



解説

水素エネルギーシステムの開発課題と現状

西川 正史

(九州大学 総合理工学研究院エネルギー理工学部門, 工学部エネルギー科学科)

Research Issues for Development of Hydrogen Energy System

NISHIKAWA Masabumi

Graduate School of Engineering Science, Kyushu University, Kasuga 816-8580, Japan

(Received 14 October 2003)

It is generally considered that use of hydrogen in energy system is attractive because it produces no matters to cause air pollution or water pollution. Following this recognition, research to develop a car with low temperature fuel cell or hydrogen engine is extensively performed. The future energy system where hydrogen is used as the key material is shown in the figure below. To realize this system we must develop 1) the reasonable way to produce electricity or heat by using hydrogen as fuel, 2) the infrastructure to supply hydrogen to whole society, 3) energy sources and methods to produce huge amount of cheap hydrogen with minimum impact on nature, 4) together with assurance of resources to construct the system and 5) establishment of understanding about the basic behavior of hydrogen in various materials.

Keywords:

future energy system, hydrogen, fuel cell, primary energy sources

1. はじめに

近年, 一次エネルギー源の中で, 使い勝手のよい石油と天然ガスが数十年の将来には資源枯渇する危険性が大きであることが認識されるようになってきたうえに(現在の評価では確認埋蔵量/生産量は石油が35年程度, 天然ガスが60年程度, 石炭が200年程度), 環境対策の有力候補と推されている軽水炉のウラン資源についても100年程度の消費しかまかなえない可能性が高いと考えられている. エネルギー資源の枯渇が目睫に迫るまではまだ時間があるように見受けられるが, 既に社会・経済活動の発展, 資源の確保および環境の保全という3者のバランスを考えた, トリレンマ(社会活動の発展と資源的制約と環境保全の三すくみ)の起こらない長期持続型社会の構築を目標とした将来計画を立てる転回点に来ていると思われる. まず技術者・研究者が石油と天然ガス, さらに現在使われている形態の核分裂炉にとらわれない長期にわたる一次エネルギー源確保の対策を構想し, その実現のための基礎的・応用的研究を進める時が今ではないかということである.

現在, 将来のエネルギー問題解決の担い手として水素の利用が脚光を浴びており, その発電への応用としての各種燃料電池や水素燃焼エンジン開発の研究が積極的に進められている. 本解説では, 水素の利用を基軸としたエネルギー社会を作り上げていくにあたっての課題と展望についての概括的解説を行う. なお水素エネルギーシステムを作り上げるためには構築用素材の確保を始めとする副次的な課題も発生するので多岐・広範囲にわたる研究が必要になる.

author's e-mail: nishikaw@nucl.kyushu-u.ac.jp

2. 一次エネルギーの将来的展望 [1, 2]

2.1 エネルギー消費と各資源の割合

いま地球には63億人を超える(2003年1月)人々が住んでおりその半数近くが25歳未満であるが, 一年間に 4×10^{20} J 近くのエネルギーが消費されている. このうち, 人口が全体の1/4を占めるに過ぎないいわゆる先進国が, エネルギーの2/3を消費している. 現在日本では一次エネルギー源の80%を化石燃料に頼っておりその内石炭の全体に占める割合が15%程度であるのに対し, 世界全体では一次エネルギーのほぼ90%が化石燃料であり, その内石炭の占める割合が26%と結構大きな比率である. 石炭は比較的環境に与える影響が大きいので, 発展途上国も含めた世界各国の社会の発展にともなうこれからのエネルギー消費量の増加を考えると, 地球規模の環境汚染問題の深刻化が懸念される. 日本では原子力を準国産エネルギー源として取り扱っているが, 原子力を含めても国産の一次エネルギー供給量は全体の高々20%弱に過ぎない. このため, 日本はもちろん, 国際的に見ても裕度あるエネルギー資源の長期的確保を必要とする国が多いので, 場合によっては一次エネルギー源獲得国際競争の激化も覚悟しなければならない. また, 世界中の消費活動が激しくなるとともに排気, 排水および廃棄物により環境が受ける影響も深刻かつ大きくなるので, 地球の温暖化, 大気汚染, オゾン層破壊, 海洋汚染, 土地汚染等の問題を低減化するため, 地域的規模はもちろん, 国際的・地球的規模にわたる種々の規模での環境の保全対策が必要になる. 資源としては比較的多く残され

