

国内仕様ソーラー水素ステーションの紹介

Introduction of Solar Hydrogen Station Installed in Japan

武内 淳*
Jun TAKEUCHI
伊藤 潤*
Jun ITO

中沢 孝治*
Koji NAKAZAWA
岡部 昌規*
Masanori OKABE

吉田 喜祐*
Nobuyoshi YOSHIDA
山下 郁也*
Ikuya YAMASHITA

要 旨

ABSTRACT

差圧式高圧水電解型ソーラー水素ステーションを日本国内に初めて、公共の場への設置例としては世界で初めて埼玉県庁の敷地内に設置した。このステーションは過去に米国での規格を満たして米国カリフォルニア州ロサンゼルス社の Honda R&D ロサンゼルスセンタに設置したが、日本国内に設置するにあたり新たに日本の法規に対応する必要が生じた。そのため、防火壁の設置、水素製造部である差圧式高圧水電解スタックの耐圧試験の実施、換気風量の変更といったシステム構成の変更をおこなった。この対応の過程で、現在の法規制では差圧式高圧水電解型ソーラー水素ステーションを家庭に設置すると想定した場合においても今回と同様の対応が必要であることが確認された。また、埼玉県の公用車として運用されている燃料電池電気自動車との実証試験において差圧式高圧水電解型ソーラー水素ステーションが安定した水素製造ができていることを確認した。

A high differential pressure water electrolysis-type solar hydrogen station has been installed on the campus of the Saitama Prefectural Office in Japan. This is Japan's first demonstration with this type of system, and the first such system in the world to be installed in a public location. A station of the same type, conforming to U.S. standards, had previously been installed at Honda R&D Americas, Inc. Los Angeles Center in Torrance, California, but it was necessary to make modifications in introducing the system to Japan in order to conform to Japanese laws and regulations. Thus, a fire-protection wall was put in place, the system ventilation airflow was increased and pressure proof tests were conducted on the high differential pressure water electrolysis stack. In the course of accommodating the Japanese laws and regulations, it was realized that under the present laws, the same configurations would be necessary when considering the household installation of such hydrogen stations. The study has also shown that this hydrogen station is capable of stably producing hydrogen in a verification test conducted in coordination with a fuel cell electric vehicle being used as an official vehicle by Saitama Prefecture.

1. まえがき

Honda はこれまで化石燃料の代替、排出ガスの削減、地球温暖化への影響の低減という観点から、水素を用いた燃料電池を次世代の究極的なパワープラントとしてとらえ、燃料電池電気自動車の開発に取り組んできた。

それに加えて、燃料電池電気自動車に低炭素で水素を供給する技術の研究が重要と捉え、将来の水素エネルギー社会の実現に向けて、太陽電池を入力電源に使ったソー

ラー水素ステーションについても研究開発に取り組んでいる。その第一歩として、米国カリフォルニア州ロサンゼルス社の Honda R&D ロサンゼルスセンタにて 2001 年 7 月から市販の機器を組み合わせたソーラー水素ステーションの実験を開始した。2003 年 10 月からは常圧水電解型ソーラー水素ステーション (Solar Hydrogen Station: SHS1)⁽¹⁾ に独自技術である常圧式水電解スタックを投入し、2010 年 1 月からは SHS1 に代わり差圧式高圧水電解型ソーラー水素ステーション (High Differential Pressure Water

* 四輪 R&D センター

Electrolysis-type Solar Hydrogen Station: SHS2)^{(2), (3)}の実証試験をおこなっている。本稿で紹介するのは埼玉県庁敷地内に設置した日本国内仕様 SHS2(以下、国内仕様)である。この設置は差圧式高圧水電解システムとしては日本国内初、公共の場への設置例としては世界初である。本システムは環境省平成 23 年度地球温暖化対策技術等新規採択案件のうち「交通低炭素化技術開発分野の小型ソーラー水素ステーションと燃料電池車を組み合わせた CO₂ 排出ゼロシステム開発」の一環として埼玉県庁、岩谷産業株式会社、本田技研工業株式会社、株式会社本田技術研究所の四者により設置されたものであり、2012 年 3 月 27 日に埼玉県庁に引渡され、二年間の期限で運用が開始された。この国内仕様は米国設置仕様 SHS2(以下、米国仕様)に対し、主に日本国内設置に向けた法規対応による変更をおこなったものである。以下、国内仕様のデザイン、法規対応、運用状況に関して紹介する。

