

# 高純度水素酸素発生装置 (HHOG) の新展開

## New Aspects of the High-purity Hydrogen and Oxygen Generator (HHOG)



技術開発本部 研究開発部  
三宅明子  
Akiko Miyake  
平井清司  
Kiyoshi Hirai

Various applications of the HHOG (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator), which is a water electrolyzers using a solid polymer electrolyte, (SPE) as an on-site system are introduced. Electrolysis hydrogen as an energy medium is discussed on its expected role in the 21st century in the fields of energy storage and solar energy utilization. Electrolysis hydrogen is also important for catalytic conversion of CO<sub>2</sub> to methanol for its fixation. The HHOG is the only large-scale commercialized water electrolysis system using a solid polymer electrolyte, and its wide applications are expected in the near future.

### まえがき

水電解法による高純度水素酸素発生装置 (HHOG) として、これまでに小容量用途向けのユニット型 (0.5~2 Nm<sup>3</sup>/h)、ガス集中供給設備としてのシステム型 (10~50 Nm<sup>3</sup>/h)、昇圧設備不要の高圧型 (10 Nm<sup>3</sup>/h, 1.0 MPa 未満) の装置が開発されてきた。

水電解法 (またはアルカリ水電解法) による水素製造は、水力資源が豊富で水力発電により安価な電気が供給出来る地域を除き、経済的に成り立ち難い。日本は、発電コストが高く電気代が高い。そのため、原子力・火力発電所内のように比較的安価な電気が得られる特殊な用途を中心にこれまで HHOG の適用を検討してきた<sup>1)</sup>。

最近、高圧水素容器の輸送費の高騰や、水素供給源が減少する一方で水素需要が増加しているため、電子産業をはじめとして自社工場内で水素を製造するオンサイト化が進んでいる。これに対して、最近開発された高圧型 HHOG は高圧でガスが発生出来るため水素発生量当たりの設備費を大幅に削減し、価格面でも手軽なオンサイト装置として期待される。

一方、現在世界で消費されているエネルギーの約90%が石油、天然ガス、石炭等の化石エネルギーである。しかし、近年の経済発展、人口の爆発的増加に伴うエネルギー消費量の増大は、これら化石エネルギー資源の枯渇問題をますます深刻化している。また、化石エネルギー資源の消費によって排出される二酸化炭素濃度の増加は、地球温暖化の主原因になっている。

これらの諸問題に対処するには、化石エネルギー資源の有効利用と同時に、太陽エネルギー、水力、風力等の自然エネルギーの利用技術の開発が必須である。そのためには電力貯蔵技術と、現在のガソリン燃料に相当する貯蔵・輸送が可能な二次エネルギー燃料への変換技術が重要である。

前述の観点から、水素がクリーンな二次エネルギーとして注目されている。水電解による水素製造法は、太陽光発電や燃料電池発電と組み合わせることが出来る点で重要で

ある。HHOG は、国内では唯一大容量の固体高分子電解質膜による水電解装置を商業化しており、このような将来の水素を中心とする新しいエネルギーシステムにも適用出来ると考えられる。

本稿では、オンサイト装置として期待される適用分野をはじめ、21世紀に向けた将来の水素利用に関連して期待される HHOG の適用分野について述べる。

### 1. オンサイト装置としての展開

#### 1.1 オンサイト化が進む産業分野

石油化学工業を中心とするコンビナート地域では、重質油、ナフサ (石油軽質油留分)、天然ガスや石炭、コークス等を水蒸気改質、部分酸化あるいは熱分解して得られる合成ガス (H<sub>2</sub>とCOが主成分) を分離精製することにより高純度水素を得て、これを自家消費したり近隣工場へパイプラインで供給している。

電子産業等コンビナート地域から離れた遠隔地に立地する工場へは、ソーダ工業の食塩電解における副生水素ガスや、石油精製オフガス、鉄鋼オフガスを回収精製した高純度水素が高圧容器詰めされ、圧縮水素ガスとして輸送されている。このような外販水素は国内で発生、消費される全水素量の1.3%程度にすぎないが、日本全国の広い地域に輸送され、遠隔地の水素需要がまかなわれている。

しかし、最近、主な外販水素源である食塩電解が塩素需要の不振から稼働率が低下する等、水素の供給に不安が生じている。また、雪、事故等の交通事情により水素の定期的な搬入が一時的にストップする等、供給体制に不安を抱えている。さらに、輸送費の高騰が深刻になっている。

このような事情を背景に、近年、圧縮水素ガスの購入から水素製造装置に切り替え (オンサイト化) を望む水素ユーザーが増加している。また、ガス製造業者がオンサイト装置をユーザー敷地内に置き、ガスのみをパイプラインで販売供給するケースも増えている。

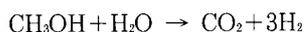
#### 1.2 オンサイト水素発生装置の比較

オンサイト水素発生装置としては、メタノール及び都市

ガスの水蒸気改質装置が主流である。その他にアンモニア分解やアルカリ水電解もあるが、現在ではほとんど新設されていない。

### 1. 2. 1 メタノール水蒸気改質

メタノールの水蒸気改質法は、原料メタノールと水蒸気との混合蒸気を改質炉でCu系触媒を用いて接触改質する方法である。反応温度は240~290℃程度で、以下のメタノール分解反応とシフト反応により、75%の水素と炭酸



