

Re:ORDIST

Organization for Research and Development of Innovative Science and Technology

Roadmap to Carbon Neutrality

特集1 ————— P.1

**カーボンニュートラル時代の切り札、
リチウム硫黄電池の可能性を拓く**

化学生命工学部 化学・物質工学科 教授 石川 正司

特集2 ————— P.7

**再生医療技術×サンゴ礁再生
関西大学発の技術革新が切り拓く
カーボンニュートラルの未来**

化学生命工学部 化学・物質工学科 教授 上田 正人
社会安全学部 安全マネジメント学科 教授 高橋 智幸

Sabbatical体験記 ————— P.11

システム理工学部 機械工学科 教授 山田 啓介

- 先端機構 News & Topics
- 関西大学 科学技術振興会TOPICS

特集1 || Roadmap to Carbon Neutrality

カーボンニュートラル時代の切り札、 リチウム硫黄電池の可能性を拓く

石川正司教授は次世代電池の研究を牽引する第一人者です。

今回のインタビューでは、カーボンニュートラル社会の実現に向けて期待が高まる
リチウム硫黄電池の最新研究について伺いました。



いしかわ まさし
石川 正司

化学生命工学部 化学・物質工学科
教授

研究環境の構築：長年取り組んだ研究とその転機

「ドライルームで研究されているそうですが、そのきっかけをお聞かせいただけますか？」

私はこれまで長年、リチウムイオン電池やキャパシタの研究を行ってきました。特に関西大学に着任してからは、研究環境が大きく変わり、本格的にリチウムイオン電池の研究に取り組むことができるようになりました。

2003年頃、私立大学学術研究高度化推進事業という文部科学省の助成金に採択されたことが大きな転機でしたね。この助成金により、ドライルームという特殊な実験室を設置することができたんです。これは湿度を100万分の1程度まで下げることができる設備です。当時、このような設備を持っていたのは全国でも数か所程度だったはずですよ。

「ドライルームの重要性について、教えていただけますか？」

ドライルームは、リチウムイオン電池の研究において非常に重要な役割を果たします。リチウムは非常に活性が高く、空気中の水分と反応しやすいため、極めて低い湿度環境が必要なのです。ドライルームがあることで、リチウムを含む材料や電池セルの取り扱いが可能になり、より精密な実験や測定ができるようになりました。

「その研究環境を活かして、どのような研究を進められたのでしょうか？」

リチウムイオン電池の性能向上や新しい電極材料の開発など、様々な研究テーマに挑戦することができました。高度な研究環境があったからこそ、複雑な実験や精密な測定が可能になり、新しい発見につながったのです。

例えば、電極材料の微細構造と電池性能の関係性を詳細に調べることができました。電子顕微鏡や放射光施設を使った分析と、ドライルームでの電池作製・評価を組み合わせることで、材料の構造が電池の性能にどのように影響するかを明らかにすることができました。

リチウム硫黄電池との出会い：軽さの秘密

「リチウムイオン電池から、リチウム硫黄電池の研究にシフトされたきっかけは？」

直接のきっかけは2009年頃、横浜国立大学の渡邊正義先生から、リチウム硫黄電池の研究プロジェクトに参加しないかというお誘いを受けたことです。

リチウム硫黄電池は、理論上、現存する電池の中で最も高いエネルギー密度を持つ可能性があります。言い換えれば、この世で最も軽い電池の候補なんです。これは、カーボンニュートラル社会の実現に向けて非常に重要な特性です。

「リチウムイオン電池とリチウム硫黄電池の違いについて教えてくださいいただけますか？」

リチウムイオン電池とリチウム硫黄電池の主な違いは、正極材料と動作原理にあります。

リチウムイオン電池は、正極に金属酸化物（例えばコバルト酸リチウム）を使用し、負極には主にグラファイトを使用します。充放電の際、リチウムイオンが正極と負極の間を行き来する「インターカレーション反応」という仕組みを利用しています。

一方、リチウム硫黄電池は、正極に硫黄を使用し、負極に金属リチウムを使用します。充放電時には、硫黄とリチウムが化学反応を起こし、ポリスルフィドという化合物を形成します。この反応は「コンバージョン反応」と呼ばれ、インターカレーション反応よりも多くのエネルギーを蓄えることができます。

理論的なエネルギー密度、すなわち電気エネルギーを溜める能力を比較すると、リチウムイオン電池が約380Wh/kgであるのに対し、リチウム硫黄電池は約2600Wh/kgと、約7倍も高いのです。これが、リチウム硫黄電池が「最も軽い電池の候補」と言われる理由です。

また、硫黄は地球上に豊富に存在し、環境への影響も比較的小さいため、サ

ステナビリティの観点からも優れています。

「実用化に向けての課題は？」

最大の問題は、硫黄が電気を通しにくく、また反応中に溶けやすいという点です。これは、電池の性能と寿命に直接影響する重大な問題でした。

これらの課題を克服するために、我々のチームは炭素のナノ孔の中に硫黄を閉じ込める技術を開発しました。具体的には、数ナノメートル以下の炭素の穴の中に硫黄を入れることで、

どんな電解液を使っても

安定して充放電できる

ようになったのです。

これにより、

硫黄が電解液に

溶け出す問題と、

硫黄の低い導電性

という二つの大きな

課題を同時に解決

することができました。

この技術開発により、プ

ロジェクト開始当初は電極の中に硫黄を20%程度しか入れられなかったものが、10年後には50%程度まで増やすことができました。これは非常に大きな進歩です。電極中の硫黄の割合が増えるということは、電池全体のエネルギー密度が向上することを意味します。

充放電に伴う体積変化の制御も大きな課題でした。硫黄は充放電時に大きな体積変化を起こすため、電極構造が崩れやすいのです。これに対しては、柔軟性のある炭素材料を用いたり、バインダー（結着剤）を工夫したりすることで、体積変化に耐える電極構造を開発しています。

GteX プロジェクト：カーボンニュートラルへの貢献

「現在取り組んでいる研究プロジェクトについて教えてください。」

現在、私たちはGteXプロジェクトという新しい研究プロジェクトに取り組んでいます。このプロジェクトは、JST（科学技術振興機構）が主導する「グリーン・トランスフォーメーショ



特集1 || Roadmap to Carbon Neutrality

ン（GX）技術研究開発事業」の一環として行われています。

私がチームリーダーを務める電池開発プロジェクトには、京都大学、九州大学、早稲田大学、慶応大学など8機関15名の研究者が参加しています。GteXプロジェクトに選ばれたということは、まさにカーボンニュートラルに有効であると公的に認められたことを意味します。

