

先端研究拠点事業
平成23年度 事業実績報告書

平成24年 3月31日

採用番号	23004
領域	複合
分科	ナノ・マイクロ科学
細目	ナノ構造科学
分科細目コード	2101
研究交流課題名（和文）	ナノカーボンテラヘルツ科学
研究交流課題名（英文）	Nano Carbon Terahertz Science
採用期間	平成23年 4月 1日 ~ 平成25年 3月31日（24ヶ月）

《実施組織体制》

日本側

拠点機関名	大阪大学
実施組織代表者（所属・職・氏名）	大阪大学・総長・平野俊夫
コーディネーター（所属・職・氏名）	レーザーエネルギー学研究センター・教授・斗内政吉
協力機関数	4機関
参加者数	44名

相手国1

国名	米国
拠点機関名	ライス大学
コーディネーター（所属・職・氏名）	電気コンピュータ工学科・教授・河野淳一郎
協力機関数	4機関
参加者数	10名

国名	ドイツ
拠点機関名	ドレスデンーロッセンドルフ研究所
コーディネーター（所属・職・氏名）	イオンビーム物理および材料研究所・教授・Manfred Helm
協力機関数	2機関
参加者数	28名

交流目標の達成（見込）状況

目標の達成（見込）状況を、A～Eのそれぞれの観点から、ポイントを絞って記載すること。

A 学術的な成果 B 持続的な協力関係の基盤構築 C 若手研究者育成における成果

D 国際的学術情報の収集整備 E 事業の波及効果

① 平成23年度事業計画における達成目標

A.学術的な成果 本研究は、ナノ科学とテラヘルツ科学を融合した新しい研究分野の開拓を、ナノカーボン为例として初めて取り組むものである。具体的取り組むテーマとして、ナノカーボンにおける一次元伝導・テラヘルツ帯伝導・コヒーレントフォノンダイナミクス の解明ならびに新規機能の探索と創製などから次世代電子デバイス応用の萌芽を目指す。

B.持続的な協力関係の基盤構築 この課題に対して、国内では、大阪大学・東京大学・東北大学・千葉大学・会津大学・理化学研究所・情報通信研究機構の研究開発ネットワークをまず構築し、米国、ドイツ国内の連携チームの形成に協力し、3ヶ国のネットワークを完成させるとともに、同分野における若手育成を相互に担当する協カシステムを構築する。

C.若手研究者育成 共同セミナーを各国で開催し、若手研究者が世界トップレベルの研究者ならびに同世代の海外の研究者と対等に議論できる場を設けるなど、グローバルな人材育成を目指す。また、公開シンポジウムでは、得られる研究成果とともに共同“教育”システムも広く紹介し、独創性と人間力を有したグローバル研究者の育成に貢献する。

D.国際的学術情報の収集整備 本事業に参加する3カ国で定期的に共同セミナーを開催し、非公式な研究成果を含めた国際的な学術情報収集に当たるとともに、テラヘルツナノ科学に関する公の国際シンポジウムを年に一度開催し、広く国際的学術情報の収集整備に努める。

E.事業の波及効果 本事業で得られた研究成果を国内・国際会議また論文誌上で発表するとともに、ホームページや公開シンポジウムにおいて、本事業で取り組む共同“教育”システムによって得られた成果を公開することにより、本事業の意義について広く紹介する。

② 平成23年度事業計画の達成状況 ※成果の公表状況を、別表1にて作成のこと。

※派遣・受入等の交流実施については、別表4-1、4-2にて作成のこと。

A.学術的な成果 特筆すべき成果として、米ニューヨーク州立大学・バッファロー校と東北大学および会津大学の3機関によりグラフェン材料のテラヘルツレーザー応用に関する研究を推進し、デバイスモデリングに関して研究成果を上げ、2編の学術論文として公表した。また米ニューヨーク州立大学・バッファロー校と千葉大学との間で行われた共同研究では、ナノカーボン材料に関する共同研究を行っており、光渦照射によるフラーレン薄膜の重合化やグラフェンの低温磁気伝導に関する研究成果が得られ学術論文として発表した。

B.持続的な協力関係の基盤構築 国内拠点機関である大阪大学では、米国拠点機関であるライス大学と、本プログラムによる大学間協定を2011年10月に締結した。また、ドイツの拠点機関であるドレスデン・ロッセンドルフ研究所とは、部局間協定の締結で合意し、現在協定案の作成中である。

