

水素エネルギー供給システムの現状と建築分野への適用可能性

Current situation of hydrogen energy supply system and applicability to the architectural field

○佐藤駿*、湯浅和博**
Shun Sato, Kazuhiro Yuasa

keywords : Hydrogen , water electrolysis , fuel cell
水素、水電解、燃料電池

1. はじめに

2020年10月の2050年カーボンニュートラル宣言や世界情勢の変化によるエネルギー供給の安定化から、令和5年6月6日に水素基本戦略が改定され、エネルギーとしての水素利用が現実味を増してきている。カーボンニュートラルの達成に向けては、再生可能エネルギー由来の水素など、製造工程においてもCO₂を排出しないグリーン水素の利用拡大が望まれる。国内ではFIT制度の導入以降、太陽光発電の導入量が大幅に増加している一方で、太陽光発電は気象条件・季節で発電量が変動し、一年を通じて電力需要が少なくなる中間期において、電力の買取抑制が生じるなどの問題が発生してきている。さらなる再生可能エネルギーの導入に向けて、住宅分野では系統連系よりも貯蔵して使う自家消費を進める必要があり、その実現に向けた蓄エネルギー設備システムとして、水素の利用が1つの手段として考えられている。水素基本戦略の中で再生可能エネルギーが出力制御される局面においては余剰電力価格が安いことに加え、調整力として再生可能エネルギーのさらなる導入拡大に資することを踏まえ、国内製造ポテンシャルを最大限生かした水素の利活用を推進していく必要があるとしており、利用拡大が望まれている。本研究では、再生可能エネルギー由来の水素貯蔵・利用に関連する最新機器・技術を調査し、建築分野での適用の可能性を考察する。

2. 水素エネルギー供給システムと関連機器

2.1. 水素貯蔵の特徴と水素利用の流れ

建築分野の代表的なエネルギー貯蔵設備として、蓄電池が挙げられる。水素貯蔵は蓄電池と比較して、時間経過によるロスがない点、移動が容易で持ち運びが可能といった利点がある。また、表1に示すように、水素はエネルギー密度が高いこともメリットの一つとして挙げられる。

再生可能エネルギー由来の電力から水素の貯蔵・利用を行う場合、水電解装置、水素貯蔵タンク、燃料電池が用いられる。水素の利用・貯蔵の一連を担う水素エネルギー供給システムのフローを図1に示す。水素エネルギー供給システムは、水電解装置により水を電気分解して水素を生成し、貯蔵を行う。使用する際は水素貯蔵タンクから水素を取り出し、燃料電池を用いて発電を行い利用する。

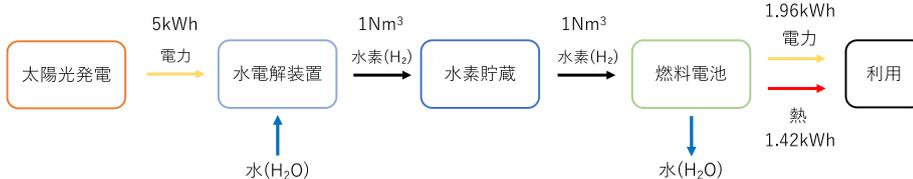


図1 水素利用フロー

2.2. 水電解装置

水電解装置は水の電気分解により水素を生成する装置である。電解質の種類によって、主にアルカリ型、固体高分子型、AEM型、固体酸化物型の4つの電解方式がある。アルカリ型は電解質に水酸化アルカリ溶液を用いる方式で、大規模化が容易であるという特徴がある一方で、負荷変動範囲が狭いデメリットを持つ。固体高分子型は電解質に水素イオン導電性のイオン交換膜を用いる方式である。負荷変動範囲が広く、調整力として期待されるが、イオン交換膜が強酸性であるため、触媒が高価で劣化が早いといったデメリットがある。AEM型はアニオン交換膜電解とも呼ばれ、構造的には固体高分子型と似ているが、触媒に貴金属を使用しないことが特徴である。ただし、膜の性能、耐久性といった点に課題がある。固体酸化物型は高温水蒸気電解とも呼ばれ、理論的に最も電解効率が良い電解方式である。しかしながら、高温で作動するため、材料の劣化が早いことが課題である。それぞれのメリット、デメリットをまとめたものを表2に示す。現在、アルカリ型と固体高分子型は実証・実用段階である一方、AEM型と固体酸化物型に関しては実験段階となっており、技術的な課題が残されている現状である。

