

産総研 LINK

技術を社会へつなげるコミュニケーション・マガジン

03
2020

MARCH

NO.29

特集

低炭素社会実現に向けたイノベーション

MESSAGE

P02



～経済的価値と社会的価値の両立を目指して～

RD20が実現する

クリーンエネルギー分野での国際連携

Kobayashi Tetsuhiko

NEW
TECHNOLOGY

P04



福島から世界へ広げる
ゼロエミッション

Maeda Tetsuhiko / Nanba Tetsuya

NEW
TECHNOLOGY

P09



ギ酸で拓く
水素の新たなマーケット

Himeda Yuichiro / Kawanami Hajime

NEW
TECHNOLOGY

P12



ケミカルルーピングで
水素をつくる

Sharma Atul / Takagi Hideyuki

NEW
TECHNOLOGY

P16



再エネ社会構築のための
新たな選択肢「人工光合成」

Sayama Kazuhiro / Miseki Yugo

RD20が実現する

クリーンエネルギー分野での国際連携

～経済的価値と社会的価値の両立を目指して～

2019年10月11日、産総研の主催により第1回RD20 (Research and Development 20 for clean energy technologies) が開催された。CO₂の大幅削減と低炭素社会に向けたイノベーション創出につなげるため、G20の研究機関のリーダーが集い、国際連携を進める意志を確認。その意義を小林哲彦理事に聞く。

——産総研がRD20を主催した背景は。

小林 まず、低炭素社会に向かう世界全体の流れがあります。地球温暖化に伴う気候変動に対して世界的に警鐘が鳴らされ、長い年月をかけて京都議定書、パリ協定などに基づく取り組みが進められてきました。2018年は気候変動に関する政府間パネル(IPCC)から温暖化の進行が予測より急速であるという報告書が公表され、各国が「2050年」に向けて取り組みを強化しています。国連が2015年に提唱した持続可能な開発目標(SDGs)にも、クリーンエネルギー技術の開発に関する項目が含まれています。

また、企業が使用電力を100%再生可能エネルギーでまかなう

ことを目指すRE100や、環境などに配慮している企業を選別して行うESG投資、気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD)などは、企業の環境対応に対して直接的に効果をもたらしています。これらの動きはここ2、3年で急速に活発になってきました。

さらに、2019年のダボス会議で安倍首相が、気候変動問題に立ち向かうには非連続的イノベーションによる問題解決が必要であると講演、その中で10月には各国の研究機関と環境技術分野で国際連携する拠点を立ち上げる方針を表明しました。これを受け、各国の政策実現を担う国立研究所のトップたちと連携の意思統一を図る場を設けようという動きが起こり、日



本で総合的にエネルギー関連技術の研究を行っている産総研を中心に、RD20を開催することになったのです。

——RD20ではどのような議論がなされましたか。

小林 国によってエネルギー事情も技術開発の状況も異なります。第1回の今回は、これからの社会に有望なエネルギー技術である水素とCCUS(炭素の回収・利用・貯蔵)をテーマに、各国で展開している研究について紹介してもらいました。事前に各国のエネルギー政策や国立研究所としての取り組み、展開している技術開発などについての資料を作成し、将来の連携に向けた判断材料としました。

最後に議長を務めた当所理事長の中鉢から、20カ国間の国際連携を進める努力をしようと議長声明が出され、来年の開催についても同意を得ることができました。実際、産総研はこの機会に数カ国と国際協定を結んでいます。

——再生可能エネルギーの利用や貯蔵について、産総研には幅広い技術があります。

小林 変動の大きい自然エネルギーを有効活用する方法は余剰電力を蓄えることで、その方法の一つが2019年ノーベル化学賞を受賞した吉野彰氏が開発したリチウムイオン電池、もう

一つが余剰電力で水を電気分解し、水素に変換して貯蔵しておく方法です。

産総研でもこれらに関してさまざまな技術を開発しています。当日は、高分子電解質膜による水電解水素製造、水素吸蔵合金による水素貯蔵、燃料電池による水素発電やアンモニアを用いたエネルギーシステム、人工光合成などの研究を紹介したほか、CO₂分離を容易にする石炭燃焼プロセス、天然ガスからのCO₂フリーの水素製造、産総研福島再生可能エネルギー研究所(FREA)についても紹介しました。

これらの研究は基礎研究段階のものも多く、それぞれ開発にかかる時間軸も異なるため、現時点ではどれが最適なのか判断はできません。例えば太陽電池も30年前は高価で現実的ではないという批判もありましたが、今では低コスト化が進んで普及しています。どの技術でもそうなる可能性はあり、未来の可能性を閉ざさないためにも、現時点ではあまり選択と集中を行いすぎないほうがよいと考えています。

——再生可能エネルギー研究をこれからどう進めていく予定でしょうか。

小林 産総研は水素貯蔵、省エネデバイス、蓄電池などの要素技術が強い研究所です。しかし、要素技術だけでは実用化できないため、現在は将来的にエネルギーがどのように使われていくかを想定し、そこから逆算するかたちで要素技術の精度を上げていくことを考えています。

再生可能エネルギーを利用する場としては定置型と移動型を想定しています。FREAでは主として定置型の「ミニ再エネ社会」というべき場をつくり、実際に利用していく上でどのような課題が出てくるのかを確認する実証実験を進め、そこから要素技術に落とし込んでいくようにしています。

自動車などの移動体については、化石燃料の消費量の削減と再生可能エネルギーの活用を同時に進める必要があります。現時点で燃料電池車か電気自動車(電池式)かの二者択一にせず、もう少し幅広い視点で考えておくのが現実的でしょう。現在は船舶や航空機の電動化も検討されていますが、それらについても社会が必要とするシステムを考えながら、蓄電池やパワー制御技術、高効率の太陽光発電技術などの技術開発を続け、実現可能なものにしていきます。

産総研は2020年1月に「ゼロエミッション国際共同研究センター」(研究センター長 吉野彰)を立ち上げました。ここを中心にRD20の議論を具現化していきたいと思っています。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
理事
エネルギー・環境領域 領域長

小林 哲彦
Kobayashi Tetsuhiko

福島から世界へ広げるゼロエミッション

CO₂フリー水素を街で安全に使いこなす

建物から出るCO₂を削減する水素エネルギーシステム



福島再生可能エネルギー研究所
再生可能エネルギー研究センター
水素・熱システムチーム 研究チーム長 兼
清水建設一産総研ゼロエミッション・
水素タウン連携研究室 室長

前田哲彦

Maeda Tetsuhiko



福島再生可能エネルギー研究所
再生可能エネルギー研究センター
水素キャリアチーム
上級主任研究員

難波哲哉

Nanba Tetsuya

太陽光で発電した 余剰電力を使いこなしたい

気がつけば、大型の太陽光発電施設をそこかしこで見かけようになった。晴天の日には大量に発電し、世の中に太陽光エネルギーをたくさん供給しているように見える。しかし、自然エネルギーを実社会の中で使っていくのは、それほど容易なことではない。

なぜなら、既存の電力供給システムは出力が安定していない

と対応できず、自然エネルギーのような、天候や時間によって大きく変動する出力に対応する仕組みとはなっていないからだ。いくら太陽光が降り注いでいても、需給バランスの調整力不足や送電容量が足りなかったり、蓄電技術が不十分であったりするため、出力を抑制せざるを得ないのが現状だ。

