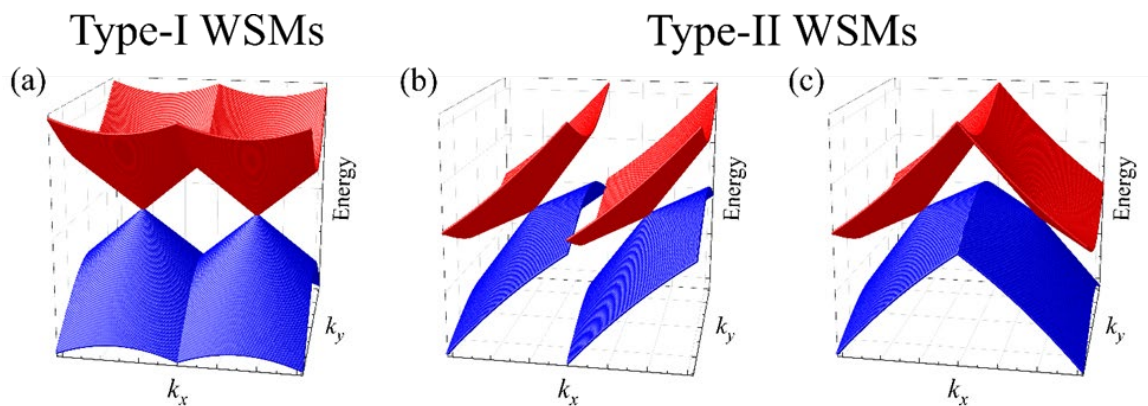


図 1. (a)Type-I ワイル半金属と(b)Positive tilt chirality そして(c)Negative tilt chirality の場合の Type-II ワイル半金属の電子構造の模式図。

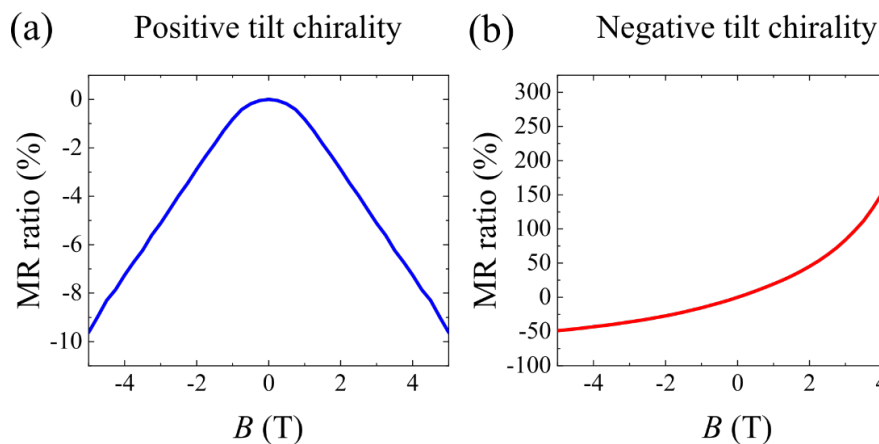


図 2 (a) Positive tilt chirality の場合と(b) Negative tilt chirality の場合の縦磁気抵抗比の磁場依存性。

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) ***A. Ishibashi**, T. Kasai and N. Sawamura: “Tapered Redirection Waveguide in Two Dimensionally connected PhotoRecepto-Conversion Scheme (2DPRCS) ”, *Proc. of the 3rd Optical Wireless and Fiber Power Transmission Conference (OWPT2021)*: OWPT-1-03 1–1-03 2 (2021)
- 2) *X. Hong, J. Yu, N. Sawamura and **A. Ishibashi**: “For Fabrication of Waveguides based on Polydimethylsiloxane for Multistriped Orthogonal PhotonPhotocarrier Propagation Solar Cell (MOP3SC) System ”, *Proc. of the 3rd Optical Wireless and Fiber Power Transmission Conference (OWPT2021)*: OWPT-P-04 1–P-04 2 (2021)
- 3) *K. Morishima and **K. Kondo**, “A Comparison of Magnetoconductivities between Type-I and Type-II Weyl Semimetals”, *Journal of Applied Physics*, Vol 129, 125104 (2021).
- 4) *K. Morishima and **K. Kondo**, “General formula of chiral anomaly for type-I and type-II Weyl semimetals, *Appl. Phys. Lett.*, Vol 119, 131907 (2021).

