

技術士 PE

IPEJ Journal 2024. 1

特別企画

- ・会長対談 「量子コンピューターが拓く未来」
- ・自然から学ぶ特集



公益社団法人 日本技術士会
The Institution of Professional Engineers, Japan

《技術士倫理綱領》

技術士は、科学技術の利用が社会や環境に重大な影響を与えることを十分に認識し、業務の履行を通して安全で持続可能な社会の実現など、公益の確保に貢献する。

技術士は、広く信頼を得てその使命を全うするため、本倫理綱領を遵守し、品位の向上と技術の研鑽に努め、多角的・国際的な視点に立ちつつ、公正・誠実を旨として自律的に行動する。

(安全・健康・福利の優先)

1. 技術士は、公衆の安全、健康及び福利を最優先する。

- (1) 技術士は、業務において、公衆の安全、健康及び福利を守ることを最優先に対処する。
- (2) 技術士は、業務の履行が公衆の安全、健康や福利を損なう可能性がある場合には、適切にリスクを評価し、履行の妥当性を客観的に検証する。
- (3) 技術士は、業務の履行により公衆の安全、健康や福利が損なわれると判断した場合には、関係者に代替案を提案し、適切な解決を図る。

(持続可能な社会の実現)

2. 技術士は、地球環境の保全等、将来世代にわたって持続可能な社会の実現に貢献する。

- (1) 技術士は、持続可能な社会の実現に向けて解決すべき環境・経済・社会の諸課題に積極的に取り組む。
- (2) 技術士は、業務の履行が環境・経済・社会に与える負の影響を可能な限り低減する。

(信用の保持)

3. 技術士は、品位の向上、信用の保持に努め、専門職にふさわしく行動する。

- (1) 技術士は、技術士全体の信用や名誉を傷つけることのないよう、自覚して行動する。
- (2) 技術士は、業務において、欺瞞的、恣意的な行為をしない。
- (3) 技術士は、利害関係者との間で契約に基づく報酬以外の利益を授受しない。

(有能性の重視)

4. 技術士は、自己や協業者の力量が及ぶ範囲で確信の持てる業務に携わる。

- (1) 技術士は、その名称を表示するときは、登録を受けた技術部門を明示する。
- (2) 技術士は、いかなる業務でも、事前に必要な調査、学習、研究を行う。
- (3) 技術士は、業務の履行に必要な場合、適切な力量を有する他の技術士や専門家の助力・協業を求める。

(真実性の確保)

5. 技術士は、報告、説明又は発表を、客観的に事実に基づいた情報を用いて行う。

- (1) 技術士は、雇用者又は依頼者に対して、業務の実施内容・結果を的確に説明する。
- (2) 技術士は、論文、報告書、発表等で成果を報告する際に、捏造・改ざん・盗用や誇張した表現等をしない。
- (3) 技術士は、技術的な問題の議論に際し、専門的な見識の範囲で適切に意見を表明する。

(公正かつ誠実な履行)

6. 技術士は、公正な分析と判断に基づき、託された業務を誠実に履行する。

- (1) 技術士は、履行している業務の目的、計画、進捗、想定される結果等について、適宜説明するとともに応分の責任をもつ。
- (2) 技術士は、業務の履行に当たり、法令はもとより、契約事項、組織内規則を遵守する。
- (3) 技術士は、業務の履行において予想される利益相反の事態については、回避に努めるとともに、関係者にその情報を開示、説明する。

(秘密情報の保護)

7. 技術士は、業務上知り得た秘密情報を適切に管理し、定められた範囲でのみ使用する。

- (1) 技術士は、業務上知り得た秘密情報を、漏洩や改ざん等が生じないよう、適切に管理する。
- (2) 技術士は、これらの秘密情報を法令及び契約に定められた範囲でのみ使用し、正当な理由なく開示又は転用しない。

(法令等の遵守)

8. 技術士は、業務に関わる国・地域の法令等を遵守し、文化を尊重する。

- (1) 技術士は、業務に関わる国・地域の法令や各種基準・規格、及び国際条約や議定書、国際規格等を遵守する。
- (2) 技術士は、業務に関わる国・地域の社会慣習、生活様式、宗教等の文化を尊重する。

(相互の尊重)

9. 技術士は、業務上の関係者と相互に信頼し、相手の立場を尊重して協力する。

- (1) 技術士は、共に働く者の安全、健康及び人権を守り、多様性を尊重する。
- (2) 技術士は、公正かつ自由な競争の維持に努める。
- (3) 技術士は、他の技術士又は技術者の名誉を傷つけ、業務上の権利を侵害したり、業務を妨げたりしない。

(継続研鑽と人材育成)

10. 技術士は、専門分野の力量及び技術と社会が接する領域の知識を常に高めるとともに、人材育成に努める。

- (1) 技術士は、常に新しい情報に接し、専門分野に係る知識、及び資質能力を向上させる。
- (2) 技術士は、専門分野以外の領域に対する理解を深め、専門分野の拡張、視野の拡大を図る。
- (3) 技術士は、社会に貢献する技術者の育成に努める。

年頭所感

黒崎靖介

3

■会長対談「量子コンピューターが拓く未来」

GUEST: 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル研究センター 副センター長 川畠史郎

4

■「自然から学ぶ特集」

自然から学ぶ地球環境への技術貢献

武井 遼・対馬一昭・枝村正芳・村田裕子

10

バイオミメティクスを活用した機械振動騒音低減技術の開発

寺島 修

14

近年のバイオミメティクス研究と产业化

今泉雅裕

18

自然に学んだバイオミメティック纖維

八木健吉

22

幼生の定着 behavior から学ぶサンゴ人工種苗基盤の構造

藤原秀一

26

オクロ天然原子炉より学んだ地層による核分裂生成物の閉じ込め機能

坂本浩幸

30

太陽をまねる発電ーフュージョン・エネルギーの開発最前線

杉本 誠

34

森林整備活動から見えてきた環境保全の大切さと学び

綾木光弘

38

サーモン養殖を通じて自然から学ぶ

竹下 朗

42

生態系の物質循環から学ぶ脱炭素時代の資源循環型下水処理システム

生地正人

46

50

53

54

●会合・行事予定

●IPEJ NEWS

●編集室から

New Year Address

KUROSAKI Yasusuke

■ Special Interview

GUEST Global Research and Development Center for Business by Quantum-AI Technology (G-QuAT) , National Institute of Advanced Industrial Science & Technology (AIST) KAWABATA Shiro

■ Special issue for intelligence received from the nature

Technology from nature, contributes to the global environment

TAKEI Ryo TSUSHIMA Kazuaki EDAMURA Masayoshi MURATA Yuko

Development of mechanical noise and vibration reducing techniques using biomimetics TERASHIMA Osamu

Recent biomimetics research and industrialization IMAIZUMI Masahiro

Biomimetic fibers & textiles created by learning the form and structure of natural fibers YAGI Kenkichi

Structure of artificial coral seedling substrate learned from larval settlement behavior FUJIWARA Shuichi

Confinement function of fission products by geological formations learned from Oklo natural reactor SAKAMOTO Hiroyuki

Fusion energy development - Power generation imitating Sun SUGIMOTO Makoto

The learning of importance about environmental protection through the forest-resuscitation activity AYAKI Mitsuhiro

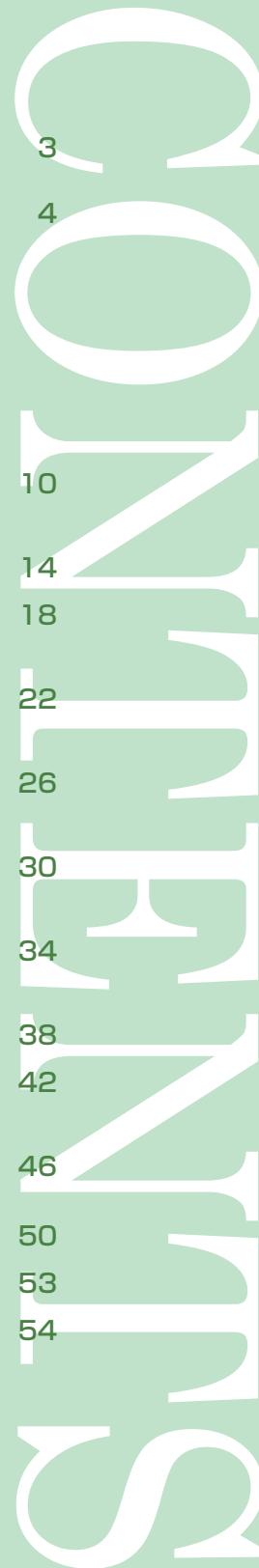
Learning from nature through salmon farming TAKESHITA Akira

Resource recycling sewage treatment system for the decarbonized era, learning from the material cycle of the ecosystem KIJII Masato

- Schedule of Events

- IPEJ NEWS

- From the Editor





年頭所感

New Year Address

黒崎 靖介
KUROSAKI Yasusuke



公益社団法人 日本技術士会 会長
技術士（建設／環境／総合技術監理部門）
日本工営（株）代表取締役 専務執行役員

新年明けましておめでとうございます。

公益社団法人 日本技術士会会員の皆さんに、
謹んで新年のお慶びを申し上げますとともに、平
素より本会の事業運営にご理解とご協力を賜り厚
く御礼申し上げます。新たな年を迎えるにあたり、年頭の所感を述べさせていただきます。

昨年は、2020年4月の緊急事態宣言から
2023年5月の5類移行に至るまで実に3年以
上にわたって続いた新型コロナウイルス感染症に
による著しい社会影響が一段落し、私たちの社会生
活が平常に近い状態に戻った年でした。日本技術
士会においても、10月には第52回の日韓技術
士会議が東京で、11月には第49回技術士全国
大会が中部・愛知で、また各地域においては第
43回の地域産学官合同セミナーが、いずれも従
来通りの対面形式で開催され、コロナ禍の間に行
うことのできなかった技術士の交流が盛大に行わ
れました。専門分野や知識、経験などにおいてそ
れぞれ異なるバックグラウンドを持つ技術士が相
互に交流することは、技術士が社会に貢献するた
めの新たな価値を生み出す大きな原動力であり、
こういった交流の場が再開されたのは大変喜ばし
いことです。

世界的な技術動向に視線を転じると2023年
には、前年11月に公開されたChat GPTがあつ
という間に世の中のさまざまな場面で使われるよ
うになりました。私たちの携わる技術の分野にお
いても、膨大なデータや世界中の参考資料や事例
を基にAIが解を導き出してくれることがいよいよ
近い将来の現実として見えてくる中で、私たち技

術者が社会において果たすべき役割について早急
に議論を深め、将来の技術者の役割や姿勢に関する
ビジョンを明確にすることが求められます。AI
に関する技術は急速に進化するとともに社会実装
が進んでおり、議論の結果を待つまでもなく技術
者が自己変革していくことも必要です。技術士に
求められる活動領域は技術的判断に加えて、社会
課題の的確な認識、将来の目標像の設定、関係者
とのコミュニケーション、そして倫理的判断とい
った人間でなければ難しい事柄に広がっていく
ことが想定されますが、このような役割を果たす
ためには自身の専門領域を深めるだけでなく周辺
領域やさらには人文・社会科学も含めた「総合
知」を発揮できるように視野を広げていかなくて
はなりません。

加えて技術士に対する社会の信頼や技術のプロ
フェッショナルとしての尊敬を獲得し維持するた
めには、私たちが不断の努力で資質向上に努めて
いることを対外的に明らかにしていくことも必要
です。2023年10月時点でのデータによると、
CPD実績の記載申請をされた技術士は全体人数
のわずか3%，本会会員の中でも14%にとど
まっており、残念ながらこれでは技術士が資質向
上の責務を果たしていると胸を張って宣言するこ
とはできません。本会会員である技術士の皆様が
CPDを実施し登録することを新年にあたっての
抱負の一つとされることをお願い申し上げます。

最後に、新しい年が本会会員の皆様一人ひとり
にとりまして、幸多き年となりますことをご祈念
申し上げまして年頭の挨拶といたします。

2023年は、日本にとって「量子コンピューター元年」となった。3月に初の国産量子コンピューターが稼働し、7月には産業技術総合研究所が、量子ビジネスの創出や人材育成などを目的に、量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル研究センター（G-QuAT）を設立した。また、日経BP総合研究所などが行った2030年に期待できる技術調査で、量子コンピューターは第2位にランクインするなど注目度は高い（因みに第1位は介護ロボット）。こうした中、本会は、G-QuATの副センター長である川畠史郎博士と黒崎靖介会長が対談する機会を得、本誌面で紹介できるに至った。以下のトピックスでお届けする。なお、川畠博士は、新春記念講演会で講演していただく予定である。

<トピックス>

1. 量子コンピューターとは
2. 量子が描く未来社会
～得意分野は限られるが、破壊的インパクトをもたらす～
3. 日本の現在の立ち位置
～実はフタを開ければ日本製～
4. 今求められるブレイクスルー
～部素材ワークショップは大盛況～
5. それ量子でやっておいて
～目指す人材育成～
6. 技術士に向けて

黒崎 靖介

公益社団法人 日本技術士会 会長



量子コンピューター

1. 量子コンピューターとは

【黒崎】 私の本職は土木のコンサルタントで、土木関係では交通流の最適化は重要で、量子コンピューターという言葉をよく耳にしております。われわれの生活や社会に非常に密接なものだと感じており、ぜひ、そういう話を伺わせていただきたいと思っております。

【川畠】 はい。でははじめに量子力学原理に基づくコンピューターの2つの方式について紹介します。一つ目の量子コンピューターは、従来型のコンピューターの上位互換として、例えば土木に関連する技術ですと構造力学計算などの、いくつかの計算を高速に行うことが可能な「ゲート型量子コンピューター」です。一方、交通流の最適化など、組

合わせ最適化問題を解くことに特化した「量子アニーリングマシン」と呼ばれるタイプのものもあります。これらの量子力学的原理に基づくコンピューターと、従来型のコンピューターを掛け合わせることで、様々な産業分野での活躍が期待されております。

2. 量子が描く未来社会

【川畠】 例えば交通関係・自動車関係ですと、将来の期待されている用途は自動運転です。また、物流も一つの大きな市場として期待されています。宅配便から飛行機・船舶での物流、荷物のパッキングの話もあり、荷物をいかにトラックの中に最大限パックするかといった組合せ最適化処理に量子アニーリングマシンが（高速化するという理論的な証明

や保証は今のところありませんが）有効ではないかと産業界から期待されています。

それから薬の開発、素材・材料開発。この辺りは様々な計算が量子コンピューターによって高速化されることが理論的に示されています。金融分野では、量子コンピューターによるポートフォリオ最適化やデリバティブの価格決定が検討されています。このように、かなり幅広い分野で量子コンピューターや量子アニーリングマシンが活躍するであろうと期待されています。

【黒崎】 こうした社会はいつごろ実現するとお考えでしょうか。既に量子アニーリングマシンとしてD-Wave System社が商用化をしています。

【川畠】 社会実装にはまだまだ、

会長対談



川畠
史郎

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル研究センター 副センター長

が拓く未来

今は、世界中の企業やアカデミアの皆さんにお試し計算しているというフェーズです。というのは、D-Wave社製マシンだけ使うという意味では、まだブルーフ・オブ・コンセプトもしくは学術的な目的に留まるからです。企業が実用で使つてるように一見みえていますが、これは、「大規模な問題を解きたいけれどもD-Waveだけでは解けない、何とかできないか」という要望があって、量子アニーリングマシンと従来型コンピューターをハイブリッドさせて使っている状況になります。つまり、今のD-Wave社製マシンが提供しているクラウドサービスは、量子アニーリングマシンだけではなくて、古典コンピューター（※従来のコンピューターのこと）の助けを借りながらそこそこの規模

の最適化問題を解こうという、量子一古典ハイブリッドのプラットフォームです。

「巡回セールスマン問題」をご存じでしょうか。組合せ最適化問題の中でも代表的な問題で、セールスマンがいて、たくさんの都市を回る。そのときに必ず全ての都市を1回通ってください、ぐるっと回って必ずスタート地点に戻ってくださいという制約があります。では地図が与えられました。さあ、最短経路はどれですかという問題です。今の量子アニーリングマシンの実力で解けるのはわずか10都市から12都市ぐらいです。10都市はその辺のパソコンでも一瞬で答えが出るぐらいのレベルです。これが現在の実力でして、実ビジネスで使われる量子アニーリングマシンに関しては実用化

まであと10年から20年ぐらい必要ではないかと言われています。また重要な科学的事実として、量子アニーリングマシンについては、従来型コンピューターに対する優位性は未だに証明されていないことも認識する必要があります。量子加速は極めて限定的でないのではないか（いわゆるノーフリー・ランチ定理）と予想している研究者も多くいます。

【黒崎】 では、さらに広範な問題に使える汎用型の量子コンピューターの方はいつごろ実現するとお考えでしょうか。

【川畠】 こちらは、もっと時間がかかると言われています。量子ビットを集積化したものが量子コンピューターで、量子ビットをたくさん集積化できればできるほど大規模な問題を解けるようになるのですが、現状はまだ1000量子ビットが世界トップデータです。それに対して、実用化の最低ラインは100万量子ビットです。ここに辿り着けば実用化に資すると期待されています。技術課題がいっぱいあるので早くても2035年ぐらい。私は2050年ぐらいではないかと予想しています。

ただ、そのような量子コンピューターができた暁には、多くのビジネスにおいて破壊的なインパクトをもたらし得ると考えています。

【黒崎】 さきほどの量子が描く未来のことですね。

【川畠】 はい。なお、ここで予め誤解を解いておきたいのですが、量子コンピューターは夢のコンピューターで、すごくパワフルだから、どんな問題でも量子力学的な重ね合わせの原理を使って高速に解けると期待されていますが、実は正しくありません。高速化が保証されている問題は、あまたある数学的問題の中でほんの100個ぐらいです。しかし、この100個の中に、産業応用上



川畠 史郎

博士（工学）

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル研究センター 副センター長
NEC一産総研量子活用テクノロジー連携研究ラボ 副ラボ長
文科省 Q-LEAP サブプログラムディレクタ

非常に立つ問題が6つほど潜んでいて、この6つが破壊的なインパクトをもたらし得ます。1つ目が暗号に関わる「素因数分解」、2つ目がAIのディープラーニングなどで使われる「機械学習」、3つ目が「量子化学計算」、4つ目が「金融」、5つ目が「量子シミュレーション」、6つ目が最近話題になっている「線形連立方程式」の高速化です。

たかが6個です。けれども、機械学習は非常に大きな市場がありますし、量子化学計算は創薬・化学・材料メーカーが日々製品開発に使う技術なので、これも非常に大きな市場が期待されています。金融も大きな市場がありますし、量子シミュレーションはどちらかというと物理学者向けのものですが、線形連立方程式系は最近注目を集めていて、さまざまなエンジニアリング、例えば熱伝導方程式、マクスウェル方程式、構造力学の弾性体とか構造体の方程式、ナビエ・ストークス方程式など、非常に大きな市場があります。

3. 日本の現在の立ち位置

【黒崎】 今、日本の立ち位置という

のは、先生の感覚的にはどんなところにあるのでしょうか。

【川畠】 去年までは最先端の中国とアメリカから5周ぐらい遅れている印象でした。今は2~3周遅れぐらいに追い上げてきたという感じです。こうした状況下なので、「日本に量子コンピューターハードを開発する意義があるのか?」という厳しい指摘を受けることがあります。「IBMやグーグルなど海外に立派な量子コンピューターハードがあるのだから、日本はハードの開発をやめればいいじゃないか。ソフトの時代だ、量子プログラマーを養成してユースケース探索だけをすればいいじゃないか」といった意見です。ですが、今の量子コンピューターの開発状況は、1946年に、約18 000本の真空管で構成された世界初のデジタルコンピューター ENIAC ができた状況のようなものです（※現在の量子コンピューターは配線のお化け。100万量子ビットを目指すと400万本のケーブルが必要となる）。なので、パソコン、スマートフォン、さらにはスマートウォッチのように、本当の意味で商用化され世の中に遍く普及した量子コンピューターの姿はまだ誰にも分かりません。このような状況でハード開発を諦める、白旗を揚げるはどう考へてもおかしいじゃないですか。やはりハードをしっかり開発しなければいけないと思います。

また、ソフトウェアとハードウェアは完全に独立しているかというと

決してそんなことはなくて、ハードウェアには方式ごとに癖があります、この方式ではこの演算ができるけれども、別的方式だとこの演算ができないといったような。なので、ハードウェアが身近にないと、ソフトウェアも成立しないのです。そうなると、やはり我が国において量子コンピューターのハードを開発する、ソフトを開発する、ミドルウェアやオペレーションシステムを開発することに意義があります。これらの要素技術をインテグレートして、初めてシステムとし完成するので、ありとあらゆる技術レイヤーの研究開発が、今のフェーズでは間違いなく必要です。

【黒崎】 多分そういうことをやっていくことによって、また新たなソニーとかカシオとかが出てくるんでしょうね。

【川畠】 十分あり得ると思います。実は、量子コンピューターのふたを開けると日本製の部素材がいっぱい詰まっています。冷凍機なので低温でしっかり動作するケーブルとかコネクターとかアンプとか、そういう部品がいっぱい敷き詰められていますが、かなりの部品、サプライチェーンのコアとなるところを日本が押さえています。例えば、超伝導ケーブルは日本の中小企業のコアックスが世界シェア100%です。低温で動くコネクタは川島製作所という中小企業のものしかとともに動いてくれません。温度が高いところのマイクロ波ケーブルですと、KEYCOMや

潤工社などの日本の中小企業が強いです。量子チップを実装するためのソケット部分も日本の中小企業が強いのです。このように部素材に関しては、日本が強みを発揮できるところがあります。

4. 今求められるブレイクスルー

【黒崎】 開発に関与していないと、なかなか目に留まることがない。こうした中、どのようにして量子コンピューターに関わる企業を見つけているのでしょうか。

【川畠】 われわれの取り組みの一つとして、部素材に関する連携を模索する日本初のイベントを2021年度に主催しました。「量子コンピュータ部素材ワークショップ」です。すごくニッチで、本当に人が集まるのかなと心配していたのですが、蓋を開けると500人ぐらいの参加登録がありました。アカデミアはもちろん、多くの企業からもたくさんの方が参加があり、非常に盛り上がりました。お互いに接点がないので、量子コンピューターの研究者は「こういう性能の部品を作ってほしい」という思いがあり、中小企業側からは「どういう仕様のどういう部品をつくればいいのかが分からぬ。教えてくれよ」という要望がありました。パネル討論をして分かったことは、中小企業に対してロードマップを国として示すことが大事だということです。仕様書も示す必要があります。それは我が国の宝になると

思っていて、現在、弊所が代表となって、理化学研究所とか富士通とかNECとか、日本を代表する量子コンピューター研究機関と協力して、ロードマップと仕様書づくりをしています。

【黒崎】 ロードマップがあれば、量子コンピューターの進化と共に、周辺機器もどのくらいの能力がいつ必要になるか。それに合わせていろいろな企業が研究開発できますね。

【川畠】 そのとおりです。分かりやすい例はアンプです。アンプはサイズや消費電力が大きいです。1量子ビットにつき1個アンプが必要なので、アンプをミニチュアライズする技術と低消費電力化が必要だということをロードマップと仕様書に書ききます。例えば1万量子ビットの量子コンピューターだったらこれぐらいのサイズと消費電力にならないと話にならないですよみたいな。あるいは、アンプを小さくするだけではなくて、1個のアンプで複数の信号を同時に増幅する技術、多重化技術を開発しなければいけないという形で、どういう要素技術開発が1万量子ビットだったら必要、10万だったら、100万だったらという形でロードマップをつくって、それを公開していきたいと思っています。

【黒崎】 でも、企業の努力だけではなくて、国が全体としてそういう産業をバックアップするような形がないと、なかなか20年、30年というタームだと大変ですよね。

【川畠】 おっしゃるとおりです。な

ので例えば、弊所で低温部素材テストベッドを作る予定です。中小企業は冷凍機を持っていないので試作品のテストができません。いくら優れたコネクターとかアンプとかケーブルをつくっても、本当に低温で動くのかどうか、彼らは分からないのです。そこで弊所のテストベッドの登場です。中小企業がテストベッドに自社の試作品を送ると弊所からデータシートが送り返されてくる。そこには弊所の認証スタンプが押してある。製品として販売するときに、「産総研によって認証されました」みたいなことをカタログに書いてもらって、いわゆる性能保証された製品を出してもらうとか。こうした取り組みに向けて着々と準備を進めています。

また、ビジネスチャンスも見せないといけません。なので、途中途中にマイルストーンを設定していきます。今後も、グーグルやIBMは適宜、製品を出してくると思いますが、そのとき、彼らが必要とする要素技術はたくさんあります。そこにビジネスチャンスがあるかと思っており、そういうロードマップにもし



黒崎 靖介

技術士（建設／環境／総合技術監理部門）
公益社団法人 日本技術士会 会長
日本工営（株） 代表取締役専務執行役員

ていきたいと思っています。

他方、中小企業の方々から、「だけど量子は市場が小さいですよね」と言われることがあります。おっしゃる通りかもしれません、量子技術は量子以外にも使えたりします。例えば人工衛星。人工衛星は宇宙空間という低温環境で、長期間、安定に稼働しなければなりません。そういう意味で、部素材、部品をいかに長時間、安定に動かし続けられるかは重要で、まさに量子技術がスピンドルする形で使われる可能性があります。これからスターリンクのような小型人工衛星がどんどん打ち上げられる時代になっていくと思われるので、大きな市場が待っているかもしれません。

【黒崎】 中小企業、支える、宇宙、なんか『下町ロケット』のイメージが浮かんできました。

【川畑】 私も例え話として『下町ロケット』を引き合いに出します。あれはロケット用水素エンジンのバルブでしたよね。ただの調圧バルブなんだけれども、そのおかげでロケットが飛んだというストーリーでしたが、まさに彼らのような中小企業の匠の技術のおかげで量子コンピューターが動いているのです。

現在は、今ある技術をサプライヤーから提供してもらっていますが、これから先どんどん集積度を上げていったときには、現状技術の延長では全然足りません。同軸ケーブルであれば、冷凍機の中に配線できる線の数が4 000本ぐらいなので、 $4\,000 \div 4$ だから1 000量子ビットまでしか対応できないのです。さあ、どうしましょうということで、いろいろな技術が議論されます。例えば最近では低温高密度フラットケーブルという技術が出てきます。フラットケーブルの中はどうなっているかというと、ポリイミド

基板に配線を印刷しています。大量に同軸ケーブルのような配線を印刷できるので高密度化できます。実は、フレキシブル基板の上にいろいろな回路を刻んだり配線を刻む技術は、日本の中小企業が得意としているところです。ただ彼らは、よもや自分たちの技術が量子コンピューターに使われるとは誰一人思っていません。われわれは「御社の技術は量子コンピューターにとって非常に重要になるかもしれない一緒に議論しませんか」という話を持ちかけて、部品・部材に関連する中小企業の方々と日々議論しています。

5. それ量子でやっておいて

【黒崎】 10年から50年というスパンになってきたときに、どういうふうに人を育てていくのでしょうか。

【川畑】 産業化まで長い時間がかかる中で、それは非常に重要な課題です。われわれは「量子人材育成」と言っていますが、とにかく今この瞬間、世界中で量子人材が不足しています。なので、若年層からシニア層まで教育をして裾野を広げていく必要があります。私自身、文部科学省Q-LEAPの量子人材育成領域でマネジメントをしており、いろいろなプログラムを採択してきました。例えば、量子コンピューターに興味を持っている学生は日本全国にいっぱいいます。でも地方大学だと量子コンピューターの授業を受けられません。そういう学生たちのために、オンラインで講義を配信することを考えています。大学の講義は1コマ90分なので、90分掛ける15回の講義をワンモジュールにして、大学に提供する。具体的にはインターネットでアクセスしてオンライン視聴の形になりますが、そういう仕組みづくりを国立情報学研究所が進め

