

**平成 30 年度研究拠点形成事業
(A. 先端拠点形成型) 実施報告書**

1. 拠点機関

日 本 側 拠 点 機 関 :	東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター
(英 国) 側拠点機関 :	ケンブリッジ大学
(仏 国) 側拠点機関 :	パリ南大学

2. 研究交流課題名

(和文) : 半導体集積デバイス向け二次元電子・スピン材料研究拠点

(英文) : Controlled Interfacing of 2D materials for Integrated Device Technology

研究交流課題に係るウェブサイト : <http://www.cies.tohoku.ac.jp/program/jsps.html>

3. 採択期間

平成 28 年 4 月 1 日～平成 33 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・国際集積エレクトロニクス研究開発センター

実施組織代表者 (所属部局・職名・氏名) :

国際集積エレクトロニクス研究開発センター・センター長・遠藤哲郎

コーディネーター (所属部局・職名・氏名) :

国際集積エレクトロニクス研究開発センター・センター長・遠藤哲郎

協力機関 : 東京大学、筑波大学、東北大学・工学研究科

事務組織 : 東北大学・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・支援室

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) University of Cambridge

(和文) ケンブリッジ大学

コーディネーター (所属部局・職名・氏名) : (英文)

Department of Engineering・Professor・John ROBERTSON

協力機関 : (英文) Hitachi Cambridge Laboratory。

(和文) 日立ケンブリッジ研究所

経費負担区分：A 型 パターン 1

(2) 国名：仏国

拠点機関：(英文) University of Paris Sud

(和文) パリ南大学

コーディネーター (所属部局・職名・氏名)：(英文)

Unité Mixte de Physique・Professor・Pierre SENEOR

協力機関：(英文)「なし」

(和文)

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

電子を情報単体とする情報処理デバイスのスケーリングは限界に近づいており、次世代の半導体開発のブレークスルーとなる新材料と、その製造技術へのインテグレーション技術の開発が、強く求められている。グラフェンに代表される 2 次元材料は、高い電子移動度を有するにのみならず、室温で非常に長いスピン拡散長を有し、現在の MOS チャネルにかわる新規電子伝導チャネルとして、さらに近年電子にかわる超消費電力の新しい情報担体として注目されているスピンの伝導チャネルとして、大きな注目を集めている。しかしながらグラフェン等の 2 次元材料を集積回路へ導入する製造技術はいまだ確立していないため、現状ではその応用範囲はニッチな産業領域に限られている。

研究コーディネーターの遠藤を中心とした東北大学の研究グループは、縦型半導体からスピン応用ロジック・メモリまで、最先端の半導体デバイスの開発を先導し、2012年に新しい国際的な産学連携拠点として、国際集積エレクトロニクス研究開発センターを開設し、日本発の本格的な産学連携拠点を運営している。

本課題の目標は、大面積基板に適用可能な CVD 技術を駆使した再現性の高いグラフェンの製造技術を用い、高品質な電極物質や絶縁体との界面を創製することで、高品質の 2 次元電子、スピンチャネルを実現し、前記チャネルを伝導する電子・スピンの挙動を理論的、実験的に明らかにすることにある。具体的には、日本の拠点である東北大学を中心に新規の 2 次元電子・スピndeバイスの提案とその理論解析を行い、英国の研究拠点であるケンブリッジ大学を中心に、高品質のグラフェンデバイスの製造技術、グラフェンを応用したスピndeバイスの製造技術を開発し、さらにフランスの拠点であるパリ南大学でグラフェン中のスピン伝導を実験的に解明する。これら世界トップレベルの拠点機関間の緊密な連携により次世代半導体のブレークスルー技術を創製するとともに、研究拠点交流を通じて革新的技術創出に資する国際的なセンス豊かな若手研究者を育成することも目標とする。

