

水素エネルギーの汎用利用法の開拓

岐阜大学大学院環境エネルギーシステム専攻
助教授 小澤 由行

1. 水素エネルギーの利用とは

我が国の20世紀の生活文化や社会経済は、電気エネルギーによって大きく発展してきた。この電気エネルギーは、あらゆる物質を構成する元素／分子／原子の中で、電子群のみに着目して、電子の流れを作って利用してきた。

21世紀におけるエネルギー需給の在り方を革新できるとされる水素エネルギー利用とは、水素原子の原子核である陽子とその外殻電子とを同時に有効利用することであり、水素は新しいエネルギー・キャリア(Energy Carrier)である。しかし、水素はあくまでも人工的な2次エネルギーであり、地球上では電気エネルギーの場合と同様に、何らかのエネルギー源が無くしては、水素エネルギーは得られない。

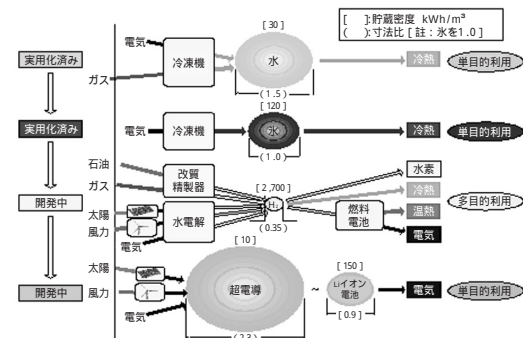


図1 需要端におけるエネルギーの変換 / 貯蔵 / 利用のフロー

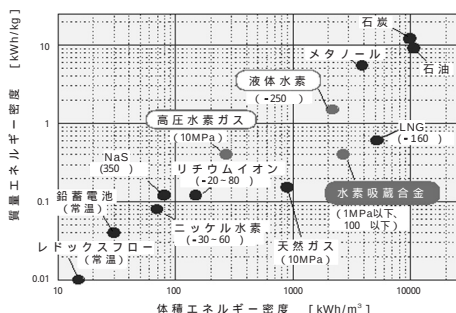


図2 エネルギー貯蔵密度の比較

エネルギーの需要端の近くに設置されるシステムにおいて、エネルギーの変換 / 貯蔵 / 利用を一連のエネルギー・フローにして比較すれば、図1のように描くことができる。

水素に関しては、多種多様な製造入力がある。水素吸蔵合金という水素ならではの貯蔵

方法を採用すれば、図2に示すようにエネルギーの体積貯蔵密度を飛躍的に高められることはもとより、エネルギーの入出力の制御も比較的容易である。さらに図1に示したように、エネルギーの多目的な利用分野にも、エネルギーの貯蔵機能を駆使することを併せて行うことにより、柔軟に対応できる。

昨今の燃料電池は高性能なエネルギーの変換機器といえども、そこでの水素から電気への変換効率率は50%程度である。この値は最新鋭火力の発電端効率と同程度である。また、

水素の利用機器といえば、今は図1に示したようなものであり、その種類は極めて少ない。

以上のような水素の特徴を熟慮すれば、新たな汎用性のある水素の利用機器の開発、水素エネルギーの変換／貯蔵／利用に係わるシステム統合化技術の開発、ならびにその水素エネルギー・システムについて社会経済活動との最適化手法の開発の3者が緊要であることがわかる。これらのすべてを首尾よく掌中に納めることができれば、水素によるエネルギーの真の有効利用、地球規模の環境保全、ならびに活力ある産業経済を三位一体として展開することができよう。

2．可逆セル・スタックの開発

水素エネルギー利用において、水電解と燃料電池は単なる逆反応であるから、固体高分子膜(Proton Exchange Membrane: PEM)を用いた可逆セル・スタックにできる。また、この可逆セル・スタックは、将来的に水素エネルギーの汎用利用機器の一つになり得る。しかし、これを実現するには、相反する物理現象としての還元／酸化反応および親水／疎水性を、同一場所での運転時間と繰り返しの両者に対して、安定的に持続／両立させることが求められる。

可逆セルの開発は、1990年代初頭から再生型燃料電池(Regenerative Fuel Cell)と呼ばれて、宇宙用や軍事用として米国のNASAで行われた。その後、1999年には、米国のProton Energy Systems社が、電極面積 93cm^2 を擁する出力 0.2kW 規模の一体化した再生型燃料電池(Unitized Regenerative Fuel Cell)を発表した。その性能は、往復効率(=水電解効率×発電効率)で30%(電流密度: $0.5\text{A}/\text{cm}^2$ 時)程度であった。その他には、米国やドイツにおいて、教育訓練用の機材という用途で、出力数W規模の実例がある。さらに最近では宇宙

