

2050年カーボンニュートラル 水素エネルギーの社会実装化

東京都立大学 都市環境科学研究科環境応用化学城
教授 宍戸 哲也

始めに

カーボンニュートラルというのは最近非常に大きなテーマになっていますので皆さんも関心があると思います。短い時間ですがお付き合いください。本日のテーマは以下の通りです。

- CO₂排出量の現状と「グリーン」水素」の必要性
- 水素をどうやって活用するか。
 - つくる・はこぶ・使う
 - ・グリーン水素の製造・利用
 - ・燃料電池の利用
 - ・CO₂の回収・利用の重要性
- 今後の展望

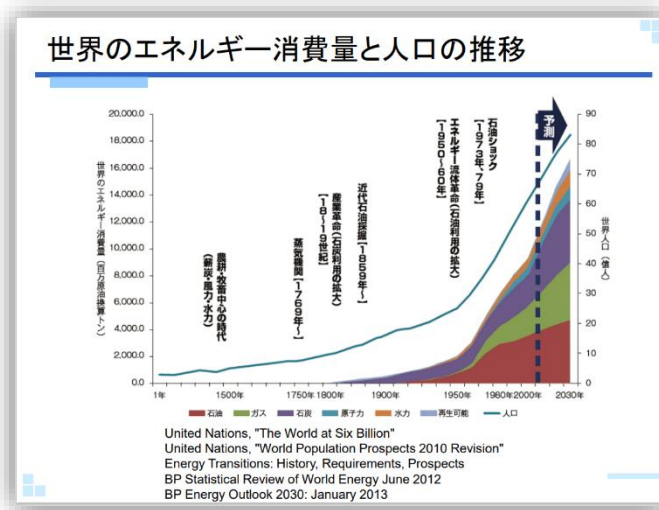
身の回りにおける水素の活用

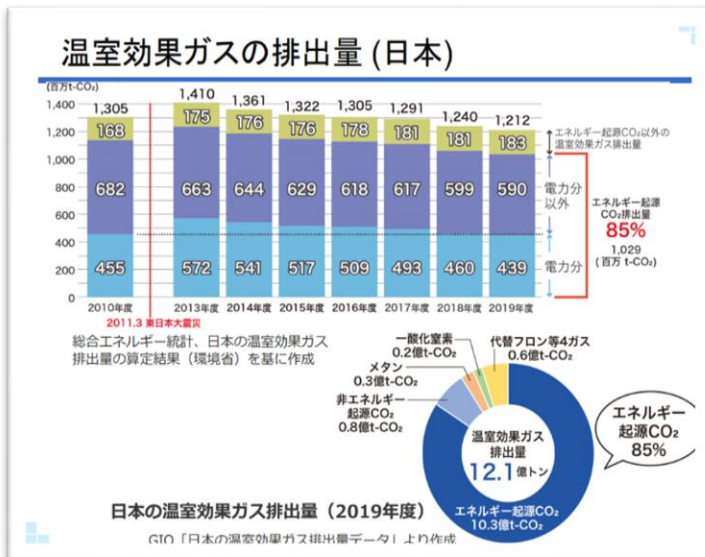
既に我々の生活の中には水素を活用したものはたくさん入ってきています。

- ① 家庭用燃料電池(エネファーム) ➡ 既に40万台導入済
- ② 燃料電池車(トヨタ自動車 ミライ) ➡ 実際に稼働中
- ③ 水素ステーション(芝公園、大井) ➡ 東京都に現在38カ所
- ④ 燃料電池フォークリフト ➡ 全国で稼働中
- ⑤ 燃料電池バス ➡ 全国で営業運転、東京都に85台稼働中
- ⑥ ハイブリッド車(燃料電池とバッテリー) ➡ JR東日本の鶴見線、南武線で試験運転中
- ⑦ 燃料電池車 ➡ フランスで開発されドイツで営業運転中
- ⑧ 燃料電池船 ➡ 既に稼働中

世界のエネルギー消費量と人口の推移

右図の横軸は年代で縦軸はエネルギー消費量を表します。これを見ると1800年頃から世界のエネルギー消費量は飛躍的に伸びていることがわかります。現在では、石油、天然ガス、石炭つまり化石資源が8割以上を占めています。図の一番上の実線が世界の総人口になり、人口が増えるとエネルギー消費量が増え、ほぼ比例しています。現在の状況で化石燃料を使ってゆけば必ずCO₂は増えます。従ってこの状態を打破しなければならないというのが我々に課された命題になります。





温室効果ガスの排出量 (日本)

さて日本の温室効果ガスの排出量は毎年減っていますが、今後さらに減らす必要があります。我々の排出している温室効果ガスの85%はエネルギー起源由来です。その内訳は空調や工場で使っている電気とか、燃料として燃やしているなどです。つまり我々がエネルギーを使うということは、CO₂が増えるということとほぼ同じだということです。だから我々はエネルギーを使う時にCO₂を出さない工夫をすることが重要です。又ITCCからのデータは、CO₂を出せば出す程気温が上がるとことを示してい

