

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

Executive Summary (延長審査用)

ホスト機関名	物質・材料研究機構	ホスト機関長名	潮田 資勝
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

A. 拠点形成報告書

I. 概要

MANA は発足後6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てきた。

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 80 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 2.5 と非常に大きい。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 という非常に高い値である。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いたと考えている。

MANA は6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) ナノアーキテクトニックな診断と治療、f) 力学的、電気的、光学測定が可能な透過電子顕微鏡、g) 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。また、国際拠点運営のノウハウを NIMS の他拠点や外部の研究機関に提供してきた。NIMS 本体においても、外国人研究者に対する英語による支援が大幅に改善している。

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遂行する、独立研究者(パーマナント研究者の約 20%)及び ICYS 研究員(ポスドクの約 20%)の制度は、良い成果を挙げている。

MANA が行っている研究は、NIMS の三つの重点研究開発領域のひとつとして認知され、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。換言すれば、MANA は NIMS の研究組織において恒久的なユニットになっている。また NIMS は、約 90 名のパーマナント職員を配置し約 15 億円を毎年提供するなど、MANA を全面的に支援している。

II. 各論

1. 拠点形成の全体像

<ビジョンと背景>

MANA が発足した6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ものになりつつあった。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。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、我々のビジョンは次の通りである。

ナノテクノロジーの新しいパラダイムを切り拓き、新材料を開発する

同時に、ナノテクノロジーの新しいパラダイムを簡潔に明確に表現するために、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嬉しく思う。

<現状>

MANA は、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、ナノライフを置いている。現在、22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4研究分野で研究をしている。これらの研究者を29名の事務・技術スタッフが支えている。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51%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6年半の経験と自信をベースに、MANAはさらにナノアーキテクトニクスと様々な研究分野との融合を推進する。我々の最終目標は、様々な革新的技術に繋がる、世界を揺るがす新材料を開発することである。

2. 研究活動

<顕著な研究成果>

既に述べたように、MANAの研究は、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)で行われてきた。4研究分野の主要な研究成果は次の通りである。

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独創的な手法を開発できたことを誇りに思う。この手法によるメタマテリアルや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及びシステム候補の開発：CMOSによらないデバイスとして有望な原子スイッチを発明できたことも誇りに思う(日本電気との共同研究)。さらに重要なことは、ある条件下の原子スイッチが我々の脳のシナプスと同様な機能を示すことである。原子スイッチから構成される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：一例として、メタンの人工光合成に成功した。次の挑戦課題は、様々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) 超高感度・超並列分子センシング(膜表面応力センサー、MSS)：本センサーの感度は、従来の片持ち梁センサーよりも100倍以上高い。癌患者の呼吸と健康者の呼吸を識別するに成功した(スイスのバーゼル大学との共同研究)。

E) 画期的なナノスケール計測方法論：ナノ材料の力学的、電気及び光学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法(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を開発し、ナノスケールでの電気伝導度の計測を可能とした。

<MANAの三つのグランドチャレンジ>

MANAは次の三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、すでに興味深い予備的な成果が上がっている。一つめと三

つめのグランドチャレンジの結果については、前ページの B)と C)で少し触れた。二つめのグランドチャレンジについては、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いる。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二次元の歪んだハニカム格子を形成すると、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た。

<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 2013 年の間に申請した特許は 640 件(国内 435 件、国際 205 件)、またこの間に登録された特許は 416 件(国内 318 件、国際 98 件)に上る。

3. 異分野融合

<戦略的な取り組み>

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)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
- 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

新しい研究の芽の創出には異分野にまたがる共同研究の推進が重要であると考え、MANA の若手研究者を対象に公募し、特別委員会を作って提案の選考を行った。

<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、材料物理学及び電子デバイス技術の連携)
- 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)
- 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)
- 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)
- ナノアーキテククスの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)
- 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)

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機関をしている。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 の若手研究者の育成の場となっている。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 のパーマナント研究職へのテ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 6 年半で合計 942 名の応募があり、40 名が MANA に配属された。

また、MANA のポストドクのうち 8 名が NIMS のパーマナ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、15 カ国、34 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。

＜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。

＜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) 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 の役割を NIMS 中期計画で規定)
- (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を、NIMS の他センターや外部研究機関に提供

＜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、毎年 10 億円を超える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 4 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。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 2014 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、2014 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。

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 (延長審査用)

ホスト機関名	物質・材料研究機構	ホスト機関長名	潮田 資勝
拠 点 名	国際ナノアーキテクトクス研究拠点	拠 点 長 名	青野 正和

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、平成26年3月31日現在の内容で作成すること。

※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。

※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、事業費について[添付様式1]に記載すること。

1-1. 序

MANAは発足後の6年半の間に、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2章に記述)。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80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2.5と非常に大きい(いずれも2008年から2013年の間に発表された論文についての統計)。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という非常に高い値である(2012年の発表論文についての統計)。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6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ものになりつつあった。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：

- 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。
- 一般に、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。
- 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。
- 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。

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嬉しく思う。

1-3. MANA のビジョン、ミッション、組織

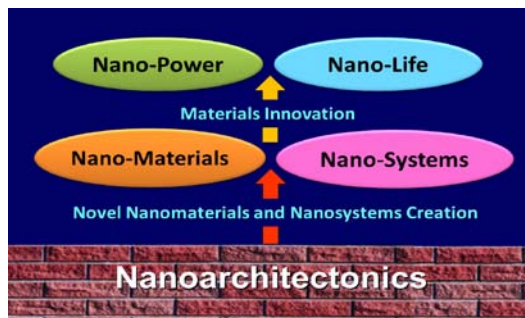
MANA はそのビジョンを

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、世界トップの新材料開発
2. 異分野研究の融合
3. 次世代若手研究者の育成
4. 地球規模の研究協力

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、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)を置いている。



MANA の 4 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実現した。
- ★ 研究者の 51%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。

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、2007～2014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]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きた。

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、三つのカテゴリー：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三つの項目に小分類した。

主要 20 研究成果の分類 [1]-[20]

新たな研究分野の創出	研究成果
★ 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	[1], [2]
★ 原子スイッチと関連するデバイス及びシステム候補	[3], [4]
★ 分子レベルのサイト指定化学ナノアーキテククス	[5], [6]
学際融合領域研究	研究成果
★ ナノアーキテククスに着想を得たナノ生命科学	[7], [8]
★ ナノ生命科学に着想を得たナノアーキテククス	[9], [10]
★ 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], [12]
その他の注目すべき研究成果	研究成果
★ 画期的なナノスケールデバイス及びシステム	[13], [14], [15]
★ 画期的なナノスケール計測方法論	[16], [17]
★ 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	[18], [19], [20]

「新たな研究分野の創出の研究」は、MANA が創出した独創的な研究で、かつ一般性をもって世界的に普及しつつある研究である。それらには、ナノシート技術によるさまざまな新物質の創製、原子スイッチとそれから派生するさまざまなデバイスの研究、単分子デバイスの実現の夢に近づくナノアーキテクチック化学の研究が含まれている。

「学際融合領域研究」は、MANA の高度なナノアーキテククスから学んだナノライフの研究、逆にナノライフの研究から学んだナノアーキテククスの研究、および理論と実験の密接な融合によって行なわれた研究である。

「その他の注目すべき研究成果」は、上記のカテゴリー以外のさまざまな顕著な成果である。

＜ 主要 20 研究成果 ＞

(添付様式 2 の論文 1~40 を参照のこと)

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

[1] 層状結晶の巨大膨潤と剥離現象による高品位機能性ナノシートの作製

代表研究者: 佐々木

本研究では、アミン水溶液中の層状結晶の巨大膨潤を誘発する方法で、様々な酸化物及び水酸化物ナノシートを開発した。高度に膨潤する「水の結晶」は、他の層間剥離方法では達成が難しい、高品位で大量の単層ナノシートに漸次的に剥離させることができる。この過程は、独自性と有用性を備えたナノシートの作製に向けて設計された組成及び構造で合成された、様々な層状結晶に応用されてきた。このような方法で作製されたナノシートは、実用的なナノ構造材料及びナノデバイスを創製する「2D ナノシートによるナノアーキテククス」の礎石として有効に利用されている。

本研究では、層状金属酸化物の板状微結晶がアミン水溶液中で巨大膨潤する驚異的な現象を観察した(Fig. 1 を参照)。層と層の間隔は水溶液の浸透により元の大きさの 100 倍まで均等に伸長した。この反応性を理解することは、高品位ナノシートへの剥離を制御する重要な手がかりになる。

添付 2 の論文 1 [*Nature Commun.* **4** (2013) 1632]、論文 2 [*J. Am. Chem. Soc.* **136** (2014) 5491]、論文 3 [*Adv. Mater.* **22** (2010) 5082] を参照。

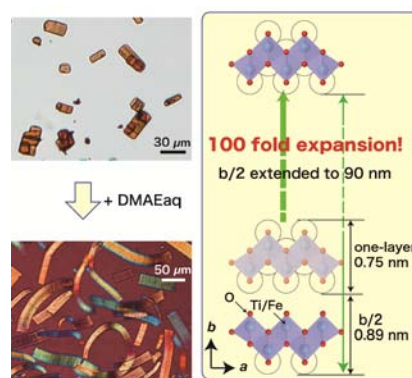


Fig. 1. 2-ジメチルアミノエタノール (DMAE)水溶液で処理する前及び後の層状チタンの板状微結晶(左)。膨潤現象の構造図(右)。

[2] 超高誘電率(Super-high- k)酸化物ナノシート: グラフェンを超える新しい 2D 材料及びデバイス

研究代表者: 長田、佐々木

本研究では、高誘電率酸化物ナノシートを開発した。これは、超微細電子工学及びポストグラフェン技術にとって重要な素材プラットフォームである。新たに開発されたナノシート(Ti_2NbO_7 , $(Ca,Sr)_2Nb_3O_{10}$)は、極薄領域($< 10\text{ nm}$)におけるこれまでの誘電性能の中で最高の誘電率($\epsilon_r = 210\sim 320$)を示した。本研究の結果は、グラフェンより優れた新しい 2D デバイスを生み出す経路になる。

2D 材料は現在、未来の電子応用の優れた候補とみなされている。高誘電率酸化物ナノシートは、グラフェン及び他の材料では達成できない最も薄く最も高い誘電率のナノ誘電体(Fig. 2)の確立にとって技術的に極めて重要である。特に、ナノシートを基材とするコンデンサは教科書の限界を超え、コンデンサ及びエネルギー蓄積装置に新たな道を切り開いた。高誘電率酸化物ナノシートを使った層単位エンジニアリングによって、人工強誘電体であるナノシート FET 等の新しい 2D デバイスを設計することに成功した。グラフェンは氷山の一角に過ぎず、現在、「ポストグラフェン技術」という新たな時代を切り開きつつある。

添付 2 の論文 4 [Adv. Funct. Mater. 22 (2011) 3482]、論文 5 [Adv. Mater. 24 (2012) 210]、オプション論文 1 [Adv. Mater. 24 (2012) 210]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: 斬新なオン/オフのスイッチング動作の特徴及び独自のシナプス実現挙動

代表研究者: 長谷川、寺部、青野

本研究では、不揮発性スイッチ、小型化、低消費電力等の点で従来の半導体トランジスタを上回る新しいスイッチングデバイスを開発した。これは既に、NEC Corp との協力の下に、商品化に向けた技術レベルに達している。原子スイッチの独自の動作機構、つまり、印加電位に起因する酸化還元プロセスに付随して発生する金属原子/イオンの移動により、『3 端子型不揮発性原子トランジスタ』、『オンデマンド機能選択型原子スイッチ』及び、『シナプス活動を実現する原子スイッチジャンクション』等の斬新なデバイスを開発することができた。

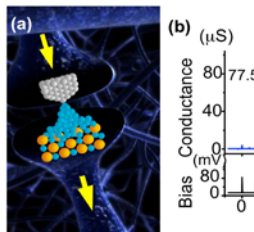


Fig. 3 (a)に示したシナプスを実現する原子スイッチジャンクションは、脳内の 2 種類のシナプス可塑性、つまり、短期可塑性(STP)及び長期増強(LTP)を実行する。つまり、このジャンクションは、電圧パルスが多数存在する場合でも頻度が低い時はオンにならず(Fig. 3 (b))、頻度が十分に高い時に電圧パルスが複数存在した時点でオンになる(Fig. 3 (c))。この研究結果は、事前プログラミングを必要としない、概念的に新しい神経形態学的人工計算システムの開発を促すものである。

Fig. 3. 原子スイッチは無機シナプスの機能を果たす (a). Ag_2S を基材とする単一原子スイッチは、学習頻度に応じて STP モード (b)及び LTP モード(c)の両方を示す。

添付 2 の論文 6 [Nature Mater. 10 (2011) 591]、論文 7 [ACS Nano 6 (2012) 9515]、オプション論文 2 [Nature Mater. 11 (2012) 530] を参照。

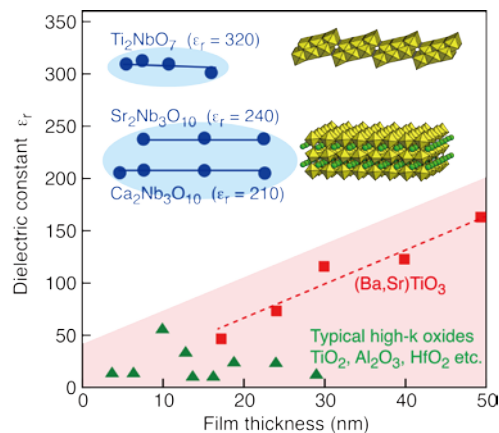


Fig. 2. 高誘電率酸化物ナノシート及び様々な酸化物誘電体の誘電特性。

[4] 神経形態学的計算用原子スイッチネットワーク

代表研究者: Gimzewski, Stieg, 青野

本研究では、原子スイッチネットワーク(ASN)と呼ばれる、独自の神経形態学デバイスを開発した。これは、基本構成要素のシナプス特性を保持し、生物学的認知の基盤になることが既知の一連の緊急挙動を生成する高度に内部接続された($\sim 10^9/cm^2$)原子スイッチインターフェースで構成される。蓄積計算、つまり、複雑なタスクをリアルタイムで実行する際の効率を飛躍的に上げることで知られる生物学着想枠組みへのASNデバイスの利用は、parity-n型テスト、NARMA-10テスト及びT-maze等の様々な機械学習ベンチマークタスクの実行を通じて実証されてきた。ASNデバイスは、RCパラダイムにおける現在の動作制限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いに有望である。

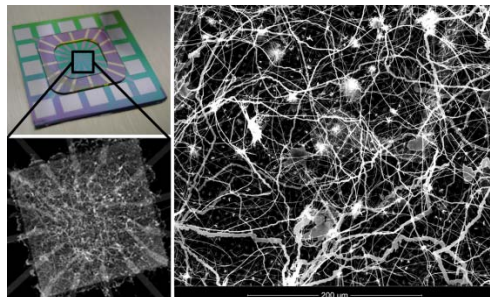


Fig. 4. ASN デバイス(左上)は、自己組織化ナノワイヤネットワークの交差点に位置する原子スイッチジャンクションで構成される。ASN の内部を見ると(左下)、高度に内部接続された神経形態学構造(右)がはっきりとわかる。

ヒトの脳は、連想記憶、パターン認識又は極端な分岐的物理構造及び動作メカニズムに起因する予測等の複雑なタスクを実行する上で最新コンピュータより優れている。

皮質神経網からインスピレーションを引き出し、Fig. 4 に示すように、自己組織化というナノアーキテクニクス概念を利用した、精密に内部接続された導電性ナノワイヤ網に数百万個の原子スイッチを組み込んだ。計算論的神経科学の概念と機械学習の概念を複雑なナノスケール材料の自己組織化と組み合わせることで、これらの結果は次世代の認知技術の創出の基礎になる。

添付2の論文8 [*PloS ONE* **7** (2012) e42772]、論文9 [*Adv. Mater.* **24** (2012) 286]、論文10 [*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ニクス

[5] 導電性分子鎖による単分子電気配線

代表研究者: 大川, 青野

単分子エレクトロニクスはこれまで広い範囲で研究されてきたが、実行可能な分子の配線方法がないため、実用的な単分子回路の作製は依然として困難である。本研究では、この問題を解決するために、新しい単分子配線法を開発した。ナノスケール制御の連鎖重合を1分子層に使う方法で、単一導電性重合鎖を機能性単分子と共有結合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。この研究は単分子電気回路の開発を進める上で重要な一歩となるであろう。

Figure 5(a)は、「化学的ハンダ付け」と呼ぶ配線手順を示したものである。ジアセチレン化合物の任意の1分子に走査トンネル顕微鏡(STM)のチップで刺激を与えると、ジアセチレン分子の連鎖重合を発生させることができる。進行する連鎖重合が吸着機能性単分子に出会うと、活性な状態にある連鎖の先端が、分子との共有結合を形成する。本研究では、2本のポリジアセチレン鎖がフタロシアニンの単分子に接続することを証明した(Fig. 5(b))。本研究では、実験方法及び理論的手法の両方を使って、接続の微視的特徴を調べた。

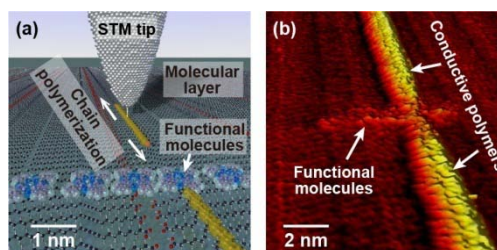


Fig. 5. 略図(a)及び科学的ハンダ付けのSTM像(b)。連鎖重合はSTMの先端から開始する。2本の導電性重合鎖が機能性単分子に接続される(フタロシアニン)。

添付2の論文11 [*J. Am. Chem. Soc.* **133** (2011) 8227]、論文12 [*Nanoscale* **4** (2012) 3013] を参照。

[6] 指定サイトでの分子(C_{60})の束縛及び非束縛状態の可逆制御

代表研究者: 中山、中谷、青野

走査トンネル顕微鏡(STM)による単分子操作法を使った超高密度データ保存の実現を長い間阻んできた問題は、分子ビットの可逆的制御及び反復制御を達成して0と1を示す方法であった。本研究では、 C_{60} 分子の束縛状態及び非束縛状態を室温で制御する方法でこの問題を解決し、ビット密度 190Tbits/in^2 で、ビット演算できることを証明した。

STMのチップを使って、フラーレン C_{60} 分子の薄膜内における、 C_{60} 分子間の単分子レベル化学反応を制御した。この結果、指定した C_{60} 分子のマイナス及びプラスイオンは、指定した C_{60} 分子と膜内の近傍分子との重合及び脱重合反応をそれぞれ引き起こすことがわかった。この方法を使って、超高密度データの保存を実証した(Fig. 6を参照)。

