

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

エグゼクティブサマリー (最終評価用)

ホスト機関名	国立研究開発法人物質・材料研究機構	ホスト機関長名	橋本 和仁
拠点名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	拠点長名	青野 正和

作成上の注意事項：

このサマリーは、拠点形成報告書、進展計画に記載された内容に基づいて、以下の項目についての概要を6ページ以内の記述で作成してください。(添付資料は不用)

A. 拠点形成報告書

I. 概要

MANA は発足後 8 年半を経て、関連の研究分野における世界トップレベルの研究拠点到成長し、基礎から応用にわたって顕著な研究業績をあげた。

MANA の卓抜さはいくつかの指標に現れている。たとえば、A) 被引用回数が世界トップ 1% の論文の数は 118 に達し、B) Elsevier 社が「異分野の研究機関の発表論文の質を公平に比較する」目的から新たに考案した指標 Field Weighted Citation Impact (FWCI) の MANA の値は 6.16 と非常に大きい (2015 年)。また、C) MANA の論文が掲載された論文誌の平均インパクトファクター(IF)は 2.42 という非常に高い値である (2008-2015 年)。これらの指標の値は、多くの世界トップクラスの研究機関のそれらを凌駕している。

世界の他の材料科学研究所と比べ、MANA はユニークな特徴を持っている。すなわち MANA は、ナノテクノロジーの新パラダイムであるナノアーキテクトニクスという新しい概念のもとに運営されている。このユニークな概念が、MANA が顕著な研究成果を達成するにあたり重要な鍵となってきた。

MANA は 8 年半の間に、多くの優れた研究を成し遂げた。代表的なものを挙げると、a) ナノシート技術とその応用、b) 原子スイッチと関連デバイス、c) 多様な単分子デバイス、d) 高効率光触媒、e) 高感度/並列型の分子センシング (MSS 臭いセンサーなど)、f) ナノアーキテクトニクスを利用した診断と治療、g) 力学的、電気的、光学的測定が可能な透過電子顕微鏡、h) ナノスケールでの電気伝導度の計測を可能とした多探針走査プローブ顕微鏡、等である。

MANA は、外国人研究者の比率が 50%以上という、日本では最も国際化された拠点を形成した。外国人研究者を含むすべての研究者に対して事務的・技術的支援を迅速に提供することにおいて、完璧に近い環境を形成することに成功している。また、国際拠点運営のノウハウを NIMS の全体に還元してきた。たとえば、NIMS 全体において外国人研究者に対する英語による支援が大幅に改善した。

MANA は、WPI プログラムの 4 つの柱に加えて、若手研究者の育成をもう一つの柱としている。特定のグループに属さず独立して自らの研究テーマを推進する独立研究者 (パーマナント研究者の約 20%) および ICYS 研究員 (ポスドクの約 20%) の制度は、顕著な成果を挙げている。

MANA は 2012 年度から NIMS の 3 研究部門の一として位置づけられている。すなわち、MANA は NIMS の研究組織において恒久的な存在となっている。また、NIMS は約 90 名の定年制職員の給与を提供するなど、MANA を全面的に支援しており、これは今後も継続される。

II. 各論

1. 形成拠点の全体像

<ビジョンと背景>

MANA が発足した 8 年半前、ナノテクノロジー (およびその基礎となるナノサイエンス) が急速に発展しつつあり、材料科学にとってナノテクノロジーは欠くことのできない柱になりつつあった。こうした背景の中で、我々はナノテクノロジーを有効に利用して新材料の研究開発を強力に進める世界トップレベルの研究拠点を育成することを意図して MANA を設計した。我々はナノテクノロジーを従来のマイクロテクノロジーの延長線上にあるものと捉える一般の理解は誤りであり、ナノテクノロジーはマイクロテクノロジーと本質的に異なることを認識しなければ、ナノテクノロジーの真の威力を有効に活用することはできないことを強く意識した。そこで、我々のビジョンを『新材料開発の世界トップレベルの研究拠点を形成するためにナノテクノロジーに新パラダイムを拓く』ことに置いた。そして、ナノテクノロジーの新パラダイムを簡潔に表

現するために、ナノアーキテクトニクスという概念を提唱した。ナノアーキテクトニクスについては、拠点形成報告書に詳述した。この概念は世界のナノテクノロジー研究機関の中でも MANA の研究を際立ったものになっている。ナノアーキテクトニクスの概念が世界的な賛同を得はじめたことを我々は喜ばしく思う。

<現状>

MANA は、ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフの 4 研究分野で発足したが、2016 年度からナノセオリー研究分野を新設した。現在、25 名の主任研究者、2 名の准主任研究者、75 名のパーマナント研究者、72 名のポスドク研究者、36 名の学生が 5 研究分野で研究を行っている。これらの研究者を 29 名の事務・技術スタッフが支援している。MANA の現状は次の 5 点に要約できる：

- ★ 世界トップレベルの研究活動を実現した。
- ★ 研究者の半数以上が外国籍という真の国際研究拠点を形成した。
- ★ ナノテクノロジーと他分野の融合研究を活発に実施している。
- ★ ホスト機関の NIMS をリフォームするという責任を着実に果たしつつある。
- ★ 世界中で活躍する優秀な若手研究者を育成している。

<将来展望>

成功した 8 年半の経験と自信をベースに、MANA は「理論研究と実験研究との融合」および「ナノテクノロジー（ナノアーキテクトニクス）とライフサイエンスとの融合」を中心に、各種の異分野融合研究を推進する。我々の最終目標は、各種の革新的技術に繋がる、世界を揺るがすような新材料を開発することであり、その実現の可能性は十分にある。

2. 研究活動

<顕著な研究成果>

上で述べたように、MANA の研究は 5 つの研究分野（ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ、ナノセオリー研究分野）で行われており、それらの研究分野において得られた主要な研究成果は以下の通りである。

- A) ナノシートを基本材料とする新材料の創製：新奇かつ有用な特性を有する様々な新材料を創成するための独創的な手法であるナノシート法を開発し応用してきた。この手法によるメタマテリアルや新超伝導体の実現が次の挑戦課題である。
- B) 原子スイッチと関連するデバイスおよびシステムの開発：従来の半導体デバイスとは完全に異なる原理で動作する原子スイッチを発明し、実用化にまで漕ぎ着け、AI や IoT に革新をもたらすまでに至った。さらに、原子スイッチが脳のシナプスに酷似した機能を示すことを発見し、原子スイッチによって構成された脳神経網的ネットワーク回路の実現が次の挑戦課題である。
- C) 世界トップレベルの高効率人工光合成：例として、メタンの人工光合成に成功した。次の挑戦課題は、さまざまなナノアーキテクトニクスのシステムを用いて人工光合成の効率を劇的に向上させることである。
- D) 高感度/並列分子センシング（膜表面応力センサーMSS）：従来のタイプの分子センサーよりも感度が 100 倍以上高く、呼気の分析だけで癌患者と健常者を識別できる分子センサーを開発した。現在、その実用化の研究を進めている。
- E) 画期的なナノスケール計測法の開発：ナノ材料の力学的、電気的、光学的特性を高分解能の像観察下で測定できる透過電子顕微鏡（TEM）を開発した。また、多探針（2, 3, 4 探針）走査プローブ顕微鏡（STM）、原子間力顕微鏡（AFM）、ケルビンフォース顕微鏡（KFM）を開発し、ナノスケールでの電気伝導度の計測を可能にした。

<MANA の 3 つのグランドチャレンジ研究テーマ>

MANA は 3 つのグランドチャレンジ研究テーマを掲げてきた：

- ★ ナノアーキテクトニクスに基づく人工脳
- ★ 室温超伝導体
- ★ 実用的な人工光合成

これらは長期的な研究目標であるが、すでに興味深い成果が上がりつつある。第 1 と第 3 のテーマの成果については、前ページの B) と C) で少し触れた。第 2 のテーマの成果については、絶縁体や半導体に電子や正孔を電界効果によって注入して超伝導体化する試みを行っており、これまでに、ダイヤモンドを金属化することに成功した。そのほか、金のような重たい原子が 2 次元の歪んだ蜂の巣型の格子を形成すると、それに垂直に電界を加えるとき、室温以上の 600K でもその周端にゼロ抵抗の電流が流れるということを理論的に予測した。これを検証するための実験研究を開始している。

<研究成果の実用化>

MANA の基礎研究の多くは、日本電気、本田技研工業、村田製作所、東京化成工業等、様々な会社との協業による実用化研究につながっている。また、MANA の研究者が 2007 年から 2015 年の間に申請した特許は 774 件(国内 541 件、国際 233 件)、またこの間に登録された特許は

581 件（国内 441 件、国際 140 件）に上る。

3. 異分野融合

<戦略的な取り組み>

MANA の 5 つの研究分野（ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ、ナノセオリー研究分野）の間の融合研究を促進するために、MANA はこれまでに以下の特別ファンドを運営した。

- A) 融合型研究プログラム
- B) 理論・実験融合研究プログラム
- C) ナノライフ融合研究プログラム
- D) グランドチャレンジ研究プログラム
- E) 理論—実験ペアリングプログラム

すなわち、MANA の若手研究者を対象にテーマの公募を行い、選考委員会を作ってテーマの選考を行った。

<代表的成果>

異分野融合研究の代表的成果は次の通りである。

- 広範囲に及ぶナノシート技術の研究；基礎から応用（ソフト化学、材料物理学、電子デバイス技術の融合）
- 原子スイッチの幅広い研究；基礎から応用（電気化学、電子デバイス技術、神経科学の融合）
- 高感度／並列分子センサーの開発および応用（ナノアーキテクトニクス、動物の臭覚器官、医療診断の融合）
- 効率的な人工光合成システムの開発（光触媒化学、植物の光合成、ナノアーキテクトニクスの融合）
- ナノアーキテクトニクスを用いた癌およびアルツハイマー病の治療（医学、ナノアーキテクトニクスの融合）
- 新しい超伝導デバイスの開拓（理論、実験の融合）

4. 国際的な研究環境の実現

<国際的頭脳循環>

MANA は外部主任研究者が所属する研究機関にサテライトラボを設置している。現在、海外では UCLA、ジョージア工科大学、フランス国立科学研究センター(CNRS)・材料解析構造研究所 (CEMES)、モントリオール大学、ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン・(UCL)の 45 機関に MANA サテライトが設置されている。これらのサテライトは MANA の各分野の研究の一翼を担いつつ、MANA の若手研究者の育成の場ともなっている。さらに、著名研究者、若手ファカルティ、学生ら、多数の研究者が国内外から MANA を訪れており、その数は年々増えている。

ICYS 研究員は、NIMS のパーマネント研究職へのデニュアトラックとして位置付けられており、年 2 回の国際公募により選抜されている。過去 9 年間で合計 1,310 名の応募があり、45 名が ICYS-MANA に配属された。

また、MANA のポスドクのうち 12 名が NIMS のパーマネント研究職に採用されたほか、198 名が国内外の大学や研究機関の研究者へとキャリアアップした。また、民間企業の研究開発現場にも 27 名を送り出した。

MANA がハブとなって世界のナノテク拠点を繋ぐネットワークを構築することは、MANA のミッションのひとつである。MANA は現在、19 カ国、56 の研究機関と覚書を締結し、研究交流、人材交流を進めている。

<外国人研究者への研究生活支援体制>

MANA 事務部門は、全員が英語に堪能で、国籍・年齢に関わらずすべての研究者に対して日本的な「痒い所まで手が届く」サービスを提供している。ただし、日本の中に外国の研究環境を単純に持ち込むのではなく、外国人が溶け込める「日本の国際研究支援体制」を確立した。

<事務支援スタッフの配置および適切な支援体制の整備>

MANA は外国人研究者を含むすべての研究者に対して事務的・技術的サービスを迅速に提供することにおいて、ほぼ完璧な環境を形成することに成功している。書類・連絡のバイリンガル化、生活支援、技術支援、日本語教室・日本文化研修が代表例として挙げられる。

<その他>

若手研究者の獲得・育成については、特定のグループに属さずに自立して研究を行う独立研究者、ICYS 研究員の制度が成果をあげている。

国際的かつ学際的な日本人研究者を育成するため、日本人若手研究者が海外の主要研究機関に長期間滞在して研究活動を行うことを奨励している。また、優秀な日本人若手研究者を MANA に招へいし日本の将来を担う人材を育成する目的で、YAMATO-MANA プログラムを立ち上げた。

5. システム改革

<意思決定機構>

拠点長は、世界中から優秀な研究者を集め、彼らが自由闊達に研究を行い、お互いに切磋琢磨する研究風土を作り上げることに成功した。拠点長は、研究方針の設定、組織・体制の改編、新施策の導入、研究リソースの配分等、拠点の運営に強力な指導力を発揮してきた。また、数々の研究集会の開催、著名ジャーナルのナノアーキテクトニクス特集号発行やオンラインニュースレター配信等を通して、ナノアーキテクトニクスの概念を世界的に定着させ、次期改訂版の広辞苑には「ナノアーキテクトニクス」の項目が追加される。

<事務支援スタッフの配置および適切な支援体制の整備>

MANA は外国人研究者を含むすべての研究者に対して事務的・技術的サービスを迅速に提供することにおいて、ほぼ完璧な環境を形成することに成功している。

<WPIプログラムにより進めたシステム改革と波及効果>

MANA におけるシステム改革

- (1) 新たな研究プログラムを立ち上げ、学際的研究を推進。
- (2) パイリンガル化、外国人研究者への研究支援及び生活支援等を通して、MANA を徹底的に国際化。
- (3) ICYS や 3D システム等を導入し、若手研究者を獲得・育成。

ホスト機関全体への波及効果等

- (1) MANA におけるシステム改革が NIMS 本体に容易に波及する体制を構築。MANA を NIMS 中長期計画で、主要 7 拠点のひとつと規定。
- (2) NIMS 事務職員の英語能力向上プログラムの実施や主要ドキュメントや構内アナウンスのバイリンガル化等を通して、NIMS 本体の英語対応力を大幅に改善
- (3) MANA で育った優秀な若手研究者が、NIMS のパーマネント研究職として採用
- (4) 国際拠点運営のノウハウが、NIMS の他研究拠点へと波及：例として、建物の設計。
- (5) MANA 事務部門を旨とした拠点運営室を NIMS 内各研究拠点に設置。

<ホスト機関による支援>

NIMS は、人材の提供、研究資金の充当、研究スペースの提供、拠点長への管理権限の移譲等、MANA を全面的に支援している。MANA の設立以降、研究プロジェクト費のほか、拠点の活動に必要な事業推進費として、毎年 14 億円超を、NIMS の運営費交付金から充当してきている。

<ホスト機関の中長期的な計画への位置付け>

2011 年 4 月よりスタートした NIMS の第 3 期中期計画において、MANA が取り組んでいるナノアーキテクトニクスによる革新的な新材料の開発は、NIMS の重点研究開発領域として認知され、MANA は NIMS の 3 研究部門の一つ、ナノスケール材料部門として位置づけられた。さらに、第 4 期中長期計画では、「国際ナノアーキテクトニクス研究拠点」が NIMS の主要拠点であることが明確化される。また NIMS は MANA のパーマネントの研究職と事務職を計画的に増強している。すなわち 2011 年 4 月から 2016 年 3 月の間に、16 名のパーマネント職員が新たに MANA に加わった。この結果、2016 年 3 月末現在で、MANA に在籍するパーマネント職員は 89 名となった。

B. 進展計画

1. これまでの成果に基づく中長期的な研究課題・戦略

<概要>

過去 8 年半の研究成果を詳細に分析した結果、「理論研究と実験研究との融合」と「ナノテクノロジー(ナノアーキテクトニクス)とライフサイエンスとの融合」の重要性が浮き彫りになった。そこで、今後はこの 2 つの融合を強力に推進する。

また MANA がこれまでに掲げてきた 3 つのグランドチャレンジテーマの研究の進捗状況も分析した結果、有望な予備的成果が得られていると判断されるので、これらも継続することにした。

<理論研究と実験研究の融合>

すでに述べたように、ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ研究分野に加えて、2016 年度からナノセオリー分野を創設した。ナノセオリー分野は 30 名規模の大きな理論研究者集団である。これは MANA の研究者の約 5 分の 1 が理論研究者となることを意味する。

ナノスケールでの多くの興味深い現象は励起状態、動力学課程、多体効果を伴うにもかかわらず、今日の第一原理計算法はそれらの取扱いを苦手としているので、これを克服するために、適切で大胆な近似法を導入して理論研究に新展開をもたらす。これによって、理論研究と実験研究との融合を促進する。また、ナノセオリー分野は理論と実験の融合だけでなく、実験研究を主体とする他の 4 研究分野の融合研究を促進する役割も果たす。

<MANA 独自のナノライフ研究>

MANA は我々の世界トップレベルのナノテクノロジーをライフサイエンスと融合して新分野を開拓することを目指してナノライフ研究分野を置いた。トップレベルのナノテクノロジー（ナノアーキテクトニクス）の研究者とライフサイエンスの研究者が共存し、互いに他の分野をよく理解し合っていることが MANA の一つの重要な特徴である。最近、この特徴による効果が顕著に現れつつある。この状況を生かして、延長期間ではナノライフ分野を一新する。すなわち、生物の基本である“細胞”、“感覚器官”、“脳”の機能に学び、その知見をナノアーキテクトニクスのトップ技術と融合して、未開拓の新しい“もの”や“システム”を創造することを目指す。逆に、ナノアーキテクトニクスのトップ技術をナノライフの研究に積極的に利用することも強力に推進する。

<MANA のグランドチャレンジ>

MANA はこれまで3つのグランドチャレンジテーマを掲げてきており、今後もこれらを継続する。これらの将来の成果については、明るい見通しを立てることができる。

さらにナノテクノロジー(ナノアーキテクトニクス)とライフサイエンスの融合に関連したもうひとつのグランドチャレンジを追加する。

★スーパー・バイオセンシング

多探針走査型プローブ顕微鏡、高感度/並列分子センサー、ナノ発光粒子、ナノチューブなどのナノアーキテクトニクス技術と、細胞、生体分子などに関連するライフサイエンスとの融合により、MANA 独自のスーパー・バイオセンシングの新世界を切り拓きたい。

2. 研究組織運営

<研究組織運営>

10年間の実施期間終了1年前、NIMSの次期中期計画が開始する2016年4月に、以下の点を主要な柱とする組織体制の改変を実施する：副拠点長の新設・任命、PIの入れ替え、サテライトの発展的解消、ナノセオリー分野の新設、ナノライフ分野の強化、グランドチャレンジ研究への投資、革新的・挑戦的な研究の奨励、大学・企業との共同研究の促進など。

<システム改革を先導する取組・計画>

NIMSのリフォーム：MANAが培ってきた組織運営の経験や行き届いた事務・技術支援体制をNIMSに移植する。

NIMS及び日本の研究機関・大学の国際化：MANAの研究環境をNIMSだけではなくNIMS外の他の研究機関や大学に敷衍することに務める。

国際的ネットワークの拡充：MANAは世界中から研究者が集まる世界トップレベルの研究拠点を形成し、その知名度は高いものとなっている。欧米等の先進国だけでなく、研究開発途上国を含め、地球上のあらゆる国を対象として国際的なネットワークを広げ、世界のナノテクノロジー研究開発や若手研究者の人材育成のハブ拠点としての役割を果たす。

3. ホスト機関における位置付け及びリソース措置

<ホスト機関における拠点の位置付け>

NIMSの次期中長期計画は7年計画であり、当初のWPI事業実施期間（10年）終了時よりも1年早く2016年4月からスタートする。WPI事業実施期間終了後も、MANAはNIMSのナノテクノロジー推進の中心研究拠点として継続し、NIMSの理論研究者の大半を取り込むなど、さらに強力な国際的ナノテクノロジーのハブ研究拠点として位置付けられる。具体的には、2016年4月からは、NIMS内に7つの研究拠点が設置され、そのひとつがMANAとなるが、新しく参加する理論研究者ならびに超伝導研究の増強、さらに新規採用職員4名の配属による補強が行われ、MANAは定年制職員数104名とNIMSの定年制職員のおよそ1/4が所属する一大研究拠点となる。

<ホスト機関の拠点発展・持続に関する実行計画>

NIMSは、MANAに対して以下のように研究資源を措置し、その基本的な活動を継続することを約束する。

- i) 主任研究者や他の研究者、事務部門スタッフ等、約90名のNIMSパーマネント職員をMANAに配置することを宣言してきたが、2016年4月より、これを大きく上回る104名を配属することとなった。
- ii) MANAの研究プロジェクト費・拠点運営経費等をNIMS運営費交付金から年間約10億円を拠出する。

WPI補助事業終了後は、上記i)、ii)に加え、以下の方策を講じる。

- iii) WPI補助金で雇っていたポスドク等の任期制職員を、外部資金による雇用で置き替えてい

- く。
- iv) 拠点を特徴付ける、若手育成プログラム、シンポジウム開催やアウトリーチ活動等については、NIMS 本体の事業に移行させる。
 - v) MANA で特に充実している事務や技術の支援については、NIMS 本体のシステム改革を行い、それらの機能の精査と強化を図る。
 - vi) MANA の研究成果をシーズとして活用して実用研究へと発展させる、新たなオープンイノベーションの仕組みを作る。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

エグゼクティブサマリー (最終評価用)

ホスト機関名	国立研究開発法人物質・材料研究機構	ホスト機関長名	橋本 和仁
拠点名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	拠点長名	青野 正和

作成上の注意事項：

このサマリーは、拠点形成報告書、進展計画に記載された内容に基づいて、以下の項目についての概要を6ページ以内の記述で作成してください。(添付資料は不用)

A. 拠点形成報告書

I. 概要

MANA は発足後 8 年半を経て、関連の研究分野における世界トップレベルの研究拠点到成長し、基礎から応用にわたって顕著な研究業績をあげた。

MANA の卓抜さはいくつかの指標に現れている。たとえば、A) 被引用回数が世界トップ 1% の論文の数は 118 に達し、B) Elsevier 社が「異分野の研究機関の発表論文の質を公平に比較する」目的から新たに考案した指標 Field Weighted Citation Impact (FWCI) の MANA の値は 6.16 と非常に大きい (2015 年)。また、C) MANA の論文が掲載された論文誌の平均インパクトファクター(IF)は 2.42 という非常に高い値である (2008-2015 年)。これらの指標の値は、多くの世界トップクラスの研究機関のそれらを凌駕している。

世界の他の材料科学研究所と比べ、MANA はユニークな特徴を持っている。すなわち MANA は、ナノテクノロジーの新パラダイムであるナノアーキテクトニクスという新しい概念のもとに運営されている。このユニークな概念が、MANA が顕著な研究成果を達成するにあたり重要な鍵となってきた。

MANA は 8 年半の間に、多くの優れた研究を成し遂げた。代表的なものを挙げると、a) ナノシート技術とその応用、b) 原子スイッチと関連デバイス、c) 多様な単分子デバイス、d) 高効率光触媒、e) 高感度/並列型の分子センシング (MSS 臭いセンサーなど)、f) ナノアーキテクトニクスを利用した診断と治療、g) 力学的、電気的、光学的測定が可能な透過電子顕微鏡、h) ナノスケールでの電気伝導度の計測を可能とした多探針走査プローブ顕微鏡、等である。

MANA は、外国人研究者の比率が 50%以上という、日本では最も国際化された拠点を形成した。外国人研究者を含むすべての研究者に対して事務的・技術的支援を迅速に提供することにおいて、完璧に近い環境を形成することに成功している。また、国際拠点運営のノウハウを NIMS の全体に還元してきた。たとえば、NIMS 全体において外国人研究者に対する英語による支援が大幅に改善した。

MANA は、WPI プログラムの 4 つの柱に加えて、若手研究者の育成をもう一つの柱としている。特定のグループに属さず独立して自らの研究テーマを推進する独立研究者 (パーマナント研究者の約 20%) および ICYS 研究員 (ポスドクの約 20%) の制度は、顕著な成果を挙げている。

MANA は 2012 年度から NIMS の 3 研究部門の一として位置づけられている。すなわち、MANA は NIMS の研究組織において恒久的な存在となっている。また、NIMS は約 90 名の定年制職員の給与を提供するなど、MANA を全面的に支援しており、これは今後も継続される。

II. 各論

1. 形成拠点の全体像

<ビジョンと背景>

MANA が発足した 8 年半前、ナノテクノロジー (およびその基礎となるナノサイエンス) が急速に発展しつつあり、材料科学にとってナノテクノロジーは欠くことのできない柱になりつつあった。こうした背景の中で、我々はナノテクノロジーを有効に利用して新材料の研究開発を強力に進める世界トップレベルの研究拠点を育成することを意図して MANA を設計した。我々はナノテクノロジーを従来のマイクロテクノロジーの延長線上にあるものと捉える一般の理解は誤りであり、ナノテクノロジーはマイクロテクノロジーと本質的に異なることを認識しなければ、ナノテクノロジーの真の威力を有効に活用することはできないことを強く意識した。そこで、我々のビジョンを『新材料開発の世界トップレベルの研究拠点を形成するためにナノテクノロジーに新パラダイムを拓く』ことに置いた。そして、ナノテクノロジーの新パラダイムを簡潔に表

現するために、ナノアーキテクトニクスという概念を提唱した。ナノアーキテクトニクスについては、拠点形成報告書に詳述した。この概念は世界のナノテクノロジー研究機関の中でも MANA の研究を際立ったものにしていく。ナノアーキテクトニクスの概念が世界的な賛同を得はじめたことを我々は喜ばしく思う。

<現状>

MANA は、ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフの 4 研究分野で発足したが、2016 年度からナノセオリー研究分野を新設した。現在、25 名の主任研究者、2 名の准主任研究者、75 名のパーマナント研究者、72 名のポスドク研究者、36 名の学生が 5 研究分野で研究を行っている。これらの研究者を 29 名の事務・技術スタッフが支援している。MANA の現状は次の 5 点に要約できる：

- ★ 世界トップレベルの研究活動を実現した。
- ★ 研究者の半数以上が外国籍という真の国際研究拠点を形成した。
- ★ ナノテクノロジーと他分野の融合研究を活発に実施している。
- ★ ホスト機関の NIMS をリフォームするという責任を着実に果たしつつある。
- ★ 世界中で活躍する優秀な若手研究者を育成している。

<将来展望>

成功した 8 年半の経験と自信をベースに、MANA は「理論研究と実験研究との融合」および「ナノテクノロジー（ナノアーキテクトニクス）とライフサイエンスとの融合」を中心に、各種の異分野融合研究を推進する。我々の最終目標は、各種の革新的技術に繋がる、世界を揺るがすような新材料を開発することであり、その実現の可能性は十分にある。

2. 研究活動

<顕著な研究成果>

上で述べたように、MANA の研究は 5 つの研究分野（ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ、ナノセオリー研究分野）で行われており、それらの研究分野において得られた主要な研究成果は以下の通りである。

- A) ナノシートを基本材料とする新材料の創製：新奇かつ有用な特性を有する様々な新材料を創成するための独創的な手法であるナノシート法を開発し応用してきた。この手法によるメタマテリアルや新超伝導体の実現が次の挑戦課題である。
- B) 原子スイッチと関連するデバイスおよびシステムの開発：従来の半導体デバイスとは完全に異なる原理で動作する原子スイッチを発明し、実用化にまで漕ぎ着け、AI や IoT に革新をもたらすまでに至った。さらに、原子スイッチが脳のシナプスに酷似した機能を示すことを発見し、原子スイッチによって構成された脳神経網的ネットワーク回路の実現が次の挑戦課題である。
- C) 世界トップレベルの高効率人工光合成：例として、メタンの人工光合成に成功した。次の挑戦課題は、さまざまなナノアーキテクトニクスのシステムを用いて人工光合成の効率を劇的に向上させることである。
- D) 高感度/並列分子センシング（膜表面応力センサーMSS）：従来のタイプの分子センサーよりも感度が 100 倍以上高く、呼気の分析だけで癌患者と健常者を識別できる分子センサーを開発した。現在、その実用化の研究を進めている。
- E) 画期的なナノスケール計測法の開発：ナノ材料の力学的、電気的、光学的特性を高分解能の像観察下で測定できる透過電子顕微鏡（TEM）を開発した。また、多探針（2, 3, 4 探針）走査プローブ顕微鏡（STM）、原子間力顕微鏡（AFM）、ケルビンフォース顕微鏡（KFM）を開発し、ナノスケールでの電気伝導度の計測を可能にした。

<MANA の 3 つのグランドチャレンジ研究テーマ>

MANA は 3 つのグランドチャレンジ研究テーマを掲げてきた：

- ★ ナノアーキテクトニクスに基づく人工脳
- ★ 室温超伝導体
- ★ 実用的な人工光合成

これらは長期的な研究目標であるが、すでに興味深い成果が上がりつつある。第 1 と第 3 のテーマの成果については、前ページの B) と C) で少し触れた。第 2 のテーマの成果については、絶縁体や半導体に電子や正孔を電界効果によって注入して超伝導体化する試みを行っており、これまでに、ダイヤモンドを金属化することに成功した。そのほか、金のような重たい原子が 2 次元の歪んだ蜂の巣型の格子を形成すると、それに垂直に電界を加えるとき、室温以上の 600K でもその周端にゼロ抵抗の電流が流れるということを理論的に予測した。これを検証するための実験研究を開始している。

<研究成果の実用化>

MANA の基礎研究の多くは、日本電気、本田技研工業、村田製作所、東京化成工業等、様々な会社との協業による実用化研究につながっている。また、MANA の研究者が 2007 年から 2015 年の間に申請した特許は 774 件(国内 541 件、国際 233 件)、またこの間に登録された特許は

581 件（国内 441 件、国際 140 件）に上る。

3. 異分野融合

<戦略的な取り組み>

MANA の 5 つの研究分野（ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ、ナノセオリー研究分野）の間の融合研究を促進するために、MANA はこれまでに以下の特別ファンドを運営した。

- A) 融合型研究プログラム
- B) 理論・実験融合研究プログラム
- C) ナノライフ融合研究プログラム
- D) グランドチャレンジ研究プログラム
- E) 理論—実験ペアリングプログラム

すなわち、MANA の若手研究者を対象にテーマの公募を行い、選考委員会を作ってテーマの選考を行った。

<代表的成果>

異分野融合研究の代表的成果は次の通りである。

- 広範囲に及ぶナノシート技術の研究；基礎から応用（ソフト化学、材料物理学、電子デバイス技術の融合）
- 原子スイッチの幅広い研究；基礎から応用（電気化学、電子デバイス技術、神経科学の融合）
- 高感度／並列分子センサーの開発および応用（ナノアーキテクトニクス、動物の臭覚器官、医療診断の融合）
- 効率的な人工光合成システムの開発（光触媒化学、植物の光合成、ナノアーキテクトニクスの融合）
- ナノアーキテクトニクスを用いた癌およびアルツハイマー病の治療（医学、ナノアーキテクトニクスの融合）
- 新しい超伝導デバイスの開拓（理論、実験の融合）

4. 国際的な研究環境の実現

<国際的頭脳循環>

MANA は外部主任研究者が所属する研究機関にサテライトラボを設置している。現在、海外では UCLA、ジョージア工科大学、フランス国立科学研究センター(CNRS)・材料解析構造研究所 (CEMES)、モントリオール大学、ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン・(UCL)の 45 機関に MANA サテライトが設置されている。これらのサテライトは MANA の各分野の研究の一翼を担いつつ、MANA の若手研究者の育成の場ともなっている。さらに、著名研究者、若手ファカルティ、学生ら、多数の研究者が国内外から MANA を訪れており、その数は年々増えている。

ICYS 研究員は、NIMS のパーマネント研究職へのデニュアトラックとして位置付けられており、年 2 回の国際公募により選抜されている。過去 9 年間で合計 1,310 名の応募があり、45 名が ICYS-MANA に配属された。

また、MANA のポスドクのうち 12 名が NIMS のパーマネント研究職に採用されたほか、198 名が国内外の大学や研究機関の研究者へとキャリアアップした。また、民間企業の研究開発現場にも 27 名を送り出した。

MANA がハブとなって世界のナノテク拠点を繋ぐネットワークを構築することは、MANA のミッションのひとつである。MANA は現在、19 カ国、56 の研究機関と覚書を締結し、研究交流、人材交流を進めている。

<外国人研究者への研究生活支援体制>

MANA 事務部門は、全員が英語に堪能で、国籍・年齢に関わらずすべての研究者に対して日本的な「痒い所まで手が届く」サービスを提供している。ただし、日本の中に外国の研究環境を単純に持ち込むのではなく、外国人が溶け込める「日本の国際研究支援体制」を確立した。

<事務支援スタッフの配置および適切な支援体制の整備>

MANA は外国人研究者を含むすべての研究者に対して事務的・技術的サービスを迅速に提供することにおいて、ほぼ完璧な環境を形成することに成功している。書類・連絡のバイリンガル化、生活支援、技術支援、日本語教室・日本文化研修が代表例として挙げられる。

<その他>

若手研究者の獲得・育成については、特定のグループに属さずに自立して研究を行う独立研究者、ICYS 研究員の制度が成果をあげている。

国際的かつ学際的な日本人研究者を育成するため、日本人若手研究者が海外の主要研究機関に長期間滞在して研究活動を行うことを奨励している。また、優秀な日本人若手研究者を MANA に招へいし日本の将来を担う人材を育成する目的で、YAMATO-MANA プログラムを立ち上げた。

5. システム改革

<意思決定機構>

拠点長は、世界中から優秀な研究者を集め、彼らが自由闊達に研究を行い、お互いに切磋琢磨する研究風土を作り上げることに成功した。拠点長は、研究方針の設定、組織・体制の改編、新施策の導入、研究リソースの配分等、拠点の運営に強力な指導力を発揮してきた。また、数々の研究集会の開催、著名ジャーナルのナノアーキテクトニクス特集号発行やオンラインニュースレター配信等を通して、ナノアーキテクトニクスの概念を世界的に定着させ、次期改訂版の広辞苑には「ナノアーキテクトニクス」の項目が追加される。

<事務支援スタッフの配置および適切な支援体制の整備>

MANA は外国人研究者を含むすべての研究者に対して事務的・技術的サービスを迅速に提供することにおいて、ほぼ完璧な環境を形成することに成功している。

<WPIプログラムにより進めたシステム改革と波及効果>

MANA におけるシステム改革

- (1) 新たな研究プログラムを立ち上げ、学際的研究を推進。
- (2) パイリンガル化、外国人研究者への研究支援及び生活支援等を通して、MANA を徹底的に国際化。
- (3) ICYS や 3D システム等を導入し、若手研究者を獲得・育成。

ホスト機関全体への波及効果等

- (1) MANA におけるシステム改革が NIMS 本体に容易に波及する体制を構築。MANA を NIMS 中長期計画で、主要 7 拠点のひとつと規定。
- (2) NIMS 事務職員の英語能力向上プログラムの実施や主要ドキュメントや構内アナウンスのバイリンガル化等を通して、NIMS 本体の英語対応力を大幅に改善
- (3) MANA で育った優秀な若手研究者が、NIMS のパーマネント研究職として採用
- (4) 国際拠点運営のノウハウが、NIMS の他研究拠点へと波及：例として、建物の設計。
- (5) MANA 事務部門を旨とした拠点運営室を NIMS 内各研究拠点に設置。

<ホスト機関による支援>

NIMS は、人材の提供、研究資金の充当、研究スペースの提供、拠点長への管理権限の移譲等、MANA を全面的に支援している。MANA の設立以降、研究プロジェクト費のほか、拠点の活動に必要な事業推進費として、毎年 14 億円超を、NIMS の運営費交付金から充当してきている。

<ホスト機関の中長期的な計画への位置付け>

2011 年 4 月よりスタートした NIMS の第 3 期中期計画において、MANA が取り組んでいるナノアーキテクトニクスによる革新的な新材料の開発は、NIMS の重点研究開発領域として認知され、MANA は NIMS の 3 研究部門の一つ、ナノスケール材料部門として位置づけられた。さらに、第 4 期中長期計画では、「国際ナノアーキテクトニクス研究拠点」が NIMS の主要拠点であることが明確化される。また NIMS は MANA のパーマネントの研究職と事務職を計画的に増強している。すなわち 2011 年 4 月から 2016 年 3 月の間に、16 名のパーマネント職員が新たに MANA に加わった。この結果、2016 年 3 月末現在で、MANA に在籍するパーマネント職員は 89 名となった。

B. 進展計画

1. これまでの成果に基づく中長期的な研究課題・戦略

<概要>

過去 8 年半の研究成果を詳細に分析した結果、「理論研究と実験研究との融合」と「ナノテクノロジー(ナノアーキテクトニクス)とライフサイエンスとの融合」の重要性が浮き彫りになった。そこで、今後はこの 2 つの融合を強力に推進する。

また MANA がこれまでに掲げてきた 3 つのグランドチャレンジテーマの研究の進捗状況も分析した結果、有望な予備的成果が得られていると判断されるので、これらも継続することにした。

<理論研究と実験研究の融合>

すでに述べたように、ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ研究分野に加えて、2016 年度からナノセオリー分野を創設した。ナノセオリー分野は 30 名規模の大きな理論研究者集団である。これは MANA の研究者の約 5 分の 1 が理論研究者となることを意味する。

ナノスケールでの多くの興味深い現象は励起状態、動力学課程、多体効果を伴うにもかかわらず、今日の第一原理計算法はそれらの取扱いを苦手としているので、これを克服するために、適切で大胆な近似法を導入して理論研究に新展開をもたらす。これによって、理論研究と実験研究との融合を促進する。また、ナノセオリー分野は理論と実験の融合だけでなく、実験研究を主体とする他の 4 研究分野の融合研究を促進する役割も果たす。

<MANA 独自のナノライフ研究>

MANA は我々の世界トップレベルのナノテクノロジーをライフサイエンスと融合して新分野を開拓することを目指してナノライフ研究分野を置いた。トップレベルのナノテクノロジー（ナノアーキテクトニクス）の研究者とライフサイエンスの研究者が共存し、互いに他の分野をよく理解し合っていることが MANA の一つの重要な特徴である。最近、この特徴による効果が顕著に現れつつある。この状況を生かして、延長期間ではナノライフ分野を一新する。すなわち、生物の基本である“細胞”、“感覚器官”、“脳”の機能に学び、その知見をナノアーキテクトニクスのトップ技術と融合して、未開拓の新しい“もの”や“システム”を創造することを目指す。逆に、ナノアーキテクトニクスのトップ技術をナノライフの研究に積極的に利用することも強力に推進する。

<MANA のグランドチャレンジ>

MANA はこれまで3つのグランドチャレンジテーマを掲げてきており、今後もこれらを継続する。これらの将来の成果については、明るい見通しを立てることができる。

さらにナノテクノロジー(ナノアーキテクトニクス)とライフサイエンスの融合に関連したもうひとつのグランドチャレンジを追加する。

★スーパー・バイオセンシング

多探針走査型プローブ顕微鏡、高感度/並列分子センサー、ナノ発光粒子、ナノチューブなどのナノアーキテクトニクス技術と、細胞、生体分子などに関連するライフサイエンスとの融合により、MANA 独自のスーパー・バイオセンシングの新世界を切り拓きたい。

2. 研究組織運営

<研究組織運営>

10年間の実施期間終了1年前、NIMSの次期中期計画が開始する2016年4月に、以下の点を主要な柱とする組織体制の改変を実施する：副拠点長の新設・任命、PIの入れ替え、サテライトの発展的解消、ナノセオリー分野の新設、ナノライフ分野の強化、グランドチャレンジ研究への投資、革新的・挑戦的な研究の奨励、大学・企業との共同研究の促進など。

<システム改革を先導する取組・計画>

NIMSのリフォーム：MANAが培ってきた組織運営の経験や行き届いた事務・技術支援体制をNIMSに移植する。

NIMS及び日本の研究機関・大学の国際化：MANAの研究環境をNIMSだけではなくNIMS外の他の研究機関や大学に敷衍することに務める。

国際的ネットワークの拡充：MANAは世界中から研究者が集まる世界トップレベルの研究拠点を形成し、その知名度は高いものとなっている。欧米等の先進国だけでなく、研究開発途上国を含め、地球上のあらゆる国を対象として国際的なネットワークを広げ、世界のナノテクノロジー研究開発や若手研究者の人材育成のハブ拠点としての役割を果たす。

3. ホスト機関における位置付け及びリソース措置

<ホスト機関における拠点の位置付け>

NIMSの次期中長期計画は7年計画であり、当初のWPI事業実施期間（10年）終了時よりも1年早く2016年4月からスタートする。WPI事業実施期間終了後も、MANAはNIMSのナノテクノロジー推進の中心研究拠点として継続し、NIMSの理論研究者の大半を取り込むなど、さらに強力な国際的ナノテクノロジーのハブ研究拠点として位置付けられる。具体的には、2016年4月からは、NIMS内に7つの研究拠点が設置され、そのひとつがMANAとなるが、新しく参加する理論研究者ならびに超伝導研究の増強、さらに新規採用職員4名の配属による補強が行われ、MANAは定年制職員数104名とNIMSの定年制職員のおよそ1/4が所属する一大研究拠点となる。

<ホスト機関の拠点発展・持続に関する実行計画>

NIMSは、MANAに対して以下のように研究資源を措置し、その基本的な活動を継続することを約束する。

- i) 主任研究者や他の研究者、事務部門スタッフ等、約90名のNIMSパーマネント職員をMANAに配置することを宣言してきたが、2016年4月より、これを大きく上回る104名を配属することとなった。
- ii) MANAの研究プロジェクト費・拠点運営経費等をNIMS運営費交付金から年間約10億円を拠出する。

WPI補助事業終了後は、上記i)、ii)に加え、以下の方策を講じる。

- iii) WPI補助金で雇っていたポスドク等の任期制職員を、外部資金による雇用で置き替えてい

- く。
- iv) 拠点を特徴付ける、若手育成プログラム、シンポジウム開催やアウトリーチ活動等については、NIMS 本体の事業に移行させる。
 - v) MANA で特に充実している事務や技術の支援については、NIMS 本体のシステム改革を行い、それらの機能の精査と強化を図る。
 - vi) MANA の研究成果をシーズとして活用して実用研究へと発展させる、新たなオープンイノベーションの仕組みを作る。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

拠点形成報告書 (最終評価用)

ホスト機関名	国立研究開発法人物質・材料研究機構	ホスト機関長名	橋本 和仁
拠 点 名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	拠 点 長 名	青野 正和

添付様式を除き30ページ以内で記載すること。また各項目に記した頁数を守ることを。

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、平成28年3月31日現在の内容で作成すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

1. 形成拠点の全体像 (このページを含め2ページ以内)

現在の拠点のアイデンティティなど全体像について記述すること。また、拠点長が交代した拠点では、その経緯と効果も記述すること。

・主任研究者、構成員員数、運営組織、拠点施設配置、事業費の推移、事業費、WPI補助金支出について[添付様式1-1~7]に記載すること。

1-1. 序

MANAは発足して以来の8年半に（本報告書の作成時点まで）、関連の研究分野における世界トップレベルの研究拠点に成長し、顕著な研究業績をあげてきた（詳細については第2章を参照）。MANAの卓抜さは以下のいくつかの指標に現れている。たとえば、A) 被引用回数が世界トップ1%の論文の数は118に達し（2008-2015年）、B) Elsevier社が「異分野の研究機関の発表論文の質を公平に比較する」目的から新たに考案した指標Field Weighted Citation Impact (FWCI) のMANAの値は2.42と大きい（2008-2015年の平均）。また、C) MANAの論文が掲載された論文誌の平均インパクトファクター(IF)は5.24という高い値である（最近の2011-2015年の平均）。これらの指標の値は、多くの世界トップクラスの研究機関のそれらを凌駕している。

MANAのこの発展はひとえにWPIプログラムのご支援によるものである。この機会に深甚なる謝意を表したい。

1-2. MANAの背景

MANAは、材料科学の分野で日本を代表する研究機関であるNIMSをホスト機関として8年半前に発足した。当時は世界的にナノテクノロジー（およびその基礎となるナノサイエンス）が急速に発展しつつあり、材料科学にとってナノテクノロジーは欠くことのできない柱になりつつあった。こうした背景の中で、我々はナノテクノロジーを有効に利用して新材料の研究開発を強力に進める世界トップレベルの研究拠点を創ることを意図してMANAを設計した。その設計において、我々はナノテクノロジーを従来のマイクロテクノロジーの延長線上にあるものと捉える一般の理解は誤りであり、ナノテクノロジーはマイクロテクノロジーと質的に異なることを正しく認識しなければナノテクノロジーの真の威力を有効に活用することはできないことを強く意識した。そしてその事実を端的に表現するために「ナノアーキテクトニクス」という概念を提唱した。ナノアーキテクトニクスはナノテクノロジーの新しいパラダイムであり、次の四つの観点を重要な柱としている：

- 1) 不確かに組み立てられ組織されたナノ構造（ナノ部品）から、信頼できるナノ材料あるいはナノシステムを生み出す。 「不確かさを容認した確かさ」
- 2) 機能を創発する主役は個々のナノ部品ではなく、それらの相互作用であることに留意する。 「主役はナノ部品ではなくそれらの相互作用」
- 3) 巨大な数の“ナノ部品”の組み立てにより創発する機能を見逃さない。 「多いと変わる」
- 4) 従来の第一原理計算と画期的かつ大胆な近似を組み合わせた新しい理論分野を開拓する。 「真実は簡単な言葉で表現できる」

このナノアーキテクトニクスの概念はMANAの研究を際立ったものとしており、そして世界のナノテクノロジー研究機関の中でもMANAを比類なき存在としている。ナノアーキテクトニクスの概念が世界的な賛同を得はじめたことを我々は喜ばしく思う。

