

水素社会実現に向けた 燃料電池システムの最新技術

Latest Technologies for Hydrogen Fuel Cell Systems Aimed at Realization of Hydrogen Society

公野 元貴 KONO Motoki 矢吹 正徳 YABUKI Masanori 山下 恭平 YAMASHITA Kyohei

近年、環境意識のグローバルな高まりから、カーボンニュートラルの実現に向けたキーテクノロジーの一つとして水素エネルギーの利活用技術が注目されている。特にその中でも、自動車、バス、及び定置発電用の燃料電池の更なる普及と用途拡大が期待されている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、純水素燃料電池システムの開発を進めている。最新の第3世代モデルである定置用燃料電池システムH2Rex™の100 kWモデルでは、現行の第2世代モデルに比べて40%の小型化と67%の低コスト化を達成した。MW級の大規模用途向けには、複数の100 kWユニットを統合的に運用するマルチMWモデルを開発し、実証試験によって高効率に運用できることを確認した。用途拡大に向けては、大型モビリティ用途向け燃料電池モジュールH2Rex™-Movの開発に着手し、船舶向け機種の基本設計を完了した。

With the rising awareness of global environmental issues, technologies for the effective use of hydrogen energy, which will play a key role in achieving carbon neutrality, have been attracting attention in recent years. Demand has therefore been growing for further expansion and diversification of these technologies accompanying the widespread dissemination of hydrogen fuel cell systems for automobiles, buses, and stationary systems.

In response to this situation, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation is actively promoting the development of pure hydrogen fuel cell systems. We have now developed the H2Rex™ as our latest-model 100 kW stationary pure hydrogen fuel cell system, which achieves reductions of 40% in size and 67% in cost compared with the former products. We have also developed a megawatt-class stationary pure hydrogen fuel cell system employing the integrated management of multiple 100 kW units and demonstrated highly efficient operation of this system. With the objective of expanding the application of these technologies, we have launched development of the H2Rex™-Mov pure hydrogen fuel cell module for large-scale transportation vehicles and implemented the basic design of a module for maritime vessels.

1. まえがき

地球温暖化や気候変動などに対する環境意識が、国際的により一層高まっている。昨今、CO₂(二酸化炭素)排出量を実質ゼロにするカーボンニュートラルの実現に向けた戦略やロードマップが各国で設定され、再生可能エネルギー(以下、再エネと略記)、電気自動車の普及拡大、水素やカーボンリサイクルをはじめとするグリーン関連技術の開発加速に向けた目標・方針が掲げられている。水素エネルギーは、CO₂排出量の削減だけでなく、エネルギー供給構造の多様化を実現するポテンシャルを持っており、我が国で策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においても、発電・輸送・産業など幅広い分野で水素エネルギーの利活用が期待され、カーボンニュートラルの推進に貢献するキーテクノロジーの一つとして注目を集めている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、再エネと水素の利活

用により、持続可能な水素社会を実現するために、水素製造技術及び製造した水素の貯蔵・利活用技術の開発に取り組んでいる。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™、H2Rex™-Movの開発・製造を行っている。

ここでは、初めに普及拡大を目指して注力している定置用燃料電池システムH2Rex™である100 kW機の第2世代モデルの導入実績について述べ、次いで小型・簡素化、低コスト化の目標を掲げて開発を進めている第3世代モデルの特長と、大規模用途向けに、100 kW機を一つのユニットとしてモジュール化し、それを複数台組み合わせることで出力を拡張した、MWモデル開発の最新状況について述べる。

また、燃料電池の用途拡大を目指して、当社製の定置用燃料電池技術の特長である高耐久性が求められる、船舶や、鉄道、建設機械などの大型モビリティ用途向け燃料電池モジュールH2Rex™-Movの開発を開始したので、その概要についても説明する。

2. 100 kW 機の第2世代モデル(現行モデル)の導入実績

100 kW機は、2016年度に第1世代モデルを商品としてリリースし、その発電容量の大きさから、工場やホテルなどの商業施設へ提供してきた。2018年度には、現行モデルの第2世代モデルを市場投入した。このシステムは、発電効率50～55%LHV^(注1)、総合効率95%LHVという高い効率と、世界最高クラスの8万時間という耐久性を保持したまま、第1世代モデルに対してサイズの42%削減とコストの40%削減を達成した。

