

# 総論：二次エネルギーとしての電気と水素

太田健一郎・石原顕光

横浜国立大学グリーン水素研究センター

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

## Hydrogen and Electricity for Secondary Energy

Ken-ichiro Ota and Akimitsu Ishihara

Green Hydrogen Research Center, Yokohama National University

79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, 240-8501 Japan

The hydrogen energy system using renewable energies as primary energies has the low environmental factor compared to the fossil energy system. In order to get a sustainable growth of our human society we have to get the green hydrogen energy system where hydrogen is produced from water using renewable energies. In the system the green hydrogen and electric energy are used for secondary energies and the conversion between hydrogen and electric energy is very important. The fuel cell and water electrolysis should be technically advanced further.

Key words: hydrogen energy, electric energy, environmental impact factor

### 1. はじめに

人類を取り巻く地球規模の大きな課題が明確になりつつある。有限な資源である化石エネルギーの多消費に基づく地球環境問題は、いくつかの議論のあるところであるが、まずは真剣に取り組む課題であろう。人口の爆発的な増大はそれを加速度的に進めることになる。我が国では首相自ら 2050 年に向けて二酸化炭素の排出を 80% 削減することを提案している。欧米の主要国首脳も同程度の削減を叫んでいる。しかしながら、目標はあっても、具体的な道筋が示されているわけでもない。エネルギー問題を解決するには長時間を有することを考えると、2050 年に向けて今、直ちに取り組みなくては、人類は破滅の道に突き進むことになりかねない。このような背景の中で水素エネルギーが注目されて久しいが、再生可能エネルギーを用いて水から作られる「グリーン水素」がこれを解決出来る唯一の手段と考えている。

資源や環境を考えるにあたり、エントロピーの視点が重要であることは古くから指摘されている。人類を含めた全ての地球上の活動は、物質およびエネルギー保存則

を満たしながら、全体のエントロピーが増加する方向にのみ進行する。変化の方向をつかさどっているのは全体のエントロピーであるから、人類社会の持続的発展を考える場合に、増大するエントロピーへの対応を考えることは不可欠である。人類活動の根幹をなすエネルギーシステムもまた、エントロピーの観点から考察することが必要である。

本稿では、まず人類の持続的な能動的活動を、エントロピーを用いて考え、物質循環の重要性を指摘する。そして、物質循環の観点からエネルギーシステムをとらえなおす。エネルギー環境負荷係数を導入し、地球、日本、都道府県、大都市とエネルギー消費密度の異なる環境下において、エネルギーキャリアとしての炭素と水素の環境への影響を定量的に比較する。

再生可能エネルギーを利用して水から作られる水素、すなわちグリーン水素を用いるエネルギーシステムは格段に環境に優しいシステムとなり得る。さらに、この持続型成長を担うエネルギーシステムにおいて、二次エネルギーとしての水素エネルギーと電気エネルギーとの協調もしっかり考察しておく必要がある。

## 2. 水素エネルギーシステムと物質循環

### 2.1. 持続的な活動と物質循環

人類社会も含めて、内部で能動的な活動を行う系の目的は、まずその系の定常状態の維持にあるとよいであろう。熱力学第2法則に従って、地球上の全ての活動に伴い全体のエントロピーは必ず増大する。人類社会が豊かな活動を維持しながら定常的に存在するという事は、人類社会としてある一定のエントロピー値を保つことを意味する。人類社会をひとつの熱力学的な系とみなすと、系内で活動する、すなわちエントロピーを生成するには、まず低エントロピーの物質やエネルギー（資源）を外部から取り入れる必要がある。そして、取り入れた資源を利用して系の内部で様々な活動を行うが、それに伴ってエントロピーが生成する。全体のエントロピーは決して減少しないので、系内で生成し増大したエントロピーは定常的に外部（環境）へ放出されなければならない。