ています。

【黒崎】 学科としてはどういう学科になるのですか。

【川畑】 今のところ理学部物理学科と工学部情報工学科での利用を想定していますが、これから大事になってくるのは周辺エレクトロニクス技術とか、ものづくり技術とか、部素材などの分野です。そうなると電子工学科、材料工学科なども対象になります。さらに応用を考えると化学科や経済学科などもあります。やはりいろいろな分野で量子を学んでもらう必要があります。今のところは残念ながらそういうプログラムがないので、それを改善すべく、国に対して働き掛けているところです。量子工学科を、九州に1個とか四国に1個とか、各地方に1個ぐらいつくって、勉強したいという高校生が入学できるような体制にしてほしいと文科省に訴えています。

【黒崎】 量子コンピューターを支えるだけではなく、今度は使う側にも、あと10年したらこういうことができるようになる、計算力がこのくらい上がるよ、ということを示せるように考えていかないといけないですね。

【川畑】 おっしゃるとおりです。今、量子プログラマーと呼ばれる方がどんどん増えています。なぜなら、GitHubってあるじゃないですか。そこにコードが大量に転がっているんです。Pythonって、AI分野で普及している言語ですが、Pythonを使いこなせるのだったら、ごく簡単な量子コンピューターのプログラミングはできます。そういう時代になっているので、「俺、量子力学知らないんだけども、ネットで量子力学の入門を勉強して、仕事が終わった後や土日に試してみよう」みたいな日曜プログラマーが増えているんです。ですので、利用者に対し

て今後どのような問題が解けるようになるのかについて示していく必要があると思います。

ただ、ライブラリーが日々充実している状況がある一方で、私はそれでも全然不十分だと思っています。というのは、量子コンピューターのプログラムは、普通のデジタルコンピューターで言うところのマシン語なんです。なので、本格的に量子プログラミングを行うためには量子力学や量子コンピューターの知識はもちろんのこと大学の情報工学科で勉強するようなコンピューターサイエンスの基礎知識が必要で、論理回路も知らなければいけません。コンピューターアーキテクチャーもある程度は知らないといけない。量子コンピューターは本当に敷居が高いのです。私は学生時代にディラックの「量子力学」で量子力学を勉強しましたが、情報工学の学生はこの本を見た瞬間にすぐにぱたっと本を閉じると思います。

【黒崎】 いきなり複素数と行列が出てきますからね。

【川畠】 そうなんです。一般の人は複素数と言わなくても分からないじゃないですか。やはりそういうところでまだまだだと考えていて、ユーザーの裾野を広げるためにこのままではいけない。将来量子コンピュー

タープログラマーになりたい、という子どもが気軽にプログラムできるような、量子力学を知らないても、複素数を知らないてもできるような、そういうプログラミング環境が今後必要ではないかと思っています。

【黒崎】 量子を知らないでも使えることが分かってもらえるというのは非常に大事かなと思います。

【川畠】 簡単なゲームでいいのです、量子コンピューターにジョブを投げてゲームをするとか。私も中学生の時に町の電気屋さんでBASICのプログラミングを行っていました。このような体験を通して、コンピューターは楽しいなと思ったので、理系に進んだのです。技術を学んでもらうことも大事だけれども、モチベーションも大事なんです。

【黒崎】 2050年だと27年先ですから、今高校生ぐらいの人が最先端になったときにこれが使えるようになるということですね。

【川畠】 40歳で課長ぐらいになつたころ、彼らが部下に「量子コンピューターでこれを処理しておいて」とか、多分そういう時代になると思います。だから今の時代から量子コンピューターを知っておくことはとても大事だと考えています。AIのように、量子もいろいろな大学で

どんどんカリキュラムに入っていくといいなと思っています。

6. 技術士に向けて

【黒崎】 本会は20の分野がありまして、自分たちの分野で量子コンピューターが実用化されることによってこういうふうに変わるだろうというイメージができてくる、今度はそれを若い人に伝えることができます。

【川畠】 それは本当にありがとうございます。ぜひ量子の魅力を少しでも多くの分野の業界の皆さんにお伝えいただきたいです。

【黒崎】 技術士の中には中小企業のコンサルタントや顧問をやっている人が多いです。そういう人たちは現場のことを分かっているので、中小企業が持っている技術をつなぐことができるかと思います。是非、新春講演会では、この辺りをお話いただければと思います。

【川畠】 ぜひアピールさせていただければと思います。

【黒崎】 本日はありがとうございました。まだまだできることが日本でいっぱいあるということが非常によく分かりました。

【川畠】 ありがとうございます。そう言っていただけて嬉しいです。

(了)



自然から学ぶ特集

自然から学ぶ地球環境への技術貢献

Technology from nature, contributes to the global environment

日本技術士会広報委員会 特別号担当

武井 遼 對馬 一昭 枝村 正芳 村田 裕子
TAKEI Ryo TSUSHIMA Kazuaki EDAMURA Masayoshi MURATA Yuko

本特集号では、「自然から学ぶ」をテーマとして取り上げた。これまで人類はさまざまな技術発展や発明により豊かな社会生活を営んできた。これらの技術には、自然界の中で長い進化を経て生存に適した機能を獲得してきた動植物や、自然の構造物を応用したものがあり、そうした優れた仕組みや構造等に着想を得たアイデアが多数存在する。近年、自然破壊や気候変動が深刻化する中で、持続可能な社会や循環型経済の確立が求められており、循環型・再生型の社会構築を進めていく手段として、改めて「自然から学ぶ」ことが注目されている。自然に学んだ、環境負荷を低減する未来型の技術開発、設計技術、システム開発が、結果的にSDGsを達成していることは、これらの活動が地球の環境貢献活動にも寄与し得ることを示している。

In this special issue, we focused the technology "Learning from Nature." Humankind has lived a rich social life through various technological developments and inventions. These technologies include those that apply plants and animals that have acquired functions suitable for survival through long evolution in the natural world, as well as natural structures, and many ideas inspired by such excellent mechanisms and structures. In recent years, as the destruction of nature and climate change have become more serious, there is a need to build a sustainable society and circular economy. "Learning from nature" is once again attracting attention as a means of building a recycling-oriented and regenerative society. The SDGs will be achieved when future technology development, design technology, and system development that reduces environmental impact learned from nature, contribute to the global environment.

キーワード：新素材、構造・デザイン、バイオミメティクス、自然エネルギー、環境適用、自然再生、SDGs

1 はじめに

人類はこれまで急速な技術発展や発明により豊かな社会生活を営んできたが、このことが人類と地球との共存を危うくしている。地球では30億年以上の長い時間をかけ、様々な環境下で生態系を維持する仕組みをつくりあげてきたが、人類にはまだ解明されていないメカニズムがたくさんある。これらを解き明かし、共存に役立つ技術を生み出す試み、いわゆる自然から学ぶ取り組みは重要である。近年、自然破壊や気候変動が深刻化する中で、持続可能な社会や循環型経済の確立が求められており、その手段として改めて自然から学び、環境負荷を低減する未来型の技術開発、長期的な視野に立った持続可能な社会の形成に向けた取り組みが必要とされている。

この度は、自然界にヒントを得た技術（アイデア）や自然の摂理を応用した技術など、課題解決

に向けた取り組みについて、様々な分野における技術士から具体的な事例を交えて執筆する機会を設けさせていただいた。各分野で活躍されている技術者との情報共有を図る一助となれば幸いである。

尚、本稿は本特集号の企画・編集を担当する広報委員4名で執筆させていただいた。

2 特集の主旨

2.1 特集のねらい

島国で周囲を海に囲まれている日本は、その地理的な位置と南北に長い国土を持つことから、自然環境は台風、地震、火山、豪雨、豪雪、暴風と厳しい面もある一方で、四季があることで山海の幸に恵まれた環境にある。また、農耕民族としての歴史も長く、農作物の収穫を経ながら、自然は貴重なものだという気持ちが生まれたと考えられる。日本人には自然への敬意や感謝といった、自然を脅威として管理・制御するだけではなく、受

け入れながら自然と付き合っていく共生する価値観が根付いていると思われる。

かつての日本では、自然界（土・木・岩・山・水・火など）はもちろんのこと、人間が作ったもの、そして米粒一粒までといったあらゆるものに神仏が宿ると考えられ、自然に敵対し克服するような考え方をもつのではなく、自然を暮らしのなかに取り込み、精神面からも関係をもち、自然と共生していくことで感性を育んできた。

また、詩や散文あるいは手紙やビジネス文書の中でも、あらゆる形で文章を書く際、季節の要素を取り入れることがあり、正式な手紙は、通例季節への言及から始まる。さらに俳句などの文化は、伝統的に自然を題材とし重視してきた。しかし、近年の気候変動により、従来のように四季を感じられなくなってきており、季節の変化を味わう楽しみも減ってしまっている。

改めて各分野で、課題解決に向けた取り組みや成果をご覧いただき、全国の技術者が貢献する機会につながることを期待している。

2.2 自然から学ぶ技術貢献

今回投稿いただいた9稿は、バイオミメティクス（生物模倣技術）をはじめ、土壤や水産生態系への応用、天然資源・自然エネルギーの管理や応用、さらに自然環境との共生まで、幅広い技術分野で活躍されている方々から、地域活性化に対する取り組みについて、様々な事例を交えて報告されている。

折しも、バイオミメティクスについては、先月（12月）号の月刊『技術士』の部門共通技術コーナー¹⁾で「持続可能な社会の実現をめざすバイオミメティクス」と題して、特定非営利活動法人バイオミメティクス推進協議議会の平坂雅男氏により、その潮流と将来展望について体系的に解説されているので、改めてご一読いただきたい。

広く自然現象一般も含めた自然の叡智を、分野を問わず「ものづくり」や「社会課題解決」に応用するものとして、素材開発・バイオテクノロジー・エネルギー・環境、地域づくり・社会分野などに活用する技術について、広域な分野につい

て投稿いただけたことは、技術士が様々な領域において活躍していることの証左といえるであろう。

2.3 日本と自然災害

物理学者である寺田寅彦は日本人の自然観について「地震や風水の災禍が頻繁で、しかも全く予測の難しい国土に住むものにとっては、天然の無常は遠い遠い祖先からの遺伝的記憶となって五臓六腑にしみ渡っている」ものであると述べている²⁾。

日本は自然災害も頻繁に起こる。巨大地震や津波・台風・洪水・地滑り・火山、こうした自然災害は世界各地でも発生しているが、日本はまさにこうした災害と「共生している」といえる国である。特に火山国でもある日本は、時折巨大な地震に見舞われる環境にあり、2011年に東北地方で起きた東日本大震災は、耐震対策を誇っている日本でも、津波による被害もあり約16 000人の死者、2 500人以上の行方不明者を出した。

1923年の関東大震災では、震災、火事、火災旋風などでも約105 000人の生命が失われている。2016年の熊本地震においても、街を破壊し多くの人命が失われた。日本は常に、こうした大きな自然災害と歩んできた。

もちろん、日本人が自然にある種の恐怖感を抱いているからといって、日本人が自然との深い結びつきを感じていないとか、敬意を表していないということではない。自然は恐ろしいものかもしれないが、同時に人類にとって大事なものであることは間違いない。それは、前述のとおり、自然が日本の芸術やライフスタイル、文化、信念などにしみこんでいることを考えれば明らかである。

近年は、幼少期から学校で環境教育を受けてきた若者にとって、「生物多様性」や「自然との共生」などは、日常的な言葉となっている。しかし現実の社会では、これまで当たり前のように享受していた利便性や豊かな社会生活を、見直したり手放したりすることは、必ずしも簡単なことではない。理想論で終わることなく、人類が地球環境と共生していくためには、そこで営みを続ける人々の理解と協力が必要であり、技術士としても正しい情報を社会へ発信し続けていくことが求められる。

3 各原稿の紹介

今回「自然から学ぶ技術貢献」をテーマに5部門より6件と3地域本部より計9件の投稿をいただいた。本特集における各項目の概要を表1に示す。

機械部会から、バイオミメティクスの活用例として、鳥類の羽の表面性状と昆虫の表皮の剛性を再現した新たな振動騒音低減技術を開発し、環境負荷低減と省エネ化に取り組んだ事例を紹介している。

化学部会から、バイオミメティクスは、19世紀後半に絹の代用品製造の開発から始まり、昆虫の飛翔、魚の泳ぎなどの機械系バイオミメティクス、生物表面の微細構造を模倣したナノオーダーの材料

系バイオミメティクスと発展し、近年は、形状の模倣から生態系システムの模倣へと進化し、国際標準化と知財戦略も重要であると述べられている。

繊維部会から、現在様々な化学繊維があるが、これらはいずれも絹、羊毛、木綿、皮などの天然繊維の形態や構造を学んで造られたものであることが述べられている。

環境部会から、サンゴの幼生が複雑な形状の隠蔽的な微小構造部や裏側に好んで定着する習性に着目したサンゴの人工種苗基盤を開発し、サンゴ礁の再生に貢献している事例を紹介している。

原子力・放射線部会からは、2件の原稿があり、1件目では、ガボン共和国のオクロ鉱床で約20億年前に活動を終えた天然原子炉が発見され、20億年の長期間にわたって核生成物が地層

表1 本特集における各原稿の概要

推薦部会・地域本部名	概要
機械部会	振動低減の面で環境負荷を効果的に低減することが可能な新技術の開発に取り組んでいる。このうち、鳥類の羽の表面性状や昆虫の表皮の剛性特性を再現した新たな振動騒音低減技術を開発し、環境負荷低減と省エネ化を目指す。生物の性状の高精度な模倣を新たな材料科学で実現し、産業界からも評価が高い技術を考案した。
化学部会	生物がもつ機能を学び、構造を模倣することにヒントを得て、技術開発やものづくりに生かしてきたバイオミメティクス研究について、技術の歴史を振り返ると共に、最近の研究動向や国際標準化について解説し、具体的な産業応用事例について紹介している。近年では、バイオミメティクス技術や社会行動や街づくりにまで広がっており、最近の研究事例と事業化の現状について述べられている。
繊維部会	化学繊維は、レーヨンなどの再生繊維、アセテートなどの半合成繊維、ポリエステルなどの合成繊維に分類され、天然繊維の形態や構造を学んでつくられてきた。バイオミメティクスという言葉ができる前からそれを実践し、代表的な事例にシルクライク新合織、人工皮革、快適性新合織がある。各繊維の天然繊維から学び、自然を超えた化学繊維の進化を述べている。
環境部会	複雑な形状の隠蔽的な微小構造部や裏側に好んで定着するサンゴ幼生のbehaviorに着目し、連結式サンゴ幼生着床具は、基盤下面に溝を設け、溝の幅と深さの比を1とする複雑構造を持たせた。サンゴ礁における定着試験では、幼生の83%が着床具下面に定着し、そのうち、溝の表面積が平坦部のそれの約4/5にもかかわらず、82%が溝に定着した。
原子力・放射線部会	ガボン共和国にあるオクロのウラン鉱床には、天然の原子炉が存在していた。ここではウランが核分裂して同量の核分裂生成物とプルトニウムが発生しているが、そのほとんどは約20億年経過した現在も同じ場所に留まっている。これは、高レベル放射性廃棄物の地層処分における多重バリアシステムで長期にわたり放射性物質の閉じ込め機能を示すものとして、地層処分の安全性を構築するための情報として活用できる。
原子力・放射線部会	太陽では、水素と水素から重水素とヘリウムを作るという陽子・陽子連鎖反応により、46億年にわたり水素のフュージョン反応を継続している。これまでに推進されている、人工的な重水素と三重水素のフュージョン反応によるエネルギー取り出し技術について解説し、太陽と地上における水素融合反応および、そのエネルギーを利用した発電の実現に向けた研究開発の現状について述べられている。
近畿本部	京都府南山城村で森林蘇生・整備活動を行っている。その森は70年以上前に一斉植林され、鬱蒼とした暗い森を形成していた。その森の整備をし明るい森、多相の樹木が繁る森への形成活動を推進している。そこに地元の人と、都会の人が交流できる場を作り、森に学び、親しむイベントを開催やSDGsの多くの項目に合致する活動を紹介されている。
中国本部	国産ギンザケ主産地である宮城県とは異なる自然環境である鳥取県境港市で、独自の技術開発（親魚養成、稚魚生産、成魚生産）を行った。水産庁の「養殖業成長産業化総合戦略」において養殖サーモンは、増産と輸入サーモン市場開拓を目標としている。弓ヶ浜水産は、養殖サーモン増産と2050年度カーボンニュートラルの両立を実現し、国内の水産業と漁村を含む地域経済の発展を実現する。
四国本部	自然界では、陸上の有機性廃棄物は自然に浄化される。筆者は、この浄化を水質浄化に応用した傾斜土槽法を考案した。これは、有機性排水に対し30分程度の滞留時間で有機性汚濁物質と栄養塩類が同時に浄化され、汚泥も生成土壤に浄化される。汚泥までが浄化可能な生物学的水質浄化は、完結型浄化とよべ、下水処理の省エネルギー化と循環型社会に貢献する。

※執筆者の原稿をもとに広報委員会委員が一覧用として整理した。

によって閉じ込められたと考えられる自然の状態に放置されていたことが紹介されている。2件目では、太陽の輝きは太陽の中心部分で起きている水素のフュージョン反応によるものであることから、この反応を利用した地上での発電に関する研究開発、近年は各国でフュージョン実現を目指すスタートアップが拡大している状況について述べられている。

近畿本部から、70年以上前に植林された森が手入れのほとんどない状況で放置されて鬱蒼とした暗い森になっていたが、明るい森、多相の樹木が繁る森の形成を目指して整備活動を進めて、交流の場や学びの場などの森の有効利用を行っている事例が紹介されている。

中国本部から、国産ギンザケを主産地である宮城県の自然環境とは大きく異なる鳥取県で養殖を行うにあたり、自然環境下でのギンザケの特性を把握し、鳥取県での最適な養殖方法を確立させた。養殖技術開発は、生物が相手であるため、繰り返し試験による再現性の確認が重要であること、実験室で得られた結果が、自然環境下では必ずしも同じ結果にならない現象もみられることが述べられている。

四国本部から、陸上の生態系は、土壤を中心には物質循環し、土壤では有機物の生産と分解（浄化）が行われている。この自然界の浄化を応用した傾斜土槽法を考案し、様々な生活排水の浄化を試み、浄化結果を記載している。さらに、この方法を用いた資源循環型下水処理システムの構想について述べている。

4 おわりに

今回の特集号のテーマを検討している初期段階では、個人的に興味のあった、蜘蛛の糸の工業化のようなバイオミメティクスを主とした狭い領域におけるものを想定していた。その後もう少し視野を広げ、近年の持続可能な社会や循環型経済の確立が求められる動きなどを鑑み、その対応手段として改めて自然から学んでの環境負荷を低減する技術開発や長期的な取り組みに至るまでのテーマとすることにした。

結果として、前項で紹介されたようにバイオミメティクスから自然環境、地球から宇宙に至るまで、多様な内容の寄稿をいただくことができ、改めて本会の守備範囲の広さを知ることとなった。

模倣することにより学び、それを体系化し、新たな形に変えていくという流れは、正にイノベーションのプロセスであろうと思われ、つい小手先の技術に走りがちな自分への戒めとして、日々の業務に対する意識を新たにすることになった。

持続可能な社会形成のためには、まだ多くの課題が山積し、今後も様々な技術開発が要求されてくるものと思われる。その際に、再度数十億年連綿と積み重ねられてきた自然の力に今一度振り返ってみることも解決の糸口になるであろう。

これらの結果として、持続可能な社会・循環型経済に少しでも近づいていくことに繋がるようであればこの特集号を担当した者として喜ばしい限りである。これをきっかけに今後新たな取り組みが展開されることを期待してやまない。

<参考文献>

- 1) 月刊『技術士』2023年12月号, pp.8-11, 2023年12月1日
- 2) 寺田寅彦隨筆集 第5巻, 岩波文庫, 1948年

武井 遼 (たけい りょう)

技術士（経営工学部門）

ADEKAクリーンエイド（株）経営企画部
e-mail : ryo@adeka.co.jp

対馬 一昭 (つしま かずあき)

技術士（機械部門）

いすゞ自動車（株）ASシステム開発部
e-mail : Kazuaki_Tsushima@isuzu.com

枝村 正芳 (えだむら まさよし)

技術士（織維部門）

(株)ワールドプロダクションパートナーズ 品質管理部
e-mail : medamura@outlook.jp

村田 裕子 (むらた ゆうこ)

技術士（水産／総合技術監理部門）

水産研究・教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門 水産物応用開発部
e-mail : murata_yuko56@fra.go.jp

バイオミメティクスを活用した機械振動騒音低減技術の開発

Development of mechanical noise and vibration reducing techniques using biomimetics

寺島 修
TERASHIMA Osamu

2050年のカーボンニュートラルやSDGsの達成に向け、産業、社会、生活で使用するエネルギーと汚染廃棄物、振動騒音を低減し、環境負荷を低減する技術が求められている。この背景の下、我々は振動低減の面で環境負荷を効果的に低減することが可能な新技術の開発に取り組んでいる。この開発では、鳥類の羽の表面性状や昆虫の表皮の剛性特性を再現した新たな振動騒音低減技術を開発し、環境負荷低減と省エネ化に取り組んだ。生物の性状の高精度な模倣を新たな材料科学で実現し、産業界からも評価が高い技術を考案した。

In this report, we introduce a case where we developed a new vibration and noise reduction techniques by replicating the surface characteristics of bird feathers and the hardness characteristics of insect exoskeletons. By achieving a high-precision imitation of these biological traits through advancements in material science, we devised a technology that has received high acclaim from the industrial sector, contributing towards environmental impact reduction and energy saving.

キーワード：生物模倣、機械振動、機械騒音、省エネルギー化、環境負荷低減

1 研究全体の背景と目的

2050年のカーボンニュートラルの実現に向け、CO₂排出量の低減とクリーンエネルギー創出技術の開発が産業、社会、生活における喫緊の課題となっている。これに向け、化石燃料の代替エネルギーや化石燃料を使用しない発電技術の研究開発など、エネルギー起源のCO₂排出量削減技術の研究開発を目指した研究が進められている。

その一方、産業、社会、生活における消費エネルギーの削減、環境汚染の低減、振動・騒音の低減に寄与する基盤技術の研究開発も引き続き求められている。これは、CO₂排出量の削減に加え、我々が産業、社会、生活で使用するエネルギーと汚染廃棄物、振動騒音の低減も、環境負荷の低減に向けて必要不可欠であるためである。このような背景の下、我々の研究グループでは既存の基盤技術の性能向上、特に流体・振動音響の面で、消費エネルギーの低減や振動・騒音の低減を図り、環境負荷を効果的に低減することが可能な新技術の開発に取り組んでいる。流体の面では、機械システムにおける送風・冷却・燃焼効率の向上や流体に起因して発生する騒音の低減に貢献する技術

の開発、振動音響の面では、機械システムにおける騒音・振動・使用する材料の低減と軽量化による人も含めた環境負荷の低減に貢献する技術の開発に取り組んでいる。これらを通じ、より環境負荷の小さい産業、社会、生活の実現に貢献する。

上記の技術の開発に際し、我々が注目するのはバイオミメティクスを活用して設計・作成した材料である。流体の面では、鳥類の気孔率や内部構造のランダム性に基づき作成した多孔性材料による流体の流動制御・抵抗低減・騒音低減技術、振動音響の面では、昆虫の表面性状に基づき作成した硬軟層を有するポリマー材料による振動騒音の低減技術を開発している。本報ではその概要を紹介する。

2 多孔性材料による流体の制御

2.1 我々が注目する多孔性材料

我々は、ある特性をもつ多孔性材料に着目して、これを用いた流体制御に取り組んできた。

この多孔性材料は、適度な硬さをもつスポンジシート状のもので、図1に示す音響透過性能をもつ。この音響透過性能とは、その名の通り音の通りやすさを示すもので、音の伝搬経路に何も物体

が存在しなければ透過損失は0（損失がない状態）となり、厚い、重い物体が存在すれば一般的には音が透過しにくくなり、透過損失の値は大きくなる。図1の縦軸はこの音の透過のしやすさ、横軸は音の周波数を表している。この性能は専用の装置（Brüel & Kjær社 Type 4206）を用いて計測した。我々が着目した多孔性材料は、この音響透過損失が低く、音の透過性が非常に高いにも関わらず、流体の通り抜け・透過を認めないという特徴をもつ。これまで我々の研究と同様に、多孔性材料による流体の制御は数多く行われてきた。しかし、これまで用いられてきた多孔性材料は、音を通しやすい（音響透過損失が低い）と流体の透過も許し、流体の透過を許さないと音が通りにくい（音響透過損失が高い）状態となるものであった。このため、我々の多孔性材料はこれまでの多孔性材料とはこれらの点で大きく異なるといえる。また、この多孔性材料の特性は、鳥類や昆虫の羽根の表面性状の特性に類似している。

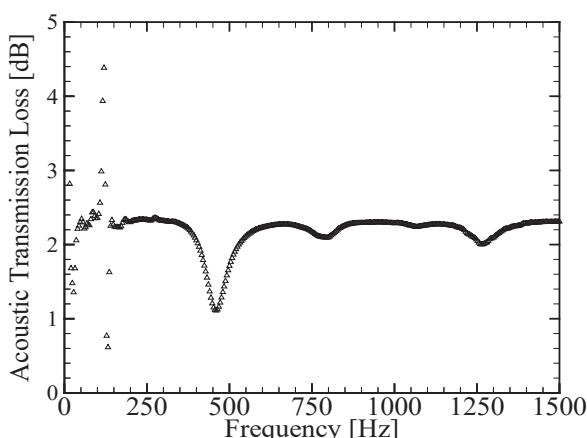


図1 多孔性材料の音響透過損失計測結果例

2.2 この多孔性材料による流体の制御効果

我々はこの多孔性材料を用いた流体の制御に関する実験や数値シミュレーションを複数行ってきた¹⁾ため、その結果を紹介する。

はじめに行ったのが、この多孔性材料を物体の一部に備えることによる流体の制御である。用意したのは短辺が20 mm、長辺が40 mmの角柱で、アルミニウム製の角柱と、角柱の長辺にこの多孔性材料（厚さ3 mm）を備えたものの二種類を用意した。それぞれの角柱を風洞試験装置の測定部に設置し、20–40 m/sの風を角柱に当てた

際の角柱の周囲の空気流の様子や、角柱から発生する音の大きさを調べた。その結果、アルミニウム製の角柱の場合は、角柱の周囲で渦が発生し、空気流が乱れてしまうのに対し、多孔性材料を備えた角柱は、渦は発生するものの、その大きさは小さく、それにより発生する乱れも小さいものとなった。このような空気流の変化の結果、多孔性材料を備えた角柱は空気流により発生する抗力（空気抵抗）が10 %以上低減した。また、角柱から発生する音の大きさを計測した結果、アルミニウム製の角柱で発生する音の大きさに比べ、20 dB以上発生音が小さくなることが確認できた。

以上より、この多孔性材料を用いることで、流体の流れ方を制御することができ、この制御により流体により発生する抵抗の低減や発生音の低減などの効果を得られることが明らかとなった。

この理由は、これまで流体の制御や流体により発生する音の低減に幾度もトライしてきたが、このような大きな成果を得ることはできなかつたためである。これまで、物体の形状を最適化することや、物体の表面に孔を設ける、物体表面の粗さを変えるなどの取り組みを行ってきたが、どの手法でもここまで大きな効果を得ることはできなかつた。この点を踏まえると、バイオミメティクスに基づく表面性状の設計を行うことが、大きな流体制御効果を得るための近道であったのではないかと今では痛感している。

