

# NIMS

2008.Vol.8 No.10 October

# NOW

## スペシャルインタビュー

カリフォルニア大学サンタバーバラ校 研究チーム

2008年度NIMS賞受賞

3名の受賞者に聞く

第8回 NIMSフォーラム

物質・材料の

最先端研究

と技術移転

2008年10月29日水

東京国際フォーラム ホールB7

9:30より開場、入場無料

<http://www.nims.go.jp/nimsforum/>

問合せ先 NIMSフォーラム事務局  
TEL.029-859-2026 nimsforum@nims.go.jp

インターネットホームページの申込フォーム、プログラム等、展示会の詳細につきましては

法人 物質・材料研究

### オーラルセッション

NIMSを代表する最近の研究成果を講演形式でご紹介します。

### ポスターセッション

技術移転の可能性を秘めた研究を80枚以上のパネルで一挙公開。研究者本人が解説します。

### 研究トピックスミニ講演

研究の中で、今後のブレークスルーを期待される最新の研究に焦点を当ててご紹介します。

### 展示コーナー

NIMSの研究開発に用いた技術の装置を様々な角度から展示します。

## 2008年度NIMS賞受賞 3名の受賞者に聞く

UCSB(カリフォルニア大学サンタバーバラ校)研究チームのアンソニー・G・エバンス教授、デビッド・R・クラーク教授、カルロス・G・レヴィ教授の3名が、革新的な材料を用いた先進航空機タービンおよび発電用タービンの燃料効率向上の研究により、第二回NIMS賞を受賞しました。本年度のNIMS賞は「環境・エネルギー分野における材料科学・技術での最近の大きなブレークスルーを称える」をテーマに選考され、先進ガスタービンエンジンの超合金部品を保護するセラミックコーティングに関する材料・科学技術において顕著なブレークスルーを成し遂げた業績に対して授与されたものです。

環境・エネルギー問題は、長期的に持続できる社会を築くために最も重要な地球規模の関心事です。「環境と気候変動」は、北海道洞爺湖サミット(2008年7月7-9日)のG8会合で中心議題のひとつに取り上げられました。このような国際的な状況を踏まえ、NIMSは7月14-18日に「エネルギーと資源の有効利用のための材料科学」をテーマとしたNIMS WEEK 2008を開催しました。

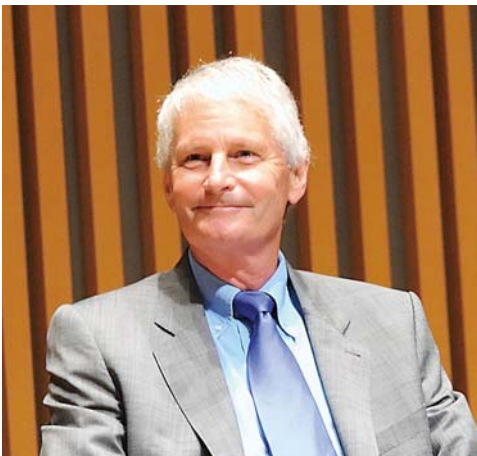
これまで、社会経済価値を生み出す材料を創り出すことに主な関心が向けられてきましたが、これからはその価値を、環境・エネルギー負荷を軽減するような、安全で安心できる社会インフラを築くことに結びつけなくてはなりません。NIMS WEEK 2008では、「環境・エネルギーの諸問題を解決するために材料科学に何ができるか」に焦点を当てた様々な研究発表が行われ、NIMS賞受賞研究にも反映されています。

受賞したUCSBの3人の教授はこの10年間、断熱性と構造安定性を持ち、さらに下地のニッケル基超合金を環境劣化から保護するような新材料の開発について、性能予測モデルとガイドラインを作成する国際チームをまとめてきました。

英国人のエバンス教授は、最先端構造材料分野の指導的立場で、UCSBの同僚であるクラーク教授、レヴィ教授のほか、関連する材料システムのあらゆる側面を研究するためには共同研究ネットワークが必要不可欠であると考え、様々な研究機関との共同研究を通して、材料科学、固体物理、量子力学、熱力学、熱科学、数値計算手法分野からの参加者を得て、学際的で広範囲なチームを構成しました。そして、政府機関や民間産業界の支援を受けて、革新的な材料を用いたタービンエンジン効率の改良をチームの中心となって推進し、この10年の間に材料技術を大きく進歩させました。

同じく英国人であるクラーク教授は、ガスタービン材料の研究を推進する要因について、「この研究は常に高出力で低運用コストを目指した燃焼効率の改善を追及していますが、最近のNOxとCO<sub>2</sub>排出削減の必要性の高まりにより、「航空機エンジンおよび発電用ガスタービンの燃焼効率は、タービンに噴射される燃焼ガス温度に依存する」という原点に立ち返って、さらに改良をしたのです。」と明快に解説してくれました。

ガスタービンに特有の極限状態下における材料の性質を理解するためには、多様な専門分野の技術を統合して活用する必要があるばかりでなく、システム思考で問題にアプローチすることが要求されます。このグループが果



カリフォルニア大学サンタバーバラ校  
研究チーム  
Anthony G. Evans 教授



カリフォルニア大学サンタバーバラ校  
研究チーム  
David R. Clarke 教授



カリフォルニア大学サンタバーバラ校  
研究チーム  
Carlos G. Levi 教授

たした重要な役割は、そのアプローチ方法を開発し、広範な研究ネットワークによって達成した成果を統合したことです。UCSBの「ダイナミックトリオ」が顕著な成果を生み出すことに成功したのは、まさにこのシステム思考によるものです。

レヴィ教授はこの研究を振り返り、次のように話しました。「このネットワークに参加した複数分野の研究者の中には、ヨーロッパや私の生地メキシコを含む南北アメリカ、日本およびアジア数カ国からの研究者もいました。研究チームでの活動は、技術的な点で効率的であると同時に、交流を通して常に研究仲間から学び、より早く効果的に専門家として成長できるので非常に良い刺激になります。このような協力体制を発展させるには、チームメンバーが研究全体に関わり様々な才能を発揮するとともに、互いに相性が良いことが重要です。その顕著な例が、ガスタービン材料など数多くの先進構造材料の研究を続けてきたUCSBのエバンス教授とハーバード大学のハチンソン教授との長年にわたる協力です。」

