

産学官との連携



取材日：2025年4月22日
日本科学機器協会会議室

東京理科大学 理学部第一部応用化学科 教授
総合研究院 カーボンバリュー研究拠点 拠点長

く どう あ き ひ こ
工藤 昭彦 先生 に聞く

日本が世界にアドバンテージを持つ
光触媒水分解によるグリーン水素と
人工光合成が拓く持続可能な社会 上

聞き手：富山裕明 日本科学機器協会 広報委員長
梅垣喜通 日本科学機器協会 参与
岡田康弘 日本科学機器協会 編集長
(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

工藤 昭彦 先生のプロフィール

【学歴・職歴】

1983年 3月 東京理科大学 理学部第一部化学科 卒業
光触媒を使った水分解と出会い、生涯の研究テーマとする
1985年 3月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 電子化学専攻修士課程修了
1988年 3月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 電子化学博士後期課程修了(理学博士)
光と電子が関わる無機材料開発～人工光合成光触媒開発

1988年 4月 アメリカ・テキサス大学オースティン校 博士研究員
色素増感電池、光触媒開発、NOx除去触媒
1989年11月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 電子化学専攻・助手
金属層状酸化物発光材料、高圧CO₂の電解還元、N₂O除去光触媒
1995年 4月 東京理科大学 理学部第一部応用化学科・講師
水分解・CO₂還元・NOxおよび硝酸還元光触媒(金属層状酸化物発光材料)
1998年 4月 東京理科大学 理学部第一部応用化学科・助教授
2003年 4月 東京理科大学 理学部第一部応用化学科・教授
2022月 1月 東京理科大学 研究推進機構総合研究院カーボンバリュー研究拠点 拠点長
光触媒を通した科学への啓発活動

【受賞】

1990年 井上研究奨励賞
2001年 3月 触媒学会奨励賞
2009年 9月 光化学協会賞
2011年 3月 第10回グリーン・サステイナブル ケミストリー(GSC)賞
環境大臣賞

2011年10月 ENEOS水素基金設立 5周年記念顕彰
2017年 3月 平成28年度触媒学会 学会賞(学術部門)
2018年 6月 第72回(平成29年度)日本セラミックス協会賞[学術賞]
2018～2019年 クラリベイト・アナリティクス 高被引用論文著者
2020年 4月 令和2年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)
2022年 令和4年度 東京都功労者(技術振興功労)
2024年 日本化学会賞
2025年 電気化学会賞(武井賞)
2025年 東京応化科学技術振興財団(向井賞)



工藤先生は地球環境問題の解決に寄与する人工光合成、グリーン水素の研究などに組みまれ、世界的な功績をあげられています。どのような研究なのか、ご教示いただけますか。

工藤 化石燃料や資源の使用によってCO₂が排出され続け、温暖化などの地球環境問題が起きていることは、皆さんもよく理解していると思います。これを解決しないと100年後の地球がどうなっているのか非常に懸念されています。

そうした問題を解決するために注目されているのが、私が行ってきた人工光合成、そしてグリーン水素製造と二酸化炭素の資源化の研究です。これらの研究が工業的に実現できれば、地球上の資源、エネルギー、環境問題を解決することに大きく寄与し、カーボンニュートラル社会の構築に貢献できます。言い方を変えると、これらの研究の実用化なくして、持続可能な地球環境を維持することは非常に難しいとも言えます。非常にやりがいがあり、また科学者として大変面白い研究分野です。当然、SDGsにも直接的に関わるもので、SDGs達成目標の「No7.エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「No9.産業と技術革新の基盤をつくろう」「No13.

