

# 再生可能エネルギーによる電解水素製造の現状

三宅 明子

(株)神鋼環境ソリューション 技術研究所

651-2241 神戸市西区室谷 1 丁目 1-4

## Current Status of Hydrogen Production by Water Electrolysis with Renewable Energy

Akiko MIYAKE

Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd.

1-4 Murotani, Nishi-ku, Kobe 651-2241

More than 80 of hydrogen generators, HHOG (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator) with polymer electrolyte membrane, have already been delivered. HHOG has the following feature, 1) 99.999 % of purity of H<sub>2</sub>, 2) simple operation, 3) maintenance free, 4) high safety.

Combination of water electrolysis and electric power generation by using renewable energy resources is investigated and there are many projects in progress in Japan. In Yaku-island, the HHOG was applied for the hydrogen station project by using hydraulic power generation for fuel cell vehicles.

**Key words:** Hydrogen production, Water electrolysis, Polymer electrolyte membrane

### 1. 緒言

我が国では、2005年2月にCOP3における京都議定書が発効され、1990年を基準年として6%のCO<sub>2</sub>排出量の削減が義務づけられた。また、2007年2月には、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第4次報告が発表され、人為的な原因（化石燃料の燃焼など）による温室効果ガスの発生と地球温暖化の因果関係がほぼ確実であることが認められた。報告の中で、CO<sub>2</sub>発生を抑制しない最悪のシナリオをたどる場合、今世紀末までに地球平均気温が4.0℃上昇するであろうと予想されている[1]。

2003年における日本のCO<sub>2</sub>総排出量は12億5900万トンであり、30%が電気事業者、熱供給事業者や石油精製事業者などエネルギー転換部門からの排出である。これについて産業部門の寄与が、30%、車などの運輸部門が20%となっている[2]。これら3分野で排出量の8割強を占めており、火力発電を中心とする既存のエネルギー体系の省エネルギー推進や、自然エネルギーの導入が急務となっている。また、燃料電池自動車の導入を促進す

ることによりCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が期待される。

一方、今日の不安定な中東情勢や根元的な化石燃料の枯渇問題から考えても、再生可能エネルギーへのシフトはエネルギー・セキュリティ上、重要である。近年、既存の電力供給ラインだけに頼るのではなく、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーと連携するローカルなマイクログリッドシステムも盛んに検討されている。

本稿では、CO<sub>2</sub>削減が期待されるエネルギー媒体としての水素のクリーンな製造法の1つとして固体高分子電解質膜を用いた電解水素製造の現状および再生可能エネルギーとの連携の可能性について紹介する。

### 2. 固体高分子型水電解による水素製造

#### 2.1 開発経緯

固体高分子型水電解は、1980～1990年代に通産省工業技術院大阪工業技術試験所（現 産業技術総合研究所関西センター）で国内の本格的な研究開発が開始され、

1993～2003年にNEDOのWE-NET計画において、再生可能エネルギーを利用した固体高分子型水電解による大規模な水素製造技術が開発された。さらに燃料電池自動車の開発研究が急速に進んだことに対応して水素供給ステーションの実証研究が行われている。このように、固体高分子型水電解は水素エネルギー社会を担う重要技術として注目されているが、工業製品としても、メンテナンスが容易であり、精製装置なしで高純度の水素が得られるなど実用面での優れた特長をもつ。

当社は、水素エネルギー社会の到来に向けた準備を進めながら、独自に固体高分子型水電解による高純度水素酸素発生装置 HHOG (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator) を商品開発し、現在、工業ガス用途向けのオンサイト水素製造装置の製造・販売を行っている。

## 2.2 特徴

表1に、HHOGの商用機の標準仕様を示す。水素使用圧力によって0.4MPaまでの低圧型と0.9MPa未満の高圧型の2機種があり、水素発生量によって10～80Nm<sup>3</sup>/h(スキッドマウント型)と10Nm<sup>3</sup>/h以下(コンパクト型水素サーバ)がある。前者は、工場のマルチユース向け水素ガス供給設備として、後者は各ユースポイントで単体機器と組み合わせた水素供給設備として提供している。写真1にいくつかの装置の外観を示す。装置の特徴はつぎのとおりである。

- (1) 精製装置なしで99.999%以上の水素ガス純度が得られる。
- (2) 運転操作が簡単で、0-100%の出力範囲で自動運転が可能。
- (3) 純水製造用のイオン交換樹脂の交換(1回/年程度)以外はメンテナンスフリー。
- (4) 異常発生時は電源OFFによりガス発生を停止できるため、安全性が高い。

