

第1回

Biomimetics Seeds

バイオミメティクス・ シーズ研究会

—生物における
工学的側面の探求—

要旨集

2026年

2月12日(木)

in 京都大学総合博物館
講演室

$$P(f|X) \propto P(X|f)P(f)$$

主催

バイオミメティクス・シーズ研究会
(京都大学 橘 悟、京都大学 西川 星也)

プログラム

日時：2026 年 2 月 12 日（木）13:00-17:00

会場：京都大学総合博物館 講演室

13:00 開会の挨拶

13:05 講演＋若手発表 前半の部

13:05-13:25○イボトビムシにおけるラフネス構造と表面機能の検証
(京都大学 地球環境学堂 研究員 橘悟)

13:25-13:45○セミの翅から着想を得た多機能発現表面「NanoSpike®」の紹介
(関西大学 システム理工学部 教授 伊藤健)

13:45-14:05○シルバーアントを模倣した遮熱表皮の開発
(トヨタ紡織株式会社 内外装先行開発部 グループ長 井沢有希)

14:05-14:25○鯨類に特異的に見られる肋骨骨折の成因の探究
(名古屋大学 環境学研究科 博士後期課程 中山晃輔)

14:25 休憩

14:30 博物館の見学と収蔵資料の紹介

15:20 休憩

15:25 講演＋若手発表 後半の部

15:25-15:45○協調運搬学の創出に向けて -アリから学ぶ-
(京都大学 大学院生命科学研究科 特定講師 西川星也)

15:45-16:05○昆虫の曲面形態形成の原理に学ぶ工学
(京都大学 工学研究科 助教 森川健太郎)

16:05-16:25○鯨類からみる背ビレの段階的な機能と進化の解明
(名古屋大学 環境学研究科 博士後期課程 岡村太路)

16:25 閉会の挨拶・写真撮影

開催趣旨

生物の巧みな機能をヒントに新たな技術を創出する「バイオミメティクス」は、近年様々な分野で注目を集めています。そして、バイオミメティクスの最も根幹にある技術シーズ（＝種）は生物学研究です。しかし、生物学と工学を横断的にとらえた研究に触れる機会は限られています。そこでバイオミメティクス・シーズ研究会では、生物がもつ不思議な機能やそこに秘められた工学的原理の魅力を発信していきます。生物の特徴を多角的視点から深く理解することを促進し、バイオミメティクス研究の活性化を目指します。本研究会が、技術課題解決の糸口を生物学研究から見いだすための拠点になれば幸いです。

要旨

※若手口頭発表者は希望により要旨掲載なし

イボトビムシにおけるラフネス構造と表面機能の検証

※橋 悟 (京都大学地球環境学堂)、伊藤 健 (関西大学システム理工学部)

1. はじめに

超撥水性や自己洗浄性をもつ生物表面が、近年大きな注目を集めている。ハスなどの植物だけでなく、セミやシロアリなど一部の節足動物も高機能な表面を有する。昆虫よりも原始的な生物群であるトビムシ目 (Collembola) では、コレステロール含有層により防汚機能をもつ種が報告されている¹⁾。機能に関連して体表の微細構造も検証されている。

本研究では、より複雑な形態をもつイボトビムシ (Neanuridae) に着目した。凹凸のない表面に顆粒状突起が並ぶトビムシとは異なり、イボトビムシは、高さ約 50 μm のイボの表面に、頂部に二次顆粒をもつ高さ数 μm の突起をもつ種が多い (図 1)。このような多階層構造により、イボトビムシはトビムシよりも強力なもしくは異なる機能を発揮している可能性がある。