環境もまた、人類社会から排出されたエントロピーをさらに外部に廃棄することによって、定常性を保つ必要がある。これは環境にエントロピーが蓄積されると、その環境の中にある人類社会の定常性も維持されないためである。エネルギーに関しては、地球環境には低エントロピーの太陽光エネルギーが常に供給されており、高エントロピーの廃熱は地球環境にとって外部である宇宙空間へ輻射熱として廃棄できる。したがって、エネルギーに関しては、原理的には太陽光→地表→宇宙空間への輻射熱という一方向の流れにより、定常状態をつくることができる。一方、物質に関しては、地球環境はほぼ閉じている。したがって、人類社会の立場から、低エントロピーの物質資源を枯渇させず、高エントロピーの廃物を定常的に環境に廃棄するためには、環境が人類社会の廃物を人類社会の資源に戻すメカニズムを持っている必要がある。これは物質から熱へのエントロピーの移動で行うことが可能である。つまり、廃物の高いエントロピーは、低エントロピーの太陽光を利用することにより熱に変換することができる。その熱は宇宙空間に廃棄することができ、結果として物質は循環する。この様子を模式的に図1に示した。物質は循環させ、活動に伴って生成したエントロピーは全て熱の形で宇宙空間に放出する。これが人類社会を含めた理想の定常的な地球環境のあり方である。

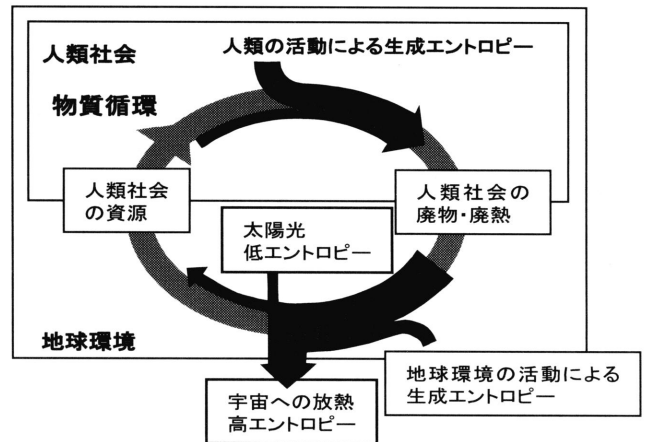


図1. 物質循環にもとづいた、人類社会を含めた地球環境のエントロピーの流れ。

### 2.2. 地球環境の潜在的な活動可能性

人類のエネルギーシステムもまた、物質循環に依拠していることが望ましい。現在、一次エネルギーとして化石エネルギーの中でも主に石油が使用されている。この化石燃料の消費の結果、廃物として二酸化炭素が大気中へ年間288億トン(二酸化炭素換算;2007年)放出され、大気中の二酸化炭素は393ppm(2010)まで増加している。つまり、化石燃料を消費する社会は、エネルギー変換に利用する物質のエントロピーを定常的に宇宙空間に廃棄する機構を持っていないシステムである。

人類社会の理想のエネルギーシステムを考えるに際してまず、人類の消費するエネルギーの量について検討しておこう。太陽から地球表面に到達するエネルギーは  $1.24 \times 10^{14}$  kW であり、これを100とすると2002年の人類のエネルギー消費量 ( $1.2 \times 10^{10}$  kW) [2]はわずか0.01にすぎない。従って量で考える限り、人類の利用するエネルギーは、現在や数年前からの太陽に基づく再生可能エネルギーで十分賄えるはずである。しかし、再生可能エネルギーは低密度であり、季節・時間による変動が大きい。

人類は、可能であれば現在の生活様式・文明システムをより豊かなものにしたいと考えている。現代文明は、石油等の化石燃料に代表される莫大なエネルギーの使用を前提として構築されている。化石燃料は過去数億年の太陽光エネルギーの凝縮であり、質量・体積エネルギー密度ともに非常に高い。人類は、化石エネルギーを局所的に消費する場所、すなわち高エネルギー消費地である都市群をつくっている。現代文明は、エネルギーを、局所的に高密度で利用するシステムである。そのため、低

密度で変動の大きな再生可能エネルギーは、そのままでは現代文明を維持するには非常に使いにくい。現在のシステムを大きく変更することなく文明を維持するためには、低密度の再生可能エネルギーを現代文明に利用しやすい形態に変換し、高エネルギー消費地へ集積する必要がある。そのためには再生可能エネルギーを一次エネルギー（加工・変換前のエネルギー）として、物質（燃料）と電気を二次エネルギー（加工・変換後のエネルギー）として人類文明を支えていくことが必要となる。ここでは人類社会の持続型成長を可能に出来る、理想のエネルギーシステムの前提としては再生可能エネルギーを一次エネルギーとして考えるべきである。

