

# Biomimetica

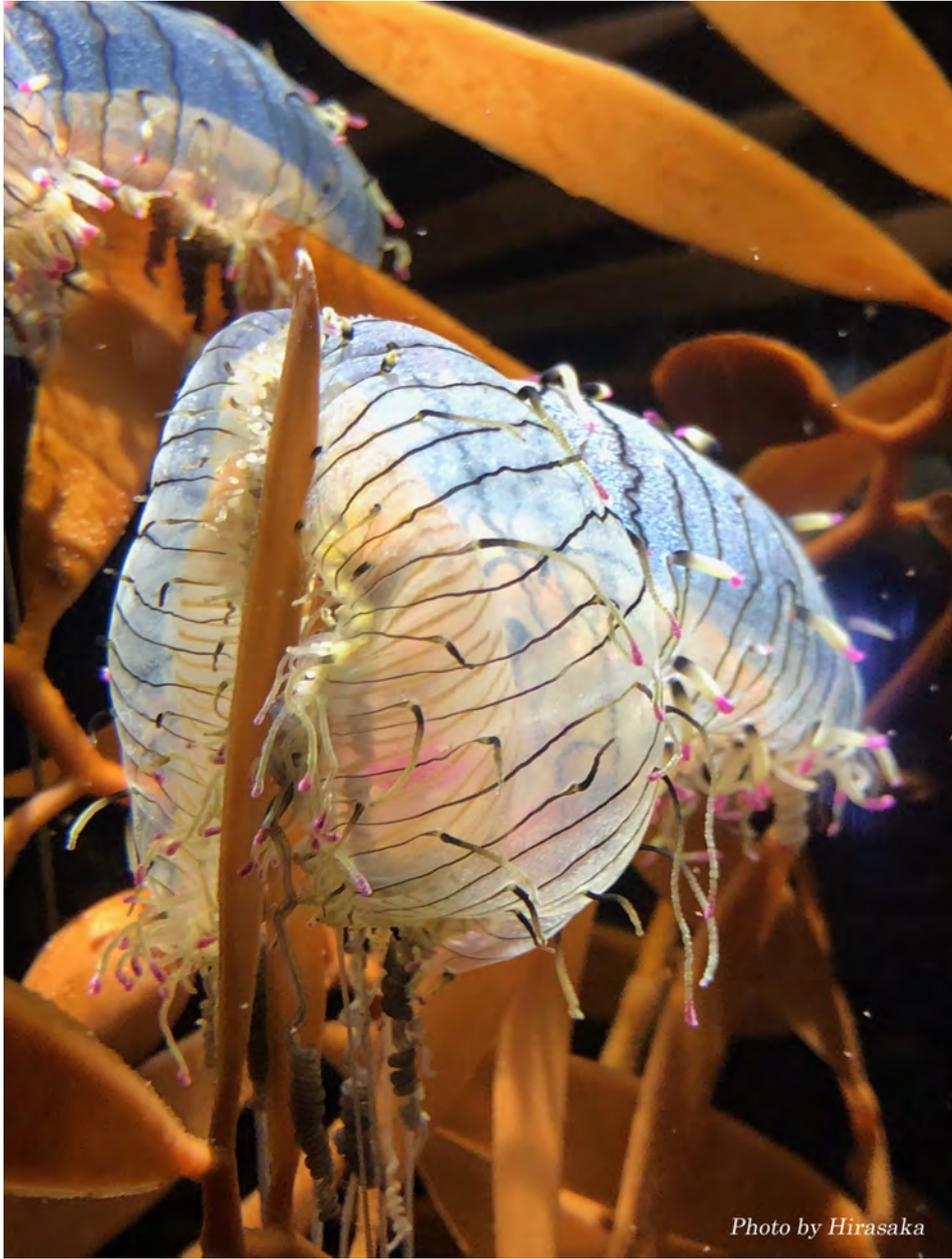
*Journal of Biomimetics Network Japan*

2019 March

特集 1 : バイオミメティクスの国際標準化  
2 : フランスの最近動向

付録 : 7th NaBIS 要旨集





*Photo by Hirasaka*

## 目次

### 巻頭言

循環型経済とバイオミメティクス	下村 政嗣	1
-----------------	-------	---

### バイオミメティクスの哲学

バイオミメティクスと SDGs ～アントロポセンで生き残るパラダイム～	下村 政嗣	2
-------------------------------------	-------	---

### 特集：国際標準化

Society 5.0 とバイオミメティクス国際標準化の役割	阿多 誠文	12
コラム 知足	阿多 誠文	15
ISO/TC266 ISO/TC266 Biomimetics WG4 報告 三つの技術報告書の発刊へ	香坂 玲、内山 愉太、藤平 祥孝	16
ISO/TC266 ISO/TC266 Biomimetics WG4 報告 BioTRIZ	山内 建	18
バイオミメティクスの国際標準化とコミュニケーション	関谷 瑞木	21
サーキュラーエコミー	平坂 雅男	24

### 最近の研究から

(1) 昆虫の振動感覚の解明と害虫防除への応用	高梨 琢磨、遠藤 淳	25
(2) バイオミメティクスによる流体機器の表面設計	宮崎 真理子、守谷 浩志	29
(3) バイオミメティクスの医療応用：すべらない手袋	中野 紀穂、平川 聡史、妹尾 千代、鈴木 浩司 高久 康春、河崎 秀陽、針山 孝彦	32
(4) 自然博物学に貢献するマイクロ X 線 CT システムの測定評価技術	井口 智、枝廣 雅美、安居 嘉秀	38

### 特集：フランスの最近動向

Biomim'expo 2018 参加報告	齋藤 彰	44
ヌーヴェル・アキテーヌ (Nouvelle-Aquitaine) 地域		
(1) 建築・都市設計へのバイオミメティクスの展開	平坂 雅男	47
(2) ブルー成長戦略におけるバイオミメティクス	平坂 雅男	50
(3) 農業分野におけるバイオミメティクス	平坂 雅男	54
(4) 化学／素材分野におけるバイオミメティクス	平坂 雅男	56

### 動向調査

バイオミメティクスの知識基盤構築：データベースに関する調査報告	平坂 雅男	62
---------------------------------	-------	----

## 会議報告

7th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) 穂積 篤 68

博物館・水族館などの動き 70

ニュースクリップ (2018) 73

### 「生物規範工学」ニュースレター・アーカイブ

連携だけなら誰でもできる、クロスボーダ次世代を残せ 下澤 楯夫 81

異分野に通じた次世代研究者を育てよう 友国 雅章 83

生物規範工学から産業へ 平坂 雅男 84

## 付録

7th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) 要旨集 88

## 巻頭言

# 循環型経済とバイオミメティクス

今、世界中でプラスチック製ストローが廃止されようとしています。その背景には、ウミガメの鼻孔に詰まったプラスチック製ストローを抜き出すショッキングな動画が象徴するプラスチックによる深刻な海洋汚染、とりわけマイクロプラスチックが及ぼすであろう生態系、環境への“想定外”の影響があります。世界のプラスチック生産量は、1950年の200万トンから2015年には3億8000万トンへと指数関数的に増大しています。このような指数関数的な増大は、グレート・アクセラレーション（Great Acceleration）と呼ばれる現象で、人口、エネルギー消費量、二酸化炭素濃度、地表温度、海洋酸性化、などにも見られます。ムーアの法則で知られる半導体の集積度増大も、グレート・アクセラレーションです。プラスチック生産のグレート・アクセラレーションが地質学的な変化をもたらす、という議論があります。人類の進化に伴う営為が地球環境を左右する新たな地質時代をつくるという考えです。オゾンホールの研究でノーベル化学賞を受賞したマインツ大学のパウル・クルツェン教授は、新生代第四紀の「完新世」はすでに終了し、コンクリートやプラスチック、核実験による放射性降下物など、“進化した人類（＝近代）の痕跡”が地層に残る「人新世」（Anthropocene）が始まっていることを提唱しました。

2018年1月16日、欧州連合（EU）は、“Plastic Waste: a European strategy to protect the planet, defend our citizens and empower our industries”を採択しました。“史上初の欧州全体を対象としたプラスチックに関する戦略は、「循環型経済」への移行の取り組みの一環”であり、“EU市場に流通する全てのプラスチック製の包装材は2030年までに再生利用可能なものになり、使い捨てのプラスチック類は削減され、マイクロプラスチックの故意的使用は制限される”、ことを目指しています。2015年12月にEUは、成長戦略の核となる新たな経済モデルとして「循環型経済パッケージ」を発表しました。「循環型経済」とは、完全な資源循環系である生態系にヒントを得た経済モデルであり、資源を有効活用しさらに再生産して持続可能な形で循環させて経済成長を目指すことは、化石燃料を中心とした枯渇資源系に依拠し大量な廃棄物を出しながら発展し、そしてアントロポセンをもたらした、「線形型経済」ともいべき人類の経済活動を見直そうというものです。

生態系における資源やエネルギーの循環をバリューチェーンという視点からアプローチする、生態系バイオミメティクスともいべきトレンドを興すことで、バイオミメティクスは分子系から生態系にいたる総合的なEngineeringとなり、EconomicsとEcologyとの融合である“自然の循環と経済社会システムの循環の調和”に資するものとなります。急速なアジアの近代化は、“日本型モノづくり”の閉塞的状况をもたらし、そして、地球の環境収容力を超えた人間活動はSDGsを掲げざるを得ない状況をもたらしています。グレート・アクセラレーションがもたらすであろうシンギュラリティは人間の存在意義そのものを問うています。“歴史は繰り返す。一度目は悲劇として、二度目は喜劇として”は、カール・マルクスの名言です。もはや人間（欧米、近代）を“模倣”するのは止めて、いっそのこと、生物を真似てみましょう。

特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会  
理事長 下村 政嗣

# バイオミメティクスと SDGs

## ～アントロポセンで生き残るパラダイム～

下村 政嗣（千歳科学技術大学教授 北海道大学名誉教授 東北大学名誉教授）

### 身近にあるバイオミメティクス

バイオミメティクスという言葉をご存知だろうか。最近、テレビや新聞などでバイオミメティクスに触れる機会が増えたのではないだろうか。バイオミメティクスとは、生物の形態や構造、機能などを模倣してものづくりをしようとする古くからある考えかたで、レオナルド・ダ・ヴィンチが鳥の飛翔メカニズムの考察をもとに様々な飛行機械の設計をしていることは有名である。海綿を模倣した洗浄用スポンジ、絹糸を真似た合成繊維、植物の種子をヒントにした面状ファスナー、カワセミの嘴に似せた新幹線の形状など、我々の身の回りには多くのバイオミメティクス製品がある。「生物を模倣する」という意味のバイオミメティクス (biomimetics) という言葉は、1950 年代に、神経システムにおける信号処理を模倣してシュミット・トリガーというノイズ除去用電気回路を発明したオットー・シュミット (Otto Schmitt) という神経生理学者が命名した。今世紀になってバイオミメティクスに対する世界的な関心が高まっている。研究開発潮流の変化は、バイオミメティクス関連の論文が 2000 年を境に増加していることに如実に見てとることができる。更に、2010 年にサンディエゴ動物園は、『Global Biomimicry Efforts: An Economic Game Changer』と題する経済レポートを出した。ダ・ヴィンチ・インデックスという経済指標を使い、“バイオミミクリーの分野が、米国において 15 年後に年間 3000 億ドルの国内総生産、そして 2025 年までに 160 万人の雇用をもたらす”という経済予測をした。最近では、2030 年には、アメリカで 4250 億ドル、世界的には 1.6 兆ドルの GDP が期待されるという試算もある。ちなみに、“バイオミミクリー”という言葉は、1997 年に出版されたアメリカ人生態学者ジャニン・ベニユスの著書『Biomimicry: Innovation Inspired by Nature』4) に由来するもので、バイオミメティクスと同義ではあるものの、環境問題に対する意識の高まりが反映された造語でもある。

にもかかわらず、バイオミメティクスの厳密な定義は今世紀にいたるまでなされていなかった。

バイオテクノロジー、バイオメカニクス、バイオインスピレーション、バイオインスパイアード、バイオミメティクス、バイオミミクリー、バイオニクス、ビオニック、バイオメシス、などなど、似たような、しかし微妙にニュアンスの異なる言葉が使われてきた。2012 年に発足した国際標準化 ISO TC 266 Biomimetics において、初めてその定義に関する議論が始まった。そして、国際標準 ISO 18458:2015 “Biomimetics – Terminology, concepts and methodology”において、バイオミメティクスとは生物から工学への技術移転を前提とするとともに持続可能性に資するべき新しい技術体系であり、生物そのものを用いるバイオテクノロジーとは異なるものと定義した。

ISO 18457:2016 “Biomimetics – Biomimetic materials, structures and components”には、蓮の葉に学んだ“フッ素を使わない撥水材料”、モルフォ蝶を真似た“色材を使わない発色繊維”、サメ肌を模倣した“航空機の流体抵抗低減塗装”、などに低環境負荷、省エネルギーなどのトレンドを見てとることができる。更に、魚群に学ぶ“自動運転アルゴリズム”、アリの社会性を模倣した“IoT を支える自律分散制御型ロボット”、アリ塚のパッシブクーリングにヒントを得た“省エネ空調ビル”などが開発され、居住性、流通性、レジリエンス、フェールセーフ、ロバストネスなどを生態系システムに学ぼうとする”biomimetic smart city”と称される環境都市設計構想も始まっている。今やバイオミメティクスは、分子レベルの材料設計から、機械工学、建築、環境都市設計、国土強靱化に至る総合的な技術体系となりつつある (図 1)。

さらに、欧米ではサーキュラーエコノミー (循環経済) やグリーンエコノミー、ブルーエコノミーなどと並んで、新しい経済学的思想としても期待されている。古くから我々の身の回りにもかかわらず、なぜ、今世紀になって国際標準化の動きが出てきたのであろうか。その疑問を解くにはバイオミメティクスの歴史をおさらいする必要がある。

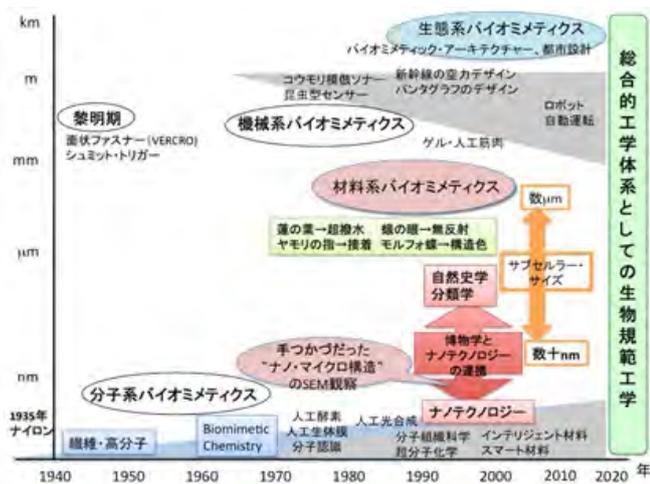


図1 バイオミメティクスの歴史

### 黎明期のバイオミメティクス

バイオミメティクスは、擬態や模倣を意味する mimesis の形容詞である mimetic の語尾に s をつけた名詞に、生物や生命にかかわる接頭語である bio を付した造語であり、わが国では“生物模倣”と訳される。「シュミット・トリガー」とは、入力信号からノイズを除去し矩形波に変換することでノイズに強いスイッチとして使われる電気回路であり、神経システムにおける信号処理にヒントを得たとも言われている。我が国ではマジックテープ（クラレの商標）として知られている面状ファスナーは、1940年代にスイスのジョルジュ・デ・メストラルが植物の種が動物の毛に付着することにヒントを得て開発した製品で、世界的には彼が起こした会社名であるベルクロとして知られている。ナイロンの総称で知られるポリアミド系繊維は、蚕が作る絹糸の基本骨格であるポリペプチド構造を模倣して化学的に製造したもので、米国の大手化学会社デュポ社のウォーレス・カロザースが1935年に発明した合成繊維である。

### 第一世代としての分子系バイオミメティクス

ナイロンに限らず、繊維産業は天然繊維からはじまり合成繊維の開発にいたる高分子科学の歴史を持ち、“分子系バイオミメティクス”として分類すべき研究開発潮流の底流をなすものである。1970年代になり、体系化された学術分野として最初に勃興する Biomimetic Chemistry は、世界的な研究潮流となる。これは酵素や生体膜などを分子レベルで模倣しようとするものである。X線構造解析によって生体触媒である酵素の反応部位の化学構造が明らかになったことで、有機化学の手法を用いて生体反応を分子論的に解明することが

可能になったことがその背景にある。更に、1980年代に盛んになった人工光合成の研究は色素増感太陽電池の基礎を明らかにし、人工筋肉を意識したゲルアクチュエーターの研究はソフトマテリアルの基礎になった。一方、分子生物学の大きな展開によって遺伝子を中心として生命現象を解明する研究が生物学の主流になっていくなかで、“分子系バイオミメティクス”の研究潮流は、超分子化学や分子組織科学へと体系化され、1980年代後半における分子エレクトロニクスの台頭と相俟って1990年代にはインテリジェント材料やスマート材料などを支える分子ナノテクノロジーへと展開する。

### 機械系バイオミメティクスの系譜

機械工学や流体力学の分野ではバイオメカニクスを基盤とするバイオミメティクス研究がある。昆虫の飛翔や魚の泳ぎ、蛇の蛇行、などを真似たロボットや、コウモリやイルカの反響定位に学んだソナーやレーダー、昆虫の感覚毛を模倣したセンサーなどが開発されている。米国防総省国防高等研究計画局 (DARPA) の Nano Air Vehicle プログラムで開発された AeroVironment 社のハチドリ型偵察用ロボットは、昨今ではマルチコプターの総称として使われているドローン (Drone) であり、Boston Dynamics 社は、BigDog という荷役用四足歩行ロボット、時速 25Km で自立走行できる WildCat などを開発している。同社では DARPA 支援の下、SandFlea (ハマトビムシ) という名のジャンプ・ロボット、SquishBot (Soft Quiet Shape-shifting robot) と呼ばれる柔軟で自在に変形するロボット、RiSE という、後述するヤモリテープを使った垂直歩行ロボットなどを開発している。群の中でぶつからない魚の行動パターンにヒントを得て集団走行する日産のロボットカー「エポロ (EPORO)」は、自動運転車開発の先駆けでもある。新幹線の形状がカワセミのくちばし形状を模倣することで空気抵抗を低減することや、パンタグラフにフクロウの風切羽の構造を適用することで防音効果が得られることも良く知られている。

### 材料系バイオミメティクスによるルネサンス

前世紀末からのナノテクノロジーの著しい発展に伴い、走査型電子顕微鏡が広く普及したことで分類学や形態学を専門とする生物学者によって、これまで未知であった生物表面の微細構造とその

優れた機能が明らかにされた。そして、ナノテクノロジーの進展は、材料科学と生物学との緊密な学際融合に基づいた新しい生物模倣の潮流を生み出すことになる。今世紀に入りヨーロッパを中心に、昆虫や植物の表面が持つナノからマイクロスケールにいたる階層的構造と、それらの構造が発現する特異な機能が明らかにされるとともに、それらの構造を模倣した新しい材料が開発された。表面の凸凹に基づく蓮の葉の撥水性 (Lotus Effect<sup>®</sup>) を模倣した自己洗浄材料、カタツムリの殻の濡れ性を模倣した自己洗浄住宅建材、蛾の複眼表面の周期的ニップル構造を模倣した無反射フィルム、ヤモリや昆虫の脚先の微細毛に働く van der Waals 力という微弱な力による吸着を模倣したヤモリテープと呼ばれる接着テープ、モルフォ蝶の翅の構造色による発色を模倣した繊維やフォトニクス材料、サメ肌の流体抵抗低減化を模倣した競泳用水着や航空機用塗装、など、“材料系バイオミメティクス”と称すべき新しい研究潮流の台頭である。

#### 生態系バイオミメティクスの新たなトレンド

最近、“biomimetic design”や“biomimetic architecture”というキーワードで画像検索をすると、規則的構造の無い飛行機や自動車のフレームワーク、幾何学構造を用いない建築、矩形ではない都市設計など、“材料系バイオミメティクス”に続く新たなトレンドが欧米においてスピード感を持って広がっていることに気付く。砂漠の蟻塚は喚気性能が高く塚内温度が適切に調節されていること (パッシブクーリング) に模倣したジンバブエの首都ハラレにある複合商業施設的设计、偕老同穴の骨格が有する応力分散性を真似たビルの構造設計などが、biomimetic architecture として有名である。さらには、住宅街全体の居住性、流通性などを生態系に学んだ都市設計も始まっている。ナイジェリアでは“biomimetic smart city”と評される環境都市設計構想もある。これらの動向は、“生態系バイオミメティクス”と称すべきトレンドとして捉えるべきであり、個々の生物の形態やそれに伴う機能のみならず、生態系システムや環境との相互作用までも視野に入れることで、生物模倣技術は持続可能性に向けた技術革新をもたらす総合的な工学体系となり得るのである。

そもそも、生物は個体として生存している訳ではなく、群れにおいては、個体と個体の相互作用があり、そして社会が生まれる。多様性と相互作用

用、非生物学的な自然現象との複雑な相互作用によって生態系システムが構築され、環境を成すことになる。前述したロボットカー EPORO や、ドイツの空気圧機器メーカー FESTO 社が開発した BionicANTS や eMotionButterflies 等は、群れのバイオミメティクスであり、輸送の効率化や渋滞の回避、事故低減による安心安全への寄与は大きい。

#### 第4次産業革命とバイオミメティクス

FESTO 社が、自律分散制御によって協働作業もできるアリ型ロボット BionicANTS や、ぶつかることなく群舞する蝶型ロボット eMotion Butterflies の動態展示を行ったのは、Industrie 4.0 一色であった 2015 年のハノーバー・メッセにおいてである。FESTO 社は、1990 年代からバイオニクスの研究開発に着手し、社内に Bionic Learning Network という産学官の異分野連携プロジェクトを立ち上げてバイオミメティクスによる技術革新を図ってきた。これまで FESTO 社がハノーバー・メッセで展示したバイオミメティック・ロボットの代表は、魚のヒレ (fin ray : 鰭条) の運動性にヒントを得た Fin Ray Effect<sup>®</sup> と呼ばれる柔軟構造を使ったグリップや、Fin Ray グリップを先端に装着した象の鼻を模したロボットアーム、2013 年にはルフトハンザ機内誌で “No large aircraft is yet able to fly like a dragonfly” として紹介されたトンボ型ドローンである四枚翅飛翔ロボット BionicOpter、2014 年には省エネ型ジャンピングロボット BionicKangaroo などを展示している。

ドイツの国家戦略である Industrie 4.0 は自律分散型の生産システムを目指しており、モノのインターネット (Internet of Things, IoT) と 3Dprinting、そして標準化が重要だと言われている。これまで FESTO 社が開発したロボットは、個々の生物の機能を模倣したものであった。BionicANTS や eMotionButterflies は、個体と個体の相互作用に着目したものであり、まさにバイオミメティクスの新しいトレンドでもある“生態系バイオミメティクス”が反映されている。そして、協働作業を行う自律分散制御型ロボットが IoT を意識していることは明らかである。このことは、FESTO 社が「Industrie 4.0 プラットフォーム」の主要メンバーであることから見て取れる。

## フランスの動向から読み取るべきこと

2016年7月1日～2日、パリの北約60kmに位置する古都サンリス市において、フランスで最初のバイオミメティクスに関する展示会“Biomim' expo 2016”が開催された。主催は、環境・エネルギー・海洋省とサンリス市、フランスにおけるバイオミメティクスの産学連携コンソーシアム CEEBIOS (Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis) である。

“Biomim' expo 2016”は、フランスにおける初めてのバイオミメティクスの展示講演会である。交通の便が良いとはいえない小都サンリスでの開催だったにもかかわらず、一般市民を含む1000人を超える参加者で会場は盛況であった。主催会場である CEEBIOS は、サンリス市がフランス陸軍第41通信連隊駐屯地の跡地を譲り受けて2012年に発足した組織で、建設業の Eiffage、ガス事業の Air Liquide、自動車の RENAULT、材料の Corning、コスメティクスの L'Oréal、インテリアの Interface、LVMH (モエ・ヘネシー・ルイ・ヴィトン)、建材の Saint-Gobain など、名だたる企業が参画している。“Biomim' expo 2016”で特徴的なのは、環境や海洋、エネルギーや持続可能性に関する視点からの講演が多かったことと、非幾何学的なフレーム構造の建築物や格子状道路網を使わない都市設計など最近注目されている“生態系バイオミメティクス”に関する展示が目をつけたことである。“生態系バイオミメティクス”は、システムの発想であり、IoT への寄与のみならず、物流や情報ネットワークの効率化やフェールセーフ、渋滞回避、自動運転など、安心安全社会への寄与も大きい。制約された環境の下で持続可能な“モノづくり”や“街づくり”の技術革新をもたらす切り札になる。

“Biomim' expo 2016”のプログラムを精査することで、ヨーロッパにおける“生態系バイオミメティクス”勃興の背景を深読みすることができた。プログラム冒頭のパネルセッションに登壇した北フランス地区商工会議所会頭のフィリップ・バズール (Philippe Vasseur) 氏は、Nord-Pas-de-Calais と呼ばれる北フランス行政区における“master plan Jeremy Rifkin de la troisième révolution industrielle” (ジェレミー・リフキン第3次産業革命マスタープラン) の共同創設者でもある。ジェレミー・リフキンは、「限界費用ゼロ社会」や「第三次産業革命」の著者であり、メルケル首相のブレインとして Industrie 4.0 にもコミットし

ていることが知られているが、その影響はフランスにも至っていたのである。

## バイオミメティクスの現代的意義

古くから知られていたバイオミメティクスの現代的な意義は、単に生物の構造や機能を模倣して新しい材料やシステムを開発することではなく、ヒト社会の技術体系の根本的な健全化を目指すものであり、生物学がその指導原理を示すべきものであるとの認識を異分野研究者が相互に持つに至ったことにある。生物の観察から導きだされた物理・化学の法則・原理をどのように組み合わせれば、持続可能性に資する技術革新がもたらされるのか、という工学系の課題に答えるためには、生物多様性の実現において、物理・化学の法則・原理がどのように使われているのかを明らかにすることが不可欠である。

ヒトは物理・化学の法則・原理に基づいて、“人間の技術体系”とも呼ぶべき科学技術体系を構築してきた。産業革命以来、“鉄、アルミ、シリコン、そして希少元素等”を用い、“化石資源や原子力をエネルギー源”とし、“高温・高圧プロセス”と“リソグラフィ”等の加工技術を駆使することで、モノを作り移動し情報や価値を生み出してきた。自然界に働きかけ利用して生き残る“術”を技術とするならば、“生物の技術体系”は、“炭素を中心とするユビキタス元素 (CHOPiNS, iは無機物を総称する inorganic の意味)”を用い、“太陽光エネルギーとそれを植物が化学変換した再生可能エネルギー”を使い、“常温常圧における自己組織化プロセスによって分子・原子を積み上げた階層性”を特徴とするモノづくりをしている。そして、“生物の技術体系”は、完全なる炭素循環型システムなのである。

蓮の葉の表面が水を弾く現象は、細胞よりも小さな“ナノ・マイクロスケールの凸凹構造が撥水性を高める”という表面張力の原理に基づくものであり、表面自由エネルギーが低いテフロン (環境には存在しない物質) によって得られる撥水性とは、機能発現のパラダイムが異なっている。骨やアワビの殻などの硬組織は、常温常圧での自己組織化プロセスであるバイオミネラリゼーションで作られた“軽くてしなやかで強靱なハイブリッド材料”であり、高温プロセスである焼結によって作製する焼き物では及びもつかない材料強度を示すものである。

“生物の技術体系”が、持続可能な“完全なる炭

素循環型社会”を可能としている背景には、“壮大なるコンビナトリアル・ケミストリー”とも称すべき進化適応のプロセスがある。生物多様性は、長い時間をかけた生物の進化適応の結果であり、環境を構成する生態系の根幹である。長い時間をかけ、多様な環境条件下において、“物理・化学の法則・原理の組み合わせ最適化”を行うことで、生産プロセスや機能発現のパラダイムが決定されたのである。つまり、自然界には何億年にも亘る試作と評価を終えた技術が、生物の生きる仕組みとして使われ続けているのである。生物多様性は生物の生き残り戦略の結果であり、思いのほかにレジリエントでロバストネスがあり持続可能そのものである。

ノーベル賞を受賞した フランソワ・ジャコブ (François Jacob) は、生物進化はブリコラージュ (bricolage) だと言っている。人類学者クロード・レヴィ＝ストロース (Claude Lévi-Strauss) はその著書『野生の思考』において、ブリコラージュとは“あり合わせの道具や材料で物を作ること”とし、野生 (未開、前近代化) のモノづくりをブリコラージュとし近代エンジニアリングとの対比をしている。ブリコラージュが優れていることは、蛾の複眼やセミの羽などの生物表面に見られるナノニップル構造が、反射防止・低摩擦・超撥水・防汚性など複数の優れた機能を有することからも明らかである。

バイオミメティクスの世界的な研究開発潮流の背景には、ナノテクノロジーの展開によって走査電子顕微鏡が広く普及することで、それまで研究の対象とされていなかった“生物表面に形成される数百ナノメータから数マイクロメータスケールの構造”とその機能が明らかにされたことがある。平成24年から28年に実施された文部科学省科学研究費新学術領域『生物規範工学』における重要な成果の一つに、蛾の複眼やセミの羽などの生物表面に見られるナノニップル構造が、反射防止・低摩擦・超撥水・防汚性など、複数の優れた機能を有することを明らかにしたことが挙げられる。数理科学的な解析の結果、ナノニップル構造の規則性が生物種によって大きく異なるにも拘らず、その機能性には大きな差がないことが明らかとなり、生物機能発現の根幹には“自己組織化構造が有する多機能性とロバストネス (しなやかな強靭さ)”があることを明らかにした。

つまり、自己組織化プロセスによって形成されたサブセラー・サイズ構造は、“厳密に作り込んだ構造ではないものの高度な多機能性”を有し

ており、これは、“良い加減さ”とも言うべき生物デザインのパラダイムなのである。つまり、厳密な作り込みをしなくても十分な機能発現があり、さらにはフェールセーフ機構をも有する“工学的ロバストネス”の設計指針を与えるものであり、持続可能性に資する材料やシステムの可能性を示すものである。“人間の技術体系”における物理・化学の法則・原理の組み合わせの見直しが不可欠であり、生物の生き残り戦略に学ぶ人類の叡智が求められる (図2)。

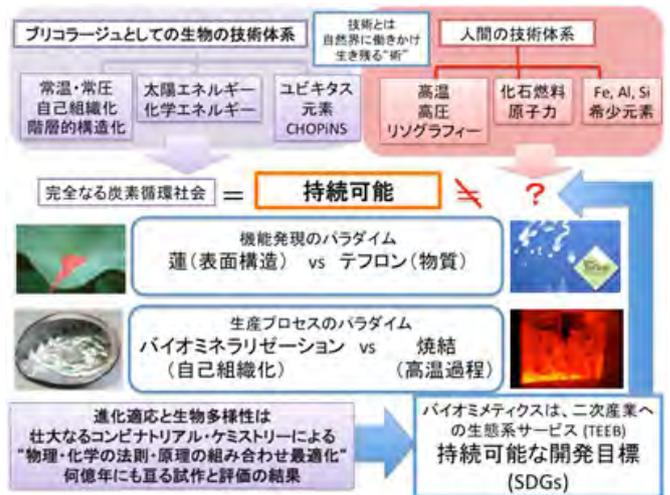


図2 バイオミメティクスがもたらすパラダイム変換

### 情報科学による生物から工学への技術移転

第四次産業革命においては、IoT や AI など情報科学的な分野 (サイバー空間) と 3D プリンティングに象徴されるモノ作り (フィジカル空間) の連携が重要であるとされている。バイオミメティクスにおいては、サイバー空間は二つのフィジカル空間を繋ぐ重要な役割を持つことになる。二つのフィジカル空間とは、生物と工学である。バイオミメティクスにおいては、生物から工学への“技術移転”をする必要がある。バイオミメティクスの宝庫である生物の多様性は、文字通り膨大な量である。

メガデータとも称すべき生物多様性から、持続可能な“人間の技術体系”への技術移転を行うためには、“バイオミメティクス・インフォマティクス”とも言うべきデータベースの整備とテキストや画像を対象とした多様な情報検索システムも求められる。膨大な量の生物多様性を記述し、更にはトランスサイエンスを担う社会装置でもある自然史博物館の役割は大きく、この分野における世界の博物館の動向を抑えておく必要があるだろう。ウィーン自然史博物館やミュンヘンのドイツ博

博物館ではバイオミメティクスの常設展示がされており、欧米においては、バイオミメティクスにとって博物館は“宝の山”であるという認識は高く、サンディエゴ動物園が経済レポートを出す背景でもある。生物多様性からの“温故知新”を行うためには、まず、博物館や大学などが所蔵するインベントリーをデータベース化する必要がある。次に、膨大な生物学データベースから物理・化学の法則・原理の組み合わせを明らかにし、工学的発想を導き出すのである。しかし、工学者にとって生物学データベースは“宝の山”ではあるものの、知識が少ない異分野のデータベースに闇雲に入ることはできない。バイオミメティクスの普及においては、生物学的情報と工学的情報を結びつける知識インフラの整備が不可欠である。バイオミメティクスの普及においては、生物学的情報と工学的情報を結びつける知識インフラの整備が不可欠である。

バイオミメティクスにおける生物学データベースの重要性は従前から指摘されており、米国ではNPO法人であるBiomimicry InstituteがAskNatureというサイトにBiomimicry Taxonomyというデータベースを開設して生物の多様性を様々な科学技術分野に応用するヒントをリストアップし、ウェブ上のデータベースであるEncyclopedia of Life (EOL)との連携を図りながら、オープンイノベーションのプラットフォーム作りを目指している。博物館等が収蔵する膨大なインベントリーをデータベースとして整理し公表することは、バイオミメティクスに限らず様々な分野において意義のあることであり、2001年に、“科学、社会及び持続可能な未来のために、世界の生物多様性情報を共有し、誰でも自由に利用できる仕組みを目指す“国際機関として、地球規模生物多様性情報機構 (Global Biodiversity Information Facility: GBIF) が発足している。しかし、その多くが分類学的なデータが主であり、電子顕微鏡レベルの解剖学的なデータについては、必ずしも充実しているとは言いがたかった。ロンドン自然史博物館では、博物館が所蔵する蝶鱗粉の電子顕微鏡写真を系統的にまとめたデータジャーナル的な論文を出し、構造色研究の基礎資料として一般に供している。

また、スミソニアン協会では、“NEXT ENGINEERING REVOLUTION IS HIDING IN MUSEUM COLLECTIONS”と題して、博物館が収蔵している生物標本をX線マイクロCTで観察し

た画像の三次元情報が、ドローンなどのロボティクス開発を始めとするバイオミメティクス研究において有効であることを示している。これは、博物館がオープンサイエンス、オープンイノベーションのプラットフォームとしての役割を担うべきであるとの認識に基づいている。2016年5月にはスミソニアン博物館において、NSF主催の“Workshop on Biological Collections as a Resource for Technical Innovation”が開催されており、バイオミメティクスにおける生物多様性の重要性などに関する議論が始まっている。

異分野連携のための基盤として知識インフラを整備するためには、異分野の知識を結びつけるための約束事を標準化する必要がある。具体的には、生物系と工学系の知識を結ぶ用語の定義、つまり“類語辞書” (シソーラス) 化であり、そのためには、バイオミメティクスに関わる生物学と工学の概念や言語の階層構造と相関性を定義し整理記述するためのオントロジーを決めなければならない。国際標準化において日本から提案したKnowledge infrastructure of biomimeticsは、北陸先端科学技術大学院大学の溝口理一郎教授らが開発したオントロジーの手法をシソーラスと組み合わせることによって、異分野が相互に使える辞書を構築するための手順を標準化しようとするものである。

また、画像情報は直截的にインスピレーションを誘発する情報である。とりわけサブセルラー・サイズの電子顕微鏡画像は、生物の構造と機能を解明する上で重要であり、さらには材料設計における多様な発想を支援する。北海道大学の長谷山美紀教授らが開発した類似画像検索システムは、“画像による画像の検索”によって、専門知識がなくても異分野のデータを見出すことを可能とした。これは、膨大な量の画像情報から、生物学者の“経験や勘に基づく知識で、言葉などで表現が難しいもの”である“暗黙知”を、工学的発想を誘発する“形式知”にする、即ち、“気付きの誘発と発想支援”をもたらす従来にないデータ検索システムである。この検索エンジンを実装することで、“思いつき”や“偶然の発見”に頼るのではなく、システムティックな発想誘起を可能とするのである。

そして、“生物学の知識を工学に技術移転する”具体的な問題解決策の一つにBio-TRIZがある。TRIZは、Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch の頭文字を取った発明的問題解決理論で、英語では Theory of solving inventive problems

または Theory of inventive problems solving と呼ばれる、ロシアの特許審査官が開発した経験則を体系化した弁証法的問題解決策である。英国バース大学の Julian Vincent 教授によってバイオミメティクスへ適用された Bio-TRIZ は、新潟大学の山内健教授と大阪大学の小林秀敏教授らによって展開され、持続可能な社会でのライフスタイルに適応した新たなテクノロジーの創出についても検討され始めたところである。

今後は、バイオミメティクス・インフォマティクスともいふべき総合的な技術移転体系が望まれる (図3)。

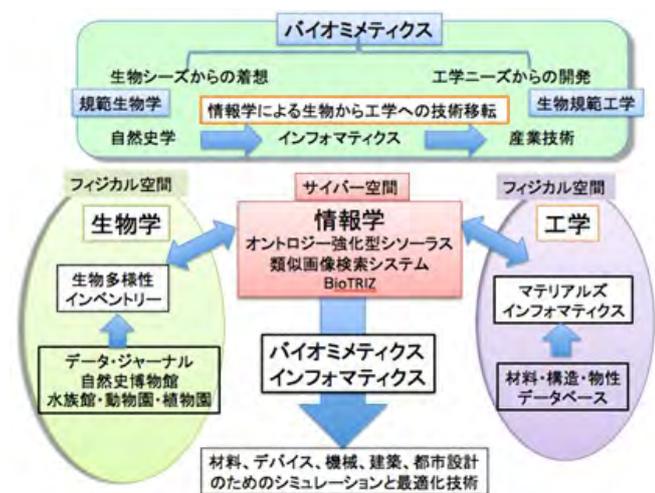


図3 バイオミメティクス・インフォマティクスによる生物から工学への技術移転

### 持続可能性とバイオミメティクス

模倣によって生物が進化することは、ミラーニューロンの発見でも明らかにされた。フランスの社会学者ガブリエル・タルド (Jean-Gabriel de Tarde) は『模倣の法則』において、人間の社会活動はすべからず模倣の産物であるとした。オデッド・シェンカー (Oded Shenkar) の『コピーキャット 模倣者こそがイノベーションを起こす』では、“模倣のプロセスは、体系的でありながら、さまざまな要素を融合させる創造的なものでなければならない”としている。バイオミメティクスの社会実装に求められる多様な要素の融合は、生物多様性と生態系サービスの価値を認識しその保全と持続可能な経済活動を目指す『生態系と生物多様性の経済学 (TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity)』に代表される、“自然の循環と経済社会システムの循環の調和”を求める社会系科学分野との文理融合である。バイオミメティクスを生態系サービスと捉えることによ

り、制約された環境の下で持続可能な“モノづくり”と“街づくり”の技術革新をもたらす切り札になり得るのである。

生物多様性は、長い時間をかけた生物の進化適応の結果であり、環境を構成する生態系の根幹である。「生態系と生物多様性の経済学」(TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity) においては、生物多様性がもたらす生態系サービスを「供給サービス」、「調整サービス」、「文化的サービス」、「生息・生育地サービス」の4つに分類している。産業構造の観点からすると、食料の供給は農林水産に関わる一次産業へのサービスであり、木材や遺伝子資源の供給は製紙、建築、エネルギーや創薬等に関わる生物資源を直接的原材料とする二次産業へのサービスであり、エコツーリズムなどの観光資源としての三次産業へのサービス、と捉えることができる。

TEEBは、国連が制定した「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」を実現するための「持続可能な開発目標 (SDGs :Sustainable Development Goals)」を達成するための重要な考え方でもあり、2008年5月にドイツ・ボンで開催された生物多様性条約第9回締約国会議 (CBD-COP9) において提唱されたものである。ちなみに、ドイツ政府はCOP9において、Biodiversity in Good Company (ビジネスと生物多様性イニシアティブ) を組織しており、設立の趣旨説明においてバイオミメティクスにも言及している。

TEEBが成立する背景には、“再生可能資源”としての生態系サービスが不可欠あり、その保全が持続可能性を維持することになる。一方で、産業革命以降の技術体系は、“枯渇性資源”を前提として展開しており、主要な二次産業を支えてはいるものの、持続可能性においては重大な課題を抱えている。バイオミメティクスがバイオテクノロジーと本質的に異なることは、生物資源を直接的に原材料として使用しないことである。バイオテクノロジーにおいては、“再生可能資源”に利用が大前提となる。バイオミメティクスを二次産業の技術革新をもたらす新たな生態系サービスと捉えること、つまり、生物多様性の背景にある“生物の技術体系”が持つパラダイムを工学に技術移転することで、産業革命以降“枯渇性資源”系に基づいて展開してきた“人間の技術体系”を“再生可能資源”系に基づく「持続可能な高炭素世界の完全リサイクル型技術」に変換することが期待されるのである。

さらに、SDGsにおいては、“持続可能な都市”と“持続可能な消費と生産”が課題化されており、その具体策としては、欧州連合が提唱した“再生可能資源”系に依拠する経済と“枯渇性資源”系に基づく経済が調和する循環経済や、環境省による「農山漁村と都市の環境・経済・社会の統合的向上を目指す地域循環共生圏」の提言がある。分子系から生態系にいたるBiomimeticsを総合的な科学技術体系として確立することで、EconomicsとEcologyとが整合する、つまり、“自然の循環と経済社会システムの循環の調和”に寄与できるEngineeringが構築され、制約された環境の下で持続可能な“モノづくり”や“街づくり”への技術革新の切り札が人類にもたらされることになる。さらには、「森・里・川・海が繋がった循環共生系」としての農山漁村と地方都市を繋ぐことは、人口減・少子高齢化が問題となっている我が国の地域創生に寄与するところは大きい。

環境省は第四次環境基本計画に基づき、平成25～26年度に「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進」に関する検討を行った。さらに、第五次環境基本計画（平成30年度）においては、“持続可能性を支える技術の開発・普及”の具体策において、“生物・自然の摂理を応用する技術の開発”（自然の摂理により近い技術の活用）として以下のようにバイオミメティクスに言及している。

「バイオミメティクスや共生関係についての研究をベースにした技術は、自然（生態系）のメカニズムに倣い、生態系への負荷を最大限軽減する技術として人間の技術体系にパラダイムシフトをもたらし、持続可能性に資する技術革新をもたらすと期待されている。これらの技術の開発や実用化に資するため、研究開発や産業応用の実態調査・課題把握のための調査研究を行う。」

### アントロポセン(人新世)を生き残るパラダイム

今、世界中でプラスチック製ストローが廃止されようとしている。大手コーヒーチェーンを皮切りに大型娯楽施設、そして国際オリンピック委員会が、使い捨てプラスチックストローの使用をやめる。その背景には、ウミガメの鼻孔に詰まったプラスチック製ストローを抜き出すショッキングな動画が象徴するプラスチックによる深刻な海洋汚染、とりわけマイクロプラスチックと呼ばれる微小な粒子状プラスチックが及ぼすであろう生態系、環境への影響がある。世界のプラスチック生産量は、1950年の200万トンから2015年に

は3億8000万トンへと、指数関数的に増大している。このような指数関数的な増大は、グレート・アクセラレーション（Great Acceleration）と呼ばれる現象で、人口、エネルギー消費量、二酸化炭素濃度、地表温度、海洋酸性化、などに見られる。ムーアの法則で知られる半導体の集積度増大も、グレート・アクセラレーションである。

地下資源に依存する枯渇資源系経済がもたらしたプラスチック生産のグレート・アクセラレーションが地質学的な変化をもたらす、という議論がある。人類の進化に伴う営為が地球環境を左右する新たな地質時代に居るという考えである。オゾンホールの研究でノーベル化学賞を受賞したマインツ大学のパウル・クルッツェン（Paul J. Crutzen）は、新生代第四紀の「完新世」はすでに終了し、コンクリートやプラスチック、核実験による放射性降下物などの進化した人類（＝近代）の痕跡が地層に残るAnthropocene（人新世）が始まっていることを提唱した。ちなみに、グレート・アクセラレーションを「指数関数的な成長」として楽観的に捉えれば、人間の脳のエミュレーションを可能とするイノベーションが加速され、更に進化した人類（ポストヒューマン）が誕生するであろう技術的特異点（シンギュラリティ）が到来するようだ。

2018年1月、欧州連合（EU）は循環型経済への移行の取り組みの一環として「プラスチック戦略」を宣言した。EU市場に流通する全てのプラスチック製の容器包装材を2030年までに再生利用可能なものにし、使い捨てのプラスチック類は削減、マイクロプラスチックの故意的使用を制限する。この背景には、2017年12月に中国が廃プラスチックなどの再生資源の輸入を禁止したこともある。循環型経済を目指した廃棄プラスチックの再利用には、プラスチック原料としてのマテリアルリサイクル、化学原料化するケミカルリサイクル、エネルギー源として用いるサーマルリサイクルがあるものの、更にもう一步踏み込んだ“脱プラスチック（脱地下資源）”という考え方は持続可能な社会に向けたパラダイム変換をもたらすものである。地下資源型テクノロジーとの決別が求められている。

アントロポセンにおいて、人類が生物から学ばねばならないものは何なのか？

## バイオミメティクスによる持続可能なパッケージング

食品包装材料の歴史は、天然物から合成化学への移行そのものであった。60年代高度成長経済期の”セロハン衰退産業論”予言が当たり、耐水性やガスバリア性などセルロース系素材では対応できない機能に応えるためにプラスチック素材の需要が増え、容器包装リサイクル法の施行によるリデュース、リユース、リサイクルが定着したこともあり、食品用途を始めとした各種容器・包装資材の市場は4.5兆円規模に成長した。包装資材の構成比は、紙・板紙が40%、プラスチックは30%であるものの、環境意識の高まりを受けてバイオプラスチックへの注目度が高くなる時流において、セルロース系包装材においても技術革新が求められている。例えば、日本製紙パピリア（株）が開発した「フィルムやフッ素樹脂を使わない環境にやさしい耐油紙」のキャッチコピーは、“紙だけではむずかしいことを紙だけで実現すること”であり、また、製紙業界がセルロースナノファイバーに注目していることに、セルロース回帰に向けた技術革新のトレンドを見てとることができる。

そもそも紙の原料であるセルロースは、再生可能資源である植物が産生するものであり、さらには、植物の葉は食品包装材料の原型でもある。笹や朴葉、竹などの植物の葉には多様な抗菌物質が含まれ、防腐作用があるとして古代より食品の包装に用いられている。植物の葉は、固形物、流動物、粉状、液体等、多様な食品に適用され、強度や加工性もあり、生分解性に優れた包装材料である。しかし、資源減少により確保が困難になりつつあり、また、食品衛生法上では適用できる食材は限られている。

近年、バイオミメティクスの展開により、植物の葉の表面にはナノ・マイクロスケールの微細構造が形成されており、撥水性や自己洗浄作用をもたらすことが見出された。さらに最近では、抗菌作用や防汚効果に関する研究も盛んになされている。葉の表面に形成されるナノ・マイクロ構造は、昆虫や節足動物の表面にも形成されており、濡れ性や撥水性、無反射性などの光学特性、低摩擦性、耐熱性など多様な機能を有することが明らかになった。さらに、植物や昆虫、節足動物の体表面はクチクラによって形成されており、その主成分はセルロースやキチン、キトサンなどの高分子多糖と脂質やワックスなどの微量の分泌物である。生物表面が有する多様な機能は、クチクラ表面の微

細構造と分泌物による相乗的な効果によって発現されることが明らかにされつつある。

ここでは、公益財団法人北海道科学技術総合振興センター（ノーステック財団）による平成29年度イノベーション創出研究支援事業の支援を受けた「自己組織化プロセスによる生物模倣機能性食品包装材料の開発」の成果について紹介する。研究目的は、すでに筆者らが開発した自己組織化ハニカムフィルムを母体として鋳型、金型を作製し、セルロースやキチン、キトサンフィルムの表面にナノ・マイクロ構造を付与し、耐水性や耐油性、バリア性、透明性、など包装材に要求される機能を達成することにある。ハニカムフィルムを鋳型として作製したマイクロレンズアレイを鋳型としてキチン溶液やセルロースナノウィスカー分散液、セルロースナノファイバー懸濁液を塗布、乾燥し、鋳型を剥離すると、全てのフィルム表面において、ハニカム様マイクロディンプル構造が形成された。さらにその表面を拡大して観察すると、セルロースナノウィスカーやセルロースナノファイバーが密にパッキングしている様子も確認できた。図4にセルロースナノウィスカーからなるフィルムの表面構造ならびに濡れ性の評価結果を示す。親水表面を有するフィルムの濡れ性は、マイクロディンプル構造を付与することで超親水性に変化した、一方、ドデシルイソシアネート、トリエトキシ-n-オクチルシラン、FAS17（FAS17はフッ素系材料であり、本研究の目的にはそぐわないものの、原理確認用として利用した）でフィルム表面を化学修飾すると、フィルム表面は撥水性に転じ、マイクロディンプル構造を付与すると接触角はさらに大きくなることがわかった。

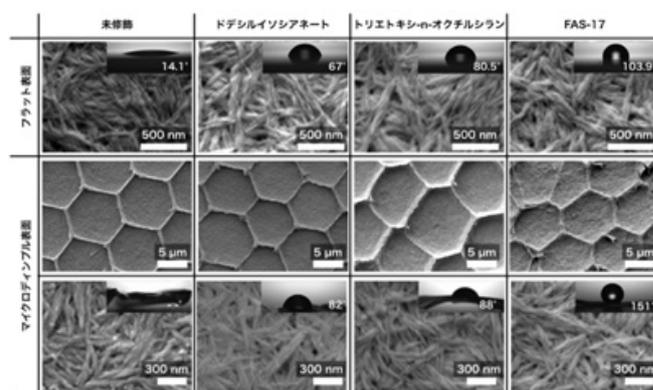


図4 表面修飾前後のセルロースナノウィスカーフィルムのFE-SEM像と水滴接触角測定

## おわりに

リバースエンジニアリングという言葉がある。逆行工学とか分解工学と訳される模倣の手法である。辺境の孤島である“この国のかたち”は、リバースエンジニアリングによって造られたと言っても過言ではない。司馬遼太郎風に言えば、明治維新における急速な近代化、奇跡とも言える戦後復興は、リバースエンジニアリングによって多様な価値観を柔軟かつ寛容に受け入れた日本人の“無思想の思想”によるのである。一方、レヴィ＝ストロースは、『月の裏側 日本文化への視角』のなかで、日本古来の技術について、

“それは西洋式の生命のない物質への人間のはたらきかけではなく、人間と自然のあいだにある親密な関係の具体化だということです。”

とし、

“日本の人々が過去の伝統と現在の革新の間の得がたい均衡をいつまでも保ち続けられるよう願わずにはいられません。それは日本人自身のためだけにではありません。人類のすべてが学ぶにたいする一例をそこに見出すからです。”

と高く評価している。寺田寅彦の慧眼をすれば、“環海の島嶼に特有の天然の無常さ”によって醸された『日本人の自然観』が背景にある。

“自然の神秘とその威力を知ることが深ければ深いほど人間は自然に対して従順になり、自然に逆らう代わりに自然を師として学び、自然自身の太古以来の経験をわが物として自然の環境に適応するように務めるであろう。私は、日本のあらゆる特異性を認識してそれを生かしつつ周囲の環境に適応させることが日本人の使命であり存在理由でありまた世界人類の健全な進歩への寄与であろうと思うものである。世界から桜の花が消えてしまえば世界はやはりそれだけさびしくなるのである。”（『日本人の自然観』より）

急速な近代化によるグレート・アクセラレーションによって地球の環境収容力を超えた人間活動は、SDGsを掲げざるを得ない状況をもたらした。さらに、シンギュラリティは、人間の存在意義そのものを問うている。“歴史は繰り返す。一度目は悲劇として、二度目は喜劇として”（カール・マルクス）の轍を踏まないためにも、“人間”（近代化）を模倣するのは止めて、いっそのこと、“生物”や“自然”を真似てみてはどうだろう。“独創力とは思慮深い模倣以外の何ものでもない”（ヴォルテール）のである。バイオミメティクスは、アントロポセンで生き残るための究極のリバースエンジニアリングなのだ。

（本稿は、2019年1月19日に開催された知的財産マネジメント研究会における講演資料を基に作成したものである。）

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会は、持続可能な開発目標を支援しています。

## Society 5.0 とバイオミメティクス国際標準化の役割

阿多 誠文（日本ゼオン株式会社）

産業化の機運の高まりを受けて、2012年に国際標準化機構におけるバイオミメティクスの国際標準化（ISO/TC266 Biomimetics）が始まった。筆者は以降、生物模倣による工業製品の構造最適化アルゴリズムの標準化のための第3作業委員会（WG3）の活動に参加してきた。WG3は2015年にドイツが提案した原案を国際標準ISO 18459；Biomimetic Structural Optimizationとして発行し、現在は活動を休止している。そもそも論になるが、工業標準化は産業界のニーズに基づくボランティア活動が基本である。また、WG3の標準化は産業に密接にかかわる課題でもあったことから、民間企業の皆様にも積極的に参加していただけるよう、機会あるごとにISO/TC266における標準化と産業とのかかわりを丹念に報告してきた[1]。ただ、そのような思いはなかなか伝わらないことも実感している。今回ISO/TC266に関する寄稿の依頼を受けて何をどう書いたものか考えあぐねたが、どのような産業領域であれ、バイオミメティクスがこれからの企業経営に重要な役割を果たしていくことを疑う余地はない。そこで今回はこれまでのような報告ではなく、より本質的なバイオミメティクスの国際標準化の意味合いに焦点を移して理解を深めることを試みる。具体的にはバイオミメティクスの国際標準化が第5期科学技術基本計画に示されたSociety5.0やその先の持続可能な未来社会の実現に重要な役割を果たすこと、そのような社会の実現には我々自身の進化の軌道修正も必要であること等を俯瞰的に整理しようと思う。過去の事実に基づく話ではないので、多少論理展開が発散気味になることを予めご了承ください。

我々人類はヒト族の唯一の種であり、その学名ホモ・サピエンスは「賢い人間」を意味する。共通の祖先から分化したヒト族亜種のネアンデルタール人など幾多の旧人類が絶滅するなかで唯一生き残り、今日地球上で最も繁栄した生物種となった。我々の先祖がアフリカ東部で発生して以降200万年におよぶ歴史を1日24時間と仮定すると、今からわずか12秒ほど前にホモ・サピエンスの

進化は劇的な方向転換を遂げている。契機は18世紀半ばから19世紀にかけて起こった産業革命である。資源とエネルギー集約型の産業構造・生産システムが生まれ、化学肥料や農薬を投入し機械化された効率的で大規模な農業が行われるようになっていく。ホモ・サピエンスは自然から学んだ「智慧」を糧に進化してきた長い歴史を、自然を克服し略奪するための科学や技術の「知識」の偏重に大きく方向転換したのである。このような生き方を始めた産業革命以降の人類を、ジャン・ベニユスはホモ・インダストリアスと称した[2]。

そのホモ・インダストリアスが、急速な科学技術や社会経済の発展を達成した今、顕在化してきた様々な問題と直面している。新しい科学技術の開発を経済成長の源泉として進める一方で、持続可能な開発のためには経済的側面と不可分であるはずの環境側面と社会的側面への対応を疎かにしてきたことの弊害である。1972年の「国際連合人間環境会議」、1992年の「環境と開発に関する国際連合会議」、2015年の「国際連合持続可能な開発サミット」などの国際的な枠組みで議論が重ねられてきたとおり、持続可能な開発は地球上のすべての人にとって共通の期待であり目標である。ところが今日「自国第一主義」がまかり通り、自国経済優先の政策は環境問題や社会問題への国際的な協働を後退させはじめている。今日のそのような社会が、モノや経済だけでなく科学技術までも独占的排他的に所有することで発展してきた市場原理が辿り着いた究極の姿だとしたら、持続可能性に背を向け始めたホモ・インダストリアスはお世辞にも「賢い人間」とは言えない。

