３月３日（木）　　非公開

科学研究費「生物規範工学」全体会議／JAMSTEC 合同講演会

会場：沖縄県市町村自治会館　４階 第７会議室
（沖縄県那覇市旭町 116-37）

09:15-09:20　領域代表　**下村 政嗣** (千歳科学技術大学)
09:20-09:35　A01 班班長　**野村 周平** (国立科学博物館)
「バイオミメティクス・データベース構築―2015 年度後半の取り組み」
09:35-09-50　A01 班　**溝口 理一郎** (北陸先端科学技術大学院大学)
「オントロジーの拡充と高機能化」
09:50-10:05　B01-1 班班長　**大園 拓哉** (産業技術総合研究所)
「シワ構造のトライボロジー」
10:05-10:20　B01-1 班　**野方 靖行** (電力中央研究所)
「流水条件下における生物付着評価方法の開発への取り組み」
10:20-10:35　B01-2 班班長　**針山 孝彦** (浜松医科大学)
「サブセルラーサイズの生物表面研究の重要性
ー多機能な生存戦略を学んで，ものづくりに」
10:35-10:45　　休憩
10:45-11:00　B01-3 班班長　**細田 奈麻絵** (物質・材料研究機構)
「班間連携による魚類の吸盤に関する研究」
11:00-11:15　B01-3 班　**松尾 保孝** (北海道大学)
「新しい実装技術に向けたバイオミメティクス表面の開発」
11:15-11:30　B01-4 班班長　**森 直樹** (京都大学)
「生物規範環境応答・制御システム」
11:30-11:45　B01-5 班班長　**劉 浩** (千葉大学)
「生物羽ばたき飛行の受動的な制御」
11:45-12:00　B01-5 班　**木戸秋 悟** (九州大学)
「がん細胞の運動表現型診断のための
弾性率可変マイクロファイバーゲルマトリックス」
12:00-13:00　　昼食
13:00-13:15　C01 班班長　**石田 秀輝** (東北大学・地球村研究室)
「光り輝く未来を創るために」
13:15-13:30　C01 班　**小林 秀敏**（大阪大学）
「心豊かなライフスタイルとテクノロジーを繋ぐデータベースの構築」
13:30-14:10　特別講演１　**辻井 薫 先生**（辻井先生の古希祝いを記念）
「超撥水現象の温故知新-私の研究と生物の超撥水-」
14:10-14:50　特別講演２　**赤松 友成 先生** (水産総合研究センター)
「海洋生物に学ぶセンシングとコミュニケーション」
14:50-15:20　　休憩（会場設置・ポスター発表準備）
15:20-16:50　ポスター発表を中心にした JAMSTEC と合同の成果発表会
18:00　懇親会
ヘリオスパブ国際通り店（那覇市牧志１丁目２−２５）

ポスター発表を中心にした JAMSTEC と合同の成果発表会

01　A01 班　篠原 現人（国立科学博物館）
「魚類に関するバイオミメティクス・データベース構築」

02　B01-1 班　小林 元康（工学院大学）
「生物微細構造を規範とした材料表面改質とその特性」

03　B01-2 班　不動寺 浩（物質・材料研究機構）
「低環境負荷の構造色塗工プロセス」

04　B01-3 班　佐藤 知哉，浦田千尋，穂積　篤（産業技術総合研究所）
「イオン液体を用いた SLUG の開発」

05　B01-4 班　光野 秀文（東京大学）
「ガ類の受容体によるフェロモンブレンド検出機構の解明」

06　B01-5 班　安藤 規泰（東京大学）
「昆虫の羽ばたき飛行における胸部構造の変形とその制御」

07　C01 班　古川 柳蔵（東北大学）
「心豊かな暮らし方のか・た・ち を創るテクノロジー」

08　公募 01　森本 元（山階鳥類研究所）
「インコ類の混色による非虹色構造色」

09　公募 03　桑折 道済，河村 彩香（千葉大学大学院工学研究科）
「メラニン顆粒から着想した粒子を用いる構造色材料」

10　公募 04　前田 義昌（東洋農工大学）
「珪藻細胞壁の微細構造が生み出す
栄養取り込み機能の解明と物質拡散制御材料への応用」

11　公募 05　山本 拓矢（北海道大学）
「環状両親媒性高分子の自己組織化によるベシクル構築とゲスト包摂」

12　公募 06　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」

13　公募 07　安井 隆雄（名古屋大学）
「セミの翅の物理的防御機構を模倣した機能性ナノデバイスの創製」

14　公募 08　津守 不二夫（九州大学）
「磁性粒子分散ゴムを用いた人工繊毛の開発」

15　公募 09　玉川 雅章（九州工業大学）
「好中球（白血球）に学ぶ微粒子の濃度勾配駆動水中推進」

16　公募 10　藤井 秀司（大阪工業大学）
「粉体状粘着剤」

17　公募 11　椿　玲未（海洋開発研究機構）
「カイメンー二枚貝集合体の立体構造解析」

18　公募 12　香坂 玲（金沢大学）
「バイオミメティクスの社会実装に向けた特許と論文発表件数の関係性の考察」

19　JAMSTEC　津留 美紀子（海洋開発研究機構）
「3D コンフォーカル顕微鏡による生物表面の観察」

20　JAMSTEC　保坂 美沙子（海洋開発研究機構）
「成長に伴うヨワカイメンの濾過機能の変化」

21　JAMSTEC　山本 美希（海洋開発研究機構）
「海洋生物の持つ切削器官は最適か」

3月4日（金）　　公　開

公開ジョイントシンポ“海洋資源メッカ沖縄で考えるバイオミメティクス”

会場：沖縄県市町村自治会館　4階 第4〜6会議室

09:15-09:20　領域代表　**下村 政嗣**(千歳科学技術大学)

テーマその1　海洋資源とバイオミメティクス

09:20-10:00　招待講演1　**金本 昭彦 先生** (オーピーバイオファクトリー株式会社)
「海洋生物資源を活用した事業展開」

10:00-10:40　招待講演2　**白山 義久 先生** (海洋研究開発機構)
「海洋生物の自然史学に学ぶバイオミメティクス」

10:40-10:50　休憩

10:50-11:30　招待講演3　**松浦 啓一 先生** (国立科学博物館)
「新種のフグが作るミステリーサークル：魚の「建築」技術を探る」

11:30-12:10　招待講演4　◯**西田 睦　先生**（琉球大学),
馬渡 駿介 先生 (北海道大学名誉教授)
「国立自然史博物館はバイオミメティクスのメッカ！？」

12:10-13:10　昼食

13:10-13:50　招待講演5　**佐藤 圭一 先生** (沖縄美ら島財団　総合研究センター)
「沖縄美ら海水族館が創り出す多様な資源とその活用」

テーマその2　自己組織化とバイオミメティクス　「良い加減さの起源」

13:50-14:30　招待講演6　**都甲 潔 先生** (九州大学)
「生体模倣技術を用いた味と匂いを測るセンサ開発」

14:30-14:50　講演1　**尾崎 まみこ 先生** (神戸大学)
「匂いで良い加減を知る？アリの巣仲間センシング」

14:50-15:00　休憩

15:00-15:20　講演2　**室崎 喬之 先生** (旭川医科大学)
「フジツボの抗付着に適した「良い加減」な表面微細構造」

15:20-15:40　講演3　**吉岡 伸也 先生** (東京理科大学)
「昆虫の表面構造における『良い加減さ』」

15:40-16:00　講演4　**山濱 由美 先生** (浜松医科大学)
「眼の構造における『良い加減さ』　水棲生物の場合」

３月５日（土）　　非公開

フィールドワーク

会場：漫湖水鳥・湿地センター (沖縄県豊見城市字豊見城 982)

漫湖というラムサール条約にも登録された湿地で，観察用の施設を併設しているため安全に観察できます。さらに小規模ながらマングローブもあるため，マングローブ特有の貝類や魚類なども観察できます。那覇中心部からも 3km 程度と非常にアクセスが良く，水鳥の飛来地としてよく知られている湿地ですので，おそらくほぼ確実に本州では見られない野鳥を観察できると期待されます。
http://www.manko-mizudori.net/

10:30 漫湖水鳥センター集合

鳥類に関するセミナー
10:30-11:00 「鳥類の飛翔」　東工大　田中博人先生
11:00-11:30 「渡り鳥の生態」山階鳥類研究所　森本元先生
11:30-12:00　ディスカッション
12:00-13:00　テラスまたはレクチャールームで昼食
14:00　　終了予定

所属班：A01-1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：データベース，SEM画像，生物多様性，ナノスーツ，昆虫

A01-1 班：バイオミメティクス・データベース構築 —2015 年度後半の取り組み

Part A01-1: Database Building for Biomimetics -Works in the later half of 2015

1. A01-1 班研究の概要

当研究計画班における研究内容は，バイオミメティクスを推進する工学系研究者に「気づき」をもたらす可能性のある生物構造に関するデータを収集し，初学者でも容易に必要な情報を取り出すことのできるデータベースを構築することである。そのために，当班は大きく生物系と情報系に分かれ，生物系は昆虫を担当する野村小班と，魚類を担当する篠原小班，情報系は画像検索を担当する長谷山小班と，オントロジーを担当する溝口小班とに分かれて，それぞれ研究内容を分担している。

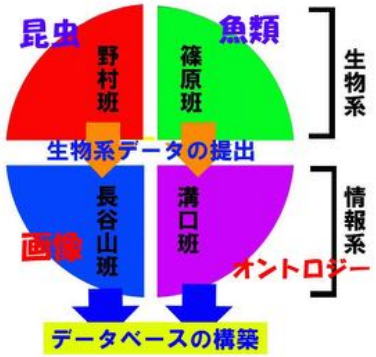


Fig. 1. Composition of the A01-1 team in 2015-2016.

生物系では 2012～2014 年度において，合計約 20,700 点（昆虫 16,000 件，鳥類 1,500 件，魚類 3,200 件）の生物 SEM 画像，デジタルマイクロスコープ画像約 600 件（魚類のみ），X 線 CT 画像約 600 件（鳥類のみ）およびマルチスペクトル画像約 600 件（鳥類のみ）を収集し，情報系担当小班に提出した。また，テキスト情報についても約 450 分類群（昆虫 160，鳥類 160，魚類 130）について収集した。

2012～2014 年度において，当班は５小班体制で，生物系は３小班（昆虫，鳥類，魚類）であったが，鳥類担当の山崎小班が B01-5 班へ移動となるに伴い，2015 年度以降は，生物系２小班体制にて活動を継続している。

2. 2015 年度後半の取り組み

今年度 A01-1 班では，これまでに集積した生物系データに加え，昆虫では 98 サン

プル 2,762 件の画像データおよび，約 90 タクサのテキストデータを追加した。魚類では 54 サンプル 1,417 件の画像データと，102 タクサのテキストデータを加えた。

長谷山小班では，これまでに集積された生物系データを元に画像検索システムを製作し，領域内各班から参加者を募って，このシステムを使ってみる演示会を２回実施した。溝口小班でも生物系用語のオントロジーを製作し，データベース機能の強化を図っている。

来年度初頭（2016.4.19-6.12）に国立科学博物館上野本館で企画展「生き物に学び，くらしに活かす―博物館とバイオミメティクス」を開催すべく，領域内各班及び関連の企業等の協力を仰ぎ，準備を進めているところである。また国立科学博物館叢書での一般向け関連書籍『生物の形や能力を利用する学問―バイオミメティクス―』（東海大学出版会）の出版に向けて作業を進めている。

3．生物画像データの高度化

当計画研究班の生物系２小班では，昆虫や魚類の SEM 画像や CCD 画像を集積して，バイオミメティクス・データベースのデータ面での充実を図っている。しかし，これらの画像については生体機能との関連が重要であり，画像自体の質的な高度化が不可欠である。そのため当班では，千歳科学技術大学のナノテク支援事業を利用して，当大学所有の FE-SEM を用いた高倍率 SEM 画像，およびナノスーツ法を用いた，軟弱あるいは生体組織の SEM 画像を集積して，画像データの高度化を図っている。今期においては，アブラゼミのワックス状分泌物の分泌口（下図Ｂ）や，乾燥による変形のないデカトゲトビムシの鱗片（下図Ｄ）の SEM 画像の撮影に成功した。

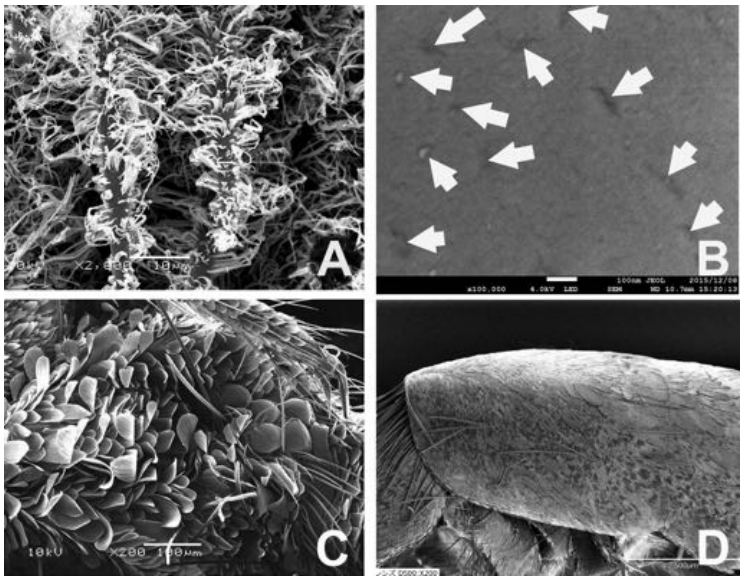


Fig. 2. A, B: cicada, *Graptosaltria nigrofus-cata*; C, D: springtail, *Tomocerus cuspidatus*. A: wax secretion in thorax, x2,000; B: wax secretory pits (white arrows), x100, 000, by FE-SEM; C: thorax dried, x200; D: ditto, by nano-suits,x200.

所属班：A01-1班
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：オントロジー工学，知識処理，オントロジー開発，産業応用，知的学習支援システム

オントロジーの拡充と高機能化

Extension and refinement of the biomimetics ontology

１．　はじめに

オントロジーを担当する溝口小班では，A01-1 班で扱っている生物に関するテキスト情報のオントロジー開発とそれを用いたバイオミメテックスデータベースの高度利用法に関する研究，並びに C01 班との共同研究を行っている。以下では，前者に重点を置いてその成果の概要を述べる。

２．　オントロジーの自動構築技術

以下の２つのアプローチによるオントロジーの自動構築技術を開発した。１）専門書の全本文を対象とし，テキストマイニング（自然言語処理）技術により，オントロジーに追加する「用語，および用語間の関係性」を自動抽出する技術。２）既存のオープンなデータベースから関連する情報を自動抽出する技術。また，C01 班と連携して，機能分解木を用いたバックキャスティング法の体系的分解によって，必要な技術要素の洗い出しをする方法の提案と試行を行い，有効性を確認した。

３．　オントロジー強化型シソーラス

オントロジー強化型シソーラス(以下，OET)は，生物に倣って新材料設計をしようとしている工学者が，生物が関連する機能を実現している巧妙なやり方などの有用な情報を見つける作業を支援するために開発されたツールである。工学と生物の世界はかけ離れているが，オントロジーという，物事の本質的な構造を高い抽象レベルで表現した言葉を使って，工学と生物のように大きく異なるドメインの谷間を埋めようとしている。

OET は人間が連想しながら考える方法に似た動きをする。Fig. 1 に実行例を示す。中心にある「防汚，抗菌塗料」を入力として，その実現に貢献する可能性がある生物種が外周に描画されている。利用者はこの様にして得られた生物種やそれに行き着くまでの連想過程自体をヒントにして，更に良いキーワードを得ることができる[1-2]。

参考文献

(1) 溝口，他：オントロジー強化型シソーラス―工学者のための発想支援型情報検索を目指して，情報管理，Vol.58，No.5，pp.361-371，2015.

(2) K Kozaki, R Mizoguchi: A Keyword Exploration for Retrieval from Biomimetics Databases, Semantic Technology, LNCS 8943, Springer, 361-377, 2014.

謝辞

ここに記した内容は，立命館大学 來村教授と大阪大学産業科学研究所 古崎晃司准教授との共同研究の成果であることを記して感謝致します．

Fig. 1 Snapshot of OET.

所属班：Ｂ０１－１班 生物規範界面デザイン
所属機関：国立研究開発法人産業技術総合研究所
氏名：大園　拓哉
所属機関住所：〒305-8565 茨城県つくば市東１－１－１
e-mail：ohzono-takuya@aist.go.jp
研究キーワード：表面構造，シワ，摩擦，
自己組織化，形状変化

シワ構造のトライボロジー

Frictional Properties on Wrinkled Surfaces

1．はじめに

柔らかく変形可能な凹凸構造のある生物表面は多い。しかし，元来，その構造と摩擦などのトライボロジーに関する性質が，どのように結びついているのかは一部の例（ヤモリの接着機能等）を除き自明ではない。その解明のためには，各個別の生物系をしらみ潰しに調査し，その活動環境（例えば水中なのか空気中なのか等）や力学的機能（相互作用力の程度等）を解明していく地道な戦略が有効であろう。一方で，その柔らかく変形可能な凹凸構造という特徴を一般化し，抽象化したモデル系においてそのトライボロジー機能に対するより一般的な理解とその機能のチューニングの指針を得ることも，工学的目的においては有効である。そのモデル表面として，自己組織化によって作成できる表面シワ構造を活用し，摩擦挙動や防汚機能を調査してきている。今回は，そのシワ構造や，摩擦させるもう一方の表面などの形状を変えることで，これまで分かってきたこと[1-2]を中心に紹介し，班内でより共同的に取り組んでいる防汚機能解明への取組状況にも触れたい。

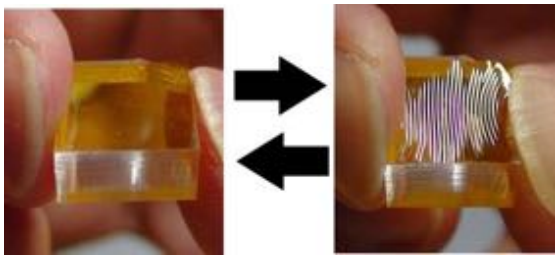


Fig.1 Shape-tunability of wrinkles.

2．シワ表面での摩擦の結果例

一般にシワ（リンクル）というと，肌や布地など平坦な表面が変形して生じた凹凸が思い浮かぶ。しかしここでは，柔部材表面が側方圧縮ひずみによって座屈を起こすことで発生した自己組織化凹凸構造をシワ（Fig.1）として扱う。この構造は動植物表面でも定常/非定常的に関わらず見られる構造であり，印加ひずみの状態に応じた形状可変性が大きな特徴である[3]。この表面をモデル表面としてその摩擦挙動を調査している。

主な定性的結果として，詳細な部分で違いはあるが，リンクルの周期が摩擦させる圧子のサイズと同程度の場合は，リンクルによって摩擦が上がる（System 1）[(1)]が，圧子のサイズが大きい場合は，リンクルによって摩擦が下がる（System 2）[(2)]という結果が得られた（Fig. 2）。今後さらに網羅的に実験を進める必要があるが，リンクル構造を発生させ，対向する摩擦面に対して適切な相対サイズを選択することで，平均の摩擦力を数 10% 程度，上げ下げ可能であることが示唆される。すなわち，摩擦性能をスイッチングできる表面として，構造可変リンクルのトライボロジー分野での応用可能性を示している。今後はそのような応用を見据え，圧子サイズや表面材質，摩擦速度，液体の潤滑作用など，更に流体抵抗や海洋生物の付着特性への影響等を含め調査を進めている。

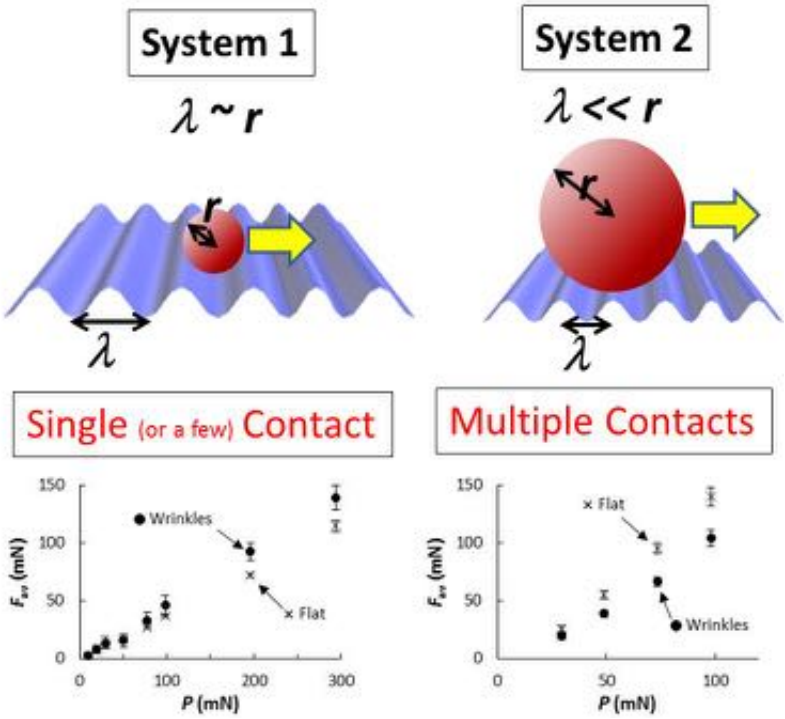


Fig. 2. Contact-state-dependent frictional systems and average friction force F_{av} vs. normal load P on wrinkled and unrwrinkled (flat) surfaces. (left) System 1. (right) System 2.

