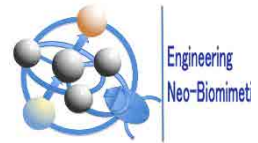


7月1日2日講演会要旨



7月1日、2日 講演会要旨

文部科学省科学研究費

新学術領域「生物規範工学」全体会議・合同研究会

日時 2013年7月1日(月)～2日(火)

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

●プログラム

【7月1日(月)】

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

8：30－8：40

領域代表 開会挨拶ならびに経過報告

8：40－9：05

計画研究 C 班 班長代理 産総研 阿多先生、産総研 関谷先生

9：05－9：30

計画研究 B-5班 班長 千葉大学 劉先生、九州大学 木戸秋先生

9：30－9：55

計画研究 B-4班 班長 京都大学 森先生、室蘭工大 多田先生

9：55－10：20

計画研究 B-3班 班長 物材機構 細田奈麻絵、物材機構 重藤暁津

10：20－10：35

coffee break

10：35－11：00

計画研究 B-2班 班長 浜松医大 針山先生、大阪大学 吉岡先生

11：00－11：25

計画研究 B-1班 班長 産総研 大園先生、東北大学 室崎先生

11：25－11：50

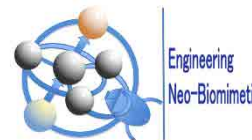
計画研究 A班 班長 科博 野村先生、山階鳥類研究所 山崎先生

生物多様性を規範とする革新的材料技術

11:50-13:00

昼食

Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



13:00-13:15

公募研究(1) 北海道大学 有村博紀先生

13:15-13:30

公募研究(2) 群馬大学 浅川直紀先生

13:30-13:45

公募研究(3) 千葉大学 田中博人先生

13:45-14:00

公募研究(4) 広島大学 植木龍也先生

14:00-14:15

公募研究(5) 九州大学 山口哲生先生

14:15-14:30

公募研究(6) 千歳科学技術大学 オラフ・カートハウス先生

14:30-14:45

公募研究(7) 大阪工業大学 藤井秀司先生

14:45-15:00

公募研究(8) 海洋研究開発機構 出口茂先生

15:00-15:30

総括班評価グループ講評 藤崎先生、下澤先生、国武先生

15:30-16:00

休憩

16:00-16:40

合同講演会(1) 北海道大学 長谷山美紀先生

16:40-17:20

合同講演会(2) 海洋研究開発機構 白山義久理事

17:20-18:00

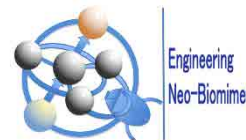
合同講演会(3) 美ら海水族館 佐藤圭一先生

18:00-20:00

懇親会 白鳳の間

生物多様性を規範とする革新的材料技術

Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



【7月2日（火）】

研究施設見学会（案）

午前：国際海洋環境情報センター（GODAC）施設見学
（沖縄県名護市豊原224-3）

午後：美ら海水族館総合研究センター 施設見学
（沖縄県国頭郡本部町字石川424）

9：00 ホテル出発

10：30 GODAC着

10：30－10：45 GODAC概要説明（鈴木管理課長）

10：45－11：00 GODACデジタルアーカイブ業務概要説明(荻堂)

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

11：15－12：00 GODAC利用開放ゾーン視察（管理課支援）

12：00－12：30 GODAC出発

13：00－14：00 昼食(本部町) ドライブインレストランハワイ

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

14：00－14：30 昼食場所⇒美ら海水族館移動

14：30－16：30 美ら海水族館視察
（バックヤード案内視察後、館内自由見学）

所属班：C01 班

所属機関：産業技術総合研究所ナノシステム研究部門

氏名：阿多誠文

所属機関住所：〒305-8568 つくば市東1-1-1

産総研つくばセンター中央5-1

e-mail：masafumi-ata@aist.go.jp

研究キーワード：社会インプリケーション、

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



バイオミメティクスの社会インプリケーション

Societal Implication of Biomimetics

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

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

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

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

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



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

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

所属班：C01班

所属機関：産業技術総合研究所ナノシステム研究部門

氏名：関谷瑞木

所属機関住所：〒305-8568 つくば市東1-1-1

産総研つくばセンター中央5-2

e-mail：mizuki-sekiya@aist.go.jp

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



国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第2回総会

ISO/TC266 Biomimetics Second General Assembly

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

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

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

表1 第2回総会で合意された主な事項

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

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

[1] 公益社団法人高分子学会バイオミメティクス研究会

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

所属班：B01-5 班

所属機関：千葉大学

氏名：劉 浩

所属機関住所：〒263-8522千葉市稲毛区弥生町1-33

e-mail：hliu@faculty.chiba-u.jp

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



生物規範メカニクス・システム

Bioinspired Mechanical Systems

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

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

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

研究実績：

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

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

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

関連研究活動：

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

所属班：B01-5班

所属機関：九州大学先導物質化学研究所

氏名：木戸秋 悟

所属機関住所：〒819-0395 福岡市西区元岡

744CE11-115

e-mail：kidoaki@ms.ifoc.kyushu-u.ac.jp

研究キーワード：メカノバイオマテリアル、

細胞運動制御、幹細胞、細胞外マトリックス設計



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

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

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

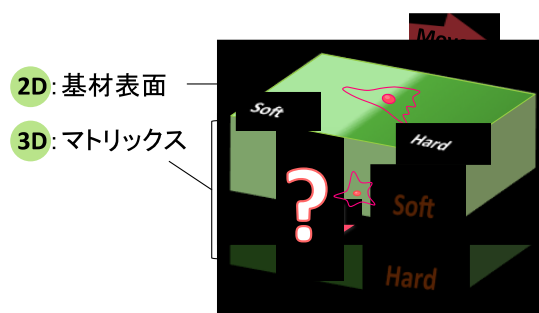


Fig. 1 Conceptual diagram of the control cell movement by the elastic distribution design

た三次元環境における細胞運動制御へのその応用可能性については不明であった（Fig. 1）。本研究では、細胞の三次元局在制御を可能とする足場材料の構築のため、細胞外マトリックスに類似した構造を有するナノ・マイクロファイバージェルマトリックスの三次元弾性分布を

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

微視的培養力学場の系統的な三次元設計を可能とするために、光硬化性スチレン化ゼラチン (StG) を電界紡糸によりナノファイバーメッシュ化した後、個々のファイバー内部の StG を光架橋した上で水溶液環境下にて膨潤させた弾性率可変ナノ・マイクロファイバーゲルシートを作製した。細胞の侵入性に主要な影響を与える要因として予想される、ゲルファイバーどうしの接合点密度を調節するため、電界紡糸溶液に溶媒の蒸散を遅延させる H_2O を混合比を変えて作製した StG ナノ・マイクロファイバーメッシュシートに光照射後膨潤させたところ、水添加比の増大とともにゲルシート表面弾性率が高くなることを確認した (Fig. 2)。

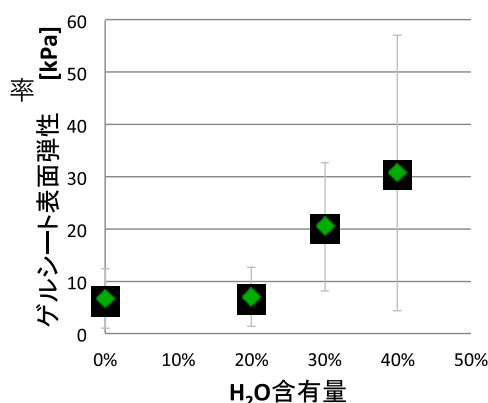


Fig. 2 Relationship between the water content of the ES solution and the surface elastic modulus of gel sheets

0%、20%、30%、40% H_2O 添加ゲルマトリックスに対する 3T3 線維芽細胞の侵入性を評価したところ、0%、20% H_2O 添加ゲルマトリックスではシート表面によく伸展し内部に侵入せず、30%、40% H_2O 添加ゲルマトリックスでは播種 24 時間後ゲルマトリックス内部に侵入した (Fig. 3)。この結果は、ゲルファイバーマトリックスへの三次元の細胞侵入挙動において一定の弾性率が必要となることを示しており、三次元メカノタクシスの誘導可能性を示唆するものである。三次元の細胞外マトリックスにおける微視的力学場のバイオミメティックな設計において、細胞の三次元運動を制御する設計指針の一を見出すことに成功した。

