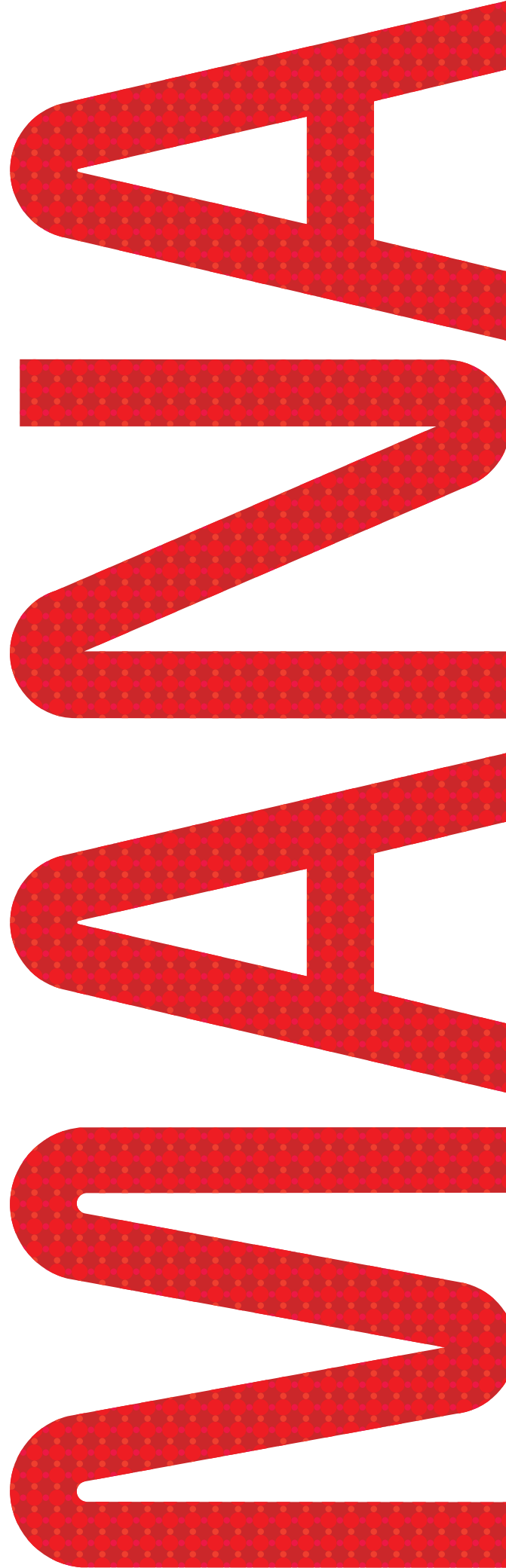




国際ナノアーキテクニクス 研究拠点

International Center for Materials Nanoarchitectonics



MANAのビジョン

「ナノアーキテクトニクス」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。

MANAのミッション

世界トップレベルの研究

ナノアーキテクトニ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。

真の国際化の実現

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)”のような研究環境を実現する。

若い研究者の育成

挑戦的な研究に果敢に立ち向かう勇気ある若い研究者を育成する。

国際的ネットワークの形成

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。

MANAは何を目指すか

私たちの国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)は、文部科学省が2007年に創設した「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPIプログラム)」の最初の5つの研究拠点の1つとして設立されました。MANAの設立の理念は、人類の持続的な発展にとって不可欠である革新的な新技術の開拓を支える“新材料の開発”を、私たちが「ナノアーキテクトニクス」と呼ぶ新概念に基づいて挑戦的に推進することです。MANAは、10年目を迎えた今日、当初に掲げたその理念が順調に達成されつつあることを慶びたいと思います。

私たち人類が持続可能な発展を続けていくためには、食糧・資源・エネルギーの生産、情報の処理・通信、医学的な診断・治療、社会のインフラや環境の整備・保全など、さまざまな分野において、革新的な技術を不断に開拓しなければなりません。それらの革新的技術の多くは、適切な新材料の開発なくしては実現できません。最近の新材料開発では、過去の30年余に目覚まし

い発展を遂げたナノテクノロジーが重要な柱となっており、この柱は今後も揺るぎないでしょう。しかし、ナノテクノロジーの真価(潜在能力)を最大限に引き出すためには、これまでのナノテクノロジーに概念的革新をもたらす必要があります。その革新は、私たちが「ナノアーキテクトニクス」と呼ぶ新概念に基づいてなされると考えています(詳しくは5頁を参照)。

この「ナノアーキテクトニクス」の概念は、MANAの研究者によって洗練・強化され、すでに世界的に受け入れられるものに成長しました。MANAはこれからもこの概念に基づいて、世界の新材料研究の旗頭となるべく努力していきます。関係各位の温かいご支援をお願い申し上げます。

MANA拠点長
青野 正和



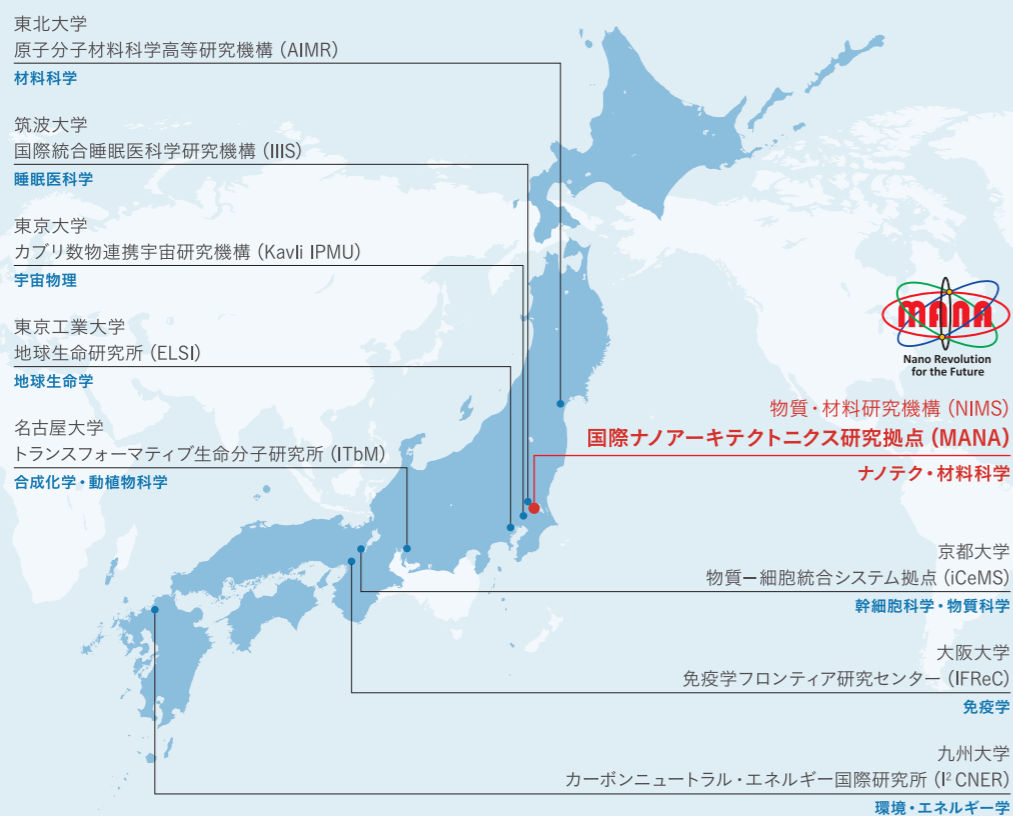
世界トップレベル 研究拠点プログラム

近年、優れた頭脳の獲得競争が世界的に加速しており、「ブレイン・サーキュレーション」と呼ばれる人材の流動が進んでいます。この世界的な人材流動の中で、日本も科学技術大国として、世界から第一線の研究者が集まる「目に見える研究拠点」を形成すべく、文部科学省は、2007年に世界トップレベル研究拠点プログラム(WPIプログラム)をスタートさせました。

プログラムでは、「世界最高レベルの研究水準」、「融合領域の創出」、「国際的な研究環境の実現」、「研究組織の改革」の4つの要件を満たすことが求められており、現在までに9つの拠点が選ばれています。

