

ワンパッケージ型スマート水素ステーションの開発

Development of All-in-one Smart Hydrogen Station

吉田 哲也*
Tetsuya YOSHIDA

武内 淳*
Jun TAKEUCHI

浅野 裕次*
Yuji ASANO

要 旨

Honda 独自の差圧式高圧水電解技術を用いたワンパッケージ型のスマート水素ステーションを開発した。主要コンポーネントを 10 フィートコンテナサイズにパッケージ化し、設置面積の縮小と導入作業の簡素化を達成した。また、車両への水素充填作業が初めての人にもわかりやすいインタフェースを構築した。性能については、純水製造手法を見直して水の使用量を 10 分の 1 以下へ削減し、また、高圧水の排出技術を確立することで、水素製造装置としての耐久性を高めた。さらに、設置可能地域を準寒冷地域まで拡大するために、凍結による機能損失を防止する保温機能を追加した。これらにより、水素社会の実現と燃料電池自動車の普及促進に有効な手法として、全国の自治体等で導入が進んでいる。

ABSTRACT

An all-in-one smart hydrogen station has been developed, using Honda's original high differential pressure water electrolysis technology. The key components are packaged to be the size of a ten-foot container, reducing footprint and simplifying installation work. In addition, an interface was created to be easily understandable for those having no hydrogen refueling experience. In terms of performance, the pure water production method was revised to reduce water consumption to less than one tenth of the previous method. In addition, high-pressure water discharge technology was developed to increase the durability of the hydrogen production system. Furthermore, in order to expand the installable area to include semi-cold regions, heater functionality was added, preventing function loss from freezing. With these changes, smart hydrogen stations are being introduced by municipalities and private parties around Japan as an effective approach for achieving a hydrogen society and for promoting popularization of fuel cell vehicles.

1. はじめに

Honda はかねてより二酸化炭素 (CO₂) の排出量を削減するため、化石燃料への依存度を減らす観点から、水素をエネルギー源として走行中に水しか排出しない燃料電池自動車の開発をおこなってきた。

燃料電池自動車の燃料となる圧縮された水素を再生可能エネルギーから簡便にかつ効率良く作ることができれば、燃料電池自動車の普及にはずみがつくと同時に環境課題の解決に向け、より貢献できる。そのような考えから、Honda は車両開発と並行して水素の製造方法に関する研究にも取り組んでいる。

これまで、2001 年に米国カリフォルニア州ロサンゼルス (Los Angeles) の Honda R&D ロサンゼルスセンタに市販の機器を組

み合わせた小型水素ステーションを設置し、2003 年には独自に開発した常圧式水電解スタックを投入し、4 年以上の実証試験をおこなった⁽¹⁾。2010 年には、Honda 独自の水電解と水素昇圧機能を統合させた差圧式高圧水電解スタックを開発し、電解方法を常圧式から差圧式高圧水電解へ更新した^{(2), (3)}。これにより一般的な機械式コンプレッサを用いるステーションと比較して小型、省スペースを実現した。

2012 年 3 月には差圧式高圧水電解水素ステーションを日本国内の法規に対応させて埼玉県庁敷地内に設置し、公用車である FCX CLARITY の充填ステーションとして 3 年にわたって運用した^{(4), (5)}。この設置では、差圧式高圧水電解方式としては日本国内初、世界で見ても公共の場への設置は前例がないことから、法規適合性の検証や第三

* R&D センター X

者機関のリスク評価による安全性の検証も合わせておこなった。

一方、国の支援のもと大型の商用水素ステーションの整備も進められている。Fig. 1 に商用水素ステーションの設置状況⁽⁶⁾を示す。四大都市圏を中心に整備が進み始めているものの、燃料電池自動車のより一層の普及拡大のためにはインフラ未整備地区への水素充填装置の設置が必要である。

そこで我々は、商用水素ステーションと比べ必要な設置面積が小さくて簡易的に設置できることを目標に、主

要構成部位をパッケージ収納したスマート水素ステーション (Smart Hydrogen Station:SHS)を開発した。また、SHS をより広い地域に設置することを目指し、冬期の水凍結防止の対応を追加し設置可能地域を準寒冷地域まで拡大した。

