

# 生物規範工学

## *Engineering Neo-Biomimetics*



文部科学省 科学研究費 新学術領域

「生物多様性を規範とする革新的材料技術」



## CONTENTS

### 文部科学省 科学研究費 新学術領域 「生物多様性を規範とする革新的材料技術」

\*\*\*\*\*

#### 1) 巻頭言

- ・生物規範工学から産業へ  
平坂 雅男 (帝人株式会社) ..... 7

#### 2) 評価委員からのメッセージ

- ・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) ..... 10

#### 3) 研究紹介

##### 2013年6月20日 産業技術総合研究所 臨海副都心センター 高分子学会バイオミメティクス研究会

- ・国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第2回総会  
Working Group 1 “Terminology and methodology”  
関谷 瑞木 (独立行政法人 産業技術総合研究所) ..... 15
- ・ISO Biomimetic TC266 国際委員会報告  
Biomimetic Materials、 Structures and Components (WG2)  
B01-3 班 細田 奈麻絵 (独立行政法人 物質・材料研究機構) ..... 18
- ・WG3 Biomimetic Optimization の展開と今後の対応  
C01 班 阿多 誠文 (独立行政法人 産業技術総合研究所) ..... 21
- ・Knowledge Infrastructure for Biomimetics (WG4 提案)  
A01 班 長谷山 美紀 (北海道大学大学院情報科学研究科) ..... 26
- ・ビッグデータ時代の新たな価値創造  
奥和田 久美 (独立行政法人 科学技術振興機構 北陸先端科学技術大学院学) ..... 30
- ・異分野融合を支える知識情報基盤～シソーラスを用いた分野横断検索について～  
恒松 直幸 (独立行政法人 科学技術振興機構) ..... 36
- ・産業界との連携 –バイオミメティクス普及の鍵–  
佐野 健三 (株式会社積水インテグレートリサーチ) ..... 39
- ・バイオミメティクスの産業利用促進 –世界動向と日本の課題–  
平坂 雅男 (帝人株式会社) ..... 41

# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



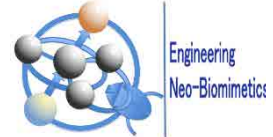
## 4)2013年7月1-2日 新学術領域「生物規範工学」全体会議・合同研

- ・ バイオミメティクスの社会インプリケーション  
Societal Implication of Biomimetics  
C01 班 阿多 誠文 (産業技術総合研究所ナノシステム研究部門) ..... 4 7
- ・ 国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第2回総会  
ISO/TC266 Biomimetics Second General Assembly  
C01 班 関谷 瑞木 (産業技術総合研究所) ..... 4 9
- ・ 生物規範メカニクス・システム  
Bioinspired Mechanical Systems  
B01-5 班 劉 浩 (千葉大学) ..... 5 1
- ・ 細胞の三次元運動を制御するナノ・マイクロファイバーゲルマトリックスの弾性分布設計  
Mechanical Control of 3D Cell Movement in Elasticity-tunable Matrix of Nano/micro-fiber Gels  
B01-5 班 木戸秋 悟 (九州大学 先導物質化学研究所) ..... 5 3
- ・ ガルの嗅覚と聴覚: フェロモン組成比の認識機構と羽音を用いた寄生回避行動  
Olfaction and Hearing in Moths: Detection Mechanism of Pheromone Component Ratio and  
Sound-mediated Avoidance Against Parasitoids  
B01-4 班 森 直樹 (京都大学大学院 農学研究科 応用生命科学専攻) ..... 5 5
- ・ 生体機能指向性エレクトリックノーズの作製  
Development of Bio-Inspired Electric Nose  
B01-4 班 岩佐 達郎 (室蘭工業大学) ..... 5 7
- ・ B01-3 生物規範階層ダイナミクス班 平成24年度成果報告  
Report of B01-3 group in 2012  
B01-3 班 細田 奈麻絵 (独立行政法人 物質・材料研究機構) ..... 5 9
- ・ 低温大気圧で実行可能な有機/無機材料のハイブリッド接合  
Hybrid Bonding Technology at Low Temperature and Atmospheric Pressure  
B01-3 班 重藤 暁津 (独立行政法人 物質・材料研究機構) ..... 6 1
- ・ 生物の光学的表面構造の創製  
Development of Optical Materials based on the Biological Surface  
B01-2 班 針山 孝彦 (浜松医科大学) ..... 6 3
- ・ 不規則に見える多層膜を利用したシジミチョウの構造色  
Structural Color of a Lycaenid Butterfly Utilizing a Multilayer Structure That Looks Irregular  
B01-2 班 吉岡 伸也 (大阪大学 生命機能研究科) ..... 6 5
- ・ B01-1 班 H24 報告と H25 計画: やわらかい微細構造作製とそのトライボロジー評価  
Fabrication of Soft Microstructures and Their Tribological Tests: FY24 (Reports) and FY25  
(Targets)  
B01-1 班 大園 拓哉 (独立行政法人 産業技術総合研究所) ..... 6 7
- ・ 自己組織化表面微細構造を用いたフジツボに対する防汚微細構造表面の作製  
Self-assembled antifouling microstructured surfaces against barnacles  
B01-1 班 室崎 喬之 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構) ..... 6 9



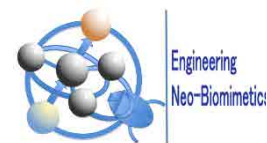
# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



- ・バイオミメティクス・データベースの構築を目指して  
Aim to Construct a Biomimetics Database  
A01班 野村 周平 (国立科学博物館 動物研究部) ..... 7 1
- ・トキ *Nipponia nippon* の化粧行動  
Cosmetic Behavior in the Crested Ibis *Nipponia nippon*  
A01班 山崎 剛史 (公益財団法人 山階鳥類研究所) ..... 7 3
- ・バイオミメティクス・データベースのオープンイノベーションプラットフォームへの展開  
Biomimetics Database as a Platform for Open Innovation  
公募班 有村 博紀 (北海道大学大学院 情報科学研究科) ..... 7 5
- ・生物の信号・情報処理機構を模倣したスケーラブルな高分子デバイスの創製  
Development of bio-inspired Scalable Polymer Devices  
公募班 浅川 直紀 (群馬大学 理工学研究院 分子科学部門) ..... 7 7
- ・飛翔生物を規範とした伸縮可能な微小シワ付きフィルム翼  
Stretchable Film Wings with Micro Wrinkles Inspired from Flight Apparatus in Nature  
公募班 田中 博人 (千葉大学) ..... 7 9
- ・ホヤ類の被囊の微細構造および化学的性質を規範とする新規接着・防汚染物質の開発研究  
Development of Novel Adhesive or Antifouling Substances Inspired from Tunic Surface of Ascidians  
公募班 植木 龍也 (広島大学 理学研究科附属臨海実験所) ..... 8 1
- ・ヤモリ模擬構造の材料力学的アプローチ  
Mechanical Approaches for Development of Gecko-inspired Structures  
公募班 山口 哲生 (九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門) ..... 8 3
- ・花粉表面の構造解析と自己組織化を利用した機能性マイクロ粒子のデザイン  
Microparticle Design based on the Analysis of Surface Morphology of Pollen  
公募班 オラフ・カートハウス (千歳科学技術大学) ..... 8 5
- ・微粒子由来凹凸構造を利用する気液分散体の安定化  
Stabilization of Gas-Liquid Dispersed Systems Utilizing Rough Surface Structure Formed by Particles  
公募班 藤井 秀司 (大阪工業大学) ..... 8 7
- ・材料科学からアプローチするバイオクレプティックス  
Biokleptics with Materials Science Approach  
公募班 出口 茂 (独立行政法人 海洋研究開発機構) ..... 8 9
- ・Knowledge Infrastructure for Biomimetics (WG4 提案)  
A01班 長谷山 美紀 (北海道大学大学院 情報科学研究科) ..... 9 1
- ・生物規範工学と海洋生物学—JAMSTEC との協働の可能性  
白山 義久 (独立行政法人 海洋研究開発機構) ..... 9 5
- ・形態と機能から見たサメ類の多様性  
佐藤 圭一 (沖縄美ら島財団総合研究センター) ..... 9 9





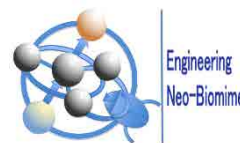
## 5) トピックス (PEN より)

- ・連載 生物規範工学 第九回 自己組織化の工業化を目指し、バイオミメティクスの適用へ  
三菱レイヨン株式会社 横浜先端技術研究所 魚津 吉弘 ..... 1 0 3
- ・連載 生物規範工学 第十回 自然に学ぶ表面処理技術  
～汎用元素によるはつ油性に優れた表面の創製～  
産業技術総合研究所 サステナブルマテリアル研究部門 高耐久性材料研究グループ  
浦田 千尋、Dalton F. Cheng、穂積 篤 ..... 1 1 2
- ・連載 生物規範工学 第十一回 昆虫の形態研究はバイオミメティクスに寄与するか？  
国立科学博物館 動物研究部 野村 周平 ..... 1 1 7
- ・連載 生物規範工学 第十二回 フラクタル日除け –生物から学ぶもの–  
京都大学大学院 人間・環境学研究科 酒井 敏 ..... 1 2 2

## 6) 国内外研究動向紹介

- ・「日本化学会第 93 回春季年会」を終えて  
産学連携グループ：(株)LIXIL 井須 紀文、B01-3 班 産業技術総合研究所 穂積 篤 ..... 1 3 0
- ・13-1 バイオミメティクス研究会レポート  
産学連携グループ：宮内 昭浩 (株)日立製作所 日立研究所 ..... 1 3 3

- 7) 新聞・報道 ..... 1 3 6
- 8) アウトリーチ活動 ..... 1 3 9
- 9) 各種案内 ..... 1 4 1



## 巻頭言

## 生物規範工学から産業へ

平坂雅男（帝人株式会社）



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きたことも事実である。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きたためと考える。

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る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。

## 評価委員からのメッセージ

## 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）



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クス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。

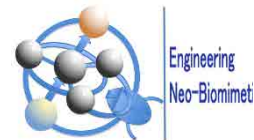
ニュースレター Vol.1 No.1 には、本領域の目的として「生物学と工学に通じた人材を育成すること」と謳われている。また、Vol.1 No.2 の評価委員からのメッセージでは、下澤先生が「クロスボーダー次世代を残せ」として、私とほぼ同趣旨のご意見を私よりはるかに格調高く述べておられる。本プロジェクトでバイオミメティクスの新しい技術体系を創出するのも重要だが、数十年先を見据えた次世代研究者の育成もそれに劣らぬ重いテーマだと私は考えている。



## 6月20日 講演会要旨

# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

*Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity*



高分子学会バイオミメティクス研究会

日時：2013年 6月20日（木）13時～18時

会場：産業技術総合研究所 臨海副都心センター（定員100名）  
（東京都江東区青海2-3-26）

主催：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  
標準化国内審議委員会

協賛：文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」、  
ネイチャーテクノロジー研究会

## ● プログラム

第一部：ISO Biomimetic TC266国際委員会報告

13:00～13:30 関谷 瑞木

産業技術総合研究所ナノシステム研究部門ナノテクノロジー戦略室  
「Conception and strategy — Differences between bionic and  
conventional methods/products (WG1)」

13:30～14:00 細田 奈麻絵

物質・材料研究機構 ハイブリッド材料センター  
「Biomimetic materials、 structures and components (WG2)」

14:00～14:30 阿多 誠文

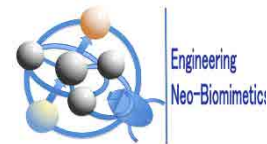
産業技術総合研究所ナノシステム研究部門ナノテクノロジー戦略室  
「Biomimetic optimization (WG3)」

14:30～15:00 長谷山 美紀



# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

*Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity*



15:00～15:20 コーヒー・ブレイク

第二部：知識基盤の構築と産学官連携にむけて

15:20～16:20 奥和田 久美

独立行政法人 科学技術振興機構 R I S T E X シニアフェロー

J A I S T 知識科学研究科客員教授

招待講演：「ビッグデータ時代の新たな価値創造」

16:20～16:50 恒松 直幸

独立行政法人 科学技術振興機構 情報企画部 事業戦略担当

「異分野融合を支える知識情報基盤～シソーラスを用いた分野横断検索について～」

16:50～17:20 佐野 健三

株式会社積水インテグレートドリサーチ

「産業界との連携」

17:20～17:50 平坂 雅男

帝人株式会社 知的財産室 知財戦略グループ

「バイオミメティクスの産業利用促進－世界動向と日本の課題－」

所属機関：独立行政法人 産業技術総合研究所  
氏名：関谷 瑞木



## 国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第 2 回総会 Working Group 1 “Terminology and methodology”

### 第 2 回総会までの経緯

ドイツ規格協会（DIN）が、2011 年 5 月 16 日に国際標準化機構（ISO）へ、バイオミメティクスの標準化のための新しい技術委員会（TC）を設立する提案を行い、ISO 加盟国への周知期間を経て ISO/TC266 Biomimetics が設置された。2012 年 10 月には DIN がホストを務め、第 1 回総会がドイツのベルリンで開催され、3 つのワーキンググループ（WG）の設置が決められた。2013 年 5 月 22、23 日に、フランス規格協会（AFNOL）がホストとなり、パリ郊外のサンドニ市にある AFNOL の会議室を会場に第 2 回総会が開催された。

日本は、正式にバイオミメティクスの国際標準化が始まる第 1 回総会に先立って、公益社団法人高分子学会に設置されたバイオミメティクス研究会を事務局とし、日本工業標準調査会（JISC）のバイオミメティクスに関する国内審議委員会を立ち上げた[1]。TC266 第 2 回総会には、この JISC の代表として、国内審議委員会の委員長である東北大学の下村政嗣氏を代表とする 9 名が出席した。

出席者は、今回のホスト国フランスの AFNOL から 7 名、議長国であるドイツは DIN から 7 名、そして韓国、チェコ、ベルギーからそれぞれ 1 名であった。さらに第 1 回総会の後に積極的な参加国 Participating Countries（P メンバー）としてイスラエルが参加を表明しており、2 名が出席していた。アドバイザーとして ISO の職員 1 名も出席した。また、議事への投票権を持たない Obseving Countries（O メンバー）のフィンランドからも 1 名が参加した。P メンバー登録を行っているものの中国、オランダは前回に続いて今回も出席しておらず、第 1 回総会には出席していた英国も今回は欠席であった。

本稿ではベルリンで開催された第1回総会で立ち上げが合意された3つのWGのひとつ、WG1 “Terminology and methodology”での議論、さらに総会ではTC全体に関わる議論も行われたので併せて紹介する。

### **WG1 “Terminology and methodology”では何が決められようとしているのか**

WG1 “Terminology and methodology”は、バイオミメティクスに関連する定義を標準化することを目的に、バイオミメティクスを用いた技術、プロセス、製品が、既存の技術を用いた場合とどのように差別化されるのかを明確に定義することを目指す。WG1に関する議論は、総会初日の午前中に行われた。ドイツ技術者協会（VDI）が準備したワーキングドラフトを基に議論が進められた。コンビナーは、ワーキングドラフトのたたき台となるVDIガイドラインの作成から深く関わってきたドイツのバイオミメティクスの研究者 Heike Beismann 氏である。WG1 では、総会前にウェブミーティングを行っており、その際に日本から複数のコメント提出していたのだが、回答あるいは対応がされていなかった。未対応の部分については追加のコメントとして受け付けるとして WG1 の議論は終了した。時間の制約があったとはいえ、WG1 の議論は、VDI が準備したワーキングドラフトの細部を詰めてゆく作業となったため、言葉の使い方の修正や、英語あるいはフランス語の言い回しなどといった細かい文書作成上の技術的な内容にほぼ終始し、バイオミメティクスの国際標準化の本質に迫るような議論とはならなかった。

総会2日目には、TC266のビジネスプランを最終版とするための内容の検討が行われた。ビジネスプランの原案は、TC266の議長 Olaf Rehme 氏と各国から選任された Task Group のメンバーによる3回のウェブミーティングを経て作成された。日本からは関谷が対応した。各国のバイオミメティクス研究開発に関連する情報の共有と TC266 での標準化プロセスの予定をまとめたものである。内容について、国際標準化が影響を及ぼす範囲そして国際標準化の意義に関してかなり議論となった。最終的には多少の修正と情報の追加を行い、標準化のタイムスケジュールを確認して、採択された。議長は原案の内容を確認してすぐに終了すると考えていたようであったが、実際にはバイオミメティクスの標準化の意義について踏み込むような議論が行われた。

予定外に長引いたビジネスプランの議論は、環境、持続可能性、教育といった各国の文化的背景に踏み込むものであった。社会的責任についての国際標準「社会的責任ガイダンス規格；ISO26000」は、欧州的な文化を色濃く反映したものであった[2]。バイオミメティクスの国際標準化もまた、将来的には、研究手法や製品化などバイオミメティクスの様々なアプローチの非常に広範な影響を及ぼすと考えられる。技術的な議論が、各国の文化、思想、歴史までも包含するものとなるのは確実である。バイオミメティクスの研究開発において、



研究の着想を得る対象を、人を取り巻く環境のすべてに広げようとするものであり、このようなドイツのアプローチは 2011 年に、標準化の取り組みの露払いとして開催された BLOKON おいてもはっきり見て取れると指摘されている[3]。

前回、戦略を持って総会に参加していたのは TC 設立の発案国のドイツ、事前に十分な準備を行った日本のみであったが、今総会では韓国も積極的な動きを見せた。韓国は、バイオミメティックな表面構造の濡れ性の計測手法の国際標準化を目指す新しい WG の立ち上げを提案した。次回第 3 回総会はチェコのプラハで今年 10 月に開催されることになったが、その際に韓国は新しいワーキングアイテムの提案の準備をしてくると思われる。

### 今後の日本の対応について

TC266 での議論の行方が将来のバイオミメティクス市場の趨勢を左右するのは疑う余地がない。ISO の認証ビジネスに一日の長があるドイツ、政府のバイオミメティクス研究開発への積極的支援が本格化するフランス、そして自国産業振興を明確な目標として新たに参加を表明したイスラエル、技術的な強みを持つ計測分野でのリードを目指す韓国と、TC266 参加各国の戦略的な動きが目立った第 2 回総会であった。

WG1 への日本の関与はいまだ手探り状態で、日本のバイオミメティクス研究開発を支援し、民間事業者のバイオミメティクスの産業化に有用なルールを形作る戦略的で、積極的な動きへは至っていないようであった。下村氏によると、日本におけるバイオミメティクス研究開発は本格的に始まったばかりだという。標準化もまた初めての試みであり、積極的な対応策をとることの難しさも垣間見られる。ナノテクノロジーの国際標準化は 2005 年から行われている。ナノテクノロジーと同じ新興の学際領域の科学技術として、本格的に研究開発が展開し始めたバイオミメティクスはナノテクノロジーの様々な経験から多くを学ぶことができると考えられる。

### 参考文献

- (1) 公益社団法人高分子学会バイオミメティクス研究会  
<http://main.spsj.or.jp/c12/gyoji/biomimetics.php>
- (2) 阿多誠文, PEN, 2011, 2, No.2, p10-12
- (3) 西村聡, 穂積篤, 真原仁, PEN, 2011, 2, No.3, p16-21

所属班：B01-3 班

所属機関：独立行政法人 物質・材料研究機構

氏名：細田 奈麻絵



## ISO Biomimetic TC266 国際委員会報告 Biomimetic materials、 structures and components (WG2)

ワーキンググループ（WG）2は、5月23日に議長（ベルギーのホルナート氏）とプロジェクトリーダー（筆者）が決定したばかりであり具体的な議論はこれから始まる。そのため、ここで紹介する内容はドイツが提出した WG2 提案書の原案を紹介するものであるが、今後議論の中で内容は変更されて行くだろう。

この WG にはエキスパートとして 11 名のメンバーが登録されている。その内訳は、イギリス（1名）、ドイツ（4名）、日本（2名）、ベルギー（2名）、チェコ（2名）である。

WG2 で議論する対象はバイオミメティクスの中でも材料・構造・構成要素に絞られている。提案書の内容は、1)対象範囲、2)用語と定義、3)基礎、4)生物材料、5)バイオミメティック材料・構成要素開発の方法、6)諸企業に於けるバイオミメティック手法の利用のための理由と機会、7)展望について書かれている。

WG2 提案の一番の特徴は、材料・構造・構成要素に関するバイオミメティクス製品の開発を如何にして行うべきかガイドライとして示そうとしている点である。このようなガイドラインはこれからバイオミメティクス製品を開発しようとする研究・開発者にとって大きな助けとなるだろう。

バイオミメティクス製品の開発は、大きく分けると①バイオロジープッシュと②テクニカルプルの2種類がある。バイオロジープッシュは生物学的な発見が新技術に結びつくもので、次のようなプロセスを経て開発される。

### ①バイオロジープッシュによるバイオミメティック開発の過程

- 1) 生物に関する分析
- 2) アナロジー（生物学的モデル）
- 3) 抽象化（原理の抽出・一般化）
- 4) プロジェクト／実験計画

- 5) 実験／計算
- 6) 最適化された原型構造／製造
- 7) 応用テスト
- 8) 総合評価
- 9) 発明

これに対し、テクニカルプルによるバイオミメティクス開発とは、既存技術あるいは既存製品の特定の問題に対する解決策を生物からヒントを得ようとするものである。テクニカルプルは次のようなプロセスを経て既存技術・製品の改善・改良が成される。

## ②テクニカルプルによるバイオミメティック開発の過程

- 1) 既存技術・製品の問題の抽出
- 2) アナロジー（生物学的モデルと技術対象系の類似性の検討）
- 3) 抽象化（原理の抽出・一般化）
- 4) プロジェクト／実験計画
- 5) 実験／計算
- 6) 最適化された原型構造／製造
- 7) 応用テスト
- 8) 総合評価
- 9) 発明

バイオリゾープッシュとテクニカルプルにおいて特に重要なのはアナロジーと抽象化過程である。これらが開発の過程において存在しない場合は、バイオミメティクス開発とは認められないのである。

提案書ではこの他に生物材料の特徴について詳しく触れ、生物学的モデル分析・アナロジー・抽象化などの方法論について説明されている。また、生物学から技術への移行プロセスについては、バイオミメティック製造手法、材料、部品を例に取り、それに基づいて説明がされている。提案書の最後には、産業に対しバイオミメティック材料、構造、部品がもつ関連性について、情報を掲載している。

WG2ではこの提案書を元に議論されていくのであるが、原案ではドイツで行われた研究・開発が中心に取り上げられている。そのため今後は日本を始め世界中で行われている研究・開発の実例を取り込んで行く必要がある。

国際標準化ISO TC266国内審議委員会では、国内WG2委員会を作り4月より7名の委員が活動を開始している。ここでは、提案書の審議の他、日本国内で行われているバイオメテックス研究開発の現状調査を行っている。現状調査は、科学研究費助成事業などのデータベース、特許データベース、インターネットなどを利用しキーワード検索により行われているため、すべてを網羅的に調査することの困難に直面している。

最後に提案書の展望に書かれている一説を紹介し締めくくりたい。

将来、自己回復、適応性、リサイクル性、復元性など、成功する原理を目指したバイオメテック戦略が、特に重要となるだろう。現在の立案・製造法とは全く異なる、重要なパラダイムシフトを代表するような、多数の新アプローチが、部品・材料レベルで登場するであろう。

#### **[国内WG2委員会からのお願い]**

バイオメテックス研究あるいはバイオメテック製品開発例をご紹介下さい。

連絡先：細田奈麻絵, E-mail: Hosoda.Naoe@nims.go.jp

所属班：C01 班

所属機関：独立行政法人 産業技術総合研究所

氏名：阿多 誠文



## WG3 Biomimetic Optimization の展開と今後の対応

### 1. WG3 の活動内容

生物模倣のアルゴリズムに基づく最適化には、生物の動きや集団の流れを模倣する最適化、生物の構造を模倣する最適化などがある。WG3 で議論されているのはこのうち、生物が進化の過程で獲得した順応的成長のアルゴリズムに基づく構造の最適化である。ワーキングドラフトのなかではその具体例の一つとして、メルセデス・ベンツ社がハコフグの構造を模倣し、ソフトキルオプション (SKO) という構造最適化アルゴリズムに基づいて制作した「バイオニックカー」を写真入りで紹介している。この WG3 が標準化のターゲットにしているのは、このような生物の順応的成長の模倣による工業製品のデザインルールである。実際どのような話が展開したのかは講演のなかで詳細に述べることにして、ここではこの標準化の活動をどう見ておかなければならないのか、まず重要な視点をキーワードごとに整理した後、環境規制の視点からこの国際標準化の行方を考察する。



Mercedes-Benz bionic car：熱帯魚のミナミハコフグに着想を得、流線型で低燃費&低エミッションを実現したコンセプトカー。外骨格を真似た六角形構造により、車体剛性の向上と軽量化も図られている。燃費は 23.3 km/l、90km/h 定速で 35.7km/l。

出典；Wikipedia「メルセデス・ベンツ バイオニック」

### 順応的成長

木や動物の骨が外から受ける外的ストレスに順応するように、荷重の大きいところを補強し、あるいは小さいところを軽量化することで、荷重を均一化するようにトポロジカルな形状を変化させながら成長すること。順応に対応する英語が Adaptive である。



## デザイン

工業製品のデザインといったとき、それは単に形状に留まらず、製品の設計思想、製造手法、機能、リサイクルの容易さなど、製品の発想から廃棄までのライフサイクル全般にわたるあらゆる側面が含まれる。広義には経済的効果や社会的影響まで含められる概念であることに留意する必要がある。もう一つ忘れてはならない大事な点は、とりわけ欧州においては工業製品の「デザイン」が環境規制の対象となっている事実である。欧州のエコデザイン指令（ErP）はその良い例であり、すべてのエネルギー消費製品に対して、省エネルギー促進、環境配慮デザインが義務付けられている。

## 最適化アルゴリズム

通常は部材や商品のデザインに適用する、コンピュータの数値解析手法に基づく構造最適化（CAO）である。たとえば前述の SKO 法を用いた、エンジンシリンダーヘッドのカムの動きをバルブに伝えるロッカーアームの構造最適化が、事例として取り上げられている。より具体的には有限要素解析（FEA）による空間メッシュポイントの力の微分方程式の近似解をもとめ、そのデータに基づいてよりストレスのかかる部位の体積を増やし、逆に力のかからない部位の体積を減少させていく。このような手法により生物の骨の形成のような自己最適化を模倣し、力学的耐久性に優れ、かつ軽量化した部材や商品の製造が可能になる。実際に SKO 法は車の部品の構造最適化に用いられており、たとえば車のピラーに関する特許明細書には、「内部高圧成形などでも製造可能であるが、この方法では均一な肉厚しか得られず、生体工学的最適化の利点が採用される可能性がなくなる」などと製品のデザインに用いた SKO 法の利点が記述されている。

なお V 字型切れ込み部の構造最適化アルゴリズムである tensile triangles 法についても、構造部材の耐久性の面からの有用性が詳細に記述されている。2 次元構造であればコンピュータを用いることなく最適化が可能であるし、コンピュータを用いた樹脂の配向制御による内部構造の最適化も可能である。WG3 のワーキングドラフトは全てこのようなアルゴリズムの記述である。

## ワーキングドラフト

ISO/TC266 Biomimetics のなかでの WG 設立へ向けた提案のたたき台となったのは、ドイツ技術者協会（VDI）が作成したガイドラインと呼ばれるドキュメント VDI Lichtlinien 6624、英語タイトルは "Biomimetic optimization Application of evolutionary algorithms" である。英語とドイツ語併記で、第 1 部 39 頁、第 2 部 24 頁にわたり、生物模

倣構造最適化のアルゴリズムの詳細が記述されている。昨年 10 月にドイツ規格協会 (DIN) で開催された第 1 回 ISO/TC266 Biomimetics の総会において WG3 が正式に発足し、Karlsruher Institut für Technologie の研究者である Dr. Iwiza Tesari がそのコンビナーに就任した。その後 TC266 事務局は VDI-6624 の内容を精査し、最適化アルゴリズムの手法に関する 17 頁の英語版のワーキングドラフトとしてまとめ直した。4 月 25 日の事前ウェブミーティングを経て、5 月 22、23 日フランス規格協会 (AFNOR) で開催された第 2 回 ISO/TC266 Biomimetics 総会では、このワーキングドラフトに基づいて議論が進められた。と言っても、実際には標準化の意義や効果に関する議論は無く、作業はドキュメントの校正のみであった。TC266 事務局はこのワーキングドラフトを基に、今後 2014 年秋には国際標準のドラフトの作成にまでこぎつけたいとの意向で、このことは TC266 のビジネスプランに記載された。

以上これまでの WG3 の流れを振り返ると、まずドイツ国内で VDI における工学者の議論の蓄積をベースに周到に標準化に向けたたき台が準備された。2011 年 3 月に VDI と BIONIK が共催した国際標準化へ向けた事前イベント「ISO BIONIK」では、WG3 に提案された最適化アルゴリズムの標準化の意義なども十分に検討されたものと思われる。その後ドイツの提案を受けて ISO/TC266 Biomimetics が発足し、新しいワーキングアイテムとして Biomimetic Optimization が提案された。それが承認され国際標準化のワーキングアイテムとなると、VDI は事務局に徹し、今度はバイオミメティクスの研究者がコンビナーとなって、学術的な視点で緻密にワーキングドラフトの校正作業が行われている。この段階に入ると標準化の意義や研究開発及び産業化への影響といった議論はなく、ISO の Directive に従って粛々と事務的な手続きが進められている。また、事前ミーティングの際に、ドラフトに記載された最適化アルゴリズムが知財として権利化されているのであればレファレンスに明記してほしいと依頼した。第 2 回本会議終了後にもメールでコンビナーと事務局に依頼したが、まだ記載はない。では日本はこのような状況にどう対応すればいいのだろうか。バイオミメティクスの豊富な基礎知識を以て、来年秋をめどに進められている国際標準のドラフトをよりよいものとすべく貢献すれば、それでいいのだろうか？

## 2. 環境規制と新興科学技術

環境規制との絡みでバイオミメティクスの標準化を議論することは、ありえないシナリオであって深読みの考えすぎと思われるかもしれない。しかし、2001 年から展開したナノテクノロジーの研究開発に対して環境規制が与えた影響を振り返ると、同じく学際として展開し始めたバイオミメティクスでもその影響を考える必要があるように思う。ここではあえて環境規制の視点からバイオミメティクスの国際標準化の現状と将来展開を考えてみたい。

## 第 6 次環境行動計画とナノテクノロジー

欧州の第 6 次環境行動計画 (6<sup>th</sup> EAP) が発出されたのは、2001 年の 1 月のことである。2001~2010 年までの EU の環境政策における主要な優先分野として、気候変動、自然と生物多様性、環境と健康と生活の質、自然資源と廃棄物などが挙げられている。そして早速その年の 10 月には、日本企業の製品がオランダの有害物質使用禁止指令に抵触し、200 億円近い損害を出すという事態が起きた。日本が環境規制への対応の重要性を思い知らされる事案だった。ナノテクノロジーはまさにその年、2001 年度から新興の学際領域として戦略的研究開発投資が行われるようになった。ではその当時、この 6<sup>th</sup> EAP が後にナノテクノロジーの研究開発と産業化に大きく影響してくることを予測できた人が日本にいたのだろうか？

6<sup>th</sup> EAP にはすでに欧州の新しい化学物質管理の規制枠組み REACH の方向性が示されている。2004 年には、ナノ材料の安全性に関する議論が高まるなかで、ナノ材料を 2008 年以降 REACH の枠組みのなかでナノサイズであるが故に新規物質として規制するという基本方針が示された。REACH の登録情報には安全性評価も含まれることから、2013 年 5 月末日の登録期限を前に各企業は対応に追われた。

一方、特定有害物質の使用制限に関する指令 (RoHS) の骨格は 2003 年に明らかにされ、2006 年 7 月 1 日以降、EU 市場に上市された電気電子製品に鉛、水銀、カドミウムなどの 6 物質を使用することが原則禁止され、それぞれの有害物質の最大許容濃度が設定された。この RoHS 指令は、廃電気電子機器指令 (WEEE) とセットで施行されている。電気電子製品へのナノ材料の応用の規制は、2010 年に行われた RoHS 指令の改定作業の過程でその修正案として浮上してきた。長い多層カーボンナノチューブと銀ナノ粒子の閾値なしの全面使用禁止案が、改定の修正案として提案され、半年に及ぶ欧州議会での議論とパブリックコメントの募集が行われた。結局この修正案は改定案から取り下げられたものの、改定 RoHS 指令には将来ナノ材料の評価データが出そろい有害性の解明がすすんだ時点で再度規制策の検討を開始することが明記された。将来ナノ材料が付属書 II 「制限物質リスト」に掲載され、他のナノ材料へもその適用が広がる可能性がある。

現在ナノ材料を製造あるいは取り扱う企業は、OECD におけるナノ材料の評価や ISO/TC229 Nanotechnologies におけるナノ材料の管理に関する標準化の作業の動向と、欧米で進むナノ材料の環境規制の動向をにらみながら、それに大きく左右されるビジネスの進め方を模索している。限られた紙面で言い尽くせないが、環境規制はビジネスルールそのものであるということを我々は再度認識しておく必要がある。

## 第7次環境行動計画とバイオミメティクス

2012年、日本では新学術領域研究「生物多様性を規範とする革新的材料技術」が活動を開始した。同年末、欧州委員会は2013～2020年の欧州の第7次環境行動計画（7<sup>th</sup> EAP）の素案を公表している。大枠でEUの中期成長戦略「EU 2020」との整合性をとりながら、自然保護と生態系の回復力の強化、持続可能かつ資源効率の高い低炭素成長の促進、環境に起因する健康に対する脅威への効果的な取り組みなどが具体的に記載されている。現在、欧州各国が取り組んでいる経済危機対策に必要な構造改革も、持続可能な社会実現を促す新たなチャンスと位置付けている。問題は6th EAPがナノテクノロジーの研究開発とその産業化に多大な影響を与えたようなことが、これからのバイオミメティクスの研究開発と産業化の過程で繰り返されるようなことはないのかどうかという点である。

今後の科学技術の研究開発は、持続可能な社会の実現という明確な目標設定と、すべての利害関係者への説明責任が不可欠である。すべての機関に一般化された社会的責任もすでにガイダンス規格 ISO26000 として2010年11月に発行している。いずれすべての技術が”Nature-Conscious”かどうかを問われるような時期が来ること、そういった視点のマネジメント規格や一層強まる環境規制を想定し、このバイオミメティクスに関する国際標準化に取り組んでおく必要を感じる。どういった思惑が動いているのか、10年後に何が起きるのか、少なくともこの点だけはきちんと認識を共有しておかなければならないのではないだろうか。

## 今後の対応

この国際標準化が日本のバイオミメティクスの研究開発と産業化に積極的な意義を持ち、よい影響を与えるものであってほしい。研究開発から産業界までを包括する枠組みのなかできちんとした戦略議論を行うことで、日本はこれからどういった対応を図るべきかが自ずと見えてくるように思う。

所属班：A01 班

所属機関：北海道大学大学院情報科学研究科

氏名：長谷山 美紀



## Knowledge Infrastructure for Biomimetics (WG4 提案)

### 1. はじめに

2013年5月22、23日にパリで開かれたISO/TC266 Biomimetics 第2回総会で、日本国内審議委員会（代表 下村政嗣 東北大学教授）が、バイオミメティクスのデータベースに関する規格作業部会(ワーキンググループ、以降、WG)の設置を提案し、それが採択された。著者も、本提案に係わり、会議当日は、その内容について参加国に説明を行った。本稿では、WG設置の背景と規格、さらにその産業創出との関係について述べる。

### 2. ISO/TC266 WG4 が目指すもの

#### 2.1 WG4 設置の目的

ISO/TC266 Biomimetics 第2回総会の資料(ISO/TC266/WG1 N11)に下の記載がある。

Today, the field of biomimetics is increasingly considered a scientific discipline that has generated numerous innovations in products and technologies. This highly interdisciplinary collaborative work, which brings together experts from the fields of biology, engineering sciences, and numerous other disciplines, possesses a particularly high potential for innovation.

上の記載は、バイオミメティクスが異なる学術及び技術分野の連携によって、イノベーションを起こすポテンシャルを備えていることを表現している。

バイオミメティクスは、異分野連携によるイノベーションを創出するあたらしい学術分野である。深い知識を持ち合わせた異なる分野の研究者が、相互の学術領域を連携し、新しい科学を創出するためには、知識を共有する必要がある。知識の共有を加速するためには、互いの理解を容易にする用語の対応を知る必要がある。WG4では、その対応を決めるルールを参加国の合意により決め、具体的対応表の初版を早期に作り上げ、その運用ルールを規格と



して作成することを目指している。もちろん、この規格の先に産業イノベーション創出の加速を目指している事は言うまでもない。

## 2.2 WG4 が実現する異分野連携

2.1 で述べた用語の対応について説明する前に、用語の対応の必要性について説明する。下に、異なる分野で使用された「Adhesion」の例を示す。

生物学

One micro liter of the sundew's adhesive is capable of covering a 25 mm<sup>2</sup>.

医学

Adhesions are fibrous bands that form between tissues and organs, often as a result of injury during surgery.

ロボット工学

Quadruped robot climbs smooth surfaces using directional adhesive.

環境科学

Bacterial adhesion is an important initial step in biofilm formation.

上は、TC266 国内審議委員会で議論されたものであり、2013 年 5 月に行われた ISO/TC266 Biomimetics 第 2 回総会で、筆者が行ったプレゼンテーションでも示した。本稿の読者の中には意見がある方もおられるかと思うが、上の Adhesion に見られる、上位の概念では同一となるが異なる分野でその使用に差異が存在する用語があることは、共通の認識であろう。

上のような差異が存在すれば、連携する分野の知識が深ければ深いほど、知識の連携は困難となる。連携のためには、各分野で用いられる単語の対応を記した辞書が有用である。このような対応を記した辞書の一つにシソーラスがある。データベース化されたシソーラスは木構造や表形式で成り立っているものが多い。WG4 では、バイオミメティクスにおける異分野連携を支援する、データベース化されたシソーラスを作成について検討し規格を作成する。

このような大きな役割を果たす WG4 の設置を提案するためには、提案者に規格作成の経験が備わっていることが要求される。ISO の規格作成には、厳しいルールがあり、確実に規格作成が行われることが参加国に理解されなければ、新しい WG の設置は認められない。設置が認められた背景には、JST（独立行政法人 科学技術振興機構）が作成している科学技術用語のシソーラスの存在がある。JST は、科学技術用語辞書の上位語・下位語、関連語、共出現語を整備し、それを可視化した「JST シソーラス map」(<http://thesaurus-map.jst.go.jp/>) (Fig.1) を公開している。筆者は、WG4 の設置を求めるプレゼンテーションで、このシソーラスマップを紹介している。

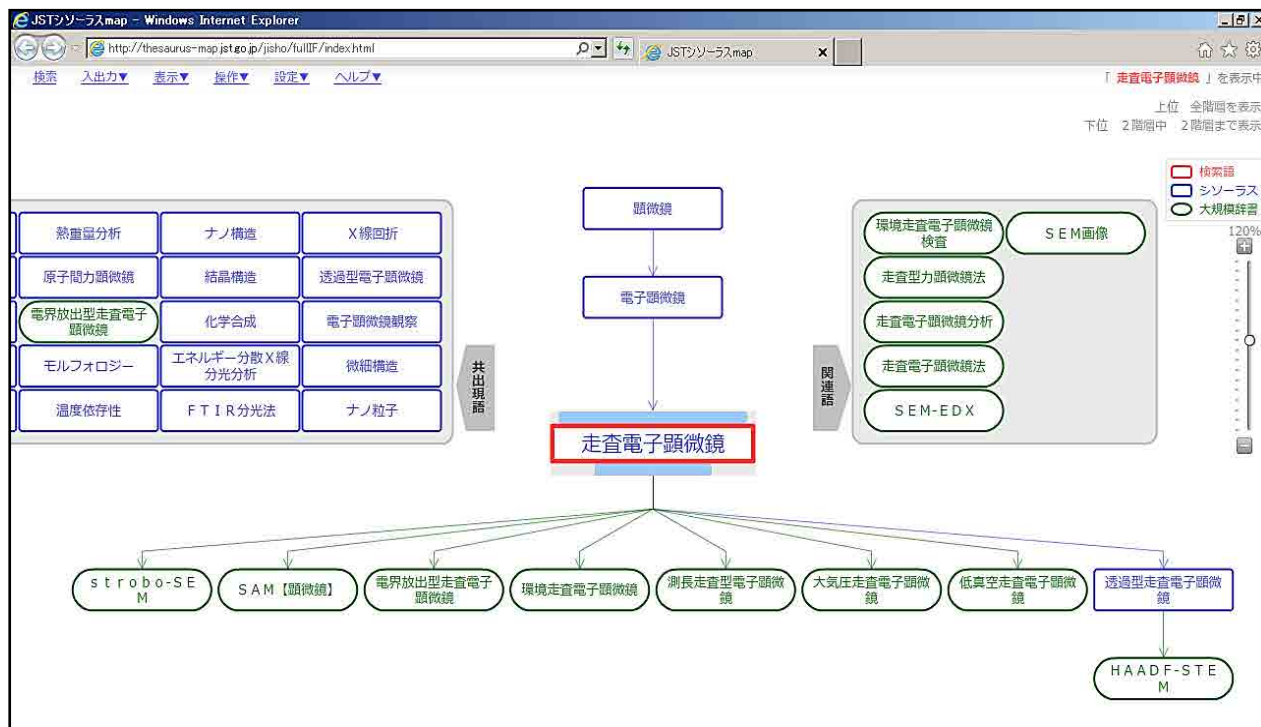


Fig.1 JST シソーラス map

### 3. バイオミメティクス・データベースの産業貢献への展開

ISO/TC266 において対応が進められる中、それと並行して対応しなければならない重要な課題が存在する。提案する規格が早期に産業貢献する仕組み作りである。

『生物多様性を規範とする革新的材料技術』（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）、代表 下村政嗣（東北大学・教授））のメンバーである筆者は、広く画像処理について研究を行い発想支援型の画像検索手法を提案してきた<sup>(1)</sup>、<sup>(2)</sup>。画像や映像などの非構造化データの特徴を分析し、異なる分野に蓄積された異なる種類のデータを有機的に連携することで、検索者に気づきを与え発想を支援する理論体系の構築を目指している<sup>(3)</sup>。この理論に基づき、バイオミメティクスの異分野連携を支援する発想支援型画像検索基盤『バイオミメティクス・データベース』を実現する試みが、先に述べたプロジェクトで進められている。バイオミメティクス・データベースは、今まで昆虫や鳥類、魚類などの分類ごとに個別につくられた博物学データベースの情報を統合するだけでなく、異なる研究分野の研究者の利用を可能とし、さらには、産学問わず広く工学系研究開発者が望む情報を検索可能な環境を提供する。筆者が先行する他プロジェクトで実装を試みた昆虫画像検索エンジンのインタフェースを Fig.2 に示す。

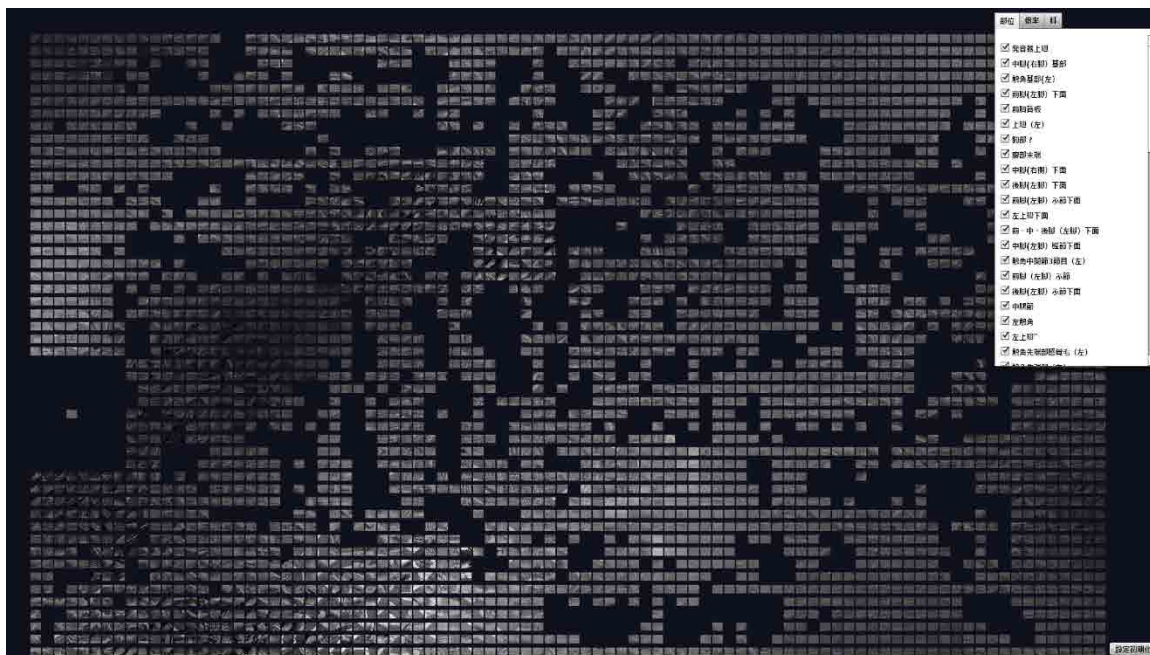


Fig.2 画像検索インタフェース

#### 4. まとめ

沢山の研究分野に蓄積された大量のデータの背景には、分野に固有の貴重な知識が存在する。貴重な知識には、言語化されにくいものも多く、他者が利用するのは容易ではない。社会が解決を望む問題は複雑さを増し、問題の所在さえ見え難い現状で、個別の研究分野の研究者に知識が留まっていたのでは、解決の方策を見出すには限界がある。バイオミメティクスは、現在の社会が抱える問題を解決する試みと捉えることができる。ISO/TC266 が、規格作成のための TC とならずに、社会基盤を担う産業創出と言う当初の役割を果たすよう、著者も国内審議委員の一人として微力ながら尽力したいと思う。

#### 参考文献

- (1) 長谷山美紀, "画像・映像意味理解の現状と検索インタフェース" 電子情報通信学会誌, 2010, 2293, 9, 764-769
- (2) Miki Haseyama, Takahiro Ogawa, Nobuyuki Yagi: " A Review of Video Retrieval Based on Image and Video Semantic Understanding, " *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, 2013, 1, 1, 2-9.
- (3) Miki Haseyama, Takahiro Ogawa: "Trial Realization of Human-Centered Multimedia Navigation for Video Retrieval, " *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2013, 29, 2, 96-109.

