

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2012～2016

課題番号：24120008

研究課題名（和文）社会的インプリケーションによる生物規範工学体系化

研究課題名（英文）Technology creation system which can make with a paradigm shift of the human being and the earth by social implicating

研究代表者

石田 秀輝（Ishida, Hideki）

東北大学・環境科学研究科・教育研究支援者

研究者番号：10396468

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 116,900,000円

研究成果の概要（和文）：持続可能な社会に必要なライフスタイル(ニーズ)を、オントロジーを駆使して行為と方法に置き換えることで、「未来の技術要素」を抽出し、これまでに蓄積した改善悪化に関するデータベース、TRIZ40の原理に関するデータベース、バイオTRIZに関するデータベース、バイオミメティクスに基づく特許に関するデータベース等を統合することで、持続可能な社会に必要なライフスタイルニーズとサブセルラー・サイズ構造材料研究の成果を含むバイオミメティクスデータベース研究の成果をマッチングさせ、人と地球を考えたテクノロジーのパラダイムシフトのためのテクノロジー創出システムを構築できた。

研究成果の概要（英文）：For the ubiquitous approach to the creation of technology from the lifestyle by backcast thinking was discussed. And the technology creation system which can make with a paradigm shift of the human being and the earth considering technology was superstructured by three steps. Firstly, derive the “technology elements for future” by resolving the expected lifestyle under the sustainable society to the action and the function through ontological engineering approach. Secondly, orchestrate the databases relating the amelioration/pejoration, fundamentals of the TRIZ 40, patents of the biomimetics. And finally, integrate the orchestrated database which has the information of subceller size materials and the lifestyle which is the required one in the sustainable society.

研究分野：環境科学

 キーワード：生物規範工学 ライフスタイル・デザイン テクノロジー・ガバナンス Bio-TRIZ法 バックキャスト
オントロジー工学 持続可能性

1. 研究開始当初の背景

サブセルラー・サイズ構造材料研究 (B01 班) 及びバイオミメクスデータベース研究 (A01 班) 成果をシーズに、一方、持続可能な社会に必要なライフスタイルをニーズとして、これら両者をマッチングさせ、人と地球を考えたテクノロジーのパラダイムシフトのためのテクノロジー創出システムを構築することにより、生物規範工学をより安全に、効果的に社会へ波及・浸透させる。具体的には、生物多様性を規範とする、低環境負荷・環境親和型テクノロジーの迅速で効果的な社会展開を図るため、人文・社会・自然科学的視点からアプローチを行う。そのため、(1) ニーズ探索は地球環境制約下での心豊かなライフスタイル構築を行い、これに必要なテクノロジー要素の抽出 (人文科学視点) とシーズとのマッチングを踏む、既に手法の開発は応用準備段階にある。(2) 社会科学的是、新技術体系が社会に与えるインプリケーションをフィードバックできるシステム構築が必要であり、10 年間に及ぶ検討が続けられているナノテクノロジー創出手法を基盤に構築する。(3) 自然科学的には、得られたシーズをさらに高次化し、シーズの多様性を図る (図 1)。具体的には革新的問題解決法 (TRIZ 法) を利用する。既に、手法の応用研究は開始されており、本提案の新技術体系への適用準備を進めている。以上の成果は、国内外学会、新聞、書籍で発表すると共に、具体的なテクノロジーとして市場に投入する。

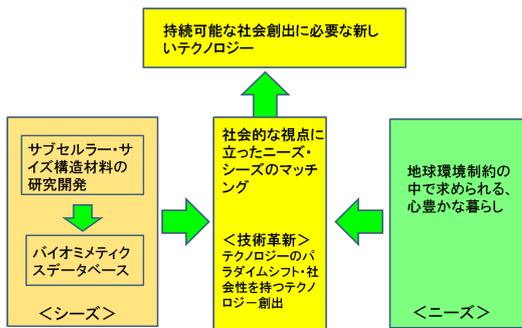


図1 本研究の位置づけ

テクノロジーは現在、エコ化が進み、生活者も強い環境意識を持っていながら、家庭のエネルギー消費は1990 年比約1.35 倍を示し確実に増加している。何故このような一見矛盾する (エコ・ジレンマ) 現象が起こるのか。不可避の地球環境問題と正対し、このエコ・ジレンマに解を与える新しいテクノロジーの創出が今求められている。エコ・ジレンマはエコ・テクノロジーが免罪符となって消費を煽っている可能性が高く、資源やエネルギーの消費を効率化するだけの部分最適化したテクノロジーの追求では地球環境の劣化に対して限界があり、人々のライフスタイル自体をテクノロジーを通して見直す必要

