

**研究拠点形成事業
平成 27 年度 実施報告書
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：	カイザースラウテルン工科大学

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
(1 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. 研究交流目標

5-1. 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。

5-2. 平成27年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

初年度である平成27年度は、6月に日英独拠点機関の主要研究者を集めたキックオフ会議をヨーク大学で開催する。ここで、各研究グループの準備状況を報告し、研究協力体制の構築に向けた意見交換を行う。また、11月に東北大学で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27年度は、研究テーマ(1)の第一段階として、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する。また、微細加工が交換結合に及ぼす影響を数値計算により検討すると共に、素子を作製して実証する。一方、研究テーマ(2)と関連して、磁性体/半導体の接合の作製と評価を行う。

<若手研究者育成>

上述の会議の開催に合わせて、その前後1 ヶ月程度の期間で若手研究者の交流を行う。すなわち、会議開催拠点は他の2つの研究拠点から一度に2名以上の大学院生・ポスドク・若手教員を受け入れる。若手研究者は滞在先の拠点が得意とする実験技術等を修得すると共に、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ることを目指す。

<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。

6. 平成27年度研究交流成果

(交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めてください。)

6-1 研究協力体制の構築状況

平成27年6月11日～13日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キックオフ会議を開催した。各研究グループのこれまでの研究成果に関する口頭発表により、研究グループ相互の理解を深めることができた。また、参加研究者同士で具体的な共同研究の内容について意見交換すると共に、若手研究者や大学院生の派遣時期を確認し、当面の共同研究に向けた協力体制を確立することができた。

平成27年11月13日に東北大学においてワークショップを開催した。ここでは若手研究者や大学院生が研究成果の口頭発表を行い、関連研究者同士で研究の進捗状況を共有することができた。また、直面している問題点を整理し、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。

6-2 学術面の成果

平成27年度は、東北大学と物質・材料研究機構において強磁性合金／酸化物トンネル接合膜ならびに強磁性金属／半導体接合試料を作製し、ヨーク大学において高分解透過電子顕微鏡による試料の構造観察を、カイザーラウテルン工科大学においてブリルアン光散乱測定を実施した。また、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の構築に着手した。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、次年度以降に試作する

新概念スピントロニクス素子の特性向上に向けた重要な知見を蓄積することができた。

6-3 若手研究者育成

平成27年6月11日～13日にヨーク大学において開催したキックオフ会議では大学院生を含む若手研究者にポスター発表の機会を、平成27年11月13日に東北大学において開催したワークショップでは口頭発表の機会を与え、国内外研究者との忌憚のない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含む若手研究者を中長期（2週間～3ヶ月）に亘り派遣し、共同研究ならびに実験手法の習得の機会を与え、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。一方、海外拠点機関の若手研究者を中長期に（3週間～3ヶ月）亘り、東北大学および物質・材料研究機構において受入れ、共同研究の傍ら実験手法の習得の機会を与えることにより研究者育成に努めた。

6-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

平成27年6月11日～13日にヨーク大学において開催したキックオフ会議は、サー・マーチン・ウッド賞講演および他の国際共同研究プログラムの公開ワークショップと共同で開催し、本研究課題をスピントロニクス分野の関連研究者に周知することができた。

6-5 今後の課題・問題点

平成27年度に実施した共同研究により、強磁性合金／酸化物トンネル接合および強磁性金属／半導体接合素子の特性向上のために、接合界面の微細構造制御が重要であることが明らかになった。しかし、界面構造制御の具体的な方策は未だ確立されておらず、次年度以降も研究を継続する必要がある。界面における構造だけでなく伝導電子のスピン偏極率などの電子状態に関する知見を得る実験手法の構築が重要であり、本研究課題による共同研究の進展に期待するところが大きい。

次年度からは、研究テーマ(2) スピン-光相互変換を利用したスピン情報伝達技術の開発が本格化すると共に、研究テーマ(3) 熱電効果、熱擾乱、スピンゼーバック効果を利用した排熱の積極的利用が開始される予定であり、日英独拠点機関を中心としたより緊密な共同研究体制の構築による共同研究の加速が必要である。

6-6 本研究交流事業により発表された論文等

- (1) 平成27年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 1本
うち、相手国参加研究者との共著 1本
 - (2) 平成27年度の国際会議における発表 11件
うち、相手国参加研究者との共同発表 3件
 - (3) 平成27年度の国内学会・シポジウム等における発表 10件
うち、相手国参加研究者との共同発表 0件
- (※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)

(※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

7. 平成27年度研究交流実績状況

7-1 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				
参加者数	日本側参加者数	10名			
	(英 国) 側参加者数	4名			
	(ドイツ) 側参加者数	2名			
27年度の研究 交流活動	<p>東北大学と物質・材料研究機構において強磁性合金／酸化物トンネル接合膜試料を作製し、ヨーク大学において高分解透過電子顕微鏡による試料の構造観察ならびに赤外線円二色性分光実験を実施した。日英の研究者が協力して第一原理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の構築に着手した。一方、スピントロニクス素子界面における微視的な構造と伝導電子のスピン偏極率との関係を明らかにするため、ヨーク大学から派遣された研究者と共同で物質・材料研究機構において走査型トンネル顕微鏡観察とスピン偏極準安定脱励起測定をその場で行えるシステムの構築を進めた。</p>				

