

## Application Note

No. 42

化学工業材料

# バイオミメティクスと分析評価技術

Biomimetics and its evaluation/analyzing technology

安居嘉秀<sup>\*1</sup>, 下村政嗣<sup>\*2</sup>



New materials

## 1. バイオミメティクスとは

原始生命体が地球上に誕生して以来約 40 億年もの歴史の中で、様々な気候変動を乗り越え競争や淘汰を繰り返しながら、細菌や微生物から、昆虫、植物、動物、われわれヒトに至るまでのあらゆる地球上生命体が、うまく生態系を維持しながらこれまで脈々と進化を成し遂げ堂々と生き永らえて今日に至っている。

バイオミメティクス (Biomimetics) とは生物模倣技術とも訳され、その生き永らえてきた生物には何らかの理由があるはずと期待して特徴解析を行い、生物が有する優れた構造や機能、生産過程や、集団で過ごす生態系までも模倣することで、新たな工学技術やモノづくりに役立たせようという

科学技術のことを言う。1950 年代後半に米国の神経生理学者オットー・シュミット博士によって提唱されたもので、英語の Bio (生物)、mime (ものまね)、mimic (真似る) などによる造語と言われている。

## 2. バイオミメティクスと機能性化学素材

このようにわれわれの頭の中では思いもつかないような「気づき」を生物から学ぼうと言うバイオミメティクスは、日本の化学産業においても特に最近注目をされてきており、今後更に製品化を目指そうとしている「機能性化学素材」の創製に非常に有益な化学技術とされている。

2013 年に、「機能性化学産業の競争力強化に向けた研究

\*1 (株)島津製作所 分析計測事業部 グローバルマーケティング部

\*2 千歳科学技術大学 理工学部

会」による報告書（事務局：経済産業省製造産業局）にて、機能性化学産業を「すり合せにおいて、顧客ですら気付いていない潜在的な課題に対し、独自技術により材料に特殊な機能を持たせることで解決策を提案し、顧客の製品の付加価値向上を実現する化学産業」と定義している<sup>1)</sup>。さらに 2015 年には経済産業省製造産業局が、「機能性素材産業政策の方向性」の政策提言を発表し<sup>2)</sup>、2005 年時に日本のお家芸であった液晶ディスプレイや LiB 電池ではグローバル市場規模が大きくなるにつれアジアで劣勢に立たされてきている事例をネガティブに紹介している。2013 年度の全世界の機能性化学品市場は約 50 兆円で化学品全体の 15%に及ぶ期待市場であり、その消費先としては、

1. 洗浄剤、化粧品（16%）、2. 食品、飲料（12%）、3. 建築（10%）、4. 電気・電子（10%）、5. 自動車（8%）などが上位に上げられているが、そのいずれの消費先分野においても徐々に日本企業の存在感が薄くなってきていると懸念しながらも、例えば、カラーフィルター市場（1兆5000億円）、偏光板市場（8000億円）などは大きく成長している市場であり、今後はこういった素材に特徴的な機能を組み

込めばこれらの市場を席卷、奪還できるとの期待も示している。こういう状況の下で、本報告書では今後の提言として、「欧米企業は開発した素材を用い、製品ができあがった状態で提案に来るが、日本企業はニーズを確認する『待ちの姿勢』が目立つ。ユーザーも将来のニーズを見通し難い不透明な時代。従来型の擦り合わせだけでなく、素材開発から付加価値提案までユーザーの何歩も先を歩き、顧客価値や社会価値を自らが構想する、より創造的な研究開発が求められる。」などと自動車メーカーなどの素材ユーザーのコメントを紹介しながら新たな機能性化学素材の開発のために日本の化学系企業研究者の一層の発奮を期待している。

すでに先見性のある企業は、ハスの葉の表面を模倣した超撥水材、サメの肌を模倣した競泳用水着やカワセミのくちばしを模倣した高速車両の先頭先端形状、ヤモリの指形状を模倣した接着素材などの機能性化学製品を開発、商品化してきており、まさにバイオミメティクスが新規な機能付加には非常に期待されている分野であることがお分かりいただけるであろう。（図1）

