

NEDO 海外レポート

2022.8.31.

1134

1	【電子・情報通信分野】 積み重ねて巨大な 3D 画像を作る「ホロブリックス」(英国)	2022/ 3/16 公表	1
2	【電子・情報通信分野】 ロボットや車の視覚情報処理能力を OCT 技術で向上 (米国)	2022/ 3/29 公表	4
3	【新エネルギー分野 (太陽光発電)】 高効率で安定したペロブスカイト太陽電池戦略を展開 (中国)	2022/ 4/22 公表	9
4	【バイオテクノロジー分野】 自然界にはない酵素を作る効果的な手法を開発 (米国)	2022/ 5/ 2 公表	13
5	【バイオテクノロジー分野】 強靱な木質リグニンを分解する新しい人工酵素 (米国)	2022/ 5/31 公表	16
6	【新エネルギー分野 (燃料電池・水素)】 大型トラックへの水素燃料の高速充填に向けて (米国)	2022/ 6/ 8 公表	21

※ 各記事への移動は Adobe Acrobat の「しおり」機能をご利用ください

URL : https://www.nedo.go.jp/library/kankobutsu_report_index.html

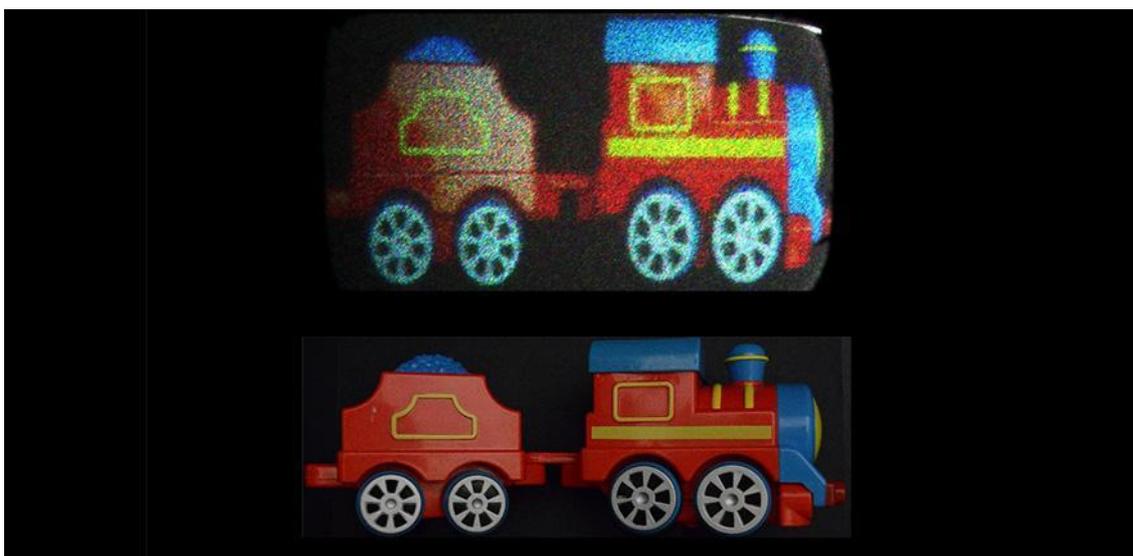
《本誌の一層の充実のため、ご意見、ご要望など下記宛お寄せください。》
海外レポート問い合わせ E-mail : q-nkr@ml.nedo.go.jp
NEDO は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の略称です。

【電子・情報通信分野】

仮訳

積み重ねて巨大な 3D 画像を作る「ホロブリックス」(英国)

2022 年 3 月 16 日



積み重ねることで大規模なホログラム構築を可能にする「ホロブリックス(holobricks)」を使用して、高度にリアルなホログラム画像表示の新技术を開発 (写真提供: Cambridge University)

英ケンブリッジ大学と米ディズニー・リサーチの研究者らが開発したホロブリック・プルーフ・オブ・コンセプト (PoC:概念実証) では、ホログラムをタイル状に並べてシームレスな巨大 3D 画像を構築することができる。同技術が実証されたのは今回初で、拡張性のあるホログラフィック 3D ディスプレイの実現に道を開くものだ。これらの[研究結果](#)は、学術誌『Light: Science & Applications』に掲載された。

技術の発展に伴い、人々は 2D 高解像度テレビを始め、3D ホログラフィック拡張現実やバーチャルリアリティ、さらには大型の空間 3D ディスプレイに至るまで、高品質の視覚体験を求めるようになってきている。これらディスプレイは、膨大なデータフローをサポートする必要がある。つまり、2D のフル HD ディスプレイの場合、情報データレートは約 3 ギガビット/秒 (Gb/s) だが、同じ解像度の 3D ディスプレイには 3 テラビット/秒が必要なのだ。しかし後者はまだ利用可能にはなっていない。

ホログラフィックディスプレイは、高品質な画像を再構成してリアルな立体視の実現を可能にする。現実世界と仮想世界をつなぎ、そこでの没入体験を得るための究極のディスプレイ技術として注目されているのだ。

本研究を率いたケンブリッジ大学工学部の **Daping Chu** 教授は、「現在の技術で十分な 3D 体験を提供することが大きな課題です」と指摘したうえで、「私たちは過去 10 年間、産業界のパートナーたちと連携して、大型サイズと広範なディスプレイ画面を同時に実現できるホログラフィックディスプレイを開発してきましたが、そのためには、大量の光学情報量を持つホログラムと一致させる必要がありました」との見解を示した。

しかしながら、現在のホログラム情報の情報量はディスプレイ容量をはるかに上回っている。空間光変調器と呼ばれる現在の光エンジンの空間帯域幅積が限られているためだ。

2D ディスプレイの場合、標準的な手法では、小型ディスプレイをタイル状に並べて 1 つの大型ディスプレイを製作する。ここで研究されているアプローチも同様だが、3D ディスプレイはこれまで存在していなかった。Centre for Advanced Photonics and Electronics (CAPE) のディレクターも兼任する Chu 教授によると、「3D 画像の各ピクセルをつなぎ合わせるのとは簡単なことではありません。最終的な画像は、どの角度から見ても、どの奥行きから見てもシームレスでなければならないからです。実空間で 3D 画像を直接つなぎ合わせることは不可能なのです」という。

この課題解決に向け、研究者たちは角度をつけてタイル状にした 3D 画像用の粗い集積ホログラフィックディスプレイをベースに、ホロブリック・ユニットを開発したが、これは 7 年ほど前に CAPE がディズニー・リサーチと共同で開発したコンセプトだ。

各ホロブリックでは、情報伝達に高情報帯域幅空間光変調器と粗面集積光学系が組み合わせて使用され、大型ディスプレイ領域と視界を有する角度のついたタイル状の 3D ホログラムを形成する。

ホログラフィックフリッジの型は、ホロブリックの面全体に行き渡るように慎重に光学設計されている。これにより、複数のホロブリックスをシームレスに積層し、広範な視野角と大型で拡張可能な空間タイル状ホログラフィック画像の 3D ディスプレイ構築が可能となった。

今回、研究者たちが開発した PoC は、2 つのホロブリックスをシームレスに積み重ね

たもの。各フルカラーのレンガ(brick)は視野角 40°、毎秒 24 フレームの 1024x768 ピクセルで、タイル状ホログラムをディスプレイして 3D 画像全体を再現する。

Chu 教授は、「ホログラフィック 3D ウォールのような広視野角の超大型 3D ディスプレイを作るには、まだ多くの課題が残されています」と指摘したうえで、「私たちは、この研究が空間光変調器の現在の限られたディスプレイ容量に基づいて、この問題に取り組むための有望な方法を提供できることを期待しています」との見方を示した。

参考文献

Jin Li; Quinn Smithwick; Daping Chu 共著 '[Holobricks: Modular Coarse Integral Holographic Displays](#)'. 『Light: Science & Applications』誌 (2022 年) DOI: 10.1038/s41377-022-00752-7

翻訳 : NEDO (担当 技術戦略研究センター)

出典 : 本資料は、英ケンブリッジ大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Stackable ‘holobricks’ can make giant 3D images”

(<https://www.cam.ac.uk/research/news/stackable-holobricks-can-make-giant-3d-images>)

(Reprinted with permission of Cambridge University)

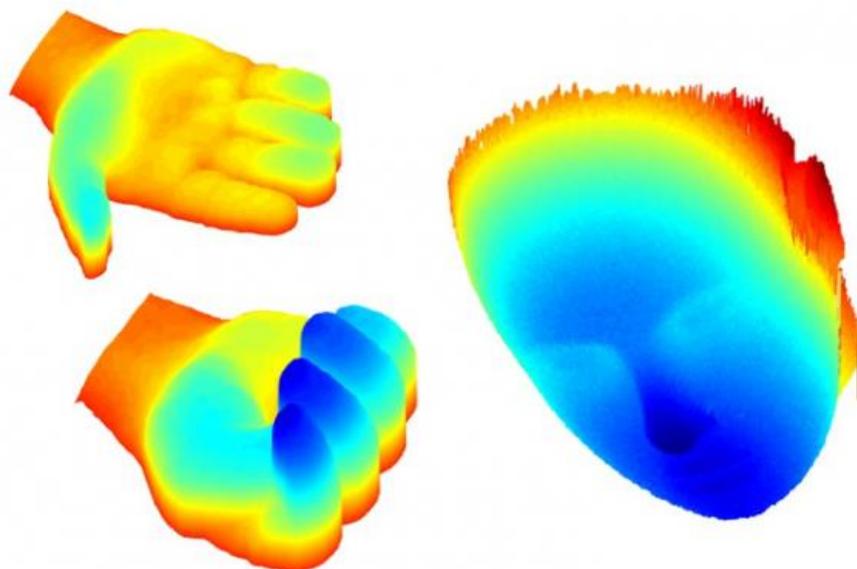
【電子・情報通信分野】

仮訳

ロボットや車の視覚情報処理能力を OCT 技術で向上(米国)

何十年にもわたる眼球イメージング技術からの教訓を
未来の自律システムセンサー技術に応用

2022年3月29日



デューク大学、LiDAR の新アプローチには人間の顔面などの特徴をミリメートル単位で把握できる感度があることを実証

ロボットの眼球には網膜がないが、ロボットがより自然かつ安全に外部の世界を見たり対話したりするための鍵は、眼科医のクリニックで一般的な光干渉断層計 (OCT) にあるのかもしれない。

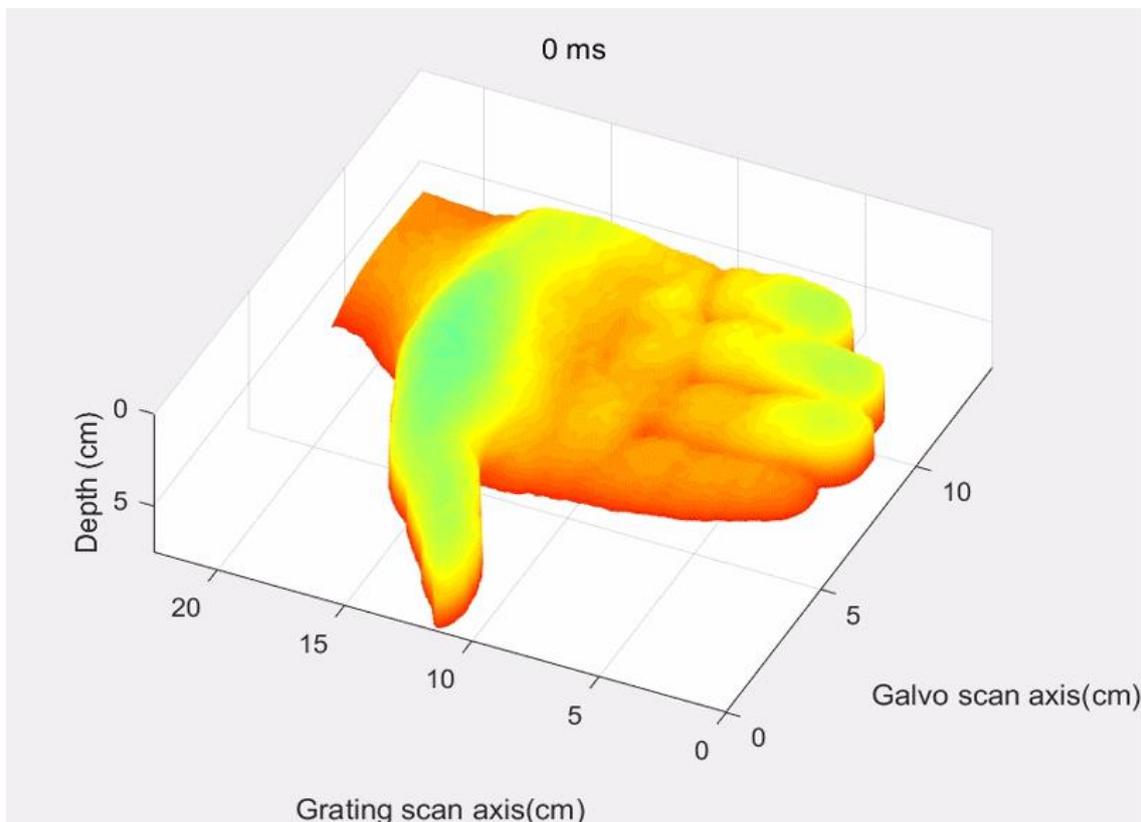
ロボットメーカーの大半のセンサーパッケージに組み込まれている画像技術のひとつが Light Detection and Ranging (LiDAR) だ。現在、自動運転車の開発者らが注視し、投資を行っている同技術は、基本的な機能はレーダーと同様だが、広域の電波を

