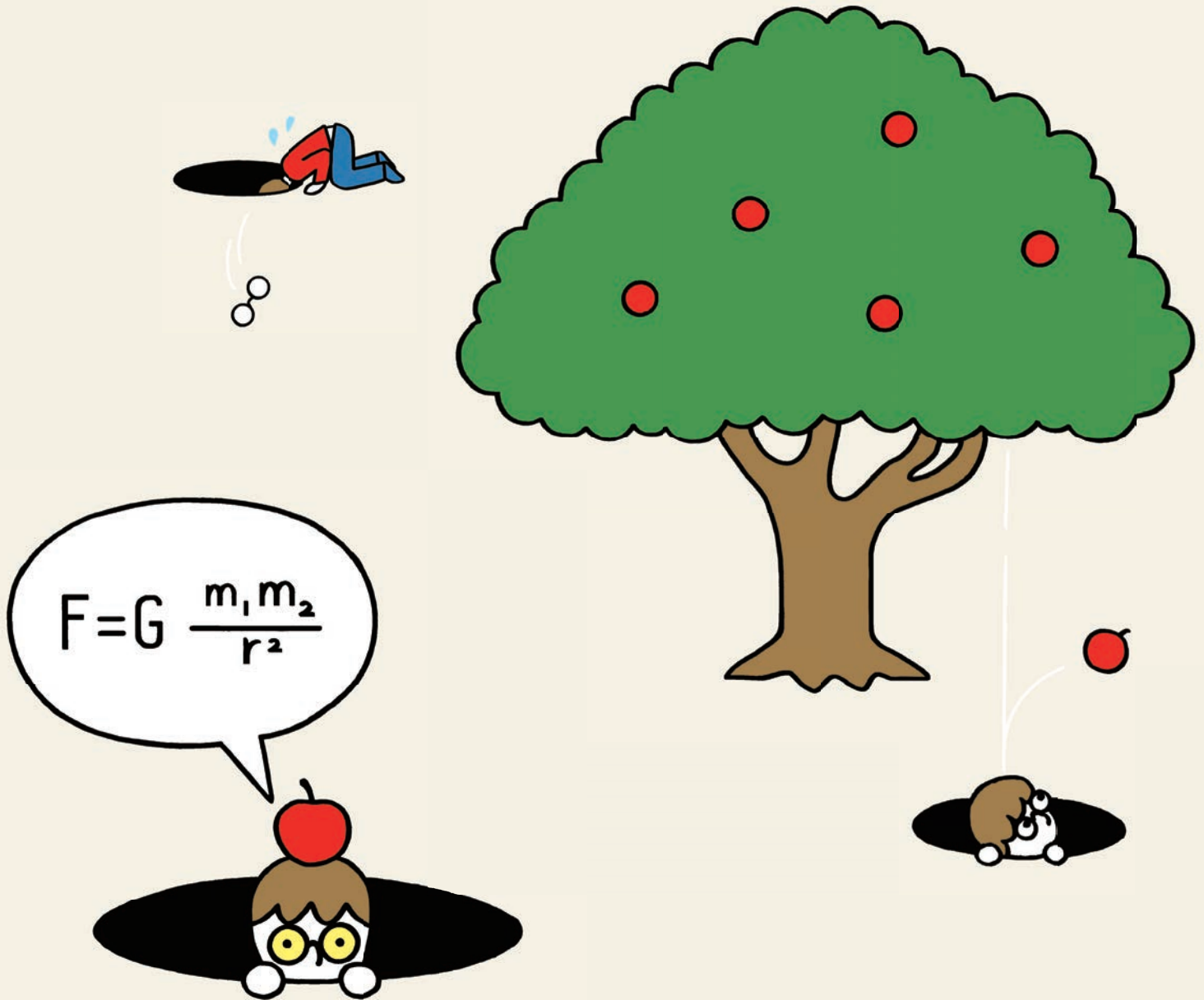


NIMS新体制発進!



非常識な『ミカタ』

～材料の科学者はこう考えた～

NIMS 新体制 発進

宝野和博

Kazuhiro Hono

物質・材料研究機構 (NIMS) 理事長

2022年4月1日付で国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) の第4代理事長に就任いたしました。NIMS発足以来、代々理事長は他機関での経営経験者が就任して参りましたが、NIMSでキャリアを積んだ研究者が初めて理事長に就任することとなり、その重責をかみしめております。

私は1995年に大学からNIMSの前身である科学技術庁金属材料技術研究所に移ってまいりましたが、当時は企業との共同研究、外部資金の獲得、出張、ポストク雇用等で多くの制約があったことに驚きました。2001年に無機材質研究所とともにNIMSとして独立行政法人化され、初代の岸輝雄理事長のもとで進められた改革により、NIMSには大きな自由度と裁量で研究に専念できる環境が整いました。同時に研究者は大学等との競争環境にさらされることとなり、個々の研究者が外部でも高く評価されることが重要になりました。NIMSはそれまで研究対象としていた金属・無機材料にポリマー、バイオ材料を加え、材料科学全般をカバーするために外部から多くの人材を採用し、それがNIMSの活性化につながりました。2007年に世界トップレベル研究拠点 (WPI) プログラムにMANA (国際ナノアーキテクトニクス研究拠点) が採択されたことは、独立化後の変化を表す最も象徴的な出来事でした。また若手国際研究センター (ICYS) が創設され、世界中から多くの人材が集まるようになり、その一部の方々は現在NIMSの研究職として第一線で活躍しています。第2代の潮田資勝理事長の下でNIMSの国際化はさらに推し進められ、物質・材料分野での世界的なプレゼンスが高まったように思います。

2016年に就任した第3代の橋本和仁理事長のもとで、NIMSは特定国立研究開発法人に移行し、国家戦略に基づき世界最高水準の研究開発成果を創出し社会に貢献するミッションが明確に定められました。また、そのためのミッション研究に



加え、研究者個人が自由な発想で提案する基礎研究を醸成し、NIMSの研究力を高めるという方針が定められました。組織としては二次電池や水素で代表されるエネルギー環境分野の重点化、データ駆動型研究の導入、マテリアルズオープンプラットフォーム (MOP) による企業との連携推進、研究人材の交流促進、起業支援などにより、研究成果を社会還元することを目指しています。私はこの4年間、橋本前理事長のもとでNIMS運営に参画して参りましたので、これらの施策を着実に結実させることに最善を尽くします。

それに加え、第4代理事長として取り組むべき重要な課題は、NIMSの研究力を一層強化するための優秀な人材の確保です。NIMSは材料科学分野の論文の被引用件数によると、2012年以来国内トップの地位を維持していますが、世界ランキングをみると年々順位を下げています。これは材料科学に限らず、我が国の科学技術全般に共通した傾向ですが、素材産業が強いといわれてきた我が国にとっては材料科学分野での基盤研究の世界的地位の低下は憂慮すべき問題です。NIMSは研究に専念できる恵まれた環境を整え、世界トップレベルで競える人材を確保し、材料科学分野での国際競争力を上げる努力を行って参ります。また、2023年度より始まる第5期中長期計画を第6期科学技術・イノベーション基本計画ならびにマテリアル革新力強化戦略等の国家戦略に沿って策定し、これらを着実に実施することにより特定国立研究開発法人としてのNIMSのミッションを果たして参ります。世界を変えるような物質の発見や材料の開発を志すとともに、カーボンニュートラル、量子材料、ウェルビーイングなどの重点分野で、NIMSがどのように貢献できるかを見極め、我が国の産業競争力に資する基盤研究を推進できるようNIMSの舵取りを行う所存です。引き続き、皆様のご理解とご支援を賜りますようお願い申し上げます。

2022年3月31日をもって、6年3カ月務めましたNIMS理事長の職を退任いたしました。当初の任期を1年間残しておりましたが、来年度から始まる次期中長期計画は新たな理事長の責任において策定すべきものとの思いから辞任を申し出、ご了解いただきました。この間、NIMS内外の多くの方のご支援をいただきました。心よりお礼申し上げます。