添付2の論文13 [Adv. Mater. 22 (2010) 1622]、論文14 [ACS Nano 5 (2011) 7830]を参照。

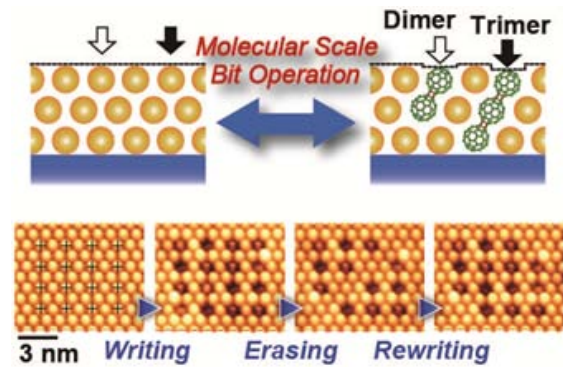


Fig. 6. (上) C_{60} 分子の束縛及び非束縛状態の局所的及び可逆的制御の略図。(下)単分子レベルでのビット演算を示すSTM像群。

学際融合領域研究

★ ナノアーキテクニクスに着想を得たナノ生命科学

[7] 癌及び腎疾患治療に向けたナノアーキテクニクスによるスマートナノファイバー

代表研究者: 青柳、荏原

本研究では、悪性腫瘍の治療用の温熱療法及び化学療法を同時に行える抗癌スマートナノファイバーを開発した。ファイバー内に高分子網目のナノアーキテクチャを作る方法で、交流磁場(AMF)に反応して発熱と薬物放出が同時発生することを証明した。AMFを5分から10分間印加するだけで、体外及び体内の両方でがんアポトーシスを誘発することができる。

ナノファイバーは、薬物放出及び発熱源としてそれぞれ機能する、抗癌剤及び磁性ナノ粒子を含有する化学的架橋温度応答性ポリマーで構成される(Fig. 7(a))。体外及び体内研究が示すように、AMFを5分から10分間印加するだけで、熱と薬物の効果により癌細胞の大部分が死滅した(Fig. 7(b))。操作可能な物質を開発すれば、癌患者の生存率向上だけでなく、内視鏡手術を併用した低侵襲療法の提供にもつながると考える。

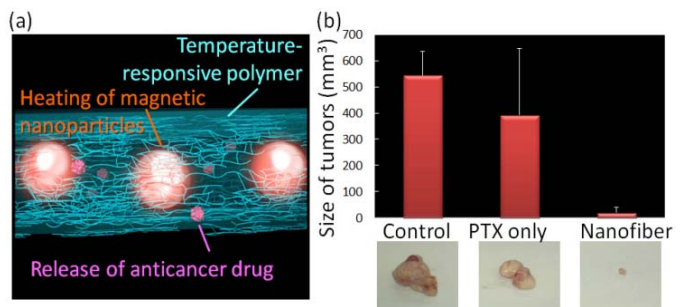


Fig. 7. スマートナノファイバーの略図(a)。体内研究では、スマートナノファイバーを注入する方法で、熱と薬物の二重効果による腫瘍の大きさを縮小に成功した(b)。

添付2の論文5 [Angew. Chem. Int. Ed. 51 (2012) 10537]、論文16 [Adv. Func. Mater. 23 (2013) 5753]を参照。

[8] ナノアーキテクニクスによる新たな治療学 - アルツハイマー病の完治

代表研究者: 長崎

活性酸素種(ROS)が、疾病の90%以上に効果的であるのは周知である。従来の薬物には、効率の限界と重篤な副作用ゆえの問題があった。本研究では、ナノアーキテクニクスによる戦略を踏まえ、新しい抗酸化ポリマー療法を開発し、アルツハイマー病モデルマウスの認知力の完治を達成した。

Fig. 8 に示すように、本研究のナノアーキテクトゥクスにおける最も重要な点の 1 つは、健康な細胞への内部吸着を回避する ROS 除去ナノ粒子を設計した点である。この粒子は、ミトコンドリアの正常な呼吸機能の阻害を抑制し、疾病環境で過度に生成される ROS を除去する特徴を持つ。年齢を重ねるにつれて ROS の生成量は著しく増加し、内因性抗酸化剤による ROS の除去が十分に行われなくなる。かかる過剰な ROS は炎症を次第に悪化させ、それによって生命を脅かし得る

障害の危険を高める。Fig. 8b に示したように、老化を加速化したマウス(SAMP8)の認知レベルは、レドックスポリマーベースのナノ粒子(RNP)の口径投与により完全に回復した。

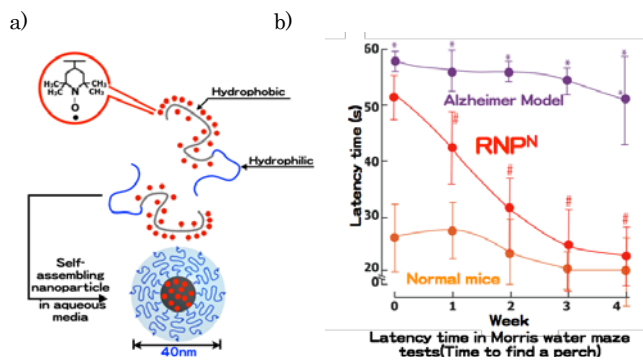


Fig. 8. a) ナノアーキテクトゥクスによる新しい治療学の考案。b) RNP が認知機能障害に及ぼす治療効果。RNP は、モリス水迷路試験で、SAMP8 マウスの潜伏期を向上させた。潜伏期間は水プール内に設置した避難場所を見つけるまでの時間で測定する。

添付 2 の論文 17 [*Gastroenterology* **143** (2012) 1027]、論文 18 [*J. Am. Chem. Soc.* **132** (2010) 7982] を参照。

★ ナノ生命科学に着想を得たナノアーキテクトゥクス

[9] 人工鼻及び他の多様な用途に向けた超高感度及び超並列分子センシング

代表研究者: 吉川、青野

本研究では、世界各国の研究者が 20 年にわたって実現を試みてきた新しい分子センサーを開発した。新しいセンサーを「膜表面応力センサー(MSS)」と名付けた。これは、材料科学、力学、結晶学及び電子工学を総合的に最適化したもので、Dr. Heinrich Rohrer(1986 年のノーベル物理学賞受賞者)との共同研究成果である。従来のアプローチによるパーセントオーダーでの感度向上と異なり、MSS は、100 倍超の感度向上を達成し、あらゆる実用的側面の性能も向上させた。MSS は、薬剤、セキュリティ及び環境調査等の様々な分野への貢献が期待される。

Fig. 9 (a)に示すように、本研究では、スイスの EPFL(スイス連邦工科大学ローザンヌ校)の MEMS チームと協力して MSS チップを作製した。「非侵襲的呼吸分析」は MSS の潜在用途の 1 つである。Figure 9 (b)が示すように、MSS のアレイの場合には二重盲検試験で癌患者の呼吸と健康者の呼吸を識別することができる。上記の結果は、ヒトの健康状態を自動的に維持するための、携帯電話等の可搬型デバイスに統合できる新しい種類の診断モジュールの開発を促すものになる。

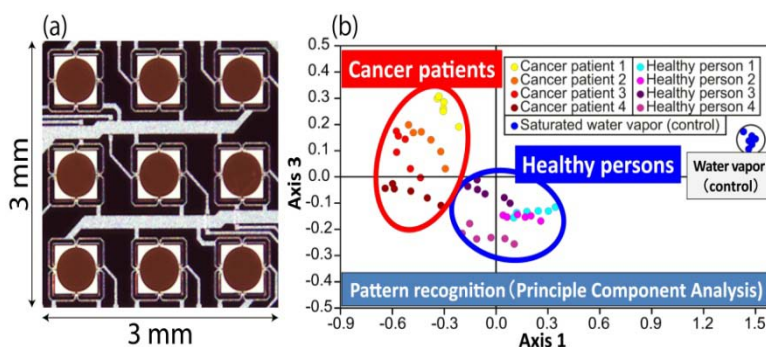


Fig. 9. 超高感度/超並列 MSS は、診断に用いる人工鼻の機能を果たす。(a) MSS のアレイの写真画像。(b) 癌患者と健康者の呼吸分析の実験結果。

添付 2 の論文 19 [*Nano Lett.* **11** (2011) 1044]、論文 20 [*Langmuir* **29** (2013) 7551] を参照。

[10] 高効率人工光合成における進展

代表研究者: 葉

本研究では、地球温暖化及びエネルギー不足問題に対する潜在的解決策となる高効率人工光合成に挑戦するための、一連の先駆的活動を行った。光触媒による水酸化において世界で最も量子効率の高い新材料 Ag_3PO_4 を開発した。表面/界面構造の精緻な制御によって、集光、電荷分離及びガス拡散/転換の効率が向上し、高効率人工光合成の実現に向けて大きな前進を遂げた。

本研究では、ナノ生命科学に着眼を得たナノアーキテククスである、有望な 3D 人工光合成システムを作製する独自の戦略を示す。桜の葉をテンプレートに使った、天然光合成システムの構造をマルチレベルスケールで模倣する 3D 階層アーキテクチャを組み込んだペロブスカイト型チタン酸化物の作製に成功した(Fig. 10)。このような特殊構造で効率的な質量流/集光ネットワークを実現した結果、CO₂ の炭化水素燃料(CH₄)への転換効率が著しく向上した。



Fig. 10. 天然光合成システム(上)と人工光合成システム(下)の構造及び重要な工程を比較した略図。

添付 2 の論文 21 [*Sci. Rep.* **3** (2013) 1667]、論文 22 [*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のナノアーキテククス

代表研究者: 胡、内橋

量子系の不確定性は顕著であるため、巨視的世界と同様の方法による設計を通じてナノデバイスの機能を実現することは難しい。高度なナノ量子デバイスに向けた新しい設計原理を策定するために、現在、1つの量子ホログラフィック原理として、バルクと表面、ナノとマクロを結び付ける様々なシステムのトポロジーを探求している。全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クス」が生まれようとしている。

トポロジカル相と自明のギャップ状態間の接触面では、安定した表面状態が出現するはずである。トポロジカル超伝導体(TS)では、エッジに反粒子に相当するゼロエネルギーのマヨラナフェルミオン(MF)が現れるのに対し、トポロジカル絶縁体(TI)のエッジ状態は抵抗を伴わない電流を運ぶことができる。

本研究では、MF を生成及び操作して、2D TS が奇数個の量子渦を束縛する場合にのみ MF が現れるような特性を引き出すためのナノ量子デバイスを設計した(Fig. 11)。電荷中性 MF はオンオフポイントの役割を果たすゲート電圧を切り替える方法で運搬できることを証明した。本研究で示すように、MF の位置交換という方法で、デコヒーレンスフリー空間にある量子ビット及び量子の計算に役立つ非可換量子の統計データを作成する。

現在、実験的に TS 状態を実現するために、ラシュバ効果を示す半導体表面と原子並に薄い超伝導体の接合及び磁性分子の自己集合に取り組んでいる。本研究では、直接輸送測定(Fig. 11)により世界で初めて表面超伝導体を実現した。磁性分子の自己集合が超伝導性に有効に働くことも明らかになったことで、このシステムは MF を束縛する有望なプラットフォームになる。

本研究では、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 TI も設計した。また、端電流ではスピン偏極が現れ、電界により反転させることが可能で、特に、スピントロクスにとって理想的である。

添付 2 の論文 23 [*Europhys. Lett.* **99** (2012) 50004]、論文 24 [*Phys. Rev. Lett.* **107** (2011) 207001]、オプション論文 3 [*New J. Phys.* **15** (2013) 063031-1] を参照。

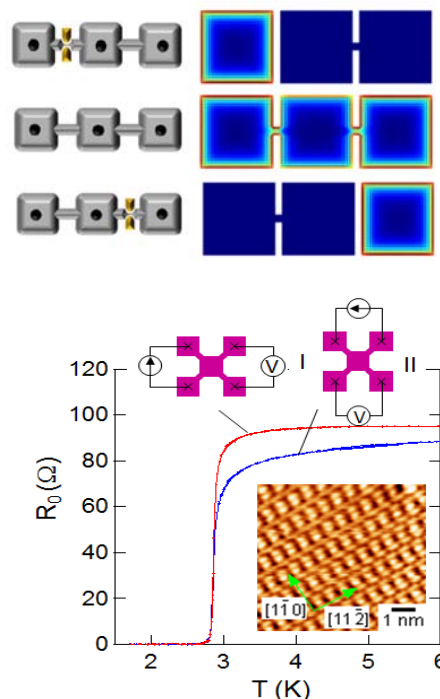


Fig. 11. (上)MF を操作するための基本的ブロック。TS 間の接合はジャンクションの電圧で排除され、これによって MF のホッピングが起こる。(下) Si(111)-(√7×√3)-In 再構成のゼロバイアス抵抗の温度依存性。差し込み図は標本表面の STM 像。

[12] 超大規模計算: 上級コードの開発及び応用

代表研究者: Bowler、宮崎、深田

実用的なナノスケールデバイス及び物質に相当するシステム上で、密度関数理論(DFT)を使って、第1原則電子状態計算を行えるようにするために、本研究では、世界トップレベルの線形スケーリング DFT コード、CONQUEST を開発した。標準的な DFT の実行方法を使って数千個を超える原子を含有するシステムを処理するのは困難であるが、本研究では、CONQUEST を使用したことで、数百万個を超える原子を含有したシステムを処理することができた。CONQUEST は、構造緩和や分子力学等の綿密且つ正確な電子状態計算を行うことが可能であり、K コンピュータのような大規模並列処理コンピュータで特に効率的である。本研究の目標は、CONQUEST を使って実験的研究における革新を促すことである。

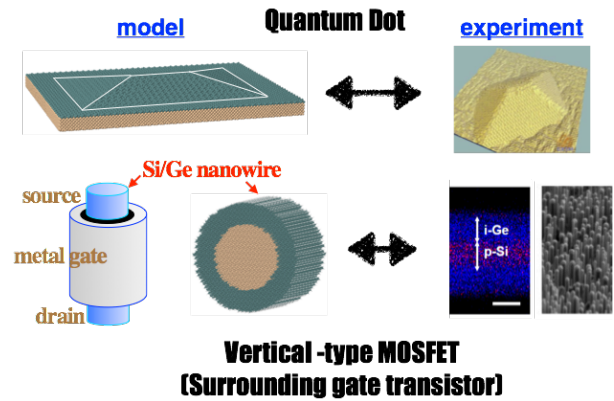


Fig. 12. (上) CONQUEST を使って計算した Si(001) 基質上の Ge ナノアイランドの最適化構造と実験構造。(下) TEM 及び SEM の測定値を組み込んだ Si/Ge コアシェルナノワイヤの原子モデル及びトランジスタ内でのナノワイヤの使用方法を示した概略図。

本研究では、Si(001)基質で成長した三次元 Ge ナノアイランド上で DFT 計算を行い、原子を全て処理する原子スケールの成長メカニズムを研究した(Fig. 12 (上)を参照)。本研究では、最近になって、界面を含む原子と電子の構造、ドーパントの安定性及びドーパント状態を理解するための、Si/Ge コアシェルナノワイヤに関する理論と実験共同プロジェクトを立ち上げた。CONQUEST を使えば、界面と境界がドーパントに与える影響を調べ、実験又は他の第1原理技術では確認できない情報を提供することができる。

添付2の論文25 [*J. Phys.: Condens. Matt.* **22** (2010)], 論文26 [*Rep. Prog. Phys.* **75** (2012) 036503] を参照。

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

[13] 超伝導体・常伝導体接合におけるメゾスコピック超伝導体量子現象

代表研究者: 高柳

本研究では、メゾスコピック超伝導体に取り組んだ。特に、超伝導体(S)・常伝導体(N)接合を処理し、様々な新量子現象を明らかにした。S/N 接合では、S 内の電子クーパー対を N に侵入させることができる(近接効果)。この効果は、量子情報技術に応用し得る興味深い量子現象を多数引き起こす。

メゾスコピック超伝導体を使った最も興味深いデバイスの1つは、超伝導発光ダイオードである(LED)、Fig. 13。超伝導LEDは、超伝導電子クーパー対の大きなコヒーレンスボリュームと纏れ光子対のオンデマンド生成可能性による、有望な巨大振動子強度を理由に、量子情報技術の鍵となるデバイスと期待されている。電極内の超伝導転移を伴う活発な層内(Fig. 13 のNb)では、電界発光が強まることを実証し、理論的理解を確立した。

量子力学的にもつれた光子対の放出

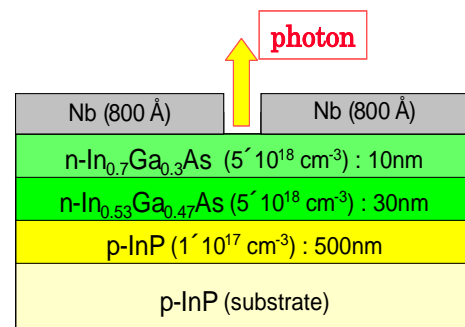


Fig. 13. 超伝導LEDの断面略図。

添付2の論文27 [*Phys. Rev. Lett.* **107** (2011) 157403], 論文28 [*Phys. Rev. Lett.* **103** (2009) 187001] を参照。

[14] フラットパネル向けのケイ素を添加した酸化薄膜トランジスタ

代表研究者: 塚越

本研究では、次世代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)に役立つ有望な材料を実現した。Si 添加金属酸化 TFT(SiM-OxTFT)は、オフ状態電流を高度に抑制する極めて安定した高性能 TFT として動作する[Fig. 14]。

フラットパネルディスプレイ内の画素スイッチング用 TFT には、これまでアモルファスシリコン又はポリシリコン膜が使用されてきた。しかし、現在の TFT はオフ状態電流があまりにも多いため、低電力システムを実現する新しい TFT が強く望まれている。高分解能コンテンツを表示するには、移動性においてアモルファスシリコンを上回る TFT も必要である。アモルファス状金属氧化物薄膜トランジスタ(a-OxTFT)は、ポスト・シリコン TFT の候補になり得る。InGaZnO 膜は a-OxTFT の候補の1つであるが、InGaZnO は実際の生産では極めて不安定な膜である。膜の電気特性は、Zn 分子近傍の結合領域では、酸素の吸収又は脱着に極めて敏感である。

本研究では、TFT の電氣的安定性が InOx 膜内のドーパント元素の結合解離エネルギーによって決まることを発見した。ドーパントの結合解離エネルギーを高めると、膜は熱空孔を与勝する。SiM-OxTFT の基本的性質は現在市販されている TFT 生産の性質を上回った。

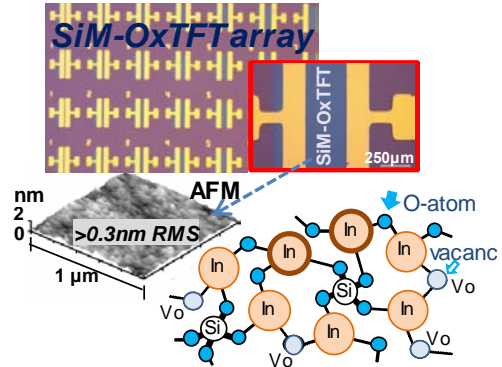


Fig.14 SiM-OxTFT アレイの SEM 画像。SiO₂ の組込みによる空孔(Vo)の抑圧略図。

添付 2 の論文 29 [Appl. Phys. Lett. 103 (2013) 172105]、論文 30 [Appl. Phys. Lett. 104 (2014) 102103] を参照。

[15] ナノ発電機と自力発電型ナノシステム

代表研究者: Wang

生活の質を向上させ、工業工程を強化するためには、湿度の調節が必要である。このため、様々な動作原則に基づいた湿度センサーが広い範囲で環境モニタリングに採用されてきた。有機液体／ガスの代表であるエタノールは、生体臨床医学、醸造及び他の化学工程と関係があり、飲酒及び飲酒運転を監視及び規制するには、血液及び呼吸におけるその正確な分析が重要である。本研究では、湿度又はアルコール含有量の検出に用いる自力発電型アクティブセンサーとして、摩擦電気ナノ発電機(TENG)を設計した。

これらの TENG をポリアミド 6、6(PA)膜及び PTFE 膜(PA TENG、PTFE TENG)からそれぞれ作った。これは、液体水及び液体エタノールを検出できるだけでなく、水蒸気及びガス状エタノールも検知することができる。エタノールガスに対する PTFE TENG の反応を研究した結果を Fig. 15a に示す。本研究に示すように、TENG デバイスは、低コストで製造が容易且つ性能にも優れるという利点を備えており、環境モニタリングや工業生産向けの自力発電型アクティブセンサーとして利用できる。

