科学の峰々 75

工学院大学工学部機械システム工学科教授

## 鈴木　健司 先生 に聞く

# “バイオミメティクス”と昆虫を規範とした“マイクロロボット”の研究 上

聞き手：柴田　眞利　日本科学機器協会　広報副委員長
野木　賢一　同　広報委員
夏目知佳子　同　広報委員
藏満　邦弘　同　専務理事
岡田　康弘　同　事務局長
（取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ㈱　安井久雄）

取材日：2013年5月22日
東京科学機器協会会議室
2013年7月24日
工学院大学工学部機械システム工学科

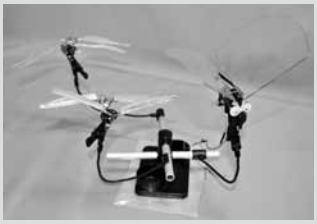
### 鈴木 健司先生のプロフィール

1984年　筑波大学附属高等学校卒業
1988年　東京大学工学部機械工学科卒業
1990年　東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻修士課程修了
1993年　東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻博士課程修了
博士（工学）
1993年　東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻　助手
1995年　同　講師
2004年　工学院大学工学部機械システム工学科　助教授
2007年　同　准教授
2009年　同　教授

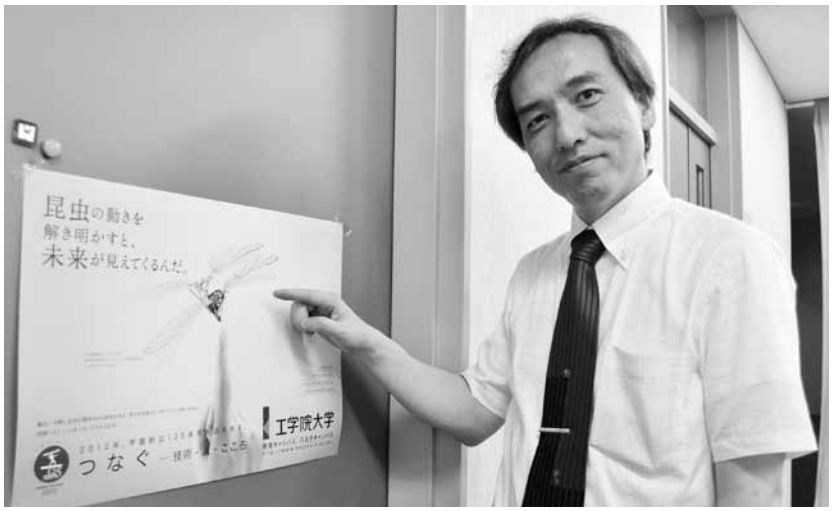
**〈研究分野〉**
マイクロ・ナノ理工学、ロボティクス、トライボロジー
昆虫を規範としたロボット、機能性表面等の研究

**〈学会活動〉**
日本機械学会、電気学会、日本ロボット学会、日本トライボロジー学会、精密工学会の会員
2013年　日本機械学会　情報・知能・精密機器（IIP）部門　部門長

**〈賞〉**
2009年度　日本機械学会教育賞
2010年度　日本機械学会賞（論文）


トンボ型ロボット

アリ型ロボット




工学院大学のポスターにトンボ型ロボットが使われ注目を集めた
工学部機械システム工学科教室前にて

## 電子回路を作る技術をもとにマイクロマシンの概念が誕生

**── 鈴木先生は昆虫を規範としたマイクロロボットのパイオニア的な研究者であると伺っておりますが、研究を始めた経緯などからお話しいただけますでしょうか。**

**鈴木**　まず私が大学生の頃、マイクロマシンという言葉が出てきました。もともとは電子回路を作る技術でしたが、それを使って0.1ミリの歯車といった小さな部品が作られるようになり、そこから極めて小さな機械が製作できるようになったのです。

大学4年のとき、私は制御の研究室にいたのですが、大学卒業後、修士課程に進んでロボットの研究室に入りました。マイクロマシンの概念が生まれたことで、その研究室が大きなものから小さなロボットの研究へ移行することになり、私もマイクロロボットの研究に取り組むことになりました。

このマイクロマシンの技術は、今日ではスマートフォンやタブレットの画面の方向を感じるセンサー、カメラの手ぶれ補正、プリンターヘッド、プロジェクター内のピクセルごとにミラーを動かす機能、リモコンの動きとゲームの画面が連動する機能など、いろいろなところに応用されています。