産学官との連携

気候変動に具体的な対策を」との関係が深い科学技術です。

私たちのエネルギーの元は食物を含め“太陽光”由来

グリーン水素と人工光合成によって、化石資源を使わない社会が実現できるのでしょうか。

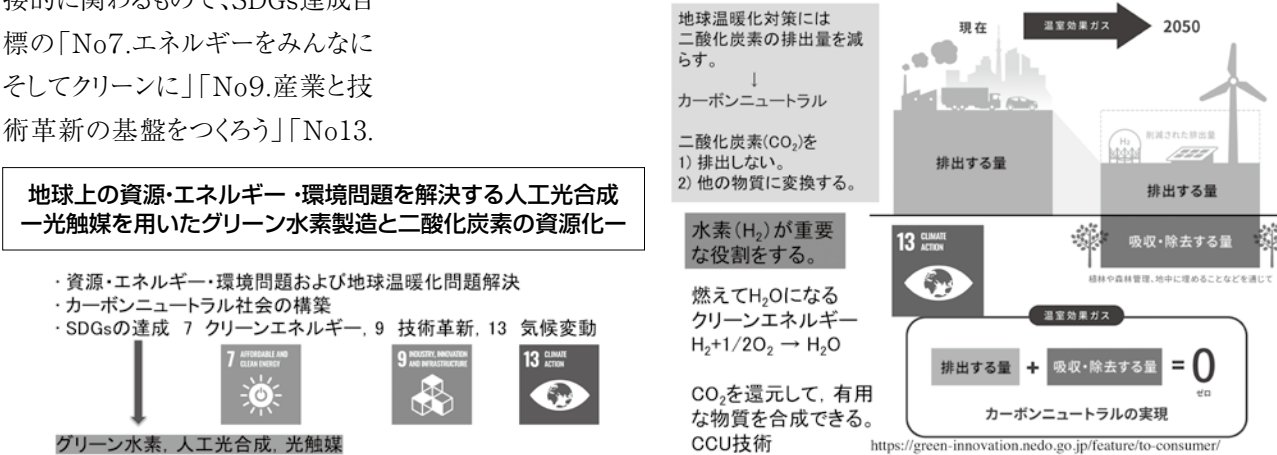
工藤 簡単にいうとそれを目指すものです。環境やエネルギーの問題の根本的な原因は、石油、石炭、天然ガスなどの化石資源に頼っているからです。この化石資源に頼らないエネルギーシステムを実現し、様々な地球環境問題を根本的に解決するための研究、技術です。

そもそも化石燃料とは何なのか？ということに触れると、もとをたどると太古の恐竜の時代になります。太陽のエネルギーを蓄えて植物が成り立ち、それを食べた恐竜などの動物が成り立つという図式のもとで、太陽光エネルギーが恐竜などの姿に変わって、それが死骸になり、化石燃料ができていきました。ですので、化石燃料のエネルギーとは太古の太陽光エネルギーとい

うことになります。そして現在の私たちが食べている食べ物も、根源は太陽光エネルギーなのです。ですので、太陽光エネルギーが蓄積されたものを食べながら生きていて、なおかつ電気や熱や工業製品なども全て太陽光エネルギーが根源にあるということになり、人間活動の全ての根源は太陽光エネルギーということになるわけです。

さらにカーボンニュートラルとは何かもお話します。まず空気中に増えたCO₂の排出量を減らすことですが、それだけではある程度の量は残ってしまうので、残された分と同じ量を貯蔵吸収して、ゼロにするのがカーボンニュートラルです。

ここで重要なのが水素です。水素がないとカーボンニュートラルは達成できません。水素は燃えても水になる非常にクリーンなエネルギーでCO₂を出しません。さらに水素があれば二酸化炭素を還元して色々なものを作ることができます。CO₂を回収して利用する技術のCCU(Carbon Capture and Utilization)の開発に繋がります。



水素ならば全てクリーンな
エネルギーとは限らない！
課題は“水素の作られ方”

水素自動車など、身近に水素の活用を目にするようになってきました。

工藤 おっしゃる通り水素エンジンの自動車が登場し、水素ステーションも作られています。また、燃料電池自動車の燃料も水素です。しかし全ての水素がクリーンエネルギーかというと、そうとは限りません。実は、たかさんの水素が化石燃料を使って作られているのです。

水素の製造も化石燃料から作られるのですか。

工藤 現在はほとんどがそうです。化石燃料に頼らないで作る水素、これをグリーン水素と呼び、カーボンニュートラルの実現や、エネルギー、環境問題の解決にもっとも重要な技術になります。そもそも水素はクリーンエネルギーとして注目される以前から、化学工業界関係においては、なくてはならない原料とされてきました。例えば、化学肥料に

なるアンモニアの合成は100年以上前に確立したハーバーボッシュ法で可能になっています。これは水素と窒素を使って行うもので、人類の食糧問題を解決する大きな力となってきました。さらに水素は、例えばガソリンやアルコールを作ることも欠かせず、そうしたものからまた色々な化学製品を作ることができるので、化学工業には水素は不可欠なのです。

