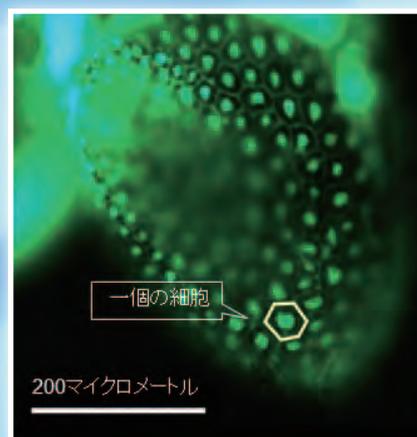
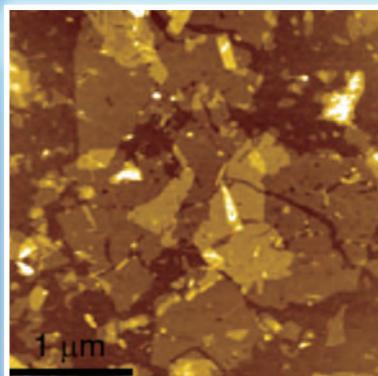
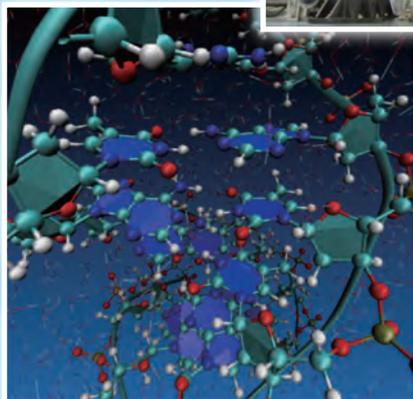
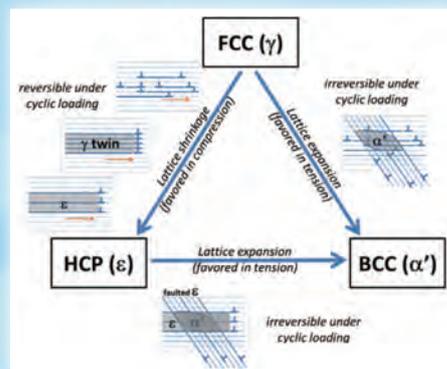


NIMS 研究成果

2014年度 主要研究成果 8件
トピックス 1件



2015年7月



国立研究開発法人
物質・材料研究機構
National Institute for Materials Science
<http://www.nims.go.jp>



NIMS の主な研究成果

(2014 年度主要な研究成果の発行について)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構

理事長 潮田 資勝

国立研究開発法人物質・材料研究機構（National Institute for Materials Science）では持続可能社会の実現に向け、ナノスケールの構造まで制御する「ナノテクノロジー」を駆使した新材料の創製や、材料機能の高度化などを可能にする研究を進めています。私は平成 21 年 7 月に独立行政法人物質・材料研究機構（NIMS）の理事長に就任しました。本年は 7 年目となりますが、独立行政法人となって 15 年目、第 3 期中期計画の 5 年目すなわち最終年度にあたります。

2014 年度における主要研究成果 8 件とトピックス 1 件を選別し、皆様に NIMS の研究内容を紹介させていただきます。主要成果 8 件は、先端的共通技術領域、ナノスケール材料領域、環境・エネルギー・資源材料領域の 3 研究領域における主要成果として取り上げました。また、平成 26 年度に発足した構造材料研究拠点（10 月 1 日設置）は、国土強靱化、産業競争力強化に寄与する構造材料の革新的なシーズの創出とその産業界への橋渡しのためのハブ拠点を目指しています。新棟建設、約 100 名の NIMS 研究者集結、最先端設備共用化を行い、そこに機構外から広く参画を募り、研究、標準化、情報交流、人材育成などを展開しています。さらに、構造材料つくばオープンプラザを拠点内に設置し、連携体制でシーズの社会実装を推し進め、関連する研究開発に対しても幅広い研究・支援業務を行なうものであります。第 3 期中期計画においても NIMS の重要施策のひとつなので、本冊子のトピックスとして取り上げました。

NIMS は法人化後、第 1 期から第 3 期中期計画にかけて大きな発展を遂げて来ました。材料科学分野における論文数や論文引用数では世界でも高く評価されるようになりました。特許出願数、産業界との共同研究、特許収入などでも顕著な成果をあげています。また、第 2 期中期計画中に文科省の WPI プログラムに採択された「国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点」は顕著な成果を挙げつつあります。しかし、本来の意味で物質・材料研究における国際的な Center Of Excellence (COE) となるためには引き続き何年もかけて努力を重ねる必要があります。

国の中核的研究機関である NIMS の業務として、これまでに、「ナノテクノロジープラットフォーム」、「ナノ材料科学環境拠点」、「低炭素研究ネットワーク・ハブ」等の研究関連拠点を発足させ、研究者コミュニティからの支援・連携要請に応じてきました。日本が東日本大震災を教訓として、国土強靱化に向けた取組を行っている今、我々は以前にも増して社会のニーズに強力に応える必要があります。特に、社会インフラの長寿命化・耐震化を推進するためにも、信頼性評価・補修技術等に関する国内外に開かれた研究開発拠点を構築し、産業界のニーズに基づき、実環境を見据えた構造材料の信頼性研究を総合的に推進する予定です。

今後も、先端的共通技術領域、ナノスケール材料領域、環境・エネルギー・資源材料領域の 3 研究領域を中心に、国家的ニーズに積極的に対応することを目指すとともに、高度な設備のさらなる共用化を図り、社会に開かれたイノベーションの場を提供してゆきます。また、若手研究者・技術者の育成も NIMS の重要な使命であり、国内外の大学と協力して大学院生の教育にも力を入れてゆく所存です。

INDEX

研究成果

- 1 世界最高磁場のNMR装置（1020MHz）の
開発に成功** …… 1
高温超伝導体の応用が決め手
清水 禎
- 2 従来比10倍の耐疲労性を有する制振合金** …… 3
長周期・長時間地震動対策の新技术
澤口 孝宏 津崎 兼彰
- 3 超高純度ダイヤモンド** …… 5
量子情報応用への新しいスターの誕生
寺地 徳之
- 4 巨大分子の第一原理シミュレーションの実現** …… 7
従来に比べ2桁以上大きな原子数を扱う
宮崎 剛 D. R. Bowler
- 5 分子の自己組織化を制御** …… 9
高分子・ナノテク材料の新合成法
杉安 和憲 竹内 正之
- 6 表面原子層超伝導体でジョセフソン量子渦を観測** …… 11
原子スケール超伝導デバイスに道
内橋 隆 胡 曉
- 7 ナノシートとグラフェンとのヘテロ集積材料** …… 13
次世代スーパーキャパシタや電極触媒の開発に向けて
馬 仁志
- 8 植物細胞内のセシウムの可視化** …… 15
植物を使ったセシウム除染法への期待
小松 広和 中西 和嘉

トピックス

- 構造材料研究拠点** …… 17
国土強靱化と産業競争力強化のための構造材料研究を産学官融合で推進する拠点
土谷 浩一

2014年度の運営（データ集）

- 2014年度運営に関するデータ集** …… 19

1. 世界最高磁場のNMR装置 (1020MHz) の開発に成功

■ 研究の背景と狙い

NMR（核磁気共鳴）は物質の分子構造や原子の運動状態などを調べることができる分析装置です。現状のNMRは感度と分解能がまだ不十分であり、大きな改善の余地を残しています。NMRの感度と分解能が向上すれば、従来は分析困難だった複雑な構造を持つ生体物質や、無機物を含む各種材料などが詳細に分析できるようになり、新薬創成や材料開発に貢献します。NMRの感度と分解能は磁場が高ければ高いほど向上するので、強磁場磁石の開発は最も効果的な方法です。

■ 研究の内容と成果

従来のNMR磁石は金属系超伝導体の線材を多層コイル構造に巻いて作られています。金属系超伝導体は到達できる最高磁場に技術的な限界があり、1000MHzが上限であると考えられています。この1000MHzという磁場限界を超えるには、金属系超伝導体に代えて、セラミックスの一種である高温超伝導体を用いることが唯一の解決方法であることが以前から分かっていました。しかし、高温超伝導体はセラミックであるため割れやすいなどの特有の技術的困難があります。そのため高温超伝導体発見（1986年）から20年以上が経っても、NMR磁石への応用は世界中で誰も実現できずにいました。

NIMSを中心とする研究チームは、割れやすい高温超伝導体を用いたNMR磁石を実現するために、厚み約5mmで総延長約3kmの高温超伝導線材を、直径約10cm、長さ約1mのコイル状に巻く特殊な巻線技術を開発しました。このコイルは永久電流による運転ができないため、常に電源から電流を流し続ける必要がありますが、NMRは磁場の変動があると測定できないので特別に安定度の高い電源と磁場安定化装置を開発しました。また、NMRは磁場が空間的に不均一では測定できないため、磁場を補正して均一にする必要がありました。そこで、鉄片を使った磁場補正装置を新たに開発しました。これらの様々な新規技術と装置を開発した結果、世界で初めて高温超伝導体を用いたNMR磁石の開発に成功しました（図1、図2）。



図1 今回開発した1020MHz-NMR装置のうち超伝導磁石の部分。高さ約5m、重さ約15トン。この中に高温超伝導体で作られたコイルが入っています。液体ヘリウムを使って冷却しています。

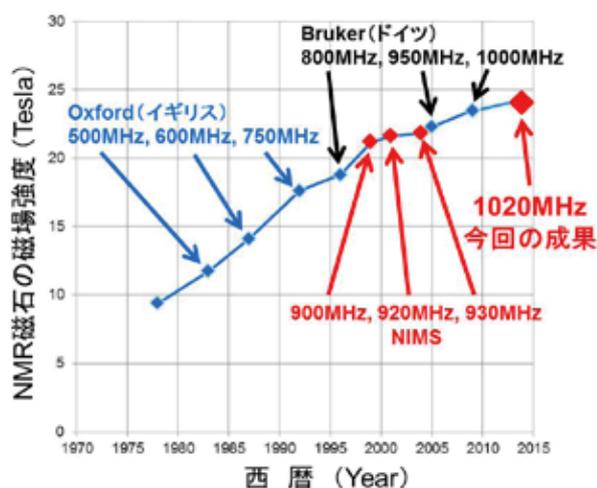


図2 NMR磁石の高磁場化に向けた各国の開発競争の様子。その当時の世界最高磁場を表すグラフ。1000MHzまでは金属系超伝導体だけを用いて作られていましたが、今回の1020MHzで初めて高温超伝導体が部分的に用いられました。

高温超伝導体の応用が決め手

そして、その磁石を用いた装置で、世界最高磁場となる 1020 MHz の磁場の発生および NMR 測定に成功しました。実際にたんぱく質と無機物を測定したデータから、1020 MHz-NMR 装置は従来装置よりも性能が向上していることが確認できました。(図 3)

今回用いた高温超伝導線材は、ビスマス (Bi) 系超伝導体の一種である Bi2223 と呼ばれる超伝導線です。Bi 系超伝導体は NIMS の (故) 前田弘氏 (1936-2014) が世界に先駆けて 1988 年に開発した高温超伝導体の一種です。その後、様々な改良が繰り返され、電流密度はこの 20 年間で 10 倍以上向上してきました。今日では住友電気工業株式会社が製品化に成功しています。今まで高温超伝導体は広く普及するには至っていませんでしたが、今回の成功により NMR の高磁場化に応用できる道が切り拓かれたこととなります。

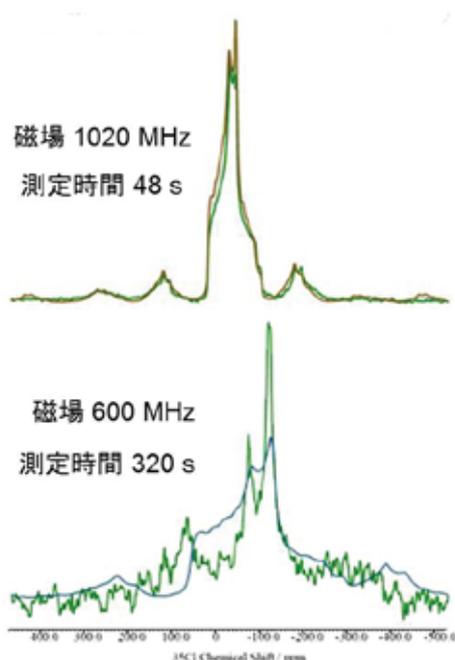


図3 1020MHzの磁場で測定した塩化カルシウムの塩素³⁵ClのNMRスペクトル(上図、緑色が実験、茶色が理論)。比較のために示した600MHzの磁場で測定した結果(下図、緑色が実験)と比べると感度と分解能が向上している様子が良くわかります。600MHzの磁場では測定時間が320秒でしたが、1020MHzの磁場では僅か48秒にもかかわらずノイズのより少ない信号が得られています。線幅は約2倍シャープになっています。いずれも高磁場による効果です。

発表文献

- 1) K. Hashi, *et.al.*, Journal of Magnetic Resonance, 256 (2015) 30-33.