**── ところで、マイクロマシンという言葉は世界的に使われている言葉なのでしょうか。**

**鈴木**　マイクロマシンは日本で作られた言葉です。アメリカではメムス（MEMS）という言葉が使われています。マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムの略です。

ヨーロッパには初期の頃はマイクロシステム、MSTという言葉がありましたが、今はメムスが世界的に広く使われています。

## 生物の機能や形状を模倣するバイオミメティクス

**── なぜ機械工学を専攻されたのでしょうか。また、ロボットづくりのために昆虫を調べておられますが、昔から昆虫にも興味をお持ちだったのでしょうか。**

**鈴木**　子どもの頃から、ものごとを論理的に考える理系的な考え方やモノづくりが好きでした。電気のように見えないものより、カラクリが目に見えて分かる機械に興味を覚え、それで大学では機械工学科を選びました。

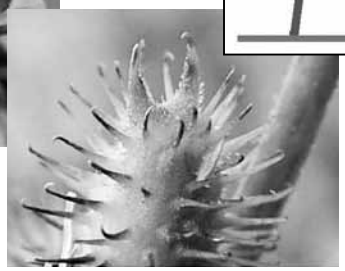
昆虫については子どもの頃から好きだったというわけではなく、マイクロロボットの研究に取り組むようになってから昆虫について学び始めました。

生物のまねをする、あるいは生物に学ぶ、という研究分野をバイオミメティクスと呼んでいます。

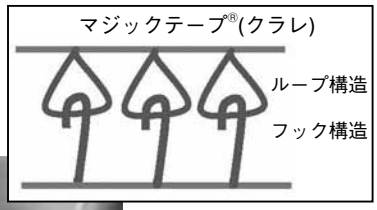
生物や小さな昆虫の世界を覗くと、小さな世界でいろいろな現象が起きており、そこには新たな発見が満ちています。そこから学んでマイクロロボットやナノ構造などを作るというのが、現在、私が取り組んでいる研究です。

## バイオミメティクスから生まれた製品

**── 今日まで、どのような研究に取り組まれたのか、具体的にお聞かせいただけますでしょうか。**



オナモミの実
鉤状の先端部がマジックテープ誕生のきっかけとなった



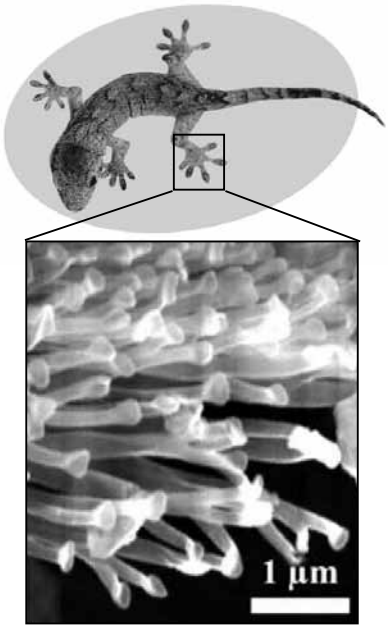

**鈴木**　昆虫の表面を拡大してみて見ると、デコボコとした構造がたくさんあります。そういう表面の構造によって、撥水や親水、流体抵抗、付着、摩擦、光を通したり通さなかったりと、さまざまな機能がもたらされます。

バイオミメティクスの一例として、オナモミの実があります。オナモミの実は表面から鉤(かぎ)のようなものが出ていて、セーターなどにくっつきます。この構造をまねて、つけるとすぐに付き、引っ張るとはがれるマジックテープが作られました。

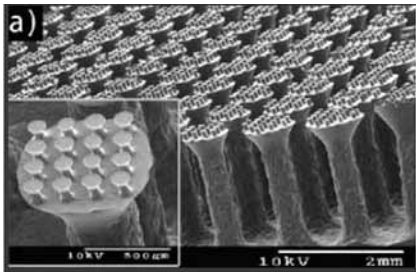
ちなみにマジックテープというのは日本のメーカーがつけた名前ですが、最初に発明したのはジョルジュ・ド・メストラルというスイス人でした。

そのほかにもいくつか例をあげると、モルフォチョウという青い綺麗な色をしたチョウがいます。しかし、このチョウの羽には色素がありません。羽の表面がギザギザした複雑な構造になっていて、その羽の構造によって光が反射や干渉をすることで、綺麗な色が見えるようになっています。この羽の構造をまねて、日本の企業が綺麗に光る生地を開発しています。

また、ヤモリの足には毛がたくさん生えており、それによってヤモリは壁などを登ることができます。その足の様子を拡大してみると、足の毛の先が壁のデコボコに入り込んでいるのです。そこではファンデルワールス力という分子と分子が引き合う力が働いていることが分かります。