参考文献

(1) Suzuki, K., Hirai, Y., Ohzono, T., *ACS Appl. Mater. Interface*, **2014**, *6*, 10121-10131.
(2) Suzuki, K., Hirai, Y., Shimomura, M., Ohzono, T., *Tribol. Lett.* **2015**, *60*, 24.
(3) Ohzono, T., Monobe, H., *J. Colloid Interface Sci.* **2012**, *369*, 1. (Review)

謝辞

本研究成果は，鈴木航祐氏，B01-1 班およびその他共同研究者との研究実施に基づきここに感謝する。また，科研費新学術領域「生物規範工学」（No.24120003）の支援を受けて行われた。

所属班：B01-1：生物規範設計　生物規範界面デザイン
所属機関：一般財団法人　電力中央研究所
氏名：野方　靖行
所属機関住所：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646
e-mail：noga@criepi.denken.or.jp
研究キーワード：付着生物・生物試験・付着珪藻・フジツボ

流水条件下における生物付着評価方法の開発への取り組み

Development of bioassay methods for evaluation of fouling organisms under flowing water

1．背景

防汚物質や防汚塗料等の開発にあたり，ラボ条件下における生物付着の評価は，初期的なスクリーニング試験として広く行われている。一般的には，フジツボの付着期幼生であるキプリス幼生，ムラサキイガイ，海藻の胞子などが使用される事が多いが，それらの試験は動きの無い止水条件下で実施される場合がほとんどである(Fig.1)。しかし，自然条件下において止水条件と言うのは存在せず，海水は常に何らかの動きをしている。そのため，様々な材料の防汚性能の評価においても，流水条件下で行う方がより現実に近い結果が得られると考えられる。これまでにもいくつか流水条件下での付着評価試験(Fig.1)が提案されており，また，塗料メーカーなどでは実際の海域にテストピースを浸漬し，経過時間ごとの評価などが行われている。これまでに提案・実施されている評価においては，一定時間後の付着量や付着後の剥がれやすさなどにより材料の評価が行われているが，材料そのものの特性により，付着生物の付着挙動にどのような影響を及ぼしているのか，生物がどのような過程を経て付着に至っているのかなど詳細な解析は困難であった。今回，微細構造やゲルなど様々な材料の防汚性能を評価するにあたり，流水条件下での付着生物試験方法の検討を行っており，検討中の方法について紹介する。

2．方法・結果

流水下での付着を評価する際に生物の挙動も同時に観察できるように，アクリル製の水槽とし，サンプル観察部分は取り外しができる構造とした。これらの水槽内に付着生物の幼生を収容し，ビデオカメラ等で観察する事により付着生物の材料に対する挙動を

観察するとともに，付着性の珪藻類などを投入した際には，付着珪藻を粒子とみなした粒子イメージ流速計測 (PIV)も行えるようにすることで，材料の摩擦性などの情報も取得可能なものとした（Fig.2)。試作した装置を用い，付着珪藻を模擬粒子として YAG レーザー照射時の画像(Fig.3)を取得した所，珪藻を粒子とした場合においても粒子移動量の算出が可能であると考えられた(Fig.3)。今後，付着珪藻やフジツボ幼生を用いて, 材料に対する流れの特性にも着目しつつ, 防汚性能の評価を行って行く予定である。

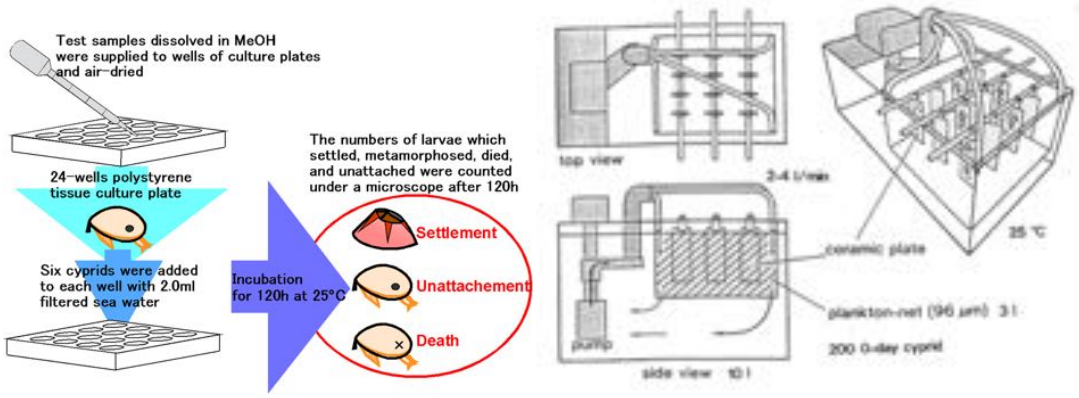


Fig.1. Antifouling test methods using barnacle larvae.
Left: still water condition, Right: water flow condition.

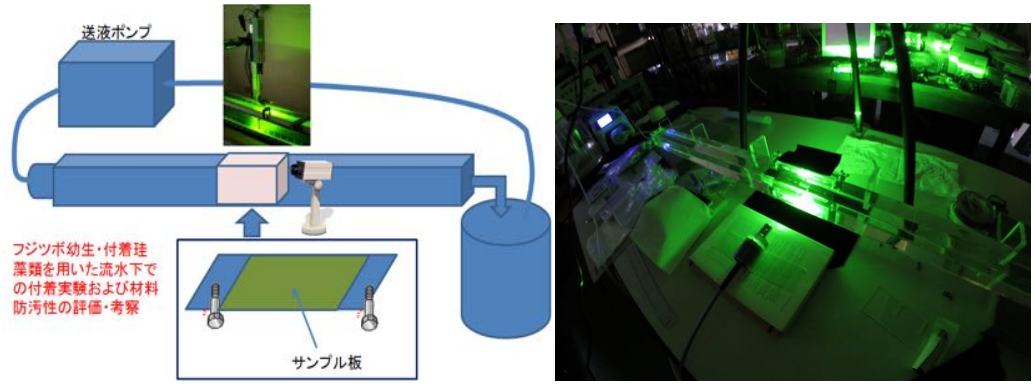


Fig.2. Antifouling test and PIV tank using diatoms and barnacle larvae.

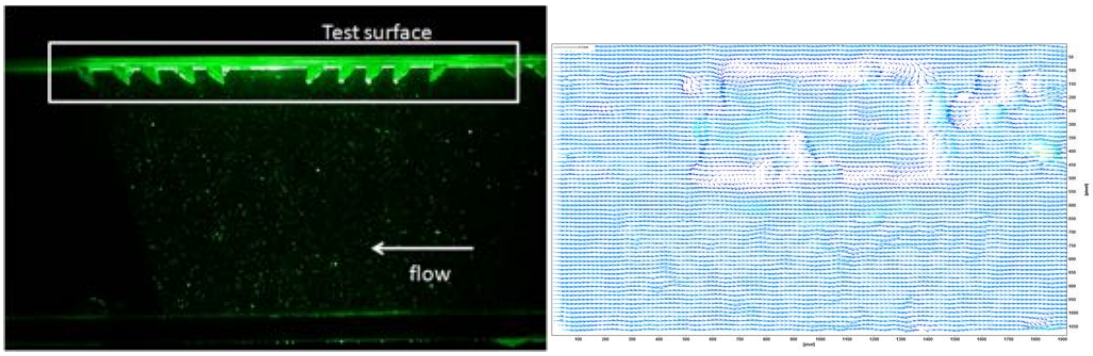


Fig.3. Velocity vectors around test surface.

所属班：生物規範機能構造・形成プロセス (B01-2)
所属機関：浜松医科大学医学部
氏名：針山　孝彦
所属機関住所：431-3192 浜松市東区半田山1－20－1
e-mail：hariyama@hama-med.ac.jp
研究キーワード：NanoSuit®法，SEM観察，モスアイ，多機能性

サブセルラーサイズの生物表面の重要性
ー多様な生存戦略を学んで，ものづくりに

The sub-cellular size structure of biological surface and its importance in design and manufaturing

1．はじめに

多様な生物の表面構造がもつ光学的特性は，世界的に着目され数多くの研究報告があり，サブセルラー・サイズレベルの解析によって人間が利用できる光学機器の提案もなされている。しかし，これらの報告はそれぞれの生物がもつ特徴をそのまま技術としているのが現状である。我々は，欧米各国の研究・開発レベルにとどまらず，生物表面がもつ機能を研究し人間が利用可能にすること，生物素子の形成過程を学び自己組織的形成過程を規範としてトップダウンおよびボトムアップ型の工業製品として制作できる新産業構造の提案を目指して研究推進をしている。

2．サブセルラーサイズの生物表面の NanoSuit®法による観察の重要さ

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不可欠な機器だが，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では，試料を高真空環境（10^{-5}～10^{-7}Pa）に曝さなければならない。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するなどの観察技術の改良，あるいは真空度を下げた低真空 SEM を用いるなどの機器側の開発が行われてきたが，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ある。NanoSuit®はこの問題を解決し，サブセルラーサイズの生物表面の生きたままの観察を可能とした[1]。

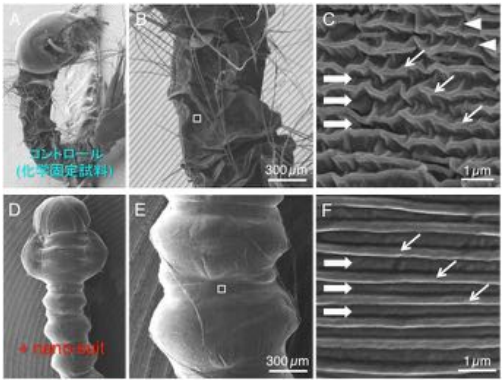


Fig.1 SEM image of mosquito surface. After chemical fixation (A-C), Using by NanoSuit method (D-F).

3．サブセルラーサイズの生物表面の多様な機能

夜行性の昆虫のオオタバコガの複眼（Fig.2A）は，多数の個眼の集積であり（Fig.2 の A と B の間の挿入図），その 1 個眼の角膜表面を SEM で強拡大すると多数のナノパイル構造が並んでいる（Fig.2B）。エゾハルゼミの翅の透明な翅膜を SEM で観察すると，ガの角膜表面に似たナノパイル構造があり（Fig.2C），その翅膜部分の透過率をスペクトル測定すると紫外部（300〜400 nm）でやや吸収があるものの，可視部帯域では 100%に近い高い光透過性である（Fig.2D）。翅に色素が含まれていて光透過性をほとんど示さないアブラゼミにもナノパイル構造が存在していることを見つけた。アブラゼミの前翅を切り出したままの試料と，ゴムなどで表面をラビングし（擦り）ナノパイル構造を破壊した試料を用意した。Fig.2F の SEM 像のように，ラビング処理後のものではナノパイル構造が潰れて乱れており，ラビング処理したものは反射光が増えて表面が輝き（Fig.2E），ラビング処理前の前翅の翅膜の a〜c に対応する処理後の a’〜c’に微小液滴を落とすと，処理前のものの接触角は 146°前後の超撥水性を示すが，処理後では 103°と大きく減少することがわかった（Fig.2F）。また，アブラゼミの翅に他の昆虫を歩かせると滑落することも分かった。ナノパイル構造はモスアイという語句に代表される「高い光透過性」を生み出すだけでなく，「撥水性」，「セルフクリーニング作用」，「滑落性」などの多用な機能を一つの構造で生み出していることが分かった[(2)]。

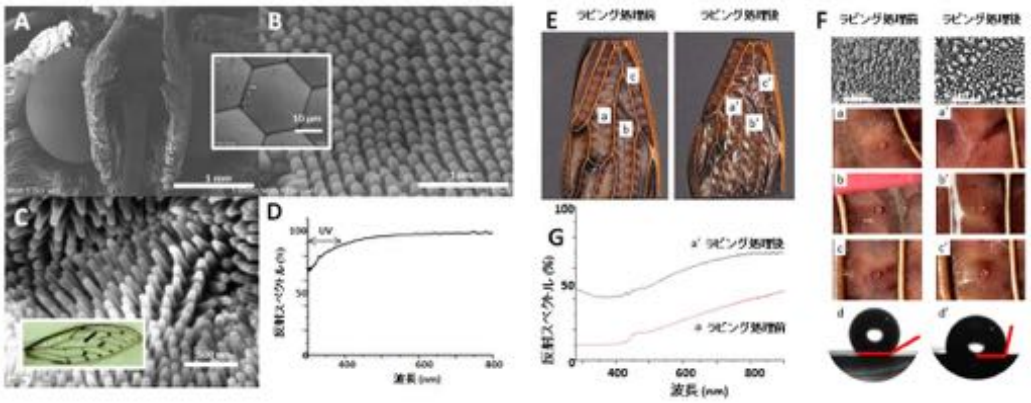


Fig.2 Multifunction of sub-cellular size structure.

参考文献

(1) Yasuharu T.; Suzuki K.; Ohta I.; Ishii D; Muranaka Y.; Shimomura M.; Hariyama T. *PNAS.* **2013**, *110(19)*, 7631-7635.

(2) 針山　孝彦,魚津　吉弘，向井　裕美，山濱　由美，弘中　満太郎，高久　康春，石井　大佑，大原　昌宏，野村　周平，長谷山　美紀，原　滋郎，澤　楯夫，下村　政嗣，日本応用動物昆虫学会誌(応動昆).　**2014**, *53*, 79-91

謝辞

本研究推進に関わる B01-2 班の班員関係者全員と班間連携の皆様に感謝いたします。

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
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：接合，可逆的インターコネクション，バイオミメティクス，昆虫，魚の吸盤

班間連携による魚類の吸盤に関する研究

Research on sucker of a fish by the cooperation between groups of B01-3 and A

１．はじめに

B01-3 班で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し，系統的なアナロジーの検証，原理の抽象化，発生学的形成プロセスの解明などをすることで生物規範の基礎を確立し，技術移転を行っている。本稿では，生物の接着に関する研究の推進について紹介する。

生物は，基盤上への体の固着，捕食，移動など様々な目的で接着を利用している。その接着方法は多種多様であるが，大きくは『（半）永久的な接着』と『一時的な接着』の２つのタイプに分類できる。『（半）永久的な接着』は，フジツボやイガイなどによる体の固定や，蜘蛛の巣などに見られる捕食に利用されている。イガイの接着成分は，シアノアクリレート系やゼラチン―アルデヒド系接着剤のような有害な物質を用いる

Fig.1　The group B01-3 and the group A carried out collection of the clingfish and ecology research in Katsuura by the cooperation of the Chiba Prefectural museum.

ことなく強固な接着ができるため，生体接着のモデルとして研究されている。
『一時的な接着』は，昆虫やヤモリなどの歩行（接着と剥離の繰り返し）や，蛸やカメレオンなどによる捕食に利用されている。一時的な接着は，接着後に簡単に外せるという特徴があるで，可逆的な接着・接合技術開発のモデルとして注目される。
B01-3 班では『一時的な接着』の一種である魚類の吸着デバイスについて A 班と連携し研究を推進している。ここではウバウオなどの魚の吸盤に着目し，①採取，分類学，生息環境調査，②構造解析，力学特性，材料学的評価，③生物学モデル，一般化，④接着機構の設計，作製，⑤応用について研究を行っている。Fig1 は千葉県立博物館の協力によりウバウオの採集・生息環境観察を行った時の写真である。魚の吸盤構造については, 内部構造はマイクロ CT, 表面構造については電子顕微鏡を用いて観察を行った。Fig 2 にウバウオのマイクロ CT 画像を示す。写真の中央部に吸盤を支える骨格が写っている。マイクロ CT 画像は外部構造・表皮構造も描写できるため三次元プリンターにより 3 次元模型を作製し，吸着機構の理解に役立てている。

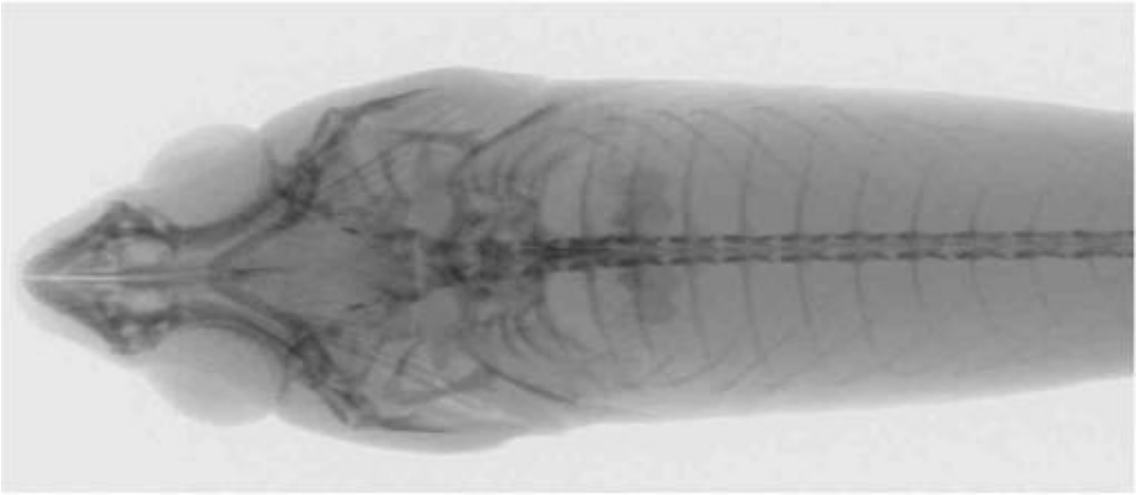


Fig.2 The micro CT image of a clingfish

謝辞
マイクロ CT 撮影に当り島津製作所の協力を頂いた。本研究の一部は若手育成を目的に実施し，インターンシップ学生のラース・ナーゲル氏が参加協力した。

所属班：B-03
所属機関：北海道大学　電子科学研究所
氏名：松尾　保孝
所属機関住所：〒001-0021　札幌市北区北21条西10丁目
e-mail：matsuo@es.hokudai.ac.jp
研究キーワード：ナノ加工、機能性界面作製

新しい実装技術に向けたバイオミメティクス表面の開発

Development of a biomimetic surface to a new surface mount technology

1．はじめに

現在の回路基板上には大小様々な電子部品が装着されており、高密度化が進んでいる。特に、表面に貼り付ける実装部品は高密度化に反比例して微小化が進み、ハンダを塗布する印刷機とチップマウンタと呼ばれる専用装置による位置決め・固定化を行う方法がとられている。現状での位置決め精度は数十ミクロン程度であり、今後のさらなる回路の高密度化の要求に対しては装置の高精度化が必要になってくるが、コストが増大する方向に向かうため、比較的安価に実現可能な新しい実装手法の検討を行っていくことが必要であると考えられる。B-03 班では接着という観点から可逆的接合・セルフアライメントが実現可能なバイオミメティクス表面の研究に取り組んでいる。細田班長の研究から昆虫の足先にある毛状構造が気泡を保持する構造にあり、その気泡の疎水性が壁面への吸着を可能にしていることがわかっている。その点に注目し、アライメント機構に水中の気泡を用いることで特別な薬剤等を用いない、新しい実装技術が実現できるとの考えに立ち研究を進めている。

２.バイオミメティクス表面を利用した実装への応用

気泡を保持する構造は昆虫の毛状構造を類似して作製することで可能になる。毛状構造のサイズはミクロンオーダーであることから、フォトリソグラフィーなどの微細加工技術によってシリコンあるいは SU-8（レジスト）を鋳型とし、ポリジメチルシロキサン（PDMS)へ形状を転写することで構造作製を行った。作製した鋳型を Fig.1 に示す。Si 基板上に孔径 10μm、深さ約 8μm のパターンを形成した。これを鋳型に、PDMS へ構造を転写した。毛状構造作製のみであればここまでで完結するが、可逆的接着や実装というエレクトロニクス分野への技術に応用するためには、（１）セルフアライメント精度とアドレッシング、（２）導電性　の２点については毛状構造への新しい機能を

付与する形となる。そのため、まずは導電性を検討するために、PDMS へのメッキ処理を試みた。PDMS 内にパラジウム触媒を担持させ、銅メッキ液に浸漬した。浸漬後の結果を Fig.2 に示す。基板には銅色を呈し、メッキを行うことに成功した。この構造の抵抗値を測定すると 80Ω～100Ω程度であり、導電性を付与することに成功した。しかしながら、測定電極に荷重をかけると抵抗値が増大した。電子顕微鏡においてメッキ後の基板を観察した結果、メッキが施されてはいるが部分的にクラックが見られた。PDMS は弾力性もあり変形しやすい形状でもある。外部応力によりこのクラックが大きく変形し、抵抗値の変動につながったと考えられる。このことから安定した導電性の付与のためには、触媒核付与やメッキ手法の最適化が今後も継続して必要と考えられる。

なお、このメッキ後の基板の接触角は 140 度程度となっていた。気泡保持に必要な撥水性は確保できているため、表面の化学修飾によるアドレッシング機能の追加などを検討していく。

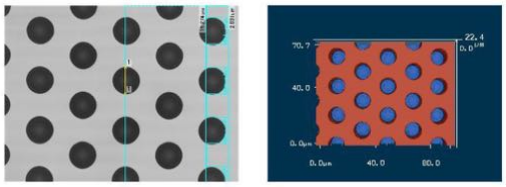


Fig.1 Photograph of Si mold

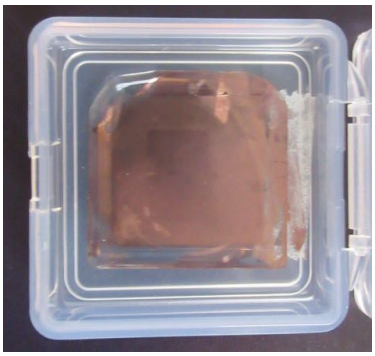


Fig.2 Cu coated PDMS pillar

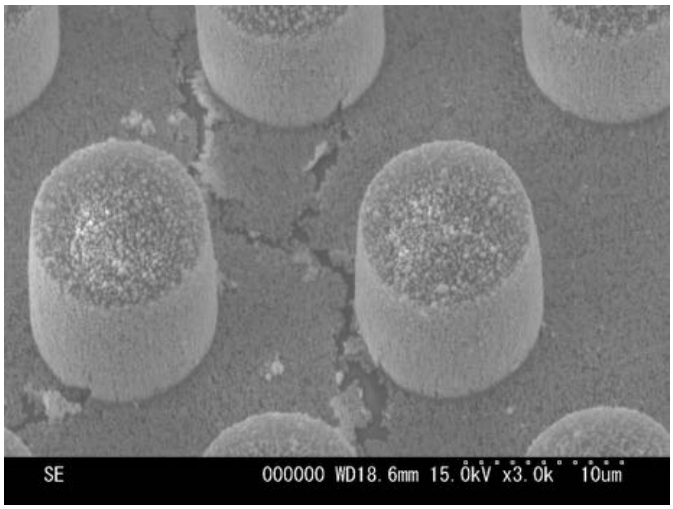


Fig.3 SEM image of Cu coated PDMS pillar

３.まとめ

昆虫の足による接着機構を模倣した構造による新しい実装技術の開発に関して、基本構造作製についての検証を行った。今後は、より簡便な作製手法や最適材料を用いた気泡保持構造の作製について研究を進める予定である。

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

生物規範環境応答・制御システム

Functional analysis of subcellular structures in Insects and Plants

1．昆虫-昆虫相互作用

オスガ類は，メスの放出する性フェロモンを検出することで，同種のメス個体を識別する。性フェロモンは，複数成分が異なる比率で含有するフェロモンブレンドを構成する。オスはその成分と比率を検出しメスを識別している。近年，ガ類から性フェロモン受容体（PR）が発見され，各成分はこれら受容体によって検出されていることが明らかにされてきた。しかし，構成比率が PR でどのように検出されるのかは明らかにされていない。本研究では，ガ類の PR によるフェロモンブレンドの検出機構を明らかにすることで，複数成分から成るガスの新たな検出方法の提案を目指す。

2 成分系フェロモンブレンドを利用するヒメアトスカシバ（*Nokona pernix*）から PR 遺伝子を単離し，アフリカツメガエル卵母細胞を用いて成分選択性を解析した。NpOR1，NpOR3 はそれぞれ EZ 体，ZZ 体に特異的に応答することが分かった。また，*in situ* ハイブリダイゼーションを用いて，触角における局在様式を明らかにし，PR の選択性と局在様式（嗅覚受容細胞の割合）に基づき検出モデルを構築した。

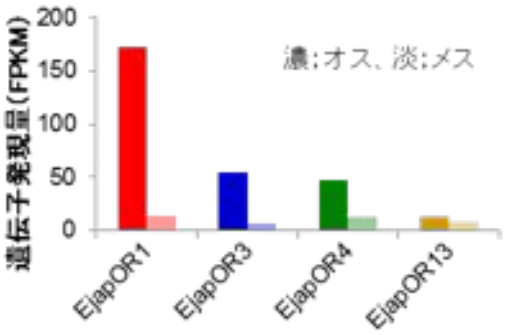


Fig. 1 Expression levels of PR candidate genes in antennae by RNAseq analysis.