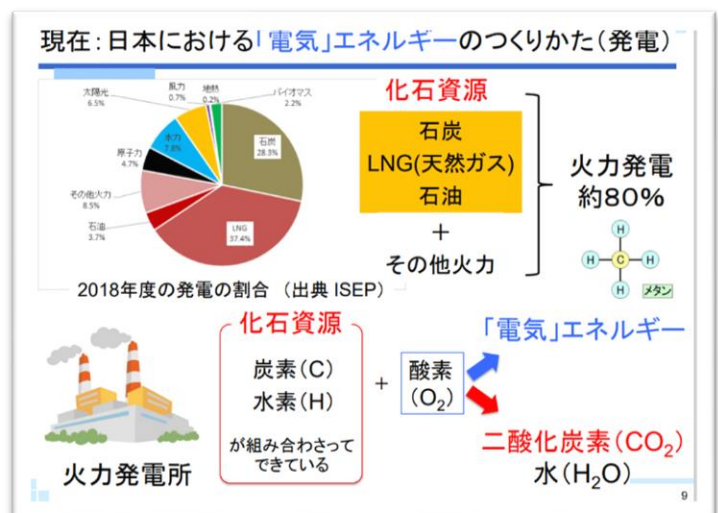
います。工業化(1750年)以前CO₂の世界の平均濃度は278ppmでしたが、2022年度では421ppmに増えています。これは、簡単に言うと、10000万個の分子があれば、その内4個がCO₂だということです。そのようなみかけはCO₂の数は少ないのに関わらず気温の上昇に対するCO₂の影響は非常に大きいと言えます。我々が世界の平均気温の上昇を防ぐためにはCO₂の排出量の増分をゼロにしなければなりません。その意味でカーボンニュートラルが声高に叫ばれています。また、CO₂の排出量を削減するだけでなく、それを回収して更に資源化することが科学者としてのミッションだと思っています。

我々の生活「電気」エネルギーの利用

現代のわれわれの生活では電気エネルギーを非常に多く使用しています。では、そもそも「電気」エネルギーはどのようにして作るのか? 「電気」エネルギーを作る時にCO₂は排出されてないのだろうか、を考えて見たいと思います。

現在：日本における「電気」エネルギーのつくりかた

現在、石炭・LNG・石油等を利用した火力発電は約80%で、特に最近、多く使われている天然ガスは炭素(C)と水素(H)が結びついたメタン(CH₄)が中心です。化石資源は簡単に言えば炭素(C)と水素(H)が組み合わさってできている物質です。これを酸素(O₂)で燃やすから、出てくるものは二酸化炭素(CO₂)と水(H₂O)で化石エネルギーを使う以上、必ずCO₂は排出されます。



火力発電所での発電

もう少し詳しく説明すると、メタン(CH₄)と酸素(O₂)を燃やすと熱が出ます。それで水蒸気を作りそれでタービンを回転させて発電機を回して電気を作るわけです。化学的には水(2H₂O)と二酸化炭素(CO₂)が必ずできます。

内燃機関の効率

熱を使って電気を作る原理は、燃機関「科学→熱→機械→電気」と言います。熱機関がどのくらいの変換効率を持っているか。投入したものを100とした場合、使えるエネルギーがどのくらいか、ということフランス革命時代の Sadi Carnot が提案したカルノーサイクルや、「熱力学第二法則を」を使いますと 50~60%位しか使えないことが分かりました。これは熱機関を使って発電すると必これしか効率が出ませんということです。

熱機関の効率

内燃機関「化学→熱→機械→電気」

カルノーサイクルから導かれるエネルギー効率
(最大効率) $\epsilon_{\max} = (T_1 - T_2) / T_1$
 T_1 : 高温熱源の温度、 T_2 : 低温熱源の温度

Nicolas Léonard Sadi Carnot
1796-1832

熱源が高温であるほうが効率がよい
→実際は耐久性の制約から千数百°C程度。
→すべての熱エネルギーが機械エネルギーに変わるわけではない
(熱力学第二法則)

$\oint \frac{dq}{T} < 0$ $\oint S < 0$

Irreversible Irreversible

実際は、上式で表される最大効率よりもずいぶん値が小さくなる。
結果として $\epsilon_{\max} = 0.5$ から 0.6

水素燃料電池 (Hydrogen Fuel Cell) による発電

簡単に言いますと水素と酸素を使って電気を取り出すシステムです。水素(H₂)+酸素(O₂) = 「電気」エネルギー + 水(H₂O)で水しか出ません。火力発電と違ってCO₂を出しませんからクリーンだと言われます。だからこの燃料電池を使った発電を増やすことでCO₂の排出を削減することができます。また、燃料電池の熱力学的限界効率は83%と計算されます。従って燃機関よりも発電効率が良くエネルギーを無駄なく使えます。従って、燃料電池はクリーンだしCO₂を出さないで発電効率も良いのでこれを使って発電しようと考えられています。

固体高分子型 (PEFC) 燃料電池の構造

構造としては電解質を挟んで電極があり、外側に水素と酸素の気体を通す膜(ガス拡散層)があります。技術的に難しいのは、酸素(気体)と電子とプロトン(水素イオン)がそれぞれ通ってくる経路が違います。この3つが同時に同じ場所で反応しないとならないことです。つまり電池が発電できません。ナノメートルレベルでの構造の制御が必要になります。

