

「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」拠点の整備

① 計画の概要

「スピントロニクス」は、エレクトロニクスや情報処理に「スピン」の自由度を積極的に用いた材料・デバイス・システムの研究開発を行う分野である。近年の磁気記録技術の飛躍的な向上に貢献した巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見に対し、2007年にノーベル物理学賞が授与されたことに象徴されるように、スピントロニクス分野は学術および応用技術の両面で価値のある急速な発展を遂げている。トンネル磁気抵抗効果(TMR)を利用した不揮発性メモリ(MRAM)の開発とその高機能化は、現在から近未来の最重要課題の1つであり、新材料開発と高集積化により不揮発性固体メモリおよびストレージのさらなる発展と実用化を目指した研究を行う。従来の情報処理、特に論理演算においては、電荷(電流)を用いたエレクトロニクスデバイス素子の開発が主流であったが、今後はスピンおよびスピンを流用した低消費電力・新機能デバイスの開発を進める。特に、不揮発性記憶素子と演算素子の機能を兼ね備えたスピントランジスタの開発、再構成可能な論理回路、低消費電力ノーマリオフコンピュータ、右脳型の柔軟な情報処理技術の開発、さらに人工知能に適したニューロモルフィックデバイス、IoT向けの超低消費電力デバイス、およびそれらを可能にするスピントロニクス材料の開発を目指す。また、電子スピン、核スピン、電荷、光(偏光、位相情報を含む)を融合させた量子情報技術の研究を進める。これらは、(1)材料科学および物理学、(2)ストレージ、(3)メモリ・ロジック、(4)量子情報 の4つの分野に大別されるが、各分野間の連携を密にとりつつ、スピントロニクス学術研究基盤を構築する。日本国内にはこの分野で世界をリードする優れた研究グループや研究機関が数多く存在するので、研究グループ間および研究機関間のネットワークを構築し、国際的共同研究の中心拠点としての機能を整備してイノベーションを目指す。

② 学術的な意義

電子は「電荷」とともに自転の角運動量に相当する「スピン」を持っている。「電荷」の蓄積や流れを制御することによって、トランジスタや集積回路をはじめ様々なデバイスが生み出され、20世紀後半以降、エレクトロニクスや情報・通信技術の大発展をもたらした。一方、「スピン」は磁性の源であり、磁石は古くから使われてきたが、磁性と電子の伝導に関わる巨大磁気抵抗効果など新しい物理現象の発見を契機に应用技術も発展し、20世紀末頃から「スピントロニクス(Spintronics)」といわれる新しい分野が形成された。ここでは物質中の「スピン」の生成、蓄積、流れ(スピンの流)を理解し制御することが中心的課題の1つである。スピントロニクスの研究は、固体物理学、材料科学、電子工学、磁気工学およびそれらを横断する諸領域において、世界的に大きな潮流となっている。これらの研究は、学術的に新しく価値があるのみならず、ポスト・シリコンデバイスも含め、電子・情報通信産業のイノベーションをもたらす。研究の発展により、材料物性、ストレージ、メモリ、ロジック、高周波・熱、スピノフォニクス、量子情報分野における様々な革新的技術の創出が期待される。近年は、スピンと電気(電流・電圧)の関わりのみならず、スピンと磁化、スピンと光・電磁波、スピンと熱などが関わる新しい現象の発見が相次いでいることもあって、学術とその応用において新しい展開をもたらしつつあり、最も活気ある分野である。さらに、未だに決定的なデバイスが欠如しているニューロモルフィック・コンピューティング、AIやIoT等への応用にむけて、スピン自由度を用いた超低消費電力デバイスの進展が見込まれており、将来の革新的情報技術の構築に日本発の大きな貢献が期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

電荷を主に用いていた材料やデバイスの世界に、スピンという物理量を積極的に利用して、新しい物性や機能、デバイスを実現しようとするスピントロニクスは、世界的に大きな研究の潮流になっている。中でも強磁性金属多層膜をベースとしたGMRやTMRを用いた磁気センサ素子はハードディスク装置の記録密度の大容量化に貢献してきた。TMRを用いたMRAMの開発が進み、次世代の不揮発性固体メモリとして期待されている。半導体においても、スピンの影響が顕著に現れる様々な新物質やナノ構造が作製され、エレクトロニクス応用が真剣に検討されている。情報技術を支えてきたシリコン集積回路の微細化が近い将来限界に直面するため、新しい原理や機能をもつ次世代デバイスが強く求められる中で、スピントロニクスは有望な将来技術として期待されている。酸化物、分子、有機物においてもスピン自由度を用いた材料とデバイスの研究が盛んに行われている。これらの研究において日本の研究者の役割は極めて大きく世界をリードしている。本研究計画は、研究者間のネットワークを構築し、国際的拠点の形成による研究の発展とイノベーションを通じて社会への貢献を目指す。

