

**平成 26 年度自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討業務
自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討成果報告書**

平成 27 年 3 月 30 日

株式会社富士通総研

目次

1. 本検討の概要	1
1.1. 背景と目的.....	1
1.2. 実施概要.....	1
1.2.1. 自然模倣技術・システムの実用化に向けた選定及び調査.....	1
1.2.2. 自然模倣技術・システムの今後のあり方に関する検討.....	2
1.2.3. ワークショップの開催.....	2
1.3. 検討会の設置・運営.....	2
2. 自然模倣技術・システムの実用化に向けた選定及び調査	5
2.1. 調査対象技術の選定.....	5
2.2. 実用化したときの環境面及び経済面での貢献に係る調査、検討.....	18
2.3. 実用化に向けての課題の明確化、解決手法の検討.....	18
2.4. 実証試験における試験計画の策定.....	18
3. 自然模倣技術・システムの今後のあり方に関する検討	20
3.1. 持続可能な社会の実現に向けた社会システム・ライフスタイルの変革に係る 検討.....	20
3.1.1. 実施目的.....	20
3.1.2. 実施方法.....	20
3.1.3. 調査結果.....	20
3.1.4. まとめ.....	22
3.2. 他の施策との連携に係る検討.....	24
4. ワークショップの開催	28
4.1. 目的.....	28
4.2. 開催概要.....	29
4.3. 実施内容.....	31
4.3.1. 東京開催.....	31
4.3.2. 滋賀開催.....	35
5. まとめと提言	43
5.1. まとめ.....	43
5.2. 提言.....	44
5.3. 今後の検討課題.....	46

1. 本検討の概要

1.1. 背景と目的

平成 24 年 4 月に閣議決定された「第四次環境基本計画」では、目指すべき持続可能な社会の姿として、『人の健康や生態系に対するリスクが十分に低減され、「安全」が確保されることを前提として、「低炭素」・「循環」・「自然共生」の各分野が、各主体の参加の下で、統合的に達成され、健全で恵み豊かな環境が地球規模から身近な地域にわたって保全される社会』を掲げている。

この社会の実現に向けては、極めて効率的なエネルギー・資源の循環を達成している自然を参考とした技術・システム、すなわち「自然模倣技術・システム」の活用が有望な手段であると考えられる。そこで、本業務においては、来年度以降の実証への展開を視野に入れて、自然模倣技術・システムについて調査・検討を行った。また、ワークショップを開催し、調査・検討結果について普及促進を行った。

1.2. 実施概要

1.2.1. 自然模倣技術・システムの実用化に向けた選定及び調査

昨年度、環境省が実施した「平成 25 年度自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討業務」（以下、「昨年度業務」という）における成果をもとに、2、3 年で実用化が見込まれる有望な技術を選定し、実用化に向けて、以下について調査、検討を行った。

①調査対象技術の選定

昨年度業務において作成した既存事例データベースに掲載されている技術の中から、応用段階や実証にかかる費用等も考慮して、調査、検討を行う技術（以下、「選定技術」という）を 10 件程度選定した。

②実用化したときの環境面及び経済面での貢献に係る調査、検討

選定技術がそれぞれ実用化・普及したときに、広く普及したことによる省エネルギー等の環境保全効果や、コスト・メンテナンス性等の経済効果について、評価指標の検討を行い、検討した評価指標を用いて、選定技術の環境保全効果及び経済効果について調査を行った。

③実用化に向けての課題の明確化、解決手法の検討

選定技術のうち、既に実用化が見込まれながらも、まだ普及に至っていない技術について、実用化又は普及に至らない原因となっている解決すべき課題を明らかにし、その解決手法について検討を行った。

④実証試験における試験計画の策定

選定技術の実用化に向けて行うべき実証試験の試験計画を策定した。このとき、対象技術ごとに試験者や試験期間、試験場所の想定を行い、それぞれの候補を挙げるとともに、試験実施に係る費用の試算を行った。

1.2.2. 自然模倣技術・システムの今後のあり方に関する検討

① 持続可能な社会の実現に向けた社会システム・ライフスタイルの変革に係る検討

持続可能な社会の実現のために、自然模倣技術・システムの導入と併せて行うべき社会システム・ライフスタイルの変革について検討した。単なる技術の導入に留まらず、主に自然模倣技術・システムを持続可能な社会の実現にどのように寄与させていくのかについて、生物、工学系等の自然科学の専門家のほか、ビジネス・社会科学等の専門家に対し、ヒアリングを行った。

②他の施策との連携に係る検討

自然模倣技術・システムの研究開発または利用について、環境省または他省庁が実施している施策との連携について検討を行った。

1.2.3. ワークショップの開催

自然模倣技術・システムの研究開発及び有効利用の一層の促進並びに昨年度業務、前項(1)および(2)の業務の成果の普及促進を目的として、持続可能な社会の実現にむけた自然模倣技術・システムの利用手法等に関するワークショップを開催した。東京及び地方で各 1 回開催し、現地の企業や研究機関等に所属する生物学や工学の研究者等を含めた有識者 20 名程度を対象に行った。

1.3. 検討会の設置・運営

自然模倣技術・システムの利用可能性に関する検討会（以下、検討会）を設置し、調査検討の内容・進め方について助言を得た。検討会は、自然模倣技術・システムに関する学識経験を有するもの、事業関係者その他の関係者から構成された。委員は次頁に示す通りである。

自然模倣技術・システムの利用可能性に関する検討会 委員名簿

(敬称略、五十音順、○は座長)

【委員】

- 赤池 学 株式会社ユニバーサルデザイン総合研究所 代表取締役所長
- 阿多 誠文 独立行政法人産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 研究主幹
- 石田 秀輝 合同会社地球村研究室 代表社員
東北大学名誉教授
- 井須 紀文 株式会社 LIXIL 技術研究本部 分析・評価センター センター長
- 渦巻 拓也 株式会社富士通研究所 ソーシャルイノベーション研究所 シニアディレクター 兼 環境本部 グリーンビジネスイノベーション統括部 シニアディレクター
- 下村 政嗣 千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授
北海道大学名誉教授 東北大学名誉教授
- 妹尾 堅一郎 特定非営利活動法人産学連携推進機構 理事長
一橋大学大学院 (MBA) 客員教授
- 中野 充 株式会社豊田中央研究所 先端研究センター 先端・グローバル研究推進室
(兼) 材料・プロセス 2 部 主任研究員
- 長谷山 美紀 北海道大学大学院 情報科学研究科 メディアネットワーク専攻 教授
- 平坂 雅男 公益社団法人高分子学会 常務理事 事務局長
- 星野 敬子 滋賀県立大学 地域共生センター 特定プロジェクト研究員
特定非営利活動法人アスクネイチャー・ジャパン 研究員・コーディネーター
- 山野 博哉 独立行政法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター
生物多様性保全計画研究室 室長

検討会は、平成 26 年 12 月 15 日を初回として、計 3 回開催した。開催日時と主な検討内容は以下の通りである。

【第 1 回】

日時：平成 26 年 12 月 15 日（月） 10 時 00 分～12 時 00 分

場所：株式会社富士通総研 5 階 セミナールーム

議事：

- ・検討会の趣旨及び本年度事業の実施方針について
- ・対象技術の選定について
- ・ワークショップ企画案について

【第 2 回】

日時：平成 27 年 1 月 28 日（水） 10 時 00 分～12 時 00 分

場所：株式会社富士通総研 5 階 セミナールーム

議事：

- ・選定技術の環境面及び経済面での効果と実証への展開について
- ・社会システム・ライフスタイルの変革に係るヒアリングについて
- ・報告書目次案について
- ・ワークショップ進捗報告
- ・その他（新学術領域「生物規範工学」と環境省の共催ワークショップについて等）

【第 3 回】

日時：平成 27 年 3 月 17 日（火） 13 時 00 分～15 時 00 分

場所：株式会社富士通総研 5 階 大会議室

議事：

- ・ワークショップ開催報告
- ・社会システム・ライフスタイルの変革に係るヒアリング報告
- ・報告書（案）について

2. 自然模倣技術・システムの実用化に向けた選定及び調査

2.1. 調査対象技術の選定

昨年度業務において作成された既存事例データベースに掲載されている技術の中から、以下の①～④に示す考え方で、調査、検討を行う技術（以下、「選定技術」という）の候補を10件程度選定した。

- ① 昨年度、作成した既存事例のデータベースから、「応用段階」が実用化段階であるものを抽出。
- ② 「開発手法」が生物利用であるものを除外（バイオマス等は既に別事業で扱われているため）。
- ③ 「社会への効果」について、「主たる効果」が環境への効果であるものを抽出（環境への効果が副次的であるもの、効果が医療等、環境負荷低減以外のものを除外）。
- ④ 実証を想定し、国プロで扱う必要がないもの（既に商品化され広く用いられているもの、既に実証が行われているもの等）、費用が高額になるもの（コンパクトシティ、建築物等）を除外。

さらに、選定技術の候補を、2014年7月に発表された中央環境審議会意見具申「低炭素・資源循環・自然共生政策の統合的アプローチによる社会の構築 ～環境・生命文明社会の創造～」の「4.5. あるべき未来を支える技術の開発・普及（環境技術の開発・普及）」に沿って、以下の通り、整理した。

図表 1 選定技術候補の整理

具体的施策例	求められている技術	対象技術候補(カッコ内は模倣している生物)
水素や熱を活用した自立・分散型エネルギー社会の実現	水素利活用技術	
	再生可能エネルギー	a. 色素増感型太陽電池 (a1. トリパネチョウの翅、a2. 葉緑体) b. 潮力発電装置(マグロのヒレ) c. 波力発電システム(ジャイアント・ケルプ) d. 風力発電の羽(イルカの皮膚)
	熱利用技術	
天然資源から循環資源への抜本的改革	破碎物からの有用物の革新的選別技術	
	太陽光パネル等再生資源由来希少金属回収・リサイクル技術	
	蓄電池の寿命後のリノベーション技術	
	持続可能なエネルギー・資源利用に資する先進的環境技術	
脱フロン社会の構築	ノンフロン技術	
バイオマスが支える資源・経済が循環する社会の創造	バイオ燃料製造高度化技術、木材直交集成板高断熱住宅・建築物等バイオマス利用技術高度化技術、国産バイオマス発電・熱利用技術等	e. 竹繊維より強い高機能繊維(竹) f. 強度の高い新しい複合材(樹木の細胞壁)
	家畜・農業廃棄物を利用した発電・熱利用技術	
エネルギー消費が少なく豊かで健康的な社会システム・ライフスタイルの創出	超高効率パワー・光デバイスを活用した社会全体の徹底的な省エネ技術	g. エネルギー効率に優れる水中ロボット(ブルーギル) h. 低摩擦材料(生物の表面構造) i. 船舶のコーティング剤(サメの鱗)
	ネイチャーテクノロジー	j. 新しいエアコン(ミイデラゴミムシ) k. 調湿機能壁材 (k1. シロアリの巣、k2. 地殻水熱反応) l. シーリングファン(カエデの種子) m. 湿度・温度を一定に保つ住宅(シロアリの巣)
	グリーンベンチャーテクノロジー	
	地域適応型技術	
環境技術のショーケースとなる国立公園づくり	生態系・景観配慮型の再エネ・省エネ技術等	
森・里・川・海のつながりを維持・回復する技術イノベーション	環境配慮型ダム、河川の生態系回復工事等	
イノベーション・国際展開	先導的な低炭素技術(L2-Tech)	n. CO2を除去する人工膜フィルター(ヒトの肺)
	途上国のニーズに応える技術	o. 吸水シート(バラの花びら) p. 超節水風呂(アワフキムシの泡)

