



糖鎖生命コア研究所 (iGCORE:アイジーコア) の紹介

東海国立大学機構 糖鎖生命コア研究所 副所長 ^{あんどう ひろむね} 安藤 弘宗 (岐阜大学)

我々の体は、約30兆個の細胞からできていると言われています。そして、その細胞の表面は例外なく「糖鎖」という分子で覆われていることが知られています。その様子を模式的に図1に示しましたが、糖鎖は文字通り「鎖状」の形をしています。実は、生命活動に不可欠な分子である核酸(DNA,RNA)、タンパク質も鎖状の形をしています。これらは合わせて三大生命鎖と呼ばれています。これまでは、核酸とタンパク質の研究の進歩により生命活動に関する理解が深まり、医療も進歩しました。しかし、残された生命鎖である糖鎖(第三の生命鎖)の研究は道半ばであり、糖鎖の研究が進展すれば、生命科学や医療が大きな変革を遂げることが期待されます。

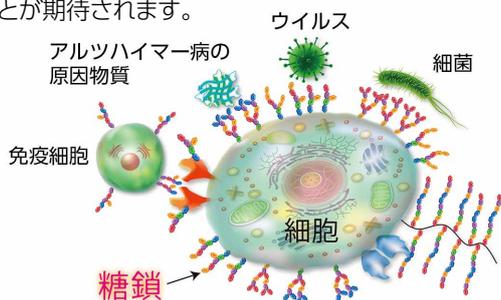


図1 細胞を覆う糖鎖の模式図

糖鎖に分子、細胞、病原体などが結合し、様々な生命現象が生じる。

糖鎖生命コア研究所 (iGCORE:Institute for Glyco-core Research) は、様々な視点から生命の中での糖鎖の働きを理解し役立てることを目的とする統合研究の場です。化学、生物学、物理学、医学、情報学など幅広い分野の研究者が岐阜大学、名古屋大学から集結し、両大学が共同で設置する研究所として、令和3年1月1日に発足しました(研究所長 門松健治教授・名古屋大学大学院医学系研究科)。糖鎖研究が、核酸やタンパク質と比べて進んでいないのは、糖鎖の種類が膨大にあり、しかも細胞の状態に応じて種類が変化するためです。しかし、これが糖鎖の特徴でもあり、他の生命鎖では発揮できない役割を担っています。例えば、細胞表面の糖鎖を調べることで、正常な細胞と癌化した細胞を見分けることが可能です。糖鎖のポテンシャルを十分に理解し引き出すためには、糖鎖一つ一つがどの

ように振舞い、体の中のどのようなシステムの中で力を発揮しているのかを明らかにする必要があります。そのためにiGCOREでは、糖鎖の種類を解析する技術、膨大な糖鎖の解析情報をデータベースとして活用する技術、研究ツールとなる糖鎖を人工的につくる技術、細胞や体内での糖鎖の動きを観察する技術などの先端技術を基盤として、糖鎖の生物学、医学を新しい形で発展させ、核酸やタンパク質を始めとする他の生命科学研究との融合、ひいては生命科学全体の変革を目指しています。

その一つの取り組みとして、ヒトの糖鎖を網羅的に解析するプロジェクトである「ヒューマングライコムプロジェクト」(図2)を進めています(グライコムとは、生物に存在している糖鎖全部を指します)。このプロジェクトでは、2万人の血液の糖鎖の解析を第一目標として、世界初の大規模な解析を進めます。健康な人、疾患のある人の血液の糖鎖のプロファイルを比較することで、発症前の段階の目印となるような糖鎖を発見できる可能性があり、糖鎖を使った超早期疾患診断の実現に向けた重要な第一歩であると確信しています。幸いにも本プロジェクトは、2020年に文部科学省の選定する国の重要研究課題「ロードマップ2020」に選ばれました。未曾有の規模で推進する本プロジェクトはiGCORE単独で実現することは不可能であり、日本の糖鎖研究の粋を集結し、国家プロジェクトとして走りだせるようにiGCOREが中心となって体制づくりに取り組んでいるところです。



図2 ヒューマングライコムプロジェクトのシンボル

細胞の糖鎖情報から人の生命を理解するイメージを表現している

糖鎖生命コア研究所
<https://www1.gifu-u.ac.jp/~igcore/>



安藤先生にお話を伺いました

Q 糖鎖は砂糖の糖に鎖と書きますが、甘いのですか。

A 糖鎖を構成するものはグルコースなど砂糖と同じ仲間なので、甘いだろうと予想しますが、中には酸っぱい成分も含んでいるので、舐めてみないと分かりませんね。ですが、糖鎖自身が貴重なため実際に舐めてみることは大変難しいです。

Q 漫画「はたらく細胞」でも登場する「レセプター」は糖鎖と関係がありますか。

A あります。細胞の糖鎖はキャラクターの制服にあたりますが、一方で「レセプター」の役割をする場合があります。例えば、糖鎖がウィルスのレセプターとして働き、ウィルスが細胞に侵入する仕組みが知られています。

Q 糖鎖の研究はいつからあるのですか。

A 日本において糖鎖の研究自体は1950年頃から始まっていましたが、当時は「糖類・糖質」と呼ばれていました。のちに「糖鎖」と呼ばれるようになったのは1990年代のことです。この時期はちょうど私が学生だった頃の研究室選びのタイミングで、興味を持ち糖鎖の研究室に入りました。

Q 研究所はどのような雰囲気ですか。

A みなさんに見学に来ていただいたこのフロアには学生と教職員合わせて18人います。作業中はみな集中していて機械の音が響いていますが、ディスカッションは活気があり盛り上がります。学生が、私には考えつかないことを提案したり、新しい発見したりするのが大変面白いです。

Q 東海国立大学機構となって変わったことは何ですか。

A 糖鎖を人工的につくる技術を持つ岐阜大学と、糖鎖の



生物機能を解明する技術を持つ名古屋大学が協力することで、双方の強みを活かした共同研究を行うことができるようになりました。ヒューマングライコームプロジェクトを進めるとい一つの目標に対しても、様々な分野の研究者から色々な意見が挙がる楽しさがあります(まとめる苦労もありますが…)

【インタビューした学生の感想】

あまり馴染みのない分野でしたが、先生はわかりやすく面白例え話をういながら丁寧に楽しく教えてくださいました。糖鎖やiGCORE、新しい体制づくりについて知ることができてとても興味深く、実験機器も見せていただいて心が躍りました。また、先生が「学生を教えながら、一緒にやっていくのが楽しい」とおっしゃっていたのが印象に残っています。私たちもそのように学生と先生と一緒に楽しく良い研究をしたいと思いました。