ヤモリの足には無数の微小な毛が生えている



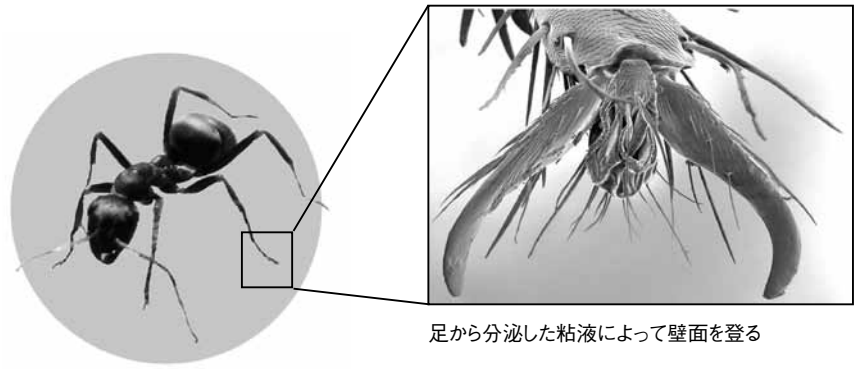

カーネギーメロン大学で開発されたヤモリの足を模した付着製表面

それを模倣してヤモリテープという製品が作られました。このテープの付着面には粘着材が付いているわけではなく、カーボンナノチューブで作られた細い毛のような構造によって付着しています。ヤモリテープはある方向からはがすと簡単にはがれますが、別の方向からははがれにくい構造になっています。

バイオミメティクスは、このように生き物に学んだ、新しい発想によっていろいろな機能が開発されています。

光沢のある青い羽が特徴のモルフォチョウ。
モルフォとはギリシャ語で「美しい」を意味する。

モルフォチョウの発色原理を利用したネクタイ。見る角度によって色の変化が楽しめる。



足から分泌した粘液によって壁面を登る

## アリのように壁を登る壁面歩行ロボット

**── ロボットではどのような例があるのでしょうか。**

**鈴木**　ヤモリに学んだロボットが、アメリカのスタンフォード大学やカーネギーメロン大学などで開発されています。ロボットの足にヤモリをまねた微細構造がついていて、それによって窓にくっつき、登っていくものです。

そこで、私の研究室では、アリを規範としたマイクロロボットに取り組みました。

ヤモリと同じようにアリも壁を登りますが、アリの足を拡大してみると、ヤモリとは異なる構造になっています。

アリは足の真ん中に柔らかいパッドのようなものがあり、足の先から少量の液体を出しています。しかし、ヤモリの足からは液体が出ることはありません。

アリはこのような足を使い、デコボコのある壁は爪を引っかけて登りますが、デコボコのないツルツルな壁は爪が引っかからないため、足の先から液体を出し、粘性や表面張力を使って登っていきます。

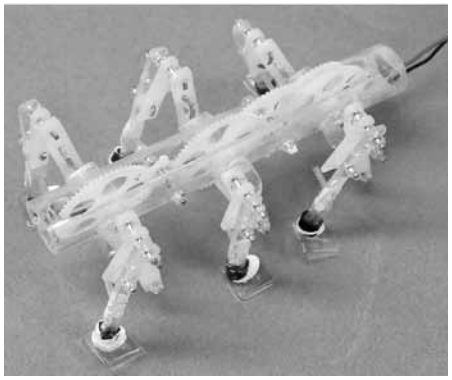
なお、アリはガラスだと登れるのですが、フライパンなどに使われているテフロン加工の表面は足が滑ってしまい、登ることができません。

私たちは研究室でアリを飼育し、いろいろと観察しているのですが、アリはくっついた足を離すとき、足の先端を大きくしならせます。そのしなりを利用して、足を離します。また、足はある方向に引っ張ると割と簡単に壁からはがれるのですが、反対方向へは引っ張ってもなかなか離れないという性質があります。

付着の原理としては、足の先にあるパッドのところで分子間力が働き、さらに液体を出すことで表面張力や粘性が生まれるのです。

この原理を利用して私たちは付着パッドと液体を出す仕組みをマイクロマシンで作りました。このロボットは足の先にある0.1ミリほどの穴から水を出し、壁を登ったり、天井を歩いたりできます。

ロボットの研究はそれ自体が楽しいということもありますが、マイクロロボットは、将来的には、人が足を踏み入れられない危険な場所での情報収集ロボットとして活用できると考えています。