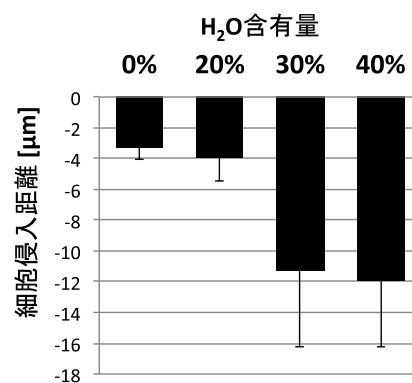


Fig. 3 Invasion distance to the gel matrix of the cell

参考文献

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

所属班：B01-4班

所属機関：京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻

氏名：森 直樹

所属機関住所：〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

e-mail：mokurin@kais.kyoto-u.ac.jp

研究キーワード：昆虫、音、フェロモン、化学受容、生物間相互作用



ガルの嗅覚と聴覚：フェロモン組成比の認識機構と羽音を用いた寄生回避行動

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

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

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

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

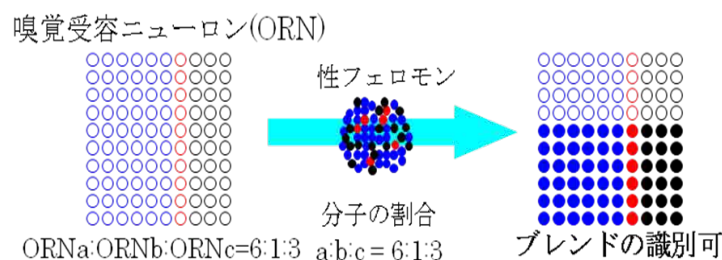


Fig. 1 Model of pheromone component ratio detection by olfactory receptor neurons (ORNs).

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

参考文献

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

所属班：B01-4 班

所属機関：室蘭工業大学

氏名：岩佐 達郎

所属機関住所：〒050-8585 室蘭市水元町 2 7-1

e-mail：iwosat@mmm.muroran-it.ac.jp

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



生体機能指向性エレクトリックノーズの作製

Development of Bio-Inspired Electric Nose

ヒトは1万種類以上の「匂い」を識別できると言われている。ヒトの嗅神経細胞にある嗅覚受容体は G タンパク質共役受容体に属するタンパク質群であり、ヒトでは 347 種類の遺伝子群からなることが明らかにされた。つまりヒトは 347 種類の受容体タンパク質によって1万種類以上の匂いを区別していることになる。現在、一つの嗅神経細胞は一種類の嗅覚受容体遺伝子を発現していることが明らかになっている。また、一種類の受容体タンパク質は特定の種類化学物質を結合するのではなく、いくつかの化学物質を異なる親和性で結合できること、および、ある一種類の化学物質は複数種類の受容体タンパク質に異なる親和性で結合できることが分かっている。そこで、限られた数の受容体タンパク質によって圧倒的多数の匂い（化学物質）を区別することができることを説明するために「嗅覚受容体による匂いコードモデル」が提出されている（Fig. 1）。ヒトは嗅覚受容体からの出力パターンを認識し、それを特定の「匂い」と結びつけて化学物質を認識する「匂い感覚」システムを持っていると言える。そこで、我々は多様な化学物質（匂い）を嗅ぎ分ける、ヒトの嗅覚に倣った「生体機能指向性エレクトリックノーズ」の作製を目的とする。

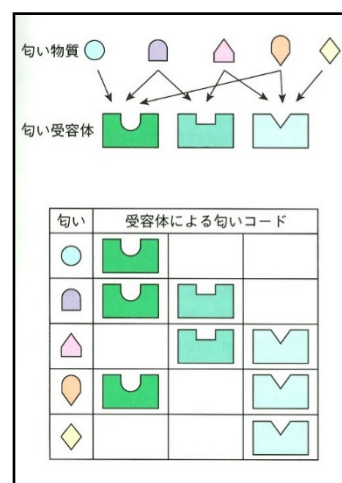


Fig. 1 Olfactory coding by odorant receptors.

(東原、細胞工学、21、2002)

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

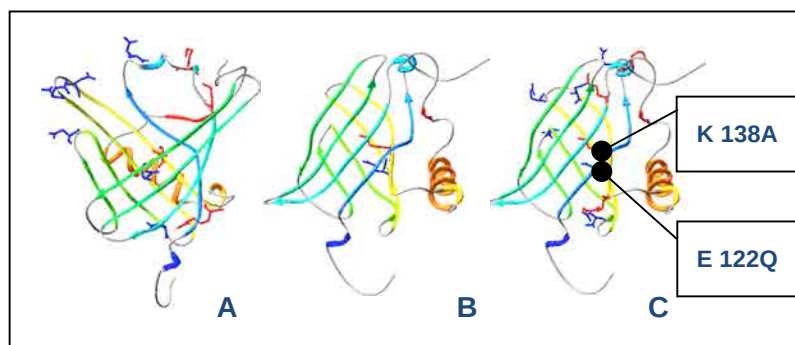


Fig. 2 Tertiary structure model of Cp-lip1 (A and B) and the position of mutated amino acids (C).

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

ンパク質の化学物質結合特性が異なることから、それらのタンパク質の化学物質との結合に関与すると思われるアミノ酸を改変し、新たな化学物質結合特性を持つ Cp-lip 変異体を作製して、「タンパク質匂いセンサー素子」として利用することを考えた。我々は既に Cp-lip1 に 1 アミノ酸変異を加え、化学物質結合特性の異なる変異体を作製できることを報告した⁽⁴⁾。

2) 作製された「タンパク質匂いセンサー素子」を用いて触媒ナノゲート電極電界効果トランジスター (FET) を作製し、これを集積化したセンサーデバイス、「生体機能指向型エレクトリックノーズ」を作製する：FETセンサーのゲート電極として単結晶金薄膜を用い、電極表面に直接「タンパク質匂いセンサー素子」を付着させ、化学物質結合に伴う僅かな電位変化を検知することを特徴とする。センサーは増幅作用を有しており、それゆえ検出感度が著しく向上するとともに、従来のバイオセンサーにおけるドリフトや不安定性も回避できると考えている。作製したFETを1チップ上に複数個配列し、集積化して用いる。それぞれのFETは異なる化学物質結合能を有する「タンパク質匂いセンサー素子」を持つので、複雑な分子構造を有する分子に対し、個々のFETが異なる応答を示すことが期待され、化学物質 (匂い) の識別能力 (信号処理パターン) が飛躍的に向上した「生体機能指向型エレクトリックノーズ」として機能することが期待される。

参考文献

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

所属班：生物規範階層ダイナミクス班

所属機関：独立行政法人 物質・材料研究機構

氏名：細田奈麻絵

所属機関住所：〒305-0044茨城県つくば市並木1-1

e-mail：Hosoda.Naoe@nims.go.jp

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



B01-3 生物規範階層ダイナミクス班 平成24年度成果報告

Report of B01-3 group in 2012

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

〔本年度の成果〕

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



図1 水中を歩行するハムシ。

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

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

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

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

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

[発表論文]

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

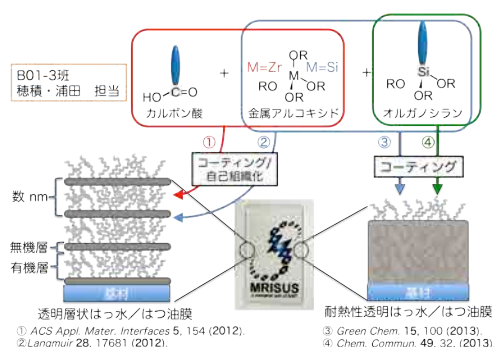


図2 カルボン酸やオルガノシランを各種金属アルコキシドと混合し、 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 系透明層状はっ水／はっ油膜、耐熱性透明はっ水／はっ油膜の作製に成功した。

