

**研究拠点形成事業**  
**平成 28 年度 実施報告書**  
**(平成 28 年度採択課題用)**

**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

(1 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

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28年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

英国拠点のケンブリッジ大学でキックオフセミナーを実施し、プロジェクトの目標とマイルストーンを決定するとともに、若手研究者間の連携の端緒をつくる。また、11月には仙台でワークショップを開催し、共同研究の進捗状況に関する情報を共有するとともに、課題を明確化して次年度以降の実行計画に反映する。

＜学術的観点＞

平成28年度は、本格的な共同研究の第一段階として、共同研究の基盤構築を行う。具体的には、日本側は新規2次元電子・スピンドバイスの提案と理論解析手法の構築を、英国拠点では良好な界面構造を有するグラフェンの製造技術を、フランス拠点では高精度のスピンドバイスの伝導評価技術を構築する。

＜若手研究者育成＞

研究拠点間の会議システムを構築し、各拠点間の若手研究者間でのコミュニケーションパスを確立し、日常的な議論ができる環境を整える。また、上記セミナーにあわせて、若手研究者の人的交流を開始する。

＜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を通じて、若手研究者間の交流の契機をつくとともに、研究成果のタイムリーな情報発信を行う。また、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28年度研究交流成果

### 6-1 研究協力体制の構築状況

平成28年度は、まず7月に英国拠点のケンブリッジ大学で第1回目のセミナーを開催し、3拠点の技術ポテンシャルを相互に紹介し、研究拠点整備の具体的な課題と明確化した。その後、各研究拠点ごとに研究拠点整備を行い、同年11月に仙台で2度目のワークショップを開催し、研究拠点整備の進捗状況に関する情報を共有して、課題を明確化し、実行計画に反映するとともに、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—日本学術振興会研究拠点形成事業セミナー（S-2）を開催し（100名参加）、日本側の研究者の学生の欧州側拠点への交流の端緒を作る活動を行った。

### 6-2 学術面の成果

平成28年度は、共同研究開始の第一段階として、各拠点の強み技術を活かした本拠点プログラム向けの研究拠点整備と、共同研究に必要な材料デバイス作製、測定手法の整備、および理論、シミュレーションツールの整備を行った。具体的には、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手法を、英国拠点では良好な界面構造を有する2次元材料の作製手法を、フランス拠点では、高精度の2次元スピンドバイスの詳細な測定技術を開発するとともに、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・評価手法を整備した。年度の後半には、平成29年度から本格的に開始する予定の共同研究の具体的な2つのテーマ（「半導体集積デバイス向け2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」を立案した。

### 6-3 若手研究者育成

平成28年度は、次年度以降開始予定の若手研究者交流の基盤整備のため、相互拠点の研究環境の把握に注力し、平成29年度以降の若手研究者交流計画を立案した。さらに、11月に行った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—日本学術振興会研究拠点形成事業セミナー（S-2）で、日本側の研究者の学生と欧州側拠点の研究者の交流を行い、忌憚ない意見交換を通じて、若手研究者の育成を図った。

### 6-4 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を通じて、本研究課題の体制や目標について広く情報発信を行うとともに、共同研究へ参加している研究者の研究成果のタイムリーな情報発信を行った。また、新規に立ち上げた HP を通じて、本研究課題で体制、目標および成果を積極的に情報発信した。

### 6-5 今後の課題・問題点

平成28年度は、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に力を注ぎ、次年度以降の具体的な共同研究テーマを2件立案する成果があった。しかしながら、今年度研究基盤整備を重点的に行ったため、若手研究者の相互派遣などの具体的な交流活動が進まなかった。

平成29年度は、具体的な共同研究計画に基づいた研究者の相互派遣などの人材交流の拡大とともに、平成28年度にセミナーを行っていないフランス拠点でセミナーを開催し、フランスでの人材発掘と交流拡大を行うことが課題である。

### 6-6 本研究交流事業により発表された論文等

- |                               |     |
|-------------------------------|-----|
| (1) 平成28年度に学術雑誌等に発表した論文・著書    | 8 本 |
| うち、相手国参加研究者との共著               | 0 本 |
| (2) 平成28年度の国際会議における発表         | 5 件 |
| うち、相手国参加研究者との共同発表             | 0 件 |
| (3) 平成28年度の国内学会・シンポジウム等における発表 | 2 件 |
| うち、相手国参加研究者との共同発表             | 0 件 |