所属機関：独立行政法人 科学技術振興機構

北陸先端科学技術大学院大学

氏名：奥和田 久美



## ビッグデータ時代の新たな価値創造

### 1.はじめに

最近、ビッグデータという言葉をあちこちで聞くようになったが、皆さんはどの程度、意識しておられるだろうか？ ビッグデータに明確な定義はないが、巨大なデジタルデータの総称であるとともに、単にデータ量が大きくなるという以上のことが起こりつつあることを指している。インターネットの登場が我々の生活環境や産業構造を大きく変えたように、「暮らし」の情報にはさらに革命的な変化がもたらされつつあり、同時に「科学」にも「研究」にも大きな変化の波がやってきている。産業界が注目するのは当然であるが、ここでは主に「科学」や「研究」において起こりつつある変化やその背景から、ビッグデータのもたらす意味をあらためて考えてみたい。

### 2.すでに起きつつある変化

#### 2.1 「暮らし」が変わる

天気予報は、かつては気象庁や気象予報士だけが教えてくれるものであったが、現在では各地のごく一般の人からの情報提供だけで、日本全国の天気を知ることができる。また、今どこで風邪が流行りつつあるのかは、リアルタイムのつぶやき表示で知ることができ、個人個人の予防行動にも風邪薬の出荷情報にも役立っている。世界中の感染症の流行・自然災害情報・事故現場の様子などは、メディア報道や政府公式発表よりもずっと早く地図上に現われ、その場のリアルタイム画像も送られてくる。地震国の日本では、東日本大震災の際に発信された個々情報の統合データが、次の震災の備えとして準備されつつある。ビッグデータは産業やビジネスだけでなく、公共サービスなど社会生活への影響力が大きい。

#### 2.2 「研究」が変わる

世界中で研究成果の電子化が進み、特に生物医学系ではオープンアクセス化率がすでに50%を超えたとされている。世界の図書館所蔵書誌データベース WorldCat の整備は、10

億件までは34年もかかったが、20億件に達するには7年8か月しかかからなかった。もうじき図書館という建物は、古文書を現物で研究する人のみが行くところになるのかもしれない。2010年から計画されたDigital Public Library of Americaの構想はより壮大であり、そこでは図書館と博物館の境もなく、デジタル化できるものがすべてオンライン資源として検索できる。論文には文字・図・写真だけでなく動画掲載も可能になり、実験の様子を動画掲載するジャーナルも登場している。Mendeleyでは世界中の研究者が先行研究の書誌情報をアップすることで、自動的に世界最大級の書誌データベースができあがった。また、オープンアクセス化の進展とともに登場した、即時に論文のインパクトが評価できるAltmetricsは、専門家によるピアレビューの意味や必要性をあらためて問いかけている。米国では、主に基礎研究を支援する米国科学財団(NSF)が研究評価基準を改訂し、「知的メリット」と「より幅広いインパクト」を等しく評価することとし、研究の成果物を論文や特許以外にもデータセット・ソフトウェア・著作権などまで拡大した。

## 2.3 「科学」が変わる

「科学」の世界に、「データ集約による科学的発見」という第4のパラダイムが生じつつあるとの認識がある。第1のパラダイムは観察、第2は解明、第3はシミュレーションであったとされるが、近年はさらに、宇宙・地球・生命などありとあらゆる科学の領域で、膨大なデータの集約処理から、桁違いの知識が、しかもかなりのスピード感をもって得られるようになった。この結果、知の世界がこれまでとは全く違うフェーズに入った。科学において、研究という行為がある1点の凝視から、線・面・空間のような俯瞰性をもったメタ的あるいはシステム的なものに変容しつつあり、そこから新たな発見が生まれるようになった。1990年代に、情報のノーベル賞とも言われるチューリング賞受賞者のJim Grayは、「ビッグデータのチャレンジは市場からではなく、科学の世界からやってくる」と述べ、今日の科学の大きな変化を予想した。

## 3. ビッグデータの背景と特徴

このような変化の背景には、情報量の爆発的増大がある。有史以来、種々の技術の発展によって情報量は拡大傾向が続いてきたが、1900代後半から情報量拡大のスピードが増し、2000年以降はさらに加速して情報量が爆発的に増大するようになった。

現在の我々は、多くの技術向上の恩恵を受けている。情報処理能力は、30年前のスーパーコンピュータ以上の能力のスマートフォンを個人所有することができる。記録コストは10年前の0.25%程度まで低減したが、クラウドや仮想化技術によって、データの個別保存や記録所有の必要性自体が喪失しつつある。得られる情報は多様であり、自動収集されて、We



b上にリアルタイムで公開されていく。通信速度向上と情報のオープン化が進み、定額の通信料だけで多くの動画・音楽や報道情報が入手できるようになった。Wolfram、Siri などの利用は、好きな時に最速のスーパーコンピュータを対話という形で使用していることになる。大学の講義も無料で提供され始め、世界中の高校生が有名大学の講義を受けられるようになり、オープンアクセス化によって研究者でなくとも多くの論文を自由に読める。科学の知識は特定の国や組織のものではなくなり、オープンサイエンス時代が始まるとの期待もある。データ所有の既得権は失われ、むしろデータ所有はセキュリティコストを生じるマイナス要因となりつつある。我々はデータを利用すると同時に、位置情報や嗜好などの情報を無意識のうちに提供もしているが、性善説に立つならば、これを情報の民主化と考えることもできる。

ビッグデータの特徴は、データの Volume、Velocity、Variety の「3 V」にあると言われている。

Volume は従来とは桁違いの「多量性」を、Velocity は発生頻度・更新頻度の高さリアルタイム性を、Variety は既存概念を超える「多種性」を備えていることを、それぞれ指している。

#### 4. アカデミアによる注目のきっかけ

世界中のアカデミアがビッグデータを注目したきっかけは、2012年3月の米国政府による「ビッグデータ研究開発イニシアティブ」の発表ではなかっただろうか。米国の喫緊の課題解決に役立てることを目的に、大規模で複雑なデジタルデータから知識や洞察を引き出す能力を高める、という研究開発の推進である。このイニシアティブは、オバマ政権の科学技術イノベーション政策の5つの柱のひとつであり、ここでは、ビッグデータはインターネットと同等のインパクトを世界にもたらしうると見なされている。具体的目標は、①大量なデータの収集・蓄積・保存・管理・分析・共有のために必要となる最先端の革新的技術を前進させる、②それらの技術を科学と工学における発見の速さの加速・国家安全保障の強化・教育と学習の変容のために利用する、③ビッグデータ技術の開発とその使用に必要とされる労働力を増強する、ということである。米国の各省庁やファイディング機関は、各研究分野において、このイニシアティブに対応する施策へのファンディング方針を発表し、米国内の多くの学協会もそれぞれの分野で対応する研究開発を模索している。

この動きは、EUプロジェクトをはじめ、世界のIT戦略や科学技術イノベーション政策に影響を与えている。例えば、米国科学財団(NSF)は、日本の文部科学省に対して、災害に対する堅牢性(ロバストネス)および回復力(レジリアンス)の強化に関して、ビッグデータを活用した幅広い分野の日米研究協力を提案してきている。

なお、米国では 2013 年 5 月に政府関連データ公開を義務付ける指令が大統領署名され、Open Data Policy に基づく各施策も開始されたところである。このなかには公的投資による研究成果のオープンアクセス化推進も盛り込まれていることもあり、米国のアカデミアにはビッグデータとオープンデータの推進は一体的に受け取られているようである。最近の日本の IT 戦略でも、ビッグデータやオープンデータという言葉が出てくるようになったが、具体性についてはまだこれからというところである。

## 5. データ構造の変化

データは構造でみると「構造化データ」と「非構造化データ」に大別でき、ビッグデータではこの両データが増大していく。

構造化データとは、データベースのような一定の形式で格納されて処理されるデータを指し、このようなデータはシステムティックに拡大する。例えば、ゲノム解析技術は 2000 年代にシーケンサの向上で飛躍的に向上した。第 1 世代のシーケンサによるデータ蓄積スピードとコスト低減は集積回路におけるムーアの法則程度の向上であったが、2008 年頃からの第 2 世代に入ると別次元の向上となり、単位時間あたりのデータ蓄積量は 5 年で 1 万倍以上になった。コストは 10 年間で 10 億分の 1 程度まで低下し、特定種のゲノム解析といった基礎的な解析研究は、個々人の遺伝子情報を提供できるサービスへと変容しつつある。

一方、非構造化データとは、文書・画像・センサー信号など、形式も格納場所も様々であるデータである。コンピュータの利用範囲が広がるにつれて、特に非構造化データがカスケード的に急増し、将来は非構造化データがデータの大半を占める構造になっていく。特定の視点だけから見れば、非構造化データは、価値密度の極めて低い、ごみデータの山である。従来の統計学はデータベースを中心とする構造化データが分析対象であったが、これからのデータ・サイエンティストは非構造化データから新たな価値を見出すことが仕事になるだろう。

非構造化データの規模が膨大になっていく理由には、Web 上のデータ発信と収集が容易になったこと、モバイル機器からのデータ収集や種々のデバイスからのデータ収集が容易になったこと、そして大量データを扱える蓄積・処理技術が進展したことなどが挙げられる。Web 上の文書や画像などを周期的に取得し、自動的にデータベースに収集する crawler という回収プログラムにより、検索という概念が発達した。Facebook や Twitter などの SNS の拡大に加え、大容量の映像データのサイトへの投稿が、日々、ネット上で急増している。GPS や監視カメラの整備により、位置情報を含む画像データが利便性と社会の見守りのために自動的に蓄積されている。また、あらゆる「モノ」を Web につなぎネットワーク化するという考え方である「モノのインターネット」(Internet of Things : IoT) の具体化と進展があり、生活環境に存在する多くの機器から信号データが常時集まる状況に進みつつある。一

方、非構造化データの処理を進展させるためには、巨大なデータセットが様々なコンピュータ上に分散して格納されている状況下でデータ処理を並列的に行なうことが有効であり、世界規模の開発貢献者コミュニティによって Hadoop プロジェクトが進められている。データの構造変化に追随する処理技術はこれからも進展していくことだろう。その結果、形式の異なるデータが関係性をもちはじめ、予想外の相関が次々と発見されていくに違いない。また、ビッグデータの研究開発の推進によって、過去・現在の知見が将来予測へとつながっていくはずである。

## 6. ビッグデータからの価値創造

データ・サイエンティストや情報ビジネス関係者以外のほとんどの人にとって、関心を寄せるべきは、データ処理技術そのものではなく、ビッグデータから得られる価値にあるだろう。

ただし、その前提として、まずは判断する立場の者、すなわち、組織を管理する者、戦略を立てる者、研究開発を進める者などに、データインテンシブ、データドリブンのマインドがあるかどうかポイントである。残念ながら、データによって判断し、次の戦略を立てるという習慣は、少なくとも日本ではさほど根付いていない。

また、個々の科学者・技術者は、データを可視化して、新たな知という価値を創出できるかがポイントになる。従来の科学研究は、ややもすると観察や実験によってデータを作成することのみに力点が置かれる傾向があった。しかし、世界的な知の競争時代である現在では、データの多くは「すでにある」あるいは「常に生まれていく」状態であり、さらには極めて早く公開されるようになってきていることにも目を向けるべきである。

また、ビッグデータの利活用推進が可能かどうかは、おそらく多くの専門分野にとって、情報技術との融合的な取り組みができるかどうかにかかっている。日本では過度の規制により、サービス業・農林水産業などにおける ICT 技術導入の遅れ、医療データの未活用、政府の電子化の遅れなどが問題視されている。また、科学においても、バイオインフォマティクスなど融合的な研究がなかなか進まなかった過去の例がある。オープンアクセス化が進む時代にもかかわらず、論文の電子化すら進んでいない研究分野も散見され、発展性が懸念される。

構造化データにしる、非構造化データにしる、それらから価値を抽出できるデータ・サイエンティストの需要は一層増していくことになる。データ・サイエンティストの役割は、非構造化データを構造化データに変え、価値を抽出しやすくすることにあると言ってもよいであろう。一方、多くの分野の研究者・技術者も、個々の専門性に関らず、なんらかのデータ処理スキルの向上が求められるようになっていくだろう。ビッグデータを活用できるかどうか

かは、これからの研究開発の成果に決定的な差をつけることになる。

世界の知の競争時代に乗り遅れないために、専門領域にかかわらず、我々は、ビッグデータからの価値創造の十分な恩恵を受けられるように、一刻も早く準備をはじめないといけない。

## 7. まとめ

ビッグデータに明確な定義はないが、巨大なデジタルデータの総称であるとともに、単にデータ量が大きくなるという以上のことが起こることを指している。すでに存在し、Web上に蓄積されているのに活用されなかった膨大なデータの中から、有意な情報を抽出し、新たな価値の創出を図ろうとする世界の研究開発の動きがあり、この動きこそ、ビッグデータが大きな関心を集める理由である。ここでは「データのもつ価値が分かる」「価値を引き出すデータ処理ができる」ことが意味をもち、それらから得られる新たな知に対して「次の行動が引き起こされる」ことにこそ最大の意味がある。

個々の情報に着目するならば、情報セキュリティやプライバシーの保護など、情報自体に関する種々の問題は依然として存在し、法整備や規制緩和は追い付いていない。しかし、ビッグデータの利活用は、個々情報のやりとりとは別次元のものと捉えられるであろう。少なくとも科学や教育においては、世界は確実にオープンサイエンス・オープンエデュケーションの方向へ向かっている。

爆発的に増大するビッグデータを統計的に扱うことで、マクロにもミクロにも意味ある価値を見出だそうとするデータ集約の技術は、世界中で間違いなく加速的に進展していく。それは、我々の社会生活や研究スタイルをさらに変化させ、21世紀の知の世界を大きく変えていくに違いない。

## 参考文献

- (1) 野村稔, 奥和田久美, “ビッグデータの研究開発推進の注目点”, 研究技術・計画学会, 第27回年次学術大会, 2012
- (2) 野村稔, 米国政府のビッグデータへの取り組み, 科学技術動向”, 2012, 9・10月号
- (3) 樋口知之, “データ・サイエンティストがビッグデータで私たちの未来を創る”, 情報管理, 2013, 56 (1)
- (4) 城田真琴, “ビッグデータの衝撃 巨大なデータが戦略を決める”, 東洋経済新聞社, 2012
- (5) Tony Hey, Stewart Tansley, Kristin Tolle, “The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery”, *Microsoft Research*, 2009.

所属機関：独立行政法人 科学技術振興機構

氏名：恒松 直幸



## 異分野融合を支える知識情報基盤 ～シソーラスを用いた分野横断検索について～

### シソーラス検索とは何か～Google は万能ではない～

科学技術のどの分野でも、先行研究を参照することは重要である。これにより、少なくとも、無駄な努力を回避できる。また、先行研究を系統的、網羅的に把握できれば、いわゆる Research Frontier を可視化し、研究開発活動を戦略的に計画することができる。

先行研究を参照する事のこのようなメリットを念頭に、独立行政法人科学技術振興機構（以下、JST: Japan Science and Technology Agency）は、科学技術論文およびその書誌情報を収集し、電子的に検索できる情報提供事業を日本の高度経済成長の初期から提供してきており、日本の科学技術の発展に寄与してきたと自負している。

先行研究を参照するためには、先行研究が蓄積されたデータベースを検索する必要がある。検索といえば、Google。こう言い切っても過言ではない程、Google は広く利用されている。しかし、Google のようにキーワードを用いる検索は、様々な検索の中の一つに過ぎない。たとえば、大型書店では、書棚にジャンル名を表示することで、顧客が書籍を見つけやすくしている。図書館では、図書十進分類法にしたがって書架配列を行っている。名簿は、氏名五十音順に並べることで検索が容易になっている。このように、検索には様々な手法がありキーワード検索はその一つに過ぎない。どの検索が適しているかは、検索の目的と検索されるデータの性質によって決まる。

検索についても、他のサービスと同様に、品質を定義することができる。例えば、検索速度は、検索品質の一つである。では、先行研究を参照するための検索に要求される品質とはどんなものであろうか。

網羅性、つまり必要とする情報をすべて拾上げることは、重要な品質である。また、この裏返しで必要としない情報が自動的に捨て去られることも重要な品質である。このような検索の品質を向上させる工夫の一つにシソーラス（Thesaurus）がある。



シソーラスがカタカナ表記されるのは適切な和訳が見つからないからであるが、あえて和訳すると「同意語検索付き専門用語電子辞書」とでもするしかないであろう。

シソーラスは、あらかじめ検索に用いる単語を制限しており、通常は分野別の専門用語だけが登録される。これは、その専門用語を理解できる利用者が、専門用語が使われている論文などの情報を検索することを想定していることに因る。つまり、シソーラスはプロ仕様の検索手法である。専門用語は、日常言語と比較して、曖昧性が低い。よって、専門用語をキーワードとして、専門用語が使われている情報を検索すれば、不必要な情報が拾われてしまう可能性が低い。

シソーラスの重要な働きの一つは、表記の揺れ、語形変化、同意語を吸収できることである。例えば、“program”と“programme”は米語と英語の違いであるが、シソーラスでは、通常、同一の単語とみなす。また、“adhesion”、“adhesive”、“adhesiveness”は語形変化であり、これらも同一の単語とみなす。更に、“water repellent”と“hydrophobic”は同意語として取り扱うことができる。

このように、シソーラスは専門用語だけから成る電子辞書であり、専門用語間に検索目的のためには同意語とみなせるという関係が埋め込まれている。このシソーラスを用いて検索すれば、単純なキーワード検索に比べて、検索結果の網羅性が飛躍的に向上する。JST 情報提供事業では、JST が維持管理し続けて来ているシソーラスを提供しており、研究成果の網羅的、系統的参照に威力を発揮している。

## 分野横断検索のためのシソーラス

バイオミメティクスとは何か、どのような特徴をもった開発手法か。答えは自明ではない。実際、先般パリで開催された ISO/TC266 会合においても、バイオミメティクスの定義をめぐって半日に及ぶ議論が戦わされた。この結論はいずれ公開されるが、ここでは、とりあえず、生物の優れた能力に学び、その機構を明らかにし、工学的な課題解決に応用する開発手法と定義しておく。この定義を読めば、生物の機構を明らかにした成果が工学者に利用可能な形で整理されていることがバイオミメティクスにとって必須であることが分かる。

JST 情報提供事業にとって、これは大きな挑戦である。バイオミメティクスでは、成果は生物学者によって創られ、公表される。ところが、この成果の利用者は生物学の知識をほとんど持たない工学者であり、二つのディシプリンでは専門用語がまったく異なる。つまり、工学の専門用語から構成されたシソーラスを用いて、生物学の専門用語を用いた論文を検索しても良い検索結果が得られない可能性がある。

JST 情報提供事業では、限定的ではあるが、分野横断的なシソーラスをすでに提供してきている。例えば、「軽量化」というキーワードで工学の中の複数の分野を横断的に検索できる

仕組みを提供している。この JST シソーラスは、工学分野の専門用語を「何かを軽量化する」という課題に対する関連性によって整理することで分野横断的な検索ができるように工夫している。

一番単純なシソーラスは、専門用語の集合に「同意」という関係だけを定義したものであるが、これに加えて、「同意」以外に「反意」や「階層的な上下関係」を定義することもできる。上述の JST シソーラスでは、「軽量化」という目的に対して、手段となりうる専門用語を結びつけることで、「目的=手段関係」を定義している。このように、シソーラスは設計指針を反映する余地がある。

では、バイオミメティクスに適したシソーラスの設計指針とはどのようなものだろうか。たとえば、ハスの葉の表面も、アザラシの対表面も撥水性を備えているが、所与の環境で生き延びるとい生物が直面する課題との関連で考えると、二つの撥水性はまったく異なる。アザラシの撥水性は、極寒の海で体温を維持するという目的に対して備えている複数の手段の一つであるが、ハスの葉の表面の撥水性は、体温の維持とまったく関係ない。つまり、二つの撥水性は同意語ではないと考えることもできる。

「生物の優れた能力に学ぶ」というバイオミメティクスの基本的発想に素直に従うならば、その優れた能力を環境との関連で理解することが必要であり、その結果を反映する形でシソーラスを編成するのが素直な設計指針ではないだろうか。

所属機関：株式会社積水インテグレートリサーチ  
氏名：佐野 健三



## 産業界との連携 ーバイオミメティクス普及の鍵ー

「積水化学 自然に学ぶものづくり研究助成プログラム」は今年で12回目を迎えます。これまで総計154件の研究助成をおこなっています。「ものづくり」と称しているわけですから数々の応用製品が出てきてもおかしくないのに、いまだ大化けのものはありません。何故なのか、どこにそれを阻む原因があるのかを探ります。

### 1（積水の取り組み）

自然に学ぶものづくりという言葉はたいへん魅力的な響きがありますが、どのようなしくみで定常化させるかは難しい課題です。いち早く標榜してきたわが社ですから自然に学んだ製品をより多く世に出すよう、経営陣から日々要請されています。積水では自分たちの使用する原材料を石油依存からの脱却を目指しています。

### 2（大学での研究と企業での製品開発の違い）

研究助成を始めて12年目を迎えるにあたり、各方面から早く「ものづくり」を実現してほしいとか、早く「ものづくり」を実践する仕組みを構築してほしいということを要望されております。ところが、大学と企業ではもともとその使命が異なるため、連携するにはいくつかの課題があります。

大学	企業
・論文優先 ・試験管での検証 ・基礎研究も大きな使命で製品から遠い ・学際連携は掛け声のみ	・世界初 ・研究費困窮 ・技術競争力 ・M&A
・利潤追求 ・50年先の実現には興味なし ・開発資金と回収計画	・実現可能性の検証 ・興味なし ・社会的責任

### 3 (企業のジレンマ)

- ・魅力ある新製品が出ない
- ・従来の成長戦略と同じでは打破できない
- ・自然に学ぶ=バイオミメティクスに対する期待は大きい
- ・環境貢献製品を意識しているがほんとに貢献しているのか？  
実は環境破壊しているのでは？
- ・結局、化学のすべては石油に依存している現状
- ・カンパニー制（当該事業領域は執行役員に任せる）の多用で本社R&D機能の衰退
- ・上市条件 売り上げ規模、利益率、市場占有率……看板（評判）狙い

### 4 (バイオミメティクス推進協議会（仮称）) に求められる機能

- ・コーディネイト

全体を俯瞰できる人材が圧倒的に不足しています。技術の本質を理解し、組み合わせを考え、フィージビリティスタディし、開発の工程を組み、製造方法がイメージでき、ロジスティクスまで見通せる人材です。(図1参照)

これがすべて一人でできるものではないので、複数人のチームが必要と思われる。

時としては自治体や国の支援を受けられるような調整機能も求められる。

- ・コンサル、教育

アカデミアの持つシーズを発信し、企業の持ち込むニーズに対応できること。

各種講習会、実用化過程の発表会などもおこなう。

- ・ISO認証

ISO/TC266で現在討議されているが、まだ認証要件とか認証機関は定まっていません。少なくとも委員会メンバーはバイオミメティクス研究会の会員がこれにあたっているので、今後の動向や認証に向けての準備、指導は可能である。

### 5 (ネイチャーテクノロジー研究会の試み)

2030年の環境制約のなかでワクワクドキドキするような心豊かな暮らしのかたち(ライフスタイル)を描き(バックキャスト手法)、それに必要なテクノロジーを自然の中を探し、「持続可能」というフィルターを通じてリデザインされたテクノロジーを創り出す試みである。具体的な事例で紹介する。

所属機関：帝人株式会社

氏名：平坂 雅男



## バイオミメティクスの産業利用促進 －世界動向と日本の課題－

### 1. はじめに

バイオミメティクスは、自然や生物からその構造、機能、プロセスなどから着想を得て、新しい技術の開発やものづくりを行う科学技術を意味している。日本国内では、バイオミメティクスを活用した製品がいくつか市販されているが、バイオミメティクス技術の体系化がなされていないために、多くの場合には試行錯誤で研究開発が行われている。しかし、バイオミメティクスという融合領域での研究が、最近になって日本国内で活発化している。例えば、高分子学会に「バイオミメティクス研究会」が2012年に発足し、また、文部科学省科学研究費新学術領域として「生物規範工学」（代表 東北大学下村政嗣教授）が2012年度に採択され研究がスタートしている。一方、経済産業省から高分子学会が委託を受け、ISO（国際標準化機構）による標準化の活動が、TC266（TC: Technical Committee）Biomimeticsとしてスタートした。

このような日本国内の動きに比べ、海外の動きは速い。本発表では、海外のバイオミメティクスの動向を紹介し、また、日本の課題について述べる。

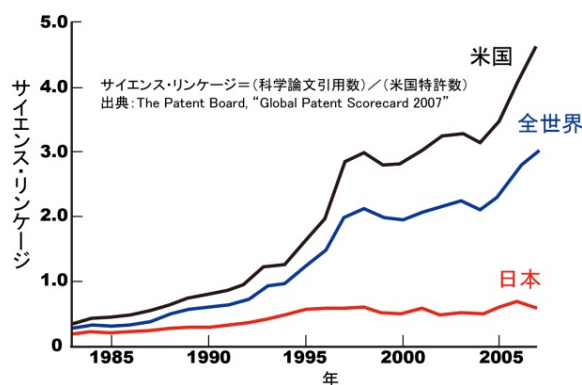


図1 サイエンス・リンケージの推移

## 2. 新産業創造の期待

特許出願において先行技術として引用する学術論文数を指標とするサイエンス・リンケージの推移は、米国特許出願では図1に示すような状況である。技術の権利化とも呼べる特許出願はサイエンスとの関係が深く、サイエンス・リンケージは近年増加している。すなわち、産業化に結びつく技術開発には、サイエンスの基盤に基づくものが多く、逆の意味では、新たな学術領域の発展は、産業における技術革新のチャンスとなると考えられる。すなわち、新たなサイエンス領域で先駆的な企業が、この分野の将来産業をリードする立役者となる可能性が高い。バイオミメティクスの学術論文数が、年々増加していることから、産業への応用展開が活発化することは時間の問題であり、今こそ、日本企業がバイオミメティクス研究に本腰を入れるべきである。

## 3. 米国の動向

米国科学アカデミーは、2008年に「Inspired by biology: from Molecules to Materials to Machines」と題する提案を行い、DOE、NIH、NSFなどの機関における学際的プログラムの推進を指摘している。さらに、2010年にサンディエゴ動物園から報告された「Global Biomimicry Efforts: An Economic Game Changer」では、15年以内に年間3,000億ドルの国内生産の可能性が示されている。また、2009年までの“biomimicry”という単語が含まれる特許出願は、米国特許商標庁のデータベース検索で900以上あることが報告されている。一方、Janine Benyusが設立者の一人であるBiomimicry 3.8というNPOが「B Corporation 認証」を受け、Ask Nature.orgのサイトを運営している。

## 4. 欧州の動き

### (1) ドイツ

2012年10月に開催されたハノーバーメッセでは、バイオミメティック製品を開発する企業が製品展示を行っていた。大きな話題は、Festo社のトンボの飛行を真似たロボット“BionicOpter”である。翼を広げた幅は63cm、重量が175gのBionicOpterは、空中に静止、滑空、ホバリングするなどあらゆる方向に動くことができる。実際、メッセの会場では、BionicOpterのデモンストレーション飛行が行われていた。

一方、ルフトハンザの機内誌でも紹介されているが、エアバスA340-300にサメ肌コーティングのテストが実施されている。サメ肌コーティングにより空力抵抗を低減させ、エネルギー消費を削減する目的で、実用化研究が行われている。フラウンホーファーで開発された最先端のワニスだが、サメ肌を模倣する構造を作りだしている。



## (2) フランス

フランス上院から「持続可能に寄与する科学技術-生物多様性は打撃か、チャンスか？」と題した報告書が2007年に発表され、また、エコロジー・持続可能開発・国土整備省(CGDD)は、「グリーンエコノミクス実現のためのバイオミメティクスの役割に関する調査報告」を2012年に公表している。この政府政策と連携した形で、パリから北へ50kmのサンリス(Senlis)市にヨーロッパのバイオミメティクス研究拠点の構築がスタートした。サンリス市のバイオミメティクス研究拠点は、研究開発のみならず、産官学連携のインキュベーションセンターとしての役割も担っている。

一方、投資ファンドを有する研究支援組織も活発化している。“Biomimetic”やパリ地域イノベーションセンターなどがその例である。さらに、生物多様性に基づく戦略をコンサルティングする“Institut INSPIRE”も、研究開発支援に力を入れている。

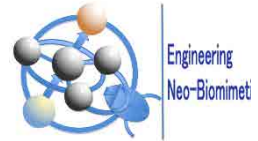
## 5. 日本における産業発展の課題

日本での動きは、新学術領域「生物規範工学」に関わる研究メンバーが研究開発の先陣を務めているが、バイオミメティクス関連の政府政策や提言もなく、また、産業界においても学際的な連携体制が構築されていない問題がある。

特に、従来のもづくり型の研究開発や材料開発プロセスにパラダイムシフトを起こすためには、生物学者との会話を活発化させ、バイオミメティクスの原点となる“新たなきづき”の機会を得るための方策が必要である。この観点からも、産業分野の技術者や企画スタッフがバイオミメティクスの研究者と連携できるコンソーシアムの構築が必須である。さらに、真のバイオミメティクスの推進のために標準化が戦略の一つとして活用できることも考慮し、世界の動きに追従する体制づくりが必要である。



## 7月1日2日講演会要旨



7月1日、2日 講演会要旨

文部科学省科学研究費

新学術領域「生物規範工学」全体会議・合同研究会

日時 2013年7月1日(月)～2日(火)

会場 ANAクラウンプラザホテル沖縄ハーバーニュー 白鳳の間  
(沖縄県那覇市泉崎2-46)

## ●プログラム

【7月1日(月)】

会場：ANAクラウンプラザホテル沖縄ハーバービュー 白鳳の間  
(沖縄県那覇市泉崎2-46)

8：30－8：40

領域代表 開会挨拶ならびに経過報告

8：40－9：05

計画研究 C 班 班長代理 産総研 阿多先生、産総研 関谷先生

9：05－9：30

計画研究 B-5班 班長 千葉大学 劉先生、九州大学 木戸秋先生

9：30－9：55

計画研究 B-4班 班長 京都大学 森先生、室蘭工大 多田先生

9：55－10：20

計画研究 B-3班 班長 物材機構 細田奈麻絵、物材機構 重藤暁津

10：20－10：35

coffee break

10：35－11：00

計画研究 B-2班 班長 浜松医大 針山先生、大阪大学 吉岡先生

11：00－11：25

計画研究 B-1班 班長 産総研 大園先生、東北大学 室崎先生

11：25－11：50

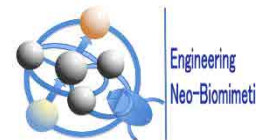
計画研究 A班 班長 科博 野村先生、山階鳥類研究所 山崎先生

# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

11:50-13:00

昼食

*Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity*



13:00-13:15

公募研究(1) 北海道大学 有村博紀先生

13:15-13:30

公募研究(2) 群馬大学 浅川直紀先生

13:30-13:45

公募研究(3) 千葉大学 田中博人先生

13:45-14:00

公募研究(4) 広島大学 植木龍也先生

14:00-14:15

公募研究(5) 九州大学 山口哲生先生

14:15-14:30

公募研究(6) 千歳科学技術大学 オラフ・カートハウス先生

14:30-14:45

公募研究(7) 大阪工業大学 藤井秀司先生

14:45-15:00

公募研究(8) 海洋研究開発機構 出口茂先生

15:00-15:30

総括班評価グループ講評 藤崎先生、下澤先生、国武先生

15:30-16:00

休憩

16:00-16:40

合同講演会(1) 北海道大学 長谷山美紀先生

16:40-17:20

合同講演会(2) 海洋研究開発機構 白山義久理事

17:20-18:00

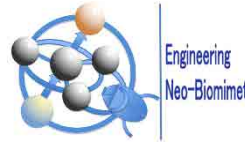
合同講演会(3) 美ら海水族館 佐藤圭一先生

18:00-20:00

懇親会 白鳳の間

# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



【7月2日（火）】

研究施設見学会（案）

午前：国際海洋環境情報センター（GODAC）施設見学

（沖縄県名護市豊原224-3）

午後：美ら海水族館総合研究センター 施設見学

（沖縄県国頭郡本部町字石川424）

9：00 ホテル出発

10：30 GODAC着

10：30－10：45 GODAC概要説明（鈴木管理課長）

10：45－11：00 GODACデジタルアーカイブ業務概要説明(荻堂)

11：00－11：15 GODACデジタルアーカイブ業務視察@作業室  
（荻堂）

11：15－12：00 GODAC利用開放ゾーン視察（管理課支援）

12：00－12：30 GODAC出発

13：00－14：00 昼食(本部町) ドライブインレストランハワイ

<http://www.okinawa-hawaii.com/>

14：00－14：30 昼食場所⇒美ら海水族館移動

14：30－16：30 美ら海水族館視察

（バックヤード案内視察後、館内自由見学）

所属班：C01 班

所属機関：産業技術総合研究所ナノシステム研究部門

氏名：阿多誠文

所属機関住所：〒305-8568 つくば市東1-1-1

産総研つくばセンター中央5-1

e-mail：masafumi-ata@aist.go.jp

研究キーワード：社会インプリケーション、

ライフスタイル、Bio-TRIZ、バイオミメティクス国際標準化、テクノロジーガバナンス



## バイオミメティクスの社会インプリケーション

### Societal Implication of Biomimetics

C01 班は、バイオミメティクスの研究開発と社会とのインターフェイス領域における様々な課題に対して、人文学的、自然科学的、社会的な視点・立場からのアプローチを行い、真に持続可能な社会の実現に向けたテクノロジー創出システムの構築を目指した活動を展開してきた。

東北大石田チームが担当する人文科学的アプローチでは、バックキャスト法により環境制約下で高い社会受容性を有するライフスタイルを創出し、それに必要なテクノロジーを明らかにすることでテクノロジーニーズを絞り込む作業を進めてきた。このなかでは 90 歳ヒアリングと呼ばれる持続可能なライフスタイル調査など、ユニークな活動を展開した。今後はライフスタイルデザイン手法、オントロジー工学を応用したライフスタイル分析と技術マッチングといった課題に取り組み、バックキャスト法により描かれたライフスタイルを実現するための技術を抽出するシステムの開発を行う。

新潟大山内・阪大小林チームが担当する自然科学的アプローチでは、材料設計工学と機械材料工学という異分野連携により、生物の技術体系を工学特許に移転する TRIZ 法を導入、ナノ・マイクロ材料創発法の確立を目指して活動してきた。これは材料工学と構造/材料力学と言う異分野連携により、生物の持つ機能を解析して体系化し、新たな工学特許を産み出すシステムを構築しようとするものである。このアプローチがシステムの確立を目指している生物規範創発工学、いわゆる Bio-TRIZ は、生物の技術体系に学びながら、それに人間の英知を組み合わせて初めて可能となる。A 班および B 班との連携により Bio-TRIZ データベースを構築し、それをベースにして気づきを誘発するシステム構築に向けて基本的なコンセプト



トがまとまりつつある。さらにそのデータベースのデモ版を公開できるところまで来ており、今後様々な意見をフィードバックしてより有益な情報体系としていく。

産総研が進めてきた社会学的アプローチに係る活動では、バイオミメティクス国際標準化に関して大きな進展があった。昨年 10 月にベルリンで開催された第 1 回の ISO/TC266 Biomimetics 総会において、日本はデータベースに関する新しいワーキングアイテムの提案を行った。今年 5 月 22-23 日にフランスで開催された TC266 の第 2 回本総会に先立ち、JISC バイオミメティクス国内審議会のメンバーが欧州およびアジアの TC266 参加国を訪問し、日本からの提案内容の説明と、この作業への協力を依頼した。その結果、日本からの提案「Knowledge Infrastructure for Biomimetics」は TC266 の第 4 作業委員会 (WG4) として活動を開始することになり、科学技術振興機構の恒松氏が WG4 のコンビナーに就任することが決まった。また、物質・材料研究機構の細田氏の WG2 のプロジェクトリーダー就任が決まるなど、ISO/TC266 における日本の存在感が増しつつある。これからさらに国内における産学官の枠組みによる戦略会議の重要性が増してくる。バイオミメティクスの研究開発とその産業化の振興のためにどう対応すべきか、さらに議論を重ね、実践していきたいと考えている。



5 月 22、23 日、フランス規格協会 (AFNOR) で開催された ISO/TC266 Biomimetics 国際標準化第 2 回本総会参加者。JISC のバイオミメティクス国内審議会から 8 名が参加した。

なお、C01 班では経済の視点からバイオミメティクスを評価する研究グループが参画することになり、今後より包括的な社会インプリケーションのアプローチを進める。

所属班：C01班

所属機関：産業技術総合研究所ナノシステム研究部門

氏名：関谷瑞木

所属機関住所：〒305-8568 つくば市東1-1-1

産総研つくばセンター中央5-2

e-mail：mizuki-sekiya@aist.go.jp

研究キーワード：社会インプリケーション、バイオミメティクス国際標準化、テクノロジーガバナンス



## 国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第2回総会

### ISO/TC266 Biomimetics Second General Assembly

2011年5月16日にドイツ規格協会（DIN）が国際標準化機構（ISO）へ、バイオミメティクスの標準化のための新しい技術委員会（TC）を設立する提案を行い、ISO加盟国への周知を経てISO/TC266 Biomimeticsが設置された。2012年10月には第1回総会が開催され、3つのワーキンググループ（WG）の設置が決められた。2013年5月22、23日に、フランス規格協会（AFNOR）がホストとなり、パリで第2回総会が開催された。日本からは日本工業標準調査会（JISC）のバイオミメティクスに関する国内審議委員[1]の委員長である東北大学の村政嗣氏を代表とする9名が出席した。本稿では各WGの現在の標準作成に向けた進捗状況、日本の新WGの設立提案の結果、TC266 Biomimetics全体に関わる議論を紹介する。

WG1は、バイオミメティクスに関連する定義を標準化することを目的に、バイオミメティクスを用いた技術、プロセス、製品が、既存の技術を用いた場合とどのように差別化されるのかを明確に定義することを目指すWGである。WG2 “Structure and materials”は、第1回総会でコンビナーが決まらず、コンビナー不在であったが、第2回総会でコンビナーにベルギーのStephan G. Hoornaert氏を、プロジェクトリーダーに（独）物質・材料研究機構の細田奈麻絵氏を選出した。WG3 “Biomimetic optimization”はタイトルが“Biomimetic structural optimization”へと変更された。議論の時間に制約があったとはいえ、WG1、WG3ともに議論はドイツ規格協会（VDI）が準備したワーキングドラフトをもとにした校正作業となり、バイオミメティクスの国際標準化の本質に迫るような議論とはならなかった。第1

回総会で日本から新しいWGとしてWG4 “Biomimetics – The knowledge infrastructure for biomimetics”を設立することを提案し、第2回総会に先立ち参加国による投票にかけられ、第2回総会で設立が合意された。コンビナーとプロジェクトリーダーは共に（独）科学技術振興機構の恒松直幸氏が務めることとなった。標準化までのスケジュール等を管理するビジネスプランの内容についても検討が行われた。ビジネスプランの原案は、TC266の議長Olaf Rehme氏と各国から選任されたTask Groupのメンバーによって作成された。日本からは筆者が対応した。第2回総会で合意された主な事項を表1にまとめた。

