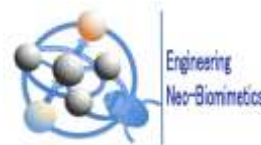


# 生物規範工学

## *Engineering Neo-Biomimetics*



## CONTENTS



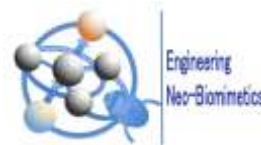
### 文部科学省 科学研究費 新学術領域 「生物多様性を規範とする革新的材料技術」

\*\*\*\*\*

1) 巻頭言	
・生物規範工学と昆虫学 藤崎憲治 (京都大学名誉教授・日本昆虫科学連合代表) . . . . .	6
2) 評価委員からのメッセージ	
・生物規範工学への期待 平坂雅男(帝人株式会社構造解析研究所) . . . . .	9
3) 3月1日 全体会議要旨	
・魚類の体から学ぶ：博物館標本の活用 A01-1篠原現人 (国立科学博物館動物研究部) . . . . .	13
・表面パターンングを施したゲルの表面摩擦と界面ダイナミクスの観察 B01-1黒川孝幸(北海道大学) . . . . .	15
・生物を規範とする保水性潤滑表面の創製 B01-1小林元康 (九州大学) . . . . .	17
・微小液体操作可能な生物模倣微細構造 B01-2 石井 大佑(名古屋工業大学) . . . . .	19
・ショウジョウバエのクチクラ構造形成：複眼レンズのニップル形成と脚先端のフットパッド形成 B01-2 木村 賢一(北海道教育大学) . . . . .	21
・Towards ISOBIONIK - Experiences on Biomimetic Standardization and VDI Guidelines in Germany B01-3 Dagmar Voigt . . . . .	23
・はつ油性に優れた有機-無機ハイブリッド B01-3 浦田 千尋(独立行政法人 産業技術総合研究所) . . . . .	25
・昆虫培養細胞の常温保存技術の開発：ネムリユスリカの乾燥耐性機構から学ぶ 奥田隆(独立行政法人 農業生物資源研究所) . . . . .	27
・昆虫の嗅覚受容体を発現させた培養細胞を利用した匂いバイオセンサの開発 B01-4 ○光野秀文、櫻井健志、並木重宏、神崎亮平(東京大学先端科学技術研究センター) . . . . .	29

# 生物多様性を規範とする革新的材料技術

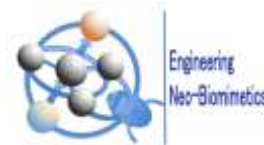
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



・細胞レベルのメカニクス・システム：細胞の基質の硬さ感知機構 B01-5小林 剛(名古屋大学大学院医学系研究科細胞生物物理学)	31
・フジツボ付着期幼生に対する自己組織化表面微細構造の抗付着効果 B01-1：室崎喬之(東北大学原子分子材料科学高等研究機構)	33
・ライフスタイル・デザイン手法の開発と評価 C01 ○古川柳蔵、藤翔子、須藤裕子、石田秀輝(東北大学大学院環境科学研究科)	35
3) 3月2日 公開講演会	
・マイクロリンクルの光拡散機能 B01-1：大園拓哉(産業技術総合研究所)	38
・オパール薄膜のホットエンボス成形加工 B01-2 不動寺 浩(独立行政法人物質・材料研究機構)	40
・可逆接合技術ならびに自己複製・増殖機能を確立を指向した外部刺激応答性新規人工核酸系構築に向けた戦略 B01-03 和田 健彦(東北大学多元物質科学研究所)	42
・害虫における音・振動情報の機能解明と防除への応用 B01-4 高梨 琢磨(独立行政法人 森林総合研究所 森林昆虫研究領域)	44
・ハチドリは、なぜ美しくホバリングできるのか？その運動、メカニクスおよびバイオミメティクス B01-5劉浩(千葉大学)	46
4) 3月2日 市民セミナー要旨	
・バイオミメティクスのテクノロジーガバナンスと社会受容；我々のアプローチ C01安順花、関谷瑞木、○阿多誠文(独立行政法人産業技術総合研究所)	49
・生物と工学の知識をつなぐオントロジー工学 A01溝口理一郎(北陸先端科学技術大学院大学 サービスサイエンス研究センター)	51
・社会受容の際に求められる科学リテラシー 古田ゆかり(北海道大学 高等教育推進機構)	53
・バイオミメティクスは日本のモノづくり復権の鍵になるか？ 亀井信一(株式会社三菱総合研究所 人間・生活研究本部)	55
・「生物と光の不思議」を考える～工学・手塚漫画・寺田物理学～ 齋藤彰(大阪大学大学院工学研究科、理研)	57

# 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



## 6) トピックス (PENより)

- ・ 生物規範工学 第五回 物質文明からの離陸、そして生命文明の創出へ  
石田秀輝、古川柳蔵、須藤祐子(東北大学大学院) . . . . . 60
- ・ 生物規範工学 第六回 極限的な乾燥耐性をもつネムリユスリカから学ぶー 常温保存は可能か? ー  
奥田隆(独立行政法人 農業生物資源研究所) . . . . . 68
- ・ 生物規範工学 第七回「かたちの意味」(機能)の解明を生物学に期待しなければ工学との交流は進む?  
広瀬裕一(琉球大学) . . . . . 77
- ・ 生物規範工学 第八回アリの「敵・味方」識別フェロモンセンサーに学ぶ “鼻” で省エネ危機管理  
尾崎まみこ(神戸大学大学院) . . . . . 82

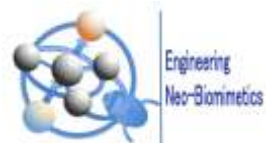
## 7) 国内外研究動向紹介

- ・ 12-2 バイオミメティクス研究会に参加して  
B01-2 不動寺浩(独立行政法人 物質・材料研究機構) . . . . . 92
- ・ 「クロスボーダーセミナー」を終えて  
B01-2 久保英夫(北海道大学) . . . . . 94
- ・ Joint Symposium of International Symposium on“Neo-Biomimetic Engineering 6th ” and  
Satellite Meeting of the 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC2012) に参加して  
C01 須藤祐子(東北大学) . . . . . 96

8) 新聞・報道 . . . . . 98

9) アウトリーチ活動 . . . . . 102

10) 各種案内 . . . . . 107



## 卷頭言

## 生物規範工学と昆虫学



### 藤崎憲治（京都大学名誉教授・日本昆虫科学連合代表）

このたび、新学術領域“生物多様性を規範とする革新的材料技術”の評価グループの一員として加わらせていただくことになった。昆虫生態学者である私が、なぜ工学関係の研究プロジェクトの評価委員を務めることになったのか、一般の人々は不思議に思うに違いない。実は、それは至極当然のことで、工学と昆虫学とは水と油のように、融合などできそうもない異質な学問分野であると一般にはみなされてきたからである。実はこの私にしても長い間、そのように思ってきた。正直言って、工学者にあまり好感を抱いていなかった。

昆虫は動物の中で実に3/4の種数を誇る、もっとも進化的に成功した生物群である。昆虫はこれまで生き抜いてきた4億年の歴史において、幾度も環境の大変動に見舞われてきた。昆虫は自然選択という力学を通して、苛酷な環境を生き延びるための方策や豊富な資源を有効に利用するための方策を進化させてきた。その結果、植物をはじめとする生物たちとの複雑で巧妙な生物間相互作用を取り結びつつ、消費者や分解者あるいは花粉媒介者として、生態系のなかで不可欠な存在になっていった。昆虫がこのような繁栄を獲得するために発達させてきたその生命機構は、地球上における生物が究めた一つの到達点であると言えよう。昆虫学は昆虫世界の成立と発展の進化的仕組みを解明し、その成果を地球環境の保全と人間生活の持続的発展に資することを目的とした生命科学の1分野である。昆虫が地球上で最も繁栄している生物群であり、それ故に現在の地球環境や人間生活に密接不可分の関係を有していることが昆虫学の存立基盤になっている。

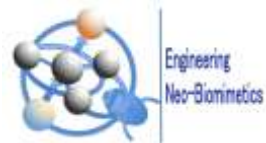
昆虫学が近代科学としてほぼ体系化されたのは18世紀ごろであったが、20世紀になり、遺伝学、生理学、生態学などのミクロからマクロまでの基礎生物学の発展に多大な貢献を果たすようになった。そのことは、昆虫類はその興味深い習性と優れた特性ゆえに、生物学のモデル材料としていかに有用であったのかを物語っている。しかし、

昆虫学は、このように基礎生物学に貢献するだけでなく、社会のための科学として、食料問題や環境問題など、今日の困難な地球規模での課題の解決に参加する必要にますます迫られている。昆虫が特異的に発展させている生命機構を開発・利用することによって、人類社会の持続的発展に貢献することが期待されているのである。わが国はかつて世界に例をみないほどの、養蚕という昆虫産業を起こし、わが国の社会経済活動を飛躍的に発展させた歴史を有し、また、世界の昆虫学を先導してきた経緯がある。昆虫学は純粋にわが国発の世界的な産業と学術の構築を实践した経験を有しているのである。養蚕業なくしてわが国の明治以降の目覚ましい発展はありえなかったと言っても過言ではない。

昆虫が長年の進化的歴史を生き抜いてきた方策は、環境を鑄型として、それに調和していくための戦略と戦術の創出であった。そうでなければ、長大な進化的歴史を生き延びることなど到底不可能であったのだ。それを生き延びるための“知恵”と呼ぶなら、そこから学ぶことはすこぶる多いに違いない。それ故、工学者がこのような昆虫をはじめとする生物の知恵に注目し始めているのはまさしく卓見である。それは、これまでの“人間の技術体系”から“生物の技術体系”へのコペルニクスの転換を図ろうとする“生物規範工学”として実現されつつある。この度、下村先生のご尽力で工学者と生物学者のコラボレーションによる上記の新学術領域が発足したことは、誠に時宜を得た快挙であると言えよう。

生物規範工学といった学問分野の将来における発展の鍵は、モデルあるいは規範となる昆虫などの生物やその生活様式の多様性が握っており、ここでも生物多様性の保全が重要視されている。しかし、地球上に現存する生物の種数について憶測の域を出ないなど、未だに生物世界の全容を理解するにはほど遠い。地球は昆虫をはじめとする未知の節足動物や微生物といった、言わば“暗黒物質”に満ち満ちて（未知未知て？）いるのである。そこに光を当てる分野こそが昆虫分類学をはじめとする分類学に他ならない。ところが、さまざまな“先端的な学問分野”の台頭とともに、昆虫分類学なぞは旧態然たる古い学問であるとみなされ、大学組織の中でスクラップされつつあるといった、危機的な状況に直面している。これは生物学や生物多様性科学に対する無知故のとんでもない愚挙であり暴挙である。生物規範工学はまさしく先端的な学問分野であるが、この分野がこれまでの先端分野と決定的に異なることは、生物多様性の重要性を強く認識していることである。工学者のことが今では好きになりつつある。

工学者と生物学者が互いに尊敬し合いながら、そして何よりも生物たちへの畏敬の念を抱きながら、融合的なバイオミメティクス研究を推進することにより、人類社会のための科学として、真の意味で持続的な新規科学技術が構築されることを期待するものである。生物規範工学こそ、人類の救世主となる可能性があるからだ。



## 評価委員からのメッセージ



## 生物規範工学への期待



帝人株式会社構造解析研究所 平坂雅男

「自然と生体に学ぶ」と題した講演が Janine Benyus によって社内で行われたのは 2002 年頃であったと記憶している。このとき、バイオミミクリーの構造色に関連して、自社で開発したモルフォテックスの扇子を彼女が気に入ってくれたのが印象的だった。そして、「自然に学ぶ」という観点で、海外関係者から紹介された技術を社内のプロセスに導入する検討に携わった。植物の機能を利用したリサイクル技術であり、南米の大学と共同研究を行ったが、自然の機能を利用するにとどまり工業化へ結び付けることはできなかった。このとき、ケミカルプロセスにネイチャーテクノロジーを組み込むことを主体として考えていたため、自然の機能を解析し工業化に結びつけるバイオミメティクスとしての考え方が乏しかった。また、素材系企業の研究開発に、生物学者と連携する機会が乏しかったことから、課題に対するアイデアを工学系と生物学系の研究者が共有し、また、協力して相互発展させることができなかった。2008 年「UK-Japan Workshop on Innovation Inspired by Nature」、2009 年高分子学会ポリマー材料フォーラム「バイオ・インスピレーション・エンジニアリング」などの企画にも関与してきたが、企業においてバイオミメティクスへの関心はあるものの、製品化技術としての認識は低い状況であった。最近、テレビ、雑誌、新聞などの影響もあり、新たな競争力としてバイオミメティクスに対する期待感が企業でも高まりつつあるが、まだ、企業の研究者や開発企画のスタッフは、企業における活用や展開策を模索している段階である。

話は変わるが、私が高分解能電子顕微鏡を用いた材料研究を無機材質研究所（現物質・材料研究機構）で行っていた 1990 年代は、ナノテクノロジーの進歩と共に電子顕微鏡技術も大きく進歩した時期であった。現在、装置の進歩により、電子顕微鏡像は比較的容易に撮影することができるようになっている。しかし、研究の本質は、美しい電子顕微鏡写真を撮影するだけでなく、画像を見てどのような“きづき”を得るかであり、また、画像から新たな知見を読み取る解析力が研究者の力量であると思っている。当時、電子顕微鏡学会の活動の一環として企業の電子顕微鏡の研究者（我々は、自称“電顕オタク”と呼んでいた）のために、合宿形式の研究会を開催していた。参加する研究者は材料系の研究者が中心であるが、専門分野が半導体、金属、セラミッ

クス、高分子、顕微鏡理論と異分野であった。“ざっくばらんトーク”と称する夜の勉強会では、研究者が解析面で壁にぶつかった写真を持ち込み、その写真に対して様々な視点から深夜まで議論したことを覚えている。参加者が電子顕微鏡という共通言語を持ち、専門分野の異なる研究者との討議であったことから、自分の専門分野以外の知識を吸収することができた。そして、参加した研究者は、違う側面から解析する重要性を認識すると共に、人的ネットワークを築くことができた。今、思うと意識の高い研究者が集う“場”の形成が、ざっくばらんな議論につながったと思う。

マイケル・ポランニーの『暗黙知の次元』（ちくま学芸文庫）では、発見は、「(1)発見を触発して導く場は、より安定した構造の場ではなく、「問題の場」である。(2)発見が起こるのは、自然発生的ではなく、ある隠れた潜在的可能性を現実化しようとする「努力」するからである。(3)発見を触発する、原因のない行為は、たいてい、そうした潜在的な可能性を発見しようとする「想像上の緊迫」である。」と述べている。また、“場”の重要性と共に、「問題を見て、それを追及しようと企てることは、そこに到達できると信じて、ある範囲の潜在的な可能性を見ることなのである。」とポランニーが述べている。生物規範工学では、専門分野の研究者が集う単なる“場”だけでなく、科学的進化を意識した研究者によって“場”が形成されている。そして、現在進めている共通言語としてのデータベースが、大きな触媒効果を生み出すものと期待している。

新学術領域における学術の発展だけでなく、科学と産業を結合させイノベーションを引き起こす取り組みも必要である。現代のイノベーションは、ものづくり産業の発展にみられるような地域集積型で起こるのではなく、知的創造活動と製品開発とが連携する集積化の時代になっている。このような観点からも、産業界の役割は大きい。海外においては、新たな科学に基づく事業展開はベンチャー企業が大きな役割を果たすが、日本においてはベンチャーキャピタル等による資金調達の問題もあり、ベンチャーを起業しても事業に発展させることが難しい。むしろ、日本では産学連携が重要な役割を果たす。生物規範工学の進歩と共に、産業化への道筋をつくる体制づくりが必要な時期である。生物規範工学は、アメリカ国立科学財団（NSF）が言う potentially transformative research<sup>1</sup>であり、まさに、新たな科学への期待を感じると共に、産業界は産学連携を活用した技術開発を促進し、技術開発のパラダイムシフトが起こす役割を担っていることを認識しなければならない。

最後に、芸術家は模写から始まるが、オーギュスト・ロダンは、「凡庸な人間が自然を模写しても決して芸術品にはなりません。それは彼が「見」ないで眺めるからです。」と言っている。生物規範工学においても自然現象の模倣だけでなく、機能を解

析し、新たな産業技術基盤に発展させる取り組みが行われることを期待している。まさに、生物模倣から生物規範工学への発展である。

---

<sup>1</sup> The potentially transformative research has the capacity to revolutionize existing fields, create new subfields, cause paradigm shifts, support discovery, and lead to radically new technologies. (National Science Board 2020 VISION for the National Science Foundation, December 28, 2005)

