

研究報告書

-2017年度研究会活動-

第25回 研究報告会

2018年7月10日

ATI 公益財団法人 **新世代研究所**
FOUNDATION ADVANCED TECHNOLOGY INSTITUTE

スピントロニクス研究会

スピントロニクスにおけるスピン変換現象

委員長 大谷義近
東京大学物性研究所 教授

1. 研究構想

最近のスピントロニクス研究の中で、角運動量保存則に基づくスピンを媒介とした、電気、光、音、振動、熱の相互変換現象であるスピン変換に関する研究が台頭している。2014年から本研究会の委員が中心となって立ち上げた新学術領域研究「ナノスピン変換科学」と連携しながら第2期スピントロニクス研究会を企画・開催してきた。研究会での議論や情報交換を通じて、スピン変換現象を伝導電子スピン、局在スピン、核スピン、フォトン、フォノンなど多様な粒子・準粒子が複合的に絡み合ったナノスピン変換科学として物理体系を構築することを目指している。

本研究会では、上述のスピン変換物性に関わる研究を磁氣的、電氣的、光学的、熱・力学的スピン変換機能に細分化し、それぞれの分野で世界のスピントロニクス研究を先導する我が国の研究者が構成メンバーである。委員内から選出した企画委員を中心にして、研究会を企画・開催し、幅広い分野から招聘する講演者と密に議論を交わす事により、スピン変換現象を実験と理論の両面から深く理解し、最終的には新しいスピントロニクス機能を提言することを本研究会の目標としている。

2. 2017年度の研究活動の概要

2017年度は、3回の研究会を開催した。第1回は4月14日に、テーマを「ナノスピン変換科学のこれから」と設定し、新学術領域研究「ナノスピン変換科学」の第2期公募研究採択課題の研究計画を発表する研究会とした。

第2回研究会は、2017年11月15日に最近注目されている物性科学のキーワードである量子伝導、グラフェン、超伝導、マヨラナをテーマとして研究会を開催した。光誘起スピン変換現象に注目した研究会を開催した。円偏光した光は、一種のスピン流とみなせることから、光誘起マグノン伝搬、光・スピン流変換や半導体スピンレーザー等の新しい現象に関する紹介が実験と理論の両面からなされ、充実した議論が行われた。

第3回研究会は、委員長の大谷が任期最後の研究会であることもあり、東京を離れ遠刈田温泉にて委員が話題を持ち寄り、最近の成果やスピントロニクス研究会の今後に関して意見交換を行った。

以下に開催された3回の研究会の概要を纏める。

第1回 2017年4月14日

会場：TKP お茶の水カンファレンスセンター

テーマ：「ナノスピントロニクス科学のこれから -第2期公募研究採択課題発表会-

A01 班「磁氣的スピントロニクス班」採択公募研究 3 課題

森山 貴広 (京都大学化学研究所)

「反強磁性体におけるスピントロニクスダイナミクス」

三輪 真嗣 (大阪大学大学院基礎工学研究科)

「界面磁性を利用したスピントロニクス現象の研究」

関 真一郎 (理化学研究所創発物性科学研究センター)

「キラル物質を用いた新しい選択則のスピントロニクス・電流変換現象の開拓」

森山氏は最近注目されている反強磁性体中で生じるスピントロニクス現象、三輪氏は絶縁体と強磁性金属との界面の起動モーメントを電場で制御する試み、関氏が界面ではなく結晶のキラルな対称性を利用したスピントロニクス電流変換に関する非常に興味深い研究計画について紹介した。

A02 班「電氣的スピントロニクス班」採択公募研究 1 課題

大塚 朋廣 (理化学研究所創発物性科学研究センター)

「スピントロニクス研究に向けた電氣的超高速局所スピントロニクスプローブの開発と応用」

スピントロニクスデバイス中に形成されたスピントロニクス状態を局所的に高速に測定できる電氣的超高速局所スピントロニクスプローブを実現する研究計画が示された。

A03 班「電氣的スピントロニクス班」採択公募研究 2 課題

小野瀬 佳文 (東京大学大学院総合文化研究科)

「強磁性体および反強磁性体におけるマグノン動力学に対するジャロシンスキー守谷相互作用の効果」

松尾 貞茂 (東京大学大学院工学系研究科)

「偏光もつれ光子対から電子スピントロニクス対への量子もつれ相関の転写技術の開発とその実証」

小野瀬氏からは、これまでの強磁性マグノンにおける DM 相互作用の効果に関する研究をもとに反強磁性マグノンについても同様の効果が生じることを推測して行う実験計画が示された。松尾氏からは、量子情報処理に資するコヒーレントな光子スピントロニクスの変換を実現するインターフェースを量子ドットを用いて実現する実験計画が示された。

