

JSTnews

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

5
2025

特集
1

安全安心に管理できる水インフラの概念実証
健康リスクを低減する社会の実現を目指して

特集
2

「多機能ファイバー」で脳機能解明に挑む
生体電気信号や神経化学物質を同時測定



科学を支え、未来へつなぐ
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

03 特集1

安全安心に管理できる水インフラの概念実証
健康リスクを低減する社会の実現を目指して



08 特集2

「多機能ファイバー」で脳機能解明に挑む
生体電気信号や神経化学物質を同時測定

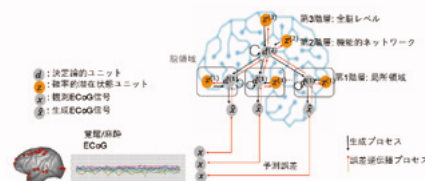


12 続々・ムーンショット特別インタビュー 2050年を描く 地球と調和し資源に制約されない世界の実現へ フュージョンエネルギーの社会実装に挑む



14 NEWS&TOPICS

- ▶ 霊長類の脳機能のデジタルツインを開発
- ▶ 火星の表層レゴリス粒子が水を安定吸着
- ▶ 暗闇で自ら発光して泳ぐクラゲ型ロボット
- ▶ 精子細胞の細胞質を除くたんぱく質を発見



16 さきがける科学人

大量のナースコール履歴を分析し発生前に予測
看護師の動きを効率的に、患者個人の特性考慮

神戸大学 大学院保健学研究科 助教 福重 春菜



RISTEX 令和7年度新規研究開発領域「ケアが根づく社会システム」提案受付中

JSTのRISTEXでは、少子高齢化社会を生き抜くために自然に支え合う「ケア」が行きわたった社会の構築を目指して、研究開発領域「ケアが根づく社会システム」を新規に立ち上げました。この領域は「人は『ケアし、ケアされる』弱い存在である」という相互依存の人間観に基づき、ケアを広く捉えるものであるため、対象は介護・育児などに限りません。自然に「他者や環境を気にかける」ことから生まれる行為や、その行為が立ち現れうる状態を広く「ケア」と捉え、そのケアを社会の現場で実践する活動を対象として、異分野連携・総合知により課題解決を目指す研究開発プロジェクトを支援します。

◆RISTEXではこの領域を含む4プログラム・領域の提案を受付中です。
公募締切:2025年6月4日(水)正午
https://www.jst.go.jp/ristex/proposal/proposal_2025.html



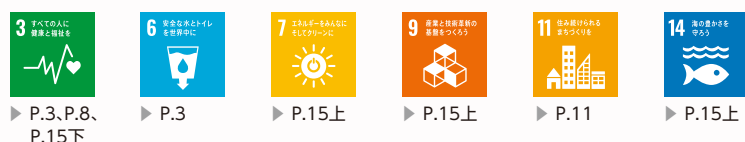
領域総括:東京立大学
健康福祉学部 西村ユミ教授

JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標(SDGs)の達成に積極的に貢献していきます。

編集長 小林 里美
科学技術振興機構(JST)広報課

制作 株式会社角川アスキー総合研究所

印刷・製本 株式会社丸井工文社





田中 宏明

Tanaka Hiroaki

信州大学 工学部 特任教授

2022年より未来社会創造事業 研究開発代表者



北島 正章

Kitajima Masaaki

東京大学 大学院工学系研究科

附属水環境工学研究センター 特任教授

特集
1

安全安心に管理できる水インフラの概念実証 健康リスクを低減する社会の実現を目指して

私たちの暮らしにはきれいな水が不可欠だ。日本は豊かな水資源に恵まれているが、こうした水を将来にわたって利用し続けるためには現状の水インフラでは十分ではない。信州大学工学部の田中宏明特任教授と東京大学大学院工学系研究科附属水環境工学研究センターの北島正章特任教授らは、水に含まれる微量の病原体や化学物質などの汚染物を管理する新たなインフラの概念を実証し、健康リスクを低減する社会の実現を目指している。

未来社会創造事業

経済・社会的にインパクトのある目標を定め、基礎研究段階から実用化が可能かどうか見極められる段階(概念実証:POC)に至るまでの研究開発を推進する。

更新期迎えた日本の上下水道 水処理技術向上が喫緊の課題

日本の上下水道インフラは、20世紀の高度経済成長期に整備が進んだ。水道の蛇口をひねればきれいな水を容易に得ることができ、排水の多くは下水処理場で適切に処理されて水環境に戻っていく。しかし、多くの水インフラが建設されて半世紀以上が経過し、日本の上下水道は更新期を迎えている。

例えば、汚水と雨水を1つの下水道管で流す合流式の下水道では、大雨で水量が増加すると下水処理場で全ての下水を処理しきれないことがある。処理しきれない雨天時、下水は下水道から放流され、水環境が汚染されてしまう。近年では、分解しにくい化学物質である有機フッ素化合物(PFAS)による水道水汚染も全国で問題となっている。

2025年1月には埼玉県八潮市で下水道管に起因する陥没事故が発生した。事故から1カ月以上たっても、下流の下水道管の水位を下げるため、中継ポンプ場から下水を固形塩素で消毒するだけで放流する状況だった。他のインフラ同様、老朽化が進んだ上下水道では、災害による被害も起こりやすい。信州大学の田中宏明特任教授らは水インフラの更新に備え、安全性を向上する水処理技術の確立に取り組んでいる。

水インフラのソフト・ハード 両面からのアプローチが重要

日本では有機物や窒素・リンの環

境基準を満たすように流域ごとに下水道計画が立てられ、下水道の整備と高度処理の導入が進められた。田中さんは「これまでの環境基準と排水基準さえ満たしていれば安全なのかという、そうではありません。むしろより安全安心な基準を新たに作っていかないと水利用には不都合が生じることもあります。水道水は浄水されますが、水浴や農水産などの水利用では、環境水がそのまま使われる点に注意が必要です」と話す。

田中さんが研究開発代表者を務めるプロジェクトが目標として掲げるのは「人や社会と環境の間で循環する水を総合的に捉え、人や社会の活動に伴い排出される水の安全を確保し、日常的にさまざまに利用する際に、水に関わる健康リスクから、子どもから高齢者までの誰もが守られる社会」の実現である。上下水道にとどまらず、循環する水の安全レベルをさらに高次へと引き上

