

# NIMS

通巻  
100号

2009年 9月号

# NOW

特集

地球温暖化への挑戦  
火力発電材料の飛躍



クリープ試験機

# 地球温暖化への挑戦

## 火力発電材料の飛躍

エネルギーの安定供給は世界各国にとって重要な課題です。現在の日本の国内発電量のうち、約3割を担っているのが石炭火力発電ですが、石炭にはCO<sub>2</sub>の排出量が多いという大きな問題があります。これを解決するには、プラントの高効率化が不可欠であり、それを実現するための耐熱材料の開発において日本は世界をリードする成果を挙げています。新しい火力発電技術の動向や、実用化のために不可欠な耐熱材料の開発について、研究者に話を聞きました。



## 効果的な CO<sub>2</sub> 排出抑制技術

### A-USC の実現化へ

#### 石炭火力発電のいっそうの高効率化

火力発電の燃料として使用される石炭は、埋蔵量が豊富、産出地に偏りが無いので安定供給が見込める、などの特徴があり、使いやすい燃料だといえます。このような特徴があるため、世界全体の石炭の需要は2030年には現在の約2倍に達すると考えられています。しかし石炭は化石燃料であり、燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出します。全世界のCO<sub>2</sub>排出予想(図:左下)によれば、石炭を起源としたCO<sub>2</sub>排出量は全体の約半分にも達します。

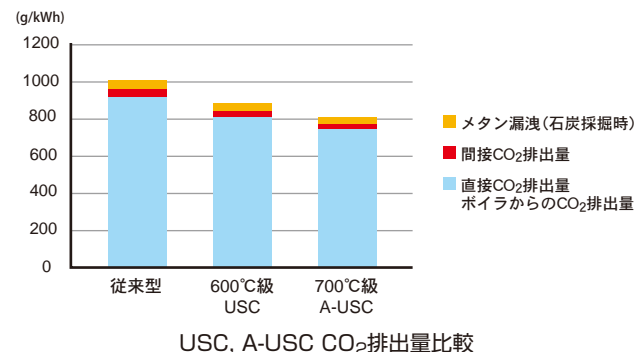
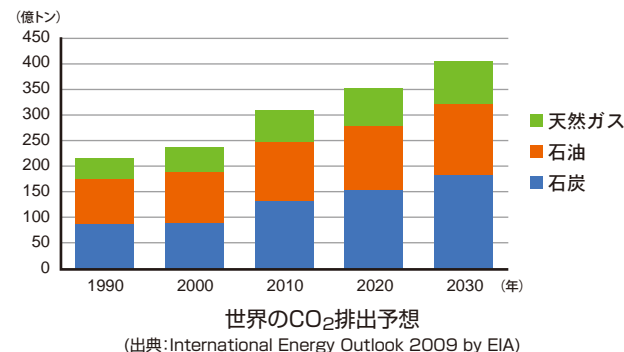
「火力発電を利用しながら、どれだけCO<sub>2</sub>排出量を少なく抑えられるかが大きな問題です。そこで、少ない燃料でも効率の高い火力発電技術であるUSC(Ultra Super Critical Steam Condition)の研究が世界中で進められているのです」と福田氏は説明します。



超耐熱材料センター  
NIMS 特別研究員 福田 雅文

USCとは超々臨界圧(水の臨界点以上の蒸気温度・圧力)発電のことで、日本では世界に先駆けてUSCプラントが多く建設され、現在世界で稼働しているUSC20数基のうち8割が日本で運転中です。

現在、USCをさらに高効率化した先進超々臨界圧発電(Advanced-USC)の研究が進められています。USCで600℃程度だった蒸気温度をA-USCでは700℃以上まで高めて発電の高効率化を図ります。そのため石炭の使用



量を減らすことができ、CO<sub>2</sub>排出量の削減が可能となります。

## 世界各国が取り組む A-USC プロジェクト

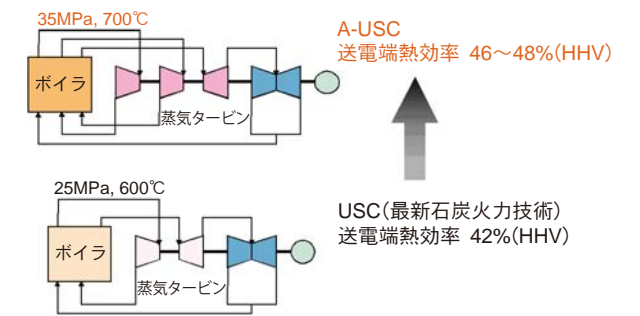
A-USCの実現には、高温の蒸気に耐えられる材料を使用しなければならず、Ni(ニッケル)基超合金やNIMSで開発された耐熱鋼などが候補に挙げられています。

Ni基超合金は、従来から使われてきた耐熱鋼より高価なため、発電プラントを実現するには必要な箇所にのみNi基超合金を使用し、それ以外の大部分には耐熱鋼を使用する必要があります。NIMSでは長年にわたり、発電プラントなどに使用される耐熱材料についての研究を蓄積し、世界をリードしてきました。すでにA-USCでの使用を前提としたボロン添加高強度耐熱鋼などの研究を進め、実用化の手がかりを見出しています。

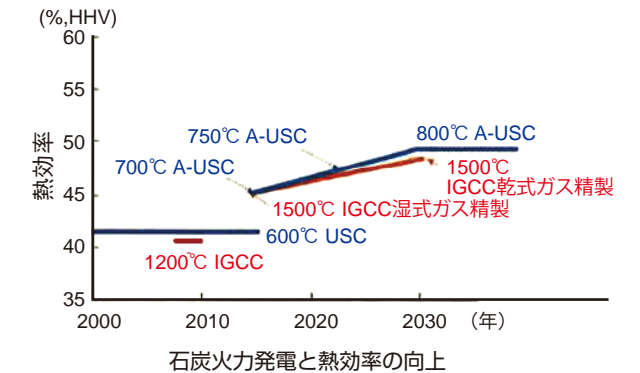
2008年から、経済産業省のA-USCプロジェクトが開始しました。これには火力発電のタービンやボイラメーカー、材料メーカー、あるいはNIMSなどの研究機関が参加しています。このプロジェクトでは、A-USCのシステム設計や材料および製造技術などの要素開発を進めています。さらにその成果を生かし、A-USCの実証機の建設を目指す予定です。