2. デザイン

2.1. コンセプト

デザインコンセプトを Fig. 1 に示す。

国内仕様のコンセプトは米国仕様と同様に FLUID FUNCTION(流体機能)とした。SHS2 によるエネルギー生成の流れを安定感のある対称曲線面で表現し、埼玉県庁内の設置周辺環境に違和感なく融合するエリアの造作、色彩の選択と配置をおこない、先進感を訴求する外観とした。以上のコンセプトを具現化した国内仕様の外観を Fig. 2 に示す。

2.2. レイアウト

国内仕様は近い将来の小型水素ステーションの普及に向けて、日本における高圧ガス充填所の施設設計に関する法規に適合し、燃料電池電気自動車の燃料となる水素を供給する設備の検証や実験をおこなう施設となる。埼玉県知事の公用車として休日を除いてほぼ連日使用する燃料電気電池自動車への燃料充填のため、安全で誰もが確実に扱える施設として設計した。また将来の一般家庭への設置を想定して必要とされる諸条件を考慮しつつ、コンパクトであり

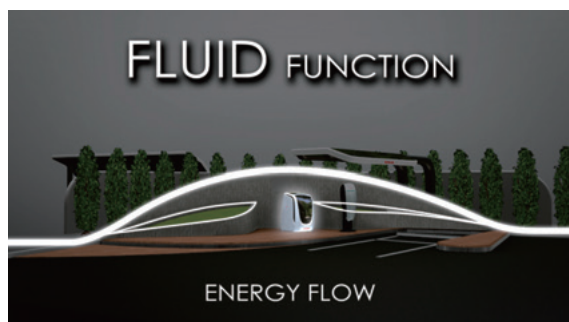


Fig. 1 Design concept of SHS2

ながら開放感のあるレイアウトとした。Fig. 3 に国内仕様の CG レイアウト図を示す。

充填をおこなう車両は、ガイドラインに沿って後進で充填位置にアプローチをおこない、ガイドによって充填最適位置に停車する。充填ディスペンサを設置したアイランドの縁石高さは 150 mm とし、また転舵ミスがあっても車両が充填ディスペンサへ衝突しないように縁石から充填ディスペンサの距離を決定した。駐車スペースには雨の多い環境を考慮し、充填時に雨に濡れることのないようルーフを設置した。ルーフは降車時のドアへの干渉や全体デザインの訴求を阻害することがないようにカンチレバー(片持ち)柱構造とし、開放感のある快適な充填エリアを完成させた。

2.3. ユーザインタフェース

米国仕様においてもシンプルかつ直感的な操作ができるようユーザインタフェース(UI)画面を構成していたが、日本国内設置に合わせ、UI 画面の改良もおこなった。Fig. 4 に UI の画面を示す。まず表示言語に関しては全て日本語とした。充填操作方法の指示に関してはアニメーションを使用することにより、より直感的に理解しやすいものとしている。また、充填状況の表示も米国仕様の数値表示から充填に合わせてゲージが増減するグラフィカルなものとし、さらに残り充填時間を表示しユーザへの利便性を高めている。



