

Application for Academy Center Certification World Premier International Research Center Initiative (WPI)

ホスト機関	国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS)
拠点名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
ホスト機関長	橋本 和仁
拠点長	佐々木 高義
事務部門長	中山 智信

1. センターの全体像

1-1. MANA 背景

MANAが設立された当時、ナノテクノロジー(及びそれにもとづくナノサイエンス)は、世界的に急速に成長しており、材料科学の主要部分となりつつあった。この流れの中で、我々は新規材料の研究開発を大きく推進させるためにナノテクノロジーを有効利用する国際レベルの研究センターを創設しようとMANAを設立した。MANAの設立に際して、我々はナノテクノロジーが従来のマイクロテクノロジーの延長であると一般的に認識されているということは十分懸念しており、また、ナノテクノロジーがマイクロテクノロジーとは質的に異なっているものと正しく認識されない限り、ナノテクノロジーの真の力は有効利用できないと強く認識していた。「ナノアーキテクトニクス」の概念は、これらの事実の端的な表現として提案された。ナノアーキテクトニクスは、以下の四つの柱にもとづいた新しい技術パラダイムである：

- 1) 避けられない**非信頼性**があってもナノスケール構造体(ナノパーツ)を組織化することによって**信頼性**のあるナノ材料またはナノシステムをつくり出す。「非信頼性に耐える信頼性」
- 2) 主役は個々のナノパーツではなく、それらの**相互作用**であり、それによって新しい機能性が出現することに留意する。「ナノ機能性からナノシステム機能性へ」
- 3) **非常に多くのナノパーツ**を組み立てまたは組織化することによって得られうる**予想外の創発的機能性**を識別する。「多は異なり」
- 4) 従来の第一原理計算を新規な**斬新な近似**(bold approximation)と組み合わせる**新規理論的領域**を創製する。「真実はわかりやすい言葉によって記載できる」

ナノアーキテクトゥクス概念は、MANAの研究の際立った特色のある部分であり、世界のナノテクノロジー研究機関でもMANAを比類なきものとしている。

1-2. MANAのビジョン、ミッション、及び組織

MANAのビジョンは、「「ナノアーキテクトゥクス」の新パラダイムを切り拓き、世界の新材料開発を先導する」である。

以下の四つのミッションは、このビジョンを達成するためのものである。

1. ナノアーキテクトゥクスの新概念に基づいて、世界トップレベルの新材料開発の研究を進める。
2. 世界中からトップレベルの研究者が集い合う“メルティング・ポット（るつぼ）”研究環境を実現する。
3. 挑戦的な研究に果敢に立ち向かう勇気のある若い研究者を育成する。
4. 世界のナノテクノロジー関連の研究機関のネットワークを構築し、この分野の研究を世界的に促進する。

1-3. MANAの現状

ナノアーキテクトゥクス概念にもとづいて、これまでにMANAは多くの画期的な研究を生み出し、世界中の注目を集める国際的な研究センターに発展してきた。

MANAの現状は、以下の5つの点に要約できる：

- ★国際レベルの研究活動
- ★研究者の約半数が外国籍という国際性
- ★ナノテクノロジーと他の分野を組み合わせたアクティブな融合研究
- ★ホスト機関であるNIMSの改革への貢献
- ★世界中で働く優れた若手研究者の育成

2. 研究活動

2-1. 現在までの研究結果

MANAは、ナノアーキテクトゥクス概念にもとづいて新規ナノテクノロジーパラダイムを確立し、このパラダイムによって新規材料開発に革新をもたらすことを目的として設立された。これらの目的は、着実に達成されつつある。実際、ソフトケミカルナノアーキテクトゥクス、インターフェースナノアーキテクトゥクス、神経形態学ナノアーキテクトゥクス、トポロジ的ナノアーキテクトゥクス、及びin-vivoナノアーキテクト