1-3. MANAのビジョン、ミッション、組織

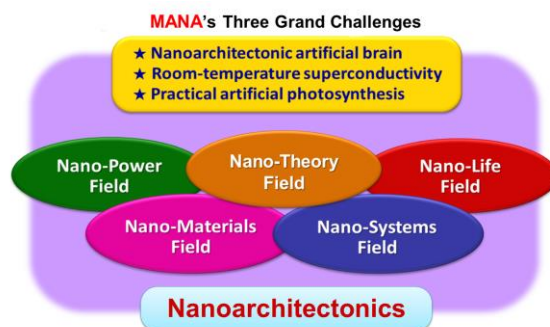
MANAはそのビジョンを

「より良い明日の世界に向けて、ナノテクノロジーの新しいパラダイムを切り拓き世界の新材料開発を先導する。」

としている。そしてこれを実現するために次の四つのミッションを掲げている：

1. ナノアーキテククスに基づく新材料開発の世界トップの研究
2. 異なる研究分野の融合による新しい研究分野の開拓
3. 次世代の若手研究者の育成と確保
4. 国際的な研究協力のネットワークの形成

研究組織としては、基礎から応用にわたるダイナミックな研究をナノアーキテククスに基づいて展開するために、またナノアーキテククスによる異分野の融合を進めるために、5つの研究分野（ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ、ナノセオリー分野）を置いている（下図を参照 — そこにはMANAの分野横断的な3つの挑戦的な研究テーマも示されている）。



MANA の5研究分野

1-4. MANAの現状

MANAはナノアーキテククスの概念に基づき、世界が注目する多くの画期的な研究成果を生み出し、世界のトップレベル研究拠点へと成長したと言える。

MANAの現状は次の5点に要約できる：

- ★ 世界トップレベルの研究活動を行っている。
- ★ 研究者の半数以上が外国籍という国際性を達成した。
- ★ ナノテクノロジーと異分野との融合研究を活発に実施している。
- ★ ホスト機関であるNIMSをリフォームするという責任を着実に果たしつつある。
- ★ 世界中で活躍する優秀な若手研究者を育成している。

2. 研究活動 (15 ページ以内)

2-1. 研究成果

拠点が挑戦した世界的な課題とその成果について記述すること。成果の記述に際しては、2007～2016年3月までの代表的研究成果20件を挙げ、それぞれ解説すること。なお各成果には [1]～[20]までの通し番号を付すこと。さらにWPI拠点なくしては不可能であった研究成果には通し番号の前にアスタリスク(*)を付して示すこと。

- ・上記の研究成果を裏付ける論文一覧(40編以内)とその解説を[添付様式2-1]に記載すること。

< 概要 >

MANA は、ナノアーキテククスの概念に基づいてナノテクノロジーに新パラダイムを開き、それによって新材料開発に革新をもたらすことを目的としてスタートした。その目的は徐々に達成されつつある。実際、MANA の研究の中からナノアーキテククスに基づいた新しい概念、すなわちソフトケミカル・ナノアーキテククス、インターフェイス・ナノアーキテククス、ニューロモーフィック・ナノアーキテククス、トポロジカル・ナノアーキテククス、インビボ・ナノアーキテククス等の概念が生まれ、それに基づく研究が順調に進んでいる。

以下で、MANA の研究成果の中から 20 の成果を選んで概説する(3～13 ページ)。これらの成果を下表のように 3 つのカテゴリー、すなわち新たな研究分野の創出、学際融合領域研究、その他の注目すべき研究成果に大分類し、さらに各カテゴリーにおいて 3 つの項目に小分類した。

主要 20 研究成果の分類

新たな研究分野の創出 ★ 新材料の創製に向けたナノシートを基本材料とする新分野 ★ 原子スイッチと関連するデバイス及びシステム候補 ★ 分子レベルのサイト指定化学ナノアーキテククス	研究成果 [1], [2] [3], [4] [5], [6]
学際融合領域研究 ★ ナノアーキテククスに着想を得たナノ生命科学 ★ ナノ生命科学に着想を得たナノアーキテククス ★ 新しいナノスケール材料システムの開拓を目指した理論と実験の架橋	[7], [8] [9], [10] [11], [12]
その他の注目すべき研究成果 ★ 画期的なナノスケールデバイス及びシステム ★ 画期的なナノスケール計測方法論 ★ 持続可能なエネルギー及び環境に関連するナノアーキテククス	[13], [14], [15] [16], [17] [18], [19], [20]

新たな研究分野の創出

★ ナノシートを基本材料とする新材料の創製

[1] 巨大膨潤による層状結晶剥離による機能的ナノシートの作製

代表研究者: T. Sasaki

本研究では、液相中で層状結晶に巨大膨潤を誘起させ、様々な酸化物及び水酸化物ナノシートを開発した。高度に膨潤した結晶は穏やかな条件で単層剥離できることから、他の剥離方法とは異なり、高品質のナノシートを高収率で合成できる。このプロセスを組成、構造を制御して合成した層状結晶に適用することで、様々な特異な性質を示すナノシートの合成に成功した。得られたナノシートをビルディングブロックとして利用することにより(2次元ナノシートナノアーキテククス)、多くの機能性材料やナノデバイスの創出につながることができた。

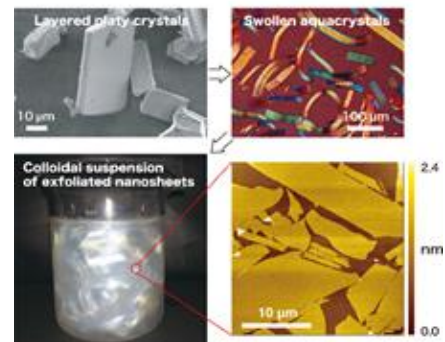


図 1. 層状チタンの板状微結晶 (左上)、膨潤した“水結晶” (右上) 及び剥離されたナノシート (下)

本研究では、層状金属酸化物の板状微結晶が様々なアミン水溶液においてアコーディオンの様に伸び縮みするという驚くべき現象を発見した (図 1 を参照)。これは層と層の間に大量の水溶液が入り込み、反応前の間隔の 100 倍にも拡大した結果であり、得られた“アクア結晶”は大きなサイズのナノシートに完全に剥離することができる。

添付資料 2-1. の論文 1 [*Nature Commun.* **4** (2013) 1632] 及び論文 2 [*J. Am. Chem. Soc.* **136** (2014) 5491] を参照。

★ [2] 超高誘電率酸化物ナノシート: グラフィンを超える新しい 2 次元材料及びデバイス 高誘電性酸化物ナノシート: グラフィンを凌駕する新しい 2 次元材料及びデバイス

代表研究者: M. Osada & T. Sasaki

次世代エレクトロニクス、さらにはポストグラフェン技術のキー材料として期待される高誘電性酸化物ナノシートを発見した。新たに発見したナノシート (Ti_2NbO_7 , $(Ca, Sr)_2Nb_3O_{10}$) は超薄膜領域 (< 10 nm) において従来の誘電材料を凌駕する世界最高レベルの誘電率 ($\epsilon_r = 210 \sim 320$) を示した。本研究により、新しい 2 次元材料デバイスへの道が開けた。

グラフェンの研究を契機に、新しい 2 次元材料やグラフェンを凌駕する機能の開拓を目指そうとするポストグラフェン技術への関心が急速に高まっている。多彩な機能を示す酸化物ナノシートは重要なターゲットであり、グラフェンや他の 2 次元材料で実現できない誘電体デバイスを実現する上でのキー技術となる (図

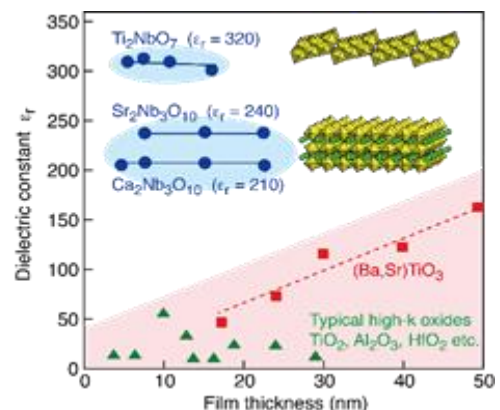


図 2. 高誘電性ナノシートおよび酸化物誘電体薄膜の誘電特性

2)。例えば、高誘電性ナノシートをベースとしたコンデンサは世界最高の容量特性を示し、新しい電子素子、蓄電デバイスへの応用が期待される。さらに、高誘電性ナノシートの精密集積により、ナノシート FET、人工強誘電体、マルチフェロイックなど新しい 2 次元デバイスの設計、開発が可能となっている。「ナノシート・アーキテクニクス」で新しいデバイスをつくる夢がひろがっています。

添付資料 2-1.の論文 3 [Adv. Mater. 24 (2012) 210] 及び 4 [ACS Nano 8 (2014) 2658] を参照。

★ 原子スイッチと関連するデバイス及びシステム候補

[3] 原子スイッチ：新しい動作原理のオン/オフスイッチの特性及びユニークなシナプスの動作

代表研究者: K. Terabe, T. Tsuruoka, M. Aono

本研究では、単純な構造、低消費電力などの点から、DRAM やフラッシュメモリといった従来の半導体デバイスより優れた、新しいスイッチデバイスである原子スイッチの開発研究を行った。原子スイッチのユニークな動作原理である、電圧印加による固体内での酸化・還元反応過程における原子（イオン）の移動を制御することによって、揮発性/不揮発性 3 端子原子トランジスタ、オンデマンド機能選択型原子スイッチ、及びシナプスの動作を実現する原子スイッチなどの様々なユニークな関連デバイスを創りだした。また、これまでの共同研究のもと、NEC (株) により原子スイッチを搭載した高性能フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA) が実現された。

原子スイッチのシナプスの動作は、その素子内の電子伝導経路の構造的可塑性を利用することにより、人間の脳にあるシナプスの可塑性の 2 つのモード、すなわち短期可塑性(STP)及び長期増強(LTP)を模倣するによって実現した。入力信号の強度や繰り返し数によって、原子スイッチの電子伝導経路が STP と LTP モード間の移行を示し、この特性による電気特性変化を図 3 に示す。多様なシナプスの動作は、原子スイッチシステムにおいて様々なイオン伝導体内の金属イオンあるいは酸素空孔の移動を制御することで実現した。これらの研究結果は、新しいニューロモルフィックチップによる事前プログラムを必要としない脳型コンピュータシステムの開発を促進するものである。

添付資料 2-1.の論文 5 [Nature Mater. 10 (2011) 591] 及び 6 [ACS Nano 6 (2012) 9515] を参照。

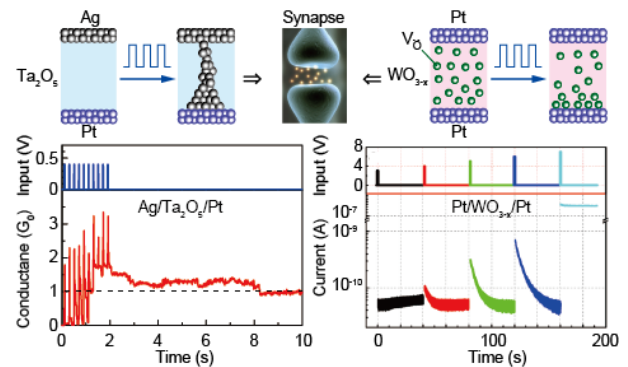


図 3. 金属イオンの移動を利用した Ag/Ta₂O₅/Pt 構造の原子スイッチによるシナプスの動作 (左) 及び 酸素空孔の移動を利用した Pt/WO_{3-x}/Pt 構造の原子スイッチによるシナプスの動作(右)

[4] ニューロモルフィック計算のための原子スイッチネットワーク

代表研究者: J. Gimzewski, A. Stieg, M. Aono

本研究では、生物学的認知の基礎特性と類似の振る舞いを示す原子スイッチが、高度密度 ($\sim 10^9 / \text{cm}^2$) に相互接続されたネットワーク (ASN) から構成されるユニークなニューロモルフィックデバイスを開発した。複雑なタスクをリアルタイムで無類の効率性で実行することで知られる生物学から着想を得た蓄積計算において、我々は parity- n 試験、NARMA-10 試験及び T-maze 試験を含む、様々な基準となる機械学習タスクによって ASN デバイスが活用できることを証明した。このことから、ASN デバイスは、RC パラダイムにおける現代の動作限界を克服できる信号処理及び計算のスケラブルハードウェアプラットフォームとして大変有望である。

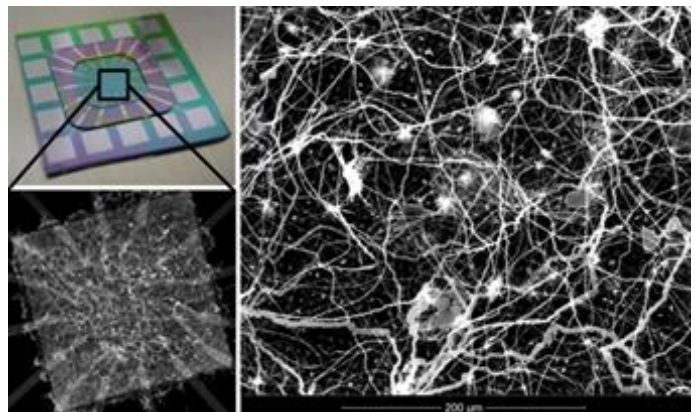


図 4. ASN デバイス (左上) は自己組織化によるナノワイヤネットワークの交差ポイントに位置する原子スイッチで構成される。ASN の内部 (左下) は、高密度に相互接続したニューロモルフィックなナノアーキテクチャによって形成される (右)。

哺乳類の脳は、根本的に異なる物理的構造と動作メカニズムにより、連想記憶、パターン認識、又は予測などの複雑なタスクの実行力において最新のコンピュータを超えている。我々は、哺乳類の皮質神経線維網から着想を得て、自己組織化によるナノアーキテクチャの概念を基にして、図 4 に示すように、数百万個の原子スイッチを密に相互接続された導電性ナノワイヤーのネットワークに組み込んだ。計算論的神経科学と機械学習の概念を複雑なナノスケール材料における自己組織化の概念に組合せた我々の研究成果は、次世代の認識技術の基礎となるものである。

添付資料 2-1.の論文 7 [*PLoS ONE* 7 (2012) e42772], 8 [*Adv. Mater.* 24 (2012) 286] 及び 9 [*Nanotechnology* 24 (2013) 384004] を参照。

★ 分子レベルのサイト指定化学ナノアーキテクチャ

[5] 導電性分子鎖による単分子電気配線

代表研究者: Y. Okawa, C. Joachim, M. Aono

これまで長年に渡り、単分子エレクトロニクスについて幅広く研究されてきたが、各単分子を配線する有効な方法がなかったため、実用的な単分子回路の作製は未だ困難である。この問題を解決するために、単分子配線を行う新しい方法を開発した。分子膜上の連鎖重合反応をナノスケールで制御することで、単一導電性高分子鎖と機能性単分子とを共有結合によって接続することに成功した。現在は、作製した単分子デバイスの電気輸送特性の研究を進めている。これらの研究は単分子電子回路の開発を進めるうえで重要なステップとなるであろう。

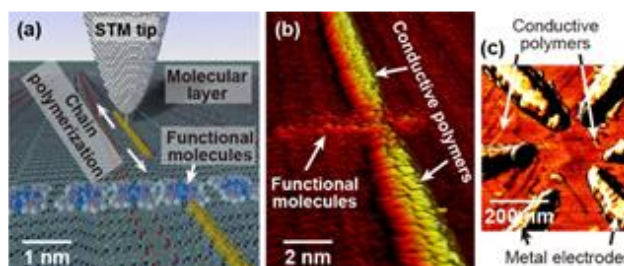


図 5. 化学的はんだ付けの模式図(a)と STM 像(b)。STM 探針により連鎖重合反応を誘起し、2本の導電性高分子鎖を機能性単分子(フタロシアニン)と接続した。(c) 六方晶窒化ホウ素基板上で、金属電極間に導電性高分子鎖を作成した原子間力顕微鏡像。

図 5 (a)は“化学的はんだ付け”と名付けた配線手順を示す。ジアセチレン化合物の単分子膜を走査トンネル顕微鏡(STM)の探針で刺激すると、ジアセチレン分子の連鎖重合反応が誘起され、重合鎖の反応活性な先端が機能性吸着分子と共有結合を形成する。2本のポリジアセチレン鎖を単一のフタロシアニン分子に接続できることを実証した(図 5(b))。現在は、絶縁基板上で作製した単分子デバイスの電気輸送特性の研究を進めている(図 5(c))。

添付資料 2-1.の論文 10 [*J. Am. Chem. Soc.* 133 (2011) 8227] 及び 11 [*Nanoscale* 4 (2012) 3013] を参照。

[6] C_{60} 分子間の結合状態と非結合状態の室温可逆制御

代表研究者: T. Nakayama, M. Nakaya, M. Aono

走査トンネル顕微鏡(STM)による単分子操作を使った超高密度データ記憶装置の実現では、原子や分子ビットの可逆的で反復可能な制御を実現し、0及び1を示す自在に記録・消去する方法であった。本研究では、 C_{60} 分子間が結合した状態と非結合の状態を室温で制御する方法を確立して、この問題を解決し、190 Tbits/in²のビット密度で情報の記録・消去ができることを示した。

フラーレン C_{60} 分子薄膜中における C_{60} 分子間の単分子レベル化学反応を、STMの探針を使って制御した。研究では任意の C_{60} 分子の負イオン化及び正イオン化を制御すると、その C_{60} 分子とその隣接分子との重合及び解重合反応をそれぞれ誘起できることを見出し、この方法で超高密度データストレージ操作を行った(図 6を参照)。添付資料 2-1.の論文 12 [*Adv. Mater.* 22 (2010) 1622] 及び 13 [*ACS Nano* 5 (2011) 7830] を参照。

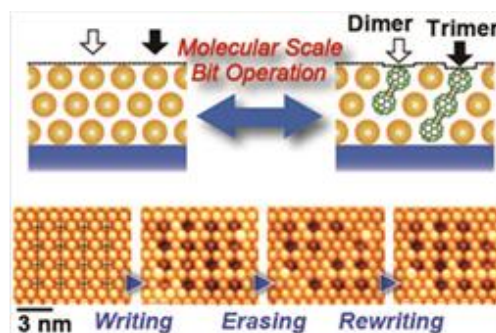


図 6. (上)束縛及び非束縛状態の C_{60} 分子の局所的及び可逆的制御の略図。(下) 単分子レベルのビット演算を示す一連の STM 画像

★ ナノアーキテクトニクスから着想したナノ生命化学

[7] 悪性腫瘍及び腎疾患治療に向けたナノアーキテクトニクスによるスマートナノファイバー
 代表研究者: M. Ebara

本研究では、悪性腫瘍治療用に温熱療法と化学療法を同時に行えるスマート抗癌ナノファイバーを開発した。ファイバー内に温度応答性高分子からなるナノアーキテクチャを作ること、交流磁場(AMF)に反応して熱と薬剤を同時に放出させることに成功した。AMFを5分から10分間印可するのみで、癌アポトーシスを誘導できた。

ナノファイバーは、抗癌剤及び磁性ナノ粒子を含有した温度反応性高分子架橋体で構成される。(図7(a))。マウス体内における研究の両方で、5分から10分間AMFを印可するのみで、熱と薬剤の効果により、腫瘍細胞の大半が死滅した(図7(b))。また、尿毒素吸着可能なファイバーの作製にも成功しており、これらは次世代の医療材料として実用化への期待が高まっている。

添付資料 2-1.の論文 14 [Angew. Chem. Int. Ed. **51** (2012) 10537] 及び 15 [Adv. Func. Mater. **23** (2013) 5753] を参照。

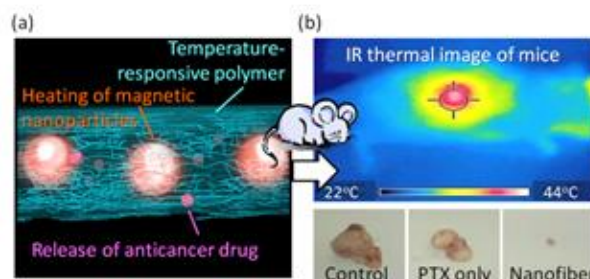


図7. (a) スマートナノファイバーの略図。(b) AMFを印可するとマウスの体内で発熱(上)を誘発し、さらに薬剤との相乗効果により、腫瘍のサイズを小さくすることに成功した(下)。

[8] 細胞機能の制御及び再生医療のためのナノ・マイクロ構造バイオマテリアル
 代表研究者: G. Chen, N. Kawazoe

ナノ・マイクロ構造バイオマテリアルは、再生医療において重要な役割を果たし、幹細胞の機能を制御して新しい組織や臓器の再生を誘導する。本研究では、体内で細胞を取り囲むナノ構造の微小環境を模倣する一連の機能性ナノ・マイクロ構造バイオマテリアルを開発した。このナノ・マイクロ構造バイオマテリアルは幹細胞を特異的な分化制御や組織再生の促進に効果を示した。

ナノ・マイクロ構造をもつバイオマテリアルとして、表面に官能基を導入したナノ材料を開発した。異なる官能基を有する様々な幾何学的形状の金ナノ粒子を合成した。表面に官能基を導入した金ナノ粒子は、その表面特性によって、ヒト骨髄由来間葉幹細胞の骨形成分化に対して異なる効果を示した。また、上記とは別のタイプのナノ・マイクロ構造バイオマテリアルとして、空孔や生体分子をマイクロパターン化した多孔質足場材料を開発した。本足場材料の作製には、独自の氷晶テンプレート法を用い、マイクロパターン構造はテンプレートを設計することで自在に制御することができた。本足場材料を用いることによって、細胞は高度に配向し、バンドル状の骨格筋組織の形成が促進された。足場材料は軟骨、皮膚、骨及び筋組織の再生に用いられている。以上のように、機能性バイオマテリアルは幹細胞研究及び再生医療に有用であることが示された。

添付資料 2-1.の論文 16 [Adv. Mater. **24** (2012) 4311] 及び 17 [Biomaterials **54** (2015) 226] を参照。



図8. 表面官能基化金ナノ粒子、及び間葉幹細胞の骨分化促進効果 (a)、マイクロパターン化したコラーゲン多孔質足場材料と本材料を用いた骨格筋組織の再生(b)。

★ ナノ生命科学に着想を得たナノアーキテクトニクス

[9] モバイル嗅覚及び他の様々な用途に向けた超高感度・超並列分子センシング

代表研究者: G. Yoshikawa

本研究では、世界中の研究者が 20 年来実現を目指してきた、新しい分子センサーを開発した。この新しいセンサーは、Heinrich Rohrer 博士 (1986 年ノーベル賞受賞者) およびスイスの EPFL と共に、構造力学、材料科学、結晶学及び電子工学に基づいた包括的最適化を進めることで完成し、“膜型表面応力センサー(MSS)”と命名した。従来のアプローチでは数 10% オーダーでしか向上しなかった感度が、MSS では 100 倍以上向上した。さらに MSS は実用上求められる各種性能を網羅しており、医療、セキュリティ及び環境調査の様々な分野への貢献が期待できる。

本研究では、スイスの EPFL の協力の下、MSS チップを作製し、スイスのバーゼル大学の協力の下、非低侵襲的呼気分析の可能性を示した。(図 9 (a)).

MSS はあくまでセンサー素子であり、センサーシステムとして消費者レベルの製品を提供するには、各種ハードウェアからビッグデータ分析を含むソフトウェアまで多くの要素技術のナノアーキテクニクスの統合が求められる。これに向けて、最先端の技術を統合するために、産学官連携体制である「MSS アライアンス」が発足した。この枠組みを通して、安心・安全・健康な社会の実現に向けた実用的モバイル嗅覚の基盤技術の確立を目指している。添付資料 2-1. の論文 18 [Nano Lett. 11 (2011) 1044] 及び 19 [Langmuir 26 (2013) 7551] を参照。

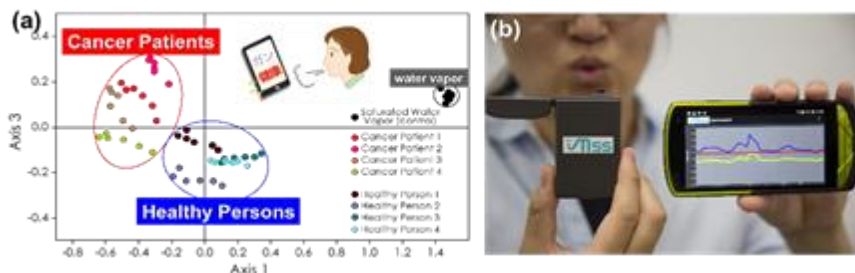


図 9. (a)ダブルブラインドテストでの、MSS アレイによるガン患者と健常者の呼気分析実験結果。(b) MSS 技術に基づくモバイルセンシングデバイスの試作品。

[10] 高効率人工光合成の進歩

代表研究者: J. Ye

MANA では、地球温暖化及びエネルギー不足問題の解決に寄与しうる高効率人工光合成の実現に挑戦している。これまでに一連の先駆的研究を行い、中でも独自の材料設計指針で Ag_3PO_4 材料を開発し、水の酸化反応において自然界の光合成に匹敵する量子効率を達成している。また、表面/界面構造の精巧な制御により効率的な光吸収、電荷分離、及び物質拡散/変換を可能にし、高効率的人工光合成の実現へ向けて大きく前進した。

ここでは、一例として自然界の生物における広範囲な太陽光を吸収する仕組みに着想を得た取り組みを紹介する。蝶の羽の 3D マイクロ/ナノアーキテクチャを模倣した $BiVO_4$ 光触媒を作製し、その表面に集光性プラズモンのナノアンテナ(Au ナノロード)を複合させた(図 10)。このようなユニークなシステムを構築することで、紫外から赤外線を含む太陽光に対する集光性を大幅に増強するのみならず、表面局在プラズモンの電場をも増幅し、その結果、光励起電子・正孔対の生成を促進し、高効率な光触媒反応を可能にした。

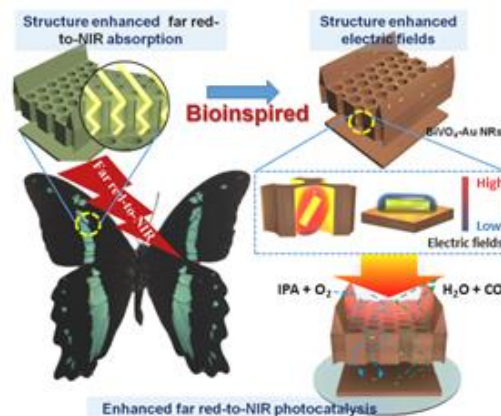


図 10. 生物の特殊な構造から着想を得て構築した紫外～赤外線利用可能な光触媒反応システムの概念図。

添付資料 2-1. 論文 20 [Sci. Rep. 6 (2016) 20001] 及び 21 [Nature Mater. 9 (2010) 559] を参照。

★新しいナノスケール材料システムの開拓を目指した理論と実験の架橋

[11] 新しい量子デバイスのためのトポロジカル物質ナノアーキテクニクス

代表研究者: X. Hu, T. Uchihashi

量子システムの不確かさが顕著となることから、ナノデバイスの機能を巨視的世界と同様の設計によって実現することは難しい。高度なナノ量子デバイスのための新しい設計原理を開発するために、量子ホログラフィック原理により、バルクと表面、ナノとマクロを結びつける様々なシステム技術を開発している。まったく新しいアプローチから作り出される“トポロジカル・ナノアーキテクトニクス”が誕生しつつある。

トポロジカルなギャップ状態と自明なギャップ状態の間の接

触面では、安定した表面状態が現れるはずである。トポロジカル超伝導体では、超伝導渦の中心及び試料エッジにおいて反粒子と同等なゼロエネルギーのマヨラナフェルミオンが現れる。一方で、トポロジカル絶縁体におけるエッジ状態では、ゼロ抵抗電流を流すことができる。

本研究では、2次元トポロジカル超伝導体が奇数個の超伝導渦を内包する時にのみマヨラナフェルミオンが現れる特性を利用することで、マヨラナフェルミオンを発生させ操作するためのナノ量子デバイス设计了 (図 11)。電荷中性のマヨラナフェルミオンは、点状のゲート電圧のオン・オフの切替により移動できることを証明した。本研究では、デコヒーレンスのない量子ビット及び量子計算に有用な非可換量子統計が、マヨラナフェルミオンの交換によって作り出されることを示した。

トポロジカル超伝導状態を実験的に実現するために、ラシュバ効果を有する原子レベルに薄い超伝導体の半導体表面上での作製と、磁性分子の自己組織化に、現在取り組んでいる。本研究では、直接的な電子輸送測定により表面超伝導を世界で初めて実証した (図 11)。超伝導特性に自己組織化磁性分子が望ましい影響を与えることを明らかにし、理論と実験の綿密な連携によりジョセフソン渦の存在も明らかにした。

また、渦中心でのマヨラナフェルミオン状態のスピ分解状態密度において、エネルギー及び渦の中心からの距離の関数としてチェッカーボード様のパターンが現れることを明らかにした。この特徴は、スピン偏極 STM/STS 技術によって検出でき、マヨラナフェルミオンの証拠となる。

添付資料 2-1.の論文 22 [*Phys. Rev. Lett.* **107** (2011) 207001]、23 [*Phys. Rev. Lett.* **113** (2014) 247004] 及び 24 [*Phys. Rev. Lett.* **115** (2015) 177001] を参照。

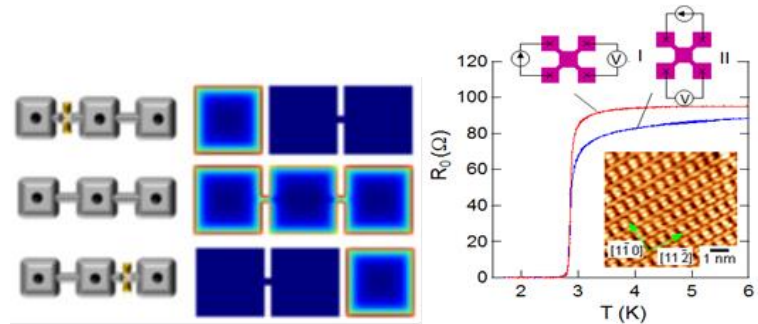


図 11. (左) マヨラナフェルミオンを操作する基本ブロック。トポロジカル超伝導体間の接続部を接合のゲート電圧でピンチオフすることで、マヨラナフェルミオンを移動させる。(右) Si(111)-($\sqrt{7}\times\sqrt{3}$)-In 超構造のゼロバイアス抵抗の温度依存。挿入図は試料表面の STM 像。

[12] ナノスケールデバイス設計のための大規模第一原理電子状態計算及び実験

代表研究者: T. Miyazaki, D. R. Bowler, N. Fukata

現実のナノスケールデバイス及び材料を表す巨大系に対しても密度関数理論(DFT)に基づいた第一原理電子状態計算を行えるようにするために、世界トップレベルの線形スケール DFT コードである CONQUEST を開発した。標準的な DFT コードを使って数千個を超える原子を含む系を扱うのは非常に困難であるが、CONQUEST によって、百万を超える原子を含む系を研究することが可能となる。CONQUEST を用いて、Si/Ge コアシェル型ナノワイヤに対する理論と実験の融合研究を行った。

CONQUEST は、標準的な DFT 技法では扱えない超大規模系に対して、構造緩和や分子力学を含むロバストかつ高精度の電子状態計算が可能である。このコードは「京」コンピュータのような大規模並列計算機においても非常に効率が高い。本研究では、Si(001)基板で成長した 3次元 Ge ナノアイランドに対して全原子 DFT 計算を行い、原子スケールでの成長メカニズムを研究した (図 12 (上)) を参照)。また、Si/Ge コアシェル型ナノワイヤの原子及び電子構造も計算した (図 12 (下))。計算結果に基づき、Ge/Si のコアシェル型ナノワイヤを合成し、ナノワイヤ内部に正孔ガスが蓄積されていることを実験的に確かめた。

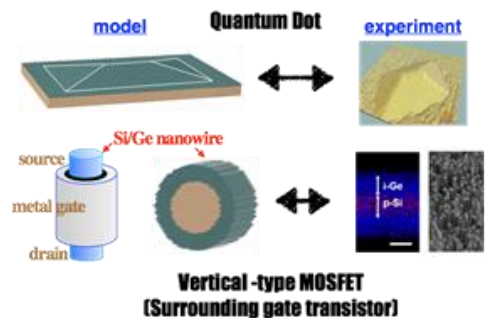


図 12. (上) CONQUEST を用いて計算した Si(001) 基質の Ge ナノアイランドの最適化構造、及び実験構造。(下) TEM 及び SEM 測定及びトランジスタにおけるナノワイヤの使用法の概略図と Si/Ge コアシェル型ナノワイヤの原子モデル。

添付資料 2-1.の論文 25 [*J. Chem. Theory Comput.* **10** (2014) 5419] 及び 26 [*ACS Nano* **9** (2015) 12182] を参照。

その他の注目すべき研究結果

★ 画期的なナノスケールデバイス及びシステム

[13] 熱電材料及び初の広範囲応用のためのシステムの新しい概念

代表研究者: T. Mori

熱電材料特性の従来のトレードオフは長年の間、高性能を達成する上で障害となっていた。本研究では、新しい概念がこれらの障害を克服することを証明した。高いパワーファクターを達成する磁性半導体の提案、熱電ナノシートの作製によるフォノンの選択散乱、原子の占有状態の制御による優れた p , n 制御などを達成し、初の広範囲における応用への解明へ近づいた。

本研究では、キャリアドープ黄銅鉱(カルコパライト)のような磁性半導体が、増強された熱電特性を持ち得ることを発見した(図 13 上)。更にこの概念を発展させ、将来のスタンドアロン型又はウェアラブル型のスピントロニクスデバイスに対して両立的な又は“1 つで 2 つの役割を果たす”固体素子電源を開発することを目指している。また、熱電材料のナノシートを合成して、フォノンの選択的な散乱に成功して熱電的性質を向上した(図 13 下)。ナノシートを階層的に配向することで、飛躍的な性能向上や、ナノスケールモジュール及びデバイスへとつながると期待される。

添付資料 2-1.の論文 27 [*J. Mat. Chem. A* **2** (2014) 985] 及び 28 [*Angew. Chem. Int. Ed.* **54** (2015) 12909] を参照。

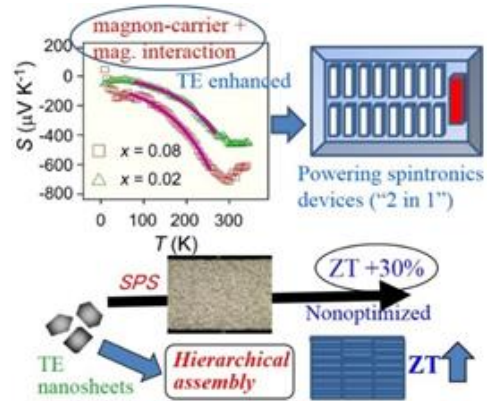


図 13. 磁性半導体 (上) 及びナノシート (下) により熱電を高める。

[14] 次世代の省エネフラットディスプレイのためのケイ素を添加した金属酸化薄膜トランジスタ

代表研究者: K. Tsukagoshi, T. Nabatame

本研究では、次世代の省エネフラットディスプレイを製造するための酸化薄膜トランジスタ (TFT) の有望なチャネル材料を実現した。本研究による、ケイ素を添加した金属酸化物 TFT (SiM-OxTFT) は、オフ状態電流をよく抑圧する非常に安定した高性能 TFT として動作する[図 14]。

フラットパネルディスプレイ内の画素スイッチング TFT には、ケイ素系薄膜 (アモルファスシリコン膜又はポリシリコン膜) が使用されてきた。しかし、これらの TFT における深刻な大規模オフ状態電流のために、省電力システムを実現する新しい TFT が切望されている。更に、高解像度の表示には、アモルファスシリコンよりも高い移動性が必要とされている。これらの次世代 TFT への要求を満たすアモルファス金属酸化物薄膜トランジスタ(a-OxTFT)は、ポストシリコン TFT として挙げられている。InGaZnO 膜が a-OxTFT の候補の一つではあるが、実際の製造での特性の不安定性が問題であり、亜鉛原子に隣接する結合部位で酸素吸着や脱着の制御が難しい。

本研究にて、TFT の電気的特性の安定は InOx フィルム内の添加元素の結合解離エネルギーによって決まることを見出した。ケイ素原子のような高い結合解離エネルギーを有する添加元素を組み込むことで、空孔を抑制出来ることが解った。シリコンを添加した酸化インジウム TFT の基本的特性は、現在の市販製品の TFTs の特性を超える。

添付資料 2-1.の論文 29 [*Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 172105] 及び 30 [*Appl. Phys. Lett.* **106** (2015) 192103] を参照。

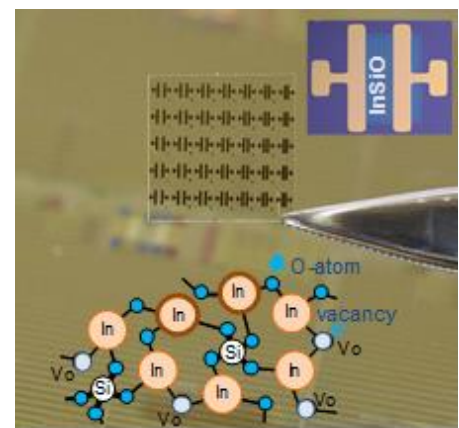


図 14 ガラス基板上的 InSiO-OxTFTs 画像。アモルファス酸化インジウムに SiO_2 を組み込むことで空孔(Vo)を抑制する略図。

[15] 分子量子ドットによる多機能性トンネル電子デバイス

代表研究者: Y. Wakayama, R. Hayakawa

省エネデバイスを実現するためには、少数電荷のトンネル現象の正確な制御が不可欠である。そこで本研究では、有機分子を量子ドットとして利用することによって様々な機能を持ったトンネル素子を開発することを目的にした。特に基礎的な量子現象を実用的デバイスに繋げることを目指して、様々な分子機能を Si をベースにした素子構造の中に取り込んだ。

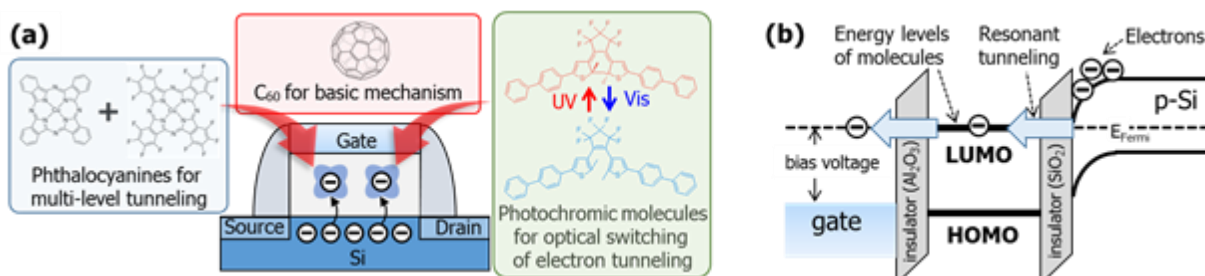


図 15. (a)デバイス及び分子構造。(b) 共鳴トンネルを示すエネルギー準位ダイアグラム

フラーレン(C₆₀) 分子を中心に、Si 基板上に Au/Al₂O₃/C₆₀/SiO₂ 多層膜で構成されるトンネル二重接合体 (図 15(a)) を作製した。観察された階段状の電流 - 電圧曲線は、図 15(b)で示すように分子の電子準位を介した共鳴的トンネル現象で説明できる。これらの結果は、分子構造を的確に設計すればトンネル特性を精密に制御できることを意味する。これを応用して複数の異種フタロシアニン分子を使用した多段階トンネル制御や、光異性化分子を使用したトンネル光スイッチといった、多彩な機能発現に成功した。なお、このデバイス形状は従来の MOS-FET と互換性が高いため、分子機能とトンネル現象の双方を同時に実効的なデバイスに展開できるという意義もある。

添付資料 2-1.の論文 31 [Adv. Func. Mater. 21 (2011) 2933] を参照。

★ 画期的なナノスケール特性評価方法論

[16] 多探針走査プローブ顕微鏡 MP-SPM (MP-STM, AFM, KFM) の開発と応用

代表研究者: T. Nakayama, M. Aono

ナノアーキテクニクスを通じて得られる新しい材料特性や機能は革新的な計器及び方法によって評価しなければならない。従って、本研究では多探針走査型プローブ顕微鏡(MP-SPM)を開発し独自の不可欠なナノスケール電気計測を実現した。

MP-SPM は興味深いナノ構造を特定した上で、2本から4本の独立駆動ナノプローブによって、所望の多探針電気測定を実現する。これによって例えば、SiO₂上のSWCNTの電子平均自由行程の長さは室温で約500 nmと測定された(図16を参照)。また、MP-STMと独自開発した音叉型センサを組み合わせ、多探針原子間力顕微鏡(MP-AFM)を実現し、MP-AFMの複数プローブの内一本を、ケルビンプローブフォース顕微鏡(KFM)モードで動作させて、非接触電気特性も実現した。これにより、MP-SPMシステムは導電性の基板材料のみならず絶縁体基板上のナノ構造を扱えるナノ電気計測装置となった。添付資料 2-1.の論文 32 [Adv. Mater. 24 (2012) 1675] を参照。

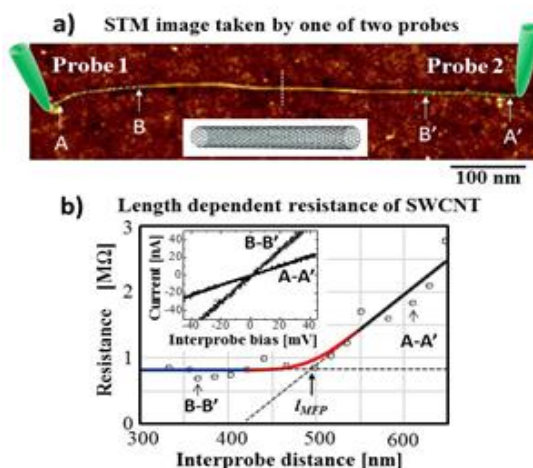


図 16. (a) SiO₂/Si 基板上に設置した SWCNT の STM 画像。SWCNT と接触する STM の 2 つのプローブの略図を示す。(b) 1 つの SWCNT の長さ依存抵抗。2 つのプローブ間で測定された I-V 曲線を差し込み図に示す。

[17] “その場”TEM によるナノ物質の新しい電氣的、機械的、熱的、光電子工学的及び発光特性

代表研究者: D. Golberg, Y. Bando

本研究では、ナノ物質の真の特性を測定でき、同時にそれらの原子構造を深く洞察できる、“その

場“透過電子顕微鏡法(*in situ*-TEM)の革新的方法を開発した。高解像度 TEM と、原子間力センサー、走査トンネル顕微鏡プローブ又はレーザービームのいずれかの能力を組合せて設計された TEM 技術は、チューブ、ワイヤ、シート及び粒子といった多様な形態の形をした 50 を超える化学的ナノシステムの研究にとって、力強いツールである。本研究の実験の重要ポイントは、測定を、TEM 特有の最も高い空間分解能、時間分解能及びエネルギー分解能の下、全て個別のナノ構造レベルで実施したことで、これにより与えられたナノ材料の形態学的、構造的及び化学的な特質が直接の関連が可能になることである。

例えば、図 17 の個々の単層及び多層の C 及び BN ナノチューブの引張力測定に世界で初めて成功した。チューブは 1 つの高分解能 TEM 内部の力センサマイクロデバイス内に設置し、原子分解能において、強度測定値と縦弾性係数、NT 構造上欠陥の種類及び場所を相関させることによりリアルタイムで力学を調べた。欠陥のない C 及び BN NTs ではそれぞれ、非常に大きな強度値である ~ 100 及び ~ 33 GPa を測定した。

添付資料 2-1.の論文 33 [Adv. Mater. 22 (2010) 4071] 及び 34 [Adv. Mater. 22 (2010) 4895] を参照。

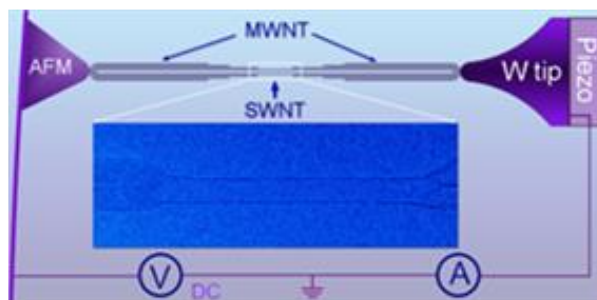


図 17. 高分解能 TEM 内で伸ばされた状態で直接引張力測定実施後にジュール熱を使った多層 C (SWNT)から引き抜かれる単層 C (SWNT)ナノチューブの略図。

★ 持続可能なエネルギー及び環境に関連するナノアーキテクニクス

[18] 次世代の高性能電気触媒のための金属製ナノ多孔性物質

代表研究者: Y. Yamauchi

長い間プラチナ(Pt) 及び金 (Au) は燃料電池の有用な触媒とみなされてきた。しかしながら、これらの金属は自然界の埋蔵量が限られていることと併せて高価なことから商業的応用にとって主要な障壁となってきた。本研究では、高い触媒活性を発現する新しいナノ多孔性金属を開発した。

レアメタルの使用削減を強く求める社会的観点から、より大きな表面積を有する多孔質構造を作ることによって Pt 及び Au の使用量を可能な限り削減する技術開発が注目されている (図 18)。本研究グループは多孔質物質の設計に重要な要因である組成及び形態の制御に焦点を当てている。本研究では、界面活性剤溶液を用いて、単純な電解析出法を適用することで、新しいナノ多孔性金属膜への道筋を示した。高い結晶性を有する細孔壁は、メタノール酸化反応及び酸素還元反応において活性サイトになりうる高次の結晶面が露出していた。結果として、市販の白金触媒と比較して電気化学性能が劇的に高くなった。

添付資料 2-1.の論文 35 [Nature Commun. 6 (2015) 6608] 及び 36 [Angew. Chem. Int. Ed. 54 (2015) 11073] を参照

