

科学研究費「生物規範工学」公開講演会ならびに全体会議

日 時 : 2016年11月10日(木) - 11日(金)

場 所 : ラ コリーナ近江八幡 (滋賀県近江八幡市北之庄町 615-1)

■ 11月10日(木) ■

公開 科学研究費「生物規範工学」 公開講演会

「紅葉の琵琶湖畔で語るバイオミメティクスの未来」

13:00-14:30 エクスカーション (ラ コリーナツアー)

※一人500円徴収します。

14:30-14:35 開会の挨拶

下村 政嗣 先生 (千歳科学技術大学)

14:35-14:50 山本 昌仁 様 (たねやグループ CEO)71

「自然に学ぶ、ラ コリーナ近江八幡がめざすもの」

14:50-15:05 山本 浩司 様 (ニイガタ株式会社)72

「生物に学ぶ新たな中小企業のモノづくり」

15:05-15:20 石田 倫也 様 (大阪科学技術センター (OSTEC))73

「自然の叡智を活用した研究を支援：大阪科学技術センターの活動」

15:20-15:40 尾崎 まみこ 先生 (神戸大学)74

「アリの敵・味方識別ケミカルセンサの機能性とロバストネス」

15:40-16:00 藤井 秀司 先生 (大阪工業大学)76

「アブラムシのリキッドマール技術に学ぶ粘接着剤の創出」

16:00-16:10 休 憩

16:10-16:50 斎藤 彰 先生 (大阪大学)78

「バイオミメティクス世界動向： Biomimexpo などフランスの活動」

16:50 閉会の挨拶

仁連 孝昭 先生 (アスクネイチャー・ジャパン理事長 滋賀県立大学名誉教授)

17:30 懇親会 (非公開)

日牟禮茶屋 (滋賀県近江八幡市宮内町日牟禮ヴィレッジ)

参加費：7,000円

非公開 科学研究費「生物規範工学」 全体会議

9:00- 9:05	開催挨拶	下村 政嗣	
9:05- 9:35	A01 班	野村 周平 (国立科学博物館)	80
		「A01-1 班: バイオミメティクス・データベース構築 —2012-2016 年度成果のとりまとめ」	
9:35- 9:50		質疑応答	
9:50-10:20	B01-1 班	大園 拓哉 (産業技術総合研究所)	82
		「B01-1 班 生物規範界面デザイン: トライボロジー界面の創製」	
10:20-10:35		質疑応答	
10:35-11:05	B01-2 班	針山 孝彦 (浜松医科大学)	84
		「機能的サブセルラー表面構造の形成過程と学理」	
11:05-11:20		質疑応答	
11:20-11:50	B01-3 班	細田 奈麻絵 (物質・材料研究機構)	86
		「生物規範設計: 生物規範階層ダイナミクス」	
11:50-12:05		質疑応答	
12:05-13:00		昼食	
13:00-13:30	B01-4 班	森 直樹 (京都大学)	88
		「生物規範環境応答・制御システム」	
13:30-13:45		質疑応答	
13:45-14:15	B01-5 班	劉 浩 (千葉大学)	90
		「生物規範メカニクス・システムにおける動的力学ロバストネス」	
14:15-14:30		質疑応答	
14:30-15:00	C01-1 班	石田 秀輝 (東北大学・地球村研究室)	92
		「社会的インプリケーションによる生物規範工学体系化への挑戦」	
15:00-15:15		質疑応答	
15:15-15:50		総括班評価委員会からの総評と事後評価対応	
15:50-16:00		新学術 2 期目提案について 閉会	

森とお菓子和、これからと。
たねやグループは、自然と共に。

お菓子の素材は自然の恵み。
風や土、太陽や水の豊かさを感じる土地で、
自然と人のいとなみを、受け継がれてきた智慧や技を
次の、さらに次の世代へつなげてゆくために――

ラ コリーナ近江八幡。
ここから世界に向け提案したいのです。

50年、100年… 悠久の歳月をかさねながら
実り豊かな森の中に、生き活きと
人と自然を繋げます。

▶ ラコリーナ近江八幡豆言

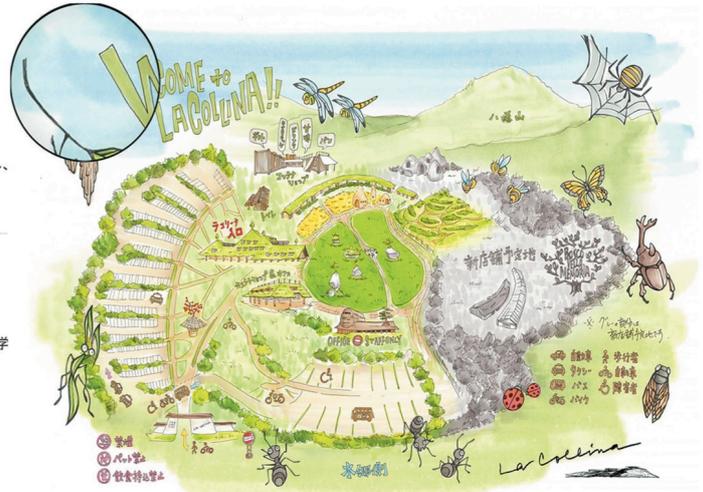


ラコリーナ近江八幡は、自然を愛し、自然に学び、人々が集う繋がり場。
八幡山から連なる丘に、緑深い森を夢み、自ら木を植え、ホタル舞う小川を作り、生き物たちが元気に生きづく田畑を耕しています。
このような環境の中に、和・洋菓子のメインショップをはじめ、たねや農藝、本社、飲食店、マルシェ、専門ショップ、パンショップなど、ゆったりとした自然の流れに寄り添いながら、長い年月をかけて手がける壮大な構想。
これからの人と自然、共に生きる“いのち”の在り方をわたしたちは見つけ、ラコリーナ近江八幡から世界へと発信してゆきます。ご期待ください。

ラ コリーナ
“La Collina”とは
イタリア語で「丘」という意味。
世界的な建築家・デザイナーであるミケーレ・デルツキ氏がこの地を訪れ、
小高い丘からの眺めに名づけられました。



シンボルの“アリ”
いつも人々が集い、にぎわう場でありたいと。
自然の中で一億年の歴史を生き、すぐれた社会性をもつアリのすがたに学
ラコリーナ近江八幡のシンボルとしました。



たねやグループ本社



「ふるさどにしっかり根ざし、たねやグループの新しい価値をこの地から…」全国、世界から人々が集いつながる場。シンボルツリーと塔が空へ伸びるオープンな空間で、いつもクリエイティブに。自然に学び、自然を感じながら新しい価値を見出し、活気あふれる新たな拠点を創出します。

【2016年6月6日稼働】

※一般のお客様のご入場はできません。ご了承下さい。

あたらしいカタチをつくる 提案・設計



透明・可視化 TRANSPARENCY AND VISUALIZATION

透明樹脂を使用し可視化部品、装置、レンズ等の製作を致します。

実験装置・器具・治具 CUSTOM TEST APPARATUS AND JIGS

一品物の器具・治具・装置を製作致します。

カスタムオーダー ADDITIONAL PROCESSING

既存品でお困りの製品はございませんか？

会社案内
ABOUT

サービス内容
SERVICE

納品の流れ
FLOW

製品紹介
PRODUCTS

よくあるご質問
Q&A

お問い合わせ
CONTACT



開発支援 DEVELOPMENT

ニイガタ株式会社は、皆さまの研究・開発の「あたらしいカタチ」をつくるお手伝いを致します。部品製作だけでなく、設計・提案・製作まで、弊社の技術と経験でご希望にお応え致します。開発中でお困りのことがございましたら、まずはお問い合わせ下さい。