すでにヨーロッパでは、ドイツで実機レベルの長時間材料検証試験が行われています。またアメリカでも760℃級の蒸気に耐えられる材料の評価が行われています。

発電の多くを石炭に依存する米国、中国、インドなどの



USCとA-USCのシステム



石炭火力発電所に日本のUSC技術を適用すれば、CO<sub>2</sub>排出量を年間13億トン削減できるという試算があります。この量は現在の日本全体の排出量に相当する膨大な量です。A-USCではさらにCO<sub>2</sub>の削減が可能です。目標とされる2020年ごろに実用化し、その後普及できれば、世界の火力発電での石炭使用量をさらに1割減らせると考えられ、世界規模のCO<sub>2</sub>削減への大きな効果が期待されています。

## 火力発電技術、材料技術の課題



(財)電力中央研究所  
首席研究員 佐藤 幹夫

「エネルギー安全保障の確保」と「地球環境問題への対応」という観点から火力発電技術の課題を考えると、「熱効率向上」、「燃料多様化」、「バイオマス起源燃料の利用拡大」および「CO<sub>2</sub>分離・回収・貯留(CCS)」などが挙げられます。

わが国の火力発電\*の蒸気条件は、圧力が31MPa、蒸気条件が600℃級に達し、送電端効率として約42%(HHVベース)を得られる時代を迎えており、ガスタービンをコアとしたコンバインド(複合)サイクル発電では、1500℃級ガスタービンの採用により、送電端効率50%以上(同)を得られています。これらの成果は、材料の耐熱許容温度の上昇、高温部品の冷却技術の向上、プラン

トシステム全体の最適化など、材料技術に負うところが大きいのです。火力技術に対するその他の課題で、材料技術に関係するのは、「燃料多様化」です。石炭の中でも比較的品質の低いものを利用することなど、灰分や水分が増加するため、化石燃料の品質は、将来的に低下する傾向にあります。オイルサンドやオイルシェールなどの非在来型石油には重金属が多く含まれるなど、材料の使用環境の高温化に伴い、燃料中の不純物の影響も大きな課題です。

さらに、経営上、プラント運用上の課題は、「コスト低減」、「信頼性向上」など、これらも材料技術開発に負うところが大きく、良い材料さえ開発されれば、課題のすべてが解決されるとは言いませんが、私のような熱・燃焼屋にとっては、材料面からの制約が少なくなることは、熱機関の性能向上を考える上で、夢が広がることなのです。

\*火力発電: 蒸気の膨張力を利用した発電方式

A-USC 実現のキーテクノロジー

650°C級高強度フェライト系耐熱鋼の研究

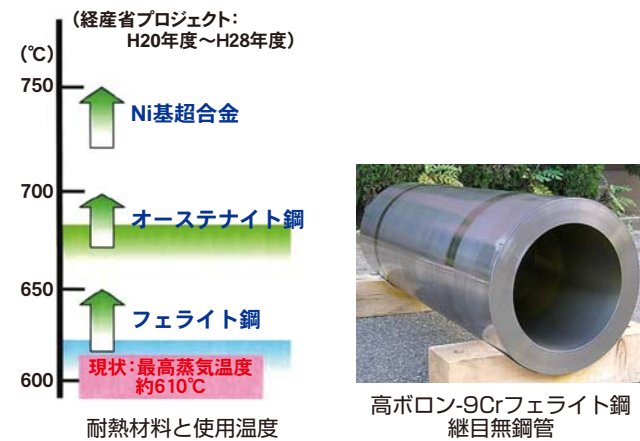
耐熱材料の性能がプラントの効率を左右する

石炭火力発電では、ボイラ内で石炭を燃焼させ、この熱で高温・高圧の蒸気を作ります。蒸気はボイラチューブを通過して一箇所に集まり、そこから主蒸気管(パイプ)を通りタービンに送られ動力となります。

「石炭火力発電プラントの中で、大径厚肉(直径が大きく板厚があつい)の主蒸気管は一つのプラントで長さ100~200m、重量数百トンの大型構造物で、高温で長時間使用される材料の耐熱温度が、プラント高温化の鍵を握っているといっても過言ではありません」と阿部氏は語ります。

主蒸気管材料に求められる主な特性には、高温強度をはじめ、管内面の高温蒸気に対する耐酸化性、溶接性などがありますが、大量に使用されるために価格が低いことも重要です。

またボイラからタービンまで蒸気を運ぶ主蒸気管で問題となるのが、熱疲労損傷です。火力発電プラントは運転と停止の切り替えが頻繁で、加熱と冷却を繰り返すため、管は熱による伸縮で疲労してしまいます。この部分に使