再生可能エネルギーのみから二次エネルギーである燃料を製造する場合、エネルギーを取り出した後に発生する廃物の量と製造する燃料の量はバランスする。したがって理論上は、燃料を構成する元素の循環は満たされることになる。再生可能エネルギーは人類がエネルギー源として使用しなくても地表に降り注ぎ、高エントロピーの熱となり宇宙空間に輻射される。人類が再生可能エネルギーを利用することは、太陽光の低エントロピー性を利用して、人類にとって低エントロピーである燃料を生産するということである。言い換えると太陽光の低エントロピーを物質に転化することである。人類はその燃料（低エントロピー物質）を輸送・移動させ、適切な条件を設定することにより、エネルギーを放出する自発的な変化を起こさせ、高エントロピー状態の廃物と廃熱を放出させる。そして、その高エントロピー状態の廃物と廃熱のうち、熱は宇宙空間に放出し、廃物は再生可能エネルギーを利用して再び燃料に変換する。その変換に伴って生成するエントロピーも熱の形態で宇宙空間に放出する。このプロセスが完結すれば、物質は循環し、人類のエネルギー消費に伴って生成するエントロピーはすべて熱として宇宙空間に廃棄することができる。

現在の地球は、エントロピーをどの程度廃棄できるのであろうか。地表での活動に伴い必ずエントロピーが生成するので、地球がエントロピーを廃棄できる量が、エントロピー生成を伴う地表での活動の許容量を決める。地球のエントロピーの廃棄量  $\Delta S$  は、地球環境へのエントロピーの入力と出力の差で定まる。太陽光は  $T_H = 5780 \text{ K}$ 、地球大気表面温度は  $T_L = 250 \text{ K}$  であり、大気表面で出入りする熱  $Q$  は  $1.24 \times 10^{14} \text{ kW}$  であるから、

$$\Delta S = Q (1/T_L - 1/T_H) = 1.24 \times 10^{14} (1/250 -$$

$$1/5780) = 4.7 \times 10^{11} \text{ kJ/K} \cdot \text{s} \quad (1)$$

これが現在の状態の地球環境が廃棄しているエントロピーであり、地球環境で生成しているエントロピーに等しい。実際には、これらの大部分は地表での太陽光から熱への直接変換によって生成しており、人類にとって有効に活用できていない。

人類がエネルギーシステムに利用できる物質循環として、水素循環及び炭素循環がある。原理的にはどのような元素でも循環に利用することは可能である。しかし、人類のエネルギー消費量から考えると元素として地表に大量に存在すること、燃料として使用するにあたり人間に対して毒性が少ない物質であることなどから、水素と炭素が候補となる。物質としては水素とバイオマスから生産された燃料である。

人類が再生可能エネルギーのみから燃料を製造できるようになると、本来の地球環境に備わっていた水素循環と炭素循環に、新たに人類活動による増加分が加わることになる。しかし、全エントロピー量としては新たな環境負荷は生じさせていない。このシステムは本来地球環境に備わっているエントロピー生成の流れを利用して、人類が水素循環と炭素循環という能動的活動を増加させることを意味する。文明の進歩とは、文明の中の可能性の展開ではないかといわれるが[3]、地球環境においても同様である。地球環境の展開とは、地球環境の持つ可能性の発現であると考えられる。地球環境は潜在的に  $4.7 \times 10^{11} \text{ kJ/K} \cdot \text{s}$  のエントロピーを廃棄する機構を備えている。つまりこの値を上限として、エントロピーを生成する活動を行うことが可能である。地球に本来備わっている物質循環はこれを自然が利用したものである。再生可能エネルギーに基づいた水素エネルギーシステムは、地球が持っている潜在的な活動可能性の人類による具体的発現であるといえる。

### 3. エネルギー環境負荷係数の導入

再生可能エネルギーで一次エネルギーが供給できると、エントロピー的負荷を生じさせずに物質循環量が增大するが、それが人類社会に及ぼす影響は明らかではない。地球全体として量的にエントロピー負荷を生じないことと物質循環の新たな増加量が人類の生活に影響を及ぼすことは、全く別の問題である。物質循環の増加が人類社会に及ぼす影響を評価することは重要であると考えられ

