

## 平成30年度研究拠点形成事業 (A. 先端拠点形成型) 実施計画書

### 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)側拠点機関:	ヨーク大学
(ドイツ)側拠点機関:	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

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

研究交流課題に係るウェブサイト: <http://www.riec.tohoku.ac.jp/core-to-core/>

### 3. 採択期間

平成27年4月1日 ~ 平成32年3月31日

(4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・職名・氏名): 電気通信研究所・所長・塩入 諭

コーディネーター(所属部局・職名・氏名): 電気通信研究所・教授・白井 正文

協力機関: なし

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・職名・氏名): (英文)

Department of Physics・Professor・O'GRADY Kevin

協力機関: なし

経費負担区分: 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・職名・氏名) : (英文)

Faculty of Physics・Professor・HILLEBRANDS Burkard

協力機関：なし

経費負担区分：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年度から平成29年度にかけて、当初の計画どおり年2回のセミナーを開催した。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、平成29年6月にヨーク大学、平成29年12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て開催した。これらのセミナーでは各研究グループの研究進捗状況を共有すると共に、研究協力体制の構築に向けた有意義な意見交換を行うことができた。他の国際会議と連続して共同開催し、本事業に参加していない関連研究者に招待講演を依頼することで、新たな協力研究者を獲得し、研究者ネットワークの拡大を図った。

共同研究については、東北大学で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/半導体接合試料を、ヨーク大学において高分解能透過電子顕微鏡を用いて構造

観察すると共に、カイザースラウテルン工科大学においてブリルアン散乱を用いてスピン波の観測ならびに磁気緩和の測定を実施した。これにより平成 29 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すると共に、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方法を共同開発するなど、顕著な研究成果が得られており、新概念スピントロニクス素子の動作実証に向けて当初の目標が概ね達成された。

日英独拠点機関の間での若手研究者・大学院生の派遣・受入れも計画どおり実施されており、各拠点機関における実験手法の習得を通じて若手研究者の育成にも貢献している。また、上述のセミナーにおいてポストクや大学院生にも口頭発表やポスター発表の機会を与えることにより、若手研究者育成に配慮した。

## 7. 平成 30 年度研究交流目標

### <研究協力体制の構築>

平成 30 年度は、5 月 28 日～30 日にカイザースラウテルン工科大学において日英独拠点機関の主要研究者を集めた第 7 回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、11 月 9 日～10 日に東北大学において第 8 回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 30 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で観測された磁気光学特性を解析すると共に、それを用いたスピン波伝搬素子の実証研究を実施する。

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 30 年度は、5 月と 11 月に開催するワークショップに拠点機関の大学院生・ポストクを参加させ、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。特に 5 月にカイザースラウテルン工科大学において開催するワークショップの初日は若手研究者・大学院生を対象とした講義とポスター発表に当てられ、大学院生が主体となって企画・運営に携わる計画である。

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。

**<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30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 31 年度
共同研究課題名	(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・職名・ 研究者番号	(和文) 白井正文・東北大学 電気通信研究所・教授・1-2 (英文) SHIRAI Masafumi・Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University・Professor・1-2				
相手国側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(英文) HIROHATA Atsufumi・The University of York・Professor・2-2 HILLEBRANDS Burkard・Technical University of Kaiserslautern・Professor・3-1				
30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という目標達成に向けて、昨年度まで低磁化フェリ磁性ハーフメタル・ホイスラー合金薄膜を東北大学において作製し、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で観測されたブリルアン光散乱信号を、東北大学とカイザースラウテルン工科大学の共同で解析して、スピン波分散関係の解明を目指す。一方、昨年度まで東北大学において作製しカイザースラウテルン工科大学において磁気緩和を評価したハーフメタル・ホイスラー合金薄膜について、本年度は、この低磁気緩和薄膜を用いてスピン波伝搬素子の創製に向けた実証研究を、東北大学とカイザースラウテルン工科大学共同で実施する。このため東北大学の大学院生1名を半月程度カイザースラウテルン工科大学に派遣する。また、本研究課題の研究進捗状況と今後の展開に関する研究打合せのため、東北大学の研究者1名を1週間ヨーク大学に派遣する。</p>				
30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顕著な進展が期待できる。</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 31 年度
共同研究課題名	(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・職名・ 研究者番号	(和文) 松倉文礼・東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター・教授・1-7 (英文) MATSUKURA Fumihito・Center for Innovative Integrated Electronic Systems, Tohoku University・Professor・1-7				
相手国側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(英文) HIROHATA Atsufumi・The University of York・Professor・2-2 HILLEBRANDS Burkard・Technical University of Kaiserslautern・Professor・3-1				
30年度の 研究交流活動 計画	強磁性体／半導体接合における光によるスピン制御に基づく素子の創製という目標達成に向けて、昨年度まで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、日英独拠点機関が共同で円偏光を用いたスピン制御の実証に向けた研究を継続する。一方、昨年度まで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。このため東北大学の大学院生 1 名を半月程度カイザースラウテルン工科大学に派遣すると共に、ヨーク大学から東北大学に若手研究者 1 名を半月程度受入れる。また、本研究課題の研究進捗状況と今後の展開に関する研究打合せのため、東北大学の研究者 1 名を 1 週間ヨーク大学に派遣する。				
30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	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、スピンと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できる。				

