

# むきざい、NOW



文部科学省  
無機材質研究所

JANUARY 2001 No.185

[特集]

## 新世紀初頭の材料展望

### CONTENTS

#### 特集 新世紀初頭の材料展望

- 1 年頭のごあいさつ
- 2 情報技術と無機材料
- 3 高齢化社会と生体材料
- 4 21世紀の先導技術としての超伝導
- 5 21世紀の新超硬質材料
- 6 電子顕微鏡とナノテクノロジー
- 7 ニュース
- 7 編集後記

# 年頭のごあいさつ



所長 木村茂行

謹んで新年のご挨拶を申し上げます。皆様には本年のますますのご発展を祈念いたします。

本年は21世紀最初の年となります。本年1月から科学技術庁は文部省と統合し、文部科学省が誕生しました。この4月からは、行政改革の一環として、無機材質研究所と金属材料技術研究所とが統合し、独立行政法人物質・材料研究機構となり、行政のニーズに基づく研究活動を展開することになります。私共はこの1年間準備作業を進めてまいりましたが、この改革を研究体制の効率化の好機と捉え、研究者から見ても、より大きく夢を広げる契機にしたいと考えております。

当所の研究対象はセラミックスの基礎科学でした。物質・材料研究機構のミッションは材料の科学技術に関する研究開発です。これまでの活動範囲にとらわれない広がりのある研究展開が求められていると認識しています。この研究機構には、現在の無機材質研究所を中核とした先端物質研究所（仮名）が内部組織として設置される予定になっており、現在進められている多年度にまたがる研究は、この内部組織に引き継がれます。つまり、これまでの「物質・材料の本質を理解する」ための研究は更に強力に進めることとなります。

上に述べた研究機構には、現在の金属材料技術研究所を中核とした機能材料技術研究所（仮名）と、両研究所の研究者が参加するナノ材料研究所（仮名）の設置が予定されており、三つの研究所を抱える組織となります。それぞれの研究所の組織体制や運営方式の詳細については間もなく明確になりますが、文部科学省により任命される研究機構理事長の指導の下、従来と比較して大きく改善された研究環境の中で研究活動が再開されるでしょう。この新しい研究環境は、新しい世紀における我々の研究成果を大きく引き出すものであり、この中での活動は緊張感を伴います。「むきざいNOW」の本号で紹介する研究の考え方は、このような研究環境を意識したものであり、我々の研究意欲を代表するものであります。

無機材質研究所は今年3月で35年間の活動を終えます。ユニークなグループ研究制度と外部との交流促進、そして諸賢のご鞭撻により、国立研究所としてはかなり活性度の高い研究所の一つとして活動してきたと自負しております。独立行政法人化後も、この現状を活用して、産学官連携研究や国際的研究を推進する役割を果たしていきたいと考えております。今年も皆様の温かいご支援をお願いいたします。

## 情報技術と無機材料

### 無機材研で取り組む光通信技術用酸化物単結晶とガラス



第13研究グループ  
総合研究官 北村健二

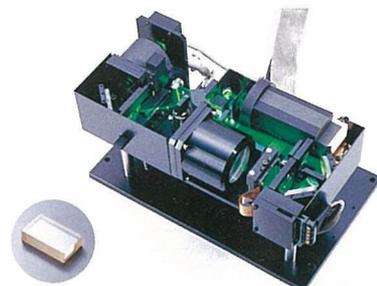
21世紀では、より高速で大容量伝送可能なデータ回線を安く利用できる施設の整備と、飛び交う膨大な情報を記憶して、速やかに希望するデータを取り出せるシステムが必要となります。このようなネットワークの整備が国の経済活動に密接に関わる時代といえましょう。しかし、一般利用者の端末まで情報伝送の高速化・大容量化が実現するには、まだ解決すべきあるいは大幅に改善すべき技術課題が多くあります。どの一つが解決されなくとも、それが律速となり、システム全体が要求を満たすことはできません。この中には、多くの光デバイス開発が不可避であり、日本の卓越した「もの作り」能力をもってこの分野における役割を確保することは極めて重要です。特に材料開発に基づいた光デバイス開発に関しては、日本が米国をリードした分野と位置づけられているものも多く、技術課題のブレークスルーに重要な役割をはたすチャンスは多くあると言えます。