5-2 平成30年度研究交流目標

＜研究協力体制の構築＞

4月に英国拠点のケンブリッジ大学でセミナーを実施し、さらなる研究交流の拡大をはかるとともに、29年度の共同研究成果と課題を総括して、今年度の共同研究と研究者交流へのフィードバックを図る。また、11月には仙台で2度目のワークショップを開催し、日本側の研究者、学生の欧州側拠点への交流拡大を進めるとともに、共同研究の進捗状況に関する情報を共有し、課題を明確化して、次年度以降の実行計画に反映する。平成30年度に計画している具体的な2つのテーマに関し各拠点への研究者派遣を通し、具体的な研究計画に基づいて人的交流の拡大を図っていく。

＜学術的観点＞

平成30年度は、本格的な共同研究の次の段階として、昨年度に引き続き二つの具体的な共同研究（「半導体集積デバイス向け二次元電子・スピン材料物性の研究」、および「2次元材料を障壁層とする磁気トンネル接合の研究」）を研究者の交流を通して推進する。その中で、日本側は2次元電子・スピndeバイスの伝導機構の理論解析と2次元材料およびその界面の伝導特性測定を、英国拠点では良好な界面構造を有する2次元材料の作製を、フランス拠点では2次元材料を障壁層として用いた磁気トンネル接合の作製と評価を引き続き、推進していく。

＜若手研究者育成＞

年2回開催するセミナーを駆動力として、若手研究者の人的交流拡大を図る。ケンブリッジ大学への若手研究者派遣などを通して、研究目的の共有と技術共有を行い互いのレベルを向上させる。

＜その他（社会貢献や独自の目的等）＞

日本で開催する国際シンポジウムや成果報告会を通じて、研究成果のタイムリーな情報発信を行う。また、引き続きHPを通じて、本研究課題で得られた成果を積極的に情報発信していく。

6. 平成30年度研究交流成果

＜研究協力体制の構築＞

4月に英国拠点のケンブリッジ大学で国際セミナーを実施し、さらなる研究交流の拡大をはかるとともに、29年度の共同研究成果と課題を総括して、今年度の共同研究と研究者交流へのフィードバックをした。また、10月には仙台で2度目の国際セミナーを開催し、ケンブリッジ大学でのセミナーで討議された事項のアクションアイテム結果を持ち寄り、そのあと確認、今後の展開を討議することにより、日本、英仏側の研究者、学生の交流拡大とともに、共同研究の進捗状況に関する情報を共有し、課題を明確化して、次年度以降の実行計画に反映させることとした。また、技術習得を目的に東北大学から大学院生を半年間ケンブリッジ大学 S. Hofmann 教授グループに本事業経費外で派遣して実践的交流を行った。東

北大学の永沼准教授は、国際セミナーで議論となった課題についてパリ南大学の P. Senor 教授を訪問し、本事業に関する実験の討論、研究計画の打ち合わせを行った。このように、より密に 3 か国間の交流を図ることで、MTJ などに関しては密接な連携の下で成果が生み出されつつある。国内の協力体制においても、5 月に東北大学好田准教授が東京大学長汐准教授を訪問し 2 次元物質の積層技術について 2 日間のレクチャーを受け、共同研究を進めている。さらに、本事業経費外でケンブリッジ大学の J. Robertson 教授が東京大学鳥海教授を訪問して 2 次元電子材料の議論を進め、翌日同大学で開催された国際ワークショップに参加し、鳥海教授、長汐准教授の他に丹羽教授(東北大学)、白石教授(名古屋大学)と本事業に関する実験について討論した。このように国内の協力体制も強化されつつある。

＜学術的観点＞

本年度は、昨年度に引き続き二つの具体的な共同研究（「半導体集積デバイス向け二次元電子・スピン材料物性の研究」、および「2 次元材料を障壁層とする磁気トンネル接合の研究」）において研究者の交流をはかり、2 次元電子・スピndeバイスの伝導機構の理論解析と 2 次元材料およびその界面の伝導特性測定（日本側担当）を、英国拠点では良好な界面構造を有する 2 次元材料の作製、フランス拠点では 2 次元材料を障壁層として用いた磁気トンネル接合の作製と評価を継続して推進した。具体的には、英仏間では CVD 技術を用いた 2 次元材料の集積化について共同研究成果を初めて論文で発表など交流が進んだほか、東北大学とケンブリッジ大学でも学生の交流も含めて、ケンブリッジ大学で CVD 成長されたグラフェンを東北大学での測定に着手し、積極的な交流が測られている。

