

NIMS 研究成果

2006年度 主要研究成果8件



NAKAMEGURO



SAKURA



NAMIKI



SENGEN

2007年8月



独立行政法人
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

(平成 18 年度主要な研究成果 8 件の発行について)

独立行政法人 物質・材料研究機構

理事長 岸 輝雄

独立行政法人物質・材料研究機構（National Institute for Materials Science : NIMS）は、旧無機材質研究所と旧金属材料技術研究所が、平成 13 年 4 月 1 日に統合し、第 1 期中期計画期（5 年間）を経て、平成 18 年 4 月 1 日より第 2 期中期計画期間が開始しています。

NIMS は、物質・材料に関する基礎・基盤研究を行う研究機関ですが、第 1 期中期計画期間において、多くの改革を積極的に推進してきました。第 2 期中期計画も今年の 4 月から 2 年目に入りましたが、1 年目（平成 18 年度）の主な研究成果を 8 件選び「NIMS 研究成果」として小冊子に纏めました。小冊子では研究テーマを電子通信材料分野、生体材料分野、環境・エネルギー材料分野および基礎基盤領域に分類し、それぞれ基礎研究から応用・実用に近いものまで取り上げました。

独立行政法人となって 7 年目を迎えています。研究インフラを整備し、研究のプロ集団として、基礎・基盤研究を行い、研究成果の社会還元をしっかりと行い、加えて科学技術に関する政策提言まで行うことが肝要であると考えております。そのためには、「過去を知って、現状を考え、未来を予測」しながら推進しています。NIMS では研究成果を自己評価するために、第 1 期では、多くの研究成果から、21 件の研究テーマを取り上げ小冊子「NIMS21」として昨年発行しました。第 2 期を迎えた 1 年目の平成 18 年度についても、同じ考えで研究成果を 8 件選別し、皆様に NIMS の研究内容を紹介させていただきます。

「知」の集積による科学技術立国を目指す我が国においては、イノベーションが必須であり、技術開発が先導して社会変革が起こるのであり、技術開発はイノベーションの出発点としての重要な意味を持っています。NIMS は、イノベーションに繋がる物質・材料の研究開発を着実に進めるために、最良の運営体制を構築しているかを常にチェックしながら、現在は 20 のプロジェクト研究を積極的に推進しています。

材料のイノベーションのためには、創造的な物質に関する知の創出・知の融合、実用化へのプロトタイプ製作のための異分野の融合、さらに、社会的・経済的価値、特に環境・エネルギーを考えて、イノベーションの社会に及ぼす影響の善悪の吟味（これには文系・理系の融合）が必要です。こうした「知」・「異分野」・「文理」の融合がこれからの材料開発に必要な方向で、それを踏まえて材料のイノベーションを捉えているところです。

また、研究のためのインフラ整備も大事であり、「ナノ計測・分析」、「超微細加工」、「極限環境」の 3 領域において技術支援サービスを提供するための NIMS ナノテクノロジー拠点を平成 19 年 4 月から発足させました。またナノテクノロジー・ネットワークを代表し、全体を取りまとめるセンター機能も、継続して推進しております。

最後に、じっくり基礎・基盤研究を推進すること、すなわち長期安定性（Long Term Stabilization）ということが NIMS をはじめとする公的機関の使命ですが、新しいことに積極的にチャレンジし、進化を続ける研究機関でありたいと考えています。

INDEX

電子情報通信材料分野

- 1** 分子レベルの薄さの高誘電体ナノシート 1
長田 実 佐々木 高義
- 2** 液状フラーレンの開発 3
中西 尚志

生体材料分野

- 3** バイオトランジスタによる
生体分子認識の電氣的検出 5
宮原 裕二

環境・エネルギー材料分野

- 4** マグネシウム合金の高強度・高延性・
高韌性化材料設計 7
向井 敏司 Alok Singh 染川 英俊
- 5** 高感度ダイヤモンド紫外線センサおよび
火災検知システムの開発 9
小出 康夫

基礎・基盤領域

- 6** 単一アトム移送による一次元量子井戸の創製
～ナノ創製とナノ計測の融合による原子スケール量子素子の実現へ～ 11
藤田 大介 鷺坂 恵介
- 7** ダイヤモンドの超伝導 13
高野 義彦
- 8** 水の無秩序な構造の不連続性
(ポリアモルフィズム)の実験的研究 15
三島 修

トピックス

- 9** ロールス・ロイス航空宇宙材料センター 17
原田 広史

2006年度の運営 (データ集)

- 2006年度運営に関するデータ集 19

1

分子レベルの薄さの高誘電体ナノシート

■ 研究のポイント

分子レベルの薄さの新しい高誘電体ナノ材料（酸化チタンナノシート）を開発し、室温・溶液プロセスを用いた積層集積により高品位の誘電体素子の作製に成功した^{1),2)}。今回開発したナノシートは、高い誘電率、低いリーク電流など、従来の誘電体膜をはるかに凌駕する特性を有しており、次世代の高容量 DRAM 用キャパシタ膜や低消費電力型トランジスタへの応用が期待される。

■ 研究の内容

誘電体は、電子機器の重要なコンポーネントであり、メモリ、トランジスタなどの心臓部で活躍している。こうした誘電体デバイスの高機能化のために、ナノメートル級の超薄膜構造が随所に活用されており、微細加工技術を基本とするトップダウン型のナノテクノロジーが駆使されてきた。しかし、ムーアの法則と呼ばれる微細化と高機能化の相乗作用による誘電体デバイスの発展には限界が近づいており、新しい技術や材料の開発が急務となっている。

現在、この問題を解決するキー技術として注目されているのが、誘電率の高い材料（いわゆる高誘電体膜）の導入である。これは、高誘電体膜をメモリなどに使えば、高容量特性を維持したまま漏れ電流の抑制（低消費電力化）が可能となるためである。しかし、従来の高誘電体膜の多くは、薄膜化による誘電特性の劣化や製造時の基板界面劣化による漏れ電流増大などの問題点があり、本来の性能を得られないでいた。

NIMS では、ナノ材料の有する特異物性や優れたプロセス技術の活用により材料開発を進め、従来の高誘電体材料の課題をブレークスルーする新しい高誘電体ナノ材料の開発に成功した（図1）。今回開発した高誘電体ナノシート（ $\text{Ti}_{0.87}\text{O}_2$ ）は、新タイプの2次元ナノ材料で、チタン-酸素（ TiO_6 ）八面体ブロックが2次元方向に連鎖した構造を有している。BaTiO₃やルチル型 TiO₂ をはじ

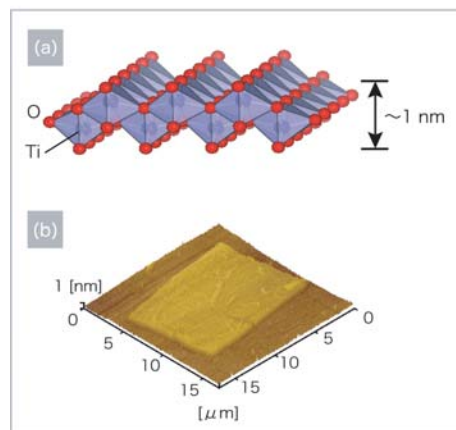


図1 高誘電体ナノシート($\text{Ti}_{0.87}\text{O}_2$)の結晶構造(a)と原子間力顕微鏡像(b)

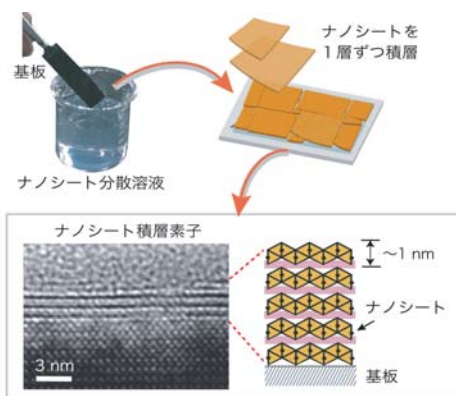


図2 ナノシートを基本ブロックとした素子作製

めとし、TiO₆八面体を内包する酸化物の多くは高誘電体であるが、ナノシートは誘電特性のキーユニットであるTiO₆八面体ブロックを単体として取り出したものであり、究極の薄さを持つ誘電体とも呼べるものである。さらに、このナノシートは、室温・溶液プロセスを用いたボトムアップ集積により素子の製造が可能であり(図2)、なおかつ、様々な基板、材料との融合が可能という優れた特徴を有する。

■ 主な成果

- (1) 新規高誘電体ナノ材料：厚さ約1nm、横サイズ数十 μm の高誘電体ナノシートを開発した(図1)。
- (2) エコプロセスによる素子作製：室温・溶液プロセスを用いたLayer-by-Layer積層集積によりナノシート1層ずつの成膜と緻密化処理を繰り返す素子作製手法を開発し、電極上に界面反応層のない高品位の高誘電体素子の作製に成功した(図2)。
- (3) 世界最高レベルの誘電特性：高誘電体ナノシートの利用により、従来の高誘電体材料では到達困難な薄膜化と高容量化が可能となり、膜厚5~15nmの積層素子で世界最高レベルの高誘電率(比誘電率120以上)と低リーク電流特性($10^{-7}\text{A}/\text{cm}^2$ 以下)を同時に実現した。これにより、保存データ量の大幅向上と、1/100以下の低消費電力特性を有する高機能誘電体素子の開発が可能になった(図3)。

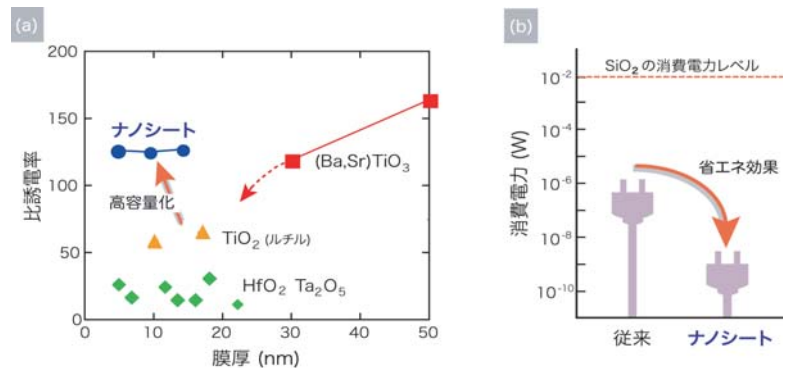


図3 酸化チタンナノシート積層膜と典型的な高誘電体材料の性能比較。
(a)誘電特性、(b)消費電力特性(膜厚5nm、電極面積0.1cm²)

発表文献

- 1) M. Osada, Y. Ebina, H. Funakubo, S. Yokoyama, T. Kiguchi, K. Takada and T. Sasaki: *Adv. Mater.* **18** (2006) 1023.
- 2) 長田実, 佐々木高義: 未来材料 **7** (2007) 48.

