

JST news

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

特 集

**電気自動車を電源に
つながる家庭と地域**

**バイオガスによる燃料電池発電で
ベトナムのエビ養殖を持続可能に**

1

January
2020



03

新年のごあいさつ

04 特集1

電気自動車を電源に
つながる家庭と地域

08 特集2

バイオガスによる
燃料電池発電で
ベトナムのエビ養殖を
持続可能に

12 世界を変える STORY

一家に1台パッチ式脳波計
簡単測定で脳の健康を管理

14 NEWS & TOPICS

関節炎の原因細胞を発見
リウマチの新たな治療法に期待

16 さきがける科学人

木材の可能性を求めて
歩んできた研究人生

東京大学 大学院農学生命科学研究科
准教授 齋藤 継之

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。



P12



P8



P16



P8



P8

編集 長：安孫子満広

科学技術振興機構 (JST) 広報課

制 作：株式会社伝創社

印刷・製本：株式会社丸井工文社



21世紀も20年目に入り、令和の時代を迎えました。この間、IoT や AI などをはじめとする科学技術は劇的な発展を続け、社会のあり方や人類の生活に、第4次産業革命とも呼ばれる大きな変化をもたらしています。他方、マイクロプラスチックなどの環境汚染や気候変動、不安定な社会がもたらす難民、あるいは日本の直面する少子超高齢社会など、人類社会は大きな課題を抱えています。あらためて今、科学の果たすべき役割、目指すべき姿を問い直す時期が来ているのではないのでしょうか。

1999年のブダペスト宣言から20年の節目の会合として、ワールド・サイエンス・フォーラム2019が昨年ブダペストで開催されました。JSTからは佐伯理事、渡辺副理事、私が招待されて登壇し、今後の科学研究が希求すべき価値として、人類社会のウェルビーイング（社会的に健康で豊かであること）が最も大切であると主張してまいりました。この主張は、会合で採択された科学の倫理と責務に関する宣言の第1章に取り入れられました。世界の科学をより良い方向に導く責務を日本は期待されていると、私は感じています。

科学の果たすべき役割は今後もますます重要になっていきますが、一方で昨今の日本の科学技術力を示す各種データからは、破壊的イノベーションへの挑戦、基礎科学技術力、産学連携、人材育成など、さまざまな面での課題が明らか

になってきています。将来にわたって日本が世界の科学技術をリードし、全ての人々の幸福のため、そして未来のためのイノベーションを創出すべく、JSTは科学技術基本計画の中核的な役割を担う機関として、これからも新たな挑戦を続けていきます。

その新たな取り組みとして、いよいよ今年、「ムーンショット型研究開発事業」と「創発的研究支援事業」が本格的に動き始めます。ムーンショット型研究開発事業は、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発を推進します。その構想の下、昨年末にムーンショット国際シンポジウムを開催し、多数の有識者に目指すべき未来像と取り組むべきムーンショット目標を議論いただきました。創発的研究支援事業は破壊的イノベーション創出を目指し、幅広い人材に長期にわたって挑戦的課題に取り組んでいただくもので、2019年度の補正予算で措置される予定です。

従前からのプログラムに加え、これら新規の事業に取り組むことで、JSTは急速に変容する社会に対応し、日本にイノベーションをもたらす新たな潮流の起点となる独創的なネットワーク型研究所として、科学のあり方を問い続け、さらなる変革に挑戦してまいります。引き続き、皆様のご支援、ご協力をお願い申し上げます。

令和2年1月

齋藤 継之

特集 1

電気自動車を電源につながる家庭と地域

環境に優しい次世代自動車として世界的に普及が進む電気自動車（EV）。その蓄電池が家庭や地域をつなぐ電源になると期待されている。移動を伴う蓄電池の充放電をいかに適切に計画し、家庭の電気代の削減や地域全体の利益の最大化に役立てるか。名古屋大学大学院工学研究科の鈴木達也教授は、最適な解を見いだすためのアルゴリズムの開発に挑んでいる。

すずき たつや
鈴木 達也

名古屋大学 大学院工学研究科 教授
未来社会創造機構モビリティ社会研究所 所長
2012年よりCREST研究代表者

駐車中の車を有効活用 移動する手段から電池へ

自動車業界は100年に一度といわれる変革期を迎えている。その柱の1つである車両の電動化が今、新たなエネルギーマネジメントシステム(EMS)の未来を拓こうとしている。

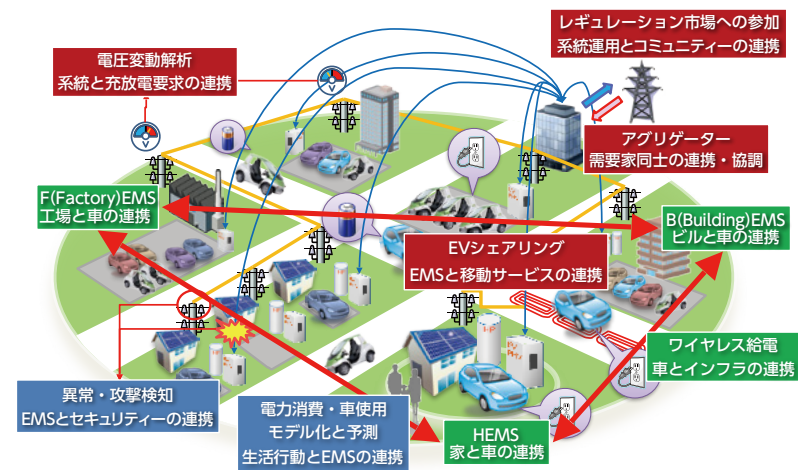
電気や熱の使用状況を可視化してエネルギーの効率的な利用を図るシステムがEMSだ。一般家庭向けのものを「H(Home)EMS」、地域向けを

「C(Community)EMS」と呼ぶ。HEMSを導入すれば、電気料金が安い日中は太陽光による自家発電に切り替え、夜間に電気を安価に購入して電気代を節約するなど、家庭内で電力を融通できる。

太陽光や風力などの再生可能エネルギーは、天候や時間帯によって発電量が大きく変動する。そのため余った電力を蓄電池にためておく必要があるが、定置用蓄電池は高額な上、設置に場所を取る。名古屋大学大学院工

学研究科の鈴木達也教授は、自家用車は1日のうち約9割はどこかに駐車していることに着目した。「電気自動車の保有台数や車載蓄電池の電池容量は年々増えています。車は止まっている時間帯は何の価値も生み出さず、場所を占有しているだけです。これをEMSに使わない手はありません。移動する蓄電池として新たな価値を電気自動車に持たせ、その普及に弾みをつけたいと考えました」。

CREST「分散協調型エネルギー管



■図1 「電気自動車を活用したEMSを考える」をテーマとした研究課題の全体像。緑色が局所的なEMS、赤が空間的な広がりを持ったEMS、青がデータや予測に関する課題を示している。車の使用状況を予測し、家庭や地域が調和したモデル予測型EMSを目指す。

理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」研究領域(研究総括:藤田政之)は、ユニークなチーム編成で運営されている。2012年度に研究領域が発足し、23の小規模なチームで各分野の要素技術の研究を行った。3年かけて異分野との融合を進めて目標を共有し、ステージゲート評価を経て、15年度から5つの

