

Tongali GAP ファンドシーズ集



STST2025

Selected Tech Seeds For Startup in Tongali

STST 2025

研究で、未来と社会を切り拓く

東海地区の大学発ベンチャー創出を目的として、
「Tokai Network for Global Leading Innovation(Tongali)」は、
科学技術振興機構の研究成果展開事業
<大学発新産業創出基金事業 スタートアップ・エコシステム共創プログラム> を活用して、
GAPファンドとインキュベーションプログラムを実施しています。
2024年度にこのプログラムに採択された
研究者の無限の可能性を秘めた技術シーズをご紹介します。

index

- | | | | | | |
|----|-------------------|----|------------------|----|-------------------|
| 02 | 名古屋大学
岡 智絵美 | 04 | 名古屋大学
加藤 竜司 | 06 | 名古屋大学
佐藤 綾人 |
| 08 | 名古屋大学
西口 浩司 | 10 | 名古屋大学
福澤 健二 | 12 | 名古屋工業大学
伊藤 洋介 |
| 14 | 名古屋工業大学
加藤 慎也 | 16 | 名古屋工業大学
岸 直希 | 18 | 名古屋工業大学
本田 光裕 |
| 20 | 名古屋工業大学
山口 慶太郎 | 22 | 岐阜大学
朝原 誠 | 24 | 静岡大学
橋本 岳 |
| 26 | 静岡理工科大学
黒瀬 隆 | 28 | 名古屋大学
川島 有沙 | 30 | 名古屋大学
前田 英次郎 |
| 32 | 名古屋大学
丸山 央峰 | 34 | 名古屋市立大学
山中 淳平 | 36 | 名城大学
榊田 創 |
| 38 | 浜松医科大学
佐野 真規 | 40 | 浜松医科大学
宗 修平 | 42 | 自然科学研究機構
知見 聡美 |
| 44 | 名古屋大学
西口 康二 | 46 | 名古屋市立大学
岩尾 岳洋 | 48 | 藤田医科大学
貝淵 弘三 |
| 50 | 岐阜大学
鈴木 浩大 | 52 | 岐阜薬科大学
中村 信介 | 54 | 静岡大学
與語 圭一郎 |
| 56 | 静岡県立大学
小郷 尚久 | | | | |

Chiemi Oka

名古屋大学
岡 智絵美

磁性粒子鎖含有多孔質樹脂からなる

5G, beyond 5G用電波吸収シート

研究チームメンバー近影
(左側)岡 智絵美



磁性粒子の特徴を活かして作る、電波の届け方を制御する技術。 素材の面白さに向き合い、突き詰めて、新たな機能を社会に届ける。

想像を超えるbeyond 5Gの世界。
通信は、届ける範囲を緻密に制御する時代に。

beyond5G、あるいは6Gという言葉聞いたことはありますか？スマートフォン通信で耳にする5Gの次の世代の通信技術で、2030年ごろの実用化を目標にしています。高速・低遅延を目指したこれまでの方向性とはまるで異なり、ネットワーク自体にAIを組み込んで、社会や人間の活動そのものを直接支える基盤にしていく、という構想で開発が進んでいます。

6Gで実現する社会をお題にすると壮大過ぎて話がそれしまうので、端的に車の完全自動運転で構想の一例をお伝えします。6Gの超高速・低遅延で、車同士や信号等の交通インフラがリアルタイムで情報をやり取りします。すると情報を受け取ったネットワークに組み込まれたAIが運転を直接支援。事故はもちろん渋滞まで防いでくれるのです。これはあくまでも一例。影響は医療からメタバース等、あらゆる分野に及びます。

これを実現するための技術は多岐にわたりますが、根幹の通信分野では「いかに電波をコントロールするか」がこれまで以上に重要になります。

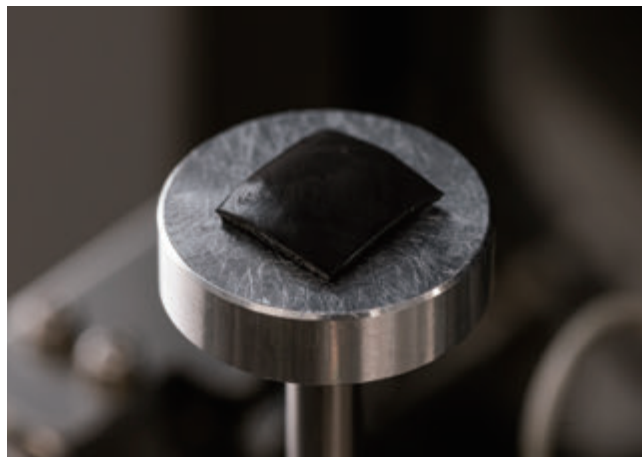
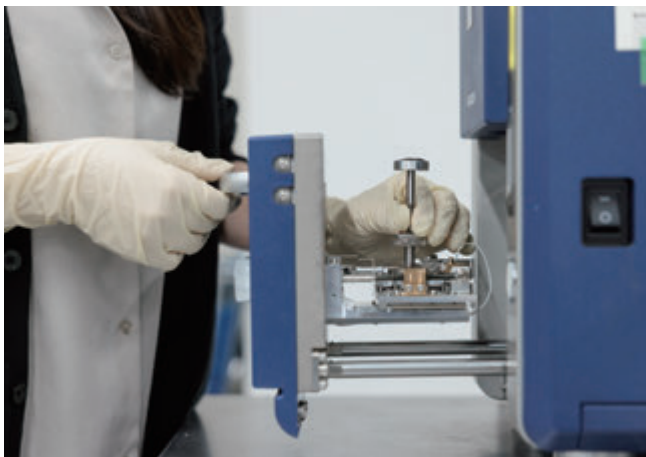
6Gで利用される電波の主な周波数帯は、5Gまでの周波数帯に加えてさらに高い帯域(高周波電波)を利用します。通信速度も一度に送れるデータ量も5Gとは比較にならないですが、従来の電波吸収材では電波をうまく防げません。高周波用に開発されたものはまだ製品が少なく、現在あるものは、材料が高価なので価格を下げられないという課題があります。

全く関係のない目的のために作り出した材料。
多孔質樹脂を作る工程が、思いもよらない伏線に。

さて、私はかつて全く別の分野で材料の開発に取り組んでいました。無電力で熱を輸送する「ループヒートパイプ*1」に使う多孔質体＝内部に微細な孔(あな)がたくさん空いている材料です。ループヒートパイプは工場からスマートフォンまで幅広いサイズに適用できる冷却技術ですが、小型・薄型のものを目指すにはレンコンのような一方の孔の空いた樹脂製の多孔質体が必要となります。当時、別の研究室でナノサイズの物質を研究していた私は、自分ならこれを作れることに気づき、開発に取り掛かりました。

私の研究対象は、磁性ナノ粒子。砂鉄よりも更に小さい粒子でサイズがnm(ナノメートル)の物質です。一般的な材料は金属酸化物である酸化鉄、いわゆる黒錆です。とても小さいので表面処理をして液体に入れると溶けるように分散します。また、磁力に反応するので、磁場をかけると磁力線に沿って粒子が整列します。磁石の上に敷いた紙に砂鉄を載せると、砂鉄が磁力線の形を描きますよね？これを液中で立体的にやるのです。

まず、紫外線を当てると固まる樹脂(固まる前は液状、固まるとプラスチックのようになる)の中に磁性ナノ粒子を均一に混ぜ込みます。この状態で磁場をかけて磁性ナノ粒子を鎖状に並べ、真上から紫外線を照射すると、粒子が並んだ鎖が残ったまま硬化します。樹脂が固まったら磁性ナノ粒子の鎖を取り除くと鎖を鋳型とした孔が残る、目的の多孔質樹脂ができるのです。



面白いから、作り方を少し変えてみた。
そして発見された、電波吸収材という可能性。

ループヒートパイプに必要な多孔質体は磁性ナノ粒子を取り去った後の物質ですが、私の興味は磁性ナノ粒子。実は、磁性ナノ粒子を取り除く前の段階で、孔の内壁に磁性ナノ粒子が張り付いている、磁性ナノ粒子鎖と一方向性細孔の両方が含まれるユニークな構造が得られます。この状態での応用を考えました。最初は放熱材にできるかもしれないと、この物質の可能性を探り始め、セミコン・ジャパン (SEMICON Japan) という半導体関連の国際展示会で発表したのです。すると「電波吸収材料として使用できないか?」という質問を、複数の参加者からもらいます。

ハッとしました。磁性ナノ粒子の鎖は高周波電波吸収に適しています。それが多孔質樹脂の孔の壁面に露出して存在している。細い孔の中に入り込んだ電波は繰り返し反射して磁性ナノ粒子に当たるので、電波吸収量の増加が見込めます。高周波を吸収すると磁性ナノ粒子はそのエネルギーを熱に変換します。つまり、磁性ナノ粒子は発熱します。私たちの材料の場合、磁性ナノ粒子は空気と接触しているので、放熱性も期待できる。

これは可能性がありそう。冒頭で述べた通り、高周波用の電波吸収材は、既存品が高価という課題があります。ところが私たちの材料は酸化鉄 (黒錆) と紫外線硬化樹脂を素材にしているので、圧倒的に安価です。

電波吸収は専門外。しかし私が見つけた材料が社会の役に立つかもしれない。ぜひ検証したい。セミコンでもらった意見には、6G 向けの高周波電波吸収という用途だけでなく、電子機器内で高周波が干渉する問題を解決したいという声もありました。つまり直近のニーズもある。専門外だけど、むしろ専門外だからこそ、自分にとってもチャレンジする価値を感じました。そう考えて、今回の GAP ファンドプログラムに応募しました。

素材に惚れこみ、面白さを追求して辿った
出会いと気づきが、新しい道を示してくれる。

現在は、実際に高周波電波をどの程度吸収できるかという特性の評価を進めています。孔のサイズや多孔質樹脂の厚みが、高周波電波の吸収にどう影響するか、厚さを0.2mmにまで薄くしても、電波吸収の性能は満足いくレベルを保てるか等々、製品化を想定した調査をしています。

市場の把握や顧客候補の選定等も並行して進めている最中です。いきなり6G 向けのプロダクトを目指すのか、まずは電子機器内での電波干渉の抑制に的を絞るか等々、事業としての検討も始めて間もない段階ですが、可能性を信じて進めていきたい。世界の電波吸収材料の市場は年平均約9.2%の成長率と言われ、2032年には2.8兆円まで拡大するという試算もあります。それだけの市場性がある、つまりそれだけ社会が必要としている技術なのです。やりがいもありますが、何より面白そうです。

振り返ってみると、私はずっと磁性ナノ粒子を研究対象にしてきました。学生の頃からその面白さに惚れこみ、大学院では医療分野への適用をテーマに研究に取り組みました。研究者としての人生の始まりです。それから今までの間、所属した研究室はそれぞれ異なる分野を研究対象にしてきましたが、どのタイミングでも磁性ナノ粒子に導かれたようなところがある気がします。ループヒートパイプの開発もそう。今回の事業化へのチャレンジもそう。自分が面白いと思うことをひたすら追求して、その結果が私を次のステージに導いてくれたように思うのです。

今は、電波の吸収という新しい扉を叩きかけを、磁性ナノ粒子が作ってくれたような気持ちです。自分の興味があることへの探求心を芯にして研究を深めていけば、例え新しい分野を目の前にしても飛び込んでいける。研究の対象だけでなく、私自身の可能性も広げてくれるのです。

*1ループヒートパイプについての取り組みは、GAP ファンドプログラムプロモーション冊子「STST2024:名古屋大学 渡邊 紀志氏」で紹介しています。
以下の URL にて閲覧可能です。https://tongali.net/x/stst/

Profile

名古屋大学
岡 智絵美

名古屋大学 大学院工学研究科マイクロ・ナノ機械理工学専攻 助教

東京工業大学大学院総合理工学研究科物質科学創造専攻博士課程修了。博士 (工学)。名古屋大学大学院工学研究科機械システム工学専攻研究員を経て、2018年から現職。磁性ナノ粒子および高分子の特性を活かした材料、プロセス、デバイス開発に従事。本件に関する参照情報:特願2023-094079. IEEE Magnetics Letters, 14, 6100305, DOI: 10.1109/LMAG.2023.3268851.

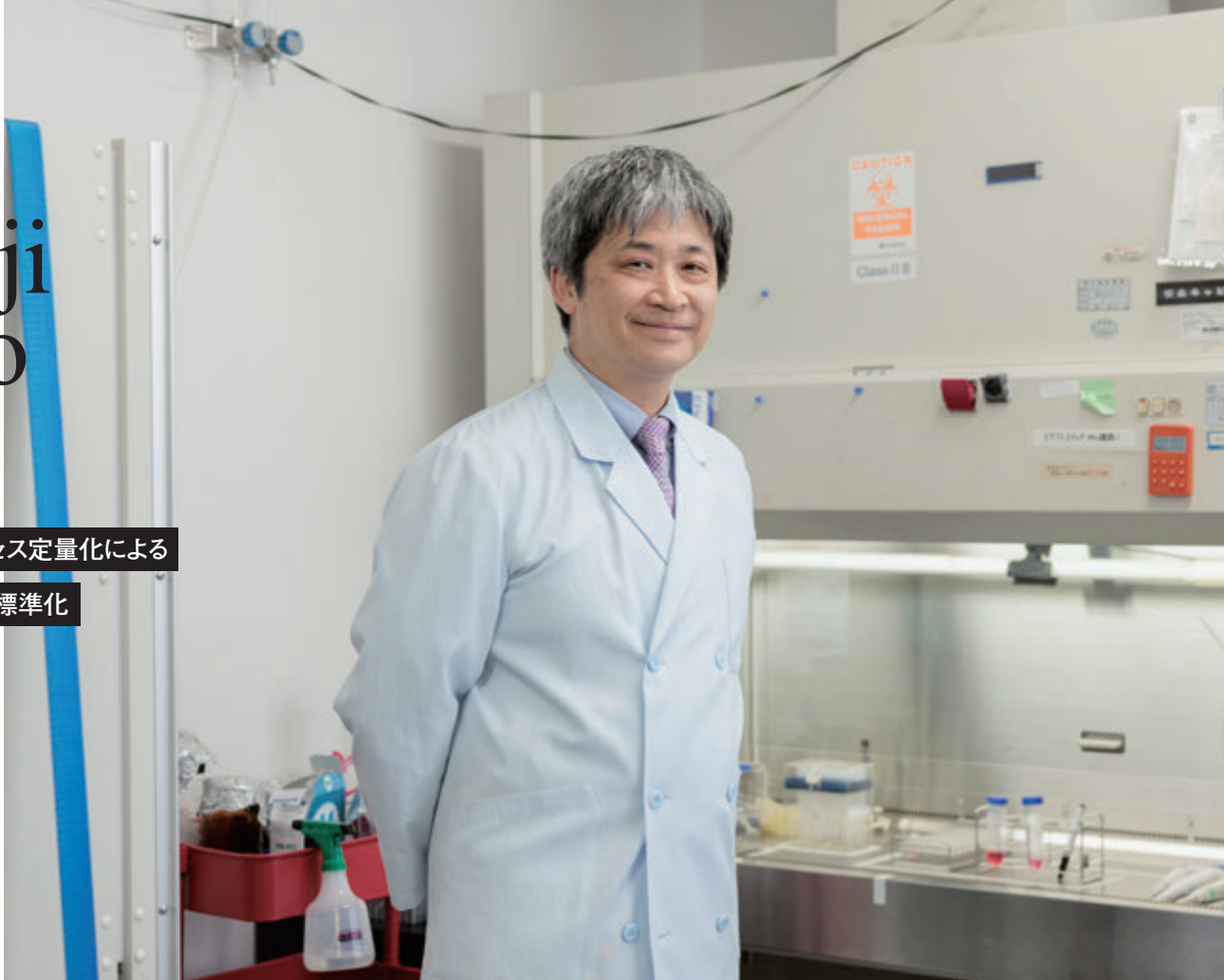
TEL : 052-789-5031 MAIL : oka.chiemi.z4@f.mail.nagoya-u.ac.jp HP : https://researchmap.jp/chiemi_oka

Ryuji Kato

名古屋大学
加藤 竜司

細胞培養プロセス定量化による

細胞製造DXと標準化



医療、創薬から培養肉まで、バイオ製品の開発を支える細胞培養。 熟練職人の手作りに頼る秘伝の技を、誰もが身に付けられる仕組みへ。

次世代の製造業といえる細胞活用の幅広さ。
そのすべてに必要な「細胞培養」が抱える課題。

私たちヒトの体は約37兆個の細胞が集まってできています。これらの細胞を体から取り出すとすぐに死んでしましますが、体の中と同じ環境を用意してあげれば外に出しても生き続けることができます。これを細胞培養と言います。細胞を育てる家にあたるのが培養容器、ごはんにあたるのが培地、それらを収めて最高の気候を保つ箱がインキュベーターです。

何のためにやるのか？具体的な分野の筆頭は、病気の治療。身近な例ではインフルエンザワクチンの製造でしょう。従来の鶏卵から、動物細胞を用いる製法へと切り替わっています。不妊治療の分野では、体外で受精卵を数日間育てるプロセスがこれにあたります。化粧品では「幹細胞コスメ」などが増えており、これも実装例のひとつです。

未来に視野を向けると、その幅は格段に広がります。病気やケガで傷ついた内臓や皮膚等を、自分の細胞を用いて体外で作り出して移植する再生医療や、動物ではなくヒトの細胞そのもので効果や安全性を確かめる創薬の試験では、細胞培養が必須。創薬試験と同様、食品や化粧品、農業など農業分野での開発でも必要とされます。さらに、CO₂削減と食料不足問題、生命倫理の問題を一気に解決する手段である培養肉は、その名前の通り細胞培養そのものが製造手段です。全部あわせた市場規模は天文学的。しかし、いくつかの壁があります。コスト・安全性・再現性の壁です。

ふるまいやさじ加減、微妙なコツ。
言葉にするのが難しい技術をどう型化するか？

一番に乗り越えるべき壁が再現性。緻密な作業手順と、作業一つひとつの理由と成果を明らかにして、その手順を実行すれば誰でも同じ結果を得られるようにする必要があります。因果が分かれば安全性を高めるポイントも明らか。大量生産できるようになるのでコストも下げられます。

しかし、これが難しい。培養する人の手腕に頼っているのが実情です。培養容器やインキュベーターの扱いは、楽器の調律のような細やかさが求められ、培地の成分は、秘伝のタレのように微妙な配合が必要です。伝統工芸の職人が熟練の技を盗むように、見様見真似で体得しているのです。

もちろん、無策でいるわけではありません。各国の学会や規制当局などが「これだけは守って」というガイドラインを公開しています。ただし具体的に「何mlの培地をどの角度で注ぐ」等の細かな動作までは指定できません。世界中の研究室が、それぞれが扱う細胞や目的に合わせて具体的な手順書を作っています。

それでも再現性が上げられない理由は、手順書に書ききれない微妙な差が結果を左右するから。施設の環境の差、作業の微妙な差、細胞そのものの個体差、そうした「微細な条件とプロセスの不一致」が積み重なると結果が変わってしまう。これが、細胞培養における再現性の壁の正体です。工程が繊細過ぎて、現場の経験値を紐解くポイントが多過ぎるのです。



AIに覚えさせ、技術錬磨のひな型を作る。
回せば回すほど精度が上がる仕組みを設計。

微細な条件とプロセスを紐解いて、習得を直接支援する仕組みが必要です。個人の「勘やコツ」に頼りがちな技術を客観的に評価し、上手い人と自分はどこが違うのか、どこを直せば良いかが分かる仕組み。繊細過ぎる工程を余すところなく細かく分解し、そこに潜んだ微妙な作業の差をすべて拾い上げ、陥りがちな落とし穴を見つけ、他と比較して違いをあぶりだす仕組み。こういうことが得意な技術があります。そう、AIです。

私は生物系を対象にした工学博士です。細胞を対象にAI・統計モデルを構築したり、物理・化学のプロセスを設計したりしてきました。そこで考えました。熟練者も初心者も等しく細胞培養の作業プロセスをAIに観察させて、熟練者のプロセスから「模範モデル」を、初心者のプロセスから「ありがちな失敗モデル」を創り出せば、前述の仕組みを構築できます。

動作を感知するセンサーを手に付けて、作業工程を録画する。録画データと動作のデータを組み合わせて作業プロセスを評価する。これを蓄積していけば、「模範モデル」と「ありがちな失敗モデル」を同時に組み上げることができます。参加者が多ければ多いほど精度が上がっていきます。

評価のためには同じ環境、同じ条件で作業できる必要があります。幸い、細胞培養の設備は、ISO(国際標準化機構)等の枠組みで装置の性能や操作手順の国際標準化が進められています。これを基にした簡易ツールキットで評価すればいい。技術の錬磨が目的なので、実際の設備のような無菌環境を用意する必要がありません。受検者は、そこで行った作業の動画をクラウドにアップすることで、自分の手順を評価・採点してもらえる。結果を振り返れば良いところと悪いところが明確になるので、どこを直せば良いかが分かり、重点的に練習することができるようになります。

培養技術を型化し、再生産していくことで
細胞培養に産業革命を起こしたい。

このデータ駆動型細胞培養の教育ツールを実現するため、動画解析AI技術と細胞培養ノウハウを組み合わせたデータベースを構築しています。ここが評価の心臓部。基盤はもうできており、テストを始めています。

実際に作業動画から培養手技をスコア化するテストを行ったところ、熟練者と差が生まれている工程や、作業者の癖を見つけることができています。手技だけでなく、作業場所の机上レイアウトの最適化も指摘でき、より汚染リスクの少ない作業に軌道修正する、という事例もあります。

こうした具体的な作業データが蓄積されていくことで、現場に埋もれていた知恵やコツを発掘できる。たくさんの人が使えば使うほど有効な知恵を貯めることができ、その知恵の宝庫が、受講者の癖や弱点を克服する教師になる。精度が上がれば、可否ではなくスコアで評価する技能認定制度のように仕立てることもできるでしょう。そのレベルを目指したい。

到達できれば、細胞培養技術は、メカニズムが紐解かれて安定稼働するテクノロジーになっているはず。細胞培養を手段として、自動的で高度な生産プラントを作ることもできる。新しい製造業へ発展していくのです。

高い再現性があれば、細胞培養は「偶然の科学」から「設計できる科学」になり、その先の「新しい産業」へと胸を進めることができます。再現性とは単に同じことができる力ではなく、未来を設計する力なのです。

工学×情報科学×細胞生物学を高い次元で融合させなければ、この仕組みを実現することは難しいでしょう。この点は私たちチームのキャリアと知見が活きている。事業としての強みです。同時に、今後はこうした高い専門性のクロスオーバーで課題解決に向かうことが、ますます必要になっていく。その気概をもって取り組んでいきたいと思っています。

Profile

名古屋大学
加藤 竜司

名古屋大学 大学院創薬科学研究科 准教授

名古屋大学工学研究科生物機能工学専攻博士後期課程修了(博士(工学))。2012年4月より現職(Principal Investigator)。2017年よりISO/TC276 WG4 Expert、2025年2月制定日本発細胞製造産業標準JIS Q 2101草案作成委員長。2022年 ものづくり日本大賞 経済産業大臣賞受賞。名古屋大学発ベンチャー株式会社 Quastella 創業者・取締役CSO。

TEL : 052-747-6835 MAIL : kato.ryuji.j7@f.mail.nagoya-u.ac.jp HP : https://www.ps.nagoya-u.ac.jp/lab_pages/CMB/

Ayato Sato

名古屋大学
佐藤 綾人

気孔制御技術を活用した植物鮮度管理の事業化

-Green Breath Management-



生物学×化学の分野融合がもたらした、植物の鮮度を引き延ばす技術。 使い方のシンプルさを最大限に生かして、食品ロスに挑む取り組み。

植物が生産されて、消費者の下に届くまでの事業系食品ロスは、農林水産省によると令和5年度推計で年間231万トンに達する。

農林水産省や農協等、様々な機関の公表を基にして推計すると、生産者から消費者への過程で生じる事業系食品ロスの総額は約3185億円、キロ当たり138円程度に相当します。事業系食品ロスが生じる場所は、生産者の収穫時、農協等の出荷団体での保管時、出荷後の流通時、小売りや外食等の保管および加工時に分けられます。出荷団体からの出荷前後で線引きすると、出荷前は145億円、出荷後は3040億円という数に切り分けられます。事業系食品ロスの大半は出荷後で発生している。そう見えますよね？

金額で見ると、確かに食品ロスの大半は流通の下流で起きているように見えます。しかし、量で見ると話は変わります。下流に行くほど単価が上がるため、金額では差が大きく見えるだけで、捨てられている「量」そのものは、出荷前後で大きくは変わらないという報告があるのです。ロスは下流だけの問題ではない。ここが、この話の出発点です。

業界関係者への聞き取りでも、この傾向は実感とずれていません。いったんこの状況を前提にして、それぞれの場所でどんな対策がされているか調査しました。テーマは鮮度管理です。方法は大きく4つ。1)温度管理＝保冷して成長を抑制。2)水分管理＝フィルムで包んで保湿。3)エチレンの発生抑制…植物が出す成長促進ガスを吸着材で吸収。4)酸素の低減＝フィルムで密閉して呼吸を抑制。様々な方法で鮮度を保つ工夫をしています。つまり鮮度管理に一定のコストがかかっています。ただしこれらのコストは前述の数字に含まれません。

植物の鮮度を保つメカニズム、気孔制御。
改めて実感する、気孔の凄み。

次は、植物の話をしましょう。葉の表面に気孔という小さな穴があります。役割は3つ。バイオマス増加のために二酸化炭素を取り込む「光合成」。酸素を吸って二酸化炭素を吐き出す「呼吸」。新しい水と養分を吸い上げ、体温調節や養分の吸収、輸送に関わる「蒸散」。気孔は生長と生存に重要な役割を果たしています。

葉の裏側、1mm四方におよそ150～350個の気孔があるとされています。気孔を通して、大気中の二酸化炭素の約1/6にあたる120ギガトンが、毎年光合成によって固定されています。ガスの通り道として非常に重要ですが、水の通り道でもある。ブラジルやインドネシアをはじめとした熱帯雨林の蒸散量は年間およそ32テラトン。大気中の水分量の約2倍です。つまり大気中に存在している水は、少なくとも年間2回、気孔を通過している計算になります。

気孔は、明るいところで開き、暗いところで閉じる。朝、開いて光合成を行い、光合成できない夜は閉じるという自然の摂理を反映しており、青色の光を当てると強制的に開くこともできます。一方、湿度にも反応し、高いと開き、低いと閉じる。条件によっては、高温でも開くことがあります。

そして、一部の化合物に反応して閉じることも分かってきました。気孔が閉じると光合成や呼吸は大きく抑えられます。活動レベルを落とし、いわば“休眠に近い状態”になります。もう一度開くと、再び活動を始めます。気孔は「鮮度を左右する口」と言うこともできるのです。



分野融合のキャッチボールが生み出した成果。
気孔を閉じると、目に見えて鮮度を延長できる。

では、技術の話をしましょう。私たちチームの本拠地、トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM)は「合成化学」「動植物生物学」「理論科学」を高度に融合させ、従来の枠組みを超えた新しい研究分野の創生に取り組んでいます。それぞれの研究室は、文字通り壁がガラス張りの建物で分野をミックスして配置され、垣根なくやり取りできる配慮がされています。私たちのチームも、植物生理学者である木下俊則教授と、合成化学者である私を中心に、学問分野、職背景を超えた多様なメンバーで研究を進めています。

私はITbMで化合物ライブラリーセンターを運営しています。「植物の生命現象を変調させる化合物の候補を探したい」という木下先生からの話がきっかけで協働が始まりました。候補の化合物を渡すと、実験結果を教えてくれる。その結果を受け取り、場合によっては新たな化合物を合成して使ってもらう。そんなやり取りを通して、「光による気孔開口を抑える一群の化合物(SCLs: Stomatal Closing Compounds)」を発見しました。

3万を超える化合物スクリーニング(膨大な数の化合物から目的のものを絞り込むこと)で見出された化合物「SCL」を用いて溶液を作ると、噴霧や浸漬(溶液に浸すこと)という簡単な操作で効果を発揮できます。花卉(バラ)の葉で試して様子を見ると、明かなしおれの抑制効果を確認できました。

科学者としては新規化合物を開発したいところ。しかし私はその選択肢を外しました。論文として成果を発表するなら新規化合物一択ですが、社会実装にフォーカスするなら既存化合物の方が遥かに早い。もし人体への安全性が確認済みの物質があれば、花卉類への応用だけでなく、食用の植物への利用も可能になるかもしれません。そして「SCL」の中には、ヒトでの安全性が承認済みのものがあったのです。

流通の途中で捨てられる食品を減らす。
気孔制御が支える新しい鮮度管理の考え方。

最後に、事業の話をしましょう。生産者と出荷団体を対象に、私たちの気孔制御技術を用いて、収穫後の植物の鮮度を引き延ばす事業に取り組むことにしました。噴霧や浸漬のみのシンプルな方法なので、既存の流通に組み込みやすいのが利点です。篤農家や農協、自治体等の感触は良く、自社でのテストを「ぜひやりたい」と言ってくれるところもあります。

ここを起点に、少しずつ物流全体へ染み出すように展開できればと考えています。既存技術より低コストで運用できるので、鮮度管理のための総コストを低減させることになるはず。事業の経済性を求めるなら最初からここを狙うべきという意見もあるでしょう。でもそれは何かが違う。

気孔制御技術を導入する意義は、単なる鮮度保持にとどまりません。流通で起きている食品ロスの構造そのものを見直す取り組みだという点にあります。収穫後から出荷初期にかけて、葉物野菜はしおれや劣化によって「まだ食べられるのに捨てられる」状態に陥りがちです。気孔制御は植物の水分蒸散や呼吸を穏やかにし、こうしたロスが起きる確率を下げます。これは流通という社会的プロセスの摩擦を減らす技術だと思うのです。

その結果、生産者や集出荷団体は出荷のタイミングや量を調整しやすくなり、価格暴落や規格外廃棄から身を守る余地が広がります。生産者の選択肢が増えて経営の安定化につながる。捨てられていたはずの作物が市場に届くことで、実質的に「作らずに供給量を増やす」ことにもなります。収穫後の植物生理に合わせた管理の最適化により、過剰になりがちな包装資材やコールドチェーンのあり方を変える可能性もあります。

さらに、判断の難しかった鮮度見極めの負担を減らし、人手不足の現場を支える点や、災害・物流混乱時の緩衝材となる点も重要です。気孔制御を、将来の食料不安に備える手段のひとつにしたい。言い過ぎでしょうか？でも私はそこに期待を込めます。社会の変革こそ、本当の狙いです。

Profile

名古屋大学
佐藤 綾人

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所

2005年、名古屋大学大学院理学研究科にて博士号取得。京都大学物質-細胞統合システム拠点、理化学研究所を経て、2013年、現所属に着任。2016年から現職。2024年、One Medicine 生命・創薬共創プラットフォーム(兼務)、2025年から愛知県がんセンター研究所先端イノベーション開発ユニット長(兼任)。分子が起こす現象のメカニズム解明研究を生物学、物理学の両面で目指す。