WPI研究拠点は、日本の研究機関のモデルになるとともに、科学技術に革新をもたらすことを期待されています。

世界トップレベルの研究者が集う最高峰のWPI研究拠点



Nanoarchitectonics

「ナノアーキテクトニクス」とは

新材料の開発においては、ナノテクノロジーがきわめて重要な役割を果たします。ここで、次のことにぜひとも注意していただきたいと思います。

ナノテクノロジーは、半導体の微細加工に威力を発揮してきた従来のマイクロテクノロジーの単なる延長、すなわちマイクロテクノロジーをさらに精緻化したものと誤解されがちですが、実はナノテクノロジーとマイクロテクノロジーは質的に異なります。この質的な差を正しく認識したナノテクノロジーの新パラダイムを私たちは「ナノアーキテクトニクス」と呼びます。

ナノアーキテクトニクスの重要なポイントは次の4点です。

3つのグランドチャレンジ

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



ナノアーキテクトニクスの重要なポイント

1 マイクロテクノロジーの世界では設計図どおりに構造を構築できましたが、ナノテクノロジーの世界では一般にそれはできません。マイクロテクノロジーよりはるかに小さいナノテクノロジーの世界では、熱的および統計的な揺らぎがあらわになると同時に、制御法の原理的な限界に直面するからです。それゆえ、「曖昧さを含む構造によって信頼できる機能を実現する」という視点が重要です。

3 巨大な数の“ナノ部品”からなる複雑系は、全体としてしばしば予期されなかった新しい機能を創発します。この「量が質を変える」現象を見逃さずに利用することが重要です。

2 ナノスケールの構造(“ナノ部品”)は、しばしば新鮮で興味深い特性を示しますが、単独あるいは単なる集合体としては、発現される機能には限界があります。同種または異種の“ナノ部品”の間に有機的な相互作用を効果的に生じせしめ、まったく新しい材料機能を創造する、「構造の構築から相互作用の組織化へ」の視点が重要です。

4 1~3の視点を守備範囲に入れうる、「ナノセオリー」とも呼ぶべき新しい理論分野の開拓が必要です。そこでは、原子、分子、電子、光子、スピンなどを第一原理的に扱うだけでなく、「大胆かつ適切な近似」を意識的に導入した理論体系の構築が求められます。

ケミカルプロセスによりナノレベルで 高度に制御された物質・材料を創りだし、 斬新な機能を導きだす

ソフト化学、超分子化学、鋳型合成技術をはじめとしたケミカル合成技術を駆使して、ナノチューブ、ナノワイヤ、ナノシートなど新しいナノ材料の創製研究を有機から無機にわたる幅広い物質系で進めており、ナノメートルのサイズ、形状に由来して現れる新奇な物性、現象の発見や機能の大幅な増強を目指しています。また透過型電子顕微鏡とプローブ顕微鏡を融合させたシステムなど最先端の評価機器を開発、保有しており、個々のナノ材料のその場解析に活用しています。さらに、これらのナノ材料をナノ～メソレンジで精密に配列、集積、複合化するケミカルナノメソアーキテクニクス研究を推進し、人工ナノ構造材料を設計的に構築して、高度な機能を発現させ、エレクトロニクス、環境・エネルギー分野など幅広い技術分野の発展に貢献することを目指しています。

ソフト化学G

機能性ナノシートG

メソスケール物質化学G

ナノチューブG

超分子G

フロンティア分子G

半導体デバイス材料G

ナノマテリアル分野 Nano-Materials

分野コーディネーター
佐々木 高義

2次元ナノ物質(ナノシート) を創製する

層状結晶を溶液中でもとの100倍以上にも大きく膨潤させることにより、層1枚にまでバラバラに剥離して、グラフェンに類似した酸化物や水酸化物の2次元ナノ物質を合成しています。特に、その組成、構造、厚み、横サイズを高度に制御して合成することにより、多彩な電子的、磁氣的、光学的、化学的機能をもった高品位ナノシートを創製することができます。さらに、これらナノシートをレイヤーバイレイヤー累積・複合化するケミカルプロセスを介して、斬新な機能を発揮する新材料の開発を進めています。

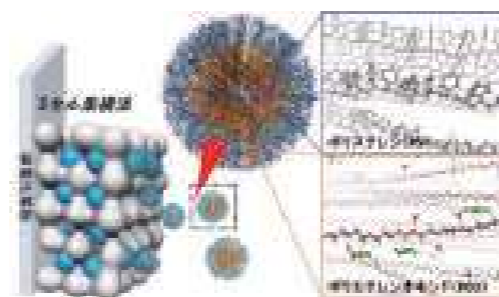


大きく水和膨潤した結晶(左)から得られる酸化チタンナノシート(右)

高い結晶性を骨格に有する ナノ多孔体を創製する

界面活性剤、ブロック共重合体などの両親媒性分子を用いて、高い表面積を有する多孔性材料(ナノ多孔体)、特に、高い結晶性を骨格に有するナノ多孔体を中心に、それらの吸着剤、触媒、触媒担体、センサ材料などへの応用展開を行っています。さらに、電気化学プロセスと融合させることにより、骨格組成を金属にまで拡張し、すべての金属に適用可能な合成手法を開発しています。金属ナノ多孔体は骨格の電気伝導性が高く、既存のシリカ系多孔体では不可能であった電気化学分野への新しい応用が期待できます。

ミセル集積法による金属ナノ多孔体の合成(ポリスチレン-ポリエチレンオキッドからなるジブロック共重合体ミセルに金属イオンが配位し、電析法によりミセルの周りで金属イオンが還元していく様子)

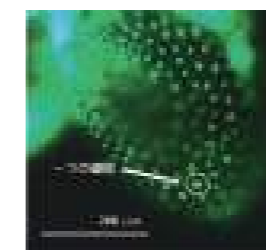


特定の物質を検出できる 超分子を創製する

分子が特定の対象を検出したり捕捉したりするのが“超分子”の働きです。私たちは、セシウムイオンに巻きつき光を発する新しい分子「セシウムグリーン」を開発しました(左)。この分子はセシウムイオンの大きさにちょうど合うように設計されているので、セシウムイオンだけを光らせます(例えばナトリウムイオンやカリウムイオンでは光りません)。植物細胞内においてセシウムイオンの存在を光らせて知らせることができます(右)。超分子の原理を用いれば、アミノ酸や薬剤などの多様な重要物質の検出も可能です。