出所：株式会社富士通総研作成

対象技術候補として選定した技術の概要は以下の通りである¹。

a1. 光を効率的に吸収するトリバネチョウの羽

■ 機能

- ・ トリバネチョウは、黒い色素だけでなく、羽の特殊構造によって光エネルギーを効率的に吸収する。トリバネチョウの鱗粉は重なることで六角形のハニカム構造をしたマイクロサイズの模様を作り出す。そのハニカム構造によって太陽光は屈折し、黒い色素まで伝えられて吸収される。光エネルギーはそこで電子エネルギーに代わり、やがて熱に変換される。

■ 応用技術

- ・ 効率的に光を吸収する、色素増感太陽電池に応用されている。

a2. 光の量を調節する植物

■ 機能

- ・ 植物の葉緑体に含まれる色素 β カロテンの1つであるキトサンフィルは、太陽の光が強いときには吸収した光から過剰に生産したエネルギーを熱に変えて捨て、光が弱いときにはより光を吸収しやすい物質に変わって光を集める。

■ 応用技術

- ・ 過剰な電子の生成を防ぐ、人工的な電子移動化合物に応用されている。

■ 応用技術提案

- ・ 光合成で行われる光エネルギー移動や電子移動を制御する因子を解明することで、電気機器や光触媒、新しい種類の太陽電池に応用できる。

b. 低抵抗で泳ぐマグロ

■ 機能

- ・ 流線型のボディと大きな三日月型の尾ビレ、それを動かす強力な筋肉のおかげで、マグロは海中を高速に進むことができる。外洋（水深 200m よりも深い海域）を回遊生活するマグロは、体の前の部分はあまり動かさず、尾ビレの付け根から後ろだけを振り子のようにくねらせて推進力を得ている。これは「マグロ型泳法」と呼ばれて

¹ 出所：東北大学大学院環境科学研究科 ネイチャーテクノロジーデータベース (<http://www.naturetech-db.jp/>)、積水化学工業株式会社 自然に学ぶものづくり研究助成プログラム (<http://www.sekisui.co.jp/csr/contribution/research/>)

おり、マグロの他にもサメやサバに見られる泳ぎ方である。この泳ぎ方は、動かす部分を少なくして水の流れに対して体をできるだけ一直線に保つことで水の抵抗を抑え、無駄なエネルギーの消費を抑えられる。マグロのように高速度で泳ぎ続ける魚にとっては効率の良い泳ぎ方である。

■ 応用技術

- ・ 効率的に発電できる潮力発電装置の開発に応用されている。

■ 商品・サービス

- ・ マグロのヒレの動きに着想を得た「バイオストリーム」
(バイオパワーシステムズ社)

c. ジャイアント・ケルプに学ぶ新しい波力発電

■ 機能

- ・ カリフォルニアのモントレイ湾やオーストラリアのタスマニア島の近くの海には、全長数10メートルから100メートルまで成長する巨大な海藻が生息している。なんと1日に数10センチも成長すると言われ、「ジャイアント・ケルプ」(巨大な昆布という意味)と呼ばれている。ジャイアント・ケルプの一つ一つの「葉」の付け根の部分の間には、気体がつまった小さな「浮き袋」がついており、たくさんの浮き袋を持つことで、巨大な海藻が海中で倒れてしまわないように支えている。また、この「浮き袋」のおかげで、「葉」は海流に沿ってひらひらと大きく広がるので、海藻はたくさん日光を浴びて光合成を行うことができる。

■ 応用技術

- ・ オーストラリアにあるバイオパワーシステムズ社は、海中でゆらゆらと揺れる海藻の動きに着想を得て、「バイオウェーブ」という波力発電装置を開発した。全高25メートルの装置であるバイオウェーブは、海流に合わせて「浮き」の部分が揺れて、装置の根本に取り付けられたタービンを回転させる発電する。潮流による揺れを回転運動に代え、それによって発電機を駆動している。

■ 商品・サービス

- ・ 波力発電システム (バイオウェーブ)

d. 低抵抗のイルカの皮膚

■ 機能

- ・ イルカの皮膚には弾力性があり、高速度で泳ぐ際に皮膚にくぼみを作ることによって水の抵抗を抑え、効率的に高速度で泳ぐ。

■ 応用技術

- ・ 凹凸のあるメッシュ状樹脂を使って、頭部、背中に配したアルペンスキー用のスポーツウェア開発に応用されている。イルカの皮膚と同じように機能する、カーボンナノチューブとシリコンでできた人工皮膚の開発に応用されている。

■ 応用技術提案

- ・ 空気や水の抵抗に強い素材の開発に応用できる。空気抵抗の少ない飛行機や電車、風力発電の羽等に応用できる。

e. 軽量で硬い竹

■ 機能

- ・ 竹は軽量で硬い。竹は、幹の内側から外側の方にかけて、硬い皮で覆われた維管束が密に存在しており、密度が濃く、硬い。

■ 応用技術

- ・ 竹繊維より強い高機能な竹繊維の開発に応用されている。竹繊維を用いた繊維強化プラスチックに応用されている。竹繊維を用いた繊維強化プラスチックはスピーカーの振動板に応用されている。

■ 応用技術提案

- ・ 竹の強度を利用して、新しい繊維の開発に応用できる。竹繊維を用いた繊維強化プラスチックは、環境負荷の少ないボートの素材に応用できる。

f. 衝撃を吸収する樹木の細胞壁

■ 機能

- ・ 樹木は強風や豪雪に見舞われても倒れないように、バネのようにしなやかな構造を持っており、衝撃を吸収できる。木を構成する無数の細胞壁は、衝撃に耐えられるように自ら硬くした細胞壁が骨組みの役割を果たし、強風や豪雪があたっても、クッションのように細胞壁が変形して衝撃を吸収する。また、細胞壁を構成するセルロースという物質は、糸が絡み合ったような繊維状の形をしており、外から力が加わると、この繊維がしなり、衝撃を和らげる。

■ 応用技術

- ・ 衝撃を吸収する木材として体育館や病院の床に使われている。

■ 応用技術提案

- ・ 細胞壁の構造は、2つ以上の異なる素材を一体的に組み合わせた複合材の開発に応用できる。樹木が進化の過程で作りに上げた細胞壁の生成プロセスを解明することで、より強度のある新しい複合材の開発に応用できる。

g. 水の抵抗を抑えるブルーギルの胸ヒレ

■ 機能

- ・ ブルーギルは、胸ヒレを前に動かした後、胸ヒレの上部と下部をU字型に丸めることで水の抵抗を最小限に抑え、スムーズに泳ぐ。

■ 応用技術

- ・ 効率的な推進が可能な、ウレタン・プラスチック製のヒレとナイロン製の腱を制御するポリマーに電気を通して動く人工ヒレの開発に応用されている。

■ 応用技術提案

- ・ ブルーギルのヒレ型推進装置の開発に応用できる。推進速度にかかわらず動きを制御できる、高い操作性を持った、低騒音の、エネルギー効率に優れる水中ロボットの開発に応用できる。機雷の排除や港湾の監視、資源探査などに使われる水中ロボットに応用できる。

h. 生物の表面構造に学ぶ機能性材料の創製

■ 機能

- ・ 生物の水をはじいて汚れを寄せつけない撥水性、光を反射しない眼の構造のような技術の多くは、体表面に形成された階層的微細構造が起因となっていることが明らかにされてきた。また、生体内でもものの形が自然に組み上がる“自己組織化”のプロセスも注目されている。自己組織化は、汎用元素を利用して小さなエネルギーでもものづくりが可能となるため、低コスト化や環境負荷の低減を進めるために、材料開発に活かそうとする研究が活発化している。

■ 応用技術

- ・ 自己組織化の手法として、ハニカム状に水滴を配列させて蒸発させることで、ナノからマイクロメートルの領域で、規則的に孔が並んだ多孔質薄膜が開発されている。
- ・ この多孔質膜の応用研究では、バラの花びらの構造を模倣した撥水性と親水性を合わせもつ金属-高分子ハイブリッドシートが開発されている。

■ 応用技術提案

- ・ これらの薄膜を使って低摩擦材料を創製する研究が行われている。たとえば砂漠に生息するトカゲやヘビは砂の中を泳ぐように移動するが、体表面の摩擦抵抗が極めて低いために砂にすれて体が傷つくことはない。そして、ヘビの体表面は平滑ではなく、ハニカムのような微細構造を有していることが明らかになっている。そのような構造に倣い、潤滑剤を用いずに金属表面の摩擦特性を制御しようという研究が進められている。摩擦特性が低くなれば、金属の耐久性が向上し、製品寿命が長くなる。

i. 汚れが付きにくく低抵抗であるサメ

■ 機能

- ・ サメの鱗は、細い突起とV字型の溝が付いた形状になっており、それが全て尾びれの方に向かって整然と並んでいる。これらは循鱗と呼ばれている。サメが泳ぐ際には、V字型の溝の部分に小さな渦ができ、鱗の表面で水流が乱れることを防ぎ、水をスムーズに流すことで泳ぐときの抵抗を抑えている。この効果はゆっくりとした速度で進むときに最も有効である。水の抵抗を抑えることで泳ぐときのエネルギー消費を最小限に抑えている。また、循鱗は互いに曲がって重なり合っているため、付着物が付いてもそぎ落とされてしまい、その結果、汚れにくい。

■ 応用技術

- ・ 水の抵抗が少ない競泳用水着の素材に応用されている。

■ 応用技術例

- ・ 水の抵抗が少ない競泳用水着の素材に応用されている。

j. 毒霧を噴射するミイデラゴミムシ

■ 機能

- ・ ミイデラゴミムシは、攻撃されて危険を感じると、防御のために大きな音と一緒にとても臭い霧状のガスを、お尻の先から外敵に向けて一気に噴射する。噴射液の温度は100℃にも達し、天敵のカエルや鳥に火傷を負わせ、人の手にかかると皮膚を茶色に変色させ、悪臭をこびりつかせるくらい強力である。お尻の向きを変えればどの方向にも噴射できる上、数発連続して噴射もできる。この防御用の毒霧は常にお腹に霧を貯めている訳ではなく、毒液の成分である2種類の化学物質を、それぞれお腹の中で2カ所に分けて貯めておき、危険を感じるとそれらを反応室と呼ばれる部屋に送って、急激に反

応させて毒霧を作る。そして、化学物質が爆発的に反応する時に発生する熱と圧力を利用して、お尻の先から外敵に向けて高温高圧の霧を一気に噴射する。毒霧を2種類の化学物質に分けて貯めておき、必要な時に必要な分だけ反応させて作り出す事で、無駄なく効率よく毒霧を使うことができる。