がある。すなわち、テクノロジーが、新しいかたちのライフスタイルを誘導しなければならない。

したがって、ここでは、バックキャスト手法により厳しい環境制約下でも心豊かに暮らせるライフスタイル (人文科学的) を描き <ニーズ>、それに必要なテクノロジーシーズ <自然科学的> を絞り出し、B01 班で得られた技術シーズ、A01 班のデータベースとのマッチングを図り、社会受容性の高いテクノロジー創出を目指す (図 2)。



図2 テクノロジー創出システムの概念

また、シーズやニーズの研究過程、およびその社会受容性に関しては、テクノロジーガバナンスの確立 (社会科学的) が不可避である。これには 10 年に及ぶナノテクノロジー領域における経験を、「生物規範工学」の本格的展開に先駆けてこの領域に応用展開し、その包括的なテクノロジーガバナンスのあり方を提唱する。このためには、産学協創基盤における技術開発とその応用における包括的なテクノロジーガバナンスのあり方を、生物規範工学の本格的展開に先駆けて提唱することを最終的な目的とする。

具体的には第 2 期および第 3 期科学技術基本計画で展開したナノテクノロジー・材料分野における社会受容の課題、主にはナノ材料のリスク管理や工業標準化といった課題を、今後どのように生物規範工学の体系に展開していくべきか、それをどのように展開すれば我々の社会に生物規範工学のリスク側面が正しく管理され、その便益が正しく還元されるのかを検討する。もう一つ大事な課題は、生物規範の社会への理解や認識にかかわる課題である。できるだけ客観的な情報をできるだけ理解しやすく情報配信していくことが重要である。現在、ナノテクノロジー分野で進められているパブリックエンゲージメントの活動を、新興の生物規範工学の領域でどのように進めていくべきか、その研究開発とともに基本的なコンセプトをまとめる。

さらに得られたシーズの高次化 (自然科学的) を図るため、「材料設計工学」と「構造 / 材料力学」の異分野連携により、「生物機能」を解析、体系化して、新たな工学特許を生み出すシステムの構築を行う。具体的には、生物表面のナノ構造を模倣した機能性材料の創製と構造のデザイン化、ナノ構造を形成

した機能性材料の物性評価および機能性評価、革新的問題解決法（TRIZ法）を導入したナノ・マイクロ構造と生物機能の体系化を行う。例えば、ハスの葉、サメの表面、モルフォ蝶など生物の表面ナノ構造を抽出して「材料工学」の観点からその構造体を創製して「材料力学」の観点から構造解析を行い、その結果を基に複雑な3次元表面構造をシンプルなナノ・マイクロ集積体にモデル化することで、より高次のテクノロジー創出につなげる。このような発想に基づく研究報告は他にはなく、革新的な工学材料の創製に有用な手段と期待できる。

2. 研究の目的

持続可能な社会に必要なライフスタイル(ニーズ)を、オントロジーを駆使して行為と方法に置き換えることで、「未来の技術要素」を抽出し、B班のサブセルラー・サイズ構造材料研究の成果を含むA班のバイオメティクス・データベース研究の成果(シーズ)とマッチングさせ、人と地球を考えたパラダイムシフトを実現するためのテクノロジー創出システムを構築する。

3. 研究の方法

生物多様性を規範とする、低環境負荷・環境親和型材料技術の迅速で効果的な社会展開を図るため、人文・社会・自然科学的視点からアプローチを行う。

(1)人文科学的には、バックキャスト法により、厳しい環境制約下で高い社会受容性を有する多くのライフスタイルを創出し、それに必要なテクノロジーを明らかにすることでテクノロジーニーズを絞り込む。同時に、バイオメティクス・データベースとの整合を図り、社会ニーズとテクノロジーシーズのマッチングを行い、社会受容性の高いテクノロジー創出につなげる。(石田・古川)

(2)社会科学的には、多面的な視点から生物規範工学が研究開発からイノベーションプロセスへの展開、さらに社会からの信頼性醸成に至る包括的ガバナンスのあり方を明らかにする。これにより新技術体系が社会から安全に、安心して受け入れられる態勢の構築が可能となる。このためには、すでに蓄積されているナノテクノロジーにおける手法開発の方法論を基盤に研究開発を行う。(阿多)