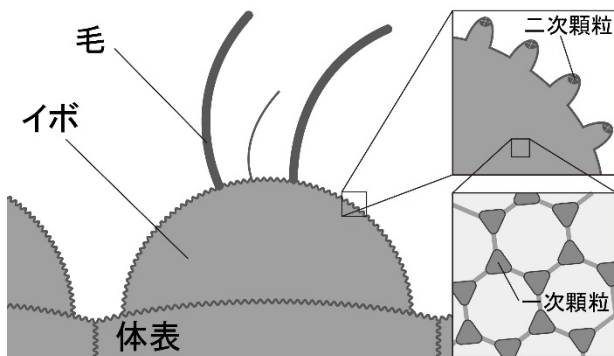


図 1 イボトビムシの体表模式図

2. 実験方法

京都市吉田山で採集した *Deutonura sp.* (ヒメイボトビムシ亜属の一種) と *Folsomia sp.* (フォルソムトビムシ属の一種) を FE-SEM で構造を観察し、接触角計 (DMo-502、協和界面科学) で動的接触角を測定した。液種は、純水と、界面活性剤水溶液として 5 % (w/v) SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) を使用した。

3. 結果

Deutonura sp. は明確に大きなイボを持たないが、高さ約 3 μm の突起をもち、長さ約 100 μm の毛が規則的に生えている (図 2-A)。

Folsomia sp. はイボや微細な凹凸をもたないが、約 50-150 μm の毛を多数もつ (図 2-B)。

純水を用いた体後方への前進角は、*Deutonura sp.* では $158.7 \pm 7.4^\circ$ 、*Folsomia sp.* では $153.0 \pm 7.6^\circ$ であり、二種とも強い撥水性を示した。SDS 溶液では、*Folsomia sp.* に対しては濡れ広がり、液が一部付着したが、*Deutonura sp.* では目に見える付着が確認されなかった。

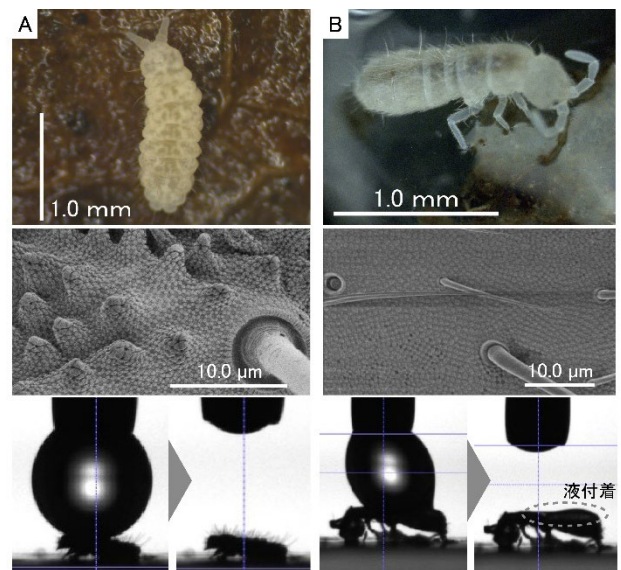


図 2 A : *Deutonura sp.* と B : *Folsomia sp.* の体表および SDS 溶液との接触の様子

4. 考察

SDS 溶液の結果から、イボトビムシはトビムシよりも強力な撥液性をもつ可能性がある。後進角測定時に液滴が毛にひっかかる現象がみられたこと、背に乗った微小液滴は数本の毛で支えられ表皮最表面には触れていないことから、イボトビムシの体表機能を議論するために、毛の表面形状と成分などを検証する必要があると考えている。

イボトビムシから得られる知見を工学的に応用して、様々な液種に対する高機能な表面材料開発への貢献が期待される。

参考文献

1) Friedrichs J. et al. (2023) Nature 618, 733–739.

