

自立型水素エネルギー供給システム H₂One™

H₂One™ Hydrogen-Based Autonomous Energy Supply System

橘高 大悟

田上 哲治

加藤 新

■KITAKA Daigo

■TANOUE Tetsuharu

■KATO Shin

東芝は、水素社会の実現に向けて燃料電池や、水素製造・貯蔵システム、エネルギーマネジメントシステムの開発を進めており、その一つとして、再生可能エネルギーを利用したCO₂（二酸化炭素）フリーの自立型水素エネルギー供給システムH₂One™を開発した。気象条件によって発電出力が変動する再生可能エネルギーを水素の形で貯蔵することで、純水素燃料電池で必要なときに電気と温水を供給できる。災害時に電力と熱を供給するためのBCP（事業継続計画）モデルと、ホテルやリゾート施設内のエネルギーを100%自給自足できるリゾートモデルの展開を進めている。

Toshiba has been making continuous efforts to realize a hydrogen society through the development of a variety of technologies for fuel cells, hydrogen production and storage systems, and energy management systems (EMS). As part of these efforts, we have developed the H₂One™ lineup, which is a hydrogen-based autonomous energy supply system free of carbon dioxide (CO₂) emissions that makes use of renewable energy and produces hydrogen as a fuel for power generation.

H₂One™ uses renewable energy sources, including a photovoltaic (PV) power generation system as the primary energy source, and produces hydrogen while utilizing the generated power by leveling variations in the amount of PV power generated. Once the hydrogen is stored in a hydrogen storage tank, H₂One™ can supply facilities with electricity and hot water produced by a hydrogen fuel cell using the stored hydrogen, as needed. We are now developing the following two models in the H₂One™ lineup: (1) a business continuity plan (BCP) model to supply electricity and heat in the event of a disaster, and (2) a resort model to realize self-sufficiency in electricity for facilities in hotels and resorts.

1 まえがき

経済産業省のエネルギー基本計画に明記されている水素社会の実現に向けた動きが活発化している。東芝は、純水素燃料による固体高分子形燃料電池（PEFC）や、高効率の水素製造システム、電力系統制御を含めてエネルギーを高効率に扱うエネルギーマネジメントシステムなどの開発に長年取り組んでおり、これらコアとなる技術を統合して、水素社会の実現に向けたシステムの製品開発を進めてきた^{(1),(2)}。

その一つとして、再生可能エネルギーを一次エネルギー源として発電した電力を、水素の形に変換して貯蔵し、必要なときに純水素PEFCにより電気と温水を供給できるCO₂（二酸化炭素）フリーの自立型水素エネルギー供給システムH₂One™を開発した。太陽光や風力などの再生可能エネルギーは気象条件によって発電出力が変動しがちだが、このシステムでは電力の余剰分で水素を作って貯蔵し必要なときに使用することで、電力供給を平準化し無駄を減らして有効に活用できる。

2015年4月から川崎市で、非常時のBCP（事業継続計画）向けとしてH₂One™ BCPモデルの実証運転を進めている。また、水素吸蔵合金を採用した水素貯蔵効率が高くより安全な、ホテルやリゾート施設向けのH₂One™リゾートモデルの提供を、2016年3月から開始した。

