

機能分子システム創成研究部門

山本浩史(教授)(2012年4月1日着任)

AVARVARI, Narcis (外国人研究職員)
佐藤 拓朗 (助教)
WU, Dongfang (特任専門員)
CABRIERES, Marc (インターンシップ)
相澤 洋紀 (大学院生)
鍋井 庸次 (大学院生)
中島 良太 (大学院生)
URBAN, Adrian (大学院生)
MALATONG, Ruttapol (大学院生)
友田 美紗 (大学院生)
楠本 恵子 (大学院生)
村田 了介 (技術支援員)
石川 裕子 (事務支援員)

A-1) 専門領域：分子物性科学

A-2) 研究課題：

- a) キラル有機超伝導体を用いたスピントロニクス
- b) キラル分子によるスピン偏極の理論構築
- c) 無機キラル金属における電流誘起スピン偏極

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 有機キラル超伝導体である κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ 塩の薄膜単結晶を用いたスピントロニクスデバイスを作製し、その電氣的磁氣的特性を測定した。その結果、超伝導転移点付近で交流による励起を行うと、磁性電極上に偏極スピンの蓄積が見出された。これは超伝導結晶のキラルな空間群に基づくスピン流生成が原因であると考えられるが、その大きさを見積もると、有機超伝導体が有するスピン軌道相互作用エネルギーから得られるスピン偏極の1000倍以上に達する巨大なスピン蓄積が生じていることが明らかとなった。また、シグナルの磁場角度依存性から、スピン蓄積が結晶の上下で反転していることが明らかとなった。(BEDT-TTF = Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene)
- b) CISS (Chirality-Induced Spin Selectivity) 効果はキラル分子に対してトンネル電流を流すと、分子を通過してきた電子のスピンが電流と平行あるいは反平行に偏極する現象であり、近年新たな有機スピントロニクスや光学分割の手段として注目されつつある。我々はこのようなスピン偏極が、分子振動と電子の運動との強い結合によって生み出されるのではないかと考え、動的ヤーンテラー効果による理論的説明を試みた。その結果、スピン軌道相互作用が十分弱い場合においても、核と電子の並進・回転運動が同時に量子化されることによって、キラル分子を通過する電子に高いスピン偏極率が生み出される仕組みを提案することに成功した。また、電子の量子状態を多極子展開することにより、キラリティの秩序変数を表現することが可能となり、キラリティの量子力学的再定義が可能であることを明らかにした。

- c) CISS 効果は有機分子に限定されるものではなく、キラルな構造を有する無機材料でも発現可能であると考えられる。我々はこれまで無機キラル金属に電流を通じることによって CISS 効果の発現を行ってきた。本年度は無機キラル半導体である単体テルルの薄膜に注目し、電界効果トランジスタによるゲート操作で非相反伝導性の変調を試みた。その結果、ゲート電界によって電子注入をした場合、100 倍以上の非相反伝導係数の増大を観測することに成功した。

B-1) 学術論文

A. KATO, H. M. YAMAMOTO and J. KISHINE, “Chirality-Induced Spin Filtering in Pseudo Jahn-Teller Molecules,” *Phys. Rev. B* **105(19)**, 195117 (2022). DOI: 10.1103/PhysRevB.105.195117

D. HIROBE, Y. NABEI and H. M. YAMAMOTO, “Chirality-Induced Intrinsic Charge Rectification in a Tellurium-Based Field-Effect Transistor,” *Phys. Rev. B* **106(22)**, L220403 (2022). DOI: 10.1103/PhysRevB.106.L220403

R. NAKAJIMA, D. HIROBE, G. KAWAGUCHI, Y. NABEI, T. SATO, T. NARUSHIMA, H. OKAMOTO and H. M. YAMAMOTO, “Giant Spin Polarization and a Pair of Antiparallel Spins in a Chiral Superconductor,” *Nature* **613(7944)**, 479–484 (2023). DOI: 10.1038/s41586-022-05589-x

T. THOMAS, T. THYZEL, H. SUN, J. MÜLLER, K. HASHIMOTO, T. SASAKI and H. M. YAMAMOTO, “Comparison of the Charge-Crystal and Charge-Glass State in Geometrically Frustrated Organic Conductors Studied by Fluctuation Spectroscopy,” *Phys. Rev. B* **105(20)**, 205111 (2022). DOI: 10.1103/PhysRevB.105.205111

K. HASHIMOTO, R. KOBAYASHI, S. OHKURA, S. SASAKI, N. YONEYAMA, M. SUDA, H. M. YAMAMOTO and T. SASAKI, “Optical Conductivity Spectra of Charge-Crystal and Charge-Glass States in a Series of θ -Type BEDT-TTF Compounds,” *Crystals* **12(6)**, 831 (2022). DOI: 10.3390/cryst12060831

B-3) 総説, 著書

J. KISHINE, H. KUSUNOSE and H. M. YAMAMOTO, “On the Definition of Chirality and Enantioselective Fields,” *Isr. J. Chem.* **62(11-12)**, e202200049 (2022). DOI: 10.1002/ijch.202200049

B-4) 招待講演 (* 基調講演)

山本浩史, 「フィルムを使った超伝導物性探索」, 新機能性材料展 2023, 東京, February 2023.