一GteXプロジェクトの具体的な目標を教えてくださいませんか？

GteXプロジェクトの主な目標は、リチウム硫黄電池の性能をさらに向上させ、実用化に向けた技術的な課題を解決することです。具体的には、エネルギー密度を現在のリチウム硫黄電池の2倍以上に高めること、1000回以上の充放電サイクルでも80%以上の容量を維持すること、そして-30℃から60℃の広い温度範囲で安定して動作することを目指しています。

また、このプロジェクトでは、材料開発だけでなく、電池の製造プロセスや安全性評価など、実用化に向けた総合的な技術開発も行っています。産学連携を強化し、実際の応用を見据えた研究開発を進めているのが特徴です。

一具体的にどのような応用が考えられるのでしょうか？

例えば、現在の電動航空機は、バッテリーの重量が大きな制約となっています。短距離飛行しかできず、搭載できる人員や貨物も限られています。しかし、リチウム硫黄電池を使用することで、同じ重量でより多くのエネルギーを蓄えることができます。これにより、飛行距離の延長や搭載量の増加が可能になるのです。

具体的な数字を挙げると、現在の小型電動航空機の飛行可能距離は100km程度ですが、リチウム硫黄電池を使用することで300km以上に延長できる可能性があります。これは、地方路線や短距離国際線での実用化につながる重要な進歩です。

さらに、ドローンの分野でもリチウム硫黄電池の活用が期待されています。より軽量な電池を使用することで、ドローンの飛行時間を大幅に延ばすことができます。これは、長距離の物資輸送や長時間の監視任務など、様々な用途でドローンの性能を向上させることにつながります。

例えば、現在の高性能ドローンの飛行時間は30分程度ですが、リチウム硫黄電池を使用することで2時間以上に延長できる可能性があります。これにより、災害時の広域探索や長距離物流など、これまで困難だった用途にもドローンを活用できるようになるでしょう。

一低炭素社会への貢献について、詳しく教えてくださいませんか？

リチウム硫黄電池の開発は、低炭素社会の実現に大きく貢献すると考えています。例えば、航空機への応用を考えると、現在の航空機は化石燃料を大量に消費し、多くのCO₂を排出しています。電動航空機の実用化が進めば、航空分野でのCO₂排出量を大幅に削減できる可能性があります。

また、ドローンの活用が進めば、物流や点検作業などでの車両の使用を減らすことができ、これもCO₂排出量の削減につながります。さらに、リチウム硫黄電池は再生可能エネルギーの大規模貯蔵にも適しています。太陽光や風力で発電した電力を効率的に蓄え、必要な時に使用することで、再生可能エネルギーの普及を後押しすることができるのです。

応用分野の広がり：空と宇宙へ

一リチウム硫黄電池は、宇宙開発の分野でも応用が期待されているということです。

はい。宇宙分野での応用も進めています。実際に、我々の開発した電池は宇宙でも使用されました。JAXAの曾根理嗣先生や東京大学の中須賀真一先生のご協力で、硫黄電池に先立って、まずイオン液体リチウム電池を小型人

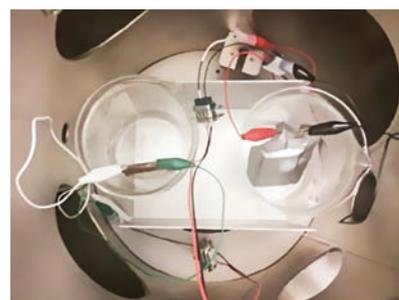
工衛星に搭載する機会を得ることができたのです。

これは非常に貴重な経験でした。宇宙環境での放射線や真空、極端な温度変化などの厳しい条件下でも、我々のイオン液体電池は正常に機能することが実証されたのです。この成功は、イオン液体をリチウム硫黄電池に使用して高性能な宇宙用電池とする発想を導いてくれました。

宇宙での応用は、今後さらに重要性を増すと考えています。例えば、月面探査や火星探査などの長期ミッションでは、高性能で軽量な電池が不可欠です。リチウム硫黄電池は、そのような極限環境下での使用に適した特性を持っています。

一宇宙での具体的な応用例を教えてくださいませんか？

月面探査を例に挙げると、現在計画されている有人月面基地では、夜間や日陰期間の電力供給が大きな課題となっています。月の夜は約14日間続き、この間太陽光発電ができません。リチウム硫黄電池は、その高いエネルギー密度を活かして、この長期間の電力供給を可能にする潜在的な解決策となり



▲宇宙用イオン液体リチウム二次電池の地上における超高真空試験の様子。



▲人工衛星搭載のラミネートセルと制御モジュール（背後の黒ブロック）

得ます。

火星探査においても、リチウム硫黄電池の軽量性は大きな利点となります。火星への輸送コストを考えると、できるだけ軽量の機器を使用する必要があります。リチウム硫黄電池を使用することで、より長期間、より広範囲の探査が可能になるかもしれません。

地上での応用：再生可能エネルギーの要に

—地上での応用についてはいかがでしょうか？

地上での大規模エネルギー貯蔵システムへの応用も期待されています。再生可能エネルギーの普及に伴い、太陽光や風力で発電した電力を効率的に蓄える技術の需要が高まっています。リチウム硫黄電池は、資源が豊富で低コストという特徴があるため、大規模な蓄電システムに適しているのです。

例えば、現在使われているナトリウム硫黄電池という大型の蓄電システムがあります。これは高温で作動する電池で、主に電力会社などで使用されています。我々が開発しているリチウム硫黄電池は、常温で作動するため、より安全で使いやすいシステムになる可能性があります。

—自動車への応用はどうでしょうか？

自動車への応用については、現時点ではまだ課題が多いです。自動車の場合、重量よりもコンパクトさが重要になります。リチウム硫黄電池は軽いのですが、必ずしもコンパクトではありません。ただ、将来的には自動車用途でも可能性はあると考えています。特に、長距離走行が必要な大型トラックなどでは、リチウム硫黄電池の高エネルギー密度が活きてくるかもしれません。

—現在の研究における最大の課題は何でしょうか？

現在の最大の課題は電池の長寿命化です。充放電を繰り返すうちに、電池の内部で少しずつ変化が蓄積され、性

能が低下していきます。この変化を最小限に抑えるための材料開発や構造設計が必要です。

充放電に伴う体積変化を抑える材料の開発や、電極構造の最適化などを行っています。例えば、硫黄と炭素の複合材料の構造を精密に制御することで、充放電時の体積変化を最小限に抑えることができます。また、電解液の改良も重要な課題です。硫黄の溶出を抑制しつつ、イオンの移動を促進するような新しい電解液の開発に取り組んでいます。

