

令和元年6月5日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21752

研究課題名（和文）ナノスピンの変換科学国際拠点形成

研究課題名（英文）Formation of an international strategic base for the nano-spin conversion science

研究代表者

大谷 義近 (OTANI, Yoshichika)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：60245610

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 44,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究領域の連携研究を礎にして、国際的な研究者の連携を強化することにより日本を中核としたスピンの変換連携ネットワークを形成した。これにより、チュートリアルを含む国際会議を開催しただけでなく、アジア圏の若手育成を目的とするスピントロニクス国際スクールを日韓で協力して4年間連続して開催した。これにより、将来本研究分野を産学両面で発展させていく若手人材の育成ができた。大学だけでなく産業界で磁気デバイス市場の開拓を主導する国際的な人材育成の一助になったと考える。その他、共同研究を目的として、大学院生や若手研究者を海外有力研究室に派遣あるいは受け入れて、世界的にも注目される成果に結実させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本新学術領域の国際共同研究活動を通じてスピンの変換に関わる研究領域全体の有機的な連携を活性化させることができた。これにより本研究領域を世界的に先導して行く体制を整えることができたと考えている。一方で、国際共同研究の産物としてスピンの変換分野における新たな分野形成や学術的な成果も特に日本と海外からの若手研究者から上がっており、我が国の優位性や競争力を維持・発展させ、世界をリードする国際的な若手人材育成に繋がった。また、このことは当初の目的としたための世界的な拠点形成の一助となった。このように学術的にも社会的にも意義深い成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：Based on international collaboration in this research field, we formed an international network among the researchers engaged in the research field of spin conversion science. We organized several international conferences including tutorial sessions on spintronics for young researchers. Moreover, in order to foster Asian young researchers specialized in spintronics, we have held the international school of spintronics every year during last 4 years in collaboration with Korean research institutes. This activity surely helped developing human resources who will lead the spin conversion research industrially as well as academically. Additionally, participation of young graduate students and staff members at the universities in the international collaboration bore fruit as an internationally recognized achievement.

研究分野：物性物理

キーワード：拠点形成 スピンの変換 スピントロニクス 人材育成 共同研究 国際連携

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

スピン変換に関わる研究開始当初の研究動向を眺めると、巨大スピンホール効果やスピンゼーベック効果をはじめとして我が国の研究者は際立った成果を挙げておりスピントロニクス研究の著しい発展にはわが国の貢献が極めて大きかった。そこで、我が国のスピントロニクス研究の世界的な優位性や先進性を担保するべく、新学術領域研究「ナノスピン変換科学」を推進することになった。

本新学術領域「ナノスピン変換科学」は、磁氣的、電氣的、光學的、熱・力學的スピン変換の4つの実験研究班と5つ目の理論を担当するスピン変換機能設計班で構成されており、それらが相互に連携することにより組織的に研究を推進する。これにより基礎研究だけではなく企業が参入できる応用研究が劇的に進展することは間違いなく、スピン変換機能に基づく新技術パラダイムが引き起こされ、経済成長のエンジンとなるイノベーションがもたらされることが期待される。その結果、超低消費エネルギー磁気記憶・論理素子の実現や従来にない環境発電技術の創製などの世界に貢献する術が提供される可能性も夢ではない。

このような側面だけでなく、本研究領域の連携研究を礎にして、国際的な研究者の連携を強化することにより日本を中核としたスピン変換研究世界拠点を形成し、市場の開拓を主導する新規産業の芽の創出を目指すことも今後の重要な展開の可能性である。しかしながら、それを担う人財の育成が不十分であり、その強化は喫緊の課題であった。

2. 研究の目的

本研究領域では、スピン、光、熱の相互角運動量変換であるスピン変換に関わる分野で先進的な成果を上げている研究者を結集して、実験と理論の両面からマグノン、フォトン、フォノン等の多様な準粒子間のスピン変換を統一的に理解し、基礎となるスピン変換の学理を構築することである。さらに得られた知見を基に実用素子の要求に耐えうる新規スピン変換機能の構築に結実させることである。