実証・実用段階であるアルカリ型と固体高分子型の水電解装置を製造する国内のメーカーを表3に示す。黄

表1 エネルギー密度の比較²⁾

	重量密度(Wh/kg)	体積密度(Wh/L)
水電解+水素タンク+燃料電池	圧縮水素	32,900
	液体水素	2,330
鉛蓄電池	10~40	40~80
リチウムイオン電池	80~200	200~300

表2 水電解の方式

	アルカリ型	PEM型	AEM型	固体酸化物型
メリット	大規模化が容易	負荷変動範囲が広い	触媒に貴金属を使用しない	水電解速度が大きい
デメリット	負荷変動範囲が狭い	触媒が高価で劣化が早い	膜の耐久性が低い	高温動作により材料劣化が早い

表3 水電解装置国内製造企業³⁾

	アルカリ形	固体高分子形
A社	○	
B社		○
C社		
D社		○
E社		○
F社		
G社		

*東京工業大学・環境・社会理工学院・修士課程 **東京工業大学環境・社会理工学院 准教授・工博

* Graduate Student, Tokyo Institute of Technology **Associate Prof, Tokyo Institute of Technology Dr.Eng

色の部分は各社製造している型で、○がついている部分は各社HP上に能力など機器の詳細が掲載されている装置である。B社、D社、E社の製品詳細を表4に示す。A社の製品については、基本ユニットが10MW、2000Nm³/hで、他社の製品と比較して非常に大きなサイズである⁷⁾。また、C社では図2のように水電解装置、水素貯蔵タンク、燃料電池が一体となったワンコンテナモデルといった製品もある。

2.3. 水素貯蔵方法

水素の主な貯蔵方法として、圧縮水素、液化水素、有機ハイドライド、水素吸蔵合金が挙げられる。圧縮水素は常圧の水素ガスを圧縮し、高压タンクに充填して貯蔵する方法である。液化水素は水素ガスを-235℃に連客することで液体状態にして貯蔵する方法である。有機ハイドライドは水素とトルエンを反応させてメチルシクロヘキサンとして化学的に吸着させて貯蔵する方法で、常温常圧での取り扱いが可能であることが特徴である。水素吸蔵合金は水素を吸蔵・放出が可能な合金である。合金自体が重い重量当たりの貯蔵量は低い、安全性は高い特徴を有する。

2.4. 燃料電池

燃料電池は従来、都市ガスまたはLPガスを用いて水素を発生させ、発電を行う製品の開発が進められてきた。近年は燃料として水素を直接取り込んで発電する純水素燃料電池が商品化されている。国内の純水素燃料電池の製造企業及びスペックを表5に示す。純水素燃料電池は直接水素を取り込むことから、ガス改質による水素製造装置が不要となり、省スペース・低コスト化が可能になる。また、再エネ由来の水素を燃料とすれば、さらなる環境負荷削減効果が期待できる。水素基本戦略の中でも、水素が直接供給される将来的な水素社会を見据え、純水素燃料電池の利用拡大、機器の高度化を促進している。

2.5. PVパネル

現在、太陽電池は光エネルギーを電気に変換する効率がおよそ10~20%程度である。素材によってシリコン系、化合物系、有機系の3種類に大きく分類される。シリコン系が最も普及している種類で、市場に普及する95%以上占める。化合物系は薄膜・省材料などの長所があるが、コスト面等でシリコン系に及んでいない。また、有機系も化合物系と同じような状況であるが、有機系の一つに分類される、有機と無機のハイブリッドのペロブスカイト太陽電池は直近7年間で変換効率が約2倍となるなど技術開発が進んでおり、シリコン系に対抗し得る太陽電池として有望視されている。ペロブスカイト太陽電池は、原材料を溶剤に溶解した

インクを基板に塗布して形成されるため、軽量化、柔軟性、低コスト化が期待できるとされている。

3. エネルギー試算

太陽光発電パネル5kWを設置した住宅をモデルに、水素エネルギー供給設備を導入した場合、末端で使用可能なエネルギー量の試算を行う。太陽光パネルの変換に伴うエネルギー効率を無視して5kWhの発電量がある条件で、各社の製品を参考に定格時の能力で考えることとする。設備の設定条件を表6に示す。また、計算過程及び結果を表7に示す。水素の発熱量は表7中の(i)式¹²⁾より12.8[MJ/Nm³]とした。表7より5[kWh]の電力量を投入した時に取り出せる電力量は1.96[kWh]となり、約39%の効率となる。排熱量をkWhに換算すると1.42[kWh]となり、電力と熱を合わせた総合的な効率は約67%と試算される。