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
共同研究課題名	(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 (英文) Improving operating characteristics of spintronics devices by waste heat management				
日本側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 松倉文礼・東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター・教授・ 1-7 (英文) MATSUKURA Fumihito・Center for Innovative Integrated Electronic Systems, Tohoku University・Professor・1-7				
相手国側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(英文) HIROHATA Atsufumi・The University of York・Professor・2-2 HILLEBRANDS Burkard・Technical University of Kaiserslautern・ Professor・3-1				
30年度の 研究交流活動 計画	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 という目標達成に向けて、昨年度まで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。一方、昨年度まで東北大学と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の理論解析を東北大学におい て行うと共に、スピン波分散の温度変化の理論を構築した。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 東北大学において実施し、スピンゼーバック効果による磁化反転アシス トの可能性を理論検証すると共に、日英独拠点機関を中心として日本国 内の協力研究者が共同でスピンゼーバック効果の更なる改善に向けた材 料探索を継続する。本研究課題の研究進捗状況と今後の展開に関する研 究打合せのため、東北大学の研究者 1 名を 1 週間ヨーク大学に派遣す る。				
30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	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。この効果を活用することで、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できる。				

8-2 セミナー

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業 東北・ヨーク・カイザー スラウテルン 第7回 ワークショップ「新概念スピントロニクス素 子」
	(英文) 7th Workshop of the JSPS Core-to-Core Program Tohoku- York-Kaiserslautern “New-Concept Spintronics Devices”
開催期間	平成30年5月28日 ~ 平成30年5月30日 (3日間)
開催地(国名、都市名、 会場名)	(和文) ドイツ、カイザースラウテルン、カイザースラウテルン工 科大学
	(英文) Germany, Kaiserslautern, Technical University of Kaiserslautern
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・研 究者番号	(和文) 白井正文・東北大学電気通信研究所・教授・1-2
	(英文) SHIRAI Masafumi・Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University・Professor・1-2
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・研 究者番号 (※日本以外での開催の場合)	(英文) HILLEBRANDS Burkard・Technical University of Kaiserslautern・ Professor・3-1

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (ドイツ)		備考
		A.	B.	
日本	A.	20/	120	
	B.	0		
(英国)	A.	10/	40	
	B.	0		
(ドイツ)	A.	10/	30	
	B.	20		
合計 〈人/人日〉	A.	40/	190	
	B.	20		

- 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)

※人／人日は、2／14（＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する）のように記載してください。

※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、備考欄にその内訳等を記入してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>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。また、初日は若手研究者・大学院生を対象とした講義とポスター発表に当てられ、日英独の若手研究者・大学院生の育成を目的とする。</p>	
<p>期待される成果</p>	<p>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。本事業以外の関連研究者に招待講演を依頼して、本事業への参加を促すことにより、研究者ネットワークの拡大が期待できる。さらに、若手研究者・大学院生の自発的な交流促進が期待できる。</p>	
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>ドイツ側代表が主体となり、日英の代表者と連携して運営する。すでにドイツ側の招待講演者の一部が確定しており、口頭・ポスター発表者の人選を進めている。初日の講義とポスター発表は学生が主体となって運営に当たり、すでに講師が決定している。</p>	
<p>開催経費 分担内容</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 外国旅費・国内旅費</p>
	<p>(英国)側</p>	<p>内容 外国旅費・国内旅費</p>
	<p>(ドイツ)側</p>	<p>内容 会議費、外国旅費・国内旅費</p>