TEL : 052-747-6856 MAIL : ayato-sato@itbm.nagoya-u.ac.jp HP : <https://www.itbm.nagoya-u.ac.jp/en/>

Koji Nishiguchi

名古屋大学
西口 浩司

3D生成AIで実現する

バーチャル試験と構造設計自動化



「それらしい形」ではなく「物理的に正しい形」を設計するAI。 日本の製造業が蓄積した"現場データ"こそが、活用の鍵になる。

言葉や画像を作るAIと、設計図を引くAIの違い。
物理法則という「超えるべき壁」に挑む。

皆さんはもう生成AIを使っていますか?ほとんど話し言葉のような指示で、会話するように成果を得ることができます。AIに「何を、どのようにしてほしいか」を伝える指示や質問のことを「プロンプト」と言います。

AIが回答する答えの精度は、プロンプトの内容によって劇的に変わります。質の高いプロンプトを与えれば質の高い成果を得られます。プロンプトを重ねれば、AIはより詳しく深い回答を返すこともでき、効率的に調べ物をしたり、創作の手助けをしたりできるのです。

しかし、これを自動車や建築の「構造設計」にそのまま使えるかというと、答えは「No」。これらのチャットボットが作る表現は「重力」や「摩擦」等の物理法則を考えて描かれてはいないからです。いくらプロンプトを重ねてAIがそれらしい形を描いても、実際の衝突時の衝撃に耐えられるか、金型で成形できるかといった「工学的な正解」である保証はありません。

一方、実際の構造物には、物理法則が厳密に作用します。製造業の設計現場は、命に関わる安全性を担保するため、膨大な検証と修正を厳格に繰り返しています。エンジニアリングの世界にAIを適用するには、大量のデータを学習させるだけでなく、力学的な整合性を教え込む必要がある。見た目よりも重要な、物理法則の作用を反映した設計の自動化。私たちは、この「物理法則とAIの融合」という難題に取り組んでいます。

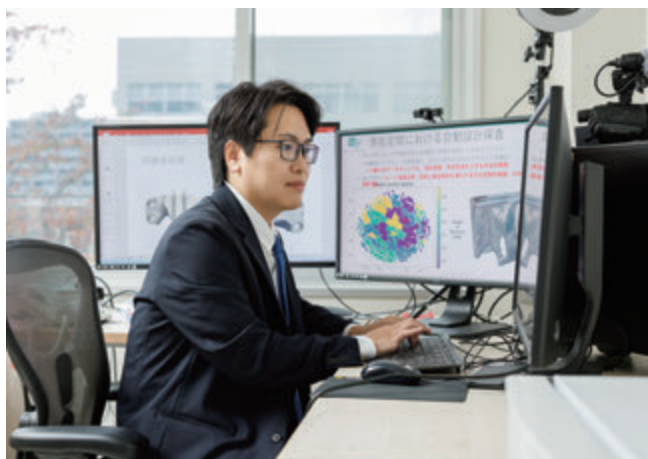
現場の声から見てきた3つの障壁。
衝突安全、製造制約、そして設計探索の追求。

生成AIに「求めたい設計に必要なアルゴリズム」と「必要十分なデータセット」を与えれば、かなり筋の良い設計ができるようになるはずですが。答えを求めて自動車メーカーの開発者チームと対話を重ねていくうちに、構造設計の自動化には大きく3つの壁があることが明確になりました。

1つ目は「非線形の大変形」という壁です。簡単に言うと、大きな力で構造物が壊れること。自動車では「衝突課題」と言い換えられます。クルマの衝突安全設計では、車体の人がいない部分だけがクシャッと潰れることで衝撃を吸収します。この複雑な壊れ方をシミュレーションするには、スーパーコンピュータを使っても数日かかる。AIに学習させるための「正解データ」を揃えること自体が、計算コストの面で非常に困難なのです。

2つ目は「製造可能性」の壁。理論的には最適な形でも、工場で量産できなければ絵に描いた餅です。製造には制約がある。「3Dプリンターなら作れるが、プレスや鋳造では作れない」という形では意味がないのです。

3つ目は「設計探索」の壁です。熟練の設計者は、先人の知恵と自身の経験を糧に優れた解を導き出しますが、「人間が思いつかない、さらに高性能な形状」がどこかに眠っている可能性は捨てきれません。この雲をつかむような未知の領域を、どう探索すれば理想の設計を見つけることができるか?私たちの試行錯誤の最果てにある設計を探索する課題です。



スーパーコンピュータ「富岳」で数万回の衝突を
仮想実験。現場の実データと融合し、設計を加速。

これらの課題に対し、私たちはスーパーコンピュータ「富岳」とAIを組み合わせたアプローチで解決を試みました。

まず、1つ目の「非線形の大変形」、すなわち「衝突課題」をクリアするため、AIで、自動車の部品を想定した数万通りの構造案を作りました。その一つひとつに対し、「富岳」を用いて大規模な衝突シミュレーションを実施。アルミニウム等の金属が激しく変形する物理挙動を忠実に計算し、その膨大な結果を再びAIにフィードバックして学習させることで、AIは「どういう形が衝撃に強いか」という構造の力学を学びます。この磨きこみで、かなり精度の高い設計ができるようになってきました。

次に、2つ目の製造制約ですが、これは机上の計算だけでは解決できません。製造現場で積み重ねられてきた膨大なデータと、それを評価してきた“経験者の目と意見”にこそ解があります。そこで、実際に部品を作っているメーカーから「量産ラインに乗せるための制約条件」や「現場の知見」を教えてもらいました。まさに日本の製造現場が蓄積してきた貴重なデータ。これをAIの評価関数に組み込むことにより、当初は「面白いが作れない」と言われた形状が、「これならすぐに試作できる」と言ってもらえる実用的な設計へと進化しました。現場のデータとAIが噛み合った瞬間です。

そして最後の設計探索においては、サンプルとなるデータは多い方がいい。しかし数万通りとはいきません。実際の製造現場にある、限られた数の価値あるデータを基に、探索を進められるようにする必要があります。そこで、少ないデータからでも効率的に性能向上を目指すよう、独自のアルゴリズムを開発しました。これにより、人間が思いつかないような高性能な形状を、AIが提案できるようになりつつあります。

設計の「自動化」は、設計を「民主化」する。
エンジニアを単純作業から解放し、創造性の高みへ。

開発中のシステムは、高さや幅、必要な衝撃吸収エネルギーといった要件をプロンプトとして入力するだけで、製造可能な形状を複数提案できます。形状としての成立性は99%以上、力学性能の要求も高精度で満たすレベルに達しています。この技術に関連する特許を複数出願していますが、それは我が国の基幹産業における技術の不当な流出を防ぎ、強固な国際競争力を維持・防衛するためです。

事業としては、基幹技術がほぼ完成し、ソフトウェアとしての使いやすさを磨きこむ段階です。力学性能値を入れるだけで力学性能を満たす設計案を提案できるのも、スーパーコンピュータ「富岳」を使って大量の3Dデータを合成できるのも、現在調べられる限りでは私たちだけです。

しかし、AIはあくまで道具です。最終的な決定を下すのは人間です。私たちの技術は、エンジニアを「形を作る」という時間のかかる作業から解放し、「どの設計思想を採用するか」という高度な意思決定に集中させるためのものです。人でなければできない仕事こそ、人がするべきです。

最初の実装フィールドとして自動車業界と連携していますが、私のバックグラウンドである土木・建設分野への応用も進めています。橋梁や建築物の設計においても、熟練者不足は深刻な課題です。しかし、災害の甚大化やインフラの寿命等、建設分野の問題は増加するばかりで、構造設計に求められる要求は日増しに高度になっています。ある程度をAIに担わせることができれば、現場のキャパシティをぐっと拡大できるはずです。

「構造設計の民主化」。これが私の願いです。AIという強力なパートナーを得ることで、誰もが高度な工学的裏付けを持ったモノづくりに参加できるようになる。そうすれば、日本の製造業や建設業は、より創造的で、より強い産業へと進化できると信じています。

Profile

名古屋大学
西口 浩司

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授

名古屋大学准教授、理化学研究所上級研究員(兼務)。広島大学で博士(工学)を取得後、日東電工を経て2016年より理研、2020年より名大に着任。専門はスーパーコンピューティングに基づく計算力学および生成AI。近年は「AI for Science」領域に注力し、その研究活動がNHK Worldで特集され、世界160の国と地域で放送された。

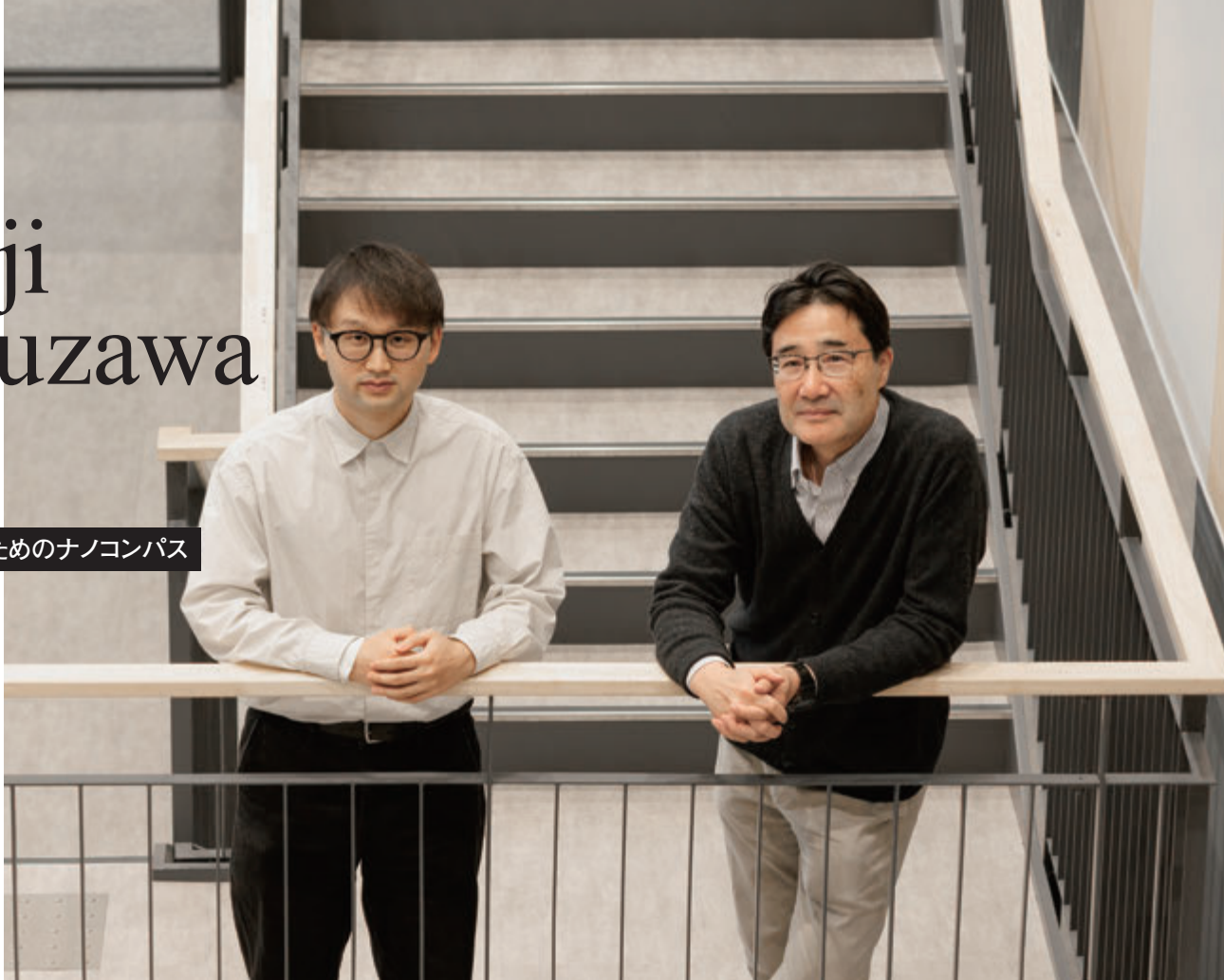
MAIL : nishiguchi.koji.r9@f.mail.nagoya-u.ac.jp HP : <https://x.com/EulerNishiguchi>

Kenji Fukuzawa

名古屋大学
福澤 健二

添加剤開発のためのナノコンパス

研究チームメンバー近影
(右側)福澤 健二
(左側)Song Yuxi



摩擦、摩耗、潤滑の開発現場は勘と経験が頼りのブラックボックス。 ナノレベルの微小世界を「見える」ようにすることで道を示す技術。

自動車に投入したエネルギーの約30%は摩擦で失われてしまう。潤滑は性能向上の重要因子。

車を運転する人なら、定期的にエンジンオイルを交換していると思います。しないと燃費が悪くなったりエンジンを傷めたりするから、ですね。エンジンオイルは「エンジンの血液」に例えられますが、実際5つくらいの役割があります。潤滑・冷却・密閉・洗浄・腐食防止です。

このうち「潤滑」に着目しましょう。金属でできているエンジン部品の表面に油の膜を張ることで、部品同士が直接接触するのを防ぎ、摩擦を減らす役割です。実はこの摩擦のせいで、エンジンが作り出した動力の約10～30%が失われているのです。エンジンの焼き付きを防ぐだけでなく、この無駄を最小限に抑えることも、エンジンオイルの重要な役割です。

油の膜(油膜)だけがエンジンを守っているわけではありません。通常時は、十分厚みのある油膜が部品同士を全く触れない状態に保ちますが、重い負荷や高温で押し出されて油膜が途切れてしまうことがあります。現在は粘性摩擦を下げるために、超低粘度の潤滑油が使われるようになってきており、この状況はより発生しやすくなっています。

その時に機能するのが、オイルに混ぜられた添加剤の膜。部品同士がガチッとぶつかる前に、表面に吸着した添加剤の膜でツルツルと滑ったり、膜が身代わりに削れたりしてダメージを防ぎます。その厚みは数ナノメートル(nm)。なんと分子1個～数個分の薄さで、目で見えることは不可能です。では、どうしてそれがあるこ

とが分かるのか?実際に実験を繰り返して、確かに摩擦が減ったという結果を基に、あるとみなしてきたのです。

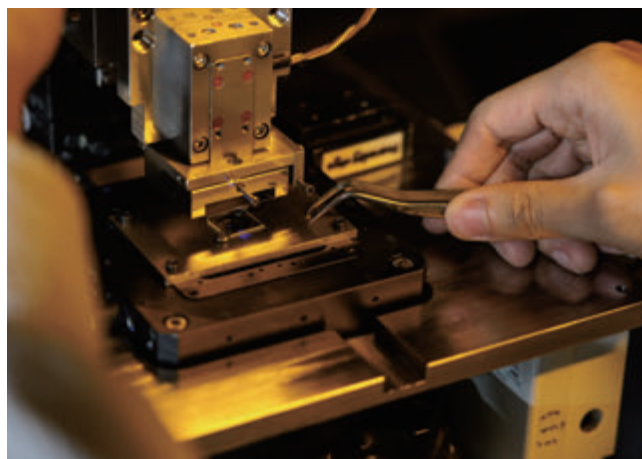
ベテラン研究員の勘と経験が頼りの開発現場。
理論上は可能なのに、測定できないもどかしさ。

このことはエンジンオイル、特に添加剤の開発に大きな影を落としてきました。実験室で添加剤の膜(添加剤吸着膜)を生成しても、それがそこにあることを直接確認できない。うまく膜ができているか、耐久性はどうか、知りたいことの多くが間接的にしか調べられません。そもそも直接測ることができないので、存在自体を理論的に推し量るしかないのです。

だから配合は、勘と経験頼りの地道な実験の繰り返しで最適な答えを探しているのです。まるで手掛かりのない大海をコンパスなしで航海する冒険者のように、時間と闘いながらひたすら試行錯誤を重ねているとか。

実はナノスケールの薄膜の厚みを測るツールは、かなり前からあります。エリブソメーターという測定器です。薄膜の表と裏で反射した光が干渉する様子は、薄膜の厚さや屈折率を細やかに反映しているので、これを手掛かりに膜の厚さや性質を解析する。このエリブソメトリーという手法の起源はなんと1890年頃。当時に、金属表面の数nmの酸化膜を検知できた。だから、薄膜の厚みを測ること自体は、既存技術で可能なのです。

しかし、エリブソメーターは斜めに覗き込むように測るので、ピントが合う範囲が



とても狭い。均一な膜ならそれで十分なのですが、添加剤吸着膜のようにムラがある面を隅々まで測るには、どこを見ても同じ条件になるよう真上から見下ろして一度にやらなければ実態が分からないのです。

見えないものを可視化する。二重の壁をクリアした エリブソメトリー光学系の新しい測定技術。

nmサイズの平面を実測する手段が必要です。結論から言うと、私たちは従来のエリブソメーターを改良した「垂直観測型エリブソメトリー顕微鏡」を開発し、ある1点の厚みしか得られなかった薄膜を面全体で観測できるようにしました。これで測定したい薄膜の膜厚をマップで表現することが可能になり、いわば「膜厚の地形図」を得ることができた。面情報、つまり画像で取得するので、変化の様子の動画観測も可能です。

さらにこの技術を応用して二面間のナノ隙間も想定できるようにしました。nmサイズの極小の隙間を面的・動的に測定できる独自の手法です。では実際に、添加剤吸着膜を測ってみよう。ところがそう簡単にはいかなかったのです。

測りたい添加剤の膜を、エンジンオイルの中で金属部品を模した試験面に吸着させる。そこまでは良いでしょう。知りたいのは、この状態で添加剤の膜が実際に吸着している様子です。だからエンジンオイルに浸った状態で測る必要があります。これが最後の壁になりました。何が起きたか。オイルに浸されると、添加剤吸着膜がまるで透明になってしまったのです。

きれいな水を水の中に入れたと見えなくなる。それと同じことです。エリブソメーターの測定は光を使います。ところがエンジンオイルと添加剤は光学特性がほとんど同じ。だから境目が消えてしまうのです。

さて、どうしたものか？ エリブソメトリーの原理がこういう形で仇となることは想定外でしたが、慌てることはありません。添加剤を吸着させた試験面にガラス板を圧着させると、オイルが逃げて添加剤吸着膜だけが間に残ります。こうすれば、膜を隙間として測ることができる。ようやく実測できました。しかも、圧着させたまま擦ることで、摩擦に対する抵抗力をナノオーダーで測定できる。つま

り強度試験もできてしまうのです。

摩擦・潤滑を“仮説”から“観測科学”へ変える。 測ることが見せてくれる世界は、計り知れない。

添加剤吸着膜を実測することで、「この分子構造だと摩擦力がこうだから、設計をこう変える」というように、根拠をもって次の選択肢を考えることができます。勘と経験に頼ってきた添加剤開発を、やっと科学的・論理的に進めることができます。開発スピードはぐっと上がるでしょう。

ご存じの通り、自動車は100年に一度の変革期。その中心はEV化です。新しい駆動系に対応した新しい潤滑剤が求められています。急激な変化に追いつくためにも、開発に時間をかけてはいられないのです。

さらに、まったく違う分野で、これとほとんど同じ課題を抱える業界が存在することを知りました。半導体です。

現代の半導体は、材料よりも構造と界面で性能が決まると言われています。様々な構造があるようですが、薄い膜状の回路を積み重ねるタイプの半導体は、凹凸を均すためにそれぞれの膜状回路をnm単位で研磨する。このための液膜も添加剤もnmサイズ。エンジンオイルの添加剤と全く同じ状況です。ここにも、大海に迷う冒険者がいた。そして半導体の開発スピードを考えると、この状況はもっと過酷。何とかしたいと思います。

エンジンオイルの添加物も、積層半導体の研磨用添加物も。理論と間接証拠でしか議論できなかったナノスケールの潤滑が、実際の膜厚の分布を実測して議論できるようになり、開発の手順も方法も根本的に進化させられる。私たちの視点・立場だから提案できたことだと思うのです。

測る技術の研究は、価値が分かり辛い分野だと思います。新素材の開発のように、目に見える成果物に直結しにくい。しかし、測ることは知ることであり、分かることへの第一歩。ナノスケールの世界を探索するすべての冒険者に、確かなコンパスを。挑むに足る、重要な使命だと思います。

Profile

名古屋大学
福澤 健二

名古屋大学 工学研究科 教授

名古屋大学工学研究科博士課程前期課程修了、博士(工学)。NTT研究所を経て、2000年名古屋大学工学研究科助教授。JSTさきがけ研究者(兼任)を経て、2007年から現職。マイクロ・ナノ計測工学、とくに自動車・半導体産業などを対象とした先端潤滑工学のためのナノ計測の研究に従事。本件に関する参考情報:特許第5035904号

TEL : 052-789-2747 MAIL : fukuzawa@nuem.nagoya-u.ac.jp HP : <https://www.fukuzawa-lab.org/>

Yosuke Ito

名古屋工業大学
伊藤 洋介

花粉Sweeper／

帯電で花粉を吸着する革新的網戸



花粉症の人と、そうでない人の間にある壁。 その認識の差より、花粉そのものを何とかしたい。

花粉症の人と、そうでない人の間にある壁。
その認識の差より、花粉そのものを何とかしたい。

私は花粉症です。春が来ると本当に辛い。この辛さは当事者でないと分かりづらいでしょう。仕方がないと思います。しかし新型コロナウイルスへの対策で窓開けが奨励されていた頃は、別の辛さに直面しました。

「感染対策」という正義の前で、私たちの声はかき消されてしまう。花粉の辛さだけでなく、無理解と無配慮の辛さまで突き付けられました。もちろん分かっています。誰も悪くない。無配慮を糾弾したいわけでもありません。ただ、辛いのです。辛さをなくしたい。本当にそれだけです。

実は、私と花粉症の戦いはコロナ禍よりずっと前から続いています。私は建築材料の開発者です。住環境を悪化させる花粉は、公私に渡る宿命の相手。不思議でもありました。常滑あたりではそれほど辛くないのに、電車に乗って名古屋に近づくほど辛くなる。名鉄新日鉄前駅あたりが境界でしょうか。都市部の方が、症状がきつい。花粉は樹木から飛び出ているのに。都市部の方が緑は少ないのに。原因のひとつが、地面の状態です。

土の上に落ちた花粉は、湿気に囚われて風が吹いても舞い上がりにくい。しかしコンクリートやアスファルトでは何度でも舞い上がる。再飛散と言います。他にもいくつか原因がありますが、私はこの再飛散を封じ込めたい。他の原因は化学的・生物学的なアプローチが必要ですが、再飛散は物理学的・工学的なアプローチができる。私の得意分野だからです。

飛び出した花粉を捕まえて放さない。
個人の努力ではなく、環境で対策できるように。

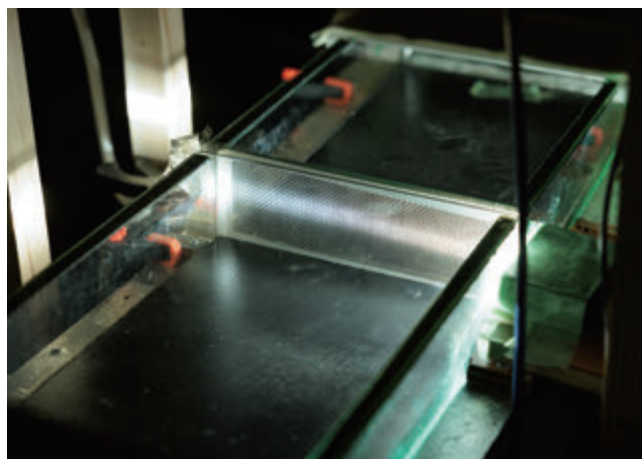
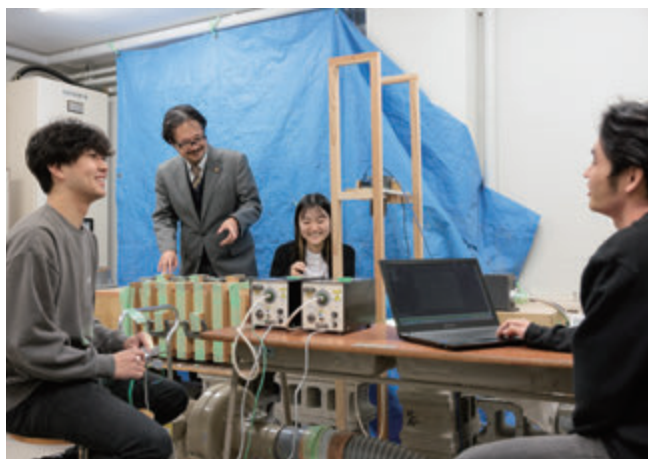
まず、コンクリートの表面で花粉を捕まえるというアプローチで研究を始めました。最初はコンクリートの表面を凸凹させて、花粉が舞い上がりにくい構造にすることを考えました。しかし効果は限定的です。

そんな時、ドラッグストアで花粉吸着防止スプレーを目にしました。ラベルをよく読むと、「顔の周りが帯電すると花粉を吸い寄せてしまう」「帯電を打ち消すことで花粉を寄り付かせない」と書いてあります。なるほど帯電か。静電気が紙吹雪を吸い寄せる、あの現象です。人が帯電すると花粉を吸い寄せる。逆に、人でないものに帯電させれば、そっちで花粉を吸着できる。そこでコンクリートを帯電させる方向に切り替えました。

しかし研究を進めながら、別の問題に気が付きました。開発できたとして、効果を発揮できるだろうか？ 発揮できる環境を整えられるだろうか？

例えば自宅の外壁や駐車場の床を帯電コンクリートにしても、おそらくほとんど効果を感じられない。花粉は隣近所、四方八方から襲ってきます。街全体がこれを使って、はじめて効果を感じられるもの。それは無理でしょう。花粉症の辛さは、わからない人にはわからないのですから。

花粉を捕まえる原理は悪くないけれど、コンクリートでは難しい。私は発想を切り替えることにしました。街の花粉を残らず封じ込めるより、花粉が建物に入っこれないようにする。その方が現実的です。



花粉症の人がいる。そうでない人が窓を開ける。
それなら、開いた窓で花粉をブロックすればいい。

何に照準を当てるか？結論から言うと、網戸です。換気のために窓を開けても、網戸は閉めておける。そもそも害虫の侵入はみんな防ぎたいから、むしろ積極的に閉めてくれます。網戸は花粉バリアの最適解です。

もちろん既存の網戸では無理。花粉の粒子(約0.03mm)よりも目の細かい網、そういう既存品もあるにはありますが、それはもう布です。風通しも悪くなるし、向こう側も見えない。それを網戸とは言えません。

網戸らしさを保ったまま、花粉を通れなくする。ここで帯電です。網戸を帯電させて花粉を吸着してしまえば、奴らはもう入ってこれない。

照準が定まったので、さっそく開発に取り掛かりました。帯電させるには金属が早いですが、幸いステンレス製の網戸が既に市販されています。帯電なので、+（プラス）と-（マイナス）のどちらに帯電させるかという課題があります。花粉は、自然状態では「-」に帯電していることが多いという傾向がありますが、常に一定ではなく、摩擦による静電気等、状況によって「+」「-」の両方に帯電する性質を持っています。

ならば2枚にするまで。「+」「-」それぞれに帯電させた網戸を二重にしても、風通しと見通しにはそれほど影響しません。一粒も通さないつもりで研究を重ね、最大99.2%の花粉カット率*（風速:0.1m/秒）を達成。装置そのものはシンプルですが、花粉サイズの微粒子が自然風の下で吸着される様子を測定するのが難問でした。最終的にハイスピードカメラで測定することで、文字通り効果が目に見えて確認できたのです。

網戸を二重の帯電フィルターにすれば、理論的には花粉に限らず帯電している微粒子（ハウスダスト、PM2.5、黄砂、カビの胞子等）なら大体吸着できるはず。特許出願4件、意匠出願2件で技術を保護しています。

建築材料を通じて、生活の質を向上させる。
そのために最適な手段を選ぶことにこだわりたい。

網戸に吸着した花粉は、掃除機で吸い込めば簡単に廃棄できます。吸着させるため電圧は高めですが、電流はごくわずかなので安全性も確保できる。一方、小さな虫にとっては意味がある電圧なので、網戸自体が虫よけ効果を発揮することも期待できます。花粉症でない人にとっても意味のある性能なので、当初の想定より裾野が広い商品にできそうです。

実際の製品は、手軽さにこだわりたい。新築建物にそのまま取り付けられる完成品だけでなく、既存の網戸に外から貼り付けるDIY型も検討しています。部品も既存品ばかりなので、生産設備をゼロから設計する必要はありません。原価も読めるし製造ラインも整えやすいのは利点です。

住宅が主流になりそうですが、普及させたいのはむしろ、学校やオフィスなどの公共空間。花粉症の人とそうでない人が一緒にいる場所の方が、導入の意味があると思うのです。私は花粉症です。だけど快適に過ごしたいし、花粉症でない人とも一緒に研究したい。様々な人が集う大学が仕事場なのです。「窓を開けても花粉が入らない環境」を作ること、花粉症に関係なく誰もが「新鮮な空気」という恩恵を受けられるようにすること。何もあきらめないで技術で解決できるなら、やらない理由はない。

この研究は、個人的な理由を発火点に始めたとも言えます。これだけでなく、面白そうだから等の個人的な興味を出発点にしている研究は少なくありません。一方、振り返って自分の研究を眺め直すと、ずっと「建築材料を通じて生活の質を向上させる」ことに取り組んできたとも思います。自分が必要だと面白そうと思うところが出発点でも、突き詰めてそれを繰り返していくと、その束には明らかな傾向がある。それが誰かの役に立つなら、研究を続ける価値があるのではないかと思います。

※疑似花粉として石松子を用いて得られた結果

Profile

名古屋工業大学
伊藤 洋介

名古屋工業大学 社会工学類 准教授

2005年に名古屋工業大学都市循環システム工学専攻修了後、株式会社LIXILにて建築材料の研究開発および知的財産権管理を行う。2015年より名古屋工業大学にて建築材料の研究・教育を行いながら2018年に博士号を取得。日本建築学会奨励賞、日本コンクリート学会賞（奨励賞）などを受賞し、現在に至る。花粉吸着、電波吸収、建築仕上、知財分析をテーマとする。博士（工学）、一級建築士、弁理士。

TEL : 052-735-5508 MAIL : ito.yosuke@nitech.ac.jp HP : <http://kenzai.web.nitech.ac.jp/index.html>

Shinya Kato

名古屋工業大学
加藤 慎也

産業廃棄物シリコンから創る

リチウムイオン電池の高性能負極材開発



炭素からシリコンへ。周期表を一周上がると、性能が一桁上がる。 世界の科学者が血眼で挑む「高性能電池」を異分野の視点で実現。

すでに、これナシでは成り立たない技術。
さらに、高性能化が求められ続ける技術。

電池と聞いていわゆる乾電池を想像する人は、今や少数派かもしれませんね。身近なものではスマートフォンやノートパソコン、大きなものでは電気自動車等、今やあらゆる科学技術が電池を使うことを前提にしています。それらすべてが電池の発展によって実現したと言ってもいい。もはや電池は、社会を支える重要なインフラと言ってもいい。そう思います。