期待されるイノベーション

本技術を用いれば、今後一層の高性能化が期待されるパソコン、携帯電話などのモバイル機器に対して、高容量のDRAMやバッテリーの消費電力を抑えつつ高速処理が可能なトランジスタを実現できるため、モバイル機器のさらなる機能強化や発展・普及に貢献できるものと考えている。また、本技術は、従来の薄膜プロセスの主流である大型の真空装置や高価な成膜装置を必要としない低コスト・低環境負荷プロセスを実現しており、エネルギー節約や地球環境保護に貢献する次世代のグリーンプロセスとしても重要な役割を果たすことが期待される。

お問い合わせ先

ナノスケール物質センター 長田 実 佐々木 高義
ホームページ: <http://www.nims.go.jp/softchem/index.html>
メールアドレス: OSADA.Minoru@nims.go.jp SASAKI.Takayoshi@nims.go.jp

2

液状フラーレンの開発

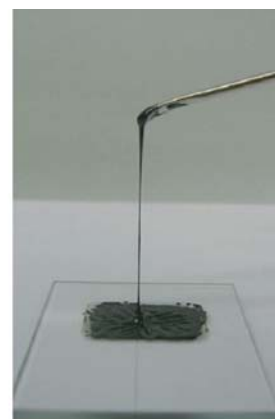
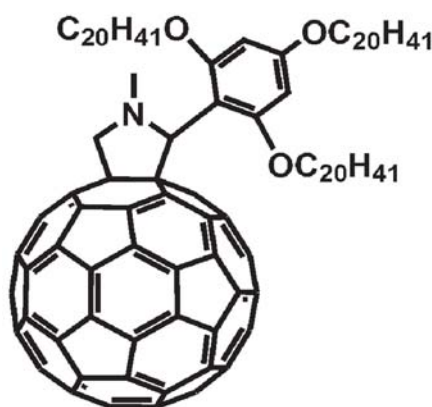
■ 研究のポイント

炭素系ナノ材料であるフラーレン (C_{60}) に、化学修飾を施すことによって、室温において溶媒を含まない液状のフラーレンの開発に成功した^{1)~4)}。ポイントは、置換基として予めアルキル鎖がばらばらに広がるように分子設計された構造を選択し、フラーレンの凝集を上手く抑制した点にある。本素材は、粘性制御が可能、フラーレンの電子機能を兼ね備えている等、液状ナノカーボンとして評価された世界初の例である。

■ 研究の内容

フラーレンは、カーボンナノチューブなどと共に、ナノカーボン素材として、電子材料、生体材料の様々な応用が期待されている。これらナノカーボンは、通常、粉体や固体として取り扱われるが、非常に強く自己集合してしまうために、素材固有の特性を十分に示さないことが多々ある。これらナノカーボンを均一に溶解する溶媒、手法も存在するが、一般に高濃度溶液を作ることは困難である。完全に均一分散した高密度ナノカーボンを得るには、ナノカーボン自身を液体にするしかない。

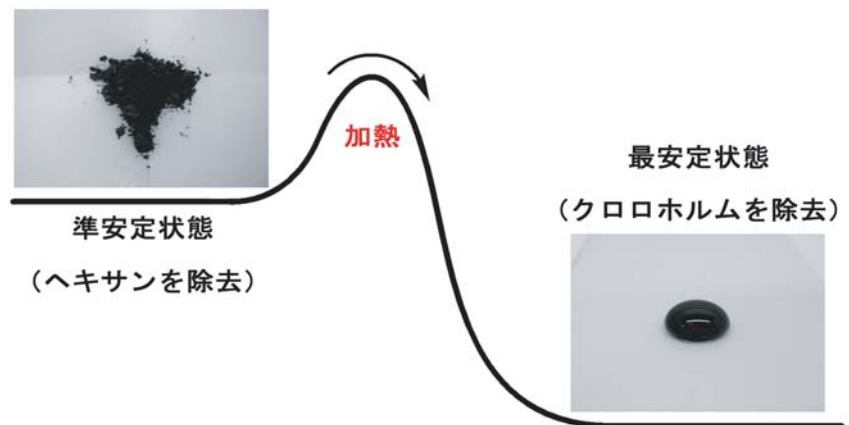
ここで開発した技術は、フラーレン (C_{60}) を化学修飾することにより、溶媒に溶かさなくても、室温において液状のフラーレン化合物を得るものである (図1)。導入する置換基上の三本のアルキル鎖 (炭素鎖長12以上) をバラバラに配置させておくことで、フラーレン間の強い凝集性を完全に抑制し、結果として室温で固化しない、液状のフラーレンを得ることに成功した。液状フラーレンの流動挙動およびその電子機能に関して検討した結果、導入するアルキル鎖の長さを変えることにより、液体の粘性を制御できることを見いだした。また、この素材は、フラーレン固有の特性を保持しており、電気化学的に活性である。さらに液状の利点として、比較的高いホール移動度も合わせ持つことを明らかにした。



■ 主な成果

- (1) 世界初の液状ナノカーボン素材、「室温液状フラーレン」の開発に成功した。
- (2) 導入するアルキル鎖の長さにより、液体粘性 ($10^3 \sim 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$) を調整可能である。アルキル鎖長を長くすると粘性が低下するといった、普通のアルカン分子（アルキル鎖のみで構成）が持つ粘性挙動とは全く反対である。
- (3) $4^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$ 間で、液体状態を保持。寒冷地や砂漠といった極限環境下でも使用可能である。
- (4) フラーレン上への置換基導入は一カ所のみであるため、フラーレン固有の機能を保持する。
- (5) フラーレンの持つ、電子貯蔵能を保持する（多段階の可逆的酸化還元）。
- (6) 比較的高いホール移動度 ($0.03 \text{ cm}^2/\text{V}$) を有す。液晶性共役系オリゴマーの示すホール移動度に匹敵する。
- (7) このフラーレン化合物は、ヘキサンやヘプタンを溶媒とした状態からの溶媒除去の操作において、室温で固体の準安定状態をとる。

このことは、デバイス実用に有利である。具体的には、本フラーレン化合物を輸送、搬送、固定化する場合に固体で扱い、デバイス機能発現の際に一度加熱して液状化することができるので、取り扱いが簡便となる（図2）。



発表文献

- 1) T. Michinobu, T. Nakanishi, J. P. Hill, M. Funahashi and K. Ariga: J. Am. Chem. Soc. **128** (2006) 10384.
- 2) 中西尚志: Science & Technonews Tsukuba **80** (2006) 12.
- 3) 中西尚志, 道信剛志: ナノカーボンハンドブック, エヌ・ティー・エス (2007) 695.
- 4) 特願2006-185608

期待されるイノベーション

フラーレンの機械的強度、小さな表面自由エネルギーを応用させることを考えると、高強度ファイバーへの均一分散添加剤（導入したアルキル置換基によりポリマーとの親和性向上）、潤滑オイルへの添加剤として利用の可能性を持つ。また、ナノインクジェットの黒色インクの素材としての可能性もある。液状フラーレン中にドーブ剤を添加することで、鉛フリーはんだ、導電ペーストなど、粘着性を発揮できる分野への応用も期待できる。ニーズの求められてきた素材ではないため、シーズ素材として多くの研究分野との融合を期待している。

お問い合わせ先

ナノ有機センター 中西 尚志
メールアドレス: NAKANISHI.Takashi@nims.go.jp



バイオトランジスタによる 生体分子認識の電気的検出

■ 研究のポイント

電界効果トランジスタ（Field Effect Transistor, FET）と酵素を用いた伸長反応を組み合わせることにより、分子電荷を直接検出する新しい方式の一塩基多型（Single Nucleotide Polymorphisms, SNPs）解析法及びDNAシーケンシング技術を開発した。

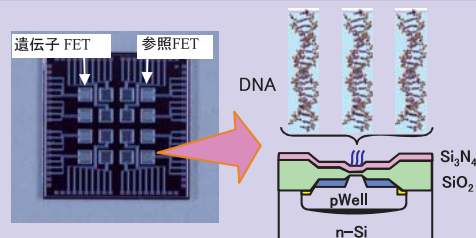


図1 遺伝子トランジスタの概念

■ 研究の内容

電界効果トランジスタのゲート絶縁膜表面にオリゴヌクレオチドプローブ（DNAの断片）を固定化し、参照電極と共に溶液中に浸漬する。相補的DNAを含有する試料溶液を導入すると相補鎖結合反応（ハイブリダイゼーション）によりゲート上で二本鎖DNAが作られる。DNA分子は水溶液中でリン酸イオンに起因する負の電荷を有しているため、ゲート絶縁膜表面のDNA分子の電荷密度変化に応答してシリコン表面の電子密度が変化する。図2に示すようにnチャンネルFETの場合、ドレイン電流の減少、又は閾値電圧のシフトとしてハイブリダイゼーションが検出できる。この原理に基づき、アレル特異的ハイブリダイゼーション、インターカレーション（有機分子の挿入）¹⁾、プライマー伸長反応（オリゴヌクレオチドの伸長）³⁾などの分子認識プロセスをゲート絶縁膜上で行わせ、生体分子の特異的反応を非標識で検出できることを確認している。

このうちプライマー伸長反応では、図2に示すように、ハイブリダイゼーション後にゲート表面にDNAポリメラーゼ（DNA合成酵素）、基質dNTP（デオキシヌクレオシド三リン酸）を導入して合成反応を行わせ、伸長した分のポリヌクレオチドに基づく電荷の増加分を検出する。ゲート絶縁膜上でのプライマー伸長反応において、4種類の塩基、dATP、dGTP、dCTP、dTTPをそれぞれ別々にTaq DNAポリメラーゼとともに順次添加し、バイオトランジスタのしきい値電圧変化を測定する方式を開発した^{2),4)}。ターゲットDNAの塩基と相補的であれば一塩基伸長反応により一塩基

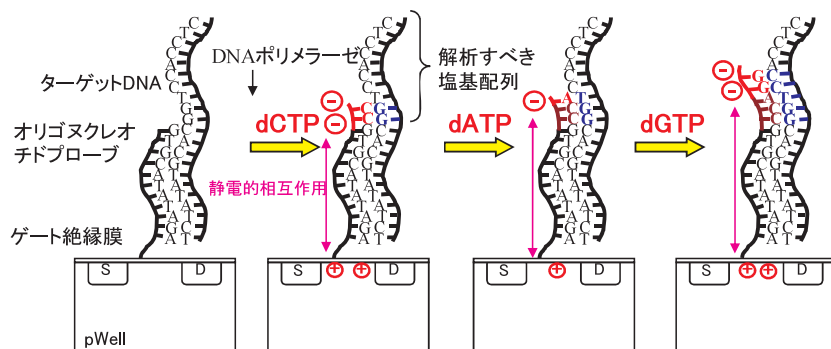


図2 ゲート上における伸長反応の検出

のみ合成され、相補的でなければ合成反応は起こらない。したがって4種類の塩基を順次添加した後のそれぞれのしきい値電圧の変化を測定すれば、ターゲットDNAの未知の塩基配列を知ることができる。

■ 主な成果

- (1) 図3に示すようにC（シトシン）、A（アデニン）、G（グアニン）、T（チミン）と繰り返し添加するときに、加えた塩基がターゲットDNAの塩基と相補的な場合、一塩基伸長により4mV程度のしきい値電圧変化が得られ、相補的でない場合にはしきい値電圧はほとんど変化しない。
- (2) 図4に示すようにしきい値電圧変化と塩基の数との間に直線関係がある。

(3) これよりバイオトランジスタを用いて一塩基伸長反応を検出することができ、これを繰り返し行うことでDNAシーケンシング解析を行うことができる。

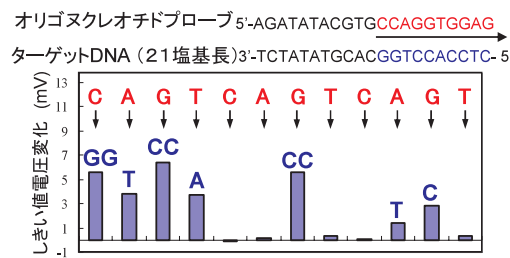


図3 分子電荷に基づくDNAシーケンシング

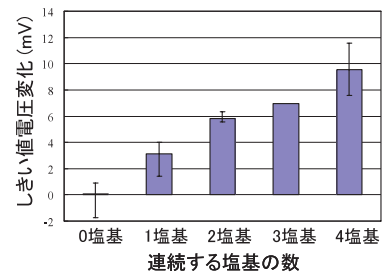


図4 しきい値電圧と塩基数との直線性

発表文献

- 1) T. Sakata and Y. Miyahara : ChemBioChem, **6** (2005) 703-710.
- 2) T. Sakata and Y. Miyahara : Angew. Chem. Int. Ed., **45** (2006) 2225-2228.
- 3) T. Sakata and Y. Miyahara : Biosensors and Bioelectronics, **22** (2007) 1311-1316.
- 4) 特開2005-218310