4 成分系フェロモンブレンドを利用する

キマエホソバ（*Eilema japonica*）から， RNAseq によりオス優勢的に発現する PR 候補遺伝子を単離した。RNAseq による遺伝子発現量解析の結果，触角において各候補遺伝子が異なる割合で発現していることが分かった（Fig. 1）。現在，卵母細胞を用いた機能解析を進めている。

2．植物-植物相互作用

植物は食害や病原菌感染に対して，テルペンなどの揮発成分や抗菌物質の生産など化学的な応答を起こす。これまでに，植物から様々な生理活性物質が報告されてきているが，同定されている化合物は植物が持つ全化学物質の一部と考えられる。本研究では，イネ *Oryza sativa* を用い，植物ホルモンであるジャスモン酸で誘導される成分の解析から，イネの新規誘導性代謝物の同定を行い，その生理活性を探索した。

ジャスモン酸処理したイネ幼苗（品種：日本晴）から非タンパク性アミノ酸の b-tyrosine を同定した（Fig. 2）[(1)]。これは植物からb-tyrosine を同定した初めての報告である。安定同位体を用いた取り込み実験から，(3*R*)-b-tyrosine は(2*S*)-a-tyrosine からアミノ基転移によって変換されること，その生合成に関わる遺伝子として日本晴の第 12 染色体上の LOC_Os12g33610 を tyrosine 2,3-aminomutase（TAM）として同定した。また，(3*R*)-b-Tyrosine は日本晴の根から滲出されること，および(3*R*)-b-tyrosine はシロイヌナズナや他の双子葉植物の根の伸長を阻害するが，イネを含めた単子葉植物には活性を示さないことを確認した。

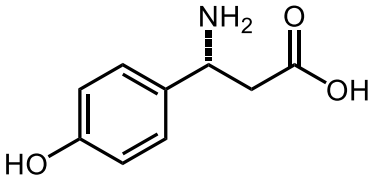


Fig. 2 Structure of (3*R*)-β-tyrosine

参考文献

(1) J Yan & N Mori et al., The Plant Cell, 27: 1-14 **2015**

所属班：B01-5班 生物規範メカニクス･システム
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：生物規範飛行システム，昆虫飛行の制御，乱流，バイオメカニクス，バイオミメティクス

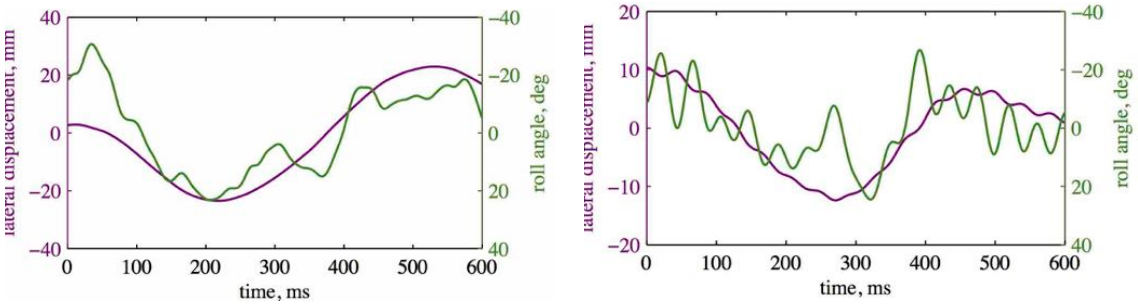
生物羽ばたき飛行の受動的な制御

昆虫や鳥は，突風や雨など，様々な厳しい乱流環境においても，ロバスト飛行制御を巧みにこなすが，その力学的原理が十分には分かっていない。本研究では，風洞実験と空気力学・材料力学･飛行力学･飛行制御を包括する統合力学シミュレーションにより，生物規範飛行メカニクス･システムの能動的及び受動的な力学原理及び飛行制御理論の解明，生物翼を規範としたバイオミメティクス柔軟翼の開発と昆虫型飛行ロボットやマイクロ風車への応用，生物飛行における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し，「生物マルチスケール･メカニクス」という学理の創出を目指している。

最近生物翼の能動的な羽ばたき運動と受動的な弾性変形が補完的に働き，羽ばたき飛行の空気力学性能を向上することと，能動的な飛行制御と風外乱による受動的な振る舞いが補完的にロバスト飛行を実現することが分かってきた。ここでは，乱流中を飛ぶミツバチの羽ばたき飛行の制御に関して最新の成果[1), 2)]を報告する。

屋外に飛んでいる昆虫は広範囲にわたる時空間様々なスケールにおいて風外乱に遭遇するが，かれらがどのようにこれらの乱流中で翼運動や姿勢を制御し安定飛行を実現するかが解明されないままである。乱流中での昆虫羽ばたき飛行の制御は，生物羽ばたき飛行原理の本質の解明だけではなく，小型化が進んでいる次世代ドローン飛行制御則のブレークスルーにもつながる重要な研究課題である。我々は，風洞の中における一様流と，円柱で引き起こされる不安定なカルマン渦の気流中を飛行するマルハナバチの運動を記録して，かれらの胴体回転運動のロール角度と横すべりの加速度の間に強いポジティブな相関関係（図１）を見つけた。これは，つまりマルハナバチが常に低い周波数（＜10Hz）で能動的にロール運動を行うことを示唆する。一方，より高い周波数（＞10Hz）で受動的に不安定な気流（乱流）と相互作用している間，マルハナバチは依然低い周波数でアクティブなロール制御を実行していることが分かった。我々は，さらにマルハナバチの定常流と不安定な流れにおける羽ばたき飛行に対して大規模な力学シミュレーション（図２）を行い，この現象の力学メカニズムを探求した。そこで，マルハナバチが不安定な乱流中においても，低い周波数での能動的なロール運動の制御とフ

ィードバック修正を実行しているとともに，受動的に高周波数の気流外乱を乗り切るのを可能にする新しいメカニズム（図３）が存在することを突き止めた。 これは，昆虫が複雑な気流での飛行制御チャレンジに取り組むために，異なる時間スケールで受動的および能動的モードを結合することによって飛行安定性を維持する戦略は，今後超小型生物規範型飛行ロボットや次世代ドローンの研究開発に，斬新な制御則や設計指針を提供することが期待される。



一様流中　　乱流の中

図１一様流と乱流の中を飛行するマルハナバチのロール角と横滑り変位

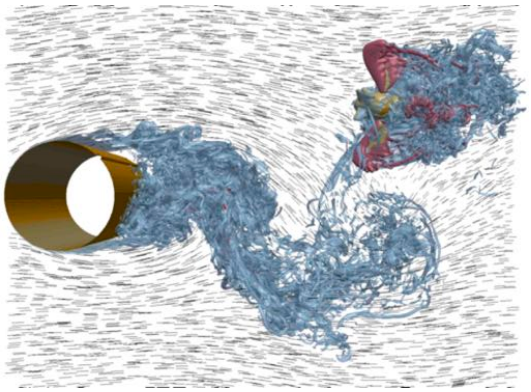


図２乱流中のマルハナバチまわりの流れ

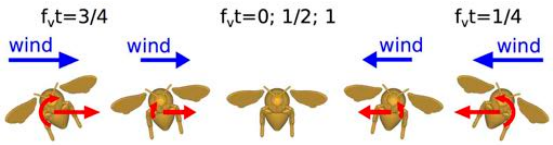


図３乱流中のマルハナバチの受動的な応答

参考文献：

1) H. Liu, S. Ravi, D. Kolomenskly, H. Tanaka. Mechanics and mimetics in bio-inspired flight system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2016. *(invited)*

2) S. Ravi, D. Kolomenskly, H. Liu. Bumblebees minimize control challenges by combining active and passive modes in unsteady winds. 2016. (*submitted*)

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，人工幹細胞ニッシェ，培養力学場

がん細胞の運動表現型診断のための弾性率可変マイクロファイバーゲルマトリックス

Phenotypic differences in 3D movement of tumor cells observed in the microfiber gel matrices with tunable elasticity

多くのがんの転移において，がん細胞は原発巣である上皮組織から離脱して間質組織への浸潤を開始する過程で上皮間葉転換と呼ばれる表現型の変化を起こす。すなわち，がん細胞は悪性度の高まりとともに三次元的な運動表現型を獲得することが知られている。このような細胞運動の性質の変化は病態診断･病理解析の重要な指標となり得るため，その差異の検出は直接的かつシンプルな細胞診断の技術となるものと期待される。しかしながら，フローサイトメトリーやマイクロスコピックサイトメトリーといった現存の細胞解析技術は，活動中の生細胞の運動特性を分析するには適していない。この課題に対しては運動表現型の差異を識別する培養基材が必要であるが，当研究室ではこれまでに，弾性率勾配に応答する細胞走性に着目し，弾性勾配パターニング二次元培養基材表面において細胞種により異なる運動性が見られることを見出してきた [1)]。本研究では，生体組織の細胞外マトリックスを模倣した三次元環境における細胞の三次元運動特性の差異の，よりダイレクトな評価による細胞診断・分離技術の開発を目的とし，弾性率・接合度可変のマイクロファイバーゲルマトリックスの構造設計条件の検討を行った。

光硬化性スチレン化ゼラチン (StG) を光重合開始剤スルホニルカンファキノン (SCQ) と共に溶媒ヘキサフルオロ-2-プロパノール (HFIP) に溶解して電界紡糸を行い，得られたメッシュシートに対する光照射固相架橋反応と PBS 浸漬による膨潤により，ファイバー間接合度依存的なシート弾性率とファイバー内 StG 鎖架橋度依存的なファイバー弾性率を制御可能なマイクロファイバーゲルマトリックスを作製した。

個々のファイバー弾性率はメッシュシートに対する光照射時間を変えることでファイバー内 StG 鎖の架橋度調節により，そしてファイバーシート弾性率は光照射時にメッシュシートを圧縮し，ファイバー間接合度を調節することで制御した。低接合条件において異なるファイバー弾性率をもつゲルマトリックスに対する正常乳腺上皮細胞 MCF-10A と強転移性乳がん細胞 MDA-MB-231 の挙動を比較したところ, MCF-10A はファイバー弾性率に依らずゲルマトリックス表面に留まったが，MDA-MB-231 は 16.5 kPa のファイバー弾性率を有するゲルマトリックスにおいて内部への侵入が見られ，細胞種による運動性の差異の検出可能性が示唆された。一方で，MDA-MB-231 は 10.4, 49.5 kPa のファイバー弾性率を有するゲルマトリックスにおいては表面に留まっており，内殖挙動に最適なファイバー弾性率の存在が示唆された (Fig.1)。このような正常細胞とがん細胞の三次元運動特性の差異は, がん細胞の悪性度の差異を示すものであり，in situ 細胞診材料の構築のための細胞外三次元環境の微視的力学場の設計指針を与えるものと考えられる。

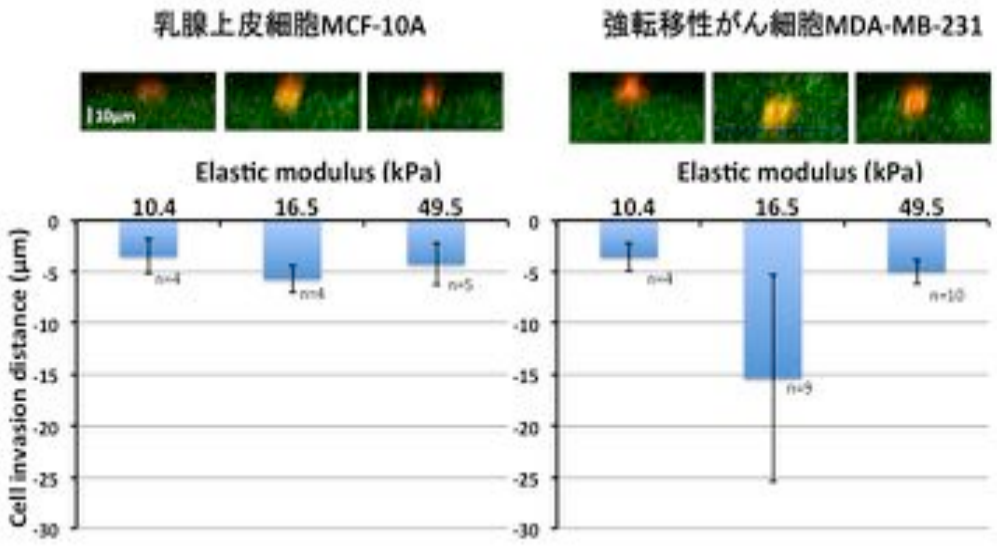
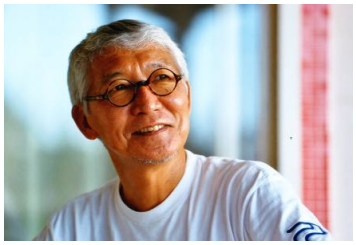


Fig.1 Comparison of 3D migration behaviors of malignant cancer cells with normal epithelial cells on the micro gelfiber matrix with different fiber elasticites.

参考文献

(1) S. Kidoaki, H. Sakashita, *PLOS One*, **8(10)**, e78067, 2013

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



光り輝く未来を創るために

For the Creation of a Radiant Future

1．はじめに

地球環境の劣化は，多くの努力にもかかわらずますます劣化を加速させており，持続可能な社会の再定義が求められている。それは，地球環境と経済成長の両立ではなく，地球環境と生命（いのち）の成長の両立であり，経済的な価値はその結果の一部として表現されるべきである[1)]。すなわち，劣化する地球環境制約の上に存在できるライフスタイルを設定し，それに必要なテクノロジーやシステムを創生する必要があるが，そのライフスタイルは苦痛や我慢を伴うものであってはならない。一方では，人は生活価値の不可逆性という欲の構造[2)]を持っており，地球環境制約の中で，それを肯定できるライフスタイルとそれに求められるテクノロジーやシステムを成立させなければならない。

Fig. 1　Schematic Approach for the Lifestyle oriented technology

そのためには，従来型のフォーキャスト思考からバックキャスト思考を取り入れ，ライフスタイルオリエンテッドテクノロジーを創生する必要がある。筆者らは，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，サステイ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をすでに明らかにした[3)]。

2．心豊かなライフスタイルの構造

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，その構造を明らかにし[4)]心の豊かさが 70 の要素で構成され[3)]，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もすでに明らかにした[4)]。それは，自立型の暮らしに向かうものであり，現在のテクノロジーやサービスの主流で

ある依存型の暮らしの創成とは全く異なる。さらに，この依存型と自立型ライフスタイルの間には大きなギャップ(間)があり，その「間」を埋めるテクノロジーやサービスさらにはライフスタイルの研究が極めて希薄であることも明らかとなってきた。筆者らはこの点に注目し，沖永良部島，豊岡市(兵庫県)，北上市など，いくつかの町でこの間を埋めるための要件を洗い出し，社会実装の試みも開始している。

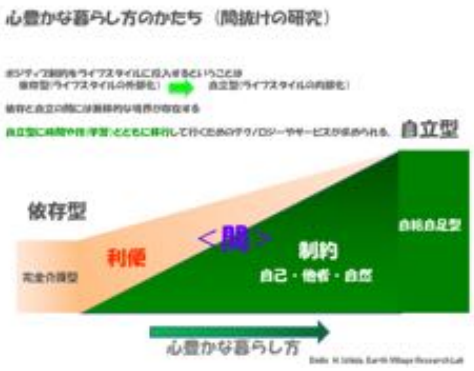


Fig. 2 From dependent lifestyle to self-contained lifestyle

３．オントロジー導入の可能性

オントロジー工学[4]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明らかとなり，ライフスタイルが構造化（行為と方法）でき，データ化可能となれば，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ている。

現在，行為分解木に，すでに明らかにしている 70 の心の豊かさが導入可能となり，バックキャスト手法で得られたライフスタイル 15 個，90 歳ヒアリングを主としたライフスタイル 40 個の行為分解木の作成を終了した。この手法により，得られた機能と Bio-TRIZ を結びつけるステップへ展開する。同時に，さらに行為分解木の数を増やす必要はあるが，並行して，それらから，すでに明らかとなっている人工物に関する標準語彙とは異なる標準語彙を明らかにすることで，標準語彙に関するテクノロジーグループが出来るはずであり，標準語彙からライフスタイル分解木を探し，必要なテクノロジーを明らかにするというアプローチについてもこれから議論したいと

Fig.3 Extraction of the technology from lifestyle by ontological approach

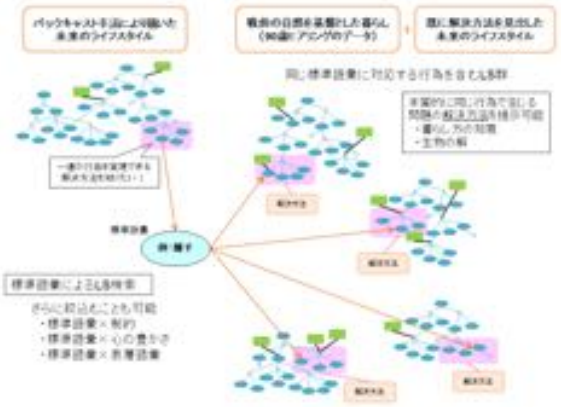


Fig.4 Ontological approach from backcast and 90' hearing lifestyle

参考文献

1） 石田秀輝 「光り輝く未来が沖永良部島にあった」 2016 ワニブックス
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) Emile.h.ishida, R.Furukawa "Nature Technology" 2014 Springer

所属班：C−01
所属機関：大阪大学 大学院基礎工学研究科
氏名：小林 秀敏
所属機関住所：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘１−１
e-mail hkoba@me.es.osaka-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 和傘

心豊かなライフスタイルとテクノロジーを繋ぐデータベースの構築

Construction of a database supporting development of mental richeness future life

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、主にケースバイケースで材料設計が行われており、非常に有用と思われる生物技術の体系化は、極めて困難である。さらに国際標準化機構（ISO）ではバイオミメティックスの概念や手法の標準化が検討されており、国際標準に基づいたバイオミメティック製品の創出が求められている。現在、我々はバイオ TRIZ（トリズ）と呼ばれる手法を利用した、150 万種以上も存在するといわれる多様な生物から有益な生物機能を抽出して、それらを材料設計に取り入れることができるデータベースの構築を推進しており、これにより、ISO 認証に適応したものづくりの解決案を提供しようと考えている。

本研究では、2030 年における心豊かなライフスタイルとテクノロジーをつなぐための技術要素を、バイオ TRIZ データベースから発案した。具体的には、心豊かなライフスタイルとして、岩手県北上市の伝統である口内傘による地方活性化に関連して、生物機能を和傘の機能改善に取り入れて、問題解決の実証を試みた。このような手法で、生物機能に関する情報を工学的な技術矛盾の解決案として提供することが可能となり、新たな特許を創出することが期待できる。

２．ISO 認証対応バイオミメティック製品の開発支援データベースの構築

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。図１は、現在開発中のバイオ TRIZ データベースのエントリー画面で、画面上の指示に従うだけで、上記の過程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が得られる点が、本データベースの最大の特長である。技術者の抱えている技術的な問題を簡略化して、本データベース

が、その問題を解決するために適切と思われる解決原理を提案し、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、バイオミメティック製品開発のためのヒントが、短時間で効率的に得られる。さらに、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が可能となっている。

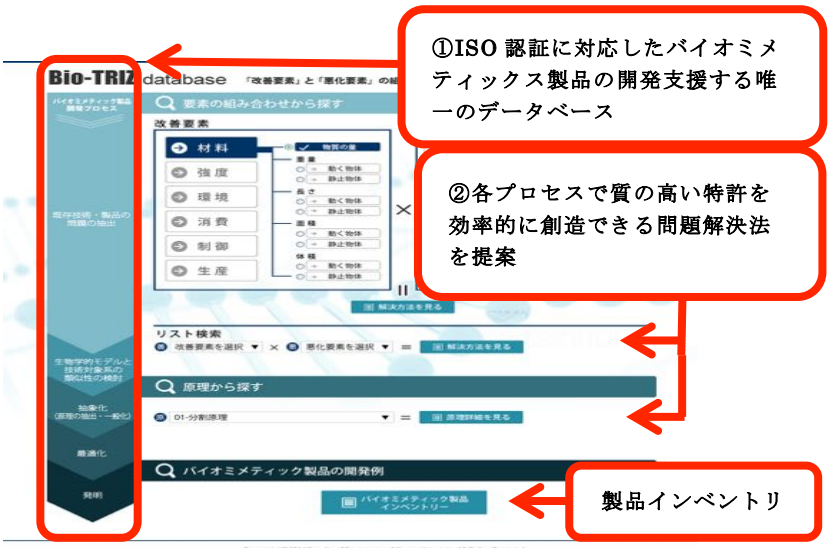


Fig.1 BioTRIZdetabase for development of Biomimetic products.