## 3月1日 全体会議要旨



日時：2013年3月1日(金) 13時00分～18時30分

会場：北海道大学 学術交流会館 第1会議室（札幌市北区北8条西5丁目）

13:00～13:20

国立科学博物館動物研究部 篠原現人「魚類の体から学ぶ：博物館標本の活用」

13:20～13:40

北海道大学創成研究機構 黒川孝幸「表面パターンニングを施したゲルの表面摩擦と界面ダイナミクスの観察」

13:40～14:00

九州大学先導物質化学研究所 小林元康「生物を規範とする保水性潤滑表面の創製」

14:00～14:20

名古屋工業大学若手研究イノベータ養成センター 石井大佑「微小液体操作可能な生物模倣微細構造」

14:20～14:40

北海道教育大学教育学部札幌校生物研究室 木村賢一「ショウジョウバエのクチクラ構造形成：複眼レンズのニップル形成と脚先端のフットパッド形成」

15:00～15:20

独立行政法人物質・材料研究機構 Dagmar Voigt「Towards ISOBIONIK - Experiences on Biomimetic Standardization and VDI Guidelines in Germany」

15:20～15:40

独立行政法人産業技術総合研究所 浦田千尋「はつ油性に優れた有機-無機ハイブリッド」

15:40～16:00

独立行政法人農業生物資源研究所 奥田隆「昆虫培養細胞の常温保存技術の開発：ネムリユスリカの乾燥耐性機構から学ぶ」

16:00～16:20

東京大学先端科学技術研究センター ○光野秀文、櫻井健志、並木重宏、神崎亮平「昆虫の嗅覚受容体を発現させた培養細胞を利用した匂いバイオセンサの開発」

16:40～17:00

名古屋大学大学院医学系研究科細胞生物物理学 小林剛「細胞レベルのメカニクス・システム：細胞の基質の硬さ感知機構」

17:00～17:20

東北大学原子分子材料科学高等研究機構 室崎喬之「フジツボ付着期幼生に対する自己組織化表面微細構造の抗付着効果」

17:20～17:40

東北大学大学院環境科学研究科 古川柳蔵「ライフスタイル・デザイン手法の開発と評価」

17:40～18:00 総括班評価G 講評

18:00～18:30 HP システムの説明 インテリジェント・リンク

所属班：A01-1

所属機関：国立科学博物館動物研究部

氏名：篠原現人

所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1

e-mail：s-gento@kahaku.go.jp

研究キーワード：博物館標本，魚類，表面構造，画像，データベース



## 魚類の体から学ぶ：博物館標本の活用

### Learning from the Bodies of Fishes: Practical Use of Museum Specimens

博物館の役割と機能には、「資料の収集保管」、「展示・学習支援活動」および「調査研究」があり、保管資料は人類の共有財産として極めて重要である。特に自然史系博物館の資料の中で中核をなすのは標本である<sup>(1)</sup>。

我々は次世代バイオメティクス研究素材の探索に役立つデータベースを作成するために、博物館に保管される標本を有効活用し、SEM やデジタルマイクروسコープなどの画像データの収集を行っている。特に魚類学者で構成する小班では、主にアルコール液浸標本を用いて、魚類の表面構造に関する調査を進めている。



Fig. 1 Dried specimens (above two photos) and wet specimens (below).

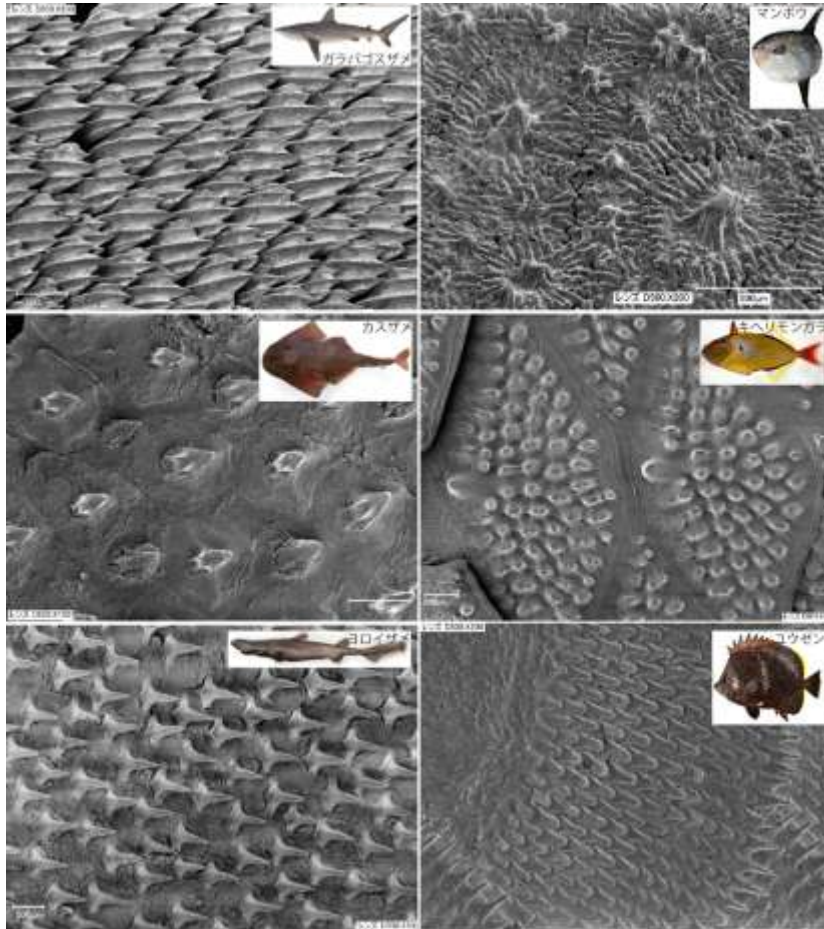


Fig. 2 SEM images of body surfaces in sharks (left) and teleost fishes (right).

個々の標本から情報を正確に抽出する以外に、博物館にどんな魚種やどのような状態の標本があるかを詳しく把握することが、調査には不可欠である。国立科学博物館と北海道大学総合博物館では、毎年かなりの数の魚類標本を集め、整理や維持管理に多くの時間と労力をかけている。標本の整備により、有用な魚種の標本の探索を容易にし、バイオミメティクス研究を推進する工学系研究者をサポートしたいと考えている。

今回の発表では調査の進捗状況と今後の計画、さらに生鮮状態の魚類標本の入手や観察機会の必要性等について説明する。

#### 参考文献

- (1) 生物多様性政策研究会, *生物多様性キーワード辞典*. 中央法規出版株式会社; 東京, 2002.

所属班：B01-1

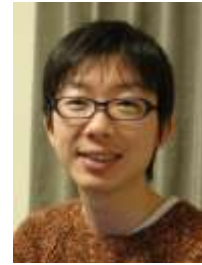
所属機関：北海道大学 創成研究機構

氏名：黒川孝幸

所属機関住所：〒001-0021 札幌市北区北二十一条西10丁目

e-mail：kurokawa@sci.hokudai.ac.jp

研究キーワード：高分子ゲル、表面摩擦、軟骨表面凹凸、  
摩擦表面観察



## 表面パターンニングを施したゲルの表面摩擦と 界面ダイナミクスの観察

### Observation of Surface Friction of Hydrogel with Surface Pattern and Direct Imaging of Dynamics at Gel/Glass Interface

#### 緒言

私たちが関節や眼球を動かすときに一切の摩擦抵抗を感じないことから分かるように、生体の運動は極めて滑らかでかつ安定している。例えば膝関節においては数十 MPa もの圧力がかかるなど厳しい環境にあるが、その滑り摩擦係数は  $10^{-3} \sim 10^{-2}$  程度と非常に小さい。当研究室では、生体の優れた低摩擦性を理解するために、生体と同じくソフトでウェットな特徴をもつハイドロゲルを生体組織のモデルとし、その表面摩擦について研究を行ってきた。関節の軟骨表面について子細に見てみると、数十  $\mu\text{m}$  程度の窪みがあることが知られており、これが運動に何らかの影響を与えているものと考えられる。本研究ではこの軟骨表面の構造に着想を得て、ゲル表面にパターンを施すことにより表面摩擦がどのように変化するか調べることを目的としている。手法としてはゲルの表面摩擦力の測定だけでなく、摩擦力測定装置にプリズムを組み込むことで測定と同時にゲルと相手基板との界面を観察するシステムを用い、界面におけるダイナミクスについて直接的な情報を得ることも行った。

#### 実験

ソフトリソグラフィーにより得られた、規則的な円柱状の凹みのパターンをもつ PDMS(ポリジメチルシロキサン)の鋳型を元に、sol-gel 法を用いて複製のガラス板を作成した。このガラス板をゲル合成の際の鋳型とし、これに直接ゲル化溶液を流しこんで重合することで表面パターンを持たせたサンプルを得た。3D レーザ顕微鏡を用いて

ゲル表面パターンの確認をした後、サンプルをディスク状に切り出し、粘弾性測定装置レオメータを用いて水中におけるゲル/ガラス間の表面摩擦測定を行った。また、摩擦測定の際に、プリズムと臨界屈折を利用した手法によりゲル/ガラス界面の観察を同時に行い、ゲルと相手基板が接触している様子についても調べた。本観察手法ではゲル/ガラス界面において、ガラスに接触しているゲルのみを観察することが可能である。

### 結果・考察

3D-Laser 顕微鏡により観察されたポリビニルアルコール(PVA)ゲルの表面観察像を Fig.1 に示す。図に示したゲルの表面は数 $\mu\text{m}$  程度の窪みを持たせた構造になっている。表面にパターンを付けていないゲル(以後 flat)と Fig.1 のような表面に窪みのあるパターンを施したゲル(以後 concave と表記)について、これらの初期接触状態(速度 0)の界面イメージを Fig.2 に示した。この

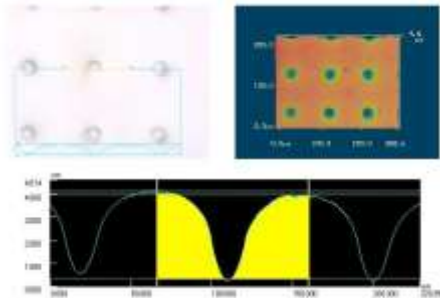


Fig.1: Surface profile image of PVA gel surface with concave shaped pattern.

測定・観察においてはゲルにかかる垂直荷重を 11kPa と比較的大きくしているため、flat については初期状態でゲル/ガラス基板間の水は排出され、ほぼ全面がガラス基板と接触している。よって Fig.2 左では円形状のゲルの全面が観察される。一方、concave については大きな荷重のかかった状態でも界面に存在する水が表面凹凸にトラップされたままの状態で維持されることが予測され、flat に比べてガラスと強く接触していないはずである。そのため flat に比べて concave は、形状としては全面が見えているものの、表面がぼやけたような観察像になっているものと考えられる。二つのゲルについて摩擦力の速度依存性の結果を Fig.3 に示した。表面の構造から予測されたとおり、concave は flat に比べて明確に低い摩擦力を示すことがわかった。

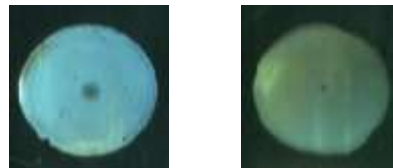


Fig.2: Gel/glass interface images. Left: flat gel. Right: concave-patterned gel. Applied normal pressure: 11kPa.

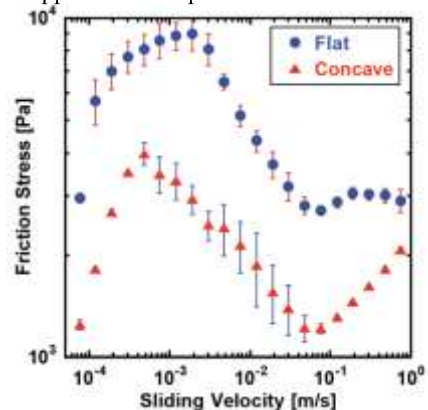


Fig.3: Relationship between friction stress and sliding velocity.



所属班：B01-1

所属機関：九州大学先導物質化学研究所

氏名：小林元康

所属機関住所：〒819-0395福岡市西区元岡744

e-mail：motokoboa@catf.kyushu-u.ac.jp

研究キーワード：表面改質、摩擦、潤滑、高分子電解質



## 生物を規範とする保水性潤滑表面の創製

### Development of Biologically-Inspired Water-Lubrication surfaces

ウナギやクラゲの体表や魚の鱗の表面はぬるぬるとした粘液で覆われている<sup>1-2)</sup>。ヒトを含む哺乳類の目の表面や口腔、鼻などの呼吸器、胃や腸などの消化器の内壁なども粘膜で覆われており、外部刺激からの保護や保湿、抗菌、異物除去など生命活動に欠かせない重要な役割を果たしている<sup>3)</sup>。これら粘液は細胞内で生産され、細胞外へと分泌されている。その主成分はムチンという糖タンパク質の一種である。カタツムリの粘液にも含まれるムチンは、ポリペプチドを主鎖とし、枝状の糖鎖が多数結合している構造を持つ。生物の種によってそのペプチド配列や糖鎖の分岐構造は異なるため、ムチンは単一の物質ではないが、逆にそれが多種多様な生理活性を生み豊かな機能を果たしている。この生物特有の粘膜を工学的な視点から捉えると、極めて優れた水潤滑特性と保水性を合わせ持つ親水性薄膜であると言える。

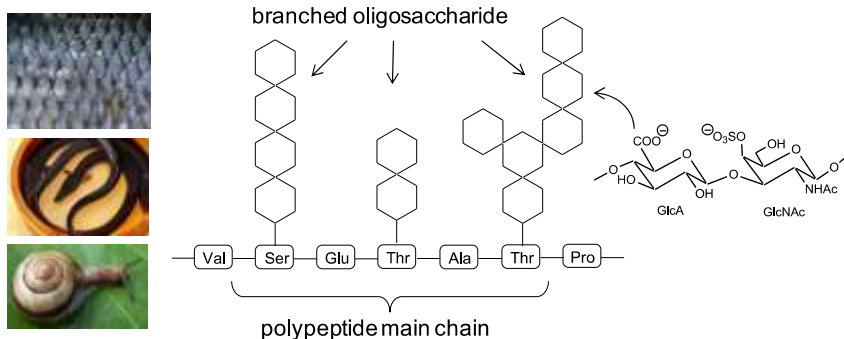


Figure 1. Typical chemical structure of mucin (glycoprotein) on the surface of fish scale, eel, and snail body.

水は冷却効果があり、環境負荷の低い安全な流体であるが、一般的な潤滑油に比べて粘度が低いために通常の摩擦界面では潤滑膜が形成されにくく、水潤滑は難しい。ところが、生物は関節など摺動部において保水性の高いヒアルロン酸や糖タンパク質からなる複合的界面を構築し、見事に水潤滑を実現しているのである<sup>4)</sup>。残念ながら、糖タンパク質は非常に複雑な分子構造をしているため、天然ムチンを人工的に合成することは極めて困難である。しかし、それを構成する糖分子とブラシのような分岐構造、静電反発による斥力相互作用をもたらすイオン性官能基に着目し<sup>5)</sup>、これらの要素を再構築した分子設計を行えば、生物粘膜を規範とする水潤滑の効果が期待される。

B01-1 班ではゲルを素材とした摩擦（トライボ）材料の開発を検討しており、材料表面に鮫肌やハスの葉に見られるようなミクロンオーダーの微細凹凸構造を付与することで摩擦特性の制御を目指している。その表面特性を化学的な処理によりさらに改質するのが本研究の目的であり、現在、糖鎖分子を有するイオン性高分子による表面グラフトを検討している。Figure 2 はその一例であり、ポリビニールアルコール(PVA)からなるダブルネットワークゲル(DN ゲル)の表面に重合開始基を固定化した後、スルホン酸およびラクトースを側鎖に有するメタクリル酸エステルと表面開始共重合を行うことで、粘膜と類似の親水性薄膜の調製を試みている。今後、糖鎖やイオン性基の種類を変更し水潤滑に適した分子設計を目指す予定である。

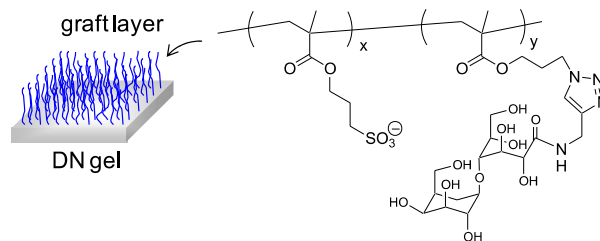


Figure 2. Surface-grafted copolymer containing sulfonic acid and Lactose groups prepared by surface-initiated radical polymerization on the double network (DN) gel

#### 参考文献

- (1) Marmur, A. *Langmuir*, **2006**, *22*, 1400-1402.
- (2) Genzer J.; Efimenko, K. *Biofouling*, **2006**, *22*, 339-360.
- (3) Dickey, F. D. *Science*, **2012**, *337*, 924-925.
- (4) McCutchen, C. W. *Wear* **1962**, *5*, 1-17.
- (5) Kobayashi, M.; Takahara, A. *Chem. Rec.*, **2010**, *10*, 208-216.
- (6) Gong, J. P.; Katsuyama, Y.; Kurokawa, T.; Osada, Y. *Adv. Mater.* **2003**, *15*, 1155-1158.