Table 1 日本のエネルギー消費

	全エネルギー (世界)	発電
石油	55.8% (40%)	17.6%
石炭	16.5% (26%)	13.7%
(液化)天然ガス	10.8% (20%)	22.8%
水力	3.5% (3%)	10.0%
原子力	12.0% (7%)	34.0%
地熱	0.1%	0.4%
新エネルギー	0%	0.1%

電力換算消費量 2.4兆 kWh (37kWh) 0.86兆 kWh

【注】容量100万kWeの発電所が1年間フル稼働して88億kWhを供給できる。

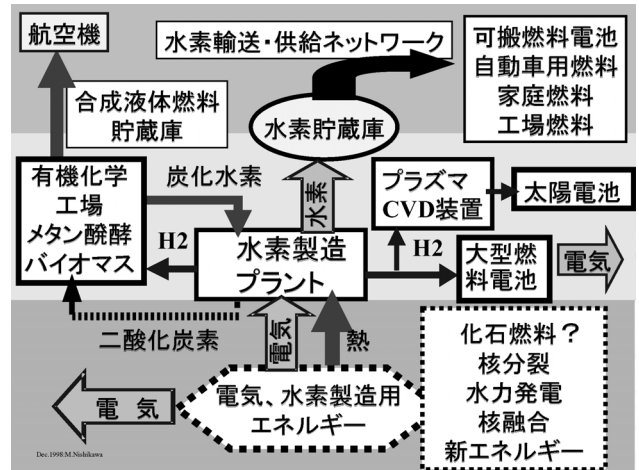


Fig. 1 水素の利用を基軸としたエネルギー社会

ている石炭は炭酸ガスだけではなく硫化物，燃焼灰等の環境汚染物質の排出対策を講じて使用しなければならないという課題を持っているうえに200年規模では枯渇してしまうと見積もられている。

現在 (1995年) の日本における一次エネルギーの消費に占める各資源の割合は Table 1 のようになっている。

近未来の問題点としては京都會議で議論されたように空气中の炭酸ガス濃度を減らしていくための“いわゆる地球に優しい”エネルギー源の確保が課題である。この問題を議論するにあたっては現在使われているエネルギー源を対象にして、それぞれの経済性と環境に与える影響および社会的な受容性が比較されることになる。

しかし、中期的将来には現在使われているエネルギー源のなかには、今のままの使い方を続けると資源がまかなえなくなるものが出てくる。石油，天然ガスおよびウラン 235がこれにあたる。

したがってその時までには、将来にわたって持続的に利用可能な新しいエネルギー源を開発しておかなければならない。

一次エネルギー源を確保するためには

- (1)未利用資源採取法の開発 (例，海ウランの回収，海リチウムの回収，深海底メタンハイドレートの回収等)
- (2)新エネルギー源の開発 (例，核融合炉，太陽電池，風力発電等)

などの研究が行われている。

一方使い方の言い換えである二次エネルギーへの変換あるいは利用方法の効率化等については

- (1)高効率エネルギー変換法の考案 (例，超電導発電タービン，高温ガスタービン等)
- (2)省エネルギー法の考案 (例，コージェネレーション，家庭の省エネルギー対策，社会の省エネルギー対策)
- (3)エネルギー貯蔵法の開発 (例，大容量二次電池の開発，超伝導法電気貯蔵，水素エネルギーの利用，揚水発電所の建設等)

などが考えられている。本解説では水素の利用を基軸としたエネルギー社会を作り上げるための問題点を解説する。

2.2 中期および長期展望と一次エネルギー源の確保

筆者は Fig. 1 のような水素の利用を基軸とした将来のエネルギー社会の開発を課題対象として考えている。

水素の利用を基軸とした社会を考える時、水素は二次エネルギーであるのでこれを作り出す一次エネルギー源を準備しておかなければならない。また、石油，石炭は燃やしてエネルギー源にするだけでなく、炭化水素化学製品の原料としても大いに使われている。将来中期において石油を発電にまわせなくなった時、さらにずっと将来に化石燃料のすべてが電力に回せなくなった時日本の、または世界の、将来の“エネルギー・電力”供給がどうなるのかを考えてエネルギー源確保の技術開発に加えて化成品の新規製造方法の開発も加えた長期戦略を立てておかなければならない。