付着パッドにより壁面も自在に歩行可能なアリ型ロボット

**── そのようなロボットの用途を考えると、事故を起こした福島第一原発での運用などを思い浮かべますが、マイクロロボットならではの利点はあるのでしょうか。**

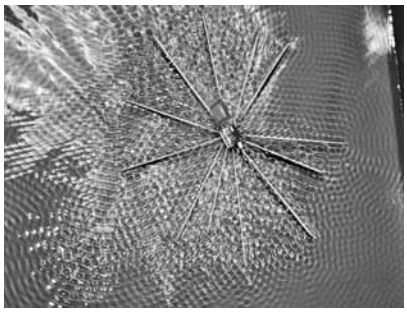
**鈴木**　福島第一原発では、内部の様子を調べようとしたロボットが階段でつかえ、先へ行けなくなったことがあったようです。

その点、小さいマイクロロボットの方が動き回りやすいでしょうし、天井や壁を歩けるロボットであれば、地上にある障害物の影響も受けにくくなります。放射線量だけを測定してくるような場合であれば、大きさは問題ではなく、むしろマイクロロボット数台で調査を行うという方法の方が有効だと思われます。

今のところ、まだ実用段階ではありませんが、近い将来原発の内部を調べるようなロボットが登場すると思います。

## アメンボのように水に浮く水面移動ロボット

**――そのほかのマイクロロボットもご紹介いただけますか。**



水に浮き、移動する様子はアメンボそのもの

**鈴木**　そのほかではアメンボをまねたロボットがあります。アメンボをよく見ると、足の表面にたくさんの毛が生えていて、これによって表面積を増やしています。足に生えた毛の間からワックスのような液体が出ていて、それで水をはじいています。また、アメンボの足のまわりの水面は少しへこんでいて、そのへこみに沿って水の表面張力が働きます。（物が載った風呂敷の両端を引っ張って物を支えるようなイメージです）

アメンボが表面張力で浮いている証拠として、アメンボが浮いている水に液体石鹸を入れるという実験をしてみました。結果として、アメンボは水面に浮くことができなくなり、溺れてしまいました。液体石鹸は表面張力を下げ、足の表面の油も取り除くため、液体石鹸を入れたことでアメンボは表面張力を得られなくなり、溺れてしまったのです。

アメンボをまねたロボットは重さ7gぐらいで、脚の数を12本にして、水の上に浮くようにしました。このロボットには携帯電話のバイブレーション用モーターが付いていて、脚を振動させて前へ進みます。12本の脚の長さは少しずつ違っていて、周波数によって振動する脚が変わります。ロボットは長い脚が振動すると前へ進み、短い脚が振動すると曲がります。

アメンボ型のロボットは重さとしては脚の長さ1mあたり15gぐらいまでは水に浮きますが、それ以上の重量になると表面張力では支えきれなくなってしまいます。アメンボ型ロボットは水質の検査用マイクロロボットとして活躍が期待されています。

## 水滴と表面張力を利用した微小物体搬送装置

**鈴木**　表面張力に関連するものとして、水滴の制御の研究も行っています。砂漠にいる昆虫キリアツメゴミムシダマシは、空気中の水蒸気を親水性のある背中に集め、その水を上手に口に運びます。

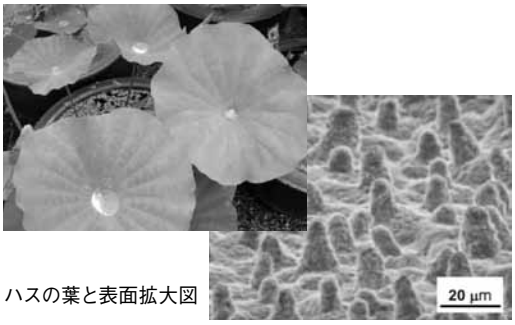
キリアツメゴミムシダマシのやり方とは違いますが、静電気を利用して、水滴が丸まったり、広がったりする技術を用いることで、直径1ミリぐらいの水滴をコロコロと転がすことができます。これは小さな構造だからこそ可能で、大きな構造では水滴はなかなか動きません。

薬品の検査などで運用が期待される微小水滴輸送実験

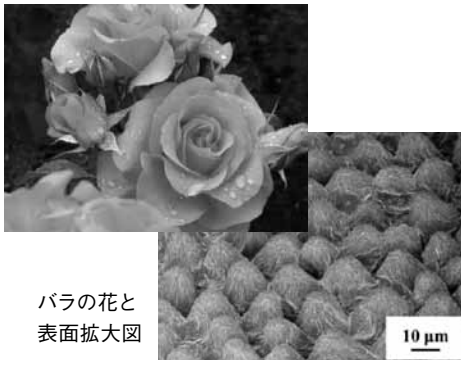
表面張力と水滴を利用して、水滴の上の物体を動かすこともできるようになっています。

