

新学術領域生物規範工学

全体会議ならびにサイトビジット スケジュール

(グリーンマーカーの時間帯：**班長：サイトビジットに参加**

イエローマーカーの時間帯：**外部評価委員：全体会議に参加**)

7月15日(水) 画像検討

北海道大学 創成研究機構 5階大会議室 (札幌市北区北 21 条西 10 丁目)

- 13:00～13:30 A班科博
- 13:30～14:00 浜松医科大学
- 14:00～14:30 椿玲未 (JAMSTEC)
- 14:30～15:00 森直樹 (京都大学)
- 15:00～15:30 北大博物館
- 15:30～16:00 休憩
- 16:00～18:00 画像検索システム演示会

※出席者それぞれが質問画像数点を持ち寄り、各自プロジェクターで画像システムを
演示しながら、類似画像の検索を行い、出席者からのコメントを聞く。

7月16日(木) 全体会議ならびにサイトビジット

全体会議

北海道大学 工学部 鈴木章記念ホール (札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

- 10:00～10:15 開会挨拶 中間評価に対する対応について 領域代表
- 10:15～10:45 A01 野村班 野村 周平 (国立科学博物館)
「A01 班：バイオミメティクス・データベース構築」
- 10:45～11:15 A01 野村班 長谷山 美紀 (北海道大学)
「生物学と情報学の連携
ー工学的気づきを生み出すバイオミメティクス・画像検索ー」
- 11:15～11:45 公募班 森本 元 (山階鳥類研究所)
「鳥類における色彩と構造色」
- 11:45～12:15 公募班 高久 康春 (浜松医科大学)
「NanoSuit®法によるリアルな生物表面観察の
バイオミメティクスへの展開」
- 12:15～13:15 昼食

- 13:15~13:45 C01 石田班 石田 秀輝 (東北大学)
「持続可能な社会に求められる
ライフスタイル・オリエンテッド・テクノロジーの創成」
- 13:45~14:15 C01 石田班 山内 健 (新潟大学)
「バイオミメティック製品の開発を支援する
データベースの構築」
- 14:15~14:45 公募班 室崎 喬之 (旭川医科大学)
「自己組織化による動的微細構造表面を用いた
海洋付着生物の接着制御」
- 14:45~15:15 B01-1 大園班 小林 元康 (工学院大学)
「海洋生物表面を規範とした親水性表面の調製」
- 15:15~15:30 休憩
- 15:30~16:00 B01-1 大園班 黒川 孝幸 (北海道大学)
「魚類吸盤にみられる繊維構造の工学的理解」
- 16:00~16:30 B01-2 針山班 木村 賢一 (北海道教育大学)
「昆虫複眼レンズ表面のニップル構造の形成機構」
- 16:30~17:00 B01-2 針山班 吉岡伸也、久保英夫、針山孝彦
「生物がもつ『良い加減』な表面構造：乱れに強い光学特性」
- 17:00~17:30 公募班 椿 玲未 (海洋研究開発機構)
「海綿動物に学ぶ水輸送システム」
- 17:30~18:00 総括班内部評価委員会からの講評
- 18:30~20:30 交流会

外部評価委員のサイトビジット

- 13:00~13:30 外部評価委員・文科省事務局打ち合わせ
情報科学研究科 長谷山研究室で部屋を確保
- 13:30~14:30 研究室見学
情報科学研究科 長谷山研究室 (A01 班)
理学研究科 黒川研究室 (B01-1 班 若手研究者)
- 14:30~16:00 外部評価委員会と実施者 (計画班班長) との意見交換
情報科学研究科 長谷山研究室で部屋を確保
- 16:00~16:30 外部評価委員・文科省事務局打ち合わせ
情報科学研究科 長谷山研究室で部屋を確保

16:30～17:30 全体会議にて研究成果発表を聞く

工学部 鈴木章ホール

17:30～18:00 外部評価委員会と実施者（計画班班長）との意見交換

情報科学研究科 長谷山研究室で部屋を確保

7月17日(金) 全体会議

北海道大学 創成研究機構 5階大会議室（札幌市北区北21条西10丁目）

- 10:00～10:30 B01-3 細田班 細田 奈麻絵（物質・材料研究機構）
「生物規範階層ダイナミクス
～異分野連携による新たな学術領域の研究開発展開～」
- 10:30～11:00 B01-3 細田班 穂積 篤（産業技術総合研究所）
「ロバストな表面機能を持つバイオミメティクス材料の開発」
- 11:00～11:30 公募班 藤井 秀司（大阪工業大学）
「応力応答性粉末状粘着剤の創出」
- 11:30～12:30 昼食
- 12:30～13:00 B01-4 森班 森 直樹（京都大学）
「生物における『サブセルラー・サイズ構造』の機能解析」
- 13:00～13:30 B01-4 森班 奥田 隆（農業生物資源研究所）
「培養細胞の常温保存への挑戦：
ネムリユスリカの乾燥耐性機構から学ぶ」
- 13:30～14:00 B01-5 劉班 劉 浩（千葉大学）
「生物規範飛行メカニクス・システム
—スケーリング法則, バイオメカニクス及びバイオミメティクス—」
- 14:00～14:30 B01-5 劉班 木戸秋 悟（九州大学）
「分化フラストレート幹細胞のメカノシグナル振動の計測と制御」
- 14:30～15:00 公募班 香坂 玲（金沢大学）
「生物規範工学での学域での研究・活動
今年度計画と来年度に向けて」
- 15:00～15:30 総括班内部評価委員からの講評
- 15:30～16:00 外部評価意見への対応 閉会

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：生物多様性、昆虫、データベース、博物館、SEM



A01 班：バイオミメティクス・データベース構築

Part A01: Database Building for Biomimetics

1. A01 班研究の概略

当計画研究班では、バイオミメティクスに役立つデータベースの構築に取り組んでいる。当班の構成は、大きくは、生物系と情報系に2分される。生物系のミッションは、博物館に所蔵される生物標本などから、データベースに搭載する生物系データを取り出し、必要な生物学的テキストデータを付随させた上で、情報系に手渡すという一連の作業である。もう一方の情報系では、生物系から受け取ったデータを基に、必要な情報を円滑に取り出せるようなシステムの構築を目指している。

前3年度においては、当班生物系は、3小班からなり、それぞれ、昆虫、鳥類、魚類を担当していた。しかし今年度から鳥類担当の山崎小班は B01-5 班へ異動し、昆虫担当の野村小班と魚類担当の篠原小班の2小班体制となった。

情報系の方は前年度から変わらず長谷山小班と溝口小班の2小班体制である。長谷山小班は画像検索を担当し、生物系が蓄積した主にSEM画像を使って類似画像の検索を行う、「長谷山エンジン」を開発した。溝口小班はオントロジー担当で、異分野連携の可能性を実際のシステムで示したテキストデータについては、オントロジー技術を用いて専門分野の壁を超えた検索機能を実現しつつある。C01 班とも連携し、社会科学的視点からの検索機能を組み込む。

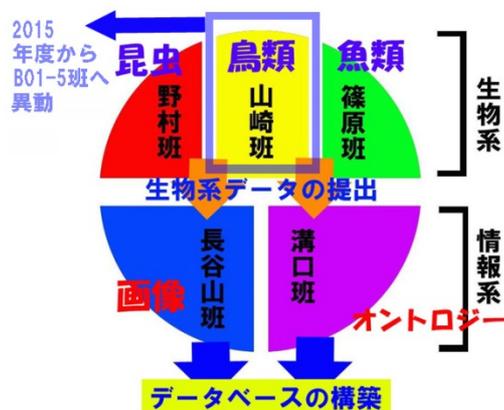


Fig. 1. Composition of the A01-1 team.

2. 2015 年度の取り組み

A01 班生物系では、昨年度までに引き続き、昆虫、魚類から走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像などの生物データを収集する。しかしこれまでの年度とは異なり、データの選択と集中を行う。例えば B01-2 班での研究に寄与するために昆虫のモスアイ構造や構造色に重点を置く。また、B01-1 班での応用研究に向けた魚類のデータ提供を図る。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、生物に関する特段の知識がなくても、生物規範工学についての「気付き」や指針が得られるシステムづくりを目指す。得られた結果を基にして本年度、普及啓発書の出版、博物館を利用した企画展示などのアウトリーチ活動を通して、各方面への普及と人材育成を図る。

3. 生物系画像データの高度化

当計画研究班ではこれまで主に走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像の集積と高度化を図ってきたが、今年度はまた別の新たな試みに着手した。それは、(株)島津製作所と共同で行う、生物試料からのマイクロX線CTを使った3D画像データの作成である。昆虫では端緒として、大型甲虫であるカブトムシの胸部とヒメツチハンミョウの♀腹部についてCT画像を撮像し、3D復元を行った。これを詳細に検討して、これまで解剖しないかぎりきわめて観察が困難であった、虫体内部の構造を詳細に検視し記録することができた。

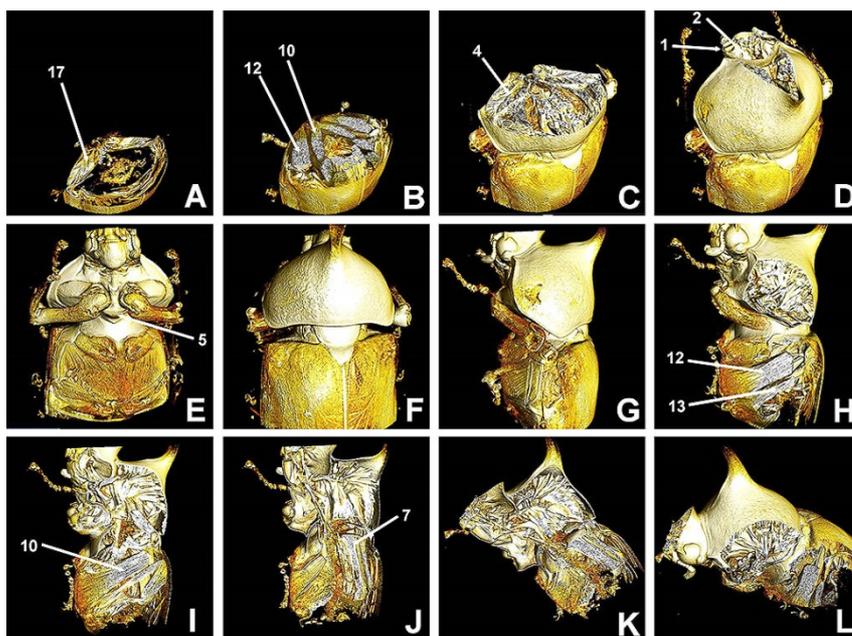


Fig. 2. 3D image of the thorax of *Xylotrupes dichotomus* (Scarabaeidae) made from micro X ray CT.

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：バイオミメティクス・データ検索



生物学と情報学の連携 －工学的気づきを生み出すバイオミメティクス・画像検索－

Biomimetics Image Retrieval : Connecting Biology and Engineering

1. はじめに

バイオミメティクスは、異なる研究分野が連携し、新しい技術を創出する科学技術である。技術創出の加速を目指し、異なる分野の知識共有を支援するバイオミメティクス・データ検索技術の開発が開始され、3年が経過した。発想支援型の画像検索理論⁽¹⁾⁻⁽²⁾に基づき、大量の生物顕微鏡像をその類似性に従い効果的に表示するシステムが実現され⁽³⁾、ものづくりの現場での試用が始まった。

本稿では、バイオミメティクス・画像検索システムに昆虫と魚類の顕微鏡像データを格納し、企業の開発現場で得られた金属表面の顕微鏡像を用いて類似画像検索を行った結果を紹介する。結果を通して生物学と工学の連携による工学的気づきの可能性について議論する。

2. バイオミメティクス・画像検索システムの利用と工学的気づき

バイオミメティクス・画像検索システムを用いて、魚類 1,713 枚と昆虫 609 枚の走査型電子顕微鏡により観察された画像（以降、SEM 画像）を検索した様子を図に示す。図中(a)は、金属表面の SEM 画像である。(a)の類似画像が、その近傍に示されている。図中(b)は、イシダイの体側中央付近、(c)はメガネハギの体側後方、(d)はカワヨウジの右体側中央付近の体表の SEM 画像である。また、(e)は、チャイロカナブンの左後翅背面先端部の SEM 画像である。図(b)～(e)は、その滑らかな表面と突起模様が(a)と類似していることから近傍に配置されたものと考えられる。この検索結果より、異なる生物や材料であっても、表面構造が類似する SEM 画像を検索することが可能であり、その類似性から互いの関連性に気づくことができる。また、SEM 画像には、撮像生物のサイズや撮像部位などの情報の他に、生態情報が入力されている。生態情報には、例えば、砂泥底に生息すること、高速遊泳、伸びる皮膚、吸着などの特徴が記されており、表面形状が類似の生物の生態情報から、ものづくりの発想が期待できる。

3. むすび

バイオミメティクス・画像検索システムを紹介し、実際の検索結果を示すことで、ものづくりの発想支援の可能性について説明した。本システムを利用することで、生物と材料という全く別の素材であっても、画像の類似性で関連付けができることが示された。今後は、オントロジー工学によって生物のテキスト情報から概念抽出を行い、それと連携することでシステムの高度化を目指す。

参考文献

- (1) Miki Haseyama, Takahiro Ogawa, and Nobuyuki Yagi, “A Review of Video Retrieval Based on Image and Video Semantic Understanding,” ITE Transactions on Media Technology and Applications, vol. 1, no. 1, pp. 2-9, 2013.
- (2) Miki Haseyama and Takahiro Ogawa, “Trial Realization of Human-Centered Multimedia Navigation for Video Retrieval,” International Journal of Human-Computer Interaction, vol. 29, no. 2, pp. 96-109, 2013.
- (3) 長谷山 美紀, “ものづくりの発想を支援するーバイオミメティクス・画像検索基盤ー,”現代化学, no. 529, pp. 31-34, 2015.

