

## 談話室

# 国民との対話のための公開講演会 「グリーン・ライフイノベーションへの材料研究最前線」 を開催して

御手洗容子\* 吉見享祐\*\*  
細田秀樹\*\*\* 中野貴由\*\*\*\*

\* 物質・材料研究機構グループリーダー；  
先進高温材料ユニット構造機能融合材料グループ

\*\* 東北大学准教授；  
大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻

\*\*\* 東京工業大学教授；  
精密工学研究所先端材料部門

\*\*\*\* 大阪大学教授；  
大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻



図1 当日の公開講演会の様子。

## 1. はじめに

1980年後半から1990年代にかけて、TiAlをはじめとする構造用金属間化合物研究ブームがあった。同世代の四人の筆者らは、金属間化合物研究全盛期に学生・若手研究者時代を過ごし、金属間化合物に関わる研究に邁進した。構造用金属間化合物を研究していた筆者ら(吉見, 細田, 中野)が現在、高温構造材料から生体材料・生体組織研究まで研究分野を広げてきた経緯とその根底を流れる学理については、2012年のまてりあ第51巻第4月号の「最近の研究」に紹介されている。

「最近の研究」を記すきっかけは、上記3人が、最先端・次世代研究開発支援プログラム(以下、NEXTプログラムと略す)の支援を受け、グリーンイノベーション・ライフイノベーション分野で研究展開をおこなっており、研究成果をもとに国民と対話する目的で第一回公開講演会を東工大(2011年10月15日)にて開催したことによる。講演会は大盛況に終わり、国民との対話の大切さとともに、所属機関を越えた連携型公開講演会開催の重要性を感じるようになった。

あれから一年が経過し、今回は大阪の地で、さらに物質・材料研究機構(NIMS)が共催に加わり、NIMS 御手洗の基調講演を加えた4名により「最先端・次世代研究開発支援プログラム(NEXTプログラム)研究者が語る 第2回 3大学主催連携公開講演会 グリーン・ライフイノベーションへの材料研究最前線」というタイトルで、2012年10月27日、大阪大学中之島センターにて講演会を実施した。

講演会には高校生を含めた70名を超える方々に参加いただき、広い講義室がいっぱいとなった(図1)。阪大の中野



図2 公開講演開催案内のポスター。3大学1研究所の連携の様子を、それぞれのシンボルマークを用いて、連携の様子を表現している(デザイナー: 西田美菜子氏)。

の開会の挨拶の後、岩崎琢哉先生(阪大)の巧みな司会・進行により、会場の聴衆を巻き込んだ双方向型の講演会となった。講演開催案内のポスター(図2)には、NIMSカラーの青と筑波山のトレードマークを背景に、東工大の象徴であるツバメが、阪大の象徴である銀杏の葉と東北大学の萩の葉を加えて、飛びまわる連携の模様が表現されている。また各講演者の質疑応答を含めた40分の講演の後に総合討論を行い、研究をベースにしたイノベーションへの思いを語った。本稿では、各講演や総合討論の内容を含めた当日の様子を紹介させていただく。

## 2. 2件のグリーンイノベーション関連講演

### (1) 超高温エネルギー変換への材料研究最前線(吉見)

先頭を切って、吉見が水蒸気エンジンの模型を使っての熱機関の簡単な原理を紹介することによって、化石燃料を使った効率的なエネルギー変換の重要性について説明した(図3)。動画を駆使しての説明で、専門外の一般の方々の興味を引きつけていた。その上で、現在、最も高出力を達成している熱機関、ガスタービンやジェットエンジンのエネルギー効率に対する課題が、その心臓部である高圧タービンブレードの耐熱性にあることを指摘した。この問題を根本的に解決するためには、高圧タービンブレードで使用されているニッケル基超合金よりも高融点で高温強度に優れた超高温材料の開発が重要であり、超高温材料としてモリブデン基合金が極めて有望であることを解説した。こうした開発戦略に基づいて、NEXTプログラムで推進中のモリブデン基合金の開発最前線を紹介した。吉見にとって、ニッケル基超合金の耐熱性を凌ぐ金属材料と言えば、融点のほか、密度、弾性率を含む強度、耐酸化性、さらには可採埋蔵量など、様々な要素においてモリブデンは最有力候補であり、その点を特に強調した。

講演中、「材料屋の腕の見せ所」という言葉をしばしば用いたこともあって、添加元素や構成相の選択に対する目のつけどころについての質問をいただいた。また講演後、モリブデンの価格など資源的な問題や、タービンブレード作製上の課題について個別に質問をいただき、新しい耐熱合金に対する関心と期待を実感した。