H. M. YAMAMOTO, “Symmetry considerations on the CISS effect,” Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung meeting, Bad Honnef (Germany), December 2022.

H. M. YAMAMOTO, “Polarized Spins in Chiral Materials,” Andre Collet meeting, Biarritz (France), October 2022. * (**Plenary**)

H. M. YAMAMOTO, “Detection of CISS Effects in Solid State Materials,” Telluride meeting, Telluride (USA), June 2022.

H. M. YAMAMOTO, “Chiral metals and superconductors for spin generation,” MRS Thailand 2023, Ubon Ratchathani (Thailand), March 2023. * (**Keynote**)

B-5) 特許出願

US2022214308, “Chirality Detection Device, Chirality Detection Method, Separation Device, Separation Method, and Chiral Substance Device,” Y. TOGAWA, H. SHISHIDO and H. YAMAMOTO, 2020年.

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

分子科学会幹事 (2020–), 顕彰委員長 (2020–2022), 総務委員長 (2022–2024).

日本物理学会第 77 期・第 78 期代議員 (2021–2023).

学会の組織委員等

分子科学会運営委員 (2018–).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術振興会科学研究費委員会専門委員 (2021–2022).

その他

凝縮系科学賞審査委員 (2019–).

森野基金推薦委員 (2021–).

Scientific Advisory Board member for the ELASTO-Q-MAT (Deutsche Forschungsgemeinschaft) (2022–).

Selection Committee member for Asian Young Scientist Fellowship (2022–).

B-8) 大学等での講義, 客員

公立大学法人大阪, 非常勤講師, 2022 年 4 月–2022 年 9 月.

理化学研究所, 客員主管研究員, 2020 年 12 月–2023 年 3 月.

理化学研究所, 客員研究員, 2022 年 4 月–2025 年 3 月. (佐藤拓朗)

B-9) 学位授与

鍋井庸次, 「Study of Chirality-induced Spin Polarization and Spin-dependent Photocurrent Response」, 2023 年 3 月, 博士(理学).

中島良太, 「CISS (Chirality-Induced-Spin-Selectivity) Effect in Chiral Molecular Superconductor」, 2023 年 3 月, 博士(理学).

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(A), 「有機強相関電子デバイスによる伝導性と磁性の制御」, 山本浩史 (2019 年度–2022 年度).

科研費基盤研究(B), 「電流駆動された磁気スキルミオン系における新奇非平衡相の開拓」, 佐藤拓朗 (2020 年度–2022 年度).

大幸財団研究助成, 「精密電流揺らぎ測定を用いたキラル有機分子における巨大スピン偏極伝導機構の微視的理解と制御」, 佐藤拓朗 (2021 年度–2022 年度).

科研費基盤研究(B), 「カイラリティが誘導するフォノン・スピン・フォトン交差結合の理論」(代表: 岸根順一郎), 山本浩史(研究分担者) (2021 年度–2024 年度).

B-11) 産学連携

共同研究, (株) 島津製作所, 「小型検出器に関わる要求仕様の確認と, 試作機による評価」, 山本浩史 (2021 年度–2022 年度).

共同研究, 兼藤産業(株), 「既存する緊急告知防災ラジオと連動して動く防災システムに関する開発研究」, 山本浩史 (2020 年度–2022 年度).

共同研究, (株) アステム, 「アイ・ドラゴン4の機能を広範囲に警報周知するシステムへと機能を拡張する可能性に関する共同研究」, 山本浩史 (2022年度-2023年度).

C) 研究活動の課題と展望

キラリティによるスピン流生成は, 近年益々注目されるようになっている。どちらかと言うと化学分野で注目されている CISS のみならず, 物性物理分野でも反転対称性を失った物質構造に基づく新たな物性発現が盛んになされており, 両者の共通点と相違点を検討しながら実験を進めていく必要があると考えられる。本年の成果により, キラル分子の量子状態が本質的にスピン構造を内包した電気トイダルモノポールによって表現されることが明らかとなってきた。このようなキラル物質特有の性質と, CISS 効果との関係性解明を進めると同時に, 様々な外場によるスピン流の制御に取り組むなど, より広い視点での展開を実現していきたい。