発信して反射を探索する代わりにレーザーからの短い光パルスを使用する。

しかしながら、従来の ToF (Time of Flight) LiDAR には多数の欠点があったため、使用できる 3D ビジョンアプリケーションが限られていた。また、非常に微弱な反射光のシグナルを検出する必要があったが、他の LiDAR システム、あるいは周囲の太陽光でさえも簡単に検出器をオーバーライドしてしまっていた。さらに、深部での解像度が低いため、高速道路や工場のフロアなど広範囲なエリアを高密度にスキャンするには危険なほどの長時間を要することもあった。これらの課題に対処するために、研究者たちは、周波数連続変調 (frequency-modulated continuous wave : FMCW) LiDAR と呼ばれる LiDAR の一種に着目しているのだ。

デューク大学の [Joseph Izatt 教授](#) の研究室で勤務する博士課程の学生 Ruobing Qian 氏は、「FMCW LiDAR は、生体医工学の分野で 1990 年代初頭から開発されてきた OCT と同じ動作原理を共有しています」としたうえで、「しかし、30 年前は、自律走行車やロボットが登場するとは誰も想像しなかったので、この技術は組織イメージングに焦点を当てたものでした。今、この技術をこれら他の新興分野に役立てるためには、私たちは、その極めて高い解像度能力を、より一層の長距離と高速度と引き換えにする必要があるのです」との見解を示した。同氏が師事する Izatt 教授は、同大学 Biomedical Engineering において the Michael J. Fitzpatrick Distinguished Professor の肩書きを持つ。

Nature Communications 誌に 3 月 29 日に掲載された論文では、デューク大学の研究チームが OCT 研究から習得した技術が、サブミリメートル深度精度を達成しつつ、以前の FMCW LiDAR データ処理能力を 25 倍も改善できることを実証している。



OCT は超音波の光学的アナログであり、対象物に向けて発射した音波が戻ってくるまでの所用時間を測定することで機能する。OCT 装置は、同じ距離を移動し他の物体との相互作用がない同一の光波と比較して、その位相がどれだけシフトしたかを測定して光波が戻ってくる時間を計測する。

FMCW LiDAR は、これと同様の手法を取ってはいるものの、微調整をいくつか加えている。同技術では、異なる周波数間で連続的にシフトするレーザー光線を発信。検出器が光線を集めて反射時間を測定すると、特定の周波数パターンと他の光源とを区別することができ、あらゆる照射条件下で高速に動作するようになる。その結果、現在の LiDAR システムよりもはるかに正確に距離を測定することができるのだ。

Izatt 教授は、「私たちが何十年も取り組んできた生物細胞規模の画像技術が、大規模でリアルタイムの 3D 映像に直接応用できることを目の当たりにするのは、非常にエキサイティングなことです」と述べ、「これらはまさに、ロボットが人間を視覚でとらえて安全に交流するために必要な能力であり、さらには拡張現実においてライブ 3D 映像でアバターを置き換えることさえも可能なのです」との見方を示した。

LiDAR を使ったこれまでの研究の大半は、風景上で回転ミラーを使ってレーザーを走査していた。同手法はうまく機能するものの、どれほど強力なレーザーを使用しても、基本的にはメカニカルミラーの速度によって制限されていた。

私たちを取り巻く世界は 3D です。ですから私たちがロボットをはじめ、他の自動化システムとの自然かつ安全な交流を望む場合には、両者が同じように互いを見ることができなければならないのです

JOSEPH IZATT

デューク大学の研究者たちは、その代わりに回折格子をプリズムのように使用し、レーザーを虹色の周波数に分解し、光源から遠ざかるにつれて拡散させているのだ。同回折格子はプリズムのように機能し、レーザーを虹色の周波数に分解して光源から遠ざかるにつれて拡大していく。元のレーザーは依然、ひとつの周波数の範囲をすばやく通過するため、LiDAR 光線をメカニカルミラーが回転するよりもはるかに速く掃引することになる。これにより、深度や位置の精度を落とすことなく、広範囲を素早く網羅することができる。

OCT は物体の深さ数ミリまでの微細な構造を解析するのに使用されるが、ロボットの 3D ビジョンシステムで必要なのは、人体サイズの物体の表面を特定することだけだ。これを達成するために、研究者らは OCT で使用される周波数の範囲を狭め、物体の表面から発生するピーク信号のみを探索することにした。その結果、従来の LiDAR に比べ、解像度は少し落ちるものの撮像範囲とスピードは格段に向上した。

その結果、FMCW LiDAR システムは、サブミリメートルの位置精度を達成し、データ処理能力はこれまでの実証実験の 25 倍となり、首をかしげたり、手を握ったりする人体の詳細な動作をリアルタイムに捉えることができる高速性と精度を実証した。

Izatt 教授は、「電子カメラがユビキタスになったのと同様に、私たちの展望は、あらゆる製品に 3D ビジョン搭載を可能にするに足る高速で高性能な新世代 LiDAR ベースの 3D カメラを開発することです」としたうえで、「私たちを取り巻く世界は 3D です。ですから私たちがロボットをはじめ、他の自動化システムとの自然かつ安全な交流を望む場合には、両者が同じように互いを見ることができなければならないのです」との見解を示した。

本研究は、米国立衛生研究所 (EY028079)、米国立科学財団、(CBET-1902904)、国

防総省 CDMRP (W81XWH-16-1-0498) が支援した。

引用 : "Video-Rate High-Precision Time-Frequency Multiplexed 3D Coherent Ranging " Ruobing Qian, Kevin C. Zhou, Jingkai Zhang, Christian Viehland, Al-Hafeez Dhalla & Joseph A. Izatt. *Nature Communications* 誌、2022 年 3 月 18 日。
DOI: 10.1038/s41467-022-29177-9

翻訳 : NEDO (担当 技術戦略研究センター)

出典 : 本資料は、米デューク大学の以下の記事を翻訳したものである。
How Eye Imaging Technology Could Help Robots and Cars See Better
(<https://pratt.duke.edu/about/news/oct-for-robots>)
(Reprinted with permission of Duke University)

【新エネルギー分野(太陽光発電)】

仮訳

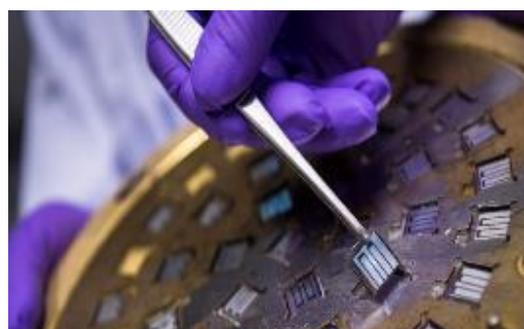
高効率で安定したペロブスカイト太陽電池戦略を展開(中国)

2022年4月22日

香港城市大学 (City University of Hong Kong : CityU) とインペリアル・カレッジ・ロンドン (Imperial College) の化学者らが共同で率いる研究チームが、高効率で安定した新型ペロブスカイト太陽電池を開発した。この画期的な発明により、ペロブスカイト太陽電池の実用化が大幅に加速し、シリコン太陽電池の代替品としての提供が期待される。

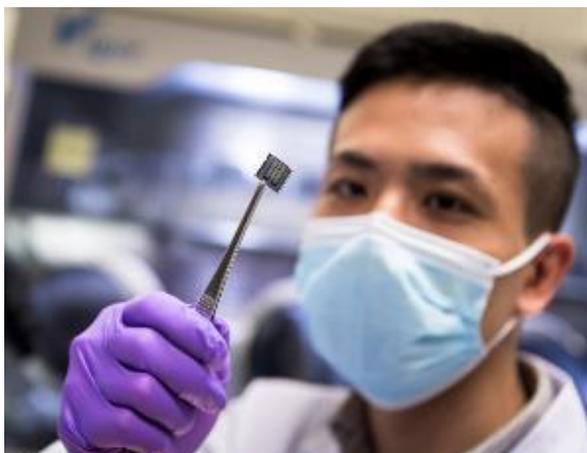
従来の太陽電池はシリコン製で、電力変換効率が高く安定性に優れているが、総体的に高価であることから、実用的・経済的な光起電性効率の限界に達しつつある。このためペロブスカイトがシリコンに代わる太陽電池の材料として有力視されている。ペロブスカイト太陽電池は、低コストかつ製造温度が低く、軽量で柔軟性があるとして期待が寄せられている。また、プラスチックフィルムに印刷して柔軟性のある太陽電池として使用したり、窓ガラスのコーティングとして太陽光を吸収させたりするなど、用途も幅広い。

多様なペロブスカイト太陽電池の中でも、一連の逆型仕様のもものは安定性が極めて高いことから市販のシリコン太陽電池に匹敵する寿命が期待されている。しかし、ペロブスカイト型材料には化学反応性成分が含まれているため、高温多湿の環境下では容易に揮発・劣化が進むため、太陽電池の作動寿命が短縮されてしまう。また、逆型ペロブスカイト太陽電池の安定性を維持したまま、シリコン太陽電池に匹敵する 25%まで効率を向上させる戦略は、まだ確立されていない。



Zhu Zonglong 博士 (CityU) のチームは Nicholas Long 教授 (Imperial College) と共同で、ペロブスカイト太陽電池に光吸収層と電子輸送層の界面としてフェロセンを独創的に添加、画期的な成果をあげた

(写真提供: 香港城市大学 (CityU))



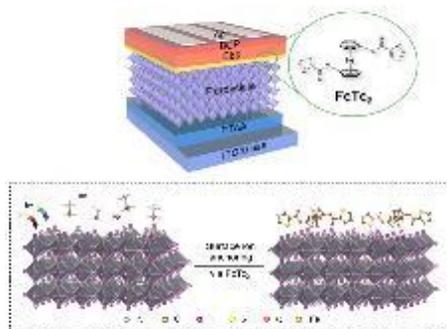
CityU 化学学部助教授 Zhu Zonglong 博士研究チーム
の博士課程学生 Li Zhen 氏
(写真提供：香港城市大学 (CityU))

フェロセン (Ferrocenes) と呼ばれる金属を含有した材料のユニークな性質にヒントを得て、CityU 化学学部の助教授である Zhu Zonglong 博士は、新たなアプローチでこれら一連の障害を克服した。同教授チームは、Imperial College の Nicholas Long 教授と共同で、フェロセンを光吸収層と電子輸送層の界面としてペロブスカイト太陽電池に添加するという独創的な方法を開発し、画期的な成果をあげた。Zhu 博士は「私たちは、逆型ペロブスカイト太陽電池の効率を過去最高となる 25%にまで高め、国際電気標準会議 (IEC) が定めた安定性テストに合格した最初のチームです」と述べた。

諸研究成果は、権威ある科学雑誌『Science』誌に "Organometallic-functionalized interfaces for highly efficient inverted perovskite solar cells" というタイトルで発表された。