左から/ 伊藤文流(岐阜大学地域科学部3年) 高須啓太(岐阜大学地域科学部2年)
安藤弘宗先生 長谷部媛己(岐阜大学地域科学部2年) 柳田千穂(岐阜大学
応用生物科学部2年)



施設園芸を循環型農業の「環」に組み込む

岐阜大学 応用生物科学部 教授 しまづ 嶋津 てるあき 光鑑

国内の放置竹林による里山の荒廃は深刻で、大量の伐採竹材が発生します。これをチップ化しその他の有機物と混合して発酵させた『竹チップ堆肥』は、有機肥料や土壌改良剤として利用できるだけでなく、里山保全を経済活動に組み込み地域をベースとした循環型農業の柱となります。

竹チップ堆肥を大量に山積みしておく、微生物の好気発酵により数日で堆肥層の内部温度が60℃まで上昇します。堆肥の量が十分にあれば、層の中心部は半年以上その高温を保持し、その期間中はCO₂ガスも発生します。すなわち、有機肥料となる前の発酵中の竹チップ堆肥は、低温期の温室暖房や光合成促進のためのCO₂施用にも使える可能性があります。

一般的な堆肥化のプロセスは、バイオマス中の高温層の発酵熱が隣接する層の発酵を促進し、さらにその外部の層を発酵させるという反応が連鎖的に伝播しながら、堆肥全体の発酵熱が長期的に維持されて堆肥の熟成が進行します(途中、適量の酸素濃度と含水率維持のために堆肥は攪拌・給水されます)。この堆肥層と温室内部に連結したパイプシステムを埋設して温水を循環すれば、土壌加温に利用できますが、この方式は堆肥化施設に隣接した温室に限定されます。

バイオマスが発酵して完熟堆肥になるまでに分解される物質は、時系列順に示すと①糖、アミノ酸、デンプン、タンパク質⇒②ペクチン⇒③セルロース⇒④リグニンと変化します。この中で高温の発酵熱が期待できるのは易分解性有機物が主体の①～②のステージです。しかし、堆肥として利用するには難分解性有機物である③や④が分解されな

ければいけません(完熟堆肥)。すなわち、③⇒④の期間の堆肥は高温にならず暖房に利用できません。

以上の点を踏まえ、堆肥化施設がある地域(市町村)に点在する温室で堆肥発酵熱を利用できるように、デリバリーが容易な小型の発酵槽(1m³)を試作しました(図1)。発酵槽内の温度が低下したら、近隣の堆肥化施設から提供される発熱中の堆肥槽と交換し、回収した堆肥は、再び堆肥化施設にて追熟した後に農地に投与されます。一般に、全体積の発熱量に対して層表面からの放熱量の割合は堆肥槽の長さに反比例するため、小型な発酵槽は壁面の断熱性に優れた素材を使用しました。試作のシステムは、温室内の気温と地温が低下する夜間のみ水を循環して堆肥から熱を回収して土壌に放熱させたところ、堆肥槽の中心が60℃程度の場合、約3週間は温室内のパイプ近傍の地温を対象より4～5℃高められました。日中、水の循環を停止して土壌に放熱させなければ、堆肥自身の発熱で堆肥槽内の熱回収側のパイプ近傍の堆肥温度は再び上昇しました。同時に、日中は堆肥から発生するCO₂ガスを栽培空間に施用してCO₂濃度を800～1000ppmに高めると、3～4月の時期でもキュウリ苗の初期生育を顕著に促進できました。

まだまだ技術的な改良点は多いですが、今回紹介した方法は、石油に依存しない施設園芸を循環型農業の「環」に組み込んだといえます。一方、循環型農業もある程度の環境調節が可能となるので、作期の前進や収量・品質の向上を実現できます。まずは地域での生産組織体系の整備が望まれます。

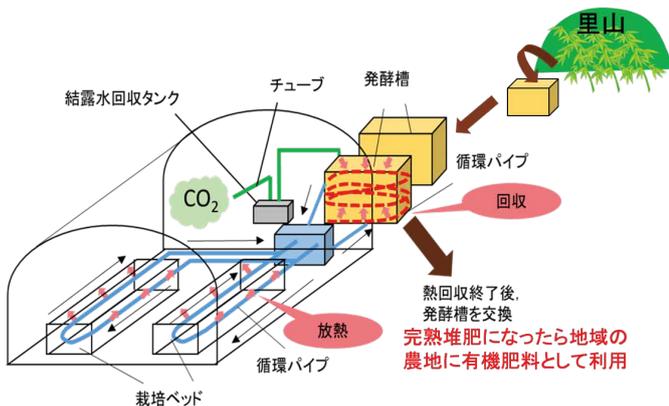


図1 循環型農業に組み込まれた温室の環境調節

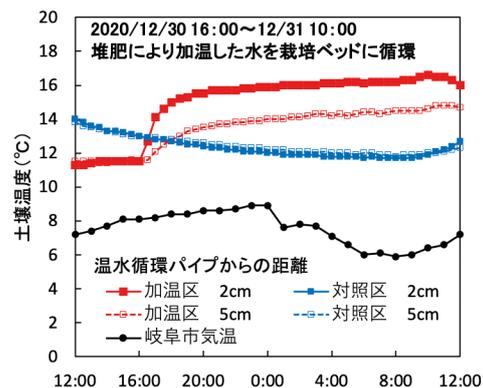


図2 堆肥発酵熱により加温した水の循環による土壌温度の推移

嶋津先生にお話を伺いました



Q 堆肥を生産するときどのような物質と混合するのでしょうか。

A 粉碎した竹チップの中に、菜種油、米ぬか、バーク堆肥、鶏糞等(動物性堆肥)などを用途に応じて投入します。
※バーク堆肥…粉碎した樹木の皮に鶏糞や油かすなどを加えて発酵堆肥化させたもの

Q 竹チップ堆肥を使ってどの程度地温が変化しますか。

A 体積1m³の竹チップ堆肥から、温室にある幅80cm、高さ20cm、長さ600cmの栽培ベッド2列の地温を夜間に12℃から18℃に上昇させる熱を回収できました。堆肥槽の中心温度は60～80℃なので、循環水の加温効率を改善すればさらに地温を上昇させることも可能です。