環境問題などの解決に 最も重要なグリーン水素

工藤 水素は無色無臭ですが、作られ方によってグレー水素・ブルー水素・グリーン水素という呼び方をしています。

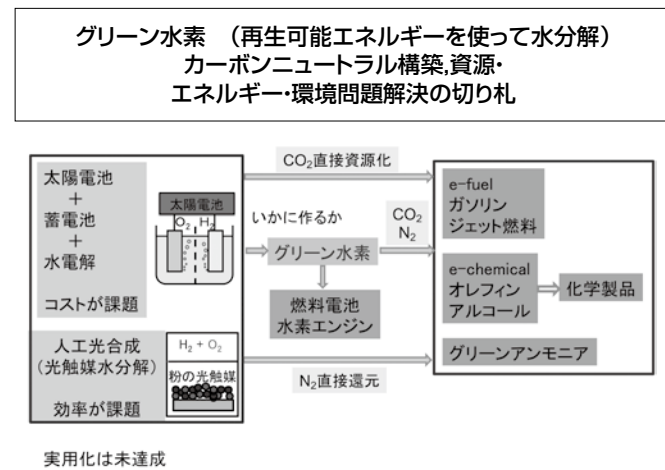
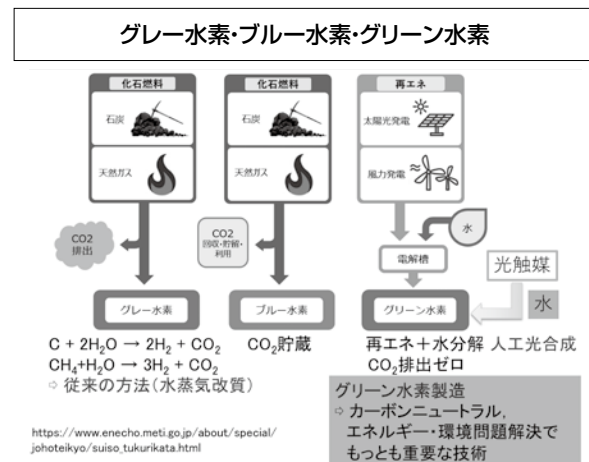
グレー水素は、化石燃料に水を反応させる水蒸気改質という方法で作られます。CO₂も排出しますし、化石燃料を食いつぶしています。残念ながらこれが現在の工業的な水素の製造方法です。ですので、いくら水素自動車や燃料電池自動車を作って走らせても、使うのがグレー水素では意味がないわけです。

次にブルー水素ですが、これも

化石燃料から作ります。しかし製造過程でできるCO₂は回収して地中に埋めて大気中には出さないようにして作っています。一時期、オーストラリアと日本のプロジェクトで、石炭から水素を作ってオーストラリアでCO₂を埋めてできた水素を日本にタンカーで輸送していました。しかし、ブルー水素も基本的には化石燃料を食いつぶしますし、CO₂を地中に埋めているといっても、地球上のCO₂はやっぱり増えていることになってしまいます。

こうしたグレー水素やブルー水素に対して、理想的なクリーンエネルギーとなるのがグリーン水素です。その原料は水です。水分解して水素を作るので、化石燃料は使わずCO₂も排出しません。ですからカーボンニュートラル、エネルギー問題、環境問題解決の切り札となるわけです。私は光触媒で水を分解して、このグリーン水素を作る研究をしています。

石油由来の燃料や原料が、グリーン水素で代替していけるようになるのですね。



産学官との連携

工藤 そういうことです。例えばグリーン水素があれば、クリーンエネルギーとしてe-fuelと呼ばれているガソリンやジェット燃料を生み出すことができたり、CO₂を原料とした色々な原料や化学製品ができます。さらに最近重要なキーワードとして言われるグリーンアンモニアというものがあります。これもグリーン水素からできるもので、逆にグリーン水素がないと作ることができず、絵に描いた餅になってしまうということになります。

私は直接関わってませんが、様々な試みがされていて、例えばe-fuelはNEDOプロジェクトで大きなものが進行しています。さらにもう1つ、福島ではメガソーラーで発電して水を電気分解して水素を作るプロジェクトが進行していて、実証試験はできたと聞いていますが、実用化、商用化に至っていません。細かいところまでは知らないのですが、コスト面の課題があるのかな?と想像します。ただ国としては、問題となっている溝を埋めるべく、進めている動きはあります。

太陽光で水分解して 水素を作る人工光合成

工藤 今お話しした例は、太陽光発電をして電力を使うものでした。私が研究を進めてきた人工光合成は基本的には電力を使いません。CO₂と水、窒素というある意味タダのようなこれらを使い、人工的に光合成をしていくものです。

それにより水分解によるグリーン
水素の製造、また、水を電子源つま

り水素源とした二酸化炭素の還元反応を起こしてCCUに活用させる、また窒素の還元反応によってアンモニア合成を行ってグリーンアンモニアを作ることができていきます。

さらに水、CO₂、窒素で有用な高エネルギーの化合物を合成しているような可能性を持っています。このように色々な技術に応用していくことができるのです。

その人工光合成には光触媒、光電極というサイエンスとテクノロジーがキーとなります。

人工光合成を行うためには、大規模な装置が必要なのではないでしょうか。

工藤 いえ、実は非常に簡単に行えることを発見しました。方法はものすごく簡単で、基盤に光触媒の粉末を塗って水に浸し、光をあてます。電線も電極も何も繋ぐ必要はなく、基盤に粉を塗っただけのものです。するとその基盤からブクブクと泡が出て、水分解がされて水素がでるのです。