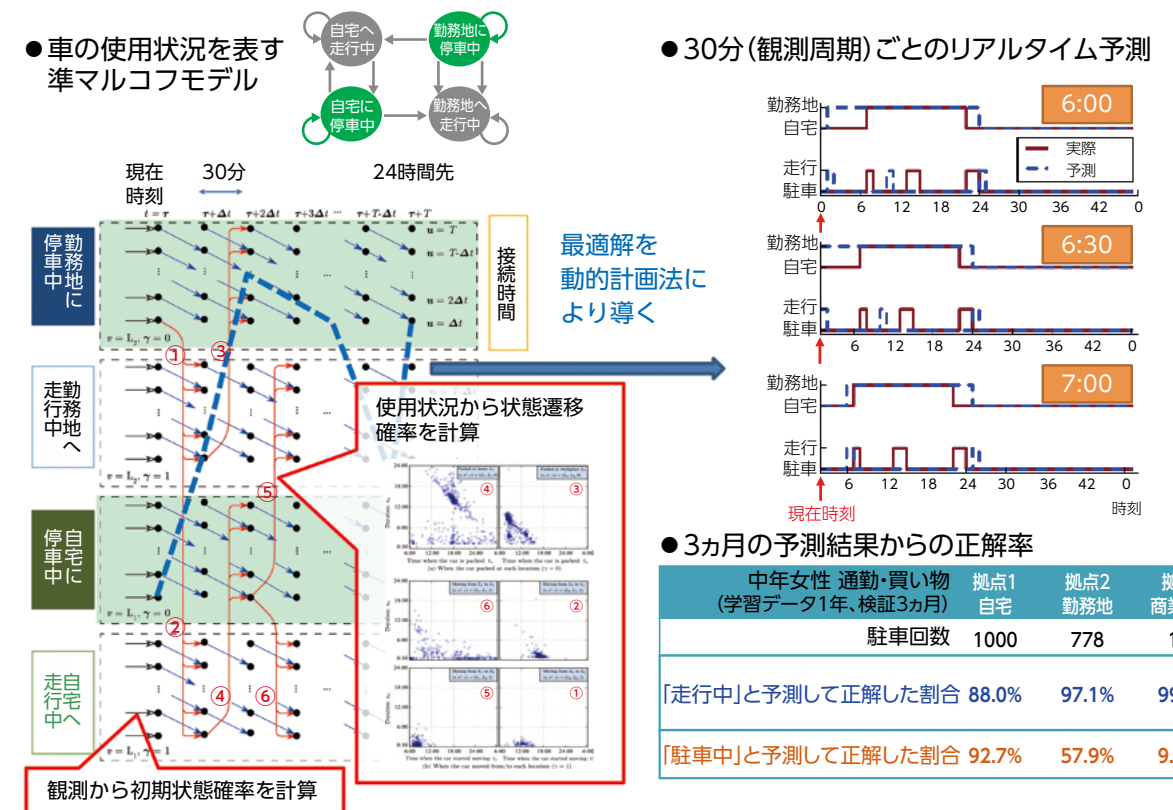
「最強チーム」に再編された。

鈴木さんは最強チームの1つを率いる研究代表者として、車載蓄電池を活用して電力を安定供給できるEMSの解析と設計に取り組んだ。移動手段である自動車は複数の場所をつないで回る。「家庭ごとのHEMSにとどまらず、地域のCEMSに発想を広げることで、地域全体に大きな利益をもた

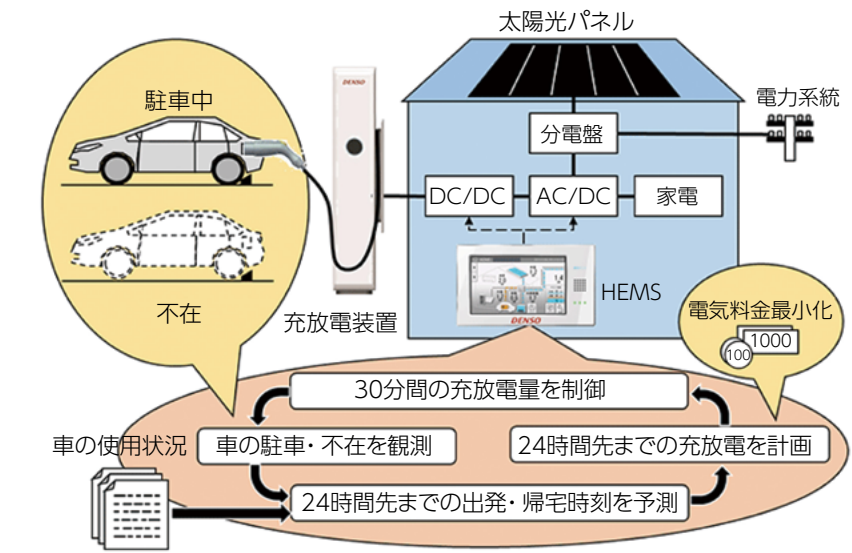
らす可能性を秘めています」。さまざまな場所に駐車されている車載蓄電池を分散型の電源と見なし、最適な運用を目指すことにした(図1)。

車使用状況のモデル化 24時間先まで充放電を予測

HEMSの導入による電気代の削減は、電気料金が安い時間帯に車載蓄電池を充電し、電気料金が安い時間帯に家庭に放電することで実現する。車から家庭への放電には、出発時刻と帰宅時刻をあらかじめ入力して、車載蓄電池を十分に充電しておく必要があるが、充電時間を長く見積もり過ぎると、自家発電した電気が無駄になってしまう。車載蓄電池は移動を伴う特殊な電池で、駐車中はHEMSに接続して電池になるが、走行中はHEMSから離脱して電池としては機能しなくなる。車の移動手段としての利便性を損なわずに、家庭内の電力需要に応じて車載蓄電池の充放電を制御する



■図2 (左) 自宅と勤務地の2拠点間の移動を考慮した車の使用予測例。自宅に到着した時刻と駐車時間、勤務地に到着した時刻とそこでの駐車時間、家を出る時刻と勤務地に到着するまでの移動時間、勤務地を出る時刻と家に到着するまでの移動時間の準マルコフモデルを作成し、過去の車の使用状況から出発時刻と帰宅時刻を予想する問題を解いた。(右上)リアルタイム予測例。青の点線は予測、赤の直線は実際の走行パターンを示す。30分ごとに予測を更新するため、一度外れても矯正され、予測と実測が一致するようになる。(右下)1年分のデータに基づき、3拠点間の移動を3ヵ月間検証したところ、駐車回数が多い拠点で予測と実測が一致する割合が高かった。



■図3 モデル予測型HEMSは車が駐車しているか否かを観測し、観測情報と車の使用状況の統計データに基づいたモデルを用いて、24時間先までの出発時刻や帰宅時刻を予測し、24時間先までの充放電を計画する。

には、車の使用状況を予測することが不可欠だ。

車の使用時間や太陽光発電量、家庭内での消費電力量を統計データに基づいて予測した上で、車載蓄電池の最適な充放電を計画できる手法を確立したいと、鈴木さんは考えた。幸いなことに、小規模チーム時に参画していたデンソー（愛知県刈谷市）が、車の使用状況と家庭内の消費電力量とを連動させた統計データを保有していた。これが予測精度の向上に大いに役立ったという。「問題は、走行データからどのような数理モデルを構築し、予測アルゴリズムを導くかという点でした。車の数や駐車する拠点の数が増えれば増えるほど、最適化問題を解くのに膨大な時間がかかってしまいます」。

そこでひらめいたのが、「準マルコフモデル」と呼ばれる数理モデルを構築する方法だ（図2）。「深層学習を使うことも頭をよぎりましたが、そのためには大量のデータが必要です。問題を準マルコフモデルとして表現することにより、深層学習よりもデータ数が少なくて済みます」。車の出発時刻と帰宅時刻および走行中に使用する電力量の予測を、準マルコフモデル上で定式化し、計算量を劇的に低減させるアルゴリズム（動的計画法）を適用した。「少ないデータ数でも、通勤や

買い物で頻繁に行く場所、すなわち駐車回数が多い拠点であれば、車の使用状況の予測問題を非常に短い時間で解けるようになりました」。

鈴木さんは車の使用状況予測を組み込んだモデル予測型HEMSを開発し、24時間先までの車使用状況や移動に使われる電力量、家庭での消費電力量、太陽光発電量の数値をリアルタイムに自動予測することに成功した。これを基に電力需要と車使用の予測モデルを組み立てれば、電気代を最小化する24時間分の車載蓄電

池の充放電を計画できる（図3）。車の使用形態や電気代の価格設定にもよるが、日本の平均的な家庭なら10～40パーセント程度、1日の電気代を削減できる可能性が検証実験で明らかとなった。「ヒートポンプ給湯器と組み合わせれば、電力を太陽光発電で完全に自給自足できるという結論が得られました」。

モデル予測型HEMSは、電力供給の変動にも強靱なEMSを構築するための革新的技術となり、また、車載蓄電池から家庭へ電力を供給するV2H（Vehicle to Home）技術の普及促進にも貢献すると期待されている。

