

(解説)

水素社会の到来を見据えた水電解式水素発生装置HHOGの開発状況

石井 豊*・中尾末貴

Development Status of HHOG Aimed at Arrival of Hydrogen-Based Society

Yutaka ISHII・Sueki NAKAO

要旨

(株)神鋼環境ソリューションは将来の水素社会の到来を見据え、固体高分子電解質膜を用いた水電解式水素発生装置HHOG (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator) の技術開発に取り組んでいる。近年は再生可能エネルギーの変動電力を用いた水素製造技術開発に関する実証事業に参画し、その成果や当社がこれまで蓄積してきた知見を活用してHHOGのさらなる改善、改良に取り組んでいる。その成果として、HHOGのシステム構成機器の仕様見直しにより、従来のHHOGと比べてイニシャルコストおよび装置の設置面積を低減することができた。これは水素発生量が60 Nm³/hの装置の場合では、それぞれ約30%および約20%に相当する。また、水素製造時の消費電力低減については、従来と比べて約10%低く抑えた電気分解モジュールの開発により、水素製造効率を向上できた。このほか、太陽光発電電力の急激な変動に追従してHHOGで水素製造可能であることも複数の実証試験を通じて確認でき、再エネ水素ステーション用途や複合エネルギー貯蔵システム向けの水電解装置として利用できることが実証された。

Abstract

In anticipation of the coming hydrogen-based society, Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. has advanced the technical development of a water electrolysis hydrogen generator, HHOGTM (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator), using solid polymer electrolyte membrane (PEM). In recent years, the company has participated in a demonstration project for developing hydrogen production technology using fluctuating power from renewable energy and is working on the further improvement and refinement of HHOG based on the results and knowledge that have been accumulated so far. As a result of reviewing the specifications of HHOG system components, the initial cost and equipment installation area have been reduced by approximately 30% and 20%, respectively, compared with those of the conventional HHOG with a base output capacity of 60 Nm³/h. In addition, an electrolysis module has been developed whose power consumption during hydrogen production has been reduced by approximately 10% compared with that of the conventional model, thus improving the efficiency of hydrogen production. Furthermore, several demonstration tests have confirmed that HHOG can produce hydrogen following rapid fluctuations in photovoltaic power generation, revealing its applicability to renewable energy hydrogen refueling stations and to water electrolyzers for hybrid energy storage systems.

キーワード

水素発生装置、水電解、固体高分子電解質膜(PEM)、水素社会、再生可能エネルギー、変動電力、低炭素化、水素ステーション

ま え が き = 水素は、その利用時にCO₂発生を伴わないクリーンな二次エネルギーとして注目されるなか、水素社会の実現に向けて2017年12月に「水素基本戦略」¹⁾が、また2019年3月には「水素・燃料電池戦略ロードマップ」²⁾が策定された。それらの戦略やロードマップにおいては、水素利用の拡大、および太陽光や風力をはじめとする再生可能エネルギー（以下、再エネという）由来水素の利活用を推進するための具体的なアクションプランが示されている。

水素をエネルギーとして利活用する際には、石油や天然ガスなどの従来エネルギーと同等のコストを実現させること、すなわち水素製造コストの低減が求められる。このため、水素発生装置などのイニシャルコストの低減、および水素製造効率の向上のための技術開発が必要である。

(株)神鋼環境ソリューション（以下、当社という）はこれらの技術開発を重点開発項目として位置づけ、国の研究開発プロジェクトなどを活用しながら、当社製品の水電解式水素発生装置（High-purity Hydrogen and Oxygen Generator、以下HHOG^{注1)}という）の技術開発に取り組んでいる。

その成果として、HHOGのシステム構成や機器の仕様の見直しなどにより、従来のものと比べてイニシャルコストおよび装置の設置面積を低減することができた。これらの低減は、水素発生量60 Nm³/h装置の場合ではそれぞれ、約30%および約20%に相当する。

いっぽう、水素製造時の消費電力低減の開発も進めており、水素製造に関わる消費電力を従来と比べて約10%

脚注1) HHOGは(株)神鋼環境ソリューションの登録商標である。

* (株)神鋼環境ソリューション 新規事業推進部

低く抑えた電気分解モジュールを開発した。これにより、水素製造効率を向上させることができた。また、太陽光発電電力の急峻（きゅうしゅん）な変動に追従してHHOGで水素を製造可能であることも実証を通じて確認した。