期待されるイノベーション

高磁場 NMR を用いたバイオ研究は新薬創成につながります。また高磁場 NMR は今まで有機物に限定されていた NMR の応用分野を無機物にも拡大させることが可能になり、高性能な材料開発につながります。

高磁場 NMR 磁石の開発は超伝導応用分野の中でも最も高精度な技術が必要なので、この開発で培った技術は、MRI 磁石開発、超伝導リニア、超伝導送電ケーブルなど様々な機器の開発にも応用が可能です。

お問い合わせ先

極限計測ユニット 強磁場NMRグループ 清水 禎
 ホームページ: NIMS homepage, <http://www.nims.go.jp/jpn>
 メールアドレス: SHIMIZU.Tadashi@nims.go.jp

2. 従来比10倍の耐疲労性を有する制振合金

■ 研究の背景と狙い

建物を地震の被害から守るため、様々な制振・免震技術が開発されている。鋼材の弾塑性変形を利用して、振動を熱に変換して吸収する鋼材系制振ダンパーは、低コスト、メンテナンスフリーで、建物への取り付けも比較的容易であることから、制振・免震技術普及に重要な役割を担っている。近年、長周期・長時間地震動や、大地震後の頻繁な余震の発生を想定して、疲労耐久性に優れた制振ダンパー心材用の制振合金が求められている。

■ 研究の内容と成果

弾塑性変形の繰返しによる金属疲労は、細い針金を何度も折り曲げることで体感できる。針金は次第に固くなり、材質や太さによっては人力でポキリと二つに折ることもできる。このとき針金の内部では、変形に応じた金属結晶の再配列が繰り返されることによって、原子が本来結晶格子を占める位置から変位した格子欠陥の濃度が上昇していく。格子欠陥濃度の上昇は材料を固くし、特に欠陥が高濃度に堆積している箇所からは、微小き裂が発生・成長して疲労破壊の原因となる。

本研究では、変形によって結晶構造が変化する「変形誘起マルテンサイト変態」を活用することで、低サイクル疲労寿命を大幅に改善した Fe-Mn-Si 系の新合金を開発した¹⁾。Fe-Mn-Si 系合金は、鉄系形状記憶合金として開発された材料である。変形すると FCC 構造の γ オーステナイト相から、HCP 構造の ϵ マルテンサイト相が形成し、この状態から加熱すると、 ϵ 相が γ 相に逆変態する際の可逆的な結晶構造変化により外形が回復する。本研究では、変形誘起 ϵ マルテンサイト相の逆変態が、加熱する代わりに圧縮変形することによっても生じることを発見した。図1は Fe-28Mn-5Cr-6Si-0.5NbC 形状記憶合金を用いてこのことを確認した実験の結果である。約3%引張変形後 (a)、およびそこから3%圧縮して元のゼロ歪みの状態に強制的に戻した状態 (b) のそれぞれで、予め鏡面研磨しておいた試料表面を原子間力顕微鏡で観察した。濃褐色のバンド状コントラスト1~5は、板状の ϵ 相が金属結晶粒内に形成されることで表面に生じた起伏を表している (下図は断面プロファイルである)。圧縮するとこれら引張誘起 ϵ 相は消失して断面プロファイルは平坦になる。また、(b) での白色コントラストの非常に幅の小さいバンド組織6~8は、圧縮応力によって誘起された ϵ 相で、引張誘起 ϵ 相とは異なる結晶方位と表面起伏傾斜のため、原子間力顕微鏡像のコントラストが異なっている。

この新しい可逆的な引張圧縮変形メカニズムは、材料中に変形の繰返しによる疲労損傷の蓄積を抑制して耐疲労特性を改善させる。その最適な成分条件は、図2に示すような、鉄系合金の三つの基本結晶構造の相安定性バランスと、規則化された格子欠陥の運動を調べることによって、求めることができる²⁾。

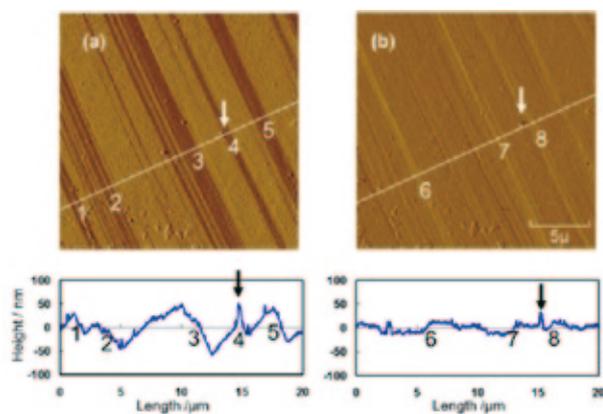


図1 引張誘起 ϵ マルテンサイトの圧縮による逆変態

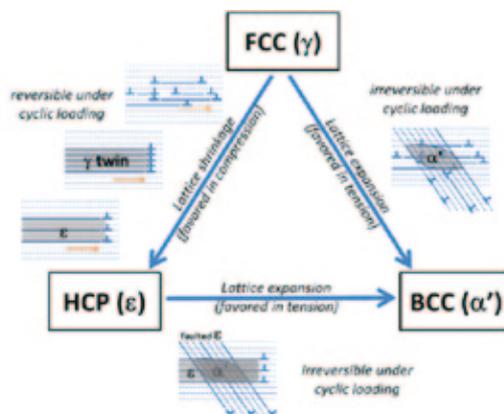


図2 耐疲労特性改善の合金設計図

長周期・長時間地震動対策の新技术

耐疲労特性改善の合金設計指針に基づき、建築用制振ダンパーへの適用を念頭に置いた合金開発が進められた。Fe-Mn-Si系合金は、同様のオーステナイト構造を有するステンレス鋼と成分調整の相性が良く、図2の組織設計指針を組み合わせることで、様々な元素の組み合わせで各種特性をバランスさせた耐疲労合金設計が可能である。本研究では建築分野での応用のため、量産型のアーク電気炉での製造に適した低Mn濃度成分、Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si合金を開発し³⁾、従来の制震鋼の約10倍の低サイクル疲労寿命を達成した(図3)。

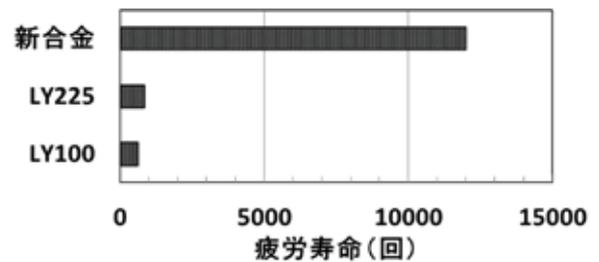


図3 新合金の疲労寿命(ひずみ振幅±1%)

耐疲労性に優れた新合金を用いて、せん断パネル型制振ダンパーが開発された。新型ダンパーは現在建設中の高層ビルにも実装されている。図4はその取り付け状況を撮影したもので、X字型のダンパー部材の中心部に図5のダンパー心材が組み込まれている。建物が地震によって振動すると、ダンパー心材は面内にせん断変形されるように設置され、その際の弾塑性変形ヒステリシスによって建物の振動エネルギーを熱エネルギーに変換して吸収する。板の面外方向の座屈を抑えるためにダンパー心材の前後は、ジグザグの溝で上下に分かれた座屈補剛カバーで覆われている。高層ビルの低層階は階高が高く、水平方向の揺れによるダンパーの変形が大きく、ダンパー心材もより過酷な変形に曝される。新合金はそのような厳しい条件下でも高い耐久性を発揮し、大地震を繰り返し受けてもメンテナンスフリーで使用することが可能である⁴⁾。

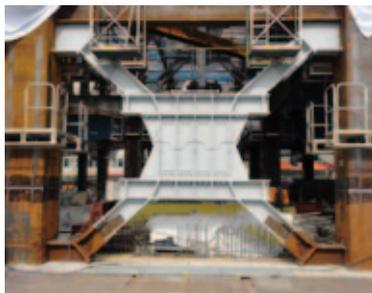


図4 制振ダンパーの取り付け状況

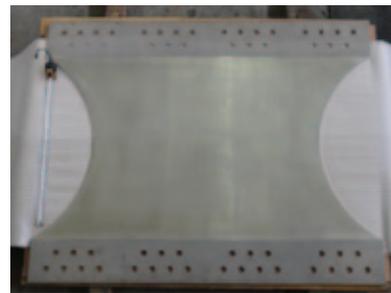


図5 新合金製せん断パネル心材

発表文献

- 1) T. Sawaguchi, P. Sahu, T. Kikuchi, K. Ogawa, S. Kajiwara, A. Kushibe, M. Higashino, T. Ogawa: Scripta Mater 54 (2006) 1885.
- 2) T. Sawaguchi, I. Nikulin, K. Ogawa, K. Sekido, S. Takamori, T. Maruyama, Y. Chiba, A. Kushibe, Y. Inoue, K. Tsuzaki: Scripta Mater 99 (2015) 49.
- 3) 特開 2014-1295674
- 4) 澤口孝宏、櫛部淳道、丸山忠克、津崎兼彰：溶接技術 63 (2015) 77.

期待されるイノベーション

高層ビルのみならず、中低層の建物や橋梁等土木構造物の制振ダンパーにも使用可能である。低サイクル疲労寿命改善の新しい成分・組織設計指針は、歴史的に積み上げられたオーステナイト鋼に関する膨大な知見と組み合わせることができるため、コスト、強度、延性、靱性、耐食性等、用途に応じた特性のベストミックスが設計可能であり、非磁性であるため電磁環境への適用も可能である。広く FCC 金属の長疲労寿命化に適用できる可能性も検討していきたい。

お問い合わせ先

元素戦略材料センター 澤口 孝宏、津崎 兼彰 (九州大学)
メールアドレス: sawaguchi.takahiro@nims.go.jp

3. 超高純度ダイヤモンド

■ 研究の背景と狙い

ダイヤモンド中のカラーセンターは、優れたスピン特性や発光特性を持っており、量子デバイスへの応用が期待されている。これまで、この研究分野は、スピンの長いコヒーレンス時間に加えて、光によるスピンの初期化、読出しが室温で可能な「NV センター」の独壇場となっていた。しかし、NV センターには単一光子源としての発光特性に致命的な欠点があり、光子とスピンとのインターフェイスを基幹とする量子情報ネットワーク化に難題があった。そのため、新しいカラーセンターの探索が求められていた。

■ 研究の内容と成果

1. SiV センター：ダイヤモンドの新しいカラーセンター

ダイヤモンド中の炭素原子2個をシリコン原子1個が置き換えた欠陥は、シリコン-空孔複合欠陥 (SiV センター) と呼ばれている (図1)。負に帯電すると近赤外線 (738 nm) を出すカラーセンターとなり、電子スピン $S=1/2$ をもつ。ダイヤモンドの量子情報に関する研究では、スピン操作性に優れている NV センターの研究が圧倒的に先行している。一方で、NV センターは発光特性に弱点がある。SiV センターは発光がゼロフォノン線に集中し (NV センターでは発光中の4%に対して、SiV センターは70%)、NV センターよりも線幅が極めて狭いという長所を持っているため、新しいカラーセンターとして注目されている。これまでは、ダイヤモンド成長時に Si を極微量 (<0.01ppb) でドーピングする事が難しいため、SiV センターが本来持つ優れた単一光子源の特性を引き出すことができていなかった。