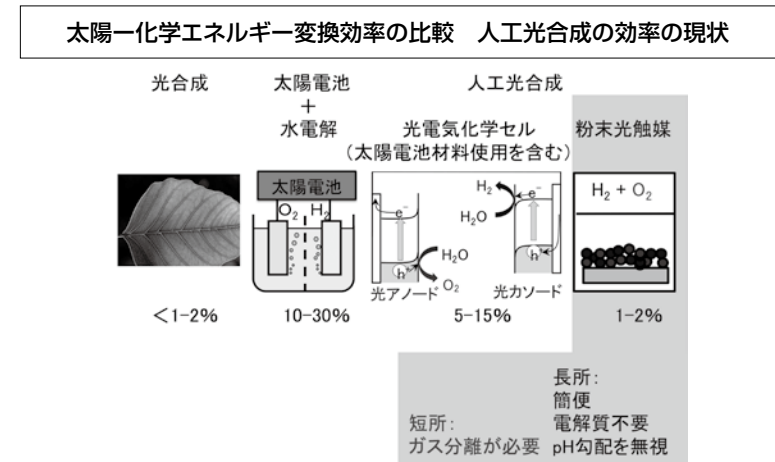
動画を拝見すると、どんどん泡が出ています。これが水素ですね。

工藤 これは非常に驚異的な反応です。というのは、水の分解は非常に難しい反応なのです。私たちが発表するまで、こうしたことが起こると多くの人が思っていないでしたが、これほど簡単に水素ができるものが実際にあるのです。この時は太陽光ではなく、光源には割と強めで300Wのキセノンランプを使っていますが、これが太陽光のレベルでできるように研究を進めています。

シンプルで、これを見ると実用化も
間近のように感じてしまいます。

工藤 実用化の大きな課題は効率で、現時点ではとても低いのです。自然界の光合成も例に出しながら、太陽エネルギーの化学エネルギーへの変換効率について説明します。

自然の植物の光合成は太陽エネルギーを糖という化学物質に変換しているもので、エネルギー変換効率は高くなく1~2%です。植物にしてみれば生きていければよいので、この程度で十分なわけです。



産学官との連携

次に、人工的に太陽電池を使って水分解をした場合の変換効率は10～30%程まで可能です。

そして人工光合成は、先程動画と共に説明した粉末光触媒を使うものと、もう1つ電気化学的なものがありますが、電気化学的なもので5%～15%程、粉末光触媒ではさらに低く、植物と同じ程度にとどまっています。ただ逆に言うと、植物と同じ程の効率は得られているという言い方もできます。

今述べた方法は、どれも一長一短あります。粉末光触媒は効率が低い一方で、ただ粉末を塗ればいいというシンプルさです。通常行われる電気分解のような電極やデバイスを作る必要がなく、電気もいりません。極端な言い方をすると、光があたる川の中につけておいてもOKなわけです。さらに細かいことを言うと、電気分解では使用していくうちに電極表面で変化が起こってエネルギー効率を落とすことがありますが、その心配が少ないです。

一方でデメリットとしては、水素と酸素が混ざって出てくるので分離しないといけません。水素と酸素が混ざった混合ガスは爆発しやすく非常に危険で、火がついたら大変なことになります。しかし早合点していただきたくないのは、例えば水素ボンベに穴が開いて漏れ出ているところに火がついても爆発せず、バーナーが燃えている感じです。閉鎖空間に閉じ込めて火がつくと危険なわけです。これを石油やガソリンで考えると、例えばタンカーが座礁したり、パイプラインに穴があいて石油が流出すると、海が黒く

汚れて、そこに火がつくと火の海のようにになってしまう恐れがあります。陸上の石油タンクから漏れ出しても同じような心配があります。一方で水素は漏れても気体ですので、拡散してだけで、石油のような心配はないわけです。

周期表の様々な元素を使い光触媒を作ることの面白さ

光触媒は、どのような元素を使って作るのでしょうか。

工藤 周期表の色々な元素を使って作ります。これが科学者としては非常に面白いのです。光触媒を作るのに使った元素を色付けすると周期表の半分以上になり、それほど様々な元素を扱います。そして実際に機能が発現した時は、非常に快感です。もちろん機能が発現しないで、ただの粉だったということもたくさんあります。触媒材料開発には、元素をどう組み合わせ、どう発想するかといった科学者としてのセンスというのも問われるようにも思いますし、若い研究者の人々にもそれを磨いて欲しいと思うところです。そういうことで、ほとんどと言っていいほど、たくさんの元素が光触媒の構成元素になりえるので、組み合わせは無限にあると言っても過言ではありません。

どういう元素で光触媒を作ってきたかということに話を戻します。

大学院時代に、それまでとは全く違う新タイプの物質を使った光触媒で、水の完全分解に成功しました。それは、層状構造を持つ

K₄Nb₆O₁₇という光触媒です。Kはカリウム、Nbはニオブという元素です。これは、現在信州大学特別特任教授で、昨年ノーベル賞候補にも挙げた堂免一成先生のもとで研究していた頃です。