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

近い将来、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、即ち、ライフスタイル・オリエンテッド・アプローチーが有効である。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。ここでは岩手県北上市の伝統品口内傘による「和傘と暮らすライフスタイル」から技術要素を抽出して、バイオ TRIZ による機能性和傘の設計を検討した。

和傘についた雨のしずくは、着物などを濡らしてしまい、不便である。この問題解決には TRIZ の解決原理「事前準備」が有効であり、実登 3058058 で和傘用収納袋が開発されている。これをバイオ TRIZ データベースで検索すると、Fig.2 の様なアサガオの花弁の収納機構が検索され、この機構を応用することで、閉じると濡れ面が傘内部に収まり、袋が無くても着物を濡らさない機能性和傘の設計が示唆された。

このことから、バイオ TRIZ データベースを利用することにより、心豊かなライフスタイルに必要な技術要素を ISO 標準に基づいた開発プロセスで、短時間でかつ簡便に開発することが期待できる。

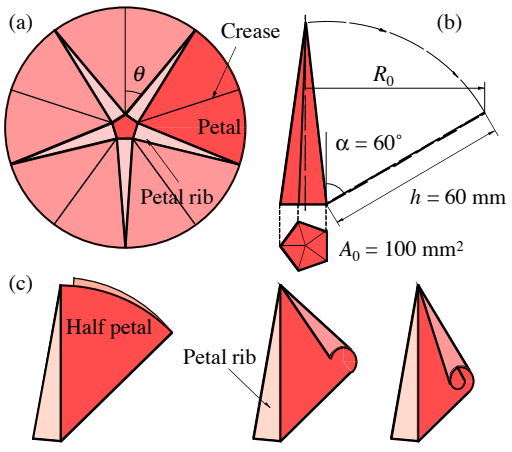


Fig. 2 Deployable petal model of morning glory for product design of waterproof Japanese umbrella by bio-TRIZ database.

所属機関：元・北海道大学電子科学研究所
氏名：辻井　薫
e-mail：tsujik@gc4.so-net.ne.jp（自宅）
研究キーワード：超撥水／濡れ／フラクタル／生物表面

超撥水現象の温故知新　―私の研究と生物の

Finding New from Old Matters in Super-Water-Repellent Phenomena

1．界面科学は濡れから始まった―序に代えて―

どの学問にも，その学問が成立する以前から，その萌芽とも言うべき研究や観察は必ず存在する。界面科学も，勿論，その例外ではない。界面科学の前史と言える観察は，毛（細）管現象である。毛管現象は，レオナルド・ダ・ビンチが 1490 年頃に観察したと言われている様に，大変古くから知られていた。最初に毛管現象の精密な研究を行ったのは G. A. Borelli (1608 – 1679) で，彼は，毛管を上昇する液体の高さが管の直径に反比例することを見出している[(1)]。勿論，この時点では，毛管現象の原因については何も解っていなかったが，界面科学は毛管現象から始まっているのである。

界面科学の成立が，表面張力概念の確立にあるとすることには，ご出席の諸氏にも同意して頂けるであろう。その表面張力概念を，1805 年に初めて導入し，液体の濡れを説明したのが Thomas Young　(1773 - 1829)である。固体表面上の濡れを説明する Young の式は，200 年以上経った今も頻繁に使われる重要な式である。液体がもし純然たる流体であれば，重力下においてはいかなる場合でも，重力方向に垂直な平面となるはずである。然るに，容器中の液体は壁との接触部で湾曲し，固体表面上の液滴は丸く盛り上がる (Fig. 1) 。あたかも，液滴表面に風船の膜の様なものが存在するかの如き振る舞いをするのである。この現象を説明するために，Young は，液体表面上に表面に平行な張力を仮定した[(1)]。また，この張力の釣り合いとして，接触角という概念を導入した。この表面張力と接触角の概念を使って，毛管現象を説明したのである。

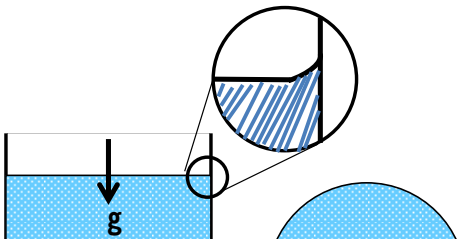


Fig.1 Surface tension originates the curved surface of liquid.

2．濡れの原理と超撥水表面

Thomas Young が導入した表面張力と接触角という概念によって，固体表面上での液体の濡れが説明された (Fig. 2) 。　固体の表面張力(γ_S)，固液の界面張力(γ_{SL})，液体の表面張力(γ_L)の三者が，固・液・気の三相接触線上において，横方向に釣り合うという条件によって接触角(θ)が決まる。つまり，(1)式（Young の式）が成り立つ。

（1） $\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos\theta$

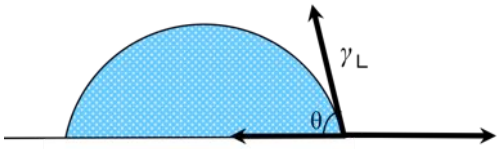


Fig.2 Lateral balance of three surface and interfacial tensions determines the contact angle.

この Young の式によって決まる濡れについては，今もその分子描像が研究課題となっている。また，界面科学の萌芽研究であった毛管現象にも，まだ未解決の基礎的な問題が残っている。

上記の Young の式は平らな表面上の接触角（濡れ）を決めるが，表面に微細な凹凸が存在するとその濡れが強調される。つまり，濡れる（接触角が 90°より小さい）表面はより濡れる様になり，はじく表面はよりはじく様になるのである。比較的凹凸の程度が小さく，液体と固体の表面が完全に接触する場合の理論は Wenzel によって[2]，凹凸が激しくて液体が底まで到達できずに下に空気が残る場合の理論は Cassie と Baxter によって与えられた[3]。Wenzel の理論は 1936 年に，Cassie と Baxter の理論は 1944 年に提出されたが，今も粗い表面の濡れの標準理論である。

表面の微細な凹凸によって濡れが強調されるのであるから，激しい凹凸を付与すれば，完全に液体をはじいたり，完全に液体に濡れる表面ができるであろう。これが超撥水現象の基礎である。超撥水表面の作製とは，つまるところ表面にどのような凹凸を作るかという問題に帰する。因みに，平らな表面では，最も水をはじく表面でも接触角は 120°にしか到達しない。

3．生物の超撥水

本シンポジウムにご出席の諸氏は，生物が示す超撥水についてはよくご存知のことであろう。植物ではハスの葉[4]，動物ではアメンボの脚[5]が典型的な例である。生物表面の超撥水は，勿論，微細な凹凸構造に起因する。Fig.3 に，アメンボの脚の電子顕微鏡像を示す。脚には多数の剛毛が存在し，その直径は 3 μm から数百 nm に亘っている (Fig.3, upper photo)。大部分の剛毛は，50 μm 程度の長さを有しており，脚の表面に対して約 20°の傾きをもって並んでいる。各ミクロ剛毛の表面には，多数の複雑なナノメートルスケールの溝が確認できる (Fig.3, lower photo)。この様に，剛毛はユニークな階層構造を有しているのである。超撥水性を示す生物表面は，サトイモの葉，バラの花，蝶の翅，蚊の複眼等々，数多く知られているが，いずれもμm スケールの凹凸と nm スケールの凹凸の階層構造を有していることが特徴である[6]。

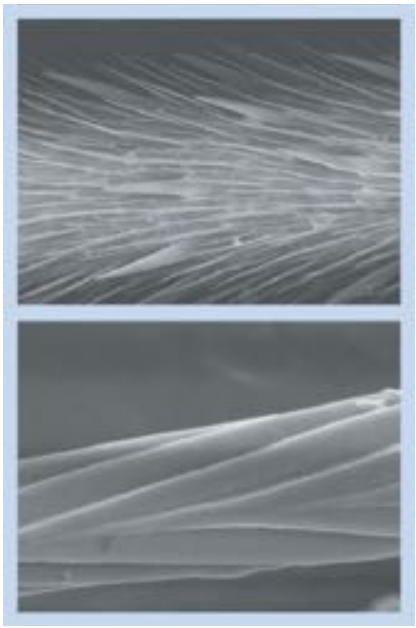


Fig.3 SEM images of leg surface of a water strider. A leg consists of a lot of hard hairs having streaks or trenches of nanometer scale.

生物表面の超撥水性は，研究こそ比較的最近行われたものであるが，現象そのものは大昔から知られていたことである。そして，その構造を真似て，

人工的な超撥水表面を作製した例も多く知られている。生物の超撥水性こそ，正に温故知新ということが出来よう。

4．フラクタル構造による超撥水表面

生物の超撥水に対して，μm スケールと nm スケールの凹凸の階層構造が重要な働きをしていることを述べた。階層構造では，大きな凹凸の中に小さな凹凸が存在し，それ故に表面積が大変大きくなる。それが撥水性を強調する。凹凸の階層構造という意味では，フラクタルはその究極の構造である。何故なら，フラクタル構造においては，凹凸の階層が無限に連続して存在するからである。したがって，固体の表面をフラクタル構造にすることが出来れば，液体が完全に濡れるか完全にはじく表面が作れるはずである。それが実現されたのが，Fig.4 の写真である[6-8]。まるで空中に浮かぶ水球の様であるが，下に影が映っていることから，超撥水表面上の水滴であることが理解できるであろう。この超撥水表面は，アルキルケテンダイマーという一種のワックスで，融液から結晶化させて，２～３日放置すると自然に（自発的に）フラクタル構造になる。この自発的フラクタル構造形成のメカニズムについても，明らかになっている[6]。

もし平らな表面上で油の接触角が90°を超える表面が作れるなら，その表面をフラクタル構造にすることによって超撥油表面も作製できるはずである。アルミニウム表面を陽極酸化してフラクタル構造を作製し，その上に炭化フッ素系のリン酸エステル型界面活性剤を吸着させて撥油処理し，この超撥油表面を実現した[9]。この表面上では，菜種油の接触角は 150°を超え，コロコロと転がった。生物の超撥水構造をヒントにし，その階層性を極限まで進めたフラクタル表面は，正に温故知新である。

Fig.4 A water droplet of ~2 mm diameter on a super-water-repellent fractal surface.

参考文献

(1) 小野周， *表面張力*（物理学 One Point 9）， 第１章－第２章， 共立出版, 1980.
(2) Wenzel, R. N. *Ind. Eng. Chem.* **1936**, 28, 988-994.
(3) Cassie, A. B. D.; Baxter, S. *Trans, Faraday Soc.* **1944**, 40, 546-551.
(4) Feng, L.; Li, S.; Li, Y.; Li, H.; Zhang, L.; Zhai, J.; Song, Y.; Liu, B.; Jiang, L.; Zhu, D.; *Adv. Mater.*, **2002**, 14, 1857-1860.
(5) Gao, X.; Jiang, L. *Nature*, **2004**, 432, 36.
(6) 辻井薫, *超撥水と超親水―その仕組みと応用―*, 米田出版, 2009.
(7) Onda, T.; Shibuichi, S.; Satoh, N.; Tsujii, K. *Langmuir*, **1996**, 12, 2125-2127.
(8) Shibuichi, S.; Onda, T.; Satoh, N.; Tsujii, K. *J. Phys. Chem.* **1996**,100, 19512-19517.
(9) Tsujii, K.; Yamamoto, T.; Onda, T.; Shibuichi, S. *Angew. Chem. Int. Ed.* **1997**, 36, 1011-1012.

所属機関：国立研究開発法人 水産総合研究センター
中央水産研究所
氏名：赤松　友成
所属機関住所：〒236-8648
神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4
e-mail：akamatsu@affrc.go.jp

研究キーワード：biosonar, underwater acoustics, vocalization, echolocation

「海洋生物に学ぶセンシングとコミュニケーション」

Sensing and Communication Inspired by Marine Organisms

1．はじめに

海中は光が透過しない特殊な環境であるため，宇宙より見えにくいといわれる。たとえば可視光を放つ星の数を数えることはできるが，太平洋のマグロの総数を数えることは現代の最高レベルの技術を用いても難しい。海中での探索や通信に人類はもっぱら音波を用いてきた。郷に入っては郷に従えのことわざ通り，海中でのセンシングとコミュニケーションでも，海洋生物から学べることは多い。

2．イルカのエコーロケーション

イルカは，エコーロケーションと呼ばれる能力を用いて餌となる魚を探索している。音を発し，対象からのエコーを受信することで，その方位や距離を知る。この仕組みは人間のつくった魚群探知機とそっくりだ。

原理は似ているが，残念ながら機械はまだイルカの能力に遠く及ばない。イルカの音響センシングには，随所に生物らしい工夫が認められる。イルカは，出っ張ったおでこの中にメロン器官と呼ばれる音のレンズを備えており，鼻道の奥にある点音源から拡散していく音波を前方に収束させる(Fig.1)。最近，音響カメラと名付けられた製品(DIDSON, Sound Metrics, USA)で，この音響レンズ機能が実装された。イルカと同じように超音波ビームの照射方向を絞ることで，効率的に音のエネルギーを集中させ，水中物体のイメージングを行う装置である。イルカはしかしその先をいっているようで，頭を動かさなくとも音響ビームの方向を変えることが出来るらしい[1)]。イルカは，必要なところを必要なときに照らすヘッドランプのように，柔軟なソナー能力をもっている。

Fig.1 Mother and calf pair of finless porpoises can find each other using echolocation even in dark or turbid water. They have acoustic lens in the forehead (white arrow) to focuse ultrasonic beam on a target.

イルカは哺乳類なので耳は２つしかない。にもかかわらず，物体の形を知ることができることをハワイの研究者らが明らかにした[2)]。受信点が２つしかないので，原理的には二次元の再構成は不可能に思えるのだが，訓練されたイルカは一度も目で見たことがない物体の形を音だけで識別し，その見ための形を正確に報告することができた[3)]。

この探査能力を真似して，魚の種類がわかる機械を作ることができたらすばらしい。イルカのように様々な周波数成分を含む広帯域音を使い，音の長さ極端に短くして魚からのインパルス応答を見てみたが，当初の目論見は完全に外れた。ある方向だけから音波を当てても，その応答波形に魚の種による違いは見られなかった。そこで，対象となる魚を少しずつ回転させ，音の入射角に対する応答スペクトルを描いてみると(Fig.2)，今度はサバとアジで明瞭な違いが認められた[4)]。

イルカも，多方向からのインパルス応答を調べることで魚の内部構造を知り，これを三次元再構成して形として認識するために使っているのではないだろうか。ただ，工学的に実現するためにはまだ壁がある。魚群探知機の送信機は船の底に装備され，一定間隔でまんべんなく海の中を見るように作られている。このため，一尾の魚から得られる反射音数や入射角度幅がとても小さい。一方，イルカの場合は接近しながら最適な発音間隔を調整し，ビームを絞って対象にあて，さらに近づく角度も変化させることが出来る。最終的にその魚を食べ，大きさや種類や，おいしいかまずいかまでフィードバックを得ることができる。極めて柔軟な広帯域ソナーに，自己学習型のデータベースが備わっているようなものだ。この差を埋めるいくつかのアイデアはあるが，いずれもまだ実現には至っていない。

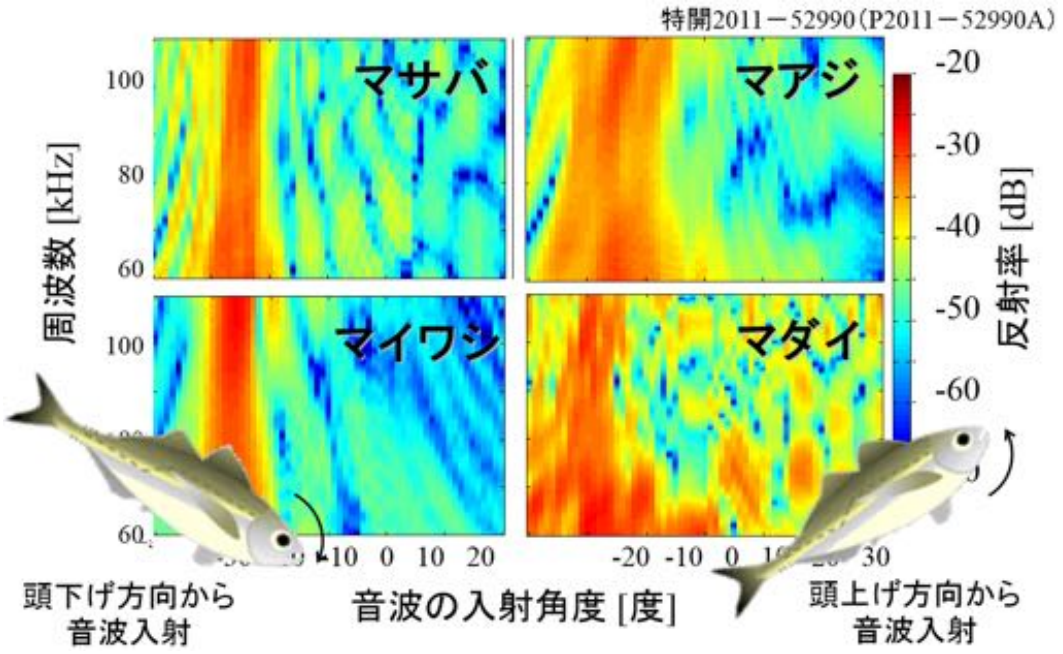


Fig.2 Target strength spectrum patterns of four popular fish species. A broadband impulse responses according to the attack angle of the ultrasonic beam are shown. The target strength spectrum patterns of the Japanese sardine shows simple strong echo at the specific incident beam angle whereas that of the red sea bream indicates complex pattern. A simple long ellipsoid swim bladder of the sardine is the major acoustic reflector. On the other hand, red sea bream has multiple reflectors in the body such as thick skin, bones and a short round shape swim bladder.

３.クジラのコミュニケーション

海中の音響伝搬はとても複雑である。曲げられ反射されるため，距離が離れたところで受信すると元の波形はひどく変形し間延びしてしまう。人間はこれを克服するために受信波形に送信波形を畳み込んで演算し，信号雑音比を上げている。たとえばインド洋のハード島から大西洋のバミューダ沖まで海中を伝搬させた音には M 系列とよばれる規則に従った位相変調がかけられた [5]。ただしこの方法は，送信波形を受信側で完全に把握しているときのみ有効だ。

ザトウクジラのような大型クジラの場合，声の変調パターンは個体によっても年によっても微妙に異なっている。クジラの音声は歌とも呼ばれ，繁殖のためにオスがメスに向けて発する。これを正確に遠くまで伝えることは，かれらにとってとても重要なことだ。クジラは，同じフレーズを何度も繰り返して歌を歌う。正確に相手に届いたかどうかのコールバックは必ずしもないので，送り手は何度も同じ信号を発するしかない。Munk の実験をよく見てみると，かれらは位相変調音以外にも 57Hz の単一周波数連続音も試している。これでもアフリカ大陸南端のケープタウン沖で明瞭な受信ができている。地球史上もっとも質量の大きな生き物であるシロナガスクジラは，最低で 17Hz という狭帯域音をわずかに下降周波数変調して繰り返し発する。伝搬条件がゆるせば，数千 km 届く音波である。

ところが海洋では，水面上で発せられた音は下に沈み込み，水深 1000m 付近にある音響伝搬層にとらえられ遥かかなたまで届くが，音のエネルギーの大部分は二度と水面に戻ってこない。浅い潜水しかしないヒゲクジラは，この遠距離通信チャンネルの恩恵を受けられそうもない。ただし，このチャンネルは島のまわりや高緯度海域では，表面近くまで上がってくることが知られている。ザトウクジラが繁殖のためにハワイ諸島や小笠原諸島にやってくるのも，オスにとっては遠くまで声を届かせ，メスにとっては多くのオスを見定めるために有利なのではないか。もちろん，暖かい海にやってきて繁殖することは，体の小さい赤ちゃんが体温を失わないためにも有効だが，コミュニケーション上の利点もあるのかもしれない。

参考文献

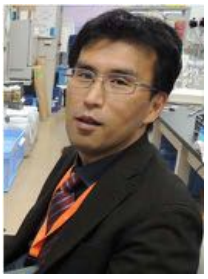
(1) Hoffmann-Kuhnt, M.; Chitre, M.; Mátrai, E. Yeo, K.; Lee, J. *J. Acoust. Soc. Am.* **2012**, *131*, 3362.
(2) Au W.W.L., *The sonar of dolphins*; Springer; New York, 1993.
(3) Harley, H.E.; Putman, E.A.; Roitblat, H.L. *Nature* **2003**, *424*, 667-669.
(4) 松尾 行雄,特開 2011－52990
(5) Munk, W.H.; Spindel, R.C.; Baggeroer, A.; Birdsall, T.G. *J. Acoust. Soc. Am.* **1994**, *96*, 2330-2342.

謝辞

以下の共同研究者および資金援助に感謝する；今泉智人・高尾芳三・安部幸樹・松田秋彦・王勇・小河慎二・西森靖・松尾行雄・伊藤雅紀・生物系特定産業技術研究支援センター異分野融合研究支援事業・戦略的創造研究推進事業

Engineering Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

魚類に関するバイオミメティクス・データベース構築
Building of the Biomimetic Database on Fishes



● 目的

国立科学博物館筑波研究施設に所蔵される魚類液浸標本を主に利用し，北海道大学総合博物館と共同で走査型電子顕微鏡（SEM）画像を集積する．画像に加え各魚種の生態学的特徴をキーワード化し、情報学の研究者とバイオミメティクス・データベースを構築する．

並行して工学系研究者と共同で微細構造の機能についての研究調査を進める．

● 結果

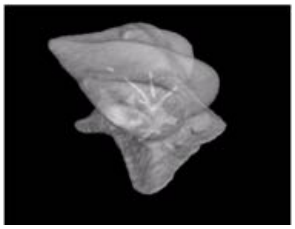
現在までに66科117種の魚類の体表画像をデータベースに集積した．バイオミメティクス・データベースに搭載したデータやキーワードは下記を参照．

所属班：A01－1班
所属機関：独立行政法人 国立科学博物館 動物研究部
氏名：篠原現人・片山英里・松浦啓一
所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市
天久保4-1-1 国立科学博物館
e-mail：s-gento@kahaku.go.jp
研究キーワード：魚類，多様性，サメ肌，鱗，機能形態

サメ肌（楯鱗＝じゅんりん）の形態とサメ類の生態

サメ：世界に約400種

サメの鱗（1枚）の基本構造

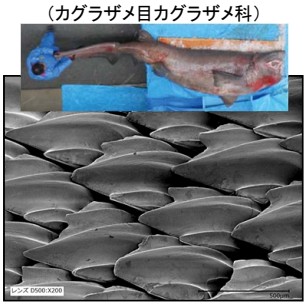


マイクロフォーカスX線CT装置によるオオテンジクザメの楯鱗の撮影画像（島津製作所提供）

●ネズミザメ
（ネズミザメ目ネズミザメ科）

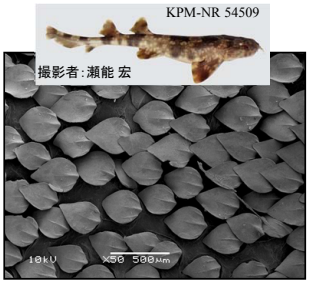
遊泳性・表層性
（活発に泳ぎ回る）

●カグラザメ
（カグラザメ目カグラザメ科）



深海性・遊泳性
（ゆっくり泳ぐ）

● オオセ
（テンジクザメ目オオセ科）



底生性（海底に生息，あまり泳がない）

Fig.1 SEM and CT images of shark skin.