所属班: B01-2

所属機関: 名古屋工業大学 若手研究イノベータ養成センター

氏名: 石井 大佑

所属機関住所: 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

e-mail: ishii.daisuke@nitech.ac.jp

研究キーワード: 濡れ特性、微細構造、水滴操作、表面修飾



## 微小液体操作可能な生物模倣微細構造

### Biomimetic microstructures for water droplet manipulations

蓮の葉や蝶の羽の撥水性は自然が創る驚くべき機能表面である[1]。撥水性に代表される表面ぬれ性は、表面を構成している物質の化学組成と表面に形成された微細構造によって決定される。前述した蓮の葉の超撥水性は、疎水性ワックスがナノからマイクロメートルサイズの複合凹凸構造表面に分泌されることでもたらされる[2]。また、バラの花びら表面のマイクロ-ナノ階層凹凸構造が、撥水性と気液界面の分子間力の増強による吸着性を併せもつ特異的なぬれ性を示す[3]。このことは、微細構造の制御により、撥水表面中に吸着性という新しい機能を付与できることを意味している(図1)。

これまでの微細構造の作製法は、フォトリソグラフィーに代表されるトップダウン的手法が主流である。トップダウン的手法では、鑄型の形状を反映した微細構造を、精度良く連続して作製できる反面、多様な構造を得るには対応した鑄型が必要であるという欠点がある。トップダウン的手法とは対照的な微細構造作製法としてボトムアップ

的手法がある。自己組織化に代表されるボトムアップ的手法では、わずかな作製条件の違いにより、異なる微細構造が得られる。そのため、作製条件を精密に制御しなければ得られる構造の再現性が低くなる。例えば、温度や湿度などの空間環境の揺らぎにより得られる微細構造

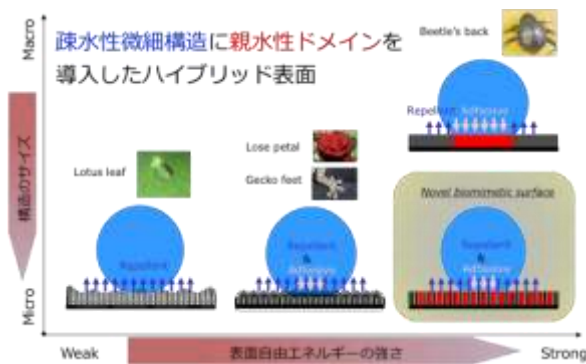


Fig. 1 Relationship between affinity to a water droplet and structure sizes of biomimetic surfaces.

は不均一化する。当研究グループでは、自己組織化条件の精密制御により、結露水の六方最密アレイを鋳型として利用することで、均一性の高い空孔をもつ高分子ハニカム状多孔質膜（ハニカム膜）の作製に成功している[4]。

本研究は、自己組織化ハニカム膜を鋳型として利用することで、蓮の葉に代表される超撥水表面やバラの花びらに代表される吸着性超撥水表面を構築し、その機能表面上での微小液体操作技術の開発を試みる。具体的には、ハニカム膜の孔内の濡れ性を自己組織的に制御することで、孔内の濡れている部分と濡れていない部分を制御可能であり、濡れている部分でのみ無電解めっきにより金属析出させることで、水親和性のある金属酸化膜と超撥水性をもつ高分子ピラー構造とが複合した吸着性超撥水表面を作製できる。ハニカム膜孔内の濡れ性を制御することで、作製した超撥水表面における液滴吸着性を制御可能であった(図2)[5]。また、ハニカム膜孔内の濡れやすさを連続的に変化させることで、金属酸化膜の析出のグラデーションを作製することができ、液滴吸着性の勾配をもつ超撥水表面を作製できた(図3)[6]。作製した超撥水表面における液滴吸着性の違いを利用した微小液体移動や、液滴吸着性の勾配を利用した液滴ソーティングなど、作製した機能性超撥水表面を利用した微小液体操作の要素技術の開発に成功した。

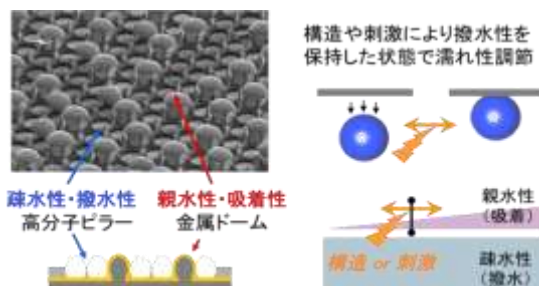


Fig. 2 Control of water droplet adhesive force on superhydrophobic metal-dome and polymer-pillar hybrid surfaces.

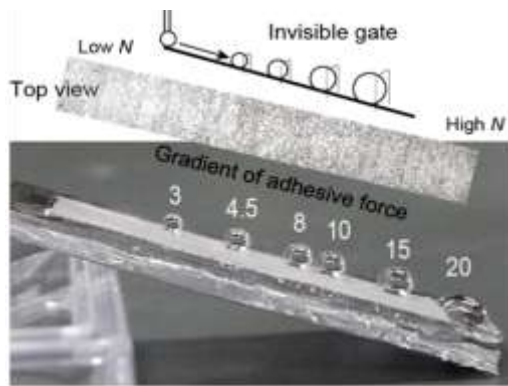


Fig. 3 Invisible gates for the sliding water droplets on the tilted adhesion force gradient hybrid surface with slope of 20°.

## 参考文献

- (1) Koch, K.; Barthlott, W. *Phil. Trans. R. Soc. A* **2009**, *367*, 1487.
- (2) Barthlott, W.; Neinhuis, C. *Planta* **1997**, *202*, 1.
- (3) Feng, L.; Zhang, Y.; Xi, J.; Zhu, Y.; Wang, N.; Xia, F.; Jiang, L. *Langmuir* **2008**, *24*, 4114.
- (4) Maruyama, N.; Koito, T.; Nishida, J.; Sawadaishi, T.; Cieren, X.; Ijiro, K.; Karthaus, O.; Shimomura, M. *Thin Solid Films* **1998**, *327–329*, 854.
- (5) Ishii, D.; Yabu, H.; Shimomura, M. *Chem. Mater.* **2009**, *21*, 1799.
- (6) Ishii, D.; Shimomura, M. *Chem. Mater.* **2013**, Article ASAP, DOI: 10.1021/cm303885f.

所属班: B01-2

所属機関: 北海道教育大学教育学部札幌校生物研究室

氏名: 木村 賢一

所属機関住所: 〒002-8502

札幌市北区あいの里5条3丁目1

e-mail: kimura.kenichi@s.hokkyodai.ac.jp

研究キーワード: foodpad, モスアイ, レンズ, クチクラ, ショウジョウバエ



## ショウジョウバエのクチクラ構造形成: 複眼レンズのニップル形成と脚先端のフットパッド形成

### Formation of *Drosophila* cuticular structure: corneal nipples and footpad

昆虫の体表を被うクチクラは、外骨格として筋肉の付着点となり体を支えるとともに、多様な機能を有している。例えば、クチクラは色素色や構造色により多彩な色彩をもつ。また、大きな撥水性や粘着性を有しているものもある。これらの機能は、クチクラの多様な構造に支えられていると考えられる。はたして、昆虫はどのようにしてこのような微細なクチクラ構造を作り上げているのだろうか？これらクチクラ微細表面構造の形成メカニズムを明らかにすることで、生物の形態だけではなく、その形成過程から模倣するという今後のバイオミメティクスの可能性が期待される。ここでは、発生遺伝学的な解析が可能なキイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* をモデルに、複眼レンズのモスアイ構造の形成との脚先端の footpad 形成機構について、研究の進展状況を紹介する。

#### 1. ショウジョウバエのモスアイ構造形成

“モスアイ構造”は、昆虫のレンズ表面に見られる微小な突起構造で、光の反射を防ぎ、その吸収効率を高める機能を有している<sup>1)</sup>。この構造を模倣した“モスアイフィルム”は、バイオミメティック素材の一つとして期待

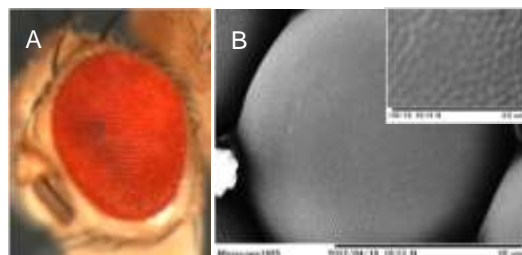


Fig. 1 Compound eye (A) in a wild-type fly. Surface of a facet (B) is formed by corneal lens which is covered with the nipple arrays (islet in B).

されている。生物は、どのようにしてこの“モスアイ構造”を形成しているのだろうか。

キイロショウジョウバエの複眼は約 800 個の個眼よりなり、それぞれの個眼はレンズで被われ、レンズの表面には微小な突起構造（ニップル構造）が見られる。この構造は、いわゆるモスアイ構造と相同なものと考えられる。複眼は蛹期に複眼成虫原基から形成され、角膜レンズは個眼内の 4 つの cone cell と 2 つの primary pigment cell から分泌された物質より形成される。その形成過程を SEM により観察したところ、蛹の中期の限定された期間にこの構造が形成されることが明らかになった。また、この形成に関わる遺伝子を同定するために、複眼異常の突然変異体のレンズ表面を調査したところ、いくつかの突然変異体において、ニップル構造に異常があることが示された。

## 2. footpad 形成

滑らかな垂直面を歩行することができる昆虫の肢の先端には、微細な毛状やへら状のクチクラの突起構造（剛毛）、あるいは褥板と呼ばれる袋状の構造が見られ、footpad を形成している。footpad に密生した剛毛のそれぞれが、ミクロ・ナノレベルでは凸凹な自然界の基質表面と接触することで付着・接合を可能としている<sup>2)</sup>。バイオミメティクスの観点から、昆虫の脚



Fig.2 SEM image of footpad in *Drosophila*

の接着機構を模倣することで、あらたな接着技術の開発が期待される。

本研究では、キイロショウジョウバエの footpad の正常な発生過程を解析した。キイロショウジョウバエの跗節の先端に存在する footpad (Fig.2) は、蛹期に成虫肢原基の細胞群から形成される。脚の先端部 (pretarsus) からは、footpad に加え、爪や爪間剛毛などの複雑なクチクラ突起が形成される。特定の遺伝子発現を指標に pretarsus の一部の細胞群をラベルし、変態期における変化を追跡したところ、一層に並んだ表皮細胞がダイナミックに移動し、肢先端の複雑なクチクラ構造を作り上げることが明らかになった。また、footpad の突起形成にはアクチン微小繊維が関わっていることが示唆された。

## 参考文献

- (1) Bernhard, C.G.; Miller, W.H. Acta physiol. scand. **1962**, *56*, 365-366
- (2) Gorb, S. N. American Entomologist, **2005**, *52*, 31-35

所属班：B01-3

所属機関：独立行政法人 物質・材料研究機構

氏名：Dagmar Voigt

所属機関住所：〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1

e-mail：[VOIGT.Dagmar@nims.go.jp](mailto:VOIGT.Dagmar@nims.go.jp);

研究キーワード：Biomimetics, Bionics, Standardization



## Towards ISOBIONIK - Experiences on Biomimetic Standardization and VDI Guidelines in Germany

“Taking ideas from nature”, gathering new technologies for life, is closely related to human’s evolution and done for several thousand years. In that context, the term “bionics” was introduced first in the 60s at a conference in the US<sup>(1-2)</sup>. In Germany, “Bionik” and “Technical Biology” were established predominantly by Nachtigall<sup>(3-13)</sup> & colleagues since early 70s. Since the beginning of 80s, world-

wide activities on bionics increased; several societies and networks were united, up to the present globally trend in bionics since 2000/2001, entailing a cumulative interest for technical/commercial applications. Currently, numerous colleagues and networks all over the world are working on bionics. However, definitions of that topic and the understanding are pretty heterogeneous, which is reflected by the variety of different terms and their significations used in the same context<sup>(6-9, 14-15)</sup>: bionics, Bionik, biomimetics, biomimicry, bioinspiration, etc. Since that discrepancy rather constrains the promotion of technological transfer and implementation of bionics approaches, standardization guidelines<sup>(16-22)</sup> should provide further consolidation of bionics and an orientation for engineers, too. The talk gives an insight into experiences collected during the voluntary service (2008-2011) in the VDI guideline committee “VDI 6221 – Surfaces”.

Currently, Dagmar Voigt is a postdoc researcher at NIMS, joining the cross border project of B01-3 and B01-4 on “the analysis of plant surfaces for the investigation of transmission of the vibration from the plant surface to an insect”. Comprehensive investigations are still in progress.

## References

- (1) Lipetz, L. E. *Science* **1961**, *133*, 588-593.
- (2) Lipetz, L. E. *Science* **1963**, *140*, 1419-1426.
- (3) Nachtigall, W., *Bau-Bionik*; Springer; Berlin, 2003.
- (4) Nachtigall, W., *Bionik als Wissenschaft*; Springer; Berlin, 2010.
- (5) Nachtigall, W., *Bionik*; Springer; Berlin, 1998.
- (6) Nachtigall, W., *Biotechnik und Bionik - fachübergreifende Disziplinen der Naturwissenschaft*; Steiner; Wiesbaden, 1982.
- (7) Nachtigall, W., *Biotechnik*; Quelle und Meyer; Heidelberg, 1971.
- (8) Nachtigall, W., Rechenberg, I., *Evolutionstrategie. Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. Frommann-Holzboog; Stuttgart-Bad Cannstatt, 1973.
- (9) Nachtigall, W., *Technische Biologie und Bionik 1*; Gustav-Fischer-Verlag; Stuttgart, 1992.
- (10) Nachtigall, W., *Technische Biologie und Bionik 2*; Gustav-Fischer-Verlag; Stuttgart, 1995.
- (11) Nachtigall, W., *Technische Biologie und Bionik 3*; Gustav-Fischer-Verlag; Stuttgart, 1996.
- (12) Nachtigall, W., *Technische Biologie und Bionik 4*; Gustav-Fischer-Verlag; Stuttgart, 1998.
- (13) Nachtigall, W.; Neumann, D.; Bechert, D.W. et al., *Analyse und Bewertung zukunftsreicher Technologien; Technologieanalyse Bionik*; VDI-Technologiezentrum; Düsseldorf, 1993.
- (14) Bhushan, B. *Phil. Trans. R. Soc. A* **2009**, *367*, 1445-1486.
- (15) Vincent, J. F. V.; Bogatyreva, O. A.; Bogatyrev, N. R.; Bowyer, A.; Pahl, A.-K. *J. R. Soc. Interface* **2006**, *3*, 471-482.
- (16) VDI; VDE, Eds., *VDI/VDE 3550 Blatt 3, Technical Guideline: Computational Intelligence - Evolutionäre Algorithmen - Begriffe und Definitionen*; Beuth-Verlag; Berlin, 2003.
- (17) VDI, Ed., *VDI 6220 Blatt 1, Technical Guideline: Biomimetics - Conception and strategy - Differences between biomimetic and conventional methods/products*; Beuth-Verlag; Berlin, 2012.
- (18) VDI, Ed., *VDI 6221, Technical Guideline – Draft: Biomimetics - Functional bionic surfaces*; Beuth-Verlag; Berlin, 2011.
- (19) VDI, Ed., *VDI 6222, Technical Guideline – Draft: Biomimetics - Bionic Robots*; Beuth-Verlag; Berlin, 2011.
- (20) VDI, Ed., *VDI 6223, Technical Guideline – Draft: Biomimetics - Biomimetic materials, structures and components*; Beuth-Verlag; Berlin, 2011.
- (21) VDI, Ed., *VDI 6224 Blatt 1, Technical Guideline: Biomimetic optimization - Application of evolutionary algorithms*; Beuth-Verlag; Berlin, 2012.
- (22) VDI, Ed., *VDI 6225 Blatt 1, Technical Guideline: Biomimetics - Biomimetic information processing*; Beuth-Verlag; Berlin, 2012.



所属班: B01-3

所属機関: 独立行政法人 産業技術総合研究所

氏名: 浦田 千尋

所属機関住所: 〒463-8560 愛知県名古屋市守山区

下志段味穴ヶ洞2266-98

e-mail: chihiro-urata@aist.go.jp

研究キーワード: 有機-無機ハイブリッド、ゾル-ゲル法、

層状化合物、はつ液処理、防食処理



## はつ油性に優れた有機-無機ハイブリッド

### Organic-Inorganic Hybrid Exhibiting Excellent Oil-repellency

【背景】B01-3 班では、生物機能を取り入れた実装技術の開発を目指しており、発表者は、自己治癒、防食、酸化防止、はつ水/はつ油性等の機能を示す皮膜の作製を担当している(Fig. 1)。本層状皮膜は、有機層および無機層がナノレベルで交互積層しており、その層間に様々な機能性分子

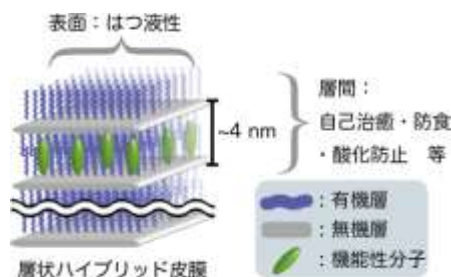


Fig.1 Concept of this study.