＜若手研究者育成＞

年 2 回開催する国際セミナーを駆動力として、若手研究者の人的交流拡大を図った。具体的には、ケンブリッジ大学への若手研究者派遣を通して、研究目的の共有と技術共有を行い互いのレベルを向上させるとともに、東北大学から大学院生を半年間ケンブリッジ大学 S. Hofmann 教授グループに派遣し、相手国の大学院生と一緒に共同研究を行うことで、大学院生間の交流を促進することが出来た。また、東北大学で開催された国際セミナーでは、大学院生に加えてポスドクの研究者も参加して本事業における研究内容を理解した。

＜その他（社会貢献や独自の目的等）＞

本事業の取り組みにより、着実に半導体集積デバイス向け二次元電子・スピン材料に関して年々研究成果の進展が認められ、拠点間での協働が始まりかけているが、英仏間に比べて日欧間の協働実態はまだ十分とは言えないため、積極的に対外的に向けて情報発信できていない。今後の活動における課題としてゆきたい。

＜今後の課題・問題点＞

日英仏 3 か国間の更なる交流が望まれる。中間評価コメントでも指摘されたが、教授、准教授レベルでの交流は行われているが、若手研究者の交流という観点では十分進んでいるとは言えず、実質的な研究としての交流は未だ途上である。また、日欧が共同で論文や学術会

議での発表をする段階には至っていない。これらについては、さらに促進させる工夫が必要である。

7. 平成30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 29 年度	研究終了年度	平成 32 年度
共同研究課題名	(和文) 二次元材料およびその層状構造の電子・スピン物理の研究 (英文) Research on electron/spin-related physics in 2D material and layered semiconductors				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 遠藤哲郎・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・1-1 (英文) Tetsuo ENDOH・Center for Innovative Integrated Electronic Systems, Tohoku University・Professor・1-1				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) John ROBERTSON・Department of Engineering・University of Cambridge・Professor・2-1				
30年度の 研究交流活動	本交流プログラムの根幹の一つである2次元材料、およびその層状構造の電子、スピン物性の検討にあたり、英国の研究拠点であるケンブリッジ大学は、独自に開発したCVD技術を駆使して、電極物質や絶縁体と高品質の界面を有する2次元電子デバイスの作製を仏国拠点のパリ南大学を共同で行い、東北大学および日本の共同研究グループは、英国側で開発されてきた2次元電子スピン・デバイス材料の伝導機構の測定と解析を行った。この取り組みにおいて、東北大学から博士後期課程の大学院生1名を半年間ケンブリッジ大学に派遣し、単層グラフェンや多層グラフェンのCVD成長プロセス手法について学んだ。ケンブリッジ大学の学生とも積極的に交流を深めることで、スピントロニクスやバレートロニクスを用いた新たな研究の芽を育むことが出来た。 さらに、共同研究を進めるうえで、定期的な情報交換を行うため4月にケンブリッジ大学（日本から9名参加）、10月に東北大学（英国から4名、仏国から3名参加）で国際セミナーを開催し、各拠点での進捗状況を確認し、来年度に向けた具体的なアプローチに関する方針を固めた。				

30年度の 研究交流活動 から得られた 成果	2次元材料、および2次元材料と電極界面の電子伝導、およびスピン伝導機構の詳細な解析が進展するとともに、共同研究の深化を通じて、日英仏三拠点間の技術の相互移転と人材交流を促進し、交流期間を通じた研究開発効率を向上できた。具体的な成果としては、以下の3点が挙げられる。 ・ケンブリッジ大学での半年間の東北大学大学院生の海外派遣交流を行い、習得した単層グラフェンや多層グラフェンのCVD成長法およびそのプロセス方法をベースにその後も共同研究を継続し、現在2層グラフェンにおける電気伝導特性やスピン物性を明らかにしようとしている。 ・これまで東北大学では確立されてこなかったCVD成長グラフェンのプロセス方法やCu箔からの剥離方法など基本的なデバイス作製技術について構築することができた。 ・国内交流においても東京大学長汐研究室で剥離された2次元物質の積層構造作製方法を習得することで、光学測定可能なヘテロ2次元物質を実現できるようになり、今後は電気測定のみならず光学測定に適したデバイス作製が可能になってきた。
---------------------------------	---