電池の性能を上げるということは、容量を大きくすること。ほとんどその一本道で説明ができてしまうくらい、シンプルな方向性です。大容量化できれば、パワフルにもできるし長持ちにもできます。同じ性能なら小さくもできます。使うモノによっては革命的な進歩になるのです。

分かりやすい例はやっぱり電気自動車でしょう。吉野彰先生(2019年ノーベル化学賞を受賞)がリチウムイオン電池(LIB:Lithium-Ion Battery)を実用化。この技術は電池の小型・軽量化と高エネルギーを両立させ、重い電池を大量に積まなくても長い距離を走れる電気自動車の実現につながりました。ノーベル賞の受賞理由に「化石燃料(石油等)を使わない社会への道を開いた」とある通り、この発明は世界を変えたのです。

さらに大容量化が進めばまた世界が変わるかもしれません。例えばドローン。現在は重さの約半分が電池です。軽く＝小さくできれば飛行距離も積載量も段違いに。本格的に人も運べるようになるでしょう。

革命を起こしたと言えるリチウムイオン電池。
しかし、今の作り方では限界がある。

電池の大容量化は昔も今も重要な研究テーマ。LIBの将来を視野にして考えると、選択肢は2つです。発展するか、取って代わるるか。

先に後者の話をしましょう。次世代電池の代表格は全固体電池。LIBの弱点である発火リスクが極めて低く、性能はあらゆる側面で上回ります。しかし本当は取って代わられるという表現は適切ではありません。根本的な仕組み、「リチウムイオンが正極(+)と負極(-)の間を行ったり来たりすることで充電と放電を繰り返す」という原理は同じだからです。

前者の道筋、LIB発展のカギとなるのは負極の材料です。負極は、電子とリチウムイオンを同時に受け入れたり放出したりして電流を生み出す役割を持っています。リチウムを取り込める量が多ければ多いほど、容量が上がります。どれだけ取り込めるかは、負極の材料で決まるのです。

現在主流の材料は「黒鉛(グラファイト)」。炭素原子が蜂の巣のように並んだシートが層状に重なった構造をしています。この層と層のすき間にリチウムイオンが入り込みます。すき間に入るだけなので、リチウムが動いても黒鉛の構造にはほとんど影響がなく、体積の変化がわずか。そこが優秀なのですが、炭素原子6個に対してリチウム1個しか入れない。つまりそれが限界になってしまいます。ところがシリコンなら、原子1個に対してリチウム原子を最大で約4.4個も取り込むことができるのです。



理論的には、大幅に大容量化できる方法がある。
しかしそれは長年、実現できていなかった。

そんなに優秀なら、はじめからシリコンを使えばいいと思いませんか?その通り。かの吉野先生も、非常に早い段階で検討されたそうですが、寿命と安全性の観点で候補から外し、黒鉛を採用することで実用化したとか。なぜ、シリコンはダメだったのか?答えは、リチウムをたくさん取り込むがゆえにバンバンに膨らんで壊れてしまうから。その膨張率は実に400%。充電・放電のたびに4倍も膨らんでしまうとすぐに粉々です。

これを克服すべく世界中で挑戦が続きます。シリコンをナノレベルのワイヤーにして膨張を抑える技術や、ワイヤーではなくスポンジのような多孔質(ポーラス構造)にする技術も生まれます。シリコンのナノ構造化が実現のカギ。しかし、性能を保ちながら膨張を抑えるのが難しい。

さて、私は半導体、特に太陽電池の材料開発に重点を置いてきました。電池と呼ばれますが太陽電池は発電システム。充電電池とは別物です。ただ、シリコンナノ構造は太陽電池の材料としても検討されていました。

ある日、研究室の学生が太陽電池用にシリコン材料を作ったが失敗したと言います。確かに太陽電池としては使えないけれど、せっくなのでよく調べると、多孔質のナノワイヤー構造を持っています。驚きました。

従来のナノ構造は、微細なシリコンの粒子で構成されています。粒子なので、膨張すると四方八方に広がってしまいます。粒子同士の密着性も悪く、電気が流れにくくなる。外側に膨張せず、かつ電気が流れる構造が必要です。私たちが偶然見つけたのは、まさにその構造だったのです。

ワイヤーなので電流が流れやすい一方、表面が窪み(気孔)だらけ。膨張しても気孔が埋まるように膨らみを吸収し、外側へは膨らみません。早速これを負極にして実験してみると、期待通りの性能を発揮したのです。

半導体の研究を続けてきたから、見つけられた。
その発見が、自分の研究分野を押し広げてくれる。

これをきっかけに、本格的に研究に取り組みました。目標はシリコンの理論値限界である黒鉛の10倍の容量。研究を重ねて、100回の充放電で黒鉛の5倍の容量を達成、特許を2件申請して1件は登録完了しています。

私たちの技術は、シリコンナノワイヤーのもうひとつの課題、製造工程のコスト対策にもなっています。従来の方は真空・高温・高圧という高いエネルギーが必要ですが、私たちは室温で溶液を用いる方法で実現。比較すると圧倒的に低コストで済み、大量生産への道筋にできます。

これだけでも十分実用化できる。しかし私はさらに付加価値を与えたい。それは元来私が研究していた太陽電池の再利用です。太陽電池の材料は多結晶シリコン。もう一度太陽電池にしようすると、多結晶化に元々の製造費用を上回るコストが必要で、性能も劣化してしまう。他の再利用先も見つかっていません。ところがポーラスシリコンナノワイヤーなら多結晶化が必要なく、コストも現実的。LIBに再利用できるのです。

膨らまないシリコン負極でLIBの容量を10倍にする。でも全固体電池が実現したら終わり?という疑問もあるでしょう。しかし、全固体電池もLIBも原理は同じ。負極が高性能になれば容量が上がります。そして、負極が膨らまないことは、全固体電池にとっても必須条件なのです。まだ壁はありますが、全固体電池の性能も跳ね上げる可能性があるのです。

太陽電池の研究で見つけた現象から、充電電池の研究へと扉が開きました。半導体研究の視点で充電電池分野を眺めると、様々な課題に違う角度から挑戦できる気がします。一方、ポーラスシリコンナノワイヤーの性質をそのまま長所にできる分野もある。例えば6Gという次世代の通信技術。実はもう着手しています。これだから研究は面白い。やめられません。

Profile

名古屋工業大学
加藤 慎也

名古屋工業大学 工学研究科 准教授

東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。2013年より国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)革新的エネルギー研究開発拠点形成事業において研究員として従事。2016年に名古屋工業大学に助教として着任し、2024年より同大学准教授。2025年より名古屋大学客員准教授を兼任。

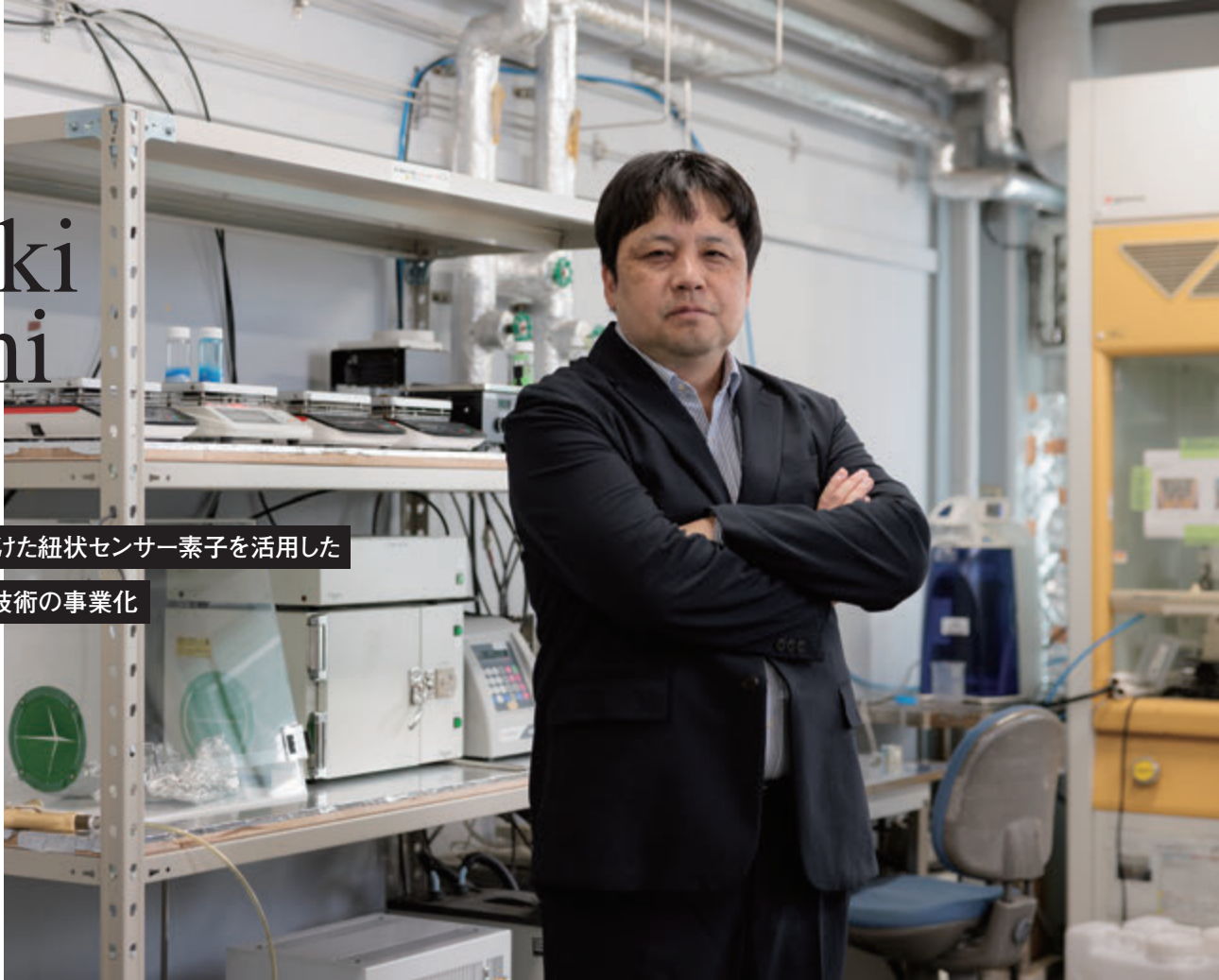
TEL : 052-735-7966 MAIL : kato.shinya@nitech.ac.jp HP : <https://shinyakatalab.web.nitech.ac.jp/>

Naoki Kishi

名古屋工業大学
岸 直希

安全・防災に向けた紐状センサー素子を活用した

常態乖離検知技術の事業化



通常あるべき姿からの差を測る、という考え方に基づいて、 これまでなかった、大きな物体の中身の温度を網羅的に測る技術。

例えば、事故・災害・故障は、正常な状態から
何かが逸脱することが発端になっている。

正常な状態＝常態からの逸脱を「常態乖離（じょうたいかいり）」と言います。例えば火災は、温度が常態乖離しているところが火元、と言うことができます。調理場のコンロの上は高温でも常態と言えますが、炎が飛んで天井が燃え始めると、天井では温度が常態乖離しています。

「異常」と何が違うの？という疑問はあるでしょう。本質的には同じです。「常態乖離」は、「異常」という言葉を分解した表現と言えます。しかし、「異常」と言うだけでは、何に対して異常なのか曖昧な場合があります。「常態乖離」と表現すると、「本来あるべき姿（常態）」が定義されており、そこを起点として測っているという前提が明確になります。

また、「異常」は「常態乖離」の結果、という見方もできます。「異常」は「正常からどれくらい離れているか」という距離にボーダーラインを設けて、越えたら異常、越えなければ正常、と判断する表現ですが、「常態乖離」は正常から離れていく様子や距離感も含みます。自然現象も人間活動も、実際には連続的な変化が起きていることを踏まえると、「常態乖離」はより細やかに状態を観測している響きがあるでしょう。

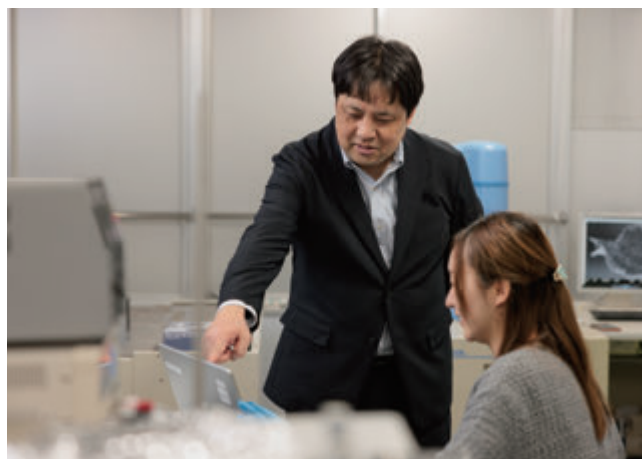
防災という観点で捉えると「常態乖離をいち早く検知することで、事故・災害・故障を防ぐ」と言うことができます。長い前置きになりましたが、この考え方が、防災と私の研究をつなぐ接点です。

例えば、山積みの工業原料の中の温度を直接測る。
意外なことに、その実用的な方法がなかった。

鉱物やエネルギー資源等々、工業用原料は大量かつ安価に保管する必要があります。雨風の影響を受けにくいものは「野積み（屋外での集積保管）」されているものが多くあります。中には可燃性のものもあり、消防法で積み上げる山の高さや山の面積、山同士の間隔などが規制されています。

それでも、温度が上がると自然に発火して燃えることがあります。これを監視するため、現状はサーモグラフィカメラで表面の温度を測っています。しかし、多くの場合、温度が上がるのは山の内部から。表面温度で異常を検知した時には、もう火災が発生していることも少なくありません。意外なことに、高く堆積された原料の中の温度を網羅的に測る技術は、実用的なものがない。異常検知はできても常態乖離検知はできていないということ。温度上昇の発端と過程を捉えられないので、予防が難しいのです。

実用的なものがないと表現したのは、技術自体はあるから。熱電対というセンサーを原料の山に差し込むことで、先端部分の温度を直接測ることができます。しかし測れるのは先端だけ。どこで発生するかわからない温度上昇を、原料の山にでたらめに熱電対を差し込んで測る？非効率なことが分かるでしょう。だから多くの現場でサーモグラフィカメラを使っているのです。AIを搭載して判定精度を上げているものもある。しかしあくまでも異常検知に留まり、常態乖離を直接測れてはいないのです。



ゼーベック効果を用いた、軽くて柔らかい発電体。
これを紐状のセンサーとして、新たに設計・開発。

同時に引っかかるものがありました。熱電対は「ゼーベック効果という温度差があると電圧が生まれる現象」を利用したセンサー。温度の差を電圧として測るのです。測りたい場所にあてる接点と計測器側の温度差があればよいのが特徴です。

一方、私は熱電発電の研究をしています。前述したゼーベック効果を発電に利用する研究です。現状では、大きな電力を得ることは難しいのですが、微弱な電力でもいい用途なら利用価値があります。例えば、人体に装着してバイオデータを測るというように。私はこの仕組みを軽くて柔らかい材料で実現できないか、等の研究をしているのです。

より発電効果の高い材料の研究と並行して、実際に社会に役立てる手法も模索していました。そこでふと気づいたのです。発電を目的にするには未だ途上かもしれないけれど、センサーとしてならいけるかもしれない。発電が出発点なので、常に作動させ続ける前提の材料でもあります。

ゼーベック効果は防災との相性がいい。温度変化を素早く察知したいという条件にぴったりです。これを、私が開発中の軽くて柔らかい材料を応用して、紐状のセンサーにすれば、点ではなく線での温度分布を常時計測でき、原料の山の中へ、蛇がとぐろを巻くように埋め込むことができます。原料の山の内部で温度が変わる様子が、時間を追って手に取るように分かるのです。

早速試作してみたところ、10メートルくらいの長さなら問題なく機能します。そして改めて既存の温度測定技術を眺め直すと、私たちのセンサーは空間内部を測れて、かつ測定範囲が広いという他にないセンサーであることに気が付きました。

人がアクセスしにくい、見にくいところの温度を
解析する技術へと発展させて、更なる可能性を。

試作は10メートルですが、原理的には長さが長くなっても作動するはず。計測装置の性能にも依りますが、長いものを使えば土木・建築分野にも適用できます。材料と計測装置の限界があるので、現状、温度の上限は200℃程度、下限は未測定ですが、氷点下数℃くらいなら問題ありません。

対象内部の温度を常時計測して、常態乖離の発生を直接検知する技術。特徴は軽くて柔軟で長い紐状ということ。センサーおよび計測技術についての特許出願を完了したところ。産業界へのヒアリングも開始しており、確かにこれまで測れなかったところが測れる、と好感触です。

そして、今はAIを活用できる時代。これまで測れなかった場所の温度変化を時系列で取得できると、これを解析することで新たな発見があるかもしれません。そこまでは視野に入りたい。防災に限らず、食品等の品質管理にも役立てられるかもしれません。防災を、予防の方向へ視野を広げると、長期的なデータ取得から対象の健康診断的な用途も考えられます。私の想像を超えた、思いもよらないところに利用方法があるのは間違いありません。「こういうものを測れないか?」という疑問があれば、ぜひ相談して欲しい。それがこの技術はもちろん、私の研究の可能性も広げてくれるからです。

この通り、この技術は最初から狙って実現したわけではありません。熱電発電の可能性を広げる研究から枝分かれして生まれたもの。視点を変えて取り組むことで、私にとっても新たな分野に挑戦する機会になりました。それを偶然と捉えることもできますが、意図した成果が得られなくてもそれを失敗と捉えず、視野を広げて可能性を探った故の必然だと、私は思うのです。実験結果の背後にある自然の摂理は、私たちの想像など遥かに超えてくる。想定外の結果に、胸を躍らせる研究者でありたいと思います。

Profile

名古屋工業大学
岸 直希

名古屋工業大学 大学院工学研究科工学専攻電気電子プログラム 准教授

2007年名古屋大学大学院理学研究科物質物理学専攻博士後期課程修了。博士(理学)。2007年産業技術総合研究所ナノカーボン研究センター産総研特別研究員、2008年名古屋工業大学大学院工学研究科未来材料創成工学専攻助教を経て2016年から現職。軽量・柔軟な電気電子材料とその応用についての研究に従事。本件に関する参考情報:PCT/JP2025/ 37400センサ及び検知方法 岸直希(国立大学法人名古屋工業大学)

TEL : 052-735-5147 MAIL : kishi.naoki@nitech.ac.jp

HP : [研究室]<http://s-lab.web.nitech.ac.jp/> [本技術]<https://technofair.web.nitech.ac.jp/seeds/seeds-741/>

Mitsuhiro Honda

名古屋工業大学
本田 光裕

光触媒繊維で快適な

空気環境をつくる



窓を開けても除ききれない、病室にはびこるしつこい「におい」。
光の力で静かに効き続ける繊維を開発し、長く確実に取り除く。

174の医療機関のうち、実に81%の看護師長が病棟の「におい」を「問題である」と答えている。

たくさんの方が治療に臨む病棟は、常にきれいに保つために細心の注意が払われています。もちろん空気も。しかしそれでも防ぎきれない「におい(臭い)」は、患者だけでなく医療従事者にとっても悩みの種です。

入院患者の多くは安静に横になっている必要があり、毎日入浴できる人ばかりではありません。排泄時もベッドから離れられない人もおり、体臭、口臭、尿臭、便臭など様々な臭いが常に発生するのは病院の宿命。

可能な場合は窓を開けたり、室内のあちこちに消臭剤を置いたり対策をしています。空気清浄機の性能も上がり、臭いを制御できる空間も増えています。ですが、そうして様々な対策をしても、約8割の医療従事者が、臭いは問題であり、改善が必要だと捉えているそうです。

臭い対策に一番有効なのは言うまでもなく換気。しかし、いくら空気を入れ替えても臭いが取れないことは少なくありません。なぜかは明白。臭いの原因となる化学物質は常に発生していて、室内の布等にしつこくしみ込んで、動くたびに拡散するのです。ものによっては室内で増えてしまうこともあり、せっかく空気を入れ替えてもしばらくするとまた臭う。

期待されているのが、臭いの元となる物質を分解する「光触媒繊維」。カーテンとして製品化されています。自然光をあてると臭いの原因となる物質を分解して、無臭の物質に変えてしまうのです。

コストも手間も余裕がない医療現場で、長く使えることは重要なスペックだった。

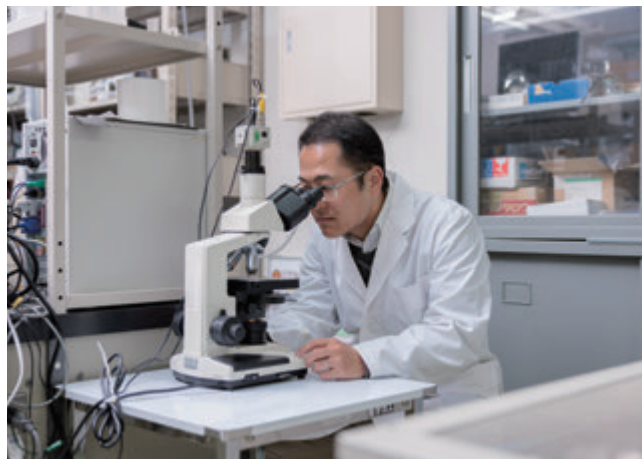
いわゆる消臭剤の多くが、臭いの原因物質を組織の中に吸着して逃がさない、という原理で消臭しています。代表的なものが活性炭。表面には微細な穴が無数にあり、この隙間が臭い物質の分子を捕まえることで臭いが消えるのです。しかし、隙間がいっぱいになってしまえばそれ以上吸着することはできません。だから定期的に入れ替える必要があります。

別の原理を用いるのが、化学物質で臭い分子を分解するもの。多くの消臭スプレーがこれにあたり、当然、使えばなくなるので補充が必要です。

空気清浄機も基本は上記2つの原理を用いて消臭します。臭い分子を強制的に集めて、活性炭等のフィルターに閉じ込めたり、化学物質で分解したりしています。最近は、これに加えてイオンやプラズマ放電を用いて臭い分子を直接分解する方式が増え、消臭力が格段に上がりました。もちろん、運転に電力を消費し、フィルターの掃除や交換も必要です。

どの手段にも共通する課題は、手間を含めたランニングコストが大きいこと。患者の治療や看護で忙しい医療現場にとって大きな負担です。

そこで注目を浴びたのが光触媒。酸化チタン等の触媒に自然光を当てると臭い分子を分解する現象です。この機能をカーテン等に持たせて、窓からの自然光だけで空気を清浄します。理論的には自然光さえあれば、半永久的に消臭し続けます。実は一部の空気清浄機にも使われています。



従来品の3～4倍の効果を実証した高機能性。
特許技術による高耐久も備えた新たな繊維。

現在の医療現場では、前述の手段を組み合わせで消臭にあたっています。光触媒カーテンも導入されている施設は多く、効果があるという声も聞かれています。しかし「期待していたほど効果がない」「洗濯するとすぐに効果が薄れてしまう」という意見も多い。改善の余地があります。

洗濯するとすぐに効果が薄れてしまうのは、無機材料である触媒＝酸化チタンと有機材料である繊維の相性が悪く、直接はくっつかないから。だから一般的な製法では、酸化チタンの微粒子を繊維の中に練りこみます。糊で固める感じに近いので、洗濯を繰り返すと剥がれやすい。しかも酸化チタンが表面に出にくい製法のため、理論通りの効果が発揮できません。つまり期待していたほど効果がないのは、材料同士の相性に加えて製法にも理由がある。繊維の表面で、両者を強く結合する必要があります。

私は光触媒の原理を研究することで、光触媒の効果を向上させる材料開発をしており、この問題にも取り組んでいました。結果、光触媒の酸化チタンをカーテンなどの繊維製品に強固に結合する技術を開発しました。酸化チタンの合成を繊維の表面で直接行う方法です。繊維の上に酸化チタンをにきよにきよ生やすような作り方をイメージしてもらえれば近いです。

通常、酸化チタンの生成には700℃くらいの高温が必要です。これを繊維（セルロース）が燃えない温度で行う方法が実現のカギ。酸化チタンを繊維に貼り付けるのではなく、繊維と原子レベルで表面につなぐ固定方法なので、洗濯程度では脱落しません。耐久性はもちろん、繊維の表面に酸化チタンが生えている状態なので、光触媒の本来の効果を発揮しやすくなります。製法を工夫することで、汚染物質の除去については市販品に比べて3～4倍の効果を実証でき、製法についての特許も出願中です。

地球に降り注ぐ光のエネルギーは、比喻ではなく
そのままの意味で天の恵み。ぜひ活用していきたい。

より効果的に光触媒の性質を発揮できるので、消臭だけでなく抗菌・抗ウイルス、冷感、紫外線カットという多機能性も期待できます。繊維材料をセルロース（自然界で最も多く存在する繊維）にすることで、人体への安全性も確保。セルロースは臭い分子の吸収に特に優れているので、臭い分子を捕まえてその場で分解することになり、より効率的に光触媒の消臭効果を発揮できます。これだけで病室の臭い問題を解決できるとは言いませんが、よい高い効果を長い期間発揮できるのは間違いありません。また、併用する消臭剤や空気清浄機等の負担も下げられるはず。結果、消臭対策全般のランニングコストも下げられることを期待しています。

光触媒がどうしてこうした効果を発揮するのか？光には波と粒子の2つの性質があり、消臭や抗菌・抗ウイルスについては粒子としての性質が、紫外線カットについては波としての性質が効果を発揮しています。このようにある程度は解明が進んでいるのですが、実は光触媒で何が起きているのか、まだ完全に説明できてはいません。面白いと思いませんか？

私はそうした不思議な性質を掘り下げたくて、研究の道に進みました。例えば今回取り上げた光触媒は、詳しく説明すると主に紫外線の効果によるもの。これを可視光線でも起こせるようにする研究や、物質をナノサイズにしたときに現れる光の振る舞いについての研究等に取り組んでいます。光とナノ物質の相互作用と応用が、今の私の専門分野です。

日常会話で「光」というと、それは暗に「可視光線」を指していることがほとんど。しかし赤外線や紫外線等、目に見えない電磁波も「光」です。そうした電磁波がエネルギーを運んで、物質に影響を与える様子をよく調べ、なぜかを解明し、社会に生かす橋渡しができればと思います。

Profile

名古屋工業大学
本田 光裕

名古屋工業大学 大学院工学研究科 准教授

2012年4月～2014年4月 日本学術振興会 特別研究員(DC2)。2014年3月 大阪大学大学院 工学研究科 博士前期課程 精密科学・応用物理学専攻 博士(工学)。2014年4月～2015年9月 東海大学 創造科学技術研究機構 特定研究員。2015年10月～2024年3月 名古屋工業大学 機能工学科 助教。2024年4月～現在 名古屋工業大学 物理工学科 准教授。

TEL : 052-735-5390 MAIL : honda.mitsuhiro@nitech.ac.jp HP : <https://researchmap.jp/7000024876>

Keitaro Yamaguchi

名古屋工業大学
山口 慶太郎

セラミックス低温焼結技術による

脱炭素セラミックスの事業化



脈々と受け継がれてきた「堆積岩の形成機構を模倣する研究」。 CO₂削減をはじめ、この先にある様々な可能性を図る事業。

CO₂の排出を削減することができなければ、
続けることが困難な産業があるかもしれない。

気象災害や暑すぎる夏。地球温暖化が実感として感じられる世の中になって
いると思いませんか？CO₂の排出を削減することは、もはやあらゆる産業の義務と
なりつつあります。2026年度から「排出量取引制度」の義務化が始まります。
企業ごとにCO₂を出せる枠（上限）を決め、超えたら枠が余っている他社から「排
出枠」をお金で買わなければならなくなります。2028年には「炭素賦課金」が導
入されます。化石燃料を輸入する企業に対し、CO₂排出量に応じて課金する仕
組み。いずれも実質的には大企業が対象になりますが、燃料を輸入する会社が
国にお金を払うと、その分、電気代やガス代が上乘せされる。結果的に、日本の
全産業が影響を受けることになるでしょう。打撃を受ける中小会社は多いのでは
ないでしょうか？

セラミックスメーカーも例外ではありません。燃料費が高騰すれば、価格に影
響する。すると外国製品との価格競争で不利になり、経営環境はより厳しくなり
ます。多くが中小企業であることを考えると、例えば水素ガス炉のようなCO₂を削
減できる高価な設備を導入することは難しい。このままでは、一つの産業が丸ごと
と衰退する可能性すらあるかもしれない。

なぜ私がピンポイントにセラミックスの話をするかというと、私の研究のど真ん中
だから。そして私の研究のひとつが解決策になるかもしれないからです。「堆積岩
の形成機構を模倣したセラミックス製法」です。

およそ1000℃という高温から200℃に。
新しいセラミックスの作り方が開発されている。

セラミックスは粒子を焼き固めて作ります。その技術を焼結と言います。今のと
ころCO₂排出は避けられない。燃料を水素ガスに替えていくにしても、導入や運
用に高価な費用が必要な今は、未だ現実的とは言えません。

従来の技術は、およそ1000℃、高いものだとして2000℃という高温で数時間焼
き固めるもの。実際は、品質を維持するためにゆっくり昇温し、目標の温度を数
時間保持してしっかり結合させ、ひび割れ等を避けてじっくり降温します。結果、
全部で10数時間は加熱することになります。

一方、私たちの技術は200℃程度。時間は30分から1時間くらいです。エネ
ルギー消費は桁違いに低い。あくまで計算上ではありますが、従来の技術と比べ
てCO₂排出量を3%にまで削減できる可能性があるのです。

この「堆積岩の形成機構を模倣したセラミックス製法」は、適切な溶媒（粉末
状のセラミックス原料を溶かし込む液体）と数十～数百MPaの圧力を用いること
で、セラミックスを低温（300℃以下）で固める技術です。溶媒の中に入れて圧
力と熱を加えると、粒子自体の表面がわずかに溶ける。圧力をかけているので、
溶けた成分で隙間が埋まり、そこで固まる。海底の地下10km以内の高圧下、
300℃以下の温度で形成される堆積岩ができる過程を模倣したもの。同じ技術
が2010年代後半に米国で開発され、Cold Sintering Process (CSP)、日本
語で低温焼結法と呼ばれています。



高温では難しい材料も、固めることが可能。
つまり、これまで難しかったことができる。

この技術を導入すれば、セラミックス製造時のエネルギー消費を抑え、CO₂排出量を大幅に削減することができます。中小企業にとっては燃料費高騰への対策になり、普及すれば、社会の持続性を高める解決手段のひとつになる。ぜひ推進したい。また、可能性はそれだけではありません。

高温での焼結を行わないことで、熱に弱い材料も加工できる。例えば樹脂のような、高温になると変質したり焼失したりしてしまう物質、金属、セラミックスを、一緒に焼き固めることができるのです。