「発電した電気をすべて使い切ることもできなければ、余った電気をためることもできない。そのため、大量に発電できる日なのに発電を止めざるを得ないこともあります。再生可能エネルギーの利用を増やしたいにもかかわらず、利用しきれないエネルギー



KEY POINT



産総研の福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) では、**太陽光や風力で発電した電気を水素に変換して貯蔵し、必要に応じて熱や電気として使うための技術開発を進めている。**現在、清水建設と共同で進めている**水素エネルギーシステムの実証実験**の概要と、**水素を効率的に貯蔵する水素キャリア技術**を紹介する。



は多く、今後もさらに増えていくと考えられます。このような使用量と供給量のミスマッチを解消し、社会に再生可能エネルギーを大量導入していくために、発電した電力を有効に使いこなす技術を早急に生み出す必要があります」

前田哲彦が率いる水素・熱システムチームでは、福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) において、再生可能エネルギーによる発電、余剰電力の貯蔵、貯蔵エネルギーの安全利用などの個別の技術を組み合わせることで、発電から利用までのトータルでエネルギーを使いこなすシステムの開発に取り組んでいる。

水素を安全に貯蔵できる 燃えない水素吸蔵合金

FREAでは再生可能エネルギーを貯蔵する方法として、太陽光などで発電した電気で水を分解して水素に変換し、水素と各種の物質を結合させ、液体や固体として貯蔵する方法の開発に積極的に取り組んでいる。実際に熱や電気として使うときには、化学反応を起こしてその液体や固体から水素を取り出し、燃料電池に移して利用することになる。

さまざまな水素の貯蔵方法が模索される中、前田が選んだのは金属にためるという方法だった。それは再生可能エネルギーからつくったCO₂フリー水素を、実際に建物や街区で使っていくことを想定してのことだ。

水素は非常に発火・爆発しやすいため、貯蔵するときには厳しい安全基準が求められる。また、水素は非常に軽く体積が大きいため、貯蔵するには高圧をかけて圧縮したり、低温で液化したりしてコンパクトにしなければならない。そのため、消防法や高圧ガス保安法などの法規制に対応できる施設と専門家による管理体制の整備が必要となる。しかし街で広く使いたいと考えた場合、新たに大掛かりな施設を建設することやすべての場所に専門家を配置することは、現実的ではない。

「オフィスビルやホテル、病院などといった街中の建築物で水素エネルギーを利用するためには、水素を安全に貯蔵できることが何よりも重要です。そこで私たちは、常温常圧で保存でき、燃えることもない、新しい水素吸蔵合金を開発したのです」

従来の水素吸蔵合金は、水素の吸蔵と放出を繰り返すと合金が微粉状になり、着火して可燃物となる可能性がある。そのため、水素吸蔵合金として有名なランタンニッケル系の合金は、消防法による危険物として扱う必要があった。

しかし、産総研で新たに開発した水素吸蔵合金は吸蔵・放出を何回繰り返しても微粉化せず、消防法の危険物規制の対象外だと認証されたのだ。しかも、金属に取り込むことで水素の体積は常温時の1/1000まで小さくなり、貯蔵する場所を取らずにすむ。

「こうしてできた水素エネルギーの最適な貯蔵法とその利用を街の中でどう実用化しているかと考えていたとき、建築物のゼロエミッション化を進めている清水建設さんがFREAに見学にい

——これが大きな転機となった。

清水建設とのタッグでトータルなエネルギーシステムを開発

清水建設はビルの運用にビルディングエネルギーマネジメントシステム(BEMS)を活用している。BEMSは、太陽光発電設備、蓄電池、キャパシタ、燃料電池、ガスコジェネといった再生可能エネルギーをつくって活用していくシステムと、熱源、熱搬送、送風、換気、照明、OA機器といったエネルギーを利用する設備の双方の運転を一元管理することができ、建築物全体のエネルギー消費量の削減を図っていくシステムである。

自社の「スマートBEMS」と、より効率的で安全な水素エネルギー利用システムを組み合わせられないか。そう考えていた清水建設のスタッフがFREAを訪れ、目にしたのが、先の水素吸蔵合金だった。

「これはいける!」そう判断した清水建設と産総研による共同研究が2016年1月にスタートした。水素吸蔵合金を収める大型タンクの開発をはじめ、これを利用した安全な水素エネルギー利用システム——太陽光から水素をつくり、水素を水素吸蔵合金タンクに貯蔵し、必要な時にそこから水素を取り出し、燃料電池を使って発電、燃料電池から放熱される排熱も建物で利用する——の開発が始まったのだ。

2018年半ばには、産総研の施設内での実験で、エネルギーシステムとスマートBEMSを組み合わせることで、総合的に運用することで、効率的なエネルギー利用ができることが確認された。

「ただ、ビルの施工主にシステムを導入してもらうには、実験がうまくいったというだけでは説得力が足りません。やはり、実際の建物でも成果が出ることを示さなくてはならないわけです。そこで、どこかで実証実験をしようということになりました」

2018年10月、産総研と清水建設の共同研究はステップアップし、産総研内に清水建設の社名を冠した研究室(通称「冠ラボ」)が設置されるに至った。これにより、実用化に向けた連携がいっそう強化されることになる。

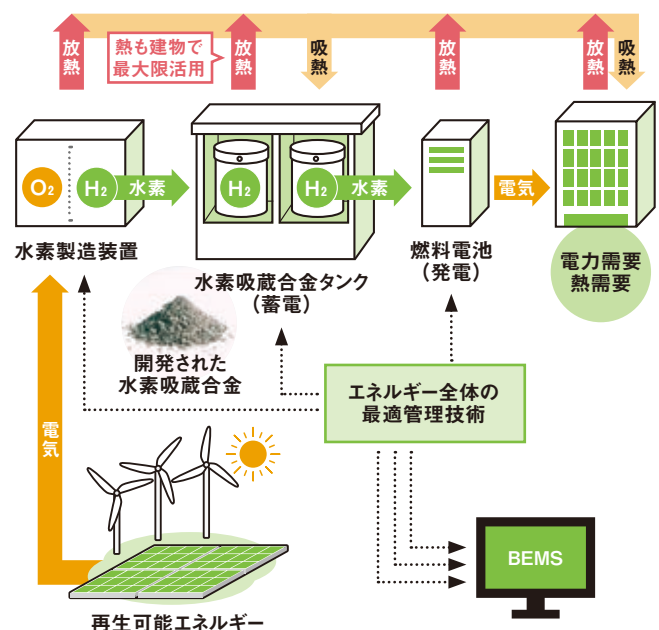
郡山市総合地方卸売市場での実証実験がスタート

FREAのある郡山市は「郡山市エネルギービジョン」を掲げ、新エネルギーに関する施策を進めている。実証実験を行う場所については郡山市に協力を求めることにした。候補として挙がった数カ所の市の施設の中から、敷地面積やエネルギー需要などを考慮し、郡山市総合地方卸売市場に決定した。市場の利用者との調整や、太陽光パネル、水電解装置、水素吸蔵合金タンク、燃料電池の移設を経て、2019年7月から市場の管理棟での実証実験がスタートした(4ページ写真)。

市場の朝は早く、日の出前後から多くの人が活動しているが、昼過ぎにはほぼ終了となる。一方、太陽光発電は日が出ている間はずっと発電している。このような時間差があるため、余剰電力を水素としてためて翌日に利用することを実験するのも適切だった。太陽光発電による電力の直接利用だけでも省エネになるが、水素貯蔵分を加えると、さらに10～15%の省エネになると試算されている。

