

# 水素エネルギーマネジメントシステム H<sub>2</sub>EMS™ の開発

Development of H<sub>2</sub>EMS™ Hydrogen Energy Management System

佐藤 純一      勝山 実      山根 史之

■ SATO Junichi      ■ KATSUYAMA Minoru      ■ YAMANE Fumiyuki

東芝は、2015年4月に当社府中事業所内に水素エネルギー研究開発センターを開所した。この施設では、太陽光発電(PV)、蓄電池、水電解(電気分解)装置、純水素燃料電池、及び水素貯蔵タンクを組み合わせ、天候などで変動しがちな再生可能エネルギーの平準化や、需要家に応じた水素エネルギーシステムの効率的な運用を可能にする水素エネルギーマネジメントシステム H<sub>2</sub>EMS™ の開発と実証を行っている。また、水素需要の予測を行い、水素不足になることなく、再生可能エネルギーを計画的かつ効率的に活用して水素を製造するシステムを開発した。

Since the opening of the Hydrogen Energy Research & Development Center at its Fuchu Complex in April 2015, Toshiba has been accelerating the development of a hydrogen energy management system called H<sub>2</sub>EMS™ and conducting verification tests of the system in combination with a photovoltaic generation unit, a storage battery unit, a water electrolysis unit, a pure hydrogen fuel cell unit, and hydrogen tanks at this center. H<sub>2</sub>EMS™ makes it possible to level out fluctuations in renewable energy output and achieve efficient operation of a hydrogen-based energy supply system. We have also developed a hydrogen demand prediction technology to facilitate the production of hydrogen through the planned and efficient use of renewable energy.

## 1 まえがき

わが国のエネルギーをめぐる現状は、エネルギー安全保障や、化石燃料への依存、温室効果ガスの排出量増加など、様々な課題を抱えており、安全性を前提としたうえで、安定供給、経済性の向上と同時に環境への適合を図るための取組みが進められている<sup>(1)</sup>。その一つとして、太陽光発電(PV)や風力発電などの再生可能エネルギーの導入と普及が進んでいる。これらのエネルギー源は気象状況による変動が大きいことが知られており、導入量の増加に伴い、系統安定化の課題がある。水素エネルギーシステムは、これを解決する方法の一つとして注目されており、近年、様々な要素技術の研究や実証事業が進められている。

このような背景の下、東芝は、2015年4月に当社府中事業所内に水素エネルギー研究開発センターを開所した。水素エネルギー研究開発センターでは、再生可能エネルギーを用いて水素を“つくる”、“ためる”、“つかう”の一連の機能を実証するとともに、再生可能エネルギーを計画的かつ効率的に運用する水素エネルギーマネジメントシステム H<sub>2</sub>EMS™ の開発と実証を行っている。

ここでは、水素エネルギー研究開発センターで稼働している水素エネルギーシステムの概要を述べ、水素の地産地消型ソリューションとして提案している、需要家の事業所での使用を想定した水素エネルギーシステム(事業所モデル)の実証例を示す。また、事業所モデル向けに水素の製造を計画的かつ効