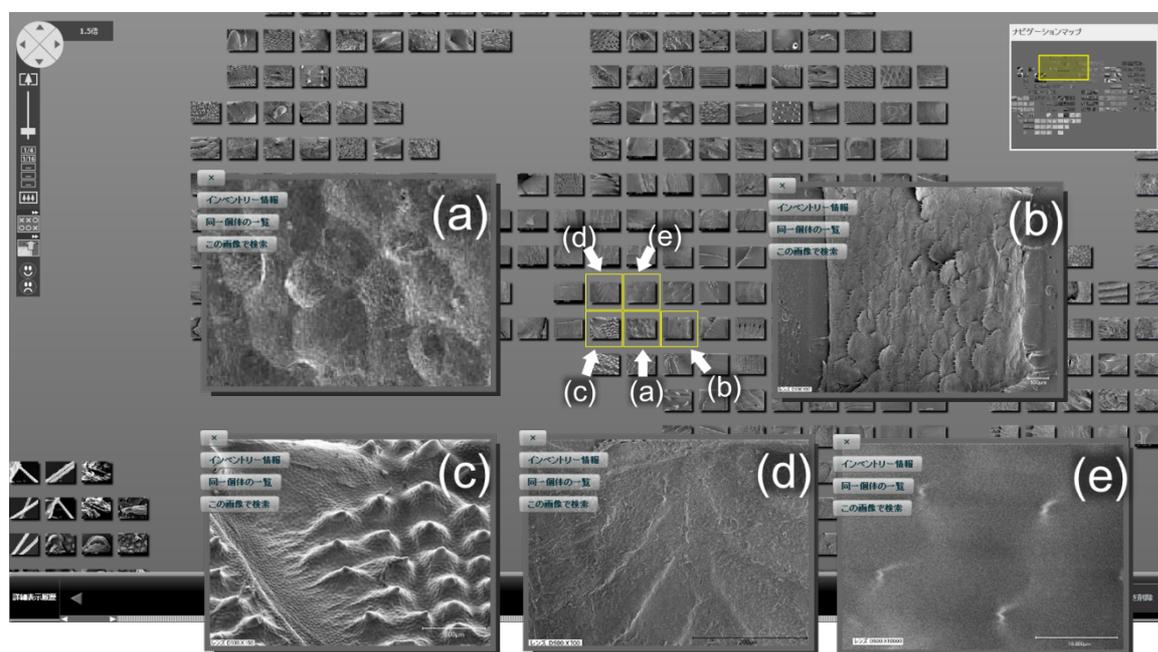


Fig.1 Retrieval Result by Biomimetics Image Retrieval System : (a) Surface Treatment Metal, (b) Striped beak perch, (c) Bridled triggerfish, (d) Bellybarred pipefish, (e) A drone beetle *Cosmiomorpha similis*

所属班：公募班

所属機関：公益財団法人 山階鳥類研究所

氏名：森本 元

所属機関住所：〒270-1145千葉県我孫子市高野山115

e-mail：morimoto@g.nifty.jp

研究キーワード：鳥類、羽毛、発色、構造色



鳥類における色彩と構造色

Bird's color and structural coloration

地球上の生物の環境適応と多様さには驚くべきものがあり、さまざまな分類群の生物が異なる外観をもつ。中でも鳥類は、鮮やかで複雑な色彩をもつことが知られる生物群である。本発表では、鳥類の発色の基盤となる羽毛の特徴、発色に関わる生態的背景、発色メカニズム（特にその一つである構造色）に関して、鳥類の羽毛の特性を総合的に紹介する。

「鳥類の特徴」はいくつもある。固くするどい嘴、二足歩行の脚、巨大な眼球、翼の存在と飛翔能力などが代表的な点として挙げられる。中でも、鳥類ならではの形態形質の代表例が羽毛だろう。地球上には約 9000 種の鳥類が生息するが、1 種の例外もなく全種に共通する形質がこの羽毛の存在であり、必ず全身を覆っている。加えて羽毛の基本構造は種が異なっても同一である。羽毛の中心にある羽軸、そこから生える羽枝、さらに羽枝から生える多数の小羽枝という 3 つの構成要素によって形作られている⁽¹⁾。このように、いわば鳥類とは、同一の体表構造によって構成される生物である。

鳥類には種間で異なる形態と多様さがある。しかしながら、昆虫や魚類といった他の生物群と比較すると、悪く言えば鳥類の形態的多様性は実は（相対的に）高くはない。「鳥」は前述した形態的特徴に制約されており、誰もが鳥の形をイメージできる。いわば鳥とは、様々な形状を示す他の生物群よりもバリエーションに乏しい、似通った形のグループともいえる。

鳥類の生活に目を移すと、同一の個体が様々な環境に適応していることが特徴である。例えば、水面に浮かぶ水鳥は水中に潜り餌を捕らえ、暑い陸上で生活し、ときには数百～数千メートルの高度をも飛翔する。低温～高温、水中～陸上～空中へと、多様な環境に同時に適応しており、それら異なる環境中で同じ羽毛を身にまとって活動している。このように鳥類（の羽毛）とは、決まった制約（形態）の中で、多様な環境と多機能化に対応した形態構造物といえる。これは鳥類が自然環境に適応して生存する為に、長い進化の過程において獲得した産物なのであろう。

そして鳥の色彩は、羽毛の色と同義である。鳥類は他の生物以上に視覚が発達した生物であり、色を個体間の信号として利用している（つがい形成や保護色等）。その発色メカニズムは、主に色素による発色（カロチノイド系、メラニン系）、色素によらない微細構造による発色（構造色）に大別される。鳥類の羽毛は前述した定まった内部構造に制約される中で、どのように強度や保温性といった機能と発色を両立しているのだろうか。鳥類の羽毛を構造色発色の観点から観察すると、特異的な基本構造が見受けられる。きらびやかな「虹色」と呼ばれる主にメラニンの顆粒の配列等によって生じる色や、スポンジ層と呼ばれる泡状の微細構造によって生じる角度依存性が低い「非虹色」はその代表例である⁽²⁻⁶⁾。機能性と鮮やかな発色を両立する羽毛内部構造への理解は、多機能素材開発などバイオミメティクス研究発展のための源泉として大きなヒントとなりうるものといえよう。

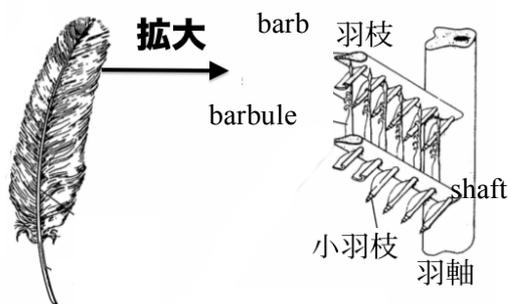
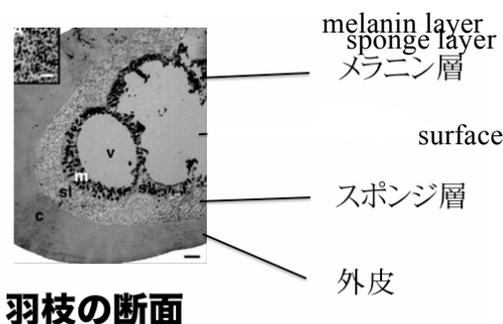


Fig.1 Structure of feather (from ref. 1)



羽枝の断面

Fig.2 Inside of a barb (from ref. 4)

参考文献

- (1) Gill F.B. *Ornithology*. Macmillan, 1995.
- (2) Stavenga, D. G.; Tinbergen, J.; Leertouwer, H. L.; Wilts, B. D. 2011, 214, 3960-3967.
- (3) Prum, R. O.; Torres, R. H.; Williamson, S.; Dyck, J. *Nature*. 1998, 396, 28-29.
- (4) Shawkey, M. D.; Hill, G. E. *J. Exp. Biol.* 2006, 209, 1245-1250.
- (5) Stavenga, D. G.; Tinbergen, J.; Leertouwer, H. L.; Wilts, B. D. *J. Exp. Biol.* 2011, 214, 3960-3967.
- (6) Yoshioka, S.; Nakamura, E.; & Kinoshita, S. *J. Physic. Soci.* 2007, 76, 013801.

所属班：公募班

所属機関：浜松医科大学

氏名：高久 康春

所属機関住所：〒431-3192

e-mail：ytakaku@hama-med.ac.jp

研究キーワード：高真空、含水状態、FE-SEM、NanoSuit®



NanoSuit®法によるリアルな生物表面観察の バイオミメティクスへの展開

Sub-cellular analysis of living organisms by NanoSuit®

1. はじめに

生物表面の微細構造の観察／解析には、走査型電子顕微鏡が有効な機器として用いられて来た。しかし、高倍率・高分解能で表面微細構造を観察できる電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM）では、試料を高真空環境（ $10^{-5} \sim 10^{-7}$ Pa）に曝さなければならず、生物が含む水分やガスなどが奪われて微細構造がたやすく変形してしまう。そのため、生物試料に様々な化学的前処理を施した後に予備乾燥したり、あるいは真空度を 10^{-2} Pa 程度に下げた低真空 SEM を用いるなどの機器側の開発が行われたりしてきたが、前者は微細構造が崩れ、後者は解像度が下がってしまうなどの問題が生じた。このような背景から、生物という濡れた試料を高倍率・高分解能観察することは困難で、ましてや生きたままの生物の観察は不可能だと考えられてきた。著者らは、その固定概念を払拭し、生物がもつ真空耐性を増強する技術を検討した結果、昆虫が体表にもつ粘性物質に電子線またはプラズマ照射することで得られるナノ薄膜が、超高真空下でも体内の水分やガスの放出を抑制する表面保護効果を生み出すことを見だし、生きたままの FE-SEM 観察に適用することに成功した（NanoSuit®法）（Fig. 1）⁽¹⁻⁴⁾。

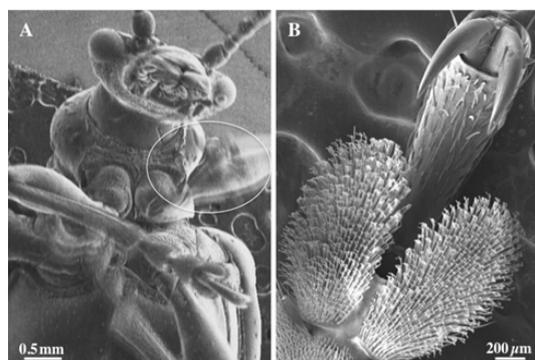


Fig.1 Observations of living insects by electron microscopy. (A) FE-SEM image of the living beetle. (B) Direct SEM observations of the 'hairy' adhesive organ.

2. 研究計画

これまでに、昆虫を中心に生物を FE-SEM 内での動的観察に成功し、現在も世界中の科学者が行っている固定・乾燥法の映像とは似て非なる構造が観察されている。本研究では NanoSuit®法を用いて、各種昆虫表面のサブセルラー・サイズの解析を行い、データを蓄積する。(1) 現在までに、昆虫 10 目 28 種の観察に成功しているが (e.g. Fig. 2)、研究期間内に観察対象を昆虫 15 目 50 種に拡大し、また原核生物界、原生生物界、植物界、菌類界、動物界にまで広げ、すべての生物界に含まれる生物の生きたままの観察を可能にする。(2) 昆虫の動的観察法を拡大し、生物と生物、生物と基質との相互作用を観察できるようにする。例えば、昆虫の脚に存在するミクロンオーダーの毛 (SETA) による基質との接着がファンデルワールス力によるものとされているが、その SETA がどのように基質に接着しどのように剥離しているかの詳細は不明のままである。この様子を SEM で観察するとともに、SEM 内で生物と基質をマニピュレーションできるように機器を改造し、生物と基質と相互関係を明確にする。また、ナノオーダーのモスアイ構造が、高効率光透過性をもつだけでなく、超撥水性、自浄作用 (防汚) および昆虫の SETA の付着性能低減など多様な機能をもつことが示されているが、そのメカニズムは想像の域をでない。SEM 内で可視化することによってサブセルラー・サイズの機能に関するメカニズム解明を行う。(3) 生体の発生過程の追跡を可能にし、クチクラなどの生物の自己組織化現象を形態学的に明らかにする。また、バイオミメティクス研究において、細胞や組織がもつサブセルラー・サイズの観察も重要な部分であり、これらの細胞と基材の観察を可能にする。



Fig.2 Stereo dissecting microscopic observation of the leaf beetle *Lilioceris merdigera*. Scale bar 500 μm .

3. 参考文献

- (1) Takaku, Y.; Suzuki, H.; Ohta, I.; Ishii, D.; Muranaka, Y.; Shimomura, M.; Hariyama, T. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. **2013**, 110(19), 7631-7635.
- (2) Suzuki, H.; Takaku, Y.; Ohta, I.; Ishii, D.; Muranaka, Y.; Shimomura, M.; Hariyama, T. *PLOS ONE* **2013**, 8(11): e78563, Published online (DOI: 10.1371/journal.pone.0078563).
- (3) Ohta, I.; Takaku, Y.; Suzuki, H.; Ishii, D.; Muranaka, Y.; Shimomura, M.; Hariyama, T. *Microscopy* **2014**, 63(4), 295-300.
- (4) Takaku, Y.; Suzuki, H.; Ohta, I.; Tsutsui, T.; Matsumoto, H.; Shimomura, M.; Hariyama, T. *Proc. Biol. Sci.* **2015**, 282 (1802), Published online (DOI: 10.1098/rspb.2014.2857).

所属班：C01班
 所属機関：合同会社 地球村研究室
 氏名：石田 秀輝
 所属機関住所：〒891-9222 鹿児島県大島郡知名町徳時910
 e-mail：emile.h.ishida@gmail.com



持続可能な社会に求められる ライフスタイル・オリエンテッド・テクノロジーの創成

Development of the Lifestyle oriented Technology for the creation of the sustainable society

1. はじめに

エコテクノロジーの市場投入（置き換えのテクノロジー）だけでは、環境の劣化は抑制できないことは明らかであり¹⁾、厳しい地球環境制約の中で心豊かなライフスタイル創出に求められるテクノロジー(持続可能な社会のテクノロジー)創成手法の開発が急務である。そのためには、バックキャスト手法によるニーズ(ライフスタイル)オリエンテッドなアプローチが不可避である²⁾。また、バックキャスト手法で描かれた多くのライフスタイルを構成する技術要素を明らかにし、それを自然の中に求める (Biomimetics A0-B0 班との連携)ことにより、持続可能な社会に求められるテクノロジーの標準化が期待できる。

2. バックキャスト思考によるテクノロジー創出の可能性

2030年の厳しい環境制約の中で心豊かなライフスタイルを描き、それに必要なテクノロジー要素を抽出し、自然の中にそれを求め、サステナブルというフィルターを通して、具体的なテクノロジーにリ・デザインすることにより、従来と全く異なるテクノロジーが開発可能であることが明らかになった。例えば、2030年ライフスタイルから、

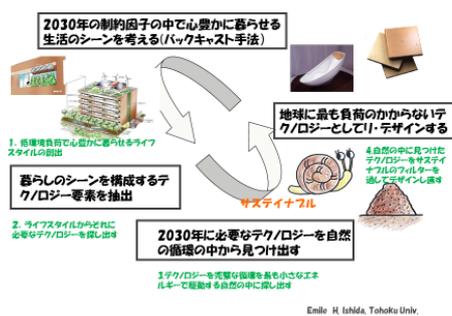


Fig.1 Schematic Approach for the Lifestyle Oriented Technology



Fig.2 Developed Wind Generator

小型・低風速でも発電可能な小型風力発電機のニーズが明らかとなり、トンボの翅の構造を利用することで、風速 1m でも発電可能な羽径 60cm の高効率小型風力発電装置が開発された³⁾。