国立研究開発法人の使命は“優れた研究成果をもって社会に貢献すること”です。そのためには研究者が個々の研究力を高めること、および組織がチームとしての研究力を高めること、この両方が重要であるとの考えを基礎としてNIMSの運営に当たってきました。職員の理解もあり、その具体的成果が表れてきたと思います。

例えば、研究力の目安となる論文発表数は、現・中長期計画実施直前の2015年度で1222報だったのが、2021年度はすでに1564報に達しています (2022年3月31日時点)。また、この間、いわゆる論文の質の目安となるトップ1%論文の数、および総論文数に対する割合も大幅に伸びています。NIMSの論文1報当たりの被引用数は、国内の国研・大学の中では圧倒的に高い数値であり、さらに世界トップのレベルであるケンブリッジ大学、カリフォルニア工科大学、マサチューセッツ工科大学などにも比肩するものとなっています。

一方、組織的研究活動においても二次電池や液体水素関連、マテリアルズ・インフォマティクスなど様々な分野でNIMSは次々と大型国家プロジェクトの中核拠頭に選定されており、名実ともに材料研究におけるわが国の中心となりつつあると思います。民間との共同研究においても、組織力を生かした大型の組織間共同研究が進められています。強調したいのは、これらの組織的研究活動では一貫して“わが国全体の研究力への貢献”という観点を重視してきた点です。例えば、多くの人的資源

橋本和仁

Kazuhiro Hashimoto

物質・材料研究機構 (NIMS) 前理事長

と多額の資金を投入して進めてきたマテリアルデータプラットフォーム事業では、NIMSの成果をアカデミア全体に広げるよう政府に強く働きかけ、2021年度からは文部科学省のマテリアル先端リサーチインフラ事業として日本全体で取り組みが進められるようになりました。

また、“産業力強化への貢献”という観点も強く重視してきました。例えば、新たな取り組みとして、普段は競合している「同業多社」の基盤的研究からオープン領域を抽出し、NIMSを核として皆で協力して研究を進めることを特長とするマテリアルズオープンプラットフォーム (MOP) の構築を始めています。現在、化学、全固体電池、医薬品、磁石の各分野でこの事業が進行しています。グローバルな観点からは、同じ分野に比較的小粒な会社が複数存在する中で競合している日本産業界の国際競争力強化に貢献できるものと確信し、今後の展開を期待しているところです。

最後に、研究環境について触れたいと思います。文科省や財務当局のご理解もあり、現・中長期計画の実施期間中にNIMSの研究環境は飛躍的によくなりました。特に研究装置のレベルに関しては、世界の材料研究機関において間違いなくトップクラスにあります。こうしたメリットを生かして、今後大きく飛躍していくことがNIMSに期待されています。職員の大いなる努力とともに、多くのNIMS応援団の皆さまのさらなるご支援をお願い申し上げます。

非常識な『ミカタ』

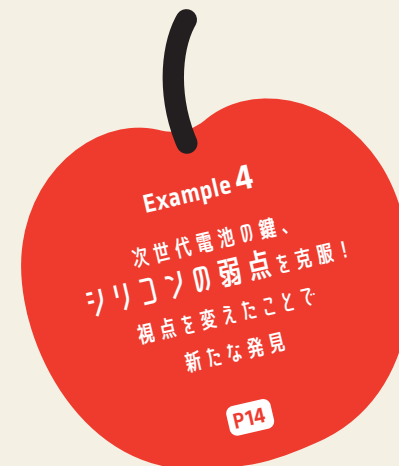
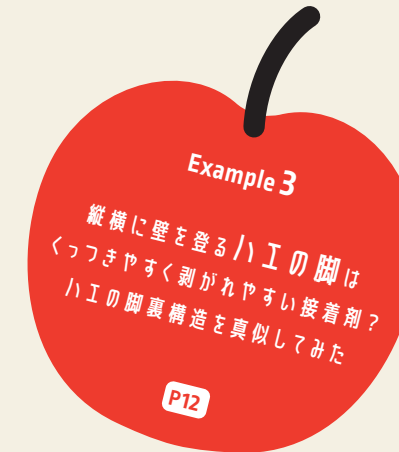
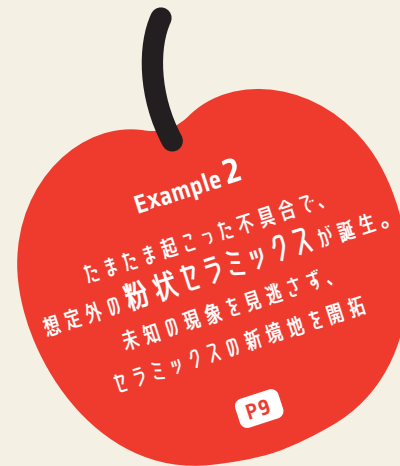
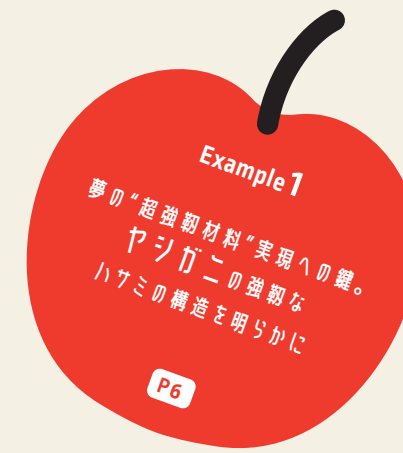
～材料の科学者はこう考えた～



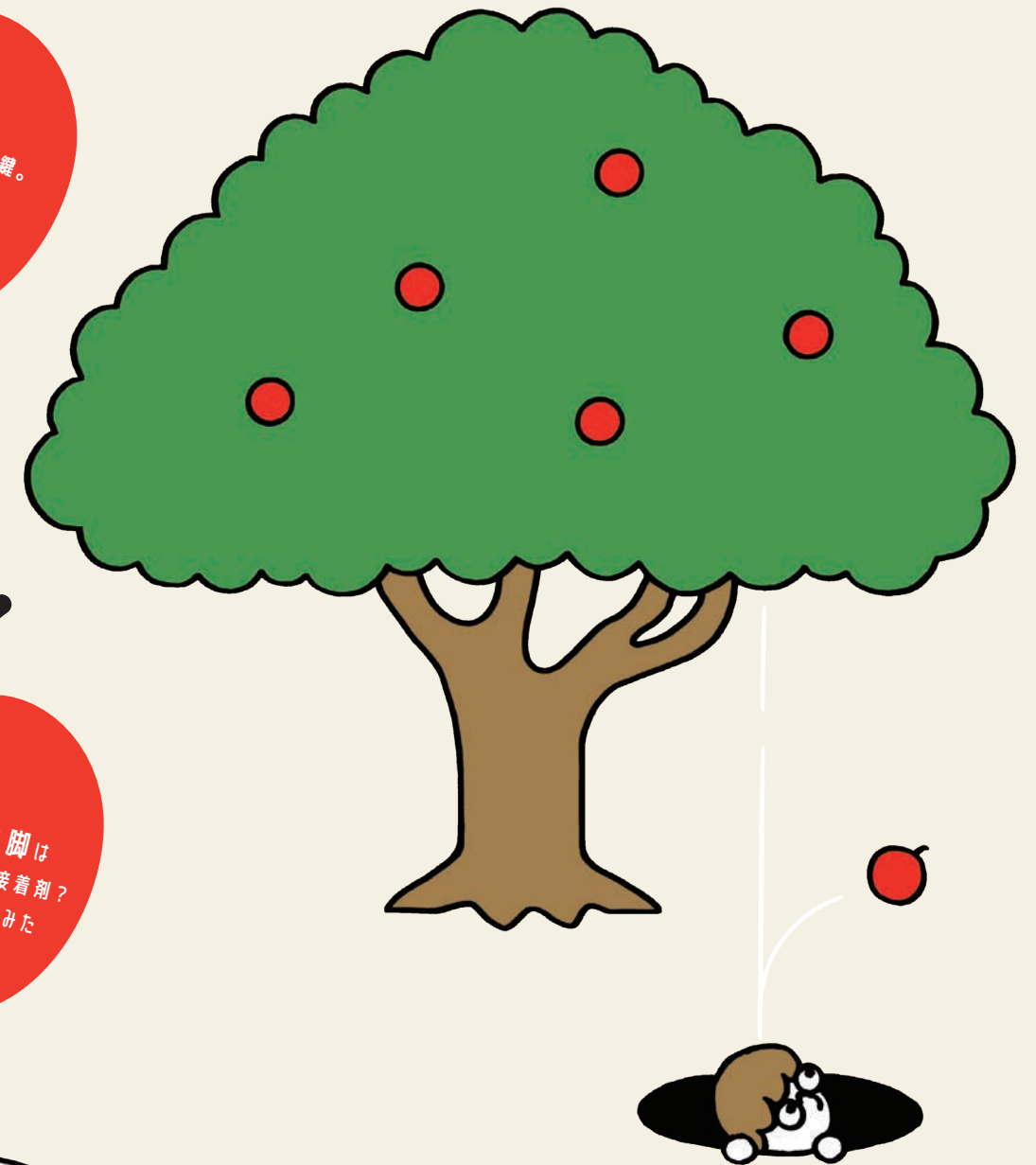
りんごが木から落ちる。一見なんでもない当たり前の現象。
でもアイザック・ニュートンは、りんごと地球が引き合っていると見た。
そして万有引力の法則を発見したという。
木から落ちるりんごを当たり前のことと思わなかったのだ。