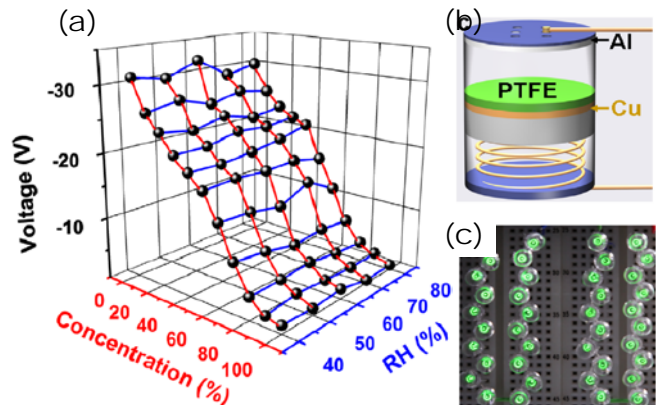


Fig. 15. (a) 外部 RH 及びエタノール濃度の変化に反応する PTFE TENG センサーの 3D グラフ。(b) 作製したデバイスの略図。(c) エタノールを滴下する前に TENG デバイスが点灯させた 40 の LED。

添付 2 の論文 31 [Nano Energy 2 (2013) 693] を参照。

★ 画期的なナノスケール計測方法論

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

代表研究者: 中山、青野

材料ナノアーキテクニクスに由来する新しい特性は、革新的な計器及び方法論で特性評価を行わなければならない。このため、本研究では、多探針走査プローブ顕微鏡(MP-SPMs)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、マルチプローブでその電気特性を計測するための個々に駆動する2つから4つのプローブで構成される。例えば、SiO₂に設置したSWCNTの電子平均自由行程は、室温でおよそ500 nmと計測された(Fig. 16を参照)。新たに開発した音叉センサーを使って、MP-STMをマルチプローブ原子間力顕微鏡(MP-AFM)に変え、ケルビンフォース顕微鏡(KFM)を使ってMP-AFMモードで非接触電位のマッピングを行った。これによって、MP-SPMシステムを使って絶縁基板上的ナノ構造を処理できるようになった。

添付2の論文32 [Adv. Mater. 24 (2012) 1675]を参照。

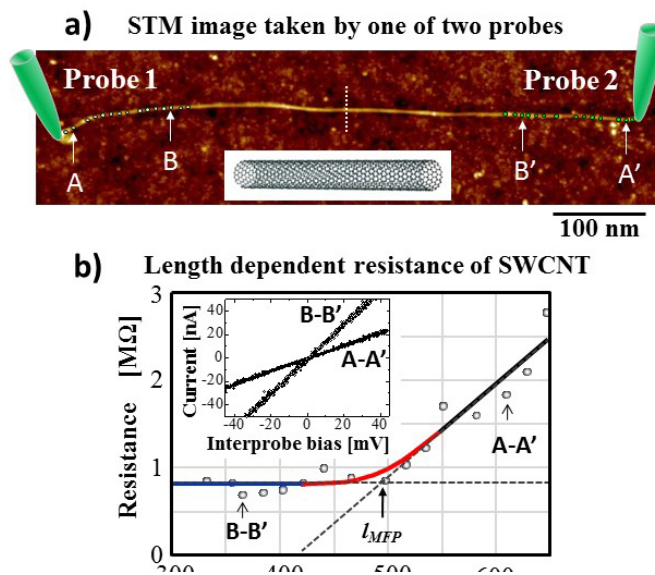


Fig. 16. (a) SiO₂/Si基質上に設置されたSWCNTのSTM像。SWCNTに接触するSTMの2つのプローブの略図。(b) SWCNTの長さ依存抵抗。2つのプローブ間で測定したI-V曲線を差し込み図に示す。

[17] その場TEM法で測定したナノ材料の新たな電気、力学、熱及び光学特性

代表研究者: Golberg, 板東

本研究では、ナノ材料の真の力学的、電気、熱及び光学特性を測定できる一方で、その原子構造の深い洞察を得られるその場透過電子顕微鏡法(TEM)の新たな方法を開発した。高分解能TEM装置の能力と、原子間力センサー又は走査トンネル顕微鏡プローブ又はレーザー光線のいずれかを組み合わせるTEM設計技術は、チューブ、配線、シート及び粒子等の50を超えるナノシステム及び形態の研究にとって有力な手段である。本研究の実験のキーポイントは、全ての測定がTEMに固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に個々のナノ構造レベルで行われたことで、これによって特定のナノ材料の形態学的、構造的及び化学特性に直接関連付けることができる。

その一例として、本研究では、世界で初めて、単層及び複層C及びBNナノチューブ(NT)の引き張り強度の測定に成功した。Fig. 17。チューブを、高分解能TEM内の力センサーマイクロデバイス内に設置してから、強度の実測値及びヤング係数と、NTの構造的欠陥の種類及び場所を、原子分解能で関連付ける方法で、その力学性をリアルタイムで調べた。

添付2の論文33 [Adv. Mater. 22 (2012) 4071]、論文34 [Adv. Mater. 22 (2010) 4895]を参照。

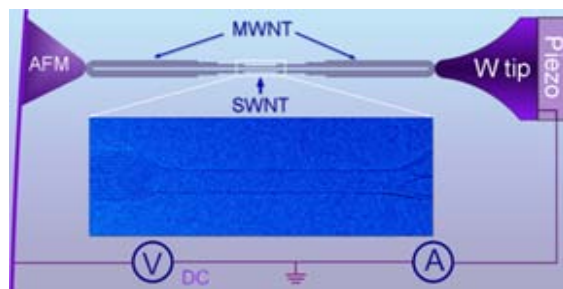


Fig. 17. ジュール加熱を用いた複層Cナノチューブ(MWNT)から単層Cナノチューブ(SWNT)のアンラベリング及び、高分解能TEMでの引き張り強度の測定を示した略図。

★ 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クス

[18] 次世代高性能バッテリーに用いる新しい多孔質物質

代表研究者: 山内

プラチナ(Pt)は長い間、燃料電池の有用な触媒とみなされてきたが、Pt 触媒はコストが高く、Pt の発電量に事実上限界があることが、商業用途の主な欠点であることが示されている。本研究では、電気触媒活性が高い新しい多孔質電極を開発した。

レアメタルの使用量削減に対する強い社会的要求を踏まえて、多孔質構造の表面積を増やす方法でPtの使用量を削減する高い機能性を保証する技術を求める要望が高まっている(Fig. 18)。当研究グループは、多孔質金属の設計に重要な要因となる組成及び形態の微調整を重視してきた。本研究では、水面活性剤溶液内での単純な電着方法を利用してナノ多孔性金属膜を作製する方法を開発した。Ptの原子結晶度は、Ptのナノ粒子複数を同じように膨張させ、原子ステップ及びメタノール酸化反応活性点になる欠陥箇所を多数提示する。この結果、現在市販されているPt触媒に比べて、電気化学的性能が劇的に向上する。

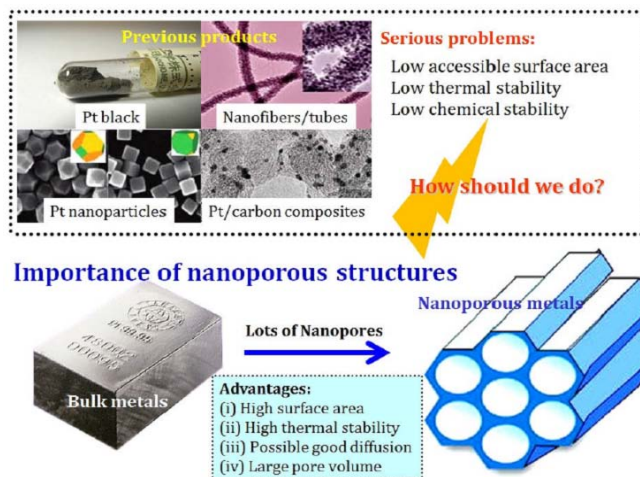


Fig. 18. 他の市販 Pt 製品を上回るナノ多孔性 Pt の重要性。

添付 2 の論文 35 [Angew. Chem. Int. Ed. **52** (2013) 8050]、論文 36 [Angew. Chem. Int. Ed. **52** (2013) 13611] を参照。

[19] 生活環境内 Cs のナノアーキテククスによるセンシング/イメージング

代表研究者: 有賀

本研究では、設計分子及び物質が特異性及び感度の極めて高い標的物質を認識する様々な分子センシングシステムを開発した。今回開発したセンシングシステムはどの生活環境でも、有害性及び重要な生物学的組成の検出に利用できる。例えば、ガス相における発癌性の疑いがある物質の検出及びバイオ薬品分子のわずかなキラル分子識別の検出は、電気、光及び磁気の状態において合理的なセンシング信号で認識された。

特に、原子力発電所の爆発時の主な汚染源であるセシウム(Cs)イオンをマイクロメートルレベルで『肉眼検出』できることを証明した。この研究では、電子受容性 4-ニトロフェニルエーテル基で置換されたフェノール化合物を設計した。この化合物は、セシウムイオンの存在下で独特の緑色の蛍光を示した(Fig. 19A)。これは地上でも見られた(Fig. 19B)。対照的に、他の金属イオンでは濃い青色の蛍光を示すか、変化がなかった。プローブは 100 万分の 1 セシウム濃度(Cs^+/K^+)にも反応した。開発したプローブ分子は現在商品化され、生きた細胞内でのセシウムイオン検出にも応用されている(Fig. 19C)。

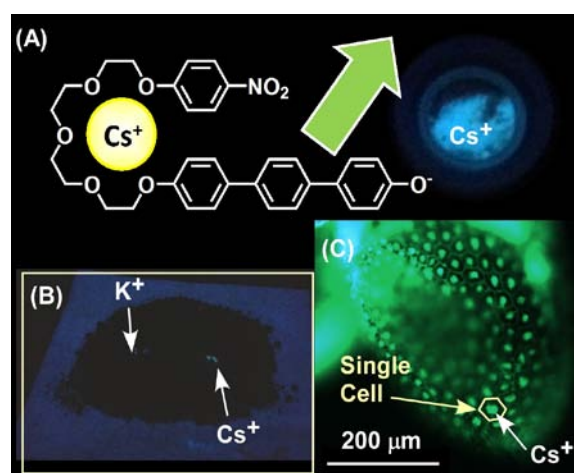


Fig. 19. (A) セシウムの検出プローブ分子と、地上 (B)及び生きた植物細胞内(C)での蛍光発光に基づく検出。

添付 2 の論文 37 [Nature Commun. **4** (2013) 2188]、論文 38 [Sci. Tech. Adv. Mater. **14** (2013) 015002] を参照。

[20] 分子のセンシング及びエネルギー転換に用いる高効率プラズモンシステム

代表研究者: 長尾

プラズモニクス及びメタ材料はナノ空間で光を制御できるようにする材料科学の新たなパラダイムである。この概念を利用することにより、これまでにない分子の信号増強、光触媒反応の強化及びスマート太陽光環境発電等の顕著な機能性を作り出すことができる。本研究では、新しい金属ナノ構造を開発する方法で、環境モニタリング及び太陽光エネルギーと熱エネルギーの転換に応用できるような赤外線光波の操作を目指した。

Fig. 20 は、プラズモン増強振動分光法を利用した、環境水中に溶存する水銀イオン(Hg^{2+})のpptレベルでの選択的単一モニタリングの一例を示したものである。霞ヶ浦(日本の茨城県)から採取した未処理水から37ppt濃度の Hg^{2+} を直接検出できることを実証した。これは、この簡便な方法の高い潜在能力を示すものである。

添付2の論文39 [*Scientific Reports* 3 (2013) 1175]、論文40 [*Adv. Opt. Mater.* 1 (2013) 814] を参照。

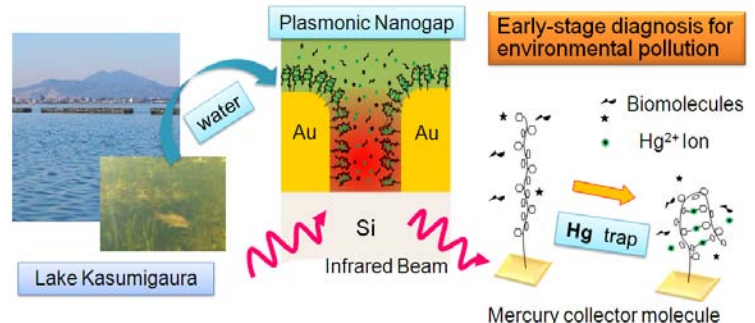


Fig. 20. 環境水からの水銀検出の略図。水銀捕集剤の分子構造の変化は、ナノギャップのプラズモン電場増強により、赤外線吸収信号で高感度に検出される。

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ことは疑う余地がない。まず、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。13名のスタッフが支援にあたっている。

ホスト研究機関であるNIMSは、40余年にわたる歴史において優れた研究設備を整備してきたが、MANA の研究者はそれら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)、超高压(10-100 GPa)発生装置等が含まれる。

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。

<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、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、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]に記載すること。

過去6年半の間に、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、80.8 億円である。その内訳は、競争的的外部資金 12.1 億円、受託研究費 25.7 億円(民間資金を含む)、運営費交付金 43.0 億円である。

代表的な競争的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(7件)、さきがけ(9件)などが挙げられる。

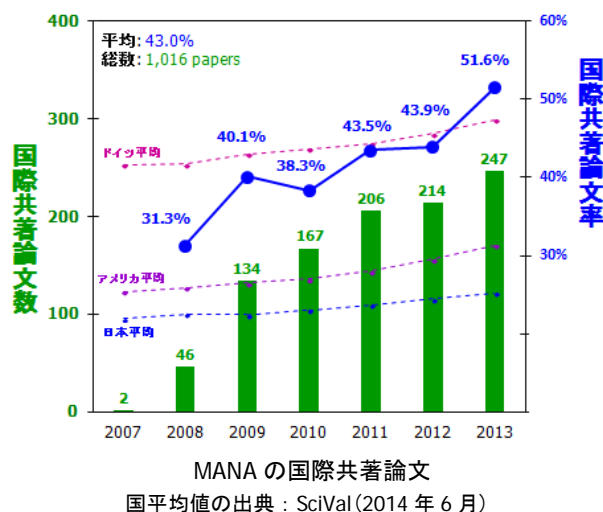
2-4. 共同研究の状況

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6年半に発表した2,362報の論文のうち、43%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 では、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)。現在のサテライトは、米国のUCLA、ジョージア工科大学、フランスのCNRS(トゥールーズ)、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)、日本の筑波大学、東京理科大学に置いている。サテライト研究室からの発表論文数は243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。

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15ヶ国、44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18、アジア15、北アメリカ6、南アメリカ2、オーストラリア2、中東1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記述すること。

- ・主要な賞の受賞・招待講演・基調講演等を[添付様式2]に記載すること。

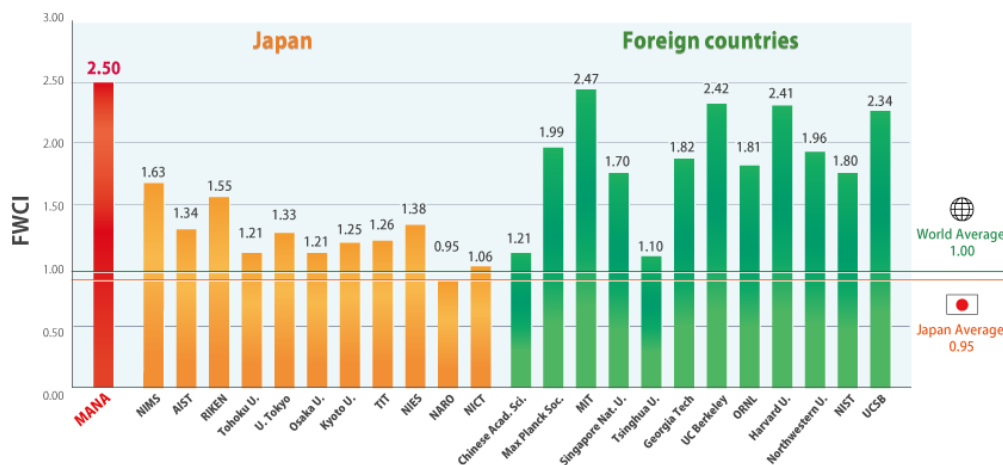
基礎研究に係わる研究機関の活動状況を端的に表すものは、発表された論文の数と質である。MANA が発足して以来の6年半に、MANA の所属で発表された論文は2,362報に達する。そのうち、被引用回数が上位1%に入る注目度の非常に高い論文の数(トップ1%論文数)は80を数える。

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。2013年、MANA の所属で発表された論文は479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4.89と非常に高い水準にある。

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 FWCI は 2.50 という非常に高い値であり、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。

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)。

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。



MANA 及び世界の研究機関の FWCI (Field Weighted Citation Impact)

出典：SciVal (2014 年 6 月)

※2008 年から 2013 年の 6 年間に発表された論文について計算

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比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) もう一つの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。

MANA の研究者が 2007 年 10 月から 2012 年 12 月の間に申請した特許は 640 件 (国内 435 件、国際 205 件)、またこの間に登録された特許は 416 件 (国内 318 件、国際 98 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記述すること。

- ・メディア報道掲載等の実績を[添付様式2]に記載すること。

MANA は、ナノアーキテクトゥクス概念を広め 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り、発表された論文 14 報のうち 5 報がトップ 1%論文となっている。後者は Nanoarchitectonics and the Interface と題した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。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。

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 16 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 月開催の E-MRS 秋季大会においてナノアーキテクトゥクスの名を冠したセッションが設けられる等、ナノアーキテクトゥ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易く紹介した動画をネット配信している。

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。

- ★ ナノアーキテクトゥ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。その効果は実際に出始めている。このような壮大な研究目標を毎日“耳にし目にする”ことは、分野を問わず研究者の研究意欲を刺激する結果となり、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が寄せられるようになっている。

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、最近では MANA の研究者が自主的に講演を企画するようになっている。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6年半で395回開催された。

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。

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三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ッ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トニ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、三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、ナノアーキテクニ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て、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ニクスの連携> (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。

● ナノアーキテクニ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ニクスの連携> (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ニ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ニ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]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機関を設置している。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なっている。

UCLA の James Gimzewski 教授は、1997 年にファイ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擬する神経回路網に関する研究を実施している。Gimzewski 教授は 6 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・レポリューション: "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、日・英・米ナノテクノロジーサマースクールを開催し、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、2014 年 4 月現在の論文被引用数が 67,000 を超え h-index は 126 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。

CNRS/CEMES の Christian Joachim 博士は、1997 年と 2005 年にフラ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。