Table 2 に将来にどれだけ新しい一次エネルギー源を開拓しなければならないかを比較してみた。

将来中期、つまり石油が火力発電用に使えなくなった時 (但し炭化水素源としては利用できる量がまだ供給される時) 太陽光に代表されるいわゆる自然エネルギー源が発電する電力 x と核融合の発電量 y がどの程度を担えるようになってくるかによって核分裂炉の設置台数を考えなければならない。ただし、軽水炉燃料であるウラン 235の埋蔵資源にも限りがあるので、軽水炉で電力を補うにしてもウラン資源の開拓 (例えば海ウランの経済的回収) が必要であり、そうでなければウランの効率的利用 (高速増殖炉の利用) や他の核燃料物質を使った新型核分裂炉 (トリウム炉) の開発も念頭においておかなければならない。

将来長期は石炭も枯渇し化石燃料の一次エネルギー源としての利用ができなくなった時をさしている。現在ほとんど代わらないエネルギー消費を期待するのであれば、このときまでに水力発電以外の新しい大容量エネルギー発生装置を現実的にしておきたい。

問題は、“さて将来中期や将来長期”とは何時来るのか言うことであるが、これについては多くの議論があるところである。ただし、“その時”への対応ができるように研究

Table 2 将来の一次エネルギーの供給比較

	1995年実績	将来中期	将来長期
石油	1514億 kWh	0億 kWh	0億 kWh
石炭	1178	2000	0
液化ガス	1960	1500	0
水力	860	1000	1000
核分裂炉	2924	5500 - x - y	9000 - X - Y
太陽光	0	x	X
核融合炉	0	y	Y
発電量合計	8436億 kWh	1兆 kWh?	1兆 kWh?
(全エネルギー)	2.4兆 kWh	3兆 kWh?	3兆 kWh?

は進んでいるのか”には、その時がいつ来たとしてもエネルギー関連研究者がその責任を負うことになる。人類が遠く将来にわたって、この地球上で、文化的な社会活動を維持するためには“今の発電量をまかなうことを考えるだけではもちろん不十分で、電源も含めてすべての一次エネルギーをまかないというエネルギー供給・利用システムを作り上げておく必要がある。”また“石油、天然ガス、石炭等を原材料としている化学工業に代わる炭化水素化成品の製造・供給技術の開発とそのためのエネルギー源確保”やコークスの枯渇に対応する製鉄法の開発も考えておかなければならないことになる。

石油の残りがあと30年と何回繰り返されたか知れないが、“新しい埋蔵資源が見つかるので将来は何とかなるであろう”はいつまで許されるであろうか。

3. エネルギー源としての水素の利用

将来の社会における環境負荷が小さい二次エネルギーとして水素の利用が一般に強い支持を受けている。水素は燃焼してエネルギーを取り出す用途に使われるだけでなく、燃料電池、大面積・高性能なアモルファス太陽電池の高速製膜、核融合炉、プラズマロケットエンジン等においてもエネルギー利用における基軸物質としての利用が考えられている。また余剰一次エネルギーの大量貯蔵手段としても有効である。したがって、将来においては二次エネルギーとしての水素の利用が環境負荷の少ない資源循環型エネルギーシステムの構成に有望と見られている。水素の利用法としては高温、中温または低温で作動可能な各種燃料電池や水素エンジン、触媒燃焼法による発熱装置等の開発が進められているがまだ技術的確立段階に至っていない。室温固体高分子膜燃料電池を搭載した自動車も試験的走行が始められる段階にきているが実用にはまだ程遠く、技術的ブレークスルーが必要とされる段階にある。

水素を基軸物質としたエネルギー社会を作り上げるためには

- (1)各種の目的に合致した効率的な水素の利用方法の開発、
- (2)安全な水素の製造・輸送・貯蔵・供給ネットワークの確立、
- (3)大量水素製造法の開発とそのための一次エネルギー源

の確保、

(4)高分子材料、鉄、触媒等水素システム構成材料の資源や製造法の確保、

(5)水素システム構成材料中における水素 材料相互作用現象の解明、

(6)将来のエネルギー問題を総合した開発戦略の検討、等の必須検討課題を同時に解決していく必要がある。ここでは上記項目についての現状を以下に概説する。

3.1 各種燃料電池の開発と今後の見通し [3 6]