水の分解は化学式にするとH₂O → H₂+½O₂と非常にシンプルなのですが、先ほども申したようにとても難しい反応で、エネルギー変換型の反応なので、なかなかうまく進みません。この反応を起こす光触媒は、この発見以前は1、2個あるくらいでほとんどありませんでした。その中で、全く新しいタイプの“層状構造”という、文字通りいくつかの層を持つ物質を作ったところ水の完全分解反応が得られました。こういう面白い構造を持つものが活性を示したという発見は、非常に魅力的に感じ、それからずっと続けてきています。

この発見は、これならいけるという目論見があったのでしょうか。

工藤 目論見と偶然がありました。当初は、CrNbO₄というものを作ろうとしていたのです。それを作るためにはKが入った試薬を使うのですが、しっかり洗ってKを落とし切ったつもりが残っていたのです。活性が見られたので調べ直すとK₄Nb₆O₁₇だったと分かりました。

結果的に、面白い構造を持った非常に稀な光触媒剤を発見できたというこの学生時代の仕事が、光触媒材料研究の魅力の取っ掛けりでもありました。その後、ポスドクでアメリカに行って、東工大で助手を

やって、1995年に東京理科大に自分の研究室を持つようになり、ここで光触媒の研究を再開しました。

そして研究室ができた1年目に、先ほどのニオブ(Nb)という、あまり光触媒で使っていない元素に着目し、これもまた面白い柱のような構造をした柱状構造の物質で光触媒で活性を試しました。しかし、あまり活性が出なかったのです。そこで、元素の周期表でNbの下にあるタンタル(Ta)に置き換えました。K₃Nb₃Si₂O₁₃の、NbをTaaにして、K₃Ta₃Si₂O₁₃で試したのです。すると水がちゃんと分解して水素と酸素が定常的に出ることが得られ、これも全く新しい構造と元素からなる発見ということになりました。

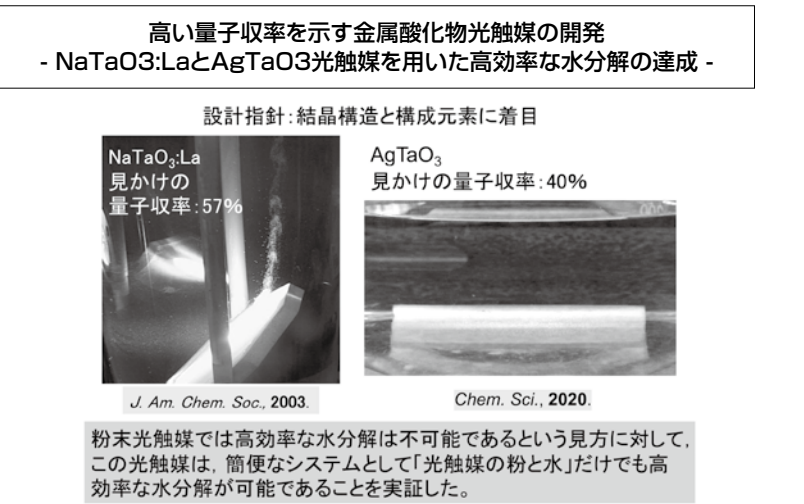
以来、タンタル系は結構やってきましたし、その他の元素でも色々と水分解する光触媒を発見してきました。私の研究室独自の設計指針で開発した光エネルギー変換型光触媒は、150前後になります。