■ 応用技術

- ・ 水を細かい霧状にして噴射し、水が蒸発するときに周りから熱を奪う効果を利用した新しいエアコンの開発に応用されている。2種類の化学物質を混合して噴射する仕組みを利用した消火器に応用されている。

■ 応用技術提案

- ・ 新しい形の消火器やスプレーとして応用できる。バネを使わずに噴射できる、新しいタイプの薬の吸入器や噴霧器などに応用できる。霧状の消火剤を噴射する、多目的型の自動消火器の開発に応用できる。

k1. 優れた空調機能を持つシロアリの巣

■ 機能

- ・ サバンナ地帯に生息するシロアリの巣は、昼と夜の寒暖の差が非常に激しいにも関わらず、温度を常に30℃に維持している。それは、湿度の調整やガス交換をすることができる土が持っているとても小さな孔と、アリ塚自体の構造によるものである。シロアリの巣の地上に出ている部分は数メートルだが、地下には数十メートルの蟻道と呼ばれるトンネルがあり、蟻道の下にある地下水によってトンネル内の土が湿って涼しくなっている。この蟻道は煙突のように地上に出ているトンネルとも繋がり、風が巣内部に入ると冷却され、それと同時に換気も行われる。

■ 応用技術

- ・ 自然冷却の仕組みを取り入れた建物に応用されている。調湿機能を持った壁材開発に応用されている。

■ 商品・サービス

- ・ 調湿機能を持った壁材「エコカラット」(LIXIL)

■ 応用技術

- ・ シロアリの巣の構造を利用して、快適な住居や倉庫の開発に応用できる。

k2. 地殻の水熱反応に学ぶ高機能材料開発

■ 機能

- ・ 古くから、貴重品や食糧などの保管庫として利用されてきた土蔵は、内部の温度と湿度が1年を通してほぼ一定に保たれ、天然のエアコンとも呼ばれている。土にはもともと微細な孔が無数に存在し、湿度の変化に応じて水蒸気を吸放出している。分厚い土壁で囲まれた土蔵は、その土の機能を最大限に活かしたものであり、季節や天候の変化による湿気や乾燥から保管物を守ってきた。
- ・ タイルやレンガなど土の建材は、一般に1000℃以上の高温で焼成するが、これでは微細な孔が塞がれてしまい、土蔵のような機能を発揮できない。そこで着目されたのが、水を使って固化すること、すなわち、蒸して固める方法である。地殻の地表に近い部分では、100℃程度の熱水の働きにより、岩石や鉱物の結晶が形成されている。

■ 応用技術

- ・ このメカニズムを利用して土を固化する研究が行われ、ナノサイズの孔をもつ調湿機能性素材がすでに開発されている。

■ 応用技術提案

- ・ 現在は、数百ミクロンの細孔をもつ土や1ナノメートル以下の超微細孔をもつ鉱物に新たな結晶を成長させ、数ナノの微細孔を付加する研究が進められている。大きさの異なる孔をもつ多孔体は、調湿・調温だけではなく、揮発性ガスなどの物質の吸着・分離機能も合わせて発現させることができる。さらに、触媒を導入することで、吸着物質の分解も可能にしようという研究へ発展している。

1. 滞空時間が長いカエデの種子

■ 機能

- ・ カエデの種子は、回転するときに羽に発生する小さな空気の渦（翼端渦）により、翼上方の空気圧が下がり、翼果が吸い上げられ、長時間滞空できる。カエデの種子の重さと羽の長さは、カエデ独特の回転ができるよう絶妙なバランスで保たれている。

■ 応用技術

- ・ 消費エネルギーを削減し、羽が回転する際のファンの音を最小に抑えた、一枚バネの新しいシーリングファン（天井に取り付けられた回転する羽）に応用されている。

■ 商品・サービス

- ・ 一枚バネの新しいシーリングファン

■ 応用技術提案

- ・ カエデの種子の構造を参考に、超小型ヘリコプターや超小型無人機、惑星探査ロボットに装着する着陸用パラシュートに応用できる。空気や水の流れを最適化する機械・ファンを開発できる。

m. いつでも快適なシロアリの巣

■ 機能

- ・ サバンナ地帯に住むシロアリは、数十年もの長い年月をかけて、高さ6～7mの土の巣を作る。サバンナ地域の気温は、昼間50℃、夜は0℃と温度差がとても激しい。こんな厳しい環境の中でも、巣の中の温度は、いつも30℃ぴったりに調節されている。その秘密の鍵を握っているものの一つは、巣の材料である土の隙間（団粒構造）にある。土には目には見えないくらいの10億分の数メートルという、小さな隙間がたくさんある。このバクテリアよりも小さな隙間は自動的に湿度をいつも一定に調整する機能を持つ。湿度が高いと湿気を吸い水として隙間に貯め、低いと湿気（ガス）として空気中に放出することで湿気を調節する。また、大量の隙間（空気の層）が熱を遮断する役割をし、湿度の変化を抑えている。

■ 応用技術

- ・ 無電源エアコンは実際に一般家庭で使われはじめている。そして、家の室内の湿度や温度がほぼ一定になることが確認された。エアコンを使わないので、無理することなく二酸化炭素の排出量も減らせる。また素材の中の小さな穴は、空気中のガスや匂いも吸着するので、室内の空気をきれいにすることもできる。

■ 応用技術提案

- ・ 近年、家庭内の消費電力は増加の一途をたどっており、大きな問題となっている。また、その内訳では、エアコンが最も大きな消費となっている。シロアリの巣が持つ、温度・湿度を一定に保つ機能を持つ仕組みを住宅に応用すれば快適な空気環境をつくる「無電化エアコン」ができる。それは、消費エネルギー削減にも繋がる。

n. 二酸化炭素を効率よく除去する人の肺

■ 機能

- ・ 人の肺は、陸上で効率的にガス交換を行い、酸素を取り入れ、二酸化炭素を排出する。肺の中では、枝分かれて細くなった気管支の先に小さな丸い肺胞が房状についており、その周りを毛細血管が

取り巻いている。肺胞と血管を隔てる薄い膜は厚さ $1\mu\text{m}$ と非常に薄く、二酸化炭素が血液中から肺胞へと速やかに排出される作りになっている。肺胞の表面積はテニスコートと同じくらいであり、効率良くガス交換を行うことができる。血液から二酸化炭素を運び出すのを補助する化学物質「炭酸脱水素酵素」の働きにより、二酸化炭素の除去速度は、酵素がない場合の 1000 倍となる。

■ 応用技術

- ・ 排煙中の二酸化炭素を 90% 以上除去する機能を持った人工膜フィルターの開発に応用されている。

■ 商品・サービス

- ・ 排煙中の二酸化炭素を 90% 以上除去する機能を持つ人工膜フィルター（カルボザイム社）

■ 応用技術提案

- ・ 工場や火力発電所から排出されるガスから二酸化炭素を分別・除去する技術に応用できる。

o. 超撥水性と水滴の吸着性を併せ持つバラの花びら

■ 機能

- ・ バラの花びらには、親水性と、疎水性を持つ表面の凸凹構造による超撥水性がある。これによって、バラの花びらにある水滴は球体となり、表面にくっつく。

■ 応用技術

- ・ 水滴をはじき、かつ、吸着する金属－高分子ハイブリッド構造でできた新しい人工シートに応用されている。

■ 応用技術提案

- ・ 水滴をはじき、かつ、吸着する人工シートを用いて、エネルギーを使わずに水分を収集し、水の少ない乾燥地や砂漠での作物栽培に応用できる。

p. 泡で身を守るアワフキムシの幼虫

■ 機能

- ・ アワフキムシの幼虫は、排泄された水分に自らが分泌する有機物を溶け込ませて石けんを作り出し、お腹の気門から空気の粒を吹き込んで泡立て、できた粘度の高い泡の固まりを巣にしている。幼虫が分泌する有機物に泡立ちをよくしたり泡を壊れにくくしたりする働きがあるため、泡の巣はとても丈夫で、雨風にさらされたくらいで

は吹き飛ばず、日照りでひからびることもない。泡の中の空気が断熱材の働きをするので、巣の中にいれば外気の変化から身を守ることができる。また、アリなどがこの泡の巣に侵入しようとする、石けんの水溶液で溺れて呼吸できずに死んでしまう。

■ 応用技術

- ・ 超節水で省エネルギーのお風呂の技術開発に応用されている。

■ 応用技術提案

- ・ 車いすのまま入浴できるお風呂の開発に応用できる。水圧がかからないお風呂の開発に応用できる。

以上の候補について、検討会において議論を行い、実証の実施に当たっての実現性等を考慮し、対象技術として以下を選定した。

A. 生物に学ぶトライボロジー

※h. 低摩擦材料（生物の表面構造）に対応

B. 省エネ建材＋撥水・撥油材料

※k. 調湿機能壁材（k1. シロアリの巣、k2. 地殻水熱反応）に対応

C. 水環境に配慮したものづくり（水処理・防汚）

※i. 船舶のコーティング剤（サメの鱗）に対応

D. 自己組織化技術

※h. 低摩擦材料（生物の表面構造）に対応

E. 環境観測用ロボット

※g. エネルギー効率に優れる水中ロボット（ブルーギル）に対応

また、検討会において、有識者の意見を踏まえ、バイオミメティクスにおけるトレンド等を考慮し、以下を追加した。

F. バイオミメティックデザイン（工業デザインへの応用）

※既存事例データベースにおける以下の技術に対応

落ち葉のパターンを取り入れた新しいタイルカーペットの張り方、
自然で綺麗なデザイン、ビルの壁や部屋の壁紙などのインテリア

G. 超小型風力発電機

※既存事例データベースにおける以下の技術に対応

トンボの翅に学ぶ昆虫型小型飛翔体、マイクロ風力発電機

なお、これらの共通基盤になるものとして、バイオミメティクス・データ検索基盤とデータベースを位置付けた。

2.2. 実用化したときの環境面及び経済面での貢献に係る調査、検討

選定技術の環境面、および、経済面での効果について調査し、評価指標を検討、以下の通り、整理した。選定技術は研究開発段階にあり、環境保全効果、経済効果の評価は困難であるため、今後の課題である。

図表 2 選定技術の環境保全効果・経済効果

選定技術	環境保全効果の評価指標	経済効果の評価指標
A. 生物に学ぶトライボロジー	・資源利用の削減 ・エネルギー消費削減	・メンテナンス性の向上 ・製品の長寿命化
B. 省エネ建材 ＋撥水・撥油材料	・調湿に必要なエネルギー消費削減 ・有機フッ素化合物の使用削減	・電気・ガス利用のコスト削減 ・メンテナンス性の向上
C. 水環境に配慮したものづくり (水処理・防汚)	・生態系保全	・メンテナンス性の向上
D. 自己組織化技術	・製造プロセスのエネルギー消費削減	・製造コスト削減
E. 環境観測用ロボット	・防災(災害現場の調査) ・国土の保全への貢献	・観測コストの削減
F. バイオミメティックデザイン (工業デザインへの応用)	・エネルギー消費削減	・デザイン性を兼ね備えることによる 付加価値向上
G. 超小型風力発電機	・CO2削減	・生産コスト削減

