

水素社会の実現に向けて導入が進む 100 kW 燃料電池システム

Ongoing Introduction of 100 kW Hydrogen Fuel Cell Systems Contributing to Realization of Hydrogen Society

矢吹 正徳 YABUKI Masanori 公野 元貴 KONO Motoki 坂田 悦朗 SAKATA Yoshiaki

エネルギー資源が乏しい我が国では、水素をエネルギーとして利用することで、二酸化炭素(CO₂)を排出しない“水素社会”の実現を目指した取り組みが進められている。

東芝グループは、水素を製造する技術から、貯蔵する技術、水素を使って発電する燃料電池技術に至るトータルソリューションを提供できるシステムの開発を進めている。その一翼を担う東芝燃料電池システム(株)は、純水素燃料電池システム“H2Rex™”の開発及び製造を行っており、発電容量が700 W, 3.5 kW, 及び100 kWの3モデルをラインアップしている。特に、普及拡大に向けた大容量の100 kWモデルは、これまでに5台が各地に設置され、様々な水素活用のニーズに応えている。また、次世代100 kWモデルでは、大幅な小型化、省スペース化、及び低コスト化を達成した。更に、この次世代100 kWモデルをベースに、出力を拡張したメガワット(MW)級モデルを開発している。

The development of hydrogen energy technologies is progressing in Japan toward the realization of a carbon dioxide-free hydrogen society.

The Toshiba Group is engaged in the development of the following three technologies to provide customers with total solution systems: (1) hydrogen production technologies, (2) hydrogen storage technologies, and (3) hydrogen power generation technologies including hydrogen fuel cell systems. As part of these efforts, Toshiba Fuel Cell Power Systems Corporation is engaged in the development and production of a lineup of hydrogen fuel cell systems called H2Rex™, consisting of three models with capacities of 700 W, 3.5 kW, and 100 kW, respectively. The large-capacity 100 kW model has already been installed at five sites as a key facility supporting the realization of a hydrogen society. We have also developed a next-generation 100 kW model that achieves downsizing, space saving, and cost reduction. Furthermore, we are working on the development of a MW-class model based on the technologies acquired through development of the next-generation 100 kW model.

1. まえがき

エネルギー資源が乏しい我が国では、水素をエネルギーとして利用して、二酸化炭素(CO₂)を排出しない水素社会の実現を目指した取り組みが「水素基本戦略」⁽¹⁾に基づいて進められている。東芝グループは、再生可能エネルギー由来の水素(以下、再エネ水素と略記)を利活用する技術の開発に取り組んでいる。その中で、東芝燃料電池システム(株)は、利活用技術のアプリケーションとして、純水素燃料電池システム“H2Rex™”の開発、製造を行っている。発電容量のラインアップとしては、小型の700 Wモデル、小規模事業所向けの3.5 kWモデル、並びに大容量の100 kWモデルの3モデルを有している。ここでは、普及拡大を目指して開発を行っている、100 kW純水素燃料電池の開発経緯と導入実績について述べるとともに、現在開発を進めている次世代100 kWモデルの特長と、更に出力を拡張したMWモデルの開発状況について述べる。


2. 100 kW機開発の取り組みと導入実績

当社は、家庭用燃料電池システムである“エネファーム”の技術を応用した小型燃料電池システムの700 Wモデルを2014年度にリリースし、2015年度には小規模業務用や移動体への適用を目指した3.5 kW級モデルをリリースしている。それらに続き、2016年度には、工場や、ホテル、オフィスなどの施設での利用に適した100 kWモデルの提供を開始した(図1)。

いずれのモデルもシステム総合効率95 %LHV^(注1)、発電効率50 ~ 55 %LHVという高い効率と、世界最高クラス^(注2)の8万時間という高い設計耐久性を備える点を特長としている。また、低温で作動するPEFC(固体高分子形燃料電池)の特長を活用して、数分程度での起動・停止を行うことがで

(注1) 低位発熱量基準。発熱量に対する発電量の比で発電効率を算出するとき、発熱量に水蒸気の凝縮潜熱を含めない算出条件。

(注2) 2018年6月現在、当社調べ。



定格	700 W	3.5 kW	100 kW
方式	PEFC	PEFC	PEFC
燃料	純水素	純水素	純水素
発電効率 (%LHV)	55	55	50以上
排熱回収効率 (%LHV)	40	40	45以上
総合効率 (%LHV)	95	95	95
電気取り合い	単相三線	単相三線	三相三線
冷起動時間	5分以内	5分以内	5分以内
設計寿命 (h)	80,000	80,000	80,000
外形寸法 (幅×奥行き×高さ) (mm)	340×510×1,493	845×580×1,898	4,000×2,400×3,500
設置環境温度 (°C)	-5 ~ 40	-5 ~ 40	-5 ~ 40
燃料純度 (%)	99.99	99.99	99.99

