

「グローバルCOEプログラム」(平成20年度採択拠点)事業結果報告書

概要

機関名	大阪大学	機関番号	14401	拠点番号	H08
1. 機関の代表者 (学長)	(ふりがなローマ字) HIRANO TOSHIO (氏名) 平野 俊夫				
2. 申請分野 (該当するものに○印)	F<医学系> G<数学, 物理学, 地球科学> H<機械, 土木, 建築, その他工学> I<社会科学> J<学際, 複合, 新領域>				
3. 拠点のプログラム名称 (英訳名)	高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点 Center of Excellence for Atomically Controlled Fabrication Technology				
研究分野及びキーワード	<研究分野: 機械工学>(生産工学)(ナノ加工・計測)(量子力学)(半導体工学)(量子ビーム工学)				
4. 専攻等名	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻, 附属超精密科学研究センター, 生命先端工学専攻)				
5. 連携先機関名 (他の大学等と連携した取組の場合)					
6. 事業推進担当者	計 23 名 ※他の大学等と連携した取組の場合: 拠点となる大学に所属する事業推進担当者の割合 [100 %]				
ふりがなローマ字 氏名	所属部局(専攻等)・職名	現在の専門 学位	役割分担 (事業実施期間中の拠点形成計画における分担事項)		
(拠点リーダー) YAMAUCHI KAZUTO 山内 和人	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻, 附属超精密科学研究センター)・教授	超精密加工 工学博士	拠点形成計画総括, 新世代製造プロセスによる教育プロジェクト, 研究プロジェクトの総括		
YASUTAKE KIYOSHI 安武 潔	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻, 附属超精密科学研究センター)・教授	機能材料 工学博士	教育総括, 機能表面創成プロセスの開発		
MORITA MIZUHO 森田 瑞穂	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授	半導体工学 工学博士	評価総括, 次世代半導体電子デバイスの開発		
KUWAHARA YUJI 桑原 裕司	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授	原子制御プロセス 理学博士	グローバルコミュニケーション教育企画担当, 自己組織化によるナノファブリケーション・ナノデバイスの開発		
MORIKAWA YOSHITADA 森川 良忠	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授 (平成21年10月1日 追加)	計算物理 理学博士	教育担当, 第一原理計算による超精密加工プロセスの解明とナノデバイスデザイン		
ENDO KATSUYOSHI 遠藤 勝義	工学研究科(附属超精密科学研究センター)・教授	精密科学 工学博士	産学連携総括・センター運営担当, 超精密非球面形状測定法の開発		
WATANABE HEIJI 渡部 平司	工学研究科(生命先端工学専攻, 附属超精密科学研究センター)・教授/センター長	薄膜工学 工学博士	運営企画・広報総括・センター運営総括, 新機能薄膜・ナノ構造創成プロセスの開発		
KASAI HIDEAKI 笠井 秀明	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授	計算表面科学 工学博士	国際連携総括, 計算機シミュレーションによるプロセス機能の解明		
SUGAWARA YASUHIRO 菅原 康弘	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授 (平成22年3月1日 追加)	表面科学 工学博士	グローバルコミュニケーション教育企画担当, 走査型プローブ顕微鏡による各種機能表面評価		
TAKEYA JUN 竹谷 純一	産業科学研究所・教授 (平成22年12月1日 追加)	物性理化学 理学博士	国際化支援担当, 高機能化有機半導体デバイスの開発		
KAKIUCHI HIROAKI 垣内 弘章	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授	薄膜工学 工学博士	教育研究環境管理担当, 国際連携担当, 大気圧プラズマによる低温・高速成膜プロセスと薄膜デバイスの開発		