図1に、水封タンク方式の高圧型装置のフロー図を示す。この方式では、酸素気液分離タンク(電解タンク)の中に電解モジュールを入れ、水素気液分離器と電解タンクの差圧を制御する。これにより電極膜接合体の両側の圧力差をなくし、電解モジュールの内部と外部をほぼ同圧に保つため、低圧用電解モジュールを使用して高圧水素を発生させることができる。高圧ガス保安法の規制を考慮しなければ、この方式により圧縮機なしで1MPa



写真1-1 HHOG-SL50 (50Nm<sup>3</sup>/h, 0.37MPa)



写真1-2 HHOG-SH30D (30Nm<sup>3</sup>/h, 0.82MPa, 除湿器付帯)



写真1-3 HHOG-CL5D (5Nm<sup>3</sup>/h, 0.4MPa, 除湿器付帯)

表1 HHOG標準仕様

低圧型 (~0.4MPa)	コンパクトタイプ 水素サーバ			スキッドマウントタイプ				
型 式	CL1	CL5D	CL10D	SL20D	SL30D	SL40D	SL50D	SL60D
水素ガス発生量 (Nm <sup>3</sup> /h)	1	5	10	20	30	40	50	60
型 式	CH1D	CH5D	SH10D	SH20D	SH30D	SH40D	SH50D	SH60D
高圧型 (0.4~0.85MPa)	コンパクトタイプ 水素サーバ		スキッドマウントタイプ					

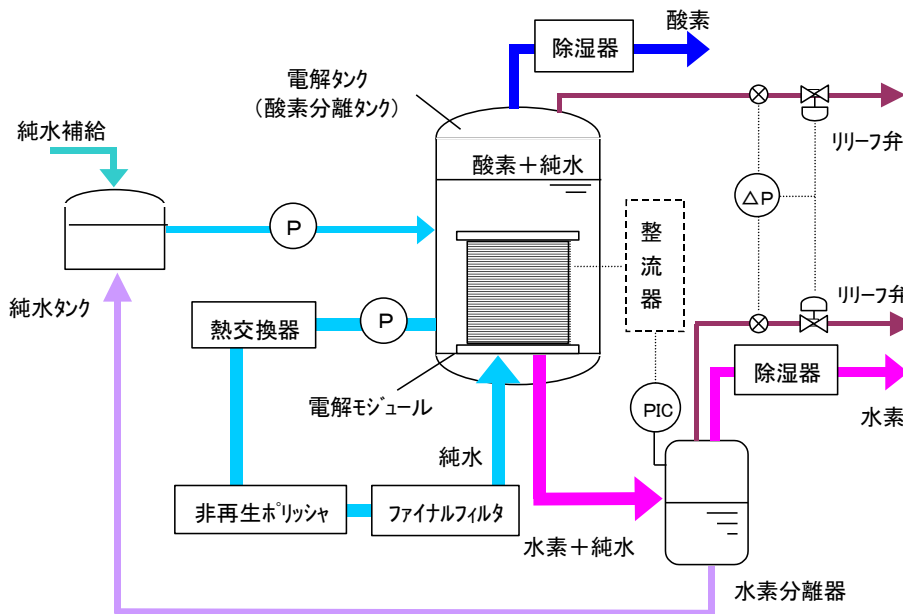


図1 水封タンク方式の高圧型装置のフロー図

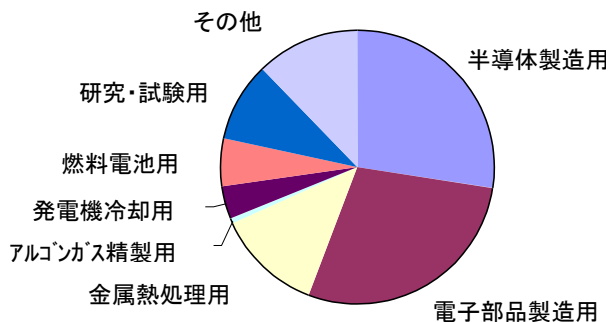


図2 HHOG の納入分野

海外では、中東、中国、東南アジアなど水素供給体制が整備されていない地域でオンサイト装置のニーズが高く、海外の火力発電所や電子産業関連の日本企業の海外生産工場に納入実績がある。従来はアルカリ水電解装置が採用されていたが、固体高分子型水電解装置が薬品を使用せずトラブルが少ないことから、水素の安定供給設備として採用されつつある。