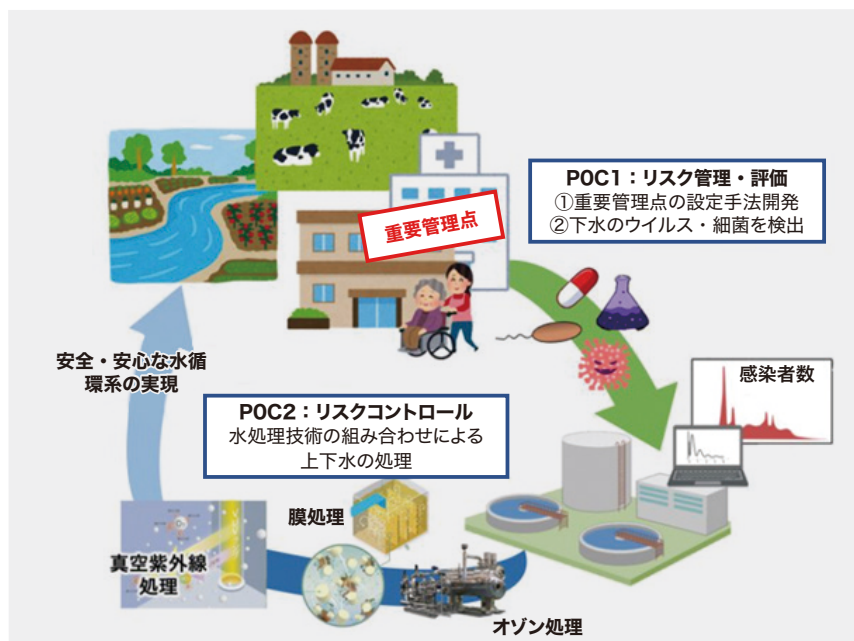
げるため、健康リスクの低減や制御を掲げる。

田中さんは「今の日本には水の安全神話があります。しかし、問題が起こってからでは遅く、危険性を事前に明らかにする必要があります」と指摘する。水の安全レベルを引き上げる環境管理といったソフト面だけではなく、上下水道などの水インフラ施設のハード面の改善も目指す。安全安心な水循環の実現には、ソフト・ハードの両面からアプローチすることが重要だ。

「重要管理点」の明確化から 効果的なコントロールまで

このプロジェクトの共同研究機関は産官学の18機関にわたり、研究者の総数は60人におよぶ、大規模な体制となっている(図1)。プロジェクトでは、2つの概念実証(Proof of Concept, POC)を設定している(図2)。POC1では、京都大学、高知

図2 この課題で実施している2つのPOC



POC1では、重要管理点の設定手法開発や下水中のウイルス検出など、リスク管理・評価を行っている。POC2では、水処理技術の組み合わせによる上下水道の水処理によるリスクコントロールが目標だ。

図1 研究体制と主な活動内容

POC	分担研究代表者	担当領域	主な活動内容
POC1	京都大学 西村 文武 教授	重要管理点、 オゾン反応器	琵琶湖流域における健康リスク発生源の明確化。下水処理場や病院、畜産施設における水環境の汚染実態と流出経路の解明。リスク削減効果とコストが両立する高規格水処理システムの開発。
	北海道大学 佐藤 久 教授	リスク検出における 濃縮・検出技術	特定の生化学的相互作用で蛍光シグナルを発する蛍光性基質 (MUG) を用いて薬剤耐性大腸菌を簡易に測定する技術の開発・商品化。
	東京大学 北島 正章 特任教授	下水疫学	新型コロナウイルス感染症をはじめとしたさまざまな感染症に対する下水疫学の社会実装を実現するための技術開発。感染拡大を早期に検知・監視する技術の確立。
	高知大学 井原 賢 教授	下水疫学、 ウイルス検出	滋賀県や大分市における新型コロナウイルスの下水疫学データの公開。より多くの自治体で下水疫学技術を役立てるためのコンソーシアムの設立。高性能で簡便なウイルス凝縮技術の開発。
POC2	北海道大学 松下 拓 教授	マイクロバブル VUV処理	真空紫外線 (VUV) 処理を基盤とした酸化・還元処理技術により、浄水場に導入可能なコストで、有機フッ素化合物 (PFAS) などの微量汚染物質を効果的に分解・除去するシステムの構築。
	三菱電機、工学院 大学 永井 裕己 准 教授、摂南大学 水野 忠雄 教授	オゾン発生器・反応 器	吸着剤を利用したオゾンと酸素の分離技術により、高効率・高濃度のオゾンを発生するシステムの開発。オゾンと対象物質の化学反応に基づく高度オゾン注入制御システムの開発。
	北海道大学 木村 克輝 教授	ナノバブルMBR	膜分離活性汚泥法 (MBR) による下水処理で課題となっている膜の目詰まりの発生を、ナノバブル技術を利用して少ない電力消費量で防止する技術の開発。
	ニュージェック	社会実装の検討	健康リスク発生源を特定する調査手法や管理目標の設定、リスク低下のための新しい水処理技術などの研究成果を、行政機関、事業体、民間企業への引き渡すためのガイドラインの取りまとめ。

産官学の機関が集結したこの課題では、田中さんと共に、北海道大学の松井佳彦名誉教授が研究を総括している。

大学などのグループが、琵琶湖流域でウイルスなどの健康リスク因子の発生源となる「重要管理点」からの健康リスク因子の排出実態を調べ、水環境の汚染実態と流出経路を明らかにすることを目指す(図3)。これまでの研究で、薬剤耐性大腸菌などの排出実態が定性的にわかってきており、現在は定量化に着手している段階だ。

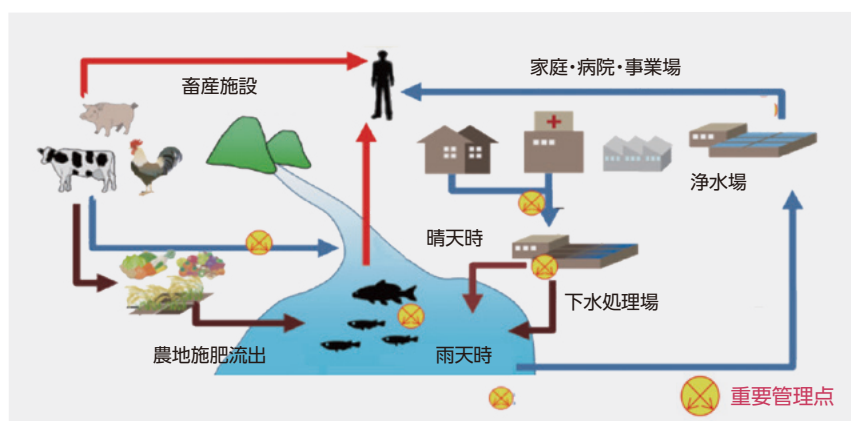
POC2は、革新的な水処理技術を組み合わせた上下水の処理によるリスクコントロールだ。具体的には、高規格水処理システムを導入して重要管理点で制御することで、水循環系の健康リスクを許容可能なレベルに管理し、全国のさまざまな水環境にも適用できることを概念実証する。また、リスクコントロールの考え方などを方式化し、新たな検出・水処理技術を開発し

て、導入コストに見合う公衆衛生改善の便益があることを示す。「日本はもちろん、世界での利用という視点からも今回の技術開発が貢献できると思います」と田中さんは意気込みを語る。

POC2では、健康リスクをコントロールする手法として真空紫外線

技術や革新的オゾン技術、ナノ・マイクロバブル技術による高規格水処理の開発を目的とする。三菱電機、工学院大学、摂南大学の各グループは、オゾン発生器の後段にオゾン吸着剤を利用して酸素ガスを分離、回収・再利用するとともに、必要時に貯蔵濃縮したオゾンを脱