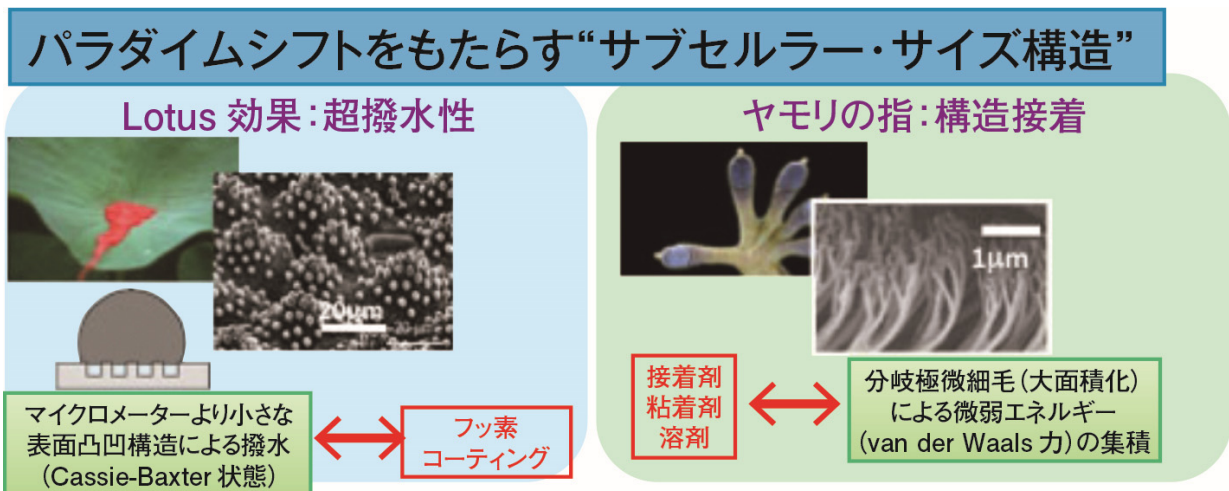


図1 生物構造の機能解析による革新的な材料の開発を目指した事例<sup>3)</sup>

### 3. バイオミメティクス研究の流れと分析評価機器

図2は、バイオミメティクス研究の歴史を研究対象のサイズと研究分野の観点から俯瞰したものである<sup>4)</sup>。

バイオミメティクスの研究は、1970年頃から第一世代バイオミメティクスとして始まったとされる「分子系バイオミメティクス」から盛んとなってきたが、ここではX線構造解析技術の台頭により有機化学分野での分子レベルで反応を分子論的に解明できる測定技術が研究に大きく貢献し、特に人工光合成の研究は色素増感太陽電池の基礎となり、ゲルを用いたアクチュエーターの研究は人工筋肉などの発明を生んでいる。一方、これと同時期に「分子系バイオミメティクス」と一線を画すように「機械系バイオミメティクス」が発展した。これは世界的にモノづくりに携わる機械工業分野が発展した時期と合わさっており、機械工学や流体工学の研究分野からトンボなどの昆虫の飛翔やイルカなどの魚の泳法を模倣したロボット製作技術や、コウモリの反響定位やココロギなどの昆虫の感覚毛を模倣したセンサーやレーダーなどが開発された。この「機械的バイオミメティクス」の研究は現在まで衰退無く継続しており、主に軍事産業、鉄道、車両、船舶、航空機産業などの分野に展開されており、マイクロマシンやMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と言った半導体デバイスを主流とした先端技術分野にも大きな影響を与えている。

「分子系バイオミメティクス」は、その後分子生物学の展開により生物学が、遺伝子を中心とした生命現象の解明を主流とするようになってきたことから従来の生物学から少し距離を置くようになり徐々に衰退してきたが、2000年頃から走査型電子顕微鏡 (SEM) などの電子顕微鏡の操作性や性能が向上し、nm から  $\mu\text{m}$  領域の観察が容易となったことが