セミの翅から着想を得た多機能発現表面「NanoSpike®」の紹介

※伊藤 健 (関西大学システム理工学部)

1. はじめに

セミの翅には規則的なナノ構造体が無数に形成されている。この構造体により、ハスの葉と同様に超撥水、自己洗浄作用を持つ。また、蛾の目と同じように光に対して反射低減作用を持つことで周囲の環境に身を隠すことができる。さらに、表面に付着した細菌を死滅させる殺菌効果を有している¹⁾。

私達は、このように1つの構造のみで様々な機能を発現する表面が SDGs 達成に寄与すると考え、規則配列を持つナノ構造表面を「NanoSpike®」と命名し、人工的に再現することに取り組んできた。また、殺菌発現のメカニズム解明に関する研究にも取り組んできた。本稿では、その一部について紹介する。

2. 実験方法

国内に生息する主要な4種のセミ (ミンミンゼミ、クマゼミ、アブラゼミ、ニイニイゼミ) を捕獲し、それらの翅表面を走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察し、ナノ構造体の特徴を得た。一方、これらの情報を基にコロイダルリソグラフィとメタルアシストケミカルエッチングを用いて Si 基板上に規則的なナノ構造体を作製した²⁾。

これらの試料に対して殺菌性を評価するために、大腸菌を用いて膜損傷による生死判定 (Live/Dead assay) 及び JIS Z2801 を参考にした抗菌試験を実施した。

3. 結果と考察

各セミの翅の SEM 像を図 1 に示す。透明な翅の表面には規則的なナノ構造が認められるが、アブラゼミやニイニイゼミの一部では、不規則な構造であることが分かった。また、クマゼミとミンミンゼミの構造の寸法は同等であるが、アブラゼミの寸法は透明な翅にあるナノ構造の約 5 倍の大きさであることがわかった。透明な翅のナノ構造の寸法は、可視光に対して波長の 1/2~1/4 程度の寸法であることから、反射低減のためにこの寸法になっていると考え

られる。一方で、アブラゼミの場合には、翅に色がついていることから反射低減以外の機能が発現すればよいと、比較的大きなサイズの構造ができていないものと推測される。

これまでは、中心間距離 (ピッチ) が小さく、アスペクト比 (高さ/直径) の大きなナノ構造の方が殺菌性は強いとされてきたが³⁾、殺菌作用の評価の結果、上記構造の寸法に寄らず、細菌は 40 分でほぼ全滅することが分かった。また、Si ナノ構造でも殺菌性と抗菌性が確認された。これらの結果を踏まえ、現在はより汎用性が高く、大量生産に向いている樹脂を使った NanoSpike® の作製に取り組んでいる⁴⁾。先の大阪関西万博では、A4 サイズのフィルムに NanoSpike® を加工したものを展示した。今後は、実際のアプリケーション開発に取り組んでいく予定である。

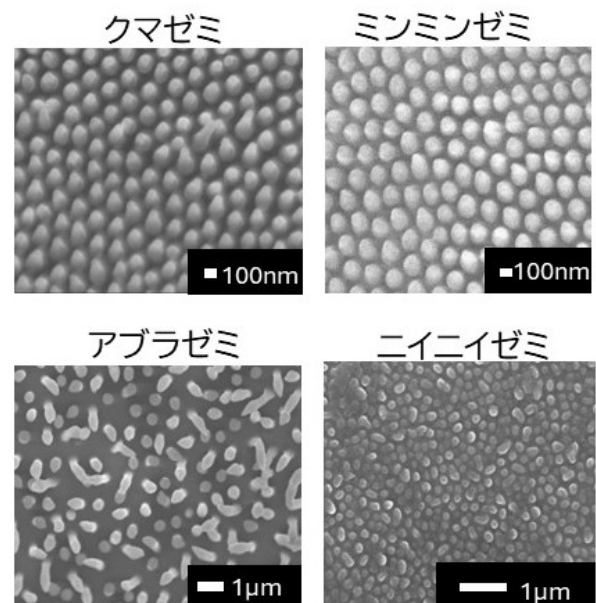


図 1 4 種類のセミの翅表面の SEM 像

参考文献

1. E. P. Ivanova, et al., *Small*, 8 (2012), 2489.
2. T. Ito, et al., *ECS Trans.*, 75 (2017), 1.
3. S. M. Keller, et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 8 (2016), 14966.
4. N. Ogawa, et al., *J. Photopolym. Sci. Tech.*, 35 (2022), 213.

