

JST news

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

2022

7

July



産学連携が拓く「食」のイノベーション
育種、栽培技術から産業創出まで多彩に

マレーシアのパーム油産業を再構築
「下町バイオマス」で持続可能に



パーム油伐採（オーストラリア・クイーンズランド州）



03 特集1

産学連携が拓く「食」のイノベーション
育種、栽培技術から産業創出まで多彩に



08 特集2

マレーシアのパーム油産業を再構築
「下町バイオマス」で持続可能に

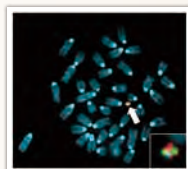


12 連載 どうやって実現する? 明るく豊かなゼロエミッション社会 第1回 脱炭素から始まる日本の活性化

14 NEWS & TOPICS

- ◆ 完全ヒト抗体産生マウスを作製
- ◆ 紙を段階的に炭化し、
半導体開発

ほか



16 さきがける科学人

情報管理の低電力化
高速化を目指しハードと
ソフトを平行して開発

大阪公立大学大学院 情報学研究科 講師
トラン・ティ・ホン



レポート「つくりたい未来を実現するための8つの鍵」を公開

JST「科学と社会」推進部は、18の産官学民の機関と個人が集う未来社会を共創する場「未来社会デザインオープンプラットフォーム(CHANCE)」の事務局を担っています。このたびCHANCEの提案として、レポート「つくりたい未来を実現するための8つの鍵」を公開しました。

このレポートでは、2050年につくりたい未来像を実現するために必要となる8つの鍵として「心の豊かさ」、「お節介」、「寛容性」、「自分事化」などを提案しました。今のまま社会が発展すると、人間にとって大切な性質や能力を失ってしまうのではないかという危機感を背景にこれらの鍵が導き出されました。人文・社会科学からの視点も多く取り入れていますので、ぜひご覧ください。

【CHANCE】

<https://chance-network.jp/>



【レポート】

<https://www.jst.go.jp/sis/co-creation/items/8keys.pdf>



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



▶ P.3



▶ P.14下、15下



▶ P.8、14下



▶ P.8



▶ P.8、14下



▶ P.8

編集長：安孫子 満広

科学技術振興機構(JST)広報課

制作：株式会社エフピーアイ・コミュニケーションズ

印刷・製本：株式会社丸井工文社

産学連携が拓く「食」のイノベーション 育種、栽培技術から産業創出まで多彩に

江面 浩 Ezura Hiroshi

筑波大学 生命環境系／つくば機能植物イノベーション研究センター 教授
2019年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
領域統括

福田 直也 Fukuda Naoya

筑波大学 生命環境系／つくば機能植物イノベーション研究センター センター長
2019年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
人材育成部門リーダー

三浦 謙治 Miura Kenji

筑波大学 生命環境系／つくば機能植物イノベーション研究センター 教授
2019年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
研究戦略部門リーダー

内山 公子 Uchiyama Kimiko

亀田製菓株式会社 お米総合研究所 機能性素材研究チーム
マネージャー
2021年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
研究開発課題4-1 責任者

樋口 裕樹 Higuchi Yuki

亀田製菓株式会社 お米総合研究所 機能性素材研究チーム
アシスタントマネージャー
2021年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
研究開発課題4-1 研究者



特集 1

OVERVIEW ■

相次ぐ気象災害の発生や世界情勢の変化が、食料安全保障の脅威となっている。加えて、世界人口の増加や農業就業者の高齢化と労働力の不足、需要と供給の偏在など、「食」をめぐる社会的課題は実に多様だ。筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの江面浩教授が率いるOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」では、これらの課題に産学の強力な連携で挑む。有用作物の育種をはじめ、栽培技術の開発から次世代産業の創出など、多彩なアプローチで取り組み、速やかな社会実装を実現する。

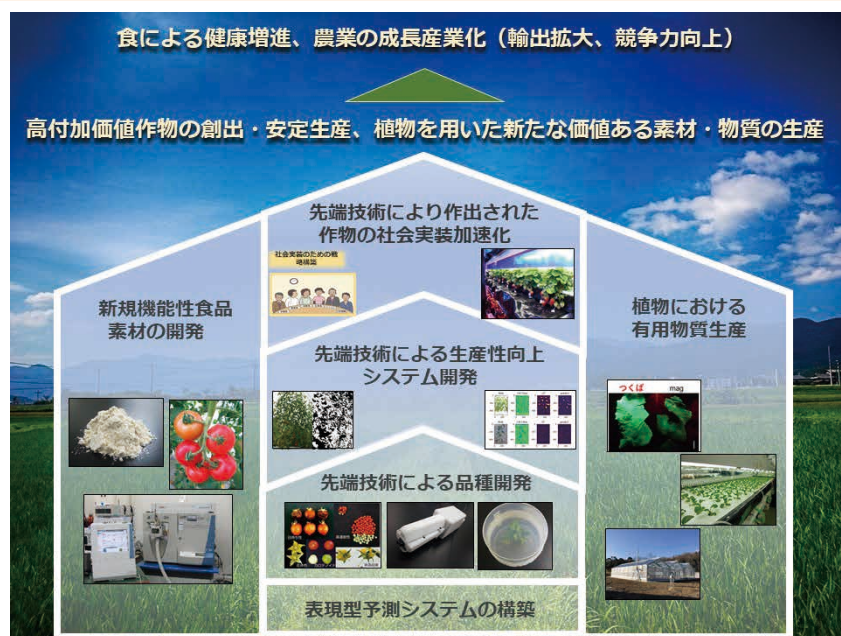
食べ慣れた作物の生産維持 ゲノム編集技術で可能に

世界的な課題である、食料安全保障の維持に貢献する技術の1つとして期待されているのが、ゲノム編集技術だ。この技術を用いて創出されたゲノム編集作物はすでに販売されており、実際に手に入れることもできる。例えば、筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの江面浩教授が手掛けたトマトの新品種「シシリアンルージュハイギャバ」は、2020年12月に厚生労働省への届け出が受理され、世界で初めて、国の販売承認を得たゲノム編集作物として知られている。

シシリアンルージュハイギャバは、健康機能成分の1つであるGABAを通常の4～5倍含み、高血圧の予防やストレス緩和にも効果が期待できると注目されている。種苗の開発と販売を実現したのは、筑波大学発ベンチャーのサナテックシード(東京都港区)だ。販売に先立ち募集した無料栽培モニターには、5000件を超える応募が集まったという。21年9月からは、家庭菜園向けの種苗の予約販売をはじめ、契約農家で生産したシシリアンルージュハイギャバの果実や、それを使った加工食品の販売も始まり、社会実装としては上々の滑り出しを見せている。

また注目すべきは、そのスムーズな市場展開だ。実現の秘訣は、研究開

図1 コンソーシアムの概要



農作物の新たな改良技術の確立をはじめ、その基盤となる遺伝子解析とライブラリー化、新しい機能性食品の開発、先端技術で作られた作物やシステムの普及までをテーマに据える。研究開発と出口戦略となる市場展開を同時に目指す。品種の力と作る技術の両輪、さらにそのような先端技術を用いて創出した食品をどのように社会に受け入れてもらうかを加えた3つの要素が、うまくかみ合うことが重要だ。

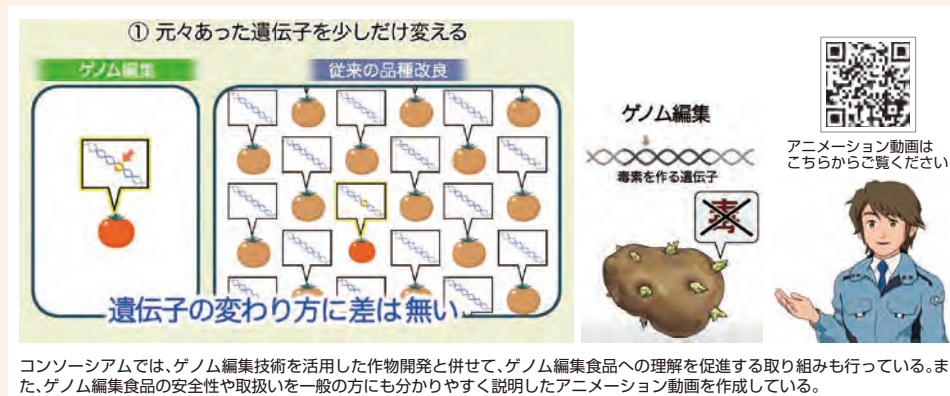
発者自らが商品化に携わり、市場における普及展開に向けた消費者の理解促進の取り組みまでを、一気通貫して行う仕組みにあるという。その拠点となったのが、OPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」だ。新たな食の価値観の創出と拡大、それを通じた産業イノベーションの推進を目標に掲げ、22年6月時点で、16の大学と16の企業が集う(図1)。またコンソーシアムでは、ゲノム編集技術そのものの研究開発だけでなく、ゲノム編集食品の理解促進に向けた