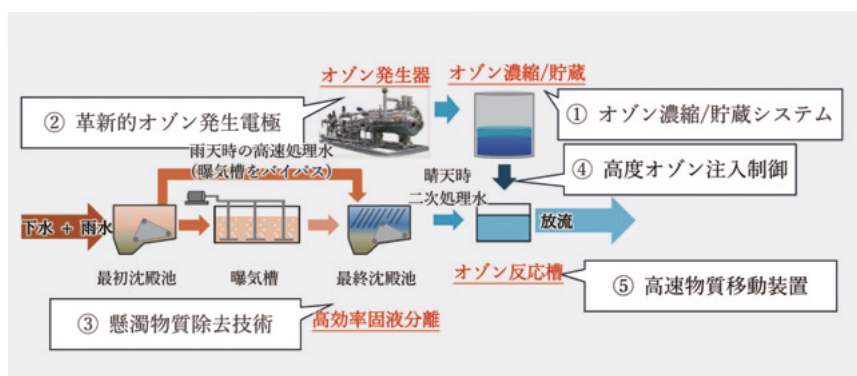
図3 重要管理点の明確化とリスク実態の解明



ウイルスや薬剤耐性菌、耐性遺伝子などの健康リスク因子の発生源となる「重要管理点」の候補として、下水処理場や病院、畜産施設などからの排出負荷を調査。雨天時も考慮して、水環境汚染実態と流出経路を明らかにする。

※ナノバブルはナノメートルオーダーの直径の微細気泡に対して使われることのある呼称で、直径1マイクロ(マイクロは100万分の1)メートル未満の気泡は国際標準化機構 (ISO)および日本産業規格 (JIS) ではウルトラファインバブルと定義されています。

図4 革新的オゾン水処理技術



①オゾン濃縮/貯蔵システムにより、オゾン発生器の小容量化と原料酸素ガスの費用低減 ②革新的オゾン発生電極により、製造/維持管理費用の低減 ③懸濁物質除去技術により、必要オゾン量の低減 ④高度オゾン注入制御により、オゾン注入量の最適化 ⑤高速物質移動装置により、反応器の小型化と処理時間の短縮を目指す。

着させて超高濃度オゾンガスの製造を目指す。また、水処理に利用可能な革新的オゾン水処理技術を開発し、従来技術の半分のコストとする目標を掲げている(図4)。

北海道大学のグループは、従来の浄水処理では除去できない1, 4-ジオキサンや有機フッ素化合物をマイクロバブルと真空紫外線を組み合わせる直接分解する技術を、浄水場に導入可能なコストになるよう開発中である。ナノバブルを利用して洗浄することで、処理水質を大幅に改善できる膜分離活性汚泥法の曝気風量を半減させる研究も実施中だ。これらの処理技術を開発し、実用的なコストで許容可能な健康リスクレベルに制御できる革新的な水処理技術を上下水道に組み込むように研究開発を進めている。

今回のプロジェクトのように社会実装を前提とした技術の研究開発では、費用対効果が非常に重要となる。いかに画期的な技術であっても、費用がかかりすぎれば、浄水場や下水処理場などに実装してもらえない。POC2では、ニュージェックが社会実装の検討を進め

ており、リスク削減による経済効果を定量化し、どこまでコストを上げて社会的意味があるかを示す社会実装のための研究も大切だ。

新型コロナウイルスの感染が拡大 下水疫学への注目高まる

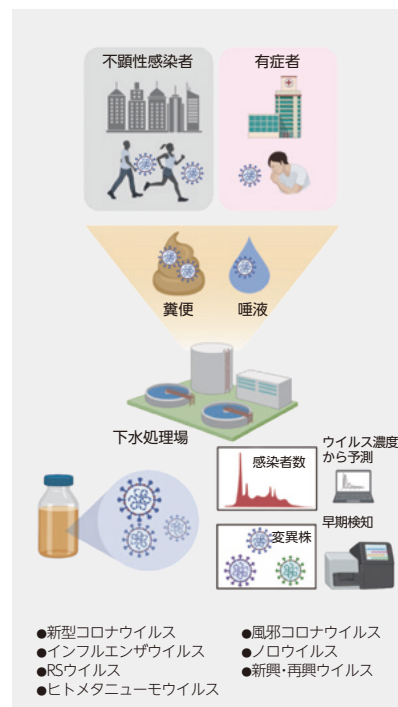
POC1には、水循環におけるリスク検出に加えて「下水疫学」の社会実装による感染症リスクに強い社会の構築という、もう1つのサブテーマがある。下水の中には、人が排出した細菌やウイルスなどの病原体も含まれており、下水を解析することで感染症の流行を予測できる。これが下水疫学調査だ。病原体などが下水処理場に集積するという下水道インフラの特性を活用しており、地域の感染動向を効率良く把握できるため、臨床検査を補完する疫学調査として注目されている(図5)。

今回の研究プロジェクトで、下水疫学の社会実装を担当するのは高知大学の井原賢教授と東京大学の北島正章特任教授だ。特に北島さんは、以前から下水関連の研究に携わっていて、それが下水疫学

の先駆的な研究につながった。その成果の1つとして、2004年頃に起こったコイの大量死の原因となったコイヘルペスウイルスの検出がある。このウイルスは、脂質と糖たんぱく質の被膜を持つ「エンベロープウイルス」の一種であり、北島さんの卒業研究は、多摩川の河川水におけるコイヘルペスウイルスのDNAの検出を通じたアウトブレイクの早期検知の可能性を示すものであった。

それまでの水中ウイルス研究分野の主な対象は、ノロウイルスなどの被膜を持たない「ノンエンベロープウイルス」であったが、北島さんは当時世界的にも珍しかった水中のエンベロープウイルスを研究の対象にした。この研究経験は、2020年に新型コロナウイルスを下水から検出する際に生きた。新

図5 下水疫学調査



感染症を発症した有症者だけでなく、感染したにもかかわらず症状を発症していない不顕性感染者の排泄物や分泌物に含まれる病原体も検査できるため、地域の感染者数を予測や変異株の侵入を早期に把握できる。

型コロナウイルスは、コイヘルペスウイルスと同様に、被膜を持つエンベロープウイルスのため、固形物にくっつきやすい傾向がある。そのため、固形物を取り除いた水ではなく、逆に固形物からウイルスのRNAを抽出することで検出感度が向上することをいち早く見いだした。

下水からの新型コロナウイルスの検出技術の開発は、日本では海外諸国に比べて感染者が相対的に少ないこともあってなかなか進まなかったが、2020年に塩野義製薬と共同研究を開始したことで、研究が一気に加速した。下水疫学のスペシャリストである北島さんと、生命科学や分子生物学に詳しい塩野義製薬が互いを補完し合った結果だ。一般的なウイルスの検査では、DNAを増幅させて極微量の核酸を検出するPCR検査が使われるが、北島さんらは、PCRの前に固形物から効率良くRNAを抽出するとともに前増幅により感度を上げる「EPISENS-S法」を開発した。

当時、北島さんは北海道大学に所属していたので、この下水中の新型コロナウイルスを高感度に検出する技術は早速、札幌市などの自治体の下水疫学調査に使われた。2021年に開催された東京オリンピック・パラリンピックでは、関係各所との交渉の結果、選手村での下水疫学調査が実現した。選手村の下水を毎日分析して新型コロナウイルスの有無を調べ、その結果は選手村の感染状況の判断材料の1つとして活用されるなど、感染対策に貢献した。「東京オリンピック・パラリンピックの時期は毎日が忙しく、競技を見た記憶がありません」と北島さんは笑

いながら話す。

全国での社会実装が目標 産官学連携や国際展開も

このプロジェクトでは、さまざまな地域での健康リスク実態を解明するとともに、重要管理点を含めた水循環系全体におけるリスク実態を迅速に把握するために、健康リスク評価システムの開発と自動化に取り組んでいる。また、水処理技術の改良により、排水中の健康リスク物質の低減と、水処理システムの高性能化・低コスト化にも取り組んでいる。一連の成果は、安全安心な水インフラが整備された水循環系の構築や、誰もが健全な水資源を享受できる未来社会の実現に貢献するだろう。