現在、システムは年間を通して稼働させているわけではなく、2日稼働させデータを取り検証する。そしてその結果を見てさらに効率的なエネルギーマネジメントの方法を考え、それを適用す

郡山市総合地方卸売市場での実証実験の概要





るという試行錯誤を繰り返しながら、技術的な要素の確認や運用ノウハウの確立を進めている。

「現在は発電し、水素を貯蔵するのと同じ場所でエネルギーを使っていますが、普及に向けては、ためた水素を輸送して、別の場所で活用することも重要になってきます。そのためには車に積んだ水素吸蔵合金タンクに水素を急速充填したり、燃料電池からエネルギーを放出するときに冷やすことが必要となるため、急速充填用の合金タンクや冷却技術の開発も並行して進めています」

水素をつくって、ためて、運んで使う。それが安全かつ容易にで

きるようになれば、日常用としても災害時の非常用としても水素の活用は進んでいくはずだ。清水建設は今年、自社の施設にこのシステムを導入し、実証実験を次の段階に進める予定だという。

「温室効果ガスの排出を2050年までに80%削減するというのがこれまでの日本の目標でしたが、世界の潮流もあり、今後はゼロエミッションを目指していくことになるでしょう。もちろんRD20の議長である産総研も、本気でゼロエミッション化を進めていかなくってはなりません。まずは、ここFREYAからゼロエミッションを実現していきたいと思っています」

水素社会の実現に向け、産総研と清水建設の挑戦は続く。

再生可能エネルギーからCO₂フリーのアンモニアを大量製造



CO₂フリー水素からつくる アンモニアで低炭素社会に貢献

さまざまな資源からつくることができ、エネルギーとして利用してもCO₂を出さないという特徴をもつ水素に対する期待は大きい。しかし、水素は燃えやすく体積も大きく、気体のままでは輸送も貯蔵も高密度で行うには技術的課題が多い。そのため現在、水素を

効率的に運用していくための技術開発が世界中で行われている。

水素の安全性と利便性を高めて扱いやすくするために、水素を別の物質と化学反応させて「水素キャリア」に変えるという方法がある。さまざまな物質が水素キャリアになる可能性を持つが、産総研が注力している物質の一つがアンモニアだ。

「水素キャリアを燃料として用いるときは、そこから水素を取り出して燃焼させるのですが、アンモニアは炭素を含まないので、



燃やしてもCO₂を排出しません」

そう語るのは、再生可能エネルギーからつくる水素でアンモニアを効率よく合成するための触媒開発に取り組んできた難波哲哉だ。

産総研では、太陽光や風力などで発電した電力で水を分解して水素をつくり、その水素と大気中の窒素を結合させてアンモニアをつくっている。そして、水素自体も天然ガスからではなく再生可能エネルギーからつくっているため、製造プロセスにおいてCO₂の排出がない「CO₂フリーアンモニア」ができる。これを水素キャリアとして用いることで、低炭素社会の構築へ向けて、より確実な貢献ができると考えているのだ。

出力変動に対応できる 触媒とプロセスを分担して開発

CO₂フリーのアンモニアを水素キャリアとする技術の開発は、内閣府の進めるSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)のテーマにも採用され、産総研は日揮株式会社とともにその方法を検討してきた。ここでも課題となったのは、再生可能エネルギーの出力変動の大きさだった。

「出力変動が大きいと、その電気で作る水素の供給量もかなり変動します。そして、水素供給量の変動すると圧力も変化します。アンモニア合成に用いていたルテニウム触媒は、圧力が上がると性能が低下してしまうという問題があり、この圧力の変化に適応する触媒を開発する必要がありました」

また、原料ガスが一定に供給されないことを想定したプラントなど、これまでどこにも存在しておらず、反応プロセス自体も変動に適応することが難しかった。

そこで、新たな触媒の開発は産総研、そして合成プロセスの開発は日揮と、分担して開発を進めることになった。

難波は圧力が上がっても性能を維持できる触媒を求めて、合

成成分を検討した。その結果、10 MPa(約100気圧)以下の圧力範囲で高い活性を維持できる新たな触媒を開発した。

日揮による新たな運転装置の準備も順調に整い、2018年4月、FREAにおいて、新しい触媒と新しい装置を使って効率よくアンモニアを製造できるかの実験が行われた。コンプレッサーで水素と窒素を昇圧したところ、反応器では順調にアンモニアの合成が行われ、1日で20 kgのアンモニアを製造することに成功した。条件を変えて行っても、変動に適応し、装置のON/OFFに対しても応答性よくアンモニアを製造できることがわかったのである。

製造されたアンモニアは冷却して液体にして貯蔵し、エネルギー源として発電設備などで燃焼させて用いる。しかし、そのときに十分な発電出力が出せなくては、燃料として使えない。同年8月、実際の発電設備で使ったときにどうなるかの実証実験を行った。

「CO₂フリー水素から製造したアンモニアでも、市販の化石燃料由来水素から製造したアンモニアと同等の発電出力が得られることが確認できました。これで製造、貯蔵、発電という一連のプロセスでの実証実験が終わり、これから社会実装を目指していく段階に入っていきます」

今後は分散利用に対応する改良を行うとともに、より安全に使える水素キャリアとして改良していくという。あわせて変動対応性の強化、貯蔵時のコンパクト化、低コスト化に向けても、さらなる技術開発を進めていく。水素社会に向けて、やるべきことは山積みだ。

「ゼロエミッション化に本気で取り組もうというとき、重要になるのは燃料です。私は燃料となるアンモニアに関する技術開発を行っています。再生可能エネルギーからつくる水素でアンモニアを生成する技術は、ゼロエミッションに非常に大きな役割を果たすと考えています。CO₂フリーのアンモニアをつくる研究を、RD20の参加国をはじめとする世界の国々と、ぜひ一緒に進めていきたいと思っています」

水素をCO₂フリーで効率よく使いこなす技術があります。ぜひご相談を!

産総研 福島再生可能エネルギー研究所(FREA)
エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター



〒963-0298 福島県郡山市待池台2-2-9



envene-liaison-ml@aist.go.jp



<https://www.aist.go.jp/fukushima/index.html>

ギ酸で拓く

水素の新たなマーケット

高圧水素の供給で水素ステーションの省エネ化も可能



KEY POINT



ギ酸が新しい水素キャリアとして注目されている。産総研は、ギ酸をお湯程度に温めるだけで水素と二酸化炭素を取り出せる（写真）、世界でも他の追従を許さない高性能触媒を開発。さらに高圧で水素と二酸化炭素を発生できるため、2つのガスを簡単に分離できる高圧プロセスも完成させた。将来の水素ステーションへの適用が期待される。



創エネルギー研究部門
エネルギー触媒技術グループ
上級主任研究員

姫田雄一郎

Himeda Yuichiro



化学プロセス研究部門
マイクロ化学グループ
上級主任研究員

川波 肇

Kawanami Hajime

ギ酸を水素キャリアに使うって 安全で手軽に水素を利用

薄いギ酸水溶液をお湯で温め、耳かき1杯にも満たないごくわずかな触媒を加える。すると間もなくフラスコの中からブツブツと泡が出てきて、次第に勢いを増していく。

「この泡が水素です。ギ酸から水素を取り出すのは、これほど簡単です。この触媒は非常に活性が高く、ギ酸がなくなるまで水素はずっと発生し続けますし、加温をやめれば水素の発生が自然に止まります。ギ酸は、少し水で薄めれば可燃性も毒性もなくなるので、安全性が高く手軽な水素キャリアと言えます」(注:78%未満で消防法、90%未満で毒物及び劇物取締法の適用外)