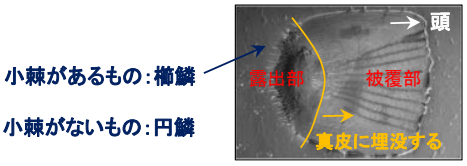
KPM-NR: 神奈川県立生命の星・地球博物館魚類写真資料; FAKU: 京都大学舞鶴水産実験所所蔵標本

板状鱗の多様性

硬骨魚類：世界に約26,000種

・板状鱗は体を保護する役割を担う器官．
・露出部の形状はグループごとにユニークで多様性も高い

真骨魚類における鱗（1枚）の基本構造



クロソイの鱗

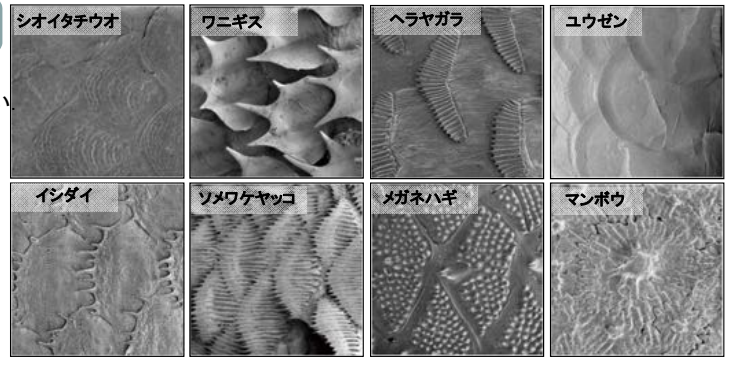


Fig.2 SEM images of scales in teleost fishes.

● まとめ

魚類の体には鱗，鰭，歯，鰓などの多様な構造があるが，これらの形態は魚類の生態や周辺の環境に関連づけられるものも多い．引き続きSEM画像を計画的に集め，B班と共同でさまざまな測定をおこない，形のもつ機能の解明を進めていく（例：サメ肌の摩擦抵抗，吸盤の吸着力）．

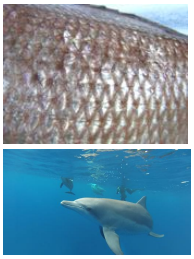
生物微細構造を規範とした材料表面改質とその特性

Surface Characterization and Surface Modification Inspired by Microstructure of Livings

Engineering Neo-Biomimetics 平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型) 生物多様性を規範とする革新的材料技術 Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

工学院大学　先進工学部　応用化学科　　小林　元康
motokoba@cc.kogakuin.ac.jp

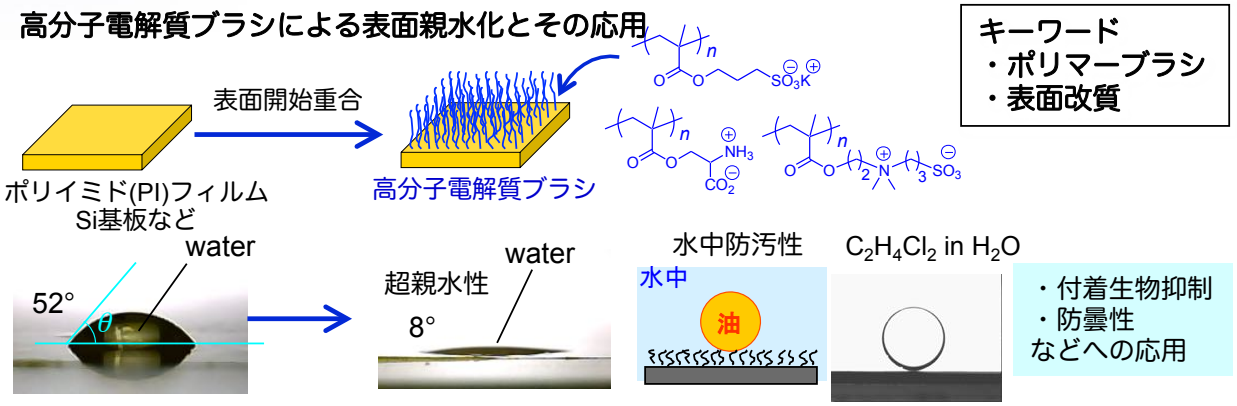
●研究の背景



魚類は体表から粘液を分泌し、鱗とともに体表を保護している。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むために、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。また、粘液は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いわれている。
本研究では、ブラシ状の高分子電解質で被覆した様々な表面を調製し、その防汚性を検討した。また、流体抵抗に与える影響についても検証した。

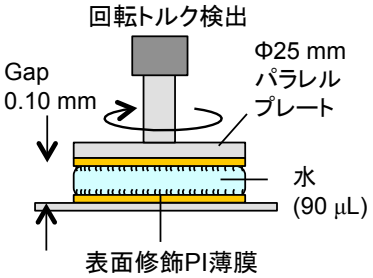
高分子電解質ブラシによる表面親水化とその応用

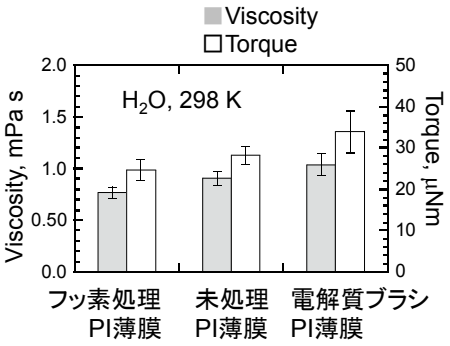
キーワード
・ポリマーブラシ
・表面改質



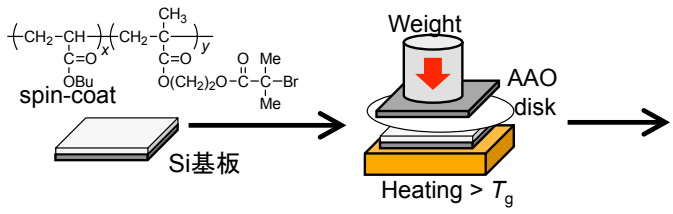
●研究の内容

(1)流体抵抗の評価

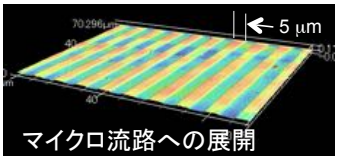




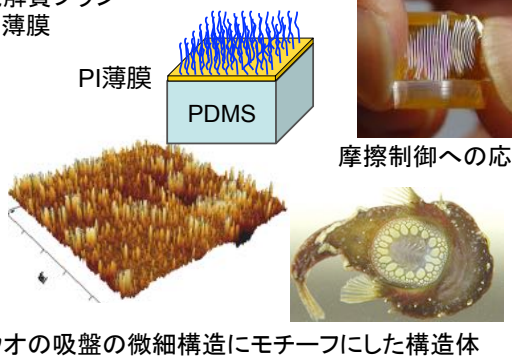
(2)親水性表面微細構造体の接着特性

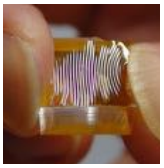


(3)パターン化ブラシによる異方性濡れ



(4)シワによる凹凸可変表面の調製





摩擦制御への応用

ダンゴウオの吸盤の微細構造にモチーフにした構造体

●まとめ

ポリイミド(PI)薄膜に高分子電解質ブラシを調製することで、超親水性表面が得られ、水中では油滴を付着しない等の防汚性を示した。今後、マイクロパターン構造やシワ構造と組み合わせ生物汚損性についても検討する。また、表面修飾PI薄膜に挟み込まれた水の粘度測定から、水の流体抵抗は疎水性表面よりも親水性表面の方が大きいことが明らかとなった。

低環境負荷の構造色塗工プロセス
Structural Color Coating Process with low environmental load

所属班：B01-2班
所属機関：国立研究開発法人物質・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、オパール薄膜、
構造色、塗工、低環境負荷

● 目的

タマムシの表皮のエピクチクラと呼ばれる最外層に多層膜構造が形成されており光輝く構造色を発現する。当班ではコロイド粒子が自己集積で３次元規則配列した(オパール結晶)の薄膜によりタマムシの構造色を模倣した。タマムシの行動実験の研究に利用してきた[1]。

このオパール結晶薄膜を凹凸を有する表面へコーティングする技術は汎用性があり、飾色分野で新しい構造色として期待されている。一方、既存技術として誘電体多層膜ミラー（dichroic glass）と呼ばれる蒸着あるいはスパッタリングを利用した真空プロセスによる加飾技術が利用されている。エネルギー消費が少ない抵コストな塗工プロセスの可能性を検討する。

● 実験方法と結果

単分散コロイド粒子は乳化重合により70℃で20時間かけて合成した。5000mLのフラスコを用い合成した原液を4倍希釈により粒子濃度(2wt%) 20Lのサスペンションを調整した。著者らは量産可能なオパール結晶薄膜の結晶成長を制御した成膜プロセスを研究してきた[2]。今回、Fig.1左に示した塗工法を利用した[3]。

この方法では塗工対象を親水処理しサスペンションの容器に吊し自然流下によってサスペンションの液面を低下させることでオパール結晶を成膜する。塗工速度は容器面積及び流量に依存する。また、成膜速度を促進するため50℃のオーブン内に設置した。Fig.1右の写真では模倣タマムシの作製の様子である。
サスペンションはフィルターで濾過し、再利用しており塗工膜及び回収による消失量は僅かである。

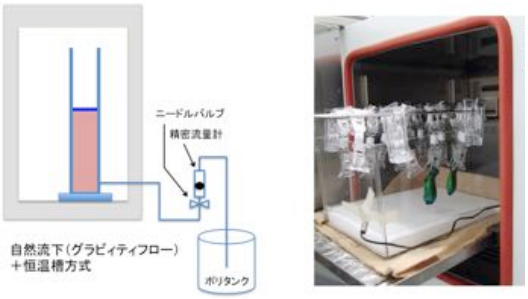


Fig. 1 Gravity flow system for opal film coating with simple, easy and scalable equipment.

表面に凹凸があるＡＢＳ樹脂製の黒色トレイ(15cm×25cm)を塗工対象とした構造色による飾色結果をFig.2に示す。光沢のある構造色が発色しており、コロイド粒子の粒子径を変えることで赤、緑、青の塗工膜の成膜に成功した。コロイド粒子の固定にはポリジメチルシリコーン（信越化学, KE106+Cat-RG）を使用し50℃で架橋させた。

Fig. 2 Structural color of opal films on black color trays. The coloration depends on size of colloids.

● まとめ

コロイド粒子の自己集積による本塗工プロセスは原料であるポリスチレン粒子の合成、コロイド結晶薄膜の塗工、シリコーンによる粒子固定のいずれの工程においても比較的エネルギー消費が少ない。また、今回、塗工プロセスを従来のアクチュエータ方式から自然流下方式に代替することで装置のコストが大幅に削減することが可能となった。本塗工プロセスは環境負荷の少ない新しい飾色技術として多様な分野への応用展開が期待できる。

● 参考文献

(1)不動寺浩; 生物規範工学 ニュースレター Vol.3, No.2, pp.23-24, 2014；B01-2班オパール結晶薄膜塗工による摸倣タマムシの構造色
(2)不動寺浩, 加藤一郎, 澤田勉; “高品質なオパールフォトニック結晶フィルムの 製膜プロセス” ケミカルエンジニアリング 58[10] (2013) 46-54
(3)不動寺浩,加藤一郎,澤田勉; 特開2015-027930 コロイド結晶膜を製造する方法およびその装置

イオン液体を用いたSLUGの開発
Self-lubricating organogels (SLUGs) containing ionic liquids

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 材料表界面グループ
氏名：佐藤 知哉，浦田千尋，穂積　篤
住所：〒463-8560
愛知県名古屋市守山区大字志段味字穴ヶ洞 2266-98
e-mail：a.hozumi@aist.go.jp
研究キーワード：高分子合成，高分子反応，
ポリマーブラシ，イオン液体

● 目的

我々はこれまでに，“離しょう”という身近な物理現象を利用し，生物の分泌機能を人工的に再現したバイオミメティクス材料「SLUG（なめくじ）：Self-lubricating organogel」を開発した[1]。これまでのSLUGは，内包させる離しょう液にアルカン等を用いていたため，蒸発に伴う表面機能の長期持続性に課題があった。そこで本研究では，不揮発性のイオン液体（IL）に着目し[2]，内包液の離しょう特性，表面機能の長期持続性を目指した。

● 実験方法と結果

下記に示すIL1，2と有機材料（ポリマーブラシ，ウレタン）を組み合わせ，IL膜およびIL-SLUGを作製した。

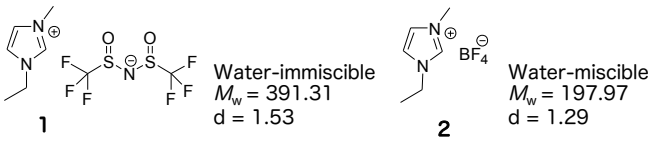


Fig.1 Chemical structure and properties of ionic liquids used in this study.

ポリマーブラシをホスト基材として使用

Poly (dimethylaminoethyl methacrylate) ポリマーブラシ[3]上にIL**1**および**2**を塗布しIL膜を作製した。

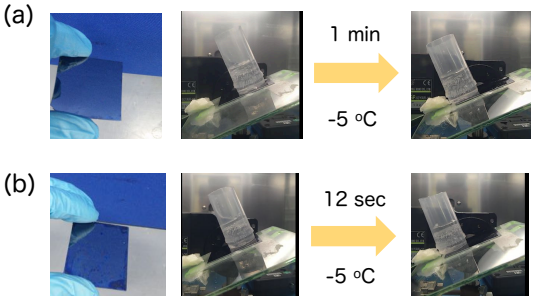
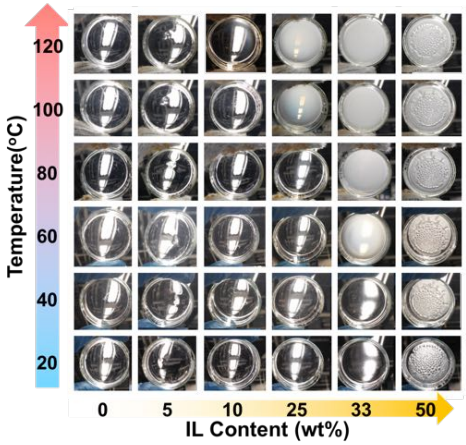


Fig.2 Anti-icing properties of (a) IL **1**, (b) IL **2** films on polymer brush-covered surface.

ポリマーブラシをホスト基材に用いることで安定したIL膜の作製が可能となった。

○ポリウレタンをホスト基材として使用

ウレタンゲル (エクシール，人肌ゲル) にIL**2**を混合し常温で架橋させた。



ILの含有率が高くなるに従い，低温で白濁した。

可逆的な光学特性を示した。

Fig.3 Changes in transparency of the resulting gels under various temperatures.

ポリウレタンをホスト基材に用いることで，加熱-冷却により可逆的な光学特性を示すIL-SLUGの作製が可能になった。

● まとめ

ポリマーブラシやウレタンをホスト基材に用いることで，イオン液体の優れた物理化学的特性を活かした新材料/表面創製が可能となった。

● 参考文献

(1) Urata, C.; Dunderdale, G. J. ; England, M. W.; Hozumi, A. *J. Mater. Chem. A*, **2015**, 3, 12626.
(2) Miranda, D. F.; Urata, C.; Masheder, B.; Dunderdale, G. J.; Yagihashi, M.; Hozumi, A. *APL Mater*. **2014**, 2, 056108.
(3) Dunderdale G. J.; Urata C.; Miranda D. F.; Hozumi A. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2014**, 6, 11864.

ガ類の受容体によるフェロモンブレンド検出機構の解明
Elucidation of detection mechanisms for pheromone blends in moth species

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
所属機関住所： 〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1
e-mail： misuno@brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp
研究キーワード： ガ類、フェロモンブレンド、嗅覚受容体、嗅覚受容細胞

● 目的

オスガ類は、メスの放出する性フェロモンを検出することで、同種のメス個体を識別する。性フェロモンは、複数成分が異なる比率で含有するフェロモンブレンドを構成する。オスはその成分と比率を検出しメスを識別している。近年、ガ類から性フェロモン受容体（PR）が発見され、各成分はこれら受容体によって検出されていることが明らかにされてきた。しかし、構成比率がPRでどのように検出されるのかは明らかにされていない。本研究では、ガ類のPRによるフェロモンブレンドの検出機構を明らかにすることで、複数成分から成るガスの新たな検出方法の提案を目指す。

● 実験方法と結果

➢ 2成分系

2成分系フェロモンブレンドを利用するヒメアトスカシバ（*Nokona pernix*）（Fig.1）[(1)]からPR遺伝子を単離し、アフリカツメガエル卵母細胞を用いて成分選択性を解析した。NpOR1、NpOR3はそれぞれEZ体、ZZ体に特異的に応答することが分かった。また、*in situ*ハイブリダイゼーションを用いて、触角における局在様式を明らかにし（Fig.2左図）、PRの選択性と局在様式（嗅覚受容細胞の割合）に基づき検出モデルを構築した（Fig.2右図）。

Fig.1 Components and ratio in pheromone of *N. pernix*

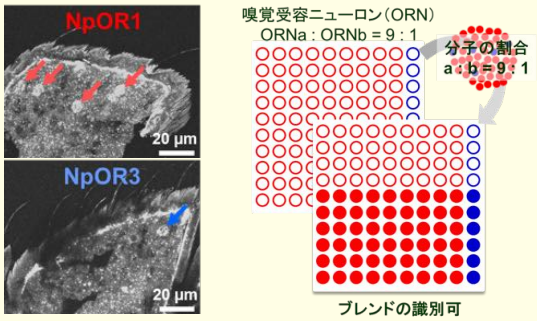


Fig.2 Localization of PR in antennae and one estimated pheromone detection model.

➢ 4成分系

4成分系フェロモンブレンドを利用するキマエホソバ（*Eilema japonica*）（Fig.3）[(2)]から、RNAseqによりオス優勢的に発現するPR候補遺伝子を単離した。RNAseqによる遺伝子発現量解析の結果、触角において各候補遺伝子が異なる割合で発現していることが分かった（Fig.4）。現在、卵母細胞を用いた機能解析を進めている。

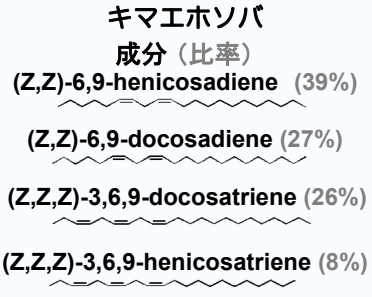


Fig.3 Components and ratio in pheromone of *E. japonica*.

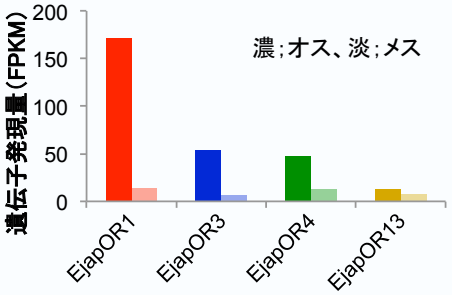


Fig.4 Expression levels of PR candidate genes in antennae by RNAseq analysis.

● まとめ

2成分系フェロモンブレンドを利用するヒメアトスカシバ（EZ体：ZZ体＝9：1）から、各成分に特異的に応答する受容体（NpOR1、NpOR3）を同定した。触角での発現解析の結果、これら受容体を発現する嗅覚受容細胞の割合がフェロモンブレンドの構成比率と相関することが分かり、2成分系を利用するガ類のフェロモンブレンド検出機構の一つの仕組みを示唆した。また、4成分系フェロモンブレンドを利用するキマエホソバからPR候補遺伝子を単離し、RNAseqに基づく発現解析結果から、各候補遺伝子は触角で異なる発現量で発現していることを示した。

● 参考文献

(1) Naka, H. *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **2006**, *70*, 508-516.
(2) Fujii, T. *et al.*, *J. Insect Physiol.* **2010**, *56*, 1986-1991.

Engineering Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

昆虫の羽ばたき飛行における胸部構造の変形とその制御
Flexibility and control of the insect thorax during flapping flight

● 目的

多くの飛翔昆虫は，胸部外骨格に付着する間接飛翔筋 (indirect flight muscle) の収縮で，胸部背面の外骨格（中胸背板: mesonotum) を変形させ，翅の背腹方向の運動を生み出す(1)。スズメガを含むチョウ目の昆虫は，羽ばたきサイクルごとの間接飛翔筋の筋収縮が運動神経の活動によって制御される同期筋 (synchronous muscle) であるが(2)，外骨格がどのように変形し，飛翔筋活動でどの程度制御されるかは明らかでない。本研究ではレーザ計測で変形を面でとらえ，その特徴を明らかにするとともに，制御信号である筋電位との対応関係を解析した(3)。

所属班：B01-5
所属機関：東京大学 先端科学技術研究センター
氏名：安藤規泰
所属機関住所：〒153-8904東京都目黒区駒場4-6-1
e-mail：ando@brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp
研究キーワード：羽ばたき飛行，外骨格，間接飛翔筋，筋電位，スズメガ

● 実験方法と結果

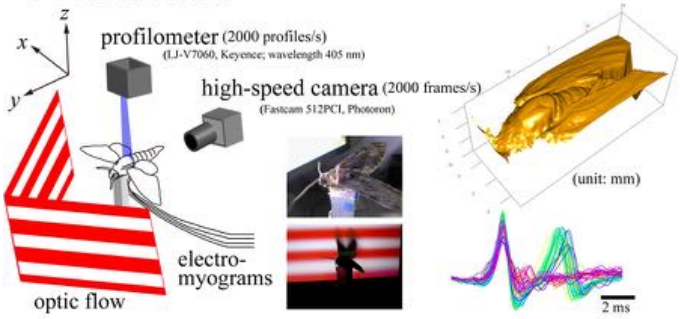


Fig.1 Experimental set-up and sample measurements of body morphology and electromyograms

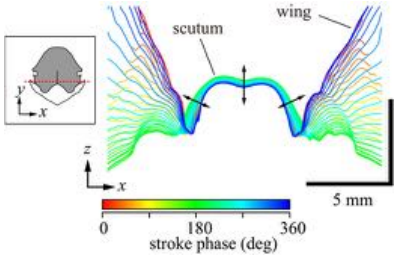


Fig.2 Thorax deformation during wing flapping

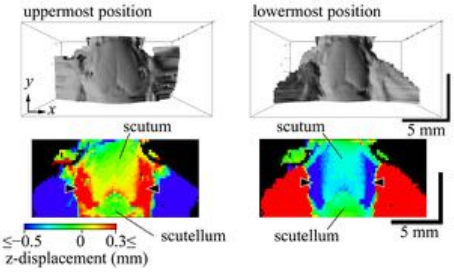


Fig.3 Vertical displacement of the dorsal surface of the thorax (mesonotum)

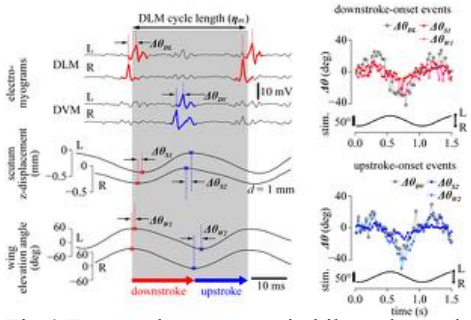


Fig.4 Temporal asymmetry in bilateral muscle activities, thorax oscillations and wing strokes

● まとめ

関節飛翔筋による筋収縮は，中胸背板の単純な上下運動ではなく，楯板 (scutum) 辺縁部の大きなたわみを生み出し，これが羽ばたき振幅を増大させることが明らかになった。また，中胸背板は左右の翅をリンクする一つの構造であるが，左右の間接飛翔筋の活動タイミングの違いで変形を非対称に調節できることが示された。今後胸部のX線CT像をもとに外骨格の構造モデルを構築して，羽ばたき運動を生み出す構造のメカニズムを解析する予定である。

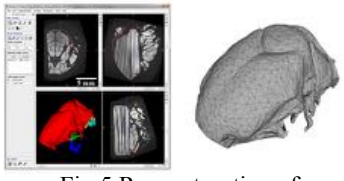


Fig.5 Reconstruction of the mesonotum

● 参考文献

(1) Snodgrass RE.; *Principles of insect morphology*. New York, McGraw-Hill, 1935.
(2) Wang, H.; Ando, N.; Kanzaki, R.; *J. Exp. Biol.* **2008**, *211*, 423-432.
(3) Ando, N., Kanzaki, R.; *Biol. Lett.* **2016**, *12*, doi:10.1098/rsbl.2015.0733.