Q 地温を上げるメリットを教えてください。

A 地温を上げると夜間の低温障害のリスクを抑えられます。また、この方法を春先に利用すると、キュウリやカボチャのように比較的溫度要求度の高い果菜類の定植時期を早められます。その結果、出荷量が少なく市場価格の高い時期に出荷できるだけでなく、出荷期間も長くなるため収益の増加が期待できます。



Q ハウス内のCO₂濃度と初期生育の促進にはどのような関係がありますか。

A 日中に植物による光合成反応が活発になると、ハウス内のCO₂濃度は外気より低くなります。そこで、堆肥から発生するCO₂ガスをハウス内に通気すると、植物体付近のCO₂濃度が上昇するので光合成速度が上昇します。また、夜間は地温を高めるので根への糖の転流量も増えるため初期の生育を促進できます。

Q 発熱が終わった後の堆肥はどうするのですか。

A 発酵温度が低下し熱が利用できなくなった堆肥を回収し、堆肥化施設において時間をかけ完熟堆肥にしてから最終的に畑で肥料として利用します。このように竹チップ堆肥を、熱源、CO₂施肥、肥料として地域で利用する循環型農業を目指しています。

【インタビューした学生の感想】

実際に堆肥槽等も見せていただき、先生や研究室の学生の方が試行錯誤しながら研究に取り組んでいるのが伝わってきました。放置竹林の課題解消を目指し、未利用資源を用いて、小さな地域内での循環を産み出せる点がすごくいいなと思いました。また、大学も地域と連携して環境問題に向き合っているということが分かりました。

左から/夏目昂治(岐阜大学工学部1年) 嶋津光鑑先生
吉田未紗希(岐阜大学地域科学部4年)





毒性予測ソフトウェアで化合物開発における損失を削減

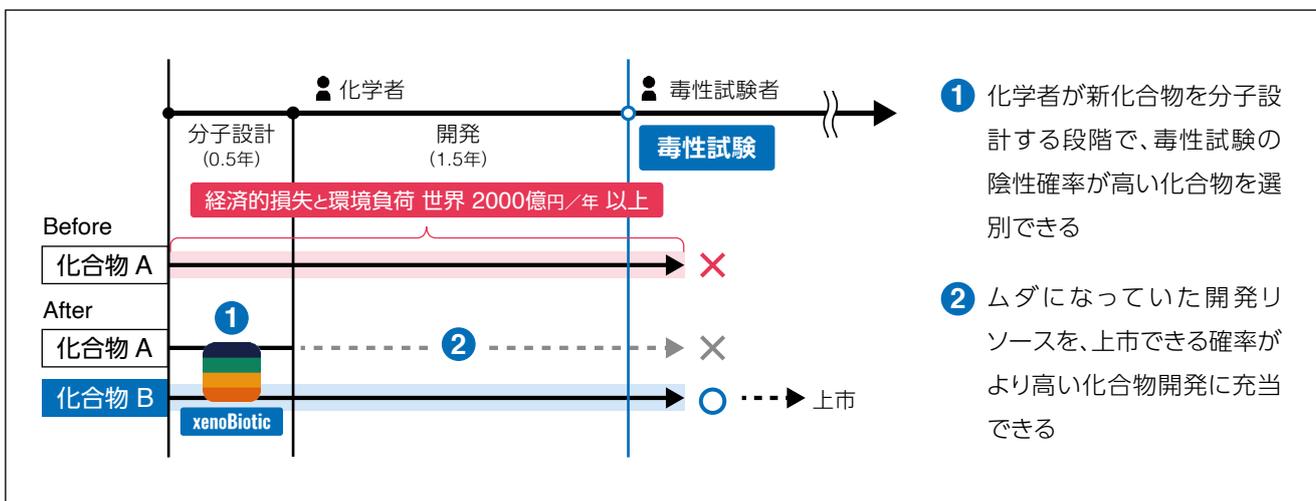
岐阜大学 地域科学部 准教授 **橋本 智裕** 特別協力研究員 **澤田 敏彦**

医薬品や化粧品等の成分のような有用な機能を持った新化合物を開発して上市^{※1}するには、法令等で規定された毒性試験の通過が必須（毒性試験陰性=毒なし）ですが、毒性試験の不通過（毒性試験陽性=毒あり）が原因の開発失敗が多発しています。化学業界におけるこの経済的損失を、世界で年間2000億円以上と推計します。私たちは、「新化合物を分子設計/開発する化学者が新化合物の毒性をあらかじめ予測して毒性試験の陽性を回避できれば、この損失を大幅に削減できる」と考え、毒性予測ソフトウェアxenoBioticを開発しています。毒性を予測するソフトウェアは既にあるますが、そのほとんどが毒性試験者向けのソフトウェアです。つまり、化学者が新化合物を分子設計/開発する段階で使うには適していません。Ames

試験^{※2}の予測正答率を農薬724種によって評価した結果、xenoBioticの予測正答率は他のソフトウェアのそれを上回りました。私たちは、ユーザー候補の化学メーカーや研究機関によるテストを通して予測性能を向上させます。同時に、予測できる毒性試験の種類を増やします。

xenoBioticを社会実装するために、澤田特別協力研究員が(株)ゼノバイオティックを設立しました。(株)ゼノバイオティックは、「岐阜大学発ベンチャー」に認定(2020年12月)され、プレスリリースもしていただきました。^{※3}

私たちは、毒性予測ソフトウェアxenoBioticを社会実装して、新化合物の開発における毒性試験の陽性に起因した損失を大幅に削減し、SDGs目標9「産業と技術革新の基盤をつくろう」のターゲット9.4の達成に貢献します。



xenoBiotic を利用した化合物開発のイメージ

※1 製品として市場に出すこと

※2 ネズミチフス菌4種と大腸菌1種の計5種の菌が、試験物質によってどの程度突然変異を起こすかによって毒性の有無を判定する試験

※3 <http://www.rs.gifu-u.ac.jp/newstoppers/2021/03/11/post-65.html>



<https://www.gifu-u.ac.jp/news/news/2021/03/entry18-10703.html>



<https://www.gifu-u.ac.jp/news/research/2021/03/entry11-10658.html>



橋本先生、澤田研究員にお話を伺いました



Q このソフトを開発するきっかけとそのソフトの特徴について教えてください。

A 化学メーカーに勤務して新化合物を開発していたとき、目的の機能を持つ化合物を合成しても、その半数以上が毒性試験に引っかかってしまうという体験からこのようなソフトがあればいいなと思ったのがきっかけです。このソフトの特徴は化学者が、構造式を考えた時点で毒性を持つ確率を測定できるということです。この特徴により開発の効率化と成功確率が向上します。