本稿では、水素社会の到来を見据えたHHOGの技術開発状況について紹介する。

1. HHOGの概要

HHOGは、固体高分子電解質膜（Polymer Electrolyte Membrane、以下PEMという）を用いた純水の電気分解方式を採用している。図1に純水の電気分解の原理を示す。PEM形水電解の場合、PEMが電解質として機能して純水を直接電気分解するという原理上、発生する水素には不純物が含まれにくく、高純度（99.999%以上）の水素ガスの製造・供給が可能である。また、水素ガスの一般的な供給方式である圧縮水素の場合と比較して、高压ガス保安法に該当しないことや、ガスボンベなど空容器の交換作業の手間が不要であること、容器交換の際の不純物混入のリスクがないことなどの特長も有する。このほか、原料が純水であり危険な化学物質や薬品などを一切使用しないこと、装置内の水素保有量が少ないことから安全性が高いこともHHOGの特長である。

HHOGの納入実績は、国内と海外を合わせて180台以上（2019年8月現在）と豊富であり、PEMを用いた水電解式水素発生装置として国内トップシェアを有する。上述のようにHHOGはオンサイトでの水素製造が可能であることから、工業用途でボンベやカードルの代替として利用されているほか、太陽光発電や風力発電などの再エネ由来の変動電力を用いて水素を製造・利用する実証など、さまざまな分野に採用されている。

当社では、再エネ由来電力を用いてHHOGによって水素を製造し、その水素を利用した実証試験を行った。次章以降でその実験の概要と成果を報告する。

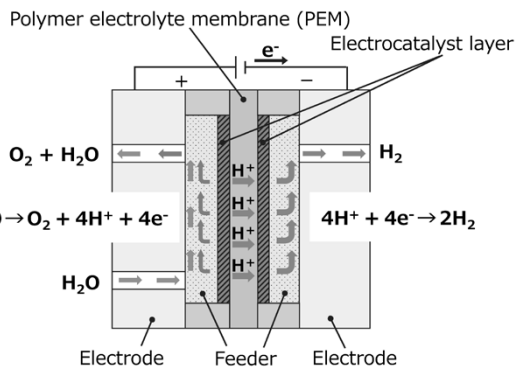


図1 純水の電気分解の原理
Fig.1 Principle of electrolysis of pure water

2. 環境省実証事業³⁾

2.1 実証事業の目的

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」²⁾では、燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle、以下FCVという）の加速的な普及や水素ステーションの自立化に向け、2019

年度以降から水素ステーションの整備地域拡大が示されている。水素利用拡大に向けFCVが重要な役割の一翼を担うと期待されており、2020年までに4万台程度、2025年までに20万台程度、2030年までに80万台程度普及させることが目標として掲げられている。

また、「水素基本戦略」¹⁾においては、2020年度までに主に四大都市圏以外の地域において、水素製造時も含めてトータルで低炭素である再エネ由来水素ステーションを100箇所程度、商用水素ステーションの整備と連携しながら整備することを目指すことが掲げられている。

水素ステーションにおいて低炭素化を実現させる方法の一つに、化石燃料由来の水素へ再エネ由来水素（以下、再エネ水素という）を一部混合させる運用方法が挙げられる。

再エネ水素を活用する水素ステーションシステムの設計・製作・運用などにおいては、技術課題を抽出し、解決しなければならない。このため当社は、(株)神戸製鋼所および(株)神鋼エンジニアリング&メンテナンスと共同で、環境省が進める実証事業^{注2)}に参画した。本実証事業では、水素ステーションにおいて再エネ水素をFCVの燃料用として利用し、CO₂排出量の削減に寄与するシステムを構築することを目的とした。

2.2 再エネ水素ステーション向けHHOGの設計、製作

本実証システムにおいて当社は、再エネ由来電力によって水素を製造・供給する水素発生装置を担当し、①水素発生装置のインシヤルコスト低減、②ダウンサイジングの実現を踏まえた実証用HHOGの設計・製作、および③実証運転における技術的な検証を行った。HHOGの設計にあたっては、装置のインシヤルコスト低減やダウンサイジングを図るため、フローの簡略化や省スペース化を検討し、装置設計に反映した。実証事業用HHOGの外観を図2に、仕様を表1に示す。本節では、今回の実証向けに検討したHHOGの主な仕様について述べる。

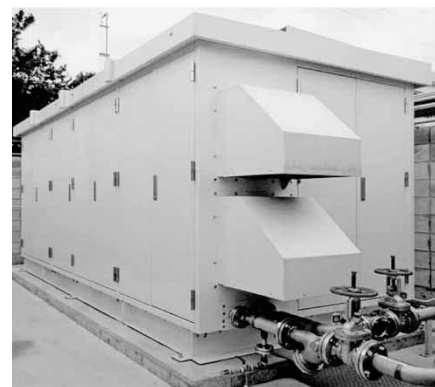


図2 環境省実証事業用HHOGの外観
Fig.2 General view of HHOG for demonstration project of Ministry of the Environment (MoE)