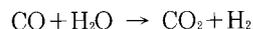
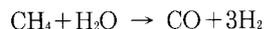
ガスを主成分とし若干のCO、CH<sub>4</sub>及び未反応メタノールと水蒸気から成る改質ガスが生成する。この改質ガスを気液分離し、PSA (Pressure Swing Adsorption) で分離精製し99.999%以上の高純度水素を得る。

### 1. 2. 2 都市ガス水蒸気改質

都市ガスの改質法には、高温水蒸気改質と部分酸化反応の二通りの方法があるが、水素濃度の高いガスを得るには高温水蒸気改質が熱力学的に有利である。

都市ガスは、天然ガスにカロリー調整のためのプロパンと、付臭剤(硫黄成分)が添加されている。付臭剤は改質反応の触媒活性を被毒するため、最初にNi-Mo系触媒により水添脱硫除去される。その後、改質炉でNi系触媒により700℃で60~75%の水素とCO、CO<sub>2</sub>を含む改質ガスになる。COはさらにCO変成器でCu系触媒により350℃

で水素とCO<sub>2</sub>に転化される。メタノール改質の場合と同様にPSAで精製され高純度水素が得られる。



### 1. 2. 3 固体高分子型水電解-HHOG

固体高分子型水電解であるHHOGは、フッ素樹脂系イオン交換膜をプロトン伝導体として用いることにより、電解質を添加せずに超純水を電気分解することが出来る。

固体高分子型水電解は一般に設備費が高価である。また、電気代の高い日本国内ではランニングコストの点でも劣る。しかし、最近開発された高圧型では、種々の改良により設備費及びランニングコストの低価格化が図られている<sup>9)</sup>。

第1表に、メタノール及び都市ガスの水蒸気改質法と比較してHHOGの特長を示した。

#### (1) ガス純度

超純水を直接電気分解するので、発生ガス中への不純物の混入が極めて少なく、更なる精製を行わなくても高純度の水素と酸素を製造することが出来る。とくに、水蒸気改質法に比べ炭素含有不純物ガス濃度が低い。

水電解であるため、発生ガス中には飽和水分が含まれる。低露点のガスが必要な場合は、除湿が必要である。

#### (2) 最適水素発生量

メタノール及び都市ガスの水蒸気改質装置では100 m<sup>3</sup>/h以下の水素使用量に対しては、スケールメリットが得られない。一方、HHOGの水素発生量は電流に比例し、規模

第1表 オンサイト水素発生装置の比較  
Table. 1 Various on-site hydrogen generators

	Steam reforming of methanol	Steam reforming of town gass	Water electrolysis (HHOG)	
Purity for H <sub>2</sub> (Vol %)	≥ 99.999	≥ 99.999	≥ 99.9999	
Capacity (Nm <sup>3</sup> /h)	100 ~ 10 000	50 ~ 500	1 ~ 50 (100)	
Storage tank of raw material	Required	Not required	Required	
Pressure (MPa)	0.5 ~ 5.0	0.5~3.0	~ 0.4	0.4 ~ 1.0(15)
Flow daiagyam	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O O <sub>2</sub>
	↓ Reformer ↓ Purifier(PSA) ↓ H <sub>2</sub>	↓ Desulfurizer ↓ Reformer ↓ CO converter ↓ Purifier(PSA) ↓ H <sub>2</sub>	↓ Electrolysis cell ⊖ ↓ ⊕ Dehumidifier ↓ H <sub>2</sub>	↓ Electrolysis cell ⊖ ↓ ⊕ Dehumidifier ↓ H <sub>2</sub> 〈High-pressure type〉

の大小に依存せず高効率であるため、100 m<sup>3</sup>/h以下の使用量では水蒸気改質装置よりも有利である。しかし、1 m<sup>3</sup>/h以下の使用量ではポンプ購入の方が安価になるという試算結果が得られている。したがって、オンサイト装置としてHHOGの最適な水素容量は1~100 N m<sup>3</sup>/hである。

### (3)ガス圧力

高圧型は、高圧ガス取締法の規制を受けない1.0 MPa未満の装置が開発されている。固体高分子電解質膜は、4気圧までの差圧に耐える膜であり、陽極側と陰極側の差圧制御が容易なため、150~200気圧程度にまで高圧にすることも可能である。従って、圧縮設備が不要であり、ガスの汚染の心配がない。高圧ポンプを使用する場合に比べ、頻りにポンプ交換する必要がない等の利点がある。

### (4)操作性

HHOGは常温反応であるため起動が速くON/OFFの応答性が良好であり、0~100%の範囲で発生量を容易に調整出来る。高圧ポンプと同じ手軽さで使用出来るよう設計されている。これに対して水蒸気改質は高温接触反応であるため発生量の変更が容易でない。また、急激な反応条件の変化は触媒性能の低下を招く。