有機金属化学の専門家である Long 教授は、「フェロセンのユニークな特性は、ペロブスカイト太陽電池の問題点を克服するのに役立ちます」と指摘。フェロセンは、2 つの平面的な炭素環の間に鉄原子が「挟まれた」化合物である。Zhu 博士のチームは、Long 教授のチームが開発した炭素環に、異なる有機基を結合させたフェロセンを採用した。Zhu 博士は、「これらの有機基により、ペロブスカイト表面の反応性が低下し、効率と安定性の双方が向上します」と説明する。

ペロブスカイト太陽電池は、何層もの材料で構成されている。ペロブスカイト層は採光に使用される。フェロセン分子は、ペロブスカイト活性層から電気変換層の電極への電子移動を促進して効率を向上させる。



上:フェロセン系金属化合物 (FcTc2) の分子構造と、ペロブスカイト型太陽電池への応用

下:フェロセン系金属化合物の作用機構 フェロセン系金属化合物の作用メカニズム

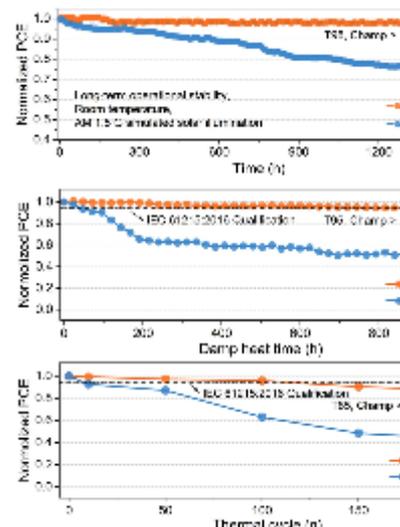
(出典: <https://doi.org/10.1126/science.abo0039>)

実験では、CityU チームは、この新たに発明された太陽電池が 1,500 時間超の連続照明下での作動でも初期効率の 98%以上を維持できることを発見。また、高温多湿の環境下（摂氏 85 度、湿度 85%）でも優れた安定性を示し、熟考された太陽光発電の国際規格をクリアした。

Zhu 博士は、「今回の研究で最も重要なことは、高効率のペロブスカイト太陽電池を製造し、かつ有望な安定性を実現できたことです。この信頼性の高い結果は、近い将来、ペロブスカイトが商業化されるということを意味しています」と指摘した。

同共同研究チームは、これら一連の設計の特許を取得。Zhu 博士は、「私たちは、この新たな分子と簡便な方法を用いてペロブスカイト太陽電池の生産を拡大し、世界的な持続可能性目標である『ゼロカーボン』に貢献することを目指しています」との展望を示した。

同有機基のもうひとつの利点は、Zhu 博士によると、「共同研究チームが設計したフェロセン・ベースの有機金属化合物が、強固な化学結合を介してペロブスカイト表面にイオンをしっかりと固定し、太陽電池の外部環境に対する感度を下げ、素子の劣化プロセスを遅らせることです」という。



フェロセン系金属化合物を使用のデバイス (FcTc2) と不使用のデバイス (Control) の安定性能の比較。長期動作安定性(上)、湿熱安定性(中)、熱サイクル安定性(下)

(出典: <https://doi.org/10.1126/science.abo0039>)

論文の責任著者はZhu博士とLong教授。
筆頭著者は、同学部化学科博士課程学生
Li ZhenとWu Xin両氏、およびDr Li Bo
博士研究員。その他のチームメンバー
は、化学学部のZhang Shoufeng博士と
Gao Danpeng氏。

本研究は、CityU, Innovation and
Technology Fund, Research Grants
Council of Hong Kong および Natural
Science Foundation of Guangdong
Province が支援した。



香港城市大学化学学部助教授のZhu Zonglong博士(中央)と研究チームのメンバー、同学科の博士課程学生Li Zhen(左)、Wu Xin(右)両氏
(写真提供:香港城市大学(CityU))

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、中国・香港城市大学（City University of Hong Kong：CityU）の以下の記事を翻訳したものである。

CityU chemists develop a strategy for highly efficient and stable perovskite solar cells

(<https://www.cityu.edu.hk/research/stories/2022/04/22/cityu-chemists-develop-strategy-highly-efficient-and-stable-perovskite-solar-cells>)

(Reprinted with permission of City University of Hong Kong)

【バイオテクノロジー分野】

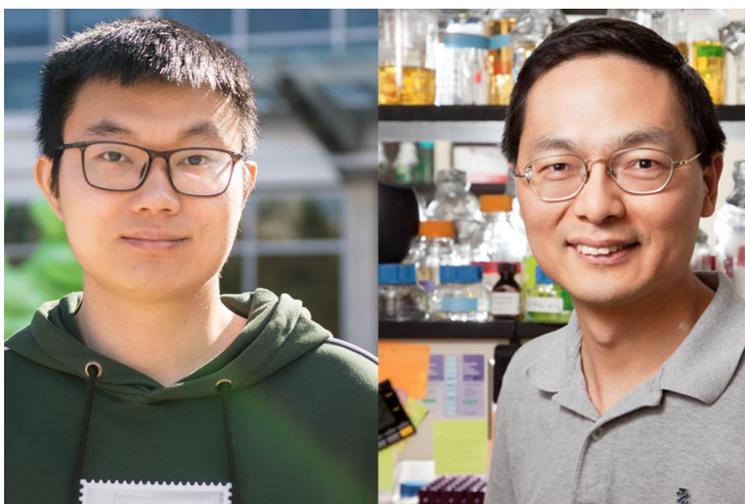
仮訳

自然界にはない酵素を作る効果的な手法を開発(米国)

2022年5月2日

自然界には存在しない反応を行う酵素を操作することで、植物由来のオイルを有用なバイオ化学品に改良するなど、合成化学の世界における長年の課題が解決できる。

ある研究チームが、新たな反応性を有する酵素を生成するためのシンプルながらもパワフルな手法を開発したことで、有用な化学物質生産が可能となった。同手法は、光を用いて自然界に存在する酵素を再利用するという従来の研究をベースとしたものだ。



Xiaoqiang Huang(左)と Huimin Zhao 両氏 (写真提供 : CABBI)

[Nature Catalysis](#) 誌に掲載された同研究は、米イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の化学・生体分子工学科 (ChBE) と米エネルギー省出資のバイオエネルギー研究センターである Center for Advanced Bioenergy and Bioproducts Innovation (CABBI) の Xiaoqiang Huang 元ポスドク研究員が主導。現在、中国・南京大学の助教授である同氏が研究を実施した場所は、CABBI の Conversion Theme Leader であるカール・R・ウーズ・ゲノム生物学研究所 (IGB) 所属の Huimin Zhao・ChBE 教授の研究室だった。

同研究では、可視光を利用して人工のケトレダクターゼ酵素を励起することで、「非対称ラジカル共役付加」という自然界には存在しなかった新たな生体触媒反応が可能と

なったが、これは化学触媒では達成が極めて困難とされる。

触媒とは、化学反応を加速させるための諸物質である。生体内においては、酵素と呼ばれるタンパク質分子が「生体触媒反応」というプロセスにより反応を触媒している。科学者らは、貴重な化合物を合成するために生体触媒の利用を始めている。その高い選択性により、酵素を配置して特定の基質に作用させ、目的生成物の生産が可能だからだ。もうひとつの利点は、酵素反応の持続可能性が高い点にある。通常において有機溶媒や熱、さらに高圧を必要とする化学触媒とは対照的に、酵素反応は比較的安価でエネルギー消費量も少なく、環境へのダメージも少ないことが挙げられる。

とはいえ、酵素の扱いは複雑だ。酵素は通常、自然界に存在する反応の触媒に限定されるため、科学者らは往々にして、自分たちのニーズを満たす完璧な生体触媒の検出に苦心する。Zhao 教授の研究室では、新たな酵素の反応性を生成するために、可視光で生体触媒を操作する「光生物触媒」と呼ばれるプロセスに着目してきた。Zhao、Huang 両氏は以前の研究で、エネレダクターゼ (ER) という酵素を生体触媒として用いた可視光誘起反応を開発し、高収率でのキラルカルボニル化合物の生産に成功したが、これは高価な化学物質の生産に応用可能とされる。

今回の新研究では、同研究をさらに発展させて、細菌が生産するニコタミド依存性ケトレダクターゼという別の酵素ファミリーと別の化学機構に光触媒を作用させ、 α -キラルエステルとして知られる別タイプのキラルカルボニル化合物の生産に成功した。Zhao 教授によると、研究チームは、ケトレダクターゼの光照射と進化を通じて、エナンチオ選択性の生体触媒であるギース型ラジカル共役付加反応を実現し、脂肪酸を α -キラルエステルに変換したという。

エナンチオ選択性とは、化学反応において、あるエナンチオマー（互いに鏡像である一対の分子のうちの一つ）が優先的に生成される度合いのことである。キラリティーは有機化合物の基本的な特徴であり、分子の性質に大きく影響し、その密接な関係は生物学、医学、材料科学など多岐にわたる分野で非常に大きい。例えば、有機分子の多様な立体化学（原子の空間的配置と化学反応への影響）は、生物界の豊かさを著しく高めるだけでなく、分子コミュニケーションなど多くの生命活動に深い役割を果たすという。

今回の発見は、石油の代替品としてススキやソルガム、エネルギー用キビなどの作物からバイオ燃料やバイオ化学製品を開発するという CABBI の活動に実用的な応用をもたらすものである。新たな生体触媒変換では、CABBI がこれらの植物から生成してい

る脂肪酸を出発原料として、石鹼やスキンケア製品の成分など付加価値の高いバイオ製品を環境に優しい方法で合成できる。

同教授は、「私たちは特定の製品への応用を目指したわけではありませんが、この研究は、脂肪酸のアップグレードに応用できる可能性のある実用的な新手法を提供するものです。酵素は再生可能なバイオマスから燃料や化学物質を生物学的に合成するための主力物質です」としたうえで、「CABBI の変換研究、あるいは一般的なバイオエネルギー研究において、重要な科学的変化のひとつは、目的の燃料や化学物質を合成するための望ましい活性と基質特異性を有する既知の酵素が存在しないことです。したがって、所望の活性や反応性を有する酵素を発見、あるいは操作する新たな手法の開発が急務となっています」との見解を示した。

本研究の共著者には、ChBE の Guangde Jiang ・ CABBI 博士研究員、ChBE および IGB の博士号候補者である CABBI の Wesley Harrison 氏、中国・厦門大学の Jianqiang Feng、Binju Wang 両氏、中国・上海有機化学研究所の Jiawen Cui、Xin Zang、Jiahai Zhou 各氏が含まれている。Zhou 氏は、中国 Chinese Academy of Sciences Shenzhen Institute of Advanced Technology にも所属している。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、Center for Advanced Bioenergy and Bioproducts Innovation (CABBI)の以下の記事を翻訳したものである。

Researchers Develop Powerful Strategy for Creating New-to-Nature Enzymes (<https://cabbi.bio/researchers-develop-powerful-strategy-for-creating-new-to-nature-enzymes/>)

(Reprinted with permission of Author Julie Wurth, CABBI Communications Specialist)

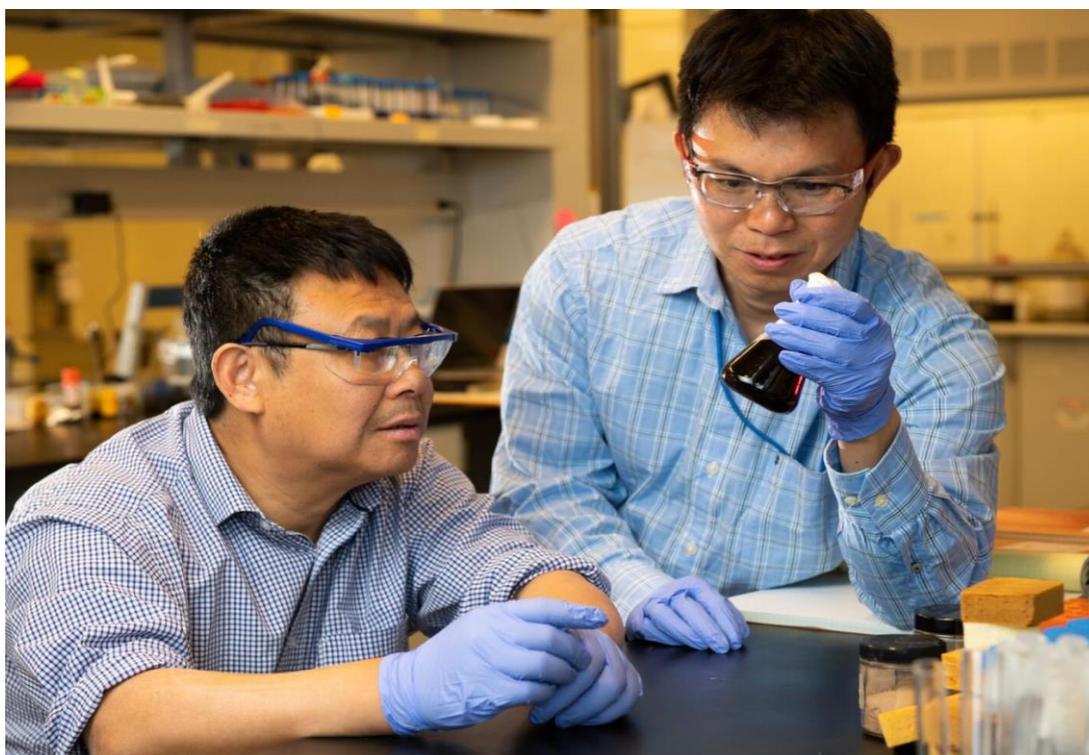
【バイオテクノロジー分野】

仮訳

強靱な木質リグニンを分解する新しい人工酵素(米国)