Q 毒性の有無はどのように調べていますか。

A 化合物の特徴と毒性研究データを機械学習した毒性予測モデルが毒性の有無の確率を推定します。私たちの専門は計算化学です。化合物の特徴を計算化学によって発見・一般化して、毒性予測モデルを改良します。

Q 画期的なソフトウェアのリリース（技術革新）によって、雇用が失われる心配はないのですか。

A 雇用は失われません。化合物開発のスピードと成功確率が格段に向上すると、研究員の仕事内容が変わります。具体的には、同じ人員であっても、より多くの化



合物を開発するチャンスが増えます。そして、業界が盛り上がり、イノベーションが加速します。

【インタビューした学生の感想】

澤田さんが化学メーカーに勤務していた際に感じた違和感を、新たなビジネスに繋がられたという体験談は面白かったです。私も、「常識」に流されず常に考え、疑い続けられる姿勢を大切にしていきたいです。(鈴木)

ソフトウェア開発まで至れたのは、多くの人の面談や相談が大きな要因だと思い、困りごとを相談できるように人とのつながりをもつことの重要性を感じました。(高橋)

大学での実験においても、効率化というのは単純に簡便にするだけでなく、物質や時間のコストを削減するという点で環境に貢献できると感じました。(田崎)

前列左から/ 澤田敏彦 特別協力研究員
橋本智裕先生
後列左から/ 田崎渚(岐阜大学応用生物科学部4年)
鈴木広大(岐阜大学教育学部3年)
高橋佑輔(岐阜大学教育学部3年)





年輪を用いた環境復元

岐阜大学 教育学部 准教授 ^{もりもと} 森本 ^{まさ} 真紀

世界的な環境問題である地球温暖化とその影響について、地球科学では観測や予測などの研究と共に過去の気候変動の復元が行われてきました。地球の歴史で最近の温暖期としては、およそ10~13世紀頃のヨーロッパが温暖であった中世温暖期や、日本では縄文海進として知られるおよそ7000年前の完新世中期の温暖期が挙げられます。これらの温暖期と現在を比較することで、自然界での温暖状態と、それに人為的影響が加わった温暖状態との比較をすることができます。どの地域が温暖であったのか、どのぐらい温暖であったのか、などを調べていく必要があります。特に過去の海の環境についてはまだ多くのことが解明されていません。

海洋は地球の全表面積の70%を占めており、地球の気象と気候の最も大きな支配要因です。例えば、熱帯海洋の東西循環はエルニーニョ/ラニーニャ現象に代表される数年規模の地球スケールでの気象変化の主な要因となっています。海洋の水温と塩分は海水の動きを理解するために必要な情報ですが、機器による海洋観測の記録は現在から50年、100年と年代をさかのぼるにつれて少なくなり、熱帯・亜熱帯海洋についてはさらにデータが乏しくなります。

熱帯・亜熱帯の浅海に分布するサンゴ礁は生物によって作られてできた地形で、主な構成者は造礁サンゴです。造礁サンゴの中でも塊状のサンゴはその骨格の成長が季節変化することによる密度バンド（年輪）を持っていて、長寿の群体になると連続して数百年間の海洋環境の連続記録を年輪に保存しています。サンゴの骨格の主成分は炭酸カルシウムで、骨格が形成される時の海水温や海水濃度に応じてさまざまな化学物質が骨格に取り込まれます。造礁サンゴの骨格の成長量は1年に数mm~20mm程度と他の地質試料の堆積速度と比較すると非常に速く、骨格中の酸素同位体などの安定同位体比やSr（ストロンチウム）などの金属元素などの分析によって、1週間単位や1ヶ月単位のような高い時間分解能で過去の海水温や塩分の復元を行うことができます。



図1 パラオ諸島の現生の塊状サンゴ(ハマサンゴ:直径約2m)

教育学部の地学教室では、名古屋大学環境学研究科地球環境科学専攻（大気水圏科学系）と共同研究を進めてきました。鹿児島県から沖縄県にかけての島々（石垣島、喜界島、宝島など）での調査によって化石サンゴや現生サンゴを採取して、過去1500年間や完新世中期の海水温と塩分記録の復元から、過去の温暖期とされる時代の海洋環境復元を行ってきました。さらに、陸上の樹木年輪の酸素同位体比を用いた日本やアジア各地の降水量復元記録との比較による陸上と海洋の気候の関係の研究や、伊勢湾・三河湾の堆積物中の有孔虫分析による内湾の環境とその変化の研究も進めています。

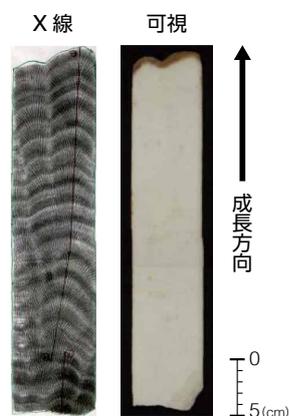


図2 サンゴ年輪の写真

参考文献:阿部理・森本真紀(2021)「水温・塩分—サンゴ(造礁サンゴ骨格年輪を用いた過去の海洋環境の復元)」。中塚武監修、中塚武・對馬あかね・佐野雅規編『気候変動から読み直す日本史2 古気候の復元と年代論の構築』145-173。

森本先生にお話を伺いました

クロスインタビュー 名大生 × 岐大研究室



森本 真紀 先生

Q サンゴの年輪の解析にはどれほど時間がかかりますか。

A 1回の採取につき数年かかることもあります。大きいもので4m位になるサンゴを1カ月単位で分析し、さらに各種指標を復元すると、分析する試料数が何千個にもなるためです。また、サンゴの年代は持ち帰って測定するまで分からないので、調べたい年代の試料がなければ半年後に再び採取に行くこともあります。

Q 化石サンゴは頻繁に見られるものですか。

A 化石サンゴは現在生きているサンゴの下に積み重なっており、古いものほど海底より下の方であってボーリング調査が必要など、採取が困難です。しかし、鹿児島県の喜界島など、大地震によって島が隆起したために縄文時代のサンゴが地上に露出している場所もあります。

Q サンゴの白化はどのようなメカニズムで起こるのでしょうか。また、それにより研究に支障が出るのでしょうか。

A サンゴの体内には褐虫藻と呼ばれる藻類が共生しており、エルニーニョ現象や温暖化の影響で海水温が30℃を超える状況が続くと、ストレスによりサンゴが藻類を放出します。この結果、サンゴの骨格が見えている状態を白化といいます。白化したサンゴは、しばらくの間は生きることができるため、その後水温が下がってサ