出所：株式会社富士通総研作成

2.3. 実用化に向けての課題の明確化、解決手法の検討

選定技術のうち、A. 生物に学ぶトライボロジー、B. 省エネ建材＋撥水・撥油材料、D. 自己組織化技術、E. 環境観測用ロボット、F. バイオミメティックデザイン（工業デザインへの応用）、G. 超小型風力発電機については、国内で研究が行われているという点で実現性があるが、実証を行うには、まだ研究開発が必要な段階にあると言え、実証事業ではなく、研究助成の形での支援が求められる。C. 水環境に配慮したものづくり（水処理・防汚）については、試験場所は想定されるが、地域における環境課題の抽出とそれに対して具体的にどのような技術を使うかについての検討が必要である。

2.4. 実証試験における試験計画の策定

前述の通り、選定技術は、まだ研究開発が必要な段階にある等の理由により、実証を行うのは困難と考えられる。一方、本年度業務で開催したワークショップでは、自然生態系に寄り添うバイオミメティクス工法の事例として、樹木の根系ネットワークを模倣し、自然生態系を復元する土砂崩れ防止工法が紹介され、自然生態系の循環まで視野に入れた環境整備をテーマとした実証の可能性が示唆された。このような技術は、環境面（生態系保全等）と経済面（施工コスト削減等）の双方で効果が期待でき、また、一部は既に実用化しているものもある。費用面でも、規模が大きいものであれば、実証試験は可能と考

えられる。

試験者は、技術を保有する企業・大学、地域の環境に精通している地方公共団体環境研究機関、試験場所を提供する地方公共団体が想定される。試験期間は、環境への効果を評価するために、3~5年程度は必要と考えられる。費用については、例えば、ワークショップで紹介された、日鐵住金建材株式会社による土砂崩れ防止工法「ノンフレーム工法」では、1000平方メートルで約2600万円（人件費を除く）である²。技術によって費用は異なると考えられるが、環境整備となると一定の面積が必要になるため、同程度の費用がかかることが想定される。

² 国土交通省 新技術情報提供システム（NETIS、
<http://www.non-frame.com/about/pdf/NETIS-CB-020050-A.pdf>）

3. 自然模倣技術・システムの今後のあり方に関する検討

3.1. 持続可能な社会の実現に向けた社会システム・ライフスタイルの変革に係る検討

3.1.1. 実施目的

持続可能な社会の実現のために、自然模倣技術・システムの導入と併せて行うべき社会システム・ライフスタイルの変革について検討する。単なる技術の導入に留まらず、主に自然模倣技術・システムを持続可能な社会の実現にどのように寄与させていくのかについて調査を行う。

3.1.2. 実施方法

有識者へのヒアリング調査を実施した。ヒアリング対象者、調査実施日は以下の通りである。

■ヒアリング対象者

株式会社積水インテグレートドリサーチ 主席研究員 白鳥 和彦 氏

■調査実施日

2015年2月13日

積水化学グループでは、「自然」に学んだ「基礎サイエンス」の知見を活用しようとする大学・研究機関の研究活動を支援するために、「積水化学 自然に学ぶものづくり研究助成プログラム」を、創立 55 周年記念事業の一環として、2002 年度より毎年実施している³。白鳥氏はその事務局運営を担当しており、様々な自然模倣技術・システムを俯瞰的に把握していることから、ヒアリング対象者として選定した。

3.1.3. 調査結果

ヒアリング結果は以下の通りである。

①自然模倣技術・システムの実用化について

- ・ これまで 190 人の研究者に助成を行ってきた。これまでは、個人への助成だけだったが、2013 年からチームによる異分野連携研究への助成を開始した。
- ・ 分野別では、特にケミカル分野が多いが、生物系の研究者も応募しており、生物の特異な機能がどのように発現しているかというテーマの研究が多い。
- ・ 大学の研究は、研究そのものの独自性で選ばれるので、今あるものを形にするという

³ 積水化学工業株式会社 Web サイト (<http://www.sekisui.co.jp/csr/contribution/research/index.html>)

実用化の視点があまりない。一方、企業にとっては実現性が大事で、量産可能、安定してつくれる等の点が重視される。

- 応募してくる研究者の研究がすぐに使えるかという点と難しい。今のところ、実用化した例はない。
- 研究者への義務を課さずに助成を行ってきたので、必ず実用化しなければならない、当社が研究成果を使わせてほしいということはない。
- 材料よりもシステムの方が実用化に近いのではないかと。例えば、ヒラムシに学ぶ多関節ロボットは、中央制御でなく、自律分散制御により、様々な環境に適応可能であるが、このような情報工学に近いテーマの方が実用化に近いのではないかと。
- 材料は、構造が分かっても、今の工業技術で作れるのか、今の材料を代替できる価格か、信頼性の評価等、クリアしないといけない課題が多々ある。
- 材料は、走査型電子顕微鏡（SEM）でナノ構造がようやく分かってきた段階で、製造技術の開発やどのような用途に使っていくかの検討はこれからではないかと。
- 生物の構造そのものを使うよりは、原理・原則をどのように使っていくかを企業や研究者が一緒になって考えないといけない。現状は、テーマを設定して、どうしてもものをつくれるかという議論まで行けておらず、そこが必要である。
- ナノ構造で機能が発現するメカニズムは分かったが、ナノ構造がどのように作られるのか。生物はナノ構造をどうやって作っていて、人間がそれを真似することができるのか。人間の工業的な量産技術でつくれるのか。
- 構造を真似して同じものをつくるのが正解か。似たようなもの、例えば、サメ肌水着のような、というアプローチもあるのではないかと。
- 有望なのは、多額の投資がなされる医療や宇宙開発、量産性より機能が重要な領域だろう。
- 今年度の異分野連携枠の採択案件で、「里山を守り豊かな水資源へとつながる『育水』に学ぶ降雨浸透モニタリングシステムの開発と地下水涵養域を考慮した水理地質構造モデルの構築」というテーマがあった。土木、センサー、情報科学の研究者がチームで提案。自然模倣技術・システムとは少し違うが、街づくり的なものに自然を活かすという視点で興味深く、また実用化に近いと考えている。
- 材料分野で異分野連携のテーマ設定は難しい。例えば、アプローチ A とアプローチ B があるとすると、その組み合わせでなく、淘汰されていくイメージである。機械分野の方がやりやすいのではないかと。例えば、ロボットだと、素材、制御というように各分野にテーマを分割することができる。
- 用途について、例えば、分子モーターができれば、今までできなかったことができるようになる。しかし、自然に学ぶという着眼点で、出来上がったものが画期的ということとはなかなかなく、性能がよいということで置き換わるのではないかと。
- 「自然に学ぶ」という言葉にこだわったのは、バイオミメティクスに限らないという

ことである。学問領域としては、バイオテクノロジーとバイオミメティクスは異なるが、そこにこだわらない。

- 生物の機能の研究は長期的な視野を持って続けるべきである。ただし、単なる研究ではなく、実用化の視点を入れて、絞込みを行い、実用化に近いものを手厚く助成することが必要である。

②社会システム・ライフスタイルの変革について

- 環境を守らないといけない、やらなくてはならないという意識が強いが、そのような考え方は一般市民には通じない。環境が主であってはいけない。便利だということがまずあって、よく見てみたら、環境にやさしい、持続可能である、ということが必要。
- 一般市民はエコに関心があっても、エコが第一義ではない。それは、企業、研究者、行政の仕事であり、よいものができて、それが、気が付いたら環境にもやさしいという仕組みを提供することが必要。
- 強制するのではなく、喜んでまでとはいかないが、社会システムや生活スタイルをトータルで考えてあげないといけない。例えば、エアコンの温度を下げるというのであれば、20℃でも暮らせる生活スタイルや住居、衣服を併せて提示する必要がある。
- 今の技術を、社会の枠組みを変えることで何か使えるかもしれない。生産性という価値観からはできないが、ライフスタイルを変えることで使えるかもしれない。そこをやらないと実用化にいかないのではないか。
- 環境と経済は反しない。ただし、現状は、整合性が取れない方向にあるということ。

3.1.4. まとめ

昨年度業務において実施されたヒアリング調査の結果も踏まえて、今回のヒアリング結果から示唆される課題を以下に整理した。

① 実用化の視点を入れて研究開発を行う

今回のヒアリングでは、企業にとっては実現性が大事であり、量産可能、安定してつくれる等の点が重視される一方で、大学の研究は、研究そのものの独自性が重視され、今あるものを形にするという実用化の視点があまりない点が自然模倣技術・システムの実用化における問題として指摘されている。昨年度業務において実施されたヒアリング調査でも、「微細構造を作る工程にコストがかかるので、価格が高くなってしまう。」「生物模倣の研究者と話をすると、生物を模倣してつくったものをどのように使うかはあまり考えていないことが多い。一方で、企業は実社会の問題をどう解決するかを考えている。」という意見が企業の研究開発者から挙げられている。

また、今回のヒアリングでは、生物の機能の研究は長期的な視野を持って続けるべきという指摘もあり、昨年度業務のヒアリングでも「生物の機能発現のメカニズムが

分からないとつukれないし、品質を保証できない。」という意見も挙がっている。

こうした点を踏まえると、単なる研究でなく、実用化の視点を入れた生物の機能の研究と、企業における量産化や安定生産のための研究開発が課題であると言えよう。

② 早期の実用化が見込まれる分野を見出し、成功事例をつくる

今回のヒアリングでは、材料よりも、自律分散制御のような情報工学に近いテーマの方が実用化に近いのではないかという意見があった。自然模倣技術・システムの研究開発は、2000年頃に起こった材料系バイオミメティクスの潮流を背景に、現在、材料分野を中心に展開しており、今後もそれは続くと言想される。一方で、昨年度業務の報告書でも述べられている通り、成功事例の創出が求められていることから、技術的なインパクトだけでなく、実用化までのスピードという観点で、テーマや対象領域を見る必要がある。

また、バイオミメティクスにおいては生物学とエンジニアリングの異分野連携が重要であることは各所で指摘されているところである。今回のヒアリングにおいては、材料分野では異分野連携のテーマ設定が難しいが、例えば、ロボットだと、素材、制御というように各分野にテーマを分割することができるので、機械分野の方が、異分野連携がやりやすいのではないか、という意見があった。昨年度業務のヒアリングにおいても、「異分野連携を進めるには、同じ問題に異分野の研究者が違うアプローチで取り組むプロジェクトを組成するのが有効で、同じ問題を見つけることが重要になる。」という意見が上っており、成功事例の創出を目指したテーマを設定する上で重要な示唆であると言える。

③ 「自然に学ぶ」というコンセプトで広く捉える

今回のヒアリングでは、学問領域としては、バイオテクノロジーとバイオミメティクスは異なるが、そこにこだわることで展開が阻害されるよりは、「自然に学ぶ」という言葉でこれを捉え、展開を図るという意見があった。昨年度業務の報告書においても、産業という点ではシームレスであるべきという指摘がなされている。技術としての区別は必要であるが、その応用においては、「自然に学ぶ」というコンセプトで広く捉えることが有効であると考えられる。