ここでキーとなるデバイスとしては光源、光増幅器、光合分派器、光スイッチ、波長可変フィルター、波長変換器、情報記憶メディアなどがあり、それらに応用される材料も半導体、ガラス、有機材料誘電体単結晶等多種多様にあります。これらの材料をより高度の光通信へ応用しようとした場合、現状の材料機能以上へのブレークスルーが求められています。これら幾つかのデバイスに応用される材料開発に関しても、無機材研には多くの研究実績があり、特に光機能単結晶およびガラスの研究は、重要な課題として取り組んでいます。

ブレークスルーとなりうる単結晶材料の一つが、従来の欠陥を大幅に制御した強誘電体ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム結晶で、これらの材料開発において無機質研究所は世界的にも注目されています。これらの材料は、映像（テレビ・ビデオ）用あるいは移動体通信（携帯電話等）

用周波数選択デバイス材料として実用化されています。更に、これらは波長変換素子、光変調素子、光記憶素子へ応用する光機能材料としても、優れた特性を持っていますが、従来材料では欠陥を多く含んで、素子作成に限界がありました。そこで、無機材質研究所では、不定比欠陥密度を制御する単結晶育成法を開発すると同時に、従来材料と不定比欠陥を制御した材料を様々な特性で比較してきました。その結果、欠陥制御が光機能素子への応用においてブレークスルーの役を果たし得ると判断し、本材料の高品質化とデバイスプロセスの基盤的研究に挑んでいます。下図は、欠陥を制御したニオブ酸リチウム単結晶を用いて、高密度記憶・高速読み出し可能なホログラム記憶装置の試作機です。

一方、ガラスも光通信分野では重要な材料であり、光ファイバや平面光導波路に広く用いられています。しかし、そのほとんどはSiO<sub>2</sub>ガラス製で、光を伝達する様な受動的な機能には向いているものの、光の性質を変化させるような動的な機能には限界があります。SiO<sub>2</sub>組成以外のガラスで動的な素子を作製しようとする、技術的な困難さがSiO<sub>2</sub>ガラスに比べて非常に大きくなることも事実です。これは、SiO<sub>2</sub>ガラスの合成に用いられている気相原料を用いた合成法が適用できないためです。そこで、無機材研では非SiO<sub>2</sub>ガラス製光部品の作製に、伝統的な熔融法に微小鑄型の利用を組み合わせる試みを行い、内径126 $\mu$ m（光ファイバの外径に一致）の毛細管内にテルライトガラスを封入することにも成功しています。



図：欠陥を制御したニオブ酸リチウム単結晶を用いたホログラム記憶装置のプロトタイプ（バイオニア株式会社と共同開発）

# 高齢化社会と生体材料

## 組織再生材料の研究開発



第10研究グループ  
総合研究官 田中順三

現在、わが国では高齢化が急速に進行しています。そのため、例えば整形外科を訪れる外来患者のうち、半数以上が変形性関節症で占められています。変形性関節症は、加齢によって関節軟骨がすり切れ体重が直接骨にかかって歩けなくなる病気です。その他、日常生活に支障をきたす運動疾患として、骨粗しょう症・関節リウマチ・スポーツ傷害などがあります。運動疾患の患者数は80万人で、わが国で3番目に多い病気です。

