

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）

佐藤 拓朗（助教）

鍋井 庸次（助教）

WU, Dongfang（特任研究員）

戸川 欣彦（特別訪問教授）

岸根 順一郎（特別訪問教授）

佐藤 琢哉（特別訪問教授）

加藤 雄介（特別訪問教授）

PERNADI, Niza Lian（インターンシップ）

後藤 拓（大学院生）

竹脇 由佳（大学院生）

楠本 恵子（大学院生）

原多 己暢（特別共同利用研究員）

鈴木 ひかり（特別共同利用研究員）

村田 了介（技術支援員）

石川 裕子（事務支援員）

深田 亮平（特命専門員（ERATO））

坂本 昌代（事務支援員（ERATO））

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) 交代磁性体の非相対論的検出

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、磁場と平行に印可した電流において非相反現象が見出された。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、理論的な予想値よりもはるかに高いスピン偏極が生じていることが示唆された。また、電流を印加する方向によって臨界電流が異なる超伝導ダイオード効果も観測することに成功した。
(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) 強磁性体・反強磁性体に続く第三の磁性体として注目されている、交替磁性体のスピン流検出に取り組んだ。理論計算により、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Cl 塩は交替磁性体であり、電場誘起スピン流を生成することが予想されているが、その検証はまだ為されていない。その原因のひとつは、系が絶縁体であるために効率的な輸送現象計測が困難であることであると想定される。そこで我々は外場制御により、より伝導性の高い状況を実現し、その条件でのスピン流生成を試みた。その結果、スピン流を起源とすると思われる特殊なホール効果の検出に成功した。

B-1) 学術論文

B. CHEN, K. HASHIMOTO, M. KIMATA, T. SASAKI, S. SEKI, H. M. YAMAMOTO and M. SUDA, “Manipulating Quantum Criticality in Light-Induced 2D Superconductivity,” *Commun. Mater.* **7**(1), 32 (2026). DOI: 10.1038/s43246-025-01014-8

Y. NABEI, C. YANG, H. SUN, H. JONES, T. MAI, T. WANG, R. BODIN, B. PANDEY, Z. WANG, Y. XIONG, A. H. COMSTOCK, B. EWING, J. BINGEN, R. SUN, D. SMIRNOV, W. ZHANG, A. HOFFMANN, R. RAO, M. HU, Z. V. VARDENY, B. YAN, X. LI, J. ZHOU, J. LIU and D. SUN, “Orbital Seebeck Effect Induced by Chiral Phonons,” *Nat. Phys.* **22**, 245–251 (2026). DOI: 10.1038/s41567-025-03134-x

S. MIWA, T. YAMAMOTO, T. NAGATA, S. SAKAMOTO, K. KIMURA, M. SHIGA, W. GAO, H. M. YAMAMOTO, K. INOUE, T. TAKENOBU, T. NOZAKI and T. OHTO, “Spin Polarization Driven by Molecular Vibrations Leads to Enantioselectivity in Chiral Molecules,” *Sci. Adv.* **11**(44), eadv5220 (2025). DOI: 10.1126/sciadv.adv5220

R. SUN, Y. NABEI, A. MCCONNELL, X. ZHANG, A. COMSTOCK, H. JONES, R. GYAWALI, Y. XIONG, Z. WANG, J. LIU, W. ZHANG and D. SUN, “Determination of Orbital Relaxation in Ti/Ni Heterostructure *via* Orbital Pumping,” *J. Appl. Phys.* **138**(12), 123905 (2025). DOI: 10.1063/5.0292745

Z. XU, S. SAIEV, P. QIAN, Y. NABEI, Z. WANG, J. M. RINEHART, A. M. ÖSTERHOLM, A. L. JONES, J. H. LEE, C. HWANG, S. WANG, R. SUN, D. SHIN, S. JEON, K. E. ELANGOVA, J. VURA-WEIS, V. COROPCEANU, J. RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. R. REYNOLDS, D. SUN, J. L. BRÉDAS and Y. DIAO, “Supramolecular Chirality Largely Modulates Chemical Doping of Conjugated Polymers,” *Nat. Commun.* **16**(1), 8381 (2025). DOI: 10.1038/s41467-025-62915-3