そう話すのは、創エネルギー研究部門の姫田雄一郎だ。姫田は、二酸化炭素(CO₂)と水素(H₂)からギ酸を合成する触媒を開発しているが、化学プロセス研究部門の川波肇とともに、現在はギ酸から高圧の水素とCO₂を取り出す高性能の触媒と、水素とCO₂を効率よく分離するプロセスの開発にも取り組んでいる。彼らは、再生可能エネルギーで発電された余剰電力を、水素として保管する「水素キャリア」の新たな候補として、ギ酸が有望だと考えているのだ。

現在、水素キャリアとしては、アンモニアや有機ハイドライドが有望視されているが、プラントでの大規模利用を想定しており、水素を取り出すには大がかりな設備が必要になる。しかし、ギ酸であれば水素を取り出すのに特別な設備は不要であり、より広く使われる水素キャリアになる可能性が高い。

ギ酸から水素を取り出せることは1960年代から知られていたが、当時の触媒は性能があまり良くなかったため、水素を取り出すには200℃以上の高温にする必要があった。また、副反応によって燃料電池の性能低下の原因となる一酸化炭素も発生してしまうため、その後の分離・精製に手間もコストもかかり、研

究は進展していなかった。

しかし2008年、欧州で比較的低温で、一酸化炭素を副生しない高選択性触媒が報告され、改めてギ酸が世界的に注目されるようになった。手元の触媒で試してみた姫田も、かなりの手応えを得た。

「圧倒的に簡単に水素を取り出せる触媒をつくらう！」

ギ酸に関する開発競争が激化する中、姫田も研究開発をスタートさせた。手軽に水素を発生させ、一酸化炭素の副生を抑えるためには、低温で反応する高性能触媒をつくることが求められる。そんな中、翌年の2009年には60℃程度のお湯で水素とCO₂だけを発生させることのできる独自の触媒が完成した。

「高圧」が第2のキーワード

姫田の触媒にはもう一つ特徴がある。ギ酸から高圧の水素を取り出せるのだ。60℃程度のお湯で温めるだけで、その圧力は100 MPaに達した。

現在運営されている水素ステーションでは、水素を充填圧力82 MPaに圧縮するために、大型の機械式コンプレッサーが必要であり、それを稼働するための多くの電力が必要である。一方、彼らが開発した技術は、単に密閉容器中でギ酸を温めるだけで高圧水素が供給できるので、機械式のコンプレッサーは不要となり、水素ステーションの大幅なコンパクト化、省エネ化が可能となるはずだ。

これは良い技術ができそうだと姫田は直感した。しかし高圧ガスの扱いには厳しい法規制と熟練したノウハウが必要であり、そのプロセスを試したいと思いながらも、経験のない姫田はなかなか次に進むことができなかった。

ところが2011年、高圧プロセスの専門家である川波と出会ったことで、一気に研究が加速する。2012年には2人が連携し、ギ酸を水素キャリアとして利用するプロセスの研究が始まった。

「当初は、高压が出るといってもせいぜい30～40 MPa程度だろうと考え、50 MPaまで対応できる装置をつくりました。ところが実験してみると、特別なことはしなくても、あっという間に50 MPaを超えそうになったのです」と、川波は当時を振り返る。そのため、100 MPa仕様に改良するため装置をつくり直し、高压の実験を行う環境を整えた。

姫田がつくった触媒を、川波が高压装置にかけて試し、「高压に向くか向かないか」、「触媒のどの部分がどのように壊れたか」などをフィードバックし、姫田はそれを受けて別の触媒をつくり直す。川波はこの触媒を装置にかけて調べ、また新しい触媒をつくりなおし……ということを延々と繰り返していくことで多くの知見を蓄積し、高性能な触媒を開発していったのである。

「現在の触媒は、昇圧速度や水素の発生速度で当初の1000～3000倍速くなっていて、ギ酸のポテンシャルを限りなく引き出せるものになっています」(姫田)

加えて、この触媒は耐久性だけでなく、耐圧性も世界で断トツの性能を誇る。しかも、100 MPa仕様の装置は現在のところ産総研にしかない。高压を出せる技術と性能の良い触媒、その両方がそろったことによって、現時点で、この技術は他の追従を許さない圧倒的なアドバンテージがある。

シンプルな水素とCO₂の分離

この技術が優位である理由はもう一つある。水素に加えて、同時に発生するCO₂の回収・利用も考えたプロセスであることだ。

このプロセスでは、ギ酸から発生した高压の水素とCO₂の混合ガスを、高压のまま冷却するだけでCO₂だけを液化し、水素は気体として分離できる。シンプルだが、高压ならではの現象を使って両者を物理的に分離させるのは産総研オリジナルの技術だ。

そして、液体CO₂を分離できたことで、今まで捨てられていたCO₂をスプレー用の加圧ガスや、ドライアイスにするなど、多様な用途が生まれる。

また、水素ステーションで利用できる水素の国際規格は純度99.97%以上(ISO14687-2)とされているが、現在、この厳しい規格にも耐えられる高純度の水素をつくる方法も模索している。

「ヨーロッパや中東ではすでにギ酸を使った燃料電池が製品化されていますが、そこではCO₂をそのまま排出し、捨てられています。それに対して私たちはギ酸を使う過程でCO₂をきちんと分離・回収するという、一歩先の技術を目指しています」と姫田は言う。

未来の水素社会に向けて、より手軽に安全性が高い水素供給技術を目指して技術をブラッシュアップしながら、多様な分野の企業とともに、水素エネルギーの社会実装に向けて研究開発に取り組んでいる。

「ギ酸を使ったこの新しい技術は、他のエネルギーキャリアでは実現できない部分を補完できる技術です。他のエネルギー技術と合わせて、ぜひ多くの企業にこの技術を使っていただきたいと考えています」(姫田)

とはいえ現状では、水素ガスは輸送・貯蔵が難しいため、水素を使った成功ビジネスがほとんどないと、川波は指摘する。しかし、水素を手軽で安全に利用できる技術が開発できれば、企業の積極的な参入が期待できる。

「水素を活用する市場を新しくつくって成長させていく必要がありますと考えています。すでに船舶も水素を燃料として動かす時代になりつつあります。水素の市場が広がることで、これから活用される機会が増えていくと信じています」(川波)

こういう新しい現象を発見しました、だけではなく「実際に使える」具体的な例を示し、社会に実装できる技術にまで到達させたいと姫田と川波は考えている。

未来の水素社会の実現に向けて、一緒に研究開発をしてみませんか。

産総研 東北センター
材料・化学領域 化学プロセス研究部門

〒983-8551 宮城県仙台市宮城野区苦竹4-2-1

cpt-info-ml@aist.go.jp <https://unit.aist.go.jp/cpt/>

産総研 エネルギー・環境領域
創エネルギー研究部門

〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1 つくば西

envene-liaison-ml@aist.go.jp <https://unit.aist.go.jp/rief/index.html>

ケミカルルーピングで水素をつくる

CO₂分離技術から生まれたエネルギー製造法



CO₂の固定・貯留・活用には CO₂分離技術が不可欠

地球温暖化を抑制していくためには、二つの方向のアプローチがある。一つは二酸化炭素(CO₂)などの温室効果ガスの排出量を削減していく方向、もう一つは化石燃料に代わる新しいエネルギーをつくり出していくことだ。

