

# バイオミメティクスを取り巻く課題

—国際標準化および産業展開を中心として—

平坂雅男 (公益社団法人高分子学会常務理事)

## *Key Issues Surrounding Biomimetics: Standardization and Industrialization*

Masao Hirasaka  
Executive Director, The Society of Polymer Science, Japan

【要旨】 ドイツは、ドイツ技術者協会 (VDI) のガイドラインを原案として、国際標準化機構にバイオミメティクスの国際標準化を 2011 年に提案した。そして、新しい専門部会が発足し、3つの作業部会 (WG) で継続して審議を行ってきた。バイオミメティクスの国際規格は、ISO 18458: Biomimetics-Terminology, concepts and methodology, ISO 18459: Biomimetics-Biomimetic structural optimization, および、ISO 18457 Biomimetics-Biomimetic materials, structures and components であり。この国際規格の概要について報告する。また、バイオミメティクスの産業展開の動向についても報告する。

【キーワード】 バイオミメティクス 国際規格 標準化 産業動向 イノベーション

【Abstract】 Germany proposed new standards for biomimetics to International Organization for Standardization based on the technology guidelines of the Association of German Engineers. New technical committee was established and three working groups of the committee had carried out standardization of biomimetics. International standards of biomimetics are ISO 18458 (Terminology, concepts and methodology), ISO 18459 (Biomimetic structural optimization), and ISO 18457 (Biomimetic materials, structures and components). Outline of these international standards are explained. In addition, the industrial trends of biomimetics are described.

【Keywords】 Biomimetics International Standard Standardization Industrial Trend Innovation

## 1. はじめに

バイオミメティクスは、生物の構造や機能を模倣し工学的に応用する技術であり、最近、再び脚光を集めている。この背景には、ナノテクノロジーの発展に伴う分析技術や加工技術の進歩がある。さらに、環境技術として、バイオミメティクスが着目されたことも大きな要因である。

米国の Janine Benyus が *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* を 1997 年に出版し、過酷な 21 世紀の問題を解決するために、自然が保有するアイデア

アを活用することを提唱した。そして、人間が自然の生態系の限界を無視し、土地の活用や過度なエネルギー消費を生み出した社会に対して、エコロジーの観点から自然模倣技術の可能性を言及している。一方、ドイツでは、バイオミメティクスの中核団体となる BIONIKON (Bionik-Kompetenz netz) が 2001 年に設立され、2004 年に団体登録された。国内では、2012 年に活動を開始した高分子学会のバイオミメティクス研究会が中核となり、国際標準化や啓蒙活動を推進している。

産業面では、古くは、ゴボウの実が犬の毛に付着する機能を解析し面ファスナーが発明されている。

そして、衣料分野では、蓮の葉が水をはじく機能を模倣した撥水布地、そして、サメ肌の低抵抗を応用した高速水着など多くの製品が開発されている。最近では、ドイツの産業用ロボットメーカーがバイオミメティクスの活用を積極的に行なっており、BionicANTsと呼ぶ自律分散型のロボットを開発している。このような動きは、生物の構造や機能の模倣だけでなく、生態系バイオミメティクスまで技術が発展していることを示すものであり、旧来のバイオミメティクスは新しいステージに移行している。そして、このような環境の変化の中、バイオミメティクスの国際規格が設定され市場拡大が始まろうとしている。

## 2. 国際標準化の動き

国際標準化機構（ISO：International Organization for Standardization）は、スイスのジュネーヴに本部を置く国際規格を策定するための非政府組織であり、20000以上の国際規格を発行している。国際規格による国際標準化は、製品の互換性や製品・サービスの安全性の確保により国際貿易を促進し、そして、市場拡大を図ることを目的としている。しかし、最近では技術の普及、産業競争力の強化、環境保護などの新たな局面を迎え、ビジネスに国際規格を活用する動きが活発化している。日本では、「知的財産推進計画2010」において国際競争力を向上させるための戦略的な国際規格の獲得が施策となり、国際標準化活動を強化する取り組みが行なわれている。