水素(H₂)と酸素(O₂)から「電気」エネルギーを生みだす。排出物は、水(H₂O)のみ

固体高分子型(PEFC)燃料電池の構造

ガス拡散層: 基材の高密度化・薄層化
⇒ガス拡散性を2倍に向上

電解質膜: 1/3に薄層化
⇒プロトン伝導性を3倍に向上

触媒層: 反応性の高いPt/Co合金触媒
⇒活性を1.8倍に向上

ガス(と水蒸気)の拡散性の向上

H⁺(プロトン)の伝導性の向上

電極触媒の活性の向上

図の一つのユニットをセルと言いい電池一つに相当します。理論的には一つのセルは1.23V 発電できますが、実際には0.7-0.8Vしか発電できませんので乾電池の約半分です。ですから自動車を動かすためにはセルをたくさん積み重ねて(スタック)使うこととなりますので、自動車用燃料電池は燃料電池スタックと呼びます。

電極触媒 Pt ナノ粒子

触媒に白金が使われています。非常に貴重な金属でロシアと南アフリカで70%取れますので資源リスクが非常に高い金属です。これも燃料電池に多く使われているので燃料電池が結果的に高くなるので代替品が無いかが研究者が日夜研究しています。

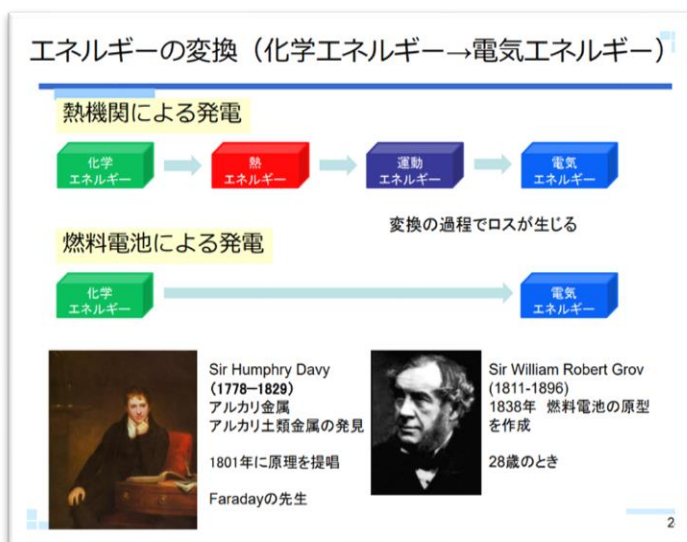
次の問題は水素をどこからもってくるのか?

水素は宇宙の中では最も数の多い元素で、爆発しやすいガスですが、水素分子として身の回りにはいません。水素をどこからか持ってくる必要があります。それが次の課題です。

燃料電池は電解質を挟んで燃料極と空気極に分かれます。燃料極は燃料である水素が供給されて、水素は電子とプロトンに分かれます。電子は我々が使っている電流の流れです。プロトンは膜の中を通過して、プロトンと酸素と電子が反応して水ができます。全体としては水しかできません。

燃料極とか空気極にはプラチナという金属が使われていますが、大きさは大変小さく数ナノメートル程度です。これを、透過型電子顕微鏡で見ると写真に粒粒が写っていますが、この一つ一つが原子です。数ナノメートルの粒子は、原子が数 1000 個くらいのオーダーで集まっているものですが、このサイズを上手くコントロールする技術は、大変高度な技術です。これくらい粒子を小さくすると我々が見ている金属の塊とは性質が全然違います。正にナノメートルオーダーの所でサイズをコントロールしているので、ナノテクノロジーそのものです。

燃料電池の起電力



燃料電池の起電力は 0.7~0.8V くらいしか出ません。従って沢山重ねて発電します。例えば熱機関による発電は「化学エネルギー」→「熱エネルギー」→「運動エネルギー」→「電気エネルギー」と変換しますが、返還の過程でロスを生じます。それに比べて燃料電池による発電は「化学エネルギー」→「電気エネルギー」で途中の変換がないので効率が良くなります。燃料電池の最初の原理を提案したのは Sir Humphry Davy で 1871 年にすでに見つけています。そして 1838 年に Sir William Robert Grov が燃料電池の原型を作成

して動くことを証明しました。

(水素) 燃料電池

火力発電所で電気を作り送電線を通り我々の各家庭で使える電気は 37%です。その理由は、火力発電所は大型で町から離れたところに造り、高圧送電線で運びます。その時には必ず熱的なロスが生じ 37%しか使えない状況です。電気は基本的に地産地消が望ましいが貯める（蓄電する）ことが苦手なエネルギーです。それに比べて、エネファームだと 100%の投入エネルギーに対してエネルギーの利用効率は 86%近くあります。しかし、電気として使えるのは 50%位で熱として使うのが 35%位あります。電気だけでは利用効率はあまり高くありませんが、ただ、熱も使えるということで全体としてエネルギー変換効率が高いと言われています。しかし、大家族の場合はお湯を沢山使うので経済的ですが、少人数の家庭ではお湯をそんなに使わないので、それほど利用効率が高くなりません。

二つ目の課題は水素を使ったら水素と酸素と水しかできないから良いのですが、エネファームは LNG を使っています。同時にこの空気中には水素はほとんどありません。どこから持ってくるか考えなければなりません。さらに、たくさん必要な水素をどのようにつくるかという量的な問題も考える必要があります。

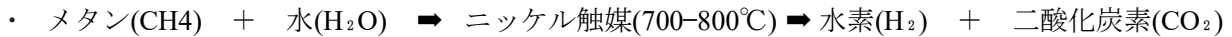
水素燃料電池に必要な水素の量

家庭用の燃料電池ですと大体 1000W という発電量になります。この発電には、毎分 10L の水素が必要になります(10L/分)。燃料電池自動車のミライはこれの 50 倍必要なので 500L/分の水素が必要になってきます。これだけ大量の水素をどこから持ってきてどうやって作るのかも考えなければなりません。