(a) 外観



(b) 内部の機器配置

図1. 水素エネルギー研究開発センター外観と施設内の機器 — 水素エネルギーシステムに搭載されたH<sub>2</sub>EMS™の実証試験を行う。

View of Hydrogen Energy Research & Development Center and its equipment

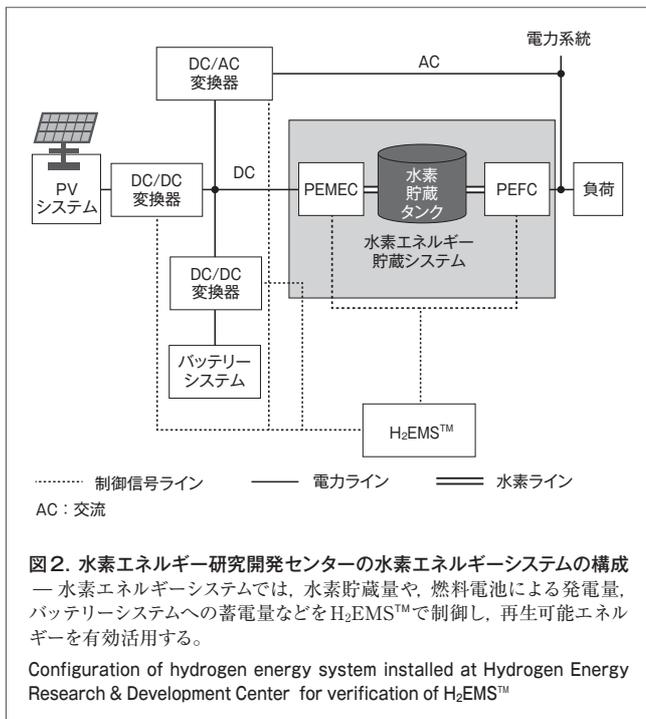
率的に行うための水素需要予測技術について述べる。更に、H<sub>2</sub>EMS™を適用して英国のスコットランドで運用する大規模実証プロジェクト LCEP (Levenmouth Community Energy Project) について述べる。

## 2 水素エネルギー研究開発センター

水素エネルギー研究開発センターの外観を図1(a)、内部の機器配置のようすを図1(b)、主要機器仕様を表1、水素エネルギーシステムの構成を図2に示す。施設の屋根には定格発電量96 kWのPVシステムを配置した。太陽光で発電した電力を用いて、DC(直流)/DC変換器を介して接続した定格水電解(電気分解)能力10 Nm<sup>3</sup>/h<sup>(注1)</sup>の固体高分子形水電解装置(PEMEC)で水素をつくる。生成した水素は最大貯蔵量150 Nm<sup>3</sup>のタンクにためて、必要に応じて定格発電量8.4 kWの純水素を用いた固体高分子形燃料電池(PEFC)で発電につかう。PEMEC、水素貯蔵タンク、及びPEFCで、水素エネルギー貯蔵システムを構成している。また、DC/DC変換器には定格蓄電容量100 kW・66 kWhのバッテリーシステムを接続した。これらの機器は、PVシステムの発電状況や負荷需要に応じて、PEMEC

表1. 水素エネルギー研究開発センターの主要機器の主な仕様  
Basic specifications of main equipment at Hydrogen Energy Research & Development Center

項目	定格
PVシステム発電量	96 kW
バッテリーシステム蓄電容量	100 kW・66 kWh
水素貯蔵タンク貯蔵量	150 Nm <sup>3</sup>
PEMEC水電解能力	10 Nm <sup>3</sup> /h
PEFC発電量	8.4 kW



(注1) Nm<sup>3</sup>は0℃、1気圧の状態に換算した体積。

の水素生成量、PEFCの発電量、及びバッテリーシステムの充放電量をH<sub>2</sub>EMS™により制御する。このようにH<sub>2</sub>EMS™を導入することにより、PVの出力変動吸収や、需要予測に沿ったPEFCとバッテリーシステムの制御を行い、需要家に応じた水素エネルギーシステムの適切な運用ができる。

更に水素エネルギー研究開発センターのH<sub>2</sub>EMS™には、発電パターンと負荷パターンの外部入力も可能にしているので、リアルタイムの実証だけでなく、様々な発電環境や需要状況を想定した実証も可能である。実証結果の一例を図3に示す。これは、PVシステムからの電力は燃料電池自動車(FCV)や燃料電池フォークリフト(FCフォーク)のための水素製造に使うことを基本とし、かつ電力系統からの受電量にしきい値を設けてピークカットする事業所モデルについて実証した例である。

図3のように、負荷電力の増加に伴って受電電力があらかじめ設定したピークカットしきい値(20 kW)を超えるまで、全てのPV発電電力はPEMECでの水素製造のために使用されている。この間、負荷電力は、電力系統からの受電電力と最低出力運転を行っているPEFCの発電電力で賄われる。受電電力がピークカットしきい値を超えると、PV発電電力は負荷電力を賄うために使用され、その分PEMECで使われる水素製造電力は抑えられる。ここで、PV発電電力が大きく変動しているが、この変動に合わせて水素製造電力を変動させることで変動を吸収し、電力系統からの受電電力はあまり変化していないことがわかる。更に、PV発電電力が急激に低下し、ピークカットしきい値を超える負荷を賄えなくなると、PEFCの発電電力を増加させる。PEFCの定格発電量は8.4 kWであるため、これ以上必要な場合は、バッテリーシステムから電力を供給する制御となる。このように、水素エネルギー貯蔵システムを用いてPV発電電力の変動を吸収でき、更に電力系統から受電する電力のピークカットも可能であることを実証した。