—その他の研究の動向はいかがでしょう？

最近では、ナノ構造制御による性能向上や、新しい電解質材料の開発など、興味深い研究成果が次々出てきています。例えば、グラフェンやカーボンナノチューブなどの新しい炭素材料を用いることで、電池の性能を飛躍的に向上させる研究が進んでいます。

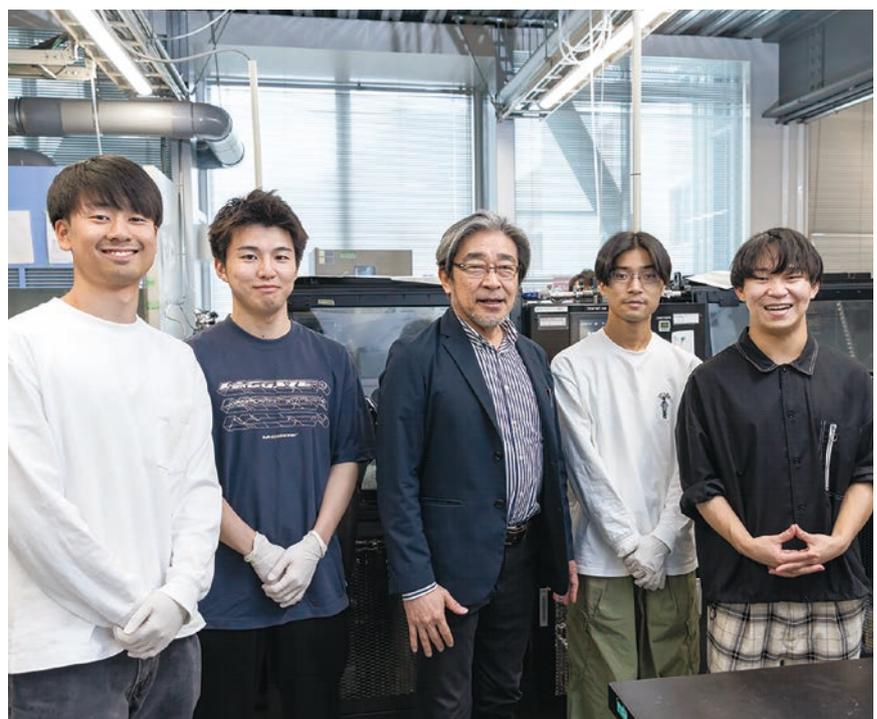
また、固体電解質を用いた全固体リチウム硫黄電池の研究も盛んです。こ

れが実現すれば、安全性や信頼性が大幅に向上し、より幅広い用途に適用できるようになるでしょう。

—リチウム硫黄電池技術の未来についてどのようにお考えですか？

これからの10年、20年で、リチウム硫黄電池技術は大きく進展すると思います。特に、人工知能（AI）やマテリアルズ・インフォマティクスなどの新しい技術を活用することで、材料開発のスピードが格段に上がるでしょう。AIを用いて膨大な材料データを解析し、最適な電極材料や電解質を予測することが可能になるかもしれません。

硫黄電池の研究は、まだ道半ばです。しかし、この技術が実用化されれば、エネルギー問題の解決に大きく貢献できると確信しています。エネルギー問題の解決は、私たち研究者だけでなく、産業界や政府、そして一般の方々も含めた社会全体で取り組むべき課題です。皆様のご理解とご支援をいただきながら、これからも研究を進めていきたいと思っています。



プロフィール

関西大学に2003年着任。2012年には文部科学大臣から研究部門の大臣表彰科学技術賞を受賞するなど、蓄電池研究では高い評価を受ける。趣味は音楽。ベーシストとして年2回、ライブハウスでコンサートを行う。

先端機構 News & Topics

第29回 関西大学 先端科学技術 シンポジウムを 開催しました。

関西大学・大阪医科薬科大学
医工薬連環科学教育研究機構
研究発表会

および関大メディカルポリマー
シンポジウムを同時開催しました。

メインテーマ

「フィールドを超越する 先端科学技術」

【日時】 2025年 1月23日(木)、1月24日(金)

【参加者数】 852名(2日間)

招待講演16件 一般講演37件

ポスター発表86件

関西大学先端科学技術シンポジウムは、先端科学技術推進機構で取り組む研究の1年間の成果を取りまとめ、広く社会、企業、産業界に発表する場として毎年開催しています。

今回は「フィールドを超越する先端科学技術」をメインテーマとし、国立大学法人香川大学 副学長(国際戦略・グローバル環境整備担当) 医学部教授 和田 健司 氏を迎え「分野を跳躍する固体触媒技術～医学に関わる化学から水素エネルギーまで～」をテーマにご講演いただきました。

次回は、2026年1月下旬の開催を予定しています

受賞者紹介



International Sol-Gel Society
Fellow の称号を授与

化学生命工学部 幸塚 広光 教授

授与の背景 ゼル-ゲル法にかかわる科学・技術への卓越した貢献が認められた。



公益社団法人電気化学 2024BIMONTHLY MOST DOWN-LOADED PAPERS Ranked 2nd For Electrochemistry FROM JULY TO AUGUST 2024 受賞

化学生命工学部 石川 正司 教授

研究テーマ 「Recent Progress in Electrolyte Systems for Supercapacitors」



日本統計学会 小川研究奨励賞 受賞

システム理工学部 上原 悠植 准教授

研究テーマ 「非正規確率微分方程式の統計理論構築と計算機への実装」



The 2024 International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research (KEER2024) Best Conference Paper Award 受賞

総合情報学部 浅野 晃 教授 他

研究テーマ 「Relationship Between the Advancing/Retreating Properties of Colors and Object Shape Distortion」



公益財団法人加藤科学振興会 加藤記念賞 受賞

化学生命工学部 石川 正司 教授

研究テーマ 「極限環境下用イオン液体蓄電池の開発」



The 2024 International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research (KEER2024) Best Conference Paper Award 受賞

総合情報学部 米澤 朋子 教授 他

研究テーマ 「Controlling age and similarity to user's face for trustworthiness of interactive agent. -Generative faces and acceptability」



講演会等 開催報告

第72回 N(新物質・機能素子・生産技術) 研究部門別発表会 (2024年11月14日)

テーマ：医薬品・機能性材料合成（ファインケミカル合成）のための最先端触媒開発
～大学と国研との官学連携の方向性～

「金属ナノ粒子を用いた新触媒技術」

化学生命工学部 教授 大洞 康嗣

本講演では、「金属ナノ粒子を用いた新触媒技術」について、ナノサイズ触媒としての開発に至る経緯、合成法、触媒活性評価などについて、研究成果を中心とした開発例を紹介いただいた。