前者においては、燃焼効率の向上や、CO₂の排出量を減らせる天然ガス(メタン)を代替燃料として使うなど、化石資源の利用を高度化する方向での研究が進んでいる。後者においては、再生可能エネルギーの利活用を進めるための研究が拡大してい

るのは、本誌でも紹介している通りだ。

また、CO₂の排出量を減らすだけではなく、排出されたCO₂をどう処理するかということも考えるべき課題だ。現在は大気中へのCO₂排出を防ぐために、発電所などの排出ガスからCO₂を分離・回収し、地中に埋めるなどして固定・貯留するCCS(Carbon dioxide Capture and Storage)、および分離・固定されたCO₂を別の用途に有効利用していこうというCCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)に関する技術開発が進められている。

創エネルギー研究部門のシャーマ アトウルは、CO₂を分離・固定する研究に取り組んできた。

KEY POINT



媒体の化学変化を介して、燃料を空気と直接接触させることなく熱や燃料ガスに転換し、**CO₂を直接分離するケミカルルーピング燃焼技術**。火力発電所のゼロエミッション化のために開発されたこの技術は、今後、メタン、バイオマス、バイオ由来廃棄物などからの**水素製造などに応用できる**と期待されている。



「CO₂を固定して埋めるにしても、何かをつくるための原料として活用するにしても、焦点となるのは、化石燃料を燃やして出てくるガスから、いかにCO₂だけを効率よく分離するかということです。特に日本では発電所から排出されるCO₂が全体の約40%を占めており、その部分の対策をするだけで、排出量は大きく削減できると考えられます。当面、日本からも世界からもなくならないであろう火力発電所をゼロエミッション化したい。そのような思いからこの研究をスタートさせました」

1段階でCO₂を分離できる ケミカルルーピング燃焼技術

火力発電所で化石燃料を燃やすときには、通常、燃料と空気が直に接しているため、燃焼後にCO₂と窒素(N₂)が混ざったガスが排出される。これまでは排出されたガスのN₂とCO₂を分離するために、主に二つの方法が採られていた。一つは、燃焼前に空気を酸素(O₂)とN₂に分離し、O₂だけを燃焼炉に入れることで純粋なCO₂だけを排出させる方法、もう一つは、空気をそのままボイラーに送って燃焼させたあと、排出されたN₂とCO₂の混合ガスからCO₂だけを化学吸収法(アミン溶液など)、物理吸収・吸着法(活性炭など)、および膜分離法などで吸収・分離する方法だ。その中でもアミン溶液を用いた化学吸収法が広く使われている。

化学吸収法を使うと99%という高純度にまでCO₂を精製できるのだが、アミン吸収というプロセスが加わるため、エネルギーもコストも余分にかかるという問題があった。

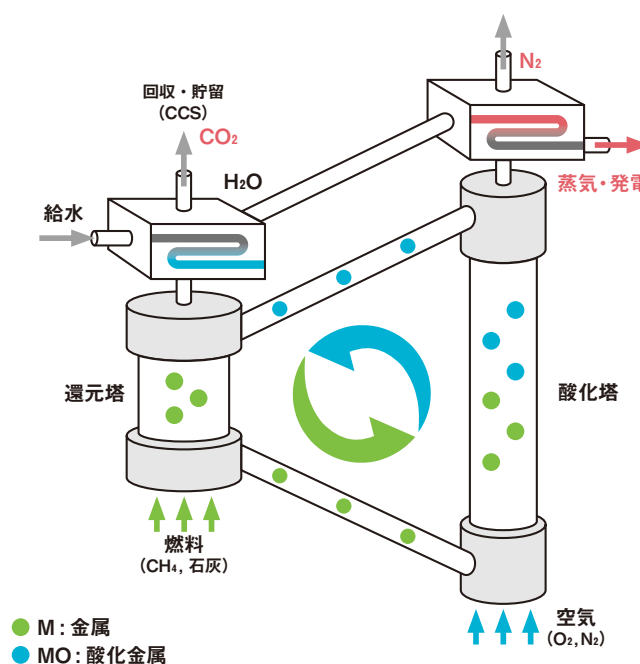
そこでシャーマが提案しているのが、ケミカルルーピング技術を用いたCO₂分離型化学燃焼発電技術だ(以下、ケミカルルーピング燃焼技術)。この方法は、燃料と酸素を直に触れさせることなく、金属酸化物を媒体(酸素キャリア)として用いて、還元反応と酸化反応を循環させていくことによって、燃焼・発電をしながら

らガスを直接分離していくというものだ。

具体的なプロセスは次のようになる(下図)。

反応器には酸化塔と還元塔の二つがあり、媒体(酸素キャリア)として酸化金属(例:Fe₂O₃)を用いる。還元塔に燃料(メタン、石炭、バイオマスなど)のみ、酸化塔に空気のみを送る。還元塔に酸素キャリアである金属酸化物(Fe₂O₃)を送ると、燃料の炭素(C)によって金属酸化物(Fe₂O₃)が還元されて金属(Fe)になる。一方、金属酸化物(Fe₂O₃)から分離したO₂はCと結びついてCO₂となり、こちらからはCO₂だけが排出される。次は、還元塔で金属酸化物(Fe₂O₃)から金属(Fe)に変わった酸素キャリアが今度、酸化塔に送られ、金属(Fe)が空気中の酸素と反応して酸化され、金属酸化物(Fe₂O₃)に戻る。このような反応により、空気はN₂と金属酸化物(Fe₂O₃)に分かれる。酸化塔からは主にN₂がこの段階で排出される。

■次世代火力発電(化学ループ燃焼+CCS)





従来の発電技術では一つの反応器内で反応を完結させるため、複数のガスが一緒に出てきてしまうが、ケミカルルーピング燃焼技術では酸化塔と還元塔という二つの反応器を組み合わせているため、異なる反応が別々に起こり、ガスも1種類ずつ別々に出てくるというメリットがある。

「酸化還元反応を利用したこの技術では、空気と燃料が直接反応することがありません。だからアミンのような吸着剤や空気分離機を使わなくても、CO₂が1段階できちんと分離できるのがポイントです」

しかも、Feが酸化するときに発熱し、900～950℃の高温にまで達するので、その熱を利用した蒸気で発電することも可能だ。この高温エネルギーを他に利用することで、システム全体では、従来の発電方法より発電効率が高くなるという試算もでている。

しかし、まだケミカルルーピング燃焼技術は商業化されていない。その理由の一つが酸素キャリア(媒体)の高いコストにある。

ケミカルルーピング燃焼技術を 水素製造に応用

ケミカルルーピング燃焼技術を用いて、シャーマらは企業や大学とともに、低コストで高性能な媒体の探索に取り組んできた。既存の人工媒体は高い性能をもつが、非常に高額だ。シャーマは天然の材料の中から適した物質を探し、一つ一つ実証したところ、オーストラリア産のイルメナイト(チタン鉄鉱)から加工した媒体の反応性が良いことがわかった。現状のアミン吸収のプロセスと比べても、CO₂分離・回収コストは1/4に抑えられる可能性がある。