図1. H2Rex™のラインアップ

容量の異なる3モデルをラインアップしており、使用用途に合わせたモデルが提供できる。

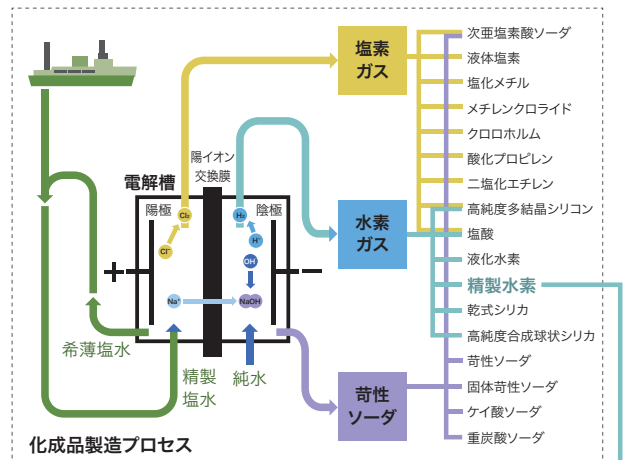
Lineup and specifications of H2Rex™

き、毎日の起動停止運転と連続運転のどちらにも対応できる柔軟な運用が可能である。

これらの水素燃料電池システムには、水素エネルギー(H₂)の反応(React)によって、電気を生み出し、私たちの生活にクロス(X)する、という想い(おもい)を込めてH2Rex™という商標を付けた。外観も、白を基調として黒をアクセントに使い、水素の持つ未来性や環境性をイメージした。この100 kWモデルのデザインは、公益財団法人日本デザイン振興会が主催しているグッドデザイン賞の燃料電池分野において、2017年度にグッドデザイン賞を獲得した。

100 kWモデルは、その発電容量の大きさから、水素ステーション、ホテルなどの商業施設への導入や、環境省が推進している「地域連携・低炭素水素技術実証事業」における水素サプライチェーンの実証試験などに用いられている。これまでに5台を製造し、北海道を含め全国各地に設置している。

図2は、初めて納入し運転を開始した100 kWモデル1号機の事例であり、山口県周南市にある周南スイミングクラブの敷地内に設置した。この100 kW機は、環境省の地域連携・低炭素水素技術実証事業として、(株)トクヤマにより運用されており、塩水を電解槽で分離して苛性ソーダ(NaOH)を製造する工程において、副生成物として生成される水素を、燃料電池の燃料として供給している。燃料



周南市周南スイミングクラブ



周南スイミングクラブに設置

H₂: 水素 Na⁺: ナトリウムイオン
 Cl₂: 塩素 Cl⁻: 塩素イオン
 H⁺: 水素イオン OH⁻: 水酸化物イオン

図2. 高純度副生水素を発電に利用した例

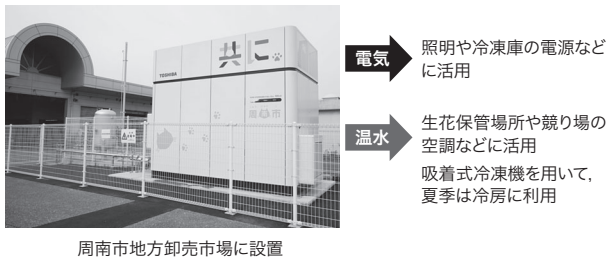
100 kWモデルの1号機であり、苛性ソーダを製造する工程で生成される高純度副生水素を発電に利用している。

Example (1) of 100 kW model application, using by-product pure hydrogen gas

電池で生成された電気は、施設の照明など電力需要の一部として活用され、発生した熱は、スイミングプールのシャワーなどの温水熱源として活用されている。

図3は、同じ山口県周南市の、地方卸売市場の敷地内に設置した事例を示している。この100 kWモデル2号機は、環境省の地域連携・低炭素水素技術実証事業として、近隣にある水素ステーションから大気に放散されていたボイloffガスを燃料として運用している。発電した電気は、市場の照明や青果保管用冷凍庫の電源の一部として活用し、発生した熱は、冬季は花の保管エリアや競り場の暖房として、夏季は吸着式冷凍機の熱源として、冷房に利用している。