「ナノ構造体触媒の開発と有機変換反応への応用」

国立研究開発法人 理化学研究所環境資源科学研究センター
グリーンナノ触媒研究チームチームリーダー 山田 陽一 氏

本講演では、ナノ構造体金属触媒の精緻な設計と、その有機変換反応への高度な応用についてご講演いただいた。特に、mol ppm レベルという極微量での高効率な触媒作用と卓越した選択性を実現するために、高分子金属触媒やシリコンナノ構造体金属触媒の開発に焦点を当てた研究や、ナノ構造の特性を最大限に引き出す触媒設計手法を追求し、その成果を実際の有機合成化学、医薬品合成および機能性材料に応用することで得られる有効性と将来の展望についてもご講演いただいた。



第73回 N(新物質・機能素子・生産技術) 研究部門別発表会 (2024年10月17日)

テーマ：動的構造を導入した機能性高分子の創出

「可逆的に結合・解離するジスルフィド結合を導入したソフトマテリアル」

化学生命工学部 教授 河村 暁文

架橋部位にジスルフィド結合を有するゲル微粒子や、主鎖にジスルフィド結合を有するゲルの合成と、その還元応答性が示された。また、これらの還元応答性ソフトマテリアルのバイオマテリアル応用の可能性についても示された。

「刺激応答高分子におけるロタキサン連結の意義—分子トポロジーの可逆変換系と動的架橋系—」

東京工業大学 名誉教授 高田 十志和 氏

ロタキサン構造の基礎から、ロタキサン構造を導入した高分子材料への展開まで紹介された。特にロタキサン構造を利用して、外部刺激により線状と環状、線状と分岐状など高分子鎖のトポロジーを変化させることによる高分子物性のスイッチングについて示された。また、ロタキサン構造を有する架橋剤を用いることにより、従来の高分子材料と比較してはるかに力学物性が上昇することも示された。



分子シミュレーション学会 分子シミュレーション学会
学術賞 受賞

化学生命工学部 藤本 和士 准教授

研究テーマ 「高分子材料系の大規模全原子分子動力学シミュレーションの実践的研究」



土木学会 AI・データサイエンス論文賞 受賞

環境都市工学部 山本 雄平 助教

研究テーマ 「車両の形状とナンバープレートの分類番号の認識結果を用いた車種判定手法に関する研究」



日本機械学会 設計工学・システム部門優秀講演表彰
受賞

総合情報学部 瀬島 吉裕 教授

研究テーマ 「高揚感を伴った相槌を生成する音声駆動型瞳孔反応ロボットの開発」

第74回 N(新物質・機能素子・生産技術) 研究部門別発表会 (2025年1月20日)

テーマ：表面・界面を利用した材料開発の基礎と応用

「高分子材料の表面について」

化学生命工学部 教授 宮田 隆志

高分子材料表面の基礎として表面張力と表面自由エネルギーについて物理化学的観点から具体的な測定方法などを詳しく説明された。

「X線光電子分光法による材料表面分析」

早稲田大学教育・総合科学学術院 非常勤講師 中尾 愛子 氏



代表的な表面分析法であるX線光電子分光法の基礎から具体的な測定例、さらには測定時における注意点などを詳しく説明して頂いた。

「膜工学の過去・現在・未来—水処理を中心として—」

東京大学 名誉教授 工学院大学 名誉教授 中尾 真一 氏



世界中で役立っている水処理技術に用いられる分離膜について、その歴史から基礎、最新研究にまで詳しく説明して頂いた。

特集2 || Roadmap to Carbon Neutrality

再生医療技術 × サング礁再生 関西大学発の技術革新が切り拓く カーボンニュートラルの未来

地球環境問題が深刻化する中、世界的に脱炭素化の流れが加速しています。関西大学ではカーボンニュートラルの実現に向け、2022年10月、「カーボンニュートラル研究センター」を設立し、脱炭素社会を目指した文理融合型の教育・研究活動を推進してきました。

「サング礁再生プロジェクト」はセンター設立前の2014年に、防災や環境問題をテーマに研究を行う高橋智幸教授の発案により、学術分野を横断してスタートしたプロジェクトです。

地球上で最も生物多様性の豊かな場所と言われるサング礁。気候変動に伴う海水温の上昇などにより、3分の1以上が絶滅の危機にあります。その一方で、近年サングが成長の過程でCO₂を固定する働きが再評価されており、カーボンニュートラルの観点からも注目を集めています。

こうした地球規模の課題に対し、「サング礁再生プロジェクト」のメンバーの一人、上田正人教授は、自身の専門分野である「再生医療技術」を活かして、効率的にサングを増殖させる新たな手法を開発しました。

「サングの専門家ではないからこそできる斬新な発想から生まれた」という画期的な手法の全容から、サングが果たす「ブルーカーボン」としての役割、そして今後の展望に至るまで、上田教授と高橋教授に語り合ってもらいました。



化学生命工学部
化学・物質工学科 教授

上田 正人 UEDA Masato

骨や歯といった生体硬組織に関連する金属・セラミック材料など、再生医療技術を研究。

休日はXリーグ所属のアメリカンフットボールチームで汗を流している。

(写真左)

関西大学 学長
社会安全学部 安全マネジメント学科 教授

高橋 智幸 TAKAHASHI Tomoyuki

水に関連した災害や環境問題を研究。2024年10月に学長就任。休日はバイクにテントを積んで放浪しながら戦略を練っている。

(写真右)

再生医療分野の知見が革新的な技術開発の糸口に

一関西大学では、高橋先生の声かけによって異分野の研究者が集まり、2014年からサンゴ礁の再生促進技術の研究開発が進められてきました。このプロジェクトが始まった経緯を教えてください。

高橋 私は水理学が専門で、水災害に関する防災・減災の研究を行ってきました。その中で、水の流れによって生じる「流力振動」と呼ばれる自然現象を利用して、海水中で発電できる技術を開発しました。この技術をどう活用しようかと考えていたとき、「サンゴに微弱な電流を流すと成長率が上がる」ことを知って、これはサンゴ礁の再生に使えると思ったんです。そこから、サンゴに電気を流す土台をどんな材料にするか、基盤に付ける電極をどんなものにするかといった、さまざまな分野の知識が必要になり、学部を越えた教員が集まる研究グループを立ち上げることになりました。そうした中、上田先生はいつの間にかメンバーになっていました。