このままでは持続可能で豊かな未来社会は実現できないのだが、ホモ・インダストリアス自身はその危機に気付いていることは一縷の希望である。真に持続可能な社会を創出し「賢い人間」に戻っていくために、ではどうしたらいいのだろうか。安直には自然回帰という選択肢がある。ただ、100年近くも前にバートランド・ラッセルが指摘した

ように、その当時からすでに科学技術は民主主義と不可分である。日本の自然が決して優しいだけではないことを、寺田寅彦は「大自然は慈母であると同時に厳父である」と表現した。我々の社会がこれまで築き上げた科学技術を放棄して自然回帰することはあり得ない。現実的な方法は、現在到達している科学や技術をより良いものへと発展させるなかで、環境問題や社会問題を解決していくことである。むしろ我々はそれが決して容易ではないことも承知している。それでもなお、なかなかうまく進まない環境問題や社会問題に対して、環境・社会・ガバナンス（ESG）の取り組みや持続可能な開発目標（SDGs）といった理念の共有が図られ、コレクティブ・インパクト等の問題解決のアプローチが提言されている[3]。

賢く生きることを諦めてしまったわけではない。どのような理念やアプローチであれ、我々ホモ・インダストリアスは自らが創る未来社会のなかで環境や社会問題を解決していかなければならないのだ。では、我々がこれから迎えるAIとIoTの社会の先の未来は、どのような社会なのだろうか。いくつかビジョンは存在する。その一つが日本の第5期科学技術基本計画に示されているSociety5.0である。知識や情報をサイバー空間で「共有」することにより、新たな価値を創出し様々な社会問題を克服するという。そのビジョンを現実のものにしていくためには、そこに至るまで保持していくべき理念と実現のシナリオが大事である。これまでの考え方では立ち行かない。我々ホモ・インダストリアスが真のホモ・サピエンスとなるためには、産業革命以降200年以上にわたって続けてきた進化のプロセスを、もう一度軌道修正していかなければならない。

その軌道修正は、これからは個人で「所有」することより社会で「共有」することが重要になることを受け入れる意識の変革から始める必要がある。市場原理に基づいてこのまま自然の破壊と略奪を続ければ、市場経済の持続性さえも損なわれることは自明である。そのような事態を避けるために、高度な科学技術を基盤とする社会的資本を共有し、持続可能な社会を実現していかなければならない。宇沢弘文やジェレミー・リフキンの言うコモンズという概念である[4]。実例を挙げるならソーシャルメディアの発展に伴って急速に展開してきたシェアリング・エコノミーなど、その

トレンドはすでに大きく動き始めている。いうまでもなく社会資本の共有のためには、共有するためのルール、共通基盤づくりが必要であり、これは技術の標準化に他ならない。日本の提案でシェアリング・エコノミーの国際標準化が動き出している[5]。AIとIoTのためのオープンプラットフォームの議論など、すでにSociety5.0に向けた共通基盤の標準化の動も始まっている[6]。

オープンプラットフォームの議論でも指摘されているように、高度な科学技術を基盤とする社会資本の共有を進めるに際して対応を図らなければならないのが倫理課題である[5]。個人情報やプライバシーに限らず、ジェンダー、経済格差、科学技術へのアクセス、科学や技術の安全性や管理策、技術や製品の説明データの信頼性、廃棄やリサイクル等々、我々はこれから複雑で多様な倫理課題を抱えることになる。すでにナノテクノロジーで経験したように、安全性に係る倫理課題は環境規制や法的課題といった社会基盤の策定に影響を及ぼす点で、その管理策の標準化は技術開発や国際取引の戦略課題でもある。さらに、昨今相次いでいる企業のデータねつ造や改ざんは、個々の企業の社会的信頼の失墜といった情緒的問題にとどまらず、日本のモノづくりの信頼にかかわる深刻な問題であることも忘れてはならない。社会資本の共有が進むこれからの社会では、科学技術の利用に関する徹底した透明性と説明責任が求められる。そもそも技術に係わる倫理は公衆の安全と幸せのための行動規範であり、社会からの負託に対して一科学者・一技術者として良識に従い正しい行いをすることに尽きる。決して難しいことではない[7]。「賢い人間」になるためにはまず「良い人間」でなければならない。

我々が真に「賢い人間」になっていくための様々な意識の改革は、我々の進化の最も重要な転換であった産業革命に匹敵する第二の大きな方向転換となるだろう。その一大転換の方向は産業革命が目指した方向とは逆であるが、決して歴史を巻き戻すことではないこともすでに述べたとおりである。資源やエネルギー集約型のモノづくりから、活用されていないインプットや周りにある資源を組み合わせる無駄のないミニマルなモノづくりに戻すために、我々は現在の到達点をベースとしてもう一度35億年におよぶ進化の歴史が厳選した生物の智慧に学ぶことを始めなければならない。生物の智慧を解析し理解し我々の技術として一般

化するリバースエンジニアリングがバイオミメティクスの本質だとしたら、バイオミメティクスを我々の持続可能な未来社会を創出するエンジニアリングの基盤技術と位置付けることが大きな意義を持つことは、だれの目にも明らかであろう。

そのような位置づけをしっかりと行うために大事なことは、そもそもバイオミメティクスとは何かといったことから始め、リバースエンジニアリング、メタファー、オートノマスシステムやマネジメント、ブリコラージュなモノづくり[8]等の言葉はどのように定義されるべきなのか、スパイダーシルクのバイオミメティクスの側面は何か、どのようなトポロジー最適化アルゴリズムがバイオミメティクスなのか等々丹念な議論を継続的に積み重ね、わかりやすくドキュメント化し共有する努力である。ナノテクノロジーやバイオミメティクスなどエマージングな科学技術領域であまりに性急な国際標準(IS)の発行を行うと、国際取引における技術的な障害やイノベーションの阻害要因にもなりかねない。一定の合意や共通認識ができた時点でISOの技術仕様書(TS)や技術報告書(TR)として発行し、2~3年かけて市場適合性を検証し推敲を重ねて改定していくといった柔軟な運用が求められる。

時間をかけて合意形成のための議論を重ねるそのような国際標準化活動は、昨今ISO事務局が求める「迅速な国際標準発行」の方針とは相容れないところがある。AI + IoTの流れのなかでアメリカ電気電子学会(IEEE)のような標準作成機関の既存技術の着実な標準化が重要になってきたのも事実で、ISOの方針は理解できないこともない。それでもなお、エマージングな科学技術領域の事前標準策定の場としてのISOの存在意義は大きい。とすると、ISOの場で意味のある国際標準化の活動ができるかどうかは、参画している国や研究者・技術者がどのような標準化活動を進めたいと思っているのか、そのモチベーションに大きく依ることになる。そのような視点から2012年以降のISO/TC266 Biomimeticsを振り返ると、一言で言うなら問題の多い活動であった[1]。問題が多かった故に今後の課題も多い。具体的には、ドイツから提案されすでに発行された3つのISが真にバイオミメティクスの研究開発に資するのかどうか、市場適合性があるのかどうか、持続可能な社会の実現に有用なのかどうかといったアセスメ

ントを重ね、修正や改定あるいは取り消しなどの作業をすすめていく必要があるように思う。

そのようなバイオミメティクス国際標準化の活動のなかで、日本は標準作成過程のプロセスの透明性の担保や包括的な標準化といった原理原則を訴え続けてきた。意味のある良い標準を作成したいとの思いからである。日本提案のWG4の情報知識基盤標準化の活動は、3つのTR作成の活動として現在もなお粘り強く進められている。このような活動は今後のバイオミメティクスの研究開発にとって有用な資産となるだろう。いまやとISO/TC266 Biomimeticsは、日本が主導して真にバイオミメティクスの研究開発に資する国際標準化活動となったといえる。ただ少し気がかりなことは民間企業の参加がないことである。経営のガバナンスにバイオミメティクスのコンセプトを取り入れた企業は、将来必ず持続的な発展を成し遂げていく。今後はぜひ民間企業とアカデミアの協働で、時宜に応じた丹念なバイオミメティクス国際標準化を続けていっていただければと思う。

バイオミメティクスはずいぶん前からある一学問分野と理解されがちだが、真に持続可能な我々の未来社会を実現する基盤技術であり指導原理でもある。ウォーレス・カロザスのナイロン6,6の発明は、DuPontという会社にとどまらず日本を含めた世界の繊維産業構造を変え、我々の生活までも一変させた。この事例が示すように、産業としてのバイオミメティクスは決してニッチではない。鎬を削る技術開発が進められている自動運転や、今日のネットワーク社会を支える自律分散ネットワーク技術なども、そもそもは生物の行動や情報伝達の模倣に基づく技術である。バイオミメティクスはかならずSociety5.0の実現に貢献し、さらにその先の真に豊かで持続可能な我々の未来社会の創成に役立つ。その実現をより確実なものにしていくのがバイオミメティクスの国際標準化の役割である。

Society5.0を提言した内閣府の総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)には、是非そのことをご理解いただきたい。ナノテクノロジーでそうだったように、今回のバイオミメティクスでも研究者自らが「日本は諸外国に大きく後れをとっている」との危機感を発信しながら研究開発の支援を訴えた。エマージング領域における日本的な科

学技術ガバナンスの一端をみる思いだが、今日の科学技術の現状を俯瞰するとそのようなことを繰り返している場合ではないような気がする。研究者の振るペンライトには限界がある。CSTI は我が国の科学技術政策の司令塔としての矜持をもって、Society5.0 や持続可能な社会への道程を、その実現のための各省庁の役割を力強く指し示す灯台であってほしい。

#### 参考文献

- [1] 生物の順応的成長に学ぶ工業製品のデザイン手法が国際標準へ ～ISO/TC266 WG3 の発足から京都会議まで～、関谷瑞木、阿多誠文  
インスツルメンテーションの視点からみたバイオミメティクス シーエムシー・リサーチ 2016 年
- [2] 自然と生体に学ぶバイオミクラー、ジャン・ベニユス著、山本良一、吉野美耶子訳  
オーム社 2006 年
- [3] Collective Impact, John Kania & Mark Kramer,  
Stanford Social Innovation Review 2011

- [4] コモンズとしての社会的共通資本とそのマネジメント 間宮陽介 水資源・環境研究 Vol. 29, No. 2, 20(2016)
- [5] <http://www.meti.go.jp/press/2018/01/20190107001/20190107001.html>
- [6] IoT における国際標準の重要性、坂村健、標準化と品質管理 2019 年 1 月号
- [7] 技術開発におけるリスク管理、一般財団法人公正研究推進協会 (APRIN)、2018 年 12 月
- [8] Resource Construction through Entrepreneurial Bricolage, T. Baker and E. R. Nelson, Science Quality, Vol. 5, 329(2005)

## 知足

漱石の小説のタイトルにもなった「野分」は晩秋の強い台風のことである。寺田寅彦は日本の特異な気象現象を表す「野分」や「二百十日」といった言葉は、それを知らない外国人には空虚なただの言葉としか響かないと指摘する。日本の風土のなかで培われた感性が伴わなければ、その意味するところを理解しにくい言葉は少なくない。たとえば「知足」もその一つである。もともとは禅の教えである知足は、森鷗外の小説高瀬舟の主題でもある。昨今の「断捨離」など見ていると、この言葉は今でも日本人の感性に深く染み込んでいるような気がする。

石庭で有名な竜安寺の茶室蔵六庵の入り口に、手水鉢が置いてある。石の円柱の上面は、真ん中の口の字を五・隹・疋・矢が囲む。それぞれに口を含めると「吾唯足知」となり、「知足の蹲踞（つくばい）」と呼ばれる。雑誌「研究開発リーダー」2015 年 1 月号に掲載された浜松ホトニクススの原勉氏の寄稿“Sustainability ～10 年先を見据えた研究開発～”は、竜安寺の知足の蹲踞の話からはじまる。続けて、Sustainable=知足であり、これからの研究開発には持続可能性の価値観が必要であると展開する。的を射た論理展開が快い。Sustainable を直訳した持続可能性に対して、「知足」は日本人の感性に響く深遠な意味合いさえ感じる。クロード・レヴィ＝ストロースの訳本「野生の思考」では「ブリコラージュ」が「器用仕事」と表現されている。たとえば「ブリコラージュなモノづくり」も「足るを知るモノづくり」とすれば、日本人には「あるもので済ませるモノづくり」と理解でき、本来の意味をほぼ包含するように思う。日本語は懐が深い。

阿多誠文

# ISO/TC266 Biomimetics WG4 報告

## 三つの技術報告書の発刊へ

香坂 玲、内山 愉太（東北大学大学院 環境科学研究科）  
藤平 祥孝（室蘭工業大学 大学院工学研究科）

### 1. 背景

ISO/TC266 バイオミメティクス WG4 のコンベイナー（座長）として9月27日（木）ISO/TC266 WG4 会議並びに、9月28日（金）ISO/TC266 総会に出席し、三つの技術報告書（Technical Report）の発刊の承認を得た。WG4 は日本から提案した WG であり、前回の会議で3つの TR の発行を目指すことが承認されている；

前回の会議で、以下の3つのテーマの TR を発行することが承認されている。

- TR 1: OET for biomimetics
- TR 2: Image search engine
- TR 3: BIO TRIZ

TR1 については、すでにカナダと議論を進めていたオントロジー強化型センサーの TR のドラフトについて審議した。また、その他2つの TR についても審議を行い、いずれも新しい作業項目として総会に諮ることが決議された。さらに、プロジェクトリーダー候補者を決定し、これについても総会に諮ることが決議された。

TC266 の総会では WG4 の会議で決議された TR に関する内容を報告し、審議したところ、3つの TR が新規作業項目として承認され、TR の発行を目指して、今後ドラフトの完成、回覧、投票の手続きを経ることとなった。

会議では香坂が司会を行い、溝口理一郎氏から TR1 のドラフトの3つの主な修正点について説明を行った。審議の結果、TR の発行をめざす新規作業項目として TC266 総会に諮ることが承認された。また、TR1 のプロジェクトリーダーとして引き続き、溝口氏が再任されて就任することが決議された。続いて、香坂より、TR2 のプロジェクトリーダーとして小林透氏の紹介があり、小林氏を TR2 のプロジェクトリーダーとして TC266 総会に諮ることが承認された。TR3 については、山内健氏がドラフトの概要について説明を行った。審議の結果、TR3 の名称を商標登録との関係で、Biomimetics - Integrating problem- and function-oriented approaches applying TRIZ と変更すること、

また、プロジェクトリーダーとして山内氏を選出することが決議され、TC266 総会に諮ることとし、無事に採択された。TR の発行を目的として、3つの作業項目が承認され、いずれの作業項目も日本からプロジェクトリーダーが就任することが同意された。今後、日本とカナダが中心となりまとめた TR1 のドラフトを、他国のエキスパートに回覧し、24ヶ月以内に TR の発行を目指す。また、TR2 と TR3 については、日本提案のドラフトを作成し、他国との審議のうえ、36ヶ月以内に TR の発行を目指す。

### 2. 調査結果：ユーザーである企業との接点

TR の発刊の必要性や特徴の議論のなかで繰り返し議論となっているのが、最終的なユーザーである企業の受容と技術報告書の利用の潜在性である。

そこで、日本における企業の動向を紹介する。筆者らは、比較的規模の大きい企業を中心に、異なる業種を対象として2016年度に計39社の調査を行った。具体的には8割以上の対象企業が100億円以上の資本金を有している。質問票を用いて行った本調査では、バイオミメティクスの応用技術、応用産業として期待される分野、CSRの観点からのバイオミメティクスへの期待度等について調査を行った。調査の結果、日本全体のバイオミメティクスに関する特許数の比較的多い家電、光学部品（諸費財）分野よりも、環境エネルギー分野での関心度が高いことが把握された（図1）。主に技術のエンドユーザー（一般市民）を対象とした調査では、医療分野の産業への関心度が高い傾向にあるが、大企業は、より空間スケールの大きい分野での応用にも期待している可能性がある。

CSRの観点からのバイオミメティクスへの期待度については、期待度について5段階で回答する形式で調査を行った結果、約半数の企業が「期待する」または「強く期待する」と回答しており、同様に約半数が「どちらともいえない」と回答した。この結果から、対象とした大企業は、バイオ

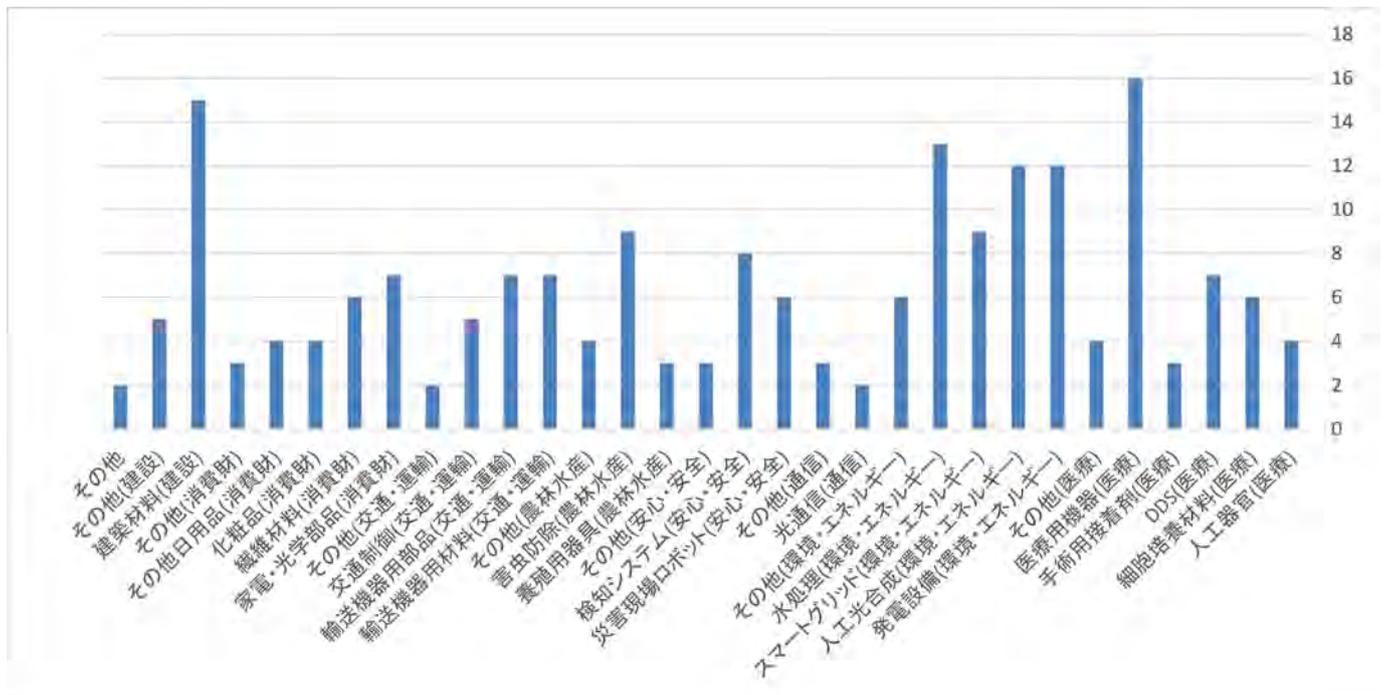


図1 関心のある応用産業(各産業への企業の選択数)

ミメティクスを応用していること自体が対外的にポジティブな印象を与え得ると考えており、バイオミメティクスの機能的な面のみならず技術イメージに対しても積極的に期待している可能性が示唆された。技術受容の考察におけるこのような観点を考慮することは今後の社会実装の深化に向けて必要であり、さらなる包括的な調査を行うことが今後の課題である。

#### 参考文献

- ・香坂玲, 藤平祥孝, 古川柳蔵, 山内健, 小林秀敏, 石井大佑, & 内山愉太. (2016). 生物模倣技術の最新動向と関連特許・イノベーションの分析: サステナビリティのための生物規範工学の構築と環境経営学との対話に向けて. サステイナブルマネジメント=Sustainable management, 15, 98-112.

- ・香坂玲, 藤平祥孝, & 内山愉太. (2016). 生物模倣技術に関する特許出願件数の変化および論文発表件数の一考察: 日本, 中国, 米国, 欧州を対象として. 久留米大学商学研究, 21(2), 95-110.
- ・Kohsaka, R., Fujihira, Y., Uchiyama, Y., Kajima, S., Nomura, S., & Ebinger, F. (2017). Public Perception and Expectations of Biomimetics Technology: Empirical Survey of Museum Visitors in Japan. Curator: The Museum Journal, 60(4), 427-444.

公益社団法人高分子学会 18-3 バイオミメティクス研究会 (2018年11月29日) 要旨集から転載

# ISO/TC266 Biomimetics WG4 報告 BioTRIZ

山内 健（新潟大学工学部材料科学プログラム）

## 1. はじめに

国際標準化機構（ISO）では生物機能を模倣したバイオミメティック製品に関する規定が検討されており、国際基準を導入したバイオミメティック製品の創出が求められている。今回報告する BioTRIZ データベースは、材料設計のアイデア創出法として知られる TRIZ（トウリーズ）に着目しており、効果的に生物機能を材料工学に移転することが可能である。今回、2018年9月27日～28日にベルリンで開催された ISO/TC266 Biomimetics の WG4 において、本データベースが、技術報告書として検討することが承認されたので、WG での BioTRIZ データベースに関する報告内容について紹介する。

## 2. BioTRIZ データベースとは

本報告で取り上げる BioTRIZ は J. F. V. Vincent 氏（前バース大学教授）らによって提唱された新

しい概念である。自然界に見られる高効率な生物機能を、TRIZ における 40 の問題解決原理に取り入れて体系化するというものである。生物機能は特許となる新技術の宝庫であり、次世代材料開発のヒントを提示するとともに、新たなエンジニアリング・デザイン教育への貢献も期待できる。次世代材料の開発では自然調和、低環境負荷、バイオマス利用などを考慮する必要があり、低エネルギーで有効に機能する材料の創製が必要不可欠となっている。我々はこの TRIZ の発想法をヒントにして、ISO 認証のバイオミメティック製品を開発する際に発生する様々な技術矛盾を解決するためのデータベースを構築した。ISO で規定によれば、バイオミメティック製品開発のためには、①既存技術・材料から問題を抽出、②問題解決のための生物機能を探索、③探索した生物機能の原理を抽出・一般化、④新技術・新材料を創製して最適化という過程を経る必要があるとされている。

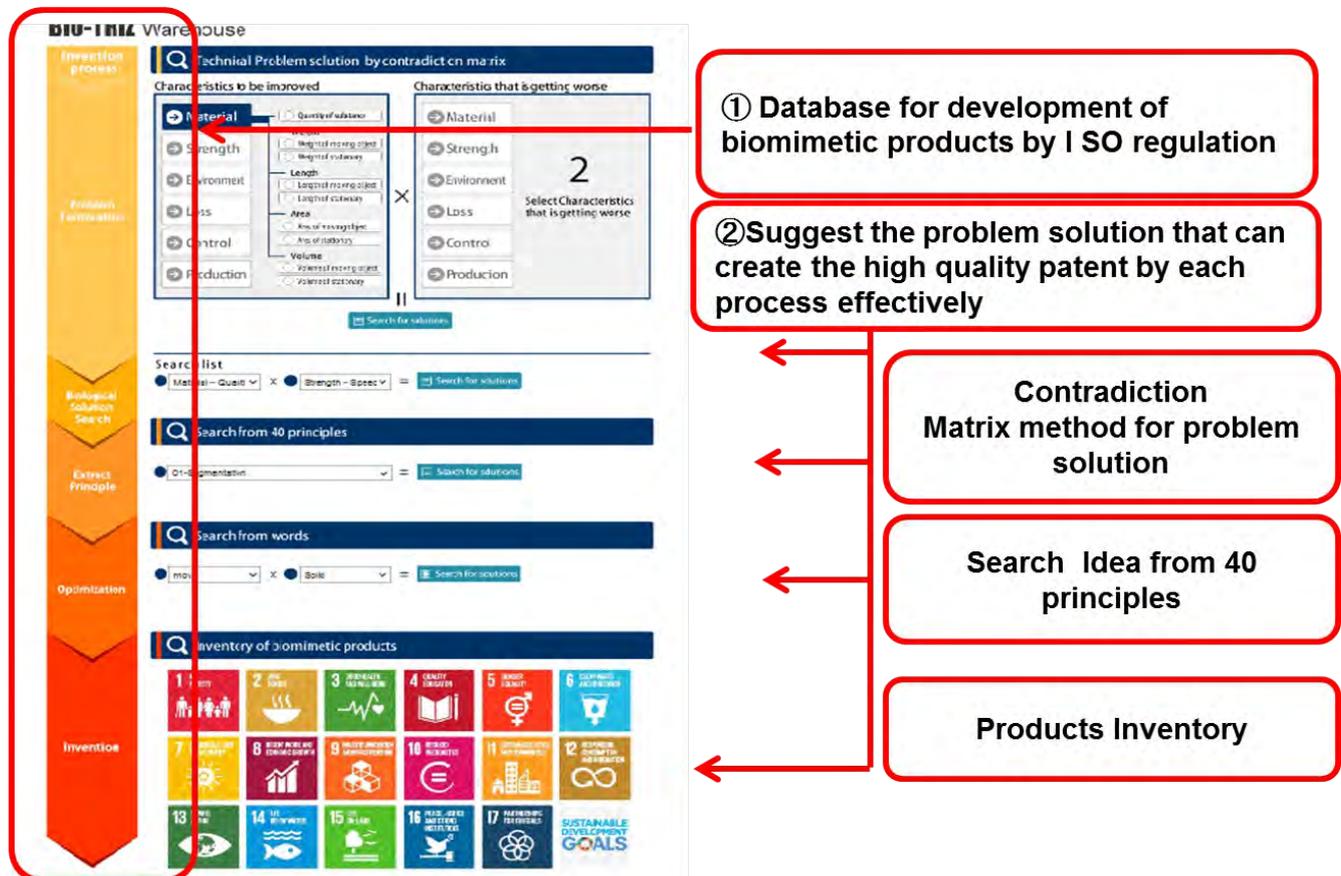


図1 BioTRIZ データベースの概略

本データベースの大きな特徴の一つとして、各過程において、効率的にバイオミメティクス製品の開発を支援する仕組みを構築している点があげられる。例えば、特定の要素を改善したいが、それによって別の要素に不具合が生じるような技術矛盾を本データベースに問いかけると、先に示した ISO の過程①～④を経ながら、自動的に解決のヒントとなる生物機能をいくつか提示してくれる(図1)。

本データベースは TRIZ の 40 の問題解決原理に仕分けしたファイルに、特許を発案可能な生物情報を厳選して蓄積されており、バイオミメティクス製品の創製の際の意思決定に寄与できる。技術者の抱えている技術的な問題を簡略化して、技術矛盾マトリクスに入れるだけで、本データベースは、その問題を解決するために適切と思われる問題解決の原理を提案し、さらには生物機能を探索してくれる。提案された生物機能を最適化することで、短時間で効率的にバイオミメティクス製品開発のためのヒントを得ることができる。

### 3. 問題指向アプローチと機能指向アプローチによる検索

ここまで BioTRIZ データベースの概要について説明し、矛盾マトリクス法による問題指向アプ

ローチから、工学的な問題解決をできることを概説した。このデータベースは、改善要素と悪化要素の組み合わせに関するデータ、TRIZ に関する情報、生物の機能情報のリソースが、独立した状態で別々に格納されていて、それぞれの情報は紐付されていない。そこで、データベースの情報について、相互関係を整理し、関係の連鎖を辿ることができれば、様々な角度から情報を獲得することができるようになると考えた。ここでは、データベースの情報を RDF 化することを試みた。RDF (Resource Description Framework) とは、特定のアプリケーションや知識領域を前提とせず、相互運用可能な形で「リソースを記述する」ための標準的なメカニズム(枠組み)を提供する仕組みのことである。この仕組みを取り入れることで、研究初期段階において機能改善したいユーザでも機能指向アプローチとしてデータベースから検索できるようになった。図2に示すように、問題指向アプローチと機能指向アプローチのどちらからでも最適化された BioTRIZ データベース情報を得ることができる。

### 4. SDGs 目標の達成を支援できるデータベースならびにインベントリー

バイオミメティクスは、持続可能社会の構築にも大きく貢献すると期待されている。たとえば、

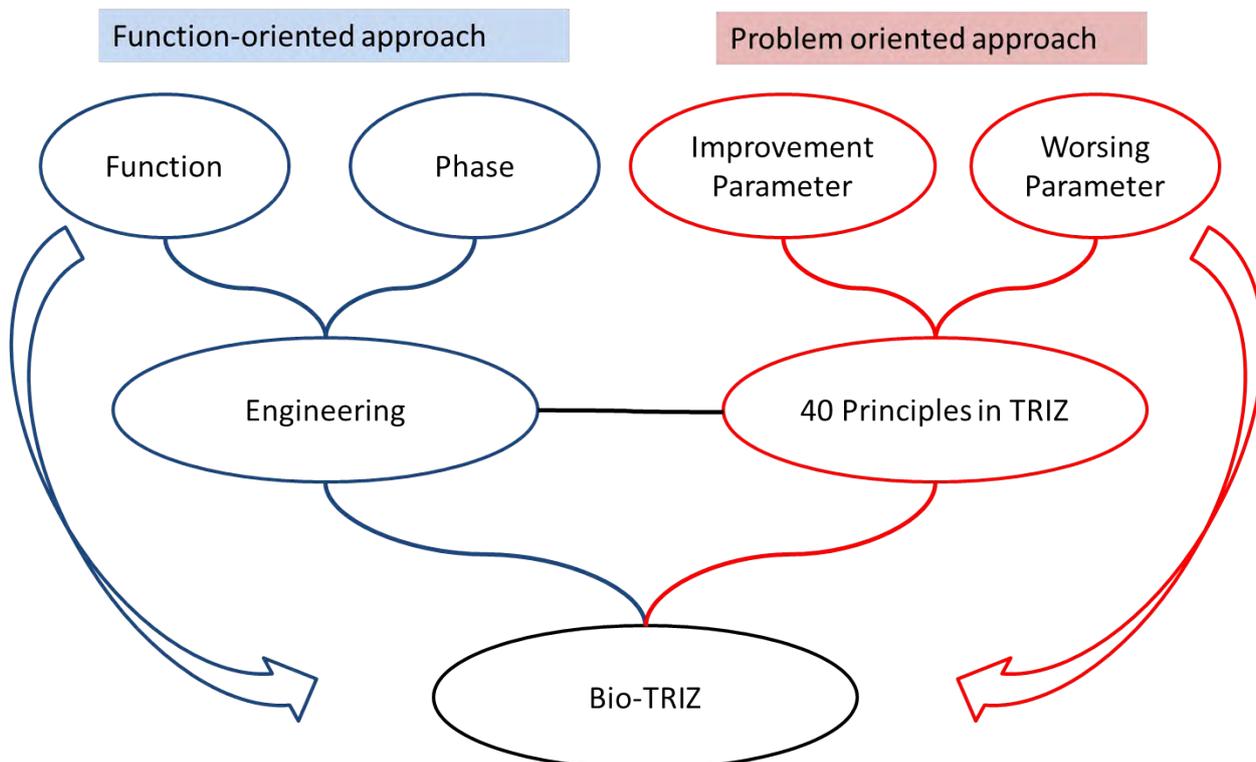


図2 問題指向アプローチと機能指向アプローチによる検索の概念図

2015 年秋に国連総会で採択された「持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)」を達成するための技術創出にも極めて有効な手法と考えられる。しかしながら、開発目標と各ターゲットの内容は多岐にわたっており、ケースバイケースでの問題解決が主となってしまい、開発目標を達成するための、俯瞰的な生物技術の体系化は非常に困難である。BioTRIZ データベースは、材料設計のアイデア創出法として知られる TRIZ (トゥリーズ) に着目しており、効果的に生物機能を材料工学に移転することが可能で、本データベースを活用することで、持続可能な開発目標 (SDGs) を達成するためのアイデア創出が期待できる。さらに、現在は、バイオミメティック製品のインベントリーをアップデート中で、SDGs を支えているバイオミメティック製品を掲載したインベントリーの構築を試行している。

## 5. おわりに

ISO/TC266 Biomimetics WG4 に出席して、日本で開発されているバイオミメティクスに関するデータベースへの関心の高さを再確認できた。ISO で製品の認証制度は進んでいるが、いずれの参加国でもバイオミメティクス製品の開発は、思ったほど進んでいない印象であった。オントロジー強化型シソーラス、類似画像検索型発想支援システム、BioTRIZ データベースが連携して、ビッグデータ検索型のバイオミメティクス・インフォマティクスを構築し、バイオミメティクス推進協議会と協働することで、SDGs 目標を達成するためのバイオミメティクス製品を開発することができれば、世界に先駆けたものづくりシステムとなることが期待できる。

公益社団法人高分子学会 18-3 バイオミメティクス研究会 (2018 年 11 月 29 日) 要旨集から転載

## 用語解説

TRIZ (トゥリーズ、トリーズ) は、ソビエト連邦の特許審査官であったゲンリッヒ・アルトシュラー (Genrikh Altshuller: 1926~1998) が、様々な特許から発見した発明的問題解決理論で、このロシア語の Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (Theory of solving inventive problems) の頭文字をとっている。

### BIO TRIZ 商標

イギリスの BioTRIZ Ltd は、イギリス知的財産庁 (Intellectual Property Office) に BIO TRIZ の商標登録を 2012 年 11 月に申請し、2013 年 4 月に商標登録 (UK00002642478) された。商標登録において、商標権の権利範囲を定めるために区分を設定する必要があり、その商標が用いられる具体的な製品や役務を記載する必要がある。BIO TRIZ の商標では、下記の区分が設定されています。

#### 区分 9

オンラインで入手可能な電子フォーマット教材、DVD、コンピューターソフトウェア

#### 区分 16

教材 (カードや絵を含む)

#### 区分 42

コンピューターソフトウェアコンサルタントサービス

なお、BioTRIZ Ltd は、2008 年に英国バース大学のバイオミメティック・自然科学技術センターの研究者によって設立された BIO TRIZ に関するコンサルティング企業である。

# バイオミメティクスの国際標準化とコミュニケーション

関谷 瑞木（国立研究開発法人産業技術総合研究所センター）

地球的な規模で経済活動が行われ、製品やサービスが益々容易に国境を越えるようになってきている。そのため、様々な機関によって円滑な交易のために工業製品の安全性、品質、試験方法などについて国際的なルールとしての国際標準を定めることが行われている。代表的な国際標準の作成機関の一つである国際標準化機関（ISO）において、生物が長い進化の過程の中で培ってきた様々な機能や構造に学んで製品を創り出すバイオミメティックな手法を国際標準化する試みが進められている。バイオミメティクスの国際標準化に取り組んでいるのはISOの266番目の技術委員会TC266 Biomimetics (TC266)で、ドイツの提案を受けて2012年10月に設置された。TC266には表1に示したドイツ、ベルギー、日本などの投票権のあるPメンバー8カ国と、イランや中国など投票権の無いOメンバー17カ国が参加している。TC266からは表2に示す3つの国際標準（IS）がすでに発行されており、現在、日本の提案によって設置されたバイオミメティクスのための知識基盤を構築するプロセスを標準化することを目指す作業委員会WG4 Knowledge infrastructure of biomimeticsにおいて、3つの技術報告書（TR）の作成に向けた議論が進展中である。

ISOでは国際規格原案をIS化するか否かはTCでの議論を経たのちに、投票権のあるPメンバーの多数決によって決められる。このISの作成プ

表1 ISO/TC266 Biomimetics 参加国

Oメンバー	Pメンバー	
ベルギー	アルゼンチン	カザフスタン
カナダ	フィンランド	韓国
中国	フランス	マレーシア
チェコ	ホンジュラス	オランダ
ドイツ（議長国）	香港	ポーランド
日本	インド	セルビア
スイス	イラン	スウェーデン
イギリス	アイルランド	タイ
	イスラエル	

(2019年1月)

ロセスは公正で、公平で、透明であることが求められ、その原則を支えるのが参加国相互の、そして幅広いステークホルダーとの十分なコミュニケーションである。しかし、TC266の3つのISの発行までに各作業委員会（WG）で行われた議論は、そのような基本的な要請に十分に答えるものとは言い難かった。「ISO 18458:2015」ではバイオミメティクスという用語を初め、関連する様々な用語が定義されている。ところが、「ISO 18458:2015」の作成を行ったWG1では採決を急いだためか、十分に定義を整理することができず、生物の仕組みに学ぶ科学技術を定義する用語として、例えばア

表2 ISO/TC266 Biomimetics から発行されている国際標準

国際標準文書名	標準化の内容	作業委員会 (WG)
ISO 18457:2016 Biomimetics -- Biomimetic materials, structures and components	材料、構造、要素、表面などの開発の枠組み	WG2
ISO 18458:2015 Biomimetics -- Terminology, concepts and methodology	用語、方法論、概念	WG1
ISO 18459:2015 Biomimetics -- Biomimetic structural optimization	生物の順応的成長に学んだ構造最適化の手法	WG3

アメリカを中心に普及しているバイオミクシなど、バイオメティクスとは異なる複数の呼称が排除されていない。また「ISO 18459:2015」の作成を行ったWG3についていえば、WGでの議論の時間もさることながら、ステークホルダーとのコミュニケーションが十分であったか疑問に思われた。日本はこのような状況であったため「ISO 18458:2015」と「ISO 18459:2015」について、発行前の各WGでの議論の際に、一足飛びにISの発行へと急ぐのではなく、まずは科学技術の進展に柔軟に対応することが可能な技術仕様書(TS)として出版することを提案した。ただし、残念ながらこの代替案は最終的に退けられてしまった。

議論を急ぎ過ぎたのではないかと考える理由の一つに、バイオメティクスと同じように新興で、かつ同じように学際で研究開発が進められているナノテクノロジーの国際標準化の取り組みがある。ナノテクノロジーの国際標準化はISOのTC229 Nanotechnologies (TC229)において行われている。TC229の活動はナノテクノロジーへの研究開発投資が盛んになった2005年に始められ、2018年末の時点で66の出版物が発行されている。このうちISは、ナノマテリアルの試験方法に関する4報のみで、あとはすべてTRやTSである。TC229では、まずは科学的な知見の蓄積に対して柔軟に対応することが可能なTRやTSとして発行し、議論を重ねたのちに、必要であればISへ改訂してゆくという方針でTCが運営されているのである。

科学技術が社会に浸透し使用されるようになるために、幅広いステークホルダーとのコミュニケーションによって、社会のニーズをくみ上げ、理解する必要がある。ISOなどの国際標準化のための機関の活動を通して各国に共通するルールを作り上げる取り組みは以前にも増して重要になってきている。しかもグローバル化した現代にあっては、コミュニケーションをとるべきステークホルダーは一国のうちに留まらないだろう。ところがTC266では、前述のように結論を急ぎ過ぎたように思われることに加えて、ウェブ会議や総会などの議論の場に全く顔を出さないままに採択に対して賛否の票を投じる参加国もあった。TC266がこのような状況であるためか、当初はウェブ会議や総会にきちんと参加していたにも関わらずTCの活動に積極的でなくなったり、TCへの参加その

ものを取りやめてしまう国も出てきている。近年ISOが技術革新のスピードにIS化が遅れを取らないようにするために、より短い期間でISの発行まで持ち込むことができるプロセスの利用を推奨するようになっているが、TC266はこの迅速手続制度を利用しており、それが議論の不十分さに拍車をかけたように思われる。十分な議論を経ずに作成されたISは、新しい技術の産業化を支えるという本来の役割を果たせず、かえってイノベーションを阻害するのではないかと懸念される。

繰り返すが、ISOにおける国際標準化は、TCでの議論に参加し、その結果を国内の関係団体やステークホルダーに伝え、十分に内容を検討し、その結果をもって投票に臨むのというのがあるべき姿だと考える。そうであって初めて技術の産業化に貢献し、活用されるISが作成できるのだといえる。TC266では、そのために日本の提案によって、参加国相互のコミュニケーションを助け、有益で公共性の高いISの発行を支える目的でTask Group for transparency and stakeholder communication (TG)を設置した。本TGは2017年に活動を終了したが、ここでの議論を通してTC266の参加各国がそれぞれに国内で抱えるコミュニケーションの問題の一端が明らかにされた。

駆け足でバイオメティクスの国際標準化におけるコミュニケーションの問題について見てきたが、ここで日本がこの問題にどのように取り組んでいるのか紹介しておきたい。日本はウェブ会議を含むTC266での議論に第1回の総会から欠かさず参加し、議長国のドイツとともに積極的に議論をリードしてきた。また、TC266の国内審議団体となっている高分子学会バイオメティクス研究会によって各総会の後に審議の内容を報告する研究会が必ず開催され、さらに企業や研究者などの幅広いステークホルダーのコミュニケーションの場となるバイオメティクス推進協議会も立ち上げられている。今後も国内でのこのような活動を継続するとともに、新たにTCに設けられた議長諮問グループ(CAG)を活用するなど、他の参加国と協力し信頼できるISの作成に貢献することを目指している。

最後に、生物の表面構造が創り出した時の経過という試練にも耐える美しい色彩を紹介する。図1に示したような金属光沢がはっきりと残る昆虫の化石がドイツのフランクフルト近郊にある褐炭の採掘場跡地メッセルで多数発掘されている。写真のハムシの仲間は、人の祖先が地球上に現れた約1500万年前頃にこの地域に生息していたのだという。国際標準化は、生物学と工学が交わる場所から始まる新しい科学技術であるバイオミメティクスの産業化の基盤である。国際標準化が、産官学が一体となって社会のニーズを的確に汲み取りつつ進められることで、時を越えてきらめくハムシのように、時間の経過に耐えてバイオミメティクスの社会への展開を支える役割を担う有益なISが作成されると期待する。

#### 参考資料

- [1] ISO/TC266 Biomimetics <https://www.iso.org/committee/652577.html>
- [2] Chairs and Convenors Training Course, ISO, 2016
- [3] インストルメンテーションの視点からみたバイオミメティクス、下村政嗣監修、2016、シーエムシー・リサーチ
- [4] The original colours of fossile beeles, Maria E. McNamara et al., 2011, Proc. R. Soc. B (2012) 279, 1114–1121, doi: 10.1098/repb.2011.1677

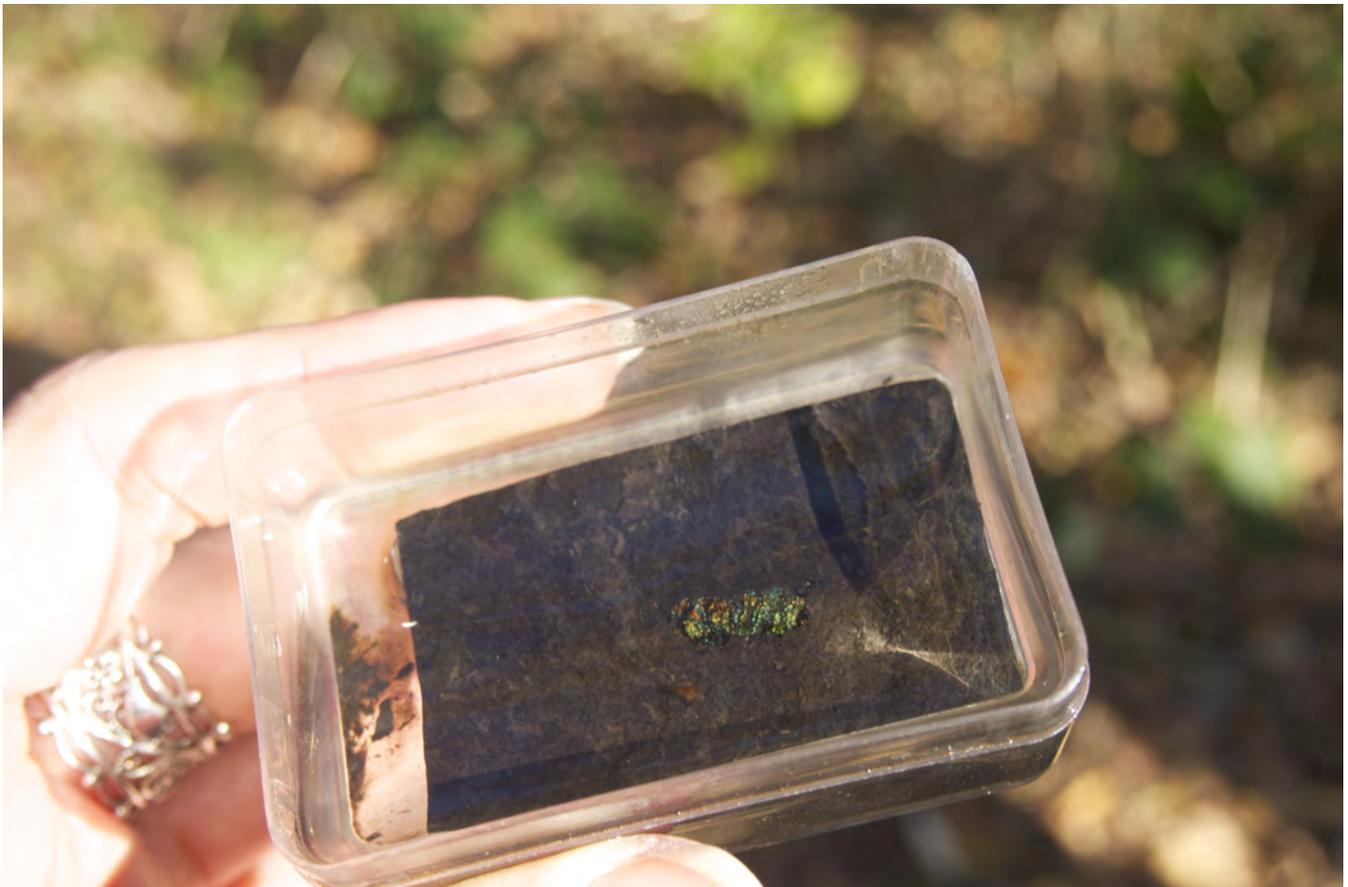


図1 昆虫の化石

## サーキュラーエコノミー：TC323

平坂 雅男

サーキュラーエコノミーとは、自然資源を消費して廃棄するというリニアな経済に対して、従来の3R (reduce, reuse, recycle) より広い概念として、循環型経済による成長をめざす新たな経済モデルともいえる。2015年に発表された欧州の循環経済政策パッケージ (Closing the loop-An EU action plan for the Circular Economy) で、これまでの資源の活用効率を起点とする欧州戦略が大きく変化したことで、サーキュラーエコノミーが世界的に着目されるようになった。この欧州の動きの背景には、持続可能で低炭素かつ資源効率的で競争力のある経済の開発が欧州において不可欠であり、また、この取組みにより新たな競争優位を構築するという戦略がある。そして、資源の確保や資源価格の変動リスクから逃れた新たなビジネスモデルによる経済成長が期待されている。

フランスは、2018年4月23日に自国のサーキュラーエコノミー・ロードマップを発表し、このロードマップには、50項目の計画が含まれている。そして、フランス規格協会 (AFNOR) は、2018年6月26日にサーキュラーエコノミーの標準化に向け、新規の専門委員会 (TC) の設置をISO (国際標準化機構) に対して提案した。この提案には、下記の5つの規格類を作成することが盛り込まれている。

- ① サーキュラーエコノミーに関するマネジメントシステム規格 (Management System Standard for circular economy)
- ② 実施の手引についての規格 (Standard on implementation guidance)
- ③ 支援ツールに関する規格 (Standards for supporting tools)
- ④ サーキュラーエコノミーの問題についてのガイドライン (Guidelines on the different issues of circular economy)
- ⑤ サーキュラーエコノミー関連プロジェクトの実施事例の収集 (Collection of examples of implementation of circular economy projects)

各国の投票を経て、ISO/TC 323の設置がISOで決定し、日本を含むPメンバー25ヶ国と、Oメンバー15ヶ国で活動を開始することになった。

さらに、AFNORは、2018年10月15日にCP XP X30-901 (Circular economy) という自主基準を発行した。この自主基準では、持続可能な発展に関する3つの項目 (環境、経済、社会) と、循環型経済の7つ分野 (持続可能な供給、エコデザイン、産業共生、経済効果、消費の責任、長期使用、材料または最終製品の効果的な管理) をマトリックスで示している。

一方、イギリスでも、国内規格 (UK: BS8001 (2017) Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations, Guide) がすでに発行され、サーキュラーエコノミーに対する取組に力を入れている。

バイオミメティクスは持続可能な社会を実現する技術であり、サーキュラーエコノミーにも関連することから、2018年9月のISO/TC266総会では、AFNORからISOにTC設立の提案があったことが報告された。その後、正式にTC323が発足したことから、TC266とTC323がリエゾン関係になる必要があり、このリエゾン関係については2019年のISO/TC266総会で承認される見込みである。



出典: EU Strategy for plastics in the Circular Economy - brochure

# 昆虫の振動感覚の解明と害虫防除への応用

高梨 琢磨 ((国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所)  
遠藤 淳 (京都大学大学院理学研究科)

昆虫は基質を伝わる振動に敏感であり、振動によって様々な行動を示す。植物体上において雌雄間で振動によるコミュニケーションをおこなって交尾に至る場合や、母親の振動によって幼虫の孵化を促進することもある。これらの行動は、振動に対する感覚器（センサー）を昆虫が持つことによる。さらに、昆虫の振動に対する感覚を応用して、害虫の行動を制御する害虫防除が可能になる。本稿では、昆虫の振動に対する感覚と行動、そして振動を用いた害虫防除を解説する。特に、振動を感知しておこる孵化についての最新トピックを冒頭において紹介する。

## 1. 振動による孵化

著者らは最近、クサギカメムシにおいて、卵塊中のある胚が孵化を始めて殻が割れた瞬間、発生した振動が孵化前の胚に感知され、一斉に孵化がおこることを報告した<sup>1)</sup>。卵を取り巻く環境では、季節を始めとした様々な変化があり、卵の中に留まるべき状況や外に出て活動を始めるべき状況が訪れる。多くの昆虫の胚が、環境からの情報を利用して、様々な状況での適切な選択をおこなっている<sup>2)</sup>。クサギカメムシは卵を葉などの上に卵塊としてまとめて産み、「卵塊の一部の卵が孵化を始めた時」が他の未孵化の胚にとって孵化すべき状況になる。これまでの研究から、卵塊（約30卵）の孵化は通常15分ほどで一斉に起こるのに対し、卵の間の接着を外した個々の卵では3-4時間かかるようになるため<sup>3)</sup>、胚は孵化を始めた幼虫から何らかの情報が伝わると、それに反応して孵化を早めるメカニズムを持つと考えられた。本種の孵化した幼虫は、卵塊に未孵化の卵があると共食いする習性を持つ。つまり、先に孵化した幼虫によって、未孵化の胚が共食いされるリスクがあるため、伝わった情報に反応して直ちに孵化することで、そのリスクを回避していると思われる。

実験において、卵塊から切り離して紙に固定した2卵の間をシャープペンの芯で架橋すると、両卵が15分以内に孵化する割合が増えたことから、

胚が反応する情報は匂いや音ではなく、振動と推測された。著者らは、卵の殻が割れる瞬間に生じる振動に着目した。カメムシの卵殻には缶詰めと同じように蓋として割れる部分があり、中の幼虫が圧力をかけて卵殻破砕器という構造によって蓋を開ける時に振動が発生する。この振動が隣接する卵にどのように伝わるかを、レーザドップラ振動計を用いて測定した。測定された振動は特徴的なパルス状振動で、持続時間が約3.0 ms、また100Hzから10kHz以上までの幅広い周波数帯域であった（図1）。次にこの振動を加振器によって再現し、孵化する少し前の卵に与えると、15分以内に孵化する割合がバックグラウンドノイズの振動と比較して増加した。したがってクサギカメムシの卵塊では、先に孵化を始めた幼虫の振動に対して未孵化の胚が反応し、一斉孵化が起こっていることが証明された。

クサギカメムシ以外の昆虫でも、卵塊内のある個体の振動により一斉孵化を示す事例がある<sup>4)</sup>。ツチカメムシの仲間では、母親が腹部を動かす振動によって胚の一斉孵化がおこる<sup>5)</sup>。水面に産卵するカメムシの仲間では、水の攪拌の振動により孵化が

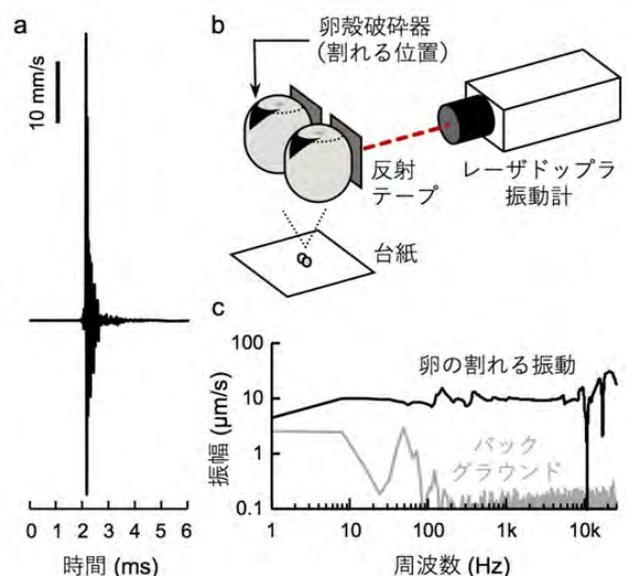


図1 クサギカメムシの卵の殻が割れた瞬間に、隣接する卵に伝達したパルス状振動 (Endo et al. 2019 を改変)。a: オシログラム。b: 卵塊から切り出した2卵を用いて振動を測定する実験系。c: パワースペクトラム。

促され、これは幼虫の成長に必要な養分が水に流入するためと考えられている<sup>6)</sup>。また、他の動物で知られる捕食者を回避するための胚の振動利用<sup>7)</sup>が昆虫でも見つかる可能性がある。卵の捕食者の振動に対して孵化を促進、あるいは幼虫の捕食者の振動に対して孵化を抑制して、捕食を回避している例があるかもしれない。昆虫の胚が振動を利用してどのような環境に適応しているのか、さらなる研究の進展が期待される。

## 2. 振動の感覚と害虫防除

### 振動の感覚

昆虫は弦音器官と呼ばれる感覚器によって、振動を受容する。弦音器官は振動を用いた捕食回避やコミュニケーションなどで生存に必須な役割を果たしており、多数の昆虫分類群で存在する。具体的には、モモにあたる腿節の腿節内弦音器官や、スネにあたる脛節の膝下器官が知られている<sup>8)</sup> (図2)。これらの肢の弦音器官が約5kHzまでの振動を受容する。これらの弦音器官はほとんどの昆虫分類群において報告されている。マツの害虫であるマツノマダラカミキリには、腿節内弦音器官のみが存在し、約70個の感覚細胞が付着細胞を介してクチクラにより硬化した内突起に連結している<sup>9,10)</sup> (図2)。この内突起は、脛節の関節回転軸につながっており、基質からの振動を肢の先端

から内突起を通じて受容している。一方、果樹の害虫であるチャバネアオカメムシ (成虫) の腿節内弦音器官は24個の感覚細胞からなる<sup>9,11)</sup>。この腿節内弦音器官は内突起を持たずに、短い束となった付着細胞が関節回転軸につながっている (図2)。なお腿節内弦音器官は、振動受容器のほか、関節の動きや歩行などを検知する自己受容器としての役割も持つ<sup>8)</sup>。

膝下器官は振動受容器に特化しており、腿節内弦音器官とは異なる。また膝下器官には内突起がなく、その代わりに多数の付着細胞が気管につながっている<sup>8)</sup>。チャバネアオカメムシの膝下器官の感覚細胞は少数であり、腿節内弦音器官と神経を通じて連絡している<sup>11)</sup>。上述のクサギカメムシやツチカメムシにおいても、これらの弦音器官が振動受容に役割を果たすと考えられる。なお肢の弦音器官の他、表皮のひずみの機械受容器が振動を受容することがある<sup>8)</sup>。

バイオメテイクス応用例となる昆虫の感覚器をモデルとしたセンサーの開発例は、音を受容する鼓膜器官<sup>12)</sup>や気流を受容する感覚子<sup>13)</sup>では報告があるが、振動を受容する弦音器官をモデルにした例は全くない。腿節内弦音器官をモデルとして、内突起を模倣した構造物の一端が支えられている、いわゆる片持ち梁の小型振動センサー等の開発が期待される。

