

**平成29年度 研究拠点形成事業(A. 先端拠点形成型)  
中間評価資料(進捗状況報告書)**

**1. 概要**

<b>研究交流課題名 (和文)</b>	新概念スピントロニクス素子創製のための国際研究拠点形成		
<b>日本側拠点機関名</b>	東北大学 電気通信研究所		
<b>コーディネーター 所属部局・職名・氏名</b>	電気通信研究所・教授・大野 英男		
<b>相手国側</b>	<b>国名</b>	<b>拠点機関名</b>	<b>コーディネーター所属部局・職名・氏名</b>
	英国	ヨーク大学	Department of Physics・ Professor・O' GRADY Kevin
	ドイツ	カイザースラウテルン 工科大学	Faculty of Physics・ Professor・HILLEBRANDS Burkard

**2. 研究交流目標**

申請時に計画した目標と現時点における達成度について記入してください。

**○申請時の研究交流目標**

スピントロニクス素子は、磁気を利用した不揮発性メモリ機能と情報処理を一体化することによりデータ転送遅延・回路面積・消費電力の低減を実現する素子として期待されている。本課題の拠点となる東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設および省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンターでは、磁気メモリ(MRAM)の開発を通じて、これら利点の実証のみならず、電圧による磁性の制御や磁壁駆動メモリなどについて世界に先駆けた研究を行ってきた。本課題では、将来の集積回路の飛躍的な動作特性向上に資するために、成膜・高周波評価において世界をリードする英独の拠点と共同研究を進めて、新概念スピントロニクス素子の創製に挑戦する。

そのために本課題では以下の3つの研究テーマに取り組む。(1) 低磁化、高スピン分極、低磁気緩和を兼備した新規強磁性／反強磁性材料を創製し、その間にはたらく交換結合を利用してスピントロニクス素子の高出力化、低電圧化、高速・安定動作、高熱安定性を実現する。(2) 磁性体／半導体接合におけるスピン-光の相互変換を利用したスピン情報伝達技術を開発する。(3) 熱電効果、熱擾乱、スピンゼーベック効果等で排熱を積極的に利用することにより、素子動作特性を飛躍的に向上させる。これらは強みの異なる日英独間の緊密な連携の下で初めて可能となるものであり、こうした知見を本邦に蓄積し、国境を越えた研究環境を提供することが期待される。特に、本計画では共同研究のみならず、若手研究者に向けた教育プログラムを英独で新設する計画であることから、継続的な相互交流が可能となる。したがって、本計画は、当該学術分野の発展と実用化、その過程での我国のリーダーシップ確立に大きく寄与するものである。

**○目標に対する達成度とその理由**

上記目標に対する2カ年分の計画について、

- 十分に達成された
- 概ね達成された
- ある程度達成された

□ほとんど達成されなかった

【理由】

平成 28 年度までに、従来の金属磁性材料より極めて低磁気緩和のホイスラー合金薄膜の作製に成功し、光励起された磁化の超高速ダイナミクスを光学的に検出する計測手法を開発するなど、目覚ましい研究成果が得られている。また、本課題の研究成果として発表された論文および国際会議発表も年々増加している。若手研究者・大学院生の派遣・受入れも計画どおり実施されており、本事業で海外派遣された大学院生が学位取得後に海外の大学で活躍している事例から若手研究者育成にも貢献していると考えられるため。

### 3. これまでの研究交流活動の進捗状況

(1)これまで(平成 29 年 3 月末まで)の研究交流活動について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」の交流の形態ごとに、派遣及び受入の概要を記入してください。※各年度における派遣及び受入実績については、「中間評価資料(経費関係調書)」に記入してください。

#### ○共同研究

【概要】

東北大学および物質・材料研究機構にて作製した強磁性合金／酸化物トンネル接合ならびに強磁性金属／半導体接合試料の高分解透過電子顕微鏡による構造観察をヨーク大学にて、ブリルアン光散乱を用いたスピン波測定ならびに磁気ダンピング測定をカイザースラウテルン工科大学において実施した。一方、ヨーク大学で作製した強磁性金属／半導体接合素子の伝導および光学測定を東北大学にて実施した。また、日英の研究者が共同で試料表面のスピン偏極率を高感度に測定するためのシステムを構築し、日独の研究者が協力してスピン波分散関係を決定するための新たな光学的測定手法を開発した。さらに、各国の研究者が協力して理論計算に基づいて実験結果の解析に当たると共に新たな理論モデルを構築した。これらの共同研究により、磁性薄膜・素子の特性と接合界面における微細構造との関係が明らかになり、新概念スピントロニクス素子の動作実証に向けた重要な知見を蓄積することができた。