表1 第2回総会で合意された主な事項

1	WG1、3の原案への修正
2	WG2のコンビナーおよびプロジェクトリーダーの選出
3	WG4の設立、コンビナーおよびプロジェクトリーダーの選出
4	ビジネスプラン案への修正と採択
5	ISO内部リエゾンの追加
6	新規提案「Characterization of wettability of biomimetic surface」の検討
7	第3回総会の開催予定（チェコ、10月）

バイオミメティクスの国際標準化活動への日本の関与は新しいWGの設立提案で一步前進した。WG1～3については各国の動きを窺う状況である。日本におけるバイオミメティクス研究開発は本格的に始まったばかりで、多くの関係者にとっては標準化もまた未知の試みである。研究開発を取り巻く環境は日々大きく変わっており、日本のバイオミメティクス研究開発を支援し、民間事業者のバイオミメティクスの産業化に有用なルールを形作るために、今後も戦略的で、積極的な動きを打ち出すことが望まれる。

[1] 公益社団法人高分子学会バイオミメティクス研究会

<http://main.spsj.or.jp/c12/gyoji/biomimetics.php>

所属班：B01-5 班

所属機関：千葉大学

氏名：劉 浩

所属機関住所：〒263-8522千葉市稲毛区弥生町1-33

e-mail：hliu@faculty.chiba-u.jp

研究キーワード：生物規範飛行システム，生物規範細胞システム，バイオメカニクス，バイオミメティクス



## 生物規範メカニクス・システム

### Bioinspired Mechanical Systems

B01-5 班では、生物マルチスケール・メカニクス・システムにおける生物のサブセルラー・サイズ構造が生み出す運動メカニクスと生物規範メカニクス・システムの探求を目標として、下記の諸課題の研究を推進している。

- 1) 生物マルチスケール・メカニクス・システムの学理探求と、生物の「動き」に及ぼす「サブセルラー・サイズ」構造が生み出す細胞メカニクスと生物飛行メカニクスの解明
- 2) 生物規範細胞マイクロメカニクス・システムにおける、細胞の動的力学挙動の発現メカニズムおよび制御技術の確立を目指したメカノバイオミメティクスと、細胞メカノタクシスの制御・機構・応用の取り組み
- 3) 生物規範飛行マクロメカニクス・システムにおける、昆虫飛行の羽ばたき翼の力学と神経系・行動制御を統合する生物飛行統合力学・神経制御シミュレータの構築と、翼表面サブセルラー・サイズ構造がもたらすフルード・メカニクス効果の解明
- 4) 幹細胞のメカノバイオミメティクスを活用した新たな細胞運動操作材料の開発と、生物を規範した飛行ロボットや風力発電を含む流体機械の開発を目的とした、バイオミメティクス・デザインの創出を目指す。

平成24年度は、概ね当初計画通り諸研究課題を遂行することができており、以下に研究成果と関連の研究活動を報告する。

#### 研究実績：

- 1) 生物マルチスケール・メカニクス・システムの理論体系の研究：生物マルチスケール・メカニクス・システムの定式化と生物遊泳と飛行システムの理論体系を検討した。
- 2) 生物規範細胞メカニクス・システムの研究：A.細胞の力覚特性を系統的に操作する新たな生物規範材料を構築して細胞運動を三次元的に制御する新規メカニカルパターンニング技術を

開発した。光架橋性ゼラチンの電界紡糸ナノファイバーマトリックスとし、その架橋度を制御した上で個々のファイバーをゲルさせた弾性率可変マイクロゲルファイバーマトリックスを構築した。細胞が閾値以上の硬さを持つゲルマトリックスにのみ三次元的に侵入し得る現象を見出した。B.基質の硬さ依存的に観察される  $\text{Ca}^{2+}$ スパークおよびストレス線維の基質牽引力を同時観察し、細胞による基質の牽引に引き続き、細胞内  $\text{Ca}^{2+}$ 上昇が起きる事象を確認した。これは、細胞の基質硬度感知においてストレス線維の収縮と  $\text{MS}$  チャンネルを使ったアクティブタッチが行われている可能性を示唆した。

3) 生物規範飛行メカニクス・システムの研究：A.昆虫飛行の統合的外部力学モデルの開発を目指してスズメガの翼構造・材料力学モデルと流体力学モデルと、動力学制御モデルと流体力学モデルとの連成解析システムを構築した。昆虫ホバリング飛行の外乱時の安定性及び羽ばたき飛行制御の解析に適用し昆虫翼や胴体の弾性変形の効果を確認した。本統合力学シミュレータの有効性を検証するために生物飛行専用の低速風洞の設計を完了した。B.昆虫飛行の神経・筋・外骨格システムの統合的内部神経-筋-骨格系モデルを構築するために、スズメガの飛行制御機構の解析のための神経回路レベルの解析装置とシステムレベルでの解析のための力学計測装置を構築した。システムレベルの解析では、視覚情報による高度制御について、周波数領域におけるシステム同定を行い、伝達関数を推定した。

#### **関連研究活動：**

- 1) 論文発表・著書：査読付き雑誌論文 7 件、著書 5 件、招待講演 4 件
- 2) 英文ジャーナル編集委員：バイオミメティクス分野の代表的な英文ジャーナル “*Bioinspiration & Biomimetics*” (Impact Factor=2.412)の editorial board に就任 (劉浩)
- 3) 班間連携：B01-1 班及び B01-2 班とで「生体表面構造・機能研究会」を立上げ、若手を中心に遊泳生物と飛翔生物の表面構造と流体力学摩擦抵抗の低減との相関を生物学や材料科学、界面科学や流体力学などの学際的問題として解明。
- 4) 産学連携：千葉大学で「次世代流体機械のバイオミメティクス・デザイン」の産学連携共同研究講座を設立し企業の産学連携プロジェクトを推進。
- 5) 国際会議主催：Bioinspired Engineering を 1 テーマとする JSSHSC2013 (4月25日～26日香港科技大にて、大会委員長) と ICBME2013 (12月シンガポールにて、下村領域代表と共同主催) にて Biomechanics in Nature and Bioinspired Engineering を題としたミニシンポジウムを主催。
- 6) 報道：自動車技術会関東支部会誌「高翔」で“昆虫羽ばたき飛行のヒミツ”を題とした紹介記事、雑誌「戦略経営者」にて“ハチドリロボットの可能性”を題とした紹介記事、日本私立学校振興・共済事業団「共済だより」にて“昆虫に学ぶ生物規範型飛行ロボット”を題とした紹介記事等、その他日刊工業新聞、BS フジガリレオ X



所属班：B01-5班

所属機関：九州大学先導物質化学研究所

氏名：木戸秋 悟

所属機関住所：〒819-0395 福岡市西区元岡

744CE11-115

e-mail：kidoaki@ms.ifoc.kyushu-u.ac.jp

研究キーワード：メカノバイオマテリアル、

細胞運動制御、幹細胞、細胞外マトリックス設計



## 細胞の三次元運動を制御するナノ・マイクロファイバージェルマトリックスの弾性分布設計

### Mechanical control of 3D cell movement in elasticity-tunable matrix of nano/micro-fiber gels

自己治癒不能な損傷を受けた生体組織の再生のための再生医工学において、組織構築細胞群の生着に必要な足場材料の機能的設計は根本課題の一つである。機能的組織の再生を誘導するためには、足場材料に対する細胞の内殖や機能的局在化などの細胞の動的挙動の制御、すなわち細胞運動の制御技術の確立が重要である。生体内において細胞運動の制御は、サイトカイン（液性因子）とマトリックス（固相因子）の両者が複合的に関与して行われる。これまでに液性因子による細胞運動制御・組織構築の研究は多く行われてきた<sup>1), 2)</sup>が、一方、固相因子も含めたバイオミメティックな三次元細胞運動制御についての系統的な技術は未開拓である。この課題に関して当研究室では、生体の軟組織の細胞外マトリックスの本質的なモデル系であるハイドロゲル足場材料の弾性分布設計による機械的接触走性（メカノタクシス）の制御<sup>3)</sup>を検討している。これまでに培養力学場設計のアプローチによって、二次元培養基材表面におけるメカノタクシスの誘導と制御条件の確立に成功している<sup>4)</sup>が、より生体組織に類似した

三次元環境における細胞運動制御へのその応用可能性については不明であった（Fig. 1）。本研究では、細胞の三次元局在制御を可能とする足場材料の構築のため、細胞外マトリックスに類似した構造を有するナノ・マイクロファイバージェルマトリックスの三次元弾性分布を

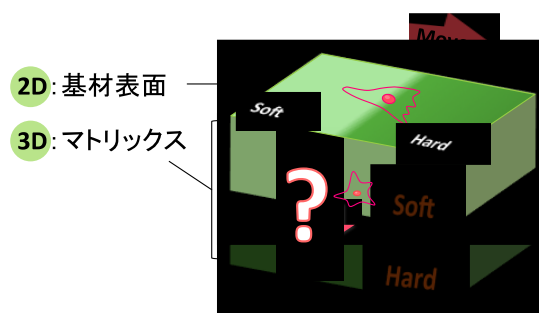


Fig. 1 Conceptual diagram of the control cell movement by the elastic distribution design



系統的に設計する技術を新たに開発し、細胞の三次元運動を制御する力学場条件について調べた。

微視的培養力学場の系統的な三次元設計を可能とするために、光硬化性スチレン化ゼラチン (StG) を電界紡糸によりナノファイバーメッシュ化した後、個々のファイバー内部の StG を光架橋した上で水溶液環境下にて膨潤させた弾性率可変ナノ・マイクロファイバーゲルシートを作製した。細胞の侵入性に主要な影響を与える要因として予想される、ゲルファイバーどうしの接合点密度を調節するため、電界紡糸溶液に溶媒の蒸散を遅延させる H<sub>2</sub>O を混合比を変えて作製した StG ナノ・マイクロファイバーメッシュシートに照射後膨潤させたところ、水添加比の増大とともにゲルシート表面弾性率が高くなることを確認した (Fig. 2)。

0%、20%、30%、40% H<sub>2</sub>O 添加ゲルマトリックスに対する 3T3 線維芽細胞の侵入性を評価したところ、0%、20% H<sub>2</sub>O 添加ゲルマトリックスではシート表面によく伸展し内部に侵入せず、30%、40% H<sub>2</sub>O 添加ゲルマトリックスでは播種 24 時間後ゲルマトリックス内部に侵入した (Fig. 3)。この結果は、ゲルファイバーマトリックスへの三次元の細胞侵入挙動において一定の弾性率が必要となることを示しており、三次元メカノタクシスの誘導可能性を示唆するものである。三次元の細胞外マトリックスにおける微視的力学場のバイオミメティックな設計において、細胞の三次元運動を制御する設計指針の一を見出すことに成功した。

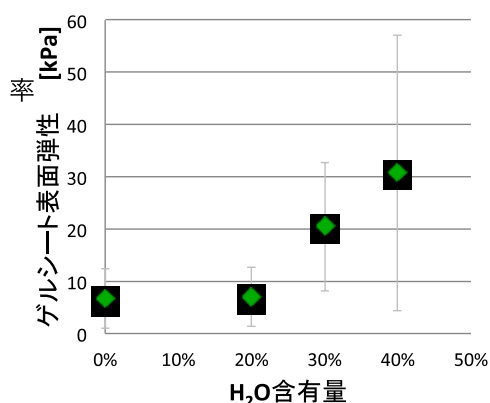


Fig. 2 Relationship between the water content of the ES solution and the surface elastic modulus of gel sheets

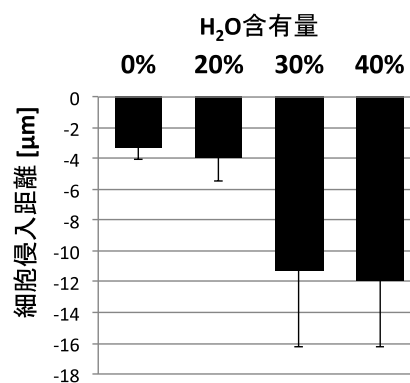


Fig. 3 Invasion distance to the gel matrix of the cell

## 参考文献

- (1) Asashima, M.; Ueno, N. et al., *Cell Differ. Dev.*, **1989**, 27, 53.
- (2) Shibuya, M. *Cancer Sci.* **2003**, 94, 751.
- (3) Lo, C-M.; Wang, H-B.; Dembo, M.; Wang, Y-L., *Biophys. J.* **2000**, 79, 144.
- (4) Kawano, T.; Kidoaki, S.; *Biomaterials* **2011**, 32, 2725.

所属班：B01-4班

所属機関：京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻

氏名：森 直樹

所属機関住所：〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

e-mail：mokurin@kais.kyoto-u.ac.jp

研究キーワード：昆虫、音、フェロモン、化学受容、生物間相互作用



## ガ類の嗅覚と聴覚：フェロモン組成比の認識機構と羽音を用いた寄生回避行動

### Olfaction and hearing in moths: detection mechanism of pheromone component ratio and sound-mediated avoidance against parasitoids

本研究班では、昆虫の情報伝達、環境に対する応答・制御システムを規範として、「サブセルラーサイズ効果」を解明し、それを利用することを目指している。特に、低環境負荷型の植物保護の確立、高感度センサの開発、乾燥耐性・放射線耐性を持つ昆虫細胞の医療への応用を探る。平成 24 年度には、複数成分からなるガ類成虫のフェロモンの認識機構と寄生者の音を利用したガ類幼虫の行動制御について、興味深い成果が得られた。

ガ類の多くは複数成分からなる性フェロモンブレンドを利用している<sup>(1)</sup>。例えば、チャノコカクモンハマキの性フェロモンは、(Z)-9-tetradecenyl acetate : (Z)-11-tetradecenyl acetate の 7 : 4 の混合物であった<sup>(2)</sup>。興味深いことに、二つの化合物が混合されない限り雄の性行動は解発されず、両化合物の一定の混合比で雄の反応のピークが認められた。これらの結果は、性フェロモンとしての情報は成分の違いだけでなく、成分の組成比も重要であることを示している。しかしながら、このガ類昆虫におけるこの組成比の認識機構の詳細は未解明であった。本研究班では、(E, Z)-3, 13-octadecadien-1-ol (E3, Z13-18:OH) と (Z, Z)-3, 13-octadecadien-1-ol (Z3, Z13-18:OH) (E3, Z13-18:OH/Z3, Z13-18:OH=9/1) を性フェロモンとして利用しているヒメアトスカシバを用い、その組成比の受容機構を明らかにした。雄の触角から E3, Z13-18:OH と Z3, Z13-18:OH に反応する受容体を同定し (それぞれ NpOR1 と NpOR3)、アフリカツメガエルの卵母細胞で発現させ、応答閾値を比較した。その結果、NpOR1 と NpOR3 の応答閾値はそれぞれの成分に対し、同程度であった。しかしながら、受容体発現細胞の割合を *in situ* hybridization で調

べると、NpOR1 と NpOR3 の発現細胞の割合は異なり、その比は性フェロモンの組成比とほぼ一致した。つまり、性フェロモンの組成比は性フェロモン受容体を発現する嗅覚受容ニューロン（Olfactory receptor neuron；ORN）の割合を調節して受容している可能性が強く示唆された（Fig. 1）。これは、性フェロモンの組成比の認識機構を受容体レベルで明らかにした初めての報告である。

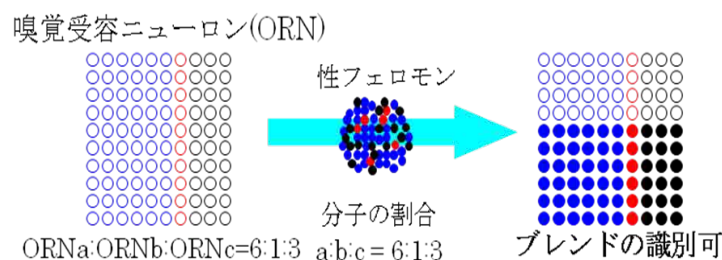


Fig. 1 Model of pheromone component ratio detection by olfactory receptor neurons (ORNs).

音・振動に対し、ガ類幼虫が様々な行動を示すことが知られている。例えば、縄張りを巡る種内交信、捕食者への防衛、寄生者の検知等である<sup>(3)</sup>。本研究班では、キオビエダシャクの幼虫が胸部にある少数の糸状感覚子を用いて寄生バエの羽音を検知し、行動反応を示すことを見出した<sup>(4)</sup>。一連の行動は、落下、歩行の停止、激しく体を動かす防衛行動、グルーミング等からなり、これらの行動によって寄生を回避していると考えられた。こちらの知見に基づき、音を利用してガ類幼虫の寄生回避行動を解発し、摂食等の行動を阻害することが可能になる。

## 参考文献

- (1) Byer, J.A. *J. Anim. Ecol.* **2006**, 75, 399-407.
- (2) Tamaki, Y.; Noguchi, H.; Yushima, T.; Hirano, C. *Appl. Entomol. Zool.* **1971**, 6, 139-141.
- (3) Djemai, I.; Casas, J.; Magal, C. *Proc. R. Soc. Lond.* **2001**, 268, 2403-2408.
- (4) 高梨琢磨, 北島博, 喜友名朝次, 土原和子, 第 57 回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集, **2013**, 85

所属班：B01-4 班

所属機関：室蘭工業大学

氏名：岩佐 達郎

所属機関住所：〒050-8585 室蘭市水元町 2 7-1

e-mail：iwosat@mmm.muroran-it.ac.jp

研究キーワード：匂い分子結合タンパク質、リポカリン、  
バイオセンサー、FET



## 生体機能指向性エレクトリックノーズの作製

### Development of Bio-Inspired Electric Nose

ヒトは1万種類以上の「匂い」を識別できると言われている。ヒトの嗅神経細胞にある嗅覚受容体は G タンパク質共役受容体に属するタンパク質群であり、ヒトでは 347 種類の遺伝子群からなることが明らかにされた。つまりヒトは 347 種類の受容体タンパク質によって1万種類以上の匂いを区別していることになる。現在、一つの嗅神経細胞は一種類の嗅覚受容体遺伝子を発現していることが明らかになっている。また、一種類の受容体タンパク質は特定の種類化学物質を結合するのではなく、いくつかの化学物質を異なる親和性で結合できること、および、ある種類化学物質は複数種類の受容体タンパク質に異なる親和性で結合できることが分かっている。そこで、限られた数の受容体タンパク質によって圧倒的多数の匂い（化学物質）を区別することができることを説明するために「嗅覚受容体による匂いコードモデル」が提出されている（Fig. 1）。ヒトは嗅覚受容体からの出力パターンを認識し、それを特定の「匂い」と結びつけて化学物質を認識する「匂い感覚」システムを持っていると言える。そこで、我々は多様な化学物質（匂い）を嗅ぎ分ける、ヒトの嗅覚に倣った「生体機能指向性エレクトリックノーズ」の作製を目的とする。

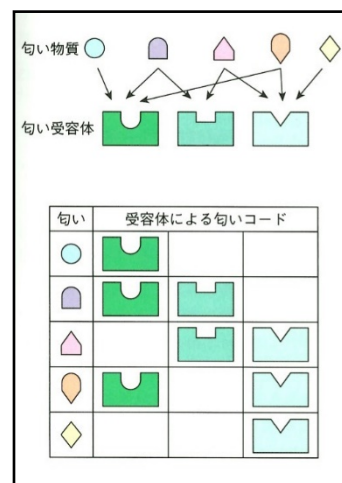


Fig. 1 Olfactory coding by odorant receptors.

(東原、細胞工学、21、2002)

1) センサー素子の作製：我々は両生類のイモリ嗅上皮特異的に発現する2種類の遺伝子（*Cp-lip1*、*-lip2*）を見いだした。これらの遺伝子はリポカリン・ファミリータンパク質をコードし、ラットの「匂い分子結合タンパク質」と高い相同性を示した。リポカリン・ファミリータンパク質は特徴的なβバレル構造を持ち、その内腔に種々の疎水性低分子を結合す

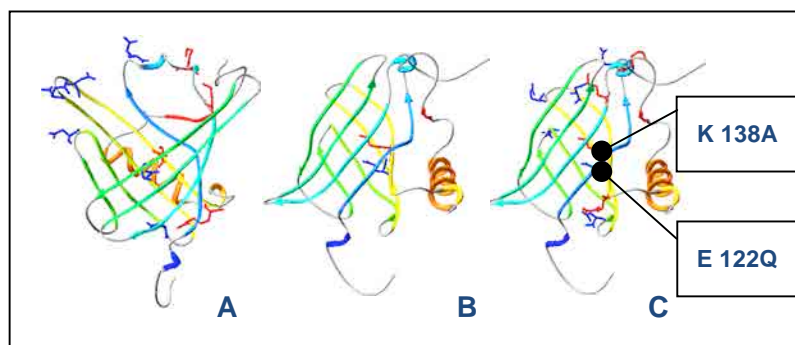


Fig. 2 Tertiary structure model of Cp-lip1 (A and B) and the position of mutated amino acids (C).

る。また、その結晶構造が明らかになっている分子も多い。この2種のリポカリンタンパク質 (Cp-lip1、-lip2) が複数の化学物質を強く結合すること、両タンパク質はアミノ酸で 44.0 %の相同性を示すが、それらの化学物質結合特性が異なることを明らかにしてきた<sup>(1-3)</sup>。Cp-lip1、-lip2の両タ

ンパク質の化学物質結合特性が異なることから、それらのタンパク質の化学物質との結合に関与すると思われるアミノ酸を改変し、新たな化学物質結合特性を持つ Cp-lip 変異体を作製して、「タンパク質匂いセンサー素子」として利用することを考えた。我々は既に Cp-lip1 に 1 アミノ酸変異を加え、化学物質結合特性の異なる変異体を作製できることを報告した<sup>(4)</sup>。2) 作製された「タンパク質匂いセンサー素子」を用いて触媒ナノゲート電極電界効果トランジスタ (FET) を作製し、これを集積化したセンサーデバイス、「生体機能指向型エレクトリックノーズ」を作製する：FETセンサーのゲート電極として単結晶金薄膜を用い、電極表面に直接「タンパク質匂いセンサー素子」を付着させ、化学物質結合に伴う僅かな電位変化を検知することを特徴とする。センサーは増幅作用を有しており、それゆえ検出感度が著しく向上するとともに、従来のバイオセンサーにおけるドリフトや不安定性も回避できると考えている。作製したFETを1チップ上に複数個配列し、集積化して用いる。それぞれのFETは異なる化学物質結合能を有する「タンパク質匂いセンサー素子」を持つので、複雑な分子構造を有する分子に対し、個々のFETが異なる応答を示すことが期待され、化学物質 (匂い) の識別能力 (信号処理パターン) が飛躍的に向上した「生体機能指向型エレクトリックノーズ」として機能することが期待される。

## 参考文献

- (1) Iwasa, T. *et al.*, *Jpn. J. Taste Smell Res.*, **2008a**, *15*, 211-220.
- (2) Iwasa, T. *et al.*, *Jpn. J. Taste Smell Res.*, **2008b**, *15*, 587-590.
- (3) Takahashi, T. *et al.*, *Jpn. J. Taste Smell Res.*, **2010**, *17*, 417-420.
- (4) Sugiura, Y. *et al.*, *Jpn. J. Taste Smell Res.*, **2012**, *19*, 429-430.



所属班：生物規範階層ダイナミクス班

所属機関：独立行政法人 物質・材料研究機構

氏名：細田奈麻絵

所属機関住所：〒305-0044茨城県つくば市並木1-1

e-mail：Hosoda.Naoe@nims.go.jp

研究キーワード：エレクトロニクス実装、昆虫、可逆的接合、DNA、ハイブリッド皮膜



## B01-3 生物規範階層ダイナミクス班 平成24年度成果報告

### Report of B01-3 group in 2012

本研究は、生物のサブセルラー・サイズ構造の階層性に起因する動的特性（表面特性・界面特性・内部構造特性）を材料科学・分子科学の視点から解明し、生物の多様な機能（昆虫の足の可逆的接着性、カタツムリや蓮の葉のセルフクリーニング現象、自己増幅・自己複製修復機能、等）を規範として、新しいエレクトロニクス実装（可逆的接合、セルフアライメント技術、防汚／防錆性付与による長寿命化、微細結線）などを目的としている。具体的には、(1)固体間界面（摩擦、接着、非着）：可逆接合技術、セルフアライメント等の要素技術、(2)表面（動的なぬれ性）：自己修復、防汚／防錆性、はっ水・はっ油性付与等の要素技術、(3)内部構造（動的な組織体形成）：キラリティーを活用した精緻な三次構造制御に基づく高度機能材料の創製等の要素技術を開発し、これにより、分子から接合までサブセルラー効果に着目した、階層的バイオミメティクスを創成する。

[本年度の成果]

1)昆虫（ハムシ）の接着性剛毛の形状と生態関係の調査から、ハムシが気泡を利用して水中を歩行できることを世界で初めて発見した。また、気泡に対する剛毛の役割を明らかにし水中接着機構の開発に成功した。



図1 水中を歩行するハムシ。

2)毛状構造ならびに接合用の対向基板に用いる可能性のある材料（PDMS, ガラス, 銅, チタンなど）について、大気圧雰囲気中で親水性 架橋分子層を形成するための表面処理プロセスを開発し、平面基板を用いて初期的な接合実験を行った。その結果に基づき、実際の毛状構造を接合するための装置を設計した。

3)（層状）ハイブリッド皮膜の作製手法の確立を目指し研究を実施した。無機酸化物の原料



として、シリコンアルコキシドの他に、ジルコニウムのアルコキシド、構造規定剤として鎖長の異なるカルボン酸を用いて透明な前駆溶液を調製した。当該溶液をガラス基板の上にスピコートし、加熱処理することで透明性に優れた層状ハイブリッド皮膜を作製することに成功した。この層状ブリッド皮膜表面はアルカン（油）に対し、優れた滑落性と温度応答性を示すことが明らかとなった。

4)可逆的接合やセルフアライメント機能を有する新しいエレクトロニクス実装技術の基盤となる DNA ハイブリダイゼーション

に基づく微細結線達成を実現し得る新規人工核酸の設計と合成に取り組み、本経費で購入したカロリメーターも活用し、基盤上での相補的塩基対形成に基づくセルフアライメントに関する基礎的知見、さらには微細結線を実現し得る電導性官能基を導入した人工核酸モノマーユニットの合成と基礎的物性測定に成功した。また、DNA を鋳型にしたナノワイヤーの形成に向けて、金属ナノ粒子の集合制御、導電性ポリマーの鋳型重合、プラチナのナノ無電解メッキ等の基礎的な研究成果を得た。

[発表論文]

- (1) N. Hosoda, S. N. Gorb, Proc. Royal Soci. B, 2012, 279, 1745, 4236-4242.
- (2) C. Urata, B. Mashedere, D. F. Cheng, A. Hozumi, Langmuir, 2012, 28, 17681-17689.
- (3) C. Urata, B. Mashedere, D. F. Cheng, A. Hozumi, Chem. Commu., 2013, 49, 3318-3320.
- (4) B. Mashedere, C. Urata, D. F. Cheng, A. Hozumi, ACS Appl. Mater. Interface., 2013, 5, 154-163.
- (5) J. Park, C. Urata, B. Mashedere, D. F. Cheng, A. Hozumi, Green Chem., 2013, 15, 100-104.
- (6) K. Niikura, N. Sugimura, Y. Musashi, S. Mikuni, Y. Matsuo, S. Kobayashi, K. Nagakawa, S. Takahara, C. Takeuchi, H. Sawa, M. Kinjo, K. Ijiri, Mol. BioSyst., 2013, 9, 501-507.
- (7) 三友秀之, 島本直伸, 居城邦治, 表面技術, 2013, 64, 1, 9-14
- (8) 重藤暁津, 表面実装技術, 2012, 8, 60-65.
- (9) 浦田千尋, ベンジャミン マンシェダー, ダルトン フレドリック チェン, 穂積篤, 表面技術, 2013, 64, 1, 21-25.

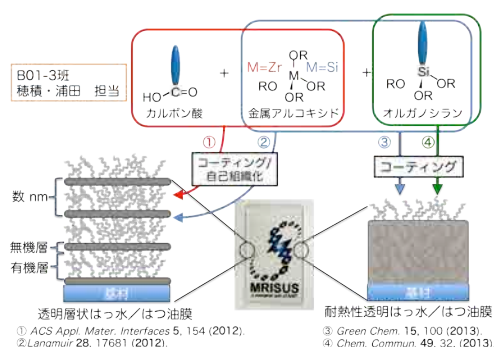


図2 カルボン酸やオルガノシランを各種金属アルコキシドと混合し、SiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub>系透明層状はっ水／はっ油膜、耐熱性透明はっ水／はっ油膜の作製に成功した。

所属班：B01-3 班

所属機関：独立行政法人物質・材料研究機構

氏名：重藤 暁津

所属機関住所：〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1

e-mail：shigetou.akitsu@nims.go.jp

研究キーワード：接合、低環境負荷、ハイブリッド化



## 低温大気圧で実行可能な有機/無機材料のハイブリッド接合

### Hybrid Bonding Technology at Low Temperature and Atmospheric Pressure

本研究は、生物模倣技術により創製された新しい材料を、簡易な手法を用いて従来の電子回路と高度に複合化（アセンブリ）することで、小型軽量で多機能な新しいデバイスを開発することを指向している。具体的には、異種材料を低温大気圧（100 – 150°C程度）で一括接続するために、低環境負荷で汎用性のある架橋分子層を配線金属材料・ガラス系材料・各種ポリマー基板材料表面に形成する。

電子回路側の代表的な材料として Cu、SiO<sub>2</sub>、石英、ポリイミド、ポリジメチルシロキサンなどを採り上げると、これらの材料表面の化学的結合状態を簡易なパラメタで制御し、良好な吸着力と導電性（Cu-Cu 界面において）を有する架橋分子層の形成が不可欠である。そのため、現在まで水蒸気露出を用いた表面改質手法（vapor-assisted method）を提案してきた<sup>[1]</sup>。この手法では、材料の清浄表面に水分子が吸着することで生成する化合物や親水性官能基間の引力と、表面を接触させた後の加熱（150°C以下）で促進される脱水縮合反応により、強固で安定した界面が得られる。

vapor-assisted 接合プロセスの概略は以下の通りである。まず初期表面の汚染物分子層を Ar 高速原子ビームで除去した後、清浄化された表面を大気圧窒素雰囲気中にて純水蒸気に露出する（600 s）。この過程で形成された架橋分子層を介して大気圧窒素雰囲気中で試料表面をタッチダウンさせ、ただちに 150°Cまで加熱する（600 s）。接合装置はこれらの手順を実行するためのチャンバが複数連結されており、試料表面を外気に暴露することなく界面形成過程の観察が可能である。水蒸気露出前後での材料表面の結合状態変化を調査するために、接合装置には X 線光電子分光計（以下 XPS）やオージェ電子分光計も接続されている。これにより、各材料表面に対する水分子の吸着挙動と架橋分子層厚が、体積あたりの水分量（単

位時間・単位面積に入射する水分子数に比例) をパラメタとして一意に制御可能であることが確認されている。架橋分子層内への各材料の体拡散が十分になされる架橋分子層厚をもとに水分量を最適化し (8 g / m<sup>3</sup>)、Cu、SiO<sub>2</sub>、ポリイミドの同種・異種を問わない接合を単一プロセス条件で実現した事例を Fig. 1 に示す。各材料表面はアモルファス状の架橋分子層を介して密着し、電子顕微鏡写真で視認可能なボイドは存在しない。Cu - Cu 界面では 4 um・cm 程度の良好な導電性が得られることが判明した。

しかし、この手法では材料初期表面の改質に高真空中でのビーム衝撃を使用したため、接合プロセス全体の大気圧化が課題である。過去の検討から、金属自然酸化物などについては、完全な除去がなされなくても接合性が得られることが実証されている<sup>[2, 3]</sup>ため、先述のビームプロセスに代わる新しい手法が求められている。

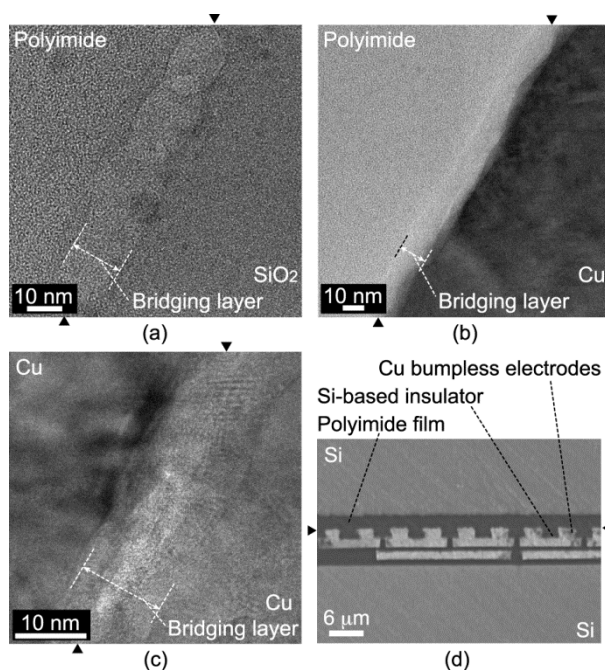


Fig. 1. TEM images of bond interfaces between (a) polyimide and SiO<sub>2</sub>、(b) polyimide and Cu、(c) Cu and Cu、 and (d) a Cu bumpless structure

## 参考文献

- (1) Shigetou, A.; Suga, T. *J. Electronic Materials.* **2012**, *41*, 2273-2280.
- (2) Unami N. et. al., *Proc. MATE 2012*; pp. 399 – 402, 2012.
- (3) Shigetou A.; Suga T, *J. Appl. Phys. Exp.* **2009**, *2*, 56501-1 – 3.

所属班：B01-2班

所属機関：浜松医科大学・医学部・生物学

氏名：針山孝彦

所属機関住所：〒431-3192 浜松市東区半田山1-20-1

e-mail：hariyama@hama-med.ac.jp

研究キーワード：光，構造，自己組織化，視覚，クチクラ形成



## 生物の光学的表面構造の創製

### Development of Optical Materials based on the Biological Surface

構造色など，生物表面がもつ構造を規範とした素材開発は，バイオミメティクス研究の代表例の一つとして世界的にも注目を浴びている。ところが生物自身を精密に再現しようとするとき，生物素材高分子で工学的に機能実現することはできず，昆虫クチクラの形成過程のような分泌物の自己組織的な集合を生産過程に組み込むことはできず，そして人工的に生産した素材で生物の行動をコントロールする実験などによって，人工的に作った構造色フィルムがもつ機能を生物にフィードバック研究をしている報告も皆無の状態といえる。

本研究班(B01-2班)では，生物表面がもつ構造と機能および形成プロセスを規範として，光学的表面構造の創製を目指している。特に，生物表面がもつ「サブセルラーサイズ効果と形成プロセス」を解明し利用することを目指し，班の研究者構成を数学・物理・化学・工学・生物といった異分野連携を効率よく実現する。平成24年度には，昆虫などの生物表面で興味深い構造が発見できた。

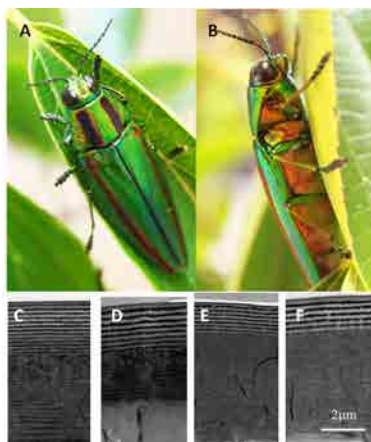


Fig. 1 Structure of epicuticle



Fig.2 Structural color for the intra-species communication

昆虫のクチクラは endocuticle, exocuticle, epicuticle の3つの層からなっており、これらの層が発色に関わっていることが知られている。例えば、ヤマトタマムシでは、最外層の epicuticle の多層膜構造 (Fig.1) が構造色として機能し、この色が種内コミュニケーションの信号として機能している (Fig.2) が、タマムシの表面構造を模倣し反射スペクトルが一致する人工フィルムを作り、野外で提示しても同種を誘引することはできなかった。しかし、人工フィルムにタマムシがもつサブセルラーサイズの構造を付加することで、タマムシを人工フィルムによって誘引することに初めて成功した。また、タマムシの最表面は凹凸構造が観察され、その機能は鞘翅の強度を上げるものであると考えられていたが、コロイド粒子が規則配列したオパール薄膜を湾曲させ凹凸構造をホットエンボス加工によって鞘翅を模倣することによって反射特性にその構造が寄与していることがわかり、初の班員全員の名前の入った論文となった<sup>(1)</sup>。

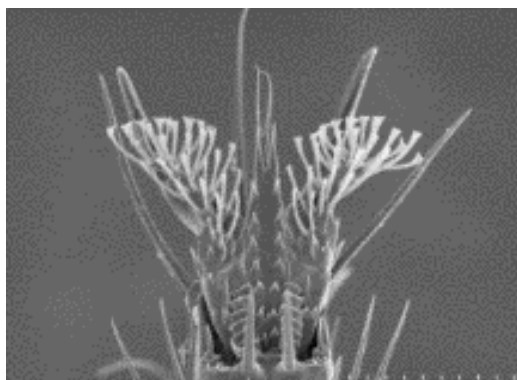


Fig.3 Scanning electron micrograph of tip of *Drosophila* leg

一方、形成プロセスの研究に用いているショウジョウバエの脚や複眼の部位で、細胞内骨格のアクチンフィラメントが形態形成に重要な役割を果たしていることがわかり発生学上の時間軸の中での観察に成功した。

今後は、こちらの知見に基づき、光を利用している生物を規範として多様な構造と機能を利用できるようにし、また生産プロセスの模倣を可能にする。

参考文献：

(1) 不動寺浩, 針山孝彦, 山濱由美, 吉岡伸也, 石井大祐, 木村賢一, 久保英夫, 下村政嗣, 魚津吉弘, 高分子論文集, 70, 5, 227-231 (2013)



所属班：B01-2班

所属機関：大阪大学生命機能研究科

氏名：吉岡 伸也

所属機関住所：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘1-3

e-mail：syoshi@fbs.osaka-u.ac.jp

研究キーワード：構造色、不規則性、規則性



## 不規則に見える多層膜を利用したシジミチョウの構造色

### Structural color of a Lycaenid butterfly utilizing a multilayer structure that looks irregular

構造色は光の干渉によって生み出されるから、例えば特定の波長を反射する光学材料をデザインするときには、周期的な微細構造をまず始めに検討するだろう。構造の空間的周期は干渉が起きる波長と直接結びつくからである。しかし、生物の構造色は単純ではない。シジミチョウの仲間には、周期的でない構造を利用して鮮やかな色を生み出している種類がいる。一見、不規則のように見える多層膜構造は、どのような具合に光を干渉させているのだろうか？また、どのような設計の原理があるのだろうか。

対象としたのは、鮮やかな黄緑色の翅をもつアイノミドリシジミ (*Chrysozephyrus brilliantinus*) である。このチョウの翅を光学顕微鏡で観察すると、湾曲した鱗粉が配列し、それぞれが強い輝きを放っている様子が観察できる(Fig.1)。さらに、透過電子顕微鏡を用いて鱗粉断面を観察すると、クチクラの膜が重なった多層膜構造が観察できる。多層膜構造は、構造色を生み出す物理的な原因として広く知られているが、このチョウの特徴は、クチクラ層や隙間が一定でないところにある。観測された膜構造には穴や凸凹などの乱れはあるが、

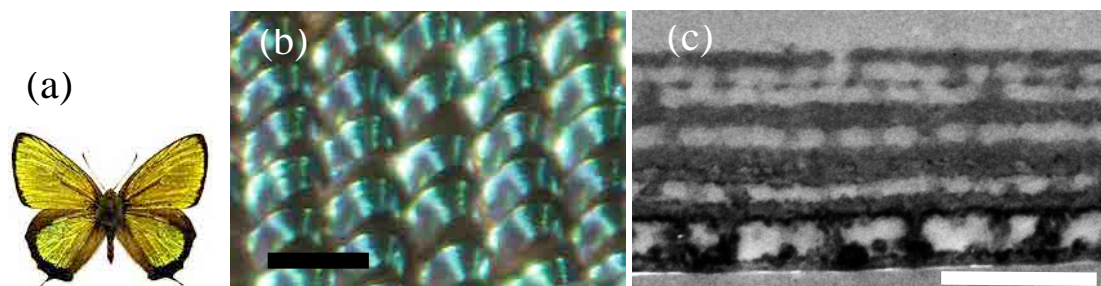


Fig.1 (a) A lycaenid butterfly, *Chrysozephyrus brilliantinus*. (b) Scale arrangement on the wing. Scale bar: 100 $\mu$ m. (c) A TEM micrograph of the cross section of the scale. Scale bar: 500 nm

ここでは有効屈折率をもった多層膜構造として近似し、各層の光学距離を画像解析によって計算した(Fig. 2a)。その結果、光学距離が最も厚い層と薄い層では3倍程度の差があることが分かった。これは、全ての層が同じ光学距離を持ち、その結果として高い反射率を示す quarter wave stack と呼ばれる多層膜デザインとは対照的な構造である。Fig. 2(a)に示す各層の厚さに基づいて反射スペクトルを計算した結果を Fig. 2b の黒線に示す。その結果は、実験から得られた 550nm 付近の反射ピーク、そして紫外線領域にある反射ピークを良く再現している。したがって、発色の物理機構そのものは、周期的でない多層膜構造による干渉として結論できる。各界面から反射される光の位相に注目して解析を行うと、550nm のピークは多層膜構造の深い部分が、紫外線領域のピークは浅い部分が主として強めあう干渉に寄与していることが分かった。

B01-2 班の研究目標の一つは、不規則性を持つ生物の微細構造が、どのようにしてロバストに機能を発揮するのか、その仕組みを理解することである。アイノミドリシジミの場合には、一見不規則に見える多層膜構造は、実は不規則なのではなく、緑と紫外の波長において反射率が高くなるようにデザインされていると言うべきだろう。しかし、一体どのような設計原理に基づけば、このチョウの多層膜構造にたどりつくのだろうか。例えば、周期が異なる二つの多層膜構造を単純に重ねた構造を考えても、反射スペクトルを再現することはできないことがわかっている。自然界の生物が持つ構造色は、光学設計に関する新たな問題を投げかけている。

## 参考文献

(1) Yoshioka, S.; Shimizu, Y; Kinoshita, S.; Matsuhana, B.; *Bioinspiration & Biomimetics*, **2013**, in press.

