

NATIONAL
INSTITUTE FOR
MATERIALS
SCIENCE

NIMS NOW

3.11 東日本大震災

— 新プロジェクトと放射性物質関連研究 —

No. 5

2012 JUNE





Special Feature | 3.11 東日本大震災

3.11 東日本大震災 新プロジェクトと 放射性物質関連研究

昨年2011年の3月11日、私は仙台にいました。
地震の直後、電気はもちろん、ガス、水道なども止まったなか、
隣近所で助け合うような、まさに終戦直後を思い出させる日々でした。
津波や原子力発電所の事故は、ラジオで知りました。
あれから1年3カ月が過ぎましたが、未だ日本は復旧、復興の途上にあります。
NIMSも、国の研究機関として震災に対応したミッションを意識し、
研究活動をおこなってきました。

NIMSでは、拡散した放射性物質の吸着、固化、遮断といった材料の開発に関連し、
2011年だけで5件のプレスリリースをおこないました。
一番早いものでは事故後2カ月で発表したものもあります。
これらはすべて各研究者の以前から続けていた基礎的な研究がベースとなっており、
その研究成果を事故処理に対応させたものでした。

2012年度には、震災に対応した構造材料の新プロジェクトを立ちあげました。
このプロジェクトは今までの基礎研究を応用、実用へとつなぐためのものです。

このように、研究者らが長くおこなってきた基礎研究があったからこそ、
非常時の課題へと迅速に対応させることができたのです。

今回のような国難にあい、私が痛感したのはやはり人、人材の重要性でした。
社会の危機、災害、大事故への対応には、基礎研究をおこなう人材が必須であることが
今回よく認識されたといえるでしょう。

優秀な研究者は、曇りのない、透徹したサイエンスの目を持たなければなりません。
物理、化学、材料の、もしくはエンジニアリングのスペシャリストとして、自覚を持ち、
あくまでサイエンスに立脚して考え、行動することが必要です。
このたびの大災害に直面して、
普段からサイエンスに真摯に取り組むことの重要性も再認識されました。

私自身もサイエンティストですから、より素晴らしいサイエンティストを
NIMSで育成したいと思います。
そのことが、国、社会へ益することになると信じています。

独立行政法人 物質・材料研究機構 理事長 潮田資勝

新プロジェクト： 社会インフラの復旧、再生に向けた構造材料技術の開発

NIMS、20番目のプロジェクトが誕生

2012年4月、NIMSに新しいプロジェクトが誕生しました。「社会インフラの復旧、再生に向けた構造材料技術の開発」プロジェクトです。これでNIMSのプロジェクトは20になりました。

このプロジェクトは、構想としては第3期中期計画時に立ち上げられた「元素戦略材料センター」設立以前からあり、同センターでも取り組むべき問題として考えられています。

それを2011年3月11日の東日本大震災を受け、研究開発のスピードをあげ、人材・資源を集中し、より具体的な成果となるように、別プロジェクトとして立ち上げたものです。

東日本大震災は、構造材料研究の研究者にも大きなインパクトを与えました。構造材料とは、大きなビルや橋などの構造物、多くは鉄鋼でできているもので、東京スカイツリーにも高度な構造材料設計がいきえています。今回の地震では、津波などにより、多くの構造物、それをつくっている構造材料にも損傷がおこり、多くの建物が壊れました。

それを見て、新プロジェクトのリーダーとなった津崎兼彰ユニット長は「さまざまところで、自分の想像以上に、構造物の安全・安心は脅かされていると再認識した」と語ります。

「日本の成長期に建てられたさまざまな建築物は、多くがリプレースの段階に来ているのではないかと。幸いにも、これまではあまり大きなものは壊れてこなかった。しかし、材料というのは、生まれたてが一番すぐれており、使用している時間に比例して必ず劣化していく運命にある。風雨などの外因、外力でもそうであり、そうした外からの力が大きくなると、必ず壊れます。そうした認識は以前から持っていたけれど、今回の地震でより危機感をもった。そうした想いから新しいプロジェクトははじまったのです」(津崎プロジェクトリーダー：文中の発言はすべて同氏)

3つのサブテーマ

プロジェクトは、3つのサブテーマで構成されています。

一つ目が「**高信頼性接合**」。構造部材と構造部材を組み合わせる個所は、どうしても外力に対して弱くなります。また、そこは一度損壊した場合の補修も難しく、時間のかかるものになります。また、補修後の信頼性の確保も難しくなります。そこで、高い信頼性を保ちつつ、従来よりもスピーディな補修ができる「溶接技術」ならびに「ボルト」を開発します。

溶接技術では「**クリーンMIG溶接**※1」を現場レベルで使うことを目指します。また、ボルトではボルトそのものの超高強度化と耐震性の向上(1700MPa級超強力ボルトにおいて破断限界変形量を2倍)を達成することで、接合部をコンパクト化し、補修の高効率化と高安全化を図ります。

二つ目は「**長寿命表面改質**」。構造材料の耐候性鋼、耐火被覆がテーマです。社会インフラとして鉄鋼は、もともと耐腐食性が強く求められるものです。それだけでなく、災害対策としてもより重要視されるべき問題です。例えば今回のような津波災害にあった構造物は、海水をかぶり、塩分が残留し、腐食劣化は促進されます。このような事態にも耐えることが可能な、耐候性のある鉄鋼

た。その知見を耐震耐火構造材料に結びつけます。その一つのカギとして、Fe-Mn-Si系形状記憶合金をもとに開発した制震ダンパー合金※3の実証実験を行ない、実用までの道筋をつけます。これは、対震等級1※4の建物を対震等級3にまで補強可能なものを狙い、さらに低コスト化、疲労寿命の延長(現在より10倍)を目指します。

これらのプロジェクトは、いずれも震災を受け、「短期に成果に結びつける」ことを目標にしており、「最終年度(25年)までには、随時、被災地での実証をおこなう」としています。そのため、プロジェクト開始当初から企業との共同研究をおこなっています。

それぞれのサブテーマは、基礎研究段階では研究成果が既にある、シーズとしては確固たるものがあるといえます。それを実際の現場で使われるように大型化、部材化されることを目指しています。

