

領域略称名：スピン変換
領域番号：2602

令和元年度科学研究費助成事業
「新学術領域研究（研究領域提案型）」
に係る事後評価報告書

「ナノスピン変換科学」

（領域設定期間）

平成26年度～平成30年度

令和元年6月

領域代表者（東京大学・物性研究所・教授・大谷 義近）

目 次

1. 研究領域の目的及び概要	5
2. 研究領域の設定目的の達成度	7
3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	10
4. 審査結果の所見及び中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況	11
5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	13
6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	16
7. 研究組織（公募研究を含む。）と各研究項目の連携状況	21
8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	23
9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	27
10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	28
11. 総括班評価者による評価	29

研究組織 (総：総括班, 支：国際活動支援班, 計：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究, 公：公募研究)

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00 総	26103001 スピン変換総括班	平成 26 年度～ 平成 30 年度	大谷 義近	東京大学・物性研究所・教授	5
Y00 支	15K21752 ナノスピン変換科学国際 拠点形成	平成 27 年度～ 平成 30 年度	大谷 義近	東京大学・物性研究所・教授	1
A01 計	26103002 磁気的スピン変換	平成 26 年度～ 平成 30 年度	大谷 義近	東京大学・物性研究所・教授	6
A02 計	26103003 電気的スピン変換	平成 26 年度～ 平成 30 年度	白石 誠司	京都大学・工学研究科・教授	5
A03 計	26103004 光学的スピン変換	平成 26 年度～ 平成 30 年度	大岩 颯	大阪大学・産業科学研究所・教授	5
A04 計	26103005 機械・熱的スピン変換	平成 26 年度～ 平成 30 年度	齊藤 英治	東京大学・工学系研究科・教授	3
A05 計	26103006 スピン変換機能設計	平成 26 年度～ 平成 30 年度	村上 修一	東京工業大学・理学院・教授	5
統括・支援・計画研究 計 7 件					
A01 公	15H01014 メタ磁性転移物質を舞台 とした磁気界面マグノン 変換と伝播・位相制御	平成 27 年度～ 平成 28 年度	谷山 智康	東京工業大学・科学技術創成研究院・ 准教授	3
A01 公	15H01017 磁性体におけるスピン軌 道トルクの研究	平成 27 年度～ 平成 28 年度	三輪 真嗣	大阪大学・基礎工学研究科・准教授	4
A01 公	15H01024 ダイヤモンドスピンセン サーを用いた室温ナノス ピン変換	平成 27 年度～ 平成 28 年度	安 東秀	北陸先端科学技術大学院大学・マテリ アルサイエンス研究科・准教授	3
A01 公	17H05181 反強磁性体におけるスピ ン変換ダイナミクスの解 明	平成 29 年度～ 平成 30 年度	森山 貴広	京都大学・化学研究所・准教授	1
A01 公	17H05182 界面磁性を利用したスピ ン変換現象の研究	平成 29 年度～ 平成 30 年度	三輪 真嗣	東京大学・物性研究所・准教授	2

A01 公	17H05186 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	平成 29 年度～ 平成 30 年度	関 真一郎	東京大学・工学系研究科・准教授	1
A02 公	15H01010 ファンデルワールスヘテロ構造におけるスピン変換技術の確立	平成 27 年度～ 平成 28 年度	守谷 頼	東京大学・生産技術研究所・助教	1
A02 公	15H01011 効率的スピン流生成とスピンホール角制御のための界面制御とバンドエンジニアリング	平成 27 年度～ 平成 28 年度	大矢 忍	東京大学・工学系研究科・准教授	1
A02 公	17H05187 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	平成 29 年度～ 平成 30 年度	大塚 朋廣	東北大学・電気通信研究所・准教授	1
A03 公	15H01012 電子スピン制御技術を用いたもつれ光子対の計測実験	平成 27 年度～ 平成 28 年度	松尾 貞茂	東京大学・工学系研究科・助教	1
A03 公	15H01018 光制御型高スピン多核錯体の開発	平成 27 年度～ 平成 28 年度	佐藤 治	九州大学・先導物質化学研究所・教授	1
A03 公	17H05176 空間反転対称性の破れを利用した反強磁性マグネティクス	平成 29 年度～ 平成 30 年度	小野瀬 佳文	東北大学・金属材料研究所・教授	2
A03 公	17H05177 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	平成 29 年度～ 平成 30 年度	松尾 貞茂	東京大学・工学系研究科・助教	3
A04 公	15H01013 速度選択スピン共鳴を通じた気体原子と固体容器間の並進角運動量移行	平成 27 年度～ 平成 28 年度	畠山 温	東京農工大学・工学研究院・准教授	1
A04 公	15H01021 力学的回転運動の回転スピン流変換	平成 27 年度～ 平成 28 年度	能崎 幸雄	慶應義塾大学・理工学部・教授	1

A04 公	17H05178 気体と固体，スピンド なく ～スピン流生成か ら機械的回転まで	平成 29 年度～ 平成 30 年度	畠山 温	東京農工大学・工学研究院・教授	1
A04 公	17H05183 巨視的回転運動と微視的 スピン角運動量の双方向 変換に関する研究	平成 29 年度～ 平成 30 年度	能崎 幸雄	慶應義塾大学・理工学部・教授	1
A05 公	15H01009 Efficient Thermal Spin Conversion in Spin- spiral Systems	平成 27 年度～ 平成 28 年度	Tretiakov Oleg	東北大学・金属材料研究所・助教	1
A05 公	15H01015 第一原理手法による界面 電場・スピン軌道結合系 数の見積とスピン変換物 質デザイン	平成 27 年度～ 平成 28 年度	石井 史之	金沢大学・理工研究域数物科学系・准 教授	1
A05 公	15H01022 エレクトロマグノン過程 に伴うスピン波スピン流 の生成理論	平成 27 年度～ 平成 28 年度	宮原 慎	福岡大学・理学部・准教授	1
A05 公	15H01025 ナノスケールスピン液体 におけるスピノン超流動 によるスピン変換理論	平成 27 年度～ 平成 28 年度	小野田 繁樹	国立研究開発法人理化学研究所・専任 研究員	1
A05 公	17H05173 Efficient Thermal Spin Conversion in Spin-spiral Systems	平成 29 年度～ 平成 30 年度	Tretiakov Oleg	東北大学・金属材料研究所・助教	1
A05 公	17H05174 スピノン・トリプロン・マ グノン分子による熱的ス ピン流生成についての微 視的理論研究	平成 29 年度～ 平成 30 年度	佐藤 正寛	茨城大学・理学部・准教授	1
A05 公	17H05179 歪みによるスピン流及び 磁化生成	平成 29 年度～ 平成 30 年度	横山 毅人	東京工業大学・理学院・助教	1
A05 公	17H05180 第一原理手法によるナノ スピン変換物質デザイン	平成 29 年度～ 平成 30 年度	石井 史之	金沢大学・理工研究域数物科学系・准 教授	1
公募研究 計 25 件					

1. 研究領域の目的及び概要（2ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募研究領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

【研究の学術的背景】

20世紀には実用上も現代情報化社会の礎となったエレクトロニクスに代わり、スピンの流れ、いわゆる「スピン流」という新概念が登場した。21世紀に入ると、その理解は単なる電流とは異なる角運動量を運ぶ流れとして一段と深まっている。最近では、このような角運動量流が、固体電子を媒介として、光、スピン、熱等と相互に変換することが分かってきた。例えば、電子スピンに着目すると、伝導電子のスピン角運動量は、交換相互作用を介して角運動量保存則により磁化に加わる回転力（スピントルク）に変換される。これにより磁化は歳差運動、もしくはその向きを反転する。この現象が外部磁場を用いない磁気共鳴励起あるいは磁気記録の書き込み原理として応用され、スピントルク発振子あるいはスピントルク磁気固体メモリとして広く知られている。同様に光も時計回りあるいは反時計回りの円偏光として角運動量を局在スピンの受け渡して磁化反転を誘起する。熱に目を向けると、熱やマイクロ波等の擾乱は磁化の歳差運動を励起する。強磁性体と非磁性体金属の接合を考えると、歳差運動する磁化から伝導電子スピンを経由して、熱が電気に変換される。このように、伝導電子スピン、局在電子スピン、フォトン、フォノンなど多様な粒子・準粒子の間にまたがる相互変換現象を総称してスピン変換と呼ぶ。このスピン変換は、新奇な物性現象の宝庫であり、最近になってやっと発見された現象が数多く存在する。

スピン変換に関わる最近の研究動向を眺めると、我が国の研究者は際立った成果を挙げており、巨大スピンホール効果、巨大スピン蓄積・純スピン流誘起磁化反転、スピントルクダイオード効果、スピンゼーベック効果、絶縁体へのスピン注入、スピン起電力、強磁性超薄膜の磁気異方性電圧制御など日本発の新しいスピン変換に関わる物性の研究報告は、枚挙に暇がない。このように、スピントロニクス研究の著しい発展には我が国の研究者の貢献が極めて大きく、物質科学に実験と理論の両面から多くの知見を与え、活発かつ魅力的な研究分野に成長させた。その結果、基礎研究としてだけでなく、実際に役に立つスピン変換応用を見据えたエレクトロニクス産業の関心を勝ちとるに至っている。

これらの先進的研究で発見されたスピン変換現象の多くは、磁性体、非磁性体、半導体、絶縁体等の異種物質の比較的単純な接合構造で発現しており、次に述べる2つの重要な特徴を有する。第一に、スピン変換現象は優れた汎用性・応用性を持っており、様々な物質やそれらの接合を選択できることから自由度の大きな機能設計が可能となる。第二に、こうしたスピン変換現象の背後に、普遍的な学理があることを意味している。このスピン変換現象を、統一的に理解し学問的に統合することができれば、新しい学術領域を創成するだけでなく、日本が得意とする磁性研究を基として発展してきたスピントロニクス領域を新たなステージに引き上げ、国際的な日本の学術的プレゼンスをより一層高めることができると考える。

【達成目標】

以上を考慮して、本研究領域では、多彩なスピン変換機能を発現させるための基礎物性を、①磁気的スピン変換、②電気的スピン変換、③光学的スピン変換、④機械・熱的スピン変換の四つの実験的視点から調べると共に、理論の立場から⑤スピン変換機能設計を行い、実験・理論の連携研究からその基礎となる学理を構築し、新機能の創出を目指す。成果や研究手法は、物性物理学の基礎となり、ひいては我が国の物質科学全体の学術水準を押し上げ、基礎研究の質的な進展をもたらすことは確実である。

そこで、本領域ではこれらの点を踏まえて磁気的、電気的、光学的、機械・熱的スピン変換の全てが密接にかかわる異種物質接合の変換機能に着目して、次のように研究領域の達成目標を設定する。

(1) スピン変換による新物性の創出: 異種物質間の接合状態とスピン変換機能の探索を軸に磁気的、電気的、

光学的、機械・熱的スピン変換物理を実験と理論の両面から解明し、卓抜なスピン変換物性を創出する。

- (2) 非線形スピン変換制御技術の確立：従来の線形なスピン変換とは異なる非線形スピン変換過程を開拓し、制御手法の確立を目指す。
- (3) スピン変換の統一的な学理の構築：磁性体・半導体・絶縁体におけるマグノン、フォトン、フォノン等の多様な準粒子間の相互変換を実験と理論の両面から統一的に理解し、ナノスピン変換科学の物理体系構築を目指す。

【学術水準の向上・強化につながる研究領域】

本領域で取り組むナノスピン変換科学は、交換相互作用とスピン軌道相互作用を媒介とした伝導電子スピン、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未知の融合領域であり、その解明には、精緻な物理実験と緻密な理論的解釈の連携が必要不可欠である。一方、先述したようにスピン変換に関わる最近の進展の多くは日本の成果によるものであり、金属および半導体スピントロニクスの実験的あるいは理論的研究で世界的にも先導的な役割を果たしている研究者を結集し、本研究領域を推進することにより格段の進歩が期待される。

また、研究プロジェクトにおいては多様な粒子・準粒子が絡み合った物理現象を扱うため、金属、半導体はもとより酸化物までの広範囲な物質群を取り扱うだけでなく、力学的スピン変換現象においては機械工学的センスも必要とすることから、初めてスピン変換の研究に参加する優秀な機械工学研究者も含まれる。さらに、この分野の国際的な認知度と連携体制を反映して、各班に国際的に著名な研究協力者が参加している。また、研究分担者のうち東北大学教授 Gerrit Bauer 氏と産業技術総合研究所首席研究員 Ronald Jansen 氏の 2 名は、最近、日本に頭脳流入した世界的にスピントロニクス分野を先導している理論と実験の稀有な外国人研究者である。

一方で、このようなスピン変換の物理は、ナノスケールの電子デバイスやエネルギー散逸の物理とも密接に関連している。したがって、上述のような国内外の多様な研究者が密接な連携体制をもって、スピン変換に関わる物性物理を統一的に理解し、その基礎学理を確立することは、ナノ磁気デバイスの動作原理やエネルギー散逸の物理に関するより深い知見を得ることに繋がり、従来の学問分野では注目されてこなかったスピン角運動量を媒介とする新規な運動量変換の物理体系が構築されることが強く期待される。