本稿では、運用実績を積んできた埼玉県庁設置ステーション (実証試験機) からシステムをさらに発展させた SHS の概要について紹介する。

2. システム概要

Fig. 2 に SHS の概要を示す。SHS は Honda が開発を担当する差圧式高圧水電解システム (Power Creator) と岩谷産業株式会社が担当する蓄圧部、ディスペンサを一つのきょう体に収納したコンパクトな水素ステーションである。Power Creator は水の電気分解と同時に水素を昇圧し、燃料電池自動車用の燃料規格⁽⁷⁾を満たす圧縮水素を製造する能力を有している。この電気化学的な水素昇圧方法は、フリクションロスやモータ損失が発生しないため、機械式コンプレッサを用いる昇圧方法と比較して高効率である。また、再生可能エネルギー由来の電源と組み合わせれば水素を製造し燃料電池自動車に供給する段階でも CO₂ 排出量を削減することが可能となる。

SHS の主要諸元を Table 1 に示す。水素製造能力は 1.5 kg/日であり、年間最大約 550 kg の水素を供給できる。一般的な燃料電池自動車は水素 1 kg で約 100 km 走行可能なことから、車両 1 台あたりの年間走行距離を 10,000 km とした場合、SHS で供給する水素のみで約 5 台分の燃料をまかなうことができる。また、水素貯蔵量を約 19 kg とする



Fig. 1 Locations of commercial hydrogen stations, as of Jan. 2017

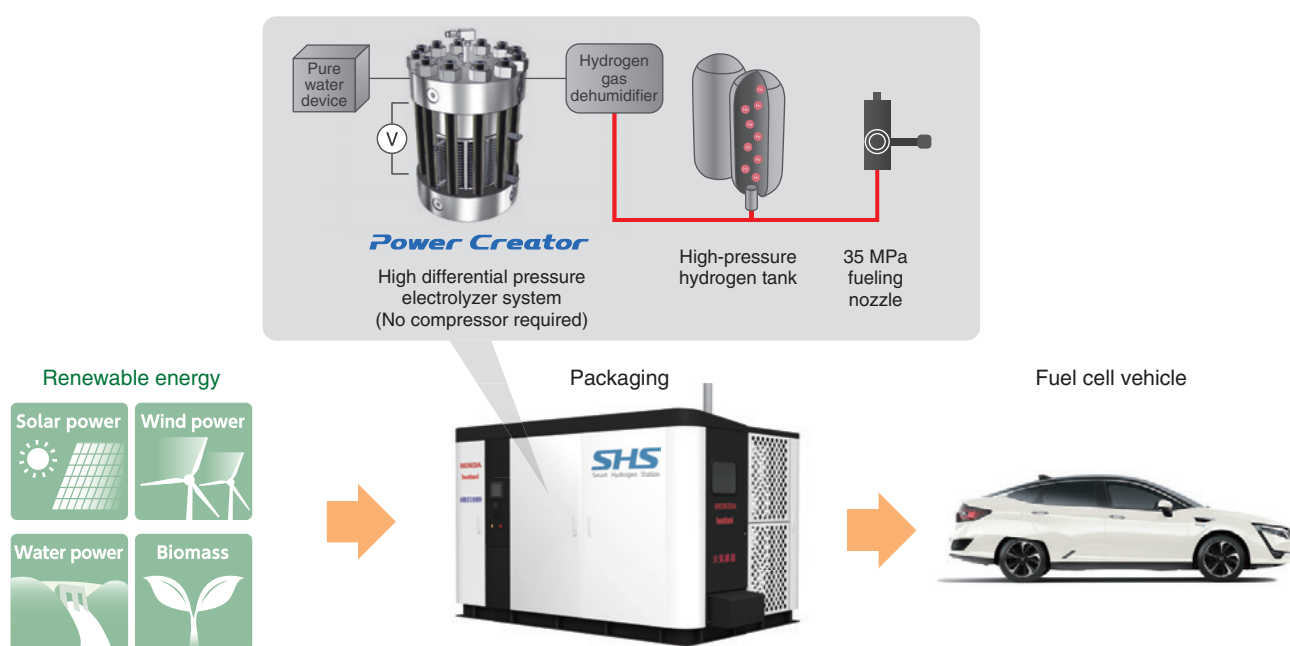


Fig. 2 Concept of SHS

Table 1 Specifications of SHS

Hydrogen production	Max capacity	1.5 kg/day (0.7 Nm ³ /h)
	Production pressure (dispensing pressure)	40 MPa (35 MPa)
	Storage capacity	Approx. 19 kg at 15°C
	Purity	>99.99%
Components	System size	W3280xD2140xH2100 (mm) Footprint: Approx. 7 m ² (10-ft container size)
	Electrolysis unit	High differential pressure electrolysis system
	Dispensing method	Double-bank cascading
	Utilities	200 V AC/tap water