子を導入することで所望の機能発現が期待できる。本年度は、上記機能を示す皮膜の作製技術の確立、および、はつ液性の発現を試みた。ここでは、この有機-無機ハイブリッド皮膜が、優れたはつ油性を示すことを見いだしたので報告する。<sup>(1-2)</sup>

【実験】有機-無機ハイブリッド皮膜は、様々な鎖長のアルキルトリエトキシシラン( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{n-1}\text{Si}(\text{OEt})_3$ ;  $\text{C}_n\text{TES}$ ,  $n=3-18$ )とテトラメトキシシラン( $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$ ; TMOS)を原料とし、共加水分解・共縮重合反応後に、ガラス基板上へ成膜した。

【結果】皮膜の形態/形状/外観はアルキル鎖の長さ( $n$ )に依存し、 $n=3-12$  の場合のみ透明性に優れた皮膜が得られた(Fig.2A)。一方で、 $n=14, 16$  の場合は半透明な皮膜となり(Fig.2A)、 $n=18$  の場合は前駆溶液中で沈殿が生じ均一な膜が得られなかった。また、原子間力顕微鏡および走査型電子顕微鏡による表面観察より、 $n=3-12$  の場合は平滑表面( $R_{\text{rms}} < 1 \text{ nm}$ )が形成したことを確認した(Fig.2B)。一方で、 $n=14, 16$  の場合は、表面に多数のクラックが観察され、このクラックが原因で皮膜の透明性が低下したと考えられる(Fig.2C)。これら皮膜の水滴、油滴(ヘキサデカン、ドデカン、デカン)に対す

る静的接触角( $\theta_s$  値)はそれぞれ、 $90^\circ$ – $109^\circ$ 、 $31^\circ$ – $43^\circ$ 、 $21^\circ$ – $35^\circ$ 、 $13^\circ$ – $29^\circ$ となり、アルキル鎖長の増加とともに $\theta_s$  値の増加傾向が示された(Fig.2D)。この結果は、アルキル鎖長の増大とともに、表面エネルギーの低い  $\text{CH}_3$  基が皮膜表面により多く露出していることを示唆している。

これらの皮膜の動的はつ油性を調査(Fig.2E)すると、 $n=3$ – $10$  の場合、基板を僅か約  $5^\circ$ 傾けるだけで、 $5\ \mu\text{L}$  の微小油滴 (ヘキサデカン、デカン)が表面を滑落した。一方で、 $n \geq 2$  の場合は、アルキル鎖の伸張に伴い、転落角が増加した(動的なはつ油性の低下)。これまでに、表面官能基の運動が盛んな“Liquid-like”な固体表面では、優れた動的濡れ性が発現すると報告されている。<sup>(3)</sup>つまり、本系の場合においても、 $n=3$ – $10$  の試料の場合、共縮重合反応により、隣接する表面官能基間に駆動可能なスペースが生まれ、“Liquid-like”な表面が形成したと考えられる。一方で、 $n \geq 2$  の場合は、アルキル鎖が *all-trans* 配座に近づき、アルキル鎖の運動性が制限されたため、動的はつ油性が低下したと考えられる。また、 $n \geq 4$  の場合は、表面に発生したクラックの“ピン留め効果”により、動的はつ油性がさらに低下したと考えられる。

また、今回紹介した皮膜の一部は層状構造を形成したことを確認している。今後は、層状構造体内部に様々な機能性分子を導入し、所望の機能を示すハイブリッド皮膜の作製を試みる。

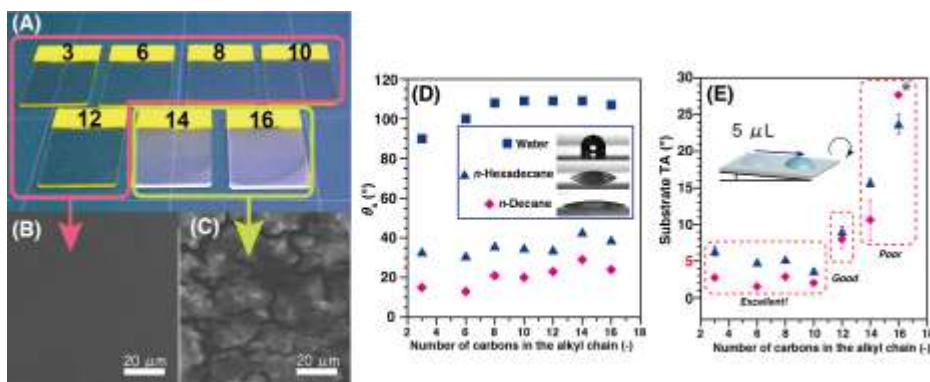


Fig.2 (A)Visible images of films coated on the glass substrate. Typical top surface SEM images of hybrid films (B)  $n=10$  and (C)  $n=16$ . (D) Static CAs versus  $C_n$ -hybrid films with various alkylchains length for the three probe liquids. (Insets pictures of  $3\ \mu\text{L}$  sized droplets) (E) Substrate tilt angle of  $C_n$ -hybrid films for *n*-hexadecane and *n*-decane.

## 参考文献

- (1) Urata, C.; Cheng, D. F.; Masheder, B.; Hozumi, A. *RSC Adv.* **2012**, *2*, 9805.
- (2) Urata, C.; Masheder, B.; Cheng, D. F.; Hozumi, A. *Langmuir* **2012**, *28*, 17681.
- (3) Cheng, D. F.; Urata, C.; Yagihashi, M.; Hozumi, A. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2012**, *51*, 2956.
- (4) Cheng, D. F.; Urata, C.; Masheder, B.; Hozumi, A. *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 10191.

所属班: B01-4

所属機関: 独立行政法人農業生物資源研究所

氏名: 奥田隆

所属機関住所: 〒305-8634 茨城県つくば市大わし1-2

e-mail: oku@affrc.go.jp

研究キーワード: 極限環境、乾燥耐性、培養細胞、常温保存、ガラス化



## 昆虫培養細胞の常温保存技術の開発: ネムリユスリカの乾燥耐性機構から学ぶ

### A hydro-preservation of insect cell lines inspired by a desiccation tolerant insect, The Sleeping Chironomid.

英国 Hadley 研究所は地球の砂漠化が確実に進行し、2100 年後には現在の農業耕地の 50% が失われると予測している。人類にとって、様々な場面で「乾燥」に対する適応戦略が今後の重要課題になることは間違いない。アフリカ半乾燥地帯に高等生物でありながら生体水をほぼ完全に失っても死なない昆虫、ネムリユスリカがいる。彼らの極限的な乾燥ストレスに対する適応機構を模倣することで、乾燥耐性を持たない生物の細胞や組織を常温で保存する技術開発につなげていくことを最終目標とする。

ほとんどの生物の細胞は 50% 以上の脱水で致死する。一方、ネムリユスリカ幼虫は脱水に伴い、水の代替分子であるトレハロースという糖を大量に合成し、それが生体成分を保護しながら最終的にはガラス化し、自らをカプセルに封入するような形で無代謝の乾燥休眠に入る<sup>(1)</sup>。乾燥幼虫を 17 年後に再水させ蘇生させた記録が残っている。乾燥に伴う過酷な酸化ストレスによってネムリユスリカといえども、DNA の損傷が生じるものの修復していることが判明した<sup>(2)</sup>。本課題では、幼虫個体よりも単純な細胞レベルでの乾燥耐性の分子機構を明らかにするために、既に構築しているネムリユスリカ由来培養細胞 (Pv11) の常温保存技術の確立に着手した<sup>(3)</sup>。



Pv 細胞が乾燥ストレスに強いことはわかっていた。すなわち乾燥させた後再水和すると一部の細胞は蘇生する。しかし、その後増殖は認められなかった。今回は、高いトレハロース溶液で前処理をすることで、増殖可能な状態での常温保存に成功した (図1)。

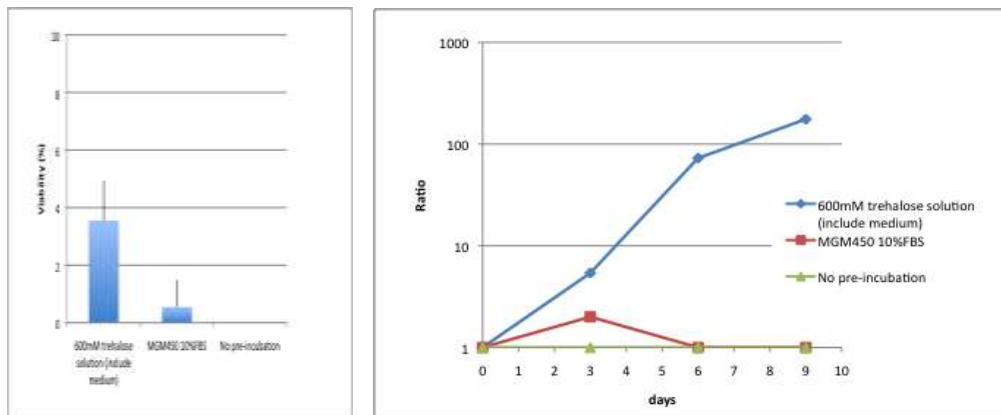


Fig.1 Successful recovery (left) and proliferation (right) of dried Pv11 after rehydration by pre-incubation with high concentration of trehalose.

しかし、再水和直後の Pv 培養細胞の生存率は 5% と低く、乾燥条件の改良の余地が残されている。今後は、抗酸化因子の投与の強化を図りながら、より理想的な乾燥及び再水和条件の検討を進めていく。具体的な方法としては、乾燥ストレスに強い生物は例外なくヘモグロビンを有しており、ネムリユスリカにおいても乾燥ストレス特異的に合成するヘモグロビンがいくつか確認されたことから (表1)、この抗酸化関連因子の機能解析 (乾燥ストレスに対する影響) を進めていく。

## 参考文献

- (1) Sakurai, M. et al. *PNAS*. **2008**, *105*, 5093-5098
- (2) Gusev, O. et al. *PLoS ONE*. **2010**, *5*, e14008
- (3) Nakahara, Y. et al. *Cryobiology*. **2010**, *60*, 138-146

Table 1. Expression of hemoglobin genes upon desiccation in 2 chironomid species

<i>Polypedilum vanderplanki</i>			<i>Polypedilum nubifer</i>		
Feature ID	D0	D24	Feature ID	D0	D24
Pv-Hb-1	928.00	9.8	Pn-Hb-1	8,338.72	1,488.08
Pv-Hb-2	1,912.33	10.8	Pn-Hb-2	5,111.88	25.26
Pv-Hb-3	0	0	Pn-Hb-3	7.86	0.22
Pv-Hb-4	120	1.2	Pn-Hb-4	3,056.24	2,607.26
Pv-Hb-5	2,933.67	31.8	Pn-Hb-5	0.57	0.03
Pv-Hb-6	76.67	0.5	Pn-Hb-6	3.21	21.51
Pv-Hb-7	4.00	4.4	Pn-Hb-7	17.59	98.28
Pv-Hb-8	892.31	18.8	Pn-Hb-8	6.72	42.17
Pv-Hb-9	43.07	1	Pn-Hb-9	5,092.10	1,497.74
Pv-Hb-10	593.67	8.8	Pn-Hb-10	14.57	16.02
Pv-Hb-11	0.33	16.4	Pn-Hb-11	12,672.39	17,586.02
Pv-Hb-12	0	9.6	Pn-Hb-12	1.16	2.09
Pv-Hb-13	124	7.2	Pn-Hb-13	0.11	0
Pv-Hb-14	272.67	193	Pn-Hb-14	0.11	0.11
Pv-Hb-15	1,426.00	332.8	Pn-Hb-15	0.11	0.11
Pv-Hb-16	0.67	0.20	Pn-Hb-16	66.88	6.61
Pv-Hb-17	1,214.33	62,015.00	Pn-Hb-17	594.17	90.14
Pv-Hb-18	194.67	1.4	Pn-Hb-18	1,426.67	226.1
Pv-Hb-19	154.67	134.2	Pn-Hb-19	0.24	0.33
Pv-Hb-20	12.33	9.6	Pn-Hb-20	6.7	20.71
Pv-Hb-21	0.00	0	Pn-Hb-21	4,074.84	1,942.09
Pv-Hb-22	6,774.00	205.6	Pn-Hb-22	2,306.32	65.26
Pv-Hb-23	11,548.33	42,204.00	Pn-Hb-23	8,342.50	3,005.26
Pv-Hb-24	14.67	66.6	Pn-Hb-24	6.41	5.41
Pv-Hb-25	0.67	371	Pn-Hb-25	1,761.88	1,862.69
Pv-Hb-26	63.33	17			
Pv-Hb-27	146.67	38.2			
Pv-Hb-28	0	0.6			
Pv-Hb-29	1,900.00	454.4			
Pv-Hb-30	375.33	10.00			
Pv-Hb-31	194.00	40.40			
Pv-Hb-32	8,294.67	14,900.00			

所属班: B01-4

所属機関: 東京大学先端科学技術研究センター

氏名: ○光野秀文、櫻井健志、並木重宏、神崎亮平

所属機関住所: 〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学先端科学技術研究センター3号館南棟360号室

e-mail: mitsuno@brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp

研究キーワード: 昆虫、嗅覚受容体、培養細胞、匂いバイオセンサ



## 昆虫の嗅覚受容体を発現させた培養細胞を利用した 匂いバイオセンサの開発

### Development of odorant biosensors using cells expressing insect odorant receptors

近年、我々の生活の質の向上、危機安全管理、さらには自然環境の保全の観点から、環境中のごく微量の化学物質を精確にそして迅速に検出することに対する社会的ニーズが高まっている。これまで、金属酸化物半導体や水晶振動子など工学的技術に基づく匂いセンサの開発が進められており、一部は実用化されている。しかし、検出感度、識別能、検出速度など、匂いセンサに要求される幅広いニーズを考慮すると検討すべき課題は多い<sup>(1)</sup>。その一方で、昆虫は多くの生命活動に匂い情報を利用しているため、環境中に存在する多様な匂い物質を高感度に検出する機構を備えている。最近になりこの高感度な匂いの検出が、触角で発現する昆虫に特異な嗅覚受容体によって成し遂げられていることが明らかにされてきた (Fig.1)<sup>(2)</sup>。そこで、我々は昆虫の嗅覚受容体の機能に着目し、多様な匂い物質を高感度かつ選択的で迅速に検出できる高性能な匂いセンサの開発を目指して研究を進めている。

これまで昆虫の嗅覚受容体の機能を再現した初めてのセンサとして、昆虫の嗅覚受容体を発現するアフリカツメガエル卵母細胞をセンサ素子とした匂いセンサを開発した<sup>(3)</sup>。このセ

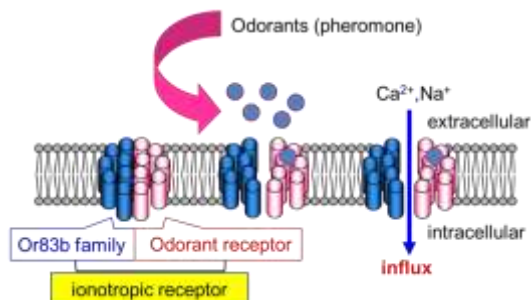


Fig.1 Model of insect olfactory signal transduction.

ンサは、卵母細胞から匂い応答に伴うイオン流入を電極により直接計測する仕組みであり、嗅覚受容体を発現させた卵母細胞を導入することで匂い物質を高感度かつリアルタイムに検出することが可能であった。このことから昆虫嗅覚受容体を発現した細胞が匂いセンサ素子として有用であることが分かった。

一方で、卵母細胞を利用した匂いセンサは、発現させた受容体の機能が一過的であること、電極が細胞にダメージを与えることから、計測可能な期間が12時間に限定されるという課題が残された。我々はこれら問題点を解決するため、制限なく細胞分裂を繰り返す特徴をもつヨトウガ蛹卵巣由来の培養細胞（Sf21細胞）に着目し、昆虫の嗅覚受容体とカルシウム感受性蛍光タンパク質（GCaMP3）を恒常的に発現するSf21細胞系統を樹立した<sup>(4)</sup>。カイコガの性フェロモン受容体であるBmOR1やBmOR3を発現させたSf21細胞系統では、それぞれの受容体が応答するフェロモン物質であるBombykolとBombykalに2ヶ月間にわたり特異的かつ高感度に蛍光応答を示した（Fig.2）。このことから昆虫の嗅覚受容体を安定に発現させたSf21細胞系統は長期間にわたって匂い物質を高感度かつ選択的に検出できるセンサ素子として利用できることが分かった。

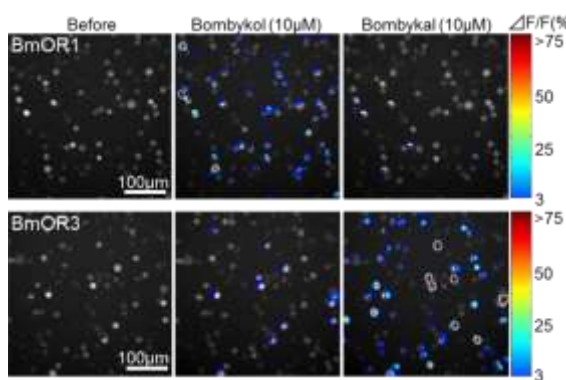


Fig.2 Fluorescence responses of Sf21 cell lines expressing insect odorant receptors, BmOR1 or BmOR3, Or83b family, and GCaMP3. Constructed cell lines selectively and sensitively detect the odorants in accordance to the ligand specificities of the expressed odorant receptors.