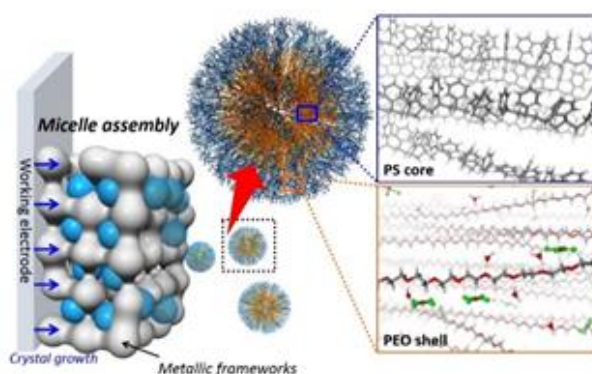


図 18. ナノ多孔金属の準備のための電気化学アプローチ

[19] 巨視的力学操作によるサブナノメートルの分子操作：機能コンフォメーション科学へのパラダイム・シフト

代表研究者: K. Ariga

本研究では、巨視的な力学操作で、動的な界面に組み込まれている分子マシンなどの機能分子を合理的に操作する新しい方法論を開発した。気-水界面で分子マシンとしての分子ペンチを用いた検討では、分子ペンチの開閉動作に要するエネルギーを分子計算によって推定し、熱力学計算で求めた界面の巨視的力学的エネルギーと比較した。結果は、数十センチメートル規模の運動の力学的エネルギーが、分子ペンチのサブナノメートルスケールの開閉機能に高効率に変換されることがわかった。(図 19)。

この方法論は、標的の機能に適合しうる最適のコンフォメーションを合理的に作り出す手法として一般化できる。例えば、気-水界面で分子のレセプターのコンフォメーションを圧力で調整することにより、アミノ酸のキラル識別能を自在にコントロールすることができる。他の例では、天然に存在する DNA 及び RNA では識別できないチミン及びウラシルを識別できるように、分子レセプター構造を力学的に最適化することにも成功した。生体を超えるような高機能ですら、分子のコンフォメーションを人為的に最適化されることによって達成できる。新しい機能分子を合成する代わりに、既存の分子のコンフォメーションを最適化すればよいという、分子機能の開発におけるパラダイム・シフトを起こすことが期待できる。

添付資料 2-1.の論文 37 [Angew. Chem. Int. Ed. 54 (2015) 8988] 及び 38 [Chem. Mater. 26 (2014) 519] を参照。

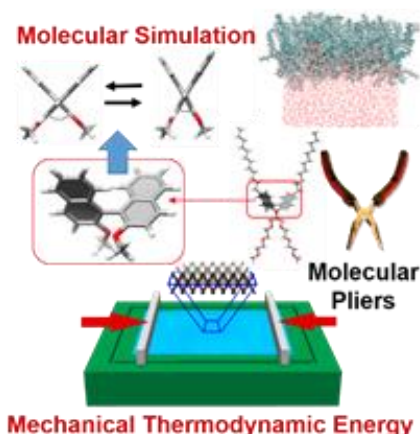


図 19. 分子構造の巨視的力学操作による制御

[20] 分子センシング及びエネルギー変換に用いる高効率プラズモンシステム

プラズモニクス及びメタマテリアルはナノ空間で光を制御できるようにする材料科学における新パラダイムである。分子信号の巨大な増強効果、光触媒効果の増強、及び太陽光エネルギーの高効率な収集など、顕著な機能を作り出すことができる。本研究では、赤外(IR)帯域の光波を用いた分子センシング及び環境モニタリングへの応用に焦点を当てた。また、太陽熱エネルギー変換及び太陽光光電伝達のためにプラズモン材料を収集する様々な光も開発した。

図 20 (A)では、プラズモン増強赤外線(IR)振動分光法によって環境水中で分解された水銀イオン(Hg^{2+})の存在を選択的にモニタリングする一例を示している。霞ヶ浦湖(日本の茨城県)から採取した天然水から、検出下限濃度 37 ppt の感度で Hg^{2+} を直接検出でき、そのサンプリング法の高い潜在能力を示すことができた。また、本研究では、高効率な太陽光熱変換器や、太陽光による電荷分離素子を実現するため、太陽光吸収効率の高いフォトニックデバイス及びプラズモニク・ナノデバイスも開発した(図 20(B))。

添付資料2-1.の論文39 [Sci. Rep. 3 (2013) 1175] 及び40 [ACS Nano 9 (2015) 6031] を参照。

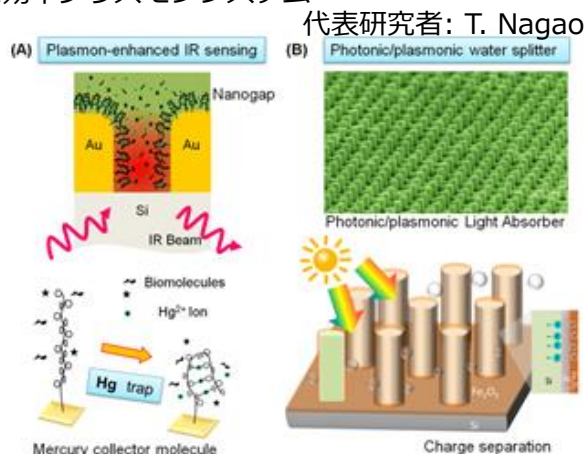


図 20. (A) 赤外線(IR)プラズモンによる水銀センシングの略図。(B)効率的な太陽光収集及び水分解を目指した電荷分解のための光子/プラズモンの格子

代表研究者: T. Nagao

2-2. 拠点の施設・設備等の研究環境

「世界トップレベル研究拠点」としてふさわしい施設・設備、必要な研究支援体制等の研究環境の整備および機能状況について記述すること。

<世界トップレベルの研究設備>

MANAの研究者が利用できる研究設備は、世界的に見てトップレベルである。MANAには独自の優れた微細加工施設(MANAファウンドリ)を有しており、MANAの研究者は必要な微細加工を拠点内で効率よく行うことができる。現在、13名のスタッフが支援にあたっている。また、MANAでは、電気的、機械的、熱的、光学的な性質を高解像度の構造観察と同時に行える特殊な電子顕微鏡や、ナノスケールで電気伝導度を計測できる多探針走査プローブ顕微鏡が稼働している。その他にも、光電子分光装置、ラマン分光装置、フェムト秒レーザー分光装置、等々の最高レベルの性能を有する設備を導入している。

一方、ホスト研究機関であるNIMSは、設立以来40余年にわたる歴史において優れた最先端の研究設備を数多く保有しているが、MANAの研究者はこれらの共通設備を自由に利用できる。それらの設備の中には、世界トップレベルの各種の超高分解能電子顕微鏡、シンクロトロン放射光施設(SPring-8)

における専用ビームライン、世界最高レベルの超高磁場(10 T) 発生装置、高分解能核磁気共鳴装置(NMR)、超高圧(10-100 GPa) 発生装置等が含まれる。

<快適な研究スペース>

2008年10月に、ナノ材料・生体材料研究棟の全棟をMANA棟としてMANAにあてがい、主要な研究者や設備を集結させMANAの主要活動スペースとした。さらに2012年3月にはWPI-MANA棟が完成し、MANAの研究環境はますます快適になった。新棟は、様々な分野の研究者の出会いを増やすことを念頭にデザインされており、MANAの研究者の研究スタイルを一変させ、融合的な研究活動の促進に大きな効果をもたらしている。

<充実した事務・技術支援>

事務部門のスタッフは、全員が英語に堪能で、様々な事態に対応できる経験と知識を備えている。国籍・年齢に関わらずすべての研究者に対して分け隔てなく技術的・事務的業務を支援しており、「研究以外の職務を減免し研究者が研究に専念できる環境を提供する」というWPI事務部門のミッションをほぼ達成している。サービスの内容については4.3節に述べる。

事務部門に常駐するテクニカルサポートスタッフ6名は、MANAが独自に保有する約50を超える共通の装置の管理とメンテナンス、実験室の整備、試薬の管理、安全対策、新装置を導入する際の購入手続き、その搬入と設置、外国人研究者の外部資金応募の支援、等々のサポートを行っている。

2-3. 競争的資金等

拠点の研究者による競争的資金等研究費の獲得実績について記述すること。

・研究プロジェクト費の獲得実績の推移、および特筆すべき外部資金について[添付様式2-2]に記載すること。

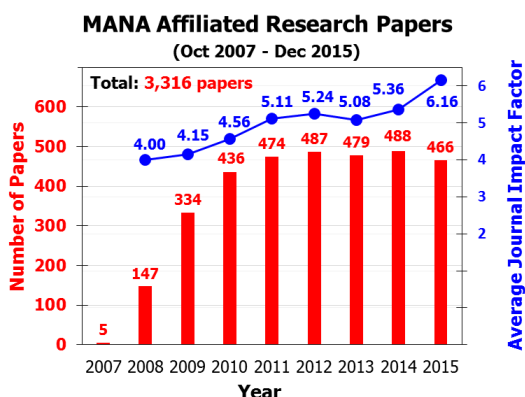
過去約8年の間に、MANAに参画する研究者が獲得した研究プロジェクト費の合計は、107.53億円である。その内訳は、競争的外部資金18.2億円、受託研究費30.88億円(民間資金を含む)、運営費交付金58.63億円である。

代表的な競争的外部資金としては、科学研究費補助金(多数)、最先端・次世代研究開発支援プログラム(1件)、CREST(9件)、さきがけ(13件)などが挙げられる。

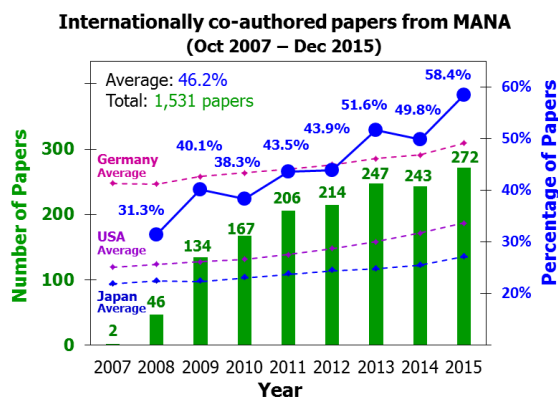
2-4. 共同研究の状況

国内外の研究機関との共同研究実績について記述すること。

MANAの研究者は、国内外の研究者と活発な共同研究を行っている。MANAが過去9年に発表した3,316報の論文のうち、46.2%が国際共著論文であることはその事実を裏付けている。国際共著論文は年々増えており、2013年以降は半数以上が国際共著論文となっている。これは国際共著論文率で世界トップレベルにあるドイツに匹敵する高い数字で、MANAでは異国間の研究者が協力して研究に取り組む体制作りが進んでいることを示している。



MANA affiliated researcher papers published between October 2007 and December 2015 and average journal impact factor.



Internationally co-authored papers of MANA published between October 2007 and December 2015. Source of national average: SciVal database, Elsevier B.V., downloaded in May 2016.

一方、MANAは設立以来、MANAにとって重要と考えられる研究分野において世界的に傑出した外部機関の研究者を主任研究者あるいは准主任研究者として迎えている。その研究者の研究室を「MANA

「サテライトラボ」としてMANAに組み込み、密接な共同研究を実施している(4-1-3を参照のこと)。2007年の設立時には、アメリカのUCLA、ジョージア工科大学、イギリスのケンブリッジ大学、フランスのCNRS(トゥールーズ)、日本の筑波大学(2拠点)、東京理科大学に置いた(海外5拠点、国内3拠点)。その後、サテライトラボの見直しを行い、2012年にケンブリッジ大学、東京理科大学、筑波大学(1拠点)のサテライトラボを廃止し、新たにカナダのモントリオール大学、イギリスのユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドン(UCL)を追加した。現在、7拠点のサテライトラボと共同研究を推進している。設立以来、サテライト研究室からの発表論文の総数は348に及ぶ。四つの海外サテライトについては4-1-1に詳述している。一方、MANAは海外研究機関の研究グループと特定の研究課題について連携する必要性が認められたときは覚書(MOU)を締結している。

MANAが発足して以来、これまでに19ヶ国、56の研究機関と覚書を締結し研究協力を進めている。地域別の内訳は、ヨーロッパ22、アジア19、北アメリカ8、南アメリカ2、オーストラリア4、中東1である。図に示したように、MANAの国際共著論文数が極めて多いのは、MANAとMOU等の海外機関との積極的な国際交流の成果の現れである。

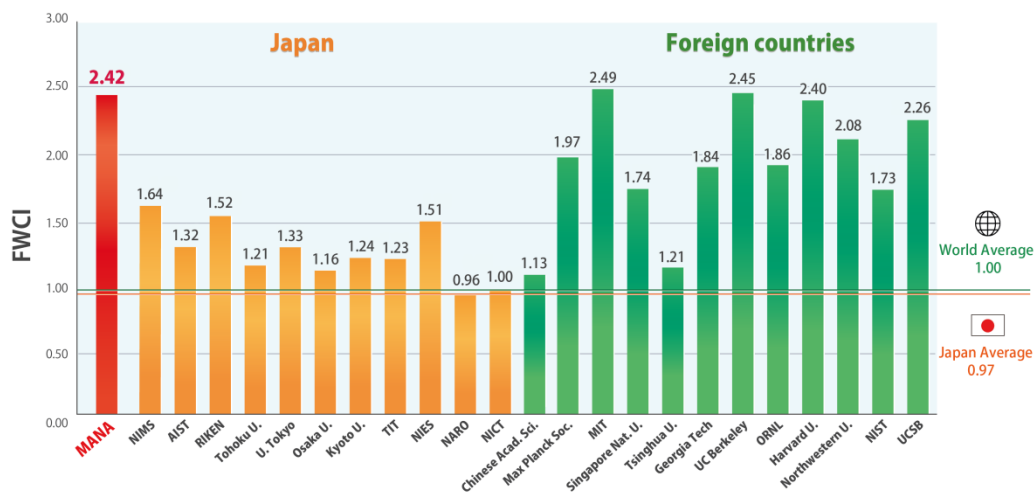
詳細については、添付様式4-5を参照のこと。

2-5. 社会・学会からの評価

科学的成果に対する社会・学会からの評価について[添付様式2-3]に記述すること。

基礎研究に係わる研究機関の活動状況を端的に表すものは、発表された論文の数と質である。MANAが発足して以来の約9年間に、MANAの所属で発表された論文は3,316報に達する。そのうち、被引用回数が上位1%に入る注目度の非常に高い論文の数(トップ1%論文数)は118を数える。

MANAが質の高い研究をしていることは、MANAの研究者がインパクトの高い論文誌に多くの論文を発表していることにも表れている。2015年、MANAの所属で発表された論文は466報あるが、それらが掲載された論文誌の平均インパクトファクターは6.1と非常に高い水準にある。特に、最近の5カ年間は毎年平均インパクトファクターが5を越えており、この値は材料分野において特筆すべきである。一方、最近エルゼビア社は、Field Weighted Citation Impact (FWCI) という新たな指標を考案した。発表論文の被引用数を分野補正することにより、異分野の研究機関間の論文の質を比較することができるとしている。MANAの最新のFWCIは2.42という非常に高い値であり、国内ではもちろん第一位であり、加えて欧米の一流大学に比肩するパフォーマンスを示している。



Field Weighted Citation Impact (FWCI) of MANA and other institutions in the world. Source: SciVal database, Elsevier B.V., downloaded in May 2016. FWCI were calculated for papers published during 8 years from 2008 to 2015.

さらにトムソン・ロイター社の「2014年の高被引用著者 (Highly Cited Researchers for 2014)」にMANAから5名の研究者が選ばれた：有賀(材料科学)、板東(材料科学)、Golberg(材料科学)、Wang(材料科学、化学)、Yaghi(化学)。彼ら5名は2015年においても継続してトムソン・ロイター社の高被引用著者に選ばれるなど、世界トップレベルの研究者として国内外から高い評価を受けている。

なお、添付様式2-3に示すように、MANAの研究者は多くの賞を受賞しており、また招待講演・基調講演の数も多い。また、一流国際誌(Advanced Materials, Chemical Reviews等)からの総説の執筆招請も多い。

2-6. 研究成果の社会還元

2-6-1. 研究成果の実用化など

成果の実用化、Innovationへの効果、IP実績、企業との共同研究等について記述すること。

MANAのホスト機関であるNIMSは実用材料の研究開発を重要なミッションとしているので、MANAにおいても、WPIプログラムの基本理念である基礎研究だけでなく、応用研究も活発に進めている。以下にいくつかの例を示す。

- a) MANAの重要な研究成果の一つに原子スイッチの開発があり、それは多くの応用展開を見せている。まず、原子スイッチは従来のCMOSトランジスタスイッチに較べて桁違いに小型で低消費電力であるために、次世代のIC回路であるフィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ (FPGA) のスイッチング回路に原子スイッチを用いることを日本電気(株)と共同して進め、FPGAの高性能化と実用化に成功した。
- b) 上で述べた原子スイッチは、従来のトランジスタスイッチよりも大きい電流をON/OFF できるパワースイッチとしての特徴をもつために、本田技研工業(株)の希望により、NIMS-ホンダ次世代機能性材料研究センターをNIMS内に設置して共同研究を開始した。
- c) ナノシート技術の開発もまたMANAの特筆すべき研究成果の一つである。その重要な応用として、ナノシートの非常に大きい誘電率を利用した高性能で小型のコンデンサの開発を村田製作所(株)と共同で開始している。
- d) 最近のトピックス的な研究応用として、福島第一原子力発電所の事故によって拡散した放射性セシウム存在を可視化できる新しい試薬を開発し、東京化成工業(株)から市販を始めた。
- e) 最近のトピックスとして、スマートフォンのディスプレイなどに多用されている酸化インジウム系材料(IGZOとして知られている)の性能と安定性を大幅に改善することに成功した。某企業(名称公開不可)と実用化の研究に入っている。
- f) 高感度/並列型の分子センサー (MSS) の開発が進展し、臭いセンサーとして実用化へ大きい一歩を踏み出した。すなわち、複数の企業などを含む全国的な「MSSアライアンス」が形成された。

MANAの研究者が2007年10月から2015年12月の間に申請した特許は774件 (国内541件、国際233件)、またこの間に登録された特許は581件(国内441件、国際140件)に上る。

2-6-2. アウトリーチ活動

特色のあるアウトリーチ活動実績や特記すべき事項があれば[添付様式2-4] に記述すること。

MANAは、ナノアーキテクニクス概念を広めMANAの認知度を上げる目的で、Advanced Materials(2012年)、Langmuir(2013年)等、いくつかの著名な国際論文誌にMANA特集号を出版した。前者はMANAに所属する研究者による成果発表集であるが、その後発表された論文がトップ1%論文に選ばれるなど、極めて高い評価を受けた。一方、後者はNanoarchitectonics and the Interfaceと題した特集号で、オープンフォーラムをアナウンスしMANA以外の研究者からも広く論文を募り、全世界から集まった48の論文のうち33報がMANA以外からの投稿であった。

MANAの顕著な研究成果については、2011年度よりオンラインの英文ニュースレターMANA Research Highlightsとして全世界に配信している。成果を配信先は、メディア及び科学ジャーナリストの2,000~3,000名、MANAが所有するメーリングリストの約2,000名である。特に優れた研究成果については、Science誌の第三者メールによって全世界の研究者約4,000名に配信している。ハイライトされた論文が最もダウンロードされる等、世界の科学コミュニティに対してMANAの成果を知らしめる有力な手段となっている。これまでに24件の研究成果を発信した。

またMANAは発足当初から、ニュースレター「CONVERGENCE」を日本語と英語で年3回発刊し、これまでに22号を発行している。毎号、拠点活動の近況報告のほか、ノーベル賞クラスの著名な研究者のインタビュー記事を掲載している。現在、全世界の研究者に向けて、国内1,650部、海外1,800部を郵送している。

このような努力の結果、2014年9月及び2016年5月開催のE-MRS大会においてナノアーキテクニクスの名を冠したセッションが設けられる等、ナノアーキテクニクス概念が浸透してきている一般向け国民向けにも積極的にアウトリーチ活動を展開してきた。若い学生たちの科学への興味を育むために、MANAサイエンスカフェ、拠点合同シンポジウム、サマーキャンプ、小学生や中学生とノーベル賞受賞者(Prof. H. RohrerやProf. H. Kroto)によるサイエンススクールを開催してきた。さらに、MANAの研究成果を分かりやすく紹介した動画をネット配信している。また、「材料革命ナノアーキテクニクス」(2014年)や「未来の科学者のためのナノテクハンドブック」(2015年)などの啓蒙書を刊行した。上記のMANAのアウトリーチ活動の結果、「ナノアーキテクニクス」の用語が広辞苑に掲載され、広く一般に知られるようになってきた。

3. 異分野融合 (3 ページ以内)

3-1. 拠点が融合領域創出へ向け戦略的に行った取り組み

MANAの四つの研究分野(ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ分野)の間の融合研究を促進するために、MANAはこれまでに以下の特別ファンドを立ち上げた。

- A) 融合型研究プログラム:融合研究による新しい研究の芽の創出には、特に異分野の若手研究者の共同による研究推進が重要であると考え、若手研究者を対象に公募した。6件のプロジェクトを採択し、2年間で1,000万円の研究資金を提供した。
- B) 理論・実験融合研究プログラム:より多くの理論研究者をMANAの研究プロジェクトに参画させ、MANAの実験研究を誘導・支援させることをねらいとし、2年間にわたって公募した。合計10件のプロジェクトを採択し、3年間で2,000万円の研究資金を提供した。
- C) ナノライフ融合研究プログラム:ナノライフ分野の研究者と他分野のナノテクノロジーを専門とする研究者との融合研究を促進することをねらいとし、2件のプロジェクトに対して3年間で2,000万円の研究資金を提供した。
- D) グランドチャレンジ研究プログラム:革新的で“枠組みにとらわれない”、必ずしも材料研究に限らない、学際的な研究の提案を募った。7件のプロジェクトを採択し、2年間で600万円の研究資金を提供した。

ところで、MANA は次の三つのグランドチャレンジ研究を目標に掲げている。

- ★ ナノアーキテクトニク脳型ネットワーク
- ★ 室温超伝導
- ★ 実用的人工光合成

これらの研究目標はいずれも異分野の融合研究がなければ達成できないものである。これらの研究目標をMANA内で掲げることによって、異分野の融合研究を促進することを意図した。その効果は研究者の相互協力を刺激する結果として現れ、合宿形式のグランドチャレンジミーティング等において多くの興味深いアイデア生み出されている。

3-2. 研究者からの融合領域創出を促進するための取り組み

MANAセミナーは、MANAの内外の研究者が最新の研究トピックスについて発表し、MANAの研究者と議論しあう場として定着している。当初はトップダウンで講演者を指名していたが、最近MANAの研究者が自主的に講演を企画するようになってきている。様々な分野のMANAの研究者たちが出席して活発な議論を行なうので、セミナー自体が真の“るつぼ”となっている。その結果、セミナーは異分野融合の促進に重要な役割を果たしている。MANAセミナーは、MANA設立以来の8年半で530回以上開催された。

また年に一、二回、MANAは合宿形式のグランドチャレンジミーティングを開催している。異なる研究分野に携わるMANAの研究者の間で、将来の研究の夢を語り合うブレインストーミングの機会を作るのが目的であるが、これをきっかけとして若手研究者から提案があり、若手研究者だけのグランドチャレンジミーティングが開催された。

また、国内の他の研究機関との交流を促進している。例として、MANAと東京大学物性研究所(ISSP)、MANAと東京理科大学エネルギーフォーラム (eF) の間で、チャレンジ・ミーティングを継続的に開いている。

このようにMANAの研究者たちは、3-1で述べた異分野融合研究を促進するプログラムの立ち上げ等に触発されて異分野融合の重要性を理解し、自主的に異分野融合研究を推進しようとする風土がMANA内にできている。3.3では、その成果の一部を紹介する。

3-3. 異分野融合による研究成果

異分野融合研究の実績と成果の概要について記述すること。

・異分野融合研究についての主要な論文(20編以内)とその解説を[添付様式3]に記載すること。

3.1で述べた、異分野の融合研究を促進する目的で始めた3つのグランドチャレンジの現在の進展状況を以下に述べる。

ナノアーキテクトニク脳型ネットワークに関しては、2-1. 研究成果[3]と[4]で述べたように、興味深い研究が進展している。簡単にまとめると、我々の脳の機能にとって重要なシナプスと特性が酷似した人工シナプスを原子スイッチによって実現することができるが、数億個のそのような原子スイッチがランダムネットワークを形成したシステムを作ると、きわめて興味深い特性が現れることが判

明してきた。たとえば、そのネットワークの両端に電極を置き、それらの間に一定の直流電圧を加え、それらの間の電気伝導度を測定すると、時間と共に単調に増加するであろうとの予想に反し、増加と減少を繰り返すランダムな振動が見られる。すなわち、無機物質で作られたそのシステムは、あたかも生き物のように振る舞う。そのメカニズムはまだ不明であり、情報理論の研究者との共同研究を開始した。大きい新研究分野が開けそうである。これはナノアーキテククスと脳科学とのきわめて重要な融合である。

室温超伝導については、3次元のバルク結晶でそれを実現することは難しいかも知れないと考えている。したがって、ナノスケールで制御されたシステムでそれを実現する研究を進めている。その研究の全貌をここで開示することは残念ながらできないが、基本的に、いくつかの狙った絶縁体に(化学的ではなく)物理的に電子や正孔を導入して、超伝導体に変化させることを試みている。その予備的な研究結果は添付様式2のOpt. 4と5に記されている。これとは別に、次のような興味深い研究結果が理論的に得られた。すなわち、エッジ状態が最適な方法でゼロ抵抗電流を室温で運ぶ、新しいトポロジカル絶縁体の理論的な設計に成功した(添付様式2のOpt. 3参照)。この理論的な予測を実現するために、結晶物理/原子層成長の優れた経験者が参加を始めた。これは、理論と実験との単なる協力を超えた“架橋”的な融合である。

実用的人工光合成に関しては、2-1. 研究成果[10]で述べたように、光触媒に関する材料科学と植物の光合成に関する科学との融合研究を進めている。挑戦的な研究であるが、いくつかの興味深い結果が得られつつある。

他の連携研究分野を以下に示す。

・ **広範囲に及ぶナノシート技術の研究; 基礎から応用**

<ソフト化学、材料物理学及び電子デバイス技術の連携>

(2-1. 研究成果[1]及び[2])

MANAは独自のナノシート技術を用いて、有用な新材料を創製した。この技術を使うと、ソフト化学手順を利用して本来存在しない新しい材料を系統的に開発することができる。これを達成できたのは、ナノシート技術、材料物理学及び電子デバイス技術を連携させたためである。

・ **原子スイッチの幅広い研究; 基礎から応用**

<電子化学、電子デバイス技術及び神経科学の連携>

(2-1. 研究成果[3]及び[4])

原子スイッチは当初、電子化学と電子デバイス技術を統合させて発明された。MANA独自の「Beyond CMOS」デバイスは日本電気(株)の協力を得て、実用化に必要な技術レベルまで既に進歩している。さらに重要な点は、上記の技術と神経科学を融合した結果、材料ベースの脳型コンピュータの基本ユニットの開発に向けて研究が開始されたことである。

・ **超高感度/超並列分子センサーの開発及び応用**

<動物の臭覚器官、ナノアーキテククス及び医療診断の連携>

(2-1. 研究成果[9])

MANAは、動物の臭覚器官から学んだことを活かして、動物の臭覚器官を超える超高感度/超並列分子センサーを開発した。この独自の技術を医療診断と組み合わせ、ヒトの呼吸分析を使った癌発見方法の実現に利用した。

・ **効率的な人工光合成システムの開発**

<光触媒化学、植物の光合成及びナノアーキテククスの連携>

(2-1. 研究成果[10])

MANAは、最先端の光触媒化学研究とプラズモニク光アンテナ技術の統合及び、高効率光合成を行う植物葉の構造の利用による、高効率人工光合成システムの実現に向け研究を進めている。

・ **ナノアーキテククスを用いた癌及びアルツハイマー病の治療**

<医学とナノアーキテククスの連携>

(2-1. 研究成果[7]及び[8])

薬剤にMANAが保有する優れたナノアーキテククス技術を組み合わせ、魅力的な治療技術を実現することに成功した。例えば、MANAは薬剤を脳まで効率的に運搬するナノアーキテククスによる粒子を使って、アルツハイマー病の治療法を開発した。患部に直接貼ると、外部の刺激(磁場)の印加により抗癌剤が放出されるスマートナノファイバーメッシュも開発した。

・ **デコヒーレンスフリー空間にある量子ビット、室温での「超伝導」デバイスの開発**

<理論と実験の融合>

(2-1. 研究成果[11])

トポロジカル絶縁体の理論的研究をきっかけに、固体物理学という新たな世界が開かれつつある。MANAは、この分野に多大な貢献をしているMANAの理論研究者及び優秀なMANAの実験担当者を連携させる方法で、新しいナノ電子デバイスの開発を行っている。

4. 国際的な研究環境の実現 (4 ページ以内)

4-1. 国際的頭脳循環

4-1-1 海外で活躍する世界トップレベルの研究者の拠点滞在実績

海外世界トップレベル研究者の主任研究者としての参加、共同研究者としての滞在について記述すること。

・全研究者中の外国人研究者数とその年次推移を[添付様式4-1]に記載すること。

MANAは外部主任研究者が所属する研究機関にサテライトラボ(以下、MANAサテライト)を設置している。現在、海外ではカリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)、ジョージア工科大学、フランス国立科学研究センター(CNRS)・材料解析構造研究所(CEMES)、モントリオール大学の4機関にMANAサテライトが設置されている。これらのサテライトはMANAの各分野の研究の一翼を担いつつ、MANAの所属する若手研究者の育成の場ともなっている。

UCLAのJames Gimzewski教授は、1997年にファインマン賞を受賞した著名なナノテクノロジー研究者である。MANAでは、ナノシステム分野において脳機能を模倣する神経回路網に関する研究を実施している。Gimzewski教授は9年間に22回MANAを訪問、合計262日間滞在して、原子スイッチの学習機能を利用した新しいニューロ計算回路等に関する共同研究を実施している。Gimzewski教授の研究はNHKの番組で度々取り上げられている。2010年1月の「未来への提言」、2012年2月の「ナノ・レボリューション:「原子」が暮らしを変える」で特集された。またGimzewski教授はUCLAにおいてMANAが派遣したポスドクを受入れているほか、MANAが主催するナノテクノロジー学生サマースクールの運営にも多大な貢献と協力を惜しまず、MANA事務部門スタッフのインターン研修を引き受けるなど、若手研究者、大学院生、若手事務職の育成にも尽力している。

ジョージア工科大学のZhong Lin Wang教授は、2016年5月現在の論文被引用数が141,000を超えh-indexは180というアクティブな研究者である。MANAでは、ナノマテリアル分野において生体系に触発されたフォトニック構造と機械的エネルギーを取り出すナノ発電機に関する研究を実施している。Wang教授はグループリーダーの深田博士のメンターでもあり、深田博士はジョージア工科大学をこれまでに11回訪問、合計24週間滞在してナノデバイスに関する共同研究を進めており、その成果はACS Nano誌に発表されている。またWang教授のポスドクが深田博士のポスドクになるなど、人材交流も進んでいる。さらに、Wang教授のMANAサテライト活動がきっかけとなり、国内企業から連携の相談も寄せられている。

CNRS/CEMESのChristian Joachim博士は、1997年と2005年にファインマン賞を受賞した著名な計算科学者である。MANAでは、ナノシステム分野においてナノ計算回路のデザイン・製作・原子操作、表面電子相互接続の理論に関する研究を実施している。MANAの研究者との共同研究を活発に行っており、これまでにMANA所属の論文28報(Nature Nanotechnology等の一流誌を多数含む)を発表している。2009年10月には計算科学者と実験科学者の融合を目的としたワークショップ、2010年11月には日仏ナノ材料ワークショップをCEMESにおいて開催している。

モントリオール大学のFrancoise Winnik教授は、高分子化学、界面化学、ナノサイエンスの分野において世界的に著名な研究者であり、アメリカ化学会の雑誌Langmuirの編集長を務めている。MANAでは、ナノライフ分野において新規生体適合性ポリマーの合成を中心に、MANAの他分野の研究者が開発したナノチューブ、ナノ粒子材料を使った融合研究等、幅広く研究を展開している。Winnik教授はMANAとモントリオール大学の両方にラボを持ち、モントリオール大学の授業負担をゼロとしてMANAの研究に専念しており、過去3年間で495日間 MANAに滞在している。

また、著名研究者、若手ファカルティ、学生ら、多数の研究者が国内外からMANAを訪れており、その数は年々増えている。MANAが世界中から多数の研究者が集まる我が国の代表的な国際研究ハブとなっていることの証左である。

4-1-2 若手研究者の採用・就職状況

ポスドクを含む若手研究者の採用・就職の状況について記述すること。

・ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況、外国人ポスドク比率、ポスドクの就職先の実績を[添付様式4-2~4]に記載すること。

MANAの若手任期制研究者は、ポスドクと博士課程学生から成り、全研究者の約半数を占める。

ポスドクは、通常のポスドクのほかICYS-MANA研究員という上位のポジションを設けている。ICYS-MANA研究員は、特定のグループに属さず独立して自らの研究テーマを遂行するポスドクである。ICYSはNIMSのパーマネント研究職へのテニュアトラックの組織として位置付けられており、いくつかのサブ組織から構成され、ICYS-MANAはその一つである。ICYS研究員は年2回の国際公募により選抜されているが、過去6年半でICYS総体として942名の応募があり(うち外国籍は835名、89%)、78名が採用されている。この半分以上の40名がICYS-MANAに配属された。

通常のポスドクと博士課程学生についても、ホームページ等を通して全世界から公募している。ポスドクは、3名以上の審査員による書類審査や面接審査を経て採用者を決定している。博士課程学生は、NIMS連係大学院の教員による厳正な書類・面接審査により選考している(6章で詳述)。



Destinations of the 255 MANA postdoc alumni between October 2007 and March 2016.

世界中から若手研究者を集め、優れた研究者に育成するばかりでなく、日本のよき理解者となってもらい、世界各国でキャリアアップしてもらうことがMANAのポリシーである。過去6年半で、MANA若手研究者のうち8名がNIMSのパーマネント研究職に採用されたほか、171名が国内外の大学や研究機関の研究者へとキャリアアップし活躍している。MANA出身の研究者は、32%が日本国内に職を得ているが、残りの68%はアジアを中心として欧米諸国など全世界に旅立っている。こうしてMANAをハブとするナノテクノロジー研究者のネットワークが広がっている。

4-1-3 国外サテライトおよび連携機関等

・国外サテライト、連携機関等との協定締結状況について[添付様式4-5]に記載すること。

MANAがハブとなって世界のナノテク拠点を繋ぐネットワークを構築することは、MANAのミッションのひとつである。MANAは現在、19ヶ国、56研究機関と覚書を締結し、研究交流、人材交流を進めている。

サテライト拠点のPIに主体的にMANAの研究を担ってもらうため、NIMS/MANAは資金提供型共同研究の制度を立ち上げた。この制度の下でNIMS本体とサテライトの設置先機関との間で共同研究契約を締結し、NIMSの運営費交付金から各サテライトに共同研究に必要な資金を充当している。これにより各サテライトとMANA本体との有機的な連携が可能となり、サテライトからMANAへの大きな寄与が実現している。

4-2. 国際シンポジウム、ワークショップ、研究会、講習会等の実績

・主な国際的研究集会の開催実績について[添付様式4-6]に記載すること。

MANAの国際シンポジウムは、2012年まではMANAの年次成果の発表に重点を置いていたが、2013年から世界のトップレベルの研究者が数多く集う国際会議に改め、より外部に開かれたレベルの高いイベントを目指している。2013年から2016年に開催したMANA国際シンポジウムでは、毎回ノーベル賞受賞者を含む20名超のトップレベルの研究者を招へいし、MANAの主要なテーマについて最新の研究成果が発表されてきた。その結果、毎回400名を超える参加者を集める、レベルの高い充実した国際会議であるとの高い評価を得ている。

MANA国際シンポジウムでは、若手と世界トップレベルの研究者の交流促進のために、優秀ポスター賞を創設した。ポスター賞選定のために、全ての招待講演者にはポスター発表会場に足を運び、発表

者と直接議論したうえで採点を依頼している。これは、若手のモチベーション向上を目的とした取り組みである。

一方、国内外の政府系機関・大学・研究機関等からの研究集会開催要請が多く寄せられた。そこで、カナダ、オーストラリア、スイス、スペイン、台湾との二国間ワークショップや国内外の大学(大阪大、早稲田大、ノースウェスタン大、モントリオール大、ブリストル大、レンヌ大、国立台湾大、東京大、東京理科大など)とのシンポジウム等を開催した。このほか、英国王立化学会が発行する学術誌PCCP(Physical Chemistry Chemical Physics)のアジアシンポジウムをMANAで開催した。これらは拠点の活動を広く知らしめ共同研究のパートナーを発掘することに役立っている。

4-3. 外国人研究者への研究生活支援体制

例えば多言語による生活支援、家族の生活支援等、外国人研究者が研究に専念できる環境を整備する取組みについて記述すること。

MANA事務部門は、全員が英語に堪能で、国籍・年齢に関わらずすべての研究者に対して日本的な「痒い所まで手が届く」サービスを提供している。ある外国人研究者をして「アメリカやヨーロッパのいくつかの機関で研究をしてきたが、MANAがベストの研究環境である」とまで言わしめている。

- ・ **言語障壁の撤去**：主要なガイドブック、書類、イントラネットなどはほぼバイリンガル化されているほか、拠点内の会議における英語使用や英語メールによる連絡等が徹底されている。また外国人研究者の外部競争的資金獲得を促進するため、英語による外部資金公募情報の発信や申請書作成の支援も行っている。このような言語の障壁を取り除く動きはNIMS全体に広がりつつある。
- ・ **オリエンテーション**：NIMSの新任研究者に対して、MANAのスタッフが中心となり英語によるオリエンテーションとラボツアーを定期的に開催している。就業規則、福利厚生、物品購買、知的財産、論文発表、研究倫理、外部資金申請、安全衛生など研究活動に必要な情報の提供と主要な研究施設の見学を通して、NIMSでの研究を可及的速やかに立ち上げることができるよう配慮している。
- ・ **生活支援**：外国人研究者の生活支援について、ホスト機関のNIMSが科学技術国際交流センター(JISTEC)に業務を委託している。委託内容は、住民登録、学校入学・転出、銀行口座開設、住居入退去等に関する手続きのほか、日常生活に関わる様々な情報の提供、病院への同行、事件・事故遭遇時の支援等、その内容は多岐にわたっている。
- ・ **日本理解促進**：MANAは、外国人研究者を対象とした日本語教室と日本文化研修を実施している。日本語教室は6年間で延べ678名が参加し、日本文化研修はほぼ月1回のペースで開催し6年間の延べ参加者は1,154名である。また、外国人研究者が来日して日本の研究機関で研究を行う場合に遭遇すると想定される諸問題への対処方法を、MANAの経験に基づいて記した英語の漫画本「The Challenging Daily Life」はMANAで研究を開始する外国人研究者に好評であるばかりか、海外研究機関広報担当や研究リーダーからも「若手が初めて日本に来る際の潜在的障壁を取り除く上で有用」との評価を得ている。
- ・ **技術支援**：事務部門の技術支援チームメンバーは、知識が豊富であるばかりでなく英語も堪能で、外国人研究者の良き相談相手となっている。また、技術支援チームはその専門知識を活かして、外国人研究者に向けた外部資金公募情報を取り纏め、場合によっては申請書や報告書の作成も支援している。

4-4. その他

日本人研究者への国際経験の促進策や、世界的な頭脳循環を背景として当該拠点が研究者のキャリアパスに組み込まれている好例があれば記述すること。

若手研究者の獲得・育成については、特定のグループに属さずに自立して研究を行う独立研究者、ICYS研究員の制度が成果をあげている。特に海外での研鑽を奨励する若手研究者のための3D (Triple Double)システム(double-mentor, double-discipline, double-affiliation system)は、一流メンターのもとで若手研究者が分野融合研究を推進し、グローバル感覚を身につけて大きく成長する実績をあげている。

例えば、現在マックス・プランク研究所に所属するサミュエル・サンチェス博士は3Dシステムで大きく羽ばたいた一人である。サンチェス博士は、ICYS-MANA研究員としてMANA在任中に、3Dシステムを利用してドイツの研究所と共同研究を行ったことがきっかけで、ドイツを代表する研究機関のグループリーダーとしてキャリアアップを果たしている。

また日本人若手研究者が海外の主要研究機関に長期間滞在して研究活動を行うことは、国際的かつ学際的な研究者の育成に有効であると考え、海外長期留学を奨励している。これまでに、日本人若手

研究者3名をケンブリッジ大学、アーヘン工科大学、MINATEC(フランス)へ1～2年間の在外派遣(留学)に出している。

拠点の研究者208名のうちポスドクと博士課程学生は109名を占めるが、そのうち外国人研究者は80%にあたる87名である。このようにMANAにおいては、世界中の若手研究者が一堂に会し、互いに切磋琢磨して能力向上を図ることができる環境(メルティングポット)が実現している。また、プログラム委員会からの指摘に基づき、優秀な日本人若手研究者をMANAに招へいし日本の将来を担う人材を育成する目的で、YAMATO-MANAプログラム(Young, Aspiring Motherland Academics TO MANA)を、2013年度に立ち上げた。このプログラムでは、2013年度に8名、2014年度に?名、2015年度に?名を採用した。(注:「やまと」は日本の旧国名である。)

MANAはNIMSが国際的な研究拠点を構築するうえで重要な役割を担っており、外国人研究者が成功できる環境づくりへの取組みが、平成26年版科学技術白書に成功事例として紹介された。

5. システム改革 (3ページ以内)

5-1. 意思決定機構

拠点長の強いリーダーシップによる拠点運営とその効果、ホスト機関側の権限の分担との関係について記述すること。

拠点長は、世界中から優秀な研究者を集め、彼らが自由闊達に研究を行い、お互いに切磋琢磨する研究風土を作り上げることに成功した。2章に示した数々の目覚ましい研究業績はその証左である。その背景には、研究方針の設定、組織・体制の改編、新施策の導入、研究リソースの配分等に関して、拠点長が強力な指導力を発揮し拠点を運営してきたことがある。若手研究者の育成に大きな効果のあった独立研究者制度や3D(Triple Double)制度、サテライト拠点の活動の著しい活性化に繋がった資金提供型共同研究制度の導入等が、その顕著な例として挙げられる。

またナノアーキテクトニクスの概念を世界的に定着させた。これは数々の研究集会の開催、著名ジャーナルのナノアーキテクトニクス特集号発行やオンラインニュースレター配信等、研究成果の発信にたゆまず努めた結果であり、次期改訂版の広辞苑にも「ナノアーキテクトニクス」という言葉が掲載されるとの嬉しい知らせが届いている。

プログラム委員会の指摘には迅速に対応して、拠点の活動の質を向上させてきた。例えば、挑戦的課題に取り組むグランドチャレンジ研究、理論・実験融合研究、ナノライフ融合研究、日本人若手研究者を育成するYAMATO-MANAプログラム等を立ち上げ、いずれも顕著な成果をあげている。

ホスト機関のNIMSは、拠点内の運営に関しては拠点長に大幅に権限を委譲し、その意向を最大限に尊重している。一方でNIMSは、研究リソースとして90名規模のパーマナント職員配置、運営費交付金予算を可能な限り提供するなど、拠点運営に最大級の支援を実行しており、今後もその方針に変わりが無いことを確認している。

5-2. 事務支援スタッフの配置および適切な支援体制の整備

英語その他必要な専門性を有する事務支援スタッフの配置並びに適切な体制の確立への取組みとその効果について記述すること。

NIMSは創立以来、「若手国際研究拠点(ICYS)」等のプログラムを通して国際研究拠点の運営ノウハウを蓄積してきたが、MANAはそれを受け継ぎ、本プログラムを通してさらにブラッシュアップしている。その結果、MANAは外国人研究者を含むすべての研究者に対して事務的・技術的サービスを迅速に提供することにおいて、ほぼ完璧な環境を形成することに成功している。

MANA事務部門は企画・総務・技術支援・アウトリーチの4チームから成るが、要は研究者の秘書的業務に携わる総務チームである。事務・庶務に精通し外国人研究者の対応に慣れたNIMSの事務職経験者をリーダーに置き、チーム全体を指導・統率する体制をとっている。秘書を特定の研究グループに固定することなく、業務の平準化や適性を考慮しつつ適宜配置転換する等、きめ細かく対応しているのが特徴である。また、MANAのアウトリーチチームは、世界に対するMANA研究成果の発信のみならず、地域の子どもたちへの科学啓蒙活動にも力を入れている。その顕著な活動がNIMS内でも認められ、2016年4月にNIMS理事長賞受賞が決定している他、つくば市からの科学啓蒙活動への参加要請、筑波大学学園祭を主催する学生グループからのイベント要請なども多く、一般の人々の国際研究拠点に対するイメージ向上に多大な貢献を果たしている。

5-3. WPIプログラムにより進めたシステム改革と波及効果

WPI拠点による研究運営上若しくは組織運営上のシステム改革事項とその背景・効果について簡潔に箇条書きで記載すること。またホスト機関全体への波及効果を記述すること。(他機関への波及効果もあれば記述すること)

MANAにおけるシステム改革

- (1) 新たな研究システムとして、グランドチャレンジ研究、理論・実験融合研究等を実施し、学際的研究を強力に推進した。
- (2) バイリンガル化、外国人研究者への研究支援及び生活支援等を実施し、MANAの国際化を徹底的に進めた。
- (3) ICYS-MANAシステム、3Dシステム等を立案、導入し、若手人材の育成・登用を推進した。