ニクスを含むナノアーキテクニクスをベースとする多くの概念が、MANAの研究から発現してきた。これらのトピックスにもとづく研究は着実に進行中である。

2017年3月、MANAは、MANAの研究から選んだ42の研究成果の概要を発表した。選ばれたものは、ナノシート技術による人工物質の創製、基礎から実用的応用までの原子スイッチ研究、超高感度/超並列型分子センサ及び表面/局所超伝導体の開発；並びに新規ナノレベル測定技術の開発などの、「世界のトップレベル」の業績のほんの一部にすぎない。ここに幾つかの重要な指標によりMANAの成果について記載する。MANAは2016年末までに3,840本もの論文を発表し、中でも(A)MANAの142本の論文は、世界で上位1%の最も引用された論文に入る(2008-2016)；(B)MANAは、「様々な分野で活躍する研究機関により発表された論文の品質を公正に比較する」ために創設された新しい指数である、エルゼビアの論文評価指数(Elsevier's Field Weighted Citation Impact : FWCI)で2.41の非常に高いスコアを達成した(2008-2015平均)；及び(C)MANAの論文は、6.25という非常に高い平均ジャーナルインパクトファクター(IF)(2015年の最近の平均)を達成した。これらの指標は、MANAが多くの国際レベルの研究機関に比べて優れた活動実績を誇り、世界トップレベルに比肩することを示している。

2-2. 将来への研究計画

MANAは、現在の研究方針をこれからも維持・発展し続けるが、以下の二つの新規開発をする計画である。これまでのMANAの研究業績を分析すると、二つの領域での有効性ははっきりとしてきた：「理論的研究と実験的研究」の融合と、「ナノテクノロジー」、「原子/分子科学」、「情報科学」及び「数学」の合体によるナノアーキテクニクス認知(perception)の創製である。従ってこれらの二つの融合領域は将来、活発な研究の中心となるだろう。

MANAは、5つの分野：ナノマテリアル、ナノシステム、ナノパワー、ナノライフ及びナノセオリーに研究を分類していたが、現在は、3つの基盤分野：ナノマテリアル、ナノシステム、ナノセオリーに集約した。このように単純化することにより、ナノアーキテクニクスにもとづいた新しいアイデアの創出を、より高い自由度で推進できる。

ナノセオリー分野では、MANAが世界最新鋭のコンピューター(K-コンピューターなど)の幾つかを有効利用していく。しかしながら、MANAの最も重要な目的の一つは、何よりも第一原理計算優先の趨勢の影響を受けることなく、理論的研究の新しいパラダイムへ世界を導くことにある。多くの興味深いナノスケールの現象が励起状態、動力学的過程、及び多体効果に随伴するという事実にもかかわらず、第一原理計算の現在の方法はこれらの要素の取り扱いにおいて必ずしも最適ではない。この障害を乗り越えるために、MANAは

理論的研究において新規発展をもたらすために斬新であるが適切な方法を導入する。さらにこれは理論的及び実験的研究の融合を推進する。さらに、ナノセオリーの分野は、理論で実験を説明するだけでなく、MANA の他の 2 つの中核をなす実験的研究を時に先導し時にバックアップし、学際的融合研究を推進する上で重要な役割を果たす。

MANA の研究はこれまでのところ、青野正和前拠点長の指揮のもと、WPI プログラムの基本方針に従って実施されてきたが、2017 年 4 月 1 日から佐々木高義 NIMS フェロー/MANA PI が拠点長に就任した。