今回のヒアリングでは、『育水』に学ぶ降雨浸透モニタリングシステムの開発のような研究は、自然模倣技術・システムとは少し違うが、街づくり的なものに自然を活かすという視点で捉えると非常に興味深く、また実用化に近いと考えている、との意見もあり、環境への効果を分かりやすく示すという点でも、自然生態系の循環を視野に入れた環境整備の技術を自然模倣技術・システムとして捉えていくべきであると考えられる。

3.2. 他の施策との連携に係る検討

自然模倣技術・システムの研究開発または利用について、環境省または他省庁が実施している施策との連携について検討を実施した。検討の結果、各段階において活用可能と考えられる環境省の施策として以下が挙げられた。

■研究開発段階の施策

①環境研究総合推進費（総合環境政策局 環境研究技術室）

持続可能な社会構築のための環境政策の推進にとって不可欠な科学的知見の集積及び技術開発の促進を目的として、環境分野のほぼ全領域にわたる研究開発を実施している。

本事業は、環境省が必要とする研究テーマ（行政ニーズ）を提示して公募を行い、広く産学民官の研究者から提案を募り、研究部会の審査を経て採択された課題を実施する、環境施策貢献型の競争的研究資金である。環境省がトップダウン的に研究テーマや研究リーダー等の大枠を決めた上で、研究チームを競争的に選定するなど、行政ニーズに立脚した戦略的な研究開発を強力に推進している。研究の対象分野は、図表 3 に示す 5 分野（第 1 部会～第 5 部会）となっている。

なお、本事業では平成 27 年度新規課題において、「持続可能な社会実現のための自然模倣による社会システムの開発に関する研究」が取り上げられたものの、対象となる新規課題はなかった。

図表 3 環境研究総合推進費 研究の対象分野

●全領域共通・領域横断（第1部会）
長期的な国家ビジョンの中でのあるべき社会（持続可能社会）に係る研究、複数領域に同時に寄与するWin-Win型の研究開発、複数領域間のトレードオフを解消する研究開発 等
●脱温暖化社会（第2部会）
低炭素で気候変動に柔軟に対応するシナリオづくり、地球温暖化現象の解明と適応策に係る研究開発、低炭素化技術を社会実装するための最適パッケージ・システム化の評価・検討 等
●循環型社会（第3部会）
3R・適正処理の徹底、熱回収効率の高度化、レアメタル等の回収・リサイクルシステムの構築に係る研究開発 等
●自然共生型社会（第4部会）
生物多様性の確保、国土・水・自然資源の持続的な保全と利用に係る研究開発 等
●安全が確保される社会（第5部会）
化学物質等の未解明なリスク・脆弱性を考慮したリスクの評価・管理、健全な水・大気の循環に係る研究開発 等

出所：環境省 環境研究・技術総合情報サイト

(http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/gaiyou/gaiyou_2.html)

■技術開発・実証段階の施策

②CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（地球環境局温暖化対策課）

本事業では、将来的に大幅な CO₂ 排出削減に資する技術を社会に導入するため、将来の地球温暖化対策強化につながる技術開発・実証事業を国の主導により強力に進め、CO₂ 排出量の大幅な削減を目指す。

将来の規制等温暖化対策強化のシナリオに基づき本事業で開発・実証する技術課題を設定し、現状及び目標の技術成熟レベルや実施体制・計画、CO₂ 排出削減効果等から、外部専門家の評価・審査により事業実施主体を決定する。

また、進捗管理を強化し技術目標到達の確度を高めるため、事業の実施中、毎年度技術成熟レベルを判定し、必要に応じて開発・実証上の課題の特定とその対策の指導・助言、実施計画の変更等を行うことにより、効果的・効率的な技術開発・実証の執行を図る。

■製品化・普及段階の施策

③環境技術実証事業（総合環境政策局 環境研究技術室）

既に実用化段階にありながら、環境保全効果等について客観的な情報がないために普及が進んでいない先進的環境技術について、開発者でも利用者でもない第三者機関が環境保全効果を実際の現場等で実証し、その結果を環境省ウェブサイト等で公表することで、環境技術の普及を促すとともに実証方法の確立を図り、環境保全に資することを目的としている。

本事業は、1)有識者からなる検討会での議論を踏まえ、実証対象とする技術分野を設定 2)実証運営機関及び実証機関を公募の上、選定 3)実証機関において、企業等への対象技術の公募・選定、試験計画の策定、実証試験の実施、実証試験結果報告書の作成 4)実証試験結果報告書の公表、実証した技術に対し実証番号及びロゴマークの交付を行う。

■事前評価段階にある技術について、研究開発、技術開発、製品化、普及までを視野に置いた評価等を行う施策

④CO₂ テクノロジーアセスメント推進事業（総合環境政策局 環境研究技術室）

環境技術分野では異なる分野の技術が融合しており、これらの動向を研究機関や企業が俯瞰することは困難である。そこで国が技術の開発動向の情報を研究機関や企業に提供し、技術開発の発展性を促進していく役割を担うことが重要となる。

どのような技術が低炭素社会を創造し、人々の暮らしを安全・安心な方向へと導いていくのかを国民にも明らかにすることが、当該技術の円滑な普及のために必要である。本事業では実証段階に至る前の革新的な CO₂ 排出抑制技術の開発動向を把握し、テクノロジーアセスメントにより当該技術の環境特性等の評価等を実施し、公表を行う。

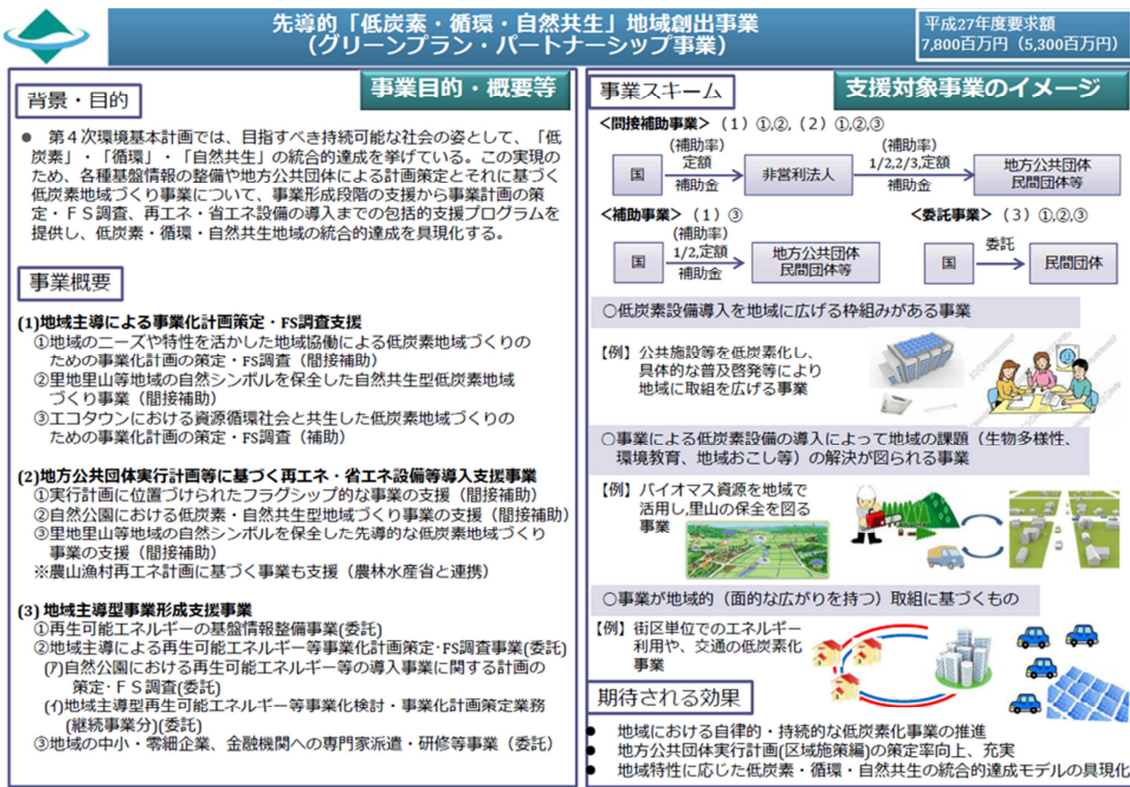
■まちづくりに関する施策

⑤先導的「低炭素・環境・自然共生」地域創出事業（グリーンプラン・パートナーシップ事業）

第四次環境基本計画では、目指すべき持続可能な社会の姿として、「低炭素」・「環境」・「自然共生」の統合的達成を挙げている。この実現のため、本事業は、各種基盤情報の整備や地方公共団体による計画策定とそれに基づく低炭素地域づくり事業について、事業形成段階の支援から事業計画の策定・FS調査、再エネ・省エネ設備の導入までの包括的支援プログラムを提供し、低炭素・循環・自然共生地域の統合的達成の具現化を目的とする。

支援事業は、1号（「実行計画」に位置付けられた事業に係る設備の導入）、2号（実行計画事業の事業化に向けた調査の実施及び計画の策定）、3号（自然公園における低炭素・自然共生型地域づくり事業に係る設備の導入）、4号（里地里山等地域の自然シンボルと共生した先導的な低炭素地域づくり事業に係る設備の導入）の4つに区分される。

図表 4 先導的「低炭素・環境・自然共生」地域創出事業（グリーンプラン・パートナーシップ事業）の概要



出所：平成27年度環境省概算要求 主要新規事項等の概要

(<http://www.env.go.jp/guide/budget/h27/h27-gaiyo.html>)

⑥「低炭素・循環・自然共生」地域創生実現プラン策定事業

地域において新たなエネルギー需給システムの構築等による低炭素地域づくりを追求する動きと併せて、地域資源を活用した環境投資促進、他地域とのネットワーク形成による地域資源循環圏の実現、魅力ある生活・交流空間創造等を通じて、雇用の創出や地域活性化を目指そうとする動きが活発化している。そのような背景の下、本事業は、地域において、低炭素・循環・自然共生を統合的に達成し、まち・ひと・しごとの創生を図っていくため、地域における当該検討の際に目指すべき地域の将来像とその実現に向けたプラン策定のあり方を示すとともに国の支援策を取りまとめるものである。(1)「モデル地域創生プラン」策定事業、(2) 評価指標化検討事業、(3) 全国プラン策定事業の 3 つの事業からなる。

図表 5 「低炭素・循環・自然共生」地域創生実現プラン策定事業



出所：平成 27 年度環境省概算要求 主要新規事項等の概要

(<http://www.env.go.jp/guide/budget/h27/h27-gaiyo.html>)

4. ワークショップの開催

4.1. 目的

環境への大きな効果が期待される一方で、社会実装が十分には進んでいない自然模倣技術・システムに関して、研究開発及び有効利用の一層の促進、並びに、昨年度及び本年度業務の紹介を目的として、持続可能な社会の実現にむけた自然模倣技術・システムの利用手法等に関するワークショップを、東京と地方で開催した。

東京開催では、自然模倣技術・システムの研究開発に取り組んでいない企業・研究機関に対して関心をもってもらい、研究開発に着手するきっかけとなる行動を促すことを、主な目的とし、大手の企業・研究機関に所属している、マネージャークラスの研究者を、主な対象として実施した。