C.若手研究者育成 2011年11月に大阪で開催したセミナーおよびテラヘルツナノ科学国際シンポジウムでは、本プログラム参加者以外に、米国側NSF-PIRE(Teranano)プログラムに参加している米国学生16名も参加し、日米の若手のグローバル教育に大きな成果をあげた。

また本事業により得られた成果発表のため、主に米国およびドイツで開催されたセミナーや国際会議に本事業により18名の学生および若手研究者を派遣した。さらに、計画研究に基づいた共同研究や打ち合わせのため、海外拠点機関および協力機関に11名の学生および若手研究者を派遣し、実際に共同研究に着手させた。以上を通して効率的にグローバルな若手人材育成を行った。また、2012年3月に開催したドイツでの拠点セミナーには、拠点機関の大阪大学から、さらに広く若手研究者の育成を目指して2名の修士課程入学予定学生を本事業外で派遣した。

D.国際的学術情報の収集整備 平成23年度は、各国拠点機関（米国10月、日本11月、ドイツ3月）において各1回の拠点セミナーを開催し、本事業の参加メンバーである学生および若手研究者を派遣し成果の研究発表および情報収取を行わせた。また、本事業のコーディネーターをはじめとする主力スタッフが企画し、11月に開催した合同国際会議“テラヘルツナノ科学国際シンポジウム(TeraNano 2011)&テラヘルツ研究ネットワーク国際ワークショップ(GDR-I THz 2011)”では、テラヘルツ科学およびナノカーボン科学分野において優れた業績を有する世界的に第一線級の研究者64名を国内外から招待講演者として招聘し、これら分野での最先端の研究成果についての情報収取を行った。

E.本事業の波及効果 本事業で得られた研究成果の多くについては公に開催されたTeraNano 2011 & GDR-I THz 2011国際会議をはじめとする国内・国外の会議で発表されるとともに、著名な論文誌上で発表が行われた。これら今年度本事業において得られた成果等については今後ホームページにおいても広く公開し、これにより、本事業の意義について広く紹介する予定である。

実施状況

研究交流計画実施にあたる実施体制

国内外の拠点機関及び協力機関の間の、協力連携の状況

※研究参加者リストを、別表2にて作成のこと。

平成23年度に米国（10月）、日本（11月）、ドイツ（3月）の各国で開催した拠点セミナーには、各国拠点機関および協力機関のほぼ主要メンバーが参加し、協力連携の進め方について十分な打ち合わせを行った。その一環として、2011年11月24-29日に大阪大学中ノ島センターにおいて、国内外の拠点機関、協力機関の主要メンバーであるライス大学河野教授、ドレスデン・ロッセンドルフ研究所（HZDR）Manfred Helm教授、東北大学尾辻教授らと連携して、合同国際会議”テラヘルツナノ科学国際シンポジウム（TeraNano 2011）&テラヘルツ研究ネットワーク国際ワークショップ（GDR-I THz 2011）”を開催し、本事業のメンバーをはじめとして200名近い参加者を得た。また、この会議の内容は注目度の高い雑誌”Nature Photonics”誌 Vol. 6, FEBRUARY 2012, pp82-83に掲載され、世界的に注目を集めた。

日本側拠点機関における研究交流課題への取り組み（事務支援体制等の観点より）

拠点機関である大阪大学国際交流オフィス国際交流課ならびにレーザーエネルギー学研究センター事務部からの万全な事務支援体制のもと、共同研究、セミナー開催、海外派遣等を計画通り円滑に進めることができ、当初の予定よりも、より多くの成果を得ることができた。

共同研究

年度当初の交流計画をふまえ、共同研究を実施するにあたっての枠組み、活動内容、得られた成果等（国内外の拠点機関・協力機関との連携状況も、考慮すること）

本年度は当初の計画に従い、以下の共同研究を実施した。

【R23-1】ナノカーボン物性評価のための高輝度テラヘルツ分析機器開発：大阪大学—ドイツ研究機関との共同研究により、ナノカーボン物性評価に必要な高輝度テラヘルツ光源分光システムの構築を行った。これは光源としてハイパワーのフェムト秒レーザーを用いたもので、今後ナノカーボンの低エネルギー伝導機構の解明や、高輝度テラヘルツ波による非線形物性の発現を観測するための重要な実験ツールとなる。

【R23-2】グラフェンの作製と物性評価：千葉大学—ライス大学との共同研究により、単層カーボンナノチューブ／電極界面における光応答に関する共同研究を開始し、走査ゲート顕微法を用いた観察を行った。また、大阪大学—ライス大学との共同研究により、グラフェンのテラヘルツ分光実験を行い、得られたデータに対して薄膜解析法を使って光学パラメータの導出を行った。