3. 厳しい環境制約の中で豊かであるということ

制約の中での豊かさとはどのような構造を持っているのか。バックキャスト手法で描いたライフスタイルの社会受容性および、新たに開発した 90 歳ヒアリング手法⁴⁾からその構造を明らかにし⁵⁾心の豊かさが 70 の要素で構成され、制約 (Positive restriction) を自らの知恵や技で超えることによって得られるものであり、単に利便性や快適性を与えるテクノロジーが持続可能な社会に求められるテクノロジーの解にならないことが明らかとなった。

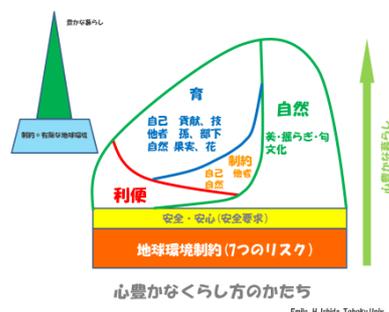


Fig.3 Contours of wholesome, fulfilling living

4. オントロジー工学の導入

制約の中で心豊かなライフスタイルを構成するのに必要なテクノロジー要素を抽出するために、オントロジー工学⁶⁾の導入を試みた。この手法は人工物について開発されたものであるが、溝口理一郎博士の指導の下、生活行為や感情を含むライフスタイルにも応用の可能性が見えてきた。これより、ライフスタイルが構造化 (行為と方法) され、データ化可能となり、コンピュータ処理による機能、技術、課題ワードによる検索が可能になると考えられる。

そのため、いくつかの手法の検討を行い、自然を基盤とし、制約の中で暮らしてきた 90 歳ヒアリングをベースとしたライフスタイルの行為分解木を作成し、行為と心の豊かさに関する標準語彙を明らかにし、これを用いて、バックキャスト思考で描いたライフスタイルの行為分解木を作成、求められる要素技術を抽出し Bio-TRIZ で具体的な解を得ようとするものである。

具体的には、バックキャスト手法による 200 のライフスタイルの作成を完了、90 歳ヒアリング (国内 42 都道府県、米国、ドイツ 計約 450 名) データを小パラグラフに分解し、自然、人、生と死の関わりや暮らしや仕事の形に分類し、各々を代表するライフスタイルを用いて行為分解木を作成しており、いくつかの新しい知見についても報告する。

<参考文献>

- 1) 経済産業省エネルギー需要実績速報 <http://www.meti.go.jp/press/>
- 2) 石田秀輝、古川柳蔵 「自然に学ぶ粋なテクノロジー」 2009 化学同人
- 3) 石田秀輝、古川柳蔵 「地下資源文明から生命文明へ」 2014 東北大学出版
- 4) 古川柳蔵、佐藤哲 「90 歳ヒアリングのすすめ」 2012 日経 BP 社
- 5) Emile.h.ishida, R.Furukawa "Nature Technology" 2014 Springer
- 6) 溝口理一郎 「オントロジー工学」 2011 オーム社

所属班：C01班

所属機関：新潟大学工学部

氏名：山内 健

所属機関住所：〒950-2181新潟市西区五十嵐2の町8050

e-mail：yamauchi@gs.niigata-u.ac.jp

研究キーワード：国際標準機構（ISO）、バイオTRIZ、
バイオミメティック製品



バイオミメティック製品の開発を支援するデータベースの構築

Construction of a database supporting development of biomimetic products

1. はじめに

近年、高効率・高性能な生物機能を材料設計に取り入れる生物模倣工学の研究が活発に進められている。しかしながら、その応用範囲は広く、ケースバイケースでの材料設計が主となっており、生物技術の体系化は非常に困難である。さらに国際標準機構（ISO）ではバイオミメティクスに関する規定について検討されており、国際基準に準じたバイオミメティック製品の創出が求められている。

そこで本研究では、材料設計のアイデア創出法として知られる TRIZ（トゥリーズ）に着目して、効果的にバイオミメティック製品を開発するためのデータベースの構築について検討した。ここでは、TRIZ の中でも技術矛盾マトリックスという手法を発展させた。さらにこれまでの工学的なアプローチに加えて、バイオ TRIZ と呼ばれる手法で、150 万種以上も存在するといわれる生物の中から抽出した生物機能を導入した。この生物機能の情報を工学的な技術矛盾の解決案として提供することで、新たな特許を創出することが期待できる。

2. バイオミメティック製品の開発における生物情報の活用

バイオミメティック材料の開発においては、①既存技術・材料から問題を抽出、②問題解決のための生物機能を探索、③探索した生物機能の原理を抽出・一般化、④材料を創製して最適化を検討、という過程を経る必要がある。しかしながら、せっかく既存技術・材料から問題を抽出できても、150 万種も存在する生物について、どの機能に着目すればいいのか、本質的な原理をどのように抽出すればいいのか、その生物は最適なモデルなのであろうかなどの疑問が生じてしまう (Figure 1)。

本データベースによる検索の特長は、過程①～④を経ながら生物機能を工学に移転するためのヒントを提供できる点にある。

技術者の抱えている技術的な問題を簡略化して、技術矛盾マトリクスに入れるだけで、データベースが、その問題を解決するために適切と思われる問題解決の原理を提案し、さらには生物機能を探索してくれる。ここで提案された生物機能を最適化することで、短時間で効率的にバイオミメティック製品開発のためのヒントを得ることができる。

さらには、バイオミメティック製品インベントリーも閲覧できるので、先行事例も踏まえた製品開発を考案できる。

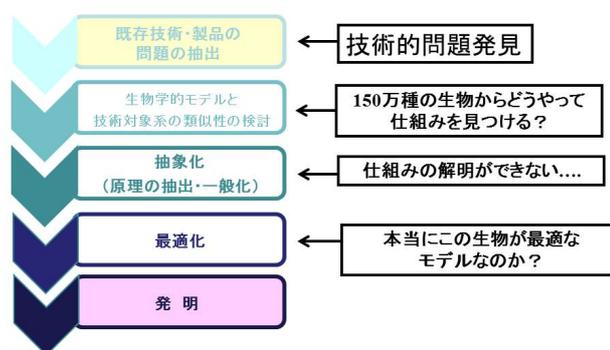


Figure 1 process for development of Biomimetic products.

3. ライフスタイル・オリエンテッド・アプローチの技術支援

これから我々が直面する厳しい環境制約の中で、心豊かなライフスタイルを築くためには、持続可能な社会でのライフスタイルを想定し、そこから技術要素を探索していく手法—ライフスタイル・オリエンテッド・アプローチ—が有効である。この手法で創出されたライフスタイルを実現するためには、既存のテクノロジーでは克服できない課題も多いと想定され、地球にやさしい新たなテクノロジー要素の創出が不可欠となる。社会受容性の高いライフスタイルとして挙げられている「木造電柱が総合小型発電機のハブとして機能する」を例として説明する。このライフスタイルの技術要素として、強風でも壊れないフレキシブル太陽電池、電柱から配電可能な蓄電システムなどの技術要素が必要となる。

これらの材料を設計する際に生まれる技術的な矛盾について、前述のバイオ TRIZ データベースを駆使することで、トリバネチョウの鱗粉に学ぶフレキシブル太陽電池、オオオニバスを模倣した路面充電器など、従来にはないテクノロジーの設計を提案できる (Figure 2)。以上のとおり、このデータベースを利用することにより、ISOの基準に準じたバイオミメティック製品を短時間で簡便に開発することが期待できる。

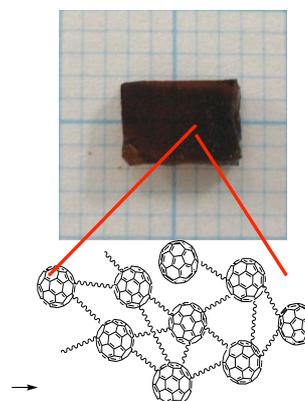


Figure 2 Development of flexible solar cell by bio-TRIZ.

所属班：公募班

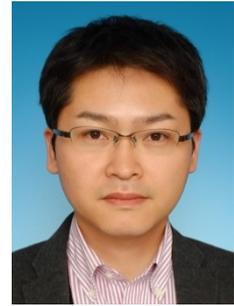
所属機関：旭川医科大学医学部化学教室

氏名：室崎 喬之

所属機関住所：〒078-8510 北海道旭川市緑が丘東2条1丁目1-1

e-mail：murosaki@asahikawa-med.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



自己組織化による動的微細構造表面を用いた海洋付着生物の接着制御

Development of Antifouling Materials by Dynamically Tunable Microwrinkles

フジツボ、藻類、ホヤ等の海洋付着生物は海中の人工物に対し強い接着性を示す為、非常に深刻な汚損被害をもたらしている (Fig.1)。これらの付着を防ぐ為にこれまで有機スズ系防汚塗料が広く用いられてきたが、有機スズが海洋生物に対し高い内分泌かく乱作用を及ぼす事が知られるようになり、使用が禁止されるようになった。その為、環境負荷の小さい防汚技術の開発が急務となっている。近年、生物表面の表面微細構造に着想を得た防汚技術が研究・開発されてきている。Brennan 等は鯨の表皮に付着生物が少ない事に着目し、これを模倣した Sharklet AF という構造を開発した¹⁾。

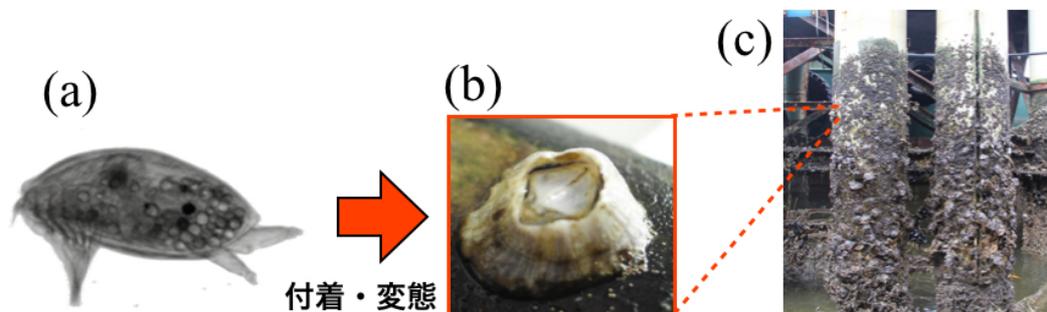


Fig.1 Settlement of barnacles. (a) Barnacle's cypris larva. Body size is about 500 μ m. (b) Adult Barnacle. Body size is about 15mm. (c) Barnacles settled on the surface of bridge piers.

これは微細凹凸構造の配置を鮫肌様に模倣したものであり、単に凹部を平行に並べた場合と比べ遊走子の着生がさらに少なくなる事が明らかとなった。室崎らは、簡便に作製することが可能な自己組織化ハニカムフィルム²⁾ (Fig.2) を用いる事でフジツボキプリス幼生の着生阻害とそのメカニズムについて明らかにしてきた³⁾。大園らは柔らかい弾性基板上に密着させた硬いナノ薄膜が、横からの歪みを受けると自発的に数~数十 μm の間隔で溝の方向が 1 方向に揃った表面波打ち構造 (マイクロリンクル) が表面全体に形成されるという自発的表面座屈現象を発見している⁴⁾ (Fig.3)。これは、自己組織化現象によるもので、簡便にリンクルの周期を簡単に制御することができ、加える歪みの方向によってリンクル方向を自在に変えることができる。

これまで全ての防汚研究では静的な表面しか着目してこなかった、しかし実際にはサメやイルカなどの表面はダイナミックに変形している。本研究では自発的表面座屈現象等を用いた“可変の微細構造表面”によって海洋付着生物の付着制御を試み、低環境負荷型の防汚材料の開発を目指す。

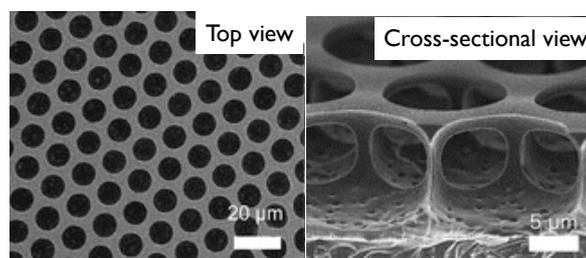


Fig.2 SEM image of self-assembled honeycomb structured porous film

参考文献

- (1) Brennan, A. B.; et. al. *Biointerphases*, **2007**, 2, 89-94.
- (2) Shimomura, M.; et. al. *Langmuir*, **2000**, 16, pp 6071–6076.
- (3) 室崎喬之, 他, 第 62 回高分子年次大会 予稿集, 2013, 62(1).
- (4) Ohzono, T.; et. al. *Phys. Rev. B*, **2004**, 69, 132202.

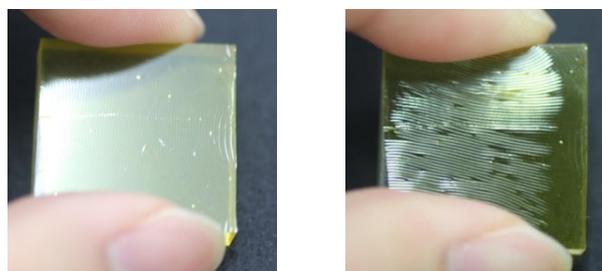


Fig.3 Photograph of dynamically tunable microwrinkles.