バイオミメティクスの標準化は、2007年にドイツ技術者協会（VDI：Deutscher Ingenieure）とドイツ連邦環境基金（DBU：Deutschen Bundesstiftung Umwelt）がバイオミメティクスの技術的なルールとなるガイドラインの作成に着手し、2011年にVDIガイドラインを発行したことから始まる<sup>1</sup>。そして、ドイツ規格協会（DIN：Deutsches Institut für Normung）は、2011年5月にISOに対して、バイオミメティクスに関する新しい専門部会（TC：Technical Committee）の設立を提案した。第266番目の技術委員会としてISO/TC266 Biomimeticsの設置が投票

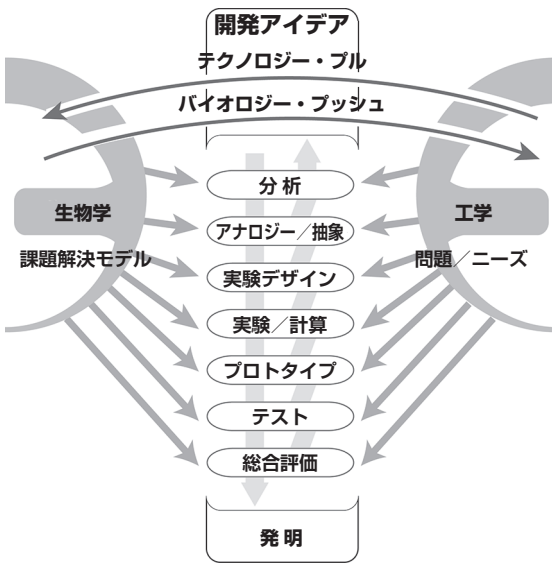
により決定され、ドイツ、フランス、ベルギー、チェコ、日本、韓国、中国、英国、オランダの9カ国が参加を表明し、第1回総会が2012年にベルリンで開催された。国際規格は、ドイツのVDI6220, 6223, 6224のガイドラインを原案とし、3つの作業部会（WG）で継続して審議が行なわれてきた。そして、国際規格として、ISO 18458：Biomimetics-Terminology, concepts and methodology および ISO 18459：Biomimetics-Biomimetic structural optimization が2015年に発行され、また、ISO 18457：Biomimetics-Biomimetic materials, structures and components が2016年に発行された。

日本は、2013年5月にパリで開催された第2回総会において、「バイオミメティクスのための知識基盤」に関する新たな提案を行なった。そして、知識基盤の構築を目的とした4番目のワーキンググループ（ISO TC266 WG4：Knowledge Infrastructure for Biomimetics）が発足した。現在、新業務項目提案（New work item proposal）を審議し、技術報告（Technical Report）として発行することが合意されている。日本の最終目的は知識基盤の構築により、グローバルな規模でのバイオミメティクスに関する知識データを獲得し、日本が保有する発想支援システムを用いて、製品開発を促進することである。

### 2.1. バイオミメティクスの概念

バイオミメティクスの国際標準化の特徴は、市場が形成される前段階での標準化作業であり、発展段階のバイオミメティクスの市場形成を阻害することがないように、概念の標準化から始まっている。バイオミメティクスの概念、用語、方法論が、ISO 18458で定義された。バイオミメティクスには、図1に示すように生物の機能からヒントを得てスタートするバイオロジー・プッシュ型と、工学上の問題点の解決策を生物に求めるテクノロジー・プル型がある。これらのプロセスにおける3つの重要な要件は、①生物の機能の解析が行なわれていること、②規範となる生物の機能やシステムを抽象化しモデル化していること、③生物そのものを利用することなく工学への技術展開が行なわれていることである。生物そのものの機能を用いるバイオテクノロジーを

図1 バイオメティクスの製品開発プロセス



除外することにより、バイオメティクスとバイオテクノロジーを区別している。

## 2.2. 製品開発

製品開発のためにバイオメティクスの基盤となる生物の機能をどのように活用するかについては、その考え方やプロセスなどがISO 18457に記載され、材料、構造、表面、部品、製造技術の開発のためのバイオメティクスのフレームワークが提供されている。