る。まず現在の地球レベルでの水素（水）および炭素循環を見ておこう。水素の酸化物である水はすでに地球環境において、大循環を形成して地球のエントロピー廃棄に重要な役割を果たしている[4]。現在の地表からの水の蒸発量は年間 496T ton であり、これは降雨量と等しく、およそ 10 日で大気中を循環している[5,6]。一方、現在の炭素の大気と地表間の移動量は、年間 157G ton であり、およそ 5 年で大気中を循環している[7]。表 1 に地球環境における炭素と水を比較した。まず炭素に比べて水の存在量は莫大に大きく、重量比で 26,000 倍も異なる。また、大気中の存在量も水の方が重量比で約 20 倍多い。さらに、大気からの年間移動量(移動速度)が水の方がおよそ 3,160 倍も大きく、このことから大気中の平均滞留時間の大きな違いが生じている。

表 1. 地球環境における炭素と水の比較。

	炭素	水
全量	54,000Gt 炭素	1,400,000Tt 水
大気中存在量	750Gt 炭素	15,500Gt 水
大気からの年間移動量	157Gt 炭素	496Tt 水
大気中の平均滞留期間	5 年	10 日

具体的に人類のエネルギー消費に基づく物質循環の増加が炭素及び水循環に与える影響を検討しよう。現在、人類の化石燃料の消費により大気中に 8Gton の炭素が放出されている(2007 年)。再生可能エネルギーを一次エネルギーとした場合も、同量の炭素を利用すると仮定すると、これは大気中に存在する炭素量の 0.7%となる。

ここでエネルギー環境負荷係数 (Environmental Impact Factor of Energy) を次式で定義する。

(エネルギー環境負荷係数) =

(人類活動の排出量) / (媒体物質の自然放出量)

この定義から、エネルギー環境負荷係数が大きな物質ほど、自然の循環に与える影響が大きいことを意味する。大気から地表への年間移動量を自然放出量とすると、炭素のエネルギー環境負荷係数は 0.036 となる。一方、水素の燃焼熱は 141.86 kJ/g 水素であり、これを用いてエネルギー消費に伴う水生成量が算出できる。人類のエネルギー消費は年間  $3.7 \times 10^{17}$  kJ (2002 年) であるので、これに基づく水の生成量は 24G ton となる。これは大気中に存在する水蒸気量に対してはおよそ 0.2%と炭素の場合と同レベルである。しかし自然放出量を大気から地

表への年間移動量とすると、水素のエネルギー環境負荷係数は 0.0003 と極めて微小な値となる。これは炭素の 1/120 であり、水素をエネルギーキャリアとした方が自然の循環に与える影響は小さい。地球全体で考えれば、人為的な活動による水循環の増加は、自然の水循環にほとんど影響しないと考えられる。「水の惑星」である地球は、人類活動に比して、はるかに膨大な水循環を、自然の営みとして行っているのである。

#### 4. エネルギー環境負荷係数を用いた局所環境に及ぼす影響の評価[8, 9]

本節では、局所環境である日本、都道府県および特にエネルギー消費量の多い東京都区部などの大都市における炭素と水素のエネルギー環境負荷係数の比較・検討を行う。地球レベルではほとんど問題にならない水や炭素循環も、エネルギーを大量に消費する大都市付近では自然の循環に空間的変動を与え、生態系を変化させる可能性がある。

図 2 に、日本および都道府県のエネルギー消費密度の対数と炭素および水素のエネルギー環境負荷係数の対数の関係を示す。各都道府県におけるエネルギー消費量は産業・民生・運輸部門の全てを含んだ最終エネルギー消費量とし、それを面積で除してエネルギー消費密度を算出した[10]。自然の炭素放出量は、森林からの放出量と森林土壌からの放出量の和とした[11]。水の蒸発量は、降水量と水資源賦存量より算出した[12]。図 2 より、炭素も水素もいずれも線形関係を示すことがわかる。また、全てのエネルギー消費密度において、炭素のエネルギー