(3)自然科学的には、材料設計工学と構造/材料力学という異分野連携により、シーズとして得られたサブセルラー・サイズ構造材料の研究成果をより高次に組み合わせ、さらなる高機能シーズの創出を目指す。具体的には、生物の技術体系を工学特許に移転するTRIZ法を導入し、ナノ・マイクロ材料創発法を確

立する。(山内・小林)

4. 研究成果

多様なライフスタイルからニーズを見つけるためにライフスタイルの構造を明示化する手法としてオントロジー工学の応用を検討してきた。具体的な個々の生活シーンの構造を明示するために、行為を目的とそれを達成するための方式から構成されると捉え、生活シーンの中で述べられている行為を目的とその達成方式に分解、あるいは抽象度を上げた概念として抽出し、「行為分解木」として生活シーンを記述可能となった。

これにより、心豊かなライフスタイルを表現する標準語彙の集約(233語彙)を行うことができ、これにニーズとシーズのマッチングが効果的に行う手法論が構築できた。

そして、これまでに蓄積した改善悪化に関するデータベース、TRIZ40の原理に関するデータベース、バイオTRIZに関するデータベース、バイオメティクスに基づく特許に関するデータベースを統合して、思いがけない生物の仕組みとの遭遇を支援するセレンディピティ指向のオープンデータ検索システムを開発することができた。さらにはこの検索システムを活用して、実際の社会ニーズとして岩手県北上市の口内地区をモデルに、和傘が繋ぐ心豊かなライフスタイルに必要なとなるバイオメティック製品の創出について実証実験を行うことができた。これにより、持続可能な社会に必要なライフスタイルをニーズとして、サブセルラー・サイズ構造材料研究の成果を含むバイオメティクスデータベース研究の成果をシーズとして、これら両者をマッチングさせ、人と地球を考えたテクノロジーのパラダイムシフトのためのテクノロジー創出システムを構築するという目的が達成された。

具体的には、第1にバックキャストによりライフスタイルデザインを行い、将来の環境制約を想定し、バックキャスト手法により未来のライフスタイルを描き、第2に描いたそのバックキャスト・ライフスタイルから技術抽出を行うために、ライフスタイルを行為と方法に分解し、求められる技術(機能や要素)を抽出する。第3に求められる機能や要素を実現するような技術シーズを自然界から探索し、技術矛盾を見つけてバイオTRIZを用いることで、求められる機能などを実現する自然界で利用されている解決策(技術シーズ)を探索し、第4に必要な技術開発を行い、プロトタイプの制作を行い、新システムやサービスを開発する段階に到達できる。これ以降は従来の研究開発プロセスと同様となる。

また、社会科学的方法論によって、生

物規範工学の社会への実装を支えるテクノロジーガバナンスのあり方について具体的な指針を示し、パブリックエンゲージメントを枢要とする社会への展開を支えるメカニズムの創出を目指した。また、新興のテクノロジーであるバイオミメティクスの研究開発と産業化を支えるルールを作る国際標準化に、同じ新興のテクノロジーであるナノテクノロジーの国際標準化の活動を参考に戦略的に取り組むこととした。

情報誌 PEN およびウェブサイト PENGIN の活用し、バイオミメティクス研究開発の進展や応用の現状を伝える多様な情報を収集・分析し広く社会へ発信するとともに、ウェブや質問調査票によるアンケートを実施し、社会からのニーズを適切に汲み取り、それらの結果を PEN や PENGIN へと反映するというメカニズムを構築した。

2012年10月より国際標準化機構 (ISO) の専門委員会 TC 266 Biomimetics で進められてきたバイオミメティクスの国際標準化の取り組みは 2016 年末までに 3 件の国際標準 (IS) の発行へと至っている。また、日本が提案国となっている技術仕様書 (TS) も近く発行される予定である。本計画研究では戦略的に国際標準化に取り組むための資料となる各国の国際標準化の動向の情報収集と分析を行い、日本が TC266 Biomimetics において積極的な役割を果たすことに貢献した。国際標準というルール作りの過程では、利害の異なる様々な国々と議論を戦わせなくてはならない。国際標準は発行して終わりではなく、今後のバイオミメティクス研究開発の進展に合わせて新しい国際標準の発行や、発行済みの国際標準の修正といった必要が必ず出てくることになる。その際には本計画研究での取り組みは、生物規範工学における研究開発の成果とともに、日本が各国との交渉を主導的にこなしてゆくための強力な礎となると期待できる。