### 材料システムの進化

システムアプローチの展開に関してレヴィ教授は、「一般に、対象としている材料システムは動的であり、その耐用寿命はガスタービンシステム中で、どの部材として使われるかだけでなく、熱サイクルのようなエンジンの多様な状態変化にともなう構成材料同士の相互作用によって変わります」と言います。

ガスタービンの高効率化は、翼形状設計、冷却技術とともに、高温ガス経路中の構成部材の断熱・耐環境性を考慮した斬新な多層材料コンセプトとの組み合わせで実現されてきました。一般に、この多層材料は、遮熱コーティング(TBC)システムとして航空機および発電用の比較的高性能なエンジンに幅広く使用されており、酸化保護層をつくる金属下地、熱的に成長する酸化層(TGO)と断熱セラミック層とからできています。次世代タービン製造ではTBCの耐用温度と寿命を改善することが技術課題であり、それには新しい構成材料の開発と多層材料の構造の最適化が必要です。

これと同様の材料システムを、特に燃焼器に適用すると有害な排出物を削減でき、運転に十分な柔軟性を持たせることができます。UCSBのグループが参加するまでの研究は経験的であり進度も遅々としていましたが、彼らの努力による研究成果は現在、タービン効率の系統的な機能強化が可能なシミュレーションプログラムの中に実装されています。

このチームの研究活動を通して得られた基礎的な知見は、タービン中の極めて苛酷な燃焼環境下において、断熱性と構造安定性を兼ね備えた新しい構成材料の発明をもたらしました。TBCは剥落・層間剥離など、数多くの損傷メカニズムに起因する保護コーティングの部分的な欠損により耐久性が低下します。今回開発された新材料は、耐久性と耐用温度向上を可能とし、今後数年間にさらにガスタービン効率が向上することが見込まれます。

### UCSBの研究活動

エバンス教授は、「目下興味を抱いている研究は、エネルギー、輸送関連に加えて情報、通信、健康に関わる広範囲な技術におけるシステム性能と信頼性です。構造用材料の他に電子、磁気、光学、熱などの機能システムを扱っており、その鍵となるのは破壊応力に耐える強度を持つことです。」と話しています。また教授は、電子部品への実装とガスタービン構成金属材料への高温コーティングの応用を目指し、界面および薄膜に関する力学に重点を置いた研究に力を注いでいます。

クラーク教授は、「この研究で取り上げたテーマに非常に興味があったので、実験室として自分の専門分野はUCSBの仲間と研究を開始してから拡大しました。最近の研究は構造材料に移っており、特にTBCの材料面とその破壊に特化しています。TBCの研究では、圧電分光分析を使用する固体中の非破壊応力測定技術に関する開発も行っています。」と話しています。

レヴィ教授にとって何よりも重要なテーマは、構造用合金とセラミックスに重点を置いた微細構造の基礎的な理解であり、コーティング、複合材料、単体システムの化学的・微細構造設計を理解し応用することに焦点を当てています。現在の研究では、エネルギー・輸送技術をより高効率で環境的にクリーンにできる材料に最大の関心を寄せています。

UCSBの活動について、3人の教授は次のように話しています。「エンジン製造や耐久性解析に用いられるモデルとプログラム、シミュレーションの開発にはかなりの努力が必要でしたが、一方で、前述のハチンソン教授やNIMSの材料信頼性領域の香川領域コーディネータ、最近では超耐熱材料センターの原田センター長を介したNIMSとの協力や、他の研究者とのチームワークにより、研究活動全体の成果を展開させるシナジー効果がもたらされました。また、この活動は政府による支援を受けており、その成果は一般に公開されていますが、GEのエンジン事業部やその他の企業からも資材の提供があったことは、産業界の学術的研究機関に対する信頼が大きいことを示しています。強調したいのは、これにより最大の利益を得たのは学生たちであることです。チーム活動に参加した学生たちは「理念」を受け継ぐことができるだけでなく、産業界の科学者との交流を通して将来の雇用先を開拓することができるのですから。」

「先進材料の研究は、先進技術の実際上の問題を通して得られる経験であり、理論的な活動ではありません。産学共同ワークショップは、実用化以前の基礎研究についてニーズと優先順位を企業側と議論し、そのニーズを大学のチームに伝える「中立的な場」です。そこでは緊密な交流を通して、基礎研究環境から産業界の技術開発の領域に迅速で効率的に知識が移転されます。若手の科学者がここで得る教訓は、「優れた科学的成果は、必要とされるあらゆる能力がチームとして効果的に研究を行う適切な組み合わせで集積し、アイデアを正しく孵化させる場合に結実する」ということです。」

# 分析支援ステーション

— 物質・材料研究の基盤 —



# 化学分析セクション



物質・材料の分析技術、分析情報は、物質・材料の開発・改良を行うための研究基盤として必要不可欠のもので、物質・材料のキャラクタリゼーションを行う際の中核技術です。分析支援ステーションは、NIMSのすべてのセンター、ステーションと密接に連携して幅広い材料における分析情報の提供、分析に関する教育・指導、分析機器の維持・管理を行うとともに、より信頼性の高い、正確で精密な分析法の開発・整備を目指し、これらの成果を基に分析技術の国際標準化へ向けた取り組みを積極的に進めています。

## 化学分析セクション

物質・材料に含まれる様々な元素の正確な量を決定する分析を中心として、以下に示す種々の化学分析技術で支援しています。蛍光X線分析装置(XRF)、グロー放電質量分析装置(GD-MS)、誘導結合プラズマ発光分析装置(ICP-OES)や原子吸光分析装置(AAS)などの分析機器が稼働しています。また、ガス形成元素(H、N、O、C、S)分析には不活性ガス搬送融解/熱伝導度法や燃焼/赤外線吸収法が適用されています。

