



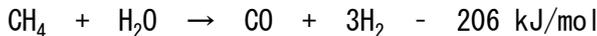
## 水素の製造方法——「水素」には色がある！？

テクノフェアのふくい水素エネルギー協議会のブースにて、多くの方とお話しさせて頂き、いくつかの質問を受けました。この中で最も多かったのが“水素の製造方法は？”でしたので、これについて説明します。

水素を製造する方法には、次のようにいくつかの方法があります。

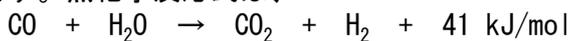
**(1) 石炭や天然ガス (LNG) などの化石燃料の改質**

化石燃料から水素を製造する代表的な方法として水蒸気改質法があります。石炭、メタンやプロパンなどの炭化水素 (CとHの化合物) から水蒸気を用いて水素を製造する方法です。工業的にはメタン (CH<sub>4</sub>) あるいはLNG (天然ガス、主成分はCH<sub>4</sub>) の改質がコスト的に有利であり、最もよく行われています。この方法では、炭化水素と水蒸気を10~20気圧、800~850°Cの高温高压で、金属触媒 (アルミナなどの担体にNiを含浸させたものなど) を利用して、水蒸気とメタンを反応させて一酸化炭素 (CO) と水素 (H<sub>2</sub>) を発生させます。熱化学反応式は、



です。商用の水素を製造する方法として用いられているだけでなく、都市ガスを原料として家庭に電力と温水を供給する家庭用燃料電池 (エネファーム) にも用いられています。主成分がメタンである都市ガスを水蒸気改質して水素を作り出し、燃料電池に導入して電力を得るとともに、発生した熱で水を加熱して温水とし、お風呂や台所で利用します。

水蒸気改質反応では、COとH<sub>2</sub>が発生します。COは毒性を持ちますので、CO<sub>2</sub>に転換します。この反応がシフト反応です。熱化学反応式は、



です。メタンと水蒸気を反応させて、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を得ることになります。

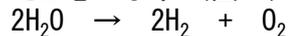
水蒸気改質反応による化石燃料から水素を製造する場合には、CO<sub>2</sub>が生成されることになり、この方法で製造された水素は“グレー水素” (汚れた水素) と呼ばれます。水蒸気改質法による水素の製造は工業的に確立され、現状では最も経済的な方法ですが、製造工程でCO<sub>2</sub>が発生しますので、脱炭素社会を目指した水素利用とは相反する側面があります。

現在、世界で使用されている水素の大部分は天然ガス由来のものであり、95%がグレー水素とされています。最近、水素の原料として豪州の「褐炭」が注目されています。「褐炭」は、炭素の含有量が少なく、水分や不純物を多く含む (50~60%) 低品位の石炭です。豪州では、「褐炭」の埋蔵量が多いのですが、自然発火の恐れがあるなどで輸送が困難で、これまでは未利用資源になっており、これを利用した水蒸気改質法による安価な水素製造が注目されています。褐炭を原料として製造した水素は、“ブラウン水素” (褐炭の色に由来) と呼ばれています。また、「石炭」由来の水素は“ブラック水素” (石炭の色に由来) と呼ばれています。

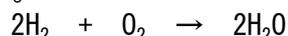
グレー水素では、製造工程でCO<sub>2</sub>が生成されますが、このCO<sub>2</sub>を回収、貯留、利用して、つまりCCS/CCUS技術を活用して、大気中にCO<sub>2</sub>を排出せずに製造された水素を“ブルー水素” (清浄化された水素) と呼びます。

**(2) 水の電気分解**

水に水酸化ナトリウムや硫酸を少し加え、電気が通りやすくして、ステンレス鋼など良好な耐食性を有する2つの電極に直流電流を流すと、+極で酸素ガス (O<sub>2</sub>) が、-極で水素ガス (H<sub>2</sub>) がそれぞれ発生することを中学校で学んだと思います (図1)。この反応式は次のようになります。