分散するEMSが連携地域の電力を安定化

車載蓄電池は、家や勤務地、施設など、これまで別々に運用されてきた複数のEMSの連携を可能にする。鈴木さんは広く地域全体に目を向けて、「複数の電気自動車が増えることを考慮し、分散しているEMSが協調するような充放電計画を設計したい」と語る。

鈴木さんが期待しているのが、地域に点在する車載蓄電池を家庭やビル、工場などの需要家を介して電力系統に接続することで地域の電力を

安定化するV2G（Vehicle to Grid）技術への展開だ。通常、電力系統に電力を流すと周波数が不安定になるが、V2Gでは車載蓄電池を電力系統に直接接続しても周波数を安定に保つことができる。

欧米ではV2Gを活用して、短期間の需給調整を目的にリアルタイムで電力を売買するレギュレーション市場が稼働している。V2Gは日本ではまだ認可されていないが、レギュレーション市場に参画するための日本ならではの方策はないかと、鈴木さんは米国デラウェア大学のウィレット・ケンプトン教授に共同研究を持ちかけた。ケンプトン教授はV2Gの世界的権威で、車載蓄電池を使ったレギュレーション市場を切り拓いてきた。

鈴木さんはV2Gの代わりに、これまで取り組んできたV2Hの電力をたくさん集めることでレギュレーション市場への参画を検討することにした。各家庭から提供もしくは消費可能な電力量を算出し、それに基づきレギュレーション市場に入札する。応札の結果、返ってきたデータを基に、各家庭に最適に電力を分配するアルゴリズムを考案した。

HEMSを導入した200軒の家庭で1週間シミュレーションしたところ、レギュレーション市場に参加した場合に発生する経済的な損失よりも報酬の方が多く、提案手法がビジネスとして成立し得ることが確認されたという。「このような仕組みはV2Gが認められていない国や地域にとって有効であり、波及効果は高いと考えられます。実証実験は始まっており、いずれ当たり前前の技術になっていくと予想されます。今後は、V2Gの規制緩和の動向を見ながら技術の社会展開を検討していく計画です」。

電力系統からの購入価格を地域全体で最小化する課題にも取り組んだ。「余った予算や売電によって得た利益を、公共施設の充実などに役立てることができるでしょう」。そのためには、車載蓄電池が各拠点間で充放電する際の電力価格の設定を考える必要が

あった（図4）。「自宅だけでなく勤務地や商業施設など、さまざまな場所で充放電する可能性があります。例えば勤務地で充放電する場合、電力価格をどのように決定すれば合理的なのか、最適な価格設定を導くアルゴリズムを考案しました」。地域全体の利益を車と拠点の電力取引の価格設定という形に還元できると期待される。

将来、電気自動車は所有のみならず、共同使用の形で普及していく可能性もある。車を予約して使うカーシェアリングは、利用時間や走行距離をある程度事前に予測できるので、EMSへの拡張という点で非常に有効だ。鈴木さんは、シェアリングとの連携によって配電系統の電圧を安定化することにも着手した。この問題は完全には解けていないが、配電の運用事業主からシェアリングマネージャーに送った各充電ステーションでの望ましい充放電量の情報を基に、シェアリングマネージャーが各車両に利用予約を割り当てて充放電計画を実行する方法で、配電系統を安定化できると考えられる。

このような電気自動車とEMSが連携した地域設計の仕組みが稼働するようになれば、「AI、IoTなどの新技術やデータを活用したスマートシティの実現に、大きな一歩を踏み出せます」と鈴木さんは意気込む。

分野の垣根を越えて車が生む新たな価値

自動車業界変革のもう1つの柱が車両の知能化だ。「車は今後、電動化に加えて、自動運転に代表される情報通信技術と融合した知能化技術がさらに進み、大きな変化を遂げるでしょう」と鈴木さんは予想する。電気自動車とEMSの新たな連携が分野の垣根を超えて生まれると期待され、異分野の相互理解が欠かせない。

鈴木さん自身、「電気自動車を活用したEMSを考える」というテーマの下、さまざまな領域の専門家が集結した最強チームを率いてきた。V2G、配電系統、ヒートポンプの他、車とインフラの新しい関係である路面からの走行中ワイヤレス給電、ネットワーク化されたEMSへの攻撃や異常を検知するサイバーセキュリティなど、多岐にわたる研究開発を進め、安全で柔軟なEMSの構築を目指す。「こうした異分野融合が図れるのはCRESTならではの感覚です」と振り返る。

家や勤務地、施設のEMSと電気自動車との融合は今後ますます進み、これまで接点のなかった人や物を結び付けていく。全てが繋がった時、どのような価値が生まれ、その価値はどのように循環していくのか。鈴木さんの探究は尽きることがない。

●24時間分の充放電計画問題（主問題）

決定変数	$\{p_h^{EMS}(k t)\}_{h \in \mathcal{H}, k=t, \dots, T}$: 拠点 h ($\in \mathcal{H}$) に駐車する車両の合計充放電電力[kw] $\{p_v^{EV}(k t)\}_{v \in \mathcal{V}, k=1, \dots, T}$: 車両 v ($\in \mathcal{V}$) の充放電電力[kw]
目的関数 (最小化)	地域のコスト = $\sum_{h \in \mathcal{H}} Z_h^{EMS}(t) + \sum_{v \in \mathcal{V}} Z_v^{EV}(t)$ = EMSの総コスト(24時間の電気代) + EVの総コスト(電池の劣化)
制約条件	$p_h^{EMS}(k t) = \sum_{v \in \mathcal{V}} \{1 - \tilde{y}_{h,v}(k t)\} p_v^{EV}(k t)$ ($\tilde{y}_{h,v}(k t)$: 拠点hに車vが駐車0、その他1) - 各車、各建物に関する制約

●双対問題

決定変数	$\{\lambda_h(k t)\}_{h \in \mathcal{H}, k=t, \dots, T}$: ラグランジュ乗数=シャドープライス
目的関数 (最大化)	$\min_{\{p_h^{EMS}(k t)\}_{h \in \mathcal{H}, k=t, \dots, T}} \left(\sum_{h \in \mathcal{H}} Z_h^{EMS}(t) + \sum_{v \in \mathcal{V}} Z_v^{EV}(t) + \sum_{h \in \mathcal{H}} \sum_{k=1}^T \lambda_h(k t) \left\{ p_h^{EMS}(k t) - \sum_{v \in \mathcal{V}} (1 - \tilde{y}_{h,v}(k t)) p_v^{EV}(k t) \right\} \right)$ $= \sum_{h \in \mathcal{H}} \min_{\{p_h^{EMS}(k t)\}_{k=t, \dots, T}} \left(Z_h^{EMS}(t) + \sum_{k=t+1}^{t+T} \lambda_h(k t) p_h^{EMS}(k t) \right) + \sum_{v \in \mathcal{V}} \min_{\{p_v^{EV}(k t)\}_{k=t, \dots, T}} \left(Z_v^{EV}(t) - \sum_{h \in \mathcal{H}} \sum_{k=t+1}^{t+T} \lambda_h(k t) (1 - \tilde{y}_{h,v}(k t)) p_v^{EV}(k t) \right)$
制約条件	各車、各建物に関する制約

■図4 電力系統からの購入価格を地域全体で最小化するという評価関数の下、その双対問題を考えることで合理的に最適な価格設定を導くアルゴリズムを考案した。双対問題は主問題と対になる問題であるため、2つの問題の最適値は等しくなる。



「電気自動車を活用したEMSを考える」ことを軸に、多様な研究分野の専門家が集結した最強チーム

特集 2

バイオガスによる燃料電池発電で ベトナムのエビ養殖を持続可能に

しらとり ゆうすけ
白鳥 祐介

九州大学 水素エネルギー国際研究センター
大学院工学研究院 准教授
2014年よりSATREPS研究代表者

やまかわ たけお
山川 武夫

九州大学 大学院農学研究院 准教授

著しい経済成長を続けるベトナムの主要産業の1つが養殖水産業で、特にエビの養殖が盛んだ。その一方で、有機性廃棄物による環境汚染が問題となっている。この廃棄物から発生するバイオガスにより燃料電池で発電し、養殖池の環境管理に利用するシステムの開発に挑むのが、九州大学水素エネルギー国際研究センターの白鳥祐介准教授の研究チームだ。ベトナムでの実証試験も開始し、エネルギーの地産地消による持続可能な養殖技術の実現を目指す。