図1に、第2世代モデルの標準モデルと福島県あづま総合運動公園(福島市)に設置したモデルを示す。あづま総合運動公園向けの100 kW機は、2020年6月に発電を開始した。その外装色は、設置周辺の施設や樹木などと調和する色にデザインしている。水素は、世界最大級の再エネによる水素製造システムである福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)より、貯蔵量2,700 m³のトレーラーで月2回程度、輸送される。今回、FH2Rの水素を使ってH2Rex™の発電を開始したことで、福島県内で水素を“つくり”、“ため・はこび”、そして“つかう”という一連のサプライチェーンを実現した。発電された電力はあづま総合運動公園内の体育館の照明や空調に使用され、発電の過程で発生する熱はお湯として利用される。必要に応じてH2Rex™近隣の蛇口から温水が供給可能となっているほか、事業継続計画(BCP)対応として非常用発電機による電力で発電し、特定の負荷に対して電力を供給する自立運転が可能と

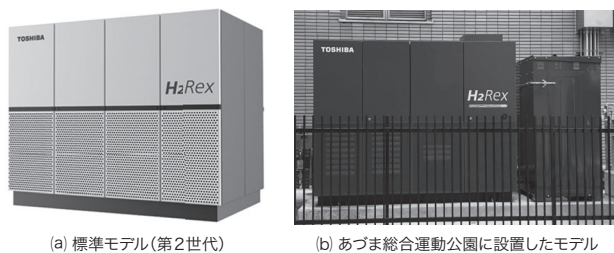


図1. H2Rex™の標準モデル(第2世代)とあづま総合運動公園に設置したモデル

あづま総合運動公園に設置したモデルは、100 kW機標準モデルをベースとして、外装パネルを現地の据付場所周辺の環境に調和する色調のデザインとした。

Standard model of H2Rex™ and model installed at Azuma Sports Park, Fukushima

(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。

なっている⁽¹⁾。

3. 第3世代の100 kW機の開発

第2世代モデルから更なるコンパクト化及び低コスト化を実現する、第3世代モデルの開発を行っている。

図2に、100 kW機の開発経緯と、コスト及びサイズの比較を示す。

第1世代モデルでは、パッケージの高さと幅の制約から、輸送手段としてトレーラーを使わざるを得なかった。しかし、第2世代モデルの開発により、大幅なサイズダウンを達成し、8 tトラックでの輸送が可能となり、輸送費や設置工事費などもコストダウンを実現することができた。そして、第3世代モデルは、更なる小型化と低コスト化のために、徹底したシステム簡素化・最適化を図った。個々にリスク評価と設計変更に対する妥当性評価を行って、電池本体の数量削減や、冷却水ラインの構成を見直し、ポンプの個数を削減した。その結果、第2世代モデルに比べて更なる小型化を達成し、輸送や設置を容易にするとともに、20フィート(6.1 m)コンテナに2台搭載可能とすることで、海外市場も含めた長距離輸送でメリットのあるサイズを実現した。

