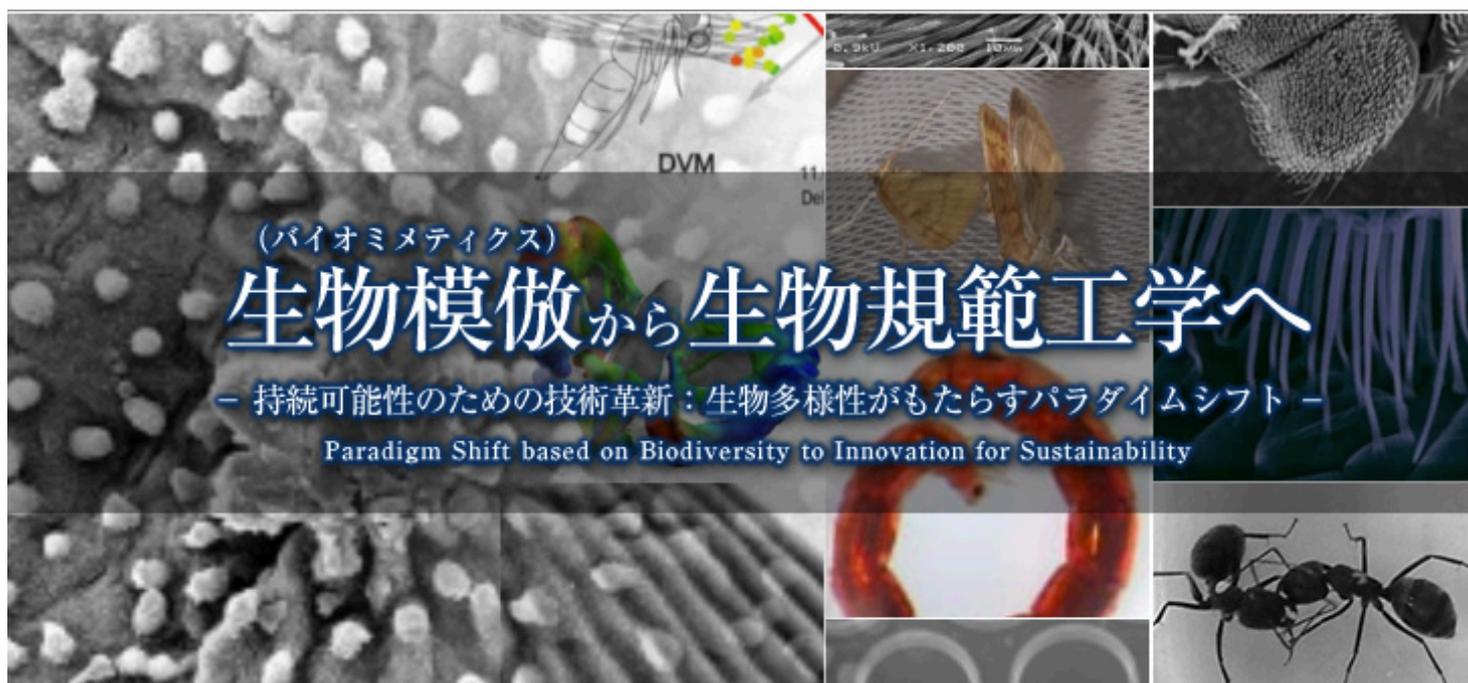


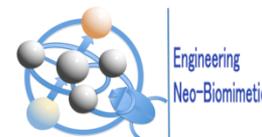
生物規範工学

Engineering Neo-Biomimetics



文部科学省 科学研究費 新学術領域

「生物多様性を規範とする革新的材料技術」



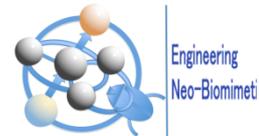
CONTENTS

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

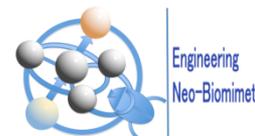
1) 巻頭言	
・ インダストリー4.0とバイオミメティクス 下村 政嗣（新学術領域「生物規範工学」領域代表・千歳科学技術大学）	7
2) 評価委員からのメッセージ：	
・ 生物多様性と「生物規範工学」のこれから 国武 豊喜（総括班評価グループ、九州大学名誉教授、北九州産業学術推進機構理事長）	10
3) 研究紹介	
【7月16日(木)～17日(金)】 科学研究費「生物規範工学」全体会議ならびにサイトビジット	
・ プログラム	14
要旨集	
・ A01 班：バイオミメティクス・データベース構築 Part A01: Database Building for Biomimetic A01 班 野村 周平（国立科学博物館）	17
・ 生物学と情報学の連携－工学的気づきを生み出すバイオミメティクス・画像検索－ Biomimetics Image Retrieval : Connecting Biology and Engineering A01 班 長谷山 美紀（北海道大学）	19
・ 鳥類における色彩と構造色 Bird's color and structural coloration 公募班 森本 元（山階鳥類研究所）	21

生物多様性を規範とする革新的材料技術

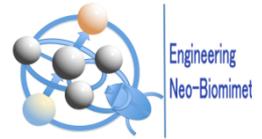
Innovative Materials Engineering Based on Biological Diversity



- NanoSuit®法によるリアルな生物表面観察のバイオミメティクスへの展開
Sub-cellular analysis of living organisms by NanoSuit®
公募班 高久 康春 (浜松医科大学)23
- 持続可能な社会に求められるライフスタイル・オリエンテッド・テクノロジーの創成
Development of the Lifestyle oriented Technology for the creation of the sustainable society
C01 班 石田 秀輝 (東北大学・地球村研究室)25
- バイオミメティック製品の開発を支援するデータベースの構築
Construction of a database supporting development of biomimetic products
C01 班 山内 健 (新潟大学)27
- 自己組織化による動的微細構造表面を用いた海洋付着生物の接着制御
Development of Antifouling Materials by Dynamically Tunable Microwrinkles
公募班 室崎 喬之 (旭川医科大学)29
- 海洋生物表面を規範とした親水性表面の調製
Preparation of Hydrophilic Surface Inspired by Marine Livings
B01-1 班 小林 元康 (工学院大学)31
- 魚類吸盤にみられる繊維構造の工学的理解
Engineering Consideration of Fibrous Structure in Suction Pad of *Aspasmichthys ciconiae*
B01-1 班 黒川 孝幸 (北海道大学)33
- 昆虫複眼レンズ表面のニップル構造の形成機構
Formation of corneal nipples in insects
B01-2 班 木村 賢一 (北海道教育大学)35



- 生物がもつ「良い加減」な表面構造：乱れに強い光学特性
The Optimun Surface Structure in Biological Sytems Causing Irregularity-Robust Optical Properties
B01-2 班 吉岡伸也、久保英夫、針山孝彦（東京理科大学・北海道大学・浜松医科大学） 37
- 海綿動物に学ぶ水輸送システム
Water transportation system of sponges
公募班 椿 玲未（海洋研究開発機構） 39
- 生物規範階層ダイナミクス～異分野連携による新たな学術領域の研究開発展開～
Interdisciplinary collaboration in biomimetic R&D-projects
B01-3 班 細田 奈麻絵（物質・材料研究機構） 41
- ロバストな表面機能を持つバイオミメティクス材料の開発
Development of biomimetic materials showing robust surface properties
B01-3 班 穂積 篤（産業技術総合研究所） 43
- 応力応答性粉末状粘着剤の創出
Synthesis of Pressure-sensitive Adhesive Powder
公募班 藤井 秀司（大阪工業大学） 45
- 生物における「サブセルラー・サイズ構造」の機能解析
Functional analysis of subcellular structures in Insects and Plants
B01-4 班 森 直樹（京都大学） 47
- 培養細胞の常温保存への挑戦：ネムリユスリカの乾燥耐性機構から学ぶ
Dry-preservation of cell lines inspired by a desiccation tolerant Sleeping Chironomid, Polypedilum vanderplanki
B01-4 班 奥田 隆（農業生物資源研究所） 49



- ・ 生物規範飛行メカニクス・システム
—スケーリング法則, バイオメカニクス及びバイオミメティクス—
Bioinspired mechanical system: scaling laws, biomechanics and biomimetics
B01-5 班 劉 浩 (千葉大学) 51
- ・ 分化フラストレート幹細胞のメカノシグナルの計測と制御
Characterization and manipulation of mechanosignals on stem cells in mode of frustrated differentiation
B01-5 班 木戸秋 悟 (九州大学) 53
- ・ 生物規範工学での学域での研究・活動 今年度計画と来年度の計画
Biomimetics and Intellectual Property Rights: Current and Future Plan
公募班 香坂 玲 (金沢大学) 55
- 4) トピックス (PEN より)
 - ・ ドイツ VDI のバイオミメティクスに関する標準の新ガイドライン
安 順花 (独立行政法人産業技術総合研究所ナノテクノロジー戦略室) 58
 - ・ 鳥の渡りの不思議
山崎 剛史 (公益財団法人山階鳥類研究所) 59
 - ・ 魚類液浸標本の価値と役割
篠原 現人 (国立科学博物館) 64
- 5) 国内外研究動向紹介
 - ・ NEWS LETTER ISO/TC266 Biomimetics
バイオミメティクス国際標準化ニュースレター (Issue 4, Spring 2015)
国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第 4 回総会..... 70
 - ・ 國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウム
—分子組織化学ならびにナノ高分子科学の創成と発展— 78

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



・ 第 64 回高分子学会年次大会 特別セッション「高分子・今・未来」に参加して (株)LIXIL R&D 本部 分析・評価センター 井須 紀文.....	93
6) 新聞・報道.....	95
7) アウトリーチ活動.....	98
8) 各種案内.....	100



(1) 卷頭言

インダストリー4.0 とバイオミメティクス

新学術領域「生物規範工学」領域代表

千歳科学技術大学

下村 政嗣



日本は、世界で最も”科学の進歩に懐疑的な人が多く”“自然との共生を望む人が多い”国らしい。5月に札幌で開催された高分子学会年次大会の特別企画で、本領域の総括班評価グループのメンバーである三菱総合研究所の亀井信一氏は、「第三の産業革命とバイオミメティクス」と題した講演で、インダストリー4.0 (Industrie 4.0)を提唱したドイツの産業行政、科学技術、文化風土を日本と比較するために上記の世界ランキングを紹介した。さらに、ドイツの博物館・美術館の数が、フランスの1300、イギリスの1800に比べ、6000と著しく多いことに言及し、”地方分権化と自然を科学するドイツの文化風土が、システムという考え方によるイノベーションである Industrie 4.0の背景にある”と分析した。ちなみに、日本の博物館は1200であるが、人口比にすると必ずしも多いとは言えない。

“世界で最も科学の進歩に懐疑的”だという調査結果は、科学技術立国を標榜する国らしからぬ結果であるが、福島原発事故以降の科学技術政策を勘案するとの的を射たものかもしれない。実は、いち早く脱原発を宣言したドイツが、第4次産業革命と称される Industrie 4.0を国家戦略として提唱した背景が読めなかった。“モノのインターネット (IoT)”は、生産システムと流通システムを自立分散型へ転換することの象徴的な言葉である。そのためには、標準化が不可欠であり、“中央集権から地域分権へ、大企業から中小企業へ”を可能とする生産技術を象徴する3Dprintingがクローズアップされる。ISO TC266におけるドイツの強硬とも思われる姿勢も、Industrie 4.0

を提案した国家戦略が背景にあると思うと、俄然、納得ができる。もっと深く読めば、少子高齢化社会における労働力確保、エネルギー転換と地産地消、そして持続可能性への寄与を読み取るべきである。モノづくりのあり方は、当然、ライフスタイルのあり方と深く関わる。大規模生産システムから人間中心の生産方式への変換によって、消費者自身がエネルギーやモノの生産者になり、高齢者の社会参加を促進し、地方の復権をもたらす。ドイツ人のライフスタイルや環境観が、脱原発の決断や 2020 年までに再生可能エネルギー比率を 20%アップする”EU-環境目標 20-20-20”の背景にあることは確かだ。

バイオミメティクスの講演をすると、よく、生物に学ぶという考え方は日本人に合っている、という感想を聞くことが多い。そう思う。しかし、残念ながらバイオミメティクスに対する産業界、行政の動きは、バイオミメティクスの国際標準化を提案したドイツに比べて、完全に周回遅れであることは否めない。我が国ではバイオミメティクスとバイオテクノロジーの違いですら認知されてはいない。本年 10 月に京都で開催される 5 回目の ISO TC266-国際委員会においては、sustainability aspect of biomimetics に関する作業課題の議論が予定されている。

環境省は第四次環境基本計画に基づき、平成 25～26 年度に「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進」に関する検討を行った。特許庁は、平成 26 年度特許出願技術動向調査においてバイオミメティクスを取り上げた。バイオミメティクスが、制約された環境の下で持続可能な“モノづくり”や“まちづくり”の技術革新をもたらす切り札になることが期待されている。“生態系バイオミメティクス”のトレンドを見ておく必要がある。

“おそらく日本の自然は西洋流の分析的科学の生まれるためにはあまりに多彩であまりに無常であったかもしれないのである。”(寺田寅彦、「日本人の自然観」より)

(2) 評価委員からのメッセージ

生物多様性と「生物規範工学」のこれから

総括班評価グループ

九州大学名誉教授、北九州産業学術推進機構理事長

国武 豊喜



従来から使われている表現であるバイオミメティクスやバイオミミクリーは受身で「生物に学ぶ」ことを目指す雰囲気を感じられる。それに対し、本領域のタイトルである「生物規範工学」には、より積極的に生物と工学を結びつけて新しい学問や技術の分野を創り出そうとする意志を感じさせる。このことは生物が多様であることの意味（Biodiversity）とも深いつながりを持つ。生物の進化の過程を通じて、驚くほど貪欲な生体系の多様化が起こった。その多彩さに我々は圧倒されんばかりである。地球の歴史が示す激しい気候変動のために、多くの絶滅した生物種を直接観察することができないのは残念である。化石や地層を観察して地球の過去を想像し再構成することは可能とはいえ、カンブリア紀の大爆発（進化）が生み出した状況を理解するのは容易でない。しかし我々は、遺伝子の解析や発現制御、生物機能の詳細な解析手法など、素晴らしい武器を手に入れた。これにより生物多様性の豊かさを如何に工学的な原理に翻訳するか、その可能性が見え始めた。

現代においても、生物多様性は気候風土により大きな違いがある。地球上の特定の場所で生まれ育った人間は自分が慣れ親しんできた自然環境（それは生物多様性を含む）によって自然の見方が変わってくるであろう。自然環境をどう観るかの感性は、

気候風土を反映する。湿潤で温暖な環境にある日本人の感性が乾燥した砂漠に住むアラビアのベドウィン族の人々のそれとは異なってもおかしくない。寺田寅彦もその随筆「日本人の自然観」の中で言う。「われわれは通例便宜上自然と人間とを対立させ両方別々の存在のように考える。これが現代の科学的方法の長所であると同時に短所である」。そして続ける。人間は環境に順応して地域、地域の文化を作り出してきたので、自然感が違ってくるのは当たり前である、と。

生物規範工学は、生物界の豊かさや巧さに対する驚きと人間が作り出した科学技術の原理との両方が重なったところから始まる。変化に富む四季の豊かさ、山あり海ありの多様性はわれわれが自然に対する繊細な感覚を育む要因となっている。日本独特の自然観を基礎とする特徴ある生物規範工学はありうるのだろうか。ドイツ流の生物規範工学は考えられるのだろうか。生物は気候風土に応じた多様性を示し、工学のあり方は気候風土だけでなく人間社会の構造によっても左右される。世界をひといろに染めない技術は、人類社会の多様性を担保する重要な役割を果たしうるのではないか。

本領域は中間評価において、いくつかの厳しい指摘を受けた。「生物規範工学」の目指すものが十分に理解されなかったようにも思われて残念であるが、研究内容が多様なだけにそれらがどのように連携し収束していくのか見えにくい。研究期間は後半に入った。「生物規範工学」を我が国の新技術分野としてきちんと位置づけるためにも、批判を打ち返す研究の方向付けと成果を期待したい。

(3) 研究紹介

新学術領域生物規範工学

全体会議ならびにサイトビジット スケジュール

(グリーンマーカーの時間帯：**班長：サイトビジットに参加**)

イエローマーカーの時間帯：**外部評価委員：全体会議に参加**)

7月15日(水) 画像検討

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

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

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

7月16日(木) 全体会議ならびにサイトビジット

全体会議

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

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

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

外部評価委員のサイトビジット

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

16:30～17:30 全体会議にて研究成果発表を聞く

工学部 鈴木章ホール

17:30～18:00 外部評価委員会と実施者（計画班班長）との意見交換

情報科学研究科 長谷山研究室で部屋を確保

7月17日(金) 全体会議

北海道大学 創成研究機構 5階大会議室（札幌市北区北21条西10丁目）

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

所属班：A01班

所属機関：国立科学博物館動物研究部

氏名：野村 周平

所属機関住所：〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1

e-mail：nomura@kahaku.go.jp

研究キーワード：生物多様性、昆虫、データベース、博物館、SEM



A01 班：バイオミメティクス・データベース構築

Part A01: Database Building for Biomimetics

1. A01 班研究の概略

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

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

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

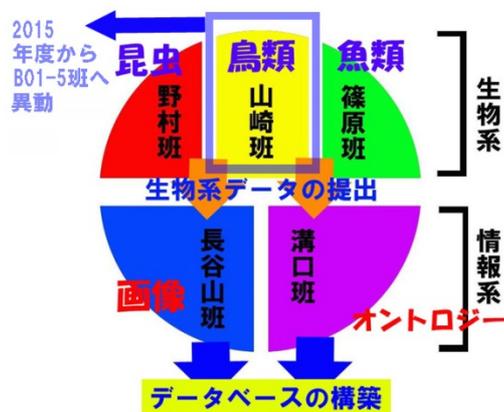


Fig. 1. Composition of the A01-1 team.

2. 2015 年度の取り組み

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

3. 生物系画像データの高度化

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

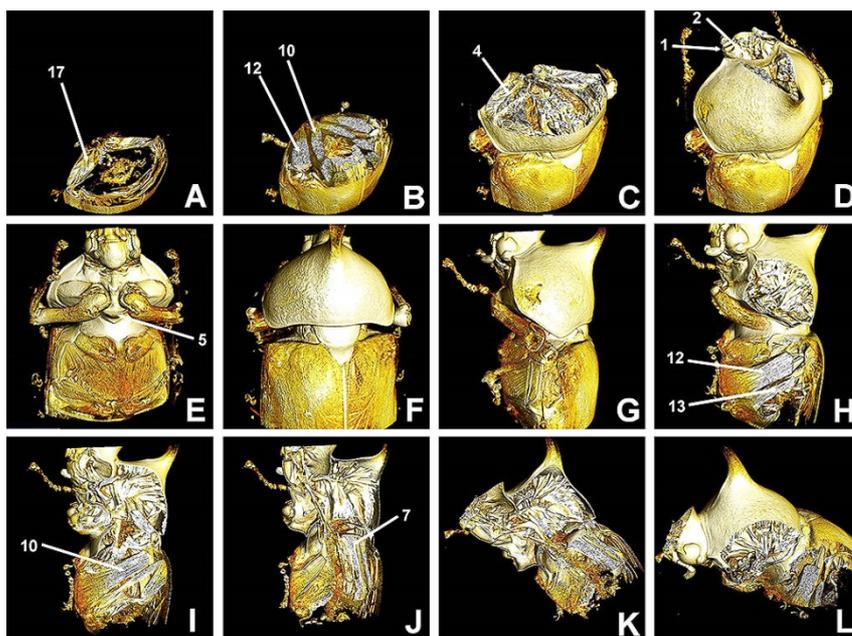


Fig. 2. 3D image of the thorax of *Xylotrupes dichotomus* (Scarabaeidae) made from micro X ray CT.