養殖の廃棄物を利用して発電 一石二鳥で地域の問題を解決

ベトナム沿岸部ではエビの養殖が盛んで、世界各国に輸出されている。ベトナムの経済を支える輸出品目の1つで、養殖に適したメコンデルタを中心に養殖業への投資も増えている。その一方で指摘されるのが、養殖方法の問題だ。

ベトナムでは、マングローブ林を切り開いてエビの養殖池が造られることが多い。ここで行われているのは集約型と呼ばれる養殖で、狭い養殖池に数多くの稚エビを放し、大量の餌を投入して育てる(図1)。このため、エビの排泄物や脱皮した抜け殻、餌の食べ残しといった有機性廃棄物がヘドロとなって養殖池に堆積して水質が悪化する。

水質悪化によりエビを育てられなくなると、養殖池を放棄し、マングローブを



■図1 ベトナムではエビの養殖が盛んだが、集約型と呼ばれる方法は、環境汚染やマングローブ伐採といった環境問題を引き起こしている。



伐採して新たな池を造るので、沿岸の生態系がどんどん破壊されていく。さらに養殖池のヘドロは適切に処理されることがなく、そのまま自然環境に排出されることが多く、周辺の河川の富栄養化も問題になっていた。

環境汚染を引き起こす有機性廃棄物を有効活用する。この課題に挑んだのが、九州大学水素エネルギー国際研究センターの白鳥祐介准教授が率いる研

究チームだ。現地の大学研究機関と連携し、有機性廃棄物から得られた電力を利用する地産地消のエネルギーシステムを開発し、ベトナム南部のベンチェ省の養殖場で実証試験を進めている(図2)。

燃料電池を研究している白鳥さんは、2008年頃からメタンと二酸化炭素から成るバイオガスを燃料電池発電に利用する技術の開発を始めた。この研究について講演するためにベトナムに赴いた



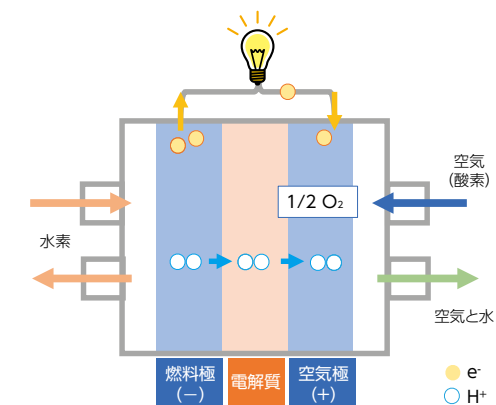
■図2 ベトナム南部、メコン川下流のメコンデルタに位置するベンチェ省。淡水と海水が混じり合う汽水域で、エビの養殖に適している。

際、現地のエビ養殖池で有機性廃棄物が蓄積して問題になっていることを知った。白鳥さんは当時をこう振り返る。「ベトナム国家大学ホーチミン市校ナノテク研究所のダン・マウ・チェン教授からエビ養殖の課題を聞き、養殖ヘドロをメタン発酵させ、得られたバイオガスを燃料電池に供給し発電すれば、有機性廃棄物の処理に加え、エネルギーの安定供給という一石二鳥が狙えると思い付きました。これをきっかけに話が進み、チェン先生がベトナム側の代表、私が日本側の代表としてSATREPSに採択されました」。

高温作動の燃料電池で 効率はガスエンジンの約3倍

ベトナムの農村部では、家畜の糞尿から作られたバイオガスが調理用コンロの熱源やガスエンジン発電機の燃料として利用されている。しかし、バイオガスを燃やして利用するガスエンジンの場合は、燃料の化学エネルギーを、熱エネルギー、運動エネルギーと変換してから発電するので、各段階で損失が生じる。数キロワットの小型発電機の場合、発電効率は20パーセント程度と低くなってしまふ。

一方、「燃料電池では燃料を燃やすことなく、直接発電するので50～60パーセントという高い発電効率が期待できま



■図3 水素イオン伝導体を電解質として用いた燃料電池の発電原理。水素を酸素と電気化学的に反応させて、水と電気エネルギーを発生させる。乾電池や二次電池と異なり、燃料を供給する限り発電し続け、蓄電はしない。SOFCでは、電解質として酸素イオン伝導体を用いる。

すし、二酸化炭素の排出を抑えられます」と白鳥さんは話す。

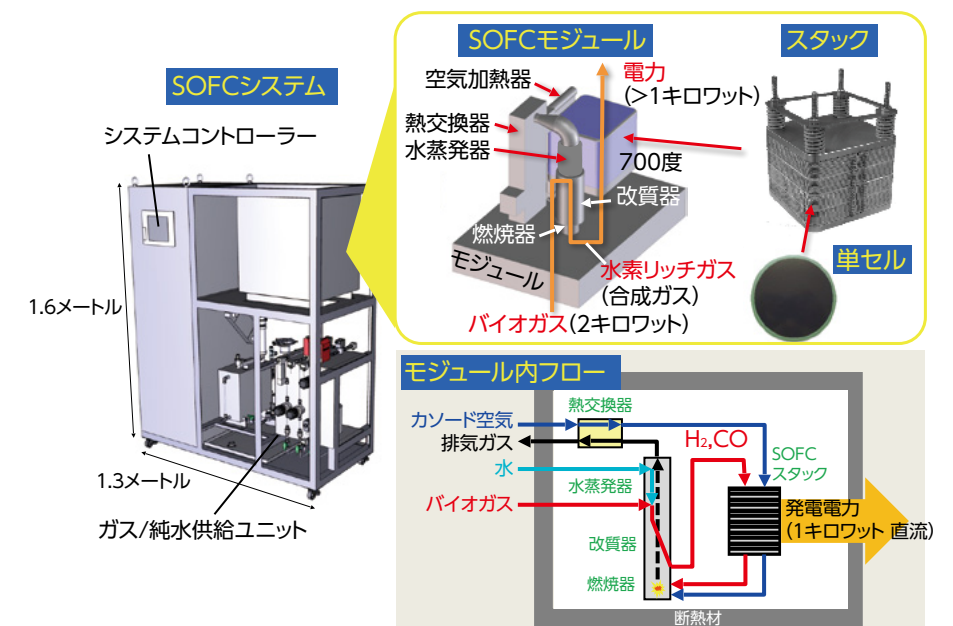
燃料電池は一般に、燃料として水素を供給して酸素と電気化学的に反応させることで電気を生み出している(図3)。白鳥さんが研究する固体酸化物形燃料電池(SOFC)も基本原理は同じだが、作動温度が700度付近と高く、メタンなどの炭化水素燃料から水素を作り出す改質反応を電池のそばで起こすことができる。このため、燃料は純粋な水素である必要がなく、炭化水素をモジュール(セルスタック部と燃料を改質する水素製造部の複合体)に直接供給して電力に

変換できる。しかし、SOFCをバイオガスの直接供給で作動させる場合には課題があった。

有機性廃棄物から発生したバイオガスには、都市ガスとは異なり、バイオマス由来の多量の二酸化炭素と数百～数千ppm(百万分率)の硫化水素など不純物が含まれている。しかし、二酸化炭素自体は燃料にはならないし、硫化水素は改質反応や発電反応を阻害する。さらに、モジュール内で発生するすすも抑えなければならない。

地球規模の低炭素化に貢献できるよう、バイオガスSOFCを途上国農村部や僻地に広めていくことが白鳥さんの目標で、このために遠隔操作が可能でシンプルなシステム構成でありながら、上記の課題を解決するバイオガスSOFCシステムを企業と連携して開発した(図4)。