この性質を利用して、CSPは電子・誘電体セラミックス分野を中心に研究が進められています。高度な微細組織制御が求められるため、すぐに実用化という段階にはありません。私たちはCSPを早く社会実装したい。そこで、まずCSPを建築・構造材料分野に取り入れて、省エネルギーで高い強度を持つ構造材料の作製に取り組みました。従来技術の1000℃では熱で分解してしまう炭酸塩(炭酸カルシウム)や水酸化物(水酸化カルシウム)は、現在建築材として使用されているセラミックス質タイルやポルトランドセメントよりも軽量です。製造時に金型の中で固めるため、高熱による収縮や変形もない。そのため、大型のタイル等を焼結後の加工無しにダイレクトに製造することができます。軽くて丈夫な新しい建築材料です。

また、「ガラス・セラミックス質結合剤を用いたダイヤモンド砥石」という道具があります。硬度が高く変形しにくい、精密研削などに使われますが、製造時に高温焼結が必要であり、埋め込んだダイヤモンドが焼失するという問題があります。CSPならこの問題を解決できます。私たちはこれに取り組み、ダイヤモンドが変質するよりもはるかに低い温度で固めることに成功したので、この技術で特許を申請しました。



粒子自体が溶けない場合も成立することをヒントに。
目指すのは、いわば「堆積岩型形成科学」の確立。

CSPという技術自体は基本特許をペンシルベニア州立大学が持っています。私たちは彼らのライセンスを利用する形で、この事業に取り組むことになります。知財権のハブとなることで、CSPの普及を目指しています。しかし私たちの本来の研究はCSPの枠の中にはなく、逆にそれを含む「堆積岩の形成機構を模倣した製法」を対象にしています。

実は、ダイヤモンド砥石は、CSPの王道から外れているのです。ダイヤモンドは溶けない。つまり「表面が溶ける→隙間に移動→固まる」の道を辿れない。やはり「溶けない」炭化ケイ素(SiC)も同じです。しかし私は、SiCでは溶けない粒子の「外側の薄い酸化層」を働かせて固める方法を突き止めました。溶解再析出だけでは説明できない「別の固まり方」です。同じ考え方で、ダイヤモンドに結合剤として一定量の非晶質SiO₂を加え、「外側の薄い層」を与えて固める方法を開発しました。いかに溶けない粒子を結合材で固定するか? 結合状態を良くするためには、どのような条件が良いか? 結果、CSPが作動するギリギリの領域を探る研究になりました。

元々名工大は、長年この領域で研究を続けてきました。軸足が「堆積岩形成機構の模倣」にあるので、CSP自体を客観的・俯瞰的に眺める視点があります。だからダイヤモンドやSiCに挑戦できた。もしCSPの枠の中だけで考えていたら、溶けない物質を扱おうとは思いませんでした。これは他の研究グループと競い合うものではありません。むしろ補完関係にあると考えています。CSPの成立条件を見極める研究だからです。

中部圏は、伝統的にセラミックス生産の重要拠点でした。名工大の源流にも窯業、つまりセラミックスの研究があります。この研究はその系譜のひとつ。地域から世界まで、広く社会に役立てられることを願っています。

Profile

名古屋工業大学
山口 慶太郎

名古屋工業大学 生命・応用化学科 研究員

名古屋工業大学大学院工学研究科生命・応用化学専攻博士後期課程修了(博士(工学))。2020年4月より現職。
本件に関する参照情報:特願2024-175798。

TEL : 052-735-5291 MAIL : yamaguchi.keitaro@nitech.ac.jp HP : <http://hashimotolab.web.nitech.ac.jp/>

Makoto Asahara

岐阜大学
朝原 誠

ターコイズ水素製造装置の

製造販売事業化検証



CO₂削減の現実的な解、ターコイズ水素という選択肢。

化石燃料の既存インフラを活かして、脱炭素のステップに踏み出す。

グレー、ブルー、グリーン、ターコイズ…
私たちが取るべき色。

天然ガスや石炭等の化石燃料に替わる燃料と期待される水素は、製造過程でのCO₂排出量や製造方法に応じて「色」で呼び分けられています。

1つ目はグレー水素。天然ガスの主成分であるメタン(CH₄)に水蒸気を反応させて水素を取り出します。大量の水素を安価に製造できますが、大量の熱が必要で、原料のガスを一部燃焼させます。製造過程で必ずCO₂が発生することが課題。現在流通している水素の約80%を占めます。CO₂を排出せずに回収して地下に貯蔵するものが、2つ目のブルー水素です。

3つ目にグリーン水素。太陽光や風力等の再生可能エネルギーで水を電気分解して作ります。製造から利用まで一貫してCO₂を排出しないため、究極のクリーンエネルギーとされています。製造量とコストの高さが課題です。

そして4つ目が、今回の主役、ターコイズ水素。CH₄を高温で熱分解して作られる水素です。化石燃料を使う点はグレー・ブルー水素と一緒。違いは製造過程でCO₂を排出せず、代わりに固体の炭素(カーボンブラックなど)が生成される点にあります。回収される固体炭素は産業用素材として利用可能。重要なのが、グリーン水素に比べ、製造エネルギーが約20%程度で済むこと。そして原料に天然ガスや都市ガスを使用するため、既存のガス供給網をそのまま利用できることです。理想とするグリーン水素を現実的にできるまでの橋渡し役として、近年注目が高まっています。

化石燃料を水素に代替していく。
簡単ではない道のりをどう描くか。

水素社会への移行が簡単にいかないのは、私たちの社会が化石燃料を利用する前提でインフラを積み上げてきたから。水素を直接の熱源として利用するインフラをゼロから構築しなければならないだけでなく、既存インフラを捨てるコストもいるのです。発電所であれば、炉を水素化する。これはまだいい。場所が限定的だからです。問題は水素の供給網です。

水素は非常に軽やかさばるため、効率的に運ぶのが困難です。体積を小さくするために液体にするにはマイナス253℃という超低温が必要。気体のまま運ぼうにも、都市ガス等の既存のインフラをそのまま使うことはできません。

新たに専用のパイプラインを引こうとすると特別な素材が必要。しかも水素は無色無臭で、かつ分子が極めて小さいため、わずかな隙間からでも漏れやすく、検知が難しいという安全上の懸念もあります。水素は燃える速度が天然ガスの約7〜8倍と非常に速いため、一層厳密に制御する必要があることを考えると、難易度はさらに上がります。大量の水素を安定して供給するには、今までとは違う工夫がいくつもいるのです。

現在のところ、水素利用の理想は、使うところで作ること。ここでターコイズ水素の利点が効いてきます。原料の天然ガス・都市ガス・プロパンガスなどの供給インフラは既にあります。その先で作れば、供給問題を解決できます。



コンパクトにユニット化した水素製造装置。
 言わば、水素の地産地消を実現する事業。

そこで私たちは、コンテナサイズの水素製造装置を作ってはどうかと考えました。製造業、窯業、鉄鋼業等、熱を必要とする事業所にこれを設置し、現地で都市ガスなどから水素を作ってもらい、水素を燃料源とする水素炉は、既にメーカーが開発に取り組み実現しています。装置をパッケージ化して、必要な熱量に応じて重ねられる仕様とすれば、様々なスケールの事業に対応できます。水素と同時に生成する炭素も回収・販売して、導入先にコストを還元する仕組みにすれば、導入の敷居を下げられます。

私たちは機械工学科。装置開発は得意です。そして私は水素燃焼の専門家として、燃焼そのものはもちろん安全に関する研究にも取り組んできました。高圧水素の保安規則を作るため、国の事業にも委員として参加してきた経験があります。早速開発に取り掛かりました。

作り方の基本は「CH₄を高温で熱分解」という仕組みを効率化すること。第1弾は熱源を電気ヒーターで作り、熱分解そのものの効率向上を研究しました。この知見を踏みに、第2弾は工場での使用を視野に入れ、熱源を排熱に替えた装置を開発。そして第3弾は、生成した水素に混じる原料のメタンを再回収して反応に戻すことに加え、自ら生成した水素の一部を熱源の燃料に使う「自立燃焼加熱」を装置に組み込みました。

業界を調べると、中京エリアは反応がいい。水素炉メーカーは「水素の供給を確保できない」という課題を抱えており、私たちの技術に大きな関心を寄せてもらえました。水素炉とセットで導入できれば強力な販路になります。導入先の候補となる各業界の反応も上々。商社へのヒアリングも重ねており、海外展開の可能性も出てきました。一方、装置の課題に加えて、新たな可能性も発見しました。炭素の販売です。

カーボンプライシングの本格化を機会と捉え、
 事業化を通じてCO₂削減に現実解を与えたい。

水素製造装置の副産物となるカーボンブラックは、炭素の球状粒子で産業用途があります。身近な例ではタイヤ。タイヤが黒いのはカーボンブラックが黒いからです。将来的に市場が拡大していくことが予想されていますが、現在は生成時にCO₂が排出されている。カーボンクレジットやカーボンプライシングが本格化した時、私たちのカーボンブラックはかなり優位に立てることになります。第3弾の装置では、部屋を分けて反応条件を変えてやり、カーボンブラックとカーボンファイバーをそれぞれ作る機能も試行済み。ある炭素製品が欲しいユーザーに欲しいものを販売する、という炭素主体のビジネスに仕立てられる可能性が出てきました。

作る炭素製品によっては水素より高くなることもある。その場合は、CO₂フリーの炭素製造装置として最適化させる筋道も考えられます。

水素製造装置としては、水素の製造量を企業側のニーズを満たすレベルまで引き上げる必要があります。しかし炭素製造装置として見ると、現状でも十分の性能と言える。こちらを先に事業化してマネタイズする可能性も検討できるのは、この仕組みの利点であり可能性であると思います。

日本政府は、2030年度までに温室効果ガスを2013年度比で46%削減、さらに50%の高みを目指すことを掲げています。だから2030年は、この技術を社会実装するためのタイムリミットと捉えています。それまでには製品を市場導入することが目標。事業のためではなく、社会のためです。

私はターコイズ水素こそ、水素化社会へ踏み出す第一候補だと思うのです。理想はグリーン水素に移行することに異論はありません。しかし、いきなりそこを目指すには、足りないものと失うものが多過ぎる。現実を見据えた効き目のある一手として、実現に注力していきたいと思います。

Profile

岐阜大学
 朝原 誠

岐阜大学 工学部 准教授

青山学院大学大学院理工学研究科理工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。学術振興会特別研究員(DC1)、青山学院大学理工学部機械創造工学科 助教、岐阜大学工学部機械工学科 助教を経て2022年から現職。2018年から2023年まで産業技術総合研究所 安全科学研究部門 爆発安全研究グループ・クロスアポイントメントフェローを兼任。水素製造、水素ガス・液体水素の安全利用技術、水素・アンモニア燃焼技術の開発に従事。

TEL : 058-293-2525 MAIL : asahara.makoto.n8@f.gifu-u.ac.jp HP : <https://www1.gifu-u.ac.jp/~asatolab/>

Takeshi Hashimoto

静岡大学
橋本 岳

超高精度画像計測技術の

事業化検証



カメラで“見る”だけで斜面のわずかな変化を捉えて崩落を予測する。 人の“見方”を分解・再構築して、遠くのものを正確に測る技術へ。

私たちは、今、見えているものの距離を
一体どのくらい正確に測れているのだろうか？

例えば眺めの良い高台から、遠くの街中にそびえる高層ビルを見たとしましょう。道具を使わずに、そこまでの距離を正確に知ることはできますか？おそらく難しいでしょう。人体はそういう風にできていないからです。いや、おおよその距離なら分かる、という主張もあるかもしれませんが。でもそれは地図が頭に入っている人の主張。知識と経験を使って推測しているにすぎません。改めてですが、視覚像だけを手がかりに、遠方の距離を正確に測ることは難しい。人間はそう進化してきました。

人間の視覚は、距離の精度が限定的です。数10センチから数メートル程度、手を伸ばせば届くくらいの範囲でしか、正確な距離の感覚をつかめない。逆に言えばその範囲の視覚が優秀。だから細かい作業をすることができ、道具を使うことができる。遠くの距離を測る能力との引き換えです。

さて、その視覚の特徴のひとつに、視覚像を手に入れる右目と左目の間隔が狭いという点が挙げられます。右目と左目で得られる画像にはわずかな差がありますが、目の間隔がせいまいほど画像の差も縮まります。これは、左右の像を「同じもの」と判断するための脳の負荷を下げ、瞬時に世界を理解するための仕組みです。近くのもの、これを成立させたまま左右差の情報を得ることで、スムーズに距離をつかめます。しかし遠いと画像の左右差がほぼなくなり、距離がつかめなくなるのです。

人間の視覚の力を分解し、限界を知ること、
遠くまでの距離を測る方法に選択肢が現れる。

左右の目の間の距離を基線長と言います。ならば基線長を長くすれば、遠くまでの距離を測れる？原理的にはYES。ただし対象の姿が変わらず、同じ場所であり、測定時間が気にならないことが条件です。究極の例は「年周視差」という測定法。夜空に見える星までの距離を測る技術で、その基線長は地球の公転半径。1年かけて何枚も撮影した画像に現れる、わずかな位置のずれを積み重ねて距離を求めます。観測する星の姿がほとんど変わらず、位置の変化が視差に比べて十分に小さいため成立します。

しかし私たちの生活では、大抵対象は動きます。むしろ動く変化の状態を測りたいことが多い。また、測り終えても対象の様子が変わらないくらい素早く測りたい。人間の視覚はこっちの条件に強いのです。基線長が短いことで瞬時に視覚像を取得し、微妙に視線を動かして得たいくつもの視覚像でイメージを補強していく。一瞥で正確な像を得るのではなく、様々なポイントを細やかに凝視して超スピードで補正しているのです。

私はこの特徴を保ちながらも、人には不可能な遠くまでを測る技術を研究しています。複数のカメラを、あまり距離を置かず並べてわずかに動かし、得られた画像から対象までの距離を正確に測るのです。条件が整えば、「サッカー場で自陣のゴールに立ち、相手のゴールキーパーが自分に向かって1センチ動いた」ことが測れるくらいの精度に達しています。



人が見ることができない遠方を観察し、
人が見るように変化を見逃さない技術。

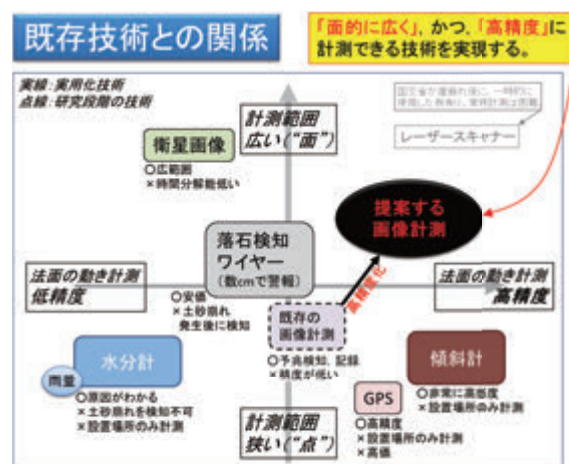
この技術のポイントは、ただ遠方を静的に見通せるだけではなく「昨日と2センチ違う」「さっきより1センチ低い」という、人の視覚が得意な「変化を鋭敏に見逃さない観測」ができること。遠くで起きるセンチ単位のわずかな変化を、画像を蓄積し解析することで検知できる。この能力に興味を示す人がいました。土木業界で災害対策を担当するグループです。

日本は山岳地帯が多く、大雨等で頻繁に土砂災害が発生します。近年、その被害は激甚化する一方。これに、高速道路や橋梁、トンネル等のインフラが老朽化してきたという問題が重なる。施設と敷地外も含めた周辺の状況を、非破壊で、常時監視したいという切迫したニーズがあるのです。

例えば高速道路の法面（道路脇の人工的な斜面）の崩落を事前に察知したい場合、この技術はとても向いています。遠距離で高精度に、崩落につながる斜面のわずかな動きを、撮影して解析すれば測れるのです。

既存の計測システムと比べると、その差は歴然です。GPSセンサーを利用するもの、傾きの変化を直接検知するもの、ワイヤーを張り巡らせて変化を測るもの、いずれも地面に観測装置を設置するタイプ。設置箇所の変化を測るのには優れていますが、ない場所は測れない。敷地の外に勝手に設置できないし、範囲が広いと設置コストもメンテナンスコストも膨大になります。継続的に広範囲の変化を記録することも容易ではありません。

カメラの性能が格段に上がったことで、夜間でも精細な画像が撮れるようになりました。AIを用いれば、風や動物による一時的な動きと、地盤の継続的な変化とを区別できる。精度は十分、計測範囲も格段に広く、見通せる場所なら敷地外も計測できて、導入コストも抑えられる。画像計測なので記録を取ることも容易。早速、事業化を検討することになりました。



まずは、予兆を見つけ、災害防止に役立てる。
その先には、幅広い可能性が広がっている。

静岡県は日本一高い山と日本一深い海に囲まれ、長大な急流が何本も流れる、日本の国土の縮図のような場所。日本の交通の大動脈と言える高速道路が2本、新幹線も走っており、一方で地震が多いため防災意識が高い土地柄です。ひとまずは、高速道路の山間部に多い法面をこの技術で観測し、災害の予兆を検知する事業を検討しています。実験機は法面変動の計測が可能なレベルなので、技術的な目途は立ちました。装置としてどう開発するか、事業としてどう展開するかが今後の課題です。

カメラで「見る」だけで計測できるという技術のため、防災分野では橋梁や建物外壁の検査への展開が考えられます。センサーを設置できないような山林の監視にも向いています。産業応用では、部品の品質管理にも役立てられそうです。非接触・高精度・迅速な計測方法なので、生産ラインに組み込めば全品検査が容易にできます。造船のような大きな部品を見る場面で特に有効ですが、数メートルの範囲でも高い性能を発揮できるのが強みです。

実は、私の研究の最初期はロボット開発がテーマでした。ロボットが周辺の状況を正しく測る方法を模索して、画像解析の道に進んだ経緯があります。私から見れば、自動運転車はロボット。周辺の状況をシームレスに観測して自律的に行動を制御する機械です。様々な技術の集積ではじめて実現するものですが、その中のひとつに画像計測技術があります。

この画像計測技術は、人間の目をそのまま真似るのではなく、人間が「なぜ間違えずに世界を把握できるのか」を手がかりに、その仕組みを数学と幾何で再設計した技術です。だから人のように細やかな変化を見逃さず、人には見えない場所まで見渡すことができる。その可能性の広さに、大きな手応えを感じています。幅広く社会の役に立てると信じています。

Profile

静岡大学
橋本 岳

静岡大学 工学部 電気電子工学科 教授

長年、ステレオ画像計測に関する研究に従事。特に、高精度計測に注力して研究を行ってきました。具体的には、量子化誤差（サンプリング誤差）の発生と抑制に着目して、誤差を2桁程度低減されることに成功しています。応用先は、検査（産業用、インフラ構造物）・環境計測（防災）・ロボット・その他多数。

MAIL : hashimoto.takeshi.a@shizuoka.ac.jp HP : https://su2ai.com/

Takashi Kurose

静岡理科大学
黒瀬 隆

貝殻真珠層を模倣した複合材料



飛行機、クルマ、etc.これからのあらゆる機器に必要な材料の条件。
「軽さと強さ」を併せ持つ新材料を「低負荷で安価に」つくる技術。

燃費の向上、輸送コストの削減など「軽いこと」で得られる様々な恩恵が割に合わないという難問。

炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics:CFRP)という材料があります。カーボンファイバー(炭素繊維)という人工素材を樹脂(プラスチック)で固めた材料で、鉄の約1/5という軽さでありながら、高い強度と剛性(変形しにくい性質)を持つ複合材料です。飛行機やレーシングカー、自転車のフレーム、テニスラケットや釣り竿等にも使われているので、知っている人も多いかもしれません。

軽くて強くて変形しにくく、温度の影響も受けにくい。金属ではないので錆びたりせず、薬品にも強い。繊維の方向を制御することで強度や剛性をコントロールでき、用途に応じて様々な設計ができる優秀な材料です。2011年に就航したボーイング787型旅客機は、機体の約50%にCFRPを使用して大幅に軽量化。従来の旅客機より約20%も燃費が向上し、運航コストと環境負荷の両方を抑えることができたと話題になりました。

そんな優秀な材料ですが、やはり課題があります。高い強度はあるものの、金属のように粘り強くなく、強い衝撃で突然割れることがあります。非常に硬い材料なので穴をあけたり切断したりするのも難しい。さらに成形には熱と圧力を長時間加える必要があり、大量生産に向きません。そもそも、元となる炭素繊維の製造に高いエネルギーと高度な技術が必要なため、総じて製造コストが高いというウィークポイントがあるのです。

高コスト=環境負荷も大きいということ。
経済性だけでは済まない、低コストの必要性。

私が以前、自動車会社で材料の開発をしていた頃の話です。プラグインハイブリッド車や燃料電池自動車等、次世代の自動車にとって「軽いこと」はCO₂排出量を低くするための必須条件。強さを保ちながら軽くしようと、CFRPを車体の一部に用いて量産車に搭載しました。

しかし、せっかくの技術をその後の車両に展開できませんでした。高圧での成形が必要で製造エネルギーが大き過ぎること、コストが高過ぎることが大きな壁になったのです。環境負荷を減らす性能を備えたモビリティ(移動手段)を作るのに高エネルギーが必要という矛盾。低エネルギーかつ低コストで生産できることも、同じく必須の条件なのです。私はあきらめることができず、舞台を大学に移して複合材料の研究を続けました。

新しい設計をするためには、新しい概念で考えるべき。ヒントを自然界に求めることにしました。バイオミメティクス(生物模倣技術)という、生物の持つ優れた構造や機能等に着想を得て、技術開発やものづくりに応用するアプローチです。板のように薄く、強く軽い構造と言えば貝殻。専門的に言います。貝殻真珠層の構造を参考にしました。

貝殻真珠層は、平らな板状粒子(面:2次元)が並んで層を成す構造。繊維(線:1次元)を最小単位とするCFRPとは根本的に異なります。これを起点に、既存材料の弱点を克服する新材料の開発に乗り出しました。



軽くて強くて、成形が容易。そしてコストも低い。
「板状粒子複合材料」が示した想像以上の性能。

前後しますが、複合材料とは、2種類以上の異なる素材を組み合わせて1種類の素材では得られない優れた特性を持たせた材料のこと。例えば鉄筋コンクリートはその代表です。主な構成要素は、材料に強度や剛性を与える「補強材」と、補強材を固定して一体化させる「母材」です。補強材の性質が、複合材料の強度と剛性に大きく影響することがわかります。

CFRPの場合、炭素繊維が補強材、プラスチックが母材です。シャープペンシルの芯を大量に紙粘土の中に埋め込んだような構造になっています。一般的には「繊維複合材料」と呼ばれ、一つひとつの補強材が1次元構造のため、縦方向の力、引っ張りや圧縮には強いですが、横方向の力では母材の動きに応じて泳いでしまう。このため材料の中で繊維をランダムに配置して、縦横両方向に強さを持たせています。

一方、補強材を板状粒子にすると、一つひとつの補強材が2次元構造となるため、粒子レベルで縦横いずれの方向にも強い。全粒子が縦横両方向に強いので、「板状粒子複合材料」は原理的に「繊維複合材料」よりも強くなるはず。つまり、製造エネルギーが大きく高価な炭素繊維を使わずに、同等以上の強度と剛性を持たせられる可能性があるのです。

実際に、安価な天然材料で「板状粒子複合材料」を試作してみると、予想通り高い剛性を示しました。複雑で難易度の高い炭素繊維の製造工程を丸ごとカットできる上に、母材の樹脂も安価な素材を用いれば、補強材と母材の調達費を大幅に削減できる。低压でプレス成形(金型で挟んで圧力をかける成形方法)できるので、製造エネルギーも大きく減らせます。研究を重ねて、素材と製造工程に関する2つの特許技術を編み出すことに成功。構造、力学特性、製造工程の優位性を実証できたのです。

母材を変えることで機能も変えられる新材料。
様々な機能で幅広い使い道を見つけて欲しい。

球や繊維を補強材にした場合と比べ、板状粒子は互いのすき間を板で覆う形になり、気体を通しにくい。酸素透過率は母材単体と比べて1/400という性能を発揮します。ガスボンベとして優れているだけでなく、モノが燃える際に発生する燃焼ガスも通しにくいため、延焼防止に役立ちます。振動が早く収まるという特長も、この構造によるところが大きいです。

さらに、構造自体に強さがあるので補強材も母材も素材の選択肢を広げやすいという利点があります。特に、母材を変えることで耐熱性・難燃性・柔軟性とそれぞれに個性的な特徴を持たせた材料を作ることができます。期待できる特性を列挙すると、軽量・高強度・高弾性・低コスト・低製造エネルギー・寸法の安定性・耐熱性・電気絶縁性・難燃性・気体&液体バリア性・光透過性・制振性等、書き足りないくらい新材料。実際、展示会では自動車部品だけでなく建築材料、半導体など様々なメーカーから興味を持ってもらえ、幅広い産業でニーズがあることを実感しました。

事業としては、まず製品として成立させるところから始めていきたいと考えています。具体的には、自動車の製造機器の部品である耐熱断熱板の新たな材料として製品化を検討中です。もちろん、将来的にクルマの車体に使うのが目標。元々自動車メーカーにいたので、それがどれだけ高いハードルかは分かっていますが、実現できると確信しています。

ですが、それだけではない様々な用途への展開を期待しています。私は複合材料と構造力学の専門家。経験上、自動車分野には明るいですが、他業界には私の想像を超えたニーズがあると思うのです。そうした声を聞かせてもらえると、研究のヒントや新たな目的になります。無理難題は、研究の糧。幅広い可能性にチャレンジしていきたいと考えています。

Profile

静岡理科大学
黒瀬 隆

静岡理科大学 理工学部機械工学科 教授

山形大学大学院物質生産工学専攻博士後期課程を修了。博士(工学)。2004年山形大学ベンチャービジネスラボラトリー博士研究員、米国サザンミシシッピ大学博士研究員を経て、2007年トヨタ自動車株式会社入社。トヨタ自動車ヨーロッパ出向などを経験。2017年山形大学グリーンマテリアル成形加工研究センタープロジェクト教員(准教授)、2021年静岡理科大学理工学部機械工学科准教授。2024年より同大学教授。本件に関する参考情報: 特許第7265781。

TEL : 0538-45-0129 MAIL : kurose.takashi@sist.ac.jp HP : https://researchmap.jp/takashikurose/research_experience

Arisa Kawashima

名古屋大学
川島 有沙

緩和ケアの必要性判定技術を組み込んだ

多職種連携システムの事業化検証



日本の社会全体を覆いつくす偏見が、制度を活かせない最大の壁。 終末期に押し込められた緩和ケアを、全ての医療へ解き放つ第一歩。

働き盛りの人が、病気で離職するという損失。
がん闘う企業労働者への、就労支援策。

企業で働きながら通院するがん患者がいます。その数およそ44.8万人*1。うち約6割は女性です。患者の約半数の人が「治療と仕事の両立は無理」と答えています*2。「薬の副作用や今後の不安で仕事に集中できない」「気を遣わせるのが嫌で同僚や部下には言いたくない」といった様々な悩みを抱えながら、何とか対処して仕事も治療もがんばっています。

経営者の立場で見ても、これは大きな痛手。経験を積み、意欲も高く、会社の中核を担う人材を十分に活用できないのです。そして働き盛りのがん離職は、どの職場でも起きる“見えない経営リスク”なのです。

そこで緩和ケアの出番です。進行がんと診断されて2か月以内という早期からがんそのものの治療と並行して緩和ケアを行うと、がん治療だけのグループと比べて約40%程度寿命が延びたという調査があります。がんの痛み等の症状の負担を約11%軽減し、QOL (Quality of Life: 満足度や幸福度を示す総合的な概念) が約10%向上したという報告もあります。

だからこの仕組みを、企業の福利厚生として活用しよう、という目論見です。働くがん患者にとっては少しでもその意欲を発揮できる機会を、雇用主にとっては従業員のパフォーマンスを維持する手段を提供することになります。意外に思いますか? でも現在、緩和ケアとは、こういうものなのです。診断直後から提供されるべき、標準的な医療なのです。

緩和ケア=終末期のケアというイメージに、
医療の現場でさえ未だに引きずられてしまう。

2002年、WHOは緩和ケアを「生命を脅かす病に直面している患者と家族のQOLを向上させるアプローチ」と定義しました。20年以上前の話です。その全文のどこにも、終末期だけに適用するものという表現は見当たりません。緩和ケアとは治療を支える医療であり、診断早期から受けてよいもの。単なる概念ではありません。日本でも、がん対策基本法やがん対策推進基本計画において、「がんと診断された時からの緩和ケアの推進」が政策目標に掲げられてきました。正しく判定されれば、診断されてすぐに、健康保険(公的医療保険)を利用して受けられるのです。

しかし、冒頭の話に違和感を持たれた人の方が、多いのではないのでしょうか? 緩和ケアとは、もう治療をやり尽して打ち手を失った患者の辛さを和らげるもの、というイメージが根深いのではないのでしょうか? それだけではないのです。今やそれは、明らかな偏見なのです。

実際、緩和ケアの潜在的な対象者は国内およそ1200万人、そのうち実際に利用しているのは0.4%とされています。この利用率の低さの原因は様々ですが、最も根深く、しかし定量的に測れない最大の障壁が、この偏見なのではないか? 私は強くそう思います。なぜなら私は看護師として、肌で感じてきたからです。医療従事者ですらこの偏見に囚われ、せっかくの制度を活用できないと感じる場面が、未だにあるからです。



医療従事者にとっての関門は、判断の難しさ。
緩和ケアの必要性判断を、組織的にサポート。

進行がんと診断されてすぐの、早期から緩和ケアを必要とする患者は約20%。全員が必要というわけではありません。実際はがん治療を担当する主治医が必要と判断して、専門の緩和ケアチームも一緒に治療にかかわるという流れが大半です。この必要性判断の難しさが、医療現場での壁です。医療従事者向けに研修や普及活動が行われていますが、まだ足りない。緩和ケア専門医の少なさも課題です。ただでさえ少ないのに、約6割が三大都市圏に集中という偏りも普及の障害です。緩和ケアの理解が進まない→判断技術が普及しない→必要とされず実績が生まれない、という悪循環のどこかを解いて、ループを脱せねばなりません。

私は看護師です。緩和ケアの先進国・イギリスに留学して、緩和ケアの判断基準を作る研究もしてきました。その経験を生かすなら、研究に直結する「判断技術を普及させる」のが一番です。すると、意外なほど近くに筋道がありました。学内で「難しい症例を判断するAIと、専門家チームの遠隔診断の仕組みをかけ合わせて、地域で患者を診る主治医を遠隔サポートする」という課題に取り組んでいる研究者がいたのです。

紹介を受けて早速聞いてみると、実際の緩和ケア判定例と、その患者の電子カルテのデータを用いれば「緩和ケア必要性判定AI」を作れるといいます。専門家チームが主治医を遠隔サポートする仕組みも、オンラインで両者と患者をつなぐ「遠隔緩和ケアシステム」に仕立てられそうです。

すぐに「緩和ケア必要性判定AI」の開発に着手。かなりの信頼性が得られるようになり、既に特許を出願、今後は医療機器申請を行う予定です。「遠隔緩和ケアシステム」も2025年に実証試験を行い、臨床試験を経て診療報酬改定要望を提出(保険治療の対象にするため)する予定です。