高温の中で酸素媒体の循環を適切にコントロールする技術の確立も重要だ。実験室レベルでできたことも、装置が大型化することでさまざまな課題がでてくる。産総研では、実験室と産業用途の中間にあたる100kWthの規模の装置を用いて、これらの課

題解決に取り組んできた。その結果、72時間の連続運転を行っても天然の酸素キャリア(媒体)は摩耗せずに反応し続けることが実証できた。技術的にもコスト的にも非常によいものだという評価を得ることができたのだ。

最終的に排出されたCO₂処理については、地中に貯蔵するという考えもあるが、最近では、CO₂を炭素資源として有効活用しようという動きも広がってきている。CO₂を再生可能エネルギー由来の水素と反応させ、化学原料などの製造に再利用しようとする研究開発が加速しているのだ。

CO₂分離のために開発されたケミカルルーピング燃焼技術だが、他の分野での活用も期待されている。

「もともとケミカルルーピングは、燃焼以外にもさまざまなところで使える技術です。そこで私は、廃棄物や汚泥処理施設でのメタン分解や、バイオマスのガス化、そこからの水素製造など、この技術を別の用途に展開していくことにしました。特に水素製造に関しては、太陽光から水素を製造するのに比べ、より大規模化が可能だと考えています。バイオマス、バイオ由来廃棄物などからCO₂ニュートラルで水素を製造できる技術だということで、関心をもってくださいる企業が増え、最近は多くの方が見学にいらっしゃるようになりました」

ケミカルルーピング技術が、水素製造の分野で大きく展開できるかもしれない。さらにこの技術は、油田での原油増進回収法(EOR)や、飲料用炭酸ガスの製造への活用も検討されている。

「石炭は地球上に遍在していて、どの国でも地政学的な影響を受けずに利用できる燃料です。人口が爆発的に増加中の開発途上国では、すぐに再生可能エネルギーだけですべての電力をまかなえるようになるとは考えにくく、しばらくは火力発電所も必要でしょう。バイオマスからの水素製造に加え、CO₂を完全分離できるこの技術をそれらの国々に輸出することで、世界的なCO₂削減に貢献していけると考えています」とシャーマは力強く語る。

CO₂削減に新しい方法でチャレンジしたいと思ったら、ぜひ一度ご相談を!

産総研 エネルギー・環境領域
創エネルギー研究部門



〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1 つくば西



envene-liaison-ml@aist.go.jp



<https://unit.aist.go.jp/rief/index.html>

CO₂ 排出ゼロへ!

未来のエネルギー技術

メタン熱分解で水素と炭素をつくる

創エネルギー研究部門
エネルギー触媒技術グループ
研究グループ長

高木英行

Takagi Hideyuki

KEY POINT



メタンを熱分解して水素を製造する技術の開発が進められている。炭素が固体となって出てくるためCO₂の排出がなく、CCSが不要。将来の水素社会実現に向けた取り組みとして期待が高まる。

CO₂が出ないのでCCSが不要

水素やメタンなどを、エネルギーとして高効率に製造・利用していくための新しい触媒・材料を開発し、構造解析や評価を行っているエネルギー触媒技術グループ。研究グループ長の高木英行らが現在力を入れているのが、メタン熱分解による水素製造技術だ。一般にメタンから水素をつくるときには、水蒸気改質という技術が用いられる。現在、導入が進む家庭用燃料電池「エネファーム」にも同じ技術が使われている。これはメタンを水蒸気とともに触媒上で反応させて水素と一酸化炭素(二酸化炭素)を製造する技術で、工業的にも確立されているが、CO₂も排出される。したがって、さらに低炭素化を進めるためには炭素の固定・貯留(CCS)が必要となる。

これに対して、高木らはメタン熱分解による水素製造という、新しい手法を提案している。

「この技術は、触媒を用いてメタンから炭素と水素を製造するもので、ポイントはメタン(CH₄)の水素と炭素を切り離してしまうことです。そのためCO₂は生成されず、生成されるのは水素と固体の炭素となります。CO₂が出ないためCCSの必要がありません」

エネルギー効率は、水蒸気改質より小さくなるが、回収された炭素はエネルギー物質として貯蔵・利用でき、機能性材料となる可能性もある。さらに、メタン源として天然ガスのほか、有機性廃棄物由来のメタン(バイオガス)も利用可能である。産総研では、触媒開発だけでなく、流動層やロータリーキルンなどの反応器を含めて所内で連携して研究開発ができることも強みだ。

2050年の低炭素社会のために

今はまだシーズ段階であり、現時点では、触媒性能の向上や反応システムの検討など実用化に向けての課題は多く、2050年に向けて着実に研究開発を進める必要がある。しかし、CO₂排出量の80%削減を実現させ、さらにゼロエミッション社会を目指していくためには、CO₂を出さずにエネルギーを確保できる技術は確実に必要となる。

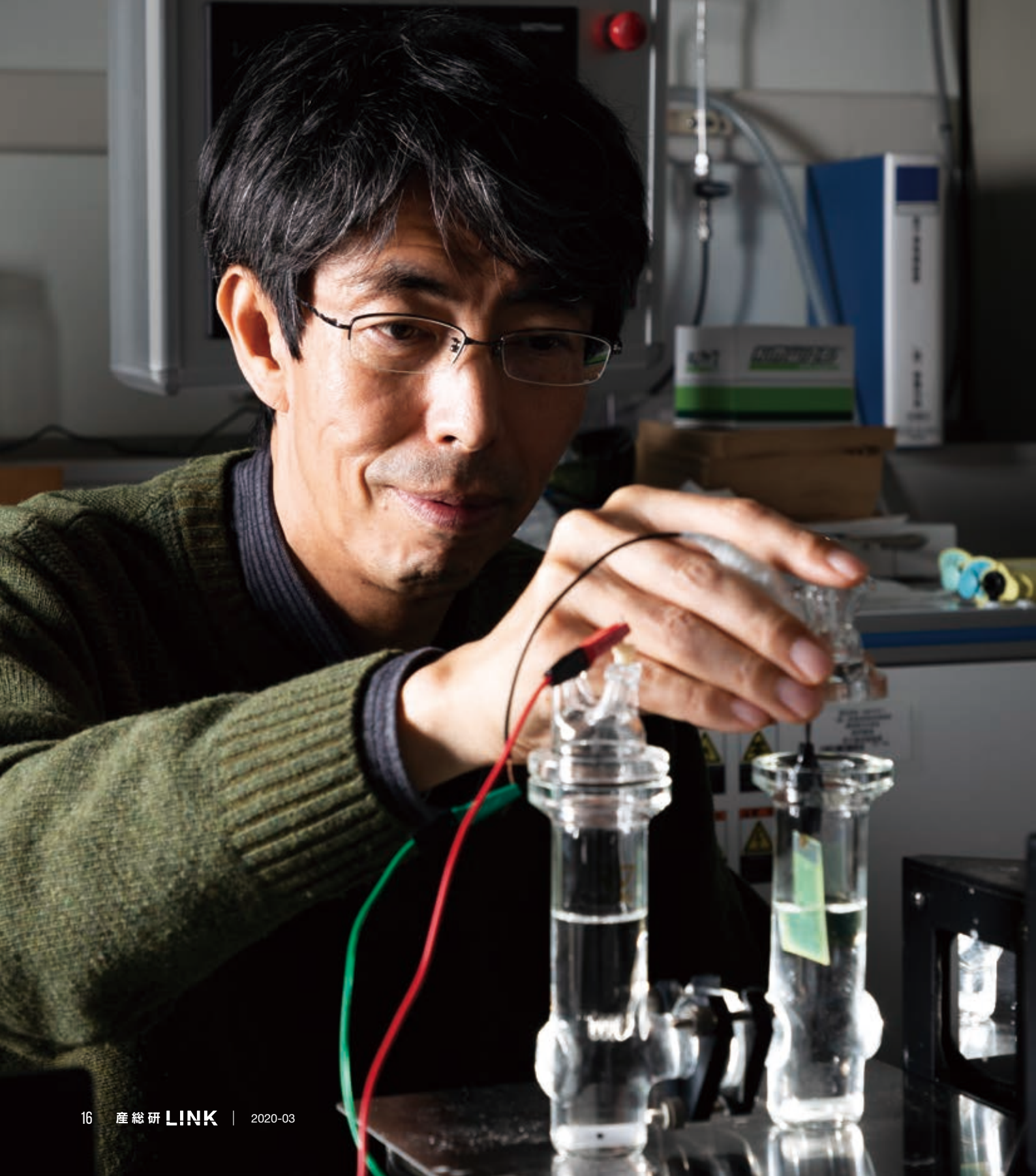
「エネルギー分野においてもイノベーションが強く求められる中、長期的視野に立って道筋を示すべく、シーズを作り、育てるとともに、技術開発を進めるための基盤を作っていくことは産総研の使命だと考えています」