2-3. MANA のグランドチャレンジ

MANA はこれまで 3 つのグランドチャレンジを掲げてきた。

★ナノアーキテクトゥクスの人工頭脳

★室温超伝導

★実用的人工光合成

これらは長期の研究目的であり、短期ではこの研究から業績は期待されない。しかしながら、興味深い結果がすでに出現しているので、この研究は将来も継続する。

それに加えて、MANA は現在以下の 4 つ目のグランドチャレンジを掲げている。

★ナノアーキテクトゥクス認知システム：このチャレンジは、MANA 内で新規研究領域を開拓するのに今までの成果に密接に関連する。これを行うためには、今までどこでも達成されていなかった MANA 独自のナノアーキテクトゥクス材料及びシステムを十分に活用する必要があるだろう。これらには、特徴的な物理的及び化学的特性を示す積み重ねられたナノシート、神経形態的ネットワークシステムの具体的に選択された点の間のシグナル伝達を分析するための多探針走査プローブ顕微鏡、ヒト感覚器官の 1000 倍を超える感度で刺激を感知できる超高感度/超並列型分子センサ、たとえば体内を通過できる近赤外光を用いるバイオケミカルイメージング、及び MANA の分子設計/合成科学及び技術により創出されたユニークな分子が挙げられる。この大きな挑戦的研究の究極の目的は、ナノアーキテクトゥクス概念にもとづく検出システムを開発することによって人類の未来社会を支える技術革新をもたらすことである。

2-4. ナノマテリアル、ナノシステム及びナノセオリー分野における研究

初期の 4 つのグランドチャレンジは MANA の研究の中核をなす。これらの分野において、相対するもの：たとえば基礎研究対応用研究、材料対システムと、実験的対理論的の間には明確な差があった。以下に、これらの 3 つの分野で着手する挑戦的な研究の代表例を挙げる。

ナノマテリアル分野：この分野は、メタマテリアル(たとえば、負の屈折率をもつ自然界にはない材料)及び大きな誘電率をもつナノシートを使用することによる室温超伝導デバイスなどを実現するために今日まで MANA が集積してきた新規ナノシートベースの材料を創製するための科学技術を開拓することを目的とする。また MANA は、これらの研究プロジェクトを支援するためのより新しいナノ測定法を開発する。

ナノシステム分野：この分野は、ナノアーキテクトニクス人工頭脳の基本ユニットの実現、世界初の真に単分子デバイスの達成、トポロジ絶縁体を使用する新規デコヒーレンスフリー量子ビットの開発、室温超伝導デバイスの開発、原子スイッチのネットワーク化技術開発などを目指す。MANA は、これらの研究を実施し機能検証に必要となる「任意の場所で局所(即ち、ナノメートルスケール)の導電率の測定を可能にするための手法の開発」も推進する。

ナノセオリー分野：「理論的及び実験的研究の融合」ですでに述べたように、MANA は、K-コンピューターのような世界最速スーパーコンピューターで実施される高レベルの第一原理計算ではなく、レアイベントサンプリング(rare event sampling)により決定される新しい理論的研究技術を開発することを目的とする。MANA は、最新のトポロジ絶縁体の理論的研究を含む、広範囲の研究において理論と実験の融合を推進する。

3. 研究組織を管理するためのシステム

MANA は、以下の重要な点にもとづいてすでに構造改革を実施した：

- i) 2017 年 4 月から、佐々木高義博士と中山知信博士が、それぞれ MANA の新拠点長及び副拠点長に就任した。中山博士はまた事務部門長も併任している。また、前拠点長の青野正和博士と、前最高運営責任者(COO)の板東義雄博士は、MANA の研究及びマネジメントについて助言をするエグゼクティブアドバイザーに就任した。
- ii) PI(MANA 主任研究者)の活性化を図る。そのため、アソシエイト PI(aPI)の PI への昇任、新 aPI を若手研究者からの任命を実施する。全ての PI の業績は、MANA 外部からの専門家によって評価される。
- iii) MANA はそのサテライトを維持する。このサテライトは研究の質を高め、若手研究者を育成し、とりわけ国際化という点において MANA の業績に大きく貢献してきた。
- iv) ナノセオリー分野をさらに活性化する。MANA は理論と実験的研究の融合を実施するために「理論－実験ペアリングプログラム」を継続する。

- v) MANA 独自の新規タイプの認知を実現するために、ナノメカニカルセンサ及び他のトップレベルのナノアーキテクニクス技術を他の研究と組み合わせる。
- vi) MANA の大きな4つのグランドチャレンジを達成するため、MANA は戦略的にこれらのトピックスに研究資金(研究資金及びポストク等)を投入する。また MANA は特定分野のワークショップやディスカッションのために客員研究者も招聘する。
- vii) MANA は、革新的且つ挑戦的なトピックスに取り組み、特定テーマを扱うミーティングや、特別な資金調達プログラムを設けることによって学際的研究を実施するための前向きな努力をし続けている。特に MANA は、大学との共同研究によって研究資金を調達するために努力している。