燃料電池については高温の定置型大容量発電を目的とした高温固体燃料電池から、自動車用を主目的とした室温分散型固体高分子膜燃料電池まで種々のタイプの燃料電池の開発が進められている。燃料電池による発電の原理は Fig. 2 と Fig. 3 に示すように水素流路、水素解離用燃料極、電子を通さないプロトン導電帯、外部電気回路、空気極および空気流路から構成されている。燃料極触媒上で解離した水素はプロトン導電体を通して空気極に透過し、外部回路を通ってきた電子と空気極側流路の酸素と化学反応を起こして水となり空気流路に逃散していく。したがって水素

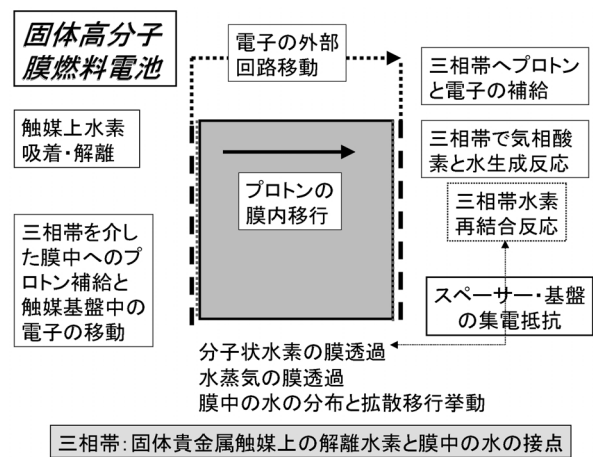


Fig. 2 固体高分子燃料電池における物質移動

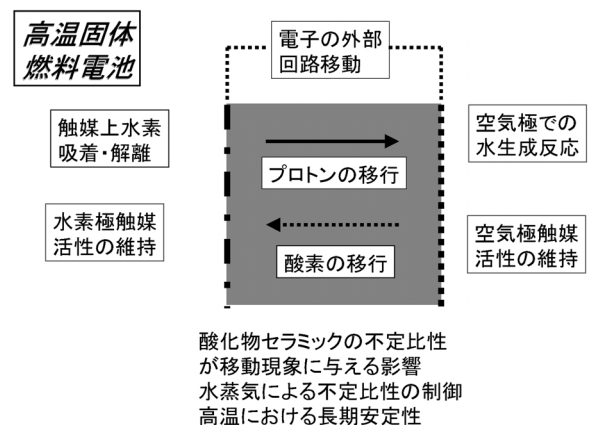


Fig. 3 高温固体燃料電池における物質移動

の解離と透過の促進が燃料電池の発電効率を支配する物質移動現象である。プロトン導電体に固体高分子膜を使う低温燃料電池では解離促進と酸化反応による透過駆動力確保のために Pt や Pd の貴金属触媒が必要であるため、これらを利用する自動車用燃料電池開発においては触媒資源の確保も大きな課題である。作動温度を高く設定する場合にはニッケル触媒が有効である。

Table 3 に各種燃料電池の構成や問題点を比較したが、そのうちリン酸型燃料電池の開発はほぼ終わったと考えられていて実用運転がされてもいるが、現状では発電コストはかなり高いため大量生産による価格低下が期待されている。

今その開発がもっとも注目を浴びている固体高分子膜燃料電池では単セルで得られる理論起電力は 1.23 V で理論効率は 83% であるが、実効的には起電力 0.7 V 程度である。また電流密度としては 1 A/cm² が期待値である。例えば 100 馬力の自動車用エンジン（典型的使用例としては電圧 280 V, 出力 90 kW, 水素および空気の系統圧 200 ~ 300 kPa）を作るとすると直列につながり単セルの段数は 400 段で必要とする単セルの面積は 400 cm² と求められる。なお、この電池に必要な白金触媒は 100 ~ 200 g と見積もられている。貴

金属触媒の資源量は十分あるとは思えないので水素エネルギー社会では目的に応じた燃料電池の組み合わせを考えると同時に、輸送手段としては水素自動車や電気自動車との共存を図るべきであろう。