生物学的材料の特性は、多機能であり、また、耐衝撃や耐損傷、自己修復や洗浄などの自己機能、環境適合性・適応性、そして、生物がいくつかの組織で形成されているようなモジュール機能がある。例えば、木の幹に注目すると、水および代謝物のための輸送機能、蓄積機能、および光合成での作業負荷に対する機械的安定性を兼ね備えている。このような生物の機能を、国際規格では(1)材料、(2)プロセス、(3)自己機能(自己洗浄、自己修復など)、(4)センサー、(5)流体力学、(6)省エネ・省資源、(7)環境適応性、(8)行動・生態に分類している。また、各分類に対して具体的な事例も記載されている。このような生物の機能の分類だけでなく、生物の機能解析についても説明が行なわれていることから、生

物を規範として製品開発を行なう標準的なプロセスが示されている。

## 2.3. 構造最適化手法

構造物の設計と評価に関するバイオメティク的な構造最適化の手法に関する国際規格が、ISO 18459である。部品の軽量化のための構造最適化のアルゴリズムの普及を促進することを目的とし、特に、ドイツで用いられているCAO(Computer Aided Optimization)、SKO(Soft Kill Option)、CAIO(Computer Aided Internal Optimization)などについて記載されている。例えば、SKOの生物学的モデルは骨で、骨は負荷を受けながら成長する過程で、破骨細胞と骨芽細胞による複雑な骨形成プロセスおよびリモデリングが行なわれている。その結果、応力を受ける部分と応力の影響が少ない部分では、骨の組織密度が異なる。SKOは、骨形成をモデルとして、剛性に影響がない領域では使用する材料を削減し軽量化するという設計コンセプトに由来する構造最適化アルゴリズムである。実際、SKOは、メルセデスがハコフグの構造を模倣して作製したコンセプトカー(Bionic Car)の構造設計に用いられている<sup>2</sup>。

## 2.4. 知識基盤

日本から提案の知識基盤の構築は、生物学と工学で用いられている言語体系が異なることから、専門領域の異なるデータを結び付けるためにシソーラスやオントロジーを活用することから始まった。そして、生物学と工学の研究者を結び付けるオントロジー強化型シソーラスを基盤とする国際標準化の作業を行なっている。オントロジー強化型シソーラスについては、北陸先端科学技術大学の溝口理一郎の開発コンセプトにもとづいている<sup>3</sup>。このオントロジー強化型シソーラスとあわせて、製品開発者が求める工学的機能を実現する可能性のある生物種までのパスを探索するキーワード・エクスプローラーの開発も日本では進んでいる<sup>4</sup>。例えば、キーワード・エクスプローラーでは、機能概念→性質→生物種のような連想パスが明示され、生物種を探索するのみでなく、この連想パスから新たなアイデアが生まれることが期待されている。

標準化では、オントロジー強化型シソーラスを中核とする技術報告書を日本から提出することになるが、日本で開発が進んでいる発想支援システムそのものを公開する予定はない。国際標準化といっても、オープン・クローズ戦略が必要であり、国際規格はバイオメティクスの知識情報を収集するための基盤とし、日本が先行する発想支援システムについては国際競争力の源泉とすべきと考えている。

### 2.5. 持続可能性

欧州でバイオメティクスが活発化していることは、環境問題との関係が深く、バイオメティクスの国際規格においても、「バイオメティクスは、より持続可能なイノベーションの可能性を提供する」と記載されている。しかし、これまでのバイオメティクスの概念である自然の構造模倣だけでは、持続可能性に必ずしもつながらない。そこで、TC266の国際標準化会議においても、バイオメティクスの効果の検証と共に、持続可能性や環境評価について議論が始まっている。このバイオメティクスの持続可能性における役割に関する提案は新たな潮流であり、各国の環境政策と深く関係することから、環境分野でのバイオメティクスを利用した各国の競争戦略を反映し、大きな議論に発展すると考えられる。

## 3. 産業展開の動き

バイオメティクスは技術開発や製品開発における開発プラットフォームであることから、展開される産業範囲は広い。実際、特許庁の平成26年度特許出願技術動向調査報告書では、特許出願の解析からバイオメティクスの用途展開が図2に示すように多くの産業分野にわたることが示されている。出願動向解析の結果、消費財や医療分野への産業展開が活発であるが、日本では医療分野の出願が少ないなど、各国において特徴がある。