A04 班「機械・熱的スピントロニクス班」採択公募研究 2 課題

畠山 温 (東京農工大学工学系)

「気体と固体、スピントロニクスでつなぐ ～スピントロニクス生成から機械的回転まで」

能崎 幸雄 (慶應義塾大学理工学部物理学科)

「巨視的回転運動と微視的スピントロニクス角運動量の双方向変換」

これらの採択課題は第 1 期からの継続採択である。畠山氏からは、気体原子のスピンがマクロな固体の角運動量に移行することを示す原理検証実験やその逆効果である回転する固体素子によるスピン偏極気体原子の生成などのスピン変換に関する実験経過と発展研究の提案が示された。

能崎氏からは、第 1 期に引き続き、表面弾性波を用いた巨視的回転運動と微視的スピン角運動量の相互変換の検証実験に関する詳細な説明とこれまでの成果に関する説明がなされた。

A05 班「スピン変換機能設計班」採択公募研究 4 課題

Tretiakov Oleg (東北大学金属材料研究所)

「Spinorbitronics in Magnet/Heavy-metal Bilayers」

佐藤 正寛 (茨城大学理学部)

「熱と光を利用した新しいスピン流・スピン秩序の制御に向けた理論研究」

横山 毅人 (東京工業大学理学院物理学系)

「歪みによるスピン流及び磁化生成」

石井 史之 (金沢大学理工研究域 数物科学系)

「第一原理手法によるナノスピン変換物質デザイン」

Oleg 氏からは、スピンホール効果によるスピン流によって強磁性体や強磁性体中に生じるスカーミオンを駆動する手法やそれらのダイナミクスに関する理論研究計画の説明がなされた。佐藤氏からは、スピノン等の新しい磁気準粒子のスピン트로ニクス機能を開拓する理論研究と共同研究実験が提案された。横山氏からは、歪を用いたスピン流と磁化の生成手法に関する理論的な考察と実験の提案が行われた。石井氏からは、異常ネルンスト効果やエデルシュタイン効果などのスピン流電流変換現象に関する第一原理計算を用いたスピン変換物質の設計手法に関する研究計画が説明された。

第 2 回 2017 年 11 月 15 日

会場：TKP ガーデンシティ御茶ノ水

テーマ：「Quantum transport, Graphene, Superconductor and Majorana」

今回の研究会はグラフェンやカーボンナノチューブなどにおける超伝導接合や、マヨラナフェルミオンについて、最新の成果を挙げている国内外の研究者の方々をお招きし、合計で 28 名が参加した。

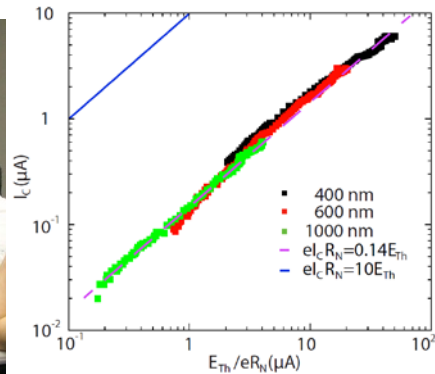
最初に、フランス Ecole normale superieure Lauriane Contamin 氏が「Synthetic spin orbit interaction for Majorana devices」という題目で講演を行った。通常スピン軌道相互作用が弱いとされるカーボンナノチューブに磁気テクスチャーを持つ強磁性体を接合させることで、人工的に強いスピン軌道相互作用を発現させることに成功した。s 波超伝導体との接合を作

製し、この強いスピン軌道相互作用を利用してゼロ磁場でゼロバイアス伝導度ピークを観測した。これはマヨラナ束縛状態が細線の両端に生成している可能性を示すものであり、今後超伝導共振器などと組み合わせることで、マヨラナ状態の高周波分光や組紐操作を行うことを期待させる興味深い発表であった。



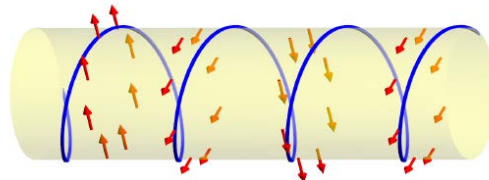
Contamin 氏の講演風景と、カーボンナノチューブに接合した強磁性体の磁気テクスチャー—の例。