プロジェクトは2026年度に終了するが、北島さんの研究グループの次なる目標は、下水疫学調査を全国レベルで社会実装することだ。東京オリンピック・パラリンピックの後、実証調査データの蓄積や自治体への技術移転を進めており、産官学の連携の推進や、国際展開に関する研究も手がけている。北島さんは「下水疫学調査を実施して公衆衛生上の有益なデータを提供すること

で、さまざまな新しい価値を生み出せるものになります」と語る。

欧米では、新型コロナウイルス感染症パンデミックの初期から国レベルでの下水疫学調査の社会実装を推進。米国では疾病予防管理センターが主導して1700カ所以上、EU加盟国では合計1300カ所の下水処理場で下水疫学調査を実施している。実装面では後れを取った格好の日本だが「技術的には日本の方が最先端の研究開発を進めており、社会実装もそれにふさわしいものにしていきたいと思っています」と北島さんは自信を示す。

北島さんには、もう1つ目標がある。それは、このプロジェクトを若い世代に魅力的に感じてもらうものにあることだ。そのため、安全な水は持続可能な開発目標(SDGs)の目標6に位置付けられており、将来を見据えた重要な研究領域であることを学生にアピールしている。一見すると地味に思える研究テーマであっても、上下水道は私たちの生活を支える重要なインフラである。自分の研究が人々の健康を支えていくものになるとすれば、若い人にとって、やりがいのある分野なのではないだろうか。

(TEXT:本橋恵一、PHOTO:後藤利江)



これまで日本が守ってきた水の“安全神話”を壊してはいけませんが、安全だと思い込んでいるのも違います。今後、問題が起こってから行動するのではなく、何かが起こってしまう前にリスクを把握していく。これをしっかりと考えていかなくてはなりません。



郭 媛元

Guo Yuanyuan

東北大学 学際科学フロンティア研究所/医工学研究科 准教授
2021年より創発的研究支援事業研究代表者

特集 2

「多機能ファイバー」で脳機能解明に挑む 生体電気信号や神経化学物質を同時測定

脳の中では、神経細胞による電気信号と、神経伝達物質やイオンなどといった化学物質を介して、情報が伝達されている。脳機能を解明するためには、これらの信号を詳細に測定する必要がある。東北大学学際科学フロンティア研究所の郭媛元(グオ・ユアンユアン)准教授は、細い多機能ファイバー1本の中に測定装置を搭載して、さまざまな生体内外の信号を同時に測定することを目指している。郭さんが「バイオフィバトロニクス (Biofibertronics)」と呼ぶ研究分野の幅広い可能性に迫る。

創発的研究支援事業

若手研究者による既存の枠組みにとらわれない自由で挑戦的・融合的な多様な研究を、研究者が研究に専念できる環境を確保しつつ長期的に支援する。

電極などを搭載したファイヤ 金太郎飴と同様の製造方法

脳の神経細胞同士が電気信号で情報を伝えることで、私たちはさまざまな活動ができている。しかし、神経細胞間にはシナプスと呼ばれる隙間があるため、電気信号を一度ドーパミンやセロトニンなどの神経伝達物質に変換する。これらの物質が次の神経細胞の受容体に結合すると、イオンチャネルが開き、ナトリウムやカリウムなどのイオンの流入・流出が生じ、それによって次の神経細胞で新たな電気信号が発生し、情報を伝えていく。この電気信号と神経伝達物質やイオンなどの神経化学物質を同時に測定するのは困難だ。

東北大学の郭媛元准教授の手元にあるのは、一見すると細長いワイヤ。直径は1ミリメートルにも満たない。細いものになると、手で持つとだらりと垂れるほど柔らかく、まるで糸のような質感だ(図1)。しかし、この中には電極やセンサーなどが搭載されており、電気信号と神経化学物質の同時測定が可能になるという。

ファイバー断面を顕微鏡で見ると、半透明の素材の中に構造物を見ることができる。作り方について郭

図1 多機能ファイバー



ひものように細く柔らかいが、この中には電極やバイオセンサーなどを搭載でき、さまざまな信号を測定できる。

さんは「金太郎飴と同じです」と話す。金太郎飴は、色が違う飴を重ね、加熱しながら細長く伸ばして切っていく。多機能ファイバーも、ポリマーの中に電極やセンサーなどを組み込み、加熱しながら引き伸ばして作る(図2)。この技術は「熱延伸技術」といい、通信用の光ファイバーを作る際にも使われている。

細くしなやかな性質を追求 商業化意識した小型装置も

郭さんは、修士課程では東北大学で電子工学を専攻し、半導体と生体分子を組み合わせた半導体バイオセンサーの研究をしていた。研究を進める中で、実際に生体内の信号を

センサーで測定したいと考えるようになったという。脳の研究に興味があったこともあり、研究分野を電子工学から医工学に変更することを決意。東北大学医工学研究科の博士課程に進学した。

郭さんは「脳の機能を測定するには、生体に優しく柔らかいファイバーが必要であり、神経伝達物質やイオンなどの神経化学物質、電気信号など複数種類の脳活動を同時に測定することが重要と考えました」と振り返る。そして、両方の性質を満たすファイバーの研究を始め、体内にファイバーを入れるために細くしなやかな性質を追求した成果が、冒頭で紹介した糸のような多機能ファイバーだ。

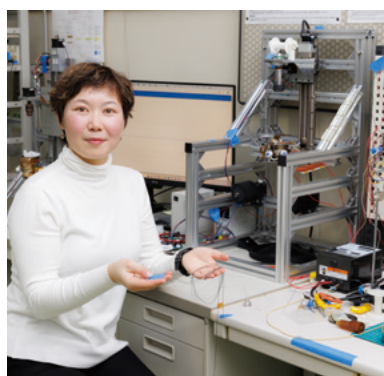
現在、研究室には多機能ファイバーを製造するための自作装置が3台あり、商業化を意識した小型の装置もある(図3)。生体内外の信号を測定するための電子工学をバイオエレクトロニクスというが、郭さんは、自身が命名した「バイオフィバトロニクス」にファイバーを用いて生体からの信号をキャッチしたいという思いを込めており、今後この研究分野を広めていきたいと考えている。

図2 多機能ファイバーの作り方



まず、ポリマーの中に電極やセンサーなどを埋め込んだ「プリフォーム」という成型物を作る。そして、加熱しながら引き延ばすことで、ファイバー状に細長く加工できる。

図3 多機能ファイバーの製造装置



写真右手にあるのが、熱延伸技術を使って多機能ファイバーを作るための装置。小さいため、スペースが限られた場所にも設置できる。

ファイバー1本から枝分かれ タコ足の「3次元プローブ」

郭さんは2021年からJSTの創発的研究支援事業で「脳機能の解明に向けた多機能三次元神経プローブの開発」に取り組んでいる。脳内の信号を測定する技術はすでにいくつもあるが、従来の方法で測定できるのは脳内の1カ所だけで、1種類の信号のみ。「デバイスも硬く、脳組織にダメージを与えてしまう可能性があります」と課題を挙げる。