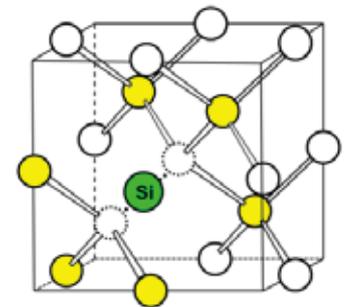


図1 ダイヤモンド中に形成されるSiVセンターの構造図。

2. 超高純度ダイヤモンド結晶成長技術と単一 SiV センターの形成

NIMS では、ダイヤモンドの優れた半導体物性を実証するために、高純度・高品質ダイヤモンド結晶の成長が可能な化学気相成長装置の開発を進めてきた。成長条件を最適化する事で、ダイヤモンド結晶の代表的な不純物である窒素の濃度を、0.1ppb 以下まで低減する事に成功した。本研究では、この超高純度ダイヤモンド結晶成長技術をベースにして、更にダイヤモンド成長時に、シリコンを極微量にドーピングして SiV センターを結晶内に作りこむ新技術を付加する事で、単結晶基板上にダイヤモンド薄膜を成長した。その結果、SiV センターを単一光子源として含む、高純度・高品質ダイヤモンド薄膜を得ることに成功した (図2、3)。尚、単一光子源は、量子鍵配布等の、高い安全性を持つ量子情報通信に不可欠な要素デバイスである。



図2 ダイヤモンド単結晶基板上に成長させた高純度・高結晶性CVD単結晶。SiVセンターを含む高純度ダイヤモンド膜の厚さは20 μ mと厚く、結晶表面の平滑性が高い。

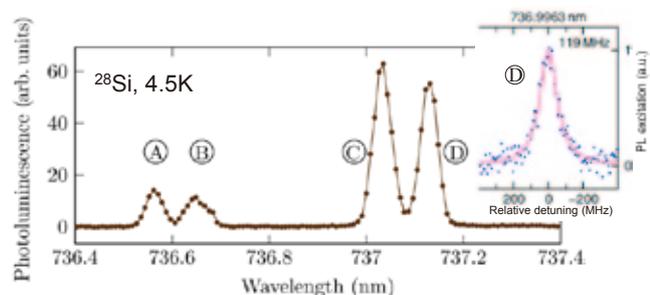


図3 高純度・高結晶性CVDダイヤモンド単結晶中のSiVセンターのフォトルミネッセンススペクトル。PLEスペクトル (挿入図) では、ほぼ励起状態の寿命のみで決まる線幅 (119MHz) が得られている。

量子情報応用への新しいスターの誕生

3. 径路を識別できない光子の発生

孤立した原子・分子とは違い、固体中に形成された単一光子源では、結晶歪や残留不純物が単一光子源の周囲環境を変えてしまう。その結果、個々の単一光子源から放出されるゼロフォノン線の波長が変調されてしまい、発光特性の再現性に問題が生じることが知られている。そのため、光量子コンピュータや量子テレポーテーションに必須である、2つの光子間での量子もつれ合い（エンタングルメント）を、固体中の互いに離れた位置にある単一光子源で実証することは、至難であった。

本研究では、ダイヤモンド結晶を高純度化・高品質化させることで、周辺環境を歪ませる不均一性の要因を低減した。その結果、固体中に形成された単一光子源としては稀な、径路を識別できない光子の発生に成功した（図4、5）。環境のばらつきによらない同一の周波数・線幅・偏光特性をもち、しかも安定に持続して発光する単一光子源として、SiV センターは今後、より注目されていくことが予想される。

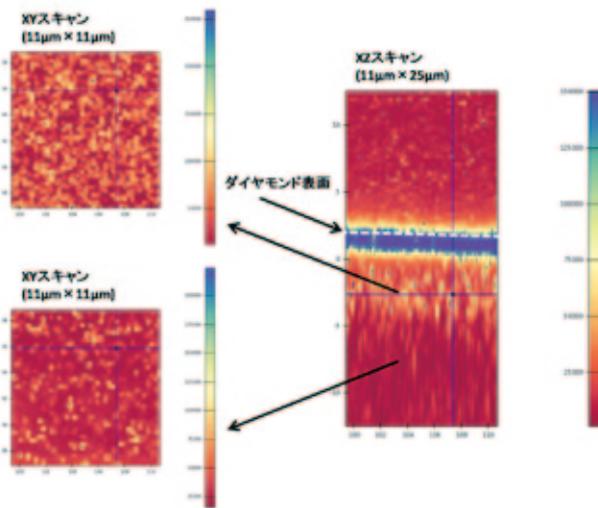


図4 高純度・高結晶性ダイヤモンド中に形成されたSiVセンターの発光像（共焦点顕微鏡イメージ、532 nm励起）。
（左）結晶面内、（右）結晶断面

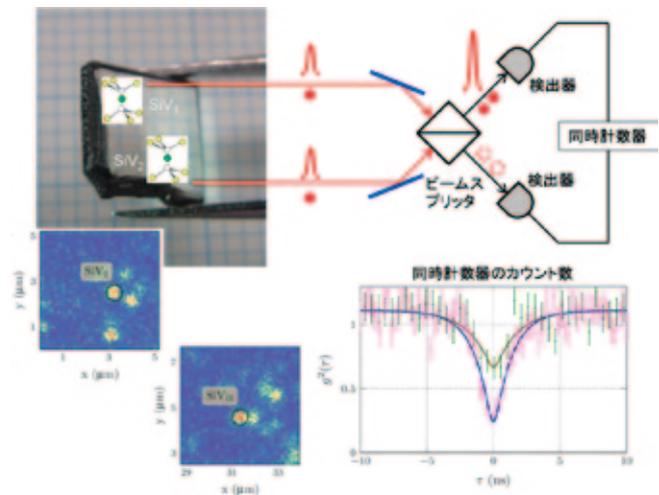


図5 異なる2つのSiVセンター単一光子源から発生された光子が、識別できないことを示す図

発表文献

- 1) L.J. Rogers, K.D. Jahnke, T. Teraji, L. Marseglia, C. Müller, B. Naydenov, H. Schauffert, C. Kranz, J. Isoya, L.P. McGuinness and, F. Jelezko: Nature Communications, 5 (2014) 4739.
- 2) A. Sipahigil, K.D. Jahnke, L.J. Rogers, T. Teraji, J. Isoya, A.S. Zibrov, F. Jelezko, and M.D. Lukin : Phys. Rev. Lett. 113 (2014) 113602.

期待されるイノベーション

異なる単一光子源からの識別できない光子の発生は2つの光子の量子もつれ合い（エンタングルメント）生成に不可欠であり、光量子コンピュータや量子テレポーテーションに新しい展開をもたらす。今後は、SiV センターの作製・制御に関する研究が進み、スピン量子ビット機能の実証を通して、スピンと光子とのインターフェイスが重要な量子中継器、量子テレポーテーション、量子ネットワークの応用へと研究が展開していくことが期待される。

お問い合わせ先

光・電子材料ユニット 寺地 徳之
ホームページ：NIMS homepage, <http://www.nims.go.jp/jpn>
メールアドレス：TERAJI.Tokuyuki@nims.go.jp

4. 巨大分子の第一原理シミュレーションの実現

■ 研究の背景と狙い

量子力学に基づく第一原理シミュレーションは物質・材料の様々な現象を原子・電子レベルで明らかにできる強力な手法であるが、従来手法では計算できる系のサイズに限りがある。我々はオーダー N 法という大規模計算手法を開発することにより、数万以上の原子を含む巨大分子系や実材料における複雑な表面・界面で起こる現象に対して第一原理シミュレーションを実現可能とする。

■ 研究の内容と成果

量子力学にもとづく第一原理電子状態計算は、実験結果を必要とせずに、原子の種類と位置を入力パラメータとして原子間に働く力が高精度で計算されるので、現実にはまだ存在しない物質に対しても信頼性の高いシミュレーションが可能である。しかし、第一原理計算には複雑かつ大規模な数値計算が必要である。また、従来の手法ではシミュレーションが行われる系のサイズが大きくなり、含まれる原子数 N が増加すると計算量が N の 3 乗に比例して急激に増加するために、計算できる系のサイズが極めて小さく、殆どの第一原理シミュレーションは数百原子程度までの系に限られている。

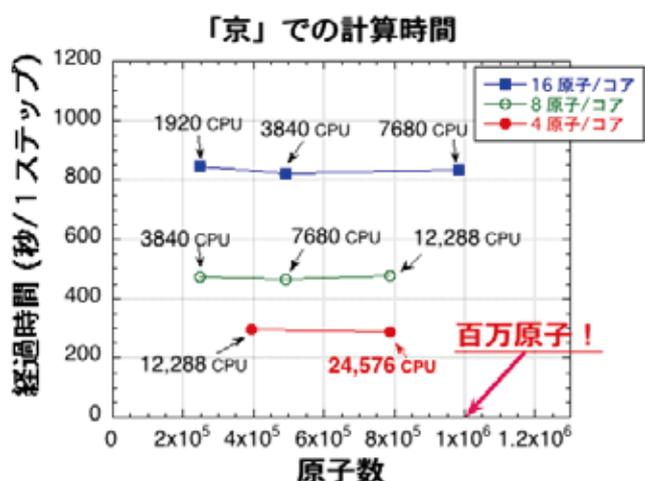
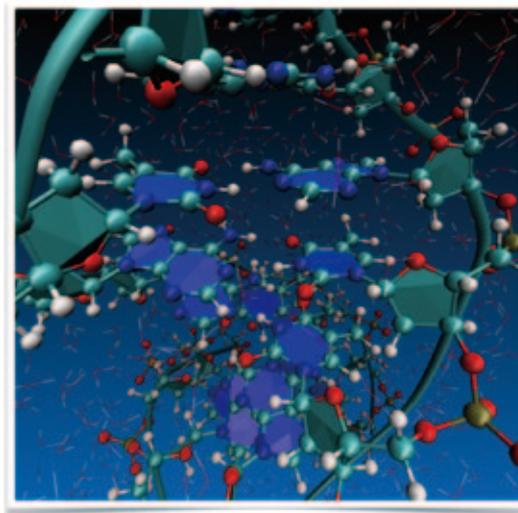


図1 開発しているオーダー N法第一原理計算プログラムの「京」(1CPU=8コア、写真)での計算時間。計算はシリコン系に対するもので横軸は原子数を示す。百万原子系の計算が可能となっている。オーダー N法であり、かつ並列化効率が理想的(2倍のCPUで2倍の計算量)なので、原子数が2倍になっても2倍のCPUを使えば計算時間が変わらないことが分かる。

第一原理計算におけるサイズの問題を克服するために、我々は、オーダー N 法第一原理計算プログラム CONQUEST を開発してきた。オーダー N 法は電子状態の局所性を利用することにより、 N に比例する計算量で電子状態を計算する方法であり、大規模系に有利な計算手法である。プログラムの並列化効率も高く、理化学研究所計算科学研究機構のスーパーコンピュータ「京」のような大規模計算機を用いれば、百万原子系に対する電子状態計算も可能となってきている。(図1)

図2 本研究における計算手法を用いて行った、水溶液中のDNAに対する第一原理シミュレーションによるスナップショット構造。(理研との共同研究)



従来に比べ2桁以上大きな原子数を扱う

さらに最近、大規模・長時間の分子動力学を安定して行う新しい技術をオーダー N 法に導入することにより、巨大な系に対しても高精度の第一原理シミュレーションが可能となった。その結果、「京」や東京大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ FX10 を用いる事によって、従来を2桁ほど上回る 3万原子 を越える巨大系に対して第一原理シミュレーションを実際に行うことに成功した。

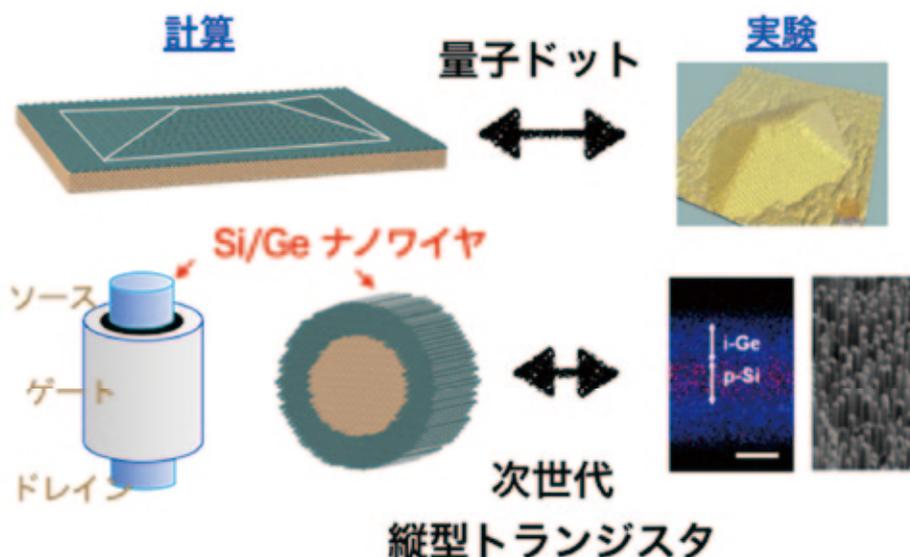


図3 計算によって得られたシリコン(001)表面上のゲルマニウム3次元島構造の最適化構造(上図左)と実験構造(上図右)。Si/Geコアシェルナノワイヤで計算に用いられた構造モデル(下図左)と実際にNIMS 深田グループで作製されたSi/GeナノワイヤのTEM像とSEM像(下図右)。