一方、水素を燃料としたトヨタの自動車MIRAIに搭載されている燃料電池では、水素ガスと、空気に含まれる酸素ガスを反応させて発電するとともに、生成した水を道路に排出しています。この反応式は次のようになります。



この反応は、上記の水の電気分解の反応の逆反応であり、燃料電池を利用した水素製造の可能性を示しています。

現在、水を電気分解して水素を製造する方法としてこれらアルカリ水電解と固体高分子形水電解の2種類があり、それぞれ工業的に利用されています。水は地球上のどこでも存在し、反応の副生成物は酸素ガスのみで、有害物質を排出しない特徴がありますが、電気分解に利用する電力を火力発電で供給すると、CO<sub>2</sub>の発生を伴う水素の製造法になりますので、水の電気分解で得られた水素は必ずしもすべてがCO<sub>2</sub>発生と無関係な“グリーン水素”にはなりません。

水の電気分解による方法は、先述の水蒸気改質に比べて効率が悪く、高コストとなることが大きな課題です。しかし、太陽光発電などの再エネ電

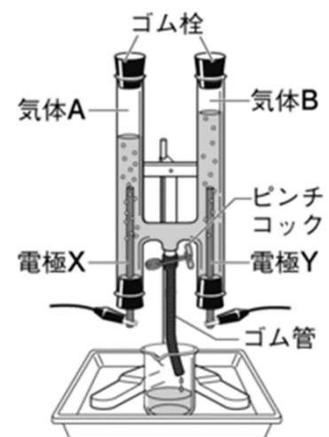


図1 水の電気分解装置

([https://detail.chiebukuro.yahoo.co.jp/qa/question\\_detail/q14186542644](https://detail.chiebukuro.yahoo.co.jp/qa/question_detail/q14186542644))

力の増加に伴った余剰電力を活用した水素製造が今後期待されています。

太陽光、風力、水力、地熱などの再生可能エネルギーを利用した発電による電力を利用して製造した水素は“グリーン水素”、原子力発電の電力を利用した場合には、CO<sub>2</sub>の排出量は無視できますが、放射性廃棄物を排出しますので、“イエロー水素”（ウラン鉱石の色に由来）（“ピンク水素”、“パープル水素”、“レッド水素”と呼ばれることもあり）とそれぞれ呼ばれています

### （3）水や炭化水素の熱分解

水や炭化水素（メタンなど）を熱分解して水素を得る方法もあります。この熱分解による水素の製造方法として有名なものに、熱化学法ISプロセスがあります。I（ヨウ素）とS（硫黄）の化学反応を組み合わせ、熱分解温度を4,000℃から900℃以下に低くして、水を熱分解する方法です。この化学反応は次式で表わされます。



これら3つの反応を組合わせて、水を熱分解します。反応に利用されるIとSはこのプロセス内で循環しますので、全反応としてはH<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>のみが生成されます。熱源として、高温ガス炉が検討されていますが、太陽熱やごみ焼却熱などの様々な高温熱源を使用することができ、将来の水素製造法として期待されています。以前には高速増殖原型炉「もんじゅ」を利用した水素製造が検討されていましたが、「もんじゅ」の廃炉により夢に終わりました。

太陽熱などの再生可能エネルギーを用いて製造される水素は“グリーン水素”、原子力を利用した高温ガス炉で製造された水素は“イエロー水素”、化石燃料の燃焼熱を利用する場合には、CO<sub>2</sub>の発生を伴いますので、“グレー水素”にそれぞれ分類されます。

メタン（CH<sub>4</sub>）が主成分の天然ガスをプラズマなどで直接加熱して、熱分解で水素ガスを生成する方法もあります。この方法では、CO<sub>2</sub>を排出せず、水素（H<sub>2</sub>）と固体の炭素（C）が得られる特徴があり、将来の水素製造方法として期待されています。この方法で製造された水素は、“ターコイズ水素”と呼ばれています。なお、「ターコイズ」とは「トルコ石」のことで緑がかかった青色を意味します。