続いて、東京大学の Ivan Borzenets 博士が「Graphene-Superconductor Hybrids: characterization and applications」という題目で講演を行った。グラフェンのジョセフソン接合に関する系統的な実験について発表が行われた。拡散的接合では、臨界電流が3桁のオーダーに渡って、サウレスエネルギーに比例することを明らかにした。短い弾道性接合領域では、臨界電流のエネルギーは超伝導ギャップに依存することを見出した。長い弾道性接合領域では、臨界電流は、共振器とみなしたときの共振器エネルギー準位間隔に依存するが、低温では超伝導ギャップ（あるいは共振器エネルギー間隔）と共振器中のモードの数の積に飽和することが明らかになった。このように同じデバイスでゲート電圧などの制御によって、拡散的接合と弾道的接合での短い接合と長い接合の特徴を明確に示した成果は世界で初めてである。最後にこうした良質な超伝導体／グラフェン接合の応用として、もつれ電子対生成や量子ホール状態での超伝導接合などの研究成果についても紹介があった。



Borzenets 博士の講演の様子と、長い拡散的超伝導接合デバイスで観測された臨界電流のサウレスエネルギーに対するスケーリング

最後に理化学研究所の Peter Stano 博士が、「Helical order in one-dimensional semiconductor」という題目で発表を行った。1次元半導体におけるスピンヘリカル状態の実現に関する理論研究で、最近の実験を紹介して、半導体細線における核スピンのヘリカル状態の実現の可能性について議論を行った。またこうしたヘリカル状態ナノ細線との超伝導接合におけるマヨラナフェルミオンやパラフェルミオンとの関係にも議論がなされた。最初の講演者 Contamin 氏の実験とも相補的な内容であった。



Stano 博士の講演の様子と、導電性細線における核スピンヘリカル状態の模式図

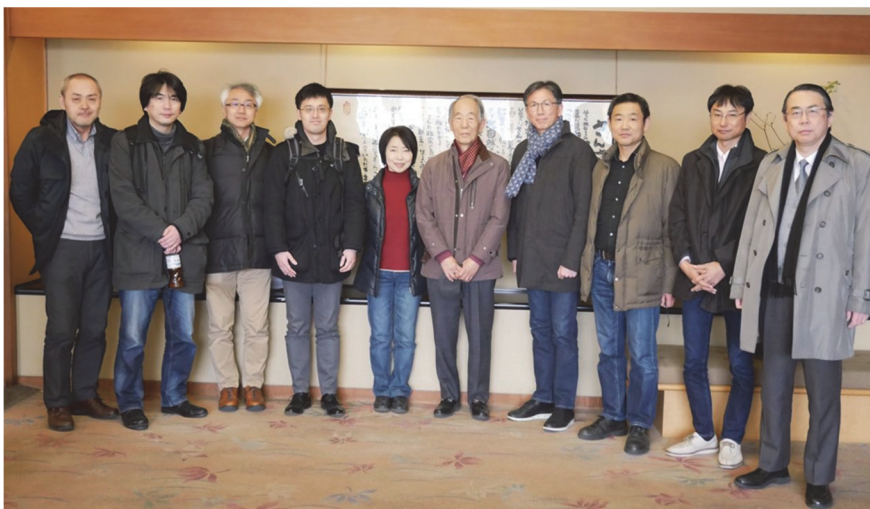
以上のように、低次元系における人工的なスピン秩序の形成と、超伝導体接合がもたらす新しい多体相関効果について、最新の成果について活発な議論を行った。通常の磁性体を主体とするスピントロニクス研究とは趣を異にする研究であるが、超伝導接合やヘリカルスピン秩序など、多体効果の顕著な現象として。参加者にとって大変興味深い内容であった。

第3回 2018年2月26日

会場：宮城県遠刈田温泉さんさ亭

テーマ：「研究会委員の意見交換と懇談」

委員長任期最後の研究会であるので、趣向を変えて宮城県遠刈田温泉での話題提供研究会を開催した。スピントロニクスに関する話題だけではなく、特定の状況下では高温の水の方が低温の水よりも短時間で凍ることがあるというムペンバ効果に関する興味深い話が新庄先生からなされ、大変有意義な時間を過ごすことが出来た。



3. まとめ

前スピントロニクス研究会委員長前川先生の後を引き継いでから、2期6年間で瞬く間に過ぎた。この間、研究会のメンバーに若手の優秀な研究者も加わり、多くの発展を遂げることが出来たと自負している。本研究会はスピントロニクスに関する議論の場を提供するだけでなく、本研究会のメンバーを中心としてスピントロニクスにかかわる研究者コミュニティの拠点形成についてもその一翼を担っている。例えば、この研究会のメンバーで新学術領域「ナノスピン変換科学」を立ち上げることが出来た事により、スピントロニクスコミュニティにとっての活動基盤が今まで以上に強化された。これにより、若手や中堅の研究者の活躍も目覚ましく、IBM 科学賞をはじめとする著名な科学賞の受賞者や、2年連続して文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞者を輩出したことは注目に値する。