活動も行っている(図2)。

食を共通のキーワードに、産学の研究開発と、商品化などを通じた成果の社会実装を一丸となって目指す。コンソーシアムの領域統括で、サナテックシードの取締役最高技術責任者も務める江面さんは「このコンソーシアムが、国内外のゲノム編集食品、ゲノム編集作物の中核拠点の1つになると考えています」と話す。

江面さんが、農作物の品種改良にゲノム編集技術を取り入れるきっかけとなったのは、12年に発表されたクリスパー・キャスナインCRISPR-Cas9だ。従来のゲノム編集技術と比べ、簡単な操作で効率よく狙った遺伝子の書き換えを可能とする技術で、開発者のシャルパンティエ教授とダウドナ教授は、20年にノーベル化学賞を受賞している(図3)。ゲノム解読の終了した品目の1つであるトマトに、CRISPR-Cas9で、GABA生合成酵素の活性化をターゲットとするゲノム編集を行った。すると、高GABAの

図2 ゲノム編集技術応用食品の理解と普及に向けた取り組み



コンソーシアムでは、ゲノム編集技術を活用した作物開発と併せて、ゲノム編集食品への理解を促進する取り組みも行っている。また、ゲノム編集食品の安全性や取扱いを一般の方にも分かりやすく説明したアニメーション動画を作成している。

発現は8割以上と成功率も高く、どの品種にも適用可能だという。

ゲノム編集の強みは、外部から他の遺伝子を導入することなく、ピンポイントに改良ができることだ。従来の品種改良では、10年から20年かけて期待する突然変異が起こることを待っていたが、およそ2年という短期間でそれが可能になる。江面さんは「食べ慣れた作物が、今後いつまでも食べ続けられるとは限りません。病気に弱くなるなど、生産できなくなる可能性もあります。そうしたときに、ピンポイントで問題点を改良し、生産の維持に貢献できるのがゲノム編集技術です。今後さらに有用となっていくでしょう」と語る。現在は、日持ちのよい品種や、受粉しなくても実になる単為結果作物などの創出にも力を入れているという。

画像解析で植物の状態を把握 ロボットが作業を行う温室へ

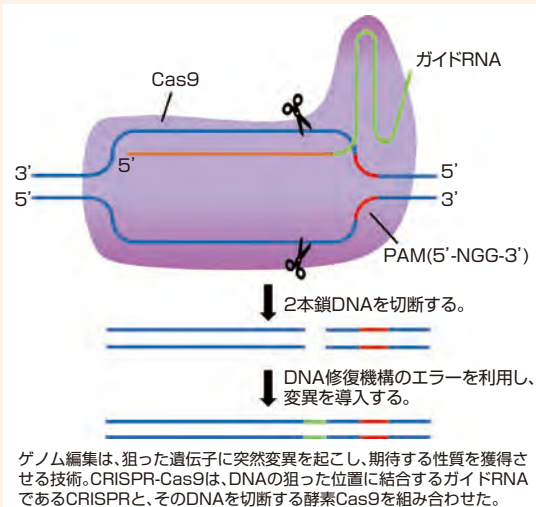
作物の品種改良にとどまらず、コンソーシアムは多岐に及ぶテーマに取り組んでいる。その1つが、温室内環境情報や画像解析技術を用いた、

省力型生産管理手法の研究開発だ。今後迎える超高齢化社会では、食料生産に関わる労働力の確保が課題となる。先端技術を取り入れた、新しい生産システムの確立が欠かせない。農作物の生育管理には、植物が今どのような状態にあるのか見極める必要があるが、目視で的確に評価できるのは、ベタンの農業者に限られる。多くの農業者がベタンと同等の管理を行い、品質や収量を上げるシステムを作ることが課題となる。

筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの福田直也センター長は「植物の成長を人の感覚ではなく、数値として解析し、それを元にした管理を行う技術を研究しています」と話す。これを、厳密な管理を要し、温室栽培される園芸作物を対象に検証しているという(図4)。

「温室内の条件や植物の状態を数値化し、数学的なモデルに当てはめ

図3 CRISPR-Cas9によるゲノム編集技術の概要

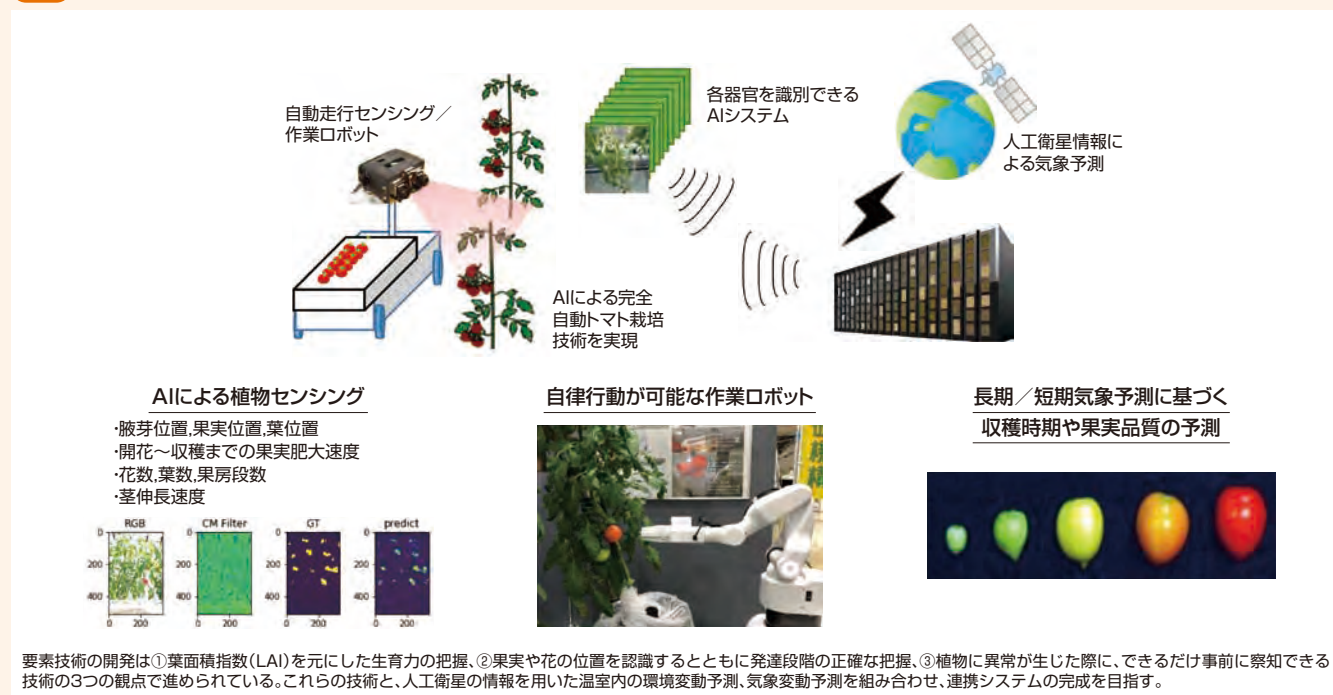


(出典: Curr. Issues Mol. Biol. 2022, 44(6), 2664-2682)

ることで、次の成長を予測します。そこから生産性や品質を向上する管理につなげていきます」と福田さん。センター内の農場には、日本各地の温度や湿度を再現した5つの温室が並び、その中で画像やセンサーを用いて、植物の生育スピードや養分の利用率などのデータを取得している。これらを基礎データとして、自動解析と評価を実現するAIの確立を目指している。