整理番号	R-2	研究開始年度	平成 29 年度	研究終了年度	平成 32 年度
共同研究課題名	(和文) 2次元材料を障壁層とする磁気トンネル接合の研究				
	(英文) Research on magnetic tunnel junction with 2D material insulator				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 遠藤哲郎・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・1-1				
	(英文) Tetsuo ENDOH・Center for Innovative Integrated Electronic Systems, Tohoku University・Professor・1-1				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) John ROBERTSON・Department of Engineering・University of Cambridge・Professor・2-1 Pierre SENEOR・Unite Mixte de Physique・University of Paris Sud・Professor・3-1				

30年度の 研究交流活動	本交流プログラムの根幹の1つである2次元材料を障壁層として用いる磁気トンネル接合のスピントランスポール特性の研究を昨年度に引き続き継続した。英国の研究拠点であるケンブリッジ大学は、障壁層として用いる高品質の2次元材料の作製を行うとともに、2次元電子材料界面の電子状態の解明を行い、パリ南大学は、2次元材料を障壁層として用いる磁気トンネル接合高精度の策成と評価を行った。東北大および日本の共同研究グループは、2次元材料を障壁層として用いる磁気トンネル接合の伝導特性の理論的な検討と材料物性の評価技術の検討の深化を進めた。共同研究を進めるにあたり、東北大学から准教授1名がパリ南大学に9日間滞在して、2次元電子材料にかかわる形成手法について習得し、実験結果について議論を深めた。加えて、4月および10月にそれぞれケンブリッジ大学、東北大学で国際セミナーを開催し、直接当事者同士で進捗状況を協議し、次年度への取り組み事項を確認した。具体的には、2回の国際セミナーでグラフェンをバリア層としたMTJ構造における理論的なスピントランスポール効率と実験で得られる値とのギャップを埋めるべく検討・議論を行い、効率的にデバイス作製にフィードバックを掛けられる交流体制が構築されつつある。今後は、より高いMRを実現するべくデバイスプロセスや界面制御手法をより高度化して、デバイス作製を行う必要がある。日本の理論グループも積極的なフィードバックを行うことにより、より大きなMRを実現できる可能性を探索してゆくことも重要となる。
30年度の 研究交流活動 から得られた 成果	本共同研究を継続的に進めることで、2次元材料を障壁層として用いる新規な磁気トンネル接合の学術的な検討を進めるとともに、共同研究の深化を通じて、日英仏三拠点間の技術の相互移転と人材交流を促進し、研究開発効率を向上することを目指して取り組んだ結果、グラフェンをバリア層とするMTJに関して構造およびデバイスプロセスの最適化検討が英仏のグループで積極的に行われ、より大きなMRが出る構造が見出されつつある。このように、地理的に日本より近いこともあり、英仏間ではポスドクおよびスタッフの交流が密に行われており、それによって実験での成果が上がりつつあり、成果の共同発表も実施されるようになった。日本側においても東北大学ではケンブリッジ大学に半年間派遣した大学院生の海外派遣交流を実施し、単層グラフェンや多層グラフェンのCVD成長プロセス手法について学び、CVD成長グラフェンのプロセス方法の構築ができた。その後も共同研究を継続させて2層グラフェンの特性評価が行われている。他方、国内交流においては、東北大学ではCu箔からの剥離方法などを東京大学長汐研究室から導入して基本的なデバイス作製にかかる2次元物質の積層構造作製方法を構築することができた。