脚注2) 事業名称：CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「中規模（1.5 kg/h程度）の高圧水素を製造する再エネ由来水素ステーション関連技術の開発・実証

表1 環境省実証事業用HHOGの仕様

Table 1 Specification of HHOG for demonstration project of MoE

Item	Specification	
Output capacity	20 Nm ³ /h	
Purity of H ₂	≥99.999%	
Feed pressure	Approx. 0.82 MPa(Gauge)	
Dew point of H ₂	≤70℃	
Dimensions	Length	Approx. 4,600 mm
	Width	Approx. 2,000 mm
	Height	Approx. 2,200 mm
Others	Outdoor specification (Measures against wind, rain and salt damage)	

2.2.1 屋外仕様

水素ステーションを建設する際には、建屋面積の最小化による建設費の抑制が求められることから、設備は可能な限り屋外に設置することが望ましい。このため、今回の実証事業用HHOGは、従来の屋内仕様ものを屋外設置が可能になるよう筐体（きょうたい）構造の仕様を変更した。また、実証場所が海に面した地域であったことから、風雨対策のみならず塩害対策も講じた仕様とした。

2.2.2 安全対策

水素は可燃性ガスであり、空気中における爆発濃度の範囲が4~75%と非常に広い。このため、水素発生装置には安全面に十分配慮した設計が求められる。水素発生装置内に水素ガスを保有するというリスクに対しては、HHOG内の水素保有量の最小化をはじめとして、水素漏洩（ろうえい）対策を反映した装置設計や、装置出荷前の製品検査による水素漏洩リスク低減、および水素漏洩時のインターロック対策を講じている。また、今回のような筐体構造の場合、水素が万一筐体内で漏洩すると水素が滞留し、高濃度の水素雰囲気形成されるリスクが高まる。このため、筐体内を換気しながら筐体内部の水素濃度を常時監視することによって設備の安全性を確保できる仕様とした。

2.2.3 再エネ電力供給

水素の製造において太陽光発電や風力発電などの再エネ由来電力を活用する場合、さまざまな入力電力パターンが想定される。このため、今回の実証事業における電力供給設備は、①再エネ電力のみでの運転、②系統電力のみでの運転、および③再エネ電力と系統電力とを任意の比率で混合した運転が可能となるよう設計した。

HHOGでは直流電源によって電気分解を行うため、系統電源を用いる場合にはまずAC/DCパワーコンディショナで交流から直流に変換し、続いてHHOG用DC/DCコンバータを用いて水電解に適した電圧に変換して水素製造を行った。今回の実証事業に採用した電力供給回路を図3に示す。

以上の要素を反映した実証事業用HHOGを（株）神戸製鋼所高砂製作所に設置した。同製作所内にある既設の実証用水素ステーションにHHOGを連結後、同設備と連携した実証運転を開始した。

2.3 実証内容および結果

2.3.1 HHOGの適用性

再エネ水素ステーション実証事業設備全体の概略フローを図4に示す。今回の実証事業では、再エネを活用した水素ステーションとしてのシステム構築・運用の実用化を目指した。このため、既設の実証用水素ステーション

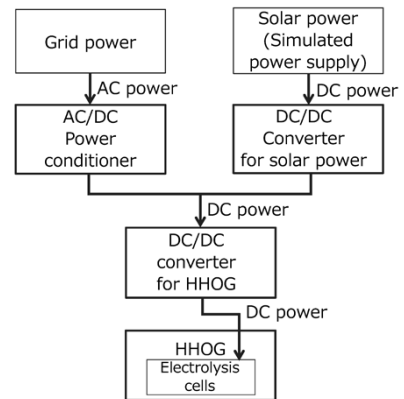


図3 環境省実証事業用HHOGへの電力供給回路
Fig.3 Power supply circuit to HHOG for demonstration project of MoE