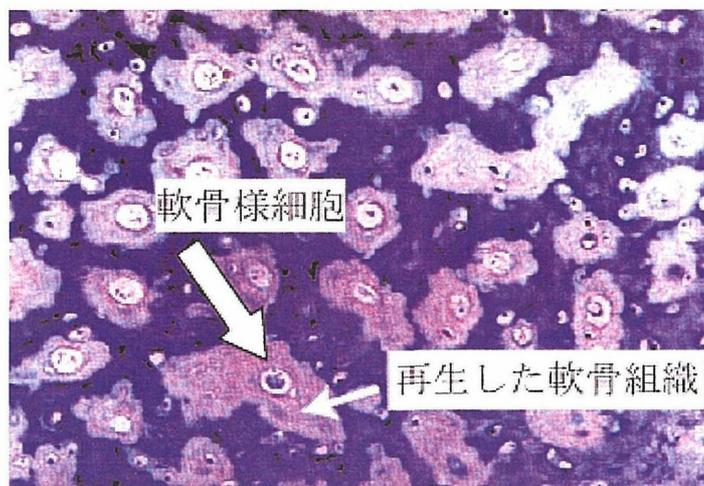
運動疾患のうち、特に軟骨・靭帯の治療はむずかしく、根本的な治療法は確立されていません。その理由として、これらの組織が石灰化した硬い骨と接していて、自然治癒力が弱いことがあげられます。

第10研究グループでは、骨・軟骨・靭帯などの運動器官を再生させる細胞足場材料の開発を進めています。下の図は、新たに開発した材料をウサギの軟骨（膝関節大腿部）に移植した結果です。移植して4週間経つと、材料の内部に軟骨細胞が侵入して、その周囲に軟骨組織を再生する様子が

観察されます。

移植に用いた材料は、「コラーゲン・コンドロイチン硫酸・アパタイト複合体」という材料です。コラーゲンは高価な化粧品に使われています。しかし、ここで用いたコラーゲンはそれとは異なるⅡ型コラーゲンという材料です。また、コンドロイチン硫酸は、もともと軟骨に含まれていて、水を保持する性質をもっています。この2つの有機材料だけでは固まりにすることはできません。そこで、骨の主成分であるアパタイトと組み合わせ、すべすべして固い成形体を合成することができました。

有機材料と無機材料の組み合わせは無限にあります。しかし、その中で生体組織を再生できる材料はほんのわずかしかなかった。現在、軟骨をはじめとして組織再生に適した材料の組み合わせは何か、またそれを合成するためには化学結合をどうすればよいか、などについて研究を進めています。大学の医学部や多くの企業と協力して「再生医学」の発掘に貢献することが目標です。



# 21世紀の先導技術としての超伝導



第11研究グループ  
総合研究官 室町栄治

## 物質・材料分野における課題

量子現象は通常ミクロな系でのみ出現します。電気抵抗の消失、磁束の量子化等の量子効果がマクロな系全体に発現する超伝導は、極めて特異な例と言えます。超伝導材料は、こうした希有な特性ゆえに、情報・通信、エネルギー、生命、環境、輸送等様々な分野への応用が期待されています。

電気抵抗がゼロという特性によって、超伝導体には大電流を損失なしに流すことができます。電力用ケーブルを超伝導体で作れば、大電力を細いケーブルで、しかも無損失で郵送することができます。あるいは、強い磁場を発生する磁石を極めてコンパクトに作る事が可能になります。実際、超伝導磁石は超伝導体の応用としては最もポピュラーなもので、既にMRI（医療機器）や、磁気浮上列車等で実用化されています。

一方、磁束の量子化というもう一つの量子効果を用いて、生体磁気等の微弱な磁場を検知する磁気センサーや、半導体素子よりも高速、低消費電力の単一磁束素子（SFQ）デバイスの開発など、弱電分野への応用も進みつつあります。しかし、超伝導をより広範に利用するためには、物質・材料面における一層の進展が不可欠の条件となっています。

長い間、超伝導は $-270^{\circ}\text{C}$ 近辺の極低温でのみ起こる現象と考えられてきました。すべての超伝導応用は、従って、液体ヘリウムの使用を前提としたものとならざるを得ませんでした。今から13年前の酸化物高温超伝導体の発見によってこうした状況は一変しました。80年代の終わりから90年代にかけて、数々の高温超伝導材料が発見され、超伝導の発現する温度は、液体窒素温度（ $-196^{\circ}\text{C}$ ）をはるかに超えて上昇し、ビスマス系、イットリウム系等の材料は既に実用化の域に達し