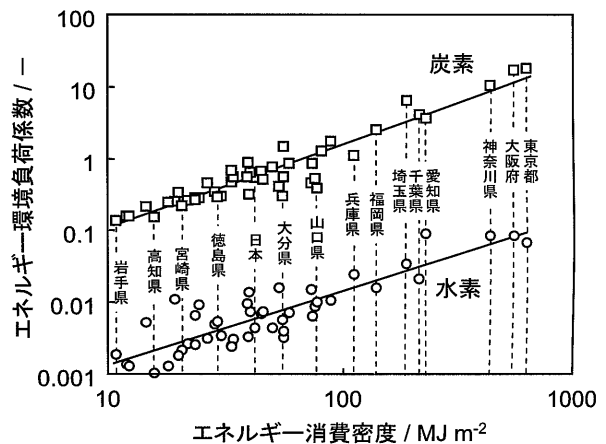


図 2. 日本及び都道府県のエネルギー消費密度の対数と炭素及び水素のエネルギー環境負荷係数の対数の関係

環境負荷係数は、水素のそれよりも2桁程度大きい。例えば東京都の炭素および水素のエネルギー環境負荷係数は、それぞれ18および0.067であり、およそ270倍の違いがある。このことは、エネルギーキャリアとしては、炭素よりも水素の方が、自然の放出量に対する割合が格段に小さいことを示している。また、水素のエネルギー環境負荷係数に関して、日本は0.006であるのに対して、東京都は0.067、大阪府は0.083、神奈川県は0.084であり、これらの地域では日本の15~20倍の負荷が自然の水循環に対してかかることになる。

図3に、大都市のエネルギー消費密度の対数と炭素および水素のエネルギー環境負荷係数の対数の関係を示す。各都市におけるエネルギー消費量は産業部門を除く民生・運輸部門の合計をエネルギー消費量とし、それを面積で除してエネルギー消費密度を算出した[13,14]。産業部門を除いているので、実際の消費量よりも小さく見積もっている。また、水の蒸発散量は、各都道府県の蒸発散量に都市部が所属都道府県面積に占める割合を乗じて算出した。炭素放出量の算出は、都道府県の場合と同一である。図3より、大都市の場合にも、炭素および水素のいずれも線形関係を示すことがわかる。水素については、都道府県の場合とほぼ同一の直線となるが、炭素の場合は傾きが急な直線となる。このことは、都市の場合、エネルギー消費密度が大きい方が、炭素の自然の放出量に対する割合が、より大きくなることを示している。したがって、エネルギー消費密度の大きな都市の方が、水素をエネルギーキャリアとした場合に自然の放出量に与

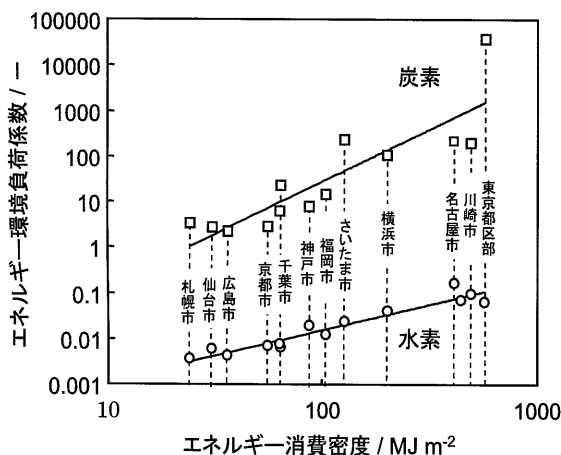


図3. 大都市のエネルギー消費密度の対数と炭素及び水素のエネルギー環境負荷係数の対数の関係 (エネルギー消費量は民生と運輸部門のみから算出)

える影響がより小さく抑えられることがわかる。特に、東京都区部では、炭素のエネルギー環境負荷係数は35,000であり、他の都市よりも200倍近く大きい。しかし、水素の場合には名古屋市や川崎市よりも小さくなり、炭素に比べて300,000倍もの違いを生じる。

表2にはこの環境負荷係数を地球、日本、東京都区部に分けて示す。地球レベルで考えると炭素の環境負荷係数は0.036となる。この状態で地球規模の環境問題が生じていることをかんがえると、今後のエネルギー対策としてはこの環境負荷係数を少なくともこの値、すなわち0.036以下のすることを考えるべきである。東京都区部の炭素の環境負荷係数は異常に大きい、これは人類がいかに関環境に逆らった文明を享受しているかの証である。