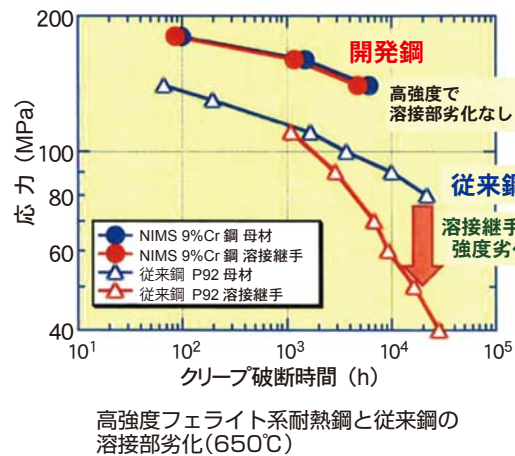
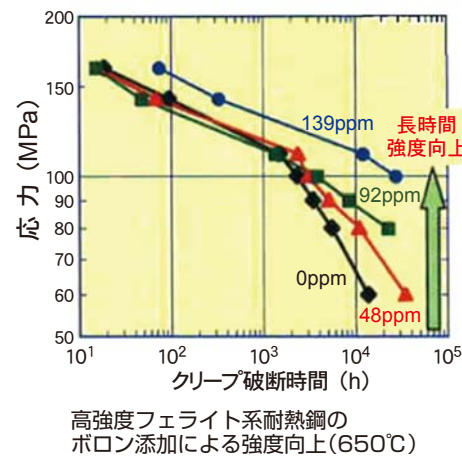
新構造材料センター 耐熱グループ  
グループリーダー 阿部 富士雄

われてきたのが、オーステナイト系耐熱鋼やNi基超合金に比べて価格が低い上に熱膨張係数が小さく熱応力を低減できるフェライト系耐熱鋼です。そこで阿部氏は、A-USCの実現を目指し、フェライト系耐熱鋼の特徴を生かしつつ、高温強度を改善したボロン添加高強度フェライト系耐熱鋼の開発に取り組んだのです。

世界をリードする耐熱鋼研究のプライドを胸に

研究では、もっとも重要な高温クリープ強度確保のため、材料組織内の析出物の微細化、とくに強度が低下しやすい結晶粒界の組織の安定化・強化を図りました。溶接部では、ボロンの添加により溶接熱影響部の強度低下を防ぐことができることや、そのメカニズムが明らかになりました。また耐酸化性向上の方策として、予備酸化処理によって表面にクロムの保護的な酸化皮膜を生成する方法が有効であることがわかりました。このような研究を通じて、基本的な材料設計指針を確立し、今後は実用化に向けて長時間特性確認や製造・加工技術を研究する段階を迎えます。

「ドイツでは、2014年にA-USCの第1号機が建設される予定です。1号機はヨーロッパに先を越されそうですが、材料研究では現在も日本が世界をリードしています」と阿部氏は自信ありげに語ります。日本がリードする材料技術に、A-USCの研究を進める世界各国が大きな期待を寄せています。



火力発電プラントの信頼性を支える

クリープ寿命予測と溶接部強度劣化抑制

材料寿命予測の高精度化に貢献する  
クリープ特性研究

30~40年といわれる火力発電プラントの寿命。NIMSでは、材料が実際に使用される条件を想定して、信頼性を確保するための研究がさまざまな角度から行われています。

その一つがクリープ特性の研究です。クリープとは、外部から力が加わることにより、時間経過とともに徐々に物体が変形する現象です。クリープ試験では、材料の使用温度において10万時間(約11年5か月)でクリープ破断を生じる応力を測定し、ここから許容引張応力が求められて設計に生かされます。クリープ試験の変形量は1時間にわずか10万分の1%レベルであり、この微小な世界の動的変化を対象とした研究は、いわば「ダイナミック・ナノ」への挑戦ともいえるでしょう。

実は、高効率の超々臨界圧火力発電に使用される耐熱材料の研究の中で、使用されるフェライト系耐熱鋼のクリープ強度が過大評価されているのではないかと、との危険性が指摘されていました。

木村氏は、高温下の長期使用に伴う強度低下機構を調べ、長時間クリープ寿命予測法の高精度化に関する検討を行いました。そして高応力域と低応力域のクリープ変形の仕組みが異なることに着目し、それぞれにクリープ寿命を解析する「領域分割解析法」(NIMS NOW 2008年6月号参照)を提案しました。この方法は、高い精度で寿命予測できることが評価され、この手法を取り入れて設計基準の許容引張応力が改定されました。

「長年にわたり継続してきたNIMSの研究成果は、わが国の共有財産です。これからも私たちは、領域分割解析法のような新しい技術について積極的に検討していきたい」と木村氏は意欲的です。

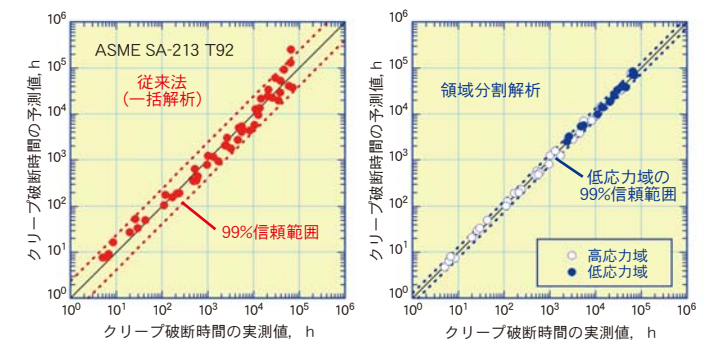
溶接部の結晶粒界制御により  
クリープ強度劣化を抑制

最近、長期間使用された火力発電プラントで、フェライト系耐熱鋼の溶接部にクリープボイド(小さな空洞)が見つかる事例が報告されています。

鉄鋼材料を溶接すると、溶接による熱影響部のクリープ強度は劣化します。これは、熱影響により結晶粒が微細になることに加え、多軸応力が作用することにより、粒界にクリープボイドが生成しやすくなるからです。この現象はType IV損傷と呼ばれています。