より基礎研究へ、より現場へ

津崎プロジェクトリーダーは、震災に際して、「災害に強い安全安心な国づくりのための材料技術として何が大切だろうか」と問いなおしたそうです。「今回の震災でいわれた『想定外』という表現で災害がすまされては被災者の方々に申し訳が立たない。技術者、

“私たちはより理論へ、かつ、より現場へいかなければならない”

を、ユビキタス元素※2(Al,Siなど)を用いて創製し、インフラ用補修、補強部材などにも適用できるようにします。

三つ目は「**耐震耐火構造材料**」です。東日本大震災を受け、東京湾北部地震の想定震度が震度6強から7に引き上げられるなど、倒壊の可能性のある建物やインフラへの耐震化要請は非常に高まっています。NIMSでは、金属疲労、腐食、クリープ(引っ張り)、放射線などのさまざまな条件下での構造材料の損傷メカニズムを研究・調査してきまし

研究者として真摯に備えが不十分だったことを認め、実態を検証し今後の対策を練らなければなりません。材料は必ず壊れます。しかし、なぜものは壊れるのか、という損傷メカニズムの本質は多くが未解明のままなのです。そこが手つかずで、材料の安全率を大きくしても真の安全安心にはつながらないのではないのでしょうか。私は職人として、そこまでふみこまなくてはならないと思います」

こうした観点から、基礎研究者だけでな

く、理論物理の研究者、さらには実際に部材として使っている機械技術者の3者の連携が肝要であると考えます。

「日本は今まで定常状態でした。しかし、社会の成長期から半世紀がたち、その時代に建てられた構造物も、社会構造もふくめて、日本は次のステージへいこうとしています。そうした時、定常状態のままの気持ちでいると視野が狭くなります。そのために、私たちはあるところではより理論へ、あるところではより現場へいかなければならないのです」。

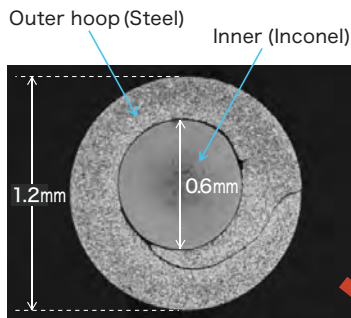
※1クリーンMIG溶接:消耗電極式溶接(MIG溶接)では、安定な溶接を行なうためにArシールドガスに酸素や二酸化炭素が加えられます。これらのガスに含まれる酸素は溶接金属の性能低下の原因となり、高品質継ぎ手形成には使用されませんでした。内側と外側で融点差を持つ同軸複層ワイヤでは、熔融金属液柱(CLM)は生じることなく安定な溶滴移行となります。その結果、純Arシールドガス中でも安定な溶接施工が可能となり、溶接金属中の酸素を低減した高品質な溶接継ぎ手を作ることができます。

※2ユビキタス元素:希少元素(レアアース)などではなく、資源が豊富にあり、安価に入手可能な元素類。

※3ダンパー:構造物の振幅、揺れなどを吸収する目的で配置される部材。

※4耐震等級 等級1:数百年に一度発生する地震(東京では震度6強から震度7程度)の地震力に対して倒壊・崩壊せず、数十年に一度発生する地震(東京では震度5強程度)の地震力に対して損傷しない程度。 等級2:等級1の1.25倍の地震力に対抗できる。 等級3:等級1の1.5倍の地震力に対抗できる。

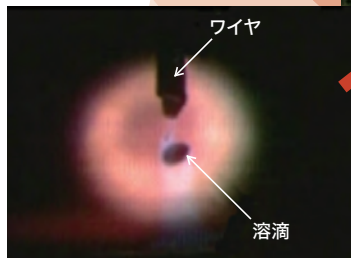
※5本プロジェクトは平成24年度科学技術重要施策アクションプラン「II 復興・再生並びに災害からの安全性向上」の中の「建築物や構造物の耐震性、耐火性の強化に資する材料の創出」に対応する。



新溶接材料:同軸複層ワイヤ

高信頼性接合

溶接補修工期1/2化
1700MPa級超高力ボルトの
破断限界変形量2倍化



高効率新接合技術:純Ar-MIG溶接



長寿命表面改質

ユビキタス型耐候性鋼



超高力ボルト:ボルト数の削減
ユビキタス型耐候性鋼:薄板化による軽量化



制震ダンパー

耐震耐火構造材料

制震ダンパー:低コスト化、疲労寿命の延長

2011年12月7日のプレスリリースより

除染:放射線吸着のための鉱物データベースを構築

天然鉱物を使って効果的な除染をおこなう

東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故により、大量の放射性物質が発電所外部に放出されました。主な放射性核種は、ヨウ素、セシウム、ストロンチウムなどです。

これらの放射性物質の放出によって汚染された対象物は多岐にわたります。発電所内に溜まる炉心の冷却に使用された海水を含む汚染水。原発周辺および広域に汚染が拡大している土地、これらは田んぼ、畑、果樹園、森林、水、建物、道路などを含みます。さらには海水、河川水、ため池や湖、プール、農業用水等の汚染された水が想定されます。これら汚染された多種多様な環境中の、放射性物質の除去・回収技術を開発・実証し、除染をおこなうことが強く求められています。

放射性物質の吸着・回収・除去には、ゼオライトをはじめとした吸着機能を有する天然鉱物を用いることが有効な方法として注目されています。しかし、こうした天然鉱物は、その結晶構造・化学組成が多様であり、同じ鉱物名であっても産地や組成によって吸着能力に差があります。また、除染を行う場所

の放射性物質濃度や、酸性度などの条件によってもその吸着性能が大きく変化します。効果的な除染のためには、こうしたことを考慮したうえで、各現場の状況に合わせた最適な吸着回収材を選ぶ必要があります。

鉱物種・産地・組成別に吸着材料のデータベースを構築

こうした数多くの吸着材候補物質について、その吸着能力を網羅的に示した知見は世界的にも存在していませんでした。そのため、吸着材を選ぶ際に基準として参照できるデータベースが必要でした。