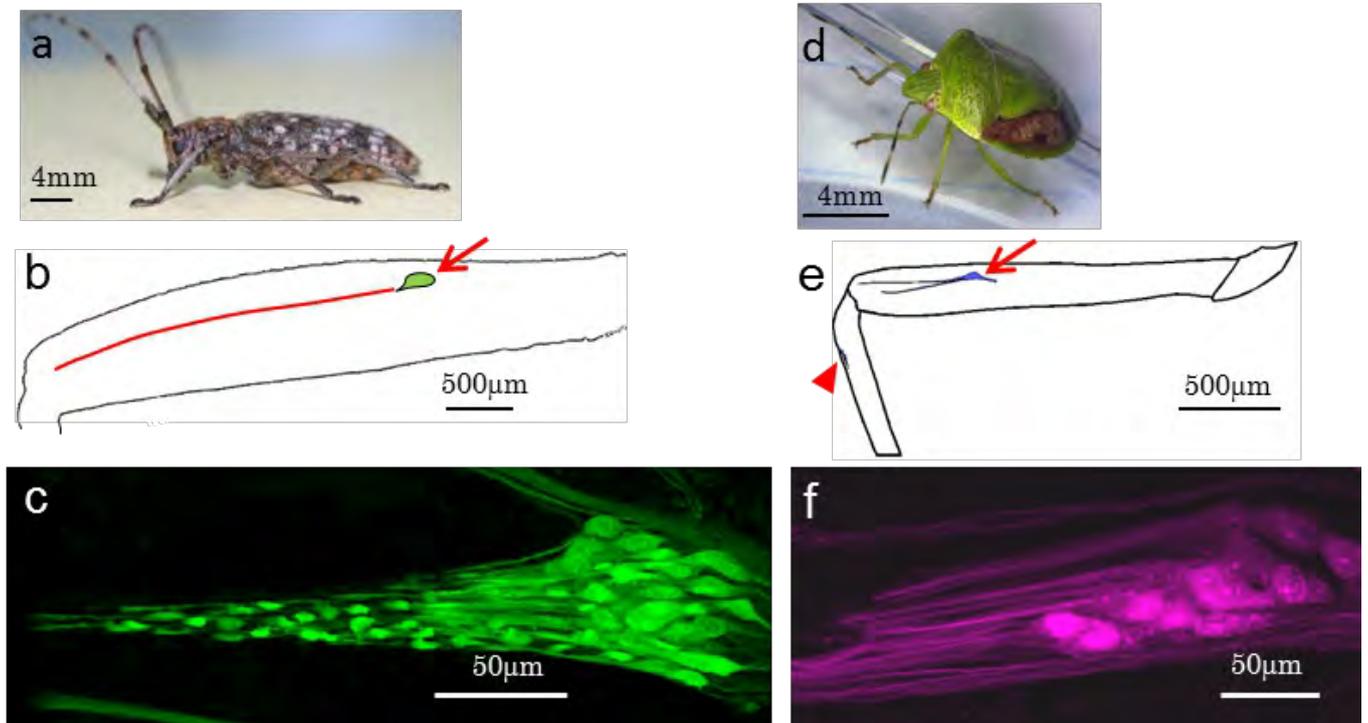


図2 マツノマダラカミキリとチャバネアオカメムシの肢の弦音器官 (Takanashi et al. 2019 より許可を得て転載)。a: マツノマダラカミキリの成虫。b: 感覚細胞 (矢印) と内突起 (赤線) を持つ腿節内弦音器官。c: 腿節内弦音器官の蛍光染色画像。d: チャバネアオカメムシの成虫。e: 腿節内弦音器官 (矢印) と膝下器官 (矢頭)。f: 腿節内弦音器官の蛍光染色画像。

## 振動による行動と害虫防除

振動を用いた行動制御による害虫防除について、近年になってから国内外において複数の研究グループが盛んにすすめている。例えば、ブドウの病気を媒介するイタリア産のヨコバイの害虫は、雌雄が規則的なパルス構造を持つ振動（300Hz 未満）を相互に交わして、植物上で交尾相手を探索するコミュニケーションをおこなう。さらにこの種では、オスが不規則なパルス構造を持つ振動を発生して、ライバルである別のオスのコミュニケーションを妨害する。この妨害振動を模倣した人工的な振動を与えたところ、本種の交尾率が激減し、コミュニケーションが阻害された<sup>14)</sup>。またブラジル産のカメムシにおいては、75–200Hz の範囲で単一周波数の振動を与えると、雌雄間のコミュニケーションや交尾が阻害された<sup>15)</sup>。振動によってコミュニケーションを阻害する防除の実用化はこれからであるが、振動コミュニケーションを示す様々な害虫に適用されると予想される。

振動コミュニケーションをおこなわない昆虫も含めて、昆虫は振動に感受性を持つ。このため振動によってコミュニケーション以外の行動を阻害したり、忌避させることによる防除が可能である。著者らは、マツの重要病害であるマツ材線虫病（いわゆる松枯れ）を媒介するマツノマダラカミキリ等の害虫の防除を目的とした研究を進めている<sup>9,10)</sup>。病原体であるマツノザイセンチュウが日本に侵入して以来、被害が拡大し続けており、その被害量は年間で木造家屋2万戸分に相当する。本種は振動コミュニケーションをおこなわないが、振動に対して様々な行動反応を示す。静止している成虫に振動を与えると、触角や肢などの体の一部を瞬時に動かす驚愕反応をおこす。この反応は1kHz以下の振動に対して感度よくおこる<sup>9,10)</sup>（図3）。また、歩行中の成虫に100Hzの振動を与えると、不動化をおこす。これらの驚愕反応と不動化は、カラムシ等の草本を利用するラミーカミキリにおいても観察され、振動の周波数として500Hz以下がカミキリムシ類の行動制御に有効であることが示された<sup>9)</sup>（図3）。実際に、500Hz以下の特定周波数において高振幅の振動を与えると、産卵等の行動を阻害することが確認できた。マツノマダラカミキリはマツ材線虫病等により衰弱したマツに産卵するため、振動によって次世代の増殖を抑える害虫防除が可能となる。

マツに振動を発生させる装置には、超磁歪素子という磁界の変化により収縮する希土類金属-鉄

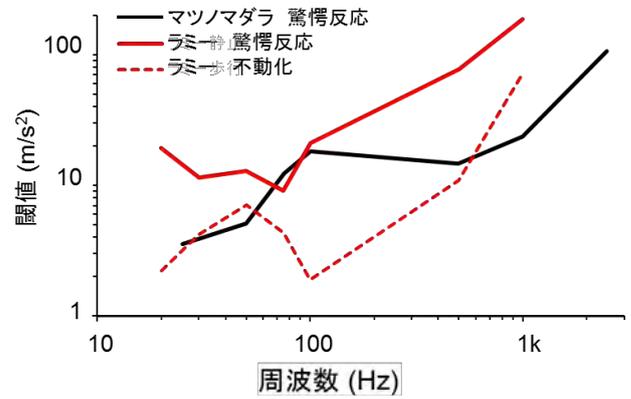


図3 マツノマダラカミキリ（黒線）とラミーカミキリ（赤線）の振動に対する行動反応の閾値。（Takanashi et al. 2019より許可を得て転載）。実線：驚愕反応、点線：不動化（フリーズ反応）。

系の合金を用いる<sup>9)</sup>（図4）。これは、既存技術の電磁式や圧電素子よりも耐性が強い上に、高出力である。本装置を用いて、害虫の摂食、定着などの行動を阻害したり、忌避させる試験をおこなっている。本装置1台によって、マツ樹1本で行動の制御に十分な振幅の振動を伝播することができる。また、害虫の振動に対する慣れを防ぐために、連続ではなく間欠的な振動を与える。現在、著者のグループでは、カミキリムシ以外の害虫にも適用範囲を拡大し、振動による害虫防除の実用化に向けた研究を進めている。超磁歪素子による装置は高出力のため、樹木に限らず、農業用の作物栽培施設とその害虫なども対象となる。

振動による害虫の防除は、成虫から幼虫、そして卵もが対象となる。害虫種において振動が孵化に関与することが明らかになれば、振動を用いて孵化を制御することが可能となる。例えば、胚の

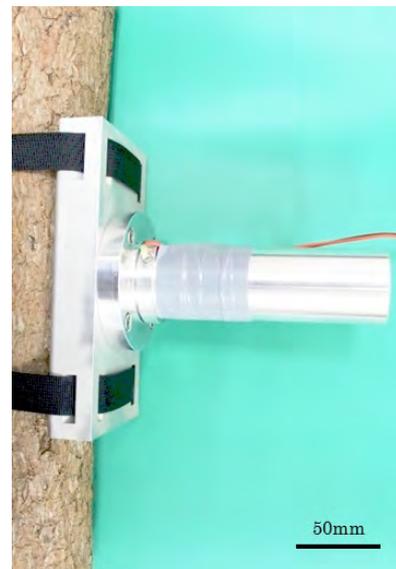


図4 超磁歪素子を用いた振動発生装置（Takanashi et al. 2019より許可を得て転載）。害虫防除ための振動を樹木に発生させる。

活性を抑制する振動を与えて孵化を妨げたり、あるいは促進する振動によって孵化のタイミングを狂わすことなどが考えられる。

生物が利用する音や振動に関する研究分野である、生物音響学やバイオトレモロジー<sup>16)</sup>という比較的新しい学際分野の研究が進んでいる。これらの分野においても、生物の機能や構造を応用するバイオミメティクスのアプローチによる研究が盛んにおこなわれている。振動を用いた害虫防除技術は、化学農薬に頼らない環境低負荷型である。また昆虫は振動に感受性があるため、幅広い害虫が対象となり、汎用性が高い。昆虫の振動に関する生物学的知見が蓄積されて、振動に関する工学的技術が発達した今こそ、振動を用いた害虫防除を実現化する契機となる。

### 謝辞

本稿で紹介した研究成果は、沼田英治博士（京都大学）、向井裕美博士（森林総合研究所）、西野浩史博士（北海道大学）、小池卓二博士（電気通信大学）との共同研究によるものである。研究成果の一部は、科学研究費（新学術領域研究 JP24120006）による援助を受けた。

### 参考文献

- 1) Endo, J. ; Takanashi, T. ; Mukai, H. ; Numata, H. *Curr. Biol.*, 2019, 29, 143-148.
- 2) 向井裕美 *日本応用動物昆虫学会誌*, 2016, 60, 67-75.

- 3) Endo, J. ; Numata, H. *Physiol. Entomol.*, 2017, 42, 412-417.
- 4) Nishide, Y. ; Tanaka, S. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 2016, 70, 1507-1515.
- 5) Mukai, H. ; Hironaka, M. ; Tojo, S. ; Nomakuchi, S. *Anim. Behav.*, 2012, 84, 1443-1448.
- 6) Ebrahimi, B. ; Shakibi, S. ; Foster, W. A. *J. Med. Entomol.*, 2014, 51, 580-590.
- 7) Warkentin, K. M. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1995, 92, 3507-3510.
- 8) Field, L.H. ; Matheson, T. *Adv. Insect Physiol.*, 1998, 27, 1-228.
- 9) Takanashi, T. ; Uechi, N. ; Tatsuta, H. *Appl. Entomol. Zool.* 2018, <https://doi.org/10.1007/s13355-018-00603-z>
- 10) Takanashi, T. ; Fukaya, M. ; Nakamuta, K. ; Skals, N. ; Nishino, H., *Zool. Lett.* 2016, 2, 18.
- 11) Nishino, H. ; Mukai, H. ; Takanashi, T. *Cell. Tiss. Res.*, 2016, 366, 549-572.
- 12) Liu, H. J. ; Currano, L. ; Gee, D. ; Helms, T. ; Yu, M. *Sci. Rep.*, 2013, 3, 2489.
- 13) Casas, J. ; Liu, C. ; Krijnen, G., *Encyclopedia of Nanotechnology*, 2012, Springer, 264.
- 14) Eriksson, A. ; Anfora, G. ; Lucchi, A. ; Lanzo, F. ; Virant-Doberlet, M. ; Mazzoni, V., *Plos One*, 2012, 7, e32954.
- 15) Laumann, R. A. ; Maccagnan, D. H. B. ; Čokl, A. ; Blassioli-Moraes, M. C. ; Borges, M. J. *Pest Sci*, 2018, 91, 995-1004.
- 16) Hill, P. S. M. ; Wessel, A. *Curr. Biol.*, 2016, 26, R181.



# バイオミメティクスによる流体機器の表面設計

宮崎 真理子, 守谷 浩志 (株式会社日立製作所 研究開発グループ)

## 1. はじめに

液体や気体の流体制御は、オイル&ガスの資源関連、都市ガスや上下水道などの社会インフラ、航空機や船舶、自動車、鉄道の輸送分野、空調機や掃除機の家電分野など、幅広く現代社会の根底を支えている。一方、生物は自然環境下で外界と接しながら生態系を形成しているが、40億年の進化の過程で、膨大な試行錯誤を繰り返し、水や空気の流体制御に適した構造や機能を獲得してきた。

流体制御に関する生物構造体として、サメ体表を覆う楕鱗（ジュンリン）に見られる微細構造が注目されており、楕鱗の溝構造に着目した樹脂フィルム（リブレットフィルム）により流体抵抗が低減することが実証されている<sup>1)</sup>。これまでのサメ体表構造の応用は、リブレットのような単純な溝構造としてデフォルメされてきた。しかしながら、分析技術の進歩により、生物体表の微小な構造計測が可能となり、サメ体表は単純な溝ではなく、1 mm スケール以下の微細で複雑な3D構造を有することが分かってきた。更なる流体制御の実現には、この1 mm スケール以下の微細構造に関するバイオミメティクスを用いた設計技術確立が有効と考えられる。生物の機能を解析し、人工的に類似の機能を工業製品で再現する設計を、我々はバイオミメティックデザイン (Biomimetic Design: BMD) と呼んでいる。本稿では、筆者らが確立した、サメの楕鱗構造を用いたBMDの方法、および、遠心ブローのディフューザにBMDを適用し、流体制御を実証した例について解説する<sup>2)-4)</sup>。

## 2. サメ体表の微細構造計測

図1は、走査型電子顕微鏡 (SEM) による、ツマグロの体表の二次元形状観察結果である。SEM観察から、サメの体表が、溝構造を有する無数の楕鱗で覆われていることが分かる。

SEMによる観察では、溝などの表面構造を二次元的に理解するに留まっていたが、近年ではマイクロフォーカスX線CT (Computed Tomography) による三次元形状観察が可能となっている。マイクロフォーカスX線CTでは、試料をX線によって多方面から断層撮影し、多数枚の断層写真を画像処理して試料を三次元画像として再構築する。

図2は、マイクロフォーカスX線CTで取得した、ツマグロの楕鱗の三次元構造である。筆者らは、楕鱗の構造について、2つの特徴を抽出した。一つは、図2(a)に示すように、楕鱗が表面に対して傾斜を有していることである。もう一つは、図2(b)に示す、流れに沿った非対称溝である。これらの溝の模式図が図3である。楕鱗には $G_n$ で示す溝が数個(左から順に $n=1, 2, \dots$ )あるが、各溝で右側の表面積( $S_n, R$ )と左側の表面積( $S_n, L$ )が異なる。筆者らは、このような左右の表面積が異なる溝を非対称溝と呼んでいる。溝の非対称性は、溝により形成される突起 $P_n$ (左から順に $n=1, 2, \dots$ )において、隣り合う突起の高さまたは幅が異なること(例えば、 $H_1 \neq H_2, W_1 \neq W_2$ )。

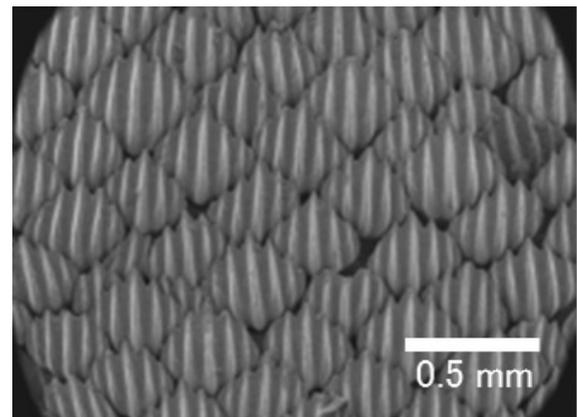


図1 ツマグロの体表構造

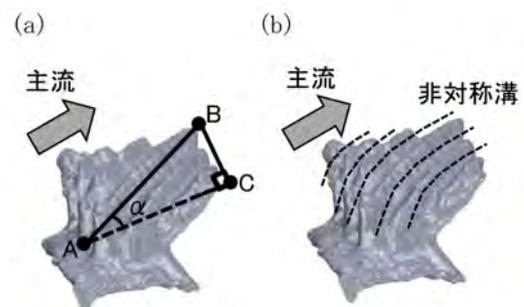


図2 ツマグロの楕鱗構造

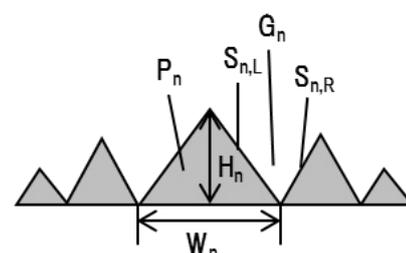


図3 楕鱗の溝の模式図

### 3. バイオミメティクスによる表面構造設計

前章で述べた楯鱗の傾斜構造や溝の非対称性が流体特性に及ぼす影響を、流体シミュレーションによって解析した。流体解析には解析対象物のCAD(Computer Aided Design)データが必要となるが、図2に示した楯鱗の三次元構造の数値データから表面の座標位置を基に計算メッシュを張ることで流体計算用のCADデータを得ることができる。

得られたCADデータを基に、楯鱗近傍の流れ場を解析した結果、特徴的な流れ場として、非対称溝構造に由来する縦渦（主流方向に回転軸を有する渦、図4(a)）と、楯鱗の傾斜構造に由来する上昇流（表皮から主流の方向へ流れる上向きの流れ、図4(b)）の発生を見出した。楯鱗の非対称溝が縦渦の発生を促進し、さらに、上昇流により、表皮近傍の境界層から表皮から離れた主流の方へ縦渦が移動しやすくなると考えられる。即ち、縦渦と上昇流により、楯鱗表面の境界層に主流の運動量を移動させて流れ場を安定化させることが、楯鱗表面の流体特性向上のメカニズムではないかと考えられる。このことから、楯鱗表面の同様の流れ場を人工的に再現する表面構造について、傾斜構造と非対称溝を設けるという設計指針を導出した。図5に、設計した傾斜付き非対称溝構造のCAD図を示す。

### 4. バイオミメティクスによる流体制御

遠心ブロアを対象として、バイオミメティクスの効果を検証した。遠心ブロアは、石油、化学処理および鉄製造などの産業プロセス、ならびにガ

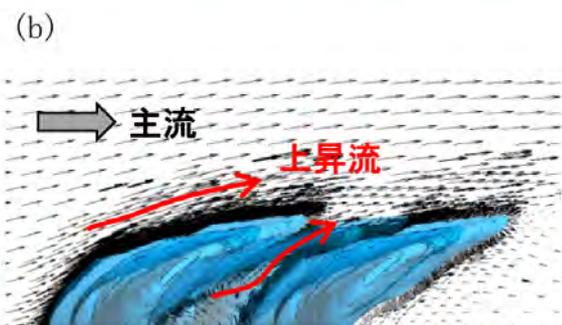
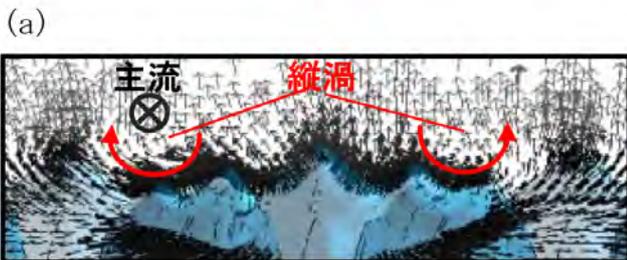


図4 楯鱗近傍の流れ場

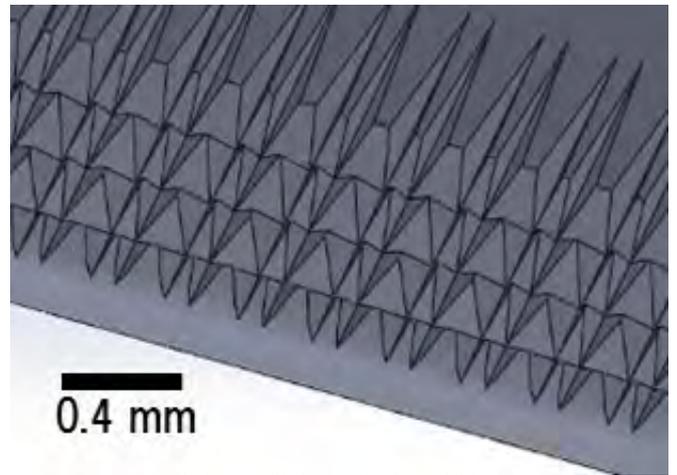


図5 設計した表面構造

スタービンおよび天然ガス管路などのエネルギーインフラにおける重要な機械部品である。遠心ブロアでは、吸引力はインペラおよびディフューザによって生成される。インペラには数枚の動翼があり、駆動モータでインペラを毎分数十万回転(rpm)で回転し、旋回流を発生させている。旋回流はディフューザに接続され、旋回流の運動エネルギーの一部が空気の圧力に変換される。図6にディフューザの外観図を示す。ディフューザには十数枚の静止翼があり、インペラから流入した空気が静止翼間を流れて外に排出される。空気の速度は静止翼の先端部でマッハ0.6から0.8で非常に高速になる。そのため、静止翼先端部で流れが不安定となり、流れが剥離し、効率の低下や騒音が発生することが問題となる<sup>5)</sup>。本研究では、ディフューザ静止翼の表面にBMDを適用し、バイオミメティクスから知見を得たBMD構造をディフューザ静止翼の表面に加工することで流れの剥離を防止し、更なる効率向上を図ることにした。

アルミ製の静止翼に精密切削法を用いてBMD構造を加工し、加工した静止翼を樹脂製の母体とリング蓋に組み上げることでディフューザを試作した。図7に、BMD構造を加工した静止翼先端部のSEM像を示す。

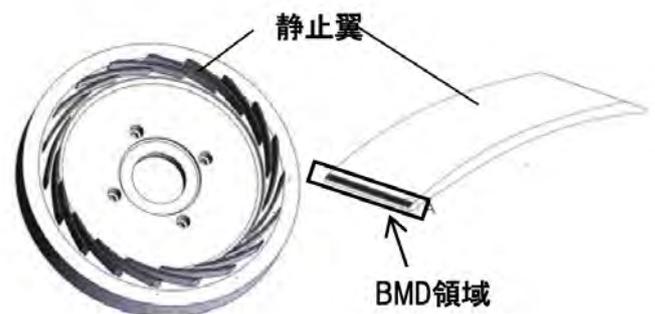


図6 ディフューザの外観図

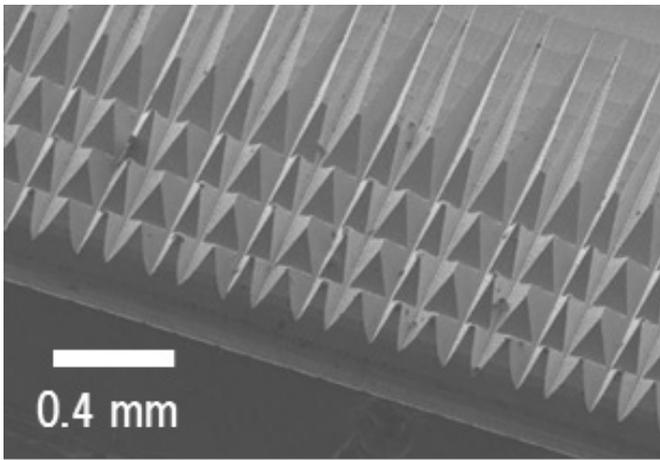


図7 造形した静止翼先端部のSEM像

ディフューザは、流路の上流から下流に向けて流路が拡大する構造をしており、これにより、流路の上流から下流に向けて圧力が大きくなる。実際の流路では摩擦抵抗により圧力損失が生じる。そこで、ディフューザの流入部と流出部でどの程度圧力が上昇したかがディフューザの特性の指標となる。本研究では、ディフューザにおける流路の入り口と下流で圧力を測定し、それらの圧力差 $\delta P$ により流体特性を評価した。

BMDを適用したディフューザと、BMDを適用していない従来のディフューザについて、流量 $Q$ と $\delta P$ との関係をプロットしたグラフを図8に示す。縦軸、横軸ともに設計での値で規格化している。従来のディフューザは、低流量側で圧力性能が低下する、いわゆる、失速現象が生じている。一方、BMD翼では、圧力性能が低下しておらず、失速が生じていない。図8に示すように、設計点である $Q=1$ から、 $\delta P$ が最大となる流量の範囲が、装置が安定的に作動する範囲であり、この範囲はサージマージンと呼ばれる。BMDディフューザは、従来のディフューザと比較して、剥離が抑制され、サージマージンが向上する可能性がある。サージマージンの拡大は、遠心圧縮機がより広いプラント運転条件で制御されることを可能にするので、遠心ブロアの能力を向上させるのに非常に有益である。

## 5. まとめ

本稿では、筆者らが確立した、サメの楯鱗構造を用いたBMDの設計方法、および、遠心ブロアのディフューザにBMDを適用し、流体制御を実証した例について解説した。バイオミメティクスの工学応用においては、生物機能の発現原理を理解した上で、工学的な設計に落とし込んで応用することが肝要である。今後は、ディフューザ以外の工

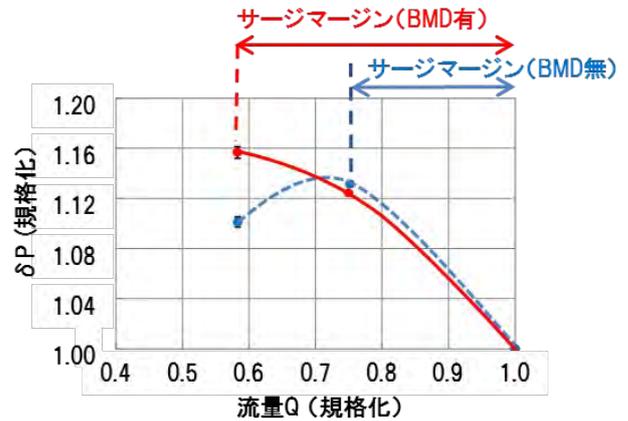


図8 流体特性評価結果

業製品についてもBMDの効果を検証し、BMDの適用を広めていきたい。

## 参考文献

- 1) Bechert, D. W., Bruse, M., Hage, W.: Experiments with three-dimensional riblets as an idealized model of sharkskin, *Experimental Fluids*, Vol.28, pp.403-412 (2000)
- 2) Mariko Miyazaki, Yuji Hirai, Hiroshi Moriya, Masatsugu Shimomura, Akihiro Miyauchi and Hao Liu, *Biomimetic Design Inspired Sharkskin Denticles and Modeling of Diffuser for Fluid Control*, *Journal of Photopolymer Science and Technology*, Vol.31, No.1, pp.133-138 (2018)
- 3) Mariko Miyazaki, Yuji Hirai, Hiroshi Moriya, Masatsugu Shimomura, Akihiro Miyauchi and Hao Liu, *Biomimetic Riblets Inspired by Sharkskin Denticles: Digitizing, Modeling and Flow Simulation*, *Journal of Bionic Engineering*, Vol. 15, pp.999-1011(2018)
- 4) 宮崎真理子、日本フルードパワーシステム学会誌、Vol.49, No.5, pp.227-230 (2018)
- 5) 本多武史、坂上誠二、馮益祥、船崎 健一: 小型遠心ブロウ用羽根付きディフューザの翼間曲率半径が及ぼす流れと性能への影響、*日本機械学会論文集*, Vol.80, p.FE0225 (2014)

## 謝辞

流体制御に関する研究に関しては、2016-2017年度の国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 委託事業「エネルギー・環境新技術先導プログラム“生物表面模倣による難付着・低抵抗表面の開発”」の成果である。また、ツマグロの観察と構造計測は、株式会社島津製作所のデータである。関係各位に感謝します。

## バイオミメティクスの医療応用：すべらない手袋

中野 紀穂（帝人フロンティア株式会社）

平川 聡史、妹尾 千代、鈴木 浩司、高久 康春、河崎 秀陽、針山 孝彦  
（国立大学法人・浜松医科大学）

### 要旨

多くの昆虫やヤモリは、垂直の壁を登り天井にくっついて逆さまに歩く。これは、彼らの脚先が非常に高い接着性を有し、自身の体重を保持できることを示している。その接着力は、先端が数100nmから数 $\mu$ mサイズであるseta（剛毛）と呼ばれる柔軟性のある毛によって引き起こされるファンデルワールス力に起因していて、一つ一つの毛が高密度に集積することによって体重を支えるだけの接着力が生まれていることが知られている。最近、我々が開発したNanoSuit®法と呼ばれる生物系試料を生のまま濡れたまま走査型電子顕微鏡観内で観察する方法を用いて、生物のsetaの構造に類似した人工物である布の画像を撮影し、情報処理技術を用いて類似検索したところ、“NANOFRONT®”の表面構造が類似していることがわかり、この布の高い接着性が予測された。

一方、抗がん剤療法によって患者の中には指紋が消失することがある。指紋は、物体をつかむ機能を支配する重要な皮膚の形態の1つであるため、それらの患者は物を掴むことができず、日々の生活において様々な制限が生じ、QOL（Quality of Life）の低下という問題があることが知られていた。これらの患者のQOLを改善するために、小さな動物の脚先がもつ接着能にヒントを得て、人工物であるNANOFRONT®を用いた患者の生活支一手袋の開発を、バイオミメティクス研究の成果の一つとして社会実装を目指した。

### 序論

現在、国内において死に至る確率の高い病気は、ガンである。手術治療や放射線治療は、ガンに対しての局所的な処置であるのに対し、抗がん剤の投与は、より広い範囲に治療の効果が及ぶことが期待できる。そのため、ガンの転移が起こっている場合はもとより、転移が見つかっていても予防のために抗がん剤の投薬療法が実施される。しかし、抗がん剤は、活発に増殖する細胞に対して効果を及ぼすため、ガン細胞だけでなく、皮膚

や腸管、骨髄、毛母細胞など、細胞が分裂したり増殖したりすることで機能を維持している組織や器官に副次的に影響を与えることがある（Kristen et al. 2014）。そのため、投薬療法を受けている患者の中には、副作用としていくつかの障害に苦しむことがあり、そのうちの一つとして指紋の消失が挙げられる（Al-Ahwal 2012）。ヒトの指紋は、指先で物をつかむ際に摩擦力を増やす役割を果たしているが、指紋を失った患者では滑りが生じ、物を掴みにくくなるため日常生活においてさまざまな制限が生じている。たとえば、新聞をめくれない、ペットボトルの蓋が開けられないなど、日常のいろいろな場面における所作に影響を与える。日々の生活を可能な限りスムーズに過ごせるよう、患者のQOL（Quality of Life）の向上を促進させることは、ガン治療による副作用に対しての予防策、症状を軽減させるための支持療法の一つとして緊急の課題といえる。

我々は、この緊急の問題を「バイオミメティクス」の考え方で解決することを目的とした。ヤモリや多くの昆虫の脚先は、その微細なseta（剛毛）構造によって非常に高い接着性を有することが報告されている（Arzt et. al. 2003）。我々は、多様な接着性をもつ昆虫の脚の裏の構造を走査型電子顕微鏡で観察しデータベース化した。また、隔週で北海道大学総合博物館において実施していた走査型電子顕微鏡（SEM）像を見てグループディスカッションする「画像検討会」において、走査型電子顕微鏡像の構造から推察される機能に関する議論を続けた。接着性をもつ昆虫の脚の裏の構造には、ヤモリと同様のsetaと呼ばれる構造をもつものが多々あり、情報処理技術を用いてsetaに類似した人工物の画像を検索する（Haseyama et al. 2017）ことにより、超極細のポリエステル繊維“NANOFRONT®”を使用した生地到达了し、この生地の高い接着性が予測された。そこで、指紋を失った患者が簡便に使用でき、QOLを改善できる手袋の開発を実施した。

## 開発と考察

### ヤモリや昆虫の脚先の接着

ヤモリは、脊椎動物の爬虫類のヤモリ科に属し、南極を除く世界中に広がって分布している。ガラスやタイルなどの平らな垂直の壁に登ったり、天井に逆さまに張り付いたりでき (Autumn, 2006)、鱗翅目などを含めた小さな昆虫を餌として捕まえ食べるものが多い。ニホンヤモリ *Gekko japonicus* は、全長 10cm 程度の不鮮明な斑紋をもつ灰色の体色で、環境に応じて体色の明暗を変えることが知られている。ヤモリは、家守と漢字が当てられることがあるように、家を守る縁起のよい動物とされる。実際、害虫を餌にして生活しているともいえ、木造建築につきやすいシロアリなども駆除してくれる。

ニホンヤモリを透明な天井に張り付かせて撮影すると、四肢のそれぞれの 5 つの指先に層状に見える構造があることがわかる (図 1 a, b)。走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察すると指先に鈎状の構造がある (図 1c) が、鈎ではなく層状の構造部分だけが平面の天井に触れていることから、この構造がニホンヤモリの体重を支える高い接着能が

あることがわかる。この構造部分を、SEM を用いて高倍率にして観察する (図 1d) と、たくさんの seta があることがわかる。その seta の先は割れた構造をしている (図 1e)。seta が接着する基質との間の力はファンデルワールス力 (van der Waals force) である (Autumn et al. 2000)。ファンデルワールス力は、双極子と双極子の相互作用、双極子とそれによる誘起双極子との相互作用、および誘起双極子と誘起双極子との相互作用によって、seta の先の分子と基質の分子の間に形成される結合であるので、seta の先が多数に割れていることによって実効的な接着面積が増えることで相互作用が増え、接着力が増している (Autumn 2006, Tian et al. 2006)。また、この接着力は温度や湿度にも依存していることも報告されている (Niewiarowski et al. 2008)。たくさんの seta が接着面積を上げてファンデルワールス力を駆使していることを知っても、全長 10cm を超え、体重が 4g 近くあるニホンヤモリが天井に張り付き歩くことができるのは驚くべきことである。

ヤモリだけでなく多くの昆虫も、垂直の壁や天井を歩くことができる。たとえば、夏の間、ユリ

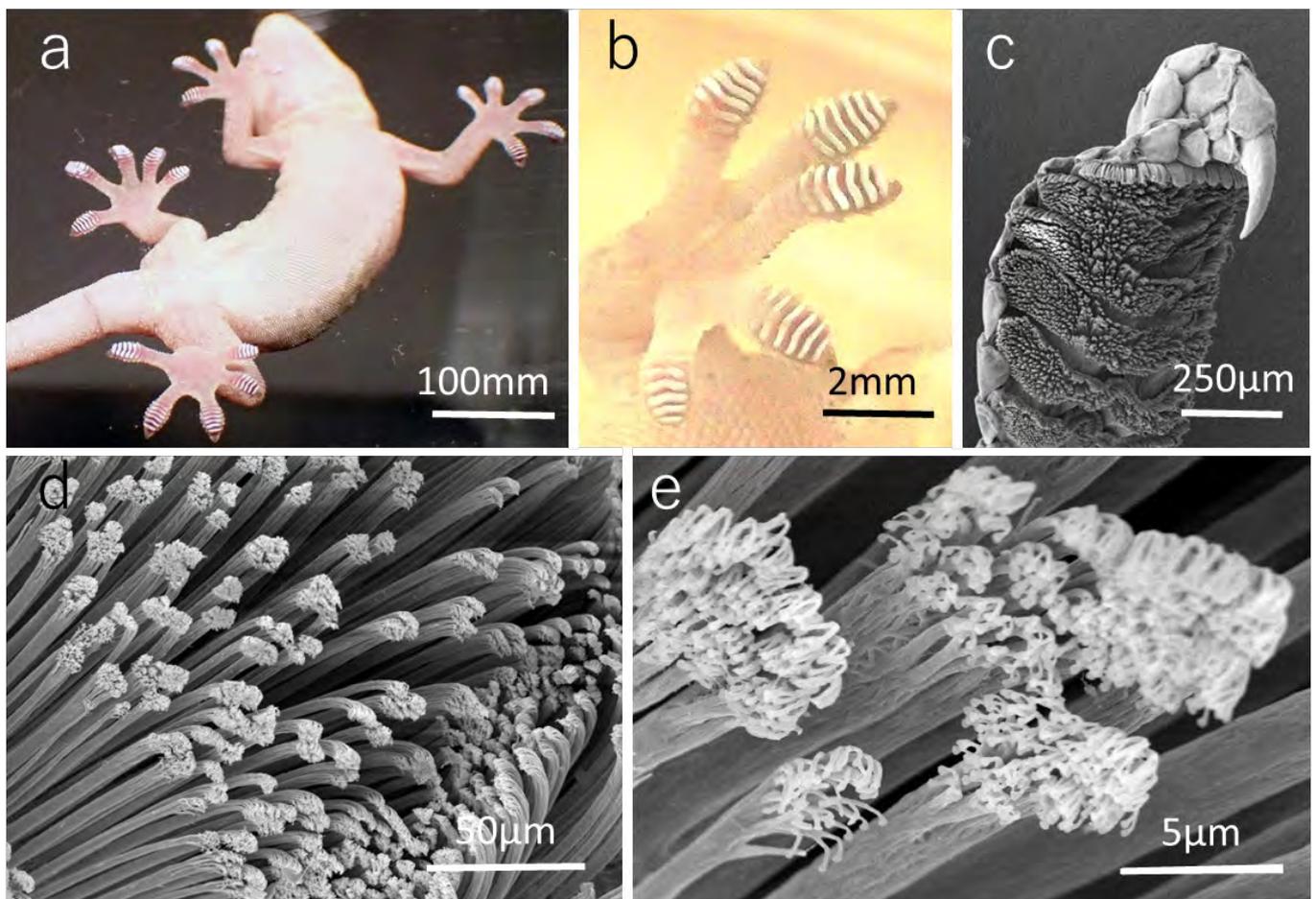


図 1. a. 天井に張り付いている時のニホンヤモリの四肢、b. ヤモリの肢の裏側のクローズアップ、c. 一つの肢先の SEM 写真、d. seta の集まり、e. seta の先端像

の葉を餌として生活しているユビクビナガハムシ *Lilioceris merdigera* (図 2a) は、垂直の葉の上を歩き風にあおられても落下することはない。もちろん平らな天井にも張り付くことができる (図 2b)。その脚先を SEM で観察すると、ヤモリと同じように脚の先端に鈎状の構造をもち、かつたくさん *seta* を備えている。*seta* の先端形状は、毛のよう (図 2d) であつたり、先が二又に分かれていたり (図 2e)、脚の場所によって異なっている。昆虫の脚先の *seta* には、*seta* のファンデルワールス力による接着だけでなく、油滴が分泌される種がいることも報告されていて (Betz2010)、その場合は、多数の *seta* による接着面積の増加と、その *seta* の先に付着した油滴の表面張力が接着力を増していると考えられている。

図 1 と図 2 を見比べて、ヤモリの *seta* の方が、ユビクビナガハムシのそれよりも細いのではないかと気づかれた読者がいると思う。マックスプランク研究所の研究グループが、天井や壁の基材に接着することができる動物の大きさとその *seta* のサイズの間に関連があることを報告した。つま

り、大きい動物ほど *seta* の先端のサイズが細くなり *seta* が密集し、小さくなるほど *seta* の先端のサイズが大きくなり疎になるのである。つまり、*seta* の先端が細くなり接触面積が増えるほど、接着力が大きくなるのである (Arzt et. al. 2003)。ハムシやテントウムシの重さは、0.04g 程度でありニホンヤモリの 1/100 であることを考えるとユビクビナガハムシの *seta* のサイズがニホンヤモリより太いことは理解しやすい。

これらの動物の接着機構では、接着したら剥がすことができないということではなく、強い接着力をもつと同時に、自ら自由に離脱することも可能である。

### ヒト指紋の役割

指紋は個人個人によってそのパターンが異なるので、コンピュータ認証などで日常的に使用されている。この身近な指紋は、*seta* と同じように基質との摩擦に関係しているのではないかといわれている (Cartmill 1979) にも関わらず、実はその摩擦に関するメカニズムは *seta* よりも明確では

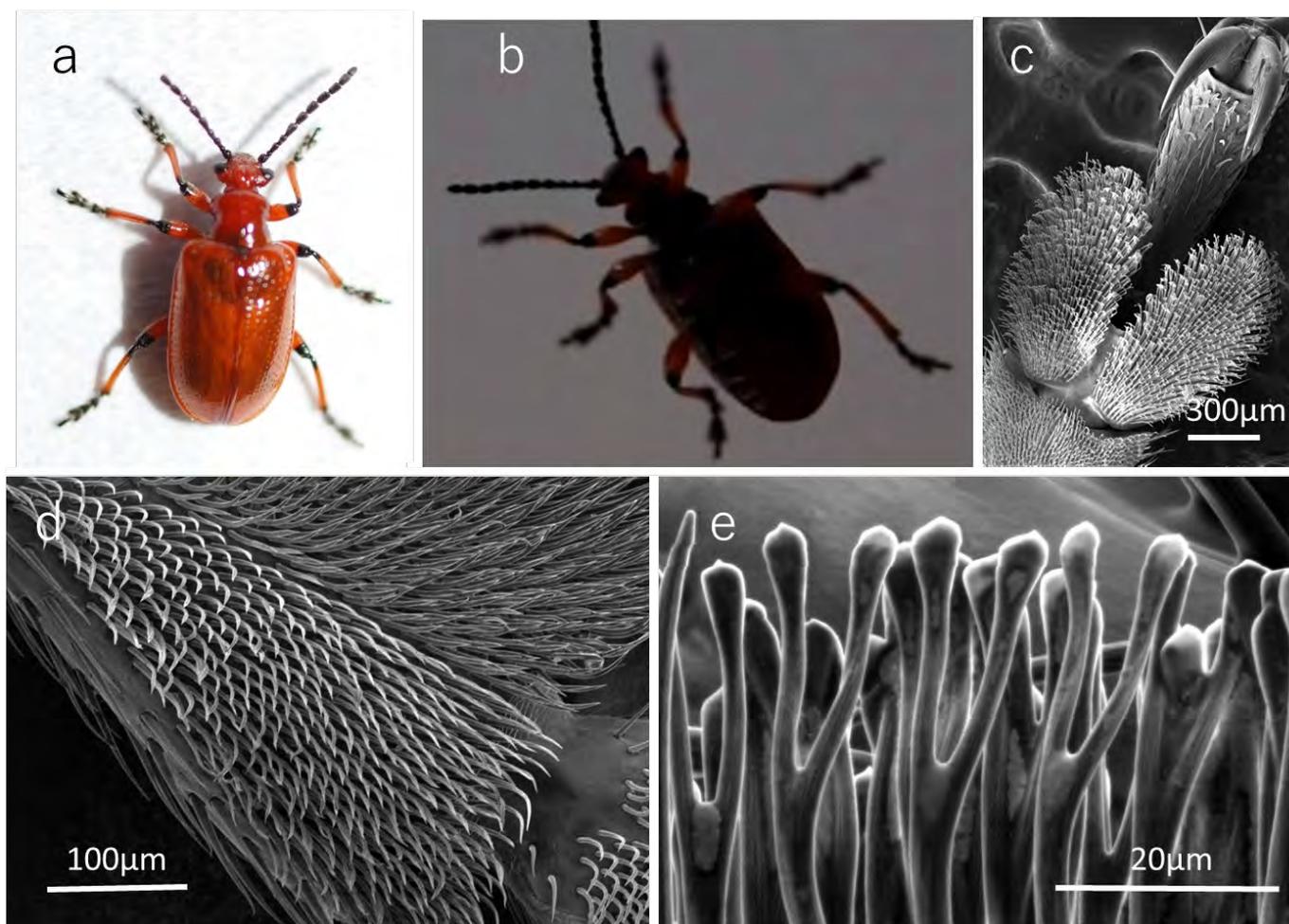


図 2. a. ユビクビナガハムシの生態写真、b. 天井に張り付いているときのハムシの脚、c. 脚先の SEM 写真、d. *seta* の集まり、e. *seta* の先端像。

ない。指紋の凸凹を使って吸盤としての機能があるといわれてきて、指紋があることが摩擦を高めていると考えられてきた (Jones & Lederman 2006) が、その一方で最近の研究報告では、指紋の山と谷の凸凹で、基質に対しての接地面積が 1/3 にも小さくなることで、摩擦力も相応に小さくなる (Warman & Ennos 2009) という報告もある。また、ヒトの指紋は、指先で物体の表面をなぞる際に、指紋がもつ凸凹によって発生する振動が増幅され、指の皮膚表面から 2mm ほど深くにある機械受容細胞であるパチニーシ小体への感度を上昇させることで、物体の表面の状態を触感として検知するのを助ける役割があることが報告された (Scheibert, et. al. 2009)。

しかし、一方で指紋を消失したガン患者の方々などが物をつかみにくくなるという QOL の低下が現実であり (図 3)、指紋がどのように摩擦機能を高めているかの研究推進することと共に、患者の QOL の低下を防ぐために指紋を代用した構造物を付与させることが急務であった。



図 3. 抗がん剤治療中の患者の指先、指紋の消失が見られる。

### Seta に類似した人工構造体の検索

下村政嗣教授を領域代表とする、新学術領域研究「生物多様性を規範とする革新的材料技術」の活動の一つとして、画像検討会を実施した。その中で seta の接着力は、微細な seta が高密度で存在しているだけでなく、基質と触れ合う際に、基質の表面に接触する必要があることがわかった。これは、ファンデルワールス力による接着の為に、微細な seta をもつ面が柔軟性をもち基質の表面に添うように変形できなくてはならないということである。つまり、seta を鉄のような剛体で

作ることでも平面の基質に対しての接着力は実現できるが、日常の中の多様な構造体に対しての接着能を実現するには、布のような変形可能な構造体が適していることがわかったといえる。

そこで、北海道大学の長谷山美紀教授が開発された「長谷山エンジン」と我々が称していた検索システム (Haseyama et al. 2017) を用いて、seta の構造と柔軟性をもつ人工物の画像検索を行った (図 4)。その結果、帝人フロンティア (株) が開発した NANOFRONT® を含む生地 of 構造が、seta に類似していることを見つけることができた。NANOFRONT® は、1 本の糸の直径が 700 ナノメートルの超極細ポリエステルナノファイバーである (Kamiyama 2012)。

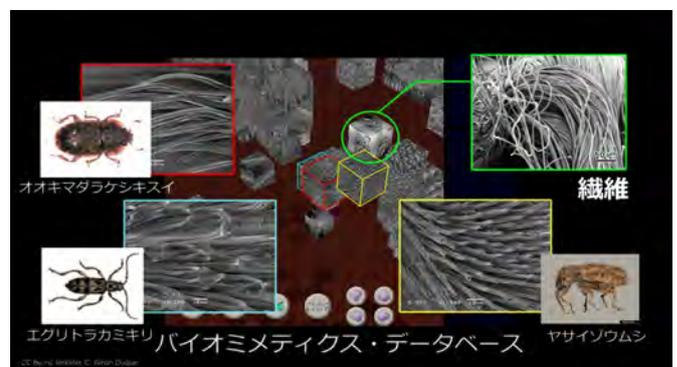


図 4. 長谷山エンジン (バイオミメティクス・データ検索システム) を用いた画像の検索。生物画像から材料開発の発想を生み出す。生物の接着機構に基づく発想支援の例。(北海道大学大学院 情報化学研究科、長谷山美紀研究室より)

NANOFRONT® で構成された生地を、電界放射型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いて観察した。生地をそのまま、生物を生のまま・濡れたまま観察する方法である NanoSuit® 法、および従来法を用いて比較すると (図 5)、その像はそのまま観察したものと NanoSuit® 法で観察したものが同様の構造を示したが、そのまま観察したものでは帯電 (チャージング) による像の歪みや乱れが生じる。一方、従来法では溶液の交換と乾燥処理の過程で繊維が毛羽立っていることがわかった。チャージングを防ぐことのできる NanoSuit® 法で NANOFRONT® で構成された生地を観察すると、多数のナノファイバーが集まっている。この構造から多様な機能をもつことが想像されたが、中でも seta がその構造から高い接着性をもつと同様の接着性を、指紋を消失したがん患者の QOL の改善に用いることができるように手袋の製造を試みた。

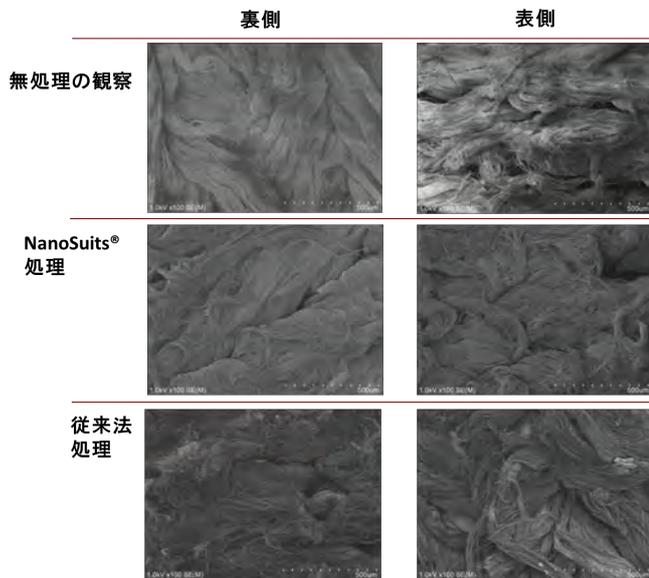


図5. NANOFRONT®で構成された生地を観察。無処理での観察ではチャージング現象があるが、NanoSuit®法ではチャージングもなく、生地そのままの形態が観察される。従来法では、溶液の交換と乾燥、金属蒸着の過程で繊維が乱れていることがわかる。

### NANOFRONT®を用いた患者用手袋の試作と社会実装 — “ナノぴた®”

ガンの薬物療法では指紋の消失のほか、末梢（まっしょう）神経障害による指先のしびれや手に力が入らないなどの副作用などが挙げられ、患者のQOLに問題が生じるだけでなく患者を支える家族やその周囲の方々の日常生活にも支障が及ぶことが多くある。一方で、髪の毛が抜けるなど患者の外見（アピアランス）にも影響を与えることがあり、患者に大きな心理的負担を導くこともある。髪の毛が抜けた場合は、患者に負担のかからない範囲でカツラを利用して、アピアランスケアが行われている。手袋を着用することもまた患者の外見に影響を与えることになり、目立たない手袋、あるいは逆に患者のニーズにあった目立つ手袋にするというアピアランスケアに注意する必要がある。

ヒトの手の指紋構造の範囲と指の移動方法も考慮し、手袋に使用するNANOFRONT®生地が占める面積を決定することにより、より利便性の高い手袋とした。つまり、ヒトの手のひらを観察すると、指紋の隆起した線（隆線）は指先の皮膚だけでなく指の腹と甲の中程まであり、また指の動かし方を観察すると人差し指と小指のこの部分で紙をめくる作業などを行っていることがわかったために、通常の縫製よりも人差し指と小指側で甲に近い部分まで長くNANOFRONT®でカバーすることとしたの

である。パイロットスタディとして、実際に指紋を消失した方々にこの手袋の使用をお願いしたところ「紙をめくり易くなった。ペットボトルのキャップが開け易くなった。」などの好評を得た。この手袋を“ナノぴた®”（図6）として商標登録し、本格的販売の拡大予定である。帝人フロンティア（株）と浜松医科大学は、今後も産学連携によってこれまでにない価値創出を推進し、患者のQOL向上に貢献していく。



図6. 患者の生活支援のための“ナノぴた®”の例。

バイオミメティクスは、工学、化学、物理学および生物学などの理系と分類される学問領域はもとより、文系として分類される学問領域とも協同して、生物の仕組みを理解して、産業界とも連携して新しいものづくりに活かしていく研究分野である。「バイオミメティクス」を「生物模倣工学」と訳されることから、得てして生物を観察してそのまま模倣する研究分野と誤解されることがあるが、残念ながら人間は生物をそのまま模倣できるだけの技術水準に至っていない。虫けら一つを作れないどころか、細胞一つを作れないのが人間の技術の現状である。バイオミメティクスは最先端の科学分野であるが、学んだ生物の仕組みを現有的人間の知識と技術を結集してもものづくりに活かすというレベルなのだ。つまり、生物の機能を生み出す構造と仕組みを学び、その研究結果をものづくりのために活かしていかなくてはならない。それによって、材料開発、生物学的プロセス合成システムの利用または機械設計や、都市や環境設計などに適用される学際的分野である。人間の叡智を結集して、自然から学ばなければならないことは数多い。

衣服にくっつく野生ゴボウの実をヒントにして

つくられた面ファスナー（マジックテープ）や、ハスの葉が水をはじく性質を利用した撥水性塗料、イカの神経系の研究によって生み出されたシュミット・トリガーと呼ばれるノイズ除去用電子回路などは、初期のバイオメティクス製品の代表例だが、我々はこれからも生物の“不思議”を見つめ、理解し、一歩ずつ新しいものづくりに挑戦していかねばならない。生物は、命を賭して性能テストを繰り返してきて、生き残ってきたものが環境に適応しているのだから。

指紋消失を補完する“ナノぴた®”は、生物の接着を担う構造や機能から着想を得たものをもとに、人工的に再現して医療現場の患者のQOLを向上させるといふ、バイオメティクス研究の延長上に産学連携のもとに社会実装できた一つの例である。

## 謝辞

長谷山エンジンの例として図4を、北海道大学情報科学研究科メディアダイナミクス研究室から提供を受けた。長谷山美紀教授及び研究室の皆様感謝する。

## 引用文献

Al-Ahwal M.S.; Chemotherapy and Fingerprint Loss: Beyond Cosmetic. *Oncologist*. Feb; 17(2): 291-293 doi: 10.1634/theoncologist.2011-0243 (2012)

Arzt E., Gorb S. and Spolenak R.; From micro to nano contacts in biological attachment devices. *Proc Natl Acad Sci USA*, 100 (19) 10603-10606 (2003)

Autumn K., Liang Y.A., Hsieh S.T., Zesch W., Chan W.P., Kenny T.W., Fearing R. and Full R. J.; Adhesive force of a single gecko foot-hair. *Nature* 405, 681-685 (2000)

Autumn, K.; How gecko toes stick. *Am. Sci.*, 94: 124-132 (2006)

Betz, O.; Adhesive exocrine glands in insects: morphology, ultrastructure, and adhesive secretion. In *Biological adhesive systems -From nature to technical and medical application*; von Byern, J.; Grunwald, I., Eds.; Springer: Berlin, Germany, pp 111-152. doi:10.1007/978-3-7091-0286-2\_8 (2010)

Cartmill M.; The volar skin of primates: Its frictional characteristics and their functional significance. *Am. J. Phys. Anthropol.* 50, 497 (1979).

Haseyama M., Ogawa T, Takahashi S., Nomura S. and Shimomura M.; Biomimetics Image Retrieval Platform. E100.D 8. 1563-1573 DOI. <https://doi.org/10.1587/transinf.2016LOI0001> (2017)

Jones L.A. and Lederman S.J.; “Human Hand Function” (Oxford Univ. Press, 2006).

Kamiyama M., Soeda T., Nagajima S. and Tanaka K.; Development and application of high-strength polyester nanofibers, *Polymer Journal* 44, 987-994 (2012)

Kristen K. and Miller M.D., Loren Gorcey B.A., Beth N. and McLellan M.D.; Chemotherapy-induced hand-foot syndrome and nail changes: A review of clinical presentation, etiology, pathogenesis, and management. *Dermatology* 71 (4), 787-794 (2014)

Niewiarowski P.H., Lopez S, Liehui G., Hagan E and Dhinojwala A.; Sticky Gecko Feet: The Role of Temperature and Humidity. *PLoS ONE* 3 (5): e2192. (2008).