本研究で開発された大規模シミュレーション手法を用い、今後、周りの環境(水溶媒、細胞膜など)を含めた巨大生体分子(図2)やナノ構造物質(図3)における分子やイオン、原子、そして電子の振る舞い、さらに実材料に存在する複雑な表面や界面における欠陥や不純物の制御方法等を第一原理シミュレーションにもとづいた理論研究で明らかにし、高性能材料、次世代デバイスの開発に貢献していく予定である。

発表文献

- 1) M. Arita, D. R. Bowler and T. Miyazaki: J. Chem. Theory Comput. **10** (2014) 5419.
- 2) M. Arita, S. Arapan, D. R. Bowler and T. Miyazaki: J. Adv. Simulat. Sci. Eng. **1** (2014) 87.
- 3) D. R. Bowler and T. Miyazaki: J. Phys. Condens. Matter **22** (2010) 074207.
- 4) A. Nakata, D. R. Bowler and T. Miyazaki: J. Chem. Theory Comput. **10** (2014) 4813.

期待されるイノベーション

実材料における複雑な表面・界面で起こる現象に対する高精度第一原理シミュレーションが可能になったことにより、様々な材料(次世代デバイス、環境エネルギー材料、構造材料、生体材料等)における理論計算主導の材料開発が実現することが期待される。

お問い合わせ先

理論計算科学ユニット 宮崎 剛、MANA D. R. Bowler (UCL, UK)
 ホームページ: http://www.nims.go.jp/group/g_first-principles-simulation
 メールアドレス: MIYAZAKI.Tsuyoshi@nims.go.jp

5. 分子の自己組織化を制御

■ 研究の背景と狙い

分子が自発的に集合し、高次の構造を形成するプロセスは、「自己組織化」と呼ばれ、省エネルギー的に新材料を合成する手法として注目を集めている。しかしながら、自己組織化のプロセスは、いわば「分子まかせ」であり、制御することが非常に困難であった。

本研究では、自己組織化によって合成される「超分子ポリマー」について、その成長過程を制御し、望みの長さの超分子ポリマーを合成することに世界で初めて成功した。

■ 研究の内容と成果

1. 背景と課題

分子が自発的に組織化する現象（自己組織化）は、優れた分子機能を有する「超分子ポリマー」を合成するための極めて重要なプロセスである。しかし、この過程は自発的に進行してしまうため、意図的に制御することが難しかった（図1）。既存の高分子合成の場合、「リビング重合」と呼ばれる手法を使えば、合成されるポリマーの長さ（分子量）を精密に制御することが可能で、産業界で広く利用されている。ポリマーの長さは、材料の物性を決定づけるもっとも根本的な構造因子である。しかしながら、分子の自己組織化を利用して超分子ポリマーを合成する際にはそのような手法は存在していなかった。

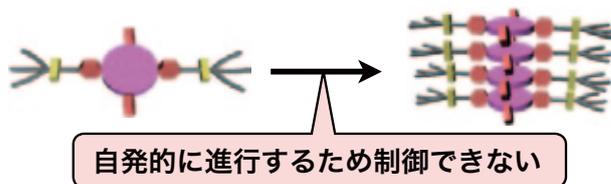


図1 一般的な自己組織化による「超分子ポリマー」の形成過程。分子が自発的に集合するため、その長さを制御することは不可能と考えられていた。

2. 自己組織化を2段階で進めるアイデア

通常の自己組織化では、分子が分散した状態から組織化した状態へと1段階で収束する（図1）。一方、今回新しく設計した分子の場合、2種類の自己組織化（図2のAとB）が可能であり、これらが互いに影響を及ぼし合うことを発見した。組織化Bによって超分子ポリマーが得られるが、組織化Aがこのプロセスと競合し、超分子ポリマーの成長を阻害する。結果として、2種類の自己組織化AおよびBのバランスが、超分子ポリマーの成長開始や進行速度を決定する。

今回発見した自己組織化

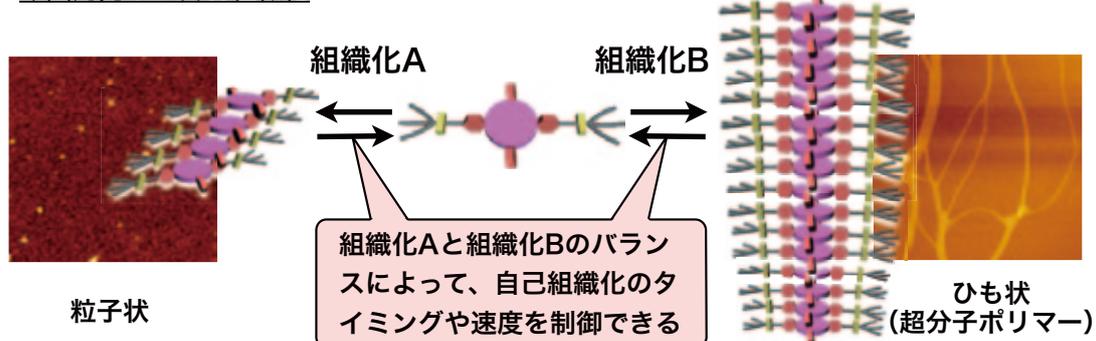


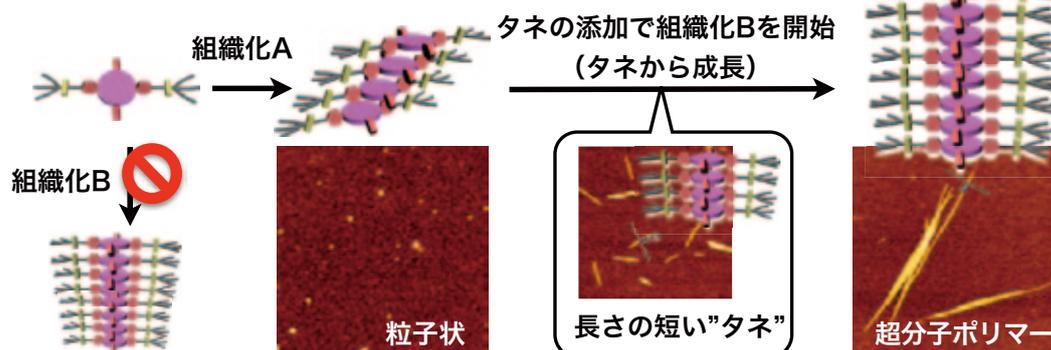
図2 今回発見した自己組織化。準安定な自己組織化(A)と最安定の自己組織化(B)を組み合わせることによって、自発的に起こるプロセスを制御することができた。

高分子・ナノテク材料の新合成法

3. 超分子ポリマーの長さの制御

前述の現象を利用すれば、組織化 B によって形成される超分子ポリマーの長さを制御できる。図 3 (a) に示す通り、今回用いた分子は、まず組織化 A によって粒子状の集合体を形成する。ここに、別途調整した超分子ポリマーのタネを添加すると組織化 B が開始される (図 3 (a))。最終的に得られる超分子ポリマーの長さは、タネの添加量によって制御することができた (図 3 (b))。

(a) 今回成功した超分子ポリマーのリビング重合



(b) 超分子ポリマーの長さの制御

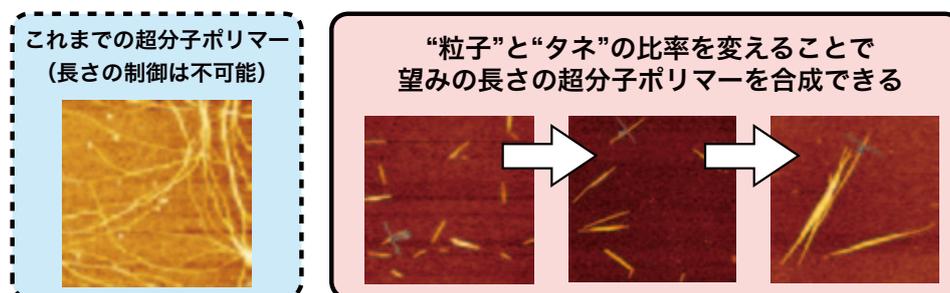


図 3 (a) 組織化 A の状態に、超分子ポリマーのタネを添加することによって、組織化 B を開始できる。
(b) タネの添加量で超分子ポリマーの長さが規定される。

発表文献

- 1) S. Ogi, K. Sugiyasu, S. Manna, S. Samitsu, M. Takeuchi: Nature Chem. 6 (2014) 188.
- 2) S. Ogi, T. Fukui, M. L. Jue, M. Takeuchi, K. Sugiyasu: Angew. Chem. Int. Ed. 53 (2014) 14363.
- 3) 杉安和憲、大城宗一郎、竹内正之：高分子 39 (2004) 115.

期待されるイノベーション

自然界に見られる複雑な構造や機能は、自己組織化によって形成されている。本研究は、自己組織化を利用した物質・材料の精密合成法に関して新しい可能性を示した。本手法のコンセプトは極めて根本的であり、ナノテク材料や生体材料など、幅広い材料合成に応用できる。

お問い合わせ先

高分子材料ユニット 杉安和憲、竹内正之
ホームページ：http://www.nims.go.jp/macromol/
メールアドレス：SUGIYASU.Kazunori@nims.go.jp

6. 表面原子層超伝導体でジョセフソン量子渦を観測

■ 研究の背景と狙い

最近、シリコン表面上で原子層レベルの厚さしかもたない2次元超伝導体が発見され、大きな注目を集めている。このような系では基板表面に存在する原子ステップが超伝導特性に大きな影響を与えると考えられる。今回、走査トンネル顕微鏡を用いてジョセフソン量子渦を観測し、その直接的な証拠を得ることに初めて成功した。

■ 研究の内容と成果

シリコン清浄表面に原子レベル厚さのインジウム原子が長周期配列してできたSi(111)-($\sqrt{7} \times \sqrt{3}$)-In表面超構造は、約3Kで超伝導転移を起こすことがNIMSの研究者達によって、最近明らかになった(文献1,2)。これまで理想的な2次元電子系は超伝導状態にならないと一般に信じられていたので、多くの研究者にとってこれは大きな驚きであった。表面原子層超伝導体の特徴として、物質表面の欠陥、特に表面原子ステップの存在がその特性に大きな影響を与えることがあげられる。これは、伝導電子の存在領域が最表面原子層付近に集中し、巨視的な物性が表面敏感となるからである。実際、電気伝導測定の結果から、超伝導臨界電流は原子ステップで制限されていることが示唆されていた(文献1、2011年度NIMS研究成果)。今回、極低温走査トンネル顕微鏡(STM)を用いて、表面原子層超伝導体に発生する量子渦を観測することで、その直接的な証拠を得ることに初めて成功した(文献3)。