なお上記の共同研究は、海外拠点機関等に日本から大学院生を中長期(2週間～3ヶ月)に亘り派遣する一方、海外拠点機関の若手研究者を中長期(3週間～3ヶ月)に亘り受入れて実施された。

#### ○セミナー

	平成27年度	平成28年度
国内開催	1回	1回
海外開催	1回	1回
合計	2回	2回

【概要】

平成 27 年 6 月にヨーク大学においてキックオフ会議を開催した後、平成 27 年 11 月に東北大学、平成 28 年 6 月にカイザースラウテルン工科大学、平成 28 年 11 月に東北大学において、日英独拠点機関の主要研究者を集めた会議を開催した。これらの会議では各研究グループの研究成果に関する発表を通じて、参加研究者同士で研究の進捗状況を共有すると共に、直面している問題点を整理することで、その解決に向けた方策について有意義な意見交換を行うことができた。

これらの会議を他の国際ワークショップと連続して共同開催したり、本事業参加研究者以外の招待講演者に発表を依頼したりすることで、新たな協力研究者を獲得し、共同研究のネットワークを拡大した。また、一般参加者に公開で開催することにより、本事業で得られた研究成果を周知することができた。

## ○研究者交流

### 【概要】

共同研究の促進や新たな展開に資する研究打合せのため、日本から主要研究者・若手研究者を、英国拠点機関であるヨーク大学ならびに協力研究者所属機関に派遣し、研究発表等を通して相手国若手研究者・大学院生と交流した。また、平成 28 年 8 月に東北大学において東北大学－ヨーク大学共同セミナー（東北大学スピントロニクス国際共同大学院：主催、本事業：共催）を開催し、両大学からの参加者が交流を深める機会を提供した。

(2)(1)の研究交流活動を通じて、申請時の計画がどの程度進展したか、「学術的側面」、「若手研究者の育成」、及び「研究交流拠点の構築」の観点から記入してください。

## ○学術的側面

平成 27・28 年度における日英独拠点大学を中心とした共同研究により、各研究テーマで以下の研究成果が得られた。

研究テーマ(1) 低磁化、高スピン分極、低磁気緩和を兼備した新規磁性材料の創製を目指し、薄膜試料の作製と物性評価を実施した。その結果、Mn-Ge 合金の遠赤外磁気円二色性スペクトルにおいて観測されたピーク構造の起源を解明した。また、従来の金属磁性材料の中では極めて小さな磁気緩和を示すホイスラー合金薄膜の作製に成功し、フェリ磁性ホイスラー合金薄膜で初めてブリルアン光散乱信号を観測した。

研究テーマ(2) 磁性体／半導体接合におけるスピン-光相互変換を実証するため、接合試料の作製と物性評価を実施した。また、光励起された磁化の超高速ダイナミクスを光学的に検出する計測技術を開発し、この手法を用いた予備的な実験により、波数一周波数空間におけるスピン波分散関係の可視化を実証した。

[成果論文：Y. Hashimoto *et al.*, Nature Communications 8, 15859 (2017).]

研究テーマ(3) 排熱の積極的利用によるスピントロニクス素子の動作特性向上を目指し、本年度は強磁性絶縁体におけるスピン波伝導の理解を深めるための理論研究に着手した。強磁性絶縁体におけるスピン波分散関係の温度依存性およびスピン波伝搬モードにおいて、スピン波間相互作用およびスピン波－格子振動相互作用が重要な役割を果たしていることを明らかにした。

上記のように 3 つの研究テーマは相互に密接に関連しており、研究テーマ(1)で作製された新規磁性材料を研究テーマ(2)(3)で目指す素子に用いるなど、さらなる研究の展開が見込まれる。

## ○若手研究者の育成

平成 27・28 年度にヨーク大学、カイザーラウテルン工科大学および東北大学において開催した計 4 回の会議において、若手研究者や大学院生に口頭発表もしくはポスター発表の機会を与え、国内外研究者との意見交換を通じた若手研究者育成の場とした。また、海外拠点機関または協力研究者が在籍する機関に大学院生を派遣して、国際的に活躍する研究者として自立するための一助とした。平成 27 年度にカイザーラウテルン工科大学において約 3 週間滞在して共同研究に従事した東北大学の大学院生が、学位取得後、平成 29 年度より日本学術振興会海外特別研究員として英国エクスター大学に派遣されるなど、若手研究者育成に貢献している。