<著書>

近藤憲治 : Yano_E_Plus : 「ナロー/ゼロギャップ物質の技術動向（ワイル半金属に関する最近

の研究成果)」 No. 160, 7月15日号、2021, 矢野経済研究所刊行

<特許>

・国際特許

1. 石橋 晃 : PCT/JP2021/ 44823、光電変換装置、建築物および移動体、2021年12月07日
2. 石橋 晃、Liang Sheng-Fu、安武 正弘 : PCT/JP2022/ 10177、生物体の健康状態分析システムおよび生物体の健康状態分析方法、2022年03月09日
3. 石橋 晃、野口 伸守、江藤 月生、島ノ江 恭弘 : PCT/JP2022/ 13963、消毒機能付き高浄化部屋システムおよびその使用方法、2022年03月24日

・国内特許

1. 石橋 晃、野口 伸守、江藤 月生、島ノ江 恭弘 : 特願2021-071518、消毒機能付き高浄化部屋システムおよびその使用方法、2021年04月22日
2. 石橋 晃、野口 伸守、島ノ江 恭弘、江藤 月生 : 特願2021- 182371、消毒機能付き高浄化部屋システムおよびその使用方法、2021年11月09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>

- 1) **A. Ishibashi*** : “Lifting off spatial functional degeneracies in solar cells and clean rooms, where does it lead us for Sustainable Development Goals (SDGs)?”, Climate & Cities Virtual Conference, IUCA's virtual conference, Japan (2021-10)
- 2) **A. Ishibashi*** : “Lifting Off Spatial Degeneracy of Functions in Clean System, Where Does It Lead Us for Big Data in Health and Medical Care?”, 2021 International Conference on Future Healthcare and Economic Development, MOST AI Biomedical Research Center's on-line conference, Taiwan (2021-11)

<一般講演>

- 1) **K. Morishima and K. Kondo**: “Positive Magnetoresistance in Weyl Semimetals Originating from Chiral Anomaly”, 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021), Online, 2021/9/6.
- 2) **T. Naruse and K. Kondo**: “Reduced Velocities of Antiferromagnetic Skyrmions Induced by Fluctuations of Topological Charges”, The 5th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, 2021/10/25
- 3) **K. Morishima and K. Kondo**: “The Origin of Positive Magnetoresistance in Type-II Weyl Semimetals” The 5th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science, Online, 2021/10/25

《ポスター発表》

- 4) **N. Kato*, N. Sawamura and A. Ishibashi** : “Discrete Translational Symmetry Waveguide (DTSWG) for a new photovoltaic system of 2D-PhotoRecept-Conversion Scheme (2DPRCS)”, 第16回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム (Renewable Energy 2022), 東京ビッグサイト, Japan (2022-01)
- 5) **Z. Zhou*, X. Wang, X. Hong, N. Kato, Y. Wang, C. Chiu, T. Hsieh, S. Liang, M. Yasutake and A. Ishibashi** : “Application of closed airflow system in the treatment of SARS-COV-2 and promoting health care”, 第16回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム (Renewable Energy 2022), 東京ビッグサイト, Japan (2022-01)
- 6) **Y. Wang*, X. Hong and A. Ishibashi** : “Exploration for 2-Dimensional PhotoRecepto-Conversion

- Scheme (2DPRCS) Based on Polydimethylsiloxane(PDMS)”, 第16回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム (Renewable Energy 2022), 東京ビッグサイト, Japan (2022-01)
- 7) N. Kato*, N. Sawamura and **A. Ishibashi** : “Optical Simulation of a New System that Lifts Off Spatial Degeneracy of Functions”, The 22nd RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo, Japan (2021-12)
 - 8) Z. Zhou*, X. Wang, X. Hong, N. Kato, Y. Wang, C. Chiu, T. Hsieh, S. Liang, M. Yasutake and **A. Ishibashi** : “Tent-type clean unit system platform (T-CUSP) for the fight with SARS-CoV-2 and other diseases and health care”, The 22nd RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo, Japan (2021-12)
 - 9) Y. Wang*, X. Hong, N. Kato and **A. Ishibashi** : “Exploration for Photon-Photocarrier Propagation Properties of Waveguide based on Polydimethylsiloxane”, The 22nd RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo, Japan (2021-12)
 - 10) K. Morishima* and **K. Kondo** : “A Study of Magnetoresistance Ratios for Type-I and Type-II Weyl Semimetals”, The 22nd RIES-HOKUDAI International Symposium "yu", Virtual Conference, ONLINE, Japan (2021-12)
 - 11) T. Naruse* and **K. Kondo** : “An Estimation of Topological Charge's Deviation from Zero by Velocities of Antiferromagnetic Skyrmions”, The 22nd RIES-HOKUDAI International Symposium "yu", Virtual Conference, ONLINE, Japan (2021-12)
 - 12) K. Takahashi*, K. Morishima, T. Naruse and **K. Kondo** : “A Determination of Phase Diagram of Chiral Magnets”, The 22nd RIES-HOKUDAI International Symposium "yu", Virtual Conference, ONLINE, Japan (2021-12)