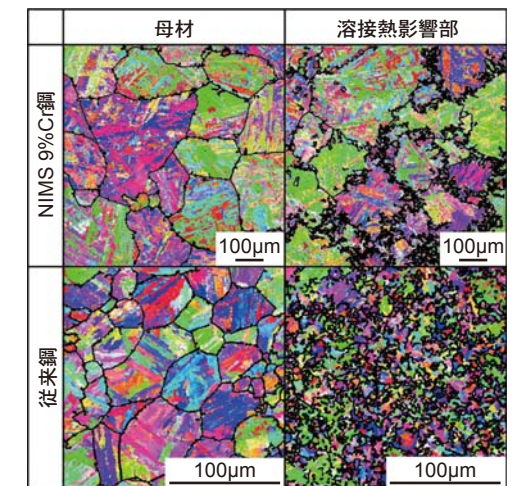
材料信頼性センター 高温材料グループ データシートステーション  
グループリーダー 田淵 正明 ステーション長 木村 一弘



従来法と領域分割解析法によるクリープ寿命予測結果と実測値との比較  
(信頼範囲の幅が狭まり、予測精度が高まっていることがわかる。)

田淵氏は、熱影響で微細になった組織の観察やクリープボイドの計測、力学解析等を行い、粒界における劣化のメカニズムについて研究を進めました。そして、フェライト系耐熱鋼にボロンを添加し、同時に窒素濃度を低く抑える方法により、拡散変態による微細組織の形成を抑制することができました。これにより、溶接部のクリープ強度の劣化を抑えることができたのです。

「火力発電プラントの高効率化が進むのに伴い、溶接部の長時間強度をいかに確保するかがいっそう重要になります。溶接部は、プラント全体の信頼性向上に貢献する大切なファクターです」と田淵氏は語ります。長期間に及ぶ安定運転を支える基盤として、材料研究は大きな役割を担っているのです。



NIMS 9%Cr鋼(ボロン添加鋼)と従来鋼における溶接継手の結晶粒組織  
(ボロン添加鋼は、溶接熱影響部でも結晶粒が微細化されない。)

## マグネシウム合金の生体内分解挙動評価

生体材料センター 金属生体材料グループ  
生体材料システム化グループ\*1  
新構造材料センター 軽量材料グループ\*2  
東北大学大学院歯学研究所\*3  
(金属生体材料グループ リサーチアドバイザー)



グループリーダー 山本 玲子  
白井 暢子\*1  
グループリーダー 助教 向井 敏司\*2  
清水 良央\*3

これまで、骨接合材やステント\*1などの医療器具には金属材料が用いられてきました。これらの器具は埋入周辺組織の修復後、不要になるため、除去手術を無くして患者の負担を軽減できるよう、生体吸収化が望まれています。しかし、これまでに開発された医療用生体吸収性材料は高分子・セラミック材料のみで、機械的特性の不足から金属材料の代替とはなりません。

近年、生体必須元素で、水と反応して分解するマグネシウムやその合金が、生体吸収性金属材料として期待されていますが、生体内での分解挙動や機構は明らかにされておらず、生体適合性に関する知見も不足しています。そこで私達は、純マグネシウムおよびWE43合金\*2をラット脛骨近傍に埋入し、生体内環境における分解挙動を調べました。

図1に、埋入1日目と56日目の純マグネシウム試料のマイクロX線CT像の例を示します。試料周辺に空孔が観察されますが、これはマグネシウムの分解に伴い発生する水素の量が、血液による拡散量を上回ったために形成されたと推測されます。図2に、マイクロX線CT像より求めた空孔量および試料の分解量(残存率)の推移を示します。純マグネシウムにつ

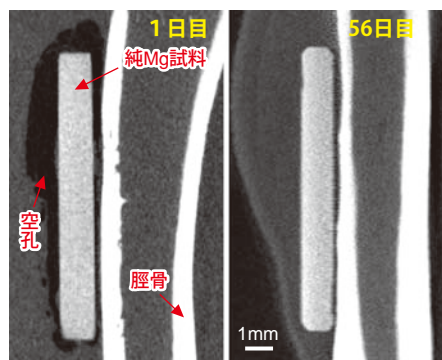


図1 ラット体内埋入1日目および56日目の純Mg試料のマイクロX線CT像の例。1日目では試料の腐食に伴い水素ガスが発生し、試料周辺に空孔が観察されるが、56日目では消失している。脛骨の形状が異なるのは同一個体ではないため。

いては、埋入1日目の空孔量が最も大きく、その後減少しています。一方、WE43合金については、埋入1日目の空孔量は純マグネシウムより小さいですが、その後はほぼ同量のまま推移します。しかし、いずれの試料も、埋入56日後には空孔は消失します。埋入56日の時点で純マグネシウムの方がWE43合金よりも試料の残存率が小さく、分解がより進んでいることがわかります。以上から、マグネシウム合金の生体内における分解挙動は合金種により異なることが明らかになりました。また、埋入試験の結果は既にNIMSで行った疑似体液中への浸漬試験結果とよい相関があることから、生体外の試験により生体内の分解挙動が推測可能であることが明らかになりました。

これらの結果を元に、さらにマグネシウム合金の生体内挙動や生体適合性を明らかにしていくと同時に、機械的特性や分解速度が最適化された医療用マグネシウム合金の開発研究を進めていく予定です。

- \*1 ステント: 金属製メッシュでできた筒状の医療機器。血管や胆管などの管状の器官が狭くなった部分をその内側から拡張するために用いられる。
- \*2 WE43合金: マグネシウムに4 wt%のイットリウムと3 wt%の希土類元素を含む合金。希土類元素は分離が難しいため、混合物として使用される。