セシウムイオン(緑)の捕捉

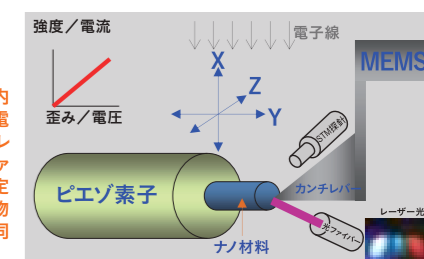


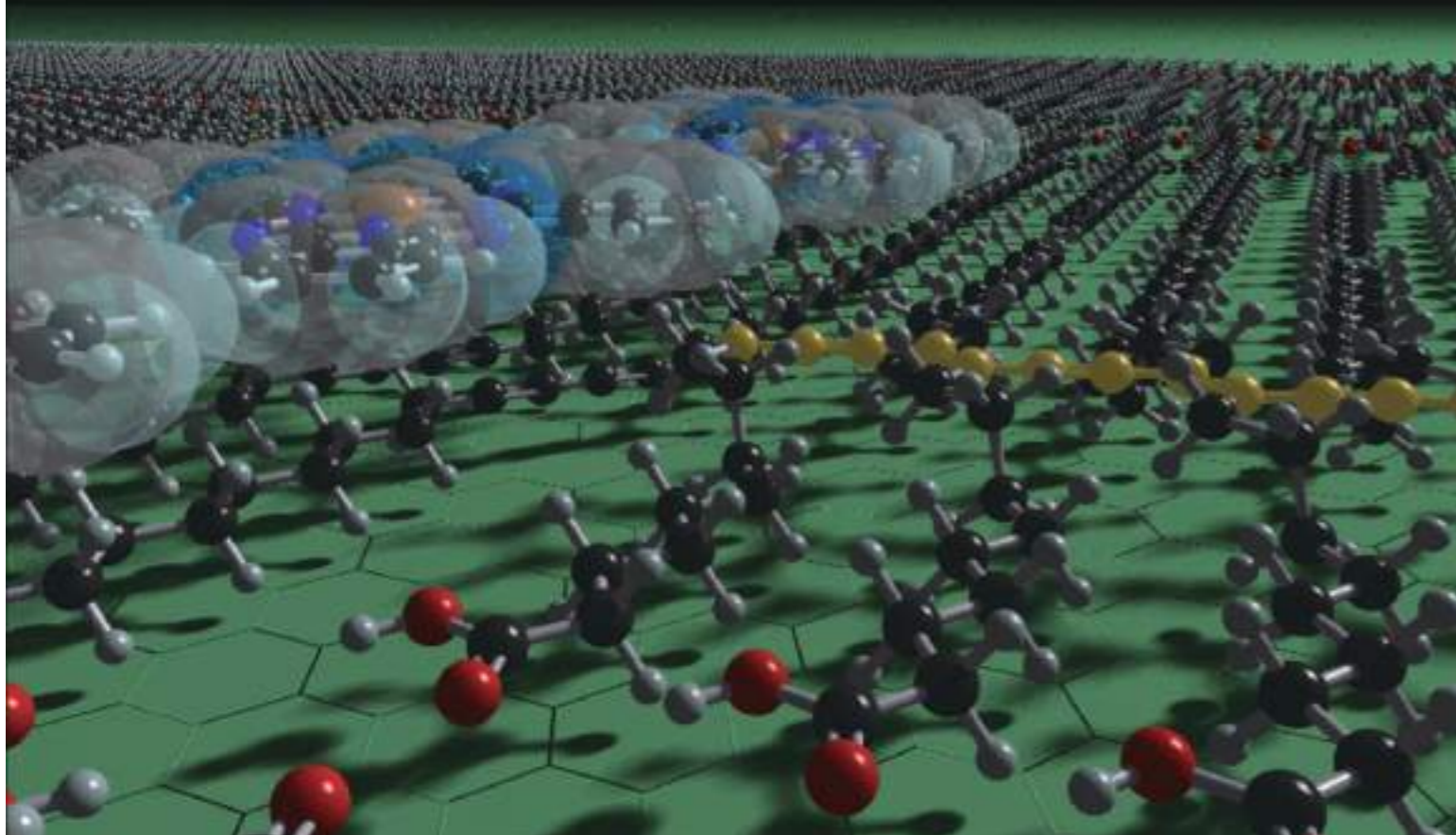
植物細胞内でのセシウムイオンの可視化(緑色に光る部分にセシウムが濃縮)

ナノ物質の機能をその場測定する

ナノ物質の性質は形状や欠陥等の微細組織に左右されます。私たちは、透過型電子顕微鏡のもつ優れた観察機能(高い空間分解能、エネルギー分解能)に、個々のナノ物質を正確に動かせるマニピュレーション技術を組み合わせた「その場物性測定装置」を世界に先駆けて開発しています。この装置では、電圧印加、抵抗加熱、帯電、曲げ、引っ張り、剥離、さらには様々な波長、パルス間隔をもった光の照射ができ、電気、機械、熱、光電現象を自由に操ることができます。その結果、ナノ物質の微細構造と物性との関係を明らかにし、ナノ材料の応用展開に新しい光を当てることができます。

高分解能透過型電子顕微鏡内の装置概略図。STMチップ(電気特性測定用)、AFMカンチレバー(機械特性測定用)、光ファイバー(光電/光起電力測定用)が組み込まれ、個々のナノ物質の構造観察と物性測定が同時に実施できます





新しいナノシステムが世界を変える： 人工知能からエネルギー・環境や 診断・医療まで

ユニークな特性をもつナノ構造がさらに相互に作用し合って新しい機能を発現するさまざまなナノシステムを探索し、それらを組織的に利用する研究を進めています。具体的には、ナノスケールの物質における原子や分子の輸送や化学反応の過程、電荷やスピンの偏極や励起、超伝導現象などについての基礎研究に基づいて、それらを利用した原子スイッチ、人工シナプス、分子デバイス、新しい量子ビット、脳神経網のネットワーク回路、次世代型デバイス、高感度で並列型の分子センサーなどの開発を行っています。

さらに、ナノスケールでの新しい計測法の開発も重視しており、多探針走査プローブ顕微鏡などの開発を行っています。

また、MANAの他の研究分野との異分野融合研究を重視しています。

ナノ機能集積G

ナノイオクスデバイスG

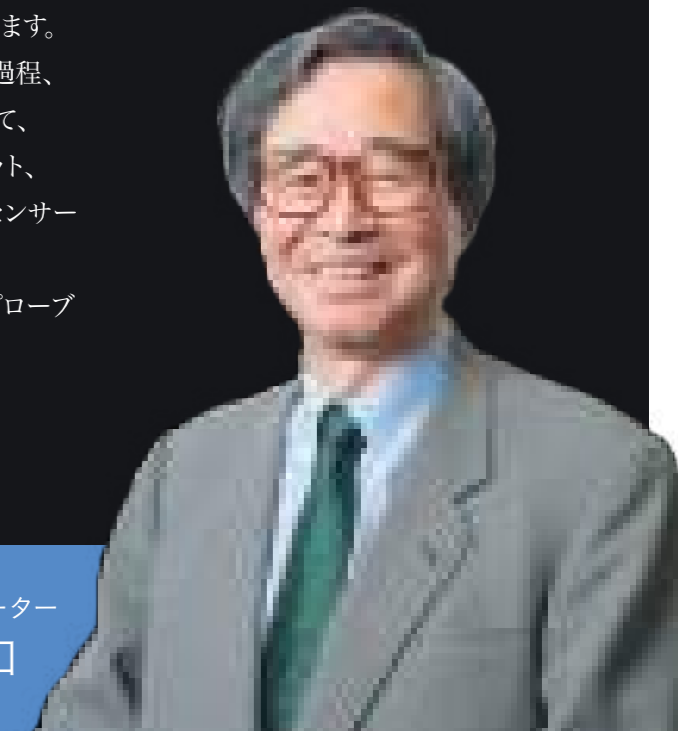
超薄膜エレクトロニクスG

量子デバイス工学G

表面量子相物質G

ナノシステム物性理論G

ナノフロンティア超伝導材料G

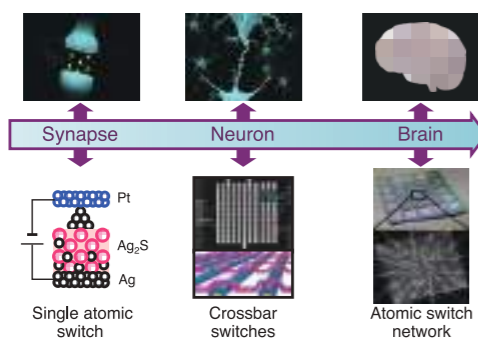


分野コーディネーター
青野 正和

ナノシステム分野 Nano-System

新しいナノシステムが 人工知能の研究に革新をもたらす

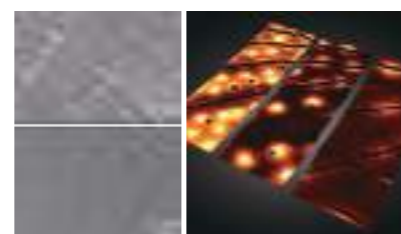
ナノスケールの原子・イオン移動によって動作する「原子スイッチ」は、MANAが中心となって開発してきた日本発の独自技術です。私たちはこの原子スイッチが脳神経網のシナプスのように、入力信号に対して可塑性を示すことを発見しました。この特性を利用して、無数の原子スイッチを自己形成させたナノシステムを構築し、脳の機能を模倣する新しいデバイスの開発を進めています。現在の半導体素子に基づくフォンノイマン型演算とは全く異なるアーキテクチャーで、知能情報処理機能の創出を目指します。



原子スイッチを用いた
脳型デバイスの開発

新しいナノシステムによって 超伝導体の科学に革新をもたらす

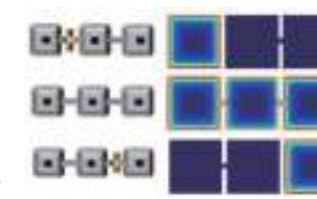
超伝導研究の未来は今やナノの世界にあります。層状の結晶構造をもつFeSeは超伝導転移温度 T_c が $\sim 8\text{K}$ の鉄系超伝導体として知られていますが、私たちはFeSe面をもつ KFe_2Se_2 の組織構造を制御することによって、その組織構造に応じて T_c が $\sim 31\text{K}$ や $\sim 44\text{K}$ になることを明らかにしました。それらのナノ構造と T_c の関係から、 T_c の上昇のメカニズムを解明する可能性があります。またシリコン表面上にインジウム原子層二次元物質を創製し、巨視的な超伝導電流とジョセフソン量子渦の存在を世界で初めて明らかにしました。ナノアーキテクニクスの概念を用いて超伝導物質をデザインし、システム化するMANAの研究活動が超伝導科学の発展を加速させます。