スピン変換科学はそれ自体、物性物理学における基本的な重要課題であるばかりでなく、金属、半導体、絶縁体といった、異種物質間の角運動量とエネルギーの変換・伝搬を横断的に理解するためのあらゆる物性物理の重要な要素を含んでいる。その解明には、従来とは全く異なる発想に基づく新たな実験手法や理論解析手法の構築が必須となる。またスピン変換科学の近年の成果は、物性物理における普遍的な学理を開拓してきた。したがって、その成果や研究手法は、物性物理学の基礎となり、ひいては我が国の物質科学全体の学術水準を押し上げ、基礎研究の質的な進展をもたらすことは確実である。

2. 研究領域の設定目的の達成度（3ページ以内）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記述してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目ごとの状況も記述してください。

【A01 磁氣的スピン変換班】

磁氣的スピン変換班では、①非線形スピンドイナミクスとスピン変換の相関物性および②スピン軌道相互作用を通じて出現する界面磁気異方性制御や新奇なスピン変換物性の開拓を二つの主研究課題として研究に取り組んできた。研究項目①に関しては、弱い強磁性体やスピングラス合金のスピンホール効果に非線形効果がスピン揺らぎと相関をもって現れることを理論と実験の両面から検証した。この現象の発見を契機として、スピン揺らぎをスピンホール効果増強に応用する実験が世界的に行われている。発展研究として、超伝導状態の準粒子によって生じるスピンホール効果が巨大な非線形応答することを発見し、A05 班の理論グループとの共同研究よりその発現機構を解明した。また、半導体/金属接合界面におけるスピン蓄積のバイアス電圧依存性に非線形な応答が現れることを発見し、それがフェルミ準位近傍の状態密度の変化に起因することを実験と理論の両面から解明した。一方で、項目②の新奇なスピン変換の探索に関しては、酸化物と非磁性金属界面においてスピン軌道相互作用を通じてラシュバスピン分裂が生じ、それによるスピン・電流相互変換現象が生じることを実験的に発見し、その発現機構を系統的な物質依存性の実験と A05 班の公募班の第一原理計算との詳細な比較から界面における電荷移動やポテンシャル分布によってその符号と大きさが決定されることを明らかにした。さらに、同様の実験手法をトポロジカル絶縁体の表面状態に応用し、52%におよぶ大きなスピン・電荷変換効率を実現した。その他、項目②の電場による効果に関しても、高抵抗磁気トンネル接合素子を用いて電場による世界最小の磁化反転エネルギー（6.3 fJ/bit）を達成した。また、フェリ磁性体における磁壁移動速度の詳細な測定より、角運動量補償温度では磁壁形状の不安定性が生じないことから磁壁移動速度が劇的に増大することを見だし、この効果が角運動量補償温度での反強磁性的スピンドイナミクスに由来することを解明した。A01 班に導入した集束イオンビーム装置を使うことで初めて純良な単結晶中に内在する空間対称性や時間反転対称性が破れたな原子層界面を抽出し、その特異な電子構造やスピン軌道相互作用をスピン変換素子に応用することができた。これにより得られた、予想以上の成果の一つとして、世界で初めて、キラル半導体において3次元のスピン変換現象である電流誘起磁化が観測された。二つ目として、新物質である非共線 Weyl 反強磁性体において従来のスピンホール効果とは質的に異なる磁気スピンホール効果が発見された。発現機構は国際共同研究を通じて、理論的にも解明された。班内外の横断的な連携研究や国際的な共同研究を通じて、研究拠点形成がなされた。

【A02 電氣的スピン変換班】

スピン変換という物理現象は異種界面においてスピン流およびスピン蓄積が誘起される現象であり、異種界面において局所的なスピン偏極が生じることを意味する。これらスピン偏極を検出するには、逆スピンホール効果を利用して起電力を発生させる等の手法が一般的であり同時に強力なツールとなってきた。本提案で目指す①新スピン変換物性現象の発見、②非線型なスピン変換現象の実現、③統一的学理の理解、を電氣的スピン変換の視座から達成するためにはスピン変換を増強又は阻害している微視的な要因が何であるか等の基礎的なスピン変換物性における知見の蓄積と従来の枠組みに捕われない新構想に基づくスピン変換機能の実現を達成することが必要であった。本研究期間を通じ、①についてはトポロジカル絶縁体の表面スピン偏極の電氣的スピン変換による計測を通じた「トポロジカルスピン変換」の実現と当該領域の創出を突破口に、結晶トポロジカル絶縁体におけるスピン変換やグラフェンへの外的なスピン軌道相互作用の導入によるトポロジカル絶縁体化の成功など、トポロジカルスピン変換というコンセプトに基づく学理の大きな広がりを実現した。②に関しては超薄膜Ptに強電界を印加することによってPtのスピン流電流変換機構を非線型かつ大幅かつ自在に変調できる新奇な非線型スピン変換を発見しスピン変換効率を決定する微

視的要因の理解を大きく進め知的財産権の創出にも至った。③に関してはスピン変換においてはスピンスと結合する物理量が枢軸的に重要であるという基盤学理の理解に至った。特にA02班では主にk(波数)とL(軌道角運動量)が前者はトポロジカルなスピン変換、後者はスピン軌道相互作用による変換として大きな役割を果たすため、極言すればスピン変換の場は遍在(ユビキタス)し、極めて多様な異種界面・表面、またバルク材料がスピン変換のステージとなりうることを理解・実証することができた。

班内・班間連携も順調に発展しA01~A05班のすべての班、及び班内の公募研究班すべてのメンバーとの共同研究による論文発表に至っており本新学術領域研究を「場」とする新しい研究の発展を十分に達成した。更に、契約書を取り交わした上での日本企業との共同研究が2件、国際共同研究も9件を数え、研究の国際化と応用展開も順調に進んだ。

【A03 光学的スピン変換班】

光学的スピン変換では、光とスピンの変換の学理構築と新機能の創出を目指し、①偏光依存/非依存超高速磁化反転における角運動量変換過程と微視的機構の解明、②光誘起マグノンの励起機構と制御、③界面スピン変換、④コヒーレント光スピン変換の4つの課題に取り組んだ。①では、反強磁性体での逆ファラデー効果や特異な超高速反強磁性共鳴など偏光依存光スピン変換の新現象と表面プラズモンによる逆ファラデー効果増大を実現した。一方、フェリ磁性体の全光型磁化反転では、国際連携を通じて、サブピコ秒領域での強い非平衡加熱状態のエネルギー散逸やスピンおよび軌道角運動量の格子系への移行など磁化反転をもたらす超高速過程でのエネルギーと角運動量移行の微視的機構を解明した。②では、世界最高レベルの時間分解顕微磁気光学システムを構築して、時間・空間的にフーリエ変換によるスピン波の分散関係の導出など画期的な方法を創出するとともに(佐藤・A04 齊藤)、ヘリシティに依存する反強磁性マグノンモードなど新しい現象を見出した(A01 小野・水上・塚本)。加えてスピン流-テラヘルツ光変換という当初予定していなかった逆光スピン変換の新しい成果も得た(水上)。③に関して、金属/絶縁体界面におけるマイクロ波誘起マグノンと伝導電子スピン流の角運動量変換を調べ、マグノン散乱によるスピンドamping変調効果により、非線形スピン流増大現象が広く一般に発現し、その非線形スピン変換によりマグノン励起を介したスピン流生成が統一的に理解できることを示した。さらにマグノン・フォノン結合モードによるスピン流生成を観測した。これらの成果は、マグノン分裂・散乱で記述されるスピン系の非線形性、さらにフォノンまで含めたスピン変換によって現れるスピントロニクス現象の基礎物性の理解に繋がるものである。④では、当初目標にした、単一光子偏光から量子ドット中の単一電子スピンへの角運動量とその重ね合わせ状態の変換を達成した(大岩・公募班)。これは光スピン変換の素過程では、光子から電子スピンへ位相情報を保持した角運動量の変換が可能であるというスピン変換の基本原則を示す結果である。さらに量子もつれという光子の量子力学的相関を導入し、1つのもつれ光子対から単一光子と量子ドット中の単一電子の対の生成に成功し、光子対から電子スピン対へもつれ相関を変換することも可能であることを示した(大岩・公募班)。これは量子情報通信だけでなく固体中の非局所もつれの生成という新たな物性研究を開拓する重要な成果である。

【A04 機械・熱的スピン変換班】

本研究班は、代表者らによる金属におけるスピンホール効果に基づくスピン流の生成・検出技術をコアに、機械工学と材料工学を専門とする分担者らとの融合により打破し、力学的運動と熱に対して角運動量変換原理に基づく物理の開拓を目的として行った。特に計画当初より、(1)電子スピンと力学的運動との角運動量変換と(2)スピン角運動量変換を利用した熱エネルギー技術体系の構築にターゲットを絞り、重点的に研究を行った。

研究班内および研究班間の協力関係がうまく形成できたことで研究は順調に進み、当初の予定通り、電流・スピン流と機械運動・熱を相互作用させる新しいエネルギー変換現象の開拓と学理構築を実現できた。まず、(1)電子スピンと力学的運動との角運動量変換においては、従来、固体材料に限られていたスピントロニ

クス研究の対象材料を、液体金属、核スピン、表面弾性波（公募班）、気体スピン（公募班）、さらにはマイクロ機械技術による磁性体カンチレバー構造にまで拡張した。特に液体金属に関する成果は、Nature Physics と Nature Material の 2 誌で独立に、新しいスピン科学の開拓を報じるニュース論文が掲載され、Spin Mechanics についてのセッションが多く、磁性の国際会議に設置されるようになった。このようなインパクトは、A04 班におけるスピントロニクス物理学（齊藤、松尾）と機械工学（小野）という従来になく新しい組み合わせによる緊密な共同研究が実現したことによってはじめて生み出された成果といえる。これらの共同研究においては、A05 班との理論共同研究が不可欠であり、実際共同研究論文が多数出版された。次に、(2)スピン角運動量変換を利用した熱エネルギー技術体系の構築においては、磁性層積層構造や反強磁性体、そして 1 次元量子スピン液体などにおけるスピン角運動量熱変換を利用した熱エネルギー技術体系が構築できた。

加えて、研究開始当初は予想もしなかった新現象がいくつも見つかった。まず、磁性絶縁体におけるスピンゼーベック効果を観測し、マグノンとフォノンの混成効果に起因するピーク構造を見出した。このことは、マグノン流に比べて長寿命なフォノン流がスピンゼーベック効果に寄与することを示唆し、スピンフォノン変換を用いた機能設計の指針を与える。また、強磁性金属 Co/反強磁性磁性体 CoO/強磁性絶縁体 YIG 接合において、スピン波強度の強い磁化配置依存性を観測した。これはマグノン版スピンバルブ効果が実現できることを意味し、マグノンによる論理回路の実現へ向けた重要な結果である。さらに Cr2O3 において、反強磁性相転移でのスピン流に対する導体絶縁体転移を見出した。この結果は、スピン流 ON/OFF 変換機能の実現を意味し、スピン流トランジスタの基礎となる重要な成果である。

【A05 スピン変換機能設計班】

A05 班では理論の立場から新しいスピン変換機能を設計し、それに伴う学理を理論的に構築し、それを実現する系を理論的に探索する役割を担っている。当初の目的は 2 つあり、第一に、(a)新しいスピン変換機能の探索・学理の構築・系の理論的探索であり、従来のスピントロニクス研究にスピン変換という視点を持ち込み、(a1)新しい理論的枠組み、(a2)新材料・新物質、(a3)界面、薄膜などの構造、の 3 つの視点からスピン変換機能探索を行うことで、第二に (b) A01～A04 実験班との連携によるスピン変換機能探索である。応募時の研究目標に照らして予想以上に研究が進展したといえる。

(a1) 新しい理論的枠組みとしては、新しい準粒子であるマグノンポーラロンの測定に関する理論構築を行ったこと、また反強磁性スキルミオンの円状の運動を利用した発信素子を理論提案し、次世代発信素子としてのスキルミオンによるスピントルク発振素子の可能性を示したことなどが成果として挙げられる。また公募班の研究成果として、反転対称性がない磁性絶縁体への直線偏光電磁波照射によるスピン流生成の理論予言があり、これは質的に新しいスピン流生成方法である。(a2) 新材料・新物質では、例えばフォノン伝搬の非相反性を、マルチフェロイック物質でのフォノンとマグノンの混成効果から理論的に示し、実験結果を説明したことや、公募班と計画班との共同研究として、反強磁性スキルミオンが遍歴電子のトポロジカルホール効果を生み出し、それがスキルミオンの移動度を増大させることを見出したことがあげられる。さらに希土類スピントロニクス実現に向けて、A05 班の理論と A04 班の実験とで共同研究を行い、GdIG でのスピンゼーベック効果の符号変化の物理を明らかにした。(a3)構造を利用したスピン変換現象については、らせん形の結晶構造を持つ結晶での電流誘起軌道磁化の異常増大の理論（公募班との共同研究）や、熱流誘起のフォノン角運動量などの新現象予言があり、さらに A01 班の実験との共同研究として、酸化物/貴金属界面 ($\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{M}$ ($\text{M}=\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Au}$)) の電子状態計算を通じて、実験での Rashba 係数の貴金属依存性の起源を明らかにするなど、広い範囲の研究を行った。(b) 実験班との連携によるスピン変換機能探索としては、上記以外にも、スピンペルチェ効果とスピネルンスト効果の初めての実験観測にかかる理論を構築するなど、多くの研究成果をあげた。このように A05 班では、理論と実験との連携を推進した結果、さまざまな形で新たな連携関係を創出し新現象の発見などの研究成果に着実に結び付けることができた。

