

## 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 (特任研究員)

加藤 雄介 (特別訪問研究員)

戸川 欣彦 (特別訪問研究員)

佐藤 琢哉 (特別訪問研究員)

岸根 順一郎 (特別訪問研究員)

楠瀬 博明 (特別訪問研究員)

DRESSOUNDIRAM, Elodie (インターンシップ)

相澤 洋紀 (大学院生)

URBAN, Adrian (大学院生)

MALATONG, Ruttapol (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) 有機半導体ラセン結晶の磁性基板によるキラル分割

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  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub> 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、その電気的磁気的特性を測定した。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的手段として注目されつつある。我々は、CISS 効果の根本的なメカニズムを解明するために、キラル物質の量子論的理解に取り組んだ。その結果、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、分子のキラリティを量子力学的に表現するためにはスピンの本質的な役割を果たすことを明らかにした。この事実は、キラル分子が巨大なスピン偏極を生み出す CISS 効果と、根本的なところでつながっている可能性がある。

- c) CISS 効果の適用範囲はスピン偏極電流を生み出すことに限定されず、キラルな構造を有する材料のキラル分割にも拡張可能であることが明らかとなりつつある。我々はコバルトフタロシアニン錯体が PVD (Physical Vapor Deposition) によってメゾスケールのらせん結晶を生成することに着目し、CISS 効果によるそのキラル分割を試みた。その結果、垂直磁化した磁性基板上で結晶成長を行い、磁化の向きによってらせんの右巻き・左巻きの比を逆転させることに成功した。この成果は、共有結合によらないキラリティであっても、CISS 効果による左右の区別が可能であることを示している。

#### B-1) 学術論文

**Y. OSHIMA, T. TAKENOBU, J. PU, K. ISHIGURO, R. KATO, H. M. YAMAMOTO and T. KUSAMOTO**, “A Memristive Oscillator,” *Adv. Phys. Res.* **3**, 2300117 (2023). DOI: 10.1002/apxr.202300117

**H. AIZAWA, T. SATO, S. MAKI-YONEKURA, K. YONEKURA, K. TAKABA, T. HAMAGUCHI, T. MINATO and H. M. YAMAMOTO**, “Enantioselectivity of Discretized Helical Supramolecule Consisting of Achiral Cobalt Phthalocyanines via Chiral-Induced Spin Selectivity Effect,” *Nat. Commun.* **14**(1), 4530 (2023). DOI: 10.1038/s41467-023-40133-z

**A. J. URBAN and H. M. YAMAMOTO**, “Strong and Tunable Near-Infrared Circular Dichroism in Helical Tetrapyrrole Complexes,” *Chem. –Eur. J.* **29**(43), e202300940 (2023). DOI: 10.1002/chem.202300940

**R. MALATONG, T. SATO, J. KUMSAMPAO, T. MINATO, M. SUDA, V. PROMARAK and H. M. YAMAMOTO**, “Highly Durable Spin Filter Switching Based on Self-Assembled Chiral Molecular Motor,” *Small* **19**(32), 2302714 (2023). DOI: 10.1002/sml.202302714

**Y. KAWASUGI, H. SUZUKI, H. M. YAMAMOTO, R. KATO and N. TAJIMA**, “Strain-Induced Massless Dirac Fermion State of the Molecular Conductor  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>,” *Appl. Phys. Lett.* **122**(12), 123102 (2023). DOI: 10.1063/5.0141023

**R. YAMADA, J. FUJIOKA, M. KAWAMURA, S. SAKAI, M. HIRAYAMA, R. ARITA, T. OKAWA, D. HASHIZUME, T. SATO, F. KAGAWA, R. KURIHARA, M. TOKUNAGA and Y. TOKURA**, “Field-Induced Multiple Metal–Insulator Crossovers of Correlated Dirac Electrons of Perovskite  $\text{CaIrO}_3$ ,” *npj Quantum Mater.* **7**(1), 13 (2022). DOI: 10.1038/s41535-021-00418-2

**T. SATO, W. KOSHIBAE, A. KIKKAWA, Y. TAGUCHI, N. NAGAOSA, Y. TOKURA and F. KAGAWA**, “Nonthermal Current-Induced Transition from Skyrmion Lattice to Nontopological Magnetic Phase in Spatially Confined  $\text{MnSi}$ ,” *Phys. Rev. B* **106**(14), 144425 (2022). DOI: 10.1103/physrevb.106.144425

#### B-4) 招待講演

山本浩史, 「キラリティ誘起スピン選択制 (CISS) とスピントロニクス」, 応用物理学会シンポジウム「ハイブリッド材料・システムによる革新的光・スピン計測」, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2024 年 3 月.

山本浩史, 「分子性量子デバイスにおける時空間反転対称性の破れ」, 物理学会シンポジウム「物質科学が拓く新原理デバイス」, 日本物理学会 2024 年春季大会, オンライン開催, 2024 年 3 月.

山本浩史, 「有機強相関電子デバイスの現状と今後の展開」, 応用物理学会クロスオーバーシンポジウム「有機エレクトロニクスの開拓と未来展望」, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本, 2023 年 9 月.