緩和ケアに貼られた偏見を吹き飛ばし、
その概念を根本から正していきたい。

「緩和ケア必要性判定AI」で必要性判断の精度とスピードを向上し、判断結果を基に「遠隔緩和ケアシステム」で患者と主治医と専門家チームをつないで、難病治療のはじめから緩和ケアを開始する。なぜ、この仕組みを企業の福利厚生として活用しようとするのか、企業人に限らず幅広くやるべきだという声もあるでしょう。はっきりお答えします。これなら事業としてスタートできるかもしれないからです。これにかかる運用コストを、企業なら認めてくれる可能性があるからです。お金が要るのです。

私は本気なのです。始められるならどこからでもいい。本当に越えなければならない障壁は技術でも資金でもなく、偏見なのです。ひとつでもいいから糸口を作り、風穴を開ける。一か所でも突破できたら、そこを押し広げていく。なりふり構ってはいられません。導入事例を作れたら、他の手段にアプローチができます。例えば生命保険の付帯サービスに。ゆくゆくは地方自治体のサービスとして。みんなが緩和ケアを正しく理解して、有効に活用することで、みんなが1秒でも長く自分らしく生きられるために、少しでも可能性のある筋道に全力を懸けたいのです。

看護師になって間もなく、私は腎不全の患者と向き合いました。辛い闘病の末、人工透析(機能しない腎臓の代わりに血液を浄化する)をするしかない状態に陥りましたが、透析をしないと決断したその人は、さらに苦しんで最期を迎えました。悩み抜いて結論を出したその人に、意に添わぬ透析を勧めることしかできなかった。あの時、治療の始めから緩和ケアをできれば、違う提案ができ、ずっと良い時間を過ごしてもらえた。この経験が、今も私の背中を押すのです。時が流れて、制度も技術も格段に進んだ。なのに、未だに偏見が立ち はだかる。何としても取り除く覚悟です。

*1厚労省「国民生活基礎調査」令和元年 *2内閣府「がん対策に関する世論調査」令和5年7月

Profile

名古屋大学
川島 有沙

名古屋大学 大学院医学系研究科総合保健学専攻 特任助教

看護師としての経験を積み中で「誰もが苦しまずに最期を迎えられる社会をつくりたい」との想いから研究の道へ。英国 King's College London で緩和ケアの修士号、名古屋大学で看護学の博士号を取得。日本緩和医療学会代議員などの委員を複数務めながら、AIやビッグデータを活用した緩和ケア領域の研究開発に従事している。私生活では、2人の未就学児の母として奮闘中。

TEL : 052-719-1949 MAIL : kawashima.arisa.s9@f.mail.nagoya-u.ac.jp HP : <https://researchmap.jp/ArisaKawashima>

Eijiro Maeda

名古屋大学
前田 英次郎

しなやか人工組織の事業化に向けた

力学・生体適合性の検証



強さだけでも柔らかさだけでも十分ではない、靱帯の難しさ。

「靱帯=強い紐」という概念を卒業した、次世代の人工靱帯開発。

拇指CM関節症という病気の発端となる前斜靱帯。
一度緩むと再現できない問題に、真正面から挑む。

拇指(ぼし)CM関節症は、親指の付け根にある関節の軟骨がすり減り、痛みや変形が出る病気です。主に、関節を支える前斜靱帯(ぜんしゃじんたい)が緩むことで発症します。ビンの蓋を開ける、ボタンをかける等、親指に力を入れて「つまむ・ひねる」動作で痛みます。

痛みは軟骨のすり減りが原因ですが、原因は前斜靱帯の緩み。だから治療は痛みを取るだけでなく、前斜靱帯の緩みを改善する必要があるのですが、一度緩んだ靱帯は元通りにできません。

症状が軽ければ、装具で動きを制限しながら痛み止めの処置をする治療となりますが、進んでしまうと手術で痛みの原因となる骨(大菱形骨)を切除します。すると親指がぶらぶらしてしまうので、代わりに「自分の腱」や人工靱帯を使ってとなりの指の骨と結びつけるように固定します。しかし、現在の人工靱帯は、剛性(強さ)は高いが柔軟性(柔らかさ)に欠け、手指の繊細な動きに対応できる性能はありません。

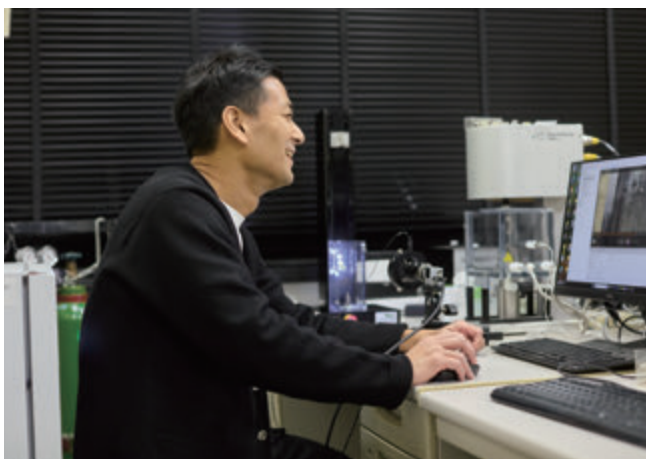
そこで、より靱帯が本来持つ機能を人工的に再現しよう、というのが私の研究です。実は2022年度にも本GAPファンドの採択を受け、この研究を推進してきました。お陰で基幹技術になる2つの特許を出願することができ、新たな人工靱帯の材料を作る技術的な目的が立ちました。

前斜靱帯の構造と機能を深く調べて再現する。
ようやくその技術的目途を立てることができた。

少し、技術の説明をしましょう。「手指ならではの繊細な動き=小さい力で大きな動き」です。一方「モノを強くつかむ動作=大きい力で小さな動き」となる。これを靱帯の持つ物性で解釈すると、小さな力でも大きく変形する一方、大きな力の時はあまり変形しないという性質になります。かかる力に応じて異なる弾性特徴を発揮する、これを再現できればいい。

じゃあ靱帯の構造や組成はどうか?調べると、一方向に並んだ固いゴムのようなコラーゲン線維が約90%、弾性に富み、どこまでも柔らかくのびるエラスチン線維が約10%です。小さな力がかかる時はエラスチン線維が活躍し、大きな力がかかる時はコラーゲン線維が力を発揮しますが、どうやらエラスチン線維は力の大小に関係なく伸び縮みして、コラーゲン線維は力が大きい時にだけ剛性を発揮する。この2つの物質がそれぞれ力を発揮するポイントを押さえて人工靱帯を作れば、本来の靱帯と同じ材料で、同じ機能を再現することになります。取り付けした後、周囲から細胞が侵入し、やがて人工靱帯が本来の靱帯に置き換わることも期待できます。

前述した2つの特許は、いずれもエラスチンとコラーゲンの複合技術に関するものです。かなり本来の靱帯に近い物性を備えた材料を開発できたと思います。だから次は、どうやって社会に届けるか?という事業化の検証をしたい。今回のGAPファンドの主目的は、ここにあります。



技術を社会に届ける難しさを紐解くことが、
新たな可能性のヒントになっていく。

事業化と一口に言ってもやるべきことはたくさんあります。GAPファンドに採択されれば、資金的な援助だけでなく人的支援も受けられます。事業推進者の人材確保という点も重要。そこで心強い人物に出会いました。

私の技術を事業化の観点で眺め直すと、既存技術との競合関係を洗い直す必要があります。当然、筆頭は現在主力で使われている人工靱帯。その開発・製造会社は、言ってみれば最大のライバルと目されます。

面接して驚きました。私が出会ったその人は、なんとまさにそのライバル会社。悩むところです。なぜなら私の目的は社会実装だから。起業は手段であって目的ではありません。一番早く、一番影響力のある形で市場導入し、できるだけ早く、多くの患者に使って欲しいのです。

市場導入を考えると、既に人工靱帯を製造販売している同社の影響力は大きい。自社製品のことで、既存品の課題もよく理解しており、私の技術で作れる製品の市場性検討も豊富なデータから評価できます。早速、市場性を調べていくと、やはり考えるべきポイントがありました。

拇指CM関節症患者は自覚のない患者も多いため、正確な規模は分かりかねますが、単純計算で国内で推定600万人はいらっしゃるかもしれない。このうち人工靱帯を用いた手術に至る患者は年間2,000件程度。あまり大きな規模ではありません。しかし、手術するほどではない患者さまも「痛みの軽減・解決」を求めており、遥かに数が多い。ここに着目すると、市場性がかなり高いことが分かります。関節が痛むのであれば、より長く痛みを和らげるものがあれば良い。それは私の特許技術で、既存品より良い製品を開発できる可能性が高いのです。

いずれ人体と同化するものを作りたい。
医療分野への工学的アプローチに可能性を求めて。

今回の事業化に限れば本筋ではありませんが、私は研究者です。同様の関節緩衝組織を、半月板(膝関節のクッション&スタビライザー)を模倣して試作してみたところ、かなり筋の良いものができそうです。技術的には新たな人工靱帯の拡張オプションと言えますが、市場性が高いのであれば、最初から一緒に展開する案もあるかもしれない。可能性という意味では、靱帯に求められる基本的な物性をトレースする技術なので、前斜靱帯に限らず他の靱帯一般への展開も考えられます。強くしなやかな動きを再現する技術と捉えれば、ロボットなどの機械への応用も考えられます。とはいえ、まずは新たな人工靱帯の社会実装を一番に考えたいと思います。

今回の取り組みもそうですが、私が大切にしたい考え方は「いずれ人体と同化するもの」を作るとのこと。人の体を代替するものを作るというより、人の組織を人工的に作るといった方がいい。機械化ではなく「局所的若返り」を狙っています。人体の構造と機能を理解した上で、工学的に切り込むことで、本当に狙いたい機能の再建をダイレクトに実現できる。この発想は、私の研究を、従来の工学的アプローチ(機械部品の捉え方)からも、医学的アプローチ(再生医療等)からも、明確に分けるコンセプトになっています。この考え方は大事にしていきたいと思います。

さて、改めてですが、新たな人工靱帯を作るための基幹技術は、かなり開発を進められたと思います。前述の通り、事業化の具体的な計画を今まさに検討中ではありますが、社会実装という意味ではまだ壁がある。私の開発した人工靱帯を手術でどう移植するのか、それには具体的な形状やサイズをどうラインナップするか、というまさに医療と一体の開発が必要です。整形外科医と協働して、最後までやり切りたいと考えています。

Profile

名古屋大学
前田 英次郎

名古屋大学 大学院工学研究科機械システム工学専攻 准教授

英国 Queen Mary, University of London Medical Engineering 専攻にてPh.D.取得。同校ポスドク、北海道大学大学院工学研究科助教、名古屋大学大学院工学研究科助教を経て2019年から現職。機械工学、なかでも材料力学を基盤として腱や靱帯など生体組織の構造と機能の理解、力学刺激に対する適応現象メカニズムの解明、および組織再生を目指す研究に加え、医療ニーズに基づく医療機器開発にも従事。
本件に関する参照情報：特願2023-043312、特願2025-084565

TEL : 052-789-2724 MAIL : e.maeda@nagoya-u.jp HP : https://researchmap.jp/eijiro_maeda

Hisataka Maruyama

名古屋大学
丸山 央峰

医療機器・教育市場を革新する

次世代シミュレーション用臓器モデルの事業化検証



形はもちろん感触など物性まで再現する「ほとんど内臓」の模型。
ありそうでなかった精密モデルを、今だからこそその技術で実現する。

本物の内臓は、どこまで力をかけたら破れる？
そういう試験をしたい切実なニーズがある。

人体、特に内臓にそっくりな模型(モデル)を作りたい。そういうニーズがあります。私が聞く限り、大きく分けて2つ。新たな医療機器の開発や改良をする場合と、大学の学生や病院の研修医の教育という場面です。

医療機器の開発という場面、例として大腸の内視鏡を開発したいという場面を想定しましょう。内視鏡の構造的な問題や使い勝手を調べたいとなると、試作品を「大腸さながらのモデル」でテストするのがいい。実際、そのための既存品があり、多くはゴム製です。しかしゴムと大腸組織では重要な物性が違う。傷つきやすさです。ゴムは強すぎて破れないので、その内視鏡が大腸の傷つきやすさに合っているかが測りにくいのです。

研修医の教育ではどうか？少子化の影響で若い医者の人数も減っています。早期戦力化＝教育の効率化は課題。もちろん未経験者にいきなり手術はさせられないし、実際の手術だけで腕を磨くには機会が限られます。そこでモデルで練習しようとなるわけですが、例えばゴムで大腸そっくりな形が作れても十分ではありません。先ほどの傷つきやすさに加えて、表面の感じが大きく違う。ゴムはツルツル過ぎるのです。さらに、電気や熱に対する反応が違うことも問題です。ゴムは電気を通さないで、電気メスが使えない。熱で似た経験をしようにも、ゴムは溶けてしまい、大腸とは反応が大きく異なります。メスの動かし方しか練習できません。

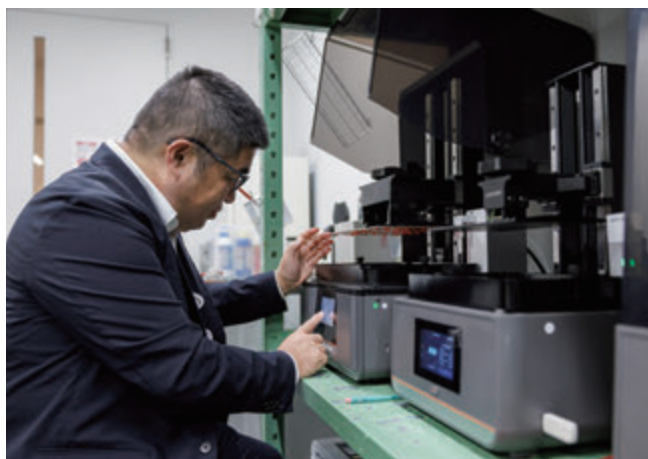
ゴムとゲル。既存品のいいところ取りをしたら、
ぴったりの性能になる。ハイドロゲルという選択肢。

改めて既存品を調査すると、大きく分けて2タイプありました。ひとつは前述のゴム(弾性樹脂)製。もうひとつはゲル(ゼリー状)製。前述の通り、ゴム製は形と柔らかさの再現が良く、耐久性にも優れていますが、脆さや表面の質感、電気・熱的特性は人体の組織と異なります。ゲル製は逆で、うまく作れば電気・熱的特性を近づけることはできますが、膜状にしたり型取りで成形したりできないので、形を三次元的に再現することが難しい。水分を失うと固くしぼんでしまうので、耐久性も課題です。

ゴムが持つ形と柔らかさの力学的特性と、ゲルが持つ電気・熱的特性に加えて、人体組織ならではの脆さや微妙な触り心地まで再現したモデルが作れないか？そういう相談が私のところに舞い込んできたのです。

確かに、私なら作れるかもしれません。私は生体に関連したマイクロナノロボティクスの研究をしています。向き合っているテーマのひとつに、ハイドロゲルを用いたデバイスの研究・開発があります。この文脈で研究をしている人は意外と少ないので、私に話が来たというのも納得です。

ハイドロゲルとは、水を大量に含んだ柔らかい高分子材料。ハイドロ＝水、ゲル＝網目構造に液体を閉じ込めた材料で、身近な例だと「こんにゃく」がそれ。網目構造の密度や強さ、均一さを制御することで、ドロドロからブルブルまで触感を自由に設計することができるのです。



ハイドロゲルの力学的特性を人体組織に近づける。
電気特性も生かせば、センサーとしても使える。

「触感を自由に設計することができる」とさりとて言いましたが、それが難しいことはよく知っています。水分量を調節することで、内臓に忠実な触感を再現できる。内部に含む溶液の組成を工夫すれば、電気の伝わり方と熱への反応を近づけられて、電気メスを使える。乾燥を防ぐ処理をすることで耐久性も上げられ、長期保存ができる。そのどれも、私がコツコツと研究・開発してきたこと。そして、それぞれの技術の一つひとつを検証し、それぞれで特許出願するところまで仕上げました。全部の技術を総合すればできることですが、逆に言えばそれがないと難しいでしょう。だから今までなかった。でも今の私なら、作れるかもしれません。

そこで大腸のモデルを作って、大学病院の医師に見てもらいました。いきなり生体同様の完成度とはいきません。大腸は、体内ではべちゃんこに潰れていますが、しなやかで伸びに強く、検査や手術は空気で膨らませて行います。しかし組織の壁は薄いので、膨らませ過ぎたり器具を強めにあてたりすると破れてしまう。そういう詳しい特性や医療現場の実情を教えてくださいました。さらに「組織だけでなく粘膜も再現したい」「がん腫瘍ができる形や場所の再現性も追求したい」等、様々な要望をもらいます。

つまり、感触は上々でした。これだけたくさんの意見や要望をもらうということは、期待できることの証拠。現役の医師に、既存品とは明らかに異なる高い再現性を実感してもらえたのです。手応えを感じました。

電気の伝わり方を制御してハイドロゲルを作れるので、力学的特性を邪魔しないでセンサーを埋め込むことも可能です。どこにどのくらいの力がかかったかを調べることができるので、大腸同様に「実際に破れる」ものだけでなく「今、破れたと分かる」ものを作れることもできます。

マイクロナノロボティクスを応用する視点。
自分の得意分野を活用して実現できたこと。

3Dプリンターで作るため、内臓内壁の細かな造形も再現できます。例えばある患者のCTデータを用いれば、その人の内臓そのもののモデルを作れる。腫瘍ができている場合、その部分を含めて立体的に表現できるので、難しい手術の事前検討に使えるそうです。展示会で報告すると、ドイツのメーカーから「気道確保の練習用モデルが作れないか？」という問い合わせもありました。救急医療のトレーニングに使いたいということです。

技術的な段階としては、今は電気・熱的特性と力学的特性を両立した大腸モデルの完成度を、内臓同様のレベルへ磨きこんでいます。次の段階では大腸の三層構造、特に内側の粘膜まで再現する精密さを求める方向と、心臓や血管等他臓器へ展開する方向の両方を視野に入れています。センサー化もどこかのステップで達成していきたい。ベテラン手術医が内臓をどのように扱っているか、モデルを通して計測すれば、手技のプロセスを紐解いてお手本にできる。手術技術のトップアップに役立てられます。

事業としては、まずは医療機器メーカーと医療機関への販売を想定していますが、データさえあれば臓器の精密モデルを作れるので、病院に生成機器を置いて、モデルの設計は遠隔で一括管理するサブスクリプションサービスも検討したい。構築できれば、前述のような治療や手術の事前検証が病院で手軽にできるようになります。事業として成立するかという課題はありますが、可能性のひとつとして検討する価値はあると思います。

最後になりますが、この研究は、内臓モデルを作り方の観点で眺め、マイクロナノロボティクスの技術を応用して取り組んだもの。ハイドロゲルの物性を制御する技術も、同じ視点で開発しました。細胞スケールでの操作や解析という土台があったからこそ、進められていると考えています。

Profile

名古屋大学
丸山 央峰

名古屋大学 大学院工学研究科マイクロ・ナノ機械理工学専攻 准教授

名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノシステム工学専攻博士課程後期課程修了。博士(工学)。名古屋大学大学院工学研究科研究員、東北大学大学院工学研究科助教、名古屋大学大学院工学研究科助教・准教授を経て、2017年より現職。名古屋大学未来社会創造機構ナノライフシステム研究所兼任。ハイドロゲル生体モデル開発、単一細胞解析用マイクロ流体デバイス開発、高齢者運動リハビリ支援システム開発に関する研究に従事。

TEL : 052-789-5026 MAIL : maruyama.hisataka.e3@f.mail.nagoya-u.ac.jp

Junpei Yamanaka

名古屋市立大学
山中 淳平

金コロイド結晶で実現する

マイクロRNA (miRNA) 分析装置の開発



例えば、声色を聞いて誰かを見つけるようにmiRNAを検知する。
宇宙で作った材料をきっかけに生まれた、超微量物質の検知装置。

生物ならば持っているmiRNAを調べると、
今この瞬間のコンディションが分かる。

マイクロRNA(miRNA)という単語を聞いたことがありますか？ 2024年のノーベル生理学・医学賞は、このmiRNAの発見と「転写後の遺伝子制御」の仕組みを解明した研究に贈られたので、耳にした人もいるかもしれません。詳しく説明すると長くなるので、「今、この瞬間のあなたのコンディションを雄弁に物語るツール」と覚えてください。

重要なのは、「この瞬間のあなたのコンディション」には病気も含まれるということ。例えば、がんとか。miRNAを用いた検査は、従来の検査では難しかった「超早期のがん」を見つけるための強力な武器として注目されており、日本でもこれを利用したサービスが始まっています。今や世界中で激しい開発競争が繰り広げられている状況。それほどmiRNAを検知することに、大きな期待が寄せられていると言ってよいでしょう。

現在の検知技術の中で、世界で最も普及しているものが次世代シーケンサー(NGS)。血液や尿から回収したmiRNAを一度DNAに変換して読み取ります。体内にある約2,600種類すべてのmiRNAの状態を、増減含めて丸ごとスキャンする技術です。一方、特定の「がん」や「疾患」に絞った手法としてRT-qPCR(リアルタイムPCR)があります。狙った特定のmiRNAだけを増幅させ、その量を測ります。さて、この2つの技術には、共通する特徴があります。お気づきでしょうか？

その大きさ、およそ7nm(ナノメートル)。
マイクロより小さいmiRNAを見つけることの難しさ。

ヒントになるかわかりませんが、少し補足しましょう。miRNAの長さは20から25塩基で約6nm~8.5nm(ナノメートル)程度。1nmは10億分の1メートルです。見つけるのは大変です。もうひとつ、miRNAはとても壊れやすい。一方、DNAは非常に頑丈でmiRNAと比べるとはるかに大きいのです。

さて、この2つの技術に共通する特徴とは、いずれも「生体から採取したmiRNAを直接測っているわけではない」ということ。「miRNAを一度DNAに変換して増やす」という方法で、いったんペルチェ素子を搭載したPCR装置で増幅した後に解析する必要があり、解析センターに試料を送る必要があり、タイムラグができてしまいます。何より、PCRの場合は増幅に使用するプライマーの設計が難しく、増えやすいタイプのmiRNAが「大量にある」と誤認されたり、希少だけど重要なmiRNAを変換し損ねて「なかった」ことにされたりするのを防ぐことができないのです。

「生体から採取したmiRNAを直接測る。それも、1個単位で」ということは、果たして実現できるでしょうか？できます。私の実験室では、フェムト(1000兆分の1) モル/Lという超低濃度のmiRNA検知技術による実験結果として検知することができました。検出技術は「微小金粒子を規則正しく並列させた2Dコロイド結晶」で、測定技術は表面増強ラマン散乱(SERS)を利用した装置です。レーザー光を当てるだけで、10nm程度の物質を検知することができる技術です。



まるで声を聴いただけで、誰かが分かるように、レーザーの反射光を読み取り、物質を特定する。

まず、SERSという技術を説明するにあたって、鍵となるラマン分光法を簡単に解説します。物質に光を当てるとほとんどの光はそのまゝの色で散乱しますが、当てた物質の分子の振動にエネルギーを奪われたり与えられたりして、1/1,000万個(光子の数)ほどの割合で波長(色)が変化した光が散乱(ラマン散乱光)します。この波長の変化はそれぞれの物質(分子)に固有な情報になるため、光を当てただけで物質を特定できる。これがラマン分光法です。私たちの声色が一人ひとり違うように、物質に光を当てた時に出る散乱光にもそれぞれで違う、と理解すればOKです。

この声はささやきのように、とても微弱です。SERSとは、金や銀などの金属のナノ構造(極めて小さな粒や凹凸)を利用して、本来は非常に微弱なラマン散乱光を数億倍～数兆倍という驚異的な強さに増幅させる技術。この技術のおかげで、通常では検出不可能なほどごくわずかな(薄い)物質や、分子1個レベルの動きさえも捉えられるようになる。ささやきを大音量の叫びに変える、メガホンのようなものと捉えてOKです。

どうしてそんなことが起きるか。金や銀のナノ粒子にレーザーを当てると、金属表面の電子が光に反応して一斉に揺れ動きます。すると、この粒子の隙間に、光のエネルギーが凝縮された「ホットスポット」という強い電場が発生します。ここに分析したい分子が入り込むと、前述のラマン散乱光がメガホンのように強力に増幅される。散乱光は100万倍～1兆倍以上に増幅されるため、理論上は単一分子の検出も可能です。

ラマン分光は「分子の構造(声色)」を直接見るため、既存技術のようにDNAの文字配列を1から解読しなくてもmiRNAを特定できる。だから特定の病気のサインを瞬時に見分けられるのです。



宇宙で作った3D結晶の粒子一層分である2D構造。nmサイズの物質の声を聴くことで見える世界へ。

もう一つのポイント、「金粒子の2Dコロイド結晶」は私たちの独自技術。バラバラになりやすい金ナノ粒子をマイナスに荷電し、液体中に分散させると、粒子同士が反発しあってできるだけ遠ざかろうとします。すると粒子は定規で測ったように美しく、かつ広範囲に並びます。そのまま固めた3D結晶の粒子一層分をシート状に剥がしたものが「金粒子の2Dコロイド結晶」。これでどこにmiRNAが落ちて同じ高い感度で検知できるようになり、医療診断で不可欠な「miRNAが何個あるか」という正確なカウントが直接できる。生体から採取したmiRNAを直接1個単位で測ることが可能になるのです。その構造から、光ナノアンテナとも呼ばれます。

これを用いれば、「生のmiRNAを、一瞬で、1個単位で数えるポータブルデバイス」を作成できます。装置は他の方法に比べて大変安価にできるため、広く使っていただけると期待しています。また、構造がシンプルで、ポケットに入るサイズにもできる。災害現場などの過酷な状況でも使えるはずですよ。

事業としてはSERSの精度を向上する研究を続けており、既にこの技術に関する特許を取得済み。miRNAの検知に照準を合わせた新たな特許も申請しており、デバイスとしての機能向上に取り組んでいます。

私は30年以上、コロイド結晶の研究に向き合ってきました。JAXAと共同し、宇宙の無重力化で3Dコロイド結晶を作る実験にも取り組み、その延長線上にこの技術があります。実は2Dコロイド結晶を金粒子で実現した後で、光ナノアンテナとして最適だということに気づいた次第です。miRNAを測れることで見える世界は実に幅広い。医療だけでなく、食品、農業、化粧品等、生物関連の分野に可能性があります。そしてこれはnmスケールの超微小物質を直接測る技術。対象はmiRNAに留まりません。とても小さなものを測りたいという人は、ぜひ相談してください。

Profile

名古屋市立大学
山中 淳平

名古屋市立大学 大学院薬学研究科 教授

昭和61年金沢大学大学院理学研究科博士前期課程物理学専攻修了、平成元年京都大学大学院工学研究科博士後期課程高分子化学専攻修了。福井大学工学部助手、JST 創造科学技術推進事業(ERATO)橋本相分離構造プロジェクト研究員をへて、平成10年名古屋市立大学薬学部助教授、平成21年より教授。日本化学会コロイドおよび界面化学部会幹事および分散・凝集分科会委員、日本結晶成長学会評議員、日本マイクログラフィティ応用学会理事。

MAIL : ncu-innovation@sec.nagoya-cu.ac.jp HP : <http://www.phar.nagoya-cu.ac.jp/hp/ybk/bukka/>

Hajime Sakakita

名城大学
榊田 創

低侵襲電離ガス止血機器の

事業検討



プラズマの研究で培った技術と知見を、機器開発に応用。

新たな医療デバイスを、技術と規格の両輪で社会に実装する事業。

気体が電離して、イオンと電子に分かれた状態。
私たちには特殊に見える、プラズマとは？

本事業は、プラズマを搭載した医療デバイスの実現を目指すチャレンジングな取り組みです。プラズマという単語を、聞いたことはあるでしょう。しかしそれが何か、となると難しく感じるかもしれません。プラズマを別の表現で言い換えると電離ガス。固体・液体・気体に続く「物質の第4の状態」で、少なくとも電子は高いエネルギーを持っています。私たちの暮らしではあまり馴染みがなく、勘違いしがちですが、実は至る所で接しています。代表例は太陽などの恒星。他にも雷、炎、オーロラなど自然現象では目にしているものの、医療デバイスには使うことができなかった物理現象です。

太陽はよく「燃えている」と表現されますが、酸素のない宇宙で「燃える」ことはなく、実際には核融合反応を起こしています。太陽は、「自分自身の重さ(重力)」で高温高密度になり、水素同士を衝突反応させている」と表現できます。そして、「主に水素が電離した状態」となっています。これが、プラズマの代表例です。

もう少し例をあげるなら、町工場でも見られるアーク溶接でしょうか。電気によってアーク放電を発生させ、その熱で金属同士を溶かして接合しています。アーク放電は、大気中でアルゴンガスを流しながら金属の間のガスがプラズマになって、電気の通り道になることで光と熱を発生しているのです。

これまでの話だと、プラズマ＝超高温というイメージに偏りがちですが、それでは片手落ち。常温か、少し熱いくらいの温度で制御する低温プラズマは、半導体の製造を始め、現代の様々な産業に欠かせない技術です。そして私たちの手によって、プラズマが外科治療で用いられるようにすることで、未来の医療に欠かせない技術となるのです。

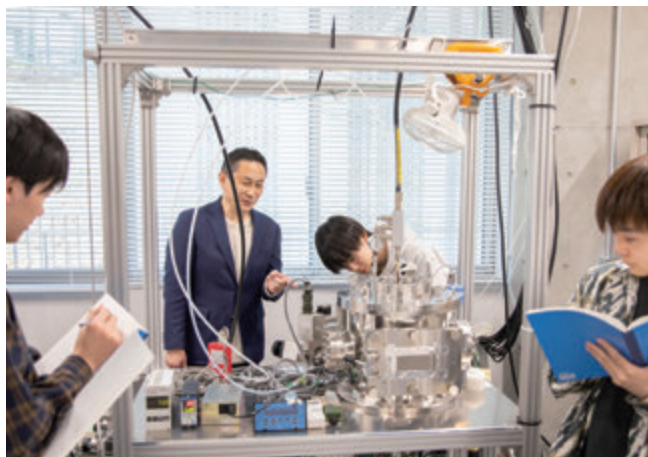
温度と荷電粒子密度をコントロールすることで、様々な利用できるプラズマ。そのひとつが医療。

半導体の製造では、プラズマ中のイオンを加速させてシリコン基板にぶつけ、髪の毛の数千分の1以上という細さの溝を、設計図通りに正しく彫り込みます。また、「表面改質」や「皮膜形成」という技術もあります。例えばペットボトルは、本来はガスを通すPET樹脂にプラズマで皮膜を作り、炭酸ガスや酸素を遮断して鮮度を保っています。