燃料にならない二酸化炭素はメタンと反応させて水素を作り出すのに積極的に利用し、硫化水素は化学反応と物理吸着による2段階の脱硫を採用して除去する。さらに、バイオガスに水蒸気を加えて加湿し、すすの発生を抑える。水蒸気が多すぎると発電効率の低下につながるため、熱力学平衡計算により、すすが発生しない最小限の加湿量を求め、これをシステムの自動制御プログラムに組み込んだ。また、インターネット上に仮想的な専用線(VPN)を構築しセキュリ



■図4 SATREPSにおいて企業と共同で開発したバイオガスSOFCシステム。1キロワットの発電が可能。

ティーを確保した上で、自動制御プログラムの遠隔操作を可能にした。こうして、必要な機能を実装したシステムを実現したのだ。

気候に合った土着の菌を活用 現地の気温でバイオガス製造

バイオガスSOFCシステムの開発に加えて取り組んだのが、メコンデルタ現地の有機性廃棄物から、より効率良く安定してバイオガスを作り出す技術で、九州大学大学院農学研究院の山川武夫准教授が担当している。「バイオガス発電の高効率化だけではなく、メタン発酵技術を改良し、より効率良くバイオガスを作り出すことで、システム全体の効率を向上できます」と山川さん。

メタン発酵の効率を高めるには、優れた性質を持つメタン生成菌を使うことが早道だ。菌を単離し、優れた性質を持つ菌を選び出すこともできるが、山川さんは「土着の菌」を使うことにこだわった。その理由を「エビ養殖場の設備を考えると厳密な培養環境の制御は難しく、現地の気候に適応している菌の方が使いやすいでしょう。また、微生物の生育には複数の種の相互作用が重要ですから、単離した菌よりも、現地に分布している細菌集団を利用するのが良いと考えたのです」と説明する。

メタン発酵の最適温度は中温発酵が37度、高温発酵が55度とされる。日本

と比べて温暖なベトナムであっても加温が必要でエネルギーを消費することになるが、山川さんは養殖池を訪れた際に見た養殖ヘドロの貯留池に着目した。現地の気温で自然にガスが発生していたことから、そこにメタン生成菌が生育しているはずだと考え、その菌を利用することにしたのだ。加温せずに活発に働くため、効率的にバイオガスを生産できる。

効率良く発酵させるには、発酵槽内の水素イオン濃度(pH)を中性付近に安定させることも求められる。この調整についても、ベトナムで入手できる生石灰や炭酸カルシウムをpH値に応じて投入するだけにした。現在は、メタン生成菌の供給源である養殖池ヘドロに加え、周辺の農地から出る稲わら、ココナッツやサトウキビの搾りかすもメタン発酵槽に投入し、簡単な操作でバイオガスを安定して生産している。

養殖池は素掘りで、当初は養殖池の水を抜いて底にたまったヘドロをバケツリレーでくみ出していたという。しかし、現在は養殖池全体を止水シートで覆って、池の中央に掘った穴からポンプを使って簡便にヘドロを回収できるようになっている(図5)。「現地の皆さんが私たちの取り組みを理解してくれたおかげです」と白鳥さんは笑顔を見せる。メタン発酵の原料が得られるだけでなく、池の環境改善によりエビ養殖の持続性が格段に向上すると期待される。

東南アジア初のSOFC実証試験 環境に優しく生産性も向上

2018年1月には、ベンチエ省ビンダイ地区のエビ養殖場を実証サイトとして、開発したバイオガスSOFCシステムの実証機を設置した(図6、7)。東南アジアでは初の試みだという。生産したバイオガスを燃料電池による発電に利用し、得られた電力を使って養殖池への酸素供給(曝気)装置を動かす。

バイオガスSOFC発電の寄与率を上げるために、曝気装置の省電力化にも取り組んだ。水面から空気を送り込む従来のジェット式曝気装置は電力消費が大きいため、半数を微細な気泡で池の底層から酸素を供給するマイクロバブルディフューザーに置き換えたのだ。これにより、電力消費を25パーセント低減できた。

また、生産性向上に向けた工夫として、ヘドロを含む養殖池の水をろ過し、透過水で稚エビを飼育することも試みた。ふ化後数週間のエビは弱いですが、きれいな透過水で育てることによって生存率が大幅に向上したという。

さらに、メタン発酵後に排出される消化液をもみ殻と混合して炭化し、肥料として農業に活用する研究を、ベトナムのカントー大学の研究者と連携して進めている。こうして、エネルギー循環だけでなく地域の物質循環モデルも確立しつつある(図7)。

「バイオガス発電においては、62.5

パーセントという世界最高レベルの発電効率を実現しました。地域内エネルギー循環システムのモデルを開発・実証するという1つの目標は達成できたと自負しています」と白鳥さんが語るように、実証試験は順調に進んでいる。

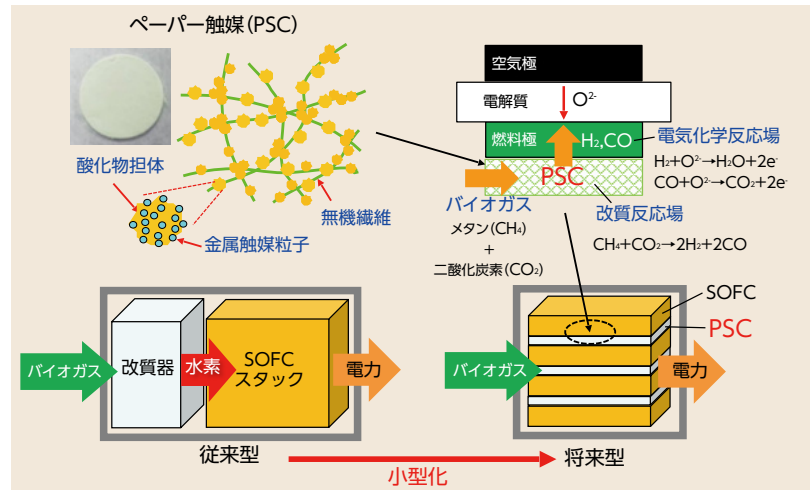
新触媒でさらなる性能向上 地球規模の普及を目指す

バイオガスSOFCシステムの開発は着実に進んでいるが、SOFCのさらなる性能向上と小型化が見込めると、白鳥さんは考えている。

現在、開発に取り組んでいる「ペーパー触媒」は、セラミックスでできた無機繊維を紙状に成形して、そこにバイオガスから水素を製造する触媒粒子を分散させたものだ(図8)。この技術を使えば、改質機能を燃料極反応場と一体化させ、改質器をSOFCスタック内部に押し込めることができる。モジュールの大幅な簡素化につながるのだ。

これまで、ハイドロタルサイトを分散させた硫黄被毒に強いペーパー触媒、セリアとジルコニアの固溶体を分散させたすすを生じさせないペーパー触媒を開発している(図9)。さらに、ベトナム国家大学ホーチミン市校ナノテク研究所と共同で表面積の大きい花びら状のセリア微粒子を合成し、これを分散させたペーパー触媒によりさらなる性能向上にも取り組んでいる(図10)。

「まだ単セルの段階ですが、ペーパー触媒をSOFCに積層させることで、改質器なしでも発電できるようになりまし



■図8 (左上)ペーパー触媒(PSC)の外観と模式図。(右上)PSCを適用した燃料極反応場。明確に分離された電気化学反応場と改質反応場が一体化されている。(左下)従来型のSOFCモジュール。(右下)将来型のモジュール。PSCの適用により改質機能をスタック内部に押し込めることができ、小型化が可能。

た。ペーパー触媒とSOFCの積層体をスタックにする必要がありますが、5年後を目処に実用化したいと考えています。改質器と電池を一体化できるので、装置全体をさらに小型にできるでしょう」と白鳥さんは意気込む。

