

**研究拠点形成事業  
平成 29 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：	東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター
(英国) 拠点機関：	ケンブリッジ大学
(仏国) 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

(交流分野：ナノエレクトロニクス・スピントロニクス)

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

(交流分野：Nano-electronics・Spintronics)

研究交流課題に係るホームページ：[http:// www.cies.tohoku.ac.jp/program/jsps.html](http://www.cies.tohoku.ac.jp/program/jsps.html)

**3. 採用期間**

平成 28 年 4 月 1 日 ～ 平成 33 年 3 月 31 日

(2 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・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・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・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 :

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・氏名) : (英文)

Unité Mixte de Physique・Professor・Pierre SENEOR

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ル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 チャンネルにかわる新規電子伝導チャンネルとして、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ンネルとして、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。

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 2 次元電子材料の製造技術を用い、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、スピンチャンネルを実現し、前記チャン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。これらは、日英仏間の世界トップレベルの拠点機関間の緊密な連携により実現できるものであり、本課題の共同研究によって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 29 年度研究交流目標

7 月に仏国拠点のパリ南大学でセミナーを実施し、仏国内での研究交流の拡大をはかるとともに、28 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の端緒を作るとともに、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 29 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。

## 6. 平成29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

7月に仏国拠点のパリ南大学でセミナーを実施し、仏国内での研究交流の拡大をはかるとともに、28年度の共同研究成果と課題を総括して、平成29年度の共同研究と研究者交流へのフィードバックを行った。また、共同研究の進捗状況に関する情報を共有し、課題を明確化することができた。これにより、日本側の研究者、学生の欧州側拠点への交流拡大の端緒を作る本年度の目的がほぼ達成できた。そのため今年度は日本でのセミナーを開催する代わりに、平成29年度に計画していた2つのテーマに関し研究者派遣を通じた、更なる研究交流の拡大に注力することとし、若手研究者の英国への派遣などを優先的に進めた。これらの活動により、相手国側との信頼関係を深め、次の研究交流セミナーの開催時期と場所を前倒して、来年度早々の4月に英国でワークショップを開催することを決定し、準備に着手できた。

### 6-2 学術面の成果

平成29年度は、本格的な共同研究の第二段階として、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」）を開始した。その中で、日本側は2次元電子・スピンド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について、2次元InGaAsやGaSe薄膜に対するスピン輸送などについて成果を得た。また、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推進した。

### 6-3 若手研究者育成

若手研究者の人的交流として、ケンブリッジ大学へ学生を含む若手研究者を派遣し、これを通して、研究目的の共有と技術共有を行い、互いのレベル向上に努めた。

### 6-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

HPなどを通じた成果の情報発信に加えて、拠点機関である東北大国際集積エレクトロニクス研究開発センター主催の一般公開のフォーラム（4th CIES Technology Forum、2018年3月22-23日開催、参加者延べ450名以上）の中で、本プロジェクトの成果を報告した。これらの活動により、本プログラムを通じた国際的研究者の交流と拠点形成について広く市民にアピールすることができた。

## 6-5 今後の課題・問題点

平成29年度は、前年度に引き続き各拠点の研究ポテンシャルの相互把握と、本拠点事業のゴールとマイルストーンを達成するための研究基盤整備を行った。また昨年度定めた共同研究テーマ2件について、情報共有を図りつつ進捗状況に関する情報を共有し、課題を明確化を行った。平成30年度は、こちらからの研究者の派遣に加え、研究者の受け入れなどを行い、平成29年度までに明確化してきた課題に取り組むことで、さらなる人的交流の促進と共同研究の進展に向けて活動を展開していく。

## 6-6 本研究交流事業により発表された論文等

- (1) 平成29年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 14本  
うち、相手国参加研究者との共著 0本
  - (2) 平成29年度の国際会議における発表 3件  
うち、相手国参加研究者との共同発表 0件
  - (3) 平成29年度の国内学会・シンポジウム等における発表 15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29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
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	(和文) 遠藤哲郎・東北大学国債集積エレクトロニクス研究開発センター・教授 (英文) Tetsuo ENDOH・Center for Innovative Integrated Electronic Systems, Tohoku University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) John ROBERTSON・Department of Engineering・University of Cambridge・Professor				
29年度の研究 交流活動	<p>本交流プログラムの根幹である2次元材料、およびその層状構造の電子、スピン物性の検討を行った。具体的には、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行い、東北大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うという枠組みを構築するために、セミナーなどを通じた意見交換と若手研究者の派遣による人的交流を進めた。これらの活動を通して、研究目的と目標とするデバイスおよび2次元薄膜のニーズとシーズをすり合わせながら、研究を展開した。</p>				
29年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>本共同研究の推進により、本交流プログラムの根幹である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した。加えて、本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することが出来た。これにより交流期間における研究開発効率が向上し、より強固な拠点形成の基盤を構築できた。</p>				

