

研究拠点形成事業 平成 29 年度 実施計画書

A. 先端拠点形成型

1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東北大学 電気通信研究所
(英国) 拠点機関：	ヨーク大学
(ドイツ) 拠点機関：	カイザーслаウテルン工科大学

2. 研究交流課題名

(和文)： 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
(交流分野：スピントロニクス)

(英文)： International research center for new-concept spintronics devices
(交流分野：spintronics)

研究交流課題に係るホームページ：<http://www.riec.tohoku.ac.jp/core-to-core/>

3. 採用期間

平成 27 年 4 月 1 日 ～ 平成 32 年 3 月 31 日
(3 年度目)

4. 実施体制

日本側実施組織

拠点機関：東北大学 電気通信研究所

実施組織代表者 (所属部局・職・氏名)：電気通信研究所・所長・大野 英男

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：電気通信研究所・教授・大野 英男

事務組織：東北大学国際交流課

相手国側実施組織 (拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。)

(1) 国名：英国

拠点機関：(英文) The University of York

(和文) ヨーク大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文)

Department of Physics・Professor・O'GRADY Kevin

経費負担区分 (A 型)：パターン 1

(2) 国名：ドイツ

拠点機関：(英文) Technical University of Kaiserslautern

(和文) カイザースラウテルン工科大学
コーディネーター (所属部局・職・氏名) : (英文)

Faculty of Physics・Professor・HILLEBRANDS Burkard

経費負担区分 (A型) : パターン 1

5. 全期間を通じた研究交流目標

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。

6. 前年度までの研究交流活動による目標達成状況

平成 27 年度および平成 28 年度は、当初の計画どおり年 2 回の会議を開催した。

平成 27 年 6 月にヨーク大学において日英独拠点機関の研究者を集めてキックオフ・シンポジウムを開催し、平成 27 年 11 月には仙台において第 2 回ワークショップを開催した。平成 28 年 6 月にはカイザースラウテルン工科大学において第 3 回ワークショップを開催し、平成 28 年 11 月には仙台において第 4 回ワークショップを開催した。これらの会議では、各研究グループの研究進捗状況を報告し、研究協力体制の構築に向けた有意義な意見交換を行った。また、大学院生やポスドクにも口頭発表やポスター発表の機会を与えて、若手研究者育成にも配慮した。

共同研究については、昨年度までに日本で作成した試料の透過電子顕微鏡観察をヨーク大学にて、ブリルアン光散乱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。また、ヨーク大学で作製した素子の伝導および光学測定を東北大学にて実施し、日本側研究

者が理論計算に基づいて実験結果の解析に当たった。その結果、磁性薄膜・素子の特性と界面における微細構造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。各研究テーマの進捗状況は以下のとおりである。

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。極めて低い磁気緩和を示すホイスラー合金薄膜の作製に成功し、フェリ磁性合金薄膜の遠赤外磁気円二色性とブリルアン光散乱を観測した。

研究テーマ(2) 磁性体／半導体接合におけるスピン・光相互変換の実証を目指し、試料の作製と物性評価を実施した。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、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。

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、強磁性絶縁体におけるスピン波伝導の理論研究に着手した。スピン波間相互作用とスピン波－格子振動相互作用がスピン波分散関係の温度依存性に影響を及ぼすことを解明した。

7. 平成29年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

平成29年度は、6月にヨーク大学において日英独拠点機関の主要研究者を集めたワークショップを開催する。ここで、各研究グループの研究成果を報告し、共同研究の促進に向けた意見交換を行うと共に研究協力体制の強化を図る。また、12月に東北大学においてワークショップを開催して、共同研究の進捗状況に関する情報を共有し、解決すべき課題について忌憚なく議論する。

<学術的観点>

平成29年度は、以下の研究テーマに関する共同研究を推進する。

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強磁性もしくは反強磁性材料の創製を目指して、ハーフメタル・ホイスラー合金薄膜を作製し、そのスピン物性を評価する。特に研究テーマ(2)と関連して有望な新規材料の光学特性を重点的に評価する。

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、接合界面を改善してスピン注入効率の向上を図る。また、新たに開発された計測技術を用いて、円偏光により生成されたスピン波励起を評価する。

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、巨大なスピンゼーベック効果を発現する材料を探索する。また、強磁性金属／絶縁体接合素子におけるスピンゼーベック効果による磁化反転アシストの可能性を理論検証する。

<若手研究者育成>

平成29年度は、6月と12月に開催するワークショップに拠点機関の大学院生・ポスドクを参加させ、主要研究者の発表を聴講させる。また、若手研究者にポスター発表の機会を与えて、若手研究者同士の交流を深めると共に、主要研究者との議論を通して育成を図