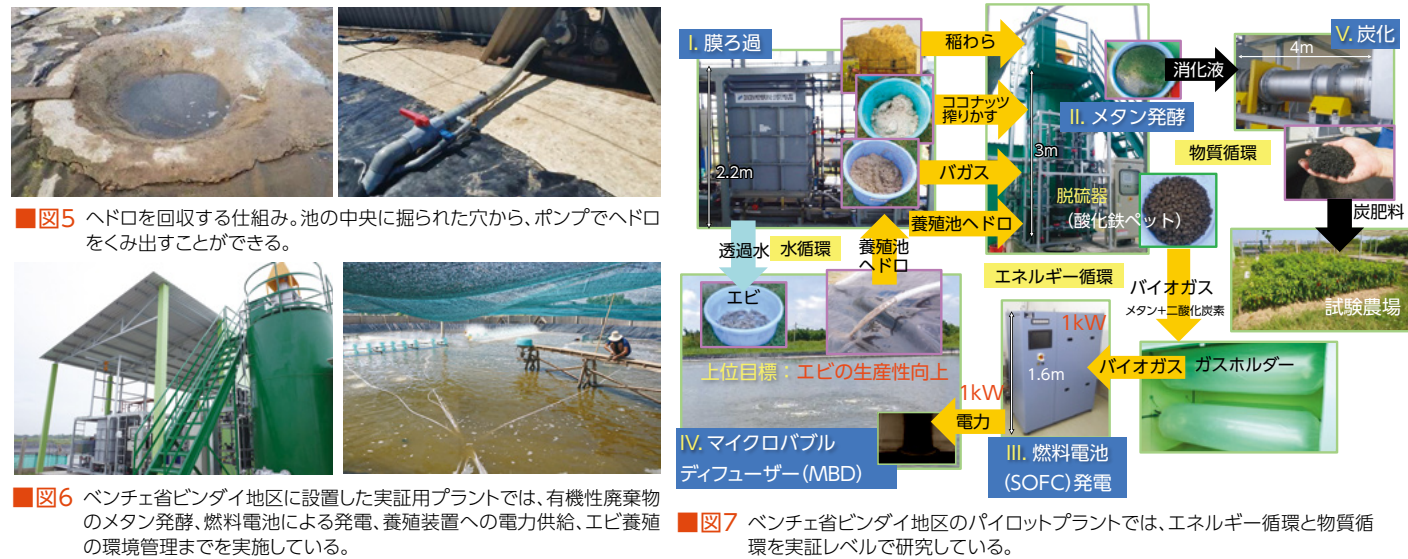
SATREPSのプロジェクトは最終年度を迎えているが、ベトナムとの連携が終わるわけではない。「ベトナムでシステムを稼働し、発展させるためには、なんと言っても教育が大切です。自ら課題を解決できる人材を育てたいのです」と話す白鳥さんは、人材育成にも力を入れてきた。ベトナムの大学での講義や実習、留学生の受け入れなどにも積極的で、18年にはベトナム国家大学ホーチミン市校と大学間学術交流協定を締結した。

研究期間中には毎年、ベトナムでのワークショップも開催してきた。山川さんが「ベトナムの方は意義や価値が納得

できると、動きが早い」と語るように、プロジェクトの遂行上、現地の行政や企業に活動の意義を知ってもらうことが重要だったからだ。このワークショップには地元のエビ養殖業者も参加し、意見交換の貴重な機会となった。

白鳥さんは今後の展望について「実証試験について多くの方が興味を持ってくださるのですが、ベトナム農村部の経済水準を考えると、すぐに導入するのは難しい。SATREPSで機能面は検証できましたから、実証試験を続け、より安価なシステムを目指します」と語る。

ベトナムで得られた知見は、他の地域や国にも適用可能で、有機性廃棄物を活用したエネルギー循環システムの構築に生かすことができる。地産地消のエネルギーシステムとして、地域が抱える環境問題やエネルギー問題の解決の糸口となるだろう。



世界を変える STORY vol.4 PGV

一家に1台パッチ式脳波計 簡単測定で脳の健康を管理

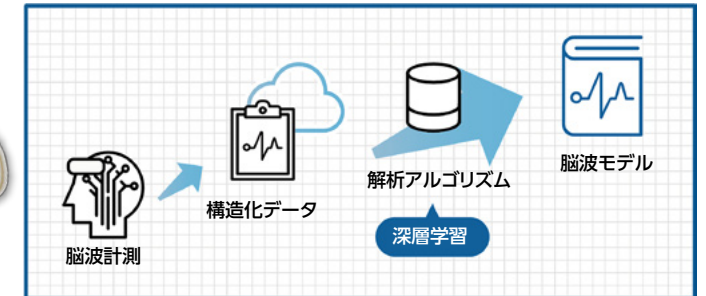
「パッチ式脳波計」を使ったビジネスを展開する、大阪大学COI拠点発ベンチャーのPGV(東京都中央区)。手軽に脳波を測定できる簡易デバイスを使った健康管理を提案する他、収集した脳波ビッグデータを用いたサービスを企業に提供していく。

PGV 代表取締役社長
やなぎさわ おさむ
柳澤 修

PGV 製造部 先端技術開発部長
よしもと しゅうすけ
吉本 秀輔



■図1 パッチ式脳波計の特徴。独立電極シートを用いて、高精度かつ長時間の計測が可能で、スマホなどからリアルタイムに脳の状態を可視化できる。



■図2 脳波データをAIに学習させ、脳年齢、睡眠、感情、認知症を推定するモデルの構築を進めている。このモデルを利用して、睡眠解析や疾患の早期発見といったサービスを提供していく。

貼るだけで高精度に測定 脳の翻訳機でヘルスケア

体温計や体重計、血圧計と同じように「脳波計」が普及し、脳の健康状態を日常的に管理できる時代——。そんな未来を目指すのが、大阪大学COI拠点発のベンチャー企業、PGVだ。冷却シートのように額に貼り付けるだけで脳波を測定できる「パッチ式脳波計」を活用したビジネスを展開している(図1)。

現在、医療現場で使われている脳波測定機器は、ケーブルの延びた電極を頭にたくさん取り付けるもので、1台1000万円以上する大掛かりな装置が一般的だ。一方、PGVのパッチ式脳波計は、重さがたった27グラムの手のひらサイズでありながら、医療用大型機器と同等の測定精度を持つ。PGVではこの高精度な脳波計を誰もが買うことができる価格での提供を目指している。

大阪大学でパッチ式脳波計の開発に

携わっていたPGV製造部の吉本秀輔先端技術開発部長は、パッチ式脳波計を実現した技術革新を2つ挙げた。「1つは、伸縮性の高い電極シートです。厚みが60マイクロメートルと薄く柔らかいため、肌に密着し、装着感なくリラックスした状態で脳波を測定できます。もう1つは、微小な信号も検出できるセンサー技術です。高感度だけでなく時間分解能にも優れ、0.01秒単位で測定できます。これらの技術によって、簡易デバイスでありながら、高精度な測定が可能なのです」。

脳波計が捉えるのは神経細胞間の活動で、1〜50マイクロボルトと微弱な電気信号だ。柳澤修代表取締役社長は「1ボルトの100万分の1ですから、富士山とアリのようなもの。ノイズの中からこの弱い信号を捉えるのは簡単ではありません」と話す。しかし、PGVの技術はこれを可能にし、0.01マイクロボルトの精度で脳波を測ることができる。

簡易デバイスを使って日常的に脳波

を測定できれば、健康管理や健康診断に役立てられる。例えば、脳波から睡眠状況を把握して睡眠の質の向上につながったり、てんかん発作などの予兆を捉えたりすることも可能だ。柳澤さんは、「いわば脳の翻訳機です。脳の状態をリアルタイムに可視化し、人々の健康寿命を延ばすことに貢献したい」と話す。

研究を世に出すチャンス 用途を狭めず可能性を探る

パッチ式脳波計は、大阪大学産業科学研究所の関谷毅教授の研究室で開発された。2015年5月、パッチ式脳波計で睡眠中の脳波を測定することに成功。これがメディアで取り上げられると、業種を問わず企業から問い合わせが殺到した。「社会的な需要の大きさを感じました。関心を示すベンチャーキャピタルも多く、気付けば会社を設立する話が進んでいました」と当時関谷研究室の助教だった吉本さんは語る。

ベンチャー企業として立ち上がった背景を、柳澤さんは「脳波技術を使って解決できる社会的課題は多い。既存の事業の延長として実用化すると、脳波計の用途の可能性を狭める恐れがあります。このため、最初はベンチャーとしてスタートしたのです」と話す。こうして技術検証から1年半後の16年9月、PGVが設立された。