(左) FeSe面を持つ KFe_2Se_2 超伝導体の微細組織
(右) 表面原子層超伝導体に形成したジョセフソン
量子渦のSTM像

新しいナノシステムの 大きな可能性を理論的に探索する

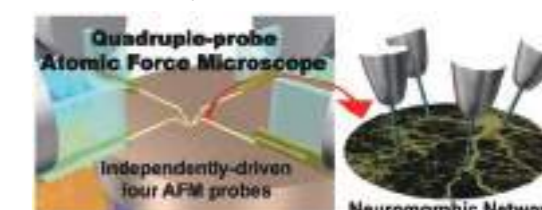
ナノの世界では揺らぎによる不確実性が避けられず、ナノシステムによる新規機能を実現するためには新しい理論的探索が必要になります。例えば、量子状態の重ね合わせを利用して並列処理を行う量子計算は、現在使われているコンピュータの能力を遥かに凌ぐパワーをもっていますが、量子状態が壊れやすいのが弱点です。私たちはトポロジカル超伝導のマヨラナ準粒子励起に着目しています。奇数個の量子渦が含まれるトポロジカル超伝導体の縁にマヨラナ準粒子が現れ、偶数個の場合それが消えるのが特徴です。このユニークな特性を利用して、超伝導体同士を繋がる接合部分でのゲート電圧印加だけで、電気的に中性なマヨラナ準粒子を安定かつ迅速に操作できる方法を見出し、量子ビット演算に利用できることを理論的に解明しました。MANAはこの量子ナノデバイスの実現への実験研究も精力的に進めています。



局所ゲート電圧によるマヨラナ準粒子
制御デバイスの模式図と計算機シミュ
レーション結果

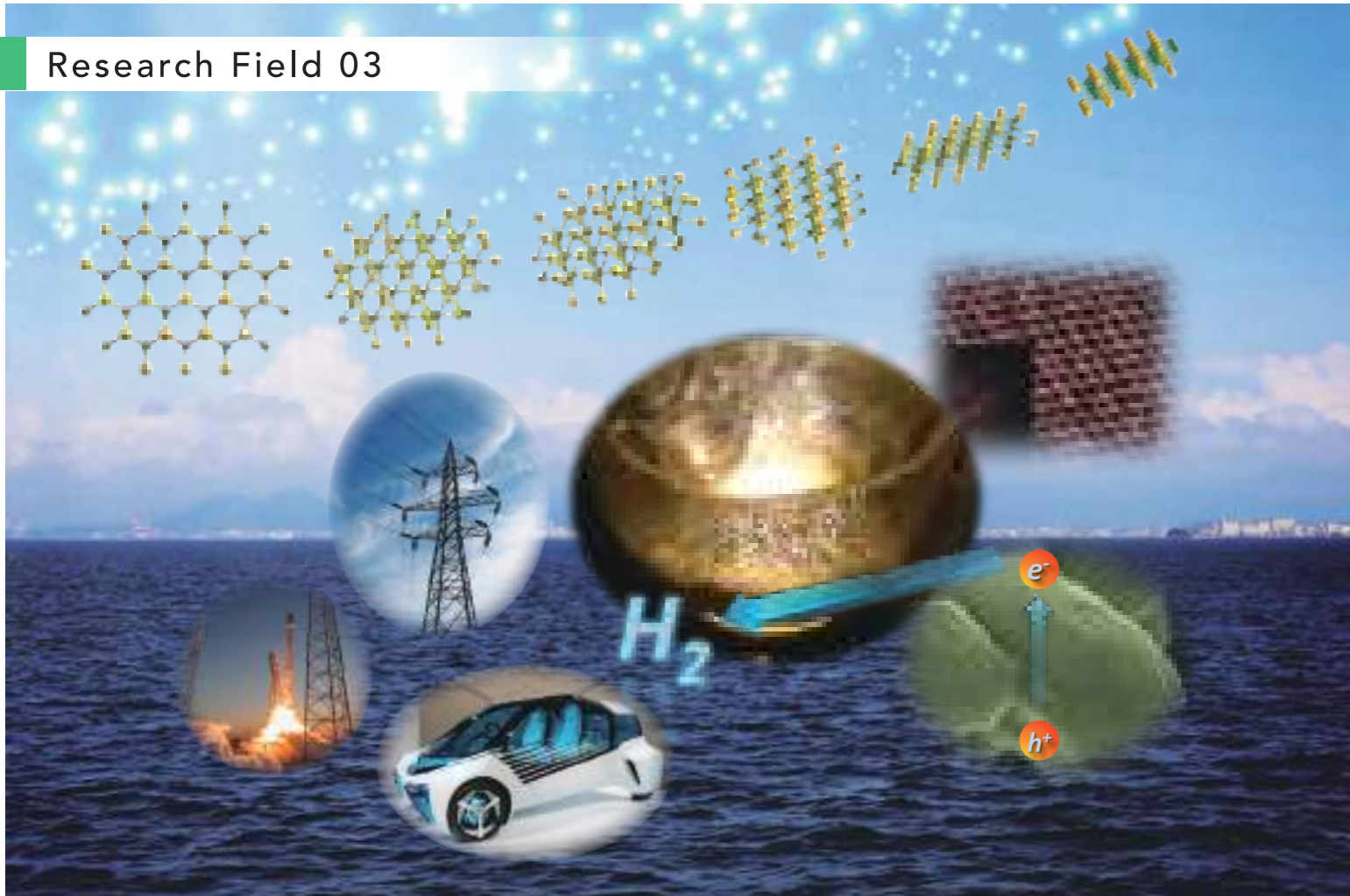
新しいナノシステムを精確に観察し 計測する新方法の開拓

新しいナノシステムの開拓には、ナノスケール材料個々の物性計測から、それらが組み合わされてマイクロメートル以上のサイズに構築されるナノシステムの機能計測までをカバーできる新しい計測手法が必要不可欠です。私たちは、世界に先駆けて多探針走査トンネル顕微鏡(MP-STM)、4探針原子間力顕微鏡(MP-AFM)を実現しました。この新しい装置と手法によって、ナノ構造をナノスケール分解能で確認しながら、その電気的な機能を計測し、革新的ナノシステムの開発を支えています。また、ナノプラズモニクスを応用した極微量物質の精密計測方法の開発も行っています。



多探針原子間力顕微鏡の模式図とニューロモルフィックネットワーク
機能計測への応用

Research Field 03



持続可能な社会を目指し 物質とエネルギーの高效率な変換と利用を

太陽エネルギーを効率よく利用しようとする時に鍵になるのが、電子の輸送や反応などの様々な機能を担う分子配列です。また、光熱変換・熱電変換材料や二次電池、次世代トランジスタなどで、エネルギーを変換したり、貯蔵したり、輸送したりする場合は、イオンや電子の輸送効率が大きく影響し、界面の原子・分子の制御が欠かせません。

さらに、省資源・省エネルギーの化学プロセスの実現に不可欠な触媒の高い選択性と高效率の実現は、触媒表面における原子・分子の並び方が重要な鍵を握っています。つまり、持続可能な社会を実現するための科学的基盤は、表面・界面における原子・分子の配列を目的に応じて設計し、思いのままに配列させるという「界面ナノアーキテクニクス」にあります。

ナノパワー分野では、界面ナノアーキテクニクスの概念に基づき、原子・分子を自在に操ってナノ構造を制御し、高效率で物質とエネルギーを変換するしくみの研究開発を行っています。