ンゴが再び藻類を取り込めば、健全な状態に戻り骨格の年輪が形成され続けるケースもあります。

Q 学術的な面から環境にアプローチしていく中で、一般の人に伝えたいことはありますか。

A 私たちは地球が温暖化していることを示すために研究しているのではなく、1つ1つ解析結果を積み重ねて分かったことから温暖化しているかどうかを調べています。社会には地球温暖化に対する陰謀論や政治的、思想的な観点からの見方も存在しますが、データを客観的に見ることを積み重ね、はじめからこうだと決めつけずに考えるということを大事にしてほしいと思います。

【インタビューした学生の感想】

サンゴを資料として、最近だけでなく何千年前といったスケールの過去の海水環境も復元できるということがとても面白かったです。他の分野の環境問題や日常においても客観的なデータから考えることを意識したいと思いました。(王)

サンゴを始め、木の年輪、氷河等の自然にあるものを用いて遠い昔の環境復元ができるという意味からも、今私たちが生きる地球環境を残すことの重要性を再認識しました。縄文時代のサンゴが隆起により陸上で発見されたりと、地球の歴史のスケールの大きさを感じさせられました。(片田)

正しく現状を把握してはじめて適切な対応ができるのだらうと思いました。日々変化する環境・世界の問題について今後も勉強していきたいです。(高見)

左から/高見光(名古屋大学文学部2年)
片田美穂(名古屋大学生命農学研究所 博士前期課程1年)
王愛里(名古屋大学理学部3年)





ユニークなアイデアで大気中からCO₂を除去 ~捨てられていた冷熱を利用するCO₂回収技術に挑戦!~

名古屋大学 大学院工学研究科 教授 ^{のりなが} 則永 ^{こうよう} 行庸



世界の平均気温の上昇を1.5℃以下に

国際連合の専門機関である気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は、世界の平均気温が19世紀後半と比べて2℃上昇すると、多くの人々が水不足や熱波によって深刻な影響を受けると予測しています。平均気温の上昇を1.5℃にとどめるには、2050年ごろまでに、温室効果ガスのなかで最も影響が大きな二酸化炭素 (CO₂) の排出量を、実質的にゼロにする必要があるとされています。

我が国においても、昨年10月に菅首相が「2050年までに温室効果ガスの排出を全体でゼロにし、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言しました。このような中、私たちは、脱炭素実現の鍵となる「大気中からのCO₂除去」に挑戦することを決めたのです。

極めて困難な大気中からのCO₂回収

CO₂の除去は、人類にとって重要な課題であるものの、非常に難易度の高い技術です。なぜなら、大気中CO₂濃度は、現在上昇しているとはいえ、約400ppm (100万分の400)。言い換えれば、大気中の分子1万個のうち、CO₂分子はたった4個です。CO₂を除去するためには、CO₂を地中に埋めたり、他の物質に変換する必要があります。そのためには、CO₂を濃縮し、できるだけ純度の高いCO₂として回収しなければいけません。

1万個の粒の中から4つを探し当てて、分離することは大変なことです。多くの研究者がこの技術に挑戦するのをためらう理由はここにあります。

CO₂を吸収する液体を用いてCO₂を分離回収するプロセス

私たちは、石炭などを燃やした時に発生する排ガスに、体積割合で10～20%含まれるCO₂の分離回収の研究を行っており、CO₂を効率よく吸収するアルカリ性溶液を開発しました。

このような吸収液を用いたCO₂の分離回収は、図1に示す装置を用いて行います。吸収塔と呼ばれる塔の下部から、CO₂を含む排ガスを吹き込み、上部から降らせた吸収液と接触させて排ガス中のCO₂を吸いとります。こうすることで、CO₂をほとんど含まないガスを、大気に戻すことができます。CO₂を吸った液は、再生塔と呼ばれる塔に送

られ、熱エネルギーを投入して温められます。温度が上がるとCO₂の溶解度が下がるので、CO₂が液から飛び出します。こうすることで、排ガスからCO₂だけを分離することが可能になるのです。

この方法の課題は、吸収液を再生するときに多量のエネルギーを消費することです。燃焼排ガスのCO₂回収に適用した場合、1トンのCO₂を回収するのに、4ギガジュールもの熱エネルギーが必要です。この技術をより希薄な大気中CO₂の回収に適用すると、さらにエネルギーが必要です。

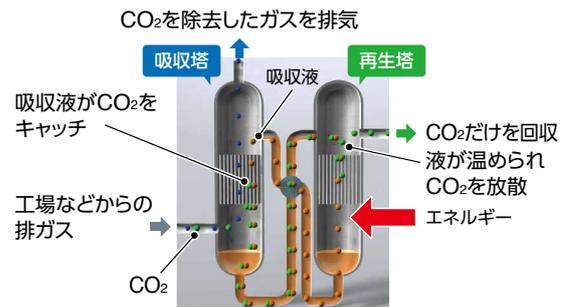


図1 吸収液を用いたCO₂の分離回収プロセス
低い温度でCO₂を吸収し、再生時に温度を上げてCO₂を放散する。この時エネルギーが必要。

4. ユニークな発想で、課題解決の糸口が見えてきた

私たちは、我が国が年間8,000万トン輸入している液化天然ガス(LNG)の冷熱に着目しました。LNGが気体になる

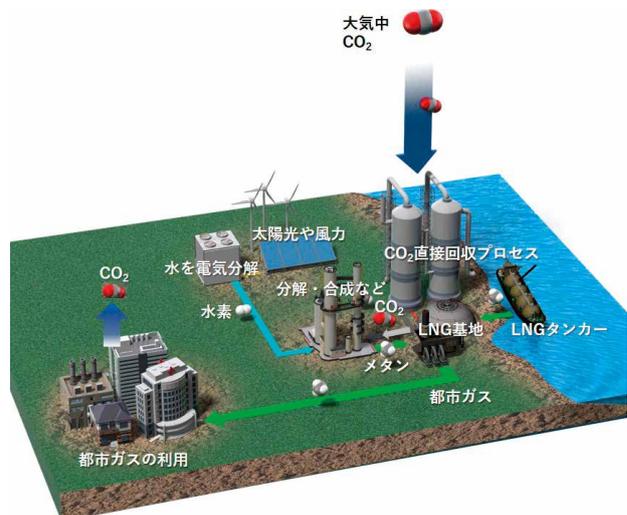


図2 液化天然ガスの冷熱を利用した大気中CO₂直接回収プロセスを中心としたカーボンサイクル

際に周囲の熱をうばう「冷熱」を利用し、大気中のCO₂を回収する技術の開発を始めました。LNGは約-160℃の液体にして輸送されます。到着した受け入れ基地で気体に戻す際に発生する冷熱のほとんどは海水などに捨てられます。