会社設立前に関谷氏と出会い、ブラジルで育ったという共通点もあり意気投合した。その縁がきっかけとなり、別のベンチャー企業を経営していた柳澤さんは、設立の翌年3月にPGVの社長に就任した。「脳波技術を社会に役立てたいという思いに共感しました。成功するかどうかはやってみないとわかりませんが、まだ世界にない技術ですので、やってみる価値は十分にあると考えました」と柳澤さんは振り返る。

その半年後、吉本さんが入社した。アカデミアからの転身だったが、「自分が携わっていた研究を世の中に出せるチャン

スは、望んでも得られるものではありません。このチャンスを逃して後悔したくありませんでした」と話す。

脳波を読み解き役立てる AIも活用し多彩なサービスを

吉本さんがまず取り組んだのは、実用化に向けたデバイスの改良だった。多くの人に日常的に使ってもらうためには、どんな環境で使用されても安定して動き、かつ誰もが手軽に使える設計が求められる。「基本的な技術は確立していましたが、想定外の使い方にも耐え得る品質管理や、基礎研究では考えもしなかった実際の使いにくさなど、実用化にはクリアすべき技術的課題がたくさんありました」と吉本さんは話す。現在は、運動中など電磁ノイズの多い状況でも信号を抽出できるよう、低ノイズ化に向けた信号解析技術の開発に取り組んでいる。

計測した脳波データは、それが何を意味するのかを読み解いて初めて、健康

管理や健康診断に役立てることができ。PGVでは、脳波で睡眠状態、五感の状態や感情などを読み解くために、AIの深層学習を活用している(図2)。すでに睡眠状態や脳年齢を推定するためのアルゴリズムは構築済みだ。その他、疾患や感情についても、さまざまな大学との共同研究で解析を進めている。

「脳波ビッグデータを社会にどう役立てていくのが今後の課題」と柳澤さんは話し、こう続ける。「脳波の解析だけでは不十分で、解析データを使ってどんなサービスを提供できるかが重要になります」。最近では、運送会社のドライバーの居眠り運転防止に役立てたり、快眠グッズの開発に活用したりと、企業と連携した取り組みも増えているという。

今年中に電子体温計や血圧計と同クラスの医療機器認定を目指す。「25年には一家に1台にしたい」という柳澤さんの思いが実現し、脳波測定が私たちの健康維持や増進に役立つ日も遠くはなさそうだ。

HISTORY

2015年

関谷研究室が開発したパッチ式脳波計を使って、睡眠中の脳波測定に初めて成功。メディアで報道されると、製薬企業をはじめさまざまな業種の企業から問い合わせが殺到した。

2016年

大阪大学ベンチャーキャピタルより出資を受け、PGVを設立。翌年3月に柳澤さんが社長に就任、9月には吉本さんが大阪大学の助教を辞めて入社。実用化に向けたデバイス改良に取り組んだ。

現在、睡眠状況や五感を推定してサービスに活用したい企業との連携を模索中です。日本発の脳波センサー技術を、いずれ海外でも展開したいですね。



研究者が情報を発信することは非常に大事で、それは論文発表だけではなく、製品化も手段の1つであるとPGVの一員となり感じました。ベンチャー企業で研究する面白さを実感しています。



2018年

計測した脳波の解析にAIの深層学習を活用し、睡眠状態を推定するアルゴリズムを開発。その後、脳年齢を推定する脳波モデルも開発した。

2025年?

パッチ式脳波計が一家に1台普及。脳波のモニタリングで健康を管理する時代が到来。脳・神経疾患の早期発見や、脳活動情報に基づくセルフケアが可能に。



薄く柔軟な電極シート

戦略的創造研究推進事業CREST
研究領域「統合1細胞解析のための革新的技術基盤」
研究課題「動く1細胞の「意思」を読み取るin vivo網羅的動態・発現解析法の開発」

研究
成果

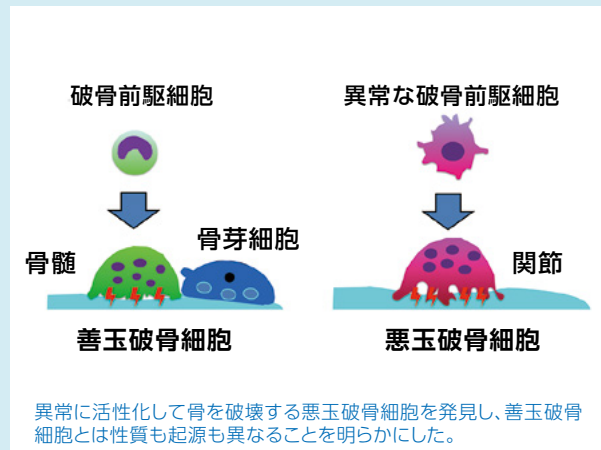
関節炎の原因細胞を発見 リウマチの新たな治療法に期待

関節リウマチは、関節が炎症を起こし軟骨や骨が破壊されて機能が損なわれる病気で、全人口の約1パーセントが罹患しています。骨を破壊する破骨細胞は、古く傷んだ骨を壊した後、骨芽細胞による骨の再生を促すことで骨の健康を維持しています。一方、関節リウマチやがんの骨転移などでは、この破骨細胞が異常に活発になり骨の破壊を起こすことが知られています。

大阪大学大学院医学系研究科の石井優教授らは、これまで1種類しかないと考えられていた破骨細胞には骨を健康に保つ善玉と炎症を起こす悪玉の2種類があり、悪玉破骨細胞が不必要に骨を破壊していることを明らかにしました。

石井教授らは、関節リウマチのマウスの組織から細胞を回収し解析する方法を確立し、悪玉破骨細胞が形成される過程を調べました。その結果、炎症を起こした関節の骨組織には、異常な破骨前駆細胞が存在することを発見しました。さらにこの細胞は骨髄由来の細胞で、血流を介して関節に入った後、分化に必要なたんぱく質

と反応して悪玉破骨細胞に変化することがわかりました。このたんぱく質の働きを薬で抑えたところ、関節リウマチの症状が改善し、ヒトの組織を使った実験でも同じ結果が得られました。悪玉破骨細胞が発生する過程が詳細に解き明かされたことで、新たな治療法の開発が期待されます。



戦略的創造研究推進事業ERATO
沼田オルガネラ反応クラスタープロジェクト

研究
成果

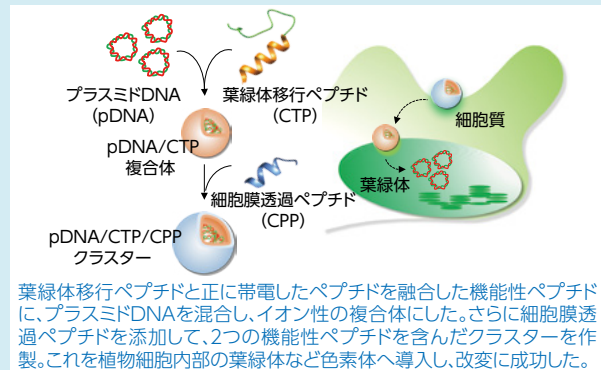
膜透過ペプチドで葉緑体などを自在に改変 効率的な物質生産に道

光合成を担う葉緑体、赤や黄色の色素を作りためておく有色体、デンプンを貯蔵するアミロプラスト——。植物や藻類が持つこれらの細胞小器官は、まとめて色素体と呼ばれます。二重の膜で包まれ、核とは別に独自の遺伝子を持ち、必要に応じて葉緑体などに分化して、多様な代謝過程を担っています。色素体へ目的のDNAを導入して自在に改変すれば、物質生産に利用できると考えられています。高い圧力でDNAを金粒子と共に打ち込む方法がありますが、もっと簡単に効率良く導入できる方法が求められていました。

理化学研究所環境資源科学研究センターの沼田圭司チームリーダーらはこれまで、細胞膜透過ペプチド(CPP)を使ったDNA導入法を開発し、ミトコンドリアなどさまざまな細胞小器官への導入に成功していました。一方、色素体たんぱく質の多くは核の遺伝子から発現して色素体の中へ取り込まれますが、この時に色素体の膜を透過して入っていくための目印となっているのが葉緑体移行ペプチド(CTP)です。研究プロジェクトが、このCTPとCPPという2種類のペプチドとプラスミドDNAを組み合わせたクラ