る。これとは別に若手研究者を相手国拠点機関に派遣して、実験技術等を修得させると共に、他国の研究者との日々の議論・交流を通して国際的な場で活躍する素養を身につけさせる。

また7月26日～28日の3日間の日程で、東北大学スピントロニクス国際共同大学院プログラム※との共催でサマースクールをヨーク大学にて開催する。東北大学からは5名の大学院生と2名の教員が参加予定であり、ヨーク大学及び英国の関連機関からは15名の大学院生と5名の教員が、カイザースラウテルン工科大学及びドイツの関連機関からは5名の大学院生と2名の教員がそれぞれ参加予定である。本スクールは各国の大学院生が主体となって協力して企画・運営し、今回は参加者の口頭発表と教員等による各分野の講義を中心として行う計画である。さらに3カ国の拠点・協力機関以外からも参加者を募り幅広い研究交流・議論の場を提供する計画である。

※) 東北大学スピントロニクス国際共同大学院プログラム

東北大学の特色・強みを活かして、海外教育研究機関と共同してスピントロニクス分野における世界的な人財を育成するために設立された。国際社会で力強く活躍できる人財の育成の場を創出するプログラムで、東北大学と海外教育研究機関から世界トップクラスの教員を集め、スピントロニクス分野の教育を実施している。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

他国の拠点に滞在中の週末は滞在先の文化に触れるため、具体的には美術館・博物館・遺跡などを訪問する。さらに、滞在先の研究者が生活・文化なども紹介することで、より深いレベルでの交流と理解を深める。特に研究スタイルの違いなどに触れることは、将来国際的な研究者として活躍していく際に役立つ貴重な経験となると考えられる。

8. 平成29年度研究交流計画状況

8-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成27年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) 新規強磁性／反強磁性材料の創製 (英文) Fabrication of new ferromagnets and antiferromagnets				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 白井正文・東北大学 電気通信研究所・教授 (英文) SHIRAI Masafumi・Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) HIROHATA Atsufumi・The University of York・Professor HILLEBRANDS Burkard・Technical University of Kaiserslautern・Professor				

29年度の 研究交流活動 計画	<p>低磁化、高スピン分極、低磁気緩和を兼備した新規強磁性もしくは反強磁性材料の創製を目指し、昨年度は東北大学においてフェリ磁性ハーフメタル・ホイスラー合金薄膜を作製し、カイザースラウテルン工科大学においてブリルアン光散乱測定を行った。本年度は、このフェリ磁性薄膜において観測されたブリルアン光散乱信号の解析を行い、スピン波分散関係を解明する。また、昨年度は東北大学において作製したハーフメタル・ホイスラー合金薄膜の磁気緩和定数をカイザースラウテルン工科大学において評価した。本年度は、この磁気緩和が極めて低い薄膜を用いてスピン波伝搬素子に応用するための実証研究を進める。</p> <p>そのため日本から大学院生 1 名をカイザースラウテルン工科大学に派遣し、現地の研究者と 1 ヶ月程度に亘り共同研究を実施する。研究進捗状況等の情報交換には、必要に応じて電子メールやインターネット会議を利用すると共に、セミナー(S-1)・(S-2)の際に直接意見交換する機会を設ける。</p>
29年度の 研究交流活動 から得られる ことが期待さ れる成果	<p>低磁化と高スピン分極を兼備したフェリ磁性ハーフメタル・ホイスラー合金薄膜における磁化ダイナミクスに関する知見を得ることにより、この材料を電極に用いた強磁性体／非磁性体／強磁性体三層構造における磁気抵抗の向上と電流誘起磁化反転に要する電流密度の大幅な低減に向けた研究の指針が得られるものと期待される。また、磁気緩和が極めて低いホイスラー合金薄膜はスピン波の長距離伝搬を可能とするため、スピン波伝搬素子の実現に向けた研究の進展が期待できる。</p>

整理番号	R-2	研究開始年度	平成 27 年度	研究終了年度	平成 29 年度
研究課題名	(和文) 磁性体／半導体接合におけるスピン-光相互作用				
	(英文) Interaction between spin and light in ferromagnet/semiconductor hybrid structures				
日本側代表者 氏名・所属・ 職	(和文) 松倉文礼・東北大学 原子分子材料科学高等研究機構・教授				
	(英文) MATSUKURA Fumihito・Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University・Professor				
相手国側代表 者 氏名・所属・ 職	(英文) HIROHATA Atsufumi・The University of York・Professor HILLEBRANDS Burkard・Technical University of Kaiserslautern・ Professor				