ようとしています。

高温超伝導材料の進展にも関わらず、むしろそれと機を一にして、物質・材料に対する新たな課題と要求が浮かび上がってきました。下表は、物質探索・材料開発分野における課題と波及効果を示したものです。多くの重要課題の中で、私たちのグループは、とりわけ、超伝導の発現する温度（ $T_c$ ）と流せる電流密度（ $J_c$ ）の飛躍的向上を目指しています。これが実現すれば、超伝導材料の適用範囲は格段に広がり、家庭で使われる民生品の中にも超伝導技術が生かされる日が来るに違いありません。近年発展が著しい、超高压等の極限合成技術、ソフト科学等の非平衡合成技術は新たな超伝導体の探索に大きな福音となっています。未知の物質や材料が我々の発見を待っていることを信じて、様々な合成手法を活用した探索研究を進めていきたいと思ひます。

## 超伝導研究における物質探索・材料開発分野の技術課題と波及効果

技術分野	技術課題	波及効果
物質探索	$T_c$ 、 $J_c$ の飛躍的向上 極限環境、非平衡環境下探索	次世代材料のシース確保 超伝導機構、現象論の解明
線材開発	$I_c$ 、 $J_c$ 、機械的特性の向上 高温磁界特性の改善 新金属系超伝導線材の開発	電力輸送用ケーブル 冷凍機冷却マグネット 強磁場マグネット
薄膜開発	原子レベルでの制御技術 大面積化 基板単結晶の開発	ジョセフソン接合 固有ジョセフソン接合 各種超伝導デバイス
単結晶開発	大型化、高品質化 欠陥制御	固有ジョセフソン接合 各種超伝導デバイス 薄膜用基板単結晶
バルク材開発	ピン止め力の向上 加工、機械特性の向上	強磁場永久磁石
計算科学	計算機ハードの高度化 新アルゴリズムの開発	超伝導機構、現象論の解明 超伝導デバイス設計

超伝導科学技術研究会「21世紀超伝導研究開発戦略」より引用

## 21世紀の新超硬質材料

### 超高压と材料



超高压カステーション  
総合研究官 赤石 實

20世紀に開発されたダイヤモンド及び立方晶窒化ホウ素(cBN)が超高压合成法により大量生産され、各種産業分野で不可欠の超硬質材料として利用されています。これらの材料を凌ぐ新高硬度物質の合成研究の現状を紹介し、新高硬度物質及び既存物質の高機能化による超高压力下の材料開発の可能性について展望します。

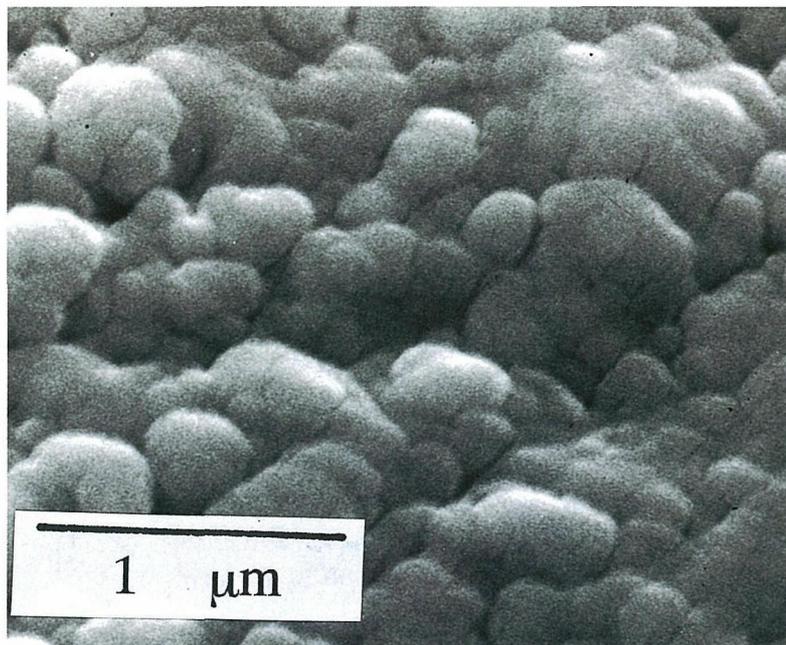
ダイヤモンドが物質の中で最も硬い物質、高い体積弾性率、として知られております。20世紀の後半にダイヤモンドの体積弾性率を凌ぐ物質として、 $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>と類似の結晶構造C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の存在が予測されました。以来この物質を合成すべく、理論・実験の両側面から精力的に研究が行われてきました。超高压下の合成研究は主にダイヤモンドアンビルセル/レーザー加熱装置を用いて行われてきましたが、いまだ目的とする物質は合成されていません。今後、数多くの研究者がこの物質を含む新高硬度物質の超高压合成に取り組んでいくものと思われれます。新高硬度物質の材料化はさらに先の課題となります。