シルバーアントを模倣した遮熱表皮の開発

※井沢有希 (トヨタ紡織(株)), 宮崎健司 (同左)

1. はじめに

真夏の屋外環境下では, 自動車の内装部品の温度は 90°C 近くの高温になり⁽¹⁾, 乗員に不快感を与える. 近年, 電気自動車の普及が加速しており, 走行中の空調システムによるエネルギー消費が課題となっている.

この課題に対し, バイオミメティクスによる解決を試みた. 生物が有する, 限られたエネルギーおよび物質資源を効率的に用いて環境へ適応する機構は, 現代社会が直面する環境問題に対する新たな解決策として応用可能性を有する. 本件では自動車内装の表皮(ファブリック)に生物の構造模倣を適用し, 太陽光による温度上昇を抑止する製品を開発した.

2. 実験方法

開発に際し, サハラ砂漠に生息するアリであるシルバーアントの体毛構造に着目した. シルバーアントは背面に生えた体毛により, 体温上昇を抑制している. その体毛構造は, 1 辺が約 $2\mu\text{m}$ の△断面を持つ体毛を密集させ, かつ表面が微細な凹凸構造になっている. これにより, 拡散反射を促進する可能性がある⁽²⁾(図1).

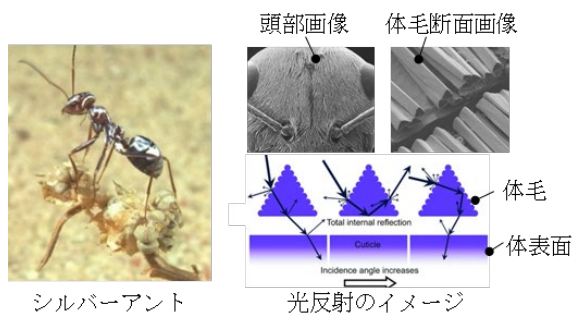


図1. シルバーアント体毛の特徴

表皮試作では, 表面の微細な凹凸を化学繊維で再現することが困難であったため, 三角形の断面形状とサイズの2点を再現した場合に, 遮熱効果が得られるかを検証した. 透過型照明シミュレーションCADを用いて繊維断面のサイズと断面形状(円形と三角形)の違いによる効果を, 透過比(%)を比較し検証した.

次に, アリの体毛を模した数 μm オーダーの三角断面の繊維を用いて織物を試作し, 自動車

部品を想定してポリプロピレン樹脂板に表皮を貼り合わせた. 樹脂板に熱電対を設置し, 上部から真夏の太陽光相当の $1000\text{w}/\text{m}^2$ の光をレフランプで照射した. 昇温が一定になるまで20分間, 経時的に測定し, 既存表皮と比較することで, 開発品の遮熱効果を確認した⁽³⁾.

3. 結果

シミュレーションの結果, 表面に凹凸がなくても, 繊維断面のサイズが小さいほど, 透過比が低くなり, さらに断面形状が円形よりも三角形の方が, 透過を抑えられる傾向があることが確認できた.

また, 太陽光相当の光を照射した遮熱効果の検証においては, 既存表皮と比較し, 温度上昇を抑えることができた. 昇温が安定し, 一定の温度になる20分後の温度差は約 20°C となった.

4. 考察

生物をヒントに製品として再現可能な特徴のみを再現することで, 遮熱機能を引き出すことができた. 実車想定での効果についても検証中だが, 手段や熱の出入りの検証に難航しており, 継続して取り組みたい. また自動車内装材に限定せず, 自動車以外の製品分野への展開の可能性についても追及していきたい.