検討した放射性物質回収・除去材料としては、様々な産地・化学組成を有した候補材料約60種に対して基礎的データ800点近くを収集しました。

具体的には、対象の天然鉱物等の無機材料に対して、イオン交換水を用いて作成した異なる濃度の塩化セシウム水溶液、塩化ストロンチウム、ヨウ素を用いた吸着実験をおこないました。(室温(23℃程度)で各吸着材と各種濃度の塩化セシウム水溶液、塩化ストロンチウム、ヨウ素水溶液とを混合し、

24時間程度攪拌した後、固液分離し液相中のセシウム濃度、ストロンチウム濃度、ヨウ素濃度を測定)。

収集した膨大なデータについては、NIMSが提供しているデータベース「物質・材料データベース(通称 MatNavi)」においてすでに公開中です(公開日:2011年12月13日 URL <http://mits.nims.go.jp/> 利用には登録が必要)。また、このデータベースは、今後も順次更新、追加されていく予定です。

プロジェクトのリーダーである山田裕久グループリーダーはもともと環境再生材料、特に地球を構成する主要な岩石鉱物(ジオマテリアル)およびその仕組みを模倣・技術化・利用することにより、超低環境負荷・高機能性材料の設計・開発を研究していました。今までの知見をいかしたデータベース構築にいち早く取り組みました。

今後、国や自治体、専門業者が各地で行う放射性物質の除去・回収技術の実践、開発に際し、このデータベースを使うことでより有効、かつ効率的な方法をとるために活用されることでしょう。

ゼオライト	燧子産ゼオライト、仁木産ゼオライト、島根産モルデナイト(Na型、K型、NH ₄ 型)、ニツ井産クリノプチロライト(Na型、K型、NH ₄ 型)、合成A型ゼオライト(Na-type、K-type、NH ₄ -type)、合成X型ゼオライト(Na-type、K-type、NH ₄ -type)、ゼオライトタイル、合成カンクロナイト、合成ソーダライト、合成アナルサイム
スメクタイト	山形産ベントナイト、米国ワイオミング産ベントナイト、モンモリロナイト、バイデライト、サボナイト、ステブンスサイト、ヘクトライト、重金属元素を骨格構造中に含む合成スメクタイト3
パーミキュライト	中国産および南アフリカ産パーミキュライト、人工風化・改変・有機物イオンとの複合化パーミキュライトスメクタイト、パリゴルスサイト、セピオライト
混合層鉱物	レクトライト
金属水酸化物	ブルーサイト、ペーサイト
雲母類	フロゴパイト、合成フッ素フロゴパイト、合成鉄含有フロゴパイト、マスコパイト、合成膨潤性フッ素マイカ、セリサイト、アロフェン、酸性白土
鉄系鉱物	低結晶性鉄酸化水酸化硫酸塩鉱物、磁性体マグネタイト
シリカ系材料	シリカゲル、クリスタバライト
メソポーラス材料	シリカ系メソポーラス材料、シリカ系メソポーラス系材料と水酸アパタイトナノ結晶からなる複合粒子
炭化物	コーンコブ(とうもろこしの実の芯)よりなる多孔質炭化物(焼成温度を変えた材料)、活性炭、各種木材(ナラ、スギ等)よりなる炭化物
層状複水酸化物	ハイドロタルサイト、重金属元素を骨格構造中に含む層状複水酸化物
スラグ	鉄鋼水砕スラグ、鉄鋼徐冷スラグ



ゼオライト

データベース構築はNIMSを中心として、北海道大学、岩手大学、東京工業大学、島根大学、宮崎大学、首都大学東京、金沢工業大学、(独)国際農林水産業研究センター、(独)産業技術総合研究所、(独)日本原子力研究開発機構、(財)電力中央研究所の7大学・4独法・1財団法人でおこなった。本研究開発は、主として平成23年度科学技術戦略推進費「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」において実施された。

環境再生材料ユニット ジオ機能材料グループ 山田裕久グループリーダーより

本データベースは、いわば“理想状態”での吸着機能を網羅している。実汚染は、より複雑で種々のイオン共存状態にある。より実条件に近い条件での吸着データベースを構築することにより、除去・回収技術の実践、開発に大きな貢献ができる。さらに、今後の廃棄物減容に向けて、廃棄に際して環境負荷が少ないジオマテリアルによる“脱着データベース”の構築の必要性を考えている。

詳細は2011年12月7日のプレスリリース(<http://www.nims.go.jp/news/press/2011/12/p201112070.html>)をご覧ください。

吸着: プルシアンブルーのセシウム吸着性能を向上

セシウムを吸着する青い色

プルシアンブルー、または紺青という、青い顔料(絵を書くときに使う絵具などのもと)のことを聞いたことはあるでしょうか。1704年にベルリンで偶然につくられ、日本では、伊藤若冲がはじめてつけたといわれるこのきれいな顔料が、セシウムを吸着材として再び注目されています。

この顔料、特殊な顕微鏡などで微細にみると、ジャングルジムのような結晶構造を持っています。セシウム吸着率をさらにあげるには、通常は微細化、もしくはメソポーラス(多孔化)して表面積を大きくするのですが、このような方法では、このプルシアンブルーは結晶性が低下し、うまく加工できません。逆に結晶性を上げれば、細孔構造は壊れ、表面積は低下するという問題点がありました。

山内悠輔MANA独立研究者、Hu Ming ICYS-MANA研究員は、この問題を解決しようと加工を工夫し、ついに市販のプルシアンブルー粒子に比べ10倍のセシウム吸着率の粒子をつくりだしました。

セシウム吸着率を大幅にアップ

まず、プルシアンブルー(Fe-Fe)の結晶粒の大きさを揃えます。キューブ状の粒子の大きさは190nm。もちろん目にも見えない小さなサイズです。この結晶を水の中に溶かし、ポリビニルピロリドンという高分子化合

物を入れ、その後、酸を適量入れます。

先に入れたポリビニルピロリドンの分子はプルシアンブルーの表面に吸着し、そのごく小さい吸着箇所は酸に溶かされません。一方、キューブ状の粒子には、1nm以下の超微細な細孔があり、そこから酸が粒子内部へ入りこむことができます。粒子内部へはいった酸は、粒子の中心部から自発的に溶かされ(エッチングされ)、中は空洞になります。最後に、水で酸を洗い流すと「メソポーラス・プルシアンブルー」のできあがりです(図1)。