**7. 平成28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28年度	研究終了年度	平成28年度
研究課題名	(和文) 半導体集積デバイス向け二次元電子・スピン材料研究基盤整備 (英文) Research basis establishment for 2D Electronic/Spintronic Materials for Integrated Devices				
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				
28年度の研究 交流活動	28年度は、まず派遣・受入を実施するための準備として、相互交流各拠点の強み技術を共有し、その上で本交流事業における共同研究で必要とされる、デバイス設計、作製、評価、理論解析技術基盤の立ち上げを行った。具体的には、東北大および日本の共同研究グループは、二次元電子、スピndeデバイス内の電子・スピン伝導特性を理論的に解明するシミュレーション手法を開発するとともに、二次元電子、スピndeデバイスの伝導特性の評価基盤を整備した、一方、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、高品質の界面を有する二次元電子デバイスを作製する技術を確立した。パリ南大学は、高精度の二次元スピndeデバイスの詳細な測定技術を開発するとともに、二次元材料を障壁層として用いる磁気トンネル接合の作製・評価技術を開発した。				
28年度の研究 交流活動から得 られた成果	7月のキックオフセミナーでの議論に基づいて、各拠点の強み技術を活かした本拠点事業向けの研究拠点整備と、共同研究に必要な材料デバイス作製、測定手法の整備、および理論、シミュレーションツールの整備を行うことができた。年度の後半には、11月のミーティングで総括した各拠点の研究環境整備状況を踏まえ、平成29年度から本格的に開始する予定の共同研究の具体的な2つのテーマ（「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「二次元材料を障壁層と				

**平成28年度採択課題**

	<p>する磁気トンネル接合の研究」を立案することができた。これらの基盤の下に、来年度は共同での2次元材料電子・スピン材料の物性および磁気トンネル接合の研究について基礎的な成果を得ることを目指す。</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セミナー「2次元電子・スピントロニクス」 (英文) EPSRC-JSPS Core-to-Core Program Kick-Off Seminar "Two dimensional electronics/spintorronics devices"
開催期間	平成28年7月18日 ~ 平成28年7月19日(2日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 英国 ケンブリッジ市 ケンブリッジ大学 (英文) UK, Cambridge, University of Cambridge
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) John Robertson・Engineering Department, University of Cambridge

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〉	7/35	
英国 〈人/人日〉	13/26	
	6	
仏国 〈人/人日〉	2/6	
合計 〈人/人日〉	22/67	
	6	

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	英国ケンブリッジ大学で、本拠点事業のキックオフミーティングを開催し、本キックオフミーティングで、各拠点の有する技術ポテンシャルに関する情報を共有し、プロジェクト全体目標とマイルストーンの議論を集中的に行い、研究分担とマイルストーンを決定することを目的とする。	
セミナーの成果	関係者が一同に会して、日本拠点の有する理論解析・評価分析力、英国拠点の有する2次元デバイス材料・素子の製造技術、仏国拠点の有するスピントロニクスデバイスの測定解析力等のポテンシャルの情報を共有した。その上で、本拠点事業のマイルストーンと研究分担を決定した。本セミナーの成果は、今後の共同研究の効率的な推進および、それを進めるベースとなる人材交流計画立案の基礎となっている。	
セミナーの運営組織	英国側コーディネーターが、日仏のコーディネーターと連携して、キックオフ会議を運営した。	
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 3,343,186 円 不課税取引・非課税取引に係る消費税
	(英国) 側	内容 会議費 国内旅費
	(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－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28年11月16日～平成28年11月18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	(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

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (日本)	
	A.	B.
日本 〈人／人日〉	15 / 30	
	82	
英国 〈人／人日〉	2 / 11	
仏国 〈人／人日〉	1 / 5	
合計 〈人／人日〉	18 / 46	
	82	

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	<p>東北大学で、本拠点プログラム関連のシンポジウムを開催し、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、キックオフ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。</p>	
セミナーの成果	<p>シンポジウムを東北大のスピントロニクス関連のワークショップと連動させて行うことにより、合計100名の参加者があり、人材交流拡大に大いに資する成果を得た、さらに、進捗フォローアップ会議では、本拠点事業が開始されて半年後の時点での進捗状況、および課題に関する情報共有を行った。このベースの上に、平成29年度から本格的に開始する予定の共同研究の具体的な2つのテーマを立案することができた。</p>	
セミナーの運営組織	<p>日本側コーディネータが、英仏のコーディネータと連携して、会議を運営した。</p>	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	<p>内容 会議費・国内旅費                      金額 368,725 円</p>
	(英国)側	<p>内容 外国旅費</p>
	(仏国)側	<p>内容 外国旅費</p>