ことで、複数台の車両が連続して充填する場合においても走行に十分な水素を供給できるような仕様とした。

水素がエネルギー資源として一般的に広く使われるようになる水素社会の早期の実現と、燃料電池自動車の幅広い地域への普及拡大の役割を担うために、実証試験機から下記内容を進化させた。

- (1) パッケージ化による導入の簡素化
- (2) 初めて水素充填作業をする人にもわかりやすいユーザ操作性
- (3) 水消費量の削減と、高圧水排出機構の耐久性向上
- (4) 準寒冷地域への設置拡大

3. 実証試験機からの進化

3.1. パッケージ化による導入の簡素化

これまでの実証試験機は、一般的な商用水素ステーションと同様に水素製造部、蓄圧器、ディスペンサをそれぞれ独立したユニットとして設置する手法をとっていた。しかし、こういった分散配置の方法では、ステーションの設置面積が大きくなる課題を抱えていた (Fig. 3)。また、分散するユニット間を接続する配管や配線を通すためのピット工事も必要となるため、設置工期が長期化する課題も抱えていた。これらの課題を解決することが普及の促進につながると考え、SHS はワンパッケージ化を設計のねらいとし

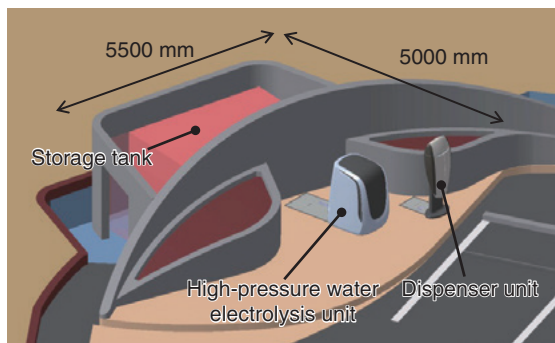


Fig. 3 External view of previous model

た。パッケージ形状は工場出荷後のトラック輸送のしやすさを念頭に輸送用コンテナを参考に検討を進めた。大きさについては輸送用としては最小クラスの 10 フィートコンテナサイズを目標と定めた。

Fig. 4 に SHS の内部構成を示す。ユーザが操作するディスペンサを前面に配置し、同じく操作対象のタッチパネルディスプレイを含む制御部を隣接する区画に設置面積が最小となるように配置した。高圧水素配管が存在する Power Creator と蓄圧器バンク切り替え用のバルブユニットは同一の区画に収納した。バルブユニットは蓄圧器の接続口の向きに合わせて正面右に配置し、高圧水素配管がシステム全体で最も短くなるようにした。

この構成により、ほぼ同じ水素製造能力と水素貯蔵量を持つ実証試験機⁽⁴⁾と比較して設置面積を約 4 分の 1 に削減できた。

また Fig. 5 に SHS のインストール作業状況を示す。工場出荷時にパッケージ製作が完了しているため、設置現場では水道と電気を接続するのみで導入が完了する。このように、導入先の基礎工事や所轄都道府県への高圧ガス設備の届出に必要な日数を除き、設置後一日で水素製造が可能となった。