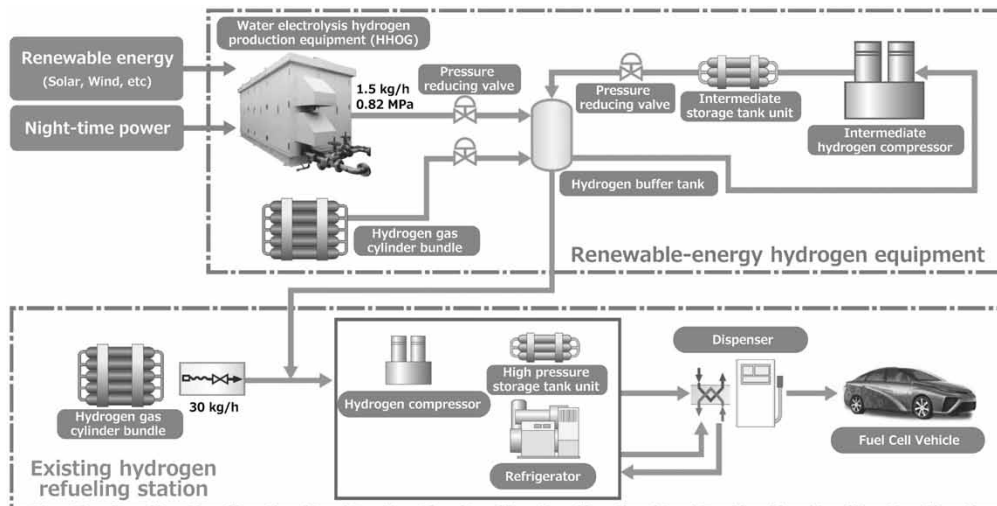


図4 再エネ水素ステーション実証設備の概略フロー
Fig.4 Outline flow of facilities for demonstration project of renewable energy hydrogen refueling station

ョン（水素供給能力300 Nm³/h）のユニットにHHOG（水素製造能力20 Nm³/h（1.5 kg/h程度））を併設し、従来使用されている化石燃料由来の水素と再エネ水素とを混合して水素ステーションで利用することを想定した実証を行った。

再エネ水素の混合比率は、水素製造能力ベースで6%程度となる。FCV黎明期においてはFCVへの水素充填頻度は少ないと想定される。本実証事業用設備は、3時間に1台程度の充填頻度であれば供給する水素全量を再エネ水素で賄うことが可能な構成となっているため、実用性の高いシステムであると考えられる。

つぎに、本実証事業設備で実施した運用方法の概要を述べる。HHOGで製造・供給された再エネ水素は、一時的に水素バッファタンクに貯留されたのち、中間水素圧縮機で昇圧され、中間蓄圧器へ充填貯蔵される。中間水素圧縮機は蓄圧器内の圧力が規定範囲内となるよう間欠的なが稼働する。

HHOGと、中間水素圧縮機および周辺機器（以下、中間ユニットという）との連携性に関しては、中間水素圧縮機の起動・停止の影響を受けることなくHHOGの運転状態が安定し、定格性能を発揮できることを判断基準として定め、その検証・確認を行った。

中間ユニットとの連携運転時における、水電解用電源として安定電源（系統電源）を使用した場合と、変動電源（太陽光発電模擬電源）を使用した場合との水素発生量および水素発生圧力の経時変化をそれぞれ図5、図6

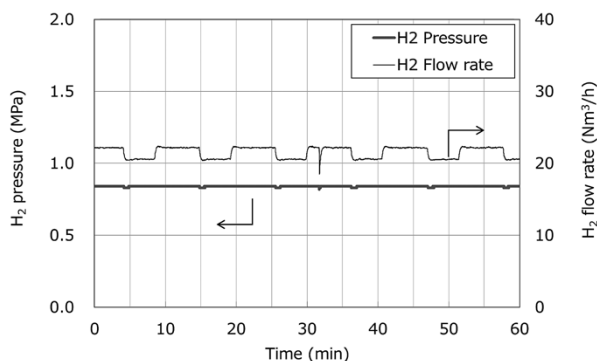


図5 水素発生流量と水素発生圧力の経時変化（安定電源の場合）
Fig.5 Trend of hydrogen flow rate and pressure of HHOG in case of stable power supply

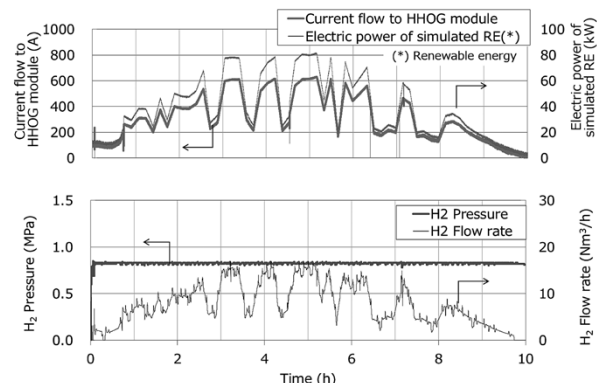


図6 太陽光模擬電源を用いた場合のHHOGの運転状態（夏季・曇天時を模した運転）
Fig.6 Operating state of HHOG using simulated power supply of solar power generation (cloudy weather in summer)

に示す。

太陽光発電利用を想定した運転では、夏季、中間季（春季と秋季）、および冬季のそれぞれについて、晴天時、曇天時、雨天時の各天候条件による実証運転を行った。図6は、各天候条件のなかでも電力変動の比較的大きな夏季の曇天時における運転データである。水素発生量がHHOGへ供給される電力変動に追従して変化する一方で、水素発生圧力はおおむね安定して制御されていることが確認された。