期待されるイノベーション

従来遺伝子検査、DNA解析は、高度な技術や高額な設備を必要としていたため、大病院や大規模解析センターなどで行われていたが、DNA分子の電荷を直接検出するバイオトランジスタ技術を用いることにより、小型・簡便、低コストな遺伝子解析システムが実現可能である。したがって、中・小病院や診療所など身近な医療機関で高度な医療を提供することができ、例えばDNA塩基配列の違いに基づく薬剤の有効性・副作用の個人差を簡便に調べることが可能となる。わが国では厚生労働省が75歳以上の高齢者を対象に「かかりつけ医」の制度を検討しており、訪問診療や在宅ケアを積極的に推進している。この制度では患者の近くで検査・診断が行えるよう小型・簡便な検査装置が求められており、バイオトランジスタの特徴を大きく活かすことができる。

感染症、バイオテロリズム、食の汚染、有害物質などの人々の生活・健康を脅かす要因が増えているが、バイオチップを用いた、小型・簡易型検査システムの開発による、より安全・安心な社会の実現への期待が高まっている。

お問い合わせ先

生体材料センター 宮原 裕二
 ホームページ:<http://www.nims.go.jp/bmc/>
 メールアドレス:biomaterials@nims.go.jp

4

マグネシウム合金の高強度・高延性・高靱性化材料設計

■ 研究のポイント

実用金属材料の中で最軽量であるマグネシウム合金の、延性や靱性を損なわない、準結晶粒子微細分散化などの高強度化技術に取組み、機械的性能を改善して、材料利用範囲の拡大を狙う。一つの目標として、軽量高強度合金の主流であるジュラルミンに匹敵する機械的性質を持つ材料開発を目指している。

■ 研究の内容

最近、マグネシウム合金は主として軽量化が求められている携帯用電子機器部材などから、自動車などの移動構造物への適用検討が盛んになっている。このような背景から、世界各国で国家レベルの大型プロジェクトが推進されており、マグネシウム合金の特性改善は構造用金属材料研究の大きなテーマとして取り上げられている。

マグネシウム合金はアルミニウム合金や鉄鋼等と比較して、室温では延性に乏しく（図1）、プレス等の成形性が極めて悪いため、複雑形状に成形することが出来ない。この難加工性がマグネシウムの普及を阻害している主要因の1つである。この原因は結晶構造が、室温付近で活動する結晶学的すべり系が限られている六方晶構造をしていることである。したがって、加工時に活動するすべり系の数を増加させることが成形性改善に向けた方策の一つとなる。そこで、本研究では原子レベルからマクロレベルまで幅広いオーダーのスケールから材料を見直し、マグネシウム合金の強度-延性-靱性バランス改善に寄与する材料構造を明確にすることを目的としている。階層的組織制御の視点として、原子レベルではマグネシウム母相中に分散している

他の金属元素の分散状態や界面の構造、ナノメートルオーダーでは、金属元素の集合体として形成される微細粒子の形態と分散状態、サブミクロンおよびミクロンオーダーでは、微細結晶粒のサイズ分布と結晶配向の分布に着目して、延性や靱性を低下させない高強度化に寄与する因子を明確にするとともに、複数因子の相乗効果により、従来にない性能を有する素材を創製することを目標とする。具体的な数値目標として、高強度アルミニウム合金であるジュラルミンに匹敵する降伏強度（350MPa以上）と引張伸び値（15%以上）ならびに破壊靱性値（ $35\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ）を具有する合金の創製を目指している。そこで、高強度化に有効な材料因子の一つとして、準結晶相の分散に着目している。これまでNIMSにおいても準結晶研究を精力的に推進してきたが、準結晶は決まった原子の配置が繰り返し並ぶ結晶構造を持たないことから、母相との界面で強固な結合を示す頻度が極めて高い⁴⁾。そのため、高体積率の微細な準結晶相を分散させると、飛躍的な高強度化が期待できることから、マグネシウム合金にナノオーダーサイズの準結晶相を均一分散させることに取り組んでいる。

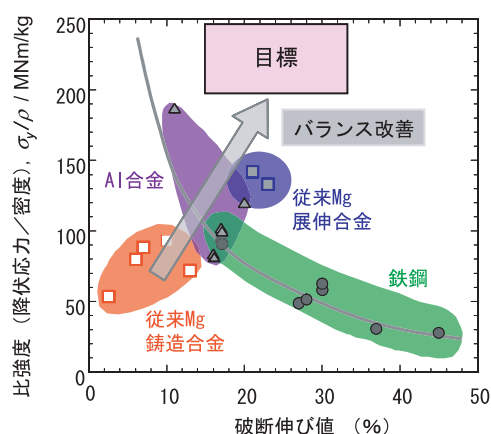


図1 マグネシウム合金の比強度（降伏応力／密度）と破断伸び値の関係

■ 主な成果

- (1) マグネシウム合金の高強度と高靱性のトレード・オフ・バランス化には、(i) 母相結晶粒の微細化、(ii) 結晶配向（最密原子面の方向）のランダム化¹⁾、および (iii) ナノオーダー・サイズからなる球状粒子の均一分散が有効であり、相乗効果が期待できることを明らかにした。(図2)
- (2) 球状粒子の一例である準結晶構造を有する微細粒子とマグネシウム母相との界面は、大部分の結晶格子がつながる構造となっており、強固に結合している。(図3) その結果、溶融温度の6割程度の温度（473～573K）でひずみを加えると母相結晶粒の微細化が起こる際に形成される結晶配向がランダムなものに成りやすいことがわかった²⁾。(図4)
- (3) 準結晶微細粒子は高強度化に寄与すると同時に、破壊の核となりにくいことから、高強度－高延性－高靱性化に有効であることがわかった³⁾。以上の結果により、ジュラルミンより軽く、機械的性能が匹敵するマグネシウム合金創製の可能性が見えてきた。

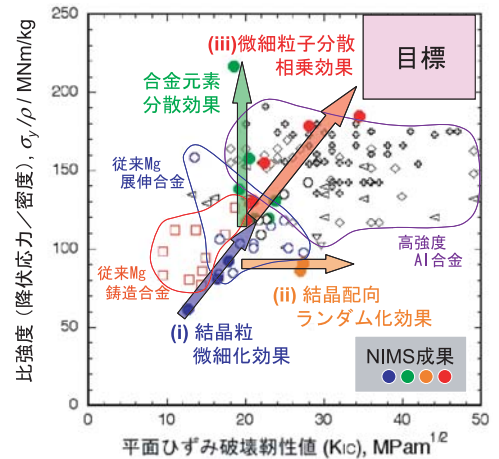


図2 材料因子制御によるマグネシウム合金の高強度－高靱性化

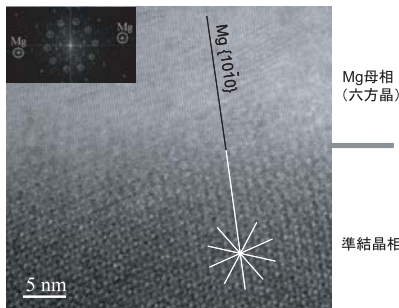


図3 準結晶粒子／母相界面における整合界面の形成を示す透過電子顕微鏡写真 (Mg-Zn-Ho合金) 準結晶の対称面の一つが母相の結晶面の一つと一致しており、強固に結合している。
[挿入図:界面の高速フーリエ変換スペクトル像]

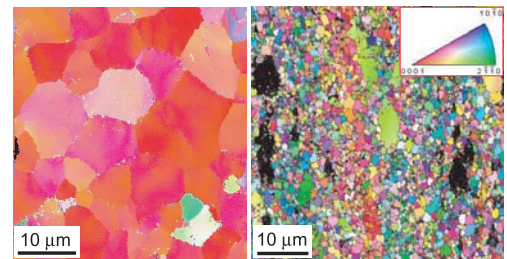


図4 準結晶粒子分散Mg-Zn-Ho合金における結晶方位分布 (右図) 左図の従来合金 (AZ31) と比較して方位を示す色の分布がランダムである。

発表文献

- 1) H. Somekawa, T. Mukai: Scripta Mater., **54** (2006) 633.
- 2) A. Singh, H. Somekawa, T. Mukai: Scripta Mater., **56** (2007) 935.
- 3) H. Somekawa, A. Singh, T. Mukai: Scripta Mater., **56** (2007) 1091.
- 4) A. Singh, A.P. Tsai: Philo. Mag. Lett., **87** (2007) 85.

期待されるイノベーション

マグネシウムはその密度が $1.74 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ であり、鉄と比較して約4分の1、アルミニウムの約3分の2であるため、代替による軽量化効果は大変高いことが期待される。例えば、2002年にVolkswagenが開発したマグネシウム合金フレームからなるプロトタイプ車では、ガソリン1ℓで約100km走行可能な高燃費性能を示すことが実証されている。したがって、競合材料であるアルミニウム合金に匹敵する強度と延性や靱性が付与されることにより適用範囲が拡大されるため、様々な機器の飛躍的な軽量化に貢献し、自動車や航空機などの使用に際するエネルギー節約やCO₂排出量の削減が期待される。今後は準結晶粒子の分散形態最適化と希土類元素の使用量削減により、実用化に向けた材料設計を推進する。

お問い合わせ先

新構造材料センター 向井 敏司 Alok Singh 染川 英俊
ホームページ: <http://www.nims.go.jp/smc-lg/indexj.html>
メールアドレス: info-smc-lg@ml.nims.go.jp



高感度ダイヤモンド紫外線センサ および火災検知システムの開発

■ 研究のポイント

太陽光が存在する日中においても波長190～280nmの深紫外線のみを検知し、極めて熱安定および高感度で低電圧駆動するダイヤモンドを用いた「太陽光ブラインド紫外線センサ」の開発に成功するとともに、このダイヤモンド紫外線センサを用いた火災検知システムの開発に世界で初めて成功した¹⁾⁻⁵⁾。

■ 研究の内容

太陽光が存在する真昼や戸外においても、炎や有害物質のみを高感度・迅速に検知することができる小型・簡便なセンサシステムは、国民の安全・安心な生活環境を守るために極めて重要な研究課題である。しかしながら、通常の固体光センサは太陽光に反応してしまうため利用できない。そのため、図1に示す太陽光の紫外線の内オゾン層に吸収されて地球には届かないが、炎や有害物質が出す、波長領域（深紫外UV-C、波長190～280nm）にのみ反応するセンサを開発する必要がある。このような深紫外線のみを検知するセンサを「太陽光ブラインド紫外線センサ」と呼んでいる。今日ではこのような紫外線センサとしては光電管が存在し、火災の点滅を検知するセンサとして、既に利用されているが、小型・簡便な火災センサとして固体素子型センサの開発が待ち望まれていた。

本研究において開発した太陽光ブラインド紫外線センサは高品質なダイヤモンド半導体のエピタキシャル単結晶層と新たに開発した極めて耐熱性に優れる高融点金属カーバイド電極から構成されている。センサーの概観写真を図2に示す。センサーの大きさは直径9mmおよび高さ5mmで、気密（ハーメチック）パッケージされており、コンパクトで衝撃に極めて強い。性能は固体素子型の太陽光ブラインド紫外線センサとしては世界最高水準であり、既存の光電管型センサに比べ消費電力が少なく、寿命が長いという特徴も持つ。