3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1 ページ以内）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

研究領域の研究推進に於いて特に問題は生じなかった。

4. 審査結果の所見及び中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況（2ページ以内）

審査結果の所見及び中間評価において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

<審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況>

当領域採択時の審査所見では、全体的な研究計画については概ね高評価を得たが、以下のボールド部分にあるように組織の連携という観点から総括班の役割の強化や充実が重要課題と指摘された。「**5つの計画研究と公募研究を有機的に連携させて当該分野を世界的に先導していくには、総括班の果たす役割が極めて大きい。当該分野の経験豊富な研究者が総括班の連携研究者や外部評価委員として参加する計画は高く評価されるが、成果報告会などの定期的な活動以外にも日常的に連携を深めていく工夫も検討していく必要がある。**」

この所見を受けて、国内外連携研究をより促進するための次の施策を講じた。

1. 総括班主導でスピントロニクスにかかわる質の高い国際会議を開催することで、日本の当該分野の学術的プレゼンスを幅広く高める。また、分野横断的に情報交換をする場を提供し、分野を先導する国際共同研究のきっかけを作る。
 - 具体的には、H27年度に東大物性研究所のISSP国際ワークショップと共催で国際シンポジウム New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP2015)を開催した。スピントロニクスとメゾスコピック系の物理の分野横断の情報交換を計った。
 - H28年度は、理研創発物性科学研究センターと共催で、国際ワークショップ International Workshop on Nano Spin Conversion Science and Quantum Spin Dynamics を開催し、スピン変換科学と量子情報科学の両分野を世界的に先導する研究者を招き、国際的にナノスピン変換科学の認知度を上げると共に、情報交換を通じて共同研究の芽を探ることができた。
 - H29年度は、スピントロニクス関係の研究に関わる若手研究者向けのチュートリアルスクールと質の高い研究発表が多くなされる国際会議が平行開催される Spintech IX International school and conference 2017 を福岡国際会議場に於いて共催した。これにより、本研究領域に関わる若手研究者の人材育成と最先端の情報交換・発信を行った。
 - H30年度は、トポロジカル絶縁体表面状態、グラフェンや2次元物質のスピントロニクスに関わる研究を行っている若手研究者の研究成果を国際的に情報発信することを目的として One-day Symposium on Spintronic Properties of Graphene and Related 2D Materials を2018年11月22日に東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライトで開催した。
2. 公募研究代表者が孤立することを防ぐために、申請時に計画研究との共同研究の可能性を提案することを推奨した。これにより公募研究者の連携研究が円滑に進むように考慮した。
 - 本領域研究期間内に25件の公募研究が採択され、研究を実施している。共同研究も比較的順調に進行しており、5件の班内計画・公募連携、2件の班間計画・公募連携研究が実現している。
 - H28年度から、年次報告会、国際ワークショップ、個別の班主催のディスカッションミーティングを通じて、特に実験班の連携研究を強化した。
3. 総括班主導の年次報告会のほかに各班の個別あるいは合同のディスカッションミーティングを開催した。これを通じて、班内の研究に関する情報交換を行い連携研究の芽を育てる方策とした。
 - 全研究期間において、5件以上の班内連携研究、9件以上の班間連携研究を行った。
4. 総括班主導で博士課程学生のインターンシップ制度を充実させた。これにより班間共同研究や新たな共同研究の可能性を探る機会とした。
 - 全期間を通じて博士課程学生4名がこの制度を利用し班間連携共同研究の一環としてインターン

シップを行った。

5. 若手スクール・ワークショップを定期的に開催することにより、若手研究者人材育成と同時に研究者間の情報交換と共同研究の芽を育てる場を提供した。

➤ 若手スクール H27 年 9 月 24～25 日於東北大、若手ワークショップ H28 年 4 月 15 日於大阪大学。

6. 平成 27 年度から開始した国際活動支援班の活動の一つとして上述の若手インターンシップ制度を国内だけではなく、国外にも範囲を広げ若手国際インターンシップとして運営することにした。

H27 年度から 30 年度にかけて 9 名の大学院生が国際インターンシップ生として、それぞれイギリス、ドイツ、スペイン、スイスの研究機関と国際共同研究を行った。

<中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況>

評価結果の所見Aであったことを反映して採択時と同様に概ね高評価を得た。その中で注目すべきコメントは次の部分である。「・・・一方で、この分野における我が国の代表的研究者によって構成されている研究領域であることから、通常の新学術領域研究よりもはるかに高い期待値で注目されており、本研究領域発足による真の効果が明確に示されることが期待される。」

中間評価後に総括班会議で上述の「本研究領域発足による真の効果」について、議論する場を設けた。5つの研究班の班長の間での議論の結果、真の効果は、ナノスピン変換科学領域研究が発足したことが、新概念創出の起爆剤になることである。すなわち、スピン変換に関わる研究分野は、元々個々の研究者が独自に研究を遂行していた理学と工学の新興学際分野であるが、この分野に関わる研究者が集まり、情報交換しながら連携研究を展開することにより初めて、次世代の諸学問の基本概念を構築することができる。

以上の議論の結果を考慮して、次の取り組みを進めることとした。

- ① 世界に我々のスピン変換科学に関する研究成果を発信することによりスピン変換研究の認知度を向上させ、融合研究の潮流を作る。
- ② これにより、実験と理論の両面から新奇な現象を開拓し、基本概念を構築する。
- ③ 最終的には諸分野に有用な新概念を構築する。

① については、本領域主催の国際会議、INTERMAG や MMM と言ったスピントロニクスに関連する国際集会の場を利用して情報を発信する他、本領域から 3 年間連続して IEEE Magnetics の DL が選出されていることから、DL 講義の機会を利用してスピン変換に関わる研究成果を発表し、認知度を高める努力を払った。

➤ その結果、スピン変換 (spin conversion) という言葉が国際的にも認知され、通常の内内外の会議のセッション名や分類名でも使われる科学用語になった。

② については、実験と理論の両面から基本概念を構築する努力が払われた。

➤ その結果、一つのパラダイムシフトであるスピンと力学回転の変換が実験的にも理論的にも可能であることが示された。

➤ 反強磁性体にいち早く着目し、磁壁移動とスピン流伝導の観点からスピン変換研究を飛躍させた。

➤ また、バルク効果であるスピンホール効果だけでなく、界面に生じるスピン軌道相互作用を利用してスピン運動量ロッキング効果が生じること、それを生じたスピン流・電流相互変換研究を推進した。

➤ スピンホール物質の探索を従来とは異なる新物質に拡張するために、他の研究領域 (J-physics) との融合研究を推進した。

③ については、①と②の結果、

➤ 本領域でも大きく研究が進んだスピンホール効果や界面を利用した電流スピン流変換を用いて磁化にトルクを印加するスピン軌道トルクの手法が確立し、スピンオービトロニクスと呼ばれる研究分野が確立された。

➤ 反強磁性体を用いたスピントロニクス機能を開拓する反強磁性スピントロニクスと呼ばれる研究分野が確立された。

➤ 他の新学術領域との融合研究が進み、新奇なトポロジカル反強磁性体を用いた融合研究が発展した結果、従来と異なる対称性を持つ磁気スピンホール効果が発見された。この研究分野はトポロジカルスピントロニクスと呼ばれるスピントロニクスの一分野に成長した。

5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する]

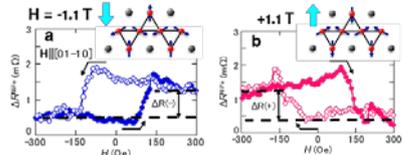
（3 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、**本研究課題により得られたものに厳に限る**こととします。

【A01 磁氣的スピン変換班】

計画研究成果

- 新物質である非共線 Weyl 反強磁性体である Mn_3Sn を用いたスピン変換実験から、従来のスピンホール効果とは質的に異なる磁気スピンホール効果を発見した。（A01 班文献[1]）
- 酸化物 ($\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{M}(\text{M}=\text{Cu,Ag,Au})$) 界面の伝導バンドにラシュバスピン分裂が生じることを発見し、第 1 原理計算との比較から発現機構を解明した。（A01 班文献[2]A05 公募班石井 GP との共同研究）
- フェリ磁性体 GdFeCo 合金の角運動量補償温度で磁壁移動速度が増大することを見だし、この効果が角運動量補償温度での反強磁性的スピンドायナミクスに由来することを明らかにした。（A01 班文献[3]）
- 半導体/金属接合を用いたスピン蓄積信号測定からバンド分散を反映した非線形性が現れることを実験と理論の両面から明らかにした。（A01 班文献[4]）
- 高抵抗磁気トンネル接合素子を用いて電場による世界最小の磁化反転エネルギー(6.3 fJ/bit)を達成した。（A01 班文献[6]）
- 超伝導体で発現する新しい非線形スピンホール効果を、非局所スピンバルブ構造におけるスピン吸収法で発見した。（A01 班文献[9]A05 班前川 GP との共同研究）
- 強磁性半導体の磁気緩和定数の大きさが電界により変調可能であり、その起源が金属-絶縁体転移に関連することを明らかにした。（A01 班文献[12]）



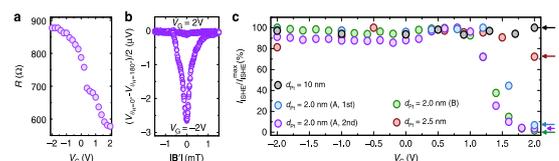
公募班成果

- キラル半導体であるテルル単結晶における Weyl 型のスピン分裂を介して、新奇な電流・スピン変換を検証した。（A01 公募班 論文投稿中）
- 反強磁性体においてスピントルク効果による磁化操作を実証した。本成果は、これまで難しいと考えられてきた反強磁性体における磁化操作における新しい物理機構を開拓・実証した先駆的研究である。（A01 公募班文献[14]）

【A02 電氣的スピン変換班】

計画研究成果

- 強磁性半導体 InFeAs 上に超伝導体 Nb ナノギャップ構造を作製し、 InFeAs の proximity 超伝導の実現に世界で初めて成功した。Fraunhofer パターンの観測と解析から InFeAs 内に 3 重項超伝導が実現されていることが明らかになった(A02 班文献[2]、公募班大矢 GP との共同研究)。
- 薄さ 2 nm という超薄膜 Pt にイオン液体ゲートを用いた強電界を印加することによって Pt のスピン流電流変換機構を非線型かつ大幅に変調できる非線型スピン変換の新しい効果を発見した(A02 班文献[3])。
- 空間反転対称性の破れたグラフェン/YIG 系におけるスピン変換機構の解明に成功した(A02 班文献[6])。
- 動力学的スピン変換による Ge 中の室温スピン輸送を達成し(A02 班文献[7])、スピン緩和機構の解明に発展した(A02 班文献[5])。



- 3次元トポロジカル絶縁体 BiSbTeSe において表面スピンを、新たな電氣的スピン変換手法によって計測しその物性を明らかにした(A02 班文献[8])。発展研究として、グラフェンにスピン軌道相互作用を導入することで理論的に予言されていたトポロジカル絶縁体への転移を検証した(A02 班文献[4])ほか、公募研究で結晶トポロジカル絶縁体 SnTe におけるスピン変換に成功(A02 公募班文献[14])した。

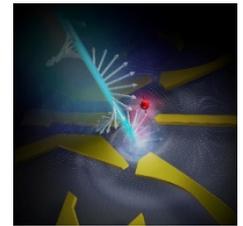
公募班成果

- 単一電子移動から生じるスピン状態の変化についてミクロなモデルによる背景学理の解明に成功した(A02 公募班文献[9])。
- van der Waals ヘテロ構造を利用した原子膜超伝導体接合系におけるジョセフソン接合の創出に成功した。((A02 公募班文献[12,15]))

