

特集

鉄鋼業を取り巻く 独創的な発想に基づく研究・技術開発

INTERVIEW

生物の世界から 新たなものづくりの ヒントが生まれる



面ファスナーの発明のヒントとなったゴボウの実。山歩きをした時、服にたくさん付いていたゴボウの実が取れにくいことから、引っかかりやすく取れにくいトゲの形状が研究され、発明につながった。バイオミメティクスの代表例として知られている。

自然界に暮らす多くの生物は、私たち人間が思いもよらないような仕組みを持っている。

バイオミメティクス (biomimetics) は「生物模倣技術」といわれる研究分野であり、ものづくりの新たな着想を得るきっかけとなることも多いという。細田奈麻絵博士は、生物からさまざまな着想を得て、材料研究に取り組む研究者の一人だ。これまでに取り組んできた研究や、バイオミメティクスの可能性などについて、お話をうかがった。

Q 元々材料の接着技術の研究をされていたそうですね。

大学では、無機材料を接着する技術を研究していました。材料を接着するには高温に加熱することが多いのですが、違う材料同士を接合する場合は、熱膨張係数が違うと、収縮率が違うので応力が残って割れてしまいます。それを回避する方法として、表面を活性化し、二つの表面を原子レベルで直接接合する「表面活性化常温接合」を研究していました。当時はまだ、リサイクルや解体の要求が少なかったため、接着の目的は、取れないように付けることでした。

1990年代の中ごろ、環境問題が深刻化し、分解せずにそのまま捨て続けた結果、廃棄物の量が増え廃棄処分場の不足が叫ばれるようになりました。まだ解体やリサイクルにネガティブなイメージがあった頃です。そこで、簡単に解体できるけれど、使っている時は強い、という接着技術の研究を始めました。

Q 生物に関心を持つようになったきっかけは何ですか。

秋になると、木の葉が落ちることに気づき、解体のためにはとても良い仕組みだと思いました。なぜ自然にハラハラッと落ちるのか。調べてみると、葉には始めから剥離のための「離

層」というものがあり、芽が出た時から、後で剥がれることを前提に設計されていることがわかりました。光合成をしている時はしっかり付いているが、ある信号を受け取ると剥離する。これはホルモンを利用したもので、水が足りないとか温度が低いとかになると、そこを通過するホルモンが減って、「今が葉を落とす時期だ」という信号を受け取って、葉が落ちるのです。もう一つ、エチレンガスにも反応して、エチレンガスを信号と捉えて葉を落とすのです。「こういう発想はものづくりにはない」と思いました。そして、①離層がある、②信号を送る、③取れる、はがす、という3つのステップを基本として、考えるようになりました。

その後、大学から物質・材料研究機構に移って、この考え方で研究を続けました。例えばガリウムを信号として使う方法です。ガリウムは手のひらに置くと溶けるような金属です。板と板との接着面に離層として働くスズを置き、ガリウムを接触させると簡単に解体できます。これは電子基板の解体に応用できると思いました。

Q 生物には、生まれつき備わっている特殊な機構があるのですね。

こういう研究分野をバイオミメティクスとって、「生物をモデルとして、その機能を技術移転する研究」と定義されています。バイオミメティクスの歴史はとても古く、例えば飛行機は

鳥の形をまねていますね。

材料系のバイオメティクスは、2000年ごろから盛んになってきて、とくに生物の表皮がモデルになった研究が多く発表されました。この時期に盛り上がったのは観察技術の進歩に負うところが大きいです。例えば、原子間力顕微鏡や電子顕微鏡により動植物の表皮をナノスケールで観察したり、フォースセンサーにより微小な力を測定するというように、今まで見えなかった物が見える、測れなかった物が測れるようになったのです。このころ生まれた製品では、外壁のセルフクリーニングや、ヤモリの肢裏の細かい構造を模倣したヤモリテープなどが知られています。

多くの開発が行われる中、バイオメティクスの国際標準化や、正しいバイオメティクスづくりに関する議論が行われるようになりました。バイオメティクスで大切なことは「モデルの生物をきちんと見て、その仕組みを明らかにして、技術化する」ということです。私もそのように考えて、生物を観察することを非常によくやりました。

Q 昆虫にも、接着と剥離に関係した仕組みがあるのですか。

昆虫は、壁や天井などいろいろな角度で歩くことができます



ハムシは小型の甲虫で、体長は1 mm前後から20 mm超が多く、世界各地に多くの種類が分布する。

(上)陸上と同様に水中歩行するハムシ(水中写真)