## 参考文献

- (1) Brattoli, M.; Gennaro, G.; Pinto, V.; Loiotile A. D.; Lovascio, S.; Penza, M. *Sensors* **2011**, *11*, 5290-5322. (2) Sato, K.; Pellegrino, M.; Nakagawa, T.; Nakagawa, T.; Vosshall, L. B.; Touhara, K. *Nature* **2008**, *452*, 1002-1006.  
 (3) Misawa, N.; Mitsuno, H.; Kanzaki, R.; Takeuchi, S. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2010**, *107*, 15340-15344. (4) 櫻井 健志; 光野 秀文; 神崎 亮平, ブレインテクノニュース, **2011**, *147*, 23-29.

謝辞： 研究の実施に当たりご援助いただいたセコム科学技術振興財団に深く感謝いたします。

所属班: B01-5

所属機関: 名古屋大学大学院医学系研究科細胞生物物理学

氏名: 小林 剛

所属機関住所: 〒466-8550 名古屋市昭和区鶴舞町65

e-mail: takeshik@med.nagoya-u.ac.jp

研究キーワード: 細胞力覚、アクティブタッチ、  
メカノタキシス、メカノバイオマテリアル



## 細胞レベルのメカニクス・システム: 細胞の基質の硬さ感知機構

### Cellular Active Touch Sensing of Substrate Rigidity

一個の生命単位である細胞は周囲の環境と力学(機械)的にリンクしている。そのリンクを介して細胞は様々な力学刺激を受けている。例えば、臓器運動による伸展や体液の流れに起因するずり応力などである。細胞がそれらの力学刺激を受動的に感知し、それに対して応答反応を示すことはよく知られている。ところで最近、細胞はそのような外来的な力学刺激に加え、周囲(基質)の機械的性質(硬さ)をも感知していることが分かってきた。例えば、繊維芽細胞は軟らかい基質から硬い基質に向かって遊走する(メカノタキシス)<sup>1)</sup>。また、間葉系幹細胞を骨、筋肉、あるいは、脳組織の硬さを持つ基質上で培養すると、細胞は硬さ依存的にそれぞれの組織の特徴を有する細胞へと分化するのである<sup>2)</sup>。すなわち、細胞自身が能動的に周囲(基質や隣接細胞)の硬さを感知し

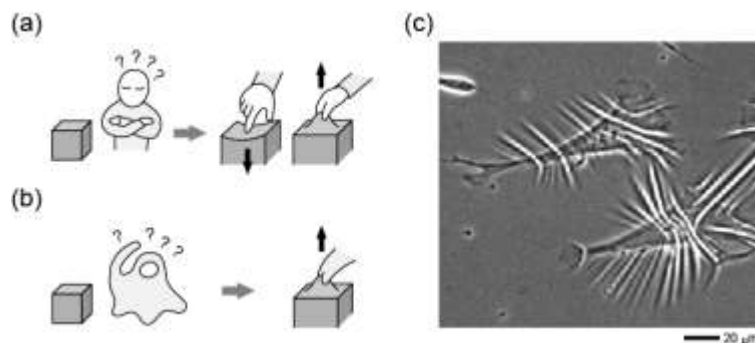


Fig.1 Active touch sensing (a) We can detect the stiffness of an object by pushing or picking it with fingers. (b) Cells could use a similar strategy to detect substrate rigidity. (c) Mesenchymal stem cells exert force on a silicon rubber substrate, causing wrinkles.

て自らの運命や行動（生存、増殖、分化、運動、形態形成）を制御しているのである。従い、細胞周囲の力学的な環境を人工的に修飾することによって細胞を制御することも可能であり、我々は、細胞が周囲の機械的性質を感知するメカニズムを明らかにすることにより細胞の運命・行動を制御する方法を学ぼうとしている。

では、どうやって細胞は基質の硬さを調べているのだろうか？どうやら、細胞は我々と同じように、対象を引っ張ってその硬さを調べているようである（Fig. 1）。細胞は接着斑（接着装置）を介して周囲を引っ張り、対象の力学的応答を測りながら絶えず周囲の力学的性質をモニターしているのである（"アクティブタッチ"と呼んでいる）。その際の対象の力学的応答の測り方に関してはいくつかの方法が考えられているが、我々は、機械刺激受容（MS）チャンネルを介した  $\text{Ca}^{2+}$  流入を利用した方法に注目している（Fig. 2）。細胞は、接着斑近傍に MS チャンネルを配置し接着斑に連結した細胞骨格にかかる力を細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  濃度に変換するシステムを持っている。細胞はこのシステムを使い、周囲に張力を負荷して基質の力学的性質に応じた反力を感知している可能性がある。発表ではこの研究内容についてご紹介したい<sup>(3)</sup>。

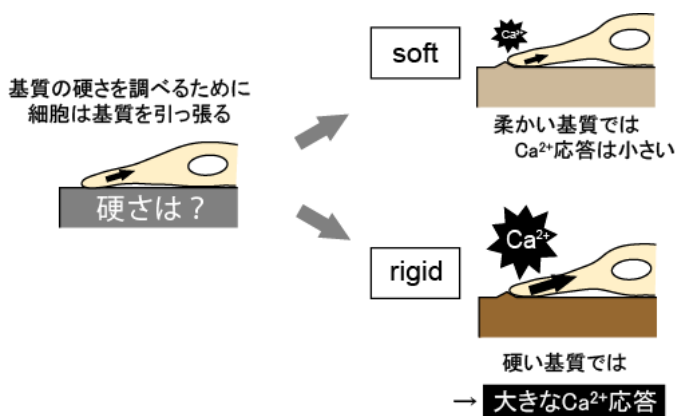


Fig.2 Substrate rigidity-dependent  $[\text{Ca}^{2+}]$  signaling in cultured cells during active touch sensing.

### 参考文献

- (1) Lo, C. M.; Wang, H. B.; Dembo, M.; Wang, Y. L. *Biophys. J.* **2000**, *79*, 144-152.
- (2) Engler, A. J.; Sen, S.; Sweeney, H. L.; Discher, D. E. *Cell* **2006**, *126*, 677-689.
- (3) Kobayashi, T.; Sokabe, M. *Curr. Opin. Cell Biol.* **2010**, *22*, 669-676.



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



## 日本語タイトル: フジツボ付着期幼生に対する自己組織化表面 微細構造の抗付着効果

## 英語タイトル: Antifouling properties of self-assembled surface microstructures against barnacles

フジツボや藻類、ホヤ類などの海洋生物は船底や漁網などに付着し深刻な汚損被害をもたらしている。従来用いられてきた有機スズ系防汚塗料は発がん性や内分泌かく乱作用を示す事が知られており、これに替わる低環境負荷型防汚材料の研究開発が今日進められている。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。

近年当研究室では、高湿度条件下において疎水性高分子と両親媒性高分子の混合溶液を固体基板の上にキャストするだけで、結露した水滴が自己組織的に配列し、それを鋳型とした自己組織化ハニカム状多孔質膜を作成できることを見出している<sup>2)</sup>。これは孔径が数 $\mu\text{m}$ ~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である (Fig.1)。この多孔質体をベースにピラー構造やマイクロレンズアレイ構造など様々な構造を持つ表面の作成が可

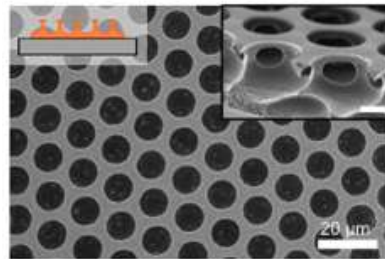


Fig.1 SEM image of self-assembled honeycomb-structured porous film

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(キブリス幼生) ( Fig.2) の着生に与える影響について調べた。



Fig.2 Barnacle's cyprid larva

Body size is about 500 $\mu$ m

実験室内で飼育している成体フジツボよりキブリス幼生を得、着生実験を行った。着生実験には側面がガラス、底面が表面微細構造からなるウェルを用い、内部に滅菌海水 500 $\mu$ l とキブリス幼生 15 個体を入れ、インキュベータ内( 25 $^{\circ}$ C、80% RH) に静置し 3 日後、底面に着生している個体の数をカウントした。着生基板にはポリスチレン( PS) 製の自己組織化ハニカムフィルム(孔径 5,8,15 $\mu$ m)、ハニカムフィルム表層を粘着テープで剥ぎ取る事で作製したピラー構造フォルム、コントロールとして平滑な PS 板を用いた。Fig.3 に平滑な PS 板に対するキブリス幼生の着生数を 1 として規格化した各基板に対する 3 日後の規格化着生数を示す。これより、ハニカム構造上では他構造上に比べキブリス幼生の着生が少ない事がわかった。またハニカム構造の孔径が増大するに従ってキブリス幼生の着生が減少する傾向が見られた。

ハニカム構造がキブ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、キブ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。当日はこの結果についても述べる。

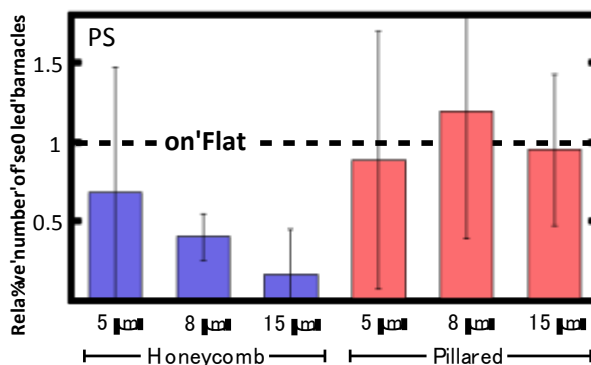


Fig.3 Antifouling effect of surface microstructures and sizes

### 参考文献

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

所属班：C01

所属機関：東北大学大学院環境科学研究科

氏名：古川柳蔵、藤翔子、須藤裕子、石田秀輝

所属機関住所：〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻  
字青葉6-6-20

e-mail：furukawa@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

研究キーワード：ライフスタイル・デザイン、バック  
キャスト、社会受容性、地球環境、技術抽出



## ライフスタイル・デザイン手法の開発と評価

### Development of lifestyle design method and evaluation

#### 背景・目的

近年、地球環境の劣化とライフスタイルの変化がほとんどない状況を踏まえると、将来の厳しい環境制約の下においても、心豊かなライフスタイルを実現するためには、バイオミメクス分野の成果が、人々のライフスタイルと社会の中へ導入・普及することが喫緊の課題である。心豊かなライフスタイルと低環境負荷なテクノロジーを如何にマッチングさせ、融合する新しいものづくりができるかが問われている。本研究では、第一フェーズのライフスタイル・デザイン手法を開発し、描かれたライフスタイルの評価結果と手法改善への示唆を報告する (Fig.1)。

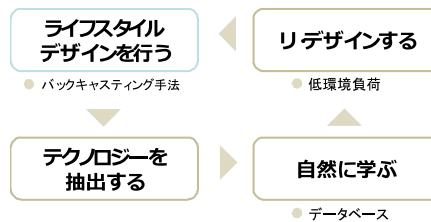


Fig.1 Nature technology innovation system

#### 方法

モノづくり日本会議ネイチャーテクノロジー研究会のメンバー（企業人4名/大学研究者2名）と共同でバックキャスト手法(Fig.2)を用いてライフスタイル・デザインを行った。得られたライフスタイルの中から、50個のライフスタイルを抽出し、これらの構造と社会受容性の関係について分

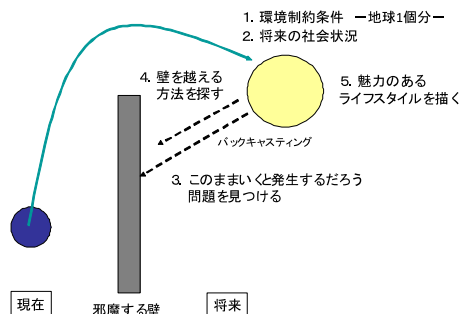


Fig.2 Lifestyle design using backcasting method

析した。分析においては、インターネットアンケート手法( 楽天リサーチモニター) を用いた。ライフスタイルの構造評価<sup>(1)</sup>には、本研究チームが評価グリッド法・KJ 法により構築したライフスタイル評価因子を用いた。

## 結果

類似構造を持ったライフスタイルを分類するため、SPSS 社の PASW Statistics base 18.0 を用いて、クラスタ分析を行った。それぞれのクラスタに含まれるライフスタイル群ごとに、主因子法・バリマックス回転により因子分析を行った結果を Table 1. に示す。

クラスター(群)	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子	第 4 因子	第 5 因子	第 6 因子	社会受容性平均[%)
クラスタ1	自分らしさ	社会貢献	低負担	清潔 安心	自然 健康	-	50.7
下位尺度得点	3.82	3.95	3.33	3.31	3.87		
クラスタ2	社会貢献	自然 健康	高揚感	低負担	自分成長	自己裁量	50.1
下位尺度得点	3.48	3.83	3.57	3.22	3.58	3.63	
クラスタ3	社会と一体	安定	効率	自然 優着	-	-	40.7
下位尺度得点	2.97	3.07	3.55	2.88			
クラスタ4	一体感	低負担	自然 次切心	-	-	-	39.8
下位尺度得点	3.53	3.34	2.99				
クラスタ5	高揚感	社会貢献	低負担	清潔 安心	環境貢献	自然	28.9
下位尺度得点	3.23	3.25	3.01	2.96	3.46	3.18	

Table 1. Relationship between social acceptability and structure of lifestyles.

社会受容性が高いクラスタ 1,2 は「自

自分らしさ」、「社会貢献」、「自然・環境」、「高揚感」、「自分成長」、「自己裁量」因子が含まれることがわかる。先行研究<sup>(1)</sup>においても、自然、自分成長、利便、社会と一体という因子が含まれているほど社会受容性が高いという結果であったが、それと整合的であった。ライフスタイルの中に社会貢献因子が抽出されたのは特徴的である。

また、バックキャスト手法によりデザインされたライフスタイルについて、異なるデザイナーが類似した構造のライフスタイルをデザインすることがあるが、環境制約を踏まえながら、心の豊かさを求める場合に、制約を超えるための共通法則の存在が示唆された。これを踏まえ、Fig 3 のような社会受容性を高める共通法則を用いる「解決指針」を作成し、デザインされたライフ

スタイルをさらにコンセプト化した後に、解決指針を用いてライフスタイルをより具体的に技術抽出につなげるための吟味をするデザインスキームを考案した。今後、この方法の実証を行っていく計画である。本年度の研究計画は全て完了した。

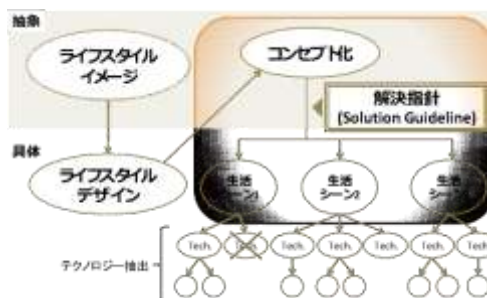


Fig.3 Lifestyle design method with solution guideline.

スタイルをさらにコンセプト化した後に、解決指針を用いてライフスタイルをより具体的に技術抽出につなげるための吟味をするデザインスキームを考案した。今後、この方法の実証を行っていく計画である。本年度の研究計画は全て完了した。

## 参考文献

(1) 瀧戸浩之, 古川柳蔵, 石田秀輝, 増田拓也, 環境制約を考慮したライフスタイルの評価構造抽出と社会的受容性に関する分析, 研究・技術計画学会第 25 回年次学術大会, 一般講演要旨集, 2010, 436-439.