【A03 光学的スピン変換班】

計画研究成果

- 単一光子から単一電子スピンへの角運動量変換と量子状態変換を達成した。(A03 班文献[1],[2]公募研究松尾グループとの共同研究)
- アモルファスフェリ磁性金属の角運動量補償点近傍において、右および左回りのヘリシティに対応する反強磁性マグノンモードを観測し、フェリ磁性体が反強磁性体のようにふるまうこと明らかにした。(論文投稿中)(A01 班小野グループとの共同研究 [3])
- 空間的光角運動量分布が制御された径偏光超短パルスビームを用いることで、偏光依存全光型磁化反転領域の局所化が可能である事を実証した。(A03 班文献[4]国際共同研究機関 Rasing の共同研究)
- 非線形スピン流増大現象が広く一般に発現することや(A03 班文献[5])、マグノン・フォノン結合モードによるスピン流生成を観測した。(A03 班文献[6])
- ビスマス添加希土類鉄ガーネット単結晶の表面上に周期的に電極をつけることで、表面プラズモンを励起し、表面増強効果により巨大な逆ファラデー効果を観測した。(A03 班文献[7])
- 光偏光状態のもつれている光子対の片方を量子ドットに照射し、それにより生成される光電子と残りの光子とを同時に検出することに成功した。(A03 班文献[8]) (公募研究松尾グループとの共同研究)
- 軌道角運動量が消失していない反強磁性体 CoO において、スピン・軌道相互作用によって数テラヘルツに達する反強磁性共鳴周波数と、大きな振動振幅を実証した。(A03 班文献[9])



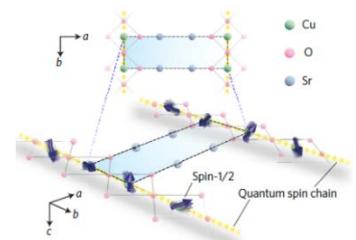
公募班成果

- マルチフェロイック基板上的表面弾性波デバイスや、空間反転対称性が破れた反強磁性体 Ba₂MnGe₂O₇ における反強磁性共鳴付近でマイクロ波非相反性の観測に成功した。(A03 班文献[11],[12])
- 電子移動、スピン転移、プロトン移動などにより磁性や電子物性等が可逆にスイッチするダイナミック物質の開発の現状をまとめた。(A03 班文献[13])

【A04 熱・的スピン変換班】

計画研究成果

- 1次元量子スピン液体における熱励起スピンの生成を検出・実証した。スピノンがスピン流のキャリアとして機能することを意味し、量子スピン演算の基礎をなすものと期待される。(A04 班文献[3])
- 磁性絶縁体におけるスピンゼーベック効果を測定し、マグノンとフォノンの混成効果に起因するピーク構造を見出した。マグノン流に比べて長寿命なフォノン流がスピンゼーベック効果に寄与することを示し、スピンフォノン変換を用いた機能設計の指針を与える。(A04 班文献[4])
- Cr₂O₃ のスピン伝導特性の温度変化を測定した結果、反強磁性相転移でのスピン流に対する導体絶縁体



- 転移を見出した。この結果は、スピン流トランジスタ開発の基礎となる結果である。(A04 班文献[2])
- 原子核の自転運動である核スピンの集団励起を介したスピン流生成に成功した。従来の電子スピン自由度に由来するスピン変換現象に加えて、核スピンの利用可能であることを実証した。(A04 班文献[1])
 - スピンゼーベック効果を利用することで、FePt 強磁性薄膜におけるスピンホール効果の観測に成功した。これは、強磁性体におけるスピンホール効果に関する先駆的成果である。(A04 班文献[7])

公募班成果

- 高速回転中の試料が周囲に作る磁場をその場観察できる装置を開発し、Gd 単体多結晶を試料に用いた実験で常磁性状態でのバーネット効果の測定に初めて成功した。(A04 公募班文献[8])
- スピン流のスピン角運動量から巨視的回転運動を生み出す最適条件を詳しく調べた。その結果、電気伝導度が高い非磁性金属の膜厚をスピン拡散長程度にすることが回転運動とスピン波の変換効率向上に重要であることが明らかになった。(A04 公募班文献[9]、研究計画齊藤グループとの共同研究)
- 農工大グループ (畠山グループ) 東北大グループと共同で、スピン偏極させた熱運動する気体からのスピン流生成法を設計し、実験で検証した。(A04 公募班文献[10])

【A05 スピン変換機能設計班】

計画研究成果

- マルチフェロイック物質でのフォノンとマグノンの混成効果からフォノンの伝播が方向依存性を持つことを理論的に示し、実験結果を説明した。(A05 班文献[1])
- スキルミオンに関連したトポロジカルスピン構造であるメロンの格子状態の予言。(A05 班文献[2])
- 希土類スピントロニクスへの第一歩として、GdIG でのスピンゼーベック効果の符号変化の理論的説明を与え、電場による磁気スイッチングにおける電気 4 重極子と磁気双極子の結合の役割を指摘した。(A04 班齊藤グループとの共同研究成果、A05 班文献[3,7])
- らせん形構造の結晶での電流誘起軌道磁化が、古典的ソレノイドと比べ巨大化する理論の構築。(A05 班文献[4])
- カイラルな結晶や極性のある結晶では、熱流がフォノンの角運動量を誘起することを示し、その実証方法として熱流により結晶全体の回転を誘起することを理論提案した。(A05 班文献[5])
- スピンペルチェ効果とスピネルンスト効果の実験観測にかかる理論を構築した。(A05 班文献[6])
- 新しい準粒子であるマグノンポーラロンのカー効果顕微鏡での測定にかかる理論およびそれによるスピンゼーベック効果の理論の構築を行った。(A05 班文献[10])

公募班成果

- 反強磁性スキルミオンの円状の運動を利用した発信素子を理論提案し、次世代発信素子としてのスキルミオンによるスピントルク発振素子の可能性を示した。(A05 班文献[11])
- 反転対称性がない磁性絶縁体への直線偏光電磁波照射による DC スピン流生成理論。(A05 班文献[12])
- 酸化物/貴金属界面 (Bi2O3/M(M=Cu,Ag,Au)) の電子状態計算をおこない、実験から見積もられた Rashba 係数の貴金属依存性の起源を明らかにした。(A01 班大谷グループとの共同研究成果、A05 班文献[13])
- 人工反強磁性である Co/Ru/Co 薄膜での磁区構造と動力学を明らかにし、トポロジカル欠陥が重要な役割を果たすことを見出した。(A05 班多々良グループとの共同研究成果、A05 班文献[14])
- 反強磁性スキルミオンが遍歴電子のトポロジカルホール効果を生み出し、それがスキルミオンの移動度を増大させることを見出した。(A04 班齊藤グループとの共同研究成果、A05 班文献[15])

6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究発表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したものについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

【A01 班磁気的スピン変換班】

（論文）融合研究は、物性物理学と電子工学(電子)、機械工学(機械)、量子情報(量子)、材料工学(材料)として分類されている。

- ◎(電子)▲M. Kimata, H. Chen, K. Kondou, S. Sugimoto, P-K. Muduli, M. Ikhlas, Y. Omori, T. Tomita, A-H. MacDonald, S. Nakatsuji, and *Y. Otani, "Magnetic and magnetic inverse spin Hall effects in a non-collinear antiferromagnet", Nature, 査読有, 565, 627-630, 2019.
- ◎(材料)▲H. Tsai, S. Karube, *K. Kondou, N. Yamaguchi, F. Ishii, and Y. Otani, "Clear variation of spin splitting by changing electron distribution at non-magnetic metal/Bi₂O₃ interfaces", Scientific Reports 8, 5564-1~8, 2018.
- ◎(電子)▲K.-J. Kim, S. K. Kim, Y. Hirata, S.-H. Oh, T. Tono, D.-H. Kim, T. Okuno, W. S. Ham, S. Kim, G. Go, Y. Tserkovnyak, A. Tsukamoto, T. Moriyama, K.-J. Lee, T. Ono, "Fast Domain Wall Motion in the Vicinity of the Angular Momentum Compensation Temperature of Ferrimagnets" Nature Materials, 査読有, 16, 1187-1192, 2017.
- ◎(電子)▲A. Spiesser, H. Saito, Y. Fujita, S. Yamada, K. Hamaya, S. Yuasa and *R. Jansen, "Giant spin accumulation in silicon nonlocal spin-transport devices", Phys. Rev. Appl. 8, 064023-1~10, 2017.
- ◎(電子)▲K. Kondou, R. Yoshimi, A. Tsukazaki, Y. Fukuma, J. Matsuno, K. S. Takahashi, M. Kawasaki, Y. Tokura, and Y. Otani, "Fermi-level-dependent charge-to-spin current conversion by Dirac surface states of topological insulators", Nature Physics, 査読有, 12, 1027-1031, 2016
- ◎(材料)▲S. Kanai*F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field-induced magnetization switching in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with high junction resistance", Appl. Phys. Lett., 査読有, 108, 192406-1~3, 2016.
- ◎(電子)▲ Y. Yoshimura, K-J. Kim, T. Taniguchi, T. Tono, K. Ueda, R. Hiramatsu, T. Moriyama, K. Yamada, Y. Nakatani and *T. Ono, "Soliton-like magnetic domain wall motion induced by the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction", Nature Physics, 査読有, 12, 157-162, 2016.
- ◎(材料)▲ *Y. Niimi, M. Kimata, Y. Omori, B. Gu, T. Ziman, S. Maekawa, A. Fert, and Y. Otani, "Strong suppression of the spin Hall effect in the spin glass state", Phys. Rev. Lett., 査読有, 115, 196602-1~5, 2015.
- ◎(材料)▲ T. Wakamura, H. Akaike, Y. Omori, Y. Niimi, S. Takahashi, A. Fujimaki, S. Maekawa, and *Y. Otani "Quasiparticle-mediated spin Hall effect in a superconductor", Nature Materials, 査読有, 14, 675-678, 2015.
- ◎(材料)▲ *T. Moriyama, N. Matsuzaki, K-J. Kim, I. Suzuki, T. Taniyama and *T. Ono, "Sequential write-read operations in FeRh antiferromagnetic memory", Appl. Phys. Lett., 査読有, 107, 122403-1~4, 2015.
- ◎(電子)▲ X. Cui, S. Hu, M. Hidegara, and *T. Kimura, "Sensitive detection of vortex-core resonance using amplitude-modulated magnetic field" Sci. Rep., 査読有, 5, 17922-1~6, 2015.
- ◎(材料) ▲L. Chen, F. Matsukura and H. Ohno, " Electric-field modulation of damping constant in a ferromagnetic semiconductor (Ga,Mn)As", Physical Review Letters, 査読有, 115, 057204-1~5, 2015.

公募研究

- ◎(材料)▲ T. Nomura, X.-X. Zhang, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, Y. Tokura, N. Nagaosa, S. Seki, "Phonon Magnetochiral Effect", Phys. Rev. Lett., 査読有, 122, 145901-1~4, 2019.
- ◎(電子)▲T. Moriyama, K. Oda, T. Ohkochi, M. Kimata, and T. Ono, "Spin torque control of antiferromagnetic moments in NiO" Scientific Reports, 査読有, 8, 14167-1~6, 2018.
- ◎(電子)▲ *Shinji Miwa, Junji Fujimoto, Philipp Risius, Kohei Nawaoka, Minoru Goto, and Yoshishige Suzuki, "Strong bias effect on voltage-driven torque at epitaxial Fe-MgO interface", Physical Review X, 査読有, 7,

031018-1~9, 2017.

(国際会議招待講演)7件(2014),21件(2015),26件(2016),28件(2017),51件(2018)計133件, (国内会議招待講演)7件(2014),8件(2015),10件(2016),20件(2017),13件(2018)計58件, (成果発信)雑誌への記事掲載による啓蒙活動2件(2015年): 広報誌・プレス発表3件(2015年), : (国際会議) New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP2015) (参加者約300名、英語講演), International Workshop on Nano Spin Conversion Science and Quantum Spin Dynamics (NSCQSD2016) (参加者約300名、英語講演), One-day Symposium on Spintronic Properties of Graphene and Related 2D Materials (参加者約150名、英語講演)