化学分析は熟練の技と経験がものを言う世界なので、対外的な活動等を通して、技術向上や技術の伝承に努めています。次ページで詳しく紹介します。

## X線回折セクション

物質・材料の特性は結晶構造により大きく異なります。したがって、結晶構造を正確に決めることは、材料研究における重要な評価のひとつです。このセクションでは、共用装置としての粉末X線回折装置の管理を行うとともに、単結晶構造解析による精密な結晶構造の決定を行うことで研究支援を行います。粉末X線回折法だけでは正確な構造の把握が難しい場合もあり、単結晶構造解析による支援は、時として研究成果の鍵を握ります。

## 表面・微小領域セクション

粒界組織の析出物や細かい状態の解析、デバイスや触媒などの表面や表面近傍の解析など、特に新しい物質・材料の機能に直結するような分析を、電子線やX線を用いて行うセクションです。あわせて、より高度なニーズに対応できるような装置技術開発も進めています。

分析技術に関する知識と経験のみならず、金属組織や

電子論あるいは装置技術に明るい専門家達が集うセクションです。そのため、専門性に裏打ちされた信頼できる測定と確実なデータ解析の結果を提供し、より高度な支援を実現しています。

## 分析技術の国際標準化への取り組み

分析技術は品質保証の最も重要な基盤であり、国際商取引が当たり前の今日においては、国際的な合意と認証のある手順のつとめる必要があります。その国際的に認められた手順書が国際規格です。

分析支援ステーションでは、日本の拠点として、国際標準化活動をVAMASとISOの2つを中心に進めています。

## VAMAS活動

VAMAS(新材料と標準に関する国際共同研究)とは、Versailles Project on Advanced Materials and Standardsの頭文字を取ったもので、国際標準となりうるシーズ(プレ・スタンダード)に直結する国際共同研究を主催・支援する機関です。分析支援ステーションでは、その中のTWA2(作業部会2:表面化学分析)に関して、TWA-2国内対応委員の組織・運営などの国内活動のみならず、委員の派遣並びに共通試料を用いて参加機関の試験・測定データを比較する国際ラウンドロビン試験の提案および参画を通じ、国際的にも中核機関としての役割を果たしています。

## ISO活動

ISO(国際標準化機構)とは、International Organization for Standardizationの頭文字を取ったもので、スイスに本部を置く国際標準の構築と普及を目的とした国際組織です。分析支援ステーションはTC-201(表面化学分析)およびTC-202(マイクロビーム分析)の活動に対して、積極的な貢献を続けています。

近年、化学分析セクションでの分析支援の対象として、米粒程度、あるいは薄膜状の微量試料の定量分析が増加しています。多くの場合、最初に非破壊であるFP/XRF(ファンダメンタル・パラメータ)法により、共存元素の種類・およその含有量など情報を得た後、必要に応じて精密な基準分析法である重量法・容量法など湿式化学分析を併用し、分析結果の信頼性の向上に努めています。いずれにしても、オールマイティーな分析法はありませんので、適切な分析法を選択し、ユーザーの要望に応じています。

図1に示すのはHeプラズマによるイオン化ができる、マルチガス導入/GD-MS装置です。放電ガスとしてArガスの代わりにHeガスを用いることで、スペクトル干渉の原因となるアーガイドイオン(MAr<sup>+</sup>)と呼ばれる複合分子イオンやイオン化エネルギーが高い元素(12keV以上)のイオン化効率が不十分であるなどの問題を解決しました。その結果、図2に示すように、多くの元素でArグロー放電と比較して相対感度係数(RSF)が小さい値となり、イオン化率が向上しました。特に、C、N、Oなどガス形成元素の高感度分析が可能となりました。

また、ICPへの試料導入法としてレーザーアブ

図1

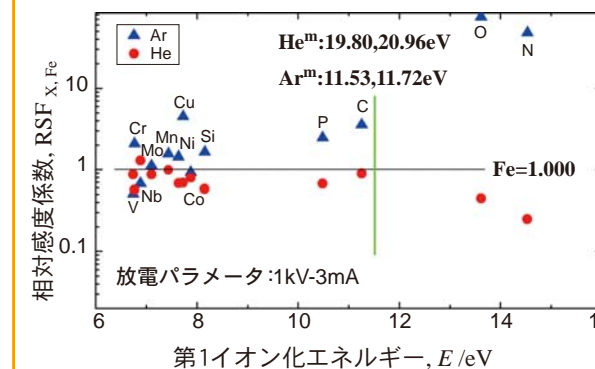


マルチガス導入/グロー放電質量分析装置

レーション(Laser Ablation: LA)法の適用も検討しています。この手法は、細く絞ったレーザー照射により、試料を溶融・蒸発し、微粒子として導入できるため、局所分析、微小部分の組成分析や深さ方向分析、分析試料のマクロ偏析に関する知見が得られるものと期待されています。

対外的な活動としては日本鉄鋼連盟標準化センターでの鉄鋼認証物質(JSS)の製作及び認証値の決定の共同実験に参画しています。基準化学分析法による標準物質の定量分析を行うことで、化学分析技術の伝承に努めています。また、日本セラミックス協会原料部会分析分科会においては窒化ケイ素などの材料の各種分析法の規格化を推進しています。欧州連合では、リサイクルに関する廃電子電気機器指令(WEEE)を発効し、指定対象商品に含まれる特定有害物質(鉛、水銀、カドミウム、6価クロム、ポリ臭化ビフェニル(PBB)、ポリ臭素化ジフェニルエーテル(PBDE)など6種)の使用制限に関する指令(RoHS指令)が規定されています。これらに関して、分析方法の確立に関する共同実験に参画し、技術向上に努めています。