気体のCO₂を封じ込めた容器を冷却すると、CO₂は徐々にドライアイス(固体)へと姿を変え、容器内の圧力は下がります。この原理を使って、CO₂を吸収した液体の入った容器の中を、LNGの冷熱を使って減圧します。すると、CO₂

吸収液からCO₂が飛び出し、ドライアイスとして集めることができるのです。ここでは液を温めるエネルギーは必要ありません。私たちは、この方法によって、CO₂回収の大幅な省エネルギー化を見込んでいます。様々な課題はありますが、天然ガスを扱うガス会社や化学プラントを建設するエンジニアリング企業とも連携して、大気中のCO₂を正味で削減する技術の革新に挑みます。

 Q&A 学生からの質問に
則永先生が答えます!

Q 回収したCO₂はその後どう処理するのでしょうか?

A CCSと呼ばれる方法でCO₂を地中深くに埋めることも可能ですが、私たちは、水素と反応させて天然ガスの主成分であるメタンを作る技術に適用することを考えています。こうすることで、回収したCO₂をエネルギー源として利用することが可能になります。

Q この技術はいつ実用化できそうなのでしょうか。

A 2028年頃までに、年間50トンのCO₂を回収できる装置を製作・運転予定で、2040年頃までに実用化可能な技術水準にすることを目指しています。

Q 今後CO₂をどのくらい回収する必要があるのでしょうか。また、この技術でどのくらい達成できるのでしょうか?

A 国際エネルギー機関が発表しているシナリオに基づけば、平均気温の上昇を1.5℃までに抑えるためには、2050年には、年間60億トン近くのCO₂を世界全体で回収する必要があると見込まれています。私たちの技術が実用化され、もし全世界で使用されている年間約4億トンのLNGをすべて利用できるとすれば、3億2000万トンのCO₂を回収できます。

Q LNGの流通が減少することも考えられると思いますが、アンモニアや水素の冷熱を利用することは可能ですか?

A 水素の冷熱はLNGよりも低温であるため、利用可能と考えています。アンモニアの冷熱は温度が高く、この技術には適用できません。

Q 研究者として大事にしていることや、工夫していることはありますか?

A 私は「フルーガル(質素、儉約的)・イノベーション」という考え方を面白いと思っています。リソースの制約を不利ではなくチャンスと見なし、効率よりも機敏さを優先するという新しい考え方です。これまで捨てられていたもの(LNG冷熱)とCO₂回収を結びつけると、こんな面白いことができる、ということ世の中に発信していきたいと考えています。

質問者
岡本卓哲(名古屋大学生命農学研究所 博士後期課程2年)
佐々木あみ(名古屋大学法学部4年)
田中希帆(名古屋大学工学部3年)
神野遥香(名古屋大学経済学部2年)
土井貴斗(名古屋大学法学部2年)
大槻峻介(名古屋大学農学部4年)
王 愛里(名古屋大学理学部3年)



高純度なショ糖を生成する「砂糖イネ」の発見

福建農林大学（中国）教授 ^{かさばら} 笠原 ^{りゅうしろう} 竜四郎
名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 准教授 ^{のたくち} 野田 ^{みちたか} 口 理孝

2016年当時、私達は植物の種の元になる部分である胚珠が受精することなしに肥大する現象（POEM現象）を報告しました。このPOEM現象はシロイヌナズナという雑草で見出すことができたので、他の植物にも当てはまる現象なのかどうかを調べるためにイネで始めたのが当研究のきっかけです。そうしたところ、何とイネでも受精の失敗が観察でき胚珠の肥大が確認できました。更に興味深いことには、その肥大した胚珠は内部が透明の液体で満たされており、中身は何だろうと思案していました。しかしその時たまたま名大に訪問されていたハイトカルチャ株式会社の田中国介先生に「笠原君そんな簡単や、舐めてみなはれ。」と言われたので舐めてみることにしました。そうすると、確かに甘かったのです。私は甘いものが大好きですので少しの甘さくらいでは反応しないのですが、そんな私でも甘みを感じる事が出来ました。この時確かに実感したのが「糖」の存在でした。そこで、成分分析を行った結果、液体の内容物は糖濃度が約15%でその構成はショ糖98%、果糖1%、ブドウ糖1%という非常に高純度なショ糖液であることが明らかになりました。ここまでようやくイネを受精に失敗させると、純粋なショ糖液を作ることができると結論づけることができました。現在、ショ糖を精製できる植物はサトウキビとテンサイの2つしかありません。おや、それではカナダで有名なメイプルツリーなどからもショ糖生産できるのでは?と思う方もいらっしゃるかも知れませんが、これらの樹木から取れる糖は果糖の濃度が高く、ショ糖の精製には向いていません。また、果糖の濃度が高いとバイオエタノールを作るときにはより純度の高いショ糖が必要とされるので燃料の生成にも向いていません。しかし、今回私達が作成した砂糖イネは純度98%でそのままショ糖を生成できるという利点を持っています。ご存知の通り、現在日本ではサトウキビは南西諸島でのみ、テンサイは現在北海道でのみ生育しています。しかしイネは現在北海道から沖縄まで生育が可能であり、これは日本全国各地でも砂糖生産が可能であるということに他なりません。これらの長所は他のイネ科の植物、例えばトウモロコシやコムギ、ソルガムにも当てはまることであり、今後サトウモロコシやサトウコムギも作っていければ良いなと考えています。