心豊かな暮らし方のか・た・ち を創るテクノロジー
Lifestyle innovation for sustainability learning from Nature

● 目的

今後、益々厳しくなる環境制約の下、これまでのライフスタイルを続けることは困難である。一方で人々の求めるものは「もの」から「心」の豊かさへシフトしている。本研究では、社会受容性の高い心豊かな暮らし方の構造を明らかにし、それを実現するライフスタイルに必要な技術要素をオントロジー工学を応用し、バイオミメティクスのテクノロジーから抽出する方法論を明らかにするものである。

● 実験方法と結果

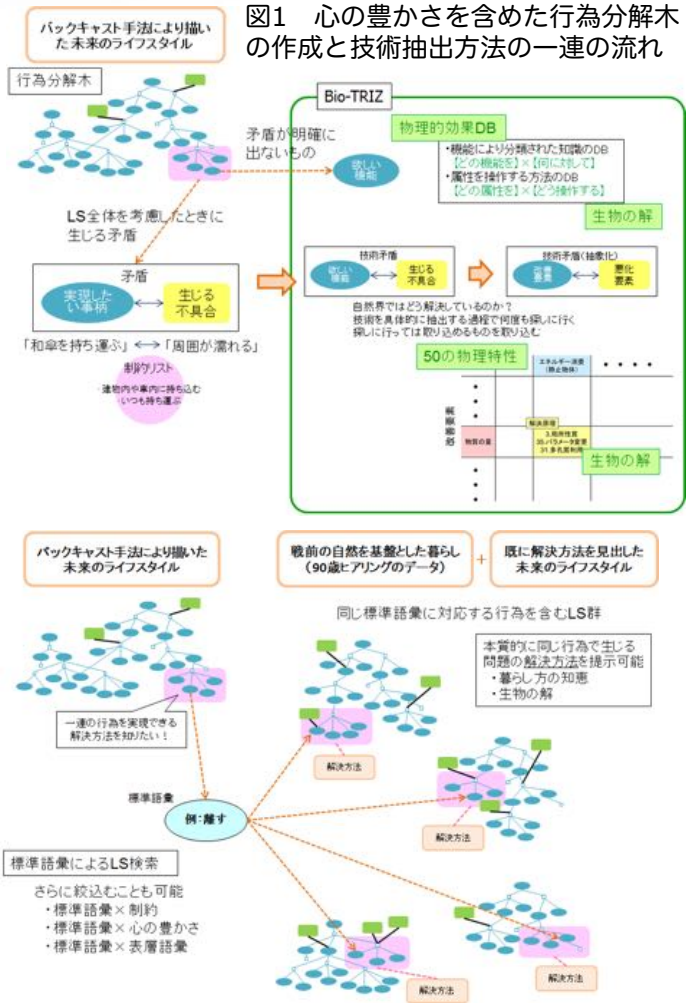


図1　心の豊かさを含めた行為分解木の作成と技術抽出方法の一連の流れ

図2　標準語彙による本質的に同じ行為で生じる問題解決方法をマッチング

所属班：C01班
所属機関：東北大学大学院環境科学研究科
氏名：古川柳蔵
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：ryuzo.furukawa.b1@tohoku.ac.jp
研究キーワード：バックキャスティング、行為分解木、標準語彙、技術抽出、心の豊かさ

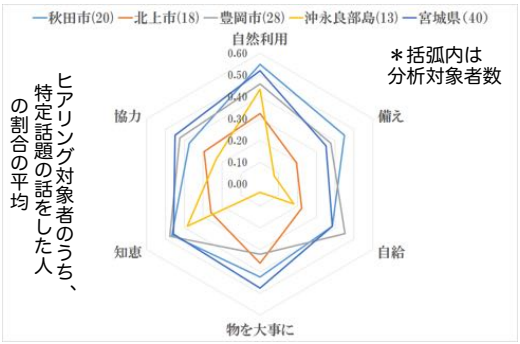


図3　地域独特の制約下の価値観とテクノロジー

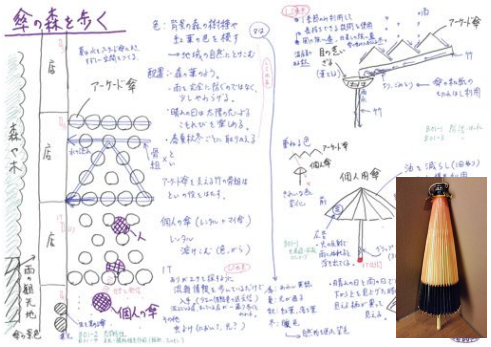


図4　北上市口内地区実装検討開始。地域発祥の唐傘技術を基盤にバックキャスト思考による新LS創出からBio-TRIZで生物解探索

● まとめ

・ライフスタイルを行為分解木で記述し、Bio-TRIZに連動させるための技術矛盾を見出す方法論を確立した。
・バックキャスト思考によるLSD、生物解探索、蓄積データ利用の一連のプロセスの方法論を見出した。
・具体的な地域（北上市）への実装を想定して、LSDから生物解を得られるかの検証、評価方法の検討を開始した。

● 参考文献

(1)石田秀輝、古川柳蔵(2014)地下資源文明から生命文明へ,東北大学出版会.

Engineering
Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

インコ類の混色による非虹色構造色
Non-iridescent structural coloration of a parrot species

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
e-mail：morimoto@g.nifty.jp
研究キーワード：鳥類，羽毛，構造色

● 目的

構造色は様々な生物だけに限らず，地球上の自然の至る所で見ることが出来る発色様式である．モルフォチョウやタマムシ(1)のきらびやかな輝きの発色メカニズムを探る数々の研究は，日本発の構造色研究としてバイオミメティクス分野でも，その代表例として知られている．生物が作り出す構造色は，常温下で生産されたケラチンやメラニンといった生物由来の素材が作る微細構造で発現し，色素に依存しない発色様式であるため，化石になっても色が残るほど安定性が高い．また，自然界で分解されるため，環境にも優しい．このような構造色素材の基礎研究として，各生物の発色様式を探ることは，構造色への理解の一助となる．本研究では，昆虫とは異なる構造である鳥型の構造色（非虹色）の発色に関わるキーポイントを探る．

● 実験方法と結果

研究対象種として，インコ類の1種であり緑色の羽毛を持つコザクラインコ(*Agapornis roseicollis*)を用いた．インコ類の緑色は，色素色による赤系等の色と構造色による混色と考えられている．このインコでは，稀に羽色が変化してしまう病状が知られており，緑色を失ってしまう羽色変化（大抵は赤色となる）が起こる．この病状は投薬治療で改善できることが，近年の獣医学研究によって明らかとなった(2)．この治療による羽色変化の際，羽毛内部にて発色に関わりうる微小構造がどのように変化したのか，同種について，構造色羽毛（緑色）と非構造色の羽毛の内部構造を，走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて，観察し，比較により差異が生じた構造の探索を試みた．加えて，分光計計測によって，両者の発色の定量評価と比較も併せて行った．

結果，羽毛の繊維内部に存在するスポンジ層と呼ばれる泡状・網目状構造に，羽色の変化前後で違いが見られた．一方，外皮状の構造(Cortex)など，他の構造では大きな違いは認められなかった．

Fig.1 Green color is mixed color (pigment and structural color)

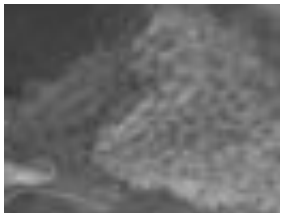


Fig.2 SEM image of sponge layer structure of feather barb.

● まとめ (ボールド)

インコの緑色は，非虹色と呼ばれる角度依存性が低い構造色として知られる．これはドバト(*Columba livia*)の多層膜干渉による構造色(3)や，クジャクにおけるメラニン顆粒の配列による構造色(4)などとは異なり，スポンジ層の泡状構造がもつ一見ランダム様ながらも規則的な周期性のある構造（Fig.2）によって発色すると考えられている(5)．これらと本研究の結果を合わせ，色素色と構造色の混色型の緑色とされるインコ類では，病的疾患に伴いスポンジ層の周期性構造の乱れが，構造色を失わせ，色素のみの赤色へ変化していたと考えられた．この結果は，非虹色構造色の発色について，その核であるスポンジ層の泡状構造のどの要素が発色に必要であるかを明らかにする一助となる．

● 参考文献（ボールド）

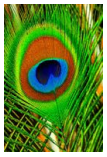
(1)Kinoshita, S.; Yoshioka, S. *Chem. Phys. Chem.* **2005**, *6*, 1442-1459.
(2)眞田直子; 眞田靖幸. *日獣誌*. **2014**. *67*, 686-690.
(3) Yoshioka, S.; Nakamura, E.; Kinoshita, S. *J. Physic. Soci*. **2007**, *76*, 013801.
(4) Yoshioka, S; Kinoshita, S, *FORMA* **2002**, *17*, 169-181. .
(5) Prum, R. O.; Torres, R. H.; Williamson, S.; Dyck, J. *Nature*. **1998**, *396*, 28-29.

メラニン顆粒から着想した粒子を用いる構造色材料
Structural colors from particles that mimic melanin granules

● 目的

孔雀の羽の構造色は，羽に含まれる柱状型のメラニン顆粒（ドーパを前駆体とする黒色化合物）が形成する微細なナノ配列構造にあたった光が反射することで発色している。さらに，自然界におけるメラニン顆粒は重合度や組成により薄茶～黒色の色調を有し，散乱光の吸収度合いを制御することで構造色を際立たせ，視認性の高い発色を実現している。

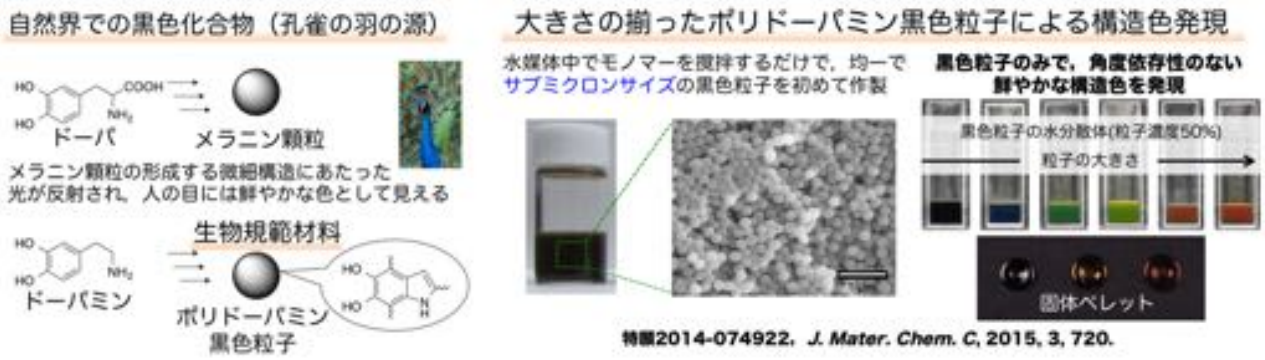
本研究では，自然界での構造色の発現機構に学び，メラニン顆粒を模倣した「吸収のあるコロイド粒子」を素材とし，通常の環境下でも視認性の高い構造色材料の開発を目的としている。



所属班：公募班
所属機関：千葉大学大学院工学研究科
氏名：桑折 道済 (こおり みちなり)，河村 彩香
所属機関住所：〒263-8522
e-mail：kohri@faculty.chiba-u.jp
研究キーワード：ポリドーパミン，微粒子，構造色，孔雀，メラニン顆粒

● 実験方法と結果

1) ポリドーパミン黒色粒子の合成と構造色発現



2) ポリドーパミン黒色層をシェル層とするコア-シェル型粒子の合成と構造色発現

● まとめ

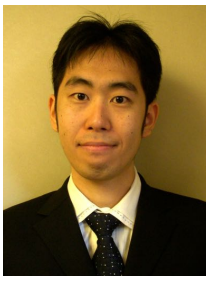
孔雀の羽の構造発色の源であるメラニン顆粒を模倣した吸収のあるコロイド粒子を作製し，構造色の発現に成功した。本系は，大きさが均一な粒子由来の構造色と，黒色による余分な散乱光の吸収を同時に達成することで，添加剤を加えずに1種類の粒子のみでの視認性の高い構造色発現が可能である。

● 参考文献

(1) Kohri, M., Nannichi, Y., Taniguchi, T., and Kishikawa, K., *J. Mater. Chem. C*, **2015**, 3, 720-724.
(2) 桑折 道済，南日優里，谷口竜王，岸川圭希，特願2014-074922
(3) 桑折 道済，河村彩香，特願2015-186195

Engineering Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

珪藻細胞壁の微細構造が生み出す 栄養取り込み機能の解明と物質拡散制御材料への応用



所属班：公募班
所属機関：東京農工大学　大学院工学研究院
氏名：前田　義昌
所属機関住所：〒184-8588
東京都小金井市中町2-24-16
e-mail：y_maeda@cc.tuat.ac.jp
研究キーワード：珪藻、珪殻、TiO_2、ペプチド

● 目的

珪藻は地球上のあらゆる水圏環境に適応し、20万種以上の多様性を有する生物である。その繁栄を支える生存戦略の一つとして、近年、珪藻の細胞壁（珪殻）が持つ階層的な微細構造が、物質拡散方向を制御し、栄養源を積極的に取り込むことに寄与しているのではないかという仮説が提唱されている(1)。しかし、どのような微細構造がその機能を生み出しているかは全く不明である。そこで本研究では、珪殻が生み出す物質拡散制御機能のメカニズムを解明し、物質を一定方向に拡散させることのできる微細構造の特定を目指す。具体的には、遺伝子組み換え技術を用いて珪殻微細構造内で表面修飾を施し、水溶性チタン化合物を供給することによりTiO_2結晶成長を促した。TiO_2結晶の前駆体化合物の拡散挙動は結晶の成長速度や方向に大きく影響を与えると考えられる。その影響を、珪殻微細構造内で成長した結晶の電子顕微鏡などの手法を用いて解析することとした。

● 実験方法と結果

高濃度チタン塩存在下でも培養可能な海洋珪藻*F. solaris*のゲノム配列から珪殻タンパク質であるFrustulin1を特定し(2)、TiO_2結晶化ペプチド（Titanium crystallization peptide (TCP)：RKKRKKRKKRKKGGW)と蛍光マーカーであるGFPを融合発現した。ペプチド提示形質転換体を、水溶性チタン化合物である2 mM Titanium(IV) bis(ammonium lactato)dihydroxide (TiBALDH)を含むf/2培地を用い、7日間振盪培養した。得られた藻体を5 M塩酸を用いて処理することで、珪殻を得た。珪殻の形態解析には、透過型電子顕微鏡(TEM)を用い、元素分析には誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP-AES)を用いた。さらに、TiO_2を結晶化させるため500℃で1時間焼成し、焼成前後における珪殻の結晶性解析を行った。

ICP-AES解析の結果、珪殻上へのチタン化合物の沈着を検出した。一方、高分解能TEM観察の結果、室温でTCP提示珪殻上へ沈着したチタン化合物の結晶化は確認されなかった。そこで、焼成による結晶化を試みたところ、複数のドメイン（<5 nm）をもつアナターゼ型TiO_2微結晶の合成が確認された。また、珪殻の特徴的な小孔構造内にも微結晶が観察された。

● まとめ

遺伝子組み換えにより細胞表層をペプチド修飾した珪藻を作出し、チタン化合物の沈着を行った。室温での結晶化は確認されなかったものの、焼成により珪殻構造内における微結晶の合成を確認した。今後、小孔構造と微結晶成長の相関について、高分解能TEM観察を中心とした解析を行う予定である。

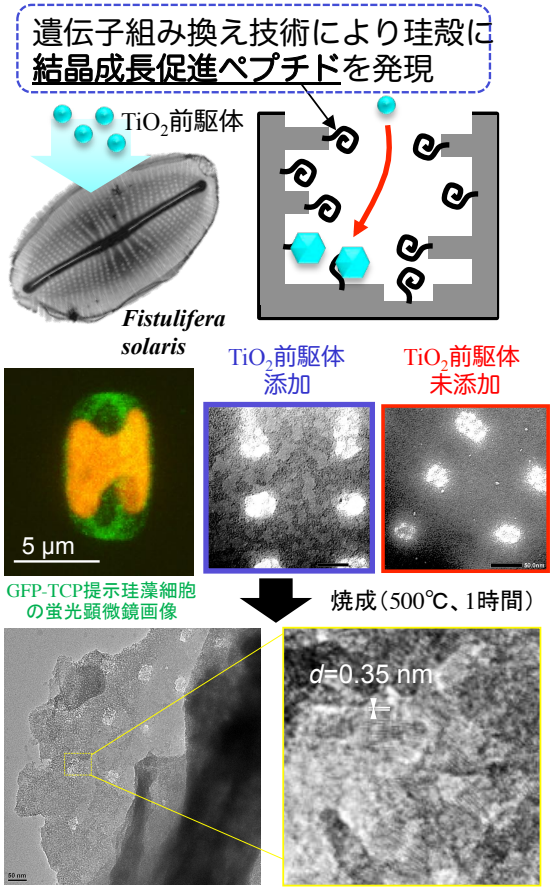


Fig.1 TiO_2前駆体（TiBALDH）をTCP提示形質転換珪藻に添加した際に沈着するチタン化合物の電子顕微鏡観察像

● 参考文献

(1) Mitchell J. G.; Seuront L.; Doubell M. J.; Losic D,; Voelcker N. H.; Seymour J.; Lal R., *PLoS One.* **2013**, *8*, e59548.
(2) Maeda Y.; Tateishi T.; Niwa Y.; Muto M.; Yoshino T.; Kisailus D.; Tanaka T, *Biotechnol Biofuel.* **2016**, *9*, 10.

環状両親媒性高分子の自己組織化によるベシクル構築とゲスト包摂

● 目的

好熱菌と呼ばれる単細胞生物は、細胞膜に環状の脂質分子を有することで海底火山や温泉など高温の環境で生息できる。本研究は、この環状脂質分子を摸倣した合成高分子に自己組織化を誘導し、形成した好熱菌細胞膜モデルとなるベシクルを利用して高安定性獲得のメカニズムの解明を行い、その応用を探求するものである。

所属班：公募班
所属機関：北海道大学
氏名：山本拓矢
所属機関住所：〒060-8628
北海道札幌市北区北13条西8丁目
e-mail：yamamoto.t@eng.hokudai.ac.jp
研究キーワード：自己組織化、環状高分子、ベシクル

● 実験方法と結果

直鎖状PS–PEO–PSトリブロック共重合体（**Linear**, M_n = 4100–2100–4100）（Fig. 1a）及び環状PS–PEOジブロック共重合体[1-2]（Fig. 1b）（**Cyclic**, M_n = 8900–2100）のTHF溶液を水中に滴下することで自己組織化を行った。透過型電子顕微鏡（TEM）観察および動的光散乱（DLS）測定によりベシクル（Fig. 2）の形成を確認した。また、Fluorescein Sodium Salt（FSS）存在下でベシクルの構築を行い、FSSの包摂が構造安定性に与える影響について検討した。

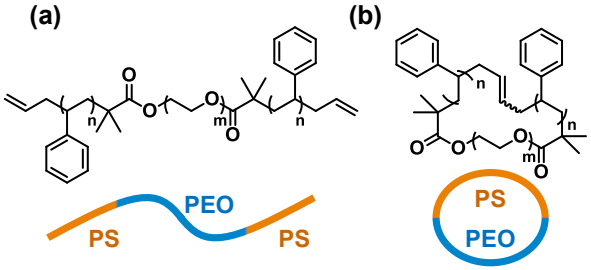


Fig. 1 Chemical structures of (a) **Linear** and (b) **Cyclic**.