4. まとめ

水素エネルギー供給システムを構成する機器は既に国内で商品化されている技術もあり、2050年のカーボンニュートラルに向けて水素利用の拡大が活発化してきている現状である。しかしながら、電力のみを取り出した場合、製品の定格の能力を用いると末端で使うことが可能な電力量は約39%程度となり、実際の運用ではさらに総合的な効率は低くなると考えられるなど課題も残る。そのため、建築分野への水素エネルギー供給システムの導入にあたっては、排熱の有効利用を考慮した運用が望まれる。また、水素貯蔵のメリットであるエネルギー密度が高いこと、時間経過によるロスがないことを踏まえ、再生可能エネルギーの導入ポテンシャルが高く、独立した送電網を持つ離島や送電網の末端部分の地域では、余剰電力の有効利用、さらには季節間調整力として、水素エネルギー供給システムの導入が有利となる可能性があると考えられる。

- 参考文献 1) 再生可能エネルギー・水素関係関係会議：水素基本戦略, 2023年6月6日
 2) 光島、松澤：水電解技術の現状と課題, 水素エネルギーシステム Vol.16, No.1, 2011年
 3) 日本性格投資銀行株式会社：水電解装置における日本企業の競争力強化に向けて, No.400, 2023年7月27日
 4) 日立造船株式会社：HYDROSPRINGカタログ, 2023年
 5) 高砂熱学株式会社：Hydro Creatorカタログ, 2023年
 6) 神鋼環境ソリューション株式会社：HHOGカタログ, 2023年
 7) 旭化成株式会社：Aqualyzer HP, 2023年
 8) 東芝エネルギーシステムズ株式会社：H2Oneカタログ, 2023年
 9) Panasonic株式会社：H2KIBOUカタログ, 2023年
 10) 東芝エネルギーシステムズ株式会社：H2Rexカタログ, 2023年
 11) 資源エネルギー庁：次世代型太陽電池に関する国内外の動向等について, 2022年11月
 12) 水素エネルギー協会：水素の事典新装版, 朝倉書店, 2022年11月5日

表6 システムの設定条件

設備	仕様	
太陽光パネル	容量	5[kW]
水電解装置	製造能力	5[kWh/Nm ³]
純水素燃料電池	発電効率	55%
	熱回収効率	40%

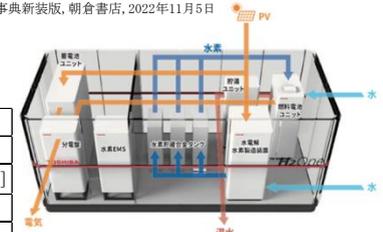


図2 C社ワンコンテナモデル⁸⁾

表4 各社水電解装置詳細⁴⁾⁵⁾⁶⁾

製造メーカー	B社					D社	E社
	発生量 Nm ³ /h	1	10	50	100	200	最大5
圧力 MPaG	0.8(-0.85)					0.9	0.82
純度 %	99.9-99.999					99.999以上	99.999以上
露点 °C	-15 ~ -70					-40以下	-
消費電力 kWh/Nm ³	5					-	5
消費純水量 L/h	1	10	50	100	200	-	-
サイズ m	W1.1	W2.0	W2.5	W2.4	W2.6	-	-
	D1.8	D4.8	D9.0	D12.0	D0.9		
	H2.0	H2.5	H2.5	H2.9	H1.5		

表5 純水素燃料電池⁹⁾¹⁰⁾

	燃料電池種類	発電出力	発電効率 (定格時)	熱回収効率 (定格時)	電気接続
H社	固体高分子形	5000W	LHV:56%	LHV:39%	単相三線
			LHV:55%		三相三線
I社	固体高分子形	700W	LHV:55%	LHV:40%	単相三線
		3500W			
		100kW			

表7 エネルギー試算結果

水素発熱量	$H_2 + 1/2O_2 = H_2O + 286kJ \dots (i)$ (i)式より水素1molから286kJのエネルギーが得られる。 水素発熱量[MJ/Nm ³]=44.6[mol/Nm ³]×286[kJ/mol]×0.001 ≒12.8[MJ/Nm ³]
水素製造量 (電力→水素)	発電量[kWh]÷水素製造能力[kWh/Nm ³]=水素製造量[Nm ³] 5[kWh]÷5[kWh/Nm ³]=1[Nm ³]
取り出せる電力量 (水素→電力)	水素量[Nm ³]×水素発熱量[MJ/Nm ³]×発電効率=電力量[MJ] 1[Nm ³]×12.8[MJ/Nm ³]×0.55=7.04[MJ] ≒1.96[kWh]
取り出せる熱量 (水素→熱)	水素量[Nm ³]×水素発熱量[MJ/Nm ³]×熱回収効率=熱量[MJ] 1[Nm ³]×12.8[MJ/Nm ³]×0.4=5.12[MJ] ≒1.42[kWh]