Fig. 2 External view of SHS2 installed on Saitama prefecture property



Fig. 3 System layout of SHS2



(a) Connecting nozzle



(b) Refueling

Fig. 4 UI screens of SHS2

3. システム仕様

国内仕様は、以前報告した米国仕様⁽²⁾と同様に差圧式高圧水電解システムと太陽電池を組み合わせた構成となっており、水素製造の過程で一切 CO₂ を排出しないことを特徴とする。Table 1 に SHS2 の米国および国内の仕様を示す。基本的な仕様は米国、国内ともに同一である。各仕様の異なる部分として、水素貯蔵量、太陽電池設置面積、換気風量があげられる。米国仕様は家庭用設置機の実証試験という位置づけのため、水素貯蔵量も家庭用を考慮し、少量の 4 kg (35 MPa, 167 L) とした。この貯蔵量では SHS2 の貯蔵タンクと燃料電池電気自動車のタンクの圧力差を利用して水素を充填する差圧充填のみでの充填完了圧力が低くなる。このため米国仕様は、燃料電池電気自動車に差圧充填をおこなった後、差圧式高圧水電解スタックから直接燃料電池電気自動車のタンクに水素を充填する押込み充填をおこなうことを特徴としている。一方、日本国内では法規上、充填を有人でおこなう必要があり、SHS2 の製造水素量で数時間かかる押込み充填は現実的でない。したがって、国内仕様は押込み充填をおこなわない仕様となっている。以上より、国内仕様においては差圧充填での充填完了圧力を高める必要があること、また公共の場への設置になることにより複数台への充填にも配慮し、水素貯蔵量を約 20 kg (35 MPa, 828 L) に設定した。また、太陽電池パネルには

Table 1 Specifications of SHS2

		United States	Japan
Hydrogen production	Flow rate	0.7 Nm ³ /h	
	Filling pressure	35 MPa	
	Purity	>99.99%	
	Storage	4 kg	20 kg
Component	Photovoltaic module	CIGS 6 kW	CIGS 10.5 kW
	Electrolysis unit	High differential pressure electrolyzer	
Utility	Electricity	240 VAC / 60 Hz	200 VAC / 50 Hz
	Water	Tap water	
	Ventilation	3.5 Nm ³ /min	7 Nm ³ /min
Unit volume		Approx 0.33 m ³	

米国仕様と同様に株式会社ホンダソルテック製 CIGS 薄膜太陽電池⁽⁴⁾を使用しているが、水素貯蔵量の増加に伴いより多くの水素製造量が求められることから、出力を 6 kW から 10.5 kW へと増加させている。さらに、発電量が減少する雨天時や夜間、または必要な場合には商用電力を併用して水素製造をおこなうことも可能である。

4. 法規対応

4.1. 法規概要

Table 2 に日本および米国で適用した法規と規格を示す。日本と米国では水素ステーション設置に伴う法規もしくは規格が異なる。国際的には水電解水素製造装置としての規格 ISO22734-2⁽⁵⁾ 家庭用水電解水素製造装置がすでに発行されており、米国仕様においては主にこの ISO22734-2 を適用した。ISO22734-2 以外では米国の高圧ガス取扱い規格である NFPA55⁽⁶⁾、危険区域判断規格である NFPA497⁽⁷⁾ を適用し、これらを満たすことにより水素ステーションとしての運用の認可を受けることができた。このように SHS2 はすでに米国規格を満たす装置として設計されていたが、日本国内での設置においてはさらに高圧ガス保安法、建築基準法といった法規があり、規制としては国内法規がより厳しいため、これらの法規を順守するために新たな対応が必要となった。

4.2. 日米での対応の差異

4.2.1. 日本法規への対応事項

高圧ガス保安法に定義される高圧ガス製造設備には、許可が必要な第一種製造設備と、比較的制約が少なく届出のみで設置できる第二種製造設備が存在する。本来 SHS2 はその仕様ならびに製造規模から第二種製造設備に該当する。一方、国内仕様の設置場所である埼玉県庁は商業地域にあるため、建築基準法第四十八条の用途地域の制限によって可燃性ガスならびに圧縮ガスの製造が原則として禁止されている。ただし、燃料電池電気自動車の普及に向

Table 2 Codes and standards for US and Japan

	United States	Japan
Water electrolysis applications	ISO22734-2	None
High-pressure gas applications	NFPA55	High Pressure Gas Safety Act Building Standards Act
Classification	NFPA497	JIS60079-10