【A02 班電氣的スピン変換班】

- 1) ◎(材料)▲公募班との共同研究(斉藤・大矢)T. Kanaki, S. Matsumoto, S. K. Narayananelloré, H. Saito, Y. Iwasa, M. Tanaka, and *S. Ohya, "Room-temperature side-gate-induced current modulation in a magnetic tunnel junction with an oxide-semiconductor barrier for vertical spin MOSFET operation", Appl. Phys. Express, 査読有, 12, 023009-1~4, 2019.
- 2) ◎(量子)▲公募班との共同研究(勝本・大矢)*T. Nakamura, L. D. Anh, Y. Hashimoto, S. Ohya, M. Tanaka and S. Katsumoto, "Evidence for Spin-Triplet Electron Pairing in the Proximity-Induced Superconducting State of an Fe-Doped InAs Semiconductor", Phys. Rev. Lett., 査読有, 122,107001-1~5, 2019.
- 3) ◎(材料)▲*S. Dushenko, M. Hokanozo, K. Nakamura, Y. Ando, T. Shinjo and *M. Shiraishi, "Tunable inverse spin Hall effect in nanometer-thick platinum films by ionic gating", Nature Communications, 査読有, 9, 3118~1-7, 2018.
- 4) ◎(材料)▲K. Hatsuda, H. Mine, T. Nakamura, J. Li, R. Wu, S. Katsumoto and *J. Haruyama, "Evidence for a quantum spin Hall phase in graphene decorated with Bi₂Te₃ nanoparticles", Science Advances, 査読有, 4, eaau6915-1~7, 2018.
- 5) ◎(材料)▲M. Yamada, Y. Fujita, M. Tsukahara, S. Yamada, K. Sawano, and *K. Hamaya, "Large impact of impurity concentration on spin transport in degenerate n-Ge", Physical Review B, 査読有, 95, 161304(R)-1~5, 2017.
- 6) ◎(材料)▲S. Dushenko, H. Ago, K. Kawahara, T. Tsuda, S. Kuwabata, T. Takenobu, T. Shinjo, Y. Ando and *M. Shiraishi, "Gate-tunable spin-charge conversion and a role of spin-orbit interaction in graphene", Phys. Rev. Lett., 査読有, 116, 166102-1~6, 2016.
- 7) ◎(材料)▲S. Dushenko, M. Koike, Y. Ando, T. Shinjo, M. Myronov and *M. Shiraishi, "Experimental demonstration of room-temperature spin transport in n-type Germanium epilayers", Phys. Rev. Lett., 査読有, 114, 196602, 2015.
- 8) ◎(材料・量子)▲*Yu. Ando, T. Hamasaki, T. Kurokawa, F. Yang, M. Novak, S. Sasaki, K. Segawa, Yo. Ando and *M. Shiraishi, "Electrical Detection of the Spin Polarization Due to Charge Flow in the Surface State of the Topological Insulator Bi_{1.5}Sb_{0.5}Te_{1.7}Se_{1.3}", Nano Lett., 査読有, 14, 6226~6230, 2014.
公募研究
- 9) ◎(量子)▲*T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, P. Stano, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, S. Li, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and *S. Tarucha, "Difference in charge and spin dynamics in a quantum dot-lead coupled system", Physical Review B, 査読有, 99, 085402-1-5, 2019.
- 10) ◎(材料)▲Y. Sata, *R. Moriya, N. Yabuki, S. Masubuchi, *T. Machida, "Heat Transfer at the van der Waals Interface between Graphene and NbSe₂", Physical Review B, 査読有, 98, 035422-1~7, 2018.
- 11) ◎(材料)▲T. Ishii, H. Yamakawa, T. Kanaki, T. Miyamoto, N. Kida, H. Okamoto, M. Tanaka, and *S. Ohya, "Ultrafast magnetization modulation induced by the electric field component of a terahertz pulse in a ferromagnetic-semiconductor thin film", Sci. Rep., 査読有, 8, 6901/1-6, 2018.
- 12) ◎(材料)▲Y. Yamasaki, *R. Moriya, M. Arai, S. Masubuchi, S. Pyon, T. Tamegai, K. Ueno, *T. Machida, "Exfoliation and van der Waals Heterostructure Assembly of Intercalated Ferromagnet Cr_{1/3}TaS₂", 2D Materials, 査読有, 4, 041007-1~10, 2017.
- 13) ◎(量子)▲*T. Otsuka, T. Nakajima, M. R. Delbecq, S. Amaha, J. Yoneda, K. Takeda, G. Allison, P. Stano, A. Noiri, T. Ito, D. Loss, A. Ludwig, A. D. Wieck, and *S. Tarucha, "Higher-order spin and charge dynamics in a quantum dot-lead hybrid system", Scientific Reports, 査読有, 7, 12201-1-7, 2017.
- 14) ◎(材料・量子)▲*S. Ohya, A. Yamamoto, T. Yamaguchi, R. Ishikawa, R. Akiyama, L. D. Anh, S. Goel, Y. K. Wakabayashi, S. Kuroda, and M. Tanaka, "Observation of the inverse spin Hall effect in the topological crystalline insulator SnTe using spin pumping", Phys. Rev. B, 査読有, 96, 094424/1-5, 2017.

- 15) ◎(材料)▲N. Yabuki, *R. Moriya, M. Arai, Y. Sata, S. Morikawa, S. Masubuchi, and *T. Machida, “Supercurrent in van der Waals Josephson junction”, Nature Comm., 査読有, 7, 10616-1~5, 2016.
 (国際会議招待講演)0件(2014),12件(2015),5件(2016),2件(2017),9件(2018)計28件, (国内会議招待講演)2件(2014),7件(2015),3件(2016),7件(2017),4件(2018)計23件 : (成果発信)雑誌への記事掲載による啓蒙活動2件(2014)4件(2015) : プレス発表1件(2014),1件(2015),1件(2016)3件(2017),1件(2018)計7件: 高校への出張講義2件(2015)1件(2016)1件(2018): 一般向け講演会1件(2017),2件(2018)(ワークショップ)「ナノスピン変換関西若手ワークショップ」(参加者約90名、英語講演)

【A03 班 光学的スピン変換班】

- 1) ◎(材料)▲*T. Fujita, K. Morimoto, H. Kiyama, G. Allison, M. Larsson, A. Ludwig, S. R. Valentin, A. D. Wieck, A. Oiwa and S. Tarucha, “Angular momentum transfer from a single-photon polarization to an electron spin in a gate defined quantum dot”, Nature comm. 査読有, 10, 2991, 2019.
- 2) ◎(材料)▲K. Kuroyama, M. Larsson, J. Muramoto, K. Heya, T. Fujita, G. Allison, S. R. Valentin, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Matsuo, A. Oiwa, *S. Tarucha, “Photogeneration of a single electron from a single Zeeman-resolved light-hole exciton with preserved angular momentum”, Phys. Rev. B **99**, 85203 (2019).
- 3) ◎(材料)▲*S. Mizukami, Y. Sasaki, D.-K. Lee, H. Yoshikawa, A. Tsukamoto, K.-J. Lee, and T. Ono, “Laser-induced antiferromagnetic-like resonance in amorphous ferrimagnets”, arXiv:1808.05707.
- 4) ◎(材料)▲S. Wang, C. Wei, Y. Feng, Y. Cao, H. Wang, W. Cheng, C. Xie, A. Tsukamoto, A. Kirilyuk, Theo Rasing, A. V. Kimel, and X. Li, “All-optical helicity-dependent magnetic switching by first-order azimuthally polarized vortex beams”, Appl. Phys. Lett., 査読有, 113, 171108-1~5, 2018.
- 5) ◎(電子)▲H. Sakimura, T. Tashiro, and, K. Ando, “Nonlinear spin-current enhancement enabled by spin-damping tuning,” Nature Communications, 査読有, 5, 5730, 2014.
- 6) ◎(材料)▲ H. Hayashi and *K. Ando, “Spin Pumping Driven by Magnon Polarons”, Physical Review Letters, 査読有, 121, 237202, 2018.
- 7) ◎(材料)▲A. L. Chekhov, *T. Satoh, et al., “Surface plasmon-mediated nanoscale localization of laser-driven sub-THz spin dynamics in magnetic dielectrics”, Nano Letters, 査読有, 18, 2970~2975, 2018.
- 8) ◎(量子)▲K. Kuroyama, M. Larsson, S. Matsuo, T. Fujita, S. R. Valentin, A. Ludwig, A. D. Wieck, A. Oiwa, and S. Tarucha, “Single electron-photon pair creation from a single polarization-entangled photon pair”, Scientific Reports, 査読有, 7, 2045, 2017.
- 9) ◎(材料)▲*T. Satoh, et al., “Excitation of coupled spin-orbit dynamics in cobalt oxide by femtosecond laser pulses”, Nature Communications, 査読有, 8, 638-1~6, 2017.
- 10) ◎(材料)▲Y. Ishii, R. Sasaki, Y. Nii, T. Ito, and *Y. Onose “Magnetically Controlled Surface Acoustic Waves on Multiferroic BiFeO₃”, Physical Review Applied, 査読有, 9, 03434-1~4, 2018.
- 11) ◎(材料)▲R. Sasaki, Y. Nii, and *Y. Onose “Surface acoustic wave coupled to magnetic resonance on multiferroic CuB₂O₄”, Physical Review B, 査読有, 99, 014418-1~8, 2019.
- 12) ◎(電子)▲Y. Iguchi, Y. Nii, M. Kawano, H. Murakawa, N. Hanasaki, and Y. Onose “Microwave nonreciprocity of magnon excitations in the noncentrosymmetric antiferromagnet Ba₂MnGe₂O₇”, Physical Review B, 査読有, 98, 064416, 2018.
- 13) ◎(材料)▲*Osamu Sato, “Dynamic Molecular Crystals with Switchable Physical Properties”, Nature Chem., 査読有, 8, 644-656, 2016.
 (国際会議招待講演)10件(2014),15件(2015),15件(2016),16件(2017),13件(2018)計69件, (国内会議招待講演)10件(2014),4件(2015),7件(2016),14件(2017),9件(2018)計44件 : (成果発信)雑誌への記事掲載による啓蒙活動2件(2015年)1件(2016年) : プレス発表1件(2014年),1件(2015年)

【A04 班 機械・熱的スピン変換班】

- 1) ▲ *Y. Shiomi, J. Lustikova, S. Watanabe, D. Hirobe, S. Takahashi and E. Saitoh, “Spin pumping from nuclear

- spin waves”, Nat. Phys., 査読有, 15-22~26 (2019)
- 2) ▲ *Z. Qiu, D. Hou, J. Barker, K. Yamamoto, O. Gomonay and E. Saitoh, “Spin colossal magnetoresistance in an antiferromagnetic insulator”, Nat. Mat., 査読有, 17, 577~580, 2018.
 - 3) ▲ *D. Hirobe, M. Sato, T. Kawamata, Y. Shiomi, K. Uchida, R. Iguchi, Y. Koike, S. Maekawa and E. Saitoh, “One-dimensional spinon spin currents”, Nat. Phys., 査読有, 13-30~34, 2017.
 - 4) ▲ *T. Kikkawa, K. Shen, B. Flebus, R.A. Duine, K. Uchida, Z. Qiu, G.E. Bauer, and E. Saitoh, “Magnon Polarons in the Spin Seebeck Effect”, Phys. Rev. Lett., 査読有, 117-207203, 2016.
 - 5) ▲ *D. Hou, Z. Qiu, R. Iguchi, K. Sato, E.K. Vehstedt, K. Uchida, G.E.W. Bauer, and E. Saitoh, “Observation of temperature-gradient-induced magnetization”, Nat. Comm., 査読有, 7,12265_1-6, 2016.
 - 6) ▲ *R. Takahashi, M. Matsuo, M. Ono, K. Harii, H. Chudo, S. Okayasu, J. Ieda, S. Takahashi, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Spin hydrodynamic generation”, Nat. Phys., 査読有, 12-52~56 (2015)
 - 7) ▲ *T. Seki, K. Uchida, T. Kikkawa, Z. Qiu, E. Saitoh, and K. Takanashi, “Observation of inverse spin Hall effect in ferromagnetic FePt alloys using spin Seebeck effect”, Appl. Phys. Lett., 査読有, 107, 092401-1~4 (2015).
 - 8) ◎ (機械) ▲ *M. Ono, H. Chudo, K. Harii, S. Okayasu, M. Matsuo, J. Ieda, R. Takahashi, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Barnett effect in paramagnetic states: Revisiting a method for determining gyromagnetic ratio”, Phys. Rev. B, 査読有, 92-174424 (2015).
 - 9) ◎ (機械) ▲ 公募研究 G. Okano, M. Matsuo, Y. Ohnuma, S. Maekawa, and *Y. Nozaki, “Nonreciprocal Spin Current Generation in Surface-Oxidized Copper Films”, Physical Review Letters, 査読有, accepted (2019).
 - 10) ◎ (材料) ▲ 公募研究 *N. Sekiguchi, K. Okuma, H. Usui, and A. Hatakeyama, “Scattering of an alkali-metal atomic beam on anti-spin-relaxation coatings”, Phys. Rev. A, 査読有, 98-042709 (2018).
 - 11) ◎ (機械) ▲ 公募研究 D. Kobayashi, T. Yoshikawa, M. Matsuo, R. Iguchi, S. Maekawa, E. Saitoh, and *Y. Nozaki, “Spin Current Generation Using a Surface Acoustic Wave Generated via Spin-Rotation Coupling”, Physical Review Letters, 査読有, 119-077202-1~5 (2017).

<書籍>

E. Saitoh, K. Takanashi, et al. “Spin Current” Second Edition, Oxford University Press, 2017, 520(3-32, 33-47, 264-272, 322-347, 493-508).

E. Saitoh, K. Takanashi, et al. “Spintronics for Next Generation Innovative Devices”, John Wiley & Sons, 2015, 255(1-19, 43-75).