本センサ素子を用いて開発した火災検知システムの全体写真を図3に示す。火災検知システムは、ダイヤモンド紫外線センサ素子を火災センサとして用いている。また、太陽光の影響を受けない信号処理技術とワイアレス通信技術を用いて、センサ部と警報部から構成されている。センサ部は9Vの乾電池1本で駆動しており、長い寿命を持つ。ダイヤモ

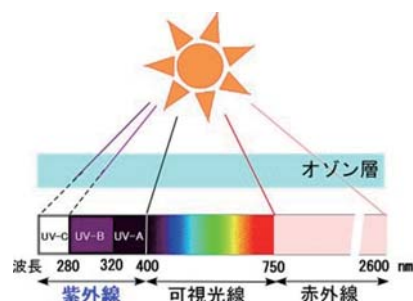


図1 地表に到達する太陽光の波長スペクトル

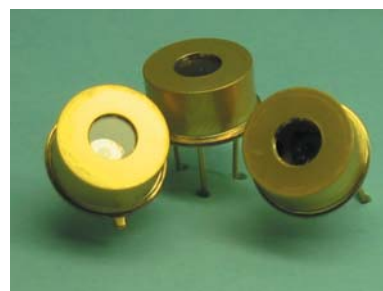


図2 パッケージされたダイヤモンド紫外線センサ



図3 開発した火災検知システム

ンド紫外線センサの持つ低消費電力・高信頼性の特徴が十分発揮されている。将来の一般家庭への普及を視野にいれ、火災検知システムは、センサ部で検出した火災情報を赤外線通信によって迅速に警報部に送り、警報音や警報ランプを発するというシステム構成となっている。

■ 主な成果

- (1) 温度 550℃、3 時間の熱処理後においても受光感度特性が変化しない、極めて熱安定性に優れる特性を持つダイヤモンド紫外線センサの開発に成功 (図 4)。
- (2) 深紫外線に対する感度 30A / W 以上、応答速度 1 秒以下、および深紫外線と可視光との受光感度比 7 桁を持つダイヤモンド紫外線センサの開発に成功 (図 5)。
- (3) アルコールランプ炎で距離 250mm における検知性能を実証 (図 6)。



図4 素子図

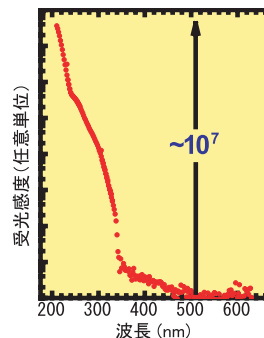


図5 受光感度特性

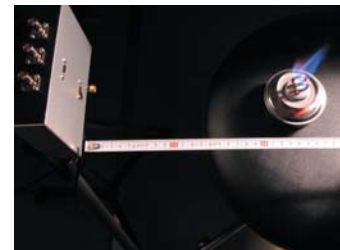


図6 炎センシング特性の実証

発表文献

- 1) M. Y. Liao, Y. Koide, and J. Alvarez: Appl. Phys. Lett. **87** (2005) 22105.
- 2) Y. Koide, M. Y. Liao, and J. Alvarez: Diamond Relat. Mater. **15** (2006) 1962.
- 3) M. Y. Liao and Y. Koide: Appl. Phys. Lett. **89** (2006) 113509.
- 4) M. Y. Liao, J. Alvarez, and Y. Koide: Appl. Phys. Lett. **90** (2007) 123507.
- 5) 特開2006-156464, 特開2007-66976

期待されるイノベーション

太陽光ブラインド紫外線センサは、固体素子型の小型・簡便な火災センサとして応用が期待され、火災探知機や煙草探知機のセンサ部分、更に家庭用燃焼機器及び工業炉の燃焼炎の自動制御用センシングに使用することが期待されている。

平成 18 年 6 月からの改正消防法の施工に伴い、新築住宅においても火災警報器の設置が義務付けられ、火災をより迅速に検知し警報する新システムの開発は、極めて重要な研究課題の一つとなっている。今日火災による死者数の 90% は住宅火災であり、その 50% 以上が 65 歳以上の高齢者で、逃げ遅れが主な原因となっている。火災を早期に発見することが、安全上極めて重要である。紫外線検知方式の火災センサは現在主流である煙・熱検知方式に比べてまったく新しい技術方式であるが、初期出火を最も迅速に発見することが可能であり、今後大きな利用分野の拡大が期待できる。

お問い合わせ先

センサ材料センター 小出 康夫
 ホームページ: http://www.nims.go.jp/optical_sensor/
 メールアドレス: KOIDE.Yasuo@nims.go.jp

6

単一原子移送による 一次元量子井戸の創製

～ナノ創製とナノ計測の融合による原子スケール量子素子の実現へ～

■ 研究のポイント

超高真空かつ低温の環境下における走査型トンネル顕微鏡 (STM) 計測技術を用いて、シリコン表面の任意の位置にタングステン原子を移送・配置することにより、人工的にサイズ制御された原子スケールの一次元量子閉じ込め構造 (一次元量子井戸) の創製と閉じ込められた量子化電子状態の可視化に成功した。将来の原子スケール量子デバイスの実現につながる基盤技術として期待される。

■ 研究の内容

創製と計測のナノスケール融合 ～アクティブナノ計測へ～

ナノテクノロジー・材料の基盤技術として、ナノスケールの物質創製と計測の融合 (アクティブナノ計測) が求められている。NIMSは極低温STM計測技術の開発過程から、長年の問題であった“シリコン (100) 表面の極低温での基底状態 (最も安定な状態)”の解明を先導するとともに、2003年に初めて同表面の周期構造制御に成功するなど、STMアクティブナノ計測技術を確立してきた¹⁾。今回、超高真空・極低温環境で原子分解能イメージングを安定に行える高分解能STM計測技術と両立可能なナノ創製技術の開発に成功した²⁾。

分解能を損なわずに原子1個を所望の位置に

シリコン (100) 表面の基底状態においては、最表面のシリコン原子2個がダイマーと呼ばれる二量体を構成する。ダイマー列に存在する電子は列方向に沿ってのみ電子が流れやすい性質 (一次元電子状態) がある。原子サイズの障壁を単一ダイマー列上の任意位置に構築できれば、バリア間に電子波を閉じ込めることが可能となり、原子スケールの一次元量子井戸の創製が実現できる。従来、アルミニウムなどの異種原子を蒸着することにより、吸着原子を散乱障壁として閉じ込め構造を作製する例が報告されてきた。このような閉じ込めはランダムに生成されるナノ構造を利用したものであり、サイズや位置の制御は困難であった。量子井戸の電子的特性や機能を明らかにするためには、人工的にサイズ制御された構造を原子スケールで作製する技術が必要である。

従来、NIMSの開発してきた探針物質移送技術はナノデバイス作製を目的とし、ナノメートル径のドット創製に成功してきた³⁾。今回開発した探針原子移送技術のプロセスを図1に示す。極低温 (-194℃) かつ超高真空 (3×10^{-9} パスカ) 環境において、先鋭なタングステン探針をダイマー列上の特定ダイマー原子上に位置制御し、次にトンネル電流をモニターしながら徐々に探針を表面原子に近づける。原子レベルでのポイントコンタクトを生じさせ、探針先端原子のみをシリコン原子と結合させることにより、探針先端原子を表面へ移送させる。本手法により特定ダイマー列のシリコン原子上に一個のタングステン原子を探針先端から移送することに成功した (図2)。

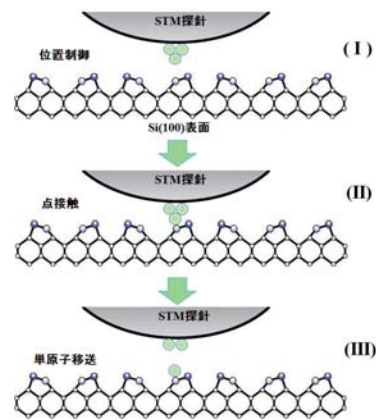


図1 制御された点接触による探針先端原子のSi(001)表面への移送

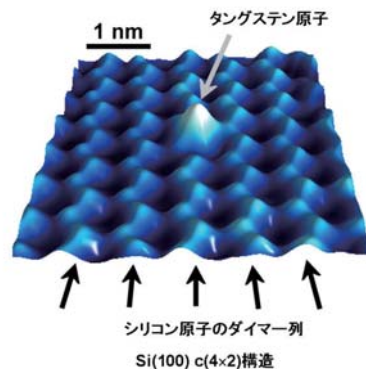


図2 原子1個の探針物質移送と原子分解能イメージングの両立

一次元量子井戸の状態をエネルギー毎に可視化

単一原子移送技術を応用して、単一ダイマー列上の二点にタングステン原子のサブナノドットを創製することに成功した。このように作製された二個の散乱障壁の間に実際に電子が閉じ込められ、量子井戸構造となっていることは、微分コンダクタンスイメージングによりエネルギー毎の状態密度を可視化することにより実証した。一次元調和振動子の量子井戸モデルと比較することにより、閉じ込められた電子状態が量子化されていることがわかる。また、閉じ込められた電子状態が単一ダイマー列内に存在していることから、一次元的な量子閉じ込め構造が実現していることが明らかになった。

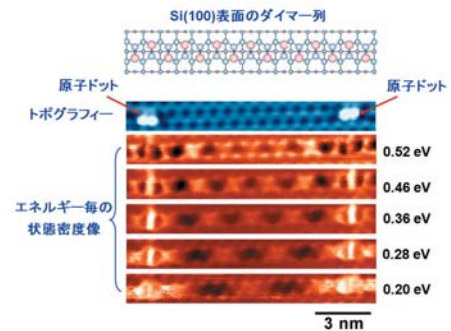


図3 タングステン原子ドット(散乱障壁)間のシリコンダイマー列(一次元量子井戸)に閉じ込められた一次元電子波の状態密度:微分コンダクタンス像によりエネルギー毎に可視化

■ 主な成果

- (1) タングステン探針からシリコン(100)表面の任意の原子位置にタングステン原子1個程度を移送し、サブナノスケールの原子ドットを創製する技術を実現した²⁾。これまでにNIMSは“制御された探針原子群(数百個)の移送”を実現し、ナノメタルドットの創製を先導したが、原子レベルの位置精度での原子移送技術は未開発であった³⁾。
- (2) シリコン(100)表面ではダイマー列方向にのみ表面電子が流れやすく、一次元的な電子状態を有するとされている⁴⁾。このような材料系に対して、原子位置精度を有する探針原子移送技術を応用することにより、人工的にサイズ制御された原子スケール幅の一次元量子閉じ込め構造の創製に成功した。
- (3) 極低温かつ超高真空環境における位置安定性に優れた走査トンネル分光計測技術を応用することにより、人工一次元量子井戸に閉じ込められた電子のエネルギー毎の状態密度(電子の分布密度)を原子分解能で可視化することを実現した。

発表文献

- 1) K. Sagisaka, D. Fujita and G. Kido, Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 146103.
- 2) K. Sagisaka and D. Fujita: Appl. Phys. Lett. **88** (2006) 203118.
- 3) D. Fujita and T. Kumakura: Appl. Phys. Lett. **82** (2003) 2329.
- 4) K. Sagisaka and D. Fujita: Phys. Rev. B **72** (2005) 235327.