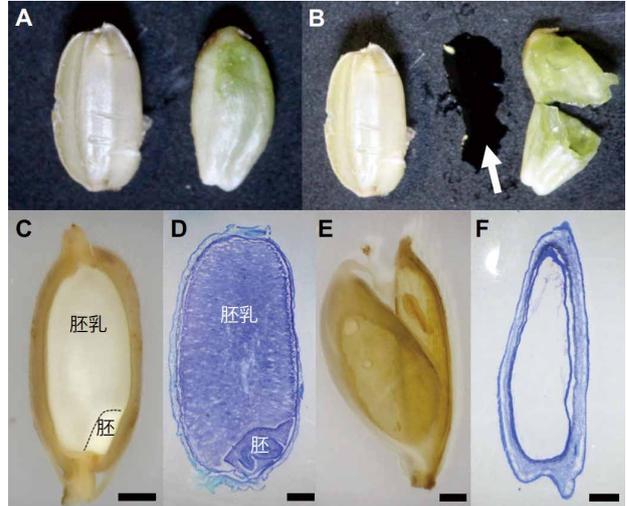


図1 日本晴と砂糖イネの比較

- (A) 左が日本晴の種子(我々が普通に食べている米粒)、右が今回作成した砂糖イネ。
- (B) 砂糖イネは矢印に示すように胚珠内にデンプンではなく液体を充満させていた。
- (C, D) 固定後の日本晴の種子。胚、胚乳が観察される。
- (E, F) 砂糖イネの胚珠内部。内部は液体で占められていることがわかる。スケールバー:1mm。

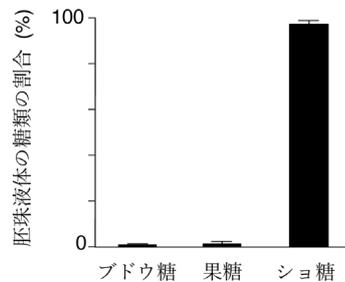


図2 砂糖イネは胚珠内に非常に高純度のショ糖を蓄積する

質量分析の結果、砂糖イネは胚珠内に1%のブドウ糖、1%の果糖、98%のショ糖を蓄積していることが明らかになった。



図3 CBCテレビ報道(2020年10月29日)の一コマ

あなたも名大で大発見して将来研究結果がテレビで報道されるかも!?

笠原先生、野田口先生にお話を伺いました

クロスインタビュー 岐大生 × 名大研究室

- Q** どうして受精に失敗した胚珠はショ糖の割合が増えて甘くなるのですか。
- A** 胚珠が受精すると、ショ糖がデンプン構成要素に変換されお米になります。しかし受精に失敗するとショ糖が変換されず中に溜まってしまうため、ショ糖の割合が高くなり甘くなります。
- Q** 受精は人為的に失敗させる必要がありますか。
- A** 自然環境下でも失敗は起こりますが、砂糖イネの生産に応用するためには遺伝子組み換えの技術を用いて人為的に失敗させます。
- Q** ショ糖を生産するメリットや目的は何ですか。
- A** 国内砂糖の自給率を上げることです。また、ショ糖はバイオエタノールに効率的に変換することができます。
- Q** 砂糖イネを生産したら、砂糖とバイオエタノールではどちらに利用するのがいいのですか。
- A** 日本で砂糖があまりとれなかった年は砂糖イネから砂糖を作り、十分とれた年はバイオエタノールを作るといように、場合に応じて生産することができます。
- Q** うるち米以外のもち米、酒米、タイ米などで砂糖を作るとどうなりますか？また砂糖イネに適した品種はありますか。
- A** まだうるち米以外でやってみたことはありません。ぜひやってみたいと思っています。また、同じイネ科のソルガムは非常にたくさんの種子をつけるため、今後は非検討してみたい植物種です。
- Q** 日本各地で、場所によって糖を作る植物の機能や種類を変えることは可能ですか。
- A** 可能です。例えばサトウキビでいうと、茎からだけでなく種子からも砂糖を取り出すことができるようになります。ちなみに、現在日本で砂糖の生産が可能なのは北海道と南西諸島だけですが、砂糖イネの栽培が進めば、イネは日本全国で栽培できるので、日本中で砂糖の生産が可能になるでしょう。

【インタビューした学生の感想】

砂糖イネの研究について貴重なお話を聞かせて頂き、とても勉強になりました。砂糖イネの栽培規模によっては日本中で砂糖の生産ができるというお話が特に興味深かったです。(渡邊)

イネでPOEM現象を調べたくて始めた研究から砂糖やバイオエタノールを作る話が出たり、製菓会社から問い合わせがあったりと実際に社会に役立つ可能性が見えてきていることに感動しました。(柳田)

いつかイネ砂糖のお菓子などが市場に出るようになったとき、今回の話を思い出してサトウキビなどから作られる普通の砂糖とイネ砂糖の味を比べてみたいです。(山口)

イネ砂糖を使って作ったお菓子を実際に食べてみたいと思いました。今後、イネ砂糖が我々の生活にどのような影響を及ぼすのかワクワクします。(田口)

先生からのメッセージ

砂糖イネに関して興味を持っていただけてありがとうございました。岐大生の皆様には貴重な質問をたくさんして頂いて、こちらこそ本当に勉強になりました。今回の皆様との議論からまた何か生み出すことができるかも知れませんが、その時は再度感謝したいと考えています。皆様もその好奇心を大事にして日々の勉強や研究を頑張ってください。

(上段左から) 野田口理孝准教授 山口優菜(岐阜大学工学部4年)
笠原竜四郎教授

(下段左から) 柳田千穂(岐阜大学応用生物科学部2年) 田口俊平(岐阜大学工学部4年) 渡邊もえ(岐阜大学教育学部1年)

(右中段) 林瑠美子准教授(名古屋大学編集長)





ゴミから電気を作り出す! その仕組みとは?

名古屋大学 大学院環境学研究科 教授 ひびの たかし 日比野 高士



ゴミからのエネルギー回収

商業施設、レストラン、家庭などから発生する都市固形廃棄物 (Municipal Solid Waste: MSW) の世界的な総量は、2025年までに年間約22億トンに増加すると予想されています。MSWは食品、草木、紙、樹脂、プラスチック、布地、金属、ガラスなどの複数から構成されており、その処理法として資源回収、消化、堆肥化、焼却、埋立から成るプロセスが現在世界中で適用されています。近年、廃棄物からのエネルギー回収が廃棄物処理開発において主要目的の一つになりつつあります。従って、焼却よりも高い発電効率が可能な熱分解およびガス化技術に関心が寄せられています。現在開発されているシステムでは、700℃で廃棄物を熱分解し、さらに高温でガス化することによって、水素(H₂)、一酸化炭素(CO)、メタン(CH₄)などの可燃性ガスが生成し、下流のガスエンジン、タービン、もしくは固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell: SOFC) で発電します。しかし、大量に副生されるタールとチャーは、容易にガス化されず、結果として燃料ガスの品質を低下させます。この課題は、ガス化を1,000℃以上で行うことによって回避できますが、高温熱源として廃棄物を大量に燃焼する必要があるため、発電効率をさらに高めることが困難であると見なされています。

燃料電池はゴミから発電できるのか?