一上田先生は再生医工学、バイオマテリアルを専門とされていますが、どんなきっかけでこのプロジェクトに参加されたのですか？

上田 2015年にサンゴ礁再生の研究グループから、海水中で使える金属材料に関する相談があったことがきっかけです。その流れで研究グループに参加することになりました。サンゴは全くの専門外ですし、当時はバイオマテリアルの研究に没頭していたので、最初は全く興味が持てなかったんですけどね。

高橋 とは言いつつも、これまで上田先生は新しいアイデアをいろいろと提案してくれて、研究をどんどん前に進めてこられました。今では上田先生が前面に出てこのプロジェクトを引っ張ってくれています。

一上田先生が、元々専門外だったサンゴの研究にそれほど力を注ぐようになったのはなぜですか？

上田 私は人工関節に使われるチタンの表面でヒトの骨を早期に馴染ませ、

成長させることを主に研究してきました。サンゴ礁再生のお話をいただいたとき、興味本位で解剖学の資料を調べてみると、脊椎動物とサンゴの骨格の形成メカニズムが全く同じであることに気がついたのです。これまでの研究から、チタンの表面に酸化処理をすると骨の細胞が人工関節にくっつきやすくなり、骨の形成を促進させることがわかっていたので、この酸化処理を施したチタンがサンゴの成長にも使えるかもしれないと考えました。そこでサンゴの断片を人工関節と同じ材料のチタン棒に接触させると、サンゴ表面の軟組織であるポリプが旺盛に広がっていきました。サンゴはチタンを骨格だと誤認識して成長したようです。こうした新たな発見が、サンゴの研究にめり込むきっかけになりました。

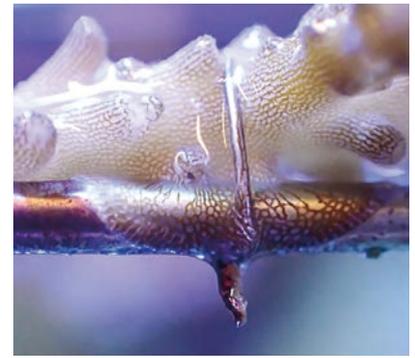
一この画期的な発見を起点として、どのように研究を進めてこられたのでしょうか。

上田 手探りでサンゴについて調べていく中で、次に私たちが出合ったのが、サンゴ表面にいる軟組織「ポリプ」のストレス回避反応でした。水温上昇など周囲の環境が悪化すると、そのストレスによってポリプが骨格から逃げ出す『ペイルアウト』と呼ばれる現象です。この反応はネガティブなものと思われていますが、再生医療の研究者にとって、組織から単離した細胞やその集合体を増殖させ、それによって骨格を造らせることは極めて自然な発想ですし、薬品を使わずに軟組織が剥離してくれるなんて超ラッキーだなと思いました。そこで、この反応を人工的に誘発し、サンゴ片からポリプを採取する研究に着手しました。

再生医療技術を利用した増殖法が従来以上に“高効率”な理由とは

一まさに再生医療分野の知見が斬新な発想につながったのですね。現在はどこまで研究が進んでいますか？

上田 ポリプにストレスをかける方法として選択したのが、海水の塩分濃度の上昇でした。剥離後のポリプはかなり弱っているのですが、早期に回復させる



サンゴが「酸化したチタンを異物と認めず」自分の骨格であると誤認識し、被覆膜を伸している。

ためにもストレスをかける時間をできるだけ短くすることが重要です。現在までに、サンゴが入った海水の塩分濃度を5～6%まで上昇させて保持すると、数時間でポリプが取れることがわかっています。

さらに、採取したポリプをチタン製の基盤に固定化して育てる技術も開発しています。チタンは軽い、強い、錆びないが特長の金属で、海水中でも化学的に安定で環境にも負荷がなく、サンゴの増殖基盤として非常に有用だと考えています。

一再生医療の視点から開発された手法が、従来の方法よりも“高効率”な点について教えてください。

上田 サンゴの増殖は、サンゴの枝を切断した断片を岩盤などに移植して行うのが一般的です。ただし、サンゴの切断には人手がかかるうえ、断片を取り出されたサンゴへのダメージも大きい。それに、一つの断片が一群体にしかないというデメリットもあります。これに対して、ポリプを採取する方法では、例えば数cm程度の断片から種類にもよりますが約200個のポリプを取り出すことができます。つまり、一度の操作でサンゴの発生起点を大量に作製できることが、高効率と言えるポイントです。さらに、人手がかからず、薬品や特殊な装置も不要、親サンゴへのダメージも最小限に抑えられるなど、良いことづくめです。

また、ポリプをチタン製の基盤に素早く固定化することで、サンゴの高効率な増殖も可能になります。これまでに取り出したポリプを培養し、新たな骨格を作ることに実験室レベルで成功

特集2 || Roadmap to Carbon Neutrality

しています。これらはサンゴの素人だからこそできるアプローチなのかもしれません。

一サンゴの飼育環境は、どのように整備しているのですか？

上田 ポリブは環境に敏感なので育てるには高度な技術が必要です。安定的に成長させるために、イオン濃度や水温、光など水槽の環境を徹底管理する技術を持つベンチャー企業、株式会社イノカの協力のもと研究を行っています。実は私はサンゴが縁で、2022年6月にイノカのCTO（最高技術責任者）に就任し、さらに充実した研究環境を整えてきました。

その一方、鹿児島県の与論島、和歌山の串本町などでは実際に海に潜っての実地実験も行っています。採取したポリブをチタン製の基盤上で育てて海に戻していく方法が確立できれば、その土地のサンゴを増やすことができるので、生態系の保全という観点でも意義が大きいと思っています。

一この研究の次のステップについて、どう考えていますか？

上田 開発した手法でポリブを単離できるサンゴは、現時点で数種類にとどまっています。そのため、より多くの種類のサンゴで使える方法を探っているところです。特に日本で最もポピュラーなサンゴであるミドリイシで単離

を成功させることが一つの目標です。また取り出したポリブはすぐに弱ってしまうので、長期間、安定して飼育することがまだできていません。そこにも挑戦しているところです。研究室でポリブを基盤に固定させ、掛け流し型の水槽の中で一定期間飼育した後、海に戻して経過観察を行うトライアルを繰り返しながら、最適な育成方法を確立していきたいと思っています。

高橋 上田先生はサンゴの研究と並行して、元々の専門である再生医療の研究にも変わらず精力的に取り組まれています。サブテーマの研究を論文にまとめるのは難しいところを、上田先生はきちんと論文にして発表されています。研究の構想力や実行力はもちろん、成果をまとめ上げる力も素晴らしいと思っています。