けた政府の施策に伴い、第一種製造設備として許可を受けた特定圧縮水素スタンドであれば設置が認められる。したがって国内仕様は一般高圧ガス保安規則（一般則）第七条の三第二項各号、特定圧縮水素スタンドに係る技術上の基準にのっとり設計する必要があるが生じた。以下に、国内設置において改めて差圧式高圧水電解システムとして対応する必要のあった一般則の主な部分を列挙する。

- (1) システムを設置する敷地境界への防火壁の設置
- (2) タンク温度上昇を抑える消火用散水設備の設置
- (3) 火気を扱う施設から 6 m 以上の距離の確保
- (4) 計算式による強度保証もしくは耐圧試験による常用圧力の 4 倍以上で破壊無きことを提示
- (5) システム本体として防爆性能の保持

4.2.2. システム設置敷地

システム設置敷地としては 4.2.1. 項 (1) 防火壁の設置、(2) 散水設備の設置、(3) 火気施設からの距離に留意する必要がある。そこで、Fig. 3 に示したとおり、アイランドの背面を覆うように防火壁を設置した。タンク部には火災や温度上昇時のための散水設備を設置した。また、後述するように SHS2 は換気によって防爆機能を得ているが、SHS2 はリレー等の着火源を内部で使用しており、これらは火気とみなされる。よって、4.2.1. 項 (3) を満たす必要から、システムの換気を使用しているエアの吸入口をシステムから 6 m 以上離れた場所に設置した。これに対し米国においては防火壁、散水設備の設置は必要とされず、また、火気を扱う施設からの距離に関してもシステムには適用されない。しかし、NFPA55 によると水素を放出するベント管が危険源とみなされ、ベント管からシステムまでの距離が 15 ft (約 4.6 m) 以上と規定されている。よって、米国仕様ではその規定による対応のみをおこなっている。

4.2.3. スタック

高圧ガス保安法では「設計圧力を MPa であらわした数値と内容積を m^3 で表した数値との積が 0.004 以下の容器」には一般則が適用される。これを式に表すと式 (1) のようになる。一方、それ以外の高圧容器には特定設備検査規則が適用され、構造や使用する材料は一般則よりも大きな制約を受ける。

$$P \times V \leq 0.004 \quad (1)$$

P : 設計圧力 (MPa)

V : 内容積 (m^3)

差圧式高圧水電解スタックの設計圧力は 38.5 MPa であるので、内容積が 103.9 cm^3 以下であれば一般則の適用となる。ここで水電解スタックの内容積は 100.8 cm^3 であるため、一般則としての対応が可能となった。

また、4.2.1. 項 (4) のとおり、高圧容器は常用の圧力に対して十分な強度を有することを示す必要がある。一般則の例示基準には金属材料を使用した場合の耐圧計算方法が記載されており、金属材料のみで耐圧構造を保有している配管、安全弁、逆止弁、電磁弁等のデバイスに関してはその強度保証を計算でおこなうこともできる。しかし、差圧式高圧水電解スタックでは耐圧構造の一部が非金属材料である電解質膜により構成されているため、例示基準に定義された計算式では対応できない。よって、スタックに関しては実際に常用圧力の 4 倍以上である 160 MPa の耐圧試験をおこない、破壊しないことを確認した。

4.2.4. デバイスの耐圧設計

差圧式高圧水電解スタックと同様に高圧部に使用しているデバイスは 4 倍耐圧を保証する必要がある。これに対し、米国の規格では高圧部の耐圧容器は常用圧力の 2.4 倍、配管は常用圧力の 3 倍の耐圧で良い。SHS2 に使用されているデバイスは米国で使用されることを前提に選定されていたことから、改めて各デバイスが 4 倍耐圧を持つことを確認する必要がある。そこで、SHS2 に使用している各部品の洗い出しをおこなった結果、フィルタ、各種継手等がそれを満足できないことがわかった。これらのデバイスに関しては 4 倍耐圧に耐えうる十分な肉厚が確保できるよう再設計をおこなった。