期待されるイノベーション

本研究におけるイノベーションは、「原子と電子波を観察する技術」と「原子を移送し、サブナノドットを創製する技術」という2種類の究極的なナノテクノロジーの融合を実現したことである。ナノテクノロジーは予測(Plan)、創製(Do)と計測(See)が融合サイクルとなることにより画期的なイノベーションを創出する。本イノベーションは、融合サイクルの創製(Do)と計測(See)の融合基盤技術を同一プローブにより提供する。さらにナノシミュレーションによる予測(Plan)技術を融合することにより、次世代の原子サイズ量子効果デバイスの開発を促進するものと期待される。また、シリコン(100)表面は半導体ナノエレクトロニクスの重要基板表面であり、そこでの高度なナノ創製/ナノ計測融合技術の実現は大きな波及効果を有している。

お問い合わせ先

ナノ計測センター 藤田 大介 鷲坂 恵介
メールアドレス: FUJITA.Daisuke@nims.go.jp SAGISAKA.Keisuke@nims.go.jp

7

ダイヤモンドの超伝導

■ 研究のポイント

ダイヤモンドにおける超伝導の発現には、ダイヤモンドの価電子と格子振動が重要な役割を果たしていることが、軟X線角度分解光電子分光とX線非弾性散乱の測定から明らかになった。ダイヤモンドの超伝導は、バンド絶縁体にキャリアを多量に導入することによって起こる新しい現象であるため、超伝導発現メカニズムの解明と、新機能電子デバイスへの応用の点から、注目されている。

■ 研究の内容

宝石店で見かけるダイヤモンドは、そのほとんどが透明である。これは、純粋なダイヤモンドは、価電子帯と伝導帯の間に大きなバンドギャップ (5.5eV) を持つ絶縁体であるからである。天然に希に、美しいブルーのダイヤモンドが産出する。ブルーダイヤモンドにはホウ素がドーピングされている。ホウ素は炭素より電子が一つ少ないため、ダイヤモンドにホウ素をドーピングすると、ホールのキャリアが導入され、p型の半導体になる。さらに高濃度にホウ素をドーピングしたら、どのような特性が表れるであろうか。

気相成長法を用いて高濃度ホウ素ドーピングダイヤモンドを合成したところ、金属的電気伝導を示すブラックダイヤモンドが得られた (図1)。図2に、このブラックダイヤモンドの電気抵抗の温度変化を示す。電気抵抗は、11.4Kから減少し始め8.4Kでゼロとなった。これは、ダイヤモンドに超伝導が出現したことを示しており、超伝導状態では電気抵抗がゼロのため、一切発熱することなく電流を流すことができる¹⁾。

もともと絶縁体であるダイヤモンドが金属になるメカニズムを解明するために、軟X線角度分解光電子分光法により、ダイヤモンドの電子状態を観測した (図3)。 E_F はフェルミレベル、白線はダイヤモンドの価電子帯を示す。ホウ素濃度が少ない試料(c)は、フェルミレベルがバンドギャップ内にあるため半導体である。一方、ホウ素濃度の高い試料(a)(b)は、ホウ素濃度の増加に伴いフェルミレベルが価電子帯の内部にシフトし金属になった。今回はじめて、ダイヤモンドの絶縁体-金属転移のメカニズムを、実験的に明らかにすることに成功した²⁾。

一般に、電子は負の電荷を持つため、二つの電子間に斥力が働く。もし何らかの原因で電子間に引力が働くと、クーパーペアという電子ペアが形成され超伝導が出現する。ダイヤモンドにおけるこの電子間の引力の起源を明らかにするために、Spring8の放射光を用いた、X線非弾性散乱測定を行った。その結果、ダイヤモンドが持つ非常に

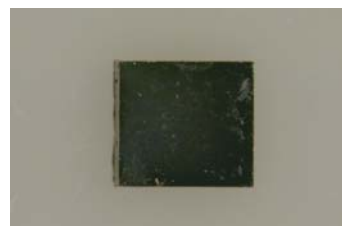


図1 人工ダイヤモンド基板の上に気相成長法で成膜した高濃度ホウ素ドーピングダイヤモンド(ブラックダイヤモンド)

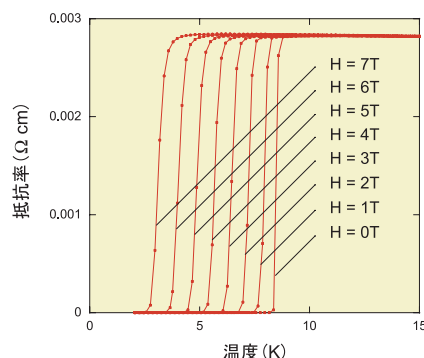


図2 電気抵抗率の温度変化 (磁場(H)の増加に伴い超伝導転移温度が低温側へシフトし、超伝導と磁場の相関を示している)

エネルギーの高い格子振動と電子が強い相互作用を持つことによって、電子間に引力が働き超伝導が現れることが明らかになった³⁾。

これらの研究成果は、バンド絶縁体に起こる超伝導を理解する上で非常に有意義であるのみならず、さらに高い超伝導転移温度を実現するための重要な指針になると期待している。

ホウ素濃度: $B=8.37 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ > $B=1.18 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ > $B=2.88 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$

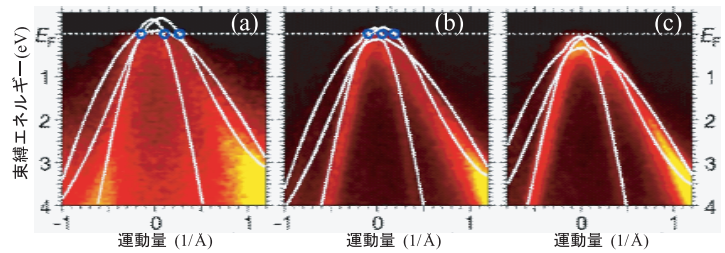


図3 軟X線角度分解光電子分光によるホウ素ドーパダイヤモンドの電子構造。

■ 主な成果

- (1) ダイヤモンドの金属-絶縁体転移のメカニズムを電子状態から解明。

軟X線角度分解光電子分光により、ダイヤモンドの金属-絶縁体転移を電子状態から解明することに成功した。ホウ素のドーピングにより、フェルミレベルが、ダイヤモンドの価電子帯内にシフトし金属化することが分かった。さらに、ホウ素のドーピングにより、ダイヤモンドの電子構造が、ほとんど変化しないことも明らかになった。

- (2) ダイヤモンドの超伝導の発現機構を解明。

ダイヤモンドに超伝導が出現するメカニズムを、X線非弾性散乱測定により解明した。非常に高いエネルギーを持つダイヤモンドの格子振動と電子が強力に相互作用し、金属化したダイヤモンドの電子間に引力が生じ、電子のペアであるクーパーペアが形成され超伝導が出現することが明らかになった。

発表文献

- 1) Yoshihiko Takano, Masanori Nagao, Isao Sakaguchi, Minoru Tachiki, and Takeshi Hatano, Kensaku Kobayashi, Hitoshi Umezawa, and Hiroshi Kawarada, Applied Physics Letters, 85, 2851, 2004.
- 2) T. Yokoya, T. Nakamura, T. Matsushita, T. Muro, Y. Takano, M. Nagao, T. Takenouchi, H. Kawarada, T. Oguchi, Nature 438, 647, 2005.
- 3) M. Hoesch, T. Fukuda, and J. Mizuki, T. Takenouchi and H. Kawarada, J. P. Sutter and S. Tsutsui, A. Q. R. Baron, M. Nagao and Y. Takano, PHYSICAL REVIEW B 75, 140508(R), 2007.

期待されるイノベーション

地球温暖化防止のために、省エネルギー化は急務である。特にIT関連機器のエネルギー消費は増加の一途をたどっている。一方、超伝導体は、全く発熱無く電流を流すことができる。さらに、ジョセフソン接合によるロジック回路を応用すると、極めて消費電力の少なく高性能な超伝導コンピューターが可能である。

このような、将来の省エネルギーデバイスの開発には、超伝導をはじめとした新機能と新材料の融合が不可欠である。なかでも、ダイヤモンドは、ホウ素濃度を変化させるだけで、絶縁体、半導体、金属、超伝導体と様々な特性を制御することができる大変希な材料であり、この特徴を生かして、環境に優しい新機能デバイスを開発していきたいと考えている。

お問い合わせ先

ナノシステム機能センター 高野 義彦
ホームページ: <http://www.nims.go.jp/NFM/>
メールアドレス: TAKANO.Yoshihiko@nims.go.jp

8

水の無秩序な構造の不連続性 (ポリアモルフィズム) の実験的研究

■ 研究のポイント

純水のガラス状態（非晶質水）に二種類あり、相互に変化することが約20年前に見つかった。これを契機として、氷点以下に過冷却された液体の水に、低密度水と高密度水の「二つの水（液相）」があることがわかってきた。この「二つの水」は水溶液の理解に大切であることが最近示された。

■ 研究の内容

水は特異な性質を持っている。よく知られているように、水は4℃で最も重い（図1）。最近、「二つの水」ということが理論・実験からしだいに明らかになり、この特異な性質の原因が見えてきた。きっかけは1980年代半ばに現在のNIMS研究者（旧無機材質研究所）がカナダで行った氷の圧縮実験である。氷の「圧力融解」が零下196度で試され、高密度の非晶質氷が作られた（図2、図3）。また、圧力と温度を変えると高密度から低密度へ、逆に低密度から高密度へと、密度が突然20%変化して非晶質状態が一気に移り変わることがわかった。この「無秩序な構造の不連続性（ポリアモルフィズム）」の検証実験が、引き続き20年以上にわたりNIMSで行われてきた^{1)~5)}。

一方1992年、アメリカの理論グループが、「二つの非晶質水の存在」を参考に「低密度と高密度の『二つの水』が存在する」と提案した。過冷却水は不安定なため、NIMSでは「氷の結晶を過冷却水に一瞬のあいだ融かす」実験を行い、その融け方から「二つの水」の存在を示唆した。さらに、「二つの水」が混ざって一つになる圧力と温度（臨界点）を実験から予測した。



図1 4℃の水が最も重い。

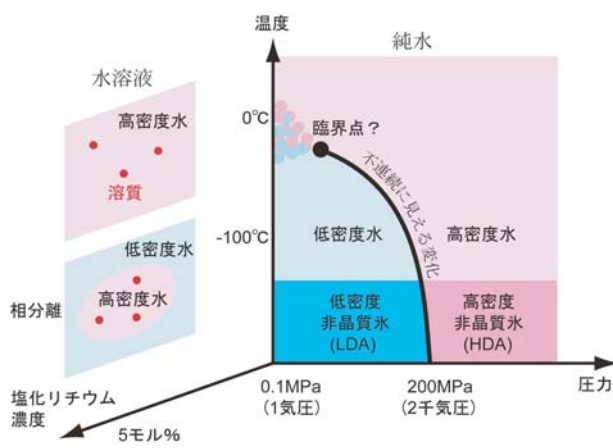


図2 低温高圧下の水、非晶質氷、塩水の関係（概念図）。

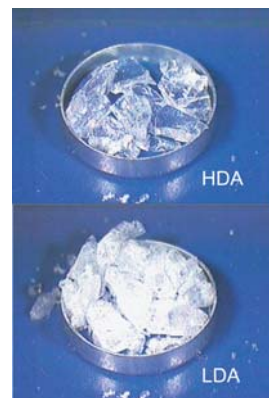


図3 高密度非晶質氷 (HDA) と低密度非晶質氷 (LDA)

実験の難しさから現在「二つの水」の存在が厳密に証明されたとは言えない。しかし、「二つの水」を間接的に支持する証拠は国内外で増えている。NIMSでは最近「薄い塩水（約5モル%の塩化リチウム水溶液）が低温で二つの液体に分離する」ことを示した⁵⁾。この結果は「二つの水」の存在を示すだけでなく、「二つの水」で水溶液が理解できることを示す（図2）。

■ 主な成果

これまでの水と非晶質氷の実験的研究でポリアモルフィズムの概念がはっきりと示された。すなわち、

- (1) 「二つの非晶質氷」の不連続性を強く示唆した。
- (2) 「二つの水」の不連続性を強く示唆した。
- (3) 「二つの水」の臨界点の位置を予測した。
- (4) 薄い塩水（塩化リチウム水溶液）の相分離を見つけ、「二つの水」の不連続性を強く支持した。

発表文献

- 1) O. Mishima, K. Takemura and K. Aoki: Science. **254** (1991) 406.
- 2) O. Mishima: J. Chem. Phys. **100** (1994) 5910; Nature. **384** (1996) 546.
- 3) O. Mishima and H. E. Stanley: Nature. **392** (1998) 164; **396** (1998) 329.
- 4) O. Mishima and Y. Suzuki: Nature. **419** (2002) 599.
- 5) O. Mishima: J. Chem. Phys. **123** (2005) 154506; **126** (2007) 244507.