FLOW.01
ヒアリング

FLOW.02
設計

FLOW.03
ご提案



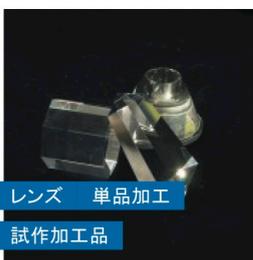
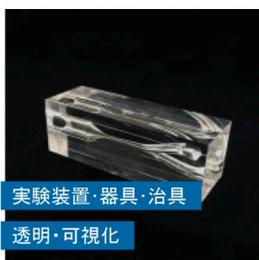
加工・製作 MANUFACTURE

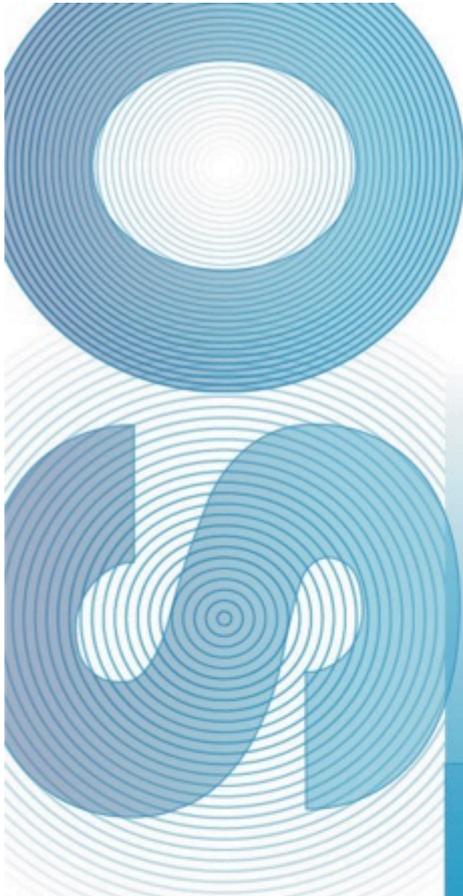
ニイガタ株式会社では、これまでに加工で培った技術を駆使し、皆さまからのご要望に迅速にお応え致します。「あたらしいカタチ」をつくる場面にて、加工でお困りのことがございましたら、まずはお問い合わせ下さい。

PROCESSING
工法選択

CHECK
加工

COMPLETE
仕上・組立





OSAKA SCIENCE & TECHNOLOGY CENTER 一般財団法人 大阪科学技術センター

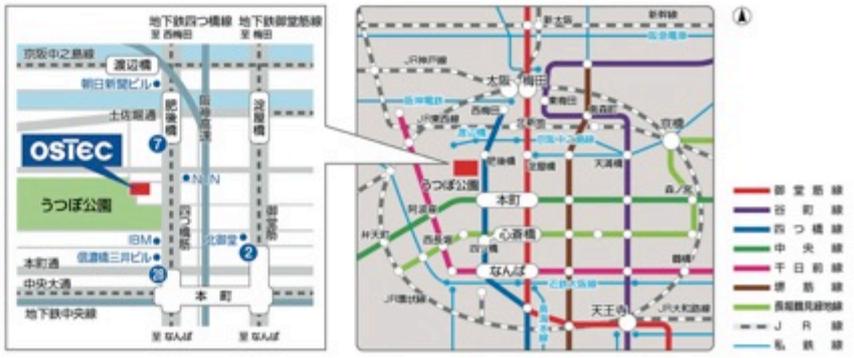
一般財団法人大阪科学技術センターの目的及び事業

目 的
 科学技術の振興に関する諸事業及び地域開発の促進に関する事業を科学技術者等により総合的かつ効果的に推進し、国内産業発展の基盤の強化に資するとともに、わが国科学技術水準の向上に寄与することを目的とする。

事 業
 従前の目的を達成するため、次の事業を行う。

- (1) 科学技術の研究及び開発の促進
- (2) 科学技術の研究及び開発の支援とその成果の普及
- (3) 科学技術の普及啓発
- (4) 科学技術に関する国際交流の推進
- (5) 中小企業の技術支援
- (6) 科学技術振興のための思想実験
- (7) 地域開発の促進
- (8) 大阪科学技術センタービルその他の科学技術振興のための施設の運営及び管理
- (9) その他この法人の目的達成のため必要な事業

一般財団法人 大阪科学技術センター(定款)第10条第1項



交通のご案内 (主要ターミナルより)

- 大阪方面・なんば方面より 地下鉄四つ橋線本町駅下車(28)号出口 北へ徒歩5分
- 新大阪方面より 地下鉄御堂筋線本町駅下車(2)号出口 西へ徒歩7分

所属班：B01-4班

所属機関：国立大学法人 神戸大学大学院理学研究科

氏名：尾崎 まみこ

所属機関住所：〒 657-85-1 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1

e-mail：mamiko@port.kobe-u.ac.jp



研究キーワード：アリ,化学コミュニケーション,匂いセンサ,ロボストネス

アリの敵・味方識別ケミカルセンサの機能性とロボストネス

Functionality and robustness in friend-foe discrimination by a particular type of chemosensory in the Japanese carpenter ant.

1. はじめに

クロオオアリは日本在来の代表的なアリ種で1頭の女王とその子供たちで統制のとれたコロニー社会を形成している。働きアリのコロニー帰属性は体表に分泌される18種類の炭化水素混合物の匂いによって識別できる。アリは、巣仲間（味方）とそれ以外（敵）を区別して行動学的危機管理スイッチを「容認」と「排撃」の間で切り替える。そのために、コロニー毎に特異的な体表炭化水素混合物の匂いの違いを識別する化学センサを持っている。

今回は、多成分で構成される匂いパターンの識別センサの規範となるこのアリの感覚子を取りあげ、新規に見出されたサブセルラー構造に基づく特徴的な作動性について、特に、ロボストネスを保証する驚くべき工夫に着眼して順を追って解説する。

- 1) 炭化水素感受性錐状感覚子の微細立体構造：センサに格納される100個以上の受容神経の受容突起は相互に連絡しているように見える。
- 2) 差分検出器としての機能性：コロニー臭が経日的に変化しても、当該感覚子は同じコロニーに属する同巣仲間の匂いに対しては不感化されており、異巣、異種のアリの匂いに対しては激しく応答する。
- 3) 感覚子応答パターンのルール：単一化学物質に対して、複数個の神経が応答する。個々の炭化水素の構造的特徴の違いによって、応答パターンが変化する。おそらく刺激強度の違いによって、関与する個々の神経の応答の強さだけでなく関与する神経の数（種類）も変化すると考えられる。

- 4) 炭化水素刺激（構成成分の混合パターン）と感覚子の応答パターンの相関関係は、おそらく自己の炭化水素混合パターンに依存した相対的なものである。
- 5) ロバストネス保持のためのセルフクリーニングの重要性：セルフクリーニングを怠ると感覚子が常時暴露される自己の炭化水素の混合パターンは変わらないが量が増す。その結果、異種は「敵」だが、同種は（異巢の相手であっても）「味方」という誤った判断がみられるようになる。
- 6) ロバストネス強化のための接触嗅感覚：当該感覚器は嗅覚器であるが実際には味覚同様に接触感覚器のような使われ方をしていると考えられる。