謝辞

本研究は B01-1 班、B01-5 班との共同研究により実施されており、ここに感謝致します。

所属班：B01-1班

所属機関：工学院大学 先進工学部 応用化学科

氏名：小林 元康

所属機関住所：〒192-0015東京都八王子市中野町2665-1

e-mail：motokoba@cc.kogakuin.ac.jp

研究キーワード：高分子合成、表面改質、濡れ、接着、摩擦



海洋生物表面を規範とした親水性表面の調製

Preparation of Hydrophilic Surface Inspired by Marine Livings

1. はじめに

魚類の体表はリン酸カルシウムで形成された鱗で覆われており、これが体表の力学的強度を保ち、外傷が付きにくいように体を保護している。さらに、その表面はマイクロメートルオーダーの階層的な微細凹凸構造を有しており、これらが体表から分泌される粘液を保持することに役立っている。粘液は皮膚の粘液細胞から分泌され、レクチンという糖鎖タンパクや免疫グ



Figure 1. Scales of Pagrus major

ロブリンなどの様々な生体防御因子が含まれていることが知られており、病原体等の体内への侵入を未然に防いでいる[1]。また、アンコウやナマズ、マンボウは鱗を持たないため、粘液こそが体表を

保護する重要な物質となっている。鱗自体の表面は必ずしも親水性が高くはないが[2]、表面を覆う粘液は糖タンパクからなる高分子電解質であり多数のイオン性官能基を含んでいるため、魚類の体表は超親水性を示す。これが水中において油汚れおよび海洋付着生物の付着を抑制している。実際に表面を人工的にブラシ状の高分子電解質で覆うと防汚性を示すことが知られている[3]。一方、粘液はムコ多糖類を含む高分子電解質であり保水性を維持することで水潤滑を促し、摩擦を低減していると考えられている。そこで本研究では、表面自由エネルギーが流体抵抗の低減にどの程度寄与しているのか実験的に検証した。また、シワ構造を持つ表面の水中防汚性についても検討した。

2. 実験

厚さ 12.5 μm のポリイミド(PI)フィルムにイオン性高分子(PSPMK)ブラシまたはパーフルオロヘキシルエチルシラン(R_f)を固定化し、親水性および撥水性フィルムを得た(Figure 2)。Owens 法により求めた R_f -PI、未処理 PI、PSPMK- g -PI の表面自由エネルギーはそれぞれ、50 mN/m、54 mN/m、73 mN/m であった。これらを回転レオメーターの平行プレート($d = 25 \text{ mm}$)とステージ表面に貼り付け、293 K 大気中条件にて水またはエチレングリコールをプレートとステージの間隙 0.1 mm に挟み込み、回転トルク T と見かけの粘度 η^* を測定した。

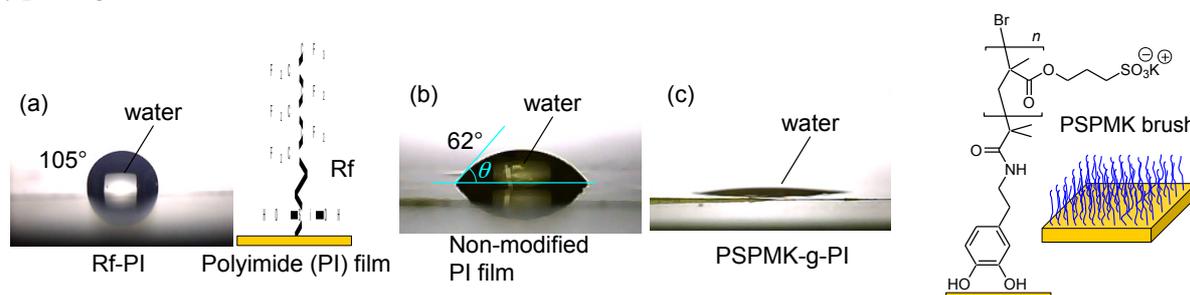


Figure 2. Water contact angle on (a) perfluorohexylethylsilane (R_f) -modified polyimide (PI) film, (b) no-modified PI film, and (c) super hydrophilic PSPMK-grafted PI film.

3. 結果と考察

回転速度 10^4 (1/s)の時のトルクと液体の粘度を Figure 3 に示す。同じ液体でありながら PSPMK- g -PI 表面に挟まれた方が R_f -PI よりも大きなトルクが発生し、粘度が大きく求められる傾向が認められた。つまり、親水性表面の方が疎水性表面よりも大きな流体抵抗を示した。しかし、その差は測定誤差に近く、表面の親・疎水性が流体抵抗に及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。

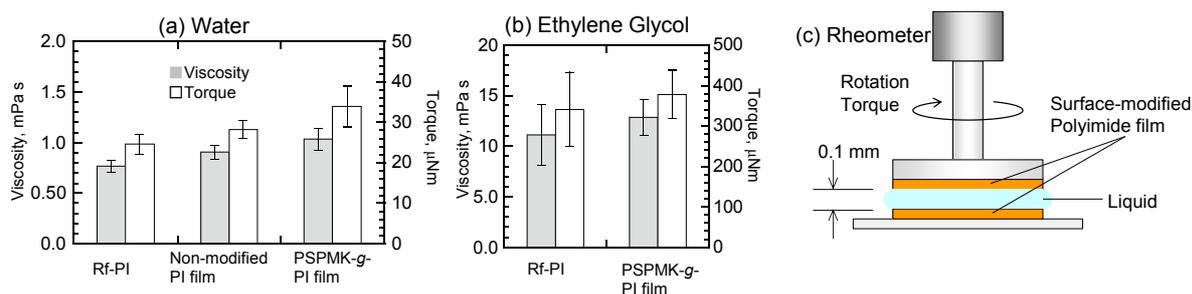


Figure 3. Viscosity and rotation torque at rate of 10^4 (1/s) at 293 K of (a) water and (b) ethylene glycol between R_f -PI, non-modified PI, and PSPMK- g -PI surfaces (Gap = 0.1 mm), and (c) schematic view of Rheometer.

- [1] Tsutsui, S.; Tasumi, S.; Suetake, H.; Kikuchi, K.; Suzuki, Y. *Dev. Comp. Immunol.*, **2005**, *29*, 243.
 [2] Plummer, A.; Tang, T. -C.; Lai, C. -Y.; Chiesa, M. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2014**, *6*, 16320 -16326.
 [3] Kobayashi, M.; Terayama, Y.; Yamaguchi, H.; Terada, M.; Murakami, D.; Ishihara, K.; Takahara, A. *Langmuir* **2012**, *28*, 7212-7222.

所属班：B01-1班

所属機関：北海道大学

氏名：黒川 孝幸

所属機関住所：〒060-0810

北海道札幌市北区北10条西8丁目

e-mail：kurokawa@sci.hokudai.ac.jp

研究キーワード：高分子ゲル、ゲルの摩擦、力学物性、強靱化ゲル



魚類吸盤にみられる繊維構造の工学的理解

Engineering Consideration of Fibrous Structure in Suction Pad of *Aspasmichthys ciconiae*

はじめに

ハイドロゲルは水を含みやわらかい性質のため、生体組織と類似した性質を有しており、医用材料として注目されている。たとえば、ハイドロゲルは内部に薬物を担持し拡散により徐放する機能を有する。また、ゲルの網目サイズは十分に小さいため、微生物が透過することができない。ゲルはその含水性の高さゆえに、潤滑状態になりやすく表面摩擦が非常に小さい。これらの性質は、高機能素材として新たな価値を提供できると考えられている。しかし、一般的なハイドロゲルは高い含水性のため、基板への吸着性に乏しく、基板へ吸着させて使用する応用方法は大きく制限されていた。一方で、一部の魚類は吸盤を持ち、水中で岩場などに自由に体を固定することができる。これらの吸盤の構造を規範とすることで、強い水中吸着を得られることが期待できる。そこで本研究では、ハイドロゲルをモデル材料として、吸着におけるツルウバウオ吸盤の構造的意義を考察する。

本文

近年、当研究室はカチオンモノマーとアニオンモノマーのランダム共重合により作成される、ポリアンフォライト (PA) ゲルの開発に成功した。PA ゲルは含水率が 40-50%と低く、引裂きに対して高い抵抗性を示す強靱性素材である。また、PA ゲルは平滑な基板のみならず粗い表面であっても、様々な基板に対して吸着する特性があることが明らかになった。この吸着には、PA ゲルならではのイオンコンプレクスが有効に働いているものと考えられる。解離したイオン結合の対電荷の一方が相手基板の電荷と吸着的な相互作用をすることで、どのような電荷表面に対しても吸着力を示すことができる。この吸着は可逆的であり、何度でも吸着・脱着を繰り返すことができる。また、この吸着は水中であっても機能するため、一般の接着材のように接着面を乾燥させる必要はない点で、応用に大きな利点がある。さらに、

吸着力に関して解析を進めると、吸着界面のみならず、PAゲルの高い粘弾性的性質により、バルク部の変形による大きなエネルギー散逸が、高い吸着力に寄与していることが示唆された。ここで、ツルウバウオの吸盤にみられるマイクロファイバー(Figure 1)の役割を理解するために、PAゲルとガラスファイバーの複合材を用意した。ガラスファイバーがツルウバウオのSEM画像で確認できる繊維構造の役割を担い、PAゲルが微細繊維周りの粘液の役割を模倣する。ガラスファイバーを1方向に配向して複合材を合成することで、表面物性が同じで、ずり方向によって異なる硬さの試料を用意することができる。

吸着力を硬さに対してプロットすると、硬いほど吸着力が高くなる。これは次の式で理解できる。

$F_c \approx \sqrt{G_c} \sqrt{A/C}$ ここで、 F_c は吸着力、 G_c はエネルギー開放率、 A は面積、 C はコンプライアンス(弾性率の逆数)である⁽¹⁾。 G_c は材料や相手基板との相互作用など化学的な要素で決まる材料の性質である。同じ材料(G_c)であっても、見かけの硬さ(C)を変えることによって吸着力を変えることができる。このとき、硬さに異方性があれば、方向によ

って吸着力に差が現れる。ツルウバウオの吸盤にみられる繊維構造は吸盤に対して垂直に配向しており、垂直方向の硬さを異方的に高くしていると推察できる。これにより、ツルウバウオは垂直方向には強く吸着し、ずり方向の歪で容易にはがれる、高吸着・易脱着を実現しているものと考えられる。

これらの特性を付与したPAゲルは、水中で強い吸着を示し、生体組織との吸着・脱着が可能で、細胞変異原性もないため、生体組織等の表面に直接貼り付けて保護するフィルムなど損傷臓器の被覆材や創傷包帯としての応用が期待できる。

謝辞

国立科学博物館の篠原現人先生のご協力により、ツルウバウオの情報を頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

(1) Bartlett, M. D.; Croll, A. B.; King, D. R.; Paret, B. M.; Irschick, D. J.; Crosby, A. J. *Adv. Mater.* **2012**, 24, 1078-1083.

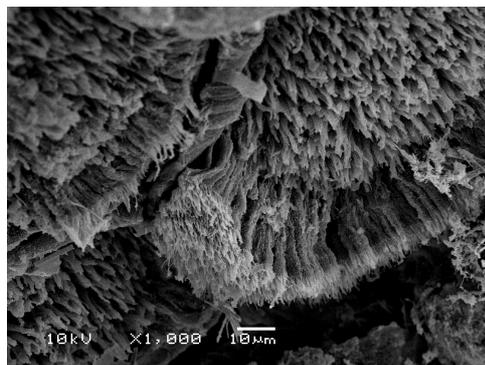


Figure 1. SEM image of suction pad on aspasmichthys ciconiae. Provided by Dr. Shinohara.

所属班： B01-2班

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：モスアイ, ニップル, レンズ, クチクラ, ショウジョウバエ



昆虫複眼レンズ表面のニップル構造の形成機構

Formation of corneal nipples in insects

1. はじめに

“モスアイ構造”は、昆虫の網膜レンズ表面に見られる微小なナノニップル構造であり、クチクラで形成されている。このサブセルラー・サイズの構造は光の反射を防ぐだけでなく、高い撥水性を示すとともに、汚れが付きにくいセルフクリーニングの特性（防汚性）もあり、また昆虫などに対するの滑落性といった多機能性を有する。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注目されている。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。これらクチクラ表面サブセルラー・サイズ構造の形成メカニズムを明らかにすることで、生物の自己組織化現象を理解し、工学的製造プロセスに模倣するという今後のバイオミメティクス展開を目指して研究を推進している。

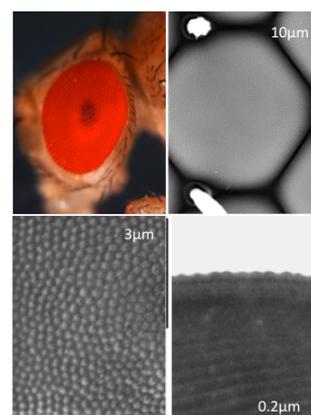


Fig.1 Corneal nipples in the compound eye of *Drosophila*

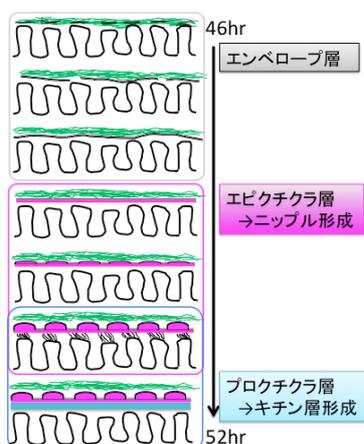


Fig.2 nipple formation

2. ショウジョウバエ蛹期のレンズ発生過程におけるニップル形成

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（Fig.1）。レンズクチクラは、エンベロップ、エピックチクラ、プロクチクラの3層よりなり、ニップル構造はエピックチクラ層に形成される。複眼は蛹期に複眼成虫原基から形成され、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 TEM 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つくられることが明らかになった。レンズ形成過程の cone cell や primary pigment cell の表層 (apical 側) には細胞骨格のアクチンにより支持された多数の微絨毛が存在し、微絨毛の間の細胞膜からエンドサイトーシスにより、クチクラ形成のための材料物質が分泌されていた。細胞外の材料物質は、まず微絨毛の先端に集積しエンベロープを形成する。その後エピックチクラ層の形成とともに自己組織的にニップル構造の形成が進行し、続いてプロクチクラ層がつくられレンズとなる(Fig.2)。

3. ニップル構造の形成メカニズム

ニップル構造の形成メカニズムを明らかにするため、この形成に関わる遺伝子の同定を試みた。突然変異などを用いて特定の遺伝子の作用を変化させ、レンズ表面のニップル構造が変化するかを調べた。その結果、特定の遺伝子の作用を変化させることによって、1)ニップルの欠失、2)波状パターン形成、3)肥大なニップル形成、4)粒状構造形成など、レンズの表面構造も変化することが明らかになった(Fig.3)。このようなニップルパターンは自然界の一部の昆虫にも存在する。このように、ニップルの形成機構は種固有のパターンをとるようなしくみを備えている一方、わずかな遺伝的な作用で変化する性質を持つものであることがわかった。

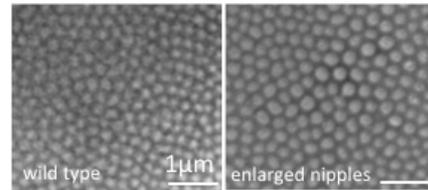


Fig.3 wild-type and enlarged nipples

細胞骨格を形成するアクチン遺伝子の作用をノックダウンするとニップルが肥大化した。また、薬理的にアクチンの重合を阻害した場合もニップルの肥大化が確認され、細胞骨格性のアクチンがニップル形成に関与することが示された。細胞内のアクチン分子は細胞接着装置を構成する分子と結合し、細胞内の張力を作り出すとともに、細胞のかたちを形成・維持している(Fig.4)。そこで、細胞接着装置のひとつアドヘレンスジャンクションを構成する分子をコードする遺伝子(E-cadherin、 α -catenin、 β -catenin)をノックダウンさせたところ、同様にニップルの肥大化が生じた。また、細胞骨格性のアクチンを介して細胞張力や細胞接着を制御する Pho ファミリータンパクをコードする遺伝子 (Pho1,Rac1) をノックダウンさせた場合も、同様な変化が生ずることが明らかになった。これらの結果から、ニップル形