一高橋先生が開発された海水中で発電する技術は、今後どう活かされるのでしょうか？

上田 そこは今模索中なのですが、個人的にはサンゴの成長よりも基盤への着床促進に使うのが良いんじゃないかと考えています。可能性は大いにあるので、今後は本腰を入れて取り組んでいきます。

高橋 私の技術の使い道は、もう上田先生におまかせします(笑)。現在、サンゴ礁再生プロジェクトには、4つの学部の教員が関わっていて、さらに他

大学やNPOとも連携し、バラエティーに富んだグループがつくられています。それぞれが違った立場で議論できることが、プロジェクトの推進力となり、画期的な成果に結びついていると感じています。

ブルーカーボンとしてのサンゴ礁の可能性を追究

一上田先生にとって、門外漢から始めたサンゴ研究のやりがいや面白さはどこにありますか？

上田 一番のやりがいは、「サンゴを増殖させることがカーボンニュートラルの達成にもつながる」ところです。サンゴの骨格は炭酸カルシウムでできているので、「二酸化炭素の塊」とみなすことができます。つまり、サンゴが成長すると海底に炭素を安定的に固定できるのです。さらに、サンゴは動物でありながら植物と同じように二酸化炭素を吸収して酸素をつくり出します。これはサンゴのポリブに共生する褐虫藻が行う光合成によるものです。

一サンゴにはCO₂の吸収方法が骨格形成と光合成の2つがあるんですね。

上田 そうなんです。炭素固定というと、通常は光合成を想像しがちなんですが、サンゴでは光合成よりも、骨格形成によって炭素を長期的に固定する働きの方が重要だと考えています。ただし、サンゴの成長は種類によっては1年に数cmとすごく時間がかかるので、サンゴは炭素固定に無関係だと考えられてきたんです。でも、何億年という地球の歴史の尺度で見ると、地球上の炭素循環をサンゴが担っていることは明らかです。短期間の炭素吸収量に振り回されるのではなく、10年、100年単位での吸収量やその安定性などにも着目してもらいたいですね。

一気候変動対策の新たな手段として、海洋生態系によって炭素を取り込んでいく「ブルーカーボン」に世界的な関心が高まっています。サンゴが果たす



ブルーカーボンとしての役割について、 考えをお聞かせください。

上田 ブルーカーボンが注目される最大の理由は、海洋における CO₂ 吸収量が多いことにあります。海洋植物は陸上の森林に比べて単位面積あたりの吸収量が2倍以上という調査結果もあるほどです。私たちが目指すのは、サンゴ礁の再生によって、ブルーカーボンによるカーボンニュートラルを少しでも効率的に進めていくことです。そこで重要になってくるのが、ブルーカーボンの効果を見える化し、取引可能にするカーボンクレジット認証です。カーボンクレジット認証を受けるためには、炭素の吸収・貯留能力が高く、測定可能であることが求められますが、サンゴは、炭素固定のプロセスが複雑で正確な吸収量の測定が難しいため、現時点でカーボンクレジットの対象となっ



ていません。だからこそ、そこに挑戦していこうとしています。

一サンゴのカーボンクレジット認証に向けて、 どんな取り組みを進めているのでしょうか？

上田 サンゴ礁による CO₂ の吸収量を正確に測定する手法の開発に向けて動き出しています。これを実現するためには、骨格形成と光合成の両方の動きを定量的に把握することが必要です。そこで、まずはサンゴを飼育している水槽の側に CT 装置を置いて、同じ個体を追跡して成長をつぶさに観察し、単位時間あたりの骨格の増加量を計測しようとしています。それと併せて、サンゴ周りの CO₂ の吸収量と酸素の発生量を測定し、これらの結果をもとに、サンゴの増加量から CO₂ の吸収

量を算出する方法の確立を目指しています。正確な吸収量がわかれば、企業もサンゴに対して脱炭素に向けた投資を進めやすくなります。近い将来、必ず実現したいと思っています。

高橋 サンゴ礁のカーボンニュートラルに関する認証を目指す取り組みには、大学としても注目しています。ただ、サンゴの保全や再生に向けた研究が盛んに行われている一方で、未だ有効な解決策が見出されていない状況をまずはなんとかしたい。そのためには、上田先生が開発された手法を世界中の自然保護団体などに使ってもらえるように実用化することが先決だと思っています。関西大学発の技術を広く普及させることで、サンゴを増やし、カーボンニュートラルの促進につなげていきたい、と夢は広がります。

積極的な発信で認知を広げ、 “関大サンゴ” をブランドに

一関西大学ではカーボンニュートラルの取り組みの発信にも力を入れています。2025年大阪・関西万博では展示の予定もあるそうですね。

高橋 はい。大阪・関西万博の大阪ヘルスケアパビリオン内に設置される「リボンチャレンジ」という展示企画に教育機関として唯一参画し、本学の教育・研究リソースと大阪が誇る中小・スタートアップ企業の技術を融合させた展示を行います。その中で、本学にゆかりのある出展企業の一つとして、上田先生が CTO を務める株式会社イノ力が採択されています。

上田 万博では、水質、水温・光など各種パラメーターの精緻な調整が可能な水槽を設置し、チタンを活用したサンゴの増殖技術と実験の様子をお見せする予定です。

高橋 楽しみですね。大阪・関西万博がコンセプトの一つに掲げる SDGs は、カーボンニュートラルとも密接に関わっています。本年8月に展示を行いますので、学生たちはもちろん、50万人の卒業生にもぜひ見に来てもらいたいと思っています。

上田 サンゴは時間をかけて成長するので、サンゴ礁再生まで考えると研究はまさに長期戦です。こうした環境問

題に関する取り組みは大学や企業だけでなく、広く一般の方々と問題を共有し、一緒に取り組んでいく必要があると考えています。万博で展示をするのも、この研究を知ってくれる人を一人でも多く増やしたいという一心からです。展示を見てくれた学生や子どもたちの中から、将来この研究を引き継いでくれる子が出てくるといいなと思っています。

高橋 カーボンニュートラルの大切さと難しさを理解するためにも、やはり学生たちには先生の研究を間近で見るだけでなく、実際に関わってもらいたいと常々思っています。上田先生には学生たちと一緒に、“関大サンゴ”を一つのブランドにしていってほしいですね。まずは5年後の2030年がカーボンニュートラルにとって重要な年ですので、ここまでは研究の成果を明確にしてもらいたいと思っています。