ら新たに「材料系バイオミメティクス」が台頭してきた。生物が有するナノからマイクロレベル領域の階層構造を電子顕微鏡で明らかにし、形態学者や分類学者が明らかにした生物の表面化階層構造をヒントにして、マテリアル研究者が類似の構造を模倣することがより容易になってきた。それと同時に「材料系バイオミメティクス」では、生物に起因した特殊な機能の評価や最終製品としての評価のために、硬さ、柔らかさ、頑健性、持続性など様々な評価技術や装置の開発が、電子顕微鏡のみならず、ナノレベル素材の研究開発にも大きく貢献してきている。

最近のトレンドとしては、「生態系バイオミメティクス」の台頭がある。そもそも生物は個体として生存している訳では無く群生している場合が多い。そこには個体間の繋がりが社会があり、生態系システムが存在する。魚群の衝突回避のメカニズムを模倣した集団走行が可能なロボットカーなどは、群れのバイオミメティクスであり、輸送の効率化、渋滞回避、衝突事故などへの寄与が期待される。また、昼夜間の寒暖差が激しいアフリカのサバンナ地帯のアリ塚の巣は、自然換気がうまく行えるよう細長い無数のトンネルが縦横に張り巡らされた構造を持つ。こういった生物の生活環境そのものを模倣したジンバブエの複合商業施設<sup>5)</sup>や、ナイジェリアでの“biomimetics smart city”と称する環境都市設計構想<sup>6)</sup>などの新しい都市づくりの動向もまた生態系バイオミメティクスと言える。こういったわれわれの社会インフラにもバイオミメティクスは深く関わるようになってきており、各種建造物の高強度化、補強方法に関する性能比較、劣化評価などの試験評価技術や装置がこの分野にも今後求められるであろう。