粒子サイズ自体は処理の前後で変化はありませんでしたが、電子顕微鏡で観察してみると、結晶に無数のナノ細孔があいていることが確認されました(図2)。

表面積は、1g当たり330m²以上の高い値を示し、今まで知られているすべてのプルシアンブルーの中で最も大きなものでした。また、粒子ひとつは単結晶の状態でした。このように高い結晶状態を保ちながら、ナノの細孔をあけることに成功したのです。

市販の8倍以上のセシウムを瞬時に吸着

「メソポーラス・プルシアンブルー」のセシウム吸着実験をおこなったところ、市販のプルシアンブルーと比較して、なんと8倍以上のセシウムを瞬時に吸着することができたのです。この実験は、淡水でおこなわれましたが、プル

シアンブルーは、海水のようにナトリウムイオンやカリウムイオンなど、類似のイオンが存在している環境でも、セシウムイオンを選択的に吸着する能力を持つことが知られています。淡水中の実験結果と同様の効果が、海水中でも期待できると考えられます。

プルシアンブルーは、金属置換によりセシウム吸着能力をさらに向上するため、現在、本手法のCo-FeやMn-Feプルシアンブルー類似体への適用を試み、さらなる能力向上を狙っています。

課題も残ります。プルシアンブルーは粒子そのものが非常に小さいので、マスクでは完全に防護できません。乾燥時に飛散する微粒子による内部被曝の危険性にも留意する必要があります。またアルカリ条件下や還元雰囲気において徐々に分解する可能性、さらに光によってシアニオンにまで分解される可能性も指摘されています。セシウムを吸着したプルシアンブルーは取り扱い、管理が比較的難しいでしょう。また、量的な問題もあります。今回の事故での放射性物質は多量で、広範囲に存在するため、多量の吸着材が必要です。これらの課題にはこれから解決していかねばなりません。

今後は、吸着材としての試験を進めると共に、課題の解決、さらには量産化へ対応ができるよう、製造プロセスを一層簡単にすることなどで、実用化にも近付くことが期待されています。

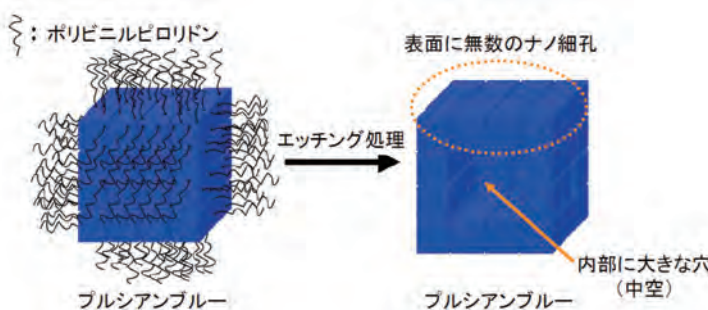


図1 エッチングを利用した新しいナノポーラス材料の合成法

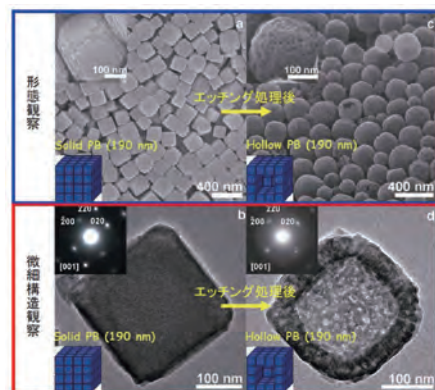


図2 エッチング前後の形態・微細構造観察

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 山内悠輔 MANA 独立研究者より

このように様々な材料をナノポーラス体にする事で、色々な能力の飛躍的な向上が期待できます。今後は、界面活性剤などの自己組織化プロセスと組み合わせ、さらに精密に構造制御された新しいナノ多孔体の合成を目指します。

2011年5月18日のプレスリリースより

吸蔵:セシウムを長期間、安定的に閉じ込める

震災から2カ月で発表されたリリース

2011年5月18日、震災から2カ月が経ったころ、NIMSは1件のプレスリリースをおこないました。それは、セシウムを高濃度に吸蔵し、長期間にわたり安定的に閉じ込めることができる新しい材料を開発したというものです。開発に携わったのは環境再生材料ユニットの阿部英樹主幹研究員の研究チームです。

福島第一原子力発電所から放出されたのは、主にヨウ素131やセシウム137からなる放射性元素でした。その中でも、特にセシウム137は、半減期が30年と比較的長く、また水に溶けやすいため、熱的・化学的に安定な固体化合物(固化体)に吸蔵させた上で地下深く埋設・貯蔵処分するのが、環境への拡散を防ぐ上で有効であるとされています。しかし、埋設・貯蔵処分には莫大な管理コストが必要なため、いかに少ない体積で大量のセシウムを吸蔵(高濃度吸蔵)し、さらに外部への溶出を長期間にわたって抑える(安定閉じ込め)ことができるか、が重要であり、そのための材料が強く求められています。

1cm³あたり1gのセシウムを閉じ込める

本研究で注目した材料は、熱・化学安定性に優れた酸化チタンです。酸化チタンは1800°C以上の高融点を持つ不活性材料で

あり、固体のままではセシウムを吸蔵する能力はありません。そこで、まず、酸化モリブデンを900°C前後に加熱して得られる酸化モリブデン溶融体に、セシウムと酸化チタンを溶解させました。さらにここへ電極を挿入し、電気分解をおこなった結果、1cm³あたり1gのセシウムを吸蔵したチタン酸固化体を得ることに成功したのです(図1)。これは理論上、10ppbセシウム水溶液100トン、角砂糖サイズの固化体として処分できるということを意味しています。

さらに、このチタン酸固化体は、セシウムを高濃度に吸蔵するだけでなく、きわめて優れた閉じ込め効果を発揮することが実証されました。チタン酸固化体を150°Cの加圧水に浸潤し、水中へのセシウムの溶出率を調べた結果、チタン酸固化体からのセシウムの溶出率が、標準的な固化体の一つであるホウケイ酸ガラスからの溶出率の1/170以下に抑えられていることが明らかになったのです。