Scheibert J. Leurent S., Prevost A. and Debrégeas G.; The role of ringerprints in the coding of tactile information probed with a biomimetic sensor, *Science* 323 (13), 1503-1506 DOI: 10.1126/science.1166467 (2009)

Suzuki K., Watanabe T. and Tanaka K.; Study on finger tip model with friction. 指先の摩擦モデルに関する研究. *日本機械学会論文集(C編)*74(746) 215-220 (2008)

Tian Y., Pesika N., Zeng H., Rosenberg K., Zhao B., McGulgan P., Autumn K. and Israelachvili J.; Adhesion and friction in gecko toe attachment and detachment. *Proc Natl Acad Sci USA* 103 (51) 19320-19325 (2006)



# 自然博物学に貢献するマイクロ X 線 CT システムの測定評価技術

井口 智、枝廣 雅美 (株式会社島津製作所 分析計測事業部)  
 安居 嘉秀 (株式会社島津製作所 グローバルマーケティング部)

近年、バイオミメティクスを基にした技術開発が注目を浴びており、様々な分野で製品化されている。さらなる研究成果が求められる中で、生物の内部構造の観察ができるものとして、X 線 CT は有効である。本稿では、2018 年 9 月に行われた高分子学会で発表した「自然博物学と最新マイクロ X 線 CT システムの測定評価技術」の内容を紹介する。

## 1. はじめに

生物の構造を観察する手法としては、目視やカメラでの外観観察や微細な部分はルーペや顕微鏡などを使用する方法がある。一方、内部構造を観察する手法として、解剖や切片の作成などがあるが、対象物の固定時や切片作成時に構造が崩れることがある。さらに、対象物の破壊が必要となるため、元の状態に復元することができない。また、琥珀中の化石など外側が不透明なものの場合、観察が困難なことがある。

これらの課題の解決に X 線 CT が有効である。X 線 CT は非破壊で対象内部の情報を得ることができるため、対象物の構造を崩すことがない。また、容器に入れられた状態のまま比較的短時間に三次元での情報を得ることができるため、乾燥などの影響を受けることも少ない。さらに、三次元形状のデータを活用し、構造解析のシュミレーションや 3D プリンタによる造形を行うこともできるため、製品への応用などの開発に繋がる手法としても注目されている。

## 2. X 線 CT による観察の原理

### 2.1 X 線透視撮影

X 線は波長が短く物体を透過する能力があり、透過する際に一部がその物体に吸収され減衰する。材質が同じ場合は、厚みがあるものほど減衰量が多くなる。一方、同じ厚みの場合、より密度が高いものほど減衰量が多くなる。この実例を Fig. 1 に示す。

1 円玉を 3 枚重ねた Fig. 1 上の画像例では、枚

数が増えるほど X 線量が減衰していることが分かる。また、密度差のある実例として Fig. 1 下のように入力アルミニウムが主原料の 1 円玉よりも青銅が主原料の 10 円玉の方が密度が高いため、X 線の吸収量が多いのが分かる。

このように、物体の一方向から照射し減衰した X 線量をこれと対向する側に設置した検出器で得ることで、X 線透過方向の厚みや密度の違いを画像の濃淡 (明暗) として画像化したものが、レントゲン写真に代表される X 線透視画像である。

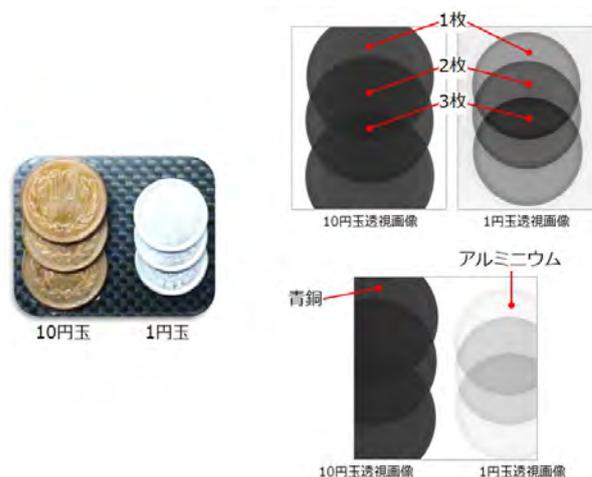


Fig. 1 X 線の減衰による透過像の違い

### 2.2 拡大投影

X 線透視撮影は、Fig. 2 に示すように影絵と同じ原理で拡大投影され、撮影対象 (ワーク) を光源 (X 線源) に近づけることでより拡大した画像を得ることができる。撮影対象の構造を詳細に観察する場合はより高い拡大率で撮影することが必要となる。その際、ワークの大きさや形状から得られる拡大率が制限されることもある。また、拡大率を上げて撮影する場合、X 線源のスポットの大きさ (焦点サイズ) が解像度に影響を与える。焦点サイズが小さいほど高拡大時に画像のボケの少ない画像を得ることができるため、微細構造を高拡大で撮影する場合は、マイクロフォーカスと称される焦点サイズが数  $\mu\text{m}$  レベルの X 線源が採用されている。



Fig. 2 拡大投影の原理

### 2.3 X線CT

X線透視撮影では、対象の内部情報を非破壊で透視観察することができるが、X線透過方向の情報が重なり合っているため、この方向の情報を分離して得ることには限界がある。これに対し、X線CTでは、複数の方向からのX線透視撮影を行い、この情報を元に断面画像を構成（再構成と称する）する。

医療用のX線CTでは、人の周りをX線管が回転することにより情報を収集するが、産業用のX線CTでは、X線管と検出器を固定してワークを回転させることによって複数の方向からの情報を収集する方法が主流である。

このことにより、ワークの回転位置を変えることができるため、拡大率の可変が可能になる。また、現在はコーンビームCTと呼ばれる撮影方法が主流である。この方法は、一度の撮影で複数枚の断面画像を得ることが可能である（Fig. 3）。

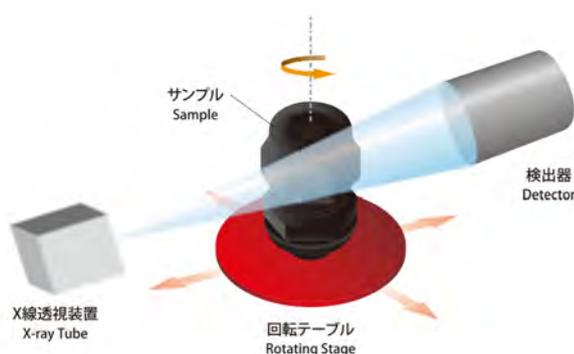


Fig. 3 X線CT撮影

## 3. 断面画像の表現方法

### 3.1 MPR

MPR (Multi Planar Reconstruction: 多断面再構成像 (任意断面表示) ともいう)) とは、複数枚の断面画像を仮想空間上に積み上げて、互いに

直交する3断面 (①、②、③) と、断面②か③に直交する任意断面④の、計4画像を並べて表示する方法である (Fig. 4)。当社製X線CT装置の制御ソフトウェアにはMPRが内蔵されており、観察したい任意の位置、方向の断面画像をリアルタイムに表示することが可能である。

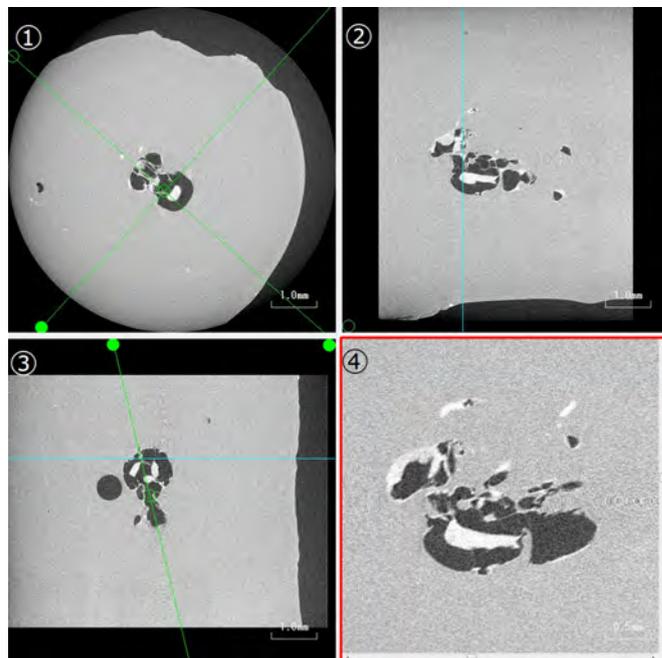


Fig. 4 MPR表

### 3.2 VR

VR法 (Volume Rendering: ボリュームレンダリング) とは断面画像を立体的に見る方法の一つであり、複数枚の断面画像を立体であるボリュームデータにモデリングし、続いて二次元画像で立体的に見える処理 (レンダリング) を行う (Fig. 5)。本稿ではVolume Graphics社の三次元画像処理ソフトウェアVGSTUDIO MAXを使用し、VR画像を作成した。



Fig. 5 VR表示

## 4. 観察事例

### 4.1 カブトムシの観察

Fig. 6はカブトムシのX線透視画像である。容器、溶液に入れられた状態のまま内部が観察できた。

Fig. 7は断面画像をMPRで表示した例である。

Fig. 8は断面画像をVR表示した例である。このように、あたかも実物を切断したかのように標本の内部構造を観察することが可能で、背腹筋、後脚基節など様々な組織を確認することができた。画像の切断箇所は任意に変更することが可能で、コンピュータ画面の中で、現物を眺めるように自由に方向を変えることもできる。



Fig. 6 カブトムシの透視画像

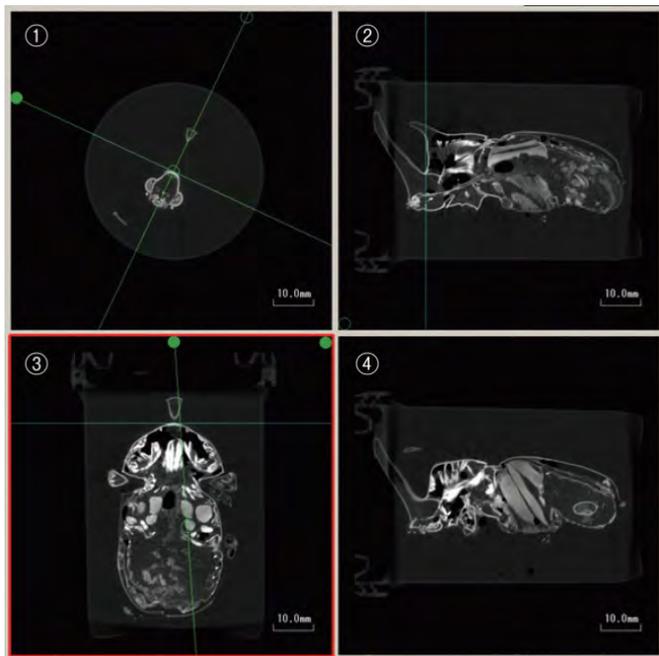


Fig. 7 カブトムシのMPR表示

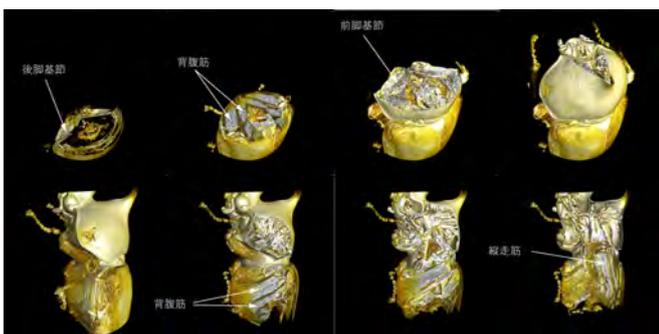


Fig. 8 カブトムシのVR表示

### 4.2 ヨツコブツノゼミの観察

Fig. 9はヨツコブツノゼミのMPR像である。全長3mm程度と非常に小さなもので、カブトムシ同様、容器に入れられた状態で撮影を行った。

Fig. 10はヨツコブツノゼミのVR像である。頭の方に四つのコブがある特異な形状をしている。拡大撮影を行っているため、このような形状も詳細に観察可能である。また、飛翔筋も大きく斜めに配置されている状態が観察できた。

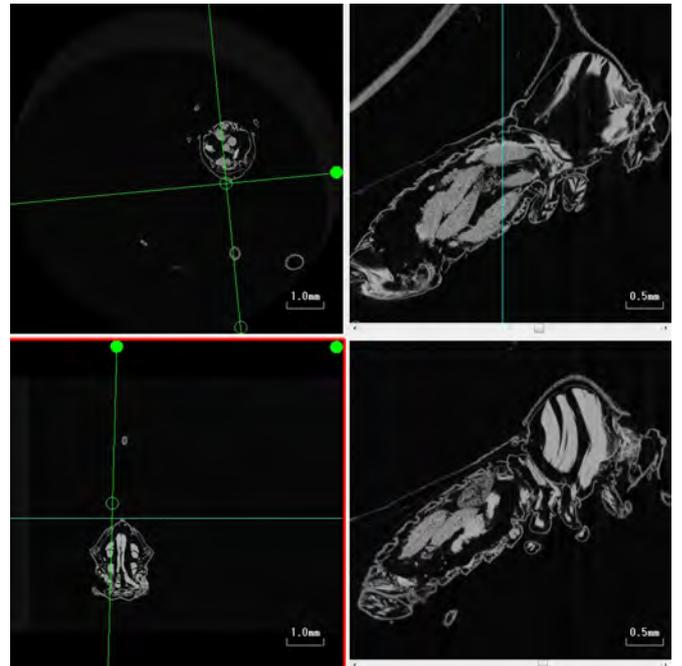


Fig. 9 ヨツコブツノゼミのMPR表示



Fig. 10 ヨツコブツノゼミのVR表示

### 4.3 琥珀中のハネカクシ化石の観察

Fig. 11は琥珀中のハネカクシの化石をMPRで表示した例である。琥珀が白く映っているのは昆虫より琥珀の方がX線吸収量が多いためである。こ

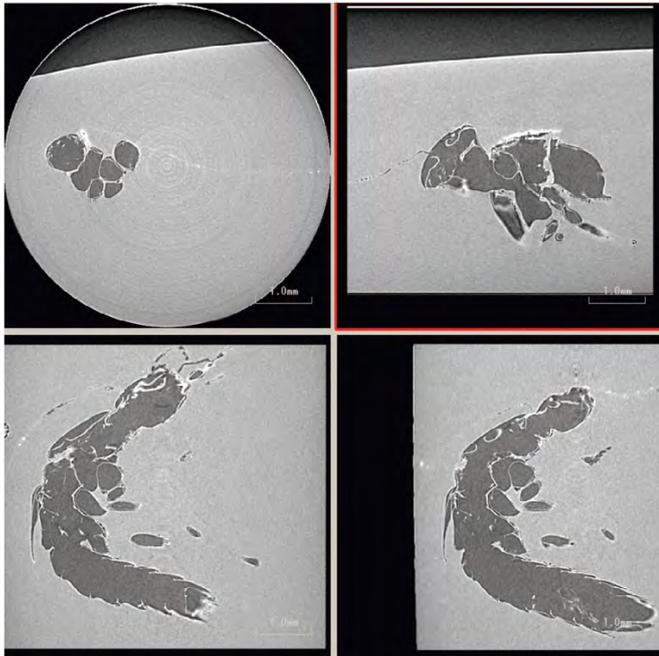


Fig. 11 ハネカクシ化石のMPR表示



Fig. 12 ハネカクシ化石のVR表示

のままの状態で行くと琥珀が表示されてしまうため、白黒の濃淡表現を逆にし、サーフェスレンダリングを行ったのが Fig. 12 である。頭部は琥珀の侵食によりほとんど形状を残していないが、胸部から腹部にかけてきれいに残っており、体毛もある程度確認することができた。

琥珀中の生物化石の観察においては、高解像度の光学カメラや顕微鏡での観察の方が優れている場合が多いが、カット面の角度や光線の当たる方向、途中に存在する気泡や異物の影響もあるため、マイクロ X 線 CT と合わせて両方を活用することで、より正確な形態観察をすることができる。

#### 4.4 ハコフグの観察

ハコフグは釣り上げられ冷凍保存したものを撮影した。Fig. 13 左はハコフグの全身を撮影した MPR 像である。特長のある外殻や内部の骨格、

浮袋の状態などを観察することができる。Fig. 13 右は頭部を拡大撮影した MPR 像である。全身撮影では分からなかった歯の生えている状態や1本の骨の構造などを観察することができる。今回は、冷凍状態を維持するために、X線吸収の少ない容器に保冷剤を入れたまま撮影を行った。このように状態保存したいものや固定が難しく形状を維持したい場合でも、発泡スチロールなどを使用し形状を安定させて撮影することもできる。

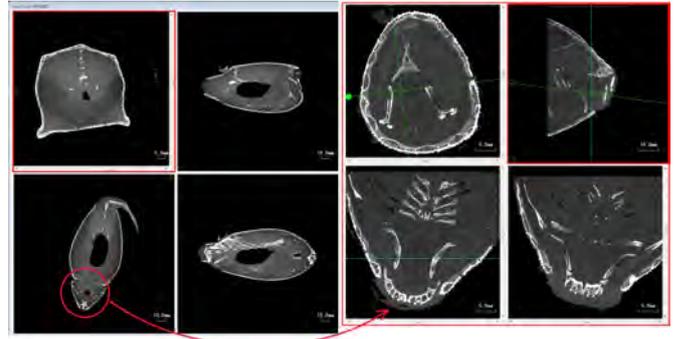


Fig. 13 ハコフグのMPR表示

#### 4.5 サメの鱗の観察

次に、サメの鱗の観察事例を示す。サメは泳ぐ際、水の抵抗を少なくするような構造であることは知られている。今回は、トラフザメとオオメジロザメ (Fig. 14) の鱗を撮影した。Fig. 15 はそれぞれのウロコを拡大した画像である。流線型の鱗が規則正しく配置されていることが分かる。皮膚の一部を切り出し X 線 CT 撮影し、VR 表示したも



Fig. 14 トラフザメとオオメジロザメ

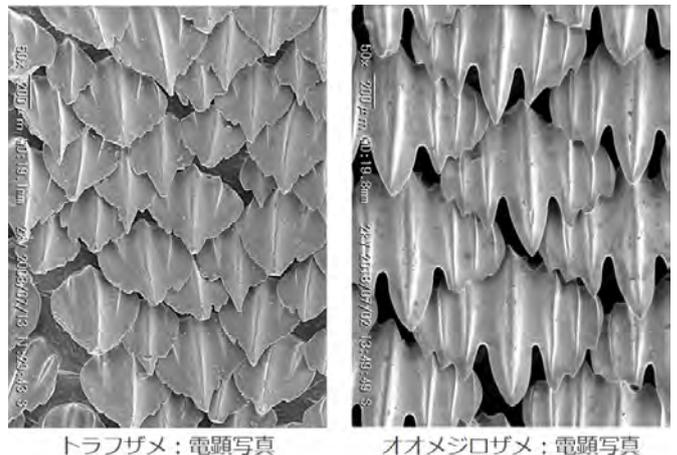


Fig. 15 電子顕微鏡写真

のが Fig. 16 である。海底に生息しているトラフザメと主に遊泳しているオオメジロザメでは、鱗の並びにも違いが見られる。電子顕微鏡の画像では、表面から見える部分のみが表示されるが、X線CTのデータでは、重なりある部分や皮膚内部の形状まで表現することができる。また、鱗一つを抜き出し詳細な形状観察を行うこともできる。サメ肌の表面形状は流体抵抗の低減化を実現するものとして、競泳水着のほか船体、航空機の機体への応用が注目されている。

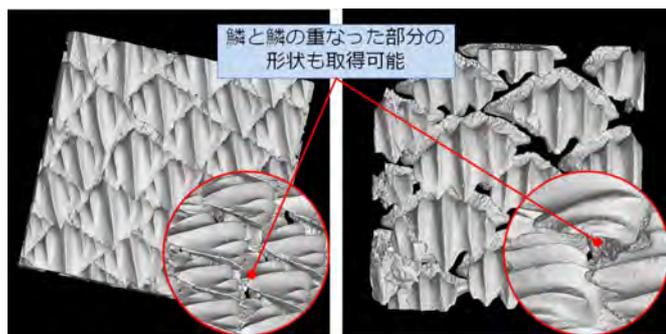


Fig. 16 VR表示

## 5. X線CTデータの応用

これまで、X線CTで撮影されたデータの観察について述べてきたが、このデータを使用した応用例を紹介する。X線CTのデータは三次元的に構成することができるため、この情報を使用し、表面情報を一定の閾値以上を塊として表面形状を見

ることができるサーフェスレンダリングと呼ばれる表現方法もある。サーフェスレンダリングにて表現した面形状はSTL (Standard Triangulated Language) と呼ばれるフォーマットに変換することができ、このSTLを3Dプリンタ対応のソフトウェアに入力することで造形することができる。STLデータを拡大や縮小し、製品サイズへの出力を行うことで、流体抵抗のシミュレーションなどを、より具体的に行うこともできる。

Fig. 17は、三次元データから鱗の一つを抜き出し、STLへポリゴン化したデータを元に3Dプリンタで出力した実例である。

## 6. 自然生物学研究へのマイクロCTによる貢献

島津製作所では、2014年以來、文部科学省新学術領域研究「生物多様性を規範とする革新的材料技術」の研究グループ（領域代表：千歳科学技術大学下村政嗣教授）による全面支援の下、最新研究テーマに関する素材と知見を提供いただきながら、バイオミメティクスをメインテーマに掲げた講演会や技術資料 (Fig. 18) の作成などを行ってきた。特に自然生物学研究者の方々による知見は本分野の発展の鍵となると捉えられており、我々も積極的にマイクロCT装置を中心に分析評価装置全般を駆使したアプリケーション開発を行ってきた。それらの得られたデータに対し、グループ

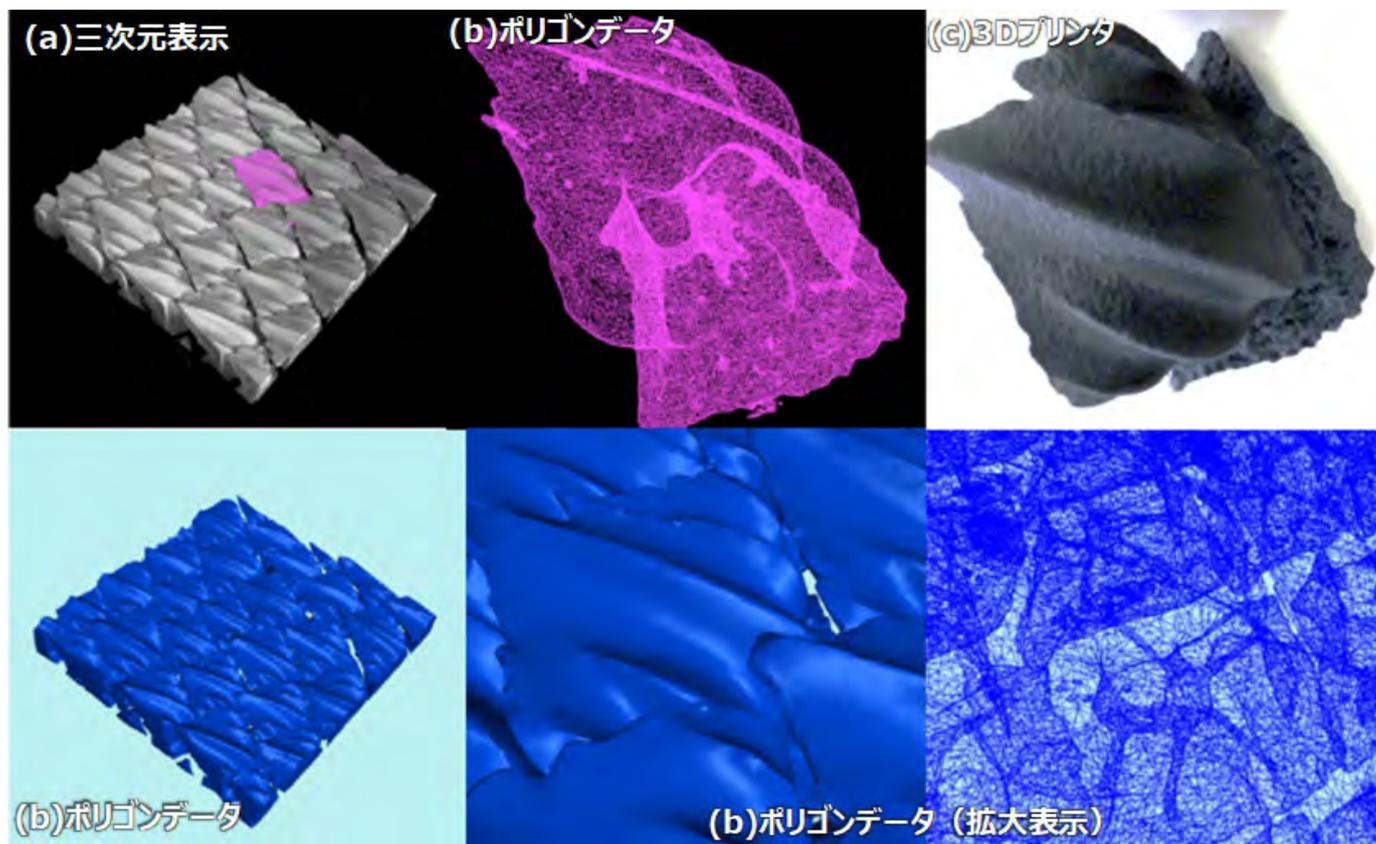


Fig. 17 三次元表示から3Dプリンタの出力

から頂戴した評価をまとめてみるとマイクロCTの貢献について次のような要因があると考えられる。



Fig. 18 島津新素材アプリケーション集 I 「バイオミメティクス (生物模倣技術)」

### 6.1 生物標本データベース化への貢献

外観からの表面観察だけでなく、基本的には撮影対象を非破壊状態のまま詳細に内部を観察することができるため、内部構造も含めたモデリングも可能である。得られたデータはSTLファイル形式など汎用3Dデータ用フォーマットとして管理できるのでこれを標本としてデータベース化することへの貢献が期待できる。

### 6.2 生物研究者のさらなる知見獲得への貢献

捕獲されたものだけでなく、琥珀中の生物化石の生物や、ホルマリン、エタノール付け、冷凍保存などの貴重な標本であっても、そのまま、あるいは簡易な染色処理を行うだけで骨格だけでなく、内蔵、部節、器官などの内部構造や寸法、進化過程などの情報を非破壊で入手することができる。これまでの表面情報主流の考察から、さらに深化した生物の体内情報へと考察が進められていく可能性がある。

### 6.3 生物の機能性、貴重標本資料の普及活動への貢献

博物館が所有する貴重標本資料や生物資源の機能性紹介を行う際、三次元的な動画や生体内部画像のプレゼンテーションは、来訪者の年齢や性別などを問わず興味を引きやすく、展示企画への顧客満足度が高まるものと期待される。

## 7. まとめ

このようにマイクロフォーカスX線CTシステムを使うことで、非破壊で昆虫や魚類内部の情報を得ることができるため、骨構造だけでなく軟組織の観察や光学顕微鏡での観察が難しいものにも有効である。

また、構造の観察だけでなく三次元形状データや3Dプリンタなどへの出力を行うことで構造解析などのシミュレーションや設計情報(CADデータ等)への変換も行うことができる。

これらの点より、マイクロフォーカスX線CTシステムは自然博物館およびバイオミメティクス研究において非常に有用なツールになるものと期待される。

## 謝辞

本稿で紹介した観察事例は、各々以下の方々の協力を得て編集したものである。ここに、感謝申し上げます。

- ・カブトムシ、ヨツコブツノゼミ：国立科学博物館 動物研究部 野村周平氏、中瀬悠太氏
- ・琥珀中のハネカクシ化石：米国シカゴ・フィールド自然史博物館 山本周平氏
- ・サメの鱗：沖縄美ら島財団 沖縄美ら海水族館 佐藤圭一氏、横山季代子氏

また、バイオミメティクス研究分野を当社に紹介いただいた千歳科学技術大学下村政嗣教授に重ねて感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 篠原現人、野村周平(編)：生物の形や能力を利用する学問バイオミメティクス、国立科学博物館叢書、東海大学出版部、vii+153pp(2016)
- 2) 野村周平、枝廣雅美：マイクロX線CTによる甲虫形態3Dデータ計測の試み、さやばねニューシリーズ、18、41~46(2015)
- 3) 櫛引敬嗣、枝廣雅美、野村周平、中瀬悠太、篠原現人：マイクロフォーカスX線CTによる昆虫および魚類の構造観察、島津評論、第73巻 第1・2号(2016)
- 4) 平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)「生物多様性を規範とする革新的材料技術」  
<http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/information/>
- 5) 島津新素材セミナー2015「新素材のヒントはここに!「バイオミメティクス」~生物の多様性に学ぶ新素材の創出~  
<https://www.an.shimadzu.co.jp/topics/2015/201511/element.htm>

## Biomim' expo 2018 参加報告

齋藤 彰(大阪大学大学院 工学研究科)

フランス主導によるバイオミメティクス世界最大の展示会「Biomim' expo」<sup>1)</sup>第3回が2018年10月23日、パリ・シテ科学産業博物館（Cité des sciences et de l'industrie / 注：シテ島でなくパリ市内北東端（19区の東）にある欧州最大規模の科学博物館：写真1）で開かれた。過去2回は主催者CEEBIOS（Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis / サンリス・バイオミメティクス欧州卓越拠点。読みはセビオス）<sup>2)</sup>の地元サンリス（Senlis）市で開催されたが、事業拡大と行政の協力を背景に、初のパリ開催である。パリ近郊、中世の香るSenlisには街の美しさという長所があるが、やはり集客の便宜ではメトロ圏内の魅力は大きい。なおExpoの運営自体はコンサルタント会社NewCorp Conseilが請負い、

CEEBIOSはより公的なバイオミメティクス産学官コンソーシアムである。



写真1 会場正面の外観



写真2 大ホールの内部



写真3 会場内部（正面の一部を右側から撮影）。左上のS1フロアから右のS2に降り、下に見えるのがS3フロア

2日間だった従来と異なり、開催地の都合もあり2018年は1日ずつ2回に分けられた。前半は9月6日パリ市庁舎で開かれテーマは「住」、後半の今回はそれを包括した総合版である（朝9時～19時）。もともとCEEBIOSには「材料」「住」二部門がある。「住のバイオミメティクス」は残念ながらわが国でなじみが薄いのが、影響では文明の将来を左右するといっても過言ではない。それは「家屋・建築から都市設計までを生態エコシステムの枠組みでとらえ、持続可能な環境性の高い生活圏を創る」狙いがあり、個別のメカや材料よりも「生存戦略」では重要だからである。その上、システムの考察もグローバルで、食や農業とも密接に関わる。

当日は3フロア分を使用し、入口や参加登録を兼ねたS1階から、階段を下りてメインのS2、そして地下のS3で構成された。中心イベントが行われた大ホールは入口がS2階にあるが、容積はS2とS3にわたる大規模なものである（写真2）。Expoの共催・後援リストは毎年拡大し、政府・地方行政、金融公庫や諸財団、複数の政令産業拠点、企業群、政府系の環境コンサルや環境協会、仏国立自然史博物館、Biomimicry Europa等が名を並



写真4 多数あった建築・都市デザイン系商品デモの1つ（In Situ社。軽量・柔軟・高剛性・超短工期の変形ハニカム構造）

べる。目立つのは中小企業の参画であり、3フロアにわたり設置された各社ブースは1日ではもったいない量である（写真3）。中でも建築・都市デザイン系展示が目立つのはフランスの特徴である（写真4）。ブース展示には終日人が絶えなかったが、以下は大ホールでの主イベントを中心に紹介する。

幕開けは会場を統括する公機関Universcienceと、環境エネルギー管理庁（ADEME）の長、そしてCEEBIOS会長の3人による演説である。次に上記NewCorp Conseil理事Alain RenaudinとCEEBIOS理事Kalina Rashkinがバイオミメティクス総括を行い、続いて著名研究者Gauthier Chapelleによる環境問題講演、その後は講演兼パネル討論の大セッションが5件続き、各セッション間では短めのビデオ紹介や討論を挟んだ。

大セッションではまず大小6社が『産業界の取り組み』を述べ、パネル討論が行われた。その後、学生コンペ（トリの催しで昨年からは開始）前回1、2位の紹介を挟み、初の『国際情勢の部』（写真5）では「いかに生物と工学をシステムティックに繋ぐか」（Heriot-Watt大Julian Vincent名誉教授）が語られた後、独・英・北欧・日本（筆者が登壇／後述）の現状が紹介された。昼休みの後は『海洋の部』に9人が登壇した。海洋への高い関心はフランスの特徴で、潮流発電から海産資源、海上輸送や海底居住、海洋生物由来の新物質まで多岐にわたり、合間には多量の海洋ゴミを高効率回収する特殊船の開発がビデオで紹介された。次の『昆虫の部』では6人がナノ構造から高次機能を中心に、材料や素子・センサ・メカニクスまで多様な応用例を講演・討論した。

最後の部はやはり『持続可能な都市・街』で、土地利用・農業・自然環境・循環、等の関わりが語られた。5人の討論は時に紛糾し、経済性や効

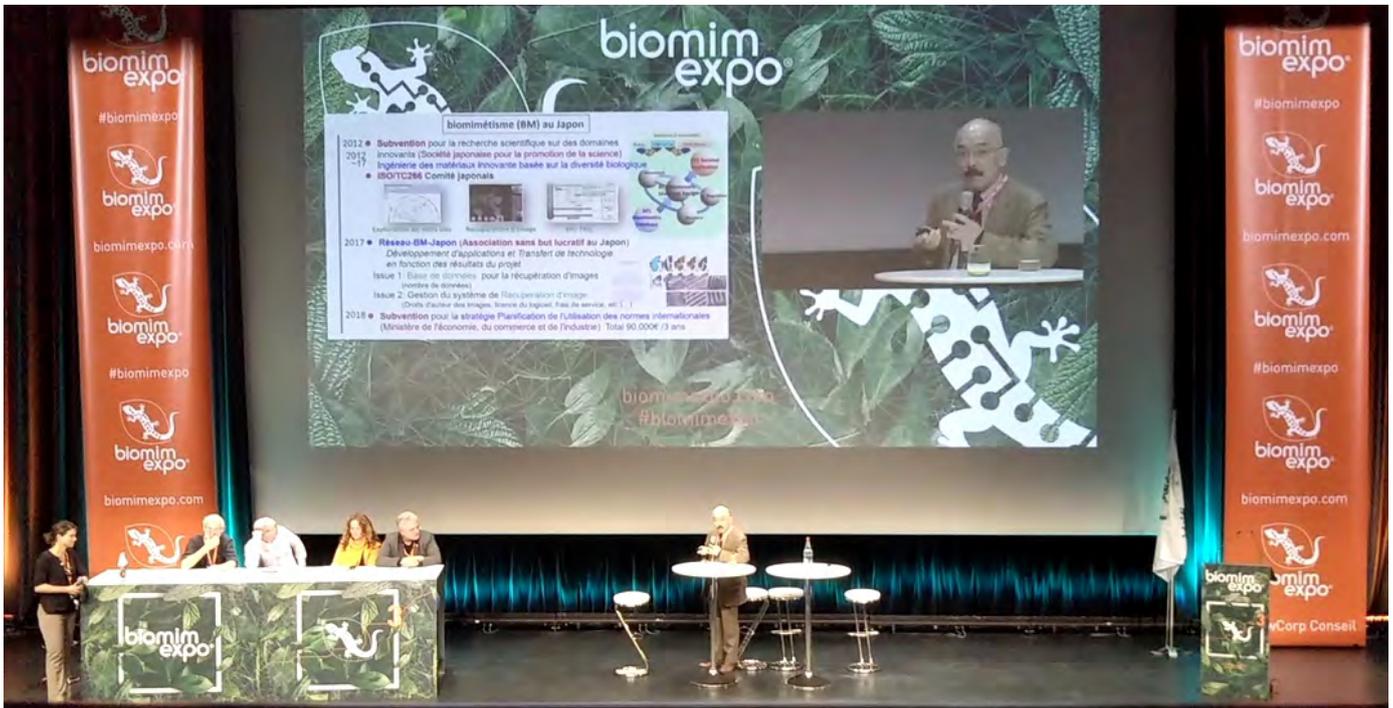


写真5 『国際情勢の部』の一場面。話しているのが筆者。

率、自然利用と収奪、多様性の定義など、根深い問題が垣間見える局面もあった。なおこの部の登壇者に De Broglie という名があったが、やはり往年の碩学の一族で（量子力学建設者の1人、ド・ブロイ波を提唱した Louis の従姪孫・次期総領）興味深かった。再び海洋の2人討論を挟んだ後、トリの「学生コンペ」は世界中から予選を通った6件がプレゼンを競い、上位3チームが表彰された。大トリはコレージュ・ド・フランス教授 Pascal Picq による「進化論に根差す多様性」とバイオミメティクスの関係を探る哲学的な講演で締めくくられた。

筆者は、登壇は初（アジアからの登壇も初）だが3年連続の参加で、その度に主催者の工夫と進歩に驚かされている。参加者は当座の集計で1500を超え（単日ながら初年度の2日合計人数から倍増近い）、ブース数も同様の傾向である。Senlis とは会場の差異もあり、否が応でも活況が印象付けられたが、年々の成長傾向は間違いない。日本の現状紹介の際に強調したのは異分野ネットワークと、データベース&シソーラスを中心とした情報戦略であるが、これは欧州諸国の関心とも一致し、本 Expo を含む今後の協力関係を強く確認しあった。過去2回冒頭演説を担った Senlis 市長 Pascale Loiseleur は、今回登壇こそしなかったが中心メンバーとして多忙な中、「毎回参加という誠意が重要である」と再会を喜んでくれた。それは他の CEEBIOS 主要メンバーも同様である。

フランスのテーマ設定は常にクリアで運営側の

努力と高い能力がよくわかるが、それでも予算獲得には苦勞しており、討論した周辺国も同様であった。唯一の例外がドイツで、個人的に今回最大の驚きが巨額の公的資金獲得である（「Living Materials Systems 計画」2019-2025で45百万 Euro、2025年の評価次第で2032年まで延長可）。独り勝ちに等しい現状の理由を登壇者 Thomas Speck 教授（Freiburg 大）に聞くと、端的には「勢いと協同力、行政の理解」の由だが、これにはフランスも意欲を新たにしていた。いずれにせよ、欧州はバイオミメティクスの奥に「環境・エネルギーそして持続可能性」を直視している。道を模索しつつも、「多様性に基づく生物資源」を文明持続の切り札として捉えている。我が国がこのままで良い筈がない。

なお、本 Expo 参加にあたり、平成30年度工業標準化推進事業委託費（経済産業省）の援助を受け、下村政嗣教授（千歳科学技術大学）、平坂雅男博士（高分子学会）にお世話になった。ここに感謝の意を表したい。

参考：

- 1) <https://biomimexpo.wordpress.com>
- 2) <http://ceebios.com>



# フランス ニューヴェル・アキテーヌ(Nouvelle-Aquitaine) 地域 (1) 建築・都市設計へのバイオミメティクスの展開

平坂 雅男

2016年にアキテーヌ、リムーザン、ポワトゥー・シャラントの3地域圏が統合し、新たにニューヴェル・アキテーヌ (Nouvelle-Aquitaine) 地域となった。首府はボルドーである。ニューヴェル・アキテーヌのレポート (La Nouvelle - Aquitaine, une région bio-inspirée : Cartographie des acteurs et évaluation des retombées socio-économiques) が2018年4月に刊行された。

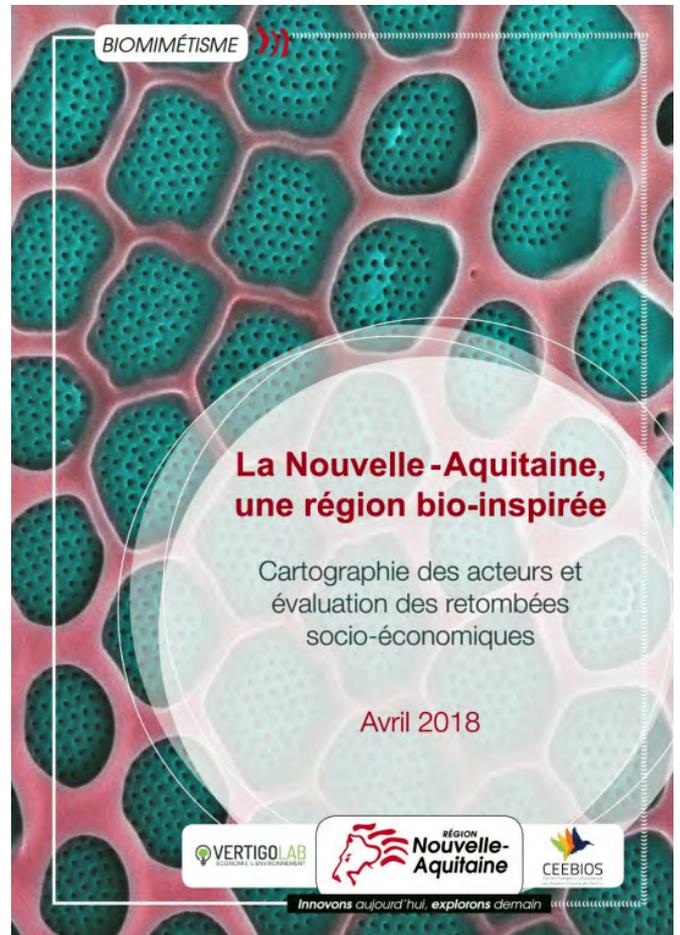
本報告は、このレポートから建築に関するバイオミメティクスの展開に関する情報をまとめた。

## 1. 経済評価

バイオミメティクスを企業の25%が活用したと想定し、10年後の経済価値を推定している。下図の4産業分野での国内総生産は、575M€ (76,490百万円) で雇用創出は5,626人となる。さらに、一次産業、二次産業、輸送産業を含めるとこの地域の国内総生産は3,177 M€ (422,627百万円) で雇用創出は31,082人まで拡大する。



産業分野	国内総生産 (M€)	雇用創出 (人)
化学/素材	122	1,103
住宅	161	1,873
農業	260	2,271
水産	32	379
合計	575	5,626



## 2. 住環境関連

この地域での課題となるキーワードは下記のとおりであり、これらの課題に関する技術と産業応用にバイオミメティクスが期待されている。

- ・省エネルギー、既存の公園の改修
- ・温室効果ガスの排出量の削減
- ・多機能化
- ・地域材料の活用、および、バイオマスの活用
- ・空気浄化
- ・生物多様の認識

### (1) 都市環境 (公害・大気質の改善)

#### Fermentalg

Fermentalg社は微細藻類のフランスのリーダーで、Libourne (Gironde) に拠点を置いている。微細藻類の生物工学的利用により、油、色素、タ

ンパク質を生産している。具体的には、微細藻類を用いて、脂肪酸（オメガ-3）、フコシアニン、アスタキサンチンなど生産している。主な市場は、サプリメントなどの健康産業および動物飼料産業である。また、日本企業であるDICと2017年9月に新世代の食用着色剤の開発で提携している。

環境分野では、CO<sub>2</sub>を固定する能力がある微細藻類の連続培養により空気の浄化を図る技術を提供している。現在、Fermentalg社は、水処理・廃棄物処理企業のSuez社とバイオリアクターの実用化を進めている。



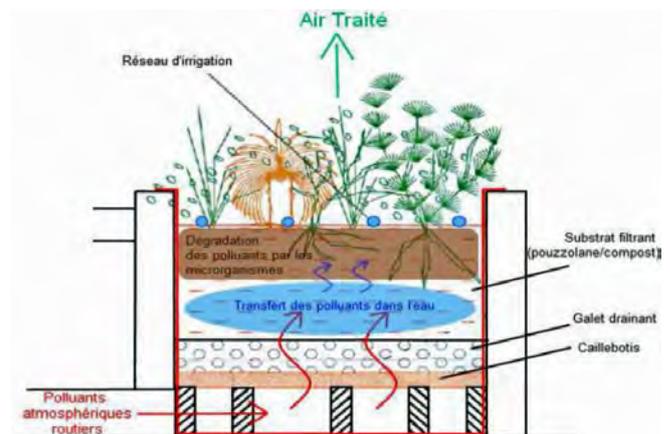
出典: <http://www.leparisien.fr/yvelines-78/poissy-un-puits-de-carbone-solution-innovante-pour-ameliorer-la-qualite-de-l-air-22-05-2018-7729512.php>

## ENGIE Lab Crigen

ENGIE グループの ENGIE Lab Crigen は、パリの Plaine Saint-Denis と Alfortville に拠点を置く、ガス、新エネルギー源の研究センターである。AMAZONIA の名称で汚染防止施設を展開している。この施設は、微細藻類バイオリアクター、水耕栽培の植物による植物飼育、ラグーン形成、植物繊維によるろ過など大気中の汚染物質を処理するためのバイオプロセスを用いている。市場展開は、汚染源となる都市の高速道路や駐車場の排水処理等がターゲットである。

## ADEME

フランス環境エネルギー管理庁 (ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) とイル・ド・フランス地区の設備技術研究所 (CETE-IF : Centre d'études techniques de l'Équipement Île-de-France) が共同実施した BIOTAIR プロジェクトは、自動車などの交通機関からの排出ガスのバイオフィльтраーション処理に重点をおいている。実証研究として、GuyMôquet トンネルに3つのバイオフィльтраーションパイロットを設置した。



出典: 「EVALUATION DE LA BIO FILTRATION Projet BIOTAIR sur le traitement des émissions atmosphériques de tunnel routier」 Juillet 2014



BIOTAIR 施設

## (2) 省電力照明

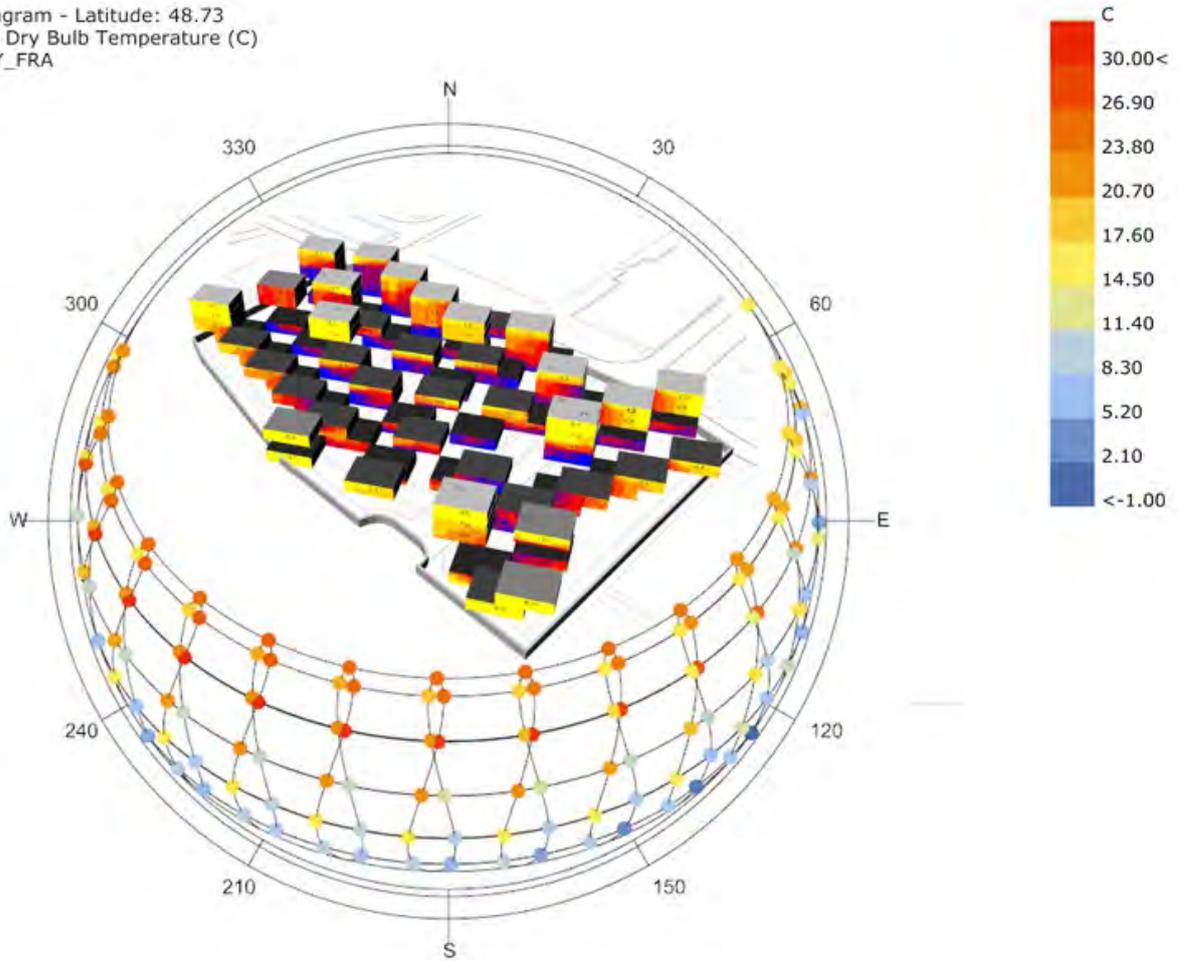
### TANGRAM ARCHITECTES : Biolumarchi

Tangram社はマルセイユに拠点を置く、建築、都市計画、景観デザインなどを手掛ける建築事務所である。Biolumarchiは、微細藻類を用いた生物発光を建築物の光源として使用するためのプロジェクトで、エネルギークラスターのCapenergiesで研究開発されている。Tangram社は、Biolumarchiを利用する建築設計を担当している。

## IN SITU ARCHITECTURE

建築デザインをビジネスとする設計事務所であり、植物に触発された建築デザインをコンセプト

Sun-Path Diagram - Latitude: 48.73  
 Hourly Data: Dry Bulb Temperature (C)  
 PARIS\_ORLY\_FRA



IN SITU の設計システム

に、直射日光の恩恵をすべての部屋（アパートメント）が受けるための配置を、居住密度や太陽光の利用効率を最適化する生体模倣アルゴリズムを開発し、建築設計に利用している。

このアルゴリズムを用いた設計手法は、INSITU と植物研究所（le laboratoire de biologie végétale RDP）との研究からスタートし、その後、建築・エネルギー・環境変革研究所である Nobatek/Inef4 で開発された。

### (3) 自然災害に対する脆弱性: 堅牢性

#### X-Tree

X-Tree は大型 3 次元プリンターを開発する企業で、XtreeE は、建築用の 3 次元プリンターの総称である。構造設計事務所の Artelia とコンクリートプレカーサーを提供する Fehr Architectural と共同で、Aix-en-Provence 地域の学校の玄関に 3 次元プリンターで作製した柱を設置した。

### (4) エネルギー消費が著しい材料の代替材料

#### Birdair

Birdair は、引張りファブリック構造の受託企業で、本拠地は米国である。フランスでも関心が



School in Aix-en-Provence

高いが、関連フランス企業名は明記されていない。

### (5) 住宅の換気システム

フランスでは、アリ塚の構造から着想した Estgate Building の換気システムなどの展開についても関心が高いが、しかし、具体的な国内の企業名はあがっていない。



# フランス ニューヴェル・アキテーヌ(Nouvelle-Aquitaine) 地域 (2) ブルー成長戦略におけるバイオミメティクス

平坂 雅男

フランス語で《Croissance bleue》と呼ぶブルー成長戦略[1]は、海洋を活用した持続可能な成長戦略で、欧州連合（EU）がCOP22（2016年11月7日～18日）の開催にあわせ、オーシャンズ・アクション・デーで、海洋エネルギー開発の重要性が表明されたことが起源となる。このブルー成長戦略により、EU全体のエネルギー需要の10%を海洋エネルギーでまかなえると推定している。ニューヴェル・アキテーヌにおけるブルー成長戦略に関連した取り組みとして、既存の企業の技術が着目されている。

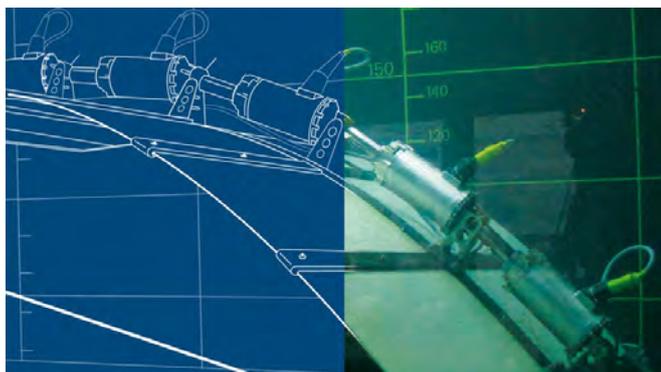
## 1. 再生可能エネルギー・水処理

### (1) Eel energy

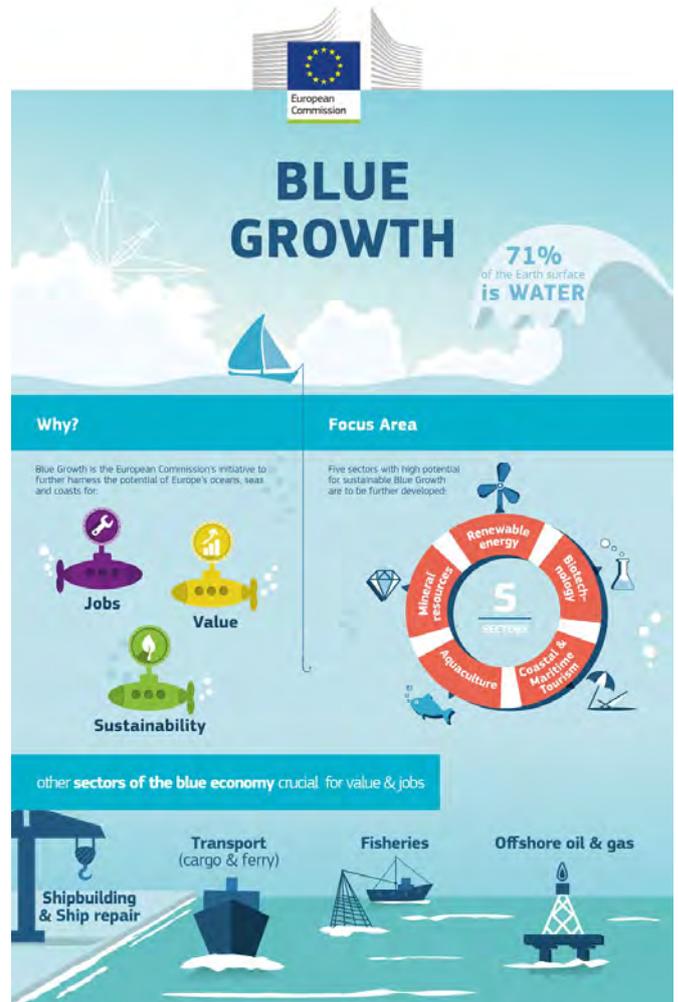
潮流発電システムを開発する企業で、潮流による膜のうねりによる発電が基本技術である。フランスのBrest湾での潮流タービンの実験では、平均約4KWに達し、約10戸の住宅を供給する性能を示した。現在、1MW級の海洋での潮流発電システムを開発する前段階として、河川用途として30～100KWのシステムの開発を計画している。



Eal energy の海洋実験



Eal energy のフィン型発電システム



欧州連合のブルー成長戦略マップ  
<http://ec.europa.eu/assets/mare/infographics/>



欧州連合のブルー成長戦略マップ  
<http://www.blue-growth.org/>

[1] Report on the Blue Growth Strategy Towards more sustainable growth and jobs in the blue economy (2017/3/31)

## (2) NBD Nano

米国ボストンに本社がある撥水コーティングなどの表面処理をコア技術とする企業で、製品として耐久性の高い自動車ガラスの撥水性コーティング (RepelShell™) がある。

NBDNano 社のコア技術を採水システムに応用展開している。アフリカのナミブ砂漠の甲虫から発想したフォグキャプチャーネットの実用研究を、サンフランシスコの丘陵地帯で実施している。濃霧の環境下で50枚のネットから、1日に最大19,000リットルの水を集水することができるポテンシャルがある。

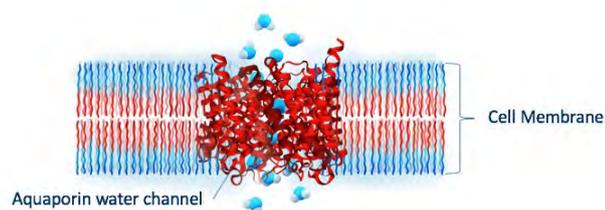


フォグキャプチャーの原理

## (3) Aquaporin

バイオテクノロジーを用いた水の浄化をビジネスとするデンマークの企業で、細胞膜に存在する細孔を持ったタンパク質であるアクアポリンを膜分離に応用している。アクアポリンが有する特殊なチャンネル構造は、水分子のみを通過させ、他のすべての化合物は排除する機能を有している。この機能により、工業用水や家庭用水のろ過および精製に使用されるろ過装置の開発を行っている。

アクアポリンを組み込んだ人工的な膜の開発では、米国特許出願第20040049230号「Biomimetic membranes」が、先行してMT Technologies Inc.から出願されている。但し、この特許には、従来の



Aquaporin 社のコンセプト

フィルターディスクに埋め込まれたアクアポリンの機能を示すデータが記載されていない。一方、Aquaporin 社は、機能性アクアポリンを組み込んだ脂質二分子層の技術開発を行っている。

## (3) Biolytix

ニュージーランド (オークランド) の排水処理場企業である Biolytix 社は、家庭用排水処理システムとして BioPod を販売している。BioPod の内部では、汚水から固形物を迅速に分離し、分離された固形廃棄物を生物によって分解している。コンセプトは、「BioPod 内に生態系をエンジニアリングする」で、メンテナンスサービスも1年間と長い特徴を有している。また、残存微細固形物は、有益な灌漑資源として利用することができる。フィジーのロロ島の住宅とホテルの開発では、約70の個々のヴィラに複数の Biolytix のユニットが設置され、熱帯の美しい庭園の高いレベルでの排水処理と補助灌漑を提供している。



Biolytix の構造

## 2. 海洋資源の利用

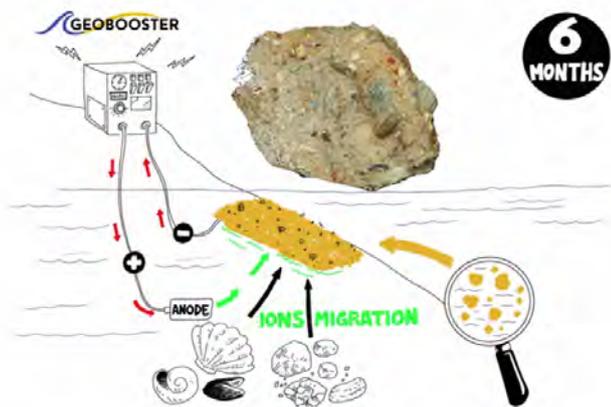
### (1) POLYMARIS

Polyaris 社は、海洋未開発資源に着目し、海洋細菌に由来する天然の生体高分子の研究、開発、生産を行っているフランスの企業である。化粧品に用途展開できるエキソポリサッカライド (EPS) を開発した。Polyaris 社は、ブレスト港に生息する700以上の種のデータベースを保有している。しわ防止 (Codif International との連携)、水処理ソリューション (Engie との提携)、バイオプラスチック (University of Southern Brittany との連携) など、積極的な共同開発を進めている。また、将来構想として、医療機器分野での Servier 社との提携を視野に入れている。

### (3) 環境保護

#### Geocorail

フランス マルセイユを拠点する企業で、沿岸侵食を防ぐために、電気化学のプロセスを利用して人工岩 Geocorail® を作る技術を保有している。Geocorail® は、海水と回収する堆積物との電気化学反応により in situ で製造される。また、海水中および土壌や堆積物中を循環する電流による凝集プロセスであることから、持続的に堆積物を凝集させることができる環境にやさしい技術といわれている。また、この技術は、すでに特許出願 (W02015086948) されている。海洋上の風力発電装置や海洋上の石油掘削基地の足場の浸食を防止するためにも利用できる。



Geocorail の原理

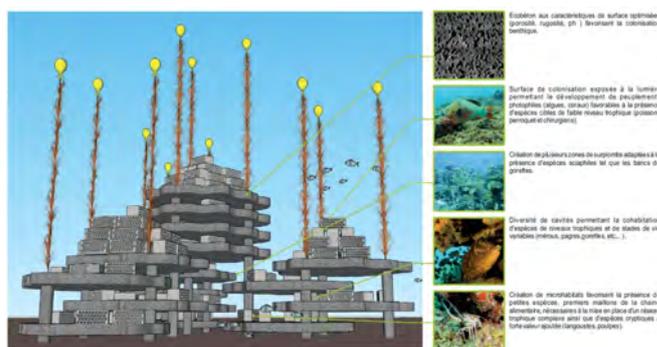
#### SEABOOST

Seaboost は、フランス モンペリエの拠点がある海洋環境保全のエンジニアリング企業で、2014年に設立された。CEEBIOS のメンバーでもあり、2017年の Biomim'Expo では、下記の課題に対して、人の生活と海洋の生物多様性を調和する実用的で運用可能なソリューションを提供すると述べている。

- ・海洋生物多様性の喪失
- ・主要な生態系（サンゴ礁、マングローブ海草など）の破壊
- ・生態学的機能の欠如（苗床、生殖...）
- ・生態系サービス（海洋資源、浸食管理、洪水リスクの削減）

プロジェクトとして、フランス Xtree 社の大型 3D プリント技術を活用して、人工珊瑚による珊瑚礁の回復実験を、フランスの Calanques 国立公園で行っている。珊瑚礁の複雑な構造を模倣し、また、その地域の既存の珊瑚の形態を 3D スキャンして人工珊瑚を設計している。

さらに、沿岸漁業支援プロジェクトをフランスの Guadeloupe Port Caraibes 港で実施している。このプロジェクトでは、珊瑚礁の構造の複雑さと空洞領域の解析と共に、バランスの取れた栄養連鎖を実現する材料や構造設計を行い、さらに、生息地の環境特性と多様性を考慮して、生息する生物個体群の解析を行い漁業にも寄与する生息環境を構築することがねらいである。



人工珊瑚礁プロジェクト

Récifs Halieutiques de Petit-Havre (Guadeloupe)

### (4) 省エネルギーと有害排出物の削減 beyond the sea®

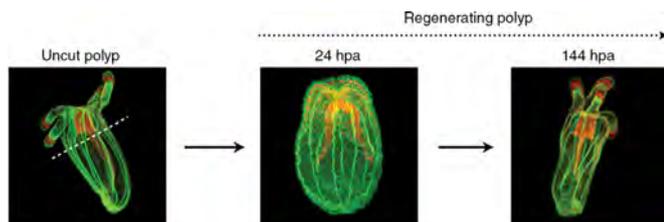
オフショアのヨット・ナビゲーターとして有名なイヴ・パリエ氏が社長を務める合資会社で、技術コンサルティングがビジネスの主体である。100%再生可能エネルギーである風力を利用することで、船舶の航行に必要なエネルギーを削減しながら、温室効果ガス排出量を削減するため、カイト（凧）を利用した推進システムを開発している。カイトは、ボートの推進に加えて、垂直方向の牽引力で、船舶の省エネルギーに効果がある。



## (5) 生物医学研究への応用

Institute for Research on Cancer and Aging,  
Nice (IRCAN)

IRCAN は、ニース大学の CNRS (フランス国立科学研究所) と Inserm (フランス国立保健医学研究所) の共同研究ユニットで、高齢化と癌を結びつける生物学的メカニズムを解明する研究を行っている。Eric Röttinger は、IRCAN で海のイソギンチャクの驚異的な再生能力を研究するチームのリーダーで、海洋資源のメディカル分野への展開に着目している。



Layden, Michael J. et al. "The rise of the starlet sea anemone *Nematostella vectensis* as a model system to investigate development and regeneration." ,Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology 5.4 (2016): 408-428.