また、コストについては、第1世代モデルの70%以上の

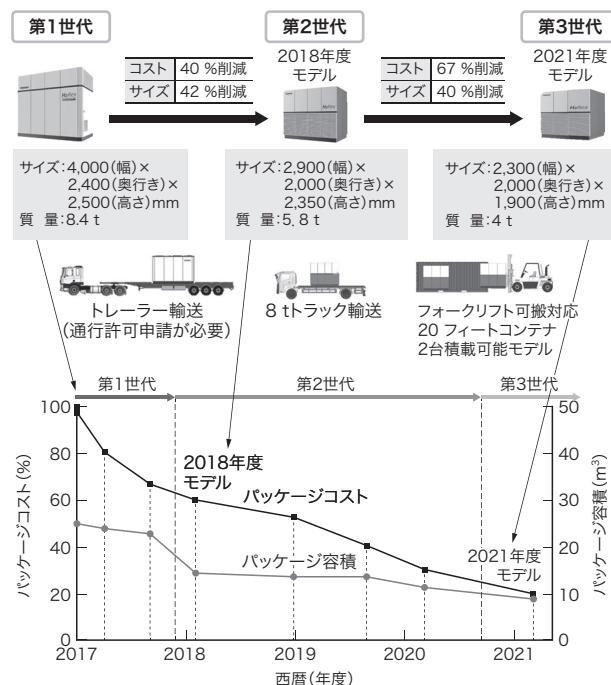


図2. 100 kW機のコスト及びサイズの推移

100 kWの第3世代モデルでは、第1世代モデルを小型・低コスト化した第2世代モデルに対して、更にコストを67%、サイズを40%、それぞれ削減した。

Changes in size and cost of 100 kW models over time

削減を目標として開発を進めてきたが、このモデルを100台製作した場合、目標を上回る80%のコストダウンを達成できる見通しが得られており、2021年度から市場投入する予定である。

4. MWシステムの開発

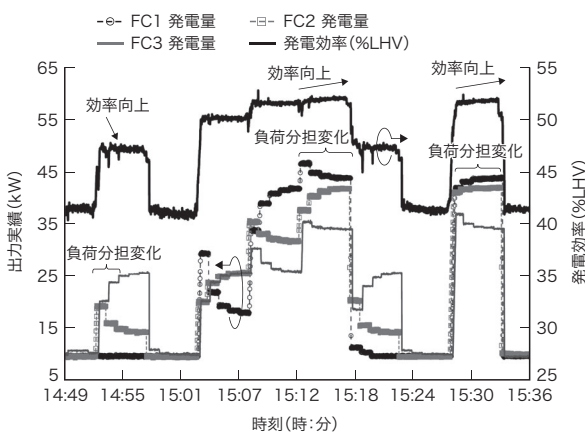
大規模用途に対応可能な水素発電システムとして、MWシステムの開発を進めている。MWシステムは、100kW機をユニットとしてモジュール化し、それを複数台組み合わせることで、100kW～MW級までを一つのシステムとして構成できる製品である。MWシステムはEMS (Energy Management System) を搭載しており、各モジュールの個別起動・停止などの運転制御により、電力需要や熱需要に応じ



図3. 複数台運用検証試験用100kWモジュール

3台の100kWモジュールのEMSを用いた運転制御により、電力需要や熱需要に応じて、高い発電効率と排熱回収率が得られる最適運転が可能であることを実証する試験を実施した。

Three 100 kW units for multiple-operation demonstration tests



FC:燃料電池

図4. 複数台運用検証試験でのデータ

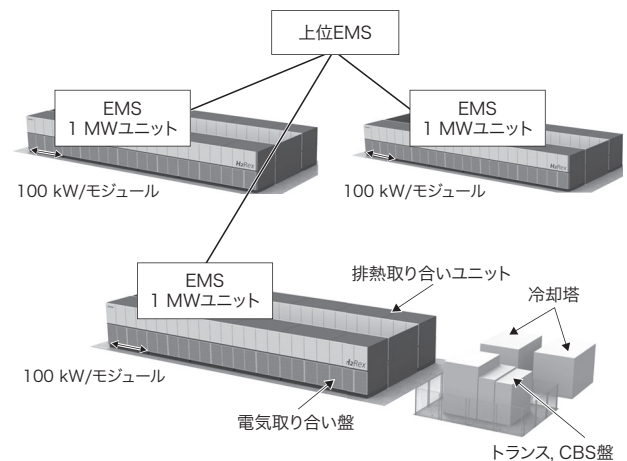
負荷変化後に、EMS制御により100kWモジュール3台で適切に負荷分担をすることで、より高い効率で発電することが可能となる。

Results of output power and power generation efficiency obtained in demonstration tests