このように、大きな制御効果が得られて喜んでいた我々であったが、このような効果が実際の流体機械製品でも得られるかは不明であった。そこで我々は次頁の図2に示すように自動車の空調機（HVACシステム）の通風路の表面にこの多孔性材料を貼り付けて送風する実験を、実際に市販の自動車を用いて行った。実験では、吹き出し口から出る空気流の状態の計測と、吹き出し口で発生する音の大きさの計測を行った。その結果、この多孔性材料を備えた通風路は、これを備えないものに比べて流体抵抗が減少し、また、吹き出し口から出る流れも均一性の高い、乱れの少ないものとなった。さらに、発生する音の低減も確認することができた。ただし、この実験で得られたこの

のような流体制御効果は、上述の角柱の実験で得られた効果に比べて小さいものとなった。

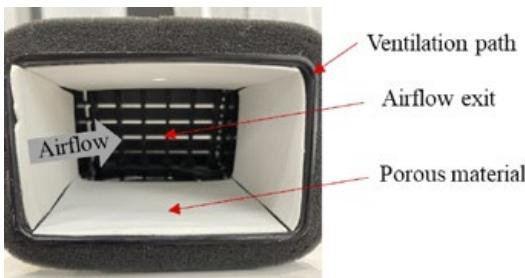


図2 多孔性材料を備えた通風路

2.3 現状の課題と今後の展望

2.2節に示したように、実際の流体機械製品では角柱を用いた基礎的な実験により得られた結果に比べて大きな制御効果を得ることができなかつた（それでも従来の手法よりは大きな効果であると我々は考えている）。ここから明らかとなつたのは、この多孔性材料を適用する最適な部位や適用量を見出すことができていないことである。このため、今後この技術を社会実装するため、これらの点を明らかにして、この多孔性材料を用いた流体機械製品における効果的な流体制御のための設計指針の確立を進めていく予定である。

これまでの我々の研究成果を踏まえると、この多孔性材料の適用が最も適している状況や部位は流体（空気流）と物体が干渉する部分であると考えている。例えば、流体が物体と干渉する角部などにこの多孔性材料を適用することで、大きな制御効果が得られると考えられる。これは、上述の角柱を用いた実験で高い制御効果が得られたことにも矛盾しない。

3 硬軟層をもつ材料による機械振動低減

3.1 硬軟層を有するポリマー材料

これまで、機械の振動低減手法の一つとして、ポリマー材料やエラストマー材料といった高分子材料が数多く使用してきた。安価で耐久性もあるため手軽に機械製品の振動低減に使用することができるためである。その一方、例えば自動車分野ではさらなる車体の軽量化が求められており、振動低減効果を維持しながら、使用する高分子材料の削減や軽量化する技術が求められている。こ

れはすなわち、軽量化と振動低減効果の両者の性能の向上を同時に達成する技術の開発を意味しており、質量則等の既存の物理法則を鑑みると実現は困難なものであると考えられる。

このような背景から、上述の通り、本研究ではバイオミメティクスを活用した新しいポリマー材料を作成し、これによる振動低減効果を調べた。その際に注目したのが昆虫の表皮の剛性（以下、硬さと呼ぶ）の分布である。昆虫は体が小さいため、風や葉から手足を介して胴体に伝わる力や振動を極力小さくする必要がある。これを実現するためには、昆虫の手足の表皮の振動減衰の量が大きい、すなわち減衰比が大きいことが望ましい。しかし、減衰比を大きくすることは表皮を柔らかくすることを意味するため、例えば天敵から逃避する際の飛翔動作の遅延をもたらし、自然界で生きる昆虫には大きな課題となる。このため、昆虫の手足の表皮の硬さは一様となっておらず、ヤング率が 10^3 以上のオーダで異なる箇所が不均一に配置されたものとなっている。我々はこのような極度に硬さの異なる硬軟分布（以下、硬軟層と呼ぶ）をもつ状態をポリマー材料で再現することが、先述の軽量化と振動低減効果の両者の性能の向上を同時に達成する技術となりうると考え、これによる振動低減効果を調べた。

ここで課題となるのが、どのようにして硬さの異なる層・分布をもつ材料を作成するかである。単純に硬さの異なる材料を用意して接合した場合、その接合部や界面での強度特性や耐久性などが課題になることも懸念されたため、接合部をもたずに硬さの異なる分布を実現する方法を模索した。

この課題を解決したのが林らの研究グループによるフォトパターニング重合を利用した硬さ分布の再現技術である²⁾。林らは近年、3Dプリンタを用いたフォトパターニング重合技術を開発した。この技術を用いると、ポリマー材料に所望のパターンの硬軟層を持たせることが可能となる。

林らの協力を仰ぎ作成したポリマー材料の一例を図3に示す。このポリマー材料には硬層と軟層があり、図3のポリマー材料には9つの正方形状

の軟層がある。この正方形形状の軟層以外は硬層となっている。硬層のヤング率は軟層のヤング率の200倍程度となっている。また、ポリマー材料の厚さは1.5 mmである。

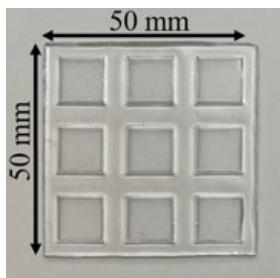


図3 9つの正方形軟層を有するポリマー材料

3.2 ポリマー材料により期待できる振動低減

このような硬軟層を有するポリマー材料の活用事例・方法を以下に示す。

まず挙げられるのが、例えば昆虫の羽のように、片持ちの状態となり、動作や振動を繰り返す部分に硬軟層をもたせることである。硬軟層をもたせることで、繰り返し振動を与えても破断・破壊を起こしにくいものとすることが期待できる。

次に挙げられるのが、振動の伝達量の低減である。例えば、自動車のシートの場合、車体とシートとの接合部から振動がシートに伝達し、着座者へとその振動が伝わっていくが、この振動が伝達していく部分の一部に、このようなポリマー材料を挿入することで振動の効果的な低減が期待できる。この振動の伝達の低減は、もちろん均質な材料を挿入することでも達成できるが、ある特定の周波数の振動の伝達の低減となることや、振動の低減量に制約があることがあるため、このような場合には図3に示したような硬軟層をもつ材料を挿入することで、様々な周波数の振動の低減が期待できる。

3.3 ポリマー材料による振動低減効果の検証

我々はこのポリマー材料による振動低減効果を検証するため、実験と数値シミュレーションを行った。実験では、加振機の台上に錘を設置し、加振台と錘の間にポリマー材料を挿入した場合と挿入しない場合での錘の振動の大きさを比較した。また、数値シミュレーションでは、実験条件

に合わせた有限要素法による振動解析を行い、入力した振動の伝達量が挿入するポリマー材料によりどのように変化するかを調べた。

実験の結果、軟層のみをもつポリマー材料や硬層のみをもつポリマー材料を挿入した場合でも振動低減効果は得られたが、軟層のみの場合は高周波数の振動が大きくなり、硬層のみの場合は低周波数の振動が大きくなる特徴がみられた。一方、硬軟層を有するポリマー材料では、一部の周波数では全て軟層または硬層としたポリマー材料に比べて振動が大きくなる場合もあったが、おおむね全体的に、広帯域に渡り振動を低減することができた。また、振動低減量は軟層の大きさ・数に依存して変化し、今回実験を行った50 mm × 50 mmのポリマー材料では、9つあるいは4つの軟層を有するポリマー材料にて良好な振動低減効果を得ることができた。この結果は数値シミュレーションの結果とも定性的に一致したため、一定の妥当性がある結果であると考えられる。

4 まとめ

バイオミメティクスを活用することで、より効果的な振動騒音低減効果の発現が期待できる技術を紹介した。社会実装に向け引き続き研究を進めるので、ご支援、ご指導を賜れれば幸いである。

<参考文献>

- 1) Shige, K. et al. : On the reduction of the flow-induced noise using porous material plates with high acoustic transmissibility, J. Sound & Vibration, Vol. 568(2024), Paper No. 117967
- 2) Fukunishi, H. et al. : Digital Photopatterning: Designing Functional Multipolymeric Patterning Films, ACS Applied Polymer Materials, Vol. 5, Issue 6(2023), pp.3888-3893

寺島 修 (てらしま おさむ)

技術士（機械部門）

富山県立大学 工学部 機械システム工学科

博士（工学）、富山県公害審査会委員

TEL : 0766-56-7500 (内線1385)

FAX : 0766-56-6131

e-mail : otera@pu-toyama.ac.jp



近年のバイオミメティクス研究と産業化

Recent biomimetics research and industrialization

今泉 雅裕

IMAIKUMI Masahiro

気候変動等の環境問題や、紛争や人権侵害などの課題は今や国際的な問題である。国際的には、これらの問題を解決し、より良い未来を目指すため、「SDGs」が策定された。また国内では、環境省が第5次環境基本計画において、バイオミメティクス等を活用した低環境負荷技術を採択した。バイオミメティクス技術は、19世紀後半ごろに動植物の形状模倣に始まり、現在では、構造物や社会行動まで発展している。本論文では歴史と最近の研究動向、国際標準化について解説し、具体的な産業応用事例について紹介する。

Internationally, "SDGs" have been formulated to address environmental issues, conflicts, and human rights abuses. Domestically, the Fifth Basic Plan for the Environment adopted low environmental impact technologies utilizing biomimetics and other technologies. Biomimetics technology started with shape mimicry and has now developed to structures and social behavior. In this paper, the history, recent research trends, and international standardization are described, and specific industrial applications are introduced.

キーワード：バイオミメティクス、国際標準、持続可能な社会、SDGs、ナノテクノロジー

1 はじめに

昨今の連続真夏日記録の更新やゲリラ豪雨、台風の連続発生等から、我々は異常気象をかなり身近に感じている。世界では、温室効果ガスの低減や気候変動、生物多様性の損失、海洋プラスチック問題等さまざまな環境問題に対し、2015年に「パリ協定」が合意された。これに加え、貧困や格差、紛争や人権侵害などの課題を解決すべく「SDGs」が策定され、これに世界が合意した。これら2つの提言は、環境保全と持続可能な発展を主眼とした新しい取り組みとなり、経済社会においては、抜本的な転換を求められている。

このような社会的背景の下、企業は、長期的な視点で自社の将来を考え、持続的な発展につながる経営と事業展開を図る必要がある。また、2018年に環境省の第5次環境基本計画が閣議決定された¹⁾。その具体的な戦略の1つとして「持続可能性を支える技術の開発・普及」を掲げ、バイオミメティクス等を活用した低環境負荷技術が採択された。

本論文では、バイオミメティクス技術の歴史を振り返りつつ、最近の研究動向や社会実装の実態

について紹介する。

2 バイオミメティクスの歴史と産業化

(1) バイオミメティクス黎明期²⁾

バイオミメティクスの歴史は、19世紀後半頃まで遡る。1880年頃、フランスで蚕の伝染病により絹産業が壊滅の危機に追い込まれた際に、化学者であるシャルドンネは、絹の代用品製造を目指し、ニトロセルロースを小穴から吐出する人造絹糸の紡糸に関する特許を出願した。これは蚕の繭糸吐出を模倣したとも考えられている。20世紀に入り1935年には、ポリアミドの代表構造として知られるナイロンがDuPont社のカローザスによって発明された。これは、同じくポリペプチド構造を有する天然纖維の絹糸を模倣したことは有名である。さらに1940年代にVELCRO社によって開発された面ファスナーは、植物の種が動物の毛に付着することからヒントを得た製品である。

1950年代後半、神経生理学者であるシュミット (Otto Schmitt) は、イカの巨大神経における信号処理を模倣することで、入力信号からノイズを除去し矩形波に変換する電気回路である「シュミット・トリガー」を発明している。

シュミットトリガーシステムは、現代の回路設計においても広く利用され、また、ナイロンや面ファスナーは服飾のみならず、工業分野にも広く用いられている。出現当時から長い時間を経てはいるが、産業発展の一翼を担ったことはいうまでもない。

(2) 機械系バイオミメティクスの潮流

機械工学や流体力学の分野におけるバイオミメティクス研究もある。いわゆる“機械系バイオミメティクス”と称され、昆虫の飛翔、魚の泳ぎ、蛇の蛇行などを真似たロボットや、コウモリやイルカの反響定位や昆虫の感覚毛を模倣したセンサーが開発されている。身近な例としては、流体抵抗を低減するため、カワセミのくちばし形状を模倣した新幹線の先頭車両の形状や、フクロウの羽の構造を模倣し、防音効果に優れたパンタグラフがよく知られている。これらも製品化され、その機能を遺憾なく発揮することで、我々の日々の生活を下支えし、社会に十分貢献していることがうかがえる。

(3) ナノテクノロジーと材料系バイオミメティクス

2000年前後になると生物表面の微細構造を模倣した潮流が出現した。この背景には、ナノテクノロジーの発展が関わっており、特に走査型電子顕微鏡の普及と進歩が寄与している。すなわち、生物の優れた機能の発現が、生物表面の微細構造に由来することが解明された。例としては、昆虫やヤモリの足先にあるナノオーダーの微細構造が、van der Waals力により吸着力を発現させたり、植物の葉の表面に設けられたナノオーダーの微細構造が、lotus効果に代表される撥水性を発現させたりする例などが挙げられる。多様な環境下で生きている生物がもつナノオーダーの構造は、サブセルラー構造と呼ばれ、超撥水・超親水、防汚、無反射、水輸送、吸着、低摩擦などの多様な機能を発現する。

図1には、上述したバイオミメティクスの発展と歴史について整理した³⁾。

(4) 近年のトレンド

近年のバイオミメティクス研究は、形状の模倣

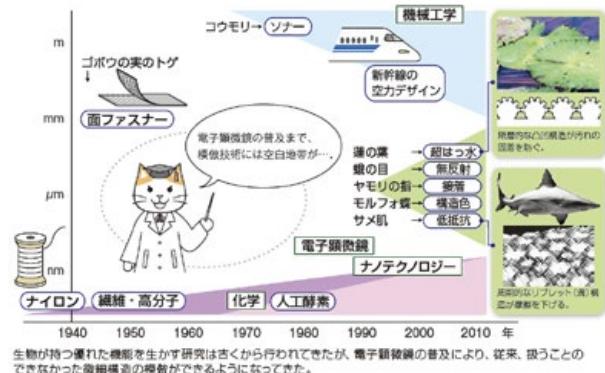


図1 工業製品のスケールで分類したバイオミメティクスの発展と歴史

から生態系システムの模倣へと進化している。元來生物は、個体としての存在のみならず、個体同士が集まり群れを成し、群と群とが相互作用し社会を築いている。それらの生態系システムを模倣している例としては、ジンバブエ共和国のハラレ地区にあるショッピングセンターが挙げられる。ここに蟻塚を模倣した自然冷却工法で建てられた商業施設を作り、夏冬の激しい気温変化に対してもエアコン等の人工的な設備なく快適に過ごせる。

3 国際標準化と知的財産

新しい技術を応用し早期に市場形成し社会実装するためには、標準化と知財戦略が重要とされている。標準化は、①新市場の創造（認知度向上、新たな技術の客観的な証明）②競争優位性の確立（分類化による差別化）③市場獲得への環境整備という効果が期待される。また、他社に対する競争優位性の確保や自社のシェア拡大・模倣防止を図る上で知財権のもつ独占排他権をうまく活用することが、知財戦略においては重要な役割を果たす。

バイオミメティクスにおいても、この流れは同様である。2011年にドイツ規格協会（DIN）が、国際標準化機構（ISO）に対して技術委員会の設置を提案し、2012年にISO TC266 Biomimeticsが発足した。BIOKON（Bionic Competence Network）らが中心となって提案した3つの作業課題（WG1～3）は、数年の議論を経て、それぞれ、ISO 18458: 2015-Terminology, concepts and methodology, ISO 18457:2016-Biomimetic materials,

structures and components, ISO 18459:2015-Biomimetic structural optimization”として国際標準が発行された^{4,5)}。

我が国からは、2016年9月にベルリンで開催された第6回委員会で、文科省新領域「生物規範工学」で構築した、溝口理一郎先生のオントロジーシソーラス、長谷山美紀先生の画像検索、山内健先生のバイオTRIZをWG4: Knowledge infrastructure of biomimeticsとして提案し、数年に渡り国際標準化に向けての本格的な議論が行われた。これらの成果はテクニカルレポート(ISO/TR)として取りまとめられ、現在ISO/TR 23845:2020 Biomimetics-Ontology-Enhanced Thesaurus (OET) for biomimeticsが発行されている。今後、様々な機会において、本TRが実際に活用され諸外国へ普及することが期待される。

一方、特許の各国出願動向は、2014年度に特許庁がバイオミメティクスをテーマに、特許出願技術動向調査を実施している⁶⁾。本報告において、出願された特許を大きく「分子・材料」・「構造体」・「機械」・「プロセス」・「システム」に分類し、各分野ではそれぞれ、表1に示すような内容で精査し出願傾向を解析している。

応用先による分類では、「医療・生体適合材料」、「親水性・疎水性材料」、「光学材料」の出願件数が多い。また、「光学材料」は2007年から2009年にかけて増加傾向で、100件以上の出願がされている。しかしながら全体としてはやや横ばい傾向がある。

4 生物保有の機能と化学構造

バイオミメティクスは、生物の形状や動きを真似ることから始まり、ナノオーダーの微細構造、そして行動様式へと進化を遂げていることを、こ

れまで述べてきた。中でも、生物が持つサブセラーラー構造は、超撥水・超親水や接着・低摩擦という背反した機能を発現している。さらに加えると、生物は工業製品と異なり、個体差もある。生物ゆえ、個体ごとに100%同一な構造ではなく、部分的に対称性や大きさ、規則性などが異なる点もある。しかしながら発現する機能に大きな差はないことも興味深い。一方、そのサブセラーラー構造を構築しているのは細胞であり、更に細胞は水を除き、糖質・脂質・タンパク質・核酸で構成されている。工業材料のように、さまざまな元素を組み合わせることではなく、限られた分子で細胞を構成し、ナノオーダーの構造体を構築することで、生物が存続するに必要な機能を発現している。これは、持続可能な社会に歩み出すための考え方の一つになると考える。

また、生物の持つ化学分子構造も時として、特徴ある機能につながる。例として、接着性・粘着性材料分野の事例を紹介する。

ムール貝などに代表されるイガイ類は、波の打ち寄せる岩礁や防波堤にしっかりと接着して流されることはない。これはイガイ自身から足糸を伸ばし、被着対象物に接着タンパク質で固着し自身を固定化している⁷⁾。この水中での接着に関わるタンパク質の構造と合成のメカニズムは、遺伝子からのアプローチで解明され、現在では、イガイの足糸腺から分泌するドーパ(3,4-dihydroxyphenylalanine, DOPA)が接着物質として注目されている。

WO2011/028031では、DOPAまたはその誘導体を含む生体注入型組織接着性ヒドロゲルが提案されている。主に組織接着剤として、提案がなされている。また、WO2016/190400には、接着分子であるカテコール基を側鎖に含有することにより、導入したカテコール基がすべて接着可能基として効率的に機能するハイドロゲルの提案

表1 調査内容分類

分子・材料	親水性・疎水性材料、構造発色材料、接着性・粘着性材料等の各種機能性材料のほか、人工酵素等の分子
構造体	カワセミのくちばしを模倣した新幹線やハコフグを模倣した車等、表面構造のようなミクロな構造でなく、マクロな構造を模倣したもの
機械	主に生物を模倣したロボット
プロセス	バイオミネラリゼーションやバイオテンプレートを応用したものづくり等、生物の物質生産や構造形成を生産プロセスに応用するもの
システム	生物にヒントを得た交通システムや都市構造等を指す

がなされている。さらに、特開2017-125125では、カテコール基含有モノマーを添加して、金属材料との接着性に優れたレジストパターン形成が可能なタッチパネル部材用樹脂膜が報告されており、特開2019-214718には、溶解度パラメータを利用し、カテコール基含有モノマーとの相容性の良い市販のアクリレート樹脂製品を選定し、無溶剤の組成物を提案している。すなわち、出願年代を経るに連れ、ドーバ誘導体構造はポリマーユニットの一骨格に始まり、近年では無溶剤系への混合まで検討範囲が広がっている。

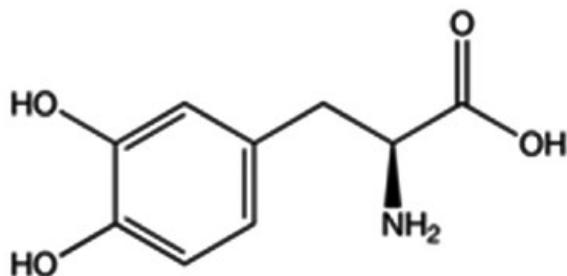


図2 DOPA 構造式

5 社会実装に向けて

前章で紹介したDOPAは、論文や特許レベルでとどまらず、社会実装に向け実用化を目指しているベンチャー企業もある⁸⁾。彼らは、パデュー大学からライセンス供与された基本技術を基に、その用途を水中および高湿度環境、低エネルギー表面等に展開している。例えば口腔内の環境は、長期にわたる水の加水分解、機械的ストレス、その他の化学的課題に耐える必要があるため、歯科材料用接着剤としてポリマー類が販売されている。また、水中接着性の特徴を活かし、珊瑚礁の修復用接着剤としての販売も行っている。珊瑚礁は現在温暖化や破壊的漁法などの影響で、加速度的に消滅しつつある。「海中の熱帯林」といわれ、生態系のかなめとされる珊瑚礁の再構築は、そこに生息する生態系の保護にも繋がり、SDGs目標14「海の豊かさを守ろう」の目標達成につながる。奇しくもDOPAは生物の保有する機能を工学に応用し、機能性モノマーとして産業用途に用いられるよう試みていたが、再び生態系を救おうという好循環に寄与する結果に結びついている。バイオミメティクスは、生物から工学への機

能利用に留まらず、循環型社会に歩みを進める新たな技術といえよう。

6 まとめ

2000年以降、社会は物質の豊かさや、人と自然の最適なバランスを求める「人間中心の社会」であった。SDGs実施指針が示された今日、自然のメカニズムを社会に取り入れ自然に回帰させていく「自然中心の社会」へ変革することが予想される。具体的な取り組みを始めている企業もあるが「SDGs」を「社会貢献」に留まらず、継続的な取り組みに繋がるよう心がけることが重要と考える。

産業面でいえば国際標準化の整備も進んでいる中、文科省新領域「生物規範工学」で構築したデータベースはISO/TRとして発行され、今後広く普及・活用されることが期待される。このツールの利活用により、生物の機能が見出だしやすくなることで、各企業内におけるバイオミメティクス研究の活性化につながり、結果として製品創出の機会や持続可能な開発の一助となり、事業機会と関連付けられることを期待する。

<引用文献>

- 1) 環境基本計画、環境省、平成30年4月
- 2) 下村政嗣：日本知財学会誌、Vol.13、No.2、pp.4-10、2016
- 3) 科学技術振興機構：進化する生物模倣の世界、2013
- 4) <https://www.iso.org/committee/652577.html>
- 5) 平坂雅男：計測と制御、61(1), 2022
- 6) 平成26年度特許出願技術動向調査報告書－バイオミメティクス－、特許庁、平成26年
- 7) 井上広滋：化学と生物、Vol.33、No.10、1995
- 8) <https://www.musselpolymers.com>

今泉 雅裕 (いまいずみ まさひろ)
技術士（化学部門）

日本化薬（株）
ファインケミカルズ研究所
e-mail : m-imazumi@ae.auone-net.jp



自然に学んだバイオミメティック纖維

Biomimetic fibers & textiles created by learning the form and structure of natural fibers

八木 健吉
YAGI Kenichi

化学纖維は、レーヨンなどの再生纖維、アセテートなどの半合成纖維、ナイロンやポリエステルなどの合成纖維に分類されるが、いずれも絹、羊毛、木綿、皮などの天然纖維の形態や構造を学んでつくられてきた。自然に学んで人工のものつくりに役立てるなどをバイオミメティクスと呼んで近年注目されているが、纖維はバイオミメティクスという言葉ができるずっと前からそれを実践してきた。シルクライク新合纖、人工皮革、快適性新合纖はその代表的な事例である。自然に学び自然を超えたスーパー纖維も出現している。

Artificial fibers are classified into regenerated fibers such as rayon, semi-synthetic fibers such as acetate, and synthetic fibers such as nylon and polyester. All of these fibers have been created by learning the form and structure of natural fibers such as silk, wool, cotton, and leather. Biomimetics has been attracting attention in recent years, but it has been applied to fibers and textiles long before the term biomimetics was made. Silk-like new synthetic fibers, artificial leather, and comfort new synthetic fibers are representative examples. Furthermore, super fibers which are also created by learning from nature and exceed it are emerging.