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セミナー「2次元電子・スピントロニクスデバイス」
	(英文) EPSRC-JSPS Core-to-Core Program Seminar "Two dimensional electronics/spintoronic devices"
開催期間	平成 30 年 4 月 16 日 ～ 平成 30 年 4 月 17 日 (2 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 英国 ケンブリッジ大学
	(英文) United Kingdom, University of Cambridge
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 遠藤哲郎・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・1-1
	(英文) Tetsuo ENDOH・Center for innovative Integrated Electronics Systems, Tohoku University・Professor・1-1
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) John Robertson・Department of Engineering・University of Cambridge・Professor・2-1

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (英国)	備考
日本	A.	9/ 40	
	B.	0	
英国	A.	3/ 12	
	B.	20	
仏国	A.	4/ 8	
	B.	0	
合計 〈人／人日〉	A.	16/ 60	
	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。

セミナー開催の目的	平成 30 年の 4 月 16-17 日に、英国ケンブリッジ大学で、本拠点プログラムのミーティングを開催する。英国における研究交流の更なる拡大を図るとともに、フォローアップミーティングで、各拠点の 29 年度の本プログラムで行った共同研究の成果と課題を共有し、共同研究の一層の拡大と加速を図る。
セミナーの成果	本セミナーを 4 月 16 日～17 日にケンブリッジ大学において開催し、各拠点の 29 年度の共同研究成果と課題を共有して、本プログラムの全体マイルストーンに照らして、本事業において重要な二次元電子材料である MoS_2 と単層ヘキサゴナル BN 薄膜(h-BN)、グラフェンを中心に詳細な議論がなされた。MoS_2 を用いた将来の量子情報処理に必要なバレーコヒーレンスの生成とその光学的検出がなされ、60%以上のバレー偏極および 40%以上のバレーコヒーレンスが実現できた。また、MoS_2 と金属のオーミックコンタクト、MoS_2 における欠損起因のギャップ内準位改善のためのパシベーション法について議論が展開され、デバイス応用に向けた界面の高精度制御が確立できたと言える。さらに、h-BN に関しては、CVD 法による単層 h-BN 薄膜の作製とその応用展開が期待できる。今後は、CVD 成長法を用いたヘテロエピタキシャル成長に期待できる。また、h-BN をトンネル障壁層とした MTJ 素子に関する報告では、50%程度の大きな TMR 効果が観測された他、2 層の h-BN をトンネル障壁とした素子では、負の TMR 効果が観測され、界面のスピン分極率が変化することが示唆される結果が得られた。これらの結果は、第一原理計算による界面での状態密度計算とも一致し、界面由来の新たな現象であることが示唆された。さらに、グラフェンの成長に関して最新の成長手法が紹介され、これを界面に用いることで有機薄膜の表面平坦性の改善や、フェルミレベルの改善などの実験結果の紹介があった。以上のように本セミナーでは、コア材料の物性の重要な知見がもたらされ、今後の研究活動に有益な指針がもたらされた。
セミナーの運営組織	英国側コーディネーターがプログラム素案を作成し、日仏のコーディネーターと連携してプログラムを完成させてセミナーを運営する。

	日本側	内容 外国旅費・国内旅費	金額 5,193,152 円
	(英国) 側	内容 国内旅費・会議費	
	(仏国) 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シンポジウム「2次元スピンドバイス」および英国工学・物理学研究会議ー日本学術振興会研究拠点形成事業セミナー
	(英文) JSPS Core-to-Core Program Symposium "Two dimensional spintoronic devices" and EPSRC-JSPS Core-to-Core Program Meeting
開催期間	平成 30 年 10 月 29 日 ～ 平成 30 年 10 月 31 日 (3 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 日本 仙台市 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) 遠藤哲郎・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・1-1
	(英文) Tetsuo ENDOH・Center for innovative Integrated Electronics Systems, Tohoku University・Professor・1-1
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)	

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	備考
日本	A.	14/ 42	
	B.	2	
英国	A.	4/ 12	
	B.	0	
仏国	A.	3/ 9	
	B.	0	
合計 〈人／人日〉	A.	21/ 63	
	B.	2	