水素はどこにあるのか？どのようにして作るのか？

私たちの周りでは水素は水とか有機化合物と言って炭素(C)と結びついた化合物として存在しています。つまり、水や様々な有機化合物から水素を取り出す必要があります。

現在、世界中の水素の90%は「改質反応」によって作られています。



この方法は最も安く水素を多量に作る方法ですが、高い温度で反応するために熱（エネルギー）を加える必要があります。また、CO₂も排出します。水素を作るのはCO₂を減らしたいのに水素を作る過程でCO₂が出てきてしまいます。ここが問題です。

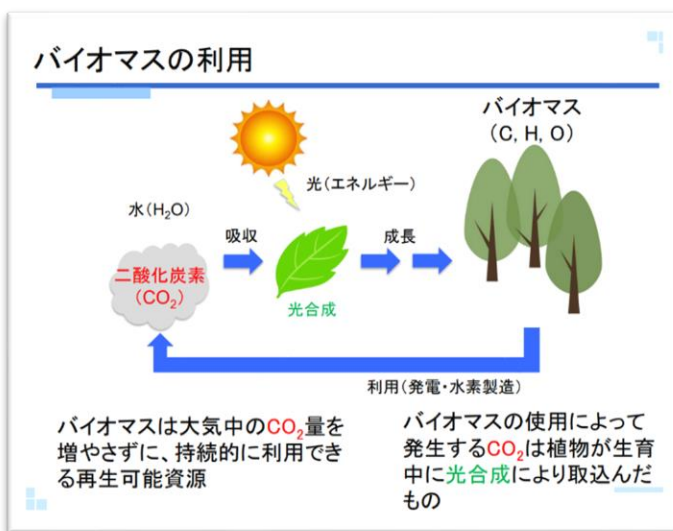
大事なことは、我々はCO₂を出さないためにH₂を使いたいのに水素を作る段階でCO₂を排出するということです。但し燃料電池を使うことはエネルギー変換効率が高いので火力発電所で燃やして作るよりも全体としては電気を多く作れるので、全体としてはCO₂を減らすことができる、という論理です。

化石資源を利用する水素製造

現在われわれが水素を得ている方法の90%が実は化石資源から作っています。ですから、単純に水素を使っているからクリーンだということは間違いで、その水素はどこから作ったの？というのを本当は考えなければなりません。

実際にどんな状態で水素を作っているかというと、700-800°Cで外からオレンジ色になるまで熱しないと水素は作れません。写真の筒状の中に水素を作る一式が入っていて、外からガスバーナーで強力に熱して無理やり水素を作って、その水素を使って燃料電池を動かしています。この時にCO₂を排出していることが今の一番の問題です。

バイオマスを利用する水素製造



第二の方法はバイオマスを使って水素を作る方法です。即ち、木材、間伐材、生物由来の死骸、糞などを使って水素を作ります。これらは炭素、水素、酸素で出来ているので、水と反応することによって、水素とCO₂を作ります。この方法は水素を多量に作るすることができます。但しこの時排出するCO₂は、少ないと考えても良くカーボンニュートラルと考えても良いと思います。なぜか？バイオマスの体は葉っぱが太陽の光と空気中のCO₂と水を使って光合成を行ない自分の体を作っています。空気中のCO

2が固定化されて自分の体になったからで、これを使ってCO₂を排出してもこれは回っているだけでCO₂を実質的に増やしたことはありません。という考え方です。CO₂は出しているが大気中のCO₂量を増やさずに持続的に利用できる再生可能な資源として、最近バイオマスの利用が叫ばれています。

しかし、ブラジルではバイオマスの利用は進んでいますがトウモロコシを使っています。トウモロコシは主に家畜の餌ですが人間も食べます。食べられるものをエネルギーの方に回すことは食品との競合になり、飢餓の問題も深刻ですから、できれば食べられない非可食性の資源から水素を作ることができると、全体としてCO₂が増えたことにならないので問題ありません。

第三の方法は何か、これが最も望ましい形ですが、水の電気分解で水素と酸素に分ける方法です。水に電極を通して電流を流すと水素と酸素が2:1の割合いで発生する原理です。これも水の中にはCO₂はないのでCO₂を発生させずに水素ができます。しかし、我々は燃料電池を使って電気を取り出した

い訳ですが、電気を使って水素を作るのは矛盾ではないのか？ しかし、これはどこから電気を持ってくるのが問題になります。従って、この電気を太陽光とか風力発電から持ってくれば CO₂フリーのクリーンな水素になる訳です。これが最も望ましい方法です。

再生可能エネルギーは枯渇する心配はないし、CO₂を発生しないという利点がありますが、夜は発電しないとか、風が吹かないと発電しないとかのデメリットがあるので今は発電コストが割高な状態です。今後、どの程度の発電コストになるのが我々にとって大きな問題になります。

ともかく、水素を使えば CO₂を発生しませんが、水素をどうやって作るのが問題になってきます。それから、水素の量的なことも考える必要がありますのでどのようにしてクリアするか考える必要があります。