以上より、安定電源あるいは変動電源を使用する場合のいずれにおいても、HHOGの運転状態は中間水素圧縮機の起動や停止の影響を受けずに安定しており、中間ユニットとの連携性に問題のない結果が得られた。

2.3.2 設備の耐久性の検証

再エネ水素ステーションにおけるHHOGの耐久性は、HHOGの電気分解モジュールの状態変化に着目して評価した。状態変化の項目の一つに電解セル電圧が挙げられる。今回の実証期間中、HHOGを積算で約780時間運転しており、その間に400回程度の設備の起動・停止が行われた。実証期間中の電解セル電圧の変化率は1%以下であり、HHOGの耐久性の観点から十分に許容できる値であった。またHHOGからの発生水素ガスの純度も仕様を満足しており、異常は認められなかった。HHOGの各構成機器に関しても、本実証期間中に異常な消耗や損耗などは発生せず、従来のHHOGと同等の耐久性が期待できる結果が得られた。

2.3.3 イニシャルコストの低減

本実証を通じて、水素発生装置のイニシャルコスト低減に寄与するコストダウン項目をいくつか抽出した。このうち電気分解モジュールに関しては、電流密度を高めることによって電気分解モジュールを構成する電解セルの積層数（構成部品数）の低減、すなわちイニシャルコストの低減が可能となる。電気分解モジュールのコストダウン効果を検証するため、従来と比べて電流密度を高めた電解試験を当社内にて行った。具体的には、従来の水素発生量5 Nm³/hの電気分解モジュールを用い、電流密度を従来比1.4倍程度に向上させて約7 Nm³/hの水素製造が可能であることを確認した。以上より、電流密度の向上により電気分解モジュールの構成部品数を30%程度低減できるめどが得られた。

このほか、構成部材の仕様見直しにより部材コストの低減も可能であることが分かった。構成部品数低減と部材の仕様最適化の両面で、電気分解モジュールのコストを低減できた。

また並行して、装置フロー簡略化によるコストダウンについても検討を進めた。従来の場合、電気分解モジュールを構成する部材保護のため、電気分解モジュール内部の水素側圧力と酸素側圧力とおおむね均圧とし、両者間の微小な差圧を一定範囲に保つ必要があった。

その差圧保持のために酸素側への圧力制御が必要となるため、装置フローが複雑となって装置のイニシャルコストがアップする要因になっていた（図7）。今回の実証では微小な差圧保持の必要がない電気分解モジュール

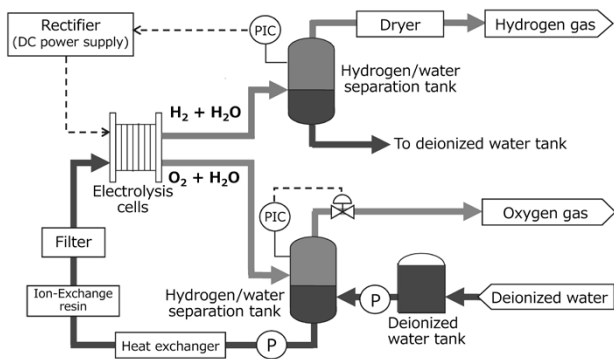


図7 HHOGの概略フロー（従来機）
Fig.7 Outline flow of HHOG (conventional apparatus)

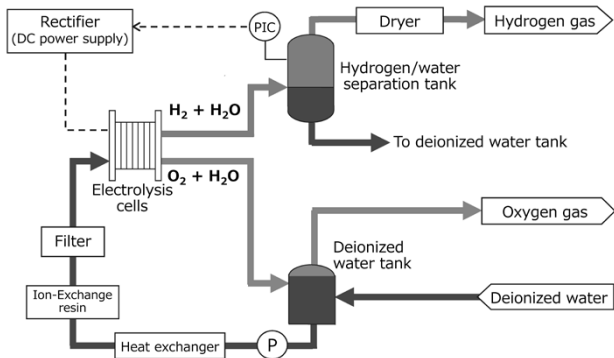


図8 HHOGの概略フロー（簡略化後）
Fig.8 Outline flow of HHOG (simplified apparatus)

を採用し、微差圧保持の不要な条件による運転の検証を行った（図8）。その結果、水素側圧力をHHOGの標準仕様である水素ガス発生圧力0.85 MPa（高压ガス保安法に該当しない1 MPa未満の圧力）、酸素側圧力をほぼ大気圧とした差圧0.85 MPa程度での運転が可能であることを確認した。微小な差圧保持が不要となることから、従来の装置に備えていた酸素分離タンクや補給水ポンプなどの付属機器が不要となり、装置フローの簡略化を達成した。また、イオン交換樹脂容器や水素分離タンク、純水タンクなどの容器類の減容化も図ることにより、イニシャルコストの低減に寄与することが分かった。