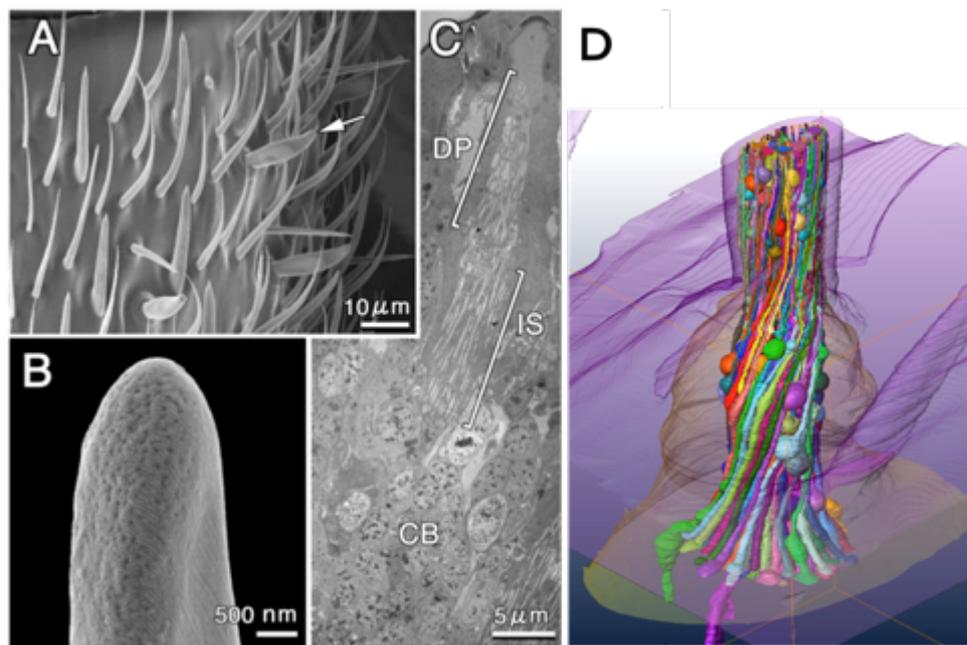


Fig.1 SEM and TEM images (A-C) and 3D model of basiconic sensillum in *C. japonicas* (D).

参考文献

- (1) Ozaki, M.; Wada-Katsumata, A.; Fujikawa, K.; Iwasaki, M.; Yokohari, F.; Satoji, Y.; Nisimura T.; Yamaoka R. *Science*, **2005**, 309, 311-314.
- (2) Ozaki M.; Hefetz A. *Insects* **2014**, 5, 722-741.

謝辞

SEM、TEM 撮影にご協力くださった福岡大学岩崎雅行博士、SFB-SEM 撮影とモデル構築にご協力くださった生理学研究所の村田和義、宮崎直幸両博士、電気生理学的応答について示唆を頂いた福岡大学横張文男博士に感謝いたします。

所属班：公募班

所属機関：大阪工業大学

氏名：藤井秀司

所属機関住所：〒535-8585

大阪府大阪市旭区大宮5-16-1

e-mail：syuji.fujii@oit.ac.jp

研究キーワード：微粒子、リキッドマーブル、ドライリキッド、粘接着剤



アブラムシのリキッドマーブル技術に学ぶ粘接着剤の創出

Synthesis of Adhesive Materials Based on Liquid Marble Engineering

アブラムシの中に、自ら排出する蜜の液滴表面を固体ワックス粒子で覆うことで基材に濡れ広がらないミリメートルサイズの液滴であるリキッドマーブルを作製するものがある⁽¹⁾。また、液滴のサイズを数十マイクロメートルサイズまで小さくしたリキッドマーブルの集合体は粉末として振る舞い、ドライリキッドと呼ばれている⁽²⁾。この生物が持つ技術を利用することで、液体の粉末化が実現可能になり、ハンドリングが容易になることが期待できる⁽³⁾。これまでに講演者らは、リキッドマーブルの内部液に粘着性高分子を用いた粉体状粘着剤の創出に成功している⁽⁴⁾。

ところで 2 液混合型接着剤は、接着に先立ち粘調な 2 液を混合する必要があり、入り組んだ空間への導入が困難である等の問題を有している。本研究では、エポキシ樹脂と硬化剤を内部液とするドライリキッドを作製し、流動性に富んだパウダー形態での 2 液混合型接着剤の創出に取り組んだ(Fig. 1)。

ミキサーを用い、エポキシモノマー水溶液または硬化剤水溶液を液相、表面疎水化シリカ粒子を安定化剤とし、9/1 (w/w)の混合比で攪拌し、ドライリキッドを作製した。

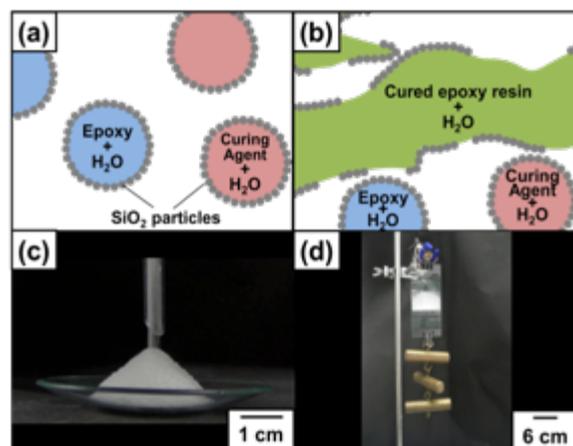


Figure 1 (a,b) Schemes and (c,d) optical photographs illustrating two-powder mixing type adhesive (a,c) before and (b,d) after application of shear stress.

生成ドライリキッドの混合物の安息角を傾斜法により評価した結果、52 °と測定され、2 種のドライリキッドを混合しても反応は起こらず、高い流動性を示すことが明らかになった (Fig. 1c)。ドライリキッドをスライドガラス間で押しつぶしたところ、内部液の漏出が観察され、2 液が混合することを確認した。次いで、作製したドライリキッドをスライドガラス間に挟んで応力を加え、24 時間静置した後に、重りを吊り下げることによって粉末状接着剤の接着力を評価した。その結果、押しつぶした系では 98.0 Nm⁻²、すりあわせた系では 4.2 kNm⁻² 以上の接着力が測定された。この結果は、十分に粉末状接着剤に応力を印加することで内部液が良好に混合し、接着力が発現することを意味している (Fig. 1b,d)。また、粉末状接着剤は 6 ヶ月経過後も良好な流動性を有し、混合後 3.8 kNm⁻² の接着力を示し、保存安定性に優れることを確認した。

以上の結果から、微細空間への輸送および応力により接着力の発現が可能であり保存安定性に優れた、粉体化 2 液混合型接着剤の創出に成功したと言える。

References

- (1) a) Akimoto, S. *Insecta Matsumuran A* **1983**, 27, 37-106. b) Pike, N. *et al.*, *Proc. R. Soc. Lond. B* **2002**, 269, 1211-1215.
- (2) a) Dieter, S.; Franz-Theo, S.; Helmut, B. US3393155A, **1968**. b) Hasenzahl, S.; Gray, A.; Walzer, E.; Braunagel, A. *SÖFW-J.* **2005**, 131, 2-8.
- (3) a) Aussillous, P.; Quéré, D. *Proc. R. Soc. A* **2006**, 462, 973-999. b) Fujii, S.; Yusa, S.; Nakamura, Y. *Adv. Funct. Mater.* **2016**, 10.1002/adfm.201603223.
- (4) Fujii, S.; Sawada, S.; Nakayama, S.; Kappl, M.; Ueno, K.; Shitajima, K.; Butt, H.-J.; Nakamura, Y. *Mater. Horiz.* **2016**, 3, 47-52.

