



NEWS Vol.11

キラリティでスピンを操る

須田 理行(京都大)
田中 久暉(名古屋大)



須田博士

田中博士

——今回はA04班の若手のお二人にお話を伺います。まず代表である須田さん、お二人が手掛けるミッションはどのようなものでしょうか。

須田 従来、軽元素から構成されスピン軌道相互作用が小さい有機分子は、電流/スピン流変換材料への応用は不可能であるというのが常識とされていました。本研究では、キラリティ誘起スピン選択性という新たな電流/スピン流変換機構を利用しつつ、高密度共役の概念を導入することによって、有機分子を用いて無機物質を凌駕する電流/スピン流変換を実現することが我々のミッションです。

——キラリティ誘起スピン選択性というのは?

須田 キラル分子を通過した電子が、スピン偏極効果を受ける現象です。明確なキラリティ誘起スピン選択性に関する最初の報告は2011年になされました。この報告では、金薄膜表面に組織化されたDNA单分子膜に対するモット型検出器を用いたスピン分解光電子分光によって、DNA单分子膜を通過した電子がスピン偏極していることが明らかになりました。スピン偏極率は最大で60%にも達しています。この値は、一般的な強磁性金属におけるスピン偏極率を凌駕しており、分子スピントロニクス実現への期待から注目されています。

これまでにペプチドやらせん高分子、アミノ酸、ヘリセンなど、さまざまキラル分子でスピン偏極効果が報告されています。また、キラルな無機物質:CrNb₃S₆でもスピン偏極効果が得られることを我々が報告しています(*Phys. Rev. Lett.*, 124, 166602 (2020).)。

——分担はどのように?

須田 私は大きなスピン偏極効果を生み出すような物質・デバイス設計と基本的な測定を担当します。田中さんには、ESRを用いたより動的な測定、実際にキラル分子中でどのようにスピン偏極が起きているのか、というようなスピン偏極機構の解明などを担当していただいている。

——ところで、「高密度共役」というコンセプトについて、どのように感じていますでしょうか?

須田 キラリティ誘起スピン選択性に関する理論研究では、キラル分子の高密度化によって電流/スピン流変換性能が向上するであろうという予測が既になされていました。そういう意味では、高密度化という概念はすんなりと受け入れることができましたが、その先に共役を作るという発想には驚きました。私自身、高密度共役の実現によって、何が起きるのかにワクワクしています。

田中 分子という最も基本的な構組みをその周辺の空間(空隙)を満たすことで拡張する、極めて挑戦的な試みだと感じています。高密度共役の実現には、相互作用を促進する合理的な分子デザインが不可欠です。それが実現し、高密度共役が達成された状態では、分子そのものの性質を超えて分子集合体としての新たな、そして革新的な機能が実現する、そんなイメージを持っています。

——領域に貢献するために考えている手法、アイディアはどのようなものでしょうか?

須田 領域内でデザインされた高密度共役状態にあるキラル

分子やその集合体に対し、迅速かつ定量的に電流/スピン流変換効率を評価できるように、トンネル磁気抵抗測定やスピン偏極コンダクティブAFMなど、単分子から薄膜、固体結晶まで様々な分子形態において計測が可能な複合的な技術を準備しています。私自身は、有機-無機複合物質のデザインも得意としていますので、無機物質との複合化によって材料としてのシナジーを生むということも考えています。

田中 多結晶薄膜や粉末など、必ずしも巨視的な構造秩序が得られない材料においても物性を解明するため、電子スピン共鳴(ESR)法などの微視的な計測手法が役立つと考えています。また、ESRはスピン反転を伴い、電荷とスピンの結合状態を変調するため、電流/スピン偏極電流変換の動的な機構解明につながると期待できます。

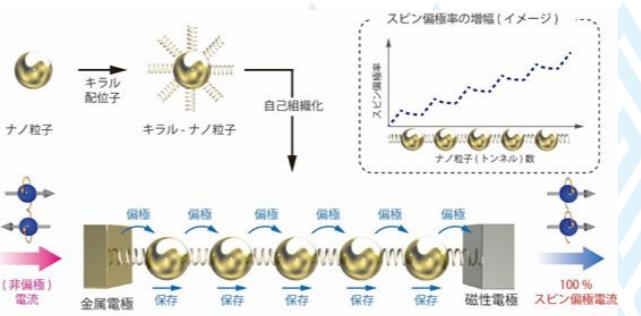
——その他の方と共同研究の予定やアイディアはありますでしょうか?