このように、これまでにないものを生み出すのは、常識をくつがえす発想や視点、
言うなれば『非常識なミカタ』。
それはNIMSの科学者たちも同じ。
みんなが気づかない些細なことが気になる。
失敗した現象についてもつい考えてしまう。
不思議だ！謎だ！どうしてだ……?!
なんとか解明しようと違う分野の視点も取り入れようと行動する。
納得するまでいろいろ角度を変え研究を続ける。

そして、ついに！新しい発見(材料)にたどりつく。
あっと驚く材料を生み出しつづける材料科学者たちの『非常識なミカタ』。
それは見慣れた日常をたまらなくワクワクさせるのだ！



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



The eccentric views of materials scientists


一般公開2022で放送しました！
『非常識なミカタ』アーカイブをチェック！





Example 1

夢の“超強靱材料”実現への鍵。 ヤシガニの強靱なハサミの構造を明らかに

 一般的なミカタ
⇒挟む力は体重の90倍以上! そんなすごい力、どうやって出すの?



 材料科学者のミカタ

井上忠信の視点
⇒なぜそんな力で挟んでも、ハサミが壊れないのか?!

ヤシガニは国内では沖縄周辺に生息するやどかりの仲間。陸上に住む甲殻類としては最大級の希少生物だ。強度があり壊れにくい鉄鋼材料の研究を続けてきた井上は、かつて自ら開発した強靱な材料のその先を目指していたがなかなか道が開けず、悩んでいた時にヤシガニに出会った。ハサミの挟む力は体重の90倍にも及び、ライオンが噛む力にも匹敵するという話を聞いて「なぜそんなに力が強いのか」より「なぜハサミが壊れないのか」と考えて研究を開始。その驚くべき構造を解析し、さらに強靱な材料作りに生かそうとしている。



沖縄に飛んで入手したヤシガニを冷凍したもの。こんな鮮やかな色をしている。



もともと強靱な材料を作りたいという思いがあり、鉄鋼材料を中心に研究を続けてきました。どんな材料でも、強度が上がると壊れやすくなるのが普通ですが、強度がありながら材料のねばり強さ（高い靱性）を出すという矛盾したことを実現しようとしてきたわけです。そして2008年、強度と靱性のバランスをこれまでにないほど高めることに成功し、「竹のように割れる鋼」をサイエンス誌に発表しました。これはかなりのインパクトを持って認められ、それを材料にした製品の開発も行っていたのですが、その一方でもっと強靱な材料を目指したいという思いがあり、さらに研究を続けました。けれども10年経ってもそれ以上のものは見

つからず、もう限界だろうか、他のことをやったほうがいいのかと悩むようになっていました。そんな2018年のある日、ふと生物に何かのヒントがあるのではないかと思いつきました。「最強」に憧れがあったので、「生物、最強、強靱、材料」と入力してインターネットで検索してみたところ、見つかったのが2016年に沖縄の美ら島財団が発表した「ヤシガニの挟む力はライオン並み」というプレスリリースでした。当時はヤシガニの存在を知らず、体重の90倍もの力があるということに感心すると同時に、なぜそんな大きな力を出してもハサミは壊れないのかと不思議に思いました。それほど強いハサミなら、内部の組織は今までに見た

ことです。あれこれ考えずとりあえずやってみよう! という精神で、金属材料と同じように研磨して、硬度を調べてみました。するとおよそ250HV、鉄鋼でいうと高強度鋼くらいの硬さです。炭酸カルシウム主体の成分で鋼鉄並みになっているというのがまず予想外でした。そして顕微鏡でハサミの外骨格を見たところ、外側に硬い層、内側に柔らかい層という2層構造になっています。これはさらに調べる価値があると思い、本格的に研究を始めることにしました。

翌19年6月、ヤシガニのシーズンを待って沖縄に再度飛び、財団のかたと夜の海洋博公園でヤシガニを観察し、市場でヤシガニを購入しました。ヤシガニは珍味としても有名で、食用として結構高く売られています。食べるのではなくハサミを研究するのだと言ってお店の人に怪訝な顔をされながら購入し、冷凍保存してNIMSに持ち帰りました。

組織観察のプロに手伝ってもらい、SEM（走査電子顕微鏡）で改めて構造を観察したのですが、見たこともない組織なので詳しくわかりません。そこで、硬いハサミを壊して破面を見つめることにしました。すると、破面はスパッと切れているわけではなく、数マイクロピッチで階段状になっていることがわかりました。壊れるときに力が分散して竹のように割れてゆく、つまり構造の一部が壊れても全てが同時に壊れない、以前作り上げた強靱な鋼と似た破面形態になっていたんです。



ヤシガニに潜むヒントを探るため、自ら標本作製。照明付きの標本ボックスに飾っている。



各層の微細組織を光学顕微鏡で観察。

もっと詳しく調べるために、微細組織を3次元で再現する方法で可視化することにしました。すると、キチン+タンパク質繊維の束が規則正しくまるでいかだのように並んだものが、厚さ方向にらせん状に積層しているのがわかりました(下図「表面」参照)。そのらせん構造の薄板がだいたい2.5ミクロン。ロブスターも似たような構造を持っていますが、薄板はおよそ10ミクロン。金属材料は組織構造が細かいほど硬く、いかに細かくするかを何十年もかけて研究しているのですが、ヤシガニにはその理想形が備わっていたわけです。

そして、内部の柔らかい部分は全く違う組織

で、100から300ナノメートル(nm)の無数の穴が厚さ方向に0.73ミクロンピッチで規則正しく並んでいて、そこを養分やイオンが通っていることもわかりました(下図「肉側」参照)。この柔らかい部分がクッションのように働き、ハサミが壊れるのを防ぐ役割を担っていたのです。さらに、硬い部分と柔らかい部分の間にはまた違う構造があり、硬さの違う組織同士をつないでいることもわかりました。

こうした組織構造が明らかになってきたことで、現在は次のステージに入っています。今までわかっていた硬さは局所的なもので、材料としての強度を見極めるためにバルク体で

The eccentric views of materials scientists

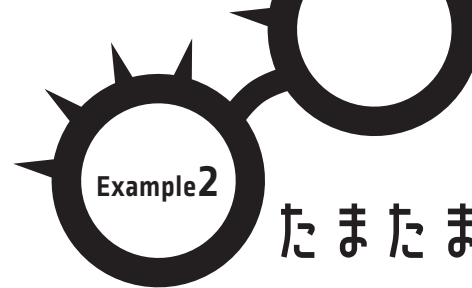


の引張試験を行おうとしています。そして、この材料が何に使えるだろうかという未来を考えています。

現在、医療では低浸潤手術が進んでいます。たとえば血管の中に内視鏡を入れて治療を行う際、細い血管内にある患部を挟むときに問題があると聞きました。内視鏡の先端のハサミには大きな力が必要になるので、そんなところにもヤシガニの機能が応用できるかもしれません。他にも、こういう材料があると発信してゆく中で有益な応用を思いついてくれる人がいて、いつかどこかで実用化されれば嬉しいと思っています。