3.2 水素エンジンの開発と今後の見通し

ガソリンの代わりに水素を燃焼させる水素エンジンは主としてドイツと日本で研究が進められているが、水素が持つ燃焼しやすいという特性のため、エンジンの中でのバックファイアの発生抑制やピストンの動きに同期した燃焼制御が重要な課題である。また、高温の水素雰囲気の中で長期間にわたって繰り返し応力に耐えうるエンジンのケーシング材料の開発も不可欠であるが、これには今後のセラミック材料開発が期待されている。水素エンジン自動車は燃料電池自動車に比べてあまり研究対象として取り組まれていないようであるが、その動力伝達システムは現在のガソリン車やディーゼル車に類似の単純なシステム構成になると考えられるので一層の研究を期待してもよいと思われる。エンジンの場合は特に固体高分子膜燃料電池自動車が必要とされる貴金属触媒を必要としないという利点がある。

Table 3 各種燃料電池比較と開発における課題

	固体高分子膜型	リン酸型	溶融炭酸塩型	固体酸化物型	太陽電池
使用温度	- 30 ~ 100	200	600 ~ 700	900 ~ 1000	200
触媒	白金族	Ni			
輸送イオン	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ₂ ²⁻ または H ⁺	SiH ₃ ⁺
電解質	湿潤高分子膜	リン酸	炭酸 Li / 炭酸 K	安定化ジルコニア、ペロブスカイト	
燃料ガス	H ₂	H ₂	H ₂ , CO	CO, H ₂	SiH ₄ / H ₂
改質	外部改質	外部改質	自己改質	自己改質	
原燃料	H ₂ , 天然ガス, メタノール / 空気	H ₂ , 天然ガス, メタノール / 空気	H ₂ , 天然ガス, メタノール / 空気	H ₂ , 天然ガス, メタノール / 空気	SiH ₄ / H ₂
発電効率	30 ~ 40%	40 ~ 45%	45 ~ 50%	45 ~ 55%	5 ~ 20% (変換効率)
用途	小型軽量の移動型	定置型分散電源	大型定置電源	大型定置電源	分散型定置電源
開発状況	開発競争進行中	開発終期	研究着手	研究着手	プラズマ CVD 製膜法開発中
値段 (kW)	50 ~ 100万円 + 燃料費	40 ~ 80万円 + 燃料費		60 ~ 150万円 + 燃料費	60 ~ 200万円

課題：触媒の被毒現象、触媒の性能低下現象、触媒の資源量、新触媒の開発、電極における反応工学

課題：長期安定性のある高分子膜の開発、高分子膜の量産性、プロトン導電体における反応工学

課題：燃料電池システム全体における反応工学、集電最適化、システム安全性

課題：コールドスタート問題の解決、高分子膜の温度制御

課題：高温高压に安定性のある経済的なシステム設計、材料資源確保

課題：負荷追従性、価格大幅低減化対策

課題：燃料製造法（石油時代、石炭時代、化石燃料枯渇後）、燃料貯蔵法（分散型、集中型）

課題：安全、経済的な津々浦々までの補給・運搬・供給のインフラストラクチャー

課題：水素 - 材料相互作用（水素脆性、透過漏洩特性）

課題：船舶用動力

課題：航空機用動力

課題：プラズマ CVD によるアモルファスシリコン膜の大面积・高速製膜と高品質化における水素の挙動

註：燃料電池は発電使用時、太陽電池はプラズマ CVD 法によるアモルファスシリコン膜製造時

3.3 触媒式燃焼装置の開発と今後の見通し

固体高分子燃料電池の空気極には貴金属触媒が担持されており透過してきた水素と空気中の酸素の急速な燃焼促進が図られているが、燃焼の際 242 kJ/mol の生成熱が発生する。水素エンジンでは瞬間的に爆発させてエンジンのピストン運動に使用すが、燃焼熱を用いて加熱装置として利用する場合は充填層における触媒密度とそこを流通する気体中の水素濃度および流量を変化させることによって低温から高温にわたって制御された熱発生を得ることができる。この発熱装置は現行の知見で製作可能であり、固体高分子膜エンジンのコールドスタート問題解決の一手法になると思われる。

3.4 その他

燃料電池や液体水素では航空機を飛ばすことができない。現在ジェット機に使われている航空機用ケロシンに相当するだけのカロリーの高い液体燃料を安価かつ大量に製造する方法を開発しない限り石油無き後には航空機による大量輸送は続けられない。水素を一方の出発点とした炭化水素合成化学の進展が期待される。現在はまだ石油や天然ガスの炭化水素を出発物質とした石油化学に依存する所が大きい。石油、天然ガスが枯渇すると新しい炭化水素合成化学を開発しなければならない。その時には炭素源を何に求めるかが課題になる。Fig. 1 に示した水素エネルギーシステムではバイオリクター（森林資源が代表）に炭酸ガスの固定化を期待しているが、これらの現象の時間スケールは化学反応に比較してかなり長いことを考慮に入れ