4-2. 学術講演 (国内学会・国内その他)

<招待講演>

- 1) 石橋 晃*: 「クローズドエアフロー高浄環境システムC U S Pの 応用展開」、2021年度ダイナミック・アライアンス合同Web分科会、オンライン開催、Japan (2022-02)
- 2) 石橋 晃*: 「受光・発電分離型太陽光発電システムの大都市部への導入可能性・効果と課題」、R3年度第3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)、オンライン開催、Japan (2022-02)

<一般講演>

《口頭発表》

- 1) 加藤 直人*, 澤村 信雄, 石橋 晃 : 「受光・発電機能の空間的縮退を解消する太陽光発電システムの実現に必要な導波路の光学シミュレーション」、日本応用物理学会 2022年春季大会、オンサイトオンラインハイブリッド開催、Japan (2022-03)
- 2) 周子凌*, 王 瀟涵, 洪 性百, 加藤 直人, 王 昱博, Chiu Ching-Yu, Hsieh Tsung-Hao, Liang Sheng-Fu, 安武 正弘, 石橋 晃 : 「Application of closed airflow system in the treatment of SARS-COV-2 and promoting health care」、日本応用物理学会 2022年春季大会、オンサイトオンラインハイブリッド開催、Japan (2022-03)
- 3) 成瀬 貴彦*, 近藤 憲治 : 「トポロジカルチャージの揺らぎが反強磁性体中のスカーミオンの速度に与える影響」、第82回応用物理学会秋季学術講演会、ONLINE、Japan (2021-09)
- 4) 森島 一輝*, 近藤 憲治 : 「Type-IIワイル半金属におけるカイラル異常由来の正の磁気抵抗効果」、第82回応用物理学会秋季学術講演会、ONLINE、Japan (2021-09)

《ポスター発表》

- 5) 王 昱博*, 洪 性百, 石橋 晃 : 「Exploration for 2-Dimensional PhotoRecepto-Conversion Scheme (2DPRCS) Based on Polydimethylsiloxane(PDMS)」、日本応用物理学会 2022年春季大会、オンサイトオンラインハイブリッド開催、Japan (2022-03)
- 6) Z. Zhou*, X. Wang, X. Hong, N. Kato, Y. Wang and **A. Ishibashi** : “The Application of Clean Unit

- System Platform (CUSP) and its derivatives”, The 7th Hokkaido University Cross-departmental Symposium 第7回北海道大学部局横断シンポジウム, Hokkaido University, Japan (2021-10)
- 7) Y. Wang*, X. Hong, N. Kato and **A. Ishibashi** : “For 2-Dimensional PhotoRecepto-Conversion Scheme (2DPRCS) using cylindrical surface ”, The 7th Hokkaido University Cross-departmental Symposium 第7回北海道大学部局横断シンポジウム, Hokkaido University, Japan (2021-10)
 - 8) N. Kato*, N. Sawamura, X. Hong, Y. Wang and **A. Ishibashi** : “Optical Simulation of Discrete Translational Symmetry Waveguide (DTSWG) for Two-Dimensional PhotoRecepto-Conversion Scheme (2DPRCS)”, The 7th Hokkaido University Cross-departmental Symposium 第7回北海道大学部局横断シンポジウム, Hokkaido University, Japan (2021-10)
 - 9) 松田 順治*, **石橋 晃** : 「避難所における感染症の拡大を防ぐカクリア (CAQLEA)」、2021北海道ビジネスEXPO、アクセスサッポロ(札幌市)、Japan (2021-11)
 - 10) 松田 順治*, **石橋 晃** : 「簡単・スピード設営で手術室並みの清浄度を実現 カクリア (CAQLEA)」、産業交流展2021、東京ビッグサイト、Japan (2021-11)
 - 11) 松田 順治*, **石橋 晃** : 「災害時の感染防止、ワンタッチテント型クリーンルーム「カクリア」(CAQLEA)」、中小企業新ものづくり・新サービス展、東京ビッグサイト、Japan (2021-12)
 - 12) 森島 一輝*, **近藤 憲治** : 「Type-IIワイル半金属における磁気抵抗効果の研究」、第7回北海道大学部局横断シンポジウム、オンライン開催(札幌)、Japan (2021-10)