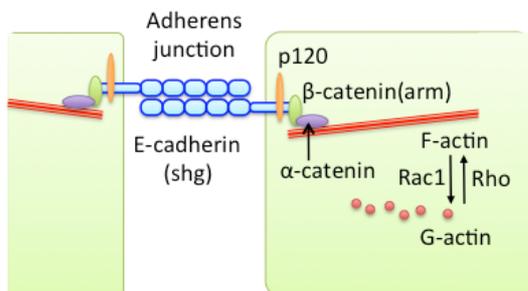


Fig.4 Cytoskeletal actin and cell adhesion/tension

成時の自己組織化には、基板となる細胞の apical 側の張力あるいは細胞接着による形の維持機構が関与することが示唆された。

所属班：B01-2班

所属機関：東京理科大学・北海道大学・浜松医科大学

氏名：吉岡 伸也、久保 英夫、○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：良い加減、光学材料、ロバストネス、モスアイ



生物がもつ「良い加減」な表面構造：乱れに強い光学特性

The Optimum Surface Structure in Biological Systems Causing Irregularity-Robust Optical Properties

1. はじめに

昆虫や鳥などをはじめ、多くの生物はその表面に微細な構造を施して巧みに光をあやつっている。たとえば、ある種の昆虫は、特定の波長の光を効率よく反射するし、別な種類では偏光特性を利用した視覚効果を生み出している。また、蛾の複眼では光の反射を抑制するナノパイル構造が存在することが見つかり、モスアイと呼ばれている。生物がもつこのような光学現象を説明するとき、欠陥のない理想的な微細構造を仮定する場合が多い。たとえばタマムシの構造色の場合には、二種類の薄膜が厳密な厚さをもって周期的に積層した膜構造を仮定し解析している。しかし、実際のタマムシがもつクチクラ膜の空気層との界面は凸凹であり、積層膜自身も一枚の膜が途中で二枚に分かれるなど、欠陥だらけの構造である。生物がもつ微細構造は自己組織化によって形成される。それゆえ、欠陥を含むのは本質的なことであろう。バイオミメティクスとして学ぶべきは、これまでの工学的発想で欠陥のない理想的な微細構造の構築を目指してきたものづくりに対して、生物が工学的には「良い加減」な欠陥を多く含んでいても、その構造が高い機能を発揮しているという「良い加減」な形態を規範とし、さらには乱れが積極的な機能をもつケースもあることの科学的背景を知ることである。B01-2班では生物の乱れを含んだ微細構造がロバストに光学的機能を発揮する現象を理解し、新規な光学材料への応用を目指している。

2. 乱れたモスアイ構造

Fig.1 は、オオタバコガの複眼とクマゼミの翅がもつモスアイ構造である。結晶状に並んだオオタバコガの複眼の突起に比較すると、クマゼミの突起配列は乱れが多く、アモルファスになっている。このような乱れが反射防止効果に影響を与えるのか否かを調べるために、乱れを含んだ突起配列を仮定し、散乱効率（積分反射率）の理論計算を行った。

その結果、乱れが極端にひどくない限り散乱は小さく、反射防止機能を維持していることがわかった。このことは、セミの翅が透明に見える観察結果とも矛盾しない。なぜ配列の乱れが反射率を上昇させないのか、あるいはどの程度乱れたら反射率は上昇するのか、そのことを理解するためにポロノイ分割を用いて配列乱れを定量化する試みを行った。

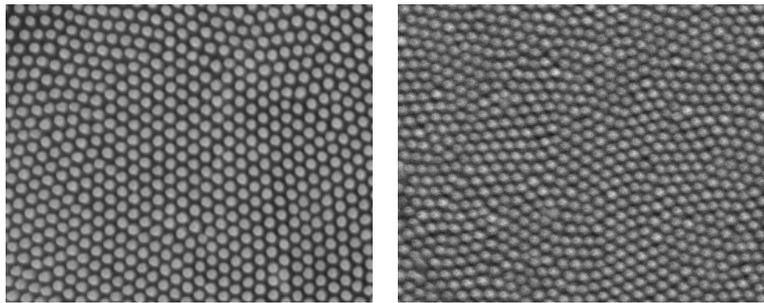


Fig.1 SEM image of the surface of the compound eye of a moth (left) and the surface of the wing membrane of a cicada

3. 乱れの定量化

突起の配列を点配列として考えてポロノイ分割を行うと、平面はポロノイ多角形に分割することができる。突起配列が六方格子状に規則的である場合には、全てのポロノイセルは同じ大きさの正六角形になる。一方、配列に乱れが含まれている場合には、ポロノイセルには五角形や七角形が含まれ、また、六角形の辺の長さ、角度、面積といった量に分布が生じる。乱れを評価する一つの方法として、ポロノイ多角形の統計量に注目した。また、完全に乱れた配列から結晶までの連続的な乱れ度合いをもつ点配列を得るために、調節モデル(1)と呼ばれるモデルを用いた点配列のシミュレーションを行なった。Fig.2はその解析結果の一例である。縦軸はポロノイ多角形の面積の標準偏差を平均値で規格化した量である。横軸に示した計算ステップが進むにつれて、配列は急速に結晶の値0に近づいていくことがわかる。一方、クマゼミとオオタバコガの解析結果を重ねて表示すると、両者はかなり接近した値をもち、ランダムよりは結晶状に近いことがわかった。すなわち、“生物がもつ乱れは、機能が発揮できる程度に「制御された乱れ」である”、といえるだろう。このような解析方法で特徴づけられた乱れと光学特性について議論する。

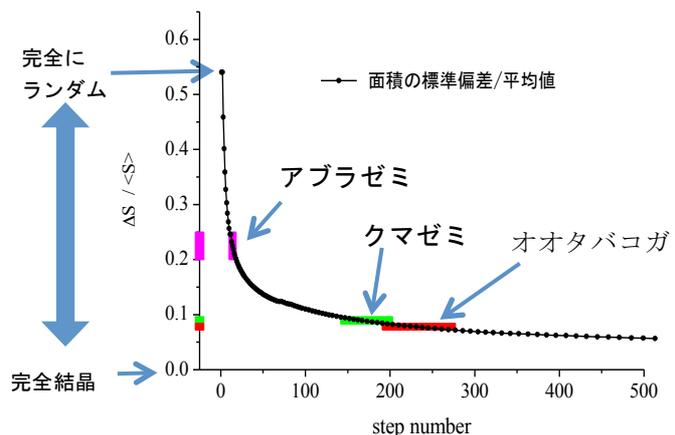


Fig.2 Evaluation of irregularity using a computer simulated dot pattern and Voronoi diagram. Data for three insect species are superimposed.

参考文献

(1) Tanemura, M & Hasegawa, M, *J. Theor. Biol.* 82, 477(1980).

所属班：公募班

所属機関：国立研究開発法人 海洋研究開発機構

氏名：椿 玲未

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：tsubakir@jamsted.go.jp

研究キーワード：海綿動物・鞭毛運動・イメージング



海綿動物に学ぶ水輸送システム

Water transportation system of sponges

1. はじめに

海洋で優占する固着動物の多くは、水中の有機物を食べる懸濁物食者であり、「移動せずにその場でうまく餌を採る機能」を持っている。海綿動物（カイメン）も固着動物のひとつだが、濾過食のためのとりわけ特異な構造を持つ。カイメンの体内には網の目のような水路（水溝系）がびっしりと張り巡らされており（図1）、水溝系の襟細胞室を形成する個々の襟細胞が持つ鞭毛のムチ打ち運動で海水を体内に取り込んで循環させ、水中の有機物を濾しとって栄養源とする。

カイメンはこの能動的な水輸送のために全代謝エネルギーの約3割という多大なコストを費やしている⁽¹⁾。カイメンはこのコストを少しでも抑えるために、効率よく水輸送する戦略を持つと予想される。カイメンの水流創出コスト削減のための戦略として共生する大型動物が生み出す水流や周辺的水流を利用する^(2,3)、光合成微生物からの栄養供給を受ける⁽⁴⁾の2つが知られている。

これらの水流創出コスト削減戦略は、ともに「起こした水流は効率よく使う」戦略と言い換えることができる。それに加えて「起こした水流を無駄なく使う」メカニズムも、カイメンの省エネルギー戦略として有効であると予想されるが、これまでにそのような観点からの研究はなかった。そこで私たちは、水溝系の形態そのものと襟細胞の鞭毛運動に着目して研究を進めている。

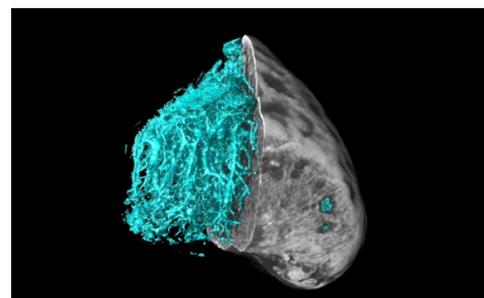


Fig. 1. Microtomography of marine sponge *Halichondria okadai*; canal system (pale blue).

2. 水輸送ネットワークとしての水溝系

カイメンは消化器官や呼吸器官のようなそれぞれの役割の特化した器官を持たないため、「餌をとる」、「呼吸する」、「繁殖する」という動物として基本的な営みは全て水溝系を通じて行う。そのためカイメンは、体の隅々まで張り巡らされた水溝系の内部に常に新鮮な水を送り届ける必要がある。つまり水溝系は、カイメン体内にくまなく水を届ける自律型の輸送ネットワークなのだ。そこでまず、水溝系の立体構造をマイクロフォーカスX線CTやMRI装置を用いて計測し、さらに水溝系をネットワーク構造として捉え、頑強性が維持されるメカニズムや水の輸送効率の解明を目指している。

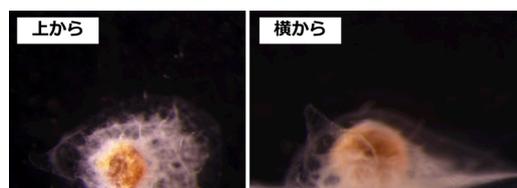


Fig. 2. Frontal and lateral view of hatched gemmule of freshwater sponge.

3. 鞭毛運動による水輸送

襟細胞の鞭毛は長さが10 μ m程度の微小な構造であり、その周囲の流体環境は非常に低いレイノルズ数で特徴付けられるため、高粘度の液体を効率よく輸送する機構を持つ可能性がある。しかしながら襟細胞の鞭毛の運動速度(周波数)や位相、カイメンの水溝系の水循環の速度を定量計測した例はいまだない。そこで現在、淡水性のカイメンの無性生殖芽を材料として、襟細胞室全体を高速撮影することにより、同期現象の有無を調べている(図2,3)。更に今後、蛍光イメージングと流体シミュレーションにより襟細胞室内部の水の流れを明らかにすることを目標としている。

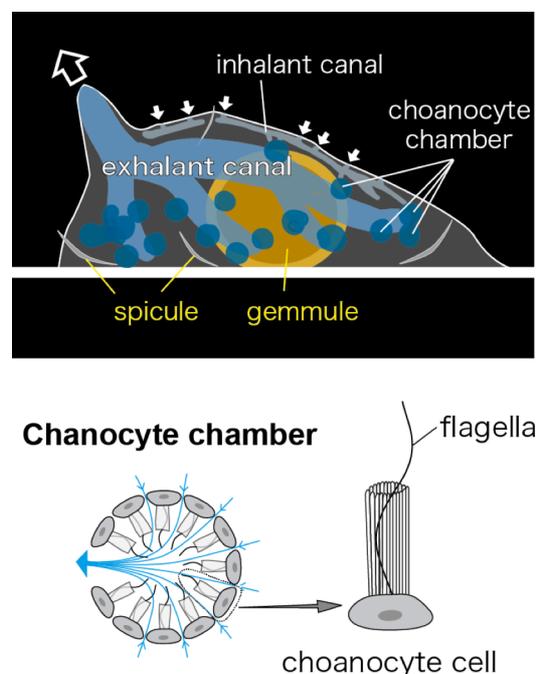


Fig. 3. Schematic image of juvenile sponge (top) and choanocyte chamber (bottom).

参考文献

- (1) Hadas, E.; Ilan M.; Shpigel M. *J. Exp. Biol.* **2008**, *211*, 2185-2190.
- (2) Tsubaki, R; Kato, M. *PLOS ONE* **2014**, *9*, e108885
- (3) Leys, S.P.; Yahel, G.; Reidenbaha, M.A. et al. *PLOS ONE* **2011**, *6*, e27877
- (4) Weisz, J.B.; Lindluist, N.; Martens, C.S. *Oecologia* **2008**, *155*, 367-376.