21年には、温室の無人管理を目

図4 高品質かつ高収量のための生産支援技術開発

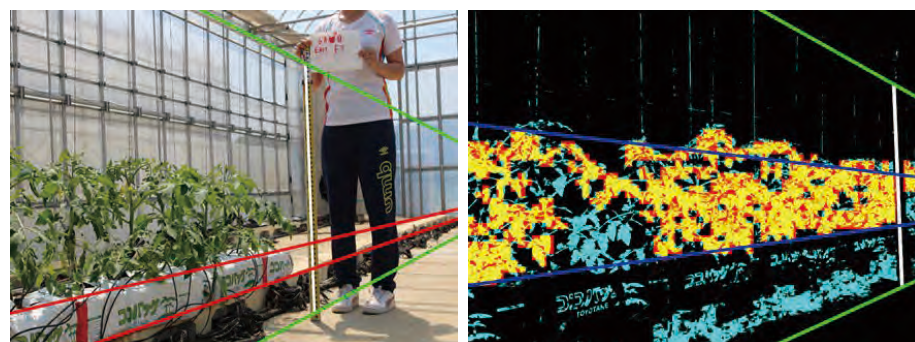


指す要素技術の1つとして、植物の静止画像から葉面積指数(Leaf Area Index, LAI)を導き出し、生産管理に役立てる手法を確立した(図5)。LAIは植物の管理指標の1つで、植物の葉がどれだけ光合成を行い、でんぷんなどの同化産物を生産するかを示す。高すぎても低すぎても生産性は向上しない。これを植物体の静止画像から、正確に把握するための画像解析手法を開発し、特許の申請にも至った。

「完全無人の温室ができるのは、おそらく10年以上先のことになるでしょう」と福田さんは見立てている。コンソーシアムでは、要素技術の開発を進め、順次実用化を狙う。22年4月には、社会展開を見据えた筑波大学発ベンチャーであるアイクス(茨城県つくば市)の立ち上げにもこぎ着いた。確立した要素技術をアプリケーションとして実用化し、できたものから順に世の中に送り出す。まずは、スマートフォン1つで栽培管理に役立つ情報が取得できるサービスを展開していく。温室の新設などの大掛かりな投資を必要とせず、導入時の技術的、経済的負担を軽減することで、スムーズな普及への足掛かりになると期待している。

福田さんは「従来は、ベテラン生産者のみが感覚で捉えていた作物の生理的状态を、人工知能と画像解析で把握する技術の実現可能性を示すこと

図5 LAI予測技術の開発



栽培植物群落を撮影すると、手前から奥へ台形の画像が取得される。台形補正技術を確立し、LAI画像認識精度を向上させ、実測データとの誤差を最小にとどめることを目指している。

ができました」と自信をにじませる。将来的にはそれらのアプリケーションを組み合わせ、統合しながら、ロボットとも連動させていきたいと展望する。異常があれば自動で薬剤を散布し、人の手に近い感覚で果実の摘み取りを行うなど、ロボットが自動作業を行う温室の実現を目指していく。

植物が作るたんぱく質を活用 医療・健康分野への貢献も

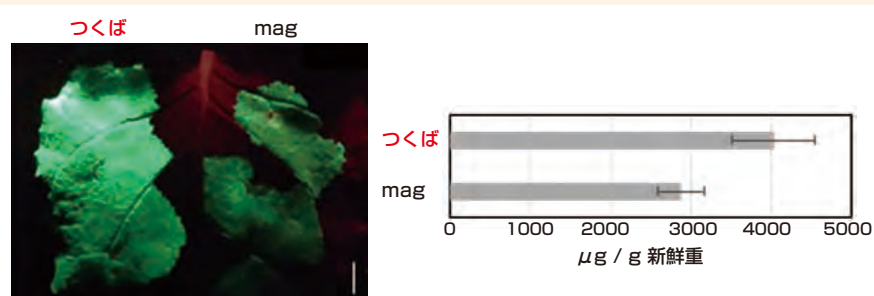
コンソーシアムでは、植物に有用物質を生産させる研究も進められている。けん引するのは、筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの三浦謙治教授だ。モデル植物のベンサミアナタバコに、アグロバクテリウムを介して、目的のたんぱく質を産生する遺伝子を導入する。植物細胞の中でウイルス由来の自己複製の仕組みが働き、たんぱく質が

生成して蓄えられていく(図6、7)。「サイトカインや細胞増殖に関わるたんぱく質を作り、医療分野への貢献を目指しています」と三浦さん。

植物を用いた有用たんぱく質の生産は、コストが安い反面、導入した遺伝子の発現量が低いという問題があった。三浦さんらは、ベクターに改良を加えた「つくばシステム」という独自の手法を開発し、たんぱく質を大量発現させることに成功した(図8)。「通常、ウイルスベクターには、タバコモザイクウイルスが用いられますが、私たちはジェミニウイルスを使っています。これにより、タバコ以外の植物、例えばトマトやメロン、レタスなどの植物にも適用できます」と説明する。つくばシステムを基盤技術として、植物によるたんぱく質生産の汎用化を目指し、次世代産業の創出も実現しようとしている。

これに対して、植物がもともと作り

図6 つくばシステムの優位性



(出典: Sci Rep. 2018 Mar 19;8(1):4755. doi: 10.1038/s41598-018-23024-y.)

狙った遺伝子が導入されたことを確認するため、光るたんぱく質(GFP)を発現させた(左写真)。これまでに開発された植物一過のたんぱく質発現システムに比べ、短期間で高収量のたんぱく質の生産が可能となった。ベンサミアナタバコを用いた場合、3日でおよそ4000 μg/g新鮮重のたんぱく質を生産できる。グラフは、商用で用いられているmagniCONシステム(mag)との比較。

図7 光るたんぱく質(GFP)でたんぱく質発現部位が発光するタバコ



ジェミニウイルス投与した部位の周辺が斑点状に発光している。

図8 つくばシステムの特徴



つくばシステムでは、タバコ以外の植物でもたんぱく質の発現が優位に認められる。ベクターとしてジェミニウイルス由来の複製システムと、目的のたんぱく質を発現させる転写領域を確実に転写終結させるダブルターミネーターを組み合わせたことが特徴だという。(写真:つくばシステム(左)、従来法(右))

(出典:Sci Rep. 2018 Mar 19;8(1):4755. doi: 10.1038/s41598-018-23024-y.)

出すたんぱく質を、最大限有効に活用しようとする研究も行われている(図9)。研究チームを率いる亀田製菓お米総合研究所機能性素材研究チームの内山公子マネージャーは「弊社はおせんべいを作る会社として、原料となる米の有用成分に注目しています。米のたんぱく質は、6〜7パーセントと少ないですが、昔から日本人の健康に貢献してきた歴史があります」と語る。米に含まれるたんぱく質を、さまざまな消化酵素で分解することで、多様な機能を有する分解産物のペプチドが生成するという。

個々のペプチドが持つ機能を詳細に分析し、臨床試験を経て、健康機能性食品としての製品化を目指している。内山さんとともに研究を手掛ける亀田製菓お米総合研究所機能性素材研究チームの樋口裕樹アシスタントマネージャーは「骨代謝を上げて骨を強化することや、腎障害の予防、抗肥満効果などに着目した研究開発を進めています」と話す。亀田製菓では長年、慢性腎臓病患者向けの低たんぱく質ご飯の製造を行ってきた。「米から除去した有用なたんぱく質を有効利用したい」。こうした強い思いが、研究の原動力となっているという。資源を最大限活用する技術は、

持続可能な食料生産に向けた重要な視点となりそうだ。

大学と企業の二人三脚 健康で美味しい食の未来

このように多彩なアプローチで食の未来を拓こうとするOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」の強みについて、江面さんは次のように話す。「コンソーシアムには、多様なテーマに取り組む研究者をはじめ、事業化に直結する企業にも、開発段階から参加してもらい、即戦力で世の中に展開する仕組みをとっています。消費者に物を販売し、直接生の声を聞く企業の参加は、研究者にとっても心強いものです。新しいチャレンジを二人三脚で進めていきたいです」。