(下)ハムシの脚裏では、毛が泡によって保護されて濡れないため、接着と剥離によって歩行できることがわかった。

図1 水中を自由に歩行するハムシの脚裏の機構



物質・材料研究機構 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
 博士

す。爪で引っかかっているように思いますが、ガラスのようにツルツルの物の上でも落ちません。それは脚裏が接着しているからです。でも歩くためには、接着した後に剥がれなければなりません。リサイクルでやりたいと思っていた「接着と剥離」のヒントがここにあると思いました。

生物を見ていると、予想もしなかったようなことが見えることがあります。例えば昆虫のハムシです。普通は陸上にいるハムシが、水中でも歩くということを知り、どうして歩けるのか調べ始めました(図1)。わかったことは、ハムシの脚裏には接着性の剛毛があり、剛毛は水中では気泡で覆われていたことです。気泡にはそれ自身に接着性があり、接着した気泡が接触面の水を弾くためハムシの脚の裏に生えている細かい毛が直接接触面にくっつきこの接着性を利用していました。また、毛が泡によって保護されて濡れないため、水中でも大気中と同じように接着と剥離による歩行ができるのです。この研究は科学雑誌(Nature)に取り上げられて反響もあり、材料研究者の私にとっては、大きな出来事となりました。

原理を調べるということも、バイオメティクスでは大事なことです。最近の研究では、テントウムシの優れた脚の機能に着目して接着原理の解明に取り組んでいました(図2)。テントウムシの脚裏は、剛毛なのにガラスのような平滑な面を滑らずに歩くことができます。また脚裏からは分泌液が出ていて、接着の原理は、剛毛と接地面に働く分子間力なのか、分泌液による表面張力なのか、議論が分かれていました。

実はこのテーマは、研究者の間では長く議論されていたものです。接着は複合現象なので、いろいろな力が働いていますが、主に働く力は分子間力であるという実験結果が得られ、先ごろ論文で発表しました。

今後は、この成果を人工的な接着・剥離構造の開発に活用したいと思います。例えば部品を掴んだり外したりするピッキングロボットでは、真空を使うとポンプなどの周辺機器が必要になります。そういうものが不要になるような仕組みができると思います。

Q 昆虫の脚裏にそのような形状があるとは驚きですね。

先ほど、バイオミメティクスの進歩は観察技術の発展と関係する、とお話ししましたが、ほとんどが「微細な形をまねる」という開発です。生物の表皮というのは、複雑で細かい形状が多く、同じように加工するためには高度な技術が必要で、作るにむいたいへんコストがかかってしまう、という問題がありました。

そこで考えたのは「生物がどうやって形を作っているのか」

ということです。調べたのはショウジョウバエです(北海道教育大学との共同研究)。ショウジョウバエの脚裏の接着性剛毛の構造は、とてもシンプルです。成虫の形を作るサナギの中で、「どうやって剛毛が作られるか」を調べました(図3)。一般に「毛が生える」というと、髪の毛が生えるように根元からだんだん伸びるイメージをもちますが、実はこれが全然違っていました。ショウジョウバエの脚裏の剛毛は、まず毛状形成細胞の先端が固定され、そこから内側に引き伸ばされるように後退していき、最終的にへら状の脚ができるのです。これを元に、接着構造を作ってみると、非常に簡単な方法で接着性剛毛を作ることができました。この作られ方を模倣すると、あまりエネルギーを使わないで簡単に作ることができました。

私の研究テーマの中心は「接着と剥離」です。それに関わるすべてのものに興味を持っています。これからも、生物の多様な接着を研究したいと思います。

植物の接着の仕組みを生かしたものでは、面ファスナーが有名ですね。あれは、ゴボウの実が犬にくっついているのにヒントを得て、スイスの人が発明につなげたそうです。私たちの服にも使われていて、工業用や宇宙でも使われるような仕組

テントウムシの脚裏の接着原理を解明

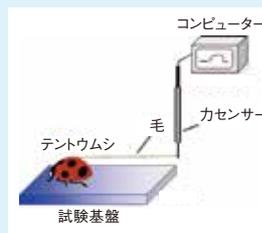
長年議論が続いていた、テントウムシの脚裏の接着の原理が、先ごろ解明された(物質・材料研究機構、東京大学、キール大学(ドイツ)の共同研究チームによる)。テントウムシの脚裏は、剛毛なのにガラスのような平滑面を滑らずに歩くことができる。脚裏からは分泌液も出ており、接着の原理について、剛毛と接地面の分子間力によるものか、分泌液による表面張力によるものか、解明されていなかった。