参考文献

- (1) 福田 猛: 実測による気象環境と車内内装部品温度の関係性の解明, 自動車技術会論文集 Vol. 49, No. 4, p862-867 July (2018), 20184483
- (2) Norman Nan Shi: Keeping cool: Enhanced optical reflection and heat dissipation in silver ants, Science, vol. 349, p. 298-301 (2015)
- (3) 青木 俊央: 内装材への遮熱機能付与, トヨタ紡織 Technical review Vol. 06, p49-53 (2012)

協調運搬学の創出に向けて -アリから学ぶ-

西川 星也 (京都大学 大学院生命科学研究科 附属生命情報解析教育センター・CIREDIS(兼務))

1. はじめに

我々ヒトやロボットは、一人では運ぶことのできない大きな物体を協力して運搬することができる。こうした協調的な運搬行動（協調運搬）では、各運搬ユニットが持つ情報を共有することで高度な連携が行われる。ヒトやロボットの協調運搬は、個々の運搬ユニットが高性能であり、多くの情報を全てのユニットが共有している。加えて、全ユニットの状態を把握する上位ユニットを用意することも可能である。一方、災害現場や極限環境で活動するロボットでは、ユニットの故障や紛失が前提とし、個々の運搬ユニットの性能（≒コスト）を最低限にするというアプローチも考える。そのため、達成目標とする運搬の難易度に合わせた最低限のユニット性能を知ることが重要となる。そこで本研究では、任意の協調運搬を達成可能な個々のユニットの性能はどのようなものか？について明らかにすることを研究目的とする。

2. 実験方法

本研究では個々のユニットが極めて高性能な協調運搬（ヒト）と極めて低性能な協調運搬（細胞）の中間的な協調運搬であるアリが行う餌の集団運搬に着目する。多くのアリは1個体では運べないサイズの餌を取り囲み、その端を顎で掴むことで協調運搬を行う。個々の個体はヒトよりも低性能であり、高度な情報伝達手段も未所持でありながら、彼らは巧みな協調運搬が可能である。アリの協調運搬は種によって運搬の巧みさや参加ユニット数が異なり、発揮できる力もばらつきがあるため、中間的な領域についての広範囲な解析も期待できる。そこで、本研究ではアリの協調運搬メカニズムの解明を通して、ユニット性能と達成可能な協調運搬の関係について幅広く理解を深めることを行う。

協調運搬時に、それぞれのアリがどのくらいの力を発揮しているのかについて、直接計測することは難しい。本研究では、アリが餌を協調運搬する映像から個々の個体が発揮している力を推定する手法を構築し、推定した力よりアリの協調運搬について明らかにする。力の推定

のために、アリの協調運搬を複数の力が作用する剛体運動であるとみなし、並進と回転の運動方程式を立てる。ここで剛体の運動・回転速度や質量は計測可能であり、未知数は力の大きさと向きである。アリが発揮する力の向きは個体の向きを中心にとらつくという自然な仮定を導入することで、MAP (maximum a posteriori) 推定より個々のアリが発揮している力を推定する。

3. 結果

アリのデータについて解析する前の準備段階として、人工的な3個体の運搬シミュレーション結果について、力の推定を行なった。その結果、多くの場合には高精度で推定が可能なものの、手法上苦手な配置があることが明らかになった。この配置について条件を調べたところ、① 複数の個体が非常に近くに配置される ② 複数の個体の力の作用方向が真反対に近い関係にあり、配置も対面上にいる、の二つの条件において、推定精度が下がることが判明した。

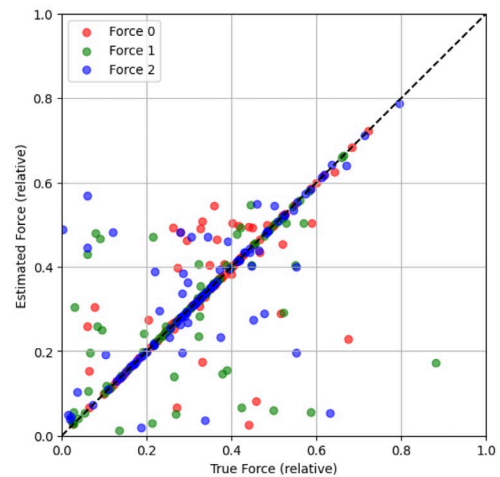


図1 力の推定結果

4. 考察

シミュレーションデータの結果、提案手法には苦手とするアリの配置が存在することが明らかになった。ただし、今回の解析では全てのサンプルの推定について、同じ事前分布を使用している。この事前分布に、アリの配置という情報自体を含めることで、この欠点を回避することが期待される。