2050年に向けてあらゆる技術が求められ、その技術としてメタン熱分解も活用される——熱分解されるメタンは、天然ガスのほか、廃棄物処理場や下水処理施設由来のバイオガスなどからも供給。メタン分解でできた水素は、水素ステーションや発電施設で用いられる。炭素はエネルギーとして貯蔵されることでエネルギーセキュリティに貢献するとともに、炭素材料としても活用される——。

高木がイメージするのはこのような姿だ。この水素製造技術が社会実装される未来に向け、現在は触媒反応などのデータを取りながら、高効率な触媒や反応器の開発、炭素の新たな活用法の探索などに取り組んでいる。

再エネ社会構築のための 新たな選択肢「人工光合成」

多様な反応のハイブリッドで早期実用化へ



KEY POINT



太陽エネルギー活用技術の**新たな選択肢**として期待される**光触媒-電解ハイブリッドシステム**。光触媒で酸素を、電解装置で水素を生成するという2段階の化学反応により、**安全で低コストな水素製造**を実現する**人工光合成システム**である。



太陽光発電研究センター
首席研究員
機能性材料チーム 研究チーム長

佐山和弘

Sayama Kazuhiro



太陽光発電研究センター
機能性材料チーム
主任研究員

三石雄悟

Miseki Yugo

人工光合成は 太陽エネルギー活用の新たな選択肢

地球上に無尽蔵に降り注いでいる太陽光。そのエネルギーをすべて無駄なく電気に変換できれば、1時間分の照射で人類が1年間に消費するエネルギーをすべてまかなえるほど膨大だ。

しかし問題は、太陽光はエネルギー密度が低く、天候に左右されるため不安定であることだ。そのため、クリーンで無尽蔵、地球上に遍在しているというメリットがありながら、このエネルギーを利用できる技術の選択肢は非常に少なく、現時点では太陽光発電か、太陽熱利用くらいしかない。そのためそれらに続く、実現性の高い新しい選択肢をつくり出すことが、エネルギー技術に携わる研究者に求められている。

太陽光発電研究センターの佐山和弘と三石雄悟はこの新たな選択肢として、人工光合成技術を用いた「光触媒-電解ハイブリッドシステム」による「ソーラー水素製造」を提案する。人工光合成とは植物の光合成の仕組みを模して、太陽エネルギーを化学エネルギーに変換して水素や有用化学品をつくり出す技術のことだ。

「人工光合成」という言葉は、SF世界など未来のイメージをいだきやすいため、基礎研究寄りの「応用はまだ先の研究」という認識が強い。しかし佐山は「実際にはもう夢物語ではなく、かなり実用化に近づいている技術だ」と言い切り、目的指向の技術・概念であることを明確にした「ソーラー水素製造」という言葉を用いている。

植物の光合成を模して 2段階で水素を製造

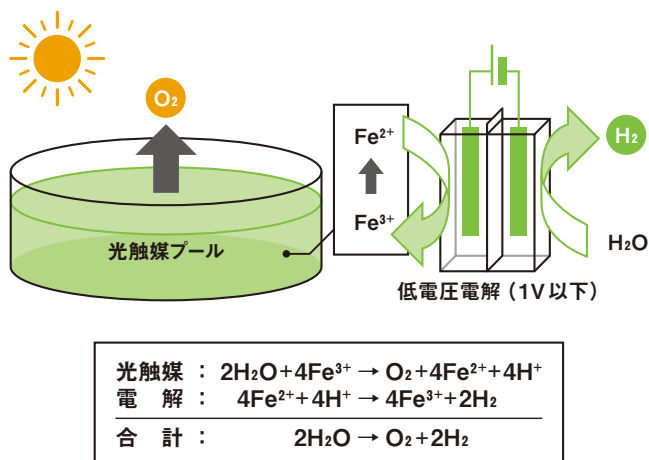
太陽光を利用して水素を製造する技術には、大きく分けて2種類ある。一つ目は水中の酸化チタンなどに光を照射して水を水素と酸素に分解する「光触媒」系と、二つ目は光電極を用いて分解する「光電極」系と呼ばれる技術だ。光触媒を使った方法は、水の中に粉末の酸化物などの半導体材料を分散し、そこに光を当てることで酸素と水素を発生させる。溶液の成分を変えれば、さまざまな有用化学品を生成することもできる。佐山は大学時代からこの「光触媒」系の研究を行っていた。

光触媒の研究開発の歴史は長く、すでにセルフクリーニング建材や空気清浄機などへの環境応用は広く進んでいるが、水素エネルギーの製造という面では、エネルギー変換効率がまだまだ低く実用化に至っていない。しかも、酸素と水素が同じところから発生するため、爆発の危険性があること、水素を回収するのに手間がかかるなどさらなる課題もある。

最大の課題であるエネルギーの変換効率を上げるには、よい触媒を見つけるだけでなく、より効率的な製造方法を開発する必要がある。光触媒については、長く紫外線でしか水を分解する方法がなかったところ、佐山が2001年に世界で初めて可視光で水分解できる光触媒系をつくり、変換効率向上にむけて一歩踏み出すことができた。

「どうすれば可視光で効率良く水分解ができるのか。安全性やコスト面を含めた課題が解決できるのかを検討していく中で

■光触媒-電解ハイブリッドシステム



▲光触媒プールは、光触媒粉末を成膜したシートおよびレドックス媒体を含む電解質溶液から構成されている。光触媒プールに太陽光が当たると、光触媒で水を酸化して酸素(O_2)を発生しながら鉄レドックス反応で Fe^{3+} から Fe^{2+} を生成する。次に、低電圧の電解装置を用いて、 Fe^{2+} を Fe^{3+} に戻しながら水素発生を行う。