ここでは、H₂One™リゾートモデルを中心にその概要と特長

について述べる。

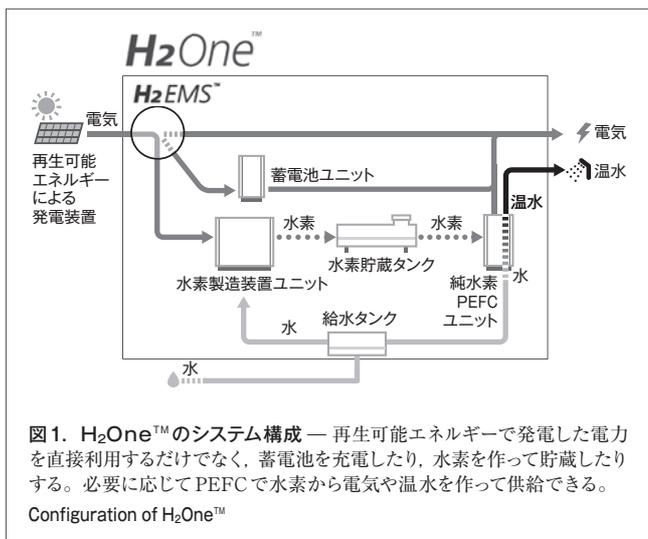
2 H₂One™のコンセプト

太陽光や風力などの再生可能エネルギーは、天候の状況や時間帯などによって発電量が大きく変動する課題がある。変動を吸収するために、電力を水素として貯蔵し必要なときに利用する技術が鍵となっている。水素としてエネルギーを貯蔵する大きなメリットは、蓄電池と異なり、省スペースでかつ大容量をためることができ、更に水素容量は減衰しにくいので長期間にわたって貯蔵できる点にある。

以下に、H₂One™を構成する主な装置を示す。

- (1) 太陽光や風力などの再生可能エネルギーによる発電装置
- (2) 蓄電池
- (3) 水電解（電気分解）式水素製造装置（以下、水素製造装置と略記）
- (4) 水素貯蔵タンク
- (5) 純水素PEFC

システムの構成例を図1に示す。再生可能エネルギーで発電した電気を直接利用するだけでなく、余剰電力を蓄電池に貯蔵する。あるいはその余剰電力を用いて水を電気分解し、水素を発生させて貯蔵する。需要に応じて水素を純水素PEFCに送り、電気と温水を作って供給できる。これらの装置は、当



社が開発した水素エネルギーマネジメントシステムH2EMS™で制御し、運用の最適化を図っている。

3 H2One™ BCPモデル

過去の大災害の経験を基に、各コミュニティレベルにおける非常用電源の確保が重要視されている。その電源として再生可能エネルギーが注目されているが、日々の変動が大きく、天候に左右されやすいため、災害時の直接利用には大きな問題がある。そこで、貯蔵した水素を使って発電した電気とその過程で発生する熱で作った温水を、災害時に供給することを目的に、H2One™ BCPモデルを開発した。

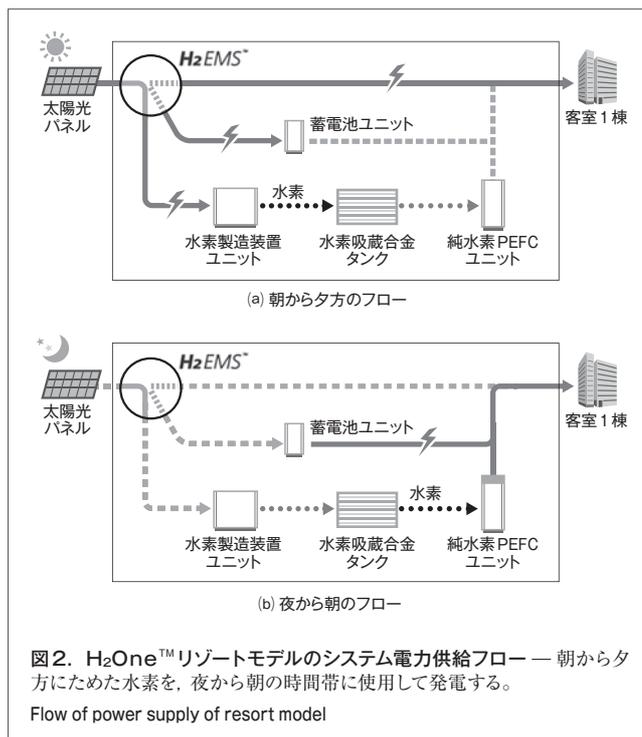
災害時にライフラインが絶たれた場合に、貯蔵している水素からエネルギーを供給でき、更に太陽光発電も稼働できるため、自立して電気と温水を供給できる。複数の20フィート(6.1m)コンテナにパッケージングしたこのモデルは、トレーラでシステム自体を被災地に輸送できる特長を持つ。

このモデルは川崎市臨海部の公共施設 川崎市港湾振興会館(川崎マリエン)及び東扇島中公園に設置して、2015年4月20日から実証運転を行っている⁽³⁾。このシステムでは貯蔵した水素を使い、300名に約1週間分の電気と温水を供給できる。

4 H2One™リゾートモデル

観光・リゾート地では、豊かな自然環境が産業基盤となっている。そのため、CO₂排出量の削減や再生可能エネルギーの積極的な導入など、環境に配慮した取組みが国内外のホテル・観光業界で積極的に推進されている。