キーワード：バイオミメティクス、シルクライク新合纖、極細纖維、人工皮革、快適性新合纖

1 天然纖維から化学纖維へ

1.1 天然纖維の利用の時代

細くて長い形をした天然纖維は、もともと動植物の構成成分として自然界に広く存在し、古くから人間が衣服や資材に利用してきた。絹、羊毛、麻、木綿や皮、毛皮などは、人間が生活していく上で欠くことのできない纖維素材であり、これらを用いて天然纖維素材の利用技術が発展してきた。

その過程で製糸、糸加工、紡績、織布、編布、染色、仕上、縫製などの纖維利用に必要な製造技術や加工技術、さらには不織布、フェルト、皮革などの高度な纖維製品加工技術が生まれた。つまり太古から19世紀までは天然纖維の利用技術を発展させた時代といえる。

1.2 バイオミメティクスから生まれた化学纖維

ところが19世紀末になって纖維の世界に一大変革が起きた。シャルトンネによる人造絹糸の発明である。シャルトンネはカイコの口から吐出される絹糸をイメージして、カイコの口の代わりに小穴の開いた口金からニトロセルロース系原液を

吐出させて人造絹糸（人絹）をつくった。まさにバイオミメティック纖維の第一号である（写真1）。

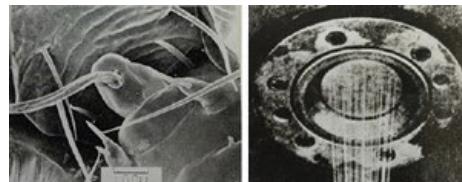


写真1 カイコの絹糸吐出と口金からのポリマー吐出¹⁾²⁾

このニトロセルロースを原料に用いたシャルトンネ人絹は燃えやすいという欠点から、今は全く生産されていないが、再生纖維に分類される現在の銅アンモニア法人絹（キュプラ）やビスコース法人絹（レーヨン）、さらには半合成纖維に分類されるアセテート人絹につながっており、シャルトンネは人絹工業の父と称えられている。

20世紀に入るとシュタウディンガーが纖維鎖状高分子説を唱えて高分子の構造解明が進み、1930年代には合成高分子で纖維を作る試みが始まり、ナイロンやポリエチレンなどの合纖纖維が生まれた。

ここに至って、長い間天然纖維を利用するのみであった人間が、化学纖維と呼ばれるバイオミメティック纖維を自ら作る時代に入ったのである。

2 カイコに学んだシルクライク新合纖

2.1 合成纖維への感性の付与

20世紀も半ばになると人口増大に伴う纖維需要を補充する必要もあって、合成纖維が大量に生産される時代になった。しかし合成纖維の長所であるはずの優れた量産性、生産安定性、品質の均一性といった特長は、一方では人間の感性に訴える得もいわれぬ風合いや光沢といった感性の面では逆に邪魔をし、天然纖維に比べると人工的でフラットな感じを与え、安物に位置付けられざるを得なかった。

そこで人工的ではない本物の絹のような優美な光沢や、自然な外観やソフトな風合いを目指すことが合成纖維の大きな課題となった。これらの課題を解決するために、絹の優れた特性の解析から学ぶというバイオミメティクスが行われた。

2.2 優美な光沢の発現

絹の最大の特長は優美な光沢である。カイコのつくる繭（まゆ）糸は、特有の三角断面形状をもつ2本のフィブロインというタンパク質纖維が、セリシンという別のタンパク質で包まれた複合纖維構造になっている。絹は精練という加工により外側のセリシンが除去されて三角断面形状のフィブロイン纖維から構成されるので、三角断面の糸が光沢に大きく関係すると考えられた。そこで合成纖維でも紡糸口金を工夫することにより三角断面形状の纖維をつくり、シルクライクな光沢を発させた（写真2）。

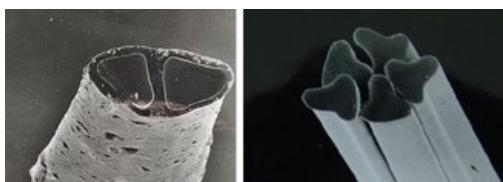


写真2 カイコの繭糸（左）と三角断面ポリエステル纖維（右）^{③)}

この時期にはポリエステル系合纖纖維でもう一つシルクライクの要素技術が生まれた。それは絹の精練加工に学んで、アルカリ液で纖維の減量加工を施す技術で、これらの技術開発によりポリエステル纖維でも絹のような光沢と、ソフトな風合い（ドレープ性）が得られるようになった。

2.3 ふくらみ感やナチュラル感の表現

絹がかもし出す高貴な雰囲気は、自然で上品な外観に加え、持った時のソフトなふくらみ感から感じられる面も多い。このソフトなふくらみ感を発現することがこれまでの合成纖維では至難であり、人工的にフラットな感じを脱することが難しかった。ふくらみ感は絹纖維の自然な捲縮（けんしゅく：縮れ）によると考えられていた。

このような課題を解決する方法として、熱収縮率の異なる2種類のポリエステル纖維を同時に紡糸してマルチフィラメントとし、これで織物にした後、熱処理によって収縮率の高い纖維を収縮させ、一方収縮率の低い纖維をたるませて、織物表面にソフトなふくらみを与える異収縮混纖技術が生まれた。さらに、マルチフィラメントにランダムな熱処理を加えて、長さ方向に収縮率がランダムに異なる部位をつくり、熱処理によってふくらみを与えるランダム混纖技術も生まれた。これらの技術により優れたふくらみ感を持つポリエステル織物が得られるようになった（写真3）。

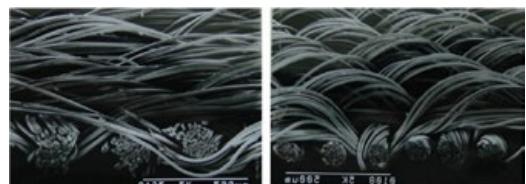


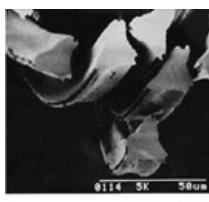
写真3 従来品（左）とふくらみ感のある異収縮混纖品（右）^{③)}

2.4 絹鳴りの音を表現

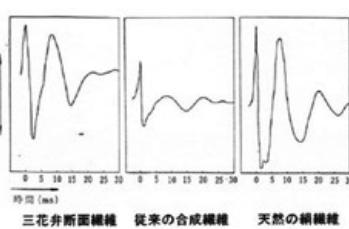
絹は感性の極みとして、「絹鳴り（きぬなり）」や「衣擦れ（きぬずれ）」と呼ばれる独特の音を発することが古来知られてきた。絹鳴りは絹糸や織物をこすった時に、纖維同士がこすれあって発生する低周波音を含む振動音で、衣擦れは衣服の裾（すそ）や袂（たもと）が擦れ合って発する周波数の高い音とされている。

この絹鳴りの現象を解析し、ポリエステル織物でも絹鳴りを発生する技術が生まれた。それは三角断面纖維の各頂点に微細スリットをいたした三花弁断面形状のポリエステル纖維の技術である。このような三花弁断面形状のポリエステル纖維は、纖維と纖維が擦れ合った時に、窪みがあるためにひっかかり、複雑なスティック・スリッ

現象を生じて、きしみ音のような音の波形が得られ、絹鳴りの波形に酷似することがわかった(写真4、図1)。



三花弁断面繊維

写真4 断面構造³⁾図1 音の波形³⁾

このような一連のポリエステル・シリクライク繊維は、軽さや洗ってすぐ着られるイージーケア性も備えているので、絹を凌駕する新しい合成繊維として世の中では「新合纖」と呼ばれるようになった。1990年には天然の絹しか使用されなかつた能や歌舞伎のような伝統工芸の衣装に、絹鳴りのするシリクライク新合纖が用いられて話題になった。

3 牛や羊に学んだ人工皮革

3.1 天然皮革は不織布構造

牛や羊などの動物の皮は、体表を覆う表皮層、鞣(なめ)して革になる真皮層、および肉と結合する皮下組織の三層からなる。鞣して革として利用される真皮層の、表皮に近いほうが乳頭層(銀面層ともいう)で、肉に近いほうが網様層である。乳頭層も網様層もコラーゲンというタンパク質の繊維から構成されている(図2)。



図2 鞣す前の牛皮の断面構造(日本皮革技術協会提供)を改変

乳頭層では、コラーゲン分子が集合した直径0.1 μm程度の超極細フィブリルが何百本も集まつて直径3 μm程度の極細繊維(ファイバーという)を形成し、その極細繊維が数十本集まってできた直径80 μm程度の極細繊維束が三次元的に絡み合った状態、すなわち不織布構造になって存在している。これに対し網様層では、極細繊維が集

まって形成する繊維束の太さがもっと太くなり、太い繊維束が絡み合った不織布構造となっている。

3.2 極細繊維の登場

このように天然皮革を構成するコラーゲン繊維のファイバーの直径が3 μmという極細繊維であることを学んだので、従来は数十μmの直径の繊維が常識であった合成繊維の世界でも、直径が5 μmを切る極細繊維(マイクロファイバー)が開発され、合成繊維の大きな要素技術となった。

口金から直接極細繊維を紡糸すると糸切れしやすいので、最初の極細繊維は、高分子相互配列体繊維と呼ばれる複合繊維から発生させた。高分子相互配列体繊維は、何本もの細い繊維が1本の繊維の中に入った海島構造の複合繊維で、この繊維から海成分を除去(脱海)することによって極細繊維束を発生させるという原理である(写真5)。

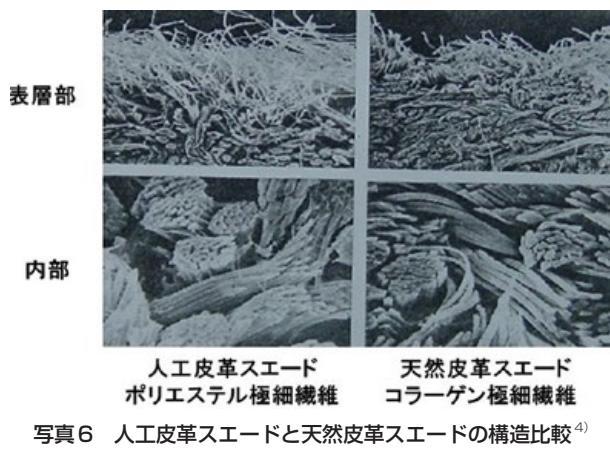
写真5 高分子相互配列体繊維から極細繊維の発生⁴⁾

高分子相互配列体繊維は、それ自体は通常の数十μmの直径の繊維なので、既存の設備や技術で不織布にすることができる。従って、高分子相互配列体繊維で不織布を形成した後に、脱海工程で海成分を除去すれば極細繊維の束から構成される人工皮革シートを得ることができる。

3.3 天然と見分けがつかない人工皮革スエード

上記の原理により発生する極細繊維は、当初は産毛(うぶげ)が表面を覆う起毛タイプの人工皮革スエードに適用された。直径が3 μmのポリエステル極細繊維の束が内部で絡み合った不織布繊維シートの表面を起毛加工すると、内部から連続した極細繊維の束が表面で開織し、極細繊維の産毛が表面を覆う人工皮革スエードとなるので、天然皮革スエードと見分けがつかない皮革構造になる(写真6)。

この人工皮革スエードは極細繊維の産毛をもつので、天然皮革スエードと同様のしなやかで上品



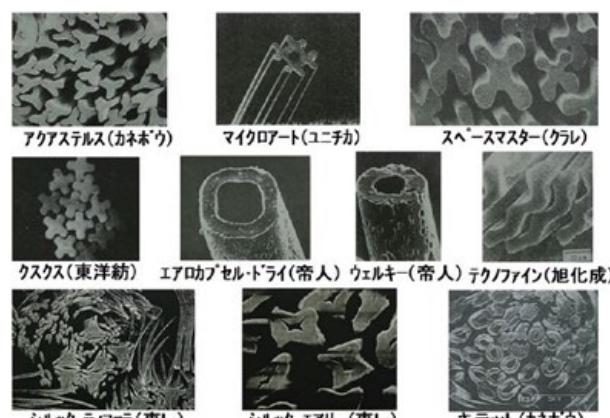
な感触や、産毛による陰影効果（スエード効果と呼ぶ）が得られ、しかも天然皮革スエードに比べてイージーケアが可能なことから高く評価され、1970年の発売後50年以上経過した現在でも、国内や欧米で衣料や家具、自動車シートなどに使用されている。

4 繊維とバイオミメティクス

4.1 自然（天然繊維）に学ぶ

この他にも天然繊維の形態や機能を学んで生まれた合成繊維は多数ある。木綿繊維がマカロニのように中空で、かつ異形断面であることから合成繊維でも多種多様な中空・異形断面繊維がつくられた。

中空繊維は軽量化や保温に有効であり、異形断面繊維は表面積が増すので機能性が發揮しやすい。これらの中空・異形断面繊維の開発は、染色性、吸水性、吸汗性、清涼感、ドライ感、軽量性、高反発性、保温性、はつ水性などに優れた快適性新合纖を生み出し、現在の機能性衣料につながっている（写真7）。



4.2 自然（天然繊維）を超える

近年、強さや燃えにくさなどの機能の点で、従来の繊維を大きく超える高機能繊維が出現している。超高強力や不燃の機能をもった炭素繊維、アラミド繊維、高強力ポリエチレン繊維などが生まれ、航空宇宙、産業資材やスポーツ・レジャー分野における素材軽量化や不燃材料化に貢献している。このようなスーパー繊維の出現も、自然に学んで自然を超える繊維を創りだしたと捉えられよう（図3）。

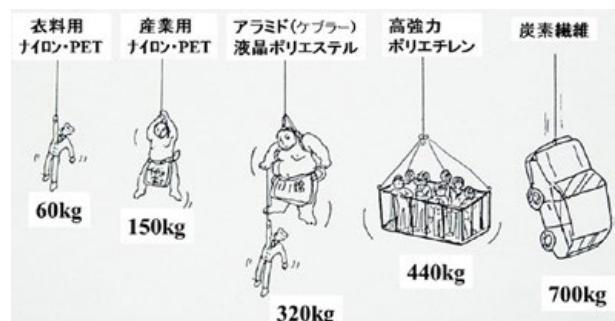


図3 スーパー繊維 1 mm²の断面積の糸でどこまで支えられるか⁴⁾

今後の繊維は、持続可能な社会構築のためにサステナブルな繊維、特にバイオベースマテリアルを使用した繊維が求められる方向である。自然に学ぶというバイオミメティック繊維の考え方は、ますます重要になると思われる。

<引用文献>

- 1) 皆川基：絹の科学、関西衣生活研究会、1981年9月
- 2) 松本喜代一：21世紀をめざす繊維、p.18、自費出版、1989年1月25日
- 3) 八木健吉：新合纖の最近の展開、染色工業、40巻12号、pp.578-585、色染社、1992年12月20日
- 4) 八木健吉：天然繊維と合成繊維、化学と工業、46巻5号、pp.769-772、日本化学会、1993年5月1日
- 5) 八木健吉：繊維～究極のバイオミメティクス～、p.49、不織布情報、2014年11月30日

八木 健吉 (やぎ けんきち)
技術士（繊維／総合技術監理部門）

日本技術士会近畿本部 繊維部会長
日本繊維技術士センター 理事
八木技術士事務所 代表
e-mail : yagiken@maia.eonet.ne.jp



幼生の定着behaviorから学ぶサンゴ人工種苗基盤の構造

Structure of artificial coral seedling substrate learned from larval settlement behavior

藤原 秀一
FUJIWARA Shuichi

サンゴ礁は、近年、環境悪化や白化現象による衰退が著しいため、再生が重要な課題となっている。ドナー不要の有性生殖を利用した再生技術には、種苗生産のための優れた人工基盤が不可欠である。複雑な形状の隠蔽的な微小構造部や裏側に好んで定着するサンゴ幼生のbehavior^{*}に着目し、連結式サンゴ幼生着床具は、基盤下面に溝を設け、溝の幅と深さの比を1とする複雑構造を持たせた。サンゴ礁における定着試験では、幼生の83%が着床具下面に定着し、そのうち、溝の表面積が平坦部のそれの約4/5にもかかわらず、82%が溝に定着した。（*個体の意味ある行動）

Coral restoration has become an important issue due to serious reef degradation. For the restoration using sexual propagation, a good artificial substrate for seedling production is essential. The Coral Settlement Device was developed by focusing on the larval behavior preferring the complicated cryptic microstructure and the back side to settle. Roughness structure of the under surface of the substrate was designed with a ratio of 1 between width and depth of the groove. In a field test, 83 % of larvae settled on the under surface and 82 % of them settled in the grooves even though the surface area was about 4/5 of the flat.

キーワード：有性生殖、サンゴ幼生、着床具、基盤構造、定着、種苗生産

1 はじめに

サンゴ礁は高い生物多様性を有する海洋生態系である。海洋の1%未満に過ぎない面積に、海洋生物種の25%が生息している。食料、観光、遺伝子資源の場として極めて重要な存在であるが、近年、サンゴ礁は衰退の一途にある。世界のサンゴ礁は、その60%以上が沿岸域の環境悪化等の直接的脅威にさらされ、また、約75%がこれらの脅威と気候変動に起因する海水温上昇がもたらす大規模な白化現象と相まって、絶滅の危機に瀕している¹⁾。

そのため、サンゴ礁の再生が世界の重要な課題となっており、2022年12月19日、生物多様性条約締約国会議（COP15）において採択された「昆明・モントリオール生物多様性枠組」では、2030年までに、サンゴ礁を含む劣化した海域生態系の少なくとも30%で効果的な再生が必要であるとした。

サンゴ礁の再生は、無性生殖法と有性生殖法に大別される。無性生殖法は主に既存群集から断片を作成し、植付ける方法で、既存サンゴ群集にダ

メージを与える上に、クローン種苗となりやすいため、再生産による幼生供給が期待できない等の問題があった。一方、有性生殖法は、受精卵から発生したサンゴ幼生を基盤に定着させ、群体を成長させるため、無性生殖法の問題が避けられる。有性生殖法では、再生技術の核である種苗生産のために、浮遊する幼生を定着させる優れた人工種苗基盤が不可欠である。本論では、東京水産大学（現、東京海洋大学）の岡本峰雄博士らにより、2002年、幼生の定着behaviorから学ぶことにより開発され²⁾、国や沖縄県等の連携の下、筆者らにより再生技術の確立が行われた人工基盤である連結式サンゴ幼生着床具（以下、着床具。図1）の構造特性について述べる。

2 サンゴの生活史

サンゴ礁で卓越して分布するミドリイシ属サンゴは、沖縄県八重山地方では、毎年1回、一斉に大規模産卵することが知られている。それは、日平均水温が26℃に達した後の5月の満月頃に起こる³⁾。ミドリイシ属の場合、卵と精子を包含した粒径1mm程度のバンドルと呼ばれる球形力



図1 連結式サンゴ幼生着床具（プロトタイプ）

プセルを放出する。バンドルは海面で割れて、卵は他群体の精子と交配する。受精卵はスリックとして海面を浮遊しながら2日程度で幼生となり、海底の基盤へ定着するため、次第に深度方向へ移動し、産卵後1週間程度で海底の基盤へ定着する。定着後、分裂を繰り返し、群体を成長させ、5年程度で産卵可能な親群体となる（図2）。

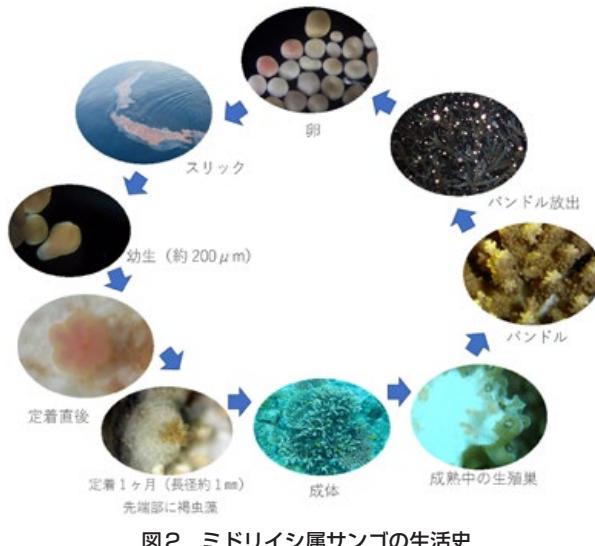


図2 ミドリイシ属サンゴの生活史

3 サンゴ幼生の定着behavior

サンゴ幼生（約200 μm 長）はミクロレベル（ 10^{-3} m レベル）では好適な基盤を自ら選択して定着するが⁴⁾、マクロのレベル（ 10^0 m レベル）で考えると、遊泳能力に乏しいため、海流や波浪軌道流に大きく左右される。海底付近を流れながら、流れの乱れに取り込まれて基盤直近へ到達すると考えられる。サンゴ幼生は海底では、一般に複雑な形状の基盤の隠蔽的な微小構造部や裏側に好んで定着する。サンゴ礁に潜り観察すると、海底のくぼみや穴に定着している稚サンゴを

普通にみることができる（図3）。浮遊移動中に基質直近に接近し、好適な場所を認識し、定着するものと考えられる。幼生を水槽でエアレーションのみで飼育した場合、定着時期が来ると基盤上に沈降するが、定着は遅れる性向がみられ、流れが好適な基盤への定着に必要な要素であることを示唆している。

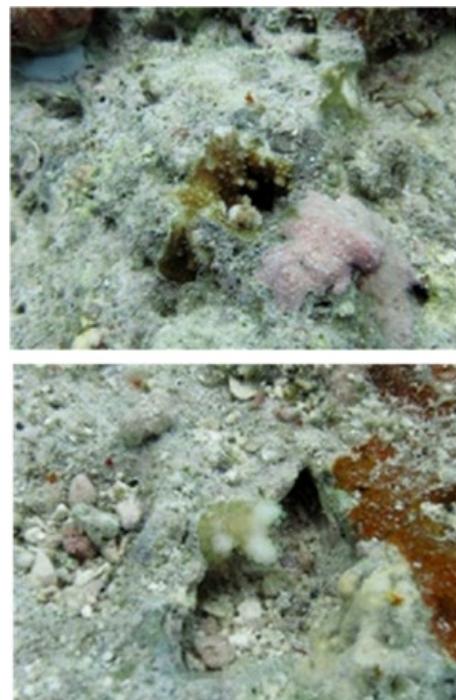


図3 塗み（上）や穴（下）に定着したサンゴ（約1 cm）

一方、幼生定着には化学的側面もある。海藻の無節サンゴモ類由來の物質やバイオフィルムが幼生の定着に対するシグナルと考えられ⁵⁾、基盤上のそれらの存在がサンゴ幼生定着にとって重要な要素としてされている。しかし、定着の誘因要素としてバイオフィルムは重要であるが、基盤表面構造の複雑性がより強く影響するとの指摘もある⁶⁾。本論では化学的な定着要素についてはひとまず置いておき、幼生定着の物理的側面について述べる。

4 定着Behaviorから学んだ着床具の構造原理

流れの中にある定着基盤へのサンゴ幼生の受動的到達を考えてみると、流れの乱れを起こす基盤構造の複雑さが到達にとって重要な要素である。サンゴ幼生の定着と基盤の構造複雑性との関係については、サンゴ骨格を海底に設置し、産卵4カ月後の定着数を比較した結果、定着数が骨格表面

の複雑度と相関がみられた等の報告があった⁷⁾。また、海底に平板を置いた場合、ほとんどの幼生が平板裏面に定着することも知られていた⁸⁾。着床具は、このような幼生の定着behaviorを基にして、幼生の定着を容易にするための基盤の複雑構造を考察することにより生まれた。

水流中に置かれた単純化された溝構造基盤を考えてみると、流速及び溝の幅(L)と溝の深さ(D)の比L/Dにより、溝には循環流が発生する(図4)。幼生はこの循環流に取り込まれれば、基盤に定着する可能性が高くなる。着床具は、この原理を応用し、かつ、幼生が基盤裏側を好むことを反映させ、図4を上下逆転させた定着基盤を着想した(図1参照)。L/D比は1とした。2004年、沖縄県八重山地方のサンゴ礁に設置し、一斉産卵3ヶ月後にサンプリングした着床具へのサンゴ幼生定着結果では、幼生の83%が、着床具下面に定着し、そのうち、溝の表面積は基盤平坦部のそれの約4/5であるにもかかわらず、82%が溝に定着した⁹⁾。

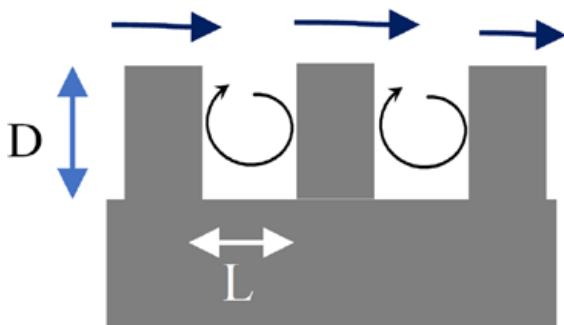


図4 単純化された溝構造基盤における流れの模式図

その後の研究により、溝の深さより溝の幅が大きいタイプ($L/D > 1$)では、溝の底部まで浸透する乱流が発生するが、幅と深さの比が小さいタイプ($L/D < 1$)では、流れがあまり溝の底部まで浸透せずに表面をかすめるため(スキミング流)、溝に循環流が発生し、幼生の滞留効果が高くなることが示された。すなわち、幼生が定着する可能性が最も高いのは、幼生が定着基盤の狭い凹部の奥深くに到達した場合である¹⁰⁾。L/D比は、凹凸間で幼生が滞留されるか、下流に輸送されるかという観点から、定着基盤の構造複雑度として、幼生定着の重要な決定要因であることが示された¹¹⁾。

なお、溝構造を有する着床具と様々な構造を有するサンゴ定着基盤を用いた定着の比較試験が、沖縄島において、2012年–2014年に行われた。着床具、板状陶器、網状硬質プラスチック、ホタテガイ貝殻(皺状)の4種類について(大きさ3 cm–11 cm)の基盤を用いて、サンゴ幼生の定着に及ぼす基盤構造複雑性の影響が調べられた。基盤構造の複雑性は、垂直投影面積に対する表面積の比から求められ、着床具: 3.77、板状陶器: 2.65、網状硬質プラスチック: 2.00、ホタテガイ貝殻: 2.00であった。基盤は、毎年、サンゴ産卵期に海底に設置、産卵から約2ヶ月後にサンプリングされ、定着サンゴ群体数が測定された。その結果、幼生の3年間の平均採苗率(=サンゴが定着した基盤の数/設置された基盤の数×100)は、溝構造を有する着床具が最も高かった¹²⁾。

なお、サンゴ種苗生産では、基盤定着後の生残率も重要な要素である。サンゴの生活史において、定着後1年が最も危うい期間で、定着1年目の幼サンゴ死亡率は、30–99%である¹³⁾。生残率に大きく影響する要素は、魚類や無脊椎動物による捕食であるため、定着基盤構造の複雑さが捕食圧低減のために重要である¹⁴⁾。着床具では下面の溝に多くのサンゴが定着し、捕食の影響が避けられることから種苗の高い生残率を示している¹²⁾。種苗生産技術では、定着後1年目の減耗を最小化することも重要な要素である。

5 課題

ここまで幼生のマクロレベルの定着、(到達といつていいかもしれない)、について述べたが、ミクロのレベルにおける定着については、未解明な部分が多い。幼生は基盤に接近すると、好適な場所を選択して、定着するが、体の幅よりも一桁以上小さい微地形を検知することが知られている¹⁵⁾。定着してすぐに石灰質を分泌し、個体を強固に基盤に固着しなくてはならないため、できるだけ効率的な石灰質利用の点から、このような機能を有しているのかもしれない。このbehaviorに対する着床具の技術的対応は今後の

課題である。着床具の微構造創出については、未知の領域であるが、今後、取り組んでいきたい。

6 おわりに

世界的にも優れたサンゴ人工種苗基盤である着床具を開発し（写真1）、サンゴ礁再生に貢献され、2023年4月に惜しくも逝去された元東京海洋大学教授故岡本峰雄博士に本論を捧げます。



写真1 植付けられた着床具種苗サンゴ

<引用文献>

- 1) Burke, L. et al. : Reefs at Risk Revisited. World Resources Institute, Washington, D.C.130pp. 2011
- 2) Okamoto, M. et al. : Development of ceramic settlement devices for coral reef restoration using in situ sexual reproduction of corals. *Fisheries Science*, 74:1245-1253, 2008
- 3) 藤原秀一ら：石西礁湖におけるミドリイシ属サンゴ一斉産卵の条件. *水産海洋研究*, 79(3) :130-140, 2015
- 4) Butman, C.A. et al. : Horizontal swimming and gravitational sinking of *Capitella* sp. i (Annelida: Polychaeta) larvae: implications for settlement, *Ophelia*, 29 (1) : 43-57, 1988
- 5) Tebben, J. et al. : Chemical mediation of coral larval settlement by crustose coralline algae, *Scientific Reports* 5, 10803, 2015
- 6) Whalan, S. et al. : Larval settlement: the role of surface topography for sessile coral reef invertebrates, *PLoS One*, 10(2) : e0117675, 2015
- 7) Carleton J.H. & Sammarco P.W. : Effects of substratum irregularity on success of coral settlement : quantification by comparative geomorphological techniques. *Bull. Mar. Sci.* 40 (1) : 85-98, 1987
- 8) Mundy, C.N. : An appraisal of methods used in coral recruitment studies, *Coral Reefs*, 19: 124-131, 2000
- 9) 環境省九州地方環境事務所那覇自然環境事務所：サンゴ幼生着床具を用いたサンゴ群集修復マニュアルVI, 109pp.2012. 環境省ホームページ <http://sekiseisyouko.com/szn/pdf/report/NRPS2011.pdf>
- 10) Reidenbach, M.A. et al. : Hydrodynamic interactions with coral topography and its impact on larval settlement, *Coral Reefs*, 40:505-519, 2021
- 11) Quinn, N.P. & Ackerman, J.D. : The effect of bottom roughness on scalar transport in aquatic ecosystems: Implications for reproduction and recruitment in the benthos, *Journal of Theoretical Biology*, 369: 59-66, 2015
- 12) Fujiwara, S., Kezuka, D., Hagiwara, K., Ishimori, H., Tabata, H. : Effect of substratum structural complex of coral seedlings on the settlement and post-settlement survivorship of coral settlers. *Oceans*, 4:1-12, 2023
- 13) Randall C.J. et al. : Sexual production of corals for reef restoration in the Anthropocene, *Mar Ecol Prog Ser*, 635:203-232, 2020
- 14) Suzuki G. et al. : Interspecific differences in the post-settlement survival of *Acropora* corals under a common garden experiment. *Fisheries Science*, 84: 849-856, 2018
- 15) Levenstein, M.A. et al. : Composite substrates reveal inorganic material cues for coral larval settlement, *ACS sustainable chem. Eng.*, 10(12), 3960-3971, 2022

藤原 秀一 (ふじわら しゅういち)
技術士 (環境部門)

いであ (株) 国土環境研究所・沖縄支社
環境省環境カウンセラー (事業者部門)
e-mail : fju20240@ideacon.co.jp



オクロ天然原子炉より学んだ地層による核分裂生成物の閉じ込め機能

Confinement function of fission products by geological formations learned from Oklo natural reactor

坂本 浩幸

SAKAMOTO Hiroyuki

アフリカのガボン共和国にあるオクロのウラン鉱床には、約20億年前にウランの核分裂連鎖反応による天然の原子炉が存在していた。天然原子炉では約6tのウランが核分裂して同量の核分裂生成物と約3tのプルトニウムが発生しているが、そのほとんどは約20億年経過した現在も同じ場所にとどまっていることが確認されている。このことは、高レベル放射性廃棄物の地層処分における多重バリアシステムで長期にわたり放射性物質の閉じ込め機能を示すナチュラルアナログとして、地層処分の安全性を構築するための情報として活用できる。

A natural nuclear reactor existed in the Oklo uranium deposit two billion years ago. Most of the fission products generated in natural nuclear reactors remained in the same location even after about 2 billion years. This can be used as a natural analogue of the ability of multiple barrier systems in geological disposal of high-level radioactive waste to confine radioactive materials for long periods of time.