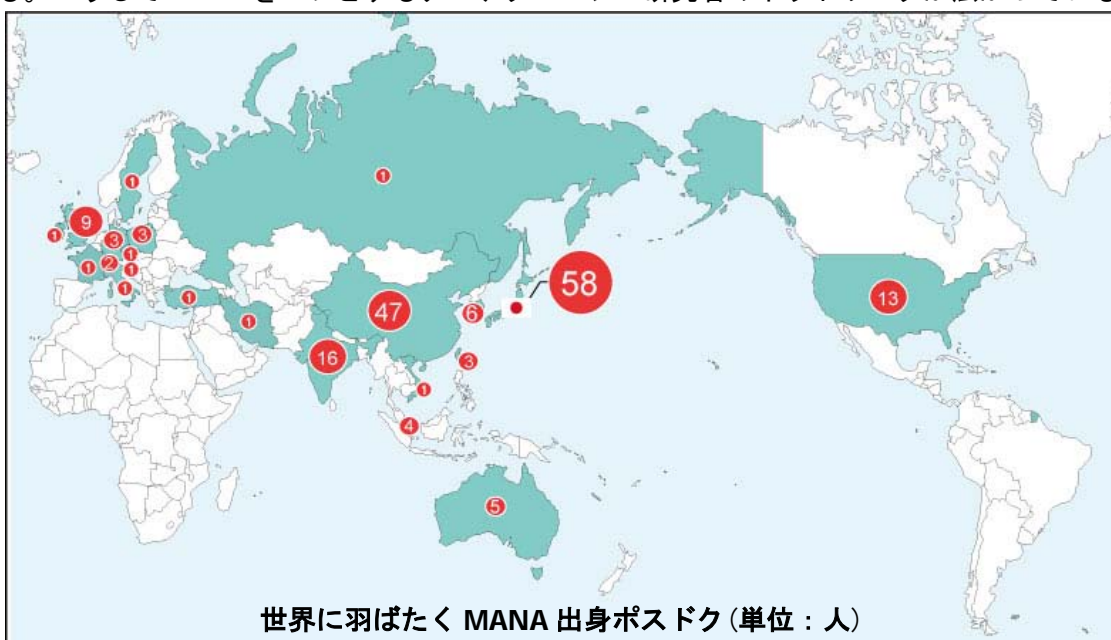
・ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況、外国人ポスドク比率、ポスドクの就職先の実績を [添付様式 4] に記載すること。

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)。

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]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、15 カ国、34 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。

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]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きたが、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 年と 2014 年に開催した MANA 国際シンポジウムでは、それぞれ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た。その結果、過去最多の 400 名を超える参加者があり、レベルの高い充実した国際会議であったとの高い評価を得ている。

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増えてきている。実際に、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、早稲田、ノースウェスタン、モントリオール、ブリストル、レンヌ、国立台湾)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せ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ほどである。

- ・ **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 全体に広がりがつつある。
- ・ **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で開催している。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に配慮している。
- ・ **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 530 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 880 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」を発売した。

- ・ **技術支援**: 事務部門の技術支援チームの6名は、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。

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 名のうちポスト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が実現している。一方、MANA は日本人ポストドクが少ないのもっと増やすべきであるという指摘をプログラム委員会から受けた。そこで、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) を立ち上げ、全拠点をあげて人材を探索し、2013 年度に 8 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り組みが、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、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 名規模のパーマネント職員を配置し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行っている。

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。

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nent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) 国際拠点運営ノウハウを外部に提供した。例えば、AIMR、I²CNER、IIIS、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]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、毎年10億円を超える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(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)として毎年4億円超を、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る。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。

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]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。

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 2014 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、2014 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る。

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]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ライダーに昇格した。

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、この制度により採用された者 1 名を MANA に配属した。2013 年度はその他にも 2 名の女性研究者を採用し、合計 3 名の女性をパーマネントとして採用している (男性の採用者は 3 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 28% 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うねらいで、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が目指す研究(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。

ポストドクについても、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 連係大学院」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 連係大学院の教官である。連係大学院生は「NIMS ジュニア研究員」に任命し、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、ナノアーキテクニ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。

アドバイザー・評価委員会

現在、3名の外部有識者にアドバイザーをお願いしている。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を勤めるなど、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)。

MANA 評価委員会は外部の有識者7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 25 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25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) MANA は競争の激しい分野においては「敵（競争相手）を明らかにする」という態度を持つべきである。

MANA はナノテクノロジーにパラダイムシフトをもたらすナノアーキテクトゥクスの概念を提案し、それを有効に活用することにより、材料科学技術分野で世界をリードする優れた成果を挙げてきたと自負している。しかし、MANA はそれぞれの専門分野において、世界の中で自らの研究の立ち位置（ベンチマーク）を明らかにし、世界のトップ研究機関や研究者と競合して打ち勝つという強い意識を持って挑戦的な研究に取り組んで行く。一例として、被引用回数が世界のトップレベルに入る論文を毎年 10 報は出版するという指標を置いた。

- 2) 理論系研究者と実験系研究者との交流が容易になる場を作るべきである。

2014 年 4 月に「理論研究棟」が WPI-MANA 棟に隣接して新設された。NIMS の約 35 名の理論研究者が常駐することになり、理論研究者と実験研究者との一層の交流の場が実現することになる。また、新たに「理論・実験ペアリングプログラム」を立ち上げ、理論と実験との融合研究を加速させる計画である。

- 3) MANA は原発事故による放射性核種の検出と除去のための基礎物質の探求と発展へ大きな役割を果たすことができるし、やるべきである。これは物質科学・技術分野が解決すべき喫緊のしかし極めて新しい課題である。MANA が解決能力を示すだけでなく、この方向への興味を示していることを嬉しく思う。

MANA はセシウムの可視化材料や吸着材料の開発において、物質科学の視点から原発事故による放射性物質の検出と除去への社会的な貢献をしてきたと自負している。特に、除染作業の効率化を促進するために開発した「可視化できる微量セシウム検出蛍光プローブ」は商品名 Cesium Green として市販されている。

- 4) 常温超伝導の発展などのチャレンジングで長期的な研究には、MANA や物質・材料研究機構以外の多様な研究者とのよりオープンな議論、ブレインストーミングや共同研究が必要であろう。共同研究やブレインストーミングのためのワークショップの開催を提案したい。

MANA はこれまで若手研究者が中心となって泊まり込み型のグランドチャレンジングミーティングを数回開催し、常温超電導の開発などリスクで長期的な取り組みが必要なグランドチャレンジング研究についてブレインストーミングを行ってきた。この会議が契機となり、若手研究者間で挑戦的な共同研究が生れる等の成果を挙げている。今後は、外部とのコミュニケーションをより拡大させるために、MANA が得意とする特定研究テーマのワークショップを開催する。すでに、トポロジカル絶縁体の国際ワークショップを開催した。

- 5) MANA は、ナノライフ分野を、基礎科学のしっかりしたコアの回りに首尾一貫して構築されたプロジェクトへと発展させる努力を継続すべきである。基礎的な物理・化学により我々が知っていることから出発して生物学的側面への段階的接続を発展させる道があるはずである。MANA のプログラムには、良く知られた道に沿った一定ステップではない、知識の飛躍があるべきである。

MANA は、生物の基本である“細胞”あるいは動物の最高創造物である“脳”の機能に学び、それらの知見をナノアーキテクトゥ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、ナノアーキテクトゥ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また強力に推進する。すなわち、基礎科学とナノアーキテクトゥクスの接点という重要な領域に NANA のナノライフ研究を位置づける。具体的な研究例としては、MANA が開発したシナプス型原子スイッチの脳神経網のネットワーク回路の構築とその機能評価

を通して人工頭脳の実現に近づく研究、動物の臭覚器官に学んだ超高感度・超並列分子センサーによって呼気による癌の早期診断の研究、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撲滅する薬剤を放出するスマートポリマー・ファイバーメッシュの研究、脳にアルツハイマー病の治療薬を効率的に供給するレドックスポリマーベースのナノ粒子の研究などがある。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

1. 平成25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。
- ・平成24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を添付すること。

【平成25年度実績】									
主任研究者 計22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* (69)	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、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%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
板東 義雄* (66)	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、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%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
佐々木 高義* (58)	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、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%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
有賀 克彦* (51)	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、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%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	

知京 豊裕 (54)	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、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%	2011/4/1	常時拠点本部に滞在して参画	
GOLBERG, Dmitri (53)	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、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%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
<u>WANG, Zhong Lin*</u> (52)	Professor, School of Materials Science and Engineering, Georgia Institute of Technology	Ph. D. / Nano Chemistry and Nanodevices	15%	5%	60%	20%	2007/10/1	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画 若手研究者受入 (1ヶ月)
<u>GIMZEWSKI, James K.*</u> (62)	Distinguished Professor, Chemistry & Biochem. Dept., UCLA Director, Nano/Pico Characterization Lab, UCLA California NanoSystems Inst.	Ph. D. / Nanoscience and Nanobio	23%	3%	67%	7%	2007/10/1	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画
長谷川 剛 (51)	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、原子エレクトロニクスユニット長	理学博士／ナノデバイス	100%	0%	0%	0%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
胡 暁 (52)	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、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%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
<u>JOACHIM, Christian*</u> (56)	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) Lab: GEMES (UPR8011) Toulouse (France)	Ph. D. / Computer science and Nanoscience	18%	3%	72%	7%	2007/10/1	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画

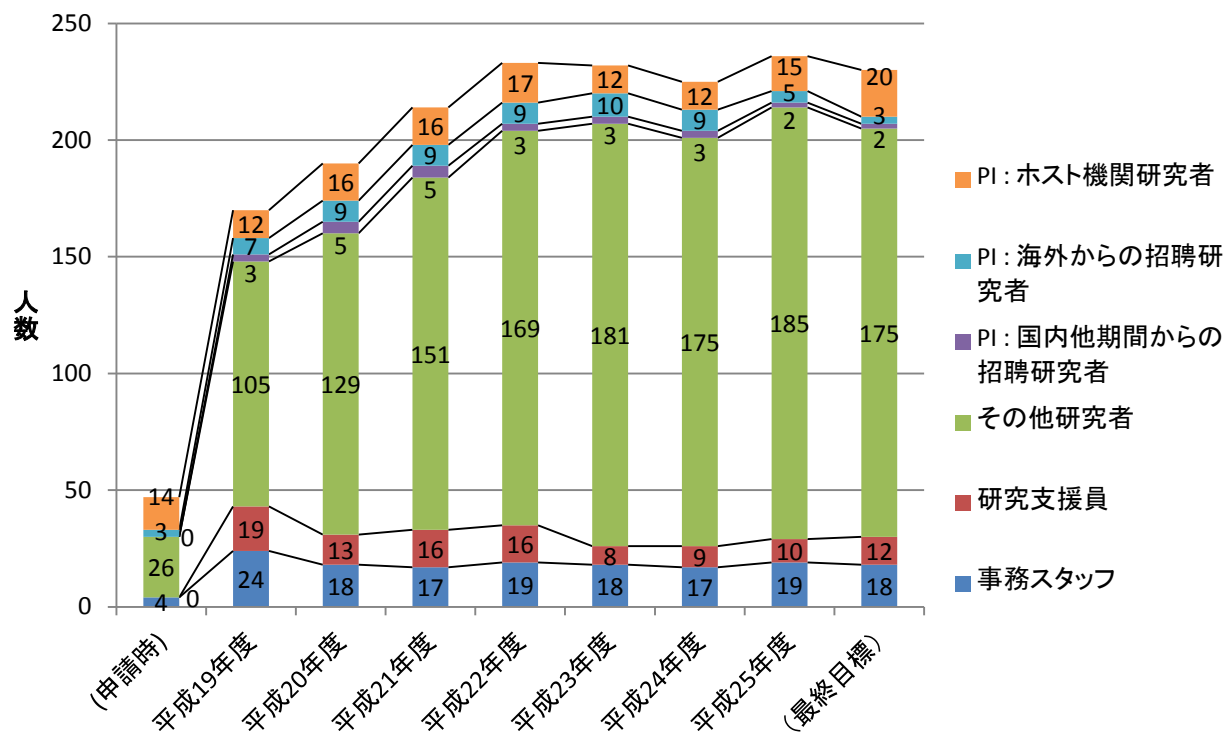
中山 知信 (52)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点、ナノ機能集積ユニット長	理学博士／走査プローブ顕微鏡・表面科学	100%	0%	0%	0%	2008/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
高柳 英明* (62)	東京理科大学、理学部応用物理学科、教授	理学博士／メゾスコピック超伝導・量子情報物理	50%	10%	20%	20%	2007/10/1	サテライトならびに拠点本部にて参画	
塚越 一仁 (46)	物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点、パイ電子エレクトロニクスユニット長	理学博士／ナノ物質エレクトロニクス	90%	0%	10%	0%	2009/1/1	常時拠点本部に滞在して参画	
葉 金花 (51)	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、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%	2007/10/1	常時拠点本部に滞在して参画	
高田 和典 (52)	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、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%	2010/1/1/	常時拠点本部に滞在して参画	
魚崎 浩平* (67)	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、ナノ界面ユニット長	理学博士／表面物理化学	80%	20%	0%	0%	2008/7/1	常時拠点本部に滞在して参画	
YAGHI, Omar* (49)	Professor, Dept. of Chemistry and Biochemistry, University of California, Los Angeles	Ph. D. / Nanostructure of Organic	30%	0%	60%	10%	2008/3/1	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究指導

		Materials							
青柳 隆夫(54)	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、生体機能材料ユニット長	工学博士／ バイオマテリアル	70%	0%	20%	10%	2010/9/1	常時拠点本部に滞在して参画	
陳 国平(48)	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%	2011/4/1	常時拠点本部に滞在して参画	
長崎 幸夫*(54)	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%	2007/10/1	常時サテライトにおいて参画	
<u>Françoise M. Winnik*(62)</u>	Faculty of Pharmacy and Department of Chemistry, University of Montreal, Canada	Ph. D. / Polymer Chemistry and Photochemistry	40%	10%	40%	10%	2011/4/1	サテライトならびに拠点本部にて参画	研究参画

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

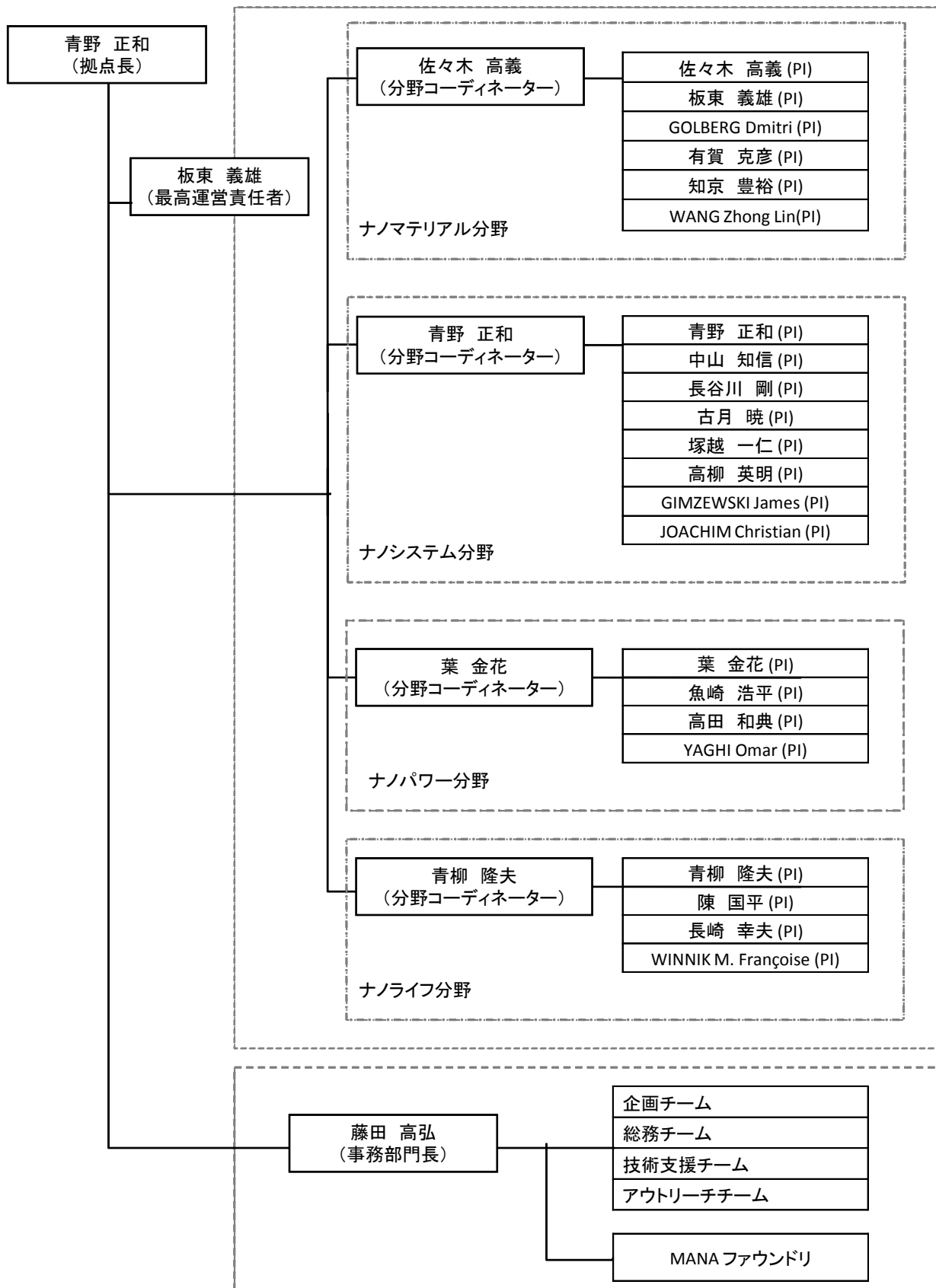
2. 構成員員数の推移

※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。



世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

3. 運営組織図



世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

4. 拠点施設配置図

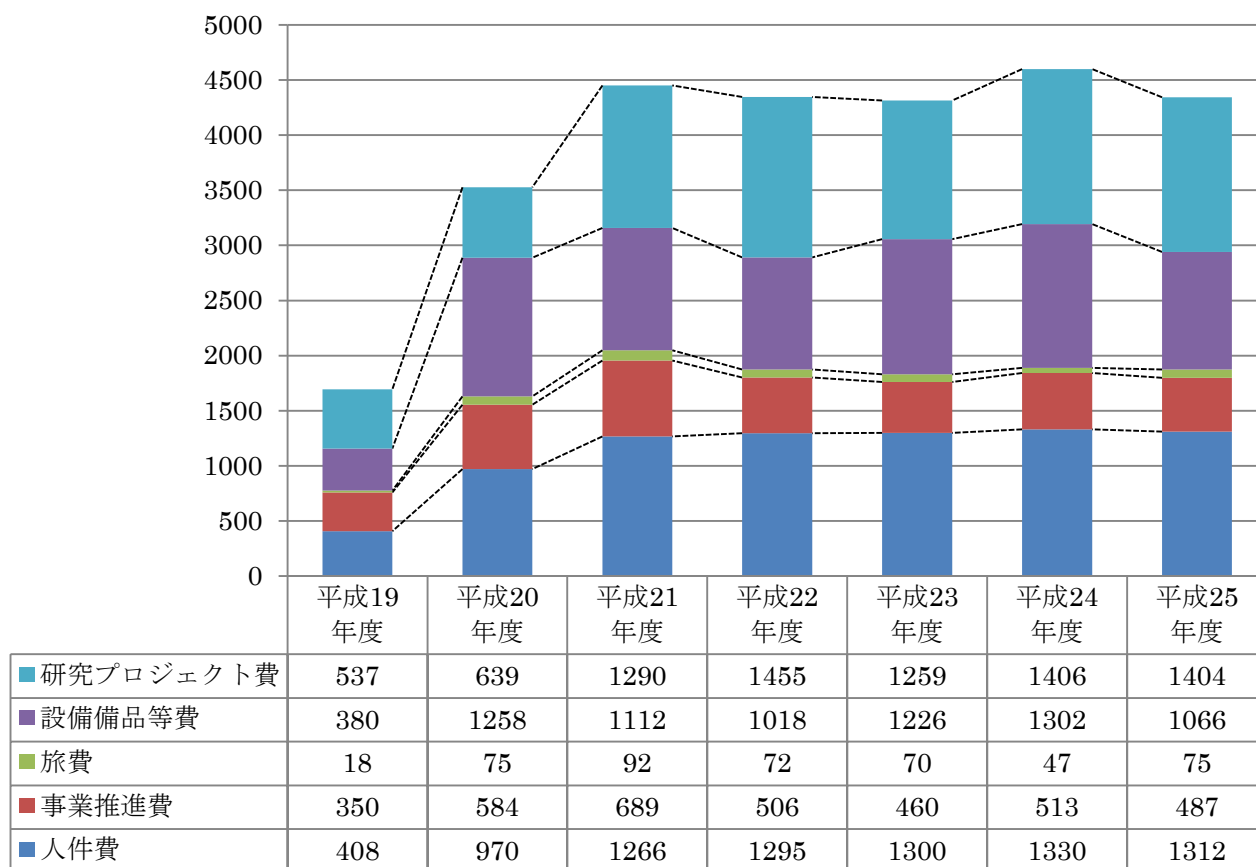
World Premier International Research Center (WPI) Initiative