昆虫の曲面形態形成の原理に学ぶ工学

*森川健太郎 (京都大学工学研究科)

1. はじめに

自然界には、多様な曲面形状が存在する。特に、昆虫の角などの外骨格形状は、顕著に立体的で複雑な形状を示す。角が形成される頭部領域の形状は、幼虫の段階では単純で平坦に近いものであるが、蛹になる脱皮の際に、突如として立体的な角が現れる。この蛹化の過程では、幼虫頭部体内に予め形成された袋状の皺構造が、エアバッグを膨らませるように展開される。この形成様式の興味深い点は、展開して目標形状となるものを皺状に折り畳んだ状態で形成することである。皺構造の形成は、シート状の組織が細胞増殖で成長する過程である。形成の初期段階では、組織は幼虫の頭部に沿った平坦な形状をしているが、細胞増殖を通して立体的な角（が折り畳まれた皺構造）へと成長する。

本研究では、この形成様式について、二つの着眼点からその原理を理解し、工学応用の可能性を示す。着眼点の一つ目は、目標曲面形状を如何にして皺構造にエンコードするのかという皺の設計原理である。二つ目は、初期には平坦に近い形状の組織が、どのようにして曲面へと成長するのかという立体化の原理である。

2. 実験方法

本研究では、幾何学的な観点から曲面形態形成の原理を理解する。まず、皺の設計原理については、曲面形状を皺形状に写す変形の写像を構築する問題として定式化する。曲面と皺は、皺を伸ばすという操作で関係している。この伸びの変形は、皺の折り目を展開する方向にのみ起こり、折り目に沿った方向には伸びない。すなわち、曲面を皺に写す変形は、各点近傍での変形が一方向的であるという特徴を持つ。従って、この特徴を持つ写像を構築することで、曲面を皺にエンコードすることができる。

立体化の原理についても、変形の写像を構築する問題として定式化する。本研究では、立体形成過程において、細胞増殖頻度に空間的な偏りがあるという観察に基づき、成長率

の分布が曲面形状を決めると仮定した。この仮定の下では、成長前形状を成長後の曲面形状へ写す変形は、各点近傍の変形が面積変化率というスカラー量で特徴づけられる、等方的なものとなる。従って、成長前後の形状間に等角写像を構築することで、その変形を実現する面積変化率分布を得ることができる⁽¹⁾。

3. 結果

皺の設計原理のデモンストレーションとして、曲面形状データを用意し、それに対して皺設計の写像を数値的に構成した (図 1 A-1)。さらに、得られた皺構造を 3D プリントし、手で展開することで、目標曲面形状が得られることを確認した (図 1 A-2)。

立体化の原理についても、曲面形状データに対して等角写像を数値的に構成した (図 1 B-1)。さらに、得られた面積変化率分布を材料に実装することで、その面積変化によって目標曲面形状が得られることを確認した (図 1 B-2)。

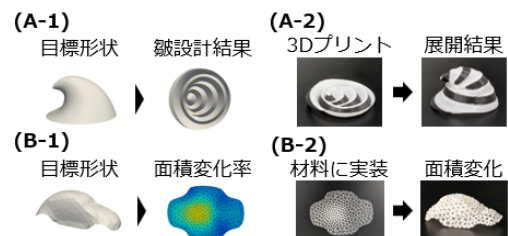


図 1 数値計算および物理実装の結果

4. 考察

立体的な曲面形状に対し、皺や平面の形状は、空間的なコストを下げるができる。この利点は、折紙工学のように宇宙や生体内での応用可能性を期待させる。本研究は、平面の折りで作りに得る可展面だけでなく、任意の曲率を持つ曲面を形成できる点で、新たな工学へつながることが期待される。