チタン酸固化体内部では、酸化チタン分子が形作るチューブ状フレームに、セシウムイオンがすき間なく1列に並んで配列しています(図2)。この酸化チタンフレームは針状のチタン酸固化体の長軸に沿って切れ目なく伸びているため、セシウムの溶出箇所は固化体両端のごく狭い領域に限定されます。

チタン酸固化体は、特殊なイオン配列と針状形態のおかげで、セシウムの溶出を強く抑制しているのです。

原子力発電所の使用済み燃料には、セシウム137だけではなく、ストロンチウム90をはじめとする多種類の放射毒性元素が含まれます。その後の継続的な研究の結果、セシウム同様、ストロンチウムも、酸化チタンを溶解した酸化モリブデン溶融体の電気分解によって、チタン酸固化体内部に安定閉じ込めできることがわかってきました。本研究の酸化チタン固化体は、一貫して常圧下で調整されるため、実際の放射毒性元素処理に適用した際、処理装置を小型化・簡略化できる可能性があります。一方、電気分解のために多量の電気エネルギーを必要とするなど、改善すべき点も残されています。

阿部英樹主幹研究員は現在、環境再生材料ユニットに所属し、貴金属を使用せず、しかも従来の貴金属系触媒と同等以上の性能を備えた「貴金属フリー環境浄化触媒材料」の研究開発をおこなっています(NIMS NOW2011年9月号)。こうした基礎研究の積み重ねが、震災から2カ月というごく短期間でセシウム吸蔵技術の実現につながったことは言うまでもないでしょう。

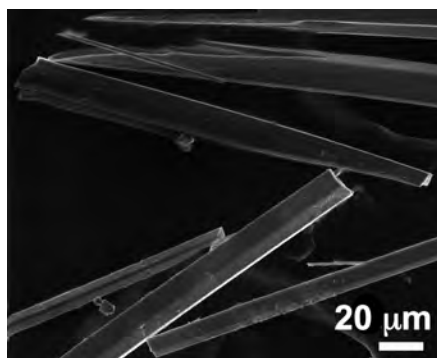


図1 チタン酸固化体の電子顕微鏡像

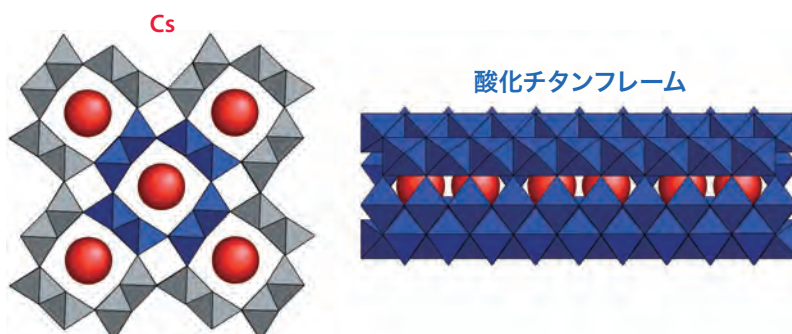


図2 チタン酸固化体の構造図

環境再生材料ユニット触媒機能材料グループ 阿部 英樹主幹研究員より

今回の固化体材料の開発をおこないましたのは、いまからちょうど10年前です。研究動機は、セシウムとチタンを含む酸化物がどのような結晶構造を取りうるかを調べたいという、純粋に基礎科学的なものでした。今回の福島原発危機によって、10年前に生まれた材料が、思いがけず、その用途を見出されたこととなります。不測の危機に即応するために、基礎研究の積み上げが重要であることを学びました。

詳細は2011年5月18日のプレスリリース (<http://www.nims.go.jp/news/press/2011/05/p201105180.html>) をご覧ください。

除染:汚染水中のヨウ素とストロンチウムの除去材を開発

元素戦略材料センター資源循環設計グループのシェリフ・エル・サフティ (Sherif El-Safy) 主幹研究員は、メソポーラスと呼ばれる多孔質材料を用いて水溶液中に存在するヨウ素、ストロンチウムを吸着・除去できる捕獲材を開発しました。

ごくごく微量のヨウ素、ストロンチウムを捕獲

この材料はシリカ(酸化珪素)の多孔質体で、表面には高い秩序で整列した数ナノメートルサイズの孔が無数に存在します。この孔の内側の壁に、ヨウ素イオンもしくはストロンチウムイオンを選択的に捕獲する吸着性化合物をびっしりと敷きつめました(ヨウ素、ストロンチウムは水の中にとけるとそれぞれヨウ素イオン、ストロンチウムイオンにほとんどがなります)。こうして作った捕獲材を汚染水に混ぜることで、ヨウ素イオンまたはストロンチウムイオンを選択的に捕獲することに成功したのです。

捕獲材の孔の内壁に敷いた吸着性化合物は非常に高密度で並ぶため、ヨウ素では0.001ppm、ストロンチウムでは0.5ppmというごく微量でも捕獲が可能です。

このヨウ素用捕獲材は1gあたり0.02gのヨウ素が吸着除去でき、これがすべてヨウ素¹³¹なら90T(テラ=1兆)ベクレルに相当します。また、ストロンチウム用捕獲材1gで吸着除去できるストロンチウム量は13mgであり、放射性ストロンチウム⁹⁰ならば65G(ギガ=10億)ベクレルに相当します。

選択性が高く、分離も可能

この捕獲材の大きな特徴は選択性が高いことにあります。従来の吸着材では周期表で上下に並んだ同じ族になる物質をも同等に吸着するものが多く、ヨウ素に対しては塩素(Cl)、ストロンチウムに対してはマグネシウム

(Mg)やカルシウム(Ca)という、海水などに大量に含まれる成分の方に吸着剤が多量に消費されてしまうという問題もありました。

今回開発した捕獲材では、目的の元素と他の元素とを厳密に識別して捕獲することができ、ミネラル分や、海水の混じった水溶液中からもヨウ素やストロンチウムの選択的な除去が可能なのです。