世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

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。



6. 平成25年度事業費

○拠点活動全体

(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	32
	・主任研究者 14人	157
	・その他研究者 185人	990
	・研究支援員 7人	45
	・事務職員 29人	88
	計	1312
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 48人	18
	・人材派遣等経費 3人	12
	・スタートアップ経費 27人	52
	・サテライト運営経費 6ヶ所	82
	・国際シンポジウム経費 4回	9
	・施設等使用料	0
	・消耗品費	25
	・光熱水料	244
	・その他	45
		計
旅費	・国内旅費	2
	・外国旅費	7
	・招へい旅費 国内108人、外国108人	59
	・赴任旅費 国内4人、外国23人	7
		計
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	409
	・設備備品に係る減価償却費	657
		計
研究プロジェクト費	・運営費交付金等による事業	647
	・受託研究等による事業	398
	・科学研究費補助金等による事業	359
		計
合	計	4344

(単位：百万円)

平成24年度WP I 補助金額	1,334
平成25年度施設整備額	0
平成25年度設備備品調達額	604
・極微細材料評価用走査電子顕微鏡装置 1台	66
・触媒・触媒反応クロマト質量分析評価システム 1台	54
・サーモリフレクタンス法薄膜熱伝導率測定装置 1台	36
・電池材料薄膜作製装置	29
・加圧有機金属化学堆積装置	23
・ホール抵抗測定装置	19
・低電圧SEM用エネルギー分散型X線分析装置 1台	17
・その他	360

○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 15人	
	・研究支援員 2人	
	・事務職員 5人	
	計	63
事業推進費		7
旅費		2
設備備品等費		0
研究プロジェクト費		10
合	計	82

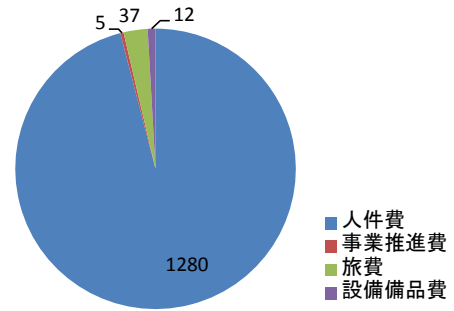
7. 平成25年度WPI補助金支出

添付様式 1

○総額

(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	32
	・主任研究者 (14人)	157
	・その他研究者 (185人)	958
	・研究支援員 (7人)	45
	・事務職員 (29人)	88
	計	1280
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 (1回)	5
	・施設等使用料	0
	・消耗品費	0
	・光熱水料	0
	・その他	0
	計	5
旅費	・国内旅費	1
	・外国旅費	9
	・招へい旅費 (国内：12人) (外国：43人)	27
	・赴任旅費 (国内：0人) (外国：0人)	0
	計	37
設備備品等費	・設備備品調達額	12
	計	12
合	計	1334



○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	
事業推進費		
旅費		
設備備品等費		
合	計	0

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

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。

1) 本文中の主要 20 研究成果に関連する 40 論文

注 1: 以下の 40 論文は、MANA が 2007 年から 2013 年の間に発表した 2,362 論文の中から選んだ。40 論文のすべてが WPI 拠点としての業績であるため、すべてにアスタリスク(*)を付している。

注 2: 40 論文は、本文中の 20 研究成果[1]-[20]に分類されている。

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** (2013) 1632.

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** (2014) 5491.

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.

*3. R. Ma, T. Sasaki, "Nanosheets of oxides and hydroxides: Ultimate 2D charge-bearing functional crystallites", *Adv. Mater.* **22** (2010) 5082. (Invited review article).

This is an invited review article focusing on the recent progress on oxide and hydroxide nanosheets as an intriguing class of graphene-like 2D materials. A wide variety of monodisperse nanosheets have been produced by exfoliating layered precursory compounds via osmotic swelling. The nanosheets were found to show new and enhanced layered physicochemical properties associated with the exceptionally unique structure.

Thus the nanosheets are very useful as functional building blocks. Various solution-based processes can be applied to organize them into precisely controlled nanostructures such as nanofilms, hollow nanospheres, nanotubes, nanocomposites and so on. Through this approach, a range of functional materials and nanodevices have been developed; photocatalytic coating films, high- κ nanofilms, electrode materials.

研究成果[2]

- *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** (2011) 3482.

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 (TiNbO₅, Ti₂NbO₇, Ti₅NbO₁₄), 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 nanocrystal building blocks", *Adv. Mater.* **24** (2012) 210.

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.

研究成果[3]

- *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** (2011) 591.

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 Ag₂S-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** (11) (2012) 9515.

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]

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

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.

- *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** (2012) 286.

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. 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** (2013) 384004.

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]

- *11. 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** (2011) 8227.

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.

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

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]

- *13. M. Nakaya, S. Tsukamoto, Y. Kuwahara, M. Aono, T. Nakayama, "Molecular-scale control of unbound and bound C_{60} for topochemical ultradense data storage in an ultrathin C_{60} film", *Adv. Mater.* **22** (2010) 1622.

We found that the unbound and bound states of C_{60} molecules can be controlled reversibly at the single-molecule level in an ultrathin film of C_{60} 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 C_{60} 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 C_{60} 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 C_{60} molecule (about 1 nm) and with a data density of 190 Tbit/in².

- *14. M. Nakaya, M. Aono, T. Nakayama, "Molecular-scale size tuning of covalently bound assembly of C_{60} molecules", *ACS Nano* **5** (2011) 7830.

Reference [6]-1 showed that, when a negative sample bias voltage is applied to a tunneling junction between the C_{60} film and the tip of a scanning tunneling microscope (STM), a C_{60} 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 C_{60} film and that the resulting C_{60} oligomer can be tuned to form a dimer, trimer, tetramer, or pentamer; the number of interconnected C_{60} 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 C_{60} molecules starting from the top layer and aligned toward the interface layer in the multilayer C_{60} films. The electrostatic negative ionization of C_{60} molecules and its spatial distribution in the multilayer C_{60} film are critical factors in achieving size-tuning in oligomerization.

研究成果[7]

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

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.

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

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]

- *17. L.-B. Vong, T. Tomita, T. Yoshitomi, H. Matsui, Y. Nagasaki, "An orally administered redox nanoparticle that accumulates in the colonic mucosa and reduces colitis in mice", *Gastroenterology* **143**, (2012) 1027.

Ulcerative colitis (UC) is a chronic inflammatory disease of the colon area. Current treatments include anti-inflammatory and immunosuppressive drugs; however, these medications are not always effective because of non-specific distribution, drug metabolism, and side effects. In this study, we have developed a novel nitroxide radical-containing nanoparticle (RNP), which scavenges reactive oxygen species (ROS). A size of approximately several tens of nanometers is important for long-term retention in colon. Here we found that the concentration of RNP in the colonic mucosa is almost 50 times higher than that of conventional low-molecular-weight drugs. Interestingly, an even higher accumulation of nanoparticles was observed in the colonic mucosa of dextran sodium sulfate (DSS)-induced colitis mice. Additionally, nanoparticles did not enter the bloodstream through the intestinal wall, despite its long-term retention in the colonic mucosa. Based on these characteristics, oral nanotherapy of RNP⁰ showed an extremely high therapeutic and safe effect on UC.

- *18. K. Yoshimoto, M. Nishio, H. Sugawara, Y. Nagasaki, "Direct observation of adsorption-induced inactivation of antibody fragments surrounded by mixed-PEG layer on a gold surface", *J. Am. Chem. Soc.* **132** (2010) 7982.

To examine the adsorption behavior of antibody fragments (Fab') directly immobilized on a gold surface through S-Au linkage, analyses by surface plasmon resonance (SPR), fluorometry, and atomic force microscopy (AFM) with an excellent blocking technique by the consecutive treatments of long polyethylene glycol (PEG) and short-PEG, abbreviated as mixed-PEG layer formation, were performed. AFM studies provided direct information on the time-dependent decrease in the height of the immobilized Fab' on the gold surface. In contrast, the coimmobilization of densely packed mixed-PEG tethered chains around the Fab' on the gold surface suppressed the decrease in the height of Fab', presumably indicating that the conformational and/or orientation change of Fab' was suppressed by the coimmobilized mixed-PEG layer. The new findings obtained in this study are expected to be useful for the improvement of the antibody fragment method and, thus, for the construction of high-performance immuno-surfaces.

研究成果[9]

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

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.

- *20. 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** (2013) 7551.

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]

- *21. 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", *Scientific Reports* **3** (2013) 1667.

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.

- *22. 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** (2010) 559.

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 In_{1-x}Ni_xTaO₄ and (V-; Fe- or Mn-)TiO₂, non-metal-ion substitution as in TiO_{2-x}N_x and Sm₂Ti₂O₅S₂ or solid-solution fabrication as in (Ga_{1-x}Zn_x)(N_{1-x}O_x) and ZnS–CuInS₂–AgInS₂. Here we report a new photocatalyst Ag₃PO₄, 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 (~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]

- *23. Q.-F. Liang, Z. Wang, X. Hu, "Manipulation of Majorana fermions by point-like gate voltage in the vortex state of a topological superconductor", *Europhys. Lett.* **99** (2012) 50004. [Editor's Choice].

A vortex in a topological superconductor induces two Majorana fermions (MFs), one in the core and the other at the sample edge. Here we demonstrate that edge MFs can be transported and braided by turning gate voltages on and off at the point-like constriction junctions between samples. The controllable high mobility of edge MFs is due to the topological property, namely an edge MF appears only when the sample perimeter includes odd number of vortices. As shown explicitly by solving the time-dependent Bogoliubov-de Gennes equation, disturbance to the quantum coherence of MFs during braiding is negligibly small in this scheme due to the point-like application of the gate voltage. The present work bridges for the first time the fundamental topological features of edge MFs and their adiabatic dynamics which is important for performing topological quantum computation.

- *24. T. Uchihashi, P. Mishra, M. Aono, T. Nakayama, "Macroscopic superconducting current through a silicon surface reconstruction with indium adatoms: Si(111)-($\sqrt{7}\times\sqrt{3}$)-In", *Phys. Rev. Lett.* **107** (2011) 207001. [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 [Si(111)-($\sqrt{7}\times\sqrt{3}$)-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.

研究成果[12]

- *25. D. R. Bowler, T. Miyazaki, "Calculation for millions of atoms with density functional theory: linear-scaling shows its potential", *J. Phys.: Condens. Matter* **22** (2010) 074207.

This paper demonstrates that density functional theory (DFT) calculations are possible on systems with over two million atoms. The weak scaling (scaling with fixed computational load per process) is perfect, showing the same time per process for systems with 4,096 atoms and systems with 2,000,000 atoms. The strong scaling (fixed system size with increasing number of nodes) is extremely high. Overall, the paper demonstrates the potential of linear scaling DFT methods.

- *26. D. R. Bowler, T. Miyazaki, "O(N) methods in electronic structure calculations", *Rep. Prog. Phys.* **75** (2012) 036503.

A comprehensive overview of linear scaling approaches to electronic structure, covering DFT and quantum chemistry methods, and discussing technical implementation as well as algorithms and approaches. The existing applications are discussed, and five significant challenges to linear scaling are identified and discussed. This paper has become one of the standard references in the field.

研究成果[13]

- *27. H. Sasakura, S. Kuramitsu, Y. Hayashi, K. Tanaka, T. Akazaki, E. Hanamura, R. Inoue, H. Takayanagi, Y. Asano, H. Kumano, I. Suemune, "Nb/n-InGaAs/p-InP superconductor/semiconductor-diode light emitting device" *Phys. Rev. Lett.* **107**(2011) 157403.

We experimentally demonstrate Cooper pairs' drastic enhancement of the band-to-band radiative recombination rate in a semiconductor. Electron Cooper pairs injected from a superconducting electrode

into an active layer by the proximity effect recombine with holes injected from a p-type electrode. The recombination of a Cooper pair with p-type carriers dramatically increases the photon generation probability of a light-emitting diode in the optical-fiber communication band. The measured radiative decay time rapidly decreases with decreasing temperature below the superconducting transition temperature of the niobium electrodes. Our results indicate the possibility to open up new interdisciplinary fields between superconductivity and optoelectronics.

- *28. Y. Asano, I. Suemune, H. Takayanagi, and E. Hanamura, "Luminescence of a Cooper Pair", *Phys. Rev. Lett.* **103** (2009) 187001.

This paper theoretically discusses the photon emission spectra of a superconducting p-n junction. On the basis of the second order perturbation theory for electron-photon interaction, we show that the recombination of a Cooper pair with two p-type carriers causes enhancement of the luminescence intensity. The calculated results of photon emission spectra explain characteristic features of observed signal in an recent experiment. Our results indicate high functionalities of superconducting light-emitting devices.

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.

For next generation amorphous metal-oxide thin film transistor (a-OxTFT), we found that the stability of the transistor properties strongly depends on the bond-dissociation energy of dopant element in InOx film. By incorporating the dopant with higher bond-dissociation energy, the film becomes less sensitive to oxygen partial pressure used during film formation processes. Because the doped silicon in amorphous In₂O₃-based thin films is found to suppress the formation of unstable oxygen vacancies, silicon doped metal oxide TFTs (SiM-OxTFTs) behave as the stable high-performance a-OxTFT with highly suppressed off-state current.

- *30. N. Mitoma, S. Aikawa, X. Gao, T. Kizu, M. Shimizu, M.-F. Lin, T. Nabatame, K. Tsukagoshi, "Stable amorphous In₂O₃-based thin-film transistors by incorporating SiO₂ to suppress oxygen vacancies", *Appl. Phys. Lett.* **104** (2014) 102103.

Incorporating SiO₂ into amorphous In₂O₃-based thin films is found to suppress the formation of unstable oxygen vacancies. The SiO₂ in InOx film suppressed the de-population of donor-like traps and charge-carrier trapping at the semiconductor/insulator interface, which led to stable TFT operation. As the SiO₂ content increased, the activation energy in the current off region greatly increased and the density of state (DOS) at the band tail became small, resulting in making transistor properties more stable against electrical and thermal stresses. Particularly, the subthreshold swing and turn-on voltage of the transistor have been drastically improved. The results of the present study aid the mass production of highly stable amorphous InO-based thin-film transistors.

研究成果[15]

- *31. H. Zhang, Y. Yang, Y. Su, J. Chen, C. Hu, Z. Wu, Y. Liu, C. P. Wong, Y. Bando, Z. L. Wang, "Triboelectric nanogenerator as self-powered active sensors for detecting liquid/gaseous water/ethanol", *Nano Energy* **2** (2013) 693.

Triboelectric nanogenerator has been demonstrated as an effective means for converting mechanical energy. Since the effectiveness of triboelectric charged surface being charged is strongly dependent on the surface adsorbed molecules, we show that the triboelectric nanogenerator, made of polyamide 6,6 (PA) film or polytetrafluoroethylene (PTFE) film, can serve as a self-powered active sensor for detecting water or ethanol in gas or liquid phase. The performance of the active sensors has been understood in reference to the levels of wettability of solid polymer surfaces. This new approach for sensing could be advantageous of simple fabrication, low-cost and easy application.

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", *Advanced Materials* **24** (2012) 1675.

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** (2010) 4071.

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** (2010) 4895.

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, T. Sato, Y. Yamauchi, "Electrochemical synthesis of one-dimensional mesoporous Pt nanorods utilizing surfactant-micelle assembly in confined space", *Angew. Chem. Int. Ed.* **52** (2013) 8050.

One-dimensional (1D) metallic nanostructures, particularly those composed of noble metals, have sparked great scientific interest for practical applications, owing to their uniquely anisotropic structure. In recent advances in energy conversion materials, one-dimensional (1D) materials have been widely demonstrated to be particularly effective as electrocatalysts for the methanol oxidation reaction (MOR) and

oxygen reduction reaction (ORR) at low cost. We successfully designed self-supported 1D mesoporous Pt nanowires by all-wet electrochemical synthesis inside the confined space of PC membrane. The 1D motifs exhibited high activity and CO-tolerant performance in the electro-oxidation of methanol, and our MPNRs showed only 31 % loss of ESCA even after harsh accelerated durability test. Thus, the self-supported mesoporous structures are highly desired in high activity and stability for the large surface area with less aggregation and ripening of Pt nanoparticles. Such geometrically favorable factors will provide a new avenue in designing highly efficient electrocatalysts used in artificial energy conversion systems.

- *36. H. Atae-Esfahani, M. Imura, Y. Yamauchi, "All-metal mesoporous nanocolloids: Solution-phase synthesis of core-shell Pd@Pt nanoparticles with a designed concave surface", *Angew. Chem. Int. Ed.* **52** (2013) 13611.

In recent years, many efforts have been made for the synthesis of shape- and size-controlled metal colloidal nanoparticles which can bring out novel physical and chemical properties. Bimetallic nanoparticles have often shown superior catalytic activities over their monometallic counterparts, due to the synergistic effect of the second metal. However, heterogeneous bimetallic nanoparticles, such as core-shell structures, are difficult to be prepared in comparison with monometallic nanoparticles. Our target in this study is the synthesis of 'mesoporous metal nanoparticles' with high indexed facets which can provide high catalytic active sites for catalytic reactions, especially in electro-oxidation reactions. Mesoporous metal nanoparticles with concave surface can provide not only high surface area but also abundant active sites for catalytic reactions. Our approach based on all-wet process in low concentrated surfactant solution is widely applicable to other metal and alloy systems and also will be utilized as a promising approach for industrial mass-production.

研究成果[19]

- *37. J. Labuta, S. Ishihara, T. Šikorský, Z. Futera, A. Shundo, L. Hanyková, J. V. Burda, K. Ariga, J. P. Hill, "NMR spectroscopic detection of chirality and enantiopurity in referenced systems without formation of diastereomers", *Nature Commun.* **4** (2013) 2188.

In drug manufacturing, it is also important to determine their optical purity in each stage of synthesis. This research reports a novel technique for determining optical purity by utilizing nuclear magnetic resonance (NMR) and a new symmetrically-structured porphyrin resolving agent. The molecules do not form structural isomers (diastereomers) even when they bind with a chiral object of measurement. The mechanism of this technique is based on the breakdown of the structural symmetry of the porphyrin resolving agent by the bonding of chiral molecules. The developed symmetrical achiral porphyrin resolving agent offers high versatility as well as universality enabling measurement of the optical purity of diverse species of chiral molecules, such as chiral carboxylic acids, esters, protected amino acids, ketones, alcohols, and others.