- 光触媒材料G
- ナノ光制御G
- 熱エネルギー変換材料G
- 半導体ナノ構造物質G

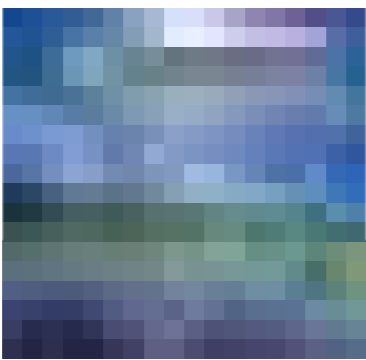


分野コーディネーター
Jinhua Ye

ナノパワー分野 Nano-Power

ソーラー燃料の実現を目指した人工光合成光触媒材料技術の開発

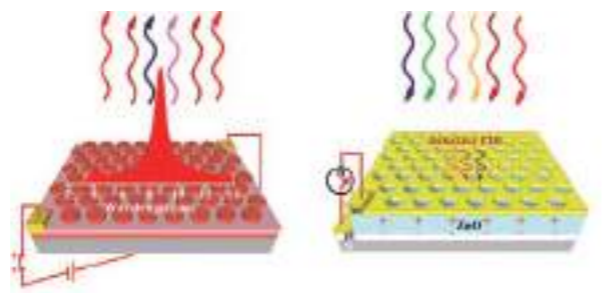
組成や形態を制御したナノ金属、有機/無機半導体材料の創製およびヘテロ集積・複合化を行うことにより、太陽光の高度吸収利用と化学エネルギーへの効率的な変換を目指しています。また、反応場の制御や理論計算とその場計測の連携による光子・電子・分子間の相互作用や反応活性種・反応パスなどのメカニズム究明を進めることで、新材料の開発にとって重要な設計指針を提供します。さらに、新原理・新機能の発掘も推進し、高度な環境浄化および新エネルギー製造、特にCO₂の燃料化機能をもつ光触媒材料技術を開発します。



ナノシート状炭素によりカプセル化された有機金属フレームワーク由来のナノFe触媒を創製することにより、優れた太陽光吸収利用およびCO₂のCOへの選択的変換を実現した (Adv. Mater. 2016, DOI: 10.1002/adma. 201505187)

光と熱ふく射エネルギー利用のためのナノ材料/デバイス開発

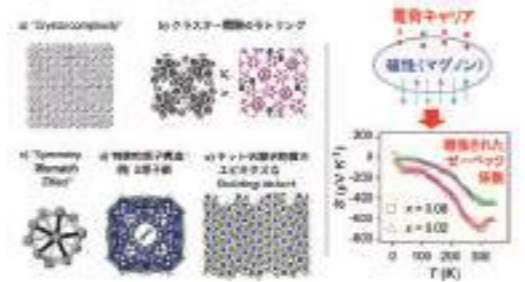
ナノスケール材料の表面・界面に現れる電場増強や、光電・光熱変換などのエネルギー変換現象を解明し、その現象を制御する方法を研究しています。物理・化学合成やリソグラフィーによってナノ構造を制御した材料を製作し、シミュレーションと分析評価を繰り返しながら、光を熱や電気へ高效率に変換あるいはその逆の過程を実現するエネルギー変換材料やデバイスの開発を行っています。



(左) 特定の波長の熱線(赤外線)をふく射する赤外線エミッター
(右) 特定の波長の赤外線にのみ応答して電気を生じる焦電型の赤外線受光素子 (Pyroelectric Infrared Detector: PIR)

ナノ構造制御や新原理を活用した熱電材料と熱管理技術の開発

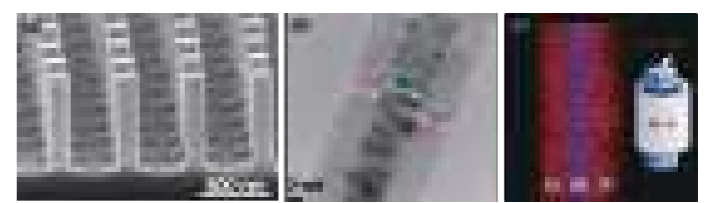
消費される1次エネルギーの半分以上が廃熱になるので、この莫大なエネルギーを活用するために、いまだ実現をみていない広範囲普及に資する熱電材料や先進的な熱管理技術の開発にチャレンジしています。フォノンのより効果的な選択散乱による熱電高性能化を実現するために、新規なナノ構造制御法を開発するとともに、図のように原子構造レベルのメカニズムの発掘や解明を進めています。また、新原理の発掘も進めており、磁性による熱電的性質の制御を試み、新規な高性能材料の設計を行っています。



(左) 原子構造に起因するフォノンの選択散乱機構
(右) 磁性による熱電増強効果(キャリアーとマグノンのカップリング)の一つのイメージ図とCu_{1-x}Fe_xS₂のゼーベック係数

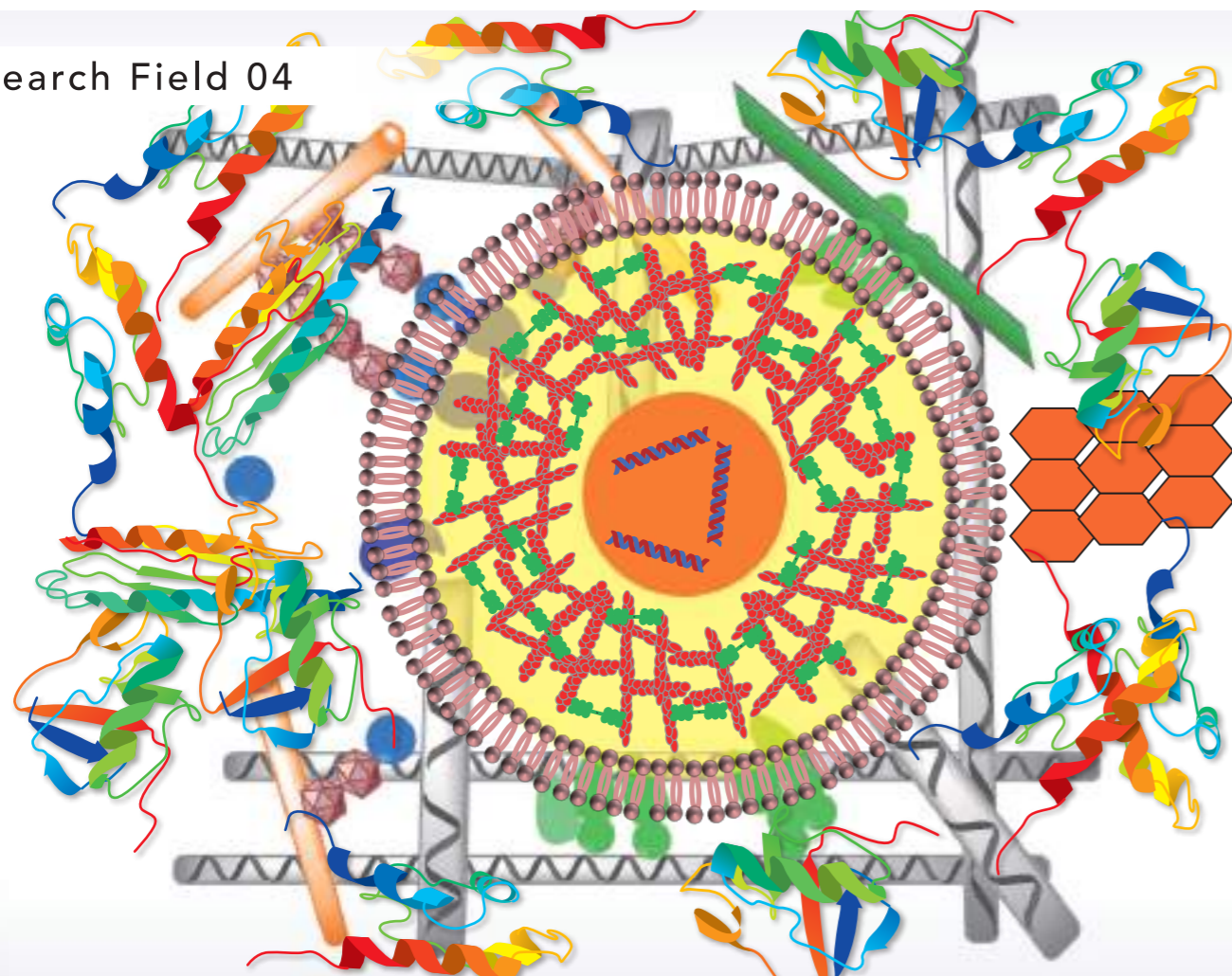
半導体ナノ構造の機能化による新規材料・デバイスの創製

ナノ構造化した半導体材料を高度に複合機能化することで、新しい特性と優れた機能をもつ半導体材料の創製を目指しています。主な半導体材料としては、IV族のシリコン(Si)とゲルマニウム(Ge)を利用しており、1次元のナノワイヤ構造および0次元の量子ドット構造に着目した研究を行っています。研究ターゲットは、発電・蓄電などの環境・エネルギー材料から、低消費電力化を可能にする次世代トランジスタに関するエレクトロニクス材料まで、幅広い分野で新材料・新規デバイスの開発に取り組んでいます。