以上の水素を製造できる。

2007年からは、0.9MPa未滿の水素使用圧力に対して、新たに開発した高圧用電解モジュールを搭載した、水封タンクレスのコンパクト型「高圧水素サーバ」を販売開始する予定である。

### 2.3 納入実績

これまでに国内外を含め約80台の納入実績がある。図2に発生水素量から見た納入分野別の割合を示す。主な納入先は、工業用水素ポンプ供給の代替として、半導体製造やセラミックコンデンサー等の電子部品製造、金属熱処理、アルゴンガス精製、発電機冷却用などである。半導体と電子部品関係で約6割を占める。



写真2 1kW級固体高分子型水電解/燃料電池コジェネレーション装置

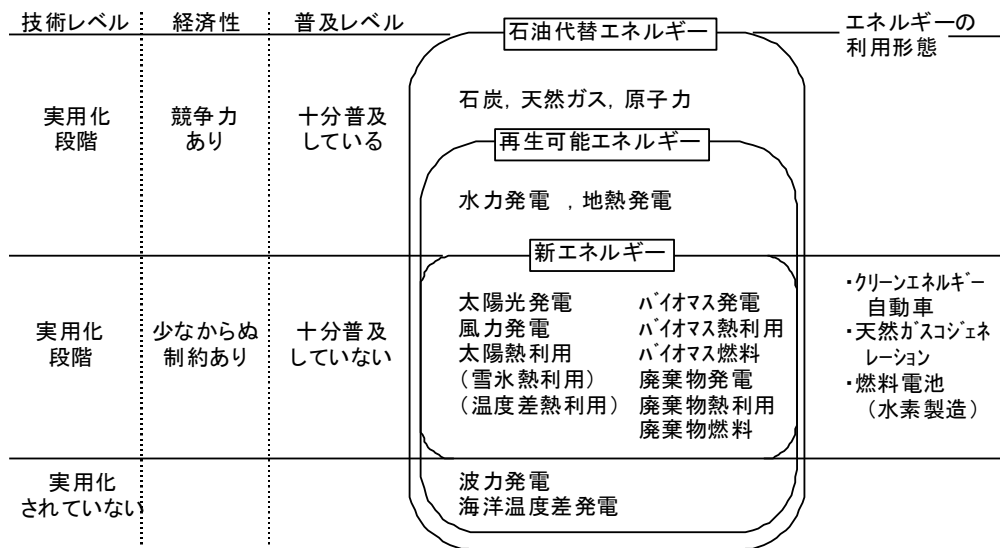


図3 再生可能エネルギーの分類 [3]

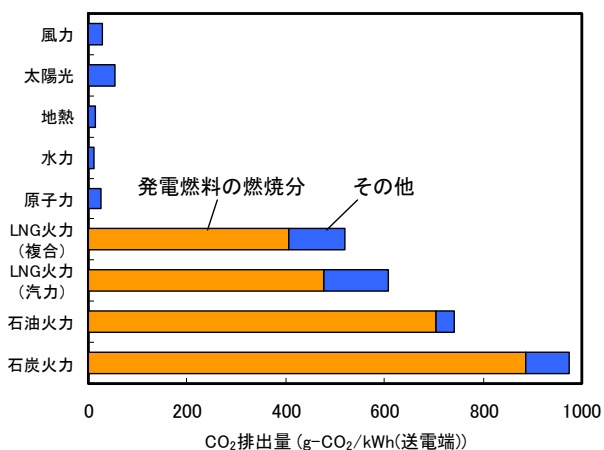


図4 各発電方式によるCO<sub>2</sub>排出量の比較 [4]

また、国立大学・国立研究機関の独立法人化により法令遵守が強く求められるようになったことから、高圧ガス容器の保有量を減らすためにオンサイト装置への需要が高まっている。燃料電池試験用など研究開発用途の納入実績も増えている。

## 2.4 開発状況

高効率電極膜接合体および電解モジュールの開発ならびに、装置コストの削減、コンパクト化、純水製造ユニットや除湿器などの周辺機器を含めた装置の改良開発を進めている。

商用機では装置の信頼性を最優先し、実績のある要素技術を採用しており、電極膜接合体は長期安定性の高い Dupont 社製 Nafion117 相当 (膜厚 180 μm) の固体高