R. GHANBARI, K. P. HARIKRISHNAN, K. PATEL, H. ZHOU, T. ZHOU, R. LIU, L. WU, A. KHANDELWAL, K. J. CRUST, S. HAZRA, J. CARROLL, C. J. G. MEYERS, J. WANG, S. PROSANDEEV, H. QIAO, Y. H. KIM, Y. NABEI, M. CHI, D. SUN, N. BALKE, M. HOLT, V. GOPALAN, J. E. SPANIER, D. A. MULLER, L. BELLAICHE, H. Y. HWANG and R. XU, “Strain-Induced Lead-Free Morphotropic Phase Boundary,” *Nat. Commun.* **16**(1), 7766 (2025). DOI: 10.1038/s41467-025-63041-w

F. POP, N. MROWEH, P. AUBAN-SENZIER, G. L. J. A. RIKKEN, D. HIROBE, H. M. YAMAMOTO, A. FRĄCKOWIAK, I. OLEJNICZAK, S. PILLET, E. E. BENDEIF, P. ALEMANY, E. CANADELL and N. AVARVARI, “Chiral Metallic DM-EDT-TTF Radical Cation Salts: Anion Size-Dependent Structural and Electronic Transitions, Charge Ordering, and Chirality-Induced Spin Selectivity,” *J. Am. Chem. Soc.* **147**(31), 27749–27767 (2025). DOI: 10.1021/jacs.5c06549

Y. DAIGO, Y. KAWASUGI, H. M. YAMAMOTO, R. KATO and N. TAJIMA, “Off-Diagonal Thermoelectric Effect and Its Gate Tuning in Molecular Conductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Cl,” *Appl. Phys. Lett.* **126**(26), 261901 (2025). DOI: 10.1063/5.0278441

T. SATO, H. GOTO and H. M. YAMAMOTO, “Sturdy Spin-Momentum Locking in a Chiral Organic Superconductor,” *Phys. Rev. Res.* **7**(2), 023056 (2025). DOI: 10.1103/PhysRevResearch.7.023056

B-3) 総説, 著書

H. M. YAMAMOTO, “Spin-Induced Chiral Selectivity and Its Possible Application to Asymmetric Synthesis,” *Yuki Gosei Kagaku Kyokaishi/Journal of Synthetic Organic Chemistry*, **83**(11), 1035–1040 (2025). DOI: 10.5059/yukigoseikyokaishi.83.1035

B-4) 招待講演

佐藤拓朗, 「キラリティが駆動する有機強相関スピン物性」, 山田研究会「量子液晶概念を基盤とした新奇物性科学の若手学際研究」, 仙台, 2025年11月.

山本浩史, 「CISS 効果と時間反転対称性」, 第3回ATFコンファレンス, 沼津, 2025年11月.

佐藤拓朗, 「構造キラリティと強相関量子物性」, X-TREME 新興の学際的課題に向けた探究, 九州大学, 福岡, 2025年10月.

山本浩史, 「Chirality and electron spin」, CEMS Colloquium, 理化学研究所, 和光, 2025年9月.

佐藤拓朗, 「CISS 効果と非線形応答」, キラル若手の会, 静岡大学, 静岡, 2025年9月.

佐藤拓朗, 「キラルな有機強相関超伝導における巨大スピン軌道結合」, 第14回酸化物研究の新機軸に向けた学際討論会, 大阪大学, 吹田, 2025年9月.

山本浩史, 「CISS 効果の現状と固体CISS 効果から分かること」, 近畿大学応用化学科セミナー, 大阪, 2025年7月.

H. M. YAMAMOTO, “Materials’ chirality and electrons’ spins,” Symposium on Molecular Chirality 2025, Nagoya, May 2025.

H. M. YAMAMOTO, “Chirality, Electron Spin, and CISS,” The 2nd International Conference on Nano Energy and Technology (ICNEAT-2026), Shantou (China), March 2026.

H. M. YAMAMOTO, “Spin polarization created by chirality,” International Workshop on Spins and Molecules, Sicily (Italy), January 2026.