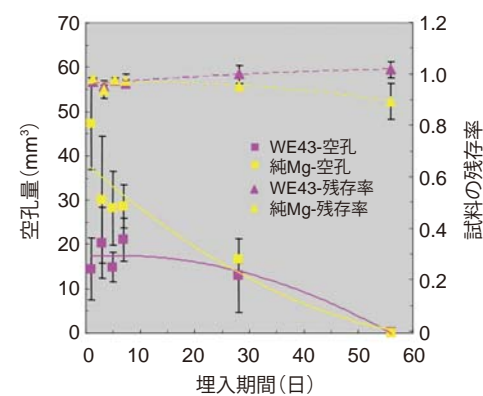


図2 ラット体内埋入試験におけるマイクロX線CT像より求めた空孔量と残存金属率。埋入初期に形成された空孔は次第に減少し、埋入56日後までには消失する。埋入56日においてWE43の残存率が若干増加しているのは、合金表面の腐食生成物のためと思われる。

## ナノ膜による有機分子の超高速濾過を実現

ナノ有機センター 機能膜グループ  
計算科学センター 第一原理物性グループ\*



センター長 一ノ瀬 泉 Peng Xincheng  
センター長 中村 美道\* 大野 隆央\*

多孔膜を介した液体の透過量は、膜の厚みに反比例して大きくなります。すなわち膜の厚さが半分になると、単位面積、単位時間あたりの透過量(流束)が2倍になり、その結果、分離に必要な時間やエネルギーを節約することができます。例えば、細菌やウイルスなどを除去できる限外濾過膜は、概ね2~200ナノメートル(nm)の孔があいた高分子膜であり、通常、数10マイクロメートル(μm)の厚さです。この膜厚を数10nmにできれば、高速、大容量の処理が可能になるでしょう。問題は、この極薄の膜に、大きな流束に耐えるための力学的強度が要求されることです。大きな圧力差に耐えられる強度をもつ、丈夫で極薄の多孔膜を作ることは容易ではありません。

私たちは、フェリチンと呼ばれるタンパク質を用いると、ナイロンなどの強靱な高分子膜に匹敵する高強度のナノ膜を製造できることを見つけました。この膜は、水が高速透過するにもかかわらず、水溶性の有機色素分子を透過しません。同様な性能をもつ市販の限外濾過膜(あるいはナノ濾過膜)と比較すると、幅が1.5nm以上の有機分子であれば、約1000倍の速度で濾過できることがわかりました(図1)。

開発されたナノ膜は、30~100nmの範囲の一定厚みを持ち、ピンセットでつまめるような自己支持性の膜です。この膜は、直径12nmの球状のタンパク質

(フェリチン)が互いに化学的に結合し、密に充填した構造をもちます。膜の内部には多くの隙間があり、水や小さな有機分子は、この部分を高速で透過できます。一方、大きな有機分子は、途中にある3つのフェリチンの間の狭い流路(直径は2.2nm以下)を通過することができません。内部にこのような水の流路が形成されていることは、ナノ膜の断面の走査電子顕微鏡観察からも確認されています(図2)。60nmのナノ膜を介した水の透過流束は、9000 L/h・m<sup>2</sup>・barに達します。この値から流体力学的なモデルを用いて計算すると、膜の実効厚みは、5.8nm以下と見積もられました。水は、フェリチンの間の狭い流路を通過するときのみ、大きな粘性抵抗を受けることが推測できます。

このようなナノ膜を用いることにより、水からウイルスなどの有害物質を取り除くことができるため、浄水用や医療用の濾過膜として期待されています。今回の成果は、エネルギー効率のよい水処理膜あるいは分離システムの開発にも貢献するでしょう。

本研究は、2009年6月にNature Nanotechnology誌に掲載されました。X. Peng, J. Jin, Y. Nakamura, T. Ohno and I. Ichinose, Ultrafast permeation of water through protein-based membranes, Nature Nanotechnology, 4(6), 353-357(2009)。本研究の一部は、JST-CRESTの研究課題「界面ナノ細孔での液体の巨視的物性の解明」(代表:一ノ瀬 泉)として実施されています。

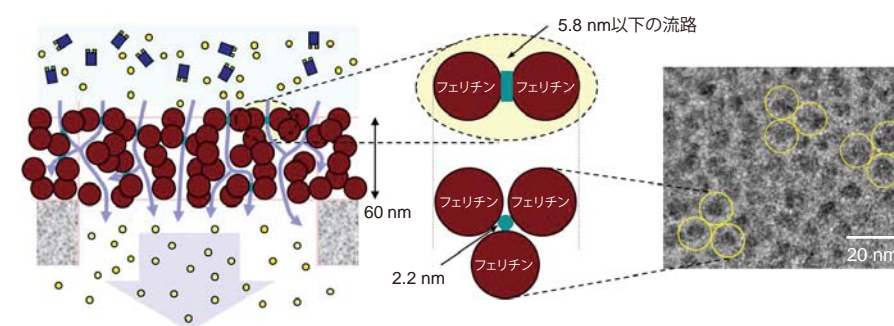


図1 フェリチンにより構成されたナノ膜とその構造。幅が1.5nmより大きい分子は透過できない。

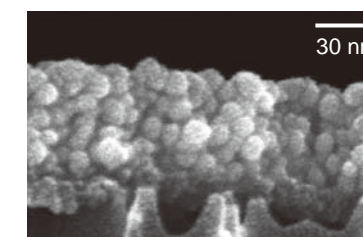


図2 ナノ膜の断面の走査電子顕微鏡写真

## 自然から学ぶナノテクノロジー

生物は、環境負荷の低い物質を無駄のないプロセスでつくることによって、高効率・省エネルギーを可能にする優れた微細構造を実現しています。こうしたくみは、ナノテクノロジーに大きなヒントを与え、環境低負荷技術開発のブレークスルーになり得ると考えられます。



図 クラスターメンバーが取り組んでいる研究課題の抜粋

### ◆ 研究課題 ◆

#### 魚や虫の体色から学ぶ構造色 (新しい構造色、魚の変色構造を利用した歪センサーの開発)

モルフォチョウ、玉虫などで見られる鮮やかな発色は体表の周期構造に起因します。熱帯魚のルリスズメダイのコバルトブルー(図)も構造色の1つです。さらに、ルリスズメダイはその周期構造を制御することで構造色を変色させることができます。