キーワード：天然原子炉、核分裂生成物、高レベル放射性廃棄物、地層処分、ナチュラルアナログ

1 はじめに

フランス原子力庁は、1972年に中央アフリカ・ガボン共和国東部の6つのウラン(U)鉱床の一つであるオクロ鉱床で、今から約20億年前に自発的にウランが核分裂連鎖反応を起こした天然原子炉が発見されたと公表した。オクロのウラン鉱床では、過去に核分裂連鎖反応を起こした部分(ウラン鉱床の一部)を原子炉ゾーンと呼び14カ所が確認^{1,2)}されている。

鉱床内で核分裂によって消費された²³⁵Uの総量は、初めに発見された6カ所の原子炉ゾーン1から6で約6t^{1,2)}に達している。6tの²³⁵Uの核分裂に伴い発生するエネルギーは、現在の100万kW級の原子炉5基を1年間運転したときに発生する熱エネルギーにほぼ等しい^{1,2)}。原子炉ゾーンでは、約30分間動作した後数時間停止するサイクルを数万年から数十万年の間断続的に稼働していたと推測¹⁾されている。

原子炉ゾーンでは、²³⁵Uの核分裂に伴って質量が保存されたほぼ同質量の核分裂生成物が発生している。約20億年経過した現在では、核分裂

生成物は全て放射壊変して安定同位体になっているが、従来から存在していた元素の安定同位体組成に顕著な影響を与えている。安定同位体組成の変動は、原子炉ゾーンやその周辺を詳細に質量分析によって調べることで、核分裂生成物の地下環境における長期的な挙動の理解に資する情報を提供している。

2 オクロ天然原子炉

2.1 原子炉とは

原子炉は、制御された核分裂連鎖反応を維持することができるよう核燃料等を配置した装置で、核分裂のエネルギーを安全に取り出すことができるよう設計されている。²³⁵Uやプルトニウム(Pu)-239(²³⁹Pu)などの核分裂性物質が中性子を吸収すると2個またはそれ以上の核種に分裂してエネルギーを放出するとともに、2個または3個のエネルギーの高い中性子(高速中性子)を放出する。放出された中性子が次の核分裂性物質に吸収されると、その原子が核分裂して新たな高速中性子を放出する。この過程が連続して繰り返されることを核分裂連鎖反応といい、この

連鎖反応が持続している状態を臨界という。なお、核種とは原子核の組成によって規定される特定の原子の種類である。すなわち、安定核種と放射性核種が存在する。

日本の商業用発電炉は、核分裂に伴い放出される高速中性子を²³⁵Uとの反応率が高くエネルギーの低い中性子（熱中性子）にするため、減速材として普通の水（軽水）を使用し、発生した熱エネルギーをその軽水を蒸気にして取り出すことから軽水炉と呼ばれている。蒸気を発生させる方法として、沸騰水型炉（BWR）と加圧水型炉（PWR）の2種類あるが、いずれも核燃料や減速材として軽水を使用する点は同じである。軽水炉が臨界を維持するためには、放出された中性子の一つが次の核分裂性物質に吸収される状態を継続する必要があり、一定以上の²³⁵Uの濃度と量や中性子を吸収する他の物質が比較的少ないとなどの条件が満たされることが必要になる。

²³⁵Uの核分裂連鎖反応を図1³⁾に示す。

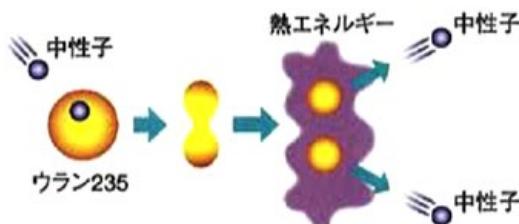


図1 ウラン235の核分裂連鎖反応³⁾

2.2 オクロ天然原子炉

ウラン鉱床の内部で核分裂連鎖反応を生じる天然原子炉が成立する条件については、黒田和夫博士がオクロ天然原子炉が発見される16年前の1956年に発表⁴⁾している。黒田博士は、理論的な考察の結果として、20億年前のウラン鉱床中に天然の原子炉が存在した可能性があることを示している。

日本で稼働している軽水炉は、核分裂するUの同位体である²³⁵Uを3%から5%に濃縮した核燃料を使用している。現在の天然ウランの同位体の割合は、原子燃料となる²³⁵Uの濃度が0.72%で、核分裂しにくい²³⁸Uの濃度は99.27%であるため、現代の天然ウランは軽水炉で臨界になる条件を満たしていない。一方、

²³⁵Uの半減期は7億年で、²³⁸Uの半減期は24億年であることから、20億年前には²³⁵Uは約3.8%存在していたと計算でき、条件が揃えば臨界になる可能性があった。堆積性のウラン鉱床であるオクロ鉱床の周辺には多量の天然水が存在しており、その水が高速中性子の減速材として機能し、希土類元素等の中性子を吸収する元素が少ないことなどの条件が重なったため天然原子炉として臨界になった¹⁾⁻⁴⁾と考えられている。

現在の原子力発電所では、²³⁵Uの他に²³⁸Uが中性子を吸収して核変換した²³⁹Puが高速中性子を吸収して核分裂している。²³⁹Puの核分裂で発生する熱エネルギーは全体の30%程度を占めているが、オクロ天然原子炉では²³⁹Puの核分裂による熱エネルギーの割合は、3%程度と評価³⁾されている。天然原子炉内で生成した²³⁹Puの大半は放射壊変して²³⁵Uになったと評価¹⁾されている。

3 放射性核種の挙動

3.1 天然原子炉の中に生成した放射性核種の挙動

天然原子炉で熱中性子を吸収して核分裂した²³⁵Uの核分裂生成物は、原子力発電所の原子炉で発生する核種と同様の核種組成である。また、²³⁸Uが中性子を吸収して生成する²³⁹Puが約3t生成したと¹⁾見積もられている。

天然原子炉が臨界となっていた期間（約60万年）¹⁾とその後の約20億年の間に天然原子炉で核分裂によって生成した放射性核種は、様々な地球化学的な影響を受けて現在に至っていると考えられる。この天然原子炉で生成された核分裂生成物や原子番号がUを超える元素(trans uranium: TRU元素)の現在の状態を確認することは、使用済核燃料の再処理に伴って発生する高レベル放射性廃棄物(HLW)の放射性核種の挙動を理解する上で貴重な知見となっている。

3.2 ウランとプルトニウムの挙動

地表面に近く、2番目に発見された原子炉ゾーンNo.2の²³⁵Uの濃度0.444%の試料の分析結果から、Uは原子炉が臨界になっていた時期から

現在に至るまでほとんど移動していないと結論¹⁾²⁾ づけている。²³⁵Uと²³⁸Uが分析試料内に存在している位置は、完全に一致しているが、²³⁵Uの約1/2が天然原子炉内で²³⁸Uが中性子を吸収して²³⁹Puになった後に²³⁹Puが α 壊変して²³⁵Uになっていることから、²³⁹Puも生成した時点から移動していない証拠¹⁾⁻³⁾ と考えられている。もし、この²³⁹Puが生成後に移動したと仮定すると、移動した先で α 壊変して²³⁵Uになるため、²³⁵Uと²³⁸Uが異なる分布になるが、そのような分析結果は報告¹⁾ されていない。また、TRU元素であるPuが移動していないことから、よく似た化学的性質を持っている他のTRU元素も同様に移動していないことを示唆²⁾ している。

3.3 核分裂生成物の挙動

原子炉ゾーンNo.2の中で²³⁵Uの核分裂が顕著な試料(²³⁵Uの濃度0.4078%)の質量数90~160の同位体分析の結果と²³⁵Uの熱中性子による核分裂の質量収率曲線と合わせて図2¹⁾に示す。質量収率曲線は、²³⁵Uが熱中性子を吸収して核分裂したときに生成する核種の存在割合を示しており、天然原子炉においても²³⁵Uの核分裂で発生した初期の核種組成は同じ組成であったと考えられる。ここで、白丸は熱中性子による²³⁵Uの核分裂における質量収率曲線で、黒丸が試料の同位体分析の結果である。試料に含まれるいくつかの元素が核分裂生成物であれば、核分裂の初期には白と黒の丸は相対的に一致していたと考えられる。いくつかの例外はあるが、全体としてかなりの量の核分裂生成物が含まれていると考え

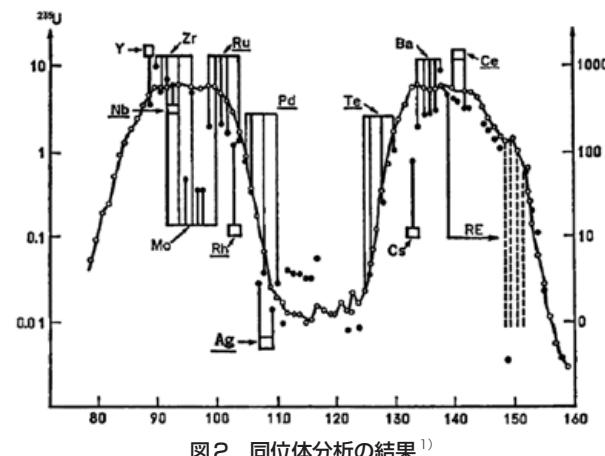


図2 同位体分析の結果¹⁾

えられ、Nb, Ru, Rh, Pd, Ag, Te, La, Ce, Pr, Nd及びSmなどは、ほぼ質量収率曲線に重なっている¹⁾ ことから、これらの元素の相当部分は核分裂以後ここにとどまっていたと考えられている。

また、重金属のTh, Biなども散逸しなかつた¹⁾ とされている。一方、Kr, Xeなどの希ガス元素や地下環境でも溶解度の高いCsなどのアルカリ金属やSrなどのアルカリ土類金属等の一部の元素は、原子炉ゾーンから失われている¹⁾。

4 HLWの地層処分

日本では、貴重なウラン資源を有効に活用するため、原子力発電で使用した使用済燃料から再利用できるUとPuを取り出す再処理を実施する。再処理の過程では、使用済燃料からUとPuを取り出した残りの高い放射能をもった廃液をガラスとともに溶融してステンレス製の容器に固化した廃棄物(ガラス固化体)であるHLWとTRU元素の核種を含む廃棄物(TRU等廃棄物)が発生する。HLWやTRU等廃棄物は、安全確保の基本的な概念である「隔離」と「閉じ込め」を達成するため、長期にわたり安定な300 mより深い地層に処分(地層処分)する方針である。

高レベル廃棄物処分場の人工バリアの構成と安全機能を図3⁵⁾に示す。

ガラスは、主成分であるケイ素やホウ素などの原子が網目のような化学構造をしていることから、大きさや性質の違うさまざまな元素を均質かつ安定に取り込むことができる。ガラスは水に溶けにくく化学的に安定であり、取り込んだ元素を選択的に溶出することができないため、水に溶けやすい元素も長期間閉じ込めることができる。ガラス固化体は、少なくとも1000年の間地下水との接触を防ぐ金属製の容器(オーバーパック)に封入し、その周囲に地下水の流入や放射性核種の収着により移行を抑制する緩衝材を配置する。これらの人工的に構築されたバリア(人工バリア)と長期にわたり環境が安定した地層という天然のバリアを組み合わせたバリア(多重バリア)によって放射性核種の「隔離」と「閉じ込め」を達成する。



図3 高レベル廃棄物処分場の人工バリアの構成と安全機能⁵⁾

TRU等廃棄物についても同様に人工バリアと天然バリアを組み合わせた多重バリアによって放射性核種の「隔離」と「閉じ込め」を達成する。

5 まとめ

中央アフリカ・ガボン共和国のウラン鉱床の一つであるオクロ鉱床で発見された天然原子炉は、原子炉としての活動を終えたのち、約20億年にわたって自然の状態に放置されていた。その保存状態は良好で、ウランやプルトニウムをはじめとして多くの核分裂生成物がほぼ原子炉が活動していた時と同じ状態で保持されていたことが判明している。

オクロ鉱床で発見された天然原子炉は、ウラン、プルトニウムや核分裂反応によって発生した核分裂生成物が岩石の内部に長期間保持されていたことを明らかにした。このような放射性廃棄物の地層処分で生じると考えられる類似の現象は、ナチュラルアナログ⁶⁾と呼ばれている。

オクロ天然原子炉の発見以降、なぜウラン鉱床が形成され、長期にわたって岩盤中に保存されるのか様々な研究が実施された。地下環境は天然のウランや核分裂生成物を長期にわたって保持する働きを有していることから、地層処分というアイデアが有力視⁶⁾されることになった。

HLWの地層処分では、放射性廃棄物を地下深部に埋設することで人間の生活環境から物理的に

「隔離」する。また、地下深部の地質環境が本来的に有する廃棄物から地下水への放射性核種の溶出とその移行を抑制する機能に工学的な対策を組み合わせることで、放射性廃棄物を長期にわたって処分場周辺に「閉じ込め」ことができる多重バリアシステムを構築する。

HLWのガラス固化体に閉じ込められた放射性元素は、取り込んだ元素を選択的に溶出することができないため天然原子炉では散逸していたCsやSrなどの地下水に溶解しやすい元素も長期間閉じ込めることが可能となる。

放射性核種の移行は、その地質環境、地下水の化学成分や流速など様々な条件の影響を受けるため、HLWの地層処分の条件が天然原子炉とは異なる可能性もあるが、オクロ天然原子炉で観察された現象は、約20億年という極めて長い期間を経て地層に置かれた放射性核種がどのようにふるまうかを示唆する貴重な情報を与えている。

<引用文献>

- 藤井勲：オクロ天然原子炉とその現状、日本原子力学会誌、Vol.27, No.4, pp.304-324, 日本原子力学会, 1985
- 藤井勲：20億年前の天然原子炉（オクロ鉱床）を訪ねて、地質ニュース、439号, pp.30-39, 産業技術総合研究所, 1991年3月
- 原子力環境整備促進・資金管理センター：自然が生み出した原子炉, pp.23-26, 2005年3月
- 黒田和夫：天然原子炉の可能性に関する解析、日本原子力学会誌, Vol.19, No.4, pp.225-232, 1977年
- 原子力発電環境整備機構、包括的技術報告：我が国における安全な地層処分の実現, pp.4-26-4-46, 2021年2月
- 吉田英一：オクロ天然原子炉、原子力文化, 1月号, pp.18-21, 2018年

坂本 浩幸 (さかもと ひろゆき)
技術士 (原子力・放射線部門)

(株) 太平洋コンサルタント
e-mail : Hiroyuki_Sakamoto@taiheiyo-c.co.jp



太陽をまねる発電－フュージョン・エネルギーの開発最前線

Fusion energy development – Power generation imitating Sun

杉本 誠
SUGIMOTO Makoto

太陽では、水素と水素 (H) から重水素 (D), ヘリウム (He) を作るという陽子・陽子 (pp) チェーンとよばれる反応により46億年にわたり水素のフュージョン反応を継続している。地上では、重水素 (D) と三重水素 (T) のフュージョン反応でのエネルギーの取り出しを目指して、研究開発が鋭意推進されている。本稿では太陽と地上の水素のフュージョン反応、そして水素のフュージョン・エネルギーを利用した発電の実現に向けた実験炉イーターの建設の進展を解説するとともに、この進展により近年の民間参入を促進していることを示した。

For 4.6 billion years, the Sun has been carrying out hydrogen fusion reactions through the pp chain to produce deuterium (D) and helium (He) from light hydrogen and light hydrogen (H). On the ground, the research and development of the reactions of deuterium (D) and tritium (T) have been progressed intensively. This paper describes the fusion reactions on the Sun and on the ground, and the progress in the construction of the ITER experimental reactor to realize hydrogen fusion power generation. It also shows how the progress made on ITER in recent years has encouraged the private sector to get involved.

キーワード：太陽、地上の太陽、水素、フュージョン、持続可能性、環境保護、SDGs

1 はじめに

太陽は永遠の輝きを放っている。その太陽の恵みを私達は古くから受けている。地球上に生命があり、人類が誕生し繁栄していることそのものが太陽の恩恵といえる。その太陽の輝き、そのエネルギーは何であるのか？これは20世紀に入る前からの大きな謎であった。当時地球の年齢はどう考えても数十億年と考えられていたが、石炭を燃やしても、重力エネルギーを使ったとしても、とても太陽の寿命はそれには見合わない。これは大きな謎であった。そしてこの謎は、1920年代に解決された。水素の原子核4個は、ヘリウム原子核よりわずかに質量が大きいこと(0.7%)が見出されたことに始まる。AINシュタインが唱えた質量とエネルギーの等価則によりエネルギーが発生し、それが太陽のエネルギー源と考えられるようになった。

そして次に、その太陽の輝きを地上で再現できないか？そのエネルギーを利用できないか？と考えるのは人の性といえる。世界各国で独自にその研究が始まった。そして1953年の米国アイ

ゼンハワード統領の「Atoms for pieces」演説を契機として、太陽をまねるエネルギーの取出し・発電を行う研究がよりオープンな形で加速し、現在に至っている。

本稿では、フュージョン・エネルギーの研究開発の状況を以下の構成で概説する。1 太陽で起こっているフュージョン、2 地上で起こすフュージョン、3 実験炉イーター、4 フュージョン・スタートアップの動向。

2 太陽で起こっているフュージョン¹⁾

太陽は身近な存在である。太陽は、我々の住む地球のように岩石や土でできた星ではない、プラズマでできた星である(図1)。まずそのサイズを地球と比べると、重量で約30万倍、体積で約100万倍と文字通り桁違いに大きい。その巨大さから重力も大きく(約 2.4×10^{11} 気圧)、中心部(太陽半径の約20%)は、温度1600万度、密度 160 g/cm^3 と評価されている。

太陽の中心部では陽子・陽子チェーンと呼ばれる水素のフュージョン反応が起きている(図2)。これが太陽の輝きの源である。この反応

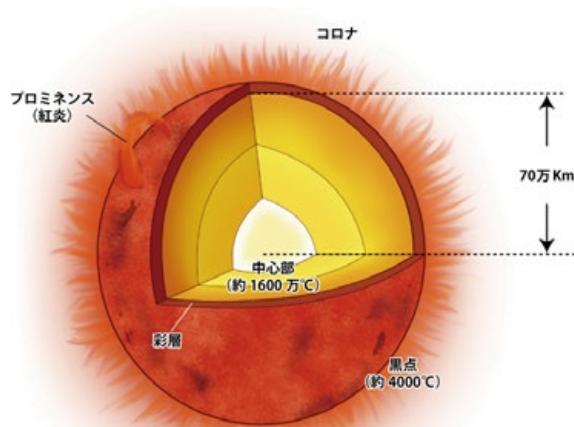
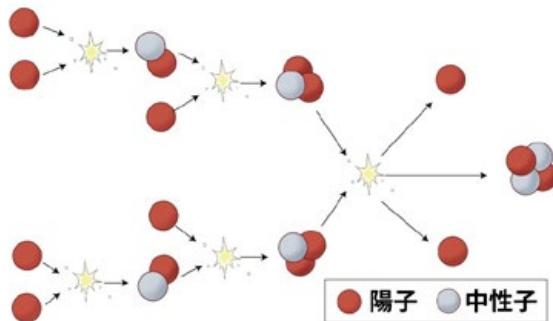
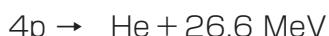


図1 太陽の構造

図2 太陽で発生しているフュージョン：
陽子・陽子 (pp) チェーン

は3つの段階からなる。まず、2つの陽子 (p、水素から電子がはずれたプラズマ) が融合して重水素 (D) になる。次に、Dとpが融合して、ヘリウム3 (通常のヘリウムの中性子が一つ少ない同位体) になる。そして、2つのヘリウム3が融合して、ヘリウム (He) となる。この際、反応の前後で質量欠損が起きており、それに見合うエネルギーが放出されている。なお、反応後の陽子は次の反応に利用される。これらの反応をまとめると、以下のように表せる。

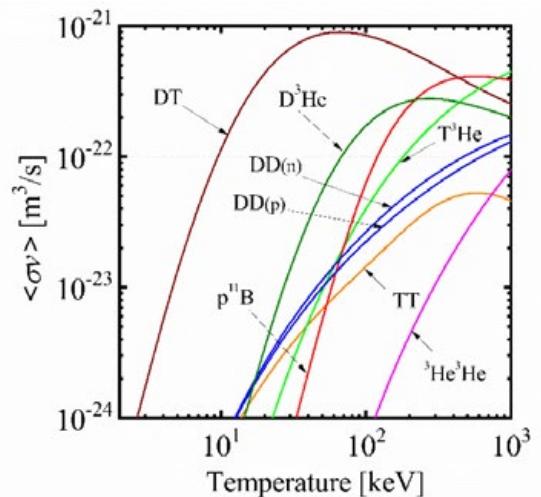
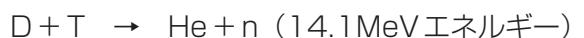
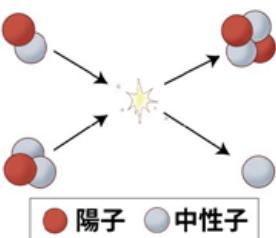


3 地上で起こすフュージョン

陽子は正の電荷を持つ。このため通常、陽子同士は衝突しない。しかし、太陽のように大きな重力があったり、温度が高かったりすると、正の電荷をもつ陽子同士を衝突させ、フュージョン反応させることができる。地上では、太陽のような大きな重力を発生させることが難しいので、温度を上げることで陽子同士を衝突させる。

さて、地上ではどんな燃料を使って、陽子を衝

突させるのがよいのか？ できるだけ低い温度（そうはいっても十分高いが）で衝突させ、反応を起させることが有利である。反応の起きやすい燃料を使うことなるが、いくつかの反応の例を図3に示す。DT (重水素・三重水素) 反応が、他の燃料より低い10 keV (約1億度) で反応することがわかる。DT反応 (図4) は以下のように表せる。

図3 核融合反応断面積²⁾
(九州大学松浦秀明氏のご厚意による)図4 地上で起こすフュージョン：
重水素・三重水素 (DT) の反応

ではどのようにして燃料の温度を上げるのか？ ドーナツ形状の磁場を作り、その中に燃料を入れ、かつ燃料自身をドーナツの円管方向に駆動させ（電流を流す）、自分で加熱するとともに、さらに外部から加熱する。この方法はトカマク型と呼ばれ、最も実用に近いと考えられている。トカマク型はこれまで世界各国で研究開発が行われ、現在でも実験炉イーター (ITER) を始め、世界各国の独自開発の中心的な装置として位置づけられている。

地上で起こすフュージョンから、発電するしくみを図5に示す。燃料であるDTをドーナツ状に閉じ込め、温度を上げ燃焼させる。燃料の外側に

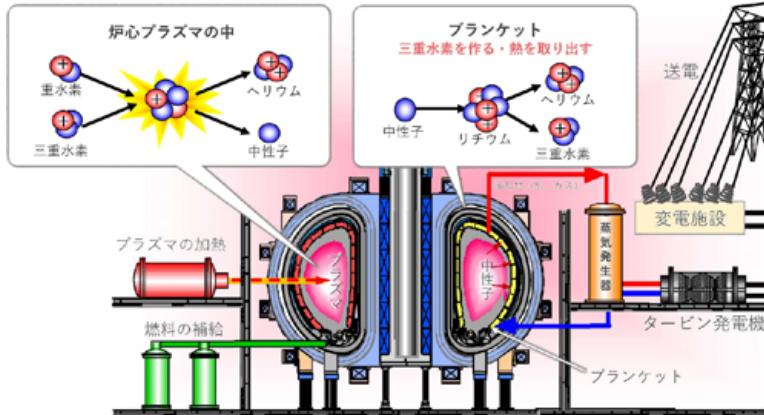


図5 フュージョンによる発電のしくみ

はプランケットと呼ばれる機器を置き、発生した中性子の運動エネルギーを熱に変換し、その熱で蒸気を作り発電する。同時にプランケット内で、反応から出た中性子を使って、燃料である三重水素(T)を生産する。

フュージョンの安全上の特徴として、①燃焼により発生するのはヘリウムと中性子だけであること、②燃料供給がなくなればその反応が直ちに停止することが挙げられる。

4 実験炉イーター (ITER)

1985年の米ソ首脳（レーガン・ゴルバチョフ）会談を契機に、日・米・欧・ソ（当時）が参加し、当時の3大トカ马克の成果を反映し、より大きなトカ马克であるイーターの共同設計が始まった。イーターは大きく分けて3つの期間に分けられる。①概念設計段階（1988–1990年）、②工学設計段階（1992–2001年）、③建設段階（2006年以降）。現在イーターは③の段階にあり、2007年にイーター建設・運転のための国際条約が発効し、その建設が進んでいる。

イーターは、世界の人口の半数以上かつ国内総生産の3/4以上を占める国々が協力して、フュージョン・エネルギーの実現の科学的・技術的実証を行うことを目的に、500 MW–400秒、エネルギー増倍率（フュージョンパワー／入力パワー）=10のDT燃焼を主たる目標としている。人類史上初めて、地上で実燃料を使って長時間の燃焼を行う。

イーターの国際協力の特徴として物納(In-kind)の機器調達がある。これはイーターの

機器を、加盟国が国内で調達し、それをサイトに物納するしくみである。日本は、ホストである欧州について分担する機器が多く、かつ先端機器（超伝導コイル、プラズマ加熱装置、遠隔ロボット等）を担っており、主導的な役割を果たしている。

イーターの近況を図6に示す。欧州が分担するサイト・建屋整備や日本を含む加盟国からの機器の搬入も進み、運転開始まで残り約3割のところまで進展している。これはイーターに必要な技術基盤が整ったことを意味する。

図6 イーター建設サイト (2023年4月)
イーター機構提供

日本は、世界最大のニオブ・スズ(Nb₃Sn)製の超伝導コイル（図7）を世界に先駆けて完成させ、サイトに搬入し、その技術力を世界に示した。このイーター用のニオブ・スズ超伝導導体は、②の工学設計段階から着手し、約30年の開発期間を要した。2000年にはイーター実機と同じサイズのモジュールの超伝導コイルを、実機と同じ条件で運転できることを実証し、イーター

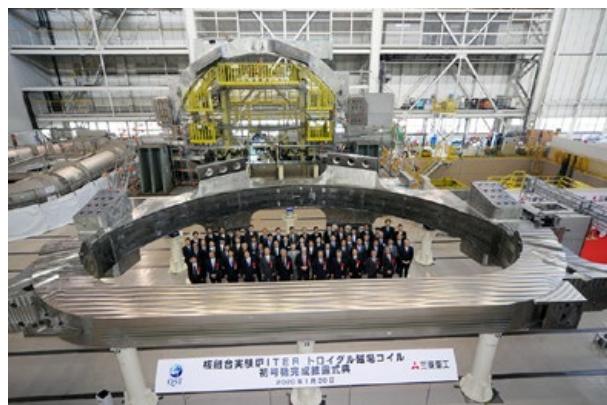


図7 イーター超伝導コイル初号機の完成 (2020年1月)