ハサミの断面図。硬質層と軟質層からなる複合構造だ。



たまたま起こった不具合で、 想定外の**粉状セラミックス**が誕生。 未知の現象を見逃さず、セラミックスの新境地を開拓



材料科学者のミカタ

大橋直樹の視点

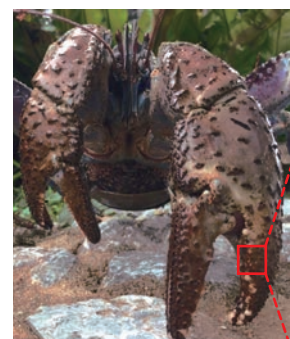
⇒どう見ても失敗だけど、この現象見たことない。
どうしてこうなった？ 原因を知りたい！



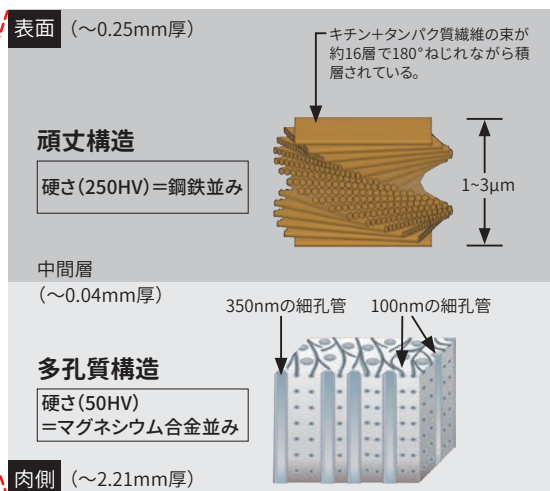
一般的なミカタ
⇒どう見ても失敗だ。
試料は破棄しよう。

焼き固めて作るセラミックスは、本来硬くて熱に強い。ところが大橋はたまたま起こった機器の不具合から、想定していなかった粉状のセラミックスを生み出してしまった。通常起こり得ないはずの現象に興味を持ち、この結果を新たな研究対象とした大橋は、ついに熱を加えることでセラミックスを破碎する仕組みを解明、粒の大きさを調整することにも成功した。熱化学破碎(CTP)法と名づけたこの新しい手法はリサイクルに役立つばかりではなく、半導体や医薬機器、化粧品にも利用されているセラミックス粉の使い勝手の良さを飛躍的に向上させる可能性を持つ。

ハサミの表面を観察した後にイオンビームで15nm削り、次を切るを繰り返していく。次々現れる画像を繋ぎ合わせ3次元で構造を再現。



提供：沖縄美ら島財団



もっと凄い生物がいるかも。視野を広げ、豊分野からも学ぶ姿勢を心掛けよう！



構造材料研究拠点
設計・創造分野 分野長
(兼任) 塑性加工プロセスグループ グループリーダー

井上 忠信

Tadanobu Inoue

More Check! 一般公開2022アーカイブ動画



最強!ヤシガニのハサミの秘密から新材料を生み出せ!



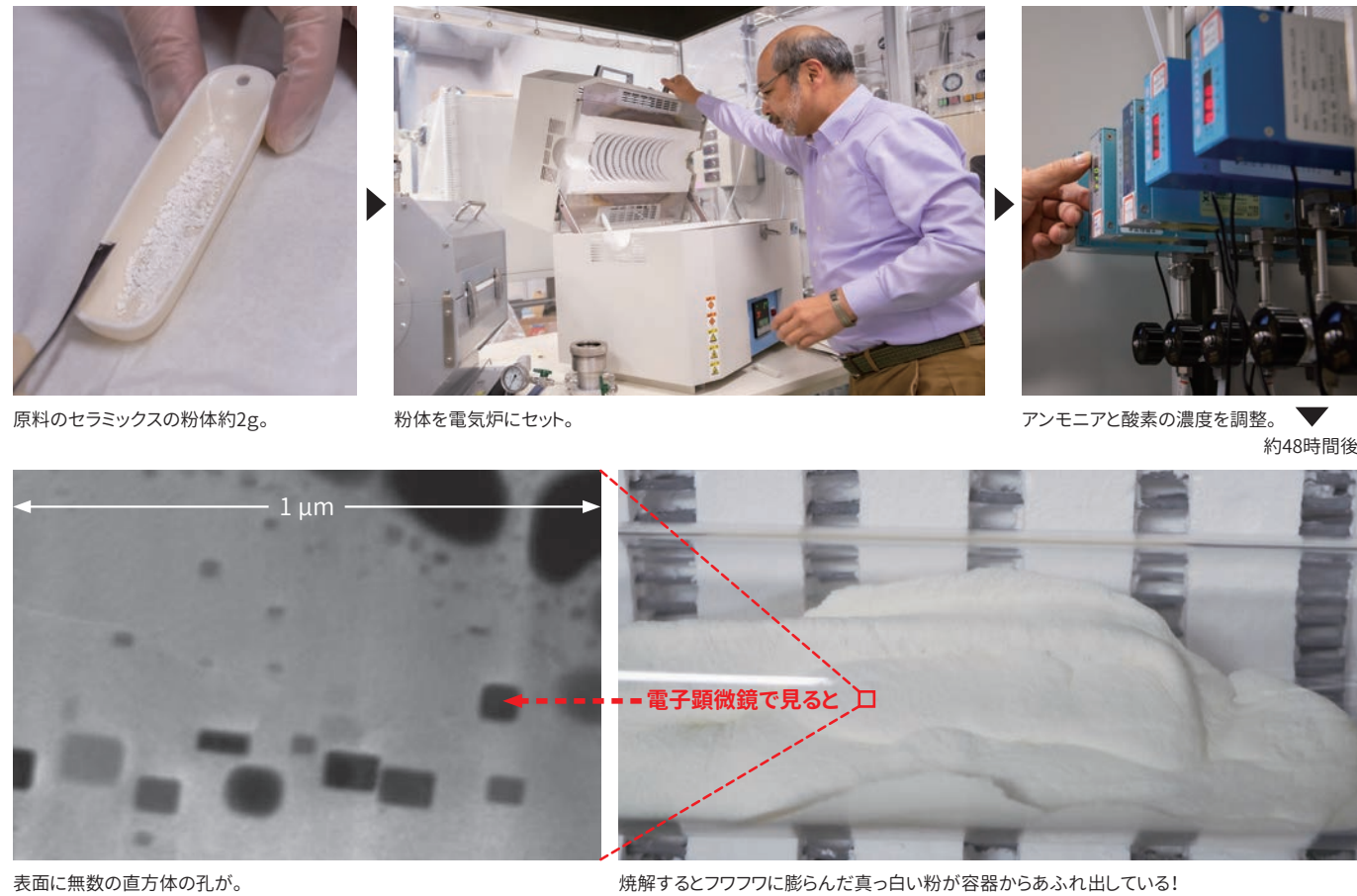
セラミックスを焼き固める電気炉。いつものように高温で焼いたにもかかわらずフワフワの粉に。

セラミックスの実験をしていたある日、想定したものとは全く違うものができ上がりました。真っ白な原料は高温で焼くことでアンモニアと反応して赤茶の塊になるはずなのに、どういわけかでき上がったものはフワフワに膨らんだ真っ白な粉 (p10写真参照)。見るからにありえないものであり、言ってみれば失敗です。