#### アワビの真珠層の構造から学ぶ無機・有機複合構造 (高靱性材料の創製)

アワビの貝殻真珠層は体積の95%が炭酸カルシウムであるにもかかわらず、その破壊には炭酸カルシウムの数千倍のエネルギーを必要とします。強度と靱性を両立する貝殻の高靱化機構を明らかにし、新しい軽量・高信頼性材料を開発しています。

#### バイオミネラリゼーションに学ぶセラミックス合成 (セラミックスの低温合成)

貝や骨などの生物の無機物創製を模倣して、水溶液プロセスによる低温でのナノ構造セラミックスの合成を目指しています。魚類のウロコを用いた階層構造など特異な微細構造に関する研究も行っています。

#### 虫・爬虫類・落葉から学ぶ可逆的接着 (循環型ものづくりへ貢献)

虫や爬虫類の脚裏は、木の幹や葉、平坦な窓ガラス上にも容易に着脱することができます。一方、落葉樹は、必要な時に葉を自発的に切り離すことができます。これら虫や爬虫類や葉の着脱メカニズムを研究し、容易に着脱できる技術を開発し、リサイクルし易いものづくりに役立ちます。

#### 粘土のナノ構造から学ぶ積層構造 (新機能を持った材料の開発)

地表にたくさん存在している“ありきたりの物質”、層状粘土鉱物に注目しています。その仕組みを模倣・技術化・利用(ジオミミクリ)した形態制御技術、複合化制御技術により、超低負荷環境材料、安全・安心・快適な材料、複合材料、高機能性材料を創製します。

#### 脳を創る

神経細胞ネットワーク、すなわち脳が実現している高度で柔軟な情報処理機能を、異なる材料系で再現するために、実際の神経細胞における分子やイオンを介したナノスケール信号伝達の研究を進めています。この「脳を創る」研究によって、将来のコンピュータは全く新しい情報処理装置へと生まれ変わるでしょう。

#### 細胞間の接着剤

膵臓や肝臓は、細胞同士がカドヘリンと呼ばれる細胞間接着タンパク質により結合して、細胞同士の情報交換を行っています。そこで、移植した細胞間を一時的に接合し、カドヘリン形成後にはなくなってしまうという細胞間の接着剤を開発しています。

#### 生物のプロセスで骨を作る (有機無機複合構造)

骨は、細胞の周囲環境や素材供給の制御によって、細胞無機化合物であるアパタイトのナノ結晶とタンパク質のコラーゲンが向きを揃えて並んだナノ構造をもっています。これらの制御を工学的に模倣して、生体と類似の優れたナノ構造を再現しています。

## DDS、運び屋を越え未来医療に貢献

東京大学 教授 片岡 一則

大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻

片岡一則教授が高分子ナノ材料に薬を入れて体内の標的に送り届ける研究を始めたのは20余年前。今や、この方法によるがん治療薬5種類が臨床試験中のほか、遺伝子や診断プローブも運べるようになるなど、可能性が一段と広がっています。第3回NIMS賞受賞にあたり、回顧と展望をうかがいました。



### 高分子材料で薬を運ぶ研究のきっかけは？

1970年代後半、博士課程の頃、高分子の大家である恩師に「高分子材料は医療に役立つはず。やってみたら？」と背中を押されたのが最初の動機です。当時、医用高分子といえば人工臓器をはじめ血液適合性材料や抗血栓材料。私もそこから出発しました。一方、DDS(ドラッグ・デリバリー・システム)という言葉はすでに存在し、私自身ドイツの研究者の論文に刺激を受け、いつかやってみたいと思っていました。研究の過程でPEG(ポリエチレングリコール)に出会い、材料表面にPEGを結合させると血栓ができにくいことに気づきました。折しも「タンパク質にPEGを結合させると抗原性がなくなり、血中に長く留まる」という論文を読み、「これだ！」と思ったのです。PEGとポリアミノ酸の共重合体に薬物を付けてミセル構造にすれば、異物として認識されずに血中に長く留まるだろうと考え、DDS研究にシフトすることにしました。

### 材料研究者が医薬領域に踏み込む困難はありましたか。

院生の頃から出入りしていた東京女子医大の医用工学研究施設には、工学(化学・材料・機械・電気)、薬学、医学の研究者や院生が集まり、人工臓器、DDS、抗血栓性デバイスなどの開発を目標に、今で言う分野融合が実現していました。刺激的でした。心臓血管研究所の整った動物実験室も自由に使わせてもらえました。よい場が提供され、それをテコに前に進めたのは幸運だったと思います。異なる分野の人が共に研究すると1+1が3にも4にもなります。先端分野の研究には好ましいコラボレーションの仕組みが大切です。その点で、ナノテクは分野融合のプラットフォームになる言葉ですね。

### 最近の新たな展開にはどんなものがありますか。

DDSは薬の研究だと思える人が多いのですが、体内の物質輸送をコントロールする輸送現象論です。DDSという言葉が既成概念化し、用途や機能の拡大に適合しなくなりつつあります。組織に入れた物質が細胞内の

移動経路を変える、細胞内のpHなど環境を検知して物質の形を変えるなど、運搬に留まらない多様な機能をもつようになってきました。そこで最近ではDDSではなく“ナノデバイス”と呼ぶことにしています。当初は高分子ミセルでがんの治療薬を標的に運び、副作用を減らすのが目的でしたが、やがて静電相互作用を生かしたポリイオンコンプレックスのミセルに電解質であるDNAを入れることを思いつきました。90年代半ばにはウイルスに代わる遺伝子運搬役になり、さらにプローブを入れて診断にも使えるようになってきました。