ホスト機関全体への波及効果等

- (1) MANAをNIMSの1研究部門として恒久化し、MANA事業の持続的展開を担保するとともに、MANAにおけるシステム改革がNIMS本体に容易に波及する体制を構築した。また、NIMSの1研究部門がWPI拠点となったことで、NIMS全体の活力と士気を高めた。
- (2) MANAの英語公用語化をNIMS本体に波及させ、事務職員の英語能力向上プログラムの実施、主要ドキュメントや構内アナウンスのバイリンガル化などにより、NIMS本体の英語対応力を大幅に改善した。
- (3) MANAの国際的なメルティングポット環境下で顕著な成果をあげた多数の若手研究者が、NIMSのパーマナント研究職として採用された。
- (4) 元素戦略磁性材料研究拠点、ナノ材料科学環境拠点、構造材料研究拠点など他の拠点事業の立案・企画・立ち上げにおいて、MANAの経験と成果を最大限に活用した(例えば、ICYS-MANAに類似した若手研究者育成・登用システムの導入等)。
- (5) 2016年4月よりスタートする第4期中長期計画において、NIMSは7つの研究拠点が設置されることとなった。MANAはその1研究拠点であるが、MANAの成功例を参考として他の6つの研究拠点は「拠点独自の運営室」を導入することが決定した。
- (6) 国際拠点運営ノウハウを外部に提供した。例えば、AIMR、I2CNER、IIS、JAXA、JST、海洋研究開発機構、分子科学研究所等へのアドバイス・コンサルタント。運営ノウハウの書籍化(「こちら若手国際研究拠点」「The Challenging Daily Life」)など。

5-4. ホスト機関による支援

申請の際あるいは中間評価時等の更新の際にホスト機関からコミットした事項を含め、ホスト機関による支援について、拠点構想の実現・持続のために機能的に措置されているかを以下の項目に沿って記述すること。

5-4-1 ホスト機関による支援の実績と効果

・具体的措置については[添付様式5-1]に記載すること。

ホスト機関のNIMSは、MANAが円滑に活動できるように、プログラムの申請時において人材の提供、研究資金の充当、研究スペースの提供、拠点長への管理権限の移譲など、最大限の便宜をはかることを確約しているが、これを誠実に履行している。またMANAの設立以降は、研究プロジェクト費に加えて、拠点の活動に必要な事業推進費(共通研究設備費、挑戦的萌芽研究費、サテライト研究資金、出張・招へい旅費、シンポジウム経費、アウトリーチ活動経費等)など毎年14億円超を、NIMSの運営費交付金から充当してきている。

この結果、グランドチャレンジ研究、理論・実験融合研究、ナノライフ融合研究等のMANA独自の研究プロジェクトを実施することができ、革新的で“枠組みにとらわれない”学際的な研究を実施する風土が拠点内に醸成されている。MANAファウンドリとMANAの共用ラボにおいては最先端の研究設備の整備が進み、熟練のスタッフが研究設備の維持・管理、実験の指導・補助に携わりMANAの実験研究を支える体制ができています。またNIMSが運営するスーパーコンピュータはMANAの理論研究には欠かせない存在であり、CPUタイムの約20%をMANAが利用している。2016年4月からは、新設されたナノセオリー分野がNIMS内の殆どの理論研究者を含む事になり、CPUタイムの占有率は大幅に上昇するが、これもNIMSからの重要な支援となる。

4-1-3に記載したように、NIMS本体とサテライトの設置先機関との間で共同研究契約を締結し、NIMSの運営費交付金から各サテライトに共同研究に必要な資金を充当している。これにより各サテライトとMANA本体との有機的な連携が実現している。

5-4-2 ホスト機関の中長期的な計画への位置付け等

・「中期目標」・「中期計画」等の表紙とWPI関連箇所を[添付様式5-2]に添付すること。

2011年4月よりスタートしたNIMSの第3期中期計画において、NIMSは拠点の恒久化に向けての布石をすでに打っている。MANAが取り組んでいるナノアーキテクトニクスによる革新的な新材料の開発

は、NIMSの重点研究開発領域として認知され、MANAはNIMSの3研究部門の一つ、ナノスケール材料部門として位置づけられた。さらに、2016年4月からは第4期中長期計画（7年計画）が開始されたが、そこでは「国際ナノアーキテクトニクス研究拠点」がNIMSの主要拠点であることが明確化されている。

組織的な恒久化を図ると同時に、NIMSはMANAのパーマネントの研究職と事務職を計画的に増強している。すなわち2011年4月から2016年3月の間に、16名のパーマネント職員が新たにMANAに加わった。この結果、2016年3月末現在で、MANAに在籍するパーマネント職員は89名となった。今後とも、NIMSは毎年数名以上の新規研究者の採用を継続し、拠点の拡充を図る予定であり、例えば2016年。

5-5. その他

若手研究者の活躍促進（スタートアップ経費や自律的な研究環境）、女性研究者の登用等に関する独自の取組について記述すること。
・女性研究者の人数については[添付様式5-3]に記載すること。

独立研究者

MANAは、WPIプログラムの4つの柱：世界最高水準の研究、融合研究の推進、国際化、システム改革以外に、「若手研究者の育成」をもう一つの柱としている。

MANAにおいては、将来を嘱望される若手研究者を独立研究者として任命し、3D(Triple Double)と呼ぶ制度のもとで拠点の将来を担う研究者へと育成を図っている。独立研究者は特定の研究グループに属さないため、国内外のいかなる研究者とも自由に研究ができるのが特徴である。独立研究者は、NIMSと海外研究機関の著名研究者をメンター(Double-Mentor)とし、2つの研究機関(Double-Affiliation)に関与しつつ2種の専門分野(Double-Discipline)にまたがって研究することを奨励されている。

MANAは独立研究者を手厚く支援している。研究リソースとして年間300万円の研究費とポスドク1名を与えるほか、メンターとの打合せのための渡航旅費を負担し、独立した研究オフィスを与え、事務的業務の軽減のため共用の秘書をつけている。

この制度は国際的かつ学際的な若手研究者の育成にきわめて有効であり、2011年4月には独立研究者3名が実績を認められてグループリーダーに昇格した。また、2016年4月にはさらに4名がグループリーダーに昇格予定である。

女性研究者

ホスト機関のNIMSは、2013年度から女性だけが応募できるパーマネント研究職の枠を新設し、女性研究者の拡大に努めている。これまでに、この制度により採用された者1名をMANAに配属した。2013年度以降、合計で4名の女性パーマネント研究者をMANAに採用した（新規採用の男性の採用者は8名）。

拠点長は日頃から優秀な女性研究者の雇用に務めるように指示しており、MANAの裁量で雇用できるポスドクや学生等の若手研究者については、女性研究者の比率は約29%となっている。

6. その他特筆すべき事項

1.~5.以外に「世界から目に見える拠点」に相応しい先導的な取組や、見出される特質等の特に優れた点がある場合は、記述すること。
業績連動型俸給制度

NIMSは、競争的な環境のもとで研究者に最大限の研究成果を創出してもらいたい、独法化後にいち早く研究者に対する個人業績評価・処遇制度を導入している。目標設定による業績評価はより挑戦的・独創的な研究を追求する研究者には相応しくないと考え、NIMSの業績評価制度は業務目標管理の形をとっていない。研究者には自由によりレベルの高い研究を目指してもらい、NIMSはその成果に応じて業績評価をし、高い業績をあげた研究者に対しては、役職や年齢に関わらず、高い業績加算額を支払う仕組みとなっている。

このようなNIMSの業績評価・処遇制度は、図らずも世界トップレベル研究拠点プログラムを目指す研究(世界トップレベルの研究、異分野融合研究)を高く評価する内容となっている。その証拠として、MANAの研究者の多くはこの制度によって高い業績をあげ厚遇されている。この制度が研究者により独創的な研究を指向させ、優れた論文や特許を生み出す一因となっている。

ポスドクについても、MANAに着任してからの業績が優秀だった場合、特別審査を行い、全体の2割程度を目処としてその格付けを上げている。

大学との連携

—NIMSは大学ではないため、NIMS/MANAは学生(大学院生)をいろいろな形で受け入れることに特別の努力を払っている。

NIMSは筑波大学、北海道大学、早稲田大学、九州大学と協定を結んで「NIMS関係大学院」を運営している。大学院生はNIMSに滞在して研究に携わり、NIMSの研究者が各大学の教官として彼らを指導している。現在、24名のMANAの研究者がNIMS関係大学院の教官である。特に優秀な関係大学院生を「NIMSジュニア研究員」として選抜し、NIMSの研究業務に携わる対価として賃金を支給している。現在、MANAに籍を置くNIMSジュニア研究員は36名、うち外国人は28名である。

またNIMSは海外の著名な大学院と提携し「国際連携大学院」を運営している。博士後期課程の学生を数カ月から1年間受け入れ、NIMSの研究者が研究指導をしている。MANAはこれまでに44名を受け入れた。他にはインターンシップ制度で、国内外からの大学から3ヶ月を限度に学生を受け入れ、ナノアーキテクトゥクスの研究に従事する機会を提供している。MANAはこれまでに275名を受け入れた。このうち219名が外国人である。

さらに、2016年4月、海外大学の正式な教授職にMANAの若手独立研究者が任命される。これは、NIMSと先方の大学との間のクロスアポイントメントによって実現することになっており、海外大学とMANAとの直接的なパイプが形成されることとなる。

アドバイザー・評価委員会

—2016年3月末において、3名の外部有識者にアドバイザーをお願いしている。アドバイザーには拠点運営全般に関する助言をはじめ、個々の研究に対しての貴重なサジェスションもいただいているほか、小中学生を対象とした科学教室の講師としてアウトリーチ活動にも協力していただいている。アドバイザーの一人であった故Rohrer博士は、MANA国際シンポジウムに毎年参加されて各講演に対して貴重なアドバイスをいただいたほか、独立研究者の研究指導もしていただき画期的な成果に結びついたことを付記しておく(2-1. 研究成果[9]、7ページ)。なお、2016年4月より、3名の新アドバイザーをお願いする予定であり、MANAで行われている研究全般を強化できる体制を整える。

MANA評価委員会は外部の有識者6名から構成され、ケンブリッジ大学のCheetham教授が委員長を務めている。これまでに3回、2008年、2010年、2012年に評価委員会が開催され、拠点の運営や研究活動について評価を受けた。WPIプログラム委員会とは異なる視点からアドバイスや提案をいただき、その都度アクションプランを作成して対応している。

MANA同窓会

—MANAとICYS(若手国際研究拠点)に在籍した研究者を対象にMANA/ICYS同窓会を設立している。世界中にMANA/ICYS同窓会のネットワークを張りめぐらし、同窓者同士や同窓者と在職研究者の交流を促進することを目的としている。2014年3月3日と4日の二日間にわたり、約20名の同窓者を招いてMANA/ICYS リユニオン・ワークショップを開催した。

各研究者がそれぞれの研究について報告したほか、このネットワークを使ってどのような交流ができるかについても議論した。MANAの研究者と同窓者が編集する特集号の刊行、同窓者がMANAに滞在して共同研究をするホームカミング・プログラム等、秀でたアイデアが出され、MANAの今後の事業に反映させていく予定である。

7. 平成27年度フォローアップ結果(現地視察報告書を含む)への対応

※平成27年度フォローアップ結果への対応を記述すること。ただし、既に記載済みの場合は〇〇ページ参照、などと記載箇所を明示することに代えて良い

- 1) 学際的融合研究:ナノ材料、ナノシステム、ナノライフ、ナノパワー、及び新たなナノ理論分野(2016年度に創立)の架橋になる学際的な研究活動の促進のための更なる研究が求められる。問題点の一つに、ナノ生命分野をいかに促進するかということが挙げられる。

学際的融合研究の促進はMANAにとっての重要懸念事項の1つである。事実、第3章(学際融合領域研究)で説明したが、様々な関連プログラムを実施してきた。例えば、A) 融合型研究プログラム、B) 理論・実験融合型研究プログラム、C) ナノライフ融合型研究プログラム、及び D) グランドチャレンジプログラムである。結果として、1) 学際的融合研究はMANAにおいて、通常の1)学際的共同研究を超え、勢いを増している。よって、現時点において、5の研究分野(ナノ材料、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ及びナノ理論)間の壁はかなりの程度まで曖昧になった。

特に、現在の懸念事項として引き合いに出されるナノライフの分野については、独自の研究分野がMANAに開かれたと信じている。新しい分野での研究には、a) 呼吸だけでがん患者と健常者を識別で

きる、ナノ機械的膜応力センサ(MSS)を使用した新たな高感度人口鼻（嗅覚センサ）； b) 直流電圧の印可に対しても振動分銅を示す、シナプス動作をする膨大な数の原子スイッチの神経形態学的網回路； c) 原子間力顕微鏡法及び分光学を効果的に応用した細胞に基づいたメカノバイオロジー； d) 新しいナノファイバーのメッシュ技術を使用して局所がん細胞を死滅させるための時間依存性薬剤運搬、などを含む。

- 2) 若手研究者の育成：現在の国内外の大学及び研究所からの大学院生及びポストクのメンバーを維持するために、このような組織との更なる交流が必要である。また、サテライト機関を含む、海外の有力な研究所との研究者交流活動を増やすことも重要である。

大学院生については、MANA では、30から40名の大学院生を確保するために、NIMSの国内パートナー大学院プログラム及び海外パートナー大学院プログラムを使用している。これらのプログラムを維持することで、MANA は今後も同数の大学院生を確保できる。

ポストク研究者については、約70名がMANAで働いている。MANAは既に世界的に優れた評価を得ていることから、国内外の多くのポストク研究者がMANAへの参加に興味を持っている。更に、MANAは国内外の50を超える研究所と覚書（MOUs）に署名をしており、これらの研究機関はMANAにポストク研究者を送りたいと考えている。現在のポストク研究者数である約70名は、単純にMANAの研究予算により制限されている。ポストク研究者の約半分はWPI補助金で直接雇用し、残りは外部の競争的資金による支援を受けている。仮にWPIの補助金が完全に打ち切られた場合、ポストク研究者の人数は半分（約35名）に減少してしまう。もちろん、可能な限り多くのポストク研究者を雇用できるよう、外部の競争的資金を獲得するため、最善を尽くすつもりである。

大学院生及びポストク研究者の他にも、MANAでは、MANAのサテライト機関を含む、世界中の有力な研究所と、研究者の交流を活発に続けていくつもりである。

- 3) NIMSにおけるMANA：プログラム委員会はWPIの援助が終了した後もMANAに独立組織として残るよう推奨している。この方法であれば、MANAの独自文化が今後も良い方法で母体組織の方向に影響を与えられる。MANAによる国際的アプローチ、若手研究者に対する影響力の延長、及びMANAが築き上げた評価をNIMSが維持していく具体的な計画を作成することが重要である。

NIMSは、第4回中間計画（7年計画）を2016年度に開始し、NIMSの研究部門として明確になってきた。WPI-MANAという名称は以前と同様に引き続き使用される。これにより、MANAはNIMS内に永久に位置付けされたことになる。国際的事務システム、若手研究者訓練システム及び関連研究センターのグローバルネットワークを含む、MANAがこれまで発展させてきたノウハウもNIMSの研究センターに組み込み始めている。

- 4) 科学品質：MANAが世界の研究ハブと同様の研究レベルを維持するために、MANAの研究者は国際的に質の高い基礎研究を追及するべきである。

MANAが網羅する材料科学及び技術では、基礎研究と応用研究を区別することは困難である。それでもなお、MANAとしての8年半の間、MANAのナノアーキテクトニクスコンセプトに基づく基礎研究に重点を置いてきた。基礎研究によりいくつかの興味深い応用がほぼ自然に発生したという意味で、この方針は成功した。この経験から、今後もナノアーキテクトニクスに基づいて基礎研究の重要性に重点をおくつもりである。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料1-1. 平成27年度主任研究者一覧

作成上の注意:

- ・「氏名」欄で、海外の機関に所属する研究者には下線を付すこと。また、世界トップレベルと考えられる研究者氏名の右側には* (アスタリスク) を付すこと。
- ・昨年度拠点構想進捗状況報告書に名前のなかった研究者が参加した場合には、新規主任研究者個人票(添付様式1-1(別紙))を添付すること。

		【平成27年度実績】						主任研究者 計18名	
氏名 (年齢)	所属機関・部局・職	学位 専門	作業時間 (全仕事時間:100%)				拠点構想 参加時期	拠点構想への参画状況 (具体的に記入)	海外の機関に所属 する研究者の拠点 構想への貢献
			拠点関連		拠点以外				
			研究	研究以外	研究	研究以外			
拠点長 青野 正和* (71)	物質・材料研究機構、国 際ナノアーキテクトニク ス研究拠点、拠点長	工学博士/ ナノサイエ ンス・ナノ テクノロジー	60%	15%	15%	10%	10/1/2007	常時拠点本部に滞在して参画	
板東 義雄* (68)	物質・材料研究機構、国 際ナノアーキテクトニク ス研究拠点、最高運営責 任者	理学博士/ ナノマテリ アル・電子 顕微鏡	70%	30%	0%	0%	10/1/2007	常時拠点本部に滞在して参画	
佐々木 高義* (60)	物質・材料研究機構、国 際ナノアーキテクトニク ス研究拠点、ソフト化学 ユニット長	理学博士/ ソフト化 学・ ナノシート	100%	0%	0%	0%	10/1/2007	常時拠点本部に滞在して参画	

有賀 克彦* (53)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、超分子ユニット長	工学博士／ 超分子科学・表面科学	100%	0%	0%	0%	10/1/2007	常時拠点本部に滞在して参画	
知京 豊裕 (57)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、ナノエレクトロニクス材料ユニット長	工学博士／ 半導体材料・ 電子材料	70%	10%	10%	10%	4/1/2011	常時拠点本部に滞在して参画	
GOLBERG, Dmitri* (55)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、ナノチューブユニット長	Ph.D./ ナノチューブ・ナノ構造解析	100%	0%	0%	0%	10/1/2007	常時拠点本部に滞在して参画	
WANG, Zhong Lin* (54)	Professor, School of Materials Science and Engineering, Georgia Institute of Technology	Ph.D. Arizona State University, 1987 Nano chemistry and nanodevices	15%	5%	60%	20%	10/1/2007	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画

GIMZEWSKI, James K.* (64)	Distinguished Professor, Chemistry & Biochem. Dept., UCLA Director, Nano/Pico Characterization Lab, UCLA California NanoSystems Inst.	Ph.D. (Physical Chemistry) Univ. of Strathclyde, 1977 Nanoscience and nanobio	23%	3%	67%	7%	10/1/2007	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画
胡 晓 (54)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、ナノ物性理論ユニット長	理学博士／ 物性理論・ 計算科学	100%	0%	0%	0%	10/1/2007	常時拠点本部に滞在して参画	
JOACHIM Christian* (58)	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) Lab: CEMES (UPR8011) Toulouse (France)	Ph.D. in Applied Mathematics Ph.D. in Quantum physics, computer science and nanoscience	18%	3%	72%	7%	10/1/2007	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画

塚越 一仁 (48)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、パイ電子エレクトロニクスユニット長	理学博士／ ナノ物質エレクトロニクス	90%	0%	10%	0%	1/1/2009	常時拠点本部に滞在して参画	
葉 金花* (53)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、ナノ光触媒ユニット長	工学博士／ 光触媒・エコマテリアル	30%	0%	50%	20%	10/1/2007	常時拠点本部に滞在して参画	
高田 和典* (54)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、ソフトイオニクスユニット長	理学博士／ ソフト化学・ナノシート	30%	0%	70%	0%	1/1/2010	常時拠点本部に滞在して参画	
魚崎 浩平* (69)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点、ナノ界面ユニット長	理学博士／ 表面物理化学	80%	20%	0%	0%	7/1/2008	常時拠点本部に滞在して参画	
YAGHI, Omar* (51)	The James and Neeltje Tretter Professor of Chemistry, UC Berkley	Ph.D. University of Illinois, 1990 Nanostructure of organic	30%	0%	60%	10%	3/10/2008	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究指導

		materials								
陳 国平 (50)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点、生体組織再生材料ユニット長	工学博士／バイオマテリアル・再生医療	100%	0%	0%	0%	4/1/2011	常時拠点本部に滞在して参画		
長崎 幸夫* (56)	筑波大学大学院、数理物質科学研究科、教授	理学博士／生体材料・高分子化学	20%	0%	70%	10%	10/1/2007	常時サテライトにおいて参画		
Françoise M. Winnik* (64)	Faculty of Pharmacy and Department of Chemistry, University of Montreal, Canada	Ph.D. (Chemistry) Univ. of Toronto, 1979 Polymer chemistry and photochemistry	40%	10%	40%	10%	4/1/2011	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画	

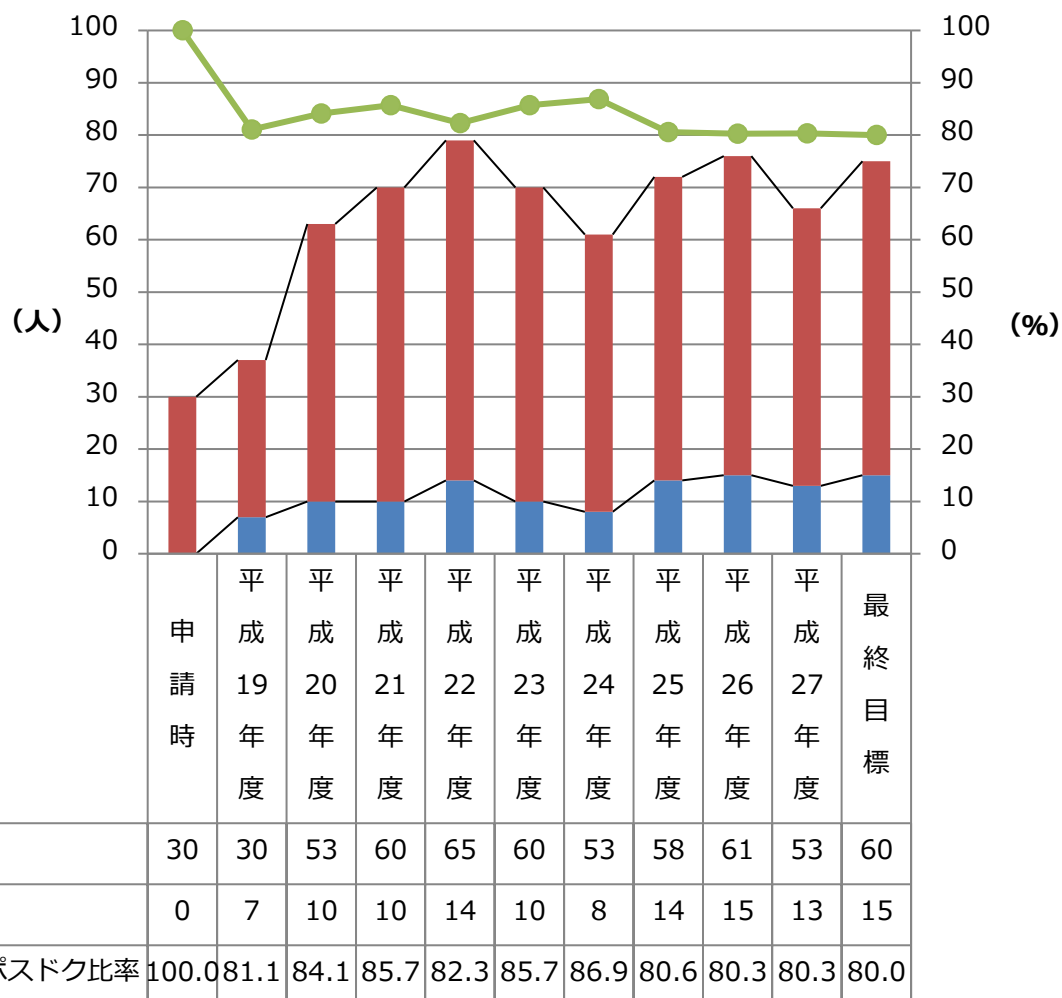
平成27年度に拠点構想に不参加となった研究者

氏名	所属機関・部局・職	拠点構想 参加時期	理由	対応
長谷川 剛 (53)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテク トニクス研究拠点、原子エレクトロニクス ユニット長	10/1/2007	早稲田大学に転出	2016年度事業計画で対応
中山 知信 (54)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテク トニクス研究拠点、ナノ機能集積ユニット 長	10/1/2008	事務部門長に異動	2016年度事業計画で対応
高柳 英明* (64)	東京理科大学、理学部応用物理学科、教授	10/1/2007	任期満了	2016年度事業計画で対応
青柳 隆夫* (56)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテク トニクス研究拠点、生体機能材料ユニット 長	9/1/2010	日本大学に転出	2016年度事業計画で対応

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI） 添付資料1-2. 構成員員数の推移

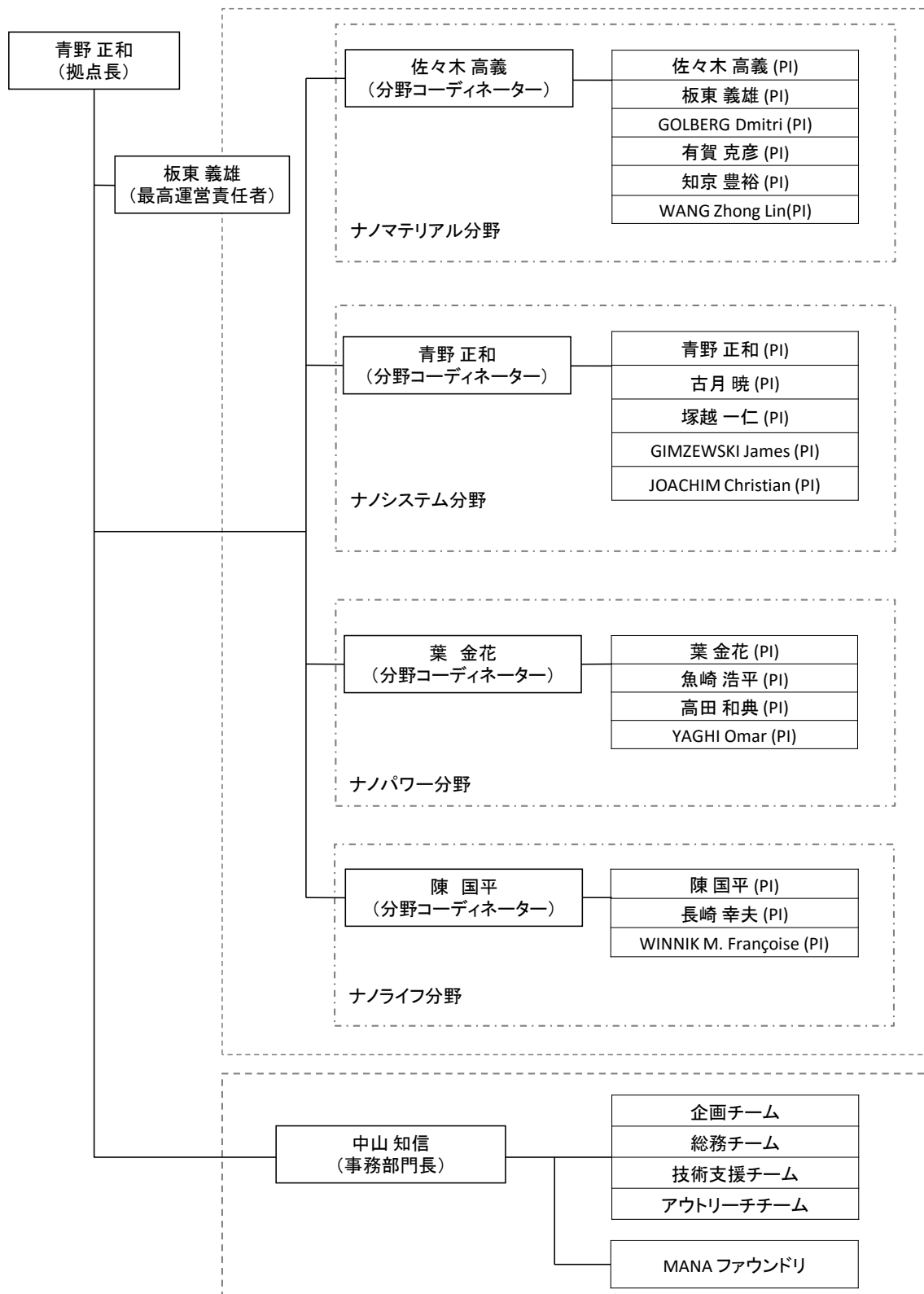
※申請時及び発足時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。

外国人ポスドク比率の推移



世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料1-3. 運営組織図



世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料1-4. 拠点施設配置図

World Premier International Research Center (WPI) Initiative

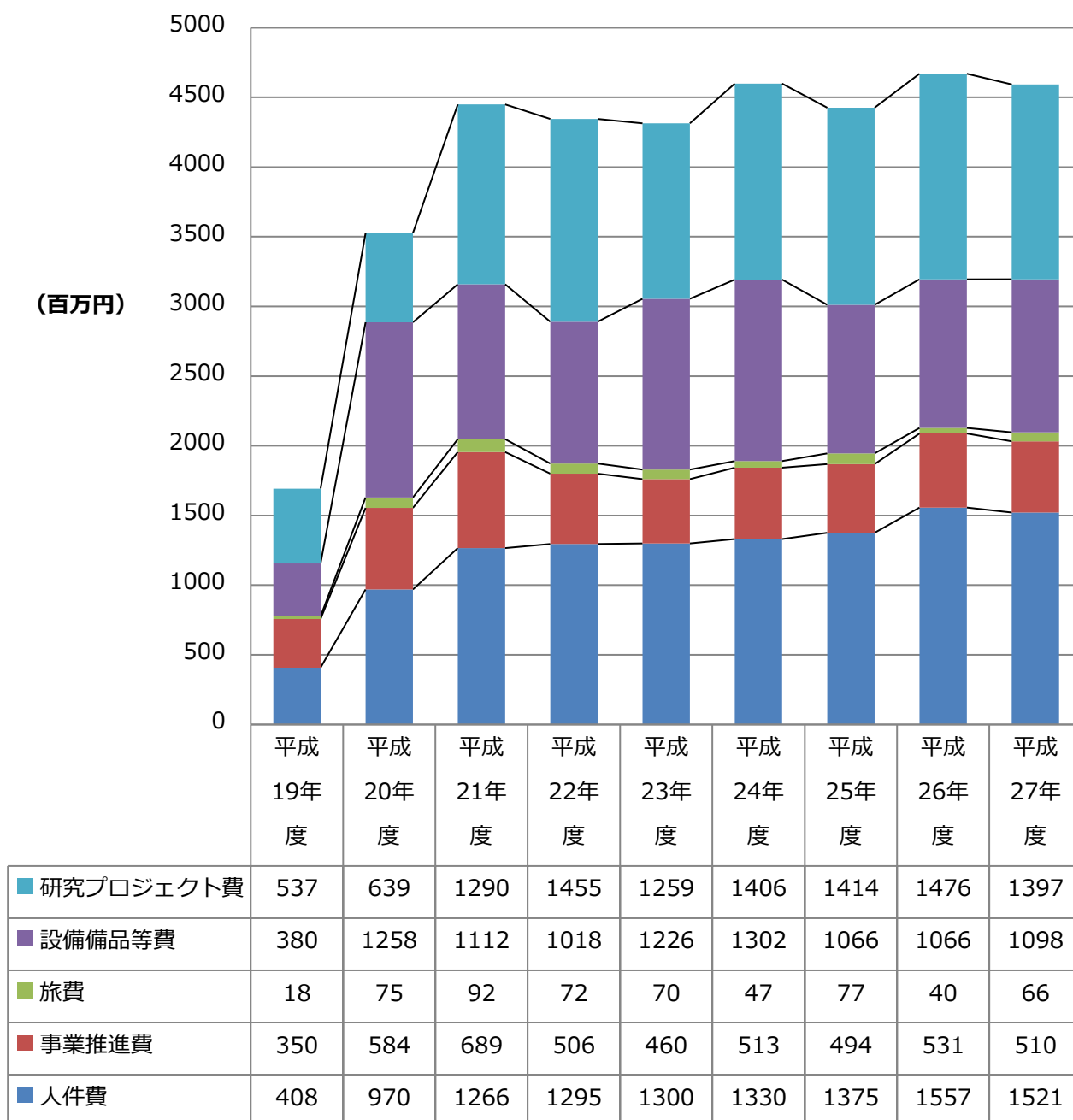


世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料1-5. 事業費の推移

※拠点活動全体の事業費額の推移を棒グラフで表すこと。

事業費の推移



世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料1-6. 平成27年度事業費

i) 拠点活動全体

(単位:百万円)

(単位:百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	34
	・主任研究者 11人	141
	・その他研究者 192人	1191
	・研究支援員 9人	62
	・事務職員 20人	92
	計	1520
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 65人	16
	・人材派遣等経費 8人	15
	・スタートアップ経費 3人	38
	・サテライト運営経費 6ヶ所	63
	・国際シンポジウム経費 3回	10
	・施設等使用料	0
	・消耗品費	33
	・光熱水料	263
	・その他	72
	計	510
旅費	・国内旅費	1
	・外国旅費	9
	・招へい旅費 国内57人、外国79	54
	・赴任旅費 国内2人、外国8人	2
	計	66
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	408
	・設備備品に係る減価償却費	690
	計	1098
研究プロジェクト費	・運営費交付金等による事業	727
	・受託研究等による事業	376
	・科学研究費補助金等による事業	294
	計	1397
合	計	4591

平成26年度W P I 補助金額

0

平成27年度施設整備額

0

平成27年度設備備品調達額

431

- ・EDXアップグレード 一式 13
- ・無停電装置 1台 3
- ・グリッド乾燥装置 1台 3
- ・マッフル炉 2台 2
- ・スパコンリース料 56
- ・その他 354

ii) サテライト等関連分

(単位:百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・主任研究者 1人	/
	・その他研究者 12人	
	・研究支援員 7人	
	・事務職員 2人	
	計	
事業推進費		8
旅費		1
設備備品等費		1
研究プロジェクト費		5
合	計	63

NIMS

MANA

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料1-7. 平成27年度WPI補助金支出

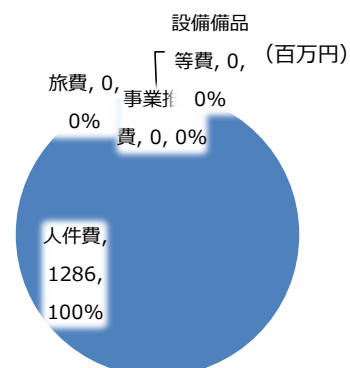
i) 総額

※Cost Itemsを色分けした円グラフを作成してください。

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	34
	・主任研究者 (14人)	141
	・その他研究者 (190人)	1018
	・研究支援員 (10人)	29
	・事務職員 (25人)	64
	計	1286
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金(0人)	0
	・人材派遣等経費 (0人)	0
	・スタートアップ経費 (0人)	0
	・サテライト運営経費 (0ヶ所)	0
	・国際シンポジウム経費 (0回)	0
	・施設等使用料	0
	・消耗品費	0
	・光熱水料	0
	・その他	0
		計
旅費	・国内旅費	0
	・外国旅費	0
	・招へい旅費 (国内：0人) (外国：0人)	0
	・赴任旅費 (国内：0人) (外国：0人)	0
		計
設備備品等費	・設備備品調達額	0
	計	0
合	計	1286

平成27年度WPI補助金の支出状況



ii) サテライト等関連分

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・主任研究者 (0人)	/
	・その他研究者 (0人)	
	・研究支援員 (0人)	
	・事務職員 (0人)	
	計	0
事業推進費		
旅費		
設備備品等費		
合	計	0

NIMS

MANA

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料2-1. 代表的な研究成果を裏付ける論文一覧

- ※「2. 研究活動」の「2-1. 研究成果」で挙げた代表的な研究成果[1]~[20]を裏付ける論文を挙げ（全部で40編以内）、それぞれについてその意義を10行以内で解説すること。
- ※それぞれの論文は箇条書きとし、著者名・発行年・雑誌名・巻号・掲載ページ・タイトルを記載すること。（記載順番は様式中で統一してあればこの限りではない）なお、著者が複数ある場合には、拠点の研究者に下線を記すこと。
- ※著者が多数（10名以上）の場合は、全著者名を記載する必要はない。
- ※WPI拠点なくしては不可能であった研究論文にはアスタリスク（*）を付すこと。

研究成果[1]

- *1. F. Geng, R. Ma, A. Nakamura, K. Akatsuka, Y. Ebina, Y. Yamauchi, N. Miyamoto, Y. Tateyama, and T. Sasaki, "Unusually stable ~100-fold reversible and instantaneous swelling of inorganic layered materials", *Nature Commun.* **4**, 1632 (2013).

A massive monolithic swelling of layered materials has been achieved in aqueous solution of 2-dimethylaminoethanol (DMAE), which was up to 100-fold with the gallery spacing increased from 0.9 nm to 90 nm. With quantitative analysis, it was determined that the largely expanded space was primarily occupied with H₂O along with minor trace of the DMAE. The swollen phase was unusually stable with no obvious observation of peeling or translational shifts during the swelling process, maintaining a nearly perfect three-dimensional lattice structure of >3000 layers. First-principle simulations of the molecules in the gallery yielded a long-range directional structuring of the H₂O molecules that may help to stabilize the highly swollen structure. The crystals could also instantaneously shrink back to their original sizes.

- *2. F. Geng, R. Ma, Y. Ebina, Y. Yamauchi, N. Miyamoto and T. Sasaki, "Gigantic swelling of inorganic layered materials: A bridge to molecularly thin two-dimensional nanosheets", *J. Am. Chem. Soc.* **136**, 5491 (2014).

The macroscopic swelling could be realized in a wide variety of amines, ranging from primary amine, tertiary amine, to quaternary ammonium hydroxide, with little dependence on ion identity. The ammonium ion intercalation was mostly determined by the acid-base equilibrium and the accompany H₂O inflow was governed by osmotic pressure balance between the gallery and the solution environment, both of which are substantially molarity dependent. Therefore, in most cases, the ammonium ion intercalation saturated at a value of 37% relative to the exchange capacity, and the maximum swelling degree was ~100-fold with gallery expansion of ~90 nm. Although the swelling process was unselective, the nature of the intercalated ion was critical to the stability of the resulting swollen structure; that is, ions of higher polarity and smaller size helped stabilize the highly expanded structure, while ions of low polarity and larger size readily led to exfoliation.

研究成果[2]

- *3. M. Osada, T. Sasaki, "Two-dimensional dielectric nanosheets: Novel nanoelectronics from nanocrystal building blocks", *Adv. Mater.* **24**, 210 (2012).

Two-dimensional (2D) nanosheets, which possess atomic or molecular thickness and infinite planar lengths, are attractive for the use in next-generation nanoelectronics. Despite significant advances in graphene-like 2D materials, it remains a challenge to explore high- ϵ_r dielectric counterparts of graphene, which are essential for many devices such as memories, capacitors, and gate devices. In this paper, we review the progress made in 2D dielectric oxide nanosheets, highlighting emerging functionalities in electronic applications. Ti- and perovskite-based nanosheets exhibit the highest permittivity ($\epsilon_r = 210\sim 320$) ever realized in all known dielectrics in the ultrathin region (< 10 nm). A layer-by-layer engineering using these oxide nanosheets promises unique possibilities in the design of thin-film device architectures, such as capacitors, transistors, artificial ferroelectrics and spin-electronics. Graphene is only the tip of the iceberg, and we are now starting to discover new possibilities afforded by 2D oxides.

- *4. C.X. Wang, M. Osada, Y. Ebina, B.W. Li, K. Akatsuka, K. Fukuda, W. Sugimoto, R.Z. Ma, T. Sasaki, "All-Nanosheet Ultrathin Capacitors Assembled Layer-by-Layer via Solution-Based Processes", *ACS Nano* **8**, 2658 (2014).

All-nanosheet ultrathin capacitors of $\text{Ru}_{0.95}\text{O}_{2^{0.2-}}/\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}/\text{R}_{0.95}\text{O}_{2^{0.2-}}$ were successfully assembled through facile room-temperature solution-based processes. As a bottom electrode, conductive $\text{R}_{0.95}\text{O}_{2^{0.2-}}$ nanosheets were first assembled on a quartz glass substrate through a sequential adsorption process with polycations. On top of the $\text{R}_{0.95}\text{O}_{2^{0.2-}}$ nanosheet film, $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ nanosheets were deposited by the Langmuir Blodgett technique to serve as a dielectric layer. Deposition parameters were optimized for each process to construct a densely packed multilayer structure. The multilayer buildup process was monitored by various characterizations such as atomic force microscopy (AFM), ultraviolet visible absorption spectra, and X-ray nanosheet films with the designed multilayer structures. This work demonstrates the great potential of functional oxide nanosheets as components for nanoelectronics, thus contributing to the development of next-generation high-performance electronic devices.

研究成果 [3]

- *5. T. Ohno, T. Hasegawa, T. Tsuruoka, K. Terabe, J. K. Gimzewski, M. Aono, "Short-term plasticity and long-term potentiation mimicked in single inorganic synapses", *Nature Mater.* **10**, 591 (2011).

Memory is believed to occur in the human brain as a result of two types of synaptic plasticity: short-term plasticity (STP) and long-term potentiation. In neuromorphic engineering, emulation of known neural behavior has proven to be difficult to implement in software because of the highly complex interconnected nature of thought processes. In this study, we have succeeded in emulating the synaptic behavior using a single Ag_2S -based atomic switch. The synaptic functions of both STP and LTP characteristics through the use of input pulse repetition time were demonstrated. The results have attracted much attention because it achieves dynamic memorization in a single device without the need of external preprogramming, indicating a potential for the further creation of artificial neural systems that emulate characteristics of human memory.

- *6. R. Yang, K. Terabe, G. Liu, T. Tsuruoka, T. Hasegawa, J. K. Gimzewski, M. Aono, "On-demand nanodevice with electrical and neuromorphic multifunction realized by local ion migration", *ACS Nano* **6**, 9515 (2012).

In this paper, electrical and neuromorphic multifunctions were demonstrated using a WO_{3-x} -based gapless-type atomic switch, in which migration of oxygen ions are controlled. The device showed a wide range of time scales of memorization, resistance switching, and rectification varying from volatile to permanent in a single device. The device, showing on-demand electrical and neuromorphic multifunction, has a unique paradigm shifting potential for the fabrication of configurable circuits, analog memories, digital neural fused networks, and more in one device architecture.

研究成果 [4]

- *7. A.V. Avizienis, H.O. Sillin, C. Martin-Olmos, H.-H. Shieh, M. Aono, J. K. Gimzewski, "Neuromorphic atomic switch networks", *Plos One* **7**, e42772 (2012).

Conventional fabrication techniques are unable to efficiently generate electronic devices with the highly complex interconnectivity found in biological neuronal networks. In this paper, we demonstrated the physical realization of a self-assembled neuromorphic device comprised of over a billion interconnected atomic switch elements that exhibit synapse-like operational characteristics embedded in a complex network of silver nanowires. Observations of these atomic switch networks (ASN) were in agreement with recent theoretical predictions, while emergent behaviors akin to brain function are observed, namely spatially distributed memory, recurrent dynamics and the activation of feedforward subnetworks. These devices display the functional characteristics required for implementing unconventional, biologically and neurally inspired computational methodologies in a synthetic experimental system.

- *8. A. Z. Stieg, A. V. Avizienis, H.O. Sillin, C. Martin-Olmos, M. Aono, J. K. Gimzewski, "Emergent criticality in complex Turing B-type atomic switch networks", *Adv. Mater.* **24**, 286 (2012).

The operation of atomic switches as individual synapse-like devices has demonstrated the ability to process information with both short-term and long-term memorization in a single two terminal junction. In this paper, atomic switches were self-assembled within a highly interconnected network of silver nanowires similar in structure to Turing's "B-Type unorganized machine". These atomic switch networks (ASN) exhibited emergent criticality similar in nature to previously reported electrical activity of neuronal assemblies. Rapid fluctuations in electrical conductance display power law scaling of temporal correlation lengths that were attributed to dynamic reorganization of the interconnected electroionic network. These collective properties indicate a potential utility for real-time, multi-input processing of distributed sensory data through reservoir computing. We proposed these highly coupled, nonlinear electronic networks as an implementable hardware-based platform toward the creation of physically intelligent machines.

- *9. H. O. Sillin, H.-H. Shieh, R. Aguilera, A. V. Avizienis, M. Aono, A. Z. Stieg, J. K. Gimzewski, "A theoretical and experimental study of neuromorphic atomic switch networks for reservoir computing", *Nanotechnology* **24**, 384004 (2013).

Atomic switch networks (ASN) have been shown to generate network level dynamics that resemble those observed in biological neural networks. In this paper, we developed and validated a numerical model based on the synapse-like properties of individual atomic switches and the random nature of the network wiring. The reported results highlighted the possibility to functionalize the network plasticity, differences between an atomic switch in isolation and its behaviors in a network, as well as the effects of changing network connectivity on the observed nonlinear dynamics. To demonstrate their utility for computation, we subjected the simulated network to training within the framework of Reservoir Computing (RC) and showed initial evidence of the ASN acting as a reservoir which may be optimized for specific tasks. This work represented initial steps in a unified approach of experimentation and theory to make ASNs a uniquely scalable platform for neuromorphic computing.

研究成果 [5]

- *10. Y. Okawa, S. K. Mandal, C. Hu, Y. Tateyama, S. Goedecker, S. Tsukamoto, T. Hasegawa, J. K. Gimzewski, M. Aono, "Chemical Wiring and Soldering toward All-Molecule Electronic Circuitry", *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 8227 (2011).

This paper presents a novel method for connecting functional molecules with conductive nanowires. Stimulation with a tip of scanning tunneling microscope (STM) on a molecular layer of diacetylene compound can initiate chain polymerization of diacetylene molecules. Since the front edge of chain polymerization necessarily has a reactive chemical species, the created polymer nanowire forms chemical bonding with an encountered molecular element. We name this spontaneous reaction 'chemical soldering'. First-principles theoretical calculations are used to investigate the structures and electronic properties of the connection. It is demonstrated that two conductive polymer nanowires are connected to a single phthalocyanine molecule. A resonant tunneling diode formed by this method is discussed.

- *11 Y. Okawa, M. Akai-Kasaya, Y. Kuwahara, S. K. Mandal, M. Aono, "Controlled chain polymerisation and chemical soldering for single-molecule electronics", *Nanoscale* **4**, 3013 (2012).

The method of initiating chain polymerization using the tip of a scanning tunneling microscope is very useful for fabricating single conductive polymer chains at designated positions and thereby wiring single-molecules. In this feature article, developments in the controlled chain polymerization of diacetylene compounds and the electronic and structural properties of polydiacetylene chains are summarized. The "chemical soldering" technique, which enables the covalent connection of single polydiacetylene chains to single functional molecules, is also discussed. In addition to the review parts, this feature article also reports original data. For example, the connection of single conductive polydiacetylene chains to isolated single phthalocyanine molecules is demonstrated.