期待されるイノベーション

ポリアモルフィズムの発見は、水という物質の見方を変えるだけでなく、物質科学における液体像・ガラス像を大きく変革する。カナダ、そしてNIMSでのポリアモルフィズムの実験は国内外の理論・実験グループの興味を喚起し、その結果、水を「二つの水」で理解しようとする研究の流れが生まれた。この流れは、純粋物質の液-液相転移の研究を加速し、液体状態の理解が進んだ。

これまで、水の状態は一つしかないとして、水溶液の水和が論じられてきた。「低密度と高密度の二つの水の存在」は、水溶液や界面の水、さらに生物の水を理解する新しい視点になる。また、「二つの非晶質氷」は、生体物質の冷凍保存や宇宙の氷の理解に係わり、過冷却水は雲の生成に係わる。

ポリアモルフィズムはリンなどでも見つかっており、物質の一般的な現象だと考えられている。岩石の成分であるシリカ（二酸化珪素）の液体もポリアモルフィズムを示すと予想されているので、その挙動は地球内部の研究で重要になろう。物質・材料の研究ではこれまで主に結晶が使われてきたが、ポリアモルフィズムの視点で液体・ガラスの基礎的理解が進めば、無秩序構造の違いを利用した応用が期待できる。

お問い合わせ先

ナノ物質ラボ 三島 修
ホームページ: <http://www.nims.go.jp/water/>
メールアドレス: MISHIMA.Osamu@nims.go.jp



ロールス・ロイス航空宇宙材料センター

1. 研究のポイント

ロールス・ロイス (RR) 社と共同して大型民間航空機用ジェットエンジンの最高温部 (タービン翼) で使う耐熱性に優れたニッケル (Ni) 基超合金の開発を行っています。開発目標は、一般的に使われているものより約 100℃ 高い世界最高の耐用温度^{注)} 1150℃ の合金です。また、RR 社製エンジンへの実用化は 2012 年を目途とし順調に研究を進めています。

2. 研究の内容

Ni 基超合金は、Ni をベースにコバルト、クロム、タングステン、アルミ、タンタル、ルテニウムなど多くの元素を添加した多元系合金です。必要とされる特性は高温クリープ、引張り、疲労、耐酸化性、耐腐食性など多岐にわたり、しかも複雑形状のタービン翼に casting 可能であることなど、合金開発にあたっては相反する多くの特性を満足させねばなりません。

私たちは、原子レベルの組織解析や電子顕微鏡の中でのクリープ試験などユニークな解析技術、また、クリープ試験、熱疲労試験など一連の高温特性評価技術、本格的な単結晶凝固炉による合金製造技術 (図1) など必要な研究設備とノウハウおよび独自のコンピュータソフトを用いた合金設計技術を有しています。合金設計プログラムを用いることで界面転位網が微細化するよう合金組成を最適化し、クリープ強度を向上させた例を図2に示します。転位はそれ自体合金の変形の原因になりますが、転位が γ 相と γ' 相という結晶の界面にネットワークを作ることによってそれ以上動けなくなり、従って強度が向上するというメカニズムです。このような方法を意図的に用いて強化する合金開発は私たち独自のもので、たとえば、ルテニウムを



図1 一方向凝固・単結晶凝固炉によるNi基単結晶合金製造の様子

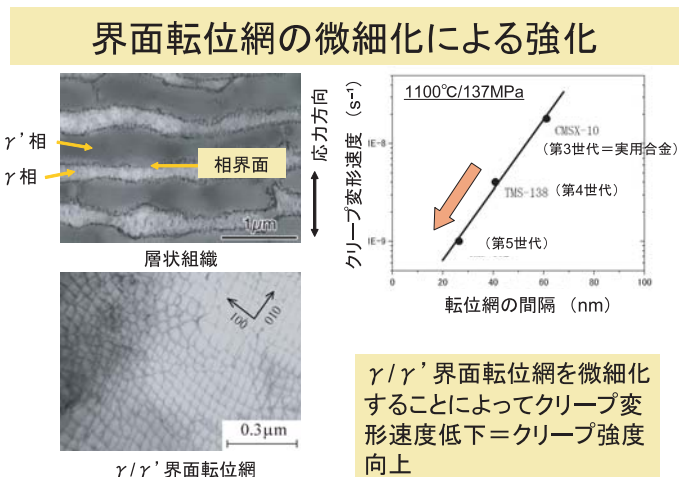


図2 TEMによって観察された γ/γ' 相界面の微細な転位網(左)および転位網間隔とクリープ強度との関係(右)

5～6wt%添加した第5世代Ni基単結晶超合金 TMS-162 は既存合金を約 50℃ 上回る耐用温度を有しています (図3)。50℃の向上はクリープ寿命に換算すると約6倍に相当する大変大きな効果です。

RR社との共同研究では、さらに耐用温度の高い合金の開発と実用化を目指して研究が進められています。共同研究の成果およびNIMSの合金開発能力には絶大な賞賛と期待が寄せられています (図4)。(耐用温度とは、応力 137Mpa で 1000 時間、クリープ破断しない温度です)

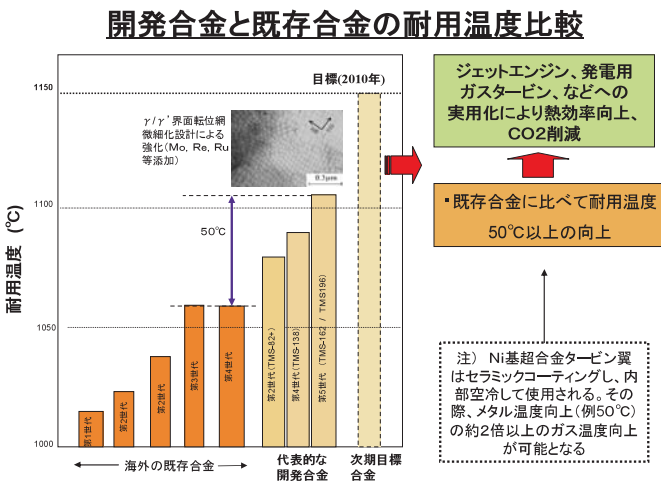


図3 既存合金と開発合金の耐用温度の比較

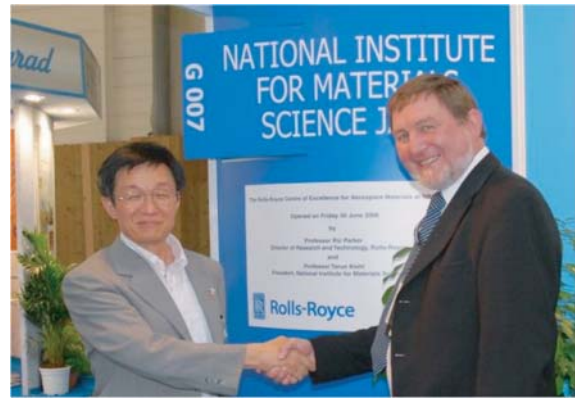


図4 Ric Parker 研究・技術部門ディレクターの表敬訪問を受ける原田超耐熱材料センター長(パリ国際航空ショー・NIMS超耐熱材料センターブースにて。2007年6月)

3. 期待されるイノベーション

NIMSが培ってきた基礎・基盤研究の成果がグローバルな連携により世界規模で実用化され、環境問題解決に貢献します。従来、日本の企業はジェットエンジン製造にかかわっているものの最も重要な高温・高圧部分に参入できないでいました。しかし、この連携によって初めて、日本の材料が最重要部分に採用されることとなります。また、RR社は日本の重工業メーカー等と密な連携関係があり、この共同連携の輪が広がって日本の国益になるとともに、夢の純国産ジェットエンジンへの道を拓くと期待できます。

2006年度運営に関するデータ集

- 論文被引用数
- 論文推移
- 特許推移
- 運営費交付金等の推移
- 科研費獲得推移
- 外部資金等の獲得状況
- 企業連携活動実績の推移
- 人員の状況
- NIMSナノテクノロジー拠点体制図
- NIMS体制図（第二期）

2006年度運営に関するデータ集

論文被引用数

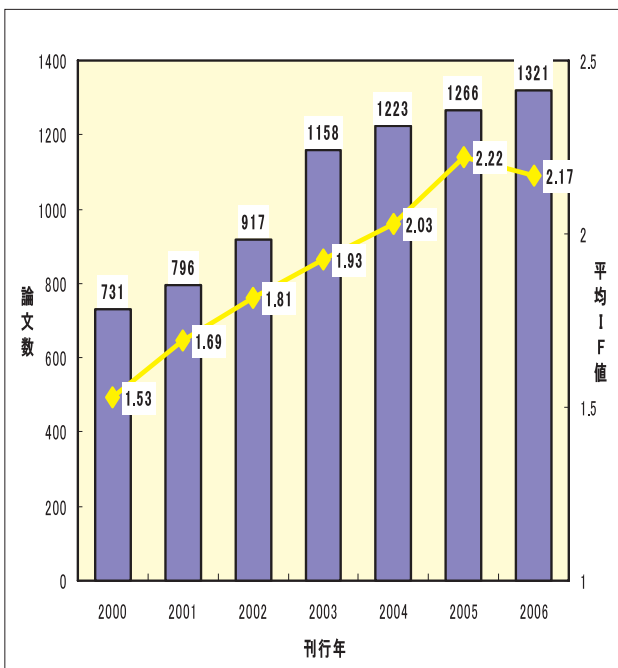
論文被引用数ランキング (Materials Science) *1

独法化前 *2 (1996~2000)			独法化後 (2002~2006)		
1	マックスプランク研究所	4,886	1	中国科学院	15,427
2	東北大学	3,990	2	マックスプランク研究所	9,524
3	カリフォルニア大学サンタバーバラ校	3,204	3	東北大学	7,897
4	MIT	3,095	4	MIT	6,150
5	ロシア科学アカデミー	3,026	5	産業技術総合研究所	5,963
6	ケンブリッジ大学	2,570	6	物質・材料研究機構	5,852
7	産業技術総合研究所	2,561	7	清華大学	5,821
8	ペンシルバニア州立大学	2,517	8	カリフォルニア大学バークレー校	5,581
9	京都大学	2,443	9	CSIC(スペイン)	5,351
10	大阪大学	2,370	10	大阪大学	5,213
⋮					
31	物質・材料研究機構	1,570			