### (2) 形を記憶する機能材料研究最前線 (御手洗)

御手洗は、独立行政法人の物質・材料研究機構(NIMS)の概略を紹介した後に講演をスタートした。来場者の中には、政府直轄で運営されてきた研究所について、何をしているのか具体的にはわからないという方もいたため、NIMSに親しみを持ってもらう意味で極めて効果的であった。さらに自身の研究を紹介するために、形状記憶効果がマルテンサイト変態により生じること、拡散をとまなう変態とマルテンサイ

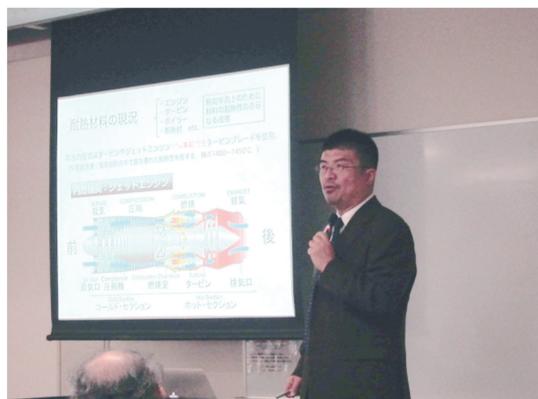


図3 吉見(東北大)の講演の様子。

ト変態の違い、形状記憶効果を示さない金属の変形と形状記憶合金の変形の違いを模式的な原子配列図を用いて、わかり易く説明した。その結果、後半の目指すべき研究に対する受講者の理解が深まったことが、アンケート結果からも垣間見えた。その後、形状記憶合金(TiNi)の応用例について紹介することで来場者に親しみやすい材料であることを強調しつつ、今後の新たな応用展開としての高温構造部材、特にジェットエンジンへの応用の可能性について紹介した。一方で、マルテンサイト変態温度の上昇と高温での大きな形状回復量の両立には限界がある現状を示した。そのブレイクスルーとして、御手洗がターゲットとしているTiPdやTiPtをベースにした新規高温形状記憶合金の可能性、さらに第三元素添加によって機能(変態温度変化、形状回復、高温強度など)を自在に制御できる可能性を紹介した。最後に、NEXTプログラムの支援により設計した、小さな試験片の歪を非接触で測定可能な高温試験機(Shimadzu AG-X)を紹介することで、新材料開発のための装置開発の一端を身近に感じていただいた。

その後の質問は、高融点の元素を添加することによる合金溶解性やエンジンへの応用に関するもの等、来場者が身近に感じる話題と新合金に対する期待が中心であった。

## 3. 2件のライフイノベーション関連講演

### (1) 血管の病気を治す材料研究最前線(細田)

細田は金属材料の特徴を簡単に述べたあと、金属材料の医療への応用について紹介した。さらに、形状記憶合金が医療以外のエネルギー分野でも大変有望であることを理解いただくため、形状記憶合金熱エンジンの原理を平易な言葉で説明し、来場者の目の前で熱エンジン模型がお湯で動く様子を実演した(図4)。この模型は子供たちへの科学への興味を増進する目的で細田研にて手作りで作製し、科学や研究を紹介するイベント、サイエンスカフェなどで子供たちに配布しているものであり、今回も学生や来場者の方々に配布した。駆動の様子を示した動画は細田研HPに掲載しているので、ご覧いただければ幸いである。形状記憶合金が加熱(お湯)により連続かつ高速で回転することに来場者も大いに興味を持ったようで、講演途中直ぐに「なぜ動くのか」という質問があったが、考えていただくために即答はせず、最後に種明かしを

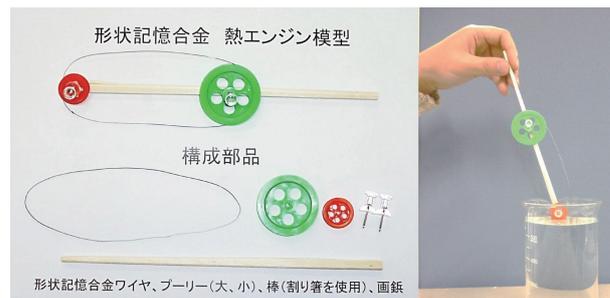


図4 配布した形状記憶合金を用いた熱エンジン模型。

した。あわせて、弾性率の異なる鉄、銅、超弾性合金(母相状態)、形状記憶合金(マルテンサイト状態)を会場全体に回覧して実際に触れてもらう機会を設けた。同じ金属材料でも、その性質が大きく異なることを肌で感じてもらうことは、たいへん効果的であった。