地方開催では、自然模倣技術・システムを活用した成功事例の創出に向けて、日本国内でのモデル地域をつくることを、主な目的とした。開催地は、自然模倣技術・システムの活用により、環境への効果が期待できる地域として、自然模倣技術・システムに関する取り組みが活発な滋賀県とした。参加者は、研究者、企業経営者、自治体関係者、地域金融機関関係者、博物館関係者等を対象とした。

4.2. 開催概要

日時、場所、プログラムは以下の通りである。

【東京開催】

日時：2015年2月17日 14:00-17:00

場所：株式会社富士通総研 5階 大会議室

プログラム：

時間	実施内容
14:00-14:05	開会挨拶 環境省 総合環境政策局 環境研究技術室長 吉川 和身 氏
14:05-14:15	環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」の紹介 株式会社富士通総研 長谷川 誠
14:15-15:15	パネルディスカッション 【テーマ】 先行企業の研究開発における自然模倣技術・システムの活用事例 【モデレーター】 平坂 雅男 氏 公益社団法人高分子学会 常務理事 事務局長 【パネリスト】 下村 政嗣 氏 千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授 中野 充 氏 株式会社豊田中央研究所 先端研究センター 先端・グローバル研究推進室 (兼) 材料・プロセス2部 主任研究員 松浦 啓一 氏 独立行政法人国立科学博物館 名誉研究員
15:15-15:25	休 憩
15:25-16:35	バイオミメティクス・データ検索基盤の体験デモ 【データ検索基盤紹介】 長谷山 美紀 氏 北海道大学大学院 情報科学研究科 教授 【モデレーター】 平坂 雅男 氏 公益社団法人高分子学会 常務理事 事務局長 【コメンテーター】 松浦 啓一 氏 独立行政法人国立科学博物館 名誉研究員
16:35-16:55	「バイオミメティクス研究開発における持続可能性の位置づけとそのパラドックス」 独立行政法人産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 研究主幹 阿多 誠文 氏
16:55-17:00	閉会挨拶 千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授 下村 政嗣 氏

【滋賀開催】

日時：2015年2月24日 14:00-17:00

場所：ラ・コリーナ近江八幡 たねや農藝

プログラム：

時間	実施内容
14:00-14:05	開会挨拶 環境省 総合環境政策局 環境研究技術室長 吉川 和身 氏
14:05-14:10	ご挨拶 近江八幡市長 富士谷 英正 氏
14:10-14:30	「バイオミメティクスの新潮流：分子から都市設計まで」 千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授 下村 政嗣 氏
14:30-14:40	環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」の紹介 事務局 株式会社富士通総研 長谷川 誠
14:40-15:20	「滋賀における自然共生社会の試み」 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター センター長 内藤 正明 氏
15:20-15:30	休憩
15:30-17:00	パネルディスカッション 【テーマ】 ・滋賀県のまちづくりへの自然模倣技術・システムの活用可能性 ・持続可能な社会システム・ライフスタイルのあり方 ・持続可能な社会システム・ライフスタイルの実現に向けた取り組み 等 【モデレーター】 平坂 雅男 氏 公益社団法人高分子学会 常務理事 事務局長 【パネリスト】 下村 政嗣 氏 千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授 赤池 学 氏 株式会社ユニバーサルデザイン総合研究所 代表取締役所長 石田 秀輝 氏 合同会社地球村研究室 代表社員 内藤 正明 氏 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター センター長 仁連 孝昭 氏 滋賀県立大学 副学長 NPO 法人アスクネイチャー・ジャパン 理事長

4.3. 実施内容

各会場における実施内容は以下の通りである。

4.3.1. 東京開催

東京開催では、企業の研究開発者を中心に、12名の参加のもと、環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」の紹介、パネルディスカッション、バイオミメティクス・データ検索基盤の体験デモ、講演「バイオミメティクス研究開発における持続可能性の位置づけとそのパラドックス」を行った。

①環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」の紹介

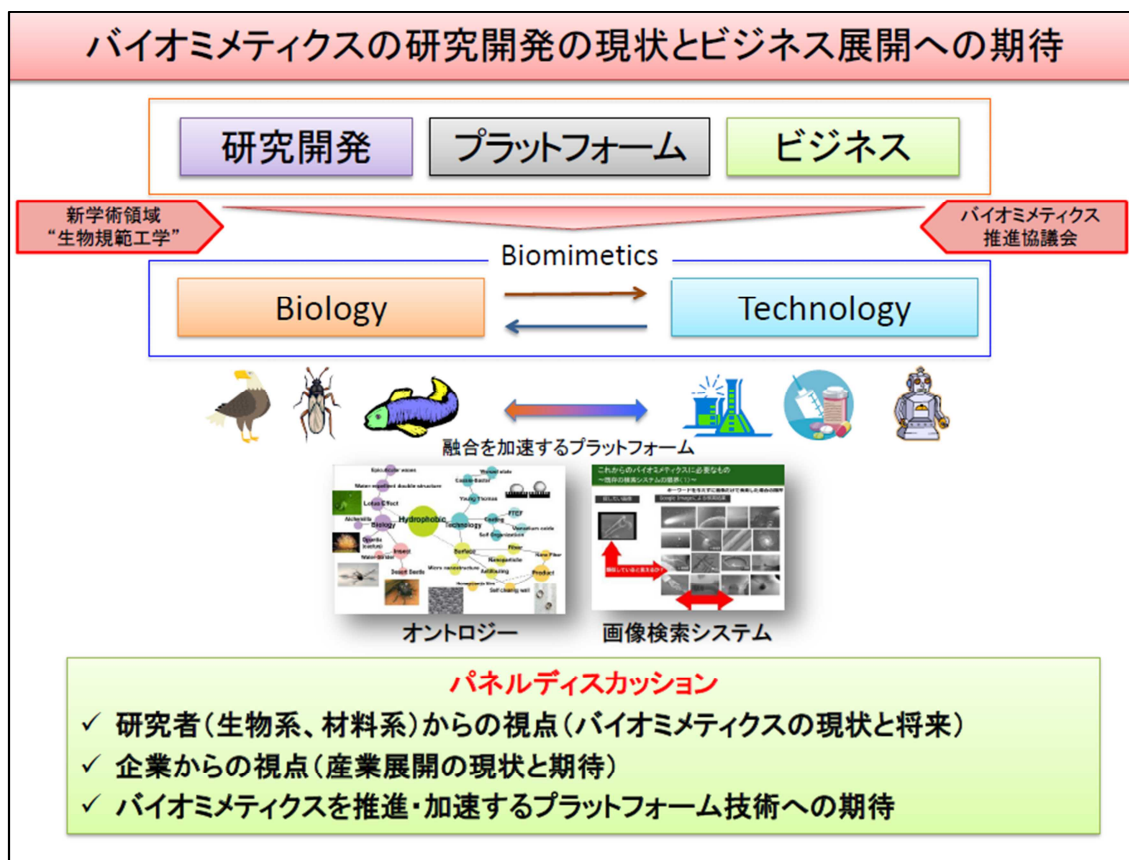
株式会社富士通総研の長谷川シニアコンサルタントにより、環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」について、昨年度および本年度業務の紹介と本ワークショップの開催の狙いの説明が行われた。

②パネルディスカッション

モデレーターとして、公益社団法人高分子学会 常務理事 事務局長の平坂雅男氏、パネリストとして、千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授の下村政嗣氏、株式会社豊田中央研究所 先端研究センター 先端・グローバル研究推進室（兼）材料・プロセス 2 部 主任研究員の中野充氏、独立行政法人国立科学博物館 名誉研究員の松浦啓一氏を迎え、パネルディスカッションを行った。

バイオミメティクスの研究開発の現状とビジネス展開への期待をテーマに、各パネリストにより、生物学者の視点、材料科学者の視点、企業の研究開発者の視点から話題提供が行われた後、バイオミメティクスを推進・加速するプラットフォーム技術への期待等についてディスカッションが行われた。

図表 6 パネルディスカッション（東京開催）のテーマ



出所：平坂雅男氏作成

図表 7 パネルディスカッションの様子



③ バイオミメティクス・データ検索基盤の体験デモ

バイオミメティクス・データ検索基盤の開発者である北海道大学大学院 情報科学研究科の長谷山美紀教授により、バイオミメティクス・データ検索基盤についての説明と体験デモが行われた。

体験デモにおいては、生物と材料という異なるものの画像であっても、表面構造が互いに類似していれば、バイオミメティクス・データ検索基盤により検索が可能であることを示す事例が紹介され、異分野の知識連携による発想支援の可能性が示された。また、参加者から事前に提供された材料の走査型電子顕微鏡（SEM）画像をクエリ画像として、参加者がバイオミメティクス・データ検索基盤を操作し、検索を体験、独立行政法人国立科学博物館の松浦名誉研究員により、生物学者の視点から、生物の SEM 画像との関連性についてコメントをいただいた。

参加者からは、環境データとの連携等によるバイオミメティクス・データ検索基盤の充実への期待や、様々な企業によるディスカッションの場の必要性、生物学者によるコメントの有用性を指摘する意見が挙がった。

図表 8 体験デモの様子



④講演「バイオミメティクス研究開発における持続可能性の位置づけとそのパラドックス」

独立行政法人産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門の阿多誠文研究主幹により、バイオミメティクスと持続可能性の関係について、我が国の環境政策・科学技術政策、OECD における持続可能な開発に関する議論、ISO における国際標準化の動向やテクノロジーアセスメント⁴の考え方を交えて、ご講演いただいた。

講演では、テクノロジーアセスメントに関して、対象とする技術が真に持続可能な社会の実現に寄与するかどうかという視点での評価や、持続可能な社会の実現のためにどのようなサービスが必要とされ、そのためにどのような技術が必要かという視点での評価がなされるべきとの意見が述べられた。

また、提言として、今後のバイオミメティクス研究開発において、環境と経済の持続発展が不可分であることを認識する必要があること、「バイオミメティクス＝持続可能」という根拠がない考え方が規格や環境規制に発展すると研究開発のリスク要因になることを理解する必要があること、研究開発と同時並行にテクノロジーアセスメントの活動を進めるべきであることが述べられた。

図表 9 講演の様子



⁴ 技術のもたらす正や負の副次的影響を総合的・包括的に予見・分析することで、社会的な課題設定や政策的な意思決定の方向性を広く提示する理念や活動を指す。副次的影響には、経済、環境、倫理、法、社会、文化に及ぼす影響など広く含まれる。（参考：阿多誠文氏提供資料）

4.3.2. 滋賀開催

滋賀開催では、研究者、地元経済界トップ、行政トップ等、23名の参加のもと、基調講演、環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」の紹介、地元研究者による講演、パネルディスカッションを行った。

開催にあたって、開催地である近江八幡市の富士谷英正市長からご挨拶をいただいた。

①基調講演「バイオミメティクスの新潮流：分子から都市設計まで」

千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授の下村政嗣氏にバイオミメティクスの最新動向について講演いただいた。

講演では、バイオミメティクスの活用領域が、「生態系バイオミメティクス」とも言うべき環境整備や都市設計の領域にまで及んでいること等が紹介された。

図表 10 講演の様子



②環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」の紹介

株式会社富士通総研の長谷川シニアコンサルタントにより、環境省「自然模倣技術・システムによる環境技術開発推進検討」について、昨年度および本年度業務の紹介と本ワークショップの開催の狙いの説明が行われた。