図2



各元素の第1イオン化エネルギーと相対感度係数の関係

## 非破壊評価



安全・安心の向上は社会の普遍的目標です。構造物や機器の安全を確保するための要となる技術に非破壊検査や信頼性評価技術があります。構造物等の長期使用を前提とした、省資源で持続的な社会形成に重要な役割を果たす技術です。NIMSでは、非破壊信頼性評価技術研究を総合的に材料研究を行う機関の使命のひとつと考え、2006年に研究分野や組織の枠組みを超えて、非破壊信頼性評価研究を推進・発展させることを目的とした「非破壊評価クラスター」をスタートさせました。本クラスターでは、NIMS内の非破壊計測、信頼性評価、プロセス開発、材料開発等の研究者だけでなく、大学や研究機関にも広く研究協力を求めることで、非破壊信頼性評価技術の研究発展と応用を図り、社会に貢献することを目指しています。現在、以下の活動を進めています。

### (1) 非破壊計測技術と材料研究との連携による材料信頼性評価研究の展開

金属疲労・クリープ<sup>\*1</sup>・腐食などの材料信頼性研究に、アコースティック・エミッション<sup>\*2</sup>やレーザー超音波<sup>\*3</sup>等の非破壊計測技術を組み合わせることで、損傷発生の前駆現象や損傷メカニズム解明など、従来の欠陥評価から一歩進んだ、材質劣化の評価に役立つ基礎研究を行います。また、プラズマ溶射<sup>\*4</sup>や超塑性<sup>\*5</sup>といった材料プロセスへの非破壊計測技術適用により、プロセス現象の解析・改良へ役立つ研究など、材料研究の新たな展開を目指して次の萌芽的研究テーマを進めています。

- ・応力腐食割れ<sup>\*6</sup>試験へのアコースティック・エミッション(AE)計測の適用
- ・超音波疲労試験のレーザー振動計による非接触モニタリング
- ・プラズマ溶射のプロセス現象の非接触AEモニタリング

また、以下のテーマについて検討中です。

- ・高クロム鋼のクリープ損傷評価による高温用材料の寿命評価
- ・セラミックスの高温変形プロセスモニタリング
- ・極低温用材料の損傷、靱性(もろさ)等の非破壊評価
- ・量子化デバイス等を用いた新しい非破壊センサー開発

### (2) 新しい非破壊技術の開発・応用を目指して

社会貢献への道筋として、非破壊信頼性評価の基礎的研究を、開発・応用のプロジェクトへとつなげることが重要になります。その流れのひとつとして、本年4月より、従来の超音波計測研究やクリープ等の高温材料研究の成果をベースとして、非接触材質評価に関する研究プロジェクト

トが新たにスタートしています。本プロジェクトでは、材料やプロセス研究者との連携のもと、テラヘルツ波<sup>\*7</sup>といった新しい技術も取り込んで、コーティングの評価や高温用構造材料の材質変化の非破壊検出などに的を絞って進めています。

### (3) 非破壊信頼性評価技術の普及・拡大

社会の安全・安心に役立つためには、非破壊技術の普及・拡大が重要です。そのために、他の研究機関や大学、企業との連携によるニーズにあった技術の開発と普及が有効と考え、外部との連携の道を検討してきました。そのひとつとして、本年4月に、AIISTとJAXAとの3機関連携を活動の中核組織として、非破壊技術の共同研究、応用だけでなく、国際会議開催などの啓蒙活動をおこなう仕組みが新たにスタートしています。(次ページ参照)

分野融合クラスターという仕組みは、研究者などが中心になり、従来の組織にとらわれることなく、様々な目的を持って機動的に活動する課題解決型組織です。非破壊評価クラスターは、その中でも非破壊技術の発展・普及を目指す有志を集めた研究会的な性格を併せ持っています。社会の安全という使命のもと、様々な分野の研究者の参加を期待しています。

- \*1 高温において顕著に見られる現象で、弾性範囲内で負荷中の材料が時間と共に塑性変形する現象
- \*2 材料の微視的な変形や割れにより発生する超音波
- \*3 レーザーの局所加熱により発生した超音波をレーザー干渉計で非接触で検出する検査手法
- \*4 高温のプラズマガス中で溶かしたセラミックスや金属粒子を基材に吹きつけて皮膜を製作する方法
- \*5 破断までに大きな塑性変形量を有する現象
- \*6 腐食と応力の相互作用で発生する環境割れ
- \*7 電磁波と光の中間帯域に位置する波長の波



## NIMS、AIIST、JAXAの 独法3機関連携による 非破壊信頼性評価研究

物質・材料研究機構(NIMS)、産業技術総合研究所(AIIST)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、材料と非破壊計測技術に対する高い知識・技術開発力を基盤として、機器・構造物や社会インフラの安全性・信頼性の向上のため、独立行政法人三機関の連携を中核に非破壊的手法に基づく材料・構造物の信頼性評価技術に関する幅広い研究協力を2年間の予定で平成20年4月に締結しました。

非破壊信頼性評価では、欠陥検出だけでなく、欠陥が発生する前の材質変化を検出・評価する技術を研究開発します。また、極限環境下での適用が可能な非破壊計測技術などの高度技術の研究開発や実用化を目指します。特に、本連携ではロケット等の宇宙構造物を対象に、各研究機関の材料信



三機関連携の調印式の様子(平成20年4月18日、JAXA東京事務所にて)  
左より小野副理事長(AIIST)、岸理事長(NIMS)、立川理事長(JAXA)