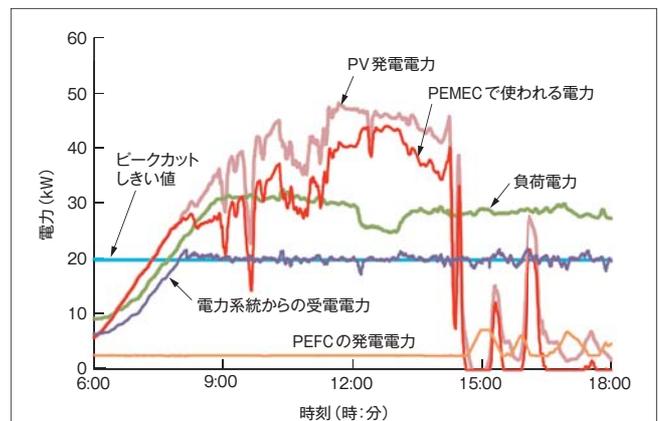


図3. 発電量と負荷に応じた実証試験結果の例 — 水素エネルギー貯蔵システムによるPV発電量の変動吸収と電力系統からの受電量のピークカットを、H<sub>2</sub>EMS™で適切に制御できることを実証した。

Example of results of power generation verification tests

### 3 事業所モデル向け水素需要予測技術

#### 3.1 水素需要予測技術の概要

物流拠点や工場などの事業所において、FCフォークの普及が進んでいくと予想される。燃料である水素の製造スケジュールを作成するためには、いつどのくらいの水素需要があるかの予測が必要になる。この技術は、次の特徴を備えており、扱う荷物の種類や量が異なる施設にも適用できる。

- (1) 水素充填時の水素充填量情報で運用できるので、リアルタイムのFCフォーク運用情報を持っていない施設でも適用できる。
- (2) 過去実績データとカレンダーといった情報で運用できるので、事前出荷情報や入荷情報を持っていない施設でも適用できる。
- (3) FCフォークの充填待ち確率を設定することで、予測対象日の水素需要量の変動分布を考慮できるので、コスト優先や稼働率優先などの各事業所の要望に合わせた運用ができる。
- (4) 段階的なFCフォークの導入や規模の拡張に合わせて、任意のエリア設定と複数台の水素充填機にも対応できる。

#### 3.2 水素需要予測のフロー

水素需要予測のフローを図4に示す。水素需要予測は、以下の4ステップで行う。

1番目のステップでは、予測対象日における需要量変動の時系列パターンを表す“パターンモデル”を生成する(図4(a))。曜日などのカレンダー情報といった分類因子を用いて事前に抽出した過去データに対して、同じ傾向を持つグループ分類を行い、もっとも多くのデータ数を含むグループから時系列パターンモデルを作成する。

2番目のステップでは、予測対象日の終了時刻での累積水素需要量を表す“日量モデル”を生成する(図4(b))。これには、1番目のステップで選択したグループの過去データを用いる。

3番目のステップでは、予測対象日の各時間帯(任意に設定可能)での水素需要量の取りうる変動幅を表す“変動分布モデル”を生成する(図4(c))。これは、1番目のステップで抽出した過去データの全てを用いて作成する。

4番目のステップでは、1から3番目のステップで得られたモデルを組み合わせ、予測対象日の“24時間分の水素需要予測”を生成する(図4(d))。変動分布を考慮しない水素需要予測を“基本水素需要”とし、実績値との比較などの内部処理で使用する。基本水素需要に対して、変動分布を反映させ、最終的な予測結果として出力する。