水素発生量60 Nm³/h規模のHHOGに上記のコスト低減方策を適用した場合の装置コストを試算した結果、従来の装置と比べて30%程度のイニシャルコストの低減が可能となることを確認した。

2.3.4 ダウンサイジング

水素発生量60 Nm³/h規模のHHOGを対象に、本実証を通じてダウンサイジングの効果を検証した。前述のコストダウンに関わる各方策の適用に加え、配管サイズの見直しや機器配置の最適化を図った結果、従来機に比べ20%程度の設置面積の低減が可能であることが確認された。

2.3.5 水素製造効率の向上

今回の実証事業用HHOGに、水素製造効率の向上を図った当社開発の電気分解モジュールを搭載し、電解性能の確認を行った。その結果、従来に比べて約10%の消費電力の低減が可能であり、水素製造効率の向上へ寄

与することを確認した。

2.4 今後の展開

今回の実証事業を通じて再エネ水素ステーション用途のHHOGを設計・製作し、実証試験を行った。その結果、既設の水素ステーションとHHOGとの連携性が良好であることを確認し、技術的知見を蓄積することもできた。

今後はこれらの成果を生かした水素ステーション向けシステムの提案などを行っていきたい。また、水素発生装置のイニシャルコスト低減やダウンサイジング、水素製造効率の向上に関して得られた成果をHHOGの標準機設計に順次反映していきたいと考えている。

3. NEDO実証事業

3.1 背景

当社は2014年度から2018年度まで、新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization, 以下NEDOという）の実証事業^{注3)}に参画した。同実証事業において当社は、NEDOの委託先の一つである東北大学から再委託を受け、水素製造技術に関する研究開発を担当した。

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴って発生した停電の際、仙台市の茂庭浄水場では非常用発電機からの電源供給に切り替わった。しかしながら、停電時間が当初の想定仕様の24時間を大きく上回ったこと、さらに宮城県内の石油備蓄基地の被害や物流の遮断によって非常用発電機に補給するための燃料確保が困難になったことから、それらの対応に浄水場が大変苦慮された経緯がある。

このような状況を受けて東北大学は、災害発生などの非常時でも浄水場の機能を維持できる非常用発電システムを提案された。この提案を受け、再エネ由来の電力と水素を組み合わせた「電力・水素複合エネルギー貯蔵システム」（以下、本システムという）の有効性を検証するため、仙台市水道局の協力のもと茂庭浄水場において実証事業を進めた⁴⁾。

3.2 実証事業の目的

今回のNEDO実証事業では、大規模災害などによる長期停電を想定した連続運転を通じて、災害時においても本システムが有効に機能するかの検証を行うことを目的とした。当社が担当した水素製造技術においては、茂庭浄水場内の既設の太陽光発電設備からHHOGの電気分解モジュールへ変動電力の一部を供給して水素の製造を行った。このため本実証事業においては、再エネ由来の変動電力に対する水素製造の追従性や、本システムを構成する周辺装置との連携性を確認することにより、本システムへのHHOGの適用性を検証することが目的となる。

脚注3) 事業名称：水素社会構築技術開発事業／水素エネルギーシステム技術開発／非常用電源機能を有する再生可能エネルギー出力変動補償用電力・水素複合エネルギー貯蔵システムの研究開発

また「水素基本戦略¹⁾」では、国内の再エネ水素の本格活用に向け、世界最高水準のコスト競争力の実現を目指すために水電解システムのコストを低減することが鍵となることが記載されている。再エネ水素のコスト構造は、①再エネ電源からの電力供給コスト、②水素製造設備などの稼働率、③水電解装置を中心とした設備コストで構成される。

このうち、①再エネ電源からの電力供給コストの低減方法として、設備の運転に必要なユーティリティー量の低減がある。所要ユーティリティー量の削減を図るため、HHOG付属機器の運用方法を見直すとともに、前述の環境省実証事業と同様、水素製造効率向上のために開発した電気分解モジュールを採用することにした。今回の実証事業においてその可能性について検証した。

3.3 実証内容

茂庭浄水場における消費電力と太陽光発電データの実績値とを用いたシミュレーションが東北大学によって行われている。本システムを構成する機器の仕様はそのシミュレーション結果に基づいて決定され、実用システムの1/50の規模とされた。本システムは、太陽光発電設備をはじめとして電力制御装置、模擬負荷装置、水素ガスタンク関連設備、電気二重層キャパシタ (Electric Double Layer Capacitor, 以下EDLCという)、水電解式水素発生装置 (HHOG)、燃料電池 (Fuel Cell, 以下FCという)、および水素吸蔵合金 (Metal Hydride, 以下MHという) で構成される。本システムの概略フローを図9に、実証システム全体の外観写真を図10に示す。