そこで当社は、再生可能エネルギーと水素を活用し、ホテルやリゾート施設内のエネルギーを100%自給自足できるH2One™リゾートモデルを開発した。



電力供給の時間帯によるフローを図2に示す。ここでは、再生可能エネルギーとして太陽光を想定している。

朝から夕方は、太陽光発電した電力を負荷側に供給する(図2(a))。昼間に発電電力が需要電力を上回る場合は、余剰電力を蓄電池に充電するのに加えて、水素製造装置を稼働して水素を製造し貯蔵する。発電電力が需要電力を下回る場合は、不足分を蓄電池と純水素PEFCから供給する。夜間には太陽光発電がないので、蓄電池と純水素PEFCから電力を供給する(図2(b))。

これらの動作はH2EMS™で制御しており、天候や時間帯に左右されずに安定して電力を供給できると同時に、純水素PEFCで発生する熱を使って温水を作ることで、再生可能エネルギーを無駄なく活用できる。

4.1 水素吸蔵合金の導入

ホテルやリゾート施設は、エネルギーインフラが十分整っていない地域に建設されることもあるため、H2One™リゾートモデルは電力系統がない場所でも設置できる必要がある。再生可能エネルギーで自給自足する場合、問題になるのが天候や日照時間の季節変動である。3章のBCPモデルと異なる点は、年間を通じて季節変動に対応するための大量の水素を貯蔵し、かつ長期間にわたって有効に水素を利用できる技術が必要なことである。

省スペースで大容量、かつ安全で長期間水素を貯蔵するには、水素吸蔵合金が有効である。当社における水素吸蔵合金の開発は古く、1984年に水素吸蔵合金を電池として利用する研究を世界に先駆けて発表し、1994年にはニッケル水素電

池のトップシェアを獲得した。更に2000年には超格子構造を持つまったく新しいLaMgNi（ランタン-マグネシウム-ニッケル）系の水素吸蔵合金を開発した。現在のニッケル水素電池に広く使用されている。

水素吸蔵合金は、体積当たりの水素貯蔵量が多く、また吸蔵後は水素化物に変化するため、低圧においても水素を高密度で安全に貯蔵できる材料である。ニッケル水素電池以外の用途として、水素貯蔵タンクが有望であり、水素エネルギー供給システムに適する。

今回、H₂One™リゾートモデル向けに、この水素吸蔵合金を採用した水素貯蔵タンクを新たに設計・開発した。BCPモデルに採用した低圧水素ガスタンク（0.8 MPa）の体積を約1/10に縮小でき（図3）、ホテルのように敷地面積が限られる場所への設置が容易になる。

水素吸蔵合金は、冷却することで金属水素化物として水素を吸収し、その過程で発熱する。逆に加熱すれば水素を放出する可逆的な性質を持つ（図4）。貯蔵した水素を用いて純水素PEFCで発電する際には熱エネルギーが発生するが、この熱を利用して水素吸蔵合金からの水素放出を促すことで連続的に水素放出が可能なシステムとした。これを実現するため、純水素PEFCの排熱を有効利用でき、かつ1 MPa未満でタンクを運用できるように合金組成とタンク構造を最適化した。

H₂One™リゾートモデルの鳥かん図とコンテナ間のエネルギーフローを図5に示す。コンテナ複数個の設置スペースに大容量の電力を貯蔵している。そのうち1個のコンテナには