それと昆虫ではありませんが、水滴をはじく構造として、ハスの葉やバラの花びらが思い浮かぶと思います。それらの表面には凹凸がたくさんあり、水をはじきます。しかし、ハスの葉とバラの花びらでは構造が違い、拡大して見るとバラの花びらは表面の凹凸の中に水滴が入り込むようになっていますが、ハスの葉は凹凸の中に水滴が入り込む構造にはなっていません。そのため、ハスの

羽の表面に水分を集めるキリアツメゴミムシダマシ




ハスの葉と表面拡大図




バラの花と
表面拡大図

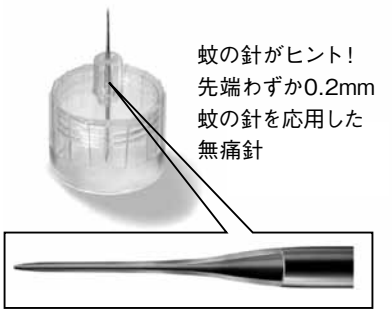
葉は水滴をはじきますが、逆さにすると水滴は落ちてしまいます。一方、バラの花びらは水滴をはじきますが、逆さにしても水滴が落ちることはありません。表面の凹凸の形状の違いによって、いろいろな性質が出てくるのです。

それをまねて、マイクロ加工によって小さなデコボコを作り、その上に撥水性のある液体をコーティングして、いろいろな性質を持つ撥水面を作るという研究も行っています。

## 昆虫の研究から生まれた飛翔・跳躍ロボット

**── 昆虫というと、私たちの身近なところでも、さまざまなものが思いつきますね。**

**鈴木**　最近、痛くない注射針が注目されていますが、それは蚊の針から生まれたもので、バイオミメティクスの一例です。糖尿病のためのインスリン注射などで製品化されています。




インスリン用注射針 ナノパス33テルモ
2005年度グッドデザイン大賞

トンボやチョウは羽ばたいて飛びますが、私たちはその性質からアイデアを得て羽ばたき飛翔ロボットを作りました。狭い場所での情報収集には小型の飛行体が有利になりますが、小型の飛行体には、飛行機のような飛び方よりも昆虫のような羽ばたき飛翔のほうが向いていると思われます。

一方、バッタやコオロギなどは大きなジャンプ力を持っています。私たちは膝がバネのようになり、力を溜めて一気に飛び上がる跳躍ロボットを作りました。跳躍ロボットは、大きな溝があるような場所でも、ジャンプすることでいろいろなところへ行くことができるようになります。

## 昆虫の感覚器をまねた新たなセンサー

**── セミの声やスズムシの音なども調べていくと面白そうですね。**

**鈴木**　セミやスズムシはどちらも音を出してますが、音の出し方はまったく違います。セミは腹に共鳴室のような空間があり、そこで空気を振動させています。それに対して、スズムシは羽をこすり合わせて音を出しています。セミはまだ調べ始めたところですが、小さな器官からあれだけ大きな音が出せることに改めて驚きと興味をいだいています。

コオロギは尻尾に小さな毛が生えていて、それが気流の変化を察知するセンサーになっています。詳しく調べてみると、尻尾の毛には長い毛と短い毛があり、弱い風には長い毛が反応し、強い風には短い毛が反応して、風の強さや風向きを感じています。そのため、コオロギは普通の風では逃げませんが、敵が近づくなど急に気流が変化したときには、それを感じて逃げます。

人が近づくと生えている毛が風を感じて反射的に逃げ出すゴキブリも似た性質を持っているといえます。簡単な仕組みですが、うまく生き延びられるよう本能として、プログラミングされているわけです。

こうした昆虫の感覚毛に着目し、新たなセンサーを開発して、ロボットに搭載しています。今まで人間が作り出してきたロボットはいろいろな計算をして答えを出すものでしたが、昆虫は1つの刺激に対して、1つの答えを出すという仕組みです。単純なものですが、組み合わせていくと、今までのロボットの制御のやり方とは違う、面白いものができるのではないかと考えています。

次号「科学の峰々」9月号では
**鈴木　健司 先生**　に
**“バイオミメティクス”と昆虫を規範とした“マイクロロボット”の研究（下）**
において続きをお話いただきます。