における2次電池機能の利用という目的で、NASAにおいても開発が進められている。表には、世界の諸機関で開発・販売している可逆セル・スタックの規模・性能等を示す。

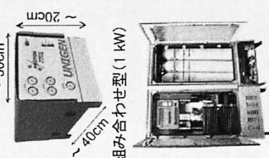
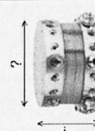
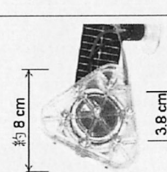
可逆セル・スタックを種々の産業分野における実用機器として用いる場合には、省インシヤル・コスト／高設備利用率／省保守管理／省スペースになるという魅力がある。しかし、大型化(=大電極面積化×スタック化)や高効率化が実現できなければ、実用機器としてのフィジビリティはない。そこで、著者は、高砂熱学工業(株)、(独)産業技術総合研究所関西センター、(財)エネルギー総合工学研究所、(財)若狭湾エネルギー研究センター、日立造船(株)、大機エンジニアリング(株)と共同して、可逆セル・スタックの調査／開発を進めてきた。これまでの著者らの可逆セル開発の結果、最大電極面積: 250cm^2 、最高出力: 0.2kW 、往復効率:46%(電流密度: $0.5\text{A}/\text{cm}^2$ 時)を得るに至り、可逆セル・スタックを実用化する上での技術的な実現可能性を確証できた。

3．システム統合化／最適化技術の開発

可逆セル・スタックと水素貯蔵からなる水素エネルギー・システムでは、基本的にはコージェネレーション(熱電併給)とエネルギー貯蔵とをエネルギーの利用実態に合わせて、最適統合する必要がある。すなわち、可逆セル・スタックと既存の機器／技術群に対して、システム・インテグレーションの妙が発揮できるか否かによって、このシステムの優位性と即効性は決する。

具体的には、水素・電気・熱の3者の同時有効利用を最適化の目的関数としたトータル・システム・エンジニアリング技法を開発する必要がある。その際、特に熱の有効利用に関する開発課題には、以下がある。PEM

表1 世界の諸機関で開発・販売している可逆セル・スタックの規模・機能

No.	1	2	3	4	5	6	7	
研究機関	Proton Energy Systems, Inc.	Hydrogenics Corporation	H-TEC	EcoSoul, Inc./ Third Orbit Power Systems, Inc.	宇宙開発事業団 (NAS DA) / 石川島播磨重工業 (IHI)	産業技術総合研究所 関西センター	高砂熱学工業(株)／大隈エンジニアリング(株)	
可逆セルあるいはシステムの名称	UNIGEN TM	Reversible PEM Fuel Cell	PEMpower1-RFC	Reversible Fuel Cell Learning Kit TM EducCell	再生型燃料電池	URFC (Unitized Regenerative Fuel Cell)	水素を用いた電力負荷平準化システム (Reversible Cell Stack)	
国	米国	カナダ	ドイツ	米国	日本	日本	日本	
用途	通信・家庭用バックアップ電源	輸送用・定置用・携帯用電源	教育用キット (PVパネル・ファン付)	教育用キット (PVパネル・ファン付)	月面での長期の夜間電力供給	可逆セル用の混合燃料の開発	電力負荷平準化	
研究開発の段階	試作機で連続試験中	試作機の写真あり (ホームページ上)	販売中	販売中	実現可能性研究	実験研究装置	試作機で実証中	
燃料電池出力 (電流密度)	250 W	?	1 W	オープン回路で 1.4 V	145 W* (0.15 A/cm ²)*	2～4 W	Max. 1.2kW* (0.6A/cm ²)*	
水電解電力 (電流密度)	300 ～ 1,300 W	?	4 W	0.9 W (3 V, 0.3 A)	100 W* (1 A/cm ² , 1.6 V)*	3～11 W	1 kW (0.6A/cm ²)* Max. 1.3kW* (1A/cm ²)*	
電極面積	?	?	16 cm ²	11.4 cm ²	1,013 cm ² (総面積)*	10 cm ²	10cm ² →100cm ² →250 cm ²	
スタック化	積層セル 一体型 (250 W)	単セル	単セル	単セル	積層セル*	単セル	単セル→4 セル→(8 セル)*	
外観と寸法	 ～40cm	 ?	 セル本体	 約 8 cm 3.8 cm				250 W級の可逆セル・スタック
引用	http://www.nitcep.org/ghim/knowledge/downloads/Springs2001_Newsletter-V04.pdf	http://www.hydrogenics.com/home.htm	http://www.h-tec.com	http://www.ecosoul.org/				http://www.pem-dream.com/report01.html