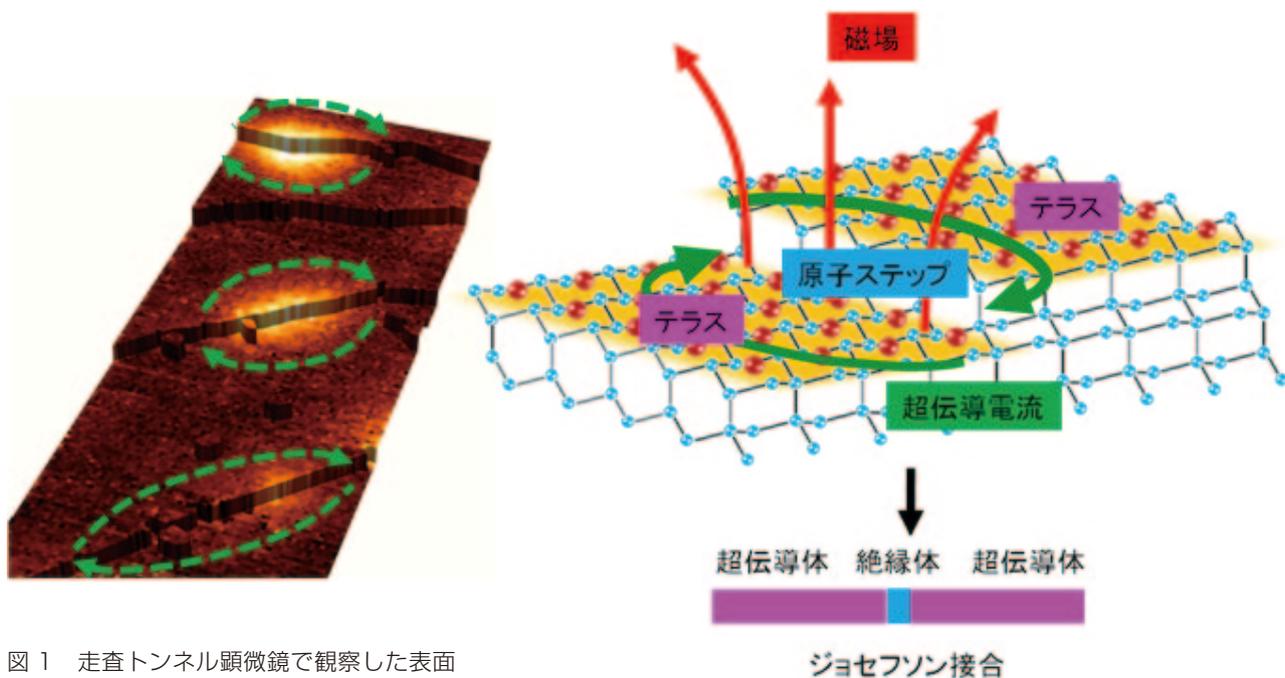


図1 走査トンネル顕微鏡で観察した表面原子層超伝導体の3次元表示。図の高さは試料の高さ情報に、明るさは試料の局所電子状態密度にそれぞれ対応する。段差になっている原子ステップの近傍で明るくなっている領域に超伝導量子渦が存在している。

図2 表面原子層超伝導体と原子ステップの模式図。超伝導状態になったテラス(平坦領域)と原子ステップで、ジョセフソン接合を形成する。図は、磁場を加えると原子ステップにまたがって超伝導電流が渦状に流れ、ジョセフソン量子渦を形成することを示す。

原子スケール超伝導デバイスに道

図1は、磁場を印加した後、微分コンダクタンス測定モードで観測したSi(111)-($\sqrt{7}\times\sqrt{3}$)-In表面のSTM像である(高さ方向はSTMで得られた形状情報に対応する)。段差として観測されている原子ステップに沿って明るい領域が見られるが、これは原子ステップに捕捉された超伝導量子渦である。ここでは、超伝導電流が渦状に流れていてその中心で超伝導状態が抑制されるため、準粒子励起によって状態密度が大きくなり、像として明るく見えている。これらの量子渦において、1) その形状がステップ方向に引き延ばされている、2) 渦中心で超伝導の抑制が弱くなっている、という異常が発見された。これは、図2に示すように超伝導渦電流が原子ステップを超えて流れるためであり、そこで超伝導電流が制限されることに起因する。すなわち、原子ステップがジョセフソン接合として働くことを明瞭に示しており、結合の弱いステップではジョセフソン量子渦が形成されている。この実験結果は、微視的な理論に基づいた数値計算によっても見事に再現され、その解釈の正しさが証明された(図3)。

このような特異な状態は銅酸化物高温超伝導体などでも知られていたが、渦中心の電子状態の直接観測はこれが世界で初めてである。本研究は、東京大学物性研究所の長谷川研究室との共同研究である。

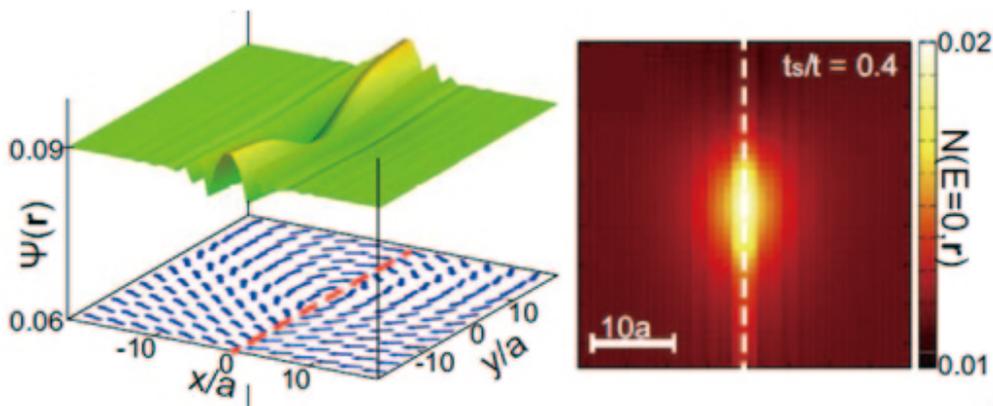


図3 微視的な理論によって得られた超伝導量子渦の計算結果。左は超伝導状態の秩序パラメータを、右はフェルミ準位での局所電子状態密度を表す。但し、 t_s は原子ステップでの電子遷移エネルギーを示すパラメータである。

発表文献

- 1) T. Uchihashi et al., Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 207001 [Editors' Suggestion and Featured in *Physics*].
- 2) T. Uchihashi et al., Nanoscale Res. Lett. **8** (2013) 167.
- 3) S. Yoshizawa et al., Phys. Rev. Lett. **113** (2014) 247004 [Editors' Suggestion and Featured in *Physics*].

期待されるイノベーション

本研究は、表面原子ステップを利用して、超伝導デバイスに不可欠なジョセフソン接合を大量にしかも安価に作製できることを示している。今後は、表面原子層超伝導体の成長を精密に制御することによって、超伝導デバイスへの応用を目指していく。

お問い合わせ先

ナノ機能集積ユニット 内橋 隆
 メールアドレス: UCHIHASHI.Takashi@nims.go.jp
 ナノ物性理論ユニット 胡 暁
 メールアドレス: HU.Xiao@nims.go.jp

7. ナノシートとグラフェンとのヘテロ集積材料

■ 研究の背景と狙い

層状複水酸化物 (LDH) はアニオンクレイとも呼ばれ、古くより盛んな研究が行われているが、そのほとんどは Mg-Al 系の機能的には不活性な化学組成に集中していた。そこで我々は様々な機能性の起源となる遷移金属 (Fe, Co, Ni 等) を層状複水酸化物に導入し、続いてソフト化学反応により層 1 枚にまでバラバラに剥離してナノシートの合成を達成した。本研究では、LDH ナノシートが正電荷を持つカチオン性ビルディングブロックとして働き、グラフェンや酸化物ナノシートに代表される多くの負に帯電したアニオン性機能ブロックと組み合わせて集積化、複合化できることに着目して、特異な機能性材料の創製を目指した。

■ 研究の内容と成果

1. 本研究のイメージ

現在、原子・分子レベルの厚さとバルクレンジの横サイズを特徴とする 2 次元ナノ物質 (グラフェン、ナノシート) が大きくクローズアップされている。その中、水酸化物ナノシートは正に帯電した希少な 2 次元物質であり、負電荷をもつ酸化グラフェンと静電的相互作用により交互に積層して複合化することが可能と考えられる。

遷移金属水酸化物ナノシートをグラフェンと分子レベルで交互に接合することによって、ナノシートのレドックス

活性とグラフェンの高導電性を協奏的に混成させ、エネルギー貯蔵・変換の新技术開発に新しい可能性をもたらすと期待できる。具体的には、ナノシート中の遷移金属のレドックス反応に由来する巨大ともいえる電気化学擬似容量が得られるとともに、グラフェンの高導電性により電子輸送の効率を大幅に向上する利点が見込まれる。実際本研究により、現行の性能を大幅に上回るスーパーキャパシタの実現や貴金属を代替できる安価かつ高性能な電極触媒の開発などにおいて非常に有望であることが示された。

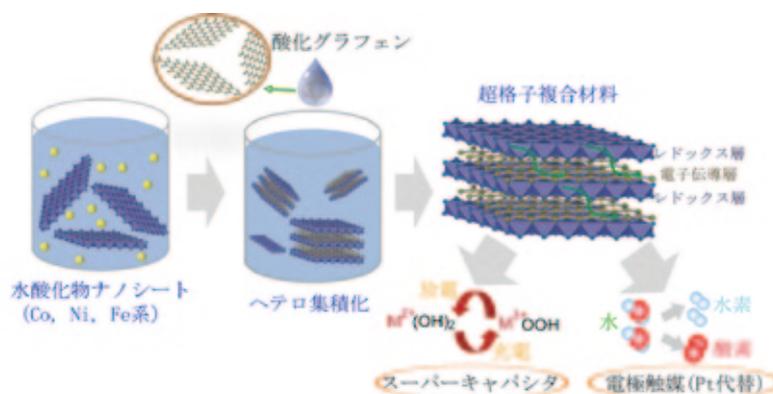
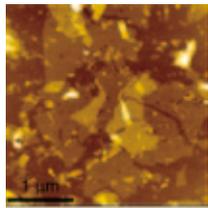
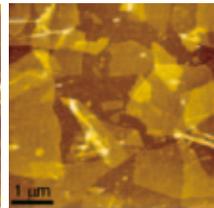


図1 本研究のイメージ

a LDHナノシート



b rGOナノシート



c ヘテロ集積材料のX線回折データ

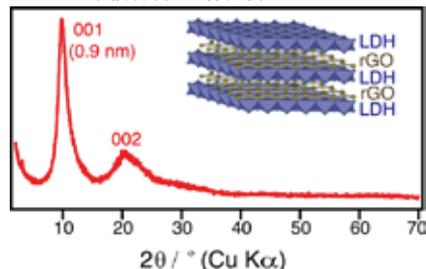


図2 ナノシート同士のヘテロ集積化

2. ヘテロ積層複合材料の開発

新規合成した層状複水酸化物をソフト化学的処理により単層剥離し、 $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Co}^{2+} - (\text{Ni}^{2+}) - \text{Co}^{3+}$ 、 $\text{Ni}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$ など多様な金属組成を持つ LDH ナノシートを誘導することに成功した。図 2a に作製した LDH ナノシートの原子間力顕微鏡写真を例示する。ミクロンの横サイズに対し、ナノシートの結晶学的厚みはわずか 0.48 nm である。

その一方、酸化グラファイトを単層剥離することにより酸化グラフェン (GO) を合成した後、化学還元処理を施し、導電性の還元グラフェン (rGO) を得た。図 2b に作製した rGO ナノシートの原子間力顕微鏡写真を例示する。同じくミクロンの横サイズに対し、厚みはおおよそ 0.4 nm である。

異種電荷を持った rGO と LDH ナノシートのコロイド溶液を直接混合し、羊毛状の沈殿物が得られた。図 2c に示されるように、複合体の層間距離は約 0.9 nm であり、その繰り返し周期が二つの異なるナノシートの厚みの合計値 ($0.48 + 0.4 = 0.88 \text{ nm}$) とよく一致する。これは、ナノシート同士が交互に積層し、人工超格子材料が形成できたことを強く示唆する。

次世代スーパーキャパシタや電極触媒の開発に向けて

3. スーパーキャパシタへの応用

LDH/rGO ヘテロ集積材料をスーパーキャパシタの電極として用いると、遷移金属水酸化物ナノシートのレドックス活性に由来する擬似容量とグラフェンの高比表面積をに基づく電気二重層容量が付加され、比容量はグラフェン単体の電気二重層容量 (約 100 F/g) の約 6 倍である最大 650 F/g まで増大することが分かった (図 3)。しかも、数秒で充放電可能という優れた出力特性を有することが確認された。これは、表面原子のみから構成されていると言えるナノシートやグラフェンを分子レベルで交互に接合することで、グラフェンが集電層として働き、イオン拡散や電荷移動の距離が極限まで短くすることができ、そのハイブリッド効果で高性能をもたらしたためと考えられる。