須田 既に、A04班の福島さん、庄司さんとは高密度共役キラル物質の設計に関して共同研究を行っています。また、A04班の橋本さん、松田さん、清水さん、新しく公募班に加わられたA03班の木俣さんとは、サブテーマでもある有機結晶における光誘起超伝導に関して共同研究を進めており、既に興味深い結果が多数得られつつあります。

田中 現在、A01班の忍久保さんと新規分子材料の物性、A04班の福島さん、庄子さんと薄膜の物性開発の共同研究を行っています。私は竹延さん(A03)の研究室に所属していますので、電解質を用いたキャリアドーピングやデバイス構造と組み合わせた物性測定など、多様な計測手法を用いて共同研究の幅を広げていきたいと考えています。

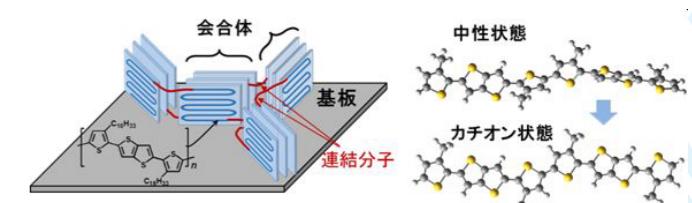
——最近の研究のトピックスを教えて下さい。

須田 キラル分子モーターを用いた電流/スピン流変換デバイスについて報告しています(*Nat. Commun.*, 10, 2455 (2019).)。また、有機-無機複合化を利用してキラル分子を積層構造として集積化することで、キラル分子によるスピン偏極効果を何度も繰り返すことで、スピン偏極率の増幅(イメージ)を示すグラフがあります。



り返し、スピン偏極効果を增幅させることができないかという仮説を立て、実際に80%を超える高スピン偏極率が実現可能な物質の作製に成功しています。無機磁性体に置き換わる材料の実現が、視野に入りつつあると思っています。

田中 導電性高分子の電気伝導性や熱電変換特性を向上するために、平面性の向上をもたらす分子設計が重要であることを実験的に見出しています(*Sci. Adv.* 6, eaay8065 (2020).)。高平面性の分子は異なる会合体間を効率的に接続するとともに、会合体内の分子間相互作用も促進するため、高密度共役の研究にもつながると思っています。



——この領域で、個人的に目指すところはどのような方向でしょうか?

須田 私自身は橋本さん、酒巻さんと共に若手育成支援グループも担当させていただいており、高密度共役若手会を組織し、若手育成に関するさまざまな企画も行っています。10年後、20年後に高密度共役を更に越える概念を提示してくれるような若手、特に学生のアカデミックへのキャリアパスを支援できるような活動ができればと思っています。

田中 本領域には異なる専門を持つ研究者が多数参加し、領域会議でも大変刺激的な議論が交わされています。普段交流を持つことのないこれらの研究者との協働が思わぬ「化学反応」を引き起こし、革新的な物性機能の実現につながることを期待しています。

——その他、思うことやメッセージなどありましたらお願ひいたします。

須田 コロナ下でオンラインコミュニケーションツールが浸透したこともあり、毎日のように領域内メンバーと議論をすることが出来ておらず、日々刺激を受けています。とはいえ、領域発足以来、まだ一度も集まることが出来ていません。実際に顔を合わせて更に深い議論が出来ることを楽しみにしています。

田中 異なる専門を持つ研究者との共同は大変刺激的で、領域会議は大変勉強になります。このような貴重な機会を得られたことに大変感謝しています。自分の持つ技術が高密度共役の実現に少しでも役に立てるよう、努力していこうと思っています。

もっと詳しく→ <https://x-con.jp/>