上田 それはプレッシャーですね。とはいえ、私はサンゴと再生医療の研究を並行してやっているからこそ、新しい景色が見えてきていると思っています。将来的には、サンゴの再生で得られた知見を再生医療にフィードバックしたいという思いもあるんです。そういえば最近、チタン製の再生医療デバイスから出た“削り屑”を再利用して、サンゴの再生に活かしていく新たなプロジェクトもスタートしたんですよ。

高橋 それはまた面白い試みですね。学内外でネットワークを広げて、新たな取り組みにどんどんチャレンジして形にしていく上田先生の実行力に改めて感服します。今後の研究の進展を大いに期待しています。そして大学としては、カーボンニュートラルに向けた取り組みを本学のさらなる発展につなげていきたいと思っています。





オーストラリアでの在外研究。 分野を同じくする研究者、学生との交流で

在外研で取り組んだ研究

私は本学の学術研究員の制度を利用して、2022年9月から2023年9月まで、オーストラリアの University of Technology Sydney (UTS) に在籍し、School of Mechanical and Mechatronic Engineering (MME) の JC Ji 准教授のもとで研究に取り組ませていただいた。私自身の専門は振動工学で、スマート構造システムを用いた振動・騒音制御や、振動解析に分類される研究に取り組んでいる。受入教員の JC (UTS では教職員・学生を問わず、互いに First name で呼び合う) の専門分野も振動工学で、近年は振動を用いた構造のヘルスマニタリング、

評価、診断に関する研究が多い。

MME には私たちが想像するような「研究室」は無く、指導教員と学生からなるグループは存在するが、部屋がグループごとに分かれてはいなかった。廊下の一部が広がったような形で広間があり、そこが学生のための共用スペースで、空いている机を誰でも自由に使える形で運用されていた。UTS はシドニーの中心付近にあるため、面積を節約するための措置と思われるが、そのおかげで私のような新参者は研究グループを超えて知り合いを増やすことができた。周りの教職員や学生と話していて印象的だったことは、研究スペースには学部生や修士課程の大学院生が

ほとんどいなかったことと、博士課程の学生の大半は外国籍だったことである。また、都市型の大学であるため、校舎内には実験用のスペースはほとんどなく、シドニー空港の近くに Tech Lab という実験用の施設が別にあった。

私はこのような環境で研究をスタートしたため、JC をはじめとする同じ分野の研究者や学生と交流すること、日本から自分で持ってきた研究をこの機に完成させることを1年間の目標に設定した。JC のグループは1年間だけでも人の出入りが多かったが、博士号を取得した直後の研究員が1名、博士課程に在籍中の学生が2名、Visiting student が3名在籍していた。構造の



オーストラリアでの生活や経験

オーストラリアを選んだ理由は、UTSのJC Ji准教授をよく知る知人がいたこと、UTSには同じ分野の研究者が多数在籍していたこと、家族と渡航することを考えたときに、シドニーの治安と教育環境が良さそうであったことが大きかった。

私は妻と子供4人の合計6人で、住む家の決まっていないシドニーに渡航した。渡航直後はアパートタイプのホテルに泊まりながら、家探しをした。具体的な額を示すことは控えるが、住む場所が見つからない限り、家族6人分の宿泊費を毎日ホテルに払い続けなければならない状況は、精神的に堪えた。私たちは渡航後3週間程度でマンションの一室に入居できたが、知り合いの中には2か月程度ホテル住まいを続けたご家族もおられた。このヒヤヒヤの家探しは生涯忘れられないと思う。なお、引越しをした後も、家賃は高かった。日本の約4倍である。

妻の勤務先には配偶者の海外渡航の際に休業できる制度があったため、家族全員で渡航をした。私たち夫婦は自分たちも新しい経験がしたいが、子供たちにとってもまたとない機会になると考えていた。しかし、子供たちには抵抗された。私はコロナの関係で学術研究員の期間を3回延期したが、その度に子供たちは喜んだ。そんな子供たちだったが、シドニー日本人国際学校(SJIS)に通い始めるとすぐに友達ができ、考えも180度変わった。SJISは駐在員の子供も多く、その多くは数年で帰国するため、「SJISの子供たちは新しいメンバーが入ってくることで、友達が帰国していくことの両方に慣れていて、すぐに溶け込めますよ」と聞いてはいたが、本当にその通りだった。SJISには国際学級と日本人学級があり、末っ子以外は日本人学級に入ったが、それでもオーストラリアを感じることができるイベントが数多くあった。また、特筆すべきは、日本のカリキュラムとは別に、ネイティブの先生のEnglishの授業が毎日1時間あったことである。宿題の量が多くて鍛えられた面もあるが、あの環境で英語を学べ

得たこと。



システム理工学部
機械工学科 教授
山田 啓介

ヘルスマニタリング、評価、診断に関する研究が多かったが、Visiting studentの1名は鋳業に関する大学から来ていて、振動ふるいの研究に取り組んでいた。お互いの研究を知るために、グループ内で研究会を定期的開催することを提案して、私自身も通算で4回の発表を行った。

もう一つの目標の自分自身の研究をまとめ上げることに限っては、モード解析を用いた連続体の振動解析に主に取り組んだ。連続体の振動とは、音場、弦、膜、はり、平板の振動のことであり、たとえば自動車では車室内が音場で、車自体ははりや平板の組合せからなる構造であり、自動車の振動や騒音を予

測するには、音場と構造の連成振動を考える必要がある。また、モード解析では、振動系の固有モードの重ねあわせで振動を表す。振動の数値シミュレーションでは有限要素法も用いられるが、有限要素法では連続体を空間的に離散化する。それに対して、本研究では連続体を離散化せず、連続系のまま解析する方法に取り組んだ。本研究では固有モードの重ねあわせがフーリエ級数、正弦級数となるように連続系の固有モードを選ぶことで、フーリエ級数の完全直交関数系の性質を活用し、少ない自由度で高精度なシミュレーションの結果が得られる方法を提案した。

Sabbatical 体験記

オーストラリアに持って行って 役立ったアイテム

玉子焼き器、タッチ機能付きクレカ、
PDF化した研究ノート

オーストラリアになくて 困ったアイテム

ピアノカのホース
(これだけは見つからなかった)



▲ Kata Tjuta

ることは羨ましいと感じた。なお、SJISはシドニーの私立学校の中では格安だと聞いたが、日本の感覚では十分に高かった。しかし、素晴らしい環境だったので、価値は十分にあった。

シドニーは、多様性という言葉がまさにぴったりと思えるほど、さまざまな国から来た人がいた。LGBTQのイベントもあり、本当にいろんな人がいた。シドニーにいただけで、他の国のことも知ることができた。そんな状況