このように、プラズマは、核融合のような巨大なエネルギー利用にとどまらず、温度や荷電粒子密度をコントロールすることで「物質を破壊して溶かす(溶接)」ことも、「ナノ単位で鋭く彫刻する(半導体)」ことも、さらには「表面に薄い皮膜を被せる(皮膜形成)」こともできる、非常に器用な道具なのです。そして、今回の事業は、プラズマの医療への応用がテーマです。

私は、核融合プラズマの研究者としてスタートしました。その後、イオンビーム等プラズマを「作る・利用する技術」へ重点を移し、低温プラズマを導入した新規窒化物半導体成膜装置の開発、また、プラズマを医療へ応用すること、そしてその社会実装に取り組んでいます。

一般的に、プラズマ医療の最近の研究は、殺菌、がん治療、そして止血と組織再生の分野で開発が進んでいます。今回の事業は止血に焦点を絞った話です。大まかに、「従来の止血とは全く異なる革新的な原理と技術」と、「それを社会で利用できるようにするための世界へ向けた環境づくり」という2つの論点があります。どちらが欠けても実現できません。



低温プラズマ(電離ガス)を用いた医療機器の開発に着手。
従来の止血とは全く異なる革新的な原理と技術。

医療現場での課題のひとつに、手術時の毛細血管をどう止血するかというテーマがあります。現在主流の高周波電気凝固法は、簡単に言うと電流を流して焼灼させて血を止める。実は、既に実用化済のプラズマを利用した医療機器に、止血できるものがあります。アルゴンプラズマ凝固法と言います。しかし、原理に溶接と同じアーク放電を用いており、やはり焼いている。そして組織が熱傷を負うと、傷跡(組織)が瘢痕化(はんこんか)してしまうのです。

私たちが開発した技術は、制御した電離ガスを利用して、血液成分そのものを凝固させて血管に蓋をします。言わば、自分の血を使って、自分専用の絆創膏を、その場で、一瞬で成膜する技術。血液にある血小板(凝固系タンパク質)は、血管が破れるとそこに凝集して傷口を防ぐ役割があります。プラズマは、①これを活性化させます。さらに、②本来は固まらない血中で成分の多い血清タンパク質(非凝固系タンパク質)の凝固も促します。そして私たちの技術に独自の特徴として、③赤血球(酸素を運び二酸化炭素を回収する)を溶血凝固させる(壊して固める)作用があります。電離ガスを用いて①だけ、①と②だけを促す技術は他にもありますが、①～③のすべてを利用して止血するのは、今のところ私たちの技術だけ。熱を加えないで、瞬時に止血できるため、組織の損傷を最小限にすることができるのです。

一度手術した場所の傷跡が瘢痕化せず、きれいに治癒する。これは見た目だけでなく、組織の温存という観点で非常に大きな意味があります。社会の高齢化により、同じ組織部やその近傍で再度手術が必要になることが増えていますが、手術跡が瘢痕化していると難しくなる。私たちの技術で手術すれば、再手術の難易度を大きく減らせます。そもそも手術時の体への負担を小さくするので、その後の治癒スピードも上がる。電離ガスだからこそ、これが実現できるのです。

社会で利用するための、世界へ向けた環境づくり。
技術だけでなく、規格まで設計・策定。

さて、医療機器は安全性・再現性・評価方法が規格化されないと市場に出にくいという特徴があります。国際標準規格は、WTO加盟国でTBT協約の批准国では法的拘束力のある医療機器審査で引用が必須となっています。規格があれば、試験方法や安全基準、出力制御条件等が明確になり、これに適合することが審査の前提条件になります。世界的に社会実装を進めるためには、機器開発と並行して、世界に向けた国際標準規格を作ることが重要なのです。

そして、私たちの技術である電離ガスによる止血処置の作用原理は、先述した高周波電気凝固法やアルゴンプラズマ凝固法とは全く異なります。このため、高周波電気凝固装置の規格とは別の規格が必要になったのです。

そこで、私は共同研究者である病理専門医の池原 譲氏(現千葉大学大学院医学研究院 教授)と共に、経済産業省の後押しを経て、国際標準規格の策定に取り組みました。電気・電子技術の分野で国際規格と適合性評価システムの策定を行う世界的な国際標準化団体、IEC(国際電気標準会議)の新たな規格として整備したのです。IECでは、規格はワーキンググループ単位で作られます。私は最終的に、そのとりまとめ役(コンビーナと称される)を担い、技術の議論を整理。規格ドラフト(草案・原案)を作成し、専門家間の合意形成を推進し、この技術のための新たな規格文書「IEC 60601-2-76」は策定し、発行されました。

実は、同時期に別のグループも別の国際規格を発行したので、同じタイミングで日本初となる2つの日本が主導した医用電子機器に関する規格が誕生したのですが、これは大変意味のあること。技術思想が規格に反映されるので、国内企業が適応しやすく、国際競争で不利になりにくいのです。医療機器は輸入が多く、日本の企業が世界市場を獲得するにはほど遠い現状があります。私たちの取り組みが後押しになり、日本の技術発展の一つの起点になればと思います。

Profile

名城大学
榊田 創

名城大学 理工学部 教授

名古屋大学大学院工学研究科航空工学専攻において博士号取得後、通商産業省工業技術院電子技術総合研究所に入所(現 国立研究開発法人産業技術総合研究所)。その間、米国ウイスコンシン大学に留学、また産総研・企画本部や総務本部において、研究企画や組織運営業務に従事。プラズマ理工学を専門として、医療機器開発、核融合研究、イオンビーム開発及び半導体材料開発などに従事。

MAIL : sakakita@meijo-u.ac.jp

Masaki Sano

浜松医科大学
佐野 真規

四肢浮腫ケアを革新する

弾性着衣着脱技術を用いた補助具開発事業



常に優先順位は低く、すぐ命にかかわる緊急事態ではない、けれど。
後回しにされがちな医療の領域に、地道に真面目に力を注ぐ事業。

リンパ浮腫を含む、四肢浮腫の治療にある課題。
患者の治療離脱という、静かな悲劇。

私は臨床医です。専門は血管外科。主にリンパ浮腫の治療と病態の解明に取り組んでいます。私には解決したいことがある。それは、治療で重要になる「弾性着衣を毎日着る行為」を患者さんがあきらめてしまうことです。

私は患者さんを責めているわけではありません。私たち医療スタッフの説明不足だとも思いません。むしろ、その逆。これは患者さんや医療スタッフ等個人の問題ではなく、組織的に取り組むべき構造的な問題だと断言できます。

ところで弾性着衣とは？簡単に言えば、医療用の非常に強い着圧ストッキング。むくみで苦しむ患者さんに、圧迫療法を行う治療器具です。形状は、バンスト型、ストッキング型、ハイソックス型、太さ・長さなど、色々なタイプがあります。締め付ける強さにも強中弱の幅があり、編み方にも数種類あります。これが、足だけでなく腕用もある。患者さんそれぞれの部位と症状に合わせて、医療スタッフが選定します。正しく着ることで、むくみを改善します。

効果はシンプルです。皮膚の下に余分な水分が広がるのを抑え、毛細血管やリンパ管から水が染み出にくくして浮腫の発生を防ぐ。筋肉が動いたときのポンプ作用を強め、体液を心臓に戻しやすくする。浮腫が続くと皮膚や皮下が硬くなり(線維化)ますが、弾性着衣はそれを改善します。

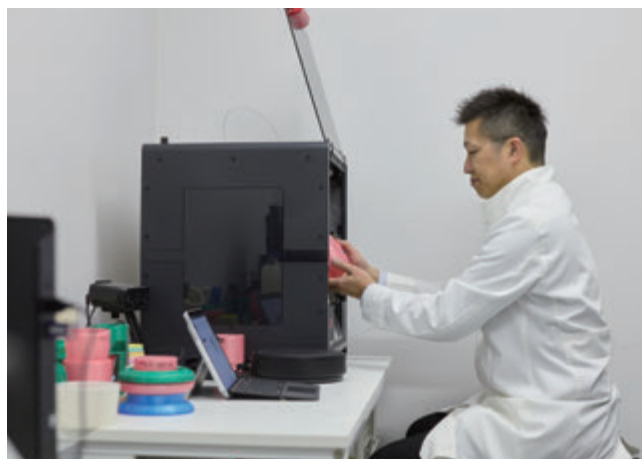
しかし「弾性着衣を毎日着ること」は重労働です。必要だと分かっている、辛い。握力や指の力が弱いと、着たくても着られないことさえあるのです。

原因治療ではないけれど、弱った機能を肩代わりし、改善した状態を保つ治療器具。それが弾性着衣。

弾性着衣を毎日着ることは、病気の根本治療ではありません。四肢浮腫の場合、原因は別にあることがほとんど。がん手術の影響だったり、心不全等の内臓疾患によるものだったり、運動機能の低下だったり様々です。だから多くの場合は、原因の治療に取り組むことが、患者さんも医師も第一優先となります。

じゃあなぜ着るのか？着ないことでむくんだ状態が続くと、皮膚や組織にダメージが蓄積して、皮膚の炎症や感染症を引き起こしたり、皮膚が硬く変質したりします。着ることで体液の循環を物理的にサポートするので、原因疾患によっては快復を助けることになります。そもそも、むくみがひどいと常に重りをぶら下げて生活することになり、疲れやすくなる。関節も曲がりにくくなり、歩けなくなることもあります。着ることが治療の一環であり、生活機能の低下が予防できます。

社会的な損失も大きい。国内のむくみ患者数は推定300万人とされています。ただでさえむくんでいる足にきつい弾性ストッキングを着るのが辛いからと、約30%が治療を離脱。約90万人の計算です。患者さんだけでなく介助者の負担も大きい。装着が難しい方では、弾性着衣を着るのに10分～15分くらいかかることもあります。いくつかの研究や統計を基にした推計では、このサポートで年間2億円の労働損失になるとか。装着できないことで転倒リスクも高まり、これによる介護度の増加で、年間3,000億円のロスという計算もあります。



弾性着衣を着やすくするだけでなく、実態を可視化。
治療離脱の実態をつかみ、制御を可能にする事業。

弾性着衣を着るのは大変。しかし、それは治療効果を発揮することの裏返しです。これ自体を改善する筋もありますが、その前にできることがあります。例えば、弾性着衣を装着する補助具がそうです。既存品がいくつかありますが、正直使いにくく、コストとのバランスも良くありません。

そこで、私はまず装着支援補助具を開発しました。ゴムビーズを数珠状にした、玉転がし型装着補助具です。裏返したストッキングの外側から、補助具で押さえつけます。そのまま足に沿って補助具を転がしていくことで、楽に素早く着る方法です。単なる補助具ではなく、装着手順も含めたキット方式で、患者さんが一人でも装着できることを目指しました。

試作品を試してみると、着用成功率 90%以上、装着時間 5分以内、かける力も大幅に減らすことができました。皮膚を擦らずに着られるので皮膚が弱い人でも大丈夫。着圧ストッキングにありがちな、皮膚に貼ったガーゼやスポンジなどをずらしてしまうこともありません。特許も登録しました。

実物を見ると拍子抜けするくらいシンプルなものですが、そのくらいがちょうどいいのです。ちょっと工夫するだけでよくなる程度でなければ、誰も面倒くさくて使わない。毎日、毎朝やることだからです。

そしてこれは、私の目論見のほんの一部。弾性着衣の装着を促進できたら、着用した弾性着衣のスペックや、患者さんのむくみ等のデータを取得して、アプリで管理、治療に活用したい。そして得られたデータを基に、AI による最適診療の提案(必要な着圧に応じた弾性着衣の提案等)や、弾性着衣の課題発見・新商品開発等に役立てたい。私には解決したいことがあります。患者さんのむくみを解決したいのです。「弾性着衣を毎日着る行為」をあきらめずに済むようにすることは、その発端に過ぎません。

治療離脱を「現象」から「変数」にすることで、
装着という行為を、医療の中に取り戻す。

現在の浮腫治療では、患者さんは独りぼっちで向き合っています。病院に来るわずかな時間しか、私たちは支援ができない。だから治療離脱も、患者さんの努力の問題にすり替えられてしまう。仕方がないと諦められてしまう。装着を楽にすることだけでは、解決にはならないのです。

しかし、圧迫療法等の浮腫治療が効かないのではない。続かないから効かなくなるだけ。私は補助具を入り口にして、患者さんの治療離脱を可視化し、制御できるようにしたい。独りぼっちにさせないためにです。補助具は装着を楽にしますが、装着したかどうかは分かりません。だから、いつ、どのくらい着ていたか、着圧は適切か等々、ブラックボックスだった情報を開き、実態を明らかにする。その時、私たちは治療離脱を、当事者として見つめることができ、患者さんと一緒に考えることができます。

装着支援器具の改善、装着データの取得、データ活用による治療の進展。これを何度も周回していくことで、患者さんの症状も治療の環境も改善する仕組み。私はこれを「むくみプラットフォーム」と名付けました。装着支援器具だけでなく、むくみ管理アプリ、下肢血流測定機器(着衣がきつすぎないかを測る)等の必要な機器開発も視野に入れています。一つひとつの取り組みに大きな技術革新はありませんが、合わせることで診察室を患者さんの生活に拡張するような仕組みになるはず。まるで道具から船を作るような気持ちですが、コツコツと、しかしスピーディに取り組めます。

社会的な損失の話をしました。正直、それはおまけ。真の狙いは、頑張っ

Profile

浜松医科大学
佐野 真規

浜松医科大学 リンパ浮腫センター 副センター長 特任講師

浜松医科大学外科学第二講座特任講師、リンパ浮腫センター副センター長、医学博士。日本リンパ浮腫治療学会評議員、日本静脈学会評議員。リンパ浮腫の病態解明および治療法開発に従事し、附属病院リンパ浮腫センターにて浮腫専門外来を担当。臨床と研究の両面から、浮腫診療の質向上を目指し、実装を意識したプロダクト開発にも取り組んでいる。

TEL : 053-435-2111 MAIL : m.sano@hama-med.ac.jp HP : <https://research-er.jp/researchers/view/721059>

Shuhei So

浜松医科大学
宗 修平

新生児の呼吸モニタリングシステムの開発

— 赤ちゃんの急変を迅速に検知するためのアプローチ —



生まれて間もないかけがえのない「新生児」を、常に見守る。

世界の赤ちゃんを一人でも多く救うシステムの構築を目指す。

一見、健康で何も問題なく見えていても、一秒後にどうなるかは分からない。それが新生児期。

生後28日未満の赤ちゃんを「新生児」と呼びます。正期産(妊娠37週0日から41週6日までに出産)で、出生時に明らかな異常が認められなければ「正常新生児」として扱われますが、新生児期には予期せぬ急変が起こることがあります。ある報告では、正常新生児と判断された赤ちゃんであっても、蘇生を要する重篤な急変が年間約200件発生していると推定されています。

出生時に「正常新生児」と判断された場合、特別な管理体制の対象とはならず、通常の経過観察が行われます。現在は、医療スタッフが定期的に観察して「異常」を発見し、症状が出現してから対応する方法が一般的であり、予期せぬ急変に常に迅速に対応できているとは言えません。

もちろん、出産直後から退院まで、病院では24時間体制で赤ちゃんを見守ります。体温、心拍数、呼吸数などのバイタルサインを記録し、わずかな変化も見逃さないよう注意を払います。顔色や皮膚色に異常はないか、泣き声や手足の動きはどうかなど、全身の状態も観察します。しかし、現実問題として、一人の赤ちゃんに常に付き添い続けることは困難です。新生児医療に関わる人々がどれだけ尽力しても、見守りの目が届かない瞬間は必ず生まれてしまいます。

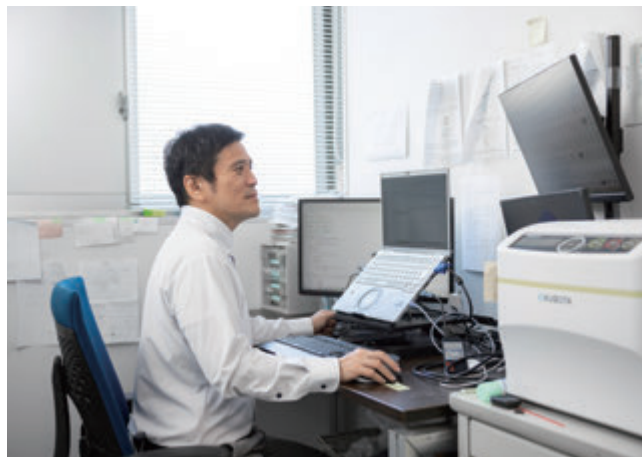
休まず、眠らず、一瞬たりとも見逃さない。
人には無理でも機械なら可能。やらない理由はない。

現場の誰もが割り切れない思いを抱えています。私たちは「できることは何か」を考えました。まずは、見守りの指標を検討することから始めました。

新生児の異常は、呼吸の変化として現れることが多いとされています。新生児は出生まで肺で呼吸をした経験がなく、呼吸中枢(脳の呼吸を司る部分)や呼吸器系も未熟なため、呼吸リズムが安定しません。さらに気道は狭く柔らかく、わずかな体位変化でも換気が妨げられることがあります。したがって、呼吸の変化を連続的に計測できれば、重篤化する前に異常を検知し、早期介入につながる可能性があります。

呼吸異常を早期に捉えるためには、適切な検出方法が必要です。早産や呼吸障害など、集中的な治療・管理を必要とする新生児が入る「新生児集中治療室(NICU)」では、複数のセンサーを用いた厳重なモニタリングが行われています。しかし、正常新生児に同様の管理を一律に適用することは現実的ではありません。さらに、これらのセンサーの多くは赤ちゃんの皮膚に貼り付けるタイプであり、皮膚が薄く敏感な新生児に対して、必ずしも必要とは限らない負担を可能な限り避ける必要があります。そのため、新生児に負担をかけないモニタリング手法が求められます。

既存の方法でも、胸郭の動きや体動をもとに呼吸数や呼吸停止を検出し、ある程度呼吸をモニタリングすることはできます。しかし、不規則な呼吸や浅い呼吸といった異常は、従来の方法では十分に捉えることができません。そのため、これまでとは異なるアプローチを構築する必要があります。



寝かせるだけで取れる体の動きをデータ化。
そこから呼吸の状態を取り出すアルゴリズム。

新生児に負担をかけず、呼吸の波形まで取得する。将来的には家庭でも使用可能なものが望ましい。そこで、まずは既存品を調べました。センサーのタイプ別に整理すると、以下の3つに分類できます。

- 1) スマートカメラ型: 高精度カメラで胸の動きを解析する
- 2) マット型: 布団やマットレスの下に敷いたセンサーで動きを測る
- 3) 装着型: おむつや衣類に装着するクリップ型のセンサーで計測する

我々はマット型センサーで取得できる呼吸データに着目しました。多くのモニターでは、呼吸停止が20秒以上続くとアラームが鳴る仕組みになっています。ここでいう「呼吸停止」とは、胸郭の動きなどの体動が一定時間検出されない状態を指します。つまり、実際に計測しているのは胸郭運動(体動)であり、鼻口からの気流(換気)を直接測定しているわけではありません。

一方、赤ちゃんの呼吸異常の一つである無呼吸には、大きく3つのタイプがあります。呼吸中枢の働きが低下し呼吸運動自体が停止する中枢性無呼吸、気道閉塞により換気が妨げられる閉塞性無呼吸、そして両者が組み合わさる混合型無呼吸です。閉塞性無呼吸や混合型無呼吸では、発生直後から呼吸努力がみられることが多く、体動が完全に停止しない場合があります。そのため、体動停止を前提とした従来のアラーム機構では、発生直後の異常を捉えにくいという課題があります。これらを早期に検知するには、呼吸を「止まったかどうか」だけで判断するのではなく、1回ごとの呼吸の形(波形)の変化として捉えることが重要です。呼吸波形を連続的に計測できれば、無呼吸のタイプに依存せず、異常の兆候を早期に捉えられる可能性があります。そこで我々は、体動データから呼吸成分を抽出し、呼吸波形を連続的に計測したうえで、その形状変化をモニタリングする独自の解析手法を開発しました。本手法により、従来の呼吸停止の検知をトリガーとするアラームでは捉えにくかった呼吸異常の兆候を、より早期に検出できる可能性があります。

収集したデータを解析して予防に役立てる。
その仕組みを日本だけでなく、世界で展開する。

本技術の中核は、呼吸波形を解析し、その変化を継続的に評価する解析アルゴリズムにあります。この解析技術については3件の特許を出願しています。これにより、新生児に特有の呼吸波形の特徴をより詳細に解析することが可能となり、呼吸の成熟度を定量的に評価する新たな指標の導入にもつながると考えられます。さらに、呼吸リズムや睡眠状態なども含めた、より包括的な見守りへの応用が期待されます。まずは医療機関に導入し、ゆくゆくは家庭での見守りにも役立てたいと考えています。継続的にデータを集める仕組みも含め、装置だけでなく制度も含めた社会システムとして導入したいと考えています。施設や人員が限られる小規模な産科ではより重要になると考えられます。医療の地域間格差を埋める手段のひとつにもなり得ます。そして、これらのデータを収集して統計的に分析していけば、危険な呼吸の予兆を見出せる可能性があります。予防的な動きにつなげることが、次の目標です。

この研究を発表したところ、ベトナムの医療チームから「ぜひ導入したい」という申し出をいただきました。日本での導入と並行して、すでにやり取りを開始しており、世界展開に向けた準備を進めています。

日本は新生児医療において先進国であり、欧米と比べても新生児死亡率は低く、世界トップクラスです。一方、ベトナムをはじめとする東南アジア諸国では、以前より大きく改善しているものの、新生児死亡率はいまだ高い水準にあります。特に、都市部と農村部の医療格差が大きいことが課題です。

装置として提供するだけでなく、社会システムとして世界中に導入できれば、より多くの命を救える可能性があります。また、継続的にデータを蓄積することで、新生児の見守りを世界規模で向上させることにもつながると考えています。

Profile

浜松医科大学
宗 修平

浜松医科大学 生殖周産期医学講座 特任講師

静岡市の不妊治療施設であるIVFクリニックの寄附講座に所属し、男性不妊症の新たな評価法の開発に取り組んでいる。不妊治療の治療成績を詳細に分析し、患者一人ひとりに最適な治療法を追求する研究を行っている。さらに、本学の周産母子センターとの共同研究にも参画し、新生児の呼吸異常を早期に発見するための新しい手法の開発にも従事している。生殖医療と周産期医療の両分野で研究活動を展開している。

TEL : 080-1739-6880 MAIL : so@hama-med.ac.jp HP : <https://reproductive-medicine.site/>

Satomi Chicken

自然科学研究機構
知見 聡美

運動皮質活動に基づく脳深部刺激療法による

パーキンソン病新規治療法の事業化検証

研究チームメンバー近影
(左側)知見 聡美
(右側)南部 篤



人が「動く」時、体の中で何が起きている?特に、脳の中では? 研究を進めることで見つけた知識を、治療に役立てる取り組み

よく考えると不思議だらけの「人の運動」。
「動こうと思った動きができる」のはなぜか?

立つ。歩く。物をつかむ。私たちは普段、体を動かすということをほとんど無意識に行っています。しかし、よく考えるととても不思議ではありませんか?手を挙げよう、走ろう、そう思った瞬間に体が動く。実際に動いているのは腕や足にある全身の筋肉ですが、運動しようと思う＝指令を出しているのは脳です。では、脳では何が起きているのでしょうか?

体を動かすとき、脳はオーケストラのように協力しています。脳の表面にある大脳皮質は交響曲(＝したい動き)を演奏する音楽家。楽譜(＝動きの指令書)に基づき、各演奏者は「今はバイオリンを強く」「ここでピアノが独奏」と、音の強弱も含めてたくさんのメロディ(＝個々の筋肉の動き)を奏でます。

すべての楽器が楽譜通りに演奏しないと交響曲が完成しません。そこで活躍するのが大脳基底核＝指揮者です。作曲家から渡された楽譜から「今の瞬間に鳴らす音」だけを選び、それ以外はストップさせる。メロディを奏でるそれぞれの楽器は、体中にある一つひとつの筋肉です。この指示により、体は余計な動きをせず、目的の動きだけを滑らかに行うことができるのです。

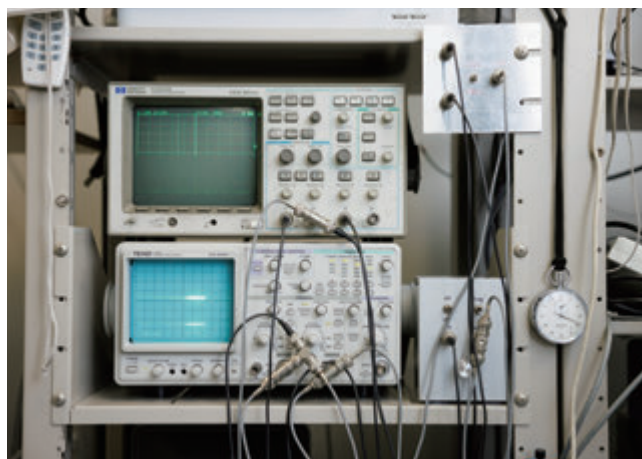
正確には脳の中ではもう少し複雑な応答がありますが、いったん省きましょう。この演奏を支える重要な物質がドーパミンです。例えるなら指揮者をスムーズに動かす潤滑油。不足すると指揮が遅くなり、体が動きにくくなったり震えが出たりします。その代表例がパーキンソン病です。

手足が震え、思い通りに体を動かせなくなる。
現在のパーキンソン病治療が抱える課題。

手足が震えたり、筋肉がこわばったり、動作が遅く小さくなったり。老人に多く見られるパーキンソン病は、前述の通り脳内のドーパミンが不足して体の動きに障害が出る進行性の病気です。現在の標準治療(保険適用になる一般的な治療)は、不足したドーパミンを薬で補う薬物療法で対処します。しかし、症状が進むと薬が効かなくなっていくため、次の治療法として大脳基底核に電極を埋め込み、一定のリズムで電気刺激を与える脳深部刺激療法(DBS:Deep Brain Stimulation)があります。

オーケストラの例で言うなら、DBSは外からメトロノームを持ち込んで鳴らすようなもの。ドーパミンが減ることで指揮者の指揮が遅くなくても、外部から正確なテンポを伝えることで指揮が滑らかにできる。ドーパミンを増やすのではなく、ドーパミン不足で遅くなった大脳基底核のリズムを電気刺激で整えるため、薬が効かなくなっても効果があるのです。

しかし課題もあります。従来のDBSは症状にかかわらず24時間一定の刺激を送り続ける仕組み。鳴りっぱなしのメトロノームです。呂律が回りにくくなる等の副作用も報告されています。消費電力も高く、体に埋め込んだ装置のバッテリー交換の問題もあります。患者ごとに最適な刺激をする設定調整も難しい。これらの課題を解決すべく、必要な時だけ自動で刺激を送る適応型DBS(aDBS:adaptive Deep Brain Stimulation)が導入されました。



生理学の観点から大脳基底核を調べているうちに、少しずつ分かってきたパーキンソン病のこと。

私は生理学者として、運動にかかわる脳のはたらきを研究しています。正常な人の動きを知るには、正常でない場合を知ることも必要。パーキンソン病は重要な研究対象です。

体を動かしていないときに出ている β （ベータ）波という脳波があります。パーキンソン病では「 β 波が異常に強く長く続いている状態」となり、「演奏停止で待機」していることになります。現行のaDBSは、「演奏停止で待機」のとき外からテンポを聞かせてこの状態を崩すことで、演奏者が楽器を弾き始める＝筋肉が動き始めるようにします。このようにaDBSは、 β 波を測り、強くなったら電気刺激を強に、弱くなったら弱にする仕組み。しかし β 波だけに頼ると、構造的な問題を孕むのです。 β 波は大脳基底核の深いところから出ています。ということは、aDBSの刺激電極を使って測ることになるので、測る場所と刺激を与える場所が同じ。すると電気刺激がノイズになる可能性があります。

視点を変える必要があります。脳波には他にも色々ありますが、体を動かすときに出る γ （ガンマ）波という脳波があります。集中したり強く興奮したりすると強く出ます。ここからが私たち独自の研究成果。 γ 波の中でも特に $\gamma 2$ と呼ばれる帯域の周波数が、運動しようとした瞬間から特に活発に出ることをつぎとめたのです。オーケストラの例で言えば「演奏が始まった」ことを示す直接のサイン。そしてこの $\gamma 2$ 波は大脳皮質で顕著に出ます。私たちが考えるaDBSは、今まさに動こうとしている信号＝ $\gamma 2$ 波が大脳皮質に現れた際に、大脳基底核に電気刺激を加えるという原理です。このように測る場所と刺激を与える場所が違うので、ノイズ混入の心配がないのもメリットです。

大脳生理学から他の分野へ、知恵のバトンを渡す。
人体の探求を通して、技術の進歩に貢献したい。

早速、この原理を用いた改良型aDBSを試作しました。狙い通りノイズの少ない計測ができ、従来のDBSだけでなく既存型aDBS（ β 波のみ）と比べても高い症状改善効果があります。それだけではありません。測定器を電極と離れたことで、これまで測れなかった電気刺激中の脳波まで観察できるようになり、治療に役立てる情報がより豊富に得られたのです。

既存型aDBSと明らかな差を確認できたので、2件の特許を出願（1件は登録済み）しており、国際特許の取得も進めています。並行して、実際に患者を治療している医師にDBSの実情をヒアリングすると、「既存のaDBSを使ってみたが、治療の効果に従来のDBSと大きな差を感じられない」という意見が多数派。決して満足いくものではないようです。また、操作の複雑さ、装置とコントローラーの遅い通信など、既存型DBSへのさらなる不満も聞けました。実験データのみですが私たちの改良型aDBSは好感触で、今後、この不満も解決できるように開発を進める方針です。

人の運動についてはまだ未解明なことが多く、大脳基底核の動きやパーキンソン病についてもようやく枠組みが見えてきた程度。それでも今回触れたaDBSのように、応用段階である治療法も見つかってきました。さらに他の病気への適用も考えられます。

それぞれの脳の部位が果たす役割も説明が進んでいます。例えば歩くとき、「右足を前に出して体重を移動させ…」等といった考えませんか？習熟した動きは演奏者が自動で音楽を奏でてくれる＝考えなくていいのです。それができるのは大脳基底核のおかげ。研究が進めば、頭で考えただけでその通り滑らかに動くロボットを創れるかも。わかることが増えれば、できることが増える。医療だけでなく様々な分野への展開を期待しています。

Profile

自然科学研究機構
知見 聡美

自然科学研究機構 生理学研究所 助教

東京都立大学大学院理学研究科にて1999年に博士号取得、東京都神経科学総合研究所研究員を経て、2006年より現職。パーキンソン病および運動異常症の症状が発現する神経メカニズムを解明するため、げっ歯類や非ヒト霊長類の疾患モデルにおいて、神経活動の解析を行っている。

TEL : 0564-55-7767 MAIL : chicken@nips.ac.jp

Koji Nishiguchi

名古屋大学
西口 康二

難治性網膜疾患に対する

遺伝子治療の事業化検証



徐々に視力が奪われていく「網膜色素変性症」に根本治療を構築する。 日本特有の課題解決をステップにした、次世代治療プラットフォーム。

日本の失明原因第2位と言われる網膜色素変性症。
2025年現在、根本的な治療法は限られている。

徐々に視力が失われていく「網膜色素変性症」は、日本において主要な失明原因の一つとされる難治性疾患です。目の奥にある網膜の細胞が時間をかけて壊れていく進行性の病気です。網膜は非常に薄い神経の膜で、外から入ってきた光を感知して電気信号に変換し、視神経を通じて脳へ伝える組織。これがだんだんと壊れることで、視覚が失われていくのです。