分子電解質膜を使用している。研究開発用途や共同研究向けで高効率が要求される場合には、薄膜の電極膜接合体を用いた高効率電解モジュールを採用する。

例として、自動車メーカーによる太陽電池と水電解を組み合わせた水素スタンドの実証試験用には、電解電力量<sup>\*1)</sup> 4kWh/Nm<sup>3</sup>以下、エネルギー効率<sup>\*2)</sup> 90%以上 (電解温度 80°C, 電流密度 1A/cm<sup>2</sup>) の高効率電解モジュールを提供している。また、電力会社との共同研究において、夜間電力を利用した家庭用コジェネレーションシステムの実証試験を実施した。本試験では、4kWh/Nm<sup>3</sup>以下の電解モジュールを採用し、1kW 固体高分子型燃料電池と 1Nm<sup>3</sup>/h 水電解を一体化したコンパクトな装置を開発した (写真2)。

\*1) 電解電力量[kWh/Nm<sup>3</sup>] = 電解電圧[V] x 理論電気量[kAh/Nm<sup>3</sup>] ÷ 電流効率[%] ÷ 100

\*2) エネルギー効率[%] = 理論電解電力量[kWh/Nm<sup>3</sup>] ÷ 電解電力量[kWh/Nm<sup>3</sup>] x 100

## 3. 再生可能エネルギーと固体高分子型水電解

### 3.1 再生可能エネルギーの現状

図3で定義される再生可能エネルギー[3]で、水力発電は947億kWhの年間可能発電電力を有し電力供給量の約10%を占める。地熱発電の電力供給量は大きくなく、年間発電電力に占める割合はわずか0.3%に過ぎない。一方、新エネルギーとして利用が期待される太陽光発電、風力

表2 再生可能エネルギーを利用した電解水素製造プロジェクトの例

プロジェクト概要		実施時期	場所	参画機関
佐賀大学海洋エネルギー研究センター	海洋温度差発電-水電解	2002.6-	佐賀大学	佐賀大学, 日立造船, ゼネシス
屋久島水素ステーションプロジェクト	水力発電-水電解-燃料電池自動車	2004.4-2006.3	鹿児島県	鹿児島大学, 屋久島電工 ホンダ技研工業
燃料電池実証試験補助事業	太陽光発電・商用電力-水電解-燃料電池発電	2004.8-	四日市市	伊藤忠商事, 日立造船 ハイドロジェニックス
地域新生コンソーシアム研究開発事業	ミニ水素社会の実証試験 高圧水電解水素ステーション開発	2005.3-	九州大学	九州大学, 九州電力 三菱商事, キューキ 福岡県産業・科学技術振興財団
環境と経済の好循環のまちづくり事業 (環境省・まほろばプロジェクト)	風力発電-水電解-燃料電池	2005.4-	稚内市	稚内新エネルギー研究会
青森県・先駆的水素プロジェクト	風力発電-水電解	2006.4-	青森県	日水コン, 日立造船, 菱明技研
独立電源システム事業化に向けた連携 構築とマーケティング調査	風力・太陽光・ハイブリッド-水電解-燃料電池発電	2006.4-	札幌市	サンエス電気通信, 北海道大 学, 北海道立鉱業試験場
産学連携プロジェクト	風レンズ方式の海上大型風力発電-水電解(海水)	2006.11-	-	九州大学など8大学 繊維メーカー6社

発電、バイオマス発電、バイオガス発電、廃棄物発電（それぞれ熱利用を含む）については、個々の技術は確立されているものの、それぞれに問題点を抱えており、普及には至っていない。波力発電や海洋温度差発電では、要素技術の研究開発が行われている段階である。

図4に現在の各発電方式におけるCO<sub>2</sub>排出量を示した[4]。CO<sub>2</sub>の排出量は、風力や太陽光などの再生可能エネルギーを用いた発電では火力発電の5%以下の50g-CO<sub>2</sub>/kWh以下に押さえられる。CO<sub>2</sub>排出量の削減のためには再生可能エネルギーの活用が不可欠であるが、太陽光発電や風力発電は供給電力の変動が大きいことなど実用面での課題が残されている。2003年4月より、RPS法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）による新エネルギーの導入促進策がとられているが、さらなる発電量の増加とコスト削減が期待される。

### 3.2 再生可能エネルギーによる電解水素製造

水電解は、太陽光発電、風力発電などの電力に変換可能な再生可能エネルギーから水素を製造するのに重要である。再生可能エネルギーの実用化には、まだ時間を要するが、再生可能エネルギーを利用した電解水素製造の検討が試みられている。

表2にいくつかの例をまとめた。各地の地域性、風力発電に適した気候や設備を設置できる土地の確保などに応じて、太陽光発電や風力発電による地域への電力供給が計画されている。天候に応じて発電量が大きく変動す