### (5)酸素の同時利用

水を電気分解するので水素だけでなく同時に酸素を発生させることが出来る。水素と酸素の両方を使用する場合はメリットが大きい。

## 1.3 適用

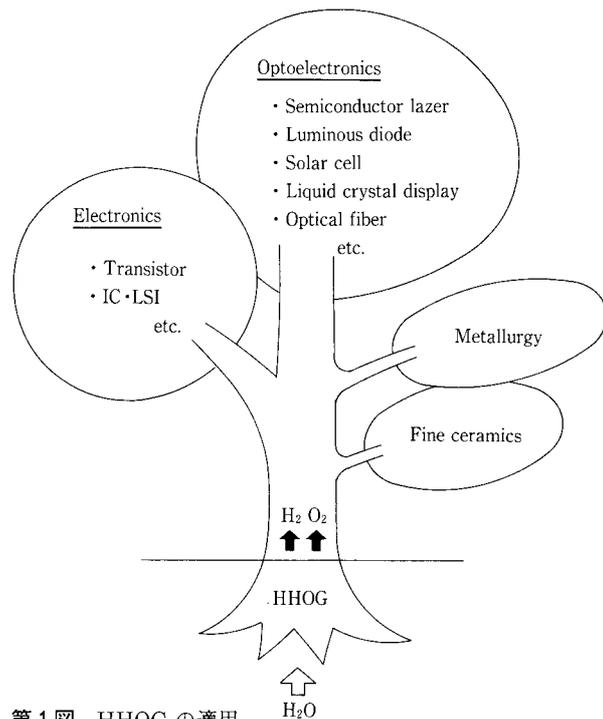
第1図にHHOGのオンサイト装置として期待される適用用途を示した。

トランジスタやIC・LSI製造分野では、シリコン酸化膜の形成に高純度酸素が使用される。また、多結晶シリコンの製造工程をはじめアニール工程、エピタキシャル成長工程、パイロジェニック酸化、ドライエッチング工程等で高純度水素が使用される。

シリコン酸化膜の形成法で汎用的に用いられる熱酸化法は、大別してH<sub>2</sub>Oを含む酸素あるいは水素と酸素から水蒸気を生成して約1000℃で酸化するウェット酸化と、乾燥酸素により約1000℃で酸化するドライ酸化がある。ゲート酸化膜や、フィールド酸化膜、素子分離用絶縁膜など用途に応じて使い分けられている。近年、LSI集積度の向上に伴い、素子寸法の微細化、酸化膜の薄膜化が進むにつれてガス純度はますます重要性を増している。また、酸化温度の低温化が図られており、低温でもスループットを下げない酸化方法として高圧酸化等も検討されている。

エピタキシャル成長は、基板結晶と同一軸方向に単結晶薄膜を成長させるものである。LSI製造プロセスの中で、最も多量にかつ高純度の水素を使用する。シラン系原料ガスと不純物ドーパントガスのキャリアガスとして水素が使用される。

ガリウムヒ素に代表される化合物半導体は、超高速ICや半導体レーザー、発光ダイオード等の発光デバイスとして実用化されている。化合物半導体のエピタキシャル層形成法として、原料ガスに有機金属化合物を用いる有機金属気相成長法(MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition)が行われる。この場合もキャリアガスとして高純度水素が使用される。



第1図 HHOGの適用  
Fig. 1 Applications of HHOG.

バルク型太陽電池の製造では、安価なSi基板上にガリウムヒ素等の化合物半導体層を形成するのに水素が使用される。

石英ガラス系光ファイバー製造では、光ファイバーと同一の母材(プリフォーム)をあらかじめ製造しておき、これを線引きして長尺の光ファイバーを得る。酸水素炎で約1500℃の加熱を行うのに高純度の水素と酸素が使用される。

## 2. 電気エネルギー有効利用への展開

水素は、従来、化学工業原料ガスとして主に利用されてきた。しかし、水電解による水素製造法は、電気エネルギーを化学エネルギーへ変換し、電力を貯蔵する方法として注目されている。

### 2.1 電力貯蔵による負荷平準化

電力会社では、ルームエアコン等の普及により、夏季を中心とした昼夜間あるいは季節間の電力需要格差の増大が問題になっている。発電設備は、最大電力需要を若干上回る供給容量を確保しなければならないため、ピーク時以外のほとんどの期間は供給容量を下回り、設備の稼働率は低下する。

このため、深夜割引価格を設定し時間帯別に料金メニューを多様化する等の対策の他に、オフピーク時の余剰電力を種々のエネルギーに変換して貯蔵し、ピーク時にそれを取り出して利用する負荷平準化技術(ロードコンデショニング)が検討されている。

負荷平準化のための電力貯蔵技術としては、揚水発電が実用化されている。揚水発電は、夜間電力によって水を山の上に揚げ、位置エネルギーとして貯蔵し、電力の必要なときに水を落下させて発電させる方法である。今後は、立地条件の問題から増設は難しいと考えられる。そのため、揚