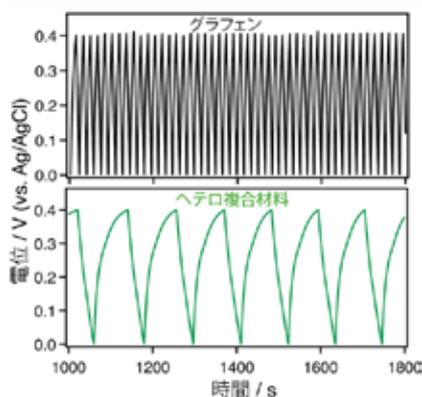


図3 スーパーキャパシタの電極材料としての充放電特性の比較

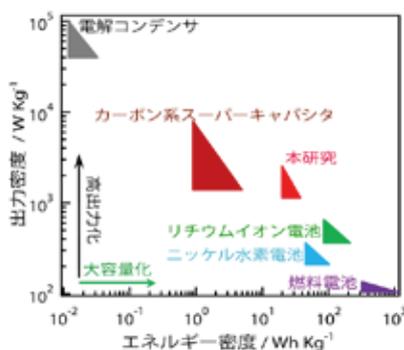


図4 各種エネルギーデバイスにおける本研究の立ち位置

図 4 に示されるように、このヘテロ集積材料では高い電気容量と急速充放電特性を両立させることに成功し、現行の性能を大幅に上回るスーパーキャパシタの実現に向けて大きな前進を得た。このヘテロ集積化アプローチをさらに活用することによって、エネルギー貯蔵デバイスの大容量化・高出力化に向けて弾みがつくことが期待される。

4. 貴金属代替電極触媒への応用

LDH/rGO ヘテロ集積材料を電極触媒として水の電気分解による酸素発生反応を調べたところ、図 5 に示されるように、酸化グラフェンは触媒活性を殆ど示さないのに対し、Ni-Fe LDH/rGO 複合材料は極めて高い活性を示し、酸素発生を効率的に促進することが分かった。LDH ナノシートの組成チューニングや超格子構造の最適化などにより機能アップを目指した結果、過電圧を非常に小さな値に抑えることができた。そのため反応を進行させるために必要な電圧が非常に小さく抑えられ、単三乾電池 (1.5 V) 一本だけで水の電気分解が可能となることを初めて実証した。

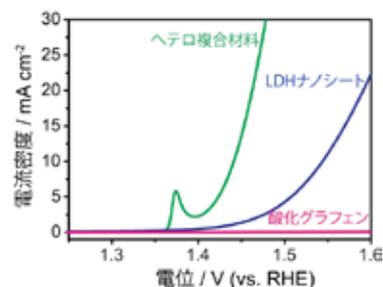


図5 酸素発生反応における電極触媒特性としての比較

発表文献

- 1) W. Ma, R. Ma, C. Wang, J. Liang, X. Liu, K. Zhou and T. Sasaki: ACS Nano 9 (2015) 1977.
- 2) R. Ma, X. Liu, J. Liang, Y. Bando and T. Sasaki: Adv. Mater. 26 (2014) 4173.
- 3) 特開 2014-077997

期待されるイノベーション

本研究は、環境にやさしいウェットプロセスにより機能ビルディングブロックとしての 2 次元ナノシートを分子レベルで組合せ、複合化することによって、個々の特性を協奏的に混成させ、高度なハイブリッドデバイスの構築が可能にする新しいナノテクノロジー (ソフトケミカルナノアーキテクニクス) である。このヘテロ集積化プロセスを活用することにより、次世代スーパーキャパシタや貴金属代替電極触媒などの重要な技術課題に基礎、応用の両面で貢献することが期待される。

お問い合わせ先

ソフト化学ユニット 馬 仁志
 ホームページ: NIMS homepage, <http://www.nims.go.jp/softchem>
 メールアドレス: ma.renzhi@nims.go.jp

8. 植物細胞内のセシウムの可視化

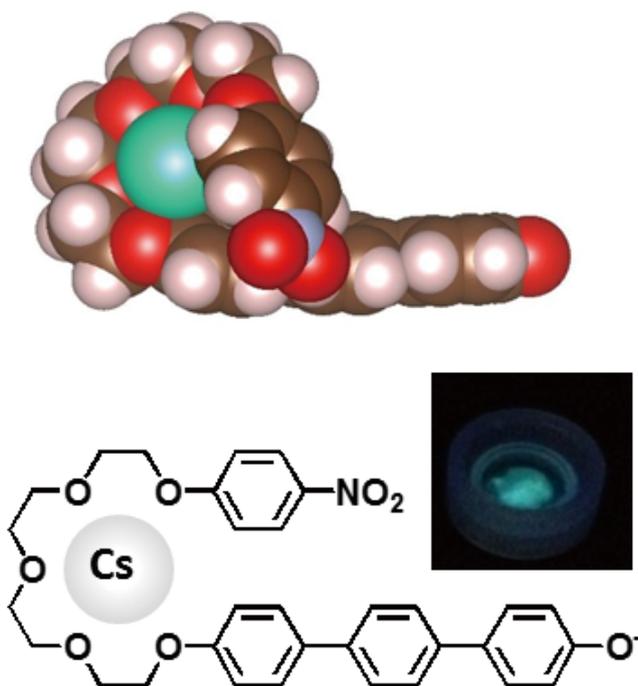
■ 研究の背景と狙い

東日本大震災に伴う福島第一原発事故以来、放射性セシウムの効果的な検出法と除染法の開発が要求されている。ここでは、セシウム粒子の検出法と、植物内におけるセシウムのマイクロメートルサイズのイメージングを目的とした研究を行った。

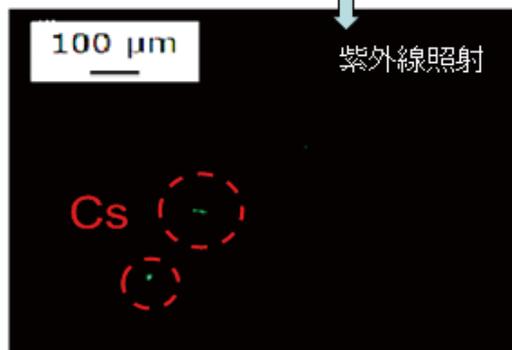
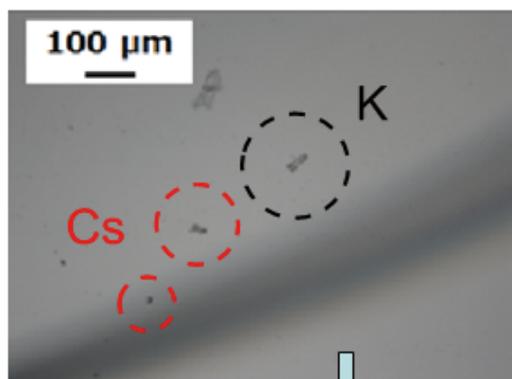
■ 研究の内容と成果

われわれの研究グループでは、超分子科学の研究に基づいて、セシウム塩に反応する蛍光プローブ「セシウムグリーン」を開発してきた。セシウムグリーンは、図1に示すように蛍光団としてターフェニル、配位サイトとしてエチレングリコール鎖を有する構造をしている。セシウムグリーンのメタノール溶液は、炭酸セシウムに反応して緑色（505 nm）の蛍光を発した。また、髪の毛以下のスケールでの炭酸セシウムの識別と検出に成功した。

1. セシウム粒子の検出



開発したセシウム蛍光指示薬セシウムグリーン
セシウム(Cs)にフィットし、緑色の蛍光を発する



セシウムグリーン溶液噴霧後、紫外線
をあてれば、髪の毛より小さいセシウム
塩の粒が緑色に光って見える

図1 セシウムグリーンと炭酸セシウムへの応答
セシウムグリーンメタノール溶液を炭酸セシウムに塗布すると、緑色の蛍光を発し、蛍光顕微鏡によってマイクロメートルオーダーの粒子の検出に成功した。

植物を使ったセシウム除染法への期待

2. 植物内におけるセシウムのマイクロメートルオーダーの検出

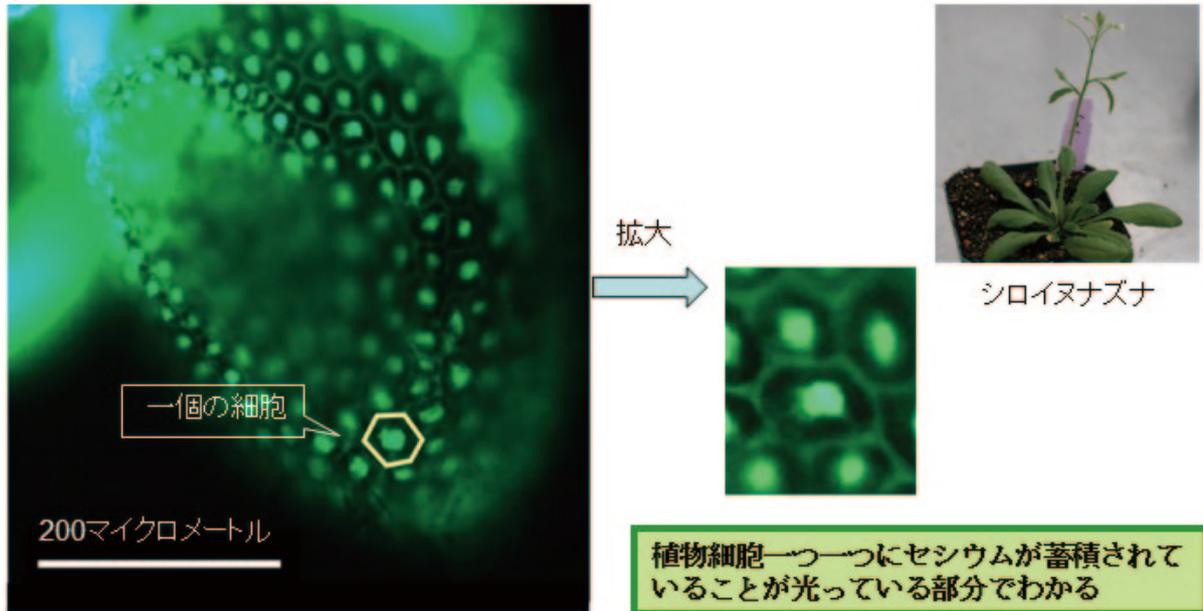


図2 セシウムグリーンによる高濃度セシウム下で培養したシロイヌナズナのイメージング

植物内のセシウムを可視化するために、乾燥したシロイヌナズナの子葉にセシウムグリーンのメタノール溶液を塗布して、蛍光顕微鏡下でイメージングを行った。植物の細胞内に局在して緑色蛍光が観察された。マイクロメートルオーダーのセシウムイメージングに応用した。

発表文献

- 1) T. Mori, M. Akamatsu, K. Okamoto, M. Sumita, Y. Tateyama, H. Sakai, J.P. Hill, M. Abe and K. Ariga: Sci. Tech. Adv. Mat. **14**, (2013), 015002.
- 2) M. Akamatsu, H. Komatsu, T. Mori, E. Adams, R. Shin, H. Sakai, M. Abe, J.P. Hill and K. Ariga: ACS Appl. Mater. Interfaces **6**, (2014), 8208.
- 3) 日本経済新聞 14 面 (2014 年 6 月 17 日) など紙面 11 件に掲載, NHK ニュースに報道

期待されるイノベーション

セシウムのマイクロメートルサイズのイメージング法は、既存の放射線測定では到達できない分解能であり、植物のマイクロメートルオーダーのセシウムイメージングによって植物のセシウム吸収の理解と植物を用いた除染法の開発への期待ができる。

お問い合わせ先

MANA 超分子ユニット 小松広和、中西和嘉
 ホームページ: <http://www.nims.go.jp/super/HP/home.htm>
 メールアドレス: KOMATSU.Hirokazu@nims.go.jp,
 NAKANISHI.Waka@nims.go.jp