## 3月2日 公開講演会要旨



科学研究費新学術領域「生物規範工学」バイオミメティクス公開講演会  
日 時：2013年3月2日(土) 10時00分～12時30分  
会場：北海道大学 学術交流会館 第1会議室（札幌市北区北8条西5丁目）  
主催：科学研究費新学術領域「生物規範工学」

10:00～10:30 大園 拓哉  
独立行政法人産業技術総合研究所ナノシステム研究部門 グループ長  
「マイクロリンクルの光拡散機能」

10:30～11:00 不動寺 浩  
独立行政法人物質・材料研究機構主幹研究員  
「オパール薄膜のホットエンボス成形加工」

11:00～11:30 和田 健彦  
東北大学 多元物質科学研究所 教授  
「可逆接合技術ならびに自己複製・増殖機能確立を指向した外部刺激応答性  
新規人工核酸系構築に向けた戦略」

11:30～12:00 高梨 琢磨  
独立行政法人森林総合研究所 森林昆虫研究領域 主任研究員  
「害虫における音・振動情報の機能解明と防除への応用」

12:00～12:30 劉 浩  
千葉大学 工学研究科 教授  
「ハチドリは、なぜ美しくホバリングできるのか？その運動、メカニクスおよびバイオミメティクス」

所属班：B01-1

所属機関：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：マイクロリンクル、表面凹凸構造、  
構造可変、光拡散板



## マイクロリンクルの光拡散機能

### Shape-tunable wrinkles for a switchable optical diffuser

微細な凹凸構造は、回折や屈折のような界面における光との特徴的な相互作用を示すため、光学部材として重要である。その特徴的な構造周期が光の波長程度であれば回折格子や反射防止膜等に利用され、サブミリメートル程度以上であれば、光拡散板や光ファイバーの動波路結合に用いられるマイクロレンズアレイ、その光拡散による像の歪みを利用したぼかし用の型板ガラス、ランダムな凹凸構造による散乱を利用した曇りガラスなど多岐に使われている。このような微細凹凸構造による光学的機能は、生物においても多く利用されており<sup>1)</sup>、モスアイ、モルフォ蝶等、それらから工学として学ぶことも多いであろう。これらの微細凹凸構造は静的なものが多く知られているが、もしその構造のスイッチングができれば、その構造変化に応じて光学特性をスイッチングできるようになり、光学部材としての機能拡大が期待できる。そのような例はすでに生物で利用され、ネオンテトラやイカの体色変化が知られている<sup>2)-5)</sup>。しかし、このような微細構造の変化は、人工的に作成された微細構造においては一般には難しく、その工学的模倣は少ない。そこで本研究では、その取り組みの一端として、微細構造が可逆的に変化できるマイクロリンクルという表面構造を用いて、その構造変化により可視光の拡散状態を可逆的に調節できることを報告したい。

マイクロリンクルは、比較的柔らかい弾性体表面に相対的に硬い薄膜を形成し、応力を加えることで自発的に発生する表面凹凸構造であり<sup>6)-7)</sup>、パターン化用表面<sup>8)</sup>や液晶配向機能<sup>9)</sup>があるとして最近注目されている。本研究では、透明な弾性体基板（ゴム）に半透明な硬い高分子薄膜（プラスチック）を密着させ、凹凸周期がサブ mm 程度となるように膜厚等を調整した。このサンプルに1軸圧縮ひずみを与えていくと、2%程度でサイン波状の断面構造を有するリンクルが発生し（図）、更にひずみを上げると、それに伴って凹凸の深さが増えてゆくことを確認した。この構造可変なサンプルに、背

面からレーザー光を入射させると、リンクルが無い場合は透過したレーザースポットは拡散されないが、リンクルが存在すると、リンクルの溝に直行する方向に1軸的にスポットが広がられることを確認した(図)。またその拡散の広がり幅は、リンクルの深さに応じて調節できることも確認した。尚この結果は、幾何光学に基づいた光路追跡計算とも合致し、サイン波状の凹凸界面による光拡散であることが確認された。よって、この表面はチューナブルな光学拡散板として利用可能であり、新規なブラインド様窓材やひずみセンサーなどとして応用が期待できる。

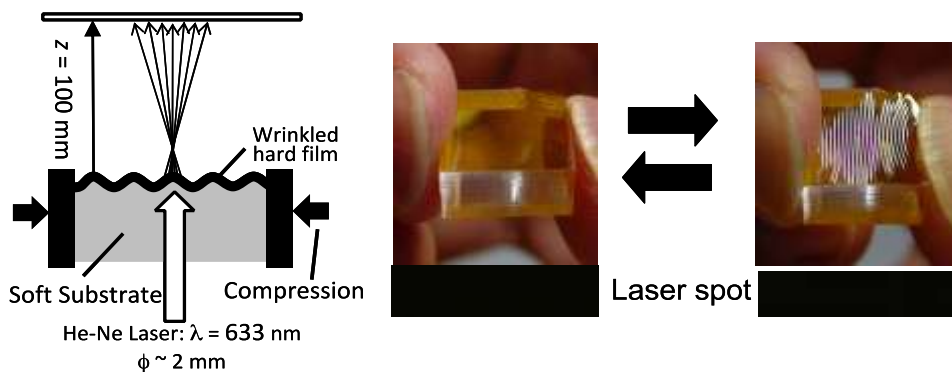


Fig.1 Schematic of experimental setup (left) and optical images of tunable wrinkles with the shapes of the transmitted laser spots.

#### 参考文献

- (1) Vukusic, P.; Sambles, J. R. *Nature* **2003**, *424*, 852.
- (2) Yoshioka, S.; Matsuhana, B.; Tanaka, S.; Inouye, Y.; Oshima, N.; Kinoshita, S. *J. R. Soc. Interface*, **2011**, *8*, 56.
- (3) Welch, V.; Vigneron, J. P.; Lousse, V.; Parker, A. *Phys. Rev. E* **2006**, *73*, 041916.
- (4) Tao, A. R.; DeMartini, D. G.; Izumi, M.; Sweeney, A.; Morse, D. E.; *Biomaterials*, **2010**, *31*, 793.
- (5) Mäthger, L. M.; Denton, E. J.; Marshall, N. J.; Hanlon, R. T.; *J. R. Soc. Interface*, **2009**, *6*, S149.
- (6) Genzer, J.; Groenewold, J. *Soft Matter*, **2006**, *2*, 310.
- (7) Ohzono, T.; Shimomura, M. *Phys. Rev. B*, **2004**, *69*, 132202.
- (8) Ohzono, T.; Monobe, H.; Shiokawa, K.; Fujiwara, M.; Shimizu, Y. *Soft Matter*, **2009**, *5*, 4658.
- (9) Ohzono, T.; Fukuda, J. *Nature Commun.* **2012**, *3*, 701.

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。また形状測定に関し、産総研の福田伸子氏、藤田真理子氏、鈴木航祐氏、山口智彦氏にご協力頂き、ここに感謝する。

所属班: B01-2

所属機関: 独立行政法人物質・材料研究機構

氏名: 不動寺 浩

所属機関住所: 〒305-0047 つくば市千現1-2-1

e-mail: FUDOUZI.Hiroshi@nims.go.jp

研究キーワード: コロイド結晶、構造色、塑性変形、鋳型



## オパール薄膜のホットエンボス成形加工

### Hot embossing process on opal films

生物はランダムさを含んだ周期構造や階層構造によって、光の散乱、干渉、回折などの現象を巧みに組み合わせることで多種多様な構造色を実現している<sup>1)</sup>。また、甲虫表皮や蝶の鱗粉では湾曲あるいは凹凸表面に積層構造が形成されており、複雑で多様な構造色の発色を可能としている。一方、人工的な構造色形成には薄膜干渉、多層膜干渉あるいはコロイド結晶などが利用されている。一般に、屈折率の周期構造を形成する多層膜干渉及びコロイド結晶では成膜プロセスの制約上、その殆どが平坦・平滑な支持基板上で形成している<sup>2)</sup>。人工的な方法で生物の多様な構造色を模倣するには、既存のプロセスだけでは限界がある。そこで微構造制御の新技术としてB01-2班ではFig.1に示すようなオパール膜のホットエンボスプロセスを開発している<sup>3)</sup>。

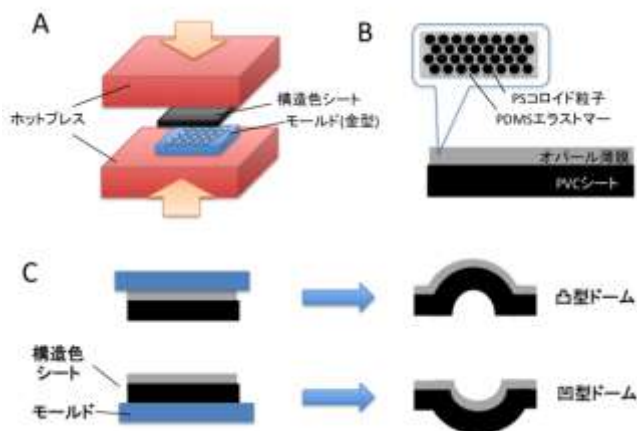


Fig.1 Hot embossed specimens of opal composite films, A: A set up layout of the specimen and metal mold in hot press, B: Polystyrene colloid array infilling with silicone elastomer on a plastic sheet, C: A convex and concave shaped deformation by selecting surface facing on mold.



このホットエンボス成形加工ではポリ塩化ビニル(PVC)シート上に形成したオパール薄膜をモールドによってホットエンボス加工を行う。Fig.2に本プロセスを用いて形成した凸型及び凹型のオパール薄膜の湾曲構造を示す。写真Bの光学顕微鏡像ではドーム頂点付近の中心部分からブラッグ回折による構造色が観察できた。写真CとDで凹凸形状の違いにより構造色が異なっている。さらに顕微分光スペクトル及びSEM、TEM観察より本湾曲構造がフラットな基板の上とは異なる光学特性を確認している。

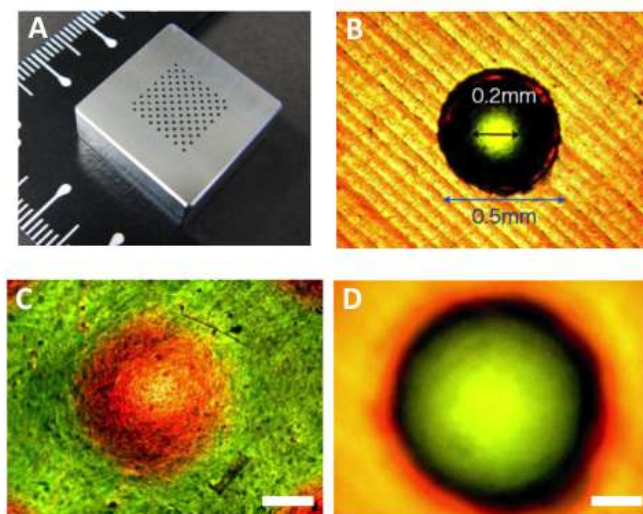


Fig.2 Al mold and hot embossed specimens. A: Tetragonal array holes with 0.5 mm diameter, B: A convex shaped dome made by hot embossing at 10MPa, 70°C for 60 S. C: A concave shaped and D: A convex shaped deformation. Scale bars are 100 μm.

### 参考文献

- (1) a) 木下修一, “生物ナノフォトニクス—構造色入門”, 朝倉書店, 東京 (2010); b) S. Berthier, “Iridescences: The Physical Colors of Insects”, Springer-Verlag, New York (2006)
- (2) a) Fudouzi, H. *Sci. Tech. Adv. Mat.*, **2011**, *12*, 064704-1.; b) Saito, A. *Sci. Tech. Adv. Mat.*, **2011**, *12*, 064709-1.
- (3) 不動寺浩, 針山孝彦, 山濱由美, 吉岡伸也, 石井大佑, 木村賢一, 久保英夫, 下村政嗣, 魚津吉弘, “ホットエンボスプロセスによるドーム状構造のオパール膜”, 高分子論文集, 2013 accepted for publication.

**謝辞:** 本研究は B01-2 班メンバー及び浜松医科大学の山濱由美博士、三菱レイヨンの魚津吉弘博士との共同研究の成果です。

所属班: B01-03

所属機関: 東北大学多元物質科学研究所

氏名: 和田 健彦

所属機関住所: 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1

e-mail: hiko@tagen.tohoku.ac.jp

研究キーワード: 可逆的錯体形成・解離制御／外部刺激応答性  
／自己増殖／自己複製／円二色性検出



可逆接合技術ならびに自己複製・増殖機能を確立を指向した  
外部刺激応答性新規人工核酸系構築に向けた戦略  
Reversible Control of Complexation Behavior of DNA  
Based Functional Material by External Factors  
- Toward the Creation of Reversible Junction Technologys and  
Self-Duplication and Amplification Systems -

我々は生体分子、特にタンパク質や核酸の有する多彩な機能、さらに韌やかで精緻な機能発現・制御に注目し、これらの機能・機能制御法を活用する新しい方法論の構築、機能材料創成に取り組んでいる。従来型の多くの人工機能材料は、過酷な条件下でも構造・機能が変化しない安定な材料創製を指向し、主に計算化学などでも推定可能なエンタルピー項を重視し、最安定構造を有する分子設計に基づく化合物設計が検討され、機能材料として応用展開が検討されてきたと捉えることも出来る。一方、生体分子、特にタンパク質や核酸は、最安定構造よりは、むしろ準安定状態を活用し、弱い相互作用の協同的効果により標的分子に対する精緻で高い認識に基づく多彩な機能を発現し、さらに外部刺激などに基づく構造変化をトリガーとすることにより、巧みで韌やかにその機能制御を達成している。すなわち、優れた多彩な機能、さらには機能制御能を有し、かつ自然・環境負荷の少ない材料開発を実現するためには、従来の材料開発指針・方法論からの大きなパラダイムシフトが必要で、「生物多様性」に学び、多彩な機能とその自在な機能制御を実現する生物規範工学の確立が必要不可欠である。

今回はこのような観点から、我々のグループで取り組んできている機能材料開発、そして機能発現機構解明に供するため開発に取り組んでいる高感度・高時間分解能を有する円二色性(CD)測定装置開発について紹介したい。

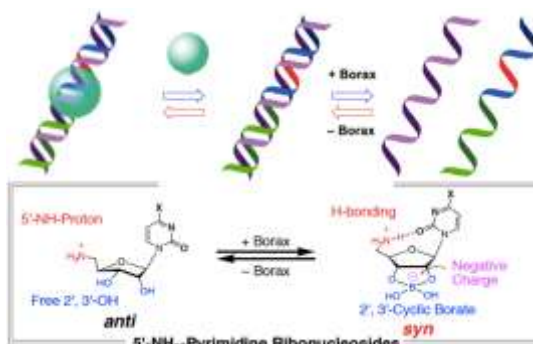


Figure 1. Reversible complexation behavior control of artificial nucleic acid based functional materials.

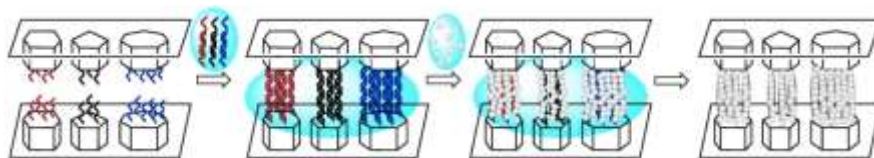


Figure 2. Novel junction technology based on complementally DNA-DNA duplex formation.

具体的には、1. RNA 誘導体のヌクレオシド部、塩基と糖部を繋ぐグルコシル結合の *anti*↔*syn* 配向変化・構造変化を活用した外部刺激応答型人工核酸の開発、そしてこれを活用した細胞内環境応答型がん細胞特異的遺伝子治療薬創成プロジェクト、さらにこの原理を活用した可逆的接合技術確立への戦略 2. 環境負荷の小さい自然共生型不斉光反応系構築を目指し、生体高分子インターフェース、特にタンパク質界面・結合部位の認識能とキラリティーに注目した、生体高分子をキラル反応場とする超分子不斉光化学創成プロジェクト、3. 生体分子の自己集合や相互作用、構造変化に基づく機能制御解明を目指した高感度・高時間分解能を有する CD 測定装置の開発、を紹介する。

### 外部刺激応答型人工核酸の創製

我々は、がん細胞特有の細胞内条件変化に応答し、がん細胞でのみ遺伝子治療効果を発現する薬剤の開発を目指し、細胞内環境変により標的 RNA に対する認識能・結合親和力を *on-off* スwitchング制御可能な核酸認識化合物の開発に取り組み、ペプチドリボ核酸 (PRNA) と名付けた新しいカテゴリの人工核酸の設計・合成とその機能を詳細に検討し、報告してきた。

我々は、核酸の認識過程において塩基部の配向が重要であり、効果的な塩基認識にはピリミジン塩基では 2 位カルボニル基が、プリン塩基の場合はピリミジン部が糖部の反対側に存在する *anti* 配向を優先する必要がある、逆の *syn* 配向は塩基認識にとって不利で有ること、*anti-syn* 塩基部配向は、糖部コンホメーションにより影響を受けることに注目した。すなわち、糖部 2',3'-水酸基を有する核酸認識分子において、外部因子により糖部コンホメーション変化を誘起できれば、塩基部の配向制御が可能となり、その結果として認識制御が期待できる (図1)。そして RNA を核酸認識部位として導入したペプチドリボ核酸 (peptide ribonucleic acid; PRNA) と名付けた新しいカテゴリの人工核酸を設計・合成し、低酸素濃度により誘起されるがん細胞特有の細胞内低 pH をトリガーとするがん細胞特異的核酸医薬開発に取り組んでいる。さらに、この外部刺激による錯体形成・解離機能を応用することにより、可逆的接合技術構築へと取り組んでいる (図2)。

### 高感度・高時間分解能 CD 測定装置の開発

円二色 (CD) スペクトル測定は、①キラルな生体(高)分子の構造変化を高感度に検出可能、②標識化が不要で幅広い試料適用範囲、③(生理条件下に近い)低濃度溶液で測定可能など優れた特徴を有し、さらに種々の分子が混在する夾雑系においても④キラリティーを有する分子・分子集合系をバックグラウンドフリーで選択的に検出可能であるなど、他の測定法にはない利点を有している。しかし、シグナル強度が小さいために、高感度測定が困難であり、また時間分解能も低い。

我々は、新規楕円偏光制御法による高感度 CD 検出法の開発に成功し、キラル超分子系や DNA ならびにタンパク質系に適用し、μ 秒領域での CD 測定に成功した。



Figure 3. Selective detection of CD spectroscopy. Induced CD from achiral TMPyP interacted with DNA.