水発電に代わる新しい変換効率の高い電力貯蔵技術として、圧縮空気エネルギー貯蔵、超電導磁気エネルギー貯蔵、新型電池等の開発が行われている。

## 2.2 水電解-燃料電池発電システム

余剰電力を利用して水電解により水素を製造し、再び必要時に電気エネルギーに変換する方法として、水電解と燃料電池発電との組み合わせが提案されている。

燃料電池発電は、水素と酸素を原料として水素の酸化反応により水を合成する際、水素から酸素へ電子の移動を外部回路を通して行うことにより電気を発生する。水電解と逆の反応である。発電効率が40~60%と高く、熱・電気併給が可能であり省エネルギー効果大きい。

燃料電池の水素源は、天然ガス、エタノール、石炭ガス等が、酸素源は空気が利用される。水電解-燃料電池発電システムでは、第2図に示すように、水電解で生成した純水素と純酸素をそれぞれ貯蔵し（あるいは酸素は空気を用いる）、可逆的に電気エネルギーと化学エネルギーの直接変換を行うことが出来る。このシステムは再生型燃料電池システムとも呼ばれる。

燃料電池は、電解質の種類によってアルカリ型、リン酸型、熔融炭酸塩型、固体電解質型及び固体高分子型に分類される。この中で、再生型燃料電池システムには固体高分子電解質膜を利用した固体高分子型がよく検討されている。

再生型燃料電池システムのエネルギー変換効率は、他の電力貯蔵技術に比べて劣る。しかし、電力の負荷平準化だけでなく、後述するように、太陽電池など時間的な変動を伴う自然エネルギーを利用する場合の平準化技術としても重要であり、固体高分子型の同一セルで水電解と燃料電池発電を行うシステムの研究も行われている。

再生型燃料電池システムの車載用途として、鉄道分野では、線区に設定されている最低電圧に対して余剰の電力や、回生制動から発生する余剰電力を車上充電し、不足する場

合はその充電電力を不足分だけ放電する地上・車上ハイブリッド電源が検討されている<sup>3)</sup>。

## 2.3 原子力発電と水電解

原子力発電は、需要がなくても休止させることが出来ない定出力運転である。原子力発電と水力発電はベースロード電力の供給と考えられているが、2010年頃にはこれらのベースロード電源のみで電力供給量は最小需要量を上回ると予想されている<sup>4)</sup>。このため、発電以外の原子力の商業利用が進められている。

原子力発電で、需要の少ない時間帯に、水素を製造するための水電解用電力を供給することが提案されている<sup>5)</sup>。水電解装置としては、固体高分子型水電解が検討されており、化石エネルギー資源に依存せず、国内で水素を製造する方法として注目される。

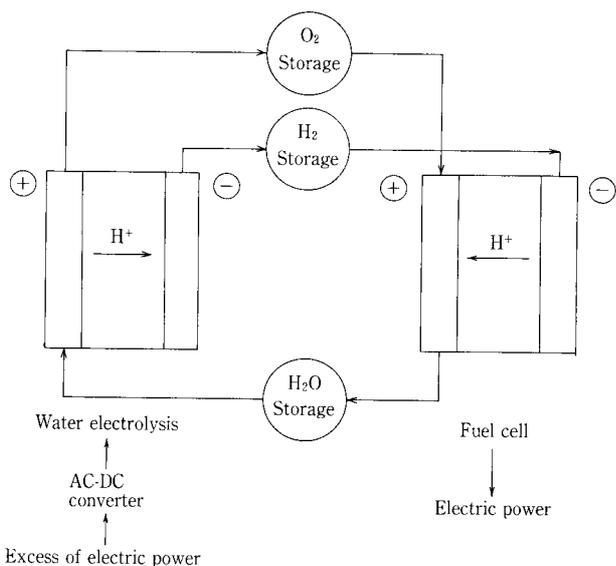
## 3. 自然エネルギー有効利用への展開

### 3.1 エネルギー技術の転換期

二度の石油ショックを契機に、石油火力中心から電源の多様化が進められてきたが、地球温暖化や酸性雨等地球環境問題がクローズアップされる中、日本はエネルギー技術の転換期を迎えている。

エネルギーは、石油、石炭、天然ガスの化石燃料、ウラン燃料等エネルギー資源そのものを一次系とすると、電力、都市ガス、ガソリン等に変換されて利用しやすくなった二次系とに分類される。日本では、一次系の8割以上を輸入に依存し、また約6割を石油に依存している。

エネルギーの安定供給確保、地球環境問題への対応を図りつつ、持続的な経済発展を行うため、第2表に示すエネルギー政策目標が策定されている<sup>6)</sup>。これによると、省エネルギー努力によりエネルギー需要の伸びを0.9%に抑えること、石炭、天然ガス等の石油代替エネルギーの利用を積極的に推進し石油依存度を低減すること、原子力や太陽、地熱、風力をはじめとする非化石エネルギーへの依存度を



第2図 再生型燃料電池システム  
Fig. 2 Regenerative fuel cell system.