④ 実施機関と実施体制

スピントロニクス連携研究教育センター(Center for Spintronics Research Network, CSRN)を平成28年度に拠点4大学(東京大学、東北大学、大阪大学、慶應大学)に設置した。このセンターを中心拠点として本事業を実施する。当面、東京大学CSRNがまとめ役を務める。東京大学にはマテリアル創製、東北大学にはデバイス創製、大阪大学にはマテリアル・デバイスデザイン、慶應大学には量子スピントロニクス創製の拠点として大型設備を導入・整備し、全国の研究者が利用して共同研究を促進し、日本のスピントロニクス研究開発を格段に発展させる。参加する主要大学および主要研究機関は下記のとおりである。

- ・主要大学：(北から)北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、早稲田大学、東京農工大学、東京工業大学、慶應大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学など
- ・国立研究機関：産業技術総合研究所、物質材料研究機構、理化学研究所など。
- ・民間企業数社

中心拠点4大学（東京大学、東北大学、大阪大学、慶應大学）では、すでに平成26年度概算要求当時から毎年共同で計画、概算要求、実行を進めており、上記センターを中心に各大学本部の了解と支援を得ている。また上記の多くの研究機関は「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク（Spintronics Research Network of Japan, Spin-RNJ）」を形成し、運営委員会を毎年行っており、本申請について合意が得られている。スピントロニクス分野の研究者コミュニティは、応用物理学会スピントロニクス研究会（会員数百名、幹事約25名）を中心に組織化されており、本申請について合意が得られている。

⑤ 所要経費

総額 50 億円（10 年間で想定）（以下、内訳）

- ・スピントロニクス連携研究教育センターの運営 6 億円
- ・4 大学拠点における大型設備（マテリアル、デバイス・素子、量子スピントロニクスおよびデザイン） 22 億円
- ・特任教員、研究員の雇用費 5 億円
- ・設備備品費、消耗品費 12 億円
- ・国際会議、スクール、研究会などの開催費、招聘旅費 3 億円
- ・広報、成果報告、出版費 2 億円

「スピントロニクス連携研究教育センター」を平成28年度に拠点4大学である東京大学、東北大学、大阪大学、慶應義塾大学に設置した。このセンターを中心に拠点として本事業を実施する。拠点4大学では、すでに平成26年度概算要求当時から毎年共同で計画、概算要求、実行を進めており、各大学本部の了解と支援を得ている。また、国内の多くの研究機関は「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」を形成し、活動を始めている。これらの活動は、様々な連携研究による成果を挙げている。しかしながら、概算要求の予算額のみで本事業を行うにはまったく不足しており、上記の予算額が必要である。

⑥ 年次計画

(1) 2019 年度～2020 年度

- ・スピントロニクス連携研究教育センターをすでに4 拠点大学に設置した。センターには専任および兼任の教員と職員を置き、運営体制を整えた。センターでは研究用試料の作製や評価分析など、共同研究のコアとしての役割をさらに強化する。
- ・スピントロニクス・ネットワークを設立し、すでに国内主要大学間で存在する連携ネットワークと統合し、さらに強化しつつある。また、海外の主要研究機関とも連携し、国際的なネットワークを強化する。
- ・研究面では、上記のセンターとネットワークを生かし、材料物性、ストレージ、メモリ、ロジック、高周波・熱、スピントロニクス、量子情報、量子計測の各分野における研究と人材育成を進める。

(2) 2021 年度～2026 年度

スピントロニクス連携研究教育センターとその連携ネットワークを強化・確立し、アカデミックロードマップの目標に沿って、材料物性、ストレージ、メモリ、ロジック、高周波・熱、スピントロニクス、量子情報の各分野における学術基盤を確立し、応用に近い分野から産業応用に展開する。学生および企業の若手研究者向けのスクールを毎年開催し、人材育成と教育を行う。2年に1回程度、国際会議を開催し、成果の発信と国際交流に努める。

(3) 2027 年度～2028 年度

引き続き、スピントロニクス連携ネットワークを生かした研究と人材育成を進める。成果が挙げた研究から企業への技術移転を進める。成果をまとめ、主催する国際会議で発表するとともに、学術的成果としてオンラインおよび書籍にて出版する。

⑦ 社会的価値

本分野において、我が国の科学者・工学者、特に応用物理学・電子工学分野の研究者の貢献は極めて大きい。スピントロニクス分野の研究と応用がさらに発展すれば、アカデミック・ロードマップで実現が期待されるスピントロニクスを用いた低消費電力新機能デバイス、不揮発性記憶と演算の機能を兼ね備えたスピントランジスタ、再構成可能な論理回路、低消費電力のノーマリオフコンピュータ、右脳型の柔軟な情報処理技術、および革新的な量子情報、量子計測技術などの開発が進み、AI および IoT 時代を担う革新的な情報技術をはじめ、新産業の創造、省エネルギーで環境にやさしい社会基盤の構築をもたらすことができる。このことは、日本の基礎科学力の強化、知的基盤と知的財産の形成と確保、重要産業の活性化と新産業の創出、経済の活性化、省エネルギーを通じたSDGs への貢献に大いに資するものである。

⑧ 本計画に関する連絡先

田中 雅明（東京大学 大学院工学系研究科 スピントロニクス学術連携研究教育センター、および電気系工学専攻）

スピントロニクス・アカデミックロードマップ