## HEMARINA

共同設立者である Franck Zal 博士の研究を基盤として 2007 年に設立された。従業員は 20 名以下である。彼は、海洋生物の呼吸色素 (環形動物のヘモグロビンや甲殻類のヘモシアニン) の研究

を行ってきた。開発中の製品は、これまでの第一世代ヘモグロビンベースの酸素運搬体 (HBOCs) に比べて、温度 (37°C~4°C) の広い温度範囲で動作し、また、HBOCs によって引き起こされる有害な副作用 (主に血管収縮) もない。この技術は HEMOXYCarrier® の商標登録が行われ、具体的な臨床応用のターゲットは、輸液中に血管収縮または高血圧を引き起こさない酸素運搬体を提供することである。また、臓器の拒絶反応のリスクを最小限に抑える臓器保存液の添加剤 HEMO2life® を開発した。この製品により移植臓器の酸素供給が改善され、2016 年から 2018 年にかけてフランスで実施された腎臓での臨床試験では、腎機能の回復に改善がみられたことが報告されている。



ゴカイのヘモグロビンに由来する HEMO2life®



# フランス ヌーヴェル・アキテーヌ(Nouvelle-Aquitaine) 地域 (3) 農業分野におけるバイオミメティクス

平坂 雅男

ヌーヴェル・アキテーヌ地域の農業作物は年間生産量が10Mtで、そのうち90%が穀類であり、10%が油糧種子である。この地域の農業の潜在力を認識し、持続可能な農業の開発課題に取り組む一方で、競争優位性を維持するためには革新が必要と考えられている。また、市民、現地企業、Vignerons de Buzet(ブゼット シュル ベイス)のワイン醸造業者、Scyll' Agro(昆虫フェロモンによる持続的な農業開発プロジェクト)などが、より環境にやさしい農業への方向づけを行っている。そして、オープン・イノベーションの研究プロジェクトである living lab のイニシアチブによって、農業革新の場となることをねらっている。

## 1. 害虫対策

### (1) M2i Life Sciences

M2i Life Sciences (Melchior Material And Life Science France) は、化学殺虫剤を使用しない作物の保護に関する革新的な技術(フェロモン活用した技術)を保有する欧州のリーダー的な企業である。2002年に設立され、従業員が110名規模の企業であり、そのうちの1/4が研究に従事している。本拠地はサン・クルーにある。

土壌や植物の生物学的防御の生態系のしくみに着目している。特定の害虫のフェロモンに着目し、花粉媒介者に影響を与えずに害虫を誘引し捕獲する技術を、バイオミメティクスとしてとらえている。

M2i Life Sciences は、従来の製品よりも優れた性能(拡散性と効率性)を備えた幅広い製品を

開発している。すでに、特許出願済みの技術は、天然および生分解性マイクロカプセル化技術によるものである。特許出願 EP3258780A1 は、鱗翅目フェロモンのような脂肪鎖を含むフェロモンを含有し、フェロモンを持続的に放出することができる微粒子の水性懸濁液の製造方法および使用に関するものである。具体的には、アクリルポリマーからなる固体シェルからなる微粒子を用いている。自然の摂理にもとづく実用的手法を開発することで、市場参入のために新たな認可が必要ないとされている。また、同社は環境規制されている内分泌攪乱物質に対する解決策の研究も進めている。

### (2) Immunrise Biocontrol

Immunrise Biocontrol は、l' Institut de Biologie de l' Ecole Normale Supérieure Paris の生物学研究所の研究をコアとしてスタートした企業で、農作物保護の観点から、自然の非 GMO (Genetically Modified Organisms) によるソリューション提供をめざしている。

バイオ農薬は、天然の抽出物または生物(微生物、植物、動物)に由来し、それらには多くの利点があり、合成農薬より環境にやさしく有機農業の一部として使用することができる。特に、Immunrise Biocontrol では、海洋微細藻類に着目している。海洋微細藻類を培養した後の乾燥色粉末は、農業的に重要な作物(小麦、ぶどうなど)を攻撃する真菌に対して殺菌性があることがわかり、現在、ぶどうの病原性真菌に対するバイオ農薬活性について試験を行っている。また、環境に対す



る製品の安全性を検証するために、毒性および環境毒性の分析が進められている。試験では、ベト病 (mildiou) に対する有効性が示されている。2017年には、ADERA (大学、研究機関、およびアキテーヌの企業における教育・研究開発協会) の支援を受け、Almamavi プロジェクトとしてぶどう農家と連携した実証研究を開始している。

## 2. 環境保全

### (1) Agr' eau

AFAF (l' Association Française d' Agro-foresterie: フランス農業協会) と IAD (L' Institut de l' Agriculture Durable: 持続可能農業研究合資会社) によって Agr' eau プログラムが開始された。環境保全とアグロフォレストリー (樹木を植栽し、樹間で家畜・農作物を飼育・栽培する農林業) の開発支援を行っている。

GoodPlanet 財団からの支援もあり、2014年から2016年の間に、28人の農家がアグロフォレストリー・プロジェクトに参加し、総面積155haで7,279本の植樹が行われた。2017-2018年は、50haに1,880本の植樹が予定されている。

### (2) Helio Pur Technologies

Helio Pur Technologies は、貯水池、水管理の最適化、排水処理、工業用、農業用および住宅用排水の再利用と回収を専門とする水処理企業である。バイオソーラー浄化プロセスにより、光合成や光酸化などによる排水処理と再利用の技術を保有する。農業分野では下記のソリューション提供をめざしている。

- ・産業・家庭排水を農業で再利用するための処理
- ・リサイクル水の利用と水資源の消費量の削減
- ・環境中へ排出量の削減により水と栄養源の保護
- ・動物飼料や有機肥料に使用するバイオマスとして、炭素、窒素、リンを回収し再利用

すでに、米国のフェニックスで鉱山の酸性水の中和や、サウジアラビアでの農場でのリサイクル水などの水処理事業を展開している。さらに、ビジネスとしては、フランスのみならず、アフリカ、中東への進出も視野に入れている。



Palavas-les-Flots - France での水処理事業

## 3. 土壌汚染

### (1) Novobiom

真菌 (一般的にキノコ・カビに由来) は多様性があり、例えば、木材腐朽菌は、木質リグニンのような自然界で生成される分子を分解する顕著な能力を有している。また、キノコが、多環式芳香族炭化水素、炭化水素系鉱油 (C10-C40) および他の難分解性人工化学物質を分解することができる酵素を産生することが発見されている。このようなバイオレメディエーションプロセスは、重金属などの土壌汚染や工業汚染された場所を復元する技術として関心が高い。Novobiom社は、マイクロレメディエーション事業として、土壌モニタリング活動から、真菌の解毒能力を利用した土壌汚染に処理まで、汚染土壌の生物処理の設計と汚染除去を行っている。

また、バイオミメティクスに関するコンサルティング事業も実施している。Novobiom社は、CEEBIOSの教育事業の教員チームのメンバーであり、NGO Biomimicry Belgiumの共同創設者でもあるCaroline Zaouiが、技術面をみている。



## フランス ヌーヴェル・アキテーヌ(Nouvelle-Aquitaine) 地域 (4) 化学／素材分野におけるバイオミメティクス

平坂 雅男

ヌーヴェル・アキテーヌ地域には、化学および材料に関連する多くの企業が存在し、ポー大学(L'Université de Pau et des Pays de l'Adour, 略称 UPPA) やボルドー大学の研究機関、そして、この地域の生物多様性に対する取組などの強みがある。また、化学/素材の産業分野では、製薬や化粧品に加えて、複合材料、テキスタイル、ガラス(表面処理および機能化)、金属(表面処理)、熱可塑性および熱硬化性ポリマー、エラストマーなど産業技術が発展しており、これらの技術展開できる市場も魅力的である。これからは、化学や革新的な材料設計に、製品のライフサイクルを考慮し、また、環境に優しい製造プロセスが必要となる。さらに、エネルギー消費の削減やおよび資源制約、そして、製造における有毒な化学物質の除去などの課題解決が求められている。

これらの諸問題にバイオミメティクスの活用を検討する上で、参考にすべき研究プロジェクトや企業が紹介されている。

### 無機化学

#### (1) CO2SolStock

CO2SolStock は FP7 プロジェクトで、微生物による CO<sub>2</sub> 排出量を削減する技術開発を行い、新たな持続可能な技術を提供することを目的として、2009 年 4 月から 3 年間実施された。

CO2SolStock では、炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>) による CO<sub>2</sub> の回収技術を微生物(真菌および細菌)研究と合わせて行い、二酸化炭素回収貯留 (CCS) における微生物技術活用の可能性を検討した。また、デルフト工科大学の珪灰石を用いた CCS の研究やスペインのグラナダ大学の淡水化脱塩+排水の研究開発も含まれている。

#### (2) TU Delft :Delft University of Technology

デルフト工科大学 (TU Delft) は、コンクリート構造物の自己修復を炭酸カルシウム産生細菌で行うための研究を行っている。H. M. Jonkers は、骨芽細胞からの石灰化によって人体の骨が自然に治癒することから着想を得て、建築材料に同様の



バイオコンクリート

自己再生技術を作り出すバイオミメティクス研究を行い、バイオコンクリートを開発した。

### 新素材・機能

堅牢性、色、接着や、抗菌、防汚、VOC (揮発性有機化合物) 吸収、そして、環境対応に利用できる素材などの開発に着目している。

#### (1) Chimex

L'Oréal グループの子会社である Chimex 社は、ファインケミカルおよびバイオテクノロジーを用いて環境にやさしい製造プロセスの設計、開発を行っている。革新的な技術を使用した化粧品業界向けの特殊化学品原料の製造を行っている。グリーンケミストリーの適用が開発指針であり、糖誘導体、ポリマー(ラジカル重合、重縮合)、植物由来の脂肪族アルコールから誘導された界面活性剤などのコア技術を保有する。アイシャドウへの構造色の応用研究を進めているが、詳細な情報は入手できていない。

#### (2) Symbiose Biomaterials

Symbiose Biomaterials 社は、2013 年に設立されたベルギーのリージュに拠点を置く企業で、コーティング用途および添加剤として使用するためのタンパク質、ペプチド、および、酵素などの生体分子の研究開発や、接着剤およびコーティングプライマーとして使用される L-DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanine) ベースの生物由来のポリマーの製造技術を有する。

Symbiose Biomaterial 社とベルギーの建築科学技術センター (CSTC; Le Centre scientifique et technique de la construction) は、無機材料に結合する人工ペプチド (GEPI: Genetically Engineered Peptides for Inorganics) の研究も進めており、アスベスト繊維 (クリソタイル) に結合する人工ペプチドを開発し、アスベストの検出ツールとしての開発を進めている。

### (3) SLIPS (Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces)

ハーバード大学 ヴィース研究所 (Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering) は、生物を規範としたエンジニアリングの研究所で、医療、製造、ロボット、エネルギー、および持続可能な建築など応用分野のために、新材料やデバイスの開発を行っている。この研究所は、Hansjörg Wyss 氏からの高額な寄附金によりスタートした。

Joanna Aizenberg らは、ウツボカズラの滑りやすい表面がどのようにして昆虫の脱出をそこなわせるかを研究することにより、自己洗浄性で非粘着性の表面を発明した。ウツボカズラの葉には、昆虫の足が作る粘着性の油をはね返す水を含むスポンジ状の構造があることがわかった。そこで、研究者は、滑らかで非常に滑りやすい表面を作るために、ナノ/マイクロ構造基板の内部に「潤滑膜」を固定することによってこれを模倣している。この技術を SLIPS と呼んでいる。Cambridge (MA) に拠点を置く Adaptive Surface Technologies, Inc. (旧 SLIPS Technologies) が商品化を行っている。SLIPS コーティングおよび材料は、フジツボの付着防止、細菌の医療機器への付着防止、熱交換器における氷の付着防止を始め、ケチャップがボトル内部に付着するのを防ぐために使用されるなどしている。



SLIPS

### (4) ITKE : Institute of Building Structures and Structural Design

ドイツのシュトゥットガルト大学にある建築構造・構造設計研究所 (ITKE) では、バイオメティクスに関連する研究プロジェクトを実施している。2014 年には、DFG (ドイツ研究財団) からは 4 年間 930 万ユーロの助成金を獲得し、生物学的設計に関するプロジェクトを実施している (プロジェクト名称: TRR 141)。自然界における構造設計の分析と抽象化を行い、それらの建築に応用することに焦点を当てている。

また、コンピュータ計算設計研究所 (ICD) と共同で、バイオメティクスの建築設計への応用プロジェクトをいくつか進めている。例えば、チュービンゲン大学 (University of Tübingen) の進化生態学研究所と共同で、昆虫 (*Lyonetia clerkella* や *Leucoptera erythrinella*) が作る生物的軽量構造を解析した。*Lyonetia clerkella* は、モモハモグリガとよばれ、葉の内部組織にもぐる潜葉虫である。これらの蛾の幼虫は、葉裏などにハンモック状の繭を作ることが知られている。この繭の作製プロセスと構造を解析し、曲げに対



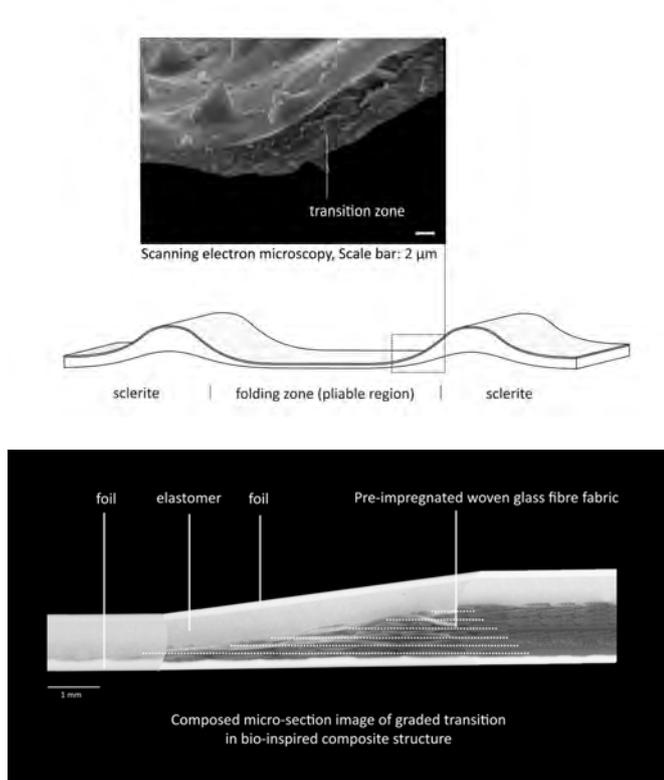
リンゴハモグリガの繭



ICD/ITKE Research Pavilion 2016-17

する耐性とコアレス構造が、繊維強化構造に由来していることを解明した。さらに、複雑な三次元形状を作るための長スパン構造（建物を支える支柱と支柱の距離）を構成する繊維配向および階層構造、および、多段階の複合的な巻きプロセスの建築への応用を検討した。そして、長スパン繊維複合構造物を繊維強化ポリマーで作るためにロボットを用いた製造方法を開発した。

さらに、最近のプロジェクト BLAG (Bio-inspired adaptive facade shading systems) では、複合構造をさらに研究し、効率的で頑強な日除けシステムの開発している。このプロジェクトでは、カメムシの翅の構造やコンパクトな折畳み可能な昆虫の翅を研究し、日除けの建造物に柔軟性を高めるための研究を行っている。



Bio-inspired adaptive facade shading systems (BIAG)

## 有害物質の軽減

### (1) Laboratoires de Biarritz

2011年に創立した、化粧品や香水を取り扱う企業で、フランス南西部のバスク地方のビアリッツ (Biarritz) を拠点とする。Alga gorriaは、バスク海岸の地域的の紅藻からの抽出成分で、高い抗酸化力をもつルテインを含有することから、紫外線からも肌を守るオーガニックな日焼け止めとして Alga Maris の商品名で販売されている。すでに、特許出願 (FR2978915) が行われている。



Alga Maris SPF30 Sunscreen Face Cream

### (2) Amoéba

Chassieu (フランスのリヨン) に本拠を置く Amoéba 社は、水処理および創傷ケアにおける細菌リスクを低減することを目的とした製品開発を行っている。毎年、約 50,000 トンの塩素化された化学物質がフランスの水域に使用されている。工業的にも、プロセス水を大量に使用する産業において、冷却回路でレジオネラ、リステリア菌、クレブシエラなどが増殖するため、殺菌が必要となる。Amoéba 社は、塩素の代替として、細菌の捕食者である好熱菌 *Willaertia magna* C2c Makyla を殺生物剤として使用することを提案している。現在、遺伝的に改変されていない天然株を用いた殺生物剤 (BIOMEBA) の活性評価を、フランスの ANSES (フランス食品衛生安全衛生局) で行っている。

### (3) Ennesys

微細藻類を用いた植物浄化技術を開発する企業で、フランス ナンテールに拠点がある。微細藻類に関する技術の一部は、Ennesys 社の主要なパートナーおよび株主である OriginOil から特許の譲渡を受けている。

廃水と有機性廃棄物を回収し、光エネルギーを利用して培養する装置 (フォトバイオリアクター) 内の閉鎖環境で微細藻類を CO<sub>2</sub> の存在下で培養する。微細藻類は、光合成によって、CO<sub>2</sub> を吸収し排水中の汚染物質を摂取することによって洗浄剤として役割を果たす。成長した微細藻類は、培養液から分離し、藻類バイオマスや精製水に利用される。精製水は、トイレの洗浄水や灌漑用水などに再利用が可能である。

Ennesys 社の有機廃棄物および排水のリサイクルシステムは、FREEWATERBOX® とよばれ、アブダビで1年間の実証試験が行われた。1日あた

り 45m<sup>3</sup> の排水を 44m<sup>3</sup> の灌漑用水に、500kg の厨房廃棄物を 150m<sup>3</sup> のバイオガスに変換できることが実証されている。



Eneesys 社の培養システム

#### (4) Interface

カーペットタイル、ラグジュアリービニールタイルやゴム製フローリングなどの床材を提供する世界的な企業で、1973年に設立され、本社は米国ジョージア州ラグランジにある。日本では、榊川島織物セルコンが総代理店となっている。持続可能な社会についての関心が高く、Net-Works®プロジェクトとして、ロンドンの動物学会と提携し、海に投げ込まれた漁網を世界の貧しい地域から回収し、カーペットタイルとしてリサイクルする取り組みなどを行っている。

揮発性有機化合物 (VOC) の排出量が低い接着剤でも、カーペット自体よりも多くの VOC を放出する可能性がある。そこで、接着剤なしでカーペットタイルを素早く簡単な取り付けられる TacTiles® を開発した。ヤモリの原理を模倣した、PET 製の 75mm×75mm の透明な四角形のシートを販売している。



TacTiles®によるカーペットの接着

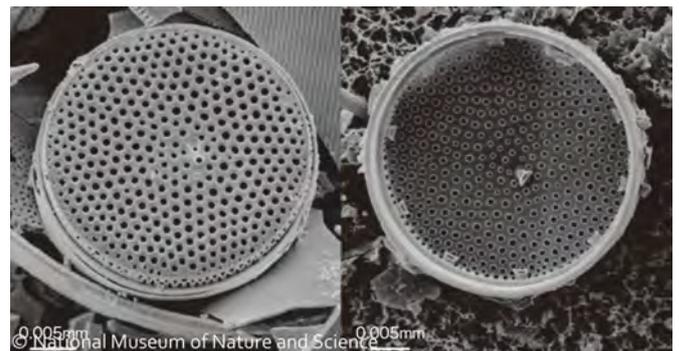
#### (5) Columbia Forest Products

大豆粉に由来するホルムアルデヒドを含まない技術を開発し、紙幣や牛乳パック等に使用される湿潤紙力増強樹脂と共に使用して硬材合板を製造し、2006年以來、PureBond®の商標で販売している。大豆系樹脂を用いることで、コロンビア産のベニヤコアとウレタン樹脂の複合材の合板コアパネルを製造することができ、ホルムアルデヒド・フリーの製品として市場展開している。

バイオミメティクスの観点から、オレゴン州立大学の李教授 (イガイの優れた接着強度と柔軟性を研究) に研究資金を提供し、大豆タンパクの研究で接着性能と耐水性能を有する材料を見出すことに成功したことが報告されている。

#### ソフトケミストリー

数千年にわたり、ガラスおよびセラミックは、高温の炉内で砂または粘土を加熱することによって製造されてきた。しかし、自然界にはソフトな合成プロセスを見いだすことができる。例えば、珪藻は規則性が高い構造をもつ被殻を自然界で形成する。そして、今、ゾル-ゲル由来ハイブリッド、ナノ構造多孔質材料は、エアロゾル処理されたメソポーラス粉末などの設計が着目されている。Jacques Livage が、フランスでこの分野のリーダーであり、特別高等教育機関であるコレージュ・ド・フランス(Collège de France)で、生物学的視点にたつてゾル-ゲル法の応用研究を行っている。



珪藻の構造: 科学博物館のホームページから  
<https://www.kahaku.go.jp/research/db/botany/bikaseki/2-keiso.html>

#### リサイクル可能な製品への転換

##### (1) Ecovative Design

プラスチックおよびポリスチレンフォームを持続可能な代替品に転換するために、きのこ由来の生体材料を使用してパッケージング材、建築材料およびその他のアプリケーションを提供する企業

である。2007年に設立され、ニューヨークのグリーンアイランドに本社を置いている。

コーンの茎のような農業廃棄物を低温殺菌し、水を用いて浸潤させ、真菌細胞により農業廃棄物の周りには数十億の小さな繊維が生成する。この生体材料は剛性が高く、成長した後に乾燥・滅菌し、生物学的複合材料として利用することができる。化石燃料を必要とすることがないことから、合成プロセスよりもはるかに少ないエネルギーで、剛性の高い材料を作り出すことができる。

この材料はMushroom®Packagingとして販売され、石油化学製品であるプラスチックフォームを置き換えることが可能で、しかも、使用後は家庭で堆肥として利用できる。

さらに、Mushroom®Packagingの原材料は、地元の農家から調達するため、農業廃棄物である茎やその他の副産物の販売は農家にとって副収入源となっている。また、建物用剛性ボードの代替品としてMushroom®Insulationを発売予定である。



Mushroom®Packaging の例

## (2) Skipping Rock Labs

Skipping Rock Labsは、欧州イノベーション工科大学（EIT：European Institute of Innovation and Technology）によって設立されたClimate KIC（The EU's main climate innovation initiative）のスタートアッププログラムの一部で、インペリアル・カレッジ・ロンドンを拠点としている。インペリアル・カレッジの3名の学生が、自然界の水が貯えられ消費されるプロセスに着目し、効率的な膜構造から着想し、液体を閉じ込める膜Oohoを開発した。

Oohoの膜は海藻由来のアルギン酸ナトリウムと塩化カルシウムからなるゼラチン膜で、安価であること、また、水を飲んだ後で食べることができる。そして、生分解性材料であることから、自然環境下で平均6週間で分解する。



Ooho water

## (3) Effiwind

現在、風力タービンプレードは、熱硬化性ポリマーをベースにした複合材料で製造されているが、これらの材料はリサイクルができない課題がある。フランス環境エネルギー管理庁（ADEME）のEffiwindプロジェクトは、オフショア風力発電のタービンプレードに利用できるリサイクルが可能な熱可塑性アクリル樹脂の開発と実装をめざしている。

このプロジェクトの参加メンバー企業は、Arkema, CANOE, Platinov/Multiplast, Bernard et Bonnefond, Chomarat, Valorem, Tensyl, Epsilon Composite, I2M, Protechnic and IFTHである。

このプロジェクトでのバイオミメティクスの活用については、インターネット上からは情報が得られていない。

## (4) Carbios

フランスのSaint-Beauzireに拠点を置く2011年創業のバイオテクノロジー企業で、酵素を使用して繊維廃棄物中のPET繊維を分解する技術を開発している。酵素を使用して廃棄されたPET繊維をモノマーに解重合する技術を保有し、PETの原料であるテレフタル酸とエチレングリコールに分解することができる。

2017年には油田開発やエネルギープロセスマネジメントする企業であるTechnipFMC（フランスのTechnip S.A.と米国FMC Technologies Inc.が合併）と提携して、パイロット規模に移行することが2017年に発表されている。

また、世界最大手の企業が2025年までに製品の再生プラスチック使用量を最大100%にするという環境対応が、大きな追い風となると可能性が高い。

さらに、Carbios社は、生分解性プラスチックとして知られているポリ乳酸（PLA）に関して、中間段階なしで高分子量PLAのホモポリマーを得るための乳酸の直接酵素重合の技術を保有する。

PLAの合成のため、この新たな代謝経路を最適化する研究プロジェクトTHANAPLAST™をスタートし、国立応用科学院リヨン校（INSA）やパートナー企業と共同研究している。

#### (5) Stratoz

Stratoz社は、フランスモンペリエ大学のClaude Grison教授のファイトレメディエーション（phytoremediation）技術を利用した土壤改良を行うベンチャー企業である。ファイトレメディエーションとは、植物が気孔や根から水分や養分を吸収する能力を利用して、土壤や地下水、大気汚染物質を吸収、分解する技術として知られている。

Grison教授は、ニューカレドニアのグレビレアなどを含む植物の研究から、アブラナ科のnoccaeaがニッケル、亜鉛を葉に蓄積する超蓄積植物であることを見出した。

土壤の有害物質を蓄積した植物を根ごとに取り除き、産業廃棄物として焼却処分することにより、土壤浄化する技術を提案している。このグリーン触媒とも言える技術に、L'Oréalの子会社であるChimex社が関心を示している。

現在、インターネット上からこのベンチャー企業に関して情報は少ない。

#### 最後に

フランスのヌーヴェル・アキテーヌ地域の4つの産業領域について、バイオミメティクスより広い概念としてバイオテクノロジーを含めて産業展開の施策のためのレポートを4回に分けて報告した。レポートでは、記載されていない技術や技術戦略などは、主に、インターネットから情報収集したものである。バイオミメティクスの国際標準化を先導してきたドイツに比べ、現在、産業展開面で、フランスは先を越したと言える。2018年には、第3回バイオミメティクス展示会（Biomim'Expo）が、CEEBIOSの拠点であるSenlisからパリに会場を移動しパリ市庁舎で行われている。政府政策としての提言も、ドイツと同様に積極的な動きをみせている。また、2018年10月にはバイオミメティクスに関する新たな2つのレポートがインターネット上で公開され、情報発信力もドイツに比べ高い。

フランスの情報については、今後も、定期的に報告したいと考えている。



# バイオミメティクスの知識基盤構築：データベースに関する調査報告

平坂 雅男

## はじめに

バイオミメティクスの知識基盤の構築を図るために、オントロジー強化型シソーラス、画像検索エンジン、Bio-TRIZなどが提案されている。本報告は、生物学と工学の知識の融合を図るバイオミメティクスのデータベースの構築のために、現状の生物系のデータベースの構築状況を調査したものである。バイオミメティクスでのデータ活用は、主として、画像データに着目しているが、博物館が進めているコレクションのデータベースや生物多様性に関するデータベースなどの概要を含めて報告する。

## 博物館データ

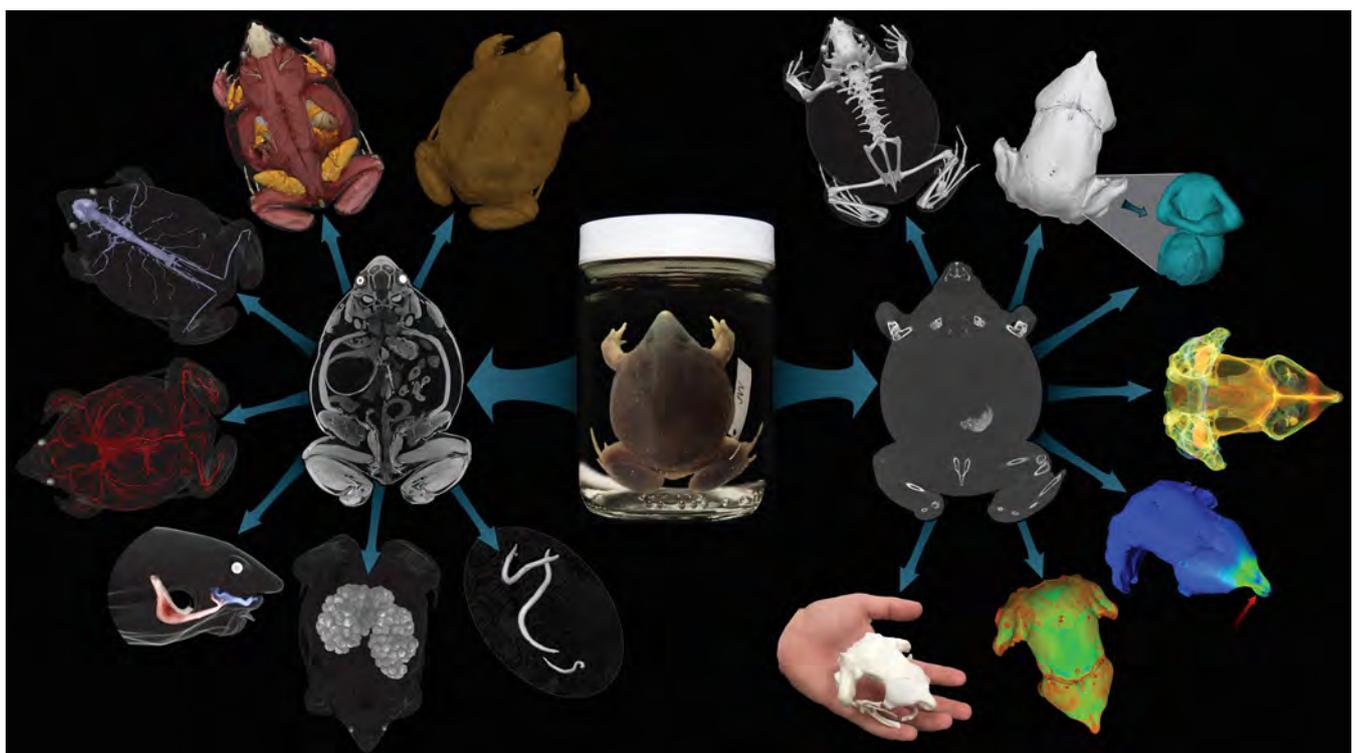
### oVert(openVertebrate)

米国では、博物館が所蔵する標本を断層撮影法(CT)でスキャンし、3次元骨格のデータベースを構築する取組みが本格化している。フロリダ自然史博物館は、国立科学財団(NSF)から250万ドルの資金を得て、脊椎動物解剖骨格の3Dデジタルデータをデータベース化し公開するoVert(openVertebrate)と称するプロジェクトを2017年9月に開始した。4年間で20,000以上

の脊椎動物の標本をスキャンする計画である。現在、19の大学や研究機関がこのプロジェクトに参

### 参画研究機関

- The University of Florida
- Academy of Natural Sciences of DrexelrsityUniversity
- The California Academy of Sciences
- Cornell University
- Duke University
- The Field Museum of Natural History
- Harvard University
- Louisiana State University & Agricultural and Mechanical College
- Texas A&M University
- University of California, Berkeley
- University of California, San Diego, Scripps Institution of Oceanography
- University of Chicago
- University of Kansas
- University of Michigan
- University of Texas, Austin
- University of Washington
- The Virginia Institute of Marine Science
- Yale University



画している。

デジタル画像と 3D メッシュファイルは、オンラインデータベースである MorphoSource において、オープンアクセスで利用できる。2012 年頃よりデューク大学で開発された MorphoSource は、現在もデューク大学で管理され、ユーザー登録することによりアーカイブが閲覧できる。登録ユーザー数は 6,164 名で、11,868 種類の生物に対して 44,677 件のデータセットを有し、ダウンロードは 91,890 回に達している (2018 年 7 月時点)。システムとしては、18TB のストレージで運用している。また、NSF が進めている生物多様性コレクション (ADBC) のデジタル化推進のためのデータベース (iDigBio) から、アクセスすることができる。

### (1) データの登録と公開

新しいプロジェクト (メディアと標本情報を追加できる) を、Morphosource Project として登録し、プロジェクトの要約やメディアの編成方針を公開する (非公開プロジェクトとしての登録も可能である)。3D 画像の標準フォーマットは TIFF または DICOM で、メンバーはこのフォーマットでデータをアップロードする。プロジェクト管理のために、プロジェクトメンバー、メディア数、ダウンロード数 (画像が公開されている場合)、使用されたストレージの量、標本の数、引用回数、作成日、およびプロジェクトメディアのサムネイルが含まれる詳細情報が登録される。プロジェクト内のメンバーやデータベースの管理権限を有するプロジェクトマネージャーを設定することが可能である。

MorphoSource にアカウントを登録しているユーザーは、メディアをアップロードする権限を持っているかどうかに関わらず、データベースを検索



CT scan of hognose snake [Image: Ed Stanley, Florida Museum of Natural History]



Morpho Source ウェブ画面

および参照できる。例えば、機関、分類名、参考文献、またはプロジェクトで検索することも可能である。

プロジェクトメンバーには、データを非公開にするオプションがあるため、表示できるデータは、検索結果がより少なくなる可能性がある。メディアを公開する場合は、ユーザー向けのダウンロード機能で公開するか、リクエストによりダウンロードを許可する機能を選択して公開することができる。

### (2) 著作権

データ作成者は、必要に応じて公開条件を変更することができ、また、必須ではないが DOI 登録をは行うことができる。但し、DOI を付加して公開したメディアは、未発表にすることはできない。また、データ作成者は、ファイルを公開する前に、関連するすべての関係者から許可を得る必要がある (著作権の確認)。さらに、データの作成者が、契約により第三者によるオープンアクセスでファイルを公開する権限がない場合でも、「制限付きアクセスで公開」することができる。この設定により、ユーザーはデータが存在することを確認し、その後、データ作成者またはデータ作成者が指定した者にアクセスの許可を要求することになり、データ保有者が誰がアクセスするかを知ることができる。

データの作成者は、データの著作権者を正確に設定する必要がある。そのため、3D スキャンの共同利用施設の機関に対してスキャン画像の著作権の取扱いについて確認することが勧められている。多くの機関では、標本をスキャンする前に利用許諾書に署名しなければならず、この書面に条件が記載されている。そのため、第三者との契約書の内容を、データのメモ欄に表示することが適切であるとしている。著作権者が決定されると、クリエイティブ・コモンズのライセンス設定を正しく設定・表記する必要がある。「著作権ライセンス」

クリエイティブ・コモンズ (CC) は、2001 年にアメリカ合衆国で非営利団体として設立され、CC ライセンスにより著作権ルールを提供している。著作者は著作権を保持したまま作品を自由に流通させることができ、受け手はライセンス条件の範囲内で再配布やリミックスなどを行うことができる。CC 作品の検索エンジンとして、Creative Commons Search が公開されている。

著作物の利用 (再配布やリミックス作品の公開、実演等) するための条件は 4 種類あり、クレジットを表示、非営利、改変禁止、継承 (著作物と同じ CC 表示) がある。

著作物を複製、頒布、展示、実演を行うにあたり表示される、いくつかの例を示す。

CC BY: 著作権者の表示を要求する。

CC BY-NC: 著作権者の表示を要求し、非営利目的での利用に限定する。

CC BY-ND は: 著作権者の表示を要求し、いかなる改変も禁止する。

CC BY-NC-ND: 著作権者の表示を要求し、非営利目的での利用に限定し、いかなる改変も禁止する。

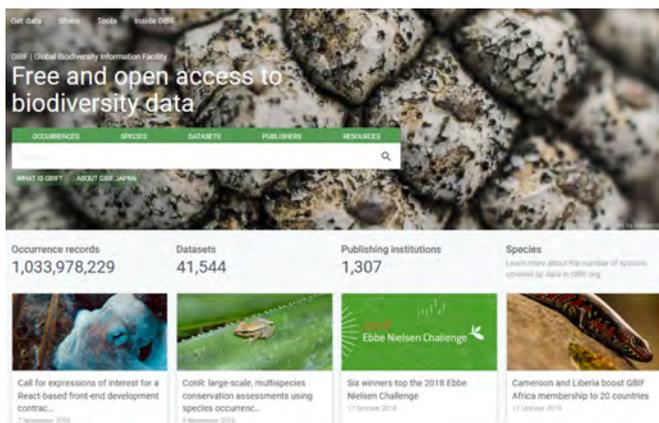
詳細については、クリエイティブ・コモンズ・ジャパンのウェブページに情報が掲載されている。

として、CC BY-NC (メディアを複製、頒布、展示、実演するにあたり、著作権者の表示が必要で、かつ、非営利目的での利用に限定) を推奨している。よって、著作権者とライセンスが決定するまでは、メディアを公開しないことが必要である。

### GBIF (Global Biodiversity Information Facility)

世界の生物多様性情報を共有することを目的に、OECD の Megascience Forum の勧告 (1999 年) を経て、2001 年に発足した。コペンハーゲンに事務局を置き、情報共有の基準とオープンソースツールを提供している。18~19 世紀に収集された標本から、アマチュア自然科学者が撮影した GPS の位置情報を含むスマートフォンの写真まで、さまざまな情報源で構成されている。気候変動と侵略的外来害虫の広がりに対する保全と保護地域、食糧安全保障、人の健康への影響などの多く分析は、GBIF がないと不可能と言われている。

GBIF ネットワークは、標本、観察データなどの情報を記録するために用いられる国際的な標準であるダーウィン・コア (Darwin Core) 規格にもとづき、情報収集している。ダーウィン・コアは、主に分類群、観察結果、標本、試料、および関連情報が含まれる。



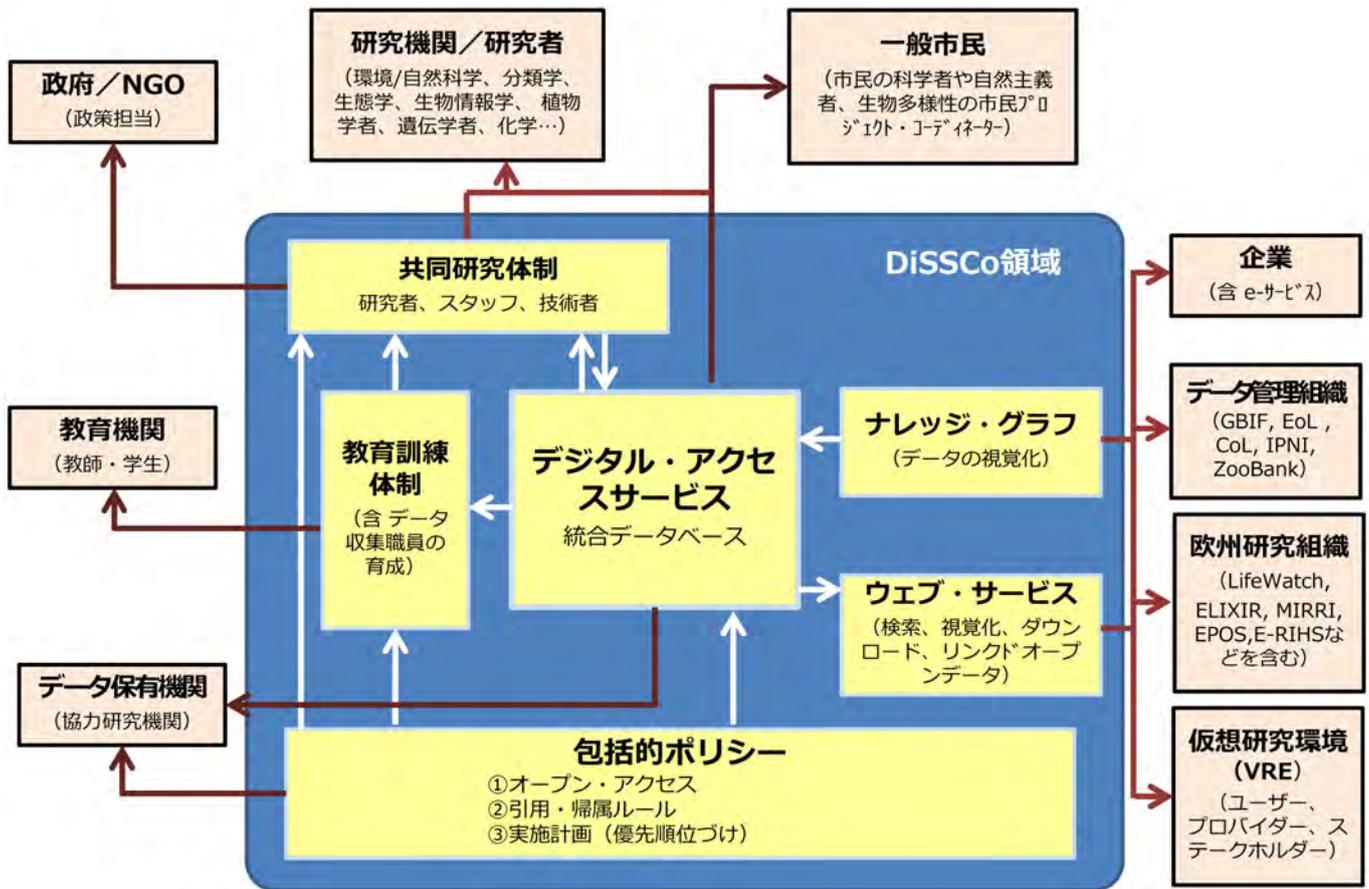
GBIF のデータベースに、バイオミメティクスに關係する項目はないが、データベースとしては、最も生物多様性情報が入手できるものである。

### DiSSCo (Distributed Systems of Scientific Collections)

DiSSCo は、21 ケ国が加盟する欧州研究基盤で、欧州の自然科学データを集約し、環境、気候変動、食の安全、健康、および、Bioeconomy の分野でデータ駆動型の研究開発を推進し、イノベーションに結び付けることを目的としている。博物館、植物園およびデータを保有する大学など 115 機関が参加している。欧州研究基盤戦略フォーラム (ESFRI: European Strategy Forum on Research Infrastructures) の 2018 年ロードマップに DiSSCo が取り込まれることになり、欧州の研究協力ネットワークとしてより強化される見通しである。このロードマップでは、2025 年までには、e-サイエンスサービス、欧州各国の自然科学データに対応したオンデマンドサービス、トレーニングプログラム、データ駆動型研究の支援などを行う予定である。数値的な目標は下表に示す通りである。

また、欧州の分散型電子情報インフラストラクチャーである LifeWatch (生物多様性と生態系研究のための e・サイエンスとテクノロジーのインフラストラクチャー) に準拠して、データベースの構築を図っている。なお、LifeWatch のコンソ

欧州の収蔵試料数	15 億
共同プロジェクト数	1,000
研究者数	5,000
招聘研究者	15,000
発表論文数	3,000
ウェブ閲覧者	250 億回/年



DiSSCo のプロジェクト概要

ーシウムであるERIC (European Research Infrastructure Consortium) は、このe・インフラストラクチャーを通じて、気候変動などの大きな環境問題に対処するために、仮想的なラボラトリーや意思決定支援型アプリケーション向けに、広範で大規模なデータにアクセスするサービス・ツールを提供することをめざしている。

DiSSCoの全体概要は上図に示すとおりであり、プロジェクト内外のステークホルダーとの関係が深い。DiSSCoのコンソーシアムは、19ヶ国（オーストリア、ベルギー、ブルガリア、チェコ、ドイツ、デンマーク、エストニア、スペイン、フィンランド、フランス、ギリシャ、イタリア、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、スウェーデン、スロバキア、英国の自然科学博物館

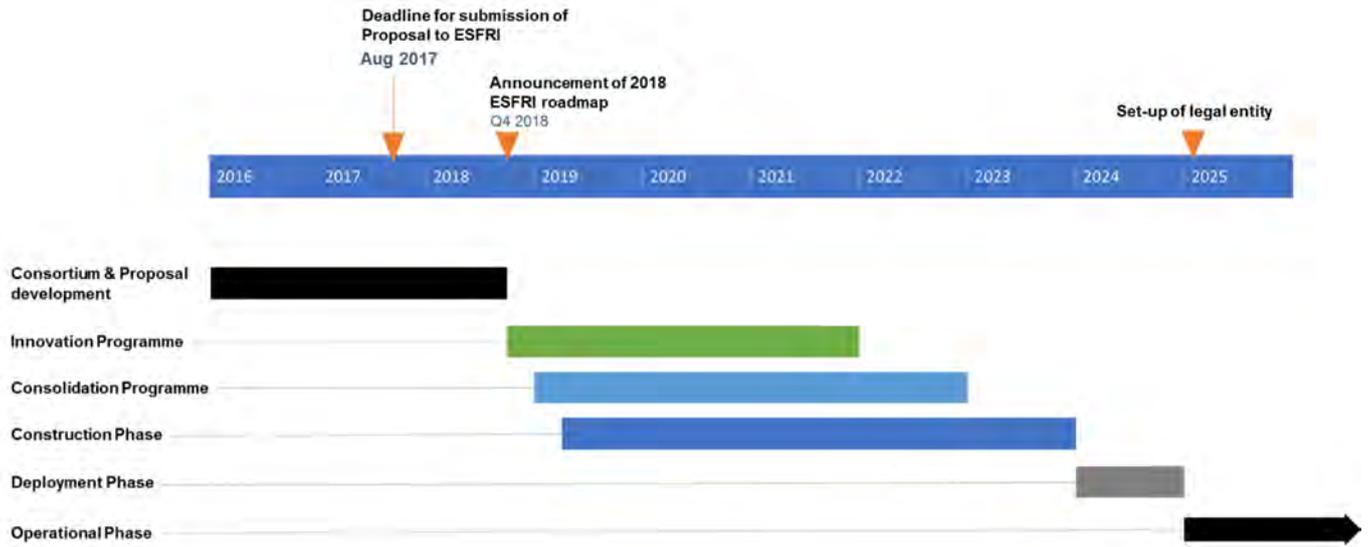
や植物園を含む自然科学のデータを所蔵する62の施設で構成されている。

DiSSCoは、欧州分類学研究機関コンソーシアム (CETAF: CETAF is the Consortium of European Taxonomic Facilities) のネットワークの上に構築されている。CETAFは、欧州分類学施設のコンソーシアムで、欧州の自然科学館、自然史博物館、植物園や生物多様性研究センターの生物のコレクションデータや専門研究者が知識を共有化するネットワークである。一方、これまでの欧州プロジェクト (SYNTHESYS I-III, EDIT, ViBRANT, pro-iBiosphere) の経験を活用している。

**CETAT**

CETATは、21のヨーロッパ諸国の59の代表的な分類学研究の機関から選ばれた33人の委員で構成されている。委員の所属機関には、自然史博物館、自然科学博物館、植物園およびその他の研究機関である。CETAFは、①科学的研究と欧州が所蔵するコレクション(推定15億個の標本を含み、世界の種の80%以上を占めている)へのアクセスの促進、②欧州の資金を調達するためのパートナーシップの形成、③欧州における分類学や体系的生物学への提言を目的としている。

コレクションのデジタル化からデータの共有を促進するためのデジタルメディアの使用まで、科学のおよび公共的利用のための情報サービスの開発を行っている。



DiSSCO のプロジェクトロードマップ

DiSSCO 関連プロジェクト

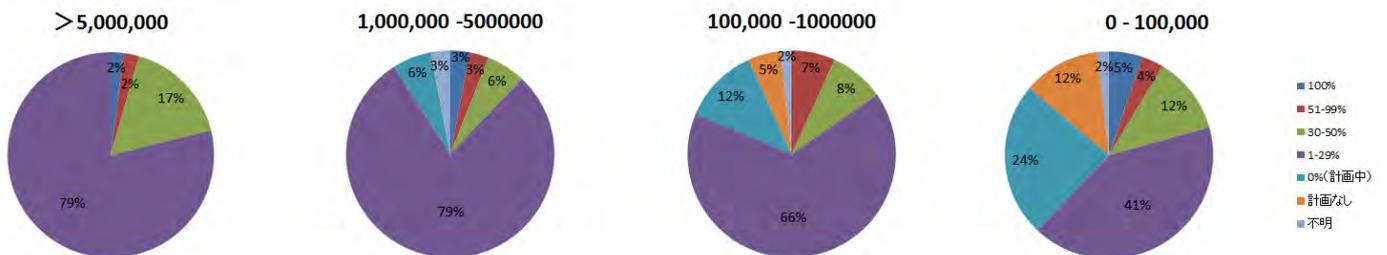
ICEDIG: Innovation and Consolidation for large-scale Digitisation of Natural Heritage

自然遺産の大規模デジタル化プロジェクトで、DiSSCO の実施段階を支援することを目的として EU 資金提供プロジェクトとして 2018 年 1 月に活動が開始され、2020 年 3 月に終了する予定。コンソーシアムは 7 か国の 12 機関で組織化されている。

ICEDIG は、ロシア、トルコ、イスラエルなどを含む欧州の 44 ケ国 703 機関を対象にアンケート調査を行った。34 ケ国の 160 機関から 197 の回答を得たが、すべての質問に回答があったのは 127 のみであった。この調査では、博物館、植物園など自然科学に関与する施設のコレクション数を調べ、また、そのコレクションにおける 2D や 3D といった画像データ化の状況について調査が行われている。コレクション数により差異はみられるものの、デジタル化に着手している機関がほとんどであり、計画の予定のない機関は少ない(下図)。

ICEDIG プロジェクト参加機関

- Finnish Museum of Natural History- LUOMUS Helsinki, FI
- Naturalis Biodiversity Center Leiden, NL
- National Museum of Natural History Paris, FR
- Botanic Garden Meise, BE
- University of Tartu Natural History Museum and Botanical Garden Tartu, EE
- National Computing Center for Higher Education Montpellier, FR
- Natural History Museum London, UK
- Cardiff University Cardiff, UK
- Consortium of European Taxonomic Facilities Brussels, BE
- Picturae Heiloo, NL
- Royal Botanic Gardens, Kew, UK
- Plazi Bern, CH