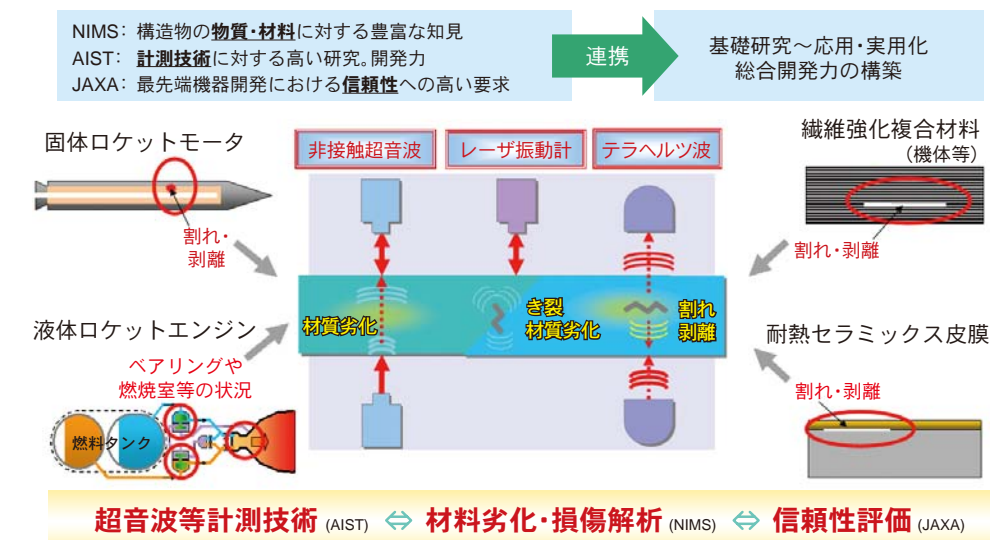
頼性研究や計測要素技術の研究開発など、異分野間の幅広い力を結集して課題に取り組みます。極限環境下の材質変化の評価技術は、材料開発にも貢献が期待できます(図)。

その第一弾として、本年7月のNIMS WEEK中にサテライトシンポジウムとして、NIMS、AIIST、JAXA 3機関共催による第1回非破壊信頼性評価国際シンポジウム(The 1st International Symposium for Nondestructive Reliability Evaluation (NDRE))を開催しました。今後も、この分野の著名な国内外の大学や研究機関の研究者の講演を企画し、企業を含めた国際連携強化も視野に入れた活動を行っていきます。



第1回非破壊信頼性評価国際シンポジウムでの海外招待講演  
左 Prof. Chimentì 右 Dr. Dobmann

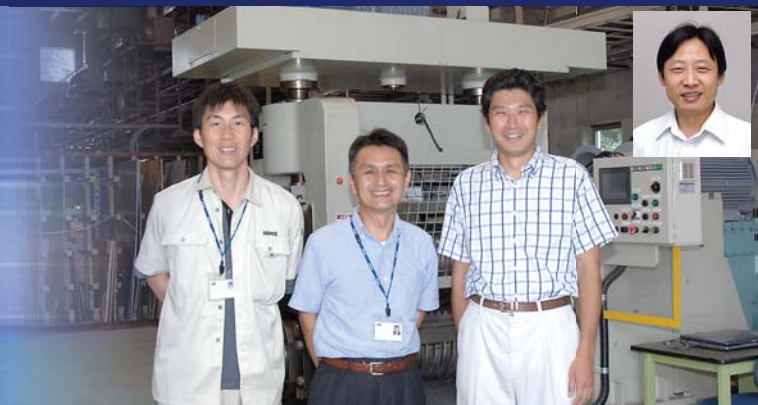
### 非破壊信頼性評価におけるNIMS-AIIST-JAXA連携の研究内容と開発技術



三機関連携で対象とする部材と非破壊評価技術

# 低温で粘り強く 壊れにくい超高強度鋼

新構造材料センター 金相グループ  
材料ラボ インテンス研究グループ\*1  
先進材料グループ\*2



センター長 木村 勇次 津崎 兼彰 井上 忠信\*1 殷 福星\*2

金属は高温域では粘り強く壊れにくいものの、ある温度以下になると脆く壊れるという延性脆性遷移を示します。粘り強く壊れにくい性質を靱性(じんせい)といいます。靱性は、切欠き(ノッチ)付き試験片に衝撃を与え、破断に要したエネルギー(衝撃吸収エネルギー、 $vE$ )を求めることで簡便的に評価されます。

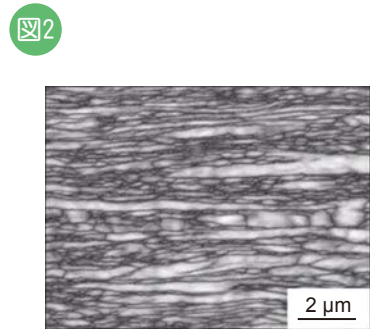
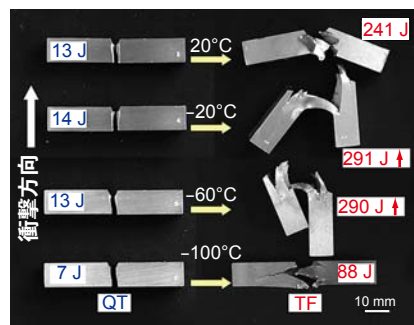
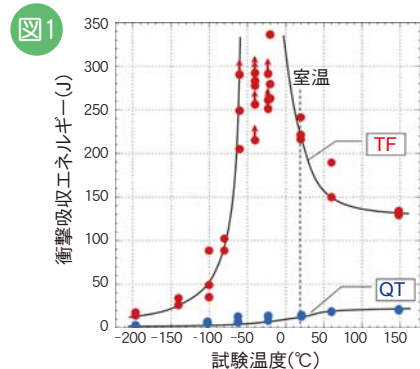
構造材料の基本性能は大きな荷重を支えることで(強度)。構造物の設計では塑性変形に対する抵抗の指標として降伏強さが重要です。鉄鋼は安価に製造でき、高い強度と靱性を併せ持つことから身の回りでたくさん使われています。鋼の降伏強さを1800MPa(メガパスカル)以上に高めると比強度(=強度/密度)が航空機等で使われている高強度アルミニウム合金の比強度以上となり、輸送機等の大幅な軽量化が期待できます。ところが強度と靱性はトレードオフの関係にあります。従来、降伏強さが1500MPa以上の超高強度鋼ではNi, Coなどの高価な希少元素を総量で10~30重量%と多量に添加して靱性の向上が図られてきました(高合金鋼)。しかし最高級の高合金鋼でも1800MPa以上の降伏強さでは $vE$ が40J以下と低く、適