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4回 Optical Wireless Power Transmission Conference, Program Committee (2021年10月01日~2022年04月30日)
2. **石橋 晃**: 第22回電子研国際シンポジウム組織委員会 (2020年4月1日~2020年12月31日)
3. **近藤 憲治**: 第22回電子研国際シンポジウム組織委員会 (2020年4月1日~2020年12月31日)

7. 科研費、助成金等の取得状況

- 1) 研究代表者 **石橋 晃** : ニシム電子工業共同研究 「非対称平面導波路結合高効率太陽電池の研究開発」、2021年度、4000千円、
- 2) S. Liang (台湾国立成功大学) and **A. Ishibashi**: 令和3年度 物質・デバイス領域共同研究(基盤共同研究): “清浄環境CUSPを利用した睡眠品質解析の検討”, 130千円
- 3) 榎本 良治(東京大学宇宙線研究所)、**石橋 晃**: 令和3年度 物質・デバイス領域共同研究(基盤共同研究) 「放射線検出器 γ I と清浄環境CUSPの結合の展開」、100千円
- 4) 松岡 隆志(東北大学未来科学技術共同研究センター)、**石橋 晃**: 令和3年度 物質・デバイス領域共同研究(基盤共同研究) 「ラテラル方向に組成の傾斜したInGaAlN層に基づくマルチストライプ フォトン・フォトキャリア直交型太陽電池の研究」、100千円
- 5) 安武 正弘(日本医科大学)、**石橋 晃**: 令和3年度 物質・デバイス領域共同研究(基盤共同研究) 「新清浄環境技術Clean Unit System Platform (CUSP)の健康増進・医療応用に関する研究」、2021年度、100千円
- 6) 松田 順治(飛栄建設株式会社)、**石橋 晃**: 令和3年度 物質・デバイス領域共同研究(基盤共同研究) 「就労・居住・静養空間への清浄環境CUSPの展開の検討」、70千円
- 7) 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」
- 8) **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、200千円: 「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：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）
- 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：光給電検討委員会委員
- 4) 石橋 晃：産業技術総合研究所ミニマルファブシステム研究会委員
- 5) 近藤憲治：Editorial Board Member for Scientific Reports (published by Nature Publishing Group). (2016年- 現在)
- 6) 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：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) 松田 順治、石橋 晃：北海道建設新聞 2021年07月06日 「新型コロナ等対策用テント式クリーンルーム「CAQLEA」開発」
- 2) 松田 順治、石橋 晃：東京読売新聞 朝刊 26ページ 2021年07月27日 「避難所における新型コロナ等感染症を防ぐモバイル清浄環境 カクリア (CAQLEA)」
- 3) 松田 順治、石橋 晃：NHK ほっとニュース北海道 2021年11月11日～2021年11月12日 「札幌 ビジネス EXPO 「新型コロナ対策に注目」」
- 4) 松田 順治、石橋 晃：STV ニュース 2021年11月11日～2021年11月12日 「18:22頃 対新型コロナ用非接触の最新技術～カクリア (CAQLEA)」
- 5) 松田 順治、石橋 晃：北海道放送 (HBC) 今日ドキッ 2021年11月11日～2021年11月12日 「17時27分頃～ 避難所における新型コロナ等感染症を防ぐモバイル清浄環境 カクリア (CAQLEA) の紹介」
- 6) 北大 press release, 2021年10月8日, 「カイラルアノマリー公式の拡張に成功～Type-II ワイル半金属を用いたスピントロニクスデバイスの実現に貢献～（電子科学研究所 准教授 近藤憲治）」 (<https://www.hokudai.ac.jp/news/2021/10/type-ii.html>)

[教育活動]

石橋 晃：

- 修士論文主査
 1. 洪 性白：「二次元光変換システム (2DPRCS) および反射太陽集光器システム (RSC) の前期研究」
- 修士論文副査
 2. 森島 一輝：「Weyl 半金属におけるエキゾチックな電気磁気特性および chiral anomaly 公式の一般化」
 3. 佐藤 美銀：「スピン偏極 STM 用 2D 磁性探針による磁性体試料面上磁化方向の定量検出」

近藤 憲治：

- 修士論文主査
 1. 森島 一輝：「Weyl 半金属におけるエキゾチックな電気磁気特性および chiral anomaly 公式の一般化」
- 修士論文副査

2. 洪 性白:「二次元光変換システム (2DPRCS) および反射太陽集光器システム (RSC) の前期研究」
3. 余 佳興:「クリーンユニットシステムプラットフォーム (CUSP) の性能検証 およびその派生アプリケーションの開発」

[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

日本数学会

米国 **Material Research Society**