27年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>(1) CoFeB/MgO トンネル接合界面において Fe(Co)-O 結合が形成されていることが透過電子顕微鏡により観察された。また、界面における Fe と Co の組成比はバルクと大差ないことが第一原理計算により示された。</p> <p>(2) Mn-Ge/MgO トンネル接合界面の非平坦性ならびに格子不整合に起因する転位の存在が透過電子顕微鏡により観察され。また、Mn-Ge 単結晶薄膜の赤外線円二色性測定の結果、フェルミ準位付近にスピン偏極した電子状態に起因したスペクトルが観測された。</p> <p>(3) 酸化不足条件で形成されたスピネル層上部の平坦性および結晶性の劣化が透過電子顕微鏡により観察され、これがトンネル磁気抵抗特性の低下の主要因であることが判明した。</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	<p>(和文) 磁性体／半導体接合におけるスピン-光相互作用</p> <p>(英文) Interaction between spin and light in ferromagnet/ semiconductor hybrid structures</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 Fumihiko・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>				
参加者数	日本側参加者数	8名			
	(英 国) 側参加者数	3名			
	(ドイツ) 側参加者数	2名			
27年度の研究 交流活動	<p>強磁性体から半導体へのスピン注入とその検出に向けて、ヨーク大学から派遣された研究者と共同で東北大学において強磁性金属／半導体積層膜を作製し 4 端子素子に微細加工した。また、強磁性合金の磁気特性と合金組成ならびに熱処理温度の関係を明らかにするため、東北大学において作製した強磁性薄膜試料のブリルアン光散乱測定を、カイザーラウテルン工科大学において東北大学から派遣した大学院生と共同で実施した。</p>				

<p>27年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>(1) エピタキシャル成長した Fe/GaAs 積層膜を4端子素子に微細加工することに成功し、素子の電気伝導を測定した結果、ショットキー障壁に特徴的な特性を明瞭に観測することができた。</p> <p>(2) CoFeB 薄膜のブリルアン光散乱測定により、磁気励起エネルギーを特徴づける交換スティッフネス定数の合金組成ならびに熱処理温度依存性を調べた。その結果、CoFeB の交換スティッフネス定数は Fe 組成増加または熱処理温度上昇に伴い単調に増大することが分かり、素子に要求される磁気励起エネルギーが制御可能であることを実証した。</p>
--------------------------------------	--

7-2 セミナー

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 英国工学・物理学研究会議-日本学術振興会研究拠点形成事業キックオフミーティング、サー・マーチン・ウッド賞講演、HARFIR 公開ワークショップ合同：ヨーク・東北・カイザーズラウテルン研究シンポジウム「新概念スピントロニクス素子」 (英文) York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on “New-Concept Spintronics Devices” including EPSRC-JSPS Core-to-Core Program Kick-Off Meeting, Sir Martin Wood Prize Lecture and HARFIR Open Workshop
開催期間	平成 27 年 6 月 11 日 ～ 平成 27 年 6 月 13 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 (※日本以外で開催の場合)	(英文) O'GRADY Kevin, The University of York, Professor

参加者数

派遣先 派遣	セミナー開催国 (英国)	
	A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	14/ 94
	B.	7
英国 〈人／人日〉	A.	5/ 15
	B.	26
ドイツ 〈人／人日〉	A.	2/ 6
	B.	0
合計 〈人／人日〉	A.	21/ 115
	B.	33

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	平成 27 年 6 月 11 日～13 日に英国ヨーク大学で、キックオフ・シンポジウムを開催する。ヨーク大学とは、磁性材料・スピントロニクス分野での合同セミナー（参加者 80～140 名）を毎年交互に開催している。本年度は、これらの交流のさらなる深化と、英国・ドイツ拠点の連携機関への交流展開も目指すものである。		
セミナーの成果	各研究グループのこれまでの研究成果に関する口頭発表により、研究グループ相互の理解を深めることができた。また、参加研究者同士で具体的な共同研究の内容について意見交換すると共に、若手研究者や大学院生の派遣時期を確認し、当面の共同研究に向けた協力体制を確立することができた。		
セミナーの運営組織	英国側代表と副代表が、日独の代表者と連携してシンポジウムを運営する。		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容	外国旅費・国内旅費 金額
	(英国)側	内容	会議費、国内旅費、 協力機関関係者への謝金等
	(ドイツ)側	内容	外国旅費

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ワークショップ「新概念スピントロニクス素子」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program Workshop on “New-Concept Spintronics Devices”
開催期間	平成 27 年 11 月 13 日 ～ 平成 27 年 11 月 13 日 (1 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 (※日本以外で開催の場合)	(英文)