用範囲が限定されてきました。

私達は、少量の合金元素を添加した低合金鋼(0.4%C-2%Si-1%Cr-1%Mo鋼)の金属組織を制御することで、室温の降伏強さが1840MPaで高合金鋼の約6倍の $vE$ を示す鋼の開発に成功しました(図1)。しかも、従来の超高強度鋼が延性脆性遷移を示す60~-60°Cの温度域で $vE$ が逆に増大するという靱性の逆温度依存性を見出しました。このような靱性の向上は衝撃方向とほぼ直角に割れが分岐する層状破壊によるものです。これまで層状破壊による靱性の逆温度依存性はいくつか確認されていますが、このような超高強度かつ低合金鋼の低温域での発現は画期的です。

層状破壊は平均短軸径が0.26 $\mu$ mの緻密な繊維状結晶粒組織に起因します(図2)。この組織は、焼入れおよび焼戻した(QT)鋼の組織がもともと微細なことに着目して、QT材を500°Cで棒状に加工するという単純な加工熱処理で得たものです。本技術は“使われる超高強度材料の実現”に貢献できると期待しています。

Y. Kimura, T. Inoue, F. Yin and K. Tsuzaki, *Science*, 320, 1057-1060 (2008).



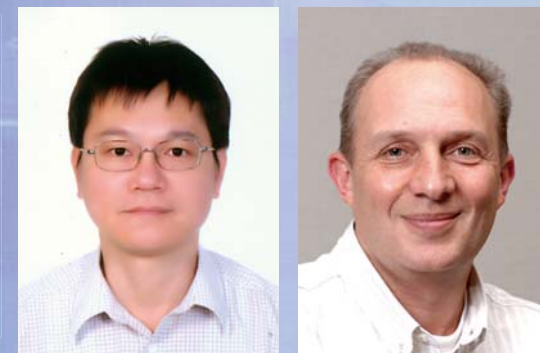
開発鋼(TF材)の結晶粒組織

0.4%C-2%Si-1%Cr-1%Mo鋼の通常焼入れおよび焼戻し(QT)材、およびQT材を500°Cで棒状に加工して得られた材料(開発鋼、TF)の衝撃吸収エネルギー( $vE$ )と試験温度の関係(左側)、ならびに衝撃試験後のVノッチ試験片の外観(右側)。図中の赤矢印は500Jの衝撃エネルギーでも竹を折ったときのように完全に破断しなかった試験片を示します。QT材とTF材の室温での降伏強さはそれぞれ1470MPa, 1840MPaです。

# 超高速光スイッチ

—無機「ナノピーポッド」:酸化ガリウム  
ナノワイヤーに埋め込まれた金ナノ粒子—

台湾 精華大学\*1  
国際ナノアーキテククス研究拠点(MANA)



Prof. Li-Jen Chou\*1 Dmitri Golberg

ここ数年間ナノフォトニクス分野においては、表面積/体積の比が大きくサイズの小さな無機酸化物ナノワイヤーへの関心が高まっています。ICYS-MANAでは、精華大学のLi-Jen Chou教授と共同でこうしたナノワイヤーを用いた新しい光ナノスイッチの開発に成功しました。

この光ナノスイッチは、酸化ガリウム( $Ga_2O_3$ )ナノワイヤー上の双晶粒界(鏡面对称面となる結晶粒界)に沿って金のナノ粒子が周期的に埋め込まれている金属-絶縁体ヘテロ構造を有しています。この新しいナノ構造体は、その形状が似ていることから「ピーポッド(えんどう豆)」と呼ばれ、金を触媒としてガリウムとシリカを800°Cで反応させるVLS(vapor-liquid-solid)成長によって生成されます。図1(a)および(b)は、この新しいナノ構造体(ナノピーポッド)の電子顕微鏡写真です。粒径が10~20 nmの金ナノ粒子が $Ga_2O_3$ ナノワイヤーの双晶粒界に沿っているのがはっきりと見られます。

光-電気特性評価を行うために、ナノピーポッドの周辺に複数の微細加工された金電極を設け、個々の金電極に様々なレベルの電圧をかけることができるマルチプローブ(多探針)電子回路を作製しました(図1(a)挿入図)。波長が532 nmのNd:YAGレーザーで励起すると非常に速い応答速度で光吸収が起こり、図2に示されるように100 pA以上の光電流が発生し、電流比で500程度の高

いオン・オフ比が得られました。この光応答特性は、以下に述べる表面プラズモン共鳴(SPR)効果によるものと考えられます。

レーザーを照射すると、表面プラズモンがレーザー光と結合し、表面プラズモンポラリトン(SPP)が金と酸化ガリウムの界面に生成され、SPPの電磁場はAu- $Ga_2O_3$ -Auの接合部において内部に向かって指数関数的に減衰します。SPR効果により生成された電子は、 $Ga_2O_3$ バリア層へ移動し、さらに対向の電極へトンネル移動します。素子の光応答特性は、強い電界のため金ナノ粒子の格子と熱平衡にない電子の生成速度とその $Ga_2O_3$ ナノワイヤーによるバリア層のトンネル通過速度により決まり、従ってナノスイッチの光電流応答特性はレーザーの出力に比例します。ナノスイッチのスイッチング周波数はレーザー光により制御されるので、このナノ構造体とレーザートランジスタ等のアクティブな光源を組み合わせることにより新しい超高速光システムを造ることが可能となります。このような容易な手法は様々な機能の光電子素子、特にナノスケールの光電子デバイス作製に活用できると確信しています。

この成果は、「Nano Letters」の2008年10月号に表紙のイメージ論文として掲載されるほか、DOI 10.1021/nl0731567としてオンライン掲載されています。また「Nature Photonics」の2008年2巻6月号にも研究ハイライトとして掲載されました。