第2表 長期エネルギー需給見通し<sup>6)</sup>  
Fig. 2 Prospective of energy supply and consumption in a long term<sup>6)</sup>

	1992	2000	2010
Consumption ( $\times 10^9$ )	360	388	423
Increase %	—	1.0	0.9
Supply ( $\times 10^9$ )	541	582	635
%			
Petroleum	58.2	52.9	47.7
Coal	16.1	16.4	15.4
Natural gas	10.6	12.9	12.8
Nuclear energy	10.0	12.3	16.9
Hydraulic power energy	3.8	3.4	3.7
Geothermal energy	0.1	0.2	0.6
Other new energy	1.2	2.0	3.0

向上させることが目標とされている。

### 3.2 太陽光発電と水電解

自然エネルギーの中で、太陽エネルギーはクリーンであり、無尽蔵である点で最も有望である。太陽の膨大なエネルギーの利用は、太陽光と太陽熱に分けられる。

太陽電池はp-n接合半導体を利用したもので、太陽光の一部を吸収し、形成された電子とホールの流れにより直流電流を発生させるものである。太陽光が照射している間は、電力が発生し続けるが、光の照射が止まると分離していた電子とホールが再結合し電力は発生しなくなる。この時間的変動による電力需給のアンバランスを改善するために、太陽光発電で得られた電力の貯蔵が必要になる。

太陽電池1セルで発生する電圧(1V程度)は、水の電気分解電圧(1~2V)に近く、直流である。このため水電解と太陽電池を直結することができ、太陽光発電で得られた電力を水電解により水素として貯蔵するシステムが組み易い。水電解装置としては、効率、負荷追従性、メンテナンスの容易性において固体高分子型が適している。

ドイツやデンマークでは、太陽や風力を利用した地域や家庭の自家発電で水素を作り、エネルギーを貯蔵し再び水素を燃料や電力に変換して使う家庭用水素生産の試みも始められている。

### 3.3 水素エネルギーシステム

水素は、ほとんど無限に存在する水から電気分解等によって得ることができ、燃焼すれば水に戻るクリーンな二次エネルギーである。また、これまで述べたように貯蔵が容易で、エネルギー変換がたやすい等の利点がある。

この水素の特長を利用して、エネルギー消費地と自然エネルギー供給地を結ぶ地球規模のクリーンエネルギーシステムの研究開発が各国で進められている。(第3表)。

日本では、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET:World Energy Network)が提案されている<sup>7)</sup>。WE-NETは、発展途上国等海外に未利用の形で豊富に存在する水力、太陽光等の自然エネルギーを、水素等を

エネルギー媒体として日本をはじめ世界の需要地に輸送し利用する計画である。これは、2020~2030年頃の実現を目指した長期的プロジェクトである。第3図にその概念図を示した。

WE-NETで必要とされる水素は、32000Nm<sup>3</sup>/h規模の水電解プラントが25基にもおよぶ膨大な量であり、固体高分子型水電解が現在のところ有力候補である。

海外の自然エネルギーを利用して製造した大量の水素は、液体水素としてタンカー輸送され、水素燃焼タービン発電や、水素自動車、水素燃料航空機等の輸送用燃料、民生用燃料として利用される。

水素燃焼タービン発電では、水素を純酸素燃焼させることにより超高温の蒸気が発生するため、高効率発電が期待される。また、水素と酸素の完全燃焼で主作動媒体を直接加熱して水のみが生成するため、クローズドサイクルが可能である。水素の燃焼制御技術の開発等が重点的に行われている。