スターを作製し、植物細胞の葉緑体、有色体、アミロプラストへそれぞれ導入したところ、導入したDNAの発現が確認されました。狙ったDNAを簡単に色素体へ導入することに成功し、しかも同じペプチドで異なる色素体へ選択的に導入できることを明らかにしました。

この技術によって植物細胞の色素体を迅速に改変できるようになり、効率的な物質生産や基礎研究の進歩へと道が拓けます。



グローバルサイエンスキャンパス(GSC)全国受講生研究発表会

開催
報告

全国から選ばれた高校生が研究発表を通じて交流 グローバルに活躍する研究者の道へ

高校生が大学教員らの支援の下、専門性の高い研究活動に取り組むグローバルサイエンスキャンパス(GSC)。現在、全国13の大学に約750人の受講生がいます。その第6回目となる研究発表会が2019年11月に日本科学未来館で開催され、約50人の受講生が研究成果を発表し、交流を深めました。

審査の結果、文部科学大臣賞に神戸大学、兵庫県立大学、関西学院大学、甲南大学共同プログラムを受講し「プラナリアの体長の測定方法の確立」と題して発表した三井愛理さんが選ばれました。高い再生能力を持つプラナリアについて、各遺伝子の発現量と発現している正確な位置を結び付け、再生メカニズムの定量的な研究を可能にした

点が高く評価されました。これによって、今後は先行研究を新たな観点から評価でき、将来は再生医療の発展などにも貢献できるかもしれません。その他、科学技術振興機構理事長賞に慶應義塾大学プログラムを受講し「金星大気衛星間電波掩蔽観測の立案に向けたデータ同化による研究」を発表した細野朝子さんなど、合わせて11人が受賞しました。

佐伯浩治理事は、「GSCでの学びや経験、人とのつながりを生かして、ぜひグローバルに活躍する研究者の道を進んでほしい。自ら関心を持ったことを丁寧に追究し続けることと、大学で幅広い教養を身に付けることが将来の研究で重要です」とエールを送りました。



(左)「プログラムを通じて自分は真理の追究が好きだと気づき、進路を決めました」と語る三井さん(啓明学院高等学校3年)。
(右)11人の受賞者。細野さん(豊島岡女子学園高等学校2年)は前列左から3番目。

戦略的創造研究推進事業CREST・さがけ
出資型新事業創出支援プログラムSUCCESS 他

開催
報告

ダンスで発電、バイオ3Dプリンターなど超スマート社会に向けて CEATEC 2019にJSTから初出展

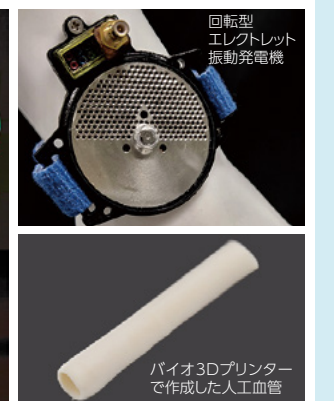
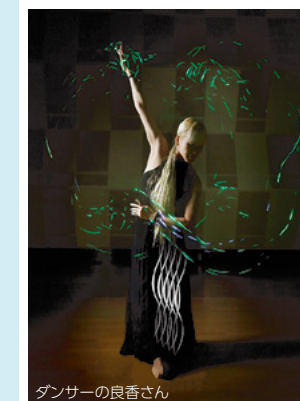
JSTから生まれた優れた技術シーズと産業界とのマッチングのため、2019年10月に幕張メッセで開催されたCEATEC2019に初出展しました。CEATECはアジア最大規模のITとエレクトロニクスの総合展です。JSTの展示は、次世代デバイス・ロボティクス技術やAI・計算技術など基礎研究からベンチャー技術まで多岐にわたりました。

CREST・さがけ「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」研究領域は「つながるエネルギー」をテーマに、回転型エレクトレット振動発電機など振動発電技術を紹介しました。電荷を長く貯蔵する機能を持つエレクトレット材料は、環境や人体などで生じる低周波振動でも高効率で発電可能で注目を集めています。振動発電素子と発光ダイオードを活用したダンサーの良香さんによるパフォーマンスも行い、来場者からは「テクノロジーとアートの新たな融合」との声が多く聞かれました。

SUCCESSからはベンチャー企業のサイフーズが再生医療への応用を目指したバイオ3Dプリンターを紹介しました。培養した細胞を積み立てて、血管などの立体構造を持つ

組織を作る技術を開発し、人工血管の臨床試験を開始すると発表しました。肝臓構造体を用い、創業支援の分野でも貢献が期待されています。

企業の研究開発者の他、技術者、マーケティング、営業担当者らとの活発な意見交換により、新たな展開の可能性が広がりました。超スマート社会の実現に向け、さらに共創の輪を広げられるよう研究開発を推進していきます。



ダンサーの良香さん

バイオ3Dプリンターで作成した人工血管

Q1 印象に残っている言葉は？

A1

好きこそものの
上手なれ

子供の頃は理科や数学は好きではありませんでした。木が大好きで秘密基地やブランコを作っていて、将来は大工になりたいと思っていました。大学では建築を専攻する予定でしたが、大学3年生の時に磯貝明先生と出会い、実験や解析の面白さに気づき、研究者を目指しました。そして授業で話していたセルロースに興味を持ち、磯貝先生の研究室の門を叩きました。

将来のことは特に考えず直感でここまで来ましたが、好きなこと、熱中できることをするのは重要だと思います。今は大学教員という立場で、学生と接する機会が多くあります。その中で意識しているのは、熱中するきっかけを作ることです。同じ課題でも、学生が面白いと感じるポイントはそれぞれです。そのポイントを掘り下げることが新しい発見につながることもありますから、1人1人の感性を大切にするように心がけています。

Q2 現在の研究テーマは？

A2 木材から作る新しい材料の開発

鋼鉄の5分の1の重さで5倍強いといわれる、木材由来の新素材であるセルロースナノファイバーの研究開発に取り組んでいます。環境への負荷も軽減できるため、さまざまな用途での活用が期待されています。しかし液中に分散しているセルロースナノファイバーを固体材料にすることは非常に難しく、費用の問題もあるため、現



さがける 科学人

vol.93

木材の可能性を求めて 歩んできた研究人生

東京大学 大学院農学生命科学研究科
准教授

齋藤 継之
Saito Tsuguyuki

Profile

埼玉県出身。2008年 東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了。博士(農学)。日本学術振興会特別研究員、東京大学大学院農学生命科学研究科助教を経て、13年より現職。

在は化粧品などにおける水系添加剤での実用化がほとんどで、強度を生かした用途で実用化された例はごくわずかです。

費用削減を目指すのはもちろんですが、少し高価でも需要がある材料を作る新しい方法を提案したいと考えています。樹脂補強では、従来の10分の1の使用量で効率よく性能を発揮させたり、セルロースナノファイバーにしかできない付加価値を生み出したりといったことです。他の研究者との共同研究で広く可能性を探っていますが、電気自動車の窓で使用する透明断熱材など、将来性のある用途はあると思っています。

セルロースナノファイバーの研究は今、正念場だといわれています。10年以上基礎研究を続けてきましたが、産業で扱える手法には至っていません。大学と産業界、双方の手法を擦り合わせることで社会課題の解決につながっていると思っています。木材の可能性を求めてさらに研究を進め、低炭素社会の実現に貢献したいと考えています。

Q3 休日の過ごし方は？

A3 家族との時間を楽しむ

家事と子育てに奮闘する日々です。子供は小学4年生で、一緒にゲームを楽しんだり、勉強を教えたり、実験教室に連れていったりすることもあります。実験教室の先生はとても話が上手で、授業の参考になっています。

子供が実験を楽しんでいることは研究者としてとても嬉しいことです。いろいろなことに出合っていく中で、進路に迷うこともあると思いますが、その時はじっくりと悩んで考えて、自分の好きなことに挑戦してほしいですね。