(a) シリコン基板上に形成したシリコンナノワイヤの走査電子顕微鏡像。ゲルマニウム/シリコンコアシェルナノワイヤの (b) 透過電子顕微鏡像および (c) エネルギー分散型X線分析による組成分析結果と縦型トランジスタ用チャネルの模式図

Research Field 04



ナノアーキテククスによる バイオマテリアル技術の革新を通じ、 健康長寿社会に貢献

私たちの体では、遺伝情報の複製と発現、細胞内および細胞間のシグナル伝達、細胞と細胞外環境とのコミュニケーションなど多くの生命現象が、組織や臓器の働きを正常に保ち、生命活動を維持しています。このような多様な生命現象では、種々の分子が実に巧みな方法で離合集散してできるナノスケールの構造体が重要な役目を果たしています。ところがこのナノ構造体の働きが乱れてしまうと、体調不良や病気、場合によっては死を招く原因になることさえあります。私たちは、ナノアーキテククスに基づいて構築したバイオマテリアルでこの多様な生命活動を検出・計測、さらに制御することで、病気の原因解明から診断、予防、治療、組織・臓器再生の技術にいたるまで革新的イノベーションの創出を目指します。バイオマテリアルの革新を先進医療に結びつけ、安全・安心な健康長寿社会の実現に貢献します。

生体組織再生材料G

医療応用ソフトマターG

ナノメカニカルセンサG

メカノバイオロジーG

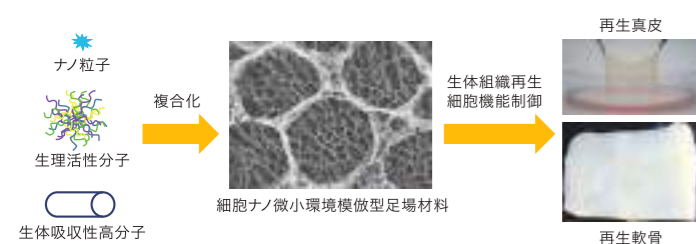


分野コーディネーター
Guoping Chen

ナノライフ分野 Nano-Life

次世代医療技術の基盤となる 生体組織再生のための新規材料の開発

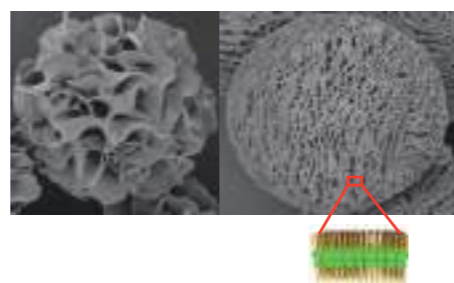
けがや病気などで失われた生体組織の再生に重要な「細胞足場材料」と「細胞機能制御材料」の研究開発を行っています。細胞足場材料として、生体吸収性合成高分子および天然高分子を用いて多孔質構造や力学強度などを制御した足場材料および複合足場材料、ナノ・マイクロ構造をもつ生体親和性材料について研究しています。また、生体組織の再生に重要な幹細胞の機能を制御するため、機能性分子をナノ・マイクロパターン化した材料や、生体内の微小環境を模倣した細胞培養材料にも取り組んでいます。



生体組織再生のための新規材料の開発

生体の仕組みを理解したソフトマター 設計による薬物治療システム

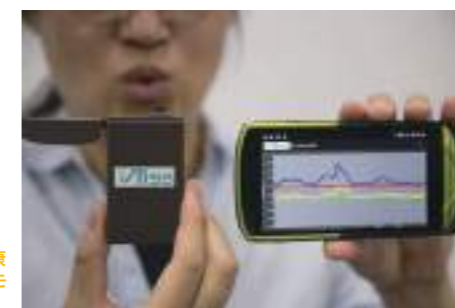
薬物治療の中には、患者に多大な肉体的・精神的負担を伴うものが多くあります。患者にやさしい薬物治療システムを推進すべく、生体内に存在する分子や、十分に安全性が確認された材料を主に利用して、材料開発を行っています。特に私たちが開発した多孔性レシチン粒子は、薬物担体として多くの機能と安全性を兼ね備えており、今後の薬物治療におけるプラットフォーム技術として用いることができると期待しています。また治療材料の生体内における挙動を高度に時空間制御するための基礎研究を進めています。



構造が高度に制御された多孔性レシチン粒子

安心・健康・平和な社会に向けた モバイル嗅覚センサの開発

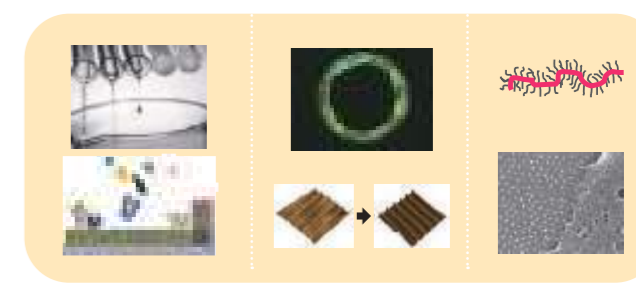
人間の五感の中で最もセンサ開発が遅れているのが嗅覚です。ニオイを簡便に測定・識別可能なモバイル嗅覚が実現すれば、食品管理、環境測定、安全確認だけでなく、呼吸による診断をはじめとする医療やヘルスケアへの応用など、様々な分野への貢献が期待されます。このモバイル嗅覚を実現するため、最近私たちが開発した膜型表面応力センサ(MSS)などのナノメカニカルセンサに着目し、分子レベルでの動作原理からIoT時代に対応可能なシステムまで、総合的に研究・開発を行っています。



呼吸の成分を識別し健康状態をモニタリングするモバイル機器応用のイメージ

細胞力覚の理解と制御のための 新規材料の開発

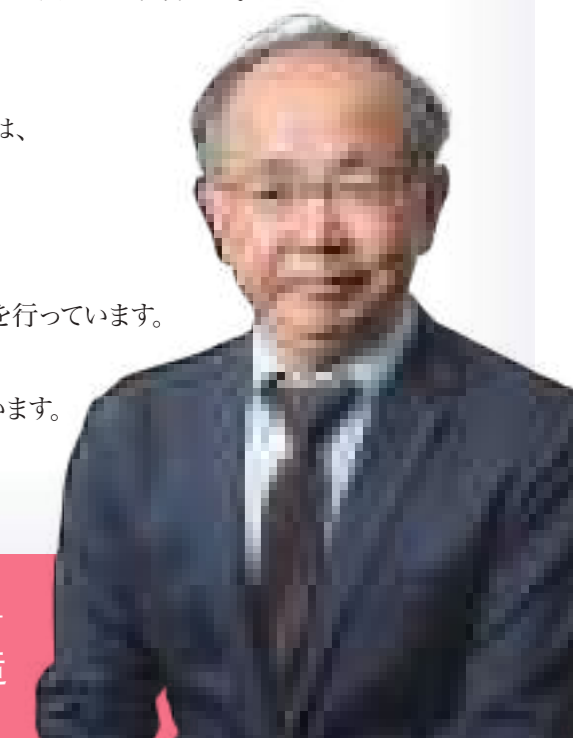
近年、DNA・タンパク質等の分子と同様に、物理的な「力」による生命活動の調節に注目が集まっています。私たちは、化学的・力学的特性が精密に制御された材料や外部刺激に応答するスマートな材料などを開発し、「細胞力覚」のメカニズムの理解とその知見の医療技術への応用を行っています。また力学・化学作用の補完性に注目して、新しい薬剤の探索にも取り組んでいます。これらを通してメカノ医療・薬剤という新しい技術体系の確立を目指しています。