## 4. 二酸化炭素固定化への展開

### 4.1 地球温暖化とその対策

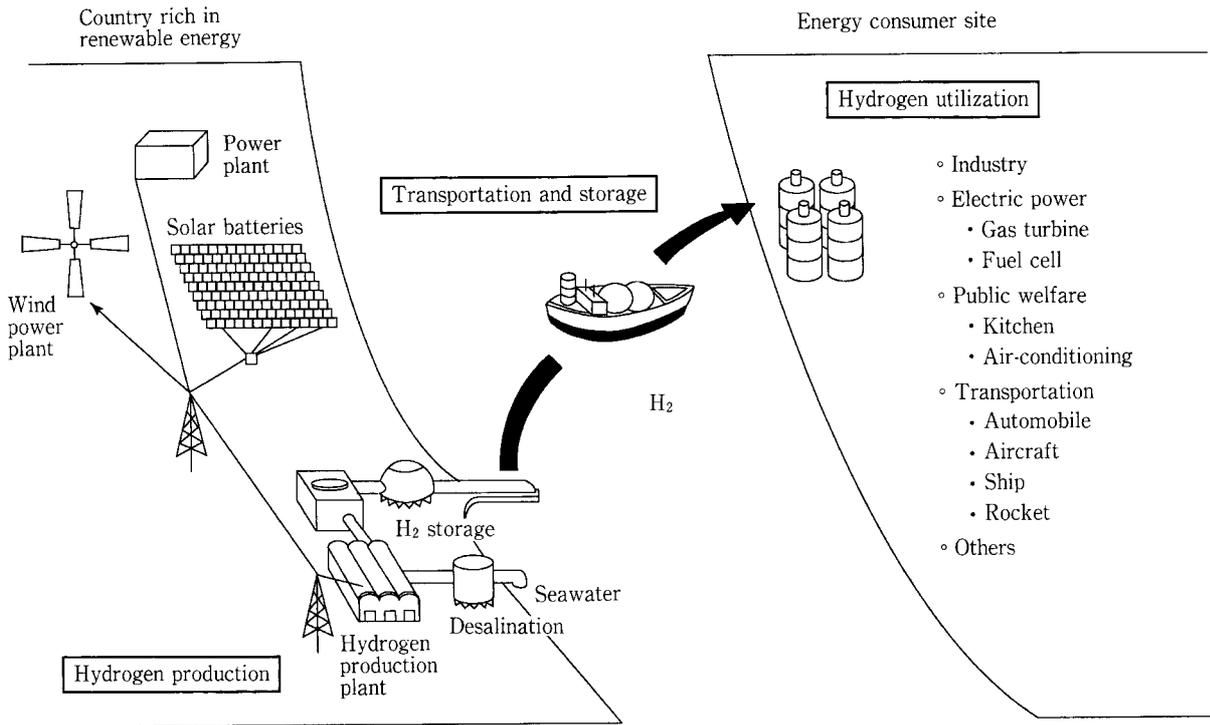
地球温暖化は、大気中の赤外線吸収量の増加により地球大気の放射バランスが変化し、気温が変化する現象である。赤外線吸収量の多いガスが温室効果ガスと呼ばれ、メタンは二酸化炭素の十倍、亜酸化窒素は百倍、フロンは一万倍以上も赤外線吸収力が強く、微量でも温室効果に寄与する影響は大きい。しかし、エネルギー消費量の増大により二酸化炭素濃度が急増するのに対応して地球温暖化が進んでいる。

地球温暖化の主要原因である二酸化炭素濃度を減少させるには、発生した二酸化炭素を効率よく回収し、放出量を低減しなければならない。二酸化炭素の発生源は、主に自動車等の移動発生源と火力発電所等の固定発生源であり、分離回収が可能なのは後者である。前者は、電気自動車や水素自動車等クリーンエネルギー自動車の開発が進められており、二酸化炭素の排出自体を抑制する方向にある。