所属班：B01-3班

所属機関：国立研究開発法人 物質・材料研究機構

ハイブリッド材料ユニット

インターコネクトデザイングループ

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：接着、魚、虫、水中接着



生物規範階層ダイナミクス ～異分野連携による新たな学術領域の研究開発展開～

Interdisciplinary collaboration in biomimetic R&D-projects

本研究班の目的は、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を生物物理・材料/表面科学の視点から解明、系統的なアナロジーの検証、原理の抽象化、発生的形成プロセスの解明、などを通して、生物規範の基礎を確立し、技術移転を行うことである。特に、技術移転では生物の表皮の微細構造が生み出しているいろいろな機能（接着機能、自己清浄機能、自己治癒機能、放熱機能）に着目している。本会議では新学術領域の研究として「異分野連携により新しい学術分野をつくる」視点から生物から学ぶ接着機能に関する課題の取り組みの報告をする。

1) 異分野連携の研究ネットワーク構築

本研究班では、異分野を融合した組織化による研究推進に取り組み「異分野連携の研究ネットワーク」を構築している。図1には、どのような異なる分野が連携してネットワークを形成しているかを示している。異分野の連携は、「生物学分野」と「工学分野」に大きく分けられ、新学術領域「生物規範工学」のメンバーより7つの専門分野の研究者で構成されている。これらが連携して「生物に学ぶ接着機構の開発」を進めている。

図2に、異分野連携による研究テーマを示す。生物学的アプローチと工学的アプローチを融合した新しい学術「生物規範工学」の成果として、共同研究の成果として学会での口頭発表・ポスター発表も多く、共著による査読付き学術論文も受理されており、今後は、「生物模倣による接着」をテーマとした研究成果を中心に、さらに成果の公表を進める計画である。

2) 若手研究者の育成

異分野連携の取り組みでは、研究推進だけでなく「若手研究者の育成」においても連携して指導を行っていることが特徴である。これまでの3年間で研究に参加した若手研究者はポスドク1名、修士課程の学生1名、インターンシップ学生2名の合計4名である。異分野の研究者が連携して研究テーマや指導方法を担当しており、大学院生や学生は研究を進める過程で複数の異なる分野の専門家に直接指導を受けている。異なる専門性に触れることで、異なる分野の新たな研究手法を学びながら、視点を変えて考察することができるので、若手研究者育成として高い効果があると考えている。

具体的なテーマとして、昆虫の足裏の接着機構と魚の接着機構の研究などに取り組んでいる。本プロジェクトに参加した大学院生の修士論文は優秀賞を獲得するなど教育の成果を挙げており、ポスドク研究員はバイオミメティクスに関する研究センターに就職するなど、異分野が融合した新しい学術体系「生物規範工学」を身につけた若手研究者の活躍が期待される。

3) 国際標準化

異分野融合による新しい学術領域である「生物規範工学」では、グローバルな研究成果の発展を目指し国際標準化作成への積極的な取り組みを行い、成果を上げつつある。国際標準規格（ISO）の作成において、本研究班（B01-3）の代表者が国際標準化委員会のプロジェクトリーダーとなり、総括班、A01班、B01班との連携のもとに、生物の構造と機能の関係を調査し、国際規格の基になる「カテゴリーの分類」を提案し、国際標準化の作業草案に採択されている。



生物学的アプローチ

- 採取、分類学、生息環境調査
- 構造解析・行動解析
- 生物学モデル
- 形成プロセスの解明

工学的アプローチ

- 原理の抽出、一般化
- 可逆的な接着機構の設計、作製
- 接着特性、材料学的評価
- 応用



図1 『生物から学ぶ接着機構の開発』のための異分野連携ネットワーク

図2 研究課題

所属班：B01-3班

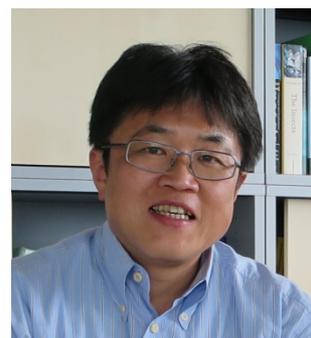
所属機関：国立研究開発法人 産業技術総合研究所
構造材料研究部門 材料表面グループ

氏名：穂積 篤

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：a.hozumi@aist.go.jp

研究キーワード：自己修復、機能持続、表面改質、防錆性



ロバストな表面機能を持つバイオミメティクス材料の開発

Development of biomimetic materials showing robust surface properties

【緒言】蓮の葉の驚異的な撥水機能を模倣した材料/表面の開発が 90 年代、日本を中心に進められてきた。しかしながら、このような人工材料/表面がなかなか実用化されない主たる理由は、摩擦や摩耗等のダメージにより表面を被覆している分子の剥離、構造の崩壊、不純物の堆積等が起こると、その表面機能が著しく低下し、永久に回復しないことが挙げられる。これに対し、生物の多くは、様々な物質を体表に分泌することで表面機能を維持している。本講演では、このような生物の分泌による自己修復メカニズムに学び、機能性分子を何らかの刺激により徐放し、機能を維持するようなこれまでにないロバストなバイオミメティクス材料について最近の研究の進捗を報告する。

【実験方法】ゲルから液体が押し出される“離漿（りしょう）”という現象に着目し、撥液成分や不凍液を自己分泌する機能を持ったゲル材料を作製した。オルガノゲルはヒドロシリル基を含む変性シリコーン(PDMS_H)およびビニルシリル基を含む変性シリコーン(PDMS_V)の混合物(PDMS 前駆溶液)に各種直鎖状アルカン (C_nH_{2n+2} , $n=10, 12, 14, 16$) を添加し、白金系触媒を用いたヒドロシリル化反応により作製した。固体成分の体積 (DMS_H および PDMS_V の総体積) に対する添加したアルカンの体積の割合を Y (50-3000 %) とした。

【結果】固体成分の体積に対する添加したアルカンの体積の割合が $Y \leq 1200$ の時にゲル化した。この試料を室温で放置すると、 $n=16$ のアルカン (n -hexadecane) を用いた場合のみにゲル表面より液体成分の離漿が観察された。PDMS 樹脂とアルカンの親和性はアルキル鎖長に依存することが報告されており、アルキル鎖長が長いほどその親和性が低下するためである。PDMS 前駆溶液に n -hexadecane は無限溶解するが、PDMS のゲル化後にこれらの親和性が著しく低下し n -hexadecane が離漿したと考えられる。離漿した試料表面に、ケチャ

ップやマヨネーズ等の粘性液体を滴下したところ、粘性液体は僅かな傾きでオルガノゲル表面を滑落した (Fig.1a, b 右)。一方、離漿しないオルガノゲルや PDMS 表面では、これらの粘性液体は表面に付着したままであった (Fig.1a, b 左)。これは、離漿によりオルガノゲル表面に油膜が形成し、PDMS 樹脂と粘性液体の直接的な接触が抑制されたためと考えられる。さらに、この試料を切断してできた新表面からも離漿現象が観察され、同様の難付着性を示すことが明らかとなった。

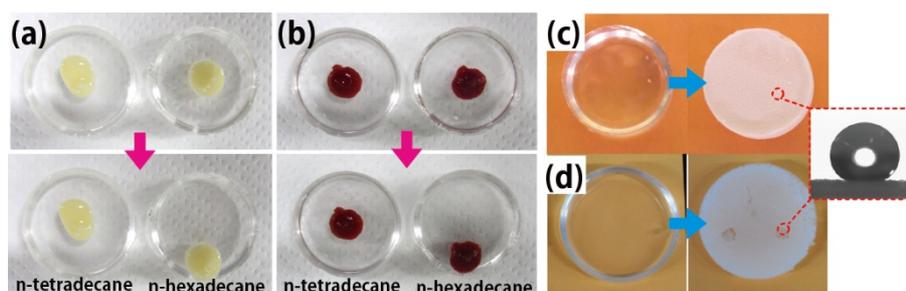


Fig.1 Anti-sticking behavior of viscous liquids (a: mayonnaise and b: ketchup) on the slightly tilted organogels. Spontaneous formation of superhydrophobic surfaces on the organogels using (c) ODS and (d) tristearin as organic phases.

次に、超撥水性表面を自発的に形成する *n*-ocatadecyltrichlorosilane (ODS) やトリステアリンを有機相に用いてオルガノゲルを作製した。これらの有機相は PDMS 前駆溶液に直接溶解させることが困難であったため、イソセタンおよびトルエンをそれぞれ用いて樹脂内部へ導入した。得られたオルガノゲルを大気中に放置すると表面が白化した。この表面は水滴接触角が 150° 以上となり、表面に静置した水滴は僅かな傾きで滑落した。このオルガノゲルを切断して断面を観察すると、白化部位は表面のみであり、内部は透明のままであった。これより、オルガノゲル表面近傍に離漿した有機相のみが超撥水表面の形成に寄与したものと考えられる。この切断片をさらに放置すると透明部位も白化し切断面は再び超撥水性を示した。このように、オルガノゲルの離漿現象を利用し、生物の分泌機能を人工的に再現することで、難付着性能、防汚性や機能再生に優れた固体表面を作製することが可能となった。今後、実装基板の耐食性向上を目指し、防錆剤を自己分泌する機能を持った皮膜の開発を進める予定である。

参考文献

(1) Urata, C.; Dunderdale, G. J.; England, M. W.; Hozumi, A. *J. Mater. Chem. A* **2015**, *3*, 12626.

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：syuji.fujii@oit.ac.jp

研究キーワード：微粒子、リキッドマール、粘着



応力応答性粉末状粘着剤の創出

Synthesis of Pressure-sensitive Adhesive Powder

アブラムシの中に、自ら排出する蜜（甘露：高粘度液体）の液滴表面を固体ワックス粒子で覆うことでリキッドマール（気中液滴型分散体）を作製するものがある⁽¹⁾。この生物が持つ技術を利用することで、高粘度液体の粉末化が実現可能になり、ハンドリングが容易になることが期待できる。近年、物理化学の分野において、リキッドマールの物性を中心に活発に研究が行われている⁽²⁾。また最近、リキッドマールを微小反応容器として利用する研究が始まっており、内部液中で細胞培養、血液型診断反応を行う研究例が報告されている。しかしながら、これまでに、リキッドマールを基材として材料化学の観点から機能性材料創出を試みる研究はほとんどなされていない。

このような背景のもと発表者は、サブセルラーサイズの高分子微粒子が気液界面に吸着することにより、大気中でリキッド

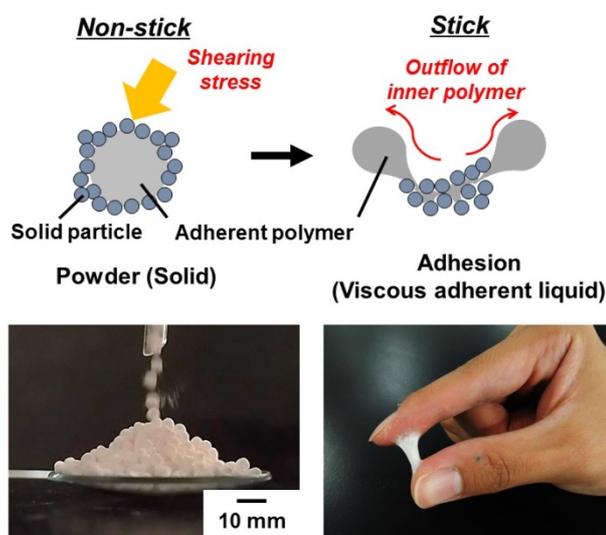


Figure 1 Schematic representation of pressure-sensitive adhesive powder consisting of particles with soft sticky polymer core and hard nanoparticle shell morphology. After application of shearing stress, adhesion property appeared because of outflow of inner soft polymer from the hard particles shell. Digital images of such PSA materials are also shown. The PSA shows no adhesion in its original form and flows like a powder. Only after application of shear stress it shows its adhesion nature. Adhesion is induced by rapture of the nanoparticle coating on the powder and outflow of inner soft polymer.

マーブルの安定化が可能であることを見出し、高分子が有する特長（フィルム形成能、刺激応答性）を活かしたリキッドマーブルの材料化学に関する研究を、世界に先駆けて展開している⁽³⁾。また発表者は、高粘度液体である粘着性高分子の合成および粘着性評価についても研究蓄積を行っている⁽⁴⁾。

上記の背景のもと、高粘度液体である蜜を内部液にしてリキッドマーブルを作製するアブラムシの技術に倣い、高粘度液体である粘着剤を内部

液として含んだリキッドマーブルを作製することで、粘着剤の粉末化が可能になるとの着想に至った。

本研究では、まず、粘着性高分子微粒子水分散体の液滴表面を、疎水的表面を有する微粒子乾燥粉体で覆うことで、リキッドマーブルを作製する。次いで、リキッドマーブルから内部水を蒸発させることで、固体微粒子が粘着性高分子表面に吸着した粉末状粘着剤を創出する。さらに、粉末状粘着剤の構造・粘着力の応力応答性について精査し、粘着性発現メカニズムの解明を行う。

References

- (1) a) Akimoto, S. *Insecta Matsumuran A* **1983**, 27, 37-106. b) Pike, N. *et al.*, *Proc. R. Soc. Lond. B* **2002**, 269, 1211-1215.
- (2) a) Aussillous, P.; Quéré, D. *Proc. R. Soc. A* **2006**, 462, 973-999. b) Fujii, S.; Murakami, R. *KONA Powder Particle J.* **2008**, 26, 153-166.
- (3) a) Dupin, D. *et al. J. Am. Chem. Soc.* **2009**, 131, 5386-5387. b) Fujii, S. *et al. Soft Matter*, **2010**, 6, 635-640. c) Fujii, S. *et al. Langmuir* **2011**, 27, 8067-8074. d) Fujii, S. *et al. Macromolecules* **2012**, 45, 2863-2873. e) Ueno, K. *et al. Langmuir* **2014**, 30, 3051-3059.
- (4) a) Nakamura, Y. *et al. J. Adh. Sci. Tech.* **2014**, 28, 1895-1906. b) Shitajima, K. *et al. J. Adh. Sci. Tech.* **2015**, 29, 609-624. c) Yamamoto, Y. *et al. Polymer* **2015** in press

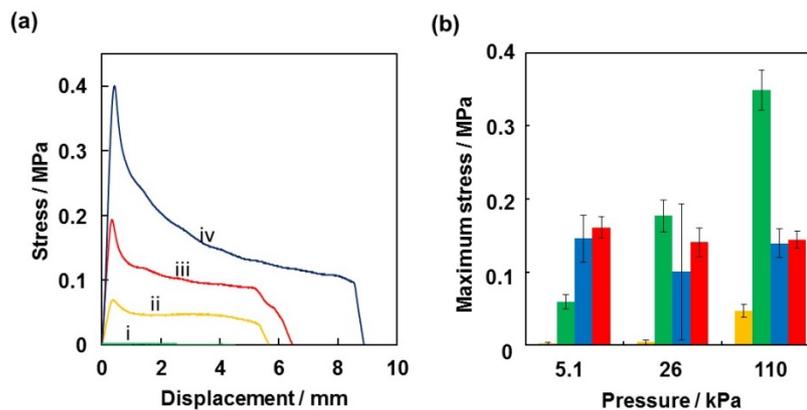


Fig. 2. (a) Stress-displacement tack curves obtained for PSA liquid marble: (i) before and (ii-iv) after kneading. Pressure applied to PSA liquid marbles: (i, ii) 5.1, (iii) 26 and (iv) 110 kPa. (b) Relationship between pressure applied to PSA materials and maximum stress in tack measurement. Samples: Liquid marble PSA (left bar) before and (left center bar) after kneading, (right center bar) PBA latex film with a thickness of 45 μm and (right bar) commercially available PSA tape (Scotch[®] Magic[™] Tape 810)

所属班：B01-4班

所属機関：京都大学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：フェロモン，化学受容，聴覚センサ，乾燥耐性



生物における「サブセルラー・サイズ構造」の機能解析

Functional analysis of subcellular structures in Insects and Plants

1. 昆虫-昆虫相互作用

ガ類昆虫におけるフェロモンブレンドの受容機構の解明と数理モデルの構築を目指し、2～4成分でそれぞれ異なる構成比率から成るフェロモンブレンドを利用するガ類から性フェロモン受容体の同定を試みた。それらのうち、2成分系を利用するヒメアトスカシバ (*Nokona pernix*) から各成分に対する性フェロモン受容体を同定し、触角上で各受容体を発現する嗅覚受容細胞 (ORN) の割合がフェロモンブレンドの構成比率とほぼ一致することを示した。この結果に基づき、他のガ類について性フェロモン成分に反応を示す ORN の割合を比較したところ、フェロモンブレンドの構成比率と ORN の割合に正の相関があることを示した。また、4成分系のフェロモンブレンドを利用するキマエホソバ (*Eilema japonica*) を対象に、RNAseq による網羅的な遺伝子発現解析を実施し、オス特異的に発現する4種類の性フェロモン受容体候補遺伝子を単離した。各受容体遺伝子の発現量を推定した結果、各性フェロモン受容体候補遺伝子は、オス触角でそれぞれ異なる割合で発現していることが分かった (Fig. 1)。

現在、これら受容体候補の各性フェロモン成分に対する応答の取得を実施している。今後、4成分系のフェロモンブレンドの受容機構の解明を進める。

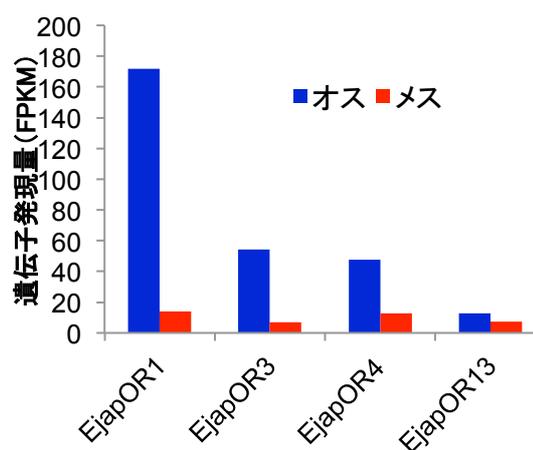


Fig. 1 Expression levels of sex pheromone receptor candidates in antennae of a lichen moth, *Eilema japonica*.