所属班：B01-4

所属機関：独立行政法人 森林総合研究所 森林昆虫研究  
領域

氏名：高梨 琢磨

所属機関住所：〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

e-mail：takanasi@affrc.go.jp

研究キーワード：振動、行動、感覚、昆虫、害虫防除



## 害虫における音・振動情報の機能解明と防除への応用

### Functional Analyses on Sound and Vibration Signals in Insect Pests and Application to Pest Control

皆さんの中には、木を蹴って、クワガタなどの昆虫を採集した経験を持つ方もおられるだろう。これは、昆虫が振動に敏感である習性を利用した採集法である。多くの昆虫は固体を伝わる振動や空气中を伝わる音に敏感であり、様々な場面でこの能力を利用している。例えば、異性の発する超音波により交尾にいたるガ類、振動を発することでまわりの幼虫を近づけないカブトムシの蛹などがある<sup>(1-2)</sup>。このように音や振動は、情報として様々な機能を持つことが明らかにされつつあるが、害虫における知見は、未だ十分に蓄積されていない。そこで我々は、マツノマダラカミキリをはじめとする森林害虫の音・振動情報について、研究をすすめている。

マツノマダラカミキリの成虫（以下、カミキリ）はマツ材線虫病を伝播し、マツに壊滅的な被害を与えている法定害虫である。我々は、カミキリが低周波の振動によって、驚愕反応・フリーズ反応（運動の停止）・警戒発音等の行動反応を示すことを明らかにした<sup>(3)</sup>（Fig. 1）。これは、カミキリが振動を天敵の情報として認識していることを示唆する。また、我々は振動がカミキリの肢にある弦音器官（感覚器官の一種）により感知されることを甲虫類で

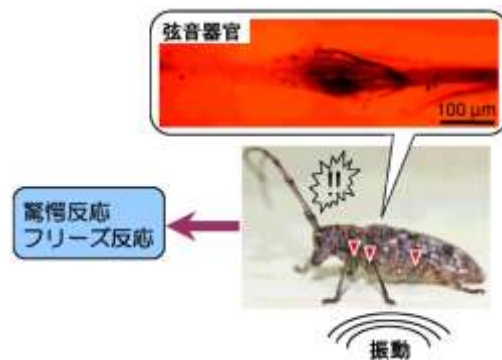


Fig.1 Sense organs mediate behavioral responses to vibration in the Japanese pine sawyer beetle.

初めて発見した<sup>(3)</sup>。弦音器官は、感覚細胞が細長い弦に付着しており、肢の接地面（寄主植物のマツ他）から振動を受容することができる（Fig. 1）。これは、弦音器官を切除すると、フリーズ反応を示さなくなることから証明された。一方、マツから発生する微弱な振動が、カミキリの産卵行動に影響を及ぼすことも示した。さらに、カミキリの歩行時に生じる振動が、視覚の情報とともに交尾行動に用いられることが明らかにした。

キオビエダシャクの幼虫（以下、シャクトリムシ）は南方に多い有用樹イヌマキを食害し、その分布拡大が懸念されている（Fig. 2）。シャクトリムシは、寄生者であるハエが接近すると、フリーズ反応や寄主植物からの落下等の行動を示す。これらの行動はハエの翅音によって再現されることが示された。このように、シャクトリムシは天敵の情報を感知し、寄生を回避すると考えられる。



Fig.2 A geometrid caterpillar on *Podocarpus* leaves.

これらの音・振動情報を応用することで、害虫の行動を制御し、防除につなげることができる。我々は、マツに振動を発生させて、カミキリに産卵阻害や忌避をおこすことに成功している<sup>(4)</sup>。この手法を適用すれば、マツの名木に振動を与えることで、化学農薬の使用を控えながら、害虫防除をおこなうことが可能となる。今後、様々な昆虫において振動情報が明らかになることで、振動を用いた害虫防除が広く用いられることが期待される。

#### 参考文献

- (1) Takanashi, T.; Nakano, R.; Surlykke, A.; Tatsuta, H.; Tabata, J.; Ishikawa, Y.; Skals, N. *Plos One* **2010**, *5*, e13144.
- (2) Kojima, W.; Takanashi, T.; Ishikawa, Y. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **2012**, *66*, 171-179.
- (3) 高梨琢磨, 深谷緑, 西野浩史, 日本音響学会聴覚研究会資料 **2010**, *40*, 293-296.
- (4) 高梨琢磨, 大村和香子, 大谷英児, 久保島吉貴, 森輝夫, 小池卓二, 西野浩史, PCT/JP2010/65398.

所属班：B01-5

所属機関：千葉大学工学研究科

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：生物飛行システム, バイオメカニクス,  
力学シミュレーション, バイオミメティクス



ハチドリは、なぜ美しくホバリングできるのか？その運動、  
メカニクスおよびバイオミメティクス

## How Hummingbirds Can Hover Beautifully: Kinematics, Mechanics and Biomimetics

近年、災害時の空撮、沿岸監視、環境・農地・設備等のモニタリングなどへの応用を目的として、小型飛翔体 (Micro Air Vehicle: MAV)の研究開発が盛んに行われている。中でもホバリング、急旋回、外乱に強いという特性のある生物を規範とする羽ばたき MAV が着目されている<sup>1)</sup>。B01-5 班では、生物規範メカニクス・システムの一環として生物飛行の組織・器官一身体スケールの階層間連結に基づく生物飛行メカニクス・システムの学理探求を行うとともに、生物規範型飛行ロボットの設計指針の確立と自律型昆虫型飛翔バイオロボットの実現を目指している。

ハチドリは鳥類の中で唯一、長時間安定的な静止飛行を美しくこなす種族であり、その羽ばたき運動は昆虫に近くて、羽ばたき MAV の格好なモデルとも言われている。しかしながら、これまでの力学シミュレーション研究ではハチドリの自重を支えるだけの十分な揚力発生を再現できていない。その主な原因としては、これまでに無視されてきた鳥羽ばたき運動中の翼形態や形状の動的な変化が無視できないほどの空気力学的効果があるものと考えられる。



Fig.1 A hummingbird in hovering (a) and time-variation of its wing area (b).

昆虫の翼と異なり、関節が退化したハチドリの翼は羽ばたくとともに各羽軸や角度が

広がることもあり、それが翼長や翼弦長、翼面積やアスペクト比及び翼キャンバーの変化をもたらす。このような翼形態や形状の動的な変化を計測するために、4台の高速カメラを使用しハチドリの静止飛行を撮影し、初めて羽ばたきにおける翼形状の時間的な変化を、翼面積・ねじれ・曲げ・反りにより定量的に評価することができた (Fig. 1)。

ハチドリの静止飛行のメカニクスは、非常に複雑であり、流体力学シミュレーションでは、確かにそれらの変形を無視すると、体重を支える以上の揚力が不足であることが分かっている。Tobalske ら<sup>2)</sup>によるハチドリ (*Selaphorus rufus*) の羽ばたき運動データを用いることで、剛体翼モデルによるシミュレーションを行うことで羽ばたき飛行メカニズムに関する一定の成果が得られたが、計算による平均垂直力は 24.3 [mN] であり、ハチドリの自重 (42.3 [mN]) を支えるだけの揚力を得ることができなかった (Fig. 2)。

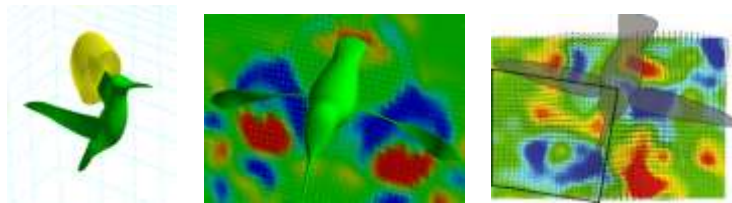


Fig. 2 Flow field around hovering hummingbird. Z-component of vorticity (clockwise, blue; counterclockwise, red) and velocity vectors (arrows) at the same wingbeat cycle.

さらにハチドリの羽ばたき飛行時におけるこの面積の動的な変化 (dynamic wing morphing) を規範としたたるみを持たせた羽モデルを製作し、その空気力学的性能を評価した結果、面積変化翼モデルはハチドリ羽ばたき運動をよく再現でき、尚かつほぼハチドリ体重ぐらいの揚力を発生していることが分かった。

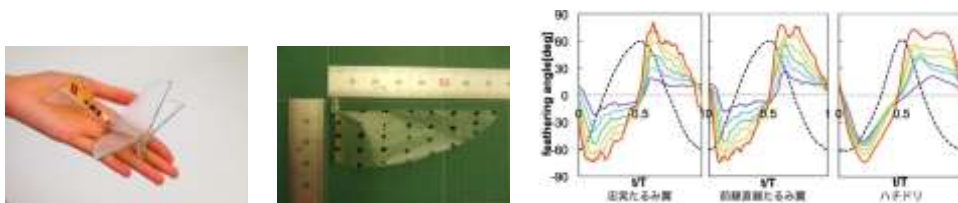


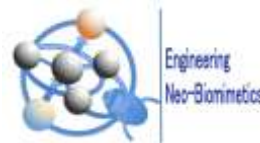
Fig. 3 A hummingbird-inspired wing & robot and its time-varying feathering angles in flight.

#### 参考文献

- (1) Nakata, T.; Liu, H.; Tanaka, Y.; Nishihashi, N.; Wang, X.; Sato, A. *Bioinspiration & Biomimetics*, **2011**, *6*, 045002 doi:10.1088/1748-3182/6/4/045002.
- (2) Tobalske, B. W.; Warrick, D. R.; Clark, C. J.; Powers, D. R.; Hedrick, T. L.; Hyder, G. A.; Biewener, A. A. *J Exp Biol.*, **2007**, *210*, 2368-2382.

謝辞：千葉大学工学研究科劉浩研究室生物グループ

## 3月2日 市民セミナー要旨



日時：2013年3月2日(土) 13時30分～16時30分  
会場：北海道大学 学術交流会館 第1会議室（札幌市北区北8条西5丁目）  
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、  
科学研究費新学術領域 「生物規範工学」

13：30～14：00 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長  
「バイオミメティクスのテクノロジーガバナンスと社会受容、我々のアプローチ」

14：00～14：30 溝口 理一郎  
北陸先端科学技術大学院大学 サービスサイエンス研究センター 教授  
「生物と工学の知識をつなぐオントロジー工学」

14：30～15：10 古田 ゆかり  
北海道大学 CoSTEP特任准教授  
「社会受容の際に求められる科学リテラシー」

15：10～15：50 亀井 信一  
株式会社三菱総合研究所 人間・生活研究本部 本部長  
「バイオミメティクスは日本のモノづくり復権の鍵になるか？」

15：50～16：30 齊藤 彰  
大阪大学工学研究科 精密科学専攻 准教授  
「『生物と光の不思議』で考える科学と社会 ～工学・手塚漫画・寺田物理学～」



所属班：C01

所属機関：独立行政法人産業技術総合研究所

氏名：安順花、関谷瑞木、○阿多誠文

所属機関住所：〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1

e-mail：masafumi-ata@aist.go.jp

研究キーワード：テクノロジーガバナンス、パブリックエンゲージメント、技術の社会的影響



## バイオミメティクスのテクノロジーガバナンスと社会受容； 我々のアプローチ

### Communication-Based Technology Governance and Public Engagement with Biomimetic Engineering; Our Effort

1990 年頃のバブル経済の崩壊以降、デフレ型の経済の停滞はすでに 20 年を超えた。このような厳しい経済状況のなかで、かつて日本を「Japan as No. 1」と言わしめた産業が長期にわたる経営の不振にあえいでいる。1990 年代、IT は大きく社会に広がり、ユビキタスネットワーク社会は現実となりつつある。今世紀に入ると、ナノテクノロジーへの戦略的研究開発投資が始まった。第 2 期および第 3 期科学技術基本計画の都合 10 年にわたるナノテクノロジーへの研究開発投資のそのまさに最後の月、2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が起きた。大震災からの復旧・復興を盛り込んで、第 4 期科学技術基本計画は同年 8 月に施行されている。それまでの科学技術分野の研究開発戦略から、科学技術政策とイノベーション政策をより一体として進めるための課題解決型の基本計画となっている。このように IT、ナノテクノロジーと展開してきた研究開発および国際標準化等の社会基盤作りは、今バイオ関連の戦略的課題となってきた。本講演ではこのような科学技術の研究開発の背景に基づき、我々がバイオミメティクスの研究開発の振興とその社会への理解、社会とのつながりの構築のためにどのように取り組んできたのかをご紹介します。

## ナノテクノロジーから学ぶべきこと

21世紀になり研究開発が展開したナノテクノロジーの研究開発には、二つの新しい側面があった。一つは学問ではなく学際として展開したことで、異分野融合や産学官の連携が重要な課題となった。もう一つは、科学技術を研究開発する者に対して、自ら創出している科学技術が社会にどのような影響を与えるのかを自ら検証し、社会、科学技術政策や規制策等の担当者とコミュニケーションをとることが求められたことである。新しい科学技術には新しいがゆえの科学的不確実性が伴う。その不確実性を検証する活動と共に、それを管理していく枠組みづくりを国際的な枠組みで進めていく必要がある。ナノテクノロジーでは、ナノ材料の環境や健康への影響評価法やリスク管理策、用語やナノ計測法まで含めた国際標準化等が経済協力開発機構(OECD)や国際標準化機構(ISO)といった国際的枠組みのなかで進められてきた。

## バイオミメティクスのテクノロジーガバナンス、我々のアプローチ

2012年10月、ドイツベルリンのドイツ規格協会 DIN でバイオミメティクスに関する国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第一回総会が開催された。本格的な議論は今年5月にパリで開催予定の第2回総会から始まる。このように、新しい技術の標準、リスクの検証や管理策といった事が全く整わない段階で、新しい科学技術の研究開発をどう進めていくのか、大きな課題である。我々は、バイオミメティクスとはどういった科学技術なのか、その研究開発はどのように進められているのか、国際標準化はどのようなプロセスで進められているのか、社会との双方向コミュニケーションに基づくテクノロジーガバナンスを最も重要な課題として取り組んできた。その目的のために、月例のPENを電子版で配信してきた。PENは Public Engagement with Nano-based Emerging Technologies の略である。講演ではこのような活動の基本的な考え方と、その実際についてまとめる。

PEN 2013年1月

PEN 2013年2月号

PEN 2013年3月号



所属班：A-01

所属機関：北陸先端科学技術大学院大学 サービスサイエンス研究センター

氏名：溝口理一郎

所属機関住所：〒923-1292 石川県能美市旭台1-1

e-mail：mizo@jaist.ac.jp

研究キーワード： オントロジー， データベース， 機能概念



## 生物と工学の知識をつなぐオントロジー工学

### Ontological Engineering Which Bridges Biology and Engineering

異分野融合による革新的技術の実現を目指すバイオミメティック (Biomimetics) 研究の発展には、生物学と工学という全く異なる分野のデータや知見の、分野を超えたスムーズな連携を可能とするバイオミメティック・データベースの整備が重要とされる<sup>(1)</sup>。このような分野横断的なデータベース整備に関わる取り組みは、生命科学分野などを中心に国内外共に急速に拡大しているが、バイオミメティック・データベースでは、生物学と工学という全く異なる領域の知識の統合化・構造化が求められている点が他に類を見ない特色と言える。しかも、対象としている知識が新技術の開発というアウトプットまで繋がることを見据えた実践的な内容であり、学術情報の単なる公開に留まらないオープンイノベーションプラットフォームの実現への貢献が期待されている。

その実現の核となる基盤技術の一つに生物と工学の知識をつなぐオントロジー工学がある。オントロジー工学は対象世界が依ってたつ根源的な概念構造を明示化することによって、様々な分野における知識の相互の相違点や類似性を浮き彫りにしつつ体系化することに貢献する新しい理論・技術として期待されている。

Fig.1 にバイオミメティック・オントロジーに基づくデータベースの統合のイメージを示す。バイオミメティック・オントロジーは、生物種毎のインベントリーをはじめとした各種データベースの相互運用性を確保するための共通の概念構造 (スキーマ) を提供し、データベース統合の中心的な役割を担う。バイオミメティック・オントロジー構築の際には、生物学と工学という全く異なる研究領域の共通性を見出し適切に概念化する必要があるため、これまでのオントロジー工学研究の成果を駆使することが望まれる。具体的には、もの、プロセス、構造、など、あらゆる対象世界に共通する一般的な概念

を定義した上位オントロジーに準拠しつつ、自然物、生物種、機能(生態機能、材料機能など)、構造、など各分野に固有の概念構造を抽象化して、上位オントロジーの概念構造に写像する。ここでは特に、「人工物と自然物の機能」に関する哲学的考察の知見<sup>(2)</sup>を活かし、生体と人工物の機能を共通の機能モデルで表現すること

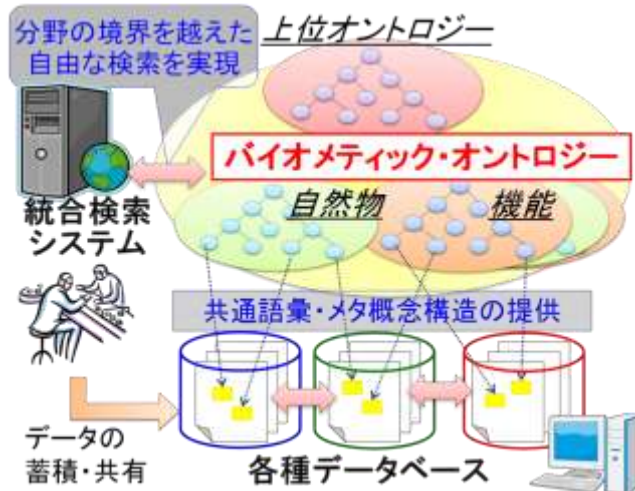


Fig.1 Database integration based on Biomimetics Ontology.