表2. 化石エネルギー(炭素)と水素エネルギーの環境負荷係数

	環境負荷係数 (炭素)		環境負荷係数 (水素)
地球	0.036	1/360	~0.0001
日本	0.86	1/150	0.006
東京都区部	35000	1/300000	0.12

### 5. 水素エネルギーと電気エネルギーの相互変換性

図4には現在考えられている水素エネルギーシステム概念図を示す。一次エネルギーとして再生可能エネルギー(自然エネルギー)以外に化石燃料や核エネルギーの利用も考慮してある。水素はごくわずかの例を除いて、天然に産することはない。必ず一次エネルギー利用して作り出す必要がある。ただし、どのような一次エネルギーを用いても作ることは出来る。現在は天然ガス等の化

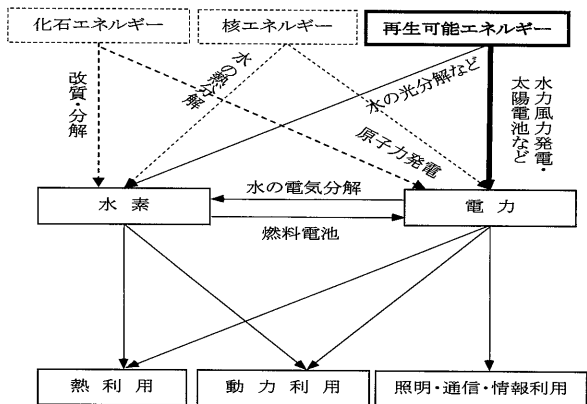


図4. 水素エネルギーシステム.

石燃料を水蒸気改質して作る水素が最も安価であるが、二酸化炭素を分離、貯留 (CCS) しない限り、二酸化炭素の発生は避けられない。原子力発電の電気でも水を電気分解すれば、二酸化炭素生成しない水素を作ることはいずれも可能である。しかし、原子力発電には、絶対安全の保証は出来ないし、廃棄物処理の問題は未解決である。出来れば再生可能エネルギー、すなわちグリーン水素を基幹としたエネルギーシステムを構築すべきである。

ここでは二次エネルギーとしては水素と電力を考えている。電気エネルギーは使いやすい二次エネルギーであり、今後も重要性は減ることは無いであろう。しかし、電気は作ると同時に使用する必要があり、貯蔵、ないしは長距離輸送には向いていない二次エネルギーである。この欠点を補うのが水素エネルギーである。水素の重要な特徴として、電気化学システムを用いて、水との間で化学エネルギーと電気エネルギーを比較的容易に直接相互に変換できることがある。

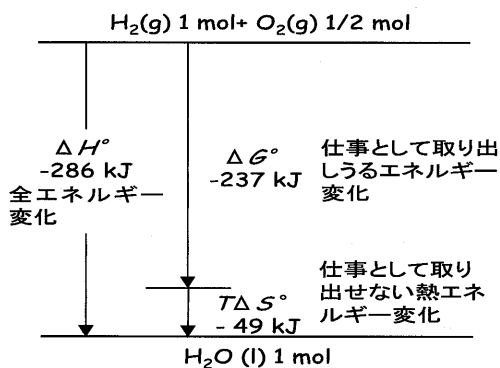
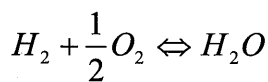


図 5. 水生成のエネルギー変化(101.3 kPa, 298K)



(2)

右向きが水生成反応、左向きが水電解になる。298K、101.3kPaにおける(2)式に対するエネルギーダイアグラムを図5に示す。標準状態で考えると、水生成反応の  $\Delta H^\circ$  は  $-286\text{kJ/mol}$  であり、これは外部に取り出さる仕事  $\Delta G^\circ = -237\text{kJ/mol}$  (これを化学エネルギーと呼ぶ) と熱  $T\Delta S^\circ = -49\text{kJ/mol}$  に分けられる。この化学エネルギーが、理論的にはエントロピーの生成を伴わずに、電気エネルギーと直接変換可能である。すなわち、理論的には燃料電池で水生成反応により、水素 1 モルあたり最大  $237\text{kJ}$  の電気エネルギーと最小  $49\text{kJ}$  の熱が得られる。これが  $25^\circ\text{C}$  で燃料電池が  $83\%$  という高い理論効率