ておかなければならない。

4. 水素大量利用への課題

4.1 水素の製造

現在は主として化石燃料から得られる炭化水素を原料として改質反応によって水素が作られている。このため実用に移されている都市ガスを燃料とする磷酸型燃料電池では改質反応器が付帯設備になる。Fig. 4 に天然ガスから水素を製造する流れ図を示したが、天然ガス 1 m³、水 2.4 kg および 2.9 kWh の電力を投入して 3 m³ の水素を作ることができる。この技術は既に確立されており触媒としてはニッケルが使われる。しかしこの経済的な方法は石油や天然ガ

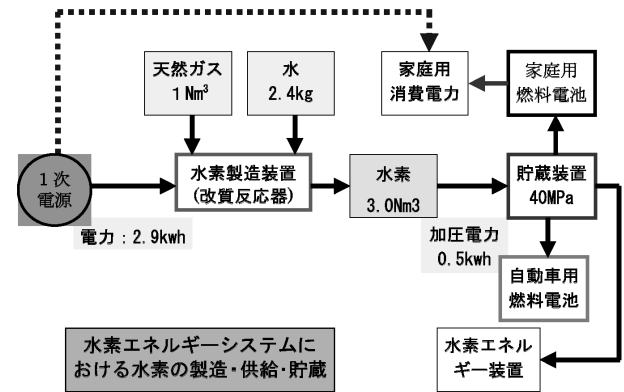


Fig. 4 天然ガスからの水素製造の流れ図

Table 4 水素製造法の比較

- (1) 固体炭素（石炭）を用いた水素製造：1940年代以前の主たる水素供給源であったが石油の登場により経済性を失った。今も製鉄の副産物として大量の水素が生産されている。良質の石炭を必要とする。
 - コークス炉ガスからの水生ガスの深冷分離
 - 石炭のガス化反応
 - 水蒸気 - 鉄法
- (2) 炭化水素（石油、天然ガス）からの水素製造法：現在高純度の大量水素を供給しており経済性に優れている。
 - 水蒸気改質法（天然ガスや製油所オフガスが原料）
 - 部分酸化法（重質油にも応用）
- (3) 水電解による水素の製造：電気分解の電力効率は57 - 78%で 1 m³の純水素を得るのに 4.5 - 6.2 kWh を要する。石油・天然ガス利用の水素製造に比べ経済性に劣るので一時衰退したが、核エネルギーや太陽光、風力から生産された余剰の電気の一時貯蔵と組み合わせた将来構想のなかで再浮上すると期待されている。
- (4) 熱化学法による水の分解による水素製造：原子炉の高温熱エネルギーの直接利用による水素製造が考えられる。いくつかの反応プロセスの複合で水を水素と酸素に分解することも可能と考えられている。
 - 高温ガス炉
 - 核融合炉高温ブランケット
- (5) 太陽光の利用による水素製造：基礎研究の段階
 - 光化学反応
 - 水素発生バイオリクター
- (6) その他の方法：基礎研究の段階
 - プラズマ反応

スがなくなると使えなくなる．Table 4 に各種の水素製造方法を比較するが，コークスを利用した高炉ガスを水素製造に使う方法も石炭の枯渇後は用いられなくなる．新しい水素製造法が開発されない場合は将来の水素は電気分解に頼らなければならなくなる．このとき1 m³の水素を得るために約5 kWhの電力を消費する．

4.2 水素の貯蔵

水素エネルギー時代には安定的な水素供給のために膨大な量の水素の貯蔵から各家庭における比較的小口の貯蔵まで幅広い貯蔵システムの構築が必要である．また水素は使用前の一時貯蔵であるので頻繁な出し入れが長期にわたって繰り返されることになるので，それぞれに適した安全かつ簡便な貯蔵法が整備されなければならない．水素の貯蔵には高压ガス，液体水素，水素吸蔵合金に吸蔵する方法が提案されており，カーボンナノチューブの応用も研究が始まっている．いずれにしろ静的貯蔵特性のみならず吸蔵・放出の動的特性にも優れた大量水素貯蔵方法の開発が期待される．