建設への技術的な裏付けとなつた。またそれ以後、超伝導コイルがフュージョン装置に適用されることが当たり前になつた。

そもそも地上のフュージョンでは、燃料を閉込めるための磁場は電磁石で発生させる。当初はこの電磁石には銅製のものが使われていた。装置が大型化し、運転時間が長くなると、銅製コイルではそのエネルギー損失が無視できなくなる。正味のエネルギーを得るために超伝導コイルが不可欠である。このための超伝導技術はフュージョンによる発電には必須のものであり、その開発は世界中で進められている。また超伝導技術だけでなく、フュージョン発電には多くの炉工学技術（加熱工学、ロボット技術等）の開発が必要で、その裾野は広い。繰り返しになるが、これらの工学技術はイーター建設により大きく進展した。

5 フュージョン・スタートアップの勃興

イーターの建設進捗とそのスピンオフを受けて、フュージョン開発への投資が増え、民間のフュージョン・スタートアップが設立されている。2021年時点でフュージョン実現を目指すスタートアップは25社、投資額は5千億円を超える³⁾、更に拡大中である。その多くは、早期の発電、送電グリッドへの接続を謳っている。他方、彼らの目標に対し“voodoo science（疑似科学）”という批判もある⁴⁾が、フュージョン・エネルギー実現への挑戦者が増えることを歓迎したい。J.Parisi博士によれば⁵⁾、スタートアップが手掛ける装置は、1960年代のトカマク装置（ソ連T3、日JFT等）に相当する（図8）と考えられる。また燃料をDTではなく、水素・ホウ素($p^{11}B$)や水素・ヘリウム(D^3He)を使う装置もある。これらの燃焼のためにはDT燃料より更に一桁高い温度が必要である（図3再引用）。

我が国では、研究開発の進展と世界の開発環境の変化を受けて、2023年4月にフュージョンエネルギー・イノベーション戦略を策定した⁶⁾。これまでのイーターから原型炉への開発アプローチに加え、一層の産業育成を図り、早期のフュージョン発電の実現を目指すものである。新たに多

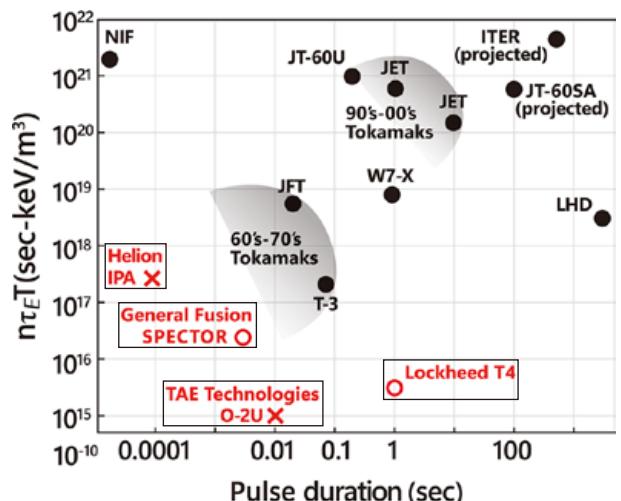


図8 これまでの装置（黒文字）とスタートアップ（囲み文字）のプラズマ閉込め指標（○印はDT/DD燃料、×印はそれ以外の燃料示す）J.Parisi博士（PPPL）のご厚意による。

くの挑戦者の参画を得て、太陽をまねたフュージョン発電をできるだけ早く地上で実現したい。皆様のご理解とご支援を何卒お願いします。

謝辞

九州大学松浦秀明氏、プリンストン・プラズマ物理研究所Jason PARISI氏に図をご提供いただきました。ここに記して感謝いたします。

＜参考文献＞

- 1) クリストファー・クーパー：太陽大図鑑、緑書房、2015
- 2) 松浦秀明：プラズマ・核融合学会誌、Vol.98 (2022), No.2, pp.65-71
- 3) 武田秀太郎他：原子力学会誌、Vol.64 (2022), No.10, pp.553-556
- 4) D.L.Jassby : APS Newsletter, April 2019, pp.13-16
- 5) J.Parisi and J.Ball : The future of fusion energy, World Scientific, 2019, pp.277-309
- 6) 内閣府HP, <https://www8.cao.go.jp/cstp/fusion/index>

杉本 誠 (すぎもと まこと)
技術士（機械／原子力・放射線部門）

量子科学技術研究開発機構
イーター日本国内機関長
日本技術士会原子力・放射線部会幹事
工学博士
e-mail : sugimoto.makoto@qst.go.jp



森林整備活動から見えてきた環境保全の大切さと学び

The learning of importance about environmental protection through the forest-resuscitation activity

綾木 光弘
AYAKI Mitsuhiro

京都府南山城村では、5haの暗い林地において、森林蘇生・整備活動を行っている。その森は70年以上前に一斉植林された針葉樹単相樹林であり、鬱蒼とした暗い森を形成していた。7年前から、その森の整備を開始、明るい森、多相の樹木が繁る森の形成を目指して活動を推進している。同時に、その整備された森の有効活用ということで、地元の人と、都会の人が交流できる場を作り、森に学び、親しむイベントを開催している。淀川水系最上流において、SDGsの多くの項目に合致する活動を推進している。

We are proceeding the activity for the forest reborn of 5ha area of Minamiyamashiromura village in Kyoto Pref. The trees of this forest are over 70years and single-phase forest of Japanese ceder or Hinoki cypress. The forest was so dark and gloomy. 7years before of our activity. We are making efforts for the reborn into beautiful forest. At the same time we are making events for the rest and community of both village and city inhabitants together. Our activities agree many SDGs items located in the most upstream of Yodogawa River System.

キーワード：京都府南山城村、森林再生、獣害、二酸化炭素吸収能力、森に集う

1 森林整備作業

1.1 活動前の森の状態

私は、森林部門の技術士として活動を進めているが、同時に、環境カウンセラーの立場も兼ねて、森林整備・再生活動を行っている。その活動は、京都府唯一の村である南山城村にて、7年目となる。南山城村の野殿地区は、室町時代からの集落であり、米作りが盛んで、清流を使った米作りで、品質全国一位を何度も獲得した有名な米どころである。NPO法人環境カウンセラーズ京都¹⁾に、南山城村野殿地区で5haの山林を保有しているメンバーがいたことが、我々の取り組み



図1 南山城村野殿の森のイラスト地図

のきっかけとなった。そのメンバーは高齢となり、森の適切な施業ができない状態となって、その森の維持管理に困り、当NPOに、森の整備の委託を行いたいと申し出たことが発端となった。

その森は、戦後すぐに植林されたスギとヒノキの単相林であり、最近50年くらいほとんど手入れがされていない暗い森であった。枝打ち等も途中から全くしていない状態であり、樹木の日当たりも悪く、樹幹太さも、樹齢の割には細いままでの弱々しい幹の木がほとんどであった。また、林道も限られた部分だけにあり、林道から手入れしやすい樹木は、ほんの一部であった。密生した森であり、下草も殆ど生えていない、養分の少ない、ぱさぱさの土であった。



写真1 野殿の森フォレストパーク入口

1.2 活動の開始

環境カウンセラーズ京都では、検討の結果、その森の整備を受託することに決定した。5 haという広大な森の整備ということで、まず、その活動に必要な基本的なインフラを優先的に整備することとした。まず、森を縦横に走る全長1.3 kmに及ぶ3.5 m幅の道をつけた。これは、専門業者に重機を出してもらって完成させた。こういった業者への依頼も、地元民との交流のきっかけともなった。3年ほどかけ、森の中の集会場所（活動ステージとビオトープのある所、ベースキャンプ地ともいえる所）まで電気を引いた。森の前の通りが東海自然歩道の一部となっており、その道から約200 mの電線を施設した。更には、バイオトイレの自作、井戸の掘削、森の集会場所に水流を活かしたビオトープ作成、そこに子どもも楽しめる活動ステージを作り上げた。

そうした基本インフラ設置を契機に、2021年には、野殿の森フォレストパークの開園にこぎつけた。

2021年春、環境カウンセラーの全国組織のメンバー、技術士等に声掛けをして、開園行事を行った。地元の人で、それまで協力してくれた人々も一緒にになって、開園を祝ってくれた。



写真2,3 自作の活動ステージ、バイオトイレ



1.3 活動の目的

今回の森林整備を中心とする野殿の森フォレストパークの活動目的は、以下のようなものである。

- ① 森の整備・育成を通じ、里山の再生を目指す
- ② 森に集う楽しみと親しみの場づくりを目指す
- ③ 村内外の人々に憩いと交流の場を提供する

2021年以降、こうした目的を達成するために、活動をさらに活発化させた。

1.4 目指す森の将来像とその整備の達成度

これまでの活動で、ある程度の基本インフラの設置は完了した。しかしながら、森の広さとその整備度を考えると、これからが整備活動の本番であると思っている。

目指す森の将来像をどう描くかが、今後の活動の方向性に大きな影響を与える。ここ数年、この森に気候や土壤に適したと思われる広葉樹の植林を進めてきた。まだまだ小規模の植林であるが、少しづつ植林を継続している。将来の森の姿として、これまで通りスギ、ヒノキの針葉樹が中心ではあるが、広葉樹が混ざった美しい森を目指している。スギとヒノキは、枝打ち等を適切にして、下草の生える明るい森を目指す。また、2023年に入り、日本みつばちの養蜂も始めた。日本みつばちは、意外なことに、草花だけではなく、樹木の花を好むところがあり、現在2群を飼っている。

このように、まだまだ初期段階ではあるが、目指す森の姿をしっかりと具現化できるように活動を進めて行きたい。



写真4 養蜂の様

2 年間活動

2.1 四季の活動事例

現在行っている年間の活動を、月ごとの活動としてまとめると、以下の様になる。

4月：植樹祭

地元民と都会の市民との交流と、森の大切さ、親しみを感じてもらう

5月：森の間伐作業実施

6月：苔玉ワークショップ

野殿の森の自然に親しんでもらうイベント

7月：森の間伐作業実施

8月：下草刈りの実施（特に笹刈り）
9月：下草刈りの実施、森の生物探勝会実施
10月：ドローン等により、森の植生状態の調査
 二酸化炭素吸収量等の測定、計算実施
11月：京都府主催等の環境関連の展示会出展
12月：森の恵の感謝祭 クリスマス飾りの作成
 ぼたん鍋大会実施（地元の人との交流を深める）
 その他、地元の産品を売り出す活動も行っている。
 日本料理店と共同で、鹿肉、猪肉の特別な調理法による特産品化の推進（ふるさと納税の返礼品候補）。



写真5, 6 地元との交流会、完成したビオトープ
 (地元との交流、活動の中心となっている場所)

2.2 集いの場所としての森の役割り

人間が森に入るとフィトンチッド等の働きで、気持ちが癒されるといわれている。日本学術会議の2001年の調査によると、その働きの効果は、日本全体で年間2兆円の価値があると評価されている²⁾。現在の複雑な世のなかで、人間関係等、精神的にも支障をきたし、健康を害する人も多く出ている。そうした人が森に入ることにより、大きな癒しの効果を得る。そして、こうした効果を野殿の森フォレストパークで得ていただきたいと考えている。

2.3 集いの場・学びの場を森に

上記のように、人間が森に入ることにより、健康面で大きなプラス効果がある。更に、地元の人と都会の人とが、この森に集うことにより、大きな交流が生まれる。南山城村は10年で人口が半減するほどの過疎地帯であり、移住や別荘建築を奨励することにより、村の人口減少に歯止めをかけることが非常に重要な施策となっている。野殿の森フォレストパークは、こうした村の要望にも

ぴったりと合致しており、村長や村の区長と話をしても、そのことがよくわかった。こうした集いの場を提供することは、村にとっても大きなプラスであり、獣害等の原因や対策を地元と都会の住民とが一緒に考え、自然の適切な保護活動、森の大切さ、食べ物の大切さ等を考える契機ともなる。

3 活動の成果と森の将来像

3.1 これまでの活動

野殿の森では、これまで多くの整備作業、交流活動を実施してきた。

2023年の夏には、80年近くの伝統のある“日米学生会議”の自然学習の研修場所に選ばれ、日米の選抜学生が20名程、野殿の森を中心とする南山城村で研修を行った。



写真7 日米学生会議の研修会
 (南山城村会議室にて)

3.2 森の活動とSDGsとの関連

これまでの活動から、いろんな活動成果が明確になってきた。SDGsとしての具体例を挙げると以下のようなことがいえる。

- ・我々のような活動体と地元住民、自治体とのパートナーシップ
 - SDGs目標の17等を目標とする。これらを通じて、環境保全の成果が出てきている。
- ・水源涵養により、山地災害防止、水質浄化等で田畠の育成、環境保善
 - SDGs目標の6, 11, 14
- ・生物多様性と生態系の保全および、持続的な利活用
 - SDGs目標の15
- ・獣によるヌタ場の除去により、隣接する地域の

田畠への清涼水の送り込みができ、効果として表れてきている。

琵琶湖・淀川水域での環境改善効果

→SDGs目標の13

- 森の整備による二酸化炭素吸収能力のさらなる発揮

→SDGs目標の14

因みに、野殿の森の現在の二酸化炭素吸収能力を計算すると年間32.5 tの二酸化炭素吸収能力があることが分かった³⁾。

これは、100人分の年間排出量に相当し、森の整備により、さらに大きな二酸化炭素吸収能力が期待される。

4 これからの活動方針

4.1 村との協力体制・信頼関係の確立

地元民との関係性は、非常に大事だと考えており、これからも交流を続けていきたい。そして、鹿肉や猪肉を利用した村のふるさと納税の返礼品の検討を、和食料理店のシェフの協力を得て進めており、順次提案していきたい。野殿の森フォレストパークでのイベントに、積極的に村の人の参加を呼び掛けたいと考えている。

4.2 村と都会の交流推進

野殿の森フォレストパークは、会員制度を取っており、年間を通じて森で楽しんでいただけるシステムを整備しつつある。森の整備や活動に必要な諸道具も、会員用に揃えており、自由に使用できるようにしている。地元の人も、都会の人も、共にたのしく集える場所を目指している。

4.3 環境教育にフィールドを使う

今後は、環境カウンセラーと森林部門技術士の両方の活動母体として野殿の森フォレストパークを活用していきたい。さらに、すぐ近くで活動しているいくつかの森の活動部隊があり、その組織との交流も進めている。その組織は、小学生向けの農業体験や森での活動等も進めており、合同イベントを通じて、子どもから大人まで参加できる交流活動を推進していく方針である。

4.4 美しい森、学びの森、癒される森を目指し

自然からいろいろなことが学べる森を目指して、森づくりを進めたい。この森全体を環境学習のキャンバスとして、育成していきたい。野殿の森には、赤松が所々にあるが、元は山城松茸の一大産地であり、野殿の森フォレストパーク内も、その痕跡が残っている。山の整備により、松茸の復活も夢ではないと考えている。

野殿の森フォレストパークでの活動を通じて、我々自身にも、多くの学びがあった。環境問題は、いろんな要素がそれぞれ関連しているということも知ることができた。例えば、獣害の問題は、我々人間側にも、責任があり、人間が森林を放置して手入れを怠ったことにより木の実や山の幸が減少してきた。動物にとって、山奥に食料が減ってしまっており、里近くまで出てくることになった。こうして獣害の問題が生じた。猪が里山に出没して、身体の寄生虫等を取るために里近くの水辺で身体を洗い、それがヌタ場となり、近辺の小川の水質悪化が生じる。これにより、野殿地区でも、清流を利用した米作りができなくなるというようなことが起こっている。我々は、自然から学ぶことが多いあるのではないかと考える日々である。

＜参考資料＞

- NPO法人環境カウンセラーズ京都のHP
<https://kankyo-kyoto.jp/>
- 森林・林業学習館 日本の森林より
森林機能の評価額 (shinrin-ringyou.com) より
(元の文献は、森林の価値 2001年学術会議答申書 “地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な昨日の評価について” より引用)
- 二酸化炭素吸収量の計算
2021 林野庁 “森林による二酸化炭素吸収量の算定方法について” に準拠して計算

綾木 光弘 (あやき みつひろ)
技術士 (森林／総合技術監理部門)

綾木企画技術士事務所
代表
e-mail : takeiteeasy1952@yahoo.co.jp
090-3994-7865
FAX番号等 : 075-641-7880



サーモン養殖を通じて自然から学ぶ

Learning from nature through salmon farming

竹下 朗
TAKESHITA Akira

弓ヶ浜水産（株）は、東日本大震災（以下大震災）以降、日本海に面する鳥取県境港市でギンザケ養殖を開始した。鳥取県の自然環境は、国産ギンザケ主産地である宮城県とは異なるため、独自の技術開発（親魚養成、稚魚生産、成魚生産）を行った。水産庁の「養殖業成長産業化総合戦略」において養殖サーモンは、増産と輸入サーモン市場開拓を目標としている。弓ヶ浜水産は、養殖サーモン増産と2050年度カーボンニュートラルを両立し、国内の水産業と漁村を含む地域経済の発展を実現する。

Yumigahama suisan Co., Ltd. started coho salmon farming from year 2013 in Sakaiminato City, Tottori Prefecture, which faces the Sea of Japan. The natural environment of Tottori Prefecture differs from that of Miyagi Prefecture, which is the main domestic coho salmon producer so that, we developed our own technology (bloodstock maturation, freshwater and saltwater farming). Yumigahama suisan Co., Ltd will achieve both increased production of farmed salmon and carbon neutrality in 2050, thereby realizing the development of the domestic fisheries industry and local economies, including fishing villages.

キーワード：サーモン養殖、スマート水産業、地球温暖化、育種、カーボンニュートラル

1 はじめに

日本の漁業・養殖業の生産量は、1984年の1 282万トンをピークに減少し、2021年は421万トンである。一方、世界の漁業・養殖業の生産量は、1980年代7 000万トン～9 000万トンであった。それ以降、漁業生産量は、ほぼ横ばい傾向であるが、養殖生産量は急激に増加し2021年度の漁業・養殖業生産量は、2億1 847万トンである¹⁾。水産庁は、養殖業成長産業化総合戦略（2020年作成、2021年改定）を策定した。日本市場に供給されるサーモンは、年間約30万トンで輸入サーモンは約25万トンを占める。一方、国産養殖サーモンは約2万トンである。そこで国産サーモン養殖は、生産目標を3～4万トンとし、国内の輸入サーモン市場獲得を目指すこととした²⁾。弓ヶ浜水産は、鳥取県境港市に本社・加工場・養殖場を有し、新潟県（佐渡市、胎内市）、岩手県（上閉伊郡大槌町）において国産サーモン養殖を展開している。

2 サーモン養殖を通じた自然からの学び

(1) 国産サーモン養殖参入への経緯

（株）ニッスイは、2011年の大震災以前、宮

城県女川油飼工場で配合飼料の製造・販売を行い、養殖業者・加工業者との協力関係のもとギンザケ成魚販売を行っていた。大震災以降、養殖事業の早期復興が困難であること、国産養殖サーモンの高度化には自社養殖・加工が必須という考え方で養殖候補地の探索をした。その結果、2013年弓ヶ浜水産（株）設立（鳥取県：ギンザケ養殖）、2015年佐渡事業所開設（新潟県：ギンザケ、サクラマス養殖）、2022年大槌事業所開設（岩手県：ギンザケ、トラウト養殖）となり、現在3県でサーモン養殖事業を行っている。

(2) 鳥取県境港市でのギンザケ養殖

① 親魚養成

国産養殖ギンザケ発眼卵は、主に北海道の採卵業者よりギンザケ淡水稚魚生産者に供給されている（一部輸入発眼卵あり）。弓ヶ浜水産は、自社ギンザケの差別化を図るため、2018年に親魚養成・採卵施設（以下 船上山採卵センター：鳥取県東伯郡琴浦町）を開設した。当地を選択した理由は、取水温度が年間12℃と安定し、親魚の成熟に適しているからである。船上山採卵センターは、当初計画通りの数量と品質の発眼卵が得られなかった。ギンザケの生態や北海道採卵業者の飼育環境や飼育方法の情報より、親魚の飼育密度と

受精から発眼卵までの水温管理に問題があることが明らかになった。現在は、これらの課題を解決し、安定した採卵が実施できている。

② 淡水養殖場での稚魚飼育

健康な稚魚を計画数量通りに淡水養殖場で生産するには、必要な水量と適切な水温の淡水が必要である。稚魚生産は、自社淡水養殖場3カ所、委託生産養殖場1カ所、買付先養殖場1カ所で行っている。当初、各養殖場の環境（取水量と水温の年間変動）を十分に把握できていなかったため、生産計画が不適切であった。そのため、飼育魚の魚病発生や成長停滞が発生した。現在、各養殖場が位置する環境に応じた生産計画の作成と実行により健康な稚魚生産が計画できるようになっている。

③ 淡水養殖場から海面養殖場への稚魚移動

ギンザケ養殖で最も注意を要する作業の一つが、淡水養殖場から海面養殖場への稚魚移動である。当初、淡水養殖場から海面養殖場に移動した稚魚の状態が悪い場合や、海面養殖場で長期間摂餌しない個体が見られた。原因是、稚魚の海水適応能がうまく機能していないことであった。自社で海水適応能の指標である血中ナトリウムイオンを測定し、淡水養殖場別にデータを蓄積した。その結果、稚魚の状態が正常である場合、淡水から海水に稚魚を収容後48時間で血中ナトリウムイオン濃度が正常に戻ること、稚魚の着荷状態や海水収容後の摂餌活性は、稚魚の魚体重、養殖場間の水温差、稚魚の移動時間、淡水養殖場での健康状態や輸送前の餌止め期間と関係があることが明らかになった。現在は、これらの知見を基にした基準で作業をしている。

④ 海面養殖場での成魚生産

国内のギンザケ養殖のほとんどは、三陸のリアス式海岸内の静穏な環境で行われている。鳥取県境港でも三陸と同様の養殖施設を導入したが、日本海の季節風、春先の低気圧による施設破損や害獣被害が発生した。そこで日本海の波浪に耐えられる高密度ポリエチレン製直径25mの円形生簀を導入した。冬季、日本海は季節風の影響による時化（しけ）で給餌困難な日が多くギンザケの成長不良が課題であった。そこで海底油田開発に実

績のあるエンジニアリング会社と協働で海上に配合飼料貯蔵施設（以下 プラットフォーム）を設置し、各生簀まで配合飼料を自動搬送できる仕組みを構築した。このシステムを導入することで、時化の日も陸上事務所からの遠隔操作で給餌作業を安全に実施できるようになった（図1）。

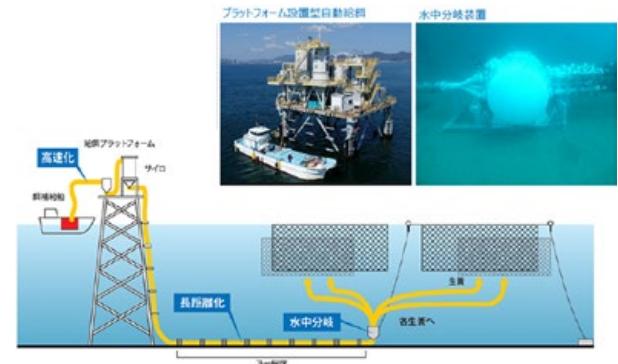


図1 プラットフォームから生簀への給餌

⑤ スマート水産業への取り組み

海面養殖場の給餌作業は、養殖場の海況と養殖魚の摂餌状態を確認しながら実施する。当社は、海上にプラットフォームを建設し、その施設に水質測定機器（水温、溶存酸素濃度、濁度、潮流）を設置して、陸上事務所から海況モニタリングをしている。各養殖生簀は、生簀内の養殖魚をモニタリングするカメラが設置されている。給餌管理は、これらの情報を基に社員が給餌量、餌時間を設定しているが、現在2台の生簀はAI（Artificial intelligence）を用いた自動給餌管理システムの技術開発に取り組んでいる（図2）。

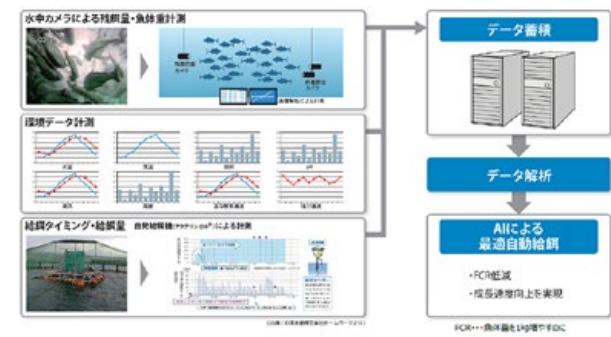


図2 AIによる自動給餌システム概要

⑥ 水揚げ計画と漁場水温

ギンザケは、水温が20℃以上になると斃死リスクが高くなる。従ってギンザケの水揚げは、水温が斃死リスクの水温に到達する前に終了することが重要である。以前、鳥取県境港は6月3日、

新潟県佐渡は6月20日、岩手県大槌は7月23日まで水揚げをしていた。水温上昇は、年毎に異なるため、水温上昇が原因と考えられる斃死事故が発生していた。地球温暖化傾向も考慮し、鳥取5月20日、新潟6月10日、岩手7月10日を水揚げ終了日に設定することで水揚げ作業時の斃死事故を予防している。

3 持続可能な養殖実現への今後の学び

水産庁の「養殖業成長産業化総合戦略」において、国産サーモンは3~4万トンに増産する目標を掲げている。一方、2021年4月に開催された気候サミットで菅前総理大臣は「2050年カーボンニュートラルの長期目標にむけて、2030年度において温室効果ガスを2013年度から46%削減を目指す。さらに50%の高みに向けて挑戦を続ける」決意を表明した。国産サーモンの増産と温室効果ガス削減の両立について、今後自然から何を学び、何をするかについて整理する。

(1) CO₂排出削減

① 作業船のアイドリング削減

海面養殖場で使用する作業船のアイドリング削減効果を確認した。その結果、5隻の船舶でCO₂ガス削減0.3トン／5ヶ月の削減効果を確認した。今後、全作業船で通年アイドリング削減を実施する。

② 冷却装置の使用中止

第2章(2)①項で受精～発眼卵の水温管理について述べた。当初、受精卵、発眼卵ともに冷却装置を使用して管理していた。発眼卵管理は、試験的に冬季水温が10℃以下になる淡水養殖場で冷却装置を使用せず管理した結果、孵化稚魚の品質に問題がないことを確認した。本方法を採用することで、冷却装置は不要となりCO₂ガス25トン／年削減となった。

③ 稚魚移動距離の短縮

第2章(2)③項で稚魚の移動時間が、海水導入後の稚魚状態や摂餌活性に影響を及ぼしていた。そこで、稚魚の小型化と淡水養殖場をできる限り海面養殖場近くに集約した。この結果、輸送稚魚の状態改善とともに、稚魚の輸送距離を15,134km削減したことによりCO₂ガスは13

トン／年の削減となった。

④ 小型水力発電の導入

当社で取水量の多い淡水養殖場に小型水力発電の導入を検討している。小型水力発電の導入は、水量、土地の高低差の調査が必要である。また水力発電をするための水利権も取得しなければならない。鳥取県の関係機関と相談し、採算性を含めて導入に関する検討をしている。

(2) CO₂隔離・貯留

① グリーンカーボン

船上山採卵センターで使用している水は、背後の船上山からの伏流水である。船上山は、近年病害虫による森林被害が発生している。鳥取県、琴浦町、鳥取県中部森林組合からの要望もあり(株)ニッスイ、共和水産(株)、弓ヶ浜水産(株)は協働して森林保全活動を2018年より開始した(図3)。当初、船上山採卵センターで使用する水源の環境保全が目的であったが、森林保全によるCO₂吸収と蓄積量を専門家の知見を基に数値化したいと考えている。