さらに、捕獲材に捕獲されたヨウ素やストロンチウムは「逆抽出」という処理をおこなうことで捕獲材から分離することができます。この特徴により、集めた放射性元素を濃縮し、容積を減らして、より効果的に管理することも可能になります。また、捕獲材をくり返し再利用することもできます。

ヨウ素捕獲材ではヨウ素が吸着すると捕獲材の色が変化します。そのため捕獲が有効におこなわれていることを目視で確認でき、ヨウ素の検出にも使用することができます。

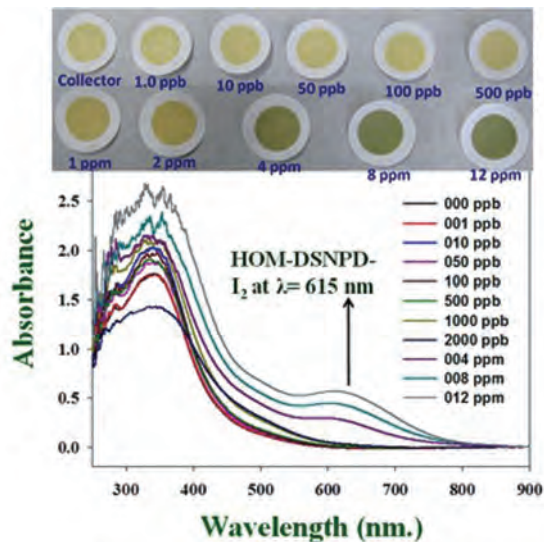
今後の課題と展開

今回の実験は非放射性的のヨウ素およびス

トロンチウムを用いておこなわれましたが、放射性ヨウ素やストロンチウムも化学的性質は同じであるため、吸着に関しては同様の成果が得られると考えられます。しかし、放射線が存在した条件では吸着性化学物質やその官能基が放射線によりダメージを受け、短期間で劣化する可能性もあります。そのため、放射線影響下での耐久試験を、これから関係機関と協力してすすめていきたいとしています。

また、ストロンチウムに関しては、スペクトル変化が可視領域では乏しいため、ヨウ素と比べて検出・確認が簡単ではありません。今後、より広いスペクトル域での検討をすすめ、極微量域からの捕獲や離脱の状態を検出・確認しながら捕獲除去がすすめられるような捕獲材を開発していきたいとのことです。

※本研究は、平成23年度科学技術戦略推進費「重要政策課題への機動的対応の推進」によるプロジェクト「農地土壌等における放射性物質除去技術の開発(うち、天然鉱物等の無機材料を利用した環境からの放射性物質回収・除去技術等の開発)」により遂行した。



高秩序メソポーラス材料(HOM: highly ordered meso-porous monolith)である吸着性化合物の光学スペクトルのヨウ素量に対する変化と色の違い

元素戦略材料センター資源循環設計グループ シェリフ・エル・サフティ主幹研究員より

福島第一原子力発電所の事故が起こった最初の数週間、現場では大量の汚染水が溜まりました。日本政府は様々な復興支援プロジェクトを立ち上げ、そのときから私たちは、原発における放射性物質の除染に、自分たちの研究成果が実際に役立ち、支援となることを願っていました。私たちの発明は、濃度を可視化できるナノ吸着剤をベースにしたとてもシンプルなナノ技術で設計されています。この吸着剤で低い濃度の放射性物質も検出・除去できます。

2011年7月25日、2012年3月12日のプレスリリースより

遮蔽:古いテレビのリサイクルを使い、放射線を防御

テレビのブラウン管を遮蔽材に

2011年7月24日、日本ではテレビのアナログ放送が停波し、デジタル放送が始まりました。同時に、古いテレビは大量にデジタル対応の新しいテレビに買い替えられました。その数、1550万台以上といわれています。

2011年4月におこなわれた未踏科学技術協会・エコマテリアルフォーラムにおいて、このブラウン管が放射線を遮蔽する材料に使えるのではないかと提案がされましたが、実際の遮蔽効果の有効性は未確認でした。今回、レアメタルや都市鉱山など、資源循環を長年研究してきた原田幸明特命研究員は、そのアイデアに着目し、実際に遮蔽性を検証しました^{※1}。

2011年には1550万台ものブラウン管テレビがリサイクル対象となり^{※2}、ブラウン管で20万トン、鉛分だけでも2万トン近くにおよびます。このブラウン管には電子銃と呼ばれる、電子線をビーム状にあつめて発する装置があります。これにより映像が映る仕組みなのですが、その電子銃からは微弱なβ線がでていました。テレビなどの一般に使われていたブラウン管ではそうした影響から視聴者を守るため、ガラスの中に鉛やバリウ

ムなど、放射線の遮蔽性の高い元素が加えられていました。ブラウン管の後部のファンネル部では25%近くの鉛が含まれ、平均でも10%近くになります。

ブラウン管を砕いて使う

ガラスを砕いたものをカレットと言い、ブラウン管に使用されている鉛ガラスを砕いたものが鉛ガラスカレットといいます。実証では、粒径20mm-50mmのブラウン管ガラス粉碎カレット(図1)をそのまま積みあげても約55cmの厚さで放射線を約100分の1まで遮蔽する能力があることがわかりました。これは約9cmの鉛の厚板と同等の能力です。また、粉碎時に生じるピリガラスと呼ばれるガラス粉と粉碎カレットをブレンドして密度を上げると、約40cmの厚みで100分の1までの遮蔽能力を発揮することができました。

ピリガラス粉を重量でシリコン樹脂に練り込んだ材料も28.5cmの厚さで、鉛4.4cm厚に相当する遮蔽能力を持っていました。今回の結果で、ブラウン管テレビなどの鉛ガラスカレットを、そのまま袋詰めなどの形で用いても放射線遮蔽効果を持つことがわかりました。

