

# 生物規範工学に関する調査研究（研究・開発事例紹介）

瀧見 知久<sup>i</sup>

## A Study on Biomimetics

Tomohisa TAKIMI

生存競争の中で進化してきた生物機能は工学的に優れている場合が多く、それら生物機能を参考にブレイクスルーを生み出す開発スキーム「生物規範工学」が注目を集めている。さらに近年では AI・IoT の需要の高まりとともに、その重要性がますます高まっている。本稿では生物規範工学の事例を(1)流体力学的応用(2)材料技術(3)システム・アルゴリズムの3分野に分類し紹介する。さらに生物と工業製品の比較を通じ、生物規範工学における課題・将来展望を論じる。

(キーワード): 流体, IoT, AI, 構造発色, 超撥水性, 自己組織化, システム, 電子顕微鏡, 材料技術, 脳

### 1 はじめに

生物は各自の環境における生存競争の過程でその機能・形状・行動パターンを最適化させてきた。よって工学的観点でみた場合、生物機能は非常に優れた価値を有する。その点に着目して工学応用する動きが活発化してきており、それは「生物規範工学」と呼ばれる。

工業化以前から人間は生物と密接に相互作用して生活しているため、全く新しいテーマではないように思えるかもしれない。しかし、安直に鳥の羽ばたきの真似をするだけでは空を飛べないことからわかるように、実用的に生物機能を参考にするには、基礎となる原理を理解する必要がある。応用価値のある生物現象の多くは分析技術・周辺科学の進歩により近年になって初めてその原理が理解されたことが多い。それが近年になって生物規範工学が盛んになってきた背景である。とりわけ電子顕微鏡技術が寄与した影響は大きく、生物規範工学製品のうちの多数は電子顕微鏡によって解明された原理を応用した製品である。

さらに近年では、IoT や AI、ドローンの需要の高まりとともに、昆虫を始めとする生物の認知・行動システムを応用する開発が盛んになってきている。囲碁で人間に勝つような「知性的」な面に注目が集まりが

ちではあるが、実際に活用する場面では、状況を迅速に把握し正確に判断して行動に移すシステムさえあれば十分である場合が多い。実際に多くの昆虫は状況を的確・迅速に判断し無駄なく行動に移している一方で、かえって人間のほうが考えごとによる注意散漫な運転など高度な知性に起因する不適切な対応がみられることがある。そこで必要かつ十分な判断システムを構築するには生物の認知・行動システムに着目することが有用である場合が多く、積極的に活用されている。

また、2017年8月には、生物規範工学の活用を推進するため、「特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会」が設立された。当法人は、生物規範工学に欠かせない異分野連携および知識基盤の整備・運用を通して人材育成、研究・開発支援事業を展開し、産業界を始めとする国内の様々な場面で生物規範工学の活用活発化を目指し、環境共生型の社会基盤構築に寄与することを目標としている。<sup>1)</sup>

本稿では、そのように活発化してきている生物規範工学の解説を、公知情報にもとづく製品・開発事例の紹介を基本として展開していく。これらの事例の紹介は大きく以下の3分野に分類して紹介していくことにする。

- ・流体力学的応用
- ・材料技術

<sup>i</sup> サイエンスソリューション部 デジタルエンジニアリングチーム コンサルタント 博士 (理学)

・システム・アルゴリズム

最後の章では、生物と工業製品との比較を通して生物規範工学の課題・将来展望を論じる。

## 2 流体力学的应用

流体の特徴は無次元のレイノルズ数  $Re$  で記述され、それは代表スケール  $L$  と代表速度  $U$  を用いて  $Re=UL/\nu$  と記述される。普段の生活で接する機会の多い動植物は自ずと人間が普段活用する生活用品とスケールおよび速度が似ており、記述されるレイノルズ数は両者で似たものとなる。そのため、家電を代表とするような人間の日常生活を扱う分野で生物規範工学が効果を強力に発揮してきている。