初めに、FSSを包摂していないベシクルを調整しTEM観察を行ったところ、二分子膜構造を持つ中空球状構造体が確認された。DLS測定を行ったところ、**Linear**より形成したベシクルの粒径は約70 nm、一方**Cyclic**を利用したベシクルでは約50 nmとなった。また、FSSを包摂したベシクルのDLS測定を行ったところ、**Linear**のベシクルの粒径は約70 nm、**Cyclic**のベシクルでは約50 nmでありFSSの包摂による粒径の変化は見られなかった。

次に、これらのベシクル水溶液に5 wt%となるNaClを加え、昇温により熱安定性を評価したところ、**Linear**ベシクルでは63 ˚Cでサイズがマイクロメートルスケールに増大したのに対し、**Cyclic**ベシクルは57 ˚Cで同様のサイズ変化が生じた。これは、対応する温度でのベシクルの崩壊と凝集を示唆している。一方、FSSを導入すると、**Linear**ベシクルの崩壊温度が45 ˚Cに低下したのに対し、**Cyclic**ベシクルの崩壊温度は58 ˚Cとほとんど変化せず、熱安定性の逆転が生じた。

この原因は、高分子トポロジーに由来する二分子膜のパッキングに関係すると考えられる。すなわち、FSSの包摂により**Linear**ベシクルでは高分子鎖の密なパッキングが失われ熱安定性が低下する一方、**Cyclic**ベシクルでは、その高分子トポロジーによりパッキング様式の変化が抑制されていたため、FSS包摂の影響をほとんど受けなかったと考えられる。

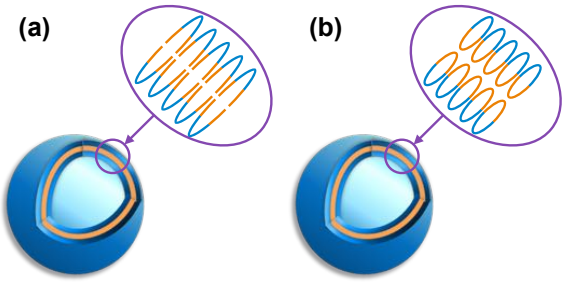


Fig. 2 Schematic illustrations of vesicles formed from (a) **Linear** and (b) **Cyclic**.

● 参考文献

(1) Baba E. *et. al.*; *Polym. J.* **2015**, *47*, 408-412.
(2) Baba E. *et. al.*; *Polym. Chem.* **2012**, *3*, 1903-1909.

● まとめ

直鎖状PS–PEO–PSおよび環状PS–PEOよりベシクルの構築し、FSSの包摂を行った。これらのベシクルの熱安定性を評価したところ、FSSの導入によって安定性の逆転というトポロジー効果を見出した。

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

所属班：２０６
所属機関：浜松医科大学
氏名：高久 康春
所属機関住所：〒431-3192 浜松市東区半田山1-20-1
e-mail：ytakaku@hama-med.ac.jp
研究キーワード：FE-SEM・高真空・Nanosuit®

● 目的

電界放射型走査型電子顕微鏡（FE-SEM）は、表面微細構造を高解像度で観察できるが、高真空環境を必要とする為、生物試料を生きたまま観察することは不可能とされてきた。本研究では、生物試料を生きたまま、濡れたままの状態で観察・解析することを目的に技術開発に取り組み、ナノ薄膜で試料全体を覆うことにより、体内のガスと液体成分の漏出を防ぐという革新的技術の開発に成功した（NanoSuit®法）。現在では生物個体だけでなく、組織や細胞まで観察可能になり、これまで世界中の科学者が日常的に行ってきた固定・脱水・乾燥を伴う試料映像とは似て非なる構造を観察している。

● 実験方法と結果

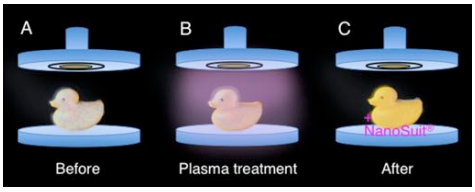


Fig.1 Schematic drawing of surface modification by plasma. Materials covering on the entire specimen are irradiated with plasma for 3 min (B). A flexible NanoSuit® is formed (C).

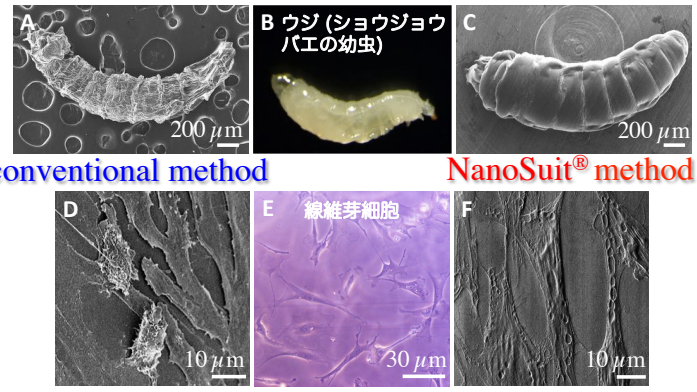


Fig.2 FE-SEM images compare specimens prepared by conventional methods (A, D) and protected with the NanoSuit® (C, F).

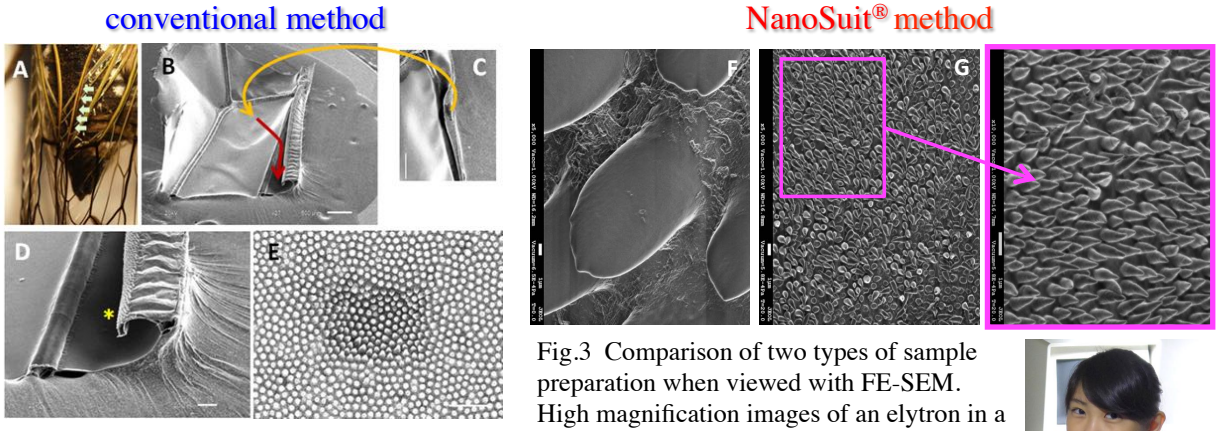


Fig.3 Comparison of two types of sample preparation when viewed with FE-SEM. High magnification images of an elytron in a cicada, *Terpnosia nigricosta*.

● まとめ

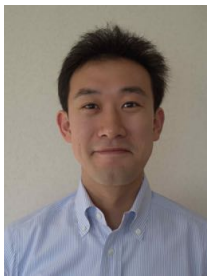
NanoSuit®法を用いると、生体の超微細構造が瑞々しい状態のまま観察可能になる。今後、微細構造と生体の活動を詳細に解明することにより、生物を規範とした新しい医学・工学材料の展開が期待される。

Photo.
Kana Sakaida (Osakana)
Hamamatsu University School of Medicine. B1

● 参考文献

(1) Takaku, Y. et al. *Proc. Bio. Sci.* **2015**, *282(1802)*, Published online.
(2) Takaku, Y. et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2013**, *110(19)*, 7631-7635.
(3) 国際出願番号PCT/JP2015/052404 (基礎出願番号 2014-014910/2014-179660).

セミの翅の物理的防御機構を模倣した機能性ナノデバイスの創製



所属班：公募班
所属機関：名古屋大学
氏名：安井隆雄
所属機関住所：〒464-8603
e-mail：yasui@apchem.nagoya-u.ac.jp
研究キーワード：セミの翅、ナノデバイス、ナノワイヤ

● 目的

2013年にクランガーゼミというセミの翅は、物理的な構造だけで細菌を殺すことが可能であるということが発見された[1,2]。このような物理的な構造で殺菌作用を持つ天然の表面構造が発見されたのは世界初のことである。本研究では、(1)クランガーゼミの翅がナノメートルスケールでどのように機能しているのかを解明し、(2)このセミの翅の物理的防御という特性を再現するナノデバイスを創製する。

● 実験方法と結果

-ナノワイヤの作製-
3インチウエハー上に50 mM 亜鉛溶液を1mL滴下してシード層を作製後、25 mM HMTAと25 mM 硝酸亜鉛溶液に浸漬させ、95 ºCで3時間加熱することで、図1のようなZnOナノワイヤを作製した。その後、作製したナノワイヤ基板を4等分し、3インチウエハーの１/４の大きさにした。

-大腸菌の塗布-
LB培地で1晩培養した大腸菌(DH5α)懸濁液を遠心分離機・洗浄後、プレートリーダー大腸菌懸濁液のODを測定した。ODが0.1になるように希釈した後、さらに1000 倍希釈した。その後、菌懸濁液をLB寒天培地上に滴下し、コンラージ棒を用いて広げた。

-ナノワイヤの大腸菌への影響評価-
寒天培地上に1/4ナノワイヤ基板と1/4Si基板を接触させ、上から100 g分銅を5分間押し付けた(図2)。その後、基板を寒天培地から取り除き、24時間インキュベーターに静置した。インキュベーターから取り出し、コロニーが形成された寒天培地を撮影した。

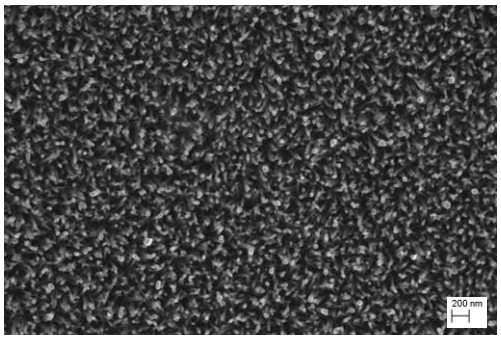


Fig.1 SEM image of ZnO nanowires.

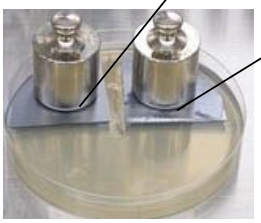


Fig.2 A photo of experimental procedure.

Fig.3 A photo of agar medium after 24 hours incubation.

● まとめ

ナノワイヤ基板を押し付けたことにより、形成されたコロニー数に減少が確認された(図3)。この結果より、ナノワイヤにある程度の殺菌作用があることが考えられる。

● 参考文献

(1)Pogodin, S. *et al*. Biophysical Model of Bacterial Cell Interactions with Nanopatterned Cicada Wing Surfaces. *Biophys. J.* **104**, 835-840, (2013).
(2)Nature News, doi:10.1038/nature.2013.12533.

磁性粒子分散ゴムを用いた人工繊毛の開発
Development of Artificial Cilia Using Elastomer with Magnetic Particles

所属機関：九州大学大学院工学研究院機械工学部門
氏名： 津守 不二夫
所属機関住所：〒819-0395 福岡市西区元岡744番地
e-mail： tsumori@mech.Kyushu-u.ac.jp
研究キーワード：人工繊毛，磁性粒子，ソフトアクチュエータ

● 目的

繊毛はミクロな領域における優秀なポンプ・搬送機構である．本研究では磁性粒子分散ゴム材料を用い，外部磁場駆動型の人工繊毛を開発する．自然界の繊毛の特徴的な動きである，非対称な動きと，繊毛群の集団的な挙動（メタクロナール波）を再現することを目的とする．

● 作製方法

材料には基材にシリコーンゴムの一種であるPDMS（Poly dimethyl siloxane）を，磁性粒子には純鉄粉（カルボニル粉）を用いた（Fig. 1）．これらを混ぜ合わせ，微細加工技術を用いピラー状の構造を作る．

また，PDMSの硬化時に磁場を加えておくことで，内部の磁性粒子は磁場に沿った鎖状構造を生成する（Fig. 2）．このような粒子鎖により構造に磁気異方性を付与する．

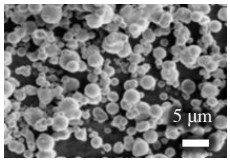


Fig. 1 SEM image of magnetic particles.

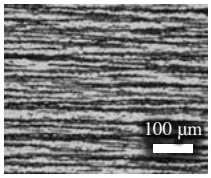


Fig. 2 Chain clusters of particles.

● 非対称的な動き

ピラー構造に回転磁場を加えた際の動きと，先端部の軌跡をFig. 3に示す．往復の行きと帰りで非対称的な動きを示す．これは繊毛が流体を搬送するために重要な挙動である(1)．

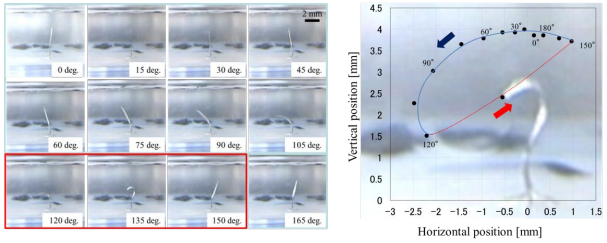


Fig. 3 Actuated cilium in a rotational magnetic field; (left) snapshots, and (right) trajectory of the tip.

● まとめ

磁性粒子を用いた人工繊毛を開発した．今後，送流テスト，および更なる小型化，また，大面積2次元配列化について研究を行う予定である．

● 繊毛群の制御

自然界に見られる繊毛群はすべてが同期しているわけではなく，個々の動きは同じながらも，順送するように位相をずらしながら運動している．個々の繊毛に異なる方位の粒子鎖状構造を付与し，同一磁場のもとでも位相をずらした動きを発現することを試みた．

ここでは１列に並べた5本の繊毛群の例を示す．Fig. 4に拡大写真を，Fig. 5に駆動時のスナップショットを示す．同じ回転磁場のもと，異なる位相で駆動していることが確認できる．このような位相の違いの伝播はメタクロナール波と呼ばれ，送流に効率的と知られている(2)．

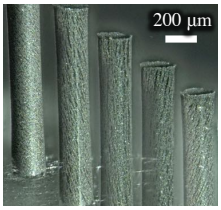


Fig. 4 Artificial cilia with 5 different magnetic orientation.

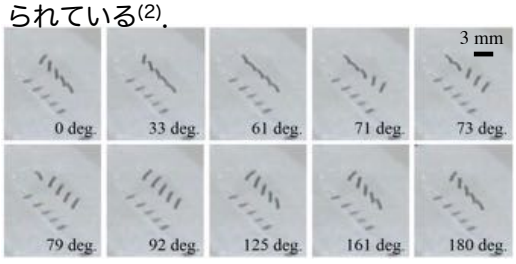


Fig. 5 Propagation of metachronal wave.

● 参考文献（ボールド）

(1) Tsumori, F.; Saijou, A.; Osada, T.; Miura, H.; Jpn. J. Appl. Phys. **2015**, 54, 06FP12.
(2) Tsumori, F.; Marume, R.; Kudo, K.; Osada, T.; Miura, H.; Jpn. J. Appl. Phys. (submitted).

好中球（白血球）に学ぶ微粒子の濃度勾配駆動水中推進

Underwater propulsion of a particulate driven by concentration gradient to learn from neutrophils (white blood cells)

所属班：公募班
所属機関：九州工業大学大学院生命体工学研究科
氏名：玉川　雅章
所属機関住所：〒808-0196
福岡県北九州市若松区ひびきの2-4
e-mail：tama@life.kyutech.ac.jp
研究キーワード：好中球，走化性，サイトカイン濃度勾配，液中移動，濃度マランゴニ効果

● 目的

好中球は，炎症患部付近から産生される走化性因子により活性化され，血流中から患部へ目掛けて移動する機能（走化性）を有している．一般的に濃度勾配のある液体中の微粒子には濃度マランゴニ効果による界面張力が働くが，液体中（血液中）を運動する好中球の駆動機構が同じ現象かどうかは解明されていない(1-3)．

そこで本研究では，好中球を微粒子とみなし，その運動方向への駆動力の発生機構について調べた．具体的には好中球の膜表面におけるレセプターの濃度拡散を仮定して好中球の運動観察と駆動機構の検討を行った．

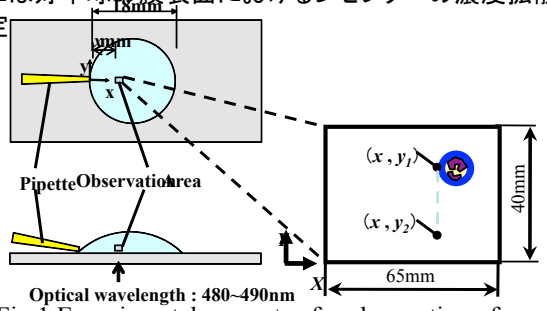


Fig.1 Experimental apparatus for observation of neutrophile motion by concentration gradient.

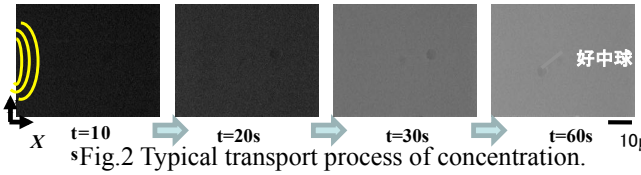


Fig.2 Typical transport process of concentration.

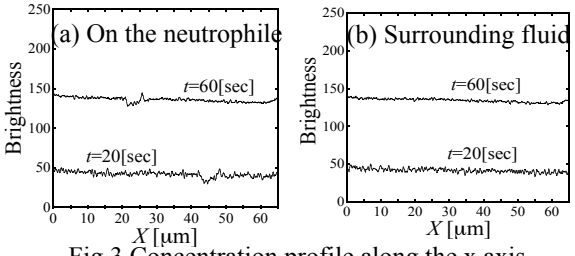


Fig.3 Concentration profile along the x axis

● 実験方法と結果

高感度CCDカメラでスライドガラス上の分散する好中球にサイトカインを滴下し，その拡散と好中球運動を観察した．このときサイトカインは，FITCによって抗体標識されている．蛍光強度から濃度を測り，サイトカインが好中球に到達する際の濃度分布の変化を調べる．Fig.2より，サイトカインが拡散するに伴って観察範囲の輝度が上昇している様子がわかる．また，Fig,3より実験開始より20秒および60秒において移動する好中球が存在しているX座標位置において周囲流体における輝度勾配とは逆の輝度勾配が発生していることがわかる．また，同一場所での好中球膜上での輝度勾配履歴から，サイトカイン濃度が到達した時刻付近から膜上の輝度分布の勾配が正，負の値をとりながら振動していることがわかっている(4)．

したがって，好中球膜上におけるサイトカインの拡散は微粒子に働く駆動力よりも大きな駆動力が発生することが影響しており，また，好中球膜上における輝度分布の勾配が正，負の値を取りながら振動していることがわかる．

● まとめ

サイトカイン濃度勾配による好中球の液中での運動機構をマランゴニ効果起因であることを仮定し，好中球膜上および周囲流体中でのサイトカインの濃度勾配について調べたところ，(1)好中球膜上で濃度勾配と反対の勾配が生じること，(2) 好中球膜上における濃度勾配が振動していたことなどがわかった．

次年度は，数値計算での膜と周囲流体の拡散係数の比による運動機構解明およびマイクロ流路を利用した濃度勾配の形成と観察実験を行い，微粒子表面加工の可能性を探る．

● 参考文献

(1)P. R. Ebrahimzadeh, vol. 67, no.5, 2000, *Journal of Leukocyte Biology*, pp.651-661.
(2)R.A.Jannat, M.Dembo, and D.A.Hammer, *Biophysical Journal*, Vol. 101, 2011, pp.575-584
(3)M.Tamagawa and K.Matsumura, *FEDSM2008(2008 ASME Fluids Engineering Conference)* ,2008, pp. 553191-553194
(4)M.B. Byrne, Y. Kimura, A. Kapoor, Y. He, K.S.Mattam, K. M. Hasan, L.N.Olson , F. Wang, P.J.A. Kenis, C.V. Rao, *PLOS ONE*, Vol. 9, Issue 1, 2014, e85726

粉体状粘着剤/Powdered Pressure-Sensitive Adhesives

● 目的

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ブル（LM，気中液滴型分散体）を作製するものがいる(1)。この生物が持つ技術を利用することで、高粘度液体の粉体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。

粘着剤（PSA）は、高粘度液体状高分子であり、瞬間に接着するという特性と、事前に任意の形状に加工しておくことが可能であるという特徴を持つため利便性が非常に高くシール、ラベルとして広範に利用されている。これまでの粘着剤は、フィルム基材に塗布した形態（粘着テープ）およびスプレーによる噴霧形態で利用されているが、そのべたつきが低ハンドリング性の原因となり利用範囲に制限がかかっているのが現状である。

本研究では、高粘度液体である粘着性高分子の液滴表面を固体微粒子で覆ったリキッドマーブルを作製し、粘着剤の粉体化を実現化した[1,2]。

所属班：公募班
所属機関：学校法人常翔学園　大阪工業大学
氏名：藤井秀司
所属機関住所：〒535-8585　大阪市旭区大宮5丁目16番1号　大阪工業大学10号館10階
e-mail：syuji.fujii@oit.ac.jp
研究キーワード：粘着剤、粉体、アブラムシ、リキッドマーブル

● 実験方法と結果

疎水的表面を有する$CaCO_3$ナノ粒子乾燥粉体状でポリアクリル酸ブチル（PBA）粒子水分散体を転がすことで、液滴表面が$CaCO_3$ナノ粒子で覆われたリキッドマーブルが生成した。リキッドマーブルから水を乾燥除去することで$CaCO_3$ナノ粒子で覆われたPBA粒子の作製に成功した。さらに、$CaCO_3$ナノ粒子で覆われたPBA粒子の集合体は、粘着性を示さず粉として振る舞い、漏斗を流下した。

粉体粘着剤にせん断応力を加えると、粘着性が発現した。タック試験器を用いて取得した応力-変位曲線から、応力を加える前ではほとんどタックが測定されないが、加えた後、タックが発現し、粘着させる際に加える圧力の増加とともにタックおよび粘着エネルギーが増加することを明らかにした。

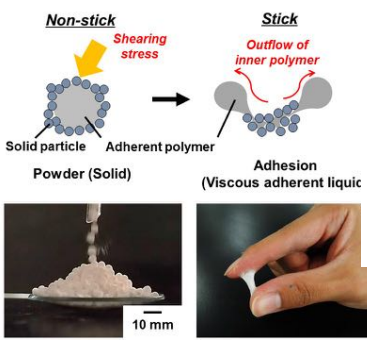


Figure 1 Schematic representation of PSA powder. After application of shearing stress, adhesion property appeared because of outflow of inner soft polymer from the hard particles shell.