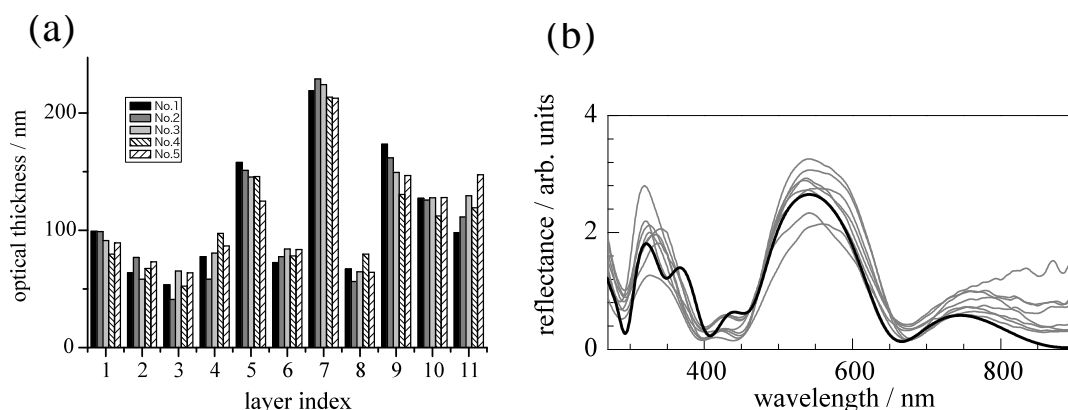


Fig.2 (a) Optical thicknesses of the multilayer system found in the cover scale of *C. brilliantinus*. The results of the analysis of five electron micrographs are shown as five types of bars with different textures. (b) Reflectance spectra. Experimentally determined spectra (gray curves) of eight different single scales and the average of five theoretical spectra (black curve).



所属班：B01-1班

所属機関：独立行政法人 産業技術総合研究所

氏名：大園 拓哉

所属機関住所：〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1

e-mail：ohzono-takuya@aist.go.jp

研究キーワード：トライボロジー、表面凹凸構造、ゲル、構造可変、



## B01-1 班 H24 報告と H25 計画:やわらかい微細構造作製とそのトライボロジー評価

### Fabrication of soft microstructures and their tribological tests: FY24 (Reports) and FY25 (Targets)

当 B01-1 班（生物規範界面デザイン）の長期目標概略は以下である。生物の「動き」とその「制御」には、生物表面と環境の界面が重要であるが、その界面作用として、変形能を有する界面凹凸形状と液体に濡れた（ウェット）界面に着目し、やわらかく変形可能な生物界面に見られる防汚機能、摩擦特性制御、吸着脱離機能のメカニズムを、人工系を構築することで解明する。

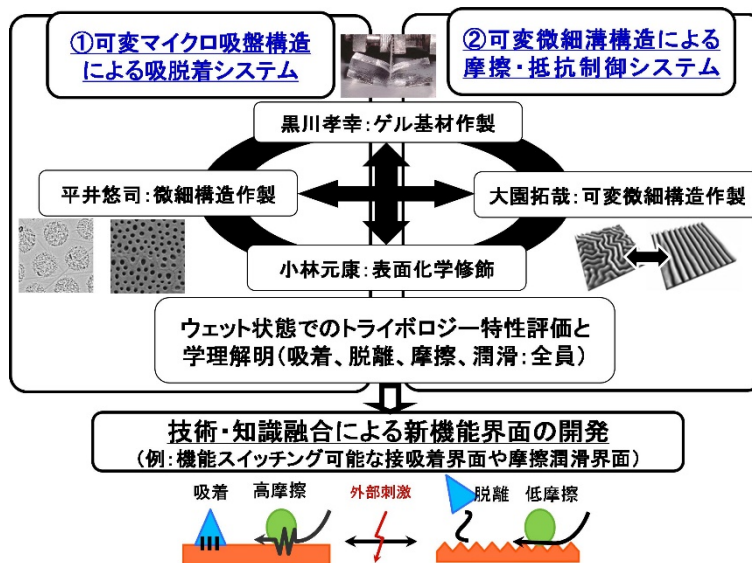


Fig.1 Summary of research proposal of B01-1 team.

その結果、新しい摩擦制御界面システムや吸着脱離システムを開発する（図1）。

この長期目標に向け、初年度であるH24年度の計画は、弾性体やそのウェットマテリアルの表面において、微細構造の作製とその表面の化学修飾法の調査であり、その成果概略を以下に示す。①弾性体としてシリコーンゴム上に、トライボロジーテストにおいて重要であると考える比較的大きな周期の表面座屈構造（リンクル）の作製に成功した。この構造は応力で凹凸構造の有無を可逆的に制御できるため、派生的な応用として光拡散機能を評価しスイッチング可能な光拡散装置として利用できることが分かった<sup>(1)</sup>。（図2、国際論文誌の内

表紙に採用) この構造について現在トライボロジー試験を始めている(大園、鈴木)。②自己組織化高分子微細突起構造を柔らかいゲル上に固定、ゲルを圧縮することで、マイクロスケールの突起構造とサブミリスケールのリンクル構造が合わさった階層構造が形成されることを見出し、この構造において水滴の動的濡れ性にも異方性が生じることを見出している(平井)。③均一な凹凸構造を有するハイドロゲルの作成法を検討した。ゲル合成時に鋳型微細凹凸構造をシリコン表面に形成し、その形状を水ガラスへ転写することで目的のガラス基板を作成した。このガラス鋳型を用いて作成したゲルは、規則的な凹凸を有し、特徴的な表面構造を有するゲルの摩擦特性を評価することが可能となった(黒川、グン)。④水潤滑を発現する機能性分子として、側鎖にオリゴ糖を結合したビニルモノマーを合成した。これを表面開始重合に用いることで親水性ポリマーブラシの調製を試みた(小林)。また、上記以外の研究<sup>(2-4)</sup>も含めその遂行に当り、班内外との連携も強めることができた。

H25年度は主に、作製した構造に対し、より積極的にトライボロジー評価とその構造・可変性の相関を調査する予定である。その際、他班、公募班との議論連携も行う。また、生物や自然における可変構造の観察(フィールドワーク等による採集作業も含め)などを通じ、実用機能へのデザインへ向けて理解を深める活動も積極的に行う予定である。

## 参考文献

- (1) Ohzono, T.; Suzuki, K.; Yamaguchi, T.; Fukuda, N. *Adv. Opt. Mater.* **2013**, *1*, 374.
- (2) 平井悠司, 藪浩, 海道昌孝, 鈴木厚, 下村政嗣 *表面技術* **2013**, *64*, 38
- (3) 高原淳, 小林元康 *表面技術* **2013**, *64*, 15
- (4) 大園拓哉 *表面技術* **2013**, *64*, 34

## 謝辞

本研究の一部は、MEXT/JSPS KAKENHI Grant Number 24120003の助成に基づき行われた。

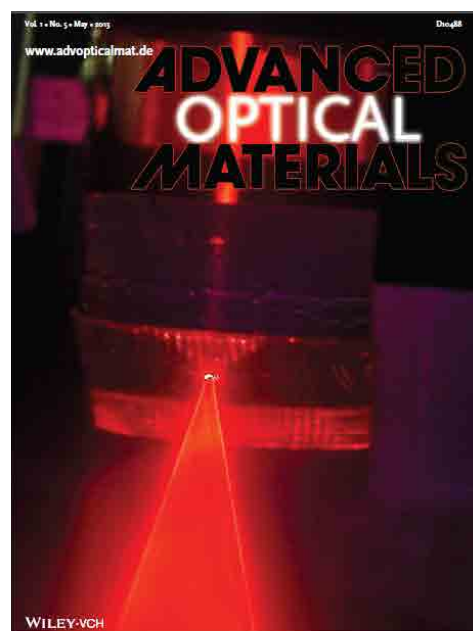


Fig.2 Tunable optical diffuser based on deformable wrinkles. The optical path of the diffused laser beam transmitted through shape-tunable wrinkles with a periodicity in the range of hundreds of micrometers is visualized.

所属班：B01-1

所属機関：東北大学原子分子材料科学高等研究機構

氏名：室崎 喬之

所属機関住所：〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平  
2-1-1

e-mail：murosaki@wpi-aimr.tohoku.ac.jp

研究キーワード：自己組織化、表面微細構造、高分子、  
海洋付着生物、防汚



## 自己組織化表面微細構造を用いたフジツボに対する防汚微細構造 表面の作製

### Self-assembled antifouling microstructured surfaces against barnacles

フジツボに代表される海洋付着生物は海中人工物に対し深刻な汚損被害をもたらしている。有機スズ系塗料は高い防汚効果を示す一方、海洋生物に対する内分泌物質かく乱作用が明らかとなり、近年使用が禁止された。その為、新たな低環境負荷防汚材料が必要とされている。近年、生物表面の幾何的性質に着想を得た微細構造表面加工による防汚技術が研究・開発されてきており、バクテリアや藻類に対し抗付着効果を示す事が明らかとなってきている<sup>1)</sup>。しかし既存のエッチングやフォトリソグラフィ等によるトップダウン型の表面微細加工技術はコストが高く、また複雑な作製プロセスを必要とする。

近年、下村らは水滴を鋳型とした自己組織化ハニカムフィルムの作製に成功した<sup>2)</sup>。これは溶媒蒸発時の結露で生じた微小水滴が自己組織化的に規則配列する現象を利用したもので

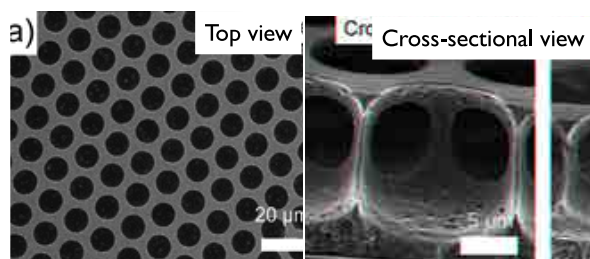


Fig.1 SEM image of self-assembled  
honeycomb-structured porous film



Fig.2 Barnacle's cyprid larva  
Body size is about 500μm

あり、規則配列した水滴を鋳型とすることで口径が数 $\mu\text{m}$ ~数十 $\mu\text{m}$ の細孔がハチの巣状に二次元に配置された構造をもつ多孔質のフィルムが得られる (Fig.1)。この多孔質体をベースにピラー構造など様々な構造を持つ表面の作製が可能となっている。

本研究では、モデル海洋付着生物としてタテジマフジツボ (*Amphibalanus amphitrite*) を用い、自己組織化表面微細構造のサイズと幾何的性質がフジツボ付着期幼生 (キプリス幼生) (Fig.2) の着生に与える影響について調べた。

実験室内で飼育している成体フジツボよりキプリス幼生を得、着生実験を行った。Fig.3 に各構造表面に対する3日後の規格化着生数を示す。ピラー構造の場合、コントロールであるフラットなPS表面と比べ防汚効果は認められなかった。一方、ハニカム構造上では他構造上に比べキプリス幼生の着生が少なく防汚効果が認められた。またハニカム構造の孔径が増大するに従ってキプリス幼生の着生が減少する傾向が見られた。

ハニカム構造がキプリス幼生に対し抗付着効果を示すメカニズムを解明する為、キプリス幼生が着生の前段階に取る「探索行動」を動態追跡による解析を行った。Fig.4 に着生実験開始から10時間におけるキプリス幼生の全探索行動の軌跡を示す。これより、ハニカム表面における探索行動の軌跡が他の基板に比べ少ない事が明らかとなった。また、移動距離について調べた結果、ハニカム構造上では他の基板に比べ距離が1/2~1/10程度と短く、キプリス幼生探索行動の“Walking”行動を阻害する事が防汚効果に重要である事が示唆された。

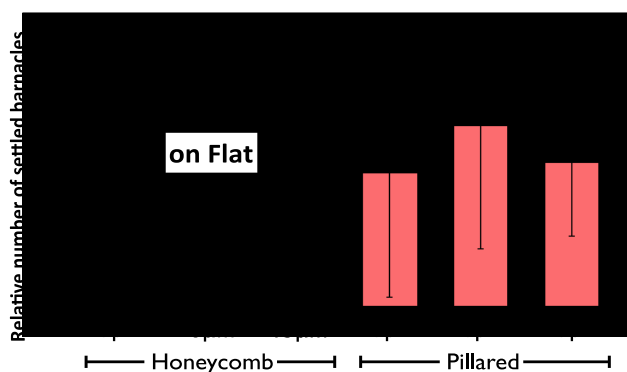


Fig.3 Antifouling effect of surface microstructures and sizes

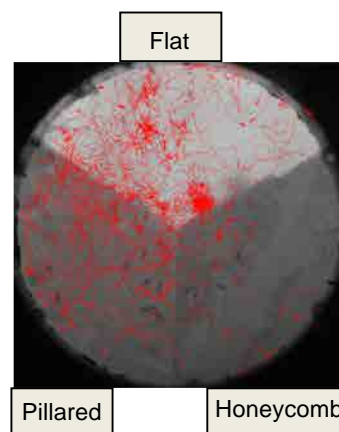


Fig.4 All of the exploring cyprid's tracks during the initial 10 hours.

## 参考文献

- (1) James F. Schumacher *et al.*, *Biofouling*, 23, 1, 55-62, (2007).
- (2) H. Yabu, and M. Shimomura, *Chem. Mater.*, 17, 5231 (2005).



所属班：A01班

所属機関：国立科学博物館動物研究部

氏名：野村周平

所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1

e-mail：nomura@kahaku.go.jp

研究キーワード：昆虫学、生物多様性、インベントリー、  
微細構造、SEM



## バイオミメティクス・データベースの構築を目指して Aim to Construct a Biomimetics Database

### 1. 昨年度の研究実績概要

国立科学博物館においては、昆虫と魚類の観察、写真撮影のためのデジタルマイクロスコープシステム（キーエンス社製）を購入した。昆虫担当の野村班では17サンプル、539枚の画像を撮影した。魚類担当の篠原班（篠原、松浦）ではサメ類を中心に魚類24科35種の体表面構造の探索を行い、SEM画像およびデジタルマイクロスコープ画像合計1,191枚を撮影し、同時にテキストデータも構築した。2012年9月17日、玉川大学にて開催された日本昆虫学会大会で関連のシンポジウムを開催し、野村が基調講演を行った。篠原班では領域内の他（B01）班と共同で、駿河湾において深海性魚類の採集、標本作成の実習を行った。次年度以降も実施予定。

鳥類担当の山崎班（山崎、上田、松原）では鳥の羽毛がもつ特徴的な形質に着目して、SEM観察を行った。防水・撥水性、構造色さらに独特の色彩様式を持つトキに注目して、7種9個体について97画像を作製した。また、学会発表と、色彩について扱った出版による普及啓発活動を行った。

データベースの構築を担当する溝口班（溝口、來村、古崎）では、材料研究者が求める機能、生物の生態環境、構造、行動など、生物学・工学の双方の知識を横断した様々な観点から検索可能なデータベースを実現する為のバイオミメティックオントロジーの基本設計を行った。また、外部に公開されている知識源と連携したより広範囲な検索を実現するために、Linked Data技術に対応したデータベースシステムを導入し、本研究課題で利用可能な既存データの情報収集を行った。

主に画像解析を担当する長谷山班では、より幅広い生物群への適用を可能とするバイオミメティクスデータベースシステムの組み上げを行った。また、本データベースにおいて、極めて異質なデータ同士の統合を可能とするための理論構築を行い、得られた成果に基づいてシステムへの実装を進めた。

### 2. 今年度の研究計画

本年度は昨年度に引きつづき、昆虫類・鳥類・魚類の各担当研究者は、博物館等に保管されている学術研究標本を活用して、走査電子顕微鏡（SEM）画像、X線画像、マルチスペクトル画像などの収集を進める。あわせて各構造に関する機能や、対象生物群の生息環境、系統関係等の生物学的情報をまとめたテキストデータを作成する。これにより、本データベースに収蔵するデータの拡充、充実を図る。同様のデータ作成はこれまで科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業の一環として、一部の昆虫について行われてきた。しかし本研究では、昆虫、鳥類、魚類のより幅広い生物群への適用を目指す。

一方、情報科学担当研究者は、生物系担当者が収集したデータをもとにシステムの組み上げを開始し、データベースの試験運用を目指す。本データベースの構築は、オントロジーと組み合わせることで、極めて異質なデータ同士の統合を可能にする。このようなデータ統合理論の形成は、上記事業においても実施されていないだけでなく、世界的にも独創的かつ挑戦的であり、バイオミメティクス研究の振興に必要なテーマととらえている。さらにB、Cの各班が実施した研究の成果を統合できるしくみを設計することによって、領域研究全体の成果を集約・統合化したデータベースへの発展を企図する。

### 3. 今年度から始まる実験的取り組み

今年度、上に述べたように、生物系の担当者は、SEM画像を中心としてさらなる画像データ、テキストデータの収集を進め、データベースに格納する情報の一層の拡充を進める予定である。さらにそれに加えて、バイオミメティクスに資すると思われる以下のような情報の取り込みについて、実験的な取り組みを開始した。

#### 1) SEM以外のカラー画像およびSEM画像とカラー画像との合成

昨年度国立科学博物館で購入したキーエンス社製のデジタルマイクروسコープシステムでは、SEM画像以外に、同じ資料の同じアングルでのカラー画像を取り込むことができる、またそれと同じアングルのSEM画像との合成画像を作成することも可能である。これをバイオミメティクス・データベースに生かせないか。

#### 2) 断面画像

野村班では、これまで非常に難しかった昆虫の硬い部分の切片を作り、断面画像を撮影する方法を開発しつつある。これはこれまで解析の難しかった部位の明瞭な解析を可能にする。このような断面画像をデータベースに生かせないか。

#### 3) 人工物SEM画像と生物画像との比較

本領域では様々な人工物のSEM画像が様々な関係者によって撮影されるが、それと同様な機能を持つ生物表面のSEM画像とを直接比較できないか？人工物の画像をクエリとしてバイオミメティクス・データベースで検索すれば、自然界に存在する同様の構造／機能を探索することが可能である。

所属班：A01

所属機関：(公財)山階鳥類研究所

氏名：山崎剛史

所属機関住所：〒270-1145千葉県我孫子市高野山115

e-mail：yamasaki@yamashina.or.jp

研究キーワード： トキ・羽毛・羽色・化粧行動



## トキ *Nipponia nippon* の化粧行動 Cosmetic Behavior in the Crested Ibis *Nipponia nippon*

鳥類の特徴の一つは他の生物と比較してきわめて多様な色彩をもつことである。その機能は雄から雌への繁殖のためのアピールであったり、雄同士の闘争におけるシグナルであったり、敵から身を守るための保護色であったり、様々である。このように鳥類はきらびやかで多様な色彩を誇る生き物なのだが、その発色のメカニズムについて見た場合、それは極めて一様である。羽毛の内部にカロチノイドやメラニンといったわずかな種類の色素を埋め込むか、羽毛の内部や表面の微細構造によって色を出すか（構造色）、これらのいずれかによることがほとんどである。このほか、きわめて例外的な発色メカニズムとして、着色が知られている。一部の鳥種では、羽衣の表面に色を塗ることで、羽毛本来の色彩とは異なる外観を作り出すことが行われているのである。水浴びや羽繕いを頻繁に行い、常に羽毛の表面を清潔に保つことに熱心な鳥類において、わざわざ羽衣の表面に異物を塗布するというこの化粧行動は、かなり奇異なものであると言えよう。

世界的にもめずらしい特殊な着色を行う鳥種としてトキ *Nipponia nippon* を挙げるができる。本種は環境汚染や乱獲により、ここ 100 年ほどの間に激減し、我が国では野生絶滅にまで至ってしまった。佐渡島において長らく飼育・増殖事業が進められており、数年前より、飼育個体の野外への放鳥が実施されている。その成果として野生下で雛が誕生したことはニュース等でも頻繁にとりあげられ、記憶に新しい。

トキは全身が白色の羽毛に覆われた鳥であるが、繁殖期になると朱鷺色と呼ばれる独特のオレンジ味のある色彩を発するようになる。また、同時に頭部から背面にかけて灰色を呈するのだが、実はこの灰色が着色によって発色している色彩である。トキは繁殖期になると頭部付近の皮膚より分泌される黒色の物質（メラニンの顆粒）を、首から背面にかけて塗り付ける化粧行動を行うのである。このような特殊な分泌線を頭部に持つ鳥は世界でもトキのほかには知られていない。我々は SEM を用い、この特殊な発色機構の細部の観察を進めている。



トキの試料の観察を進めた結果として、これまでに確認されたことは以下の通りである。(1) 外観上、白く見える羽毛には顆粒が付いていない。灰色の部分には顆粒が付いており、黒みが増すほど、その量が増える。(2) 黒い顆粒はあくまでも羽毛の表面に塗布されているのであり、羽毛の内部に入り込んでいるわけではない。(3) 頭部から分泌される黒色物質は、羽毛に付着している顆粒と同様の外観をもつ。(4) トキの羽毛の表面には微細な溝状の構造が多数存在する。黒色の顆粒は羽枝の隙間にひっかかるように存在することがわかっているが、この羽毛表面の溝は黒色の顆粒の付着を補助し、トキの灰色の発色を強化している可能性があると考えられた。

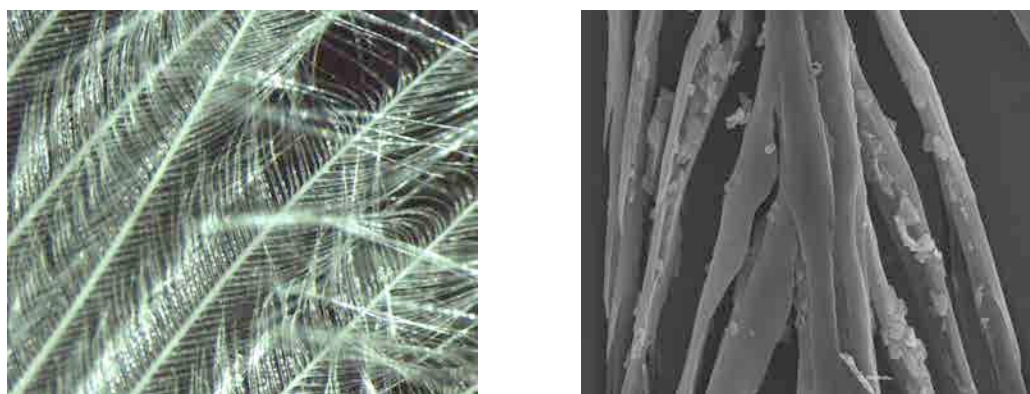


Fig. 1. Left: Toki's plume. Right: A SEM image of Toki's plume surface with black substances.

所属班：公募班

所属機関：北海道大学大学院 情報科学研究科

氏名：有村 博紀

所属機関住所：〒060-0814 札幌市北区北14条西9丁目

e-mail：arim@ist.hokudai.ac.jp

研究キーワード：データベース、オープンイノベーション、プラットフォーム



## バイオミメティクス・データベースの オープンイノベーションプラットフォームへの展開

### Biomimetics Database as a Platform for Open Innovation

バイオミメティクスは、生物学と工学の融合により、持続可能性社会の実現に資する技術革新を目指す研究分野である。計画研究 A01 班が構築する「バイオミメティクス・データベース」は生物学、材料科学、機械工学、環境科学等の異なるデータベースを大容量画像データ検索技術により、横断的に検索し、類似の画像をクラスタリングして提示することで、専門の異なる研究者に新たな気付きを提供する発想支援型のデータベースであり、我が国が異分野連携、産学連携で欧米に先んじるための基盤となるものである。

また、昨年、ISO において ISO/TC266 Biomimetics の設立がドイツから提案され、バイオミメティクスの国際標準化の検討が開始された。本年 5 月には、パリで開催された ISO/TC266 第 2 回総会において、日本が提案した WG4 : Knowledge Infrastructure for Biomimetics の設置が承認され、各分野のデータベースの連携に必要となるシソーラス、オントロジーについて議論が開始されることとなった。バイオミメティクス・データベースは国内外で類を見ないものであり、今後、産業界も巻き込みつつ、この日本発の技術を国際標準としていくことで、我が国の国際競争力の強化に大きく貢献できる。

以上のような背景の下、本研究では、オープンイノベーションプラットフォームの実現に向けて、国際産業応用可能なバイオミメティクス・データベースの機能について検討することを目的とする。具体的には、海外のバイオミメティクス関連データベースや、異分野連携、産学連携の取り組みの動向を調査し、成功要因と課題を抽出するとともに、日本の産業の強みを生かした、海外展開可能な日本発のオープンイノベーションプラットフォームとして必要なデータ構造、具備すべき機能、実現するための技術、運営方法を提示する (Fig.1)。

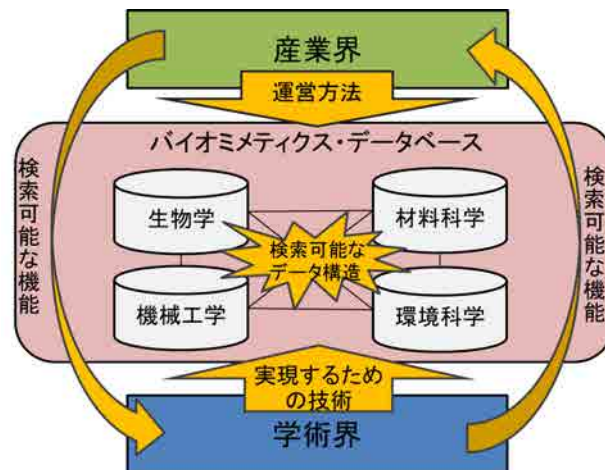


Fig.1 Biomimetics Database as a platform for open innovation.

バイオミメティクス・データベースの機能について検討するために、株式会社富士通総研の協力を得て、まず、海外におけるバイオミメティクス関連データベース構築の動向を調査した。生物資源のデータベース化の取り組みは海外でも進められている。例えば、英国では、ロンドン自然史博物館の A.Parker らによる蝶の翅のフォトリック構造のデータベース化が試みられている<sup>1)</sup>。また、米国では、Biomimicry Institute という NPO 法人と Biomimicry Guild というコンサルティング会社が一つになった Biomimicry 3.8 が、フリーアクセスできる 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ている<sup>1)</sup>。この他にも生物資源のデータベース化は各所で行われているが、事例ベースでの把握に留まっており、体系的な調査分析が必要である。また、バイオミメティクス・データベースを国際競争力強化に資するものとするためには、ISO/TC266 幹事国であるドイツを中心とした欧州各国の標準化戦略を踏まえる必要がある。そこで、まず、第 7 期欧州研究開発フレームワークプログラム (FP7) を対象に、生物資源に関するデータベース構築やその活用に向けた取り組みを調査し、その狙いや、我が国のデータベースとの連携可能性・差別化の方向性について考察した。今回の発表ではその結果について報告する。

## 参考文献

(1)下村政嗣, 生物の多様性に学ぶ新世代バイオミメティック材料技術の新潮流, 科学技術動向, 2010, 110, 9-28

所属班：公募班

所属機関：群馬大学理工学研究院分子科学部門

氏名：浅川直紀

所属機関住所：〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1

e-mail：asakawa@gunma-u.ac.jp

研究キーワード：パイ共役系高分子、高分子デバイス、  
確率共鳴、不安定性の階層性、スケーラブルデバイス



## 生物の信号・情報処理機構を模倣したスケーラブルな 高分子デバイスの創製

### Development of bio-inspired scalable polymer devices

生物は、従来型のコンピュータとは異なり、その感覚神経や中枢神経系において超低消費電力のセンシングや情報処理を行っている。この驚くべき情報処理は、環境ノイズを巧みに利用することによって実現している。本研究は、その生物の情報処理機構に倣い、高分子物質の電気物性ゆらぎを積極的に用いたノイズ駆動型の生体型情報処理デバイスの創製を目指している。近年、膜タンパク質、細胞、組織、組織間、個体といった生体の様々な階層において、ノイズが生体機能の向上に積極的に用いら

れていることが明らかとなってきた。この現象は「確率共鳴」と呼ばれている<sup>(1)</sup>。最近、我々は確率共鳴現象を示す基本素子を多数接続しネットワーク化することにより、環境情報を基にシステムの状態を自律的に変化させるデバイスの設計指針を打ち立てた<sup>(2, 3, 10-14)</sup>。その設計にとって重要な性質は、「ノイズ発生」、「非線形外場応答性」、「信号の入出力分離」、「素子間結合強度の動的変調」である。従来、高分子材料の多くは大きな構造ゆらぎをもつ

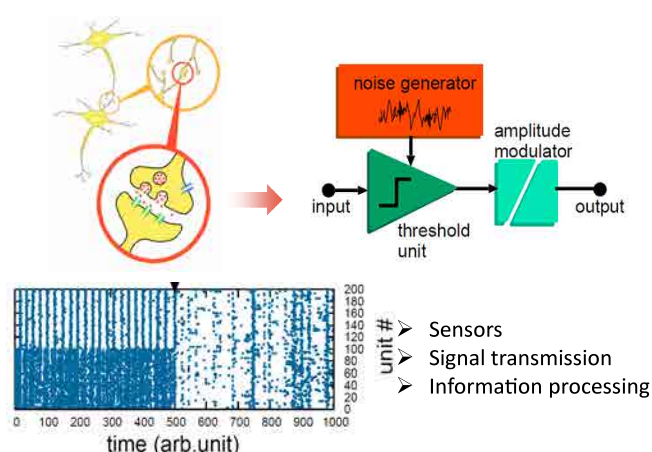


Fig.1 Schematic drawing of bio-inspired stochastic threshold unit and an example of noise-driven spatio-temporal dynamics adaptive to abrupt environmental change, which is autonomously emerged by an ensemble of the units.

ことから不安定な電気物性を示し、エレクトロニクス材料としては敬遠されてきた。しかし、生体型情報処理デバイスの基本素子である「確率的閾値素子」にはそのような不安定性こそが重要な要素となる。本研究は、閾値がゆらいだ非線形外場応答性を有するパイ共役系高分子<sup>(4-9)</sup>に着目し、その電気物性ゆらぎを用いた確率的閾値素子の開発および素子集団の協動的ダイナミクスを発生・制御し、超低消費電力の生体型情報処理デバイスの実現を材料科学の立場から追及する試みである。

## 参考文献

- (1) Gammaitoni, L.; Hanggi, P.; Jung, P.; Marchesoni, F. *Rev.Mod.Phys.* **1998**, *70*, 223-287.
- (2) Asakawa, N.; Hotta, Y.; Kanki, T.; Kawai, T.; Tabata, H. *Phys.Rev.E* **2009**, *79*, 021902-1 – 021902-8.
- (3) Hotta, Y.; Kanki, T.; Asakawa, N.; Tabata, H.; Kawai, T. *Appl.Phys.Express* **2008**, *1*, 088002-1 – 088002-3.
- (4) Asakawa,N.; Inoue, Y.; Yamamoto, T.; Shimizu, T.; Tansho, M.; Yazawa, K. *NMR Spectroscopy of Polymers:Innovative NMR Strategies for Complex Macromolecular Systems; ACS Book*, 161-178, 2011.
- (5) Yazawa, K.; Inoue, Y.; Shimizu, T.; Tansho, M.; Asakawa, N. *J.Phys.Chem.B* **2010**, *114*, 1241-1248.
- (6) Yazawa, K.; Inoue, Y.; Yamamoto, T.; Asakawa, N. *J.Phys.Chem.B* **2008**, *112*, 11580-11585.
- (7) Yazawa, K.; Inoue, Y.; Yamamoto, T.; Asakawa, N. *Phys.Rev.B* **2006**, *74*, 094204-1 – 094204-12.
- (8) Mori, S.; Yamamoto, T.; Inoue, Y.; Asakawa, N. *Phys.Rev.B* **2005**, *71*, 054205-1 054205-11.
- (9) 矢澤宏次, 浅川直紀, 高分子論文集, **2010**, *68*, 11-23
- (10) 神吉輝夫, 堀田育志, 浅川直紀, 川合知二, 田中秀和, WO2010/041606
- (11) 神吉輝夫, 堀田育志, 浅川直紀, 川合知二, WO2010/035576
- (12) 堀田育志, 神吉輝夫, 浅川直紀, 川合知二, 田畑仁, 特開 2010-62599
- (13) 神吉輝夫, 河原敏男, 藤原康文, 川合知二, 寺井慶和, 堀田育志, 浅川直紀, 田畑仁, 関宗俊, 特開 2009-60057
- (14) 堀田育志, 神吉輝夫, 浅川直紀,河原敏男, 川合知二, 田畑仁, 特許 4875161(2011), WO2009/025327
- (15) 浅川直紀, 堀田育志, 神吉輝夫, 河原敏男, 川合知二, 田畑仁, 特許 5154166(2012)



所属班：公募班

所属機関：千葉大学

氏名：田中博人

所属機関住所：〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

e-mail：htanaka@chiba-u.jp

研究キーワード：micro wrinkles、flapping flight、MEMS



## 飛翔生物を規範とした伸縮可能な微小シワ付きフィルム翼

### Stretchable Film Wings with Micro Wrinkles Inspired from Flight Apparatus in Nature

鳥や昆虫などの飛翔生物の翼は、羽ばたき運動中に翼面が受動的に変形する。翼面の変形による適切な翼断面のキャンバー（曲線の反り）と迎え角（翼弦と流入風速のなす角度）の形成が、揚力の増加や抗力の減少をもたらすが示唆されている。飛翔生物の翼構造は、こうした翼面変形を許容するために、柔軟性だけでなく伸縮性も備えている。たとえば鳥の羽根は、マルチスケールの毛状構造からなり、個々の毛が曲げ変形することで面としての伸縮性を実現し、昆虫の翅は微小なシワ構造によって翼幅方向の剛性と翼弦方向の伸縮性を実現している（Fig. 1 (a-c)）。

本研究では、このような柔軟性と伸縮性を兼ね備えた翼面を人工的に実現する方法として、微小なシワを持つプラスチックフィルム翼を提案する。マクロな翼面としての伸縮を、ミクロなシワの曲げによって実現する（Fig. 2 (a)）。このシワフィルムを高剛性のフレームで支持することで、羽ばたき運動に必要な剛性と柔軟伸縮性を両立した生物規範型翼面の実現を目指す（Fig. 2 (b)）。

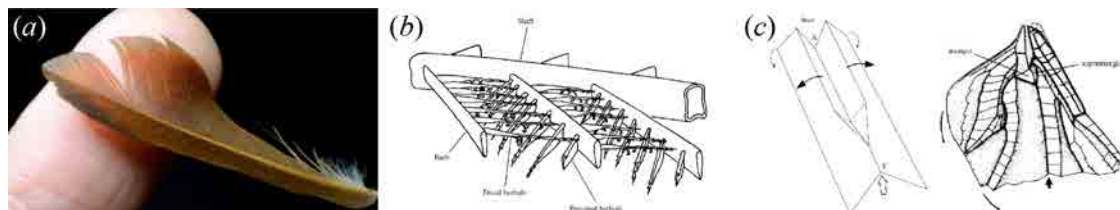


Fig. 1 (a) Deformation of a hummingbird's feather. (b) Multi-scale network structure of a feather<sup>(1)</sup>. (c) Corrugated profile of a dragonfly wing<sup>(2)</sup>.



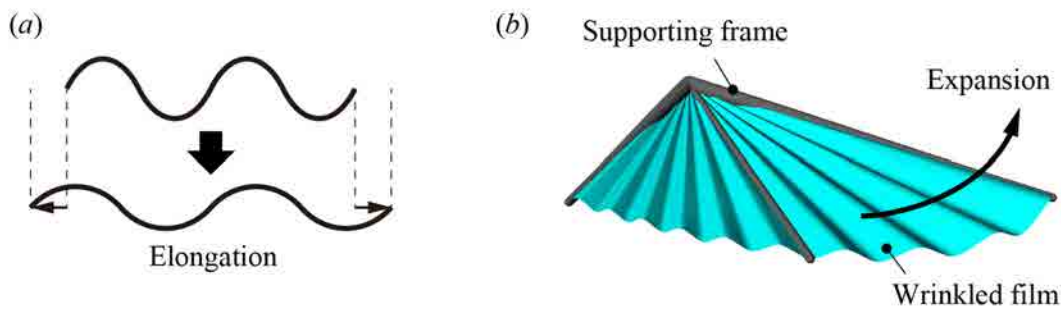


Fig. 2 (a) Stretching wrinkle. (b) Concept of a stretchable wing with micro wrinkle.

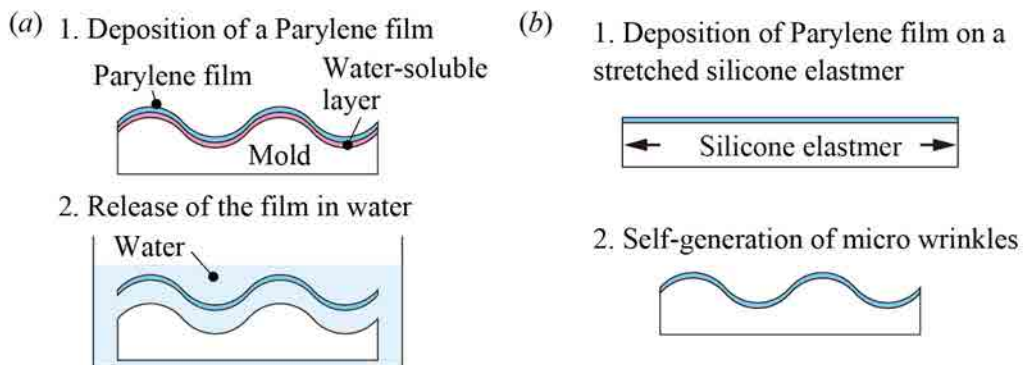


Fig. 3 (a) Deposition and release of a wrinkled film. (b) Formation of micro wrinkles.

シワフィルムの製作プロセスを Fig. 3 (a) に示す。翼面は、シワ形状を持つモールド上面にパリレンフィルムを蒸着して製作する。シワの大きさは、マクロな翼面としての機能を阻害しない程度に十分小さいことが求められ、波長は 100 から 1000 ミクロン、高さは 50 から 100 ミクロン程度を想定している。このような複雑なマイクロ 3 次元形状を切削やエッチングで製作することは困難である。そこで本研究では、エラストマー上にヤング率の大きい薄膜を成膜して圧縮変形させると波長のそろった複雑なシワパターンが生じるという現象<sup>(3)</sup>を利用し (Fig. 3 (b))、そのシワ形状を翼面用モールドに転写する。従来の切削やエッチングなど加工方法に対して、幾何学的な設計では導出困難な伸縮可能なシワパターンが得られる点や、マイクロオーダのシワが基板面内で同時に発生するためシワ自体の製作時間がほぼゼロとなる点で優れている。

### 参考文献

- (1) Ennos, A. R.; Hickson, J. R. E.; Roberts, A. J. *J. Exp. Biol.* **1995**, *198* (5), 1219-1228.
- (2) Wootton, R. J.; Herbert, R. C.; Young, P. G.; Evans, K. E. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* **2003**, *358* (1437), 1577-1587.
- (3) Bowden, N.; Brittain, S.; Evans, A. G.; Hutchinson, J. W.; Whitesides, G. M. *Nature* **1998**, *393* (6681), 146-149.

所属班：公募班

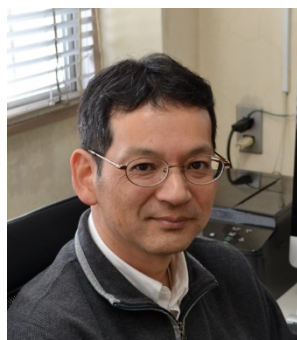
所属機関：広島大学・理学研究科附属臨海実験所

氏名：植木 龍也

所属機関住所：〒722-0073広島県尾道市向島町2445

e-mail：ueki@hiroshima-u.ac.jp

研究キーワード：ホヤ、被囊、金属、接着、タンパク質



## ホヤ類の被囊の微細構造および化学的性質を規範とする 新規接着・防汚染物質の開発研究

### Development of Novel Adhesive or Antifouling Substances Inspired from Tunic Surface of Ascidians

海産動物ホヤ類は動物界で唯一セルロースを合成できる動物であり、セルロースを主成分とする被囊で体の表面を保護している。ホヤ類の多くは、被囊表面に他の動植物が付着しにくい性質がある。その一方で、ホヤ類は海中の岩などの基盤に強固に接着している。すなわち同じ主成分をもつ一つの被囊が接着と付着防止という二面的性質を兼ね備えている。これまでホヤの被囊の構造に関する研究<sup>(1-2)</sup>や、ホヤの被囊中に散在する巨大液胞細胞が分泌する酸の研究<sup>(3-4)</sup>が行われているが、接着および付着防止の構造的・化学的実体は十分明らかにはなっていない。

我々は、ホヤのユニークな性質の一つであるバナジウム濃縮の研究を約 30 年にわたって研究してきた。私自身が参画してからの約 15 年で、この過程に関与するタンパク質や遺伝子を次々と単離し、代謝経路の全容をほぼ明らかにした<sup>(5-6)</sup>。バナジウム蓄積と付着防止および捕食防御の関連性を指摘する研究もある<sup>(7-9)</sup>。

以上の知見と成果から、我々はホヤの被囊の二面的性質を解明することが、本領域の目標の一つである「制御可能なバイオメテック表面の創製(B01-01)」に貢献できるのではないかと考えた。

すべてのホヤ類は海中の基盤に

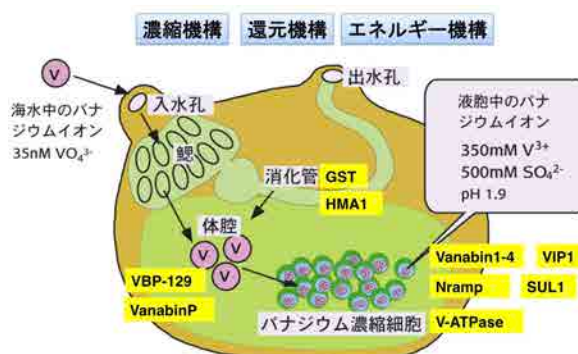


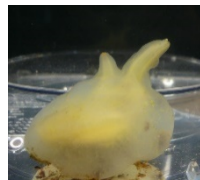



Fig. 1 Model for accumulation, reduction and energetics of vanadium in ascidians.

接着する性質を有するが、表面に他の動植物が付着しにくいホヤと付着しにくいホヤがある。また、この性質とバナジウム濃度(酸性度)とは必ずしも相関しない。そこで平成 25 年度は、付着生物の有無とバナジウム濃度との 2 つのパラメーターで代表的な 4 種のホヤを選び (Table 1)、それらの被囊の物理的・化学的性質を網羅的に解析する。平成 26 年度は、4 種のホヤの接着・付着防止物質を特定し、新規接着物質(構造)および新規防汚染物質(構造)の開発につなげる。

海水中で固着生活を送る動物の接着性と付着防止の二面性に着目した本研究は独創性と新規性が高く、新規接着物質(構造)および新規防汚染物質(構造)の開発につながる研究成果が得られると信ずる。

Attaching organisms	present (rich)		absent (poor)	
	high	low	high	low
Vanadium concentration	high	low	high	low
Representative species to examine in this study	<i>Ascidia sydneyensis samea</i>	<i>Styela plicata</i>	<i>Ascidia ahodori</i>	<i>Halocynthia roretzi</i>
				

## 参考文献

- (1) Hirose, E.; Lambert, G.; Kusakabe, T.; Nishikawa, T. *Zool Sci* **1997**, *14*, 683–689.
- (2) Hirose, E.; Lambert, G.; Kusakabe, T.; Nishikawa, T. *Zool Sci* **1997**, *14*, 683–689.
- (3) Hirose, E. *Zool Sci* **2001**, *18*, 723–731.
- (4) Hirose, E.; Yamashiro, H.; Mori, Y. *Zool Sci* **2001**, *18*, 309–314.
- (5) Ueki, T.; Michibata, H. *Coord Chem Rev* **2011**, *255*, 2249–2257.
- (6) Michibata, H.; Ueki, T. *BioMolecular Concepts* **2010**, *1*, 97–107.
- (7) Odate, S.; Pawlik, J. R. *J. Chem. Ecol.* **2007**, *33*, 643–654.
- (8) Kopllovitz, G.; McClintock, J. B. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **2011**, *407*, 48–53.
- (9) Kopllovitz, G.; McClintock, J. B.; Amsler, C. D.; Baker, B. J. *Marine Biology* **2011**.