水からの水素製造・水電解

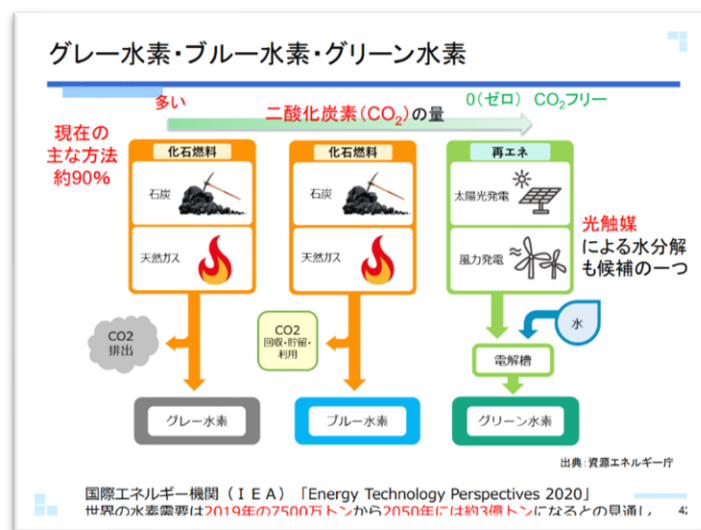
水電解の装置は色々な形がありますが、基本的には燃料電池と同じような装置を使えばできます。右の写真は福島水素エネルギー研究フィールドで福島県の浪江町にあります。10MW 級の水素を作る装置で建屋の中に水電解の装置があり、後ろに太陽光パネルが並んでいます。残念なことですが太陽光パネルは殆ど中国製です。



光触媒による水素の製造

電気分解の他にもう一つ方法があります。光触媒を使った方法で、1973年の第2次オイルショックのころで、東大の先生たちが酸化チタンを光に当てると水から水素と酸素が発生することを発見しました。最近、太陽光を使って水素と酸素を発生させる光触媒システムの実証実験を行っています。

グレー水素・ブルー水素・グリーン水素



最近カラーを使って水素を表現します。「グレー水素」は化石燃料を使って水を反応させて水素を作る方法で、必ず CO₂が出てきます。これが現在の主流で 90%はこの方法です。「ブルー水素」はやはり化石燃料を使いますが、出てきた CO₂を回収・貯蔵・利用して減らす方法です。「グリーン水素」は再生可能エネルギーを使って、水から電気分解で水素を作ったり、光触媒を使って水素を作る方法で全く CO₂は排出しません。

これからは、この「グリーン水素」がキーになります。国際エネルギー機関(IEA)の発表で、2019年の世界の水素需要は 7500 万トンありますが、2050年には4倍の 3 億トンになると見込んでいます。従って、グリーン水素をどうやって作るかが今世界中の競争になっています。

発電電力量に占める再生可能エネルギー比率(2020)

日本は水力発電込みで 18%です。カナダは広大な国土にダムが多くあり水力発電によって 66%あり

ます。ドイツは 35%ですが、最近原子力発電を止めたのもっと多くなります。しかし、日本は、比率は少ないが再生可能エネルギー発電の導入容量は 2020 年実績で日本は世界 6 位です。太陽光発電に限って言えば世界 3 位です。つまり、日本は導入はしていますが、国土が狭く人口は多いので、エネルギーの消費量はそもそも多く、同じだけ導入してもその割合は増えてきません。

エネルギー密度

次はどのようにして運ぶかを考えます。右図は早稲田大学関根先生からの図ですが、等しいエネルギーを運ぶのにどれくらいの体積が必要か、を表しています。

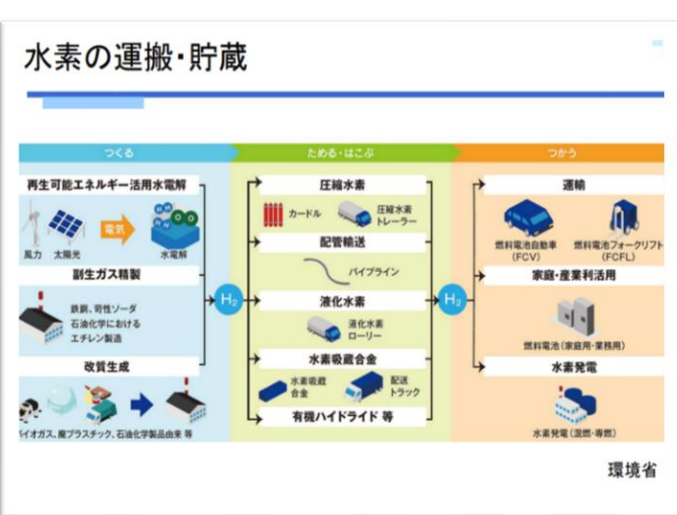
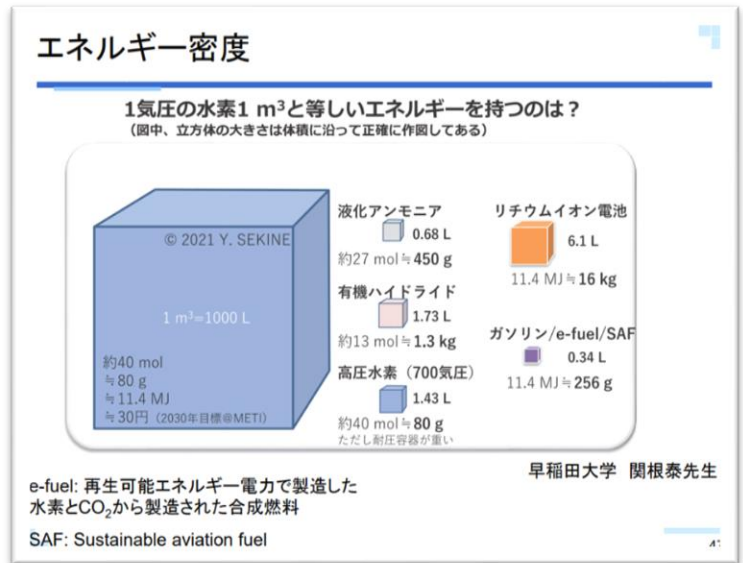
ここに 1m³の体積の水素があります。これが 40mol の単位になり、エネルギーとしては 11.4MJ(ジュール)で 80 g の重さになります。これと同じエネルギーを運ぶとすると他の媒体で運ぶ場合にどれくらいの体積になるか？ガソリンの場合はわずか 0.34L、256 g で運べます。ですから我々はガソリンをコンパクトで多量のエネルギーを運べるということによって昔から大量に使って