所属班：A01班

所属機関：北海道大学大学院情報科学研究科

氏名：長谷山美紀

所属機関住所：〒060-0814北海道札幌市北区北14条西9

e-mail：miki@ist.hokudai.ac.jp

研究キーワード：バイオミメティクス・データ検索



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

Biomimetics Image Retrieval : Connecting Biology and Engineering

1. はじめに

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

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

2. バイオミメティクス・画像検索システムの利用と工学的気づき

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

3. むすび

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

参考文献

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

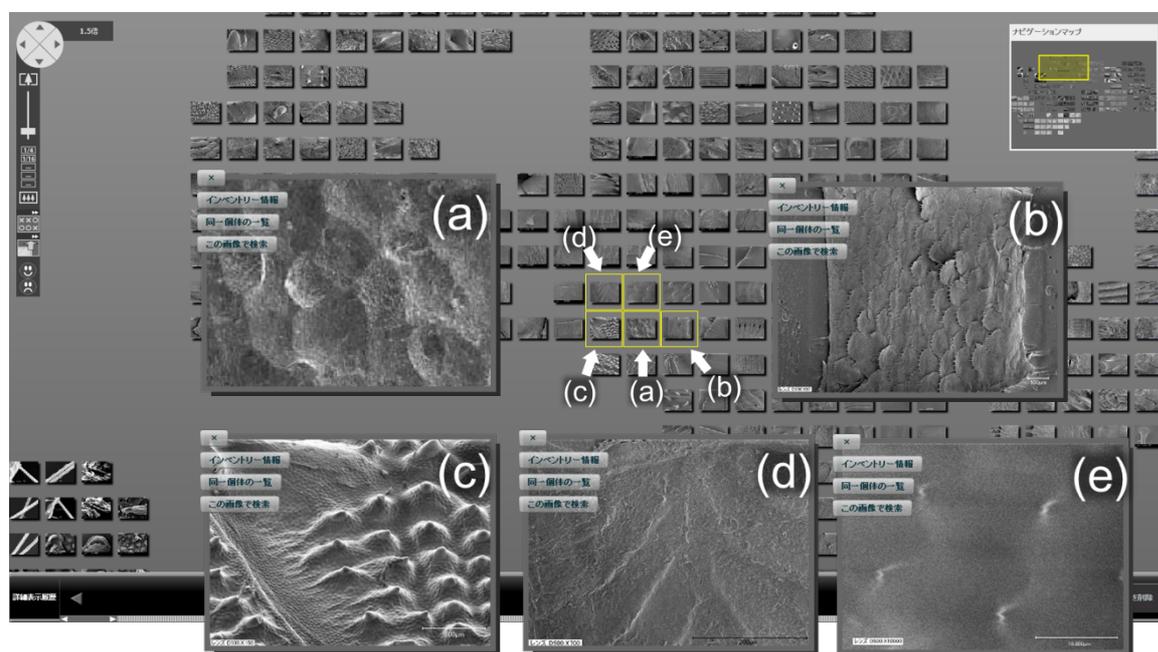


Fig.1 Retrieval Result by Biomimetics Image Retrieval System : (a) Surface Treatment Metal, (b) Striped beak perch, (c) Bridled triggerfish, (d) Bellybarred pipefish, (e) A drone beetle *Cosmiomorpha similis*

所属班：公募班

所属機関：公益財団法人 山階鳥類研究所

氏名：森本 元

所属機関住所：〒270-1145千葉県我孫子市高野山115

e-mail：morimoto@g.nifty.jp

研究キーワード：鳥類、羽毛、発色、構造色



鳥類における色彩と構造色

Bird's color and structural coloration

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

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

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

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

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

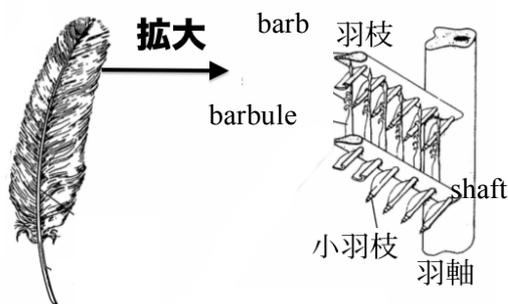
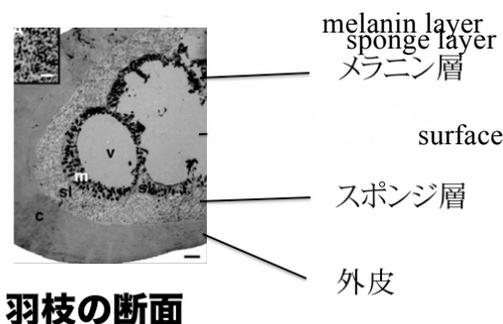


Fig.1 Structure of feather (from ref. 1)



羽枝の断面

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

参考文献

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

所属班：公募班

所属機関：浜松医科大学

氏名：高久 康春

所属機関住所：〒431-3192

e-mail：ytakaku@hama-med.ac.jp

研究キーワード：高真空、含水状態、FE-SEM、NanoSuit®



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

Sub-cellular analysis of living organisms by NanoSuit®

1. はじめに

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

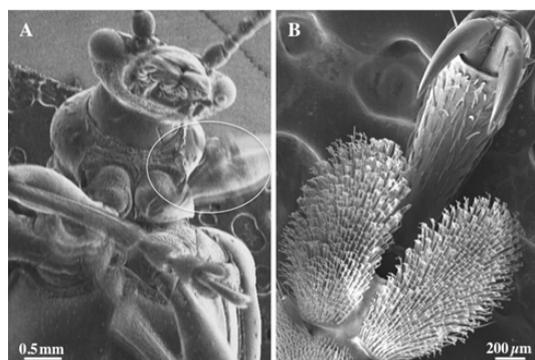


Fig.1 Observations of living insects by electron microscopy. (A) FE-SEM image of the living beetle. (B) Direct SEM observations of the 'hairy' adhesive organ.

2. 研究計画

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



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

3. 参考文献

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

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



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

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

1. はじめに

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

2. バックキャスト思考によるテクノロジー創出の可能性

2030 年の厳しい環境制約の中で心豊かなライフスタイルを描き、それに必要なテクノロジー要素を抽出し、自然の中にそれを求め、サステ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が明らかになった。例えば、2030 年ライフスタイルから、

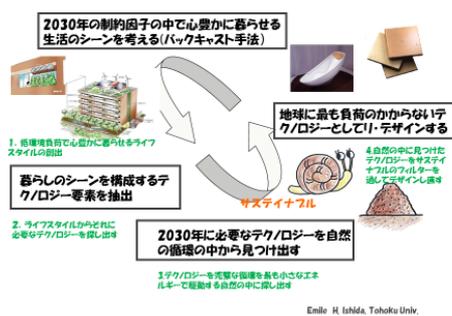


Fig.1 Schematic Approach for the Lifestyle Oriented Technology

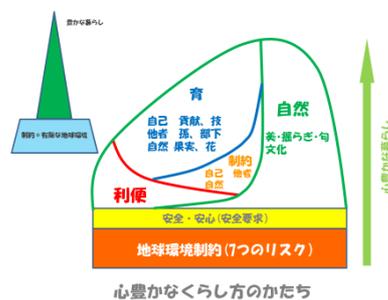


Fig.2 Developed Wind Generator

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

3. 厳しい環境制約の中で豊かであるということ

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



心豊かに暮らし方のかたち
Emile H. Ishida, Takahashi

Fig.3 Contours of wholesome, fulfilling living

4. オントロジー工学の導入

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

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

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

<参考文献>

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

所属班：C01班

所属機関：新潟大学工学部

氏名：山内 健

所属機関住所：〒950-2181新潟市西区五十嵐2の町8050

e-mail：yamauchi@gs.niigata-u.ac.jp

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



バイオミメティック製品の開発を支援するデータベースの構築

Construction of a database supporting development of biomimetic products

1. はじめに

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

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

2. バイオミメティック製品の開発における生物情報の活用

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

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

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

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

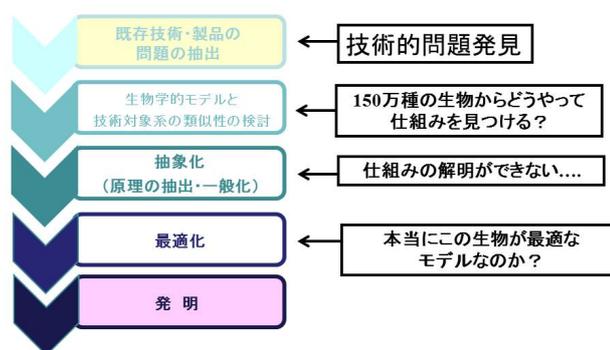


Figure 1 process for development of Biomimetic products.

3. ライフスタイル・オリエンテッド・アプローチの技術支援

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

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

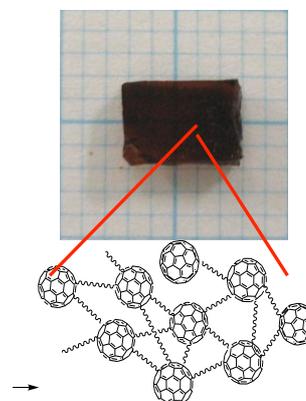


Figure 2 Development of flexible solar cell by bio-TRIZ.

所属班：公募班

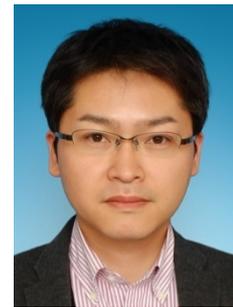
所属機関：旭川医科大学医学部化学教室

氏名：室崎 喬之

所属機関住所：〒078-8510 北海道旭川市緑が丘東2条1丁目1-1

e-mail：murosaki@asahikawa-med.ac.jp

研究キーワード：自己組織化、表面微細構造、高分子、
海洋付着生物、防汚



自己組織化による動的微細構造表面を用いた海洋付着生物の接着制御

Development of Antifouling Materials by Dynamically Tunable Microwrinkles

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

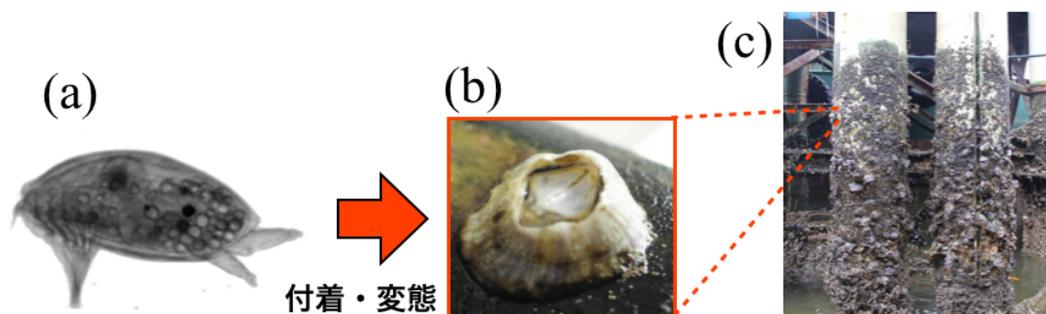


Fig.1 Settlement of barnacles. (a) Barnacle's cypris larva. Body size is about 500 μ m. (b) Adult Barnacle. Body size is about 15mm. (c) Barnacles settled on the surface of bridge piers.

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

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

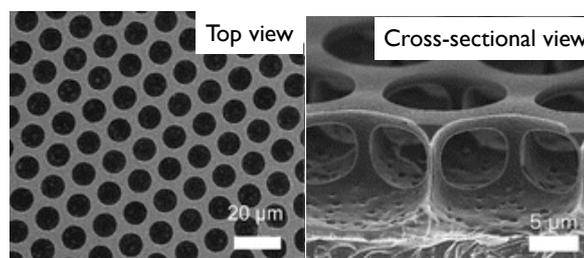


Fig.2 SEM image of self-assembled honeycomb structured porous film

参考文献

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

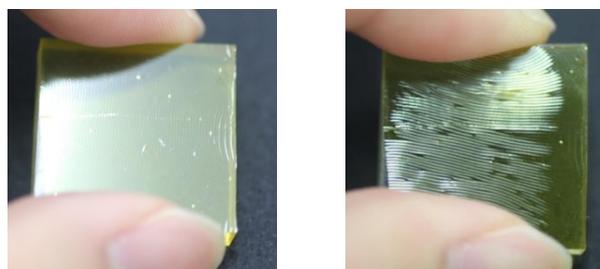


Fig.3 Photograph of dynamically tunable microwrinkles.

謝辞

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

所属班：B01-1班

所属機関：工学院大学 先進工学部 応用化学科

氏名：小林 元康

所属機関住所：〒192-0015東京都八王子市中野町2665-1

e-mail：motokoba@cc.kogakuin.ac.jp

研究キーワード：高分子合成、表面改質、濡れ、接着、摩擦



海洋生物表面を規範とした親水性表面の調製

Preparation of Hydrophilic Surface Inspired by Marine Livings

1. はじめに

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



Figure 1. Scales of Pagrus major

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

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

2. 実験

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

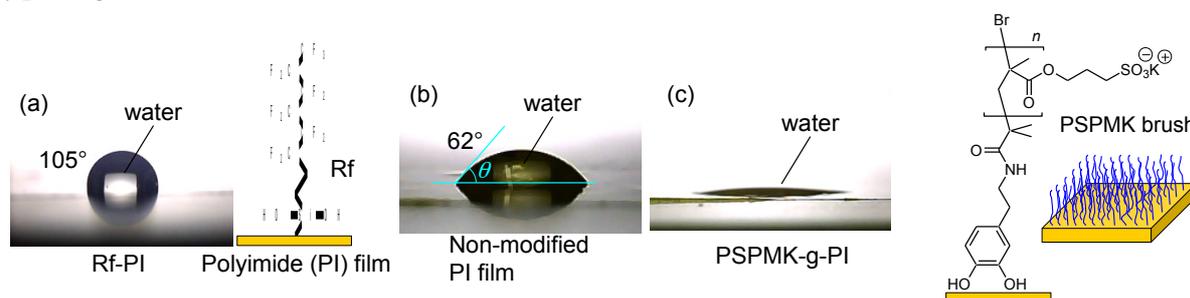


Figure 2. Water contact angle on (a) perfluoroheptylsilane (R_f) -modified polyimide (PI) film, (b) no-modified PI film, and (c) super hydrophilic PSPMK-grafted PI film.

3. 結果と考察

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

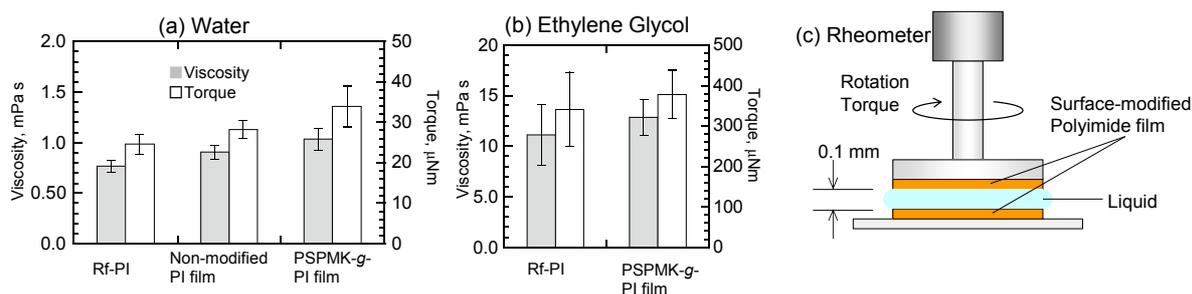


Figure 3. Viscosity and rotation torque at rate of 10^4 (1/s) at 293 K of (a) water and (b) ethylene glycol between R_f -PI, non-modified PI, and PSPMK- g -PI surfaces (Gap = 0.1 mm), and (c) schematic view of Rheometer.

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

所属班：B01-1班

所属機関：北海道大学

氏名：黒川 孝幸

所属機関住所：〒060-0810

北海道札幌市北区北10条西8丁目

e-mail：kurokawa@sci.hokudai.ac.jp

研究キーワード：高分子ゲル、ゲルの摩擦、力学物性、強靱化ゲル



魚類吸盤にみられる繊維構造の工学的理解

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

はじめに

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

本文

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

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

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

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

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

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

謝辞

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

参考文献

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

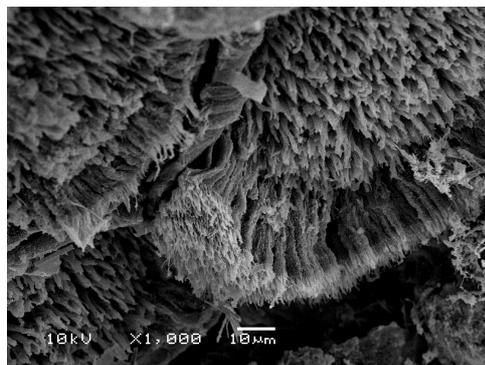


Figure 1. SEM image of suction pad on *aspasmichthys ciconiae*. Provided by Dr. Shinohara.

所属班： B01-2班

所属機関：北海道教育大学教育学部札幌校生物研究室

氏名：木村 賢一

所属機関住所：〒002-8502

札幌市北区あいの里5条3丁目1

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

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



昆虫複眼レンズ表面のニップル構造の形成機構

Formation of corneal nipples in insects

1. はじめに

“モスアイ構造”は、昆虫の網膜レンズ表面に見られる微小なナノニップル構造であり、クチクラで形成されている。このサブセルラー・サイズの構造は光の反射を防ぐだけでなく、高い撥水性を示すとともに、汚れが付きにくいセルフクリーニングの特性（防汚性）もあり、また昆虫などに対しての滑落性といった多機能性を有する。この構造を模倣した“モスアイフィルム”は、バイオミメティック素材の一つとして注目されている。生物は、どのようにしてこの“モスアイ構造”を形成しているのだろうか。これらクチクラ表面サブセルラー・サイズ構造の形成メカニズムを明らかにすることで、生物の自己組織化現象を理解し、工学的製造プロセスに模倣するという今後のバイオミメティクス展開を目指して研究を推進している。

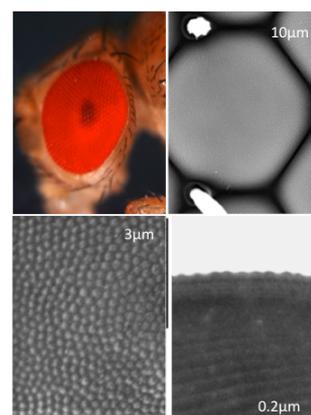


Fig.1 Corneal nipples in the compound eye of *Drosophila*

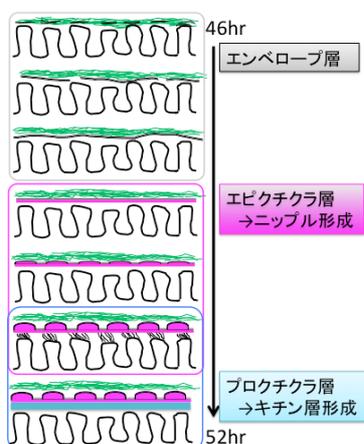


Fig.2 nipple formation

2. ショウジョウバエ蛹期のレンズ発生過程におけるニップル形成

キイロショウジョウバエの複眼は約 800 個の個眼よりなり、それぞれの個眼はレンズで被われ、レンズの表面には微小な突起構造（ニップル構造）が見られる（Fig.1）。レンズクチクラは、エンベロープ、エピックチクラ、プロクチクラの 3 層よりなり、ニップル構造はエピックチクラ層に形成される。複眼は蛹期に複眼成虫原基から形成され、レンズは個眼内の 4 つの cone cell と 2 つの primary pigment cell から分泌された物質より形成される。その形成過程を TEM により観察したところ、蛹の

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

3. ニップル構造の形成メカニズム

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

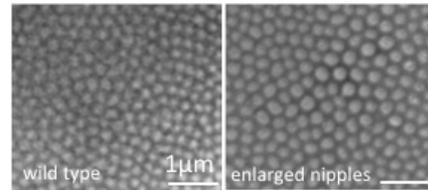


Fig.3 wild-type and enlarged nipples

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

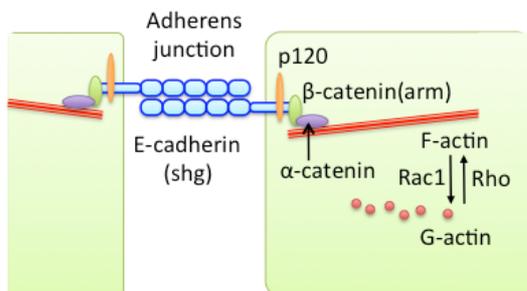


Fig.4 Cytoskeletal actin and cell adhesion/tension

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

所属班：B01-2班

所属機関：東京理科大学・北海道大学・浜松医科大学

氏名：吉岡 伸也、久保 英夫、○針山 孝彦

所属機関住所：〒431-3192 浜松市東区半田山1-20-1

e-mail：hariyama@hama-med.ac.jp

研究キーワード：良い加減、光学材料、ロバストネス、モスアイ



生物がもつ「良い加減」な表面構造：乱れに強い光学特性

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

1. はじめに

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

2. 乱れたモスアイ構造

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

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

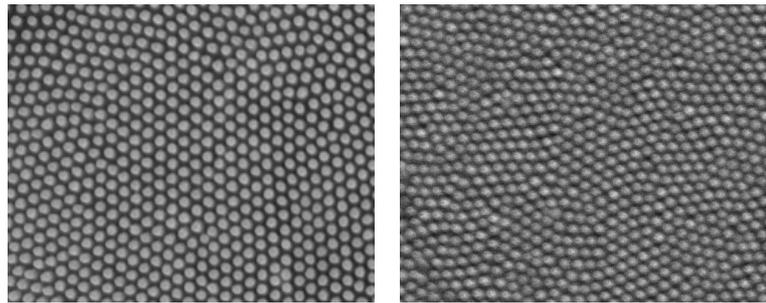


Fig.1 SEM image of the surface of the compound eye of a moth (left) and the surface of the wing membrane of a cicada

3. 乱れの定量化

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

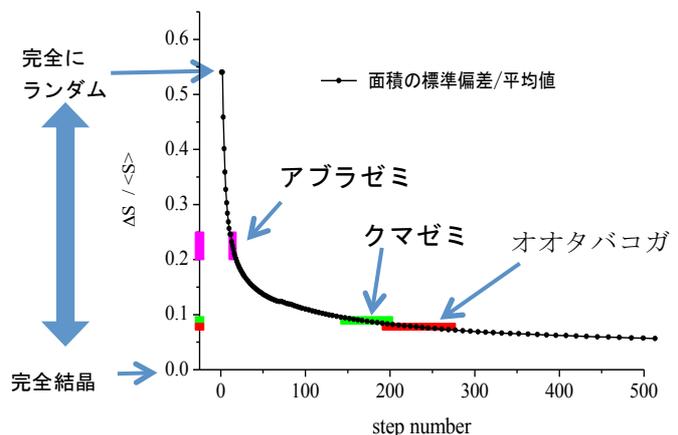


Fig.2 Evaluation of irregularity using a computer simulated dot pattern and Voronoi diagram. Data for three insect species are superimposed.

参考文献

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

所属班：公募班

所属機関：国立研究開発法人 海洋研究開発機構

氏名：椿 玲未

所属機関住所：〒237-0061

神奈川県横須賀市夏島町2番地15

e-mail：tsubakir@jamsted.go.jp

研究キーワード：海綿動物・鞭毛運動・イメージング



海綿動物に学ぶ水輸送システム

Water transportation system of sponges

1. はじめに

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

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

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

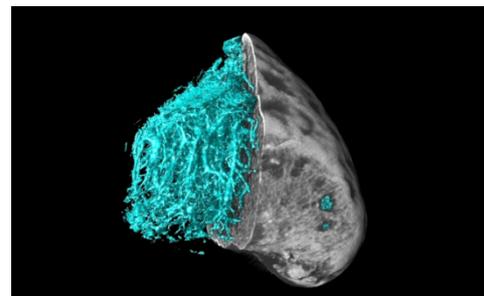


Fig. 1. Microtomography of marine sponge *Halichondria okadai*; canal system (pale blue).