所属班：公募班

所属機関：九州大学大学院工学研究院機械工学部門

氏名：山口 哲生

所属機関住所：〒819-0395 福岡市西区元岡744

e-mail：yamaguchi@mech.kyushu-u.ac.jp

研究キーワード：ヤモリ模擬構造、材料力学、  
力学的安定性



## ヤモリ模擬構造の材料力学的アプローチ

### Mechanical approaches for development of gecko-inspired structures

生物の手足のもつ優れた構造や機能は、様々な研究者の関心を集めている。その中でもヤモリ手足の巧みな粘着・剥離機構については、生物学者だけでなく、物理学者、化学者、材料科学者など幅広い研究者の興味を引き付けており、微細構造の観察、ヤモリ個体やその微細構造を用いた力学試験、構造の物理モデル化、構造を模擬した人工物の作成や評価など、多方面に渡る研究が活発に展開されている。

ヤモリ手足の研究に関する現時点での成果は、以下のようにまとめられる：

(1)ヤモリ手足には、Seta と呼ばれる微細毛状構造の先に、Spatula と呼ばれる微細構造が多数生えており (Fig.1)、それらの先端にあるパッドを介して地面と接着する<sup>1)</sup>。

(2)手足から Seta をもぎ取って行なった摩擦試験によると、負の垂直荷重条件下でも安定的にすべり運動を持続することができる<sup>2)</sup>。

(3)粘着・剥離時に被着体に対して、垂直方向だけでなく前後への押し引きの動作を加えると、易接着・易剥離を実現できる<sup>3)</sup>。また、セルフクリーニング機構のため汚染されにくい<sup>4)</sup>。

また、ヤモリ模擬粘着剤については、

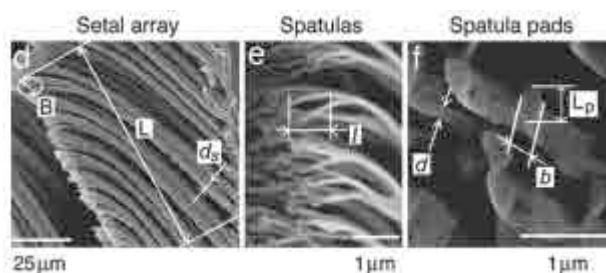


Fig. 1: Hierarchical structure in gecko feet.



Fig.2: Hierarchical curved beam model.

(4)既存の粘着剤とは異なり、カーボンナノチューブなど剛直な材料を用いているにもかかわらず、比較的大きな粘着力を実現することができる<sup>5)</sup>。

このように、ヤモリ手足の優れた機能に関する研究は数多く行なわれてきたが、ヤモリ手足に見られる曲がり梁構造（釣り針のように自発曲率を持つ構造、Fig.1 参照）によって発生するトルク・曲げ変形・垂直/水平方向の変形・応力の結合などの材料力学的効果は、これまで実験的にも理論的にもほとんど考慮されていなかった。

そこで我々は、K. Autumn らと共同で、Seta、Spatula 各々に対して曲がり梁構造を考慮することにより(Fig.2 参照)、上記(2)に示した Seta の摩擦試験時の負の垂直荷重発生メカニズムの理論的解明を試みた<sup>6)、7)</sup>。その結果、曲がり梁構造によってすべり運動時に大きな負の垂直荷重が発生することを解析計算によって示し、これが力学的安定性と深く関わっていることを突き止め、更に機能に対する構造の一般化が可能であることを明らかにしている。

本研究では、上記の理論的予想を踏まえ、以下の3つの研究課題に取り組む。

課題1：曲がり梁構造を有するヤモリ模擬粘着剤の開発、および剥離・摩擦機構の実証

課題2：ヤモリ手足を超える新たな設計概念の提案、高性能粘着・摩擦材料の開発

課題3：理論モデル・シミュレータの開発と大学・企業研究者への普及

今回掲げた研究課題を解決することによって、これまでの枠に囚われない新たな研究の方向性の発見と機能のブレークスルーを実現したい。

## 参考文献

(1) Russell, A. P., J. Zool. Lond., **1975**, 176, 437-476.

(2) Autumn, K., Liang, Y. A., Hsieh, S. T., Zesch, W., Chan, W.-P., Kenny, W. T., Fearing, R. and Full, R. J., Nature, **2000**, 405, 681-685.

(3) Zhao, B., Pesika, N., Zeng, H., Wei, Z., Chen, Y., Autumn, K., Turner, K., Israelachvili, J., J. Phys. Chem. B, **2009**, 113 (12), 3615-3621.

(4) Hansen, W., Autumn, K., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **2005**, 102, 385-389.

(5) Tian, Y., Pesika, N., Zeng, H. B., Rosenberg, K., Zhao, B., McGuiggan, P., Autumn, K., Israelachvili, J. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., **2006**, 103, 19320-19325.

(6) Yamaguchi, T., Gravish, N., Autumn, K., Creton, C., J. Phys. Chem. B, **2009**, 113, 3622-3628.

(7) Nick Gravish, N., Wilkinson, M., Sponberg, S., Parness, A., Esparza, N., Soto, D., Yamaguchi, T., Broide, M., Cutkosky, M., Creton, C., Autumn, K., J. R. Soc. Interface, **2010**, 7, 259-269.



所属班：公募班

所属機関：千歳科学技術大学

氏名：オラフ・カートハウス

所属機関住所：〒066-8655北海道千歳市美々65-758

e-mail：kart@photon.chitose.ac.jp

研究キーワード：花粉,微粒子,祖分離,高分子、ハイブリッド材料



## 花粉表面の構造解析と自己組織化を利用した機能性マイクロ粒子のデザイン

### Microparticle Design based on the Analysis of Surface Morphology of Pollen

研究の目的は、花粉の持つ大変興味深い特性についてのバイオミメティクス(生物模倣)である。花粉とは植物の雄性配偶子を含んだ球状の「カプセル」のことである。花粉の表面構造は植物の種類の数だけあり、その一つ一つが特有かつ一定のマイクロパターンを持っている。

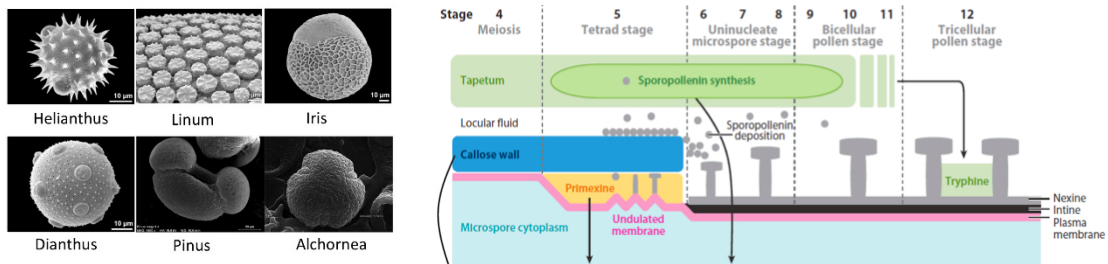


Fig.1 SEM image of various pollen grain surfaces and scheme of exine formation.<sup>1)</sup>

花粉は、動物の胃の中でも蜂蜜の中でも姿をとどめることができる大変に耐久性に富む物質で、考古学や古生物学のサンプル分析や、犯罪捜査での有力な手がかりになるなど、人間にとって大変身近な存在である。しかし、花粉の表面構造の成分、機能などについてはよく知られていない。花粉は Fig. 1 のような壁構造を持っている。花粉は外側に exine と呼ばれる細胞壁を持ち、種によって特徴付けられる表面構造は sexine と呼ばれる。この sexine はろうなどの有機材料で覆われている。これはスポロポレニンという材料で、化学構造は大変に強靱で有機溶媒にも酸にもアルカリにも不溶性で、このような架橋された高分子は他にはまだ知られていない。この不溶性のため花粉の分析には限界がある。UV-vis、IR、C-NMR、



XPS分析は高分子がCとHとOだけで生成されているらしいことを明らかにしている。<sup>2)</sup> 芳香類、フェノール類、共役アルケン類、アルカン類が主な成分である。花粉には色があり強い蛍光性を持つが、ここからカロチノイドやフラボノイドの存在がうかがえる。花粉内の雄性配偶子は雄蕊から雌蕊へと移動しなければならないが、そのキャリアー媒体には風のような物理的要因、虫などによる生物学的要因がある。運ばれるとき、花粉の外壁は脱水や紫外線などからの保護機能、花粉とキャリアー媒体の相互作用(流体力学、付着力、臭気)、また、花粉と雌蕊の相互認識等、様々な条件を満たさなければならない。しかし、なぜ exine 構造にこんなにも多様性があるのかはまだわかっていない。

このようなスポロポレニン構造の模倣を目指して、オイル層にある2つのポリマーを含む乳化剤による相分離構造を持つマイクロ粒子の作製を試みた。<sup>4)</sup> 溶媒蒸発の間に相分離が生じ、1~50 $\mu\text{m}$ のサイズの粒子が作られる。溶媒、乳化剤、高分子のタイプ、濃度比によってディンプル構造が作られる。今のところ、申請者が使ったのはPMMA/ポリスチレン混合物だけである。もっと耐久性のあるマイクロ粒子を作るためには、ポリカーボネートやポリスルホン、ポリアミド酸、またポリヘキシルチオフェンのような導電性高分子をスクリーニングする必要がある。乳化剤のキャストイングには1分もかからないなど大変に短時間でできるため、様々な条件下で容易に調べることができる。

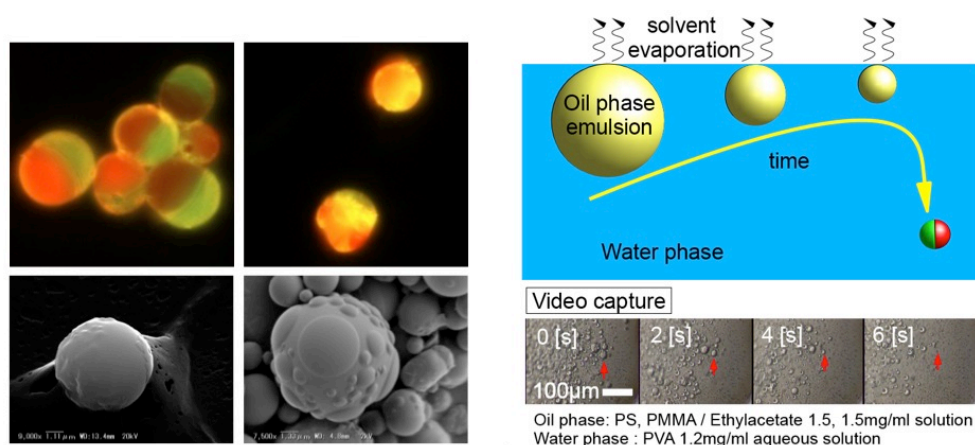


Fig.2. Formation mechanism and structures of phase separated polymer particles

#### 参考文献

- (1) Ariizumi, T.; Toriyama, K. *Annu. Rev. Plant Biol.* **2011**, 62, 437.
- (2) Kawase, M.; Takahashi, M. *Grana*, **1995**, 34, 242-245.
- (3) Suzuki, T.; Masaoka, K.; Nishi, M.; Nakamura, K.; Ishiguro, S. *Plant Cell Physiol.* **2008**, 49, 1465–1477.
- (4) Kiyono, Y.; Szikszai, L.; Watanabe, J.; Karthaus, O.; Hass, R.; Maiwald, M.; Reich, O.; Löhmannsröben, H.-G. , *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* **2012**, 10, 360-366.

所属班：公募班

所属機関：大阪工業大学

氏名：藤井 秀司

所属機関住所：〒535-8585

大阪府大阪市旭区大宮5-16-1

e-mail：s.fujii@chem.oit.ac.jp

研究キーワード：微粒子、リキッドマーブル、泡、界面



## 微粒子由来凹凸構造を利用する気液分散体の安定化

### Stabilization of Gas-Liquid Dispersed Systems Utilizing Rough Surface Structure Formed by Particles

ハスの葉は、サブセルラーサイズの凹凸構造を巧みに利用することで高撥水性表面を獲得している。最近、ハスの葉の表面凹凸は親水的表面を有するワックスから形成されていることが明らかにされている<sup>(1)</sup>。この事実は、水に濡れる親水的表面を有する基材であっても、凹凸を導入することで高撥水性表面を創出できることを意味している。

ところで、微粒子が気液界面に吸着することでリキッドマーブル（Water-in-Air 型分散体）、泡（Air-in-Water 型分散体）の安定化が可能であることが知られている。微粒子の界面吸着現象は界面張力を駆動力としており、現行の重力支配下における他律的エネルギー消費型のものづくりに対し、自律的省エネ型のものづくりを可能にする。

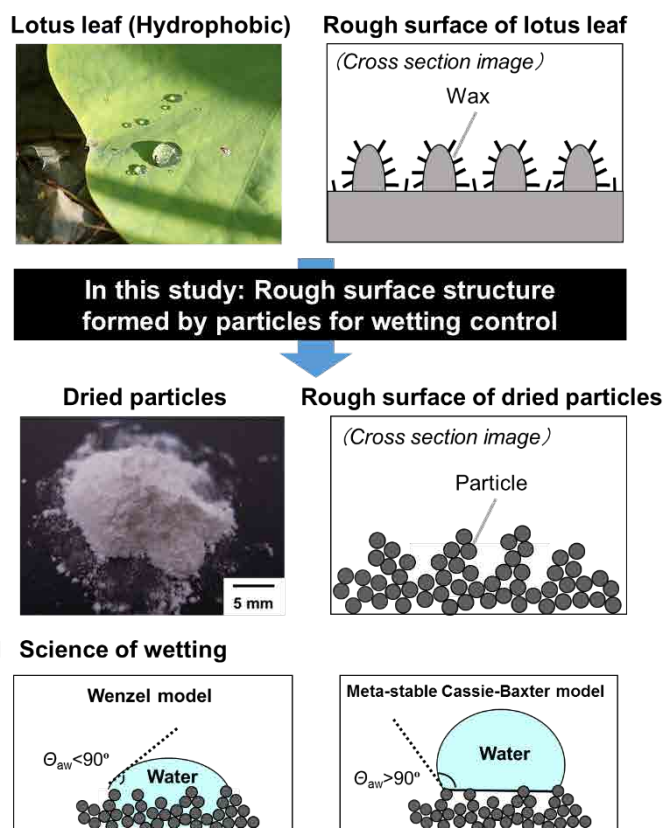


Fig.1 Concept of this study: Rough surface structure formed by particles for wetting control.

これまでに、発表者らを含めた数研究グループによって、疎水的表面を有する粒子はリキッドマーブル<sup>(2)</sup>を、親水的表面を有する粒子は泡<sup>(3)</sup>を安定化し、単一粒子表面への水の濡れ性が、分散系を決定する重要な因子であると報告されてきた<sup>(4)</sup>。しかし発表者らは最近、一種類の親水的表面を有する微粒子で、リキッドマーブルおよび泡、両系を安定化できるという、単一粒子表面への水の濡れ性だけでは説明できない興味深い現象を見出した。粒子集合体が界面に吸着することで分散体が安定化している事実を考慮に入れると、この現象を理解するには、粒子集合体が形成するサブセルラーサイズの凹凸を有する表面における水の濡れ性に着目することが重要との着想に至った。

本研究では、まず、サブセルラーサイズの微粒子の集合体が形成する凹凸を有する表面の撥水メカニズムを解明することで基礎研究を完成する(Figure 1)。次いで、水、空気、高分子微粒子のみを使用する、自律的省エネ・環境適応型の気液分散体 (Air-in-Water 型分散体、Water-in-Air 型分散体、Air-in-Water-in-Air 型分散体) の安定化を実現化し(Figure 2)、さらに多孔質高分子材料の創出法を確立する。

## 参考文献

- (1) Cheng, Y. T.; Rodak, D. E. *Appl. Phys. Lett.* **2005**, *86*, 144101.
- (2) a) Dupin, D.; Armes, S. P.; Fujii, S. *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 5386-5387. b) Fujii, S.; Kameyama, S.; Armes, S. P.; Dupin, D.; Suzaki, M.; Nakamura, Y. *Soft Matter*, **2010**, *6*, 635-640. c) Fujii, S.; Suzaki, M.; Armes, S. P.; Dupin, D.; Hamasaki, S.; Aono, K.; Nakamura, Y. *Langmuir*, **2011**, *27*, 8067-8074. d) Fujii, S.; Aono, K.; Suzaki, M.; Hamasaki, S.; Yusa, S.; Nakamura, Y. *Macromolecules* **2012**, *45*, 2863-2873.
- (3) a) Fujii S.; Ryan, A. J.; Armes, S. P. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 7882-7886. b) Fujii, S.; Iddon, P. D.; Ryan, A. J.; Armes, S. P. *Langmuir* **2006**, *22*, 7512-7520. c) Fujii S.; Mochizuki, M.; Aono, K.; Hamasaki, S.; Murakami, R.; Nakamura, Y. *Langmuir* **2011**, *27*, 12902-12909.
- (4) Fujii, S.; Murakami, R. *KONA Powder Particle J.* **2008**, *26*, 153-166.

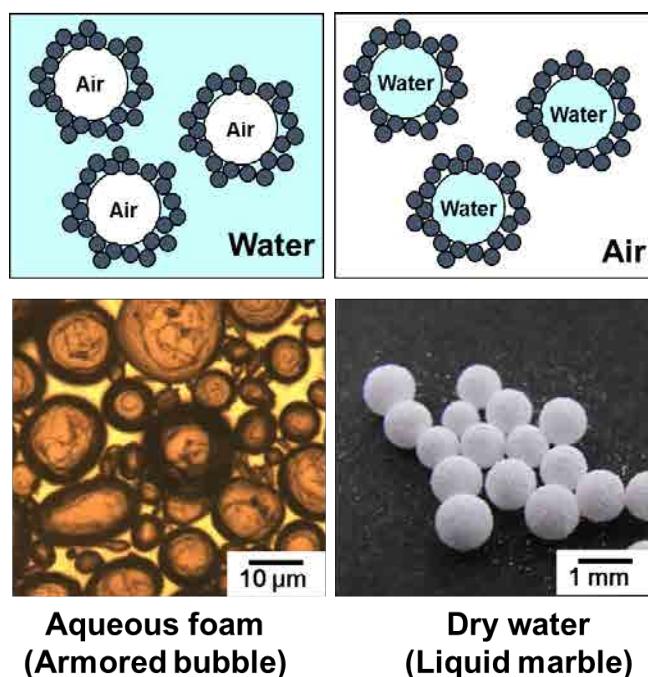


Fig. 2 Air-water dispersed systems stabilized with polymer particles.

所属班：公募班

所属機関：独立行政法人海洋研究開発機構

氏名：出口 茂

所属機関住所：〒237-0061

神奈川県横須賀市夏島町2番地15

e-mail：shigeru.deguchi@jamstec.go.jp

研究キーワード：バイオクレプティックス／ナノファイバー／セルロース／酵素活性／微生物資源



## 材料科学からアプローチするバイオクレプティックス

### Biokleptics with Materials Science Approach

Rawlingsらは、最近 biomimetic research を、bioinspired、biomimetics、biokleptics の3つに分類することを提唱した<sup>(1)</sup>。biokleptics (klept-, from Greek kleptēs ‘thief’) とは、“a biological reagent is used to aid a synthetic process”と定義される。生物を規範とした biokleptics を考える上で最も興味深いのは、地球の生態系を数の上で支配し炭素循環などで重要な役割を担う微生物である。しかしながら大きさが数  $\mu\text{m}$  しかない小さな生物が持つ機能・有用性を「いかにして学ぶか？」には、未だ多くの課題が残されている。

我々は、材料科学の知見を微生物機能のセンシングに応用した研究を進めてきた。直径数十 nm のセルロースナノファイバーからなるヒドロゲル表面 (Fig. 1) で微生物を培養すると、寒天を用いたときと同じくドーム状のコロニーが形成される (Fig. 2)。ところがセルラーゼを生産する微生物を培養した場合に限っては、増殖に伴ってセルロースの酵素分解が進行し、ゲル表面にピットが形成される (Fig. 3)。すなわちピット形成の有無を指標とし

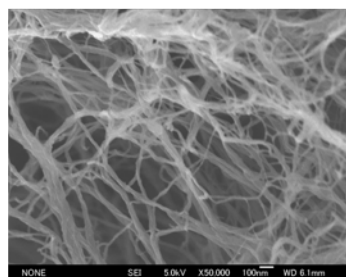


Fig. 1. SEM image of nanofibrous cellulose.

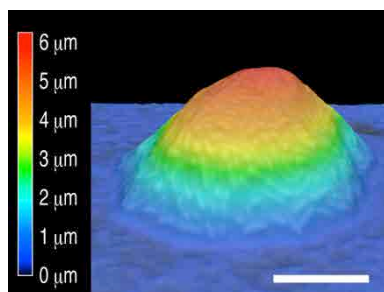


Fig. 2. A colony of *E. coli* formed on the surface of cellulose hydrogel. Scale bar: 20  $\mu\text{m}$ .

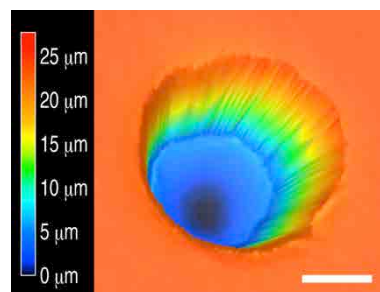


Fig. 3. Pit formation by a cellulase-producer on the surface of cellulose hydrogel. Scale bar: 20  $\mu\text{m}$ .



て、セルラーゼを生産する微生物のみを容易に選別できる。実際にこの手法を用いて、分類学的に極めて新規性の高いセルラーゼ生産菌を多数分離することに成功した (Fig. 4)。従来法ではセルラーゼ生産菌の存在は一切確認できず、材料科学の知見を応用した新手法の有用性が示された。太陽光が届かず光合成とは無縁の深海に生息する微生物が、進化・適応の過程で獲得したセルロース分解のメカニズムと陸上生物のセルロース分解メカニズムには様々な違いがあると予想される。現在、その違いを明らかにすべく深海微生物が生産するセルラーゼの解析を進めている。

酵素加水分解によるピット形成は、また、セルラーゼ活性をアッセイするための定量的かつ超高感度な指標としても利用できる。インクジェットパターンニング装置を用いて、数十 pL のセルラーゼ溶液をセルロースゲル表面に滴下すると、酵素加水分解によってピットが形成した (Fig. 5)。3D レーザー顕微鏡を用いた非接触表面分析によって、ピット体積がセルラーゼ溶液の滴下量に比例して増大することを見出した (Fig. 6)。またピット形成の際に加水分解されたセルロースの重量は数 ng であった。

酵素反応のアッセイは、通常は反応生成物の濃度を測定して行われる。我々の手法は、水に不溶な基質が酵素分解を受けた際の体積変化を測定するのが大きな特長であり、他にもキチナーゼやプロテアーゼなど、水に不溶な基質に作用する酵素活性の測定に広く適用できる。また極微量の酵素溶液で活性を測定できる、ハイスループット化が容易、感度が高い、測定が早いなど、従来法には無い様々な特長もある。

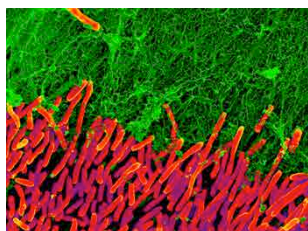


Fig. 4. A deep-sea cellulolytic bacterium growing in a pit on the surface of cellulose hydrogel (red: bacterial cells, green: nanofibrous cellulose).

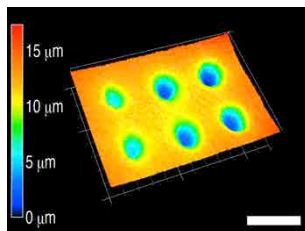


Fig. 5. Pit formation (scale bar: 50  $\mu\text{m}$ ) after depositing several dozens pL of a cellulase solution.

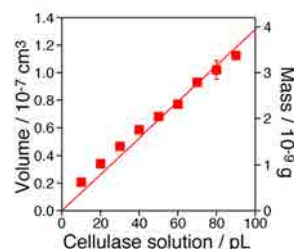


Fig. 6. Relationship between the pit volume and the amount of deposited cellulase solution.

#### 参考文献

- (1) Rawlings, A. E.; Bramble, J. P.; Staniland, S. S. *Soft Matter* **2012**, 8, 2675-2679.
- (2) Deguchi, S.; Tsudome, M.; Shen, Y.; Konishi, S.; Tsujii, K.; Ito, S.; Horikoshi, K. *Soft Matter* **2007**, 3, 1170-1175.
- (3) Tsudome, M.; Deguchi, S.; Tsujii, K.; Ito, S.; Horikoshi, K. *Appl. Environ. Microbiol.* **2009**, 75, 4616-4619.
- (4) 出口茂, 津留美紀子, 名垣和紀, 戸高眠, 黒澤康紀, 特願 2012-34045

所属班：A01 班

所属機関：北海道大学大学院情報科学研究科

氏名：長谷山 美紀

所属機関住所：〒060-0814 北海道札幌市

北区北 14 条西 9

e-mail : miki@ist.hokudai.ac.jp

研究キーワード：画像



## Knowledge Infrastructure for Biomimetics (WG4 提案)

### 1. はじめに

2013年5月22、23日にパリで開かれたISO/TC266 Biomimetics 第2回総会で、日本国内審議委員会（代表 下村政嗣 東北大学教授）が、バイオミメティクスのデータベースに関する規格作業部会(ワーキンググループ、以降、WG)の設置を提案し、それが採択された。著者も、本提案に係わり、会議当日は、その内容について参加国に説明を行った。本稿では、WG 設置の背景と規格、さらにその産業創出との関係について述べる。

### 2. ISO/TC266 WG4 が目指すもの

#### 2.1 WG4 設置の目的

ISO/TC266 Biomimetics 第2回総会の資料（ISO/TC266/WG1 N11）に下の記載がある。

Today, the field of biomimetics is increasingly considered a scientific discipline that has generated numerous innovations in products and technologies. This highly interdisciplinary collaborative work, which brings together experts from the fields of biology, engineering sciences, and numerous other disciplines, possesses a particularly high potential for innovation.

上の記載は、バイオミメティクスが異なる学術及び技術分野の連携によって、イノベーションを起こすポテンシャルを備えていることを表現している。

バイオミメティクスは、異分野連携によるイノベーションを創出するあたらしい学術分野である。深い知識を持ち合わせた異なる分野の研究者が、相互の学術領域を連携し、新しい科学を創出するためには、知識を共有する必要がある。知識の共有を加速するためには、互いの理解を容易にする用語の対応を知る必要がある。WG4 では、その対応を決めるルールを参加国の合意により決め、具体的対応表の初版を早期に作り上げ、その運用ルールを規格と



して作成することを目指している。もちろん、この規格の先に産業イノベーション創出の加速を目指している事は言うまでもない。

## 2.2 WG4 が実現する異分野連携

2.1 で述べた用語の対応について説明する前に、用語の対応の必要性について説明する。下に、異なる分野で使用された「Adhesion」の例を示す。

生物学

One micro liter of the sundew's adhesive is capable of covering a 25 mm<sup>2</sup>.

医学

Adhesions are fibrous bands that form between tissues and organs, often as a result of injury during surgery.

ロボット工学

Quadruped robot climbs smooth surfaces using directional adhesive.

環境科学

Bacterial adhesion is an important initial step in biofilm formation.

上は、TC266 国内審議委員会で議論されたものであり、2013 年 5 月に行われた ISO/TC266 Biomimetics 第 2 回総会で、筆者が行ったプレゼンテーションでも示した。本稿の読者の中には意見がある方もおられるかと思うが、上の Adhesion に見られる、上位の概念では同一となるが異なる分野でその使用に差異が存在する用語があることは、共通の認識であろう。

上のような差異が存在すれば、連携する分野の知識が深ければ深いほど、知識の連携は困難となる。連携のためには、各分野で用いられる単語の対応を記した辞書が有用である。このような対応を記した辞書の一つにシソーラスがある。データベース化されたシソーラスは木構造や表形式で成り立っているものが多い。WG4 では、バイオミメティクスにおける異分野連携を支援する、データベース化されたシソーラスを作成について検討し規格を作成する。

このような大きな役割を果たす WG4 の設置を提案するためには、提案者に規格作成の経験が備わっていることが要求される。ISO の規格作成には、厳しいルールがあり、確実に規格作成が行われることが参加国に理解されなければ、新しい WG の設置は認められない。設置が認められた背景には、JST（独立行政法人 科学技術振興機構）が作成している科学技術用語のシソーラスの存在がある。JST は、科学技術用語辞書の上位語・下位語、関連語、共出現語を整備し、それを可視化した「JST シソーラス map」(<http://thesaurus-map.jst.go.jp/>) (Fig.1) を公開している。筆者は、WG4 の設置を求めるプレゼンテーションで、このシソーラスマップを紹介している。

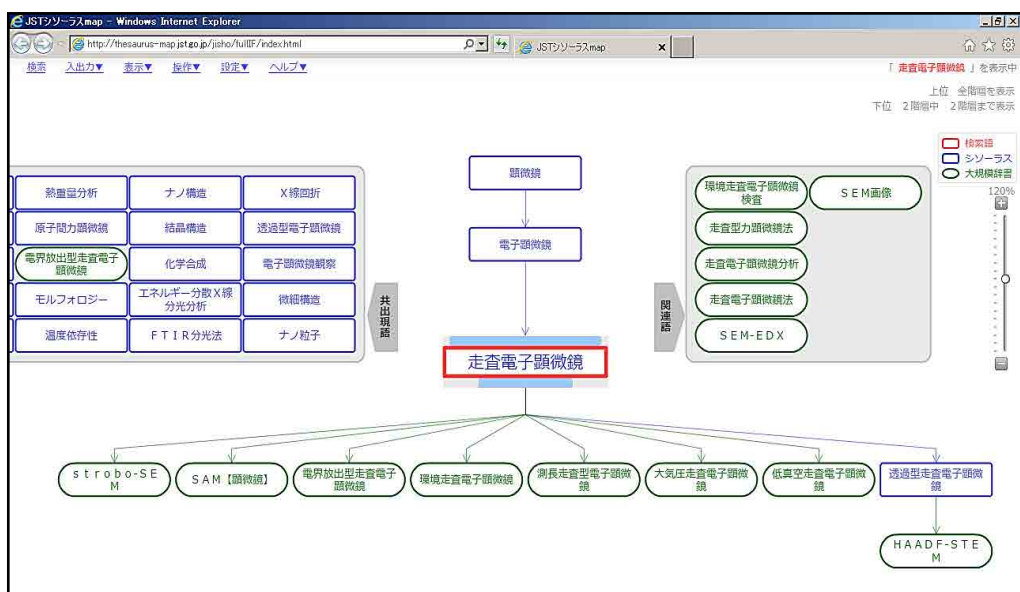


Fig.1 JST シソーラス map

### 3. バイオミメティクスデータベースの産業貢献への展開

ISO/TC266 において対応が進められる中、それと並行して対応しなければならない重要な課題が存在する。提案する規格が早期に産業貢献する仕組み作りである。

『生物多様性を規範とする革新的材料技術』（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）、代表 下村政嗣（東北大学・教授））のメンバーである筆者は、広く画像処理について研究を行い発想支援型の画像検索手法を提案してきた<sup>(1), (2)</sup>。画像や映像などの非構造化データの特徴を分析し、異なる分野に蓄積された異なる種類のデータを有機的に連携することで、検索者に気づきを与え発想を支援する理論体系の構築を目指している<sup>(3)</sup>。この理論に基づき、バイオミメティクスの異分野連携を支援する発想支援型画像検索基盤『バイオミメティクス・データベース』を実現する試みが、先に述べたプロジェクトで進められている。バイオミメティクス・データベースは、今まで昆虫や鳥類、魚類などの分類ごとに個別につくられた博物学データベースの情報を統合するだけでなく、異なる研究分野の研究者の利用を可能とし、さらには、産学問わず広く工学系研究開発者が望む情報を検索可能な環境を提供する。筆者が先行する他プロジェクトで実装を試みた昆虫画像検索エンジンのインターフェースを Fig.2 に示す。



所属機関：独立行政法人海洋研究開発機構

氏名：白山 義久

所属機関住所：〒237-0061

神奈川県横須賀市夏島町2番地15

e-mail：meiobenthos2007@yahoo.co.jp



## 生物規範工学と海洋生物学－JAMSTEC との協働の可能性

### 1. はじめに

独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、最先端の海洋調査機器を運用し、そのインフラを活用して、フロンティア研究を推進する研究独法です。本講演では、JAMSTECの持つインフラの紹介をまず行い、そのインフラを生物規範工学にどのように生かすことができるのか、皆様にお考えいただくきっかけになればと思います。

また後半では、演者の専門である海洋生物学と生物規範工学との接点について、いくつかの事例をご紹介します。

### 2. 独立行政法人海洋研究開発機構の紹介

The infographic is titled "独立行政法人・海洋研究開発機構 (JAMSTEC) とは" (What is JAMSTEC, an Independent Administrative Institution for Ocean Research and Development). It features a blue header with the text "(文部科学省所管) 海洋研究開発機構" (Managed by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology). Below the header, a red banner states "世界最高レベルの設備を用いて海洋・地球のフロンティアを目指した研究開発を実施" (Implement research and development targeting the frontiers of the ocean and Earth using the world's highest level of equipment). The infographic is divided into several sections: "横須賀本部" (Yokosuka Head Office), "横浜研究所" (Yokohama Research Institute), "むつ研究所" (Mutsu Research Institute), "高知コア研究所" (Kochi Core Research Institute), and "GODAC(沖縄)" (GODAC Okinawa). It also highlights specific equipment: "深海巡航探査機「うらしま」" (Deep-sea cruise surveyor "Ura-shi-ma" with a 317km record), "地球深部探査船「ちぎゅう」" (Earth deep-sea survey ship "Chigi-yuu", the world's largest and highest performance), "潜水調査船「しんかい6500」" (Submersible "Shinkai 6500", the world's deepest-diving manned submersible), and "地球シミュレータ" (Earth simulator, the world's top-class performance supercomputer).

本法人には、5キャンパスがあります。本部は神奈川県横須賀市夏島町にあり、専用岸壁をもっています。横浜研究所には、かつて世界最高速を記録したこともあるスパコンの地球シミュレータがあり、そのインフラを活用する研究者たちが多数所属しています。むつ研究



所は、海洋観測船「みらい」の母港となっており、またトライトンブイの整備の機能も担っています。高知コア研究所では、地球深部探査船「ちきゅう」が採取したコア試料ならびに国際深海掘削計画 IODP の枠組みで採取されたインド洋と西部太平洋のコア試料を保管するとともに、コア試料を使った世界最先端の科学研究を進めています。沖縄県にある国際海洋データセンター(GODAC)からは、しんかいで得られた映像資料など、さまざまな JAMSTEC が取得した海洋データが世界に向けて発信されています。GODAC については、田中から詳細な紹介があるので、わたしからは特に説明はしません。また東京都日比谷公園のそばに東京事務所があります。

### JAMSTECの船舶・深海調査システム



JAMSTEC には、さまざまな調査機器があります。船舶は「ちきゅう」を含めると8船にのぼります。このうち、淡青丸と白鳳丸は学術研究船として、運航計画は東京大学大気海洋研究所が所掌しています。調査船舶としては、有人潜水船のしんかい6500をはじめとして、有索の無人機や自動航行式の無人機などを保有しています。これらの調査船舶は、研究船に搭載して、深海のさまざまな調査研究に活用しています。

### 3. 生物規範工学と海洋生物学

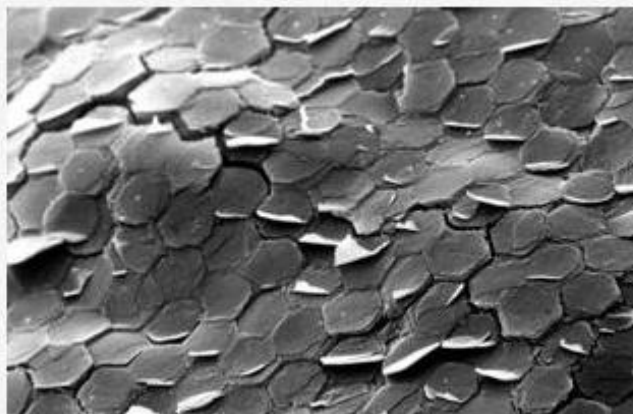
海洋生物には、きわめて工学から見て興味深い構造や機能を見ることができます。陸上の生物は、重力に対抗することに体の作りが強く規定されているので、その体制の自由度は海洋生物よりもかなり制約されています。一方海洋生物は、水中に生活するという別の観点の制約を強く受けています。水中生活の特徴として、水という強い粘性抵抗のなかで生活すること、浮力を受けて、3次元的な構造を作りやすいという2点が挙げられます。また付随して、水が光（特に長波長側）を速やかに吸収するので、環境には赤が少なく青が多い、電磁波よりも圧力波（音波）の方が遠くまで届く、なども特徴としてあげられるでしょう。

表層付近では、それでも光はふんだんにあり、生物は光を重要な情報源として使っています。ほぼすべての魚類が、背中側の色が濃く、腹側の色が薄いのは、上から入射してくる太陽光に対して、カモフラージュすることが目的と考えられます。なかには、積極的に光を使うものもいて、構造色を呈する動物も少なくありません。

代表的なのは、サフィリナと呼ばれるカイアシ類のなかまで、美しい構造色をしています。この構造色はオスのみにみられるもので、グアニンの多重構造を皮膚の下に持つことで実現しているものです(Chae and Nishida 1994)。土佐の漁師はこのプランクトンの生息している海域を「玉水」とよんで、カツオ漁場の指標に使っていました。



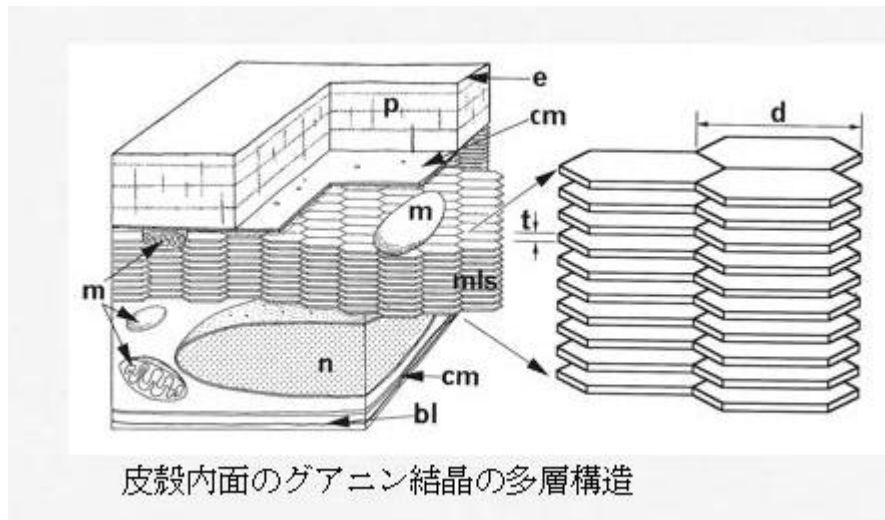
*Sapphirina metallina* (西川淳氏撮影)



皮殻のグアニン結晶によるハニカム構造

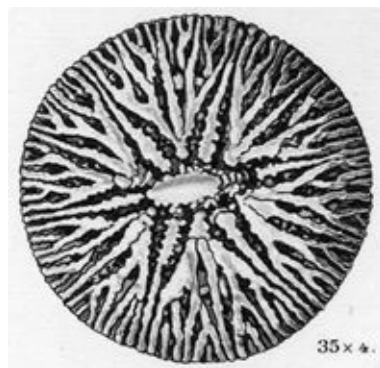
(Chae and Nishida 1994 より)





(Chae and Nishida 1994 より)

深海では、栄養が少ないので、最小のエネルギーで最大の力学的強度を得ようとする単体サンゴの骨格を見ることができます。この動物の骨格構造はなんとなく車の高級ホイールを想起させるものです。



*Stephanophyllia* sp. の骨格 (Encyclopedia of Life より)

このように、海洋生物には、いろいろと工学から見て興味深いものが多数あると確信しております。今回のシンポジウムが、工学者と海洋生物学者との協働作業のはじめの一歩となることを期待します。

所属機関：沖縄美ら島財団総合研究センター

氏名：佐藤 圭一

所属機関住所：〒905-0009 名護市字茂佐の森

3丁目15-8

e-mail : <mailto:k-sato@okichura.jp>



## 形態と機能から見たサメ類の多様性

サメ類は、分類学的に軟骨魚綱 Chondrichthyes、板鰓亜綱 Elasmobranchii に属する動物群である。エイ類とは姉妹関係にあり、体の構造も基本的に共通している。サメ・エイ類＝板鰓亜綱は、一般に鰓隔膜が伸長することにより鰓孔が5つまたは6-7対に分かれていること、体が微小な楯鱗で覆われていること、上下不相称な尾鰭、尿素を含む高張な体液、その他多くの特徴を共有する。現在、世界で有効種とされているサメ類は500種以上、エイ類は600種以上も存在し、熱帯～極域、浅海～深海、淡水域～外洋まで、様々な環境に適応した種が知られる。その多くは全長1m未満の小型種で、人間にとって脅威となる大型の危険種は、全体の1割程度である。一般に、世の中に名の知れたサメと言えば、映画で知られたホホジロザメのほか、シュモクザメ類、シロワニなど水族館でもお馴染みの種が中心である。しかし、サメの形態的・生態的多様性は、一般にあまり認識されているとは言えない。ここでは、サメ類の形態や生態、繁殖方法に見られる多様性について概略を紹介する。

### (1)サメの形態と生態

サメ類の外部形態、特に楯鱗は「サメ肌」として広く知られる。別名「皮歯」と呼ばれるが、楯鱗と歯の由来・構造は同じものである。楯鱗の形態は多様であり、その名の通り楯の形状を為すもの、棘状、戟状、杯状、疣状など、様々である。楯鱗は、捕食者からの防御、構造の維持、遊泳抵抗の軽減、寄生虫の付着防止など、様々な機能をもつと考えられる。