現在試験的に運行されている固体高分子燃料電池自動車では，水素は300～350気圧の高圧ボンベに貯蔵されているがこれでは走行距離が100 km程度にしかならないため500～600気圧に上げることが検討されているというが，高压ガス取り扱いの経験から予測すると，頻繁な繰り返し使用に耐える水素圧調整弁や流量制御計がトラブルの原因になる可能性が大である．これは一般社会で分散型電源として燃料電池が使われるようになるまでにこれらの信頼性を高めておくことは技術的検討課題の一つであろう．

4.3 水素の輸送 2]

水素ガスとして大量に使用するためには，都市部では現在の都市ガスの流通システムが応用できる．しかし山間僻地も含めて全国津々浦々に水素利用システムを構築するには安全且つ経済的な水素の供給システムの整備が必要とされる．因みに現在の日本では全家庭の51%がプロパンガスを使用している．Fig. 5 に水素エネルギー社会で考えられるエネルギーの供給網を現在のそれと比較して示してある．将来負荷追従性の得難い一次エネルギー源の夜間余剰電力や昼間の太陽電池の余力を使って水素を製造・貯蔵する提案があるが，このためには翌日の使用時期までに水素製造場所から各分散電源に水素を補給するインフラストラクチャーの整備が必要であるがこれからの課題である．なお，エネルギー輸送を余裕あるものにするため，水素社会においても二次電池や揚水発電所を活用しエネルギー利用における最適化を図ることが望ましい．

送電時のエネルギー損失は送配電損失率(= (1 - B/A) × 100% : A (送電端供給力) = 発電電力量 - 自社発電所内電力量 , B (需要端供給力) = 使用電力量 + 変電所内電力量) で示すと昭和30年ごろには20%であった値が現在は5%を少し超える値にまで低減されており，発電所や変電所における使用量も損失に含めた総合損失率でも9%弱である．水素利用の場合についての同様条件でのエネルギー損失効率の信頼性ある試算が待たれる．

(ある燃料電池についてのテレビ討論会である大学のバ

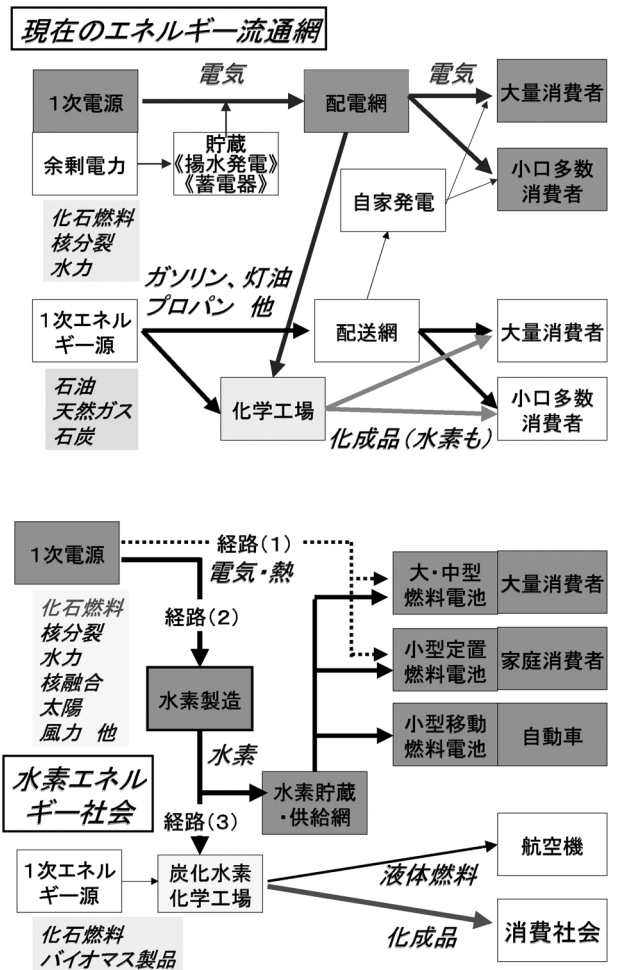


Fig. 5 水素エネルギー社会におけるエネルギー供給網と現在の供給網

ネラーが“電力の送電損失は60%を超えるが水素の場合は殆んどないので水素を使う燃料電池を選択するのが技術革新の流れである”と発言し同席していた錚々たる識者達も頷いていた．電力についての送電損失の値は発電効率も含めた数字であれば頷けるが，水素は二次エネルギーであるので水素の場合も発電効率を含めた数字を比較に使わなければならない．我田引水はあって然るべきであるが程度ものであろう．(閑話休題)