超高压下の材料化研究は、勢い既存の高硬度物質の特性を十分に発現させるための高機能化研究を中心に展開していくと考えられます。具体的に幾つかの課題を挙げますと、ナノメートルサイズの粒子径を持つダイヤモンド・cBN多結晶体の開発、高純度大型cBN単結晶の合成、立方晶Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>多結晶体の合成等が考えられます。

これらの期待される材料の中からナノメートルサイズの粒子径を持つダイヤモンド多結晶体の開発について以下に簡単に説明します。何故ダ

イヤモンド多結晶体かと申しますと、ダイヤモンドは既存の物質の中で最も高硬度であるが、脆いという欠点がある。この欠点を克服するためダイヤモンド多結晶体が開発された。開発された多結晶体はその粒子径が限定されている。確かに単結晶に比較すれば、その脆さは格段と改善されたのではあるが未だ十分ではない。ダイヤモンド多結晶体の粒子径を可能な限り小さくすることにより、その靱性等の機械的強度が改善されること等が期待される。現在までの所、その粒子径はサブミクロンサイズですが、鋭利な刃先を持つ超精密加工工具等への応用が期待されます。微粒ダイヤモンド多結晶体の一例を図に示します。

cSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>等の新物質の材料化研究には、12GPa以上の超高压が必要であると考えられるため、このための装置開発と利用技術開発を行っております。



微粒ダイヤモンド多結晶体破面の走査型電子顕微鏡写真

# 電子顕微鏡とナノテクノロジー



超微細構造解析ステーション  
総合研究官 板東義雄

## 21世紀のナノキャラクタリゼーションの展望

ナノテクノロジー開発において、電子顕微鏡を中心としたナノキャラクタリゼーション（ナノ領域での観察・計測評価技術）の果たす役割は極めて大きい。21世紀の初頭に当たり、電子顕微鏡の発展を展望する。

ナノテクノロジーは「原子や分子に着目して、ナノスケールで構造を制御し、新しい機能を持った新材料や新デバイスを創製する新技術」で、21世紀の産業革命をリードするキーテクノロジーとして極めて重要な課題であります。ナノテクノロジー開発において、電子顕微鏡（TEM）を中心とした「ナノキャラクタリゼーション」は共通・横断的に利用される先端基盤技術として注目されています。特に、対象がナノスケールの超微細な物質・材料を観察・計測する必要から、TEMによる構造解析手法が必要不可欠となります。