て、高い発電効率・排熱回収率が得られる最適運転を行うことができる。各モジュールの発電時間や機器特性を考慮した、運転時間配分の平準化やメンテナンスの計画的な実施も可能となる。図3に、3台のモジュールをEMSからの制御により最適化運用する検証試験を行った際の、システムの外観を示す。また図4に、特定の負荷を複数台のモジュールで出力分担した際の運用データを示す。この検証試験により、複数台のモジュールをEMSからの制御により、負荷に応じてより発電効率が高くなる領域で出力するモジュールの台数を増やすなど、適切に負荷分担制御を行うことで、単純に出力を均等に割り振る制御を行うよりも高い効率で運用できることを実証した。

更に、1MW機を1ユニットとして複数の1MW機を統合的に運用する、マルチMWモデルの開発も進めている。各1MW機のEMSを統合する上位EMSを設置し、図5に示すように、各EMSのデータを上位EMSがネットワーク上で統合的に監視・制御を行うマルチEMS構成とすることで、マルチMW機としてより効率的な運用とする。マルチMW化することで、より広範囲の出力において高効率の発電が可能になるほか、メンテナンス時における設備稼働率の低下が防止できる。

また、電力系統と独立して発電が可能な自立運転機能として、100kW機が持つ自立運転機能を拡張し、複数台の自立運転ユニットによるロードシェア運転機能を開発中である。複数台のパワーコンディショナー (PCS) を自立並列運



CBS:Combination Starter

図5. 1 MWユニット複数台でのマルチEMS構成

上位EMSを用いて、個々にEMSが設置された複数台の1 MWユニットを監視・制御する。

Configuration of megawatt-class stationary pure hydrogen fuel cell system comprising multiple 1 MW units and energy management systems (EMS)

転することで、大容量の自立負荷や、大きな負荷変動への耐性が高まる。これによって、再エネによる自立電源システムが構築可能となるため、BCP用途としての活用も期待される。

5. 移動体向けモジュールの開発

これまでに燃料電池の実用化が進んでいる自動車、バス、定置発電用だけでなく、更なる用途拡大も期待されている。

船舶分野では、2018年に国際海事機関(IMO)が、2050年までに国際海運分野からの温室効果ガスの排出量を半減するロードマップを策定している。また、国内では、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において、船舶産業での燃料電池搭載船の普及や、物流産業で燃料電池の鉄道への実装に向けた基準規制などの整備が盛り込まれており、燃料電池を搭載する船舶や鉄道の普及・適用拡大が期待されている。

当社は以前より、移動体向けの燃料電池システムの開発を行っており、野村不動産グループのNREG東芝不動産(株)(2020年に野村不動産ビルディング(株)に商号変更)と国立大学法人 東京海洋大学の共同研究において、2016年には3.5 kW純水素燃料電池システムH2Rex™を、2019年からは30 kW純水素燃料電池システムH2Rex™-Movを供給し、電気推進実験船「らいちょうN」で運転試験を実施し、海洋環境での運用による燃料電池性能の低下がないことを確認した⁽²⁾。

更なる多用途への展開に向け、船舶や、鉄道、建設機械などの大型モビリティ用に標準型200 kW級燃料電池モジュールH2Rex™-Movの開発を開始した。大型モビリティ用途では、(1)高出力での連続運転が可能であること、(2)運航コスト、航続距離の観点からの高効率発電であること、及び(3)高い稼働率・長期運用に対応する高い耐久性があること、が求められる。定置用燃料電池システムが持つ連続出力・高効率、長寿命の特長に寄与している技術を活用して、大型モビリティへの搭載を可能とするために、更にコンパクトなモジュールとする開発を進めている。また、移動体用途に向けて、応答性や起動性の向上、用途に応じた振動、傾き、温度などの環境条件への対応、及び技術基準・規格への対応を実施している。加えて、様々な規模の移動体に対応するため、200 kW級モジュールを複数連動させることで、数百kWから数MWまでの幅広い出力に対応可能とする。図6に移動体向けモジュール、図7にこれを船舶及び鉄道に搭載した際の適用予想図を、それぞれ示す。