一方で「多機能ファイバーは化学物質、電気信号のほか、光信号なども同時に測定できます」とその優位性を郭さんは話す。そして、脳内の複数の場所を同時に測定するためのアイデアが、1本のファイバーから何本ものファイバーが枝分かれする、タコ足のような「3次元プローブ」だ。プローブとは測定装置のことで、駆動装置をプローブの中に搭載すれば、それぞれの足を精密に動かすことができ、測定したい脳領域に正確に足を伸ばすことができる。

現在、このタコ足を作るために、

2つの方法を試しているところだという。1つは、ポリマーの中に電極やセンサーなどを埋め込んだプリフォームの中に接着剤のようなものを入れておき、熱延伸する時に接着剤を溶かし、多機能ファイバーをほどくようにする方法。そして、もう1つは、熱延伸する時にタコ足の軸に複数の穴を通して分岐させる方法だ。

特定物質の高感度測定に成功 脳神経疾患治療へ活用を期待

郭さんは3つの方向性を掲げ、多機能ファイバーの研究開発を進めている。1つ目は、生体内の電氣的・化学的な情報を測定したり、熱・光・電気・磁気などの刺激を与えて治療に役立てたりすることだ。多機能ファイバーを活用して、脳内の電気活動を長期的に計測する技術はすでに確立している。しかし、神経細胞から放出されているドーパミンやセロトニンのうち、1種類の神経伝達物質のみを正確に測定するのは難しい。従来法では、目印として細部を光らせる必要があり、手間がかかるだけでなく、蛍光によって生体機能が変わってしまう可能性もある。

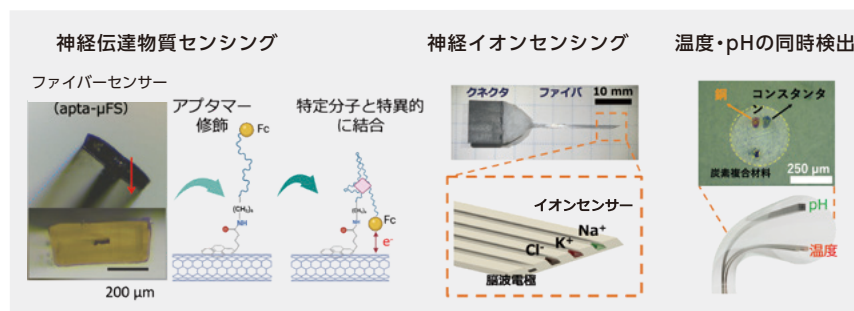
郭さんは、多機能ファイバーの電

極に「アプタマー」という特別な分子をつなげることで、ドーパミン以外の物質の影響を受けず、ドーパミンだけを高感度に測定することに成功した(図4)。ただ、電極にアプタマーをつなげることにかなり苦労したという。「素材が均一であるように見えても、表面に電気化学的なばらつきがあると効率は落ちます。実験条件を何度も変えて、安定して作れるようになるまで約1年半かかりました」と当時を振り返る。

他にも、脳内恒常性を維持するためのナトリウム・カリウム・塩化物のイオン濃度を1本の多機能ファイバーで測定することにも成功している。また局所的な温度変化と体内の化学物質の変化を同時に計測するファイバーも実現した。ファイバーの役割は、生体内の物質の測定にとどまらない。「ファイバーの中にマイクロコイルを作り、そこに電流を流すと磁場が発生します。その磁場が非侵襲的に脳や末梢神経を精密かつ局所的に刺激することができ、これにより、神経疾患の治療や脳機能の解明に新たな可能性を提供するかもしれません」と解説する。

一方で、将来的な脳神経疾患治療への実装に向けては、安全性評価と法規制への対応、臨床現場との連携

図4 神経伝達物質やイオンを測定可能な多様なファイバー



炭素電極を搭載したファイバーに、ドーパミンと結合するアプタマーを表面修飾することで、ドーパミンの選択的センシングを実現。さらに、イオン選択膜の固定によりナトリウム・カリウム・塩化物イオンの同時計測が可能。マイクロ熱電対による温度・pH同時計測機能も備える。

図5 汗の成分を測定できるファイバー



衣服には、ナトリウムイオンと尿酸を検出できる多機能ファイバーが織り込まれており、皮膚に触れたところの汗に含まれている成分を測定する。

体制の構築が不可欠だ。臨床現場との密接な連携とフィードバックを通じた技術のブラッシュアップや、使いやすさ・安全性・安定性を兼ね備えた多機能ファイバーの設計を行うことが、今後の社会実装において極めて重要になってくる。

Lab-in-Fiberの実現 生体試料分析技術へ

2つ目の方向性は、生体試料分析技術、いわゆるLab-in-Fiberとしての利用だ。熱延伸をする時に水平方向にねじることで、ファイバー内の空洞をらせん状に作ることに成功した。らせんの中を物質が通過すると遠心力が発生し、重さの違いによって物質を分離できる。また、異なる物質を混ぜるマイクロミキサーにもなると郭さんは考えており、研究を進めている。さらに、多機能ファイバー内にらせん電極とマイクロ流路を組み合わせることで、たんぱく質やDNAなどの試料を分離・分析するための、ファイバー型電気泳動デバイスの開発にも取り

組んでいる。

3つ目の方向性が、ウェアラブル分野への応用だ。多機能ファイバーをより細くした結果、繊維素材としても利用できるようになった。衣服にファイバーを織り込み、皮膚に触れるようにすることで、汗に含まれるナトリウムイオンと尿酸を、衣服を身につけている人が意識せずにさりげなく検出できる(図5)。これらの成分の値を把握することで、体がどれくらい健康かを知ることができるのだ。

今後、汗の成分だけでなく、体温、心拍、脳波なども同時に計測できれば、体調の管理や疾患予防といったヘルスケアへの活用も期待できる。脳内の情報をとらえたり刺激を与えたりする生体内利用や実験装置として利用する生体外利用、そして繊維素材として用いるウェアラブル応用など。多機能ファイバーの応用先は非常に多様だ。

スタートアップ起業を準備中 好奇心大切にさらなる展開を

郭さんは、自身が開発している多機能ファイバーを事業化するため、東北大学のビジネス・インキュベーション・プログラムの支援を受けながらスタートアップ企業の創業も目指している。「私はずっと研究だ

けをやってきて、ビジネスにあまり詳しくないので、事業開発メンバーとやりとりしながら準備を進めています。メンバーには感謝しています」と謙虚な姿勢を見せながらも、起業に向けて動き出している。

また、日頃から多機能ファイバーのさらなる展開を想像するため、好奇心を持つことも大切にしているという。「他の分野にも興味を持っています。いろいろなところに出かけています。それは学会に限りません」。例として郭さんは、吹きガラスを挙げた。「加熱しながら伸ばしていくという点では、吹きガラスも多機能ファイバーも同じです。ファイバーを吹きガラスのようなアート作品にできたら面白いと思いませんか」とユニークな発想を見せる。

研究を進める中で苦労すること多いが、実験が成功した時には感動があると、郭さんは話す。そして、それ以上に感動するのが学生の成長だ。「学生から積極的な意見が出た時は、一緒に研究していて良かったと実感します」。郭さんは「これからも多くの課題に直面すると思いますが、根気強くバイオフィバトロニクスを広めていきたいです」と意気込みも語る。医療などのさまざまな分野で、多機能ファイバーが活用される日が楽しみだ。

(TEXT: 島田祥輔、PHOTO: 島本絵梨佳)



自分のやりたい研究を諦めずに進めていくことが、成長につながります。失敗するからこそ成長できるので、失敗しても大丈夫です。学生の皆さんには失敗を恐れず挑戦してほしいです。