トピックス 構造材料研究拠点

目的

構造材料は社会基盤を形作る様々な構造物に使われ、長期に渡り安定して性能を発揮する事が要求される場合が多い。従って耐食性、耐疲労特性、クリープ特性など長期に渡る信頼性が要求される。一方で橋梁、トンネル、鉄道、高速道路など我が国のインフラ構造物の多くは高度経済成長期に造られたもので老朽化が著しく大きな社会リスクとなっており、既にいくつかの重大事故が発生しているのは良く知られている。また地震大国の日本では人口の集中する大都市圏を大型地震が襲う懸念もあり、災害に強い強靱な国土を形成する必要が叫ばれている。さらに火力発電プラントなどエネルギー関連設備の耐熱性、耐久性の向上や高効率化によるエネルギー利用の高効率化、自動車、航空機などの輸送機器の軽量化、耐久性向上も喫緊の課題であり、産業分野における我が国の国際競争力を維持するためにも重要である。

これらの課題に対応するため、物質・材料研究機構では2014年10月1日に構造材料研究拠点（以下、拠点）を組織するとともに、拠点内に構造材料つくばオーブンプラザ（Tsukuba Open Plaza for Advanced Structural Materials, 略称 TOPAS）を設置した。構造材料研究拠点には構造材料の知の拠点たるべく、金属、セラミックス、複合材料などを専門とする研究者、エンジニア約100名を結集した。またTOPASは、イノベーション創出のための異分野融合研究のインキュベーション場として、機構の研究者に加え他研究機関、大学、企業からも参画を募り、構造材料に関わる研究活動、標準化活動、情報交流活動、人材育成活動等を行うための全く新しい仕組みである。

構造材料研究拠点の体制と運営

構造材料研究拠点のNIMS研究者は6つのラボと1つのファウンドリに組織されている。社会空間材料、輸送機材料、エネルギー材料の3つのラボはそれぞれ、社会インフラ構造物、自動車・航空機などの輸送機器材料、発電プラントなどのエネルギーインフラ、航空機エンジンなどに使われる高温材料の開発と高信頼性化の研究を行う。また材料信頼性ラボでは高温、極低温環境を含む実環境下での構造材料の信頼性評価とその向上に関する研究開発を行う。材料の出口を意識した上記4つのラボに加え、基盤技術ラボ、基礎科学ラボでは各種構造材料に共通するプロセス・評価技術の開発・高度化や、分析手法の開発や計算科学を活用した材料設計ならびに原理解明に向けた研究を行う。さらに構造材料ファウンドリでは、構造材料研究に必要な素材作製・加工、および材料信頼性及び規格・基準策定にて必要な長期材料データ取得とデータベース化を行う。

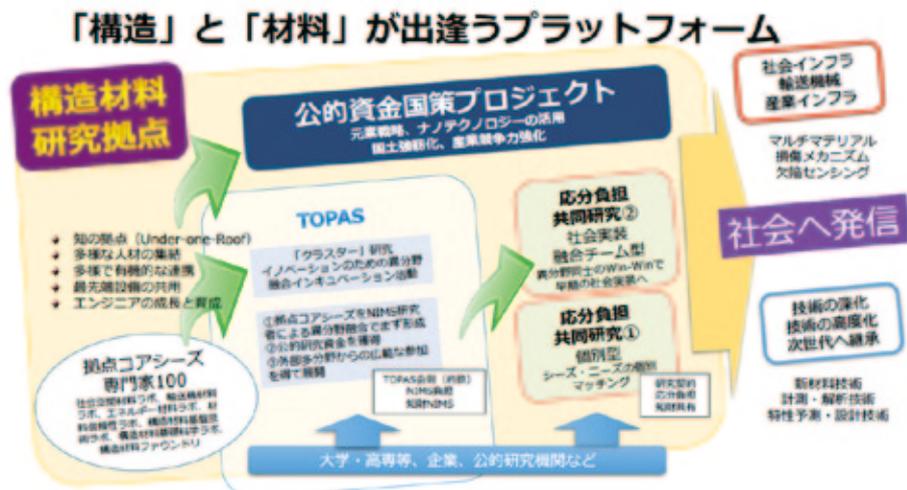


図1 構造材料研究拠点の組織と機能

この様に NIMS における構造材料の知的基盤と人材、最先端設備を拠点に集結させることで、多様かつ有機的な連携を図り、公的資金による国策プロジェクトを遂行するとともに、革新的な研究シーズの継続的な創出や、開発技術の異分野連携による早期社会実装を計るなど、研究成果を迅速に社会に発信するとともに、次世代の構造材料研究を世界的にも牽引する人材の育成を計る。(図1参照)

構造材料つくばオープンプラザ (TOPAS)

TOPAS は構造材料研究拠点に設置されたオープンイノベーション推進体であり、企業、大学、他研究機関の構造材料研究者、技術者らが分野や組織の枠組みを超えて連携して研究を行うためのプラットフォームである。特定の研究テーマについて機構および外部研究者・技術者が集結する“クラスター”を形成して融合研究を行う。企業等の外部組織は TOPAS に会員として登録し、個々の研究者、技術者を TOPAS アソシエイトとして登録する。TOPAS アソシエイトはオープンプラザ研究員として機構に登録され、機構の有する先端解析装置群などの研究インフラを利用する事ができる。またクラスターには必要に応じてより絞り込んだ研究テーマに特化したサブクラスターを設定する事もできる。

クラスターの一例としてインフラ構造材料クラスターの概略を図2に示す。このクラスターは戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) における研究課題“インフラ維持管理・更新・マネジメント技術”の開発テーマ“インフラ構造材料研究拠点の構築による構造物劣化機構の解明と効率的維持管理技術の開発”を強力に推進する。具体的には、(SIP が終了しても組織存続の意味です) を推進するために設置された。老朽化が問題になっているコンクリート構造物の損傷劣化の機構を“ナノスケールの眼”を活用して解明し、寿命予測モデル高度化に貢献するとともに、耐食鉄筋、生体模倣型高分子系補修材料や歪み可視化シート、モアレ縞法、非破壊検査等の NIMS の材料技術シーズを実用技術へと磨き上げ、土木構造物の維持管理コストを低減することが目的である。この実現には素材メーカー、ゼネコン、インフラ維持管理企業などが under-one-roof に会し、現場ニーズを的確に把握しながら、関連研究機関とも密接に連携し、規格化、標準化、国際展開をも視野に入れた研究活動を展開する事が必要である。本クラスターには現在 41 機関、120 余名の登録がある。また土木から材料までを俯瞰できる研究・技術者人材の育成も重要なミッションであり、若手フォーラムやサマースクールなどの活動も行っている。

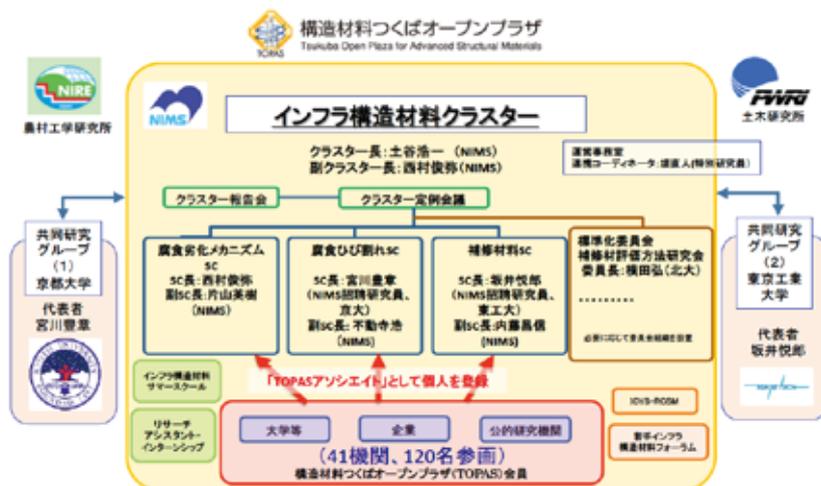


図2 TOPASインフラ構造材料クラスター — 土木と材料の融合研究の場

お問い合わせ先

構造材料研究拠点
 ホームページ: <http://www.nims.go.jp/research/structural/index.html>
 メールアドレス: TOPMR@nims.go.jp

2014年度運営に関するデータ集

- 論文被引用数
- 常勤職員数の推移
- 特許出願・実施料収入の推移
- 外部資金等の獲得状況
- 科学研究費補助金の採択率と獲得状況
- 機構の組織（平成26年度末現在）

2014年度運営に関するデータ集

論文被引用数

論文被引用数ランキング (Materials Science)

※本ランキングはトムソン・ロイター社のESIデータベースをもとに作成 (平成27年6月)

※世界ランキングの青文字記載の組織はグループ単位での成果

日本の研究機関のみ

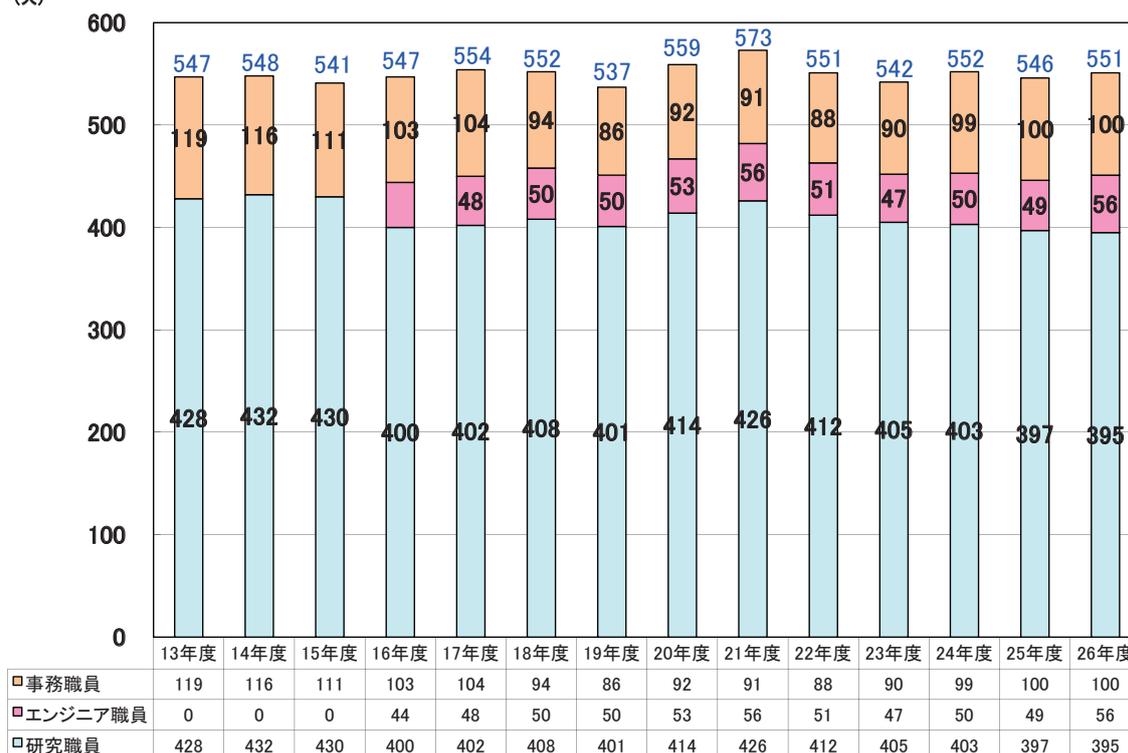
独法化前 Jan. 1996 – Dec. 2000			独法化後 Jan. 2010 – Dec. 2014		
Rank	Institution	Citations	Rank	Institution	Citations
1	マックスプランク研究所	4,886	1	中国科学院	120,644
2	東北大学	3,990	2	フランス国立科学センター	68,236
3	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	3,204	3	アメリカ合衆国エネルギー省	59,395
4	マサチューセッツ工科大学	3,095	4	カリフォルニア大学システム	55,171
5	ロシア科学アカデミー	3,026	5	南洋理工大学	28,356
6	ケンブリッジ大学	2,570	6	シンガポール国立大学	25,893
7	産業技術総合研究所	2,561	7	SWISS FEDERAL Inst.Tech.Domain	25,469
8	ペンシルバニア州立大学	2,517	8	マサチューセッツ工科大	23,335
9	京都大学	2,443	9	清華大学(中国)	23,175
10	大阪大学	2,370	10	マックスプランク研究所	22,991
...	...		11	復旦大学(中国)	20,287
31	金属材料技術研究所 無機材料研究所	1,570	12	物質・材料研究機構	20,051

Jan. 2010 – Dec. 2014		
Rank	Institution	Citations
1	物材機構	20,051
2	東北大学	14,746
3	JST	13,461
4	東京大学	11,196
5	産総研	11,055
6	大阪大学	8,496
7	京都大学	8,303
8	東京工大	6,053
9	九州大学	5,068
10	北海道大	4,285