新・再生可能エネルギーソース開発に期待の研究成果

2022年5月31日



米ワシントン州リッチランド — ある新たな人工酵素に、木本(もくほん)植物がその形状を保持する一助となるリグニンを分解する能力が備わっていることが明らかとなった。リグニンはまた、再生可能エネルギー、あるいは諸原料としても途方もない可能性を秘めている丈夫なポリマーでもある。

『[Nature Communications](#)』誌に掲載された論文によると、米ワシントン州立大学(WSU)と米エネルギー省[パシフィック・ノースウェスト国立研究所](#)の研究チームが、同チーム開発の人工酵素によるリグニンの分解に成功したことを明らかにしたという。リグニンはこれまで、経済的に有用なエネルギー源として開発しようとする試みに頑

強に抵抗してきたとされる。

リグニンは、地球上で 2 番目に豊富な再生可能な炭素源であるが、その大半が燃料源として廃棄されている。木を燃やして調理した場合には、リグニンの副産物は食物に燻製に似た風味を添える役目を果たすが、リグニンを燃やした場合には、大気中に炭素が放出されるため、他の用途への利用ができないためだ。

同論文の共著者で、WSU の [Gene and Linda Voiland School of Chemical Engineering and Bioengineering](#) の准教授である Xiao Zhang 氏は、「私たちの(開発した)生物模倣酵素は本物のリグニンを分解できることを示していますが、それは画期的なことだともみなされています」としている。PNNL にも籍を置く同教授はさらに、「私たちは、新たな触媒を開発することで、生物学的・化学的触媒の限界に対処する機会があると考えているのです」との見方を示した。

リグニンは、あらゆる維管束植物に存在して細胞壁を形成し、植物に剛性を与えている。リグニンにより木は直立し、野菜は硬度を増す。木材の重量の約 20~35% を占めるリグニンだが、空気に触れると黄色く変色するため、木材業界では上質紙を作る際には除去されている。除去されたリグニンは、燃料や電気の生成のために非効率的に焼却されることも往々にしてある。



ガラス瓶に入った精製リグニン

木質リグニンを効率的に分解し、有用な物質に変えることができれば、再生可能なバイオ燃料として期待できる
(写真: Andrea Starr | パシフィック・ノースウェスト国立研究所)

化学者たちは 1 世紀以上にわたって、リグニンから有用な製品を製作しようと試みては失敗してきた。その挫折の実績が、今まさに変わろうとしている。

自然に勝るもの

パシフィック・ノースウェスト国立研究所の研究者であり、ワシントン大学の化学工学・化学の准教授である Chun-Long Chen 氏はさらに、「これは自然に類似した初めての酵素で、リグニンを効率的に消化して、バイオ燃料や化学品製造に利用できる化合物を生産することができます」と指摘する。

自然界では、菌類や細菌が自らに内在する酵素でリグニンを分解できる。森の中で一面をキノコに覆われた丸太が分解されるのはこの作用によるものだ。酵素は、高熱を必要とし、かつ生産量よりも多量のエネルギーを消費する化学分解に比べ、はるかに環境に優しいプロセスを提供する。



原木に発生した白色腐朽菌

自然界では、丸太に生える白色腐朽菌がリグニンを分解し、土壌生物に再利用させることができる。研究者たちは、この反応を加速させ、あまり利用されていないバイオマスエネルギー源を利用しようとしている（写真:Lost River Photo | Shutterstock.com）

しかし、天然の酵素は時間とともに劣化してしまうため、工業的なプロセスで使用するのには難しく、しかも高価だ。

Zhang 准教授は、「実用に耐え得る量の酵素を微生物から生産するのは実に大変なことなのです」としたうえで、「一度分離すると非常に壊れやすく不安定です。しかし、この酵素は、その基本設計を模倣したモデルを創り出す絶好の機会なのです」との見方を示した。

研究者らは、天然酵素を自分達のために利用することはできなかったが、数十年にわたり酵素の働きについて多くのことを学んできた。[Zhang 准教授の研究チームが最近発表した論説では、リグニン分解酵素の応用に向けた課題や障壁が概説されている。](#)同准教授はさらに、「これらの障壁を理解することで、生体模倣酵素のデザインに向けた新たな洞察が得られるでしょう」と指摘した。

ペプトイドの足場がカギ

現行の研究では、天然酵素の活性部位を取り囲むペプチドを、ペプトイドとよばれるタンパク質に似た分子に置き換えた。すると、同ペプトイドはナノスケールの結晶性のチューブやシートに自己組織化した。ペプトイドは、タンパク質の機能を模倣するために1990年代に初めて開発された。[高い安定性などユニークな特徴を複数有しており、科学者らは、これらを利用して天然酵素の欠点に対処することが可能だ。](#)この場合、ペプトイドは天然酵素では得られない高密度の活性部位を提供する。

Chen 准教授は、「私たちは、これらの活性部位を正確に組織化し、触媒活性のためにその局所環境を調整することができます」としたうえで、「さらに、単一の活性部位ではなく、はるかに高密度の活性部位を複数有しています」と説明する。

予想通り、これら一連の人工酵素は天然物よりもはるかに安定して堅牢であるため、天然酵素が破壊される摂氏 60 度までで作用できるのだ。

同准教授は、「この研究は、実際に新たな可能性を切り開くものです」として、「これは、環境に優しい方法でリグニンを有用な製品に変えられるようにするための有意義な前進です」との見方を示した。

この新たな生体模倣型酵素をさらに改良して変換収率を高め、より選択性の高い製品を生み出すことができれば、工業規模にスケールアップできる可能性がある。本技術は、[再生可能な材料への新たな道を開くもので、航空用バイオ燃料](#)やバイオベース材

料などの用途にとりわけ特化している。

本共同研究は、[WSU-PNNL Bioproducts Institute](#) が推進。PNNL の Tengyue Jian、Wenchao Yang、Peng Mu、Xin Zhang 各氏、WSU の Yicheng Zhou、Peipei Wang 両氏も本研究に貢献した。

本研究は、米ワシントン州の [Joint Center for Aerospace Technology and Innovation](#) (航空宇宙産業における革新的技術を開発するための産学共同研究支援プログラム)、および在ワシントン大学エネルギーフロンティア研究センター Center for the Synthesis Across Scales の一部としてエネルギー省科学局基礎エネルギー科学室が資金提供を行った。さらに、米国立科学財団 (1454575) および米農務省国立食品・農業研究所 (2018-67009-27902) も追加支援を提供した。ペプトイド合成能力は、PNNL の研究所直轄の研究開発プログラムである Materials Synthesis and Simulation Across Scales Initiative が支援した。

翻訳：NEDO (担当 技術戦略研究センター)

出典：本資料は、米パシフィックノースウェスト 国立研究所 (PNNL)の以下の記事を翻訳したものである。

“New Artificial Enzyme Breaks Down Tough, Woody Lignin”

(<https://www.pnnl.gov/news-media/new-artificial-enzyme-breaks-down-tough-woody-lignin>)

【新エネルギー分野(燃料電池・水素)】

仮訳

大型トラックへの水素燃料の高速充填に向けて(米国)

NREL 機能拡張、HD 車向け高速流量水素燃料充填を実証

2022年6月8日



NREL の大型水素ステーションは水素貯蔵と燃料補給の研究での新天地を切り開くもの。

この類の施設では初となる(写真: Joe DelNero, NREL)

春の陽気の昼下がりにもかかわらず、米再生可能エネルギー研究所 (NREL) は興奮の熱気に包まれていた。所属研究者らが、重量 (HD) 車システムへの高速流量での水素燃料供給を見事に実証したからだ。これは2年間にわたる同機関の Innovating High Throughput Hydrogen Stations (IHS) プロジェクトにおける研究成果の集大成であり、[Advanced Research on Integrated Energy Systems](#) 環境の一環として、同機関の Energy Systems Integration Facility での最先端の諸機能を活用して実施された。

同成果は、米エネルギー省 (DOE) および業界が掲げる HD 燃料電池電気自動車 (FCEV) とインフラの HD 化目標に貢献するものであり、運輸業界の脱炭素化を促

進するものだ。NREL は、10 年以上にわたって軽量 FCEV の水素燃料補給方法に関する最先端研究を支援してきた。しかし、HD トラックと機械は、全く異なる規模の事業だ。

プロジェクトリーダーの Shaun Onorato 氏は、「このような世界初のシステムを設計・構築することは、技術的に大きな達成感があります。この研究は、水素 HD 燃料補給の特性を明らかにし、脱炭素交通の未来を形成する新たなプロトコルへの扉を開くものです」との見解を示した。

IHS プロジェクトは、エア・リキード、ホンダ、シェル、トヨタとの共同プロジェクトで、クラス 8 セミトラックや船舶、さらには鉄道、鉱山の用途を含む高速流量水素燃料供給システム開発における研究課題と技術ギャップに対処する。同プロジェクトは、DOE の水素・燃料電池技術室から一部資金提供を受け、複数の用途と経済部門にわたるクリーンな水素のための DOE の [H2@Scale](#) ビジョンを支援している。最終的な目標は、従来のディーゼル車の給油時間（約 10 分）に匹敵することだ。これは言い換えれば、最大 100kg の水素ガスを車内に貯蔵することを前提として、積極的に平均 10kg/分（ピーク 20kg/分）の水素ガス質量流量を達成することだが、現在、小型 FCEV で使用されている平均流量の約 10 倍とされる。

今年 4 月 26 日、IHS チームはこの質量流量の目標を上回る 40.3kg の水素を 2.87 分で HD 車と同量の水素貯蔵タンク 8 個に充填し、平均質量流量 14kg/min（ピーク時 21kg/min）を実証。この中間成果により、60～80kg の水素充填を 10 分以内に完了させるという最終目標への道程がつけられた。

より巨大な水素燃料装置の構築

全く新たな水素充填ステーション設計のために、研究者らがまず着目したのは NREL の [水素充填シミュレーション \(H2FillS\) モデル](#) だ。H2FillS は、高速で柔軟性があり、さらに無料で利用できる熱力学的モデルであり、水素ステーションから小型 FCEV への水素供給をシミュレートする。2021 年には、研究者らは 2FillS モデルに大幅な NREL アップグレードを施し HD の要



革新的な水素供給ステーションの建設にはコミットメントと調整が必須。新 HD ステーションの設計・実施には NREL の研究者らの大グループが関与(写真: Joe DelNero, NREL)

件および IHS プロジェクトに合致させる。最新リリースにおいては、同モデルの計算速度を最適化し、旧バージョンよりも 20~40 倍高速化させるとともに、圧力上昇率パラメータにも最適化を加えた。さらに、H2Fills においては現在、水素充填プロセス全体を調査して HD 車両に最適な燃料充填率を計算している。