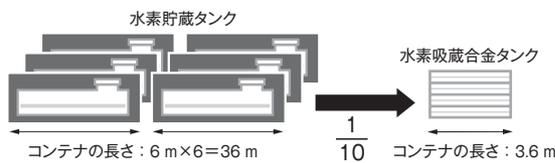


図3. 水素貯蔵タンクの小型化 — 水素吸蔵合金の使用で、コンテナの長さを1/10に縮小できる。

Reduction of hydrogen storage alloy tank dimensions

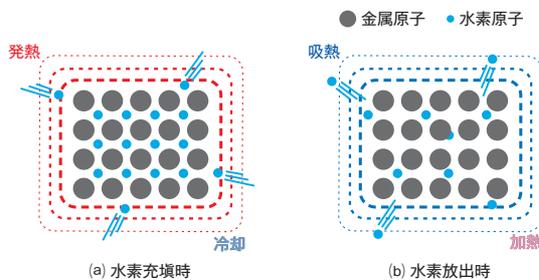


図4. 水素吸蔵合金による水素吸放出 — 水素充填時は発熱し、水素放出時は吸熱する。

Principle of hydrogen adsorption and desorption of hydrogen storage alloys

図6に示す水素吸蔵合金タンクが格納されており、高密度の水素をより安全に貯蔵している。

4.2 シーズンシフトの実現

H₂One™リゾートモデルの最大の特長は、次の点である。

- (1) 夏季に太陽光発電の余剰電力で水素を製造して、水素吸蔵合金内に貯蔵する。
- (2) 冬季には太陽光発電の出力が下がるため、夏季に貯蔵した水素を利用して発電する。

年間でのエネルギー収支例を図7に示す。夏の間太陽光発電の余剰電力を使って水素を作り、これを日照時間が短くなる冬季に使用して、電力不足を補っていることがわかる。

このように、H₂One™リゾートモデルは、太陽光発電からの電力を年間で調整（シーズンシフト）できる新しいコンセプトの水素エネルギー供給システムである。

再生可能エネルギーとして太陽光発電を用い、CO₂フリーで年間を通じてホテルへ電力を供給する場合を例にする。ホテルに対して50 kWの電力と20 L/minの給湯能力を持つH₂One™を設置した場合には、発電電力60 kWの太陽光発電の電力で水素を製造し、最大1.5 MWhの電力を貯蔵することで、シーズンシフトを達成できる。

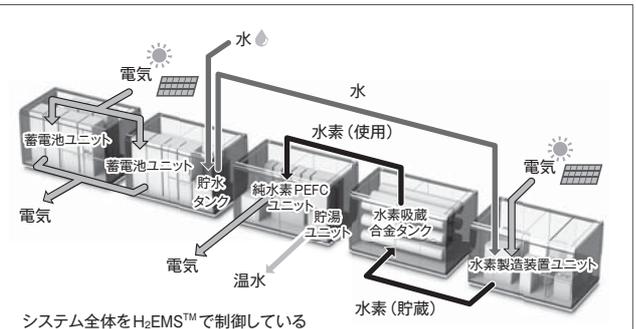
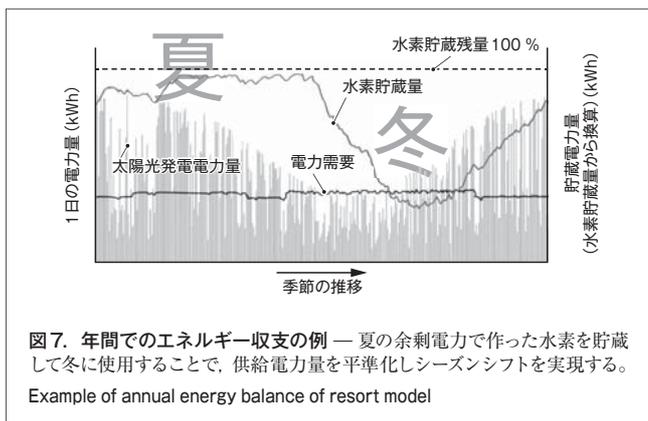


図5. H₂One™リゾートモデルの鳥かん図とエネルギーフロー — 複数個のコンテナに構成機器が格納されており、大容量の電力を貯蔵できる。
Bird's-eye view and energy flow of resort model



図6. 水素吸蔵合金タンク — タンクは複数個で構成されており、フレームに納められている。
Hydrogen storage alloys tank



今後は更に水素貯蔵機能を強化し、完全地産地消型のエネルギー供給システムとして、リゾートだけでなく、エネルギーコストやエネルギーセキュリティの点で大きなメリットが期待される離島への展開も予定している。

4.3 気象予測の活用

H₂One™を制御するH₂EMS™は、電力のピークシフトやシーズンシフト、BCPモードなどの運用を行う。また、気象予測データを利用して運転計画を立案し、水素製造装置、純水素PEFC、及び補機の運転を行うことも可能である。