2. 水輸送ネットワークとしての水溝系

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

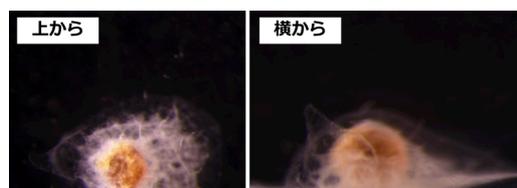


Fig. 2. Frontal and lateral view of hatched gemmule of freshwater sponge.

3. 鞭毛運動による水輸送

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

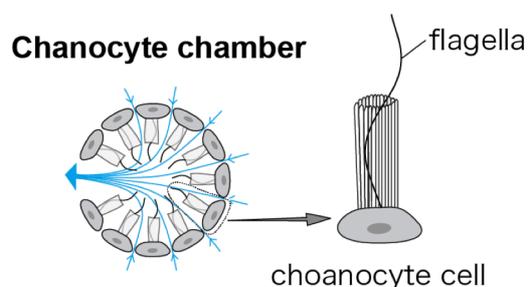
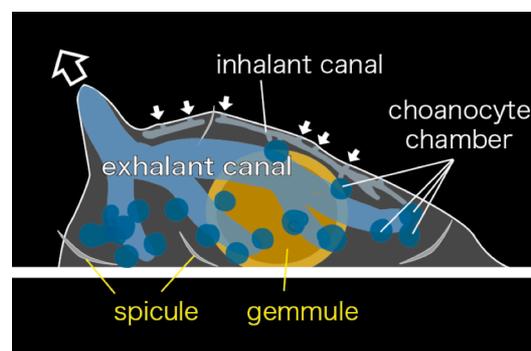


Fig. 3. Schematic image of juvenile sponge (top) and choanocyte chamber (bottom).

参考文献

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

所属班：B01-3班

所属機関：国立研究開発法人 物質・材料研究機構

ハイブリッド材料ユニット

インターコネクトデザイングループ

氏名：細田 奈麻絵

所属機関住所：〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1

e-mail：HOSODA.Naoe@nims.go.jp

研究キーワード：接着、魚、虫、水中接着



生物規範階層ダイナミクス ～異分野連携による新たな学術領域の研究開発展開～

Interdisciplinary collaboration in biomimetic R&D-projects

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

1) 異分野連携の研究ネットワーク構築

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

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

2) 若手研究者の育成

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

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

3) 国際標準化

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



図1 『生物から学ぶ接着機構の開発』のための異分野連携ネットワーク

生物学的アプローチ

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

工学的アプローチ

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



図2 研究課題

所属班：B01-3班

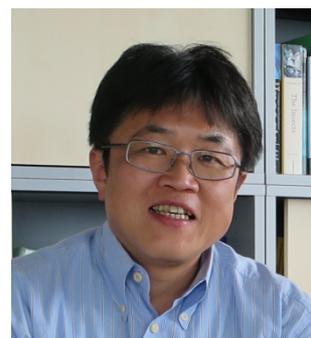
所属機関：国立研究開発法人 産業技術総合研究所
構造材料研究部門 材料表面グループ

氏名：穂積 篤

所属機関住所：〒463-8560 愛知県名古屋市守山区
下志段味穴ヶ洞2266-98

e-mail：a.hozumi@aist.go.jp

研究キーワード：自己修復、機能持続、表面改質、防錆性



ロバストな表面機能を持つバイオミメティクス材料の開発

Development of biomimetic materials showing robust surface properties

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

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

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

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

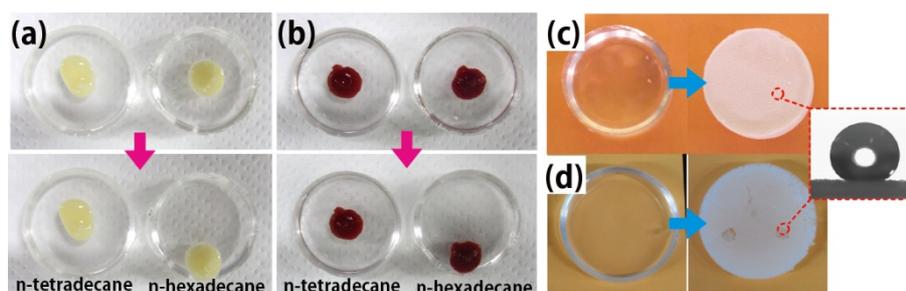


Fig.1 Anti-sticking behavior of viscous liquids (a: mayonnaise and b: ketchup) on the slightly tilted organogels. Spontaneous formation of superhydrophobic surfaces on the organogels using (c) ODS and (d) tristearin as organic phases.

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

参考文献

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

所属班：公募班

所属機関：大阪工業大学

氏名：藤井 秀司

所属機関住所：〒535-8585

大阪府大阪市旭区大宮5-16-1

e-mail：syuji.fujii@oit.ac.jp

研究キーワード：微粒子、リキッドマーブル、粘着



応力応答性粉末状粘着剤の創出

Synthesis of Pressure-sensitive Adhesive Powder

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

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

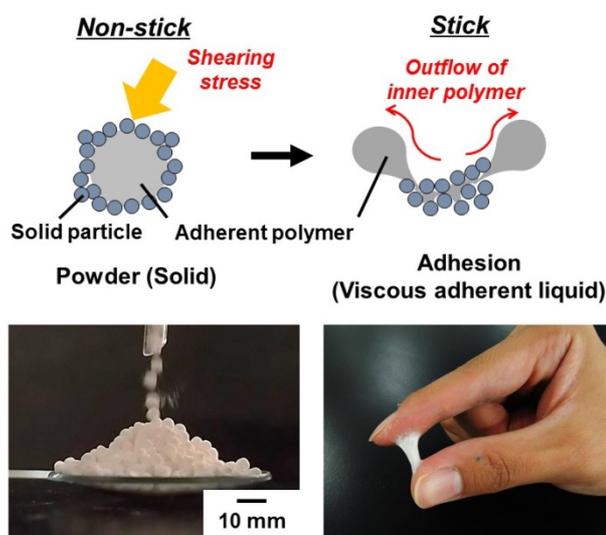


Figure 1 Schematic representation of pressure-sensitive adhesive powder consisting of particles with soft sticky polymer core and hard nanoparticle shell morphology. After application of shearing stress, adhesion property appeared because of outflow of inner soft polymer from the hard particles shell.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

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

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

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

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

References

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

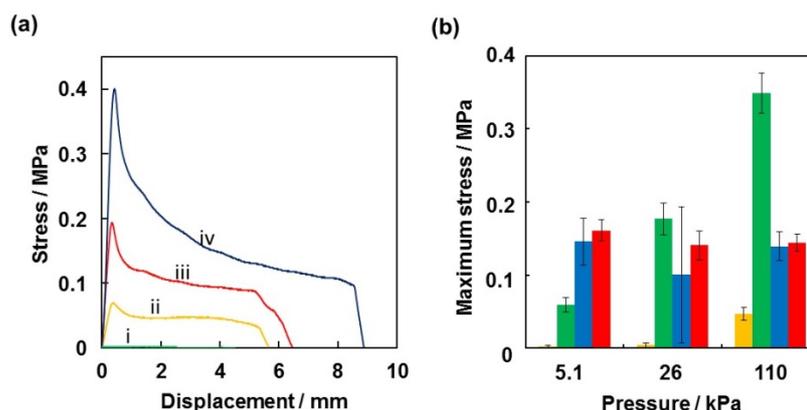


Fig. 2. (a) Stress-displacement tack curves obtained for PSA liquid marble: (i) before and (ii-iv) after kneading. Pressure applied to PSA liquid marbles: (i, ii) 5.1, (iii) 26 and (iv) 110 kPa. (b) Relationship between pressure applied to PSA materials and maximum stress in tack measurement. Samples: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

所属班：B01-4班

所属機関：京都大学農学研究科応用生命科学専攻

氏名：森 直樹

所属機関住所：〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

e-mail：mokurin@kais.kyoto-u.ac.jp

研究キーワード：フェロモン，化学受容，聴覚センサ，乾燥耐性



生物における「サブセルラー・サイズ構造」の機能解析

Functional analysis of subcellular structures in Insects and Plants

1. 昆虫-昆虫相互作用

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

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

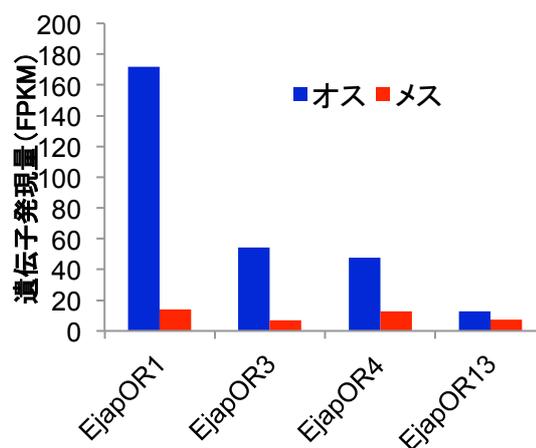


Fig. 1 Expression levels of sex pheromone receptor candidates in antennae of a lichen moth, *Eilema japonica*.

2. 植物-昆虫相互作用

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

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

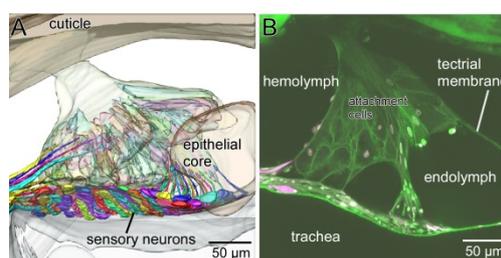


Fig. 2 Structure of cricket tympanal organ

参考文献

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

所属班：B01-4班

所属機関：独立行政法人農業生物資源研究所

氏名：奥田 隆

所属機関住所：〒305-8634 茨城県つくば市大わし1-2

e-mail：oku@affrc.go.jp

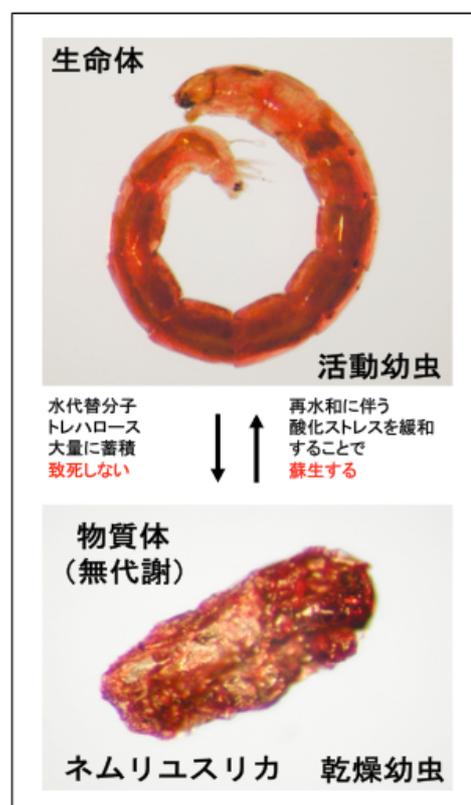
研究キーワード：極限環境、乾燥耐性、培養細胞、
常温保存、ガラス化



培養細胞の常温保存への挑戦： ネムリユスリカの乾燥耐性機構から学ぶ

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

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



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

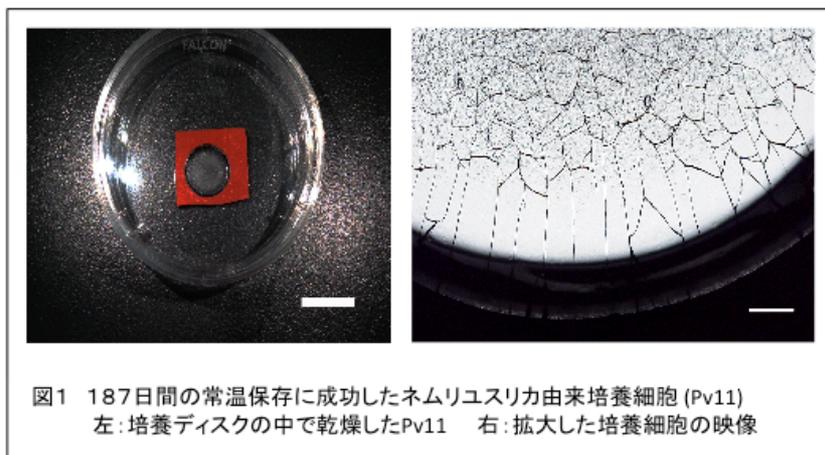


図1 187日間の常温保存に成功したネムリユスリカ由来培養細胞 (Pv11)
左: 培養ディスクの中で乾燥したPv11 右: 拡大した培養細胞の映像

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

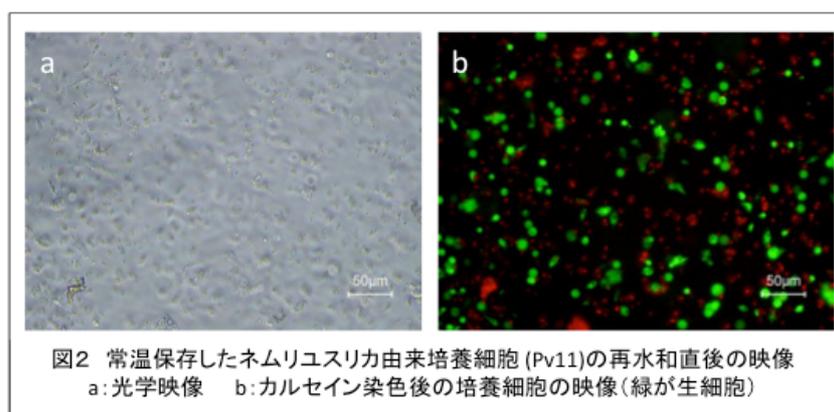


図2 常温保存したネムリユスリカ由来培養細胞 (Pv11)の再水和直後の映像
a: 光学映像 b: カルセイン染色後の培養細胞の映像 (緑が生細胞)

参考文献：

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

所属班：B01-5班

所属機関：千葉大学工学研究科

氏名：劉 浩

所属機関住所：〒263-8522千葉市稲毛区弥生町1-33

e-mail：hliu@faculty.chiba-u.jp

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



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

Bioinspired mechanical system: scaling laws, biomechanics and biomimetics

B01-5 班では, 生物規範メカニクス・システムの一環として生物飛行の流動性と波動性に関する新しいスケーリング法則を適用することにより、「生物マルチスケール・メカニクス」という新学理の創出を目指すとともに、生物飛行統合力学シミュレータの確立及び昆虫規範型ロボットや流体機械の開発などバイオミメティクス・デザイン指針の創出を目指す。

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



図 1 超低速回流型風洞とステレオ DPIV 流体計測システム

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

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

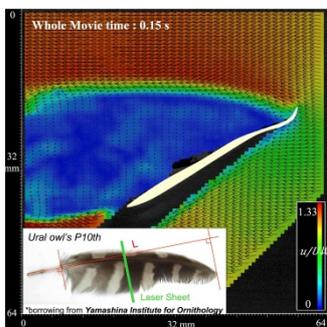


図2 フクロウ翼まわりの PIV 流体計測

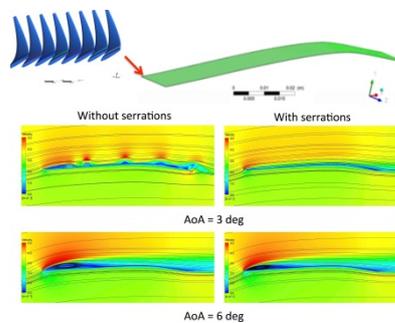


図3 マルチスケール流体解析

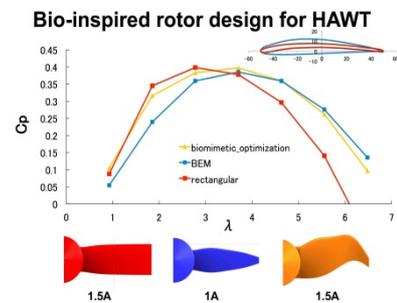


図4 鳥規範型風車翼

参考文献：

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

所属班：B01-5班

所属機関：九州大学先導物質化学研究所

氏名：木戸秋 悟

所属機関住所：〒819-0395 CE41-204 元岡西区福岡市

e-mail：kidoaki@ms.ifoc.kyushu-u.ac.jp

研究キーワード：間葉系幹細胞、人工幹細胞ニッセ、
培養力学場



分化フラストレート幹細胞のメカノシグナルの計測と制御

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

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

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

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

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

参考文献

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

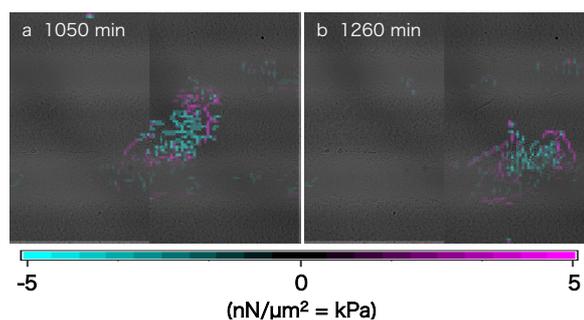


Fig.1. Traction force images on 15/80 kPa stripe patterned gel. MSC on a) hard band and b) soft band.

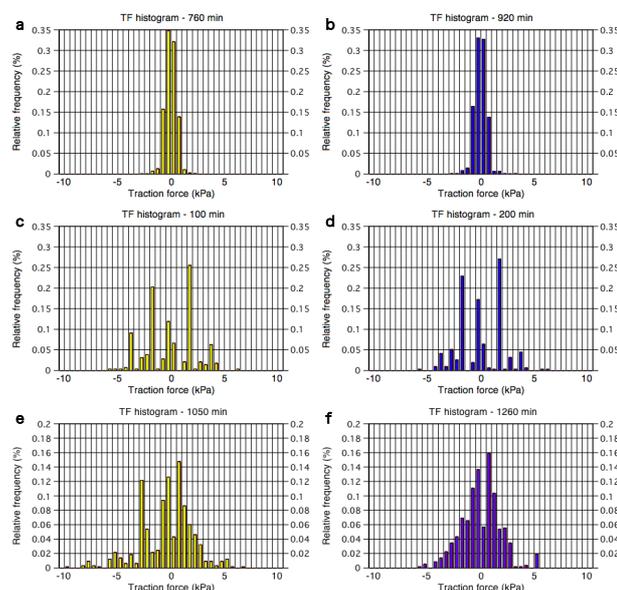


Fig.2. Traction force histograms of MSC on (a, b) 10kPa and (c, d) 60 kPa, 15/80kPa stripe patterned gel.

所属班：公募班

所属機関：金沢大学 人間社会研究域

地域創造学類環境共生コース／大学院人間社会環境研究科

氏名：香坂 玲

所属機関住所：920-1192 金沢市角間町

e-mail：kohsaka.seminar@gmail.com

研究キーワード：特許



生物規範工学での学域での研究・活動 今年度計画と来年度の計画

Biomimetics and Intellectual Property Rights: Current and Future Plan

1. はじめに

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

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

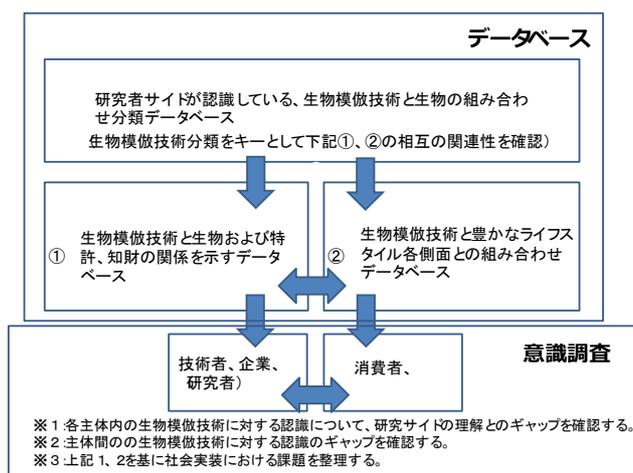


Fig.1 研究計画の全体像

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

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

II. 特許出願の主体と内容

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

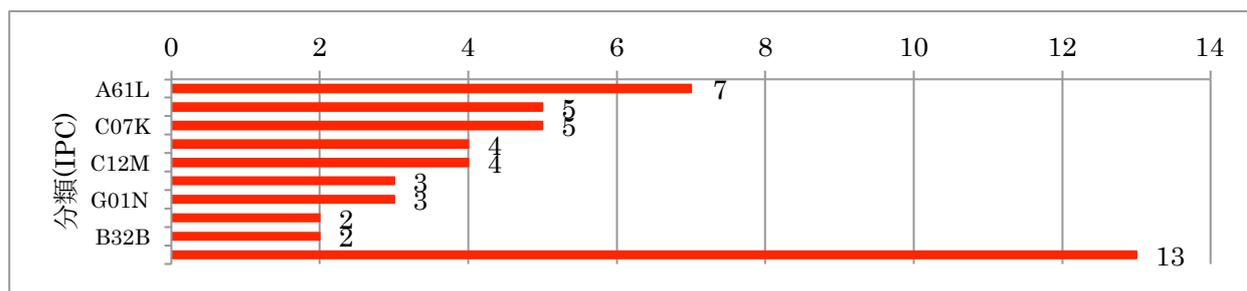
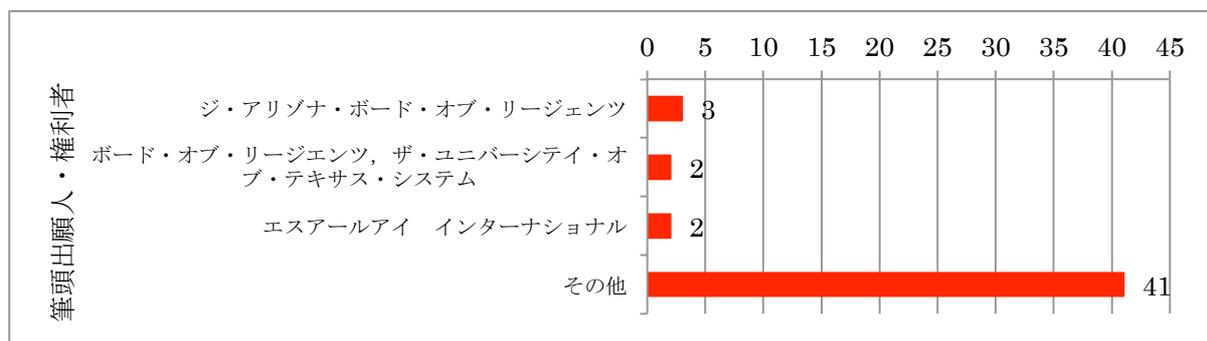