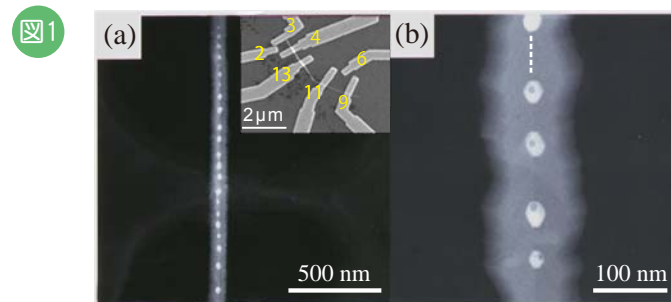
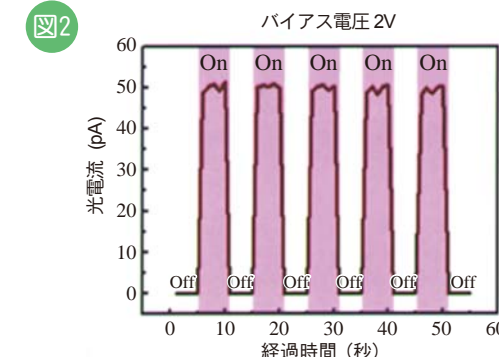


Figure 1 (a) および (b) は、この新しいナノ構造体(ナノピーポッド)の電子顕微鏡写真です。粒径が10~20 nmの金ナノ粒子が $Ga_2O_3$ ナノワイヤーの双晶粒界に沿っているのがはっきりと見られます。(a)中の挿入図は、ナノピーポッドと周囲に設けられた金電極によるマルチプローブ電子回路



532 nmのレーザー光照射オン・オフサイクルにおけるナノ構造体・素子の光応答特性

## 鈴木恒夫文部科学大臣、山内俊夫文部科学副大臣がNIMSをご視察



新構造材料センターの構造材料展示スペースをご視察される鈴木大臣(右)

平成20年9月4日に鈴木恒夫文部科学大臣、9月5日に山内俊夫文部科学副大臣がNIMS千現地区に來訪されました。いずれのご來訪においても、岸理事長から最近の研究成果や国際ノーアーキテクニクス研究拠点(MANA)など、NIMS全体の概要説明をお聞きになり、続いてロールス・ロイスと連携して開発を進めている超耐熱材料センター、超鉄鋼材料研究を進めてきた新構造材料センター、および昨年4月に発足したナノテクノロジー融合支援センターをご視察されました。



超耐熱材料センターの単結晶凝固炉をご視察される山内副大臣

※ 記事中の役職名はご視察当時のものです

## アドバイザーボード会合開催

平成20年8月6、7日の2日間、NIMSアドバイザーボード会合をオークラフロンティアホテルつくばにおいて開催しました。

議長のケンブリッジ大学Humphreys教授をはじめ、MITのSuresh教授、EMPAのSchlapbach教授、デルフト工科大学のVan de Voorde教授、スタンフォード大学のDauskardt教授という、世界的に著名な物質・材料研究の専門家である5名のアドバイザーの出席を得て、NIMSの現状を踏まえた上で、ポリマー、原子力に関する材料、環境エネルギーに関する材料、シミュレーション技術等の新たに取り組むべき分野、グループ間の連携の強化、分野ごとのベンチマークの必要性などについて忌憚のないアドバイスをいただきました。

結果は、マックスプランク研究所金属材料研究所Rühle教授および中国科学アカデミー物理学研究所王教授の指摘を合わせて取りまとめ、今後の研究に生かしてまいります。



会合の様子

## NIMS－筑波大学－産業技術総合研究所 合同講演会を開催 研究支援のための「ものづくり」最前線－レーザーによる微細加工・光造形技術－

平成20年9月11日、最新の工作関係技術関係の専門家を招き、機械工作を専門とする技術支援職員や精密装置・機械を試作して研究に使用する研究者を対象とした講演会をNIMSにおいて開催しました。これは平成14年3月に締結された「筑波大学、独立行政法人産業技術総合研究所及び独立行政法人物質・材料研究機構の間における研究交流の推進に係る協定」に基づき、三機関の共催により行われたものです。三機関以外にも宇宙航空研究開発機構(JAXA)や高エネルギー加速器研究機構(KEK)、民間企業等から多くの方にご参加いただいたこの講演会では、研究支援部門の中でも共通性の高い機械工作分野に焦点を絞り、特に最近関心の高いレーザー技術による微細加工に注目した3件の講演を行いました。

講演終了後、三機関の機械工作や連携推進部門の関係者が一堂に会し、今後の連携のあり方について話し合いました。研究予算や人員の削減は、研究部門のみならず研究支援部門にも及んでいます。研究支援に必要な技術の伝承や人材の確保、あるいは老朽化した共用設備の計画的な整備等、各研究機関に共通した課題を解決するため、地の利を生かした連携を模索しながら、今後とも継続して情報交換等を進めます。



講演風景

## 韓国研究機関との姉妹機関協定調印

平成20年8月27日、岸理事長は、韓国ソウル近郊にて開催されたNano Korea 2008において日本のナノテク研究開発戦略およびNIMSの活動に関する基調講演を行いました。

翌28日に韓国の研究機関との国際連携をより一層拡充するため、韓国科学技術研究所(KIST)と韓国材料科学研究所(KIMS)を訪問して、両機関と姉妹機関協定(包括的な研究協力に関する協定)を結ぶとともに、講演や研究活動の情報交換、研究施設見学を行いました。また、29日には韓国科学技術院(KAIST)を訪ね、現在NIMSとの間で締結している姉妹機関の連携について意見を交わすとともに、KAISTの敷地内に設立されたNNFC(National Nanofab Center)の施設を見学しました。さらに韓国標準科学研究院(KRISS)を訪ね、将来の連携について話し合うなど、今回の訪問による韓国の各機関との交流で、今後の連携をさらに深めます。