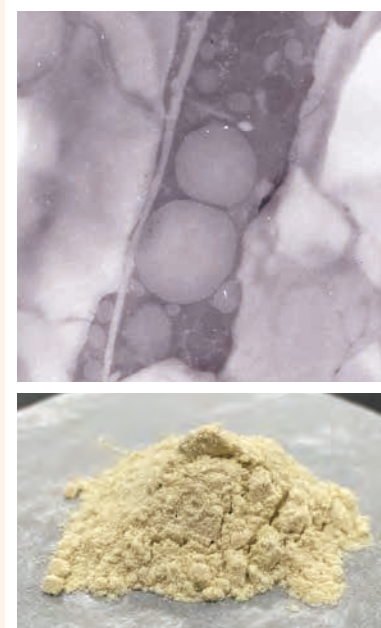
また食と新技術の関わりについて、福田さんは「消費者の需要や要望が多岐にわたる今日、お腹が膨らむだけでなく、食べることにより生活の質、つまりQOLを高めながら、持続的な生産を達成しなければなりません。今後は、新たな技術の導入とそれをサポートする政策、これが不可欠となっていくでしょう」と展望する。

研究開発の成果が、社会に根差して実を結ぶよう、コンソーシアムは

力強い産学の協働体制で挑んでいく。江面さんは最後に「コンソーシアムも残り3年になりました。もう一息で新たな商品が、どんどん出てくると思います」と意欲をにじませる。美味しく食べて健康を目指す、食の未来の実現に向けた新技術から、今後目も離せない。

(TEXT:西岡真由美、PHOTO:石原秀樹)

図9 米たんぱく質とペプチド粉末



亀田製菓はOPERAへの参画を通じ、米とたんぱく質による新たな価値創出を目指している。米たんぱく質(上)を分解して得られるペプチド粉末(下)は、少量の摂取でも機能を発揮する。

(画像提供:亀田製菓)

特集2

OVERVIEW ■

オイルパームの果実を搾ったパーム油は、世界で最も多く生産されている植物油だ。パーム油や製造過程で廃棄される果実の殻などはバイオマス燃料として利用できる。しかし、パーム農園では寿命を迎えた古木の放置による害虫・病気の蔓延^{まんえん}、土壌劣化、温室効果ガスの発生などが深刻な問題となりつつある。国際農林水産業研究センター生物資源・利用領域の小杉昭彦プロジェクトリーダーは、日本の企業の技術を結集した「下町バイオマス」で、マレーシア政府や農園とともにパーム油産業のあり方を見直し、環境と経済の両者が循環する持続可能な仕組みの構築を試みている。

マレーシアのパーム油産業を再構築 「下町バイオマス」で持続可能に

小杉 昭彦 Kosugi Akihiko

国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域 プロジェクトリーダー
2018年よりSATREPS研究代表者

山下 雅治 Yamashita Masaharu

株式会社IHI 資源・エネルギー・環境事業領域 カーボンソリューションSBU技術センター
基本設計部 機器設計グループ 主査/2018年よりSATREPS研究課題2 サブリーダー

植え替え時に放置される古木 病原菌や廃棄物などが問題に

オイルパーム(アブラヤシ)は赤道付近の熱帯地域でのみ育つヤシの木だ。一房30キログラムほどの大きな果房が実り、その果実を搾ると「パーム油」ができる。菓子やせっけんなど、食料品や日用品の約半数にパーム油が使われている。パーム油の利点は、無味無臭で加工しやすく多様な製品に使えることだ。さらに他の種類の油に比べて単位面積あたりの収穫量が多く、大豆油の8倍、菜種油の5倍ほどだ。

世界のパーム油の約50パーセン

トがインドネシア、約30パーセントがマレーシアで生産されている。しかし近年、パーム油産業は国際的な環境団体などからの厳しい批判にさらされている。収益性の高いオイルパーム農園を拡大するために熱帯雨林が伐採され、生態系が破壊されていることや、農園の従業員が低賃金で重労働を強いられていることが要因だ。「パーム油はとても大切な油です。もし代替油を作ろうものなら、さらなる土地開発や肥料・水の消費につながります。パーム油が悪いわけではなく、その作り方に問題があります」と指摘するのは、国際農林水産業研究センターの小杉昭彦プロジェクトリーダーだ。

1つ目は植物としての特性に伴う問題だ。オイルパームは植えてから25年ほど経つと果実の収穫量が減るため、植え替える必要がある。その際伐採された高さ10メートル、重さ約1トンの幹を処分する施設も場所もない。伐採・スライスされ、その場に放置されたオイルパーム古木幹(OPT)には、シロアリや昆虫類、カビをはじめとする土壌病原菌が群がり、新たに再植林されたオイルパームの生育不良や枯死を招く。

2つ目は、放置されたOPTの分解に伴って、温室効果ガスであるメタンや二酸化炭素(CO₂)がOPT1本あたり1.3トンも発生することだ。幹の約

70～80パーセントが水分なので、そのままでは木材として使うこともできず、燃やせば大量の煙が発生して煙害が起こる。3つ目に、搾油工場でオイルを絞った後には、空果房や果実の殻などの廃棄物が大量に残されることだ(図1)。こちらも廃棄するか、焼却するしか方策がない。10トンの果実からできるパーム油は2.6トンで、農業廃棄物はその倍ほども出る状況だ。

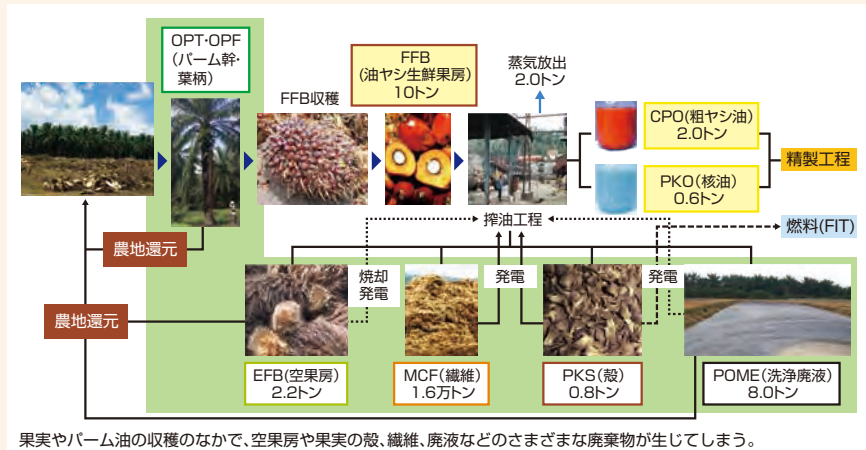
一方、マレーシア政府も問題を認識してはいるものの、OPT植え替え時に農園内にOPTを放置する事への規制には消極的だ。「このままではパーム油産業自体が立ち行かなくなってしまう。OPTや搾油の廃棄物をバイオマス資源として余すところなく活用することで、産業全体を持続可能な形に再構築できないかと考えました」と小杉さんは語る。そして、マレーシア理科大学やマレーシア政府とともに、JSTと国際協力機構(JICA)が共同で運営する、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)で「オイルパーム農園の持続的土地利用と再生を目指したオイルパーム古木への高付加価値化技術の開発」を立ち上げた(図2)。

分解菌が植物の生育を阻害 100年続く農法を変えたい

小杉さんが初めてマレーシアのオイルパーム農園を訪れたのは、2004年のことだ。「OPTからベニヤボードを作る工場では、水しびきをあげながら、OPTが大根の柱むきのように薄い板になってゆくのを見て驚きました」と振り返る。また、セルロースを分解する微生物を専門とする小杉さんにとって衝撃的だったのは、たった数日間放置したOPTの切り口が真っ黒なカビでびっしりと覆われていたことだった。「何かある！」と直感したと語る。

その後の分析で、OPTには糖分約10パーセントの樹液が含まれていることがわかった。「OPTはまるで巨

図1 オイルパームの生産物と廃棄物



(出典:「アブラヤシ農園問題の研究」林田秀樹編著、晃洋書房)

大なサトウキビのようですが、農産廃棄物です。そこからの糖分は、食料と競合しない優れた資源となり得ます。これは大発見でした」とOPTが秘める資源価値を説明する。早速、小杉さんはOPTから抽出した樹液でエタノール、乳酸、バイオポリマーなどを発酵生産できることを発表した。