所属班：B01-3 班

所属機関：独立行政法人物質・材料研究機構

氏名：重藤 暁津

所属機関住所：〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1

e-mail：shigetou.akitsu@nims.go.jp

研究キーワード：接合、低環境負荷、ハイブリッド化



低温大気圧で実行可能な有機/無機材料のハイブリッド接合

Hybrid Bonding Technology at Low Temperature and Atmospheric Pressure

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

電子回路側の代表的な材料として Cu、 SiO_2 、石英、ポリイミド、ポリジメチルシロキサンなどを採り上げると、これらの材料表面の化学的結合状態を簡易なパラメタで制御し、良好な吸着力と導電性（Cu-Cu 界面において）を有する架橋分子層の形成が不可欠である。そのため、現在まで水蒸気露出を用いた表面改質手法（vapor-assisted method）を提案してきた^[1]。この手法では、材料の清浄表面に水分子が吸着することで生成する化合物や親水性官能基間の引力と、表面を接触させた後の加熱（150℃以下）で促進される脱水縮合反応により、強固で安定した界面が得られる。

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

位時間・単位面積に入射する水分子数に比例)をパラメタとして一意に制御可能であることが確認されている。架橋分子層内への各材料の体拡散が十分になされる架橋分子層厚をもとに水分量を最適化し(8 g / m³)、Cu、SiO₂、ポリイミドの同種・異種を問わない接合を単一プロセス条件で実現した事例を Fig. 1 に示す。各材料表面はアモルファス状の架橋分子層を介して密着し、電子顕微鏡写真で視認可能なボイドは存在しない。Cu – Cu 界面では 4 um・cm 程度の良い導電性が得られることが判明した。

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

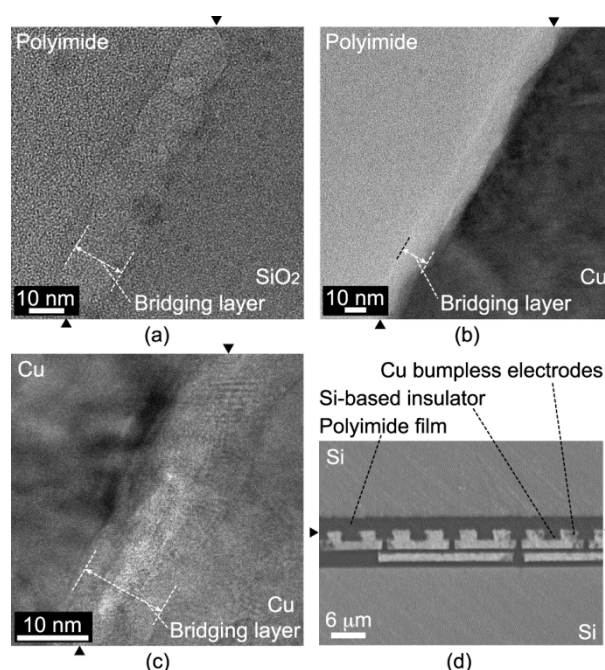


Fig. 1. TEM images of bond interfaces between (a) polyimide and SiO₂、(b) polyimide and Cu、(c) Cu and Cu、 and (d) a Cu bumpless structure

参考文献

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

所属班：B01－2班

所属機関：浜松医科大学・医学部・生物学

氏名：針山孝彦

所属機関住所：〒431-3192 浜松市東区半田山1-20-1

e-mail：hariyama@hama-med.ac.jp

研究キーワード：光，構造，自己組織化，視覚，クチクラ形成



生物の光学的表面構造の創製

Development of Optical Materials based on the Biological Surface

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

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

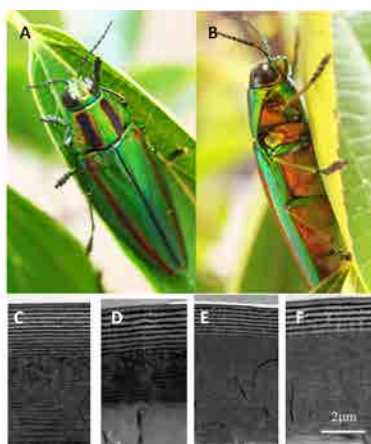


Fig. 1 Structure of epicuticle



Fig.2 Structural color for the intra-species communication

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

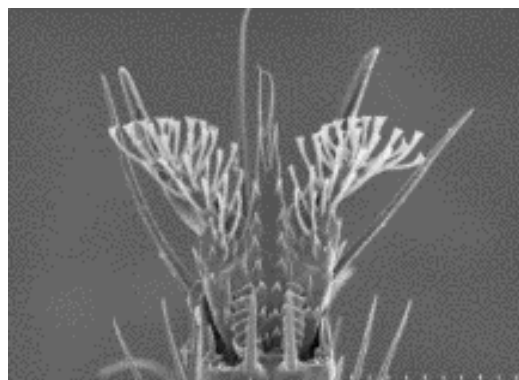


Fig.3 Scanning electron micrograph of tip of *Drosophila* leg

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

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

参考文献：

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

所属班：B01－2班

所属機関：大阪大学生命機能研究科

氏名：吉岡 伸也

所属機関住所：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘1－3

e-mail：syoshi@fbs.osaka-u.ac.jp

研究キーワード：構造色、不規則性、規則性



不規則に見える多層膜を利用したシジミチョウの構造色

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

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

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

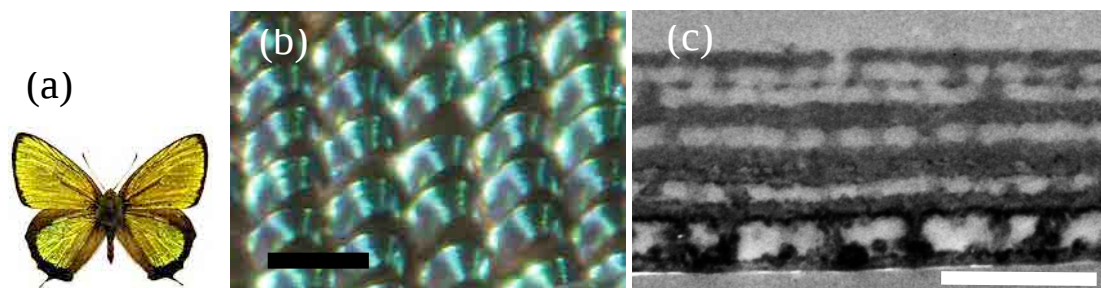


Fig.1 (a) A lycaenid butterfly、 *Chrysozephyrus brilliantinus*. (b) Scale arrangement on the wing. Scale bar: 100 μ m. (c) A TEM micrograph of the cross section of the scale. Scale bar: 500 nm

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

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

参考文献

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

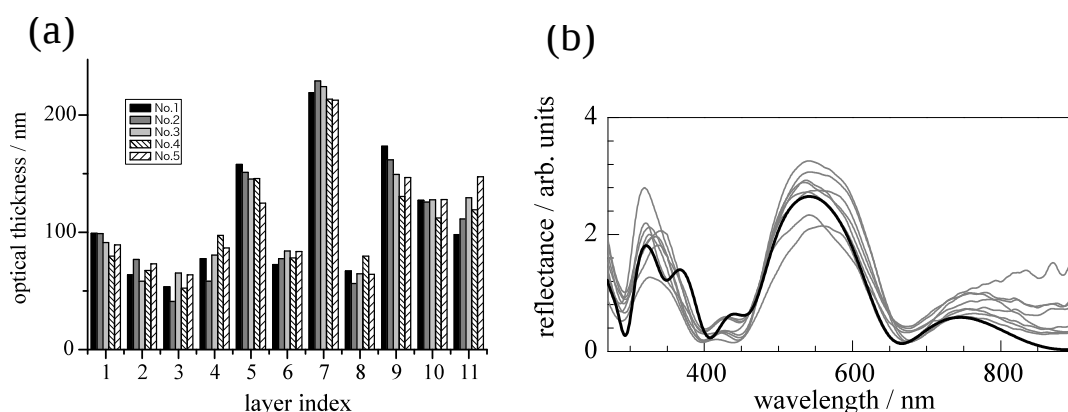


Fig.2 (a) Optical thicknesses of the multilayer system found in the cover scale of *C. brilliantinus*. The results of the analysis of five electron micrographs are shown as five types of bars with different textures. (b) Reflectance spectra. Experimentally determined spectra (gray curves) of eight different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