- *38. T. Mori, M. Akamatsu, K. Okamoto, M. Sumita, Y. Tateyama, H. Sakai, J. P. Hill, M. Abe, K. Ariga, "Micrometer-level naked-eye detection of cesium particulates in the solid state", *Sci. Tech. Adv. Mater.* **14** (2013) 015002.

As a result of the accident at Nuclear Power Plant following the Great East Japan Earthquake of March 2011, a large amount of radioactive substances, cesium 137, leaked and contaminated a wide area. This research developed a fluorescent probe that detects cesium ion using supermolecular interaction. It is possible to visualize the distribution of cesium ion with submillimeter accuracy even on ground and in living plants. This detection mechanism adopted the deprotonation of phenols as a probe reaction. Interaction with an electron-accepting 4-nitrophenyl ether group can occur upon effective inclusion of Cs cation through a variable-length polyethylene glycol chain with the aim of selectively detection.

研究成果[20]

- *39. C. Hoang, M. Oyama, O. Saito, M. Aono, T. Nagao, "Monitoring the presence of ionic mercury in environmental water by plasmon-enhanced infrared spectroscopy," *Scientific Reports* **3** (2013) 1175.

In the past decade, vaporized mercury emission from coal-fired generators as well as small-scale Au mines has been increasing and causing ubiquitous pollution of atmosphere as well as environmental water across the border. The detection methods of mercury from air has been widely studied and commercialized, but the detection method for environmental water is still premature. 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. For example, with natural water from Lake Kasumigaura (Ibaraki Prefecture, Japan), direct detection of Hg^{2+} with a concentration as low as 37 ppt ($37 \times 10^{-10} \%$) was readily demonstrated, indicating the high potential of this simple method for environmental and chemical sensing of metallic species in aqueous solution.

*40. J. Wi, S. Tominaka, T. Nagao, "Arrays of nanoscale gold dishes containing engineered sub-structures," *Adv. Opt. Mater.* **1** (2013) 814.

Increasing interest exists, but still it is difficult to monitor the states of the electromagnetic nearfield and chemical states of individual nano-materials when the probing area are smaller than that of the wavelength of the visible light commonly used for optical microscope. In this article, we demonstrated that by using the well-engineered Au nanostructures, it is possible to control the enhancement of SERS signal and thereby to read the direction of the light polarization around the nanometer-scale small objects. Furthermore, bi-metallic nanostructures, in which chemically active materials are positioned inside the plasmonic dishes, allow to monitor the progress of the chemical reaction occurring at the nanoscale space. These results illustrate unprecedented flexibility in integrating the physically synthesized plasmonic substructures which are expected to be highly useful in real time monitoring nanoscopic light-matter interactions and biochemical reactions.

II) オプション 5 論文

*オプション 1. M. Osada, T. Sasaki, "Two-dimensional dielectric nanosheets: Novel nanoelectronics from nanocrystal building blocks", *Adv. Mater.* **24** (2012) 210.

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- k 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.

*オプション 2. I. Valov, I. Sapezanskaia, A. Nayak, T. Tsuruoka, T. Bredow, T. Hasegawa, G. Staikov, M. Aono and R. Waser, "Atomically controlled electrochemical nucleation at superionic solid electrolyte surfaces", *Nature Materials* **11** (2012) 530.

In this research, we have succeeded in adopting electronic conductivity to super-ionic material with keeping the property of ionic conductor, which is needed for the solid electrochemical reaction. This enabled the first STM observation of a super-ionic material. Namely, charge transfer between the STM tip and the material to cause the chemical reaction, and STM observation of Redox reaction in which metal atoms precipitate become possible. The experiment revealed that precipitation of metal atoms due to the reduction process of solid electrochemical reaction requires a certain time (time lag) after bias application. It was also revealed that bias larger than a certain threshold value makes the time lag negligible small. As such, the atomic-scale observation revealed many phenomena; those are not detectable in macroscopic observations.

*オプション 3. Q. Liang, L. Wu, X. Hu, "Electrically tunable topological state in [111] perovskite materials with an antiferromagnetic exchange field", *New J. Phys.* **15** (2013) 063031-1.

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 LaCrO₃ 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.

*オプション 4. 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** (2013) 073110.

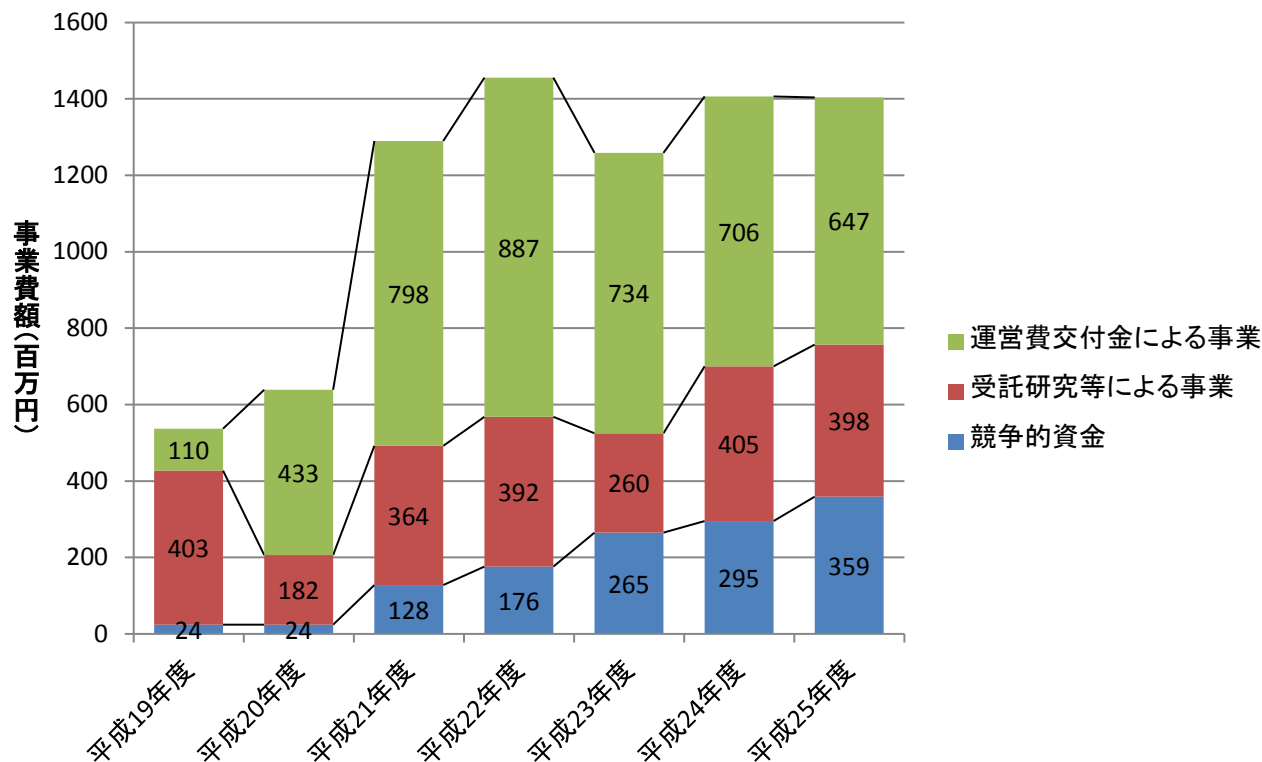
An all-solid-state electric-double-layer transistor (EDLT) with a Gd-doped CeO₂ (GDC) oxide ionconductor/SrTiO₃ (STO) insulator structure has been developed. At 473 K, the drain current of the EDLT was well controlled, from less than nA order to μ A order, by electrostatic carrier doping at the GDC/STO 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.

*オプション 5. T. Yamaguchi, E. Watanabe, H. Osato, D. Tsuya, K. Deguchi, T. Watanabe, H. Takeya, Y. Takano, S. Kurihara, H. Kawarada, "Low-temperature transport properties of holes introduced by ionic liquid gating in hydrogen-terminated diamond surfaces", *J. Phys. Soc. Jpn* **82** (2013) 074718.

The surface conductivity of (111)- and (100)-oriented hydrogen-terminated diamonds was investigated at low temperatures for different carrier densities. The carrier density was controlled in a wide range in an electric doublelayer transistor configuration using ionic liquids. As the carrier density was increased, the temperature dependences of sheet resistance and mobility changed from semiconducting to metallic ones: the sheet resistance and mobility for the (111) surface were nearly independent of temperature for a sheet carrier density of $\sim 4 \times 10^{13}$ cm⁻², indicating metallic carrier transport. It was also found that the interface capacitance, determined from the gate voltage dependence of the Hall carrier density, depended significantly on the crystal orientation.

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。



[特筆すべき研究資金]

戦略的創造研究推進事業(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]

戦略的創造研究推進事業(さきがけ(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]

科学研究費 基盤研究(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]

科学研究費 若手研究 (S)

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

科学研究費 若手研究 (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]

最先端・次世代研究開発支援プログラム (NEXT Program)

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

研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)

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

JST 復興促進プログラム

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

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. Takako KONOIKE, *Young Scientist's Encouragement Award* (by the Physical Society of Japan), 2014
2. Yukio NAGASAKI, *Award of the Japanese Society for Biomaterials* (by the Japanese Society for Biomaterials), 2014
3. Zhong Lin WANG, *James C. McGroddy Prize in New Materials* (by the American Physical Society), 2014
4. Masakazu AONO, *Nanoscience Prize* (at ACSIN-12 conference), 2013
5. Katsuhiko ARIGA, *Fellow of the Royal Society of Chemistry* (by the Royal Society of Chemistry), 2013
6. Alexei BELIK, *Young Scientist's Prize* (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2013
7. Takayoshi SASAKI, *Science and Technology Prize* (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2013
8. Kazuhito TSUKAGOSHI, *JSPS Prize* (by the Japan Society for the Promotion of Science), 2013
9. Françoise M. WINNIK, *SPSJ International Award* (by the Society of Polymer Science, Japan, SPSJ), 2013
10. Yusuke YAMAUCHI, *PCCP Prize* (by the Chemical Society of Japan), 2013
11. Yusuke YAMAUCHI, *Young Scientist's Prize* (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2013
12. Genki YOSHIKAWA, *Tsukuba Encouragement Prize for Young Researchers* (by the Science and Technology Promotion Foundation of Ibaraki), 2013
13. Yoshio BANDO, Dmitri GOLBERG, *Thomson Reuters Research Front Award* (by Thomson Reuters), 2012
14. Takayoshi SASAKI, *CSJ Academic Prize* (by the Chemical Society of Japan), 2012
15. Satoshi TOMINAKA, *Funai Research Incentive Award* (by the FUNAI Foundation for Information Technology), 2012
16. Yusuke YAMAUCHI, *Tsukuba Encouragement Prize for Young Researchers* (by the Science and Technology Promotion Foundation of Ibaraki), 2012
17. Tadaaki NAGAO, *Fellow of the Institute of Physics* (by the Institute of Physics, UK), 2011
18. Tadaaki NAGAO, *Naito Taisyun Memorial Award* (by the Naito Taisyun Science and Technology Foundation), 2011
19. Jun NAKANISHI, *Young Scientist's Prize* (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2011
20. Katsunori WAKABAYASHI, *PSJ Young Scientist Award* (by the Physical Society of Japan), 2011
21. Zhong Lin WANG, *MRS Medal* (from Materials Research Society), 2011
22. Mark E. WELLAND, *Knighthood in the Queen's Birthday Honors list* (by Queen's Birthday Honors, UK), 2011
23. Françoise M. WINNIK, *CIC Macromolecular Science and Engineering Award* (by the Chemical Institute of Canada), 2011
24. Masakazu AONO, *Feynman Prize in Nanotechnology* (by the Foresight Institute, Palo Alto, USA), 2010
25. Katsuhiko ARIGA, *Nice Step Researcher* (by the Japan Science and Technology Agency), 2010
26. Tetsushi TAGUCHI, *Award of the Adhesion Society of Japan* (by the Adhesion Society of Japan), 2010
27. Kohei UOSAKI, *CSJ Award* (by the Chemical Society of Japan), 2010
28. Katsunori WAKABAYASHI, *Young Scientists's Award* (by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT), 2010
29. Daisuke FUJITA, *Ichimura Award* (by the New Technology Development Foundation, Japan), 2009
30. James K. GIMZEWSKI, *Fellow of the Royal Society, FRS* (by the Royal Society, London, UK), 2009
31. James K. GIMZEWSKI, *Institute of Electronic Technology, AWARD to honor 10 Millionth Record Inspection*, London, UK, 2009
32. Kazuhiro HONO, *Honda Frontier Award* (by the Honda Memorial Foundation), 2009

33. Naoki OHASHI, *Richard M. Fulrath Award* (by the American Ceramics Society), 2009
34. Kohei UOSAKI, *Fellow of the Electrochemical Society* (by the Electrochemical Society), 2009
35. Yoshio BANDO, *Fellow of the American Ceramic Society* (by the American Ceramic Society), 2008
36. Kenji KITAMURA, *Inoue Harushige Award* (by Japan Science and Technology Agency), 2008
37. Takayoshi SASAKI, Minoru OSADA, *Tsukuba Prize* (by the Science and Technology Promotion Foundation of Ibaraki), 2008
38. 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. Kazuhito TSUKAGOSHI, *Atomically thin semiconducting channels for future nano-electronics*, Trends in Nanotechnology Japan 2014, Jan 29 - Jan 31, 2014
 2. Masakazu AONO, *Controlling single atoms and molecules at solid surfaces and interfaces*, 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Nov 5 - Nov 8, 2013
 3. Yukio NAGASAKI, *Nanotechnology in, vivo: redox polymer therapeutics*, 40th Annual Meeting & Exposition of the Controlled Release Society, Sep 19, 2013
 4. Zhong Lin WANG, *Nanogenerators as New Energy Technology and Piezotronics for Functional Systems*, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, Sep 9 - Sep 12, 2013
 5. 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
 6. 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
 7. Naoki FUKATA, *Doping and characterization of impurity atoms in Si and Ge nanowires*, E-MRS, May 27 - May 31, 2013
 8. Katsuhiko ARIGA, *Two-dimensional nanoarchitectonics: clay, graphene and nanoflake in assembly*, 245th American Chemical Society National Meeting & Exposition, Apr 7 - Apr 11, 2013
 9. Tomonobu NAKAYAMA, *Multiple-probe scanning probe microscopes for nanosystems research*, The 6th International Conference on Advanced Materials and Nano, Feb 11- Feb 15, 2013
 10. Tadaaki NAGAO, *Plasmons in atomic-scale/nanoscale objects and their applications*, The 7th International Conference on Photonics and Applications, Nov 26 - Nov 29, 2012
 11. 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 - Sep 28, 2012
 12. Guoping CHEN, *Development of stepwise tissue development-mimicking matrices from stem cells*, 15th International Biotechnology Symposium (IBS) and Exhibition, Sep 16 - Sep 22, 2012
 13. 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 - Aug 23, 2012
 14. Xiao HU, *Majorana fermion in topological superconductor*, 11th International Conference on Condensed Matter Theory, Aug 12- Aug 15, 2012
 15. Dmitri GOLBERG, *In situ TEM measurements of nanotube and nanosheet properties*, Microscopy and Microanalysis 2012, Jul 29 - Aug 2, 2012
 16. Christian JOACHIM, *To be Nano or not to be Nano?*, International Conference of Young Researchers on Advanced Materials, Jul 1-6, 2012
 17. Takao MORI, *Nanostructured borides and perspectives of high temperature thermoelectric materials*, Materials Research Society Spring Meeting 2012, Apr 9 - Apr 13, 2012
 18. Tsuyoshi HASEGAWA, *Atom movement controlled three-terminal device, 'Atom Transistor'*, 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Oct 24 - Oct 27, 2011
 19. Yoshio BANDO, *Novel synthesis and property of BN nanotubes and nanosheets*, Pacifichem 2010, Dec 15 - Dec 20, 2010
 20. Takayoshi SASAKI, *Layer-by-layer assembly of transition metal oxide nanosheets into ultrathin functional films*, 12th International Ceramics Congress, Jun 6 - Jun 11, 2010

21. Kazuhito TSUKAGOSHI, *Atomically thin semiconducting channels for future nano-electronics*, Trends in Nanotechnology Japan 2014, Jan 29 - Jan 31, 2014
22. Masakazu AONO, *Controlling single atoms and molecules at solid surfaces and interfaces*, 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Nov 5 - Nov 8, 2013
23. Yukio NAGASAKI, *Nanotechnology in, vivo: redox polymer therapeutics*, 40th Annual Meeting & Exposition of the Controlled Release Society, Sep 19, 2013
24. Zhong Lin WANG, *Nanogenerators as New Energy Technology and Piezotronics for Functional Systems*, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, Sep 9 – Sep 12, 2013
25. 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
26. 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
27. Naoki FUKATA, *Doping and characterization of impurity atoms in Si and Ge nanowires*, E-MRS, May 27 - May 31, 2013
28. Katsuhiko ARIGA, *Two-dimensional nanoarchitectonics: clay, graphene and nanoflake in assembly*, 245th American Chemical Society National Meeting & Exposition, Apr 7 - Apr 11, 2013
29. Tomonobu NAKAYAMA, *Multiple-probe scanning probe microscopes for nanosystems research*, The 6th International Conference on Advanced Materials and Nano, Feb 11- Feb 15, 2013
30. Tadaaki NAGAO, *Plasmons in atomic-scale/nanoscale objects and their applications*, The 7th International Conference on Photonics and Applications, Nov 26 - Nov 29, 2012
31. 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 - Sep 28, 2012
32. Guoping CHEN, *Development of stepwise tissue development-mimicking matrices from stem cells*, 15th International Biotechnology Symposium (IBS) and Exhibition, Sep 16 - Sep 22, 2012
33. 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 - Aug 23, 2012
34. Xiao HU, *Majorana fermion in topological superconductor*, 11th International Conference on Condensed Matter Theory, Aug 12- Aug 15, 2012
35. Dmitri GOLBERG, *In situ TEM measurements of nanotube and nanosheet properties*, Microscopy and Microanalysis 2012, Jul 29 - Aug 2, 2012
36. Christian JOACHIM, *To be Nano or not to be Nano?*, International Conference of Young Researchers on Advanced Materials, Jul 1-6, 2012
37. Takao MORI, *Nanostructured borides and perspectives of high temperature thermoelectric materials*, Materials Research Society Spring Meeting 2012, Apr 9 - Apr 13, 2012
38. Tsuyoshi HASEGAWA, *Atom movement controlled three-terminal device, 'Atom Transistor'*, 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Oct 24 - Oct 27, 2011
39. Yoshio BANDO, *Novel synthesis and property of BN nanotubes and nanosheets*, Pacificchem 2010, Dec 15 - Dec 20, 2010
40. Takayoshi SASAKI, *Layer-by-layer assembly of transition metal oxide nanosheets into ultrathin functional films*, 12th International Ceramics Congress, Jun 6 - Jun 11, 2010

4. アウトリーチ活動一覧

※以下の表を用いて、平成23～25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	H23年度実績 (件数、回数)	H24年度実績 (件数、回数)	H25年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	4	5	5
一般向け講演会・セミナー	7	7	5
小・中・高向けの授業・実験・実習	12	12	15
サイエンスカフェ	0	1	0
一般公開	2	2	2
イベント参加・出展	3	2	3
プレスリリース	11	21	18

平成23～平成25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25年度中に報道された記事（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	2011.04.10	日本経済新聞	東日本大震災による原発事故を受け、外国人の帰国が増加する中、その繋ぎ止めに成功している職場の例としてMANAが紹介された。
2	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）
3	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）
4	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。
5	2012.01.16 2012.01.27	日本経済新聞、鉄鋼新聞	テーパー構造を有し、内部にpn接合を持ったシリコンからなる新しいナノ構造を高速形成する成長技術を開発した。（深田直樹）
6	2012.05.09 2012.05.10 2012.08.28	日刊工業新聞、日経産業新聞、毎日新聞	無機物のナノメートル厚のフレーク状物体（ナノシート）でできた伸縮自体のカプセルを新たに開発した。（有賀克彦）
7	2012.11.16 2012.11.23	日刊工業新聞、科学新聞、	ユーザーの要求に応じて機能を切り替えられる、オンデマンド型素子を開発した。（Yang Rui、寺部一弥、

	2012.11.27	日経産業新聞、	James Gimzewski、青野正和)
8	2012.12.21 2012.12.22	朝日新聞、 読売新聞	セシウムの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)
9	2013.01.23 2013.02.01	日刊工業新聞 科学新聞	水素の大量製造を可能にする光触媒の理論設計に成功した。(葉金花)
10	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)
11	2013.03.28	日刊工業新聞	水による層状結晶のきわめて珍しい巨大膨潤現象を発見した。(佐々木高義)
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	2013.11.29	日経産業新聞	多様な基板上に層状構造のペロブスカイト化合物を良質の結晶状態で成長させる技術を開発した。(佐々木高義)
14	2014.01.17	科学新聞	吹き飴技術を模した方法により、超極薄のグラフェンを張り子のように3次元的な骨格に貼りつけた構造体の創製に成功した。(板東義雄、Dmitri Golberg)
15	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)
16	2014.02.20	化学工業日報	導電性および誘電性の材料を用いて、現行のMLCCの約2000倍の性能を持つ世界最小の高性能コンデンサー素子を開発した。(佐々木高義、長田実)

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	“Satellite Labs Extend Science” というコラムの中で、世界各国から優秀な研究者が集う、海外の実験室運営の取り組み事例が紹介された。(Omar Yaghi)
2	2013.03.16	カナダ放送協会 (Canadian Broadcasting Corporation)	NHK国際共同制作番組“ナノ・レポリビューション”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)

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 \sim 100-fold reversible and instantaneous swelling of inorganic layered materials", *Nature Commun.* **4** (2013) 1632.