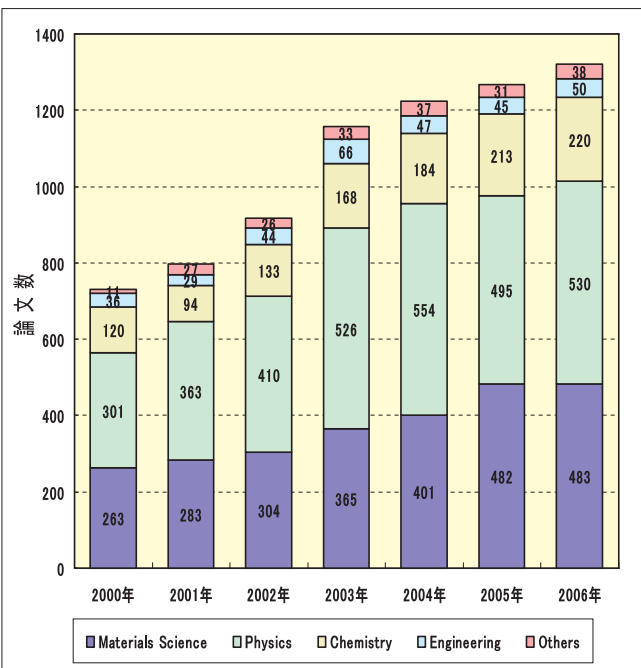
*1 本ランキングは、平成19年5月のトムソンサイエンティフィック社のESIデータベースをもとに作成
*2 独法化前は金属材料技術研究所と無機材質研究所を合計

論文推移

SCI論文数及び平均インパクトファクター



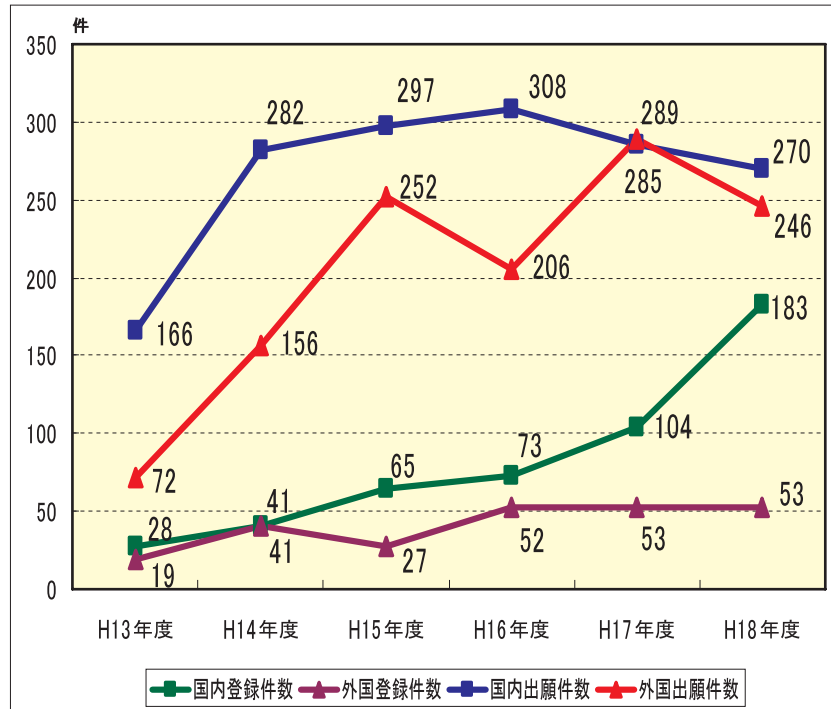
分野別推移



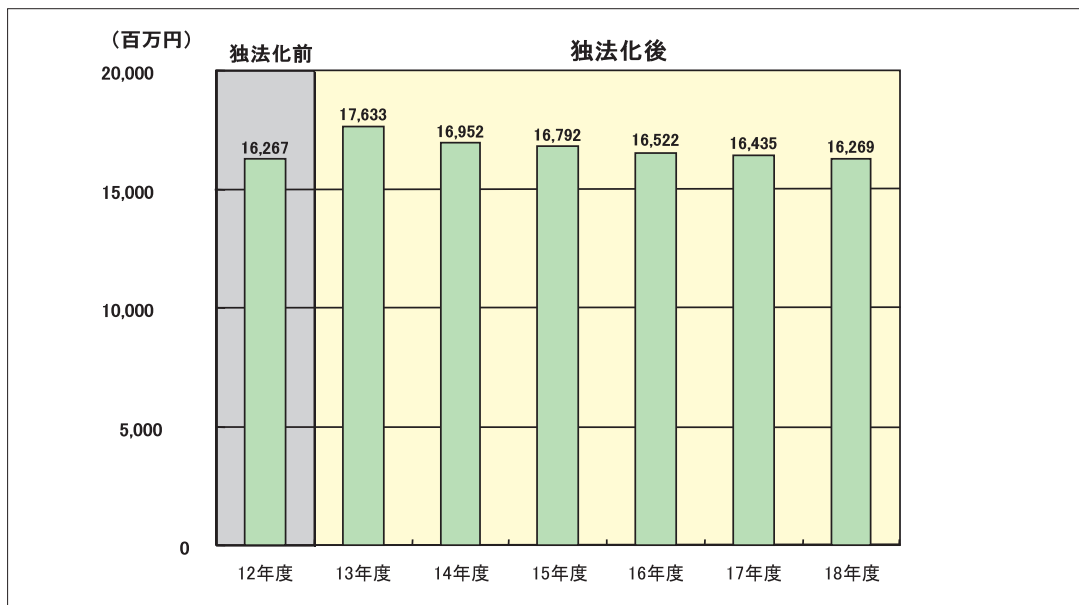
※トムソンサイエンティフィック社の「Web of Science」のデータベースをもとに分析

特許推移

特許出願件数及び登録件数



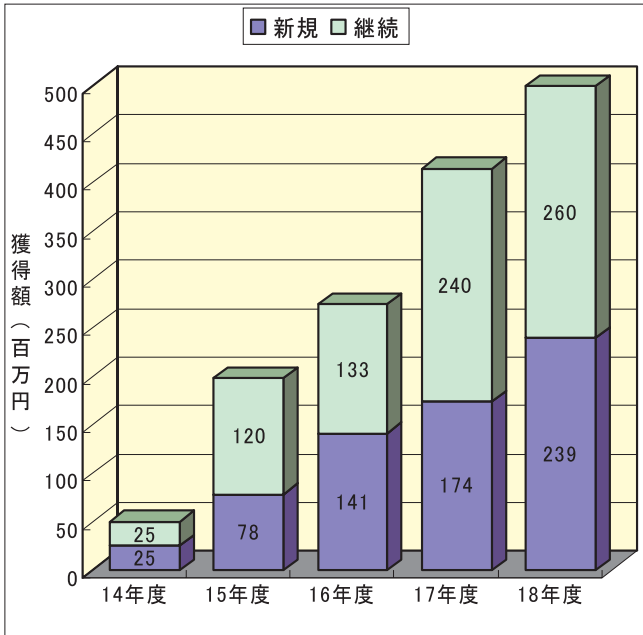
運営費交付金等の推移



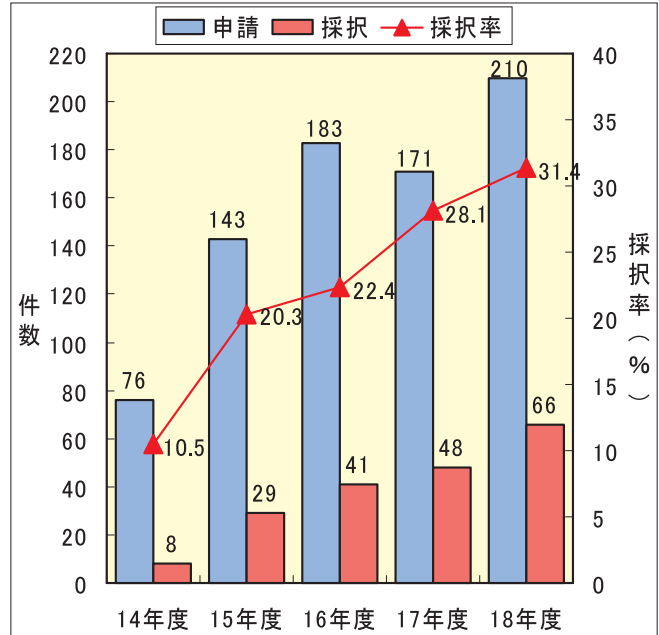
※12年度は、総理府所管一般会計のうち、旧金材技研・旧無機材研に該当する予算の合計額。13年度以降は、運営費交付金及び施設整備費補助金の合計額。