参加者数

派遣先 派遣	セミナー開催国 (日本)	
日本 〈人／人日〉	A.	20 / 23
	B.	18
英国 〈人／人日〉	A.	3 / 9
	B.	0
ドイツ 〈人／人日〉	A.	4 / 12
	B.	0
合計 〈人／人日〉	A.	27 / 44
	B.	18

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 3 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。		
セミナーの成果	若手研究者や大学院生が研究成果の口頭発表を行い、関連研究者同士で研究の進捗状況を共有することができた。また、直面している問題点を整理し、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。また、英国ヨーク大学の若手研究者 1 名を、ワークショップに引続き 3 週間余りに亘って東北大学に受け入れ、実験手法の習得ならびに相補的な評価・測定を通して交流した。		
セミナーの運営組織	日本側代表と副代表が、英独の代表者と連携してシンポジウムを運営した。		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容	会議費 金額
			国内旅費 金額
	(英国) 側	内容	外国旅費
	(ドイツ) 側	内容	外国旅費

7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

所属・職名 派遣者名	派遣・受入先 (国・都市・機関)	派遣期間	用務・目的等
University of York・Professor HIROHATA Atsufumi	日本・仙台・ 東北大学	H27 年 4 月 13 日～H27 年 4 月 16 日	研究交流事業ならびに共同研究体制に 関する打合せ
東北大学電気通 信研究所・助教 辻川 雅人	英国・ヨーク ・ヨーク大学	H28 年 2 月 29 日～H28 年 3 月 18 日	Mn-Ge 合金における磁気光学特性に関 する研究打合せ
東北大学電気通 信研究所・准教授 GREAVES	英国・ヨーク ・ヨーク大学	H28 年 3 月 12 日～H28 年 3 月 21 日	強磁性体／反強磁性体接合膜における 磁化反転過程に関する研究打合せ

Simon			
東北大学電気通信研究所・教授 白井 正文	英国・ヨーク ・ヨーク大学	H28年3月 15日～H28 年3月19日	強磁性合金／非磁性金属界面における 磁気異方性に関する研究打合せ
東北大学電気通信研究所・教授 大野 英男	チェコ・プラ ハ・チェコ共 和国科学ア カデミー	H28年3月 29日～H28 年3月31日 (引続き4月 2日まで実 施予定)	新概念スピントロニクス素子に関する 研究打合せ・講演

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応
該当なし

8. 平成27年度研究交流実績総人数・人日数

8-1 相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本	英国	ドイツ	チエコ(英国側参加研究者)	合計
日本	1		14/ 94 (2/ 5)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	14/ 94 (2/ 5)
	2		0/ 0 (0/ 0)	1/ 24 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 24 (0/ 0)
	3		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)
	4		5/ 138 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 8 (0/ 0)	7/ 146 (0/ 0)
	計		19/ 232 (2/ 5)	1/ 24 (0/ 0)	2/ 8 (0/ 0)	22/ 264 (2/ 5)
英国	1	0/ 0 (1/ 4)		0/ 0 (0/ 0)	()	0/ 0 (1/ 4)
	2	0/ 0 (2/ 122)		0/ 0 (0/ 0)	()	0/ 0 (2/ 122)
	3	0/ 0 (3/ 34)		0/ 0 (0/ 0)	()	0/ 0 (3/ 34)
	4	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)	()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (6/ 160)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (6/ 160)
ドイツ	1	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (2/ 6)		()	0/ 0 (2/ 6)
	2	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		()	0/ 0 (0/ 0)
	3	0/ 0 (4/ 12)	0/ 0 (0/ 0)		()	0/ 0 (4/ 12)
	4	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (4/ 12)	0/ 0 (2/ 6)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (6/ 18)
—	1	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	2	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	3	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	4	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)
合計	1	0/ 0 (1/ 4)	14/ 94 (4/ 11)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	14/ 94 (5/ 15)
	2	0/ 0 (2/ 122)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 24 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 24 (2/ 122)
	3	0/ 0 (7/ 46)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (7/ 46)
	4	0/ 0 (0/ 0)	5/ 138 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 8 (0/ 0)	7/ 146 (0/ 0)
	計	0/ 0 (10/ 172)	19/ 232 (4/ 11)	1/ 24 (0/ 0)	2/ 8 (0/ 0)	22/ 264 (14/ 183)

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・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。

8-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 5 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 5 (0/ 0)

9. 平成27年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	574,505	
	外国旅費	9,230,768	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	4,172,131	
	その他の経費	29,700	
	外国旅費・謝 金等に係る消 費税	274,896	消費税額738,461 円のうち、 463,565円大学負
	計	14,282,000	
業務委託手数料		1,428,200	
合 計		15,710,200	

10. 平成27年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	平成27年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
英国	40,530 [ポンド]	7,498,000 円相当
ドイツ	15,400 [ユーロ]	2,079,000 円相当

※交流実施期間中に、相手国が本事業のために使用したマッチングファンドの金額について、現地通貨での金額、及び日本円換算額を記入してください。