所属班：B01-1班

所属機関：独立行政法人 産業技術総合研究所

氏名：大園 拓哉

所属機関住所：〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1

e-mail：ohzono-takuya@aist.go.jp

研究キーワード：トライボロジー、表面凹凸構造、ゲル、構造可変、



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

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

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

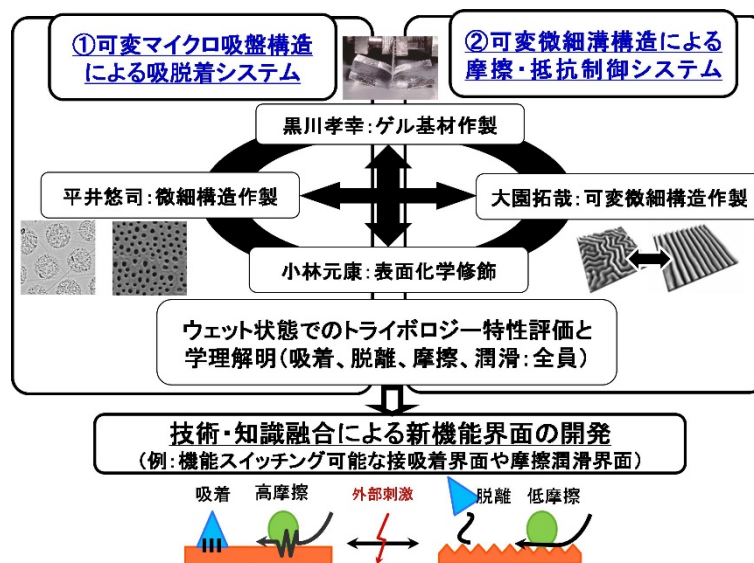


Fig.1 Summary of research proposal of B01-1 team.

その結果、新しい摩擦制御界面システムや吸着脱離システムを開発する（図1）。

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

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

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

参考文献

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

謝辞

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

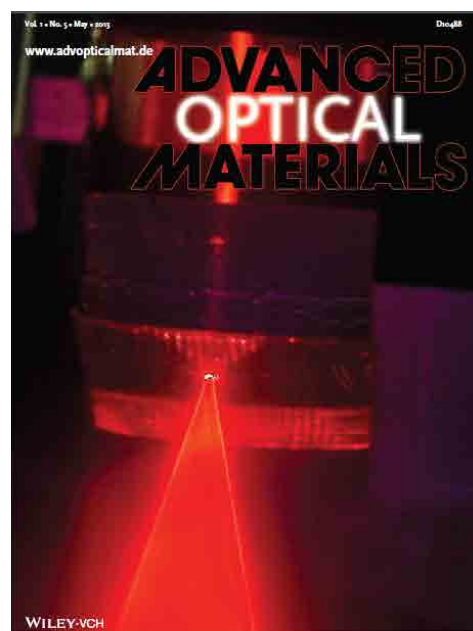


Fig.2 Tunable optical diffuser based on deformable wrinkles. The optical path of the diffused laser beam transmitted through shape-tunable wrinkles with a periodicity in the range of hundreds of micrometers is visualized.

所属班：B01-1

所属機関：東北大学原子分子材料科学高等研究機構

氏名：室崎 喬之

所属機関住所：〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平
2-1-1

e-mail：murosaki@wpi-aimr.tohoku.ac.jp

研究キーワード：自己組織化、表面微細構造、高分子、
海洋付着生物、防汚



自己組織化表面微細構造を用いたフジツボに対する防汚微細構造 表面の作製

Self-assembled antifouling microstructured surfaces against barnacles

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

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

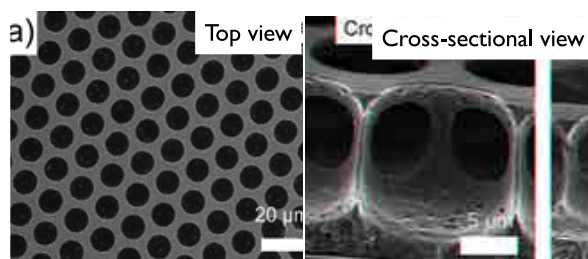


Fig.1 SEM image of self-assembled
honeycomb-structured porous film



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

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

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

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

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

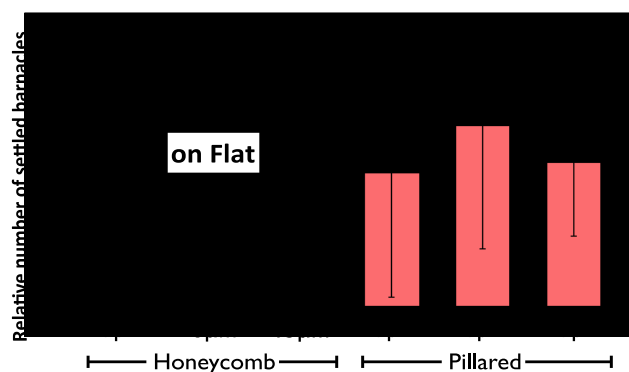


Fig.3 Antifouling effect of surface microstructures and sizes

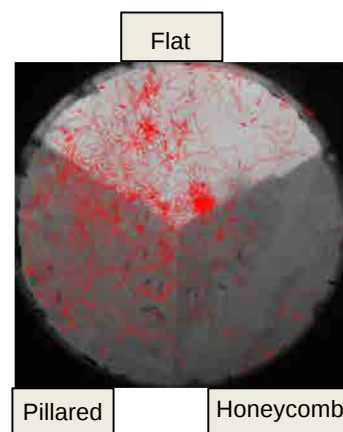


Fig.4 All of the exploring cyprid's tracks during the initial 10 hours.

参考文献

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

所属班：A01班

所属機関：国立科学博物館動物研究部

氏名：野村周平

所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1

e-mail：nomura@kahaku.go.jp

研究キーワード：昆虫学、生物多様性、インベントリー、
微細構造、SEM



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

1. 昨年度の研究実績概要

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

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

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

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

2. 今年度の研究計画

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

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

3. 今年度から始まる実験的取り組み

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

1) SEM以外のカラー画像およびSEM画像とカラー画像との合成

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

2) 断面画像

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

3) 人工物SEM画像と生物画像との比較

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

所属班：A01

所属機関：(公財)山階鳥類研究所

氏名：山崎剛史

所属機関住所：〒270-1145千葉県我孫子市高野山115

e-mail：yamasaki@yamashina.or.jp

研究キーワード： トキ・羽毛・羽色・化粧行動



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

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

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

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

トキの試料の観察を進めた結果として、これまでに確認されたことは以下の通りである。

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

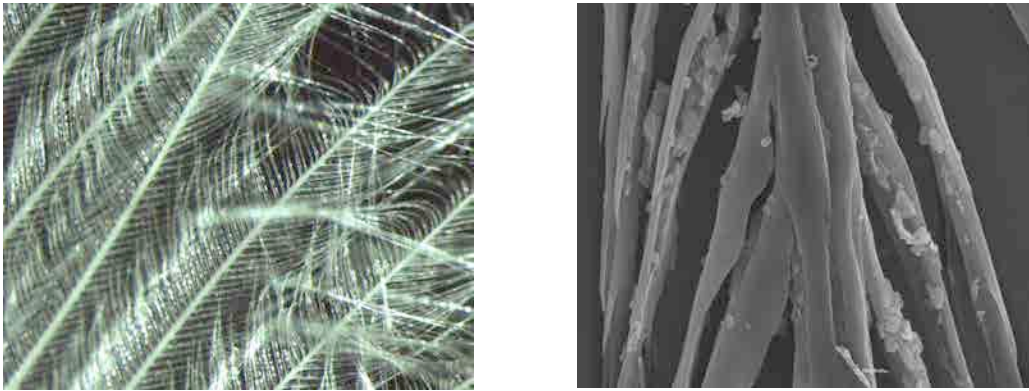


Fig. 1. Left: Toki's plume. Right: A SEM image of Toki's plume surface with black substances.