実用化への道も

2012年3月、NIMSは、実際に民間企業がこの効果を使い、新しい放射線遮蔽の材料を企業が開発したとプレスリリースで発表しました。

ひとつは、「ブラウン管破碎カレット利用コンクリート」。これは、従来のコンクリートとほぼ同じ強度を保ちながら透過放射線量を50cmの厚みで従来のコンクリートの半分程度、100cmの厚みで1/4程度に落とすことができる能力を持っているものです。汚染した瓦礫や土壌の集積や格納、汚染水ピットの蓋、などプレキャストコンクリートとして多様な遮蔽用途が期待されます。

もうひとつは、「ブラウン管破碎カレット利用遮蔽用防水材」といい、ブラウン管破碎カレットを樹脂に埋め込んだもので、透過放射線を半分に減らせる厚みである半価層に必要な重量が鉛や鉄、従来型コンクリートより一割以上軽量になります。また表面が平滑であるため放射性物質が表面に付着しても洗浄し再利用できるものです。

※1 検証はATOXと共同でおこなわれた

※2 電子情報技術産業協会による使用済テレビの排出量予測による



図1 ブラウン管が粉碎された状態の「細カレット」



図2 「ブラウン管破碎カレットコンクリート」公開製造

元素戦略材料センター資源循環設計グループ 原田幸明特命研究員より

2012年5月には「ブラウン管破碎カレットコンクリート」の技術を用いたコンクリートボックスが福島県で現地東北のプレキャストコンクリート製造会社のグループにより公開製造されました。(図2)容量は約2m²で仮置き場に置いて安心して保管でき、そのまま10tユニック車に乗せて中間貯蔵場に移動できます。もうすぐ皆さんがリサイクルしたテレビのブラウン管ガラスを福島の放射線汚染対策に役立てることができるようになると期待しています。

詳細は2011年7月25日のプレスリリース(<http://www.nims.go.jp/news/press/2011/07/p201107250.html>)、2012年3月12日のプレスリリース(<http://www.nims.go.jp/news/press/2012/03/p201203120.html>)をご覧ください。

磁性ナノ粒子の発熱特性を解明 ～がんの選択的温熱治療の実用化にはずみ～

先端の共通技術部門 量子ビームユニット
中性子散乱グループ

間宮広明

磁性ナノ粒子がん温熱療法への期待

薬で治らないときは刃物で治る、刃物で治らないときは火で治る、というヒポクラテスの格言にもありますように、温熱治療(ハイパーサーミア)の効能は古くから知られてきました。現代では、化学物質やナノ粒子を隠れた病巣に送り届けることができるドラッグデリバリーシステム(DDS)が飛躍的に発達しましたので、温熱療法でも、IH調理の鍋のように交流磁場から非接触で熱を取り出すことができるナノサイズの発熱体(磁性ナノ粒子)をこのDDSを用いてがんに直接送り込み、腫瘍組織を選択的に加熱・死滅させる治療法(磁性ナノ粒子がん温熱療法)に注目が集まっています(図1)。

現在、本格的な実用化に向けて磁性ナノ粒子と照射装置の開発が進められていますが、がんに取り込まれた磁性ナノ粒子に大振幅の交流磁場を照射した際の最適な発

熱条件は実験室で粉末に照射した場合とは大きく異なるため、その解明が喫緊の課題となっていました。

多様な配向構造を形成する 磁性ナノ粒子

今回、私達は、がん温熱治療中の磁性ナノ粒子の振舞について実際の治療に近い条件を設定してナノ粒子の内部の磁化の反転とナノ粒子自身の回転を同時に考慮したシミュレーションをおこないました。その結果、磁性ナノ粒子は交流磁場から受ける磁気トルクによって徐々にその向きを揃え、多様な配向構造を形成することがわかりました。例えば、磁性ナノ粒子にやや強めの高周波磁場を照射するとそれらは磁場の向きに配向するのに対して、振幅を弱めると磁場とある角度を持った円錐面内や磁場と垂直な面内に定常的に配向した構造が現れました

(図2(c))。この例から、磁性体は方位磁石のように磁場の方向を向くという日頃の経験(図2(a))がこうしたナノサイズの世界では通用しない場合があることがわかります。また、これらの配向構造は、ナノ粒子の大きさや形状、その周囲の粘性や細胞との結合状態、あるいは交流磁場の照射条件が変わっても変化し、それにともない、発熱特性も大きく変わることが明らかとなりました。今後、物体や生体の深部で生じるナノサイズの構造をその場で観察できる大強度陽子加速器施設の中性子ビームを利用して、本シミュレーションの予測を確認し、それぞれのがん細胞との結合状態に応じた発熱体(磁性ナノ粒子)の粒径や形状、および照射する磁場の強度や周波数の最適化を図っていきたいと考えています。

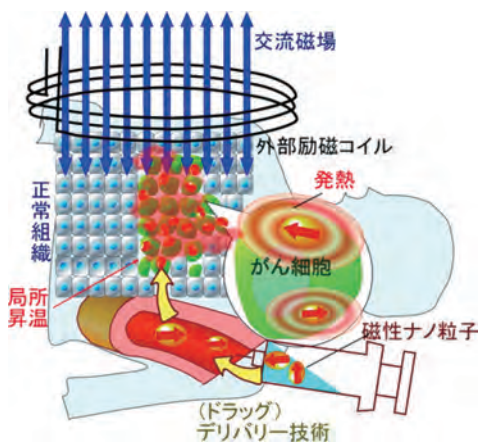


図1 磁性ナノ粒子がん温熱療法の模式図
がん細胞中に送り込まれた磁性ナノ粒子に体外から交流磁場を照射し、その磁気損失による局所的な温度上昇によってがん組織だけを死滅させる治療法。

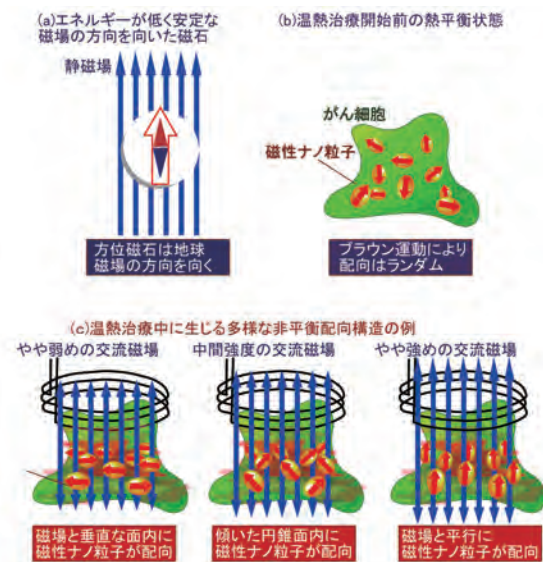
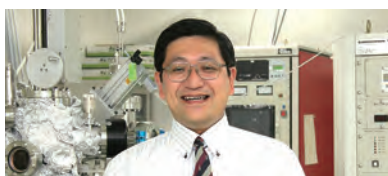