4. 優れた頭脳の国際的な循環

4-1. 海外からの世界最高水準の研究者の参加

MANA は、サテライト PI(sPI)が所属する研究機関にサテライトラボ(以後、MANA サテライトという)を設立した。MANA サテライトは4つの機関に設立された：University of California Los Angeles (UCLA、sPI ; Prof. James Gimzewski)、the Georgia Institute of Technology (GETECH、sPI : Prof. Zhong Lin Wang) ; the Center for Materials Elaboration and Structural Studies of French National Centre for Scientific Research (CEMES-CNRS, sPI : Dr. Christian Joachim)、the University of Montreal (sPI ; Prof. Francoise Winnik)。これらのサテライトは様々な分野で MANA の研究の重要な役割を果たし、MANA の若手研究者の育成の場でもある。MANA は、MANA の活動の状況により MANA サテライトを改善し続ける。

4-2. センターにおける若手研究者の雇用及びセンターを離れた後の就職状況

若手研究者、主に博士課程の学生及びポストク研究員からなる任期制研究者は、全研究者の半分以上を占める。通常のポストクに加え、MANA はより高い身分、「ICYS-WPI-MANA 研究者」を創出しようとしている。これは、特定の研究グループとは独立して個人の研究トピックスを進めるポストク研究員である。この制度によって、MANA は研究者の終身雇用へつながるテニュアトラックとして機能している ICYS と親密な関係を維持することができる。

MANA のポリシーは、単に世界中から若手研究者を集め、優れた研究者に育成することではない。むしろ MANA は、これら研究者が世界の国々でそのキャリアを発展できるように、研究者に日本を十分に理解してもらおうとしている。2017年3月までに、298人の MANA の若手研究者が MANA を「卒業」した。そのうちの5.1%は NIMS の定年制

職員となり、35%は国内外の大学の教員職(教授、准教授など)になった。また43%はさらにキャリアを進めて大学及び研究組織で研究者となり、11%は民間企業に移った。MANAで研究したうちの36%は日本で職を得、残りの64%は世界、主としてアジアで職を得た。このように、MANAがハブとなってナノテクノロジー研究者のネットワークを広げている。

4-3. 海外サテライト及び他の共同組織

MANAをハブとして世界のナノテクセンターのネットワークを構築することは、MANAの組織としてのミッションの一つである。今日まで、MANAは研究を実施し、人事交流するため19ヶ国60の研究組織と覚書(MOU)に署名した。

MANAサテライトにおいてPIにより実施されたMANA研究を強化するために、NIMS/MANAは、共同研究の資金調達を提供するシステムを確立した。このシステムのもと、NIMSは共同研究に関してサテライト組織と契約し、NIMSの研究費から必要な資金をサテライトに割り当てる。これによって、MANAとサテライトの間に効果的な協調関係が可能になり、その見返りにサテライトはMANAに対して大きく貢献することができる。

4-4. 国際シンポジウム、ワークショップ、研究会議等の開催

MANAの国際シンポジウムは毎回400人を超える参加者がおり、成果の多い、高レベルのイベントとして称賛されてきた。MANAの国際シンポジウムにおいて若手研究者と世界のトップレベルの研究者との間でのやり取りを促進するために、ベストポスターアワードという新しい賞を創設した。すべての招待講演者にはポスターセッションに参加してもらい、プレゼンターとの直接ディスカッションを行った後、ポスターの採点をしてもらうよう要請した。

一方、多くの政府機関、大学、研究組織及び他の組織からもMANAにワークショップを開催するように要請がある。その結果、カナダ、オーストラリア、スイス、スペイン及び台湾と国家レベルでの二国間ワークショップを開催し、また他方で幾つかの日本及び外国の大学とシンポジウムも実施してきた。さらに、MANAは若い世代の育成・奨励のために、将来的な国際共同研究を期待して、UCLA、UCL、Flinders大学及び他の海外機関と「Nanotechnology Students's Summer School」を共同開催し、ポスドク研究員候補の育成に貢献している。