### （4）副生水素

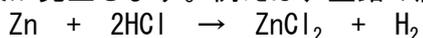
粗鋼生産、石油精製、苛性ソーダ製造などの工程において、水素を含むガス（副生ガス）が発生します。この副生ガスから精製した水素（副生水素）も工業的に利用されています。代表的な例として、高炉での製鉄に利用されるコークスを製造する際に発生するコークス炉ガスがあります。このコークス炉ガスには水素が約55%含まれており、製鉄工場での脱硫等の工業用原料やボイラ用としての熱エネルギーとして利用されるとともに、一部は外販されています。なお、高炉や転炉でも水素を含むガスが発生しますが、水素濃度は数%です。コークス炉ガスから高純度の水素ガスを得る方法として、PSA（圧力スイング吸着法）などがあり、これらの方法により高純度の水素を精製できますが、広範囲での利活用には、それによるコスト増が課題です。製油所では、ガス洗浄装置、置換脱硫装置などの多くの装置において、水素含有量が異なる大量のガスが発生し、多くは自家消費されています。苛性ソーダを製造する際には食塩水（NaCl水溶液）に通電して、高濃度のNaOH水溶液を作り出します。この時の副生成物として水素（副生水素）が得られます。この副生水素は純度が高く、外販用として用いられています。富山県高岡市の北酸高圧瓦斯は、隣接する日本曹達高岡工場から苛性ソーダ製造に伴う副生水素の提供を受けて、水素を販売しています。

### （5）海外からの輸入

上記の豪州における褐炭利用の水素製造を除けば、いずれも国内で水素を製造する方法ですが、海外で水素を製造し日本に輸送する方法も約50年前のオイルショック時のサンシャイン計画当時から検討されています。例えば、砂漠地域で太陽光発電や風力発電による電力で水を電気分解して製造した水素を、液体状態で日本に大型タンカーで運搬する計画もあります。

### （6）金属材料の腐食

亜鉛やアルミニウム、鉄などの金属を入れた三角フラスコに希塩酸を加えて、金属の表面から泡が出る実験を（図2）覚えておられる方も多いのではないでしょうか。この泡は水素です。金属材料が腐食することによって水素が発生します。例えば、亜鉛の腐食反応は次のように表されます。



廃棄物として回収されたアルミ缶、アルミニウム製品製造企業からのアルミニウムの切削屑、アルミニウム箔で被覆した飲料用紙容器などを原料とし、アルミニウムの腐食による水素製造に取り組んでいる企業もあります。

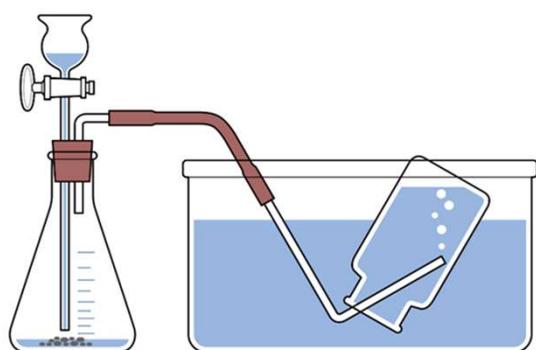


図2 金属の腐食に伴う水素の発生と、水上置換による水素の捕集 (<https://受験理系特化プログラム.xyz/inorganic/gas-collection>)

これらのように、「水素」は化石燃料、再生可能エネルギー、原子力などの一次エネルギーから生成される二次エネルギーであり、水素の利活用を検討する際には、一次エネルギーとエネルギー転換技術を含める必要があります。福井県には数多くの原子力発電所があり、その電力を一次エネルギーとした「水素」製造拠点になると考えられます。

一般社団法人 ふくい水素エネルギー協議会  
〒919-0411 福井県坂井市春江町藤鷲塚37-9  
株式会社 ナカテック内 事務局 羽木  
TEL : 0776-58-3930 FAX : 0776-51-5144