Fig.2 (上) 筆頭出願人・権利者別特許件数 (国内, 1983年~, 総計 48 件)

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

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

参考文献

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

謝辞

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

(4) トピックス (PEN より)

ドイツ VDI のバイオミメティクスに関する標準の新ガイドライン

ドイツ技術者協会、Verein Deutscher Ingenieure (VDI) は、最近同協会ホームページの標準データベースにてバイオミメティクス関連の新たなガイドラインを公開した。新しいガイドラインは VDI 6226 Biomimetics - Architecture, civil engineering, industrial design と、VDI 6222 Biomimetics - Bionic robots である。現在、概要と一部のドラフトしか公開されていないが、この標準ガイドラインは今後 ISO/TC266 Biomimetics の新たなワーキングアイテムとして提案される可能性が高いと思われるので、ここで紹介する。

○ VDI 6226 Biomimetics—Architecture, civil engineering, industrial design (VDI 6226 Blatt1 Bionik)

概要：この標準は、建築構造、都市工学プロジェクト、製品の開発およびデザインにおいて用いられるバイオミメティック手法をいう。これらの学問における共通要素は、一つの特化分野に限らず、ゼネラルルールとして、学際的であることである。

計画と開発のプロセスで生じる様々な問いには、広い視野が求められ、そのため、異分野からの知見の統合が必要である。バイオミメティクスはこれらの学問のゼネラルワークプロセスに付加的な手法を提供する。本標準において、biology push、若しくは technology pull のアプローチに基づいたバイオミメティック開発プロセス、潜在的なバイオロジカル・アプリケーションやバイオミメティック・トランスファーは、技術的課題を解決するためのプロセスを含む。この標準は多くの用語の定義を踏まえて、建築、都市工学、工業デザインの分野におけるバイオミメティクスの目標や同分野への機会を探る。これらの分野でのバイオミメティック・ソリューションは常にデザインと機能とのバランスを考慮しなければならない。

本標準の手法が用いられた例として、蝶番なしで羽ばたくメカニズムの Flectofin®、海洋プランクトンからインスピレーションを受けた軽量コンポジット構造の建築物である COCOON_FS、BioSkin、Fin Ray Effect® 等が挙げられてい

る。

○ VDI 6222 Biomimetics - Bionic robots

概要：バイオミメティクスは、ロボットの中の多くのコンポーネントのトポロジカル構造の最適化に役立つ。例えば、センサー技術、ソフトウェア、エレクトロニクス、およびアクチュエーター技術からなるチェーンの一番弱いリンクは、バイオミメティクスにより向上され、システム全体の品質もより向上する。この標準は、ロボット開発の際、問題解決のための付加的な手法として、科学者や技術者にバイオニック・アプローチへの指針を与える。

一方、ガイドラインのドラフトによると、Classic robotics では mobile と静止ロボットの間で区別をつけるが、この標準では、このような区別をしない。なぜならば、動物は“mobile”な生物であり、モデルとして広く用いられているからである。Biological manipulators、例えば霊長類の手、アームは、オブジェクトの操作だけでなく、常に多機能的かつロコモーションとして用いられるからと Bionic robot のスコープを説明している。

また、Humanoid/anthropomorphic robots に関しては、バイオミメティック・ロボティクスの同分野に関わる定義についてコンセンサスが得られないので、この標準では取扱わない。しかしながらこの標準で示す生物学的原理は、システムの開発に適用される。その原理は次のとおりである。

- Energy storage and recovery
- Structures and lightweight design
- Efficiency and the power-to-weight ratio
- Neurobiomimetic feedback control
- Neural networks
- Sensor fusion
- Complex kinematic chains
- Protection/self-protection/protection of others

ナノテクノロジー戦略室 安順花

FEATURES

寄稿

鳥の渡りの不思議

公益財団法人山階鳥類研究所 山崎剛史

フィールドで鳥を眺めたり、標本収蔵庫で彼らの進化に思いを馳せるという、おおよそナノテクノロジーとは無縁の生活を送っている私がなぜ本誌に寄稿しているのか、多くの読者がきっと疑問に思うことでしょう。かくいう私自身も、まさか自分が本誌に文章を載せることになるとは、少し前まではまったく想像すらしていませんでした。

私がここに文章を載せるに至ったそもそものきっかけは「生物規範工学 Biomimetics」にあります。何十億年もの淘汰をくり抜けることで磨き込まれてきた生物の適応、これに学ぶことで工学の世界にブレイクスルーをもたらしたい。このようなコンセプトのもと、東北大学の下村政嗣教授らを中心に立ち上げられた研究プロジェクトがあります。昨年、文部科学省から科学研究費補助金（新学術研究）の助成を受けたことで本格的に始動し始めたこの研究計画、正式名称を「生物多様性を規範とする革新的材料技術」といいますが、その推進チームに私も加えていただいているのです。プロジェクトへの参加は私にとってとても刺激的なものでした。というのも、数年前まではほとんど接点を持つことのなかった工学分野の方々との交流が始まったからです。今回、ここに原稿を執筆することになったのは、

このような流れを受けてのことでした。「まずは鳥の魅力や不思議を読者に伝えてほしい」という編集室からの依頼に応え、ここでは鳥たちが持つずば抜けた能力について書いてみたいと思います。私がテーマに選んだのは「渡り」です。

渡りは、生存に向かない季節をどのように乗り越えるのかという問いに対し、移動力に長けた鳥たちの出した答えです。他の動物群の多くに見られる冬眠という方法とは違い、渡りは活動の休止を一切ともないません。

さて、鳥たちの姿が季節によって見られなくなることは、古来より大きな謎で、様々な仮説が作り出されてきました。たとえば、ギリシアの哲学者アリストテレスは、ツバメが冬に見られなくなるのは、木のうろや泥の中で冬眠をするせいだと考えました。また、ヨーロッパでは1600年代ごろまで、冬にのみ出現するガンやカモは、流木に付着して流れ着いたエボシガイから産まれてくるのだと信じられていました。エボシガイというのはフジツボ同様、固着生活を送る甲殻類の仲間で、殻に囲まれた“鳥帽子”のような部分から、殻のない柄が細長く突き出しています。その姿は



図1 懸命な保護活動によって小笠原諸島聳島に形成されつつあるアホウドリの新コロニーでの一枚（出口智広氏提供）

首の長いガンカモ類に似てなくもありません。エボシガイの仲間の学名には、いまでも "*anserifera*"、"*anatifera*" といったラテン語が使われていますが、これらはそれぞれ "ガンを産む"、"カモを産む" という意味の単語です。

いまでは「渡り鳥」という概念が一般化しているので、こうした考えは一笑に付されるのかもしれませんが、ですが、実は鳥たちの中には例外的にアリストテレスが考えたように冬眠を行うものもいることが現代の鳥類学者には知られています。北米のプアーウィルヨタカが最も有名な例で、彼らは寒冷期に2〜3カ月の冬眠を行うのです。

とは言っても、鳥たちの基本的な冬越しの戦略が渡りにあることは揺るぎのない事実です。文字通り、世界をまたにかけ、好適な気候を求めて大移動を繰り返す鳥たち。その最も極端な例の一つはキョクアジサシでしょう。彼らはまるで白夜を追いかけるように、北極圏で繁殖した後、地球の裏側、南極圏で越冬します。高緯度地方の夏は生産性がきわめて高い一方で、ヘビや哺乳類をはじめとする捕食者や競争者に乏しい環境です。彼らは鳥と違い、厳しい冬を乗り越えるすべに欠けているのです。このようなとても魅

力的な環境から得られる莫大なメリットが、長距離移動のコストを鳥たちに支払わせる理由になっているのです。

ちなみに、地球上には高緯度地方と並び、鳥たちの楽園となっている場所がもう一つあります。それは島です。ヘビや哺乳類は海を越える能力が鳥よりもはるかに劣るため、島は鳥たちの独壇場となるのです。島の鳥は高緯度地方の鳥と違い、長距離移動に耐える、すぐれた身体能力を持つ必要もないので、大陸の基準から見れば、どことなく "すきのある生き物" へと進化的に変わっていく傾向を示します。その最たる例の一つがかつてモーリシャスに生息していた飛ぶことのできない大型の鳥、ドードーです。また、絶海の孤島で繁殖し、地上では敵から身を守るすべを十分に持たない大型の海鳥の一種にはアホウドリという不名誉な名前が付けられています。彼らはかつて羽毛採取のために日本人の手によって乱獲され、一時は絶滅したとまで思われていましたが、現在では懸命な保護活動の結果、危機を脱しつつあります（図1）。

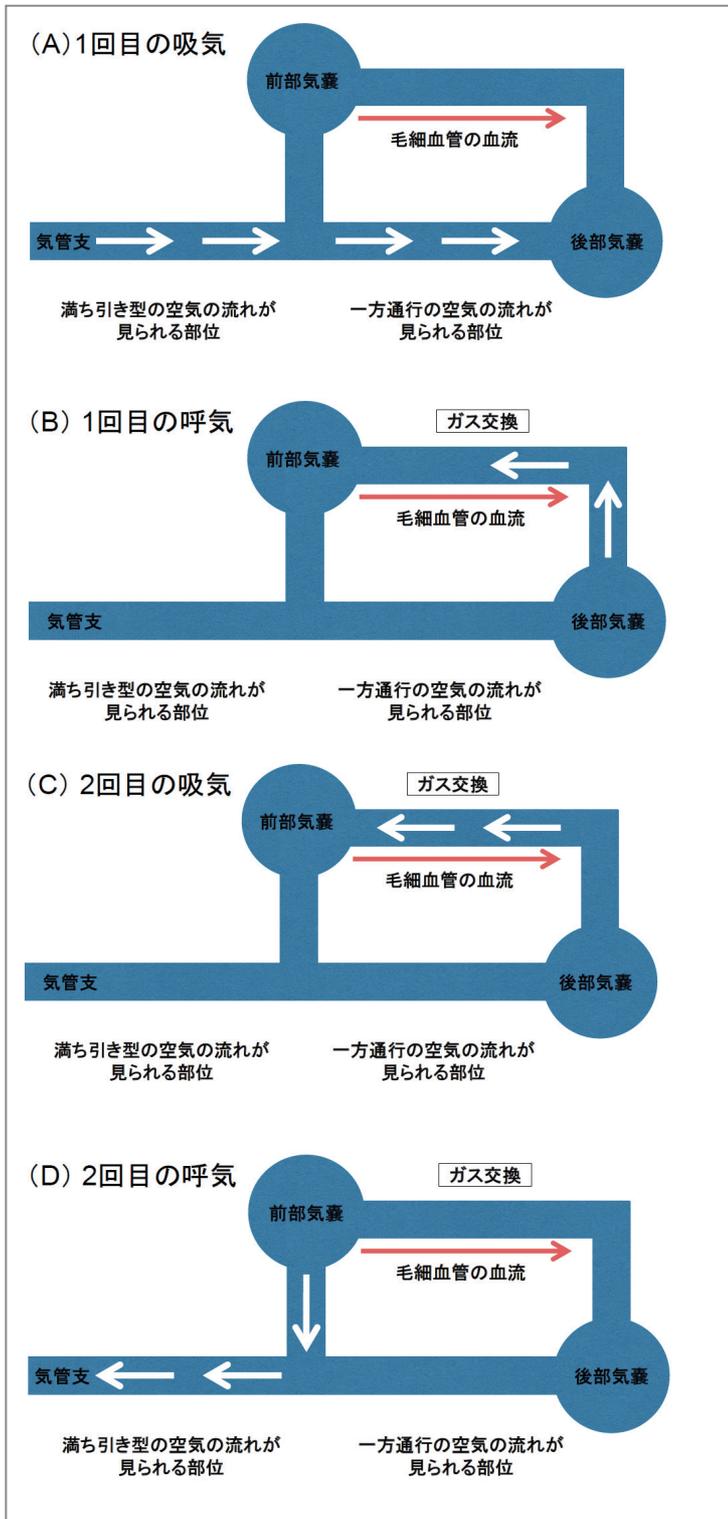


図2 鳥類の呼吸システム

話を渡りに戻しましょう。先ほどは水平方向のレコードホルダーについて紹介したので、今度は垂直方向を見てみたいと思います。ヒマラヤ山脈をご存知の通り、8,000m級の山を含む、世界で最も標高の高い地域ですが、その上を飛び越えて渡りを行う鳥がいることが分かっています。夏のあいだの雨期が終わりを告げる10月初旬ごろ、アネハヅルとクロヅルの大群がチベット側からネパール側へと、ヒマラヤ山脈を越え、大移動を行うのです。人間であれば酸素ボンベなしでは普通の活動さえままならないこの場所の、そのまたさらにはるか頭上を飛んで行く鳥たち。彼らにこのような離れ技が可能になっている理由は何なのでしょう。その答えの一つは彼らの呼吸システムに求めることができます。

呼吸器の基本的な構造は鳥類でも哺乳類でも同じで、鼻・口→口腔→気管（のどにある、ホースのような外観の、空気の通る管）→気管支（気管が枝分かれしたもの。初めに大きく2つに分かれて左右の肺に向かい、その後さらに枝分かれを繰り返す）→肺という構成になっています。ご存知の通り、呼吸器は反応性の高いガスである酸素を利用して大きなエネルギーを生み出すためにあるもので、外界から取り込んだ新鮮な空気と体内を循環してきた血液が肺において出会い、空気中の酸素が血中に、血中の二酸化炭素が空気中に受け渡されるというシステムです。鳥類の呼吸器が、哺乳類をはじめとする他の動物群のものをはるかに凌ぐ出来栄えに仕上がっているのは、体腔内のすみずみにまで張りめぐらされた気嚢と呼ばれる透明の袋のおかげです。

鳥類が息を吸うと、吸われた空気はなんと肺を素通りして身体の後部にある気嚢に取り込まれます（図2A）。この空気は次に鳥が息を吐くときに後部気嚢から出てきて肺に入り込みます（図2B）。次の吸気の際、肺の中の空気は身体の前部にある気嚢によって吸い出されてそこにたまり（図2C）、最後の呼気で体外にまで排出されるのです（図2D）。このシステムには特筆すべき特徴があります。それは肺の中の空気の流れが、私たちのように満ち引き型になっておらず、一方通行になっている点です。しかも、その流れは呼吸のサイクルのなかで息を吐くときにも吸うときにもまったく途切れることがありません（図2B, 2C）。このため、血流を空気の流れと対向する方向に流すことで、

きわめて効率的なガス交換が可能となるのです。

渡りをサポートする身体の仕組みにはほかに興味深いものも多々あります。上で述べたように、渡りはそれを行う種にとってトータルで考えた場合、当然、割に合う行動なわけですが（もし割に合わないのなら渡りの習性は失われるはずです。実際そのような喪失の例は多数知られています）、過酷な運動であることは間違いありません。鳥たちは渡りの時期が近づくとその準備として脂肪を蓄えることに精を出し、中には体重が2倍ほどにも跳ね上がる種も見られます。大変面白いことに、脂肪をより効率的に蓄えるため、内臓を作り変えてしまう鳥たちがいることも知られています。潜水性の水鳥であるハジロカイツブリは消化器官の大きさをこの時期、普段のほぼ2倍にまで大きくして、旅に備えるのです。消化器官を大きくするために必要となるコストは、飛翔のための筋肉を逆に縮小することで賄われているようです。彼らは渡りの直前には再び身体の構成を組換えて消化器官の重量を3分の1にまで減らします。また、潜水時の推進力を生み出すため脚筋についても当面不要として縮小します。その一方で彼らは渡りに耐えられるよう、飛翔筋と心臓を肥大化させるのです。

渡りについてはここで述べたほかにも、興味深い話題がたくさんあります。例えば航法の問題。なぜ地図も持たない彼らに世界規模の大移動が可能なのでしょう。大海原を突っ切る種は何を手掛かりに進路を決めているのでしょうか。飼育実験などにより、鳥たちが太陽や星をコンパスとして使っていることが分かっていますし、地磁気や臭いの知覚も活用しているようです。また、鳥たちの渡りルートを追跡するための機材の開発も興味を引く話題でしょう。地球規模の移動を行う鳥たちの行動を私たちはどうやって観察すればよいのでしょうか。最近よく使われるようになったジオロケーターは面白い発想に基づいています。この機器の本質は単純な光センサーにすぎません。ですが、鳥に装着し、後日回収することでその間の彼らの地球規模の移動軌跡を明らかにできます。実はこの機材は日の出・日の入の時刻を日付とともに記録し続けており、そこから緯度経度が推定されるというわけです。このように渡りについては話題が尽きることなく湧いてくるのですが、ここでは最後に読者の皆様に渡り鳥調査へのご協力をお願いしていったん筆を置きたいと思います。



図3 金属足環が装着されたハクセキレイ (森本元氏提供)

渡り鳥はこれまで述べてきた通り、文字通りグローバルな存在です。その保全には地球規模の連携が欠かせません。例えば、繁殖地だけでいくらの鳥の保護に力を注いでいたとしても、もしその越冬地や中継地の環境が守られないなら、その努力は実らないわけです。このため、日本国は周辺各国と渡り鳥の保護に関する条約を結び、協働して鳥たちを守る活動に取り組んでいるのです。山階鳥類研究所は環境省から委託を受け、全国約400名のボランティアスタッフとともに、鳥たちを野外で捕まえ、金属製の足環を付けて放すという、「鳥類標識調査 Bird banding」を行って

ます(図3)。同様の調査は世界各国で行われていて、運良く再捕獲がなされた場合には足環に刻まれた識別番号をもとに初回捕獲時のデータが照合され、鳥の移動についてのデータが作られるのです。もし読者の皆様が金属足環のついた野鳥が弱っているところや、死んでいたりするのを見かけられたときには、ぜひ山階鳥類研究所にご一報をいただければと思います。それは野鳥の渡りの経路を解明するうえで、重要な情報となるに違いありません。

FEATURES

寄稿

魚類液浸標本の価値と役割

国立科学博物館 篠原現人

何故？

こんなところに？

大事件、大発明、大傑作などはしばしばふとした小さな、とるにたりないようなことから発生するものである。

(開高健「もっと遠く！」序章大いなる幻影より)

1. はじめに

魚類は最も原始的な脊椎動物である。現在地球上に生きている魚類は約3万種と推測されている。日本周辺には4千種以上の魚類の生息が確認され、日本は魚類の多様性の高い場所として世界的にも注目される。魚類を研究するのにこれほど恵まれた国も珍しいと思われる。

私の専門とする魚類体系学とは魚類の進化を体系的に研究する分野である。魚類体系学は生物多様性、機能形態学、分類学、系統学、生物地理学などを包含する。中でも分類学は活発な研究分野で、年間300種かそれ以上の新種が発見され(図1)、さらに種よりも高位分類の単位である属や科も新設されることがある[1]。また、魚類体系学は、生態学、水産学、保全生物学などに深く関係している。特に水産学との関係は古く、私たちの生活にも深く関係する水産重要魚種に関する研究は比較的よく進んでいる。

魚類は水中に適応した動物であり、彼らが生息する物理環境の多様性は流体力学的にみても広い範囲をカバーしている。たとえばマグロやカジキは外洋に生息し、高速遊泳魚

といわれている。一方、アンコウやカサゴは定住性で、泳ぎはあまり上手とはいええない。河川急流域に生息するハゼや大型の遊泳魚の体に吸着するコバンザメは、自分自身の遊泳能力に関わらず流体抵抗を軽減する体形をもち、皮膚、鱗などに特別な仕組みを備えているにちがいない。サメ肌は流体抵抗を減らす材料として注目されているが、す

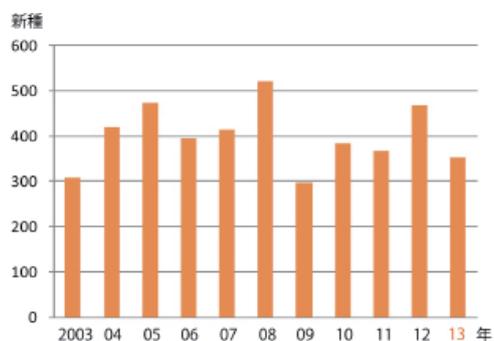


図1 最近の10年間に発見された魚類の新種の数。2013年は11月までのデータを示している。

PEN December 2013

3

すべてのサメが高い遊泳能力をもっているわけではない。さらにつけくわえるなら、サメ肌以外の体の部分でも遊泳力を補っている可能性もあるのだ。例えば体形やひれの形である。

メルセデスベンツがコンセプトカーとして開発したバイオニックカーは、ハコフグをモデルにしたものだ。魚類学者に話をすると「なぜハコフグを選んだのか?」、または「ハコフグの体は頑丈だから衝撃に強い車体のモデルになったのか?」と問われるのが普通だ。ハコフグの体が相当硬いことは魚類学者の間で常識であるが、流体力学的に優れた形である可能性に気付いていることはまれといえよう。ちなみに魚類体系学の研究者ならさらに、「どの種をモデルにしたのか?」と考えるにちがいない。この問いは次のような背景知識から出てくる。ハコフグといわれる魚には少なくとも30種以上が含まれ、形や色さらに生息域や生態も異なる。形も成長によって変化する。もっと優れた形をした魚がハコフグ以外にいてもおかしくない。ちなみに私が魚類体形学との関係で最近興味をもったのはバイオニックカーではなく、アルファロメオのB.A.T.7というクラシックなコンセプトカーだ。このクルマにはオニトマキエイの胸びれのようなパーツがある。その曲がり具合が自然で、いかにも流体力学的に優れていそうにみえるのだ。魚類研究者なら誰もオニトマキエイの遊泳力の高さや豪快なジャンプが、そのひれの形になにかしらの関係があると感じている。