3.2. 容易なユーザ操作性

車両への水素充填時にユーザが操作するのはタッチパネルディスプレイと充填ノズルの 2 点である (Fig. 6)。

タッチパネルディスプレイは、ユーザが充填操作しやす

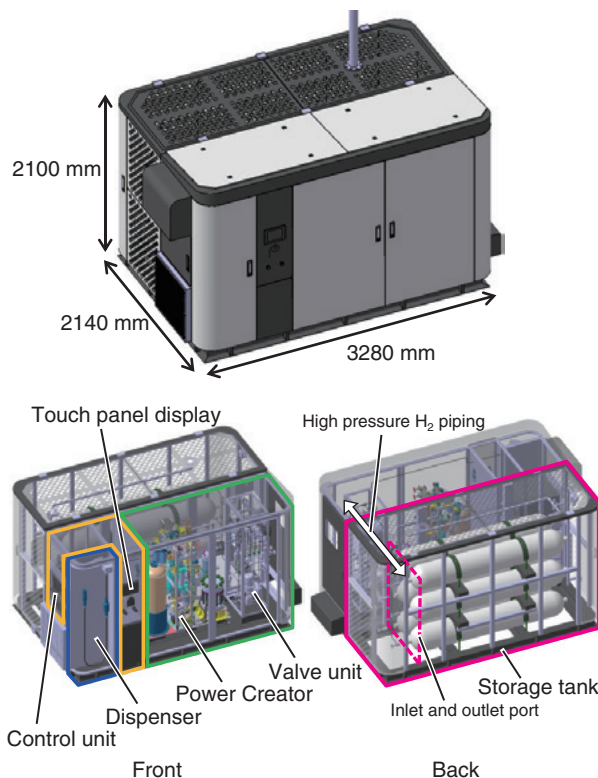


Fig. 4 Inner configuration of SHS

いように充填ノズル収納部のすぐ横に配置した。配置高さは小柄なユーザでも操作可能な高さに配置した。

Fig. 7 に充填画面操作の流れを示す。水素の車両への充填がまだ一般的に広く認知されていないことから、具体的な操作の流れを絵で表示し、ユーザに対し操作方法を視覚的にわかりやすく表示した。また、充填ノズルの水素圧力、蓄圧器の残圧力、昇圧率、温度等から計算した充填完了までの残り時間を目安として表示することで、ユーザに安心感を与えるように配慮した。

車両への充填をおこなう際、ユーザは画面の指示に従って収納扉を開けてから充填ノズルを取り出し、車両に接続する。充填ホース長さは、一般的なガソリン給油所同様にユーザが車両の停車位置に気を使うことなく充填作業が

できるように 3 m 確保し、収納扉の内側へ折り返して収納できるようにした。また、充填ノズルの収納ホルダ位置をタッチパネルディスプレイと同じ高さとし、ユーザが違和感なくタッチパネル操作からノズル操作へ移行できるようにした。

3.3. 水消費量の削減と耐久性向上

SHS は従来の実証試験期間を上回る 8 年の運用を計画している。よって、ランニングコスト低減のために水消費量の削減と、耐久性の向上に取り組んだ。

Fig. 8 に高圧水電解スタックへの電解原料水供給システムの概要を示す。塩素やミネラル成分を含む水道水を高圧水電解スタックへ直接供給してしまうと、電解効率の低下につながるということがわかっている。よって、電解原料水を供給するために水道水を純水にする純水製造装置が必要になる。これまでの実証試験機では、純水製造装置として逆浸透膜 (RO) と電気式脱イオン装置 (EDI) という共に純水製造時にイオン濃縮水を廃棄する装置を採用していた [Fig. 8(a)]。また、電解にともない高圧水素側へ移動する高圧水も廃棄していたため、電解原料水として使用する水道水の 3 分の 2 程度が廃棄されるシステムであった。

そこで、電解効率維持に必要な水質レベルの見直しと確認の結果、純水製造手法をイオン交換樹脂方式に変更し、イオン濃縮水の廃棄をなくすることが可能となった [Fig.