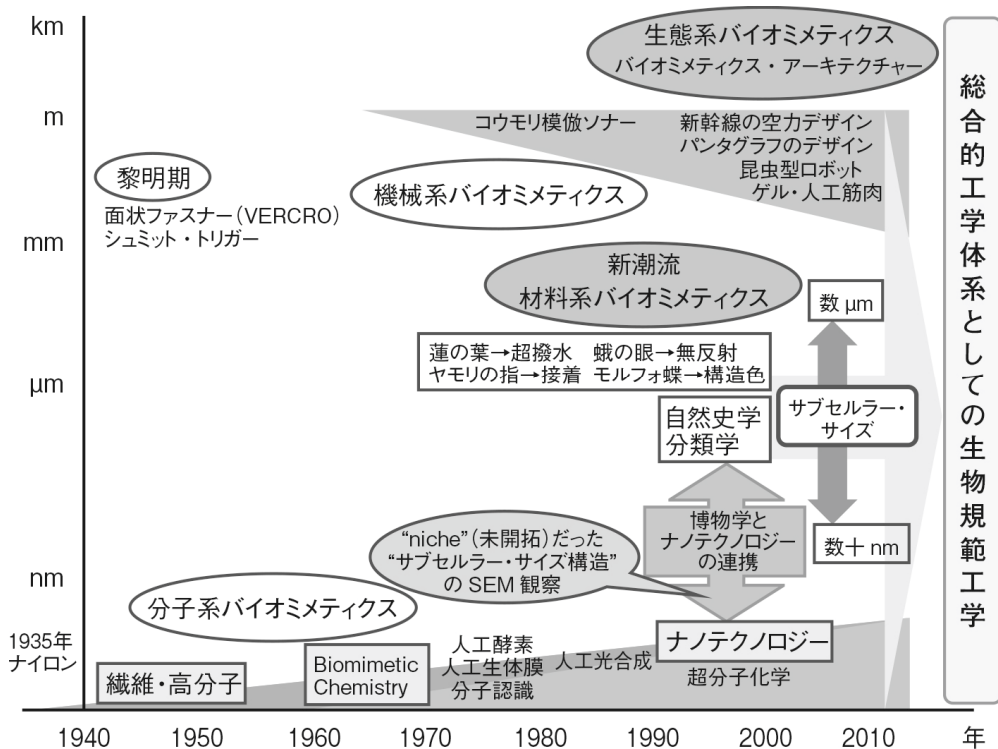


図2 バイオミメティクスの歴史と動向



#### 4. バイオミメティクスと島津製作所

このようにバイオミメティクスの研究開発には長い歴史があり、その時代での研究のトレンドが存在しているが、島津製作所では、2014 年以來、文部科学省新学術領域研究「生物多様性を規範とする革新的材料技術」<sup>3)</sup>の研究グループによる全面支援の下、最新研究テーマに関する素材と知見を提供いただきながら分析評価装置によるアプリケーション開発を行ってきた。

もともと日本国内でのバイオミメティクスの研究グループとしては、世界で最も大きな高分子科学・工学の学会である公益社団法人高分子学会の中にバイオミメティクス研究会が2012年度から立ち上げられている。高分子学会には

島津製作所は2015年から法人賛助会員として参加しながら新素材研究の分析評価に関するニーズ調査を行っているが、最終的な機能性化学製品として認められるまでにはさらに原料評価から、製品評価、品質管理の各ステージにおいて、数々の試験項目の評価を経ていく必要がある。表1に、高分子素材をはじめとする機能性化学素材の試験評価項目と素材特性、および使用されている測定装置と関連する島津製作所取扱製品を示した。このように研究開発用途だけではなく、その後の製品化工程での各評価ステージにおいても島津製作所の多くの製品が広く関わってくることがわかる。

表1 機能性高分子化学製品の評価項目と評価特性および測定装置/製品名

試験評価項目	素材特性	測定装置/製品名
材質評価 (研究開発、品質管理)	高分離精製	分取用液体クロマトグラフ/Prominence 分取クロマトグラフ 自動分取精製化システム UFPLC、 リサイクル分取システム Recycle-Assist 精密キャピラリーガスクロマトグラフ分取システム/GCMS-QP2010Ultra、VPS 2800
	合成反応解析	直接イオン化質量分析計/DART-MS ガスクロマトグラフ質量分析計(直接注入法)/GCMS-DI システム フーリエ変換赤外分光光度計/IRTracer-100、IRAffinity-1S 顕微ラマン分光光度計/inVia シリーズ 光反応量子収率評価システム/QYM-01
	分子量分布	高速液体クロマトグラフ/Prominence、Prominence- i GPC システム MALDI-TOFMS/AXIMA シリーズ、MALDI-7090
	材質判定	フーリエ変換赤外分光光度計/IRTracer-100、IRAffinity-1S 顕微ラマン分光光度計/inVia シリーズ
	結晶化度	X線回折装置/XRD-6100/7000 OneSight
	色彩測定	紫外可視分光光度計/UV シリーズ、SolidSpec-3700
観察/解析評価	観察	走査型プローブ顕微鏡/SPM-9700、SPM-8000FM 3D測定レーザー顕微鏡、ナノサーチ顕微鏡/OLS4100 シリーズ、SFT-4500
	非破壊内部観察	X線透視装置/SMX透視装置シリーズ、SMX-CT装置シリーズ
	元素分析	エネルギー分散型蛍光X線分析装置/EDX シリーズ 波長分散型蛍光X線分析装置/XRF-1800
	観察・元素分析	電子線マイクロアナライザ/EPMA シリーズ
	観察・成分分析	イメージング質量顕微鏡/iMScope TRIO
元素分析・化学状態分析	X線光電子分析装置/KRATOS ULTRA2	
レオロジー特性評価	粘度特性	フローテスタ/CFT-EX シリーズ
	粘度曲線	自動ムーニービスコメータ/SMV-300/300RT
熱的特性評価	吸・発熱、反応速度	熱分析装置/DSC-60 Plus/DTG-60
	比熱容量	熱分析装置/DSC-60 Plus
	蒸発・分解、ガス吸着、水分量、耐熱性	熱分析装置/DTG-60
	熱膨張・収縮率、軟化点	熱分析装置/TMA-60
物理的特性評価	粒子径分布	レーザー回折式粒子径分布測定装置/SALAD シリーズ
	細孔分布	自動ポロシメータ/オートポアIV 9500 シリーズ
	比表面積	比表面積/細孔分布測定装置/ジェミニ、トライスター、アサップシリーズ
	真密度	自動密度計/アキュピックII 1340 シリーズ
機械的性能評価	引張、圧縮	精密万能試験機/オートグラフ AG-Xplus、AGS-X シリーズ
	曲げ	精密万能試験機/プラスチック全自動曲げ試験システム
	硬さ	微小硬度計/HMV-G シリーズ、ダイナミック微小硬度計/DUH シリーズ
	疲労試験	疲労試験機/サーボパルサ、 電磁力式微小試験機/マイクロサーボ
	高速打抜き	高速衝撃試験機/ハイドロショット
	粒子強度	微小圧縮試験機/MCT シリーズ
添加物・有害物質評価	添加剤同定・定量	高速液体クロマトグラフ/Nexera シリーズ、Prominence シリーズ、i シリーズ 高速液体クロマトグラフ質量分析計/LCMS-8060 ガスクロマトグラフ質量分析計/GCMS-QP2010 Ultra 熱分解システム
	残存溶媒	ガスクロマトグラフ質量分析計/GCMS-QP2010 Ultra ヘッドスペース分析システム
	重金属、微量元素	原子吸光分光光度計/AA-7000 高周波プラズマ発光分析・質量分析装置/ICP シリーズ、ICPMS-2030
質量評価	比重	比重測定装置 AU/UW/UX/ELB シリーズ
	質量	天秤/電子上ざら天秤、ロードセル式電子台はかり
	水分	電子水分計/MOC63u