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8回 ワークショップ 「新概念スピントロニクス素子」 (英文) 8th JSPS Core-to-Core Workshop on New-Concept Spintronics Devices
開催期間	平成30年11月9日 ~ 平成30年11月10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・職名・研 究者番号	(和文) 白井正文・東北大学電気通信研究所・教授・1-2 (英文) SHIRAI Masafumi・Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University・Professor・1-2
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・研 究者番号 (※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)		備考
		A.	B.	
日本	A.	25/ 50		
	B.	10		
(英国)	A.	5/ 25		
	B.	0		
(ドイツ)	A.	3/ 15		
	B.	0		
合計 〈人/人日〉	A.	33/ 90		
	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)

※人/人日は、2/14 (= 2人を7日間ずつ計14日間派遣する) のように記載してください。

※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、備考欄にその内訳等を記入してください。

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、最新の情報を参加研究者の間で共有し、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。スピントロニクス関連の別のワークショップと連続して開催することにより、本事業以外の関連研究者との意見交換が促進され、研究者ネットワークの拡大が期待できる。若手研究者・大学院生に発表の機会を与えることにより、若手研究者育成も期待できる。	
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 派遣者氏名・研究者番号	派遣時期 (●月・●日間)	訪問先・内容
九州大学 大学院理学府・修士学生・ 吉瀬 みのり・1-68	5月・15日間	訪問先：カイザースラウテルン工科大学 内容：光学測定実習
東北大学 大学院工学研究科・博士学生・ 上牧 瑛・1-41	6月・15日間	訪問先：カイザースラウテルン工科大学 内容： 光学測定実習
東北大学 材料科学高等研究所・教授・ 水上 成美・1-16	12月・7日間	訪問先：ヨーク大学 内容：研究打合せ
東北大学 電気通信研究所・教授・ 白井 正文・1-2	12月・7日間	訪問先：ヨーク大学 内容：研究打合せ

※1名につき1行で記入してください。

### 8-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

①評価コメント（抜粋）：国内外の研究機関との有機的な連携が見えにくい。

対応：国内外の研究機関との共同研究はこれまでも実施してきており顕著な研究成果も得られているので、共著による論文発表または国際会議・国内学会における共著発表として、今後さらに積極的に公表することで対応する。

②評価コメント（抜粋）：相手国においては拠点機関のみで協力機関が参加しておらず、さらなる広がりを持ったネットワークの構築が今後の課題と思われる。

対応：年2回開催しているセミナーにおいて拠点機関外の関連研究者による招待講演を企画してきており、招待講演者を参加研究者に適宜追加することでネットワークの拡大に対応する。

③評価コメント（抜粋）：目標に向けた学術面での具体的な研究計画については、最終年度に向けて、どのような素子を創成しようとしているのか、どのようなまとまった研究成果を得ようとしているのか、明確にすることが望まれる。

対応：平成30年5月に予定している次回セミナーにおいて、本事業期間中に実現すべきスピントロニクス素子の機能等について、日英独拠点機関の主要研究者間で協議することで対応する。

## 9. 平成30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>		2 / 14 ( 0 / 0 )	22 / 150 ( 0 / 0 )	24 / 164 ( 0 / 0 )
英国 <人/人日>	0 / 0 ( 6 / 40 )		0 / 0 ( 10 / 40 )	0 / 0 ( 16 / 80 )
ドイツ <人/人日>	0 / 0 ( 3 / 15 )	0 / 0 ( 0 / 0 )		0 / 0 ( 3 / 15 )
合計 <人/人日>	0 / 0 ( 9 / 55 )	2 / 14 ( 0 / 0 )	22 / 150 ( 10 / 40 )	24 / 164 ( 19 / 95 )

※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。

※相手国以外の国へ派遣する場合、国名に続けて(第三国)と記入してください。

### 9-2 国内での交流計画

	交流予定人数 <人/人日>
合計	5 / 10 ( 10 / 20 )

## 10. 平成30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	8,800,000	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	5,100,000	
	その他の経費	272,000	
	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	14,972,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,497,200	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		16,469,200	