研究成果 [6]

- *12. M. Nakaya, S. Tsukamoto, Y. Kuwahara, M. Aono, T. Nakayama, "Molecular-scale control of unbound and bound C₆₀ for topochemical ultradense data storage in an ultrathin C₆₀ film", *Adv. Mater.* **22**, 1622 (2010).

We found that the unbound and bound states of C₆₀ molecules can be controlled reversibly at the single-molecule level in an ultrathin film of C₆₀ using a tip of the scanning tunneling microscope (STM) at room temperature (RT). The reversible switching was almost perfectly controlled by changing the polarity of an electric field that was locally applied to any designated position on the film by the STM tip. From experimental and theoretical studies, we concluded that the excellent controllability is achieved owing to negative and positive ionizations of C₆₀ molecules which cause electron donation into and electron removal from a bonding state between the molecules, respectively: Negative and positive ionization efficiently lower activation energies necessary for the formation of a bound state of C₆₀ molecules and for the dissociation of the bound state, respectively. Also, this chemical reaction method enabled topochemical data storage with a bit size of a single C₆₀ molecule (about 1 nm) and with a data density of 190 Tbit/in².

- *13. M. Nakaya, M. Aono, T. Nakayama, "Molecular-scale size tuning of covalently bound assembly of C₆₀ molecules", *ACS Nano* **5**, 7830 (2011).

Reference [6]-1 showed that, when a negative sample bias voltage is applied to a tunneling junction between the C₆₀ film and the tip of a scanning tunneling microscope (STM), a C₆₀ molecule beneath the tip covalently bonds to an adjacent molecule in the underneath layer. We further found that such a chemical reaction is not necessarily limited to the top and second layers of the C₆₀ film and that the resulting C₆₀ oligomer can be tuned to form a dimer, trimer, tetramer, or pentamer; the number of interconnected C₆₀ molecules increases one by one upon increasing the magnitude of the local electric field under the STM tip. The created oligomers are linear chains of C₆₀ molecules starting from the top layer and aligned toward the interface layer in the multilayer C₆₀ films. The electrostatic negative ionization of C₆₀ molecules and its spatial distribution in the multilayer C₆₀ film are critical factors in achieving size-tuning in oligomerization.

研究成果 [7]

- *14. Y.J. Kim, M. Ebara, T. Aoyagi, "A smart nanofiber web that captures and release cells", *Angew. Chem. Int. Ed.* **51**, 10537 (2012).

This paper describes a novel approach for encapsulating and releasing cells using a smart nanofiber web without using any cross-linking/degradation processes. The smart web was fabricated by an electrospinning method with a newly synthesized photo-cross-linkable temperature-responsive polymer. We demonstrated the ability to capture, encapsulate, and release cells by dynamically transforming the fibrous structure of the nanofibers into hydrogel-like structures by wrapping, swelling, and deswelling processes in response to alternations of external temperature. This novel nanofiber enables the facile encapsulation and on-demand release of cells in response to external signals.

- *15. Y.J. Kim, M. Ebara, T. Aoyagi, "A smart hyperthermia nanofiber with switchable drug release for inducing cancer apoptosis", *Adv. Func. Mater.* **23**, 5753 (2013).

A smart hyperthermia nanofiber is described with simultaneous heat generation and drug release in response to 'on-off' switching of alternating magnetic field (AMF) for induction of skin cancer apoptosis. The nanofiber is composed of a chemically-crosslinkable temperature-responsive polymer with an anticancer drug (doxorubicin; DOX) and magnetic nanoparticles (MNPs), which serve as a trigger of drug release and a source of heat, respectively. The 70% of human melanoma cells died in only 5 min application of AMF in the presence of the MNPs and DOX incorporated nanofibers by double effects of heat and drug. Taken together these advantages on both the nano- and macroscopic scale of nanofibers demonstrate that the dynamically and reversibly tunable structures have the potential to be utilized as a manipulative hyperthermia material as well

as a switchable drug release platform by simple switching an AMF 'on' and 'off'.

研究成果 [8]

- *16. H.H. Oh, Y.G. Ko, H. Lu, N. Kawazoe, G. Chen, "Preparation of Porous Collagen Scaffolds with Micropatterned Structures", *Adv. Mater.* **24**, 4311 (2012).

We developed a novel method to fabricate spatially micropatterned pores and to micropattern bioactive substances in porous collagen scaffolds using a dispensing technology. Ice micropatterns of pure water or an aqueous mixture of collagen and bioactive substance solutions were used as templates to make the micropatterned structures. The micropatterned structures can be controlled by the template micropatterns that can be easily tethered by designing a code. The micropatterned porous scaffolds will be useful for guiding cell localization and guided tissue regeneration. The method is simple and reproducible and could be applied to other materials for a wide range of applications.

- *17. J.J. Li, N. Kawazoe, G.P. Chen, "Gold nanoparticles with different charge and moiety induce differential cell response on mesenchymal stem cell osteogenesis", *Biomater.* **54**, 226 (2015).

Stem cells exist in an *in vivo* microenvironment that provides biological and physiochemical cues to direct cell fate decisions. How the stem cells sense and respond to these cues is still not clearly understood. Gold nanoparticles (AuNPs) have been widely used for manipulation of cell behavior due to their ease of synthesis and versatility in surface functionalization. In this study, AuNPs with amine (AuNP-NH₂), carboxyl (AuNP-COOH) and hydroxyl (AuNP-OH) functional groups possessing different surface charge were synthesized. Human bone marrow-derived mesenchymal stem cells (hMSCs) were treated with the surface functionalized AuNPs and assessed for cell viability and osteogenic differentiation ability. The surface functionalized AuNPs were well tolerated by hMSCs and showed no acute toxicity. Positively charged AuNPs showed higher cellular uptake. These results provide some insight on the influence of surface functionalized AuNPs on hMSCs behavior and the use of these materials for strategic tissue engineering.

研究成果 [9]

- *18. G. Yoshikawa, T. Akiyama, S. Gautsch, P. Vettiger, H. Rohrer, "Nanomechanical membrane-type surface stress sensor", *Nano Lett.* **11**, 1044 (2011).

In this paper, we presented a membrane-type surface stress sensor (MSS), which is based on the piezoresistive read-out integrated in the sensor chip. The MSS originates from a conventional cantilever structure, while we found that the membrane-based structure can achieve much better performance. Evaluation of a prototype MSS used in the present experiments demonstrates a high sensitivity which is comparable with that of optical methods and a factor of more than 20 higher than that obtained with a standard piezoresistive cantilever. The finite element analyses indicate that changing dimensions of the membrane and beams can substantially increase the sensitivity further. Given the various conveniences and advantages of the integrated piezoresistive read-out, this platform is expected to open a new era of surface stress-based sensing.

- *19. G. Yoshikawa, F. Loizeau, C. J. Lee, T. Akiyama, K. Shiba, S. Gautsch, T. Nakayama, P. Vettiger, N. F. de Rooij, M. Aono, "Double-side-coated nanomechanical membrane-type surface stress sensor (MSS) for one-chip- one-channel setup", *Langmuir* **29**, 7551 (2013).

One of the major issues of nanomechanical sensors is the difficulty of coating receptor layers on their surfaces to which target molecules adsorb or react. To have measurable deflection, a single-side coating is commonly applied to cantilever-type geometry, and it requires specific methods or protocols, such as inkjet spotting or gold-thiol chemistry. In this paper, we demonstrated the feasibility of the double-side coating on a membrane-type surface stress sensor (MSS) and verify its working principle by both finite element analysis (FEA) and experiments. In addition, simple hand-operated dip coating is demonstrated as a proof of concept, achieving practical receptor layers without any complex instrumentation. The compatibility with double-side

coating enables MSS to be applied to most standard assays in medical and biological fields.

研究成果 [10]

- *20. R.Y. Yan, M. Chen, H. Zhou, T. Liu, X.W. Tang, K. Zhang, H.X. Zhu, J.H. Ye, D. Zhang, T.X. Fan, *Bio-inspired Plasmonic Nanoarchitected Hybrid System Towards Enhanced Far Red-to-Near Infrared Solar Photocatalysis*, *Sci. Rep.* **6**, 20001 (2016).

Solar conversion to fuels or to electricity in semiconductors using far red-to-near infrared (NIR) light, which accounts for about 40% of solar energy, is highly significant. One main challenge is the development of novel strategies for activity promotion and new basic mechanisms for NIR response. Mother Nature has evolved to smartly capture far red-to-NIR light via their intelligent systems due to unique micro/nanoarchitectures, thus motivating us for biomimetic design. Here we report the first demonstration of a new strategy, based on adopting nature's far red-to-NIR responsive architectures for an efficient bio-inspired photocatalytic system. The system is constructed by controlled assembly of light-harvesting plasmonic nanoantennas onto a typical photocatalytic unit with butterfly wings' 3D micro/nanoarchitectures. This proof-of-concept study provides a new methodology for NIR photocatalysis and would potentially guide future conceptually new NIR responsive system designs.

- *21. Z. Yi, J. Ye, N. Kikugawa, T. Kako, S. Ouyang, H. Stuart-Williams, H. Yang, J. Cao, W. Luo, Z. Li, Y. Liu, R. L. Withers, "An orthophosphate semiconductor with photooxidation properties under visible-light irradiation", *Nature Mater.* **9**, 559 (2010).

The search for active semiconductor photocatalysts that directly split water under visible-light irradiation remains one of the most challenging tasks for solar-energy utilization. Over the past 30 years, the search for such materials has focused mainly on metal-ion substitution as in $\text{In}_{1-x}\text{Ni}_x\text{TaO}_4$ and (V-; Fe- or Mn-) TiO_2 , non-metal-ion substitution as in $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$ and $\text{Sm}_2\text{Ti}_2\text{O}_5\text{S}_2$ or solid-solution fabrication as in $(\text{Ga}_{1-x}\text{Zn}_x)(\text{N}_{1-x}\text{O}_x)$ and $\text{ZnS-CuInS}_2\text{-AgInS}_2$. Here we report a new photocatalyst Ag_3PO_4 , which was developed by incorporating p block element into a simple AgO oxide with narrow band gap. The new photocatalyst showed extremely high quantum yield ($\sim 90\%$ at 420 nm) towards water oxidation, which is one of the key process for artificial photosynthesis, under visible light irradiation. The obtained quantum yield marked the world's highest record, approaching that in natural photosynthesis. The new photocatalyst also showed amazing activity in decomposition of organic contaminants in aqueous solution. This study not only supplies a new strategy for developing highly efficient visible-light-driven photocatalysts, but also shows a great step towards the realization of an artificial photosynthetic system.

研究成果 [11]

- *22. T. Uchihashi, P. Mishra, M. Aono, T. Nakayama, "Macroscopic superconducting current through a silicon surface reconstruction with indium adatoms: $\text{Si}(111)-(\sqrt{7}\times\sqrt{3})\text{-In}$ ", *Phys. Rev. Lett.* **107**, 207001 (2011). [Highlighted as an Editor's Suggestion and a Viewpoint in Physics].

Macroscopic and robust supercurrents are observed by direct electron transport measurements on a silicon surface reconstruction with In adatoms [$\text{Si}(111)-(\sqrt{7}\times\sqrt{3})\text{-In}$]. The superconducting transition manifests itself as an emergence of the zero resistance state below 2.8 K. I - V characteristics exhibit sharp and hysteretic switching between superconducting and normal states with well-defined critical and retrapping currents. The two-dimensional (2D) critical current density $J_{2D,c}$ is estimated to be as high as 1.8 A/m at 1.8 K. The temperature dependence of $J_{2D,c}$ indicates that the surface atomic steps play the role of strongly coupled Josephson junctions.

- *23. S. Yoshizawa, H. Kim, T. Kawakami, Y. Nagai, T. Nakayama, X. Hu, Y. Hasegawa, T. Uchihashi, "Imaging Josephson Vortices on the Surface Superconductor $\text{Si}(111)-(\sqrt{7}\times\sqrt{3})\text{-In}$ using a Scanning Tunneling Microscope", *Phys. Rev. Lett.* **113**, 247004 (2014).

We have studied the superconducting Si(111)-($\sqrt{7}\times\sqrt{3}$)-In surface using a ^3He -based low-temperature scanning tunneling microscope. Zero-bias conductance images taken over a large surface area reveal that vortices are trapped at atomic steps after magnetic fields are applied. The crossover behavior from Pearl to Josephson vortices is clearly identified from their elongated shapes along the steps and significant recovery of superconductivity within the cores. Our numerical calculations combined with experiments clarify that these characteristic features are determined by the relative strength of the interterrace Josephson coupling at the atomic step.

*24. T. Kawakami, X. Hu, "Evolution of Density of States and a Spin-Resolved Checkerboard-Type Pattern Associated with the Majorana Bound State", *Phys. Rev. Lett* **115**, 177001 (2015).

In terms of the Bogoliubov-de Gennes approach, we investigate the Majorana bound state (MBS) in a vortex of proximity-induced superconductivity on the surface of a topological insulator. Mapping out the local density of states (LDOS) of quasiparticle excitations as a function of energy and distance from the vortex center, it is found that the spectral distribution evolves from a V shape to a Y shape with the emergence of a MBS upon variation of the chemical potential, consistent with the STM/STS measurement in a very recent experiment [Xu et al., *Phys. Rev. Lett.* 114, 017001 (2015)] on a Bi_2Te_3 thin layer on the top of NbSe_2 . Moreover, we demonstrate that there is a checkerboard-type pattern in the relative LDOS between the spin-up and -down channels, where the quantum mechanical wave function of the MBS manifests itself clearly as a single quantum state. Therefore, a spin-resolved STM/STS technique is expected to be able to provide phase-sensitive evidence for a MBS in the vortex core of a topological superconductor.

研究成果 [12]

*25. M. Arita, D.R. Bowler, T. Miyazaki, "Stable and Efficient Linear Scaling First-Principles Molecular Dynamics for 10000+Atoms", *J. Chem. Theory and Comput.* **10**, 5419 (2014).

The recent progress of linear-scaling or $O(N)$ methods in density functional theory (DFT) is remarkable. Given this, we might expect that first-principles molecular dynamics (FPMD) simulations based on DFT could treat more realistic and complex systems using the $O(N)$ technique. However, very few examples of $O(N)$ FPMD simulations exist to date, and information on the accuracy and reliability of the simulations is very limited. In this paper, we show that efficient and robust $O(N)$ FPMD simulations are now possible by the combination of the extended Lagrangian Born-Oppenheimer molecular dynamics method, which was recently proposed by Niklasson (*Phys. Rev. Lett.* 2008, 100, 123004), and the density matrix method as an $O(N)$ technique. Using our linear-scaling DFT code Conquest, we investigate the reliable calculation conditions for accurate $O(N)$ FPMD and demonstrate that we are now able to do practical, reliable self-consistent FPMD simulations of a very large system containing 32768 atoms.

*26. N. Fukata, M. Yu, W. Jevasuwan, T. Takei, Y. Bando, W. Wu, Z.L. Wang, "Clear Experimental Demonstration of Hole Gas Accumulation in Ge/Si Core-Shell Nanowires", *ACS Nano* **9**, 12182 (2015).

Selective doping and band-offset in germanium (Ge)/silicon (Si) core-shell nanowire (NW) structures can realize a type of high electron mobility transistor structure in one-dimensional NWs by separating the carrier transport region from the impurity-doped region. Precise analysis, using Raman spectroscopy of the Ge optical phonon peak, can distinguish three effects: the phonon confinement effect, the stress effect due to the heterostructures, and the Fano effect. The Fano effect is the most important to demonstrate hole gas accumulation in Ge/Si core-shell NWs. Using these techniques, we obtained conclusive evidence of the hole gas accumulation in Ge/Si core-shell NWs. The control of hole gas concentration can be realized by changing the B-doping concentration in the Si shell.

研究成果 [13]

*27. C. Nethravathi, C.R. Rajamathi, M. Rajamathi, R. Maki, T. Mori, D. Golberg, Y. Bando, "Synthesis and thermoelectric behaviour of copper telluride nanosheets", *J. Mat. Chem. A* **2**, 985 (2014).

Developing reliable synthetic methods for the fabrication of nanostructures of prospective materials is vital for emerging technologies like thermoelectrics that are in need of a breakthrough. In thermoelectrics nanostructuring can potentially enhance phonon scattering while preserving electrical conductivity due to the different length scales of phonons and electrical carriers. A solvothermal reaction between a colloidal dispersion of dodecylsulfate intercalated copper hydroxide layers in ethylene glycol and an alkaline solution of TeO_2 was found to successfully yield single crystalline 2D nanosheets of copper telluride, $\text{Cu}_{1.75}\text{Te}$. Ethylene glycol reduces TeO_2 to Te^{2-} and Cu^{2+} to Cu^+ leading to the formation of $\text{Cu}_{1.75}\text{Te}$. The solvated copper hydroxide layers act as templates to facilitate the formation of nanosheets. The nanosheets are a few nanometers in thickness and their lateral dimensions are in the order of micrometers. Thermoelectric measurements suggest that the nanosheet fabrication helps in dramatically decreasing the lattice thermal conductivity thereby increasing ZT.

- *28. R. Ang, A.U. Khan, N. Tsujii, K. Takai, R. Nakamura, T. Mori, "Thermoelectricity Generation and Electron-Magnon Scattering in a Natural Chalcopyrite Mineral from a Deep-Sea Hydrothermal Vent", *Angew. Chem. Int. Ed.* **54**, 12909 (2015).

Current high-performance thermoelectric materials require elaborate doping and synthesis procedures, particularly in regard to the artificial structure, and the underlying thermoelectric mechanisms are still poorly understood. Here, we report that a natural chalcopyrite mineral, $\text{Cu}_{1+x}\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$, obtained from a deep-sea hydrothermal vent can directly generate thermoelectricity. The resistivity displayed an excellent semiconducting character, and a large thermoelectric power and high power factor were found in the low x region. Notably, electron-magnon scattering and a large effective mass was detected in this region, thus suggesting that the strong coupling of doped carriers and antiferromagnetic spins resulted in the natural enhancement of thermoelectric properties during mineralization reactions. The present findings demonstrate the feasibility of thermoelectric energy generation and electron/hole carrier modulation with natural materials that are abundant in the Earth's crust.

研究成果 [14]

- *29. S. Aikawa, T. Nabatame, K. Tsukagoshi, "Doping control in In-X-O metal oxide semiconductors for thin-film transistor applications", *Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 172105.

Amorphous metal oxide thin-film transistors (TFTs) are fabricated using InO_x -based semiconductors doped with TiO_2 , WO_3 , or SiO_2 . Even at low-dopant densities, the electrical properties of the film strongly depend on the dopant used. We found that this dependence could be reasonably explained by differences in the bond-dissociation energy of the dopants. By incorporating a dopant with a higher bond-dissociation energy, the film became less sensitive to the partial pressure of oxygen used during sputtering and remained electrically stable upon thermal annealing. Thus, choosing a dopant with an appropriate bond-dissociation energy is important when fabricating stable metal-oxide TFTs for flat-panel displays.

- *30. S. Aikawa, N. Mitoma, T. Kizu, T. Nabatame, T. Tsukagoshi, "Suppression of excess oxygen for environmentally stable amorphous In-Si-O thin-film transistors", *Appl. Phys. Lett.* **106**, 192103 (2015).

We discuss the environmental instability of amorphous indium oxide (InO_x)-based thin-film transistors (TFTs) in terms of the excess oxygen in the semiconductor films. A comparison between amorphous InO_x doped with low and high concentrations of oxygen binder (SiO_2) showed that out-diffusion of oxygen molecules causes drastic changes in the film conductivity and TFT turn-on voltages. Incorporation of sufficient SiO_2 could suppress fluctuations in excess oxygen because of the high oxygen bond-dissociation energy and low Gibbs free energy. Consequently, the TFT operation became rather stable. The results would be useful for the design of reliable oxide TFTs with stable electrical properties.

Research result [15]

- *31. R. Hayakawa, N. Hiroshiba, T. Chikyow, Y. Wakayama, "Single-Electron Tunneling through Molecular

Quantum Dots in a Metal-Insulator-Semiconductor Structure", *Adv. Func. Mater.* **21**, 2933 (2011).

A single-electron tunneling (SET) in a metal-insulator-semiconductor (MIS) structure is demonstrated, in which C₆₀ and copper phthalocyanine (CuPc) molecules are embedded as quantum dots in the insulator layer. The SET is found to originate from resonant tunneling via the energy levels of the embedded molecules, (e.g., the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)). These findings show that the threshold voltages for SET are tunable according to the energy levels of the molecules. Furthermore, SET is observable even near room temperature. The results suggest, together with the fact that these properties are demonstrated in a practical device configuration, that the integration of molecular dots into the Si-MIS structure has considerable potential for achieving novel SET devices. Moreover, the attempt allows large-scale integration of individual molecular functionalities.

研究成果 [16]

*32. T. Nakayama, O. Kubo, Y. Shingaya, S. Higuchi, T. Hasegawa, C.-S. Jiang, T. Okuda, Y. Kuwahara, K. Takami, M. Aono, "Development and application of multiple-probe scanning probe microscopes", *Adv. Mater.* **24**, 1675 (2012).

We reviewed multiple-probe scanning probe microscopes (MP-SPMs), in which two, three or four scanning tunneling microscope (STM) or atomic force microscope (AFM) probes are operated independently. Each probe in an MP-SPM is used not only for observing high-resolution STM or AFM images but also for forming an electrical contact enabling nanoscale local electrical conductivity measurement. We developed the world's first double-probe STM (DP-STM) and directly observed ballistic transport of electrons through one-dimensional metal nanowires and carbon nanotubes. Quadruple-probe STM (QP-STM) has also been developed and clarified the conductivity of two-dimensionally polymerized C₆₀ films without the ambiguity of contact resistance between the probe and sample. Moreover, a quadruple-probe AFM (QP-AFM) with four tuning-fork-type self-detection force sensor has been developed to measure the conductivity of a nanostructure on an insulating substrate.

研究成果 [17]

*33. M.S. Wang, D. Golberg, Y. Bando, "Tensile tests on individual single-walled carbon nanotubes: Linking nanotube strength with its defects", *Adv. Mater.* **22**, 4071 (2010).

In this work, we present the first reported set of tensile strength measurements on twelve individual carbon singlewalled nanotubes (SWNTs). We applied a technique that is able to produce an individual SWNT by a consecutive stepwise in situ electrical breakdown of multiwalled C nanotube (MWNT) shells inside a high resolution transmission electron microscope (HRTEM) equipped with a conducting atomic force microscope (AFM) unit. The tensile properties of thus produced tubes were then investigated by correlating the tensile strength and types, and sites of structural defects under direct tube lattice imaging (spatial HRTEM resolution was ~ 1.7 Å). The SWNTs of various structures/morphologies exhibited different fracture strength ranging from 25 GPa to ~ 100 GPa, the latter approaching the theoretical limit. The tubes with relatively higher strength possessed visibly perfect shell structures. By contrast, significant strength reduction in low-strength samples was attributed to clearly identifiable shell structural defects, e.g. atomic steps containing spatially separated 5/7 C-ring pairs.

*34. X.L. Wei, M.S. Wang, Y. Bando, D. Golberg, "Tensile tests on individual multi-walled boron nitride nanotubes", *Adv. Mater.* **22**, 4895 (2010).

Herein we reported the first detailed measurements regarding the mechanical responses of individual multi-walled boron nitride nanotubes (BNNTs) under tensile loading or pulling-out of nested multi-walled BNNTs inside a high-resolution transmission electron microscope (HRTEM) equipped with an integrated atomic force microscope (AFM) system within the side-entry transmission electron microscope (TEM) holder. By measuring the applied forces and tube lengths until tubes broke, we obtained real stress-strain curves from which the ultimate tensile strengths and strains, and the Young's modulus of tubes were directly

calculated. The tensile strength reached 33 GPa, and the Young's modulus might be up to 1.3 TPa. Also, under parallel HRTEM observations we unambiguously determined the breaking sites, broken shell number and tube diameters, and also the atomic structures of tubes. This enabled us to explore the effects of experimental conditions (such as mechanical system misalignment and the tube atomic structures) on the first time measured mechanical quantities.

研究成果 [18]

- *35. C. Li, O. Dag, T.D. Dao, T. Nagao, Y. Sakamoto, T. Kimura, O. Terasaki, Y. Yamauchi, "Electrochemical synthesis of mesoporous gold films toward mesospace-stimulated optical properties", *Nature Commun.* **6**, 6608 (2015).

Mesoporous gold (Au) films with tunable pores are expected to provide fascinating optical properties stimulated by the mesospaces, but they have not been realized yet because of the difficulty of controlling the Au crystal growth. Here, we report a reliable soft-templating method to fabricate mesoporous Au films using stable micelles of diblock copolymers, with electrochemical deposition advantageous for precise control of Au crystal growth. Strong field enhancement takes place around the center of the uniform mesopores as well as on the walls between the pores, leading to the enhanced light scattering as well as surface-enhanced Raman scattering (SERS), which is understandable, for example, from Babinet principles applied for the reverse system of nanoparticle ensemble.

- *36. Y.Q. Li, B.P. Bastakoti, V. Malgras, C.L. Li, J. Tang, J.H. Kim, Y. Yamauchi, "Polymeric Micelle Assembly for the Smart Synthesis of Mesoporous Platinum Nanospheres with Tunable Pore Sizes", *Angew. Chem. Int. Ed.* **54**, 11073 (2015).

A facile method for the fabrication of well-dispersed mesoporous Pt nanospheres involves the use of a polymeric micelle assembly. A core-shell-corona type triblock copolymer [poly(styrene-*b*-2-vinylpyridine-*b*-ethylene oxide), PS-*b*-P2VP-*b*-PEO] is employed as the pore-directing agent. Negatively charged PtCl_4^{2-} ions preferably interact with the protonated P2VP⁺ blocks while the free PEO chains prevent the aggregation of the Pt nanospheres. The size of the mesopores can be finely tuned by varying the length of the PS chain. Furthermore, it is demonstrated that the metallic mesoporous nanospheres thus obtained are promising candidates for applications in electrochemistry.

研究成果 [19]

- *37. D. Ishikawa, T. Mori, Y. Yonamine, W. Nakanishi, D.L. Cheung, J.P. Hill, K. Ariga, "Mechanochemical Tuning of the Binaphthyl Conformation at the Air-Water Interface", *Angew. Chem. Int. Ed.* **54**, 8988 (2015).

Gradual and reversible tuning of the torsion angle of an amphiphilic chiral binaphthyl, from -90° to -80° , was achieved by application of a mechanical force to its molecular monolayer at the air-water interface. This 2D interface was an ideal location for mechanochemistry for molecular tuning and its experimental and theoretical analysis, since this lowered dimension enables high orientation of molecules and large variation in the area. A small mechanical energy ($<1 \text{ kcal mol}^{-1}$) was applied to the monolayer, causing a large variation ($>50\%$) in the area of the monolayer and modification of binaphthyl conformation. Single-molecule simulations revealed that mechanical energy was converted proportionally to torsional energy. Molecular dynamics simulations of the monolayer indicated that the global average torsion angle of a monolayer was gradually shifted.

- *38. K. Ariga, T. Mori, S. Ishihara, K. Kawakami, J.P. Hill, "Bridging the Difference to the Billionth-of-a-Meter Length Scale: How to Operate Nanoscopic Machines and Nanomaterials by Using Macroscopic Actions", *Chem. Mater.* **26**, 519 (2014).

Useful materials are generally required at the macroscale in bulk quantities, while nanotechnology handles nanosized objects. Fine functions based on nanoscopic systems operated by applying macroscopic

stimuli could become a key process to access nanotechnological functions in our everyday lives. To bridge the gulf in dimension between the macroscale and molecular or nanoscale, we must develop a new methodological paradigm. In this short review, both leading examples and novel challenges of nanosystem controls are described including (i) operation of single molecular machines, biochemical machines, and supramolecular machines; (ii) functional control of nanostructured materials by applying stimuli such as light and heat; (iii) mechanical control of nanomaterials and molecular machines. In the latter subject, the importance of dimensional coupling at an interfacial environment is emphasized.

研究成果 [20]

*39. C.V. Hoang, M. Oyama, O. Saito, M. Aono, T. Nagao, "Monitoring the Presence of Ionic Mercury in Environmental Water by Plasmon-Enhanced Infrared Spectroscopy", *Sci. Rep.* **3**, 1175 (2013).

We demonstrate the ppt-level single-step selective monitoring of the presence of mercury ions (Hg^{2+}) dissolved in environmental water by plasmon-enhanced vibrational spectroscopy. We combined a nanogap-optimized mid-infrared plasmonic structure with mercury-binding DNA aptamers to monitor in-situ the spectral evolution of the vibrational signal of the DNA induced by the mercury binding. Here, we adopted single-stranded thiolated 15-base DNA oligonucleotides that are immobilized on the Au surface and show strong specificity to Hg^{2+} . The mercury-associated distinct signal is located apart from the biomolecule-associated broad signals and is selectively characterized. For example, with natural water from Lake Kasumigaura (Ibaraki Prefecture, Japan), direct detection of Hg^{2+} with a concentration as low as 37 ppt (37×10^{-10} %) was readily demonstrated, indicating the high potential of this simple method for environmental and chemical sensing of metallic species in aqueous solution.

*40. K. Chen, B.B. Rajeeva, Z.L. Wu, M. Rukavina, T.D. Dao, S. Ishii, M. Aono, T. Nagao, Y.B. Zheng, "Moire Nanosphere Lithography", *ACS Nano* **9**, 6031 (2015).

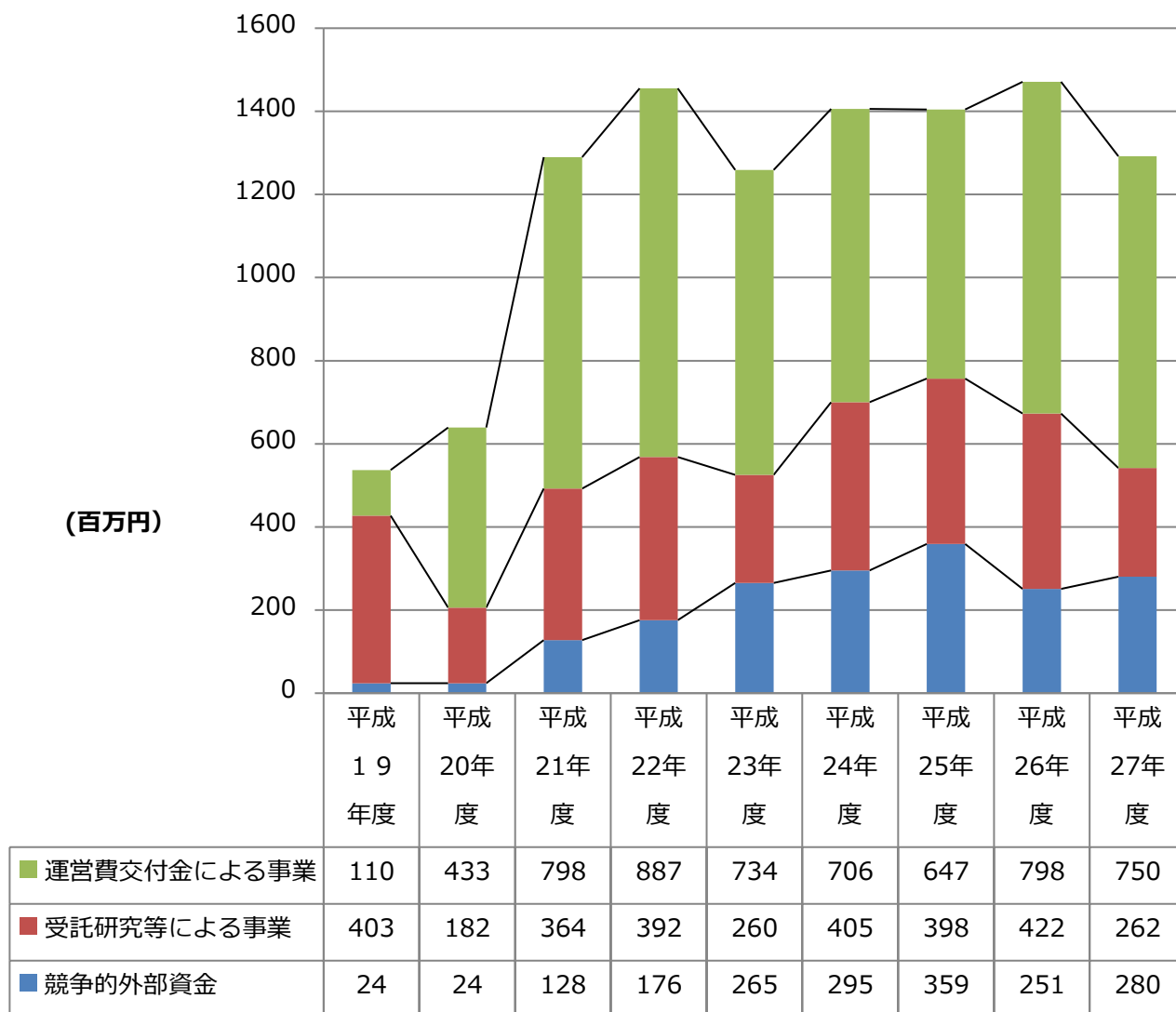
We have developed moiré nanosphere lithography (M-NSL), which incorporates in-plane rotation between neighboring monolayers, to extend the patterning capability of conventional nanosphere lithography (NSL). NSL, which uses self-assembled layers of monodisperse micro/nanospheres as masks, is a low-cost, scalable nanofabrication technique and has been widely employed to fabricate various nanoparticle arrays. Combination with dry etching and/or angled deposition has greatly enriched the family of nanoparticles NSL can yield. In this work, we introduce a variant of this technique, which uses sequential stacking of polystyrene nanosphere monolayers to form a bilayer crystal instead of conventional spontaneous self-assembly. Sequential stacking leads to the formation of moiré patterns other than the usually observed thermodynamically stable configurations. Subsequent O_2 plasma etching results in a variety of complex nanostructures. Using the etched moiré patterns as masks, we have fabricated complementary gold nanostructures and studied their optical properties. We believe this facile technique provides a strategy to fabricate complex nanostructures or metasurfaces.

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料2-2. 研究プロジェクト費獲得実績の推移

※研究プロジェクト費獲得実績の推移を棒グラフで表示すること。また特筆すべき研究資金について記載すること。

研究プロジェクト費獲得実績の推移



[特筆すべき研究資金]

JST Strategic Basic Research Programs (CREST)

- T. Sasaki: Next-generation electronics using inorganic nanosheets (2008) [Budget: 167,863,800 yen]
- K. Ariga: Dynamic interfacial nanotechnology (2009) [Budget: 88,465,000 yen]
- T. Hasegawa: Three-terminal nonvolatile device 'atom transistor' (2009) [Budget: 117,390,000 yen]
- T. Nagao: Control of interfacial electromagnetic field and utilization of thermal energy in the heterolayer of ceramics (2013) [Budget: 201,500,000 yen]
- T. Mori: Development of novel magnetic semiconductor thermoelectric materials and power generation devices (2015) [Budget: 150,000,000 yen]

JST Strategic Basic Research Programs (PRESTO)

- N. Fukata: Vertical three-dimensional semiconductor devices (2007) [Budget: 49,270,000 yen]
- Y. Tateyama: Reaction design for redox reactions on solid/solution interfaces (2007) [Budget: 44,265,000 yen]
- Y. Yamauchi: Next-generation magnetic record media (2008) [Budget: 106,600,000 yen]
- L. Sang: Multi-band engineering of III-Nitride for high efficiency photoelectricity energy conversion devices (2012) [Budget: 53,300,000 yen]
- N. Shirahata: Well-designed nanostructures of monolayers/semiconductors for environmentally-friendly optoelectronic applications (2013) [Budget: 52,000,000 yen]
- T. Nagata: Development of fluoride based universal high-k dielectric thin film materials (2014) [Budget: 41,730,000 yen]

MEXT/JSPS Grant-in-Aid for Scientific Research (A)

- K. Tsukagoshi: High-performance atomic film device (2009) [Budget: 47,060,000 yen]
- T. Nakayama: New functional scanning probes (2010) [Budget: 48,490,000 yen]
- A. Belik: Functional transition metal oxides (2010) [Budget: 47,970,000 yen]
- Y. Okawa: Measurement of functions of single molecular device wired by conductive macromolecular chain (2012) [Budget: 37,700,000 yen]
- T. Uchihashi: Development and control of superconductivity in super structure of semiconductor surface (2013) [Budget: 34,200,000 yen]
- N. Fukata: Control of carrier transport in core-shell heterojunction nanowires by site selective doping (2014) [Budget: 33,100,000 yen]
- T. Sasaki: Heteroassembly of 2D nanosheets to develop novel functionalities (2015) [Budget: 32,500,000 yen]

MEXT/JSPS Grant-in-Aid for Young Scientists (S)

- T. Nagao: Metallic nano-materials and infrared plasmons (2008) [Budget: 88,900,000 yen]

MEXT/JSPS Grant-in-Aid for Young Scientists (A)

- M. Ebara: Development of early detection method by on-site infection disease biomarker in low infrastructure regions (2013) [Budget: 18,500,000 yen]
- S. Moriyama: Observation of electron orbit and electromagnetic response of controlling element for a single relativistic particle (2013) [Budget: 19,600,000 yen]

Funding Program for Next-Generation World-Leading Researchers (NEXT Program)

- N. Fukata: Next-generation high efficiency solar cells using functionalized silicon nanostructures (2010) [Budget: 113,100,000 yen]

Adaptable and Seamless Technology transfer Program through target-driven R&D(A-STEP)

- T. Chikyow: Fabrication of ZnO green LED with super low electric power consumption on Si base (2011) [Budget: 20,800,000 yen]
- A. Yamamoto: Application of biodegradable metallic materials for bone fixing devices (2011) [Budget: 39,657,000 yen]
- T. Chikyow: Development of ferroelectric capacitor for next-generation power semiconductor enabling ultrahigh efficient energy conversion (2013) [Budget: 20,410,000 yen]

JST Revitalization Promotion Program

- G. Chen: Development of fabrication apparatus system for medical porous materials (2012) [Budget: 6,500,000 yen]

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料2-3. 主な受賞・招待講演・基調講演等一覧(2ページ以内)

1. 主要な賞の受賞

※既に受賞したあるいは内定している国際的に認知されている賞について新しいものから順に記載すること

※それぞれの受賞について、賞の名前、受賞年、受賞者名を記すこと。なお、共同受賞の場合には、拠点関係者に下線を記すこと

- 1) Katsuhiko ARIGA, Yoshio BANDO, Dmitri GOLBERG.G, Omar YAGHI and Zhong Lin WANG, Highly Cited Researchers (by Thomson Reuters), 2015
- 2) Dmitri GOLBERG, Seto Award (by the Microscopy Society of Japan), 2015
- 3) Katsuhiko ARIGA, Yoshio BANDO, Dmitri GOLBERG.G, Omar YAGHI and Zhong Lin WANG, Highly Cited Researchers (by Thomson Reuters), 2014
- 4) Guping CHEN, Fellow of the Royal Society of Chemistry (by the Royal Society), 2014
- 5) Hitoshi KAWAKITA, The Japan Institute of Metals and Material Meritorious Award (by the Japan Institute of Metals), 2014
- 6) Takako KONOIKE, Young Scientist's Encouragement Award (by the Physical Society of Japan), 2014
- 7) Yukio NAGASAKI, Award of the Japanese Society for Biomaterials (by the Japanese Society for Biomaterials), 2014
- 8) Zhong Lin WANG, James C. McGroddy Prize in New Materials (by the American Physical Society), 2014
- 9) Masakazu AONO, Nanoscience Prize (at ACSIN-12 conference), 2013
- 10) Katsuhiko ARIGA, Fellow of the Royal Society of Chemistry (by the Royal Society of Chemistry), 2013
- 11) Alexei BELIK, Young Scientist's Prize (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2013
- 12) Takayoshi SASAKI, Science and Technology Prize (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2013
- 13) Kazuhito TSUKAGOSHI, JSPS Prize (by the Japan Society for the Promotion of Science), 2013
- 14) Françoise M. WINNIK, SPSJ International Award (by the Society of Polymer Science, Japan, SPSJ), 2013
- 15) Yusuke YAMAUCHI, PCCP Prize (by the Chemical Society of Japan), 2013
- 16) Yusuke YAMAUCHI, Young Scientist's Prize (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2013
- 17) Genki YOSHIKAWA, Tsukuba Encouragement Prize for Young Researchers (by the Science and Technology Promotion Foundation of Ibaraki), 2013
- 18) Yoshio BANDO, Dmitri GOLBERG, Thomson Reuters Research Front Award (by Thomson Reuters), 2012
- 19) Takayoshi SASAKI, CSJ Academic Prize (by the Chemical Society of Japan), 2012
- 20) Satoshi TOMINAKA, Funai Research Incentive Award (by the FUNAI Foundation for Information Technology), 2012
- 21) Yusuke YAMAUCHI, Tsukuba Encouragement Prize for Young Researchers (by the Science and Technology Promotion Foundation of Ibaraki), 2012
- 22) Tadaaki NAGAO, Fellow of the Institute of Physics (by the Institute of Physics, UK), 2011
- 23) Tadaaki NAGAO, Naito Taisyun Memorial Award (by the Naito Taisyun Science and Technology Foundation), 2011
- 24) Jun NAKANISHI, Young Scientist's Prize (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2011
- 25) Katsunori WAKABAYASHI, PSJ Young Scientist Award (by the Physical Society of Japan), 2011
- 26) Zhong Lin WANG, MRS Medal (from Materials Research Society), 2011
- 27) Mark E. WELLAND, Knighthood in the Queen's Birthday Honors list (by Queen's Birthday Honors, UK), 2011
- 28) Françoise M. WINNIK, CIC Macromolecular Science and Engineering Award (by the Chemical Institute of Canada), 2011
- 29) Masakazu AONO, Feynman Prize in Nanotechnology (by the Foresight Institute, Palo Alto, USA), 2010
- 30) Katsuhiko ARIGA, Nice Step Researcher (by the Japan Science and Technology Agency), 2010
- 31) Tetsushi TAGUCHI, Award of the Adhesion Society of Japan (by the Adhesion Society of Japan),

2010

- 32) Kohei UOSAKI, CSJ Award (by the Chemical Society of Japan), 2010
- 33) Katsunori WAKABAYASHI, Young Scientists's Award (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2010
- 34) Daisuke FUJITA, Ichimura Award (by the New Technology Development Foundation, Japan), 2009
- 35) James K. GIMZEWSKI, Fellow of the Royal Society, FRS (by the Royal Society, London, UK), 2009
- 36) James K. GIMZEWSKI, Institute of Electronic Technology, AWARD to honor 10 Millionth Record Inspection, London, UK, 2009
- 37) Kazuhiro HONO, Honda Frontier Award (by the Honda Memorial Foundation), 2009
- 38) Naoki OHASHI, Richard M. Fulrath Award (by the American Ceramics Society), 2009
- 39) Kohei UOSAKI, Fellow of the Electrochemical Society (by the Electrochemical Society), 2009
- 40) Yoshio BANDO, Fellow of the American Ceramic Society (by the American Ceramic Society), 2008
- 41) Kenji KITAMURA, Inoue Harushige Award (by Japan Science and Technology Agency), 2008
- 42) Takayoshi SASAKI, Minoru OSADA, Tsukuba Prize (by the Science and Technology Promotion Foundation of Ibaraki), 2008
- 43) Kohei UOSAKI, Fellow of the International Society of Electrochemistry (by the International Society of Electrochemistry), 2008

2. 国際会議・国際研究集会での招待講演・基調講演等

※主要なもの20件以内について新しいものから順に記載すること

※それぞれの講演等について、講演者名、発表タイトル、国際会議等名、開催年を記載すること

- 1) Takayoshi SASAKI, Preparation of molecularly thin 2D titania nanosheets and their organization into functional materials, MRS Spring Meeting & Exhibit, April 6- 10, 2015
- 2) Yutaka WAKAYAMA, Molecules meet Si bridging single-molecular function with practical device, Trends in Nanotechnology International Conference, Sept 8- 11, 2015
- 3) Dmitri GOLBERG, Recent advances in boron nitride and dichalcogenide nanotubes and nanosheets, MRS Spring Meeting and Exhibit, Aug.24- 30, 2014
- 4) Jonathan HILL, Porphyrins Assembled at Surfaces: Hydrogen-bonding and binary systems, 225th Electrochemical Society Meeting, May 11- 16, 2014
- 5) Minoru OSADA, Molecular Thin film technology based on 2D oxide nanosheets, 13th International Ceramic Congress, June 8- 12, 2014
- 6) Masakazu AONO, Controlling single atoms and molecules at solid surfaces and interfaces, 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Nov 5 -8, 2013
- 7) Zhong Lin WANG, Nanogenerators as new energy technology and piezotronics for Functional Systems, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, Sep 9- 12, 2013
- 8) Françoise M. WINNIK, Functions of self -assembled soft materials designed through materials nanoarchitectonics, 175th Anniversary Symposium of the Finnish Society of Sciences and Letters, Sep 1- 2, 2013
- 9) James K. GIMZEWSKI, Atomic switch networks: dynamical systems for universal computation, Discussion Workshop: New Horizons in Electrochemistry- at the Boundary to Physics and Materials Science, Aug 26- 28, 2013
- 10) Naoki FUKATA, Doping and characterization of impurity atoms in Si and Ge nanowires, E-MRS, May 27- 31, 2013
- 11) Katsuhiko ARIGA, Two-dimensional nanoarchitectonics: clay, graphene and nanoflake in assembly, 245th American Chemical Society National Meeting & Exposition, Apr 7- 11, 2013
- 12) Tomonobu NAKAYAMA, Multiple-probe scanning probe microscopes for nanosystems research, The 6th International Conference on Advanced Materials and Nano, Feb 11- 15, 2013
- 13) Tadaaki NAGAO, Plasmons in atomic-scale/nanoscale objects and their applications, The 7th International Conference on Photonics and Applications, Nov 26- 29, 2012
- 14) Katsunori WAKABAYASHI, Electronic transport and magnetic properties of graphene nanoribbons, The International Union of Materials Research Societies – International Conference on Electronic Materials 2012, Sep 23- 28, 2012
- 15) Kohei UOSAKI, Formation and structural determination of 'confined molecular catalysts' on and within molecular layers formed on Si(111) surface with direct Si-C bond for photoelectrochemical hydrogen generation and CO₂ reduction, American Chemistry Society National Meeting & Exposition, Aug 19- 23, 2012