( $\Delta G^\circ(T)/\Delta H^\circ(298\text{K})$ )を得る理由である。水電解の場合には、最小  $237\text{kJ}$  の電気エネルギーが必要となり、最大  $49\text{kJ}$  の熱が必要となる。この条件での燃料電池で得られる理論起電力は  $1.23\text{V}$  であり、水の理論分解電圧は  $1.23\text{V}$  となる。水素の反応は非常に速度が速く、反応を進行させるために必要な余分なエネルギーは少ない。むしろ(2)式の正・逆反応の速やかな進行を大きく阻害しているのは、実は酸素の反応である。例えば固体高分子形燃料電池のエネルギー変換効率を下げているおもな要因は酸素還元反応の過電圧である。

水素と電力とは、お互いに次のような特徴を持ち、二次エネルギーとして補完しあい水素エネルギー社会を構成する。

- ① 電気は大量に貯蔵することが困難であるが、水素は比較的容易である。
- ② 電気は移動に送電線が必要であるが、水素は貯蔵して輸送することが可能である。したがって、電気は短距離の輸送に、水素は長距離あるいは送電線のない場所への輸送に適している。
- ③ 水素は燃料あるいは工業原料となるが、電気は原料にはならない。
- ④ 電気は良質のエネルギーであり、モーターなど高効率のエネルギー変換デバイスにより、他の形態のエネルギーに容易に変換できる。
- ⑤ 電気は照明・通信・情報媒体として利用できるが、水素は困難である。

## 6. おわりに

水素エネルギーはクリーンエネルギーシステムとして注目されていたが、安価な石油を際限なく大量に使用できる時代にはその足場を作ることも困難であった。21世紀に入り、地球に調和したエネルギーシステムの必要性が叫ばれるようになり、状況が変わってきた。地球に調和するとは、人類社会を含めた地球環境が豊かな活動を維持しながら定常的に存在することであり、それは物質循環により保証される。

再生可能エネルギーをもとにしたグリーン水素エネルギーシステムは、地球環境を豊かにし、定常的にエントロピーを廃棄し、人類の爆発的人口増大を支え、持続型成長を可能にする、理想のエネルギーシステムである。一方で、再生可能エネルギーは希薄で、利用し難い

ところがある。しかし、たとえば南米アルゼンチンのパタゴニア地方では、日本の総発電量の 10 倍の風力エネルギーの開発が可能であり、これを利用すれば 15 億台の燃料電池自動車動かすことが可能である。パタゴニアの風を水素に変えて、世界中に輸送すれば、自動車利用における環境制約、資源制約から人類は解放されることになる。理想のエネルギーシステムに向けて今こそ歩みを早めるべきである。

### 参考文献

1. 植田敦：資源物理学入門，日本放送出版協会（1982）。
2. 総務省統計研修所；世界の統計 2006，総務省統計局（2006）。
3. 梅棹忠夫：情報の文明学，中央公論社，（1988）209。
4. 白鳥紀一、中山正敏：環境理解のための熱物理学，朝倉書店，（1995）。
5. 安田延壽：基礎大気科学，朝倉書店（1994）。
6. E. K. Berner and R. A. Berner：Global water cycle, Geochemistry and Environment, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1987)。
7. TML.Wigley and DS. Schimel Ed.：The carbon cycle, Cambridge University Press (2000)。
8. 藤井光貴，横浜国立大学博士論文（2005）。
9. 明瀬健，横浜国立大学卒業論文（2007）。
10. 経済産業省資源エネルギー庁；都道府県別エネルギー消費統計。  
(<http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/energy/index.html>)
11. 総務省統計局；社会生活統計指標－都道府県の指標－2006。  
(<http://www.stat.go.jp/data/ssds/zuhyou/5-15-1.xls>)
12. 気象庁観測部観測課統計室；日本気候表。
13. 横浜市統計；大都市比較統計年表（平成 16 年）。  
(<http://www.city.yokohama.jp/me/stat/daitoshi/new/index.html>)
14. 石油連盟；都道府県別販売実績（2005）。  
(<http://www.paj.gr.jp/statis/excel/paj-10.xls>)