従来にない光触媒を多数発見 科学者の中でもありえないと驚かれるほど注目を集める

工藤研究室独自の設計指針で開発した光エネルギー変換型光触媒

紫外光応答光触媒 水分解とCO ₂ 還元	
Na ₃ Li _{0.5} Ti _{0.5} O ₃ Na ₃ B _{0.5} Ti _{0.5} O ₃ -AgTaO ₃ MLa ₂ Ti ₂ O ₇ (M=Ca,Sr,Ba) CaZrTi ₂ O ₇ MBi ₂ Ti ₂ O ₇ (M=Ca,Sr,Ba) SrGa ₂ Nb ₂ O ₇ BaNb ₂ O ₇ Sr ₂ Nb ₂ O ₇ Cs ₂ Nb ₂ O ₇ Ba ₂ Nb ₂ O ₇ NaSr ₂ Nb ₂ O ₇ NaCa ₂ Nb ₂ O ₇ KM ₂ Nb ₂ O ₇ (M=K,Rb,Cs) A ₂ Nb ₂ O ₇ (A=K,Rb,Cs) A ₂ Nb ₂ O ₇ (A=K,Rb,Cs) Ba ₂ La ₂ O _{7-0.5x} InBO ₃	NaTaO ₃ NaTaO _{3-x} M(M=La,Ca,Sr,Ba) AgTaO ₃ MTa ₂ O ₇ (M=Ca,Sr,Ba) K ₂ Ta ₂ O ₇ K ₂ LnTa ₂ O ₇ K ₂ Ta ₂ B ₂ O ₇ KM ₂ Ta ₂ O ₇ (M=Ca,Sr,Ba) MSr ₂ Ta ₂ O ₇ (M=Na,K,Rb,Ag) CaTa ₂ O ₇ MTa ₂ O ₇ (M=La,Y) Zr ₂ Ta ₂ O ₇ K ₂ La ₂ O ₇ K ₂ La ₂ Y ₂ O ₇ Cs ₂ Ta ₂ O ₇ Cs ₂ Ta ₂ O ₇ Cs ₂ Ta ₂ O ₇ Li ₂ Ca ₂ Ta ₂ O ₇ Ag ₂ Ca ₂ Ta ₂ O ₇
可視光応答光触媒 水分解とCO ₂ 還元	
SrTiO ₃ -M,Sb (M=Rh,Ru,Ir) Na ₃ Pr ₆ Ti ₁₀ (AgTaO ₃) ₁₀₀ (PbTiO ₃) ₁₀₀ CuGaS ₂ -BiVO ₄ (CuGa _{1-x} Zn _x) ₂ S ₂ -BiVO ₄ Cu ₂ -Ag ₂ Ga ₂ -In ₂ S ₃ -BiVO ₄ (ZnGa _{2-3x} S ₃)(Cu) ₁ -BiVO ₄ SnS ₂ /Cu ₂ ZnSnS ₄ -BiVO ₄ Cu ₂ V ₂ S ₇ -BiVO ₄	SrTiO ₃ -Rh-BiVO ₄ SrTiO ₃ -Rh-Bi ₂ MoO ₇ SrTiO ₃ -Rh-TiO ₂ -M,Sb(M=Rh,Cr) SrTiO ₃ -Rh-SrTiO ₃ -M,Sb (M=Rh,Ru,Ir) SrTiO ₃ -Rh-AgNbO ₃ SrTiO ₃ -Rh-NaNbO ₃ -Rh,Ba SrTiO ₃ -ir-BiVO ₄ NaTaO ₃ -ir-La-BiVO ₄ BaTaO ₃ -ir-La-BiVO ₄ SrTiO ₃ -ir-SrTiO ₃ -Ru,Sb
可視光応答金属酸化物光触媒(水素または酸素生成)	
H ₂ evolution	O ₂ evolution
SrTiO ₃ -Rh SrTiO ₃ -Rh SrTiO ₃ -Co SrTiO ₃ -Ru Sr ₂ TiO ₇ -Rh Sr ₂ Ti ₂ O ₇ -Rh Cu ₂ Ti ₂ NbO ₇ -Rh Cu ₂ Li ₂ Ti ₂ O ₇ Cu-K ₂ La ₂ Ti ₂ O ₇ SnNbO ₄ Cu-NaTaO ₃ Cu-K ₂ SrTaO ₃ BaTaO ₃ -ir-La NaTaO ₃ -ir-La	TiO ₂ -Cr,Sb TiO ₂ -Ni,Nb TiO ₂ -Rh,Sb SrTiO ₃ -Mn SrTiO ₃ -Co SrTiO ₃ -Ni,Ta SrTiO ₃ -Rh,Sb SrTiO ₃ -Ru,Sb SrTiO ₃ -ir,Sb Ag ₂ Cr ₂ S ₇ TiO ₃ Ag ₂ Li ₂ Ti ₂ O ₇ La ₂ Y ₂ TiO ₇ -Rh La ₂ Y ₂ Na ₂ TiO ₇ -Rh Ag-K ₂ SrTaO ₃ Ag-Na ₂ W ₂ O ₁₁
可視光応答金属酸化物光触媒(水素生成)	
ZnS-M(M=Ni,Pb) (ZnS) ₁₀₀ (CuO) ₁₀₀ CuGaS ₂ AgGaS ₂ AgGaS ₂ -Rh CuInS ₂ -AgInS ₂ -ZnS (CuGa) _{1-x} Zn _x S ₂ Cu ₂ -Ag ₂ Ga ₂ -In ₂ S ₃ Cu ₂ ZnGeS ₄ Ag ₂ ZnGeS ₄ Ag ₂ ZnSnS ₄ CuAgZnSnS ₄ CuGaGeS ₄	CuGa ₂ S ₄ ZnGa ₂ S ₄ -ZnIn ₂ S ₄ ZnGa ₂ S ₄ -CuI CuGaS ₂ (CuGa) ₂ Zn _{1-x} In _x S ₂ (CuGa) ₂ Zn _{1-x} Ga _x S ₄ CuGa ₂ In ₂ S ₄ CuGa ₂ In ₂ S ₄ Cu ₂ GeW ₂ S ₄ Cu ₂ SnW ₂ S ₄ Cu ₂ SnMoS ₄ NaInS ₂ PbIn ₂ S ₄ Pb ₂ In ₂ S ₄