研究者らは、新たな燃料供給プロトコルの開発に必要とされる車両の水素貯蔵タンク内の温度分布を把握するため、NREL のスーパーコンピュータ Eagle を使用して 3D 数値流体力学モデリングを行い、潜在的なホットスポットを特定し、混合特性を最適化した。同プロジェクトの期間中、チームは同数値流体力学モデリングによる完全充填および部分充填を数多く実施し、タンクサイズやインジェクター直径、インジェクター角度がガス混合に与える影響などの調査を実施。研究者らは、これら諸結果を実験的なテストと並行させてプロセスを継続的に検証し、HD アプリケーション向けに H2Fills をさらに強化した。

同統合プロセスにより、エネルギーシステム統合施設の水素インフラが拡張するとともに、大規模な機器の設置や評価のための新たな研究スペース構築につながった。これら一連のアップグレードには新コンクリートパッドが包括されているが、これらは適合性のために岩盤に固定されており、水素圧縮システムといった振動特性のある、より大規模な研究コンポーネントを有している。研究者らは、HD-FCEV とトラックとの互換性を確保するために 300 kg の高圧水素定置ストレージを追加し、新中高圧ガス管理パネルや HD 水素燃料供給装置、さらに新水素予冷システム、HD 車両保存シミュレーション装置を設計・製作した。

新 HD ステーションの機能

NREL の高流量水素充填のデモンストレーションは、高流量水素システムに関する研究拡大への門戸を開くものであり、(現在は存在しない) 燃料供給プロトコル、および安全性や規範、規格を包括している。NREL の HD ステーションは、研究者らが現在は市場で流通していない高流量ノズルや容器、ホース、ブレイクアウェイなどの HD 水素燃料供給用ハードウェアデバイスの安全性と信頼性を保証するために、管理されたサイトで評価することを可能にするもので、この種の類では初の施設である。今後の一連の共同研究では、新ステーションの機能を活用した HD-FCEV 用燃料補給インフラの開発支援が予定されている。

オノラート氏は、「私たちは、HD 燃料電池自動車の未来は明るいと考えています。特に新たなデューティーサイクルや長距離、迅速な給油が要求される複雑なロジスティ

ックスに直面している企業にとっては、です。この記念すべき節目は、水素燃料補給における最良実施例を開発・検証し、HD 燃料電池トラックの採用を支援するための新たな機会を意味しているのです」との見解を示した。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、National Renewable Energy Laboratory (NREL)の以下の記事を翻訳したものである。

“Fast Flow Future for Heavy-Duty Hydrogen Trucks”

(<https://www.nrel.gov/news/program/2022/fast-flow-future-heavy-duty-hydrogen-trucks.html>)

ホログラフィックディスプレイは、高品質な画像を再構成してリアルな立体視の実現を可能にする。現実世界と仮想世界をつなぎ、そこでの没入体験を得るための究極のディスプレイ技術として注目されているのだ。

本研究を率いたケンブリッジ大学工学部の **Daping Chu** 教授は、「現在の技術で十分な 3D 体験を提供することが大きな課題です」と指摘したうえで、「私たちは過去 10 年間、産業界のパートナーたちと連携して、大型サイズと広範なディスプレイ画面を同時に実現できるホログラフィックディスプレイを開発してきましたが、そのためには、大量の光学情報量を持つホログラムと一致させる必要がありました」との見解を示した。

しかしながら、現在のホログラム情報の情報量はディスプレイ容量をはるかに上回っている。空間光変調器と呼ばれる現在の光エンジンの空間帯域幅積が限られているためだ。

2D ディスプレイの場合、標準的な手法では、小型ディスプレイをタイル状に並べて 1 つの大型ディスプレイを製作する。ここで研究されているアプローチも同様だが、3D ディスプレイはこれまで存在していなかった。Centre for Advanced Photonics and Electronics (CAPE) のディレクターも兼任する Chu 教授によると、「3D 画像の各ピースをつなぎ合わせるのは簡単なことではありません。最終的な画像は、どの角度から見ても、どの奥行きから見てもシームレスでなければならないからです。実空間で 3D 画像を直接つなぎ合わせることは不可能なのです」という。

この課題解決に向け、研究者たちは角度をつけてタイル状にした 3D 画像用の粗い集積ホログラフィックディスプレイをベースに、ホロブリック・ユニットを開発したが、これは 7 年ほど前に CAPE がディズニー・リサーチと共同で開発したコンセプトだ。

各ホロブリックでは、情報伝達に高情報帯域幅空間光変調器と粗面集積光学系が組み合わせて使用され、大型ディスプレイ領域と視界を有する角度のついたタイル状の 3D ホログラムを形成する。

ホログラフィックフリッジの型は、ホロブリックの面全体に行き渡るように慎重に光学設計されている。これにより、複数のホロブリックスをシームレスに積層し、広範な視野角と大型で拡張可能な空間タイル状ホログラフィック画像の 3D ディスプレイ構築が可能となった。

今回、研究者たちが開発した PoC は、2 つのホロブリックスをシームレスに積み重ね

たもの。各フルカラーのレンガ(brick)は視野角 40°、毎秒 24 フレームの 1024x768 ピクセルで、タイル状ホログラムをディスプレイして 3D 画像全体を再現する。

Chu 教授は、「ホログラフィック 3D ウォールのような広視野角の超大型 3D ディスプレイを作るには、まだ多くの課題が残されています」と指摘したうえで、「私たちは、この研究が空間光変調器の現在の限られたディスプレイ容量に基づいて、この問題に取り組むための有望な方法を提供できることを期待しています」との見方を示した。

参考文献

Jin Li; Quinn Smithwick; Daping Chu 共著 '[Holobricks: Modular Coarse Integral Holographic Displays](#)'. 『Light: Science & Applications』誌 (2022 年) DOI: 10.1038/s41377-022-00752-7

翻訳 : NEDO (担当 技術戦略研究センター)

出典 : 本資料は、英ケンブリッジ大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Stackable ‘holobricks’ can make giant 3D images”

(<https://www.cam.ac.uk/research/news/stackable-holobricks-can-make-giant-3d-images>)

(Reprinted with permission of Cambridge University)

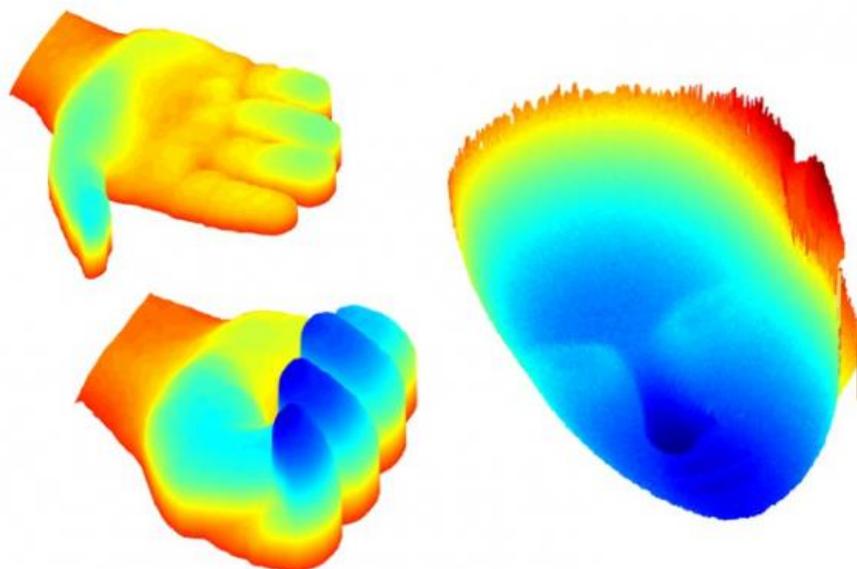
【電子・情報通信分野】

仮訳

ロボットや車の視覚情報処理能力を OCT 技術で向上(米国)

何十年にもわたる眼球イメージング技術からの教訓を
未来の自律システムセンサー技術に応用

2022年3月29日



デューク大学、LiDAR の新アプローチには人間の顔面などの特徴をミリメートル単位で把握できる感度があることを実証

ロボットの眼球には網膜がないが、ロボットがより自然かつ安全に外部の世界を見たり対話したりするための鍵は、眼科医のクリニックで一般的な光干渉断層計 (OCT) にあるのかもしれない。

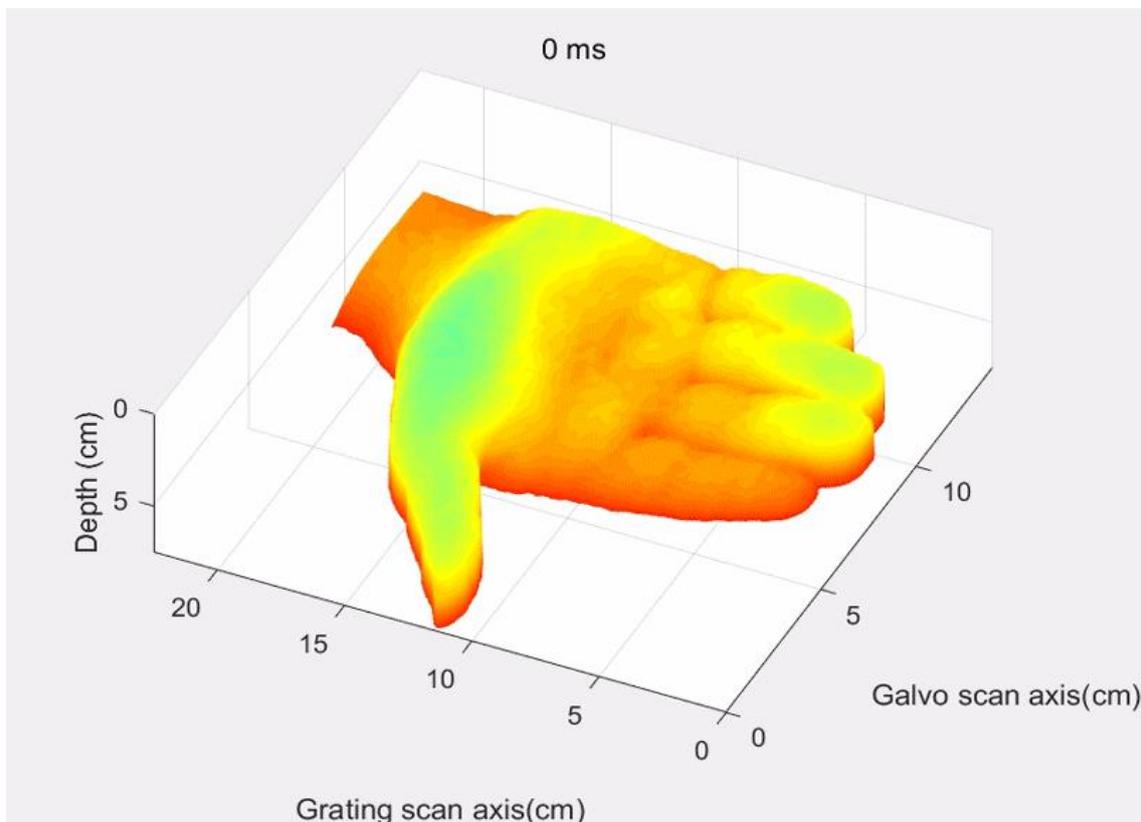
ロボットメーカーの大半のセンサーパッケージに組み込まれている画像技術のひとつが Light Detection and Ranging (LiDAR) だ。現在、自動運転車の開発者らが注視し、投資を行っている同技術は、基本的な機能はレーダーと同様だが、広域の電波を

発信して反射を探索する代わりにレーザーからの短い光パルスを使用する。

しかしながら、従来の ToF (Time of Flight) LiDAR には多数の欠点があったため、使用できる 3D ビジョンアプリケーションが限られていた。また、非常に微弱な反射光のシグナルを検出する必要があったが、他の LiDAR システム、あるいは周囲の太陽光でさえも簡単に検出器をオーバーライドしてしまっていた。さらに、深部での解像度が低いため、高速道路や工場のフロアなど広範囲なエリアを高密度にスキャンするには危険なほどの長時間を要することもあった。これらの課題に対処するために、研究者たちは、周波数連続変調 (frequency-modulated continuous wave : FMCW) LiDAR と呼ばれる LiDAR の一種に着目しているのだ。