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** (2014) 5491.

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 \sim 100-fold with gallery expansion of \sim 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.

3. R. Ma, T. Sasaki, "Nanosheets of oxides and hydroxides: Ultimate 2D charge-bearing functional crystallites", *Adv. Mater.* **22** (2010) 5082. (Invited Review Article).

This is an invited review article focusing on the recent progress on oxide and hydroxide nanosheets as an intriguing class of graphene-like 2D materials. A wide variety of monodisperse nanosheets have been produced by exfoliating layered precursory compounds via osmotic swelling. The nanosheets were found to show new and enhanced physicochemical properties associated with the exceptionally unique structure. Thus the nanosheets are very useful as functional building blocks. Various solution-based processes can be applied to organize them into precisely controlled nanostructures such as nanofilms, hollow nanospheres, nanotubes, nanocomposites and so on. Through this approach, a range of functional materials and nanodevices have been developed; photocatalytic coating films, high-k nanofilms, electrode materials.

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** (2011) 3482.

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** (2012) 210.

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** (2011) 591.

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** (11) (2012) 9515.

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

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.

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** (2012) 286.

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. 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** (2013) 384004.

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.

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

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. L.-B. Vong, T. Tomita, T. Yoshitomi, H. Matsui, Y. Nagasaki, "An orally administered redox nanoparticle that accumulates in the colonic mucosa and reduces colitis in mice",

Gastroenterology **143**, (2012) 1027.

Ulcerative colitis (UC) is a chronic inflammatory disease of the colon area. Current treatments include anti-inflammatory and immunosuppressive drugs; however, these medications are not always effective because of non-specific distribution, drug metabolism, and side effects. In this study, we have developed a novel nitroxide radical-containing nanoparticle (RNP), which scavenges reactive oxygen species (ROS). A size of approximately several tens of nanometers is important for long-term retention in colon. Here we found that the concentration of RNP in the colonic mucosa is almost 50 times higher than that of conventional low-molecular-weight drugs. Interestingly, an even higher accumulation of nanoparticles was observed in the colonic mucosa of dextran sodium sulfate (DSS)-induced colitis mice. Additionally, nanoparticles did not enter the bloodstream through the intestinal wall, despite its long-term retention in the colonic mucosa. Based on these characteristics, oral nanotherapy of RNP showed an extremely high therapeutic and safe effect on UC.

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

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** (2013) 7551.

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", *Scientific Reports* **3** (2013) 1667.

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** (2010) 559.

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 In_{1-x}Ni_xTaO₄ and (V-, Fe- or Mn-)TiO₂, non-metal-ion substitution as in TiO_{2-x}N_x and Sm₂Ti₂O₅S₂ or solid-solution fabrication as in (Ga_{1-x}Zn_x)(N_{1-x}O_x) and ZnS–CuInS₂–AgInS₂. Here we report a new photocatalyst Ag₃PO₄, 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 (~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. Q.-F. Liang, Z. Wang, X. Hu, "Manipulation of Majorana fermions by point-like gate voltage in the vortex state of a topological superconductor", *Europhys. Lett.* **99** (2012) 50004. [Editor's Choice].

A vortex in a topological superconductor induces two Majorana fermions (MFs), one in the core and the other at the sample edge. Here we demonstrate that edge MFs can be transported and braided by turning gate voltages on and off at the point-like constriction junctions between samples. The controllable high mobility of edge MFs is due to the topological property, namely an edge MF appears only when the sample perimeter includes odd number of vortices. As shown explicitly by solving the time-dependent Bogoliubov-de Gennes equation, disturbance to the quantum coherence of MFs during braiding is negligibly small in this scheme due to the point-like application of the gate voltage. The present work bridges for the first time the fundamental topological features of edge MFs and their adiabatic dynamics which is important for performing topological quantum computation.

18. T. Uchihashi, P. Mishra, M. Aono, T. Nakayama, "Macroscopic superconducting current through a silicon surface reconstruction with indium adatoms: Si(111)-(√7×√3)-In", *Phys. Rev. Lett.* **107** (2011) 207001. [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 [Si(111)-(√7×√3)-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** (2013) 063031-1.

We propose a scheme of band engineering by means of staggered electric potential, antiferromagnetic 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 LaCrO₃ 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.

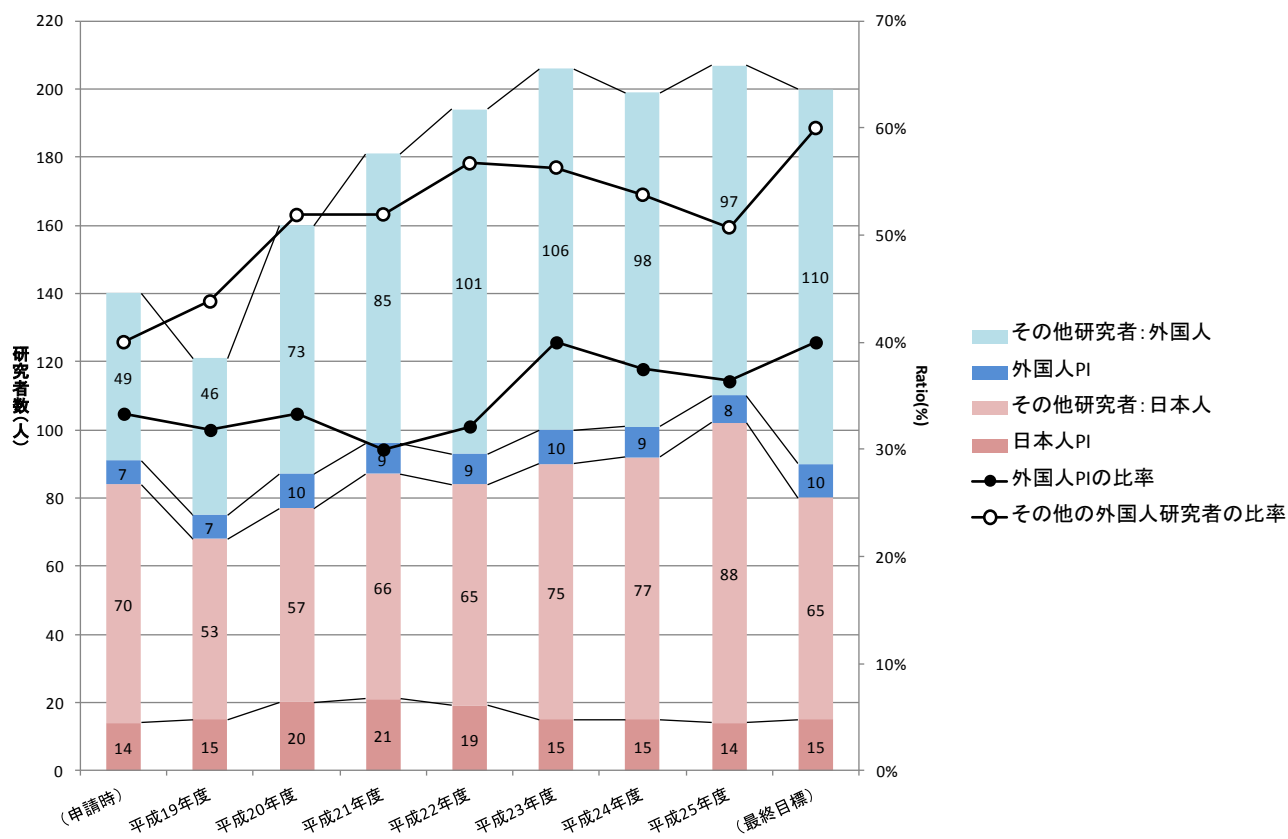
20. T. Tsuchiya, K. Terabe, M. Aono, "All-solid-state electric-double-layer transistor based on oxide ion migration in Gd-doped CeO₂ on SrTiO₃ single crystal", *Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 073110.

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）

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。



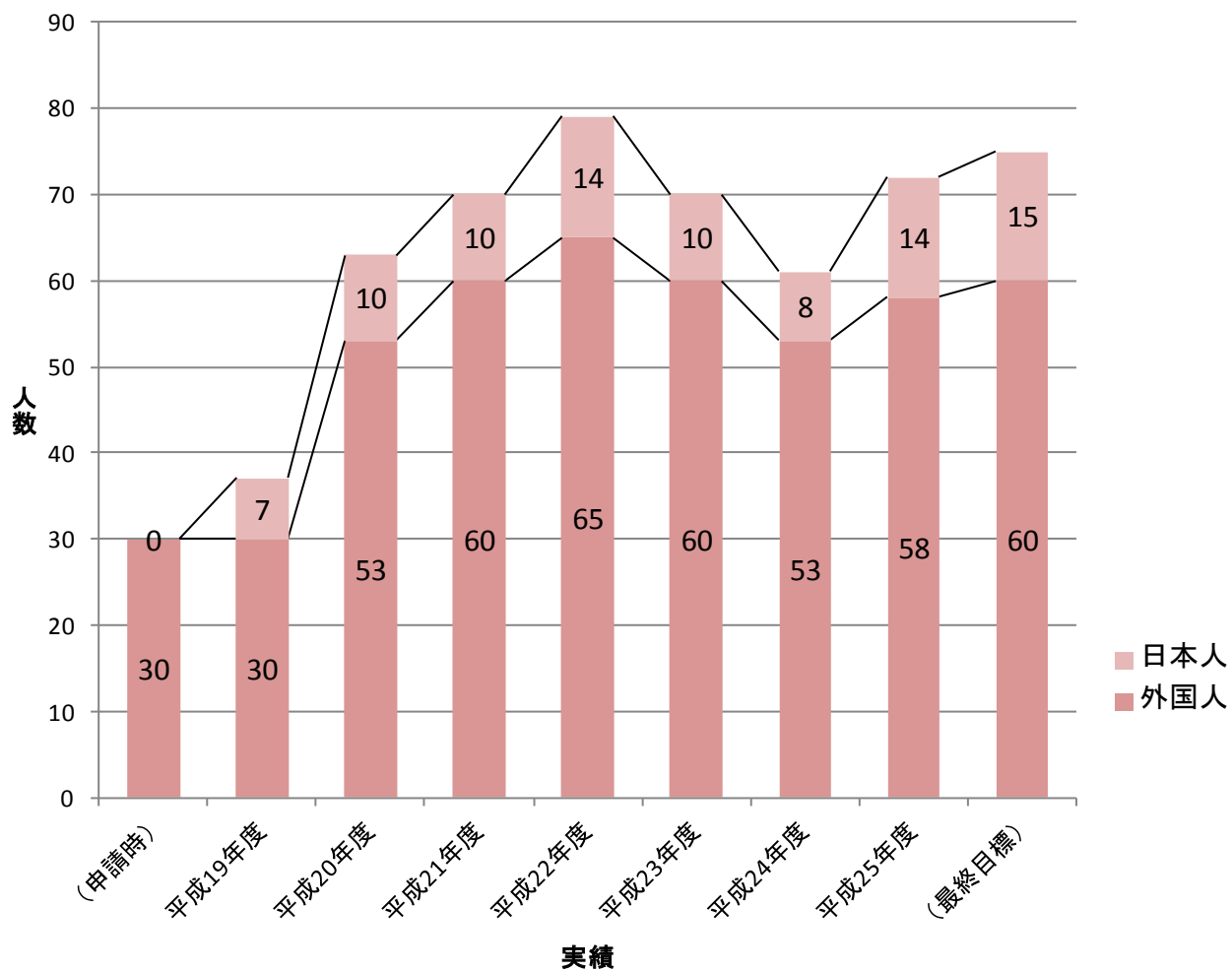
2. ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況

・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%〉	5 〈 4, 80%〉

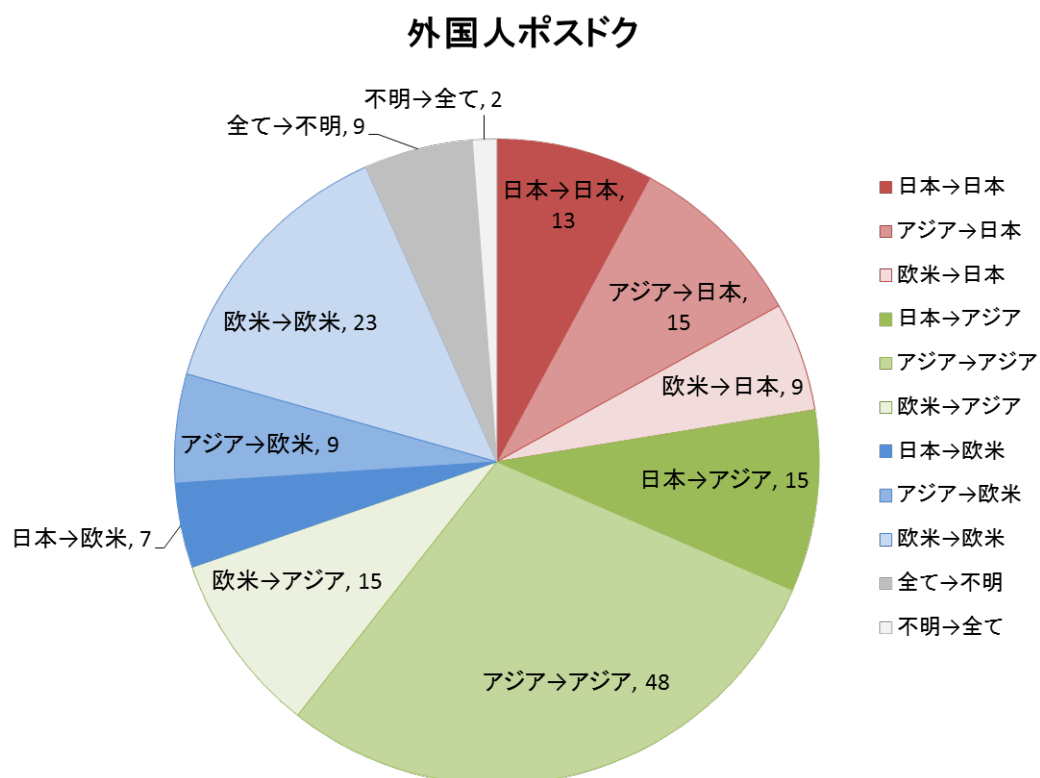
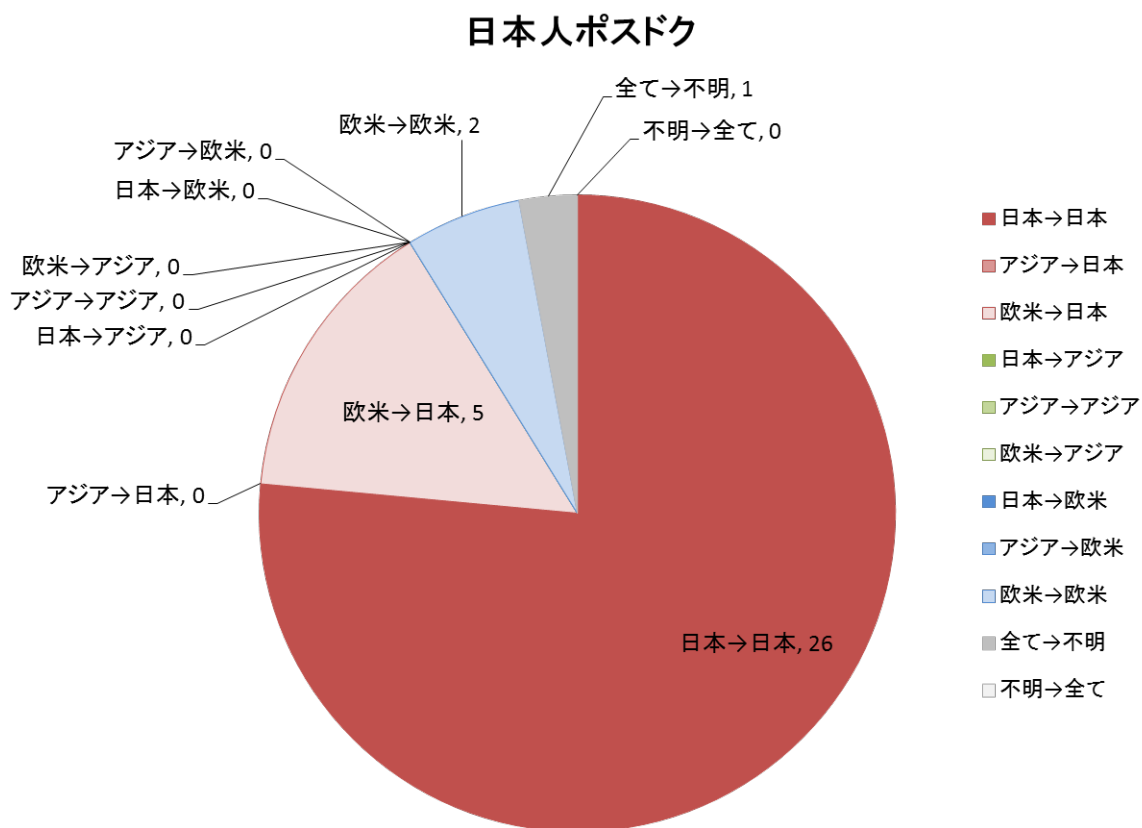
3. 外国人ポスドク比率の推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。



4. ポスドクの国際的就職状況

- ・ ○○→△△は、○○にある研究機関からWPI拠点に移動したのち、△△にある研究機関に移動したことを意味する。
- ・ n/aは、所属機関が不明や出産等による退職を意味する。



5. 国外共同研究協定等締結一覧

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

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

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 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 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 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 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 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: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Department of Chemistry, Loughborough University, UK Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Structures of Stable Aza-substituted Organic Semiconductors" Signed on 2009 October 28 Valid until 2014 October 28 For joint research activities between MANA and

		Loughborough University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
19.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), University of California, USA 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" Signed on 2010 February 9 Valid until 2015 February 9 For joint research activities between MANA and LBNL, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
20.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Institute of Electronic Microelectronic and Nanotechnology (IEMN), University of Valenciennes – Hainaut Cambrésis, France Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Interconnects and Nanocontacts for Nanorod- and Nanowire-based Electronic Devices Applications" Signed on 2010 May 20 Valid until 2015 May 20 For joint research activities between MANA and IEMN, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
21.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Erlangen Catalysis Resource Center, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Germany Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoporous materials" Signed on 2010 June 21 Valid until 2015 June 21 For joint research activities between MANA and University Erlangen-Nürnberg, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
22.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Department of Materials Science, Fudan University, China Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Organic-Inorganic Nano Hybrid Materials for Optoelectronic Applications" Signed on 2010 July 23 Valid until 2015 July 23 For joint research activities between MANA and Fudan University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
23.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Center for Intelligent Nano Bio Materials (CINBM), Department of Chemistry and Nanoscience (Brain Korea 21), Ewha Womans Univeristy, Korea Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoparticles, nanoporous materials and nanohybrids" Signed on 2010 August 27 Valid until 2015 August 27 For joint research activities between MANA and CINBM, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.