最近では、幹や葉が放置され分解される際に発生するメタンガス量の計測や、OPTを含む土と含まない土とで植物の生育を比較する実験を行っているという。その結果、OPTを含む土壌ではカビが蔓延し、植物の生育阻害が起こることがわかった。なんと、OPTを餌にするカビや細菌類が優先的に生育するために、土壌中の窒素、リン、マグネシウムなどの肥料成分が奪われてしまうためだ。

しかし、マレーシアの農園ではOPTは放置すれば土に還り、肥料に

なると信じられている。「実際には全く逆の結果でしたが、100年以上続く農法を変えることは容易ではありません。葉の変色や実の収穫量低下などの生育不良になると、追肥することが常態化しています。データを見せた程度では、そうした農園主を納得させることはできませんでした」と意識改革の難しさを語る。

また、これまでに多くの企業がOPTの利用や産業化に挑戦したが、成功した例はない。「再資源化にはOPTの安定的で安価な調達が必要で、さらに経済的に成功した事例がない以上、誰もリスクを負ってまでやりたがりません」と小杉さんは語る。OPTやバイオマス利用へのモチベーションが高くない農家や搾油工場を巻き込むには、まず自分たちが成功例を示すまでの先導役を担う必要があった。

図2 プロジェクトの運営体制図



全国の中小企業の技術を集結 大手企業も巻き込み共同研究

日本ではIHIの山下雅治主査がOPTのバイオマス利用に注目していた。山下さんは高糖度の樹液をメタンガスに変換し、OPTの搾汁残渣は燃料ペレットにするバイオマス発電事業を構想していたのだ。13年のバイオマスエキスポ展がきっかけで知り合った両者は手を組み、OPTの共同研究が始まった。

17年には、マレーシア南部のクラン地区にOPTから燃料ペレットを作る「OPT実証パイロットプラント」がIHIの主導で建設された(図3)。プラントで目指すのは、OPTペレットの製造実証である。そして現在、SATREPSの管理の下、OPTの洗浄廃水から取り出したメタンガスで発電して電力と熱を回収し、ペレット製造工程で利用する事で、農園内からOPTの搬出、加工工程、ペレットの輸送工程で排出する温室効果ガスを相殺するゼロエミッションプロセスが完成した(図4)。

図3 クランOPT実証パイロットプラント



プラントの各工程・機械において、日本の中小企業の高い技術が組み込まれている。OPTパイロットプラントをフル活用することで、OPTの高付加価値化による新産業創出を目指している。



また廃水からオイルパーム生育に用いた肥料の成分も回収でき液肥として農園への還元を可能とする本格的な「バイオマスゼロエミッションプロセス」を実証した。この設備は設置した街の名前を取って「クランプロセス」と名付けられた。18年にSATREPSに採択された後、このプロセスは大きく前進した。その際、小杉さんは山下さんの熱意やエンジニアとしての知見に大いに助けられたという。

空果房や果実の繊維、オイルパームの枝葉なども原料に利用する「原料マルチ化」も、山下さんのコーディネート力が光る成果だろう(図5)。

爆砕機で植物繊維を解繊し、繊維を柔らかくすることで、OPT以外の原料も同一のプロセスで処理できるようになった。この爆砕装置を作っているのは、モリマシナリー(岡山県赤磐市)だ。「実はクランプロセスは、日本の中小企業が持つ優れた技術をコーディネートすることで成り立っています。2人で各中小企業を回り、『皆さんが持っている技術で地球が救える!』と協力を仰ぎに行きました」と小杉さんも笑顔を見せる。

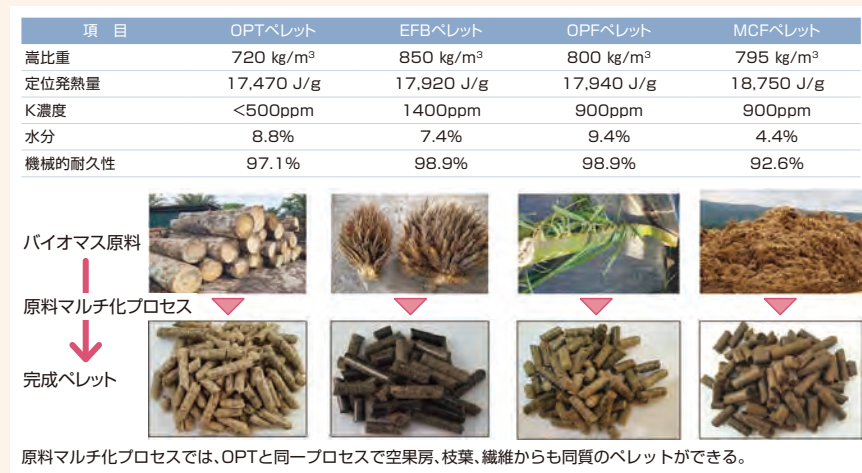
他にもパーム繊維の磨り潰し技術を持つ増幸産業(埼玉県川口市)、固体と液体を瞬時に分離できる技術を持つ東洋スクリーン工業(奈良県生駒郡)など、OPTの活用は全国の中小企業の革新的な技術で支えられている。これらを結集したクランプロセスをパッケージ化し、インフラ輸出に繋げる狙いもある。「他の国では真似できない日本の下町企業の高い技術力で地球規模的課題への解決に立ち向かう『下町バイオマス』が実現できればうれしいですね」と小杉さんは期待を込める。

また、SATREPS事業の2年目から参画するパナソニックハウジングソリューションズ(以下パナソニック)も、事前に協業を検討していた企業の1つだ。21年にSATREPSでOPTから長繊維を選択的取り出す技術を開発し、これを原料とする木質ボードをパナソニックが実用化した。22年には「PALM LOOP」というブランドを立ち上げ、ヤマダデンキ(旧大塚家具)や東京インテリア家具など家具メー

図4 クランプロセスで製造した場合のOPTペレットのライフサイクルアセスメント(LCA)評価



図5 パームバイオマス原料マルチ化処理プロセスからの各ペレットの特徴



応用研究は、樹液でも進んでいる。山下さんが樹液に触れていた際に、手がしっとり潤っているに気づいたのがきっかけだった。「樹液の成分を調べたところ、非常に強い抗酸化作用があることがわかりました。偶然の発見でしたが、現在はマレーシアのチームと組んでOPTコスメとして化粧品も開発中です」。このように、他の企業や人をどんどん巻き込んでOPT活用の幅を広げられていることは、このプロジェクトの大きな成果だと山下さんは共同研究の魅力を強調する。

小杉さんらは今後、実証実験で成功した一連の「クルアンププロセス」をマレーシアやインドネシア全土で広く社会実装したいと考えている。パーム農園はOPTの処理や肥料の購入費などの問題を、搾油工場は空果房や廃液処理などの問題を抱えている。そして両者の最大の関心事は収益だ。農園からOPT調達費をゼロにする代わりに、搾油工場からは空果房などの廃棄



また、小杉さんはマレーシア政府
に持続可能なプロセスで生産される

(TEXT: 小熊みどり、PHOTO: 石原秀樹)

This aerial diagram illustrates the biomass processing workflow. It shows the collection of various biomass materials (OPT, OPF, FFB) and their transport to a processing plant. The plant produces pellets (32.8万ton/年) and oil (19.7万ton/年). The diagram also shows the storage of raw materials and the final distribution of pellets and oil.