所属機関： 大阪大学大学院 工学研究科 / 理研 SPring-8
氏名： 齋藤 彰
所属機関住所： (阪大) 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
e-mail： saito@prec.eng.osaka-u.ac.jp
研究キーワード： 表面、光、ナノ構造、X線、応用



バイオミメティクス世界動向： Biomimexpo などフランスの活動

World Trends in Biomimetics: French Activities such as Biomimexpo

バイオミメティクス (BM) は工学であり、学術的成果が「使えるか」「どう使うか」のみならず、教育の連携に至るまで、社会との接点は本質的課題である。まして背後には「持続可能性」「生物多様性」を軸に、エネルギー・環境という人類の将来に直結する喫緊のテーマが横たわる。こうした総合視野において、欧州は我が国の遙か先を進んでおり、その動向は我々にさまざまな示唆を与え得る。

2016年7月1日(金)9:30~22:30、2日(土)10:00~17:30、パリに程近い古都 Senlis (サンリス) 市で、1つの教訓的なイベント Biomimexpo⁽¹⁾が開かれた。概略はすでに本学術領域 News Letter に記した通りだが⁽²⁾、本稿では重要部の重複はあえて行いつつ、補足を記す。

中核組織 CEEBIOS (セビオス: Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis) と Senlis 市は、各々BM産学官コンソーシアムと地主で、市が譲渡された10haの仏陸軍跡地を提供して2012年、組織が発足した。本Expoはフランス初の、本格的なBM展示・講演会である。その内容は衝撃であった。

共催・後援には官産学の並みいる組織が連なり、鄙の古都ながら千人近い参加者が集まった。構成も特徴的で、中高生と親を含む一般市民から学術、企業人まで多様である。市とCEEBIOSをまたぐ運営はコンサル会社 NewCorp Conseil が行い、本Expoも仕切り役である(以後、人名の敬称は略す)。



Fig.1 Minister Barbara Pompili, giving a talk with fervor.

7月1日朝、Senlis 市長 Pascale Loiseleur の開会挨拶に、環境・エネルギー・海洋省 Barbara Pompili 生物多様性担当大臣の15分近い熱弁が続く(図1)。行事を通じ、主な司会は上記 NewCorp Conseil 理事 Alain Renaudin である。続く開会プレナリーは登壇者5人が、個別発表を挟み、活発なパネル討論と質疑応答を1時間続けた。議題は「生物多様性、持続可能な成長への発想と技術革新の源」で、5人は産官学から適切に程よい均衡で配置された。専門的内容のみ短いプレゼンを設け、弛緩したパネル討論も避け、最後に約15分聴衆と対話時間を作る等、本 Expo はこのセッションに限らず全般にバランス感覚に優れていた。初日午前は続いて異業種大手4社(ガス事業、化粧品、3D技術、建設)から「産業のBM紹介」各30分で、各社複数名が登壇した。

昼休み後、2会場のパラレル発表が2コマ(講演は計20件)続いた。中でも出色の題「BMと建築・都市・農業」は、「モノ偏重で単発」な日本に欲しい総合視野である。採光・循環から水利・気候・エネルギー効率まで、生物・生態系を総合的に見る感覚に加え、農業まで結ぶ視線はさすがである。他のテーマは先端研究、教育などにわかれ、パラレル終了後は翌日まで、全て総合セッションである。最後は「生物から学び、どう生物多様性にお返しするか」の題で、19時から軽食、20時から晚餐である。ここまでは少し専門家向け、2日目は一般市民向けであった(2日目は CEEBIOS の取組み、BM の一般的な紹介、エネルギー問題、最後は海洋利用)。

2日間で講演40件超、並行して展示約30件、CEEBIOS 施設見学が行われた。会場は講演・展示ともほぼ大講堂1棟に集約し、壁は多様な生物の美麗大判パネルで覆い、展示は製品・研究・書籍ブースと屋外テント約10件である。CEEBIOS では地場の中小企業参画も進み、メディア戦略も目立つ(放送・出版の後援)。あえて欠点は、言語が全ての文書・会場、口頭まで仏語のみの点である。しかし日本でセミコン JPN やナノテク展は英語か、と考えれば上記も自然な流れであろう。むしろ先端・学際分野も自言語のみで構築できる強さと文化の体力は、参考になった。

その後筆者は10月初旬、CEEBIOS 定例会議(材料系)に演者として招かれ、続いて仏政府主催のBM公開討論会も聴講した(いずれもパリ)。前者では上記 A.Renaudin と次回 Expo の日程(確定)・方針を話すと共に、国際協力の可能性を示唆され、後者ではBM先進国なりの苦労や狙い、様々な工夫も垣間見ることができた。BM では引き続き、視野の短長期によらず欧州、特にこの国の動向には目が離せないと感じている。

参考文献

- (1) <https://biomimexpo.wordpress.com>
- (2) 齋藤彰, "Biomimexpo 2016 (7/1~2, France) 参加報告", 新学術 "生物規範工学" *News Lett. Vol.5 (1) p.86-87 (2016)* (URL <http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/media/2016/08/889adda1435c3ffcc2f1ec51d476d6e12.pdf>)

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、画像検索、
オントロジー



A01-1 班：バイオミメティクス・データベース構築 —2012-2016 年度成果のとりまとめ

Part A01-1: Database Building for Biomimetics -Summary of Works in 2012-2016

1. A01-1 班研究の概要

当研究計画班においては、以下のような研究内容を主眼として、2012-2016 年度の5年間にわたって、研究を継続してきた。すなわち、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、ということである。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、鳥類を担当する山崎小班、ならびに魚類を担当する篠原小班である。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た。ただし、後2年度（2015-2016）において、山崎小班はB01-5班へ異動した。

最終年度である2016年度の提出数はまだ確定していないが、生物系から情報系へ提出したSEM画像件数は前4年度（2012-2015）で、総計約25,100件に上った。この内訳は、昆虫約19,000件、鳥類約1,500件、魚類約4,600件である。これらの画像データは長谷山小班へ提出され、バイオミメティクス画像検索基盤の基礎データとして使用されている（図1）。

また、生物の適応についてまとめたテキストファイルの整備を進め、これまでに約500分類群（昆虫約250、鳥類約160、魚類約190）の処理を終えた。これらのテキストデータについては、オントロジー担当の溝口小班へ提出され、オントロジーによるキーワード探索（図2）の基礎データとなっている。

当班ではバイオミメティクス画像検索基盤の領域内での試用機会を増やす取り組みを行うとともに、オントロジーによるキーワード検索の機能を援用して、より効率的な発想支援のツールとしての実用化をめざしている。

2. 論文数など

事後評価のフォーマットを意識した論文数などのとりまとめについては、調査を実施中であるので、その結果は本講演以降報告を行う。ただ、10月7日現在、領域ウェブサイトに掲載されている業績数の合計については、以下のような数字が出ている。国際雑誌論文 21 件（うち査読有り 21 件）、国内雑誌論文 24 件（うち査読有り 21 件）、国際発表 33 件、国内発表 87 件、著書 29 件。国際学会における招待講演、および基調講演各 1 件、アウトリーチ活動 13 件、メディア報道など 40 件。

3. アウトリーチ活動

本班では、研究成果を広く発信するため、また、若手研究者の育成に資するため、アウトリーチ活動を積極的に行った。前回の全体会議で報告したように、2016 年度には、一般向け書籍の発行と国立科学博物館における企画展を実施した。この 2 件には、A01-1 班の全小班のみならず、領域全体から、多くの研究者の参加と協力を頂いた。企画展の入場者数は、約 22 万人に上った（前回講演要旨と数字が違っているので、訂正させていただきたい）。

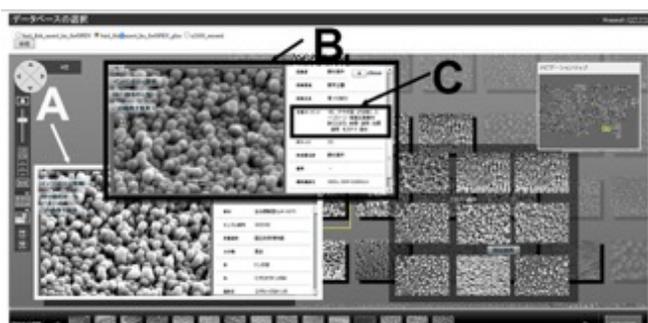


Fig.1. Biomimetics Image Retrieval Platform. A: selected SEM data of a dragonfly; B: retrieved SEM data of a cicada; C: ecological keywords.