が重要と思われる。そして、それらのオントロジーを統合した結果としてバイオメティック・オントロジーを得る。

このオントロジーに基づき、共通語彙やメタ概念構造を提供することにより、各データベース間の連携を可能とし、分野の相違を意識することなく、境界を越えた自由な統合検索システムを開発することができる。これにより、生物学と工学という全く異なる研究領域の有機的な連携を促進し、バイオメティック研究を支えるオープンイノベーションプラットフォームの実現に貢献することが期待される。

さらに、Web上のデータを相互に連携させることにより新しい価値を生み出そうとする Linked Data の技術<sup>(3)</sup>を用いて本データベースを公開することで、Linked Data として公開されている他の生物情報などと連携が容易になり、外部データベースを有効活用すると共に、公開したデータベースのよりオープンな利用が期待される。

## 参考文献

- (1) 下村政嗣, 生物の多様性に学ぶ新世代 バイオメティック材料技術の新潮流, 科学技術動向, 2010, 110, 9-28.
- (2) Kitamura, Y.; Mizoguchi, R. Characterizing Functions based on Ontological Models from an Engineering Point of View, In Proc.of FOIS2010, 2010, 301-314.
- (3) 長野伸一, 萩野達也(編), リンクするデータ(Linked Data) ~広がり始めたデータのクラウド~, 情報処理学会誌「情報処理」, 2011, 52, 282-333.

謝辞: 本講演の内容は、大阪大学産業科学研究所の古崎晃司氏、來村徳信氏らと共に進めてきた研究内容にもとづくものである。

所属機関：北海道大学 高等教育推進機構 科学技術コミュニケーション教育  
研究部門 (CoSTEP)

氏名：古田ゆかり

所属機関住所：〒060-0817

e-mail：yufuru@costep.hucc.hokudai.ac.jp

研究キーワード：科学技術コミュニケーション 領域横  
断的な科学の学び トランスサイエンス 生活者の視点  
ととらえる科学技術 サイエンスライティング



## 社会受容の際に求められる科学リテラシー

科学技術コミュニケーションにおいて、大切なことは、受け手（読者、視聴者、イベント参加者など）が、知りたいことは何か、理解の文脈はどのようなものかを理解することです。科学技術を扱う場合に限らずコミュニケーションでは、受け手は、自らの経験や文化的背景、指向などによって新しい情報を自己の文脈の中に組み込みます。この背景や土台を踏まえずに発せられた情報は、「わからない」「つまらない」「むずかしい」ととらえられがちです。研究者、専門家が専門的な研究を発信する場合、科学の研究における基本的理解はすでに自分も受け手も了解済みであることが前提です。そのような前提がなければ、研究の本質は非常に伝えにくくなってしまいます。専門家同士、同一領域の人同士で議論が本質に迫り深まるのは、そうした土台を共有しているからです。

専門家と非専門家は、知識の量のみならず、それぞれ異なる背景や指向を持っています。異なる文化的背景をもつ相手には、まず相手がどこまで知識を持っているか、理解の度合いはどの程度か、興味・関心の対象はどのようなことなのかを把握する努力が求められます。この橋渡しをする役割を担うのが、科学技術コミュニケーターであり、受け手の興味や関心を引き出したり、受け手の中にある興味や関心に引き寄せて情報発信をすることを促進したり、専門的な情報を発信する主体に対しては、構成や表現を工夫したり、その手法を工夫するなどの働きかけが行います。

また、情報の受け手は、与えられる情報を単純に受容すればいいというものではありません。見聞きした知見や技術が自分や社会にとってどのような影響を及ぼすのか、そ

の知見や技術を社会として受け入れるか否かについて考え、自分なりの解を導く努力が必要です。これには、一定程度の科学や技術を理解する能力や、論理的な思考、生活や社会に照らしてどのような考察が必要かなどのリテラシーを身につけておかなければなりません。身の回りに起こる科学や技術の要素をすべて理解することはもちろん不可能ですが、疑問を持ったときなどその解消のためにどうすればよいかといった調査能力もできれば身につけておきたいものです。社会一般に流布しているイメージが実体と合致しているか、イメージに従って判断基準を定めていないかなど、自分自身をモニターすることも必要でしょう。時代によっても科学技術に対するイメージが変遷することも理解しておくことが大切です。

一般に、「自然」「天然」「生物由来」「むかしから存在しているもの」についてはよいイメージを持っている人が多いと思います。環境問題への関心の高まりや持続可能な社会を意識するとき、バイオミメティクスは社会に受け入れられやすい文脈を持っていると考えられます。しかし、持続可能な社会の実現など、現代から将来にわたって目指す価値観に照らして、一つ一つの技術の本質を理解し、受容するか否かの選択をいねいに行っていかなければなりません。

所属機関：株式会社三菱総合研究所 人間・生活研究本部  
 氏名：亀井信一  
 所属機関住所：〒100-8141 東京都千代田区永田町2-10-3  
 e-mail: skamei@mri.co.jp  
 研究キーワード：未来予測、技術戦略



## バイオミメティクスは日本のモノづくり復権の鍵になるか？

### Does biomimetics become a key to rehabilitation of manufacturing in Japan?

わが国は極端に資源の乏しい国である。すなわち、エネルギーや資源を海外から輸入しなければ直ちに立ち行かなくなるきわめて不安定な先進国である。燃料、食料、鉱物資源の輸入だけで約36兆円にのぼる。必需品といえるこれらの輸入を賄うためには、相当分を海外に売り外貨を獲得しなければならない。現在、日本の輸出製品の90%は工業製品である。したがって、モノづくりの競争力の確保は、わが国の存在を左右しかねない極めて重要な課題である。しかしながら、1990年代以降、国内の製造業の付加価値は頭打ちになっており、国際的なシェアや存在感が薄れつつあることも事実である。これを打ち砕くためには、これまでとは全く異なる発想が求められる。

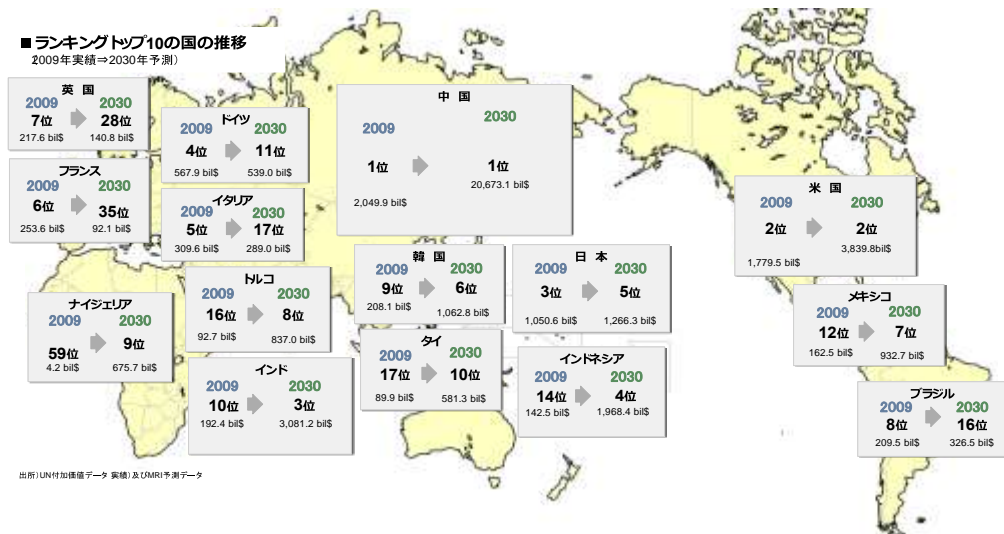


Fig.1 Prediction of the added value ranking of the manufacturing industry

その有力なヒントは生物にある。生物は、長い進化の過程でさまざまな地球環境に適応するなかで多様性を獲得してきた。人間は自然界に働きかけてモノやエネルギーを作り出す「技術体系」を構築した。また、他の生物は、太陽光や化学エネルギーを用いて、分子集合や自己組織化によって「生物の技術体系」といえる仕組みを作り上げた。これらの融合が鍵である。言うまでもなく、生物はその多様性と自己生産性において、われわれに計り知れない恩恵をもたらし得る。

これから求められる21世紀型のものづくりは、サステイナブルで環境調和型のものづくりである。この実現には、生物や生態系機能を模倣する科学技術である「生物規範工学」が重要になってくると予見するのは、前述のような背景が根本にある。

さて30年後、どのような模倣技術が登場するだろうか。生物は未だ理解されていない限りない能力を持ち合わせている。この超能力を利用することにより、今までにはない全く新しい部材、機器が開発されるはずである。また、生物・生体を活用するには、その機能を解析し、適用用途を探索・設計する知的産業も必要である。モノづくりをめぐる環境は一変する可能性がある。さらには、これによって、素材のみならず、医療、医薬、エネルギー、防災、環境、機械などの分野で想像を超えた応用が創られるかもしれない。今、新しい時代が始まろうとしている。



Fig.1 Conceptual description on the paradigm-shift of manufacturing



所属班：

所属機関：1)大阪大学大学院工学研究科・精密科学専攻

2)理研/SPring-8

氏名：齋藤彰

所属機関住所：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

e-mail：saito@prec.eng.osaka-u.ac.jp

研究キーワード：構造色、モルフォ蝶、発色材料、乱雑さ



「生物と光の不思議」を考える  
～工学・手塚漫画・寺田物理学～

Consideration on the Mystery of Life & Light

- Engineering, TEZUKA's Comics, TERADA's Physics -

光とは不思議な物である。否、あれはいわゆる「物」ではない。では何か。そこからすでに話は奥深い。しかし一方、光は我々の身边あまねく存在する。それゆえ原理から考えると、さまざまな驚きや面白さが身近に見つかることがある。かつその光を、自然界の生物は実にうまく使って生きている。本セミナーの主旨「バイオミメティクスの社会受容とサイエンス・コミュニケーション」に鑑みて、こうした「生物と光の不思議」について、講演者の研究テーマから一般的な話題も絡めてお話したい。

主題は「構造色」である。真珠や玉虫の光沢は、100年を経ても色褪せない。それは発色の源が「色素」でなく、化学変化に影響されない「構造」だからである。こうした微細構造による発色機構が「構造色」と呼ばれており、わかりやすい特徴の1つとして、透明な材質からでも鮮明な色が得られる（シャボン玉やDVD裏面の虹色が好例である）。キラキラ輝く青色でよく知られ「生きた宝石」と呼ばれるモルフォ蝶の金属光沢もその1つである。その発色機構は、ほぼ透明な蛋白質から成る鱗粉が高反射の鮮明な青色を生じるため、干渉色で説明されてきた。

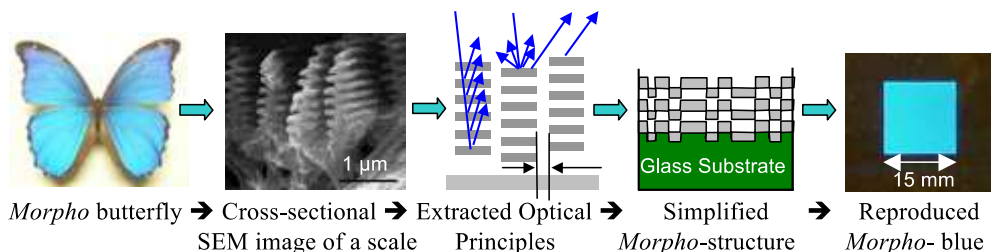


Fig.1 Principle and Reproduction of the *Morpho*-blue.

しかし、上に挙げた他の諸例と異なり「どこから見ても青い(虹色でない)」事実は干渉の根本と矛盾し、物理学のミステリーである。その鍵が鱗粉表面の特殊なナノ構造にあること、特に「乱雑さ」が要であることを、講演者らはナノテクで再現、実証した(図1)<sup>1)</sup>。その後、構造色でも特異なモルフォ発色は、応用上も大きな可能性をもつとわかってきた(図2)<sup>2)</sup>。本講演ではモルフォ蝶を中心とする発色原理を始め、実用をめざした最近の展開にいたるまで紹介する。

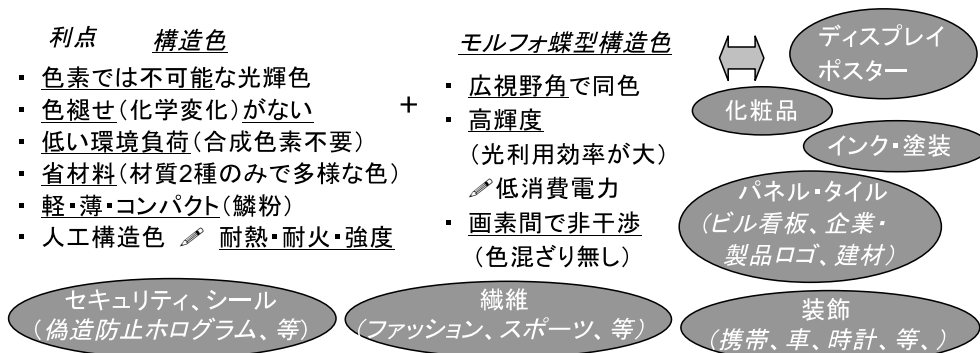


Fig. 2 Advantages of Structural Color & Morpho-Color, and Potential Applications.

また冒頭に関連し、光の原理にさかのぼると、構造色に限らず興味深い話が多くある。「生物と光」については、特にわれわれ人間の視覚に関し、手塚(もちろん治虫)漫画や寺田寅彦の随筆にもその一端が垣間見える(手塚は医学博士論文の元になる学術論文で視細胞の立体構造を解剖学的に扱い<sup>3)</sup>、一方で、随筆家・寺田は世界最高峰の物理学者であった(図3)<sup>4)</sup>。残念ながら寺田に対する物理学での後世の評価は妥当とはいえないことが、専門家の目で見ると分かる)。これも光学に根ざした議論の面白さを示す一例であろう。光についての考察は、我々の身体を含む身近な対象からも、考える楽しさを教えてくれる。

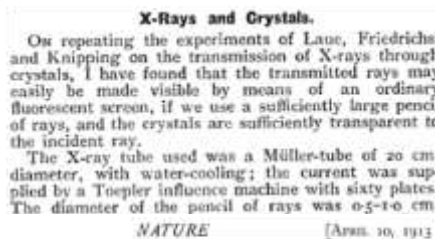


Fig. 3 A part of a T. Terada's Nature paper.<sup>4)</sup>

### 参考文献

- (1) Saito, A.; Yoshioka, S.; Kinoshita, S. *Proc.SPIE* **2004**, 5526 B, 188-194. など; 齋藤 彰ほか, 特願 2001-241496, 特願 2003-391572, など.
- (2) Saito, A. *Sci. Technol. Adv. Mater.* **2011**, 12, 064709, and references therein.
- (3) Yasuzumi, G.; Tezuka, O.; Ikeda, T. *J. Ultrastructure Res.* **1958**, 1, 295-306.
- (4) Terada, T. *Nature* **1913**, 91, 135-136.