医療用では、形状記憶効果も重要であるが、超弾性特性が特に重要である。その理由は、弾性変形では達成できない数パーセント以上の大きな可逆変形を達成するだけでなく、変形量によらず一定の保持力が維持できることが必要な場面も多いためである。日本人は、加齢ともなっていて心疾患と脳血管疾患という血管の疾病が増すが、これら血管治療には形状記憶・超弾性合金が重要な役割を果たす。低侵襲性血管内治療においては、材料のレントゲン像影性が重要であることを説明し、また、その目的で研究しているレントゲン像影性の良い AuTiCo 超弾性合金の開発状況を紹介した。

最後に、予想される市場規模についての説明を行ったところ、コストや採算性に関する質問が寄せられた。さらに、珍しい型の狭心症の患者を身内に持つ方から必要なステントについての質問や、形状記憶合金熱エンジンの効率や課題などに関する質問もあり、幅広い層の来場者ゆえの多様性に富む関心が伺われた。休憩中や講演会終了後も多くの方が実際に熱エンジン模型に触れ、その動きを体験する様子は、来場者の科学に対する知的好奇心の高さを感じる場面であった。

## (2) 人工関節・骨代替への材料研究最前線(中野)

中野は、骨に関する話題提供と、骨疾患になった場合に必須となる人工関節や骨代替材料の開発状況、ならびに未来に向けた医療展開を紹介した。私達の骨に対するイメージは、通常、非常に身近な存在である。しかし、実際に自分の骨を見たことのある人はほとんどいるはずもなく、骨は近くて遠い存在であることを、多くの方に再認識いただいた。

さらに、「骨密度が骨強度を決める支配因子ではなく、材料工学的な骨配向性が重要であること」については、医学と材料工学が結びつく一つの重要な例として説明した。特に、骨再生過程において、骨密度と骨配向性が異なる挙動を示すことは来場者にとって新鮮な話題であったようで、その後の質疑でも質問が集中した。実際、骨折や骨粗鬆症などの骨疾患にて病院で受診する際、レントゲンやCTなどで診断することが多いため、骨密度という概念は来場者に浸透しているようであった。しかし、実際には骨がコラーゲンやアパタイトによって緻密に細部まで制御された配向化構造・機能部材であることまではほとんどの来場者は知らず、骨配向性という新規概念を取り入れた人工関節や骨代替材料の設計法が骨医療を変えていくことを紹介した。さらに、患者毎に最適な機能を発揮するためのインプラントの設計法として電子ビーム積層造形法を紹介したが、溶解・鋳造による金属材料の作製に馴染みがあるためか、来場者にとって、三次元的に自由形状で金属材料を造形できることは新鮮であったようである。

帰宅後、早速来場者の一人からメールをいただき、ご本人のブログに骨の不思議についての講演内容をまとめて掲載い

ただいたこと、さらには追加質問をいただき、その興味の高さに驚くとともに、多くの方に異なる視点からの骨の見方に関心を持っていただいたことに、公開講演会の醍醐味を感じた。

## 4. 総合討論

講演後に行われた総合討論では、各講演者から、自分の研究の中で、特にイノベーションであると思われる点について総括を行った(図5)。

吉見は、1940年代から半世紀以上にわたって高圧タービンブレードに使用されてきたニッケル基超合金を置き換えたいという耐熱材料のイノベーション、タングステンのような資源が偏在しているものへの依存度を下げ、健全な資源調達の中で新たな硬質材料を創製するイノベーション、そして、今後、より深刻化する化石燃料の需給問題を少しでも緩和することができるようなエネルギー・イノベーションの3点を指摘した。化石燃料の需給問題に関しては、昨今の欧米の国際会議でも産油量の減少を前提とした議論をしばしば耳にするようになり、ジェットエンジンのエネルギー効率向上は、船舶や航空機運輸の分野では切迫した課題となっている。欧米でもシェールガスが大いに注目を集めているが、エネルギー密度の観点からすれば、天然ガスで石油と同等の出力を得るためには、燃焼ガスの更なる高温化が必要である。超高温材料への期待は今後益々高まることは必至である。