続々・ムーンショット特別インタビュー 2050年を描く

地球と調和し資源に制約されない世界の実現へ フュージョンエネルギーの社会実装に挑む

日本発の破壊的イノベーション創出を目指し、2020年からスタートしたムーンショット型研究開発事業。今回は、23年に新たに設定された目標10「2050年までに、フュージョンエネルギーの多面的な活用により、地球環境と調和し、資源制約から解放された活力ある社会を実現」を紹介する。70年余りにわたって世界中の研究者たちが挑戦してきたフュージョン(核融合)エネルギーの社会実装が目標だ。プログラムディレクターの東京大学大学院数理科学研究科の吉田善章特任教授(核融合科学研究所名誉教授)に、日本科学未来館科学コミュニケーター出沢良樹が聞いた。



DEZAWA YOSHIKI

出沢 良樹

日本科学未来館
科学コミュニケーター

吉田 善章

東京大学 大学院数理科学研究科 特任教授
核融合科学研究所 名誉教授

2023年よりムーンショット型研究開発事業目標10
プログラムディレクター



YOSHIDA ZENSHO

燃料は海水中に豊富な重水素 紛争低減や宇宙開発に寄与

出沢 「フュージョンエネルギー」とは、あまりなじみのない言葉ですが、どのようなものでしょうか。

吉田 この言葉は、欧米に合わせる形で2023年から政府で使用されています。みなさんには「核融合エネルギー」と言った方がなじみ深いかもしれません。核融合とは、水素の同位体などの軽い原子核が融合し、より重い原子核へと変化する反応で、この時大量のエネルギーが放出されます。太陽が燃えているのもこの核融合反応によるものです。

出沢 核融合にはどんな特徴があるのでしょうか。

吉田 1つは燃料供給の安定性です。核融合の燃料である重水素は

海水中に豊富に含まれる軽い元素であり、枯渇や産出地域の偏在による供給リスクがほとんどありません。もう1つはエネルギー供給の自立性です。核融合は燃料の採取から発電、電力の供給までをまとめたシステム内で完結できるため、燃料輸送や供給の途絶といった外部要因の影響を受けにくいのが特徴です。

出沢 フュージョンエネルギーが実用化されると、社会はどのように変化するのでしょうか。

吉田 現在の主要なエネルギー資源である化石燃料は特定地域に偏在し、その争奪が国際的な対立の要因となることもあります。しかし、フュージョンエネルギーは海水から燃料を得られるため、資源の偏在性を低減でき、紛争の原因を減らせます。また、エネルギー供給の安定

化により、新たな産業や技術の発展を後押しします。特に、宇宙開発や深海探査、そしてデジタル空間の開拓など、従来のエネルギー源では供給が困難だった分野において、フュージョンエネルギーは強力な推進力となるでしょう。

発電以外への応用も視野に 大規模装置の小型化が課題

出沢 目標10では2050年にどんな社会を目指しているのでしょうか。

吉田 このプロジェクトは、核融合炉の研究開発を加速させるとともに、核融合の多面的な応用を目指しています。従来は発電を主な目標としてきましたが、電力会社の送電網につなげず電力を自給自足する「オフグリッド」での利用や水素製造など、新たなエネルギー供

給システムも視野に入れています。
また、核融合反応で生じる粒子を医療や放射性廃棄物処理に活用するなど、エネルギー分野を超えた応用も検討しています。

出沢 計画を進める上で、課題はありますか。

吉田 核融合の実用化に向けた課題の1つが装置の小型化です。現在、高温に加熱したプラズマで核融合反応を起こすことで、投入したエネルギーよりも多くのエネルギーを取り出すことはほぼ間違いないとされていると考えられています。しかし、これは炉のサイズが十分に大きい場合を想定しています。経済的に採算を取るためには小型化が必要ですが、小型化するとプラズマが冷めやすくなり、高温を維持することが難しくなってしまう。

出沢 なるほど。どれほどの小型化が可能なのか、これから挑戦を進めていくわけですね。

吉田 国際熱核融合実験炉 (ITER) などの大規模実験炉は、建設に10年以上、数兆円の費用がかかるため、試作機の開発は慎重に進める必要があります。そこで核融合科学研究所の星健夫プロジェクトマネージャー (PM) のプロジェクトでは、シミュレーションとAI技術を活用し、設計や性能試験をデジタル空間で実現する「デジタルラボラトリー」の構築を目指しています。

出沢 つまり、シミュレーションを活用して、事前に可能な限りの検証を行うということでしょうか。

吉田 その通りです。さらに、九州大学の木須隆暢PMは、核融合炉の小型化や経済性の向上に向けて、

その鍵を握る技術の1つである、強磁場超伝導マグネットの小型化と高性能化を目指しています。また、核融合炉の運用には高エネルギー中性子の照射など、極めて過酷な環境に耐えうる材料が必要であるため、理化学研究所の奥野広樹PMは、加速器技術の破壊的イノベーションによって、長寿命かつ高耐久の材料開発・試験システムの開発を進めようとしています。

世界全体で共有すべき技術
学際的なアプローチがカギ

出沢 先生自身は2050年の核融合技術の発展をどのように見えていますか。

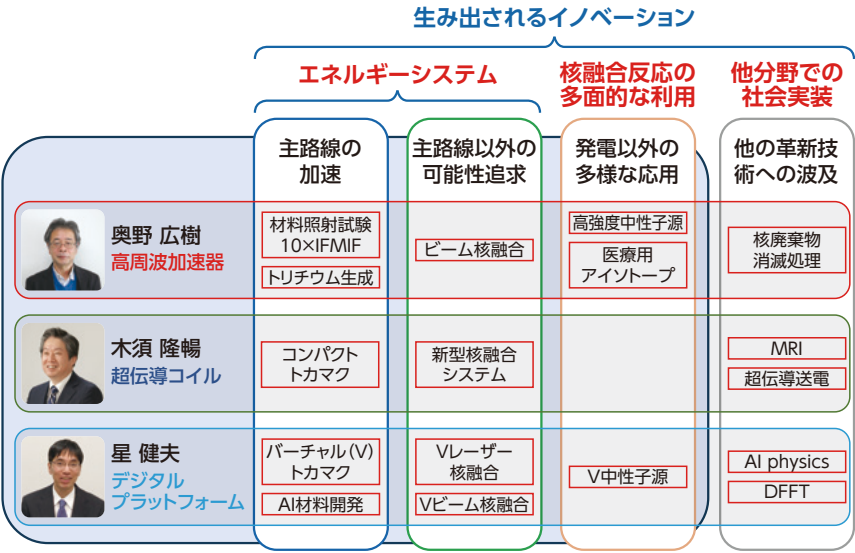
吉田 目標10は2030年半ばまでの研究開発期間を予定していますが、そこで得られた技術や知識が産業界に引き継がれることが重要だと思います。研究者だけでなく、産業界が実用化に向けて継続的に発展させていくことが必要です。この事業の成果が「ツール」となって産業界で活用され、フュージョンエネルギーの多様な応用が実現されている社会を期待しています。

出沢 日本だけでなく、世界でも核融合炉の開発が加速しています。その中で、日本はどのような役割を果たすべきでしょうか。

吉田 日本は核融合研究において国際的に高い評価を得ています。核融合技術は1つの国が独占するものではなく、世界全体で共有すべき技術です。そのため、日本は国際協調のリーダーシップをとり、各国との信頼関係を築きながら技術を実装していくことが求められます。