我々は、MSWからのガス化燃料ではなく、MSWそのものを燃料とする燃料電池が発電効率の限界をブレークスルーする技術である、という発想で研究を進めています。本燃料電池では、MSWをダイレクトに燃料極に供給するので、燃料成分の全てを発電に使用でき、またガス化装置が不要になるため、それに関連するエネルギー損失を排除できます。オガクズ、古紙、ナイロンやPET (polyethylene terephthalate) を250℃で作動する燃料電池に供給したところ、出力密度0.033Wcm⁻²、エネルギー密度0.10Whg⁻¹、発電効率1.5%を示しましたが、いずれの性能も従来技術に比べて乏しい結果でした。この原因は、燃料極での

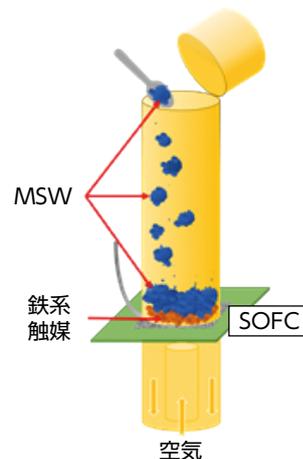
MSW酸化反応速度がこの作動温度では遅く、多大な電気抵抗が電極に発生したためです。言い換えれば、燃料酸化反応を活性化できさえすれば、電池性能が大幅に改善されることになります。

発電効率を高める手段とは?

これまでは固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell : PEFC) で発電を試みてきましたが、200 ~ 300℃領域ではMSW酸化反応に高活性な電極触媒を見出すことができませんでした。そこで、①燃料電池をSOFCに切り替えて、作動温度を800℃へシフトさせる:②MSWはまず熱分解 (MSW→H₂, CO, CH₄, タール, チャー) されるが、電極反応 (H₂ or CO+O²⁻→H₂O or CO₂+2e⁻) で生成した水蒸気と二酸化炭素によって、タールとチャーが改質 (タールorチャー+H₂O or CO₂→H₂+CO) される:③この改質反応を触媒によって促進する等の研究指針を策定しました。

SOFCはPEFCとは似て非なる発電機

研究室の学生らもなかなか登校できない状況の中 (2020年4月~)、共同研究企業の協力でSOFCを試作し、MSWとしてバイオマス、プラスチック、食糧残渣成分を使用して発電試験を実施しました。その過程で、①ガス化反応を鉄系触媒によって制御できること、②燃料量とと



廃棄物 (MSW) をダイレクトに供給する燃料電池 (SOFC)

もに電池性能が高まること、③燃料種類によって電池性能が異なること、④いずれの燃料でも有機残渣がほとんどないこと等が把握できました。結果として、8月時点で出力密度が最大 0.574W cm^{-2} 、エネルギー密度が最大 0.95Wh g^{-1} 、発電効率が最大18.3%と性能が飛躍的に

向上しました（2021年2月論文掲載）。その後、具体的なMSWとして雑草に着目し、燃料電池特性を評価するとともに、雑草成分と電池性能との関係を解明しました（2021年5月論文掲載）。なお、現在は廃プラスチック燃料に特化し、その発電特性評価を継続して行っています。

 **Q&A** 学生からの質問に
日比野先生が答えます！

Q ガス化燃料ではなく、MSWそのものを燃料とする燃料電池へと発想を転換したきっかけは何ですか。

A MSWIに限らず、燃料そのものを使用することが発電効率を高めることは以前から知られていましたが、先行研究者らはMSWではうまく適用できないと決め付けていたと推測されます。我々はMSWの処理については後発でしたので、そのような固定概念にとらわれず、燃料電池開発を始めた次第です。

Q MSWの種類や成分によって、燃料電池の性能が変わりますか。

A 発電特性はMSWの成分に影響を受けます。これは、MSWIには元素や化学結合が異なる成分が沢山含まれており、それによって熱分解やガス化速度が異なるからです。現時点では大まかなことしか分かっていませんが、燃料電池に良好なMSWIは、プラスチックゴミ>雑草>食糧残渣の順です。雑草の成分では、リグニン成分が最も良好な燃料として機能しました。

Q なぜ雑草に着目されたのでしょうか。

A 雑草、特に多年草は、未利用・廃棄バイオマスの中では量が豊富であるだけでなく、値段が高騰せず、また不作・干ばつで悩まされることもありません。その他にもプラスチックゴミや食糧残渣も燃料資源として活用していきます。

Q 落ち葉もMSWとして利用できますか。

A 落ち葉が燃料として使用できるかどうかは、そこに含まれる成分によって決まります。セルロースやリグニンが多く残っていれば燃料に使用できますが、腐敗が激しく灰分が多くなると燃料としての利用率が低くなります。

Q タールとチャーとはどのようなものですか。

A タールは熱分解後の油液であり、チャーはさらに分解された後の固体残渣(主成分：炭素)です。これらは 800°C 以上の温度で、水蒸気や二酸化炭素によって水素と一酸化炭素へ改質されます。

Q 先生の研究から見た、ごみの分別の意義は何ですか。

A 金属やガラス類は少量であっても分けて頂きたい。できれば、食糧残渣に含まれる水分もできる限り除いて頂けると、乾燥させるのに必要なエネルギーが少なくて済むので、発電効率の向上につながります。また、雑草の根に付いた土は、燃料電池の故障や劣化の原因になるので、取り除いて頂けると助かります。

Q 映画バック・トゥ・ザ・フューチャーのMr. Fusionのように、タイムトラベル とまでいかななくても、車を動かせるほどの出力アップは期待できそうでしょうか。

A 車に燃料電池を組み込むことは、SOFCを構成するセラミックスが衝撃で割れてしまう可能性があり、難しいです。しかし、車の外、例えばガレージにSOFCを設置し、そこでゴミ発電を行い、EVを充電すれば、車を走らせることができます。

質問者

- 岡本卓哲(名古屋大学生命農学研究科 博士後期課程2年)
- 佐々木あみ(名古屋大学法学部4年)
- 田中希帆(名古屋大学工学部3年)
- 神野遥香(名古屋大学経済学部2年)
- 土井貴斗(名古屋大学法学部2年)
- 大槻峻介(名古屋大学農学部4年)
- 王 愛里(名古屋大学理学部3年)