図4は、1号機、2号機と同じく環境省の地域連携・低炭素水素技術実証事業の一環として、北海道エリアにおける再エネ水素導入拡大とその活用モデルの実証事業に採用された3号機の事例である。この実証事業では、北海道白糠郡白糠町の庶路ダムの水力発電による電力を用い、水分



周南市地方卸売市場に設置

図3. 水素ステーションのボイルオフガスを燃料とした例

100 kW モデルの2号機で、近隣にある水素ステーションから大気に放散されていたボイルオフガスを燃料として用いている。

Example (2) of 100 kW model application, using boil-off gas supplied by hydrogen station

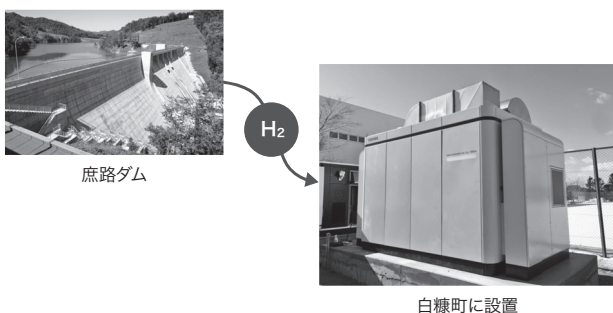


図4. 水力発電電力で生成した水素を用いた例

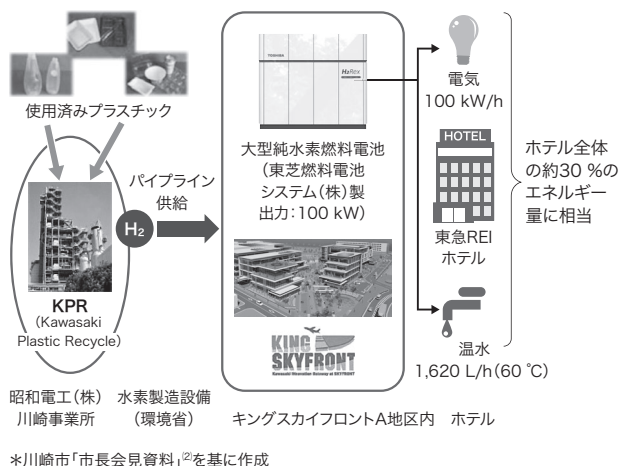
ダムの水力発電の電力を用いて生成した水素を燃料としている。寒冷地仕様になっており、-25℃までの設置環境温度に対応できる。

Example (3) of 100 kW model application, using hydrogen generated by hydroelectric power

解で生成した水素を運搬して活用する、幾つかの用途の一つとして、白糠町に設置した100 kW機を運用している。設置環境温度は、-20℃を下回ることもあるため、凍結しないように、パッケージの吸気を加温する予熱器ユニットをパッケージの両サイドに設置し、寒冷地仕様としたことが特長である。この寒冷地仕様は、-25℃までの設置環境温度に対応可能である。

100 kWモデルの4号機は、東京ガス(株)に納入した事例であり、石油精製や、化学製品製造工程、鉄工所などに代表される副生水素を活用するために、燃料電池システムの対応性の研究を進めている。

図5は、川崎市にある「殿町国際戦略拠点 キングスカイフロント」エリア内に建設された、東急REIホテルに設置した5号機の事例である。キングスカイフロントは、川崎市が進めている地域開発で、国際的な臨空都市に向けた整備拠点や、多彩な企業・研究機関との連携によって我が国を



昭和電工(株) 水素製造設備 川崎事業所 (環境省) キングスカイフロントA地区内 ホテル

*川崎市「市長会見資料」²⁾を基に作成

図5. 使用済みプラスチック由来の水素を燃料とした例

川崎市のキングスカイフロント内にある東急REIホテルに設置されている。使用済みの廃棄プラスチックから精製した水素を燃料として用いている。

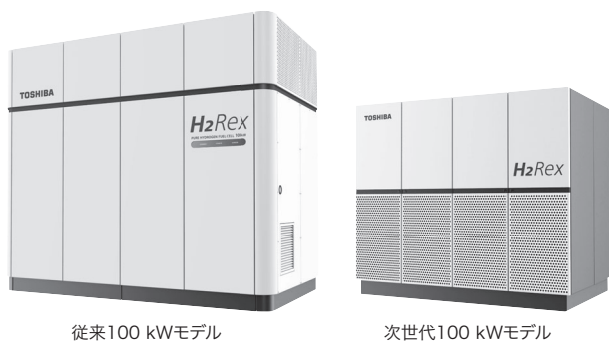
Example (4) of 100 kW model application, using hydrogen derived from used plastics