サメ類の骨格系は、通常軟骨質である。神経頭蓋は函型をなし、前端部へ突出した吻軟骨、鼻殻、眼窩、耳殻までが、完全な一体構造となっている。特に現世のサメ・エイ類の顎は、前方に突出するのが特徴で、上顎骨と頭蓋との結合が緩く、舌顎骨の発達によって獲得された機能である。

サメ類は肝臓が大きな生物として知られる。しかし、すべてのサメ類が巨大な肝臓を持っているわけではない。一般に、高速遊泳性のサメでは体重に対する肝重量の割合が小さく、深海性のアイザメ類で最も大きくなる。一般に、アイザメ類の肝重量は全体のおよそ25%で

あり、肝臓に多量のオイルを保持している。この大きな肝臓の最大の機能は、体の中性浮力を保つことにある。深海は極めて餌に乏しい環境であり、遊泳によって浮力を得ることはエネルギーのロスとなる。そこで彼らは中性浮力を保つことにより、エネルギー消費を抑え、極めて餌生物の少ない環境に適応した。また、オイルを浮力体として保持することは、水圧の変化に対しても浮力の変化が小さく、ガスよりも安定的に浮力を得ることができる。

サメの腸はらせん腸(spiral intestine)と呼ばれる。その名の通り、サメやエイ類の腸の内部は、らせん階段のような構造をなしている。サメ類の腸は全体に短くなっているが、らせん構造を持つことにより腸内の表面積を飛躍的に大きくしている。らせんの回転数は分類群によって様々で、リング型、円錐らせん型、巻物型の3型に大別される。ろ過採食型のサメ(プランクトン食)では回転数が顕著に多くなる傾向がある。

## (2)サメの繁殖方法

板鰓類の繁殖様式は、卵生 oviparity および胎生 viviparity に分けられる。卵生種は硬い卵殻に包まれた受精卵を海中に産出する。一方胎生種では、母体から仔ザメを出産する。胎生種の繁殖様式は、栄養供給の有無により、母体に栄養を依存しない卵黄依存型胎生 lecithotrophy と、母体から何らかの形で栄養供給を受ける母体依存型胎生 matrotrophy に分けられている。大型で遊泳性のメジロザメ類、ネズミザメ類、トビエイ類、アカエイ類では、後者の繁殖様式をとり、母胎内で大きく成長した仔を産む。さらに母体依存型の胎生は、栄養供給の様式により、①卵食・共食い型 oophagy / adelphophagy、②胎盤型 placental viviparity、③子宮ミルク型 uterine milk (胎盤類似物型 placental analogues)に類別される。特に胎盤型については、有胎盤類以外で唯一胎盤を形成する動物群であり、組織学的にもヒトと共通した特徴を持つ。

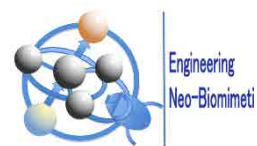
板鰓類における繁殖様式の進化は、卵黄依存型を祖先型として、母体依存型へ変化したと考えられている。また、胎盤形成や卵食、子宮ミルクなどは、クレード内で少なくとも複数回、多系統的に獲得した形質である。板鰓類は生態的な進化と同時に繁殖様式も変化したと考えられる。

### (3)おわりに

このように、サメ類は脊椎動物の系統において独自の進化を成し遂げてきた。サメは原始的な生物として語られることが多いが、それは本当に正しい認識だろうか？私たちの身の回りに存在する工業製品は、技術革新とともに多機能化し、構造は精密化・複雑化しているように思う。しかしサメの進化において、彼らは一つ一つの構造を単純化させ、その形を極めることにより、生物体としての完成度を高め、5 億年にわたる長い歴史を築いてきた。私たちが、きわめて洗練された体をもつサメ類に学ぶべきことは、まだ多く残されているように思う。

# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

*Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity*



トピックス PEN より



## 自己組織化の工業化を目指し、 バイオミメティクスの適用へ

三菱レイヨン株式会社 横浜先端技術研究所 魚津吉弘

### 1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災をきっかけに、今まで日本人がおさなりにしてきた非常に大きな課題がクローズアップされた。その課題こそが、エネルギー問題である。

地震が引き起こした津波による福島第一原発での事故が起因となった電力不足から計画停電などを経験し、我々の生活が如何に電気に依存しているかを痛感させられた。現在、原発の安全性への不安から、各地の原発は定期検査後の再稼働を見合せている。地震以前には原発増設により原発を中心としたエネルギー政策がたてられていた。原発の安全神話が崩壊し、原発増進の道が閉ざされたことによって、エネルギーの大転換への道を突き進む必然に直面することとなった。今回の地震は、我々日本人の生活の大きなターニングポイントとなる可能性が高い。実際にはエネルギーの転換が完了するまでには、エネルギーの需給バランスが崩れ深刻なエネルギー不足になる可能性やエネルギーの質の低下により現在まで人間が築いてきた安定な電力供給を前提とした工業プロセスからの転換の必然性も再認識されている。

これまで人間が築いてきた工業化プロセスでは、化石燃料をエネルギー源とし、鉄、アルミ、シリコン、そして希少元素を原料として、リソグラフィー等を駆使したトップダウンの加工技術によりモノを作り、情報や価値を生み出してきた。これに対し、低エネルギーで典型元素を中心として自己集合や自己組織化というボトムアップの加工技術が

昨今注目を浴びている。ボトムアップの加工技術は、このような省エネという一面とともに、トップダウンの加工技術では困難な大面積加工や超微細加工の可能性を有していることから期待されている。

生物は太陽光や化学エネルギーを用いて、炭素を中心とする有機化合物を主だった原料として、分子集合や自己組織化によってモノを作る、「生物の技術体系」とも言うべき仕組みを持っている。上述のような技術のトレンドのなかで、今世紀に入り欧米を中心に、「自然に学ぶモノづくり」のひとつである「バイオミメティクス」が改めて注目され始めている。

### 2. ボトムアップとしての自己組織化の利用

規則的な構造を有する機能性材料の作製に関しては、現在大部分は半導体用レジストや成形材料の金型など、まずは構造を形成するための規則性を機械加工やリソグラフィー等により形成している。人の意思によって、その時点で手に入れた加工手法によって規則的構造を形成する、いわゆるトップダウンの加工方式である。トップダウンの加工方式では、規則構造の微細化とともに加工設備が非常に大きくなってきて、研究開発設備でさえ単独の企業ではもてないようなレベルになってきた。また、トップダウンの加工方式では、将来的な目標である規則性のサイズの実現も不可能となってきた。そこで最近注目を集めているのが、ボトムアップの加工方式である自己組織化の手法を利用した

新たな材料設計である。自己組織化の手法による材料設計では、用いる加工設備は比較的簡易でかなり安価のもので済ませられること、ならびに一般的に大面積での構造形成が可能だという大きなメリットを有している。ただし、この自己組織化現象は、作製される組織化構造が完璧には制御できず、欠陥が必ず存在するという欠点を有している。自己組織化現象を工業化プロセスに適用するには、このような規則性の不完全性を許容するようなアプリケーションを見出すことか、トップダウンの手法との組み合わせで高度な規則性を付与することが重要なポイントである。

### 3. 自己組織化現象を利用した研究開発

自己組織化現象の代表例としては、高分子の世界ではブロックコポリマーのナノ相分離構造形成があげられる。材料設計や加工条件を整えることにより、自己組織的にナノオーダーの様々な構造形成が実現されている [1]。また、高分子の溶液キャストを加湿下で行うことにより、マイクロオーダーではあるが規則的なハニカム状の構造が形成できることもよく知られている現象である。これらの手法では大面積での加工が可能であり、工業化へ向けた開発が進められている [2]。自己組織化はこれらの現象だけではなく、非常に多くのバリエーションが知られている。その中で、三菱レイヨンにおいても自己組織化現象を利用した研究開発を進めている。これらの研究は屈折率分布型プラスチックロッドレンズの研究を通じて、色々な検討を行ってきた結果たどり着いたものである。一つは、レンズ材料の特性をさらに向上させるために、材料探索研究を進めてきた中で偶然見出した現象（セレンディピティ）に関するものである。もう一つは、蛾の目の表面を模倣し微細凹凸を形成した無反射構造を、工業化を目指し大面積に形成することを目的とした研究である。ロッドレンズの研究者として屈折率分布をいかに効率良く形成するかを考えるなかで、蛾の目の表面の微細凹凸構造に関心を寄せるようになっていた。この研究は、現在バイオミメティクスの代表的な研究となりつつある。本稿では一連の研究の起点となったロッドレンズの紹介から、これら自己組織化現象を用いた工業プロセスの開発に向けた取り組みの現状、ならびにその開発におけるバイオミメティクス適用の意義に関して解説していきたい。

### 4. 拡散と反応の制御によるプラスチックロッドレンズの製造技術

ロッドレンズとは図1に示すように直径1 mm程度の円柱状の物体であり、中心から円周にかけて連続的に屈折率が減少していることを特徴としている。このような屈折率分布を有していることで、特定の長さで切断すると、1対1の正立実像を形成することから、ファクシミリ、スキャナや、多機能プリンタ等の原稿読み取り用のレンズとして用いられている。プラスチックロッドレンズは、複数の屈折率の異なるモノマーとポリマーとの溶解混合物（原液）を図2に示すように、複合ノズルより押し出し糸状とした後に層間でモノマーを拡散させ、モノマーの分布を形成した（屈折率分布を形成した）後に、紫外線を照射することでモノマーを重合するという工程により作製される。各層のロッドレンズの原液は拡散光を用いて重合硬化すると、透明なレンズ材料として使用できる。[3]

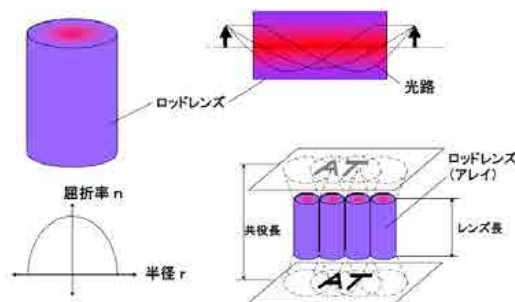


図1 ロッドレンズの構造と機能

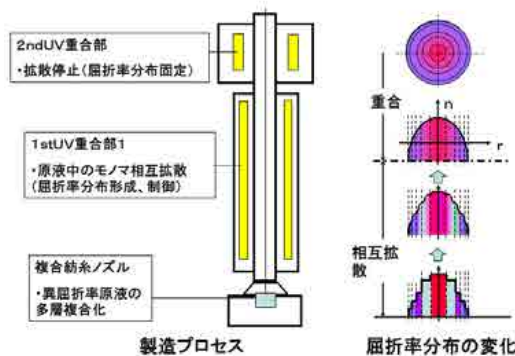


図2 相互拡散法の製造プロセス概要

### 5. 平行光線照射によるマルチシリンダー構造の形成技術

プラスチックロッドレンズに用いる原液のポリマーとモノマーとの均一溶解物を平行光線により重合硬化すると、図3に模式的に示すように光線の方向に自己組織的にマルチシリンダー状の構造が形成される [4]。この現象はレンズ材料の開発を進める中で20年近く前に偶然に見出した現象である。図4に照射面から観察した代表的な相分離構造の光学顕微鏡写真を示す。この図から確認できるように直径が約  $5 \mu\text{m}$  で間隔が約  $10 \mu\text{m}$  のドメインが一面に形成されていることがわかる。また、アスペクト比100を超えるシリンダー構造が形成可能である。これらマルチシリンダー構造の形成は、光重合速度(光開始剤量、光強度)や、光重合の進行とともに形成されるネットワーク構造(オリゴマー分子構造)に依存することを実験的に確認している。この構造の形成起源は、反応拡散系における Turing 不安定性 [5] との関わりを理解することが重要と考え検討を進めているが、いまだにその形成メカニズムの解明には至っていない。

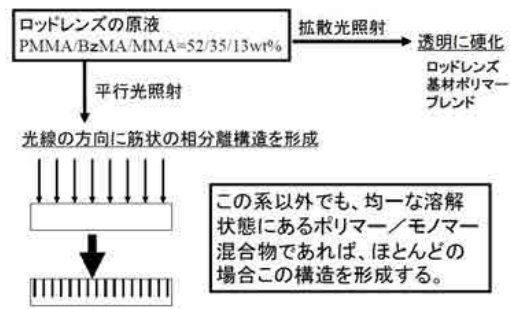


図3 平行光によるマルチシリンダー構造の形成

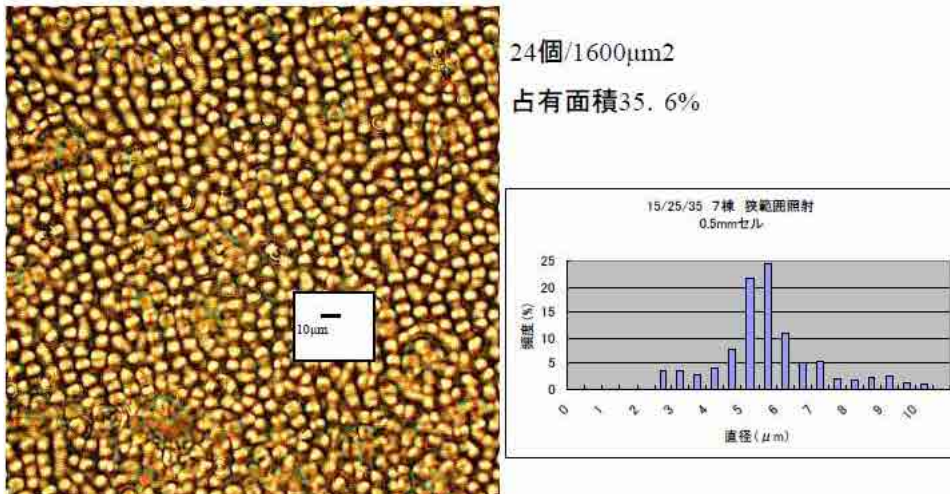


図4 自己組織化構造の光学顕微鏡による観察

**6. トップダウンの手法との組み合わせ  
テクスチャリングの手法を用いた規則性の向上**

光硬化性樹脂フィルム中に、自発的に形成される規則的な構造には、自己組織化では避けがたい不完全性が見られる。このマルチシリンダー構造は回折格子としての利用が考えられるが、回折格子への適用には規則性の向上が必須である。より高い規則性を付与するためには、フォトマスクによる前段硬化を用いたテクスチャリング法が効果的であることが確認されてきた。ゲル化点近傍における構造の誘起をテクスチャリング法によりアシストし、引き続いて行われる平行光束の紫外線照射により、構造を成長させ固定化することにより、高度な規則性を有するマルチシリンダー構造の形成が実現される [6] (図5)。図6にレーザー光をこれらのフィルムを通して得られた回折パターンを示す。自発形成のみで作製したフィルムを通したパターンでは、ビームスポットの滲みや散乱成分が確認される。一方、テクスチャリングを施したフィルムを通したパターンでは、それらは認められなかった。

自己組織化現象の工業化のためには、このようにトップダウンの手法と組み合わせて、従来の手法では形成することが困難な超規則構造の形成に結びつけることが一つの方向性であると考えられる。

**7. 構造制御への考え (図7)**

平行光線照射により形成されるマルチシリンダー構造 (a) に関して検討を積み重ねてきたが、ドメインサイズがマイクロサイズの範囲でしか実現できないこと、並びにドメイン間にはわずかな組成の差しかなく屈折率差が小さく、回折や拡散にしか利用ができないという制約がある。様々な光学素子の可能性のあるサブマイクロオーダーでの構造形成を思考し研究企察を進めた結果、同じ画で表現できる陽極酸化法によるアルミナナノホールアレイの活用へと行き着いた。アルミナナノホールアレイを金型として用い、ナノインプリントによりポリマーに構造を転写することで、可視光の波長オーダーの表面構造 (b) を形成可能である。また、空気とポリマーとからなることから、屈折率差も大きくなる。さらにはその空気の部分に機能性材料を埋め込む (c) ことにより、更なる機能性の付与も期待して研究に取り組んでいる。その研究のマイルストーンとして、モスタイプ無反射フィルムの開発に取り組んでいる。

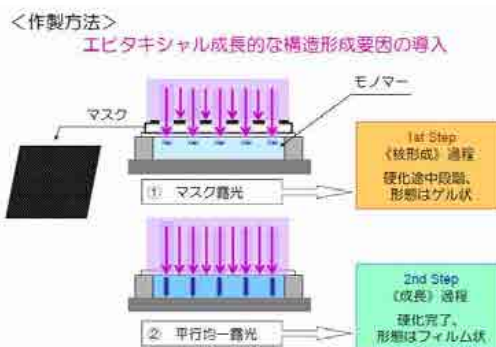


図5 テクスチャリング法による配列精度の改良

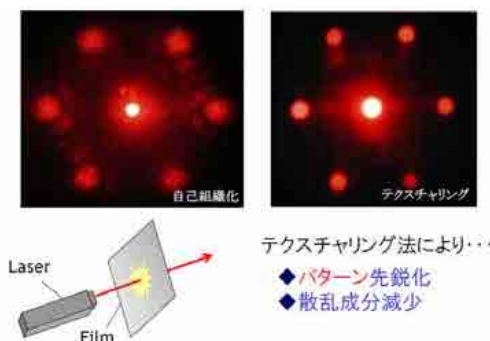


図6 フィルムを通した回折パターン

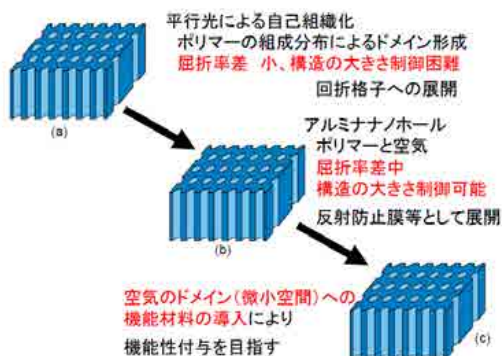


図7 表面機能化研究の展開

## 8. アルミナナノホールアレイを用いたモスアイ型反射防止フィルムの製造技術開発

自己組織化現象を利用した工業化プロセス研究の二つ目は、神奈川科学技術アカデミー（KAST）の益田秀樹教授と共同で研究を進めているモスアイ型反射防止フィルムの開発である。

### 1) モスアイ型反射防止フィルムとは

ディスプレイにとっては外光から生じる反射光の影響で、画像が見えにくくなるという現象が生じ、その反射光の影響を低減化することがディスプレイの特性を改善するための大きなポイントとなっている。反射光の影響を防ぐフィルムとしては、反射光をばよかす Anti-Glare (AG) フィルムと反射光自体を低減化する Anti-Reflection (AR) フィルムとがある。現在、AG フィルムは、液晶ディスプレイに多く用いられており、AG フィルムはプラズマディスプレイに用いられてきた。AG フィルムは反射光をばよかすために、ディスプレイの解像度を落とすという欠点を有している。一方、現在各社より上市されている AR フィルムは多層膜タイプのものであり、各層の屈折率及び膜厚制御を行うことで反射光同士が干渉して打ち消しあうように設計されている。この多層タイプのもは多くの層を積み重ねることで、かなり広い波長範囲の光の反射を抑えることが可能である。ただ、コスト面からの要請から、一般的にディスプレイ用途で用いられている AR フィルムは 2 層フィルムであり、視感度の最も大きな 570nm 付近の光の反射を強く防止するような設計となっている。

一方、これとは異なる原理でナノオーダーの微細な凹凸構造を表面に形成することで、空気と基材の界面で屈折率を連続的に変化させて反射を防止できることは、学術的には以前から知られていた。この構造は図 8 に示す蛾の目の表面構造を模倣したものであり、一般にモスアイ構造と呼ば

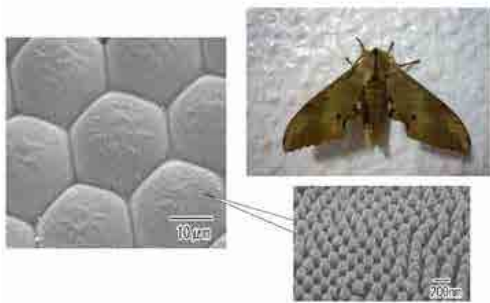


図 8 蛾の目の表面構造

れ、バイオミメティクスの代表的な例である [7]。しかしながら、このようなナノオーダーの微細な凹凸構造を大面積で作製することは難しく、工業的には実用化されていない。

### 2) モスアイ型アルミニウム金型の作製とインプリント技術

アルミニウムを陽極酸化した時に自己組織的に形成されるアルミナナノホールが、大面積に、しかも、曲面に形成できる [8] という特性を利用すれば、シームレスな大型のロール金型の形成が可能であるとの確信のもと検討を開始した。

アルミナナノホールアレイの構造は、セルと呼ばれる一定サイズの円柱状の構造体が細密充填した構造となっている (図 9)。各セルの中心にはセル径の約  $1/3$  の径を有する均一な径の細孔が配置しており、各細孔が膜面に垂直に配向して配列している。それぞれのセルのサイズ (細孔の間隔) は、陽極酸化の際の電圧に比例する。陽極酸化時の電圧を変化させることによって、細孔間隔を 10nm から 500nm 程度の範囲で制御することが可能である [9]。テーパ形状を有するアルミナナノホールアレイからなるモスアイフィルム形成用金型の形成方法を、図 10 を用いて説明する。まず、シュウ酸水溶液を電解液として用い定電圧下で、アルミニウムの陽極酸化を行う。次に形成した細孔をエッチングにより拡大する処理を行った。エッチングにより孔径拡大処理を行ったものを、シュウ酸水溶液を電解液として用い定電圧下で、アルミニウムの陽極酸化を行う。すると、ナノホール底面よりセル径の  $1/3$  の径を有する細孔が形成される。底部にはセル径の  $1/3$  の径を有する細孔その上部にエッチング処理により拡大した径の部分が形成された複合形状のナノホールアレイが形成される。この一連の処理を複数回繰り返すことにより擬似的なテーパ形状を有するモスアイ金型が形成される [10]。

モスアイフィルムは図 11 のような光ナノインプリントの工程により作製した [11]。まず、アルミナナノホールアレイ金型に光硬化性樹脂を充填し、PET 等の透明な基盤フィルムをかぶせる。この基盤フィルムは酸素による重合阻害を防止するという目的も持っている。次に、基盤フィルム側から UV 光を照射し、光硬化性樹脂を硬化させる。最後に保護フィルムと一体化した形状を付与した樹脂を金型から剥離する。この一連の工程を経由して、モスアイ型反射防止フィルムが作製される。基盤となるフィルム上に、モスアイ型反射防止コーティングを行うことにより、モスアイ型反射防止フィルムが形成される。基盤となるフィルム



としてはアクリル系フィルム、ポリエステルフィルム、ポリカーボネートフィルム等が用いられる。図 11 の下側の写真は、左は作製したテーパ形状を有するアルミナナノホールアレイを有するモスアイ金型の断面の SEM 写真であり、中央がモスアイ金型の表面の SEM 写真である。直径約 100nm のテーパ状の細孔がきれいに配列した形状となっている。また、右の図は UV ナノインプリントにより形成したモスアイフィルムの TEM 写真である。モスアイ金型の形状がきれいに転写されていることが確認できる。

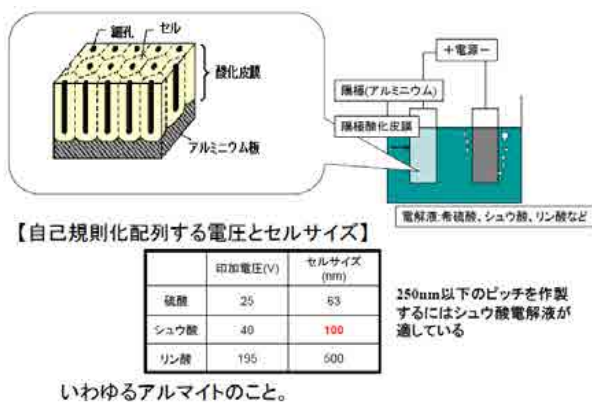


図 9 アルミナナノホールとその作製方法

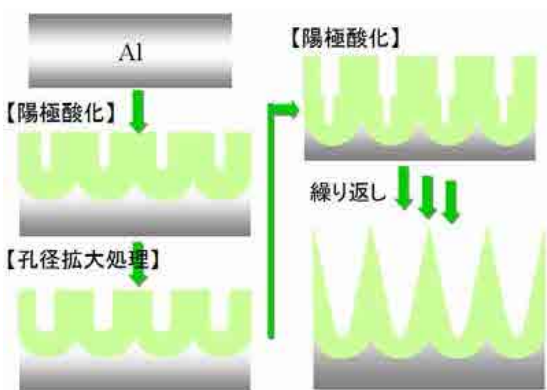


図 10 テーパー状アルミナ金型作製の模式図



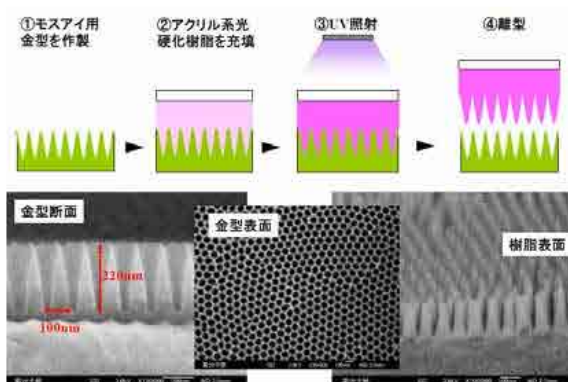


図 11 モスアイフィルム作製プロセスの模式図

### 3) モスアイフィルムの光学特性

標準的なモスアイフィルムの反射率の測定データを図 12 に示す。従来品の AR フィルムは視感度の最も高い 570nm 付近の反射を選択的に防止するような特性を有しているのに対し、モスアイフィルムは可視光域全域において反射率を下げる事が可能であることが分かる。また、反射率の入射角度依存性も良好であり、入射角度 50 度付近まではほぼ無反射で、60 度になってはじめて反射率は 1% を超える。アクリルシートの両面に反射防止フィルムを貼り付け、映り込みの比較を行ったのが図 13 である。右側の市販の反射防止フィルムを用いた場合、強い映り込みが確認できる。一方、モスアイフィルムを貼ったのが左側であるが、映り込みはほぼ確認できなかった。

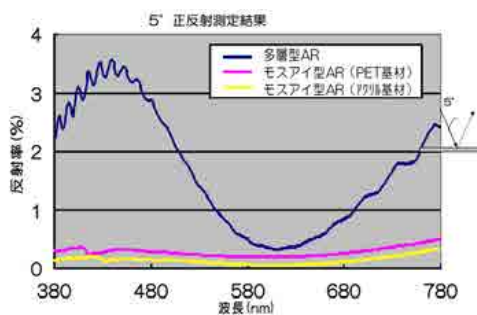


図 12 反射防止フィルムの反射率

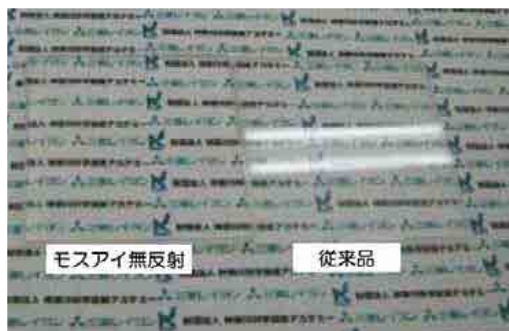


図 13 反射防止フィルムの映り込み評価結果

#### 4) ロール to ロールによるモosaic型フィルムの連続的製造技術

数10cm単位の大きさのロール形状で鏡面加工したアルミニウムをシュウ酸水溶液を電解液として用い定電圧下で陽極酸化を行い、次に細孔径を拡大する処理を行った。これを複数回繰り返して表面にテーパー形状のアルミナナノホールを有するロール金型を得た。

得られたロール金型を用いて光硬化性樹脂を用いてロール to ロールで連続的に樹脂フィルム上にモosaic構造を転写した。樹脂表面及び断面を電子顕微鏡により観察したところ、パッチで検討していた時と同様に、100nm周期の均一なサイズのモosaic構造がナノインプリントされていることを確認した。得られたフィルムの反射率測定を行ったところ、可視光波長域において反射率及び反射率の波長依存性が低いことがわかった。このように、ロール金型を用いた連続光ナノインプリントの可能性を確認した。

### 9. バイオミメティクスと自己組織化現象の工業化

微細構造の大量での加工技術の実現のためには、自己組織化現象の適用が最も可能性が高いと考えられる。しかし自己組織化現象で形成される規則構造には、規則構造の乱れ“いいかげんさ”が必ず存在する。自己組織化を工業化するためには、テクスチャリングによりマルチシリンダー構造の超規則性を実現したように、トップダウンの加工技術との組み合わせにより規則構造の乱れを解消する方向性がある。ただ、トップダウンの加工技術がベースにあるので、大量の加工にはつながらない。自己組織化現象の特性を十分に活かし大量加工技術を実現するためには、構造の“いいかげんさ”を許容するようなアプリケーションを見出すことが必須である。

ここで生物に目を移してみる。生体に帰属する表面構造は特性としては、完全な機能の発現が必須である。また、生体を構成する構造は、基本的には自己組織的に形成される。ただ、自己組織化による構造形成は、規則性に不完全さが必ず存在する。生体の表面構造では、規則性に不完全さが存在するにもかかわらず、完全な機能が実現されている。生体は自己組織的な構造形成の最良のお手本であり、自己組織化を工業的に利用する際の非常に良い指針となると考えられる。

モosaicの場合を例にして考えてみる。モosaic構造はアスペクト比などの満たすべき条件はあるが、式1の関係を満たす限り無反射の特性を実現するものと計算されている。最もピッチが小さくなる条件、波長400nmで屈折率

が1.5で計算すると、ピッチは267nm以下であれば無反射特性となる。モosaic構造はピッチが267nm以下であれば無反射の特性となるということであり、ピッチがそれ以下の中でフレても無反射構造であるということの意味する。すなわち、モosaic構造は多少の構造の欠陥は特性に影響しない、規則性の不完全さを許容するアプリケーションである。このようにモosaic無反射フィルムは、自己組織化の工業化のための最適なアプリケーションと考えられる。

$$\Lambda \leq \frac{\lambda}{n} \dots (1)$$

$\Lambda$  ピッチ(nm)  
 $\lambda$  波長(nm)  
 $n$  屈折率

式1

### 10. まとめ

自己組織化の手法による材料設計では、基本的にエネルギー消費が少なく省エネであるということ、用いる加工設備は比較的簡易でかなり安価なもので済ませられること、ならびに一般的に大量での構造形成が可能だということ大きなメリットを有している。多くの解説では省エネの面並びに安価な加工設備の面が強調されたものとなっているが、本稿では工業化に結びつく最も大きなポイントと考えられる大量加工の可能性にポイントを絞って解説を行った。

自己組織化現象を工業的に適用した事例は、現在までのところ非常に数少ない。自己組織化現象を工業的なプロセスへと結びつけた成功例として挙げられるように、これらの技術の工業化を目指し多くの研究開発が進められている。そのための強力なツールとしてバイオミメティクスは期待されている。

#### References:

- [1] 鎌田香織、化学と工業、58(3)、231-232 (2005)
- [2] 下村政嗣、高分子、55(1)、28(2006)
- [3] 魚津吉弘、廣田憲史、高分子論文集、61(1)、51-66 (2004)
- [4] 魚津吉弘、服部俊明、川原田泰、藤井泰行、高分子学会予稿集、55(2)、3413(2006)
- [5] Castets, V., Dulos, E., Boissonade, J., and De Kepper, P., Phys. Rev. Lett., 64, 2953-2965 (1990).
- [6] 茶谷俊介、實藤康一郎、服部俊明、刀襦誠司、2006

年第 15 回ポリマー材料フォーラム、2PB12

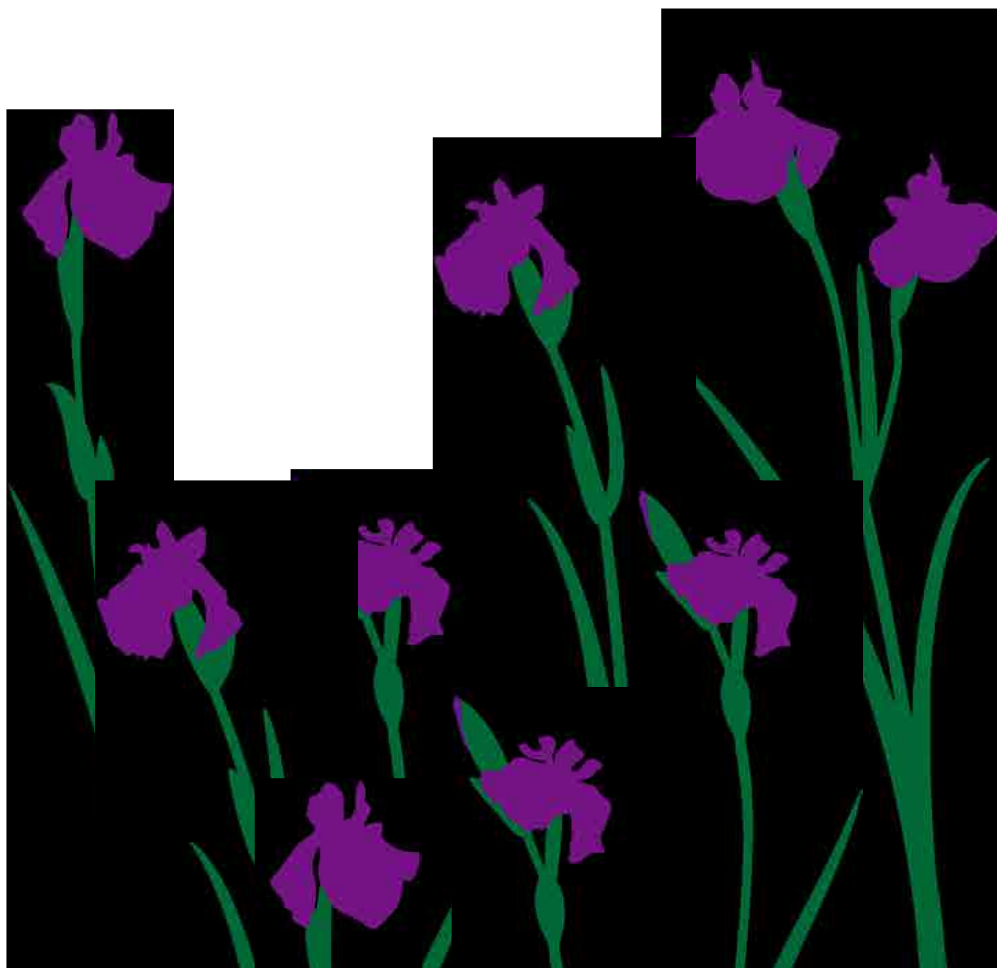
[7] P. B. Clapham & M. C. Hultley, *Nature* 244, 281 (1973)

[8] H. Masuda and K. Fukuda, *Science*, 268, 1466 (1995).

[9] T. Yanagishita, K. Nishio, and H. Masuda, *J. Vac. Sci. B*, 25, L35 (2007).

[10] T. Yanagishita, K. Yasui, T. Kondo, K. Kawamoto K. Nishio, and H. Masuda, *Chem. Lett.*, 36, 530 (2007)

[11] 魚津吉弘：日本接着学会誌“モスアイ型反射防止コーティング”、46(5)、173 (2010)



## 自然に学ぶ表面処理技術 ～汎用元素によるはつ油性に優れた表面の創製～

産総研 サステナブルマテリアル研究部門 高耐久性材料研究グループ  
浦田千尋、Dalton F. Cheng、\*穂積篤

### 1. はじめに

初夏になると、緑色の大きな葉で一面が覆い尽くされた蓮田を見かける。蓮の原産地はインド半島とその周辺と言われており、7～8月にかけて白やピンク色の美しい花を咲かせる。その葉は円形で、中心に特徴的な葉柄がついており、「蓮は泥より出でて泥に染まらず」といわれるように、蓮の葉の表面は驚異的なはつ水性により汚れがつきにくい。蓮の葉表面には、図1 (a) に示すように、5～15 $\mu\text{m}$ の突起物がそれぞれ20～30 $\mu\text{m}$ の間隔を持って空間配置されており、突起物表面は分泌された植物ワックスの微結晶で覆われている(図1 (b))。植物ワックスは低表面エネルギー物質で、高級不飽和脂肪酸、その重合物および高級アルコールと高級不飽和脂肪酸のエステル等からなる蝟、トリテルペン、ステロイドなどのことである [1]。この物理的・化学的效果により、蓮の葉は「水をはじき、汚れない」という優れた機能を発現している。この超はつ水性によるセルフクリーニングは蓮の葉効果 (Lotus-Effet<sup>®</sup> は Bonn 大学の商標) と呼ばれている [2]。しかしながら、この効果は油性系の汚れに対しては無効である。なぜなら、植物ワックスは油と相性が良いため、例えば、蓮の葉に *n*-

ヘキサデカン (油) を一滴たらずと一瞬にしてぬれ広がり、水のようにはじかれて表面から転がり落ちることはない。

優れたはつ油性を実現するためには、超はつ水性表面と同様に微細構造の導入と、油よりも表面エネルギーの低い有機フッ素化合物が有効であることが知られている。しかし、油の表面エネルギーは低いことから、蓮の葉上の水滴のように油滴がころころと滑落していく表面の創製はチャレンジングなテーマであり、実際にその報告例は少ない [3,4]。はつ油性表面には、有機フッ素化合物の使用は必要不可欠であるが、近年、有機フッ素化合物の製造に必要な原料である蛍石の価格高騰や、有機フッ素化合物 (特にパーフルオロオクタン酸) の人体や環境への影響が懸念されており、本物質群に対する規制も年々厳しくなっている [5,6]。そのような背景から、省エネルギー・省資源・低環境負荷の観点からも、有機フッ素化合物に依存しないはつ油処理技術の開発が望まれている。実際に自然界では、例えば、カタツムリや魚の殻や鱗は、汎用元素を利用し、微細構造化した表面を水やタンパク質で被覆し、親水化という水と油の相分離現象を利用することで、優れたはつ油性、防汚機能を発現させている [7,8]。

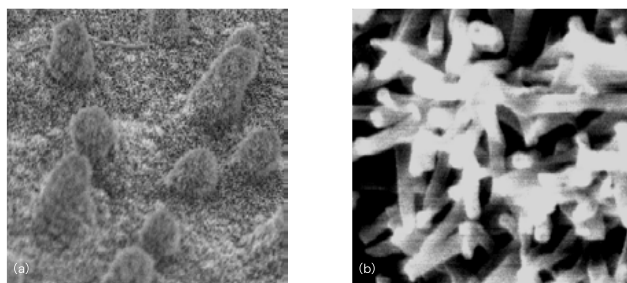


図1 蓮の葉表面のSEM写真：(a) 表面の突起物 (1000倍)、(b) 突起物表面の拡大像 (30000倍)

## 2. ぬれ性とは？

では、固体表面の水や油のはじきやすさ、あるいは水や油のぬれやすさは、どのように判断されているのであろうか？ 通常、液滴の接線と固体表面とのなす角度である接触角という値を用いて判断する。水をプローブに使用した場合は水滴接触角という。接触角は固体表面の1 nm程度の最外層のみの物性を反映しており、この値が大きい表面は一般的に、はっ水 / はつ油性表面、小さい表面は、親水 / 親油性表面と認識されている。それでは、図2 (a) と (b) の表面ではどちらが油滴をはじく性能があるだろう。前述の定義から判断すると、(a) の表面の方が (b) よりも接触角が大きいため、はつ油性表面であるといえる。

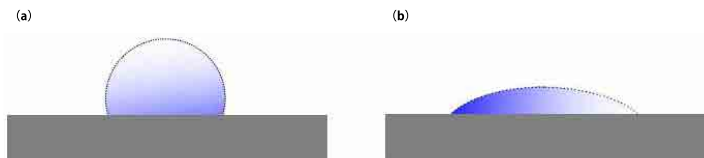


図2 油滴の静的な状態

しかし、図3 (a) の表面のように、基板を180°傾けても落ちない場合もあれば、(b) の表面のように、わずかな傾斜角で転がり落ちて行く場合もある [9]。

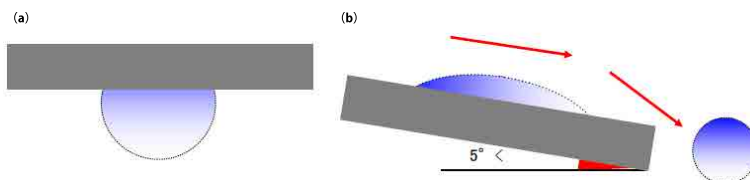


図3 油滴の異なった動的挙動：(a) ヒステリシスの大きな表面、(b) ヒステリシスの小さな表面

このことから固体表面のぬれ性は、液滴の「静的」な状態ではなく「動的」な挙動で評価することが重要であることが容易に想像できる。しかしながら、これまでに報告されている超はっ水 / はつ油処理に関する研究では、一つの接触角、多くは静的接触角 ( $\theta_s$ ) の値しか記載されていない場合が多い。動的接触角とは、固体表面上を液滴が動く状態を想定した、液滴の前進 ( $\theta_A$ )・後退 ( $\theta_R$ ) 接触角によって決定される値であり、固体表面からの液滴除去性能の指標として、最近注目されている。 $\theta_A$  と  $\theta_R$  の差 ( $\Delta\theta = \theta_A - \theta_R$ ) あるいは  $\theta_A$  と  $\theta_R$  の余弦の差 ( $\Delta\theta_{\cos} = \cos\theta_R - \cos\theta_A$ ) は接触角ヒステリシスとして定義され、この値が小さい程、液滴と固体表面との相互作用は小さい。事実、蓮の葉の  $\theta_A/\theta_R$  値は 156° / 151°であり、ヒステリシスはわずか5°である。ヒステリシスの起源は、表面粗さ、化学的不均一

性、固液界面での分子再配列等の影響によるものと考えられている [10]。

Wei らは固体表面で液滴を駆動させるのに必要な力を式 (1) のように表した [11]。この式から明らかなように、ヒステリシスを小さくすれば液滴を小さな力で駆動させることが可能になる。

$$F_s = kw\gamma_{lv}(\cos\theta_R - \cos\theta_A) \quad (1)$$

$k$  : 定数、 $w$  : 液滴の幅、 $\gamma_{lv}$  : 液滴の表面張力

ヒステリシスが大きな表面では、例えば  $\theta_s$  の値が大きくても液滴は「ピン止め効果」により傾けても動かないのに対し、ヒステリシスが小さい表面では、例えば  $\theta_s$  の値が小さくても、基板をわずかに傾けた (重力) だけで液滴を容易

に動かすことができる [9]。図 4 の植物の葉の表面は、一見、水滴をよくはじいているように見えるが実はなかなか水滴は落ちてこない。「ピン止め効果」の一例である。



図 4 ピン止めされた水滴 (名古屋工業研究所八木橋信博士提供)