変動分布のどの範囲を使用するかを決める際に用いるFCフォーク充填待ち確率の設定は、ユーザーが行う。すなわち、FCフォークの充填待ち確率を小さくするために水素を多めに製造し稼働率を優先するか、FCフォークの充填待ち確率を大きくしてでも水素の製造量を抑えてコストを優先するかを、扱う商品や事業所の運用方針などに応じて、ユーザーが任意に設定できる。

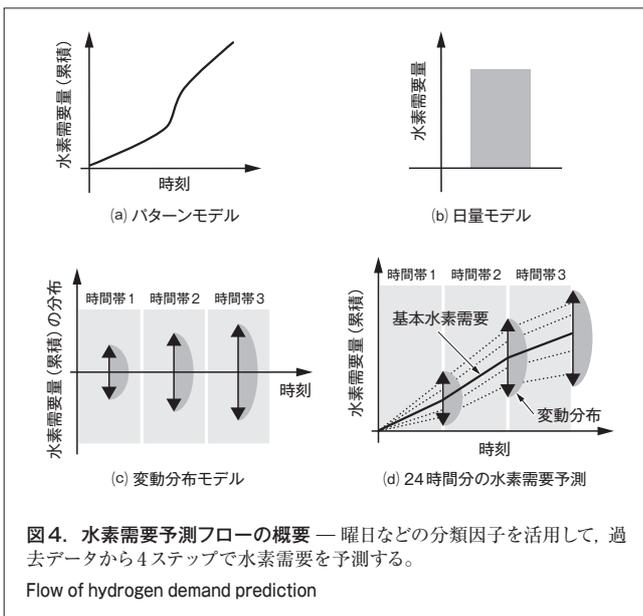
予測と実績には差が生じるが、複数の予測手法を状況に応じて適用し、予測値の更新を行って対応する。“再予測機能”では、過去データの時間的な連続性だけを考慮する時系列的な処理で予測値を更新する。これにより、これまで存在しなかったパターンが発生した場合や、過去データが十分に蓄積されていない場合に対応できる。“パターン変更機能”では、現在の実績パターンにもっとも近いパターンモデルを探し、使用可能なものが存在すれば、予測で使用するパターンモデルを置き換えて予測値を更新する。これにより、予測が外れ続けるのを防ぐことができる。“予測結果修正機能”では、上記二つの機能により得られた予測に使用するパターンモデルの水素需要量の値と、実績パターンの水素需要量の値が一致するように調整を行い、予測値を更新する。

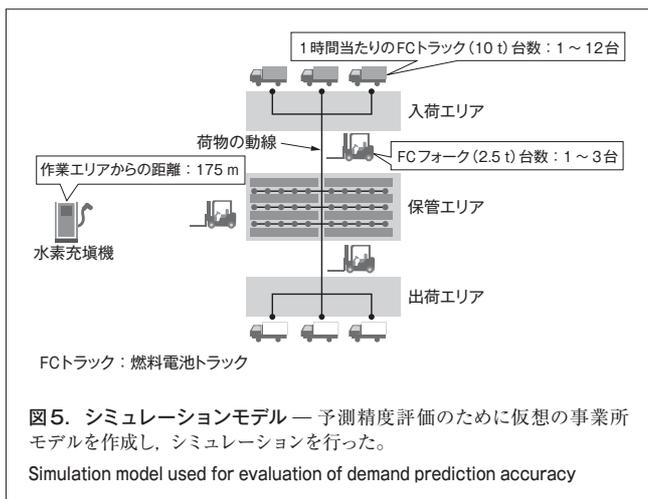
#### 3.3 シミュレーションによる予測精度の評価

水素需要予測の精度を評価するために、仮想の事業所モデル(図5)を作成し、シミュレーションを行った。事業所モデルに沿った2年分のデータを作成し、前半の1年分を学習用データ、後半の1年分をテスト用データとして評価した(テストサンプル法)。分類因子には月、曜日、及び週を用いた。

必要な予測精度は、水素製造設備の水素製造に必要な時間と水素貯蔵タンク容量から定義される。今回は、この技術を適用する予定の水素製造設備能力から、30%の予測精度があれば、次の予測タイミングまでに必要量の水素を製造でき、フォークリフトの運用に影響を及ぼすことがないと試算している。