4-5. 海外研究者の研究活動の支援システム

MANA 事務部門のスタッフは年齢及び国籍にかかわらず全員英語を話し、全ての研究者に包括的な日本式サービスを提供する。外国人研究者によれば、「自分はアメリカやヨーロッパの幾つかの機関で働いてきたが、MANA は最高の研究環境を提供してくれている」という。

4-6. その他

若手研究者の受け入れ、育成に関し、特定の研究グループに属さない独立研究者や ICYS 研究員が優れた業績を上げている。特に 3D システム(トリプルダブル：二人のメンター(Double-Mentor)制度、二種の専門分野にまたがって研究する(Double-Discipline)、二つの所属(Double-Affiliation))は、そのような研究者が上位のメンターのもと、学際的な融合研究を遂行できることによって、海外の若手研究者による精力的な研究が進行するのに役立っている。このシステムは、若手研究者が大きく成長するのに自信を与え、研究者に国際的な感性を吹き込んでいる。また MANA は、日本の若手研究者の国際的及び学際的な感性を身に着けさせるため、海外の主要研究機関での研究を実施するための長期派遣プログラムを用意している。

このように、MANAはNIMSが国際的な研究センターを設立するための活動に大きく貢献し、海外研究者が成功できる環境を創出したMANAの努力は2014年の科学技術白書において「最高の成功例」として特集された。

5. ホスト機関による支援

世界トップレベルの国際的な研究センターとして MANA を存続させ、且つ向上させるために、NIMS は、MANA に以下の支援を提供し、且つその基本的活動を持続させることを約束する。

(i)主任研究者、準主任研究者、グループリーダー、MANA 研究者、独立研究者及び事務職員を含む約 90 名のコアメンバーは、「MANA 所属の NIMS 定年制職員」として MANA に配属されつづける。2017 年 4 月 1 日の時点で、MANA には全部で 98 名の定年制職員が配属されている。

(ii)MANA における基礎及び基盤研究に必要な研究費、たとえば研究プロジェクト費、研究者招聘・派遣費用、施設利用料及び、基礎/基盤研究を実施するのに必要なその他の費用(2016 年度で 16 億円)は、NIMS の運営費交付金で負担される。

(iii)WPI 補助金により雇用されたポスドク研究員及びその他任期制職員は、外部資金を使用して雇用された者と交替する。

- (iv)MANA の特徴的なプログラムー若手研究者の育成プログラム(ICYS-MANA 研究員、独立研究者など)は、確実に今後も継続していくために NIMS のプログラムへ移行となる。
- (v)NIMS は MANA で培われた高い品質の研究者への技術的支援を維持する。
- (vi)NIMS は、外部機関、特に民間企業と研究する機会を提供するマテリアルオープンプラットフォームを設立した。また、NIMS は MANA の持続可能な事業に関してマテリアルグローバルセンターによって MANA の国際ネットワークを支援する。

6. 財政措置

NIMS は WPI プログラムが終了した後、約 90 名の定年制職員 (研究者、エンジニア及び事務部門スタッフ)を維持しようと計画している。また NIMS は、毎年、数名の研究者を雇用することにより MANA の規模を維持また拡大しようとしている。

NIMS は MANA に二つの建物 : 2008 年 10 月に MANA 棟(12,934m²)と、2012 年 4 月に WPI-MANA 棟(7,629m²)を建設した。NIMS はこの二つの建物に隣接する建物(519m²)をリノベーションして、2014 年 4 月に理論的研究棟とし、その建物を 2016 年 4 月に MANA に割り当て、NIMS の計算科学部門所属の理論家の殆どを MANA のナノセオリー分野に移動させた。NIMS はこれらの建物や施設を今後も MANA 割り当て続ける。