TEMは1932年にルスカにより世界で最初に開発されて以来、より微細な構造を視ることに開発の主眼が置かれてきました。今日、TEMの分解能は0.1nm（1000KV級の超高压TEM）にまで達し、原子を1個1個観察するだけの解像力を有しています。また、原子の観察に加えて、元素分析機能を有した分析電子顕微鏡も1970年代に開発され、ナノ領域での組成分析を定量的に行うことが出来ます。さらに、最近になり非弾性散乱電子を結像することにより、特定の元素のマッピング像（エネルギーフィルター像）を高い分解能で観察できるようになりました。写真は、最近当所が開発した原子識別電子顕微鏡の外観写真です。本装置は300kVの加速電圧を有する電界放射型電子顕微鏡にオメガ型と呼ばれるエネルギーアナライザーを搭載した新型のTEMです。エネルギーフィルター像の分解能が世界最高の約0.5nmを有しています。

さて、TEMの将来を展望してみたいと思います。電子レンズは原理的に凸レンズしか出来ない為、光学顕微鏡のように球面収差を補正することは技術的に困難とされてきました。しかし、近年球面収差を補正する新技術がドイツで開発されました。この技術が実用化されると、200kV級の汎用型のTEMでも0.05nmの超高分解能が実現すると期待されます。また、電子ビームを0.1nm直径以下にまで細く収束でき、原子1個からの分光測定を0.1eV以下の高いエネルギー分解能で観測することが可能になります。また、TEMはこれまでの視る装置から、作る装置や計測する装置へと進化すると期待されます。即ち、TEM内でナノビームを利用したビーム加工や新物質の創製ができます。また、そのプロセスをその場観察できます。さらに、ナノチューブなどのナノスケール物質の物性、例えば電気抵抗やヤング率などを視野に対応しながら、同時観察・同時測定できるようになります。これらの技術開発により、電子顕微鏡はナノテクノロジー研究の牽引車として、今後益々発展することが期待されます。



当所が開発した世界最高性能を持つ  
原子識別電子顕微鏡

## ◆ ニュース

### ■ 平成12年度無機材質研究所講演会を開催

平成12年12月8日(金)、平成12年度無機材質研究所講演会が開催されました。

今回の講演会は「非晶質、分子の世界を探る—非晶質や分子が開く次世代材料—」をメインテーマとして、中沢特別研究官、貫井主任研究官ら所内研究者による研究成果についての講演の他、招待講演として、大阪府立大学大学院工学研究科の南努教授より「ゾルーゲル法の新展開—温水処理によるナノコンポジットの創製—」、北海道大学大学院理学研究科の山岸皓彦教授より「粘土鉱物を用いた機能性無機・有機ハイブリッド膜の製造」を講演いただき、内外から約100名の来場を集めた活発な講演会となりました。



### ■ 名称の変更について

平成13年1月6日の省庁再編にともない、当研究所の名称が「文部科学省無機材質研究所」となりました。

今後とも変わらぬご指導の程、よろしくお願いたします。

### ■ 行事

#### 第8回先端材料国際シンポジウム (ISAM2001)

テーマ：超高压力研究—新しい物質合成プロセス—

期 間：平成13年3月4日(日)～8日(木)

場 所：無機材質研究所共同研究棟 (茨城県つくば市)

ホームページ：<http://www.nirim.go.jp/isam2001/>

## ◆ 編集後記

世紀末にクリントンのナノテクノロジーに関する発言と、それに続く白川博士のノーベル賞受賞がありました。我が国の物質・材料系科学技術分野が程度の差こそあれ社会的期待を込めてこれほどまでにマスコミに取り上げられたことは初めてに近いことでしょう。物質・材料系科学技術は地味な分野と思ってきましたが、良くも悪くもこれからは益々衆目を意識して研究を進める必要があるようです。そこで今回の新世紀初号では、当所の得意とする視点から新世紀初頭における材料の展望についてご紹介することにしました。

(新世紀初頭の材料展望特集号の担当：渡辺 遵)

むきざい NOW 発行日 平成13年1月10日 第185号  
編集・発行 文部科学省 無機材質研究所



〒305-0044

茨城県つくば市並木1丁目1番 TEL.0298-51-3363

FAX.0298-55-2142

ホームページ <http://www.nirim.go.jp>