支えるものづくり技術の集積など、多様な側面を持つ。この事例では、キングスカイフロントに近い昭和電工(株)川崎事業所にて、使用済みの廃棄プラスチックから化学精製で高純度の水素を製造し、これを燃料として発電と給湯を燃料電池で行う。計画では、電力、給湯を合わせて、ホテルで使用するエネルギーの約30%を賄うことを想定しており、世界初の“水素ホテル”として2018年6月にオープンした。

3. 次世代100 kWモデルの開発

水素燃料電池システムの普及拡大を目指して、現在、開発を行っている次世代100 kWモデルでは、高効率、高耐久性という現行機の特長を維持しながら、小型・軽量化を実現することを設計・開発コンセプトとした³⁾。併せて、様々なシステム容量に向けたフレキシブルな対応をスコープに入れ、モジュール化を可能とする構造を目指した。

小型・軽量化については、機能融合などによるシステムの簡素化を徹底的に行い、従来比約30%の機器点数の削



従来100 kWモデル

次世代100 kWモデル

	従来モデル	次世代モデル
パッケージサイズ (幅×奥行き×高さ) (mm)	4,000×2,400×2,500*	2,900×2,000×2,500
質量	8.4 t	5.8 t
本体フットプリント	9.6 m ²	5.8 m ²
設置スペース (メンテナンススペース含む)	28.1 m ²	14.5 m ²

*上部パネルを取り付けた状態での従来モデルの高さは3,500 mm

図6. 100 kWの従来モデルと次世代モデルとの寸法・質量の比較

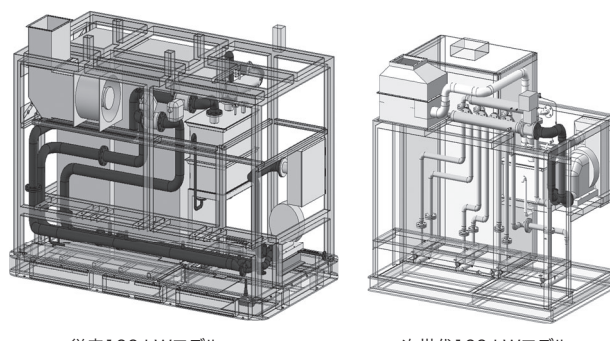
次世代100 kWモデルは、設置スペースを約50%削減するなど、大幅なコンパクト化と軽量化を実現した。

Comparison of overall size and weight of conventional and next-generation 100 kW models

減を実現した。そして、これをベースに機器の再配置を行い、メンテナンスが必要な機器をアクセスが容易で交換しやすい位置に優先的に配置するなど、メンテナンス性も考慮したパッケージレイアウトとした。その結果、パッケージ側面からのアクセスが不要となり、メンテナンススペースを、パッケージ正面と背面からそれぞれ1.5 mの範囲だけにした。これにより、パッケージ本体のフットプリントとメンテナンススペースを合わせた設置スペースは、28.1 m²から14.5 m²まで低減され、約50%の削減に成功し、従来機と比較して、設置可能場所の選択肢の増大に大きく寄与することができた(図6)。

パッケージフレームについては、構成の見直しを行い、スリム化を図りつつ、耐震設計を従来機よりも厳しい条件とし、0.6 Gの重力加速度に耐えられるフレーム強度を持つ構造とした。同時に、図7に示すように、機器を接続する配管ルーティングの最適化を図るとともに、配管の細径化、接続フランジや曲げエルボなどの継ぎ手の数を極力減らすなど、配管構成の簡素化を行った。

これらの結果として、パッケージ質量は、8.4 tから5.8 tに30%の、パッケージ容積は、24.0 m³から14.5 m³に40%の低減を達成した(図6, 図7)。



従来100 kWモデル

次世代100 kWモデル

図7. 100 kW級の従来モデルと次世代モデルのフレーム、及び配管構成の比較

従来機に対し、フレームの簡素化と、配管構成の最適化を実施した。

Comparison of arrangement of frame and piping of conventional and next-generation 100 kW models

4. MW級モデルの開発

需要規模や、用途に応じた多様な発電容量に対応するため、より大容量のMW級モデルの開発を行っている。MW級モデルは、100 kW単位でモジュール化したシステムを内蔵することで、100 kWからMW級まで柔軟に出力を拡張できる。それと同時に、設置場所に合わせたフレキシブルなレイアウトも可能となり、設置場所の選択肢を増やすこともできる(図8)。