原料 (Raw Materials):

- OPT: 10.1万ton/年
- OPF (枝葉): 10.1万ton/年
- FFB: 32.8万ton/年

加工 (Processing):

- 32.8万ton/年 (Pellet Production)
- 19.7万ton/年 (Oil Production)
- Power: 1,090kW

製品 (Products):

- PKS: 2.0万ton/年
- CPO (油): 6.6万ton/年
- EFB: 7.2万ton/年
- MCF: 3.9万ton/年

施設 (Facilities):

- 直径 8.0 km (Diameter 8.0 km)
- ペレット工場 (Pellet Plant)
- 搾油工場 (Oil Pressing Plant)
- ペレット製造量 9.0万ton/年 (Pellet Production 9.0万ton/年)



レップスくん



／ どうやって
実現する？ ／

明るく豊かな ゼロエミッション 社会

連載
【第1回】

小宮山 宏

Komiyama Hiroshi

低炭素社会戦略センター センター長



脱炭素から始まる日本の活性化

近年頻発する異常気象やそれらに伴う災害の一因と考えられている気候変動を抑えながら、社会の持続可能な発展を目指した取り組みが進んでいる。新連載「どうやって実現する？ 明るく豊かなゼロエミッション社会」では、若手商社員・皆川豊を主人公としたストーリー仕立てで、低炭素社会戦略センター（LCS）が発行する提案書を読み解きながら、さまざまな産業分野の最新動向を紹介する。第1回は低炭素社会戦略センターの小宮山宏センター長に、脱炭素から始まる日本の活性化への道筋を聞いた。

地方にはシャッター街も
東京一極集中から脱却を

部長：皆川くん、ちょっといいかな。新事業の検討チーム入りが決まったよ。世界の脱炭素ビジネスに後れをとってはならないと役員も気合いが入っていて、若手にも意見が聞きたいとお鉢が回ってきた。ここは力の見せ所だ。とっておきの知り合いを紹介するから、いい案を頼むぞ。

皆川：わかりました。

—1ヶ月後—

皆川：はじめまして。皆川豊です。お時間をいただきありがとうございます。

小宮山：商社の新事業企画にアドバイスを欲しいということでしたね。まずはあなたの意見を聞かせてもらえますか。

皆川：近年温暖化の影響が目に見えて激しくなっている中、SDGsやESG投資といった社会的な活動が盛り上がっており、わが社としては脱炭素をビジネスの中核に取り込みたいと考えています。ですが、日本社会は少子高齢化が進み経済は低迷したままで、国際情勢も不安定な状況です。脱炭素にまで十分な理解を得られるか不安に感じています。脱炭素というと、生活にせよビジネスにせよ色々なことを我慢しなければならぬというイメージがありますね。

小宮山：少子高齢化の問題は大きいですね。人口全体も、労働人口の割合もどんどん減ってきている。私が憂えているのは、人口減少よりも、それによって社会の活気がどんどんなくなってしまうことです。若い人たちが、子どもを生んだり育てたりすることに不安を感じさせない社会を作ることこそ、意味があるのだらうと思います。

皆川：社会の活気というと、私が以前アフリカ旅行に行った時、日本とは比べ物にならないくらい地方の街が活気にあふれていて驚きました。日本の地方都市の方が経済的にはずっと豊かなはずなのに、駅前が目抜き通りから、すでにシャッター街で閑散としていて、あまりの活気の差にがくぜんとしてしまいました。

小宮山：それは大きなポイントです。日本の行き過ぎた都市化は、誰にとってもあまり幸せな状況とは言えないと思います。東京一極集中から脱却し、地方を活性化することが人々の暮らしを豊かにするための条件だと思っています。

エネルギーを地産地消
地域資源を活用し産業に

皆川：なるほど。しかし地方の活性化と脱炭素にどのような関係があるの

でしょうか？

小宮山：それが大ありなのです。そもそもなぜ大都市にばかり人が集まるのだと思いますか？

皆川：やっぱり地方にはあまり仕事がなく、大都市にはあるからでしょうね。私自身も地方出身ですが、こうして東京の企業に就職しています。

小宮山：そうですね。地方に仕事を作るのが1つ目のミッション。ではどうやって作るのか。ここで脱炭素の話とつながるのですが、脱炭素化の本命は太陽光や風力、バイオマスといった再生可能エネルギーです。そして実は再生可能エネルギーは一極集中の都市化と相性が悪い。なぜだかわかりますか？

皆川：大出力を得るためには広大な敷地が必要だから、発電所は大都市から遠く離れた場所に作らざるを得ません。発電所から都市までの距離が長いと送電によるロスが大きくなりますし、大都市までの送電線の容量が十分ではないですね。

小宮山：だったらどうすればいいと思いますか？

皆川：地方経済を活性化し、エネルギーを地産地消すればいいんですね！

小宮山：その通り。太陽光も風力、水力、地熱も地方で作られます。私が携

わったことがある鹿児島県の種子島では、中高生が地域のエネルギーシステム設計やビジョン形成にも関わっています。今や市長も巻き込んで、島のエネルギーをどうしていくか、真剣に議論しています。あとはバイオマス。日本は森林資源がとても豊かなのに、十分に活用されていません。燃料としてはカーボンニュートラルですし、建築や工業製品の原材料にもなります。鉄筋コンクリートに代わって、木造の高層ビルもこれからどんどん建ちますよ。

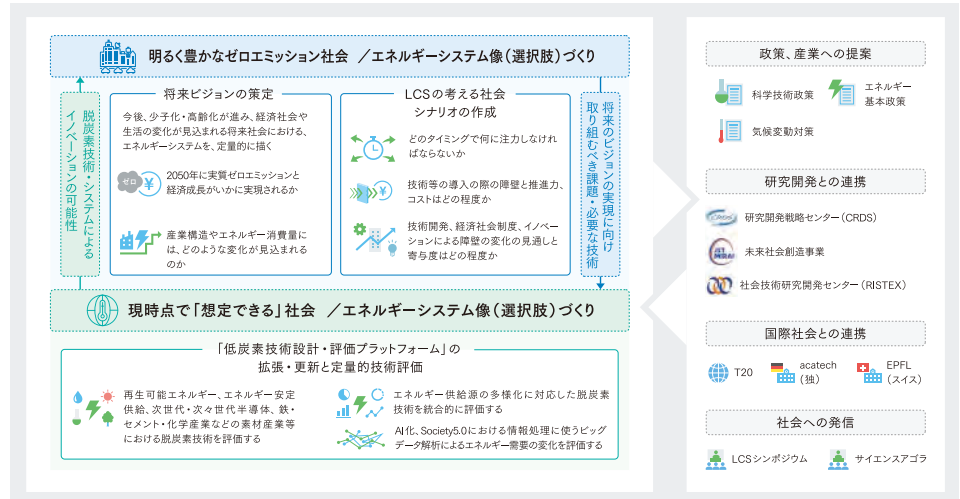
LCSは社会に及ぼす影響を調査 提案書からビジネスチャンスも

皆川: バイオ燃料は光合成で二酸化炭素(CO₂)を吸収して、燃えたときに排出するから差し引き排出ゼロということですね。木造建築はわかりますが、工業製品はいまひとつピンときません。

小宮山: 木材はセルロースとリグニンという、主に2種類の物質からできているのですが、リグニンは従来利用することができませんでした。これを抽出して、生分解性のプラスチック原料として使うことができるのですよ。しかも日本の森林に豊富なスギの木でとてもうまくいくのです。新しい科学技術と自然のリソースを合わせると、日本の地方は本当に宝の山なのです。

皆川: なるほど、森林資源や再生可能エネルギー産業を中心にした地域ビジネスのエコシステムを作ろうということですね。連鎖的に雇用や産業が

● 低炭素社会戦略センターのアプローチ



低炭素社会戦略センター(LCS)は「明るく豊かなゼロエミッション社会」の構築に向け、脱炭素技術の技術的・コスト的展望に関する定量的な解析、ゼロエミッション社会の実現を加速する新技術創出に資する研究評価、社会への実装までを見据えた社会システム設計への取り組みを一貫した体制で行っている。

(出典:LCSパンフレット https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/lcs_pamphlet.pdf)



生まれ、地方都市が脱炭素ビジネスの城下町としてよみがえる、という寸法ですか。わが社もぜひ貢献したいです！人の幸せについての話も出てきましたが、個人の生活とCO₂排出削減はどうつなげて考えればいいのか。我慢を強いられるイメージが先行していますよね。

小宮山: LCSのテーマは「明るく豊かな低炭素社会」ですから、個人レベルでも我慢を強くないシナリオを考えています。もちろん、家庭から排出されるCO₂も分析対象にしています。それについてはLCSの磐田朋子客員研究員に聞いてみてはどうでしょう。CO₂を排出しない家や家電の選び方なども教えてくれると思いますよ。

皆川: 面白いですね。LCS全体の取り組みを、もっと教えてください。

小宮山: LCSでは拡張産業連関表と呼んでいるのですが、これを用いてさまざまな脱炭素の取り組みが社会

全体に及ぼす影響について、包含的な分析を行っています。例えば太陽光発電であれば、パネルの製造から廃棄までのプロセスの間にかかわる物質的・経済的・社会的な波及効果や、技術の進歩に伴う発電コストの変化などを全て評価対象にして、2050年までにCO₂排出をゼロにするための現実的なシナリオを模索しています。ここまでの取り組みをしているのは、排出ネットゼロ宣言をしたグローバル企業を含めても、世界中で我々だけだと思いますよ。