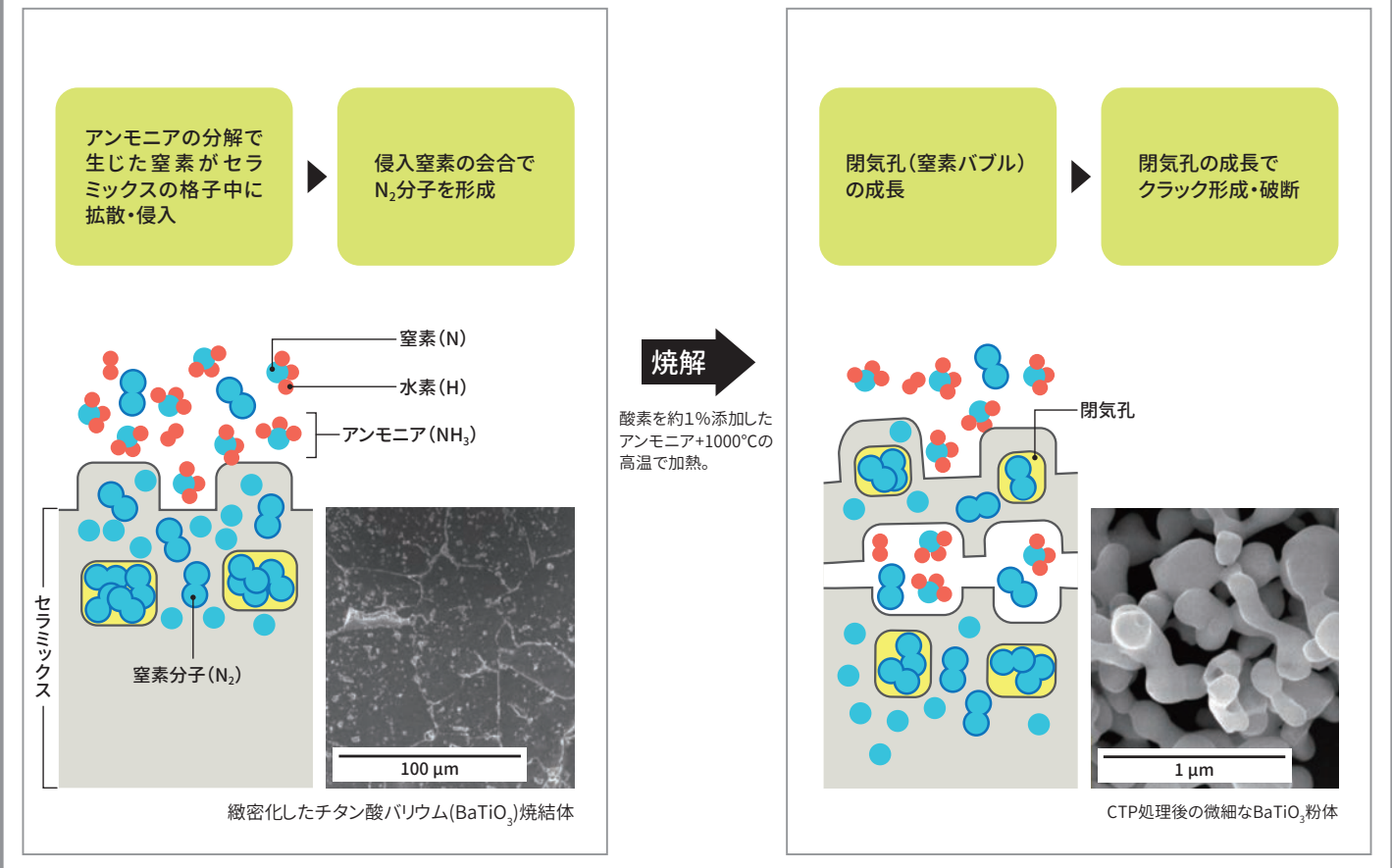
結局、ガスの配管を新しく作り直したところ無事に想定していたものができ上がり、配管に問題があったことがわかりました。それはそれでよかったのですが、一体全体なぜ原料がフワフワの粉になったのかと考えると面白くなってしまっ、もとの研究とは別に研究してみることにしました。

よく調べてみると純粋なアンモニアを使うはずだったのに、ガス配管のトラブルで若干の酸素が混じっていたというのが失敗の原因でした。その不具合と同じ状況を再現してみると、やはり同じようにフワフワの白い粉ができまう。焼けば固まるはずのものを焼いたのに、固まっていない。しかも、分解反応が起こったわけでもなく、ただただ、原料が細かくなってフワフワの粉になっている。長年セラミックスの研究を続けてきた中で、考えもしなかった不思議

セラミックス破碎の手順



セラミックスの熱化学破碎(CTP)現象



N. Ohashi et al., "Chemothermal pulverization: Crushing titanate crystals to obtain nanosized powders via high-temperature treatment." Journal of the American Ceramic Society. 105 [3] (2022) 1913-1927.

議な現象です。いくら仮説を立てて考えてみてもありえないはずで、どう説明したものかと考える時期がしばらく続きました。

原料の粉を焼き固めて硬いセラミックスを作ることを「焼結」と言います。熱力学の原理からはそれしか起こりえないはずなのに、焼いたら結晶の粒がバラバラにされて細くなるという逆の現象が起きてしまった。未知の現象だったので、「焼結」に対して「焼解」という言葉を作りました。学会に論文を出すと、興味深い何が起こったのか説明する必要があると言われ、論文は受理されませんでした。

それでも、次第にその仕組みが明らかになってきました。なぜ、熱を加えたセラミックスの結晶粒子がバラバラになってしまうのか。まず、アンモニアに含まれる窒素がセラミックスの中に入り込みます。1個の孤立した窒素原子が結晶の中を動き回る途中でもう1個の窒素原子と出会い、2個がくっついて窒素分子になります。窒素分子はとても安定で、1000°C程度

の温度では壊れません。結晶の中で窒素分子が徐々に作られると、逃げ場のない窒素分子が結晶中に孔を広げ始めます。その窒素ガスが入った孔が育つと、結晶にひびが入り、砕かれて細くなるという現象でした。装置の不具合で混入した酸素は、酸化物の分解を抑制し、破碎のみが進行するのを助けていたのです(p11図参照)。

そして、どのようにすると窒素分子ができて、どうすれば孔ができるのかだんだんわかってきて、粒子の大きさも調整できるようになってきました。高温でガスとの反応が寄与する破碎、とわかってきたので、「焼解」ではなく「熱化学破碎(CTP)現象」と呼ぶことにしました。

当初は、硬くて安定なセラミックスが粉々になって原料の粉の状態に戻せるなら、リサイクルに使えるのではないかと考えていました。

例えば、昔の電気コンロは真っ赤な線がむき出しになっていましたが、今はセラミックスの中に導線が埋め込まれていて、一見ただの板な

のに温かくなるという仕組みになっています。この構造だと埋め込まれた導線に希少金属が使われていても簡単には取り出せません。ところが、熱化学破碎現象を利用してセラミックスを粉々にできたら、中の導線を無理なく取り出すこともでき、希少金属のリサイクルに役立つと考えたわけです。

その一方で、セラミックスの粉を破碎できる新しい方法が見つかったという話をすると、リサイクルとは別の方面から、多くの反響がありました。というのも、純度を保ったまま粉の細さを調整することはセラミックスの製造で非常に重要なのですが、それを実現するのがかなり難しいのです。

昔から、陶磁器の原料となる粘土は、叩いて砕いて篩をかける、などして細かい粉にしています。高純度のセラミックス原料を硬い器具で叩いて砕けば、その器具も摩耗し、破片が不純物として混入します。純度を落とさずに細かくすることは簡単ではありません。熱化学破碎

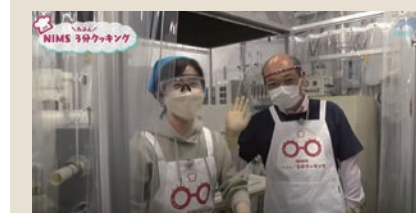
法は、力で壊すのではないので、不純物の混入を避けることができます。

さらに、粉体が粒同士がくっついて固まることを凝集と言いますが、この粒同士の絡み合いが解けて、粉の一粒一粒がバラバラになった状態にすると、非常に使い勝手がよくなります。ケーキを作るときにも、粉がダマにならない方が作りやすいですね。フワフワになった粉というのは、一粒一粒が絡み合わずにバラバラになった状態、非常に良く分散した状態であり、分散性が良いというだけでも価値を持つことになります。

実験の失敗で不思議な現象を目にしたとき、これは一体どうしたことなのか知りたいと考えたことで新しい発見がありました。また、仲間との議論から謎解きのヒントが得られ、さらに、新しい使いみちが開けつつあります。こうして世界が広がってゆくのは研究者としてとても面白いことです。今後、さらにどんな風に広がっていくのか、私自身楽しみにしているところです。

More Check!