MANA は、日本の主要大学との間で戦略的な共同研究を奨励することによって、CREST、PRESTO 及び科研費などの外部からの資金調達額を増やそうと尽力し続けている。また MANA は、企業からの投資を増やすために産業界とのオープンイノベーションを実現するという NIMS の戦略に積極的に参加する。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 主任研究者リスト

- ※ 主任研究者が10名を超える場合は、その数に応じて作成。
 ※ 「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「*」印を付す。
 ※ 年齢は、2017年4月1日時点とする。
 ※ 申請時点で、当該構想に参加できていないものについては、備考の欄に、参加予定時期を明記する。

氏名	年齢	現在の所属 (機関、部局、専攻等)	現在の専門 学位	備考 (新規・継続等も記入)
1. 佐々木 高義*	61	拠点長 国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. (Science) University of Tokyo, 1986 Nanosheet and soft chemistry	継続
2. 中山 知信	55	副拠点長/事務部門長 国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. (Physics) University of Tokyo, 1999 Scanning probe microscopy	継続
3. 長田 実	47	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Tokyo Institute of Technology, 1998 Nanosheet Functionality	継続 (2016年度～)
4. 山内 悠輔	36	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Waseda University, 2007 Mesoscale Materials Chemistry	継続 (2016年度～)
5. Dmitri GOLBERG*	56	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Moscow Institute for Ferrous Metallurgy, 1990 Nanotubes and nanowires	継続
6. 有賀 克彦*	54	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Tokyo Inst. Tech., 1990 Supramolecular chemistry and surface science	継続
7. 知京 豊裕	58	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Waseda University, 1989 Semiconductor and electric materials	継続
8. 寺部 一弥	54	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Nagoya University, 1992 Nanoionics	継続 (2016年度～)
9. 塚越 一仁	49	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Osaka University, 1995 Nano electronics	継続
10. 古月 暁	55	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. (Physics) University of Tokyo, 1990 Condensed matter physics	継続

11. 高野 義彦	51	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	Ph.D. Yokohama City University, 1995 Superconducting materials	継続 (2016年度～)
12. James K. GIMZEWSKI*	65	UCLA	Ph.D. (Physical Chemistry) Univ. of Strathclyde, 1977 Nanoscience and nanobio	継続
13. Christian JOACHIM*	59	CNRS	Ph.D. in Applied Mathematic Ph.D. in Quantum physics, computer science and nanoscience	継続
14. Jinhua YE*	54	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	Ph.D. University of Tokyo, 1990 Photocatalyst, eco-materials	継続
15. 森 孝雄	50	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	Ph.D. University of Tokyo, 1996 Thermoelectric materials	継続 (2016年度～)
16. 館山 佳尚	46	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	Ph.D. University of Tokyo, 1998 Condensed matter theory	継続 (2016年度～)
17. Zhong Lin WANG*	55	Georgia Institute of Technology	Ph.D. Arizona State University, 1987 Nano chemistry and nanodevices	継続
18. Françoise M. WINNIK*	65	University of Montreal	Ph.D. (Chemistry) Univ. of Toronto, 1979 Polymer chemistry and photochemistry	継続
19. 佐々木 泰造	58	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	Ph.D. Tohoku University, 1987 Condensed matter theory	継続 (2016年度～)
20. 宮崎 剛	50	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	Ph.D. University of Tokyo, 1995 First-principles calculations	継続 (2016年度～)
21. David BOWLER	46	University College London	Ph.D. Oxford University, 1997 Condensed matter theory and calculations	継続 (2016年度～)

22. 長尾 忠明	50	国際ナノアーキテクト ニクス研究拠点	Ph.D. Waseda University, 1995 SurfaceNanophotonic s, Condensed Matter Physics, Infrared NanoTechnology	新規（2017年度～）
-----------	----	-----------------------	--	-------------

**世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）
構成員**

	平成 29 年度
主任研究者	22
その他の研究者	83
ポスドク研究員	55
ジュニア研究員	41
研究支援員	49
事務スタッフ	27

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

運営組織図