初期には暗い場所で見えにくくなり、やがて視野が狭くなり、最終的には失明に至ることも少なくありません。進行には個人差が大きく、いつまでにどのくらい症状が進むのかを予測するのが難しい病気です。それでもある程度の傾向がわかるところまで研究は進んでいますが、2025年現在、この病気の進行を根本から止める治療法は、依然としてありません。

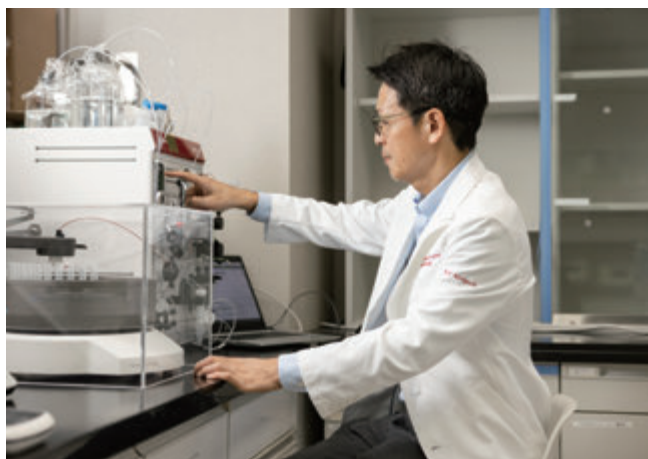
網膜色素変性症の本質的な原因は、遺伝子異常にあります。これまでに100種類以上の原因遺伝子が報告されており、その分布は人種や地域によって大きく異なっています。これが、この病気の治療法を一段と難しくしています。欧米で頻度の高い遺伝子変異と、日本人に多い遺伝子変異は必ずしも一致しないのです。この事実は、治療開発において極めて重要な意味を持ちます。同じ病名であっても、原因が異なれば最適な治療法も異なります。欧米で有効性が示された治療法を、そのまま日本に導入しても、多くの患者には適用できない可能性があるのです。

遺伝子の病気には、遺伝子を正す治療が必要。
現在の治療にある課題と、これを超える解決策。

近年、遺伝子治療は、研究段階から実臨床(実際の治療現場)へと移行し始めています。日本でも2023年、特定の遺伝子変異を対象とした遺伝子治療が承認されました。これは、壊れて機能しなくなった遺伝子に正常なコピーを補い、失われた機能を回復させる遺伝子補充療法と呼ばれる治療法です。遺伝子が原因の病気に対し、原因そのものに介入する治療法となり、これまでの医療のあり方を大きく変える革命的な一歩と言えます。

しかし、この遺伝子補充療法には明確な限界があります。治療の対象となるのは、遺伝子の機能が失われて発症する「顕性変異」に限られるのです。変異のせいで遺伝子が異常な機能を持ってしまったことで正常な遺伝子の働きを妨げる「顕性変異」の場合、遺伝子を単純に補充するだけでは治療効果が得られません。また、正常な遺伝子を運ぶ役割を持つウイルスベクターには、運べる遺伝子の大きさに制限があり、大きな遺伝子は搭載できません。後述しますが、日本人患者に多い原因遺伝子は、遺伝子がとても大きいタイプ。このため、現在の遺伝子補充療法の適応外となってしまうケースが大半なのです。

この解決策となるのが、ゲノム編集技術を用いた新しいAAV遺伝子治療です。ゲノムとは個体を持つ全ての遺伝情報、言わばその個体の設計図で、全身の細胞に共通して存在します。ゲノム編集は、この設計図の特定部分だけを書き換え、壊れた遺伝子そのものを修復する技術なのです。



壊れたところを直接修復する、という根本策。
日本特有の課題を入口にした、解決策の開発。

このアプローチの最大の特徴は、壊れた遺伝子に正常な遺伝子を「たす」のではなく、壊れた遺伝子そのものの、壊れた部分だけを「直す」点にあります。修復に必要な設計情報は比較的小さく、ウイルスベクターに搭載することができます。そのため、巨大な遺伝子であっても治療対象とすることが可能になるのです。さらに、遺伝子そのものを修復するため、顕性変異と潜性変異のいずれにも対応できます。大きさやタイプ(顕性・潜性)にかかわらず、遺伝子の「壊れ」を体内に残さない。だから、理論上、これまで治療が困難とされてきた多くの遺伝子異常を、一つの技術基盤を確立することで、カバーできる可能性があるのです。

私は過去に、日本人の網膜色素変性症患者を対象とした大規模なゲノム解析を行いました。その結果、日本では、患者の約20～30%がEYSと呼ばれる遺伝子の変異が原因になっていることを明らかにしました。

EYSは網膜で最大級、人体の全身を見渡しても屈指の大きさを持つ巨大な遺伝子であり、ウイルスベクターには搭載できません。つまり、遺伝子補充療法では対応できない。一方、欧米ではEYS変異の頻度は5～15%程度とされており、他の原因遺伝子に対応する方が、優先順位が高かったという背景があります。このため、研究開発の主流にはなりにくかったのです。だからこそ、この領域は日本が主導すべき課題と言えます。日本発の技術が世界に貢献できる余地があります。

事業という視点で見ても価値は大きい。この取り組みは単一疾患に留まらない広がりがあるからです。ゲノム編集 AAV 治療という基盤が確立すれば、標的の遺伝子を切り替えることで他の遺伝性疾患を治療できる。つまり遺伝性疾患の治療法として横展開していける可能性があるのです。

ゲノム編集という新しい遺伝子治療技術を、
プラットフォームとして開発する意義。

私たちのチームは、複数のゲノム編集技術を組合せた独自の方法を開発し、すでに特許出願を行っています。現在も第2、第3の技術的な選択肢を並行して検証し、最も実用性の高いアプローチで事業化を目指しています。ゲノム編集治療を実現した例は、世界中見渡しても未だありません。

私の原点は、あくまでも臨床医としての経験にあります。医師になって間もない頃、治療法のない重症の遺伝性眼疾患と向き合い、「治せない病気がある」という現実には強い無力感を覚えました。そしてこの経験が、この病気の治療法を実現するという、医師としての目標になりました。

2008年、海外で報告された AAV 遺伝子治療の査読論文を目にしたことが、大きな転機となりました。遺伝子治療が人の視覚を回復させ得ることを、世界で初めて実証した歴史的な報告です。実際に治療効果が示されたその成果に衝撃を受け、自ら研究グループに連絡を取り、当時の所属を離れて留学を決断しました。実際に現地で目の当たりにした遺伝子治療の効果は、今も鮮明に記憶に残っています。

症状を和らげ、進行を遅らせる治療から、病気そのものを治す治療へ。私たちが目指しているのは、患者が本当に求めるゴールを正面から追求する医療です。これを実現する意義は、とても大きいと思います。

同時に、この挑戦は、日本に特有の未充足医療ニーズ(未だに有効な治療法が見つからない疾患に対する医療ニーズ)を起点としながら、世界に通用する新たな遺伝子治療プラットフォームを生み出すもの。対象疾患は、幅広いものへと発展させることができます。研究と事業の境界を越えたこの取り組みは、医療だけでなく、次世代バイオスタートアップの新たなモデルケースとなる可能性を秘めている、と考えています。

Profile

名古屋大学
西口 康二

名古屋大学 医学系研究科 教授

1999年 名古屋大学眼科、医員。2000年 米国・ハーバード大学、メディカルフェロー。2002年 米国・ハーバード大学、リサーチフェロー。2007年 名古屋大学眼科、助教。2011年 スイス・ローザンヌ大学、リサーチフェロー。2012年 英国・University College London 臨床研究員。2014年 東北大学視覚先端医療学、准教授。2020年 名古屋大学眼科、教授 現在に至る。

MAIL : kmn@med.nagoya-u.ac.jp

Takahiro Iwao

名古屋市立大学
岩尾 岳洋

ヒトiPS細胞由来腸管オルガノイドを用いた

新規消化管モデルの事業化検証



あえて「小腸そっくり」を目指さず、薬の開発に絞って最適化。

動物実験に代わり、ヒトでの反応をより正確に捉える技術。

倫理の問題だけではない、動物実験の課題。
ヒトの生体を反映しきれない「種の壁」がある。

薬に限らず、食品、化粧品等、ヒトが口にする・肌で触れる製品を開発するプロセスでは「それは確かに効果があるか」「それはヒトにおいて安全か」という試験が必要です。開発過程を「新たな製品が世に出る過程」と捉えると、たくさんの候補の中から、目的と安全性が両立するものを絞り込んでいく過程、と云えなくもありません。試験を通過すること、商品化の可能性が上がるからです。動物実験は其中で、避けては通れない重要な役割を担ってきました。それが変わりつつあります。

動物実験の削減や代替は、今や世界的な目標。EUは、化学物質の安全性評価で動物実験を段階的に廃止する計画を進めています。アメリカでは、FDA (Food and Drug Administration: 米国食品医薬品局) が新薬の臨床試験前の動物実験の義務化を撤廃しました。日本でも、3R (Replacement, Reduction, Refinement) の原則に基づく取り組みが進められており、食品や化粧品業界では動物実験を行わない企業が増えています。

単に倫理的な問題だけを廃止の理由にする向きもありますが、科学者としては異論があります。マウスとヒトは同じ哺乳類ですが、「種の壁」があります。動物実験は長年重要な役割を果たしてきましたが、ヒトの反応を完全に再現できるわけではありません。それでもなくせないのは、ヒトでの反応を見る大きな参考になるからです。

ヒトでの反応を知る最良の手がかりは、
ヒトそのもの。その理想に触れられる時代。

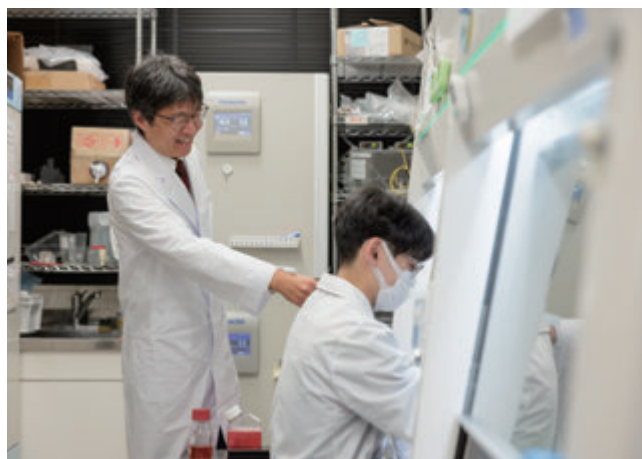
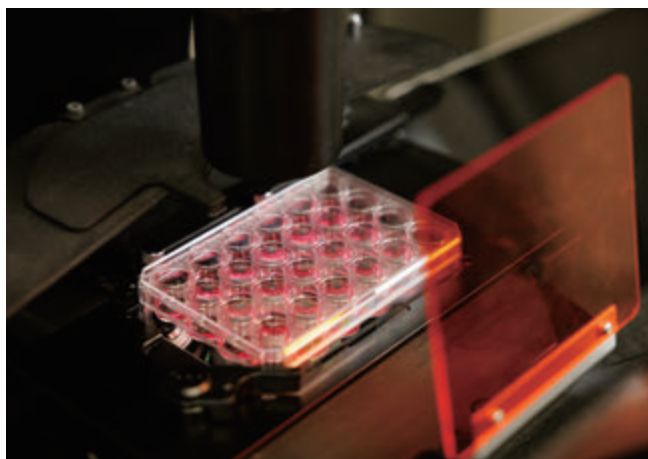
薬の開発では、製品化までに臨床試験を通過する必要があります。ヒトで実際に試して、効果と安全性を確認するのです。動物実験は、その前に効果と安全性を確かめるために行われてきました。しかし新薬の臨床試験の成功率は約10%程度。ほとんどの候補がふるい落とされます。

ただでさえ、臨床試験にたどり着ける候補品は少ない。臨床試験の最初の関門となる第I相試験で中止となった場合、その損失は数十億円*規模にのびます。最終段階の第III相試験まで進むとさらに膨らむ。これは候補薬1件の開発での推計。臨床試験前の効率の向上がいに重要か、よくわかるでしょう。

私は、動物実験の削減や代替という世界的な潮流は、そもそも動物実験が孕む「種の壁」という問題の解決を促すことにもなると捉えています。これを、臨床試験前の開発効率の向上に直結させたい。

では、どうやって効果と安全性を確かめるか？ヒトの細胞で試験すればいい。それができる時代になりました。iPS細胞です。京都大学の山中伸弥教授らのグループが世界で初めて作製に成功し、2012年にノーベル生理学・医学賞を受賞しました。心臓、神経、肝臓など、体のほぼすべての細胞に変化する能力があり、ヒトの体の様々なパーツや『病気のモデル』を、細胞レベルで再現することができます。これを薬の開発に応用すればいい。具体的には何を作ればよいか。薬の吸収を司る器官、小腸です。

*第I相試験の費用の中央値は約8億5900万円(2025年:アメリカ国立衛生研究所の調査)。基礎研究から含めた総額はおよそ20億~60億円となる。



ヒトの臓器そのものを、体の外で再現する挑戦。 iPS細胞を用いたミニ臓器「腸管オルガノイド」。

オルガノイド(Organoid)とは、試験管など体の外で作製された「ミニ臓器」と言える組織。「器官(organ)」と「〜もどき(-oid)」を組み合わせた造語で、特定の臓器を持つ複雑な構造や機能をマイクロスケールで再現できます。この技術を応用すれば、これまで動物でしか分からなかったことが、ヒトの細胞で事前に分かるようになります。

さて、飲み薬(経口薬)として開発する場合、関係する臓器は主に4つ。薬を吸収する入口の「小腸」、薬が効果を発揮する「標的臓器(患部)」、薬を分解する「肝臓」、薬を体の外に出す「腎臓」です。効果と安全性は、具体的にはこれらの臓器で確認します。

創薬において、小腸は重要。吸収されなければそもそも薬が効果を発揮するプロセスが始まらない。毒性があってもここで終了です。しかし小腸は難敵。「薄い膜」なのに構造も機能も複雑で、見るべき中身が多過ぎるのです。

注目は、薬の吸収の最前線、小腸の最も内側にある「粘膜上皮」です。なんと細胞1層で栄養や薬を吸収し、有害物質をブロックします。重要なのが、細胞同士がピッタリ結合して悪者の侵入を防ぐタイトジャンクションという構造。薬や外からの異物がこれを壊してしまうと安全性が確保されない。私はかつて、この働きを模倣した「ヒトiPS細胞由来腸管上皮細胞(F-hiSIEC)」の開発に携わっていました。この経験を生かして、より実際の腸に近い性質を持ち、薬の吸収や安全性の評価に役立つモデル「ヒトiPS細胞由来の二次元培養腸管オルガノイド」を開発。言わば小腸を開いたシート状のオルガノイドです。培養方法の工夫で大量に作製でき、長期間培養で1か月近い観察が可能です。

小腸を開いたシートにすることで、創薬に最適化。 メカニズムに着目すると、可能性が見えてくる。

F-hiSIECは、上皮細胞のタイトジャンクションまで再現できる優秀な細胞モデルですが、成熟して機能が高分、寿命も短い。数日間を超える化合物の影響を調べることはできません。オルガノイドに仕上げることで、長期間での培養評価ができるようになります。生体腸管に類似した凹凸構造をもつ細胞モデル(小腸内壁のひだひだの構造)にできるので、候補物質の生体内でのふるまいも再現性が高いと考えられます。

また、通常のオルガノイドは、臓器を立体的に再現するように作ることが多く、小腸のようなパイプ構造は中身が見づらい。そこで、凹凸構造を保ったままシート状(二次元)にすることで、試したい化合物(薬の候補物質)の反応を顕微鏡で観察することができます。創薬に特化した、目に見えるヒト生体消化管モデルとして、研究段階での有用性が確認できたので、現在は事業化の検討を進めています。類似技術とのすみ分けや適用できる対象等を検証しています。実現すれば、医薬品の開発効率の向上に、一定の貢献ができると考えています。

ですが、これだけで動物実験を代替できるわけではありません。小腸や肝臓、それぞれの評価だけでは、候補物質の生体内でのふるまいが分からないからです。これを調べるために私たちが取り組んでいるのが、生体模倣システム(MPS)の開発です。小腸と肝臓のように、複数の細胞を並べて血流を作り、生体同様の血液の流れがある環境で他組織への影響を見る仕組みです。対象の臓器でのふるまいだけでなく、他組織との関係を見ることができ、ヒトへの影響をかなり精度高く評価できるようになることが期待されています。それでもまだ、動物実験を完全に置き換えるには不十分。しかし代替できる領域はかなり広がるはず。一歩ずつでも、取り組む価値があると考えています。

Profile

名古屋市立大学
岩尾 岳洋

名古屋市立大学 大学院薬学研究科 教授

名古屋市立大学大学院薬学研究科博士後期課程修了。博士(薬学)。福井大学医学部附属病院薬剤部に勤務した後、名古屋市立大学大学院薬学研究科の助教、講師、准教授を経て、2024年より現職。ヒトiPS細胞などを活用して腸管を中心としたヒト生体機能を再現する新しい評価モデル(NAMs)を開発し、これらのモデルを創薬研究などの幅広い分野へ応用することを目指して研究に取り組んでいる。

TEL : 052-836-3751 MAIL : tiwao@phar.nagoya-cu.ac.jp

Kozo Kaibuchi

藤田医科大学
貝淵 弘三

新規向精神薬のスクリーニング系の

事業化検証



まったく異なるようにしか見えない症状が重なる統合失調症。 治療の柱のひとつを打ち立て、克服へ一歩前進するための事業。

陽性症状、陰性症状、認知機能障害の三重苦。
見かけの異なる症状が重なり、解明を阻んできた。

現代においても難治性疾患のひとつと言える統合失調症。ないはずの音や声が聞こえたり(幻聴)、ありえないことを信じ込んだり(妄想)する「陽性症状」、感情が乏しくなったり、意欲がわかず引きこもったりする「陰性症状」、判断力や記憶力が下がるなどの「認知機能障害」の3つが現れます。脳内の情報のやり取りがうまくいかなくなり、本来はやり過ごす「心のつぶやき」や「周囲の音」等の些細な情報が、あたかも重要なメッセージとして脳細胞に伝わってしまう状態と捉えてください。

治療の全体像は、以前と比べてかなり変わってきています。中心となるのが薬物療法であることは変わりありませんが、薬だけでは不十分。症状の差が大きいので、患者の状況に応じて、考え方や対処法を練習する認知行動療法や、仕事・対人関係の練習をする生活技能訓練、デイケアや訪問看護など「薬+リハビリ+支援」を組み合わせる治療にあたっています。

解明が進みつつあるものの、まだ手探りのことが多いのが実情です。70年前に登場した抗精神病薬が少しずつ改良され、以前と比べて陽性症状への効き目が向上し、副作用も改善しています。しかし、陰性症状には効果が弱く、認知機能障害に殆ど効き目がありません。この2つには、今のところ有効な薬がない。だから今の統合失調症の重症患者は、昔と比べるとかなり穏やかに見えます。しかし、有病率はほとんど変わっていないのです。

症状に関わる因子が分かれば、狙い撃ちできる。
例えば、分子標的薬の抗がん剤のように。

分子標的薬という薬をご存知ですか?症状の原因となる特定の分子=標的分子を狙い撃ちする薬です。正常細胞への影響を抑えつつ、病気の原因をピンポイントで叩きます。がんの増殖スイッチを切る抗がん剤や、リウマチ等の炎症を止める薬として活躍中です。高い効果と副作用の制御で治療の成功率を大幅に向上させ、従来の薬で太刀打ちできなかった難治性の白血病やリウマチ等の「治療の空白地帯」を埋める役割を果たしました。

標的とする分子の「場所」と「機能」で分類すると、2つに大別できます。細胞の表面にある「アンテナ(受容体)」を塞いで命令が中に入らないようにする「抗体医薬」と、細胞膜を通り抜けて中の「伝言板(シグナル伝達分子)」を直接書き換えたり壊したりする「低分子化合物」です。

後者なら脳でも動かせることができます。ある種の低分子化合物は小さいため、きちんと脳に届く。そして精神疾患の原因の多くは「脳内の神経細胞の間でシグナルがうまく伝わらない(または伝わりすぎる)こと」にあるため、そのシグナルを分子レベルで調節できれば治療に直結します。

これまでの精神科の薬は脳内の「情報の受け渡し場所(受容体)」を広く調整するもので、いわば脳全体をぼんやり調整するタイプでした。従来の抗精神病薬もこれ。効き目はあるが限界もあります。分子標的薬なら、より精密に、より深い場所を狙える。とすると重要なのは標的分子です。



一筋縄ではいかない、統合失調症の標的分子探索。
その足掛かりとなる基盤を作り、標的に肉薄する。

ところが、標的分子を見つけるのはそう簡単ではありません。少し前までは、脳内で最も多く使われているグルタミン酸や、陽性症状を引き起こす原因にかかわるドーパミン、認知機能に関係しているアセチルコリン等、これらの神経伝達物質がどうやって脳で働いているか、よく分かっていなかった。メカニズムが分からなければ、当然その因子である標的分子も特定はできません。私自身も、これら主要な神経伝達物質が細胞内でどのようなシグナルを引き起こすのか、解析に取り組んできました。

神経伝達物質の脳内での振る舞いを知ることが、治療に応用可能な細胞内シグナル分子を見つけることにつながります。最近の研究で、アセチルコリンは脳内のあるたんぱく質を活性化し、これが活性化すると脳のシナプス（記憶を強化するときに大きくなる）が大きくなるということが分かってきました。シナプスは大きくなることで安定し、必要な信号を維持できるようになり、結果、認知機能が上がる。これを基に薬を探索できないか研究を進めたところ、手応えのある実験結果を得ることができました。基礎研究から創薬研究へと進むための足がかりが得られたことから、本 GAP ファンドを活用し、検証を一段進める段階に入っています。

この探索を可能にした基盤についても触れておきましょう。「リン酸化プロテオミクス技術とデータベースを活用した創薬スクリーニングシステム」と呼んでいます。リン酸化プロテオミクスとは、脳の中にある無数のタンパク質について、「どれが今、働く状態になっているか」を一斉に読み取る技術です。タンパク質は量よりも、スイッチが入っているかどうか重要です。この技術を使うと、病気の脳で何がうまく働いていないのか、薬でどこが正常に戻ったのか、全体像として捉えることができます。

統合失調症の治療のために、私ができること。
統合失調症と向き合うために、皆で考えたいこと。

リン酸化プロテオミクスは「どの分子を叩けば治るか」ではなく「どう叩けば正常な状態に戻るか」から標的を選ぶ技術。複数の因子が絡む脳内の現象では、このアプローチが特に有効です。探索時の標的を一点に固定しないでいいからです。このような標的探索を可能にする手法を構築できた意義は大きい。従来型の探索では、結果的に候補物質が効かなかった場合に失うものが多すぎました。この手法は違います。仮に創薬に直結しなかった場合でも、脳疾患を「状態の問題」として捉える新たな枠組みを提示できる点で、この分野に重要な知見を残せると考えています。

この取り組みを通して、統合失調症の認知機能障害を改善する薬を開発する。正直に言えば、まだ入り口に立ったくらいです。候補物質の特定、薬としての開発、臨床試験等、道のりはまだ遠いですが、見つけた標的候補には可能性を感じています。着実に研究を重ねて、創薬につなげたい。

もうひとつ、触れておきたいことがあります。統合失調症という病気との向き合い方についてです。統合失調症は100人に1人の割合で発症すると言われて、決して珍しい病気ではありません。しかし人格が消失したように見える不気味さから、患者が偏見の向こうに追いやられ、不当に迫害される悲しい歴史があったことは否定できません。各国で異なる対応が取られてきましたが、いずれも十分な解決には至っておらず、社会全体での理解と支援の在り方が改めて問われています。思春期までの発達に影響しており、完治ではなく寛解を目指す治療と考え方も変わっています。症状を改善させ、日常生活を取り戻せる人もいます。病気を抱えても希望をもって生きていけるよう、正しく理解するところから始めたい。この病気は個人ではなく、社会で克服するもの。皆で考えていきたいと思います。

Profile

藤田医科大学
貝淵 弘三

藤田医科大学 精神・神経病態解明センター センター長

神戸大学医学部卒業後、同大学院で生化学を専攻し、米国DNAX研究所で博士研究員を務めた。奈良先端科学技術大学院大学教授、名古屋大学医学系大学院教授を経て、藤田医科大学精神・神経病態解明センター長。Rhoファミリー低分子GTP結合タンパク質のシグナル伝達機構を解明し、神経可塑性や精神・神経疾患研究、創薬研究を推進している。

MAIL : kaibuchi@fujita-hu.ac.jp HP : <https://www.fujita-hu.ac.jp/icbs/>

Kodai Suzuki

岐阜大学
鈴木 浩大

臓器血管内皮特異的ホーミング化合物を用いた

新規治療法の開発



効かせたいところだけに効かせられれば、薬はもっと楽になる。

辛く苦しいだけじゃない、副作用の本当の怖さを制御する治療法。

多臓器不全という体内の大火災にどう向き合うか。
薬=消防士がいても火を消せない、歯がゆい現実。

大量出血や敗血症が最終的に引き起こす多臓器不全は、医療現場で最も恐れられる状態の一つです。肺、腎臓、肝臓など複数の臓器が同時に炎症を起こして機能低下へ陥り、どこか一つを治療しても全身が立て直せない。これは、体の中で同時多発的に火災が起きているような状況です。

このとき使われる抗菌薬や抗炎症薬は、いわば消防士にあたります。ここで問題があります。十分な人数の消防士、適切な装備があるにもかかわらず、火元にうまく到達できないようなことが起きている。多臓器不全では薬は全身投与され、血流に乗って体中に広がります。その結果、本当に燃えている臓器には十分届かず、まだ被害の少ない臓器に不要に働いて副作用を起こしてしまう。現在の治療の、大きな壁となっています。

この課題を解決する発想のひとつに、ホーミング化合物を使う治療法があります。ホーミング化合物は、治療効果を発揮する薬=消防士や消火剤ではなく、いわばそれらを火元まで運ぶ消防車にあたるもの。薬効成分を直接強化するのではなく、「どこに届けるか」を制御する分子です。

がんや画像診断の分野では、すでにこの考え方が実用化されています。もし多臓器不全という大火災に対しても、火元に直行できる仕組みが作れば、治療のあり方は大きく変わります。その実現に向け、注目されているのが、血管内皮細胞とグリコカリックスです。

血管は消防車のすべての通り道。それも、ただの道ではなく、地図のように広がっている。

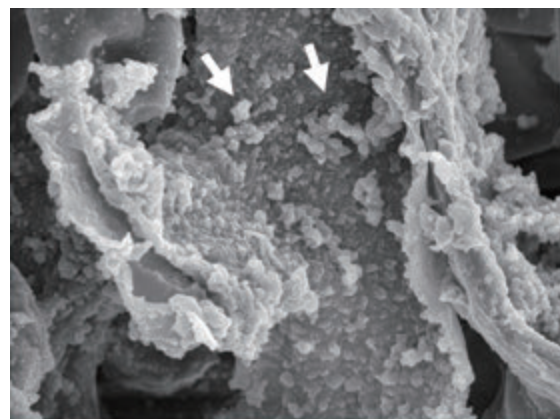
体内のすべての臓器は、血管でつながっています。そしてどんな薬も、まず血管を通して臓器へ向かいます。つまり血管は、すべての消防車が必ず通る道路です。ホーミング薬を考えるうえで、この共通ルートに注目することは理にかなっています。しかも均一ではなく、場所による多様な個性がある。まるで地図中の1点のように、同じところがありません。

血管の内側は血管内皮細胞という細胞に覆われていますが、これが臓器ごとに性質が異なります。脳の血管、肺の血管、腎臓の血管では、通す物質や反応の仕方が違う。これを臓器特異性と言います。同じ道路でも、場所によって進入禁止だったり最高速度が違ったりするようなものです。

さらに血管内皮細胞の表面を覆っているのが、グリコカリックスという糖タンパクの層。血液が直接触れる層で、表札の役割があります。血管内皮細胞と同じく臓器それぞれに特有の構造を保ち、血管を守っています。しかし炎症が起きるとこの層は変質し、進行すると剥がれてしまいます。

ここが重要です。グリコカリックスのあり様は、火元の位置と激しさを示す情報板のように振る舞います。炎症の初期には「どの臓器で問題が起きているか」が分かる表札として機能し、進行して剥がれると「ここが強く傷んでいる」という共通の異常サイン、つまりサイレンを鳴らします。

炎症の進行で血管表面の様子が変わっても、この変化を利用すれば、状態に応じて狙いを変える二段構えのホーミングを成立させられます。



肺血管内皮グリコカリックスの電子顕微鏡像（白矢印）
Kodai Suzuki, et al. *Am J Pathol.* 2019より改変

消防車に求められる賢さをどう作るか。
臓器特異的を可能にするペプチドという選択肢。

火元の情報を読み取り、適切に向かう消防車を、分子としてどう作るか。その有力な答えがペプチドです。ペプチドは、アミノ酸が短くつながった分子で、体内ではホルモンや情報伝達物質として日常的に使われています。特徴は、アミノ酸の配列を工夫することで、特定の分子構造や表面に選択的に結合する性質を、比較的自由に設計できる点にあります。

血管内皮の表面には、臓器特異的なグリコカリックスが残っている状態と、炎症で剥がれた異常表面が露出した状態があります。ペプチドは、その違いを見分けるセンサー兼ナビとして機能させられる。つまり、「この道路の先に火元があるかどうか」を判断しながら進む消防車です。ペプチドは小さく、血流に乗って素早く巡るので、他の分子より向いている。特に刻々と状況が変わる多臓器不全のような病態に適しています。

では、今その研究はどこまで進んでいるか？私はアメリカ留学時、まさにこの研究に取り組んでいました。そこで「炎症や血管内皮傷害が起きている組織に限って集まる性質を持つペプチド＝CARペプチド」の研究にも携わったことがあります。傷ついた血管の内皮細胞に集まりやすく、そこへ薬を導く働きがあることが報告されています。つまり二段構えの後ろ側には、既に実証済みの手札を持っていることになります。

ならば炎症の初期段階に効く「臓器特異性に敏感なペプチド」を見つける必要がある。ここが私たちの研究の本丸です。ファージディスプレイ法という、無数のペプチドから目的の細胞に合う「鍵」を探すような方法で探索を進めています。鍵候補を載せた微小なファージを細胞という「鍵穴」に触れさせ、合ったものだけを回収・増やします。狙った場所に集まる性質を見つけやすいのが特長です。既にいくつか候補が出てきました。