【R23-3】ナノカーボンデバイスのテラヘルツ伝導：千葉大学—ニューヨーク州立大学間のナノカーボン材料に関する共同研究において、光渦照射によるフラーレン薄膜の重合化やグラフェンの低温磁気伝導に関する研究成果が得られている。現在博士前期課程学生1名が同校に約1ヶ月間滞在し、試料作製および実験結果の解析を行っている。また、東北大学、会津大学—ニューヨーク州立大学・バッファロー校3機関によりグラフェン材料のテラヘルツレーザー応用に関する研究を推進し、デバイスモデリングに関して研究成果を上げた。

【R23-4】カーボンナノチューブ結晶成長（東京大学—ヴェルツブルク大学）：東京大学 - ヴェルツブルク大学との共同研究により、架橋・孤立単層カーボンナノチューブのCVD合成技術開発、密度勾配超遠心分離（DGU）によるカイラリティ分離と分光評価などを行い、PL分光、ラマン散乱分光などを実現した。

【その他】東北大学—Erlangen大学、フリッツハーバー研究所（ドイツ）との共同研究により、SiC基板表面に三次元微細加工を施すことにより、エピタキシャルグラフェンの高品質化が図られることを明らかにした。また、大阪大学—ドレスデン工科大学（ドイツ）間で共同研究を進め、グラフェンを用いた新奇スピンドバイス・センシングデバイスの立案を行った。

セミナー

- ・研究交流計画におけるセミナーの位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
 - ・交流目標達成に向け、セミナーが果たした貢献を、具体的に述べること
- ※具体的な実施状況及び成果については、別表3にて作成のこと

今年度は本事業による拠点セミナーを参加各国でそれぞれ1回、計3回（10月に米国・ライス大学、11月に大阪大学、3月にドイツ・ドレスデン工科大学）開催した。それぞれのセミナーには拠点代表および各国グループの主要メンバーの他、博士課程学生を含む若手研究者が多数参加した。各セミナーでは、各国拠点コーディネーターをはじめとする一流研究者によるチュートリアル的な講演、若手研究者および中堅研究者ら主要メンバーによる最新の研究成果発表、および若手研究者が中心のポスター発表が行われた。特に若手研究者にとっては単なる研究発表の場ではなく、世界的に第一線級の研究者らによる最新の研究成果を非常に濃密に吸収できる場となった。大規模な国際会議では、このようなシニアと若手研究者の交流は必ずしも円滑に進まないが、数十名程度の参加者でかつ半分以上を30代以下の若手研究者がしめた拠点セミナーでは、両者が垣根なく交流することができ、若手研究者にとっては特に刺激的なセミナーになったと考えられる。またこの拠点セミナーを通して、ナノカーボンの合成および計測を中心としたグループ、テラヘルツ分光およびイメージングのグループの間で新たな共同研究の芽が生まれ、次年度以降の研究交流の輪をさらに広げる重要な機会となった。

また、セミナー終了後には、互いの人的交流を深めるための機会が与えられ、また各拠点機関における見学会が行われた。この見学会においては、ライス大ではナノカーボンに関する合成から計測まで行うことが可能な設備、大阪大学では各種テラヘルツイメージングおよび分光装置、ドレスデン・ロッセンドルフ研究所では自由電子レーザーによる高強度テラヘルツ波光源設備など、それぞれの拠点機関が有する最先端の実験設備が紹介された。

研究者交流

- ・研究交流計画における研究者交流の位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
 - ・交流目標達成に向け、研究者交流が果たした貢献を、具体的に述べること
- ※具体的な交流状況については、別表4-1、4-2にて作成のこと

国内拠点機関である大阪大学では、米国拠点機関であるライス大学およびドイツの拠点機関であるドレスデン・ロッセンドルフ研究所との間で研究者交流を進め、ライス大学との間で本プログラムによる大学間協定を2011年10月に締結した。また、ドレスデン・ロッセンドルフ研究所とは、部局間協定の締結で合意し、現在協定案の作成中である。

計画していた共同研究以外に、日本側拠点機関（大阪大学教授）がドイツ・ドレスデン工科大学との間でグラフェンを用いたスピンドバイス・センシングデバイスの共同研究を進め、新奇デバイスの立案を行った。この共同研究の成果の一端として、Advanced Materials(IF=10.857)誌にてReview Articleを出版した。

また日本側協力機関（東北大学教授）はドイツ・エアランゲン大学との共同研究を進め、SiC基板表面に三次元微細加工を施すことにより、エピタキシャルグラフェンの高品質化が図られることを明らかにした。