一般公開2022アーカイブ動画



まるで綿あめ! フワフワ、もこもこのセラミックスの作り方



失敗の中にも発見がある。様々な分野の仲間と話すヒントが見つかる!



機能性材料研究拠点 拠点長
電気・電子機能分野 分野長
電子セラミックスグループ グループリーダー
大橋 直樹
Naoki Ohashi



Example 3 縦横に壁を登るハエの脚はくっつきやすく剥がれやすい接着剤？ ハエの脚裏構造を真似してみた



材料科学者のミカタ

細田奈麻絵の視点

⇒ハエの脚裏は「接着」と「剥離」を繰り返している。



一般的なミカタ
⇒ハエが壁をはい回っている。目障りだ。

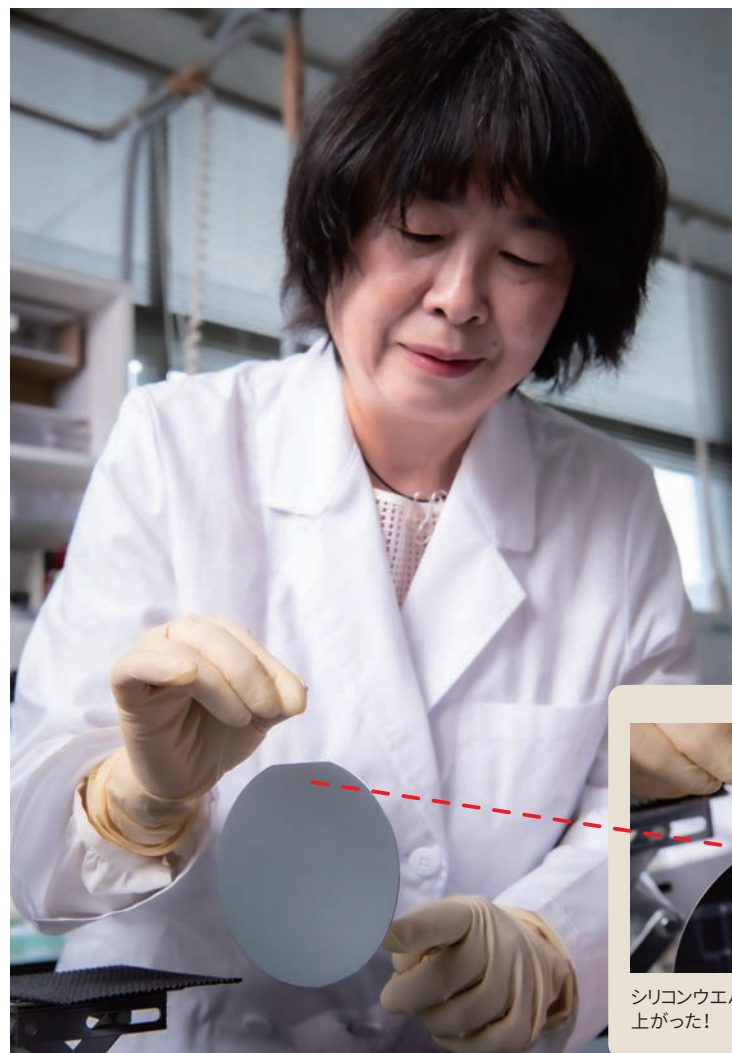
あまりにも強力にくっつけると、不要になったときに分解できなくて捨てづらい。強力に接着しながら簡単に剥がせるという両方の願いを実現することが、リサイクル時代の接着剤にとっては重要だ。それを実現したのが細田らの開発した「ハエ型」と呼ばれる接着材料。ハエが壁を登っている様子を見て、これは見事に接着と剥離を繰り返していると考えたのが研究者ならではの視点だ。ハエの成長過程をじっくり観察してその接着メカニズムを真似ることで、次世代の接着剤が誕生した。

循環型社会の実現に向けて大切なことのひとつに、リサイクルしやすいモノづくりがあります。これまで接合や接着は、取れないように強力にくっつけるという視点で開発されてきたので、いざ取ろうとするとかなりエネルギーが必要になり、分解されずにそのまま捨てられてしまうのが現状です。接合の開発者としては、分離のしやすさも技術に取り入れていかなくてはならないという課題がありました。

使っているときは剥がれず、剥がしたい時には簡単に外れる。お互い矛盾している現象なので、その両方を叶えるのは困難です。けれどもそれを自分の研究のポイントにしたいと考えようになり、どうしたら実現できるのか常に考えてきました。

そのような目で見ると、虫が垂直方向に落ちずに歩いているのは、絶えず接着と剥離を繰り返しているということであって、とても興味深い現象です。いつしか、これを技術に応用できるのではないかと目で見ると昆虫を見るようになりました。

ちなみにその前は、植物に注目していました。秋になるとなぜ葉が落ちるのかと考えると、葉を落としたいときに落とせる設計を、植物自身が初めから作っているんですね。そういう発想は人間の技術にはなかったと気づき、落葉の仕組みを取り入れた接着材料を作ってみ



Check!



シリコンエハに接着してみたらず持ち上がった!

許も取得しています。

生物の構造や機能を新しい技術の開発やモノづくりに活かすバイオメティクス (biomimetics) はとても歴史が古いのですが、近年、ナノテクノロジー技術の進歩もあって非常に微細な構造を再現できるようになっています。けれども、最先端の技術で加工するとなりの費用がかかり、たとえいいものができてもコストの面からなかなか実用化、普及に至りません。しかも、加工には大きなエネルギーが必要で循環型社会の逆行にもなってしまう、その点にも考慮が必要です。

では、生物はその複雑な仕組みをどうやって作っているかというと、身近にある素材で普通の温度で作っているわけです。そこに興味を湧いて、生物と同じような作り方ができないかと考えるようになりました。

そこで注目したのがハエです。ハエは脚の裏にヘラ状の剛毛があり、それが接着と剥離

を繰り返して歩いています。ハエはさなぎの中で変態するので、その際に毛状の構造がどのように形作られるのかを観察してみました。すると、ハエの脚裏にある毛状の構造は、人間の髪の毛のように先端に向けて伸びるのではなく、先端が固定されて内側に引き伸ばされるような伸び方をしていました。北海道教育大学などの共同研究で詳しく調べてみたところ、毛の先端は剛毛形成細胞の伸長と細胞骨格性アクチン繊維により粹組され、そこがクチクラの分泌により固化されヘラ状になることがわかりました。

そのでき方を簡略化したのが、私たちが開発した「ハエ型」と呼んでいる接着材料です。52ミクロンの細いナイロン繊維をアルギン酸ナトリウムを含む溶液につけて引き上げると繊維は一束にまとまり先端がヘラ状になります。これを乳酸カルシウムにつけて固化するだけで、ついたり剥がしたりが簡単にできる接着材

料ができあがりました (下図)。常温で加工でき、特別な機材も必要ありません。

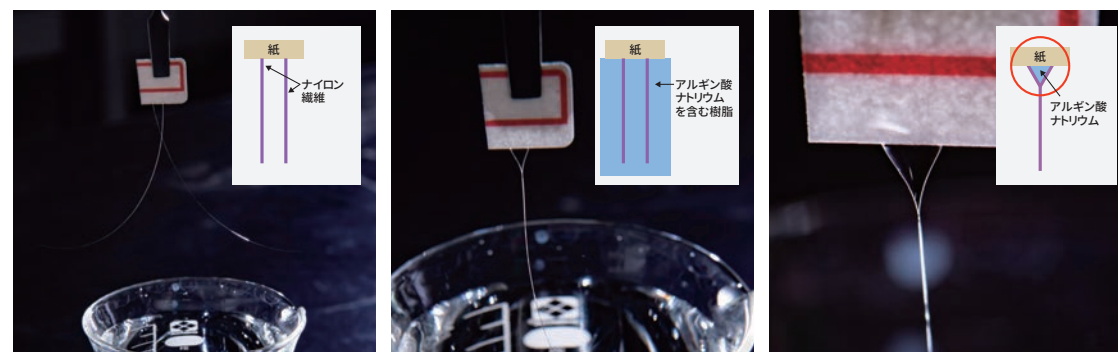
1本で4インチのシリコンエハを持ち上げることができ、756本束ねれば、60kgの人間がぶら下がるほどの強度を保つことができます。そして、簡単に剥がすこともできます。

昆虫の接着剥離の特徴としては、方向によって接着強度が違うということがあるのですが (※注)、「ハエ型」ではそこまで実現することができました。この仕組みは、掴んだり離したりするのが容易であることから、とくにロボットアームのフィンガー部分などに向いているのではないかと思います。

現在は、別の生物にヒントを得た接着材料の研究にも着手しています。昆虫などの生物はとても身近な存在なのに、まだまだ驚きのハイテクが隠されています。それが本当に面白くて、研究対象として興味は尽きません。

(※注) 歩くために、壁と水平方向には脚が強く接着し、垂直方向には脚を簡単にはがすことができる。

ハエの脚裏の構造に倣ったくっつきやすく、剥がれやすい接着剤はこうしてできる!