また、流体力学的应用の傾向として多く見られる技術的な点として、様々な生物が乱流促進装置として活用している微細な凹凸形状を参考にしている点があげられる。その一つとして新幹線のパンダグラフで発生する騒音を防止した事例を紹介する。パンダグラフで発生する騒音は前から流れ込んでくる速い流れがパンダグラフの後ろを回り込むときに発生させるカルマン渦が原因となる。カルマン渦による騒音を抑制するため、フクロウが音を立てずに飛んでいることに着目したとされている。フクロウの羽根には図 1 のようにセレーションと呼ばれる小さい突起があり、乱流促進装置として機能している。



図 1 (左) フクロウの剥製, (右) 羽根のセレーション<sup>2)</sup>

この突起により境界層を乱流遷移させ、剥離を抑制することでカルマン渦の発生を抑え、音を立てないようにしているものと思われる。そこでその点をヒントに新幹線のパンダグラフに小さい突起を付設して剥離を抑制して騒音を 30% 軽減させている。

## 3 材料技術

電子顕微鏡による研究成果が最も顕著に活用されている分野であり、生物規範工学の分野の中でも最も盛んに製品開発が進んでいる。特に日本企業にお

いて盛んに製品開発されているものとしては

- ・モルフォ蝶を模倣した構造発色材料
- ・蓮の葉の表面の凹凸を模倣した撥水材料
- ・蛾の目を応用した無反射材

等が挙げられる。これらの材料技術の基礎となる原理の多くは電子顕微鏡で初めて解明されたこともあり、新規性が高い。さらに生物規範工学製品自体が新しい原理の周知・普及において大きな役割を果たし、他の製品開発のアイデアを生み出す連鎖反応を起こしている事例がいくつか見られる。

その一例として蓮の葉の撥水効果を応用した製品群における連鎖反動的な製品開発シリーズを紹介する。蓮の葉を観察すると、水が球状に弾かれ濡れていないことが観察できる。(図 2)



図 2 撥水性の蓮の葉表面<sup>3)</sup>

液体と物体表面とのなす接触角が物体表面の濡れやすさを決定し、接触角は液体、空気、物体表面の界面張力による力の釣り合いの式(1)で決定され、 $\theta < 90^\circ$  を濡れやすい(親水性)、 $\theta > 90^\circ$  を濡れづらい(撥水性)と定義する。(図 3 参照)

$$\gamma_{LG} \cos \theta + \gamma_{SL} - \gamma_{SG} = 0 \quad (1)$$

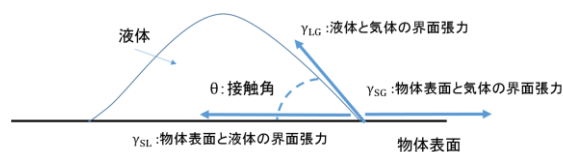


図 3 濡れ表面における界面張力の釣り合い模式図

さらに表面が二つの物質 A, B からなる複合体であり、表面構成比  $f:(1-f)$  のときには、複合体の実効的な接触角の余弦  $\cos \theta$  は A, B の各物質における接触角の余弦  $\cos \phi_A, \cos \phi_B$  の表面構成比を重みとする線形和、Cassie-Baxter の式(2)となる。

$$\cos \theta = f \cos \phi_A + (1 - f) \cos \phi_B \quad (2)$$

蓮の葉の表面は図 4 のような微細な凹凸構造をしており、複合体の一方の物質 B を空気とみなし、その接触角は  $180^\circ$  であるため、式(2)より以下の式(3)と

なる。

$$\cos\theta = f \cos\phi_A - (1-f) \quad (3)$$

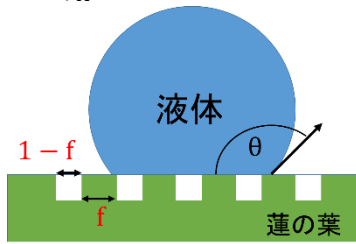


図4 蓮の葉表面の凹凸構造の模式図

この式において、 $0 < f < 1$  より第二項は負の値となり、蓮の葉材料が仮に親水性で $\cos\phi_A$ が正の値だとしても、空気の入る割合 $(1-f)$ が大きいと結局トータルの接触角による $\cos\theta$ が負となり、撥水性に変わる。このように蓮の葉は表面の凹凸構造により撥水性を獲得する。これをロータス効果という。