2. 植物-昆虫相互作用

植物-昆虫の相互作用の研究において、昆虫の振動受容に注目してきた。昆虫の聴覚器は脊椎動物とは全く異なる進化の道筋を経て、音検出のための鼓膜という同一のインターフェースを生み出した⁽¹⁾。コオロギの鼓膜器官は200 μm のサイズで、500 Hzから超音波(50 kHz)にいたる広い可聴域を持つ動物界最小・高性能の聴覚センサである。生物模倣の原点は対象の「かたち」と「はたらき」の理解にある。まず、多重染色を施したサンプルの非侵襲的な共焦点観察を行った結果、鼓膜、気管(trachea)、付着細胞(attachment cell)、感覚細胞(sensory neuron)が精妙に配置されたテント状の複合体を形成すること(Fig. 2)、約70個の感覚細胞が脛節の長軸に対して斜めに配置された省スペース設計となっていること、感覚細胞列は厚さ1 μm の極めて薄い膜によって、体液とは異なる流体(聴覚リンパ液)に満たされていることを明らかにした(Fig. 3B)。そして、最も重要な発見として気管と流体の間に半透明のキチン質の円盤体が介在していることを発見し、これを上皮コア(epithelial core)と命名した(Fig. 3)。この上皮コアは気管で増幅された音のエネルギーを流体に伝え、進行波を生み出すのに重要な働きをすると考えている。今後は、原子間力顕微鏡(AFM)を用いた鼓膜器官のサブセルラー領域の*in vivo*粘弾性計測や共振周波数の測定、聴覚リンパ液のイオン組成や聴覚器官の周囲に特異的に存在する脂質に富む組織(olivarius organ)の化学組成についての研究を多面的に進める。

一方、チョウ目ヤガ科ハスモンヨトウに食害されたダイズ葉にはフラボン類、イソフラボン類が蓄積する⁽²⁾。この誘導性化合物は葉表面の毛茸(トライコーム)にも蓄積することを明らかにした。ハスモンヨトウに抵抗性品種(IAC100)でも同様な現象を認め、毛茸を抜いた葉を用いた実験から、毛茸に蓄積する化学物質がハスモンヨトウ抵抗性に深く関わっていることを見出した。

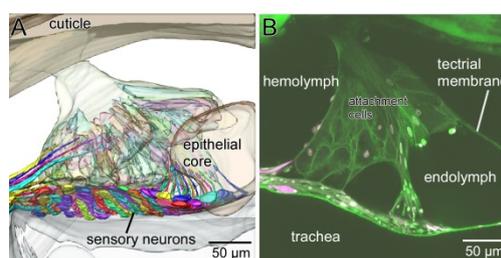


Fig. 2 Structure of cricket tympanal organ

参考文献

- (1) 西野浩史・渡邊英博、昆虫と自然、2015、印刷中
- (2) S Mutrakami & N Mori et al., Metabolites, 4: 532-546 2014

所属班：B01-4班

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

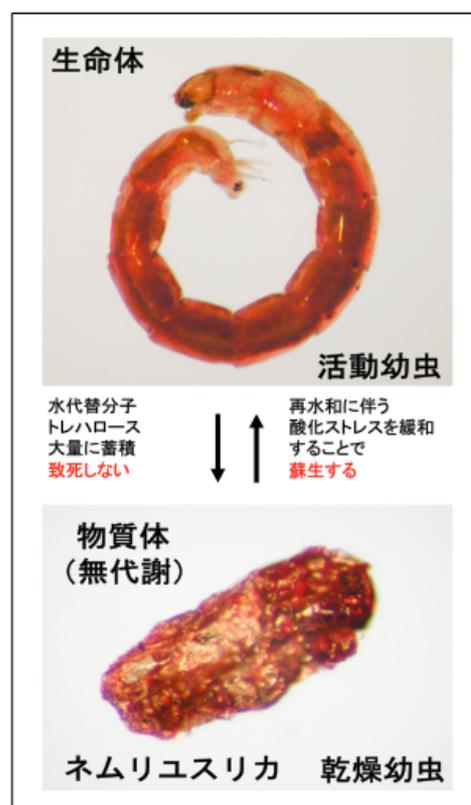
研究キーワード：極限環境、乾燥耐性、培養細胞、
常温保存、ガラス化



培養細胞の常温保存への挑戦： ネムリユスリカの乾燥耐性機構から学ぶ

Dry-preservation of cell lines inspired by a desiccation tolerant Sleeping Chironomid, *Polypedilum vanderplanki*

細胞を長期的に保存する場合は、冷凍保存が常法となっている。この方法はディープフリーザーなど設備費、電気代や液体窒素代の維持費が大きな負担となる。近年になって維持費のかからないフリーズドライによる常温保存技術が注目されているが、この手法には、高度な技術や特殊な装置が必要であることや、すべての細胞には応用が困難であること等の制約がある⁽¹⁾。本課題は極限的な乾燥耐性のある生物を模倣しての「簡便な自然乾燥法による培養細胞の常温保存法」の確立を目指す。ほとんどの生物およびその細胞は50%以上の脱水で致死するが、*Artemia* やクマムシ、本課題の実験材料であるネムリユスリカ(右図)などは、脱水に伴い水の代替分子であるトレハロースという糖やLEAタンパク質等を大量に合成し、それら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(クリプトビオシス)に入ることができる⁽²⁾。これまでにトレハロースやLEAタンパク質を用いた細胞の常温保存は世界中で試みられているものの成功には至っていない。本課題では、ネムリユスリカ同様優れた乾燥耐性能力を有するネムリユスリカ由来培養細胞(Pv11)を用いて、その常温保存技術の確立と共にその仕組みを模倣しての乾燥耐性を持たない培養細胞の乾燥耐性の付与を試みる。



Pv11 細胞を高いトレハロース溶液 (600mM) 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 (図1)、さらに改良を加え、より簡便な乾燥方法を構築した。この前処理によって乾燥耐性に関わる因子の発現誘導が起こっていることが確かめられた。特に培養細胞の乾燥耐性付与に貢献する因子については、乾燥に伴う Pv11 の微細構造の解析 (TEM) やゲノム解読等によって厳選することができた⁽³⁾。乾燥および再水和に伴い大きな酸化ストレスが発生することがこれまでの研究で判明しているので、具体的な方法としては、酸化ストレスによってある程度 DNA 損傷が生じても致死しない昆虫細胞(Sf9)を用いて上記の有力な候補因子を導入することで乾燥耐性の付与を試みた。今回は、Sf9 に欠けていて Pv11 が特異的に持つ因子の中から特に重要な機能を持つ候補因子を選抜したのでそれを紹介する。

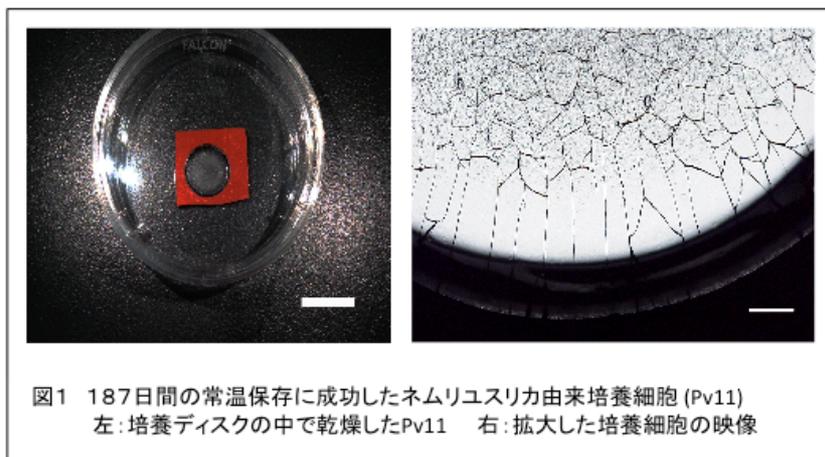


図1 187日間の常温保存に成功したネムリユスリカ由来培養細胞 (Pv11)
左: 培養ディスクの中で乾燥したPv11 右: 拡大した培養細胞の映像

乾燥および再水和に伴い大きな酸化ストレスが発生することがこれまでの研究で判明しているので、具体的な方法としては、酸化ストレスによってある程度 DNA 損傷が生じても致死しない昆虫細胞(Sf9)を用いて上記の有力な候補因子を導入することで乾燥耐性の付与を試みた。今回は、Sf9 に欠けていて Pv11 が特異的に持つ因子の中から特に重要な機能を持つ候補因子を選抜したのでそれを紹介する。

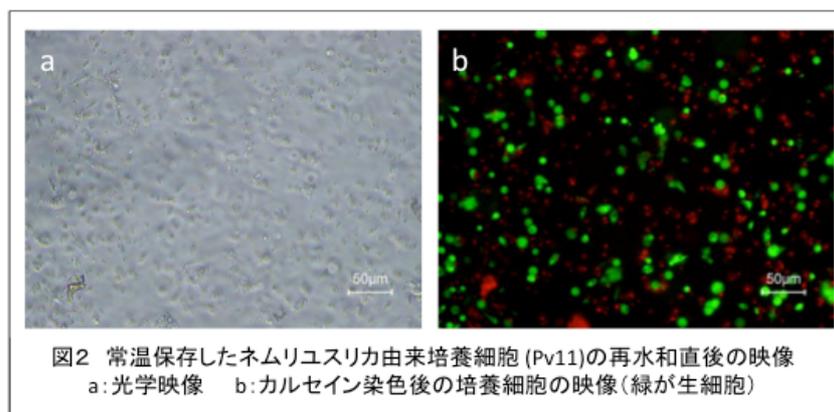


図2 常温保存したネムリユスリカ由来培養細胞 (Pv11)の再水和直後の映像
a: 光学映像 b: カルセイン染色後の培養細胞の映像 (緑が生細胞)

参考文献：

- (1) Loi P. et al. *TRENDS Biotech.* **2013** 31:688-695
- (2) Sakurai M. et al. *PNAS.* **2008** 105:5093 -50987
- (3) Gusev. O. et al. *Nat. Commun.* **2014** 5:4784 doi: 10.1038/ncomms5784

所属班：B01-5班

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



生物規範飛行メカニクス・システム —スケーリング法則, バイオメカニクス及びバイオミメティクス—

Bioinspired mechanical system: scaling laws, biomechanics and biomimetics

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流動性と波動性に関する新しいスケーリング法則を適用することにより、「生物マルチスケール・メカニクス」という新学理の創出を目指すとともに、生物飛行統合力学シミュレータの確立及び昆虫規範型ロボットや流体機械の開発などバイオミメティクス・デザイン指針の創出を目指す。

これまでは、昆虫羽ばたき飛行の飛行力学・流体力学・材料力学・飛行制御・運動最適化を統合した生物飛行統合力学シミュレータと、生物飛行と生物規範型飛行ロボット・流体機械の流体力学性能を測定・検証可能な世界トップレベルの回流型超低速風洞と DPIV 流体計測システムの開発に成功した(下図)。これらにより蛾やハチドリは精巧な構造により柔軟翼の受動的な変形(曲げ、ねじり及びキャンバー)が効率的に空気力を発生させることを明らかにした。これらの柔軟翼の慣性力と流体力の力学場による受動的な変形が昆虫や鳥の幅広いサイズに亘って普遍的な規則を示唆する。生物柔軟翼の受動的変形機能を規範とした柔軟伸縮皺フィルム人工翼の開発¹⁾に成功した。一方、生物翼の優れた空力性能(渦の発生・制御、柔軟構造)や静音構造(渦制御や騒音抑制)とロバスト性を流体機械に応用することを目指す千葉大学・産学連携型共同研究講座「次世代生物規範型流体機械の研究開発」を設立し、革新的な流体機械バイオミメティクス・デザインの研究開発では、高効率・高ロバスト性を有する生物規範型水平軸風車の開発²⁾に成功した。



図 1 超低速回流型風洞とステレオ DPIV 流体計測システム

本領域会議では、生物羽ばたき飛行における流動性と波動性に関する運動、力学及びエネルギーに対してスケーリング法則を導入し得られた普遍的な生物運動原理、フクロウ翼表面セレーシオン構造のバイオメカニクス、そして鳥翼を規範とした風車翼のバイオミメティクス・デザインについて、それぞれの最新結果を報告する。

フクロウ翼表面セレーシオン構造の空力性能・静音効果を解明するために、山階鳥類研究所山崎氏より提供された実フクロウ翼及びそれを再現する人工翼を使用し、風洞試験と PIV 流体計測及びマルチスケール流体解析を実施した。翼表面セレーシオン構造を有するフクロウ翼では、渦流れや wake (伴流) の振動や非安定性が抑制されることにより、明らかな制流効果があること (図2) を明らかにした。更に翼まわりのマクロスケール流れと表面セレーシオン付近のマイクロスケール流れに関するマルチスケール流体解析を行った結果、滑らかな前縁翼よりも、ギザギザな前縁セレーシオン付き翼モデルでは、特に小迎角の場合において前縁渦の発展や剥離が顕著に抑えられ、よく表面流れが安定化されていること (図3) が明らかになった。今後は、さらに鳥類の内部形態、羽毛微細構造を網羅的に調査し、進化生物学の観点からもフクロウ飛翔や独特な翼形状の適応性についても検討を施す予定である。一方、生物規範型風車翼のバイオミメティクス・デザインの研究においては、フクロウなどの鳥翼の形態・形状の曲げや捻り構造に注目し、マイクロ風車を視野に、鳥規範型の小型回転翼を開発し、風洞試験や流体解析及び最適化解析を実施した結果、広範囲における空力性能の高いパワー係数の実現と風向変動に強いロバスト性を確認できた。

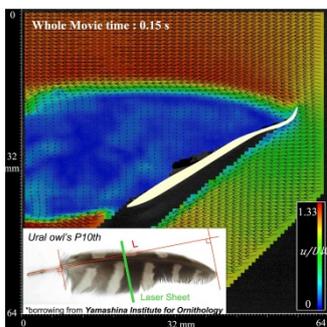


図2 フクロウ翼まわりの PIV 流体計測

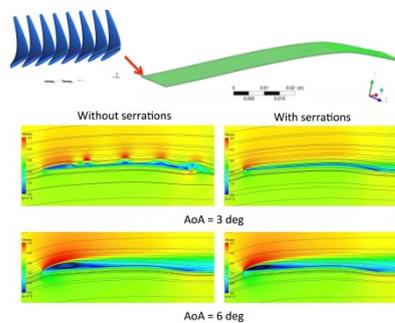


図3 マルチスケール流体解析

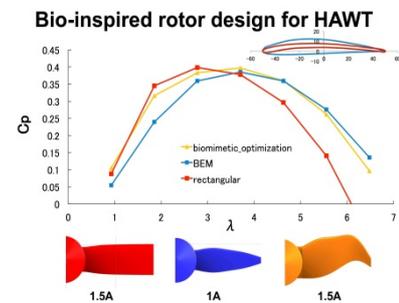


図4 鳥規範型風車翼

参考文献：

- 1) H. Tanaka, H. Okada, Y. Shimasue and H. Liu. Flexible flapping wings with self-organised microwrinkles. *Bioinspiration & Biomimetics*, 2015. (accepted)
- 2) 劉浩, 藤井武夫, 吉村亮祐「風水力機械用ローター」PD134242, 出願日 2014 年 12 月 11 日.