Fig. 5 Installation of SHS

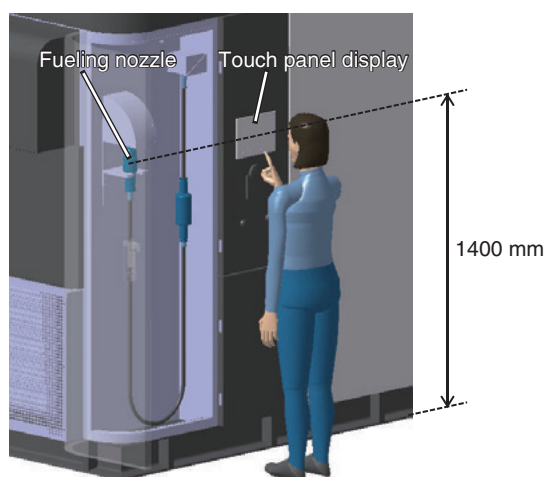


Fig. 6 User interface

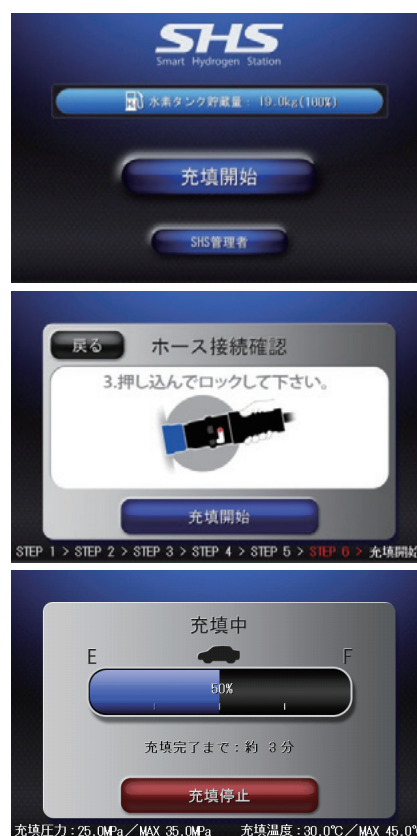


Fig. 7 Operation screen

8(b)]. また、高圧水も電解原料水として再利用するシステムにした。さらに、電解スタック発熱の冷却方法を水冷から空冷へ変更した結果、実証試験機に比べ水の使用量を10分の1以下に減らすことが可能となった。

次に、本水素製造システムの耐久性向上に向けては、高圧水の排出流路の損傷が課題となっており、排出手法の改良に取り組んだ。Fig. 9に高圧水電解システムの高圧ラインの構造を示す。高圧水電解スタックの高圧水素送出ライン中には、高圧の状態で気体の水素と液体の水が共存している。燃料電池自動車へ充填する水素については含有可能

な不純物濃度に規定があり⁽⁷⁾、水分についても分離と除去が必要となる。水分除去の一段階目として、液体の水を重力で分離する高圧気液分離器を配置した。これまでの実証試験機では、製造水素の圧力を維持しながら分離器内に溜まり続ける高圧の水を大気圧環境へ排出する手法として、複数の調圧弁を直列に配置し、段階的に圧力を下げながら排水していた。しかしながら、調圧弁内の非常に狭く短い流路隙間を水が通過して圧力が低下する過程で、水に溶け込んでいた水素が急激に発泡してしまう。この発泡現象が流路表面を傷つけてしまうため機能損失が生じた (Fig. 10)。

機能損失にいたる急激な発泡現象を抑制する手法として、調圧弁内の狭く短い隙間を通すのではなく、小口径の長い金属の微細管を通過させ、徐々に圧力を低下させながらゆっくりと水を排出する手法を採用した。この手法により、調圧弁を使用せずとも製造水素圧力を40 MPaに維持しながら、高圧水を約40 cm³/minの一定流量で排出できることが確認された。Fig. 11に微細管による排出速度の変化を示す。微細管では8000時間後も流路損傷は確認されず、8年間の運用達成の見通しを得た。