## 5. むすび

上述の通りバイオミメティクス研究の歴史は長い、島津製作所においてこの分野に関する技術研究資料などのドキュメントを発行するのは初めての試みである。既に本分野の研究者の方々にとって大変驚きとなるような機器評価結果や知見が得られたことが確認できている。詳しくは別途発行する「島津新素材アプリケーション集 I (バイオミメティクス)」を参照いただきたい。

島津製作所が得意とする分析評価技術を通してのバイオミメティクスの世界。ほんの一端であるが、生物としての大先輩としての昆虫、植物、魚、貝らが持つ驚くべき機能の特殊性と、それらを解明するための最先端の分析評価技術を是非堪能していただきたい。これを機にさらにバイオミメティクス研究分野に興味を抱く技術者や研究者が増え、島津製作所が本分野の発展に一層寄与、貢献できることを期待している。

### 参考文献

- 1) 経済産業省ホームページ「機能性化学産業の競争力強化に向けた研究会」報告書  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/kagaku\\_sangyo/report\\_01.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/kagaku_sangyo/report_01.html)  
(URL 参照 2016 年 6 月 10 日)
- 2) 経済産業省ホームページ「化学-報告書：機能性素材産業政策の方向性」報告書  
[http://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/chemistry/](http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/chemistry/)  
(URL 参照 2016 年 6 月 10 日)
- 3) 平成 24 年度科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型) 「生物多様性を規範とする革新的材料技術」ホームページ、「領域概要」  
<http://biomimetics.es.hokudai.ac.jp/information/>  
(URL 参照 2016 年 6 月 10 日)
- 4) 下村政嗣、「バイオミメティクスの新展開—持続可能性に向けた材料技術イノベーション—」(日刊工業新聞社)、「工業材料」2015 年 8 月号
- 5) <http://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/>  
(URL 参照 2016 年 6 月 10 日)
- 6) <http://www.treehugger.com/urban-design/nigeria-build-biomimetic-smart-city-celebrate-its-centenary.html>  
(URL 参照 2016 年 6 月 10 日)、  
39, 3473-3475 (2006)