2. 魚類液浸標本とは何か

博物館には非常に多くの標本がある。日本で最も歴史が古い国立科学博物館は約200万点の動物標本、170万点の植物標本、約24万点の地学・古生物標本、約16万点の人類標本を所蔵している。魚類液浸標本はその中では圧倒的な数を占め、150万点に達する。これらの標本の大部分は、研究のために集められたものだ。研究済みから研究中のもの、将来研究されるものまで様々である。研究済みのものを将来にわたって保管することも非常に重要である。たとえば、新種の報告で使用された標本はタイプとよばれ、最も厳重に管理されている。その論文では、標本の形態情報が詳細に記載され、多くの場合は標本写真や図も掲載される。ここで「詳細に」と書いたが、当然のことながら時代や研究者の能力によって記載の質が異なる。比較に必要な部分の情報がなかったり、観察ミスが論文の中に書いてしまうことも起こる。そこで使用された標本が証拠となって再度活用される。また、タイプ以外の標本も大切である。特に生物は個体レベル、集団レベル、種やそれ以上の分類

単位のレベルで形態に多様な変異を示すからだ。変異の幅を把握するために多くの標本が観察される。

魚類は一般に液浸標本として保管する。剥製標本は基本的に皮だけなので、資料的な価値は中身の残る液浸標本より格段劣る。保存液にはエチルアルコールやイソプロピルアルコールを水で適当な濃度に薄めたものを使う。標本の作製の際には、ホルマリンで防腐処理をほどこす。十分に固定された後に、浸み込んだホルマリンを十分に水で洗いながしてから、アルコールに入れる。まれにアルコールに直接入れて保管する場合があるが、DNA抽出の目的以外ではこの方法は勧められない。濃度が濃くてもアルコールだけでは良好な標本状態を維持できないと心得ておいたほうが良い。半永久的に標本を残すことを使命とする博物館においては、保存法にも細心の注意を心がけている。また長期にホルマリン中に置いておくと標本の損傷が進み、場合によっては骨格がもろくなり、X線で撮影をしても骨が写らない状況になりうる。ちなみに世界各国のスタンダードであるホルマリン固定とアルコール保存という方法はヨーロッパの自然史系博物館の経験を参考にしている。

魚類液浸標本が生時や生鮮時の個体に比べて明らかに変化する点としては筋肉などのソフトパーツの弾力性があげられる。さらに色彩の変化も顕著なので、生鮮時の画像記録を意識的に残しておかなければならない。私のまわりにいる魚類学者には、野外調査において昼間は採集、夜は写真撮影というパターンが染みついている人が多い。採集する量が多かった場合には、撮影が深夜早朝におよぶこともある。運よく近くに冷凍設備があれば、凍らせて研究室を持ち帰り、ゆっくりと丁寧に標本を作ることも可能である。しかし、死後すぐに消えてしまう色や模様もあり、現場ですぐに撮影するのが結局は一番良いとこだわりをもつ研究者も多い。

すべての種類ではないが、体表の色彩は形と同様に種や雌雄を識別する指標となる。また、無造作に魚をホルマリン溶液に放りこんでしまうと、背びれや腹びれ、さらに肛門と尾びれの間位置する臀びれが折りたたまれた状態で固定されてしまう。各ひれにある色彩パターンも分類学では重要で、画像に残す際はひれを起した状態で固める作業も欠かせない。魚類図鑑や論文で、美しくひれが立った標本写真は事前に整形されている。

ところで論文や図鑑の魚の標本写真のほとんどで頭が左に向いていることに気づいているだろうか。これは類似した種の色や形の特徴を比較しやすくするための一種の作法で



図2 国立科学博物館の液浸標本庫。南北方向（左）と東西方向（右）。床面積1000 m²に約3 mの高さの移動棚がずらりと並び、魚類はこの部屋の半分位の空間を利用している。

ある。理由があれば、反対側を撮影しても構わない。なお、標本では背中側を上、腹側を下にすることが暗黙のルールなので、カレイの場合は頭を右側にして置くことになる。

国立科学博物館の魚類液浸標本は他の動物群の液浸標本と一緒に広い標本室に厳重に保管されている（図2）。紫外線は標本の大敵なので、それを避けるために、この部屋には一切の窓がない。室内の照明も紫外線カットのものを使用している。さらに標本のダメージをおさえるため、人がいない時は必ず消灯することが義務づけられている。また、乾燥は最も標本を傷めるので、保存用アルコールの蒸発を抑えるために、二重の蓋やエアパッキングがついた蓋がついた容器を使っている。標本はやむを得ない状況でない限り、廃棄はしない。やむを得ない状況とは採集データと標本の照合がつかなくなったり、標本管理できないほどに著しく汚損した場合などである。解剖して、骨や皮だけになった標本でも保管は続ける。

3. 魚類液浸標本の価値

すでに膨大な量になっている国立科学博物館の魚類液浸標本は、現在も増加している。自分たちで集めるもの以外にも寄贈される標本が多いからだ。寄贈は1個体から数万個体まで様々で、博物館を保管場所として信頼してくれる研究者や一般の方たちからのものである。標本の価値は種の希少性もさることながら、しっかりとした採集データが残っているか否かでも決まる。データのない標本は価値がないに等しいといえる（図3）。採集日も重要になることが多い。例えば、液浸標本には生殖器官がそのまま残っているため、繁殖期に関する情報を得ることも可能だ。

さて、標本は誰のものなのか。個人で標本を集めて個人で保管する場合、これは個人のものである。しかし魚類液浸標本には美術的な価値がないことに加え、薬品の処理も関係してくるので、本人が亡くなると遺族にとっては迷惑に



図3 液浸標本とラベル。ラベルの中で最も重要な情報は採集場所と採集日である。ラベルそのものは耐水紙、インクは耐アルコール性のものを使う。

図4 仔稚魚ワークショップ(左)と深海魚ワークショップ(右)の様子。場所は国立科学博物館新宿分館(研究部の筑波地区への移転により現在は閉鎖)。見回っている人たちは講師陣。このようなワークショップを通じて、標本は新しい研究コミュニティの構築にも貢献できる。



なるのも事実である。魚類に限った話ではないが、すくなくとも論文で公表したものについては、証拠やデータの再現性の観点から誰もが利用できる博物館のような公共機関におくべきと考える。そして博物館に保管されている標本は博物館のものというよりは人類の共有財産と考えるべきだ。財産だからこそ利用者は取り扱いに注意がもとめられる。

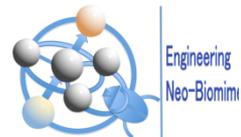
博物館の研究者を特にキュレーターとよぶ場合が多い。これは研究と同時に標本管理ができることが重要視されているからだ。国立科学博物館ではキュレーターの判断で、魚類液浸標本が年間数十件ほど国内外の研究者に貸し出されている。1件につき貸し出す標本は1個体から数十個体までと様々である。また、標本を直接観察に来る大学院生や研究者を受け入れるのも仕事である。国立科学博物館にどのような魚類液浸標本が保管されているのかを事前に調べるには、ウェブで公開している標本・資料統合データベース [2] が利用されている。ただし、魚類コレクションに限っても、データベースに登録されていない標本が多く残され、これらを登録し、公開までもっていくことも、キュレーターの役目のひとつに位置づけられている。

国立科学博物館ではこの数年、魚類の分類に関するワークショップを実施している。2009年には仔稚魚ワークショップ、2009年から2011年には深海魚ワークショップ、2012年からは底生魚ワークショップを実施している(図4)。参加対象はおもに魚類体系学を専攻している大学院生や若手研究者である。仔稚魚、深海魚および底生魚の分類の専門家を国内外からそれぞれのワークショップに講師として招き、2週間程度みっちり指導をしてもらう。大学院生は単に指導を受け分類に関する技能を高めるだけでな

く、自分たちの手で研究材料を探し、当館のコレクションを使って研究を進めてもらうことにしている。

ところでなぜ仔稚魚、深海魚、底生魚なのか。国立科学博物館では膨大な未整理の魚類液浸標本をもっているが、その中でかなりの部分を占めるのが、これらの魚類液浸標本だからである。国内の水産研究機関から近年寄贈されたものだ。仔稚魚は親魚とは違った姿をしているものが多く、それらは変態して親と同じ姿になる。さらに生息場所も親とは異なり、仔稚魚がこれまで報告されたことのない種も今だに多い。一方、深海魚は深海という特殊な環境に適応したと考えられる極端な形態が魅力的で、たとえ魚類学者であったとしても、専門に研究していなければ実物を見る機会は決して多くない。最後の底生魚は、食用魚が多いことに関して、社会的にも注目度が高い。水産研究機関は魚類の資源量を推定する目的で、各地でトロール網による調査を実施している。寄贈された底生魚標本は、排他的経済水域(EEZ)の設定以前に日本の調査船が世界各地の漁場で採集したものである。

特別に生物学を専攻していない研究者や一般の方でも標本は手に取って観察できることを明言しておきたい。標本を不注意で壊さないことが最も大切なことである。キュレーターは、標本の取り扱い方や標本の有無などを利用者に説明する責任があるので、すこしでも研究材料として魚類液浸標本に興味のある方は遠慮なく問い合わせをしてほしい。なお国立科学博物館上野本館の展示場には、キュレーターが来館者向けに自分の研究を紹介するコーナーが設けられているので、異分野の研究者の方たちが私たちの興味や研究を知る上で役立つかもしれない(図5)。



(4) 国内研究動向紹介

Newsletter ISO/TC266 Biomimetics

バイオミメティクス国際標準化ニューズレター

Issue 4, Spring 2015

国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics 第 4 回総会

ISO/TC 266 Biomimetics の 4 つのワーキンググループ (WG) 会議および第 4 回総会が、2014 年 10 月 20 日～22 日に、ベルギーのワロン地方のリエージュ (Faculty of Law and Political Science, The Jean Constant Criminology School of Liège, Building B31 の教室) で、以下の日程で開催された。ホストはベルギーの Stephan 氏がつとめた。

2014 年 10 月 20 日

ISO/TC 266/WG3: Biomimetic structural optimization

ISO/TC 266/WG1: Terminology, concepts and methodology

2014 年 10 月 21 日

ISO/TC 266/WG2: Structures and materials

ISO/TC 266/WG4: Knowledge infrastructure of biomimetics

2014 年 10 月 22 日

第 4 回 ISO/TC266 総会

ベルリンにあるドイツ規格協会 (DIN) で第 1 回総会が 2012 年 10 月 9～10 日に開催されてから、バイオミメティクスの国際標準化活動はちょうど 2 年が経過したことになるが、今回の第 4 回総会で、はやくもバイオミメティクスに関連する用語の標準化を進める WG1 と、バイオミメティック構造最適化アルゴリズムの標準化を進めている WG3 の標準の原案が、国際標準として発行されることになった。以下、リエージュで開催された ISO/TC 266 Biomimetics の各 WG 会議および全体会議について紹介する。

WG1: Terminology, concepts and methodology [1]

WG1 の主題は「定義、概念と方法論」だが、その主な使命は「何を以てバイオミメティクスとなすか」という判断基準の明文化である。生物・物理・化学から工学に至る広範かつ膨大な境界領域を必然的に含むバイオミメティクスは、多くの曖昧さを内

包してしまう。しかしながら、この判断基準が曖昧であると「正規」と「似非」の境界が揺らいでしまい、「標準」自体が成立しなくなる。WG1 で扱う定義・言語の明確化は、「創造的な探索」に代表される情報技術 (WG4) を支え、あるいは新たな現象・物質 (WG2) や意匠・概念 (WG3) などの拾い出し・定義を可能にするため、各 WG と密接に関わっている。WG1 では、規格発行に至る 6 段階 (表 1) のうち、すでに 4 段階 (DIS) の草案に対する投票が 2014 年 7 月に行われており、会議前に「賛成 2/3 以上、反対 1/4 以下」の基準を満たして通過した。反対票は日本とカナダにより投じられていた。今回の WG 会議では、次の 5 段階 (FDIS) への改訂を前に、DIS 投票時に提出された各国の修正要求を検討する場であった。草案に反対票を投じた 2 国に限らず、賛成した国からも多数 (45 件) の修正案が提出され、A4 版の資料で 15 頁にもわたった。

表 1 プロジェクト開発の通常の手順

プロジェクト段階	手 順
1. 提案段階	提案の受理
2. 作成段階	WD (作業原案) の作成
3. 委員会段階	CD (委員会原案) の作成及び受理
4. 照会段階	DIS (照会原案) の作成及び受理
5. 承認段階	FDIS (最終国際規格案) の承認
6. 承認段階	IS (国際規格) の発行

過去の議論 (2012 年 10 月～) を経て、バイオミメティクスの判定基準として図 1 の 3 原則が採用され、一種の拠り所となっている (WG3 でも、この原則に照らした議論に多くの時間を割いた)。草案作成ではこの基準に則り、各事例に関する判定の例示・検証や、言葉の定義付与による足場固めの作業が行われてきた。しかし、回避困難な多くのグレーゾーンでは、判定が紛糾し、しかも国益を背景に各国の思惑が絡んでくると、話はさらに複雑であった。

カナダは初参加ながら、草案に対して、対象を技術系に限らぬ幅広い人々と記しながら、中身は技術に偏りすぎてあり、対象ユーザが曖昧で矛盾すら含むと主張した。議論の末、ISO が「工

1

業」規格である点から軽微な加筆に留まった。カナダは、次に辞書的に用語が説明されている第2章の不備についても主張した。もともと第2章には自己言及や言葉足らずなどの不備が多く、日本からの修正提案も多数あり、逐次訂正を行った。しかしながら、境界が不鮮明であることなど棚上げ事項も残っている。バイオミメティクスであるとの判定には人と他の生物、両者の関与が必須だが、その判定基準を巡っては前回のブラハ会議から、特に日本とドイツの間で紛糾している。代表例は遺伝子工学による Spider Silk であり、ドイツは強硬な拡大解釈からバイオミメティクスを広く適用している。この点が日本の反対票の主な根拠でもあった。日本は、ドイツの強硬論に対して比較的穏健なフランスを味方にして臨むなどの準備を重ねてきた。ところが直前に配布された DIS 草案では最重要句 "without using the biological system" (図1の3) を削るというドイツ寄りの改変をフランスが提案した。これは、生物「借用」につながり、3原則の意義が揺らぐ極めて危険な改変である。当日、ドイツとフランスの改変案に対し、文言の重要性や、明確な原則を示す観点から粘り強く交渉し、草案に何とか重要句を保持することができた。また3原則による判定において、「明確さ」を標榜した無理な○×判定を危険と考え、日本から○×に Hybrid 判定を導入する妥協案を提示した(曖昧な物を、明確な○と喧伝するのは当然、危険である)。最終的には Hybrid 案の導入には至らなかったが、単純な○×でない旨を示すマトリックスの明示に合意を得、何とか日本の主張を入れることができた。さらに、日本から最近 ISO/TC が立上ったバイオテクノロジーとの境界問題や、WG4 で取り扱う検索の利便性、拡大解釈した○判定のために規格が「何でもあり」の骨抜きになる危惧を主張した。これについては、イギリスやカナダも同様な意見であった。

カナダは今回が初参加ではあるが、対象の曖昧さやタイトル変更、挙句に全面改訂まで過激な要求を続けた。しかし主張自体は一貫して従来の不備を突く真っ当な内容が多く、日本に益する場面も多かった。次段の FDIS に行く前に、その全体を見直す機会(投票を含む)を新たに設ける提案をし、物議を醸す場面が最後にあった。本提案には不備を一新する長所もあるが、迅速な文書公開に大きな障害となり、前回を含めて長らく議論

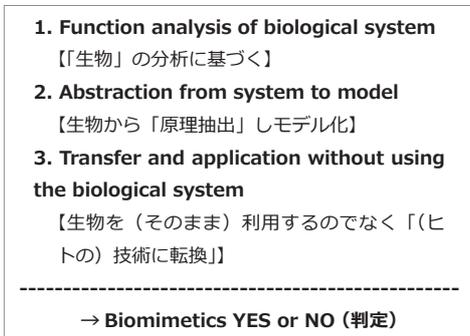


図1 Criteria for a biomimetic product (バイオミメティクス3原則)

2

してきた日本はそこまでの出戻り要求には同調できず、ここではドイツ側に寄る形になった。

その他、WG1 から派生してサステイナビリティに関する業務項目を、イギリスが責任者となって立ち上げる新提案が承認され(類似内容を含む既存の TC には留意が必要であると日本から釘を刺した)、また、カナダの主導で「3原則の2. 原理抽出で間違いを犯した誤謬例が埋もれており検証すべきである」として調査を行うことで合意した。WG 会議と総会で合計7時間超にわたり意見を戦わせ、WG1 の DIS は修正要求の検討も終了した。今後、コンビーナによる修正をまつことになる。しかしながら、先述した「拡大解釈による○判定の頻発→『何でもあり』の骨抜き標準」になる危惧は結局、拭い去れていない。そうならない為に日本ができる攻防としては、ここが限界であり、各国の利益や思惑を背負う国際対抗図に直面し、難しさを痛感しつつ、有効な規格策定に結実することを切に望んでいる。

WG2: Materials, structures and components [2]

ISO/TC 266 Biomimetics の WG2 では、材料、構造、表面、コンポーネント、生産技術に関するバイオミメティックな開発に関しての国際標準化の作業原案について討議している。作業原案は、バイオミメティックな開発のフレームワークを提供するものであり、Working draft ISO/WD 18457 として 2013 年 8 月に日本より出された。WG2 は、スタート時に議長交替があったため WG1 及び WG3 に比べて1年遅くスタートした。現在は作業原案(WD)から委員会原案(CD)に移行する段階にある。

前回のブラハ会議では、原案のスコープが確定され、その中に、最近のバイオミメティクスで頻繁に取り上げられている「生物表面」についての記載と生物表面及びバイオミメティクスにより作られた表面の評価方法を追加することになった(韓国が担当)。また、議長より、サステイナビリティをベースにしたより複雑なバイオミメティックな開発手法やバイオミミクリーの記載の追加が提案されウェブ会議を通して議論を進めることになった(提案したベルギーが原稿を作成)。

その後リージュ会議までに WG2 では以下の内容を実施した。

- 1) 新規作業原案の記載内容の確認
 - 1-1) 生物表面と表面の評価方法の記載は、内容に問題があり大部分を付録に移動した。しかしながら推奨される表面ぬれ性の測定手法として、参考文献がなく学術的に評価されているのか分からない手法が作業原案に記載されていることが問題として残っている。また、ここで紹介されたぬれ性評価方法について市場での知名度について、日本で事業を展開している接触角計のメーカー数社に問い合わせたところ、「知らない」という回答が得られた。
 - 1-2) サステイナビリティやバイオミミクリーの記載は、これまでの作業原案の内容に合わない点や議論不足など内容に問題が

あり作業原案に加えることを見合わせた。

2) 作業原案のページ数が多すぎたため、内容を検討し、委員会原案 (CD) として 20 ページ以内にまとめた。

作業原案の修正は、ウェブ会議を通して議論され、最終的に修正版が日本により提出された。この作業原案は ISO 参加国に配布され、委員会原案として承認するか否かの投票が 10 月 7 日までに行われた。投票参加国が 10 カ国 (ベルギー、カナダ、中国、チェコ共和国、フランス、ドイツ、イスラエル、日本、韓国、イギリス) であり、投票結果は、コメントなしの賛成が 5 カ国 (ベルギー、中国、チェコ共和国、日本、韓国)、コメントありの賛成が 2 カ国 (カナダ、ドイツ) であり、反対の国はなかった。フランス、イスラエル、イギリスの 3 カ国は棄権であった。

この投票に寄せられたコメント (110 件) について、10 月 21 日の午前中に開催された WG2 会議で議論された。110 件のコメントの内訳は、一般的なコメントが 21 件 (カナダ: 8 件、ドイツ: 13 件)、技術的なコメントが 4 件 (ドイツ: 4 件)、編集に関するコメントが 85 件 (カナダ: 1 件、ドイツ: 84 件) であった。当日の議論の時間は 3 時間に限られているため、一般的なコメントに焦点を絞って議論を行った。事前に提出されたコメントで、改善を要求する場合は、具体的な改善の提案も明示することが要求されているが、カナダからのコメントの多くは、具体的な改善の提案について不明瞭な記載が多かったため、再提出を要求することとなった。

WG2 の原案では、数多くのバイオミメティクスの開発例が紹介されている。これは、バイオミメティクスの開発を理解する上で有効ではあるが、項目により文章の量にバラツキがあり、数ページに渡るものは、短く修正することになった。表面評価方法に関する記載内容について、標準化に適しているかどうかを再検討する必要があるが、WG2 に参加している P メンバーには専門家がいないため、WG1 の議長と話し合い、ドイツの WG2 メンバーに生物表面の測定に詳しいスペシャリストを加えてもらう内諾を得た。

WG2 は委員会原案の最終案としてまとめられ、その 2 カ月後に採択に関する投票が行われる。この後は、大きな修正はできなくなるため十分な議論を行いたい。

WG3: Biomimetic structure optimization [3]

WG3 のこれまでの議論の過程で、日本は WG3 の原案をそのまま国際標準とすることに次第に疑問を感じ、投票では反対票を投じてきた。また、数回におよぶウェブ会議でも原案の不備を指摘し、性急に国際規格 (IS) にするのではなく、当面は技術仕様書 (TS) として公開するよう求めてきた。20 日午前中の WG3 会議では、予想どおりの激しい議論になったが、結局この国際規格成立を止めることができず、近々国際規格として発行されることになった。

ここで、これまでのバイオミメティクスの国際標準化の活動の経緯を、その背景も含めて簡潔に整理し、加えて WG3 Biomimetic Structural Optimization の活動についても整理する。