24.	Counterpart of an Agreement: Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Metal Oxide Aqueous Interfacial Chemistry" Dates of an Agreement: Signed on 2010 September 16 Valid until 2015 September 16 Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and KIT, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
25.	Counterpart of an Agreement: CNRS, Regional Delegation Provence et Corse, and Université de la Méditerranée, France 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" Dates of an Agreement: Signed on 2010 September 20 Valid until 2015 September 20 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.
26.	Counterpart of an Agreement: Anhui Key Laboratory of Nanomaterials and Nanostructures, Institute of Solid State Physics, Chinese Academy of Sciences, China Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Low dimensional Nanostructures" Dates of an Agreement: Signed on 2010 October 6 Valid until 2015 October 6 Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and Anhui Key Laboratory, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
27.	Counterpart of an Agreement: Multidisciplinary Center for Development of Ceramic Materials (MCDCM), Brazil Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Research and development of nanostructured materials for alternative energy and sensor devices" Dates of an Agreement: Signed on 2010 October 26 Valid until 2015 October 26 Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and MCDCM, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
28.	Counterpart of an Agreement: Laboratory for Nanotechnology (LNT), Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM), Vietnam Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Optoelectronic and bioelectronics nanodevices" Dates of an Agreement: Signed on 2011 January 24 Valid until 2016 January 24 Summary of an Agreement: For joint research activities between MANA and LNT, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
29.	Counterpart of an Agreement: Petrochemical Research Chair, King Saud University, Kingdom of Saudi Arabia Name of an Agreement: Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Design of novel nanoporous materials and Catalysis" Dates of an Agreement: Signed on 2011 January 25 Valid until 2016 January 25

	Summary of an Agreement:	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 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:	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

	Summary of an Agreement:	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 Paolo, 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 Paolo, 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 Valid until 2018 January 18 For joint research activities between MANA and Kyungpook National University, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
40.	Counterpart of an Agreement: Name of an Agreement: Dates of an Agreement: Summary of an Agreement:	Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille (CINaM-CNRS) and Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires (PIIM-CNRS), France Memorandum of Understanding (MOU) for collaboration on "Low-dimensional nanomaterial architectonics" Signed on 2013 May 2 Valid until 2018 May 2 For joint research activities between MANA and CINaM-CNRS and PIIM-CNRS, including research collaborations, exchange of personnel and organizing workshops.
41.	Counterpart of an Agreement:	National Center for Nanoscience and Technology (NCNST), China

	<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 (NSQI), University of Bristol, UK</p> <p>Name of an Agreement: 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>

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
March 10th - 13th, 2008	1st MANA International Symposium Tsukuba, JAPAN	262
February 25th - 27th, 2009	2nd MANA International Symposium Tsukuba, JAPAN	310
October 23th, 2009	Symposium on Frontier in Nanotechnology and Materials, 2009 Tsukuba, JAPAN	146
March 3rd - 5th, 2010	3rd MANA International Symposium Tsukuba, JAPAN	326
March 23th – 24th, 2010	Materials Nanoarchitectonics for Sustainable Development Hakone, Japan	37
January 19th, 2011	Workshop on Dirac Electron Systems 2011 Tsukuba, JAPAN	105
March 3rd - 5th, 2011	4th MANA International Symposium Tsukuba, JAPAN	406
March 2nd – 4th, 2012	5th MANA International Symposium Tsukuba, JAPAN	396
May 10th – 11th, 2012	Australia/MANA workshop on Nanoarchitectonics for Innovative Materials & Systems Tsukuba, JAPAN	98
October 1st, 2012	PCCP-MANA symposium On Nontechnology, Materials and Physical Chemistry Tsukuba, JAPAN	106
October 3rd, 2012	MANA 5th Anniversary Memorial Symposium Tsukuba, JAPAN	257
October 7th, 2012	The summer school on ferroelectricity 2012 Tsukuba, JAPAN	49
November 6th - 7th, 2012	NSQI-MANA joint symposium Tsukuba, JAPAN	50
December 1st, 2012	1st Workshop on Nano-Life Montreal, CANADA	100
February 29th - March 2nd, 2013	6th MANA International Symposium Tsukuba, JAPAN	414
March 19th, 2013	Material Architectonics for Sustainable Action (MASA 2013) Tsukuba, JAPAN	60
June 28th – 29th, 2013	International Workshop on Thermoelectric Research & Thermal Management Technology Tsukuba, JAPAN	87

October 9th – 11th, 2013	Swiss-Japanese Nanoscience Workshop: Materials Phenomena at Small Scale (Joint) Tsukuba, JAPAN	197
January 29th – 31th, 2014	Trends in Nanotechnology Japan 2014 (Joint) Tokyo, JAPAN	325
March 3ed – 4th, 2014	MANA/ICYS Reunion Workshop 2014 Tsukuba, JAPAN	107
March 5th – 7th, 2014	7th MANA International Symposium Tsukuba, JAPAN	425
March 11th – 12th, 2014	Japan-Taiwan Joint Workshop on Nanospace Materials March 11-12, 2014 Fukuoka, JAPAN	102
March 24th – 25th, 2014	International Symposium on Smart Biomaterials Tsukuba, JAPAN	118

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

1. ホスト機関による支援の実績

1-1. ホスト機関からのリソース供与

(1) 資金、人員

(平成19年～平成26年)									
<資金>									(百万円)
年度	19	20	21	22	23	24	25	26	計
人件費	54	157	141	172	1	1	31	135	692
教員(研究職員)									
うち専任	54	157	141	172	1	1	31	135	692
うち併任	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ポストク	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RA等	0	0	0	0	0	0	0	0	0
研究支援者	0	0	0	0	0	0	0	0	0
事務職員	0	0	0	0	0	0	0	0	0
事業推進費	237	555	680	497	458	582	535	435	3979
旅費	5	69	87	68	32	36	13	54	364
設備備品等費	31	250	260	154	109	140	87	108	1139
研究プロジェクト費	1187	920	1054	1089	736	877	986	809	7658
合計額	1514	1951	2222	1980	1336	1636	1652	1541	13832
<人員>									(人)
年度	19	20	21	22	23	24	25	26	計
総人員	170	190	214	232	232	221	236	243	1,738
教員(研究職員)									
うち専任	51	56	65	63	88	89	94	95	601
うち併任	7	26	23	24	4	4	5	4	97
ポストク	37	65	72	79	70	61	72	78	534
RA等	26	12	21	31	44	41	36	35	246
研究支援者	25	13	16	16	8	9	10	12	109
事務職員	24(5)	18(4)	17(4)	19(4)	18(3)	17(4)	19(3)	19(3)	151(30)

※ <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> については、事務職員のうち常勤職員の数()に記入すること。

(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

1-2. 人事・予算面での拠点長による執行体制の確立

- MANA の研究プロジェクト費及び拠点運営経費を NIMS の運営費交付金より拠出
- 約 90 名の NIMS パーマネント職員を MANA に配置

1-3. 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

- 既存の研究組織(1 部門、3 センター)を廃止して MANA を恒久的組織化、かつ所属研究者をフルタイム化

1-4. 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 のシステムリフォーム(国際化、若手育成)を促進するため、NIMS 第 3 期中期計画において MANA の役割を規定
- パーマネント研究者が挑戦的な研究課題に取り組めるように個人業績評価システムを改正
- NIMS 全体の運営システムのパイリンガル化を目指し、NIMS 事務職員の英語能力向上をねらったプログラムを実施
- サテライト PI が MANA の研究を実施できるように資金提供型の共同研究制度を創設

1-5. インフラ利用における便宜供与(※1以外で)

- ※ NIMS の支援は、1-1 項の「研究プロジェクト費」に含まれる：新任研究者のスタートアップ資金、MANA ファウンダリの運営費、高額な共用設備の購入、NIMS スーパーコンピュータの CPU タイム、光熱水料等

1-6. その他

- 新規パーマネント職員の採用による拠点陣容の拡充
- パーマネント研究者対象の海外留学プログラム
- 外国人研究者の生活支援
- 国内外大学院との連携プログラムによる研究アシスタントの確保
- NIMS 招聘プログラムやインターンシッププログラムによる研究者や学生の招聘
- 全パーマネント研究者対象のシーズ育成研究資金

2. 女性研究者数の推移

※平成23年度～平成25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	最終目標
研究者		38, 19.3%	45, 22%	45, 22.6%	43, 20.8%	50, 25%
		197	206	199	207	200
内 訳	主任研 究者	1, 3.5%	2, 8%	2, 8.3%	2, 9.1%	3, 12%
		28	25	24	22	25
	その他 の研究 者	37, 21.9%	43, 24%	43, 24.6%	41, 22.2%	47, 27%
		169	181	175	185	175

独立行政法人物質・材料研究機構が
達成すべき業務運営に関する目標
(中期目標)

平成23年3月1日

文部科学省

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

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

我が国が幅広い分野で最先端の科学技術を継続して生み出していくためには、融合と連携を通して多様な技術分野に波及する基盤的な科学技術の水準の向上が不可欠であることから、機構は、新物質・新材料の創製に向けたブレークスルーを目指す横断的先端研究開発を推進する必要がある。また、第4期基本計画において環境・エネルギーを対象とする「グリーンイノベーション」が成長戦略の大きな柱として位置付けられたが、物質・材料科学技術がこの分野の重要課題の解決の鍵を握ることから、機構にこのような課題解決に貢献する研究開発を推進することが求められている。

以上の状況と機構がこれまでに培ってきた成果、人材、研究ポテンシャルの活用という観点も考慮し、本中期目標期間においては、「新物質・新材料の創製に向けたブレークスルーを目指す横断的先端研究開発の推進」、「社会的ニーズに応える材料の高度化のための研究開発の推進」の2項目に重点的に取り組むこととし、前者の横断的先端研究開発が後者の課題解決に向けた研究開発を牽引・下支えする。

1. 1. 1 新物質・新材料の創製に向けたブレークスルーを目指す横断的先端研究開発の推進

本項目は、先端的共通技術領域、ナノスケール材料領域の2領域からなり、各領域の具体的な内容は以下のとおりである。

2) ナノスケール材料領域

新物質・新材料を創製するための技術シーズを世界に先駆けて発掘、育成していくためには、無機、有機の垣根を越えて発現する、ナノサイズ特有の物質特性等を利用することが重要である。また、単にナノサイズ特有というだけでなく、次代の成長領域の芽となるような、既存の材料・デバイスを置換し得る、あるいはものづくりのプロセスにイノベーションをもたらし得るほどの革新的な物質特性等に焦点を当てることも必要である。

そのため、機構は、ナノスケールにおける先進的な合成手法を開発・利用して全く新しいナノ構造を生み出すとともに、ナノチューブ、ナノシート等のナノスケール物質が持つ特異な機能を最適に組み合わせ、それらの有機的な相互作用から飛躍的な機能向上を可能とするシステム化研究に取り組むなど、新物質・新材料を創製するための革新的技術シーズを創出する。

また、本領域においては、多様なナノスケール物質等を組み合わせるシステム化研究を行うことから、他の研究機関との連携も含め、分野横断的に研究を進める。

3. 中核的機関としての活動

機構は、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等の業務を総合的に行う我が国唯一の研究開発機関であり、そのプレゼンスを国内外に対して示すとともに、自らの存在価値を不断に高めていくことが重要である。そのため、国際情勢、技術動向、社会的ニーズの変化等に柔軟に対応し、中核的機関が果たすべき責務を認識しつつ活動に取り組む。

— 中略 —

3. 2 研究者・技術者の養成と資質の向上

機構の研究者・技術者の養成と資質の向上は、我が国の物質・材料研究を支える知識基盤の維持・発展の観点から重要である。

経済活動や研究活動がグローバル化し、物質・材料研究においても激しい国際競争が行われているため、機構の研究者を世界に通用する人材へと計画的に育成する。また、次代の物質・材料研究を担う人材の育成に向け、大学・大学院教育の充実に貢献するとともに、ポスドク等を積極的に受け入れる。加えて、物質・材料科学技術の多様な研究活動を支える高度な分析、加工等、専門能力を有する技術者の養成、能力開発等を実施する。

— 中略 —

3. 4 物質・材料研究に係る国際ネットワークと国際的な研究拠点の構築

世界的に頭脳循環（ブレインサーキュレーション）が進み、優れた人材の獲得競争がますます熾烈となる中で、機構は、ボーダレスな研究環境の構築を進め、異質な人材・研究の融合促進による研究活動の活性化を図る。そのため、機構は、「世界材料研究所フォーラム」等のこれまで構築してきた国際ネットワークを積極的に活用する。また、世界トップレベル研究拠点である国際ナノアーキテクトニクス研究拠点における国際的に開かれた環境の構築と、それを土壌として生み出される挑戦的な研究を引き続き実施するとともに、同拠点の取組を牽引力として機構全体の研究開発システムを改革する。

— 後略 —

平成24年3月30日改正

独立行政法人物質・材料研究機構の
中期目標を達成するための計画
(中期計画)

平成23年3月31日

独立行政法人物質・材料研究機構

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

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

1.1.1 新物質・新材料の創製に向けたブレークスルーを目指す横断的先端研究開発の推進

我が国が幅広い分野で最先端の科学技術を生み出していくためには、多様な科学技術分野の土台となる基盤的な科学技術の発展が必要条件である。そのため本項目においては、計測技術、シミュレーション技術、材料の設計手法や新規な作製プロセスの開拓、物質の無機、有機の垣根を越えた、ナノスケール特有の現象・機能の探索など、新物質・新材料の創製に向けたブレークスルーを目指す物質・材料の基礎研究及び基盤的研究開発を行う。

なお、プロジェクトの個別的な内容等は、別紙1のとおりである。

2) ナノスケール材料領域

本領域では、ナノ（10億分の1）メートルのオーダーでの原子・分子の操作・制御等により、無機、有機の垣根を越えて発現する、ナノサイズ特有の物質特性等を利用して、新物質・新材料を創製する。5～10年後に材料実用化への目途を付けるという中長期的な時間スケールで研究を進めることから、単にナノサイズ特有というだけでなく、既存の材料・デバイスを置換し得るほどの、あるいは、ものづくりのプロセスにイノベーションをもたらし得るほどの革新的な物質特性等に焦点を当てる。本領域には、エレクトロニクス、化学、バイオテクノロジー等の研究分野が含まれていることから、このような複数の研究分野の課題・成果の共有化を進めつつ、多様なナノスケール物質等を組み合わせることで機能発現のためのシステム化を行う。領域内の研究者の日常的な交流の促進など、マネジメントの工夫等に取り組むとともに、他のナノテクノロジー関連研究機関とも連携していく。

具体的なプロジェクトとしては、

- ・システム・ナノテクノロジーによる材料の機能創出
- ・ケミカル・ナノテクノロジーによる新材料・新機能の創出
- ・ナノエレクトロニクスのための新材料・新機能の創製
- ・ナノバイオテクノロジーによる革新的生体機能材料の創出

等に取り組む。

これらのプロジェクトにより、2015年度までに特に以下の技術目標を達成する。

- ・“Beyond CMOS” ナノエレクトロニクスの開発のための原子スイッチとそれに関連するデバイスを開発する。
- ・元素の価数制御など、組成、構造の精密制御を実現することにより新規のナノスケール材料を創製する。

- ・Siに直接接合可能なHigher-k材料、実効仕事関数差の大きい非晶質金属ゲート材料を開発する
- ・循環器系疾患に対応した自己治癒力を誘導する複合生体材料を創製する。

— 中略 —

3. 中核的機関としての活動

機構は、物質・材料研究の中核的機関として、政府の施策等に積極的に参画するとともに、先端研究基盤の整備・運営、グローバルに活躍できる人材育成等の活動を計画的かつ着実に進める。

— 中略 —

3. 2 研究者・技術者の養成と資質の向上

激しい国際競争が行われる中、機構の研究者を世界に通用する人材へと育成するために、定年制研究職員の長期海外派遣等、海外の研究環境における研鑽や国際的な研究者ネットワークへの参画を促進する。また、研究者の大学への講師派遣等により、大学・大学院教育の充実に貢献する。

機構は、国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点 (MANA)、若手国際研究センター (ICYS) 等において、国際化が進展した研究環境を有している。若手人材を国際的な研究環境に置くことはグローバル人材へと育成する上で極めて有効であり、かかる認識の下、連係専攻、連携大学院制度の活用等による大学院生や研修生の受入れ、各種研究支援制度の活用等によるポスドクの受入れを積極的に行う。具体的には、若手研究者を毎年度平均で350名程度受け入れる。

さらに、物質・材料科学技術の多様な研究活動を支える上で、高度な分析、加工等の専門能力を有する技術者が極めて重要な役割を果たしていることから、機構は技術者の養成と能力開発等に着実に取り組む。

— 中略 —

3. 4 物質・材料研究に係る国際的ネットワークと国際的な研究拠点の構築

機構は、世界を代表する物質・材料分野の研究機関等により構成される「世界材料研究所フォーラム」の運営や国際連携協定の締結等を通じて国際ネットワークを構築してきた。今後、この国際ネットワークを本格的に活用し、日常的な研究活動における海外研究者との意見交換、研究者の派遣及び招へい、国際シンポジウムの開催等の国際活動を実施するとともに、急成長が見込まれるアジアの新興国等の動向も注視しつつ戦略的に研究協力を展開する。国際連携協定の締結機関数については、本中期目標期間中を通して、毎年度平均で200機関程度を維持する。また、国際活動を具体的な研究成果に結実させることが重要であることから、国際共著論文発表数を、機構全体として毎年平均で300件程度に維持する。

加速する世界規模の頭脳循環に対応し、卓越した外国人研究者を確保するため、これまでMANAをはじめとして、国際的な研究環境の整備や若手研究者の獲得・育成等に取り組んできたが、その経験を機構全体の国際化に反映していく。具体的には、事務部門のバイリンガル化等により外国人研究者が不自由を感じない研究環境を確立する。また、機構全体の研究者数のうち外国人研究者数の比率を、毎年度平均で35%以上とする。

MANAにおいては、毎年度のフォローアップや中間評価の結果等を踏まえ、国際的・学際的環境の構築、若手研究者や若手研究リーダーの育成、英語の公用語化などによる国際化等の研究開発システム改革について取組を強化する。

— 後略 —