- 16) Xiao HU, Majorana fermion in topological superconductor, 11th International Conference on Condensed Matter Theory, Aug 12- 15, 2012
- 17) Dmitri GOLBERG, In situ TEM measurements of nanotube and nanosheet properties, Microscopy and Microanalysis 2012, Jul 29- Aug 2, 2012
- 18) Takao MORI, Nanostructured borides and perspectives of high temperature thermoelectric materials, Materials Research Society Spring Meeting 2012, Apr 9- 13, 2012
- 19) Yoshio BANDO, Novel synthesis and property of BN nanotubes and nanosheets, Pacificchem 2010, Dec 15- 20, 2010
- 20) Takayoshi SASAKI, Layer-by-layer assembly of transition metal oxide nanosheets into ultrathin functional films, 12th International Ceramics Congress, Jun 6- 11, 2010

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料2-4. アウトリーチ活動一覧

※以下の表を用いて、平成19～27年度のアウトリーチに関する活動実績（件数、回数）を整理すること。

種 別	H19年度実績 (件数、回数)	H20年度実績 (件数、回数)	H21年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	0	1	3
一般向け講演会・セミナー	0	0	0
小・中・高向けの授業・実験・実習	0	0	0
サイエンスカフェ	0	0	0
一般公開	0	1	1
イベント参加・出展	0	0	0
プレスリリース	5	4	4

種 別	H22年度実績 (件数、回数)	H23年度実績 (件数、回数)	H24年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	3	4	5
一般向け講演会・セミナー	0	7	7
小・中・高向けの授業・実験・実習	2	12	12
サイエンスカフェ	1	0	1
一般公開	1	2	2
イベント参加・出展	2	3	2
プレスリリース	27	11	21

種 別	H25年度実績 (件数、回数)	H26年度実績 (件数、回数)	H27年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	3	4	5
一般向け講演会・セミナー	0	7	7
小・中・高向けの授業・実験・実習	2	12	12
サイエンスカフェ	1	0	1
一般公開	1	2	2
イベント参加・出展	2	3	2
プレスリリース	27	11	21

平成19～平成27年度の主な研究成果等に係るメディア報道一覧(2ページ以内)

※プレスリリース・取材などの結果、平成19～27年度に報道された記事（特に海外メディア）等について主なものを精選すること

1) 国内

番号	日 時	媒体名 (新聞、雑誌、テレビ等)	内 容 概 略
1	2008. 07. 11 2008. 07. 15 2008. 07. 17 2008. 07. 22 2008. 07. 25 2008. 11. 22	化学工業日報、常陽新聞・ 化学工業時報、日本経済新 聞、日刊工業新聞、化学新 聞、朝日新聞	高性能で安定な可視光型光触媒の開発に成功した。(金 葉花)
2	2008. 07. 16	茨城新聞・常陽新聞・毎日 新聞・日刊工業新聞・日経 産業新聞・産経新聞	佐々木高義PIと長田実MANA研究者が「無機ナノシート の創製とその集積化による機能性材料の開発」について 第19回つくば賞を受賞した。(佐々木高義・長田実)
3	2008. 12. 11	NHKテレビ	MANAがNHK『おはよう日本』でWPI拠点として紹介さ れた。
4	2009. 09. 29	日本経済新聞	板東義雄COOがインタビューを受け、MANAとICYSの国 際化について説明した。(板東義雄)
5	2010. 01. 31 2010. 02. 04	NHKテレビBS-1 NHKテレビBS-hi	James Gimzewski PIがNHK『未来への提言 ナノテク 革命が世界を変える』にて紹介された。(James Gimzewski)

6	2011. 01. 01	NHKテレビ	葉金花PIと山内悠輔独立研究者の研究がNHKスペシャル『2011ニッポンの生きる道』で紹介された。(葉金花・山内悠輔)
7	2011.06.27 2011.07.08	茨城新聞・毎日新聞・日刊工業新聞・日本経済新聞・日経産業新聞、 科学新聞	カリフォルニア大学ロサンゼルス校(アメリカ)と共同で、脳の神経活動の特徴である2つの現象「必要な情報の記憶」と「不要な情報の忘却」をたった一つの素子で自律的に再現する新しい素子“シナプス素子”を開発した。(長谷川剛)
8	2011.12.20 2011.12.26 2012.01.16 2012.01.27	化学工業日報・日刊工業新聞、日本経済新聞・日経産業新聞、朝日新聞、 科学新聞	無数のナノ細孔(メソポーラス)をプルシアンブルーの結晶構造体中に形成させることに成功した。(山内悠輔)
9	2012.01.01	NHK BSプレミアム	「ナノレボリューション」の第1回放送「"原子"が暮らしを変える」にて、MANAの研究が紹介された。(青野正和・James Gimzewski・吉川元起)
10	2012.12.21 2012.12.22	朝日新聞、 読売新聞	セシウム存在位置をミリメートル以下の精度で可視化することに成功した。(有賀克彦)
11	2013.02.11 2013.03.05 2013.03.22 2013.06.07	朝日新聞、 日刊工業新聞、 科学新聞、 ニュートン	人が与える力に応答して薬物を放出するゲル材料の開発に成功した。(有賀克彦)
12	2013.06.15 2013.06.17 2013.06.19 2013.06.27 2013.06.28 2013.07.16	毎日新聞・日本経済新聞・東京新聞・読売新聞、化学工業日報・日刊工業新聞・日経産業新聞、やじうまテレビ(テレビ朝日)、朝日新聞、科学新聞、おはよう日本・首都圏版(NHK総合)	癌の温熱療法と化学療法を同時に実現させることが可能なナノファイバーのメッシュを開発した。(荏原充宏)
13	2014.02.20 2014.02.22	化学工業日報・茨城新聞、 日刊工業新聞・日本経済新聞・産経新聞、読売新聞	人工透析に代わる、腕時計型のカートリッジを使用した携帯用の血液浄化システムを開発した。(荏原充宏)
14	2014. 04. 08	日刊産業新聞	NIMS一般公開にて「ナノ戦隊スマポレンジャー」を出展

	2014. 04.18 2014. 04. 21 2014. 11. 13	日本経済新聞 産経新聞 茨城新聞	し、生体材料スマートポリマーを一般市民にわかりやすく説明した。
15	2014. 05. 12 2014. 05. 13 2014. 05. 20 2014. 05. 30	日刊工業新聞・日経産業新聞、化学工業日報、日刊産業新聞、科学新聞	有機薄膜トランジスタを加熱することなく室温で印刷によって形成する技術を開発した。(三成剛生)
16	2014. 06. 17 2014. 06. 18 2014. 06. 20 2014. 07. 11	化学工業日報・茨城新聞・NHK TV・日本経済新聞・読売新聞、朝日新聞・日刊工業新聞・東京新聞、常陽新聞・産経新聞、科学新聞	セシウムを吸収した植物の、細胞内でのセシウム分布の可視化に世界で初めて成功した。(有賀克彦)
17			均一で規則的なナノ空間を持つ、金ナノ多孔体の開発に成功した。(山内悠輔)
18	2015. 09. 30 2015. 10. 01 2015. 10. 07 2015. 10. 29 2016. 01. 01 2016. 01. 09 2016. 01. 15	化学工業日報・日刊工業新聞、化学工業日報、日経産業新聞、毎日新聞、日刊工業新聞、読売新聞、読売新聞	NIMS、京セラ、大阪大学、NEC、住友精化、NanoWorldの6機関が共同で、超小型センサー素子「MSS」を用いた二オイ分析センサーシステムの実用化・普及を加速させるために業界標準を目指す「MSSアライアンス」を発足した。(吉川元起)
19	2016. 03. 13	TBSテレビ	TBS『夢の扉』で荏原充宏准主任研究者がとりあげられ、スマートポリマーについての研究等が紹介された。(荏原充宏)

2) 海外

番号	日時	媒体名 (新聞、雑誌、テレビ等)	内容概略
1	2012. 09. 28	Science Vol. 337	コラム「サテライトラボが科学を広げる」にて、世界中の優秀な研究者と協同するための海外ラボ運営について紹介した。(Omar Yaghi)
2	2013. 03. 16	カナダ放送協会	NHKとの国際共同制作番組として「ナノレボリューション」が放映された。(James Gimzewski)

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料3. 主要な融合研究論文の一覧

※融合研究の成果を裏付ける論文のうち代表的なもの20編以内を挙げ、それぞれについて10行以内で解説すること。
 ※それぞれの論文は箇条書きとし、著者名・発行年・雑誌名・巻号・掲載ページ・タイトルを記載すること。(記載順番は様式中で統一してあればこの限りではない) なお、著者が複数ある場合には、拠点の研究者に下線を記すこと。
 ※著者が多数(10名以上)の場合は、全著者名を記載する必要はない。

1. F. Geng, R. Ma, A. Nakamura, K. Akatsuka, Y. Ebina, Y. Yamauchi, N. Miyamoto, Y. Tateyama, and T. Sasaki, "Unusually stable ~100-fold reversible and instantaneous swelling of inorganic layered materials", *Nature Commun.* **4**, 1632 (2013).

A massive monolithic swelling of layered materials has been achieved in aqueous solution of 2-dimethylaminoethanol (DMAE), which was up to 100-fold with the gallery spacing increased from 0.9 nm to 90 nm. With quantitative analysis, it was determined that the largely expanded space was primarily occupied with H₂O along with minor trace of the DMAE. The swollen phase was unusually stable with no obvious observation of peeling or translational shifts during the swelling process, maintaining a nearly perfect three-dimensional lattice structure of >3000 layers. First-principle simulations of the molecules in the gallery yielded a long-range directional structuring of the H₂O molecules that may help to stabilize the highly swollen structure. The crystals could also instantaneously shrink back to their original sizes.

2. J.J. Li, N. Kawazoe, G.P. Chen, "Gold nanoparticles with different charge and moiety induce differential cell response on mesenchymal stem cell osteogenesis", *Biomater.* **54**, 226 (2015).

Stem cells exist in an *in vivo* microenvironment that provides biological and physiochemical cues to direct cell fate decisions. How the stem cells sense and respond to these cues is still not clearly understood. Gold nanoparticles (AuNPs) have been widely used for manipulation of cell behavior due to their ease of synthesis and versatility in surface functionalization. In this study, AuNPs with amine (AuNP-NH₂), carboxyl (AuNP-COOH) and hydroxyl (AuNP-OH) functional groups possessing different surface charge were synthesized. Human bone marrow-derived mesenchymal stem cells (hMSCs) were treated with the surface functionalized AuNPs and assessed for cell viability and osteogenic differentiation ability. The surface functionalized AuNPs were well tolerated by hMSCs and showed no acute toxicity. Positively charged AuNPs showed higher cellular uptake. These results provide some insight on the influence of surface functionalized AuNPs on hMSCs behavior and the use of these materials for strategic tissue engineering.

3. R.Y. Yan, M. Chen, H. Zhou, T. Liu, X.W. Tang, K. Zhang, H.X. Zhu, J.H. Ye, D. Zhang, T.X. Fan, *Bio-inspired Plasmonic Nanoarchitected Hybrid System Towards Enhanced Far Red-to-Near Infrared Solar Photocatalysis*, *Sci. Rep.* **6**, 20001 (2016).

Solar conversion to fuels or to electricity in semiconductors using far red-to-near infrared (NIR) light, which accounts for about 40% of solar energy, is highly significant. One main challenge is the development of novel strategies for activity promotion and new basic mechanisms for NIR response. Mother Nature has evolved to smartly capture far red-to-NIR light via their intelligent systems due to unique micro/nanoarchitectures, thus motivating us for biomimetic design. Here we report the first demonstration of a new strategy, based on adopting nature's far red-to-NIR responsive architectures for an efficient bio-inspired photocatalytic system. The system is constructed by controlled assembly of light-harvesting plasmonic nanoantennas onto a typical photocatalytic unit with butterfly wings' 3D micro/nanoarchitectures. This proof-of-concept study provides a new methodology for NIR photocatalysis and would potentially guide future conceptually new NIR responsive system designs.

4. M. Osada, G. Takanashi, B. W. Li, K. Akatsuka, Y. Ebina, K. Ono, H. Funakubo, K. Takada, T. Sasaki, "Controlled polarizability of one-nanometer-thick oxide nanosheets for tailored, high-κ nano-dielectrics", *Adv. Funct. Mater.* **22**, 3482 (2011).

The ever-increasing requirements on smaller, higher-performance electronic devices result in efforts to incorporate new materials into microelectronics, in order to overcome the physical limits of current materials. In this context, the latest Semiconductor Roadmap predicts the implementation of high- κ ultrathin films (< 10 nm) in future applications. In this paper, we reported a rational approach to produce high performance nanodielectrics using 1-nm-thick oxide nanosheets. In titanio-niobate nanosheets (TiNbO_5 , Ti_2NbO_7 , $\text{Ti}_5\text{NbO}_{14}$), the octahedral distortion inherent to site engineering by Nb incorporation resulted in a giant molecular polarizability, and their multilayer nanofilms exhibited high dielectric constant (160–320), the largest value being seen so far in high- κ nanofilms with the thickness down to 10 nm. Furthermore, these nanosheets offered simultaneous improvements in temperature dependence, lower loss and leakage current. Our work provides a new recipe for designing nanodielectrics desirable for practical high- κ devices.

5. M. Osada, T. Sasaki, "Two-dimensional dielectric nanosheets: Novel nanoelectronics from nano-crystal building blocks", *Adv. Mater.* **24**, 210 (2012).

Two-dimensional (2D) nanosheets, which possess atomic or molecular thickness and infinite planar lengths, are attractive for the use in next-generation nanoelectronics. Despite significant advances in graphene-like 2D materials, it remains a challenge to explore high- κ dielectric counterparts of graphene, which are essential for many devices such as memories, capacitors, and gate devices. In this paper, we review the progress made in 2D dielectric oxide nanosheets, highlighting emerging functionalities in electronic applications. Ti- and perovskite-based nanosheets exhibit the highest permittivity ($\epsilon_r = 210\sim 320$) ever realized in all known dielectrics in the ultrathin region (< 10 nm). A layer-by-layer engineering using these oxide nanosheets promises unique possibilities in the design of thin-film device architectures, such as capacitors, transistors, artificial ferroelectrics and spin-electronics. Graphene is only the tip of the iceberg, and we are now starting to discover new possibilities afforded by 2D oxides.

6. T. Ohno, T. Hasegawa, T. Tsuruoka, K. Terabe, J. K. Gimzewski, M. Aono, "Short-term plasticity and long-term potentiation mimicked in single inorganic synapses", *Nature Mater.* **10**, 591 (2011).

Memory is believed to occur in the human brain as a result of two types of synaptic plasticity: short-term plasticity (STP) and long-term potentiation. In neuromorphic engineering, emulation of known neural behavior has proven to be difficult to implement in software because of the highly complex interconnected nature of thought processes. In this study, we have succeeded in emulating the synaptic behavior using a single Ag_2S -based atomic switch. The synaptic functions of both STP and LTP characteristics through the use of input pulse repetition time were demonstrated. The results have attracted much attention because it achieves dynamic memorization in a single device without the need of external preprogramming, indicating a potential for the further creation of artificial neural systems that emulate characteristics of human memory.

7. R. Yang, K. Terabe, G. Liu, T. Tsuruoka, T. Hasegawa, J. K. Gimzewski, M. Aono, "On-demand nanodevice with electrical and neuromorphic multifunction realized by local ion migration", *ACS Nano* **6**, 9515 (2012).

In this paper, electrical and neuromorphic multifunctions were demonstrated using a WO_{3-x} -based gapless-type atomic switch, in which migration of oxygen ions are controlled. The device showed a wide range of time scales of memorization, resistance switching, and rectification varying from volatile to permanent in a single device. The device, showing on-demand electrical and neuromorphic multifunction, has a unique paradigm shifting potential for the fabrication of configurable circuits, analog memories, digital neural fused networks, and more in one device architecture.

8. S. Yoshizawa, H. Kim, T. Kawakami, Y. Nagai, T. Nakayama, X. Hu, Y. Hasegawa, T. Uchihashi, "Imaging Josephson Vortices on the Surface Superconductor $\text{Si}(111)-(\sqrt{7} \times \sqrt{3})\text{-In}$ using a Scanning Tunneling Microscope", *Phys. Rev. Lett* **113**, 247004 (2014).

We have studied the superconducting $\text{Si}(111)-(\sqrt{7}\times\sqrt{3})-\text{In}$ surface using a ^3He -based low-temperature scanning tunneling microscope. Zero-bias conductance images taken over a large surface area reveal that vortices are trapped at atomic steps after magnetic fields are applied. The crossover behavior from Pearl to Josephson vortices is clearly identified from their elongated shapes along the steps and significant recovery of superconductivity within the cores. Our numerical calculations combined with experiments clarify that these characteristic features are determined by the relative strength of the interterrace Josephson coupling at the atomic step.

9. A.Z. Stieg, A. V. Avizienis, H.O. Sillin, C. Martin-Olmos, M. Aono, J. K. Gimzewski, "Emergent criticality in complex Turing B-type atomic switch networks", *Adv. Mater.* **24**, 286 (2012).

The operation of atomic switches as individual synapse-like devices has demonstrated the ability to process information with both short-term and long-term memorization in a single two terminal junction. In this paper, atomic switches were self-assembled within a highly interconnected network of silver nanowires similar in structure to Turing's "B-Type unorganized machine". These atomic switch networks (ASN) exhibited emergent criticality similar in nature to previously reported electrical activity of neuronal assemblies. Rapid fluctuations in electrical conductance display power law scaling of temporal correlation lengths that were attributed to dynamic reorganization of the interconnected electroionic network. These collective properties indicate a potential utility for real-time, multi-input processing of distributed sensory data through reservoir computing. We proposed these highly coupled, nonlinear electronic networks as an implementable hardware-based platform toward the creation of physically intelligent machines.

10. T. Kawakami, X. Hu, "Evolution of Density of States and a Spin-Resolved Checkerboard-Type Pattern Associated with the Majorana Bound State", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 177001 (2015).

In terms of the Bogoliubov–de Gennes approach, we investigate the Majorana bound state (MBS) in a vortex of proximity-induced superconductivity on the surface of a topological insulator. Mapping out the local density of states (LDOS) of quasiparticle excitations as a function of energy and distance from the vortex center, it is found that the spectral distribution evolves from a V shape to a Y shape with the emergence of a MBS upon variation of the chemical potential, consistent with the STM/STS measurement in a very recent experiment [Xu et al., *Phys. Rev. Lett.* 114, 017001 (2015)] on a Bi_2Te_3 thin layer on the top of NbSe_2 . Moreover, we demonstrate that there is a checkerboard-type pattern in the relative LDOS between the spin-up and -down channels, where the quantum mechanical wave function of the MBS manifests itself clearly as a single quantum state. Therefore, a spin-resolved STM/STS technique is expected to be able to provide phase-sensitive evidence for a MBS in the vortex core of a topological superconductor.

11. Y.J. Kim, M. Ebara, T. Aoyagi, "A smart hyperthermia nanofiber with switchable drug release for inducing cancer apoptosis", *Adv. Func. Mater.* **23**, 5753 (2013).

A smart hyperthermia nanofiber is described with simultaneous heat generation and drug release in response to 'on-off' switching of alternating magnetic field (AMF) for induction of skin cancer apoptosis. The nanofiber is composed of a chemically-crosslinkable temperature-responsive polymer with an anticancer drug (doxorubicin; DOX) and magnetic nanoparticles (MNPs), which serve as a trigger of drug release and a source of heat, respectively. The 70% of human melanoma cells died in only 5 min application of AMF in the presence of the MNPs and DOX incorporated nanofibers by double effects of heat and drug. Taken together these advantages on both the nano- and macroscopic scale of nanofibers demonstrate that the dynamically and reversibly tunable structures have the potential to be utilized as a manipulative hyperthermia material as well as a switchable drug release platform by simple switching an AMF 'on' and 'off'.

12. M. Arita, D.R. Bowler, T. Miyazaki, "Stable and Efficient Linear Scaling First-Principles Molecular Dynamics for 10000+Atoms", *J. Chem. Theory and Comput.* **10**, 5419 (2014).

The recent progress of linear-scaling or $O(N)$ methods in density functional theory (DFT) is remarkable. Given this, we might expect that first-principles molecular dynamics (FPMD) simulations based on DFT could treat more realistic and complex systems using the $O(N)$ technique. However, very few examples of $O(N)$ FPMD simulations exist to date, and information on the accuracy and reliability of the simulations is very limited. In this paper, we show that efficient and robust $O(N)$ FPMD simulations are now possible by the combination of the extended Lagrangian Born–Oppenheimer molecular dynamics method, which was recently proposed by Niklasson (*Phys. Rev. Lett.* 2008, 100, 123004), and the density matrix method as an $O(N)$ technique. Using our linear-scaling DFT code Conquest, we investigate the reliable calculation conditions for accurate $O(N)$ FPMD and demonstrate that we are now able to do practical, reliable self-consistent FPMD simulations of a very large system containing 32768 atoms.

13. G. Yoshikawa, T. Akiyama, S. Gautsch, P. Vettiger, H. Rohrer, "Nanomechanical membrane-type surface stress sensor", *Nano Letters* **11**, 1044 (2011).

In this paper, we presented a membrane-type surface stress sensor (MSS), which is based on the piezoresistive read-out integrated in the sensor chip. The MSS originates from a conventional cantilever structure, while we found that the membrane-based structure can achieve much better performance. Evaluation of a prototype MSS used in the present experiments demonstrates a high sensitivity which is comparable with that of optical methods and a factor of more than 20 higher than that obtained with a standard piezoresistive cantilever. The finite element analyses indicate that changing dimensions of the membrane and beams can substantially increase the sensitivity further. Given the various conveniences and advantages of the integrated piezoresistive read-out, this platform is expected to open a new era of surface stress-based sensing..

14. G. Yoshikawa, F. Loizeau, C. J. Lee, T. Akiyama, K. Shiba, S. Gautsch, T. Nakayama, P. Vettiger, N. F. de Rooij, M. Aono, "Double-side-coated nanomechanical membrane-type surface stress sensor (MSS) for one-chip- one-channel setup", *Langmuir* **29**, 7551 (2013).

One of the major issues of nanomechanical sensors is the difficulty of coating receptor layers on their surfaces to which target molecules adsorb or react. To have measurable deflection, a single-side coating is commonly applied to cantilever-type geometry, and it requires specific methods or protocols, such as inkjet spotting or gold–thiol chemistry. In this paper, we demonstrated the feasibility of the double-side coating on a membrane-type surface stress sensor (MSS) and verify its working principle by both finite element analysis (FEA) and experiments. In addition, simple hand-operated dip coating is demonstrated as a proof of concept, achieving practical receptor layers without any complex instrumentation. The compatibility with double-side coating enables MSS to be applied to most standard assays in medical and biological fields.

15. H. Zhou, J. Guo, P. Li, Tongxiang Fan, Di Zhang, J. Ye, "Leaf-architected 3D hierarchical artificial photosynthetic system of perovskite titanates towards CO₂ photoreduction into hydrocarbon fuels", *Sci. Rep.* **3**, 1667 (2013).

As a nano-life science-inspired nanoarchitectonics, here we report an unique strategy for constructing a promising 3D artificial photosynthetic system (APS) for efficient CO₂ photoreduction into hydrocarbon fuels. Natural leaf is a synergy of complex architectures and functional components to produce an amazing bio-machinery for photosynthesis. Mimicking the structural and functional elements in the natural photosynthesis should be promising to achieve an efficient artificial photosynthetic system. In this work, by using leaves of cherry tree as the template, we have successfully fabricated perovskite titanates (e.g., SrTiO₃, CaTiO₃) with a modified sol-gel method. After acid treatment and calcination at 600°C, organics could be removed completely, leaving crystalline perovskite titanates. The obtained material preserves the morphological features of leaf at multi-scaled levels. It was found that leaf-architected SrTiO₃ exhibits about a 3.5~4 fold improvement in activities than the referenced SrTiO₃ synthesized without templates. A further mechanism study revealed that the enhanced conversion efficiency of CO₂ into hydrocarbon fuels can be attributed to the synergistic effect

of efficient mass flow/light harvesting network relying on the morphological replacement of a concept prototype-leaf's 3D architecture..

16. Z. Yi, J. Ye, N. Kikugawa, T. Kako, S. Ouyang, H. Stuart-Williams, H. Yang, J. Cao, W. Luo, Z. Li, Y. Liu, R. L. Withers, "An orthophosphate semiconductor with photooxidation properties under visible-light irradiation", *Nature Mater.* **9**, 559 (2010).

The search for active semiconductor photocatalysts that directly split water under visible-light irradiation remains one of the most challenging tasks for solar-energy utilization. Over the past 30 years, the search for such materials has focused mainly on metal-ion substitution as in $\text{In}_{1-x}\text{Ni}_x\text{TaO}_4$ and (V-, Fe- or Mn-) TiO_2 , non-metal-ion substitution as in $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$ and $\text{Sm}_2\text{Ti}_2\text{O}_5\text{S}_2$ or solid-solution fabrication as in $(\text{Ga}_{1-x}\text{Zn}_x)(\text{N}_{1-x}\text{O}_x)$ and $\text{ZnS}-\text{CuInS}_2-\text{AgInS}_2$. Here we report a new photocatalyst Ag_3PO_4 , which was developed by incorporating p block element into a simple AgO oxide with narrow band gap. The new photocatalyst showed extremely high quantum yield ($\sim 90\%$ at 420 nm) towards water oxidation, which is one of the key process for artificial photosynthesis, under visible light irradiation. The obtained quantum yield marked the world's highest record, approaching that in natural photosynthesis. The new photocatalyst also showed amazing activity in decomposition of organic contaminants in aqueous solution. This study not only supplies a new strategy for developing highly efficient visible-light-driven photocatalysts, but also shows a great step towards the realization of an artificial photosynthetic system.

17. N. Fukata, M. Yu, W. Jevasuwan, T. Takei, Y. Bando, W. Wu, Z.L. Wang, "Clear Experimental Demonstration of Hole Gas Accumulation in Ge/Si Core-Shell Nanowires", *ACS Nano* **9**, 12182 (2015).

Selective doping and band-offset in germanium (Ge)/silicon (Si) core-shell nanowire (NW) structures can realize a type of high electron mobility transistor structure in one-dimensional NWs by separating the carrier transport region from the impurity-doped region. Precise analysis, using Raman spectroscopy of the Ge optical phonon peak, can distinguish three effects: the phonon confinement effect, the stress effect due to the heterostructures, and the Fano effect. The Fano effect is the most important to demonstrate hole gas accumulation in Ge/Si core-shell NWs. Using these techniques, we obtained conclusive evidence of the hole gas accumulation in Ge/Si core-shell NWs. The control of hole gas concentration can be realized by changing the B-doping concentration in the Si shell.

18. T. Uchihashi, P. Mishra, M. Aono, T. Nakayama, "Macroscopic superconducting current through a silicon surface reconstruction with indium adatoms: $\text{Si}(111)-(\sqrt{7}\times\sqrt{3})-\text{In}$ ", *Phys. Rev. Lett.* **107**, 207001 (2011). [Highlighted as an Editor's Suggestion and a Viewpoint in Physics].

Macroscopic and robust supercurrents are observed by direct electron transport measurements on a silicon surface reconstruction with In adatoms [$\text{Si}(111)-(\sqrt{7}\times\sqrt{3})-\text{In}$]. The superconducting transition manifests itself as an emergence of the zero resistance state below 2.8 K. $I-V$ characteristics exhibit sharp and hysteretic switching between superconducting and normal states with well-defined critical and retrapping currents. The two-dimensional (2D) critical current density $J_{2D,c}$ is estimated to be as high as 1.8 A/m at 1.8 K. The temperature dependence of $J_{2D,c}$ indicates that the surface atomic steps play the role of strongly coupled Josephson junctions.

19. Q. Liang, L. Wu, X. Hu, "Electrically tunable topological state in [111] perovskite materials with an antiferromagnetic exchange field", *New J. Phys.* **15**, 063031 (2013).

We propose a scheme of band engineering by means of staggered electric potential, anti-ferromagnetic exchange field and spin-orbital coupling for electrons on a honeycomb lattice. With fine control on the degrees of freedom of spin, sublattice and valley, one can achieve a topological state with simultaneous non-zero charge and spin Chern numbers. In terms of first principles calculations, we demonstrate that the scheme can be realized by material modification to perovskite G-type antiferromagnetic insulators, such as LaCrO_3 grown along the [111] direction, where Dirac electrons are contributed from Au^{+3} ions which replace Cr ions on an atomic sheet of buckled honeycomb lattice.

In a finite sample, this state provides a spin-polarized zero-resistance edge current optimally up to room temperature, robust to both non-magnetic and magnetic defects. The spin polarization is reversible by electric field while the whole system does not show net magnetization, which is extremely ideal for spintronics.

20. T. Tsuchiya, K. Terabe, M. Aono, "All-solid-state electric-double-layer transistor based on oxide ion migration in Gd-doped CeO₂ on SrTiO₃ single crystal", *Appl. Phys. Lett.* **103**, 073110 (2013).

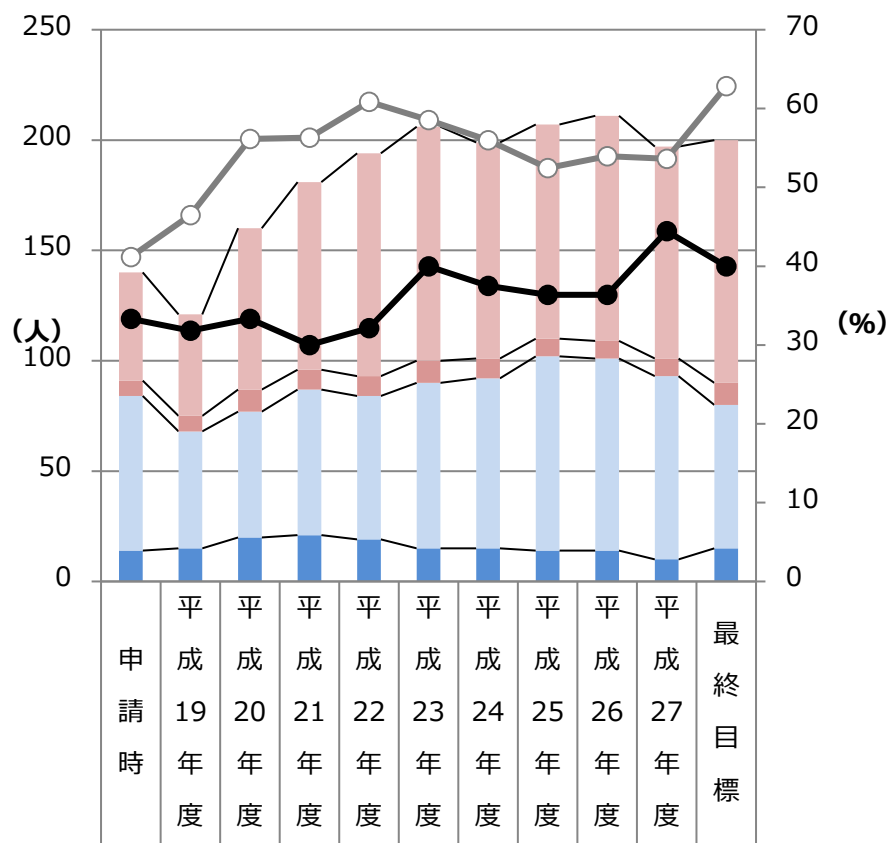
An all-solid-state electric-double-layer transistor (EDLT) with a Gd-doped CeO₂ (GDC) oxide ionconductor/SrTiO₃ (STO) insulator structure has been developed. At 473 K, the drain current of the EDLT was well controlled, from less than nA order to μ A order, by electrostatic carrier doping at the GDC/STO interface due to oxide ion (O²⁻) migration in the GDC, in contrast to an inactiveness at room temperature. The EDL capacitance at the interface, measured with an AC impedance spectroscopy, was 14 μ F cm⁻², higher than that reported for a microporous-SiO₂ EDLT and comparable to that of an ionic-liquid-gated EDLT.

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4-1. 全研究者中の外国人研究者数とその比率の推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。

外国人研究者比率とその年次推移



■ その他研究者：外国人	49	46	73	85	101	106	98	97	102	96	110
■ 外国人PI	7	7	10	9	9	10	9	8	8	8	10
■ その他研究者：日本人	70	53	57	66	65	75	77	88	87	83	65
■ 日本人PI	14	15	20	21	19	15	15	14	14	10	15
● 外国人PI比率 (%)	33.3	31.8	33.3	30.0	32.1	40.0	37.5	36.4	36.4	44.4	40.0
○ その他外国人研究者比率 (%)	41.2	46.5	56.2	56.3	60.8	58.6	56.0	52.4	54.0	53.6	62.9

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4-2. ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況

・応募人数、採用人数の欄の下段に<外国人研究者数,%>としてそれぞれ内数を記載すること。

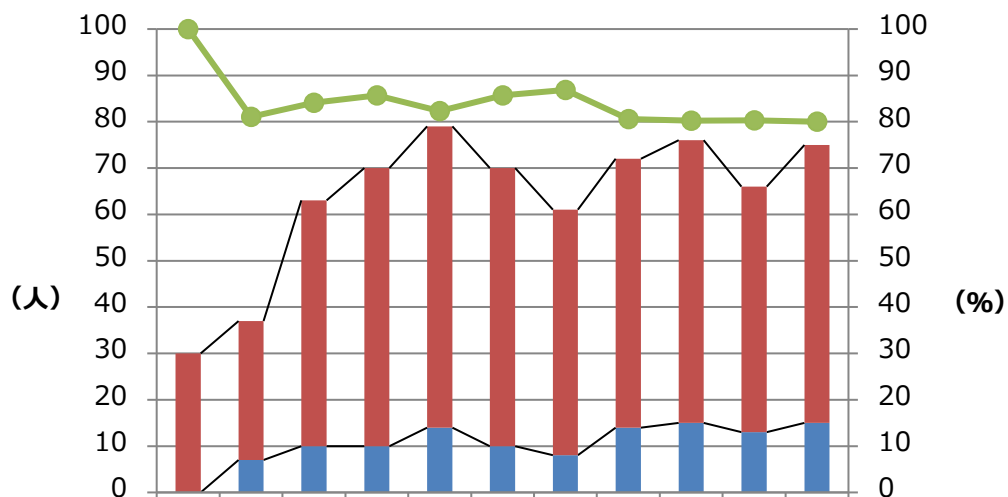
年度	応募人数	採用人数
平成19年度	167 < 141, 85%>	9 < 6, 67%>
平成20年度	119 < 109, 92%>	10 < 7, 70%>
平成21年度	84 < 73, 87%>	3 < 1, 34%>
平成22年度	128 < 112, 88%>	3 < 3, 100%>
平成23年度	94 < 86, 92%>	5 < 4, 80%>
平成24年度	169 < 148, 88%>	5 < 4, 80%>
平成25年度	181 < 166, 92%>	4 < 3, 75%>
平成26年度	183 < 163, 89%>	3 < 2, 67%>
平成27年度	185 < 176, 95%>	3 < 2, 67%>

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4-3. 外国人ポスドク比率の推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。

外国人ポスドク比率の推移



外国人	30	30	53	60	65	60	53	58	61	53	60
日本人	0	7	10	10	14	10	8	14	15	13	15
外国人ポスドク比率	100.0	81.1	84.1	85.7	82.3	85.7	86.9	80.6	80.3	80.3	80.0

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料4-4. ポスドクの国際的就職状況

・1名につき、1行で作成すること。記入欄が足りない場合は、適宜追加してもよい。

日本人ポスドク

拠点所属期間	前職機関・役職(所在国名)	就職先機関・役職(所在国名)
2007/10/1-2011/3/31	熊本大学、 JSPS 研究員 (日本)	九州大学, 准教授 (日本)
2007/10/1-2010/3/31	産業技術総合研究所、ポスドク 研究員 (日本)	東京造形大学、非常勤講師 (日本)
2008/4/1-2010/3/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	東京工業大学、准教授 (日本)
2008/4/1-2010/3/31	大阪大学、ポスドク研究員 (日 本)	産業技術総合研究所、研究員 (日本)
2008/4/1-2010/8/31	Rice University, Graduate Research Assistant (USA)	NIMS、主任研究員 (日本)
2008/4/1-2011/3/31	名城大学、JSPS 研究員 (日本)	NIMS、主任研究員 (日本)
2008/4/1-2011/3/31	NIMS, JST-I CORP 研究員 (日 本)	三星ダイヤモンド工業株式会社、研究 員 (日本)
2008/4/1-2011/3/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	理化学研究所、JSPS 研究員 (日本)
2008/4/1-2012/6/30	東北大学、ポスドク研究員 (日 本)	東北大学、准教授 (日本)
2008/5/7-2011/4/30	神奈川大学、ポスドク研究員 (日本)	Light Industry Institute of Chemical Power Sources, Suzhou University, Postdoc (China)
2008/7/1-2010/3/31	Tokyo Denki University, Assistant Professor (Japan)	University of Bologna, Research Fellow (Italy)
2008/10/1-2010/3/31	東京農工大学、博士課程学生(日 本)	(有) アルティザイム・インターナシ ョナル、研究員 (日本)
2008/12/1-2011/9/30	東京大学、研究員 (日本)	TDK株式会社、研究員 (日本)
2009/3/1-2010/4/30	Lund University, Ph.D. (Sweden)	University of California, Irvine, Postdoc (USA)
2009/4/1-2011/3/31	London Centre for Nanotechnology and University College London, Ph.D. (UK)	東北大学、研究員 (日本)
2009/4/1-2011/7/1	東京工業大学、博士課程学生(日 本)	山形大学、准教授 (日本)
2009/4/1-2011/7/30	Department of Physics, University of Basel, Visiting Scientist (Switzerland)	MANA/NIMS、独立研究者 (日本)
2009/4/1-2013/3/31	筑波大学、助教 (日本)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)
2009/4/1-2014/3/31	早稲田大学、JSPS研究員 (日本)	NIMS、主任研究員 (日本)
2009/6/1-2015/3/31	広島大学、助教 (日本)	関西学院大学、教授 (日本)

2009/11/1-2010/6/30	日本女子大学、ポスドク研究員 (日本)	電気通信大学、准教授 (日本)
2009/11/6-2010/11/6	東京大学、博士課程学生(日本)	NIMS、JSPS研究員 (日本)
2010/4/1-2012/3/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	東京理科大学、准教授 (日本)
2010/4/1-2012/3/31	鹿児島大学、博士課程学生(日本)	University of Alberta, Postdoc (Canada)
2010/4/1-2012/6/30	大阪府立大学、博士課程学生(日本)	MANA/NIMS、独立研究者 (日本)
2010/4/1-2012/8/31	京都大学、博士課程学生(日本)	NIMS、主任研究員 (日本)
2010/4/1-2013/3/31	大阪大学、ポスドク研究員 (日本)	前田特許事務所、技術職 (日本)
2010/4/1-2011/3/31	London Centre for Nanotechnology and University College London, Ph.D. (UK)	東北大学、助教 (日本)
2010/8/1-2013/3/31	九州大学、JSPS研究員 (日本)	早稲田大学、准教授 (日本)
2010/9/1-2011/11/18	University of Oklahoma, Postdoc (USA)	民間企業、N/A (USA)
2010/10/1-2011/3/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	NIMS、エンジニア (日本)
2011/4/1-2012/4/30	筑波大学、博士課程学生(日本)	Lawrence Berkeley National Laboratory, Visiting research scholar (USA)
2011/4/1-2013/6/30	九州大学、ポスドク研究員 (日本)	NIMS、主任研究者 (日本)
2012/3/5-2013/2/28	LPS, University Paris Sud, Postdoc (France)	MANA/NIM、ポスドク研究員 (日本)
2012/4/1-2014/7/31	早稲田大学、博士課程学生(日本)	MANA/NIMS、ICYS研究者 (日本)
2012/4/1-2012/11/30	東京大学、JSPS 研究員 (日本)	山梨大学、准教授 (日本)
2012/4/1-2015/1/15	NIMS, JSPS 研究員 (日本)	三菱電機 (株)、研究員 (日本)
2012/7/1-2014/3/31	慶応大学、ポスドク研究員 (日本)	札幌聖心女子学院、教師 (日本)
2012/10/1-2014/9/30	東京大学、ポスドク研究員 (日本)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)
2013/4/1-2014/3/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	東京理科大学、准教授 (日本)
2013/4/1-2014/12/31	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	KENT State University, Postdoc (USA)
2013/4/1-2015/3/31	筑波大学、ポスドク研究員 (日本)	東京農工大学、准教授 (日本)
2013/6/1-2015/3/31	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	東京理科大学、ポスドク研究員 (日本)
2013/6/1-2015/5/31	分子科学研究所、ポスドク研究員 (日本)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)
2013/8/1-2016/3/31	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	大阪大学、准教授 (日本)

2014/4/1-2015/3/31	熊本大学、助教（日本）	私立高校、N/A（日本）
2014/4/1-2015/12/31	北海道大学、JSPS研究員（日本）	相模中央化学研究所、ポスドク研究員（日本）
2014/4/1-2016/3/31	東北大学、博士課程学生(日本)	東京都市大学、講師（日本）
2014/5/1-2014/11/30	東京大学、博士課程学生(日本)	地方自治体、N/A（日本）

外国人ポスドク

拠点所属期間	前職機関・役職(所在国名)	就職先機関・役職(所在国名)	国籍
2007/10/1-2009/8/31	University of Science and Technology of China, Research assistant (China)	産業技術総合研究所、研究員（日本）	中国
2007/10/1-2009/10/24	Bergische Universität Wuppertal, Humboldt Research Fellow (Germany)	ADOCIA Lyon, Head of Chemistry Team (France)	フランス
2007/12/1-2009/11/1	University of Bayreuth, Research Fellow (Germany)	Ashapura Minechem, R&D Manager (India)	インド
2008/1/1-2009/5/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	一般財団法人ファインセラミックスセンター、主任研究員（日本）	中国
2008/2/21-2008/3/31	NIMS、ポスドク研究員（日本）	NIMS、ポスドク研究員（日本）	インド
2008/4/1-2008/8/31	Chinese Academy of Science, Postdoc (China)	Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Professor (China)	中国
2008/4/1-2008/12/31	Department of Materials Engineering and the Iise Kartz Center for Meso and Nanoscale Science and Technology, Ben-Gurion University, Postdoc (Israel)	Centre for Advanced Materials, Indian Association for the Cultivation of Science, Assistant Professor (China)	インド
2008/4/1-2009/7/22	Material Science, Oxford University, MSc by research (UK)	Max Planck Institute for Polymer Research, Postdoc (Germany)	イタリア
2008/4/1-2009/9/30	Imperial College London, Postdoc (UK)	Panasonic Manufacturing UK Ltd., Fuel Cell R&D Engineer (UK)	イギリス
2008/4/1-2010/2/16	東北大学、JSTポスドク研究員（日本）	Uppsala University, Associate Professor (Sweden)	スウェーデン
2008/4/1-2010/2/28	筑波大学、博士課程学生(日本)	MINT, University of Alabama, Postdoc. (USA)	インド
2008/4/1-2010/3/31	東京工業大学、ポスドク研究員（日本）	Committee of Qúzhōu High-Tech Park, Section Chief (China)	中国
2008/4/1-2010/3/31	University of Heidelberg, Postdoc (Germany)	エイチ・シー・スタルク株式会社 アソシエートマネージャー（日本）	ドイツ

2008/4/1 -2010/3/31	JST CREST研究者（日本）	東京理科大学、准教授（日本）	中国
2008/4/1 -2010/8/31	東京大学、ポスドク研究員（日本）	Department of Physics and Astronomy, Shanghai Jiao Tong University, Distinguished Research Fellow (China)	中国
2008/4/1 -2010/9/30	Analytical Chemistry, Brigham Young University, Ph.D. (USA)	NIMS、ポスドク研究員（日本）	アメリカ
2008/4/1 -2011/3/31	Indian Institute of Science, Ph.D. (India)	Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research, Faculty (Ramanujan Fellow) (India)	インド
2008/4/1 -2011/7/13	筑波大学、博士課程学生(日本)	T-4, Theoretical Division, Los Alamos National Laboratory, Postdoc (USA)	中国
2008/4/1 -2012/3/31	Chungxin International Semiconductor Development Co., Ltd, Engineer (China)	Tianjin University, Associate Professor (China)	中国
2008/6/1 -2011/3/31	Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering, Chinese Academy of Sciences, Associate Professor (China)	中国
2008/6/16-2011/3/31	Department of Electronics, Peking University, Postdoc (China)	MIT, Postdoc (USA)	中国
2008/7/1 -2011/3/31	産業技術総合研究所、JSPS 研究員（日本）	School of Material Science and Engineering, Hebei University of Technology, Professor (China)	中国
2008/7/1 -2009/7/1	Department of Physics, Zhejiang University, Professor (China)	Department of Physics, Zhejiang University Hangzhou, Professor (China)	中国
2008/7/15-2010/7/14	Nanyang Technological University, Postdoc (Singapore)	Environmental Futures Centre, Griffith University, Research Fellow (Australia)	中国
2008/7/15-2010/9/30	University of Karlsruhe, Visiting Scientist (Germany)	Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Professor (China)	中国
2008/7/25-2010/10/31	Research Institute of Petroleum Industry, Researcher (Iran)	Physics Department, Yazd University, Assistant Professor (Iran)	イラン
2008/8/1 -2010/7/31	National Institute for Interdisciplinary Science and Technology, Researcher (India)	Department of Neurology, Government Medical College, Researcher (India)	インド
2008/8/1 -2011/3/31	東京工業大学、ポスドク研究員（日本）	明治大学、研究員（日本）	中国
2008/8/13-2010/8/12	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Assistant Professor (China)	Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Assistant Professor (China)	中国
2008/8/20-2010/8/19	Defense Metallurgical Research Laboratory, Scientist (India)	Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam, Professor (India)	インド