図3 船上山における植栽・下草刈り活動

② ブルーカーボン

地球温暖化に伴い、国内各地で磯焼け(海草、海藻の消失)現象が認められている。原因は様々であるが、磯焼け対策の藻場再生活動が各地で行われている。岩手県大槌町では、当社養殖場周辺海域で磯焼けが顕著である。大槌町、新おおつち漁業協同組合、ダイバーを中心としたボランティアによる藻場再生活動(藻場調査、ウニ駆除、コンブ母藻設置)が行われている。本活動は、将来カーボンクレジット申請も計画している。当社は、本活動に参加し、養殖場周辺海域の環境変化や保全活動を学びながら、カーボンクレジット購入で地域活動を支援していきたい。

(3) 地球温暖化対策の技術開発

① 育種による温暖化対策

ギンザケ養殖は、海水温が20℃以上になると斃死リスクが高くなることを前述した。今後、地球温暖化による海水温の上昇が顕著になると水揚げ終了時期が更に早期化される。このことは、ギンザケ養殖期間の短縮につながり、出荷魚体重の小型化、水揚げ数量・売上金額の減少というギンザケ養殖経営に大きな影響をもたらす。この問題を解決するため、海面養殖場で高成長するギンザケの選抜育種の研究を行っている。選抜育種は、研究機関の協力を得て、ゲノム分析の手法を取り入れた技術開発を行っている。

② 世界の食料問題への対策

地球温暖化や、ロシア・ウクライナ問題により世界的な食料問題が発生している。一方、我が国において食品廃棄物等の数量は、年間2550万トン（その内、食品ロスは612万トン）といわれている³⁾。当社で発生する食品廃棄物は、養殖工程で発生する廃棄魚（成長不良による小型魚）と加工工程で発生する不可食部（頭・内臓等）である。養殖工程での廃棄魚は、地元食品会社と協働で新たなメニュー開発に取り組んで商品化を目指している。加工工程における不可食部は、地元研究機関において有効成分探索を通じて新たな利用可能性を検討している。

(4) 海業への参加

岩手県大槌町の吉里吉里漁港は、2023年度水産庁「海業モデル振興地区（全国12カ所）」に選定され、地元関係者による海業振興協議会が発足した。当社は、協議会メンバーとして本活動に参加している。海業とは、「国民の海への多様なニーズに応えて、水産資源のみならず、海・景観・伝統・文化などの多様な地域資源をフルに活用して展開される漁業を中心とした地域の人々の一連の経済活動の総称」と定義されている⁴⁾。当社は、3県の海面を利用してサーモン養殖を行っている。海面利用は、地域資源の利用であり、地域社会のルールや秩序を理解しながら、資源の持続的な利用と開発、環境保護、公正な利益配分を実現しなければならない。これらのことと「海業」への参加を通じて学んでいきたい。

4 おわりに

当社が行っているサーモン養殖は、淡水養殖・海面養殖ともに自然環境に影響を受ける。養殖場の位置する自然を理解し、最適な養殖方法の構築が養殖生産の安定に不可欠である。持続可能なサーモン養殖を実現するためには、多くの課題が残されている。養殖技術開発は、生物が相手であるため、繰り返し試験による再現性の確認が重要である。また、実験室で得られた結果が、自然環境下では必ずしも同じ結果にならない現象もみられる。これは自然環境下では、多くの要因が複雑に存在していることが原因である場合が多い。課題解決に当たり、自然に対して謙虚な気持ちで技術開発を進めていきたい。また、一緒に働いている若手技術者に自然相手の技術開発の基本を伝えるとともに、持続可能で活力ある日本の養殖業の実現と漁村を含む地域経済の発展と環境保全にこれからも尽力していきたいと考える。

<引用文献>

- 1) 水産庁編：水産白書、令和5年版、p.64, 146
- 2) 水産庁：養殖業成長産業化の推進、p.23
<https://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/attach/pdf/seichou-suishin-17.pdf>
- 3) 農林水産省関東農政局：食品ロスおよびリサイクルをめぐる情勢、p.8
https://www.maff.go.jp/kanto/syo_an/seikatsu/iken/attach/pdf/R2ikenkoukan-4.pdf
- 4) 妻小波：海業の時代、pp.51-52、農文協、2013年1月20日

<参考文献>

- 5) 三輪泰史：図解よくわかるスマート水産業、日刊工業新聞社、2022年12月25日、pp.86-91
- 6) 堀正和、桑江朝比呂：ブルーカーボン 浅海におけるCO₂隔離・貯留とその活用、地人書館、2022年8月20日、pp.145-154、pp.169-209

竹下 朗 (たけした あきら)

技術士（水産部門）

弓ヶ浜水産（株） 代表取締役社長

博士（水産）

e-mail : akira_takeshita@yumi-sui.co.jp

zhuxialang@gmail.com



生態系の物質循環から学ぶ脱炭素時代の資源循環型下水処理システム

Resource recycling sewage treatment system for the decarbonized era, learning from the material cycle of the ecosystem

生地 正人
KIJI Masato

自然界では、陸上の有機性廃棄物は自然に浄化される。脱炭素時代には、この自然の浄化機構に学ぶべきことは多い。筆者は、この浄化を水質浄化に応用した傾斜土槽法（以下、本法）を考案した。本法では、有機性排水に対し30分程度の滞留時間で有機性汚濁物質と栄養塩類が同時に浄化され、汚泥も生成土壤に浄化される。汚泥までが浄化可能な生物学的水質浄化は、完結型浄化とよべる。現行の下水処理場の余剰汚泥は焼却処分にされている。日本は、肥料の多くを海外に依存している。本法は、下水処理の省エネルギー化と循環型社会に貢献する。

In nature, purification occurs naturally. In the decarbonized era, there is much to learn from this phenomenon. The author has devised a water purification method that applies this phenomenon. With this method, wastewater is purified in about 30 minutes and soil is produced. Sludge from sewage treatment plants is incinerated. Japan imports a lot of fertilizer. This method will contribute to energy saving in sewage treatment and a recycling society.

キーワード：生態系、物質循環、SDGs、脱炭素時代、傾斜土槽法

1 はじめに

（1）生態系の物質循環

陸上の生態系は、土壤を中心に物質が循環して豊かさが保たれている。土壤では有機物の生産と分解（浄化）、養分と炭素の貯蔵が行われている。世界の表層土壤の炭素の年間0.4%増加は人類が発生する年間のCO₂量に見合うといわれている¹⁾。海では生物遺骸が光の届かない深い層に沈むため、陸上のような資源循環はなく基本的に貧栄養となる。沿岸域は陸上からの養分で豊かさが保たれている。

（2）生態系における人間由来の有機性廃棄物

文学的表現の「豊穣の大地、豊穣の海」はSDGs（持続可能な開発目標）の14、15の目標でもある。

筆者は、人類も地球の生態系の一構成員であり、生態系の物質循環に加わるべきだと考えている。

日本では、下水処理場で発生する汚泥や生ゴミの多くは焼却処分にされている。これを生態学的にみると、「日本は、生態系の物質循環から人間由来の有機性廃棄物を取除く、世界でも類を見ない大規模実験を行っている」といえる。生活圏に近い自然の生物が減少している。有明海や瀬戸内海等の水産資源の減少は深刻である。前述の筆者の仮説「大規模実験」もこの一因と考えている。現代の日本で

は、昔のような不衛生な糞尿の農地還元はできないが、下水処理場で土壤作りができると考えている。

2 水質浄化

（1）生物学的浄化

図1に主な生物学的浄化法の分類を示す。現在の下水処理は、生物学的浄化の活性汚泥法が主流である。生物学的浄化は、浄化を行う場所で水中と陸上に分けられる。前者は、水が飽和状態、後者は不飽和状態での浄化である。後者は、陸上に設置した担体に原水を通水して浄化を行う。本法は、上下水処理への適応が可能であり、また、水質から汚泥までの浄化が可能な完結型の生物学的浄化法である。



図1 生物学的浄化法の分類

（2）陸上方式の生物学的水質浄化

陸上方式は、原水を流す方向で、水平、鉛直下方、本法の斜め下方に分けられる。同じ陸上方式でも、総窒素（以下、T-N）と総リン（以下、

T-P) の除去率には差があり、本法のT-P除去率は高い（表1参照）。これは、流れの方向と槽構造の違いによる。

陸上方式の課題は目詰まりである。本法の高濃度排水の浄化では、最大負荷となる流入部の槽（またはネットに入れた担体）の定期的な交換で、目詰まり対策を行う。目詰まり状態となった槽は、水質浄化系外に放置することで（これを養生操作と呼ぶ）、過剰の有機物は自己分解して目詰まりは解消する。

（3）傾斜土槽法

① 定義

底面が傾斜した薄層構造体に担体を充填したものと傾斜土槽（以下、槽）、これを用いた水質浄化を傾斜土槽法と定義した。図2の左図に標準容器の槽、右図にこれを積重ねた運用を示す。積重ねることで装置はコンパクトになる。大面積が使える場所では、平行多段の積重ね方式も可能となる。担体にはスポンジも使用し、本法は従来の土壤を用いた水質浄化法ではない。水は、図2の左図では矢印が底面を流れているが、実際には水は毛細管現象で担体に上昇し、担体間を空気と混ざりながら流下する。

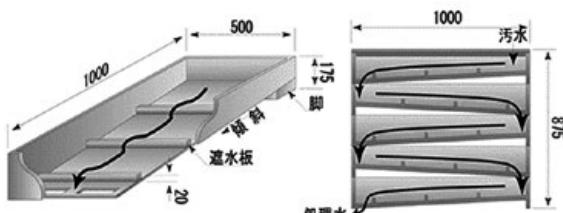


図2 傾斜土槽と多段運用

② 浄化機構

水質の生物学的浄化は、前後二段階に分けられる。前段の浄化は、水中の汚濁成分と水との分離である。溶解性有機物は生物学的吸着作用で分離される。活性汚泥法では20分以内で急激な吸着が起こり、30~60分で平衡状態に達するといわれている²⁾。

BOD浄化に必要な滞留時間は、本法では約30分（図4参照）、活性汚泥法では7~8時間である。本法の滞留時間は活性汚泥法の生物学的吸着時間にほぼ等しい。本法では、生物学的吸着作用が働くと同時に、汚濁成分は水から分離されて清浄な処理水が最下段から流出する。

後段の浄化は有機物の無機化である。本法では、この浄化は生物活性の高い陸上の表層で進む。ここでは、生態系ピラミッドで上位のミミズ等の大型土壌動物も浄化に加わる。これらの動物はBOD成分以外に微生物も捕食する。これによって本法では、活性汚泥法のような微生物を大量に含む余剰汚泥は発生せず、ミミズの糞を含む土壌が発生する。

3 傾斜土槽法の浄化事例

（1）排水処理

① 台所排水の長期浄化³⁾

筆者は、図3と写真1に示す台所排水の浄化を自宅で行っている。2001年7月に通水を開始し4年4ヶ月間、毎月1回の水質試験を行った。この期間、養生操作が必要な目詰まりは起きず、同じ担体を使用し、植物の水質への影響を除くために植栽はない。平均処理水量は92L/日で、浄化成績は、平均除去率で懸濁物質（以下、SS）74%，BOD83%，COD80%，T-N73%，T-P81%であった。なお、2023年9月時点では本装置は運用しており、処理水には原水でみられる合成洗剤の泡立ちではなく、洗剤成分は浄化されている。

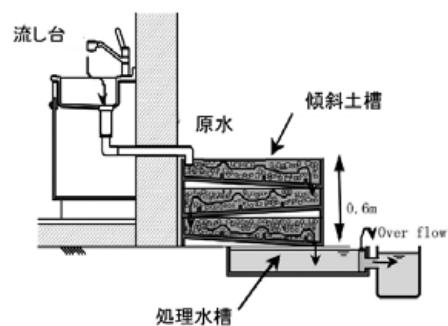


図3 台所排水の無動力浄化



【水質試験中】 【水質試験後】
写真1 台所排水の浄化状況

水質試験後は、花壇兼用の水質浄化装置として、また灌水の中水製造装置として運用している。このような本法の運用は、都市での水資源の有効利用や都市緑化、ヒートアイランド対策に有効である。

② 醤油工場排水を用いた浄化機構の解析試験⁴⁾
本法の浄化機構を解明するために醤油工場排水の浄化試験を行った。本報では、写真2右側のスポンジ担体9段積みでの結果を述べる。原水は、ほぼ毎日、3時間で180 Lを通水した。

図4に通水開始からの経過日数と、生物学的浄化能力の高まりによるBOD除去率の上昇と滞留時間の推移を示す。50日目頃からBOD除去率は90%以上となった。スポンジ担体9段を通過する時間は30分弱で、これが滞留時間に相当する。9段通過のBOD除去率が90%以上となり、浄化が安定した状態の各水質の平均値を表1に示す。除去率は、物理学的ろ過が効くSSのみは3段目で90%となり、他の水質項目は3段目以降、通過段数が増すほど生物学的浄化作用が高まるこことによって上昇した。

③ リン除去とBODの関係⁵⁾

表2に様々な排水のBODとT-Pを示す。番



写真2 標準容器とスポンジ担体の充填

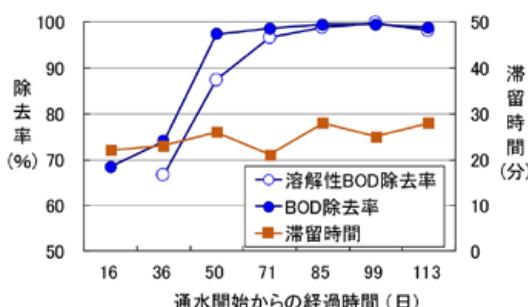


図4 BOD除去率と滞留時間

表1 浄化が安定した状態での平均水質

濃度	pH	DO	SS	COD	BOD	TOC	(mg/L)	
							T-P	T-N
原水	5.6	0.5	118	594	527	356	3.86	38.2
	±0.5	±0.0	±35	±59	±75.8	±77	±0.23	±4.5
3段目	5.9	1.2	12	371	379	239	2.14	25.5
処理水	±0.4	±0.5	±6	±36	±111	±51	±0.37	±3.8
6段目	6.7	1.5	8	179	204	116	1.27	18.5
処理水	±0.3	±0.7	±3	±79	±103	±57	±0.37	±5.0
9段目	7.5	3.6	2	46.3	13.0	38.6	0.20	11.3
処理水	±0.1	±1.5	±0	±9.9	±9.5	±9.8	±0.02	±3.7
除去率	SS	COD	BOD	TOC	T-N	T-P		
3段目	90%	37%	29%	33%	33%	45%		
処理水	±3%	±6%	±13%	±1%	±11%	±7%		
6段目	94%	70%	63%	70%	52%	67%		
処理水	±0%	±11%	±16%	±11%	±11%	±8%		
9段目	98%	92%	98%	89%	70%	95%		
処理水	±1%	±1%	±2%	±1%	±9%	±1%		

※土は、標準偏差を示す。

号8.は、BODが高濃度で槽が嫌気状態となり、リンが再溶出した。図5に8.を除く原水のBOD/T-P比とT-P除去率の相関を示す。図では、明確な相関が認められる。本法のT-P除去にはBODが必要で、土壌生物がBODを餌にリンを含む土壌を生成している。

ディスポーザーは生ゴミを碎いて下水に流す装置である。現行の水中方式の下水処理では、この装置の普及は下水のBODを高めて下水処理場の消費電力を増加させる。表2のT-P除去率は、5.下水はBOD不足で低く、2.ディスポーザーは高い。本法の下水処理場では、ディスポーザー等のBOD負荷を積極的に受け入れることで、水質浄化と共にリンを含む農業用土壌を製造する資源循環型の施設となる。

④ 生成土壌⁵⁾

水質浄化の基本法則は物質保存の法則である。

表2 様々な排水の浄化結果

番号	排水名	原水と処理水(mg/L)、除去率(%)	BOD平均値	T-P平均値	原水BOD/T-P
1	台所排水	原水	819 ± 820	5.88 ± 4.66	
		処理水	86 ± 69	0.70 ± 0.37	139
		除去率	83% ± 13%	81% ± 14%	
2	ディスポーザー付き台所排水	原水	2499 ± 1116	19.4 ± 7.38	
		処理水	146 ± 195	0.63 ± 0.22	129
		除去率	91% ± 18%	96% ± 1%	
3	醤油製造工場排水	原水	527 ± 75.8	3.86 ± 0.23	
		処理水	13 ± 9.5	0.20 ± 0.02	137
		除去率	98% ± 2%	95% ± 1%	
4	UASB(嫌気性処理)排水	原水	154 ± 129	28.8 ± 10.3	
		処理水	33 ± 19.7	26.3 ± 10.4	5
		除去率	66% ± 27%	11% ± 14%	
5	生下水(農業集落排水処理場)	原水	184 ± 108	4.92 ± 1.50	
		処理水	17 ± 12.1	2.41 ± 0.51	37
		除去率	88% ± 8%	49% ± 8%	
6	バルク排水(牛乳搾乳機洗浄排水)	原水	906 ± 525	10.7 ± 7.9	
		処理水	345 ± 344	4.43 ± 4.0	84
		除去率	63% ± 31%	51% ± 31%	
7	弁当工場・H16環境省ETV事業	原水	524 -	5.6 -	
		処理水	104 -	2.2 -	94
		除去率	80% -	59% -	
8	ドレッシング工場排水	原水	10300 ± 7145	15.8 ± 15.6	
		処理水	1500 ± 897	9.26 ± 7.1	654
		除去率	75% ± 20%	20% ± 45%	

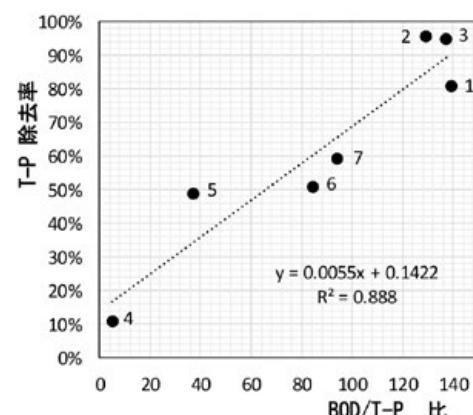


図5 BOD/T-P比とT-P除去率

本法で原水から除去されたリンは、槽内に存在する。表3に槽内に生成した土壤の分析結果を示す。

表3 生成土壤

表2の試験番号	生成土壤の状態	含水率%	総窒素mg/g (dry)	総リンmg/g (dry)	強熱減量%
1	水質浄化中	79.2	19.0	8.44	35.4
2	水質浄化中	75.5	19.1	8.31	33.1
3	養生後	77.8	6.0	49.20	49.2

※養生後は、水質浄化系から取り外して放置した槽からの土壤である。

(2) 本法による飲料水の浄水処理

① 生活排水で汚濁した水路の浄水処理⁶⁾

途上国では、水源の水質汚濁が進んでいる。スリランカで元新日本空調（株）の丸山和秀氏他は生活排水で汚濁した水路の浄水処理を行った。

幅2 m、長さ10 mの傾斜土槽を直列に2段使用し、1日に8 m³の処理を行った。写真3は、原水と処理水である。濁度（単位：n.t.u）の平均値は、原水13.5が1段通過0.1、2段通過0.0となった。



写真3 水路の原水と処理水 (2段通過)

② 重金属類で汚染した井戸水の浄水処理⁷⁾

バングラデシュでは、井戸水の重金属類汚染が深刻である。（独）水資源機構の佐々原秀史氏とNPOアジアヒ素ネットワークは同国の無電化村で浄水試験を行った。現地の女性達は容器で井戸水を傾斜土槽に投入し、処理水を飲用等に利用した。

水質浄化効果の除去率は、ヒ素で約70%、鉄とマンガンは100%弱になった。本法は、SDGsの6【安全な水とトイレを世界中に】の達成に貢献できる。

4 資源循環型下水処理システム⁸⁾

前述の台所排水浄化は槽を固定した運用である。大量処理では、ろ過等で流入部にSSを含む大負荷が捕捉される。この流入部は、水質浄化系から取り外して土壤生成系に移す動的運用が必要になる。

表1の事例（3時間で180 L、24時間では1.44 m³）を拡大した1000人規模（処理水量300 m³/日）の浄化施設を検討した。水量比300/1.44より水質浄化系の必要面積は、約

800 m²となる。一例として、浄化施設は密閉型の円筒形、槽は円形（半径3 m）で、5枚の槽を1ユニットとしたものを図6に示す。

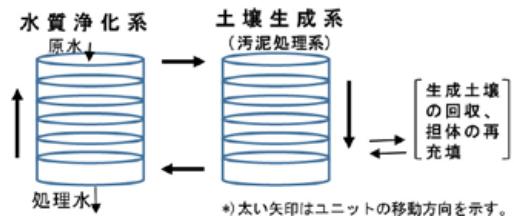


図6 本法による資源循環型の下水処理構想

5 おわりに

19世紀末に曝気による水質浄化が発明され、水中方式の下水処理が発展した。20世紀末に考案の本法は、脱炭素時代の資源循環型下水処理への発展やSDGs達成への貢献が期待される。また、本法は可搬・組立方式が可能で、大規模災害や戦争で上下水の浄化施設が被災した場合の復旧対策となる。

<引用文献>

- 農林水産省：4パームリニシアチブ普及推進協議会
- 井出哲夫：第2版 水処理工学 理論と応用，技報堂出版, p.212, 1990年
- 生地正人ほか：傾斜土槽法による台所排水の有機性汚濁と栄養塩類の同時浄化, 水環境学会誌, 28, 2005年
- 生地正人ほか：スポンジ担体を用いた傾斜土槽法による有機性汚濁物質と栄養塩類の同時浄化, 水環境学会誌, 37, pp.145-153, 2014年
- 生地正人：生態系の物質循環への排水中の負荷量の取込み, 水環境学会シンポジウム講演集, 2022年
- 丸山和秀ほか：有機汚染水 (BOD30mg/L) を飲料水に浄化する生物浄化ユニットの開発, 第5回緩速・生物ろ過国際会議 講演集, 2014年
- 生地正人：傾斜土槽法による鉄・マンガン・ヒ素の同時浄化, 第52回水環境学会年会講演集, 2017年
- 生地正人：トイレから考える日本の自然の生産性低下と資源回収型の下水処理構想, 水環境学会シンポジウム講演集, 2023年

生地 正人 (きじ まさと)

技術士（建設／水道／衛生工学部門）

(株) 四電技術コンサルタント 環境部

環境計量士、博士（農学）

e-mail : m-kiji@yon-c.co.jp



会合・行事予定(2024.1 ~ 2024.3)

予定が変更される可能性がありますので、当会HPの会員コーナー「会合・行事予定」メニューで、最新の予定を確認のうえWEB申込みか、各行事欄の連絡先に申し込んで下さい。各自で体調管理を行い風邪のような症状がある場合は、行事への参加を控えるなど、感染拡大防止にご協力戴くようお願い致します。

◎印の会合はメンバー限り 無印の会合は本会会員であれば参加は可 ★印の会合は本会会員以外の方の参加も可

開催月日	会合・行事名	場 所	時 間	内容／連絡先
1月 5日(金)	★IT21の会(例会)	オンライン(Zoom)	19時~21時	「量子コンピュータのはじめかた～基礎知識と実演～」石川英司氏/AiVIEW代表、「(仮題)里海プロジェクトとブルーカーボン」五味久昭氏/三洋テクノマリン(株), 終了後懇親会予定, 申込詳細は https://www.it21.info/
6日(土)	★埼玉県支部(技術士研究・業績発表大会)	新都心ビジネス交流プラザ4F A会議室	13時~17時	技術士4人の研究或いは業績の発表を行う, 申込:日本技術士会HPのCPD行事予定から, プログラム, 参加費等:詳細は埼玉県支部HPに掲載, 大会終了後に新年会を別室にて開催 問合せ: saitama@engineer.or.jp CPD委員会
	★新規開業技術士支援研究会	北トピア第2和室、Web会議併用	13時30分~15時30分	内容:「事例の紹介と討議」講師:高橋義徳氏(衛生工学), 福崎昌宏氏(金属), 参加費:1,000円, 詳細はHP(https://cea.jp/kaigyou/) 問合せ: cea@cea.jp
11日(木)	★東北本部(ふくしま未来委員会講演会)	宮城県管工事会館9階 大会議室(リモート併用)	13時10分~16時40分	講師①峯岸律子氏(環境省), 講師②曾根原努氏(戸田建設), 講師③小沢晴司氏(宮城大学), 参加費:対面2,000円, リモート1,000円, 申込先:日本技術士会東北本部事務局
12日(金)	★東北本部(ふくしま未来委員会講演会)	会津若松市文化センター 文化ホール	13時10分~16時40分	講師①峯岸律子氏(環境省), 講師②曾根原努氏(戸田建設), 講師③小沢晴司氏(宮城大学), 参加費:対面のみ2,000円, 申込先:日本技術士会東北本部事務局
	★北海道本部(社会活動委員会北方海域技術研究委員会 技術研究発表会)	(研)土木研究所 寒地土木研究所 講堂	14時~17時	講演4題を予定 問合せ:社会活動委員会(北方海域技術研究委員会)幹事長: nori-satou@ksfnet.co.jp 佐藤
	★機械部会(2024年新春講演会)	機械振興会館 B3研修室1 (WEB併催)	18時30分~20時30分	題名:「自動運転の現状と展望」講師:鎌田実氏(一般財団法人日本自動車研究所 代表理事 研究所長 工学博士), 参加費:会員1,000円, 非会員2,000円, その他詳細は機械部会HP参照
13日(土)	九州本部(北九州地区支部CPD)	北九州市環境ミュージアム	13時~17時	1「福岡県知的財産支援センターの活動紹介」高橋氏(福岡県)2「女性活躍」籠田氏(ゼムケンサービス)3「機電研デジタル化実証支援ラボ」石田氏(福岡県) 問合せ: shoji551@zc4.so-net.ne.jp 井ノ口
	経営管理チーム(1月度例会講演)	ZOOMによるリモート講演	13時~16時	題目:「インド高速鉄道の経緯と現状」講師:早坂治敏氏((株)パデコ 社会インフラ開発部エグゼクティブ・アドバイザー, 博士(工学)), 参加費:KKT会員外:1,000円, 申込:日本技術士会HP行事予定(従来版), 締切1月10日
	★近畿本部(機械システム部会第101回例会)	大阪科学技術センター401会議室とオンライン(Zoom)の併催	13時30分~17時	形をつくる設計術-設計論からの応用事例-(矢賀繁之技術士), FA現場のリスクアセスメントとガードインターロックの紹介(福井孝男技術士), 参加費:会員1,000円, 非会員2,000円, 申込:近畿本部HP機械システム部会より
14日(日)	◎なりわい支援ワーキンググループ(月例ミーティング)	オンライン(Zoom)	9時~11時	なりわい塾・まちおこし塾・ビジネス教育の活動状況, メンバー月例会は原則毎月第二日曜日9時~11時で変更の可能性あり新規メンバー募集中ですのでご興味のある方はご連絡ください 連絡先: n-sugiyama3@wish.ocn.ne.jp 杉山
16日(火)	★応用理学部会(1月度講演会)	機械振興会館6-67会議室, WEB併用	18時30分~20時30分	1. 講演者:東京都市大学教授 伊藤和也氏, 2. 概要:自然災害安全性指標, 3. CPD:2.0, 4. 会員1,000円, 非会員2,000円, 5. 問合せ: apspekanji@gmail.com
	科学技術鑑定センター(1月例会講演会)	zoomによるリモート講演	19時30分~20時30分	演者:中村敏彦会員(機械), 演題:遊具落下事故調査報告, 参加条件:鑑定センターに入会を希望する人 申込書:科学技術鑑定センターHPからダウンロード 問合せ: koho@kantei-center.com 総務幹事宛
20日(土)	★環境マネジメントセンター(月例会)	オンライン開催(Zoom)	10時~12時	講演:「再生可能電力」講師:上野一郎氏, 例会(情報交換), 申込は行事予定から
	★中国本部(2023年度技術士業務開業研修会)	広島会場:第3ウエーノヤビル6階, 個別オンライン	10時30分~17時	開業されているベテラン技術士が長年の経験とノウハウを開示, 午前中に開業セミナー, 午後に講演会を行います。 082-511-0305 日本技術士会中国本部事務局:勝田
	★埼玉県支部(新規開業セミナー)	さいたま市民会館おみや 集会室6	13時~17時	セミナーでは開業に要する知識, 手続き, 課題解決法, 開業後の諸課題について, 開業技術士が説明する。申込方法, 参加費:詳細は支部HPに掲載 問合せ: saitama@engineer.or.jp CPD委員会