Fig.2. Website of Keyword Searching by Biomimetic Ontology.

所属班：B01-1班

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、（発表：大園拓哉、小林元康）

所属機関住所：〒305-8565 つくば市東1-1-1

e-mail：ohzono-takuya@aist.go.jp

研究キーワード：摩擦、潤滑、防汚、表面



B01-1 班 生物規範界面デザイン：トライボロジー界面の創製

B01-1：Design of Biologically-Inspired Surfaces with Tribological Properties

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、

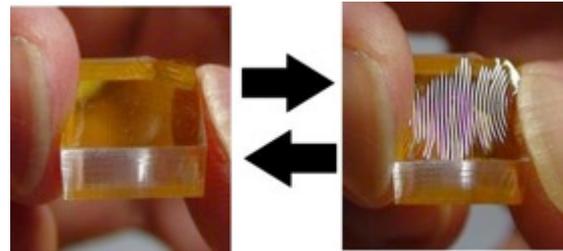


Fig.1 Shape-tunability of wrinkles.

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⁾を含めて進捗状況を紹介します。また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る。

2. シワ表面での摩擦の結果例

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。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)。この結果は、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、平均の摩擦力をリンクル構造の有無で数 10%程度、上げ下げ可能であることが示唆される。更に最近、織物を利用したシワ構造にて摩擦力が 10 倍変わる系も開発している ⁽³⁾。すなわ

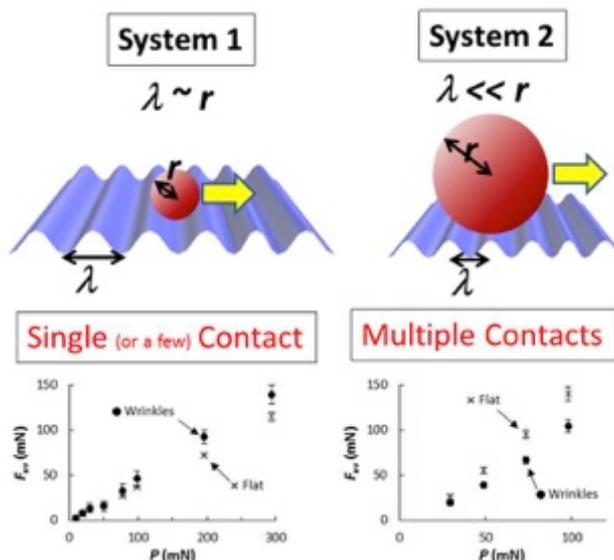


Fig. 2. Contact-state-dependent frictional systems and average friction force F_{av} vs. normal load P on wrinkled and unwrinkled (flat) surfaces. (left) System 1. (right) System 2.

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。当日は、上記を含んだ班全体の概要説明と、一部の個別成果を紹介する予定である。

3. 高分子電解質で被覆した表面の流体摩擦抵抗

魚類の体表はムコ糖タンパクなどの高分子電解質の粘膜で覆われており、生体防御や防汚性などの機能を果たし遊泳特性にも影響を与えていると考えられている。本研究ではブラシ状高分子電解質で被覆された超親水性表面を調製した。その表面における水の流体抵抗は撥水性表面より大きいことが明らかにな

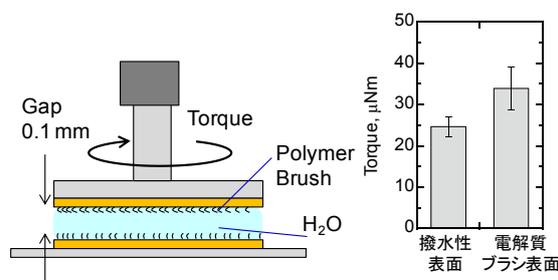


Fig. 3. Rotation torque of the polyelectrolyte brush nlate bound with water at 298 K

った。また、座屈法によりしわ構造を与えると、水中防汚性が低下する傾向が認められた。

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) Suzuki, K., Ohzono, T., *Soft Matter*. **2016**, *12*, 6176.

謝辞

本研究は、科研費新学術領域「生物規範工学」(No.24120003)の支援の下、行われた。

所属班：B01-2 班
所属機関：浜松医科大学
氏名：針山 孝彦
所属機関住所：〒431-3192 静岡県浜松市東区半田山1-20-1
e-mail：hariyama@hama-med.ac.jp
研究キーワード：サブセルラー、モスアイ、ロバストネス



機能的サブセルラー表面構造の形成過程と学理

Functional subcellular-size surface structure – Formation process and Scientific principle

1. はじめに

昆虫の網膜レンズ表面に見られる微小なナノニップルの集積は、蛾の眼の表面で発見され“モスアイ構造”と呼ばれ、光の反射を防ぐことが知られている(Fig.1)。また、昆虫のクチクラは、表皮細胞層に分泌物が集積することによって形成されていることが知られているが、最外層のサブセルラー・サイズ構造が如何に形成され、光の反射防止以外のどのような機能をもっているかは知られていなかった。

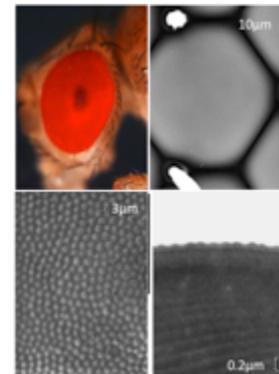


Fig.1 Nipple arrays on the cornea of *D. melanogaster*.

2. モスアイ構造の新たな機能：滑落性

類似のナノパイル構造はセミの翅の表面など昆虫の多様な表面に存在していることを見だし(Fig.2)、このサブセルラー・サイズ構造が光の反射を防ぐだけでなく、高い撥水性を示すとともに、汚れが付きにくいセルフクリーニングの特性（防汚性）といった多機能性を有することを発見した。また、天敵であるアリがセミを攻撃している様子を見てみると、この翅の上をうまく歩けないことが観察された。アリを含め、滑らかな垂直面を歩行することができる昆虫の肢の先端には、footpad と呼ばれる特殊なクチクラ構造があり接着性を創出している。しかし、モスアイ構造は footpad による接着性を阻害し、滑落性といった機能を有することがわかった。そこで、モスアイ構造を模倣した“モスアイフィルム”を利用し、様々な昆虫に対する滑落性の行動実験をしたところ、調べた



Fig.2 Nanopile structure on the wings of large brown cicada, *G. nigrofuscata*.