接触角ヒステリシスを小さくできれば、液滴 (水、油) をわずかな力で自由に動かすことが可能となるが、残念ながらその手法は未だ確立されているとは言えない。これまでに、1) 特殊な分子構造を持った単分子膜 [11-14]、2) 低分子量ポリジメチルシロキサン (PDMS) 薄膜 [9, 15]、3) 充填密度の低い単分子膜 [16] の表面 (主としてシリコン基板上) が接触角ヒステリシスが小さいという報告がある程度である。いずれの表面にも共通していることは、分子が十分に駆動できる「Liquid-like な状態」にあるということである。そのような表面では、官能基や高分子鎖の回転 / 駆動により液滴の三相接触線も動きやすくなり液滴が動く際のエネルギーバリアが小さくなるため、ヒステリシスが小さくなると考えられている [11, 17]。

### 3. 汎用元素によるはつ油処理

これまで、超はつ水 / はつ油性に関する研究分野は主に  $\theta_s$  値を大きくすることのみに焦点が絞られてきたといっても過言ではない。 $\theta_s$  の値だけから判断すると、これらの処理で一般的に使用されるアルキル鎖を持った有機分子で被覆された表面は、水に対しては表面エネルギーが十分に低い (高い) はつ水性を示すものの、油に対しては親油性を示す。従って、特にはつ油処理に関しては有機フッ素化合物の使用は必要不可欠である。我々のコンセプトは、 $\theta_s$  の値

をやみくもに大きくするのではなく「液滴と表面との相互作用を抑制し、いかにヒステリシスを小さくするか」である。それが実現できれば、超はつ水 / はつ油表面と同様に液滴をスムーズに動かすことができる。このような低ヒステリシス表面を実現するため、著者らはこれまでに、単分子膜、ポリマー薄膜、有機 - 無機ハイブリッド薄膜を利用して Liquid-like な表面を構築する手法を探索し続けてきた。本稿では、その中でもヒステリシス制御に基づいた汎用元素によるはつ油処理について最近の研究事例を紹介する。

#### 3.1. ポリマー薄膜

我々は最近、高分子鎖の動力学特性を利用して優れたはつ油性を示す表面を作製した [9]。環状構造をもったヒドロシラン (1,3,5,7-テトラメチルシクロテトラシロキサン、 $C_4H_{16}O_4Si_4$ 、以下、 $D_4^H$  と示す。) を気相から  $80^\circ C$  で、72 時間化学吸着させると、 $D_4^H$  由来の厚さ  $\sim 0.5$  nm の分子膜が形成される。この  $D_4^H$  分子膜を被覆したシリコン表面に残存した水素基を利用してビニル基終端の PDMS (Gelest 製、DMS-V21、分子量 6000) をヒドロシリル化反応 (図 5) により固定した。

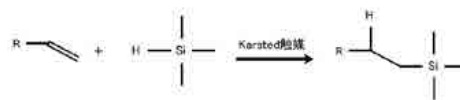


図 5 ヒドロシリル化反応

PDMS をヘキサンに希釈し、Gelest 製の Karstedt 触媒 10 ppm を添加して 20 wt% の反応溶液を調製した後、先ほどの  $D_4^H$  分子膜を被覆したシリコン基板をこの溶液に  $50^\circ C$  で 72 時間浸漬させた。この処理により PDMS が基板表面に固定されていることが赤外高感度反射法 (IRRAS: Infrared Reflection Absorption Spectroscopy) により確認された。PDMS 表面上での各種液滴の動的接触角を表 1 に示す。いずれの液滴に対しても接触角ヒステリシスは  $5^\circ$  以下と小さく、特に油に対してヒステリシスの小さい表面であることがわかる。また、微小油滴  $3 \mu L$  に対しても転落角  $5^\circ$  以下の優れた滑油性を示した。PDMS はガラス転移温度が  $-127^\circ C$  と極めて低いため室温では液体である。また、*n*-ヘキサデカン、*n*-ドデカンはいずれも PDMS に対して良溶媒であるため、PDMS 鎖とこれらの液体間で、いわゆる「Blended liquid/liquid interface」を形成する。これらの油が可塑性のような役割を果たし、PDMS 鎖が膨潤することで高分子鎖の動きが活発になったことがヒステリシスが小さくなった原因であると考えている [9]。また、この PDMS 表面の動的ぬれ性は温度により著しく変化し



た。70℃に基板を加熱すると高分子鎖の動きがさらに活発化するため、ヒステリシス、転落角いずれも著しく小さくなることが確認された [9]。

表1 PDMS 表面での各種液体 (25 °C) の動的接触角と接触角ヒステリシス

プローブ液体 (表面張力)	$\theta_A / \theta_R$	$\Delta\theta^*$
水 (72.8 dyn/cm)	109° / 104°	5°
ヨウ化メチレン (50.8 dyn/cm)	73° / 68°	5°
<i>n</i> -ヘキサデカン (27.5 dyn/cm)	35° / 33°	2°
<i>n</i> -ドデカン (25.4 dyn/cm)	21° / 20°	1°

$$*\Delta\theta = \theta_A - \theta_R$$

### 3.2. 有機/無機ハイブリッド薄膜

有機シラン ( $R_nSiX_{4-n}$ ,  $n = 1, 2, 3$ , 一般的に  $X = Cl, OR, H$  基,  $R$  は各種官能基) を、液/気相から自然酸化膜 ( $SiO_2$ ) のシリコン表面に吸着させると、充填密度が比較的高く、機械的強度や化学的安定性に優れた単分子膜が形成する [18]。通常、メチル基終端の単分子膜で被覆された表面は水に対しては十分に表面エネルギーが低いいため、静的接触角の値から判断すると高いはっ水性を示すが、油に対しては親油性を示す。前述のとおり、接触角ヒステリシスを小さくするには、表面分子が回転/駆動するのに十分なスペースを確保する必要がある。そこで我々は、この有機シランであるデシルトリエトキシシラン (DTES) にアルコキシシランであるテトラメトキシシラン (TMOS) を所定量添加したゾル液を調製し、各種基材に塗布することで表面に露出する DTES 分子の密度を制御した [19]。図 6 にガラス管内部を各種処理した試料に、赤色に着色した *n*-ヘキサデカンを滴下した後の状態を示す。DTES 単分子膜を被覆したガラス管 (図 6 (b)) では、*n*-ヘキサデカンはぬれ広がり赤く染まっていることが確認できる。また、従来のフッ素系有機シラン単分子膜で被覆したガラス管 (図 6 (c)) は一見、*n*-ヘキサデカンをよくはじいているように見えるが、液滴がピン止めされていることがわかる。これに対し、TMOS を添加して作製したハイブリッド薄膜を被覆したガラス管 (図 6 (a)) は、*n*-ヘキサデカンに対して染まることなく優れた滑油性を示した。同じ原料を用いたにも関わらず、表面の分子密度を制御するだけで油滴が特異な動的挙動を示すことが明らかとなった。このハイブリッド薄膜は常温で硬化し、基材の制限もなく、特に前処理なしでも比較的良好な密着性が得られるという特長がある。

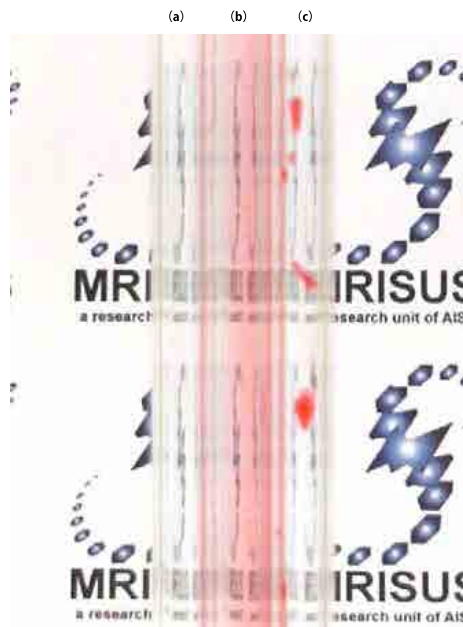


図 6 着色した *n*-ヘキサデカン滴下後のガラス管の状態：(a) 有機/無機ハイブリッド薄膜、(b) DTES 単分子膜、(c) フッ素系有機シラン単分子膜被覆ガラス管

### 4. まとめ

生物は長い年月をかけて汎用元素を用い、微細構造を最適化することで、人類が未だ実現できていない驚異的な機能を獲得してきた。環境や資源に配慮した材料/材料プロセス開発のトレンドから、「汎用元素の利用」は今後、重要なキーワードとなることは間違いない。従来からのぬれ性の評価基準である静的接触角の値だけで判断すると、我々が創りだした表面はまぎれもなく親油性表面であり、実際に著者自身も最近まで炭化水素系材料は親油性だと信じていた。しかしながら、視点を変え、その動的挙動の滑油性から判断すると、はっ油性表面であると言わざるを得ない。これまでのぬれ性に関する既存概念からの脱却と新たなブレークスルーが必要である。カタツムリや魚は、微細構造化した表面を水やタンパク質で被覆し親水化することで、はっ油性・防汚性を実現しているが、自然界にはこれ以外にも、同様の微細構造とぬれ性制御というシンプルな原理に基づいて様々な機能を常温/常圧下で発現させている例がある。今回紹介した表面は極めて平滑なため、微細構造の効果はぬれ性に反映されていない。著者らは今後、生物の持つ特異な微細構造を賢く利用していきたいと考えてい

る。そのためには、何よりも、生物学・博物学が持つ豊富な生物資源情報（生物が有する表面構造とそれがもたらす機能発現）を活用することが重要である。異分野の融合・連携のもと、生物学・博物学に基づいた表面デザインと新しい技術（ナノテクノロジー）の融合により、蓮の葉効果を凌駕する次世代バイオメテリック表面の開発が期待できる。この分野はまだ無限の可能性を秘めている。

#### References :

- [1] 日本植物生理学会 <http://www.jspp.org/>
- [2] <http://www.lotus-effekt.de/en/index.php>
- [3] A. Tuteja, W. Choi, M. L. Ma, J. M. Mabry, S. A. Mazzella, G. C. Rutledge, G. H. McKinley and R. E. Cohen, *Science*, 318, 1618 (2007).
- [4] J. P. Zhang and S. Seeger, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 50, 6652 (2011).
- [5] Y. Zushi, J. N. Hogarth and S. Masunaga, *Clean Technol. Environ. Policy*, 14, 9 (2011).
- [6] A. B. Lindstrom, M. J. Strynar and E. L. Libelo, *Environ. Sci. Technol.*, 45, 7954 (2011).
- [7] <http://inax.lxil.co.jp/inax/story/technology/nano.html>
- [8] M. Liu, S. Wang, Z. Wei, Y. Song and L. Jiang, *Adv. Mater.*, 21, 665, (2009).
- [9] D. F. Cheng, C. Urata, M. Yagihashi and A. Hozumi, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 51, 2956 (2012).
- [10] J. N. Israelachvili : 分子間力と表面力 第2版, 近藤保／大島広行訳, p.312, 浅倉書店 (1996).
- [11] W. Chen, A. Y. Fadeev, M. C. Hsieh, D. Oner, J. Youngblood and T. J. McCarthy, *Langmuir*, 15, 3395 (1999).
- [12] A. Y. Fadeev and T. J. McCarthy, *Langmuir*, 15, 7238 (1999).
- [13] A. Hozumi and T. J. McCarthy, *Langmuir*, 26, 2567 (2010).
- [14] A. Hozumi, D. F. Cheng, M. Yagihashi and J. *Colloid Interface Sci.*, 353, 582 (2011).
- [15] J. W. Krumpfer and T. J. McCarthy, *Faraday Discussions*, 146, 103 (2010).
- [16] A. Y. Fadeev and T. J. McCarthy, *Langmuir*, 15, 3759 (1999).
- [17] L. Gao and T. J. McCarthy, *Langmuir*, 22, 6234 (2006).
- [18] H. Sugimura, K. Ushiyama, A. Hozumi and O. Takai, *Langmuir*, 16, 885 (2000).
- [19] C. Urata, D. F. Cheng and A. Hozumi, submitted.

## 昆虫の形態研究は バイオミメティクスに寄与するか？

国立科学博物館動物研究部 野村周平

### 1. はじめに自己紹介

もともと筆者は、アリヅカムシという微小甲虫の分類研究が本業であり、博物館では甲虫全般のコレクションの管理運営、細かくは展示物の準備製作や研究用標本の貸出業務なども行っている。そのような仕事を本務とするものがないためバイオミメティクスに関わるようになったのか、その経緯をまず説明したい。2010年に国立科学博物館の上野本館で「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に関するジョイントシンポジウム」(バイオミメティクス研究会主催)が開催された。そのシンポジウムを契機にバイオミメティクス研究会の先生方とお知り合いになることができ、最近ではそれに関連する研究費もいただけるようになった。もしこのシンポジウムのような好機がなければ、筆者はまったくこの分野とかかわることなく、博物館を一步も出ることなく、昆虫分類学に埋没していただろう。

私が専門としているアリヅカムシは体長約0.5～4ミリほどの微小甲虫で、日本からはすでに300種ほどが知られている。20年以上前は「アリヅカムシ科」という独立の科とされていたが、その後の研究により、最近ではハネカクシ科の1亜科として扱われることが多くなった。日本から300種ほどが知られると書いたが、実はまだ名前のついていない種がたくさんある。昆虫の名前には、ラテン語で表記される学名と日本語で表記される和名とがあって、学名がついたものは、動物界の「種」として認識された、ということになる。さらに和名がつけられると、どのグルー

プのなにがしであるか、ちょっとでも虫を見知った一般の人々にも認識可能、ということになる。

まだ学名がついていない種は「未記載種(みきさいしゅ)」と呼ばれ、sp. 1, sp. 2, …のような仮の番号で呼ばれることが多い。アリヅカムシはまだあまり研究されていないグループなので、未記載種の割合が非常に多く、日本だけでも500～700種くらいあると推定される。世界中ともなると想像するだに恐ろしいほどである。未記載種に新たな名前が付けられて発表されると「新種」ということになる。「新種の昆虫」というと大変ありがたいもののように思えるかもしれないが、アリヅカムシの場合にはこれから新種になる種の方が、すでに知られている種よりも多い。東京近郊、つくば界隈でもこれから新種になろうというアリヅカムシはたくさん見つかる。

そのようなアリヅカムシを自然の野山から採ってきて、既知の種と区別し、特徴を記述して新種名をつけ、「これが新種のアリヅカムシ、何の何兵衛でございます」と発表するのが、私が専門とする昆虫分類学の作業である。ちなみに私はこれまで、日本のみならず、韓国、台湾、中国、ベトナム、タイなどアジア諸国から260種ほどのアリヅカムシを新種として発表した。アリヅカムシは大変小さい昆虫なので、種の区別を確実に行うためには、顕微鏡による詳細な観察が欠かせない。大雑把な観察比較は実体顕微鏡でも可能だが、詳細な比較を行い、なおかつ精細な写真として観察結果を記録するために私は走査型電子顕微鏡(SEM)を20年以上前の学生時代から用いてきた(図1)。

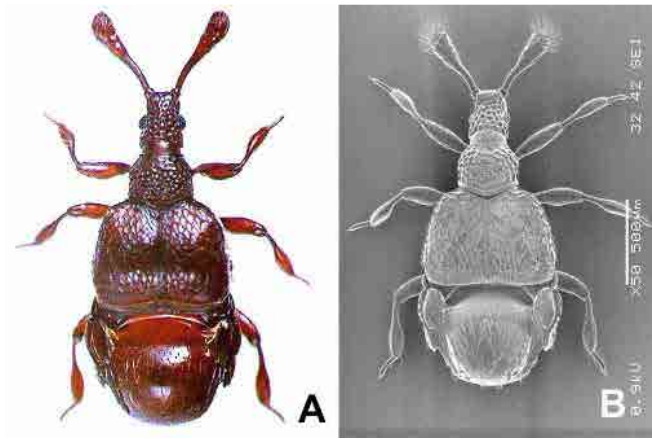


図1 ベトナム産のアリヅカムシ（ハネカクシ科）の一種 *Cerylambus reticulatus*。  
A：CCDカメラによる画像；B：SEM写真

## 2. SEMによる昆虫の形態研究

SEMはこのように昆虫分類学の様々な研究の中で利用されるようになってきたが、現在においてもなお、それほど普及して一般的な研究手法となるには至っていない。昆虫分類学を担っている人々の中で、SEMがある程度自由に使える環境にいる人は極めて限られているからだ。また、SEMによる観察では、実体顕微鏡による観察にはない長所と短所があって、分類研究者が構築しようとするイメージと必ずしも合致しない、という点も大きいと思われる。長所はもちろん、昆虫体表面の微細構造をきわめて正確に、しかも高倍率で観察記録できるということにある（図2）。

一方SEM観察の最大の短所は、観察部分の色が判断できない、ということにあるのではないだろうか。このため、同一部分を観察しても、実体顕微鏡による観察結果とは非常に異なり、白黒写真でしか記録することができない。つまり形に関する情報は極めて精細であるが、色に関する情報がそっくり抜け落ちた形でしか我々は受け取ることができない。色が決め手になるような昆虫グループの観察には不向き、ということになるのではなかろうか。

アリヅカムシの場合、色はあまり問題ではなかった。アリヅカムシほど小さい虫では、毛のような細かい構造ばかりでなく、体を覆う外皮でさえも色がついていないことが多

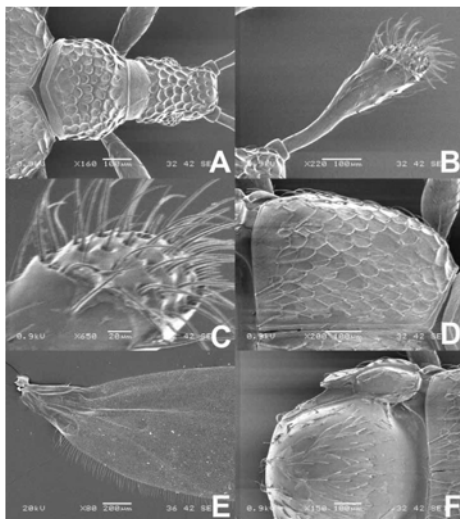


図2 ベトナム産アリヅカムシの一種 *Cerylambus reticulatus* の各部SEM写真（A～F）。Eのみ金蒸着、加速電圧20kvで撮影、他は非蒸着、加速電圧0.9kv。

い。そのため、性能のいい実体顕微鏡で倍率を上げて、透明な構造が折り重なって見えるばかりで、正確な形態が把握できない。この点、SEM 観察は透明な部分も正確に観察できるため、非常に都合がよかった。

SEM によって昆虫体表面を観察すると、これまでの実体顕微鏡下の観察では見えていなかったもの、認識できなかった構造ですら、精密に観察できるようになる。するとこれまで気が付かなかった昆虫体表面の機能が分かってくるようになる。ただ、上に述べたように、SEM 観察には大きな欠点もあるので、実体顕微鏡や光学顕微鏡（透過式）などによる観察を併用することによって、欠点を補っていかねばならない。

私が専門としているアリヅカムシなどの甲虫類は、一般に外皮が硬く、非常に安定した形態を保持している。それで特別に処理をしなくても、乾燥しただけで低倍率の観察はできる。たまたまではあったが、これも大変都合がよかった。一般に生物資料を SEM 観察する場合には、金や白金などの金属をスパッタリング等により被検体に薄くコーティングし、20kV くらいの高い加速電圧で観察することが主流である。しかしそうすると観察後の資料はのちの標本資料として役立つことが難しくなる。そのため私がアリヅカムシ標本の観察をする場合には、資料をよく乾燥し、非蒸着で、低い加速電圧（0.9kV）で観察することにした。しかし低い加速電圧では、2 万倍、5 万倍といった高倍率

の観察は極めて不安定になって難しいため、どうしても高倍率の観察を必要とするときには十分な資料を準備したうえで、金属を蒸着した資料で観察するようにしている。私が使用している SEM の機体で昆虫資料を観察する場合、非蒸着では最大 2000 倍程度、蒸着した資料では最大 10 万倍ほどが限界のようである。もちろん世の中にはこれよりも機能の優れたマシンはいくらも存在するだろうが、今は手元の機械でできることをやっている段階だ。

アリヅカムシの分類研究に SEM を利用する一方で、その他の昆虫についても同様な方法で観察すると、これまで実体顕微鏡や光学顕微鏡による観察だけでは知られていなかった昆虫形態の奥深さに触れることができ、ますます興味膨らんだ。母校の九州大学で助手をやっていたころにはクワガタムシ幼虫の発音器を観察、記録した（野村・漆山、1992）。またクワガタムシに似たツノクロツヤムシ（図 3）の幼虫発音器についても報告した（野村、1994）。これらの昆虫は朽ちた倒木の中にトンネルを掘ってすんでおり、互いの、あるいは成虫とのコミュニケーションのため、発音すると考えられている。これらの幼虫には他の甲虫と同じく、前・中・後脚の 3 対の脚があるが、後脚が特殊な形に発達し、中脚の基部外側を摩擦することによって発音する。こすり合わせる部分には硬く丈夫な顆粒ややすりのような構造が発達し、その形状は種ごとに異なっている（図 4）。

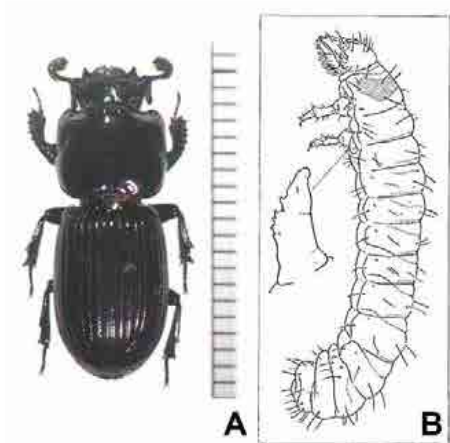


図 3 ツノクロツヤムシ（クロツヤムシ科）。A：大分県産成虫；B：幼虫のイラスト（宮武，1959 から転載）。

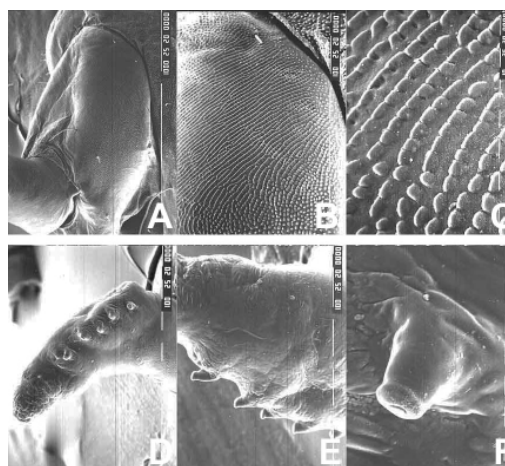


図 4 ツノクロツヤムシ幼虫発音器の SEM 写真（すべて野村，1994 原図から作成）。A～C：中脚外側；D～F：後脚内側。

### 3. バイオミメティクスへの展開

私がそれまでに行ったSEM観察はそれだけだったら、昆虫分類学の域を一步も出るものではなかった。しかし2010年のシンポジウムに出席し、その時にお話し下さった北海道大学名誉教授、下澤橋夫先生とやり取りするうちに違った景色が見えてきた。

下澤先生はある日、北大構内で手に入れたエゾハルゼミ(図5A)の翅をSEM観察し、透明な翅膜の表面に、微細な突起が多数、しかもきわめて整然と配列されていることを発見し、写真を撮影された(図5B)。

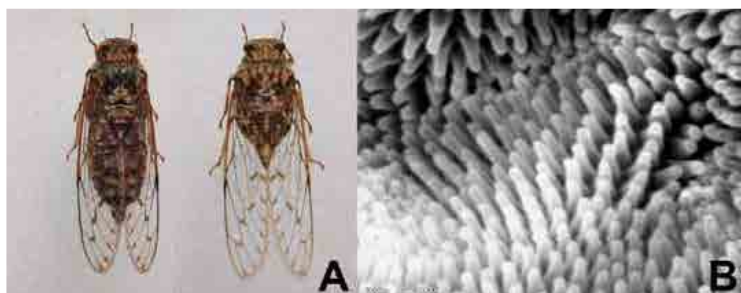


図5 エゾハルゼミとその翅膜上ナノパイル。A:成虫(佐賀県産)左♂右♀;翅膜上ナノパイルのSEM写真(下澤橋夫撮影)。

筆者がエゾハルゼミの翅を独自に観察したところ、一個の突起は、高さ約200ナノメートル(nm)、直径50~100nmであり、いわゆる「ナノパイル」という構造である。しかしこの構造は相当に微細な構造であるので、相当にSEMの倍率を上げないと、そこに突起があることさえ認識できない。このような構造は実はすでに知られているものであった、といっても、もともとは蛾の複眼表面で見つかったために「モスアイ」と呼ばれている。個々の突起は「ナノパイル」あるいは「ナノニップル」と呼ばれている。「ナノ~」は言うまでもなく長さの単位であるが、「パイル」は杭(くい)状の構造、「ニップル」は乳頭状の構造を意味する。

モスアイの機能はすでに知られており、自動車のフロントガラスのように雨滴をはじいて見る機能を補助する「撥水」の役割と、光の反射を抑えてコウモリなどの外敵に見つかりにくくする「無反射」の役割があると考えられている。下澤先生が見出されたエゾハルゼミ翅のモスアイもやはり、撥水と無反射の機能を兼ね備えていると考えられた。この構造はどうか、さらに別の機能も備えているようであり、下澤先生と浜松医科大学の針山孝彦教授が研究を進めている。

セミの翅にモスアイ構造があるなど、私はこれまで一切知らなかったし、その精緻な構造とセミの生態との精妙な関係に興味をひかれたので、自分でも見てみることにした。博物館の標本資料を少し拝借して6種ほどのセミをSEM観察してみた。見たい昆虫の標本がすぐ出てくるところが博物館の偉いところで、翅の透明なミンミンゼミ、ツクツクボウシ、エゾハルゼミとファーブル展の準備で手に入れた南仏産のトネリコゼミ(*Cicada orni*)、そして翅が不透明なアブラゼミとニイニイゼミが準備できた。

SEM観察の結果、どの種にもやはりナノパイルが見出された。しかもその形や配列の状況はセミの種ごとに違っていた(図6)。そして透明な翅膜と不透明なそれとはかなり構造が違うことが分かった。つまりナノパイルのサイズや形がかなり異なるのである。透明な翅をもつ種ではナノパイルは非常に規則的な棒状で、おおよそ100~300nmの間隔で分布している。それに比べ、不透明な翅ではナノパイルは不規則な形をしており、おおよそ500~1000nmの間隔で生じている。すなわち透明な翅ではサイズが小さく整然としており、不透明な翅ではサイズが大きく、不規則である。



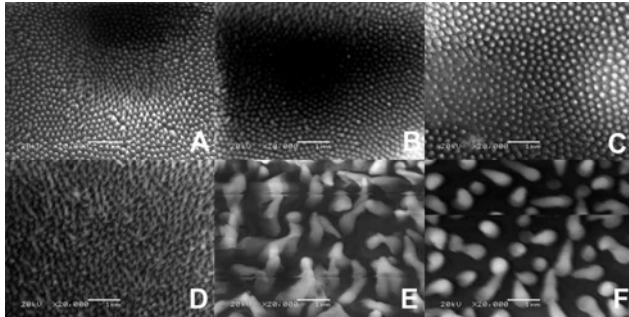


図6 セミ6種の翅膜上ナノパイルSEM写真 (倍率はすべて2万倍)。A:エソハルゼミ (山梨県産); B:トネリコゼミ (南フランス産); C:ツクツクボウシ (屋久島産); D:ミンミンゼミ (東京都産); E:アプラゼミ (東京都産); F:ニイニイゼミ (東京都産)。スケール (1  $\mu$  m = 1,000 nm) は各写真中央下。

このような観察結果が果たしてバイオメティクスの分野へ何らかの作用を与えられるのかどうかは現段階ではわからない。しかし昆虫学サイドにあるものとしては、必要な情報を求められたときに出すことができないとなると大変恥ずかしい。近い将来必ずやってくるであろうバイオメティクスの急展開に備えて、その基礎となる知識や情報を整備しておくことこそ、昆虫学のみならず広く生物多様性に携わる者の務めであるように思う。いつまでも昆虫学の中だけで通じる言葉、昆虫学の中だけで流れる情報の中でだけやっていただけでは将来的な展望はない。

#### 4. 未来の科学にいかにかに寄与するか？

昆虫の歴史は人類などよりもはるかに長く、約3.5億年前の古生代デボン紀末までさかのぼる。どのような形態を身につければ、その後の気候変動や地球的規模の危機を乗り越えて生き残れるかという知恵が詰まっているといっても過言ではない。昆虫たちは生き残る知恵を事前知っていたわけではなく、遺伝的な変異の中から、適したものがたまたま生き残った、その他のものは死滅した、という試行錯誤を絶え間なく、数限りなく繰り返した結果が現在わたしたちの眼前にあるということだ。私たち昆虫研究者は、そのきわめて多様な昆虫形態の中から、ある形態を抽出し、それがいかに昆虫の生存に役立ってきたかを解明し、わたしたちが今手にしている科学に寄与できるように、次の段階に手渡さなければならない。

現在、バイオメティクス研究会あるいはそれ以外のさまざまな研究者団体あるいは個々の研究者が、昆虫の形態や機能を、テクノロジーに活かすことができないか、多くの試みを行っている。具体的には、構造色、吸着(粘着)機構、撥水、無反射等々であるが、何が成功し、何が失敗するのはあらかじめわかるものではない。それはまさに昆虫自

身が営々と続けてきたような試行錯誤の積み重ねによってしか、結果にたどり着かないのではないだろうか。

そのような局面に、正確で、十分な、そして新しい発想が可能となるような昆虫形態に関するデータを供給するのが昆虫研究者の役割ではないかと私は考える。私たちの取り組みでは、具体的には、SEMのようなより現代的な手段を用いて昆虫形態に関するデータ、特に画像データを集積してデータベースを構築する。それによって昆虫形態にヒントを求める、特に工学関係の人々に必要十分なデータを提供できるようにすることを企図している。それだけではなく、近年発展著しい情報科学のノウハウを生かして、これまで誰にもできなかった発想を可能にするようなデータベースの構築を目指している。このような取り組みによって、これまで昆虫学界の中だけで流通しがちであった情報を外へ向け、昆虫の形態研究がものづくりに寄与するチャンスが生まれるのではないだろうか。

末筆ながら、バイオメティクス研究会で日頃より多大なご指導をいただいている、東北大学の下村政嗣先生、札幌の下澤橋夫先生、浜松医大の針山孝彦先生に厚く感謝の意を表したい。

#### References :

- [1] 宮武睦夫, 1959. ツノクロツヤムシの生活. 講談社刊「日本昆虫記IV甲虫の生活」, pp. 183-234.
- [2] 野村周平・漆山誠一, 1992. クワガタムシ幼虫発音器の走査型電子顕微鏡による観察. 新築紫の昆虫, 筑紫昆虫同好会, 福岡, (1):13-28.
- [3] 野村周平, 1994. ツノクロツヤムシ幼虫発音器の走査型電子顕微鏡による観察. PULEX, 日本昆虫学会九州支部, 福岡, (83): 441.

## フラクタル日除け —生物から学ぶもの—

京都大学大学院 人間・環境学研究科 酒井敏

### 1. すべては「物まね」から始まる

世の中の職業の中で、最も創造性、独創性を要求される芸術家も、多くの場合、先ずは先人のコピーをすることから修行を始める。他人の影響を受けずに独力で素晴らしい作品を作るのは、よほどの才能と幸運に恵まれなければできないであろう。そういう意味で、やはりビートルズは天才である。

一方、科学の世界では、まず基本的な論理を学び、それを応用する形で世界を広げてゆく。とは言うものの、基本的論理に関しては、先人の知識を「まね」するわけで、「物まね」から始めるという意味では、同じようなものかもしれない。ただし、同じ物まねでも、まねの仕方はずいぶん違って、芸術家の場合は表現された「結果」をまねすることから始めるのに対して、科学の場合には根本的な考え方をまねするところから始めるのが基本である。

こう書くともっともらしいが、実は、そう単純ではない。特に自然科学の場合、相手は地球や生物などで、彼らは高度な芸術家である。人間の論理だけで、彼らの真似はそう簡単にはできない。科学である以上、根本的論理を捨てるわけにはいかないが、時には芸術家的センスで、彼らの物まねをしてみても、あとから理屈をつけることもしばしばである。こういう場合でも、論文にするときには、あたかも最初から理屈がわかっていたような書きぶりを書くから、一般には上記のような演繹的アプローチが正攻法であるかのような印象を与えてしまう。しかし、自然にとって、そんなことはどうでもよいのだ。自然界はもともと「結果オー

ライ」であって、最初から理屈があるわけではないのだから。

### 2. ヒートアイランドの大きな誤解

2000年頃から、ヒートアイランドが社会問題化し、「ヒートアイランド」という言葉は、夏の季語になってしまった。ここでの論調は決まって「人間活動により自然が失われて環境が悪化した」というものである。しかし、この「人間活動＝悪」という単純な論調には正直なところ強い違和感を感じる。そもそも、生物は周囲の環境を変えながら生きていくもので、生物の生き方に「正解」や「正しい道」があるわけではない。自らの影響で環境が変わってしまうことが不都合なら、そうならないように対処するか、そうなくてもよいように適応するかのどちらかである。どちらでも構わないが、最もうまく対処したものが生き残るだけである。これは、人類も例外ではない。人類が他の生物と違うのは、試行錯誤だけに頼って最適解を探るのではなく、多少の論理的予測や、他の生物や自然のしくみの真似をすることで、少し「賢く」対処できるという点である。そのためには、当然ながら、現在の状態を正しく認識する必要がある。

この点で、ヒートアイランド問題に関しては、大きな誤解がある。実は、昼間の気温は、都市部も郊外もほとんど差がないのである。都市部の気温が郊外よりも高くなる現象そのものは、昔からよく知られている現象であるが、それは昼間ではなく夜の現象である（図1）。そして、それが

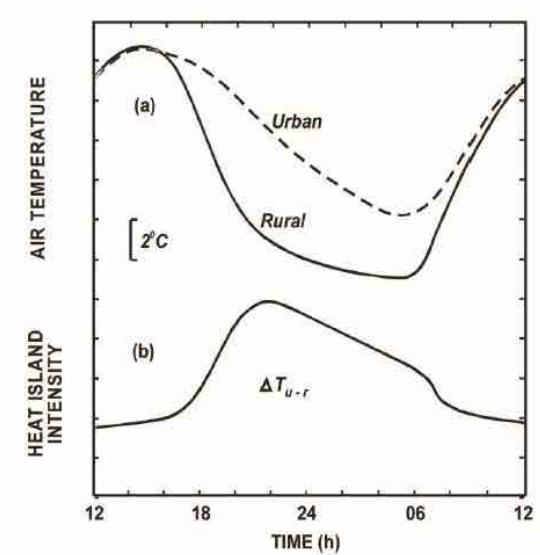


図1 都市部と郊外の気温の日変化。都市部と郊外の気温の差がヒートアイランド強度 (Heat Island Intensity) で、夜間に大きな値を持つが、昼間はほとんど0である。[1]

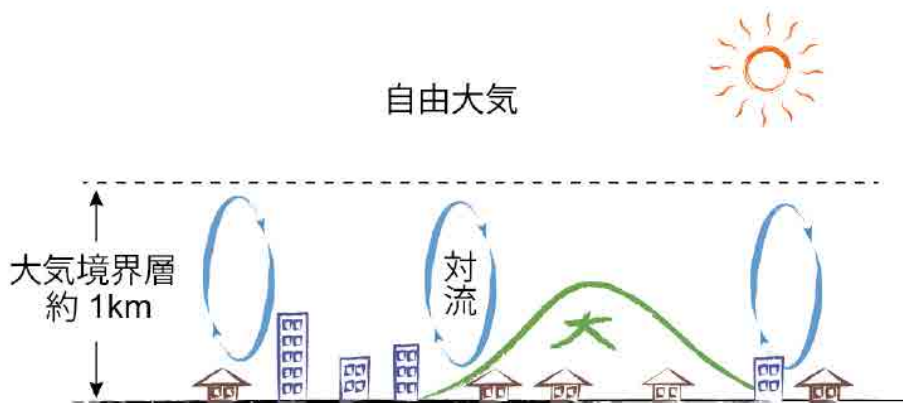


図2 昼間の大気の状態の模式図。地表面から約1kmの高さまでの大気境界層は、太陽によって温められた空気が、強い対流を起こしており、よくかきまぜられている。

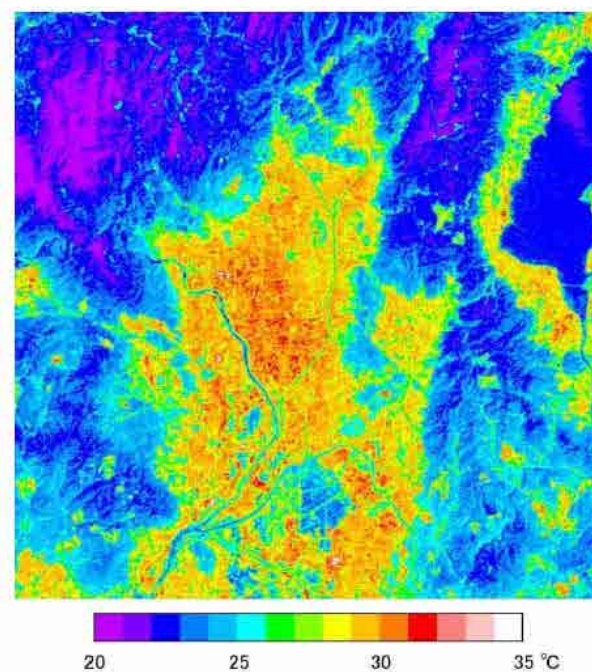
顕著に現れるのは、夏ではなく空気が澄んで放射冷却が効く冬の夜である。これは今も基本的には変わらない。

昼間に都市部の気温が郊外とほぼ同じになるのは、気象学的な理由がある。昼間は都市部であろうと郊外であろうと、強い日射によって地表面が熱せられ、強い対流が起こる。この対流の高さは約1kmで、この部分を大気境界層と呼ぶ(図2)。これより上は、自由大気と呼ばれ、地表面の影響をあまり受けない(1日の温度変化がない)領域である。昼間の大気境界層の中は、この対流によってよくかきまぜられ、温度差(正確には温位差)はほぼ1℃以内とな

る。したがって、地表付近の気温が変わるためには1kmの厚さのある大気境界層全体の温度が変わらなければならない。そして、大気境界層内にはそれなりに風が吹いているので、都市部から郊外までほとんど温度が変わらない状態になるのである。

これに対して夜間は、この対流が起こらず、大気が地表面付近で安定成層をするため、地表面の局所的な特性が大きく影響することになる。都市部ではアスファルトやコンクリート等、熱容量の大きな素材で地表面がおおわれているため、夜間にもそれらの温度が下がりにくく、その上の大

図3 京都市周辺のLANDSATの熱赤  
外画像。撮影日時：2000年8月25  
日午前10時25分。



気もその影響を受けて温度が下がりにくい。これが、昔から言われていた「ヒートアイランド現象」である。

では、昼間の都市部が暑いというのは間違いなのか、というと、それも違う。図3はLANDSATで測定した都市部(京都)の地表面温度である。周囲の郊外と比べて明らかに温度が高いことがわかる。ここで、注意していただきたいのは、これは「地表面温度」であって、「気温」ではないことである。地表面の温度が高ければ、その上の大気温度だって高くなるだろう、と想像してしまいがちである。しかし、昼間に関しては、前述のとおり強い対流のため、地表付近の気温も上空1kmの気温(温位)も同じになってしまい、地表面のごく近くだけが大きく温度が異なる。その境目は、地表面から1cm程度のところにある。つまり、地表面の温度の影響を受ける大気は、地上1cm程度の範囲に限られているのである。

地表面温度が高くなると、何が起るのかというと、地表面から強い輻射熱が発せられることになる。路面の温度が気温より30℃程度高くなったとすると、路面温度が気温

に等しい時に比べて、その上に立っている人は100W程度余分に熱を受け取る計算になる。100Wと言ってもピンとこないかもしれないが、これは使い捨てカイロ100枚分に相当する。これで、暑くないわけではない。つまり、昼間のヒートアイランドは気温が問題なのではなくて、地表面温度が問題なのだ。

ただ、困ったことに輻射熱の正体である赤外線が目に見えないために、気温は同じでも、輻射熱が強いため暑いのだと説明しても、なかなかわかってもらえない。さんざん説明した挙句に「で結局、気温はどのくらい変わるんですか?」という質問を最後に受けることになる。

さらに困ったことに、昼間の地表面温度が郊外のそれより非常に高い、という事実は、素直に考えて、昔から言われている夜のヒートアイランドの説明と矛盾する。都市部にはアスファルトやコンクリートなどの熱容量の大きなものがある、夜、温度が下がりにくいので、都市部が郊外に比べて暑くなる、というのが夜間のヒートアイランドの説明である。だとすれば、昼間の都市部は大きな熱容量のた

めに、温度が上がりやすく、逆にクールアイランドになるはずだ。ところが、昼間の地表温度は郊外に比べて明らかに熱い。そして、その地表とは熱容量が大きいはずのアスファルトやコンクリートそのものである。

このような事実が明らかになったのは、人工衛星から地表温度が測定できるようになった1980年ころからである。そのころから、ヒートアイランドの説明は歯切れが悪くなり「ヒートアイランド現象は、様々な要因が複雑に絡み合って起こる」などという説明がなされるようになってしまった。これは、ほとんど「何もわからない」と言っているに等しい。こんな状態では、都市部で昼間に気温が高いわけではない、と言ってみたとこで、説得力に乏しい。

### 3. 都市部の地表温度はなぜ高いのか？

矛盾があるということは、何かがおかしい。いろいろ調べてみても、昔の夜のヒートアイランドの説明は、間違っているようには見えない。夜に関しては、この説明が観測事実とよく合う。一方、昼間の地表温度が高い、というのも疑いようのない事実である。しかし、だからと言って「都市部の熱容量が小さい」というのは、ちょっと飛躍がある。少なくとも、アスファルトやコンクリートが素材として熱容量が大きいことも間違いない。ということは、熱容量が大きくても、温度が高くなってしまふ理由があるに違いない。

一見、もっともらしく、よくある説明としては、都市部で人間が熱を出すからだ、というものがある。しかし、人間が出している熱量（人口排熱）は太陽熱に比べると通常一桁以上小さい。また、エアコンの室外機より、人間が熱を出しているわけではない道路のアスファルトのほうがはるかに高温である。

もう一つの説明として、都市部には植物が少なく、水を蒸発させていないからだ、というものもある。これも多くの人が信じている説明だが、太陽からやってくる熱量は半端じゃない。夏の晴れた日なら1日30MJ/m<sup>2</sup>くらいの熱量がやってくる。この熱量で水を蒸発させると、1日15mmの水が蒸発することになる。年間降水量を1500mmとすれば、1日平均の降水量は5mmである。これを全部蒸発させてしまったら、川が干上がってしまうので、半分程度しか使えないと考えると、水の蒸発熱が地表温度に決定的に効いているとは考えにくい。