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
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	(和文) 遠藤哲郎・東北大学国債集積エレクトロニクス研究開発センター・教授 (英文) Tetsuo ENDOH・Center for Innovative Integrated Electronic Systems, Tohoku University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) John ROBERTSON・Department of Engineering・University of Cambridge・Professor Pierre SENEOR・Unite Mixte de Physique・University of Paris Sud・Professor				
29年度の研究 交流活動	本共同研究では、2次元材料を障壁層として用いる磁気トンネル接合のスピントランスポルト特性の研究を行うことを目的としている。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う。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う。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を行う。本年度は共同研究を進めるうえで、重要な拠点であるパリ南大において7月にセミナーと内部会議を開催した。また、人的交流などに向け土台を整備した。				
29年度の研究 交流活動から得 られた成果	本年度は共同研究を進めるうえで、重要な拠点であるパリ南大において7月にセミナーと内部会議を開催し、進捗状況を直接確認するとともに、日仏英が緊密に連携して情報交換を行える体制を構築し、人的交流などに向け土台を整備することができた。				

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・スピンドバイス」
	(英文) EPSRC-JSPS Core-to-Core Program Seminar "Two dimensional electronics/spintoronic devices"
開催期間	平成 29 年 7 月 10 日 ~ 平成 29 年 7 月 11 日 (2 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 仏国 パレゾー市 パリ南大学
	(英文) France, Palaiseau, University of Paris Sud
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(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
	(英文) Tetsuo ENDOH・Center for innovative Integrated Electronics Systems, 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) Pierre SENEOR・Unite Mixte de Physique・University of Paris Sud・Professor

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 ( 仏国 )	
		A.	B.
日本 〈人/人日〉	A.	5/ 24	
	B.	0	
英国 〈人/人日〉	A.	2/ 4	
	B.	0	
仏国 〈人/人日〉	A.	3/ 6	
	B.	30	
合計 〈人/人日〉	A.	10/ 34	
	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	平成29年の7月10-11日に、仏国パリ南大学で、本拠点プログラムのオープンセミナーとフォローアップオフミーティングを開催する。仏国で行う初のセミナーで、仏国における研究交流の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28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	関係者が一同に会して、各拠点の28年度の共同研究成果と課題を共有し、本プログラムの全体マイルストーンに照らして、どのような加速策をとるかを明確化し、それを進めるベースとなる人材交流の加速に資することができた。さらに、仏国でのオープンセミナーの開催で、仏国での本プログラム参加者の拡大を図ることができた。また、共同研究の進捗状況に関する情報を共有し、課題を明確化できた。これらにより、日本側の研究者、学生の欧州側拠点への交流拡大の端緒を作ることができた。	
セミナーの運営組織	仏国側コーディネーターが、日英のコーディネーターと連携して、オープンセミナーとフォローアップオフミーティングを運営した。	
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 2,376,627 円 不課税取引・非課税取引に係る消費税
	(英国)側	内容 外国旅費
	(仏国)側	内容 会議費用