所属班：公募班

所属機関：北海道大学大学院 情報科学研究科

氏名：有村 博紀

所属機関住所：〒060-0814 札幌市北区北14条西9丁目

e-mail：arim@ist.hokudai.ac.jp

研究キーワード：データベース、オープンイノベーション、プラットフォーム



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

Biomimetics Database as a Platform for Open Innovation

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

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

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

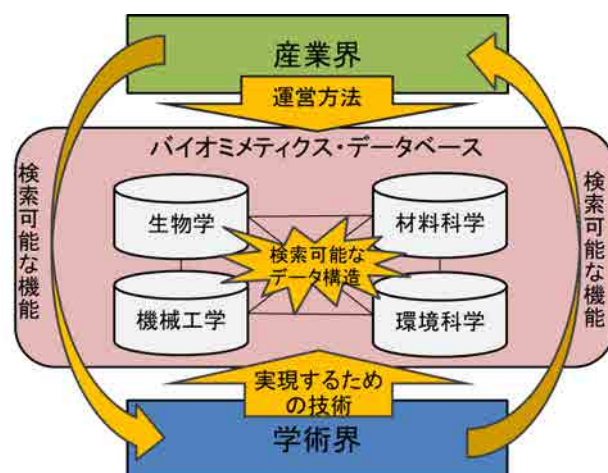


Fig.1 Biomimetics Database as a platform for open innovation.

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

参考文献

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

所属班：公募班

所属機関：群馬大学理工学研究院分子科学部門

氏名：浅川直紀

所属機関住所：〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1

e-mail：asakawa@gunma-u.ac.jp

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



生物の信号・情報処理機構を模倣したスケーラブルな 高分子デバイスの創製

Development of bio-inspired scalable polymer devices

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

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

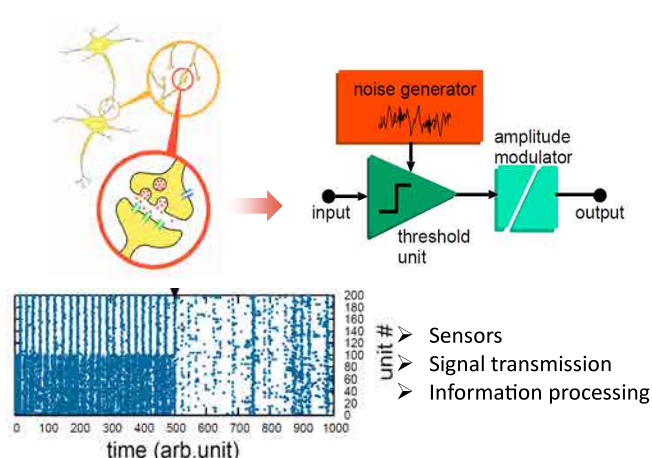


Fig.1 Schematic drawing of bio-inspired stochastic threshold unit and an example of noise-driven spatio-temporal dynamics adaptive to abrupt environmental change, which is autonomously emerged by an ensemble of the units.

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

参考文献

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

所属班：公募班

所属機関：千葉大学

氏名：田中博人

所属機関住所：〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

e-mail：htanaka@chiba-u.jp

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



飛翔生物を規範とした伸縮可能な微小シワ付きフィルム翼

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

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

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

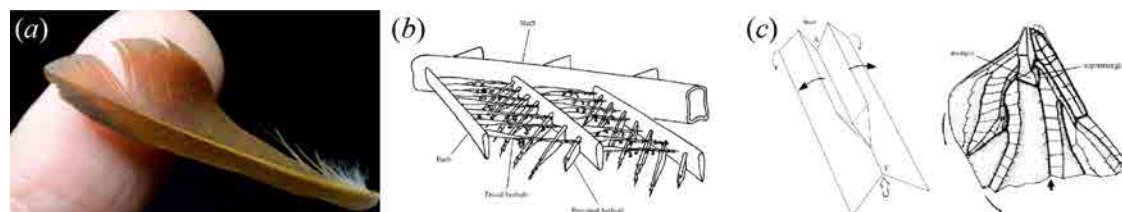


Fig. 1 (a) Deformation of a hummingbird's feather. (b) Multi-scale network structure of a feather⁽¹⁾. (c) Corrugated profile of a dragonfly wing⁽²⁾.

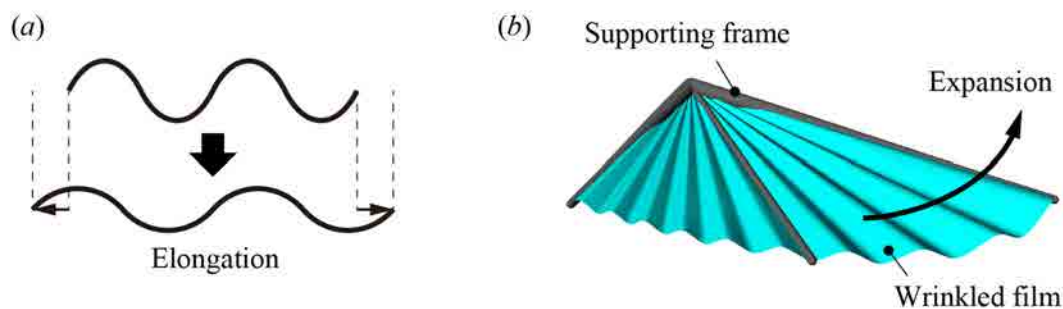


Fig. 2 (a) Stretching wrinkle. (b) Concept of a stretchable wing with micro wrinkle.

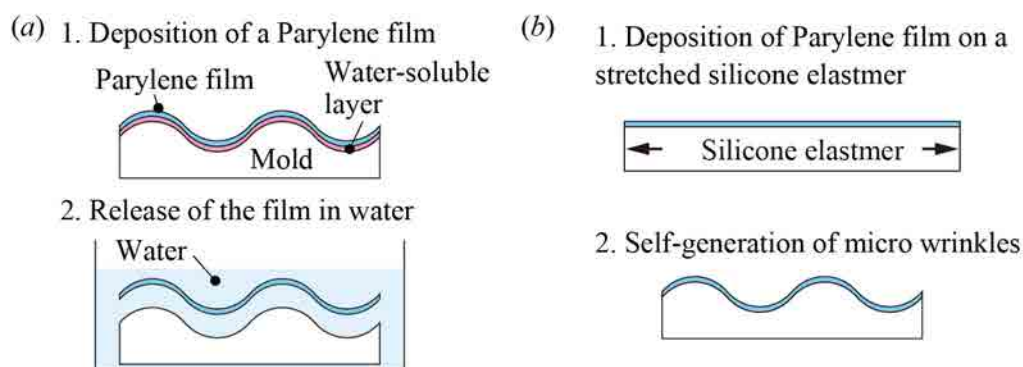


Fig. 3 (a) Deposition and release of a wrinkled film. (b) Formation of micro wrinkles.

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

参考文献

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

所属班：公募班

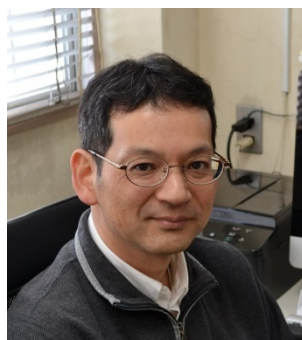
所属機関：広島大学・理学研究科附属臨海実験所

氏名：植木 龍也

所属機関住所：〒722-0073広島県尾道市向島町2445

e-mail：ueki@hiroshima-u.ac.jp

研究キーワード：ホヤ、被囊、金属、接着、タンパク質



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

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

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

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

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

すべてのホヤ類は海中の基盤に

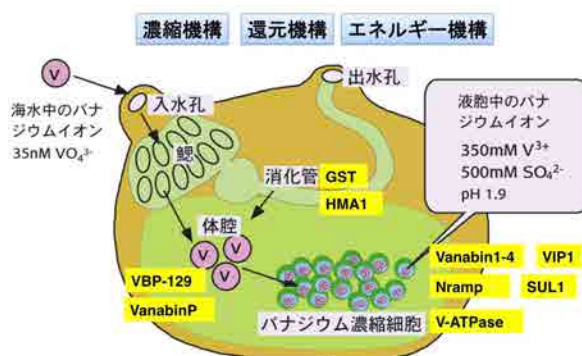
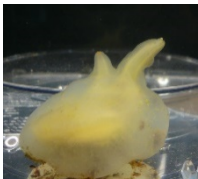


Fig. 1 Model for accumulation, reduction and energetics of vanadium in ascidians.