欧州の研究機関でのコレクションでのデジタル画像化(上の数字はコレクション数)

## SYNTHESYS

スウェーデン自然史博物館 (NRM) を含む12のヨーロッパ諸国の機関がパートナーシップを締結しSYNTHESYSを2004年に設立した。広範囲な自然史に関する所属物、最先端の分析施設、図書館、研究者や学芸員のネットワーク構築など情報の共有を目的としている。ECの資金によって13年間活動してきた。第3期は2013年9月に開始され2018年8月末で終了した。ロンドンの自然史博物館がプロジェクト管理を行っており、2017年まで資金は約11百万ユーロ(約14.5億円)で、そのうち8百万ユーロ(約10億円)がEUの補助金である。

### SYNTHESYS プロジェクト参画機関

- The Natural History Museum London / UK
- Royal Botanic Garden Kew Richmond / UK
- Royal Botanic Garden Edinburgh Edinburgh / UK
- Museum National d'Histoire Naturelle Paris / France
- Københavns Universitet Copenhagen / Denmark
- Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (Museo Nacional de Ciencias Naturales & Real Jardín Botánico Naturales) Madrid / Spain
- Naturhistoriska riksmuseet Stockholm / Sweden
- Stichting Naturalis Biodiversity Centre Leiden, Utrecht, Wageningen / The Netherlands
- Freie Universität Berlin (Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem) Berlin / Germany
- Museum für Naturkunde - Leibniz Insitut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung an der Humboldt-Universität zu Berlin Berlin / Germany
- Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung Frankfurt a.M., Dresden, Görlitz, Müncheberg / Germany
- Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart Stuttgart / Germany
- Naturhistorisches Museum Wien / Austria
- Magyar Természettudományi Múzeum (Hungarian Natural History Museum) Budapest / Hungary
- Institut Royal des Sciences Naturelles

- de Belgique Brussels / Belgium
- Musee Royal de l'Afrique Centrale Tervuren / Belgium
- Narodni Muzeum (National Museum) Prag / Czech Republic
- Simbiotica SL / Spain
- Stichting VU-VUMC / Netherlands
- Hellenic Centre for marine research / Greece

### Catalogue of Life plus (CoL+)

オランダ政府の支援を受け、世界の生物多様性情報施設事務局、生物多様性センターなど、生物多様性情報イニシアチブのデータを結びつけるためのプロジェクトで、オープンで共有されたデータ基盤を構築することが目標である。2015年に、Biodiversity Heritage Library (BHL)、Barcode of Life Data systems (BoLD)、Catalogue of Life (CoL)、Encyclopedia of Life (EOL)およびthe Global Biodiversity Information Facility (GBIF)が生物多様性データをさまざまな分野にまたがって整理して利用するためのバックボーンを構築することからスタートした。命名法と分類学の基盤において。毎年、分類学に従ったデータ集を発刊している(下記2018年版)。CoL+プロジェクトの目標は、これまでのCatalog of Lifeを含む新たな情報インフラストラクチャーを開発することである。



### MOBILISE (Mobilising Data, Policies and Experts in Scientific Collections)

欧州の自然科学コレクションを中心とした知識と技術移転の促進を図るための研究協力ネットワークを構築することを目的とし、また、将来的にはヨーロッパの科学コレクションの分散システムの基盤となることをめざしている。オープンアクセスとオープンイノベーションの基本とし、2Dおよび3Dオブジェクトのデジタル化、生物学および地質学標本、データ管理などを行う。COST(欧州科学技術研究協力機構)の傘下のプログラムとして、500,000ユーロの予算措置がなされている。

# 7th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) を終えて

穂積 篤(国立研究開発法人 産業技術総合研究所)

下村新学術（生物多様性を規範とする革新的材料技術：生物規範工学）が始まった2012年、「小さい規模で構わないから名古屋でもバイオミメティクスの国際シンポジウムを企画してほしい」という下村領域代表からの建ての依頼で始まったNaBISも、早いもので、2018年で7回目を迎えた。当時を振り返ってみると、シンポジウムの運営経験が浅かった筆者は、まずはシンポジウムの趣旨、名称をどうするか？誰を招聘するか？を考える必要があった。そこで最も興味があり、国内外に研究仲間がいて講演をお願いしやすい「表面・界面」領域に特化したシンポジウムにしようと考えた。また、下村新学術のミッションである異分野融合も視野に入れ、「エンジニアリングネオバイオミメティクスを指向した表面・界面、材料に関する最先端の研究を展開している国内外の第一線の研究者を招き講演会を開催する。また、産学官をはじめ、異分野領域に所属する研究者、技術者の交流の場として広く開放する」をシンポジウムの趣旨とした。シンポジウムの名称は覚えやすく、語呂がいいことを念頭に置き、知恵を絞り、NaBIS (Nagoya Biomimetics International Symposium) とした。2012年の1st NaBISは、招待講演者3名（アメリカ1名、中国1名、日本1名）、会場も30名程度が入れる小規模会議室からの船出となった。3年前からは、生物規範工学のメンバーであった名工大の前田浩孝先生のお力添えもあり、名工大の立派なホールで開催することができるようになった。

2018年は11/29に高分子学会バイオミメティクス研究会、11/30に7th NaBISを開催した。今年も趣旨通り、カナダ（1名）、ドイツ（2名）、中国（1名）、韓国（3名）、日本（2名）から計9名の表面・界面の研究で著名な国内外の研究者を招聘した。また、数年前から始めたポスター発表も10件に増え、多数の生物規範工学のOBの参加もあり、全体で80名近くの参加になり盛会となった。

11/29のバイオミメティクス研究会では2名の招待講演を行った。中国科学院のProf. Lei Jiang（写真1）は言わずと知れた濡れの研究にお

ける世界的権威である。今年は、二つの全く異なる物理化学的性質を持った材料をナノメートルスケールで組み合わせることで所望の材料を構築するという、Binary Cooperative Complementary Systems (BCCNMs), という新しい材料合成法のコンセプトについての講演であった。BCCNMsを用いた事例として、イオンチャンネルに基づいたエネルギー変換システム、水/油分離、水回収システムへの応用について最新の研究事例が紹介された。マックスプランク研究所のProf. Hans-Jürgen Butt（写真2）の講演は、微細構造化した超撥水表面上の水滴の移動に際して、水/空気、基板/空気との界面で三相接触線がどのような挙動をしているかを、その反射像から明らかにした結果についてであった。バイオミメティクス研究会終了後、参加者と翌日のNaBIS講演者を交えて交流会を行った。



写真1 Prof. Jiang



写真2 Prof. Butt

翌日のNaBISは、カナダからProf. Benjamin Hatton (Univ. of Toronto), 韓国からDr. Hyuneui Lim (KIMM), Prof. Haeshin Lee (KAIST), Prof. Sanghyuk Woo (Chung-Ang Univ.), ドイツからDr. Pavel Levkin (KIT), 日本からProf. Syuji Fujii (大工大), Dr. Roland Hönes (AIST) の7名の研究者に招待講演をお願いした(写真3)。大気中からの水の回収技術, 超撥液表面を利用したナノ粒子の合成技術, ポリドーパミンの自己修復機能を利用した医療応用技術, リキッドマーブルを利用した新しい接着技術や光励起移動といった最新の研究事例が紹介され, 活発な質疑応答が交わされた。

10年来, 筆者が親しくさせて頂いている, Prof. Stanislav N. Gorb (独, Univ. of Kiel) と2年前にアメリカの学会でお会いした際, 彼が監修しているバイオイメティクスの専門書シリーズ (Biologically-Inspired Systems, Springer Nature 社) の一つとして, 「表面・界面」に特化した本 (Volume 11) を出さないかと誘われた。一人では少々荷が重かったため, 前述のProf. Jiang とProf. Lee に共著をお願いした。彼らはNaBISの常連でもあり, 筆者からのオファーを快く引き受けてくれた。これもひとえにNaBISのお陰であり, NaBISが国際交流の場として機能している証しでもある。下村新学術が終了した2017年を契機にNaBISの開催をやめることも考えた。しかし, 日本流(名古屋流?)の「お・も・て・な・し」が功を奏したのか, 「at home」, 「cozy」

なシンポジウムと大変好評で, 「来年も必ず参加するよ」, 「旅費は手弁当で構わない」とまで言ってくれる研究者も多く, そんな彼らの男/女気に応えるためにも, やれるところまでNaBISを続けようと考えようになった。国内外の異分野の(若手)研究者, 企業技術者, 学生が自由に議論できる場を提供できるよう, 改良と工夫を加えながら愛される国際シンポジウムにしていきたいと思う。今後とも皆様の変わらないお力添えを切に願う次第である。

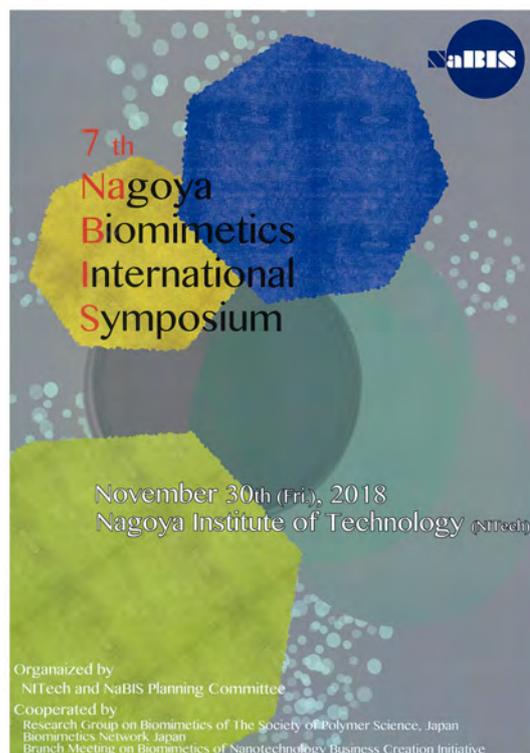


写真3 熱弁を振るう講演者

上段 ; Prof. Hatto (左), Prof. Lee (中), Dr. Levkin (右)  
下段 ; Dr. Lim (左), Prof. Woo (中), Prof. Fujii (右)

## 博物館・水族館などの催し

### 北海道大学総合博物館：バイオミメティクス市民セミナー

毎月市民セミナーが開催されています。2018年度のプログラムは、下記のとおり活発な活動が行われています。また、読売新聞北海道支社と北海道大学の附置研究施設「電子科学研究所」が連携した「サイエンスレクチャー2018」が2018年12月22日にバイオミメティクス（生物模倣）をテーマに北大総合博物館で開催されています。

セミナー 77: 2018年4月8日(日)  
近代国家日本とバイオミメティクス  
針山 孝彦 (浜松医科大学特任教授)  
下村 政嗣 (千歳科学技術大学教授)  
下澤 楯夫 (北海道大学名誉教授)

セミナー 77: 2018年5月5日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その1 バイオミメティクスの動向  
大原 昌宏 (北海道大学総合博物館)  
居城 邦治 (北海道大学電子科学研究所)

セミナー 78: 2018年6月2日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その2 農業とバイオミメティクス  
貴島 祐治 (北海道大学大学院農学研究院)

セミナー 79: 2018年7月7日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その3 寒冷地とバイオミメティクス  
深町 康 (北海道大学低温科学研究所)

セミナー 80: 2018年8月4日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その4 デザインとバイオミメティクス  
福田 大年 (札幌市立大学デザイン学部)

セミナー 81: 2018年9月1日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その5 花、美、武士道とバイオミメティクス  
高橋 大作 (一般社団法人 新渡戸稲造と札幌遠友夜学校を考える会)  
馬場 ふさこ (映像作家)

セミナー 82: 2018年10月6日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その6 博

物館の役割

馬渡駿介 (北海道大学名誉教授、一般社団法人国立沖縄自然史博物館設立準備委員会理事)

セミナー 83: 2018年11月3日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その7 持続可能なパッケージング  
内村 元一 (日本製紙株式会社 技術調査役)  
辻井 薫 (元 北海道大学電子科学研究所 教授)

セミナー 84: 2018年12月1日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その8 動物と人との関係誌  
大館 智志 (北海道大学低温科学研究所・大学院環境科学院 助教)  
河原 淳 (環境省希少野生動植物種保存推進委員)

セミナー 85: 2019年1月13日(日)  
北海道とバイオミメティクスを考える その9 北海道の自然と環境  
黒田 未来雄 (株式会社NHKプラネット北海道支社 制作部)  
渡部 友子 (市立札幌大通高校 生物部)

セミナー 86: 2019年2月9日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その10 持続可能な街づくり  
谷口 守 (筑波大学 システム情報系社会工学域)  
小林大二 (千歳科学技術大学 理工学部情報システム工学科)

セミナー 87: 2019年3月9日(土)  
北海道とバイオミメティクスを考える その11 生物誕生の根源と生物の可能性  
倉本 圭 (北海道大学 理学院) 【予定】  
与那嶺 雄介 (北海道大学 電子科学研究所)



# 国立科学博物館：特別展「昆虫」

2018年7月13日（金）～10月8日（月）の期間、国立科学博物館の大規模特別展では初となる「昆虫」をテーマとした特別展「昆虫」が開催されました。特別展では、バイオミメティクスに関する展示も行われました。

特別展のオフィシャルサポーターを香川照之さんが務め、「昆活マイスター」として活躍され話題となりました。



## フランス 国立自然史博物館

国立自然史博物館（le Muséum national d'histoire naturelle）は、フランスの文部省・研究省・環境省の共同監督下にある博物館で、パリの観光名所としても知られています。動物が大行進しているギャラリーが有名です。自然史博物館では、バイオミメティクスにも関心が高く。ホームページには、「Nature = Futur ! - Le biomimétisme（自然=未来 バオミメティズム）」と題して、自然や生物模倣技術が紹介されています。下図は、ホームページの画面。



### NATURE = FUTUR ! - LE BIOMIMÉTISME

LE BIOMIMÉTISME EST AU CŒUR DES TECHNOLOGIES INNOVANTES CAR IL RÉPOND AUX PROBLÉMATIQUES ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES ACTUELLES : ALLIER CROISSANCE ET BIODIVERSITÉ. DÉCOUVREZ AVEC CETTE SÉRIE VIDÉO LA RECHERCHE ET LES INNOVATIONS INSPIRÉES PAR LA NATURE.

#### NATURE = FUTUR ! - LE BIOMIMÉTISME

<p><b>DES ALGUES DANS NOS VILLES</b></p> <p>Les bioalgues ou comment cultiver des micro-algues qui, en utilisant les vagues, usent le CO<sub>2</sub>.</p>	<p><b>L'ARAIGNÉE, INGÉNIEUR EN CHEF</b></p> <p>S'inspirer de la composition moléculaire et des principes mécaniques des fils de soie d'araignée.</p>	<p><b>LA ZONE LIBELLULE</b></p> <p>Concevoir, sur le principe des zones humides et végétalisées, des espaces naturels en aval.</p>	<p><b>LES CHAMPIGNONS GUÉRISSEURS</b></p> <p>Utiliser les capacités extraordinaires du mycélium des champignons pour dépolluer les sols.</p>	<p><b>DES VAISSEaux MARINS</b></p> <p>Réussir à fabriquer des veines et des artères en s'inspirant de polymères d'algues qui...</p>	<p><b>LE LOTUS ET LE FAKIR</b></p> <p>Reproduire les principes superhydrophobes de la feuille de lotus pour réaliser des...</p>	<p><b>UNE MOQUETTE BIO-INSPIRÉE</b></p> <p>Sur les principes d'adhésion des sols des forêts, créer des dalles de moquette qui...</p>	<p><b>UNE BOUILLIÈRE NATURELLE</b></p> <p>Réaliser une bouillière qui consomme moins d'énergie en s'inspirant de principes...</p>
<p><b>DES OURS BIEN MUSCLÉS</b></p> <p>S'inspirer du métabolisme moléculaire des ours au cours de l'hibernation afin de mieux...</p>	<p><b>UNE AGRICULTURE PLUS NATURELLE</b></p> <p>Sur le principe des écosystèmes naturels qui optimisent les interactions entre espèces...</p>	<p><b>DES PLANTES POUR LA CHIMIE VERTÉ</b></p> <p>À partir des stratégies d'adaptation de plantes rares, qui déposent les sols par...</p>	<p><b>DES BACTÉRIES RÉPARATRICES</b></p> <p>Utiliser les polysaccharides de bactéries des grands fonds marins afin de réaliser un...</p>	<p><b>DES FOURMIS BIEN ORIENTÉES</b></p> <p>Sur le modèle du comportement des fourmis, qui recherchent le plus court chemin entre leur...</p>	<p><b>UN PÊCHER CONTRE LA DOULEUR</b></p> <p>Utiliser le composé du pèche africain, une molécule 100% naturelle, idéique ou...</p>	<p><b>L'ÉNERGIE DES ABEILLES</b></p> <p>Créer, sur le principe des abeilles collectrices de pollen, une monnaie numérique...</p>	<p><b>DES AILES DANS LA VILLE</b></p> <p>En analysant les principes aérodynamiques des ailes d'insectes et de papillons...</p>
<p><b>UN PAILLON SOLAIRE</b></p> <p>Copier la stratégie du papillon Morpho dont les ailes absorbent la chaleur par rayonnement...</p>	<p><b>BOH APPÉTIT LES TERMITES !</b></p> <p>Reproduire les différentes étapes de la digestion des termites dans le processus de...</p>	<p><b>COMME UN POISSON DANS L'EAU</b></p> <p>Réaliser des hydroliennes qui fonctionnent par ondulation, comme les poissons, afin de...</p>	<p><b>DES ENZYMES PLEINES D'ÉNERGIE</b></p> <p>S'inspirer de la photosynthèse de bactéries pour créer un nouveau catalyseur capable de...</p>	<p><b>LES DENTICLES DE LA MER</b></p> <p>Imiter la peau du requin, qui a la particularité d'être composée de denticules cutanées...</p>	<p><b>LE VERRE DES DIATOMÉES</b></p> <p>Sur le modèle des diatomées, des micro-organismes cellulaires qui vivent dans l'eau...</p>	<p><b>AU CŒUR DE LA CELLULE</b></p> <p>Réaliser des nanovecteurs de très petite taille qui copient à la fois les virus et les...</p>	<p><b>UNE COLLE BIO-INSPIRÉE</b></p> <p>Afin de réaliser des opérations chirurgicales moins invasives, mettre au point une colle...</p>

# 沖縄美ら海水族館：2018年度夏休み特別企画「サメ肌のふしぎ」

2018年8月1日（水）～9月2日（日）に沖縄美ら海水族館の特別企画「サメ肌のふしぎ」に協力し、2枚のポスターを掲載しました。サメのウロコの構造を模倣した技術が水着や飛行機に活用されていることを紹介しました。また、3-D模型の展示などで協力しました。現在、常設展として展示されています。

## サメ肌に学ぶ環境に優しい省エネ技術 Shark skin technology for green efficiency

サメ肌をまねたりプレット構造は、水や空気の抵抗を減らすことで船舶や航空機の燃費を向上させることから、省エネルギー効果があります。

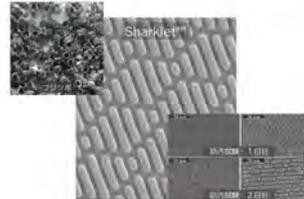
The riblet structures mimicking shark skin scales provide energy saving effect for the shipping and the airplane by their fuel efficiency improvement with reducing the fluid dynamic resistance.



オーストラリア航空、コロンビア航空の機体、エアバス社の共同研究によるサメ肌構造模倣の機体塗装  
引用先: <https://www.lufthansa-technik.com/faqos>  
Lufthansa Airbus A330-300 D AKB "Shark skin"

さらにサメ肌にはフジツボなどが付着しにくい特徴があります。船底や海水を使った冷却装置に生物が付着すると、燃費や冷却効率が低下します。海洋生物の付着を抑えるために有機スズ化合物を含む塗料が使われていましたが、環境毒性があるために2008年からは国際的に使用が禁止されています。サメ肌をまねたりプレット構造は、環境に優しい防汚材料として注目されています。

Shark skin is the anti-fouling surface restraining attachment of barnacles, algae, and bacteria. Shark-skin riblet structure are expected as environmentally friendly, anti-fouling coating materials for ship's bottom and cooling systems without using toxic paints including

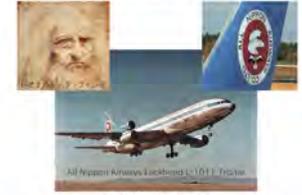


Sharklet Technologies 社が開発したリブレット構造防汚材料  
NON-TOXIC ANTI-FOULING SOLUTIONS: SHARKLET より引用  
Anti-fouling material based on shark-skin riblet

## 持続可能な社会を創るバイオミメティクス Biomimetics for sustainability

レオナルド・ダ・ヴィンチは鳥に学んで飛行機械の設計をしました。生物に学ぶ私たちの生活に役立つ技術はバイオミメティクス（生物模倣）といえます。合成繊維のナイロンはカイロが絹を模倣をまね、マジックテープとして知られるフックファスナーは植物の種にヒントを得、発泡樹脂製の台所スポンジは海洋生物の海綿を模倣したもので、我々の身の回りにには多くのバイオミメティクスがあります。

Learning in birds, Leonardo da Vinci designed flight machines. Biomimetics is the human technology learning from Nature. There are many biomimetics in daily life. The synthetic fiber, Nylon, was invented in imitation of silk, hook and loop fastener got a hint in sticky seed, and kitchen foam resin sponges copied marine creature sponges.



飛行機模倣のバイオミメティクス  
飛行機のデザインは鳥や空軍軍師のアイデアに由来する  
Airplane is a biomimetic flight machine

バイオミメティクスの基礎は生物の多様性です。生物多様性は、長い時間をかけてさまざまな環境において生物が生存してきた進化適応の結果です。生物の生き残り戦略に学ぶことで、資源やエネルギー、気候変動等の現代社会が抱える課題の解決、持続可能性のための技術革新のヒントをもたらすものと期待されています。

Biomimetics is the reverse engineering based on biodiversity. Biodiversity is not only the result of evolutionary adaptation but also the optimized strategy for sustainability. Biomimetics is the innovative paradigm shift based on biodiversity for sustainability, and key solution of pressing issue of modern society, resources, energy, and climate



鳥の羽のバイオミメティクス  
スポンジは海綿から  
Biomimetics in daily  
「サメ肌」で？ 風力発電の効率アップ！  
Wind turbine fan blade mimics whale's flipper  
新設特別展示館「人びととバイオミメティクス」常設展示館  
持続可能な社会構築を支援しています。



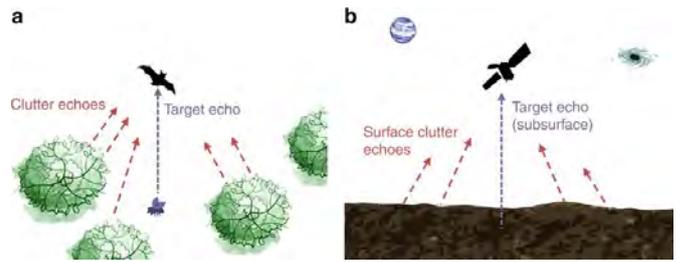
写真提供：横山 季代子（沖縄美ら海水族館）

# ニュースクリップ 2018年

2018年1月8日

コウモリ、藻類、カブトムシ、カメ: 自然からのアイデア  
Evolution News & Science Today (2018/1/8)

Nature Communications の論文「コウモリのエコーロケーションを模倣することによる惑星体のレーダー地球物理学的探査における曖昧さの解決」、ミュンヘン工科大学の「新しいスクリーンへのバッテリー電極と、代用骨や組織などの医療分野の表示技術」などの技術が紹介された。



出典: Nature Communications (volume 8, Article number: 2248 (2017))

2018年1月9日

バイオミクリーはマテリアルイノベーションの波を拓ける  
Financial Times (2018/1/8 FT)

カリフォルニアに本拠を置く Bolt Threads が、発売したニット帽は、ウールと遺伝子組み換え酵母を使用して製造されたバイオ加工スパイダーシルクとの組み合わせで作られている。また、ハーバード大学の廃棄されたエビの殻から抽出されたキッチンを使用した”Shrilk”の可能性が経済紙に報道された。



出典: Eivaisla/Getty Images/iStockphoto; Wyss Institute at Harvard University

2018年2月1日

生活アシスト手袋および指サックの開発

浜松医科大学と帝人フロンティアは、指紋消失による指先の摩擦力消失などのがん薬物療法による副作用に対応した生活アシスト手袋と指サック「ナノびた™」を開発した。帝人が開発した極細繊維ナノフロントが使用されている。

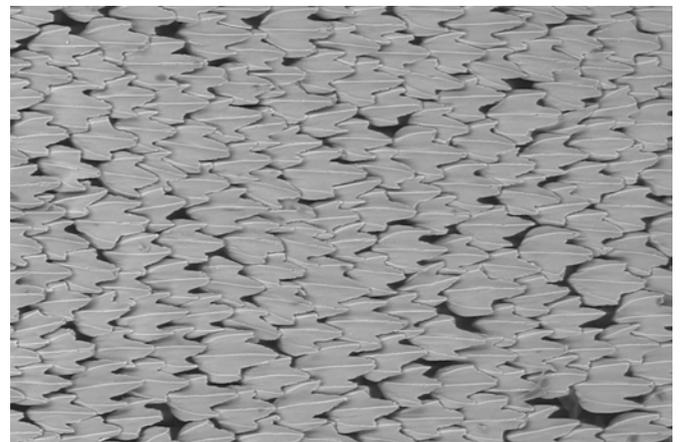


出典: 浜松医科大学と帝人の共同プレスリリース

2018年2月7日

サメ肌の構造が、飛行機、風力タービン、ドローン、自動車の性能を向上させる  
National Geographic

Journal of the Royal Society Interface 2月6日号に発表された論文によると、サメの楯鱗は、抗力を小さくして前進を容易にしているだけでなく、揚力を高める効果があることが明らかになった。米ハーバード大学の進化生物学者と工学者のチームは、アオザメのウロコの形状をマイクロCTスキャンし、飛行機の翼のモデル表面に3D印刷している。



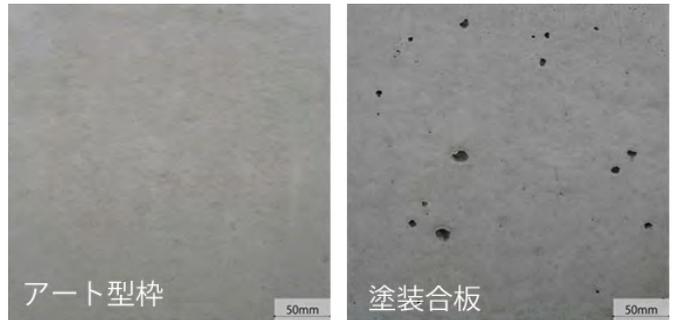
電子顕微鏡で観察したアオザメのウロコ。1片の大きさは100~200 μm。

PHOTOGRAPH BY HARVARD UNIVERSITY

2018年2月8日

### バイオミメティクスをコンクリートの外壁施工に応用 Diamond Online

清水建設と東洋アルミニウムは共同で、水をはじくハスの葉の表面機構を模倣し、コンクリートの型枠に応用した。コンクリートの美観を向上させるために、型枠に微細加工を施し、型枠を外した後に生じる気泡痕と色むらを抑制することができる。東洋アルミニウムが保有するヨーグルトがくっつかない蓋の技術の応用展開となる。

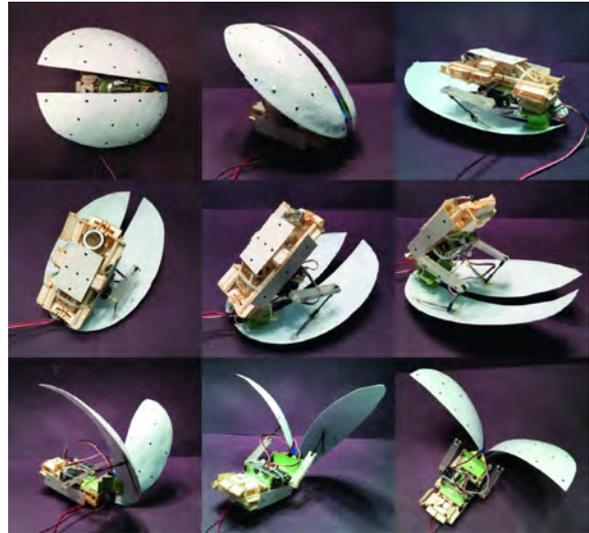


出典:清水建設プレスリリース

2018年2月13日

### ゴキブリのような行動をするロボット Sciece Daily

Johns Hopkins 大学の研究チームでは、動物がその大きさ以上の障害物がある複雑な3次元地形を認識し回避する行動を研究し、災害用ロボットに応用する研究を進めている。



出典:Johns Hopkins 大学

2018年2月14日

### シロアリがマスタープランなしで複雑な家を建設する 仕組み Txchnologist

GE がスポンサーとなっているオンラインマガジン Txchnologist には、バイオミメティクスに関連する記事が掲載されている。

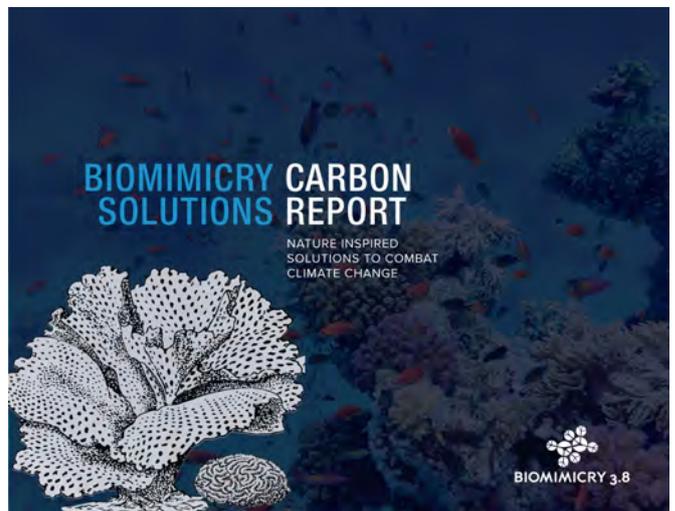
2018年2月15日

### Biomimicry Solutions Carbon Report

Biomimicry3.8は、炭素排出に焦点をあて「BiomimicrySolutions: Carbon」の報告書を2018年1月に公開した。発電や農業デザインなど9件の技術分野での企業の取組みが紹介されている。この報告書は、Biomimicry 3.8のブログである Synapse.bio からダウンロードすることができる。

<https://synapse.bio/blog//>

[biomimicrysolutionsreport-carbon](https://synapse.bio/blog//biomimicrysolutionsreport-carbon)

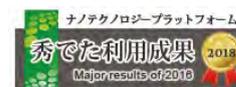


出典: Biomimicry Solutions Carbon Report by Biomimicry 3.8

2018年2月15日

### 環境負荷の少ない付着生物防止技術

国際ナノテクノロジー総合展 (2月14日~16日東京ビックサイト)で、「海洋設備表面への付着を目的とした微細構造による環境負荷の少ない付着生物防止技術の開発」(分子・物質合成プラットフォーム: 千歳科学技術大学)が平成29年度「秀でた利用成果」として表彰された。

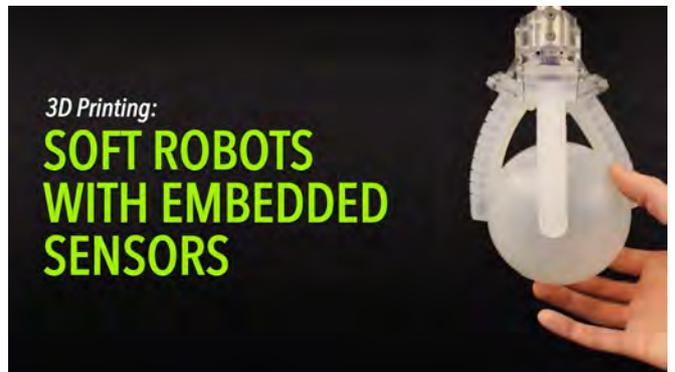


栈橋に付着したフジツボ群集  
出典: Nanotech Japan Bulletin

2018年2月28日

### 生物模倣のソフトロボット

ハーバード大学の研究者はセンシングと応答機能を備えたソフトロボットを開発した。生物模倣により、微細な物をつかむなどロボットなどを3Dプリンティングを用いて作製している。3本の柔らかい指（アクチュエーターで駆動）からなる柔らかいロボットグリッパーを3Dプリントで作製した。グリッパーの膨張圧力、曲率、接触、および温度を感知する能力を研究し、また、複数の接触センサーを埋め込むことで接触感覚を有するグリッパーを開発した。



出典: Wyss Institute - Harvard University

2018年3月2日

### 全国高専英語プレゼンコンテスト 北海道新聞

函館高専の3年生3人が、「第11回全国高等専門学校英語プレゼンテーションコンテスト」(2018年1月28日)において「Biomimetics: Technology inspired by living things」を発表し、チーム部門で優勝した。

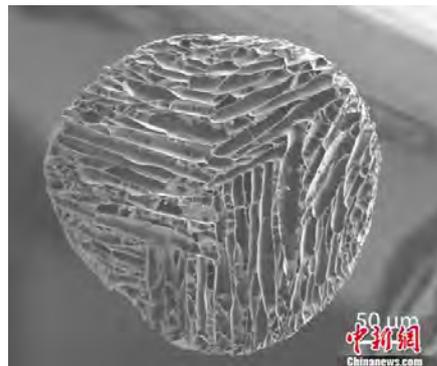


出典: 全国高等専門学校英語教育学会ウェブサイト

2018年3月7日

### 北極熊を模倣した断熱繊維 新浪新聞中心

ホッキョクグマの体毛は、自然界で最も耐寒性のある素材の1つである。ホッキョクグマの毛)には、穴の直径が約15~20ミクロンの中空で半透明の小さなチューブがあり、その周りには同じ方向に伸びる細い穴が多数ある。。浙江大学では、レーヨンのフリーズスピニングで高断熱性のバイオミメティック・ファイバを開発した。



出典: 中国ニュースネットワーク

2018年3月8日

### バイオミメティクスによる工場デザイン

オーストリアのInstitut für Technische LogistikのBio-Inspired Factory Layouts (BioFacLay) のプロジェクトでは、工場のレイアウトの最適化を研究している。コガネグモ、クモの巣、ハチの巣、オウムガイ、血管や肝臓などから、レイアウトのアイデアを抽出している。



出典: Institut für Technische Logistik

2018年3月11日

### 軽量で強固な素材を作製するための新技術

A\*STAR(シンガポール)の研究者が、竹や人間の骨に見られるような格子構造や細胞構造を模倣し、3Dプリントを用いて軽量で強固な構造を設計している。



出典: A\*STAR

2018年3月16日

### IcadeとCEEBIOSが事業提携

「街づくりの未来」をテーマにフランスで開催されている国際不動産見本市（MIPIM2018）で、IcadeとCEEBIOSは事業提携を発表した。Icadeは、オフィス、ビジネスパーク、ショッピングセンター、住宅および公共施設などで不動産事業を展開している。街づくりのためのバイオミメティクスがフランスでは着目されている。



出典:Icade Twitter

2018年3月23日

### 海の生息環境を模倣

フランスの海洋エンジニアリング企業であるSeaboostと大型の3Dプリンタ技術を有するXtreeE社は、自然生息地を模倣した岩を3Dプリントによって作製した。この3Dコンクリート印刷技術は、地中海やグレートバリアリーフにおける生態系復元プロジェクトに適用できると期待されている。



出典:SEABOOST ウェブサイト

2018年3月23日

### 折りガミと生物機能

ETHチューリッヒのグループが、昆虫の翼の構造と機能を折りガミと比較した研究 (Bioinspired spring origami) を Science に発表した。現在の折り紙モデルでは十分に説明できない絶妙な自然の折りシステムを持つ昆虫として、ハサミムシの羽を研究対象としている。Science 23 Mar 2018:Vol. 359, Issue 6382, pp. 1386-1391



出典:ETH Zürich

2018年4月2日

### FESTO社の新たなコンセプトロボット

転がりながら移動するクモ (flic-flac spider) を模倣したクモ型ロボット「BionicWheelBot」と、超軽量飛行体のコウモリ型ロボット「Bionic Flying Fox」が発表された。Hannover Messe 2018で公開される。

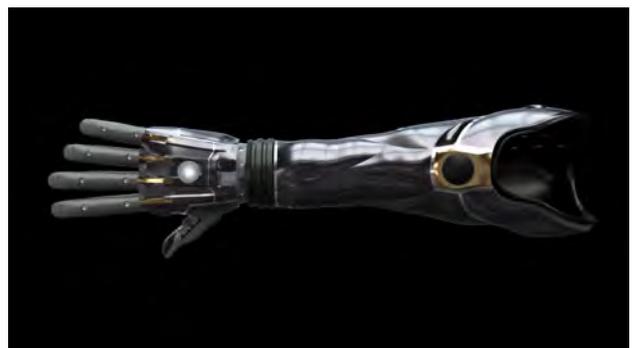


出典:FESTO

2018年4月4日

### バイオニック義肢(Hero Arm)

Open Bionics社は、3Dプリンターでつくった世界初のバイオニック義肢 (Hero Arm) の発売を発表した。右図の義手は£399で販売されている。重さは150g程度である。

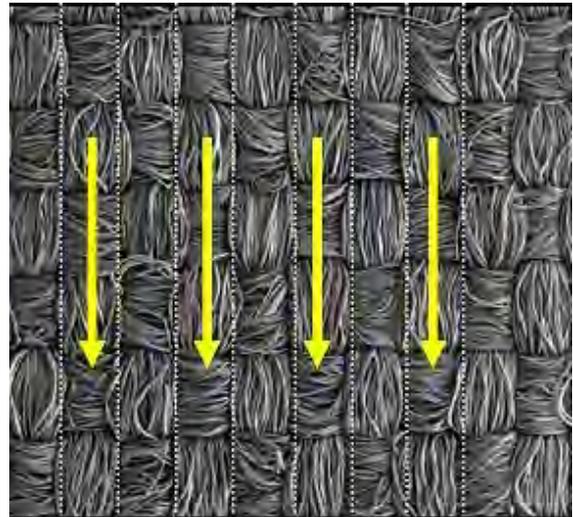


出典:Open Bionics

2018年4月9日

### 春夏ウェアにバイオミメティクス 産経ニュース/帝人

帝人フロンティアは、イネの葉の撥水メカニズムを再現した新しい衣料用素材「ミノテック」を開発した。イネの葉の無数の凹凸を模倣し、生地表面の縦方向に水滴を流す構造、横方向に水滴の表面張力を低減するための凸構造を配したマイクロガーター構造を作製した。また、ラミネート加工がないので、汗によるムレを衣服内部から外へ放出し、衣服内を快適に保つことができる。



出典：帝人ニュースサイト

2018年4月16日

### レクサスの“Structural Blue”

トヨタ自動車は、モルフォ蝶の羽から着想を得た構造発色性顔料で塗装した特別仕様車を発売する。7層の多層膜に反射した光線は美しい青色の構造色を有する。なお、LC特別仕様車“Structural Blue”の販売は、2018年7月上旬で終了した。



出典：トヨタ自動車レクサスウェブページ

2018年4月19日

### Biomimicry 3.8とBlue Marble社のパートナーシップ

バイオミメティクス製品の開発を行うBlue Marble社は、持続可能な製品を市場に迅速に送り出すために、Biomimicry 3.8とパートナーシップ契約を締結した。

2018年5月1日

### Horizon 2020 AIRCOAT (Biomimetics Coating)

船舶の摩擦抵抗を低減する生体模倣船体コーティングを開発するプロジェクトAIRCOAT(Air Induced friction Reducing ship COATing)がスタートする。バイオミメティクスとしてSalvinia効果を利用し空気潤滑技術を開発する。



出典：Schimmel Team, KIT

2018年6月11日

### シュトゥットガルト州立自然史博物館

Baubionik展をバーチャルツアーでみることができる。ドイツ研究財団(DFG)のTRR 141によって資金提供されている。

2018年6月11日

### 建築への応用をめざすバイオミメティクスの大型プロジェクト(ドイツ)

Biological Design and Integrative Structures - Analysis, Simulation and Implementation in Architectureのプロジェクトがスタートする。



出典：[http://www.zitronenwolf.com/rundgaenge/projekte/180409\\_Bionik/index.php](http://www.zitronenwolf.com/rundgaenge/projekte/180409_Bionik/index.php)

2018年6月18日

### 第五次環境基本計画(環境省)

SDGs の考え方も含め、分野横断的な6つの「重点戦略」を設定し、環境政策による経済社会システム、ライフスタイル、技術などあらゆる観点からのイノベーションの創出や、経済・社会的課題の「同時解決」を実現し、将来に渡って質の高い生活をもたらす「新たな成長」をめざす基本計画が示された。その中の重点戦略として「持続可能性を支える技術の開発・普及」がとりあげられ、生物・自然の摂理を応用する技術としてバイオミメティクスの推進が示された。

(2) 生物・自然の摂理を応用する技術の開発

- バイオマスからの高付加価値な化成品の生産
  - ・セルロースナノファイバー、バイオマスプラスチック等
  - バイオマス由来の化成品創出
- 革新的なバイオ技術の強化・活用
  - ・ICTとの融合により潜在的な生物機能を最大限活用
- 自然の摂理により近い技術の活用
  - ・生物の優れた機能等を模倣する技術(バイオミメティクス)等を活用した低環境負荷技術
- 生物多様性の保全・回復
  - ・生態系サービス等の持続可能な管理・利用技術
- 生態系を活用した防災・減災等
  - ・工法、維持管理手法、機能評価手法の確立

出典:環境省 第五次環境基本計画

2018年6月26日

### 環境ビジネス FRONT RUNNER

環境省のウェブページで、環境にやさしい商品・サービスを提供する「環境ビジネス」を展開する企業が紹介された。LIXILのカタツムリの殻の構造を模倣した汚れにくい外壁、日本ペイントマリンのマグロの皮膚を模倣した低燃費型船底防汚塗料、日産自動車の魚群の動きを模倣した自由度の高い自動群走行技術をはじめ、島津製作所の生物模倣技術を支える分析評価技術やたねやの持続可能なまちづくりの実現を目指した地域密着型の企業活動などが紹介されている。

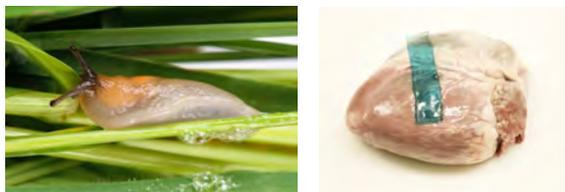


出典:たねや

2018年7月6日

### ロンドン自然史博物館:夏の科学展

ロンドン自然史博物館では、ロイヤルソサイエティ・サイエンス展で生体模倣作品を展示する。この夏の科学展では、「ナメクジから生体適合性のある医療用接着剤」や「トンボの獲物の経路予測から次世代無人航空システム」などの研究成果も公開された。



ナメクジを模倣した外科用ゲル

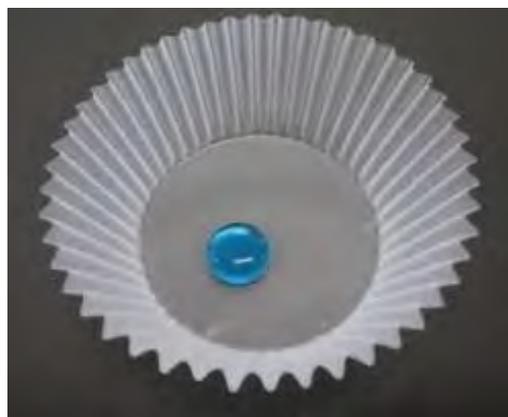
出典:

Nigel Cattlin/Visuals Unlimited/Getty Images  
Jianyu Li, Adam D. Celiz, David J. Mooney/Science

2018年7月18日

### 超撥水採精カップ『ComeCum™Cup』

株式会社ダンテの精液成分の郵送検査キット「BUDDY CHECK™」に使用される採精カップ「ComeCum™Cup」(東洋アルミニウム株式会社開発)には、ハスの葉の構造をヒントに開発された超撥水性素材が使用されている。粘性の高い精液であっても、ほぼ全量を提出用チューブに入れることが可能となった。東洋アルミニウムの基材は厚み50μmの二軸延伸ポリエチレンテフタートで、撥水・油処理を施し後に立体成型を行っている。



出典:東洋アルミニウムプレスリリース

2018年7月13日

### 国立科学博物館 昆虫展

国立科学博物館の大規模特別展では初となる「昆虫」をテーマとした特別展「昆虫」が2018年7月13日～10月8日の日程で開催された。10月過ぎには、特別展「昆虫」は、来場者40万人を突破した。



出典:国立科学博物館

2018年8月24日

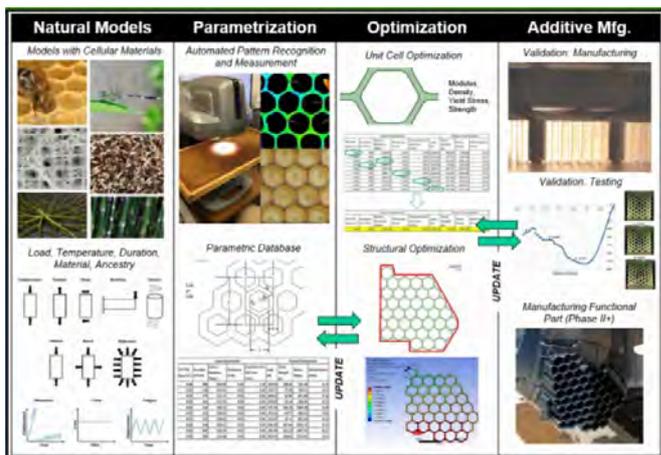
### Biomimicry 3D Print

NASAは、高度な3D印刷研究(bioinspired 3D print)のためにArizonaStateUniversity(ASU)とPhoenix Analysis and Design Technologies(PADT)に\$127,000の小規模ビジネス技術移転資金(STTR)を提供した。

2018年10月8日

### 中学の入試問題にバイオミメティクス

2018年共栄学園中学校「理科」の入試問題にバイオミメティクスが出題された。日能研の電車額面広告『シカクいアタマをマルくする。』シリーズにも掲載された。



出典:3DPrint.com

2018年10月11日

### TC323 Circular economy

フランスのAFNOR(フランス規格協会)がCircular economyの標準化をISOに提案し、22ヶ国が参加するTC323が発足した。

2018年11月12日

### 松の害虫とバイオミメティクス 共同通信

森林総合研究所の高梨琢磨主任研究員は、マツノマダラカミキリが脚に伝わる振動で敵の接近など危険を察知する習性を利用し、殺虫剤の使用を抑えながら木を守る技術を開発した。松の木に小刻みな振動を与え、松枯れの原因となる害虫を寄りつかなくさせる手法として期待される。

出典:2018年共栄学園中学校入試問題(日能研)

2018年12月12日

### TEIJIN「THINK HUMAN EXHIBITION」

帝人株式会社は、創立100年イベントで、次の100年に向けて「バイオミメティクスが考える未来生活」を取り上げられ、12月12日には、針山孝彦特任教授(浜松医科大学光先端医学教育研究センター)とデザインエンジニア谷口靖太郎氏(Takram)のトークショーも行われた。



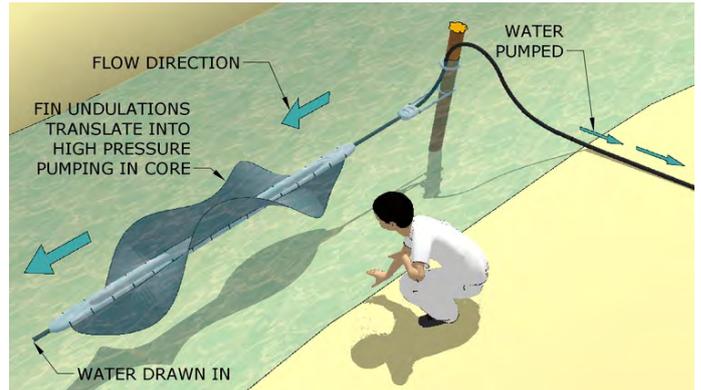
出典:TEIJIN THE NEXT 100 THINK HUMAN EXHIBITION ウェブページ

2018年12月

FESTO社は2018年6月に発表した「Bionic FinWave」は、イカのようにフィンを使って連続した波を発生させ、前に進む自律型水中ロボットである。その後、Pliant Energy Systems社も、フィン型ロボット「Velox」を開発し、水中のみならず陸上や氷上でもフィンを利用して這いまわることができるの映像を公開した。Pliant Energy Systems社は、このフレキシブルなフィンを用いた水中ポンプや発電システムを開発している。



出典：FESTO社のホームページ



出典：Pliant Energy Systems社のホームページ



Photo by M.Ata

### 「連携だけなら誰でもできる、クロスボーダ次世代を残せ」

下澤 楯夫（北海道大学名誉教授）

生物規範工学ニュースレター Vol.1 No.2 (2012年12月10日) から転載

生物規範工学の必要性を提唱してから、20年近くが経ってしまった<sup>1)</sup>。この言葉を冠した新学術領域の発足を心から嬉しく思い、大いなる成果を期待している。キックオフ会議（10月2日東京上野国立科学博物館）では、下村領域代表が「持続可能な社会を実現する基盤としての工学と生物学の連携」を謳った。しかし、我が国で医工連携（医学と工学の連携）や生工融合（生物学と工学の融合）を掲げた活動が真に実りある形をなした例はきわめて少ない。それで、「生物学と工学の境界を越えた（Across-bordered）次世代」を育成し学術領域としての持続性を確保するよう、評価グループの一員として要望したのである。

そもそも「連携」とは何か？工学者と生物学者が連名で論文を書けば連携か？そんなコトは誰でもできるヤッタフリ連携に過ぎない。真に新しい学術は、既存の境界線上にではなく、境界を越えた処で当事者として生きることから始まる。勿論、40代50代の研究者が脳みそを入れ替えて、訓練を受けたこともない異分野に移り棲むことなど出来る訳がないし、社会もそう短兵急に付託している訳でもない。ただし、10年後20年後には実際に世の中を変えている人材を育てるのが教育研究機関の役割だ。それで、「生物系の班員は工学出身の若者をポストドクとして鍛え、工学系の班員は生物学出身の若者をポストドクとして鍛えて、生物の技術（生きる仕組み）を我々の技術に転化する人的基盤としてのクロスボーダ次世代を確実に残せ」と提案したのである。これは、「少しでも変異した次世代を残し続ければ、環境に適応した新しい種の分化さえ起る」、「生物進化は生きる仕組みの転用の歴史である」という生物の存在原理そのものの実践を要請したことになる。

残念ながら、クロスボーダは我が国の一般風潮とは合っていない。理学部生物学科の助教授として昆虫神経生理学の教育と研究に携わっていた35年前、「学術研究の新しい動向」を高校教員の研修会で紹介する機会が与えられた。筆者の講演が終わってから聴衆の一人が、「下澤君、下澤君だ

よね。同姓同名の別人かと思ってた。あなた確か、工学部の電子工学科へ進学したんじゃないの？どうして理学部で生物の助教授なんかやってるの？なんかヤラカシタの？」と話しかけられた。母校の教師が研修会に来ていたのだ。「なにかをヤラカシタ訳ではありません。これからの世の中が健全な科学を持つためには、工学技術を使って生物の仕組みを調べたり、生物の生きる仕組みを工学技術に取り入れたりする必要があります。神経系は情報通信系ですから電子通信工学と同じです。今は生物学の助教授として次の世代を育てて給料を貰っています。」と、工学と生物学とは自然科学として一体で相互乗り入れ可能であることを説明したが、理解して貰えた訳ではない。万世一系を貴ぶ我が国では、高校教員ですらこうなのだ。人生も「縦流れ」が美しく全うな生き方で、「横渡り」は邪（ヨコシマ）で忌むべきことなのだ。横に流れた教え子は、きっと何か「社会的非行をヤラカシ」て罰を受けたに違いないのだ。同じ趣旨の「なにかヤラカシタのか」詰問は、その後の高校の同窓会でも複数の教師や同期生から受けた。

このように、高校教師を含めて一般市民の多くは、学科や学部など「大学の縦割り教育」構造を、学術の根本的・本質的な構造に由来しているかのように誤解している。我が国の高等教育における縦割り構造は、「社会の要望に合った人材を高効率で供給する作業」と「学術（人類としての知的生産）の高度化と次世代への伝達作業」との妥協の産物に過ぎない。にも拘らず、あたかも神が規定した自然界の構造であるかのように誤解されているのである。これは重大な問題である。さらに残念なことに、この間違いに気付かない「科学者仲間」もまた多いのである。自然は一体で、自然の中が「数学、物理、化学、生物学」に分かれている訳ではない。人間が、何かの観念に囚われて勝手に自然を分割し、便宜上の名前を付けたに過ぎない。少なくとも、自然の中にこれら科学の諸分野の境界線を見出すことは出来ない。

我が国の行政はポストドク制度の設計に見事に

失敗したままだ。そもそも担当省庁にポストドク経験を持つお役人はいない。昔、ポストドクと大学院生の違い（大学院生は訓練すべき対象、ポストドクは共同研究者）すら理解していない担当係長の欧米研究開発体制視察記を読んで、暗澹とした。しかし、嘆くだけでは状況は変わらない。新学術領域を自認するなら、研究費を次世代の育成にも投入して自前でクロスボーダポストドクを養成して人的学術基盤として次世代へ遺すべきなのだ。さもなくば、ただの「ヤッタフリ連携」で終わる。

太平洋を東へ渡った国のポストドク制度は、異分野融合が自発的に進む仕組みとして、良く出来ている。ポストドクを雇うボスは、資金と装置と床と（自らの失敗を含めた）多くの知識と大受けしそうなテーマを持っている。しかし、年寄りで指先も震え顕微鏡も霞んでデータを上手く集められず、頭も硬く固執から抜け出せない。ポストドクとなる若者は、金も装置も床もなく知識も少ないが、3-4日は徹夜で実験を続ける体力と器用な指先と良く見える眼、柔軟な発想が出来る最新型の脳みそ、そして人生の夢と勇気を持っている。

ポストドクとは、前者と後者が手持ちの富を交換トレードする制度である。前者は後者から若い体力と指と眼と脳みそと勇気を手に入れ、後者は実験費用と装置と床、そして当面の生活費を手に入れる。こうして共同生産した研究成果が高い評価を受ければ、両者共に人生が豊かになる。ここで重要なのは、ボスは自分には出来ない異分野の作業をしてくれるポストドクを必要としており、ポストドクは自分の人生を掛けてボスとは異なる分野を開拓しなければ評価されないことである。世代交代を通して必然的に異分野融合が進むのである。彼の国は「人種の坩堝（ルツボ）」と形容されるが、「科学の坩堝」でもあるのだ。科学の坩堝による異分野融合が高い産業競争力を支えている。本領域の班員には、このまま万世一系の縦割りバラバラ科学の列に並び続けるか、クロスボーダポストドクを養成する科学の坩堝作りになるか、選択が問われている。

今や工学の現実には、「行き詰まり・閉塞」状態にある。数学・物理・化学に頼った古典的な設計論理で出来ることはやってしまった。どうすれば設計できるのかさえ分からないことが山積してい