バイオミメティクス国際標準化の背景

EU が競争力強化、優れた知の創出、資源のプール、グローバルイノベーションへの対応、欧州研究領域を作り上げることへの寄与等を目的として、科学技術の研究開発に係わるフレームワークプログラム (FP) を開始したのは 1984 年のことである。欧州の市場統合化が明確に打ち出された 1987 年の FP2 から、欧州のグローバル戦略の要として国際標準化の重要性が認識され始め、1991 年からの FP3 のフェーズに入ると、国際標準化のための研究開発プログラムへの資源の投入も始まった。このように欧州では、1990 年代から欧州の市場統合とグローバル化の重要な戦略課題として、国際標準化活動への取り組みを展開してきた。科学技術の研究開発予算が大きく増加した FP7 は 2007 年に始まり、2014 年に Horizon 2020 へと継承されている。欧州においてバイオミメティクスの研究開発が本格化したのは、この FP7 からである。ドイツではバイオミメティクスの国際標準化に向けたプロジェクト ISOBIONIK Project が本格的に始動している。ドイツ国内の産学連携のバイオミメティクスの研究開発枠組みである BIONIKON、ドイツ技術者協会 VDI、そしてドイツ規格協会 DIN の協働で、標準原案の VDI-Guideline "Biomimetics" の作成が始まったのも FP7 が始まった 2007 年である。その後、BIONIKON は 2009 年 3 月に BIONIKON International へと国際展開している。2011 年 3 月 18 日、BIONIKON International、VDI、DIN は合同で国際標準化準備会議を発足させ、同年 5 月 16 日、DIN からジュネーブの国際標準化機構 (ISO) に対して、バイオミメティクスに関する新しい専門委員会 (TC) 設立の提案を行った。この提案は、5 月 20 日には ISO の技術管理評議会 (TMB) から ISO 加盟各国へ周知され、意見の聴取が行われた結果、正式に ISO/TC266 Biomimetics の設立が決まった。

その当時日本では、下村政嗣氏がバイオミメティクスに関する新学術領域の設立に向けて奔走していた。経済産業省から ISO/TC266 Biomimetics 発足の連絡を受けて、2012 年 3 月、下村氏と阿多氏がドイツのデュッセルドルフに VDI と BIONIKON のキーパーソンを訪問、国際標準化に関する意見交換を行った。今後の研究開発と産業化に資する有益な社会基盤としてのバイオミメティクスの国際標準を協働して作成していくことで合意され、日本も積極的に ISO/TC266 Biomimetics に参画することになった。この決定を受けて、本会のバイオミメティクス研究会に、ISO/TC266 Biomimetics の国内審議委員会が設置された。2012 年 10 月 9 ~ 10 日の両日、ドイツのベルリンにある DIN で ISO/TC266 Biomimetics が開催され、バイオミメティクスに関する国際標準化が動き始めた。第 4 回総会時点での

TC266 Biomimetics への参加国を表 2 に示した。第 4 回からカナダが新しく P メンバーとして参加した。

WG3 で何を標準化したのか

生物の模倣により最適な工学的ソリューションを得るには、二つの方法がある。一つは生物の動きの模倣で、これは自律分散システムの基本である。もう一つは生物の形の模倣である。たとえば生物は外的ストレスを緩和し均一化するように成長し、ストレスのかからないところは軽量化しようとする。WG3 が取り組んできたのは、そのような生物の順応的成長を工業製品の最適化に応用するアルゴリズムの標準化で、工業製品のデザインコンセプトに関わる標準化である。表 3 に ISO/TC266 WG3 が今回の第 4 回総会で国際規格として発行することを決めた工業製品の最適化アルゴリズムを整理する。

第 4 回総会に先立ち行われた、国際標準原案 (DIS) を国際標準最終原案 (FDIS) にするかどうかの投票の結果は、賛成 5 カ国、反対は日本のみ、棄権が 4 カ国であった。この投票では棄権は集計されず、賛成票と反対票を投じた 6 カ国のうち 5 カ国の賛成、83% の賛成 (成立条件は 2/3 以上の賛成) で FDIS 化が承認された。

会議では日本からのコメントに対する激しい議論の最後に、事務局から、時間が押している状況を理由に、FDIS の確認をせずにそのまま国際規格発行への手続きを行いたいとの提案があった。日本は、これまで標準化へのワーキングを TS 化のワーキングに移管すべきと主張してきた。しかしながら、FDIS 化が承認された後には、そのドラフトを TS 化するプロセスへ移管することはできない。さらに今回参加したイギリスとカナダを含めて、その事務局提案に反対する国はなかった。万策尽きて観念するしかない状況だった。その結果、WG3 のワーキングドラフトは数カ月のあいだに国際規格として発行されることになった。

なぜこれらアルゴリズムの国際標準化に反対したのか

上述のとおり、2012 年 3 月にデュッセルドルフの VDI のオフィスで VDI と BIONON のキーパーソンと国際標準化に関する意見交換を行った際に合意したことは、「今後の研究開発と産業化に資する有益な社会基盤としてのバイオミメティクスの国際標準を協働して作成していくこと」であった。このような経緯で積極参加を決めたにもかかわらず、日本は、2 回の投票でそのまま標準化していくことに反対票を投じた。なぜ反対したのか、その理由をここで整理する。

この国際標準化がはじまって以降、この標準化作業原案に対して、日本の意見の取りまとめをすべく、様々な関係者とインタビューを重ねてきた。とりわけこの作業課題に関しては機械工業会の関係者の意見が有用である。工業部品の構造最適化には、

サイズ、形状、トポロジーといった様々な最適化が含まれるが、メルセデス・ベンツ社のバイオニックカーの例に代表されるように、これから産業界に大きなインパクトをもつのはトポロジーの最適化であろう。そこでトポロジーの最適化ということに絞ってインタビューをすすめた。

日本の民間企業からは「そのような最適化アルゴリズムは使っていないから、それが国際標準になっても関係ない」という意見が多かった。このアルゴリズムをバイオミメティクスの国際標準とすることに積極的に賛成する声は聞かれなかった。その反面、SKO のような 1980 年代に開発が始まった古いアルゴリズムを標準化することへの強い反発は数多く聞かれた。ここで大事なことは、トポロジー最適化のアルゴリズムの全体像から見れば SKO は多くの手法のほんのひとつに過ぎないという点であり、加えて大事なことは SKO が進化論的アルゴリズムに基づく最適化とは本質的に異なるという点である。

このような国内の聞き取り調査と、SKO の位置づけ等に関する情報を整理したうえで、これが国際標準となった時に何が起きるのかを考えた。確かにドイツ国内では自動車の部品の設計等に SKO が使われ、そのことが特許の明細書に記載されている。この事実から、SKO が国際標準になれば、SKO を使ってシャーシやエンジン部品を作製しているドイツの車は、「バイオミメティクスの国際標準手法により作製された車」になる。日本の産業界に問うてきたのは、「SKO は使っていないから、我々には関係ない」で済むのかどうかである。どう考えてもこれが国際標準になった場合に日本にとって利点は何もないのではないか、逆にドイツだけが国際競争力で得をするのではないか、もはやこれを疑う余地はなかった。そこでこの原案は国際標準としてではなく、TS として公開すべきとの意見を添えて、第 2 回総会の前の投票から反対票を投じてきた。その他に、ISO/TC266 には、その標準化の手続き上に、いろいろな問題が散見された。

以下に国際標準化に反対を表明した理由を示す。これらの意見は投票の際に日本からのコメントして TC266 事務局から公開された。

表 2 ISO/TC266 Biomimetics 参加国と各国規格協会略称

参加国	
P メンバー	O メンバー
中国 (SAC)	アルゼンチン (IRAM)
チェコ (UNMZ)	デンマーク (DS)
フランス (AFNOR)	フィンランド (SFS)
ドイツ (DIN) : 幹事国	インド (BIS)
日本 (JISC)	イラン (ISIRI)
韓国 (KATS)	カザフスタン (KAZMEMST)
ベルギー (NBN)	マレーシア (DSM)
オランダ (NEN)	ポーランド (PKN)
イギリス (BSI)	セルビア (ISS)
イスラエル (SII)	スウェーデン (SIS)
カナダ (CSA)	スイス (SNV)
	タイ (TISI)
	アメリカ (ANSI)

理由 1: 定義の問題

バイオメティクスの定義を標準化する WG1 において、何がバイオメティックな構造最適化で、何がそうでないのか、はっきりと定義されていない。これは WG1 と WG3 のジョイントワークとすべきである。

理由 2: 標準化しなければならない合理的理由の問題

トポロジーの最適化アルゴリズムのうち、SKO だけをバイオメティックな最適化アルゴリズムとして国際規格にする合理的理由は何か。大事なことは、SKO でしか出来ないことがあるのかどうかであるが、機械工学の専門家と話では SKO と同じことができるトポロジー最適化アルゴリズムはほかにも存在する。SKO だけを国際規格にしても、工業製品の外見から SKO が用いられたかどうかを見極めることもできない。従って現時点で SKO だけを国際規格にしなければならない合理的理由は見いだせない。

理由 3: 標準化プロセスの透明性の問題

TC266 の標準化の会議に出席している多くは生物学者である。WG3 のドラフトは機械工学に係わる内容であるが、それぞれの参加国内で機械工学の専門家との話し合いがほとんど行われていない。各参加国内におけるステークホルダーコミュニケーションが欠落しており、標準作成過程における透明性が担保されているとはとても言い難い状況にある。加えて、ISO/TC266 Biomimetics の総会に全く参加せずに賛成票を投じている国がある。TC266 が無責任な標準化を行っていると言われても仕方がない状況にある。

理由 4: ナノテクノロジーの標準化に学ぶべき

ナノテクノロジーやバイオメティクスといった新興の学際領域では、研究開発と産業化促進のために様々な事前ルール作りは必須であるが、そのルールは性急すぎるとイノベーションの阻害要因になることに注意が必要である。たとえば ISO/TC229 Nanotechnologies は 2005 年から 10 年の年月を費やして、リスク評価法に関わる 3 報のみが国際規格 (IS) として発行され、あとは 28 報が技術仕様書 (TS) として、11 報が技術報告書 (TR) として発行されている。

このような理由をつけて、ドラフトは ISO の TS としてしばらく公開し、その後、IS として機能すると判断され、その合意ができた時点で再度 IS にする手続きを取るべきである、という主張を行ってきた。第 4 回総会の WG3 の議論の時間のほとんどを、日本からの反対意見に対する議論に費やしたものの、最

終的にはこの国際標準原案 (DIS) は国際標準最終原案 (FDIS) を経ずに IS となることが承認された。標準策定の内規によると、もう 1 カ国反対があれば、原案の大幅な変更があれば FDIS のプロセスが必要になったはずである。これも TC 事務局にうまく押し切られた。

国内の意見と標準化手続き上の問題に基づいて反対意見を述べてきたが、この標準原案の内容が学術的に妥当なのかどうかを、デンマーク工科大学の教授 Ole Sigmund 氏に、本会議終了後尋ねた。Ole Sigmund 氏は International Society for Structural and Multidisciplinary Optimization (ISSMO) の会長を務められた構造最適化の専門家である。Ole Sigmund 氏の言葉は "This document is ridiculous"、とんでもない、だった。Ole Sigmund 氏の指摘された内容は公開される国際標準の改訂作業には大変有益な情報であると考えられる。

今回の総会をもって WG3 の活動はしばらく休止となる。依然としてこのような性急な標準化を止めることができなかったことに後悔が残る。ただし、標準が公開されればすぐに改訂の提案ができるため、今後もやれるだけのことは試みる必要がある。約 2 年にわたる標準化活動を振り返ると、やはりドイツの戦略議論の周到さには脱帽せざるを得ないし、これまで幾度となく指摘されてきたことだが、改めて日本もバイオメティクスの研究開発とその産業化に資する国際標準化活動になるようにもっと戦略議論を重ねる必要がある。これに関しては今後も JISC のバイオメティクス国内審議委員会の場で議論を重ねていきたい。今回の総会で各参加国の若い研究者や技術者がしっかりと意見を述べている姿を目のあたりにした。これからの国際標準化の重責を担っていく若手の育成を考えていく必要がある。

WG4: Knowledge infrastructure of biomimetics[4]

WG4 は 2 年前の会議において北海道大学教授の長谷山氏の発案で発足し、溝口氏がその後を受け継いだ。前回の会議で達成することができなかった WG4 の活動内容に関する合意を得ることが今回の主目的であった。実際、それを明確に定義するスコープの記述の合意が最初の話題となった。その結果、工学者と生物学者の双方が必要とする適切な情報を生物データベース (DB) から検索する操作を支援するための Ontology-enhanced thesaurus を構築する過程を標準化することとなった。

WG4 が最終的に目指すゴールとしては、生物規範工学に関わ

表 3 国際標準となる工業製品の最適化手法とその生物モデル、及び最適化の目的

最適化手法	生物モデル	目的
Computer Aided Optimization (CAO)	木の順応的成長	形状最適化
Soft-Kill Option (SKO)	骨の順応的ミネラル化	トポロジー最適化
Computer Aided Internal Optimization (CIAO)	木の繊維的配向	射出等による局所的な樹脂の配向最適化
Method of Tensile Triangle	大きな木の板状根	形状最適化

る技術者、生物学者が必要とする適切な情報を見つけることを支援することにある。本質的にはDB検索支援という問題である。従って、DB検索支援の定番であるシソーラスを強化することで対応可能となる。そこで図2に示した Ontology-enhanced thesaurus の考えを提案した。オントロジーという抽象的な概念をしっかりと整備して、工学と生物科学の間にあるギャップを埋めることによって、両者の間の行き来がスムーズになると期待される。このことはWG4のタイトルである、バイオメティクスの(概念的)基底構造を組織化するという考えに繋がる。ここでは、オントロジーの中でも特に「機能オントロジー」に注目する。機能は工学者が実現したいものであり、生物が既に実現している機能を参考にして新しい発想が生まれることが期待されるからである。このことを意識して、以下の二段階の支援を提案した。

Step 1: 工学と生物科学とで共有する機能概念が存在するが、用語として異なる場合に対処するための機能語彙の翻訳支援。
 Step 2: そのような概念が存在しない場合、あるいは存在していても、生物側のDBでその概念を用いてインデックス付けされていない情報がある場合(Missing linkと概念化)に対処するために、機能オントロジー以外のオントロジーも準備して、そのMissing linkを補償する方法。

Step 2に関してモデルケースとして小規模のオントロジーを実装し、その上で動くKeyword Explorerというアプリのデモを行った。WG4が標準化すべきものはそのようなオントロジーの開発プロセスなのであるが、開発プロセスの標準化を行う前に、そもそもそのようなオントロジーの開発の意義自体をWGメンバーで共有することが不可欠であるので、その意義を具体的に示すためにアプリを作製し、デモを行った。実際、その意図通りデモは非常に効果的であった。発言者全員がデモプログラムの意義を理解しただけではなく、その斬新さと有用性を深く理解することに大きく貢献した。Keyword Explorerは、実現したい機能が入力されると、オントロジーを探索して、それを実現している可能性のある生物種の候補を表示する。既に知られている生物種の表示は当然であるが、まだ知られていないが、可能性が期待できる生物種(Missing link)を表示する能力を持つことが興味深い。Keyword Explorerは表示された生物種ノードを右クリックするだけでDBpediaやWikipedia、Google、Cinii等から瞬時に情報を取って来ることができる。それらを総合して、適切なKeywordを選定して、本格的な情報検索を実行することが可能になる。このデモを通して、実に盛り豊かな意見交換が行われた。その要約は以下の通りである。全発言者が、発言の冒頭において、Keyword Explorerに関する賛辞を惜しまなかったことが印象的だった。参加者の多くは生物学者であったため、情報処理に関わるClarification questionも多数あった。その内で重要なものを一つ紹介する。オントロジーはOWLやRDF等の論理に基づく言語で厳格に定義されるので、その上で推論エンジンを動かせば、効率が悪くなり、大規模化に問題が生じるのではないかという心配である。

的を射た質問であるが、溝口氏の実装ではKeyword Explorerは論理に基づく推論は行っていないのでその心配はない。実は、この話題はKeyword Explorerの設計上の一つの根幹に触れる話題である。工学的に実現したい機能を与えられて、そのヒントになりそうな生物種を探索する問題において、厳格な推論操作によって候補を見つけることは至難である。どこにあるか分からないものを探索する操作は、厳密な推論の積み重ねが要求される証明問題とは性質が全く異なるからである。従って、溝口氏は意識的に論理に基づく推論を避けて、連想に基づく柔軟な推論を採用している。従って、効率は良く、大規模化にも対処可能である。

最も長い間議論された話題は、工学と生物学という異分野の研究者が交流することが必須であるバイオメティクスの研究では、お互いが使う用語の相違が災いしてスムーズな意見交換ができないという大きな問題を抱えている。これは全参加者が等しく共有する課題で有り、それを解消することに貢献する「用語の翻訳」問題で意見交換が盛んに行われた。日本のプレゼンテーションの一つの中心課題が、工学で用いられる機能語彙を生物学で用いられる語彙へ翻訳するプロセスの標準化が含まれていたことがそのきっかけを作った。その話題が発展して、工学者と生物学者の思考プロセスにまで議論が及び、バイオメティクスにおける科学の仕方、ものの考え方のモデルを作って、それを標準化する案にまで発展した。確かに、研究テーマとしては大変面白いので、参加者の共感を得たのであるが、人の思考過程は標準化にはなじまないということで最終的には没となった。

次は情報検索のプロセスの理解において、単にKeywordマッチングのみを想定した従来型の検索から進んで、生物が機能を実現しているプロセスやモデルを明示的に扱いつつ検索するプロセスを標準化に組み入れるかどうかの議論となった。ちょうどそのことを研究として行っている研究者が委員として参加しているので話題になった。一瞬、ここで用語の問題で相互理解が進まないという事態になったが、その話題の提供者が言う「プロセス」は溝口氏が言う機能のことであり、機能分解されてで

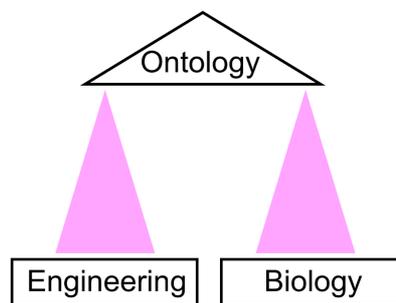


図2 Ontology-enhanced thesaurus

きた部分機能などを参照しつつ検索することをさせていることが分かり、コミュニケーションの問題は解消した。また、検索のやり方自体を標準化するかは、確定はしていないが、標準化にはなじまないという意見表明を行った。話題提供者の提案内容が不明確であったので、本人から詳しい情報提供を受け、今後検討することとなった。

上述の様に、率直かつ緊密な意見交換を通して、WG4の活動内容のスコープが一つの拡張を含めて承認された。拡張は、対象ユーザを工学者に限定するのではなく、生物学者が工学の情報を探すケースも支援対象にするという「両方向性の支援」の実現である。これは本WGの成果をさらに有用にするために役立つ拡張である。Keyword Explorerのデモはかなり良い印象を与えたが、重要なことはそれ自体は標準化対象では無いことである。標準化の対象としては、そのような非常に有用なアプリを構築する可能性を持つ、Knowledge infrastructure of biomimeticsとしてのOntology-enhanced thesaurusの開発プロセスの標準化を行うのがWG4の活動である。しかし、何もなしに構築過程だけの標準化は難しいので、実際には、例題という位置づけでオントロジーを開発しつつ、それから抽出する形でオントロジー構築過程の標準化を行うことで合意した。今後は、今回の総会での合意事項を文章化して、作業原案の記述を日本側が主導権を持って行うこととなる。

Task Group "Transparency and stakeholder communication" [5]

全体会議は総会3日目の最終日に設定され、投票権のあるPメンバーであるドイツ、イギリス、フランス、日本、韓国、カナダ、チェコ、ベルギー、また投票権のないOメンバーとしてフィンランドとスイスの代表が参加した。Pメンバー登録をしている国々のうち、中国からは今回も出席者はなく、前は出席していたイスラエルも今回は参加していなかった。最終日の全体会議のメインの議題は、各WGのコンペーナからの議論のまとめをResolutionとして確認する作業と、今後の予定の報告である。

WG1の議論では持続可能性の視点での議論が欠けていると指摘された。この「持続可能性とバイオミメティクス」に関する課題は、第3回総会以降、構造・材料の規格化に取り組むWG2においても議論となっていた。そこで、この課題をWG2の議論とは切り離し、WG1において新たに持続可能性に関連する2つプロジェクトをカナダとイギリスを中心に提案することで合意された。

TC266 Biomimeticsが活動を開始してほぼ2年で、ドイツは本国が作成したWG1とWG3の2つの標準原案を国際標準の発行まで持ち込んだことになる。バイオミメティクスと同じく新興の学際領域として展開したナノテクノロジーの国際標準化がISO/TC 229 Nanotechnologiesで議論されているが、2005年

に始まったTC229の道のりに比べて、TC266におけるIS化までの道のりは格段に短い。ドイツは最終日の議決の際に最短のプロセスで原案をIS化する理由としてバイオミメティクス研究開発のVisibilityを上げるため、と述べた。しかし、参加国が納得のゆく十分な議論が尽くされたのかどうか、バイオミメティクスの研究開発とその産業化に資する国際標準が策定されたのかどうか、懸念が残る。

新しいタスクグループの立ち上げを提案

最終日の全体会議(Plenary meeting)で新しいタスクグループ(TG)設置の提案が行われた。なぜ新しいタスクグループ(TG)が必要なのか。2日間にわたる各WGの議論の間および最終日の全体会議の際に、標準原案の内容について十分な議論が尽くされておらず、また各参加国のステークホルダーの意見が反映する術がきちんと整えられていないことがこの国際標準化の問題点として何度も指摘された。今回は初めて参加する代表が多く、新規参加者の率直な視点から、図らずもTC266における不十分なステークホルダー・コミュニケーションが深刻な問題として顕在化していることが露呈した。国内でのバイオミメティクスの標準化に向けた様々な取り組みを行っている、つまりきちんと声を拾っていると考えていたドイツも例外ではなかった。