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

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

Table 1.				
Attaching organisms	present (rich)		absent (poor)	
Vanadium concentration	high	low	high	low
Representative species to examine in this study	<i>Ascidia sydneiensis samea</i>	<i>Styela plicata</i>	<i>Ascidia ahodori</i>	<i>Halocynthia roretzi</i>
				

参考文献

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

所属班：公募班

所属機関：九州大学大学院工学研究院機械工学部門

氏名：山口 哲生

所属機関住所：〒819-0395 福岡市西区元岡744

e-mail：yamaguchi@mech.kyushu-u.ac.jp

研究キーワード：ヤモリ模擬構造、材料力学、
力学的安定性



ヤモリ模擬構造の材料力学的アプローチ

Mechanical approaches for development of gecko-inspired structures

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

ヤモリ手足の研究に関する現時点での成果は、以下のようにまとめられる：

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

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

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

また、ヤモリ模擬粘着剤については、

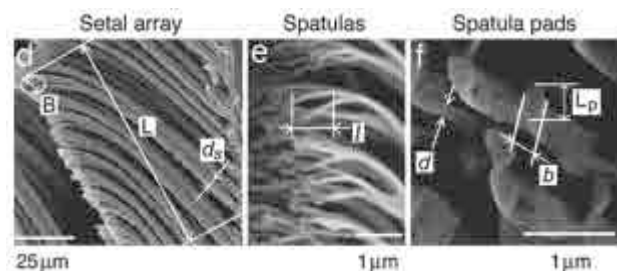


Fig. 1: Hierarchical structure in gecko feet.

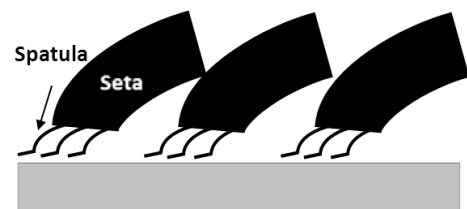


Fig.2: Hierarchical curved beam model.

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

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

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

本研究では、上記の理論的予想を踏まえ、以下の 3 つの研究課題に取り組む。

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

課題 2：ヤモリ手足を超える新たな設計概念の提案、高性能粘着・摩擦材料の開発

課題 3：理論モデル・シミュレータの開発と大学・企業研究者への普及

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

参考文献

- (1) Russell, A. P., J. Zool. Lond., **1975**, 176, 437-476.
- (2) Autumn, K., Liang, Y. A., Hsieh, S. T., Zesch, W., Chan, W.-P., Kenny, W. T., Fearing, R. and Full, R. J., Nature, **2000**, 405, 681-685.
- (3) Zhao, B., Pesika, N., Zeng, H., Wei, Z., Chen, Y., Autumn, K., Turner, K., Israelachvili, J., J. Phys. Chem. B, **2009**, 113 (12), 3615-3621.
- (4) Hansen, W., Autumn, K., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **2005**, 102, 385-389.
- (5) Tian, Y., Pesika, N., Zeng, H. B., Rosenberg, K., Zhao, B., McGuiggan, P., Autumn, K., Israelachvili, J. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., **2006**, 103, 19320-19325.
- (6) Yamaguchi, T., Gravish, N., Autumn, K., Creton, C., J. Phys. Chem. B, **2009**, 113, 3622-3628.
- (7) Nick Gravish, N., Wilkinson, M., Sponberg, S., Parness, A., Esparza, N., Soto, D., Yamaguchi, T., Broide, M., Cutkosky, M., Creton, C., Autumn, K., J. R. Soc. Interface, **2010**, 7, 259-269.

所属班：公募班

所属機関：千歳科学技術大学

氏名：オラフ・カートハウス

所属機関住所：〒066-8655北海道千歳市美々65-758

e-mail：kart@photon.chitose.ac.jp

研究キーワード：花粉,微粒子,祖分離,高分子、ハイブリッド材料



花粉表面の構造解析と自己組織化を利用した機能性マイクロ粒子のデザイン

Microparticle Design based on the Analysis of Surface Morphology of Pollen

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

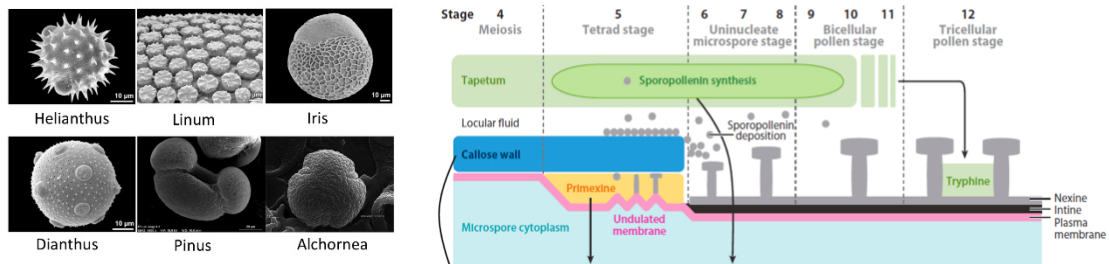


Fig.1 SEM image of various pollen grain surfaces and scheme of exine formation.¹⁾

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

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

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

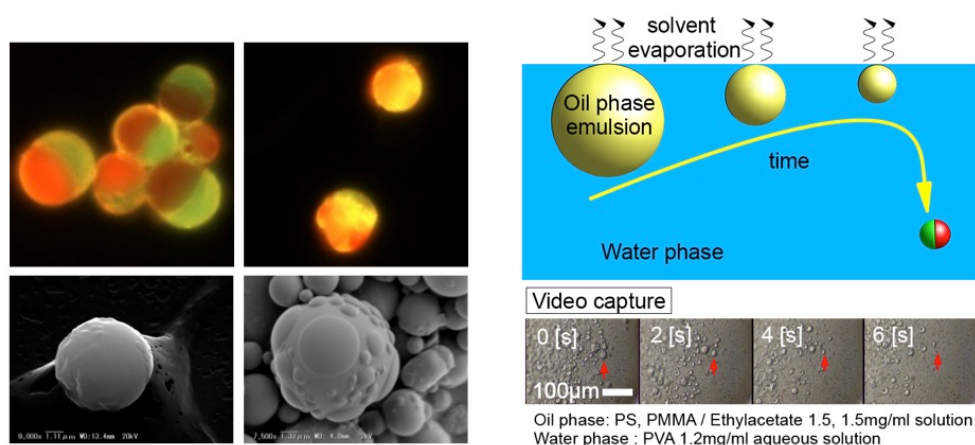


Fig.2. Formation mechanism and structures of phase separated polymer particles

参考文献

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

所属班：公募班

所属機関：大阪工業大学

氏名：藤井 秀司

所属機関住所：〒535-8585

大阪府大阪市旭区大宮5-16-1

e-mail : s.fujii@chem.oit.ac.jp

研究キーワード：微粒子、リキッドマール、泡、界面



微粒子由来凹凸構造を利用する気液分散体の安定化

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

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

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

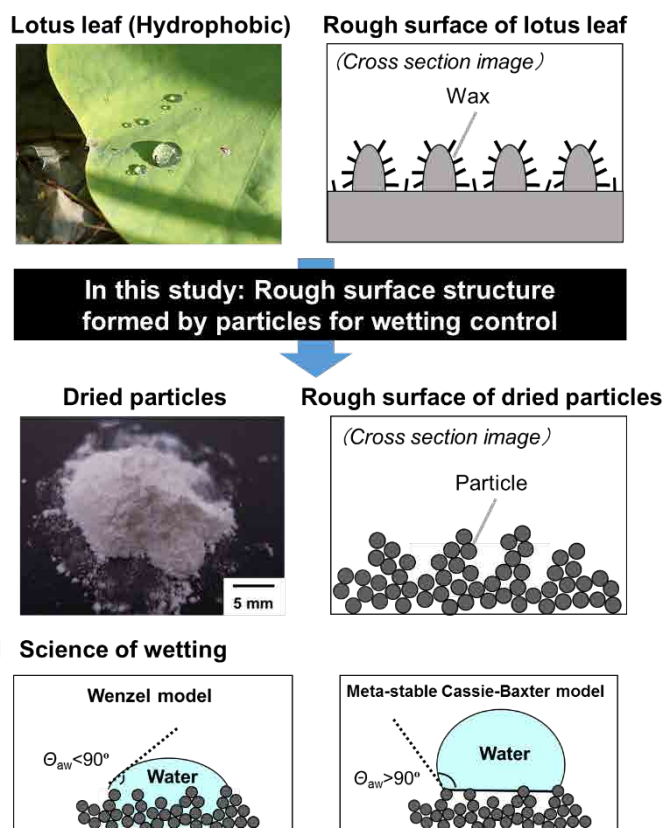


Fig.1 Concept of this study: Rough surface structure formed by particles for wetting control.