**H. M. YAMAMOTO**, “Engineering of crystals directed toward molecular science,” 分子性固体科学研究会, 松山, 愛媛(日本), March 2024.

**H. M. YAMAMOTO**, “Chirality and its relation to time-reversal symmetry breaking,” OML workshop “Chirality in its shape and motion at quantum levels,” Okazaki, Aichi (Japan), March 2024.

**H. M. YAMAMOTO**, “Chiral metals and superconductors for novel spintronics,” The 426<sup>th</sup> Zhong-Guan-Cun Forum on Condensed Matter Physics, Beijing (China), February 2024.

**H. M. YAMAMOTO**, “Chiral metals and superconductors for novel spintronics,” Molecular Science Frontier Lecture, Beijing (China), February 2024.

**H. M. YAMAMOTO**, “Chiral metals and superconductors for novel spintronics,” The Joint Symposium on Spin, Chirality, Superconductivity, and Related Phenomena, Tianjin (China), February 2024.

**H. M. YAMAMOTO**, “On the definition of chirality and enantioselective fields—from experimental point of view—,” MRM2023, Kyoto (Japan), December 2023.

**H. M. YAMAMOTO**, “Magnetic Enantioseparation and Chirality-Induced Spin Selectivity,” Nano Thailand 2023, Pattaya (Thailand), November 2023.

**H. M. YAMAMOTO**, “Supramolecular machines and chiral spintronics,” ChePhyMoSS: Symposium celebrating 75+ birthday of Patrick Batail, Angers (France), November 2023.

**H. M. YAMAMOTO**, “Chirality at the quantum scale,” hiral@The Nanoscale 2023, Angers (France), October 2023.

**H. M. YAMAMOTO**, “Truly chiral superconductors for novel spintronics,” Superconducting spintronics 2023, Online, September 2023.

**H. M. YAMAMOTO**, “Giant spin polarization and a pair of antiparallel spins in a chiral superconductor,” KUJI QMAT Online Journal Club, Online, July 2023.

**H. M. YAMAMOTO**, “T-even chirality and T-odd chirality,” Gordon Research Conference, Electron Spin Interactions with Chiral Molecules and Materials “Chiral Spin Filtering and its Manifestations From Molecules to Devices,” Manchester (USA), July 2023.

#### B-5) 特許出願

登録

1698360, “Chirality Detection Device, Chirality Detection Method, Separation Device, Separation Method, and Chiral Substance Device,” Y. TOGAWA, H. SHISHIDO and H. YAMAMOTO (University Public Corporation Osaka; National Institutes of Natural Sciences)(登録日2023年7月11日).

#### B-6) 受賞, 表彰

佐藤拓朗, 日本物理学会若手奨励賞 (2024).

#### 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–), 総務委員長 (2022–2024).

学会の組織委員等

分子科学会運営委員 (2018–).

MRM2023 セッションオーガナイザー (2023).

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 世界トップレベル研究拠点プログラム委員会拠点作業部会委員 (2023–2028).

日本学術会議事務局連携会員 (2023–2027).

## その他

凝縮系科学賞審査委員 (2019-).

森野基金推薦委員 (2021-).

ELASTO-Q-MAT (Deutsche Forschungsgemeinschaft), Scientific Advisory Board (2022-).

Asian Young Scientist Fellowship (physical science), Selection Committee member (2022-).

## B-8) 大学等での講義, 客員

理化学研究所, 客員主管研究員, 2023年4月-2026年3月.

理化学研究所, 客員研究員, 2022年10月-2025年3月. (佐藤拓朗)

## B-9) 学位授与

友田美沙, 「Development of Pentanuclear Metal Complexes with Sterically Isolated Brønsted Acid/Base Sites and Their Functions」, 2023年3月, 博士(理学).

相澤洋紀, 「磁性基板によるCo(II) フタロシアニン螺旋超分子のキラル分割について」, 2023年9月, 博士(理学).

MALATONG, Ruttapol, “Development of Switchable Spin Selectivity Based on Controllable Organic Chirality,” 2023年9月, 博士(理学).

URBAN, Adrian Joe, “Towards Benchmarking Chirality-Induced Spin Selectivity: The Case of Chiral Tetrapyrroles,” 2023年9月, 博士(理学).

## B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(A), 「キラル伝導体を用いた巨大スピン偏極デバイスの開発」, 山本浩史 (2023年度-2026年度).

科学技術振興機構さきがけ研究(受託研究), 「キラルな分子性物質を舞台にした強相関スピントロニクスの開拓」, 佐藤拓朗 (2023年度-2024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).

科研費基盤研究(A), 「カイラル物質が誘導する非局所スピン偏極の解明と基礎学理の構築」(代表者: 戸川欣彦), 山本浩史(研究分担者) (2023年度-2026年度).

三菱財団自然科学研究助成, 「キラル超伝導体を用いたスピントランジスタの開発」, 山本浩史 (2023年度-2024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きている。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ロ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。