

## 再生可能エネルギー由来の水素サプライチェーン構築に向けた実証プロジェクト

Demonstration Project Aimed at Constructing Supply Chain for Hydrogen Produced Using Renewable Energy

上滝 直樹 KOTAKI Naoki

東芝エネルギーシステムズ(株)は、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の削減に向け、再生可能エネルギー由来の水素の導入拡大に向けた関連技術の開発を推進している。

その一環として、環境省の「地域連携・低炭素水素技術実証事業」において、北海道・釧路市・白糠町と連携し、小水力発電を電源とする水素の製造から、貯蔵、配送、利用に至るまでの低炭素な水素サプライチェーンの構築と実証を行った。2018年6月から2020年3月までの実証期間で収集したデータを基に試算した結果、評価対象の3需要家施設の合計で約15%のCO<sub>2</sub>排出量を削減できたことを確認した。

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation is promoting the development of technologies to expand the introduction of hydrogen produced using renewable energy as an energy storage medium toward the reduction of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions.

As part of these efforts, we have been engaged in collaborative activities with Shiranuka Town, Kushiro City, and Hokkaido Prefecture aimed at the construction of a low-carbon hydrogen supply chain that encompasses all processes from production through storage and delivery to utilization of hydrogen produced from small-scale hydroelectric power generation facilities, through the Low-Carbon Hydrogen Supply Chain Demonstration Project commissioned by the Ministry of the Environment. As a result of estimations made from data collected during the demonstration period from June 2018 to March 2020, we have verified that this system reduces the total amount of CO<sub>2</sub> emissions from the monitored facilities of three power consumers by about 15%.

### 1. まえがき

環境省の「平成27年度地域連携・低炭素水素技術実証事業」において、東芝エネルギーシステムズ(株)が提案した「小水力由来の再エネ水素導入拡大と北海道の地域特性に適した水素活用モデルの構築実証」が採択された。これを受けて、北海道・釧路市・白糠町と連携し、5年間(2015～2019年度)にわたって、水素の製造から、貯蔵、配送、利用までのサプライチェーンを構築する実証を行った。

水素は、利用段階でCO<sub>2</sub>排出がほとんどないことから、地球温暖化対策の上で重要なエネルギーと期待されている。一方、水素の製造、配送の過程では、CO<sub>2</sub>が排出される場合がある。そこで、小水力発電を電源とする再生可能エネルギーを用いて水素を製造し、地域内で利活用する水素サプライチェーンの構築と、CO<sub>2</sub>排出量削減の実証を行った。ここでは、実証の概要とその成果について述べる。

### 2. 小水力発電による水素製造システムの構築

この実証事業では、北海道白糠郡白糠町にある庶路ダムの左岸下流に小水力発電所を設置した。小水力発電は、庶路ダムから庶路川へ放流する維持流量を利用し、毎秒最



図1. 庶路ダムに設置された実証設備

小水力発電所、水素製造施設、及び電力線を設置し、小水力発電を電源とする再生可能エネルギー由来の水素製造システムを構築した。

Demonstration facilities installed at Shoro Dam, Hokkaido

大1.02 m<sup>3</sup>を取水して定格200 kWを発電する仕様とした。電気は、電力線を介して庶路ダムの右岸上流に設置した水素製造施設に送り、水電解装置で水素製造を行った。水電解装置は、1時間当たり最大約35 Nm<sup>3</sup>(注1)の水素製造能力を持つものを使用した。

図1に庶路ダムに設置された小水力発電所、水素製造施設

(注1) Nm<sup>3</sup>は0℃、1気圧の状態に換算した体積。

設、及び電力線の全景を示す。実証期間は2018年6月から2020年3月までで、発電運転及び水素製造を行った。

図2に小水力発電による水素製造フローを示す。系統電力には接続されておらず、水素を“つくる”、“ためる”及び“はこぶ”の水素搬送車両積載までに工程で必要な電力及び所内負荷を、全て小水力発電で賄う。系統電力には接続されない完全オフグリッドであり、急激な負荷変動があっても電力需給バランスを保てるようにするためにダミーロードを設けた。水道や通信などの社会インフラがない山間部に設