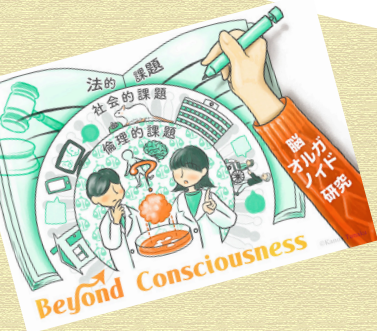
参考文献

(1) K Morikawa (2023) Journal of Theoretical Biology, 575, 11650.

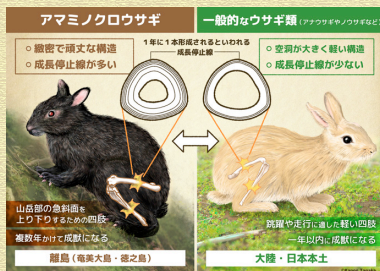
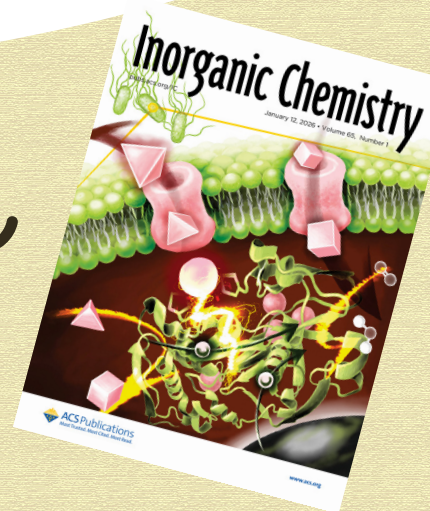
ライトアップコンサルティング株式会社は、
バイオミメティクスシーズ研究会の活動を
応援しています。

国内外の学術機関や企業から個人の方まで
100 件以上のご依頼にお応えしてきました

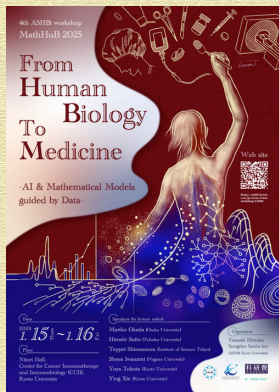
こちらのバイオメテックスシーズ研究会のチラシを担当させていただきました！



サイエンスを可視化し デザインで伝える



プレスリリース用の
イラストやグラフィカルアブストラクト



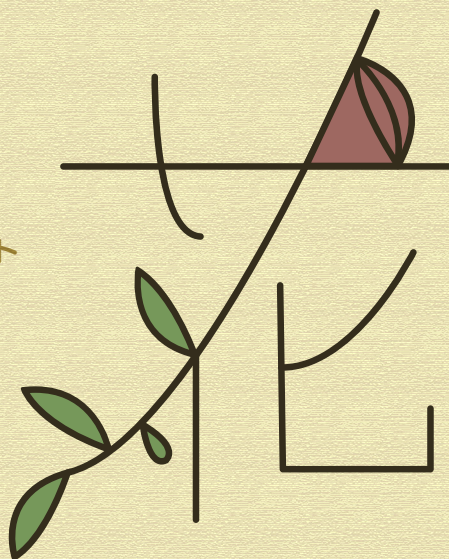
チラシや名刺
などのデザイン



ロゴマーク



KURENAI 公開支援システム



Kanon Tanaka
田中 花音

サイエンティフィックイラストレーター
グラフィック & WEB デザイナー



動画



グッズ



WEB サイト



ウェブサイトはこちらから

料金の目安などがポートフォリオに記載されているほか
works にてこれまでの作品例を見ることができます

kanontanaka-illustration-webdesign-science.com

バイオミメティクスは、未来を変える

生物をきっかけに創られたテクノロジー

人類は古くから、生物の形や構造、機能をヒントに様々なものづくりを行ってきた。そのような技術は人知れず人間の生活を支えており、今もまた新しい技術が生まれようとしている。