今回の研究では、分子間力に影響する剛毛の表面とガラス基板の間の距離(分泌液の厚さ)を測定し、この距離が分子間力の働く距離であることが明らかになった。

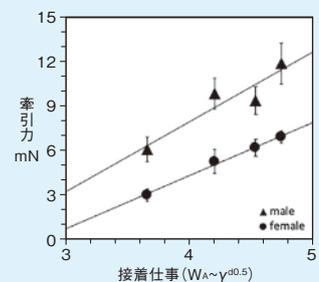
また分子間力が、他の接着原理よりも支配的であることを調べるため、バイオミメティクスと材料科学の「接着仕事」の概念を導入して、各材質の基板上を歩行する時の「牽引力」を測定した。接着仕事は、基盤の材質で変化する。実験により、テントウムシの接着力は接着仕事に相関することがわかり、主要な接着の原因は「分子間力」であることが証明された。



ガラス基板上的テントウムシ



牽引力実験の概略図

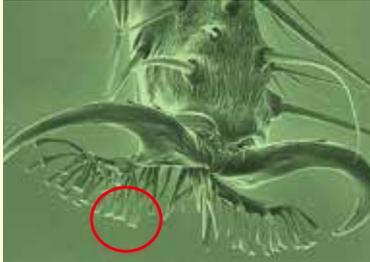


異なる表面エネルギーの基板上的の牽引力

*接着仕事:界面の接着性を表す指標で、値が大きいほど接着性が良い。

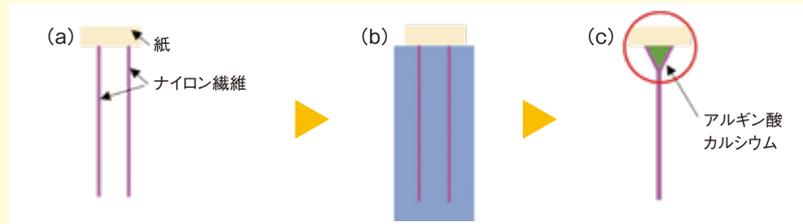
図2 テントウムシの牽引力測定

資料提供: 物質・材料研究機構



シロウジョウバエの脚先を電子顕微鏡で拡大したもの。脚先がヘラ状になっている。

図3 シロウジョウバエの脚の作られ方



シロウジョウバエの脚の作られ方を模倣した実験。(a)まず骨組みをナイロン繊維で作製し、(b)次に先端を固定したナイロン繊維の下部を樹脂に浸して引き上げると、表面張力でヘラ状の脚先に自己組織化する。(c)固化して脚の形になる。

みですよね。身近にある物からヒントを得る、ということ人間は昔から多くやってきたのではないかと思います。

Q いろいろな生物の研究が続けられていますが、好きな生物はありますか。

研究をしている時はいつも、その生物がとてもかわいらしいと思えるのです。ヤモリはかわいらしいうえ、触り心地も良いです。不思議なことに、大切に接していると、生物の方も期待に応えていいところを見せてくれるように思えます。

Q バイオミメティクスは比較的新しい研究分野ですが、研究者の数は多いのですか。

そんなに多くはありません。私は、生物からものづくりまでやっていますが、そういう人はあまりいません。日本では、工学系研究者が生物学の研究結果を見て、ものづくりに生かす例が多いようです。逆にドイツでは、生物学者の方が活発で、それと企業がコラボして製品開発をする例が多いと思います。ドイツの研究者と話していると、「日本が工学系の研究者が多いからうらやましい」と言われました。

ところで、生物系研究者と工学系研究者は、発想が違うとか、同じことを言おうとしているのに、専門用語が違うから、スツと理解できないことがあります。習慣や考え方の違いもあるでしょう。

たとえば工学では、素手で物を触ると汚れる、という認識がありますが、生物の研究者は、人間の手はきれいだという。研

究分野が違っていると、そういう感覚の違いがあると思います。でも、違う分野の方と共同で研究するから、新しさが見えてくる、ということもあります。

Q 鉄鋼分野で生かせるヒントがあればぜひ教えてください。

バイオミメティクス製品開発の取り組みは2通りあります。一つは、生物を観察してから技術へ持ってくる方法で、もう一つは問題の解決方法を生物に見出す方法です。後者の場合はまず、問題点が何かを整理することが大切です。その後、類似した機能を持つ生物を探し、生物の戦略を知ることで、技術開発の解決に繋がります。

最近では自動車のマルチマテリアル化が進み、鉄とアルミニウムなど、いろいろな材料の部品を接着することが増えていきます。易解体性設計とって、予め解体しやすいように設計しておいて、接着や剥離ができるようになると、設計を変えられる可能性があるかもしれません。常温接合のように表面の酸化膜を最初から除去しておけば、大きなエネルギーがなくても接合できるのではないのでしょうか。

鉄鋼の研究者の方に「どういうことに困っていますか」と聞いてみたいですね。そうしたら「こんな生物がいますよ」とお話しできることがあるかもしれません。いろいろな生物の研究が、問題の解決に役立てられたらよいと思います。

興味深い話をうかがうことができました。ありがとうございました。