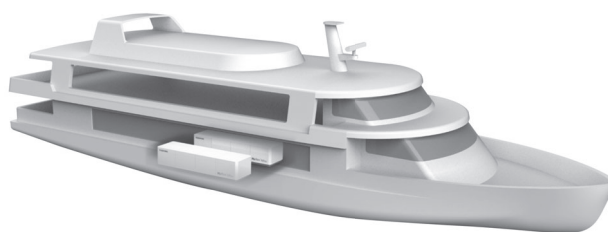
2020年から2022年は、船舶向けのモジュール開発を行



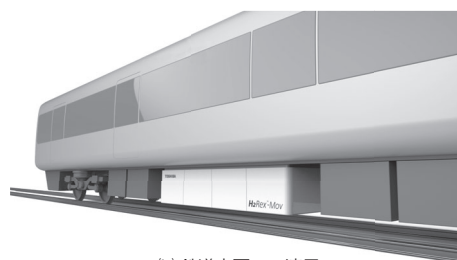
図6. H2Rex™-Movの200 kW機

200 kW級モジュールを複数連動させることで、数百kWから数MWまでの幅広い出力に対応可能とする。

H2Rex™-Mov 200 kW module



(a) 船舶への適用



(b) 鉄道車両への適用

図7. H2Rex™-Movの船舶や鉄道車両への適用予想図

定置用燃料電池システムが持つ連続出力・高効率、長寿命の特長に寄与している技術を活用して、大型モビリティへの搭載を可能とする。

Rendering of H2Rex™-Mov modules installed on maritime vessel and train

う。2020年度は船舶向けモジュールの要求仕様を調査して、モジュールの基本設計を実施し、高い耐久性を持つ定置用燃料電池技術を生かしながら、燃料電池スタックの多積層化とその最適配置、及び補機(ポンプ、ブローなど)の集約化により、コンパクト性と大容量化を同時に実現できる見込みが得られた。2021年に船舶向けモジュールの試作を行い、性能試験や、環境試験、振動試験などを予定している。

また、燃料電池搭載船の実用化に向けた実証事業として、日本郵船(株)、川崎重工(株)、一般財団法人日

本海事協会、ENEOS（株）と共同で、実証プロジェクトを開始した。2024年の実証運行を目指して、実用化に向けた燃料電池搭載船、及び水素燃料の供給に関する検討を進めている。実証試験においては、当社が開発している船舶向け燃料電池モジュールの提供を予定している。

6. あとがき

2016年度に初めて市場投入した100 kW純水素燃料電池システムH2Rex™は、進化を続け、来るべき水素社会に向けて、水素利活用技術の一つのアプリケーションとして確立されようとしている。特に第3世代モデルは、これまでの高い性能を維持しつつ、大幅なコンパクト化と低コスト化を実現した。

また、この100 kW機を単体モジュールとして複数台を組み合わせたMW機の開発・実証を進めている。

今後、これまでに燃料電池の実用化が進んでいる自動車、バス、定置発電用だけでなく、更なる用途拡大が期待されている船舶や鉄道などへの燃料電池の適用・実用化への貢献を目指していく。

謝 辞

100 kW機の複数台連携試験においては、環境省の「地域連携・低炭素水素技術実証事業」の助成を受けている。また、移動体向けモジュールの開発については、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「大型モビリティに適應する多用途型燃料電池モジュールの研究開発」の委託業務 (JPNP20003)、及び「高出力燃料電池搭載内航船舶の実用化に向けた実証事業」の助成業務 (JPNP20003) において実施している。関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 干鯛将一. “純水素燃料電池システムの開発と市場展開”. 日本における燃料電池の開発. 燃料電池開発情報センター. 2020, p.54-55.
- (2) 下道 剛, ほか. 電気推進実験船による移動型水素燃料電池システムの運転試験. 東芝レビュー. 2020, 75, 3, p.55-58.
<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2020/03/75_03pdf/f05.pdf>, (参照 2021-03-25).



公野 元貴 KONO Motoki
東芝エネルギーシステムズ (株)
水素エネルギー事業統括部 システム設計部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



矢吹 正徳 YABUKI Masanori
東芝エネルギーシステムズ (株)
水素エネルギー事業統括部 システム設計部
低温工学・超電導学会・電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



山下 恭平 YAMASHITA Kyohei, Ph.D.
東芝エネルギーシステムズ (株)
水素エネルギー事業統括部 システム設計部
博士 (環境学)
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.