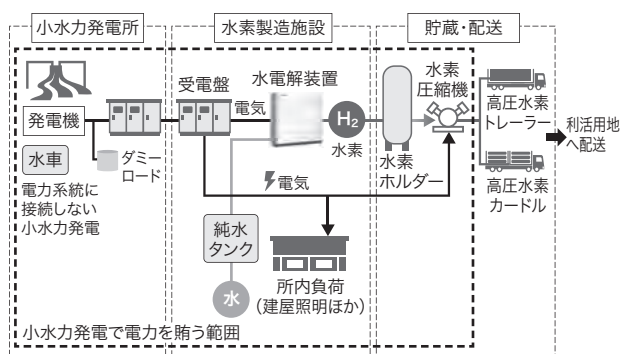
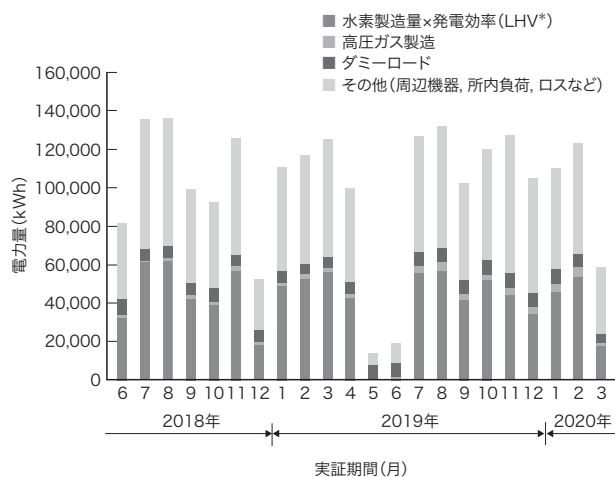


図2. 小水力発電による水素製造フロー

小水力発電の電力を用い、水の電気分解で水素製造を行った。製造した水素は、水素ホルダーに一時貯蔵し、高圧に圧縮して容器に充填し、配送した。

Flow of hydrogen production using power from small-scale hydroelectric power generation system



\*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

図3. 実証期間の小水力発電電力量の消費内訳

水電解装置の調整や点検を行った時期を除いて、安定的な水力発電量と水素製造量を確保できた。

Changes in output of small-scale hydroelectric power generation system and breakdown of power consumption during demonstration period

置された水素製造施設における夜間勤務のリスクや人件費の抑制などを考慮して、高圧ガス資格保有者は日中だけの駐在とし、夜間に製造した水素を一時貯蔵するための低圧の水素ホルダーを設置した。

発電所の定格は200 kWであるが、急な大雨でダム水位が上昇して定格出力を超過することを考慮して、180 kW前後で発電運転を実施した。1日当たり、おおむね4,000～4,300 kWhを発電し、600 Nm<sup>3</sup>前後の水素を製造した。

高圧ガス実証設備を運用した、実証期間の小水力発電電力量の消費内訳を図3に示す。

図中で1か月当たりの電力量が少ない部分は、水素製造施設の水電解装置などの調整や年末年始など高圧ガス資格保有者や配送業者の長期休業に伴い、水電解装置を停止して発電量を絞った時期である。また、2019年の5月と6月の発電量と水素製造量が極端に少ないのは、点検のため2か月間にわたって水電解装置を停止したためである。発電した電力の消費先内訳は、水素製造、高圧ガス製造、ダミーロード、補機・周辺機器や監視制御・通信機器・照明などの所内負荷である。水素製造に発電量の約40%の電力を利用した。実証期間の発電量は2,210,736 kWh、水素製造量は297,133 Nm<sup>3</sup>であった。