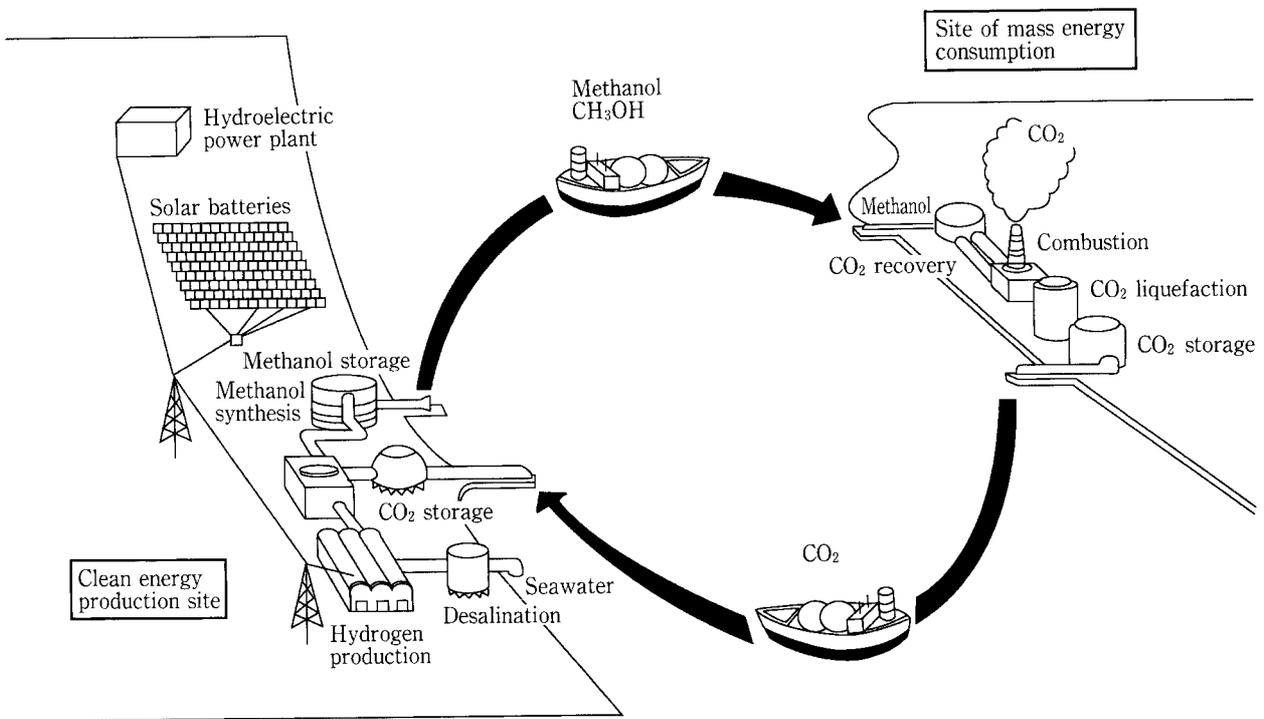
第3表 世界の主な水素エネルギープロジェクト

Fig. 3 Main projects of hydrogen energy system in the world

Project	Country	Period	Content
WE-NET (World Energy Network)	Japan	1993 - 2020	(Shown in fig. 3)
EQHHP (Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project)	EU Canada (Quebec)	1987 -	Hydraulic power generation ↓ Water electrolysis (Canada) ↓ Transportation of liq. H <sub>2</sub> ↓ EU
HYSOLAR	Germany Saudi Arabia	1986 - 1996	Solar photovoltaic generation ↓ Water electrolysis (SA) ↓ Transportation by a pipeline ↓ Germany



第3図 水素利用国際クリーンエネルギーシステム<sup>7)</sup>  
 Fig. 3 International clean energy network using hydrogen conversion system.<sup>7)</sup>



第4図 CO<sub>2</sub> グローバルリサイクルシステム<sup>8)</sup>  
 Fig. 4 CO<sub>2</sub> global recycling system.<sup>8)</sup>

第4表 大規模水電解プラント（アルカリ水電解）

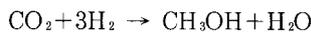
Fig. 4 Large scale water electrolyzers (alkaline water electrolysis)

Country	Location	Company	Capacity (Nm <sup>3</sup> /h)	Electric power (kW)
Egypt	Aswan	Brown Boveri	33 000	182 000
India	Nangal	Denora	30 000	165 000
Norway	Ryukin	Norsk Hydro	27 900	153 000
Norway	Ghomfjord	Norsk Hydro	27 100	149 000
Canada	Trail	Trail	15 200	84 000

吸着、吸収、膜分離等の方法で回収した二酸化炭素は、化学的あるいは生物的に固定する種々の方法が活発に研究されている。それらの中で、二酸化炭素の接触水素化によりメタノールを合成する方法が、現在のところ最も迅速で実用化の可能性の高い方法として注目されている。

#### 4.2 接触水素化によるメタノール合成

二酸化炭素の接触水素化により、メタノール以外にメタン、低級炭化水素、ガソリン留分、ギ酸等の化成品が得られる。メタノール合成反応では、熱力学的平衡から高圧・低温が有利である。200～250℃で40～120気圧の条件でCu-Zn系触媒が検討されており、現在20%程度の転化率が得られている。



メタノール合成用水素は、二酸化炭素を発生しない水素製造法でなければならず、先に述べた水力発電あるいは太陽光発電と水電解との組み合わせシステムが有力である。

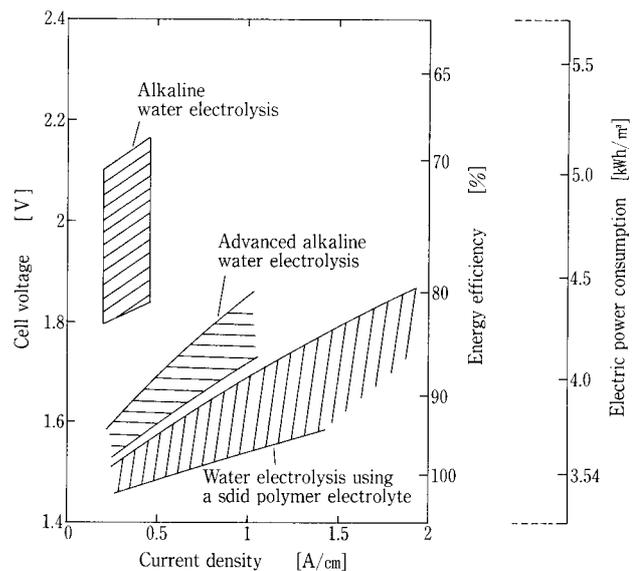
このようなシステムは、化学的CO<sub>2</sub>固定化プロジェクト<sup>8)</sup>や、電力会社等民間レベル<sup>9)</sup>でも検討されている。二酸化炭素を削減するだけでなく、固定化した二酸化炭素を炭素源として、有用な化学物質に変換しリサイクル利用することにより、化石エネルギー資源の消費量削減にも寄与する。第4図に化学的CO<sub>2</sub>固定化プロジェクトの概要を示した<sup>8)</sup>。

火力発電所あるいは工場の排ガスから二酸化炭素を回収し、液化して自然エネルギー資源の豊富な海外へタンカー輸送する。太陽光発電-水電解システムで製造した水素と液化二酸化炭素の反応により合成されたメタノールは、再びタンカー輸送で戻される。

このシステムに必要な水素は、例として、1000MWの石炭火力発電所から排出される二酸化炭素の60%を分離回収してメタノールとして固定化する場合、672000 m<sup>3</sup>/hである。

合成メタノールは、メタノール発電等燃料としてリサイクルされる。メタノール発電では、メタノール改質水素をガスタービンで燃焼する。メタノール改質にガスタービンの排熱を利用出来るので熱効率が高い。メタノールは、石油より単位熱量当たりの二酸化炭素排出量が多いが、発電効率が高いため、結果として排出量は少ない。

太陽エネルギー基地は、内陸の砂漠地域に立地する。そのため、太陽光発電基地からタンカー受け入れ基地となる



第5図 アルカリ水電解および固体高分子型水電解の電解性能<sup>12)</sup>  
Fig. 5 Electrolysis performance of alkaline water electrolysis and SPE water electrolysis<sup>12)</sup> using a solid polymer electrolyte.