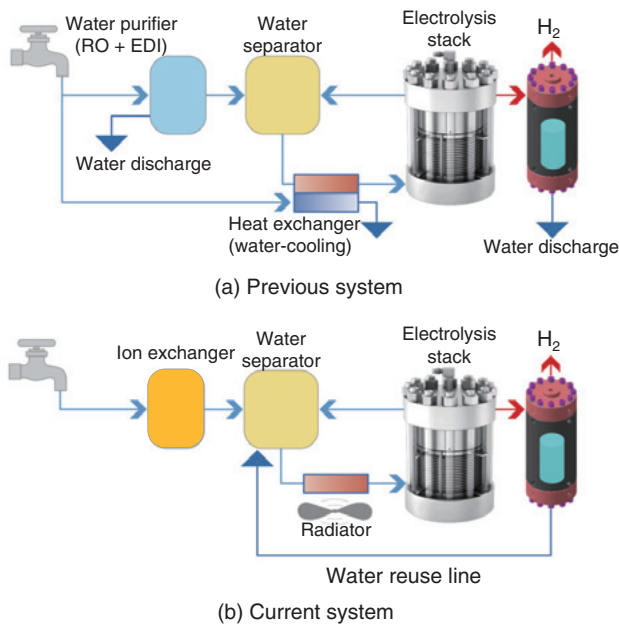


Fig. 8 Comparison of water supply systems

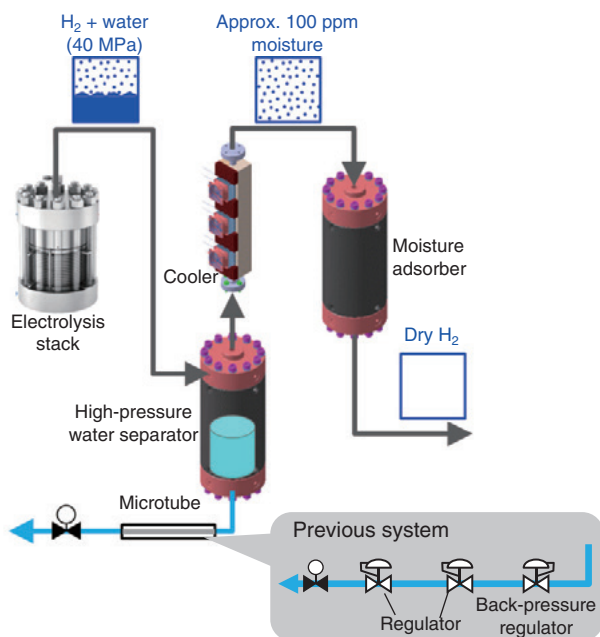


Fig. 9 Construction of water removal system in high pressure hydrogen line

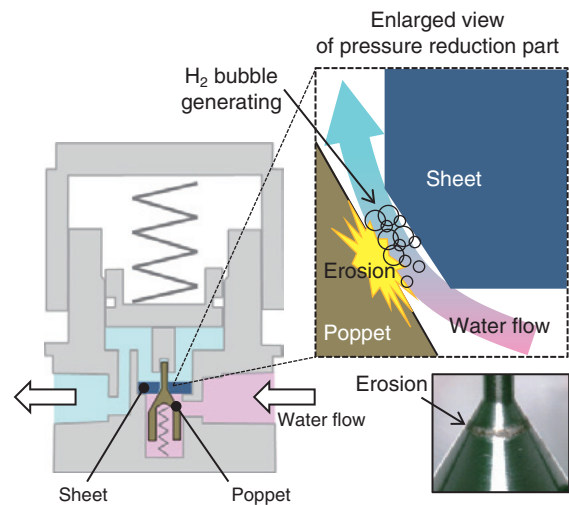


Fig. 10 Erosion mechanism of microchannel (inside of pressure regulator)

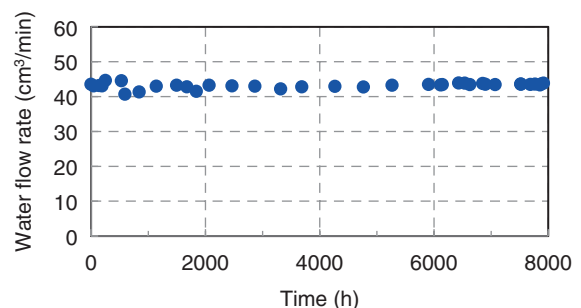


Fig. 11 Discharging water flow rate by using microtube

3.4. 準寒冷地域への設置拡大

SHS は原料としての水供給部だけでなく、高圧水素ライン内にも分離した水を保有するなど、システムの多くの部分に水が存在する。そのため今までの実証試験は冬期の水凍結のおそれのない温暖地域で実施してきた。SHS をより広範な地域に設置し水素エネルギーの利用を促進していくためには、水の凍結防止への対応が必要となる。その第1ステップとして準寒冷地域⁽⁸⁾までの設置を目指し、最低設置環境温度を -10°C と定めた。

Fig. 12 に氷点下対応の概要を示す。きょう体内は常時換気をおこなっているため、氷点下時にシステム内に存在する水が凍結しないように保温ヒータを取り付けた。また、外気に直に接している放熱器内で凍結が発生しないよう、ホース型ヒータを原料水ラインに追加した。