ARIMA KENTA 有馬 健太	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授	半導体工学 工学博士	教育研究環境管理担当, 評価担当, 走査型プローブ顕微鏡による各種機能表面原子・電子構造の評価		
NAKANO MOTOHIRO 中野 元博	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授	計測科学 工学博士	広報, 実践教育企画担当, 計算機シミュレーションによるプロセスデザイン, 新機能光デバイス・システムの開発		
SAITOH AKIRA 齋藤 彰	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授	放射光科学 工学博士	グローバルコミュニケーション教育企画担当, 放射光を利用した高機能表面計測・評価システムの開発		
SANO YASUHISA 佐野 泰久	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授 (平成23年1月1日 役割分担追加)	プラズマ工学 工学博士	教育研究環境管理担当, 運営企画担当, 大気圧プラズマ, 触媒応用による次世代半導体デバイス用基板の開発, 放射光・EUVL用光学素子の超精密加工と計測・評価		
GOTO HIDEKAZU 後藤 英和	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻, 附属超精密科学研究センター)・准教授	計算物理・電気化学工 工学博士	グローバルコミュニケーション教育企画担当, 超純水のみによる低環境負荷型加工・洗浄プロセスの開発		
YAMAMURA KAZUYA 山村 和也	工学研究科(附属超精密科学研究センター)・准教授	物理化学加工 工学博士	教育研究環境管理総括, 大気圧プラズマおよびウェットプロセスによる高機能材料の超精密加工法の開発		
SHIMURA TAKAYOSHI 志村 孝功	工学研究科(生命先端工学専攻)・准教授	放射光科学 工学博士	運営企画担当, 放射光による表面・界面の結晶学的評価		
Diño Wilson Agerico Tan	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授 (平成23年4月1日 追加)	計算表面科学 工学博士	国際化支援担当, 計算機シミュレーションによる表面反応機構の解明		
Yanjun LI	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授 (平成22年3月1日 追加)	表面科学 工学博士	国際連携担当, 走査型プローブ顕微鏡による各種機能表面評価		
OHMI HIROMASA 大参 宏昌	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	材料科学 工学博士	実践教育企画担当, 大気圧プラズマによるSi系薄膜の高効率形成プロセスの開発		
AKAI MEGUMI 赤井 恵	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	機能表面科学 工学博士	運営企画担当, 自己組織化による表面機能付与		
ONO TOMOYA 小野 倫也	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	計算物理 工学博士	国際連携担当, 第一原理計算による超精密加工プロセスの解明とナノデバイスデザイン		
MIMURA HIDEKAZU 三村 秀和	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教 (平成22年12月31日 辞退)	精密計測学 工学博士	教育研究環境管理担当, 放射光・EUVL用光学素子の超精密加工と計測・評価		
KATAOKA TOSHIHIKO 片岡 俊彦	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授 (平成21年3月31日 辞退)	光計測 工学博士	評価担当, 新機能光デバイス・システムの開発		
KAGESHIMA MASAMI 影島 賢巳	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授 (平成22年3月31日 辞退)	ナノ工学 工学博士	広報担当, 走査型プローブ顕微鏡による各種機能表面評価		