世界第12位・国内第1位

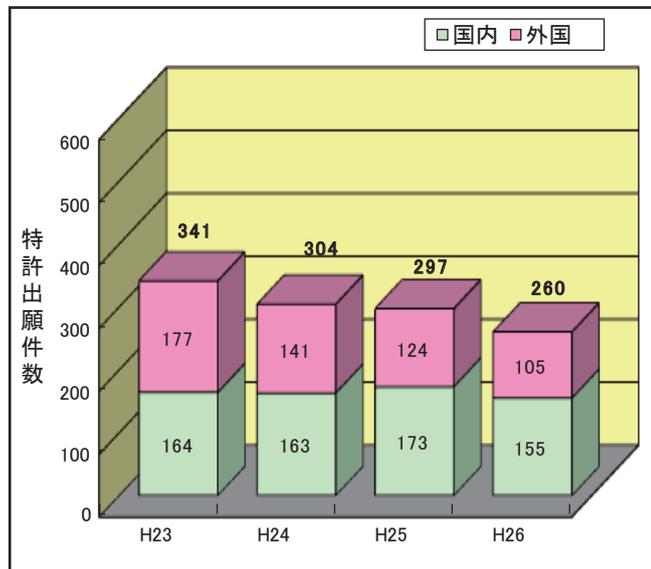
常勤職員数の推移

(人)

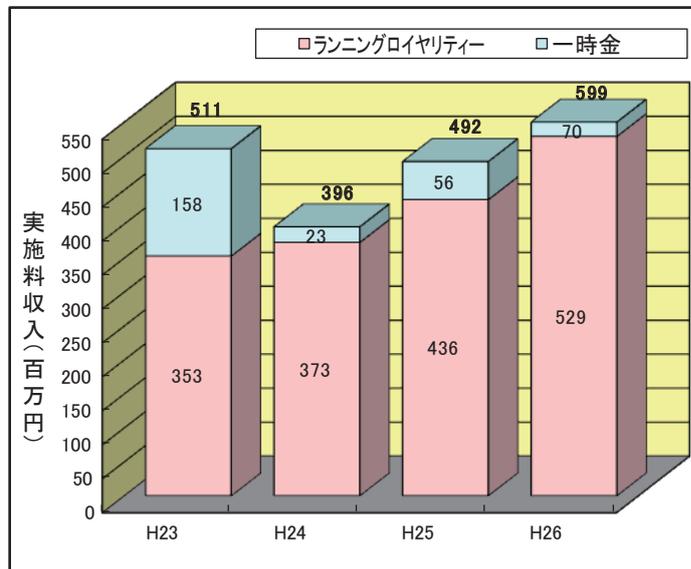


特許出願・実施料収入の推移

出願件数

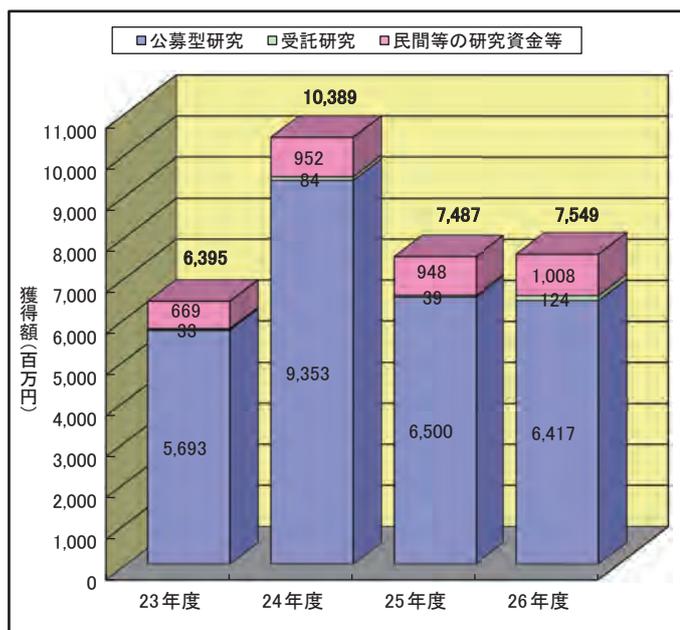


実施料収入

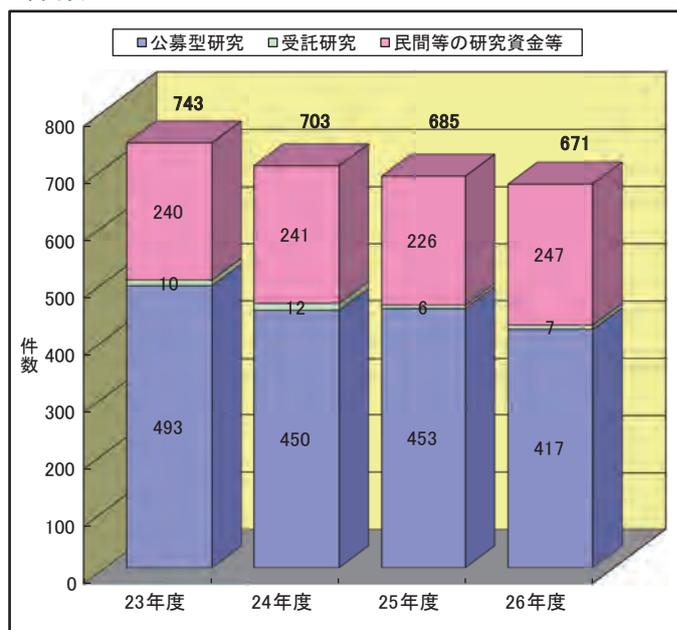


外部資金等の獲得状況

獲得額

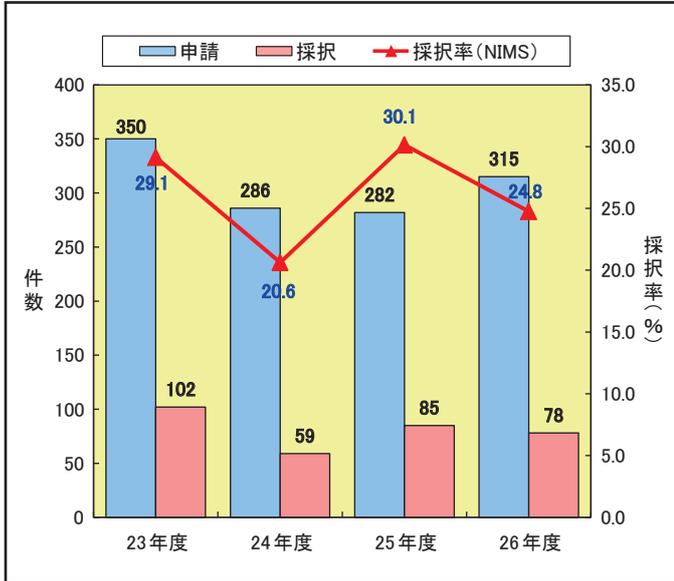


件数

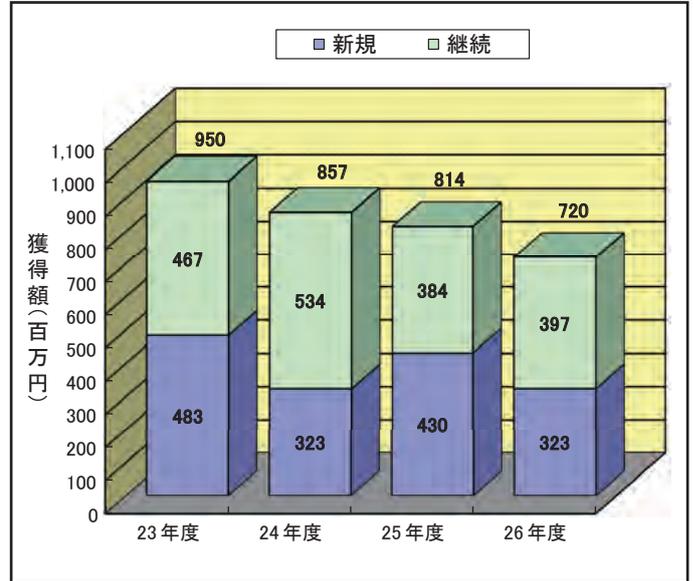


科学研究費補助金の採択率と獲得状況

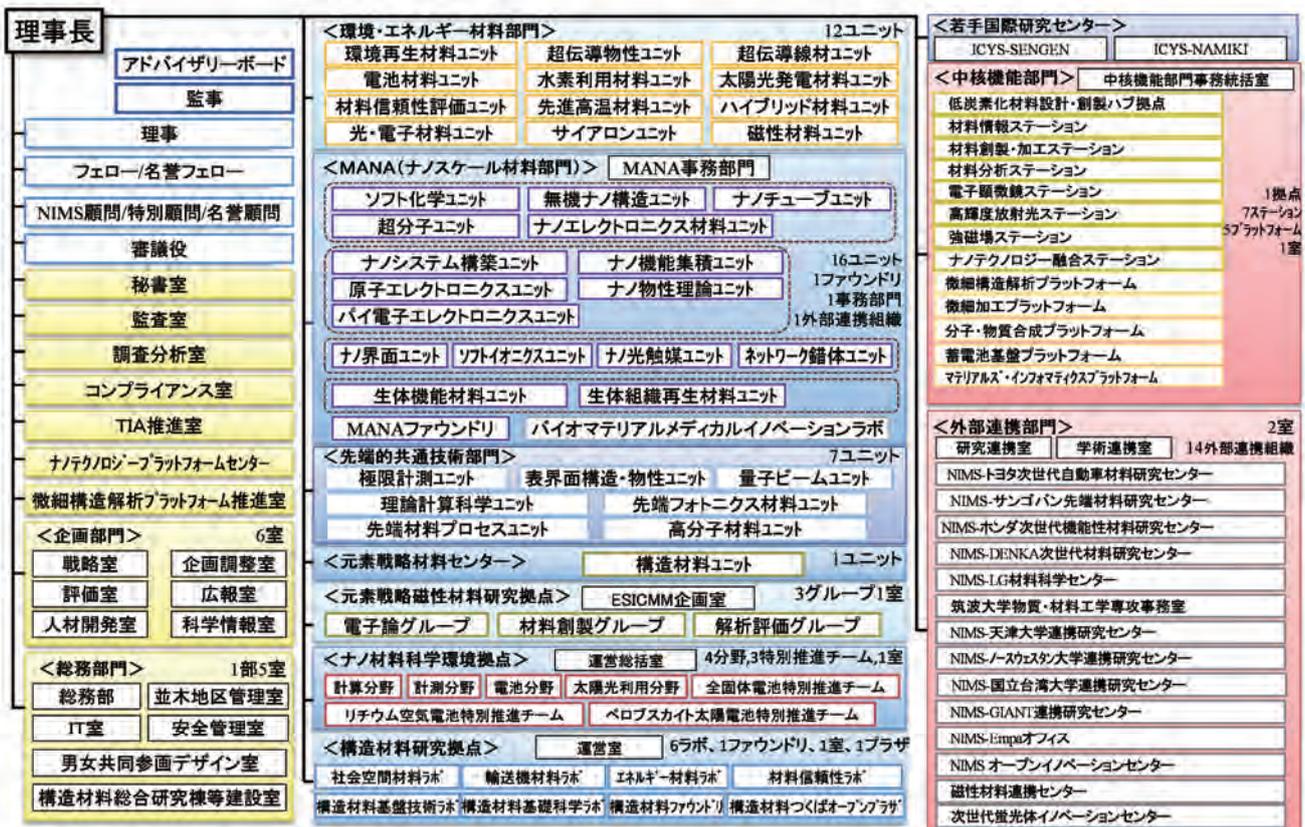
採択件数・採択率



獲得額



機構の組織 (平成 26 年度末現在)



- ◆本書の複製権・翻訳権・上映権・譲渡権・公衆送信権（送信可能化権を含む）は、物質・材料研究機構が保有します。
- ◆本書に関するご意見・お問合せは下記担当までお願いいたします。

発行：国立研究開発法人 物質・材料研究機構

2015年7月3日発行

担当者：企画部門評価室／田沼 繁夫

〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1

電話：029-860-4801

FAX：029-859-2040

E-mail：TANUMA.Shigeo@nims.go.jp



物質・材料研究からイノベーションを目指して