四つのシナリオについてシミュレーションを行った結果、平





均で約19%の予測精度が得られ、水素需要を必要な精度で予測できることを確認した。

#### 4 英国スコットランドでの実証プロジェクト

LCEPは、当社が英国スコットランド政府の「Local Energy Challenge Fund」の公募に対して、Bright Green Hydrogen社やスコットランドの地方自治体であるFife Councilなどとコンソーシアムを組んで採択されたものである。スコットランドは風力を中心とした再生可能エネルギーの導入が進んでおり、最終

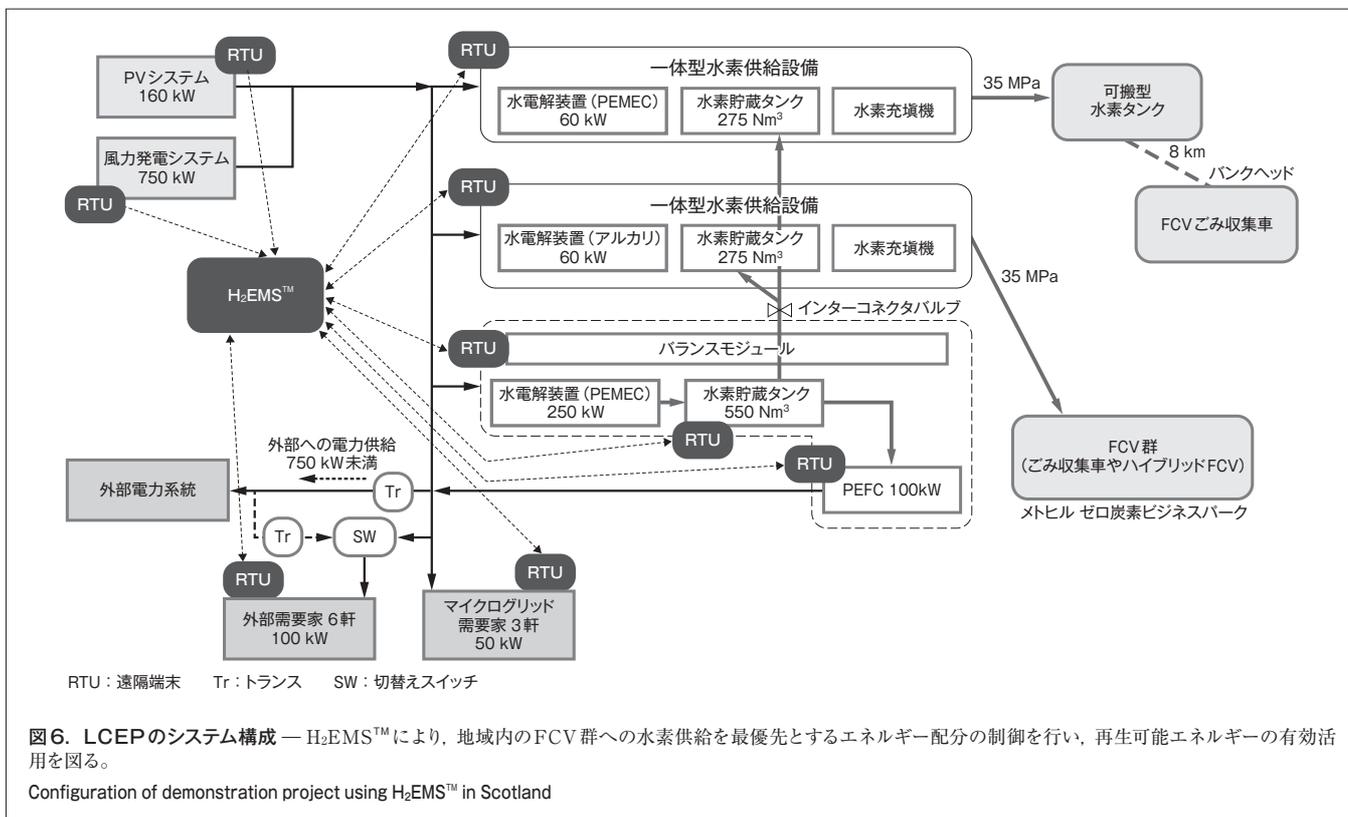
エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合が、英国の平均4.2%に対し11.6%である<sup>(2)</sup>。