気象予測データにより、日中に太陽光発電電力が多く見込まれる場合には、日の出前から蓄電池の電力で水素製造装置を稼働させて、水素の製造と貯蔵を始めることも可能である(図8)。蓄電池の電力を利用することでより多くの水素を製造し、太陽光発電電力の有効利用を実現している。

純水素PEFCから電力を供給する場合、太陽光発電電力、蓄電池充電残量、及び水素貯蔵量を基に最適な運転を行うことで、水素消費を抑えることが可能になる(図9)。

気象予測データと実際の気象が一致しない場合には、実際の太陽光発電電力、蓄電池充電残量、及び水素貯蔵量を基に電力を供給することが可能である。

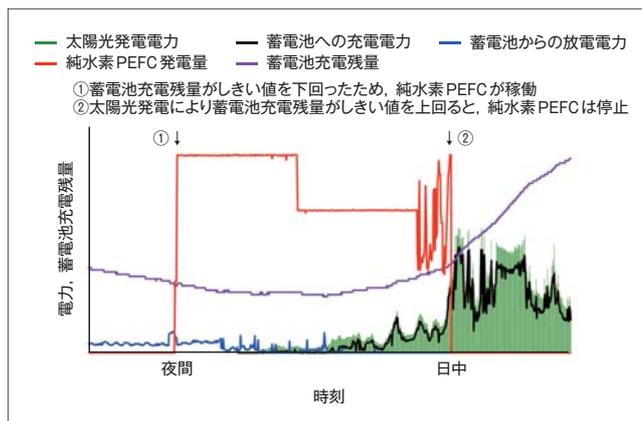
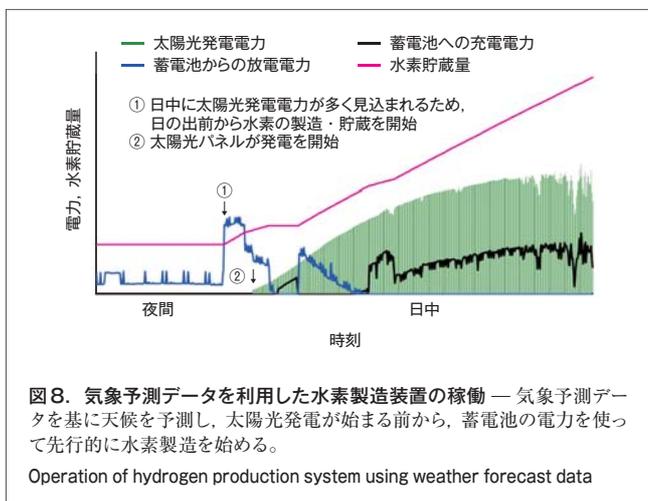


図9. 太陽光発電電力と蓄電池残量に応じた純水素PEFCの稼働 — 太陽光発電電力が少ないときに蓄電池残量がしきい値を下回ると、純水素PEFCが稼働して必要な電力を供給する。

5 あとがき

当社は、再生可能エネルギー由来のクリーンな水素を利用する各種の技術開発と実証試験を行っている。ここに示したH₂One™のように、地産地消型の、新たな付加価値を持つクリーンエネルギー源としての利用拡大もおおいに期待できる。

当社は、太陽光や、風力、水力といった再生可能エネルギーを利用した発電システムや、水素製造装置、純水素PEFCなど水素社会の実現に必要な技術を併せ持つ企業として、グループ内の技術を融合し、今後も水素の製造から活用までを実現する水素ソリューションを積極的に展開していく。

文献

- 中島 良 他. 水素製造や燃料電池など水素社会に向けた技術への取組. 電気評論. 99, 11, 2014, p.38 - 42.
- 吉野正人 他. 高効率な水素電力貯蔵システム. 東芝レビュー. 70, 5, 2015, p.8 - 11.
- 小野田裕之 他. 再生可能エネルギーを用いた自立型水素エネルギー供給システム. 電気設備学会誌. 36, 4, 2016, p.234 - 237.



橘高 大悟 KITAKA Daigo

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主務。水素エネルギーシステムの設計・開発に従事。

New Energy Solutions Project Team



田上 哲治 TANOUE Tetsuharu

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主務。水素エネルギーシステムの設計業務に従事。

New Energy Solutions Project Team



加藤 新 KATO Shin

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主務。水素エネルギーシステムの電気設計に従事。

New Energy Solutions Project Team