5. 核融合への期待

エネルギーを将来長期にわたって供給してくれる新しいエネルギーシステムの開発がなければ，上手にエネルギーを使用する社会的エネルギー利用システムを作り上げることができたとしてもエネルギー不足の時代が遠からず来ることになる．このため，化石燃料の枯渇が不可避であるならば環境に与える影響が小さく，持続的かつ効率的利用の可能な新しい大規模一次エネルギー源システムの開発が人類の将来のためには必要である．

そのような新エネルギー源システムを構成する将来一次エネルギーの候補としては既存の水力発電に加えて

・太陽光発電

- ・太陽熱利用エネルギー発生装置
- ・風力発電
- ・地熱発電
- ・潮汐発電
- ・バイオエネルギー（醗酵，森林資源等）
- ・新型核分裂炉（高速増殖炉・トリウム炉）
- ・核融合炉（DT 炉，D³He 炉）

等が候補として議論の対象になることが多いが，どれも長所と短所を兼ね備えており，また経済的，あるいは技術的に未成熟でまだ信頼して任せられる段階には至っていない．また，単一で将来にわたってのエネルギー問題を解決してくれると万人が認める一次エネルギー源はまだないようであるから，複数のエネルギー源をうまく組み合わせたエネルギーシステムの構成が必要である．

核融合炉は現時点で有り余っているエネルギー源の中へ登板競争させるよりは，将来石油，天然ガス，石炭，ウラン資源等が途絶えた時の新しい一次エネルギー源としての長期救援投手の役割を勤めるほうが似つかわしいのではないか．

なお，核融合炉開発の中でトリチウム研究に要求される課題と水素エネルギーシステムを作り上げるために水素の研究に要求される課題には共通の研究課題が数多く見受けられる．

6. まとめ

水素エネルギーシステムは将来のエネルギーにかかわるトリレンマ解決の手段の一つとして有効と思われるがこれを現実のものにするためには，(1)燃料電池等各種の目的に合致した安全で効率的な水素の利用方法の開発，(2)安全かつ経済的な水素の製造・輸送・貯蔵・供給ネットワークの確立，(3)大量水素製造法の開発とこのための一次エネルギー源の確保，(4)高分子材料，鉄，触媒等水素システム構成に必要な材料資源や製造法の確保，(5)水素 - 材料相互作用

用における基礎現象の解明，(6)将来のエネルギーにかかわる技術的・社会的問題を総合した効率的エネルギーシステムの開発戦略の策定，を同時に解決する必要がある．いずれの課題もこれからの研究によるブレークスルーを必要としているが，研究者として取り組み甲斐のある相手である．なお，エネルギー貯蔵や輸送を余裕あるものにするため，水素社会においても二次電池や揚水発電所を活用しエネルギー利用における最適化を図ることが望ましい．

また，水素エネルギー社会が到来するとしても，将来長期にわたる一次エネルギー源を考える時石油，天然ガス，石炭および軽水炉用ウラン資源の枯渇が心配されるが長期救援投手としての核融合炉の登板が期待される．

参考文献

- [1] トリレンマ問題群(全5冊)電力中央研究所編著(電力新報社，東京，1998)．
- [2] 平成14年度版電気事業便覧；日本電気協会発行(オーム社，東京，2002)．
- [3] 固体高分子型燃料電池の開発と応用(NTS，東京，2000)．
- [4] 固体高分子形燃料電池のすべて(電子とイオンの機能化学シリーズ4巻)(NTS，東京，2003)．
- [5] 高橋武彦：燃料電池(共立出版社，東京，1984)．
- [6] 駒橋 徐：燃料電池革命(日刊工業新聞社，東京，2000)．

にし かわ まさ ぶみ
西川 正史

1966年京都大学工学部化学工学科卒業．主な研究分野は，化学工学的移動現象で対象は核融合トリチウム，水素エネルギー，攪拌反応槽．趣味は，読書，山歩き，球と戯れること．近況：目標の速歩悠々がいよいよ鈍ってきたようで……．