科研費獲得推移

獲得額

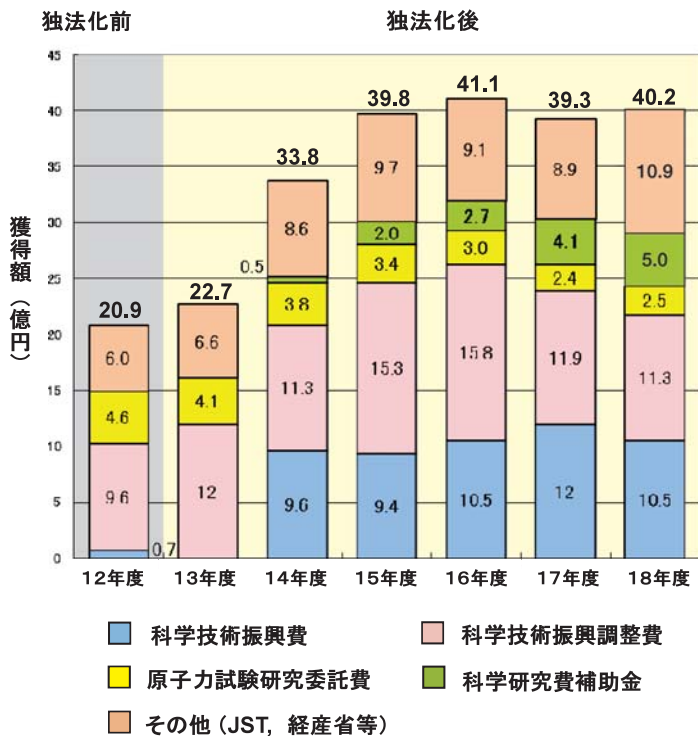


採択件数・採択率

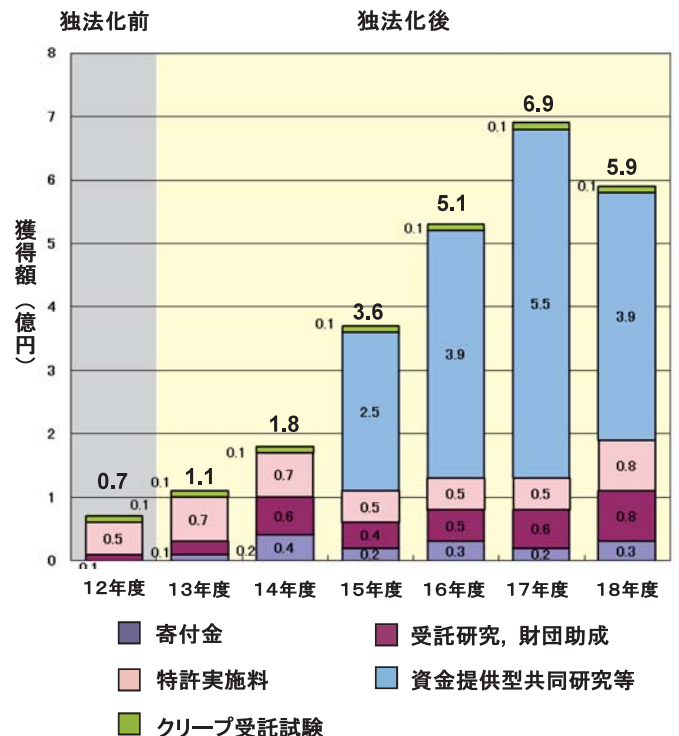


外部資金等の獲得状況

公募型競争的資金による研究

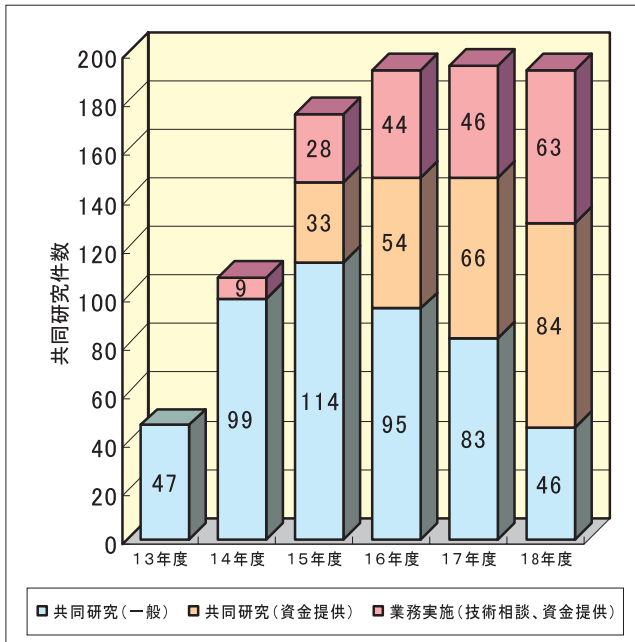


企業等からの資金

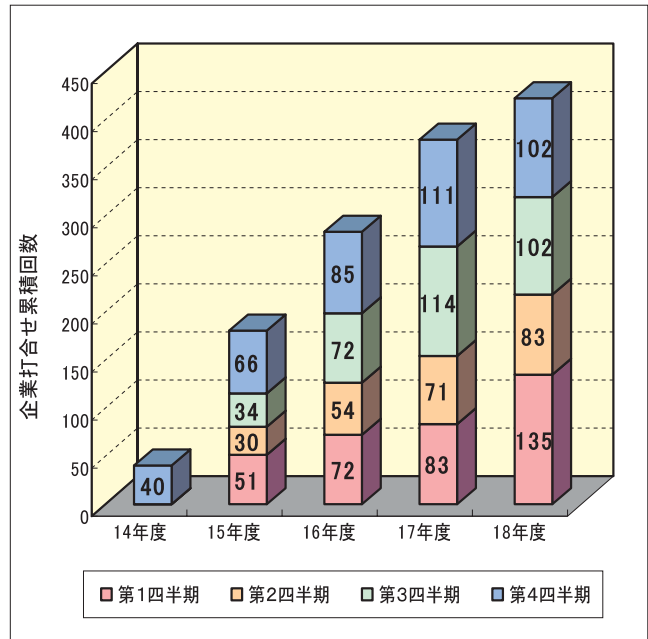


企業連携活動実績の推移

企業との共同研究等

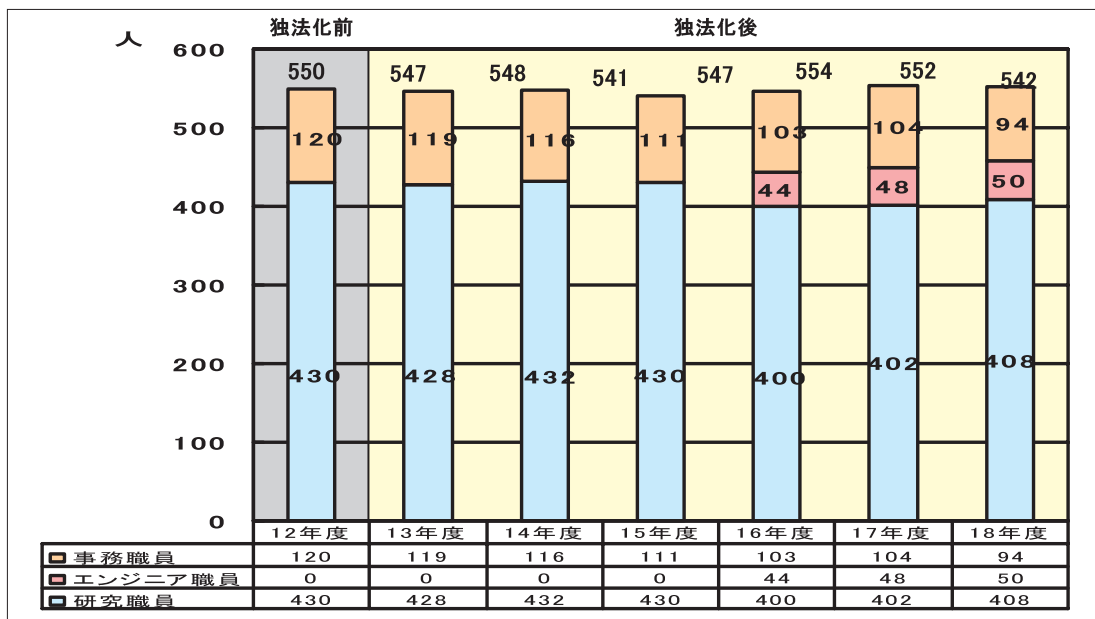


企業からの技術相談



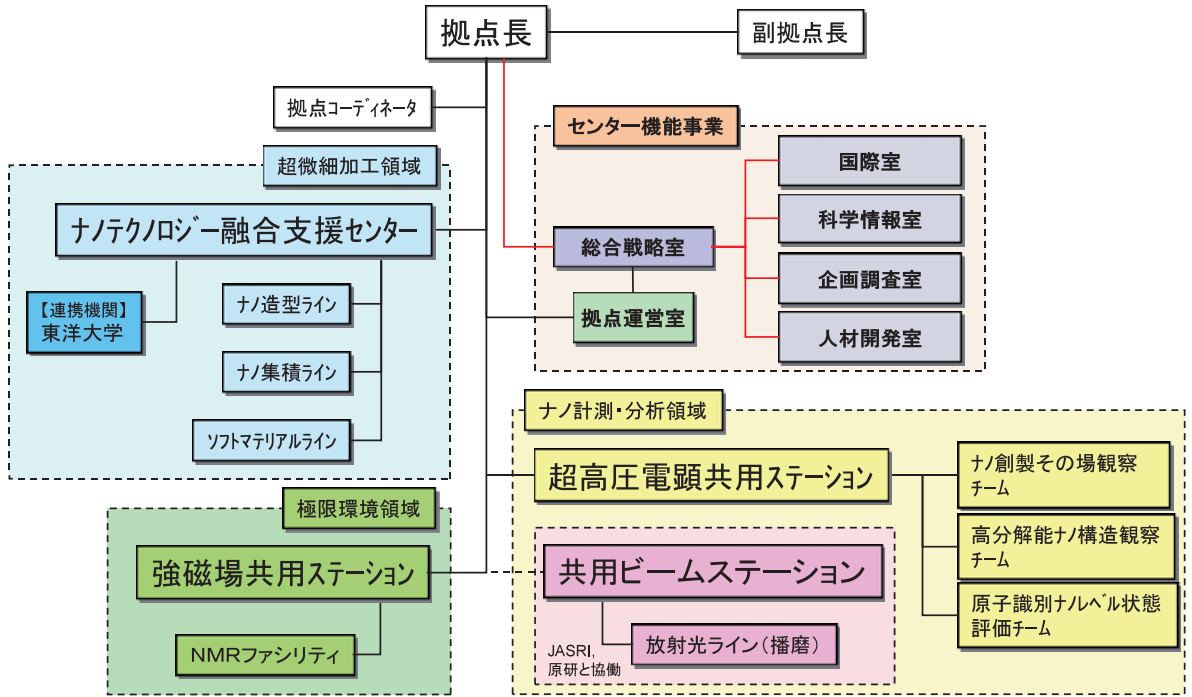
人員の状況

常勤職員数の推移

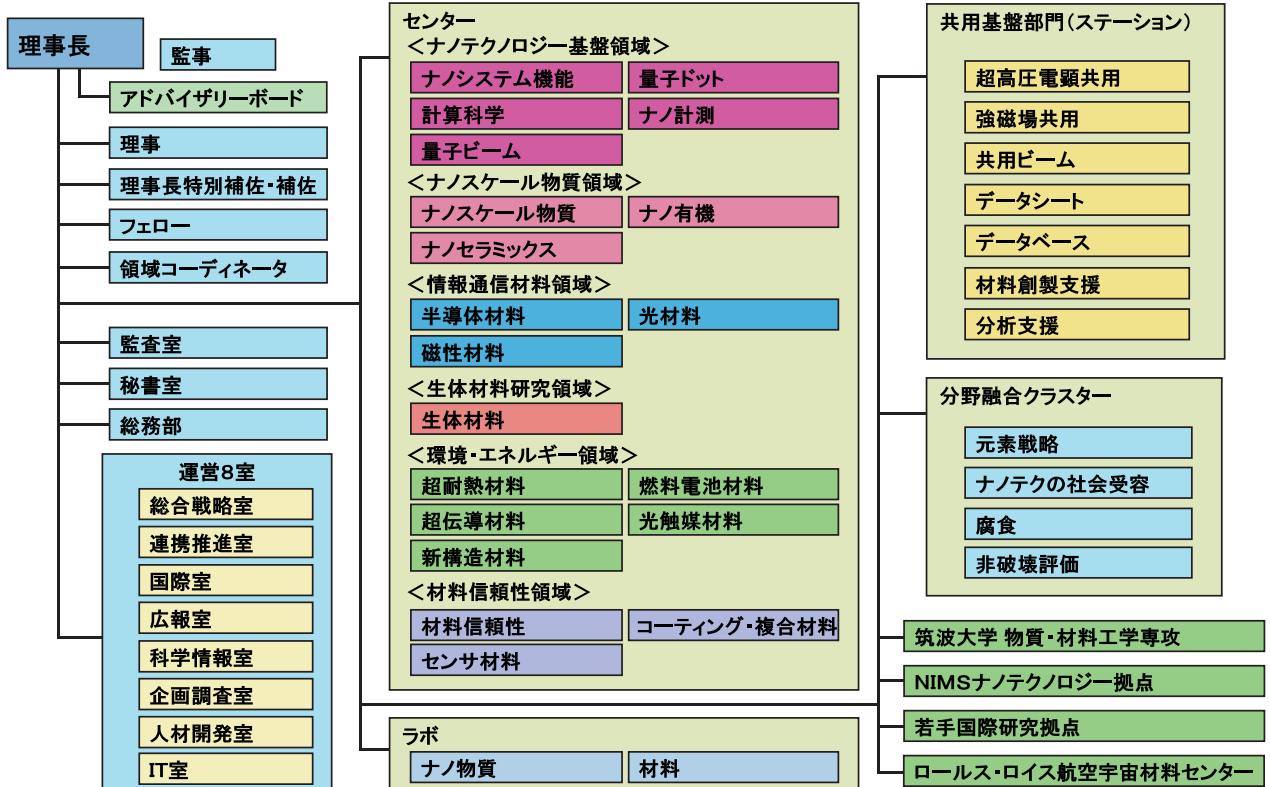


※12年度から18年度は、各年度末の人数。(役員は含まず)

NIMS ナノテクノロジー拠点体制図



NIMS体制図（第二期）



◆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：独立行政法人 物質・材料研究機構

担当者：企画調査室／黒澤 景

〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1

電話：029-859-2042

FAX：029-859-2025

E-mail：KUROSAWA.Kei@nims.go.jp