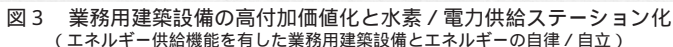
(注) *印は構想中の数値

このようなトータル・システム・エンジニアリングを行った暁に達成可能な総合エネルギー利用効率としては、80%程度になることがわかっていてる。このシステムは、コージェネレーション・システムや新型2次電池等と十分に競合できるポテンシャルを有する。

業務用建物は、いまやストックの時代を迎えている。したがって、その建築設備のリニューアルに大きなウェイトがおかれる。コー

業務用建築設備としてこのシステムを導入した場合のイメージを図3に示す。図中に挙げたように、このシステムは業務用建築設備に7種類もの付加価値をもたらす。その中でも次に述べる2点は、従来形の業務用建築設備がもつばらエネルギーの利用機能であったものに対して、それに新たにエネルギーの供給機能を付加させて運用できることになる。

先ず、駐車場を水素／電力供給ステーション化することは、自動車の将来的なガソリン代替に向けた水素などの燃料供給インフラの整備に対して、専用の燃料供給ステーションを建設することに比較して、遥かに現実的な方法となる。すなわち、常態としての水素を



用いた電力負荷平準化システムからの転用を指向して、業務用建築設備にこの種のエネルギー供給機能を付与し、燃料電池／電気自動車の普及に合わせて段階的に供用開始させる方法は、イニシャル・コストの圧縮や駐車場ならではの長い燃料供給時間（30分～1時間以上）の確保という利点からも、十分な適合性がある。また、駐車場の収益性の向上や、より付加価値の高いエネルギーとして水素を供給／販売できるといった観点からは、業務用建築設備を用いた将来的に魅力のある新ビジネスの展開に適うものである。

さらに、系統電力に係わる事業においては、業務用建築設備の革新を通じて、自動車への水素／電力の供給と、そのことによる石油代替に確実に寄与できることになる。これは、結果的に、電気事業における新たなマーケットの開拓と地球環境保全の新たな方法の展開になる。

次に、オン・サイトでの再生可能エネルギーの水素による年間貯蔵と活用では、例えば、延べ床面積50,000㎡程度の事務所の建物において、その屋上と南向き壁面の半分の面積に太陽電池パネルを敷設して、発電をする場合を想定しよう。そこでの年間の総発電量は、その建物におけるエネルギーの総需要量の約3%になる。また、このエネルギー総量を水素吸蔵合金で貯蔵した場合、その容積は150m³（5.3m立方）程度である。この程度の大きさであれば、特定の建物の敷地内外において、再生可能エネルギーの年間貯蔵を維持させることは十分に可能である。

ところで、この年間貯蔵エネルギーの活用方法であるが、系統電力からの総供給量と比較すれば、あまりにも少ないことは明らかである。しかし、通常の非常用電源の対象でなく、この建物の全機能をフル稼働させるエネルギー需要に対して10日間は、エネルギーの

自律／自立（換言すれば、ライフ・ラインの確保）が可能になる。すなわち、オン・サイトでの再生可能エネルギーについて、このような新たな活用方法を展開することにより、昨今の我が国における経済活動の中で、業務用建物における生産性の時間的／量的な重みと自然／人工災害に対する耐性とをエネルギー需給の上で十分に両立させられる。

5．おわりに

水素は、22世紀までには確実に到来するであろうエネルギー資源や環境負荷の世界的な『配分』や『管理』に柔軟性や選択肢を確保したり、エネルギー需給における『自律分散』や『自立自給』を実現したりする際の有効な題材／手段である。あるいは、環境保全の達成／持続可能な成長に向けて、エネルギー・ミニマム型社会システムを展望したときの省エネルギー技術が“Non-regret Technologies”の一つと呼ばれていることに対置させれば、資源循環型社会システムの構築に際しての水素エネルギー技術は、“Premium Technology”とでも呼べるものである。

水素エネルギーの開発に限ったことではないが、新しいエネルギー・キャリアが広く社会に導入・普及するには、まずは、新たな魅力的な機器やシステムの研究開発が大事であることは論を待たない。しかし、具体的な水素エネルギー・システムとして世の中に導入されて、それらの便益が広く実感されるまでに至らしめるには、大量の水素を、誰しもが、いつでも・どこでも安心して取り扱えるような設計・施工・保守・管理に関する優れた技術や確かな技能が無くしてはあり得ない。

我が国において、近未来に水素エネルギーの魅力を楽しむために、水素を縦横に取り扱うことのできる地道な技術開発や技能習熟が、幅広く開始されることを期待したい。