このような状況を踏まえて、最終日の全体会議においてTC266に新しくTG "Transparency and stakeholder communication"を設けることが関谷氏から提案された。この新しいTGの目標は、標準化作成プロセスの透明性の担保および関係者間のコミュニケーションの促進によって、より良い国際標準を作成することである。工業標準として有用な良い国際標準を作成するためにはどのようなことが必要であるか。一つにはTC266 Biomimeticsでどのような活動が進められているのかきちんと開示し、将来のユーザーとなる企業や消費者、専門的な知識をもつ研究者、手続きに精通した専門家など様々なステークホルダーの間で十分な情報共有を行うことであろう。これは各国代表が国内でのステークホルダーに対しての責任を果たすことでもある。また、TCの責任として発行済み標準のレビューを行う必要がある。透明性の確保と十分なステークホルダー・コミュニケーションはISOもそのガイドラインで取り組みを要請している課題である。

実際の活動は次回の総会からになるが、具体的な取り組みを考えるとき何をもちてステークホルダーと十分にコミュニケーションが取られたかと判断することは容易ではない。しかし、たとえば中国などのようにTC266 Biomimeticsの発足当初から投票権のあるPメンバーとして参加登録をしていながら、一度も議論に参加することなく、投票においては常に賛成票を投じている国が存在している。このようにほぼ習慣的に賛成票を投じることは良い標準を作成することにはつながらないと考えられ、他のTCの活動においてもこのことは問題視されている。

バイオメティクスの研究開発もそうであるが、学際で研究開発が進められる最先端の科学技術では社会的な影響について多くの観点から考察し、課題を抽出し、取り組むことが必須となる。課題の解決の鍵を握るのは関係者間の十分なコミュニケーションである。ISOには透明性の確保やコミュニケーションのための仕組みが準備されているからわざわざ別途取り組む必要はなく、手順を守っていれば自ずと透明性も確保され、コミュニケーションも進むとの意見も出された。しかし、ISOが備えているのはあくまでもツールであって、そのツールを活用して「良い国際標準を作成する」というゴールはTCの活動において、為すままにしておいてもたどり着けるものではない。

新しいTGの提案が行われた際に、より広い公平の視点からも国際標準の作成プロセスでステークホルダーの取りこぼしをできるだけなくすようにすべきであるとの指摘がベルギー代表か

らなされた。具体的にどのような手段で取り組むのかは国内審議委員会、国内のステークホルダー、そしてこの取り組みに関心を示してくれた他国代表とこれからしっかりと詰めてゆかねばならない。日本にとって有用な高い品質の国際標準を作成するために国内のステークホルダーの声をきめ細やかに拾い上げるようにしたい。日本の企業の方々には、「うちには関係ない」と言わず、「うちに関係のある標準を作りたい」とどんどん声を上げていただきたい。

Reference :

- [1] PEN, Vol.5, No.8, pp.4~7(2014)
- [2] 高分子学会 14-2 バイオメティクス研究会要旨集, pp.3-4 (2014)
- [3] PEN, Vol.5, No.8, pp.8~16 (2014)
- [4] PEN, Vol.5, No.8, pp.17~19 (2014)
- [5] PEN, Vol.5, No.8, pp.20~22 (2014)



第4回総会参加者 (Iwiza Tesari 氏撮影)

News and Developments

1. 第12回バイオメティクス国内審議委員会

日時：2015年7月6日

会場：産業技術総合研究所 臨海副都心センター

2. ISO/TC266 第5回総会の開催について

日時：2015年10月19-21日

場所：京都

発行者 公益社団法人 高分子学会 バイオメティクス標準化国内審議委員会

〒104-0042 東京都中央区入船 3-10-9 新富町ビル 6階

Tel : 03-5540-3775、Fax : 03-5540-3737

E-Mail : kobunshi@spsj.or.jp

発行日 2015年6月8日

國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウム
—分子組織化学ならびにナノ高分子科学の創成と発展—

2015年4月17日
東京コンベンションホール



公益社団法人高分子学会

國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウム
—分子組織化学ならびにナノ高分子科学の創成と発展—

日 時：平成 27 年 4 月 17 日（金） 13 時～18 時

会 場：東京コンベンションホール

〒104-0031 東京都中央区京橋三丁目 1-1 東京スクエアガーデン 5F

主 催：公益社団法人高分子学会

共 催：公益社団法人日本化学会，高分子同友会

協 賛：一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会

公益社団法人新化学技術推進協会

文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」

後 援：日刊工業新聞社，株式会社エヌ・ティー・エス

主催者ご挨拶

平成 26 年 11 月 3 日國武豊喜先生（九州大学名誉教授、高分子学会元副会長）が分子組織学開拓の業績により平成 26 年度の文化勲章を受章されました。高分子化学分野からの文化勲章の受章は桜田一郎先生（昭和 52 年：京大名誉教授）、白川英樹先生（平成 12 年、筑波大学名誉教授、ノーベル化学賞受賞者）に次いで 3 人目で、高分子学会としても大変な栄誉であり、心よりお慶び申し上げます。なお國武先生は、高分子化学・分子組織化学の分野で平成 19 年度の文化功労者にも選ばれています。

國武先生は九州大学工学部合成化学科（現九州大学工学研究院応用化学部門分子教室）においてカチオン重合の機構解明、高分子触媒の開発、合成二分子膜の発見と合成二分子膜化学の様々な分野への展開、新しいナノハイブリッド材料の開発に関して多くの輝かしい研究業績をあげられました。それらは数多くの論文として公表されています。國武先生の多くの研究成果は現在の超分子化学や分子の自己組織化の化学、ナノ高分子科学の礎となっており、世界的に高い評価を受けています。本シンポジウムでは國武先生の分子組織学ならびにナノ高分子科学に関して、構造材料、エレクトロニクスからバイオメティクス、医療・生物学分野までの広範な視点から第一線の研究者により最先端の研究に関してご講演いただきます。このシンポジウムにより國武先生の先駆的な自己組織化研究の様々な先端材料分野の化学・工学に対する影響力の大きさとともに先生の展開された基礎研究の重要性を改めて認識しております。

國武先生が、これからもますますご壮健で、研究が発展の途を辿りますよう、高分子学会員を代表してお祈りします。

高分子学会会長 高原 淳

高分子学会におきましては、本会会員・終身会員である國武豊喜先生の平成 26 年度文化勲章受章を記念して、『國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウム』を企画開催することにいたしました。

國武豊喜先生の文化勲章受章は、「分子組織化学」の国際的な学術潮流を生み出すとともに我が国の科学技術の発展に多大なる貢献をした功績によるものであり、「分子組織化学」の学術的な重要性と産業技術への展開を広く世の中に紹介することは高分子学会の社会的使命であります。今般は、「分子組織化学」がもたらした学術の潮流と産業への展開について、ナノテクノロジー、自己組織化、バイオメティクス等の幅広い領域における最先端の研究開発事例を紹介していただくとともに、「分子組織化学」ならびにナノ高分子科学がもたらす我が国科学技術の将来展望を産官学で共有する場としたいと存じます。

『國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウム』実行委員会

プログラム

13:00~13:10

開会の挨拶 高原 淳 (高分子学会会長)

13:10~13:20

来賓挨拶 川上 伸昭 (文部科学省 科学技術・学術政策局局长)

13:20~13:50 基調講演

「分子組織化学の発展」

國武 豊喜 (九州大学名誉教授 北九州産業学術推進機構 理事長)

最先端の研究開発事例の紹介

13:50~14:20 招待講演 1 ナノバイオメディカル分野

「高分子の自己組織化に立脚したドラッグデリバリーシステム」

片岡 一則 (東京大学大学院工学系研究科・医学系研究科)

14:20~14:50 招待講演 2 エレクトロニクス分野

「自己組織化エレクトロニクス実装技術」

中川 徹 (パナソニック株式会社 エコソリューションズ社
先進コンポーネント開発センター)

14:50~15:20 招待講演 3 生物学・医療分野

「バイオミメティクスとしての NanoSuit®法」

針山 孝彦 (浜松医科大学医学部)

15:20~15:50 招待講演 4 構造材料分野

「しなやかなタフポリマー：自動車から見たタフな高分子への期待」

原田 宏昭 (日産自動車株式会社 総合研究所 研究企画部)

15:50~16:00 休憩

16:00~16:30 招待講演 5 ナノ材料分野

「ナノチューブアーキテクニクス 二分子膜から一分子膜へ」

清水 敏美 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)

16:30~17:00 招待講演 6 分子組織化学分野

「分子の自己組織化に基づくフォトン変換システムの構築」

君塚 信夫 (九州大学大学院工学研究院)

17:00~17:30 招待講演 7 ソフトナノ界面分野

「界面の分子組織化：ナノ界面計測と摩擦研究への展開」

栗原 和枝 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構・多元物質科学研究所)

17:30~18:00 招待講演 8 将来展望

「自己組織化ナノテクノロジーがもたらす新しい科学技術の世界」

亀井 信一 (株式会社三菱総合研究所)

18:00~

閉会の挨拶 秋吉 一成 (記念シンポジウム実行委員長)

國武豊喜先生の文化勲章受章のお祝い

國武豊喜元高分子学会副会長が、平成 26 年度文化勲章を受章されました。文化勲章は、11 月 3 日（文化の日）に発令され、宮中において天皇陛下から親授されました。分子組織化学を開拓するとともに、新たな分子組織材料の形成手法の開拓に取り組むなど、斯学の発展への多大な貢献が称えられました。

長年の先生のご功績に対する栄えあるご受勲、誠にありがとうございます。高分子学会の会員一同より、心よりお祝いを申し上げます。今後とも一層ご活躍されますよう、祈念申し上げます。



左からお二人目（國武先生よりご提供写真）

國武豊喜先生略歴：1960 年九州大学大学院工学研究科修士課程修了、ペンシルバニア大学化学専攻に進学。62 年に Ph.D. 取得し（ペンシルバニア大学）、博士研究員としてカルフォルニア工科大に在籍。63 年九州大学工学部助教授着任、74 年から 99 年まで同大学教授。この間、92 年から 94 年まで九州大学工学部長を歴任。99 年から 08 年、北九州市立大学教授および副学長、99 年から 07 年まで理化学研究所 グループディレクターも務める。07 年株式会社ナノメンブレンを設立し、代表取締役 最高技術責任者。08 年より北九州産業学術推進機構理事長、現在に至る。このほかに、現 JST「国武化学組織プロジェクト」総括責任者（88～92 年）、「超分子プロジェクト」代表研究者（92～97 年）、さきがけ研究 21「組織化と機能」領域総括（99～07 年）、「先導的物質変換領域」研究総括（12 年～現在）、日本化学会（95～96 年）、高分子学会の副会長（96～97 年）。受賞は、79 年高分子学会賞、91 年日本化学会賞、92 年久留米市文化賞、96 年向井賞、99 年紫綬褒章、高分子科学功績賞、01 年日本学士院賞、07 年文化功労者、11 年瑞宝重光章など多数。

文化勲章 Order of Culture



文化勲章は、昭和 12 年に制定され、我が国の文化の発達に関して顕著な功績のあった者に対して授与される勲章です。受章者は、文化審議会に置かれる文化功労者選考分科会に属する委員全員の意見を聴いて文部科学大臣から推薦された者について内閣府賞勲局で審査を行い、閣議に諮り、決定されます。毎年 11 月 3 日の文化の日、宮中において天皇陛下から親授されます。

勲章のデザインは、橘の五弁の花の中央に三つ巴の曲玉を配し、鈕（章と綬の間にあるもの）にも橘の実と葉が用いられています。

*引用：内閣府の web より

文化勲章を受章して 高分子学会と私

國武豊喜 九州大学名誉教授

去る11月3日皇居で行われた親授式で文化勲章を受章した。誠に光栄であり、思いがけないことであった。翌4日には宮中でのお茶の会に招かれ、天皇家の皆様と昼食をともにする機会となった。平成26年度の文化勲章受章者は、ノーベル物理学賞を受賞した日本人トリオのうちの中村修二教授、天野浩教授を含めて合計7名であった。二日間の皇居での行事を通じて、このお二人や文楽の竹本住太夫師匠など他の受章者との会話は印象深く残っている。

高分子学会は私が九州大学の学生であった1960年頃からの主な研究発表の場であった。その後も長年にわたって、年会や討論会に出席して国内外からの新しい成果に刺激され、多くの研究仲間と交わり、また、自分の発表に対する反応に一喜一憂してきた。私の研究人生は高分子学会と共にあったと言っても過言ではない。その意味で、会誌「高分子」にこの度の受章に当たっての感懐を述べる機会が得られたのは嬉しい。

工学部応用化学科の卒業研究で私に与えられたテーマはポリエステル縮合反応過程の追跡であり、大学院修士課程での研究テーマはシクロペンタジエンのカチオン重合であった。引き続きフルブライト留学生として在学した米国のペンシルバニア大学では、C. C. Price教授の下でポリフェニレンオキシドの重合を研究した。当時、新しい高分子の開発や重合機構の解明は高分子化学の中心的課題であった。私が学生として実施した研究テーマもその時代を反映したものである。

しかし私の中では、生物化学と化学との境界領域への関心が高まっていた。そのきっかけは、学生時代の指導教授でテルペン化学の研究者でもあった秋吉三郎先生が、染料化学の講義の折に生物化学の面白さ、重要性を説いておられたことにある。したがって、ペンシルバニア大学の博士課程を終わったとき、カリフォルニア工科大のC. G. Nieman教授が博士研究員を募集していたのは実に幸運であった。Niemanグループの主な研究対象は、さまざまなペプチド基質の構造と反応性の対応から加水分解酵素であるキモトリプシンの活性中心の立体構造を推測することであった。まだタンパク質の立体構造が不明な時代で、正に群盲象を撫ず、の有様であった。

九州大学の一員となつてからは、高分子合成の研究の傍ら、加水分解酵素のモデルとなる高分子触媒の開発を目標とした。キモトリプシン分子は水溶性であるにもかかわらず、活性中心への基質の結合には疎水性が重要な役割を果たす。数年間の苦闘の後、望みとおりの触媒活性をもつポリマーを見つけることができた。さらに、我々は2官能性触媒や基質結合性を組み込んだ高分子触媒を開発し、世界的な競争となっていた酵素モデル開発で優位に立つようになった。しかしより進んだモデル化では、ダイナミックな糸まり構造をもつ合成高分子を用いて、精密な折りたたみ構造からなる酵素分子の構造を再現しなければならない。界面活性剤は柔らかい球状ミセルとなるが、これを水溶性高分子と組み合わせても球状タンパク分子のような挙動は示さない。

酵素分子の際立った特異性が分子レベルの精密な組織構造に由来することを考えると、それまでの手法では実現できないことが明らかとなり、新しい分子組織の探索が必要となった。きっかけとなったのはSingerとNicholsonがそれより数年前に発表していた生体膜の構造仮説、Fluid Mosaic Modelであった。私はこれを知って、生体脂質よりも単純な人工分子からも自己組織的な2分子膜の形成が可能であると推測した。これがその後大きく展開することになる合成二分子膜の始まりであった。我々はこれらの成果の多くを高分子学会で発表した。これに対し、二分子膜は低分子の組織体であり、真の高分子とは考えられないとする意見もあったようである。しかし、膜組織の分散体は安定であり典型的な高分子と同様な挙動を示す。かつて、H. Staudingerがコロイド粒子に対し高分子説を提唱したとき、それに対する反論は分子会合説であった。共有結合で繋がれていても共有結合によらない分子会合であっても、巨大分子系であればコロイド的性質を示す。今では自明のことである。我々の発表を違和感なく受け入れてくれた高分子学会の懐の深さにいまでも感謝している。

(本会会員・終身会員)

高分子の自己組織化に立脚したドラッグデリバリーシステム

東京大学大学院工学系研究科・医学系研究科
片岡 一則



高分子の合成化学は近年大きな進展を遂げ、高精度の連鎖制御が可能な「精密重合法」という一大研究領域が形成されている。中でも、性質の異なる高分子の連鎖を直列に連結したブロック共重合体は、連鎖間の相溶性が低い事に起因する特異な物性を生起する。我々は、これまでブロック共重合体の自己組織化により形成される数十 nm スケールの超分子集合体（高分子ミセル）を薬物送達システムへ展開する研究に取り組んできた。高分子ミセルには、多彩な DDS 機能を賦与する事が可能である。すなわち、i) 生体の異物認識を免れて疾患部位へ効率良く薬物を送達し、ii) 外殻先端にリガンド分子を導入することで標的細胞認識能を高め、iii) 生体の局所環境シグナルに応答するセンサー構造を導入することで、目的部位特異的な薬物放出等が実現される。現在、我々が開発した抗がん剤内包高分子ミセルは、2 品目が臨床試験の最終段階へ到達し、薬剤としての実用化が目前に迫って来ている。高分子ミセルの内核には、遺伝子や核酸医薬を内包することも可能であり、今後、遺伝子治療や核酸医薬を用いた分子標的治療への展開も期待される。本講演ではこの様な高分子ミセル医薬の特徴と将来展望について紹介する。

自己組織化エレクトロニクス実装技術

パナソニック（株）エコソリューションズ社
先進コンポーネント開発センター
中川 徹



近年、我々の生活に広く浸透しつつあるスマートフォン、タブレット端末、ノートパソコン、デジタルカメラ等の小型情報機器は莫大な微小エレクトロニクス部品から構成されており、これらは表面実装機を用いて高速かつ正確に回路基板に実装されている。今後、情報機器の小型化と高機能化の要求はさらに進み、それに伴い、部品のさらなる微小化と点数の増大が進むものと予想される。一方、現在の表面実装機は 0.2mm×0.4mm の微小部品を高速で実装する能力を持つが、ダメージを与えることなく高速で実装できる部品の大きさは限界に近づきつつある。

我々は、サブ μm ～サブ mm の大きさの部品を基板の所定の位置に同時に配置可能な、表面実装法とは原理が全く異なる実装方法の開発を進めている。この方法は、撥水性と親水性の領域を形成した基板表面に、水、および、微小部品を分散した“インク”をそれぞれブレードを用いて塗布することからなる。部品は、水とインクの界面で生じる界面張力によって自己組織的に親水性の領域に配置される。本講演では、シリコンナノワイヤ（長さ 15 μm 、0.1 μm ϕ ）とモデル部品（一辺長 10～100 μm のシリコン板）の配置例と、この技術の今後の展開について述べる。

バイオミメティクスとしての NanoSuit®法

浜松医科大学医学部
針山 孝彦



微細構造の観察／解析には、走査電子顕微鏡が有効な機器として用いられているが、高倍率・高分解能で表面微細構造を観察する場合、試料を高真空環境に曝さなければならない。生物試料では、水分やガスなどが奪われて微細構造は容易く変形する。出来るだけ生きたままの像を得るためには、さまざまな化学的前処理を生物試料に施した後に乾燥操作を施したり、あるいは真空度を下げるなどの機器側の開発が行われたりしてきたが、前者は微細構造が崩れ後者は解像度が下がるなどの問題が生じる。我々は、生きたままの生物の電子顕微鏡観察は不可能だという考えを払拭し、生物がもつ真空耐性を増強する技術として、生物が体表にもつ細胞外物質、あるいはバイオミメティクスの発想による疑似細胞外物質に、電子線またはプラズマ照射することで重合促進しナノ薄膜を形成させ、高真空下で観察することに成功した。この全身を覆って生物を保護するこの薄膜構造を NanoSuit®と名付けた。その後、疑似細胞外物質を拡張し、界面活性剤、糖類、アミノ酸類などの生体適合性薬品で作成できることを確認し、これらの薬品調合の最適化を図った。NanoSuit®法の活用によって、生物学および医療分野の研究の発展に大きく寄与できる。

しなやかなタフポリマー：自動車から見たタフな高分子への期待

日産自動車（株）総合研究所 研究企画部
原田 宏昭



持続可能な社会を築く為に自動車産業は、資源・エネルギーの枯渇、地球温暖化、都市化に伴う渋滞、交通事故といった諸課題を解決していかなければならない。この中で高分子材料は、伝統的な強みである軽量性、柔軟性、デザイン性を活かした内外装材への適用にとどまらず、より高機能性や高信頼性を要求される部材への適用が期待される。本講演では、内閣府革新的技術開発プログラム(ImPACT)にて進められる「超薄膜化・強靱化/しなやかなタフポリマー」の開発が、自動車を革新するブレークスルーとなることを述べる。

ImPACT ではタフポリマーの適用先として、①燃料電池用電解質膜、②リチウムイオン電池用セパレータ、③CFRP 用樹脂、④樹脂ガラス、⑤タイヤ に取り組む。リチウムイオン電池用セパレータを例にとれば、その薄膜化は電池積載容量アップを可能にし、EVの航続距離拡大をもたらす。またタフな物性は活物質の充放電に伴う体積変化に耐え、耐久信頼性を向上する。次世代電池には一層の高エネルギー密度、急速充電、安全性、高耐久性が求められるため、超タフな物性を有する超薄膜セパレータ用のタフポリマーの登場が待たれる。

ナノチューブアーキテクニクス 二分子膜から一分子膜へ

国立研究開発法人産業技術総合研究所
清水 敏美



グリーンイノベーションやライフイノベーションなどの社会的課題の解決に貢献し、持続性社会を実現する革新的技術の一つとして、的確な分子を設計、合成し、制御して集積化、複合化するボトムアップ技術の重要性が叫ばれている。我々は、サイズ、次元、形態などに関する情報が分子設計という過程で的確にプログラムされた両親媒性分子が、ある液相媒体中で自発的に、構造制御された中空ナノシリンダーに自己集積することを数多く見いだしてきた。本講演では二層あるいは単層一分子膜構造を基盤とする有機ナノチューブに焦点をあてる。従来の多層二分子膜構造を基盤とする内外表面官能基が同種類の有機ナノチューブと比較して、一分子膜ナノチューブは中空内径のサイズ制御が可能、中空内表面の多様な官能基化が可能となり、種々の生体高分子に対する包接、拡散、放出、安定化などの機能を発現する。二つの異なる親水部をもつ非対称ボラ型両親媒性分子を中心に、選択的に一分子膜構造を形成するための結晶多形や層状多形の制御、中空状ウイルス構造に学ぶ一分子膜構造の選択的構築、および細胞内分子シャペロン機能に学ぶ合成有機ナノチューブのリフォールディング機能などに関して紹介する。

分子の自己組織化に基づくフォトン変換システムの構築

九州大学大学院工学研究院・分子システム科学センター(CMS)
君塚 信夫



地球規模のエネルギー危機到来に備え、地球上に降り注ぐ太陽エネルギーを高度に利用する技術の開発は、人類の存続を賭けた命題である。光子束密度の低い太陽光の可視～近赤外光領域を人工光合成や光触媒、太陽電池の高性能化に有効利用するためには、光子エネルギーの変換が必要であり、近年、我々は分子の自己組織化に基づく新しいフォトン・アップコンバージョン(UC)システムの開発に成功した。すなわち、アクセプター(エミッター)分子を自己組織化させた構造中において高効率の三重項エネルギー・マイグレーションを実現することにより、低励起光強度条件下における高効率のTTA-UCを達成した。本講演では、分子凝縮系としてアントラセン系を含む液体アクセプター(無溶媒)系¹⁾、ならびに分子組織化系としてオルガノゲル系²⁾におけるTTA-UCシステムの開発について述べる。驚くべき事に、これらの分子凝縮系、分子組織化系においては、酸素存在下においてもTTA-UCが発現し、後者においては三重項エネルギーの拡散速度は $6.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ と極めて高い値を示した²⁾。1) P. Duan, N. Yanai, N. Kimizuka, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 19056. 2) P. Duan, N. Yanai, H. Nagatomi, N. Kimizuka, *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 1887.