完全には失くせなくても、副作用を制御できるなら。
医療全体に寄与する創薬を目指して。

このペプチドのポイントは、自身が薬効を背負わず、純粋に病変部へ薬を届ける役割を担うところ。消火機能を持たない代わりに、全身どこでも超特急で到達する自動運転の消防車です。既存の薬品と組み合わせることで、様々な疾患に適用できる。病変部に薬効成分を集中できるので、同じ服用量で効果をぐっと上げられることになります。そして副作用を起こす原因を叩いているので、安全性をかなり上げることができます。

前述の通り、現在はそれぞれの臓器に対応するペプチドの探索を進めています。ひとまずの目標は、生存に直結する重要な臓器、心臓、肺、肝臓、腎臓等を網羅すること。脳も含めた全身へとフロンティアは広がっています。まだそれを現実のものと語れるようになるには時間が必要ですが、メカニズムがわかってきたのは大きな進歩だと思っています。

この研究を進める場として、岐阜大学はかなり良い環境だと思っています。血管内皮細胞に焦点をあてた研究を、個々の研究者ではなく複数の研究テーマとして継続的に扱ってきた実績があり、血管内皮を情報伝達層として見てきた文化があります。ホーミング化合物の探索と相性が良く、米国留学で先端的なDDS研究に触れてきた自分の経験を活かせます。

実は、私は救急医。集中治療室で集中治療部門長として勤務しています。この話を多臓器不全から始めたのは、そういう背景から。多臓器不全の原因は様々で、大きな外傷や火傷が引き金になることも少なくありません。その時、副作用は生死を分ける重大事項になる。ホーミング薬だけで副作用を完封することはできませんが、制御はかなりできるようになる。時間をかけても克服する意義は大きいと思います。

Profile

岐阜大学
鈴木 浩大

岐阜大学 大学院医学系研究科感染症寄附講座 特任准教授

2009年大阪市立大学医学部医学科卒業。2016年岐阜大学大学院医学系研究科救急・災害医学分野卒業。医学博士。2012年4月に岐阜大学救急・災害医学分野入局、2019年米国コロンビア大学外科留学を経て、2023年より現職。救急科専門医・指導医、集中治療科専門医、航空医療学会認定指導者などを有する。高度救命救急センターと集中治療室で臨床に邁進する傍ら、血管内皮障害研究とDrug Delivery Systemによる創薬研究にも従事している。

TEL : 058-230-6448 MAIL : kodaisuzuki@ymail.ne.jp

Shinsuke Nakamura

岐阜薬科大学
中村 信介

線維瘢痕を伴う新生血管型加齢黄斑変性を対象にした

新規治療薬の創成に向けた検証



日本の失明原因第4位に位置する「加齢黄斑変性」は増加の一途。

眼の奥で起きる浮腫と線維化のメカニズムに迫り、進行を止める。

一番見たいところが見えなくなってしまう、つらい目の病気、それが「加齢黄斑変性」です。

加齢黄斑変性は、眼の奥にある「黄斑」という部分が年齢とともに傷んでいく病気です。発症すると、ピントが合わない、ものの中心がゆがんで見える、といった症状が現れます。欧米では成人の失明原因の第1位、日本でも高齢化と生活習慣の変化に伴い、患者数は年々増えています。

「黄斑」とは、ものを鮮明に見るための重要な部分です。カメラで言えば、ピントが合う中心部分にあたります。細かい像のズレを感じ取る視細胞が密集し、新聞を読む、スマートフォンを見る、人の表情を見分けるといった、私たちの日常生活を支えています。一方で黄斑は、細かいものをはっきり見るために常に働き続けているため、眼の中でもとくに多くのエネルギーを消費する場所です。その分、年齢とともに負担がかかりやすく、ダメージを受けやすいと言われています。ストレスがたまると視細胞のすぐ下にある「世話役の細胞(網膜色素上皮:RPE)」が衰え、老廃物が溜まり、構造が乱れてしまうのです。

加齢黄斑変性には、「萎縮型」と「新生血管型」があり、萎縮型では、黄斑が少しずつ失われていきます。一方、新生血管型では、衰えたRPEを助けようと新しい血管が作られますが(血管新生)、この異常な血管は無秩序に伸びるため、RPEを突き破り、物理的に傷める場合もあります。また、新生血管自身も不安定なので、血液成分が漏れたり出血を起こしたりしてむくみ(浮腫)等を引き起こします。この状態が繰り返されると新生血管自体、あるいはその周りが硬い瘢痕組織に置き換わっていきます。この段階になると黄斑は本来の形や働きを失い、元の状態に戻すことが難しくなります。

今のところ、完治させる治療法が見つかっていない。
早期診断、早期治療介入が重要。

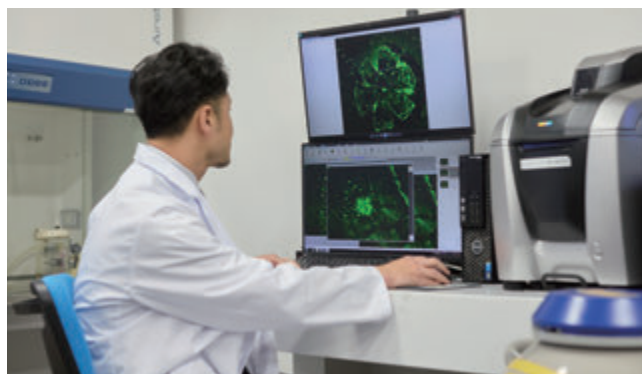
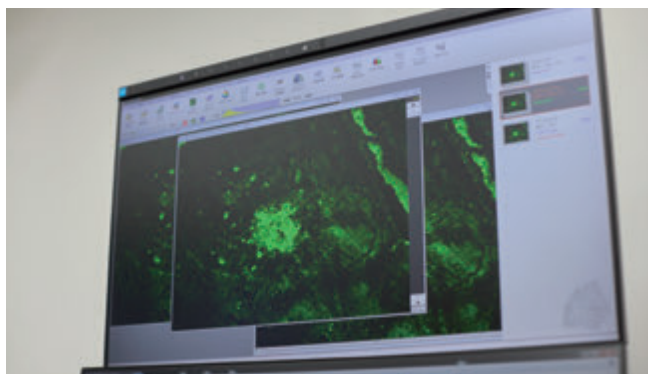
「瘢痕組織に置き換わる」となぜ「元の状態に回復させることは難しい」のでしょうか?瘢痕とは平易な言い方をすると傷跡のことです。けがで残った皮膚の傷跡が分かりやすい例でしょう。

瘢痕化とは、傷が治る過程で組織が硬くなる現象を指します。これは皮膚だけでなく体の内部でも起こり、「線維化」とも呼ばれます。組織が硬くなるのは、もとの正常な組織が性質の異なる硬い繊維質の組織に置き換わってしまうためです。

深い傷跡が一生残ることがあるように、いったん線維化した組織は自然に元の状態へ戻ることはほとんどありません。現在でも、線維化を完全に防いだり、元の正常な組織に戻す治療法は確立されていません。そのため、できるだけ早く病気を見つけ、線維化が進まないようにすることが重要になります。

ここまです振り返ると、新生血管型の加齢黄斑変性では、線維化を防ぐために、新生血管の活動を抑えることが重要であることが分かります。現在の治療の中心となっているのが、新生血管を作る合図を出すVEGF(血管内皮増殖因子)というタンパク質の働きを抑える、抗VEGF療法です。抗VEGF薬を眼内に注射して、新生血管の成長を止め、血管の漏れを抑えて浮腫を落ち着かせ、炎症反応を弱めることで視力を回復させ、病気の進行を抑制します。

しかし、薬の効果は一時的であり、効果が切れると再発するため、定期的な治療が必要です。平均値として抗VEGF薬の治療開始後およそ2-5年程度は視力の改善がみられますが、長期的には治療開始前の視力を下回る場合もあります。これは、抗VEGF療法だけでは線維化そのものを抑えることが難しいことが、一因と考えられています。



新生血管を抑えるだけでなく、線維化も防ぐ。
二つの病態に同時に働きかける新しい治療。

抗 VEGF 薬で新生血管の成長やそこからの漏れ・出血を抑えると、線維化につながる炎症や組織の傷みが起こりにくくなり、その結果として形成される瘢痕はある程度は抑えられるかもしれません。しかし逆に言えば、治療を続けていても少しずつ瘢痕化(線維化)は進んでしまいます。

では、線維化そのものを、何とかして食い止める方法はないのでしょうか?世界中でこの課題に取り組む研究が進められていますが、私たちも試行錯誤と実験を重ねる中で、線維化に深く関わっている可能性のある物質にたどり着きました。

ここでは仮に「因子X」と呼ぶことにします。因子Xを抑える中和抗体を作ることができれば、線維化の進行をより効果的に抑えられるのではないかと考えました。そこで、医薬基盤・健康・栄養研究所の鎌田晴彦先生との共同研究により、いくつかの候補抗体を作製しました。これらを用いて細胞やマウスを用いた実験を進めたところ、線維化を抑制する効果が確認され、さらに臨床応用可能なヒト抗体の作出にも成功しました。

さらに、この抗体は、新生血管によって引き起こされるむくみ(浮腫)に対しても効果を示しました。これは現在の標準治療である抗 VEGF 薬の有効範囲もカバーしていることを意味します。因子Xの特定は、「浮腫と線維化の両方に効果を発揮する薬」を開発するための重要な出発点になると考えています。

新しい薬を実際に製品化していくプロセスにおいて、これは非常に大きな意味を持ちます。現在、「線維化を抑制する」ことを目的として承認されている医薬品はありません。そのため、その効果を評価する方法自体も、ゼロから構築する必要があります。一方、「浮腫を抑制する」薬はすでに抗 VEGF 薬という先行薬が存在します。すなわち、承認された薬があることで、効果を評価する臨床試験の枠組みを参考にすることができます。一つの開発案として、「浮腫の抑制」を主要な評価項目として臨床試験に臨み、その過程で「線維化の抑制」も実証できれば、新しい治療薬をより現実的なスピードで市販化につなげることが可能になると考えています。

長期的に効果を発揮して「見える」を長く。
それだけではない可能性を秘めた因子X。

特許申請の関係で因子Xについて詳しくは語れませんが、その働きを抑える抗体を作れたことは大きな意義があると考えています。この抗体は、VEGF とは異なる仕組みで病気が進行する場合、とくに因子Xが原因で線維化が進行する場合に大きな効果が期待できます。この開発品が実用化されれば、加齢黄斑変性の治療の選択肢が広がり、より多くの患者さんの視力を守るのではと期待しています。加齢黄斑変性は、その名の通り加齢とともに進行する病気です。高齢の方にとって、長期間効果があることはとても意味があります。仮にその効果が寿命を超えて続くのであれば、患者さん本人の実感としては、『治った』に近い状態に近づけることが可能かもしれません。

もちろん、この治療法も、加齢黄斑変性の根本原因を取り除くものではありません。視力が低下していく直接的な原因の一つは、RPE が損なわれることで視細胞が生きていけなくなることが挙げられます。そして視細胞は「終末分化細胞」と呼ばれ、一度失われると新しく作り替えられることがない細胞です。そのため、視細胞が失われると、その部分が担う視野は永久に失われてしまいます。

将来を見通せば、再生医療という希望はあります。iPS 細胞から作られた視細胞や RPE を移植する治療法が実現すれば、根本的な治療につながる可能性があります。加齢黄斑変性は、早い方では50代で発症するため、その意義は非常に大きいと考えています。

では、再生医療が実用化されたら、この製品や研究は意味がなくなるのでしょうか?そうとも言えない、と私は思っています。全身の様々な部位で起きる線維化は、臓器によって原因がそれぞれ異なることが分かっています。しかし、因子Xは、眼以外の臓器でも線維化に関わっている可能性が十分に考えられるものです。つまり、この研究は、線維化という現象そのものの理解を深める手がかりになるかもしれないのです。

大学で研究を始める以前、私は製薬会社で眼科領域の業務に携わってきました。眼の病気に苦しむ方の力になる薬を届けたい—その思いは、今も私の研究の原動力です。研究の中で見えてきた可能性を、時間をかけて丁寧に掘り下げ、将来の治療へとつなげていくこと。それが、大学で研究を続ける大きな意義であり、喜びだと感じています。

Profile

岐阜薬科大学 中村 信介

岐阜薬科大学 薬効解析学研究室 准教授

2013年に岐阜薬科大学大学院博士課程を修了後(博士〈薬学〉)、ノバルティス ファーマ株式会社に入社し、眼科領域の製品価値向上プロジェクトを担当。2017年9月より岐阜薬科大学 薬効解析学研究室 助教、2019年4月より講師、2022年9月より准教授として教育・研究に取り組んでいる。また、米 Mayo Clinic にて老化研究に従事した経験を活かし、加齢黄斑変性の研究開発を推進している。

TEL : 058-230-8100(内線3677) MAIL : nakamuras@gifu-pu.ac.jp
HP : <https://www.gifu-pu.ac.jp/lab/seitaikinou/member/member01.html>

Keiichiro Yogo

静岡大学
奥語 圭一郎

革新的骨粗鬆症治療薬の開発



骨が弱くスカスカになる骨粗鬆症。その治療薬のジレンマ。 代謝のメカニズムに着目して、新たな薬を創り出す。

高齢者が要介護状態となる原因の第3位が骨折。
骨が折れやすくなる骨粗鬆症の治療が孕む問題。

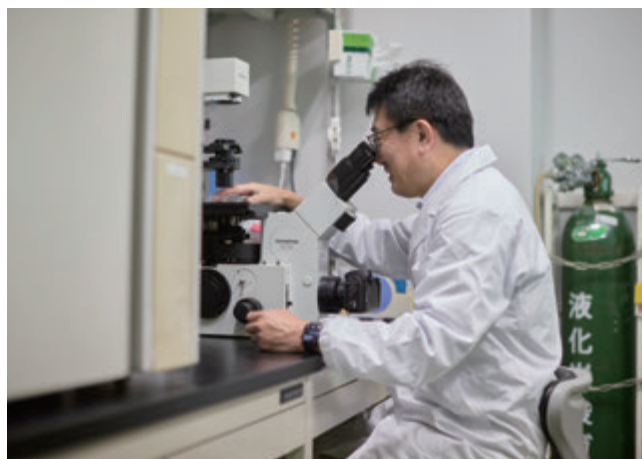
骨粗鬆症(こつそしょうしょう)とは、骨の密度が低くなったり質が低下したりして骨がもろくなり、骨折しやすくなる病気。骨にも新陳代謝があり、古い骨は壊されて新しい骨と入れ替わる。壊す(吸収)量と作る(形成)量のバランスが崩れて壊す量が多くなると骨が弱くなっていきます。骨粗鬆症ではこれが深刻に進み、骨の微細構造が崩れてしまいます。

だから治療薬は、①吸収を抑えるタイプ＝骨吸収抑制薬、②形成を促すタイプ＝骨形成促進薬、③その両方の作用を発揮するタイプ＝デュアルエフェクト薬の3つがあります。骨代謝の分子メカニズムの解明が進んだこともあり、現在は様々な治療薬が登場しています。

①の代表がビスホスホネート系。第一選択薬として広く使われています。飲み薬(経口薬)にすることができ、骨を壊す「破骨細胞」の働きを抑え、骨が減るスピードを遅くします。これにより骨密度を上昇させます。②の主流はPTH製剤。骨折リスクが高い場合等に使われる強力なタイプ。PTHは骨吸収も促進するのですが、それ以上に「骨芽細胞」による骨形成が促進するため、骨の量が増えます。③は現状ロモソゾマブのみ。「骨細胞」が出すブレーキ役(スクレロステチン)を阻害し、「骨形成を強力に促す」と同時に「骨吸収を抑える」ことで、短期間で劇的に骨密度を上げることが期待できます。しかし、骨形成促進作用をもつ②と③は投与期間が1～2年に限定されています。また、ビスホスホネートについても、

近年では3～5年を超えると休薬が検討されることが多いです。

なぜ、長期間使い続けることができないのか、その理由は薬により異なります。骨形成促進剤については、効果が頭打ちになる、エビデンス不足、副作用の恐れが高まる、などです。これらの薬は注射が必要かつ高価だったりするので高齢者にとっては身体的・経済的負担が大きいということもあります。また、さきほど述べたとおり、骨量は破骨細胞により骨吸収が起きたあと骨形成が起きる「カップリング」と呼ばれる機構によって一定に保たれています。このため骨吸収抑制剤を使い続けると、骨の新陳代謝が強く抑制されるため、骨が「古く」なることによるリスクの増加が懸念されます。困ったことに、骨形成促進剤によって骨量が増加しても、その後何もしなければ元の状態に戻ってしまいます。従って投与終了後には骨吸収抑制剤を使わなくてはなりません。しかし、その骨吸収抑制剤は上述のような問題点もある。このあたりが骨粗鬆症治療薬のジレンマといえます。



融合阻害によりカップリングを維持しつつ、
バランスを骨形成に傾ける。

いわば骨代謝のシステムエラーと言える骨粗鬆症。暴走する破骨細胞で何が起きているかに注目すると、システム復旧の道が開けます。実は破骨細胞には独特の性格があります。細胞融合という極めて珍しい特徴です。

細胞融合という現象はとても珍しく、●胎盤●筋肉●受精(卵細胞と精細胞)●破骨細胞の4種だけ*。これらはすべて、「合体することで、個々の細胞では不可能な特殊ミッションを完遂する」という共通点を持っています。破骨細胞は、単核の細胞(破骨細胞前駆細胞)が融合し、多核の巨大細胞となったもの。そしてマウスを用いた研究から、融合前の状態に留めておければ、骨吸収を低下させつつ、骨形成を促進できることが示されています。つまり、破骨細胞融合を阻害できれば、カップリングを維持しつつ骨代謝回転のバランスを骨形成に傾けることができる可能性があるのです。

私は生物学者として、何がどう組み合わせると細胞融合という現象が起きるのかに興味を持っていました。破骨細胞に関する研究についても、融合を対象にした時期がありますが、当時の研究では海外勢に先を越され、異動したこともあってしばらく離れていました。今回、学生の希望もあって改めて取り組むことに。

破骨細胞が融合する過程で出てくる分子はものすごく多く、どれが因子なのか特定するのが難しい。また、阻害剤を探すにしても融合が起きたかどうか、一つひとつ顕微鏡で観察していくわけにはいきません。反応の具合を定量することも含めて、色々な化合物を一気にスクリーニングする系が必要です。そこで、細胞融合すると光る仕組みを土台にしたスクリーニングシステムを設計。融合すれば光る。阻害すれば光らなくなる。反応の具合も光の強さで分かる。これを一度にたくさん行う仕組みに仕上げて、およそ1万6千化合物のスクリーニングを行いました。

安価・経口・デュアルエフェクトがキーワード。
研究対象に最適な手法から開発して道を切り開く。

計算上は10万の化合物を4か月くらいでスクリーニングできる高効率な方法。これを用いて、融合を阻害する化合物の候補を、およそ1万6千種類から最終的に10個未満まで絞り込むことができました。最後の試料スクリーニングを終えたら、次は別の方法で評価していくことになりますが、照準を「低分子～中分子までの化合物」に合わせている点は重要だと考えています。狙った機能である「骨吸収抑制&骨形成促進のデュアルエフェクト」だけを指すなら「抗体医薬」という筋道もあるのですが、既存薬の課題でもある、高価かつ飲み薬にできないという弱点を克服できないからです。薬として世に出すまでには、まだまだ時間が必要ですが、大量の候補の中から可能性のある化合物を絞りこめた意義は大きいと思います。

また、今回は創薬を目指したスクリーニングが主目的ですが、こういった応用研究とメカニズム解明という基礎研究は表裏一体です。阻害剤が見つかり、その標的を明らかにすることで、新しい融合因子が見つかる可能性もあります。そのような研究につながれば最高です。さらにはこの破骨細胞融合のモニターシステムを色んな研究者に使ってもらえたらうれしい。別の人が使えば、私が思いつかないような応用の仕方があるかもしれないと期待しています。

研究室内では、破骨細胞融合の研究と精子分化の研究が並行して行われています。私が取り組んでいる研究テーマは一見するとそれぞれ独立しているように見えますが、細胞融合という現象で結びついています。時には悔しい思いをしたこともありますが、振り返れば、そこに自分の生涯のテーマがあるような気がしています。

*通常時は存在せず、大きな異物が侵入した際に一時的に作られる「異物巨細胞」も含めると5種類。

Profile

静岡大学
與語 圭一郎

静岡大学大学院農学領域 応用生命科学系列 動物遺伝子機能学研究室 教授

1991年 東北大学農学部卒業。1993年東北大学大学院農学研究科修了。持田製薬株式会社富士中央研究所、農村報新聞社を経て、1999年奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科入学。2002年同単位認定取得退学。同年 博士(バイオサイエンス)。同年奈良先端科学技術研究科助手。2006年静岡大学農学部助教授、2024年同教授。

TEL : 054-238-4868 MAIL : yogo.keiichiro@shizuoka.ac.jp

Naohisa Ogo

静岡県立大学
小郷 尚久

トリプトファン代謝を標的とした

次世代がん免疫療法の臨床応用に向けた開発事業

研究チームメンバー近影
(中央)小郷 尚久



体が本来持つ免疫の力を引き出し、がんを攻撃する。

がん治療の第四の選択肢である免疫療法を、飲み薬で実現する技術。

画期的とされる免疫療法にも課題がある。
治療効果が得られるのは、患者のわずか2〜3割。

現在、一般的ながん治療は3種類。外科手術でがんを取り除く手術療法、放射線でがん細胞を焼く放射線療法、抗がん剤などでがん細胞を死滅させる化学療法です。これらは「三大療法」と呼ばれていますが、近年、新たな選択肢が開発されています。そのひとつが免疫療法です。

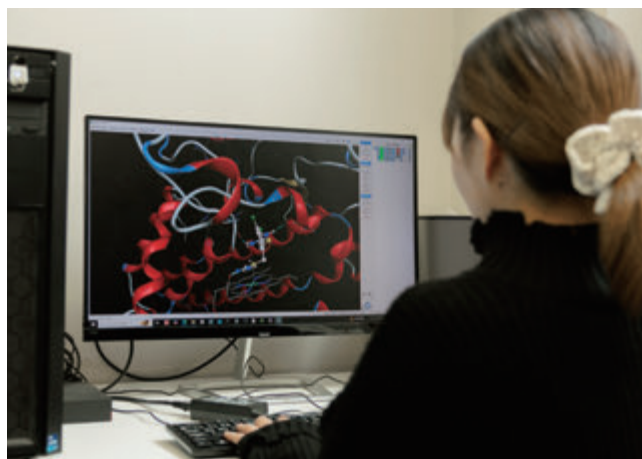
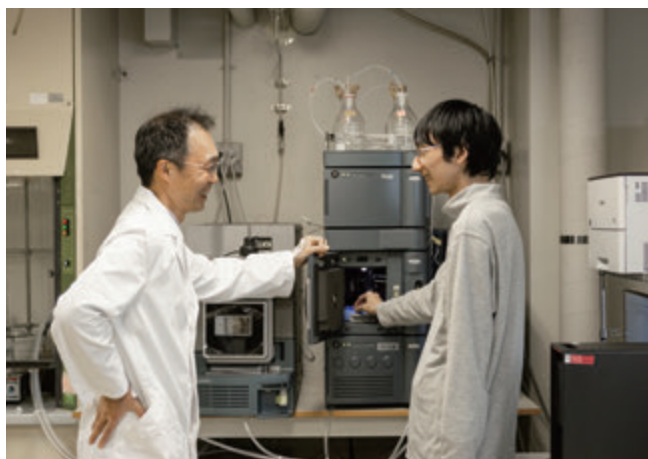
第四の治療法とされる免疫療法は、人が本来持つ免疫の力を利用してがんを治療する方法です。がん細胞は誰の体でも生まれますが、免疫細胞(T細胞)が見つけ次第、排除しています。しかし、がん細胞はT細胞の働きにブレーキをかけるタンパク質を持ち、免疫の攻撃を逃れてしまうことがあります。その結果、がん細胞が勢いを増すと免疫の働きが抑え込まれ、歯止めなく増殖してしまいます。これが「がんになる」ということです。だからこそ、免疫の働きを取り戻すことが重要なのです。

現在、がん免疫療法の主流は、免疫チェックポイント分子を標的とする抗体医薬を用いる方法です。これは、T細胞の働きにブレーキをかける分子とそのリガンドとの結合を阻害し、T細胞の機能を回復させる仕組みです。従来の抗がん剤のように正常細胞への毒性を伴わず、放射線照射も必要としません。しかし、この治療にも課題があります。①効き目がある患者は2〜3割程度しかないこと②製造工程が複雑で時間とコストを要し、医療経済的負担が大きいことが挙げられます。

現在ある方法の改善だけでなく、別のアプローチを。
免疫抑制環境にかかわる「トリプトファン代謝」。

「T細胞の働きにブレーキをかけるタンパク質」は複数あります。現在、臨床で用いられている免疫チェックポイント阻害薬の標的はPD-1／PD-L1とCTLA-4。これらの分子を抗体で阻害すると、がん細胞がブレーキを解除し、T細胞が再びがん細胞を攻撃できるようになります。しかし、この治療が有効な患者は全体の2〜3割程度です。なぜ効果がないのか、まだ完全には解明されておらず、現在も活発に研究・開発が進められています。並行して、別の研究アプローチも進められてきました。

その中で注目されたのがトリプトファン。必須アミノ酸のひとつで、精神の安定、睡眠の質向上など、さまざまな生理機能に関わっています。がん細胞は特殊な酵素を発現してトリプトファンを分解(代謝)します。この過程を「トリプトファン代謝」と呼び、代謝産物としてキヌレニンなどが生成されます。トリプトファンが枯渇すると、T細胞は機能低下や細胞死を起こします。さらに、キヌレニンは制御性T細胞(免疫を抑制する細胞)を活性化します。つまり、がん細胞はトリプトファン代謝を利用して免疫が働きにくい環境を作り出しているのです。だからこの酵素をブロックしようというわけです。最初に注目されたのがインドールアミン2,3-ジオキシゲナーゼ1(IDO1)という酵素。しかしIDO1阻害薬の臨床試験は有効性が示されず、開発は停滞することになりました。



理論的には、幅広い種類のがんに効果を期待できる。
低分子阻害薬だからこそ、飲み薬として実現できる。

そこで私たちの出番です。どうやらIDO1だけをブロック(阻害)するだけでは不十分らしい。がん細胞が発現する別の酵素TD02もトリプトファン代謝を促進していることが分かっています。この2つを同時に阻害する(二重阻害)必要があるのです。結論から言います。私たちはこの二重阻害化合物の開発に成功しました。世界的に見ても、現時点で最も有望な二重阻害薬の一つと言えそうです。

トリプトファン代謝に狙いを定めるアプローチの利点は、抗体である免疫チェックポイント阻害薬と比べて薬の製造が容易なこと。抗体は細胞培養などを通じて製造する必要があり、工程が複雑になります。しかし私たちの化合物は、化学合成できる低分子(分子量の小さい物質)なので、時間もコストも大幅に節約できるのです。

低分子化合物であることには他にも多くのメリットがあります。まず、飲み薬にできる点。抗体はタンパク質であるため、基本的に注射(点滴)で投与します。さらに、飲み薬の方がコスト面でも有望です。また、抗体薬をはじめ多くの物質を遮断する「血液脳関門(脳を守る血管の防御壁)」を通過して脳にも到達できるため、脳腫瘍への適応も視野に入ります。

理論的には、多くのがん種に有効となりうる飲み薬。実現に向けて、私たちはまず、非小細胞肺癌(肺がんの約85%を占める)、尿路上皮癌(尿路内側粘膜のがん)、神経膠芽腫(脳のがん・TD02が多く発現)に狙いを定めました。前2者は動物実験モデルや先行研究の臨床データを踏まえて選定、後者はこのアプローチならではの特徴(TD0阻害と低分子薬)を検証できる点が理由です。研究室レベルの実験段階ですが、有効性が確認できています。

低分子トリプトファン代謝阻害薬の実現。
それはがん治療に限らない多様な可能性を拓く。

少し話を戻します。トリプトファン代謝には主に3つの経路があり、そのうち約95%が前述のキヌレニン経路で代謝されます。このキヌレニン経路の研究には、日本人研究者が脈々と貢献してきており、IDO1を発見したのは京都大学の早石修先生です。私たちの研究も、こうした先人の知見と成果の積み重ねに支えられており、その流れの中で日本発の創薬を実現したいと考えています。

この事業を進める創薬探索センターのメンバーは、浅井章良教授を中心としていずれも製薬企業で研究職を経験しており、創薬実用化への知見と情熱をもって研究に臨んでいます。有機化学分野と生物学分野の専門家がそろっており、化合物の合成から細胞・動物レベルの評価までセンター単独で実施できる点も特徴です。創薬に向けて大きな強みを発揮できるチームにより、革新的な創薬シーズを社会へ届けることを目指します。

事業としては、まず適応疾患として定めたがんに有効な薬剤の創出を目指しています。ひとりでも多くのがん患者とその家族のために、幅広いがんに効き目を発揮する低コストの飲み薬を実現することが最終的なゴールです。そのために、まずスタートアップを設立し、将来的なIPO(株式上場)を視野に入れつつも、創薬実現を最優先とするため、M&A(製薬企業への事業譲渡等)が有効であれば柔軟に検討する方針です。

しかし、私たちの研究はそれで終わりではありません。トリプトファン代謝のメカニズムは複雑で、未解明の部分も多い。本事業を進めることで理解がさらに深まると期待しています。がん以外にもアルツハイマー型認知症など、中枢神経系治療薬へ応用できる可能性もあります。もしかすると、思いもよらない新しい薬の創出につながるかもしれません。

Profile

静岡県立大学
小郷 尚久

静岡県立大学 大学院薬学研究院 創薬探索センター・薬学部(兼務) 講師

京都薬科大学卒業、京都大学大学院薬学研究科 博士前期課程修了、静岡県立大学大学院薬学研究科 博士後期課程修了 博士(薬学)、1999-2004年株式会社サントリー 生物医学研究所、第一サントリー生物医学研究所、2004年静岡県環境衛生科学研究所を経て、2012年より現職。専門は、創薬科学、インシリコ創薬、MOA解析を含めたメディシナル・ケミストリー。静岡県立大学創薬探索センター発の創薬実現を目指す。

TEL : 054-264-5235 MAIL : ogo@u-shizuoka-ken.ac.jp HP : <https://w3pharm.u-shizuoka-ken.ac.jp/~tansaku/>

2025 Tongali GAPファンドシーズ集

direction	futatema 藤田 愛
interview	ライトハウスクリエイティブ 中山 岳二 gakujil972@gmail.com
photographer	速水亮 TONE TONE 対馬 一宏 rhayamizu05@gmail.com tsushima@tonetone.net
designer	FREAKS Lab. 葺屋 修
発行元	Tongali https://tongali.net/
問い合わせ	イノベーション・アントレプレナーシップ推進室 tongali-x@aip.nagoya-u.ac.jp

本冊子の情報は2026年1月時点のものです。本冊子の掲載内容の無断転載を禁じます。

STST 2025

Begin Our Story

Selected Tech Seeds For Startup in Tongali



STST2025

Selected Tech Seeds For Startup in Tongali