デューク大学の [Joseph Izatt 教授](#) の研究室で勤務する博士課程の学生 Ruobing Qian 氏は、「FMCW LiDAR は、生体医工学の分野で 1990 年代初頭から開発されてきた OCT と同じ動作原理を共有しています」としたうえで、「しかし、30 年前は、自律走行車やロボットが登場するとは誰も想像しなかったので、この技術は組織イメージングに焦点を当てたものでした。今、この技術をこれら他の新興分野に役立てるためには、私たちは、その極めて高い解像度能力を、より一層の長距離と高速度と引き換えにする必要があるのです」との見解を示した。同氏が師事する Izatt 教授は、同大学 Biomedical Engineering において the Michael J. Fitzpatrick Distinguished Professor の肩書きを持つ。

Nature Communications 誌に 3 月 29 日に掲載された論文では、デューク大学の研究チームが OCT 研究から習得した技術が、サブミリメートル深度精度を達成しつつ、以前の FMCW LiDAR データ処理能力を 25 倍も改善できることを実証している。



OCT は超音波の光学的アナログであり、対象物に向けて発射した音波が戻ってくるまでの所用時間を測定することで機能する。OCT 装置は、同じ距離を移動し他の物体との相互作用がない同一の光波と比較して、その位相がどれだけシフトしたかを測定して光波が戻ってくる時間を計測する。

FMCW LiDAR は、これと同様の手法を取ってはいるものの、微調整をいくつか加えている。同技術では、異なる周波数間で連続的にシフトするレーザー光線を発信。検出器が光線を集めて反射時間を測定すると、特定の周波数パターンと他の光源とを区別することができ、あらゆる照射条件下で高速に動作するようになる。その結果、現在の LiDAR システムよりもはるかに正確に距離を測定することができるのだ。

Izatt 教授は、「私たちが何十年も取り組んできた生物細胞規模の画像技術が、大規模でリアルタイムの 3D 映像に直接応用できることを目の当たりにするのは、非常にエキサイティングなことです」と述べ、「これらはまさに、ロボットが人間を視覚でとらえて安全に交流するために必要な能力であり、さらには拡張現実においてライブ 3D 映像でアバターを置き換えることさえも可能なのです」との見方を示した。

LiDAR を使ったこれまでの研究の大半は、風景上で回転ミラーを使ってレーザーを走査していた。同手法はうまく機能するものの、どれほど強力なレーザーを使用しても、基本的にはメカニカルミラーの速度によって制限されていた。

私たちを取り巻く世界は 3D です。ですから私たちがロボットをはじめ、他の自動化システムとの自然かつ安全な交流を望む場合には、両者が同じように互いを見ることができなければならないのです

JOSEPH IZATT

デューク大学の研究者たちは、その代わりに回折格子をプリズムのように使用し、レーザーを虹色の周波数に分解し、光源から遠ざかるにつれて拡散させているのだ。同回折格子はプリズムのように機能し、レーザーを虹色の周波数に分解して光源から遠ざかるにつれて拡大していく。元のレーザーは依然、ひとつの周波数の範囲をすばやく通過するため、LiDAR 光線をメカニカルミラーが回転するよりもはるかに速く掃引することになる。これにより、深度や位置の精度を落とすことなく、広範囲を素早く網羅することができる。

OCT は物体の深さ数ミリまでの微細な構造を解析するのに使用されるが、ロボットの 3D ビジョンシステムで必要なのは、人体サイズの物体の表面を特定することだけだ。これを達成するために、研究者らは OCT で使用される周波数の範囲を狭め、物体の表面から発生するピーク信号のみを探索することにした。その結果、従来の LiDAR に比べ、解像度は少し落ちるものの撮像範囲とスピードは格段に向上した。

その結果、FMCW LiDAR システムは、サブミリメートルの位置精度を達成し、データ処理能力はこれまでの実証実験の 25 倍となり、首をかしげたり、手を握ったりする人体の詳細な動作をリアルタイムに捉えることができる高速性と精度を実証した。

Izatt 教授は、「電子カメラがユビキタスになったのと同様に、私たちの展望は、あらゆる製品に 3D ビジョン搭載を可能にするに足る高速で高性能な新世代 LiDAR ベースの 3D カメラを開発することです」としたうえで、「私たちを取り巻く世界は 3D です。ですから私たちがロボットをはじめ、他の自動化システムとの自然かつ安全な交流を望む場合には、両者が同じように互いを見ることができなければならないのです」との見解を示した。

本研究は、米国立衛生研究所 (EY028079)、米国立科学財団、(CBET-1902904)、国

防総省 CDMRP (W81XWH-16-1-0498) が支援した。

引用 : "Video-Rate High-Precision Time-Frequency Multiplexed 3D Coherent Ranging " Ruobing Qian, Kevin C. Zhou, Jingkai Zhang, Christian Viehland, Al-Hafeez Dhalla & Joseph A. Izatt. *Nature Communications* 誌、2022 年 3 月 18 日。
DOI: 10.1038/s41467-022-29177-9

翻訳 : NEDO (担当 技術戦略研究センター)

出典 : 本資料は、米デューク大学の以下の記事を翻訳したものである。
How Eye Imaging Technology Could Help Robots and Cars See Better
(<https://pratt.duke.edu/about/news/oct-for-robots>)
(Reprinted with permission of Duke University)

【新エネルギー分野(太陽光発電)】

仮訳

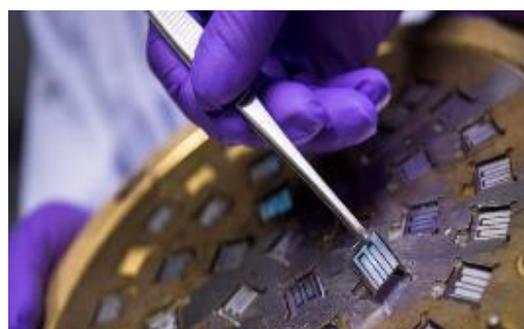
高効率で安定したペロブスカイト太陽電池戦略を展開(中国)

2022年4月22日

香港城市大学 (City University of Hong Kong : CityU) とインペリアル・カレッジ・ロンドン (Imperial College) の化学者らが共同で率いる研究チームが、高効率で安定した新型ペロブスカイト太陽電池を開発した。この画期的な発明により、ペロブスカイト太陽電池の実用化が大幅に加速し、シリコン太陽電池の代替品としての提供が期待される。

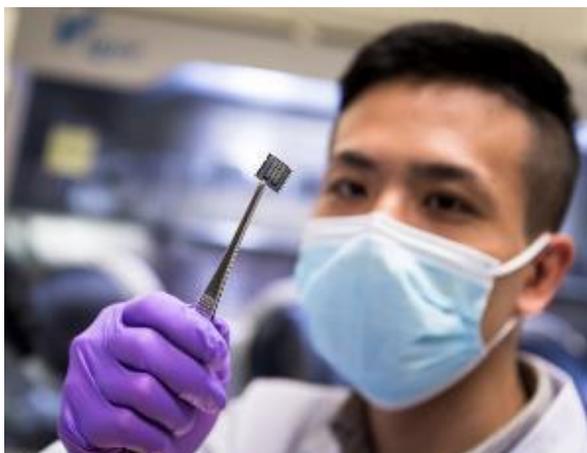
従来の太陽電池はシリコン製で、電力変換効率が高く安定性に優れているが、総体的に高価であることから、実用的・経済的な光起電性効率の限界に達しつつある。このためペロブスカイトがシリコンに代わる太陽電池の材料として有力視されている。ペロブスカイト太陽電池は、低コストかつ製造温度が低く、軽量で柔軟性があるとして期待が寄せられている。また、プラスチックフィルムに印刷して柔軟性のある太陽電池として使用したり、窓ガラスのコーティングとして太陽光を吸収させたりするなど、用途も幅広い。

多様なペロブスカイト太陽電池の中でも、一連の逆型仕様のもものは安定性が極めて高いことから市販のシリコン太陽電池に匹敵する寿命が期待されている。しかし、ペロブスカイト型材料には化学反応性成分が含まれているため、高温多湿の環境下では容易に揮発・劣化が進むため、太陽電池の作動寿命が短縮されてしまう。また、逆型ペロブスカイト太陽電池の安定性を維持したまま、シリコン太陽電池に匹敵する 25%まで効率を向上させる戦略は、まだ確立されていない。



Zhu Zonglong 博士 (CityU) のチームは Nicholas Long 教授 (Imperial College) と共同で、ペロブスカイト太陽電池に光吸収層と電子輸送層の界面としてフェロセンを独創的に添加、画期的な成果をあげた

(写真提供: 香港城市大学 (CityU))



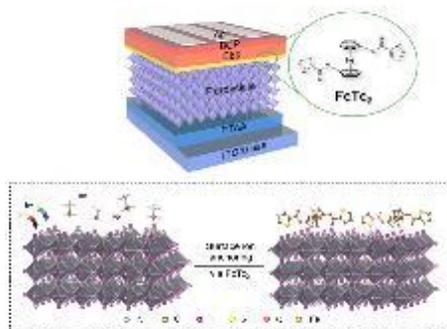
CityU 化学学部助教授 Zhu Zonglong 博士研究チーム
の博士課程学生 Li Zhen 氏
(写真提供：香港城市大学 (CityU))

フェロセン (Ferrocenes) と呼ばれる金属を含有した材料のユニークな性質にヒントを得て、CityU 化学学部の助教授である Zhu Zonglong 博士は、新しいアプローチでこれら一連の障害を克服した。同教授チームは、Imperial College の Nicholas Long 教授と共同で、フェロセンを光吸収層と電子輸送層の界面としてペロブスカイト太陽電池に添加するという独創的な方法を開発し、画期的な成果をあげた。Zhu 博士は「私たちは、逆型ペロブスカイト太陽電池の効率を過去最高となる 25%にまで高め、国際電気標準会議 (IEC) が定めた安定性テストに合格した最初のチームです」と述べた。

諸研究成果は、権威ある科学雑誌『Science』誌に "Organometallic-functionalized interfaces for highly efficient inverted perovskite solar cells" というタイトルで発表された。

有機金属化学の専門家である Long 教授は、「フェロセンのユニークな特性は、ペロブスカイト太陽電池の問題点を克服するのに役立ちます」と指摘。フェロセンは、2 つの平面的な炭素環の間に鉄原子が「挟まれた」化合物である。Zhu 博士のチームは、Long 教授のチームが開発した炭素環に、異なる有機基を結合させたフェロセンを採用した。Zhu 博士は、「これらの有機基により、ペロブスカイト表面の反応性が低下し、効率と安定性の双方が向上します」と説明する。

ペロブスカイト太陽電池は、何層もの材料で構成されている。ペロブスカイト層は採光に使用される。フェロセン分子は、ペロブスカイト活性層から電気変換層の電極への電子移動を促進して効率を向上させる。



上:フェロセン系金属化合物 (FcTc2) の分子構造と、ペロブスカイト型太陽電池への応用

下:フェロセン系金属化合物の作用機構 フェロセン系金属化合物の作用メカニズム

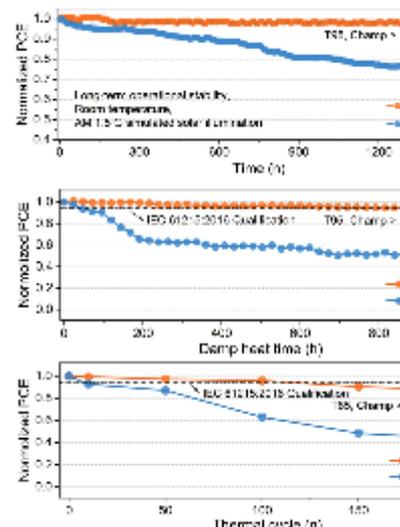
(出典: <https://doi.org/10.1126/science.abo0039>)

実験では、CityU チームは、この新たに発明された太陽電池が 1,500 時間超の連続照明下での作動でも初期効率の 98%以上を維持できることを発見。また、高温多湿の環境下（摂氏 85 度、湿度 85%）でも優れた安定性を示し、熟考された太陽光発電の国際規格をクリアした。

Zhu 博士は、「今回の研究で最も重要なことは、高効率のペロブスカイト太陽電池を製造し、かつ有望な安定性を実現できたことです。この信頼性の高い結果は、近い将来、ペロブスカイトが商業化されるということを意味しています」と指摘した。

同共同研究チームは、これら一連の設計の特許を取得。Zhu 博士は、「私たちは、この新たな分子と簡便な方法を用いてペロブスカイト太陽電池の生産を拡大し、世界的な持続可能性目標である『ゼロカーボン』に貢献することを目指しています」との展望を示した。