(機関名: 大阪大学 拠点のプログラム名称: 高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点)

機関（連携先機関）名	大阪大学
拠点のプログラム名称	高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点
中核となる専攻等名	工学研究科 精密科学・応用物理学専攻
事業推進担当者	（拠点リーダー） 山内 和人 教授 外 22 名
<p>〔拠点形成の目的〕</p> <p>本拠点は、多くの製造技術開発拠点が持っている「装置精度依存型」のアプローチではなく、表面科学や量子計算科学などの基礎科学をもとに、精緻な自然現象を探索し、その「現象精度」を利用した新たな高機能化原子制御製造プロセスを開発するという世界に類のないコンセプトのもとに形成され、物づくりの「先導」から物づくりによる「価値創造」までを目標としている。製造技術が具備すべき『機能』に<u>広領域加工における原子レベルの制御性と環境調和性を挙げ、その実現を「価値創造」の機軸としている。</u>そして、この「価値」を共有する国内外の教育・研究機関や民間企業との連携によって、<u>広範な科学技術が結集する真にグローバル化した教育研究環境を構築し、このもとに行う教育・研究プログラムを通して、高い独創性と自立心を持ち、国際感覚と異分野との融合能力を備えた、次世代製造プロセス開発を担う若手研究者を継続的に輩出する。</u></p> <p>〔拠点形成計画及び達成状況の概要〕</p> <p>上記の教育研究環境を実現するため、本拠点がカバーする分野を補完する国内外の研究機関や企業との連携をもとに、<u>基礎研究から応用、融合分野の創出に至る一連の階層をつなぐ教育研究基盤Global Network (GN) プラットフォームを構築した。</u>これは、製造技術研究が中心となっこそ実現が可能な、異分野との強固な連携に基づいた教育・研究プラットフォームであり、拠点が創出する製造技術の科学的・社会的『価値』を共有し、発展させる仕組みを備えている。人材育成プラットフォームとしても重要な役割を果たし、基礎学問に根ざした真の専門性と異分野連携による価値創造を意識した教育環境を実現している。</p> <p>研究プログラム：本拠点が次世代の製造技術において目指す『機能』は、<u>広領域加工における原子レベルの制御性と環境調和性</u>である。この『機能』を実現する原子・分子レベルの物理・化学現象を探索し、基礎科学に基づいて現象を詳細に理解し、そして、実環境・実スケールのもとで現象を制御する方法を確立することによって、新たな価値を創造し得る高機能化原子制御製造プロセスを具現化する。対象は、宇宙物理や量子ビーム科学等の基礎科学が求める極限精度の光学デバイス、次世代極端紫外リソグラフィーのための光学デバイス、次世代電子材料基板、Flat Panel Display、太陽電池、次世代省電力電子デバイスの製造技術など広範囲に亘る。推進した研究プロジェクトは、質・量ともに高く評価され、Nature Physics, Nature Photonics, Physical Review Lettersなど、インパクトの高い雑誌への発表論文数は589件に上っている。この内、国内外の連携機関との共著論文の比率が40%に達し、留学生を含む海外研究者との共著論文の比率は20%を超えるなど、グローバルCOE拠点到にふさわしい世界を先導する成果を上げた（事業推進担当者が著者となっているものみの和）。また、本拠点が目指す学術分野の体系化とその公表において、事業推進担当者10名によるReview論文10編を米紙J. Physicsから発表し、また、大阪大学出版会からの教科書出版の編集を終えるなど、幅広い情報発信の機能も充実した。</p> <p>教育プログラム：人材育成の観点から本拠点が目指すのは、基礎科学に根ざした教育研究環境と、具体的な「物」としての出口や価値創造を意識できる教育研究環境の両立である。これを実現するのがGNプラットフォームであり、本プラットフォームでの<u>チーム型実践教育研究プログラム</u>を柱に、<u>エリート発掘・育成プログラム</u>、<u>国際人育成プログラム</u>、<u>物づくり塾</u>を実施した。また、GNプラットフォームを起点に、<u>分野を越えた国際的な若手研究者コミュニティの形成を支援した。</u>分野横断型の若手研究者コミュニティは、製造プロセスの『価値』を核に異分野の若手研究者が集う組織であり、学際性の獲得だけでなく、<u>広範な分野間の人材の流動や多彩なキャリアパスの形成に貢献している。</u>人材育成の成果では、5年間に大学教員や公設研究機関等でポジションを得た博士課程修了者が40名に上っている。本拠点の特徴である異分野連携研究や分野横断型の若手研究者コミュニティによってキャリアパスが拡大し、<u>異分野に軸足を置いて活躍している者も多い。</u>科学技術のブレークスルーは「作れなかったものが作れたとき」に起こる。最先端の物づくりに通じた若手研究者が広範な分野で活躍することの意義は大きく、本拠点の大きな成果である。また、本拠点の若手研究者は、若手研究者を対象とした大型予算（NEDO産業技術研究助成、JSTさきがけ、JST先端計測技術要素開発、科学研究費補助金（若手S、若手A））を18名が獲得し、研究者としての自立を高いレベルで果たしている。このように、次世代の研究者の輩出を担う拠点として、十分な成果を上げた。</p> <p>以下に、各教育プログラムの内容を略記する。①チーム型実践教育研究プログラム：若手研究者に専門領域を超え、グローバル化された研究環境を提供し、研究環境の国際化や学際化を実現する。②エリート発掘・育成プログラム：年齢と能力に応じたエリートプログラムを提供し、自己加速型の人材を育成する。③国際人育成プログラム：実践での研鑽に加え、グローバルコミュニケーション教育を企画し実施する。④物づくり塾：学会等とも連携しながら、国内外の最先端企業、研究機関でのイノベーション事例に触れさせる。</p>	