出沢 最後になりますが、先生は核融合研究のどんなところに魅力を感じていますか。

吉田 核融合は非常に複雑な物理現象で未解明な部分が多い技術です。そのため、異分野の研究者の参入が不可欠であり、学際的なアプローチがブレークスルーのカギになります。PMやアドバイザーボードを物理の諸分野、材料科学、データ科学などの幅広い分野から招いているのもそのためです。課題を自ら設定し、多様な分野の人たちと協力しながら、未知の領域へ挑戦できることが、この研究の魅力だと感じています。



霊長類の脳機能のデジタルツインを開発 精神・神経疾患の病態解明や個別化治療に期待

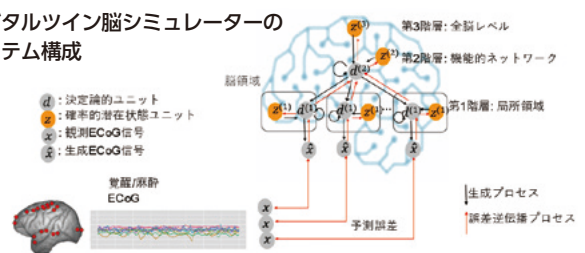
現実世界の物やプロセスをコンピューター上でモデル化する「デジタルツイン」の実用化が進んでいます。モデル化の対象となるのは、産業用機械や飛行機など多岐にわたり、最近ではヒトの臓器のデジタルツインが循環器の治療や手術前シミュレーションで利用されています。精神・神経疾患は個人差が大きいため、個別化治療への適用が期待されていますが、複雑な構造と機能を持つ脳での開発は困難とされていました。

国立精神・神経医療研究センターの高橋雄太室長らの研究チームは、霊長類であるマカクザルの脳活動をリアルタイムでシミュレーションし、覚醒状態を正確にモニタリングする「デジタルツイン脳シミュレーター」を開発しました。具体的には、脳の3つの階層における潜在的な脳活動をモデル化し、大脳皮質で生じる電気活動「皮質脳波 (ECoG)」信号を予測して生成。さらに、予測と観測の誤差に基づいて、潜在状態をリアルタイムに推測して予測を更新する「データ同化技術」により、その時点の

脳の状態を反映させた高精度なシミュレーションを可能にしました。

研究チームは、麻酔時の潜在状態変化を引き起こす薬物投与シミュレーションで、モデルの生成するECoG信号が麻酔時や覚醒時の特徴を十分に表現していることを確認。さらに、覚醒度の変化に重要な役割を果たしている脳の機能的ネットワークを発見しました。今後は、脳活動と感覚信号を統合的にモデル化し、精神・神経疾患における情報処理の変調を包括的に再現する研究を進めることで、精神・神経疾患における病態解明や個別化治療の開発が期待されます。(TEXT:中條将典)

デジタルツイン脳シミュレーターのシステム構成



3つの階層における潜在的な脳活動を表すモデルを作成し、モデルが生成したECoGとマカクザルで観測したECoGの誤差をモデルにリアルタイムにフィードバックすることで、麻酔時や覚醒時の高精度なシミュレーションを可能にした。

火星の表層レゴリス粒子が水を安定吸着 モデルで解明、長期的な水の保持に寄与した可能性

火星は次なる有人探査の目標として注目されており、探査時のエネルギー確保や生命維持の観点から、利用可能な火星表層の水分布を把握する必要があります。火星が、以前の海を持つ温暖で湿潤な環境から現在の寒冷で乾燥している環境に変遷したメカニズムを解明することは、生命が存在するための条件を探る上で非常に重要です。

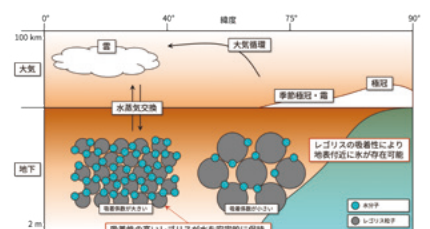
従来の研究では、火星の地下水分布を推定する際に、火星表面を覆う堆積層である「レゴリス」の物理特性が全球的に一樣であると仮定していました。しかし、実際には不均一である可能性が示唆されています。また、これまでの室内実験によりレゴリスの吸着係数が保水能力に大きく影響することもわかっていました。

今回、東北大学大学院理学研究科の黒田剛史助教らの研究チームは、レゴリスの吸着性などの物理特性が緯度によって不均一であることを考慮した「地中水拡散モデル」を開発し、火星全球気候モデルに実装しました。このモデルにより、地下2メートルまでの水分布を

推定し、吸着性の高いレゴリス粒子が豊富な吸着水を安定的に保持していることを明らかにしました。また、中・高緯度においては、同粒子が地表付近に氷を保持し、地中水蒸気の拡散速度を低下させる役割を果たすことも発見しました。この働きが、火星での長期的な水の保持に寄与した可能性があります。

今回の研究成果は、世界各国で進行中の火星探査プロジェクトにおいて、地下水マップの作成に大いに貢献することが期待されます。また、この地中水拡散モデルを火星の形成初期から現在に至るまでの時間的、地表からマントル付近に至るまでの空間的範囲に拡張することで、火星表面から失われた水の行方を解明することが見込まれます。(TEXT:JST広報課 中川実結)

火星表層の地中水拡散モデルおよび結果の概略図



中・低緯度ではレゴリスの吸着係数が大きく、水を地中に安定的に保持する。中・高緯度では吸着係数が小さいが、水はレゴリスに吸着して氷として地表付近に存在している可能性がある。

創発的研究支援事業 (FOREST)

研究成果

研究課題「オーファンGPCRのリガンド発見と新たながん治療の創生」

研究課題「植物ロボットの研究」

暗闇で自ら発光して泳ぐクラゲ型ロボット 生物由来の材料で高いエネルギー・低環境負荷を実現

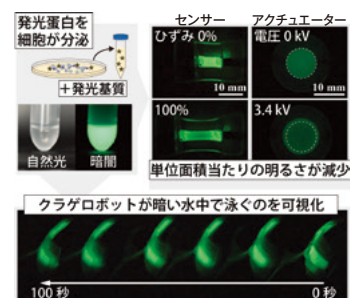
柔らかい材料で構成するソフトロボットは、柔軟性と環境適応性から、自然での調査や災害救助を目的とした用途が見込まれています。その中でも「発光」は、情報伝達や環境認識に重要な機能です。しかし、従来の電気発光や化学発光はバッテリーなどの外部電源が必要で、エネルギー効率や安全性、環境負荷の面で問題があり、無害で環境に優しい生物発光の工学分野での利用は限られていました。

電気通信大学大学院情報理工学研究科の新竹純准教授、杏林大学医学部の大石篤郎講師らの研究チームは、蛍や深海生物の発光の仕組みをソフトロボットへ導入することに成功しました。研究チームは、大阪大学が開発した生物発光たんぱくナノランタンを改良し、培養液中で哺乳類培養細胞に分泌させ、目で見えるほど強く光る生物発光液の大量生産に成功。この液体を素材にし、ソフトロボットに適用可能な発光電極を開発しました。この電極を静電力で動作するアクチュエーターとセン

サーに適用し、これらのデバイスの安定的な動作を確認しました。さらに、開発した駆動装置を発展させ、防水処理を施したクラゲ型ロボットも作製。クラゲのように発光しながら暗闇を遊泳することを実証しました。