2008/8/28-2009/8/27	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Postdoc (China)	Wuhan Institute of Physics and Mathematics, Associate Professor (China)	中国
2008/8/30-2010/12/15	Wuhan University, Ph.D. (China)	University of California at San Diego, Postdoc (USA)	中国
2008/9/1 -2009/8/31	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Associate Professor (China)	中国
2008/9/1 -2010/8/31	Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Researcher (China)	Division of Information Technology, University of South Australia, Research Associate (Australia)	中国
2008/9/1 -2011/3/31	University of Hyderabad, Ph.D. (India)	North Carolina State University, Postdoc (USA)	インド
2008/9/1 -2011/3/31	Indian Institute of Chemical Technology, Senior Research Fellow (India)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	インド
2008/9/1 -2011/3/31	Chinese Academy of Sciences, Research Associate (China)	NIMS、ICYS研究員 (日本)	中国
2008/9/1 -2011/8/31	Institute of Solid State Physics, Chinese Academy of Sciences, Assistant Professor (China)	Fudan University, Professor (China)	中国
2008/9/11-2010/9/10	Moscow State University, Ph.D. (Russia)	Agrorus-Ryazan, Leading Engineer (Russia)	ロシア
2008/10/1-2009/3/31	Nanjing University, Ph.D. (China)	Jiangsu University, Professor (China)	中国
2008/10/1-2009/3/31	東北大学、ポスドク研究員 (日本)	Southeast University, Professor (China)	中国
2008/10/1-2009/6/30	東京工業大学、JSPS研究員 (日本)	Department of Electrical & Electronic Engineering, Imperial College London, Postdoc (UK)	中国
2008/10/1-2009/10/18	Seoul National University of Korea, Postdoc (Korea)	産業技術総合研究所、研究員 (日本)	中国
2008/10/6-2012/10/8	Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Postdoc (China)	SK Lab. of Electroanalytical Chem., Changchun Inst. of Applied Chem., CAS, Professor (China)	中国
2008/11/1-2009/3/31	China University of Petroleum, Assistant Professor (China)	Tsinghua University, Professor (China)	中国
2008/11/1-2009/8/31	The Chinese University of Hong Kong, Postdoc (China)	State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology (HUST), Associate Professor (China)	中国
2008/11/1-2011/3/31	横浜国立大学、JSPS 研究員 (日本)	International Advanced Research Center for Powder Metallurgy and New Materials,	インド

		Senior Scientist (Leader) (India)	
2008/11/10-2011/3/31	Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Assistant Researcher (China)	高知大学、ポスドク研究員 (日本)	中国
2008/12/1-2010/3/30	State Key Laboratory of Silicon Materials, Zhejiang University, Ph.D. (China)	MANA/NIMS、MANA研究者	中国
2008/12/2-2009/11/13	Sungkyunkwan University, Senior Researcher (Korea)	Samsung Electronics.Co.Ltd., researcher (Korea)	韓国
2009/2/1 -2010/7/31	Saha Institute of Nuclear Physics, Postdoc (India)	Department of Physics, Visva-Bharati University, Assistant professor (India)	インド
2009/3/1 -2010/4/30	Autonomous University of Barcelona, Assistant Professor (Spain)	Max Planck Institute for Intelligent Systems, Research Group Leader (Germany)	スペイン
2009/3/3 -2011/3/4	Department of Chemistry, University of Aveiro, Postdoc (Portugal)	Jilin University, Associate Professor (China)	中国
2009/3/16-2011/10/31	Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	Lanzhou University, Professor (China)	中国
2009/4/1 -2009/9/30	Bhabha Atomic Research Centre, Scientific Officer (India)	Bhabha Atomic Research Centre, Scientific Officer (India)	インド
2009/4/1 -2011/3/31	National University of Singapore, Postdoc (Singapore)	Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Researcher (China)	中国
2009/4/1 -2012/3/31	Monash University, Postdoc (Australia)	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Scientist (Germany)	オーストラリア
2009/4/1 -2010/3/31	東京大学、JSPS 研究員 (日本)	Korea Institute of Energy Research, Professor (Korea)	イタリア
2009/4/1 -2010/3/31	Indian Institute of Technology, Senior Project Associate (India)	名古屋工業大学、ポスドク研究員 (日本)	インド
2009/5/1 -2010/3/31	産業技術総合研究所、研究員 (日本)	South China Normal University, Professor (China)	中国
2009/5/1 -2012/3/31	静岡大学、研究員 (日本)	School of Chemistry & Chemical Engineering, Shouxihu Campus, Yangzhou University, Assistant Professor (China)	中国
2009/5/1 -2012/6/30	Surface Physics Division, Jabalpur University, Ph.D. (India)	NIMS、JSPS研究員 (日本)	インド
2009/6/1 -2011/5/31	Institute of Solid State Physics, Chinese Academy of Sciences, Research Fellow (China)	京都大学、ポスドク研究員 (日本)	中国
2009/6/6 -2011/5/31	Department of Chemical Science and Technology,	University of Rome, Postdoc (Italy)	イタリア

	University of Rome, Ph.D. (Italy)		
2009/7/1 -2010/12/31	University of California, Santa Barbara, Postdoc (USA)	LIM Innovations, Chief Technology Officer (USA)	アメリカ
2009/7/1 -2012/3/31	Raman Research Institute, Jawaharlal Nehru University, Ph.D. (India)	MANA/NIMS、ポスドク研究員 (日本)	インド
2009/7/15-2010/7/14	Universitat Autònoma de Barcelona, Postdoc (Spain)	Nanyang Technological University, Postdoc (Singapore)	イタリア
2009/7/27-2012/10/31	Division of Physics and Applied Physics, Nanyang Technological University, Postdoc (Singapore)	State Key Lab of Luminescence and Applications, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Professor (China)	中国
2009/8/1 -2011/3/31	Indian Institute of Chemical Technology, Senior Research Fellow (India)	UC Berkeley, Postdoc. (USA)	インド
2009/8/1 -2014/7/31	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	Universite de Strasbourg Laboratoire de Nanochimie, ISIS, Postdoc (France)	中国
2009/8/15-2010/8/14	Oxford University, Postdoc (UK)	筑波大学、准教授 (日本)	イギリス
2009/9/1 -2012/8/31	Department of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Ph.D. (China)	Xi'an Technological University, Assistant Professor (China)	中国
2009/9/4 -2011/9/3	産業技術総合研究所、ポスドク研究員 (日本)	MANA/NIMS、MANA研究者 (日本)	中国
2009/10/1-2011/3/31	Nanjing University, Ph.D. (China)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	中国
2009/10/1-2012/8/31	産業技術総合研究所、ポスドク研究員 (日本)	National Center for Nanoscience and Technology, Associate Professor (China)	中国
2009/10/1-2012/9/30	Max-Planck Institute of Colloids and Interfaces, Postdoc (Germany)	School of Chemistry and Chemical Engineering, Southeast University, Professor (China)	中国
2009/10/1-2012/9/30	大阪大学、JSPS研究員 (日本)	東京大学、研究員 (日本)	韓国
2010/1/1 -2013/1/11	Cornell University, Postdoc (USA)	State Key Lab of Polymer Phys.& Chem., Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, N/A (China)	中国
2010/3/1 -2010/3/31	Indian Institute of Technology, Ph.D. (India)	東北大学、JSPS研究員 (日本)	インド
2010/3/15-2013/1/9	National Research Council of Argentina, Fellow (Argentina)	UC Berkeley, Postdoc (USA)	アルゼンチン
2010/4/1 -2011/9/30	大阪大学、准教授 (日本)	CSIR-Indian Institute of Chemical Technology,	インド

		Scientist (India)	
2010/4/1 -2012/3/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	University of New South Wales, Research Associate (Australia)	中国
2010/4/1 -2012/4/30	Materials Science and Engineering, Stanford University, Postdoc (USA)	Korea Research Institute of Standards and Science, Senior Researcher (Korea)	韓国
2010/4/1 -2012/7/31	横浜国立大学、博士課程学生(日本)	MANA/NIMS、MANA研究者(日本)	ネパール
2010/4/1 -2012/9/30	The Chinese University of Hong Kong, Research Assistant (China)	School of Physics and Engineering, Sun Yat-Sen University, Associate Professor (China)	中国
2010/4/1 -2011/3/31	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	University of Oxford, Postdoc (UK)	中国
2010/4/1 -2011/3/31	埼玉大学、博士課程学生(日本)	University of Nova Gorica, Assistant Professor (Slovenia)	ブルガリア
2010/4/1 -2013/3/31	ERATO-SORST Aida Nanospace Project, JST 研究者(日本)	首都大学東京、准教授(日本)	ヨルダン
2010/4/1 -2013/3/31	School of Material Science and Engineering, Georgia Institute of Technology, Ph.D. (USA)	東京工業大学、ポスドク研究員(日本)	中国
2010/5/1 -2012/3/31	Warsaw University of Technology, Postdoc (Poland)	Warsaw University of Technology, Research Assistant (Poland)	ポーランド
2010/5/1 -2012/4/30	東北大学、ポスドク研究員(日本)	NIMS、ポスドク研究員(日本)	韓国
2010/5/16-2011/3/31	Huazhong Normal University, Ph.D. (China)	School of Material Science and Engineering, Hebei University of Technology, Professor (China)	中国
2010/6/1 -2012/3/31	Physical Chemistry of Biomaterials, University of Pennsylvania, Postdoc (USA)	Indian Institute of Technology Mandi, Assistant Professor (India)	インド
2010/7/1 -2011/6/30	Department of Chemistry, Yangzhou University, Teacher (China)	College of Chemistry and Chemical Engineering, Yangzhou University, Associate Professor (China)	中国
2010/8/1 -2013/7/31	筑波大学、博士課程学生(日本)	Ulsan National Institute of Science and Technology, Researcher (Korea)	中国
2010/8/1 -2011/7/31	Department of Bioengineering, University of Washington, Senior Fellow (USA)	Washington University, Postdoc (USA)	USA
2010/8/1 -2013/7/31	Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Professor (China)	中国

2010/8/1 -2014/4/30	筑波大学、博士課程学生(日本)	Soochow University, Professor (China)	中国
2010/8/3 -2012/6/30	University of Rome, Ph.D. (Italy)	大阪大学、ポスドク研究員 (日本)	イタリア
2010/8/14-2011/3/31	University of Poitiers & Istanbul Technical University, Joint Ph.D. Scholarship from French Government (Turkey)	Istanbul Technical University, Research Assistant (Turkey)	トルコ
2010/8/20-2012/8/19	Temasek Laboratories, Nanyang Technological University, Research Assistant (Singapore)	Nanyang Technological University, Research Fellow (Singapore)	インドネシア
2010/9/1 -2011/3/31	東京工業大学、ポスドク研究員 (日本)	Nanjing University of Science and Technology, Researcher (China)	中国
2010/9/1 -2012/3/31	Department of Physics, Shivaji University, Ph.D. (India)	The University of Queensland, Postdoc (Australia)	インド
2010/9/1 -2015/3/31	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	MANA/NIMS、主任研究員 (日本)	中国
2010/9/10-2012/12/8	Heidelberg University, Ph.D. (Germany)	Institute of Materials Science Vietnam Academy of Science and Technology, Researcher (Vietnam)	中国
2010/9/27-2012/6/23	Washington State University, Ph.D. (USA)	National Institute of Health and National Institute of Science and Technology, Maryland, Postdoc (USA)	インド
2010/10/1-2013/6/21	Beihang University, Ph.D. (China)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	中国
2010/10/1-2013/9/30	Institute of Physics and Beijing Laboratory for Condensed Matter Physics, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	明治大学、ポスドク研究員 (日本)	中国
2010/10/1-2013/9/30	Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	MANA/NIMS、ICYS研究員 (日本)	中国
2010/9/1 -2013/8/31	Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	Huazhong University of Science and Technology, Professor (China)	中国
2010/10/11-2012/10/10	Loughborough University, Ph.D. (UK)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	スペイン
2010/11/18-2013/11/17	Department of Macromolecular Physics, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Research Associate (Czech Republic)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	チェコ
2010/12/15-2012/4/30	名古屋大学、NIMS、ポスドク研究員 (日本)	Institute of Process Engineering, CAS, Professor (China)	中国

2011/1/1 -2011/5/31	ETH-Zurich, Senior Scientist, Group Leader (Switzerland)	MIT, Senior Scientist (USA)	スイス
2011/2/1 -2011/5/31	ReVolt Technology Ltd., Chief Engineer (Switzerland)	ReVolt Technology Ltd., N/A (Switzerland)	ドイツ
2011/2/1 -2013/1/31	French Atomic Energy Commission, Research Engineer (France)	Department of Physics, Shiv Nadar University, Assistant Professor (India)	インド
2011/4/1 -2011/9/14	Peking University, Ph.D. (China)	Peking University, Assistant Professor (China)	中国
2011/4/1 -2013/3/31	茨城大学、ポスドク研究員 (日本)	Department of Physics, National Institute of Technology, Assistant Professor (India)	インド
2011/4/1 -2014/1/31	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	中国
2011/4/1 -2014/6/18	Institute of Physics, Prague, Research Assistant (Czech Republic)	Optics Department, Institute of Physics, Research Assistant (Czech Republic)	ロシア
2011/4/1 -2011/10/13	University of Science and Technology of China, Ph.D. (China)	Hefei University of Technology, Professor (China)	中国
2011/4/5 -2013/3/31	Jawaharlal Nehru Center for Advanced Scientific Research, Ph.D. (India)	MANA/NIMS、ICYS研究員 (日本)	インド
2011/5/1 -2012/4/30	Korea Institute of Science and Technology, Postdoc (Korea)	University of Bayreuth, N/A (Germany)	インド
2011/5/1 -2013/4/30	Shandong University, Ph.D. (China)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	中国
2011/5/9 -2013/5/8	Physics Department, University of Shaoxing, Lecture (China)	Physics Department, University of Shaoxing, Associate Professor (China)	中国
2011/6/16 -2012/6/15	The Warsaw University of Technology, Ph.D. (Poland)	The Warsaw University of Technology, Researcher (Poland)	ポーランド
2011/7/1 -2012/8/31	University of Hong Kong, Research Assistant (Hong Kong)	Sheffield Institute for Translational Neuroscience University of Sheffield, Postdoc (UK)	中国 (香港)
2011/7/1 -2011/11/30	University of Bristol, Royal Society University Research Fellow (UK)	University of Bristol, Assistant Professor (UK)	イギリス
2011/9/5 -2015/9/4	NIMS、JSPS研究員 (日本)	Herbert Gleiter Institute of Nanoscience, Nanjing University of Science and Technology, Professor (China)	中国
2011/9/20 -2013/8/31	Indian Institute of Science, Bangalore, Research Associate (India)	Indian Institute of Science, Bangalore, Research Associate (India)	インド
2011/10/1 -2013/2/28	East China Normal University, Graduate Researcher (China)	Melbourne School of Engineering, University of Melbourne, Research Fellow (Australia)	中国

2011/10/1-2013/7/29	Materials Technology Division, Hong Kong Productivity Council, Associate Consultant (Hong Kong)	Nano and Advanced Materials Institute Limited, Assistant Technical Manager (China)	中国 (香港)
2011/10/1-2014/9/1	Hunan University, Ph.D. (China)	Temple University, Assistant Professor (USA)	中国
2011/11/1-2013/10/31	Lab. of Prof. Dr. Wim Dehaen, Katholieke Universiteit, Assistant Doctor (Belgium)	University of Southampton, Postdoc (UK)	ベルギー
2011/11/1-2013/10/31	岡山大学、博士課程学生(日本)	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	中国
2011/11/13-2013/3/31	University of Rome Tor Verga, Ph.D. (Italy)	International Clinical Research Center, Integrated Center of Cellular Therapy and Regenerative Medicine, St. Anne's University Hospital Brno, Junior Researcher (Czech Republic)	イタリア
2011/11/29-2013/11/28	Physico-chemistry, University of Bordeaux, Ph.D. (France)	Erdyn Consultants, Consultant (France)	フランス
2011/12/1-2012/11/30	GLOBALFOUNDRIES Singapore Pte. Ltd., Senior Engineer (Singapore)	Intellectual Property Office of Singapore, Patent attorney (Singapore)	シンガポール
2011/12/1-2013/8/31	Grenoble University, Institute of Technology, Grenoble, Ph.D. (France)	Department of Energy and Materials Engineering, Dongguk University, Research Assistant Professor (Korea)	中国
2011/12/1-2014/1/31	University of Oregon, Postdoc (USA)	Institute of Bioengineering and Nanotechnology, Research Scientist (Singapore)	インド
2011/12/1-2015/2/28	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	Qatar Foundation, Senior Scientist (Qatar)	アルジェリア
2011/12/1-2015/4/30	Saga University, Ph.D. (Japan)	NIMS、JSPS研究員 (日本)	インド
2012/01/01-2012/12/31	Shanghai Jiao Tong University, Assistant Researcher (China)	Department of Colloid Chemistry, Max Planck Institute of Colloids and Interfaces, Postdoc (Germany)	中国
2012/1/10-2013/3/31	School of Chemical & Biomolecular Engineering, Georgia Institute of Technology, Postdoc (USA)	東京大学、准教授 (日本)	タイ
2012/4/1 -2013/12/27	Katholieke Universiteit Leuven, Ph.D. (Belgium)	Procter & Gamble, Administrative Project Assistant (Belgium)	ベルギー
2012/4/1 -2012/9/14	Department of Chemical Science and Technologies, University of Rome, Ph.D. (Italy)	University of Liverpool, Research Assistant (UK)	中国
2012/4/1 -2014/6/30	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	NIMS、独立研究者 (日本)	中国

2012/4/1 -2014/11/30	NIMS、NIMSジュニア研究員（日本）	NIMS、JSPS研究員（日本）	イラン
2012/4/1 -2015/8/31	National Center for Nanoscience and Technology of China, N/A (China)	National Center for Nanoscience and Technology of China, Assistant Professor (China)	中国
2012/5/1 -2013/6/30	Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, Ph.D. (Poland)	Warsaw University of Technology, Research Fellow (Poland)	ポーランド
2012/5/1 -2014/4/30	NIMS、ポスドク研究員（日本）	I東北大学、ポスドク研究員（日本）	インド
2012/6/20-2014/5/31	Huazhong University of Science and Technology, Assistant Professor (China)	School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Technology, Associate Professor (China)	中国
2012/8/1 -2014/7/31	Flinders University, Ph.D. (Australia)	University of Nottingham, Postdoc (UK)	オーストラリア
2012/10/1-2013/7/29	Department of Chemical Engineering, National Taiwan University, Postdoc (Taiwan)	National Taiwan University, Postdoc (Taiwan)	中国（台湾）
2012/10/1-2014/3/31	Korea University, Ph.D. (Korea)	Samsung, N/A (Korea)	韓国
2012/10/1-2014/7/29	University of Hyderabad, Ph.D. (India)	Bharathidasan University, DST-Inspire Faculty member (India)	インド
2012/11/1-2013/10/31	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Postdoc (China)	Shandon University, Researcher (China)	中国
2012/11/1-2013/11/15	筑波大学、博士課程学生（日本）	National Center for Nanoscience and Technology of China, Associate Professor (China)	中国
2012/11/1-2014/10/31	NIMS、ポスドク研究員（日本）	Beijing Institute of nanoenergy and nanosystem. Chinese academy of science, Postdoc (China)	中国
2012/11/1-2014/11/1	Nanjing University, Assistant Professor (China)	Nanjing University, Assistant Professor (China)	中国
2012/11/1-2015/4/30	東京工業大学、博士課程学生(日本)	民間企業、N/A（日本）	中国
2012/11/1-2015/9/10	National University of Singapore, Post Graduate Student Research Assistant (Singapore)	Nanyang Technological University, Postdoc (China)	シンガポール
2012/11/1-2014/10/31	Colorado State Univ., Postdoc (USA)	Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Kanpur, Institute Postdoc (India)	インド
2012/11/5-2013/5/31	Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Ph.D. (UK)	Dongguk University, Research Professor (Korea)	中国

2012/11/12-2013/10/31	University of Sydney, Ph.D. (Australia)	University of Sydney, Research Associate (Australia)	中国
2013/1/7 -2013/8/17	National Taiwan University, Associate Professor (Taiwan)	National Taiwan University, Associate Professor (Taiwan)	中国 (台湾)
2013/1/15-2014/1/20	Institute of Electrophysics, National Chiao Tung University, Postdoc (Taiwan)	Department of Physics, National Chung-Hsing University, Assistant Professor (Taiwan)	中国
2013/2/1 -2013/8/31	University of Bristol, EPSRC Advanced Research Fellow (UK)	Department of Chemistry, University of Bath, Senior Researcher (UK)	イギリス
2013/2/1 -2013/7/31	Dublin City University, Postdoc (Ireland)	National Centre for Sensor Research, National Biophotonics & Imaging Platform Ireland, Technical Officer (Ireland)	インド
2013/2/1 -2013/12/27	Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Chinese Academy of Sciences, Postdoc. (China)	The State University of New Jersey, Postdoc. (USA)	中国
2013/2/1 -2014/2/28	Budapest University of Technology and Economics, Ph.D. (Hungary)	CNRS, Postdoc (France)	ハンガリー
2013/4/1 -2013/6/30	Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Postdoc (China)	NIMS、JSPS研究員 (日本)	中国
2013/4/1 -2014/3/31	早稲田大学、博士課程学生 (日本)	MANA/NIMS、ICYS研究員 (日本)	中国
2013/4/1 -2014/3/31	Jadavpur University, Ph.D. (India)	IACS Consulting Company, Postdoc (Italy)	インド
2013/4/1 -2014/3/31	University of Montreal, Research Assistant (Canada)	BIOASTRA Technologies Inc., Platform leader (Canada)	ポーランド
2013/4/1 -2015/3/31	NIMS、ポスドク研究員 (日本)	National Institute of Technology, Nagaland, Assistant Professor (India)	インド
2013/4/1 -2015/3/31	東京大学、ポスドク研究員 (日本)	NIMS、N/A (日本)	中国
2013/4/1 -2015/9/30	University of Western Ontario, Postdoc (Canada)	NIMS, Postdoc (Japan)	中国
2013/4/1 -2015/8/31	JSPS研究員 (日本)	Department of Physics, Indian Institute of Science Education and Research (IISER), N/A (India)	インド
2013/4/1 -2016/3/31	Chinese Academy Sciences, N/A (China)	Soochow University, Postdoc (China)	中国
2013/4/22-2014/8/8	Institute of Physics, Chinese Academy of Science, Associate Professor (China)	Chinese Academy of Science, N/A (China)	中国
2013/5/1 -2015/3/31	The Hong Kong Polytechnic University, N/A (Hong Kong)	関西学院大学、JSPS研究員 (日本)	中国

2013/5/1 -2015/4/24	NIMS、ポスドク研究員（日本）	Surface Science Laboratory, Department of Physics, National University of Singapore, Research Fellow (Singapore)	インドネシア
2013/6/1 -2015/8/31	The University of Hong Kong, Postdoc (Hong Kong)	Harbin Institute of Technology, Professor (China)	中国
2013/9/1 -2014/8/31	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Researcher, (Germany)	NIMS、ポスドク研究員（日本）	ドイツ
2013/9/1 -2014/8/31	Institute of Functional Nano& Soft Materials, Soochow Univ., Lecture (China)	Institute of Functional Nano& Soft Materials, Soochow University, Lecture (China)	中国
2013/10/1 -2014/9/30	北海道大学、ポスドク研究員（日本）	ハリマ化成（株）、N/A（日本）	中国
2013/10/1 -2015/9/30	NIMS、ポスドク研究員（日本）	NIMS、ポスドク研究員（日本）	韓国
2013/11/18 -2014/12/31	NIMS、ポスドク研究員（日本）	MANA/NIMS、ICYS研究員（日本）	フランス
2014/1/1 -2015/7/31	NIMS、ポスドク研究員（日本）	NIMS、ポスドク研究員（日本）	チェコ
2014/3/1 -2015/2/28	University of Cambridge, Ph.D. (UK)	National Sun Yat-sen University, Assistant Professor (Taiwan)	中国（台湾）
2014/3/10 -2016/3/9	State Key Laboratory of Catalysis, DICP, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. (China)	Beijing Institute of Technology, Associate Professor (China)	中国
2014/4/1 -2014/9/30	東京大学、ポスドク研究員（日本）	Department of Physics, East China Normal University, Shanghai, Associate Professor (China)	中国
2014/4/1 -2015/3/31	名古屋大学、研究員（日本）	株式会社ビー・エム・エル、N/A（日本）	中国
2014/4/1 -2016/2/29	自然科学研究機構、博士課程学生(日本)	Huazhong University of Science and Technology, Associate Professor (China)	中国
2014/5/1 -2014/12/31	NIMS、NIMSジュニア研究員（日本）	Soochow University, Associate Professor (China)	中国
2014/5/1 -2015/1/15	東京大学、ポスドク研究員（日本）	産業技術総合研究所、研究員（日本）	フランス
2014/6/1 -2015/7/31	Aarhus University, Ph.D. (Denmark)	Cancer and Inflammation Research, Institute for Molecular Medicine, Postdoc (Denmark)	ミャンマー
2014/7/1 -2015/7/6	Western Kentucky University, N/A (USA)	King Faisal University, Assistant Professor (Saudi Arabia)	インド
2014/8/1 -2015/4/30	Technical University of Munich, Postdoc (Germany)	CSIR-Central ElectroChemical Research Institute, Scientist (India)	インド

2014/8/7 -2015/8/6	University of Houston, N/A (USA)	University of Houston, Postdoc (USA)	中国
2014/10/1-2015/3/31	金沢大学、博士課程学生(日本)	NIMS、ポスドク研究員(日本)	中国
2015/3/1 -2015/11/30	NIMS、ポスドク研究員(日本)	山形大学、教授(日本)	ドイツ
2015/4/1 -2015/12/31	産業技術総合研究所、ポスドク研究員(日本)	住友精化(株)、N/A(日本)	中国
2015/4/1 -2016/3/31	産業技術総合研究所、N/A(日本)	MANA/NIMS、ICYS研究員(日本)	ルーマニア
2015/9/1 -2016/1/30	The Flinders University of South Australia, Postdoc (Australia)	Flinders University School of Medicine, Postdoc (Australia)	オーストラリア

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4-5. 国外共同研究協定等締結一覧

1.	<p>Counterpart of an Agreement: Department of Chemistry, Kent State University, USA</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoporous materials"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2008 January 10 Valid until 2013 January 10 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and Kent State University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
2.	<p>Counterpart of an Agreement: Chemical and Biological Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute (RPI), USA</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoporous materials"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2008 February 28 Valid until 2013 February 28 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and RPI, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
3.	<p>Counterpart of an Agreement: California NanoSystems Institute (CNSI), University of California, Los Angeles (UCLA), USA</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Materials Science and Technology"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2008 March 24 Valid until 2013 March 24 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at CNSI (PI Prof. James K. Gimzewski).</p>
4.	<p>Counterpart of an Agreement: Center for Nanostructure Characterization (CNC), Georgia Institute of Technology (GIT), USA</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Materials Nanoarchitectonics"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2008 May 6 Valid until 2013 May 6 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at GIT (PI Prof. Zhong Lin Wang).</p>
5.	<p>Counterpart of an Agreement: Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Regional Delegate of the Midi-Pyrénées Delegation, Toulouse, France</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Materials Nanoarchitectonics"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2008 May 30 Valid until 2013 May 30 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at CNRS (PI Dr. Christian Joachim).</p>
6.	<p>Counterpart of an Agreement: Nanoscience Centre, University of Cambridge, UK</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Materials Nanoarchitectonics"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2008 June 20 Valid until 2013 June 20 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at University of Cambridge (PI Prof.</p>

		Mark E. Welland).
7.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Indian Institute of Chemical Technology (IICT), India Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Chemistry of Nanoporous Materials" Signed on 2008 July 3 Valid until 2013 July 3 (expired) For joint research activities between MANA and IICT, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
8.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	National Center of Competence for Nanoscale Science (NCCR), Institute of Physics, University of Basel, Switzerland Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Materials Nanoarchitectonics" Signed on 2008 July 22 Valid until 2013 July 22 (expired) For joint research activities between MANA and NCCR, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
9.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Yonsei University, Korea Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Sustainable Chemical Technology and Nano-bio Fusion Technology" Signed on 2008 September 1 Valid until 2013 September 1 (expired) For joint research activities between MANA and Yonsei University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
10.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Chemical and Biological Engineering, Indian Institute of Science Education and Research (IISER), India Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanomaterials and their application in energy and environment" Signed on 2008 December 19 Valid until 2013 December 19 (expired) For joint research activities between MANA and IISER, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
11.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Supramolecular Chemistry Group, Institute for Inorganic Chemistry, University of Karlsruhe, Germany Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanostructured Transition Metal Complexes and Oxides" Signed on 2009 January 29 Valid until 2014 January 29 (expired) For joint research activities between MANA and University of Karlsruhe, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
12.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement:	New Energy and Materials Laboratory (NEML), Department of Chemistry, Fudan University, China Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Utilizing insulative thermo-conductive composite materials to solve safety problems of lithium ion batteries for electric vehicles" Signed on 2009 March 16

	Summary of an Agreement:	Valid until 2014 March 16 (expired) For joint research activities between MANA and NEML, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
13.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	National Centre for Catalysis Research, Indian Institute of Technology (IIT), India Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Chemistry of Nanoporous Materials" Signed on 2009 April 5 Valid until 2014 April 5 (expired) For joint research activities between MANA and IIT, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
14.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Inorganic and Materials Chemistry, Institute of Inorganic Chemistry, University of Cologne, Germany Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Research on Fabrication and applications of advanced nanomaterials" Signed on 2009 May 28 Valid until 2014 May 28 (expired) For joint research activities between MANA and University of Cologne, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
15.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Institute of Microengineering (IMT), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Cantilever and Probe Array Technology (CAPATEC)" Signed on 2009 July 20 Valid until 2014 July 20 (expired) For joint research activities between MANA and IMT, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
16.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Center for Nanoscience & Nanotechnology & Innovative Instrumentation (NAST), University of Rome Tor Vergata, Italy Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanostructured Materials for Sustainable Development" Signed on 2009 July 30 Valid until 2014 July 30 (expired) For joint research activities between MANA and NAST, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
17.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Kirchhoff Institute of Physics, University of Heidelberg, Germany Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Atom-scale and mesoscale infrared plasmonic structures at the metal-Si interfaces" Signed on 2009 August 31 Valid until 2014 August 31 (expired) For joint research activities between MANA and University of Heidelberg, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
18.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement:	Department of Chemistry, Loughborough University, UK Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on

	<p>Dates of an Agreement: "Structures of Stable Aza-substituted Organic Semiconductors" Signed on 2009 October 28 Valid until 2014 October 28 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and Loughborough University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
19.	<p>Counterpart of an Agreement: Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), University of California, USA</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Electronic Configuration Evolution in Micro-Solid Oxide Fuel Cell (μ-SOFC) Electrode and Electrolyte Materials in operating Conditions: a Real-Time Dynamic Study in Soft X-rays Spectroscopy"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 February 9 Valid until 2015 February 9 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and LBNL, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
20.	<p>Counterpart of an Agreement: Institute of Electronic Microelectronic and Nanotechnology (IEMN), University of Valenciennes – Hainaut Cambrésis, France</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Interconnects and Nanocontacts for Nanorod- and Nanowire-based Electronic Devices Applications"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 May 20 Valid until 2015 May 20 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and IEMN, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
21.	<p>Counterpart of an Agreement: Erlangen Catalysis Resource Center, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Germany</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoporous materials"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 June 21 Valid until 2015 June 21 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and University Erlangen-Nürnberg, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
22.	<p>Counterpart of an Agreement: Department of Materials Science, Fudan University, China</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Organic-Inorganic Nano Hybrid Materials for Optoelectronic Applications"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 July 23 Valid until 2015 July 23 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and Fudan University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
23.	<p>Counterpart of an Agreement: Center for Intelligent Nano Bio Materials (CINBM), Department of Chemistry and Nanoscience (Brain Korea 21), Ewha Womans Univeristy, Korea</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoparticles, nanoporous materials and</p>

	<p>Dates of an Agreement: nanohybrids" Signed on 2010 August 27 Valid until 2015 August 27 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and CINBM, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
24.	<p>Counterpart of an Agreement: Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Metal Oxide Aqueous Interfacial Chemistry"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 September 16 Valid until 2015 September 16 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and KIT, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
25.	<p>Counterpart of an Agreement: CNRS, Regional Delegation Provence et Corse, and Université de la Méditerranée, France</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Transient chemistry of metal ions for low temperature ultrafast laser-assisted growth of hetero-nanostructures in aqueous solutions"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 September 20 Valid until 2015 September 20 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and CNRS and Université de la Méditerranée, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
26.	<p>Counterpart of an Agreement: Anhui Key Laboratory of Nanomaterials and Nanostructures, Institute of Solid State Physics, Chinese Academy of Sciences, China</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Low dimensional Nanostructures"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 October 6 Valid until 2015 October 6 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and Anhui Key Laboratory, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
27.	<p>Counterpart of an Agreement: Multidisciplinary Center for Development of Ceramic Materials (MCDCM), Brazil</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Research and development of nanostructured materials for alternative energy and sensor devices"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2010 October 26 Valid until 2015 October 26 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and MCDCM, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
28.	<p>Counterpart of an Agreement: Laboratory for Nanotechnology (LNT), Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM), Vietnam</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Optoelectronic and bioelectronics nanodevices"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2011 January 24 Valid until 2016 January 24 (expired)</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and LNT, including research collaborations, exchange of personnel</p>

		and organizing workshops.
29.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Petrochemical Research Chair, King Saud University, Kingdom of Saudi Arabia Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoporous materials and Catalysis" Signed on 2011 January 25 Valid until 2016 January 25 (expired) For joint research activities between MANA and King Saud University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
30.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	CNRS, Regional Delegate for Alpes and Institut Polytechnique de Grenoble (IPG), France Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Biomaterials, ferroelectric materials and photonic crystals" Signed on 2011 February 1 Valid until 2016 February 1 (expired) For joint research activities between MANA and IPG, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
31.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Université de Montreal (UdeM), Canada Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Functional nanoparticles and interfaces for radiation-sensitive spatio-temporal therapeutic and imaging applications" Signed on 2011 July 4 Valid until 2016 July 4 For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at UdeM (PI Prof. Françoise M. Winnik).
32.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Flinders University of South Australia, Australia Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Research in Nanotechnology" Signed on 2011 July 19 Valid until 2016 July 19 For joint research activities between MANA and Flinders University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
33.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	University of Melbourne, Australia Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Innovative nanomaterials which improve quality of life whilst being safe for communities and the environment" Signed on 2011 September 21 Valid until 2016 September 21 For joint research activities between MANA and University of Melbourne, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
34.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Biomaterials and Tissue Engineering Research Center, Shanghai Institute of Ceramics (SIC), Chinese Academy of Science, China Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Development of Three-Dimensional Porous Scaffolds for Tissue Engineering" Signed on 2011 December 1 Valid until 2016 December 1 For joint research activities between MANA and SIC,

		including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
35.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Department of Materials Science & Engineering, Tsinghua University, China Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "New Functional Nanomaterials for Energy and Environment Applications" Signed on 2012 January 28 Valid until 2017 January 28 For joint research activities between MANA and Tsinghua University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
36.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	International Training Institute for Materials Science (ITIMS), Hanoi University of Science and Technology (HUST), Vietnam Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Application of plasmonic materials for sensors and energy conversion devices" Signed on 2012 February 7 Valid until 2017 February 7 For joint research activities between MANA and ITIMS, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
37.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Instituto de Fisica de São Carlos, University of Sao Paulo, Brazil Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanotechnology for Organized Materials" Signed on 2012 April 25 Valid until 2017 April 25 For joint research activities between MANA and University of Sao Paulo, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
38.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	London Centre for Nanotechnology (LCN), University College London (UCL), UK Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Electronic Structure Calculations of Nanowires" Signed on 2012 October 8 Valid until 2017 October 8 For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at UCL (API Dr. David Bowler).
39.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Department of Polymer Science and Engineering, Kyungpook National University, Korea Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Development of advanced functional biomaterials with controllable compositions and nano/microscopic structures for stem cell differentiation and tissue regeneration" Signed on 2013 January 18 Replaced on 2014 September 27 For joint research activities between MANA and Kyungpook National University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
40.	Counterpart of an Agreement:	Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille (CINaM-CNRS) and Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires (PIIM-CNRS), France

	<p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Low-dimensional nanomaterial architectonics"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2013 May 2 Valid until 2018 May 2</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and CINaM-CNRS and PIIM-CNRS, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
41.	<p>Counterpart of an Agreement: National Center for Nanoscience and Technology (NCNST), China</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Quest for neuromorphic behavior of materials"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2013 June 24 Valid until 2018 June 24</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and NCNST, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
42.	<p>Counterpart of an Agreement: School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology (HUST), China</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Advanced Functional Materials for Energy and Environment Applications"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2013 July 29 Valid until 2018 July 29</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and HUST, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
43.	<p>Counterpart of an Agreement: Center for Nanostructure Characterization (CNC), Georgia Institute of Technology (GIT), USA</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Inorganic Nanomaterials for Energy-Related Applications"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2013 November 25 Valid until 2018 November 25</p> <p>Summary of an Agreement: For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at GIT (PI Prof. Zhong Lin Wang). Renewal of expired MOU.</p>
44.	<p>Counterpart of an Agreement: Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Regional Delegate of the Midi-Pyrénées Delegation, France</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Molecular devices and related materials"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2013 December 10 Valid until 2018 December 10</p> <p>Summary of an Agreement: For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at CNRS (PI Dr. Christian Joachim). Renewal of expired MOU.</p>
45.	<p>Counterpart of an Agreement: St. Petersburg State Electrotechnical University (LETI), Russia</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanoarchitectonics on Future Electric Devices"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2014 February 28 Valid until 2019 February 28</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and LETI, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
46.	<p>Counterpart of an Agreement: Bristol Centre for Nanoscience and Quantum Information</p>

	<p>Name of an Agreement: (NSQI), University of Bristol, UK Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanomaterials and Nanodevices"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2014 March 7 Valid until 2019 March 7</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and NSQI including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
47.	<p>Counterpart of an Agreement: The Regents of the University of California, on behalf of its Los Angeles Campus, USA</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "MANA Brain: Neuromorphic Atomic Switch Networks"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2014 September 8 Valid until 2019 September 8</p> <p>Summary of an Agreement: For scientific and technical cooperation between MANA and the MANA Satellite at CNSI (PI Prof. James K. Gimzewski). Renewal of expired MOU.</p>
48.	<p>Counterpart of an Agreement: Donostia International Physics Center (DIPC), San Sebastian, Spain</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanostructures and complex functional materials"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2014 September 9 Valid until 2019 September 9</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and DPIC including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
49.	<p>Counterpart of an Agreement: School of Applied Chemical Engineering (SACE), Graduate School, Kyungpook National University (KNU), Korea</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Development of advanced functional materials with controllable compositions and nano/microscopic structures"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2014 September 27 (Replacement of MOU signed on 2013 January 18) Valid until 2019 September 27</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and Kyungpook National University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
50.	<p>Counterpart of an Agreement: Department of Applied Physics and the School of Pharmacy, University of Eastern Finland (UEF), Kuopio, Finland</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Mesoporous Materials for Biomedical Applications"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2014 December 31 Valid until 2019 December 31</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and UEF including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
51.	<p>Counterpart of an Agreement: Indian Institute of Science (IISc), Bangalore, India</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Development of Carbide-based Nanomaterials and Plasmonic Devices for Solar Energy Conversion"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2015 January 13 Valid until 2020 January 13</p>

	Summary of an Agreement:	For joint research activities between MANA and IISc including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
52.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Department of Materials Science & Engineering, University of Toronto, Canada Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanomaterials and nanotechnology" Signed on 2015 January 21 Valid until 2020 January 21 For joint research activities between MANA and University of Toronto including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
53.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Institute for Energy Materials (IEM), Chongqing University of Science & Technology (CQUST), China Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Synthesis and Characterization of Functional Nanomaterials" Signed on 2015 May 15 Valid until 2020 May 15 For joint research activities between MANA and CQUST including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
54.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Paul Drude Institute for Solid State Electronics (PDI), Berlin, Germany Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Electronic state of wide band gap oxide semiconductors" Signed on 2015 May 29 Valid until 2020 May 29 For joint research activities between MANA and PDI including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
55.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Department of Materials Science and Engineering, Promotion Center for Global Materials Research, National Cheng Kung University (NCKU), Taiwan Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Synthesis/Fabrication of Nano-Hybrids by Soft Processing" Signed on 2015 May 30 Valid until 2020 May 30 For joint research activities between MANA and NCKU including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
56.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Molecular Engineering & Sciences Institute (MoIES), University of Washington (UW), USA Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Smart Nano-Biomaterials" Signed on 2015 September 15 Valid until 2020 September 15 For joint research activities between MANA and UW including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
57.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement:	University of Science and Technology of Hanoi (USTH), Vietnam Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on

	<p>Dates of an Agreement: "Functional Nanostructured Materials for the Application in Water and Environmental Studies" Signed on 2015 September 24 Valid until 2020 September 24</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and USTH including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
58.	<p>Counterpart of an Agreement: University of Wollongong (UOW), Australia</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on the advancement of academic and education collaboration and exchanges</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2015 September 29 Valid until 2020 September 29</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and UOW including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
59.	<p>Counterpart of an Agreement: University of Chemistry and Technology (UCT), Prague, Czech Republic</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "nanomaterials synthesis and structure characterizations"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2016 January 18 Valid until 2021 January 18</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and UCT including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>
60.	<p>Counterpart of an Agreement: Australian Institute for Nanoscale Science and Technology (AINST), University of Sydney, Australia</p> <p>Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Nanoscale Systems"</p> <p>Dates of an Agreement: Signed on 2016 February 16 Valid until 2021 February 16</p> <p>Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and AINST including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.</p>

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4-6. 国際研究集会の開催実績

※これまでに開催した主な国際会議等(20件程度)を以下に記載すること。

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
2008 March10,13	MANA International Symposium 2008, Tsukuba	191
2009 Feb.25-27	MANA International Symposium 2009, Tsukuba	310
2010 March 3-5	MANA International Symposium 2010, Tsukuba	351
2011 March 3-5	MANA International Symposium 2011, Tsukuba	410
2012 Feb.29-March 2	MANA International Symposium 2012, Tsukuba	389
2013 Feb. 27-March 1	MANA International Symposium 2013, Tsukuba	414
2014 March 5-7	MANA International Symposium 2014, Tsukuba	425
2015 March11-13	MANA International Symposium 2015, Tsukuba	410
2016 March 9-11	MANA International Symposium 2016, Tsukuba	410
2009 Oct. 23	Symposium on Frontiers in Nanotechnology and Materials, Tsukuba	152
2012 Oct. 10.1	PCCP Asian Symposia 2012, Tsukuba	106
2014 March24-25	International Symposium on Smart Biomaterials, Tsukuba	135
2014 Apr.1-2	International Workshop "Topology in the New Frontiers of Materials Science", Tsukuba	174
2014 Nov.27-28	International Symposium on the Functionality of Organized Nanostructures 2014, Tokyo	223
2014 July 18	Material Architectonics for Sustainable Action 2014, Tsukuba	109
2014 Dec.4-5	6 th Tsukuba International Coating Symposium	115
2015 July 29-30	International Symposium on Nanoarchitectonics for Mechanobiology, Tsukuba	118
2015 Oct.15-16	RSC-MANA Joint International Symposium, Tsukuba	120

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料5-1. ホスト機関による支援の実績

1. ホスト機関からのリソース供与

(1) 資金、人員

※ <資金> については、交付要綱第12条による実績報告書の区分に基づいて記入すること。

※ 研究者等が獲得した競争的資金（研究プロジェクト経費に当たるもの）は含まない。

※ <人員> について、事務職員のうち常勤職員の数を（ ）に記入すること。

(平成19年～平成24年)						
<資金>						(百万円)
年 度	19	20	21	22	23	24
人件費	54	157	141	172	1	1
教員（研究職員）						
うち専任	54	157	141	172	1	1
うち併任	0	0	0	0	0	0
ポストク	0	0	0	0	0	0
RA等	0	0	0	0	0	0
研究支援者	0	0	0	0	0	0
事務職員	0	0	0	0	0	0
事業推進費	237	555	680	497	458	582
旅費	5	69	87	68	32	36
設備備品等費	31	250	260	154	109	140
研究プロジェクト費	1187	920	1054	1089	736	877
合計額	1514	1951	2222	1980	1336	1636
<人員>						(人)
年 度	19	20	21	22	23	24
人件費	170	190	214	232	232	221
教員（研究職員）						
うち専任	51	56	65	63	88	89
うち併任	7	26	23	24	4	4
ポストク	37	65	72	79	70	61
RA等	26	12	21	31	44	41
研究支援者	25	13	16	16	8	9
事務職員	24(5)	18(4)	17(4)	19(4)	18(3)	17(4)

(平成25年～平成28年)					
<資金>					(百万円)
年 度	25	26	27	28	計
人件費	31	223	235	318	1,333
教員（研究職員）					
うち専任	31	223	235	318	1,333
うち併任	0	0	0	0	0
ポスドク	0	0	0	0	0
RA等	0	0	0	0	0
研究支援者	0	0	0	0	0
事務職員	0	0	0	0	0
事業推進費	536	498	509	513	5,065
旅費	38	59	66	79	539
設備備品等費	86	51	25	66	1,172
研究プロジェクト費	963	645	750	799	9,020
合計額	1654	1476	1585	1775	17,129
<人員>					(人)
年 度	25	26	27	28	計
人件費	236	242	225	192	2,154
教員（研究職員）					
うち専任	94	98	94	87	785
うち併任	5	4	4	3	104
ポスドク	72	76	66	60	658
RA等	36	33	33	19	296
研究支援者	10	11	10	9	127
事務職員	19(3)	20(3)	18(4)	14(4)	184(38)