現在、スピントロニクス研究は、固体物理の他分野と相互作用しながら新たな飛躍を遂げようとしている。2018 年度からアイデアマンの新委員長の齊藤英治先生にバトンを渡した。本研究会がますます発展していくことを祈っている。

研究会開催記録

【第1回】2017年4月14日(木) 御茶ノ水

テーマ：「ナノスピン変換科学のこれから -第2期公募研究採択課題発表会-

1. 「気体と固体，スピんでつなぐ ～スピン流生成から機械的回転まで」
畠山 温 (東京農工大学)
2. 「歪みによるスピン流及び磁化生成」
横山 毅人 (東京工業大学)
3. 「スピン変換研究に向けた電氣的超高速局所スピンプローブの開発と応用」
大塚 朋廣 (理化学研究所)
4. 「キラル物質を用いた新しい選択則のスピン流・電流変換現象の開拓」
関 真一郎 (理化学研究所)
5. 「巨視的回転運動と微視的スピン角運動量の双方向変換」
能崎 幸雄 (慶應義塾大学)
6. 「偏光もつれ光子対から電子スピン対への量子もつれ相関の転写技術の開発とその実証」
松尾 貞茂 (東京大学)
7. 「Spinorbitronics in Magnet/Heavy-metal Bilayers」
Tretiakov Oleg (東北大学)
8. 「熱と光を利用した新しいスピン流・スピン秩序の制御に向けた理論研究」
佐藤 正寛 (茨城大学)
9. 「第一原理手法によるナノスピン変換物質デザイン」
石井 史之 (金沢大学)
10. 「界面磁性を利用したスピン変換現象の研究」
三輪 真嗣 (大阪大学)
11. 「反強磁性体におけるスピン変換ダイナミクス」
森山 貴広 (京都大学)
12. 「強磁性体および反強磁性体におけるマグノン動力学に対する
ジャロシンスキー守谷相互作用の効果」
小野瀬 佳文 (東京大学)

【第2回】2017年11月15日(金) 御茶ノ水

テーマ：「Quantum transport, Graphene, Superconductor and Majorana」

1. Synthetic spin orbit interaction for Majorana devices
Lauriane Contamin, Ecole normale superieure

2. Helical order in one dimensional semiconductors

Peter Stano, RIKEN

3. Graphene-Superconductor Hybrids: characterization and applications

Ivan V. Borzenets, The University of Tokyo

【第3回】2018年2月26日(月)–27日(火) 宮城県刈田郡遠刈田温泉
テーマ：「研究会委員の意見交換と懇談」

- 1.大谷 義近 (東京大学)
- 2.新見 康洋 (大阪大学)
- 3.高梨 弘毅 (東北大学)
- 4.多々良 源 (理化学研究所)
- 5.大岩 顕 (大阪大学)
- 6.小野 輝男 (京都大学)
- 7.新庄 輝也 (京都大学)
- 8.水上 成美 (東北大学)

スピントロニクス研究会員名簿

大谷 義近	東京大学 物性研究所ナノスケール物性研究部門	教授 研究会委員長
前川 禎通	日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	センター長
大野 英男	東北大学 電気通信研究所	所長・教授
小野 輝男	京都大学 化学研究所材料機能化学研究系4磁性体化学領域	教授
門脇 和男	筑波大学 藻類バイオマス・エネルギーシステム開発研究センター 兼、数理物質系	副センター長・教授
齊藤 英治	東北大学 材料科学高等研究所	教授
新庄 輝也	京都大学	名誉教授
鈴木 義茂	大阪大学 大学院基礎工学研究科 附属スピントロニクス学術連携研究教育センター	教授
高梨 弘毅	東北大学 金属材料研究所磁性材料学部門	所長・教授
永長 直人	理化学研究所 創発物性科学研究センター	副センター長・教授
木村 崇	九州大学 大学院理学研究院物理学部門固体電子物性講座	教授
福岡 康裕	九州工業大学 若手研究者フロンティア研究アカデミー	准教授
三谷 誠司	物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 磁性材料ユニット スピントロニクスグループ	グループリーダー
白石 誠司	京都大学 大学院工学研究科電子工学専攻	教授
安藤 康夫	東北大学 大学院工学研究科応用物理学専攻	教授
水上 成美	東北大学 材料科学高等研究所スピントロニクス材料研究室	教授
多々良 源	理化学研究所 創発物性科学研究センター 量子情報エレクトロニクス部門	チームリーダー
大岩 顕	大阪大学 産業科学研究所量子システム創成研究分野	教授
村上 修一	東京工業大学 理学院物理学系	教授
新見 康洋	大阪大学 大学院理学研究科物理学専攻	准教授

2018年3月現在