6-1. 国際的に卓越した拠点形成としての成果

国際的に卓越した教育研究拠点の形成という観点に照らしてアピールできる成果について具体的かつ明確、簡潔に記入してください。

高機能化原子制御製造プロセス開発拠点では、多くの製造技術開発拠点が行っている「装置精度依存」型の手法ではなく、表面科学や量子計算科学などの基礎科学をもとに、精緻な自然現象を探索し、その「現象精度」を利用した新たな製造プロセスを開発するという世界に類のないコンセプトの物づくり拠点を形成した。製造技術が具備すべき「機能」に広領域加工における原子レベルの制御性と環境調和性を挙げ、この「機能」がもたらす『価値』を共有する国内外の教育・研究機関や企業と共に、物づくりの基礎から応用に至る広範な分野を網羅した真にグローバル化した教育研究基盤Global Network (GN)プラットフォームを形成し、このもとに教育・研究プログラムを行う国際的に卓越した拠点の形成を成し遂げた。

拠点の有する施設や設備においては、超精密科学研究センターが核となって運営する製造技術開発のためのクラス1研究型クリーンルーム(2ヶ所、総面積約850m²)を有しており、本GC0Eプログラムの中で、研究室横断型の運営システムを確立し、若手研究者のオープンスペースとしても利用できる体制とした。また、個々の研究室に属していた計測機器の共通化も図り、原子分子レベルの基礎研究から、高機能化原子制御製造プロセスの開発とその応用展開に至る研究が、極めて高度に実施可能な世界的にみてもOnly-oneの教育研究環境を整えた。

研究面での成果では、世界に冠たる製造技術開発拠点として、589編の原著論文をNature Physics, Nature Photonics, Physical Review Letters, Applied Physics Lettersなどの国際的に著名な学術誌から発表するとともに、当該拠点が主催する国際シンポジウム論文集をSpecial issueとしてJournal of Nanoscience and Nanotechnology等の著名な雑誌から平成22, 23, 24年度に3編発表した。また、当該研究分野の体系を示すべく、事業推進担当者の執筆による10編のReview論文集を米紙Journal of Physicsから発表している。

上記の様なアクティビティの中で、本拠点で開発されたプロセスは、新たな表面物理・化学現象にもとづくOnly-one技術であり、製造技術開発を目指す本拠点のユニークさを示している。また、本拠点の成果はOnly-oneであるだけでなく、特に量子ビームデバイスの開発においては、本拠点はメッカと称されており、X線自由電子レーザーや中性子ビームなど、次世代量子ビームの制御を行うための光学システムの開発ができる世界で唯一の拠点であると広く世界から認知され、他の追従を許さないNumber-oneの成果を上げている。最先端の科学技術であるX線自由電子レーザーは、現在、世界で米国のスタンフォード研究所と日本の理化学研究所(SPring-8サイト)のみ稼働しているが、そのレーザーを真に高度な科学実験に供するためには、その集光を担う光学素子の開発が不可欠である。本拠点は原子スケールの制御性を有する加工プロセスをベースに、GNプラットフォーム上で、これらの施設との間で共同研究を展開し、日米の両施設に本拠点が開発した集光システムがインストールされている。現在、世界で3番目のX線自由電子レーザー施設がヨーロッパのDESY(Deutsches Elektronen-Synchrotron)で建設中であるが、ここでも連携が進んでおり、我々が開発する集光デバイスが導入される計画である。また、第3世代放射光施設では、アップグレードの計画があり、光源の輝度が1000倍程度向上するものと期待されている。最も先行するドイツのPETRA IIIでは、最先端のナノビームラインが構築されているが、本拠点の成果となる光学素子が既に使われ、多くの科学実験に貢献している。一方、中性子ビーム用の集光光学系も、GNプラットフォーム上でJ-PARCとの共同研究は展開され、その開発に成功している。当然ながら応用展開の範囲は量子ビームデバイスにとどまらず、次世代半導体デバイス、太陽電池デバイス、バイオセンシングデバイスなど多岐にわたって、Only-one, Number-oneの成果を数多く上げている。