(2) 土地建物・研究スペース等の現物供与

- ・ WPI-MANA棟 : 6,354 m²
- ・ MANA棟 : 12,934 m²
- ・ 共同研究棟 : 298 m²
- ・ 研究本館 : 606 m²
- ・ 事務研究棟 : 918 m²

2. 人事・予算面での拠点長による執行体制の確立

- ・ プロジェクト研究費、拠点活動費に関しては、NIMS運営費交付金から支出。
- ・ 約90名の定年制職員をMANAに配置。

3. 機関内研究者集結のための、他部局での教育研究活動に配慮した機関内における調整

- ・ 2015年3月末までは、NIMSにおけるナノスケール材料領域担当をMANAとして、定年制職員を集積。
- ・ 2016年4月以降は、NIMSの組織改編に合わせて、「国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)」という名称をNIMSが設置する7つの研究センター（拠点）のうちの1センターとして明確に位置づけ、機関内の定年制研究者を集積。

4. 新たな運営制度の導入に向けた制度整備

(例：英語環境、能力に応じた俸給システム、クロスアポイントメント、トップダウン的な意志決定システム等)

- ・ NIMSの第3期中期計画（5か年計画）に引き続き、第4期中長期計画（7か年計画）においても、MANAがNIMSのシステム改革（国際化、若手育成）の推進を担うことを規定。
- ・ 個人業績評価制度を、定年制職員が挑戦的な研究に取り組めるように改定。
- ・ NIMS本体事務部門の英語能力向上プログラムを導入し、ホスト機関の事務のバイリンガル化を促進。
- ・ サテライトPIがMANAの研究に参画できるように、共同研究の枠組みを通じて資金提供。
- ・ MANA事務部門を参考に、すべてのNIMS内研究センターに運営室を設置。

5. インフラ利用における便宜供与（1.以外で）

- ・ 新人のスタートアップ経費、MANAファウンドリー（微細加工設備）、各種共用設備、NIMSスパコン使用料、その他施設利用に関する便宜を運営費交付金にて供与。

6. その他

- ・ 定年制職員の新規採用を通じてMANAを強化。
- ・ 在外研究プログラムを通じて、海外研究機関に定年制職員を派遣。
- ・ 国内外大学・大学院との連携大学院制度を確立し、若手研究者を発掘。
- ・ NIMSの招聘制度およびインターンシッププログラムを活用して、研究者や学生を招聘。
- ・ シーズ育成研究資金を全ての定年制研究者に配分。

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）
添付資料5-2. 「中期目標」・「中期計画」の抜粋

国立研究開発法人物質・材料研究機構が
達成すべき業務運営に関する目標
(中長期目標)

平成28年3月1日

文部科学省

(略)

1.1.5 ナノ材料領域における研究開発

物質の形状等をナノメートルスケールで制御することで出現する機能性や反応性を生かし、それを更に高度に制御・変調することで機能を顕在化する「ナノアーキテクトニクス」は、従来技術の延長では実現し得ない革新的な材料を創製するための優れた方法論であり、未来の産業創造や社会変革に向けた基盤技術として重要である。

そのため、機構は、有機・無機・金属にわたる広範な材料系について、上述の概念に基づき組成・構造・サイズ・形状が精密制御された新たなナノ材料の創製技術を開発するとともに、これらを高度に配列・集積化・複合化することで、それにより設計・構築される人工ナノ材料等の斬新な機能を創発し、将来のエレクトロニクス、環境・エネルギー技術、バイオ技術の革新に繋がる新材料・デバイスの創製を目指すものとする。また、新たなナノ材料の探索、物性計測、理論計算手法の開発等を通じて、次世代のシーズ技術の創出を目指すものとする。

(略)

(別添) 国立研究開発法人物質・材料研究機構における評価軸

研究領域等	評価軸	関連する評価指標、モニタリング指	
物質・材料科学技術に関する基礎研究及び基盤的研究開発	機能性材料領域	○ 科学技術基本計画において国が取り組むべき課題の解決に繋がる成果が創出されているか	《評価指標》 ・国が取り組むべき課題解決に資する取組の進捗 ・未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出に資する取組の進捗 ・領域間での連携や大学・産業界との連携の取組の成果 ・理事長のリーダーシップが発揮されるマネジメント体制の構築・運用状況等 《モニタリング指標》 ・シーズ育成研究の成果・プロジェクト研究の成果（論文数、論文の質に関する指標（TOP10%論文数、平均インパクト・ファクタ値等）） ・公募型研究、産学独連携の成果（連携機関数、規模）等
	エネルギー・環境材料領域	○ 未来の産業創造と社会変革に向けた「超スマート社会」の実現に繋がる成果が創出されているか	
	磁性・スピントロニクス材料領域	○ 将来を見据えた未知なる課題への対応力を強化するための基盤技術が蓄積されているか	
	構造材料領域	○ 研究開発成果を最大化するための研究開発マネジメントは適切に図られているか	
	ナノ材料領域	等	
	先端材料解析技術領域	等	
研究成果の情報発信及び活用促進	広報・アウトリーチ活動の推進	○ 社会に向けて、物質・材料研究や機構の活動、研究成果等をわかりやすく説明し、理解を得ていく取組を積極的に推進しているか ○ 機構の研究成果等に対する理解が増進し、利活用が促進されているか	《評価指標》 ・機構の活動や研究成果に対する理解・認知度の向上を図る取組等の成果 ・機構の研究成果の普及を図るための理解増進や利活用のための取組の成果等 《モニタリング指標》 ・国民各層から幅広く理解されるためのアウトリーチ活動の実施件数 ・国際シンポジウム、学協会での発表、学術誌への投稿・発表の件数等
	研究成果等の情報発信	等	

	<p>知的財産の活用促進</p>	<p>○知的財産権の取得・管理・活用は適切になされているか ○得られた研究成果が多様な応用分野に波及しているか 等</p>	<p>《評価指標》 ・様々な連携スキームの活用による技術移転への取組の成果 等 《モニタリング指標》 ・特許性や市場性、費用対効果を考慮した知的財産の出願・権利化の件数、特許実施料収入額 等</p>
<p>中核的機関としての活動</p>	<p>施設及び設備の共用 研究者・技術者の養成と資質の向上 物質・材料研究に係る学術連携の構築 物質・材料研究に係る産業界との連携構築 物質・材料研究に係る分析・戦略企画及び情報発信 その他の中核的機関としての活動</p>	<p>○物質・材料科学技術に関する基礎研究及び基盤的研究開発を総合的に行う中核的機関としての機能を果たしているか ○研究施設・設備を共用するとともに、研究機関のネットワークのハブ機能としての役割を果たし、我が国の物質・材料科学技術の水準向上に貢献しているか ○研究者・技術者の養成と資質の向上により、我が国の物質・材料研究を支える知識基盤の維持・発展に貢献しているか ○学術連携の構築により、我が国の物質・材料研究分野での学術的活力を更に高める役割を果たしているか ○研究成果を産業界に橋渡しし、実用化に繋げるため、産業界との連携構築に向けた取組を積極的に行っているか ○機構が、物質・材料研究に対する社会からの要請に応えるため、関連する国家戦略、国際情勢等を定常的に把握・分析、活用、発信しているか ○公的機関からの依頼等に応じた事故等調査協力、物質・材料分野の国際標準化活動が適切に行われているか 等</p>	<p>《評価指標》 ・共用設備等を有する研究機関との連携、支援技術の向上のための取組の成果 ・研究者・技術者の養成、資質の向上のための取組の成果 ・研究成果の産業界への橋渡し、実用化に向けた取組の成果 ・事故等調査や国際標準化活動などの社会的ニーズ等に対する取組の成果 等 《モニタリング指標》 ・研究施設・設備の共用件数 ・学術機関との連携件数 ・研究者等の受入・派遣件数（クロスアポイントメント制度の適用者数等） 等</p>

国立研究開発法人物質・材料研究機構
の中長期目標を達成するための計画
(中長期計画)

(平成 28 年 4 月 1 日～平成 35 年 3 月 31 日)

認 可：平成 28 年 3 月 31 日

国立研究開発法人物質・材料研究機構

(略)

1. 物質・材料科学技術に関する基礎研究及び基盤的研究開発

(略)

1.1.5 ナノ材料領域における研究開発

本領域では、物質をナノメートルレンジのサイズ、形状に制御することにより先鋭化された形で現れる機能性や反応性を高度に制御・変調する新しいナノ材料創製技術、「ナノアーキテクニクス (ナノの建築学)」を確立し、経済・社会的課題の解決や超スマート社会実現の鍵となる、エレクトロニクス、環境・エネルギー技術、バイオ技術等の革新に繋がる新材料、デバイスの創製を行う。具体的には、有機-無機-金属にわたる広範な材料系において、組成、構造、サイズ、形状が精密制御されたナノ物質を高度に配列、集積化、複合化するとともに、それにより設計・構築された人工ナノ材料、ナノシステムにより、斬新な機能の創発を図る。ナノ材料科学者を中心に、物理、化学、生体材料、デバイス、理論計算等、多彩な専門家集団を本領域に結集し、異分野間の連携・融合を通じて、様々な技術分野に新展開をもたらす新規材料技術の創出を行う。

具体的なプロジェクトとしては、

- ・ケミカルナノ・メソアーキテクニクスによる機能創出
- ・システムナノアーキテクニクスによる機能開発 に取り組む。

これらのプロジェクトにより、2022年度までに特に以下の技術目標を達成する。

- ・ナノマテリアルを1 ~ 100 ナノメートルレンジで制御して集積・接合する技術を開発する。
- ・ユビキタス元素で構成される変換効率10%以上の熱電材料など、新型高性能エネルギー材料を創製する。
- ・従来の1/100以下の超低消費電力で高速動作する原子膜トランジスタや新機能原子・分子・量子デバイス・システム化技術を開発する。
- ・脳型情報処理を目指したニューロモルフィック材料を開発し、そのシステム化技術を確立する。
- ・簡便かつ低侵襲な癌診断・治療システムを提供するナノアーキテクニク・システムを開発する。

また、シーズ育成研究として、ナノスケールに関係した特異な物性、量子現象、反応等の発見、さらに

はそれらのナノアーキテクニクスを通じたナノ・メソ高次機能の発現を目指して、新規ナノ材料探索、ナノ物性計測、理論計算手法の開発等、他領域とも連携しつつ、基礎・基盤的観点から多角的な研究を行う。

外部連携活動では、世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI-MANA）で構築した国内外のナノテク研究拠点ネットワークについて、補助事業終了後もその継続に努め、ナノテク分野の世界的頭脳循環ネットワークの中心としての機能を果たす。また、理論－実験融合研究、異分野融合研究、ICYS-MANA 制度等の独自の取り組みを通じて、次世代の物質・材料技術創出とこれを国際的に推進する若手研究者育成を行う。さらにプロジェクト研究により生み出される成果を活用して、産業界との連携構築に努め、応用展開や実用化をめざしたナノ材料の開発、さらには、ナノデバイス等のさらなるシステム化・統合化を推進する。

（略）

【別紙1】重点研究開発領域における基礎研究及び基盤的研究開発のプロジェクトの内容等

1.1 重点研究開発領域における基礎研究及び基盤的研究開発

（略）

1.1.5 ナノ材料領域における研究開発

本領域では、物質をナノメートルレンジのサイズ、形状に制御することにより先鋭化された形で現れる機能性や反応性を高度に制御・変調する新しいナノ材料創製技術、「ナノアーキテクニクス（ナノの建築学）」を確立し、経済・社会的課題の解決や超スマート社会実現の鍵となる、エレクトロニクス、環境・エネルギー技術、バイオ技術等の革新に繋がる新材料、デバイスの創製を行う。具体的には、有機－無機－金属にわたる広範な材料系において、組成、構造、サイズ、形状が精密制御されたナノ物質を高度に配列、集積化、複合化するとともに、それにより設計・構築された人工ナノ材料、ナノシステムにより、斬新な機能の創発を図る。ナノ材料科学者を中心に、物理、化学、生体材料、デバイス、理論計算等、多彩な専門家集団を本領域に結集し、異分野間の連携・融合を通じて、様々な技術分野に新展開をもたらす新規材料技術の創出を行う。

具体的なプロジェクトとしては、

- ・ケミカルナノ・メソアーキテクトニクスによる機能創出
- ・システムナノアーキテクトニクスによる機能開発

に取り組む。

これらのプロジェクトにより、2022年度までに特に以下の技術目標を達成する。

- ・ナノマテリアルを1 ~ 100 ナノメートルレンジで制御して集積・接合する技術を開発する。
- ・ユビキタス元素で構成される変換効率10%以上の熱電材料など、新型高性能エネルギー材料を創製する。
- ・従来の1/100以下の超低消費電力で高速動作する原子膜トランジスタや新機能原子・分子・量子デバイス・システム化技術を開発する。
- ・脳型情報処理を目指したニューロモルフィック材料を開発し、そのシステム化技術を確立する。
- ・簡便かつ低侵襲な癌診断・治療システムを提供するナノアーキテクトニック・システムを開発する。

また、シーズ育成研究として、ナノスケールに関係した特異な物性、量子現象、反応等の発見、さらにはそれらのナノアーキテクトニクスを通じたナノ・メソ高次機能の発現を目指して、新規ナノ材料探索、ナノ物性計測、理論計算手法の開発等、他領域とも連携しつつ、基礎・基盤的観点から多角的な研究を行う。

外部連携活動では、世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI-MANA）で構築した国内外のナノテク研究拠点ネットワークについて、補助事業終了後もその継続に努め、ナノテク分野の世界的頭脳循環 ネットワークの中心としての機能を果たす。また、理論－実験融合研究、異分野融合研究、ICYS-MANA 制度等の独自の取り組みを通じて、次世代の物質・材料技術創出とこれを国際的に推進する若手研究者育成を行う。さらにプロジェクト研究により生み出される成果を活用して、産業界との連携構築に努め、応用展開や実用化をめざしたナノ材料の開発、さらには、ナノデバイス等のさらなるシステム化・統合化を推進する。

(略)

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料5-3. 女性研究者数の推移

※平成22年度～平成27年度の女性研究者数及び総数に対する割合を上段に、総研究者を下段に記入すること。

（単位：人）

	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	最終目標
研究者	38, 19.3%	45, 22.0%	45, 22.6%	43, 20.8%	41, 19.4%	38, 19.3%	50, 25.0%
	197	206	199	207	211	197	200
主任研究者	1, 3.5%	2, 8.0%	2, 8.3%	2, 9.1%	2, 9.1%	2, 11.1%	3, 12%
	28	25	24	22	22	18	25
その他の研 究者	37, 21.9%	43, 24.0%	43, 24.6%	41, 22.2%	39, 20.6%	36, 20.1%	47, 27.0%
	169	181	175	185	189	179	175

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

進展計画 (最終評価用)

ホスト機関名	国立研究開発法人物質・材料研究機構	ホスト機関長名	橋本 和仁
拠点名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	拠点長名	青野 正和

※全体を6ページ以内で記載すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

1. これまでの成果に基づく中長期的な研究課題・戦略

補助金期間終了後の研究課題・研究戦略におけるチャレンジについて記述すること。新たに設定する拠点の研究課題、あるいは拠点長の交代等の重要な変更事項があれば その戦略的背景についても記述すること。

1-1. 概要

MANA はそのビジョンを『新材料開発の世界トップレベルの研究拠点を形成するためにナノテクノロジーに新パラダイムを拓く』ことに置き、その新パラダイムを我々独自のナノアーキテクトニクスの新概念に基づいて拓いてきた。そして8年半を経た今日、MANA は新材料開発の世界トップレベルの研究拠点にまで育成したと自負している。これは以下の各種の指標に端的に現れている。MANA は過去8年半に3311報の論文を発表したが、その中で被引用数が世界トップ1%に入る論文は116報に達する。また、最近の2015年にMANA から発表された論文(466報)のインパクトファクターImpact Factor (IF) の平均値は6.16と高い。さらに、世界の各研究機関から発表される論文の質を公平に評価/比較するために考案された指標であるField-Weighted Citation Impact (FWCI) のMANA の値は2.42と高い(2008-2015年の発表論文)。MANA のこれらの指標は世界の多くのトップレベルの研究機関のそれらを凌駕している。

研究成果の内容の視点からも、世界を先導する数々の独創的な研究成果を上げてきた。ナノシート技術による各種の人工新材料の創成、原子スイッチの基礎研究から実用化までの進展、超高感度/超並列分子センサーの発明と実用化、表面超伝導体/局所超伝導体の開拓など材料科学の基礎研究、実用的な人工光合成に向けての基礎から応用にわたる研究、各種の新しいナノ計測法の開発など、世界に誇りうる多くの研究成果を上げてきた。

したがって、MANA はその研究方向を今後も基本的に維持/継続するが、次の2つの新展開を試みる。これまでのMANA の研究成果を詳細に分析した結果、「理論研究と実験研究との融合」および「ナノテクノロジー(ナノアーキテクトニクス)とライフサイエンスとの融合」の有効性が浮き彫りになった。そこで、今後はこの2つの融合を強力に推進する(1-2、1-3で詳述する)。

また、MANA がこれまでに掲げてきた3つのグランドチャレンジ研究テーマの進捗状況も分析した結果、有望な成果が得られつつあるので(1-4を参照)、これらもまた継続する。

MANA の研究の主要な部分は4つの研究分野すなわちナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ、ナノセオリー研究分野において行われる。

なお、MANA のこれまでの研究は、WPIプログラムの基本方針に沿って、青野正和拠点長の指導力によって推進されてきたが、2017年度からはより若い佐々木高義新拠点長に指導力を発揮してもらいたい。

1-2. 理論研究と実験研究の融合

MANA のこれまでの優れた研究成果には理論研究と実験研究との融合によって達成されたものが数多い。そこでこれまでの4研究分野に加えて、2016年度からナノセオリー分野を創設し、5研究分野の体制としている。詳細は2-1で述べるが、ナノセオリー分野は30名規模の大きな理論研究者集団である。

ナノセオリー分野は、世界最高レベルのコンピューター(京コンピューターなど)を有効に活用できる立場を確保する。しかしながら、第一原理計算至上主義から脱皮して、新しい理論研究のあり方を世界に先駆けて開拓することも一つの重要な目標としている。すなわち、ナノスケールでの多くの興味深い現象は励起状態、動力学課程、多体効果を伴うにもかかわらず、今日の第一原理計算法はそれらの取扱いを苦手としているので、これを克服するために、適切で大胆な近似法を導入して理論研究に新展開をもたらす。これによって、理論研究と実験研究との融合を促進する。また、ナノセオリー分野は理論と実験の融合だけでなく、実験研究を主体とする他の4研究分野の融合研究を促進する役割も果たす。

研究テーマの例として、まずMANA の研究者が重要な貢献をして開発された超大規模計算コードCONQUESTによって強化された第一原理計算法を、京コンピューターなどを用いて、100万

個以上の原子を含む大きい系の構造や電子状態などの解明に利用する。これによって、MANA の実験研究は大いに支援されるであろう。しかし、現実の世界では頻繁に起こっているプロセスであるにもかかわらず、それらのプロセスを原子/分子の動きから解き明かそうとする現在の第一原理計算法では、現実的な計算時間の範囲内でそれらのプロセスをシミュレーションすることはほぼ不可能であるという問題がある。そのようなプロセスとしては、励起状態を含むプロセスや、確率分布の尾に対応する微小な確率で起こるプロセス等がある（いずれも、原子/分子スケールでの劇的な構造変化の原因となりうる）。これらのプロセスは、第一原理計算においてはめったに起こらない「レア・イベント」に過ぎないが、現実の世界はそれらに強く支配される（これは、生物の進化は突然変異に強く影響されるが、それを予測することは容易でないことに似ている）。また、以上のような計算科学から離れた原理探索的な理論研究として、トポロジカル絶縁体に関する理論研究をきっかけとした新しい固体物理学の世界がいま開けつつあり、MANA の研究者がそれに大きい貢献をしている。その研究と MANA の優れたナノアーキテクトニクスとを融合して、まったく新しい量子デバイスの世界を開拓したい。

1-3. MANA 独自のナノライフ研究

MANA は我々の世界トップレベルのナノテクノロジーをライフサイエンスと融合して新分野を開拓することを目指してナノライフ研究分野を置いた。トップレベルのナノテクノロジーの研究者とライフサイエンスの研究者が共存し、互いに他の分野をよく理解し合っていることが MANA の一つの重要な特徴である。最近、この特徴による効果が顕著に現れつつある。この状況を生かして、今後は MANA 独自のナノライフ分野の構築に挑戦する。すなわち、生物の基本である“細胞”、“感覚器官”、“脳”の機能に学び、その知見をナノアーキテクトニクスのトップ技術と融合して、未開拓の新しい“もの”や“システム”を創造することを目指す。逆に、ナノアーキテクトニクスのトップ技術をナノライフの研究に積極的に利用することも強力に推進する。

研究テーマの例として、MANA が開発したシナプス型原子スイッチが億個の単位で脳型ネットワーク回路を形成した場合の興味深い創発的機能をすでに見出しており、これを利用した人工頭脳の材料ベースの試作品を実現する。また、単細胞がもつ優れた機能に学んだ新しい計算アルゴリズムを無機物質によって物理実装することを目指す。動物の嗅覚器官に学んだ、超高感度・超並列分子センサーをすでに開発し、人間の呼吸を分析して癌の有無を判別するための予備的な研究に成功しているが（スイスのバーゼル大学との共同研究）、このセンサーをさらに発展させ、他のさまざまな技術分野にも革命をもたらしたい。さらに、癌の患部に貼付して外部電磁場の印可によって癌細胞を死滅させる薬剤を放出するスマートポリマーによるファイバーメッシュの研究など、医療への応用研究を進める。

1-4. MANA のグランドチャレンジ研究テーマ

MANA はこれまで次の3つのグランドチャレンジを掲げてきた：

- ★ナノアーキテクトニック脳型ネットワーク
- ★室温超伝導
- ★実用的人工光合成

これらは長期的な研究目標であり、短期的な成果を期待するものではないが、すでに興味深い成果が上がっている。したがって今後もこれらを継続する。それらの研究の現状と将来計画は、以下の通りである。

- ★ **ナノアーキテクトニクスに基づく人工頭脳 (Nanoarchitectonic artificial brain)** : MANA が開発してきた原子スイッチが脳のシナプスと酷似した特性をもつという興味深い事実が見出されたので、数千万個の原子スイッチからなるネットワーク回路を構築したところ、意外な特性がいくつも観測された（直流電圧の印可に対して電気伝導度がランダムな増減をし続けるなど）。延長期間では、この興味深い特性を利用した新しいコンピューテーションの方法を開発する。適切な理論研究者との密接な連携も進んでいる。
- ★ **室温超伝導体 (Room temperature superconductivity)** : 絶縁体や半導体に電子や正孔を物理的に（電界効果などによって）注入して超伝導体化する試みを行っている。一例として、ダイヤモンドに正孔を電界効果によって注入して金属化することに成功したが、まだ超伝導化には至っていない。この方向の研究は今後も続けるが、MANA の中から意外な理論研究が現れた。すなわち、金のような重たい原子が二次元の歪んだ八面体格子を形成すると、それに垂直に電界を加えるとき、室温以上の 600K でも、その周端にゼロ抵抗の電流が流れるという理論的予測である。これを検証するための実験研究を開始した。
- ★ **実用的人工光合成 (Practical photosynthesis)** : すでに新しい光触媒を用いていくつかの光合成反応の実現に成功しており、今後はその効率を向上せしめるシステムの開発に力を注ぐ。すでに MANA が得意とするプラズモニクス技術を有効に利用して光を増強するシステムの研究が進んでいる。また、興味深い試みとして、高効率の光合成を実際に行っている植物の葉の微細構造を模したシステムが高い光合成の変換効率を示すことを見出した。その後の研究で、表面積の増加だけではなく三次元につながったトンネル構造の存在が高い変換効率を実現していることが判明している。

さて今後は、第4のグランドチャレンジを追加する：

★ スーパー・バイオセンシング (Super biosensing)

これは、上で述べた MANA 独自の新しいナノライフ分野の開拓と密接に関係している。その新しい分野を開拓するために、他ではまだ実現されていない MANA 独自のナノアーキテクトニクな検出手法を駆使する。それらの手法には、神経回路網における任意の指定された点の間の信号伝達を解析する多探針走査型プローブ顕微鏡 (STM, AFM, KFM)、人間の嗅覚よりも 1000 倍以上優れた感度をもつ超高感度・超並列分子センサー、これまでは不可能であった人体を透過する近赤外光による生体イメージング法などが含まれる。このようなナノアーキテクトニクなバイオセンシング法の開発にさらに挑戦し、ライフサイエンスの世界に革新をもたらすことが、このグランドチャレンジの目標である。

1-5. ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ、ナノセオリー研究分野

最初の4研究分野はこれまで MANA の研究の中心部分をなしてきた。これらの分野は、基礎と応用、マテリアルとシステム、材料と生体などの対立軸を鮮明にして、それらの分野の融合研究をむしろ促進することを意図して組織された。2016 年度から新たに5番目のナノセオリー分野を創設し、理論研究を強化した(既述)。これらの5分野において行う挑戦的研究の中から代表例を以下に記す。

ナノマテリアル分野：これまでに MANA が蓄積してきたナノシートによる新材料創製のための科学と技術を駆使して、メタマテリアル(自然には存在しない、光の屈折率が負の物質)、巨大な誘電率をもつナノシートを利用した室温超伝導デバイス等の実現を目指す。これらの研究をサポートする新しいナノ計測技術の開発もさらに進める。

ナノシステム分野：原子のネットワークを用いたナノアーキテクトニク人工頭脳の基本ユニットの実現、世界初の真の単分子デバイスの実現、トポロジカル絶縁体を用いたデコヒーレンスのない新しい量子ビットの開発、室温超伝導デバイスの開発等を目指す。またこれらの研究において重要な、任意の位置で局所の(ナノスケールで)電気伝導度を計測しうる方法の開発も進める。

ナノパワー分野：実用的人工光合成の実現に向けて、高効率なナノアーキテクトニクシステムの実現を目指す。このために、プラズモニクス技術やレイイベントサンプリング法による理論計算との連携を積極的に進める。

ナノライフ分野：上の「MANA 独自のナノライフ研究」の項で詳述したように、ライフサイエンスとナノアーキテクトニクスの密接な融合研究を推進する。その一部は、診断/医療の現場に役立つ技術に発展するであろう。

ナノセオリー分野：上の「理論研究と実験研究の融合」の項で詳述したように、世界最高速の京コンピュータなどを駆使するトップレベルの第一原理計算から、レイイベントサンプリング法を用いた新しい理論研究手法の開発、さらには最新のトポロジカル絶縁体に関連した理論研究まで、広範な研究を進めて、実験研究との融合/連携を図る。

2. 研究組織運営

2-1. 上記で示した研究戦略・計画を実行するための研究組織運営について記述すること。

- ・ 進展・持続を確保するためのPI構成について[添付様式1]に記載すること。
- ・ 拠点の組織運営図を[添付様式2]に記載すること。

10年間の実施期間終了1年前、NIMSの次期中期計画が開始する2016年4月に、以下の点を主要な柱とする組織体制の改変を実施する。

- i) MANAはこれまで拠点長(青野正和)、最高運営責任者(板東義雄)、事務部門長(藤田高弘・中山知信)のトロイカ体制で運営してきたが、拠点長を補佐する副拠点長(佐々木高義)を新たに置いて、MANAの運営をさらに強化する。
- ii) PIを入れ替え、PIの大幅な新陳代謝を図る。associate PIのPIへの昇格、ナノパワーやナノライフ分野の強化、さらにナノ理論分野の新設に伴い、PIを任命する。この際、若手研究者の抜擢を考慮する。
- iii) 研究のレベルアップ、若手研究者の育成、拠点の国際化等、MANAの業績に多大な貢献があったMANAのサテライトは、発展的に解消する。ただしMANAの方針に合致する研究を実施し、MANAとの共同研究や人材交流等が期待できるNIMS外部の著名研究者には、PIとしてMANAに参画を要請する。
- iv) 「ナノセオリー分野」を新設し、約40名規模の理論研究者集団を形成する。すなわち、WPI-MANA棟に隣接する新「理論研究棟」に移動したNIMSの「理論科学計算ユニット」の研究者約30名と、現在のMANAの理論研究者10数名を合流させることで、MANAの研究者の約5分の1を理論研究者とする。さらに単に理論研究者の数を増やすだけでなく、「理論・実験ペアリングプログラム」を立ち上げ、半ば強制的に実験と理論の融合を推進する。

すなわち、原則として、すべての理論研究者は実験研究者とペアとなり、このペアは種々の研究課題について取り組むこととする。これによって実験と理論の連携が著しく加速され、ナノアーキテクトニクス研究が飛躍的に進展することが期待できる。

- v) ナノライフ分野では、ナノメカニカルセンサーなどのナノアーキテクトニクスのトップ技術をナノライフ研究に融合させることにより、MANA 独自のナノライフ研究を推進してゆく。このため、ナノライフ分野の研究者の入れ替えや新規研究者採用を行う。
- vi) MANA の四つのグランドチャレンジの実現に向け、研究リソース（研究費、ポスドク等）をこれらのテーマに重点的に投資する。また、外部の研究者を招いて、特定研究テーマ（原子スイッチやナノシートやナノメカノバイオロジーなど）のワークショップやブレインストーミングを実施する。
- vii) グランドチャレンジミーティングの開催や特別ファンドの公募を行い、革新的・挑戦的な研究や異分野融合研究への取り組みを引き続き奨励する。特に、東京大学や東京理科大との連携による研究ファンド獲得のための取り組みを行う。

2-2. システム改革を先導する取組・計画

国立大学改革プラン・独立行政法人改革等に関する基本的な方針等への対応、ホスト機関全体を先導する取組の計画及び波及効果・貢献について記述すること(他機関を先導する取り組みの計画および波及効果・貢献等があれば記述すること)。さらに次世代研究者育成・確保の取組み(例えばテニューア・トラック制の導入等)、継続的な実行・検証（PDCA）システム等組織運営の進化を促すシステムへの取り組みについても記述すること。

a) NIMS のリフォーム

闊達な研究風土作り、優秀な若手研究者の獲得・育成方法、行き届いた事務・技術支援体制等、MANA が培ってきた組織運営の経験を NIMS に移植する。

b) NIMS 及び日本の研究機関・大学の国際化

MANA を手本とする NIMS 本体の国際化の取組みは、第3期中期計画においてはほぼ完遂したといえる。今後は、MANA の研究環境を NIMS だけではなく NIMS 外の他の研究機関や大学に敷衍することに務める。

まず、これまでに MANA で蓄積してきた国際化のノウハウ等をまとめホームページ上や書籍の形で公開する。これと並行して、国際化に関するワークショップの開催、メール等による相談窓口の開設や出前セミナー等も計画する。一方、WPI 事業で築き上げてきた有形・無形の資産を現地で目の当たりにすることが理解増進に繋がると考え、MANA において国際化の研修コースを常設し日本全国の大学・研究機関等に参加を呼びかける。

c) 国際的なネットワークの拡充

過去9年の間に、MANA は世界中から研究者が集まる世界トップレベルの研究拠点を形成し、その知名度は高いものとなっている。その証として、世界各国の政府系機関から訪問・視察やワークショップ開催等の申し込みが急増している。また、MANA から数百名の若手研究者が巣立ち、世界中の研究機関で活躍している。

このように、MANA をハブとする世界の研究機関のネットワークを構築するというミッションは達成されつつあるが、さらに MANA は先進国のトップ大学・研究機関とはこれまで以上に連携を強化し、研究交流や人材交流を推進する。

一方、アジア・中東・アフリカ等の発展途上国からは教育的な指導を請われている。政府系の研究機関としてこれらの要請に応えることは責務と考え、これらの国に対して、指導者クラスを招へいし研究者や技術支援スタッフを育成してゆく。

欧米等の先進国だけでなく、地球上のあらゆる国を対象として国際的なネットワークを拡充する。

3. ホスト機関における位置付け及びリソース措置

以下の点について、実施期間終了後の取り組みについて記述すること。

3-1. ホスト機関の中長期的展望における拠点の位置付け

ホスト機関長のリーダーシップの下、当該拠点がホスト機関全体の今後の戦略においてどのような位置付けをされているか記述すること。

- ・ 今後の拠点のホスト機関における組織的位置付けが分かる図及び中長期的な計画等の抜粋、あるいはこれらの検討状況等について[添付様式3]に記載すること。

NIMSの次期中長期計画は7年計画であり、当初のWPI事業実施期間（10年）終了時よりも1年早く2016年4月からスタートする。したがって2016年3月末時点で、MANAの組織・体制や取り組む研究分野等について必要な手直し計画を決定した。次期中期計画以降も、MANAはNIMSのナノテクノロジー推進の中心研究拠点として存続し、NIMSの理論研究者の大半を取り込みさらにその陣容を強固なものとして継続することになった。具体的には、2016年4月からの7年間は、NIMS内に7つの研究拠点が設置され、そのひとつがMANAとなる。拠点名称とし

てWPI事業期間中と同じ「国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点」が使用される事が決定し、NIMSが実施する10の中長期計画プロジェクトのうち2プロジェクトを担当する。2016年4月時点での、MANA所属パーマネント職員数は3月末時点の90名より大幅に増加する。これは、これまでナノライフ分野の見直しに伴う人員減に比べて、新しく参加する理論研究者ならびに超伝導研究の増強、さらに新規採用職員4名の配属による補強が大幅に上回った結果であり、MANAはパーマネント職員数104名の研究拠点となる。

3-2. 世界トップレベル研究拠点たる活動の進展・持続についてのホスト機関の措置の実行計画（ポジション、財源等の措置）

NIMS は、WPI 補助事業の延長の有無に関わらず、MANA に対して以下のように研究資源を措置し、その基本的な活動を継続することを約する。

- i) 主任研究者、准主任研究者、グループリーダー、MANA 研究者、独立研究者、事務部門スタッフのコアメンバー約 90 名を NIMS のパーマネント職員として、MANA に配置することを宣言してきた。この方針に変更がないばかりか、2016 年 4 月からは 90 名を大幅に超える、104 名のパーマネント職員を配置することが決定している。
- ii) 研究プロジェクト費、MANA ファウンドリ運営費、研究者の招へい・派遣費、光熱水料等、MANA における基礎・基盤研究を実施するために必要な経費（約 10 億円/年）を、NIMS 運営費交付金より拠出する。

WPI 補助事業終了後については、上記 i)、ii)に加え、ポスドク・学生やスタッフ等の人材確保と、MANA を特徴付ける種々の事業の精査と新たな取り組みが重要である。これに関して、以下の方策を講じる。

- iii) WPI 補助金で雇っていたポスドク等の任期制職員を、外部資金による雇用で置き替えていく。そのために、挑戦的な研究や分野融合研究等への取組みを強力に推進し、外部資金の大幅増に繋がるように研究ポテンシャルの一層の向上を図る。その一環として、東京大学、東京理科大学他国内の大学、国内の研究機関との研究連携を強化する。
- iv) 拠点を特徴付ける、若手育成プログラム（ICYS 等）、シンポジウム開催やアウトリーチ活動等については、NIMS 本体の事業への移行を図る。
- v) MANA で特に充実している事務や技術の支援については、研究部門付き運営室や地区技術支援ステーションの新設等、NIMS 本体のシステム改革を行い、それらの機能の置き換えや強化を図る。
- vi) WPI 補助金終了後は、MANA の研究成果をシーズとして活用しつつ、外部機関と連携して実用研究へと発展させるオープンイノベーションセンター(仮)を NIMS 内に設置し、MANA の基礎研究から応用研究への展開を図る。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料1. 主任研究者リスト (進展計画用)

※主任研究者が10名を超える場合は、その数に応じて作成。

※「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「*」印を付す。

※年齢は、2017年4月1日時点とする。

※進展計画開始時点で、当該構想に参加できないものについては、備考の欄に、参加予定時期を明記する。

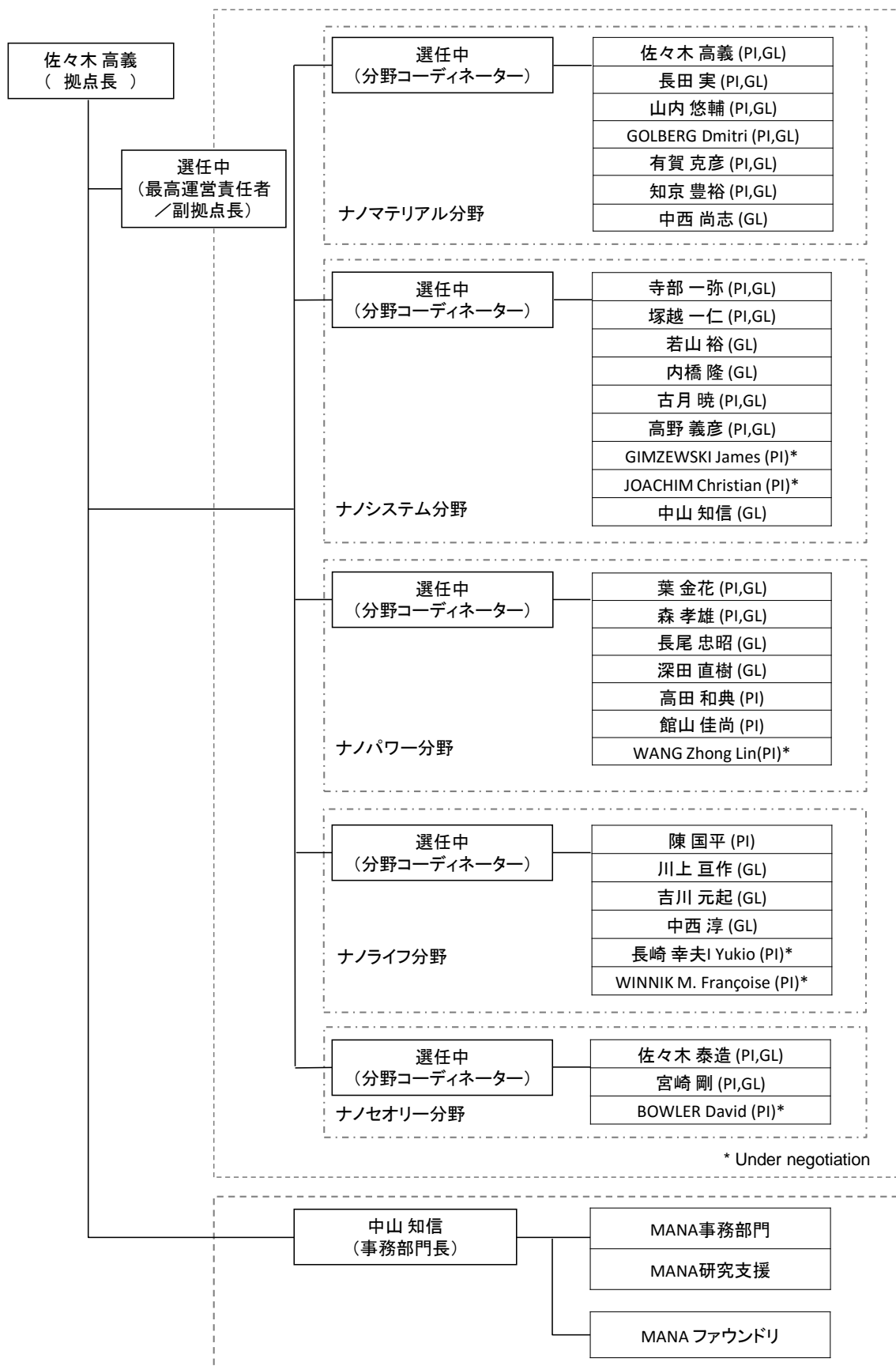
氏名	年齢	現在の所属 (機関、部局、専攻等)	現在の専門 学位	備考 (新規・継続等も記入)
1. 佐々木 高義*	61	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. (Science) University of Tokyo, 1986 Nanosheet and soft chemistry	継続
2. 長田 実	47	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Tokyo Institute of Technology, 1998 Nanosheet Functionality	継続 (平成28年度より)
3. 山内 悠輔	36	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Waseda University, 2007 Mesoscale Materials Chemistry	継続 (平成28年度より)
4. GOLBERG, Dmitri*	56	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Moscow Institute for Ferrous Metallurgy, 1990 Nanotubes and nanowires	継続
5. 有賀 克彦*	54	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Tokyo Inst. Tech., 1990 Supramolecular chemistry and surface science	継続
6. 知京 豊裕	58	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Waseda University, 1989 Semiconductor and electric materials	継続
7. 寺部一弥	54	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Nagoya University, 1992 Nanoionics	継続 (平成28年度より)
8. 塚越 一仁	49	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Osaka University, 1995 Nano electronics	継続
9. 胡 暁	55	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. (Physics) University of Tokyo, 1990 Condensed matter physics	継続
10. 高野 義彦	51	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Yokohama City University, 1995 Superconducting	継続 (平成28年度より)

			materials	
11. GIMZEWSKI, James K.*	65	Distinguished Professor, Chemistry & Biochem. Dept., UCLA Director, Nano/Pico Characterization Lab, UCLA California NanoSystems Inst.	Ph.D. (Physical Chemistry) Univ. of Strathclyde, 1977 Nanoscience and nanobio	継続
12. JOACHIM Christian*	59	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) Lab: CEMES (UPR8011) Toulouse (France)	Ph.D. in Applied Mathematic Ph.D. in Quantum physics, computer science and nanoscience	継続
13. 葉金花*	54	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. University of Tokyo, 1990 Photocatalyst, eco-materials	継続
14. 森孝雄	50	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. University of Tokyo, 1996 Thermoelectric materials	継続 (平成28年度より)
15. 高田和典*	55	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Osaka University, 1986 Solid-state chemistry	継続
16. 館山佳尚	46	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. University of Tokyo, 1998 Condensed matter theory	継続 (平成28年度より)
17. WANG, Zhong Lin*	55	Professor, School of Materials Science and Engineering, Georgia Institute of Technology	Ph.D. Arizona State University, 1987 Nano chemistry and nanodevices	継続
18. 陳国平	51	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Kyoto University, 1997 Biomaterials and tissue engineering	継続
19. 長崎幸夫*	57	筑波大学大学院、数理物質科学研究科、教授	Ph.D. Tokyo University of Science, 1986 Biomaterials and polymer chemistry	継続
20. WINNIK, Françoise M.*	65	Faculty of Pharmacy and Department of Chemistry, University of Montreal, Canada	Ph.D. (Chemistry) Univ. of Toronto, 1979 Polymer chemistry and photochemistry	継続

21. 佐々木 泰造	58	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. Tohoku University, 1987 Condensed matter theory	継続 (平成28年度より)
22. 宮崎 剛	50	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)	Ph.D. University of Tokyo, 1995 First-principles calculations	継続 (平成28年度より)
23. BOWLER, David	46	Condensed Matter and Material Physics, University College London, UK	Ph.D. Oxford University, 1997 Condensed matter theory and calculations	継続 (平成28年度より)

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料2. 拠点運営組織図



世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料3. ホスト機関における拠点の組織的位置付け

※拠点のホスト機関における組織的位置付けが分かる図及び中長期的な計画等の抜粋、あるいはこれらの検討状況を記載すること。

MANAは平成28年度よりNIMSの7つの研究拠点の1つに位置付けられます。NIMSの次期中長期計画（平成28年度～平成34年度）において、MANA独自のナノアーキテククス理論に基づく革新的な新材料・システムの開発は、NIMSの戦略の重要な方向性として認識されています。同時にMANAは、名称の中に「国際」という言葉が入る唯一のセンターです。MANAは間違いなくNIMSの中核部分であり、その研究と国際性において世界トップレベルの主導的な研究センターとなることが期待されています。



世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4 世界トップレベル研究拠点の進展・持続に係るリソース計画

年次計画（平成29年～平成33年）					
<資金>					(百万円)
年度	29	30	31	32	33
・ 補助金額	- (※)	- (※)	- (※)	- (※)	- (※)
・ ホスト機関の措置 予定額 (内訳)	1600	1600	1600	1600	1600
人件費	900	900	900	900	900
事業推進費	340	340	340	340	340
旅費	20	20	20	20	20
設備備品等費	30	30	30	30	30
研究プロジェクト費	300	300	300	300	300
サテライト経費	10	10	10	10	10
・ 外部資金獲得計画	800	800	850	850	900
・ 合計額	2400	2400	2450	2450	2500
<人員>					(人)
年度	29	30	31	32	33
・ 総人員	188	188	193	193	198
教員（研究職員）	104	104	104	104	104
うち専任	100	100	100	100	100
うち併任	4	4	4	4	4
・ ポスドク	35	35	40	40	45
・ RA等	35	35	35	35	35
・ 研究支援者	4	4	4	4	4
・ 事務職員	10	10	10	10	10

(※) 補助金見込額は含めないこと。

- 金額については、小数点以下第一位まで記入。

- 幅がある場合上限と下限を示し、その変動条件についても注釈によって示すこと。

<平成29年度以降において講ずる措置>

- 適切な人員（テニュアポスト）、スペース及びその他必要な措置に関する戦略・取組についての行動計画等

NIMSは、MANAの定年制職員（研究者、エンジニア、事務職員を全て含む）の数を、WPIプログラム終了後も100名程度に維持する計画である。研究職員の多様性確保のために、外国人研究者および女性研究者の比率をそれぞれ50%、25%と設定してポスドクの採用で考慮していく。また、NIMSはMANAの規模を維持あるいは拡大していくために毎年の新人採用において配慮する計画である。

NIMSは、2008年10月にMANA棟（12,934m²）、2012年4月にWPI-MANA棟（7,629m²）をMANAに配分した。また、これらの建物に隣接する建物（519m²）を改修し、NIMSの大部分の理論研究者をMANAのナノセオリー分野に配置した2016年4月に、MANAの施設として位置づけた。

MANAは、国内主要大学との戦略的研究連携・研究協力を推進して、CREST、PRESTO、そして科研費など外部資金の確保に最大限の努力を払う。また、MANAは、民間企業の資金導入を目指してNIMSが推進する民間企業を対象としたオープンイノベーション事業にも積極的に参加していく。