メカノバイオロジー用新規材料

ナノスペース領域の現象を理解し、 新しい現象の予測、 新しいナノ構造材料の創出を目指す

ナノ空間では、とても小さい原子が動き回り、さらに小さい空間を電子が飛び回る常識の通用しない世界です。また、こういった原子や電子が、おびただしい数で協調して、1つ1つの原子や電子が示す性質とは全く違う性質を示したりします。そこで起きる現象やそれを源とする現象を正しく理解し、新しい物質を構築するためには、日常常識にとらわれない考え方と方法、すなわち量子力学と統計力学が必要です。ナノセオリー分野では、ナノ空間で起こる様々な現象を解き明かすために、量子力学や統計力学を使って奇妙・奇抜な振る舞いの背景にある基礎理論を創出し、スーパーコンピュータを用いた定量的数値予測、またそのための計算方法の開発などを行っています。その成果は、他のナノ分野での観測結果の解釈や予測などに生かされ、さらに新しい現象の予測や奇妙な性質を使った、新しい物質・材料の提案を目指しています。



分野コーディネーター
佐々木 泰造

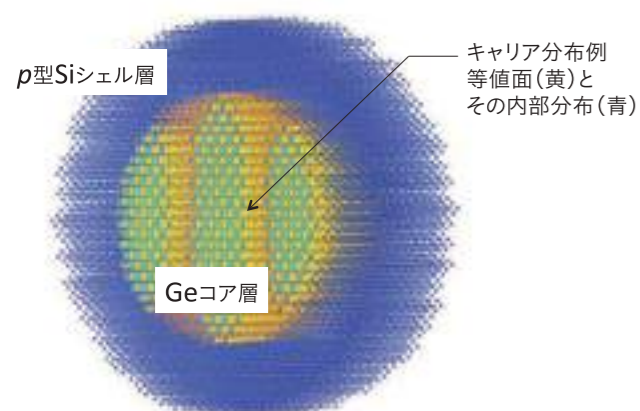
ナノセオリー分野 Nano-Theory

大規模第一原理計算と実験によるナノ構造物質・高性能材料の開発

MANAナノセオリー分野では、現実のナノスケールデバイスやナノ構造物質における膨大な数の原子位置、さらにその結果得られる電子状態を理論計算によって明らかにするために、大規模第一原理計算プログラムCONQUESTを開発しています。通常理論手法では、数千原子の系に対する第一原理計算も困難であるのに対して、CONQUESTはオーダーN法という最新の理論手法を用いることにより百万原子系についても信頼性の

高い第一原理計算にもづく構造最適化や分子動力学シミュレーションが可能になっています。

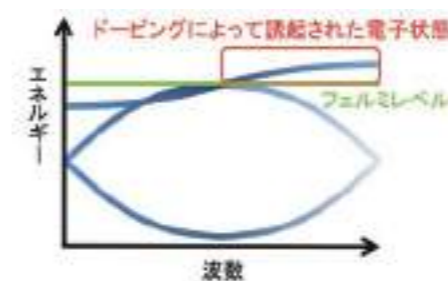
私たちはMANAの実験グループ(半導体ナノ構造物質グループ、深田直樹GL)と共同で次世代縦型トランジスタの材料として有望なSi/Geコアシェルナノワイヤに対する研究を行っています。コアシェルナノワイヤの特性はワイヤのサイズ、SiとGeの界面、不純物分布などにより大きく変わると予想されますが、大規模第一原理計算によって原子レベルの構造、電子物性を予測することができます。図は、p型Siを用いた場合に予測されるキャリアの1つの分布です。一方、実験グループはコア部分、シェル部分のサイズ、そして不純物位置の制御を行うことが可能になっています。私たちはこの理論・実験の共同研究によって、次世代デバイスのための高性能材料の開発を目指しています。



Si/Geコアシェルナノワイヤ中Geコア層に分布した計算による電子状態

モット転移近傍の 電子状態の解明とその応用

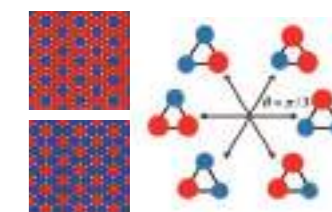
電子相関の強い領域では通常の金属の自由電子的描像では理解し難い性質が現れます。例えば、電子は、電荷とスピンという2つの自由度をもつ粒子ですが、モット絶縁体という物質では、電荷励起にはギャップがある一方で、スピン励起にはギャップがないことが多いため、このような電荷とスピンの分離した励起状態を粒子的な電子描像で説明することは困難です。そこで、モット絶縁体近傍のような強相関領域における電子状態の特徴を、従来の描像にとらわれない観点から明らかにし、その特異な電子状態を応用した新しい電子デバイスの実現可能性について理論的な検討を進めています。



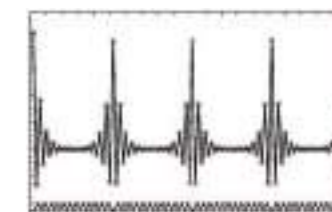
モット絶縁体に微小ドーブしたときの電子励起

協力的相互作用のモデル化 による状態制御法の開発

メモリー素子開発においては、物質の双安定性を利用することで光、磁場、圧力などの様々な刺激によるスイッチングを実現する試みがなされています。原子や分子の電子・スピン状態の変化がマクロな状態変化へ導かれる仕組みを解明するため、協力的相互作用のモデル化により様々な多体効果の機構を研究しています。例として2次元スピクロスオーバー系(上図)における新しいタイプの相転移現象の発見や局所磁気モーメントの量子コヒーレンス制御法(下図)の開発などがあります。



(左)基底状態(6重縮退)と
(右)6 state-clock mode



外場による局所モーメントの制御

国際的な研究ハブステーション“MANA”

世界中から優秀な若手研究者がMANAに集まり、そして羽ばたいていきます。
現在、MANAは世界中のナノテクノロジー研究者をつなぐ、「ハブ」として機能しています。

グローバルなキャリアアップ

MANAで経験を積んだ研究者がステップアップできるよう、MANAは若手研究者の育成に力を注いでいます。過去8年半で11名がNIMSの研究者に採用された他、255名がキャリアアップして世界中の大学、研究機関で活躍しています。そして、MANAを起点とするナノテクノロジー研究者の国際ネットワークが構築されています。



国際的な研究人材の育成

MANAの若手研究者は、2人のメンターを持ち(Double-Mentor)、2種の専門分野にまたがって研究し(Double-Discipline)、2つの研究機関に参与する(Double-Affiliation)ことが推奨されています。海外のトップレベルの研究者との共同研究を通じて、国際的・学際的に成熟した若手研究者の育成を図るこの制度を、MANAでは“3Dシステム”と呼んでいます。

また、NIMS/MANAは、国内外の多くの大学と連携しており、研究者を志す学生がより実践的に研究活動のノウハウを学べる仕組みを整えています。加えて、毎年、ナノテクノロジー・スチューデント・サマースクール開催に参画しており、世界中から参加するナノテクノロジーを学ぶ優秀な学生が、研究分野・文化の枠を超えた融合研究を実践的に学べる場所を提供しています。



数字で見るMANAの研究成果

2007年の創設以降、革新的なナノ材料研究を行うMANAが達成した様々な成果について、数値データを基に紹介します。

論文数の推移

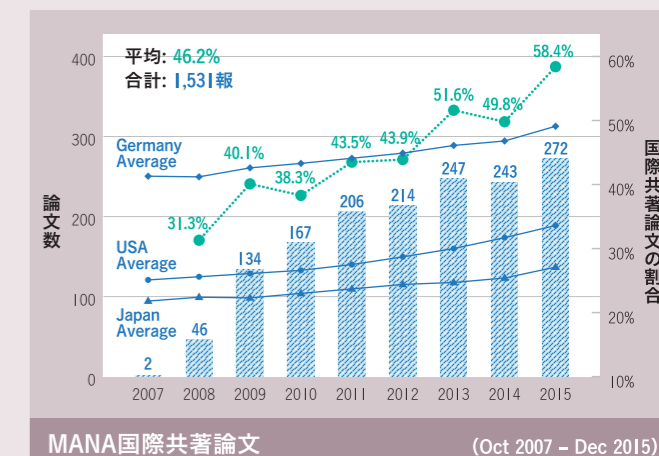
2015年、MANAの研究者が発表した論文数は466報でした。それらの論文が掲載された学術雑誌の平均インパクトファクター^{*}は2015年において6.25であり、MANAの研究成果の質の高さが顕れています。