きました。では、解決策はというと、液化アンモニアや有機ハイドライドに変えて送るとか高圧水素(700 気圧)にしてコンパクトに送るということになります。常温常圧の水素では、容器が大きくなりすぎて運べません。また、リチウムイオン電池は 6.1L で同じエネルギーを運べますが、現在のエネルギー密度だと 16 kgの重さになりバッテリーは非常に重いことが分かります。ですから海外で水素を作って運ぶ場合、何らかの方法でコンパクトにして運ぶしかありません。最近 e-fuel という言葉が話題になりましたが、これはグリーン水素と CO₂から作られた合成燃料です。これをガソリンに 10%混ぜて走らせるという実証実験が行われました。

水素とエネルギーキャリア

水素を作ったところから使う所に水素を運搬する必要があります。これを、エネルギーキャリアと呼びますが、これを準備することが課題です。

もう一つは再生可能エネルギーを豊富かつ安価な海外から、水素や合成燃料の形で運んでくる必要があります。例えば、日本の一次エネルギー13EJ/Yをオーストラリアから運ぶ場合、砂漠の 5%太陽光パネルを設置すればそれで賄えます。つまり、海外で安い水素を作って何とか日本に運んできた方がお得です。という論理です。



水素の運搬・貯蔵

実際はどのようにして運んでいるかというと、色々な方法で水素を作った後に「圧縮水素」、「パイプライン」、「液化水素」、「水素吸蔵合金」、「有機ハイドライド」などの色々な方法があり現在盛んに研究が行われています。そして、国内で燃料電池自動車、エコファーム、水素発電などに水素が使われます。したがって、この運ぶ担い手の研究が非常に重要になってきます。

次に水素の貯蔵を考えた場合、第一の方法は「高圧水素ボンベ」があります。これは水

素を高気圧で圧縮してボンベに入れて運ぶ方法です。しかし、このボンベは丈夫にしようとするとう重くなります。ボンベを薄くすると危険性が上がります。このバランスを解くことが難しいのですが、日本は炭素繊維の技術があるので軽量化に成功しています。

第二の方法は冷やして「液化水素」にして運びます。オーストラリアで水素を石炭から作って、その水素を-253℃という超低温に冷やして液体化して液化水素運搬船で運びます。実際にオーストラリアのビクトリア州から神戸まで往復させるという実証実験を川崎重工業で行っています。これをタンクローリーで国内の使用する場所まで運びます。

第三の方法は「化学物質」を使う方法です。これはトルエンに水素を反応させるとメチルシクロヘキサンができます。逆にメチルシクロヘキサンは水素とトルエンに分けることができます。ここで重要なことはトルエンもメチルシクロヘキサンも液体です。したがって、石油のインフラが殆どそのまま使えます。トルエンに触媒を使って水素と反応させてメチルシクロヘキサンを作ります。

これは液体なのでタンカーで運んで貯蔵しておきます。使いたいときには水素を取り出して残ったトルエンはタンカーで戻して貯蔵します。化学物質をあたかも水素の入れ物のように使ってこれを回して水素を運びます。これを「ケミカルハイドライド法」と言います。

水素の大規模輸送プロジェクト

水素の大規模輸送プロジェクトとして千代田建設が横浜とブルネイの間で日ブルネイ水素 SCPJ として未使用ガスを使って水素を作りメチルシクロヘキサンをケミカルタンカーで日本に運んできてそこで水素を作るという実証実験を行っています。また、オーストラリアとの間で日豪褐炭水素 SCPJ として石炭から水素を作りそこでできた CO₂は地中に埋めて、ブルー水素化して -253℃に冷やして液化して液化水素運搬船で日本に運んでくるという実証実験を行っています。いずれにしても、長距離を運ぶためにはバッテリーでは重すぎます。