だったので、私が見た人たちがオーストラリア人だったかどうかが少し怪しいが、電車やバスに老人が乗車してくるとすぐに席を譲る人を多く見かけた。たとえば、座席でノートパソコンを使っていたのに、老人が乗ってくるやいなや0.5秒で席を譲ろうとするのである。紳士的なふるまいとはこういうことかと感じた。なお、譲られる方にもこやかにお礼を言って譲られる。その姿も良いなと感じた。

オーストラリアの人々は、あくせくしておらず、心に余裕があるように感じられるなど、日本人には無い良さをたくさん見つけることができたが、その一方で、逆に日本の良さにも気づくことができた。どちらの長所も枚挙にいとまがないが、私が改めて気づいた日本の良さをいくつかご紹介させていただくと、まずは何とんでも日本の製品の信頼性の高さである。壊れない、細かいところまで気遣いのある設計など、他国製と比べて間違いに優れていると感じた。オーストラリアに日本車が多いことは有名だが、工業者が使っている工具もほぼ日本製であった。製品の品質の高さが日本のイメージアップにつながっていると思われる。日本のイメージアップでいうと、日本のコミックとアニメの貢献度はそれ以上だと感じた。出身国に関わらず、40歳未満の人たちは日本のコミックやアニメを見て育ったといっても過言ではないくらいで、彼ら・彼女らの日本のアニメ好きが日本のイメージアップに直結している。あとは、日本で郵便物や宅配物が数日以内に届くことと、工

事業者がすぐに駆け付けてくれることはすごいことだったのだと気づかされた。学術研究員の間報告書類を日本に郵送したときに、ひと月かかった。いくら何でものんびりしすぎである。

家族全員での海外への渡航は経済的にも労力的にも、大変という言葉では表しきれないほど大変であったが、それだけの経験ができたと感じる。学術研究員制度とその期間を支えてくださった皆様に感謝するとともに、同様の機会が得られる方には、その機会を逃されないように、とお伝えしたい。

研究者としてのこれからの目標

教科書に残る研究成果、次世代を支える人材の育成など、考えれば目標はいくつでも出てくる。ここでは、目標というほどではないかもしれないが、最近考えていることを述べさせていただきたい。自分よりも年長の研究者を見てきて考えていることは、「やり切った」と言える状態で退職を迎えたいということである。そのためにも、「自分がこの分野を開拓した」と言えるものを持ちたいと思う。私自身は、同じ研究を少しずつ地道に進めていくというよりは、その時々面白く思えるものを優先して研究に取組むタイプであるが、自分で開拓したといえるようになるには、粘り強く取組む姿勢も必要である、と最近感じている。研究は自分で面白ければそれで十分であるが、他の人にも、年数が経っても、面白さが感じられるものを生み出せば、それ以上のことはないと思う。



▲夏のクリスマス

関西大学科学技術振興会 TOPICS

関西大学科学技術振興会は、先端科学技術推進機構と本会会員の発展・向上を目的とし、関西大学における研究活動とその成果を広く産業界に紹介し、新産業創出などの科学技術の発展に寄与しています。

2024年度 第3回研究会 企業見学会を開催 9月27日(金)

今年度の第3回研究会企業見学会では、総勢27名の方にご参加いただき、1934年の創業当時から「音」への挑戦を続けている TOA 株式会社 ナレッジスクエアを訪問しました。TOA 株式会社は、拡声・設備などの音響機器をはじめ、監視カメラなどの映像機器を中心とした防犯装備の製造・販売とともに、グループ会社を通して音響・映像コンテンツなど幅広く制作しておられます。また、AI自動アナウンスによる公共施設や商業施設などの混雑緩和にも貢献しておられます。

研究会では「スマートサウンド講演会場」や「おもてなしエントランス」など TOA 株式会社の技術をご紹介・体感させていただき、非常に有意義な企業見学会となりました。



2024年度 第4回研究会を開催 11月22日(金)

第4回研究会は26名の方にご出席いただき、会員企業である三和パッキング工業株式会社様による事業紹介と、関西大学キャリアセンターより関西大学理工系学生の就職状況についてご紹介いただきました。

三和パッキング工業株式会社は創業以来、独自の開発を積極的に推進し、金属加工・コーティング技術をベースに多彩な金属加工品を生み出し、大手自動車メーカーTier1であるほか、軽自動車会においてはシェアNo.1です。

新規ビジネスへの挑戦、信頼獲得、常識破りのチャレンジ等、熱い魂を感じるご講演となりました。

また、関西大学キャリアセンター事務局より、関西大学理工系学生の最近の就活状況や就活スケジュールについてご紹介いただきました。

ご説明の後、Q/Aセッションが設けられ、学生の採用に問題意識を持っておられる参加者の皆様からは多くの質問・ご意見がありました。

さまざまな対策のほか、企業の魅力を如何に学生にアピールするのか検討が必要であるとの事で、大変意義のある研究会となりました。



関西大学科学技術振興会の詳細はホームページに掲載中です！ぜひアクセスしてください！ ▶▶▶





Editor's note

色鮮やかなサンゴの表紙が目を引く本号では、関西大学の強みであるカーボンニュートラルに焦点を当てた2つの特集を組んでいます。1つ目の特集では、カーボンニュートラルの中心的役割を果たすことが期待されるリチウム硫黄電池について、石川正司先生に語っていただきました。石川先生が研究活動を推進されてきた経緯を知ることができる貴重なお話です。特に、ドライルームの設置が競争に勝つ契機となったことは、研究インフラ整備の重要性に気づかせてくれます。2つ目の特集では、高橋智幸学長と上田正人先生に対談をしていただきました。学部も専門領域も全く異なるお二人が、どのようにサンゴ礁再生に取り組み、カーボンニュートラルの大きな流れを作り出し、結果として大阪万博に出展するまでに至ったのかがよくわかります。また、Sabbatical 体験記では山田啓介先生のオーストラリアでの在外研究の内容について紹介していただきました。海外ならではの経験は興味深く、今後のご活躍が楽しみです。

引き続き皆さまへの価値ある情報の提供を目指してまいりますので、お読みいただいた感想・意見をお寄せください。今後とも Re : ORDIST をよろしくお願いたします。(TS)

Re:ORDIST

Vol.50 No.2

2025

関西大学先端科学技術推進機構
先端機構ニュース 通巻第180号

2025年3月00日発行

発行者：関西大学先端科学技術推進機構

大阪府吹田市山手町3-3-35

E-mail: sentan@ml.kandai.jp

Web: www.kansai-u.ac.jp/ordist