また、高圧水素気液分離器、吸着筒に関してはスペース確保のために四角型の形状にてフランジ結合されていた。しかし、前述の一般則の計算式には四角型フランジの計算式が存在しないため、計算式が記載されている円柱型で再設計した。

4.2.5. 換気風量

4.2.1. 項 (5) のとおり、一般則によりシステム内で非防爆デバイスを使用するためにはシステム本体を換気防爆構造とする必要がある。SHS2 では防爆対応をおこなうために常時換気システムを用いており、米国仕様においてもこの常時換気を取り入れている。この換気防爆という考え方は、内部にて水素がリークした場合にそのリークに対して空気中の水素濃度が可燃範囲下限値の 1/4 未満である 1%

未満になるように換気をおこなうというものである。

米国の NFPA497 と ISO22734-2 においては耐圧設計がなされている部品に対し破裂や外れ等を考慮しなくてよいが、日本の高圧ガス保安法では、配管の破裂といった急激な水素放出事象を想定する必要がある。この場合の事象とは、システムが最大圧力で運転している時点で配管等の破裂が発生し、システムの製造水素全量がシステム内にリークするというものである。このときの換気度を JIS C 60079-10⁽⁸⁾にある計算式により高換気度に保つ必要があり、この条件を式(2)に示す。ここで、高換気度とはガスの放出源においてガスの濃度を瞬時に低下させる換気度のことであり、式(2)を満たすことによりガスの放出による危険を回避することができる。システムの水素製造量は 0.7 Nm³/h、内容積は 0.17 m³ であることから、式(2)により換気風量としては 5.6 Nm³/min を確保する必要がある。よって、国内仕様においては換気風量が 5.6 Nm³/min 以上となるように換気ファンを設定した。

$$\frac{f \times (dG/dt)_{\max} \times T}{C \times k \times LFLm \times 293} < 0.1 \quad (2)$$

- f : 換気効率
 $(dG/dt)_{\max}$: 最大水素製造量
 T : 周囲温度
 C : 換気風量 / 換気容積 (内容積)
 k : $LFLm$ に対する安全率
 $LFLm$: 可燃濃度範囲

4.3. 家庭設置に向けての課題

以上、日本の法規にのっとることにより、SHS2 を日本国内に設置することができた。しかしながら建築基準法によると現在の日本では水素ステーション等の可燃性ガス製造設備の設置は原則として工業地域にのみ認められている。今回の国内仕様のように特定行政庁の判断により工業地域以外に設置できる可能性もあるが、その場合でも大型設備である第一種製造設備の技術基準が適用される。よって、家庭用に設置する場合は上記防火壁や散水設備の設置、6 m 以上の火気距離の確保が必要となり一般家庭の敷地に設置するのは困難である。また、デバイスにおいても米国では耐圧要求が常用圧力の 2.4 倍や 3 倍であるのに対し、日本では 4 倍の耐圧を要求されるので、コストも高くなってしまう。以上のことから既存の日本の法律では家庭に SHS2 は設置できるものの、広い敷地と高いコストが必要となり、現実的に普及させるにはさらなる法整備が必要であることがわかった。

この研究では最終的に小型で安価な水素供給システムを家庭に設置することを目的としているため、今後 Honda として当該システムの家庭設置に向けて法整備の働きかけをおこなっていく必要がある。

Table 3 Hydrogen quality of SHS2

	ISO14687-2	SHS2 US	SHS2 JP
H ₂ (%)	>99.99	>99.99	>99.99
H ₂ O (ppm)	<5	<1	<5
Hydrocarbon (ppm)	<2	<0.1	<0.3
O ₂ (ppm)	<5	1	<0.1
He, Ar, N ₂ (ppm)	<100	<16	<0.1
CO ₂ (ppm)	<1	<0.1	<0.1
CO (ppm)	<0.2	<0.001	<0.1
Sulfur (ppm)	<0.004	<0.0008	<0.8*
HCHO (ppm)	<0.01	<0.001	<0.01
HCOOH (ppm)	<0.2	<0.001	<5*
NH ₃ (ppm)	<0.1	<0.02	<0.01
Halogenates (ppm)	<0.05	<0.004	<0.5*