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。

※次ページ参照

**平成28年度採択課題**

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	
3	日間	永沼 博 東北大学工学研究科 助教		2次元電子・スピン材料研究に関する情報収集の為 (TOBE Workshop)	英国
1	日間	好田 誠 東北大学工学研究科 准教授		2次元電子・スピン材料研究に関する情報収集の為	日本
1	日間	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	伊藤 顕知 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	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
1	日間	伊藤 顕知 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	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
4	日間	伊藤 顕知 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	つくば国際会議場 茨城県つくば市竹園2丁目20番3号	2次元電子材料に関する情報収集及び共同研究に関する打合せ (SSDM2016)	日本
3	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		IEDM2016学会に参加しスピン材料に関する情報収集を行う。	米国
4	日間	丹羽 正昭 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		IEDM2016学会に参加しスピン材料に関する情報収集を行う。	米国
6	日間	永沼 博 東北大学工学研究科 助教	東京大学本郷キャンパス 東京都文京区本郷7-3-1	JSPS研究拠点形成事業に関連するセミナーに参加し発表する。	日本
1	日間	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	伊藤 顕知 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	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
1	日間	伊藤 顕知 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	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
6	日間	好田 誠 東北大学工学研究科 准教授	John Robertson University of Cambridge Professor	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	英国
1	日間	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	伊藤 顕知 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	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
1	日間	小野 倫也 筑波大学筑波大学計算科学研究センター 教授	伊藤 顕知 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	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
1	日間	長汐 晃輔 東京大学工学系研究科 准教授	伊藤 顕知 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	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
4	日間	好田 誠 東北大学工学研究科 准教授	パシフィコ横浜 神奈川県横浜市西区みなとみらい 1-1-1	第64回応用物理学会春季学術講演会に参加し、情報収集を行う。	日本
1	日間	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	伊藤 顕知 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	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本
2	日間	伊藤 顕知 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	パシフィコ横浜 神奈川県横浜市西区みなとみらい 1-1-1	第64回応用物理学会春季学術講演会に参加し、情報収集を行う。	日本
2	日間	伊藤 顕知 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	ステーションコンファレンス東京 東京都千代田区丸の内1-7-12サピ アタワー5F	3rd CIES Technology Forumに参加しJSPS拠点事業の成果発表及び情報収集を行う。	日本
1	日間	初貝 安弘 筑波大学数理物質科学研究科 教授	伊藤 顕知 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	JSPS研究拠点形成事業に関する打合せ	日本

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

8. 平成28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	米国 (第三国)	合計
日本	1		1/3 ( )	( )	( )	1/3 (0/0)
	2		7/35 ( )	( )	( )	7/35 (0/0)
	3		( )	( )	2/7 ( )	2/7 (0/0)
	4		1/6 ( )	( )	( )	1/6 (0/0)
	計		9/44 (0/0)	0/0 (0/0)	2/7 (0/0)	11/51 (0/0)
英国	1	(1/1)		( )	( )	0/0 (1/1)
	2	(1/5)		( )	( )	0/0 (1/5)
	3	(2/11)		( )	( )	0/0 (2/11)
	4	(1/5)		( )	( )	0/0 (1/5)
	計	0/0 (5/22)		0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (5/22)
仏国	1	(1/1)	( )		( )	0/0 (1/1)
	2	( )	(2/6)		( )	0/0 (2/6)
	3	(1/5)	( )		( )	0/0 (1/5)
	4	( )	( )		( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (2/6)	0/0 (2/6)		0/0 (0/0)	0/0 (4/12)
米国 (第三国)	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 (2/2)	1/3 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	1/3 (2/2)
	2	0/0 (1/5)	7/35 (2/6)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	7/35 (3/11)
	3	0/0 (3/16)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	2/7 (0/0)	2/7 (3/16)
	4	0/0 (1/5)	1/6 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	1/6 (1/5)
	計	0/0 (7/28)	9/44 (2/6)	0/0 (0/0)	2/7 (0/0)	11/51 (9/34)

※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
	1/1 ( )	4/7 (2/2)	4/8 ( )	11/21 ( )	20/37 (2/2)

## 9. 平成28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 (直接経費)	国内旅費	938,610	
	外国旅費	4,422,299	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	4,913,311	
	その他の経費	395,780	
	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	10,670,000	
間接経費		3,201,000	直接経費の30%に相当する額とすること。
合 計		13,871,000	

## 10. 平成28年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	平成28年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
英国	101,800 [ポンド]	14,252,000 円相当
仏国	30,000 [ユーロ]	3,600,000 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。