### 今後の可能性としてどんなアイデアがありますか。

DDSで薬ががんが集まるのは、がん組織で毛細血管の透過性が高まる現象を利用していますが、他に薬をうまく通過させるしくみはないかと考えています。例えば小児マヒウイルスはどんな物質も通れない脳血管関門を通過しますね。脳血管関門を通る運搬役を作れば画期的です。診断と治療を同時にできる機能をもたせることも可能性のひとつです。薬が目的地にたどり着いたか、効果を発揮しているかをチェックするのは。近年見つかっている小さいRNAは細胞膜を通過しませんが、こうした核酸をうまく運ぶ材料をつくれれば新薬ができるかもしれません。さらに、がん幹細胞を選択的に攻撃する方法もあり得るでしょう。副作用が強いために目の目を見なかった新薬を、運び方の工夫で復活できないかとも考えています。高分子の強みは多機能を一本の分子につくり込める点です。自然界に学びながら、より高い機能をもつ材料をつくりたいと思っています。

### 若い研究者に一言お願いします。

登山は8合目が一番きついと言います。研究も、これと思つたらしつこく頂点をめざすことです。基礎・応用と分けて考える必要はないんです。基礎的な研究をしても、何かに役立つことはないかと考えるイメージトレーニングを常にしておくことが大切ですね。

NIMSのクリープデータシートプロジェクトでは耐熱材料のクリープデータを長年にわたって蓄積しており、その信頼性は国際的に高く評価されています。先ごろ、クリープ試験で使用される熱電対(ねつでんつい)の運用について、データシートステーションの宮崎秀子さんが、平成21年度文部科学大臣表彰の創意工夫功労者賞を受賞しました(業績名:温度計測用R熱電対の運用システムの改善)。膨大な量の熱電対を日々どのように運用しているのか、その取り組みについて伺いました。

## クリープ試験の厳格な温度管理は地道な作業と工夫の積み重ねから

クリープ試験で使用される熱電対について教えてください。

長時間の変形量を調べるクリープ試験の試験条件には、温度と応力という2つのファクターしかありません。10万時間を超える長期間の試験の精度を高めるには、厳格な温度管理が不可欠です。クリープ試験の温度管理には、R熱電対という温度センサーを使用します。これは白金線と白金・ロジウム合金線を1m程度に切断し、線の端を溶接して絶縁管とビニールチューブでカバーしたものです。この熱電対の先端を試験片に直接接触させると、基準温度接点との温度差から熱電対に熱起電力が発生し、この数値から試験温度を電氣的に計測します。

熱電対は1対ごとに熱電対カードを作成して管理しており、試験機、試験温度、貸出日時などの履歴を記入します。試験後の修理では、15分の通電焼鈍により表面の酸化物を除去し、さらに試験片に接触していた先端部をカットし、再溶接、絶縁管装着を行います。

この後、国家標準につながる標準熱電対を基準として校正を行います。熱電対は長時間使用すると徐々に劣化して起電力が低下してしまうので、クリープ試験前に校正を行い熱起電力の確認を行います。

熱電対の運用では、どのような改善をしたのですか。

最大の改善点は、試験後に必ず修理と校正を行うようにしたこと。以前は修理せずに再使用することがありましたが、修理を義務付けたことにより、常に新品と同じ品質が確保できるようになり、膨大な数の修理の効率も向上しました。修理時にカットした材料などはまとめて改鑄しますが、このサイクルも以前より3倍程度延ばすことができました。このような改善の



データシートステーション 主幹エンジニア  
宮崎 秀子 (Hideko Miyazaki)

結果、繰り返し使用しても国家標準とのトレーサビリティを確保し、厳格な試験温度の管理が可能になりました。

熱電対は、カバーや認識番号がないと見た目はただの針金のようなものですから、修理の時は取り違えたりしないように注意が必要です。また校正は必ず1対ごとに行いますが、この作業は時間がかかり、1日に8対しかできません。しかしこの作業は手抜きできません。校正炉に挿入したら1時間の温度平衡を保持する、抜き出しには30分以上かけるなどのルールはしっかり守り、校正の質を維持しています。

日頃の仕事の中で、やりがいを感じるのとはどんな時でしょうか。

修理後の熱電対を校正してほぼ同じ起電力値が得られた時は、熱電対はすばらしい温度センサーだと、改めて感じます。また温度管理がしっかりできて、きれいなクリープカーブが描けたときは喜びもひとしおですね。

NIMSでは、クリープ試験の温度管理はJIS基準値よりさらに厳しい基準を設定しています。エンジニアたちは、数百台のクリープ試験機を毎日休むことなくきちんと見守っています。だからこそ、NIMSのクリープデータシートは国内外から非常に高い評価を受けているのでしょう。実はまだ公表していない貴重なデータも多くあるので、今後、多くの研究者に使ってもらえるようにしたいと思います。

若い研究者やエンジニアにアドバイスをいただけますか。

私の仕事は、日々同じ作業の繰り返しです。一見地味ですが、決められたとおりにきちんと作業を続けることが、すぐれた研究成果へとつながるのです。改善すべき点は変える。守るべき点は守る。「継続は力なり」ですね。

## NIMS特別名誉研究員の太刀川恭治氏がICMC Lifetime Achievement Awardを受賞

NIMSの特別名誉研究員で、かつて科学技術庁金属材料技術研究所筑波支所長を務められた太刀川恭治氏が、International Cryogenic Materials Conference (国際低温材料会議)より、2009年の「ICMC Lifetime Achievement Award (終生業績賞)」を授与されました。この賞は、低温・超伝導材料に関する知識の進展に対し生涯の功労を称えるもので、6月28日～7月2日に米国アリゾナで開催された低温工学会議及び国際低温材料会議において授賞式が行われました。