本拠点の教育システムにおいても、GNプラットフォームが活用され、「チーム型実践教育研究プログラム」「国際人育成プログラム」「エリート発掘育成プログラム」「物づくり塾」などが実施されている。特に「チーム型実践教育研究プログラム」はその中心にあり、博士課程学生が自身の専門性をベースに自発的にGNプラットフォーム上で応用展開を見据えた連携研究テーマを立ち上げ、複数の指導者のアドバイスを得ながら実施するものである。マネジメント力や異分野との連携力が涵養され、グローバルな視野を持つ人材育成に大きく貢献している。その上で、より必要なものは学問に根差した深い専門性である。当該拠点からの論文は国際的に著名な雑誌から発表されているが、その中でも、学生が第一著者である論文の比率は44%、物理・化学など基礎科学系の雑誌からの発表の比率は70%に上っている。製造技術開発を主たる目標に掲げる教育研究拠点は、英国のCranfield大学やドイツのIOM(Institut für Oberflächenmodifizierung)、米国のRochester大学、Arizona大学など、世界的にも数多いが、本拠点は、「表面科学や量子計算科学などの基礎科学をもとに、精緻な自然現象を探索し、その「現象精度」を利用した新たな製造プロセスを開発する」という世界に類を見ないコンセプトをすでに具現化し、真のDoctor of Philosophyが育つ教育研究環境を実現している。

製造技術開発はあらゆる科学技術の基盤であるが、華やかな応用研究の陰に隠れた、「縁の下の方力持ち」的な存在であり、若手研究者にとってその魅力を感じる事が難しい研究領域でもある。本拠点の作り上げたGNプラットフォームをベースにする教育・研究システムは、本分野の魅力や必要度を広く若手研究者に伝えることに成功している。また、「次」を担う学部学生や修士課程学生に対しても、研究者へのキャリアパスの魅力を伝えることに貢献している。

「グローバルCOEプログラム」（平成20年度採択拠点）事後評価結果

機 関 名	大阪大学	拠点番号	H08
申請分野	機械、土木、建築、その他工学		
拠点プログラム名称	高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点		
中核となる専攻等名	工学研究科精密科学・応用物理学専攻		
事業推進担当者	(拠点リーダー名)山内 和人		外 22 名

◇グローバルCOEプログラム委員会における評価（公表用）

（総括評価）

設定された目的は十分達成された。

（コメント）

大学の将来構想と組織的な支援については、大阪大学グラウンドプランのもと、研究・産学連携室およびグローバルCOE運営委員会を中心とした支援体制の整備を行っているが、具体的な支援内容は明確ではない。

拠点形成全体については、本プログラムの実施により、高機能化原子制御製造プロセスという新たな分野における研究成果が一層の深まりと広まりを見せた。拠点形成に当たっては、学内外の関連研究者が集結し、効果的に運営がなされ、大阪大学の同分野がわが国を代表するCOEであることが国際的にも認知されたと評価できる。

人材育成面については、博士課程科目として材料系科目、ナノ・表面科学、物理学系科目からなる幅広いスクーリングが整備され、また若手研究者の自発的な領域横断型の共同研究を推進するほか、外国人教員の採用に加え、海外研修による人材育成に努めるなど多角的であった。

研究活動面については、教育面と表裏一体で、原子論からナノ表面を作成する、という本研究の方針は、国際的に見てもナノテクの新しい方向性を導いており、また関連分野における研究成果の発表が豊富であった。

補助金の適切かつ効果的使用については、主として旅費、人件費、事業推進費に対しバランス良く支出している点は評価できるが、人材育成に係る経費の比率が高くなかったことは残念である。

中間評価結果による留意事項への対応については、本グローバルCOEプログラムに並行して他にも多くの競争的外部資金を獲得しているが、本事業経費は、その目的である拠点形成に必要な教育研究環境充実のために使用されている。一方で、4、5年次には設備備品費を縮減し、学生を中心に更なる海外交流を支援し、海外から一層の特任教員の採用についてアドバイスしたものの、対応は必ずしも十分ではなかった。

今後の展望については、未来戦略機構が設置されたほか、超精密科学研究センターが拡充継続され、Global networkプラットフォームによる国内外の教育研究機関や企業との強固な連携が引き続き行われる体制にあり、人材育成については、本プログラムで実施された様々なプログラムが引き継がれるなど、発展性が保障されており今後が期待される。