すべての昆虫で滑落性が示された。このことは、“モスアイフィルム”の害虫防除への応用の可能性を示唆している。無反射表面として発見されたサブセルラー・サイズ構造は、多機能性を有している。

3. モスアイ構造の形成メカニズム

遺伝学的解析が可能なキイロショウジョウバエの Cornea(レンズ) (Fig.1) は、エンベロープ、エピックチクラ、プロクチクラの3層よりなり、ニップル構造はエンベロープとエピックチクラ層で形成される。ニップル形成過程には、レンズ形成細胞の表層には多数の微絨毛が存在し、微絨毛の間の細胞膜からエクソサイトーシスにより、クチクラ形成のための材料物質が分泌され、細胞外の材料物質は、微絨毛の先端に集積しエンベロープを形成する。その後エピックチクラ層の形成とともに自己組織的にニップル構造の形成が進行し、続いてプロクチクラ層がつくられることが、3次元TEM再構成技術を駆使することからわかった。

4. モスアイ構造の乱れの可視化と定量化

生物の自己組織化過程は、細胞内にある柔らかな材料を用いて常温常圧下で行われるから、必然的に熱揺らぎの影響を受けてしまう。例えば規則的な微細構造が引き起こす発色現象(構造色)をもつ生物においても、詳細に観察すると構造の乱れや欠陥が無数に存在していた。クマゼミの翅などでは、ニップルの配列がアモルファス状に乱れていることを発見した。このような配列の乱れはなぜモスアイ効果を始めとする機能に影響を与えないのだろうか? ニップルの配列乱れを評価する方法の一つとして、ボロノイ分割を用いた解析を考え、配列の乱れが機能に影響を与えていないか検討した (Fig.3)。その結果、乱れは昆虫の種によって異なり、例えばクマゼミの翅の反射率が実験値として0.1%程度であり、モスアイ構造がない場合の反射率(およそ8%)と比べて十分に低いことがわかった。すなわち、クマゼミの翅で観察されたニップルの配列は、結晶のように完全ではないという意味で「いい加減」ではあるが、散乱が問題となるような度合いではないという意味では「良い加減」なのである。モスアイ構造の多機能性や構造の乱れに対する機能のロバストネスという視点を見つけることができた。

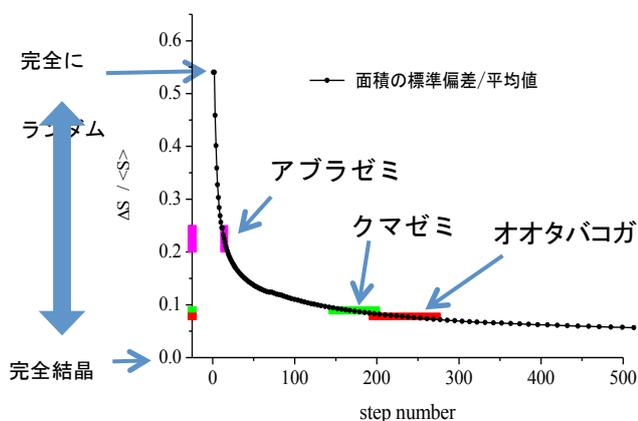


Fig.3 Evaluation of irregularity using a computer simulated dot pattern and Voronoi diagram. Data for three insect species are superimposed.

所属班：B01-3

所属機関：国立研究開発法人 物質・材料研究機構

構造材料研究拠点 表面・接着科学グループ

氏名：細田 奈麻絵

所属機関住所：〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1

e-mail：HOSODA.Naoe@nims.go.jp

研究キーワード：ぬれ性制御、分泌、自己治癒、接着・剥離、摩擦



生物規範工学：

生物規範階層ダイナミクス班(B01-3 班)の活動報告

Progress report of B01-3 group

1. 方法論・ガイドライン作成

生物をモデルにしたものづくり（バイオミメティクス）の方法論の確立は、生物規範工学を発展させる上で重要な課題である。B01-3 班では、「バイオミメティクス」の国際標準化策定の原案作りに積極的にに関わり、材料・構造・構成要素に関するバイオミメティクス製品の開発を如何にして行うべきかのガイドライン作成し、2016年の9月に国際標準 ISO 18457 として発行されるに至った。

2. 2 種類の大別

バイオミメティクス製品の開発プロセスは、①バイオロジープッシュと、②テクノロジープルの2種類に大別される（Fig. 1）。バイオロジープッシュは生物学的な発見が

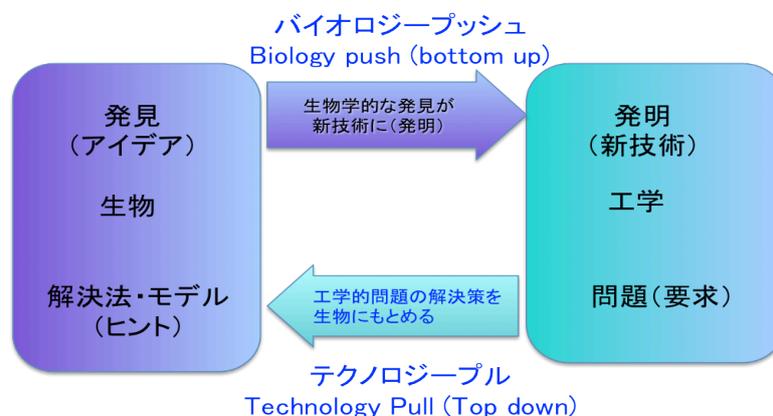


Fig. 1 The processes of the development of biomimetic products

新技術に結びつくもので、Fig.2 (a) のようなプロセスを経て開発される。これに対し、テクノロジープルは、既存技術あるいは既存製品の特定の問題に対する解決策を生物からヒントを得ようとするもので、Fig.2 (b) のようなプロセスを経て既存技術・製品の改善・改良が成される。

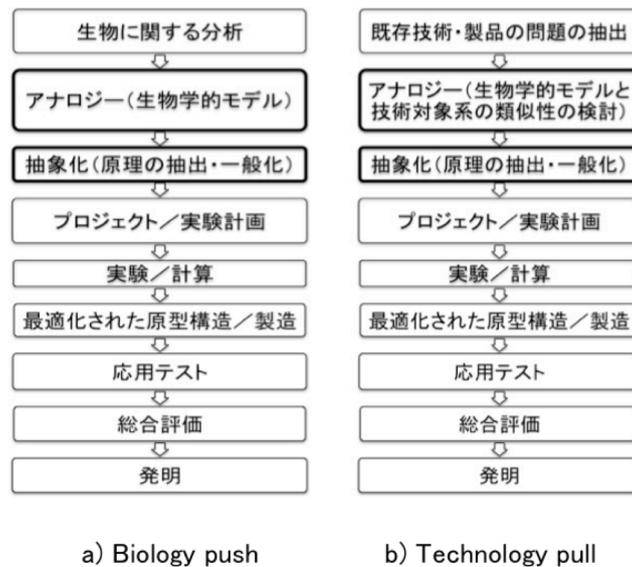


Fig 2. The outlines of the development of biomimetic products

3. 事例紹介 (新学術領域の課題研究)

新学術領域の課題研究においても、Fig.2 のプロセスを踏んで研究を行い、このプロセスの有効性を実証した。ここではその一例として Fig.3 に本研究で行った昆虫をモデルにした水中接着機構の開発プロセスの概要を示した。①ハムシやテントウムシなどの昆虫が水中を自由に歩行できることを発見し、昆虫が泡を利用して水中を歩いている事を明らかにした。②類似性の検討では、水中で使用可能な接着技術に注目した。③泡を接着技術に利用するためのデザインルールを確立した。④材質の選定を行い、デザインルールに沿った接着機構を製作し、⑤最終的に新しいバイオミメティック製品の開発に成功した。