同有機基のもうひとつの利点は、Zhu 博士によると、「共同研究チームが設計したフェロセン・ベースの有機金属化合物が、強固な化学結合を介してペロブスカイト表面にイオンをしっかりと固定し、太陽電池の外部環境に対する感度を下げ、素子の劣化プロセスを遅らせることです」という。



フェロセン系金属化合物を使用のデバイス (FcTc2) と不使用のデバイス (Control) の安定性能の比較。長期動作安定性(上)、湿熱安定性(中)、熱サイクル安定性(下)

(出典: <https://doi.org/10.1126/science.abo0039>)

論文の責任著者はZhu博士とLong教授。
筆頭著者は、同学部化学科博士課程学生
Li Zhen と Wu Xin 両氏、および Dr Li Bo
博士研究員。その他のチームメンバー
は、化学学部の Zhang Shoufeng 博士と
Gao Danpeng 氏。



本研究は、CityU, Innovation and
Technology Fund , Research Grants
Council of Hong Kong および Natural
Science Foundation of Guangdong
Province が支援した。

香港城市大学化学学部助教授の Zhu Zonglong 博士(中央)と研究チームのメンバー、同学科の博士課程学生 Li Zhen(左)、Wu Xin(右)両氏
(写真提供:香港城市大学 (CityU))

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、中国・香港城市大学（City University of Hong Kong：CityU）の以下の記事を翻訳したものである。

CityU chemists develop a strategy for highly efficient and stable perovskite solar cells

(<https://www.cityu.edu.hk/research/stories/2022/04/22/cityu-chemists-develop-strategy-highly-efficient-and-stable-perovskite-solar-cells>)

(Reprinted with permission of City University of Hong Kong)

【バイオテクノロジー分野】

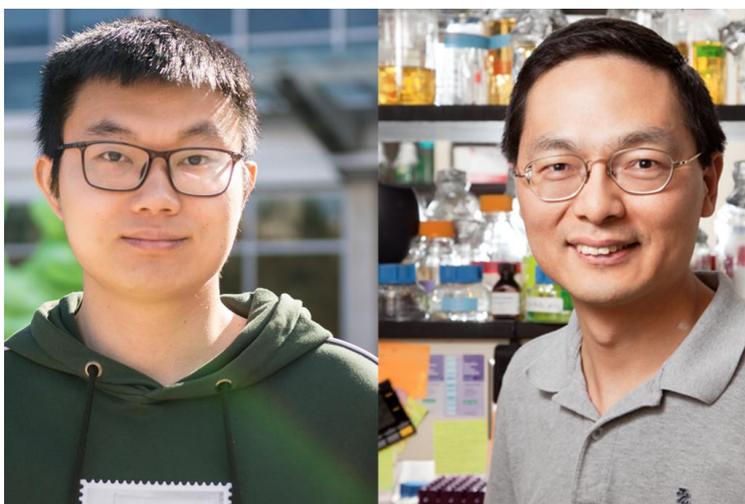
仮訳

自然界にはない酵素を作る効果的な手法を開発(米国)

2022年5月2日

自然界には存在しない反応を行う酵素を操作することで、植物由来のオイルを有用なバイオ化学品に改良するなど、合成化学の世界における長年の課題が解決できる。

ある研究チームが、新たな反応性を有する酵素を生成するためのシンプルながらもパワフルな手法を開発したことで、有用な化学物質生産が可能となった。同手法は、光を用いて自然界に存在する酵素を再利用するという従来の研究をベースとしたものだ。



Xiaoqiang Huang(左)と Huimin Zhao 両氏 (写真提供 : CABBI)

[Nature Catalysis](#) 誌に掲載された同研究は、米イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の化学・生体分子工学科 (ChBE) と米エネルギー省出資のバイオエネルギー研究センターである Center for Advanced Bioenergy and Bioproducts Innovation (CABBI) の Xiaoqiang Huang 元ポスドク研究員が主導。現在、中国・南京大学の助教授である同氏が研究を実施した場所は、CABBI の Conversion Theme Leader であるカール・R・ウーズ・ゲノム生物学研究所 (IGB) 所属の Huimin Zhao・ChBE 教授の研究室だった。

同研究では、可視光を利用して人工のケトレダクターゼ酵素を励起することで、「非対称ラジカル共役付加」という自然界には存在しなかった新たな生体触媒反応が可能と

なったが、これは化学触媒では達成が極めて困難とされる。

触媒とは、化学反応を加速させるための諸物質である。生体内においては、酵素と呼ばれるタンパク質分子が「生体触媒反応」というプロセスにより反応を触媒している。科学者らは、貴重な化合物を合成するために生体触媒の利用を始めている。その高い選択性により、酵素を配置して特定の基質に作用させ、目的生成物の生産が可能だからだ。もうひとつの利点は、酵素反応の持続可能性が高い点にある。通常において有機溶媒や熱、さらに高圧を必要とする化学触媒とは対照的に、酵素反応は比較的安価でエネルギー消費量も少なく、環境へのダメージも少ないことが挙げられる。

とはいえ、酵素の扱いは複雑だ。酵素は通常、自然界に存在する反応の触媒に限定されるため、科学者らは往々にして、自分たちのニーズを満たす完璧な生体触媒の検出に苦心する。Zhao 教授の研究室では、新たな酵素の反応性を生成するために、可視光で生体触媒を操作する「光生物触媒」と呼ばれるプロセスに着目してきた。Zhao、Huang 両氏は以前の研究で、エネレダクターゼ (ER) という酵素を生体触媒として用いた可視光誘起反応を開発し、高収率でのキラルカルボニル化合物の生産に成功したが、これは高価な化学物質の生産に応用可能とされる。

今回の新研究では、同研究をさらに発展させて、細菌が生産するニコタミド依存性ケトレダクターゼという別の酵素ファミリーと別の化学機構に光触媒を作用させ、 α -キラルエステルとして知られる別タイプのキラルカルボニル化合物の生産に成功した。Zhao 教授によると、研究チームは、ケトレダクターゼの光照射と進化を通じて、エナンチオ選択性の生体触媒であるギース型ラジカル共役付加反応を実現し、脂肪酸を α -キラルエステルに変換したという。

エナンチオ選択性とは、化学反応において、あるエナンチオマー（互いに鏡像である一対の分子のうちの一つ）が優先的に生成される度合いのことである。キラリティーは有機化合物の基本的な特徴であり、分子の性質に大きく影響し、その密接な関係は生物学、医学、材料科学など多岐にわたる分野で非常に大きい。例えば、有機分子の多様な立体化学（原子の空間的配置と化学反応への影響）は、生物界の豊かさを著しく高めるだけでなく、分子コミュニケーションなど多くの生命活動に深い役割を果たすという。

今回の発見は、石油の代替品としてススキやソルガム、エネルギー用キビなどの作物からバイオ燃料やバイオ化学製品を開発するという CABBI の活動に実用的な応用をもたらすものである。新たな生体触媒変換では、CABBI がこれらの植物から生成してい

る脂肪酸を出発原料として、石鹼やスキンケア製品の成分など付加価値の高いバイオ製品を環境に優しい方法で合成できる。

同教授は、「私たちは特定の製品への応用を目指したわけではありませんが、この研究は、脂肪酸のアップグレードに応用できる可能性のある実用的な新手法を提供するものです。酵素は再生可能なバイオマスから燃料や化学物質を生物学的に合成するための主力物質です」としたうえで、「CABBI の変換研究、あるいは一般的なバイオエネルギー研究において、重要な科学的変化のひとつは、目的の燃料や化学物質を合成するための望ましい活性と基質特異性を有する既知の酵素が存在しないことです。したがって、所望の活性や反応性を有する酵素を発見、あるいは操作する新たな手法の開発が急務となっています」との見解を示した。

本研究の共著者には、ChBE の Guangde Jiang ・ CABBI 博士研究員、ChBE および IGB の博士号候補者である CABBI の Wesley Harrison 氏、中国・厦門大学の Jianqiang Feng、Binju Wang 両氏、中国・上海有機化学研究所の Jiawen Cui、Xin Zang、Jiahai Zhou 各氏が含まれている。Zhou 氏は、中国 Chinese Academy of Sciences Shenzhen Institute of Advanced Technology にも所属している。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、Center for Advanced Bioenergy and Bioproducts Innovation (CABBI)の以下の記事を翻訳したものである。

Researchers Develop Powerful Strategy for Creating New-to-Nature Enzymes (<https://cabbi.bio/researchers-develop-powerful-strategy-for-creating-new-to-nature-enzymes/>)

(Reprinted with permission of Author Julie Wurth, CABBI Communications Specialist)

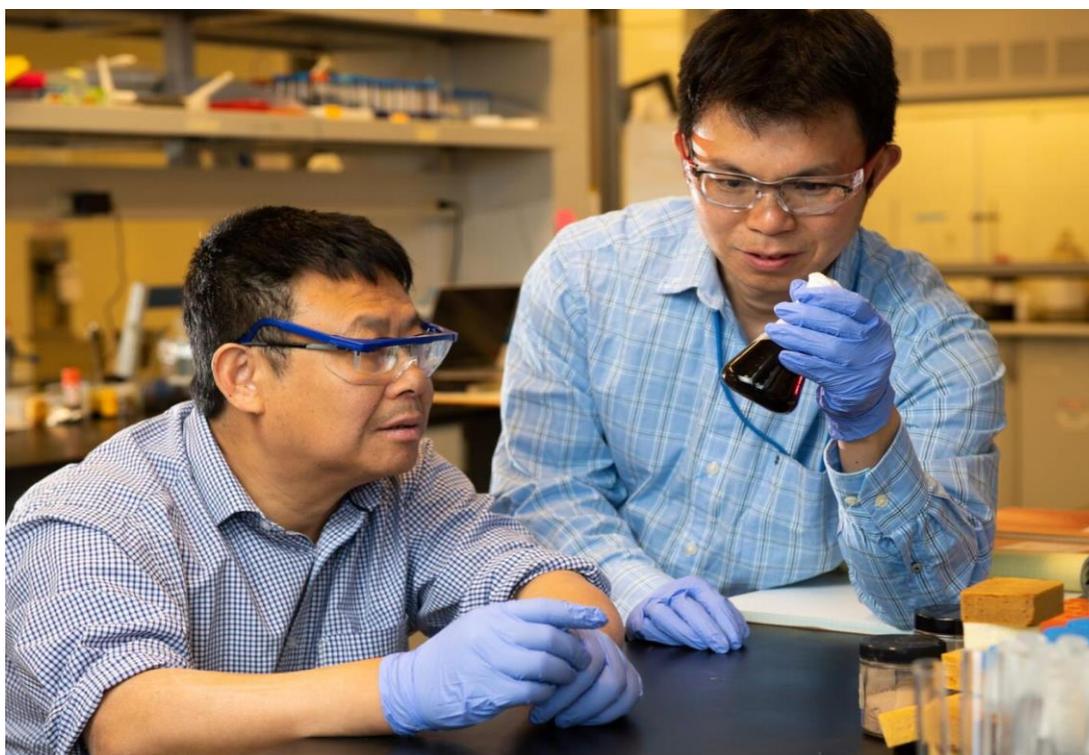
【バイオテクノロジー分野】

仮訳

強靱な木質リグニンを分解する新しい人工酵素(米国)

新・再生可能エネルギーソース開発に期待の研究成果

2022年5月31日



米ワシントン州リッチランド — ある新たな人工酵素に、木本(もくほん)植物がその形状を保持する一助となるリグニンを分解する能力が備わっていることが明らかとなった。リグニンはまた、再生可能エネルギー、あるいは諸原料としても途方もない可能性を秘めている丈夫なポリマーでもある。

『[Nature Communications](#)』誌に掲載された論文によると、米ワシントン州立大学(WSU)と米エネルギー省[パシフィック・ノースウェスト国立研究所](#)の研究チームが、同チーム開発の人工酵素によるリグニンの分解に成功したことを明らかにしたという。リグニンはこれまで、経済的に有用なエネルギー源として開発しようとする試みに頑

強に抵抗してきたとされる。

リグニンは、地球上で 2 番目に豊富な再生可能な炭素源であるが、その大半が燃料源として廃棄されている。木を燃やして調理した場合には、リグニンの副産物は食物に燻製に似た風味を添える役目を果たすが、リグニンを燃やした場合には、大気中に炭素が放出されるため、他の用途への利用ができないためだ。