29年度の 研究交流活動 計画	<p>強磁性体／半導体接合におけるスピン注入と光によるスピン制御を目指して、昨年度はヨーク大学において作製した強磁性体／半導体接合薄膜の電気伝導・光学測定を東北大学において実施した。本年度は、スピン注入効率を向上するため強磁性体／半導体界面の改善を図ると共に、円偏光を用いたスピン制御の実証に向けた研究を進める。また、昨年度はレーザー光パルスを用いたスピン波の生成と検出を可能にする新しい計測技術を東北大学において開発した。本年度は、東北大学及びヨーク大学で作製された試料におけるスピン波励起を、この計測技術を用いて評価する。</p> <p>そのためヨーク大学から若手研究者1名が来日し、東北大学に1週間程度の期間滞在して共同研究を実施する。また、研究進捗状況等の情報交換には、必要に応じて電子メールやインターネット会議を利用すると共に、セミナー(S-1)・(S-2)の際に直接意見交換する機会を設ける。</p>
29年度の 研究交流活動 から得られる ことが期待さ れる成果	<p>強磁性体／半導体接合素子におけるスピン注入効率を高めることにより、スピンの情報を円偏光に変換する効率の向上が期待できる。一方、光による磁化反転制御により、光からスピンへの情報変換が可能となる。日英独3拠点機関が得意とする素子作製・構造評価・超高速スピン励起計測技術を結集することにより、スピン-光の相互変換を利用した情報伝達技術の確立に向けた実証実験の進展が期待される。</p>

整理番号	R-3	研究開始年度	平成28年度	研究終了年度	平成31年度
研究課題名	<p>(和文) 排熱利用によるスピントロニクス素子の動作特性向上</p> <p>(英文) Improving operating characteristics of spintronics devices by waste heat management</p>				
日本側代表者 氏名・所属・ 職	<p>(和文) 松倉文礼・東北大学 原子分子材料科学高等研究機構・教授</p> <p>(英文) MATSUKURA Fumihito・Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University・Professor</p>				
相手国側代表 者 氏名・所属・ 職	<p>(英文)</p> <p>HIROHATA Atsufumi・The University of York・Professor</p> <p>HILLEBRANDS Burkard・Technical University of Kaiserslautern・Professor</p>				

<p>29年度の 研究交流活動 計画</p>	<p>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の飛躍的向上を目指し、昨年度は巨大なスピンゼーバック効果や異常ネルンスト効果などを発現する材料を探索した。本年度もハーフメタル・ホイスラー合金や人工多層膜を対象として、系統的な材料探索を継続する。また、昨年度は東北大学およびカイザーラウテルン工科大学において観測された磁性絶縁体のスピン波伝搬に関する数値計算を行い、スピン波分散の温度変化を説明した。本年度は、強磁性体に印加された温度勾配により励起されるスピン波の理論計算を実施し、スピンゼーバック効果による磁化反転アシストの可能性を検証する。</p> <p>そのため日本から若手研究者3名をヨーク大学に派遣し、現地の研究者と1週間程度に亘り共同研究を実施する。また、研究進捗状況等の情報交換には、必要に応じて電子メールやインターネット会議を利用すると共に、セミナー(S-1)・(S-2)の際に直接意見交換する機会を設ける。</p>
<p>29年度の 研究交流活動 から得られる ことが期待さ れる成果</p>	<p>強磁性体／非磁性体／強磁性体三層構造からなるナノピラーを強磁性絶縁体により被覆することで、スピンゼーバック効果によって絶縁体中にスピン波を励起することができるため、電流誘起磁化反転に要する電流密度を大幅に低減することが期待される。</p>

8-2 セミナー

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) ヨーク・東北・カイザースラウテルン シンポジウム－日本学術振興会研究拠点形成事業 第5回ワークショップ－
	(英文) York-Tohoku-Kaiserslautern Symposium – 5th JSPS Core-to-Core Workshop－
開催期間	平成29年6月21日 ～ 平成29年6月23日 (3日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 英国、ヨーク、ヨーク大学
	(英文) UK, York, The University of York
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 大野英男・東北大学 電気通信研究所・教授
	(英文) OHNO Hideo・Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文) O'GRADY Kevin・The University of York・Professor

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (英国)	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	20/ 120	
	B.	0	
英国 〈人／人日〉	A.	7/ 21	
	B.	30	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	5/ 20	
	B.	0	
合計 〈人／人日〉	A.	32/ 161	
	B.	30	

- A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)
 B. 一般参加者 (参加研究者リスト以外の研究者等)