* below detectable limit

5. 運用状況

国内仕様は耐圧の向上、換気風量の増強などはおこなったが、第3章にて示すとおり基本的な構成は米国仕様と同一であるためシステム効率や水素品質も米国仕様と同等である。SHS2 で製造した水素の品質を Table 3 に示す。水素品質に関しては一部検出限界値により測定しきれていない成分はあるものの、おおむね米国仕様と同等値を示している⁽³⁾。

この実証試験では燃料電池電気自動車が自治体の公用車として使われるときの使われ方や水素ステーションに対する要望を把握する目的がある。代表的な一か月の水素製造量の推移を Fig. 5 に示す。現状の国内仕様は埼玉県のパブリックユーティリティ車である燃料電池電気自動車一台で運用されており、当該車両の走行距離に応じて安定した水素製造ができています。今後、二年間の実証試験の後に最終的な実証データとして知見をまとめる。

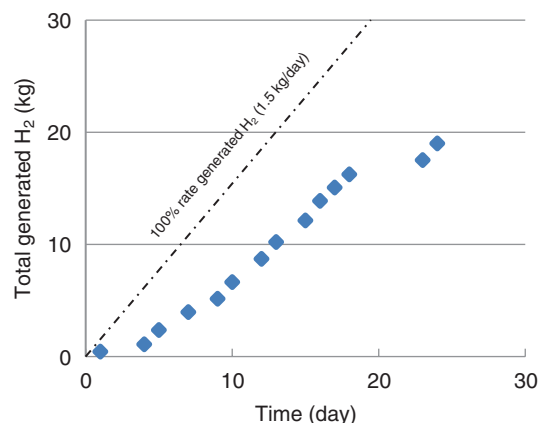


Fig. 5 Typical H₂ production at Saitama

6. まとめ

差圧式高圧水電解型ソーラー水素ステーションを日本国内に設置したことにより以下の結果を得た。

- (1) 日本における現状の水素ステーション設置に関する法規対応をおこない、日本初、また公共の場としては世界初の SHS2 を設置することができた。
- (2) 上記法規を確認した結果、家庭用に向けての法律の整備が不十分であることがわかり、将来の家庭用設置を想定した時の課題が把握でき、将来的な法整備に向けての働きかけが重要であることがわかった。
- (3) 国内仕様の初期運用の結果、システム効率、水素品質に関しては米国仕様と同じことがわかった。また、燃料電池電気自動車一台との連携において特に不具合なく運用がおこなえている。

参考文献

- (1) 岡部昌規, 中沢孝治, 樽家憲司, 判田圭: 太陽電池を使った水素ステーション (SHS) の実証試験, Honda R&D Technical Review, Vol.20, No.1, p.67-73
- (2) 中沢孝治, 長岡久史, 武内淳, Frank Moburg, 山下郁也, 岡部昌規: 差圧式高圧水電解型ソーラー水素ステーション (SHS2) の紹介, Honda R&D Technical Review, Vol.22, No.2, p.28-35
- (3) 長岡久史, 吉田喜祐, David Cun, 山下郁也, 岡部昌規: 差圧式高圧水電解型ソーラー水素ステーション (SHS2) の実証試験, Honda R&D Technical Review, Vol.24, No.2, p.72-78
- (4) <http://www.honda.co.jp/soltec/cigs/index.html>, 2012/8/24
- (5) ISO22734-2:2011. Hydrogen generators using water electrolysis process - Part2:Residential applications
- (6) NFPA55:2010. Compressed gases and cryogenic fluids code
- (7) NFPA497:2012. Recommended practice for the classification of flammable liquids, gases, or vapors and of hazardous (classified) locations for electrical installations in chemical process areas
- (8) JIS C 60079-10:2008. 爆発性雰囲気中使用する電気機械器具 - 第 10 部: 危険区域の分類

■ 著 者 ■



武内 淳



中沢 孝治



吉田 喜祐



伊藤 潤



岡部 昌規



山下 郁也