地球に住む先達である生物に学んだ技術開発「バイオミメティクス」は、どこまで広がるのか？ 未来をどのように変えるのか？

バイオミメティクスの歴史や定義、生物をきっかけとして誕生した驚くべき技術、アイデアを生み出す思考、そして新しい技術につながる生物学研究の可能性。誰もが気軽にバイオミメティクスのおもしろい世界に触れられる、最先端の入門書。

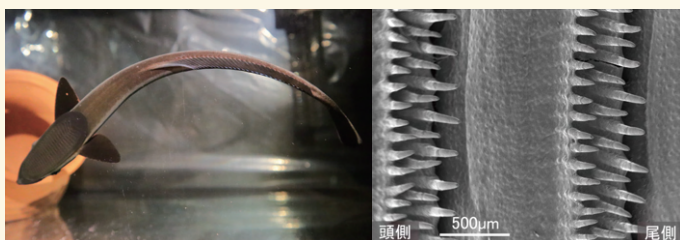
第1章 わたしたちの生活を支えるバイオミメティクス

- ・アリの“毛”で日光をはねかえし、温度上昇を防ぐ
- ・センザンコウのウロコを参考にした医療用ロボット
- ・快適な移動はフナクイムシのおかげなど

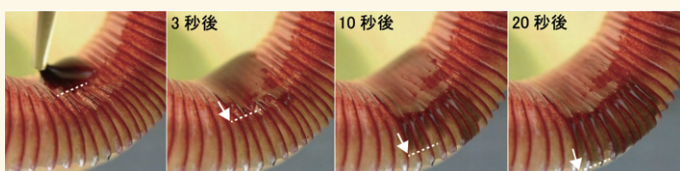
第2章 バイオミメティクスを見つけよう

第3章 未来の社会を創るバイオミメティクス

- ・自分で土に埋まる種と人工種子キャリア
- ・あらゆるものにひっつくコバンザメと吸盤の構造
- ・渡り鳥のくの字が飛行機の省エネに！など



コバンザメと吸盤



ウツボカズラのペリストームに水を垂らすと、外側に広がる



橘悟 著

WAVE 出版

2024 年 12 月 発売

定価：本体 1,800 円＋消費税

ISBN：4866214953

Amazon



事例紹介では、生物学要素と工学要素をそれぞれ執筆することで、生物のおもしろさやどの部分の生物学が技術の参考になったのかを分かりやすく表現している。第2章では、著者自身のバイオミメティクス基礎研究(手法論)の内容であり、技術と生物の「橋渡し」となるような「どのようにアイデアを探すのか」という部分にスポットを当てた。

Biomimetics changes the future

第一回バイオミメティクス・シーズ研究会要旨集 2026
Proceedings of 1st Biomimetics Seeds Meeting

第一回バイオミメティクス・シーズ研究会
1st Biomimetics Seeds Meeting
2026 年 2 月 12 日 京都

主催：バイオミメティクス・シーズ研究会
(京都大学 地球環境学堂 橘悟、京都大学 生命科学研究科 西川星也)
Biomimetics Seeds Research Group
e-mail: biomimetics.seeds@gmail.com

運営補助：中橋和甫（京都大学 農学部）
チラシイラスト・デザイン：田中花音

■協力

京都大学総合博物館

■外部資金情報

京都大学むすびめ 2025（代表：西川星也）
服部報公会 工学研究奨励援助金（代表：橘悟）
科研費「研究活動スタート支援」（代表：橘悟）

■協賛

ライトアップコンサルティング株式会社