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

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

参考文献

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

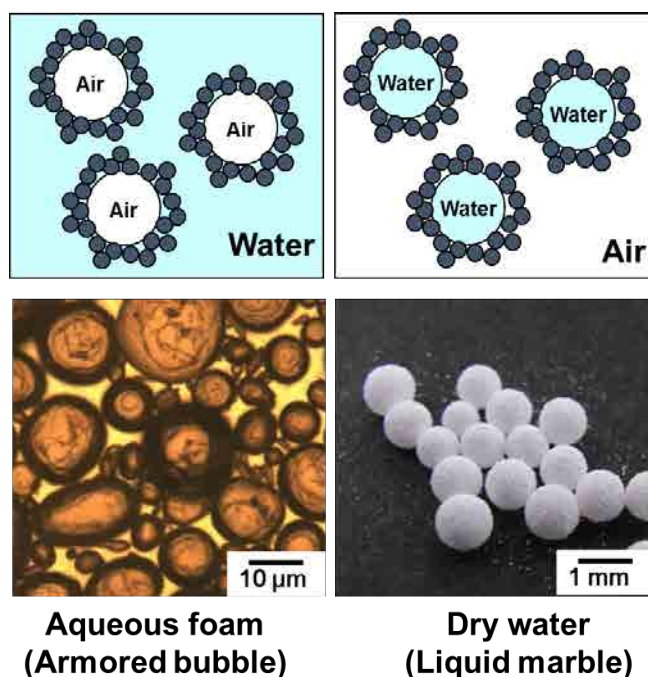


Fig. 2 Air-water dispersed systems stabilized with polymer particles.

所属班：公募班

所属機関：独立行政法人海洋研究開発機構

氏名：出口 茂

所属機関住所：〒237-0061

神奈川県横須賀市夏島町2番地15

e-mail：shigeru.deguchi@jamstec.go.jp

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



材料科学からアプローチするバイोकレプティックス

Biokleptics with Materials Science Approach

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

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

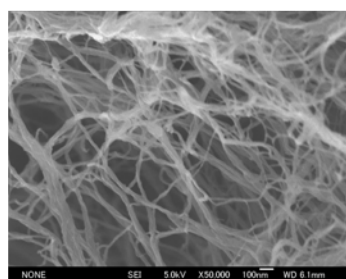


Fig. 1. SEM image of nanofibrous cellulose.

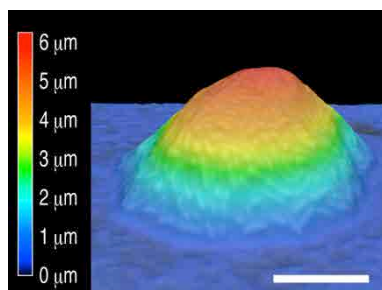


Fig. 2. A colony of *E. coli* formed on the surface of cellulose hydrogel. Scale bar: 20 μm .

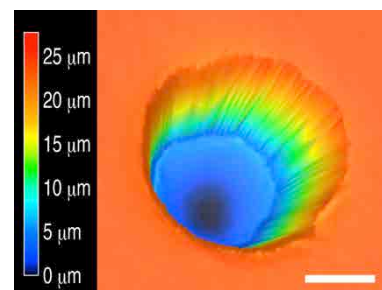


Fig. 3. Pit formation by a cellulase-producer on the surface of cellulose hydrogel. Scale bar: 20 μm .

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

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

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

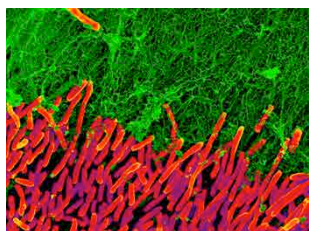


Fig. 4. A deep-sea cellulolytic bacterium growing in a pit on the surface of cellulose hydrogel (red: bacterial cells, green: nanofibrous cellulose).

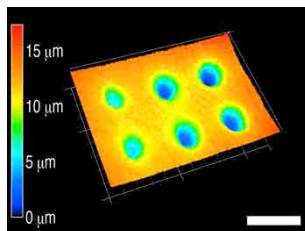


Fig. 5. Pit formation (scale bar: 50 μm) after depositing several dozens pL of a cellulase solution.

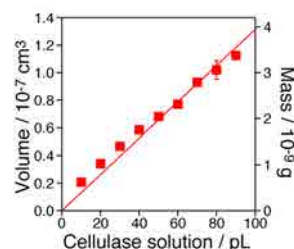


Fig. 6. Relationship between the pit volume and the amount of deposited cellulase solution.

参考文献

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

所属班：A01 班

所属機関：北海道大学大学院情報科学研究科

氏名：長谷山 美紀

所属機関住所：〒060-0814 北海道札幌市

北区北 14 条西 9

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

研究キーワード：画像



Knowledge Infrastructure for Biomimetics (WG4 提案)

1. はじめに

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

2. ISO/TC266 WG4 が目指すもの

2.1 WG4 設置の目的

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

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

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

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

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

2.2 WG4 が実現する異分野連携

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

生物学

One micro liter of the sundew's adhesive is capable of covering a 25 mm².

医学

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

ロボット工学

Quadruped robot climbs smooth surfaces using directional adhesive.

環境科学

Bacterial adhesion is an important initial step in biofilm formation.

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

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

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

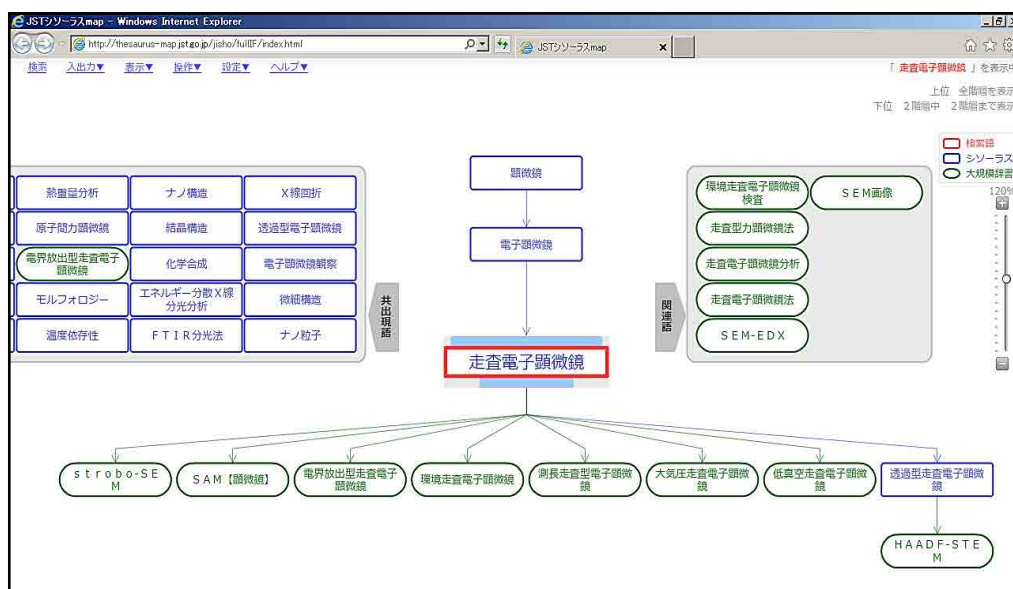


Fig.1 JST シソーラス map

3. バイオミメティクスデータベースの産業貢献への展開

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

『生物多様性を規範とする革新的材料技術』（平成 24 年度科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）、代表 下村政嗣（東北大学・教授））のメンバーである筆者は、広く画像処理について研究を行い発想支援型の画像検索手法を提案してきた^{(1), (2)}。画像や映像などの非構造化データの特徴を分析し、異なる分野に蓄積された異なる種類のデータを有機的に連携することで、検索者に気づきを与え発想を支援する理論体系の構築を目指している⁽³⁾。この理論に基づき、バイオミメティクスの異分野連携を支援する発想支援型画像検索基盤『バイオミメティクス・データベース』を実現する試みが、先に述べたプロジェクトで進められている。バイオミメティクス・データベースは、今まで昆虫や鳥類、魚類などの分類ごとに個別につくられた博物学データベースの情報を統合するだけでなく、異なる研究分野の研究者の利用を可能とし、さらには、産学問わず広く工学系研究開発者が望む情報を検索可能な環境を提供する。筆者が先行する他プロジェクトで実装を試みた昆虫画像検索エンジンのインタフェースを Fig.2 に示す。

