

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）

WU, Dongfang（特任研究員）

後藤 拓（大学院生）

竹脇 由佳（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) 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

H. M. YAMAMOTO, “Rolling Carbon on a Rock: Graphene,” *Nat. Mater.* **24**, 330–331 (2025). DOI: 10.1038/s41563-025-02151-8

H. KUSUNOSE, J. KISHINE and H. M. YAMAMOTO, “Emergence of Chirality from Electron Spins, Physical Fields, and Material-Field Composites,” *Appl. Phys. Lett.* **124**(26), 260501 (2024). DOI: 10.1063/5.0214919

A. INDA, R. OIWA, S. HAYAMI, H. M. YAMAMOTO and H. KUSUNOSE, “Quantification of Chirality Based on Electric Toroidal Monopole,” *J. Chem. Phys.* **160**(18), 184117 (2024). DOI: 10.1063/5.0204254

B-4) 招待講演

山本浩史, 「CISS 研究の現状と固体科学への展開」, 日本物理学会年次大会シンポジウム「キラリティがもたらす新現象の開拓と制御～CISS 効果を中心に～」, オンライン開催, 2025 年 3 月.

山本浩史, 「CISS 効果の固体デバイスへの展開」, 電気学会日本磁気学会共催「光と CISS と磁性錯体」研究会, 東京, 2025 年 1 月.

山本浩史, 「カイラリティと電子状態」, CREST トポロジ領域合同セミナー, 京都, 2024 年 11 月.

山本浩史, 「Spin-polarization control by chiral materials」, 物性研究所短期研究会「新物質開発・システム創成研究の最前線：分子・クラスターがもたらす物性と機能」, 柏, 2024 年 10 月.

山本浩史, 「キラリティとスピントロニクス」, 東京大学工学部物理工学科教室談話会, 東京, 2024 年 5 月.

H. M. YAMAMOTO, “Chiral molecules and helical electrons,” Solvay Workshop on Chirality, Spin and Reactivity, Brussel (Belgium), November 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Chirality-Induces Spin Selectivity in Various Materials,” Thailand-Japan Symposium in Chemistry 2024, Chiang Mai University, Chiangmai (Thailand), November 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Chiral Spintronics with Molecular Materials,” ISCOM2024, Anchorage (U.S.A.), September 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Chiral phonon-mediated circular photo galvanic effect,” Electron Spin in Chiral Matter — Sigtuna CISS meeting 2024, Sigtuna (Sweden), July 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Chiral Atoms and Helical Electrons,” META2024, Toyama (Japan), July 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Novel spintronics devices based on chiral materials,” Workshop on physics and electronics of 2D doped materials, Tateshina (Japan), June 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Chirality-Induced Spin Selectivity and Multipoles,” OIST-JST-AIMR Joint International Symposium: Interaction Between Various Chiral Fields and Chiral Materials, Okinawa (Japan), June 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Chirality-based spintronic devices with molecular materials,” ICSM2024, Dresden (Germany), June 2024.

H. M. YAMAMOTO, “Emergent Chiral Spintronics based on Molecular Materials,” CEMS Topical Meeting on Emergent Phenomena in Topological Quantum Materials, Wako (Japan), May 2024.

B-5) 特許出願

特開 2024-158274,「配向体製造装置」, 平等拓範, 佐藤庸一, 青山正樹, 吉田久史, 木村幸代, 山本浩史, 伊東正篤, 井上龍夫, 長谷川順(自然科学研究機構), 2023 年.

WO2024225471(A1),「配向体製造装置」, 平等拓範, 佐藤庸一, 青山正樹, 吉田久史, 木村幸代, 山本浩史, 伊東正篤, 井上龍夫, 長谷川順(自然科学研究機構), 2024 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 (2020–2024), 総務委員長 (2022–2024).

学会の組織委員等

分子科学会運営委員 (2018–2024).

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).

日本学術会議事務局連携会員 (2023–2027).

東京大学物性研究所協議会委員 (2024–2026).

理科教育活動

「科学三昧 in あいち 2024」指導助言 (2024). (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–).

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–2025 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).

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).

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(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).

B-11) 産学連携

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 2」, 山本浩史 (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。