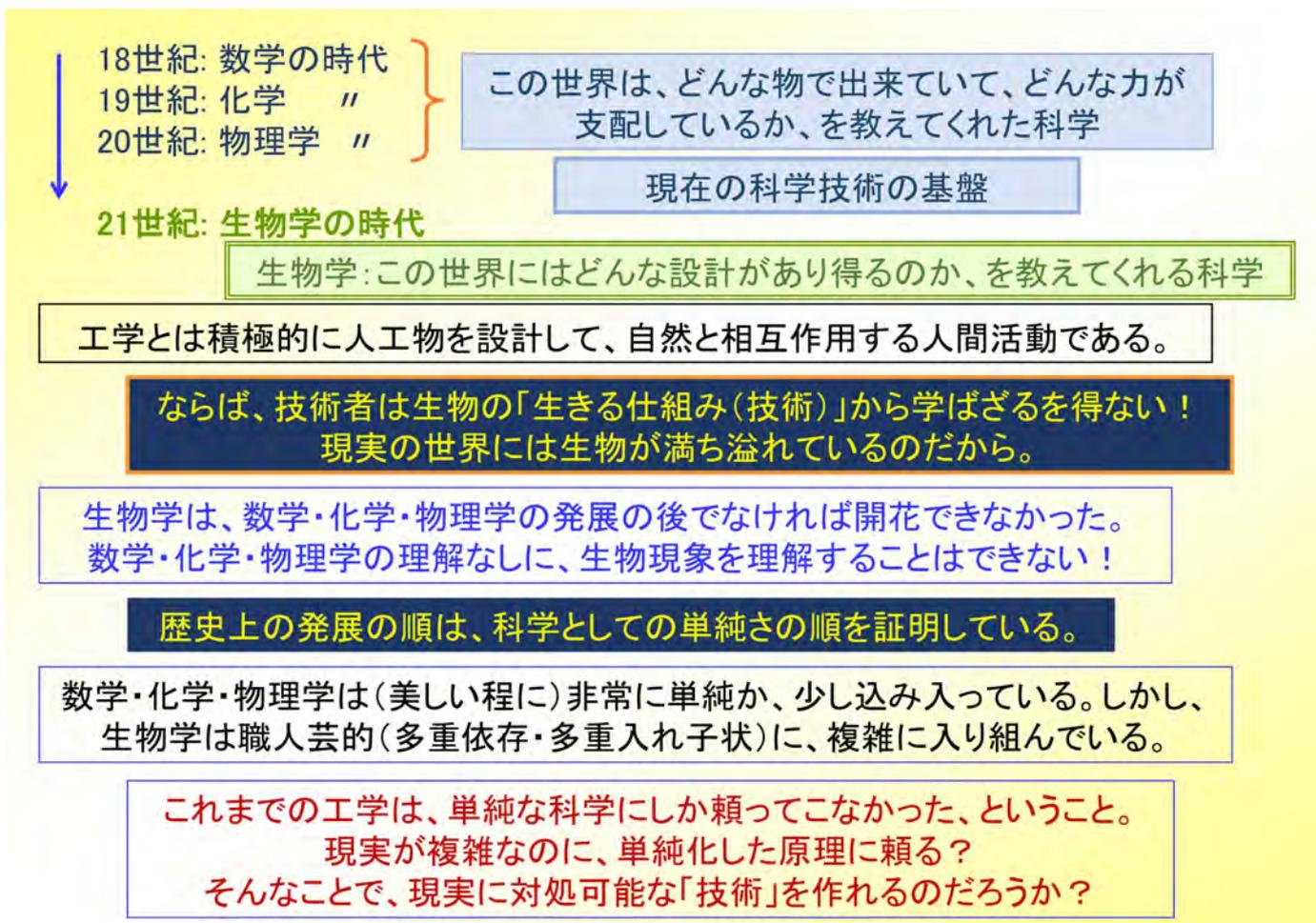


図1. 自然科学諸分野の発展の歴史と役割および単純さの度合い

る。工学に「真の合成理論」は存在しない。人間は分析しか出来ない。上手く行った場合の分析経路を逆に辿ることを合成理論と呼んでいるに過ぎない。学習機械 (NeuralNet、誤差逆伝搬)、最適化制御 (Fuzzy理論、Genetic Algorithm)、Combinatorial chemistry など、どれも条件を少しづつシラミ潰しに変えて上手く行った結果を拾っているだけの、完全敗北主義・設計放棄状態にある。そんな膨大な試行錯誤のコストに何時まで耐えられるのだろうか？

膨大な試行錯誤なら、自然界は既に終えた膨大な試行錯誤の結果で満ちている<sup>2)</sup>。生物の進化 (変異と選択、工学用語なら試作と市場評価) は構造と機能の転用の歴史である。多くの工学者はそれすらも知らない (知ろうとしない)。現実の世界に在るものに目をつぶり続けるのなら、工学は科学の資格を失う。

18世紀は数学の時代、19世紀は化学の時代、20世紀は物理学の時代、そして21世紀は生物学の時代と呼ばれている (図1)。最初の三つは「この世界は、どんな物で出来ていて、どんな力が支配しているかを教えてくれた科学」で、現在の科学技術の基盤をなしている。そして、生物学は「この世界にはどんな設計があり得るのか」を教えてくれるのである。工学とは「積極的に人工物を設計して自然と相互作用する人間活動」なのだから、

工学は生物の技術 (生きる仕組み) から学ばざるを得ない。現実の世界には生物が満ち溢れており、我々自身が生物なのだから。

確かに、かつての物理学や化学は生物現象を脇に置いて対象から外すことで、身軽になり大きく発展し、現在の科学技術の基盤としての地位を確立した。生物学は数学、化学、物理学の発展の後でなければ開花できなかつたし、数学・化学・物理学の理解なしに生物現象を深く理解出来ないことも事実である。しかしこの歴史上の発展の順は、これらの科学諸分野の単純さの順をも証明していることに注意してほしい。現在の工学は、単純な科学にしか頼ってこなかったのだ。複雑な現実に対処可能な技術を単純な科学に頼って作り上げる、というのも不思議な信仰である。現実の世界に満ち溢れる生物現象の科学をも基盤に据えた、健全な工学体系を創り出して欲しい。

- 1) 下澤楯夫「生物規範工学への道 (Towards Bionormal Engineering)」: 日本機械学会第72期全国大会講演論文集 (V)、p59-60、1994-8.17-19、北海道
- 2) リチャード・ドーキンス「進化の存在証明」、垂水雄二訳、早川書房、東京 2009



## 「異分野に通じた次世代研究者を育てよう」

友国 雅章 (国立科学博物館 名誉館員・名誉研究員)

生物規範工学ニュースレター Vol.2 No.1 (2013年7月1日) から転載

評価委員からのメッセージとして相応しいかいささか疑問はあるが、良い機会なのでまず始めに国立科学博物館がこのプロジェクトに関わることになった経緯をご紹介したい。文科省の川上審議官のご紹介で、私が初めて下村先生の訪問をお受けしたのは2009年12月4日であった。バイオミメティクスプロジェクトに科博の研究者も参加しないかという提案がご訪問の目的であった。当時、動物研究部長として、部の研究活動に何か新機軸を打ち出せないかを模索していた私は、この有り難いお誘いに大いに興味を覚えた。興味は持ったが、大いに不安もあった。何しろ我々は、片

手間に応用的な研究をすることはあっても、もっぱら分類学、系統学というきわめて基礎的な分野の研究の経験しかないといっても過言ではない。それがバイオミメティクスという実用化を見据えた研究プロジェクトに果たして貢献できるのだろうか、というのが最大の不安材料であった。それに対する下村先生のご見解は、「バイオミメティクスはさまざまな分野の研究者が連携しないと成功しない。欧米のバイオミメティクス先進国では博物館の研究者が積極的に関わって優れた成果を出している」ときわめて明快であった。先生のお言葉に勇気づけられた私は、館内の了解を

取り付け、このプロジェクトに参加することにした。しかし、具体的な貢献の方法について有望なアイデアがあった訳ではない。「まあ何とかなるか」というのがその時の正直な気持ちであった。

言うまでもなく、このプロジェクトの最も重要なキーワードは「異分野連携」である。翌年6月にはバイオミメティクス研究会主催のジョイントシンポジウム「次世代バイオミメティック材料の研究動向と異分野連携」を当館で開催し、連携のきっかけとした。学会などのシンポジウムの参加者には顔見知りも多いが、このジョイントシンポジウムに来られた方々とはほとんど初対面であり、これがまさしく「異分野連携」かと改めて実感した。性格も気心もまた研究内容すら知らないこれら多くの研究者と、一体どうやったらうまく連携していけるのか、以来このことが私の頭の中で重要なテーマとなった。

私が長年取り組んできた昆虫分類の最も基本的な手法は形態や構造の観察である。さまざまな標本をSEMで観察すれば、これまで知られていない微細構造を発見できるだろう。しかし、そのような新発見があったとしても、それがバイオミメティクスの素材として使い物になるかどうかは分類研究者には分からない。一方、工学系や材料系の研究者が新しいバイオミメティック素材を得ようとしても、どのような生物のどのような部分を観察

すれば良いのか容易には分からないだろう。ここに異分野連携の意義があるのだが、異分野の知識や経験の乏しい研究者が寄り集まっただけではうまくいくはずがなく、個々の研究者自身が異なる分野の双方に相当通じている必要があるのではないか。つまり、「真に意義のある異分野連携とは、異なる分野の研究者が協働するだけではなく、一人一人の研究者自らが異分野連携をしてしまうことだ」ということに思い至ったのである。とはいえ、長年縦割りの学問体系の下で鍛えられてきた(?)現役の研究者にこれを求めるのはあまりにも非効率である。ではどうするか?我々自身に荷が重いなら、本プロジェクトを通じてそのような次世代研究者を養成すれば良いではないか—これがしばらく頭を悩ませて導き出した現時点での結論である。

ニュースレター Vol.1 No.1には、本領域の目的として「生物学と工学に通じた人材を育成すること」と謳われている。また、Vol.1 No.2の評価委員からのメッセージでは、下澤先生が「クロスボーダー次世代を残せ」として、私とほぼ同趣旨のご意見を私よりはるかに格調高く述べておられる。本プロジェクトでバイオミメティクスの新しい技術体系を創出するのも重要だが、数十年先を見据えた次世代研究者の育成もそれに劣らぬ重いテーマだと私は考えている。

## 「生物規範工学から産業へ」

平坂 雅男 (帝人株式会社)

生物規範工学ニュースレター Vol.2 No.1 (2013年7月1日) から転載

本領域の評価グループの一員でもあり、また、高分子学会のバイオミメティクス研究会や国際標準化委員会などに関わることになり、産業化という視点でこの領域の将来に期待すると共に、産業への活用推進を模索している。

最近、バイオミメティクスの標準化の関連で海外の会議に出席することが多くなった。海外で印象に残るのは、産官学の連携だけでなく、この領域を先導する団体などの活動である。ドイツのBIOKON (Bionics Competence Network) は、象徴的な存在となっていることが、日本でもすでに知られている。また、フランスでは、パリから北に50kmのサンリス市にバイオミメティクス研究

拠点構築が動き出している。日本では、新学術領域として“生物規範工学”がスタートし、学術領域のトップランナーとして成果が期待されている。しかし、このような学術領域の進展と比べ、産業界の動きは遅く産業化を促進するような組織も存在していない。産業化への方策面では、日本は欧米に比べ、周回以上の遅れをきたしているといえる。このような点から、生物規範工学の産業展開を推進するコンソーシアムの設立が一刻も早く必要だと実感している。

今までの日本のイノベーションは、技術至上主義が強く、技術シーズ起点型の知識創造サイクルが主体であった。経営学では、競争優位を「イン

クリメンタル・イノベーション（既存技術の改善）」と「ラディカル・イノベーション（既存技術体系からの脱却）」の分類軸で説明してきた。テクノロジープッシュ型からマーケットプル型へ研究開発のプロセスが移行すると共に、競争優位も「技術の革新性」と「市場の革新性」の軸で議論されるようになった。さらに、最近ではデザイン・ドリブン・イノベーションのように「製品やサービスの意味を革新し、新しい価値を生み出すこと」を前提とした価値創造型のイノベーションが必要といわれている。

イノベーションには、技術が何らかの意味で関与している。しかし、既存の科学領域での進歩が産業に与えるインパクトが少なくなっていることも事実である。例えば、新たな材料が見いだされたとしても、工業化におけるプロセスの複雑さ、原料コスト、環境適合などの様々な課題を克服しなければならず、事業性の観点から製品化につながるものが少なくなっている。これは、産業化につながる技術シーズが、既存の技術領域から探し出すことが難しくなっているためと考える。

生物規範工学は、研究開発におけるパラダイムシフトのひとつであり、新学術領域の進展と共に、企業において技術獲得のチャンスが広がる。そこで、生物規範工学の学術研究を産業化にむすびつ

けるためには、産業界と学術領域のリエゾンとなるインタープリターの役割が重要になる。インタープリターという言葉は、日本では、「自然を解説する人」というような意味で使われている。しかし、ここでのインタープリターは、企業の製品開発に対して異なる視点から研究している専門家を意味し、企業が気にも留めない要素を見つけ出すことができる人材である。企業は、このような人材を社内外から集めることで、イノベーションを起こす組織をつくりだすことができる。しかし、日本のものづくり企業の多くのエンジニアは工学系出身であり、また、生物規範工学を専門とする技術者は少ないため、企業は必然的に社外の専門家に目を向けなければならない。先進的な若手研究者は既成概念にとらわれないことがないことから、インタープリターとしての可能性が高い。今、生物規範工学の将来を支える多くの若手研究者が、この役割を担うことになる。今後、生物規範工学からの産業創出において、活用推進コンソーシアムのような組織と共に、インタープリターが重要な役割を果たすことになる。そして、生物規範工学の学術領域の発展と共に、若手研究者が本領域の産業化とイノベーションに寄与する日も近い。



研究領域	生物多様性を規範とする革新的材料技術
研究種目	新学術領域研究(研究領域提案型)
審査区分	複合領域
研究機関	千歳科学技術大学(2014-2016) 東北大学(2012-2013)
研究代表者	下村 政嗣 千歳科学技術大学, 理工学部, 教授
研究分担者	
長谷山 美紀	北海道大学, 情報科学研究科, 教授
石田 秀輝	東北大学, 環境科学研究科, 教育研究支援者
針山 孝彦	浜松医科大学, 医学部, 教授
森 直樹	京都大学, 農学研究科, 教授
劉 浩	千葉大学, 大学院工学研究科, 教授
大園 拓哉	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 機能化学研究部門, 主任研究員
穂積 篤	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 構造材料研究部門, 研究グループ長
細田 奈麻絵	国立研究開発法人物質・材料研究機構, ハイブリッド材料ユニット, グループリーダー
齋藤 正男	東北大学, 多元物質科学研究所, 名誉教授
野村 周平	独立行政法人国立科学博物館, 動物研究部, 研究主幹
松尾 保孝	北海道大学, 電子科学研究所, 准教授
居城 邦治	北海道大学, 電子科学研究所, 教授
研究期間 (年度)	2012-06-28 - 2017-03-31
研究成果の概要	進化適応の結果である生物多様性を、持続可能性をもたらす“壮大なるコンビナトリアル・ケミストリー”と位置つけることで、自然史学、生物学、農学、材料科学、機械工学、情報学、環境政策学、社会学等の研究者による我が国では類を見ない異分野連携研究ネットワークを構築することにより、ニーズ・シーズ・マッチングと発想支援が可能となる「バイオミメティクス・データベース」を編纂し、情報科学による生物から工学への技術移転が可能であることを実証した。

たね也

CLUB HARIE

*La Collina*



[taneya.jp](http://taneya.jp)



*Photo by M.Ata*



7<sup>th</sup>  
Nagoya  
Biomimetics  
International  
Symposium

November 30th (Fri.), 2018  
Nagoya Institute of Technology (NITech)

Organized by  
NITech and NaBIS Planning Committee

Cooperated by  
Research Group on Biomimetics of The Society of Polymer Science, Japan,  
Biomimetics Network Japan  
Branch Meeting on Biomimetics of Nanotechnology Business Creation Initiative

# **7th Nagoya Biomimetics International Symposium** (NaBIS)

November 30<sup>th</sup> (Fri.), 2018

**Nagoya Institute of Technology (NITech)**

Hall on the first basement level, Building No.4

Gokiso, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan

#### Organized by

---

NITech and NaBIS Planning Committee  
主催：名古屋工業大学、NaBIS実行委員会

#### Cooperated by

---

Research Group on Biomimetics of The Society of Polymer Science (Japan)  
Biomimetics Network Japan  
Branch Meeting on Biomimetics of Nanotechnology Business Creation Initiative (NBCI)  
協賛：高分子学会バイオミメティクス研究会、バイオミメティクス推進協議会、  
NBCIバイオミメティクス分科会

#### 7th NaBIS Planning Committee

---

Chair : Hozumi, Atsushi (AIST)

#### Committee Members :

---

Hirai, Yuji (CIST)  
Ijio, Kuniharu (Hokkaido University)  
Kasuga, Toshihiro (NITech)  
Maeda, Hiroataka (NITech)  
Sato, Tomoya (AIST)  
Shimomura, Masatsugu (CIST)  
Urata, Chihiro (AIST)

Since 2012, Grant - in - Aid for Scientific Research on Innovative Areas (Leader: Prof. Masatsugu Shimomura (Chitose Institute of Science and Technology)) has organized Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) to provide the world community with opportunities to meet and discuss most updated topics, in particular, surface/interface and materials, in engineering neo-biomimetics. We have pleasure in announcing that the 6th NaBIS will be held in Nagoya on 30th November 2018. We look forward to having the pleasure welcoming you to the 7th NaBIS.

エンジニアリングネオバイオミメティクスを指向した表面・界面、材料に関する最先端の研究を展開している国内外の第一線の研究者を招き講演会を開催する。また、産学官をはじめ、異分野領域に所属する研究者、技術者の交流の場として広く開放する。

# PROGRAM

\*\*\*\*\*

11:00-11:05 Opening Remarks

**Prof. Masatsugu Shimomura** (Chitose Institute of Science and Technology, Japan)

<Chair: Dr. Chihiro Urata, AIST, Japan>

11:05-11:45

**Prof. Benjamin Hatton** (University of Toronto, Canada) .....  
Dynamic surface topographies to control wetting, adhesion and tribology

11:45-12:45 Lunch

<Chair: Dr. Tomoya Sato, AIST, Japan>

12:45-13:25

**Prof. Sanghyuk Wooh** (Chung-Ang University, Korea) .....  
Supraparticle Syntheses on Liquid-Repellent Surfaces

13:25-13:55

**Dr. Roland Hönes** (AIST, Japan) .....  
Regeneration of Superhydrophobic Surfaces by Chemical and Structural Surface  
Renewal after Contamination or Mechanical Damage

13:55-14:35

**Prof. Hyuneui Lim** (KIMM, Korea) .....  
Nature-inspired Water Harvestin

14:35-14:45 Break

<Chair: Dr. Roland Hönes, AIST, Japan>

14:45-15:25

**Prof. Pavel A. Levkin** (Karlsruhe Institute of Technology, Germany) .....  
Inherently Photodegradable Hydrogels

15:25-16:05

**Prof. Haeshin Lee** (KAIST, Korea) .....  
Polydopamine Coating and TANNylation

16:05-16:45

**Prof. Shuji Fujii** (Osaka Institute of Technology, Japan) .....  
Liquid marble: From nature to engineering

16:45-17:45

Poster session

17:45-17:50 Closing remarks

**Dr. Atsushi Hozumi** (AIST, Japan)

19:00-

Banquet

## Poster Session

\*\*\*\*\*

November 30<sup>th</sup> (Fri.) 16:45-17:45

1. Adhesion Force of Cypris Tentacles on Polymer Brushes in Sea Water.....  
**S. Shiimoto<sup>a</sup>, Y. Yamaguchi<sup>a</sup>, K. Yamaguchi<sup>b</sup>, Y. Nogata<sup>c</sup> and M. Kobayashi<sup>\*b</sup>**  
(<sup>a</sup> Graduate School of Engineering, Kogakuin University, <sup>b</sup> Department of Applied Chemistry, School of Advanced Engineering, Kogakuin University, <sup>c</sup> Environmental Science Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry)
2. SEM Observation of the Micro-structures Producing Structural Color of the Scales of Blue Lycaenid Butterfly Species.....  
**S. Nomura**  
(Department of Zoology, National Museum of Nature and Science)
3. Thermal Annealing of Plant-derived Adhesive for Sealing of Macroscopic Damage of CVD-grown Graphene .....  
**Y. Lee<sup>1</sup>, K. Jun<sup>2</sup>, I.-K. Oh<sup>2\*</sup> and H. Lee<sup>1\*</sup>**  
(<sup>1</sup> Department of Chemistry, KAIST, <sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, KAIST)
4. Progressive Assembly of Melanin via Cation- $\pi$  Interaction.....  
**Y. Wang<sup>1</sup>, S. Hong<sup>2\*</sup> and H. Lee<sup>1\*</sup>**  
(<sup>1</sup> Department of Chemistry, KAIST, <sup>2</sup> Department of Emerging Materials Science, KAIST)
5. The origin of adhesive force of small animals: Bio-inspired gloves for the QOL of cancer patients.....  
**T. Hariyama<sup>a</sup>, S. Hirakawa<sup>a</sup>, C. Senoh<sup>a</sup> and K. Nakano<sup>b</sup>**  
(<sup>a</sup>Hamamatsu University School of Medicine, <sup>b</sup> Teijin Frontier CO., LTD.)
6. Water droplet adsorption control on the microstructured rubber surface by stretching ...  
**S. Uemura<sup>\*a</sup>, Y. Hirai<sup>a</sup>, Y. Matsuo<sup>b</sup>, T. Okamoto<sup>c</sup>, T. Arita<sup>d</sup> and M. Shimomura<sup>a</sup>**  
(<sup>a</sup>Chitose Institute of Science and Technology, <sup>b</sup>RIES, Hokkaido University, <sup>c</sup>R&D Center, The Yokohama Rubber Co., Ltd., <sup>d</sup>Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University)
7. Influence of the surfaces with different hydroxyl group ratio on the settlement of barnacles .....  
**A. Momose<sup>\*a</sup>, Y. Segawa<sup>a</sup>, T. Murosaki<sup>b</sup>, Y. Hirai<sup>a</sup>, Y. Nogata<sup>c</sup> and M. Shimomura<sup>a</sup>**  
(<sup>a</sup>Chitose Institute of Science and Technology, <sup>b</sup>Asahikawa Medical University, <sup>c</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry)
8. A Facile Preparation of Initiator Layers for Surface-Initiated ATRP toward Formation of Polymer Brushes on Real-Life Substrates.....  
**T. Sato, R. Hönes, C. Urata and A. Hozumi<sup>\*</sup>**  
( National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))
9. Molecular weight effect of infusing oil on syneresis property of slippery lubricated gels (SLUGs) .....  
**C. Urata, T. Sato, R. Hönes and A. Hozumi**  
( National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))
10. Perceptions of stakeholders with different levels of knowledge of and experience in biomimetics .....  
**R. Kohsaka<sup>\*a</sup>, Y. Fujihira<sup>b</sup> and Y. Uchiyama<sup>a</sup>**  
( <sup>a</sup> Tohoku University, <sup>b</sup> Muroran Institute of Technology)

## Prof. Benjamin HATTON

Department of Materials Science and Engineering

Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering  
(IBBME)

University of Toronto, Toronto, Canada

E-mail: benjamin.hatton@utoronto.ca



- Telephone: +1 (416)978-5749
- Website: www.hattonlab.org
- Address: 184 College St., Wallberg Bldg 140, Toronto, ON, Canada M5S 3E4

### Education & Academic Background

1995, B.Sc.Eng from Metallurgy and Materials Science, **Queen's University**, Kingston, Canada

1998, Masters (MAsc.Eng ) from Materials Science and Engineering at **McMaster University**, Hamilton, Canada, thesis on "Flaw Tolerant Alumina/Zirconia Multilayered Composites"

1998-1999, National Institute for Materials Science (**NIMS**), Tsukuba, Japan. Visiting researcher in the Ceramics Processing Lab of the Materials Engineering Laboratories (MEL).

2000-2005, Ph.D in Materials Science and Engineering, **University of Toronto**, Toronto, Canada, thesis on "Mechanical and Dielectric Properties of Self-Assembled, Periodic Nanoporous Silica and Organosilica Materials"

2005-2006, National Institute for Materials Science (**NIMS**), Tsukuba, Japan. Postdoc in the Ceramics Processing Lab of the Materials Engineering Laboratories (MEL).

2006-2007, Post-doctoral fellow at **Bell Laboratories**, Alcatel-Lucent, Murray Hill, NJ.

2007-2012, Technical fellow and Staff scientist at the Wyss Institute for Bio-inspired Engineering, and the School of Engineering and Applied Sciences, **Harvard University**, Cambridge, MA.

2012-present, Associate Professor, Department of Materials Science and Engineering, **University of Toronto**, Toronto, Canada.

### Recent Publications

- W. Wang, J.V. Timonen, A. Carlson, D.-M. Drotlef, C.T. Zhang, S. Kolle, A. Grinthal, T.-S. Wong, **B.D. Hatton**, S.H. Kang, S. Kennedy, J. Chi, R.T. Blough, M. Sitti, L. Mahadevan, J. Aizenberg, "Multifunctional ferrofluid-infused surfaces with reconfigurable multiscale topography", *Nature* 559(7712) (2018).
- T. Awad, D. Asker, **B.D. Hatton**, "Modification of stainless steel food processing surfaces to reduce bacterial biofilm growth", *ACS Applied Materials and Interfaces* 10(27), 22902–22912 (2018).
- C. Stewart, Y. Finer, **B.D. Hatton**, Drug self-assembly for synthesis of highly-loaded antimicrobial drug-silica particles, *Scientific Reports* 8, 895 (2018).
- **B.D. Hatton**. "Antimicrobial coatings for metallic biomaterials". Book chapter in: Wen C, editor. *Surface Coating and Modification of Metallic Biomaterials*. Woodhead Publishing, p. 379-91, (2015).
- N. MacCallum, R. Friedlander, C. Howell, J. Lin, D. Sun, T. S. Wong, **B. D. Hatton**, P. Kim, J. Aizenberg, "Oil-infused silicone tubing as a biomedical material that prevents bacterial accumulation" *ACS Biomaterials Science and Engineering* 1, 43-51 (2015).
- D. C. Leslie, A. Waterhouse, J. B. Berthet, T. M. Valentin, A. L. Watters, A. Jain, P. Kim, **B. D. Hatton**, A. Nedder, K. Mullen, E. H. Super, C. Howell, C. P. Johnson, T. Vu, S. Rifai, A. Hansen, M. Aizenberg, M. Super, J. Aizenberg, D. E. Ingber, "A bioinspired omniphobic surface coating on medical devices prevents thrombosis and biofouling" *Nature Biotechnology* 32, 1134-1140 (2014).
- N. Vogel, R. Belisle, **B. D. Hatton**, T. S. Wong, J. Aizenberg, "Fully transparent, omniphobic surfaces and based on inverse colloidal monolayers", *Nature Communications* 4, 2167 (2013).
- L. Mishchenko, J. Aizenberg, **B.D. Hatton**, "Spatial Control of Condensation and Freezing on Superhydrophobic Surfaces with Hydrophilic Patches", *Advanced Functional Materials* 23, 4577-4584 (2013).
- **B. D. Hatton**, I. Wheeldon, M. J. Hancock, M. Kolle, J. Aizenberg, D. E. Ingber, "An artificial vasculature for adaptive thermal control of windows", *Solar Energy Materials and Solar Cells* 117, 429-436 (2013).
- T. S. Wong, S. H. Kang, S. K. Y. Tang, E. J. Smythe, **B. D. Hatton**, A. Grinthal, J. Aizenberg, "Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity", *Nature* 477, 443-447 (2011).
- **B. D. Hatton**, J. Aizenberg, "Writing on Superhydrophobic Nanopost Arrays – Topological Control for Bottom-up Assembly", *Nano Letters* (2012) 12, 4551-4557.
- **B. D. Hatton**, L. Mishchenko, S. Davis, K. Sandhage, J. Aizenberg, "Assembly of large-area, highly ordered, crack-free inverse opal films", *Proc. National Acad. Sciences* (2010) 107 (23), 10354-9.

# Dynamic surface topographies to control wetting, adhesion and tribology

Kurtis Laqua<sup>a</sup>, Ben Hatton<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Department of Materials Science and Engineering,  
<sup>b</sup>Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering,  
University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada  
E-mail: benjamin.hatton@utoronto.ca

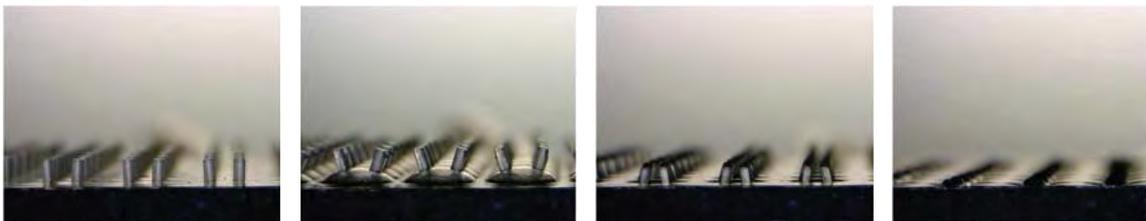
Soft robotics involves the use of soft materials (typically elastomers) instead of the combination of rigid elements and multiple flexible joints found in conventional robots <sup>1-3</sup>. Also, soft robots use actuation based on electroactive polymers, pneumatic or hydrostatic pressure, acting along a distributed network of channels and volumes, to give a wide and continuous range of conformational form <sup>4-6</sup>. In principle, these can have an infinite number of degrees of freedom, allowing complex bending, extension and twisting movements. While there has been great interest in the design and actuation of soft robotic *limbs*, and at the *macroscale*, there has been very limited application of these principles for actuation of *surface* structures, and at small (nano and micro) length scales.

Nature has many vertebrate and invertebrate examples of mobile soft material structures. Worms and sea anemones use a ‘hydrostatic skeleton’ of cylindrical, fluid-filled cavities surrounded by a muscular wall, reinforced with connective tissue. Force transmission is generated by pressure in the enclosed fluid. Alternatively, ‘muscular hydrostats’ are found in octopus tentacles, mammal tongues, and elephant trunks, where a musculature generates both the force and provides skeletal support <sup>7</sup>.

The octopus provides an incredible example of multi-scale, hierarchical actuation <sup>5,9,10</sup>. In addition to macroscale movement of the tentacle limbs for locomotion and gripping, octopus skin can rapidly change its roughness and topography at length scales from  $10^{-6}$  to  $10^{-2}$  m (usually for camouflage), and independently actuate suckers to control local adhesion to surfaces. Starfish use a periodic adhesion and detachment of topographic features (tube feet) for locomotion <sup>11</sup>.

To date there have been designs for multiscale actuation of surface topographies, to deterministically control surface adhesion, friction and locomotion. Examples in the soft robotics literature are limited to macroscale movement of whole limbs, such as grippers <sup>12</sup> or gecko-inspired feet <sup>13</sup>. The main advantages of controllable *surface* microtopography actuation are the dynamic control of interfacial adhesion, friction and interfacial locomotion, as demonstrated by octopi and starfish.

In this talk I will present some of our recent results for the design of dynamic, programmable surface topographies that consist of moveable arrays of micropost and groove features. We have investigated changes in surface wettability (wetting state), surface adhesion and friction as a function of the surface topography control.



**Figure 1.** Dynamic movement of 200  $\mu\text{m}$  post arrays molded in PDMS silicone.

## Dr. Sanghyuk Wooh, Assistant Prof.

School of Chemical Engineering and Materials Science

Chung-Ang University

E-mail: woohsh@cau.ac.kr

- Telephone: +82 (0)2-820-5401
- Address: 84 Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 06974, Korea



### Education & Academic Background

2005 Graduated from School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Korea  
2008 Master of Engineering, School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Korea  
2013 Doctor of Engineering, School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Korea  
2014-2017.03 Postdoctoral Researcher, Department of Physics at Interfaces, Max Planck Institute for Polymer Research, Germany  
2017.04-2017.08 Group Leader, Department of Physics at Interfaces, Max Planck Institute for Polymer Research, Germany  
2017.09- Assistant Professor, School of Chemical Engineering and Materials Science, Chung-Ang University

### Recent Publications

- N. Gao, F. Geyer, D. W. Pilat, S. Wooh, D. Vollmer, H.-J. Butt, R. Berger, "How Drops Start Sliding Over Solid Surfaces," *Nature Physics*, 14, 191-196 (2018).
- J. T. Pham, M. Paven, S. Wooh, T. Kajiya, H.-J. Butt, D. Vollmer, "Spontaneous Jumping, Bouncing and Trampolining of Hydrogel Drops on a Heated Plate," *Nature Communications*, 8, 905 (2017).
- S. Wooh and H.-J. Butt, "Photocatalytically Active Lubricant Impregnated Surface," *Angewandte Chemie International Edition*, 56, 4965-4969 (2017).
- S. Wooh, N. Encinas, D. Vollmer, H.-J. Butt, "Stable Hydrophobic Metal-Oxide Photocatalysts via Grafting Polydimethylsiloxane Brush," *Advanced Materials*, 29, 1604637 (2017).
- T. Sekido, S. Wooh,\* R. Fuchs, M. Kappl, Y. Nakamura, H.-J. Butt, S. Fujii, "Controlling the Structure of Supraballs by pH-Responsive Particle Assembly," *Langmuir*, 33, 1995-2002 (2017).
- T. Kajiya, S. Wooh, Y. Lee, K. Char, D. Vollmer, H.-J. Butt, "Cylindrical Chains of Water Drops Condensing on Microstructured Lubricant-Infused Surfaces," *Soft Matter*, 12, 9377-9382 (2016).
- S. Wooh, S. Lee, Y. Lee, J.-h. Ryu, W. B. Lee, H. Yoon, K. Char, "Isolated Mesoporous Microstructures Prepared by Stress Localization-Induced Crack Manipulation," *ACS Nano*, 10, 9259-9266 (2016).
- S. Wooh and D. Vollmer, "Silicone Brushes: Omniphobic Surfaces with Low Sliding Angles," *Angewandte Chemie International Edition*, 55, 6822-6824 (2016).
- S. Wooh, H. Huesmann, M. N. Tahir, M. Paven, K. Wichmann, D. Vollmer, W. Tremel, P. Papadopoulos, H.-J. Butt, "Synthesis of Mesoporous Supraparticles on Superamphiphobic Surfaces," *Advanced Materials*, 27, 7338-7343 (2015).
- S. Wooh, T.-Y. Kim, D. Song, Y.-G. Lee, T. K. Lee, V. W. Bergmann, S. A. L. Weber, J. Bisquert, Y. S. Kang, K. Char, "Surface Modification of TiO<sub>2</sub> Photoanodes with Fluorinated Self-Assembled Monolayers for Highly Efficient Dye-Sensitized Solar Cells," *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7, 25741-25747 (2015).
- S. Wooh, J. H. Koh, S. Lee, H. Yoon, K. Char, "Trilevel-Structured Superhydrophobic Pillar Arrays with Tunable Optical Functions," *Advanced Functional Materials*, 24, 5550-5559 (2014).

# Supraparticle Syntheses on Liquid-Repellent Surfaces

Sanghyuk Wooh<sup>\*a</sup>, Minghan Hu<sup>b</sup>, Huanshu Tan<sup>c</sup>, Syuji Fujii<sup>d</sup>, Detlef Lohse<sup>c</sup>,  
Hans-Jürgen Butt<sup>b</sup>

<sup>a</sup> School of Chemical Engineering and Materials Science, Chung-Ang University,  
Seoul, Korea

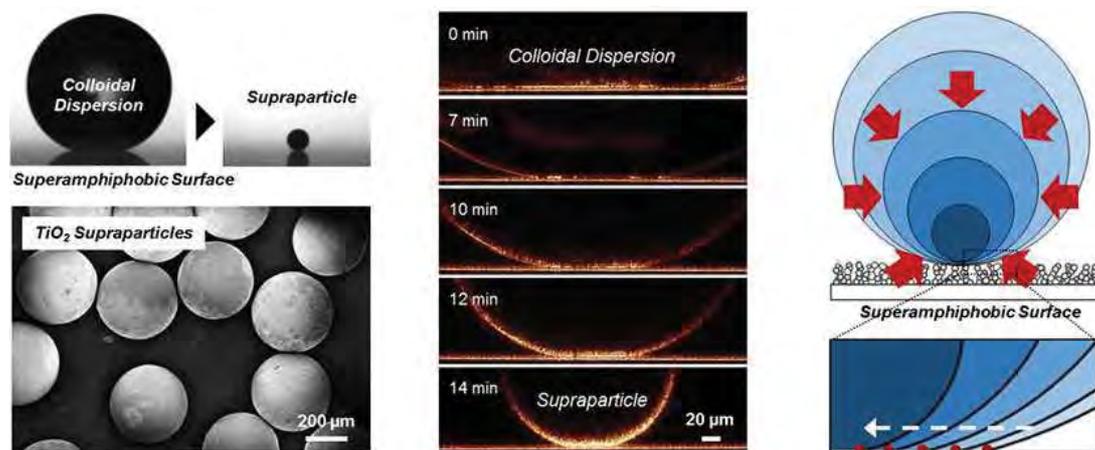
<sup>b</sup> Max Planck Institute for Polymer Research, Mainz, Germany

<sup>c</sup> University of Twente, Netherlands

<sup>d</sup> Osaka Institute of Technology

E-mail: woohsh@cau.ac.kr

Supraparticles assembled with smaller size particles have been received numerous attention for applying their various functionalities. Until now most supraparticles have been synthesized spherically and difficult to control shape. Even though supraparticles have great functionalities and potentials, this limited shape has been one of the serious weak-point of supraparticle researches. Recently we have developed a strategy to synthesize spherical supraparticles on the superamphiphobic surface with various sizes and components[1]. Thanks to the strong liquid repelling property of superamphiphobic surface[2], spherical supraparticles could be formed by drying of nanoparticle dispersion with constant contact angle ( $> 160^\circ$ ). In addition, during the process, no energy consumption and wasting chemicals were applied. In this study, we introduce a method to synthesize supraparticles and to control their shapes and porosities[3]. In addition, drying dispersion drop by using Ouzo effect will be introduced that allows supraparticle synthesis on normal flat hydrophobic surface by self-lubricating colloidal dispersion evaporation.



**Figure.** Supraparticle syntheses on liquid-repellent surfaces.

- [1] S. Wooh, H. Huesmann, M. N. Tahir, M. Paven, K. Wichmann, D. Vollmer, W. Tremel, P. Papadopoulos, H.-J. Butt, *Adv. Mater.* 2017, **27**, 7338.
- [2] X. Deng, L. Mammen, H.-J. Butt, D. Vollmer, *Science*, 2012, **67**, 335.
- [3] T. Sekido, S. Wooh, R. Fuchs, M. Kappl, Y. Nakamura, H.-J. Butt, S. Fujii, *Langmuir*, 2017, **33**, 1995.

## Dr. Roland HÖNES

### Advanced Surface and Interface Chemistry Group

Department of Materials and Chemistry,  
Structural Materials Research Institute

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

E-mail: roland.hoenes@aist.go.jp

- Telephone: +81 (0)52-736-7388
- Fax: +81 (0)52-736-7406
- Website: <http://www.aist.go.jp>
- Address: 2266-98, Anagahora, Shimo-Shidami, Moriyama, Nagoya 463-8560, Japan



### Education & Academic Background

2009–2012 Bachelor of Science, Chemistry, at University of Göttingen, Germany

2012–2014 Master of Science, Chemistry, at University of Freiburg, Germany

2014–2018 PhD student at University of Freiburg, Germany. Group of Prof. Dr. Jürgen Rühle, Department of Microsystems Engineering.

Title obtained: Dr. rer. nat.

Title of thesis: „Regenerierung superhydrophober Oberflächen durch chemische und strukturelle Oberflächen-erneuerung nach Kontamination oder mechanischer Schädigung“ (“Regeneration of Superhydrophobic Surfaces by Chemical and Structural Surface Renewal after Contamination or Mechanical Damage”)

Award: 2015 Steinhofer-Preis, University of Freiburg / Steinhofer Foundation, for excellent course achievements and excellent thesis (M. Sc.)

### Recent Publications

- R. Hönes, J. Rühle: “Repairing Superhydrophobic Surfaces after Contamination through Generation of Fluorinated Networks by CHic Chemistry”, *Langmuir* **2018**, *34*, 8661–8669.
- R. Hönes, J. Rühle: ““Nickel Nanoflowers” with Surface-Attached Fluoropolymer Networks by C,H Insertion for the Generation of Superhydrophobic Metallic Surfaces”, *Langmuir* **2018**, *34*, 5342–5351.
- R. Hönes, V. Kondrashov, J. Rühle: “Molting materials: Restoring Superhydrophobicity after Severe Damage via Snakeskin-like Shedding”, *Langmuir* **2017**, *33*, 4833–4839.
- R. Hönes, V. Kondrashov, H. Huai, J. Rühle: “Wetting Transitions in Polymer Nanograsses Generated by Nanoimprinting”, *Macromol. Chem. Phys.* **2017**, *218*, 1700056.

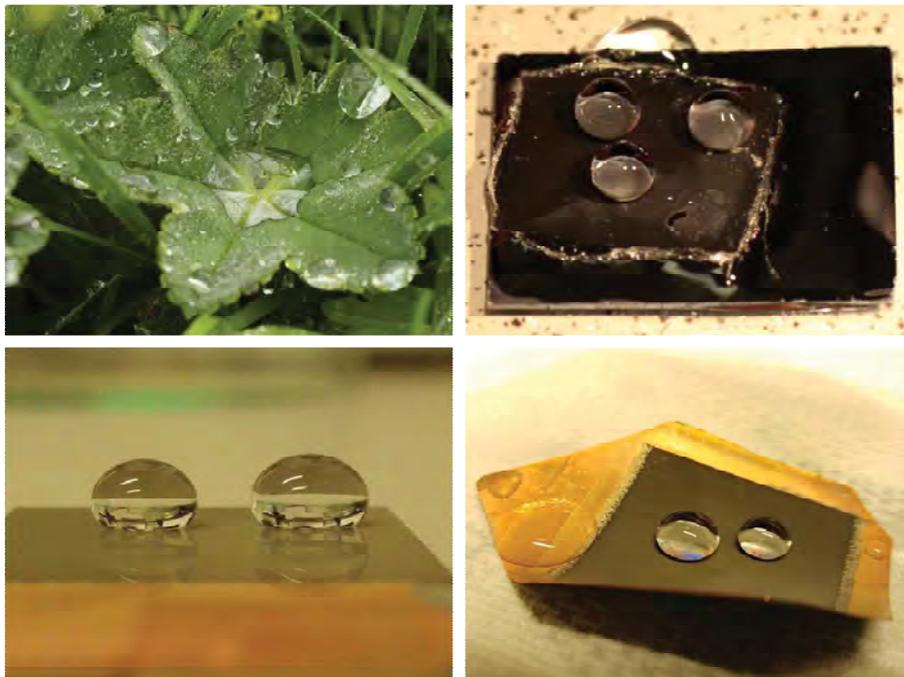
# Regeneration of Superhydrophobic Surfaces by Chemical and Structural Surface Renewal after Contamination or Mechanical Damage

Roland Hönes<sup>a</sup>, and Jürgen Rühle<sup>b</sup>

<sup>a</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2266–98, Anagahora, Shimoshidami, Moriyama-ku, Nagoya 463–8560, Japan,

<sup>b</sup>Department of Microsystems Engineering, University of Freiburg, Georges-Köhler-Allee 103, 79100 Freiburg, Germany

E-mail: roland.hoenes@aist.go.jp



By definition, superhydrophobic surfaces (SHS) show extreme water repellency. Therefore, they are most interesting for numerous applications, ranging from rain clothes to ship paintings. Unfortunately though, most SHS so far suffer from insufficient stability under operating conditions, which has limited commercial use.

In this work, fundamental aspects of this lack of stability are investigated: mechanical durability, longevity of the Cassie–Baxter-like wetting state, and resistance against contamination. New methods to improve performance with respect to all three aspects are presented. For regeneration after mechanical damage, snake-like skin shedding is introduced. To obtain both high mechanical

durability and lasting superhydrophobicity, nanostructured nickel surfaces are developed. To regenerate superhydrophobic behaviour after contamination, masking with ultrathin polymer films is employed.

This work was conducted at the Department of Microsystems Engineering, University of Freiburg, Germany as a PhD thesis under supervision of Prof. Dr. Jürgen Rühle.

Published as book: R. Hönes, „Regenerierung superhydrophober Oberflächen durch chemische und strukturelle Oberflächenerneuerung nach Kontamination oder mechanischer Schädigung“, Verlag Dr. Hut, München, **2018**, ISBN 978-3843935548.

## Dr. Hyuneui Lim

**Department of Nature-Inspired Nanoconvergence Systems,  
Nano Convergence and Manufacturing Systems Research Division,  
Korea Institute of Machinery & Materials**



**E-mail:** helim@kimm.re.kr

- Telephone: +82 (42)868-7106
- Fax: +82 (42)868-7933
- Website: <http://www.kimm.re.kr>
- Address: 156 Gajeongbuk-Ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34103, KOREA

### Education & Academic Background

1993 Graduated from Department of Chemistry, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea

1996 Master of Science, Analytical Chemistry, Korea University, Seoul, Korea

Thesis: Study on the Analysis of Germanium by Hydride Generation- Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission spectrometry

2002 Doctor of Science, Analytical Chemistry, Korea University, Seoul, Korea

Dissertation: Surface Modification and Characterization of Various Polymers

1997-2001 Researcher, Basic Science Institute, Korea University, Seoul, Korea

1997- 2001 Part time lecturer, Dept. of Chemistry, Korea University, Seoul, Korea

2002 Post-Doctoral Research Fellow, Korea Institute of Science & Technology, Seoul, Korea

2002-2003 Post-Doctoral Research Fellow, College of chemistry, University of California at Berkeley, CA, USA

2003-present Principal Researcher, Korea Institute of Machinery & Materials, Daejeon, Korea

2005-2009 Adjunct Professor, Medical School, Korea University, Seoul, Korea

2008 Visiting Scholar, Material Science & Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA

2011- present Professor, Department of Nanomechtronics, University of Science & Technology, Daejeon, Korea

2012-2016 Adjunct Professor, Department of Mechatronics engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

2018-2020 Member of board of directors, National Science Foundation

Award: 2005 First Outstanding Young Researcher Award of KIMM (Korea Institute of Machinery & Materials)

2008 Best Paper Nominee Award of ISNIT (International Symposium of Nature-Inspired Technology) 2008

2012 Award from chair of National Research Council of Science and Technology

2014 Prize from Prime Minister of KOREA Government

2015 Bio Engineering Award of KSME( The Korea Society of Mechanical Engineers)

2016 Award from Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity in NanoKorea 2016

2016 Award from chair of Science, ICT, Broadcasting, and Communications Committee in National Assembly of Korea 2016

### Recent Publications

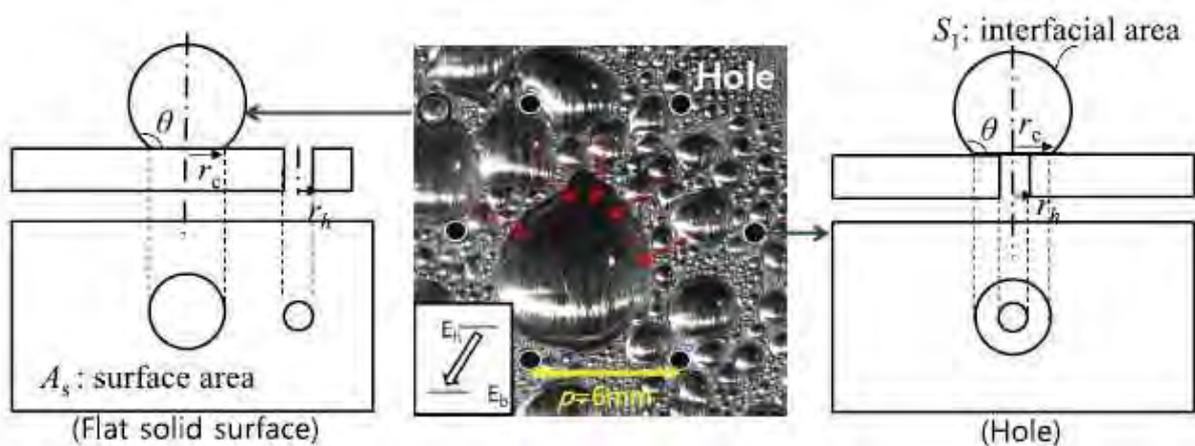
- Thanh-Binh Nguyen, Seungchul Park, Youngdo Jung, Hyuneui Lim\*, "Effects of hydrophobicity and lubricant characteristics on anti-icing performance of slippery lubricant-infused porous surfaces", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, in-press (2018).
- Kyungjun Song, Gyeonghee Kim, Sunjong Oh, Hyuneui Lim\*, "Enhanced water collection through a periodic array of tiny holes in dropwise condensation", Applied Physics Letters, 112, 071602 (2018).
- Cheonji Lee, Muhammad Salman Abbasi, Seungchul Park, Hyuneui Lim\*, Jinkee Lee\*, "Effect of the surface wettability changes on nanostructured polymer film for heat exchanger applications", Applied Physics Letters, 113, 011601 (2018).
- Hosung Kang, Minki Lee, Hyuneui Lim, Howard A Stone, Jinkee Lee\*, "Hygromorphic actuator from a metal oxide film driven by a nano-capillary forest structure", NPG Asia Materials, 9, e417 (2017).
- Sunjong Oh, Youngdo Jung, Duck-Gyu Lee, Wan-Doo Kim, Hyuneui Lim\* "Simple Method for Stable Superhydrophilic Aluminum Surface Towards Water Harvesting" Nanoscience and Nanotechnology Letters, 8, 840-845, (2016).
- Sunjong Oh, Kyungjun Song, Jedo Kim, Wan-Doo Kim, Hyuneui Lim\*, "Bio-Inspired Porous Aluminum Surfaces for Enhanced Water Collection", Nanoscience and Nanotechnology Letters, 8, 802-810, (2016).

# Nature-inspired Water Harvesting

Hyuneui Lim

Department of Nature-Inspired Nanoconvergence Systems,  
Nano Convergence and Manufacturing Systems Research Division,  
Korea Institute of Machinery & Materials  
156 Gajeongbuk-Ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34103 KOREA,  
E-mail: helim@kimm.re.kr

Even though the repellent ability of a lotus leaf shows the amazing behavior with rain drops or water drops, the behavior of water droplet with small volume on a lotus leaf is still unknown. The contact angle on a lotus leaf is over than  $150^\circ$  and the sliding angle is less than  $5^\circ$  with water drop of several microliter volumes. However, is the lotus leaf wet under the condensation? Water condensation behaviors on superhydrophobic surfaces are the interesting phenomena. Condensation occurs when a saturated or superheated vapor meets with a surface that has a temperature below the saturation temperature. The behavior of water condensation is the interaction of the small droplets with the surfaces. If the water condensation is controlled with surface engineering, there are many opportunities for enhanced energy conversion, efficient water collection. Here, the effect of surface wettability on water condensation is presented with several cases.



**Figure 1.** Basic water collection mechanism for perforated hydrophobic surfaces with a contact angle of  $85^\circ$  can be explained by different surface free energies  $E_b$  and  $E_h$ , which represent the surface free energy of droplets in contact with a flat solid surface and those in contact with holes, respectively.

## Dr. Pavel Levkin, PD

Institute of Organic Chemistry and  
Institute of Toxicology and Genetics

Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

E-mail: levkin@kit.edu

- Telephone: +49-152016-01903
- Website: www.levkingroup.com



### Education & Academic Background

2003 Graduated from Moscow Institute of Fine Chemical Technology

2007 PhD in Chemistry from University of Tübingen

2007-2009 Postdoc at UC Berkeley

2009 PI, group leader at the Karlsruhe Institute of Technology

Awards: 2015, Heinz Meier-Leibnitz Prize; 2014, Ewald-Wicke Prize of the German Bunsen Society of Physical Chemistry; 2014, ERC Starting Grant

### Recent Publications

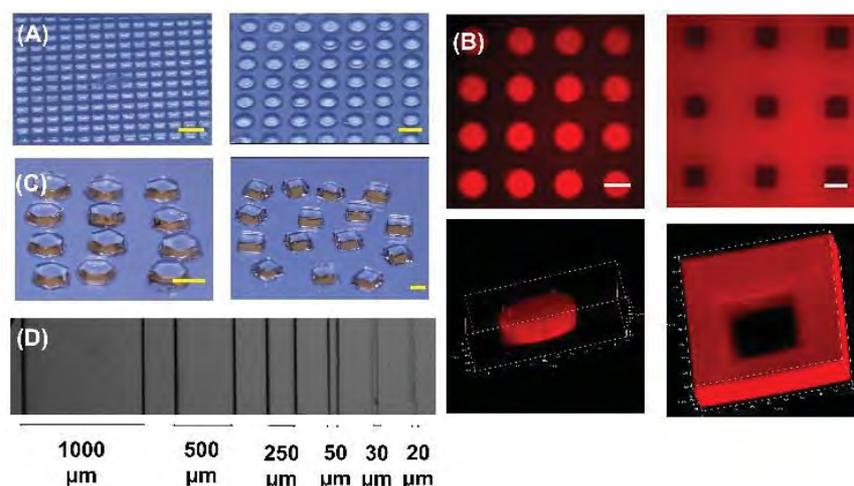
- High-Density Droplet Microarray of Individually Addressable Electrochemical Cells  
H. Zhang, T. Oellers, W. Feng, T. Abdulazim, E.N. Saw, A. Ludwig, P.A. Levkin, N. Plumeré  
Analytical Chemistry, 2017, 89, 5832-5839
- Miniaturized platforms for high-throughput screening of stem cells  
Tina Tronser, Anna Popova, Pavel Levkin  
Current Opinion in Biotechnology, 2017, 46, 141-149
- UV-Triggered Polymerization, Deposition and Patterning of Plant Phenolic Compounds  
Farid Behboodi-Sadabad, Huijie Zhang, Vanessa Trouillet, Alexander Welle, Nicolas Plumeré, Pavel A. Levkin  
Advanced Functional Materials, 2017, 27, 1700127
- Patterned SLIPS for the Formation of Arrays of Biofilm Microclusters with Defined Geometries  
Julia Bruchmann, Ivana Pini, Tejeshwar S. Gill, Thomas Schwartz, Pavel A. Levkin  
Adv. Healthcare Mater., 2017, 6, 1601082
- Bio-inspired strategy for controlled dopamine polymerization in basic solutions  
X Du, L Li, F Behboodi-Sadabad, A Welle, J Li, S Heissler, H Zhang, N. Plumere, P.A. Levkin  
Polymer Chemistry, 2017, 8, 2145-2151
- UV-Induced Disulfide Formation and Reduction for Dynamic Photopatterning  
Lei Li, Wenqian Feng, Alexander Welle, Pavel A. Levkin  
Angewandte Chemie Int. Ed., 2016, 128, 13969-13973
- Superhydrophilic-Superhydrophobic Patterned Surfaces as High-density Cell Microarrays: Optimization of Reverse Transfection  
Erica Ueda, Wenqian Feng, Pavel A. Levkin  
Advanced Healthcare Materials, 2016, 5, 2646-2654

# Inherently Photodegradable Hydrogels

Lei Li, Johannes Scheiger, Pavel A. Levkin\*

Institute of Toxicology and Genetics, Institute of Organic Chemistry,  
Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany  
levkin@kit.edu; www.levkingroup.com

Hydrogels mimicking physical properties of soft tissues and cell microenvironments are very important functional materials useful for three-dimensional (3D) cell culture, tissue engineering, 3D printing, drug-delivery, sensors or soft-robotics. The ability to shape hydrogels into defined three-dimensional structures, patterns or particles is crucial for various biomedical applications. In this presentation I will demonstrate the inherent and fast photodegradability of various types of commonly used polymethacrylate-based biocompatible hydrogels. The photodegradation kinetics and the change of mechanical properties of hydrogels upon UV-irradiation have been investigated. We demonstrate the possibility to use this approach for microstructuring and patterning hydrogels as well as for the formation of hydrogel particles of defined shapes without incorporating any special photosensitive groups. This method was applied to create an array of cell repellent but biocompatible microwells on the surface of a hydrogel film to form arrays of three-dimensional cellular clusters.



**Figure.** Microfabrication based on the photolithography of photodegradable hydrogels. Hydrogel microarrays and microcavities of different geometries were fabricated via UV irradiation of PEG500MA-EDMA-10 hydrogels through corresponding quartz photomasks. (A) Optical images of arrays of hydrogel posts. Scale bars are 2 mm. (B) Fluorescence microscopy images of two opposite hydrogel patterns (top panel) and their 3D shapes by confocal microscopy (bottom panel). Scale bars are 500 μm. (C) Free standing hydrogel particles of defined geometries made by patterning of hydrogels without covalent bonding of the hydrogel layer to the glass substrate. Scale bars are 1 mm. (D) Brightfield microscope images of 12.5 μm-thin PEG500MA-EDMA-10 hydrogel patterns with lines of different widths. The smallest features that could be produced by using this method were ~20 μm.

# Haeshin Lee

Professor, Department of Chemistry  
Associate Editor, Biomaterials Science, RSC  
KAIST, Daejeon 34141, KOREA  
E-mail: [haeshin@kaist.ac.kr](mailto:haeshin@kaist.ac.kr)  
Homepage: <http://sticky.kaist.ac.kr>



## **Education**

- ❖ B.S. Biological Sciences, Korea Advanced Institute of Science & Technology (KAIST), Mar. 1993 - Feb. 1997
- ❖ Biomedical Engineering, Northwestern University, June 2008 (Ph. D.)