産学官との連携



150前後におよぶ発見！先生は、まさに新たなサイエンスを開拓されてきたわけですね。

工藤 そうした光触媒の中には、紫外光に応答するもの、可視光にも応答するものに分かれ、さらに水分解とCO₂還元の活性がみられるもの、水素または酸素を生成するもの、水素だけを生成するもの、という風に特性が違うものがあります。そのいくつかを紹介します。まず2000年頃に発見した、タンタル酸ナトリウム(NaTaO₃:La)です。最初に例を出したものと同様、これを塗った基板を水に浸して光を当て

ると、ブクブクと水素を出します。

何度か言いましたように、非常に難しいとされた反応があまりに簡単に出来たという発見なので、最初に論文投稿をした時は「こんなことはあり得ない」とリジェクトを受けたのです。最終的にはアメリカの方で通してくれました。そしてこの成果は、今の大阪万博の前に開かれた、2005年の「愛・地球博」で展示されました。また、高校の化学の教科書でも“太陽光エネルギーを用いて未来のエネルギー源として期待される水素を作り出そうとする研究”ということで取り上げられています。日本科学未来館でも展示され、英国王立協会のクリスマスレクチャーでも取り上げられました。

科学史の転換点のひとつと言える成果だったという印象を受けます。

工藤 ちなみに、最初にもブクブクと水に浸けて光をあてるだけで水分解を進めて水素を作り出せる反応をご紹介しましたが、そちらは2020年頃に行ったAgTaO₃という光触媒です。いずれも、従来は粉

産学官との連携

末光触媒では高効率な水分解は不可能であるという見方に対して簡便なシステムとして「光触媒の粉と水」だけでも高効率な水分解が可能であることを実証した例です。

エネルギー変換効率を高めるための課題とは

工藤 話してきた光触媒は紫外光に応答するもので、太陽光の一部分しか使えておらず、そのためエネルギー変換効率が高まりません。高いエネルギー変換効率を実現するためには、可視光に応答する光触媒の開発が必要になります。

その光触媒には、単一粒子型とZスキーム型という大きく2つのタイプがあります。単一粒子型は、1つの材料で水を分解したり、CO₂を還元したり、水から酸素を作るもので、こうしたことが1つの粒子の上で起こります。一方、Zスキーム型は、還元用の光触媒と酸化用の光触媒を組み合わせ、酸素を出すこと、水素と二酸化炭素還元生成物を出すことを、別々に行うものです。これは電子伝達剤というものを使って電子のやり取りをすることで可能になります。

私たちの成果の1つは、単一粒子型の光触媒です。可視光に応答する水分解で、世界最高レベルの単一粒子型金属酸化物光触媒を開発することに成功しました。

既に可視光でも反応する光触媒も、世界最高レベルの効率で実現されているのですね。

工藤 波長でいうと660nmという可視光まで使えるということで、先程ご紹介したものより非常に幅が広がりました。ここまで応答する単一粒子の金属酸化物材料ができたのは世界初です。それでも、まだ効率が低いことが課題なので、高めていくための試行錯誤が必要です。これが最新のトピックです。

さらにZスキーム型として、ロジウムというものを加工して、水素を生成する材料、酸素を生成する材料を開発し、この2つを組み合わせ、Zスキーム型の光触媒を組んだところ、きちんと水が分解したことが分かりました。

私たちはオリジナルな光触媒材料を開発して、それで単一粒子型、Zスキームの型、両方ともに可視光で働く水分解光触媒を開発してきたのが大きな成果ということができます。

日本が世界をリードする水分解光触媒の技術

世界的に注目され、活用されるべき研究技術であるように感じます。

工藤 実は日本の水分解光触媒の技術は、世界をリードしています。その歴史的なところに触れながらお話します。

光触媒の研究は長い歴史があります。本多健一先生、藤嶋昭先生が1972年に発表した酸化チタン(TiO₂)に光を照射すると水が水素と酸素に分解されとの研究は「ホンダ・フジシマ効果」と呼ばれ非常に有名です。

しかし、それから20年程大きなブ

レイクスルーがなく、90年代半ばには多くの研究者がこの分野を去っていった低迷期がありました。しかしこの期間でも、地道に研究を続けていた多くの日本のグループがありました。それは私が学生から助手を務めていた時代で、先輩方は研究費の調達など、色々な面で非常に苦労したと聞いています。