したがって、スピン変換に関わる研究領域全体の有機的な連携を活性化させることで、本研究領域を世界的に先導して行く体制を整えることも達成するべき重要課題に位置づける。一方で、当該分野における我が国の優位性や競争力を維持・発展させるためには、国際的な視点から状況を的確に判断し、将来本領域を牽引して行く若手人財の育成と確保もスピン変換研究の推進と共に目標達成のための海外活動支援班の目的として位置付けている。

3. 研究の方法

共同研究、成果報告会と研究者交流の3項目に分けて計画を説明する。



- (1) **共同研究**：スピン変換科学の研究分野で重要性が増すと予想される新しいヘテロ構造、原子層構造をスピン変換研究に取り込むために、まだ共同研究を行っておらず、この分野で実績のある欧米の研究機関との共同研究を開始する。具体的には、上図に示すように、従来の連携先、仏国パリ南大学 CNRS/Thales の Albert Fert 教授グループ、米国メリーランド大の Ian Appelbaum 教授グループ、蘭国ラドボード大の Theo Rasing 教授グループ、

独国カイザースラウテルン大の Burkard Hillbrands 教授グループ、米国 UCLA の Yaroslav Tserkovnyak 教授グループ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 教授グループを共同研究先候補として連携先に組み込む。研究の展開状況に応じて、適宜新たな連携先を組み込むことも行う。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スピン変換研究を遂行することが可能となる他、若手研究者交流の選択肢が広がる。

- (2) **成果報告会**：これまでの計画に加えて上述の新規共同研究者を研究成果報告会や国際ワークショップに招待し、研究動向を踏まえマッチングの可能性を探る。この際、共同研究へ向けた研究紹介や従来の取り組みである若手向けスクールを開催する。
- (3) **研究者交流**：上述のようなマッチングを踏まえて長期の研究者交流を開始し、積極的に共同研究を進め、相互に長期に滞在する交流を進める。博士課程学生の共同教育に向けた協定なども視野に入れ、共同教育の体制を各大学間で構築する準備をすることとした。

#### 4. 研究成果

以下に、支援班の活動実績について年度ごとに纏める。

初年度は、当初の計画通り東北大学で開催された成果報告会に、当分野の日本人若手研究者で英国を本拠として活躍している UCL (University College London) の紅林講師に1週間ほど滞在して頂き招待講演と共同研究の可能性について議論をして頂いた。研究者交流については、新学術領域「ナノスピン変換科学」に既存のインターンシップ制度を国際版に拡大して海外インターンシップを開始した。採択されてからの時間的猶予がなかったことから年度末から新年度にかけて英国リーズ大学の Chris Marrows 教授グループに修士課程の学生1名を派遣し共同研究につなげた。また、新年度になってからの渡航であるが、ドイツ(ミュンヘン)の Walther Meissner Institute の Gönnerwein 教授グループ(現在 TU Dresden)に派遣し共同研究を行う計画を立てた。

平成 28 年度は、当初の計画通り国際的な若手育成スクールの開催を進めた。8月8日から11日までの期間チュートリアルセッションを含む第9回 International Conference on Physics and Applications of Spin in Solids (PASPS 9)を共同開催した。この国際会議は、本スピン変換科学の光学的スピン変換班班長の大岩がコンファレンスチェアを務め、大変盛況であった。また、アジア圏の大学院生と若手研究者育成を目的とする国際スピントロニクスおよびスピンオービトロニクス国際スクールを12月16日、17日に開催した。これにより、スピン変換科学の世界に向けた情報発信を行い、次の研究ステージを担う若手研究者の育成の一助となった。

新規に連携する共同研究先と一層の研究者交流を含むスピン変換研究を遂行して、昨年度計画したドイツ・Walther Meissner Institute の Gönnerwein 教授グループに若手研究者を派遣する国際共同研究プログラムを遂行した。さらに、異分野融合を目的としてスピン変換と量子スピンドायナミクスに関する国際会議を理研創発物性科学研究センターと共同開催した。4日間の開催期間で300名以上の参加者に恵まれた。