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		平成 30 年の 11 月 14-16 日に、東北大学で、本拠点プログラム関連のセミナーを開催し、国際交流の拡大を図るとともに、進捗フォローアップ会議を行い、4 月のミーティングで定めた計画の進捗を確認し、解決すべき課題を忌憚なく議論することを目的とする。	
セミナーの成果		本セミナーを 10 月 29 日～31 日に東北大学において開催し、同大学のアドバンテージであるスピントロニクス関係者が多く集まり、意見交換をする機会を設けられたことで、より広い視野でグラフェンをバリアとする MTJ や 2 次元物質をベースとしたスピントロニクスデバイスの課題や将来性について議論することが出来た。各研究グループに分かれて、自由討議するセッションも設けて、今後に向けた実験の詳細な意見交換を実施し、今後の実験の方向を確認することができた。本セミナーでは、特に安藤研究室から複数の発表があり、メタルスピントロニクスの観点からグラフェンや層状物質へのアドバイスが多数あったことは大きな成果である。	
セミナーの運営組織		日本側コーディネータがプログラム素案を作成し、英仏のコーディネータと連携してプログラムを完成させてセミナーを運営する。	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 会議費・国内旅費	金額 379,288 円
	(英国) 側	内容 外国旅費	
	(仏国) 側	内容 外国旅費	

7-3 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）：本拠点形成プロジェクトの主テーマであるスピン輸送やスピンデバイス関連以外に、電子輸送特性、薄膜合成プロセスも研究業績としてあげられる。これらの個々の技術がドッキングして、最終的には2D材料を用いたスピンデバイス技術へと融合されていくことを期待したい。各拠点で毎年セミナーを開催し、大学院生を英国に派遣しているものの、相手国との共著論文という形での成果が少ない。海外拠点との共著論文が多数出版されてこそ、本拠点形成の国際的な交流成果となると期待されるので、今後多くの共著論文として出版等されることを期待する。

対応：今後、英仏側との共著論文出版に向けた取り組みについて3拠点間で協議して、各拠点のコーディネータを中心として、メンバー全員が本プログラムの趣旨を再確認して日々の活動を展開してゆくように努める。

②評価コメント（抜粋）：「セミナー」に関して、平成29年度は、海外で1回開催しただけだが、国際交流の観点からは、平成28年度のように国内でも開催した方が望ましい。平成29年度は、第三国への派遣が若干多く、必要性が評価書類だけでは判断できなかった。本プロジェクトでの海外会議開催では、主に日本人教授・准教授クラスの研究者が渡航し現地会議を開催し、現地研究者と交流している状況は把握できるが、若手研究者、特に博士課程学生の会議参加を充実されることを期待したい。

対応：今年度は、4月のケンブリッジ大学での国際セミナーに続いて、10月に東北大学にて2度目の国際セミナーを催し、東北大学から学生や若手研究者も加わってセミナーを開催できた。また、本事業経費外ではあるが、東北大学から博士後期課程の大学院生1名を半年間ケンブリッジ大学に派遣し、単層グラフェンや多層グラフェンのCVD成長プロセス手法について学び、本プロジェクトにおいて現在も共同研究が進行中である。今後、若手研究者、博士課程学生がより多く会議に参加できるよう、各研究室をはじめ、広く学内の広報に努めたい。

③評価コメント（抜粋）：2次元材料を用いたMTJのスピン伝導特性の解明とMTJ素子の作製と評価に関する計画は具体的であり実現性の高い内容であるが、量子情報処理デバイスに向けたバレー量子物性に関しては、計画の具体性に欠けると判断した。会議開催は平成30年以降毎年2回（1回の国内会議、1回の海外会議）を計画し、研究者派遣はH31で71名、H31で90名、H32で110名を計画しており、交流活動を加速して活発化させようという意気込みは評価する。今後、関連研究者を日本全国に広げ、研究交流を促進させ、国益にかなう研究成果を期待したい。また、若手研究者への参加支援を充実させ、次世代の日本の科学研究の中核をになう人材の育成を推進してほしい。