そうした中で90年代後半になり、地道に研究を続けていたグループが色々と有用な材料を発見しました。一言加えておくと、低迷期で離れた研究者と地道に続けていたグループの違いは、実際に水分解する新しい光触媒材料を開発した成功体験を持っていた研究者です。去った方々はその成果にいたらなかったため、人によっては“そんなことは幻だ”と思っていました。ですので、後に私が新しい水分解をする光触媒を発表しても「ありえない」「ましてや粉末でこんな高効率な水分解が起こるわけがない」という固定概念が多くの研究者にあり、論文のリジェクトなど、非常に厳しい反応を浴びました。

そうした中で、先程話に出ました堂免一成先生など、従来はほとんどなかった水を水素と酸素に分解できる光触媒を発見した研究者は「実際にきちんと存在するのだ」と続けてきて、今世紀になって日の目を見て、エネルギー変換効率などの議論ができる段階になってきたのが現時点の動向です。

NEDO光触媒プロジェクトの分解技術は世界的コンペで群を抜くダントツの1位獲得

工藤 2019年のダボス会議で、当時の安倍首相はCO₂削減とカーボンニュートラルの実現に関連して、二酸化炭素が事と次第によっては一番優れた手に入れやすい資源になること、そのカギを握る技術として、人工光合成と光触媒の発見があることを世界に向けて示しました。それほど、世界をリードする日本で発展を続けてきた重要な科学技術だと言えます。

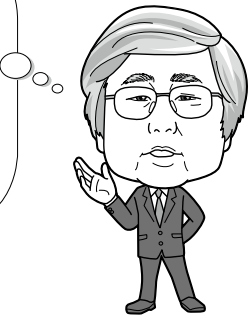
5年前、この演説を総理が行ったことで、国内の動きも活発になり、当時の安倍首相に三菱ケミカルの社長が光触媒の技術を説明すると言う、非常にインパクトのあることもありましたし、その半年後には光触媒技術が当時の経産大臣にも説明され、そして翌月に菅内閣が発足した時には、CO₂を50年でゼロにすることが所信表明で話されました。

その光触媒による水分解のひとつの現状を示すものとして、アープケム(ARPCHEM)というNEDOのプロジェクトが進行しています。三菱ケミカルが管理会社で、光触媒の分野は堂免先生がリーダーになって進めてきたプロジェクトです。

そのプロジェクトにおいて、「100㎡規模でのソーラー水分解実証実験」がなされ、堂免先生のグループが開発した光触媒を100㎡にわたって広げています。基盤に光触媒の粉末が塗ってあるだけのものを反応容器に入れて並べているわけですが、太陽光があたると水が分解して水素、酸素ができるという実証実験です。これは面積をもっと広げることできます。こうした

産学官との連携

グリーン水素と人工光合成は環境、エネルギー問題等を解決するキーとなる技術。研究を進めることは大きな責務と感じています！



事ができるのは日本の研究グループだけです。ただ、このデモに使われているのは、先程申し上げた紫外線に応答するものなので、効率面で難点があり、さらに効率をあげる光触媒の開発が課題です。

この技術は、2～3年前にEUで人工光合成のコンペティションが開催された時も発表され、結果を先に言うと、日本がダントツに優れていて優勝しました。そのコンペの内容は、太陽電池による水分解というものは対象外として、いわゆる人工光合成という技術で競争しようという趣旨で世界中から応募を受け、書類審査で3つに絞り込まれ、最後にその3グループがイタリアで実証試験を示すというものでした。コンペティションのミッションとしては、これを通して、太陽光、水、CO₂から燃料を作って何か小型のエンジンを動かすというものでしたが、まともに動いたのは日本のアープケムの技術だけで、他の2チームは、イギリスのケンブリッジ大学と、元々この内容のことをイタリアでやっていた研究所のグループでした。

そういうわけで、日本が世界のトップリーダーだと示されました。そして同時に、ヨーロッパで賞金があ

るコンペティションが開催されるほど、世界の関心が高い分野ということが伺えます。

工藤先生、またこの分野の多くの先人の方々が創り上げてきた日本の科学が、世界の環境問題を救えるテクノロジーとなりうることに、大変な意義を感じます。

工藤 まとめると、最終的にはソーラーパネルではなくて、水分解する光触媒でグリーン水素を作って化学工場に供給し、ここでCO₂や窒素も使いながら色々な物を生産していく、人工光合成工場を作ることが、私が行っている研究の最終的なゴールとなります。

まだ実用化されていないのは残念なところですが、この研究を続けずに辞めてしまったら、地球の環境問題の解決を目指す事もそのまま終わってしまいかねないので、私たちにはより研究を発展させ続ける責務があるように思っています。

次号「科学の峰々」では、引き続き工藤 昭彦先生にお話を伺います。