LCEPの実証サイトはエジンバラ空港からおよそ40kmの北東に位置する、スコットランドのファイフのメトヒルに構築されている。LCEPは、複数のハイブリッドFCV (FCVと電気自動車のハイブリッド) に対する水素供給と、ビル群への電力供給を目的としており、当社はH<sub>2</sub>EMS™を提供している。LCEPでは、既設の750kWの風力発電システムに加え、160kWのPVシステムを新設し、これらで発電する再生可能エネルギーを用いて、新設する3台の水電解装置で水素を製造し、貯蔵する。そして、この水素を2台のFCVごみ収集車及び15台のハイブリッドFCVに供給する。また、更に余った再生可能エネルギーや燃料電池1台を使い、マイクログリッドに接続する需要家以外に、外部のビル群にも電力供給を行う。

LCEPの全体システム構成を図6に示す。ここではH<sub>2</sub>EMS™の運用アルゴリズムの基本方針として、以下の優先順位で再生可能エネルギーを活用するとしている。

- 第1優先：FCVへの水素供給 (水素製造と保存)
- 第2優先：マイクログリッド (Private Wire) への電力供給
- 第3優先：外部需要家への電力供給

この考えを基に運用ルールを条件ごとに細かく作成し、これに基づいて各機器の制御を実施している。例えば、24時間以内に必要の水素量が水素貯蔵タンク内にない場合、水電解装置による水素製造を最優先として再生可能エネルギーを活用



する。このとき、再生可能エネルギーの変動に合わせて、3台の水電解装置への供給電力をコントロールして、0%から100%の間で出力制御を実施する。また、インターコネクタバルブの開閉制御により、水素タンク間での水素の融通も合わせて実施している。更に、再生可能エネルギーの余剰分やPEFCでの発電電力を使って、マイクログリッドの需要家への電力供給と外部需要家への電力供給も合わせて実施しており、余剰の大きさにより供給する負荷を切り替えるなどの制御を実施している。このようにLCEPで、実規模でのH<sub>2</sub>EMS<sup>TM</sup>の効果実証を行っていく。

## 5 あとがき

持続可能で安心、安全、快適な社会を目指して、太陽光や、風力、水力などの再生可能エネルギーと水素を利活用した水素地産地消型ソリューションと水素サプライチェーンソリューションを提案し、高効率で大容量の機器開発、システム開発、及び実証試験を進めている。

今後、水素エネルギーシステムの高効率運用に向け、電気とともに熱も有効利用するH<sub>2</sub>EMS<sup>TM</sup>の最適化を進め、様々な需要家のニーズに応じたソリューションを提案していく。

## 文 献

- (1) 経済産業省. エネルギー基本計画. 経済産業省, 2014-04, 77p. <[http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/140411.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf)>, (参照 2016-06-10).
- (2) The Scottish Government. Energy in Scotland 2015. The Scottish Government, 135p. <<http://www.gov.scot/Resource/0046/00469235.pdf>>, (accessed 2016-06-10).



佐藤 純一 SATO Junichi, Ph.D.

エネルギーシステムソリューション社 電力・社会システム技術開発センター 次世代エネルギー技術開発推進室長, 博士(工学)。水素エネルギーシステムや水素電力貯蔵システムの研究開発に従事。電気学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center



勝山 実 KATSUYAMA Minoru

エネルギーシステムソリューション社 電力流通システム事業部 系統ソリューション技術部。スマートグリッドシステムのエンジニアリング業務に従事。Transmission & Distribution Systems Div.



山根 史之 YAMANE Fumiyuki

エネルギーシステムソリューション社 次世代エネルギー事業開発プロジェクトチーム参事。水素システムの開発及び事業開発に従事。New Energy Solutions Project Team