また、平成 28 年 8 月に東北大学において開催された東北大学－ヨーク大学共同セミナー（東北大学スピントロニクス国際共同大学院：主催、本事業：共催）に、本事業に参画しているヨーク大学大学院生 9 名が参加し、東北大学大学院生と共にスピントロニクスの最先端の研究成果を学ぶ機会を得た。

## ○研究交流拠点の構築

平成 27・28 年度に開催した計 4 回の会議は、他の国際ワークショップと連続して共同開催したり、本事業参加研究者以外の招待講演者に発表を依頼したりすることで、新たな参加研究者を獲得し、共同研究のネットワークを拡大した。これにより本事業参加研究者は平成 27 年度当初には 30 名（日本 19 名、英国 7 名、ドイツ 4 名）であったが、平成 28 年度末時点で 82 名（日本 49 名、英国 23 名、ドイツ 10 名）に増加した。特に、研究テーマ(2)および(3)と関連した磁気光学やスピントロニクス分野で活躍している日本国内の研究者が加わり、研究交流拠点として充実した陣容がほぼ整った。

## 4. 事業の実施体制

本事業を実施する上での、「日本側拠点機関の実施体制」、「相手国拠点機関との協力体制」、及び「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

### ○日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等）

東北大学電気通信研究所を日本側拠点機関（コーディネーター：大野英男教授）として、東北大学内から 6 部局（大学院理学研究科、大学院工学研究科、金属材料研究所、原子分子材料科学高等研究機構、国際集積エレクトロニクス研究開発センター、スピントロニクス学術連携研究教育センター）に所属している研究者・大学院生が協力研究者として参加している。一方、東北大学外から、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所、筑波大学、電気通信大学、日本大学、九州大学の研究者・大学院生が協力研究者として参加しており、平成 28 年度末時点で参加研究者は計 49 名に上る。

日本側研究拠点が中心となり、研究テーマの設定と研究者・大学院生の派遣・受入れに関して相手国拠点機関との連絡調整を行い、東北大学内の研究者と協力してすべての研究テーマに主体的に取り組んでいる。また、若手研究者の育成に関係した事業の一部は、東北大学スピントロニクス国際共同大学院プログラムと連携して実施している。東北大学外との協力体制に関しては、物質・材料研究機構と産業技術総合研究所の協力研究者は主に研究テーマ(1)の新規磁性材料の創成に、筑波大学、日本大学、九州大学の協力研究者は主に研究テーマ(2)のスピン-光変換の実証実験に、電気通信大学の協力研究者はスピンドYNAMIKSの理論シミュレーションにおいて本事業の推進に貢献している。

### ○相手国拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）

英国拠点機関のヨーク大学は高分解透過電子顕微鏡によるスピントロニクス素子・磁性材料の構造観察において実績があるので、本事業においては東北大学をはじめとする日本側研究機関で作製した素子・材料、特に異種材料接合界面における構造観察を実施する役割を主として担う。また、ヨーク大学は多結晶薄膜の磁性研究や強磁性体／反強磁性体界面で生じる交換結合に関する巨視的モデルに関して定評があり、本事業で作製された新規磁性材料の特性の解析を、日本側研究者と協力して担当する。

一方、ドイツ拠点機関のカイザースラウテルン工科大学はブリルアン光散乱を用いた高周波磁気光学測定において世界をリードしており、本事業においては日本側研究者と協力して光励起された磁化の超高速ダイナミクスを光学的に検出する新しい計測技術を開発する役割を担う。また、日本で作製された素子・材料のスピン波ならびに磁気ダンピングの測定を、日本から派遣された若手研究者・大学院生と共同で実施する。

### ○日本側拠点機関の事務支援体制（拠点機関全体としての事務運営・支援体制等）

日本側拠点機関である東北大学電気通信研究所では、本事業の日本側参加研究者の旅行手続きをはじめ、物品購入や日本国内での会議開催に伴う経理手続きなど本事業に関連した一切の事務処理を行い、本事業を支援する体制を整えている。