水素基本戦略における達成目標

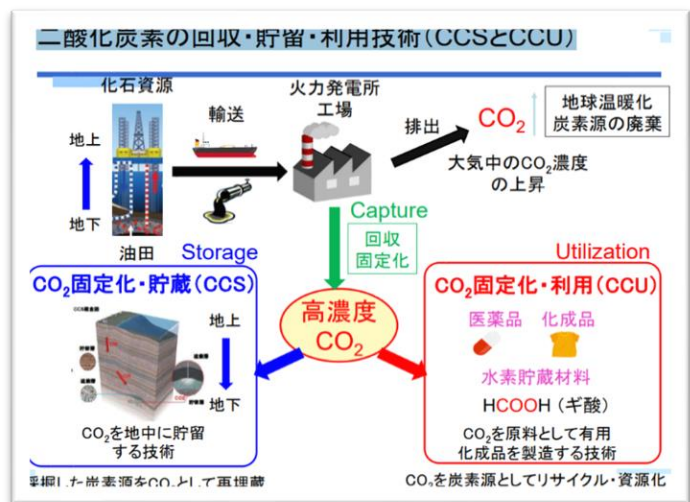
まず 2030 年に向かっての達成目標は、

- 供給：化石燃料由来 ➡ 国際水素サプライチェーン、国内再エネ由来、水素製造技術確立
- 水素量：0.02 万トン ➡ 30 万トン
- コスト：100 円/Nm³ ➡ 20 円/Nm³
- 水素ステーション：162 カ所 ➡ 900 カ所
- FCV：3,800 台 ➡ 80 万台
- FCバス：99 台 ➡ 1200 台
- エネファーム：33 万台 ➡ 530 万台

CO₂の回収・貯留・利用技術 (CCS と CCU)

我々は今地下資源である油田から化石資源を掘り出してきてタンカーで運んで火力発電所とか工場で燃やして使っています。そうすると CO₂が廃棄されるので地球温暖化とか炭素源の廃棄に繋がります。それに対して、発生した CO₂を回収して地下に戻そうというのが CCS で CO₂を地中に貯蔵する技術です。それに対して我々は化学者なので CO₂を原料にしてリサイクル・資源化する技術 CCU を持とうということです。

一つの問題は空気中から CO₂を回収する必要があるという課題、また、CO₂を化成品に変換する技術が必要であるという課題があります。



回収した CO₂の利用

回収した CO₂の利用として、原油増進回収(EOR)があります。原油は穴を掘ったら地下の圧力で自然に湧き出てきます。掘り続けると圧力は下がるので CO₂で圧力をかける方法です。その他に溶接とかドライアイス、炭酸飲料などの利用があります。しかし、我々がしたいのは「カーボンリサイクル」です。これは CO₂を回収してきて、合成燃料や化合物を作ることです。我々はこれを「循環」させたいと思っています。Sustainable な物を作るという意味でこれからのキーワードになると思います。

CO₂の回収 DAC(Direct Air Capture)

空気中の CO₂を回収するとなると結構むづかしい技術がいります。CO₂の濃度は 400ppm ですから 10000 個の中で 4 個しかありません。その空気中から CO₂を回収する技術を持っているのはカナダのベンチャー企業の Carbon Engineering 社やスイスの Climeworks 社などです。

その他にもいろんな方法がありまして、私の研究の一つで世界最速級の空気中の CO₂の高速回収技術で昨年発表しました。CO₂と触媒を使って水素と反応させると、ギ酸、一酸化炭素、メタン、メタノールなどの多様な化合物に変換できます。私は現在触媒の研究をしていますが、最も効率の良い触媒を見つけることがメインテーマです。グリーンな水素を使って CO₂を原料として色々な化合物を作ることを目指しています。地球は長い年月をかけて地下で石油を作ったりしてきましたが、これを「触媒」の力を使って短時間でやろうということがこれからの重要な課題になります。

CO₂の資源化・グリーン水素の役割

石炭・石油は地下から掘って使ってきましたが、もし空気中にある CO₂を回収して燃料とかに使えるのであれば、地上に出ている CO₂回して使えます。今後は地下資源には手を付けなくて、地上にある CO₂を資源として回収して、グリーン水素と触媒の力を使って色々な化合物に変えるという物質変換体系を石油由来の物質変換体系から置き換えることが我々が目指している研究です。

メタノールを基盤とする CO₂の循環

ノーベル化学賞を受賞した George Olah はメタノールを媒体にして大気中に排出された CO₂を取り込んで再エネで作ったグリーン水素を使ってメタノールやジメチエーテルを使います。これから色々な物質を作ることができ、また燃料としても使えるので、また CO₂を発生します。つまりメタノールを使って回すことができ、CO₂を増やさずに化学物質を循環させることができます。

東京都立大学 水素エネルギー社会構築推進研究センター

太陽光を利用するという意味では太陽電池、人工光合成を使った水素を作る研究も必要ですし、バッテリーや水素エネルギーキャリアなどの水素エネルギーを運んだり貯める研究も必要です。また、水素をどのように効率的に使うかの研究も必要です。私のいるセンターではそれぞれの分野の研究者がいますのでお互いに共同研究をしながら実現を目指して頑張っています。

このような研究が評価され 2021 年に『Nature』という雑誌に本センターの活動が紹介されました。

水素社会の実現に向けた取り組み

水素を使うことに関しては水素をどのようにして作るのかを考える必要があります。ポイントは、できるだけ CO₂フリーの水素を使うことです。次に、作った水素をどのようにして我々が使う所まで運んだり貯蔵するのか。さらに、利用という意味では燃料電池や水素発電、その他グリーン水素と回収してきた CO₂を使用して色々な物質返還をすることが、今後の CO₂を減らしたり、水素の利用という意味では非常に重要な課題であるということです。