界面の分子組織化：ナノ界面計測と摩擦研究への展開

東北大学原子分子材料科学高等研究機構&多元物質科学研究所
栗原 和枝



固-液界面の理解は、先端の科学技術の鍵である。我々は、二つの表面間の相互作用を直接測定する表面力測定により、固-液界面の現象に多くの新奇な知見を得ている。例えば、シリカ表面に非極性溶媒からエタノールのような水素結合性分子が吸着するとき、水素結合により 10 nm オーダーの厚みを持つ分子組織体の形成を見いだした。巨視的な相互作用の分子的な起源の解明としても初めての例である。この現象を用い、無欠陥の高分子薄膜を自己組織的に調製した。

また、金属等の不透明試料を測定できる唯一の装置（ツインパス型表面力装置）を実現し、電池等で重要な電極表面の評価ならびに界面の分光測定に研究を展開している。

ナノ空間に閉じ込められた液体の特性はバルクとは大きく異なり、その解明が望まれている。独自に開発した共振ずり測定を用いると、液体の厚みをナノメートルで変えながら、粘度や潤滑特性の厚み依存性を評価できる。最近の注目される結果として、液晶の電場配向への閉じ込めの影響（配向が変化しない）、イオン液体の潤滑性の違いの検出とシミュレーションによる機構解明、各種潤滑油の評価などがあり、摩擦研究（トライボロジー）への利用も進んでいる。

自己組織化ナノテクノロジーがもたらす新しい科学技術の世界

(株)三菱総合研究所
亀井 信一



現在、わが国は多くの困難に直面している。資源が乏しく、燃料、食料を輸入できなければ直ちに立ち行かなくなる不安定な先進国であるのにも関わらず、一方の輸出の基盤を担ってきた製造業の競争力が失われ、存在感が急速に希薄になりつつある。これを打ち砕くためには従来とは全く異なる発想の転換が必要である。これまでのモノづくりには、外から熱を加えて溶かし固めたり、削ってのばしたりする工程を経るものが多かった。特に半導体製造プロセスの多くは、大規模な真空装置を用いた製造法がとられてきた。これらのプロセスでは、多大なエネルギーと資源の投入が必要であり、省資源や省エネルギーとは掛け離れた世界が展開されてきた。21 世紀型のモノづくりは、サステイナブルで環境調和型のものが求められる。その期待が、自己組織化ナノテクノロジーに向けられている。究極のモノづくりとは、モノの持っている本質的な性質を最小のエネルギーで取出すことであろう。近年、出口志向が声高に叫ばれ、ともすると基礎研究が軽視されそうになるが、自然を愛でるといふ哲学に基づくモノづくりの実現は、産業的な期待のみならず、新しいサイエンスの世界をも切り拓くことが期待されている。

高分子学会からのお知らせ

＜募集＞ 高分子論文集

特集号＝分子組織化学－國武豊喜先生文化勲章受賞記念－

高分子論文集では、分子組織化学につながる研究を概観し、更なる科学・技術の発展への道標とすべく、特集号を企画いたしました。分子組織化学の源流となった合成二分子膜に関する研究、自己組織化に関する研究、超分子化学に関する研究、さらにはそれらの発想の源でもあるバイオミメティクスに関わる研究など、幅広いご投稿を募集いたします。

＜対象＞ 分子の自己組織化、超分子化学、バイオミメティクスに関わる研究、バイオインスパイアードマテリアル、分子組織化と分子間力に関する研究など、基礎から応用に至る分子組織化学に関連する研究を幅広く対象といたします。

＜発行予定＞ 2016年1月25日 / 3月25日 [Vol. 73, No. 1, No. 2 (2016)]

＜詳細＞ 高分子論文集4月号、高分子5月号に掲載

＜問合せ先＞ 高分子論文集編集委員会 E-mail : online-koron@spsj.or.jp

＜予告＞ 高分子

特集号＝自己組織化の進展：現象論からテクノロジーへ 2015年10月号

大きな分子集合体や異質物質の混合体、液体の流れ、ネットワーク、再帰的プログラムなどには、秩序だった構造やダイナミクスが自発的に発現することがある。我々には、それはあたかも構成単位が自ら働いて秩序をつくりだしているように見える。これらの多種多様な分野に見られる自己組織化現象は、古くから学術的に研究されてきたが、現象論の域を出ない場合がほとんどであった。ところが、15年前にナノテクブームが起り、原子や分子団を操ることができるツールとして脚光を浴びることになった。ここでは、現象論からテクノロジーとして成長してきた自己組織化を振り返る。

最近の記事（國武豊喜先生）

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| 「是非、若手に読んでもらいたい本」 | 高分子 62 卷 11 月号 (2013) |
| 「研究室を立ち上げた若手研究者へ」 | 高分子 62 卷 1 月号 (2013) |
| 「Biomimetic Chemistry の歴史から学ぶ」 | 高分子 60 卷 5 月号 (2011) |

会員は、e! 高分子でバックナンバーを閲覧できます。

<http://main.spsj.or.jp/c5/kobunshi/kobunshi.php>

協力団体

旭化成ケミカルズ株式会社	積水化学工業株式会社
株式会社エア・リキード・ラボラトリーズ	DIC 株式会社
株式会社エイアンドティー	帝人株式会社
株式会社エヌ・ティー・エス	日本ゼオン株式会社
国立研究開発法人海洋研究開発機構	株式会社日立製作所
協立化学産業株式会社	富士フイルム株式会社
三洋化成工業株式会社	三井化学株式会社
JSR 株式会社	三菱レイヨン株式会社
住友化学株式会社	株式会社 LIXIL
住友ベークライト株式会社	

國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウム実行委員会

委員長	秋吉 一成	京都大学
副委員長	下村 政嗣	千歳科学技術大学
	朝隈 純俊	住友ベークライト株式会社
	浅沼 浩之	名古屋大学
	飯田 和利	株式会社エア・リキード・ラボラトリーズ
	井須 紀文	株式会社 LIXIL
	岩元 隆志	旭化成ケミカルズ株式会社
	太田 一成	高分子同友会
	尾上 慎弥	協立化学産業株式会社
	加藤 慎治	DIC 株式会社
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所
	國武 雅司	熊本大学
	桑原 広明	帝人株式会社
	佐野 正人	山形大学
	白鳥 和彦	株式会社積水インテグレートドリサーチ
	白山 義久	国立研究開発法人海洋研究開発機構
	進藤 泰之	一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会
	田脇新一郎	サンメディカル株式会社
	鶴田 博之	三洋化成工業株式会社
	豊原 清綱	帝人株式会社
	中村 史夫	公益社団法人日本化学会
	橋口 裕一	JSR 株式会社
	平川 慎一	ゼオンポリミクス株式会社
	平坂 雅男	公益社団法人高分子学会
	広瀬 治子	帝人株式会社
	福島 洋	三菱レイヨン株式会社
	萬 尚樹	株式会社東レリサーチセンター
	宮内 昭浩	株式会社日立製作所
	村山 茂樹	株式会社日刊工業新聞社
	柳 裕之	株式会社トクヤマ
	山口 智彦	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	山崎 英教	富士フイルム株式会社
	山下 祥二	京セラ株式会社
	吉田 隆	株式会社エヌ・ティー・エス
	吉田 博史	株式会社日立製作所

(敬称略)

國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウム 要旨集

発行日 2015年4月17日

発 行 公益社団法人高分子学会

〒104-0042 東京都中央区入船3-10-9 新富町ビル

TEL: 03-5540-3770

所属班：産学連携グループ

所属機関：(株)LIXIL R&D 本部 分析・評価センター

氏名：井須紀文

第 64 回高分子学会年次大会 特別セッション「高分子・今・未来」に参加して

2015 年 5 月 29 日に札幌コンベンションセンター（札幌市）で開催された第 64 回高分子学会年次大会特別セッション「高分子・今・未来」において、「バイオミメティクスが拓く技術革新」のセッションが開催された。オーガナイザーの下村代表からバイオミメティクスの国内外の最新研究開発動向を交えた開会挨拶に引き続き、領域メンバーを含む 5 名の招待講演が行われた。

・「自然に学ぶものづくり -カタツムリと住宅材料-」 LIXIL 井須紀文

地球環境への負荷低減のために 2050 年に CO₂ 排出量 80%削減を目標に、生物や地球に学んだ研究開発の事例について講演が行われた。カタツムリの殻は表面凹凸構造によって親水性を発揮しており、その構造に学んだ防汚・抗菌技術の開発が行われている。メンテナンスなど使用時のエネルギー削減効果について紹介が行われた。また、土の細孔構造に学んだ自律型調湿タイル、開発中の超耐久性真空断熱材について冷暖房エネルギーの削減効果を交えて報告が行われた。

・「光学とバイオミメティクス ～モスアイ®フィルム～」 大日本印刷 山下かおり

周囲に溶け込み天敵から身を守り、月光の微量な光を効率的に取り入れるために発達したといわれる蛾の目を模倣した超低反射フィルムモスアイ®について、シミュレーションを用いた設計、フィルムの凹凸構造と反射特性についての講演が行われた。実際のフィルムは耐久性や使用環境を考慮して反射特性が設計されている。また、反射率だけでなく、表面凹凸構造の制御による超撥水性、抗菌性などの取り組みについても紹介が行われた。

・「第 3 の産業革命とバイオミメティクス」 三菱総合研究所 亀井信一

今後の日本のモノづくりを変革するための、バイオミメティクス分野が果たす役割と期待について講演が行われた。第 1 の産業革命は生産性の飛躍的向上、第 2 の産業革命は IT およびインターネット革命、そして第 3 の産業革命はアトム（現実）とビット（デジタル・情報）の融合と考えている。資源を輸入し、工業製品を輸出する日本にとって、モノづくりの競争力を確保する事は将来も必要であり、ICT とデジタル・ファブリケーションのネットワーク化に向けた、生態系システムの応用可能性について述べられた。

・「バイオミメティクスの国際標準化動向」 大阪大学大学院 齋藤彰

2011年にドイツ主導で発足したTC 266 バイオミメティクスの最新動向について、ISOの分かりやすい解説を含めた講演が行われた。TC266の4つのWGについて(このうちWG4は日本が提案)、活動内容と進捗状況の紹介が行われた。先生が国内会代表を務めるWG1では定義と概念について議論が行われており、バイオミメティクス3原則(機能分析、モデル化、技術転換)に基づく事例分類の困難さが紹介された。また、日本に比べ、欧州では教育面、産業面でのバイオミメティクスの熟成が進んでいる事も紹介された。

・「情報科学が繋ぐ生物とものづくりーバイオミメティクス・画像検索システムの理論と実現ー」 北海道大学 長谷山美紀

バイオミメティクス分野の継続的な発展を支援するための『バイオミメティクス・画像検索基盤』開発についての講演が行われた。バイオミメティクスは生物学と工学や医学などの異分野が連携する事が必要であるが、専門用語が異なるため言葉による情報検索は困難となる。そこで発想支援型の画像検索理論に基づいて『バイオミメティクス・画像検索基盤』の開発を進めており、生物学者による昆虫類のSEM画像と材料のSEM画像の類似性検索のデモを交え、現在の開発状況の紹介が行われた。

特別セッションは、注目技術分野である「しなやかなタフポリマーの実現」、「再生医療を支える高分子材料」、「先端科学産業からのメッセージ」、および「バイオミメティクスが拓く技術革新」の4セッションが年次大会の会期3日間に渡り開催された。本セッションは最終日であったにも関わらず、300名を超える幅広い年齢層が参加しており、今後の展開が期待される分野であることを実感した。

(5) 新聞・報道

【新聞・報道】

総括班

(1) 日刊工業新聞 (2015年4月20日)

「國武九大名誉教授、文化勲章記念シンポジウムで講演」

平成27年4月17日に東京コンベンションホールで開催された、國武豊喜先生文化勲章受章記念シンポジウムー分子組織化学ならびにナノ高分子科学の創成と発展ーが報道されました。本領域もシンポジウムを協賛しています。

(2) 日刊工業新聞 (2015年5月18日)

「生物模倣技術で分科会 NBCI 日立など16社参加」

バイオミメティクスの活用にあたり、ナノテクノロジービジネス推進協議会 (NBCI) がバイオミメティクス分科会を設立しました。

(3) 日経産業新聞 (2015年6月12日)

2015年6月12日の日経産業新聞「先端技術(テクノトレンド)」に、神崎亮平先生 (B1-5班)、劉浩先生 (B1-5班)、石井大佑先生 (B1-2班) の研究が紹介されました。

「小動物の体内機構に学ぶ ロボやセンサー用途多彩」

(抜粋) 東京大学の神崎亮平教授 (B1-5班) は、カイコガの能と触覚を搭載したロボットを開発した。

(抜粋) 千葉大学の劉浩教授 (B1-5班) らは、ハチドリが空中で静止「ホバリング」を微笑モーターで再現した。

(抜粋) 名古屋工業大学の石井大佑特任助教 (B1-2班) らは、フナムシの脚の構造に学び、動力を使わずに水を吸い上げる新素材を開発した。

A01班

(1) 朝日新聞 (2015年5月22日)

「『芸術家』のフグ、新種10選に」

国立科学博物館の松浦啓一先生 (A01班) が発表したアマミホシゾラフグが「世界の新種トップ10」に選ばれました。海底に直径2メートルの幾何学構造の円形産卵巣 (ミステリーサークル) を作る体長12センチほどのシッポウフグの仲間です。アリ塚など、生物は構造物を作りますが、生態系バイオミメティクスにとっても重要な発見です。

B01-2 班

- (1) 日経産業新聞 (2015 年 6 月 4 日)

「動力使わず水吸い上げ 名古屋工大 フナムシの脚まね 新素材」

名古屋工業大学の石井大佑特任助教 (B1-2 班) らは、海辺に生息するフナムシの脚の構造をまね、動力を使わずに水を吸い上げる新素材を開発した。手のひらサイズのチップで薬の合成や血液の分析をする際に、チップ内の流路に液体を流す微小ポンプとして使える。細胞培養で培養液を常時入れ替える器具も実現が見込める。企業と共同で 3 年後の実用化を目指す。札幌で開催された第 64 回高分子学会年次大会で発表した。

C01 班

- (1) 南海日日新聞 (2015 年 4 月 8 日)

「『五つの島の力』生かそう」

(6) アウトリーチ活動

【アウトリーチ活動報告】

- (1) 2015年4月17日、東京コンベンションホールにて國武豊喜先生（評価グループ）の文化勲章受章記念シンポジウムが開催されました。

<http://www.spsj.or.jp/entry/annaidetail.asp?kaisaino=1033>

(7) 各種案内

BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

丸山宗利（九州大学 総合研究博物館 助教）

「昆虫のすごい生活」

2015年6月6日（土）

会場：紀伊國屋書店 札幌本店 1階インナーガーデン

札幌市中央区北5条西5丁目7番地 sapporo55ビル

時間：午後2時から午後4時

世界に数百万種が生息するといわれる昆虫は、姿形だけでなく、暮らし方も多種多様だ。驚くべきことの一つに、われわれヒトが文明的に行っていることの多くは、昆虫がすでに行っているということである。戦争しかり、農業しかり、果ては恋愛の方法しかりである。その起源がヒトとは別だが、ヒトの行動に重なるところが非常に大きい。本講演では、われわれが下にみがかない昆虫による生活様式の驚くべき多様性について紹介したい。



丸山宗利

昆虫はすごい

光文社新書
710

サイン会のお知らせ

市民セミナー終了後に丸山先生のサイン会を予定しています。会場でも著書を販売しますが、既にご購入の方も著書ご持参の上、奮ってご参加下さいませ。

主催：北海道大学総合博物館
共催：科学研究費 新学術領域「生物規範工学」
高分子学会北海道支部
協賛：千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター

北海道大学総合博物館
060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
問合せ先：TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029
E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

BIOMIMETICS

バイオミメティクス・市民セミナー

石井大佑 (名古屋工業大学若手研究イノベータ養成センターテニユアトラック 助教)

「フナムシから着想を得た 流路の設計と応用」

2015年7月5日(日)

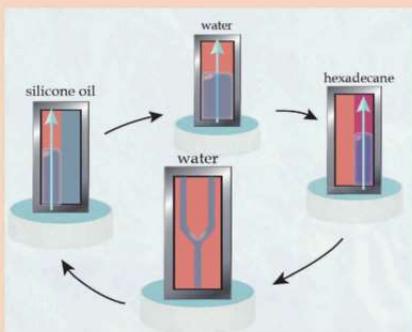
会場：北海道大学学術交流会館 / 第3会議室
札幌市北区北8条西5丁目

時間：午後1時30分から午後3時30分



水とオイルは相溶性が無く混じり合いません。しかし、多くの場面で水とオイルが混在することに起因した問題が起きています。例えば、海水への船舶からの油漏れやアスファルトからしみ出た油と雨水による環境汚染、より日常的には、焼き肉から漏れ出た余分な油など、環境問題から身近な生活まで多岐にわたります。ありふれた現象ですが、水とオイルを分離することは、表面や界面に働くエネルギーが深く関与するため、非常に困難であり、手間と時間を要します。

本研究は、この問題を解決するための糸口となる水とオイルの省エネルギー分離プロセスの構築を、フナムシの脚の微細流路からヒントを得て解決することを目指します。



(a) フナムシの微小流路と水輸送現象



(b) フナムシの構造を模倣した微小流路と水輸送現象



主催：北海道大学総合博物館
共催：科学研究費 新学術領域「生物規範工学」
高分子学会北海道支部
協賛：千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター

北海道大学総合博物館

060-0810 札幌市北区北10条西8丁目

問合せ先：TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029

E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

BIO Mimetics

バイオミメティクス・市民セミナー

渡邊高志 (熊本大学 薬学部 薬用資源エコフロンティアセンター・センター長 / 高知工科大学 地域連携機構・連携研究センター・補完薬用資源学研究室・室長)

「環境とイノベーション：農工医連携によるフィールドデータサイエンス」

2015年8月2日(日)

会場：紀伊國屋書店 札幌本店 1階インナーガーデン

札幌市中央区北5条西5丁目7番地 sapporo55ビル

時間：午後2時から午後4時

世界の植物の種数は23万5500種から50万種といわれ、その多くの種の化学成分は未知の状態であると考えられている。薬用にできる植物の割合は約1割の4万から5万種と推測されている。日本には5千から6千種の維管束植物が自生しており、そのうち600種が有用植物と考えられることから、さらなる植物の薬用利用には効率的な植物資源の発掘戦略が重要である。総務省SCOPEによる助成研究として、知的認識データベース「ルピナス(Lupines)」による未利用植物資源の発掘を進め、地域の豊かな植物資源の利用研究を行っている。未だに治療法が解明されていない疾病に対する治癒力を高める植物を補完薬用植物とみなし、それらの潜在能力を判定するための品質評価を実施している。今回は環境とイノベーションという大題目でフィールドデータサイエンスについて紹介したい。



地域の豊かな植物資源

夢の扉⁺プラス

NEXT BOOK

あきらめない人が
心に刻んだ

24

の言葉

2015年7月10日発行

↑↑↑↑↑
↑↑↑↑↑
↑↑↑↑↑
↑↑↑↑↑

NTT出版

主催：北海道大学総合博物館 北海道大学総合博物館
共催：科学研究費 新学術領域「生物規範工学」 060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
高分子学会北海道支部 問合せ先：TEL. 011-706-2658 FAX. 011-706-4029
協賛：千歳科学技術大学バイオミメティクス研究センター E-mail: museum-jimu@museum.hokudai.ac.jp

サイン会のお知らせ

市民セミナー終了後に渡邊先生のサイン会を予定しています。会場でも著書を販売しますが、既にご購入の方も著書ご持参の上、奮ってご参加下さいませ。

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



「生物多様性を規範とする革新的材料技術」ニュースレター Vol. 4 No. 1

発行日 2015年7月13日

発行責任者 下村政嗣（東北大学）

編集責任者 穂積 篤（国立研究開発法人 産業技術総合研究所）

制作 「生物規範工学」領域事務局

北海道大学電子科学研究所内

〒001-0021 札幌市北区北21条西10丁目

電話 011-706-9360 FAX 011-706-9361

URL <http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/index.html>