※予定が変更される可能性がありますので、HPで最新の予定を確認のうえお申し込み下さい。

開催月日	会合・行事名	場 所	時 間	内容／連絡先
1月	★青年技術士支援委員会 (1月 CPD 行事「初級 ディベート体験!」)	機械振興会館 6-66会議室	13時30分～ 17時30分	グループワークでディベートを行い、多角的な視点から論理的に伝える技術の向上を図ります。詳細は青年委員会 HP から 問合せ: event01@peyec.jp 山本
	★千葉県支部(第129回 CPD 新春講演会)	Zoomによるリモート講演	14時～ 16時30分	講演:「技術者倫理と幸福学」講師:前野隆司氏(慶應義塾大学教授), 申込:日本技術士会 HP 行事予定新システムから 1/13まで、詳細は千葉県支部 HP 参照
	★安心できる安全社会を目指すリスクマネジメント 研究会(1月例会)	北トピア805B会議室, オンライン (Zoom)併用	15時30分～ 17時	講演:「高圧受変電設備のリスクマネジメント」梶屋伸之氏(電気電子), 詳細: HPに掲載予定 問合せ: yamamoto@cea.jp 山本
22日(月)	★資源工学部会 (1月 CPD 講演会)	機械振興会館 (6-65会議室), Web配信併用 (webは会員のみ)	18時～ 19時30分	地域循環共生圏－地域が主役！みんなで取り組む環境まちづくり(環境省 大臣官房 地域政策課 地域循環共生圏推進室長 佐々木氏) 問合せ: roorooma@gmail.com
23日(火)	★四国本部(第43回地域 産学官と技術士との合同 セミナー(高松))	ホテル パールガーデン	13時30分～ 17時15分	基調講演、シンポジウムによる合同セミナーの後、懇親会を開催、(1)定員:セミナー120名、(2)対象:日本技術士会会員及び一般参加者も歓迎、(3)参加費:セミナー:無料、懇親会:6,000円
	★技術者倫理研究会 (第109回例会)	ハイブリッド(機械 振興会館6-64 + Web(Teams))	18時30分～ 20時30分	話題:「技術者倫理の実践(続)」講師:橋本義平氏(情報工学), 参加費:当会会員(正会員・会友), グループ加入:無料, 他: 1,000円, 申込:技術者倫理研究会 HP
24日(水)	★技術士包装物流グループ (特別講演)	機械振興会館および リモート(Zoom) による同時開催	16時～ 17時30分	講演者:松川弘明氏(一般社団法人日本マテリアルフロー研究センター 会長, 慶應義塾大学理工学部管理工学科 教授), 演題:後日決定, 参加費:当グループ会員以外は2,000円, 申込: https://www.jplcs.com/16577120764152
25日(木)	★神奈川県支部(2024年 賀詞交歓会第1部 特別 講演・第129回 CPD 講 座)	波止場会館 5階 多目的ホール, Web配信あり	15時～ 16時40分	神奈川県における災害対策(黒澤遼氏(神奈川県庁くらし安全防災局防災部)), 参加費:会員1,000円, 未入会・一般: 2,000円, 申込:本部 HP, kanagawa@engineer.or.jp, 詳細:県支部 HP
	★神奈川県支部(2024年 賀詞交歓会第2部)	波止場会館 1階 シーサイドラウンジ SaLa	17時～19時	2024年賀詞交歓会第2部(交流会) 参加費:4,000円 申込:本部 HP, kanagawa@engineer.or.jp 詳細:県支部 HP
27日(土)	★成功・失敗体験教育研究会(ワークショッピングセミナー)	ZOOMによるリモート開催	9時30分～ 15時30分	第28回リーダーを目指す技術者倫理セミナー「ものづくり企業の不祥事を深掘りし、共通要素を抽出するー組織のコミュニケーションはどうあるべきかー」, 詳細: https://www.jsme.or.jp/event/23-122/
	★船舶・海洋・航空・宇宙 部会(2024年1月 定 例部会・講演会)	機械振興会館 6F 会議室, オンライン (Teams)	13時30分～ 17時	管材および板材を対象とする新しい成形方法の開発(久保木孝氏), 宇宙輸送新時代を目指して(高橋昭智氏), 申込: 1/24正午迄, 参加資格:会員(会場は非会員も可), 詳細は 部会 HP peaerospace@gmail.com
	★化学部会(1月度講演会)	(WEB開催)	13時30分～ 17時	高機能機器分析による潤滑油とグリースの分析およびトラブルの解決例(箭内朋子氏/日鉄環境(株)分析事業部長/技術士), 「減塩への取組:はたして香辛料が減塩効果をもつのか(植野洋志氏/奈良女子大名誉教授)
	★中国本部(第3回修習技術者セミナー「コンピテンシー向上発表会」)	第3ウエノヤビル 6F コンファレンス スクエア	13時30分～ 17時	セミナー発表者3名と質疑応答 コンピテンシー・合格体験談
	★茨城県支部(2024年 新年講演会(テーマ:持 続可能な社会の構築))	ひたちなか市『ワー クプラザ勝田 2F 大会議室/ZOOM オンライン開催』	13時30分～ 16時50分	演題1:「チバニアント白亜紀層」講師:岡田誠氏(茨城大学), 演題2:「霞ヶ浦と生態系サービス」講師:桑名美恵子氏(茨城県霞ヶ浦環境科学センター), 会員1,000円, 非会員 2,000円, 詳細:茨城県支部 HP 参照
◎金属部会(第3回吉武講 演会・65周年記念大会)	講演(ZOOM), 65 周年記念大会(ホテ ルニューオータニイ ン大崎)	14時～17時	第3回吉武記念講演会: 1 役員会挨拶, 2 温故知新講演者: 小林前部会長・金属会顧問, 表題「部会活動のコロナ変遷と 今後の展望」ほか, 65周年記念会(会場)来賓挨拶, 65周年 記念誌紹介, 出席者一言挨拶, 値ぶ会紹介, ほか	
★山口県支部(2023年度 第2回 テクノ・サロン)	KDDI維新ホール 205会議室	14時～ 17時30分	山口大学大学院創成科学研究科にご所属の3名の先生方(吉 田奈津妃助教, 原弘行准教授, 森啓年准教授)によるご講演 と質疑応答	
★知財コンサルティングセ ンター(1月度セミナー)	ハイブリッド開催 (機械振興会館6-61 会議室/WEB)	15時～17時	「自社の強みを活かして、売上向上」田久保泰夫氏(弁理士/ 中小企業診断士,マイスター特許事務所代表), < http://pcip.jp/ >の「お知らせ」「<NEW>2024年1月27日(土) …」から 問合せ: yasumicogr@gmail.com 八角	
★茨城県支部(2024年 新年交流会)	ひたちなか市『ワー クプラザ勝田』	17時～ 18時30分	交流会, 会員3,000円, 非会員3,000円, 詳細: 茨城県支 部 HP: https://www.engineer.or.jp/c_shibu/ibaraki/	

➡予定が変更される可能性がありますので、HPで最新の予定を確認のうえお申し込み下さい。

開催月日	会合・行事名	場 所	時 間	内容／連絡先
1月 30日(火)	森林部会(1月度講演会)	機械振興会館 (B3-6号室), WEB併用	15時~17時	演題：「VUCAの時代における新たな森林管理システムの課題」講師：京都先端科学大学Fバイオ環境学部教授 田中和博氏、詳細は部会HPにて 問合せ：shin-gi@forest-pro.jp 竹中
2月 2日(金)	★IT21の会(例会)	オンライン(Zoom)	19時~21時	「(仮)Cyber Physical HUMAN Systems～ロボティクスにおける歴史から最前線まで～」畠中健志氏・東京工業大学准教授、「(仮)エコロジカル・ランドスケープ～円滑な合意形成を目指して～」小野寺湧氏／東北緑化環境保全(株)
3日(土)	上下水道部会 (2024年2月度講演会)	会場またはWEB	13時~15時	技術者倫理の実践(橋本義平氏／日本技術士会登録グループ 技術者倫理研究会代表)、終了後に希望者による情報交流会、 上下水道部門の新規合格者は無料で、申込方法詳細は部会 HPを参照 water.sewer.works@gmail.com
	★新規開業技術士支援研究会	北トピア802A, Web会議併用	13時30分~ 15時30分	内容：「事例の紹介と討議」講師：松隈裕之氏(水産), 中村昌允氏(化学), 参加費：1,000円, 詳細はHP (https://cea.jp/kaigyou/) 問合せ：cea@cea.jp
	★農業部会(講演会)	機械振興会館 6D-1, 2, 3&WEB	13時50分~ 17時	西部開発農産のICT技術を活用した中山間地における規模拡大に向けた取組み(清水一孝氏), 産学官連携で取り組む農山漁村の地域資源活用・活性化のリ・デザイン(千田良仁氏), 詳細はHP 問合せ：kamata_tomoya@ybb.ne.jp 鎌田 開催内容：2023年活動報告及び会計報告, 2024年活動計画, 出席者の近況報告 連絡先：masa-yamaguchi@senju.co.jp 山口正純 参加希望者は連絡先までご連絡下さい
4日(日)	◎繊維部会(2024年2月度CPD講演会)	MS-Teamsによる オンライン配信	13時20分~ 16時40分	講演1「技術者倫理の実践について」袴谷達氏, 講演2「AI時代の技術倫理の動向と課題」三木哲也氏, 申込締切：2024年1月26日(金)正午, 詳細は繊維部会HPを参照ください
9日(金)	◎北海道本部(道南技術士委員会 新年技術発表会)	未定	13時~ 17時30分	道南技術士委員会メンバーによる新年技術発表会
10日(土)	九州本部 (北九州地区支部CPD)	北九州市環境ミュージアム	13時~17時	1「調整中」松下(大分大)2「下水道BCP(北九州市の事例)」疋田(北九州市)3「西鉄バスグループにおける持続可能な交通ネットワーク」日高(西鉄) 問合せ：shoji551@zc4.so-net.ne.jp 井ノ口
	★鹿児島県支部 (第41回CPD講演会)	かごしま県民交流センター	13時30分~ 16時45分	「独学で築いた多彩な研究・技術開発履歴」伊藤洋氏(北九州立大学名誉教授), 「郷土「偉人」表象活動の背景にあるもの」萩原和孝氏(第一工科大学講師), 会費等詳細は当支部HP, 申込期限2月2日, 先着90名
	★機械部会(2月土曜例会 (土曜セミナー))	機械振興会館 地下3階 研修1会議室(WEB併催)	13時30分~ 16時30分	第一部：講演「生成AIの基礎と活用について(仮題)」講師：今井武晃氏(キャディ(株) Technical Product Manager) 第二部：出席者による生成AIに関するグループ討議, 定員：会場60名 WEB100名, 詳細は機械部会HP参照
11日(日)	◎なりわい支援ワーキンググループ(月例ミーティング)	オンライン(Zoom)	9時~11時	なりわい塾・まちおこし塾・ビジネス教育の活動状況, メンバー月例会は原則毎月第二日曜日9時~11時で変更の可能性あり、新規メンバー募集中ですのでご興味のある方はご連絡ください 連絡先：n-sugiyama3@wish.ocn.ne.jp 杉山
	金属部会(CPD技術セミナー11「技術者倫理」)	ZOOM	13時~17時	第1講 13時~講演者：塙原亮一氏, 表題「新・技術士倫理綱領について」, 第2講 14時10分~講演者：浮穴俊康氏, 表題「はじめて取り組んだ技術者倫理」, 第3講 15時20分~講演者：橋本義平氏, 表題「技術者倫理の実践」
15日(木)	衛生工学部会(施設見学会)	高砂熱学イノベーションセンター(茨城県つくばみらい市)	14時~17時	集合時間・場所：13時40分みらい平駅の改札出口集合, 会費等詳細は部会HP参照, 申込はCPD行事予定から 問合せ：igarashi@e-eplan.com 五十嵐
	★技術士包装物流グループ (第170回関西支部研究会)	KITENA新大阪及びリモート(Zoom)による同時開催	18時~ 19時30分	バイオプラスチックを巡る最近の動向(松井仁司氏／(株)カネカ 当会会員), 参加費：当グループ会員以外の方2,000円, 申込：2月8日までに https://www.jplcs.com/16549945751804 へ
16日(金)	群馬県支部(第2回Web講演会のご案内)	ZOOMによるオンライン講演会	14時30分~ 16時30分	風の力を生活に：小型風力発電技術の進化とコミュニティへの普及(佐藤靖徳氏／(株)パンタレイ 代表取締役, 工学博士), 定員先着50名, 締切：R6年2月2日, 参加費：無料, 申込は本部HP, 群馬県支部HP又はgunma@engineer.or.jp
	原子力・放射線部会(例会 講演会 第90回技術士の夕べ)	web講演会 (MS-Teamsを利用)	18時~20時	原子力発電に係る最大の懸案事項の一つである高レベル放射性廃棄物の地層処分に関して、技術面の概要や最近の進捗等の状況について、実施主体である原子力発電環境整備機構の講師からお話を伺う。

※予定が変更される可能性がありますので、HPで最新の予定を確認のうえお申し込み下さい。

開催月日	会合・行事名	場 所	時 間	内容／連絡先
2月	★神奈川県支部（技術士開業、業務開拓の研修会実践コース）	横浜市中区山下町1 シルクセンター地下1階大会議室	10時～16時40分	コンサルティングの実際を学びます。契約を双方の立場から解説し、それを基に演習します。コンサルティング方法講演の後、「接着剤の製造不良対策」という模擬実際例を用いてワークショップで身に付けます。資料代別途1,000円
	★青年技術士支援委員会（2月CPD行事）	機械振興会館6-66会議室	13時30分～17時	タイトル：傾聽だけじゃ足りない！？相手の話を引き出す自己開示術入門 ※グループワーク中心のCPD行事です。申込： https://forms.gle/cKrUNzveorSdP2aF7 問合せ：event02@peyec.jp 杉山
	★中国本部（環境／衛生工学／生物工学／原子力・放射線部会 講演会）	広島市中区鉄砲町1-20 第3ウエノヤビル6F コンファレンスホール	13時30分～15時30分	「ブルーカーボンについて」講師1：広島県立大学 百武教授、講師2：宇部高専 杉本教授 中国本部事務局
	★長野県支部（CPD研修会）	駅前交流テラス「すわっチャオ」（長野県諏訪市諏訪1-6-1）	13時30分～16時	講演：「御嶽山とチハニアンローカルな地質調査がクローバルな研究に結びつくまでー」講師：竹下欣宏博士、本郷美佐緒博士、詳細は支部HP 問合せ：penagano@penagano.org
	千葉県支部（第130回CPD工場見学会）	（株）ファソテック（幕張テクノガーデン）	14時～16時30分	3Dデジタル技術を主要とし、製造業や医療業界等のDXを技術支援する（株）ファソテック様の工場を訪問します。事業紹介に加え、3Dプリンタの施設見学等を予定しています。申込：日本技術士会HP行事予定から2/10まで
	★安心できる安全社会を目指すリスクマネジメント研究会（2月例会）	北とぴあ801会議室、オンライン（Zoom）併用	15時30分～17時	講演1：「ゼロリスクをどのように考えるか」中村昌允氏（化学）、講演2：「粉体プロセスにおける、爆発等のリスク対応」吉原伊知郎氏（機械）、詳細：HPに掲載予定 問合せ：yamamoto@cea.jp 山本
20日(火)	★北海道本部（地域産学官と技術士との合同セミナー）	ホテル札幌ガーデンパレス	13時30分～17時	テーマ：「（仮）様子が異なる北海道沿岸～地球温暖化の身近な影響」 問合せ：hkd-eng@ipej-hokkaido.jp 北海道本部事務局
	★応用理学部会（2月度講演会）	機械振興会館6-67会議室、WEB併用	18時30分～20時30分	1. 講演者：東京都市大学教授 伊藤和也氏、2. 概要：人工光合成の創成、3. CPD：2.0、4. 会員1,000円、非会員2,000円、5. 問合せ：apspekanji@gmail.com
24日(土)	◎ロボット技術研究会（第207回例会）	WEB（リモート）	10時～12時	1. 講演「オイラーの公式を応用した身体重心バランの解析」篠崎博文氏（機械） 2. 出席者による情報交換 3. 参加費：無料、例会参加希望者は入会が必要 4. 問合せ：reo.fujita@gmail.com（藤田）
25日(日)	金属部会（定例部会2月「埼玉県支部」）	ZOOM	12時55分～16時	埼玉県支部が担当し定例部会を発信します。 講演：近藤孝氏 埼玉県支部副支部長 演題：『埼玉県支部の地域貢献活動』 CPDシステムから申し込んでください。
3月	2日(土) ★新規開業技術士支援研究会	北トピア803、Web会議併用	13時30分～15時30分	事例の紹介と討議（袴谷達氏・電気電子／上下水道／総合、米森重明氏・化学）、参加費：1,000円、詳細はHP(https://cea.jp/kaigyou/) 問合せ：cea@cea.jp
	8日(金) ★海外活動支援委員会（3月度講演会）	機械振興会館6-67会議室（6階）	18時～20時10分	台湾産業最新事情及び日台産業連携に関する講演会：台湾経済成長状況、日台産業連携戦略他（台湾経済研究所 魏聰哲博士）、台湾関連機関紹介、関電工の台湾機関・企業との連携（関電工 酒井重嘉氏）、詳細はHP参照
	9日(土) 九州本部（北九州地区支部CPD）	北九州市環境ミュージアム	13時～17時	1「福岡県の中小企業への技術振興施策」野見山氏（福岡県） 2「教育に貢献する水族館」高田氏（海と博物館）3「中国・三峡ダム視察調査紹介」末松氏（技術士） 問合せ：shoji551@zc4.so-net.ne.jp 井ノ口

IPEJ NEWS

■会員の方などの叙勲・勲章（令和5年秋）

〔瑞宝中綬章〕

山口清一氏（建設／本部）：国土交通行政事務功労

勝山達郎氏（農業／本部）：農林水産行政事務功労

〔瑞宝小綬章〕

古賀省三氏（森林・総合／九州）：国土交通行政事務功労

宮崎一之氏（本会・元・常務理事）：文部科学行政事務功労

〔瑞宝双光章〕

森山利夫氏（建設／中国）：国土交通行政事務功労

栗本好正氏（建設・総合／四国）：国土交通行政事務功労

〔黄綬褒章〕

西田靖氏（建設／九州）：業務精励（測量業）

川浦 昭平 (機 械)	2023/11/7 97歳	徳永 正憲 (建 設)	2023/10/18 85歳
-------------	---------------	-------------	----------------

編集室から

今回の特別号のテーマは「自然から学ぶ特集」であった。自然しかなかったところから、なぜ、現在に至ったのか不思議に思うことがたくさんあると改めて思いました。

太陽、水、風など意識せずに触れるところから始まり、草花などを結んだり、手に取ることで撚って縄を作るなど、目に見える加工を教わった。星の位置、季節で変わる日差しなど手に取れないものから学び始め、航海など経験から技術へ進んできた。

水を熱し熱でなく、蒸気をものを動かす力に変換し取り出す蒸気機関、もとの物質の部分のみを抽出加工しプラスチックにするなど、まったく自然とは違ったアウトプットをするまでになった。

しかしながら、鳥のくちばしから学んだ空気抵

抗が少ない新幹線のノーズ、サメ肌から早く泳げる水着など今でも学ぶことの多さに自然の深さを感じています。

自然や動植物は常に変化、進化をしているので決まったかたちの答えがなく、追及してもゴールがないものと感じます。

自然を制御し、治水など行ったがそれを上回る自然の力から、制御、支配でなく共存するかたちが問いかけられ洪水時に水を逃がす霞堤の考えが見直されています。

人工的な制御、自然（環境）負荷を低減し自然を守り、共存することで、自然から学び続けることができ、真のよりよい技術を生み出すことがこれからは求められると感じています。

（枝村正芳）

■ 広報委員会委員

委 員 長 前田 秀一(化学)

副 委 員 長 藤原 憲男(建設)

松井 光彦(応用理学)

委 員 阿瀬 智暢(上下水道)

井口 幸弘(原子力・放射線)

卯川 裕一(生物工学)

枝村 正芳(繊維)

大野 博之(応用理学)

大森 麻理(情報工学)

岡井 政彦(中部)

小澤 明夫(電気電子)

楠橋 康広(中国)

黒澤 之(衛生工学)

佐伯 佳美(応用理学)

反町 容(建設)

高原 繁(森林)

武井 遼(経営工学)

対馬 一昭(機械)

東瀬 康孝(建設)

中込 徹(電気電子)

中丸 宜志(環境)

細谷 裕士(農業)

松下 滋(金属)

松田 敦(九州)

村田 裕子(水産)

地 域 本 部	【北海道】荒木 雅紀(建設)	【東 北】丹 収一(建設／総合)	【北 陸】伊藤 清春(建設)
に お け る	田守 隆浩(農業)	伊藤 貞二(建設／総合)	小林 秀一(建設)
広 報 担 当	【中 部】岡井 政彦(電気電子)	【近 畿】木藤 茂(金属)	【中 国】楠橋 康広(建設／総合)
	高木 智(建設)		櫻井 理孝(金属)
【四 国】	岩佐 隆(建設／総合)	松田 敦(建設)	
	西沢 尚之(情報工学)	久保川孝俊(建設／総合)	

技術士 IPEJ Journal 2024年1月号 No.685

定価 1,500円

(日本技術士会会員は会
費の中に購読料を含む)

■ 発行所および責任者 ©公益社団法人 日本技術士会 真先 正人
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2階

TEL 03-3459-1331(代) FAX 03-3459-1338

URL <https://www.engineer.or.jp/>

■ 制作・印刷 (株) アイセレクト TEL 03-6806-8503(代) FAX 03-6806-8504
◎本誌記事の無断転載を禁じます。

* 「IPEJ」「日本技術士会」「技術士会」「技術士(CPD認定)」「CEマーク」「PEマーク」「Pe-CPDマーク」は、
公益社団法人日本技術士会の登録商標です。



技術士の方々を 支援します！！

- ・労働安全コンサルタント試験対策講座
 - ・RCCM資格試験対策講座
 - ・コンクリート診断士試験対策講座
 - ・中小企業診断士試験対策講座
 - ・内部監査員養成講座
- ※この他各種技術資格取得支援講座

相談無料

お問い合わせは「技術資格取得支援係」までご連絡ください
電話 03-5276-9033 電子メール service@techno-con.co.jp



株式
会社

新技術開発センター

〒102-0082 東京都千代田区一番町17-2 <https://www.techno-con.co.jp/>

お知らせ

2024年フェロー申請受付開始のご案内

総務委員会

2024年1月4日(木)より2024年フェロー申請の受付を開始します。制度の詳細等は当会HPをご覧下さい。

■フェロー認定要件(次の要件を全て満たさなければならない。)

- (1) 正会員である期間が15年以上の正会員であること。
- (2) 会長表彰を受けていること。又は、正会員20名以上若しくはフェロー3名以上からの推薦があること。
- (3) CPD認定会員、又は技術士(CPD認定)であること。ただし、初回の申請時のみ、直前1年間における50時間以上のCPD登録証明書の提出により代えることができる。
- (4) 年会費とは別に毎年1万円以上の寄附を行うこと。
- (5) 名誉会員でないこと。
- (6) 本会の倫理審査により戒告処分を受けていないこと。

■認定期間は3年とし、更新に当たっては都度申請に基づき審査を行う。

*令和3年度にフェロー申請された方は、更新するためには今回申請が必要です。

■フェローの主な特典

- (1) 初回認定時のみ定時総会終了後フェロー認定証の授与を行う。
- (2) 前号と同日に開催される総会懇親会に夫妻にて招待する。
- (3) フェロー認定証(カード型)を交付する、他

技術者登録受付中(転職・Uターン)

技術士・RCCM

建設部門 上下水道部門 農業部門 機械部門

登録料無料

秘密厳守



技術人材研究所

TEC

(オーテックコンサルタント株式会社)

東京本社 / 〒103-0028 東京都中央区八重洲 1-8-17
福岡本社 / 〒810-0044 福岡市中央区六本松 4-11-25
大阪支所 / 〒530-0001 大阪府大阪市北区梅田1-11-4
厚生労働大臣認可 40-ユ-300263

ご登録は
こちらへ

TEL ☎ 0120-56-8800
FAX ☎ 0120-16-8800

E-mail : gjutsu@otec-jinzai.com HP : http://www.otec-jinzai.com

求人
スカウト
同時受付

技術士専門の人材紹介コンサルタント

厚生労働大臣許可番号 27-ユ-030217

技術士(建設部門、上下水道部門、環境部門) (農業土木、森林土木、地質、機械、電気)

転職活動をバックアップします！

株式
会社

ウイングネット

詳しい資料請求は 担当 安原(やすはら)まで 気軽に御連絡下さい

〒542-0076 大阪府大阪市中央区難波2-3-11 ナンバ八千代ビル2階A号

TEL 06-6214-5196 FAX 06-6214-5237

<http://wingnet.ehoh.net/>

e-mail wingnet@lily.ocn.ne.jp

登録料無料・秘密厳守



技術士・RCCMの転職サポート

- ! 技術士（建設コンサルタント出身者）による転職相談
- ! 転職の方は相談・登録・紹介等全て無料
- ! 実績に基づく独自ネットワークによる紹介

↓当社運営ブログも併せてご覧ください↓

建設コンサルタントについて考える



技術士のつぼ



無料登録
ご相談は

<https://jinzai.mo4c.com/> 技術士人材センター

検索



担当: 手塚 (技術士 建設部門<道路>・総合監理部門・経営工学部門 / 中小企業診断士)

建設コンサルタント・技術士人材センター

株式会社建設経営研究所 厚生労働大臣許可番号 13-ユ-305516

〒206-0033 東京都多摩市落合 1-10-1
京王多摩センター SC2F KEIO BIZ PLAZA 多摩センター内

TEL 042-319-3581

Mail: info@mo4c.com

業界に精通したコンサルタントが、
成功する転職をご支援します。

★ <http://5starcon.co.jp>

相談から就職まで(無料) ➤

株式会社 ファイブスター・コンサルタント

弊社への登録を。
転職お考えの方は
まずは弊社登録者に
お声掛けしますので
します。その場合は
年度末は突発的な
好条件急募が発生
します。

◇1月のおすすめ求人◇

- 中堅コン/鋼コン・港湾・水産土木/50歳※1000万円@東京
- 中堅水コン/下水道計画/50歳※1050万円@東京、大阪
- 大手コン/河川・鋼コン/40歳※1000万円@東京・大阪
- 地場コン/道路・鋼コン/河川/55歳※1000万円@札幌・仙台・広島
※はモデル年収

~ネット検索にはない旬の求人や全国
(大手・地場) の非公開情報をご紹介します~

技術士紹介 22年の信頼

代表取締役 五座 由洋【技術士: 総監・上下水】

まずは、お気軽にお問合せください。



03-5227-5300

受付: 月~金/10:00~18:00



info@5starcon.co.jp

Professional
Peace
Engineer
Environment
Ethics

技術士 PE

IPEJ Journal 2024. 1

2024年1月1日発行(毎月1回1日発行)
通巻685号

¥1500



<https://www.engineer.or.jp/>