対応：MoS₂を用いてバレー偏極やバレーコヒーレンスを偏光フォトルミネッセンス測定によって詳細に検出することを確認し、将来の量子情報処理に必要なバレー偏極やバレーコヒーレンスの光学的生成・検出を実証した。MoS₂などの2次元材料ではバレー自由度がスピン自由度と一対一で対応しており、かつ先行研究において2次元材料のスピン緩和時間は既存の半導体と比較し極めて長いことが示されている。今後このバレー量子物性をデバイス応用に向けて飛躍的に発展させていくためには、バレー偏極やバレーコヒーレンスの制御や既存の半導体とのヘテロ構造による融合が重要となる。これらの取り組みを通

して、スピン情報をバレー情報に相互変換できる技術を汲み上げ、量子情報デバイスにおける新たなスピンもしくはバレーメモリとして基盤技術をくみ上げることを目指していく。量子情報処理デバイスに向けたバレー量子物性の計画については、この実証をベースに詳細に実行計画を立案してゆく。また、若手研究者がもっと参加できるよう拠点、国内研究機関の関連研究室にも事前呼びかけを行うとともに、全国的に情報発信できるより効果的な手段についても検討する。

8. 平成30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

四半期	日本	英国	仏国	米国 (第三国)	合計
1		9 / 46 (1 / 24)	/ / (/)	/ / (/)	9 / 46 (1 / 24)
2		/ / (1 / 54)	/ / (1 / 2)	/ / (/)	0 / 0 (2 / 56)
3		/ / (1 / 67)	/ / (/)	3 / 21 (4 / 11)	3 / 21 (5 / 78)
4		/ / (/)	1 / 9 (/)	/ / (/)	1 / 9 (0 / 0)
計		9 / 46 (3 / 145)	1 / 9 (1 / 2)	3 / 21 (4 / 11)	13 / 76 (8 / 158)
1	/ / (/)		/ / (/)	/ / (/)	0 / 0 (0 / 0)
2	/ / (2 / 7)		/ / (/)	/ / (/)	0 / 0 (2 / 7)
3	/ / (4 / 12)		/ / (/)	/ / (1 / 6)	0 / 0 (5 / 18)
4	/ / (1 / 2)		/ / (/)	/ / (/)	0 / 0 (1 / 2)
計	0 / 0 (7 / 21)		0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 6)	0 / 0 (8 / 27)
1	/ / (/)	/ / (2 / 4)		/ / (/)	0 / 0 (2 / 4)
2	/ / (/)	/ / (/)		/ / (1 / 6)	0 / 0 (1 / 6)
3	/ / (3 / 9)	/ / (/)		/ / (/)	0 / 0 (3 / 9)
4	/ / (/)	/ / (/)		/ / (/)	0 / 0 (0 / 0)
計	0 / 0 (3 / 9)	0 / 0 (2 / 4)		0 / 0 (1 / 6)	0 / 0 (6 / 19)
1	0 / 0 (0 / 0)	9 / 46 (3 / 28)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	9 / 46 (3 / 28)
2	0 / 0 (2 / 7)	0 / 0 (1 / 54)	0 / 0 (1 / 2)	0 / 0 (1 / 6)	0 / 0 (5 / 69)
3	0 / 0 (7 / 21)	0 / 0 (1 / 67)	0 / 0 (0 / 0)	3 / 21 (5 / 17)	3 / 21 (13 / 105)
4	0 / 0 (1 / 2)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 9 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 9 (1 / 2)
計	0 / 0 (10 / 30)	9 / 46 (5 / 149)	1 / 9 (1 / 2)	3 / 21 (6 / 23)	13 / 76 (22 / 204)

※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。

※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。

8-2 国内での交流実績

第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	合計
/ / (/)	/ / (3 / 6)	4 / 12 (2 / 4)	1 / 4 (5 / 5)	5 / 16 (10 / 15)

9. 平成30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	498,155	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	6,850,951	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	4,941,883	
	その他の経費	456,011	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	0	大学にて別途負担
	計	12,747,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,274,700	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		14,021,700	