※インパクトファクター：掲載論文の引用頻度から学術雑誌の影響度を数値化した指標



国際共著論文数の推移

MANAから発表される国際共著論文は年々増加傾向にあります。2013年以降、論文総数の半数以上が国際共著論文となり、2015年における国際共著論文の割合は58.4%に達しました。



高被引用論文・論文著者

MANAから発表された全論文3316報のうち、118報がトムソンロイター社のデータベースを基に定義される高被引用論文^{※1}となっています。また、2014年および2015年において、有賀克彦、板東義雄、デミトリ・ゴルバーク、ゾン・リン・ワン、オマール・ヤギの5名が高被引用論文著者^{※2}に選定されました。

※1 トムソン・ロイター社のEssential Science Indicatorデータベースで、各分野において過去10年間に於ける被引用回数、上位1%に含まれる論文。

※2 一定数以上の高被引用論文を持つ著者を、影響力の高い研究者としてトムソン・ロイター社が選定したものを。

特許総数

ナノ材料という可能性に満ちた研究分野を扱うMANAの特許取得数は、2015年に581件に達しています。これは基礎研究から応用研究までをカバーするMANAの新技術開発への積極的な取り組みを反映しています。

MANAが提供する最高の研究環境

新たな時代を切り拓くイノベーションを惹起するため、MANA拠点内には、様々な面で、研究者にとって快適な環境が整えられています。

世界最高レベルの研究設備

MANAの研究者は、ホスト機関であるNIMSが保有する最先端・最高性能の研究設備を利用することができます。さらにMANAが保有するナノ微細加工施設である「MANAファウンドリ」にて、多種多様な材料のナノアプリケーションからキャラクターゼーションを行うことが可能です。その他、50を超える共通の研究設備を有し、経験豊かな技術支援スタッフのサポートのもとで、これらを利用することができます。



イノベーションを惹起するメルティング・ポット環境

イノベーションは異分野・異文化の融合から生まれることが少なくありません。研究者の約半数が外国籍をもつMANAを、世界中から集まる研究者の「メルティング・ポット（るつぽ）」として機能させるために、内外の研究者の交流を促す環境づくりを進めています。WPI-MANA棟では、各階のオフィスは壁を取り払って大部屋とし、多くの研究分野の研究者が同居するデザインとなっています。また、ラボの壁面には全面ガラスを採用し、透明性と安全性を確保しています。



世界からの研究者をフルサポート

MANAでは、外国籍の研究者が研究に専念できるように、公用語を英語としています。経験豊かな秘書が事務手続きから日本での生活の立ち上げまで手厚くサポートするほか、日本語教室・日本文化教室を通じて、日本に関する理解を深める機会を提供しています。



MANAの“今”を伝えるアウトリーチ活動

研究成果を発信するため、MANAでは広報誌『CONVERGENCE』の発刊、科学技術イベントへの参加、英文ニュース“MANA Research Highlights”の配信など、様々なアウトリーチ活動を行っています。また、施設の一般公開や科学ショー、書籍制作などを通じて、市民の方々との積極的なコミュニケーションを図っています。



Overview

体制



人員構成

(2016年10月現在)

種別	主任研究者	グループリーダー	准主任研究者	研究員	ポスドク研究員	ジュニア研究員	事務・技術職員	総計
人数	26	9	2	75	66	21	29	228
外国籍	8	0	1	11	56	17	1	94
女性	2	0	0	9	16	9	17	53

MANAの研究者199名のうち93名(46.7%、23ヶ国)が外国籍です。

Advisors and Committee Members

世界トップレベルのアドバイザー

アドバイザー

ノーベル賞受賞者や世界的に著名な研究者などのアドバイザーが、MANAの研究者に自らの経験に基づいて助言や指導を行います。

C. N. R. Rao
ジャワハラル・ネルー先端科学研究センター 名誉理事長

岸 輝雄
物質・材料研究機構 元理事長
外務省外務大臣科学技術顧問

J.-M. Lehn
ストラスブール大学
超分子科学工学研究所 所長
1987年ノーベル化学賞受賞

福山 秀敏
東京理科大学
研究推進機構総合研究院 院長

赤池 敏宏
国際科学振興財団 理事
再生医工学
バイオマテリアル研究所 所長

評価委員会

MANAプロジェクトの運営および研究戦略に関して、専門的提言を行います。

A. K. Cheetham
ケンブリッジ大学 教授

相田 卓三
東京大学大学院 教授

遠藤 守信
信州大学 教授

H. Hahn
カールスルーエ工科大学 教授

西 義雄
スタンフォード大学 教授

R. S. Ruoff
蔚山科学技術大学校 教授

J. P. Spatz
マックス・プランクインテリジェントシステム研究所 所長

国際連携アドバイザー

世界的に著名な研究者であるアドバイザーが、海外の研究機関との共同研究をはじめ、MANAの国際ネットワーク形成に関して指導を行います。

Sir M. E. Welland
ケンブリッジ大学 教授

L. Schlapbach
スイス連邦材料試験研究所 前CEO

Satellite Network

MANAを世界に開くサテライトラボ

MANAの主任研究者の約4分の1は外部研究機関からの招聘研究者です。彼らが所属する研究機関にはMANAのサテライトラボが設置されており、MANAにとってそれらは国際的な共同研究を進める前線基地となっていると同時に、若手研究者のトレーニングの場としての役割も果たしています。

ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン
D. Bowler
オーダー-N密度汎関数法大規模計算

フランス国立科学研究センター
C. Joachim
分子デバイスエンジニアリング

筑波大学
長崎 幸夫
革新的バイオナノマテリアル

カリフォルニア大学ロサンゼルス校
J. K. Gimzewski
ニューロモルフィックナノシステム

ジョージア工科大学
Z. L. Wang
新規エネルギーデバイス

モントリオール大学
F. M. Winnik
機能性ナノ粒子・ナノ界面

Researchers

MANA主任研究者 (PI)

● 分野コーディネーター ○ サテライトPI

ナノマテリアル分野

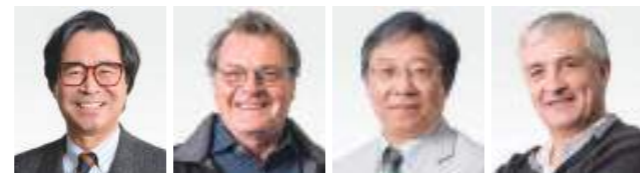


● 佐々木 高義 有賀 克彦 板東 義雄 知京 豊裕



D. Golberg 長田 実 ○ Z. L. Wang 山内 悠輔

ナノシステム分野



● 青野 正和 ○ J. K. Gimzewski X. Hu ○ C. Joachim



高野 義彦 寺部 一弥 塚越 一仁

ナノパワー分野



● J. Ye 森 孝雄 高田 和典



館山 佳尚 魚崎 浩平

ナノライフ分野

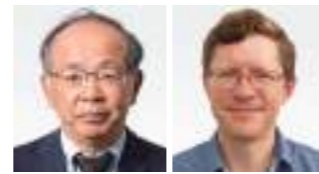


● G. Chen ○ 長崎 幸夫



○ F. M. Winnik

ナノセオリー分野



● 佐々木 泰造 ○ D. Bowler



宮崎 剛

研究グループ

ナノマテリアル分野



ナノシステム分野



ナノパワー分野



ナノライフ分野



ナノセオリー分野

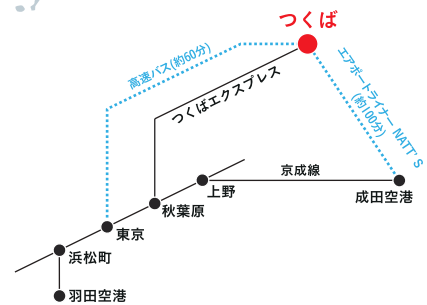


独立研究者



ICYS-MANA研究員





国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)



〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1
 TEL: 029-860-4709
 FAX: 029-860-4706
 E-mail: mana@nims.go.jp

<http://www.nims.go.jp/mana/jp/>

(2016年11月)



世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

国際ナノアーキテクトニクス
 研究拠点 (WPI-MANA)

International Center for Materials Nanoarchitectonics



国立研究開発法人 物質・材料研究機構
 National Institute for Materials Science