これで私の講義を終わらせて頂きます。



【質疑応答】

Q1：2050年頃にはエネルギー国産化で50%は達成できないか？

A1：重要な点ありがとうございました。50%は可能だと思います。問題は我々がコストをどこまで受容できるのかが1点。どうしても国産の水素製造コストが高くなります。そのコスト部分をどこまで受け入れられるかで達成の割合が変わってきます。今の状況では経済減速は逃れられないと思います。もう一つは、今の電力会社の調整力がどこまで上げられるかが重要です。たとえば、九州では発電しても再生可能エネルギーの導入ができません。それは巨大な火力発電所は急な出力変動が出来ないため、調整力を上げることによって再生可能エネルギーの電力を基幹電線に回せるような仕組みがもう少し上手く調整できれば、再エネのコストも下がり効率も上がると思います。ですから技術的な問題よりも既存の電力供給システムとの共存をどのようにうまく対応するかが重要な課題となります。技術的には可能だと思います。

Q2：水素の価格に対しての市場・需要はどのくらいあるか、検討しているのでしょうか？

A2：昔のシミュレーションと現在とでは全く違います。既存の製品製造に使われる水素の需要は当時に比べて広がっており水素のコストが下がれば需要は確実に増え十分に市場はあります。その当時は燃料発電や燃料電池のシステムは稼働していませんでした。したがって需要はエネルギー利用の方面と物質製造の方面の両方あるために市場は広がり水素が余ることはありません。

Q3：CO₂の世界の平均濃度が1750年で278ppm、2022年で421ppmとの事ですが、この数値の根拠は実測値ですか、計算値ですか？

A3：大気観測化学という分野があります。北極圏でボーリングして氷のコアを取り出して年代ごとの大気の濃度を直接測定する分野です。今は各地でOn Timeで測定できますが、直接測定できない昔からのデータも氷床コアに溶けている大気を測ることでCO₂の濃度を知ることができます。したがって、実測値になります。

Q4：ヨーロッパは2035年までにすべてEVに変わると言ってましたが、ここにきて方向転換したのはなぜですか？ また、合成燃料でガソリン車が動くのであればガソリン車のインフラがそのまま使えるのではないか。

A4：ヨーロッパでは2035年以降はガソリン車は使わないと言い続けてきましたが、急に方向転換したのは、ロシアとウクライナの戦争問題で天然ガスが無いとエネルギー問題が解決できないと分かったからで急に政策転換を発表しました。そのニュースに前後して、ドイツのポルシェがその時巨大な合成燃料プラントを立ち上げ、政府に対して圧力をかけました。さらにEU全体に波及したと思われる。ポルシェは以前から合成燃料を商売にしようと計画していて、実現可能な段階になり、EVしか使えなくなると商売にならないのでドイツ政府に働きかけたのが正直なところだと思います。

二番目の質問で合成燃料が動くのならば、それで回せば良いのではとの事ですが、EV、燃料電池自動車、ガソリン車を夫々得手不得手があります。燃料電池のコストとグリーン水素のコストを含めた合成燃料のコストがどれくらいになるのか、皆さんがそれを許容できるのか、のバランスで決まります。単純に世界全体でどれくらいになるかは今のところ言えません。

合成メタン回そうという話もあります、今作れる合成メタンの量、天然ガスで取ってきた量は圧倒的に天然ガスからの方が多く、その分を見合うだけの合成メタンを作れる状態になればできるかもしれません。後はコストとの戦いです。

Q5：CCUのコスト的な今後の見通しは如何ですか。

A5：今のところではCCUのコストは石油由来の物と対抗できるところにはありません。効率としてはまだ低いです。なぜかという、対称性が高い分子は大変丈夫です。CO₂から何か作る場合CとOを曲げる必要があります。しかし今は曲げる仕組みをまだ手に入れておりません。遅い速度であればCO₂変換できますが、大量に早くCO₂を変換する仕組みはまだできていません。我々としては石油より安くできるような技術を育て上げたいと世界中で研究を続けています。

宍戸 哲也(ししど てつや) 先生のプロフィール

東京都立大学 都市環境科学研究科環境応用化学域 教授

学 歴

1997年 3月	北海道大学大学院工学研究科博士課程後期分子化学専攻 修了 博士(工学)取得
----------	--

職 歴

1997年 4月	広島大学工学部第三類応用化学講座 助手
2003年 4月	東京学芸大学教育学部 化学教室助教授
2005年 12月	京都大学大学院工学研究科分子工学専攻 助教授
2007年 4月	京都大学大学院工学研究科分子工学専攻 准教授
2007年 4月	首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 教授
2013年 4月	東京都立大学 大学院都市環境科学研究科 教授
2020年 4月	東京都立大学 水素エネルギー社会構築推進研究センター センター長(兼任)

2015年～現在 王立化学協会 (Royal Society of Chemistry) フェロー

触媒学会 理事

水素エネルギー協会 理事

水素科学技術連携研究会 理事

受 賞

2009年 3月	触媒学会奨励賞
2009年 5月	石油学会奨励賞
2023年 5月	石油学会論文賞

主な著作

- ・『触媒化学 基礎から応用まで』 講談社
- ・『固体表面キャラクタリゼーション 機能性材料・ナノマテリアルのためのスペクトロスコーピー』
講談社
- ・化学マスター講座『触媒化学』 丸善出版
- ・『触媒総合辞典』 朝倉書店