平成 29 年度も昨年度に引き続き国際的な若手育成スクールの開催を目的として6月4日から8日までの期間、Schoolを含む第9回 International school and conference (SpinTECH IX)を共催した。この国際会議は、本スピン変換科学研究に参画する大学研究者グループの学生や若手研究者が多く参加し、大変盛況であった。また本年度も、日韓およびアジア圏の大学院生と若手研究者育成を目的とする国際スピントロニクスワークショップを12月17日～19日に韓国ソウルの KIST で開催した。

本新学術ナノスピン変換科学研究の主要研究協力者の小野輝男教授(京大)、機械・熱的スピン変換班班長の齊藤英治教授(元東北大学・現東京大学)に続いて領域代表の大谷義近が IEEE Distinguished Lecturer (DL) に選出されたことから、2018年1月より本ナノスピン変換科学新学術領域研究で得られた成果を世界に発信する世界講演旅行を3年間連続して展開している。これは、日本のスピン変換研究が世界的にも認知されていることの証左である。この国際的な講演活動により、スピン変換科学の世界に向けた情報発信を行い、次の研究ステージを担う若手研究者の育成及び勧誘を行った。この効果は、既に目に見える形で表れておりこの活動の後に海外からのインターンシップ制及び博士研究員希望者数が増加している。

一層の研究者交流を含むスピン変換研究を遂行するために新規に連携する共同研究先として、スピン変換研究拠点形成の円滑な推進を目的として共同研究をベースとしたドイツ・Regensburg 大学とスペイン・サンセバスチャン・NanoGune 研究所との2件の国際インターンシップ・共同研究プログラムを実施した。両国際共同研究を通じて成果が出始めており、論文や国際会議での発表に結実している。

最終年度、過去2年間の領域からの IEEE DL に続いて領域代表が昨年度2018年1月に開

始した IEEE DL としての国際講演旅行をアウトリーチ活動の一環として継続した。これによりアジア圏、ヨーロッパ、南北アメリカの主要研究機関で 50 回のセミナー講演を行い、本新学術領域の研究活動を通じて得られた成果を発信した。

本領域の総括班と共同で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。また、本新学術領域研究が開始してから連続開催している日韓およびアジア圏の大学院生と若手研究者育成を目的とする国際スピンロニクスワークショップを平成 31 年 1 月 20 日～22 日に名古屋大学で開催した。若手向けのチュートリアルを意識したコロキウムをして頂くためにスピンホール伝導物性の研究で著名な中国復旦大学の Xiaofeng Jin 教授を招き、講演と議論をして頂いた。

この他、特筆すべきこととして、スピン変換科学の研究範囲を新奇な量子物質にも広げることを目的とした国際的な共同研究も遂行した。トポロジカル反強磁性体のスピンホール効果について従来とは異なる実験結果が得られ始めており、理論的な理解を深めるためにテキサス大学オースティン校の Allan Macdonald 教授のグループで博士研究員を務めていたコロラド州立大学の Hua Chen 助教授を招聘し、共同研究を遂行した。その結果、新奇な“磁気スピンホール効果”の発見に結実させた。この研究成果は、2019 年 1 月 16 日に Nature 誌に掲載された。

以下に海外活動支援班の主な実績を列記する。

【若手育成および研究成果を世界的に発信するための国際会議】

- 1 International Workshop on Nano-Spin Conversion Science and Quantum Spin Dynamics (NSCS-QSD)、東京大学、2016 年 10 月
- 2 Japan-Korea Spintronics Workshop、九州大学、2016 年 12 月
- 3 SpinTECH IX、福岡市、2017 年 6 月
- 4 Japan-Korea Spintronics Workshop、Seoul Korea、2017 年 12 月
- 5 One-day Symposium on Spintronic Properties of Graphene and Related 2D Materials、東京大学、2018 年 11 月
- 6 Japan-Korea Spintronics Workshop、名古屋大学、2019 年 1 月