③講演「滋賀における自然共生社会の試み」

地元研究者による講演として、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター長の内藤正明氏にご講演いただいた。

講演では、琵琶湖の現況、滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの研究内容、持続可能な社会のあり方（先端技術型社会と自然共生型社会）、びわ湖メインストリート“湖国文化圏構想”等について紹介が行われた。

また、バイオミメティクスのもつ意義に関して、生物を利用した新たな技術開発によってさらなる経済的利益を生み出すためのものという印象を受けるが、実際は、真に持続可能な社会の実現に貢献する技術システムであるとの意見が述べられた。

持続可能な社会のあり方に関しては、大量生産、消費社会、一過的廃棄を特徴とする「先端技術型社会」ではなく、適量生産、市民社会、循環・再生を特徴とする「自然共生型社会」を目指すべきであり、そのためには技術開発だけでなく、都市構造や交通などのハードももちろん、その背景をなす価値観の転換も併せて行う必要があると述べられた。また、技術開発にあたっては、社会は技術に何を要求しているか、誰のため・何のための技術であるかという議論が必要とも述べられた。

最後に、バイオミクリーへの期待として、生き物の驚異を深く理解することで、それが持つ真の価値を認めれば、破壊的な搾取はあり得ず、生態系の中で新たな文明を作り直す（廃物・廃熱を出さない、再生可能資源のみで動く、他者との共生を基本とする）という方向性が述べられた。

図表 11 講演の様子



図表 12 先端技術型社会／自然共生型社会の特徴

	先端技術型	自然共生型
技 術	規格／大量生産 ・時間効率 ・枯渇資源 ・世界共通 ・工業的生産 消費社会 ・供給側主導 ・使い捨て ・物の所有消費 一過的廃棄 ・非再生的 ・非分解的	適量／多様生産 ・資源効率 ・再生性資源 ・地域固有 ・工芸的生産 市民社会 ・利用側主導 ・高品質長寿命 ・サービスの利用/レンタル 循環・再生 ・再生的 ・自然還元的
都 市	大規模工業化 大都市化 広域連携	農工バランス 都市と農村の融合 地域自立
価値観	経済効率	人々の豊かさ

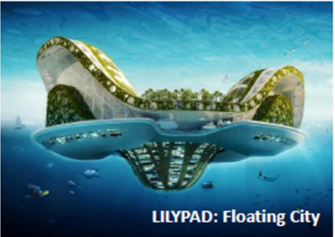
出所：内藤正明氏作成

④パネルディスカッション

モデレーターとして、公益社団法人高分子学会 常務理事 事務局長の平坂雅男氏、パネリストとして、千歳科学技術大学 総合光科学部 バイオ・マテリアル学科 教授の下村政嗣氏、株式会社ユニバーサルデザイン総合研究所 代表取締役所長の赤池学氏、合同会社地球村研究室 代表社員の石田秀輝氏、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター長の内藤正明氏、滋賀県立大学副学長 NPO 法人アスクネイチャー・ジャパン理事長の仁連孝昭氏を迎え、パネルディスカッションを行った。

持続可能な社会システム・ライフスタイルのあり方、滋賀のまちづくりにおける自然模倣技術・システムの活用をテーマに、各パネリストによる話題提供の後、ディスカッションが行われた。

図表 13 パネルディスカッション（滋賀開催）のテーマ

環境とバイオメティクス	
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。 ISO/DIS 18458	
 BIOMIMICRY 3.8  Janine Benyus	Biomimicry is an innovation method that seeks sustainable solutions by emulating nature's time-tested patterns and strategies 第一レベル：自然の形の模倣（これだけでは、持続可能性に必ずしもつながらない） 第二レベル：自然のプロセスの模倣 第三レベル：生態系自体を模倣
 CEEBIOS Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis 	Ségolène Royal*, ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie ouvrira le Centre européen d'excellence en Biomimétisme de Senlis. 2015年2月21日 * フランス エコロジー・持続可能開発・エネルギー大臣
自然模倣技術と環境デザイン	
 Green Building in Zimbabwe	 LILYPAD: Floating City
	 ラ・コリーナ近江八幡

出所：平坂雅男氏作成

図表 14 パネルディスカッションの様子



パネリストからの話題提供として、仁連氏からは、自然の犠牲の上に成り立っている社会から自然に適う社会への転換が必要であり、そのために、人間のライフスタイル、自然との関わり方の転換が必要との意見が述べられた。また、持続可能な地域デザインとして、自律分散型のサービス供給、地域資源利用による資源循環、各地域のもつ多様性の活用、多様な主体間での協力、省資源・省エネ化等が重要との意見が述べられた。

図表 15 持続可能な地域デザイン

近江八幡市の地域デザイン

- **自律性**>> 自律分散型サービス供給、遊休する可能性のある大規模施設ではなく、多様な利用可能性の開けた入れ子構造をもった施設（ハチの巣）
- **循環**>> 地域にある資源を利用し、地域で循環させる（里山、里湖の資源、竹、ヨシ、木材、農産物等）
- **多様性**>> 旧市街、西ノ湖、八幡山・織山、沖島など多様なニッチを活かす
- **協力**>> 多様な主体により、地域の事業と魅力を横につなぎ、地域の価値、雇用を生み出す
- **エネルギー効率**>> エネルギー多消費素材（金属、石油製品、セメント）から自然素材への転換、式年遷宮方式による循環と省エネルギー

出所：仁連孝昭氏作成

赤池氏からは、今後の社会の方向性について、物質的な豊かさを追求する人間中心の社会から、心と体の豊かさ、快適さを求めつつ自然や社会との調和を目指す方向へ変化するとの意見が述べられた。また、バイオミメティクスの活用に関して、生物の構造を模倣するだけでなく、生物のもつ優れた設計思想や生態系に学んだり、生物による生産物を利用するという方法を有機的に組み合わせていく必要があるとの意見が述べられた。

図表 16 バイオミメティクスの4つのフェイズ



出所：赤池学氏作成

また、生物生態系に学ぶ地域づくりの事例として、日鐵住金建材株式会社による、樹木の根系ネットワークを模倣し、自然生態系を復元する土砂崩れ防止工法「ノンフレーム工法」が紹介された。

日鐵住金建材「ノンフレーム工法」

構造平面図

構造断面図（自穿孔方式の場合）

施工イメージ図 (CG)

石田氏からは、人類史を俯瞰したときの現在の社会の位置付けとライフスタイルデザインの重要性について意見が述べられた。産業革命により 18 世紀後半から始まった近代社会は、現在、文明から文化への移行期にあり、その予兆として、人はモノの豊かさより心の豊かさを求めるようになってきている。環境制約の中で心豊かな生活を送るためにはライフスタイルデザインが必要になる。また、ライフスタイルのデザインにあたって、固有の自然観をもつ日本人が世界を率先して新しい価値観をつくっていくことが重要との意見も述べられた。

会場からは、「地域経済界での取り組み状況として、滋賀県では琵琶湖を中心に環境と経済の両立に取り組んでいる。滋賀経済同友会では BMI（生き物に学ぶ革新的ものづくり）研究会を立ち上げ、県としての取り組みを提言しようとしており、国の支援をお願いしたい。」という意見があがった。また、「大きな方向性は理解できたが、実績が出てこないと市民に理解してもらえないため、何から順番に取り組んでいくべきかを具体化する必要がある。」という意見も挙げられた。

最後に、パネリストから環境省への提言として、博物館のアウトリーチやものづくりのワークショップ、滋賀県として目指す具体的な目標の設定・共有とそこに至るシナリオ・インセンティブの検討、そのための教育、失敗してもよいからまずはアクションを起こすこととそのための生物に学ぶ拠点の形成が挙げられた。

5. まとめと提言

5.1. まとめ

昨年度業務では、今後取り組むべき施策を、以下に示す通り、短中期的な取り組みと長期的な取り組みに分けて提言している。

○短中期的な取り組み

- ① プラットフォームとしてのデータ解析基盤の整備
- ② 地域での実証事業による成功事例の創出
- ③ 自然模倣技術・システムの研究の推進と体制構築

○長期的な取り組み

- ④ 需要サイド（利用者）への普及・啓発
- ⑤ 供給サイド（大学、企業）への普及・啓発
- ⑥ 自然模倣技術・システムの対象範囲・対象領域の拡大

各施策についての本年度の取り組み状況と成果は以下の通りである。

①については、東京開催のワークショップで、企業の研究開発者を対象に、バイオミメティクス・データ検索基盤の体験デモを実施した。ワークショップでは、環境省が保有する環境データとの連携の重要性が指摘された。東京開催のワークショップでは、バイオミメティクス研究開発における「持続可能性」の位置づけについて講演が行われ、後述するテクノロジーアセスメントの観点でも環境データとの連携が一層、重要性を増している。

②については、実証への展開を視野に、実用化に向けた技術の選定と調査を実施した。選定した技術で実証を行うには、まだ研究開発が必要な部分が多いと考えられる。一方、滋賀のワークショップでは、生物生態系に学ぶ地域づくりの事例として、樹木の根系ネットワークを模倣し、自然生態系を復元する土砂崩れ防止工法が紹介された。自然模倣技術・システムを自然生態系の保全・回復まで含めて広く捉えることで、この事例のような水系整備をテーマとした地域での実証の可能性が見出された。

③については、環境省において、2014年7月の中央環境審議会意見具申「低炭素・資源循環・自然共生政策の統合的アプローチによる社会の構築 ～環境・生命文明社会の創造～」において、着目すべき環境技術の一つとしてネイチャーテクノロジーが位置付けられている。また、現在、中央環境審議会において、「環境研究・環境技術開発推進戦略」の改定が審議されており、自然模倣技術・システムをこの戦略上に位置付けることが議論されているところである。