太刀川氏は、1962年にNIMSの前身である金属材料技術研究所に入り、加工研究室長、筑波支所長等を歴任されました。研究の面では入所年から超伝導材料の研究に従事し、Nb<sub>3</sub>Snの実用的な線材化法となるブロンズ法の開発を始めとして数多くの卓越した研究成果をあげられ、また多くの後進を育成するなど、NIMSの超伝導材料研究の礎を築いた研究者のおひとりです。



受賞された太刀川恭治氏

## 米国シアトルでNIMS認定ベンチャーがスタート

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)は、共同研究のグローバル化を目指して2008年4月に米国シアトルにあるワシントン大学にNIMS海外オフィスを開設し、米国、特に北西部の需要に合った共同研究を行うとともに、研究者、学生、事務系職員の交流を進めてきました。そのような環境の中、NIMSは2009年6月にNIMSの研究成果を米国において事業展開することを目的に、NIMSフェローの北村健二氏と、CEOであるDavid Bowes氏により設立された米国企業のNIMBUS Technologies LLC(NIMBUS)をNIMSベンチャー海外第1号に認定しました。

NIMBUSは、1) NIMS、ワシントン大学、Pacific North国立研究所の間で共同開発している医療用赤外光源、テラヘルツ光源の事業化、2) NIMSベンチャーである(株)オキサイドや(株)SWINGの米国内事業展開、3) NIMS、ワシントン大学の研究開発に基づく米国政府系資金への申請、4) 米国企業に向けたNIMSの技術移転窓口などの活動を行います。



NIMBUS Technologies LLCの本社が入るビル

## 第6回日英米ナノテクノロジー学生サマースクールを開催

平成21年7月27日～31日、米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)において第6回日英米ナノテクノロジー学生サマースクールが開催されました。本スクールは、平成16年度からNIMSと英国ケンブリッジ大学の2機関で始まり、平成20年度の第5回から米国のUCLA/CNSIが加わって3機関でのスクールを実施しています。

UCLAのカリフォルニアナノシステム研究所(CNSI)から10名、ケンブリッジのナノサイエンスセンターから9名、NIMSからはNIMS内で博士課程研究を行う10名が参加し、最新の研究成果を発表しました。物理・化学、金属、半導体、高分子・生体分子、生物学に至る広い分野で研究を行う学生達は、質疑応答の時間だけでなく、休憩時間や様々なイベントの中で活発な討論を行い、最先端ナノテクノロジーに関する知識を深めた一方、視野を広く持ち国際的な研究を行うことの重要性を学びました。また、ビーチバレー日英米対抗試合、UCLA学生主催フェスタなどを通じて、英米それぞれの文化に触れ、親交を深めました。

第7回は来夏にケンブリッジ大学ナノサイエンスセンターで開催する予定です。



カリフォルニア大学ロサンゼルス校カリフォルニアナノシステム研究所にて

## 第3回世界材料研究所会議を開催

平成21年6月21日～25日、米国メリーランド州の米国標準技術局(NIST)において、第3回世界材料研究所会議(WMRIF)が開催されました。この会議は研究所運営企画にかかわる問題を共有してより効率的な研究開発に役立てようと、世界の材料研究所長のサミット会議を目指して2年に1度開催されています。

第1回は2005年にNIMS主催によりつくばで、第2回は2007年にドイツの鉱物資源研究所(BAM)主催によりベルリンで開催されました。第1回会議時に15だったメンバー機関は44に増加しており、WMRIFに対する世界の認知度が高くなってきたことがうかがえます。

今回は世界共通課題である「材料研究はどのように環境エネルギー問題に貢献できるか」をテーマにしたシン



世界材料研究所会議参加者、米国NISTにて

ポジウムに25名の先端研究者を招き、開発の現状と材料研究者の果たすべき課題について聞きました。参加者数は前回の1.5倍となり、参加した機関の長からは「短期間のシンポジウムの中に政策も含めた全体像を聞くことができ、大変有意義であった」という声が多く聞かれました。

次回2011年は、中国科学院(CAS)をホストに、中国科学院金属研究所(IMR)が主催して開催の予定です。

## NIMS WEEK 2009を開催

平成21年7月21日～24日の4日間、「次世代医療を開拓するナノバイオ材料」をテーマに、つくば国際会議場においてNIMS WEEK 2009を開催しました。NIMS賞には、薬物・遺伝子を体内に運ぶナノ構造デバイスを開発した、東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻の片岡一則教授が選ばれました。高分子に薬物を結合させて体内の目的地に運ぶこのドラッグデリバリーシステムは、すでにがん治療への優れた効果が確認されており、臨床試験が進められています。(P9のスペシャルインタビューをご覧ください。)

基調講演は東京女子医科大学先端生命医科学研究所長の岡野光夫教授が、細胞シート工学による生体組織の再

構築および臨床応用について話され、続いて迅速診断のためのバイオチップ開発、DNAを用いた三次元構造制御ナノテクノロジー、再生医療のための生体活性材料に関わる講演が行われました。

ナノテクノロジーとバイオテクノロジーを融合した材料研究には、生物学・医学から化学・物理学・電子工学・材料工学など、多彩な領域の専門家チームによる研究が必要です。総来場者が450名を越えたNIMS WEEK 2009は、それら多くの学問領域に関わる研究者が他分野の研究者との交流し、新たな共同研究の糸口に出会う機会となったと確信しています。



NIMS賞授賞式:潮田理事長と受賞された片岡教授



岡野教授による基調講演



ニューヨーク大学Seeman教授による講演

## 独立行政法人の役員の報酬等および職員の給与水準の公表について

平成20年度の公表資料について、公式ホームページに掲載しましたのでご参照ください。

[http://www.nims.go.jp/nims/disclosure/term02/docs/h20\\_payment.pdf](http://www.nims.go.jp/nims/disclosure/term02/docs/h20_payment.pdf)