港湾まで、電力送電するかあるいは水素輸送するかが、技術的・経済的な面から検討され、水電解設備を太陽光発電と直結し、水素をパイプライン移送する方式が最適であることが報告されている<sup>10)</sup>。この場合、前述したようにメタノール合成反応の圧力と、水素をパイプライン移送するために高圧水素が必要と考えられ、高圧型HHOGが有効であると思われる。

一方、太陽電池の出力変動に対して、固体高分子水電解の電解性能が検討されている。初期性能で、水電解効率が約80%、太陽電池効率が12%であり、日射エネルギーから水素エネルギーへの変換効率は9～10%が得られている。また、太陽電池との直結連続運転により水電解効率が低下するという問題があり、電解温度を80℃以上にすると改善されることも報告されている<sup>11)</sup>。

#### 5. 大規模高効率水電解の将来

固体高分子型水電解は、これまで、ガスクロ分析用等小型の装置開発がほとんどであった。HHOGは、国内では最大規模の装置であるが、第4表に示すアルカリ水電解の

実績に比べるとその規模は小さい。さらに大規模化と高効率化のための技術開発が必要である。

第5図に、アルカリ水電解とその改良型及び固体高分子型水電解の電解性能を、今後の開発状況も含めて図示した<sup>12)</sup>。

一般的に、アルカリ水電解ではセル電圧が高く、エネルギー変換効率が60～80%と低い。また、アルカリ水電解では、電流密度を上げると電極間のガス抵抗が増加するため高電流密度の運転が難しい等の問題点がある。改良型(高温高圧型)ではある程度改善されるが、固体高分子型水電解のエネルギー変換効率を越えない。

水電解では、電流密度の増加とともにセル電圧が増加するため、電流密度を低くすればエネルギー効率を上げることが出来る。しかしそれでは電解槽が大きくなり経済性が成り立たない。したがって、セル電圧を低下させて、エネルギー変換効率の向上と電力原単位の低減を図ること、それと同時に電流密度を上げて小型大容量化し、設備費を低減することが重要である。この点で、固体高分子型水電解は、これまでに述べたような将来の水素ニーズに対応出来るものと考えられる。

さらに、固体高分子型水電解は、アルカリ水電解に比べ高濃度のアルカリ電解液を使用しないため、装置材料の選択や保守が容易である。また、高濃度アルカリ溶液は人体に接触すると危険であるが、固体高分子型水電解では純水のみを使用するので、作業中の危険性が少なく、本質的に安全である点も大きなメリットと思われる。

## む す び

固体高分子型水電解法による高純度水素酸素発生装置(HHOG)のオンサイト装置として期待される適用分野を

紹介した。オンサイト装置としては、99.9999%以上の高純度水素が手軽に得られることが最大の利点である。

水電解水素は、電力貯蔵や太陽エネルギー等の自然エネルギー利用におけるエネルギー媒体として、21世紀に果たす役割は大きい。また、二酸化炭素の固定化・リサイクル利用においても水電解水素は重要である。現状では、固体高分子型水電解はアルカリ水電解に比べ大規模装置の実績がない。しかし、固体高分子型水電解は、アルカリ水電解と比較して性能面で優れた点が多く、多方面で注目されている。今後、高圧型の利点を生かし、HHOGの大規模化と高効率化のための技術開発を行うことにより、このような将来の水素ニーズへの展開が期待される。

## 〔参考文献〕

- 1) T.Sasaki, Proc. of 4th Symposium on Sino-Japanese Fossil Power Plant Water Treatment, 245 (1995)
- 2) 安井信一ほか, 神鋼パテック技報, Vol.40 No.1, (1996)
- 3) 大木康次ほか, 電気学会産業応用部門全国大会(1996)
- 4) 日本原子力研究所, 核燃料サイクル施設等システム基本情報調査(Ⅲ), 70 (1996)
- 5) 清水三郎, 日本原子力学会誌, Vol.36, No.4, 69 (1994)
- 6) 資源エネルギー庁編, 新エネルギー便覧・平成7年度版
- 7) 「ニューサンシャイン計画」カタログ
- 8) 「接触水素化反応利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発」カタログ
- 9) 平野正樹, 火力原子力発電, Vol. 44, No. 7, 71 (1992)
- 10) 浅海隆義ほか, エネルギー資源学会第15回研究発表会講演論文集, 231 (1996)
- 11) 鷲田伸也ほか, エネルギー資源学会第15回研究発表会講演論文集, 207 (1996)
- 12) 竹中啓恭, 燃料協会誌, Vol. 70, No. 6, 487 (1991)