## **Professional Experience**

- ❖ 2017 – Present: Associate Editor, Biomaterials Science, Royal Society of Chemistry
- ❖ 2010 – Present: CTO, InnoTherapy Inc .
- ❖ 2016 – Present: Founder, CATech, a branch company from KOLON

## **Honors**

- ❖ KAIST Research Award, 2015 and 2017; KAIST Pioneering New Knowledge Award 2012
- ❖ POSCO T. J. Park Chung-Am Young Investigator Award, 2011
- ❖ The Future-leading Scientist Award (The Ministry of Science and Education), 2008.
- ❖ NASA Inventor Award, 2008

## **Representative Publications (out of 167 papers, H-index 51, Citation > 16,000)**

- ❖ “Targeting protein and peptide therapeutics to the heart via tannic acid modification” *Nature Biomed. Eng.* **2018**, online, <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0227-9>
- ❖ “Complete prevention of blood loss with self-sealing hemostatic needles” *Nature Materials* **2017**, 16, 147-152
- ❖ “Intelligent Glues” *Nature*, **2010**, 465, 298-299,631.
- ❖ “Mussel-inspired Surface Chemistry for Multifunctional Coatings,” *Science* **2007**, 318, 426-430.
- ❖ “A reversible wet/dry adhesive inspired by mussel and gecko adhesion,” *Nature* **2007**, 448, 338-341.

# Polydopamine Coating and TANNylation

Haeshin Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, South Korea*

*\*Corresponding author: haeshin@kaist.ac.kr*

Catecholamines are found ubiquitously in nature. Wetting-resistant, adhesive foot-pads in mussels, neurotransmitters in the brain, melanin biopigments in the skin and eyes, squid beaks, and insect cuticles are the examples. In materials science, catecholamines have recently attracted significant attentions due to the unparalleled material-independent surface functionalization properties. The most well-known material is poly(dopamine) and other derivatives such as poly(norepinephrine), chitosan-catechol and others will be introduced (1,2).

The first of my talk will introduce a new concept of self-sealing which is similar yet different with conventional self-healing materials. The first example is vascular self-sealing with rapid binding of intrinsic blood serum proteins to adhesive chitosan-catechol conjugate (3). The second example is plant-inspired nanoparticle formulation called TANNylation. In this study, we show that the modification of protein and peptide therapeutics with tannic acid—a flavonoid found in plants that adheres to extracellular matrices, elastins and collagens—improves their ability to specifically target heart tissue. Via a simple intravenous injection route, now one can easily delivery protein/peptide therapeutics directly to heart tissues (4). Finally, biomedical applications using polydopamine surface chemistry focusing on mammalian/stem cell culture and theranostic applications will be briefly explained in this talk.

## References

- [1] H. Lee et al. Mussel-inspired Surface Chemistry for Multifunctional Coatings. *Science*, 318, (2007) 426-430.
- [2] J. Ryu, P. B. Messersmith, H. Lee, Ten years of polydopamine: current status and future directions, *ACS Appl. Mater. Interf.* 10, (2018), 7521-22
- [3] H. Lee et al. Complete prevention of blood loss with self-sealing hemostatic needle. *Nature Materials*. 16, (2017), 147-152
- [4] H. Lee et al. Targeting protein and peptide therapeutics to the heart via tannic acid modification. *Nature Biomed. Eng.* 2, (2018), 304-317

## Prof. Dr. Syuji FUJII

Department of Applied Chemistry

Faculty of Engineering

Osaka Institute of Technology

E-mail: [syuji.fujii@oit.ac.jp](mailto:syuji.fujii@oit.ac.jp)

- Telephone: +81 (0)6-6954-4274
- Fax: +81 (0)6-6957-2135
- Website: [http://www.oit.ac.jp/chem/cherry/4\\_lab/](http://www.oit.ac.jp/chem/cherry/4_lab/)
- Address: 5-16-1 Omiya, Asahi-ku, Osaka 535-8585, Japan



### Education & Academic Background

1998 Graduated from Department of Chemical Science and Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University  
2000 Master of Engineering, Graduate School of Science and Technology, Kobe University  
2003 Doctor of Engineering, Graduate School of Science and Technology, Kobe University  
2003 Scientific Researcher, Faculty of Engineering, Kobe University  
2003-2004 Research Fellow, School of Life Sciences, University of Sussex, UK  
2004-2006 Research Associate, Department of Chemistry, University of Sheffield, UK  
2006-2013 Lecturer, Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology  
2013-2017 Associate Professor, Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology  
2017- Professor (Full), Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology  
2013 Part-time Lecturer, Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology  
2014 Part-time Lecturer, Institute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University

Langmuir (ACS) Editorial Advisory Board member

Journal of the Adhesion Society of Japan (Adhesion Society of Japan) Editor

Materials (MDPI) Special Issue "Pickering Emulsion and Derived Materials", Guest Co-Editor

Frontiers of Chemistry (Frontiers Media S.A.) Special Issue "Particles at Fluid Interfaces", Guest Co-Editor

Award:

- SPSJ Asahi Kasei Award 2018 (2018)
- Progress Award, Adhesion Society of Japan (2017)
- Incentive Award of Division of Colloid and Surface Chemistry, CSJ (2013)
- Exceptional contribution award, Osaka Institute of Technology (2013)
- Nature Industry Award, OSTEC (2012)
- Young Scientist Award, Kansai Division, The Society of Polymer Science, Japan (2012)
- Award for Encouragement of Research in Thin Films (2011)
- Incentive Award of Adhesion Society of Japan (2010)
- Excellent poster Award, Adhesion Society of Japan (2009)
- Excellent poster Award, Kansai Division, The Society of Polymer Science, Japan (2006)
- Exceptional contribution award, University of Sheffield – 2005 (2006)

### Research Interest

Polymer colloid, Particle at interface, Biomimetic, Element-block polymer

### Outputs

201 original articles

40 review articles

12 book chapters

22 patents

# Liquid marble: From nature to engineering

Syuji Fujii

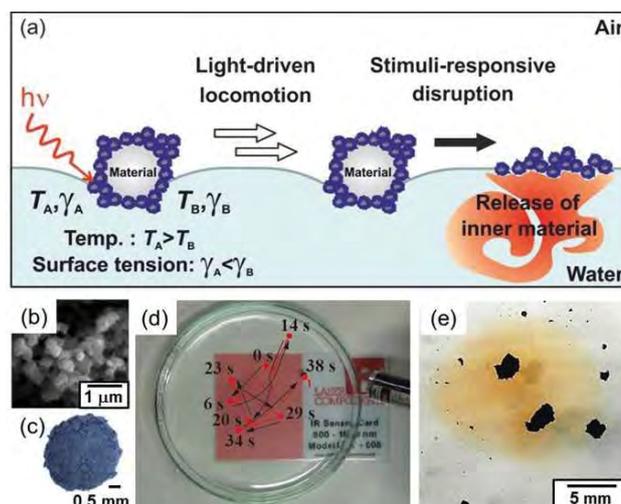
Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology, Osaka, Japan  
[syuji.fujii@oit.ac.jp](mailto:syuji.fujii@oit.ac.jp)

Controlling and powering the locomotion of small objects on the micrometer to millimeter scale is a fascinating topic of research. Interfacial chemistry and external stimuli play a crucial role in powering the movement of small objects. This interest stimulated the development of a new research area, namely, active soft matter. In particular, Marangoni flow, generated due to a surface tension gradient, can lead to powerful propulsion of objects. Recently, light-induced surface tension gradients have been proven to produce powerful propulsion forces to move small objects.<sup>1)</sup> The main goal of this philosophy is to bring together transport and the on-demand release of materials. Liquid marbles (LMs)<sup>2)</sup> are typically millimeter-sized liquid drops in air that are stabilized by solid powders adsorbed at the air-liquid interface. In nature, aphids, small sap-sucking insects, fabricate honeydew liquid marbles utilizing wax particles and treat the sticky liquid as non-wetting materials.<sup>3)</sup> Recently, LMs have attracted considerable attention in view of their potential applications in various research fields because of their ability to encapsulate functional materials.

Here, we describe the light-driven delivery of materials using LMs.<sup>4-7)</sup> Individual LMs were prepared by rolling an aqueous drop over the black hydrophobic polypyrrole (PPy) powders with photothermal property. Once transferred onto the planar air-water interface of a water bath, the LMs remained intact for more than 10 h. To make the contact line formed by the LM resting on at the air-water interface was manually irradiated by the near-infrared (NIR) laser. The LMs immediately moved forward on the air-water interface, away from the point of irradiation. Thermography studies suggests that the NIR laser irradiation on LM causes heat. In contrast to the bulk water, water near the LM had a higher temperature. This temperature difference leads to a surface tension difference of approximately 2 mN/m at the irradiated side of the LM. This surface tension difference drives the locomotion of the LM. As a light source, sunlight can be also utilized. Our approach allows for not only the transport of the materials encapsulated within the LM but also their release at a specific place and at a time determined by external stimuli (Figure 1). In addition, LMs were shown to work as light-driven towing engines. For this purpose, LMs were docked to small floating objects by capillary forces. Irradiation of docked LMs allowed for the pushing or pulling of these objects over the air-water interface. The simplicity and variety of these LM stabilizers and light sources will enable in-depth synergistic experimental and theoretical investigations geared toward the understanding and utilization of a new class of delivery and release system. In the future, a wide variety of applications can be explored, including light-controlled microfluidics and drug delivery systems.

## References:

- 1) D. Okawa, S. J. Pastine, A. Zettl, J. M. J. Fréchet, *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 5396 (2009).
- 2) S. Fujii, S. Yusa, Y. Nakamura, *Adv. Funct. Mater.*, 26, 7206 (2016).
- 3) N. Pike, D. Richard, W. Foster and L. Mahadevan, *Proc. R. Soc. B*, 269, 1211 (2002)
- 4) M. Paven, H. Mayama, T. Sekido, H.-J. Butt, Y. Nakamura, S. Fujii *Adv. Funct. Mater.*, 26, 3199 (2016).
- 5) H. Kawashima, H. Mayama, Y. Nakamura, S. Fujii, *Polym. Chem.*, 8, 2609 (2017)
- 6) H. Kawashima, M. Paven, H. Mayama, H.-J. Butt, Y. Nakamura, S. Fujii, *ACS AMI*, 9, 33351 (2017)
- 7) H. Kawashima, R. Okatani, H. Mayama, Y. Nakamura, S. Fujii, *Polymer* 148, 217 (2018)



**Figure 1.** (a) Scheme illustrating the light-driven delivery of material using liquid marbles (LMs). LMs can be moved on the planar air-water interface and a stimuli-induced disruption of the LM releases its inner material. NIR laser irradiation of LMs stabilized with black powder converts light into heat, generating a thermal surface tension gradient. This results in locomotion of the LM on the air-water interface. (b) Scanning electron microscopy image of hydrophobic PPy powder. (c) Stereomicrograph images of a PPy-stabilized LM (10 μl) placed on a glass substrate. Digital images illustrating (d) locomotion of a PPy-stabilized LM on the air-water interface and (e) its on-demand disruption of a LM by external stimulus.

# Adhesion Force of Cypris Tentacles on Polymer Brushes in Sea Water

Shohei Shiomoto<sup>a</sup>, Yuka Yamaguchi<sup>a</sup>, Kazuo Yamaguchi<sup>b</sup>, Yasuyuki Nogata<sup>c</sup>,  
and Motoyasu Kobayashi\*<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Graduate School of Engineering, Kogakuin University,

<sup>b</sup> Department of Applied Chemistry, School of Advanced Engineering, Kogakuin University,  
Tokyo, Japan, E-mail: motokoba@cc.kogakuin.ac.jp

<sup>c</sup> Environmental Science Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power  
Industry, Chiba, Japan

The adhesion force of the live-cypris tentacle on polymer brushes grafted on a glass surface was directly measured by scanning probe microscopy. A live cypris was immobilized with glue on a tipless cantilever of the scanning probe microscope. The cypris positioned in front of the sidewall of the polymer-brushes-modified cover glass in sea water. Then, the cypris larva began tentatively touching the cover glass with its tentacles to explore the surface. After the cypris tentacle contacted the surface of polymer brush for a few seconds, we moved the cypris away from the surface until the tentacles were released. When the tentacle was detached from the glass surface, the cantilever was twisted in accordance with the adhesion force between the tentacles and the surface. The adhesion forces between the cypris and polymer brushes: poly(3-(*N*-2-methacryloyloxyethyl-*N,N*-dimethyl)ammonatopropanesulfonate) (poly(MAPS)) brush and poly(2-hydroxyethyl methacrylate) (poly(HEMA)) brush exhibited much lower values than the adhesion force on a propylsilane-modified glass surface. The lower adhesion forces on the polymer brushes indicates the effective antifouling property of hydrophilic polymer brushes.

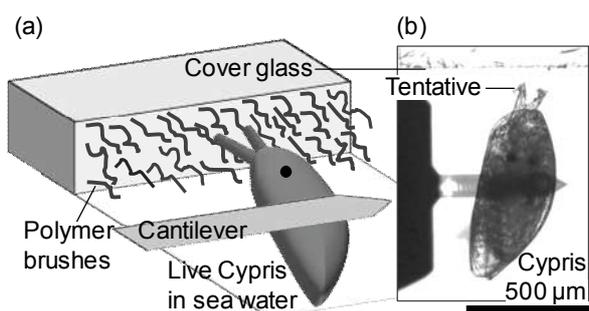


Figure 1. (a) Illustration and (b) optical micrograph of the live cypris larva on the tipless cantilever during the adhesion force measurement between the tentacles and the polymer-brushes-modified cover glass in seawater.

*About Corresponding Author:*

**Dr. Kobayashi Motoyasu, Prof.**

Department of Applied Chemistry, School of  
Advanced Engineering, Kogakuin University

**E-mail:** motokoba@cc.kogakuin.ac.jp

**Telephone:** +81 (0)42-628-4551

**Fax:** +81 (0)42-628-4551

**Website:** <http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwa1069/index.html>

**Address:** 2665-1, Nakano-machi, Hachioji, Tokyo 192-0015, Japan



## Education, Academic Background and Awards

2000 Doctor of Engineering, Tokyo Institute of Technology

2000 Assistant professor, Yamagata University

2007 Assistant professor, IMCE, Kyushu University

2009 Group Leader, JST-ERATO project

2013 Associate Professor: Faculty of Engineering, Kogakuin University

2014-present Professor: School of Advanced Engineering, Kogakuin University

Award: 2013 The Adhesion Society of Japan, Incentive Prize

## Publications

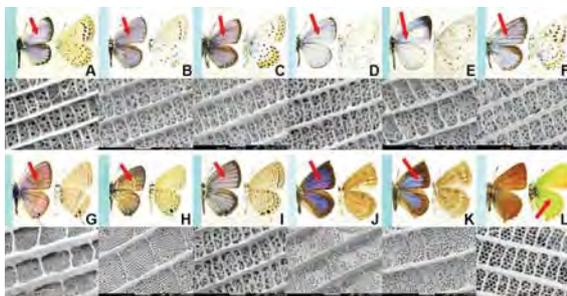
*Polym. J.*, DOI: 10.1038/s41428-018-0120-0 (2018), *Polym. J.*, 47,  
811-818 (2015), *Langmuir*, 34, 10276-10286 (2018), *Polymer*, 119,  
167-175 (2017).

# SEM Observation of the Micro-structures Producing Structural Color of the Scales of Blue Lycaenid Butterfly Species

Shûhei Nomura

<sup>a</sup>Department of Zoology, National Museum of Nature and Science,  
Amakubo 4-1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-0005 Japan  
E-mail:nomura@kahaku.go.jp

Observations and biometrics of microstructures of functional part of insects are very important from the viewpoint of biomimetics. Scanning electron microscope (SEM) realized objective comparison between these microstructures to 0.1 to 0.01  $\mu\text{m}$ . Lycaenid butterflies are well known to have blueish structural color in many forms (sex, season, locality, etc.). The structural color is produced by photonic crystals contained in structural color scales. In the present study, photonic crystals of 12 forms of 11 lycaenid species were SEM observed and compared to each other. In some species, the photonic crystals are SEM observed for the first time. The examined butterfly forms, scientific name of species (Japanese name) –color of structural color scale, are as follows: A) *Zizeeria maha* (Yamato-shijimi) -pale blue; B) *Everes argiades* (Tsubemeshijimi) -pale purple; C) *Plebejus argus* (Hime-shijimi) -pale purple; D) *Celastrina argiolus* (Ruri-shijimi) -pale blue; E) *Udara albocaerulea* (Satsuma-shijimi) -pale blue, white, black; F) *Shijimiaeoides divinus* (Ohruri-shijimi) -pale purple; G) *Lampides boeticus* (Uranami-shijimi) –purple; H) *Nacaduba kurava* (Amami-uranami-shijimi) -dark purple; I) *Chilades pandava* (Kuromadara-sotetsu-shijimi) -pale purple; J) *Narathura japonica* (Murasaki-shijimi; male) -dark blue; K) ditto (female) – blue; L) *Callophrys rubi* (Midori-kotsubame) -mat green. As the result of observation, the following three were pointed: 1) the photonic crystal of lycaenid butterflies which presents structural color is contained in the upper scale, and porous, 2) The size and regularity of the pores in the photonic crystal are varied by species, 3) The basal scale is pigmented to black to brown in general.



**Figure 1.** SEM images of the structural color scale of ten butterfly species, position (upper) and the SEM image (below). Scientific name of each species (A to J) is shown in the abstract.

*About Corresponding Author:*

**Dr. Shûhei NOMURA**

Head of Division of Terrestrial Invertebrates, Department of Zoology, National Museum of Nature and Science (NMNS)

**E-mail:** nomura@kahaku.go.jp

**Telephone:** +81 (0)29-853-8901

**Fax:** +81 (0)29-853-8998

**Address:** Amakubo 4-1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0005 JAPAN

**Education, Academic Background**

1990 Doctor of Agriculture, Kyushu University

1995 Curator, National Science Museum, Tokyo

2017- Head of Division of Terrestrial Invertebrates, NMNS

**Publications**

1) Taya, M., E. van Volkenburgh, M. Mizunami, S. Nomura, Bioinspired actuators and sensors. Cambridge University Press, 523pp. (2016).



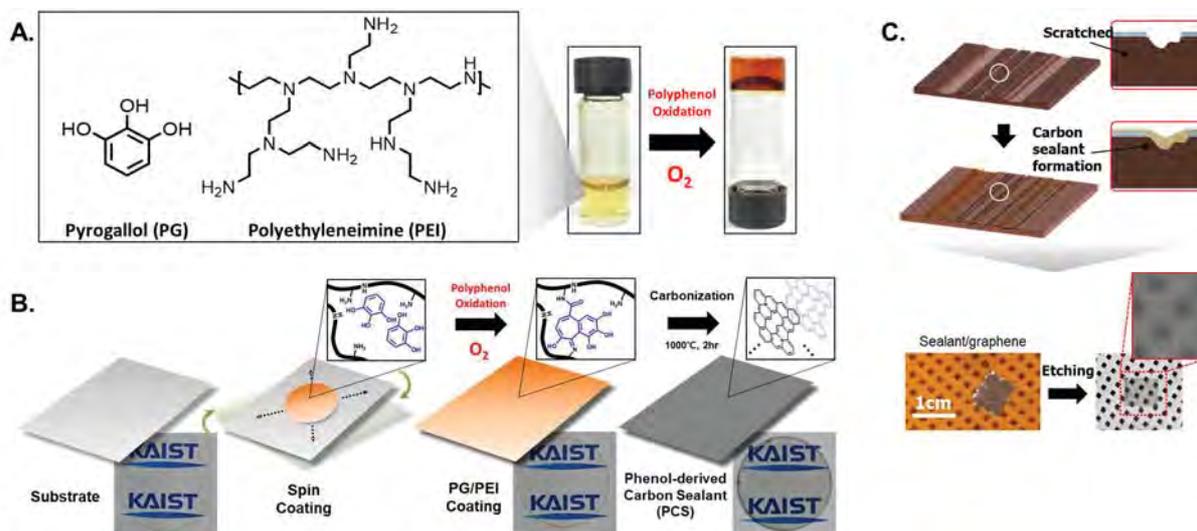
# Thermal Annealing of Plant-derived Adhesive for Sealing of Macroscopic Damage of CVD-grown Graphene

Yunhan Lee<sup>1</sup>, Kiwoo Jun<sup>2</sup>, Il-Kwon Oh<sup>2\*</sup> and Haeshin Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, South Korea, <sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, , Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, South Korea

\*Corresponding author: haeshin@kaist.ac.kr

Plant phenolic compounds have been getting attention recently in material science. Their inherent adhesive property have been inspiring many attempts for adhesives and surface coatings. Here, we applied the plant-derived adhesive as a precursor for carbon sealant. Combination of pyrogallol (PG) and polyethyleneimine (PEI), which mimic the browning chemistry in fruits, generates adhesive film within 2 minutes with aid of atmospheric oxygen (Adv. Mater. 2016, 28, 9961-9968). This PG/PEI layer can be further converted to carbonous sealing material by thermal annealing process at 1000°C. We applied the carbon sealant to seal macroscopic damage in graphene which is inevitable during engineering process and thus hinder transfer process of it. By using this carbon sealant, we can seal the fragments of graphene, so that the sealed graphene can be transferred to substrate of interest successfully. This shows that our approach could shed new way to realization of graphene application in electronics.



**Figure 1.** (A) Chemical structure of pyrogallol and polyethyleneimine. (B) Thermal annealing process of PG/PEI coating. (C) Physical sealing of damaged graphene by annealed PG/PEI sealant.

## References

[1] Wang, Younseon, et al. "Biologically Inspired Materials Exhibiting Repeatable Regeneration with Self-Sealing Capabilities without External Stimuli or Catalysts." *Advanced Materials* 28.45 (2016): 9961-9968.

# Progressive Assembly of Melanin via Cation-pi Interaction

Yunseon Wang<sup>1</sup>, Seonki Hong<sup>2,\*</sup>, and Haeshin Lee<sup>1,\*</sup>

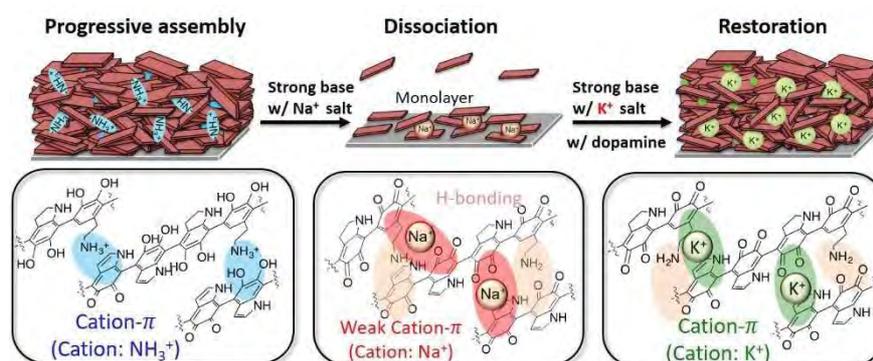
<sup>1</sup>Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Korea

<sup>2</sup>Department of Emerging Materials Science, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST), Daegu, Korea

## Abstract

Assembly is the process of gathering monomeric units together through a variety of noncovalent interactions such as hydrogen bond, van der Waals interaction, pi-pi stacking, hydrophobic interaction, and electrostatic interaction. In biology, the assemblies of molecules are essential for biological functions. Chromosomes are constructed from DNA and histone self-assembly, and protein quaternary structures self-assemble from monomeric proteins. These assembly processes are structurally defined and predictable by understanding the chemical structure of each building block and their interactions. In contrast, biopigment (i.e., melanin) assembly is an unpredictable process because heterogeneous derivatives are consequently produced via the catecholamine oxidation.

In this study, we demonstrated that the cation-pi interaction is mainly contributed to the progressive assembly of melanin by changing the species of cations (e.g.  $R-NH_3^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , and  $NR_4^+$ ), which can affect the formation of artificial melanin called polydopamine. Cation-pi interaction is one kind of electrostatic interactions between electron-rich pi system (quadrupole) and cation (monopole). Through the oxidation process, the artificial melanin includes both electron-rich building blocks with dihydroxyindole groups and cationic building blocks with protonated amine groups. The deprotonation of amine groups causes the disassembly of melanin in the strong alkaline condition. However, the addition of other cations ( $K^+$  and  $NR_4^+$ ) triggers the re-assembly of melanin in the same strong alkaline condition.



**Figure 1.** Schematic description for cation-pi interactions in artificial melanin assembly

# The origin of adhesive force of small animals: Bio-inspired gloves for the QOL of cancer patients

Takahiko Hariyama<sup>a</sup>, Satoshi Hirakawa<sup>a</sup>, Chiyo Senoh<sup>a</sup> and Kiho Nakano<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Hamamatsu University School of Medicine, Handayama, Higashiku, Hamamatsu,  
431-3192

<sup>b</sup>Teijin Frontier CO., LTD., Nakanoshima, Kitaku, Ohsakashi, 530-8605  
E-mail:hariyama@hama-med.ac.jp

Legs of geckos and insects have very high adhesiveness. Its adhesion is due to the accumulation of Van der Waals forces caused by the fact of dense hairs called seta (bristle) of which tips are  $\mu\text{m}$  size. The bonding area is maximized by those fine structures observed by NanoSuit<sup>®</sup> method. Searching by information technique for an image of an artificial object similar to the gecko seta structure reached the fabric "NANOFRONT<sup>®</sup>", therefore high adhesion of the fabric was predicted. Meanwhile, the patients who had a change in fingerprints caused by cancer medication therapy have a problem of deterioration in the quality of life (QOL) at Hamamatsu University School of Medicine. Because fingerprints are one of the important forms of skin that governs the function of grasping objects, those patients fail to grab things, various restrictions occur in their daily life. In order to improve their QOL, gloves were developed that make use of the NANOFRONT<sup>®</sup> cloth inspired by the foot hairs of small animals. We examined the range of the fingerprint structure of the human hand and how to move the fingers and decided the area occupied by the NANOFRONT<sup>®</sup> cloth inside the glove.

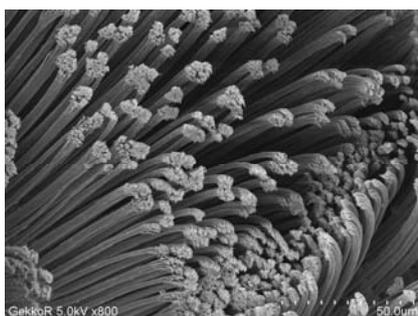


Figure 1. The numerous seta of *Gecko japonicus* produce the strong adhesive force.

About Corresponding Author:

**Dr. Takahiko HARIYAMA, Prof.**

Preeminent Medical Photonics Education and Research Center,  
Institute for NanoSuit Research,  
Hamamatsu University School of Medicine.

**E-mail:** hariyama@hama-med.ac.jp

**Telephone:** +81 (0)53-435-2317

**Fax:** +81 (0)53-435-2317

**Website:** <http://www.hama-med.ac.jp/>

**Address:** 1-20-1, Handayama, Higashi-ku, Hamamatsu 431-3192, Japan

**Education, Academic Background**

1983 Research Associate, Research Center for Applied Information Sciences, Tohoku University  
2001 Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Medicine, Hamamatsu University School of Medicine

2004 Professor, Department of Biology, Faculty of Medicine, Hamamatsu University School of Medicine

2018 Professor, Institute for NanoSuit Research

**Publications**

- 1) Takehara *et al.*, Sci Rep. 8, 1685 (2018).
- 2) Takaku *et al.*, Roy. Soc. Open Sci 4, 160887 (2017).
- 3) Takaku *et al.*, Proc. Biol. Sci. 282 pii20142857 (2015).
- 4) Takaku *et al.*, PNAS 110(19), 7631-7635 (2013).
- 5) Suzuki *et al.*, Plos ONE, 8, e78563 (2013).



# Water droplet adsorption control on the microstructured rubber surface by stretching

Shun Uemura<sup>\*a</sup>, Yuji Hirai<sup>a</sup>, Yasutaka Matsuo<sup>b</sup>, Takahiro Okamatsu<sup>c</sup>  
Toshihiko Arita<sup>d</sup>, and Masatsugu Shimomura<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Chitose Institute of Science and Technology, 758-65 Bibi, Chitose, Hokkaido, 066-8655, Japan, <sup>b</sup>RIES, Hokkaido University, Kita 20, Nishi 10, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8628, Japan, <sup>c</sup>R&D Center, The Yokohama Rubber Co., Ltd. Hiratsuka, Kanagawa 254-8601, Japan, <sup>d</sup>Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Katahira 2-1-1, Aoba-ku, Sendai 980-8577, Japan  
E-mail: m2180030@photon.chitose.ac.jp

There are a lot of functional surfaces in nature, for example, superhydrophobic surface of lotus leaves. There have been various artificial superhydrophobic surfaces have been reported, those have been built on brittle and breakable material's surface. In this study, we have focused on durable hydrophobic material of a vulcanized rubber, and attempted to fabricate durable superhydrophobic rubber surfaces. An unvulcanized rubber sheet containing carbon black, sulfur, and so on, was placed on single crystalline silicon (Si) molds, which has hollow structures prepared by conventional photolithographical techniques. The unvulcanized rubber sheet was pressed at 5 MPa and heated 180°C for 10 min to vulcanize the rubber. According to the surface observation by a laser microscope, the rubber surface had fine spiky structure, which are inverse structures of the Si mold hollow. The spiky rubber surface showed superhydrophobicity, and water contact angle(WCA) was 156°. When water droplets were dropped to the spiky rubber surfaces, water droplets were bounced or partially adhered on the surface depending on the amount of water droplet (Figure 1). Also, water droplet adsorption control by stretching will be reported on the poster presentation.

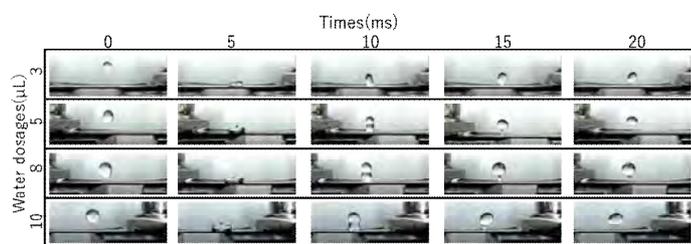


Figure 1 (a) Continuous photographs during dropping water droplets to the microstructured spiky rubber surfaces.

*About Corresponding Author:*

**Shun Uemura**

Graduate School of Photonics Science,  
Chitose Institute of Science and Technology

E-mail: m2180030@photon.chitose.ac.jp

Telephone: +81 (0)123-27-6068

Fax: +81 (0)123-27-6068

Address: 758-65 Bibi, Chitose, Hokkaido, 066-8655, Japan



# Influence of the surfaces with different hydroxyl group ratio on the settlement of barnacles

Ai Momose<sup>a\*</sup>, Yuta Segawa<sup>a</sup>, Takayuki Murosaki<sup>b</sup>, Yuji Hirai<sup>a</sup>,  
Yasuyuki Nogata<sup>c</sup>, Masatsugu Shimomura<sup>a</sup>

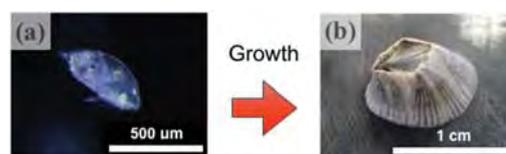
<sup>a</sup>Chitose Institute of Science and Technology, 758-65, Bibi, Chitose, Japan

<sup>b</sup>Asahikawa Medical University,

<sup>c</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry

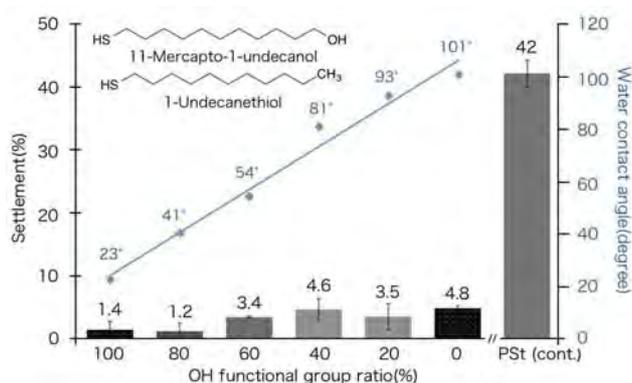
E-mail: [m2180090@photon.chitose.ac.jp](mailto:m2180090@photon.chitose.ac.jp)

A barnacle (Fig. 1) is one of the marine sessile organism, and they cause serious fouling problems by adhesion to marine substrates such as ship hulls, fish net and water intakes. To prevent the adhesion of barnacles, tributyltin (TBT) based antifouling paints had been used. However, TBT has banned because of their high toxicity to marine organisms. Therefore, development of antifouling materials without toxicity will be required<sup>1)2)</sup>. In this study, we investigated the barnacle settlements on the surfaces with different OH group ratio of mixed Self-assembled monolayer (SAM). SAM was prepared using two thiol reagents having OH or CH<sub>3</sub> group at the terminal. Fig. 2 shows the relationship between the settlement rates of barnacles after 5 days of treatment and the water contact angles of each mixed SAM substrates.



**Fig. 1** (a) Stereomicroscopic image of a cypris larva of a barnacle, (b) photographs of an adult barnacle.

The water contact angle varies according to mixing ratio of OH group. In addition, when OH group ratio was 80% or more, the settlement of barnacles on the mixed SAM substrate was few. Furthermore, when OH group ratio was 60% or less, the settlement of barnacles was almost constant rate, which was almost the same as in the case of only the CH<sub>3</sub> group. From these results, it was suggested that over 80% OH group modified surfaces have a possibility of preventing settlement of barnacles.



**Fig. 2** Graph of the settlement barnacle rates after 5 days of experiment and water contact angles on the mixed SAM substrates (Polystyrene (PSt) surface was used as control).

About Corresponding Author:

**Ai Momose**

Graduate school of photonics Science,  
Chitose Institute of Science and Technology

E-mail: [m2180090@photon.chitos.ac.jpe](mailto:m2180090@photon.chitos.ac.jpe)

Telephone: +81 (0)123-27-6068

Fax: +81 (0)123-27-6068

Address: 758-65, Bibi, Chitose 066-8655, Japan



## References

- 1) Maureen E. Callow et al, Biofouling, 18, 2002
- 2) Takayuki Murosaki, Nafees Ahmed, Jian Ping Gong, Sci. Technol. Adv. Mater. 12, 2011

# A Facile Preparation of Initiator Layers for Surface-Initiated ATRP toward Formation of Polymer Brushes on Real-Life Substrates

Tomoya Sato, Roland Hönes, Chihiro Urata and Atsushi Hozumi\*

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)  
2266-98, Anagahora, Shimoshidami, Moriyama-ku, Nagoya 463-8560, Japan  
E-mail: a.hozumi@aist.go.jp

Surface modification of substrates by grafting of polymers has attracted much attention from both basic and industrial research fields because of its potential. Among the various grafting methods, surface-initiated atom transfer radical polymerization (SI-ATRP) from anchored surface initiator is one of the most promising/practical techniques to fabricate well-defined “polymer brushes” on various substrates. Unfortunately, however, development of the initiator layers has been essentially ignored so far, meaning that large-scale fabrication of initiator surfaces is the limiting factor in the application of polymer brushes in real life.

Here, we report for the first time a facile and quick preparation of large-scale (~40 m<sup>2</sup>) initiator layers for SI-ATRP using a simple sol-gel solution of halogenated-organosilane and tetraalkoxysilane (Figure). Highly smooth, homogeneous and transparent initiator layers were formed on various inorganic/organic substrates via a spin-, bar- or roll-to-roll coating processes under ambient conditions. Combining the advantages of this sol-gel approach and subsequent SI-ATRP in air using a variety of monomers, we have succeeded in the formation of polymer brushes on extremely large-scale real-life substrates (i.e. 40 × 40 cm<sup>2</sup>) under ambient conditions without any complicated apparatus or harsh reaction conditions.

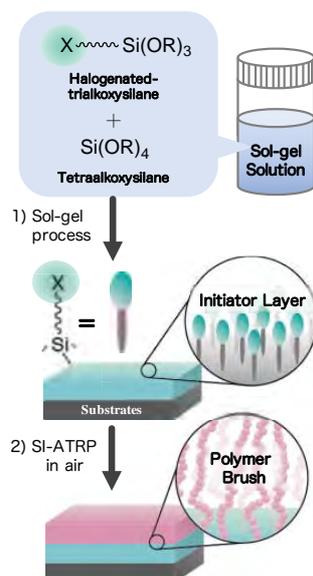


Figure 1. Schematic representation of this study.

## Dr. Tomoya Sato

Researcher, Department of Materials and Chemistry  
Structural Materials Research Institute,  
Advanced Surface and Interface Chemistry Group,  
National Institute of  
Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

E-mail: t-sato@aist.go.jp

Telephone: +81 (0)52-736-7615

Fax: +81 (0)52-736-7594

Website: <https://unit.aist.go.jp/smri/ja/group/asichem.html>

Address: 2266-98 Anagahora, Shimoshidami, Moriya, Nagoya 463-8560, Japan



## Education, Academic Background and Awards

2015 Ph. D. Department of Applied Chemistry, Kyushu University, Japan  
2015- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

## Publications

- 1) T. Sato, et al., *Polymer Chem.*, 3, 3077-3083 (2012).
- 2) T. Sato, et al., *Polym. J.*, 48, 147-155 (2016).
- 3) T. Sato, et al., *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 18, 195-201 (2018).

# Molecular weight effect of infusing oil on syneresis property of slippery lubricated gels (SLUGs)

C. Urata<sup>a\*</sup>, T. Sato<sup>a</sup>, R. Hoenes<sup>a</sup>, A. Hozumi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan  
E-mail: [chihiro-urata@aist.go.jp](mailto:chihiro-urata@aist.go.jp)

Functional coatings with exceptional surface properties, such as liquid-repellency and low-friction/adhesion, have been commonly prepared by combining textured surfaces with perfluorinated compounds. However, once such artificial surfaces are physically and chemically damaged, they permanently lose their surface properties. In contrast, some plants and animals maintain their surface properties through secretion of plant waxes, mucus, and so on. Here, we report on novel coatings inspired by such biological secretion systems. To realize long-lasting surface properties, we have particularly focused on the syneresis of organogels, which are known phenomena of gels releasing their liquid to outmost surfaces. The syneretic gels were prepared by hydrosilylation of 2 types of silicones under the presence of several guest silicone oils (linear polydimethylsiloxane: L-PDMS). As the molecular weight of L-PDMS increased to a certain critical number, the guest L-PDMS begin to gradually leach out to the outmost organogel surface (Fig 1). Thanks to this unique artificial secreting nature, fouling of various objects can be effectively prevented, resulting in the excellent anti-sticking properties. Our technique, demonstrated here, undoubtedly shows great potential for application in dynamic, multifunctional, and self-recovering anti-sticking coatings.

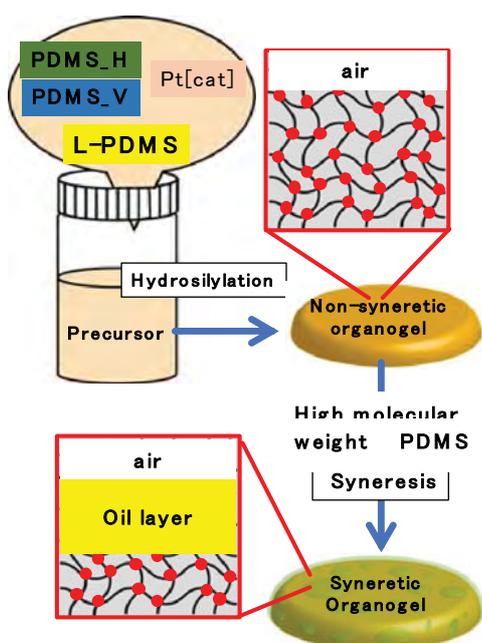


Fig. 1. General concept of this research.

About Corresponding Author:

**Dr. Chihiro Urata (Senior researcher)**  
**Website:** <https://unit.aist.go.jp/smri/en/group/asichem.html>  
**Address:** 2266-98, Anagahora, Shimoshidami,  
Moriyama, Nagoya, Aichi 463-8560, Japan  
**E-mail:** [chihiro-urata@aist.go.jp](mailto:chihiro-urata@aist.go.jp)  
**Telephone:** +81 (0)52-736-7594  
**Fax:** +81 (0)52-736-7406



## Education, Academic Background and Awards

2011 Doctor of Engineering, Waseda University  
2011-2015 Durable Material Group, Material Research Institute for Sustainable Development, National Institute of Advanced Industrial Science And Technology (AIST)  
2017 Visiting scholar (University of Toronto, Canada)  
2015- Advanced Surface and Interface Chemistry Group, Structural Materials Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science And Technology (AIST)

## Publications

- 1) C. Urata, G. J. Dunderdale, M. W. England, A. Hozumi, *J. Mater. Chem. A* **3**, 12626 (2015).
- 2) C. Urata, D. F. Cheng, B. Masheder, A. Hozumi, *RSC Advances* **2**, 9805 (2012).
- 3) C. Urata, H. Yamada, R. Wakabayashi, Y. Aoyama, S. Hirose, S. Arai, S. Takeoka, Y. Yamauchi, K. Kuroda, *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 8102 (2011).

# Perceptions of stakeholders with different levels of knowledge of and experience in biomimetics

Ryo Kohsaka\*<sup>a</sup>, Yoshinori Fujihira<sup>b</sup>, Yuta Uchiyama<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tohoku University, <sup>b</sup>Muroran Institute of Technology  
E-mail:kohsaka@hotmail.com

To facilitate the social implementation of biomimetic technology, understanding the perceptions of the stakeholders and appropriate policies need to be developed and implemented. As a basis of the policy making, results of surveys on perceptions of the stakeholders of biomimetics are provided in this paper. According to the studies conducted by the authors, levels of knowledge of and experience in biomimetics influence the perceptions and expectations on biomimetics. To share the latest information and involving the various stakeholders in the social implementation, the dialogue between the stakeholders with different levels of the knowledge and the experience is necessary to avoid the conflict among them. For example, researchers and engineers of nanoscale biomimetic technology can collaborate with those of urban-scale technology to facilitate the application of biomimetics in larger spatial scale and develop platforms of urban design with citizens. Regarding the knowledge sharing with citizens, museums can play an important role to provide scientific knowledge to the citizens. A survey on the citizens who visited the museum with a biomimetics exhibition was conducted by the authors and it reveals that museums can provide scientific knowledge on biomimetics and influence the expectations of citizens.

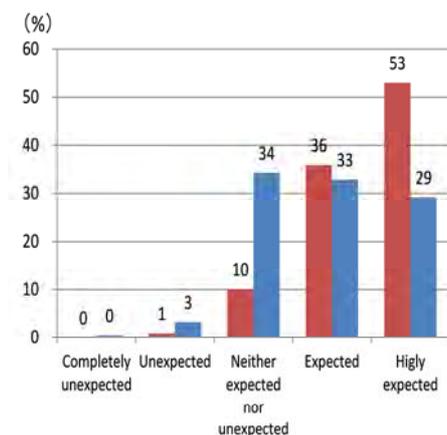


Figure 1. Expectations of biomimetic for commercial use and business. (before [blue] and after [red] visit to the museum)

## About Corresponding Author:

**Dr. Ryo KOHSAKA, Prof.**  
Graduate School of Environmental Studies,  
Tohoku University

**E-mail:** kohsaka.seminar@gmail.com

**Telephone:** +81 22 752 2235

**Fax:** +81 22 752 2236

**Website:** <http://www.4kbro.com/Pages/default.aspx>

**Address:** Aoba, 468-1, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-0845, Japan

## Education, Academic Background and Awards

2016 – Professor at Tohoku University

2012 – 2016 Associate Professor at Kanazawa University

2008 – 2012 Associate Professor at Graduate School of Economics, Nagoya City University

2006 – 2008 UNEP SCBD (Portfolio: Agricultural and Forest Biodiversity, Sustainable Use)

2004 – 2005 Programme Coordinator/ Post Doc. Univ. Tokyo Chuo Univ.

2000 – 2004 Research Fellow at the Institute of Forestry Economics, Freiburg, Germany

1997 – 1998 Project Officer at the Regional Environmental Centre for Central and Eastern Europe (REC) in Szentendre, Hungary.

Award ) Honoured as REC Life Fellow 2000

## Publications

1) R. Kohsaka, Y. Fujihira, R. Furukawa, T. Yamauchi, H. Kobayashi, D. Ishii, Y. Uchiyama, *Sustainable Management*. 15, 98-112. (2016) (*in Japanese*).

2) R. Kohsaka, Y. Fujihira, Y. Uchiyama, S. Kajima, S. Nomura, F. Ebinger, Curator: *The Museum Journal*, 60(4), 427-444. (2017).



# Today's Innovation is “Tomorrow's Basic.”

Do you own a smart phone, or drink from plastic bottles?

DNP has been instrumental in developing these types of products that nobody could have imagined 30 years ago.

What may seem impossible today will be taken for granted tomorrow.

DNP will continue to create the “basic” items of the future.



# DNP

**Dai Nippon Printing**

# LIXIL

Link to Good Living

不眠不休で、空気を見守る壁。



リクシルのタイル建材「エコカラット」

知られざる開発ストーリー、WEBで公開中。

湿度は、季節で変わる。1日の中でさえ、変わっていく。乾燥していたかと思えば、過剰な湿気は結露さえ生じさせる。そんな問題の解決のヒントは、日本古来の蔵にあった。蔵を囲う“土壁”には、内部の湿度を調整するという知恵が生きている。ならば土を素材にタイルをつくり、室内の壁材として使えないか。その発想を可能にしたのは、素材となる土への飽くなきこだわりと、100年以上にわたり伝承されるリクシルのやきもの技術だった。膨大な検証の末、完成した「エコカラット」。この壁材が有する1mmの100万分の1というサイズの無数の穴は、湿気を吸い、快適な湿度に戻す性質をもつ。それだけではない。時に中に閉じ込めた湿気を放出し、過乾燥の抑制さえも可能にした。面の広さを活用し、壁全体で呼吸する。人々が安らぐ部屋の中、壁は今日も空気を見守っている。“そこまでやるか”を、どこまでやるか。リクシルの目は、目に見えない領域まで見つめている。

# MADE *By* LIXIL.

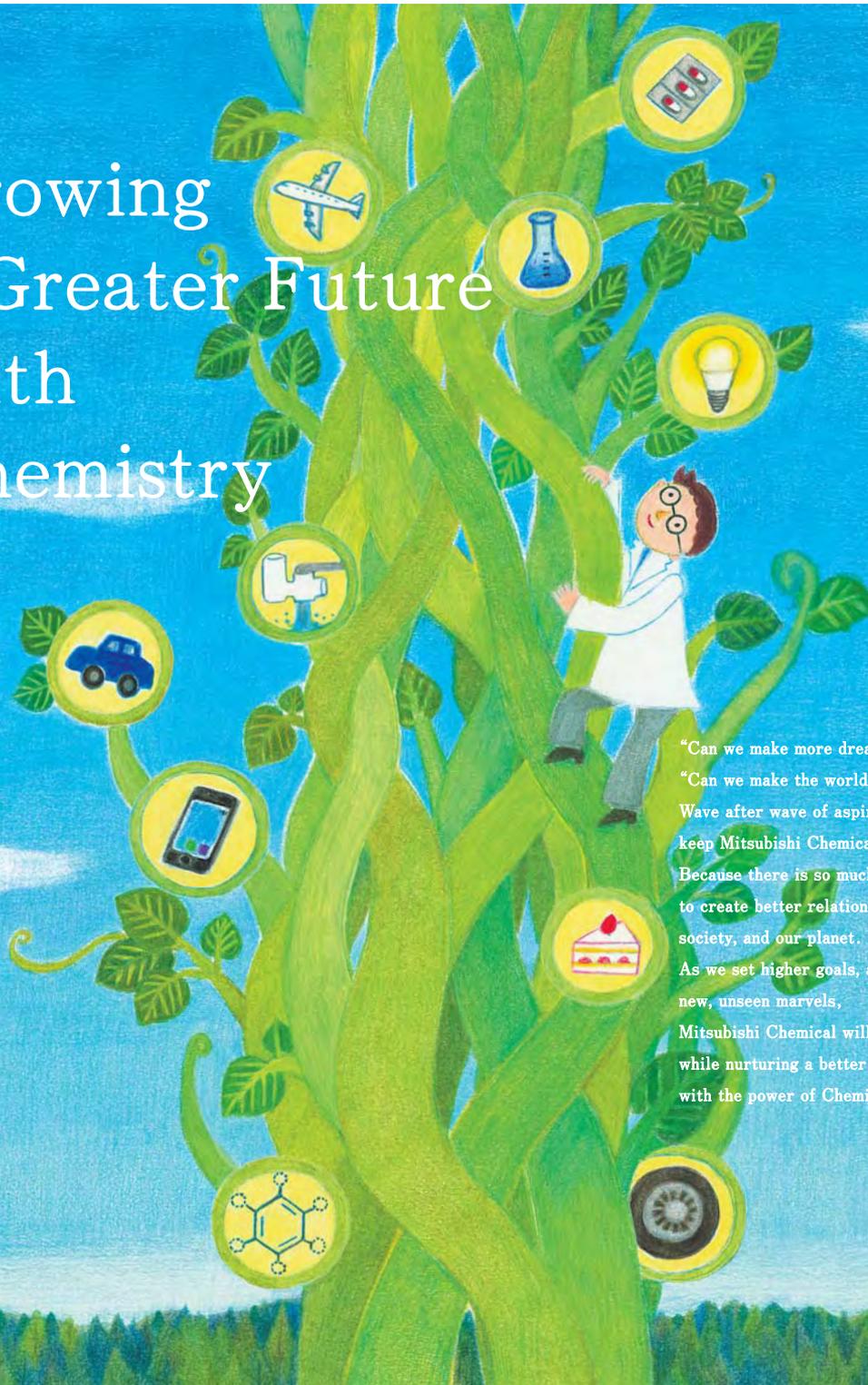
それが、リクシルのものづくり。

INAX の技術は、LIXIL へ。

株式会社 LIXIL

お客さま相談センター ☎ 0120-179-400 受付時間：平日 9:00～18:00 土・日・祝日 9:00～17:00

# Growing a Greater Future with Chemistry



“Can we make more dreams come true?”  
“Can we make the world more prosperous?”  
Wave after wave of aspirations  
keep Mitsubishi Chemical moving.  
Because there is so much more to do  
to create better relationships among people,  
society, and our planet.  
As we set higher goals, and search for  
new, unseen marvels,  
Mitsubishi Chemical will respect the Earth,  
while nurturing a better world  
with the power of Chemistry.

 **MITSUBISHI CHEMICAL CORPORATION**

Power of Micro Layer, Change the Future

**SURF**

豊富な塗料知識、表面処理及び設備の総合技術を結集し、環境配慮と経済性の両立を目指した  
金属表面処理システムをお届けします。

# 1000分の1ミリが 未来を変える

<https://www.nipponpaint-surf.com/>

 **日本ペイント・サーフケミカルズ**  
Basic & New

# バイオから宇宙まで

油化事業



食品事業



化成事業



ライフサイエンス事業



ディスプレイ材料事業



DDS (ドラッグ・デリバリーシステム) 事業



防錆事業



写真提供: JAXA

化薬事業



本社 / 東京都渋谷区恵比寿4-20-3 (恵比寿ガーデンプレイス19F)  
TEL : 03-5424-6600  
URL : <http://www.nof.co.jp>

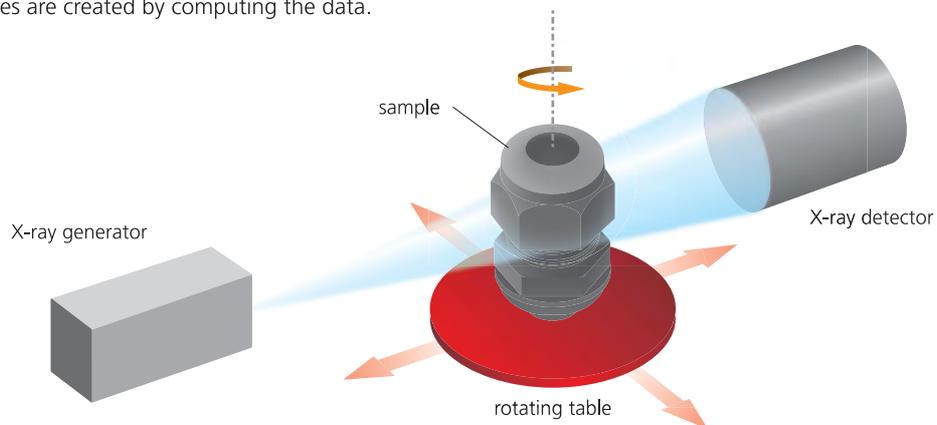
大阪支社 / 06-6454-6550  
名古屋支店 / 052-551-6261  
福岡支店 / 092-741-5131

MICRO-FOCUS X-RAY CT SYSTEM  
**inspeXio SMX-225CT FPD HR**



**X-ray CT Scan (Creating sectional images)**

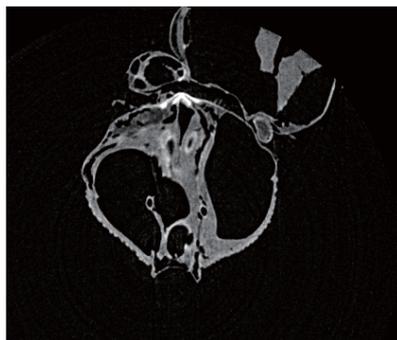
A measurement sample is set between the X-ray generator and the X-ray detector, and the sample is then rotated 360 degrees to gather X-ray fluoroscopic data from every angle. Sectional images are created by computing the data.



■ Sample :insect is mosquito.



X-ray fluoroscopic image



CT images



3D image



# 撥水撥油/防汚コーティング

## さらりと拭くだけ、キレイ蘇る

### 開発品概要

新規撥水撥油コーティングは、透明かつ平滑な被膜であり、水や油をピン止させることなく、表面を転がるように滑らせることができます。更に住友化学独自の分子及び組成物の設計により、用途に合わせて、硬度、耐熱性、耐候性等を高めることが可能です。

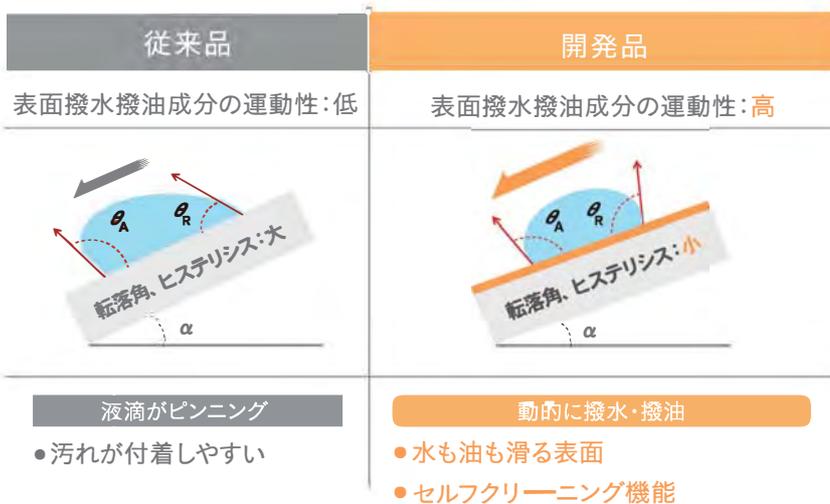


### 住友化学のオリジナリティ

これまでのコーティングは静的な接触角で撥水撥油性能評価をしていますが、実使用上の汚れの落ち易さ等は、動的な撥水撥油性に支配されます。

住友化学は、表面撥水撥油成分の運動性を上げることで接触角ヒステリシスを小さくする設計指針により、動的な撥水撥油性能に優れた被膜を得ることに成功しております。これにより、水に対しても、油に対しても良好な防汚性能を発現させることが可能です。

### 新規コーティングの撥水性能(産総研コンセプト)



※ $\alpha$ : 転落角 ヒステリシス: 前進接触角( $\theta_A$ ) - 後退接触角( $\theta_R$ )





## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会は、持続可能な開発目標を支援しています。



発行元：特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議会  
発行日：2019年3月1日 定価（本体 3,000円+税）  
編集：編集委員会（委員長 穂積 篤）  
ロゴデザイン：アキタ マイ