さらに、もし、そんなに水を蒸発させているのであれば、晴れた日には朝よりも夕方のほうがかなり大気中の水蒸気量が高くなっているはずだが、そんな傾向が顕著にみられるわけでもない。

そんなことを考えていたある日、ある事実気が付いた。直射日光下に置かれた車は、触れないくらいに熱くなるのに、ミニカーは熱くならないのだ（図4）。実は、これは私が発見したものではない。伝熱工学の教科書にちゃんと書いてある。伝熱工学を勉強しなくても、ランダウ・リフ

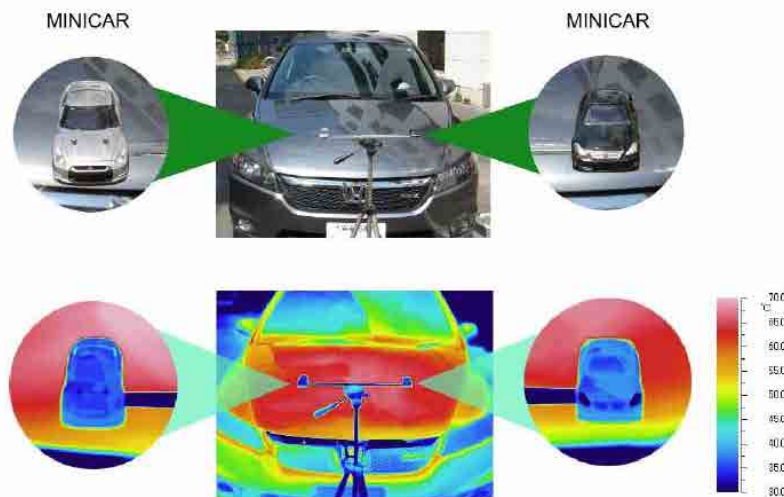
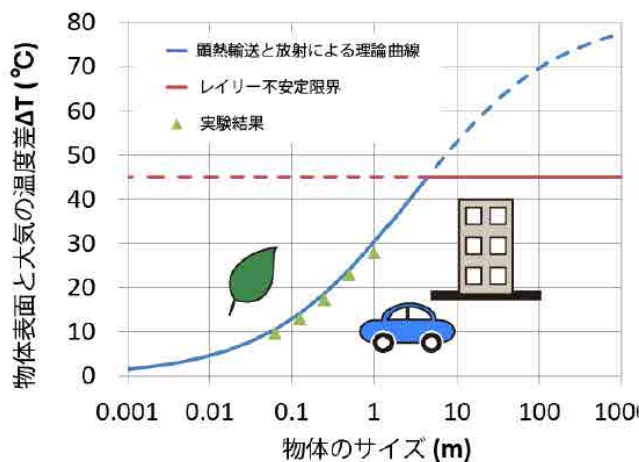


図4 直射日光下に置かれた実物の自動車とミニカーの表面温度。[2]



図5 物体のサイズと表面温度の関係。物体のサイズが大きくなるにしたがって、表面と気温との温度差も大きくなるが、ある程度の温度差(数十°C)を超えると、熱境界層が不安定になって、それ以上温度差はつかなくなる。1cm から1m 位のところで、急激に温度差が大きくなる。



シツクの流体力学をかじったことがある人ならば、次元解析から即座にこの法則を導き出すことができる。しかし、である。精密にコントロールされた風洞実験ならばともかく、「さまざまな要因が複雑に絡み合った」屋外で、こんな単純な話が成り立つとは、全く想像だにしていなかった。さらに驚いたのは、この実験結果が極めてロバストであるということである。少々雲が出ようが、風が吹こうが、定性的にはほぼ間違いなくこのような結果になる。これは、極めて重要なことである。精密に条件をコントロールしなければ実現しないような法則は、自然界の中ではほとんど意味をなさないからである。いいかげんな実験でも、常に成り立つ法則が重要なのだ。

ミニカーの大きさは、多くの植物の葉っぱのサイズに近い。一方、都会の屋外にある人工物は、大抵車よりも大きい。理論的に計算すると、このサイズの違いが、表面温度を大きく左右する(図5)。そして、この大気との温度差は、物体の表面から数mmの厚さの熱境界層内で起こる。

また、図3のLANDSATの画像から、表面温度のヒストグラムをとってみると、きれいな二山構造が見える(図6)。つまり、郊外と都市部では、典型的な表面温度がだいたい決まっていて、その中間的な温度を持つ地表はほとんどない。これは、自然の葉っぱが数cmの大きさを持つのに対して、屋外人工物の表面は多くの場合、1mよりも大きく数十cm程度の大きさを持つものがほとんどないということを見ると、自然に理解できる。

つまり、都会の地表面温度が高いのは、人工排熱のためでも水の蒸発が少ないためでもなく、表面の「大きさ」が問題だったのだ。

#### 4. シェルピンスキー四面体

都会が暑いのは、その表面が大きな面で覆われていることが問題であることがわかった。それならば、その表面を小さくちぎってしまえばよい。しかし、それをタイルのようにきれいに並べてしまったら、元の木阿弥である。小さなものが熱くならないのは、空気に熱を逃がすからで、そのすぐ下流に入ってしまうと、小さくした御利益ないだろう。では、どのように、小さくちぎった小片を配置すればよいのだろうか？

そんなことを考えていたある日、数学の先生からフラクタル図形の一つであるシェルピンスキー四面体(図7)のフラクタル次元が2であることを聞いた。その時、私は非整数の実数次元を持つ図形がフラクタルだと思っていたので、「そんなフラクタルじゃないじゃん」と言ってしまった。しかし、目の前のシェルピンスキー四面体は、どう見ても典型的なフラクタル図形である。30年前、数学者は非整数の次元を定義して、世の中の人々をビックリさせたと思ったら、今度は整数次元のフラクタル図形を持ってきた。「まあ、数学者は暇なこと考えるねえ。」というのが、正直な感想であった。(注:シェルピンスキー四面体自体は、100年位前の数学者シェルピンスキーが考えたもので、フ



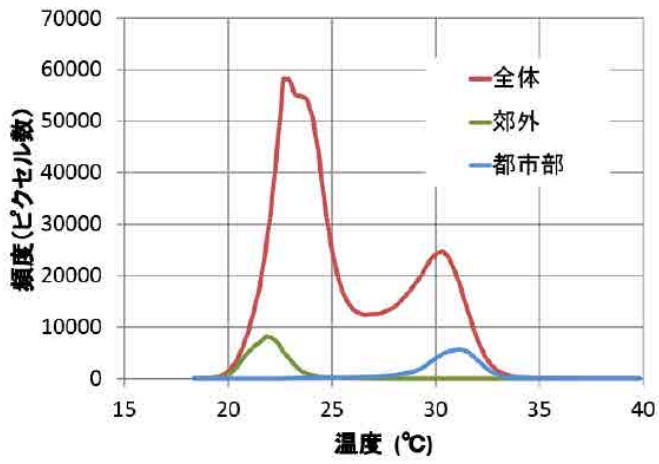


図6 衛星画像(図3)のヒストグラム。全体で見ると、明瞭な二山構造がある。都市部と郊外を部分的にヒストグラムをとると、それぞれ、一つずつの山に対応していることがわかる。

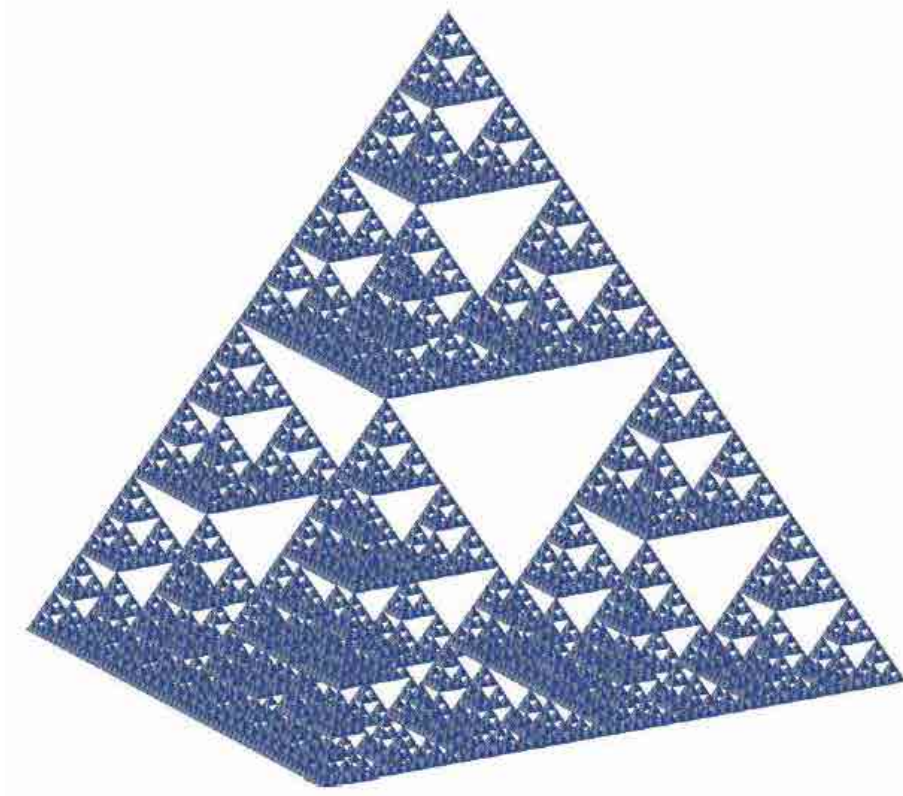


図7 シェルピンスキー四面体

ラクタルという概念ができる前から知られている。)

その晩、昼間の話は忘れて、布団の中で都市の表面を小さくちぎってばら蒔く方法を考えていた。「要するに、2次元の平面を小さくちぎって、3次元空間にどうやってばら蒔くか、という問題だよ」とつぶやいた瞬間、昼間の話がよみがえった。シェルピンスキー四面体は3次元空間を占めているのにもかかわらず、2次元である。まさに、これが求めていたものではないのか？

次の朝、大学に向かう途中で画材屋に寄り、黒い紙を買ってきてシェルピンスキー四面体を作ってみた。それと同じ大きさの通常の四面体を並べて直射日光下に置き、サーモカメラで温度を測ってみた。するとなんと、シェルピンスキー四面体は温度がかなり低いではないか。

これをもっと大がかりに実験してみたものが、図8である。シェルピンスキー四面体を並べた「フラクタル日除け」と、通常のトタン屋根を4畳半くらいの大きさに作ってみて、その下で昼寝ができるか、という実験である。シェルピンスキー四面体は特定の方向から見ると、穴が塞がって、100%光を遮ることができる。その方向を正午の太陽の方向に向けて四面体を並べてある。図8の写真は夏の正午の写真で、フラクタル日除けの下もほぼ100%影になっていることがわかる。この時、太陽の光を吸収している屋根の部分の温度がまるで違う。トタン屋根はとても熱いので、そこから輻射熱を出し、その下で昼寝をしても陰にはなっていないでジリジリ暑い。それに対して、フラクタル日除けは、それ自体の温度が上がらないので、そのような輻射熱を感じることはなく、風通しもよくて気持ちが良い。

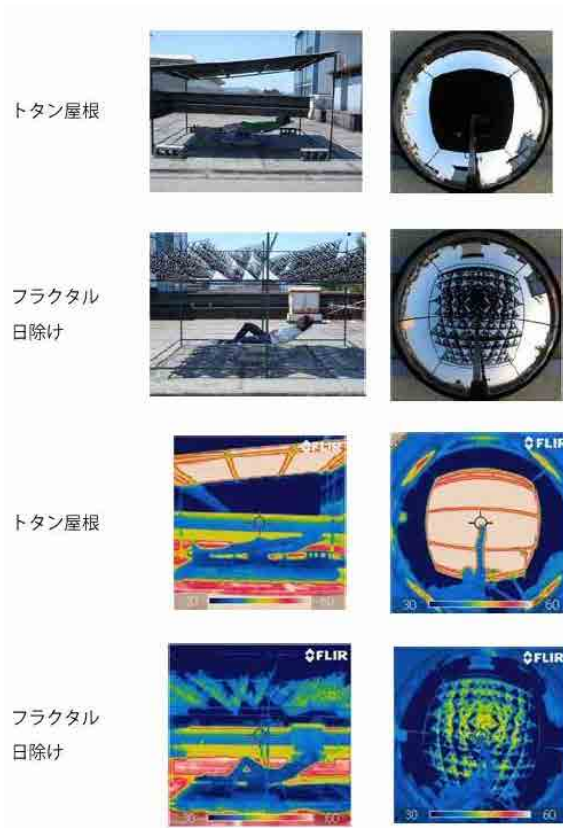


図8 直射日光下におけるトタン屋根とフラクタル日除けの温度比較

## 国内外研究動向紹介

産学連携グループ：（株）LIXIL 井須 紀文  
B01-3 班：産業技術総合研究所 穂積 篤

## 「日本化学会第 93 回春季年会」を終えて

3月23~25日に立命館大学びわこ・くさつキャンパスで開催された日本化学会第93回春季年会に参加した。アドバンス・テクノロジー・プログラム（ATP）の中の「自己組織化技術、融合マテリアルが支えるバイオミメティクス研究の最前線」を中心に聴講した。下村新学術領域に関係するセッションは、23日の「生物から何を学ぶか」と25日の「持続可能性に向けて」の2つで、前者は10件（基調講演1件、招待講演1件、依頼講演8件）、後者は4件（招待講演4件）、計14件の講演があり活発な質疑、討論が行われた。

3月23日

- ・「生物に学ばざれば工学は科学に非ず」下澤楯夫氏（北大名誉教授）

イカの巨大神経軸索の研究をベースにオットーシュミットにより開発されたシュミットリガー回路（陰極結合三極管回路）は、三極真空管の開発（1906年）から32年後、アメンボの表面構造を模倣したゴアテックス（防水透湿性素材）は、YoungやLaplaceの研究から200年も後に開発されたという。「工学は生物の技術（生きる仕組み）を全く別の回り道をして再発見したに過ぎない」、「工学に合成理論はない、生物は1億年前にその技術を確立していた」というコメントに、改めて生物学を工学に取り入れること（生物規範工学）の重要性を痛感した。

- ・「自己組織化ナノ電子機能とフレキシブル医療デバイスへの応用」関谷毅氏（東大院）

自己組織化単分子膜をゲート酸化膜に利用した多チャンネルな生体用フレキシブル電子デバイスの開発とその有効性についての講演が行われた。フレキシブル電子デバイス（温度センサー、圧力センサー、酸素濃度センサー）の柔軟性を利用して、医療用カテーテルや人体内外に装着することで様々な生体信号（例えば、血管中の酸素濃度、心筋シグナル、腫瘍や血管の圧力等）の測定が可能になった。

- ・「やわらかいロボット」山口智彦氏（産総研）

産総研で進められているやわらかいロボット開発のコンセプトについての講演が行われた。やわらかいロボットの開発には、群（群れ）機能、記憶演算、通信、アクチュエーター、センシング、エネルギー変換、材料のしなやかさ等、様々な要素が必要である。コアテクノロジーとなるソフトアクチュエーターは、化学エネルギー駆動なので静音、サイズに比例した

力が出るので軽量化が可能、壊れても環境に優しいというメリットがあるという。

- ・「ウイルスの自己集合に学んだペプチド材料の構築」松浦和則氏（鳥取大院）

合成化学によって、ウイルスの球殻構造をいかに構築するかについて講演が行われた。球殻構造構築には自己集合と対称性が鍵となる。ウイルス由来の短鎖合成ペプチド（ $\beta$ -Annulus）によるナノカプセルの作成事例や、そのナノ空間への DNA やタンパク質の導入技術、着せ替え（外側の高機能化）技術の紹介があった。

- ・「自己組織化ペプチドを用いるナノファイバーの構築」三原久和氏（東工大院）

$\beta$ シートペプチドを用いたナノファイバーの合成手法とその応用について講演が行われた。 $\beta$ シートペプチドのデザインにより、捩じれたファイバー、テープ状ファイバー、ナノチューブができるという。ナノファイバー表面の機能化（金ナノ粒子やタンパク質の選択析出）、細胞の足場材料への応用技術が紹介された。

- ・「昆虫の脚の付着機能：発生生物学的アプローチ」木村賢一氏（北教大札幌）

昆虫の脚には Hair 状パット、Smooth 状パットの 2 種類あり、研究対象の黄色ショウジョウバエの脚は、毛管現象や分泌液の粘性により接着するウエットタイプのフットパットを持つ。そのフットパットの形成過程におけるアクチンの役割を発生生物学的アプローチにより解析し、その形成メカニズムを明らかにした。

- ・「自励振動高分子ゲルの創製とバイオメテックス材料への展開」吉田亮氏（東大院）

自励振動高分子ゲルを用いた、アクチュエーター、輸送媒体、機能性流体への応用についての講演があった。チューブ状の自励振動高分子ゲル内で CO<sub>2</sub> ガスやラテックスビーズの輸送事例、ポリマーブラシによるゲル表面の改質技術等が紹介された。

3月25日

- ・「光で駆動される界面膜の配向作用と形態発現」関 隆広氏（名大院工）

光による液晶組織状態や配向のスイッチング、構造組織化に関して、グラウトを用いた高度な高分子配向制御など最新の研究成果をはじめ、光によって誘起されるフォトメカニカル効果、光配向、相転移、相分離、移動などの現象とその工学的な応用に関するトピックスが紹介された。

- ・「ソフト界面の濡れ、摩擦特性の精密制御」高原 淳氏（JST ERATO、九大先導研）

材料表面に固定化した重合開始材を起点に、高分子鎖を成長させたポリマーブラシは、従来の手法に比べて表面のポリマー密度が高く、強固に結合されているため耐久性が高いという特徴を持つ。ポリマーの分子設計による超親水、トライポロジー、機能性ナノ粒子など高機能化に関する研究成果や産業応用についての最新トピックスの紹介が行われた。

- ・「可逆的犠牲結合による多機能ゲルの設計と創製－高靱性・自己修復・形状記憶－」龔 剣

萍氏（北大院）

ハイドロゲルは生体親和性、極低摩擦性など固体材料にはないユニークな機能を持つが、脆くて壊れやすい欠点もつ。その欠点を克服するために犠牲結合を導入したダブルネットワークゲルの創製についての紹介が行われた。様々な犠牲結合構造をデザインすることで高靱性に加え高機能化を実現しており、物理結合を可逆的な犠牲結合として導入した形状記憶性を示すゲルなどの最新研究成果の紹介も行われた。

産学連携を目指したオープンセッションであるA T Pの締めくくりに相応しい最後のトピックス「持続可能性に向けて」では、仁連孝昭氏（アスクネイチャー・ジャパン）、馬奈木俊介氏（東北大院環境）、井須紀文氏（LIXIL）、佐野健三氏（積水インテグレートドリサーチ）の4件の講演が行われ、自然科学・工学がどのように社会に還元されているかの現状と将来の社会像についての議論が繰り広げられた。ただ、学会最終日の午後のセッションであったためか、これから生物規範工学の概念を担って欲しい学生の姿がやや少なくなった事が残念であった。



産学連携グループ：（株）日立製作所 日立研究所

宮内 昭浩

## 13-1 バイオミメティクス研究会レポート

2013年6月20日に13-1バイオミメティクス研究会は「バイオミメティクスの国際標準化」をテーマに産業技術総合研究所（産総研）の臨海副都心センターで講演会を開催した。今回はISO/TC266 バイオミメティクス国内審議委員会との共催であった。

プログラムは、第一部はISO Biomimetics TC266 国際委員会の報告、第二部は「知識基盤の構築と産学連携にむけて」をテーマに、産官からの講演頂く二部構成であった。

バイオミメティクス研究会代表の東北大、下村正嗣教授からのご挨拶の後、2013年5月22、23日にフランスのパリ郊外にあるサンドニ市で開催された第2回 ISO Biomimetics TC266 国際委員会の状況が報告された。ISO Biomimetics TC266 国際委員会には四つのワーキンググループ（WG）が設けられており、WG1 に関しては、産総研ナノテクノロジー戦略室の関谷瑞木氏が状況を報告した。

WG1 は、“Terminology and methodology”を対象としている。即ち、「何を標準化するのか？」が対象であり、バイオミメティクスとは何か、の議論が重要となっている。幹事国はドイツで、キーワードは sustainability になっている。実務ベースでは、例えば韓国が接触角の測定に関する標準化を提案準備中であり、正式に取り上げられれば韓国政府の支援が開始されるであろう、とのことであった。

WG2 は“Biomimetic materials, structures and components”を対象としており、物質・材料研究機構の細田奈麻絵氏から状況が報告された。議長にベルギーのホルナート氏、プロジェクトリーダーに細田氏が選出された段階で、本格的な議論は次回以降という状況である。ただし、既に、バイオミメティクス製品としてのガイドラインを示そうとしており、ポイントは、製品の開発過程において生物的なアナロジーとその抽象化の工程が含まれているか、である。単純に「生物からヒントを得た」ではなく、製品化に至った開発過程において、所定の思考ルートを経たか否かが、バイオミメティクス製品としての認定基準になる可能性があり、企業としては重要視すべき議論がこれから開始されるであろう。

WG3 は“Biomimetic structure optimization”が対象で、産総研ナノテクノロジー戦略室の阿多誠文氏が状況を報告した。このWG では、既にドイツ技術者協会（VDI）が作成したガイドラインがたたき台となり、2011年3月の「ISO BIONIK」で最適化アルゴリズムの標準化が検討され、現在は、学術的な視点からワーキングドラフトの校正作業が進められて

いる。

WG4 は日本が新たに提案した WG で、日本が幹事国となった。対象は”Knowledge infrastructure for biomimetics”で、北海道大学情報科学研究科の長谷山美紀教授が報告した。バイオミメティクスでは、生物学、工学の各分野の融合が前提となるため、異なる専門分野で関連する用語の共通化（シソーラス）と相関マップ（オントロジー）の規格化を進めることになる。

第二部では、始めに「ビッグデータ時代の新たな価値創造」と題し、JST シニアフェローの奥和田久美氏のご講演があった。ビッグデータは最近、良く耳にする言葉であるが、科学や大学教育を大きく変貌させるであろう、その見えざる革新的動きに言及され、大変、示唆に富んだご講演であった。特に、これまでの科学が、「観察」から「解明」へと進み、「シミュレーション」の段階に来ているが、桁違いの知識を迅速に得られる現代は「第4のパラダイム」と呼べる次元に移行しており、科学の世界に変革を起こしつつある点は、参加者一同、大変、刺激を受けた。また、膨大な知識を誰もが迅速に検索できる現在においては、アカデミアの立ち位置が変革を余儀なくされ、洞察できる能力が次のアカデミアにとって重要になる点なども興味深い内容であった。既に米 NSF での研究評価基準が本年1月に改定され、「知的メリット」と「より幅広いインパクト」が等しく評価されることとなった点も、時代の変革点を予感させる。

次いで、JST 情報企画部の恒松直幸氏が「異分野融合を支える知識情報基盤」と題し、異分野融合に適した検索とは何か、シソーラスの構成、JST が運用している J-GLOBE の使い方などが紹介された。特にオントロジーの構成の難しさが述べられた。

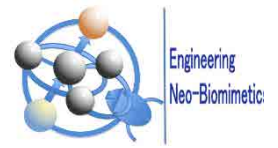
また、(株)積水インテグレートドリサーチの佐野健三氏から「産業界との連携」が講演され、今年で12回目を迎える「自然に学ぶものづくり研究助成プログラム」の紹介や産と学の使命の違いから生じる連携の難しさが述べられた。

最後に帝人(株)の平坂雅男氏が「バイオミメティクスの産業利用促進—政界動向と日本の課題—」と題し、欧州企業のバイオミメティクス製品、特許の状況や人材育成プログラムが紹介された。欧州や中国、韓国はバイオミメティクス分野で産学連携が進み始めており、日本もコンソーシアムの構築が必須な状況であることが述べられた。

((株)日立製作所日立研究所 宮内昭浩)

# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

*Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity*

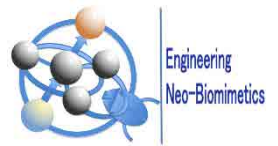


## 新聞・報道

## 【新聞・報道】

- 1) 2013年02月27日 日経新聞  
2013年2月27日付の日経産業新聞で生物模倣技術関連記事が掲載されました。北大名誉教授の下澤楯夫先生が撮影した写真が紹介されました。
- 2) 2013年03月06日 月刊事業構想4月号  
月刊事業構想4月号 巻頭特集「バイオミミクリーは世界を救う。」に石田秀輝先生(C01班)のインタビュー、赤池学先生(総括班評価グループ)の対談と、細田奈麻絵先生(B01-3班)、石井大佑先生(B01-2班)の研究成果、などが紹介されています。
- 3) 2013年03月08日「ライブ北海道」  
2013年3月6日(水)18:40放送の「ライブ北海道」(NHK 総合札幌)にて、北大総合博物館の特別展示(ネイチャーテクノロジーとライフスタイル展)が紹介されました。北大総合博物館の大原昌宏先生が生放送で、ネイチャーテクノロジー、バイオミメティクスの紹介をしました。
- 4) 2013年03月18日 化学工業日報  
2013年3月18日付の化学工業日報で下村政嗣先生の記事が掲載されました。「自己組織化技術、融合材料が支えるバイオミメティクス研究の最前線 生物・化学融合の新学術領域確立へ」
- 5) 2013年04月17日 サイエンスポータル  
科学技術振興機構のサイエンスポータルにおいて、SciencePortal 特派員成田優美さんによる、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」の紹介が掲載されています。
- 6) 2013年04月19日 日刊工業新聞  
2013年04月19日付の日刊工業新聞で長谷山美紀教授(北海道大学)の記事が掲載されました。「類似画像の検索が”気付き”を与える」
- 7) 2013年04月23日 サイエンスポータル  
溝口理一郎先生(A01-1班)の「バイオミメティクス市民セミナー」での公演がサイエンスポータルで紹介されています。「異分野情報を融合する『オントロジー工学』」
- 8) 2013年04月24日 Nikon Today vol.79  
2013年04月24日付のNikon Today vol.79(インターネット記事)で下村政嗣先生の記事が掲載されました。「生き物に学ぼう。Lesson 2 生物の構造に学ぶ」

- 9) 2013年05月07日 Newton  
2013年5月7日付のNewtonで細田奈麻絵先生の記事が掲載されました。「空気の泡を利用して水中を歩く」
- 10) 2013年05月21日 日刊工業新聞  
2013年5月21日付の日刊工業新聞で下村政嗣先生、長谷山美紀先生の記事が掲載されました。「2013年5月22, 23日にパリで開かれる国際標準化機構のバイオメティクス(ISO/TC266)の会合で、バイオメティクスのデータベース(DB)に関する規格づくりの作業部会(WG)設置を、東北大学教授 下村政嗣氏と北海道大学教授 長谷山美紀氏が正式提案する。」
- 11) 2013年05月23日 日科技連ニュース  
2013年5月23日付の日科技連ニュースで石田秀輝先生の記事が掲載されました。「地球環境を考えたものづくりのかたち」
- 12) 2013年05月31日 サイエンスポータル  
北海道総合博物館で開催された「バイオメティクス市民セミナー」がサイエンスポータルで紹介されています。
- 13) 2013年06月5日 研究開発の俯瞰報告書(2013年)  
科学技術振興機構の研究開発戦略センターが発行した「研究開発の俯瞰報告書(2013年)」にバイオメティクスに関する調査が掲載されています。
- 14) 2013年06月17日 日刊工業新聞  
2013年6月17日付の日刊工業新聞で下村政嗣先生、長谷山美紀先生の記事が掲載されました。「生物模倣技術、国際標準化へ 日本主導でDB規格作り」  
5月22～23日にパリで開催された国際標準化バイオメティクスTC266国際委員会において、日本から提案した「バイオメティクス知的基盤」が採択された。これに伴いデータベースに関する規格作りを行う作業部会が設置された。」



## アウトリーチ活動



## 【アウトリーチ活動報告】

### 1) バイオミメティクス国際標準化ニュースレター

高分子学会バイオミメティクス研究会は、ISO Biomimetics TC266 の国内審議委員会の機能も持っています。また、「生物規範工学」のミッションの一つに、バイオミメティクス国際標準化を通じて我が国の国際競争力を高める（C01 班、総括班）ことがあり、高分子学会とも連携して国際標準化に関わっています。

### 2) 「エコで粋!? 自然に学ぶネイチャー・テクノロジーとライフスタイル展」

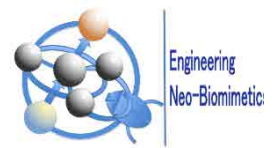
1月22日から北海道大学総合博物館で開催されておりました「エコで粋!? 自然に学ぶネイチャー・テクノロジーとライフスタイル展」と、展示会併設の「光るどろだんごワークショップ」が3月17日に終了しました。4月6日に総合博物館で行われた「バイオミメティクス市民セミナー」の会場において、「光る泥団子」の優秀作品に対し、LIXIL賞、博物館賞ならびに市民セミナー賞の表彰をいたしました。

### 3) 「役に立つ生き物展」

穂積篤先生（B01-3班）が開発した超はっ水金属が、山梨県にある北杜市オオムラサキセンターにて開催された「役に立つ生き物展」（2013年3月上旬～30日、4月1日～4月21日）に展示されました。試料は当該センターに常設展示されています。

### 4) 「生物多様性の本箱」～みんながいきものつつながる 100 冊～

石田秀輝先生（C01班）が監修した『すごい自然図鑑』が国連生物多様性の10年日本委員会でおこなわれた「生物多様性の本箱」～みんながいきものつつながる 100冊～に選定されました。



## 各種案内

# BIO Mimetics

バイオミメティクス・市民セミナー

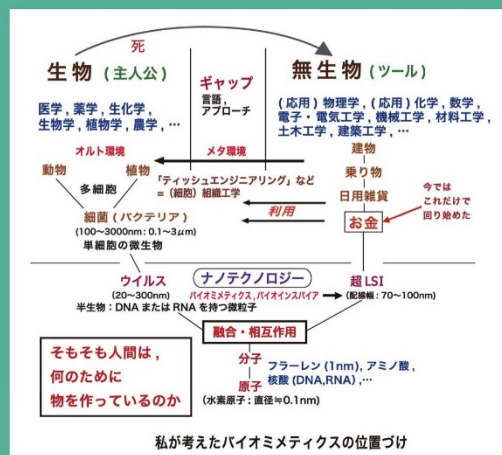
黒川 卓 (北海道大学電子科学研究所 客員教授)

## 社会に伝えたい バイオミメティクス 2013年 4月 6日 (土)

会 場：北海道大学総合博物館 / 知の交流コーナー  
時 間：午後1時30分から午後3時30分



我々はこれまで科学技術の恩恵を受けてきた。しかし生まれた時から社会に備わっている技術は、成り立ちを知らず、何の疑問も持たないで使っている。近くで事故が起こった時、初めてその危険性に気づく。地球環境は人が作る科学技術で破壊が進んでいる。一方、人間以外の生物は自然に適合するように進化してきた。我々は今後、自然を壊すのではなく自然に溶け込む技術を開発しなければならない。ヒントは生物のナノ構造にも隠れている。しかしそれらの価値を理解し、広く伝え、応用することは極めて難しい。バイオミメティクスを含め、持続可能な社会を実現する科学技術を皆様と一緒に考えたい。



主催：北海道大学総合博物館 問合せ先：北海道大学総合博物館  
共催：高分子学会バイオミメティクス研究会 TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029  
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp  
高分子学会北海道支部 060-0810 札幌市北区北10条西8丁目



# BIO Mimetics

バイオミメティクス・市民セミナー



居城 邦治 (北海道大学電子科学研究所 教授)

## ナノテクノロジーが拓く バイオミメティクス

2013年5月4日 (土)

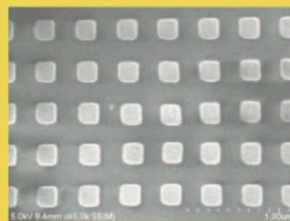
会場：北海道大学総合博物館 / 知の交流コーナー

時間：午後1時30分から午後3時30分

ナノテクノロジー (ナノテク) は、ナノメートル (nm、10億分の1メートル) の領域すなわち原子や分子のスケールにおいて、物質を自在に組み立てたり、動かしたりする技術のことです。2001年から世界各国で研究がスタートし、現在最も活発な科学技術研究分野のひとつとなっています。半導体や高性能電池、情報家電や先進医療デバイスなどに使われているだけでなく、白物家電、スポーツ用品、化粧品などにも、ナノテクを活用した製品が多数存在します。ナノテクを駆使することで、生物のナノ構造をまねることができるようになってきました。また、逆にバイオミメティクスの考え方を導入することで、環境にやさしいナノテクが生まれようとしています。ナノテクとバイオミメティクスのこれからについて考えていきます。



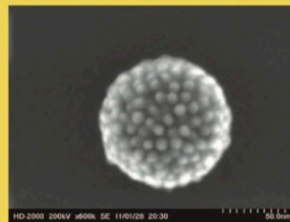
ゲル表面の動的構造色



ナノテクで作製した金ナノパターン



ネオンテトラの動的構造色



ナノ粒子の自己集合

主催：北海道大学総合博物館  
協賛：高分子学会バイオミメティクス研究会  
高分子学会北海道支部  
問合せ先：北海道大学総合博物館  
TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029  
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp  
060-0810 札幌市北区北10条西8丁目

# BIO Mimetics

バイオミメティクス・市民セミナー

宮内 昭浩 (株)日立製作所 日立研究所 主管研究員

## ナノインプリント技術による 表面構造の模倣とバイオミメティクス

2013年6月1日(土)

会場：北海道大学総合博物館 / 知の交流コーナー

時間：午後1時30分から午後3時30分

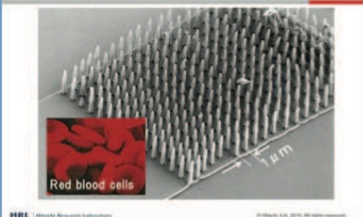


生物の表面形状は、進化の過程において周辺環境に適合した形状を得ていきました。そしてその構造は、タンパク質の自己組織化などによって常温で自然に形成されています。

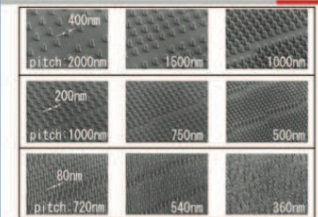
一方、人類は微細な構造を形成するために、半導体の微細加工に代表されるような、特殊なガスや真空雰囲気、さらにはプラズマ状態など、特殊な環境を制御することで所定の微細構造を形成しています。同じような微細構造を形成することに対し、アプローチの仕方が大きく異なっています。今後、生物の形態を人工的に模倣することで、我々が日々、購入している製品の付加価値を上げようとする場合、簡便に生物の表面構造を形成できる新しい製造技術の登場が望まれています。

本セミナーでは、ナノインプリントと呼ばれる、新しい微細加工技術を紹介し、バイオミメティクスと人工的なナノ加工技術との接点を探ります。

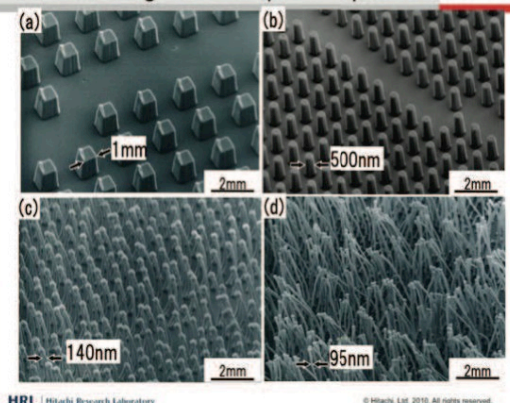
0. Examples of nanoimprinted feature



1. Examples of nanoimprinted feature



2. SEM images of nanopillar chips



主催：北海道大学総合博物館 問合せ先：北海道大学総合博物館  
共催：高分子学会バイオミメティクス研究会 TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029  
E-mail: museum-jmu@museum.hokudai.ac.jp  
高分子学会北海道支部 060-0810 札幌市北区北10条西8丁目



# BIO Mimetics

バイオミメティクス・市民セミナー

鎌田 香織 (東京工業大学フロンティア研究機構, ERATO  
鎌田超集積材料プロジェクト バイオテンプレートグループ グループリーダー)

## バイオテンプレートと 構造機能材料

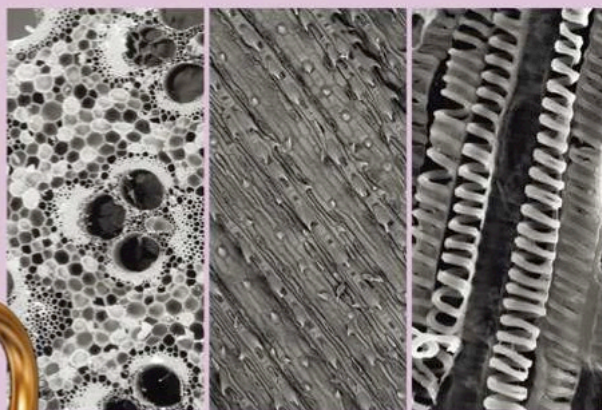
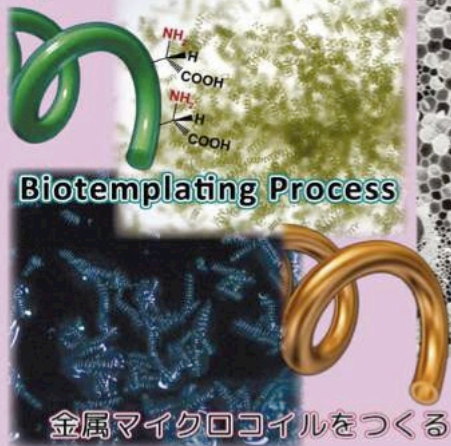
2013年 7月 6日 (土)

会場：北海道大学総合博物館 / 知の交流コーナー

時間：午後1時30分から午後3時30分

植物の葉や茎にみられる組織や微生物の構造は、大変魅力的です。自然によって「自己組織的」に作り上げられた規則的な高次構造であり、人工的に作製した構造材料よりも、はるかに機能的にみえます。また、種類や部位によって、実に多様な構造がみられるのにも感心してしまいます。普段、材料化学の研究は、ある特定の機能の発現を目的として、最適な分子・高分子やその組織化構造を設計します。ですから、自然界のナノ・マイクロ構造をみると、いつもとは逆に、様々な使い道が思い浮かび、わくわくするのです。今回のセミナーでは、そんな自然界の興味深くもまた機能的な構造を鑄型（バイオテンプレート）としたあたらしい材料づくりと工学的な応用展開について紹介します。

藻から



主催：北海道大学総合博物館  
共催：高分子学会バイオミメティクス研究会  
高分子学会北海道支部

問合せ先：北海道大学総合博物館  
TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029  
E-mail: museum-jmu@museum.hokudai.ac.jp  
060-0810 札幌市北区北10条西8丁目



13-1バイオミメティクス研究会

# バイオミメティクスの国際標準化

—統合化知識インフラを基盤とするオープンイノベーション・  
プラットフォームの構築に向けて—

日 時：平成25年6月20日(木)

13:00-17:50

会 場：産業技術総合研究所  
臨海副都心センター  
別館11階会議室

(東京都江東区青海二丁目4番7号4-2-2)

電 話：03-3599-8001

交 通：新交通ゆりかもめ「船の科学館駅」  
「テレコムセンター駅」下車徒歩約4分  
東京臨海高速鉄道りんかい線  
「東京テレポート駅」下車徒歩約15分  
(<http://unit.aist.go.jp/waterfront/>)

## 趣旨

バイオミメティクスは、生物の多様性を原資にすることで、エンジニアリングのパラダイムシフトと、ひいては持続可能性に向けたイノベーションをもたらす切り札であり、多量な生物学データベースの有効利用がその成否を握っています。

昨年10月には国際標準化機構においてISO Biomimetics TC266が設置され、本年5月の第二回国際委員会において3つの課題について議論がはじまりました。また、今般、日本から、生物や材料のデータベースを統合化した知識プラットフォームの標準化を提案いたしました。生物学のデータベースは、画像もテキストもある、いわば“ビッグデータ”であり、多量の画像データを含む情報処理と、エンジニアリングへのリエゾンによってもたらされる発想支援がキーポイントになります。

今回は、パリで開催されたISO TC266国際委員会の報告と、生物や材料、機械などの統合化データベースを知識プラットフォームとし、異分野連携、産学連携、垂直連携のためのオープンイノベーションのプラットフォーム構築に向けた取り組みを紹介いたします。

## プログラム

第一部：ISO Biomimetic TC266国際委員会報告

13:00~13:30

1. Conception and strategy - Differences between bionic and conventional methods/products (WG1)

(産総研) 関谷 瑞木

13:30~14:00

2. Biomimetic materials, structures and components (WG2)

(物材機構) 細田奈麻絵

14:00~14:30

3. Biomimetic optimization (WG3)

(産総研) 阿多 誠文

14:30~15:00

4. Knowledge Infrastructure for Biomimetics (WG4)

(北大情報) 長谷山美紀

第二部：知識基盤の構築と産学官連携にむけて

15:20~16:20

5. [招待講演] ビッグデータ時代の新たな価値創造

(JSTシニアフェロー) 奥和田久美

16:20~16:50

6. 異分野融合を支える知識情報基盤

～シソーラスを用いた分野横断検索について～

(JST) 恒松 直幸

16:50~17:20

7. 産業界との連携

(積水インテグレートドリサーチ) 佐野 健三

17:20~17:50

8. バイオミメティクスの産業利用促進

—世界動向と日本の課題—

(帝人) 平坂 雅男

主 催 高分子学会 バイオミメティクス研究会 ISO/TC266バイオミメティクス国内審議委員会

共 催 科学研究費新学術領域「生物規範工学」

協 賛 アスクネイチャー・ジャパン ネイチャーテクノロジー研究会

参加お申込みはこちら：<http://www.spsj.or.jp/entry//annaidetail.asp?kaisaino=853>

問合せ：高分子学会 バイオミメティクス研究会係

〒104-0042 東京都中央区入船3-10-9 新富町ビル6F

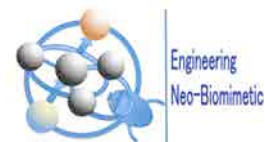
電話 03-5540-3771 F A X 03-5540-3737

※Webでのお申し込みは6月19日(水)午前までとさせていただきます。以降は上記宛お問い合わせください。



# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

*Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity*



「生物多様性を規範とする革新的材料技術」ニュースレター Vol. 2 No. 1

発行日 2013年7月1日

発行責任者 下村政嗣 (東北大学)

編集責任者 穂積 篤 (独立行政法人 産業技術総合研究所)

制作 「生物規範工学」領域事務局

北海道大学電子科学研究所内

〒001-0021 札幌市北区北21条西10丁目

電話 011-706-9360 FAX 011-706-9361

URL <http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/index.html>