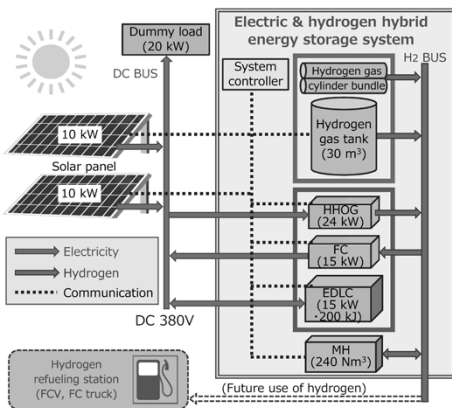


図9 NEDO実証システムの概略フロー
Fig.9 Outline flow of NEDO demonstration system

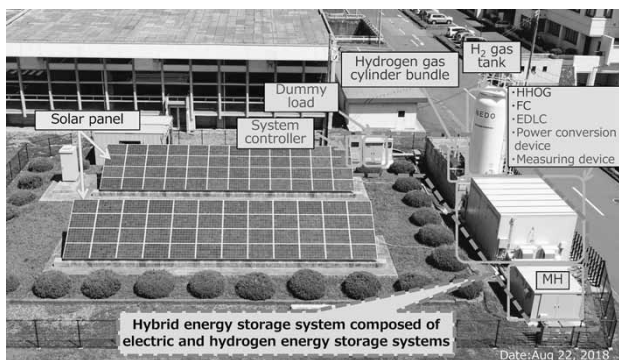


図10 NEDO実証システムの全景 (仙台市茂庭浄水場)
Fig.10 General view of NEDO demonstration system (Moniwa water purification plant in Sendai City)

既設の太陽光発電設備を、HHOGやFC、EDLC、模擬負荷装置に直流母線を介して接続し、HHOGで製造した水素ガスを水素配管を通じて水素ガスタンクおよびMHに貯蔵するシステム構成となっている。水素発生装置は発生量 5 Nm³/h のHHOGを導入した。今回の実証用HHOGの外観写真を図11に、仕様を表2に示す。

複合的なエネルギーとしての電力と水素の利用を検証するため、これらの設備を用いて太陽光発電の出力変動や模擬負荷の消費電力の変動を補償するシステムの実証を行った。

本システムでは、太陽光発電の出力と模擬負荷での消費電力との差の時間変化分に対し、長周期変動成分についてはカルマンフィルター^{注4)}を用いて電力トレンドを予測した。さらに、予測された電力トレンドのうち、電力余剰時はHHOGで水素を製造し、電力不足時はFCで発電することによって変動を補償した。また、残りの短周期変動成分については、直流母線電圧をEDLCの入出力制御で一定に保持することによって変動補償する方式を採用した。

3.4 実証結果

3.4.1 本システムの有効性

今回の実証では、大規模災害による長期停電を想定した3日間 (72時間) の連続運転を実施し、災害時における本システムの有効性を検証した。具体的には、商用系統電力の突然の停電から復旧するまでの3日間は通常時運転、非常時運転、通常時運転の切り替え運転を行った。



図11 NEDO実証用HHOGの外観
Fig.11 Appearance of HHOG for NEDO demonstration project

表2 NEDO実証用HHOGの仕様
Table 2 Specification of HHOG for demonstration project of NEDO

Item	Specification	
Output capacity	5 Nm ³ /h	
Purity of H ₂	≥ 99.999%	
Feed pressure	Approx. 0.82 MPa(Gauge)	
Dew point of H ₂	≤ 70°C	
Dimensions	Length	Approx. 1,700 mm
	Width	Approx. 900 mm
	Height	Approx. 2,000 mm

脚注4) 誤差のある測定データを用いて時間変化する物理量を推定する手法

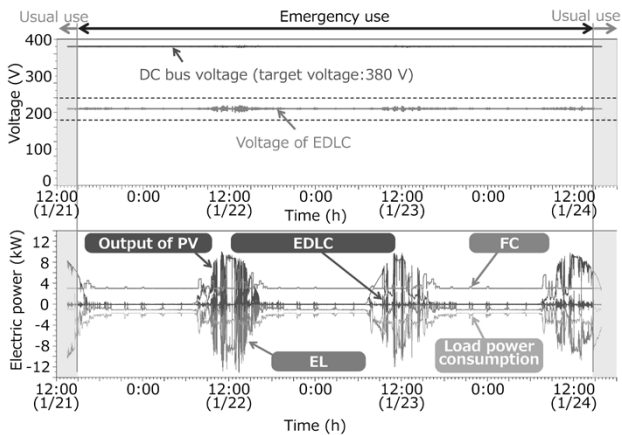


図12 NEDO実証システムにおける長期停電を想定した72時間連続運転試験

Fig.12 Test of 72 hours continuous operation of NEDO demonstration system assuming long-term blackout