るため、一般電力との連携が重要であり、キャパシタや蓄電池などの補助電源や電解水素製造による燃料電池発電との組合せも必要である。このような各発電システムや補助システムとの組合せは、地域における電力のマイクログリッドシステムであり、発電装置・設備の自立（発電するために必要な電力を自ら賄うこと）も含め、安定電力供給に電解水素の果たす役割は大きいと考えられる。地域の燃料電池自動車向けの水素ステーション用途および再生可能エネルギーの不安定性を補う平準化用途としての役割が期待される。

地域によっては、水力発電のような既存の自然エネルギーからの電力が豊富に得られるところもあり、電解水素の製造が盛んに行われている。当社が関係した屋久島の事例に関して紹介する。

### 3.3 屋久島水素ステーションプロジェクト

屋久島の豊かな水資源を利用した水力発電で電解水素を製造し、CO<sub>2</sub>を排出しない水素ステーションが建設され2004年から2006年まで実証試験が行われた。水素ステーションの全景を写真3に示す。

表3 屋久島プロジェクト向けHHOGの仕様

形式	高压型スキッドマウントタイプ(SH)
発生水素ガス圧力	0.85 MPa
発生水素ガス量	1.25 Nm <sup>3</sup> /h
水素ガス純度	99.99%
露点	-70 °C



写真3 屋久島水素ステーションの全景

本プロジェクトは鹿児島大学を中心とする大学共同研究チームと屋久島電工および本田技研により実施されたものであるが、水電解装置は表3に示す、当社の商用機HHOG-SH型が採用された。発生した水素は圧縮機で35MPaに昇圧され、本田技研製燃料電池自動車FCXに充填され走行テストが行われた。プロジェクトの結果から、水力発電をすべて水素製造に利用した場合、水素製造量は年間約124tonであり、これは1台あたりの燃料電池自動車の走行距離が年間9,000kmとすると屋久島で走行する車両数とほぼ等しい台数、約3,300台分の燃料電池自動車の燃料を賄えると試算された。

#### 4. 今後の課題と展望

電解水素製造において、固体高分子型水電解はアルカリ水電解に比べ高コストであるため、量産効果だけによらず要素技術からのコスト削減が必要である。

また、燃料電池自動車の普及に備え、水素ステーション向けに40MPa以上の固体高分子型水電解による高圧水素製造の開発が行われている。高圧化は、圧縮機との組合せも考慮しながら、最終的に経済性の成り立つ装置の開発が必要と思われる。

一方、家庭用の燃料電池コージェネレーションシステムに水素供給を付加し、夜間にガレージに燃料電池自動車を駐車している間に水素補給するシステムの検討もなされている。また、既存のハイブリッド車に加え、CNG車の燃料である天然ガスに水素ガスを15～20%混合したハイタンを使用するなど、インフラ整備を必要としな

い水素エネルギーへの移行も検討されている。このように多様な形で水素エネルギー社会へのアプローチが現実化してくるものと予想される。

燃料電池は、水素源として化石燃料からの改質水素も使用することができる。したがって、改質時にCO<sub>2</sub>の発生を伴うが、まず改質水素を使用して燃料電池を普及させることにより水素需要が高まり、それに伴い再生可能エネルギーを用いた水電解による水素製造が普及し、ゼロ・エミッション社会の到来が加速されることを期待する。

#### 5. 結言

2007年2月にEUの欧州委員会が、2012年までに新車種の走行距離1km当たりのCO<sub>2</sub>排出量を120gまで削減するよう義務づける方針を発表した。これは燃費に換算すると約20km/lであり、極めて高いハードルである。今後、化石燃料を中心としたエネルギー体系から再生可能エネルギーへの転換の圧力がますます増えていくだろう。その中で新規なエネルギー媒体としての水素が果たす役割に大きな期待が集まっている。解決しなければならない課題は多いが、それらを克服しながら持続可能な社会を支える水素エネルギーシステムの実現に貢献したいと考える。

#### 参考文献

1. IPCC 第4次報告, Summary for Policymakers, “Climate Change 2007: The Physical Science Basis”,  
<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
2. 気候変動リスクにおける地球温暖化防止市場の現状と将来性, p. 4 富士経済 (2005)
3. <http://www.enecho.meti.go.jp/energy/newenergy/images/ne1050307.pdf>
4. 資源エネルギー庁, “考えよう日本のエネルギー”, 050603\_kangaeyo-nihon.pdf