### 7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

共同研究、セミナー以外でどのような交流（日本国内の交流を含む）を行ったか記入してください。

日数	派遣研究者		訪問先・内容		派遣先
	氏名・所属・職名	氏名・所属・職名	内容		
6 日間	長汐 晃輔 東京大学大学院工学系研究科 准教授	Seminarhotel Schloss Hernstein 2560 Hernstein, Austria	ULSIC vs TFTに参加し、JSPS拠点PG「集積デバイス向け2次元電子・スピン材料研究」に関する発表を行う。		オーストリア
5 日間	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	Hotel Softel Victoria Królewska 11, 00-065 Warszawa, Poland	ETCMOS2017に参加し、JSPS拠点PG「集積デバイス向け2次元電子・スピン材料研究」に関する発表を行う。		ポーランド
4 日間	永沼 博 東北大学工学研究科 助教	スコーレ若宮(研修施設) 福岡県宮若市	JSPS研究拠点形成事業に関連するセミナーにおいて発表を行い、意見交換及び情報収集を行う。		国内
6 日間	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	Super C building of the RWTH Aachen University : Templergraben 57 52062 Aachen, Germany	NVMTSに参加し、JSPS拠点PG「集積デバイス向け2次元電子・スピン材料研究」に関する発表を行う。		ドイツ
4 日間	池田 正二 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	Hilton San Francisco Union Square 3330' Farrell Street San Francisco, CA USA	IEDM2017 Conferenceに参加し、2次元電子・スピンデバイスに関する情報収集を行う。		米国
3 日間	長汐 晃輔 東京大学大学院工学系研究科 准教授	好田 誠 東北大学工学研究科 准教授	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ（東北大学）		国内
2 日間	長汐 晃輔 東京大学大学院工学系研究科 准教授	白石 賢二 名古屋大学工学研究科 教授	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ（名古屋大学）		国内
2 日間	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 国際集積エレクトロニクス研究開発センター	NWDTF研究会に参加し、2次元物質などの研究動向に関する情報収集を行う		国内
5 日間	好田 誠 東北大学工学研究科 准教授	長汐 晃輔 東京大学大学院工学系研究科 准教授	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ（東京大学）及び応用物理学会に参加し情報収集（早稲田大学）		国内
5 日間	蒲生 寛武 東北大学工学研究科 博士課程	長汐 晃輔 東京大学大学院工学系研究科 准教授	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ（東京大学）及び応用物理学会に参加し情報収集（早稲田大学）		国内
5 日間	鈴木 将紀 東北大学工学研究科 修士課程	長汐 晃輔 東京大学大学院工学系研究科 准教授	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ（東京大学）及び応用物理学会に参加し情報収集（早稲田大学）		国内

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29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	仏国	オーストリア (第三国)	ポーランド (第三国)	ドイツ (第三国)	米国 (第三国)	合計
日本	1		( )	( )	1/6 ( )	1/5 ( )	( )	( )	2/11 (0/0)
	2		( )	5/24 ( )	( )	( )	1/6 ( )	( )	6/30 (0/0)
	3		( )	( )	( )	( )	( )	1/4 ( )	1/4 (0/0)
	4		3/15 ( )	( )	( )	( )	( )	( )	3/15 (0/0)
	計		3/15 (0/0)	5/24 (0/0)	1/6 (0/0)	1/5 (0/0)	1/6 (0/0)	1/4 (0/0)	12/60 (0/0)
英国	1	(2/7)		(4/12)	( )	( )	( )	( )	0/0 (6/19)
	2	(1/3)		(2/4)	( )	( )	( )	( )	0/0 (3/7)
	3	( )		( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	4	( )		( )	( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (3/10)		0/0 (6/16)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (9/26)
仏国	1	( )	(1/2)		( )	( )	( )	( )	0/0 (1/2)
	2	( )	(1/5)		( )	( )	( )	( )	0/0 (1/5)
	3	( )	( )		( )	( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	4	( )	(2/6)		( )	( )	( )	( )	0/0 (2/6)
	計	0/0 (0/0)	0/0 (4/13)		0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (4/13)
合計	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)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)
合計	1	0/0 (2/7)	0/0 (1/2)	0/0 (4/12)	1/6 (0/0)	1/5 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	2/11 (7/21)
	2	0/0 (1/3)	0/0 (1/5)	5/24 (2/4)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	1/6 (0/0)	0/0 (0/0)	6/30 (4/12)
	3	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	1/4 (0/0)	1/4 (0/0)
	4	0/0 (0/0)	3/15 (2/6)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	3/15 (2/6)
	計	0/0 (3/10)	3/15 (4/13)	5/24 (6/16)	1/6 (0/0)	1/5 (0/0)	1/6 (0/0)	1/4 (0/0)	12/60 (12/39)

※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
( )	1/4 ( )	( )	6/22 ( )	7/26 (0/0)

## 9. 平成29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	639,245	
	外国旅費	5,085,903	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	4,330,433	
	その他の経費	408,594	
	不課税取引・ 非課税取引に 係る消費税	0	
	計	10,464,175	
業務委託手数料		1,046,418	
合 計		11,510,593	

## 10. 平成29年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	平成29年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
英国	247,000[ポンド]	37,870,198 円相当
仏国	30,000[ユーロ]	3,992,672 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。