Fermanian Business and Economic Institute (FBEI) のチーフエコノミストが考案したダ・ヴィンチ指数は、バイオインスパイアード、バイオミクシー、バイオメティクスなどの活動状況を示す指標で、

図2 国別の出願動向（平成26年度特許出願技術動向調査報告書より抽出）

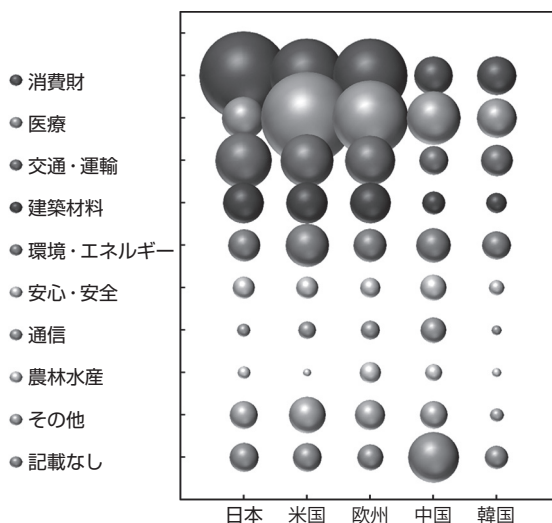
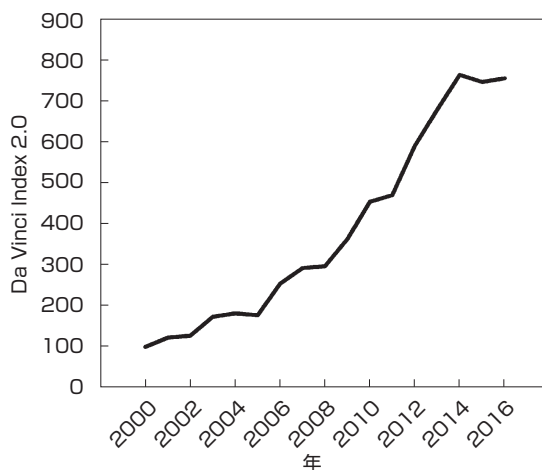


図3 ダ・ヴィンチ指数の推移



出所：文献 [6] より抜粋。

学術論文数、米国の特許数、米国の助成金の件数や金額から算出している。2013年の報告によれば、米国における特許数は、2014年には2000年対比で741%の増加を示し、また、ダ・ヴィンチ指数も2000年を100とすると、2014年には900を超える見込みであった<sup>5</sup>。しかし、最近のFBEIの報告によれば、図3に示すように2014年にピークを示している<sup>6</sup>。しかし、助成金は、2015年に6%の増加を示し、米国国立衛生研究所（NIH）や米国国立科学財団（NSF）から国立研究所が受け取った助成金

表 1 バイオミメティクス製品

生 物	機能	用 途	開発企業
蓮の葉	撥水	ヨーグルトの蓋	東洋アルミニウム、森永乳業
	撥水	表面気泡のないコンクリート	清水建設
モルフォ蝶の翅	光干渉	構造発色繊維	帝人ファイバー
蛾の眼	無反射	無反射フィルム	三菱レイヨン
マグロの体表面	防汚	省燃費型塗料船底防汚塗料	日本ペイントマリン
フクロウの翼	静音	新幹線 翼型パンタグラフ	JR 西日本
ヤモリ	吸着	粘着剤フリーのカーペット固定シート	Interface
アリ塚	空調	エコビルディング	Mick Pearce (設計者)
貝	回旋力	高効率プロペラ	PAX Water's mixing technology
鳥の目	色覚	鳥の衝突防止ガラス	Arnold Glas
バラクーダ	低抵抗	競泳用スーツ	Speedo

の合計数は2年連続で増加している<sup>6</sup>。最近の特許出願増加の傾向は、特許出願から産業利用開始までの期間にタイムラグがあることから考えて、今後、産業化の動きが活発化されると予想される。