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 CE41-204 元岡西区福岡市

e-mail：kidoaki@ms.ifoc.kyushu-u.ac.jp

研究キーワード：間葉系幹細胞、人工幹細胞ニッチェ、
培養力学場



分化フラストレート幹細胞のメカノシグナルの計測と制御

Characterization and manipulation of mechanosignals on stem cells in mode of frustrated differentiation

再生医療において幹細胞を適切に利用するためには、患者から採取した幹細胞を未分化状態に維持したまま大量に増やしたのち、必要な種類の細胞へ分化させる必要がある。治療に必要な細胞を得る前の段階で、扱っている幹細胞が他の望まぬ種類の細胞へ分化してしまうと有効な治療は行えない。一方、幹細胞は特別な注意の下で扱わなければ容易に自発分化し、その幹細胞性を劣化させる。幹細胞の品質をよく保持した培養技術の確立・拡充は再生医療の促進に対する重要基盤の一つである。

では、幹細胞の品質保持のための培養技術には何が求められるのだろうか？この課題に対する生物規範工学の立場からのアプローチは、生体内においてどのように幹細胞性の保持がなされ得るかを探求し、その原理を生かした培養材料を開発することとなる。すなわち、生体内における幹細胞の周囲環境およびその相互作用系の模倣は重要であり、“人工幹細胞ニッチェ”の設計と幹細胞応答の系統的理解が生物規範工学としての幹細胞操作材料の開発を加速する切り口の一つと言える。

幹細胞の未分化保持培養は主として、分化抑制のための液性因子を培養液に添加することで行われている。このとき幹細胞は通常のプラスチックシャーレやマトリゲルなどに接着させて培養するが、幹細胞の接着培養に関して、培養基材の力学的特性が幹細胞性の変調・制御に重要な影響を与えるとの報告が相次いでいる。例えば、間葉系幹細胞（MSC）は培養基板の硬さに依存した分化系統決定を示し¹⁾、かつその硬さを経験する時間の長さや履歴を記憶する²⁾。また MSC はごく軟らかいゲル上で培養すると休眠状態となり増殖は停止するが、幹細胞性の保持に有効である³⁾。これらの知見は、人工幹細胞ニッチェの設計における材料力学場の重要性を示唆しているが、どのようなニッチェの力学場が幹細胞性の保持しつつ増殖を導く原理的要件となるのかについてこれまでに知見は得られていない。ちなみに文献3における培養は休眠培養であり増殖は示さない。

以上の課題に対して、当研究室では幹細胞の未分化維持・増殖の原理として、『幹細胞分化フラストレーション』仮説を独自に提唱し、その誘導のための基材設計と現象の実証に取り組んできた。『幹細胞分化フラストレーション』とは、培養中の幹細胞に運動の過程で基材弾性率によるメカノシグナルの振動的入力を強制するとき現れると期待される未分化維持培養モードを指す。これまでに異なる細胞種への分化を誘導する硬領域と軟領域を交互に配置した弾性ストライプパターンゲル上で MSC の未分化保持を確認している。この知見は、幹細胞への外部力学場からのメカノシグナルの振動入力に誘起される、細胞内プロテオミクスの振動状態が幹細胞性の起源である可能性を示唆するものである。MSC の幹細胞分化フラストレーション現象の検証は進みつつあるが、幹細胞性保持の実証を固めるうえではこの現象の直接の根拠となる細胞内メカノシグナルの振動の発現を実証する必要がある。本研究では分化フラストレーション幹細胞のメカノシグナルの振動の検証を行った。分化フラストレーション状態にある間葉系幹細胞の牽引力の経時変化を解析し（牽引力顕微解析; Fig.1）、メカノシグナルの長周期振動を確認した (Fig.2)。分化フラストレーション現象の基礎としてのメカノシグナルの振動の実態について報告する。

参考文献

- (1) Engler, A.J.; Sen, S.; Sweeney HL.; Discher, DE. *Cell*, **2006**, 126, 677-689.
- (2) Yang, C.; Tibbitt, MW.; Basta, L.; Anseth, KS. *Nature Material*, **2014**, 13, 645-652.
- (3) Winer, JP.; Janmey, PA.; McCormick, ME.; Funaki, M. *Tissue Engineering*, 2009, **15**, 147- 154.

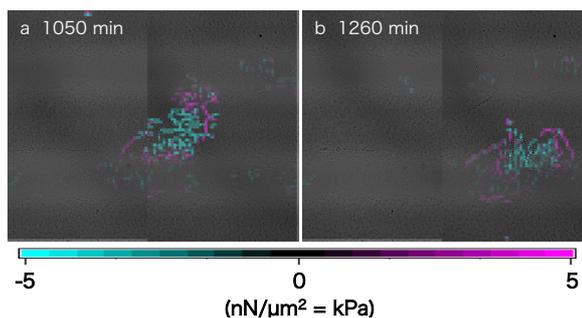


Fig.1. Traction force images on 15/80 kPa stripe patterned gel. MSC on a) hard band and b) soft band.

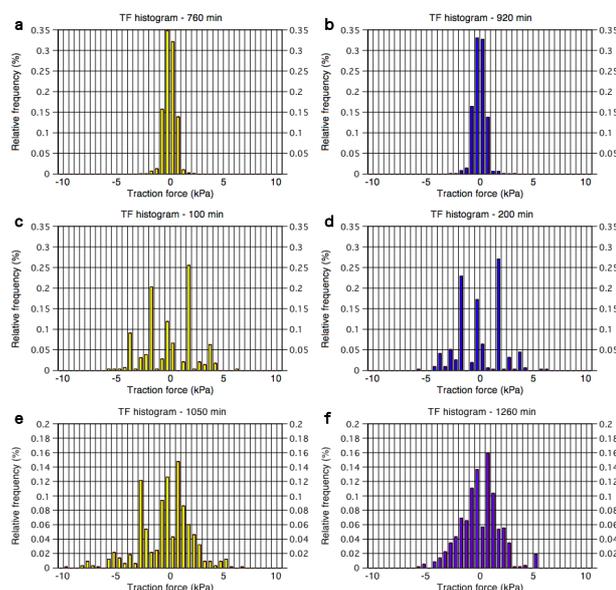


Fig.2. Traction force histograms of MSC on (a, b) 10kPa and (c, d) 60 kPa, 15/80kPa stripe patterned gel.

所属班：公募班

所属機関：金沢大学 人間社会研究域

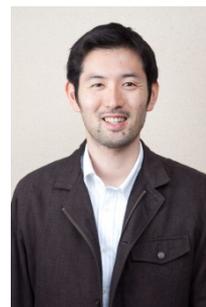
地域創造学類環境共生コース／大学院人間社会環境研究科

氏名：香坂 玲

所属機関住所：920-1192 金沢市角間町

e-mail：kohsaka.seminar@gmail.com

研究キーワード：特許



生物規範工学での学域での研究・活動 今年度計画と来年度の計画

Biomimetics and Intellectual Property Rights: Current and Future Plan

1. はじめに

社会実装を進める上で障害となる。そこで、このギャップを埋め社会実装を円滑に進めるために、バイオミメティクスの展開に伴う社会関与を分析する。今年度は具体的には、以下の三課題に重点的に取り組む：

- (1) 実装に向けエンジニア/科学者の再架橋 特許の動向とデータベースの連動（再架橋）
- (2) ISO 等の企業・行政による規格・標準化の効果を評価（規格化）
- (3) 社会に科学的な概念と機能をどう伝え広く普及させるのか？デルファイ、バックキャストリング、参加型シナリオ構築等 複数の手法の評価（普及）

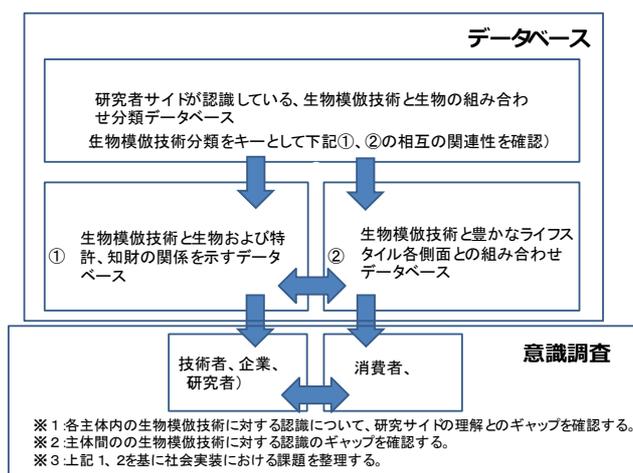


Fig.1 研究計画の全体像

本稿では、まず生態模倣というキーワードが登場する特許について日米の検索結果を表示する。再架橋、規格化については、2015年10月に京都で開催される技術委員会(TC)での交渉・情報発信のため、本領域内のエンジニア・科学者の対話、領域外の研究・企業・行政

とのヒアリング結果に基づいて、分野ごとのガイドラインの策定の可能性等を模索する。ドイツの Frank Ebinger ニュルンベルク大教授(ISO)とも連携する。

II. 特許出願の主体と内容

特許データベース（HYPAT-i、HYPAT-i2）で、国内データに関しては「生物模倣」を、米国データに関しては「biomimetics」をテキスト中に含む特許を検索した。検索にヒットした特許に関して、(1) 筆頭出願人・権利者別の特許保有件数 (2) 国際特許分類（IPC）による技術内容の分類別の該当数を集計した（国内は 48 件、米国は 217 件）。

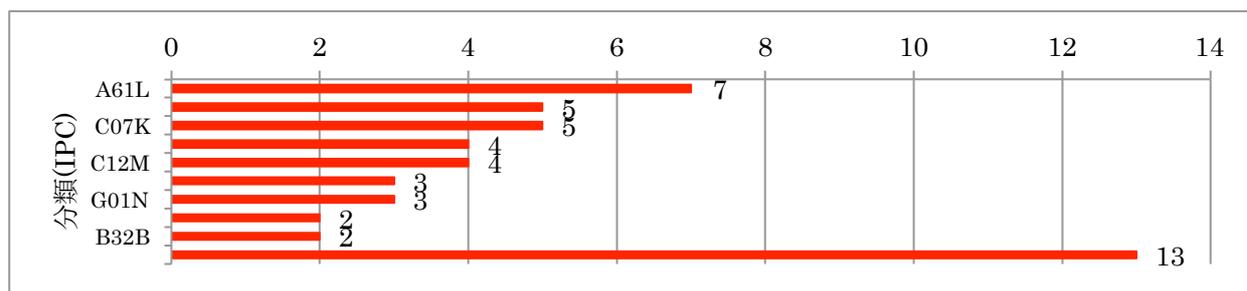
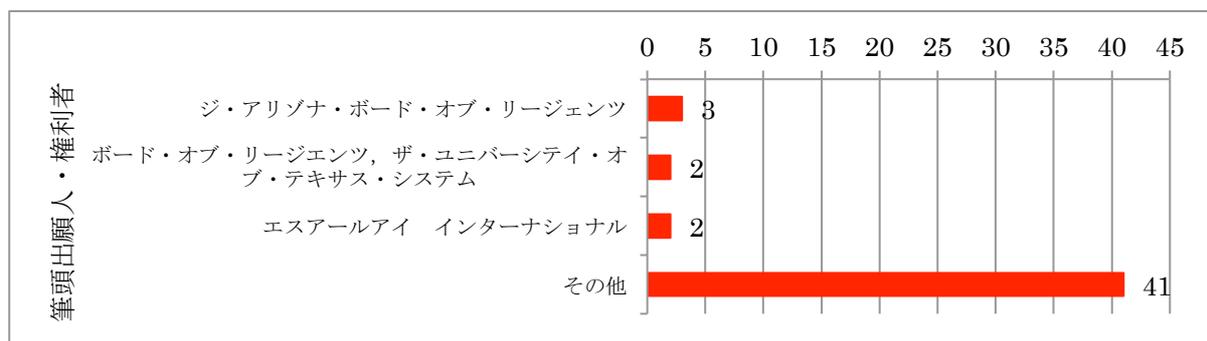


Fig.2 (上) 筆頭出願人・権利者別特許件数 (国内, 1983年~, 総計 48 件)

Fig.3 (下) 分類別特許件数 (国内, 1983年~, 総計 48 件)

医学・獣医学・衛生学(A61)、有機化学(C07)、生化学・ビール・酒精葡萄酒・酢・微生物・酵素学・突然変異・遺伝子工学 (C12) などの領域が多いことが、日米に共通した傾向であることが示唆されており、今後の分析を進める。

参考文献

- (1) Kohsaka, R. The Negotiating History of the Nagoya Protocol on ABS: Perspective from Japan *Journal of Intellectual Property Association of Japan* 2010 9, 1, 56-66
- (2) 香坂玲 (編) (2012) 「知っておきたい知的財産活用術」 ぎょうせい

謝辞

DBJ キャピタル株式会社山口泰久取締役投資部部長には特許調査について貴重なご示唆をいただいた(2015/5/18)。資料作成には内山愉太、熊本真一郎氏の協力を得た。