特徴的な成果は以下の通りである (図 3)。

- ・心豊かなライフスタイルの構造
社会受容性の高い心豊かなライフスタイルの構造を書籍 Springer で発表。各地域での 90 歳ヒアリングの実施により、戦前のライフスタイルと環境制約下の未来のバックキャストライフスタイルとの共通点が明らかになった。さらに、予兆の研究により、社会が求める自立型ライフスタイルに必要な要素も明らかになった。これら要素をテクノロジーとして展開することで心豊かな暮らし方に求められるテクノロジーが開発可能となる。
- ・オントロジー工学によるライフスタイルの明示化
ライフスタイルを行為分解木で明示化す

る新手法を構築し、自然界の解決策や戦前のライフスタイルとをマッチングさせて、技術抽出や機能抽出を行うためのライフスタイル標準語彙 (233 語彙) を明らかにした。

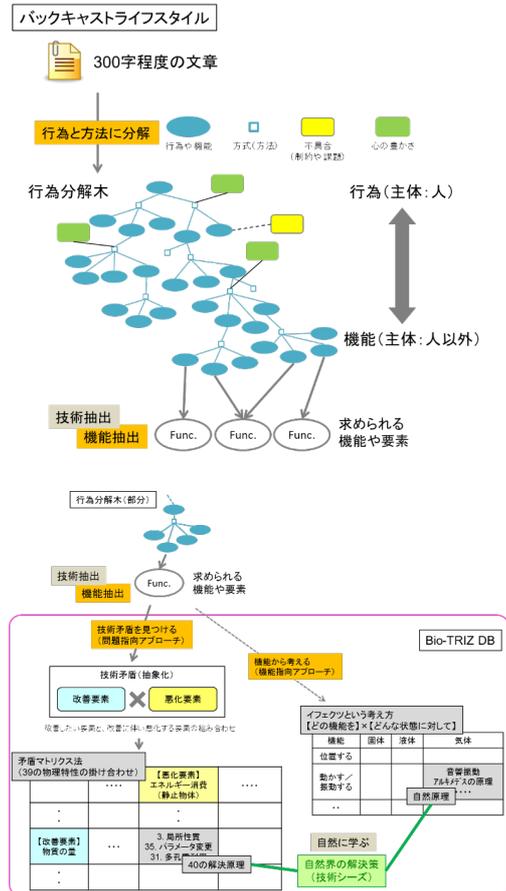


図 3 ライフスタイルとテクノロジーのマッチングの流れ

- ・オープンデータ検索システム開発
蓄積した改善悪化に関するデータベース、TRIZ40 の原理に関するデータベース、バイオ TRIZ に関するデータベース、バイオミメティクスに基づく特許に関するデータベースを統合して、思いがけない生物の仕組みとの遭遇を支援するセレンディピティ指向のオープンデータ検索システムを開発することができた。
- ・情報誌 PEN およびウェブサイト PENGIN を活用し、本計画研究の成果とその成果が創る新しい社会像を社会へ発信し、一方で社会がバイオミメティクスに何を期待するのかを研究開発に携わる者が理解し社会のニーズを着実に研究開発へとフィードバックする双方向のコミュニケーションに実践的に取り組んできた。このようなパブリックエンゲージメントを要とするメカニズムの有用性は国際取引のためのルール作りの場でも認められ、国際標準化機構 (ISO) のバイオミメティクス専門委員会 (TC266 Biomimetics) に、日本提案によって TC266 Biomimetics の

参加国におけるパブリックエンゲージメントを促すために TG Transparency and stakeholder communication が設けられた。また、バイオミメティクスの国際標準化活動を本格的に展開する際には、PEN および PENGIN をプラットフォームとし、ISO での取り組みについて社会へ伝えると同時に、国際標準への社会からの期待を掲げることができ、このメカニズムの有用性を示すことができた。