この蓮の葉のロータス効果を応用して、撥水性の汚れないヨーグルトの蓋がまず開発された。



図5 (左) 従来の蓋 (右) 汚れない蓋

ヨーグルトは一般に広く流通する食品であり、効果は誰に対しても一目瞭然であるため、ロータス効果の周知に多大な役割を果たした。そして本ヨーグルト製品からロータス効果を用いた新規開発が以下の2例ほど生まれた。一つ目はコンクリートの型枠に凹凸をつけることでロータス効果により気泡アバタを防いだ建設企業による事例である。さらにもう一つとしては、ロータス効果を応用した着氷しないLED信号機を着想した事例がある。これは青森の高校生によるアイデアであり、大学との共同開発にまで発展した。これらのアイデアは二つとも食卓に出たヨーグルトの蓋から思いついたものであった。このように生物規範工学製品の中でも特に生活に身近なものが、次の突出したアイデアを生み出すことに関して強い効果を発揮していることが伺える。

#### 4 システム・アルゴリズム

昆虫の脳神経システムの特徴の一つとしてセンサーの数が相対的に多いことが挙げられる。ヒトにお

いては脳神経細胞数とセンサー数の比が10000:1程度にある一方で、昆虫においてはほぼ1:1となっており、センサーが多く外部の環境に対し非常に鋭敏なシステムであるといえる。さらに昆虫の脳神経システムの応用面における利点として、脳処理のステップ数が少なく単純で解析しやすいこともあげられる。外界の変化の必要な情報のみに鋭敏に反応し、正確に対応・行動することが求められる場合に対し、昆虫の脳神経システムは経済的で適切な処理方式と捉えられ、盛んに研究・開発が進められている。

一つの代表的な例として「自動運転車」への応用が挙げられる。国内の自動車メーカーでは、ハチが非常にたくみに障害物を回避することに着目、大学と共同開発して自動運転車の衝突回避システムを開発した。さらに同社では、自動車の相互衝突・集団衝突回避システムの開発において、魚群の動きを採用した。魚群においては各個体が集団の中で衝突せず、さらに集団自体が障害物をたくみに避ける特徴を示す。驚くべきことにこれら二つのシステムは同じ会社での開発であるものの、独立に開発したとのことであった。これは生物規範工学が非常に高い有用性を持つことの証明にもなっている。

#### 5 生物規範工学の課題と見通し

生物規範工学を考える上で非常に重要となる点は、工業製品が有しない新陳代謝という自己修復（自己組織化）機能を生物は有するという点である。つまり生物の形状などは、予めこの自己修復機能を織り込んで設計された帰結である一方、生物模倣工業製品は自己修復機能を有しないため、脆くなってしまいう傾向がある。この傾向はデリケートな微細構造をもっている製品において比較的強い傾向にある。このような弱点を克服するため、自己修復・自己補強する製品の開発も進められている。その一つの事例としてマスクメロンのひび割れ自己修復機能を参考にした自己修復する防さび型撥水性皮膜の開発が挙げられる。



図6 マスクメロンの網目模様はひび割れのかさぶた修復の帰結

生物に着目した際に付随するこのような「脆さ」はこれからの技術全般を考える上で重要な視点を与えられると思われる。生物の体は新陳代謝が可能な常温で変化する脆い物質で構成されているため、環境に柔軟に適応し、却って身体持続性が高くなっている。さらにこれにより、生物は進化が可能になり、多様性を確保して発展してきた。また、その脆い身体を外界の急激な変化から守るためのセンサー・回避機能として「脳」および「神経」が誕生した。つまり、「脳」は本来脆い身体と不可分な存在として機能しているといえる。人工知能開発等で「脳」を真剣に考えなければならぬ時代が到達するが、このような「生物の脆さ」を念頭に技術を見る視点が「本来の脳」の本質を捉え、より深い発展を実現する鍵になると思われる。そのための視点の窓として「生物規範工学」は極めて重要なプレイグラウンドを与えられると思われる。

## 引用文献

- 1) 特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会 ホームページ  
<http://www.biomimetics.or.jp/index.html>
- 2) 相模原市立博物館提供
- 3) 野辺のにぎわい  
<http://misma.cho88.com/sizen/>