皆川: 本当にいろいろな切り口があるのですね！LCSの提案書を分析すれば、まだ私が気づいていないビジネスチャンスがたくさん眠っていそうです。今日は、貴重なお話をありがとうございました。

一なお、物語は取材を元にしたフィクションである。

(TEXT・PHOTO: 福井智一)



低炭素社会戦略センター
森 俊介 研究統括/上席研究員

LCSは「明るく豊かな低炭素社会」構築の道筋を個別技術のコスト評価から社会経済分析まで一貫して定量的に示すという小宮山センター長、山田副センター長(当時)らの理念に沿って、2009年に設立されました。温暖化対策には、なにより技術開発が必須であるとともに、その社会経済影響までも科学的知見に基づき、定量的に評価しなければならないという視点は、今も重要です。また、マ

クロだけでなく地域に暮らす人々の生活への視点が当初から織り込まれており、今回も生活と技術、産業構造と経済評価という異なるレベルの話題が同時に現れました。木材利用で燃焼以外の用途に乏しかったリグニン利用(Mashmeyerが2012年に国際特許を取得)¹を地域開発の角度から強調されたのも、技術と生活を貫く視点の一例です。LCSの活動は、ホームページにまとめられていますので、ぜひご覧ください。

<https://www.jst.go.jp/lcs/>

¹ Castello, D. et al, Energies, 2018, 11, 31651にレビュー論文がある。



研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「ゲノムスケールのDNA設計・合成による細胞制御技術の創出」

研究課題「ヒト/マウス人工染色体を用いたゲノムライティングと応用」

完全ヒト抗体産生マウスを作製

ヒトの多様性を再現、安全なバイオ医薬品創出に貢献

2022年現在、抗体医薬品は医薬品世界売上ベスト10の半数以上を占めており、がんや感染症、自己免疫疾患などの治療において重要な役割を担っています。抗体医薬品を創出し実用化するには、迅速かつ効率的にヒト抗体を得ることが不可欠です。

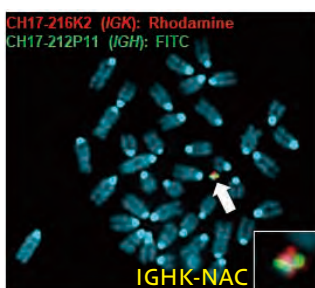
鳥取大学医学部生命科学科/染色体工学研究センターの香月康宏准教授らの共同研究グループは、独自の染色体工学技術を用いて、新たな完全ヒト抗体産生マウスの作製に成功しました。これまでに同グループが開発していたマウス人工染色体(MAC)ベクターは、従来のトランスジェニック技術ではできなかったさまざまな応用を可能にしました。今回、ヒトの免疫グロブリン(抗体)遺伝子座全長350万塩基対をMACベクターに搭載し、マウスに導入することで、ヒト抗体遺伝子座全長をマウスで安定に維持することが可能となりました。

作製したマウスを解析した結果、抗体

の多様性を担うV(D)J配列の使用頻度や抗原に対する特異性を決めるCDR3の長さがヒトと類似していました。これは、ヒトで見られる抗体レパトア(多様性)がマウスで再現されていると考えられます。

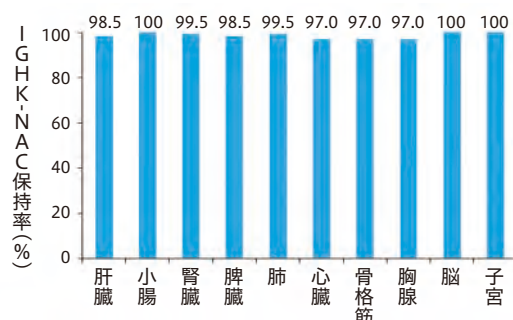
既存のヒト抗体産生マウスはこれまで一部の企業に独占されており、研究者は手軽に入手できませんでした。本研究で作製した完全ヒト抗体産生マウスを、国内外の公的研究機関に広く提供することで、抗体医薬品を含む革新的なバイオ医薬品の創成につながる事が望めます。

A. ヒト抗体産生マウス染色体解析画像



A: ヒト抗体遺伝子座全長搭載MACであるIGHK-NACが内在のマウス染色体とは独立して1本存在していることがわかる。B: マウスの脳や小腸、脾臓などの各組織においても、IGHK-NACの保持率はほぼ100%を維持しており、ヒト抗体遺伝子座を搭載した染色体が安定的に保たれていることがわかる。

B. ヒト抗体産生マウス組織での安定性



研究成果

創発的研究支援事業 研究課題「生物素材を用いた持続性エレクトロニクスの創成」

戦略的創造研究推進事業さきがけ 研究課題「多次元生体化学情報の収集・時空間解析へ向けた超嗅覚センサシステムの創製」

戦略的創造研究推進事業CREST 研究課題「新物質群「3次元カーボン構造体」と革新的触媒反応」

紙を段階的に炭化し、半導体開発

電気特性・3D構造をカスタマイズ可能

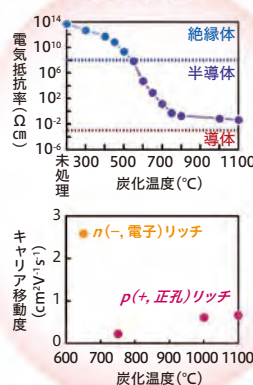
近年、電子デバイスの生産量が急増し、金属や石油などの枯渇性資源が急速に消費されています。また、大量発生した電子デバイス廃棄物が環境に及ぼす影響も深刻になっています。

大阪大学産業科学研究所の古賀大尚准教授らの共同研究グループは、木材由来の「ナノセルロース」から作った「ナノペーパー」を用いて、優れた性能や廃棄のしやすさなどを併せ持った環境調和型電子デバイスを開発してきました。しかし、ナノペーパーは絶縁体のため、主に基材としての利用にとどまっており、電子デバイスとして動作させるためには、枯渇性資源由来の半導体が不可欠でした。

今回、研究チームはナノペーパーを段階的に炭化する技術を駆使し、広範な電気特性の制御とナノ、マイクロ、マクロのレベルで自在に3D構造を制御できる半導体の開発に成功しました。この半導体を用いたウェアラブル水蒸気センシングにより、マスクからのしびき漏れを検出しその実用性を検証しました。他にも、バイオ燃料電池発電などで、その優れた電子デバイス性能を確認できました。

この成果は、ナノセルロースに半導体としての新たな利用価値を生み出しました。目的や用途に応じた電子機能や3D構造のカスタマイズが可能で、全て木材由来の電子デバイスを作製することも夢ではなくなります。研究チームでは、今後もさらなる電気特性・機能制御やプロセスの改良に取り組み、持続可能なエレクトロニクスの実現を目指して研究を進めていきます。

A 広範かつ系統的な電気特性制御



B トランススケールの3D構造制御



A: 炭化温度を段階的に上げていくと、絶縁体から半導体、導体にすることができる(上)。炭化温度を上げると、半導体のタイプを変えることができる(下)。B: ナノ、マイクロ、マクロの幅広い範囲で制御可能な3D構造。

超強力な水中接着剤を開発

海洋生物の機構がヒント、手術用など期待

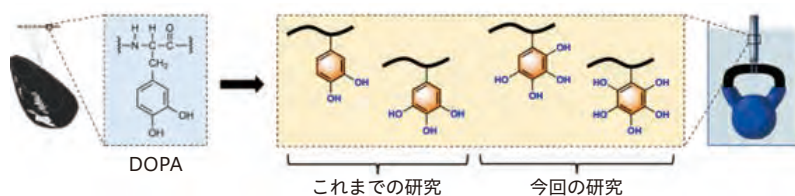
接着剤は土木や医療などのさまざまな分野で利用されています。一般的な接着剤は水中では接着強度が大きく低下しますが、海辺に生息するムール貝は独自のたんぱく質を獲得し、水中でも岩場などに強力に接着することができます。このたんぱく質にはベンゼン環上に2個の水酸基を持つ、DOPAと呼ばれるアミノ酸が多く含まれています。