図2 日常の磁石とがん温熱治療中に生じると考えられる配向構造の例
(a) 地球磁場の方向を向く方位磁石、(b) 温熱治療開始前の熱平衡状態、(c) 異方性磁場と比べてやや弱い、中間、及びやや強い振幅の高周波磁場を照射した際に形成される、強磁性ナノ粒子の定常的な配向状態を模式的に示す。



まみやひろあき 博士(工学)。1994年筑波大学大学院物理学研究科博士課程前期修了。同年、金属材料技術研究所(現、NIMS)入所。現在、先端の共通技術部門量子ビームユニット中性子散乱グループ主幹研究員。

1 NIMS Conference 2012を開催

6月4日から6日までの3日間、NIMS Conference 2012を開催しました(主催:物質・材料研究機構(NIMS)、協賛:日本金属学会、日本鉄鋼協会、日本溶射学会、腐食防食協会、日本材料学会、日本セラミックス協会、表面技術協会。於:つくば国際会議場)。

今回のテーマは「持続性社会に貢献する構造材料科学—基本原理への回帰—」。震災からの復興、構造物の安全性・信頼性向上、省エネ

ギー材料の開発に関わる基礎課題について議論が交わされました。

併せてNIMS賞の発表・表彰がおこなわれ、初日には3名のNIMS賞受賞者(H.バデーシア教授:ケンブリッジ大学、W.モリス教授:カリフォルニア大学、S.スレッシュ教授:マサチューセッツ工科大学)による記念講演がおこなわれました。続いて5名の方々による基調講演がおこなわれ、2日目以降には、5つのテーマを設

定したテクニカルセッション、国内外の最先端の研究者による46件の発表もおこなわれました。

主に若手研究者を対象としたポスターセッションでは、約100件の発表がおこなわれ、その中から10件が優秀ポスター賞として表彰されました。いずれのセッションでも熱気ある活発な質疑応答が繰り広げられ、500名を越す参加者の多くからは、質量ともに大変充実した会議と高く評価されました。



ポスターセッションの様子



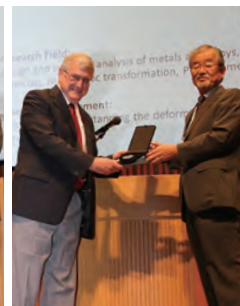
ポスターセッションの様子



バデーシア教授の講演

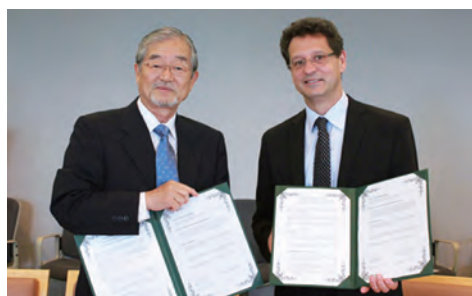


潮田資勝NIMS理事長から
NIMS賞を授与されるスレッシュ教授



NIMS賞を授与されるモリス教授

2 フランス国立科学研究センターとの包括協力協定締結



調印後の潮田理事長とRéau所長

5月25日、フランス国立科学研究センター(CNRS)の化学研究所ならびにエンジニアリング・システム科学研究所の所長を初めとする上級幹部等9名と東京のCNRS北アジア事務所長ら2名がNIMSを訪問し、包括協力協定(姉妹機関協定)を締結しました。

フランス国立科学研究センター(CNRS)は34,000名もの職員、うち25,600名が常勤スタッフというヨーロッ

パ最大級の政府系基礎研究機関で、これまでに17名のノーベル賞受賞者を輩出しています。傘下には10の研究所(うち3つは国立研究所)、19の地域事務所ならびに1,100近くの研究ユニット、11の海外事務所を有しています。

NIMSはこれまで既にCNRS傘下の6研究機関と研究協力覚書(MOU)を締結して研究ならびに人的な交流を進めるとともに、2004年にはCNRS本部とも包括的な協力協定を結んでいましたが、今回新たにこの包括協力協定を締結し直したのを機に、協力関係をさらによりいっそう強化していくことが合意されています。

3 平成24年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰を受賞

4月17日、平成24年度科学技術分野の文部科学大臣表彰の表彰式が行われ、NIMS職員が表彰を受けました。受賞部門は顕著な功績をあげた研究者を対象とした科学技術賞、高度な研究開発能力を有する若手研究者を対象とした若手科学者賞、および優れた創意工夫により職域における技術の改善向上に貢献したものを対象とした創意工夫功労者賞です。また、廣崎尚登ユニット長は平成24年度全国発明表彰・文部科学大臣発明賞(主催:発明協会)も受賞しました。

■科学技術賞(開発部門)

業績名:LED液晶バックライト用の高演色緑色蛍光体の開発

環境・エネルギー材料部門 サイアロンユニット ユニット長 廣崎尚登

環境・エネルギー材料部門 サイアロンユニット サイアロングループ 主幹研究員 解 栄軍

■若手科学者賞

業績名:次世代磁気記録のためのFePt垂直膜のナノ組織制御の研究

環境・エネルギー材料部門 磁性材料ユニット 磁性材料グループ 主幹研究員 高橋有紀子

業績名:ナノカーボンを基軸とする自己組織化構造材料創製の研究

先端の共通技術部門 高分子材料ユニット 有機材料グループ 主幹研究員 中西尚志

■創意工夫功労者賞

業績名:人工緑青成分高温ガス発生装置の考案

中核機能部門 材料創製・加工ステーション 主任エンジニア 川崎昌彦