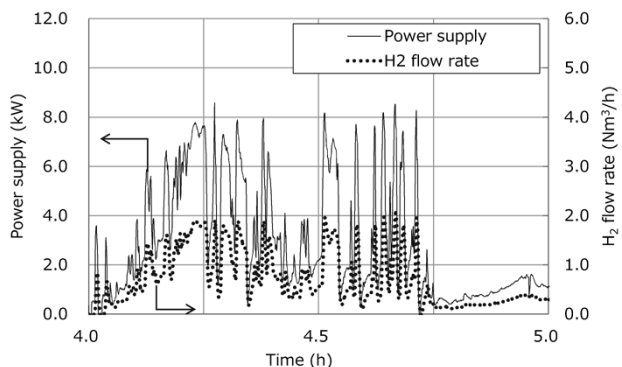


図13 NEDO実証システムにおけるHHOGの消費電力と水素発生量の経時変化

Fig.13 Trend of power supply and hydrogen flow rate of HHOG (demonstration project of NEDO)

長期停電を想定した本システムによる実証試験結果の一例を図12に示す。図12の下図に示したように、太陽光発電出力や負荷消費電力の変動に応じてHHOGでの水素製造時の消費電力（図12中にELと表記）やFCの発電電力、EDLCの充放電が電力制御装置により制御される。その結果、図12の上図に示したように直流母線電圧が目標電圧（380V）を高精度に維持できていることが確認された。

この実証結果から、電力と水素とを組み合わせ合わせた複合エネルギー貯蔵システムが、太陽光発電出力や負荷消費電力に対して高い変動補償精度を有し、高品質で安定な電力供給可能な非常用電源として活用可能であることが示された。

3.4.2 HHOGの追従性

HHOGへの供給変動電力と、HHOGからの水素発生量の経時変化を図13に示す。HHOGに供給される変動電力に応じて水素発生量が追従して変化していることが確認された。

3.4.3 HHOGのユーティリティー削減

HHOG付属機器の運用方法の見直しのほか、水素製造時の消費電力低減を図った低消費電力仕様の電気分解

モジュールを採用することにより、従来機と比べて所要ユーティリティー量を10%程度削減できることが確認された。

3.5 今後の展開

今回の実証試験を通じ、電力と水素エネルギーを組み合わせた出力変動補償システムの有効性が確認された。今後は浄水場や公共性の高い施設、災害時の避難所に指定されている施設などへの本システムの適用が期待される。

HHOGについては、急激な変動電力に追従して水素製造できており、本システムへの適用可能性が示された。また本システムの実用化に向けては、非常時だけでなく通常時に変動補償を行う場合の挙動に加えて、さらなる長時間運用時の電解性能の把握のほか、装置コストの低減や所要ユーティリティーの削減など、さまざまな技術課題を解決していく必要がある。

むすび＝「水素基本戦略¹⁾」や「水素・燃料電池戦略ロードマップ²⁾」では、水素社会の実現に向けて具体的な方針が示されており、水素製造に関する技術開発は今後さらに重要になってくると考える。当社は、これまで蓄積してきた水素製造技術に関する知見を生かしつつ、社会や顧客のニーズに応えながら水素製造技術の改善・改良のための開発に今後も取り組んでいく所存である。

最後に、NEDOの実証事業においては、仙台市水道局から実証試験場所を提供いただいた。また実証試験の実施にあたっては、東北大学をはじめ（株）前川製作所、日本ケミコン（株）、北芝電機（株）の関係各位に多大なご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 内閣官房ホームページ. 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議. 水素基本戦略, 平成29年12月26日, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy.pdf, (参照 2019-12-09).
- 2) 経済産業省ホームページ. 水素・燃料電池戦略協議会. 水素・燃料電池戦略ロードマップ, 平成31年3月12日. <https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-1.pdf>, (参照 2019-12-09).
- 3) 株式会社神戸製鋼所ほか. 平成29年度環境省委託・補助事業 CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 中規模 (1.5 kg/h程度) の高圧水素を製造する再エネ由来水素ステーション関連技術の開発・実証成果報告書. 平成30年3月.
- 4) 津田 理ほか. 電気設備学会誌. 2017, Vol.37, No.11, p.781-784.



石井 豊

(株)神鋼環境ソリューション
新規事業推進部



中尾末貴

(株)神鋼環境ソリューション
新規事業推進部