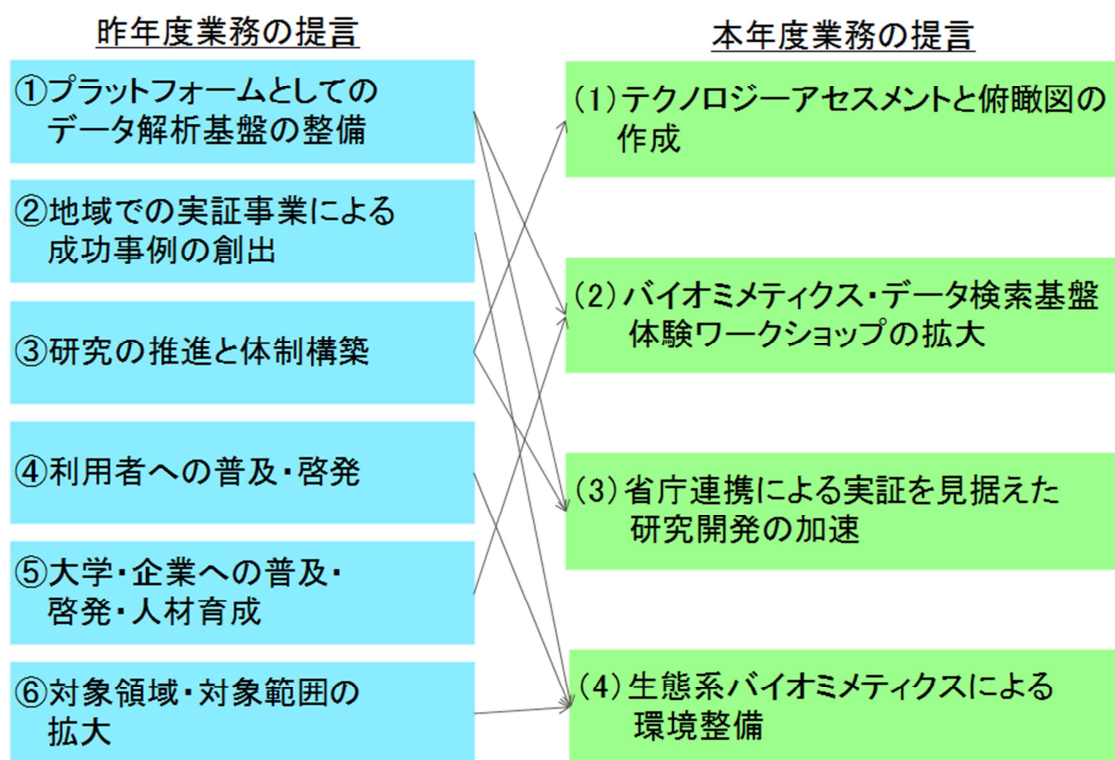
④、⑤、⑥については、自然模倣技術・システムの普及促進を目的に、東京、および、滋賀でワークショップを開催した。東京開催では、企業の研究開発者を対象にバイオミメ

ティクス・データ検索基盤の体験デモを行い、その有用性を感じていただいた。滋賀開催においては、研究者だけでなく、地域経済界トップや行政トップに出席いただき、滋賀を自然模倣技術・システム活用のモデル地域としていくことで共通認識が得られた。また、今後の取り組みポイントとして、魅力ある自然模倣技術・システムのあり方を示していくアウトリーチ活動や博物館の積極的関与が挙げられた。

5.2. 提言

昨年度業務における提言と本年度業務の調査検討結果を踏まえて、自然模倣技術・システムの活用を促進していくための施策として、以下に示す(1)～(4)が、検討会から提言された。図表 18 に昨年度業務において提言された施策と、本年度業務において提言する施策の関係を示す。

図表 18 昨年度業務の提言と本年度業務の提言の関係図



出所：株式会社富士通総研作成

(1) テクノロジーアセスメントと俯瞰図の作成

自然模倣技術・システムは、持続可能性に貢献できる技術として期待されているが、どのように貢献できるのかが明らかになっていない点が普及促進の障壁になっている

と考えられる。この障壁を取り除くためには、自然模倣技術・システムの持続可能性への寄与を評価し、明らかにするためのテクノロジーアセスメントが必要である。バイオミメティクスの国際標準化を議論している ISO/TC266 においても、2014 年 10 月に開催された第 4 回総会において、バイオミメティクスと持続可能性の関係を議論するワークアイテムが今後提案されることが決まっており、「バイオミメティクス＝持続可能性」という根拠のない考え方が国際規格や環境規制に発展することで研究開発のリスク要因となることを防ぐという点でも、その必要性が高まっていると言える。テクノロジーアセスメントの実施過程で、自然模倣技術・システムを社会実装する上での課題や対応策も具体化されると考えられ、自然模倣技術・システムの社会・産業へのインパクトを評価する際に重要になる全体像の俯瞰のためのマップ作成においても必須になるものとする。

実施にあたっては、環境研究総合推進費等の既存の施策を活用し、後述の(4)において活用する技術等を具体的な事例として評価していくことが有効であろう。

(2) バイオミメティクス・データ検索基盤体験ワークショップの拡大

本年度、東京開催のワークショップで行ったバイオミメティクス・データ検索基盤の体験デモでは、参加者に実際にデータ検索基盤を操作していただき、有効性を感じていただくことができた。同様のワークショップを他地域へも展開していくことで、関心があるが、具体的な行動にまで至っていない企業の活用ハードルを下げるができると思われる。現在あるデータに加えて、既存の環境データも取り込んで、トライアル的に検索を行うことで、新たな発想も期待できる。また、今回のワークショップでは、生物学者にも登壇していただき、生物画像についてコメントをいただきながら進化した。このようなワークショップにより、生物学者と企業の研究開発者とのマッチングの機会を提供することで、生物多様性の活用を推進することにもつながるものと考えられる。

(3) 省庁連携による実証を見据えた研究開発の加速

構造を模倣するだけでなく、ものづくりのプロセスから生物に学ぶようなチャレンジな技術は、まだまだ研究開発が必要であり、省庁の連携によりスピードアップを図ることが求められる。実施にあたっては、これまでのバイオミメティクスの研究開発は、各技術について個別に進められてきた傾向があるため、バイオミメティクス・データ検索基盤を横串に蓄積したデータ・知見をネットワーク化することで、プロジェクト間の連携を図ることが必要である。生物から何を学ぶのか、情報技術を駆使して、複数のプロジェクトを横断的に俯瞰することで、自然模倣技術・システムを社会実装する上で個々の技術に共通する本質的な研究課題も見えてくるのではないかと考えられる。

(4) 生態系バイオミメティクスによる環境整備

これまでのバイオミメティクスは、主に製品としての工学設計への応用を中心に、議論されてきたが、自然生態系の循環まで視野に入れた環境整備やまちづくりにも展開できる技術やデザインも台頭している。今後の取り組みが期待される地域実証においては、このような自然生態系に寄り添うバイオミメティクス工法等をモデル的に導入することで、防潮堤に代わる多面的価値を持つ減災林等の基盤整備や、農業を含めた循環型の地域コミュニティの形成にも発展していくものと考えられる。

5.3. 今後の検討課題

前項の提言に掲げた施策を実施していくにあたり、今後、検討が必要な課題を、検討会における議論等を踏まえ、以下の通り、整理した。

(1) 「自然模倣技術・システム」の概念の整理

提言(1)の「テクノロジーアセスメントと俯瞰図の作成」と関連して、議論のベースとして、「自然模倣技術・システム」の概念を整理し、定義することが必要である。テクノロジーアセスメントを行うためには、まず、「自然模倣技術・システム」とはどのような技術であるか、共通認識を図る必要がある。現在、自然模倣技術・システムと類似する概念として、ネイチャー・テクノロジー、バイオミメティクス、バイオミミクリー等が用いられているが、これらと自然模倣技術・システムは何が同じで、何が違うかを明確にする必要がある。そして、具体的にどのような技術が含まれるかを示したものが俯瞰図になる。

普及促進という観点から考えると、「バイオミメティクス」や「生物模倣技術」は技術者以外には分かりにくいとか、なじみにくいという指摘もあるため、日本発の新たな用語を考案することも、概念整理の選択肢の一つとして検討の余地があると考えられる。

(2) 産業界における注目テーマとの関連付け

自然模倣技術・システムの活用においては、社会実装の担い手である企業の参画が不可欠である。そのためには、自然模倣技術・システムが環境にやさしいだけでなく、産業に波及効果を及ぼすポテンシャルを持っているというイメージを形成していくことも重要であろう。そのためには、現在、産業界において注目を集めているテーマと自然模倣技術・システムがどのように関係付けられるかを示すことも重要である。例えば、Industry4.0⁵において自然模倣技術・システムがどのように位置付けられるのか、3D プ

⁵ドイツ政府が、科学技術イノベーション基本政策「ハイテク戦略2020」において、「未来プロジェクト」という名のアクションプランの一つとして掲げた。もののインターネット（Internet of Things: IoT）や生産の自動化（Factory Automation）技術を駆使し、工場内外のモノやサービスと連携することで、今までにない価値や、新しいビジネスモデルの創出を狙った次世代製造業のコンセプトである。（参考：独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター「次世代製造技術の研究開発 ドイツ編」平成27年1月）

リコーディング、ロボット、人工知能、高機能性材料等と自然模倣技術・システムがどのように関係付けられるかを明らかにすることができれば、自然模倣技術・システムは、持続可能な社会の実現と産業技術の発展の方向性が一致するテーマであることを具体的に示すことができると考えられる。

(3) 幸福度と連動した新しいテクノロジーとしての位置付け

自然模倣技術・システムを従来の技術と同様に応用するだけでは、環境負荷が大きくなる。これからのテクノロジーは、環境制約の中で幸福を感じられるライフスタイルを定義して、それと連動したものである必要があり、そこに、自然模倣技術・システムの新規性を提示することも可能なのではないだろうか。既に、持続可能性指標と幸福指標の関係性に関する検討は各所で行なわれているが、それらの議論も踏まえつつ、提言(1)のテクノロジーアセスメントを通じて、持続可能性だけでなく、幸福度の向上に自然模倣技術・システムがどのように貢献できるのかを示していくことが重要である。

(4) 超学際的な連携（協働）の推進

地球・人間システムの統合的理解と、人類が目指すべき未来の地球社会像の共有、そしてそれを踏まえた持続可能な社会を実現するための新たな動きとして挙げられるのが、**Future Earth** である。

Future Earth とは、国際科学会議（ICSU）等の学術コミュニティを中心として、ファンディング・エージェンシーや政策決定者等と協働し、気候、物質循環、生物多様性、人間活動を含め、地球の変動を包括的に理解し、地球規模課題の解決に資する研究の総合的な推進を目指す国際協働の枠組みであり、2014 年に発足している。**Future Earth** は、文理の壁を越えた学際的（interdisciplinary）研究による理解と知の提供だけでなく、研究者コミュニティと社会の様々なステークホルダーが様々な問題に対し共通の視点を共有する、超学際的（transdisciplinary）な連携（協働）による新たな研究設計である。すなわち、行政・政策担当者、研究資金提供者、産業界、教育関係者、メディア、市民団体といったステークホルダーが研究者コミュニティと共通の視点を共有しつつ、研究の立案の段階から成果の普及に至るまで協働してダイナミックな地球の理解、地球規模の開発、持続可能な社会への転換という3つのテーマの枠組みで研究を進め、これらの研究の統合を行うことで、問題解決に向けた新たな知の創出と統合を目指す取り組みである。

自然模倣技術・システムの研究開発・社会実装においても、**Future Earth** において提唱されている様々なステークホルダーによる視点の共有や、超学際的な概念は、重要な示唆を与えるものである。

(5) 地域実証における目標設定とシナリオ作成

提言(4)を進めていくにあたっては、地域の企業や行政、住民の参画が重要になる。本年度、滋賀において開催したワークショップにおいては、出席した地元企業の経営者から、「自然模倣技術・システムの活用を、ただ生物に学ぶということだけでなく、持続可能な社会の実現という大きな方向性で捉えるべきと感じたが、では、明日から何に着手したらよいか分からない」という意見が上がった。持続可能性という大きな話だけでなく、地域が抱える問題を解決するための目標設定と、そこに至るシナリオ作成を、地域の企業や行政、さらには住民の意見を取り入れる形で実施・展開していくことが重要である。