バイオミメティクスの産業展開における課題としては、バイオミメティクスに対する一般消費者の認知度の低さ、プロセスに対する懐疑的な見方、商品化事例の少なさ、また、投資を促進するため市場展望が明確でないこともある。バイオミメティクスに関する認知度の向上については、研究者らの啓蒙・普及活動により、専門誌のみならず一般誌でも広く取り上げられ、また、博物館等での展示に来場者が増加するなど、国内では成果を上げている。プロセスに対する懐疑的な見方は、企業において生物を規範した開発プロセスの経験がないことへの不安や、バイオミメティクスは自然哲学的なものであるという個人的な見解に由来しているものと考えられる。そして、バイオミメティクスが持つエネルギー効率、コスト、市場、などの潜在的なポテンシャルが評価されていない問題がある。このバイオミメティクスのポテンシャルの認識については、欧米と日本で大きな隔りがある。欧米では、新たな事業展開を目指した市場形成型の活動が行なわれているのに対して、日本はポテンシャルが高まるのを待つというような市場対応型であるために、戦略が大きく異なる。商品化事例については、表1に示すように多くの分

野で製品が市販されている。しかし、製品が単品であることから、その製品の市場規模が大きくないことも事実である。これらの要因が産業界での積極的投資につながらない状況を生み出している。

しかし、バイオミメティクスの活用が産業分野で進み、2030年までに化学や材料分野で売り上げの15%に寄与するものと予想されている<sup>5</sup>。表2には、寄与率の高い産業分野を示した。各産業分野の市場規模を考えれば、バイオミメティクスの市場規模を過小評価することはできない。

日本におけるバイオミメティクスの産業展開は活発化しつつあるが、まだ、揺籃期にあると言える。バイオミメティクスは、新たな産業分野ではなく、ナノテクノロジーのようなプラットフォーム技術で

表 2 各産業分野の売り上げにおけるバイオミメティクスの寄与 (2030年)

産業分野	寄与率 (%)
化学	15
材料	15
建築、エンジニアリング	12
プラスチック、ゴム	12
廃棄物処理・浄化	10
織物・テキスタイル製品	10
輸送・サービス	10

出所：文献 [5] より抜粋。

あることから、この揺籃期で重要なことは、これまでに蓄積してきた技術を融合することである。生物の形態観察や機能解析は機器分析の進歩により成し遂げられたものであり、今後は、製品開発に3Dプリンターが活用されることにより、バイオミメティクスの開発プロセスは新たな局面を迎える。

産業分野の新たな動きとして土木分野への展開があり、NSFは、土木技術に関してバイオミメティクスの活用支援を始めている。Center for Bio-mediated & Bio-inspired Geotechnics (CBBG)に資金提供し、環境保護・復元、災害リスク回避、資源回収、インフラ整備などを開発ターゲットとしている。また、建築分野での応用展開の期待もある。アリ塚の空調機能を模倣してMick Pearceはジンバブエ共和国の首都ハラエのEastgate Buildingを設計したことで有名であるが、その後、オーストラリアのメルボルンのCouncil House 2を設計している。この新たなエコビルディングでは、自然に学ぶ空調システムとして水の散水を利用している。冷却塔で散水した水は、タンクで冷却貯水され夜間の気温で水温を下げ、再び散水として利用する「フリークーリング」<sup>7</sup>と呼ばれるシステムを実現している。また、イギリスのWaterloo International Terminalでは、電車の入線・出線時における空気圧の変化に対応するために、センザンコウを模倣してガラスパネルを固定している<sup>8</sup>。そして、カタールのMinister of Municipal Affairs & Agriculture (MMAA)では、サボテンを模倣したエネルギー効率の高いビルが設計されている<sup>9</sup>。一方、材料面では、自己洗浄機能を有する外壁塗料の開発が行なわれており、外壁メンテナンスの費用の削減につながっている。さらには、生物に学ぶ構造最適化は、建築材料の使用量を削減することができるため建設コストの削減に寄与している。建築・土木分野の発展の可能性は高く、FBEIは建築・土木関連の米国のGDPは2030年には約700億ドルに達すると予測している<sup>10</sup>。さらに、情報分野では、サイバーセキュリティーの活用も活発化している<sup>11</sup>。米国のPacific Northwest National Laboratoryでは、アリの生態研究から、DigitalAnts™と呼ぶサイバーディフェンスの研究開発を行なっている<sup>12</sup>。