同論文の共著者で、WSU の [Gene and Linda Voiland School of Chemical Engineering and Bioengineering](#) の准教授である Xiao Zhang 氏は、「私たちの(開発した)生物模倣酵素は本物のリグニンを分解できることを示していますが、それは画期的なことだともみなされています」としている。PNNL にも籍を置く同教授はさらに、「私たちは、新たな触媒を開発することで、生物学的・化学的触媒の限界に対処する機会があると考えているのです」との見方を示した。

リグニンは、あらゆる維管束植物に存在して細胞壁を形成し、植物に剛性を与えている。リグニンにより木は直立し、野菜は硬度を増す。木材の重量の約 20~35% を占めるリグニンだが、空気に触れると黄色く変色するため、木材業界では上質紙を作る際には除去されている。除去されたリグニンは、燃料や電気の生成のために非効率的に焼却されることも往々にしてある。



ガラス瓶に入った精製リグニン

木質リグニンを効率的に分解し、有用な物質に変えることができれば、再生可能なバイオ燃料として期待できる
(写真: Andrea Starr | パシフィック・ノースウェスト国立研究所)

化学者たちは 1 世紀以上にわたって、リグニンから有用な製品を製作しようと試みては失敗してきた。その挫折の実績が、今まさに変わろうとしている。

自然に勝るもの

パシフィック・ノースウェスト国立研究所の研究者であり、ワシントン大学の化学工学・化学の准教授である Chun-Long Chen 氏はさらに、「これは自然に類似した初めての酵素で、リグニンを効率的に消化して、バイオ燃料や化学品製造に利用できる化合物を生産することができます」と指摘する。

自然界では、菌類や細菌が自らに内在する酵素でリグニンを分解できる。森の中で一面をキノコに覆われた丸太が分解されるのはこの作用によるものだ。酵素は、高熱を必要とし、かつ生産量よりも多量のエネルギーを消費する化学分解に比べ、はるかに環境に優しいプロセスを提供する。



原木に発生した白色腐朽菌

自然界では、丸太に生える白色腐朽菌がリグニンを分解し、土壌生物に再利用させることができる。研究者たちは、この反応を加速させ、あまり利用されていないバイオマスエネルギー源を利用しようとしている（写真: Lost River Photo | Shutterstock.com）

しかし、天然の酵素は時間とともに劣化してしまうため、工業的なプロセスで使用するのには難しく、しかも高価だ。

Zhang 准教授は、「実用に耐え得る量の酵素を微生物から生産するのは実に大変なことなのです」としたうえで、「一度分離すると非常に壊れやすく不安定です。しかし、この酵素は、その基本設計を模倣したモデルを創り出す絶好の機会なのです」との見方を示した。

研究者らは、天然酵素を自分達のために利用することはできなかったが、数十年にわたり酵素の働きについて多くのことを学んできた。[Zhang 准教授の研究チームが最近発表した論説では、リグニン分解酵素の応用に向けた課題や障壁が概説されている。](#) 同准教授はさらに、「これらの障壁を理解することで、生体模倣酵素のデザインに向けた新たな洞察が得られるでしょう」と指摘した。

ペプトイドの足場がカギ

現行の研究では、天然酵素の活性部位を取り囲むペプチドを、ペプトイドとよばれるタンパク質に似た分子に置き換えた。すると、同ペプトイドはナノスケールの結晶性のチューブやシートに自己組織化した。ペプトイドは、タンパク質の機能を模倣するために1990年代に初めて開発された。[高い安定性などユニークな特徴を複数有しており、科学者らは、これらを利用して天然酵素の欠点に対処することが可能だ。](#) この場合、ペプトイドは天然酵素では得られない高密度の活性部位を提供する。

Chen 准教授は、「私たちは、これらの活性部位を正確に組織化し、触媒活性のためにその局所環境を調整することができます」としたうえで、「さらに、単一の活性部位ではなく、はるかに高密度の活性部位を複数有しています」と説明する。

予想通り、これら一連の人工酵素は天然物よりもはるかに安定して堅牢であるため、天然酵素が破壊される摂氏 60 度までで作用できるのだ。

同准教授は、「この研究は、実際に新たな可能性を切り開くものです」として、「これは、環境に優しい方法でリグニンを有用な製品に変えられるようにするための有意義な前進です」との見方を示した。

この新たな生体模倣型酵素をさらに改良して変換収率を高め、より選択性の高い製品を生み出すことができれば、工業規模にスケールアップできる可能性がある。本技術は、[再生可能な材料への新たな道を開くもので、航空用バイオ燃料](#)やバイオベース材

料などの用途にとりわけ特化している。

本共同研究は、[WSU-PNNL Bioproducts Institute](#) が推進。PNNL の Tengyue Jian、Wenchao Yang、Peng Mu、Xin Zhang 各氏、WSU の Yicheng Zhou、Peipei Wang 両氏も本研究に貢献した。

本研究は、米ワシントン州の [Joint Center for Aerospace Technology and Innovation](#) (航空宇宙産業における革新的技術を開発するための産学共同研究支援プログラム)、および在ワシントン大学エネルギーフロンティア研究センター Center for the Synthesis Across Scales の一部としてエネルギー省科学局基礎エネルギー科学室が資金提供を行った。さらに、米国立科学財団 (1454575) および米農務省国立食品・農業研究所 (2018-67009-27902) も追加支援を提供した。ペプトイド合成能力は、PNNL の研究所直轄の研究開発プログラムである Materials Synthesis and Simulation Across Scales Initiative が支援した。

翻訳：NEDO (担当 技術戦略研究センター)

出典：本資料は、米パシフィックノースウェスト 国立研究所 (PNNL)の以下の記事を翻訳したものである。

“New Artificial Enzyme Breaks Down Tough, Woody Lignin”

(<https://www.pnnl.gov/news-media/new-artificial-enzyme-breaks-down-tough-woody-lignin>)

【新エネルギー分野(燃料電池・水素)】

仮訳

大型トラックへの水素燃料の高速充填に向けて(米国)

NREL 機能拡張、HD 車向け高速流量水素燃料充填を実証

2022年6月8日



NREL の大型水素ステーションは水素貯蔵と燃料補給の研究での新天地を切り開くもの。

この類の施設では初となる(写真: Joe DelNero, NREL)

春の陽気の昼下がりにもかかわらず、米再生可能エネルギー研究所 (NREL) は興奮の熱気に包まれていた。所属研究者らが、重量 (HD) 車システムへの高速流量での水素燃料供給を見事に実証したからだ。これは2年間にわたる同機関の Innovating High Throughput Hydrogen Stations (IHS) プロジェクトにおける研究成果の集大成であり、[Advanced Research on Integrated Energy Systems](#) 環境の一環として、同機関の Energy Systems Integration Facility での最先端の諸機能を活用して実施された。

同成果は、米エネルギー省 (DOE) および業界が掲げる HD 燃料電池電気自動車 (FCEV) とインフラの HD 化目標に貢献するものであり、運輸業界の脱炭素化を促

進するものだ。NREL は、10 年以上にわたって軽量 FCEV の水素燃料補給方法に関する最先端研究を支援してきた。しかし、HDトラックと機械は、全く異なる規模の事業だ。

プロジェクトリーダーの Shaun Onorato 氏は、「このような世界初のシステムを設計・構築することは、技術的に大きな達成感があります。この研究は、水素 HD 燃料補給の特性を明らかにし、脱炭素交通の未来を形成する新たなプロトコルへの扉を開くものです」との見解を示した。

IHS プロジェクトは、エア・リキード、ホンダ、シェル、トヨタとの共同プロジェクトで、クラス 8 セミトラックや船舶、さらには鉄道、鉱山の用途を含む高速流量水素燃料供給システム開発における研究課題と技術ギャップに対処する。同プロジェクトは、DOE の水素・燃料電池技術室から一部資金提供を受け、複数の用途と経済部門にわたるクリーンな水素のための DOE の [H2@Scale](#) ビジョンを支援している。最終的な目標は、従来のディーゼル車の給油時間（約 10 分）に匹敵することだ。これは言い換えれば、最大 100kg の水素ガスを車内に貯蔵することを前提として、積極的に平均 10kg/分（ピーク 20kg/分）の水素ガス質量流量を達成することだが、現在、小型 FCEV で使用されている平均流量の約 10 倍とされる。

今年 4 月 26 日、IHS チームはこの質量流量の目標を上回る 40.3kg の水素を 2.87 分で HD 車と同量の水素貯蔵タンク 8 個に充填し、平均質量流量 14kg/min（ピーク時 21kg/min）を実証。この中間成果により、60～80kg の水素充填を 10 分以内に完了させるという最終目標への道程がつけられた。

より巨大な水素燃料装置の構築

全く新たな水素充填ステーション設計のために、研究者らがまず着目したのは NREL の [水素充填シミュレーション \(H2FillS\) モデル](#) だ。H2FillS は、高速で柔軟性があり、さらに無料で利用できる熱力学的モデルであり、水素ステーションから小型 FCEV への水素供給をシミュレートする。2021 年には、研究者らは 2FillS モデルに大幅な NREL アップグレードを施し HD の要



革新的な水素供給ステーションの建設にはコミットメントと調整が必須。新 HD ステーションの設計・実施には NREL の研究者らの大グループが関与(写真: Joe DelNero, NREL)

件および IHS プロジェクトに合致させる。最新リリースにおいては、同モデルの計算速度を最適化し、旧バージョンよりも 20~40 倍高速化させるとともに、圧力上昇率パラメータにも最適化を加えた。さらに、H2Fills においては現在、水素充填プロセス全体を調査して HD 車両に最適な燃料充填率を計算している。

研究者らは、新たな燃料供給プロトコルの開発に必要とされる車両の水素貯蔵タンク内の温度分布を把握するため、NREL のスーパーコンピュータ Eagle を使用して 3D 数値流体力学モデリングを行い、潜在的なホットスポットを特定し、混合特性を最適化した。同プロジェクトの期間中、チームは同数値流体力学モデリングによる完全充填および部分充填を数多く実施し、タンクサイズやインジェクター直径、インジェクター角度がガス混合に与える影響などの調査を実施。研究者らは、これら諸結果を実験的なテストと並行させてプロセスを継続的に検証し、HD アプリケーション向けに H2Fills をさらに強化した。

同統合プロセスにより、エネルギーシステム統合施設の水素インフラが拡張するとともに、大規模な機器の設置や評価のための新たな研究スペース構築につながった。これら一連のアップグレードには新コンクリートパッドが包括されているが、これらは適合性のために岩盤に固定されており、水素圧縮システムといった振動特性のある、より大規模な研究コンポーネントを有している。研究者らは、HD-FCEV とトラックとの互換性を確保するために 300 kg の高圧水素定置ストレージを追加し、新中高圧ガス管理パネルや HD 水素燃料供給装置、さらに新水素予冷システム、HD 車両保存シミュレーション装置を設計・製作した。

新 HD ステーションの機能

NREL の高流量水素充填のデモンストレーションは、高流量水素システムに関する研究拡大への門戸を開くものであり、(現在は存在しない) 燃料供給プロトコル、および安全性や規範、規格を包括している。NREL の HD ステーションは、研究者らが現在は市場で流通していない高流量ノズルや容器、ホース、ブレイクアウェイなどの HD 水素燃料供給用ハードウェアデバイスの安全性と信頼性を保証するために、管理されたサイトで評価することを可能にするもので、この種の類では初の施設である。今後の一連の共同研究では、新ステーションの機能を活用した HD-FCEV 用燃料補給インフラの開発支援が予定されている。

オノラート氏は、「私たちは、HD 燃料電池自動車の未来は明るいと考えています。特に新たなデューティーサイクルや長距離、迅速な給油が要求される複雑なロジスティ

ックスに直面している企業にとっては、です。この記念すべき節目は、水素燃料補給における最良実施例を開発・検証し、HD 燃料電池トラックの採用を支援するための新たな機会を意味しているのです」との見解を示した。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、National Renewable Energy Laboratory (NREL)の以下の記事を翻訳したものである。

“Fast Flow Future for Heavy-Duty Hydrogen Trucks”

(<https://www.nrel.gov/news/program/2022/fast-flow-future-heavy-duty-hydrogen-trucks.html>)