Fig. 13 が氷点下時の稼働データである。水温、きょう体内温度はともに 0°C 以上に保たれており、 -10°C 環境での運用が可能であることが確認された。このことより、2016年3月に宮城県仙台市において東北地方初の水素ステーションの開所が実現し、燃料電池自動車の普及拡大へ一歩前進した。

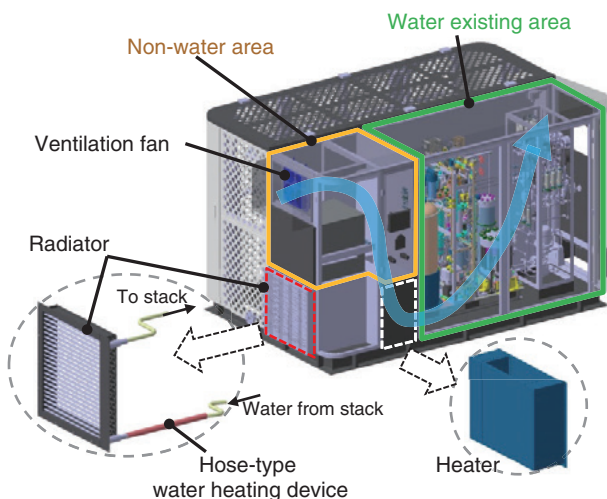


Fig. 12 Adding heating devices for semi-cold region

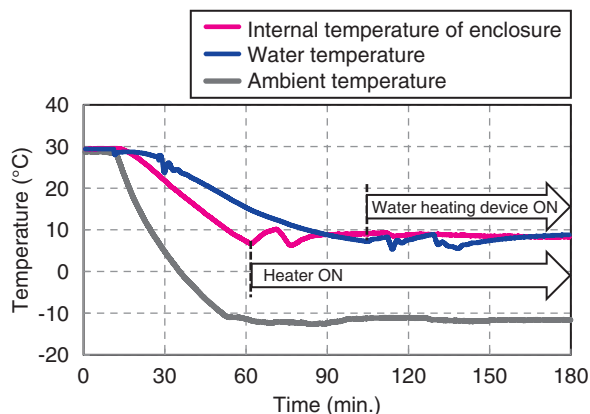


Fig. 13 Effect of heating devices

4. 設置状況

SHS は、環境省の「地域再エネ水素ステーション導入事業」が進める低炭素な水素社会の実現と燃料電池自動車の普及促進のための一つの手法として、公募と設置が進んでいる。2017年6月までに13ヶ所 (Fig. 14) に設置が完了し、公用车等の燃料電池自動車の充填ステーションとして稼働中である。今後も、要求のある地域へさらに設置を拡大し、燃料電池自動車の普及に貢献したいと考えている。



Fig. 14 Locations of SHS installations, as of June 2017

5. まとめ

ワンパッケージ型スマート水素ステーションを開発し、以下の結果を得た。

- (1) 主要コンポーネントをワンパッケージ化し、大きさを10フィートコンテナサイズとすることで、設置面積の縮小と設置導入作業の簡素化が達成できた。
- (2) ユーザ操作性を考慮し、容易に操作ができるインタフェースを構築した。
- (3) 水の消費量を10分の1以下に削減した。また、高圧水の排出手法を改良し耐久性を向上させた。
- (4) 水の凍結防止機能を追加し、設置地域を準寒冷地域まで拡大した。

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) 武内淳, 中沢孝治, 吉田喜祐, 伊藤潤, 岡部昌規, 山下郁也: 国内仕様ソーラー水素ステーションの紹介, Honda R&D Technical Review, Vol.25, No.1, p.85-90
- (5) 吉田喜祐, 三宅葵: 国内仕様ソーラー水素ステーションの実証試験結果, Honda R&D Technical Review, Vol.26, No.2, p.190-195
- (6) <http://www.fccj.jp/hystation/>, 2017/1/31
- (7) ISO 14687-2: Hydrogen fuel – Product specification – Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles, (2012)
- (8) 国土交通省: 住宅の省エネルギー基準, (2013)

■ 著 者 ■



吉田 哲也



武内 淳



浅野 裕次