【若手の海外派遣及び海外からの受入】、合計 12 件。

1. 松本 健太 (東京大学物性研究所) 大学院生 2016/3/2～4/28 英国 University of Leeds 国際共同研究
2. 大島 諒 (京都大学大学院工学研究科) 大学院生 2017/6/4/11～4/23 ドイツ Walther-Meissner-Institut 国際共同研究
3. 安藤 裕一郎 (京都大学大学院工学研究科) 准教授 2017/8/30～10/29 スペイン CIC nano GUNE 国際共同研究
4. 水野 隼翔 (京都大学科学研究所) 大学院生 2017/11/12～12/11 アメリカ University of California, Irvine 国際共同研究
5. AUVRAY, Florent (東京大学物性研究所) 大学院生 2017/11/10～12/12 ドイツ Regensburg University 国際共同研究
6. 西村 幸恵 (京都大学化学研究所) 大学院生 2018/3/3～3/15 韓国 Seoul National University 国際共同研究
7. 金丸 将孝 (九州大学大学院理学研究院) 2018/5/13～5/27 スイス ETH Zürich 国際共同研究
8. Choudhury Samiran (インド S. N. Bose National Centre for Basic Sciences) 2018/6/3～8/31 理化学研究所創発物性科学研究センター 国際共同研究 (受け入れ)
9. Ham Woo Seung (京都大学化学研究所) 大学院生 2018/8/2～9/1 シンガポール National University of Singapore 国際共同研究
10. 奥野 堯也 (京都大学化学研究所) 大学院生 2018/9/15～10/14 ETH Zürich 国際共同研究
11. XU, Mingran ("東京大学物性研究所) 大学院生 2018/10/3～10/12 スイス EPFL 国際共同研究
12. XU, Mingran ("東京大学物性研究所) 大学院生 2019/2/23～3/27 スイス EPFL 国際共同研究

【外国人研究者による講演及び共同研究】

- 1 紅林 秀和講師 (London Centre for Nanotechnology/UCL) 2016/1/5-1/12: 東北大学に滞在し研究打合せ、H27 年次報告会にて講演
- 2 Chris Marrows 教授 (University of Leeds) 2017/5/21-5/26: 東京大学物性研究所、理化学研究所に滞在し、講演及び共同研究議論
- 3 Hua Chen 准教授 (Colorado State University) 2018/1/2-1/7: 東京大学物性研究所に滞

在して共同研究議論

- 4 Xiaofeng Jin 教授 (Fudan University) 2018/2/23-3/4 : 東京大学物性研究所、理化学研究所、東北大学金属材料研究所に滞在

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 4 件)

- [1] 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.
- [2] Y. Omori, E. Sagasta, Y. Niimi, M. Gradhand, L-E. Hueso, F. Casanova, and Y. Otani, "Relation between spin Hall effect and anomalous Hall effect in 3d ferromagnetic metals", Phys. Rev. B, 査読有, 99, 014403-1~6 (2019).
- [3] E. Sagasta, Y. Omori, S. Vélez, R. Llopis, C. Tollan, A. Chuvilin, L-E. Hueso, M. Gradhand, Y. Otani, and F. Casanova, "Unveiling the mechanisms of the spin Hall effect in Ta", Phys. Rev. B, 査読有, 98, 060410(R)-1~7 (2018).
- [4] S. Choudhury, S. Majumder, S. Barman, Y. Otani, and A. Barman, "Active control of mode crossover and mode hopping of spin waves in a ferromagnetic antidot lattice", Phys. Rev. Appl., 査読有, 10, 064044-1~9 (2018).

6. 研究組織

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 : 白石 誠司

ローマ字氏名 : SHIRAISHI, Masashi

研究協力者氏名 : 大岩 顕

ローマ字氏名 : OIWA, Akira

研究協力者氏名 : 齊藤 英治

ローマ字氏名 : SAITOH, Eiji

研究協力者氏名 : 村上 修一

ローマ字氏名 : MURAKAMI, Shuichi

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。