(国際会議招待講演)17 件(2014),24 件(2015),18 件(2016),17 件(2017),9 件(2018)計 85 件, (国内会議招待講演)3 件(2014),4 件(2015),2 件(2016),6 件(2017),2 件(2018)計 17 件計 92 件 : (成果発信)広報誌・プレス発表 2 件(2015 年)、: 一般向けのアウトリーチ活動 14 件 (2015 年 1 件、2016 年 3 件、2017 年 7 件、2018 年 3 件)

【A05 スピン変換機能設計班】

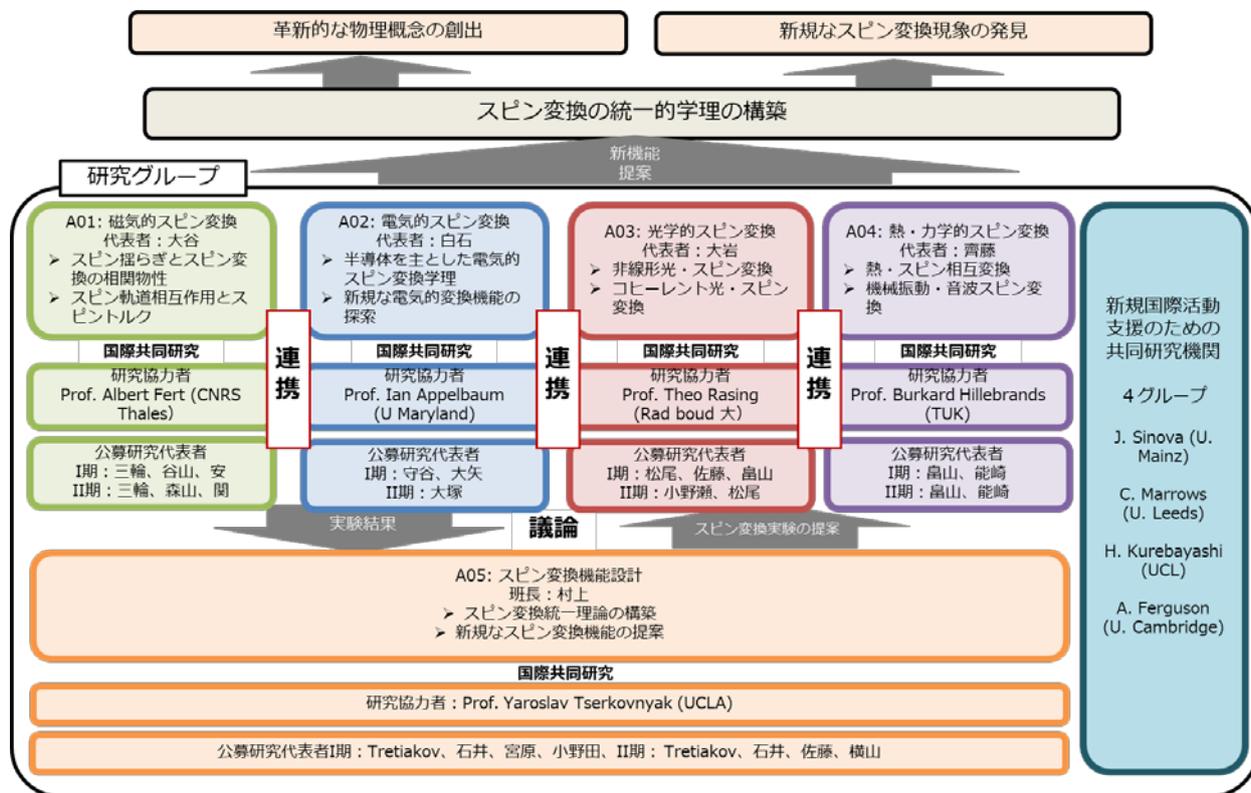
- 1) ◎ (材料)▲ T. Nomura, X.-X. Zhang, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, Y. Tokura, N. Nagaosa, and S. Seki, “Phonon Magnetochiral Effect”, Phys. Rev. Lett. 査読有 122, 145901, 2019.
- 2) ▲ X. Z. Yu, W. Koshibae, Y. Tokunaga, K. Shibata, Y. Taguchi, N. Nagaosa, and Y. Tokura, “Transformation between meron and skyrmion topological spin textures in a chiral magnet”, Nature 査読有 564, 95-98, 2018.
- 3) ◎ (材料)▲ A. O. Leon, A. B. Cahaya, and G.E.W. Bauer, Voltage control of interface rare-earth magnetic moments, Phys. Rev. Lett. 査読有, 120, 027201, 2018.
- 4) ▲ 公募班との共同研究(村上・横山)T. Yoda, T. Yokoyama, S. Murakami, Orbital Edelstein Effect as a Condensed-Matter Analog of Solenoids, Nano Letters 査読有, 18,916-920, 2018.
- 5) ◎ (機械)▲ M. Hamada, E. Minamitani, M. Hirayama, S. Murakami, Phonon Angular Momentum Induced by the Temperature Gradient, Physical Review Letters 査読有, 121, 175301, 2018.
- 6) ▲ S. Meyer, Y. Chen, S. Wimmer, M. Althammer, S. Geprägs, H. Huebl, D. Ködderitzsch, H. Ebert, G. E.W. Bauer, R. Gross, S. T.B. Gönnerwein, Observation of the spin Nernst effect, Nature Materials 査読有, 16, 977-981, 2017.
- 7) ◎ (材料)▲ 計画班内、および A04 班との共同研究(パウアー・前川・齊藤)S. Geprägs, A. Kehlberger, F. D. Coletta, Z. Qiu, E.-J. Guo, T. Schulz, C. Mix, S. Meyer, A. Kamra, M. Althammer, H. Huebl, G. Jakob, Y. Ohnuma, H. Adachi, J. Barker, S. Maekawa, G. E.W. Bauer, E. Saitoh, R. Gross, S. T.B. Goennenwein, and M. Kläui, Origin of the spin Seebeck effect in compensated ferrimagnets, Nature Commun., 査読有, 7, 10452, 2016.

- 8) ▲T. Kikuchi, T. Koretsune, R. Arita, G. Tatara, “Dzyaloshinskii-Moriya interaction as a consequence of a Doppler shift due to spin-orbit-induced intrinsic spin current”, Phys. Rev. Lett., 査読有, 116, 247201, 2016. (PRL Editors’ Suggestion)
 - 9) ▲G. Tatara, “Thermal Vector Potential Theory of Transport Induced by a Temperature Gradient”, Phys. Rev. Lett., 査読有, 114, 196601, 2015.
 - 10) ▲K. Shen and G.E.W. Bauer, “Laser-induced spatiotemporal dynamics of magnetic films”, Phys. Rev. Lett., 査読有, 115, 197201, 2015.
 - 11) ◎(機械)▲L. Shen, J. Xia, G. Zhao, X. Zhang, M. Ezawa, Oleg A. Tretiakov, X. Liu, and Y. Zhou, “Spin torque nano-oscillators based on antiferromagnetic skyrmions”, Applied Physics Letters, 査読有, 114, 042402-1~5, 2019.
 - 12) ▲H. Ishizuka, and M. Sato, “Rectification of Spin Current in Inversion-Asymmetric Magnets with Linearly Polarized Electromagnetic Waves”, Phys. Rev. Lett. 査読有、122, 197702, 2019.
 - 13) ◎(材料)▲A01 計画班との共同研究(石井・大谷)H. Tsai, S. Karube, K. Kondou, N. Yamaguchi, E. Ishii, Y. Otani, “Clear variation of spin splitting by changing electron distribution at non-magnetic metal/Bi₂O₃ interfaces”, Scientific Reports, 査読有, 8, 5564-1~8, 2018.
 - 14) ◎(材料)▲A. G. Kolesnikov, V. S. Plotnikov, E. V. Pustovalov, A. S. Samardak, L. A. Chebotkevich, A. V. Ognev, and Oleg A. Tretiakov, “Composite topological structure of domain walls in synthetic antiferromagnets”, Scientific Reports 査読有, 8, 15794-1~11, 2018.
 - 15) ▲計画班との共同研究(Tretiakov・多々良) C. A. Akosa, O. A. Tretiakov, G. Tatara, and A. Manchon, “Theory of the Topological Spin Hall Effect in Antiferromagnetic Skyrmions: Impact on Current-Induced Motion”, Physical Review Letters 査読有, 121, 097204-1~6, 2018.
 - 16) ◎(材料)▲Troels Arnfred Bojesen, S. Onoda, “Quantum spin ice under a [111] magnetic field: from pyrochlore to kagome”, Physical Review Letters, 査読有, 119, 227204-1~5, 2017.
 - 17) ◎(材料)▲A04 計画班との共同研究(佐藤・齊藤)D. Hirobe, M. Sato, Y. Shiomi, H. Tanaka, and E. Saitoh, “Magnetic thermal conductivity far above the Néel temperatures in the Kitaev-magnet candidate α -RuCl₃”, Phys. Rev. B 査読有, 95, 241112(R), 1-5, 2017. Editors’ Suggestion.
- (国際会議招待講演)13 件(2014), 63 件(2015), 58 件(2016), 66 件(2017), 40 件(2018) 計 240 件, (国内会議招待講演) 4 件 (2014), 6 件 (2015), 0 件(2016), 7 件(2017), 6 件(2018)計 23 件 : (成果発信)雑誌への記事掲載による啓蒙活動 0 件(2014 年)2 件(2015 年) : プレス発表 0 件(2014 年), 1 件(2015 年)

7. 研究組織（公募研究を含む。）と各研究項目の連携状況（2 ページ以内）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、総括班研究課題の活動状況も含め、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

ナノスピントランジション科学研究項目、研究組織相関図

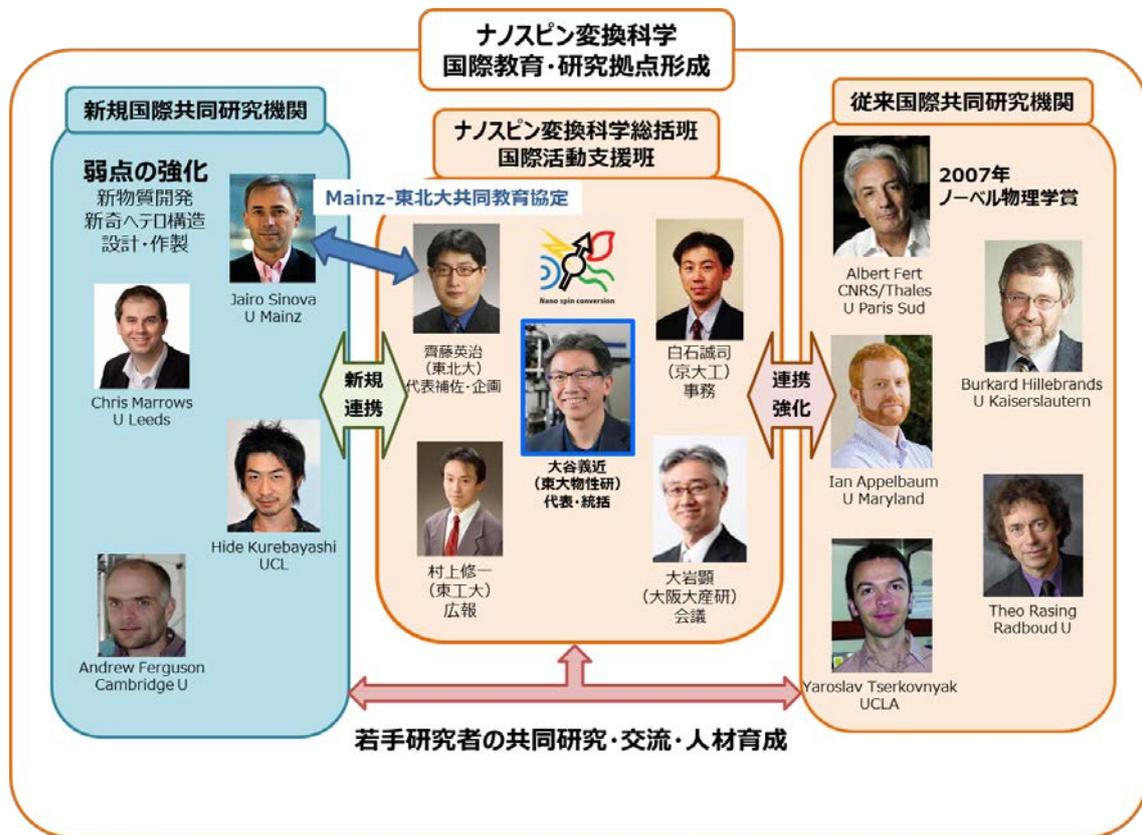


我が国の研究者が国際的に研究を先導してスピントラジション研究拠点を形成できるように研究組織を構成した。上図は研究組織相関図である。研究班の構成は、スピントラジションの変換形態に基づいている。すなわち、電流・電圧、光・電磁波、熱流といった外部入力がある界面における交換相互作用やスピントラジション相互作用を介して磁気的、光学的あるいは機械・熱的に相互に変換される。これらのスピントラジションプロセスに基づき、A01 磁気的スピントラジション、A02 電気的スピントラジション、A03 光学的スピントラジション、A04 機械・熱的スピントラジションの4つの実験の計画研究班を設けた。また、全ての変換プロセスが異種物質界面を経由して発現する遍歴スピントラジション、マグノン、フォノン、フォトン等の準粒子間の相互変換現象であることから、A05 班として理論の立場から、準粒子間の変換現象の学理を探索し、新たなスピントラジション機能を提案・設計する研究班を設けた。この班は領域全体の有機的な連携研究体制を保持するための一種の糊としての役割を果たす。この班と各変換現象に関係する4つの研究班との連携研究またそれぞれの班の研究協力者との国際共同研究を核として、新界面構造そして新スピントラジション機能の提案、最終的にはスピントラジション学理体系の構築を目指す。