骨組のナイロン繊維 (直径約50μm) 2本。 アルギン酸ナトリウムを含む樹脂に浸す。 引き上げると繊維は一束にまとまり先端がヘラ状に!



電子顕微鏡で拡大したハエの脚の先。ヘラ状の接着性剛毛が生えている。

身近な生物にはまだまだハイテク機能が隠されている!



More Check! 一般公開2022アーカイブ動画

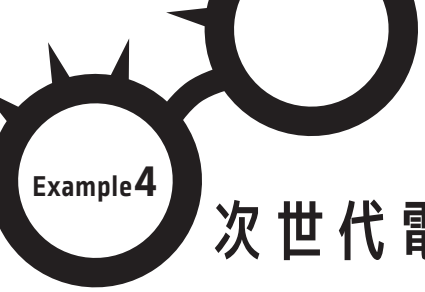


ハエの足がヒントの新型接着剤!



構造材料研究拠点 接合・造形分野
表面・接着科学グループ
グループリーダー

細田 奈麻絵
Naoko Hosoda



Example 4 次世代電池の鍵、シリコンの弱点を克服！ 視点を変えたことで新たな発見



材料科学者のミカタ

太田鳴海の視点
⇒ 膨らむデメリットを逆手にとってメリットに。



一般的なミカタ
⇒ 膨らんで上手く動作しないのだから仕方ない。諦める。

従来のリチウムイオン電池は電解液の中をイオンが行き来して電流を生み出す。その電解液を固体にすることで安全性を高め、さらに小型化できると期待されているのが全固体電池だ。現在、リチウムイオン電池と同程度のエネルギー密度は達成できているものの、さらなる容量アップを目指して、リチウムをよく吸って貯められるシリコンを負極に使うための開発が進んでいる。しかし大きな課題は、リチウムをよく吸う分、よく膨らむので、膨らまない材料との間にひびが入り、電極体の構造を壊してしまうこと。そこで太田鳴海は、固体電池ならではの原理に着目し、シリコンが“膨らむ”というデメリットをメリットに転じさせることに成功した。

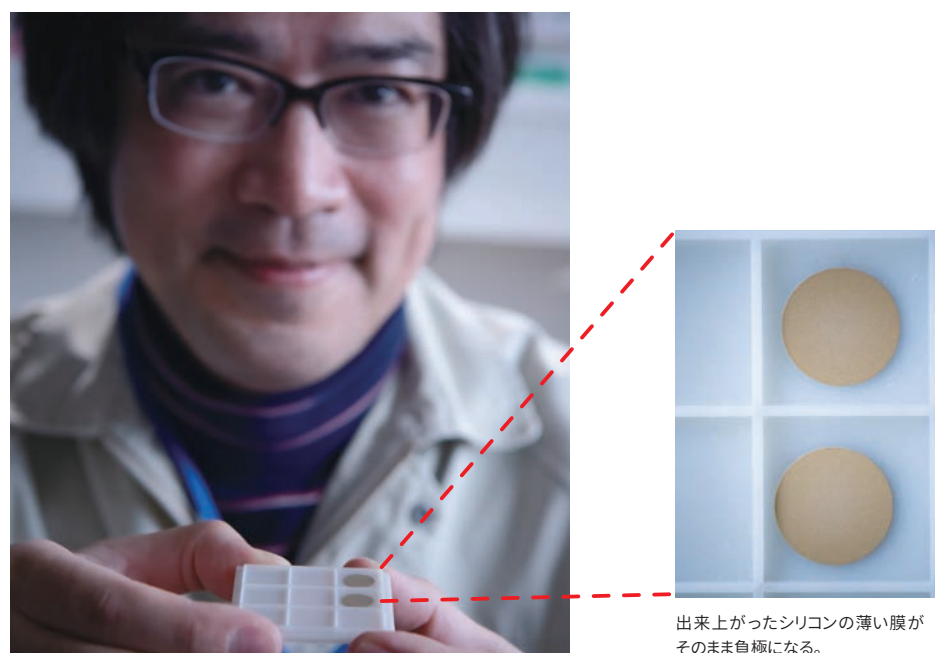
全固体電池が現状のリチウムイオン電池を越えるためには、より大きな電流を流すとともに、電池内に多くの電気を貯めなくてはならないという課題があります。通常リチウムイオン電池の負極には黒鉛が使われていますが、その代わりにリチウムをよく吸う性質を持つシリコン合金を使うと、より多くの電気を貯めることができることはわかっていました。

けれども、リチウムを多く吸い込んだシリコンは大きく膨らみます。黒鉛は体積が12%しか増えないのに対して、シリコンは300%も体積が増えてしまいます。

全固体電池でシリコン粒子を負極で使う場合、リチウムイオンの通り道を作るためにイオンを通す固体電解質粒子を混ぜて電極体を作製します。しかし、膨らまない固体電解質と膨らむシリコンの間にひびが入り、うまく作動しませんでした。

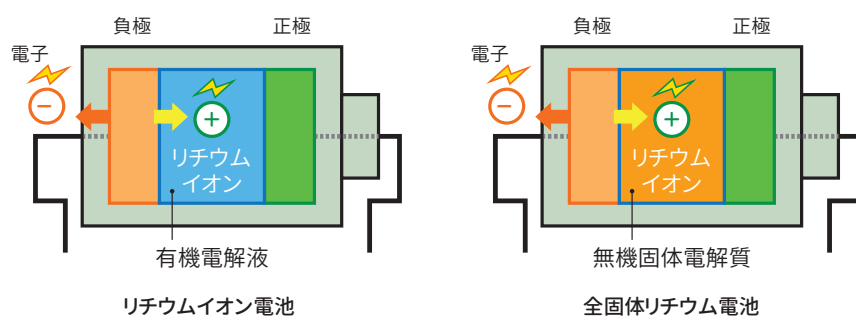
ただ、充放電した後の電極体を電子顕微鏡で観察してみると、シリコン粒子の集まっていた部分では、粒子間に存在していた空隙が消え、粒子同士が密に接合していることが分かりました。つまり、シリコン粒子はリチウムを吸って膨張する過程で、隣り合うシリコン粒子と結合し、その場で連続膜に変化していく性質があることに気づいたのです。

一方で、シリコン粒子での電極作製と同時に進めていた、気相法（※注）で合成するシ



出来上がったシリコンの薄い膜がそのまま負極になる。

リチウムイオン電池と全固体電池



リチウムイオン電池での試験では、1～3μmといった比較的厚い連続膜があれば、高い出力とサイクル安定性が得られることが分かっていました。つまり、粒子がつながりその場で連続膜に変化していくのであれば、高真空、高電圧を必要とする気相法を使わず、かつ固体電解質と混ぜずともシリコン粒子だけで電極体を簡便に作製できるのではないかと考えるようになりました。

シリコンがリチウムをよく吸い込む代わりに大きく膨張して電極体が壊れやすいという特徴は欠点だとされていたわけですが、それが逆にメリットにもなるということが発見したのです。