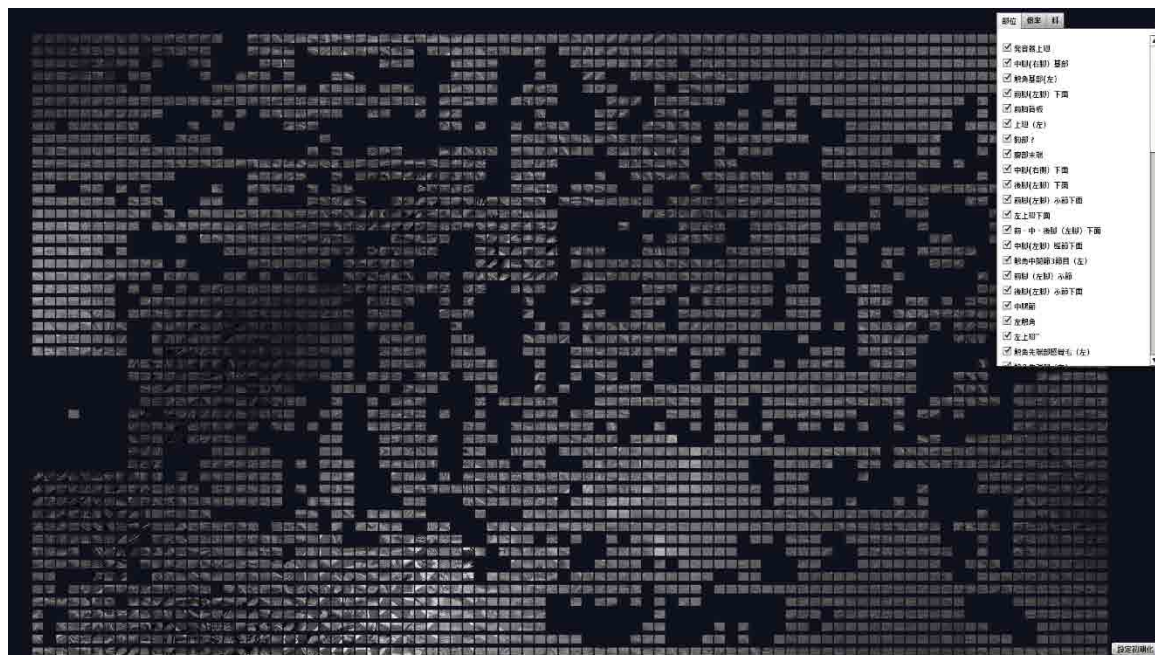


Fig.2 画像検索インタフェース

4. まとめ

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

参考文献

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

所属機関：独立行政法人海洋研究開発機構

氏名：白山 義久

所属機関住所：〒237-0061

神奈川県横須賀市夏島町2番地15

e-mail：meiobenthos2007@yahoo.co.jp



生物規範工学と海洋生物学－JAMSTEC との協働の可能性

1. はじめに

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

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

2. 独立行政法人海洋研究開発機構の紹介

独立行政法人・海洋研究開発機構（JAMSTEC）とは

〔文部科学省所管〕 **海洋研究開発機構** **世界最高レベルの設備を用いて海洋・地球のフロンティアを目指した研究開発を実施**

横須賀本部 	横浜研究所 	むつ研究所 	高知コア研究所 	GODAC (沖縄)
深海巡航探査機「うらしま」 連続航行記録317km 自律型巡航探査機の 世界記録樹立 	地球深部探査船「ちきゅう」 世界最大・最高性能 科学掘削船 	潜水調査船「しんかい6500」 有人潜水船としての 最大潜航深度 世界第1位 	地球シミュレータ 世界トップクラス性能 超並列型スーパー コンピュータ 	

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

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

JAMSTECの船舶・深海調査システム



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

3. 生物規範工学と海洋生物学

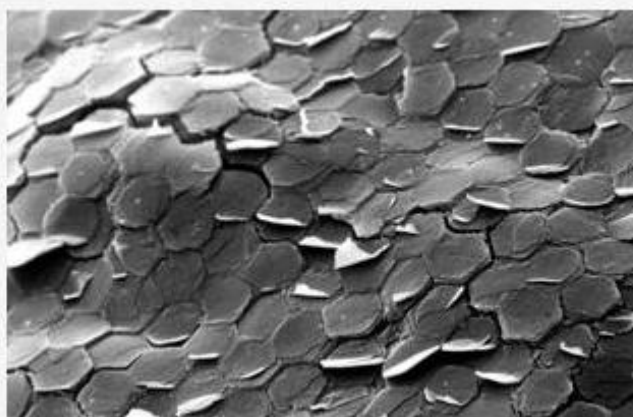
海洋生物には、きわめて工学から見て興味深い構造や機能を見ることができます。陸上の生物は、重力に対抗することに体の作りが強く規定されているので、その体制の自由度は海洋生物よりもかなり制約されています。一方海洋生物は、水中に生活するという別の観点の制約を強く受けています。水中生活の特徴として、水という強い粘性抵抗のなかで生活することと、浮力を受けて、3次元的な構造を作りやすいという2点が挙げられます。また付随して、水が光（特に長波長側）を速やかに吸収するので、環境には赤が少なく青が多い、電磁波よりも圧力波（音波）の方が遠くまで届く、なども特徴としてあげられるでしょう。

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

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

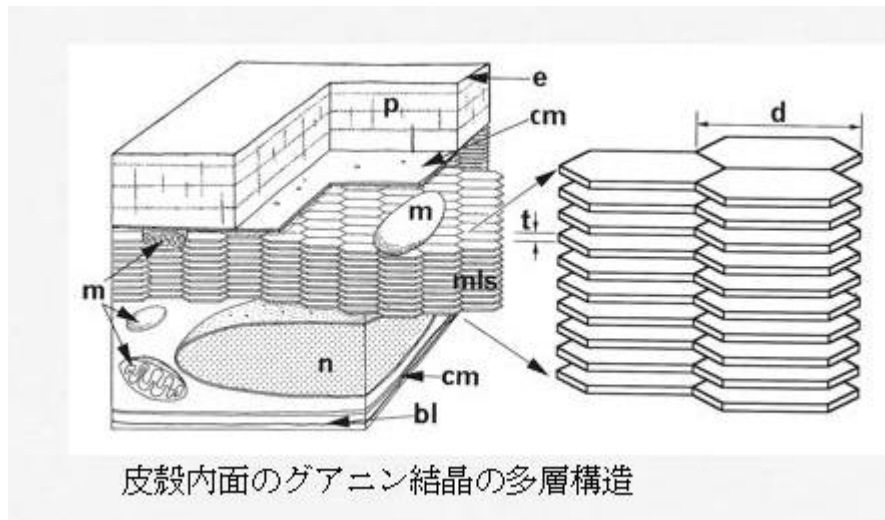


Sapphirina metallina (西川淳氏撮影)



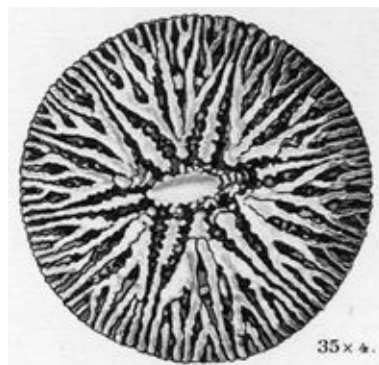
皮殻のグアニン結晶によるハニカム構造

(Chae and Nishida 1994 より)



(Chae and Nishida 1994 より)

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



Stephanophyllia sp. の骨格 (Encyclopedia of Life より)

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

所属機関：沖縄美ら島財団総合研究センター

氏名：佐藤 圭一

所属機関住所：〒905-0009 名護市字茂佐の森

3丁目15-8

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



形態と機能から見たサメ類の多様性

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

(1)サメの形態と生態

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

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

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

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

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

(2)サメの繁殖方法

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

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

(3)おわりに

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