T. SATO, “Giant nonreciprocal superconductivity induced by chirality,” The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2025), Honolulu, Hawaii (USA), December 2025.

H. M. YAMAMOTO, “Chirality Induced Spin Selectivity in Chiral Conductors,” VISTEC Seminar, Rayon (Thailand), December 2025.

H. M. YAMAMOTO, “Dynamical Chirality, Electron Spin, and CISS,” Core-to-core Bordeaux, Bordeaux (France), November 2025.

H. M. YAMAMOTO, “Chirality-Induced Spin Selectivity in chiral solids,” PIERS 2025 (Photonics and Electromagnetics Research Symposium), Chiba, November 2025.

H. M. YAMAMOTO, “Spin Selectivity and Non-reciprocal Conductivity in Chiral Superconductors,” The 9th Thailand International Nanotechnology Conference (NanoThailand 2025), Bangkok (Thailand), November 2025.

T. SATO, “Chirality: A platform for nontrivial spin-momentum locking in superconductors,” International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM 2025), Toyohashi (Japan), September 2025.

H. M. YAMAMOTO, “Molecular chirality, electron spin, and CISS,” Tornado online, online, September 2025.

H. M. YAMAMOTO, “True and False Chirality and CISS Effect,” Symposion on chiral molecules and organic radicals, Bucharest (Romania), July 2025.

H. M. YAMAMOTO, “Chiral Molecules and Solids for Spintronics,” 20th Asian Chemical Congress (20ACC), Bangkok (Thailand), June 2025.

T. SATO, “Gigantic nonreciprocal superconductivity induced by chirality,” EMERALD core-to-core workshop, Tianjin University, Tianjin (China), April 2025.

B-5) 特許出願

登録

ZL202080036002.X, “Chirality Detection Device, Chirality Detection Method, Separation Device, Separation Method, and Chiral Substance Device,” Y. TOGAWA, H. SHISHIDO and H. M. YAMAMOTO (University Public Corporation Osaka, National Institute of Natural Sciences), 2020 年. (登録日 2025 年 4 月 25 日)

特許第 7720582 号, 「スピン偏極電流を生成する導電性構造体, それを用いた電極及び方法」, 須田理行, 山本浩史 (自然科学研究機構), 2021 年. (登録日 2025 年 7 月 31 日)

B-6) 受賞, 表彰

Y. NABEI, Springer Nature Poster Prize at 16th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (2025).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

日本物理学会代議員 (2025–2027).

学会の組織委員等

ISCOM2025 組織委員会組織委員長 (2025).

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 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).

日本学術会議連携会員 (2023–2027).

東京大学物性研究所協議会委員 (2024–2026).

理科教育活動

出前授業「超伝導に関する講演と実験紹介」岡崎北高等学校 (2025). (佐藤 拓朗)

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–).

Chirality at the nanoscale, International Advisory Board (2023–).

International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM), International Advisory Board (2023–).

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.

東京大学大学院工学系研究科, 教授, 2024 年 4 月–2026 年 3 月.

理化学研究所, 客員研究員, 2022 年 10 月–2028 年 3 月. (佐藤拓朗)

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).

日本学術振興会研究拠点形成事業 (A. 先端拠点形成型), 「量子創発分子層エレクトロニクス」山本浩史 (2024 年度–2028 年度).

科学技術振興機構創発的研究支援事業 (基金) (受託研究), 「創発的研究推進のための研究環境整備」, 山本浩史 (2024 年度–2025 年度).

科学技術振興機構 ERATO 研究, 「山本量子キラル変換プロジェクト」, 山本浩史 (2025 年度–2030 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–2025 年度).

科研費基盤研究(B), 「キラル超伝導デバイス設計による巨大スピン偏極流の自在制御」, 佐藤拓朗 (2024 年度–2026 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).

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, 物性物理分野でも空間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。さらに空間反転対称性の破れのみならず, 時間反転対称性の破れについても, 様々なスピン物性の源となることが明らかになってきた。その文脈において, 交替磁性体の物理も今後より発展していくことが期待できる。このようにキラル物質特有の性質, あるいは交替磁性体特有の性質を用いて, 様々な外場によるスピン流の生成・制御に取り組んでいきたい。