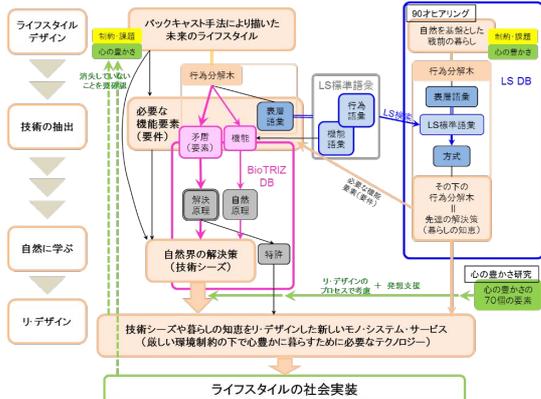


図4 テクノロジー創出システムの全体像

中間評価において、「多様性の中からニーズ、シーズのマッチングを行う手法に優れているが、テクノロジー創出にかかわるモチベーション維持や実際の手続き、コミュニケーション、目利きなどをつかさどる人材の教育とその持続性確保にも、より力を注ぐべきである。」とご指摘を受けたことについては、思いがけない生物の仕組みとの遭遇を支援するセレンディピティ指向のオープンデータ検索システムを開発し、研究者の発想を支援する仕組みを追加することに加え、6つの自治体内(秋田市、北上市、豊岡市、志摩市、沖永良部島(知名町、和泊町))に東北大学古川研究室分室を設置し、バックキャスト思考によるライフスタイルデザインを行い、将来ニーズを明確にするための人材育成を地域の自治体職員、地域企業人、住民に対して開始し、長期的にテクノロジー創出システムが実際の実装される基盤を強化した(図4)。

他班との連携を進めた。ライフスタイルの構造を明示化する手法としてオントロジー工学の応用をC班とA班と共同で検討した。具体的な個々の生活シーンの構造を明示するために、行為を目的とそれを達成するための方式から構成されると捉え、生活シーンの中で述べられている行為を目的とその達成方式に分解、あるいは抽象度を上げた概念として抽出し、「行為分解木」として生活シーンを記述可能となり、心豊かなライフスタイルを表現する標準語彙の集約(233語彙)を行うことができた。

さらには、A班で集約したオントロジー工学における機能語彙とバイオTRIZデータ

ベースにおける改善機能とをリンクさせて、データベースの連携化を諮った。またバイオTRIZデータベースを活用してB班の研究事例の新たな応用を提示した。

C班と公募研究の香坂玲と共に社会的インプリケーションに関してイノベーションの観点で研究を行い、「生物模倣技術の最新動向と関連特許・イノベーションの分析～サステナビリティのための生物規範工学の構築と環境経営学との対話に向けて～」と題する共著論文(環境経営学会)を執筆した。

研究成果の波及効果も得られている。グローバル化が急速に進む中、一方ではそのネガティブな部分が顕著になっている。多くの先進国では、拡大・成長に向かって、時間とお金という物差しで効率が単純化され、進んでいる、遅れているという一元的な概念によって位置付けられてきたが、それは明らかに限界を迎えている。物質的な豊かさは飽和し、物は売れなくなり、行き過ぎた『個人』の尊重が他者との関係を結べない孤独を生み出し、無縁社会をつくっている。

これからますます厳しくなる地球環境、あるいは少子高齢化社会において、今新しい物差しとそれに基づく戦略が求められている。それには、これらの制約を排除するという従来型の思考(フォーキャスト思考)では、残念ながら全体最適解を生み出すことは極めて困難であり、制約を肯定し、その中で心豊かな暮らし方を担保できるテクノロジー、サービス、政策の提案が求められている。そのためには、バックキャスト思考に基づいた議論が不可避である。

本研究では、バックキャスト視点でライフスタイルを描き、それに必要なテクノロジーを完璧な循環をもっとも小さなエネルギーで駆動する自然から学び、それをリ・デザインすることで社会へ投入できることを明らかにした。また、投入されたテクノロジーが社会から受け入れられやすく、社会的インプリケーションを有することも明らかになりつつある。今後継続測定をすることで、このようなシステムで生まれたテクノロジーがライフスタイルそのものを変え、変えることも証明出来ると考えている。

本研究成果は、現在あるテクノロジーの効率化を煽るものではなく、厳しい地球環境制約の中でも、それを肯定した心豊かなライフスタイルが存在し、それに必要なテクノロジーが、汎用的なシステムで開発・提供できる、従来とは全く異なる『未来型のニーズオリエンテッド・テクノロジー』の誕生とも言える。さらには、未来型のニーズから求められる機能を探り、その機能を持続可能な未来型社会で役立たせるためのテクノロジーを自然の仕組みから学びながら創出する手法を確立できることを実証している。この手法で開発されたテクノロジーは、人と環境にやさしく、感性工学的な機能美を有していることも示唆されている。

そのような視点からも、本研究は学際横断をさらに超えた Future Earth 視点での成果とも言え、その波及効果は、成果が小学校国語教科書に掲載されたことを含め、多くの報道、講演に見られる

ように、新しいテクノロジーの潮流を導き出しつつあるといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 105 件)

石田秀輝, 古川柳蔵, “未来を創るあたらしいテクノロジーのかたち”, 日本知財学会誌, Vol. 13, No. 2, p. 23-29(2016)(査読なし).