国内では、バイオミメティクスは化学や材料への

展開という意識が高いが、土木・建築や情報通信へ幅広い産業分野への応用できるポテンシャルがあり、今後は化学分野のみならず、他の産業分野での活用推進を図る必要がある。

#### 4. 今後の展開

ドイツは、国際標準化を武器にバイオミメティクスの展開戦略を考えている。世界最大の展示会であるハノーバーメッセでも毎年、産業機械メーカーであるFESTO社の話題が多い。FESTO社は、2006年にBionic Learning Networkを立ち上げ、自社と大学や研究機関、そして開発会社とオープンなネットワークを構築し、エンジニア、生物学者、デザイナーでプロジェクトチームを形成し開発している。また、フランスでは、CEEBIOSが2016年7月にバイオミメティクスの展示会を開催し、フランス国内の企業や研究機関をネットワーク化する動きをみせている。米国においても、Biomimicry3.8が、企業と連携して活動している。日本は、日本国内でのネットワーク形成の動きがやっと始まった段階である。そして、学術領域の進歩により国内の若手研究者も育成されてきた。また、バイオミメティクスに関する一般の認知度も高まった。しかし、市場対応型の企業戦略から市場創造型の戦略にシフトしなければ、欧米の企業との差が拡大するばかりである。日本にとって、市場創造型の戦略に国際規格を活用することがひとつの策かもしれない。

#### 注

- 1 Beismann, H. and Seitz, H. (2011) "Entwicklung des Ersten Technischen Regelwerkes für den Transfer Bionischer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in Ökologisch Vorteilhaftem Industrielle und Technische Anwendungen," Az: 25606, Deutschen Bundesstiftung Umwelt.
- 2 Gebeshuber, I. C., Gruber, P., and Drack, M. (2009) "A Gaze into the Crystal Ball: Biomimetics in the Year 2059," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: *Journal of Mechanical Engineering Science*, 223(12), 2899-2918.
- 3 溝口理一郎・古崎晃司・來村徳信 (2015) 「オントロジー強化型ソリューション」『情報管理』第58巻第5号, pp.361-371.
- 4 溝口理一郎・長谷山美紀 (2016) 「バイオミメティクスデータベースとその革新的検索技法」篠原現人・野村周平編『生物の形や能力を利用する学問—バイオミメティクス』(pp.124-132) 東海大学出版部.
- 5 San Diego Zoo Global (2013) "Bioinspiration: An Eco-

- onomic Progress Report.”
- 6 The Fermanian Business & Economic Institute. <http://www.pointloma.edu/experience/academics/centers-institutes/fermanian-business-economic-institute>
  - 7 Hoogland, M. and Bannister, P. (2014) “Council House 2 (CH2) in Review,” *Ecolibrium*, March, 44-50.
  - 8 Aldersey-Williams, H. (2003) *Zoomorphic: New Animal Architecture*. Laurence King.
  - 9 Al-Kodmany, K. M. (2014) “Green Towers and Iconic Design: Cases from Three Continents,” *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR*, 8(1), 11-28.
  - 10 The Fermanian Business & Economic Institute (2015) “Bioinspired Innovation: An Economic Engine,” *Tapping into Nature: The Future of Energy, Innovation, and Business*. Terrapin Bright Green LLC.
  - 11 Reagan, J. R. (2016) “The Nature Lover’s Guide to Cyber Security,” *Deloitte CIO Journal*, January 4, on <http://deloitte.wsj.com/cio/>
  - 12 Haack, J. N., Fink, G. A., Maiden, W. M., McKinnon, A. D., Templeton, S. J., and Fulp, E. W. (2011, April) Ant-based cyber security. In *Information Technology: New Generations (ITNG)*, 2011 Eighth International Conference on (pp. 918-926). IEEE.