今回の成果により、安全で環境に優しく、高エネルギー効率な生物発光を活用したソフトロボットの実現可能性が示されました。今後は、発光の持続性や強度の最適化により、視認性が高く実用的なロボットの実現が期待されます。なお、この研究成果はJSTの創発的研究支援事業が主催した「第一回融合の場」での出会いを通じて発展したものです。

(TEXT: JST広報課 中嶋彩乃)



右上のアクチュエーターに電圧をかけると、点線内が暗くなっており単位面積当たりの明るさが減少した。センサーにひずみをかけた場合も、同様の結果となった。これは目で見える「明るさ」を定量することで「ひずみの量」や「かかっている電圧」という別パラメーターの定量ができることを意味している。

創発的研究支援事業 (FOREST)

研究成果

研究課題「雌の生殖路における精子機能調節機構」

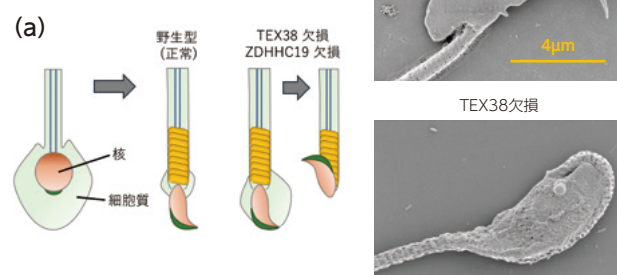
精子細胞の細胞質を除くたんぱく質を発見 男性不妊症の原因解明や新治療法、避妊薬開発に道

日本を含む先進諸国では6組に1組のカップルが不妊に悩んでおり、その半数は男性に起因すると言われています。精子の形成過程では、精子細胞内の細胞質を除去する必要があり、この過程が正常でないと精子の頭部が折れ曲がり、卵子への受精が不可能になります。しかし、細胞質の除去制御機構については、これまでほとんどわかっていませんでした。

大阪大学微生物病研究所の宮田治彦准教授らの研究グループは、精子形成において重要な役割を担うたんぱく質の「TEX38」と「ZDHHC19」が複合体を形成して安定化し、ZDHHC19が脂質修飾を行うことで、細胞質の除去を制御することを明らかにしました。また、TEX38/ZDHHC19たんぱく質複合体が脂質修飾するたんぱく質も発見。このプロセスが精子の正常な形成に不可欠であることを確認しました。さらに、この複合体が欠損した精子細胞では、細胞質を正しく除去できないことを見いだしました。これにより、精子の頭部が異常に折れ曲がり、受精能力を失うと考えられます。

精子形成の正常なプロセスが明らかになったことで、男性に起因する不妊症の原因解明や新しい治療法の実現に大きく貢献する可能性があります。また、今回発見したたんぱく質複合体の脂質修飾活性を特異的に阻害することで、男性用避妊薬の開発への道も開けました。男性不妊の診断や治療法に関する新たなアプローチが現れたことで、将来的には多くのカップルの不妊問題の解決や、効果的な避妊方法の提供に役立つことが望まれます。

(TEXT: JST広報課 中川実結)



精子形成における細胞質の除去 (a)。TEX38・ZDHHC19のいずれかが欠損すると細胞質を正しく除去できず、精子が折れ曲がる。(b)は完成した精子の電子顕微鏡観察像。TEX38欠損精子では、頭部が後方に180度折れ曲がっている。

大量のナースコール履歴を分析し発生前に予測 看護師の動きを効率的に、患者個人の特性考慮



まとまった休みが取れると、沖縄県の座間味島に海ガメやクジラ、島の人に会いに行きます。

Q1 看護に関心を持ったきっかけは？

A1 大好きだった祖父を看取った経験

看護に関心を持ったのは、高校時代に大好きだった祖父を看取った経験がきっかけでした。病床の祖父に「何かしてあげたいけれど、どうしてあげたら良いかわからない」というもどかしさを感じ、看護学を学ぶことで大切な人に寄り添うスキルを身に付けたいと思いました。

病院で働く看護師への想いを強くしたのは、大学在学中にアルバイトをしていた耳鼻科クリニックでの経験が大きかったです。そこで、聞こえにくかったり、鼻が詰まったりすることが、どれほど人の生活に影響を与えるかを実感し、私も看護師として誰かの生活を支援したいと強く感じました。

大学卒業後は、病院で働き充実した生活を送っていましたが「もっと患者さん一人一人に丁寧に寄り添いたいのに、忙しさの中でその時間が十分に取れない」ことに、歯がゆさを感じていました。そこで現在は、その課

題を解決するために、看護師がより力を発揮できる環境を構築するための研究に取り組んでいます。

福重 春菜
Fukushige Haruna

ワクワクしながら
知恵を絞る

Q2 現在取り組んでいる研究は？

A2 臨床で活用できるよう精度高く

ナースコールは、とても有効なコミュニケーションツールです。一方で、すぐに患者さんの所へ駆け付けるという特性上、じっくり患者さんと会話をする時間が短くなったり、看護師の忙しさの原因にもなったりします。そこで、より速やかに患者さんのベッドに駆け付けることができ、かつ看護師の動きが効率的になるような対応方法を探求しています。

JSTのACT-Xでは、ナースコール発生前の対策を講じるために、AIを用いて数百万件に及ぶコールの履歴データを分析し、発生予測に取り組ましました。同じ疾患でも患者さんによって使用傾向は大きく異なるので、個々の患者さんの特性を考慮できないかと考えています。分析の結果、一見ランダムに見えるナースコールの発生にも、いくつかのパターンが存在することが明らかになりました。これは、患者さんのベッド配置や看護師の人員配



研究説明会の写真です。一般の方にご協力いただき、入院時だけでなく日常生活におけるデータの研究もしています。

神戸大学 大学院保健学研究科 助教
大阪府出身。2021年神戸大学大学院保健学研究科博士後期課程修了。博士（保健学）。神戸市立医療センター中央市民病院、神戸市看護大学助教を経て、21年より現職。22年よりACT-X研究者。

置などを、今以上に工夫できる可能性があることを意味します。

今後は、実際に臨床現場で活用できるように、いつどのように発生するかを、高い精度で予測できるようにすることを目指しています。また、中には遠慮や我慢などからコールをなかなか押せない方もいます。そうした方の声なき訴えへの対応も、データの活用によりサポートできればと考えています。

Q3 研究者を目指す人にメッセージを

A3 飛躍的なアイデアと工夫を

これから研究者を目指す方には、研究により「わからなかったことが、わかるようになる喜び」を知ってほしいです。私自身も、データを読み解き、混沌とした看護現場の実態が可視化され、傾向やパターンが見えてきた時は、そういうことだったのか、それなら対策できるかもしれないと、とてもワクワクします。

少子高齢化が進む日本では、看護師が果たすべき役割は、今後さらに増えていきます。実際、コロナ禍で医療資源が不足した時には、知恵を絞って工夫をしなければ、現状を維持することさえ難しいのではないかとこの危機感を覚えました。この状況に対応していくには、従来の方法の延長線上だけでなく、枠にとらわれない飛躍的なアイデアや工夫が必要だと思います。これから看護学に飛び込んでくれる方々と共に、知恵を絞ることで、良い未来を開きたいです。

(TEXT: 畑邊康浩)