これにヒントを得た米国の研究グループは、2017年にポリスチレン樹脂の骨格に2個の水酸基を導入し、3メガパスカルの水中接着強度を達成しました。その後2020年に、東京大学大学院工学系研究科の江島広貴准教授らの研究グループは樹脂の骨格に3個の水酸基を導入し、4メガパスカルの水中接着強度を達成しました。

さらに今回は、4個および5個のフェノール性水酸基を導入した高分子の合成に世界で初めて成功し、海洋生物の接着機構をヒントに水中接着強度10メガパスカルの超強力な水中接着剤を開発しました。この接着強度は、

わずか1センチメートル四方の接着面積で約100キログラムの重を持ち上げるほど強力なものです。さらにシミュレーションの結果、フェノール性水酸基数が増えるほど、材料表面に吸着しやすくなることがわかりました。

一般に、水中接着剤は疎水的であることが重要ですが、フェノール性水酸基数を増やすと、高分子鎖は親水的になります。研究グループはこの二律背反する難題を解決する必要がありました。そこで材料設計段階において、高分子側鎖の分子構造を最適化することで、疎水性を損なうことなく、高分子鎖上に多数のフェノール性水酸基を導入することに成功しました。この水中接着剤は湿潤環境においても強い接着力を発揮するため、手術用接着剤などへの応用が期待されます。



ムール貝の接着たんぱく質に多く含まれるDOPAと、これまでの研究と今回の研究で導入したフェノール性水酸基の化学構造

効率の高い磁気冷凍で水素を液化

水素エネルギー製造コスト削減、脱炭素社会に道

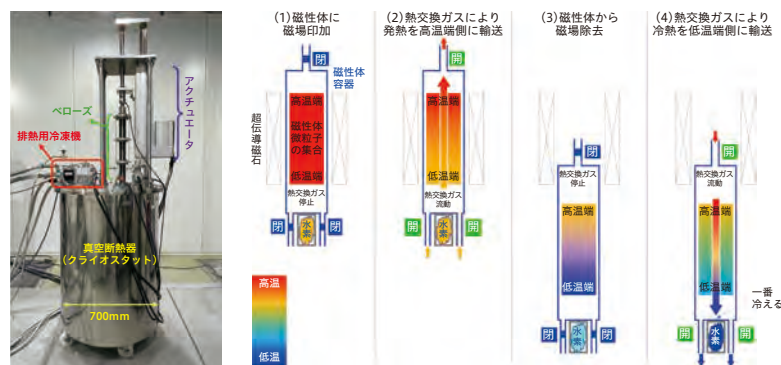
2050年の脱炭素社会実現に向け、水素エネルギーの利用が加速しています。普及のカギとなるのは、気体である水素を液体にして輸送や貯蔵のコストを削減する「液化技術」です。現在使われている気体式冷凍機では効率が25パーセント程度と低く、水素製造コストの上昇要因となっていました。また磁性体の磁気モーメントを制御し、発熱や吸熱を行う磁気冷凍では理論的には50パーセント以上の効率が可能とされていますが、実際には冷却動作範囲が5度程度と狭く、いずれも実用化には至っていませんでした。

そこで物質・材料研究機構磁気冷凍システムグループの神谷宏治グループリーダーらの研究チームは、エアコンなど日常的な温度範囲で家電への応用研究が進んでいる能動的蓄冷式磁気冷凍(AMRR)に着目しました。従来のAMRRは動作温度範囲が広いものの極低温での実現は困難とされていましたが、最適化した超伝導磁石の磁場中に磁性体を出し入れすることにより、高効率で発熱の少ない磁場

変化を与える機構を開発しました。併せて、AMRRに最適な形状の熱交換器の開発や磁性体形状の改良を行い、冷却動作温度範囲の拡大と極低温で安定したAMRRサイクルを実現し、世界で初めてAMRRによる水素液化に成功しました。

実用化に向けては、液化効率50パーセント、1日100キログラム程度の液体水素を製造可能な液化機の実現が1つの目標になります。今後は液化量の増大や熱交換ガス循環システムの高効率化を進め、AMRRシステムを大型化し、水素製造価格の削減を目指します。

AMRRシステムの外観(左)とAMRRサイクルを構成する4つの過程



最適化した超伝導磁石の磁場中に磁性体を出し入れすることにより、高効率で発熱の少ない磁場変化を与えるAMRRシステム。過程(1)から(4)を繰り返していくと磁性体容器下部の低温端は徐々に冷えていき、水素容器内の水素も温度低下し、やがて液化する。

さきがける 科学人

vol.117

トラン・ティ・ホン Tran Thi Hong

大阪公立大学大学院 情報学研究科 講師

Profile

ベトナム出身。2012年ベトナム国立大学ホーチミン市科学大学博士前期課程修了。14年九州工業大学博士後期課程修了。博士(情報科学)。奈良先端科学技術大学院大学(NAIST)助教を経て、21年より現職。NAIST客員准教授を兼任。20年よりさきがけ研究者。



屋外で仕事することも好きです。明るい日差しの下だと良いアイデアが浮かんでしやすいです。

Q1. 研究課題を設定したきっかけは？
**A1. 病院受診の負担を減らしたい
ブロックチェーンに興味持つ**

ベトナムの高校・大学在学中に、将来は学校や教員を支える教育システムを作りたいと漠然と考えていました。これが情報処理を支えるハード面の分野に進む1つの要因になったと思います。

分散型の情報管理が特徴のブロックチェーンに興味を持ったのは、来日後です。子どもを病院に連れて行ったときの出来事がきっかけでした。初めての病院を受診する度に名前や住所、過去の通院歴などを記入しなければなりませんでした。病院と来院者の負担を減らすために、来院者が登録した情報を多くの病院間で共有できる新たな情報システムを作れないかと考えました。

しかし、現在の技術ではシステムのデータセキュリティや個人情報保護の問題があり、実現は困難です。ですが、改ざんやシステムダウンのリスクなどに強みを持つブロックチェーンであれば、これらの問題に対応できると考えています。


Q2. 研究目標とやりがいは？
**A2. 低電力・高速の半導体を目指す
公私のサポートで充実した生活**

ブロックチェーンネットワークの消費電力を削減し、処理速度を上げたいと考えています。その中で課題となるのが、ブロックチェーンの分散処理を支えるアクセラレータと呼ばれる半導体の低電力化・高速化です。そのため、現在はハードウェア開発を中心に研究を進めています。

当初は、演算器からメモリーまでの距離を短くする方法に着目しました。その後、ブロックチェーンネットワークの消費電力や処理速度は、ネットワークを構築する際のルールともいえるコンセンサスなどによっても決まることがわかり、現在はハードウェアとソフトウェアの研究を並行して進めています。ソフトウェア分野では、偽造品対策などの特定のアプリケーションを設計・運用するのに必要となるさまざまなルールを検討し、提案しています。

一方で、共同研究者の先生方や研究室の学生たちと深い議論を交わせる日本の研究環境は、とても魅力的です。また、公私にわたるサポート体制も整っており、充実した研究生活がやりがいにもつながっています。

Q3. 余暇の過ごし方と将来の展望は？
**A3. 集中とリラックスの両輪が大切
日本とベトナムの架け橋に**

研究活動では、常に新しいアイデアが求められます。発見やひらめきといったクリエイションを発揮し続けるためには、集中とリラックスの両輪が大切です。休みの日には、ヨガや座禅で頭と体をすっきりさせます。そうすることで、より精神的に研究に励むことができています。

将来的には、医療・交通などの社会インフラを担う分散型システムの社会実装にも挑んでいきたいと考えています。例えばワクチンや医薬品がどこで生産され、どの病院で使用されたかを管理・追跡できるシステムなど、多くの人の役に立つ提案をしていきたいです。

また私は奈良先端科学技術大学院大学赴任時より、国際交流協定(MOU)締結のサポートを行うなど、日本とベトナムをつなぐ取り組みにも力を入れてきました。現在の研究室にはベトナム出身の学生も多く所属しています。今後も、国籍を問わず全ての学生たちとともに社会にとって有意義なシステムを開発し、両国の架け橋となれるよう精進していきます。

(TEXT:横井まなみ)



研究室の学生たちとともに、これからの社会に必要とされるシステムについて日々議論しています。

情報管理の低電力化
高速化を目指しハードと
ソフトを平行して開発