MW級システムは、EMS (Energy Management System) を搭載し、高効率化などの各種運転制御を行うことを目指して開発を進めている。高効率化については、環境省の「CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」で開発中の技術を用いる。EMSで各モジュールの運転制御を一元化し、発電出力に応じた各モジュールの最適運転制御を行う。各モジュールの電流-電圧特性を平均の電流-電圧特性と比較することで運転状態を見極め、各モジュールの運転優先度を判断する(図8)。また、排熱回収制御についても、同様にEMSで管理することで、排熱回収効率も含めた全体システム効率の最適化を可能とする。信頼性向上については、各セルスタックの発電時間や機器特性を監視し、機器寿命の最適化や、メンテナンス周期の統一を可能とする。また、一部のモジュールが故障した場合には、ほかのモジュールにより発電を継続することで、電力供給を行いながらメンテナンスを実施することが可能になる。安全に関わるような、万が一の機器故障時には、EMSの制御により、システム全体への燃料供給を一括遮断して、システムを安

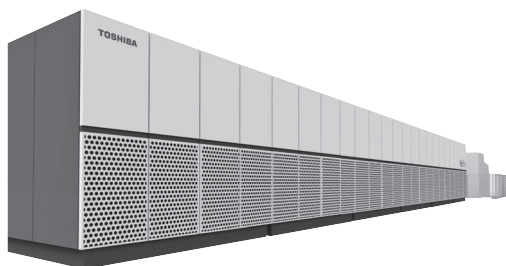
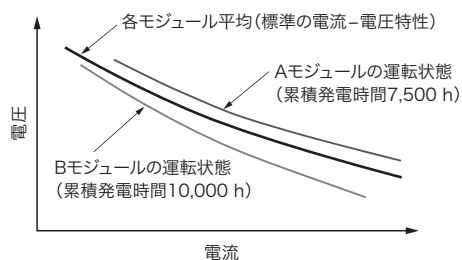


図8. MW級燃料電池システムの概要

100 kW 単位のモジュールを内蔵する構成としている。EMSにより、個々のモジュールの運転状態を監視し、電流-電圧特性から見極めて運転優先度を判断するなど、発電出力に応じた各モジュールの最適運転制御を行う。

Overview of MW-class H2Rex™

全に停止させるなど、EMSがシステム全体の安全監視機能を担う。

5. あとがき

純水素燃料電池システムH2Rex™の次世代100 kWモデルは、より多くのユーザーの要求を満たすように、配管設計や機器レイアウトを見直すことで、世界最小クラス^(注3)のコンパクトなパッケージを実現し、メンテナンススペースを含む、設置スペースの大幅な削減を可能にした。また、更に大容量のMW級モデルは、モジュール化によって、100 kWからMW級までシステム出力を拡張できる特長を備え、ユーザーの様々な需要に合わせた容量でフレキシブルに対応できる。当社は、水素社会の実現に向け、純水素燃料電池システムH2Rex™の開発と提供を続けていく。

(注3) 2017年6月現在、当社調べ。

謝 辞

小型純水素燃料電池システムは、山口県の助成「やまぐち産業戦略研究開発等補助金事業」を受けて開発・商用化されたものである。また、小型システムに使用されている、エネファームと共通な基盤技術については、経済産業省並びに新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発」を受けて、開発・商用化を行ったものである。更に、運用にあたっては、環境省の「地域連携・低炭素水素技術実証事業」、及び山口県の助成を受けている。関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議，“水素基本戦略”，経済産業省，2017，34p. <<http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-1.pdf>>，(参照 2018-05-25)。
- (2) 川崎市，“市長会見資料 キングスカイフロントに東急REIホテルが出店します ～世界初の使用済みプラスチック由来の低炭素水素を利用する水素ホテル～”，2017，10p. <<http://www.city.kawasaki.jp/170/cmsfiles/contents/0000087/87303/170516-2.pdf>>，(参照 2018-05-25)。
- (3) 佐々木祐介，ほか，“東芝燃料電池システムにおける100kW純水素燃料電池システムの開発について”，第25回燃料電池シンポジウム講演予稿集，東京，2018-05，燃料電池開発情報センター，2018，A-3，p.7-9。



矢吹 正徳 YABUKI Masanori
東芝燃料電池システム(株)
製品設計部
低温工学・超電導学会・電気学会会員
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.



公野 元貴 KONO Motoki
東芝燃料電池システム(株)
製品設計部
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.



坂田 悦朗 SAKATA Yoshiaki
東芝燃料電池システム(株)
製品設計部
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.