御手洗は、ジェットエンジンなどに使われる高温材料の研究に対するイノベーション、そして、形状記憶合金の研究に対するイノベーションの2点を挙げた。従来、ジェットエンジンを含む高温機器の熱効率を向上させるための材料研究は、耐熱性、耐酸化特性の向上が主であったが、高温形状記憶合金をジェットエンジンに組み込むことにより、エンジンの設計を大きく変え、エンジン構造のイノベーションにつながる可能性がある。また、高温形状記憶合金は、従来の構造材料特性(高温強度、クリープ特性など)に加えて、形状回復という機能性を備えており、新たな高温材料の可能性を秘めている。形状記憶合金のこれまでの応用分野は、生活用品か



図5 総合討論会の様子。

ら始まり、最近では医療分野に大きな市場を展開している。形状記憶合金が医療分野で応用されるようになって30年経ち、高温形状記憶合金のような新たな応用分野を開拓することは、形状記憶合金の研究分野をさらに活性化することができるものと期待される。

細田は、医療機器の革新による治療技術の進歩と、それによる長寿命化が本研究のイノベーションであると説明した。例えば、良好な超弾性と生体適合性を有し、かつレントゲン造影性が良く、従来の材料に代替できる材料が開発されれば、それによって医療機器が進歩し、数年レベルで平均寿命が延びる可能性がある。このように、材料技術の革新は、それがそのまま技術の革新的進歩につながるため、新機能を持つ材料の開発が重要である。および、現状では、医療機器の多くは外国製品であり、日本は医療機器では大きな貿易赤字国である。また、これら外国製の医療機器の多くが多重の特許により守られている。その状況の下で新医療技術を開発するためには、基本特許である材料自身を新規に発明し機器展開するしか無い。このようにして日本発の製品開発を行うこともイノベーションである。

中野は、骨関連医療のイノベーションは材料工学から起こる可能性を指摘し、「骨量・骨密度(アパタイトの存在量)医療」から「骨質(例えば、骨配向性)医療」へと未来医療が変わる可能性を示した。さらにこうした骨への解析・診断指標が変わり、より正確になることによって、人工関節や骨代替材料の設計指針が根本から覆るだけでなく、疾患治療、再生医療、そして創薬にもイノベーションが広がることを示唆した。

四演者ともどもイノベーションに対する認識の根幹は、共通であり、「材料のイノベーションなくして、未来は語ることができない」で統一されていた。

## 5. おわりに

講演会の締めくくりに、講演者を代表して細田から挨拶があり、材料研究者がそれぞれの専門分野の基礎学問をしっかり修め、専門分野から派生もしくはスピノフすることで、様々な分野に研究を展開し、ブレークスルーを可能にすることが強調された。また高校生に向けては、高校の授業では材料に相当する科目が無いため、材料工学・科学というものになかなか実感が湧きにくいのが、将来も日本が工業先進国であり続けるためには、是非、若い学生諸君に材料工学に興味を持ち、こうした未来のある道に進んで欲しいとのメッセージが伝えられた。



図6 講演後の講演者と司会者の記念撮影。向かって左から、吉見(東北大)、細田(東工大)、岩崎(大阪大)、御手洗(NIMS)、中野(大阪大)。

尚、本講演会は、大阪大学工学研究科長の掛下知行教授のご支援、さらには大阪大学大型教育研究プロジェクト支援室の岩崎琢哉特任研究員、川人よし恵特任研究員をはじめとする大阪大、東工大、東北大、NIMSの関係各位のご尽力により開催することができた。図6は講演会終了後に、司会を務めていただいた岩崎先生と筆者らの写真である。

当日の様子は、動画として録画され、下記に示す各研究者のホームページにて公開されている。

吉見(東北大) : <http://www.ultra-htm.org/>

御手洗(NIMS) :

<http://www.nims.go.jp/units/high-temp-mat-u/functional-structure-mat-g/mitarai.html>

細田(東工大) :

<http://www.mater.pi.titech.ac.jp/index.html>

中野(大阪大) :

<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp6/nakano/>

本講演会で公開した研究成果は、(独)日本学術振興会 最先端・次世代研究開発支援プログラム(NEXTプログラム)の以下の課題への支援によるものである。「タービン燃焼効率改善のための高温用温度感知型変位制御材料の設計(研究代表者:御手洗容子)」、「究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価(研究代表者:吉見享祐)」、「3大成人病の革新的血管治療を実現する安全・高X線造影性・磁場駆動形状可変材料の発展(研究代表者:細田秀樹)」、「骨微細構造から学ぶ骨生体材料学の構築と骨配向化制御(研究代表者:中野貴由)」。

(2012年11月8日受理)

(連絡先\*\* : 〒305-0047 つくば市千現 1-2-1)