思いついたのが、天然の光合成のメカニズムを模倣することでした。実は植物は葉緑体の中に2種類の光吸収部をもっており、一方の光吸収部側の反応で吸収した光と水から酸素を合成し、もう一方の光吸収部側では、水から有機物の水素化物を合成するという、2段階の反応になっているのです。2種類の光吸収部の間は複数の酸化還元媒体(レドックス媒体)が電子をリレーしています。それまでは光触媒を1種類しか使っていませんでしたが、天然の光合成と同じように2種類の光触媒と単純なレドックス媒体を使い、酸素と水素を分けて生成すればよいと気づいたのです」

通常、光触媒では水から酸素と水素が同時発生するが、レドックス媒体(鉄やヨウ素イオンなど)を用いると、一方の光触媒上では酸素が発生しながらレドックスの還元が起り、別の光触媒上では水素が発生しながらレドックスが酸化されて元に戻るのだ。

この方法だと使える触媒の種類は多く、さまざまな組み合わせを試すことができる。その上、理論上は酸素と水素を別々に分離生成できるので安全性が高いこと、水素を捕集する手間も不要になるのでは、と考えられた。この新規概念と研究成果を発表すると期待度の高まりから多くの研究者がこの分野に参入してきたが、水素の発生効率が悪いなど、実用化するためには解決すべき課題が多かった。

植物に迫る 世界最高の効率を達成

研究を進めるうちに、2種類の光触媒のうち酸素を出す側の性能はそう悪くはないことがわかった。改良すべきは水素を発生させる方の反応だった。

「ならば、水素の方を電解装置に置き換えよう。新しい光触媒にこだわるのではなく、すでにあるものが使えるのであれば、それでいい」(佐山)それが光触媒-電解ハイブリッドシステムのアイデアにつながった。

それは、先の光触媒反応の第一段階で Fe^{2+} 溶液ができたから、それを低電圧の電解装置に流すという、外部の装置を用いる仕組みだ。電解側では Fe^{2+} は Fe^{3+} に戻りながら高純度の水素を発生させる。これなら水素と酸素は完全に分離し、大面積化も容易だ。これこそ短時間で実用化につなげられるシステムではないかと、佐山には感じられた。

佐山が最初にこのアイデアを思いついたのは、実はもう20年近く前のことだ。しかし、光触媒と電解を組み合わせたハイブリッド装置は、想定した動きはしたものの光触媒の変換効率を大幅に向上させることはできなかった。

転機は2009年に訪れた。やはり光触媒を専門とする三石が入所してきたのだ。このテーマに取り組んだ三石は、着々と成果を上げ、初めは0.1%にも満たなかった太陽エネルギーの変換効率を、すぐに0.3%にまで向上させた。

「1つの粒子の中で必要なことをすべてやらなくてはならない光触媒は、配慮すべきことが多い複雑な材料です。問題点を一つ一つ解決しながら、どこが性能向上を妨げているのかを見極め、実験を繰り返していく中で、よりよい光触媒に巡り合えました」

三石は当時をそう振り返る。その後も光触媒の性能をあげるための研究は続き、現在では0.65%という変換効率を達成している。この数値は、粉末光触媒とレドックス媒体を使う人工光合成技術の中で、現時点で世界最高である。

「現在の屋根置き太陽電池の効率が20%程度なので、0.65%という値は非常に低いと感じるかもしれません。しかし、トウモロコシが太陽光をセルロースに変換するエネルギー効率は0.8%程度です。人工光合成のメカニズムは基本的に太陽電池と同じなので、理論的には10%以上を出せると考えていますが、酸

化物の粉を鉄溶液に入れるだけで植物に近い変換効率が出たのは、かなりの成果だと考えています」(三石)

今後の効率向上は、太陽光の中でも長い波長まで吸収できる光触媒をつくれるかどうかにかかっている。ただ、光触媒の探索については、人間が手作業でやっていた試せる種類にも限りがあるため、現在は自動触媒生成ロボットも併用している。将来的にはAIと組み合わせることで、光触媒探索自体をさらに効率化していけるはずだ。

つなぎの技術も重要

佐山が光触媒-電解ハイブリッドのアイデアを出した当時、周囲の反応は今ひとつだったと言う。興味はもたれても、粉を入れるだけで完結する光触媒と違い、電気も使うと複雑に思えるし、何より高コストになると考えられたためだ。

しかし、実際には、鉄溶液に光触媒を分散して光に当てるだけで、あとは勝手にエネルギーをつくってくれるという、単純で大容量化も容易なシステムだ。太陽光発電と水電解を組み合わせたシステムよりも、こちらのハイブリッドシステムの方がコストが安くなるという試算もでている。

さらに、溶液の種類を変え、酸素ではなく価値の高い有機物や有用化学物質(過酸化水素や次亜塩素酸など)を生成して販売すれば、システム全体ではさらに低コスト化が可能になるはずだ。そのような光触媒系および光電極系も精力的に研究している。

「ハイブリッドカーは、電池もガソリンエンジンも積んでいるため、最初は高価格で市場への浸透もゆっくりでしたが、低コスト化が進み、環境負荷の低さや燃費の良さも知られるようになったことで売れるようになりました。将来的には電気や水素のみで動くことが理想ですが、それが実現するまでのつなぎとしてハイブリッドにしているわけです」

光触媒-電解ハイブリッドシステムもそれと同じで、究極の技術というより、あくまでつなぎの技術だと佐山は言う。究極の光触媒が見つかるまで新しい技術の導入を待つのではなく、まずは、現実的な技術を早く実用化して社会の低炭素化に貢献する方がよいのではないか、という考えである。

現在は興味をもってくれる企業も増え、さまざまな分野の企業とともに実用化に向けた研究開発を進めている。今後は、光触媒側では変換効率が1~3%を超える材料を見つけ、電解側では大規模化して実証実験を行いながら、光触媒と電解それぞれの適応幅を広げ、最適なマッチングを探していく。

「エネルギーに関する技術は実用化までに時間がかかるので、長・中・短期それぞれの技術を同時に走らせていかなければ、息切れしてしまいます。実用化が遠くないと思っているこの技術の研究開発に、多くの企業に参加していただきながら、粘り強く開発を進め、一刻も早く再生可能エネルギー社会を実現していきたいと思います」と佐山は言う。

三石も「人工光合成、ソーラー水素製造は、最終的に必ず社会に役立つ技術だと信じています。この技術を企業に橋渡しする使命を、少しでも早く果たせるように努力していきます」と、決意を語った。



人工光合成を使って、未来のエネルギーづくりに挑戦したい!! という方はぜひ一度ご相談ください。

産総研 エネルギー・環境領域
太陽光発電研究センター

〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 つくば中央第2
envene-liaison-ml@aist.go.jp
<https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/index.html>

LINKの先にあるのは「技術を社会へ」
そんな思いをのせたコミュニケーション・マガジン
「産総研LINK」をお届けします

産総研LINK

検索

産
総
研
LINK
技術を社会へつなげるコミュニケーション・マガジン

産総研LINK No.29 2020年3月発行

編集・発行 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
問い合わせ 企画本部 広報サービス室 出版グループ
〒305-8560 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1
TEL : 029-862-6217
E-mail : prpub-ml@aist.go.jp

産総研LINK次号予告

» 2020年4月号は、“街”と連携して研究開発を行う人間拡張研究センターをご紹介します。



産総研チャンネル



バックナンバー