それならば薄膜のように均一の厚みで集電体の上に粒子を積層すればよいのではないかと考えるようになりました。ところが、通常用いられているマイクロ粒子を用いた場合、厚

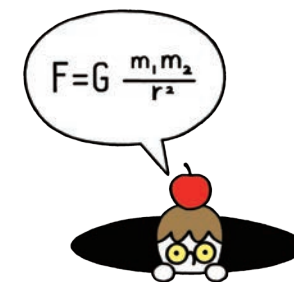
みを均一に粒子を積層する方法がなかなか見つかりません。そこで、それまで使用していたマイクロ粒子から、より小さいナノ粒子に変えてみることにしました。

粒子の塗り方にも工夫を重ねました。その中で最も効果的だったのが、ステンレス基板の上に、スプレー塗工で1層ずつシリコン粒子を積み重ねるという方法です。10層ほど積層して均一な厚みにし、それを使って充放電したときに、シリコンの粒子が膨張して接合し、連続膜のような状態になりました。

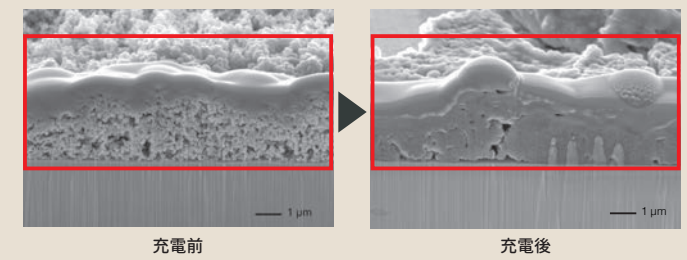
弱点とされていた“膨らむ”性質を逆手にとることで、シリコンのナノ粒子を使って連続膜を簡便に作れることがわかり、実用化へ向けて大きく前進することができました。

これまで取り組んできたのは電解質に硫化物を使った硫化物型の全固体電池ですが、硫化物には水分と反応しやすく空気中に

出せないという弱点があります。そこで現在、NIMSでは空気中でも安定し生産ラインにも乗せやすい酸化物を使った酸化物型の全固体電池開発を強力に推し進めています。硫化物型はすでに市販に近づいていますので、硫化物型でもできるのか、できるとしたらどのような課題があるのかという研究に取り組んでいるところです。

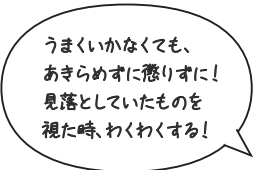
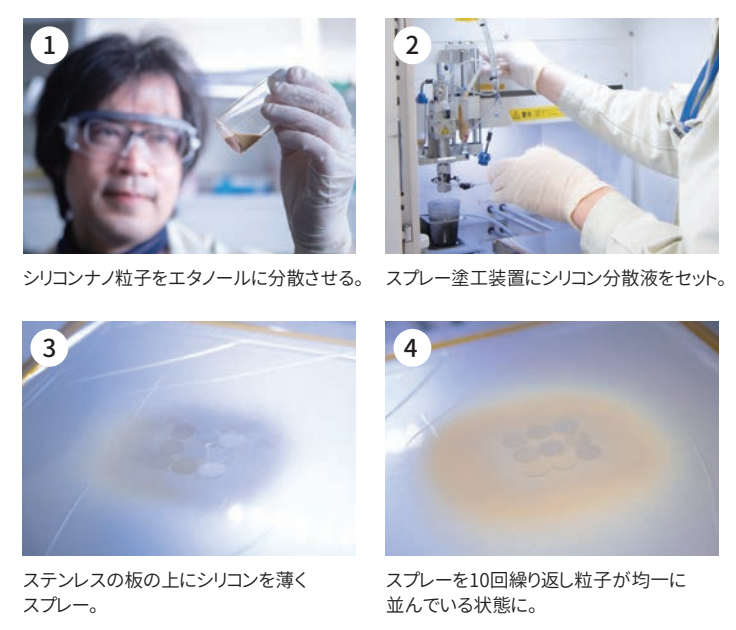


Check!



シリコンナノ粒子電極体の充電前後の断面像。膨張した粒子同士が接合し連続膜になっている。

シリコン粒子のみで負極を作る！



More Check!

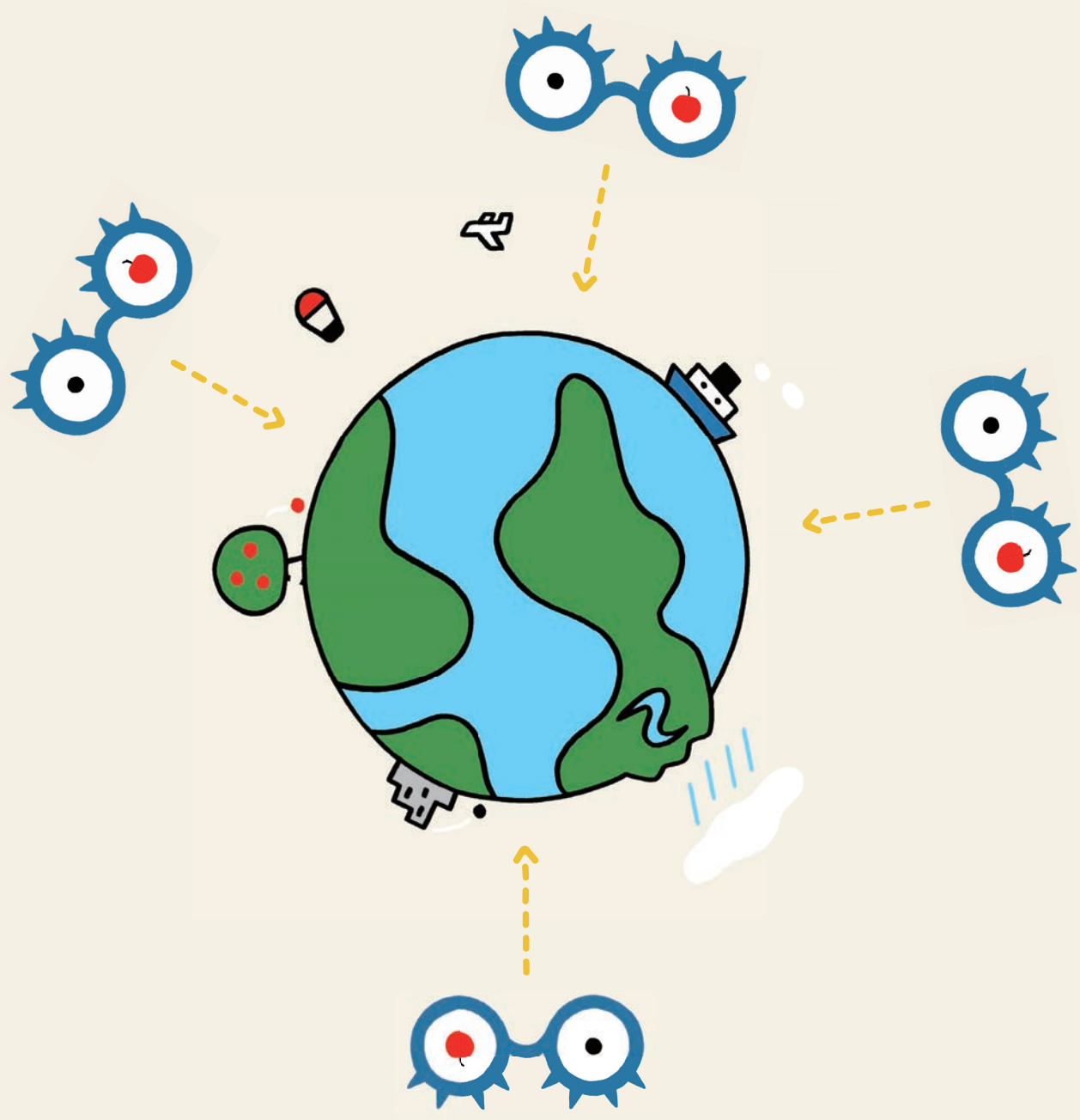


全固体電池でより便利で安全な次世代電池を実現！



エネルギー・環境材料研究拠点
全固体電池グループ
主幹研究員
太田 鳴海
Narumi Ohta





NIMS NOW vol.22 No.3 通巻194号 2022年6月発行

国立研究開発法人 物質・材料研究機構



古紙配合率 70% 再生紙を使用しています



植物油インキを使用しています