公募研究には、物理学、応用物理、電子工学、光科学、材料科学など異分野同士の連携を通じて本領域に広がりを持たせる役割の一部を担わせるとともに、新しい視点からの研究展開の可能性を求めた。また、公募研究代表者が孤立することを防ぐために、申請時に計画研究班との共同研究の可能性を提案することを推奨した。これにより公募研究者の連携研究が円滑に進むように考慮した。全研究期間で本領域研究に参画した公募研究者は、A01 班6名、A02 班3名、A03 班4名、A04 班4名、A05 班8名の合計25名が研究を遂行している。前述の「5. 主な研究成果」でも述べたように、A01 班の公募研究では「キラル半導体テルル単結晶をもちいた Weyl 型の電流・スピントラジションの実証」や「反強磁性体においてスピントラジション効果による磁化操作の実証」、A02 班の「強磁性半導体 InFeAs 上に形成された超伝導体 Nb ナノギャップ構造

を用いた3重項超伝導の実現」や「結晶トポロジカル絶縁体 SnTe におけるスピン流・電流変換現象の観測」、A03 班の「単一光子から単一電子スピンへの角運動量変換と量子状態変換」や A04 班の、「スピン流のスピン角運動量から巨視的回転運動を生み出すスピン回転結合の実験的検証」などを含む多くの連携研究の成果が出ており、上述の組織が良好に機能したと考えている。

スピントロニクスに関わる近年の研究動向は、多くの新しいスピン流に関わる物理現象が日本から発信されている。その結果、スピントロニクス研究は物質科学に実験と理論の両面から多くの知見を与え、活発かつ魅力的な研究分野に成長し、実際に役に立つスピン変換応用に直結する基礎研究として本新学術領域研究「ナノスピン変換科学」の発足に至っている。しかしながらこの新学術領域研究は基礎学理の構築に重きを置いており、この分野の更なる飛躍の鍵を握る新物質開発が手薄であることが危惧され始めている。一方で、日本発のスピン変換研究に啓発され、英、独、仏、米でも新しいスピン変換材料として金属から有機物まで含む多様な物質のヘテロ構造の開発に主眼を置いた同規模の研究プロジェクトが走り始めている。この状況を考慮して、本領域研究が中心となって世界規模の連携ネットワークを構築し、欧米の研究機関と相補的な国際共同研究を推進することにより新物質開発研究の強化を図る計画を立案し、遂行した。



更に、既存の共同研究を機軸とした人材育成研究拠点を形成する事は極めて重要で、迅速な対応が必要とされている。このような状況を考慮して、スピン変換科学の研究分野で重要性が増す新しいヘテロ構造、原子層構造をスピン変換研究に取り込むために、上図に示すように、従来の5共同研究機関に加えて新たに英国のリーズ大の Chris Marrows 教授グループ、ケンブリッジ大の Andrew Ferguson 主任研究員グループ、UCL の紅林講師グループ、独国のマインツ大 Sinova 教授グループを新規共同研究先として連携先に組み込んだ。また、より柔軟に世界の研究動向に対応するために他の共同研究先を状況に応じて加えることにした。これにより研究面では、ラシュバ・エデルシュタイン効果等のスピン変換に関わる諸現象が発現する舞台である新奇なヘテロ構造や新物質の開発も含めた国際的なスピン変換研究を遂行することが可能となり、若手研究者交流の選択肢を広げることが可能となった。この枠組みを利用して、9名の大学院生がイギリス、ドイツ、スペイン、スイスの研究機関と国際共同研究を行った。

8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む。）（1 ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について記述してください（総括班における設備共用等への取組の状況を含む。）。

【設備の有効活用】

本領域研究計画に於いて購入した班内共有設備に関して状況を以下に述べる。基本的にすべての研究班に於いて、班間・班内連携研究を活発に行う中で、本新学術領域研究予算で購入した設備をその連携研究に直接的に活用（共同研究グループとの人的交流による装置のマシントイムの供与も含む）することで経費の効率的使用に尽力した。

A01 磁氣的スピン変換班では集束イオンビーム微細加工装置を購入した。H26 年度に本装置が納入された後、H27 年度前半に立ち上げを完了した。H27 年度後半に本装置を使用してナノスケールの素子の作製するプロセスを最適化し、確立した。H28 年度から班間連携研究として共同研究に活用し、現在まで運用している。セクション 2. 研究領域の設定目的の達成度および 5. 主な研究成果でも述べたように、これにより、予想以上の成果のとして、キラル半導体において 3 次元のスピン変換現象である電流誘起磁化が世界で初めて観測された他、新物質である非共線 Weyl 反強磁性体において従来のスピンホール効果とは質的に異なる磁気スピンホール効果が実験的に発見された。A02 電氣的スピン変換班の界面スピン変換構造作製装置は H26 年度中に納入・稼働しており、白石と浜屋による Fe_3Si 系スピン変換素子作製や、白石と A01 公募班の三輪との Bi 系スピン変換素子作製(A02 班研究計画参照)などの班内・班間共同研究に十全に活用されている。また齊藤チームに納入された光学測定系は齊藤と A03 班大野との共同研究の効率的推進に活用されている。A03 光学的スピン変換の分担者が所属する東北大学原子分子高等研究機構ではポンプ・プローブ用面内電磁石を導入し、既存の時間分解磁気光学効果測定系に組み込んで、時空間分解顕微磁気光学効果測定系を構築し、共同研究のための共有設備として活用した。他班から入手した試料の時間分解顕微磁気光学効果測定を行った。A04 機械・熱的スピン変換班では、H26 年度後半に MEMS 加工に利用するためのマグネトロンスパッタ装置を東北大に導入し、東北大グループ原研グループで共同運用した。H27 年度にデジタルオシロスコープ、マイクロ波アナログ信号発生器、ロックインアンプを購入し、現有のドップラーメーターを組み合わせたフォノン分光測定装置を組み上げ、共通利用装置として東北大学に設置した。既に、能崎公募研究者や他班研究者（A01 班大谷）、班内研究者（小野、齊藤）等に利用されており、本領域独自の共通装置として頻繁に活用されている。A05 班は、理論研究を主体とする班のため、基本的に共通設備は所有しないが、領域内の実験グループとの連携研究を促進するために H28 年度に計算用クラスターを購入し、数値計算によるデータ解析能力を強化した。総括班が主体となり班間連携の可能性を探るために A05 班と他班共同の研究會等を定期的開催した。

・研究費の使用状況（（１），（２），（３）を合わせて３ページ以内）

（１）主要な物品明細（計画研究において購入した主要な物品（設備・備品等。実績報告書の「主要な物品明細書」欄に記載したもの。）について、金額の大きい順に、枠内に収まる範囲で記載してください。）

年度	品名	仕様・性能等	数量	単価（円）	金額（円）	設置(使用)研究機関
26	集束イオンビーム走査電子顕微鏡複合機一式	FEIDualBeam (FIB/SEM)システム	1	64,800,000	64,800,000	東京大学(A01班)
	伯東(株)製 界面スピソ変換構造作製装置	伯東 株式会社	1	25,000,000	25,000,000	京都大学(A02班)
	研究開発用マグネトロンスパッタ装置(1式)	アルバック九州(株)製 QAM-4-S	1	19,969,200	19,969,200	東北大学(A04班)
27	Thermal gas cracker source	MANTIS 社製 MGC-75	1	7,602,336	7,602,336	産業技術総合研究所(A01班)
	ストリークカメラ改良ユニット	(株)浜松フオトニクス	1	5,998,860	5,998,860	産業技術総合研究所(A02班)
	抵抗加熱蒸着チャンバー	株式会社和泉テック製 IZU-TK J253	1	4,978,800	4,978,800	大阪大学(A02班)
	低温フローバー用垂直電磁石	リアルコンピュータリング社製 (株)東栄科学産業製 型番 M-28138-0/0.3T	1	4,399,920	4,399,920	東京大学(A05班)
28	傾斜シャッター機能付きEB蒸着装置	(株)エイコー社製・EB30SS	1	5,497,200	5,497,200	東京大学(A01班)
	SiセルMB-3000Si	(株)エイコーエンジニアリング製	1	4,883,760	4,883,760	京都大学(A02班)
	計算用クラスター	リアルコンピュータリング社製	1	4,082,400	4,082,400	東京大学(A05班)
	マイクロ波アナログ信号発生器	米国キーサイト・テクノロジー社製・N5173B	1	5,281,200	5,281,200	東北大学(A01班)
	自動波長掃引フェムト秒OPA	スペクトラフィジックス社製 TPR-TOPAS-VSU2-E	1	6,997,536	6,997,536	日本大学(A03班)
30	スーパーコンティニウムレーザー	NKT Photonics 製 EXR-15	1	7,549,200	7,549,200	東北大学(A01班)
	IT双極子電磁石PXIeデジタル、任意波形発生器一式	英国ダラム・マグネト・オプティクス社製 M9010A, M3102A, M3202A, M3601A	1	6,253,200	6,253,200	東京大学(A01班)
			1	4,256,280	4,256,280	東京大学(A04班)

（２）計画研究における支出のうち、旅費、人件費・謝金、その他の主要なものについて、年度ごと、費目別に、金額の大きい順に使途、金額、研究上必要な理由等を具体的に記述してください。

【平成26年度】

・旅費

1. 欧州におけるスピソ変換コンセプトの広報のための講演及び国際共同研究グループとの議論のため、ドイツ物理学会に参加 702,660円 A02班
2. Workshop Tokyo/ENS (フランス)に参加、スピソトニクスに関する発表および研究打合せ 485,921円 A01班

3. Magnetism and Magnetic Materials Conference 2014 (アメリカ・ホノルル) に参加 345,310 円 A04 班

・人件費・謝金

初年度であったため人件費・謝金ともに発生しなかった。

・その他

1. ヘルム回収配管工事(大阪大学大岩研究室) 1,663,200 円 A03 班

2. ソフトウェア (COMSOL Multiphysics) 492,132 円 A01 班

【平成27年度】

・旅費

1. 電氣的スピン変換研究成果の発表とスピン変換コンセプトの広報のため、スピントロニクス関連の最も重要な国際会議の一つである MMM などへ参加 1,625,290 円 A02 班

2. Spinmechanics 3 (ドイツ・ミュンヘン) に参加 (仙台⇄ミュンヘンの交通費、宿泊費) 646,260 円 A04 班

3. 招待講演のため国際会議 (スペイン・サラゴサ) に参加、講演のため ICM2015 (スペイン・バルセロナ) に参加 490,075 円 A01 班

・人件費・謝金

1. 博士研究員の雇用 2 名 4,493,744 円、事務補佐員の雇用 1,949,480 円、研究を加速的に進めるため、研究補助者を雇用 1,379,995 円 A01 班

2. 研究支援者の雇用 4,296,341 円 A04 班

3. 特任助教 (本領域研究推進研究者) の雇用 3,086,653 円 A03 班

4. 新学術領域予算管理及び研究の効率的推進のため事務職員・技術職員を雇用 2,455,907 円 A02 班

・その他

1. 光学窓付など特殊仕様のため無冷媒式希釈冷凍機 (コヒーレント光学的スピン変換専用実験装置) を研究機関中レンタル 2,754,000 円 A03 班

2. MPMS 屋外空冷圧縮機交換 (光磁性材料の磁化特性評価に必要な装置の修理) 1,470,204 円

3. 電子ビーム露光装置利用料 339,200 円 A01 班

【平成28年度】

・旅費

1. トポロジカルスピン変換に関する成果に関する講演とトポロジカルスピン変換コンセプトの広報のため、トポロジカル絶縁体とスピン軌道相互作用に関する国際会議参加 915,730 円 A02 班

2. スピントロニクスに関する招待講演を行うため、Spin Orbit Coupling and Topology in Low Dimensions Workshop (ギリシャ・スペツェス) に参加 528,609 円 A01 班

3. ICEM2016 (シンガポール) Spin Caloritronics 7 (オランダ・ユトレヒト)、DIPC Workshop (スペイン・サンバスチャン) に参加 732,268 円 A04 班

・人件費・謝金

1. 博士研究員の雇用 3 名 7,929,894 円、事務補佐員の雇用 1 名 1,732,703 円、研究を加速的に進めるため、研究補助者を雇用 2,326,358 円 A01 班

2. 博士研究員の雇用 6,217,910 円: ハーフメタル強磁性体における純スピン伝導とスピンホール効果の理論の構築を行うため、博士研究員の雇用 4,639,124 円: 重元素を用いたスピントロニクス効果の理論を構築し新物性の探索を行うため A05 班