山内健, 網田英里子, 鈴木貴司, 為末真吾, 三俣哲, 坪川紀夫, 小林秀敏, “バイオ TRIZ を活用した酵素複合導電性高分子の作製とバイオセンサへの応用”, 材料試験技術, 60, 3, 159-163 (2015) (査読有).

古川柳蔵, “バックキャストによるライフスタイルデザインとその実践”, 自動車技術, Vol. 69, p. 24-30(2015) (査読なし).

阿多誠文, “工業製品のデザイン・アルゴリズムが国際標準へ”, PEN, No. 8, 8-16(2014) (査読なし).

古川柳蔵, “第 1 回暮らし方を見直す-利便性追求により失われつつある物事-”, PEN, No. 5, 4, 27-33 (2014) (査読なし).

古川柳蔵, 石田秀輝, “バックキャストによるライフスタイル・デザイン手法とイノベーションの可能性”, 高分子論文集, Vol. 70, No. 7, p. 341-350(2013) (査読有).

山内健, 小林秀敏, “生物の不思議を工学に移転する技術- バイオ TRIZ という技法”, PEN, 4, 5, 13-18 (2013) (査読なし).

関谷瑞木, “バイオミメティクスに関する国際標準化 第 3 回総会”, PEN, No. 8, 20-23(2013) (査読なし).

阿多誠文, “国際標準化 ISO/TC266 Biomimetics が発足”, PEN, No. 1, 3-5(2012) (査読なし).

〔学会発表〕(計 69 件)

石田秀輝, “テクノロジーは人を豊かにできるのだろうか?”, 無機マテリアル学会特別講演, 仙台, 東北大学大学院環境科学研究科(2016年11月10日).

H. Ishida, “Channeling the forces of Nature”, 13th International Conference of the European Ceramic Society, Limoges France(2013.6.20-26).

Masafumi Ata, Mizuki Sekiya, Soonhwa An, Societal collective outcomes, including manufacturing and innovation, and long-term societal development, NBIC 2: Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies, Korea, Seoul, Korea Institute of Science and Technology(2012.10.16).

〔図書〕(計 26 件)

石田秀輝 (監修), “自然に学ぶ暮らし (1), (2), (3)”, さえら書房, 各 47p (2017).

関谷瑞木, 阿多誠文, “第 6 章 生物の順応的成長に学ぶ工業製品のデザイン手法が国際標準へ~ ISO/TC266 WG3 の発足から京都会議まで”, インストルメンテーションの視点

からみたバイオミメティクス~バイオミメティクス研究及び製品開発の動向と今後の展望~, シーエムシーリサーチ, 273-282(2016).

石田秀輝, “光り輝く未来が沖永良部島にあった!”, ワニブックス, 255p (2015).

石田秀輝 (監修), “ピカイア”, NHK 出版, 80p (2015).

阿多誠文, 関谷瑞木, “61 工業製品の剛性向上・軽量化とその標準化”, バイオミメティクスの本, 日刊工業新聞社, 142-143(2015).

石田秀輝, 古川柳蔵, “地下資源文明から生命文明へ 人と地球を考えたあたらしいものづくりと暮らし方のか・た・ち-ネイチャー・テクノロジー”, 東北大学出版会, 158p(2014).

H. Ishida, R. Furukawa, “Nature Technology - Creating a Fresh Approach to Technology and Lifestyle”, Springer, 174p(2013).

〔その他〕(メディア報道計 223 件、アウトリーチ活動計 371 件、受賞・招待講演・基調講演計 19 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 秀輝 (Hideki Ishida)

東北大学・環境科学研究科・教育研究支援者
研究者番号: 10396468

(2) 研究分担者

古川 柳蔵 (Ryuzo Furukawa)

東北大学・環境科学研究科・准教授
研究者番号: 60420006

小林 秀敏 (Hidetoshi Kobayashi)

大阪大学・基礎工学研究科・教授
研究者番号: 10205479

山内 健 (Takeshi Yamauchi)

新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 90262477

小林 透 (Tohru Kobayashi)

長崎大学・工学研究科・教授
研究者番号: 90637399

阿多 誠文 (Masafumi Ata)

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・主任研究員
研究者番号: 60192465

(3) 連携研究者

須藤 祐子 (Yuko Suto)

東北大学大学院・工学研究科・特任准教授
研究者番号: 70344687