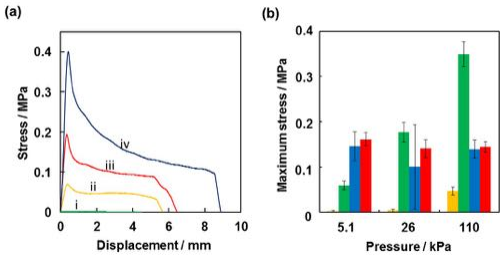


Fig. 2. (a) Stress-displacement tack curves obtained for PSA LM: (i) before and (ii-iv) after kneading. Pressure applied to PSA liquid marbles: (i, ii) 5.1, (iii) 26 and (iv) 110 kPa. (b) Relationship between pressure applied to PSA materials and maximum stress in tack measurement. Samples: Liquid marble 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)

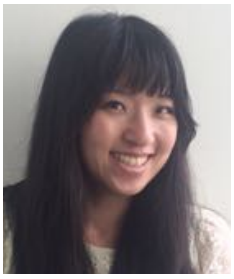
● まとめ

本研究で開発した粉末状粘着剤は、新規の粘着剤の形態であり、これまでの形態では粘着剤を塗布することが叶わない微小空間への粘着剤の運搬を実現し、目的箇所の選択的接着を可能にする。そのため、建築物の微細な亀裂部分の接着や、微小反応容器、マイクロチャネル等の微小部材の位置選択的接着が可能になる。

● 参考文献

1) (a) S. Fujii, S. Sawada, S. Nakayama, M. Kappl, K. Ueno, K. Shitajima, H.-J. Butt, Y. Nakamura: *Mater. Horiz.* **2016,** *3*, 47; (b) *Chemistry World* (http://www.rsc.org/chemistryworld/2015/10/liquid-marble-glue-pressure-sensitive-adhesive); (c) *NewScientist*, 16, 21 Nov. (2015) (https://www.newscientist.com/article/dn28489-powdered-glue-goes-on-dry-and-sticks-when-squished/); (d) 毎日新聞、 2015年11月2日、 26面; (e) 接着剤新聞, 2015年10月1日、 4面; (f) 化学工業日報, 2016年1月13日　6面; (g) *化学* 71(1), 72 (2016)
2) 藤井秀司、竹厚流、中村吉伸, 特願2014-033705, PCT/JP2015/056012

カイメン－二枚貝集合体の立体構造解析



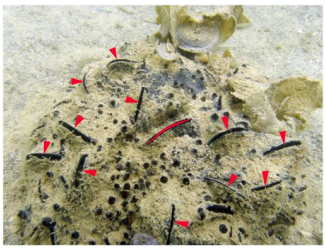
所属機関：国立研究開発法人 海洋研究開発機構
氏名：椿 玲未
所属機関住所：〒237-0061
神奈川県横須賀市夏島町2-15
e-mail：tsubakir@jamstec.go.jp
研究キーワード：カイメン、二枚貝、構造、
マイクロCT

● 目的

モクヨクカイメンの１種には必ず高密度でホウオウガイという二枚貝が共生し、カイメンはホウオウガイの貝殻を骨格として利用することで構造を補強していると考えられている。しかしカイメンは器官の分化がなく感覚受容器も神経系も持っていないので、自身の体構造の強度を知覚し、適切に貝を配置するよう指令を出すことはできない。そこで本研究では本当に貝の配置がカイメンの構造強化に寄与しているのかを明らかにすることを目的とし、カイメン・ホウオウガイ集合体の立体構造の解析をおこなった。

● 実験方法と結果

X線マイクロCTでカイメン－二枚貝集合体を撮影し、得られた画像に基づき立体構築した。



ホウオウガイ
Vulsella vulsella

Fig.1 Photograph of *Spongia* sp. *in situ* and the shell of *Vulsella vulsella*. The red line of the sponge corresponds to that of the shell.

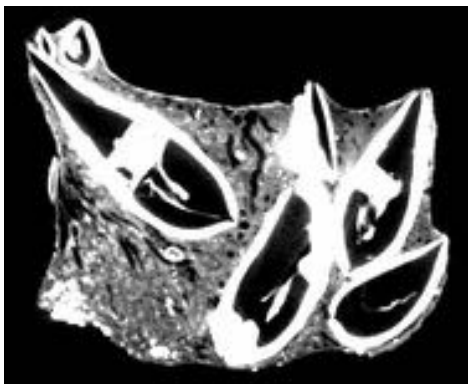


Fig. 2　Cross section of sponge-bivalve aggregation.

撮影: (株)島津製作所

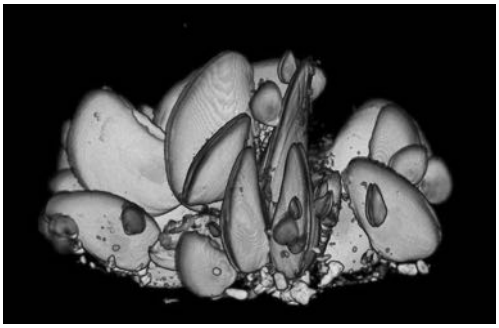


Fig. 3　3D reconstruction of sponge-bivalve aggregation (Upper) and bivalves (Lower) viewing from the same angle.

● まとめ

得られた立体構築像からカイメン体内におけるホウオウガイの分布が明らかになった。ホウオウガイはカイメンの体表付近だけでなく基部にまで深く食い込んでおりカイメンの構造保持にはなくてはならない存在だと示唆されたが、どの程度カイメンの構造強化に寄与しているかを定量的に示すためには今後更なる解析が必要である。

● 参考文献

(1) Tsubaki R.; M. Kato, *Zool. Sci.* **2012**, *29*, 585-592.
(2) Tsubaki R.; M. Kato, *Plos One* **2014**, *e108885*

Engineering Neo-Biomimetics
平成24年度科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)
生物多様性を規範とする革新的材料技術
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity

バイオミメティクスの社会実装に向けた特許と論文発表件数の関係性の考察Comparative Analysis on the Relationships between Patent Application and Academic Paper Publication Towards Social Implementation of Biomimetics

所属班： C01班、公募班
所属機関：金沢大学大学院人間社会環境研究科
氏名：香坂玲
所属機関：金沢大学人間社会研究域
氏名：内山愉太
所属機関：金沢大学大学院自然科学研究科
氏名：藤平祥孝
所属機関住所：〒920-1192　石川県金沢市角間町
e-mail：kohsaka@hotmail.com
研究キーワード： 特許、学術論文、企業、研究機関、社会実装

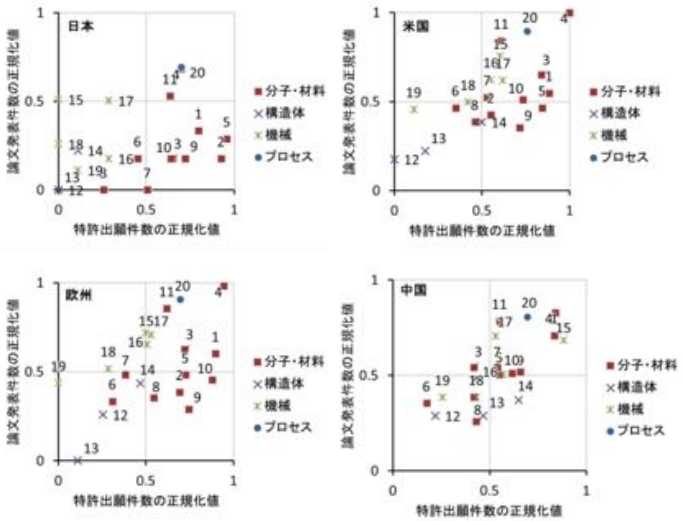
● 目的

生物模倣技術を社会実装するためには、まず、その課題等の把握が必要である。社会実装の課題や難しさは生物模倣技術が応用される対象によって異なる。加えて、その差異は、国や地域によっても異なることが予想される。

本研究では、まず、生物模倣技術の社会実装に向けた動向を捉えるべく、研究開発の動向に関する指標として論文の発表件数に、社会実装に向けた動向に関する指標として特許出願件数に着目する。これまで、特許データベースの分析を通して技術動向の分析を行う試みは行われてきた[(1-3)]。しかし、特許と論文に着目して研究開発と社会実装の動向について複数の国、地域を対象とした比較分析を行った研究は少なく、生物模倣技術を対象にして考察を行ったものはない。

● 実験方法と結果

・特許出願技術動向調査報告書：バイオミメティクス（特許庁2015）のデータを使用
・特許出願件数と論文発表件数（ 技術区分「応用先」 ）
・対象国は日本、米国、欧州、中国
・調査期間は2001～2012年（特許）、 2001～2013年（論文）
・対数変換してから対象国の中での最大値が1となるように正規化



1	親水性・疎水性材料(分子・材料)
2	構造発色材料(分子・材料)
3	接着性・粘着性材料(分子・材料)
4	医療・生体適合材料(分子・材料)
5	光学材料(分子・材料)
6	電池・半導体材料(分子・材料)
7	高強度・高靭性・耐摩耗性材料(分子・材料)
8	自己修復材料(分子・材料)
9	低抵抗・低摩擦材料(分子・材料)
10	防汚材料(分子・材料)
11	その他(分子・材料)
12	軽量化(構造体)
13	低抵抗・低摩擦材料(構造体)
14	その他(構造体)
15	ロボット(機械)
16	センサー(機械)
17	制御(機械)
18	アクチュエータ(機械)
19	その他(機械)
20	生産プロセス(プロセス)

図1 「応用先」別の特許出願件数と論文発表件数の関係性（日米欧中）

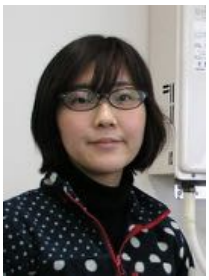
● まとめ

・生物模倣技術の動向を把握するために、特許出願件数と論文発表件数について国別の比較を行った。
・欧米中よりも、日本では論文発表数と特許出願数にギャップが大きいことが分かった。
・日本における課題は、①大学の特許技術開発への参画、②論文発表が行われている研究開発分野と、特許化が進められている特許出願分野のギャップを埋めることなどが考えられる。

● 参考文献

(1)Wilson, R. M., Patent analysis using online databases—I. Technological trend analysis. World Patent Information. 9(1). 18-26. 1987.

3Dコンフォーカル顕微鏡による生物表面の観察
3D Confocal Microscopic Observation of Biological Surfaces



所属機関：海洋研究開発機構
氏名：津留　美紀子
所属機関住所：〒237-0061
横須賀市夏島町2番15号
e-mail：tsudomem@jamstec.go.jp
研究キーワード：3D structure, confocal microscopy, microbial colony growth, real-time measurement,

● 目的

半導体基板検査などで利用されている3Dコンフォーカル顕微鏡は、表面の三次元形状をナノレベルの分解能で非接触計測できる。試料の特別な前処理は必要とせず、大気圧下で簡便に計測できる。コンフォーカル光学系の採用により、広い焦点深度での高解像な像を得ることができることから、生物を生きた状態で観察することも可能である。今回、そこでこれらの特性を利用して、生物試料の表面形状を計測し、3Dコンフォーカル顕微鏡の可能性を検証した。

● 実験方法と結果

1）ハダニの表面微細構造

ハダニをジメチルエーテルを用いて麻酔処理した後、3Dコンフォーカル顕微鏡（レーザーテック社製）を用いて表面形状を観察した。ハダニ特有の皮膚表面の皺模様[1] は明瞭に観察できたが、体表面の毛は一部が消えて見えるなど、うまく観察できない場合があった（Fig.　1)。3Dコンフォーカル顕微鏡は試料からの反射光強度を測定し、それを基準に焦点位置を決定する。ハダニの場合、毛部分よりも胴部からの反射光強度の方が強かったため、焦点位置が誤認識され、毛の部分の情報が消失したものと考えられる。

Fig. 1. 3D confocal micrograph of spider mite.

2）大腸菌コロニーのリアルタイム計測

LB寒天培地に平板塗抹法で大腸菌（*Escherichia coli* W3110）を塗布後、3Dコンフォーカル顕微鏡のステージ上にセットアップしたチャンバー（内部温度は30ºCに設定）内で培養し、コロニーの形成・成長過程をリアルタイム計測した。経時計測で得られた三次元情報を基にコロニーの体積を算出し、培養時間に対してプロットすることで、単一コロニーの増殖曲線を得ることに成功した。
また寒天濃度が異なる（1.5，5%）培地表面でのコロニー成長を比較した実験では、コロニーの形状には著しい違いが見られたものの（Fig. 2)、コロニー体積を指標にした増殖速度には差は認められなかった。従来のコロニーの直径を指標とした増殖速度の推定では、高濃度の寒天を含む培地上では大腸菌の増殖が阻害されると考えられていた。３D計測によってコロニーの「高さ」も含めた情報が得られたことで、寒天濃度は大腸菌の増殖速度に影響しないことが初めて明らかとなった。

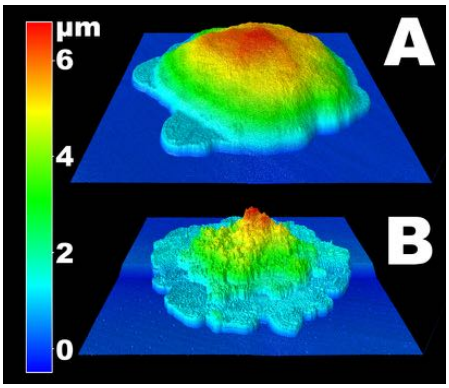


Fig. 2. 3D topographic images of a colony of *E. coli* on LB agar with different agar concentration. A : 1.5% agar, B : 5% agar. Incubated at 30ºC for 9 hr.

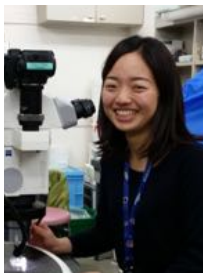
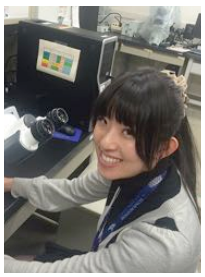
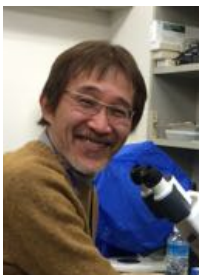
● まとめ

3Dコンフォーカル顕微鏡が、生きたままの生物の表面構造の観察、並びに計測に非常に有用であることがわかった。当日は、昆虫や水性生物など、他の生物サンプルの観察結果も合わせて紹介する。

● 参考文献

江原　昭三, 化学と生物. **1968**, 6, 6, 331-339.

成長に伴うヨワカイメンの濾過機能の変化

所属機関：国立研究開発法人 海洋研究開発機構
氏名：保坂美沙子・椿玲未・出口茂
所属機関住所：〒237-0061
神奈川県横須賀市夏島町2-15
e-mail：mhosaka@jamstec.go.jp
研究キーワード：海綿動物、生態、濾過

● 目的

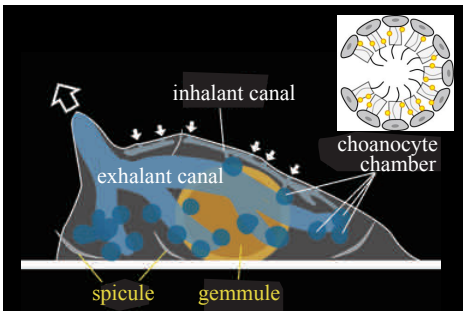
海綿動物（カイメン）は体内に張り巡らされている水路（水溝系）を通じて水中の粒状有機物を濾過摂食する。水路には襟細胞と呼ばれる鞭毛をもった細胞が存在し、襟細胞は数十個が集合し、球状の襟細胞室を形成している。カイメンはこの襟細胞の鞭毛により水流をおこすとともに、鞭毛を取り囲むように環状に並んだ微絨毛で餌となる微粒子をとらえる。

カイメンの濾過システムは非常に優れており、数μmの粒子であれば９割以上を濾しとることができる。カイメンの濾過摂食機能は襟細胞室数や分布と強い相関があると考えられているが、定量的な研究は未だない。そこで本研究では、襟細胞室数やサイズの経時変化を調べることにより、成長に伴うカイメンの濾過捕食機能の変化を明らかにすることを目指す。

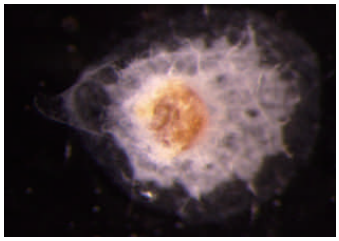
● 実験方法

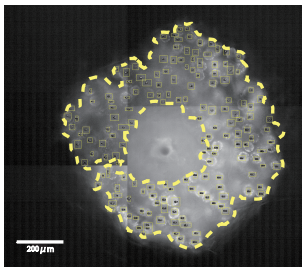
ヨワカイメン*Eunapius fragilis*の芽球※を播種し、経過日数の異なる個体に、250nmの蛍光粒子を流した。蛍光粒子を捕えた襟細胞室を光学顕微鏡で観察し、襟細胞室密度と大きさを計測した。

※芽球…カイメンがつくる無性生殖の休眠卵



Schematic image of juvenile sponge. Upper right: choanocyte chamber (yellow circles = fluorescent particles adhering to microvilli).

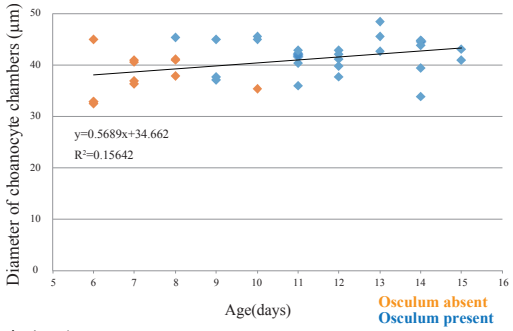

A microscopic image of *Eunapius fragilis*

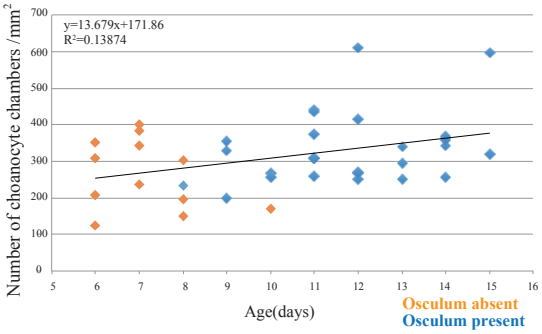


An inverted microscopic image of juvenile sponge digesting fluorescent particle.

● 結果

出水孔が形成され、水路が貫通する前後で有意な襟細胞室数・密度及び襟細胞室のサイズに有意な差はなかった。





● まとめ

ヨワカイメンは、水路が完成するより前に体中の至る所に多数の襟細胞室を形成し、粒子を濾しとる機能が備わっていることが明らかになった。この結果は、カイメンの幼生は出水孔の形成により一方向への水の流れが出来あがる前でも、個体全体の脈動によって水を取り込み濾過摂食できることを示している。

● 参考文献

(1) Glen R. D. Elliott; Sally P. Leys, *The Journal of Experimental Biology*, **2007**, 210, 3736-3748
(2) S. P. Leys; R. W. Meech; *Canadian Journal of Zoology* **2006**, 84, 288-306
(3) 佐々木信男 「淡水海綿の分類と分布」『遺伝』36号、1982年

(海洋生物の持つ切削器官は最適か/
Study on mechanics of cutting tool of marine organization)

所属機関：海洋研究開発機構
氏名：山本美希
所属機関住所：〒2360001
e-mail：mikiy@jamstec.go.jp
研究キーワード：歯舌、数値シミュレーション、
掘削、切削、破壊力学

● 目的

軟体動物が持つ歯舌は硬い舌のような器官であり、岩石を切削し、えさとなる物質が付着したその削りかすを体内に取り込むのに用いられている。生物の器官の特徴的な形状が、特定の機能に対してダーウィン主義的な最適化プロセスを得て決められているとするならば、その形状は切削という目的に最適化されているといってよい。　実際、カサガイ(***Cellana mazatlandica***）の歯舌は生物界最強の硬度を持つとまで言われている[1-2]。

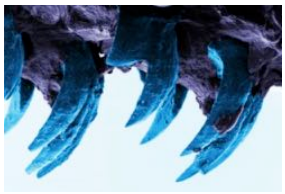


Fig.1: *Cellana mazatlancia* and SEM image of its radula[1-2]

また歯舌には多様な形態種があり、生物の持つ行動様式や生育環境によって適当な形の歯舌を使用していると考えられる[3]。それゆえ人類が現在使用している掘削・切削機器よりも性能の良い切削形態・使用方法が見出される可能性があり、生物規範工学の着目すべきトピックのひとつだと言える。
本ポスターでは、歯舌の持つ特徴を物理的に解析し、その特徴が掘削・切削効率にどのような関係があるかを調べる試みについて紹介する。

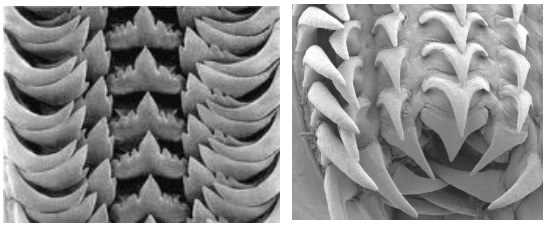


Fig.2:Variability of radula of marine organization.

● 形状解析

三次元顕微鏡により歯舌の三次元情報を取得し、その幾何学的特徴を解析する。

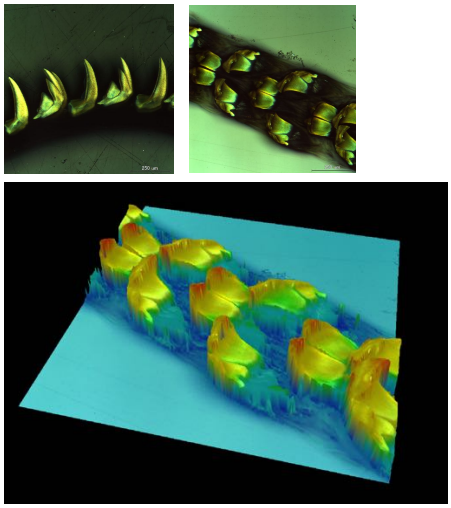


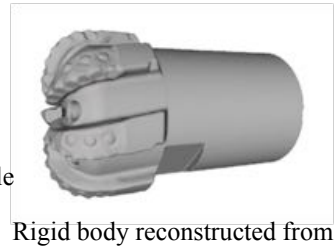
Fig.3 Image of shellfish radula and its reconstructed 3D image.

● 数値実験

生物由来の歯舌および人口の掘削機器に対して取得した三次元イメージをシミュレーション内で剛体として表現し、散逸粒子(DEM particle)の集合体で表現された岩石に対する掘削性能を調べる。

Rigid body reconstructed from the 3D image of shellfish radula.

Rock represented as an ensemble of dissipative particles.



Rigid body reconstructed from the 3D image of man-made drill.

また本ポスターでは歯舌の持つ機能と性能を数値実験での再現に対するプレリミナルな結果を報告する。

● 参考文献

(1) A. H. Barber, D. Lu, and N. M. Pugno, J. R. Soc. Interface, 12: 20141326, **2015**.
(2) D. Lu and H. Barber, J. R. Soc Interface, 9: 1318-1324, 2012.
(3) 貝のミラクルー軟体動物の最新学、奥谷喬司、1997.