4. むすび

このように国際標準 ISO 18457 の発行により、ガイドラインが材料・構造・構成要素に関するバイオミメックス製品の開発促進に寄与することが期待される。

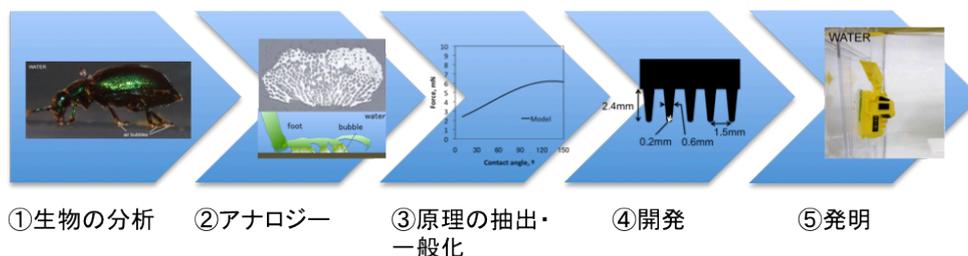


Fig.3 Biomimetic underwater adhesion

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：化学受容，聴覚センサ



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

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。

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。

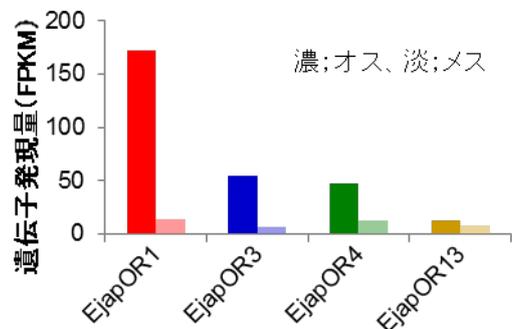


Fig. 1 Expression levels of PR candidate genes in antennae by RNAseq analysis.

クロオオアリのゲノム・トランスクリプトーム解析から、嗅覚受容体(OR) 396 遺伝子を同定し、メス(働きアリ)に多く発現する 110 の Or 遺伝子群を見出した。次に、連続ブロック表面走査型電子顕微鏡 (SBF-SEM) を用いて、

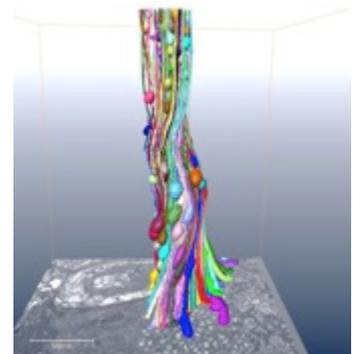


Fig. 2 3D reconstructed sensory neurons in a cuticular hydrocarbon sensor.

当該センサの内部微細構造の 3D モデルを構築した (Fig.2)。センサ内部には 100 本以上の受容神経から伸びる感覚突起が束になって格納されており、隣り合う突起が瘤状の構造部分で互いに接しているように見えた。また、クロオオアリ触角からはイネキシンが検出され、神経細胞間での電氣的なカップリングの存在が示唆された。

2. 昆虫-植物相互作用

きのこ栽培用の原木の害虫であるカミキリムシにおいて、特定周波数の振動に対する行動反応の閾値を得た。また、超磁歪素子を用いた振動発生装置の試作機を用いて室内評価試験をおこなったところ、本種は振動によって歩行の停止等の行動反応をひきおこした。現在、振動による行動制御効果の野外実証試験をおこなっているところである。

果樹の害虫であるチャバネアオカメムシの肢に内在する弦音器官 2 種、腿節内弦音器官ならびに膝下器官を特定した。両者とも少数の感覚細胞からなり、構造から振動受容性の特徴を持つ。これらの弦音器官は、他種のカメムシやセミにも存在した⁽¹⁾。

3. 環境適応

ネムリユスリカ幼虫同様優れた乾燥耐性能力を有するネムリユスリカ由来培養細胞 (Pv11) を用いて、その常温保存技術法の確立を行なった。Pv11 は高濃度のトレハロース溶液 (600mM) で 48 時間の前処理の後、ゆっくり乾燥することで、増殖可能な状態での 251 日の常温乾燥保存に成功した⁽²⁾。しかしながら、現時点では、この簡便な常温保存技術は他の昆虫由来培養細胞への適用はできない。乾燥および再水和に伴い大きな酸化ストレスが発生し DNA 損傷を誘導することが判明した。そこで、ある程度 DNA 損傷が生じても修復し、致死しない昆虫培養細胞 (Sf9) にネムリユスリカ由来の乾燥耐性関連遺伝子 (例: トレハロース輸送体遺伝子) を導入し、乾燥耐性付与を試みている。

参考文献

1. Nishino H, Mukai H, Takanashi T. Chordotonal organs in hemipteran insects: unique peripheral structures but conserved central organization revealed by comparative neuroanatomy. Cell Tiss Res. in press
2. Watanabe, K., Imanishi, S., Akiduki, G., Cornette, R., Okuda, T. Air-dried cells from the anhydrobiotic insect, *Polypedilum vanderplanki*, can survive long term preservation at room temperature and retain proliferation potential after rehydration. *Cryobiology*, 73: 93-98, 2016

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：生物マルチスケール・メカニクス・システム，生物規範細胞，生物規範飛行，バイオミメティクス、ロバストネス



生物規範メカニクス・システムにおける動的力学ロバストネス Bioinspired Mechanical Systems

B01-5 班では、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してきた。過去5年間に得られた主な成果の中、とくに明らかにしてきた生物規範メカニクス・システムにおける動的力学ロバストネスについて報告する。

1)生物マルチスケール・メカニクス・システム：

生物運動の最適化のスケーリング法則に関して、魚類遊泳の実験と大規模な力学シミュレーションを遂行し、生物遊泳の運動や力学特性及びエネルギー交換などを統合的に解析した。さらに遊泳の波打ち運動を横波、自由遊泳時の前進運動を縦波とそれぞれ定義し、横波運動エネルギーから縦波運動エネルギーへの変換率に対して波動エネルギー数(wave energy number)を導入した。これら解析と考察の結果により、生物遊泳は、(1)従来の流体力学スケーリング法則で説明できない、2)最大機械効率ではなく、如何に効率よく横波運動エネルギーから縦波運動エネルギーへ変換すること、すなわち最小移動コストを選択していることを明らかにした。現在はこの最小 CoT メカニズムの細胞運動と生物飛行へ適用を行い学理「生物マルチスケール・メカニクス」の確立を目指している。

2) 生物規範細胞ミクロメカニクス・システム :

細胞運動の制御と力覚検知メカニズムのメカノバイオミメティクス研究については、(1) 生体組織の曲率を感知する細胞運動の発見、(2) 非一様な弾性場を運動する細胞には牽引応力の顕著なゆらぎが発生する“細胞運動波”の実証、(3) アクティブタッチ仮説の検証とアクティブタッチを担う MS チャンネルの同定、(4) アクティブタッチ・システムによる重力感知などを実施し細胞運動の制御と力覚検知のロバストネスについても検討した。

3) 生物規範飛行マクロメカニクス・システム :

生物規範メカニクス・システムにおける昆虫羽ばたき飛行の「動的力学ロバストネス」、とくに生物羽ばたき翼の運動・形態・変形（動き）のロバストネス原理について、(1) 昆虫や鳥の翼羽ばたき運動（能動的な動き）における、「翼振動速度と前進速度」の比がある狭い範囲に入る羽ばたき翼運動のロバストネス、(2) 昆虫羽ばたき飛行の関節飛翔筋がもたらす外骨格の受動的変形のロバストネス、(3) 4 枚翅昆虫の翼形態（前翅・後翅）における「前翅だけで十分な揚力を発生する」ことが可能である翼形態のロバストネス、(4) 昆虫翼の羽ばたき運動に起因する翼変形（受動的な動き）における、翼構造と関係なく、その「相対的な捻りや曲げ」が同じ規則に従う、空気力学性能と飛行安定性のロバストネス、(5) 自然環境乱流中の昆虫羽ばたき飛行における胴体姿勢の受動的な「動き」がもたらす飛行制御のロバストネスなどのメカニズムを明らかにした。