Nano Korea2008開会式

## 韓国延世大学とMOUを調印

平成20年9月1日(月)、WPI国際ノーアーキテクニクス研究拠点(MANA)は、韓国の延世大学と研究協力に関する覚え書き(MOU)を調印しました。今後、両機関は、持続可能な化学技術や、ナノバイオ融合技術に関する、研究情報の交換、人的交流、材料開発や評価に関する共同研究などを推進していく予定です。



左から Prof. Park, Prof. Kim (ICBIN Director)、板東MANA副拠点長、Dr. Vinu、藤田MANA事務部門長

## ロシア科学アカデミー・シベリア支所のIGMとMOUを調印

平成20年9月25日、光材料センターはロシア科学アカデミー・シベリア支所の地質・鉱物学研究所(IGM)と研究協力に関するMOU(覚書)を調印しました。IGMはロシアのバルク単結晶成長に関する中核的研究機関のひとつであり、両機関はこれまでもフッ化物を中心とする単結晶材料に関し、研究者交流を含め連携してきました。このMOUが調印されたのを契機に、さらに密な研究情報交換、研究者の人的交流、共同研究課題の拡充を通して、光学単結晶分野における研究協力体制を強化していきます。



左から島村グループリーダー(NIMS)、Prof.L.Isaenko(IGM)、García Villora主任研究員(NIMS)

## 米国ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校と国際連携大学院協定を締結

平成20年9月12日、NIMSは米国ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校(Stony Brook University)と国際連携大学院協定を締結しました。SBUはMRIの開発で有名なLauterbur教授(ノーベル賞受賞)を輩出するなど、米国でもっとも高い評価を受けている州立大学のひとつです。今回の協定の橋渡しをしていただいたSampath教授(写真右)は、米国におけるNSF-MRSECを基に25社の企業を加えた米国の溶射研究拠点のディレクターであり、これまでもNIMSコーティング・複合材料センターと研究交流を密接に行ってきました。2006年には、センサ材料センター、光材料センターともMOUを調印しています。またSBUでは、尾島巖教授(Distinguished Professor、化学、SBU創業研究所所長)をはじめ、中村俊雄教授(材料力学)、古賀忠典准教授(高分子物性)など、日本人スタッフが多数活躍されています。SBU大学院生のNIMSでの研究活動により、一層の研究活性化が期待されています。



左 Prof. Martin, Dean of the Graduate School, Associate Provost  
中 村上コーティング・複合材料センター主席研究員  
右 Prof. Sampath, Director, Center for Thermal Spray Research

## 新理事の紹介



### 木村 良(きむら りょう)

東北大学電子工学科卒業(1973)、科学技術庁入庁(1974)。動力炉開発課長、科学技術振興事業団国際室長、宇宙開発事業団総務部長、内閣衛星情報センター管制部長、日本原子力機構理事、科学技術政策研究所長を経て2008年8月1日より物質・材料研究機構理事

## 就任にあたって

8月1日付でNIMSの理事に就任しました。これまで科学技術庁、文部科学省等で長い間科学技術行政に携わってきました。約20年前にNIMSの前身である金属材料技術研究所の企画課長を経験して、新超伝導材料の発見やマルチコアプロジェクトの推進、つくば移転などの一端に携わりました。当時を思うと、独立行政法人化後、NIMSが全く異なる研究所に生まれ変わっていることを実感しています。また、筑波研究学園都市とは、これまで研究交流センター、二の宮ハウス、筑波宇宙センター等いろいろな局面で関わ

てきましたので、ある程度の土地勘がありますが、今回初めてつくば市に居住することになり、楽しみにしています。

早く新しい組織に慣れて、NIMSがより発展するよう微力を尽くしていきたいと思っています。

## タイ国科学技術省の科学サービス部門御一行がNIMSを訪問

平成20年9月12日、タイ国科学技術省の科学サービス局(DSS)局長 Pathom Yamkate氏の御一行7名がNIMSを訪れ、野田理事と懇談しました。

DSSは研究機関の評価、認定や研究者の人材育成、科学技術に関する情報の収集と供給、民間への技術の還元などを行う政府機関です。御一行はナノ材料について興味を示され、ナノセラミックセンター、ソフトマテリアルラインおよびセンサー材料センターを見学されました。



NIMS千現地区玄関にて

## NIMSイブニングセミナー

研究開発成果の普及とその活用の促進はNIMSの重要なミッションのひとつです。NIMSでは研究成果を民間企業に紹介して、実用化に向けた見通しを付け、産業界と連携を図ることを目的に、毎月第二金曜日の午後にはイブニングセミナーを開催しています。

あらゆる材料科学の最先端研究を、専門外の方にも理解できるよう、NIMSの研究者が分かりやすく説明します。9月12日は「萌芽研究を支える-材料創製から解析・評価まで(共用基盤部門)」をテーマに、最新の評価・分析機器を駆使した新材料開発と最先端設備の共同利用について紹介しました。

このセミナーはNIMSの連携推進室が主催しています。参加申込とプログラムの詳細はNIMS公式サイトをご覧ください。 <http://www.nims.go.jp/jpn/collabo/evening-seminar.html>



東京虎ノ門のNIMS東京会議室で開催されるNIMSイブニングセミナーの様子

## 第8回NIMSフォーラム「物質・材料の最先端研究と技術移転」開催について

平成20年10月29日(水)、東京国際フォーラム(JR有楽町駅前)において『物質・材料の最先端研究と技術移転』をテーマとした第8回NIMSフォーラムを開催いたします。NIMSが取り組んでいる研究成果紹介、ポスターセッション、技術力展示コーナーで、将来の実用化の芽となり得る物質・材料研究や、次世代の研究開発に必要な最先端の分析・解析技術を紹介いたします。

問い合わせ **NIMSフォーラム事務局**  
TEL.029-859-2026 nimsforum@nims.go.jp

詳細 **申し込み** <http://www.nims.go.jp/nimsforum/>