※日数は、出張期間 (渡航日、帰国日を含めた期間) としてください。これによりがたい場合は、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	日英独拠点機関の研究成果を互いに報告し、共同研究の促進に向けた意見交換を行うと共に研究協力体制の強化を図ることが目的である。	
期待される成果	互いに相補的な知識・技術を有する日英独拠点機関の主要研究者が一堂に集まり、意見交換と研究計画の策定を行うことにより、新概念スピントロニクス素子開発に向けた研究の加速が期待できる。また、本プロジェクト外の関連研究者に招待講演を依頼して、研究計画の客観的な評価を仰ぐことができる。さらに、大学院生を含む若手研究者に発表の機会を与え、若手研究者育成の効果も期待できる。	
セミナーの運営組織	英国側代表が主体となり、日独の代表者と連携して運営する。すでに招待講演者がほぼ確定しており、口頭・ポスター発表者の人選を進めている。	
開催経費 分担内容	日本側	内容 外国旅費・国内旅費
	(英国)側	内容 会議費 外国旅費・国内旅費
	(ドイツ)側	内容 外国旅費・国内旅費

整理番号	S-2
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業 第6回ワークショップ「新概念スピントロニクス素子」
	(英文) 6th JSPS Core-to-Core Workshop on “New-Concept Spintronics Devices”
開催期間	平成29年12月15日～平成29年12月16日(2日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、仙台、東北大学
	(英文) Japan, Sendai, Tohoku University
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 大野英男・東北大学 電気通信研究所・教授
	(英文) OHNO Hideo・Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文)

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (日本)	
	日本 〈人／人日〉	A.
	B.	10
英国 〈人／人日〉	A.	3/ 18
	B.	0
ドイツ 〈人／人日〉	A.	3/ 18
	B.	0
合計 〈人／人日〉	A.	31/ 86
	B.	10

- A. 本事業参加者（参加研究者リストの研究者等）
 B. 一般参加者（参加研究者リスト以外の研究者等）

※日数は、出張期間（渡航日、帰国日を含めた期間）としてください。これによりがたい場合は、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	日英独拠点機関の研究者が共同研究の進捗状況を報告することにより、最新の情報を参加メンバー間で共有し、解決すべき課題について忌憚なく議論することを目的とする。	
期待される成果	共同研究が直面している課題について主要研究者が集中的に討議することにより、その後の共同研究が加速されると期待できる。また、本プロジェクト外の関連研究者との交流により、研究計画の客観的な見直しも可能になる。さらに、大学院生を含む若手研究者に発表の機会を与え、若手研究者育成の効果も期待できる。	
セミナーの運営組織	日本側代表が主体となり、英独の代表者と連携して運営する。詳細については6月のワークショップ（S-1）開催時に日英独拠点機関の主要研究者が協議して確定する。	
開催経費 分担内容	日本側	内容 会議費 国内旅費
	(英国) 側	内容 外国旅費・国内旅費
	(ドイツ) 側	内容 外国旅費・国内旅費

8-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

共同研究、セミナー以外の交流（日本国内の交流を含む）計画を記入してください。

所属・職名 派遣者名	派遣時期	訪問先・内容
東北大学原子分子材料 科学高等研究機構・教 授・松倉文礼	平成 29 年 7 月	ヨーク大学（英国） サマースクール
東北大学原子分子材料 科学高等研究機構・教 授・齊藤英治	平成 29 年 7 月	ヨーク大学（英国） サマースクール
東北大学原子分子材料 科学高等研究機構・教 授・齊藤英治	平成 29 年 10 月	カイザースラウテルン工科大学（ドイツ） 研究打合せ
東北大学金属材料研究 所・教授・BAUER Gerrit	平成 29 年 10 月	カイザースラウテルン工科大学（ドイツ） 研究打合せ

8-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

該当なし

9. 平成29年度研究交流計画総人数・人日数

9-1 相手国との交流計画

派遣先 派遣元	日本 〈人／人日〉	英国 〈人／人日〉	ドイツ 〈人／人日〉	合計 〈人／人日〉
日本 〈人／人日〉		22/ 132 (5/ 30)	2/ 10 (0/ 0)	24/ 142 (5/ 30)
英国 〈人／人日〉	0/ 0 (5/ 48)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (5/ 48)
ドイツ 〈人／人日〉	0/ 0 (3/ 18)	0/ 0 (12/ 48)		0/ 0 (15/ 66)
合計 〈人／人日〉	0/ 0 (8/ 66)	22/ 132 (17/ 78)	2/ 10 (0/ 0)	24/ 142 (25/ 144)

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流する人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※相手国側マッチングファンドなど、本事業経費によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。

9-2 国内での交流計画

5 / 10 〈人／人日〉

10. 平成29年度経費使用見込み額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	800,000	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	8,600,000	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	6,000,000	
	その他の経費	360,000	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	0	東北大学にて別途負担
	計	15,760,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,576,000	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合計		17,336,000	