4) バイオミメティクス・デザイン :

バイオミメティクス・デザインへの応用技術として、(1) iPS 細胞のフリーダーフリー分散培養におけるフィーダーフリー弾性率可変基材によるマトリゲル上培養系を遥かに上回る正常な高速増殖率の達成、(2) 生物柔軟翼の受動的変形機能を規範とした柔軟伸縮皺フィルム人工翼の開発とロバストな空気力学性能を実現する 2 枚翼ハチドリ規範型飛行ロボットの開発、(3) 鳥翼を規範とした、風向と風況の変動に強い高性能かつロバストなマイクロ風車用ロータの開発など多くの成果が上げられている。

本分野の次世代若手育成についても、CIMTEC2012, IEEE-CME2012, ISABMEC2012; ICBME2013, APISAT2013, USTBME2013; WCB2014, ISABMEC2014; APBiomech2015, WBMDI2015, 日本機械学会年次大会やバイオ講演会など国内外研究集会やバイオミメティクス関連 OS を企画し、領域内の若手研究者を招待講演者にして若手育成に積極的に推進してきた。

参考文献 :

H. Liu, S. Ravi, D. Kolomenskly, H. Tanaka. Biomechanics and biomimetics in insect-inspired flight systems. *Phil. Trans. R. Soc. B*, dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0390. 2016.

所属班：CO-1

所属機関：合同会社 地球村研究室 東北大学名誉教授

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

研究キーワード：バックキャストライフスタイル、オントロジー、標準語彙、Linked Open Data



社会的インプリケーションによる生物規範工学体系化への挑戦

Creation of the Biologically Inspired Engineering implicated in the Society

1. 持続可能社会に求められるバイオミメティクス

持続可能な社会創成とは、工業化によって自然や共同体から離脱した個(人)をあらためて自然や共同体につなぎ直すということである。それは、例えばエアコンをエコなエアコンに置き換えるというような、置き換えのテクノロジーでは達成できず、ライフスタイルそのものを再設定し、それに必要なテクノロジーを社会へ投入することが必須である¹⁾。同時に生活者は、潜在意識として自然や楽しみを求めており、また一方では産業革命以降の地下資源エネルギー型のテクノロジーが現在の危機的な地球環境問題を生み出していることを考えれば、完璧な循環を最も小さなエネルギーで駆動する自然を範とするバイオミメティクスは持続可能社会創成には極めて重要なテクノロジー領域である。

2. バイオミメティクス社会実装のためのシステム

厳しい地球環境制約の中で心豊かなライフスタイルをバックキャスト手法で描き、それに必要なテクノロジーを抽出し、自然の中にその機能を探し、サステイナブルというフィルターを通してリ・デザインすることにより、テクノロジーが生み出されることは、本プロジェクトの中で検証された²⁾。ただ、それにはいくつかの個人的な能力に負うことが不可避であり、これを汎用化することが社会実装には重要である。そのシステム化の基本的な考え方は以下のようである。

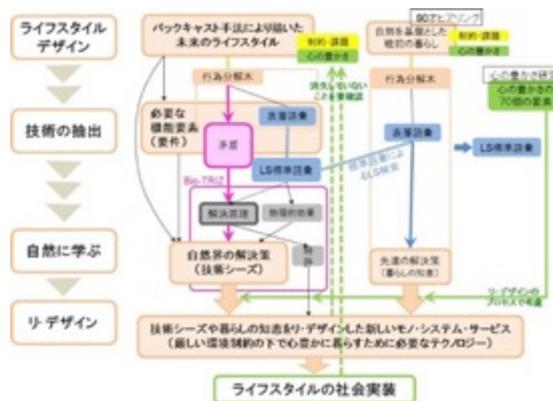


Fig.1 System flow of the Biomimetics

- 1) バックキャスト思考で描かれたライフスタイルに含まれる機能や要素を抽出する。
- 2) バックキャストライフスタイルが描けない場合でもライフスタイルを検索し、求める機

能や要素を逆引きできるようにする。

3) 得られた機能や要素から求めるテクノロジーを抽出する。

3. ライススタイルから求められる機能や要素を見つける

インスピレーションおよびオントロジー工学によるアプローチを行い、ともに機能や要素を導き出すことが可能であることを明らかにしたが、汎用化という視点ではオントロジーによる方法が優位であると判断している。本法では、バックキャスト手法で描かれたライフスタイルの行為分解木を作成することで、求められる機能や要素を明らかにすることが可能である。

4. 標準語彙から求めるライフスタイルを見つける

一方では、バックキャスト思考でライフスタイルを描くことは相当のトレーニングが必要であり、フォーキャスト思考で解に到達することも社会実装化に求められる。そのため、90歳ヒアリングで得られた『制約の中で豊かさを見つけた』ライフスタイルの行為分解木から標準語彙を見つけ、標準語彙から求めるライフスタイル(行為分解木)を見つけることも可能である。また、心豊かな暮らしを構成する 70 の要素と標準語彙を関連付けることでライフスタイルやテクノロジー展開の発想支援ツールとしての可能性も見えてきた。

5. 機能や要素から求められるテクノロジーを見つける

Bio-Triz による問題解決手法の開発で得られたデータを RDF 形式で整理することで、問題思考(要素矛盾)^{3) 4)}あるいは機能思考の異なるルートから解を探索することが出来、一方だけでは見つからなかったことが、他のルートからも見つけることが可能となった。また、RDF 形式でデータを整理することで、これまでつながらなかったデータ同士をつなげることができ、これまで探索できなかったデータをさまざまな側面から探索できる可能性が見えてきた。

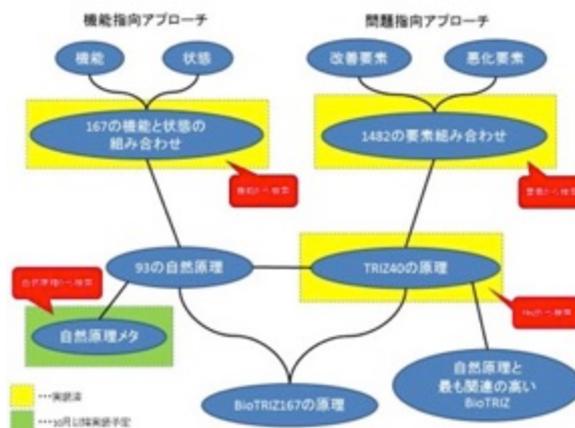


Fig.2 Uncover an answer by linked open data

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!, ワニブックス 2015
- (2) Emile H. Ishida, Ryuzo Furukawa, Nature Technology, Springer 2013
- (3) 西山 聖, 横田裕貴, 山内 健, 坪川紀夫, 小林秀敏, 深見一弘, 作花哲夫, 尾形幸生, Bio-TRIZを導入した高分子ゲルバイオリアクターの開発, 高分子論文集, **70**, 7, 331-336 (2013)
- (4) 山内 健, 網田英里子, 鈴木貴司, 為末真吾, 三俣哲, 坪川紀夫, 小林秀敏, バイオ TRIZ を活用した酵素複合導電性高分子の作製とバイオセンサへの応用, 材料試験技術, **60**, 3, 159-163(2015)