3. 特任助教の雇用 3,088,813 円 博士研究員の雇用 2,607,257 円 A03 班

4. 研究支援者の雇用 5,000,238 円 A04 班

5. 新学術領域予算管理及び研究の効率的推進のため事務職員・技術職員を雇用 2,356,884 円、半導体中の電氣的スピン変換研究推進のため博士研究員を雇用 1,613,305 円 A02 班

・その他

1. 無冷媒式希釈冷凍機を研究機関中レンタル 33,048,000 円 A03 班

2. スピン変換素子作製及び評価のための学内共同利用施設利用費 3,240,000 円 A02 班

3. 無冷媒希釈冷凍機運転に使用する冷水設備工事一式 1,587,600 円 A03 班

4. 走査電子顕微鏡消耗部品交換作業 1,182,600 円 A01 班

【平成29年度】

・旅費

1. 招待講演のため APS March Meeting2019(アメリカ・ロサンゼルス)に参加、講演および研究議論のため University of Manitoba(カナダ・ウィニペグ)を訪問 1,039,860 円 A01 班
2. 国際共同研究（トポロジカルスピン変換研究推進）のためスペインに滞在 605,701 円 A02 班
3. ICSS2017（スペイン・サンセバスチャン）に参加 419,340 円 A04 班

・人件費・謝金

1. 博士研究員の雇用2名 10,138,456 円、事務補佐員の雇用1名 2,245,006 円 A01 班
2. 電氣的スピン量子操作に関する研究のため博士研究員を雇用 3,409,601 円、半導体中の電氣的スピン変換研究推進のため博士研究員を雇用 3,001,322 円 A02 班
3. 博士研究員の雇用 5,141,663 円：重元素を用いたスピントロニクス効果の理論を構築し新物性の探索を行うため A05 班
4. 研究支援者の雇用 5,090,008 円 A04 班
5. 特任助教（本領域研究推進研究者）の雇用 3,090,218 円

・その他

1. 無冷媒式希釈冷凍機を研究機関中レンタル 4,341,600 円 A03 班
2. デュアルビーム装置 Scios 不具合対応・消耗部品交換一式 2,500,848 円 A01 班
3. トポロジカルスピン変換素子作製に必要な光学顕微鏡修理 279,720 円 A02 班

【平成30年度】

・旅費

1. 電氣的スピン変換研究成果の発表とスピン変換コンセプトの広報のため E-MRS などの国際会議に参加 1,240,260 円 A02 班
2. 招待講演（IEEE DL）・研究議論のため、Stanford University（スタンフォード）及び Western Digital Corporation を訪問、発表のため ICM2018（サンフランシスコ）参加 711,716 円 A01 班
3. 14th Joint MMM-Intermag Conference（ワシントン、アメリカ）に参加 667,867 円 A04 班

・人件費・謝金

1. 博士研究員の雇用1名 5,522,804 円、事務補佐員の雇用1名 2,226,865 円 A01 班
2. 研究支援者の雇用 5,117,901 円 A04 班
3. 半導体中の電氣的スピン変換研究推進のため博士研究員を雇用 4,851,941 円 A02 班
4. 博士研究員の雇用 3,714,240 円：ゲージ理論を用いたスピントロニクス理論の構築の研究を行うため A05 班

・その他

1. 無冷媒式希釈冷凍機を研究機関中レンタル 4,341,600 円 A03 班
2. デュアルビーム Scios 消耗部品交換 1,046,800 円 A01 班
3. 電子ビーム描画装置（電氣的スピン変換素子作製に必須の装置）修理 375,667 円 A02 班

（3）最終年度（平成30年度）の研究費の繰越しを行った計画研究がある場合は、その内容を記述してください。

A05 班（スピン変換機能設計班）では平成30年度補助金交付額・直接経費 27,300,000 円のうち、4,220,000 円を繰り越している。事由は研究方式の決定の困難によるもので、補助事業の完了時期は令和元年10月を予定している。

9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1 ページ以内）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

審査所見の指摘事項に対する対応状況でも述べたように総括班主導でスピントロニクスにかかわる質の高い国際会議を総括班経費で開催した。具体的には、当新学術領域研究「ナノスピン変換科学」の総括班経費を使用して H27 年度 6 月 10~12 日に東大物性研究所の滞在型 ISSP 国際ワークショップと共催で国際シンポジウム”New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP2015)”（URL:<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/public/npsmp2015/>）を開催した。スピントロニクスとメゾスコピック系の物理の分野横断の情報交換を計った。これにより、日本のスピン変換科学に関連する研究の学術的プレゼンスを高めるとともに、分野横断的に情報交換をする場を提供し、分野を先導する国際共同研究のきっかけを作ることができた。

H28 年度は、当新学術領域研究総括班の海外活動支援班が理研創発物性科学研究センターと共催で、国際ワークショップ International Workshop on Nano Spin Conversion Science and Quantum Spin Dynamics を 10 月 12 日~15 日に開催した。この会議では海外活動支援班の予算を使いスピン変換科学と量子情報科学の両分野を世界的に先導する世界的にも著名な研究者を招聘すると同時に国内からも本領域で活躍する研究者も招聘する。これにより関連研究者が一堂に会し、グローバルな視点から情報交換を行い、ナノスピン変換科学という研究分野の国際的な認知度を上げ、拠点形成の足掛かりとすることができた。その他、H29 年度の Spintech IX International school and conference 2017 や H30 年度の One-day Symposium on Spintronic Properties of Graphene and Related 2D Materials 等の国際会議を開催し、分野横断的に情報交換をする場を提供し、分野を先導する国際共同研究の契機とした。

上述のような努力の結果、スピン変換（spin conversion）という言葉が国際的にも学術用語として認知されるようになり、一つの研究分野を創出したと言っても過言ではない。特に「**本研究領域発足による真の効果**」は、スピン変換科学が新概念創出の起爆剤になったことである。従来個々の研究者が独自に研究を行っていた理学と工学が融合されたことは、本領域発足による特筆すべき波及効果である。その結果、スピンオービトロニクス、スピнкаロリトロニクス、スピンメカニクス、反強磁性スピントロニクス、トポロジカルスピントロニクスと言った多くの新興学際分野が形成された。その中でも、スピнкаロリトロニクスとスピンオービトロニクスは、エネルギーハーベスティングや固体磁気メモリー素子の基盤要素技術に繋がる事が期待されている。

その他、本新学術領域研究を通じて、スピン変換は、固体・固体間に留まらず、固体・液体、固体・気体間にもおよぶ角運動量保存則を基本原理とする普遍的でユニークな現象であることが実験と理論の両面から示された。これは、基本概念の構築である。

10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1 ページ以内）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者（※）の研究終了後の動向等を記述してください。

※研究代表者・研究分担者・連携研究者・研究協力者として参画した若手研究者を指します。

今後の本ナノスピントロニクス変換科学研究領域の活力ある発展を維持するためには、長期的な人材育成は不可欠である。初期計画においても若手研究者が主体となって運営するディスカッションミーティングや若手スクールの開催は計画されており、若手スクール：「スピントロニクスとスピントロニクス流」（<http://www.spincurrent.jp/>）を東北大学にて、若手ワークショップを大阪大学にて実施した。その他、班間連携の一環として研究室の活動を実際に経験しながら共同研究を遂行する国内インターンシップ制度も実施して、多くの成果を上げている。

さらに、H27 年度に国際活動支援班の計画が採択されたことを受けて、H28 年度から規模を国内だけではなく世界に拡大して若手人材育成に取り組んだ。本領域研究に参画する各研究班では、すでに若手研究者が中心となり金属や半導体を用いたスピントロニクス変換に関して世界的な共同研究が推進されているが、今後スピントロニクス変換科学の研究分野で重要性が増す新しいヘテロ構造、原子層構造やトポロジカル物質をスピントロニクス変換研究に取り込むために、この分野で実績のある欧米の研究機関との新たな連携の可能性も模索しながら拠点形成活動を進めた。参画する若手准教授、助教、博士研究員や大学院学生は、既成のスピントロニクスの枠に甘んじることなく、材料的にも物理的にも新しい分野に挑戦し、新しいスピントロニクス変換研究の立ち上げを経験することになる。挑戦的な新分野の立ち上げを経験することで、若手研究者の育成に大きな波及効果を狙った。本研究拠点形成を通して様々な外国研究機関と連携することで、既成の分野を超えたグローバルな視野を育成する。本研究拠点形成ではスピントロニクス分野でノーベル賞を受賞した Albert Fert 教授の研究グループを始めとして世界的にも著名な欧米の研究グループが共同研究機関として参画しており、若手研究者の動機づけの点からも大変有意義な活動が期待できる。

上述のような取り組みを実行した結果、世界的に注目される成果を上げ、多くの若手研究者がそれぞれのキャリアでワンランクアップしている。例えば、A01 班の研究協力者である東大物性研の新見助教は、本新学術領域研究で得た研究成果が高評価され 2015 年度から大阪大学の准教授として転出した。また、A03 班の東北大学飯浜賢志氏は、学振特別研究員から助教に昇進した。本スピントロニクス変換研究プロジェクト期間中にこのようなキャリアアップが数多く実現された。一方で、大学から産業界に活躍の場を広げたケースもある。A04 班の研究協力者の新関智彦博士は、本領域研究で培った真空蒸着装置に関する知識が高く評価され、株式会社東京エレクトロンに転職し、活躍している。

特に若手の躍進が目立ったことに、キャリアアップだけではなく研究成果が受賞という形で広く評価されている。本領域研究が密接にかかわった若手の受賞としては、文部科学大臣表彰若手科学者賞（新見；大塚；横山）、船井研究奨励賞（三輪；木山；中山）、船井学術賞（三輪；安藤）、市村学術賞（三輪）、本多記念研究奨励賞（安藤）、日本物理学会若手奨励賞（近藤）、・ IUPAP Young Scientist Prize in Magnetism（関）など数多い。

我々スピントロニクス変換研究分野に携わる若手研究者の実力が国内外に認知されていることの証左である。このように、本研究領域の将来を担う人材を育成するミッションも達成されている。

11. 総括班評価者による評価（2ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

【評価者：宗片比呂夫】

最後の成果報告会に接し、学術的に高度な成果を担保しつつ研究者の世代交代がうまくなされている印象をいっそう強く受けました。具体的には、物性物理学における界面・表面の新しい電子状態の究明、とりわけ界面でのスピン分極性と堅牢性、それを外部と取り出す創意工夫ある実験と注意深い理論的検討が本学術領域でなされているように感じてました。それらは、単に世界の理工学の流行を追うものではなく、非常に本質を射抜くものであると思います。さて、応用物理学や材料科学分野、すなわち、応用可能性を探る方面においては、前回私は、基礎と応用の研究者の乖離が少し見え始めている点が気になる旨のことを書きましたが、本領域の中で、スピンドYNAMIXを電気エネルギーへと変換する学理や光子-電子間の量子もつれ変換の難しさとそれを回避する可能性の提示などに接し、本領域での研究が起点になる発明の種を、今後とも育てていくことが重要であると感じました。

【評価者：宮崎照宣】

本プロジェクトの総括班は定期的な活動に加えて国際会議の主催、国際ワークショップの開催、チートリアルスクールの開催並びに若手研究者の海外派遣等を通じて「本研究領域発足の真の効果」であるスピン変換研究の認知度を十分に上げた。これは日本での「ナノスピン変換科学」プロジェクトが発足後諸外国でも同様のプロジェクトがスタートしたことからも明らかである。また、総括班は国内では計画研究と公募研究の調和に気配りし、一方で世界規模の連携ネットワークを構築し、欧米との相補的な共同研究を推進してきたことも高く評価される。

プロジェクトに参加した研究者はこれまでの成果を次のステップに各自発展させていくとおもわれるが、これに国がどう援助していくかが問われる。

【評価者：安藤功兒】

「新物性の創出」、「非線形変換制御技術の確立」、「統一的な学理の構築」の3つの達成目標に関しては、いずれも当初の期待を上回る大きな成果が出ており、高く評価することができる。これらの成果を応用展開していくこと自体は、本領域のスコップを超えるものであるが、今後、参加者がそれぞれの立場で努力していったほしい。強い産業の開花には超一流の学理の存在が不可欠であることを考えるならば、現時点ではいまだ基礎的学問的とはいえ、世界を先導して本領域が創出してきた新概念の出現に大いに勇気づけられる。

【評価者：大野英男】

新学術領域研究「ナノスピン変換科学」は平成30年度にその5年間の研究期間を終えた。計画研究のみならず、総括、支援、さらには25件という適切な数の公募研究により、ナノ領域における多彩なスピン変換機能に関する研究を精力的に推進し、新たな学術分野である「ナノスピン変換科学」を創成し、わが国から発信した。その際、審査結果および中間評価の所見で指摘した事項に真摯に対応し、外部発信や連携強化に努めた。その結果、多くの成果を得たが、その中でもWeyl反強磁性体における磁気スピンホール効果、トポロジカルスピン変換、電流・スピン流と機械運動・熱によるエネルギー変換などは世界的に注目される特筆すべき成果であると認められる。