維持流量を利用する発電のため、24時間365日安定した電力を得ることができた。発電量の変動が小さいので電力平準化などの設備が不要となり、水素製造設備の費用抑制につながった。一方でこの小水力発電所は、電力系統に接続しない単独自立運転となるため、常に電力需給バランスを取りながら運転を実施した。日中は高圧水素製造に電力を優先的に供給し、残りを水電解装置に供給した。夕方から

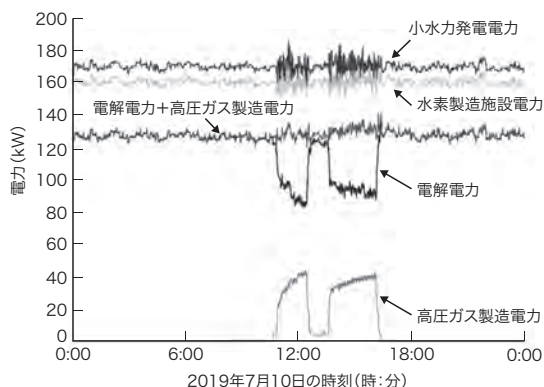


図4. 水素製造施設における1日の電力消費推移

高圧ガスを製造する時間帯は、水素圧縮機に電力を供給するため、水電解装置への給電量を徐々に減らす制御を行った。

Example of daily changes in output of small-scale hydroelectric power generation system and power consumption of hydrogen production facilities

翌朝までは、水素製造施設は無人事業となり高圧ガスを製造しないため、所内負荷以外の電力を水電解装置に供給した。

2019年7月10日を例に、小水力発電と、水素製造、高圧ガス製造の1日の電力推移を、図4に示す。高圧ガス製造の際には圧縮機に電力を供給するため、水電解装置への給電量を徐々に減らし、その分の電力を圧縮機に供給する制御を行った。その結果、10～12時頃と13～16時頃に水素製造に要する電解電力が落ち込み、圧縮機を用いた高圧ガス製造電力が上昇する。また、圧縮機の運転終了後は水電解装置への給電量を戻すため、水素製造に要する電解電力も圧縮機稼働前のレベルに戻っていることが分かる。更に、翌日の水素配送に向け水素を製造して高圧ガス資格保有者が出勤するまで水素ホルダーに一時貯蔵し、日中に再び圧縮を行った。

### 3. 高圧ガスによる水素配送システムの構築

高圧ガスによる水素配送システムの構築は、高圧ガス資格保有者による対応が必要となることから、ガス事業に精通し、この実証事業の共同実施者である岩谷産業(株)が担当した。高圧ガスによる水素配送システムの概要を図5に示す。

- (1) 圧縮・充填工程 水素製造設備で製造した低圧水素(0.8 MPa)を、圧縮機で高圧(19.6 MPa)にし、容器に充填する。
- (2) 配送工程 容器に充填された水素を、利活用地点まで配送する。
- (3) 貯蔵工程 利活用地点で消費されるまでの間、水素を貯蔵する。
- (4) 供給工程 利活用地点で貯蔵した水素を、利活用設備へ供給する。

純水素燃料電池を設置した3需要家の施設向けには、高圧(19.6 MPa)に圧縮された水素を高圧水素カードル(約

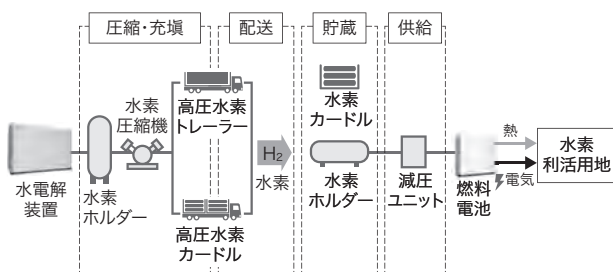


図5. 高圧ガスによる水素配送システムの概要

水素製造地点での圧縮・充填工程、需要家への配送工程、需要家施設における貯蔵・供給工程から構成される。

Overview of high-pressure hydrogen gas production and delivery system

236 Nm<sup>3</sup>)3基に充填し、配送用車両に積載して配送を行った。水素製造地点と3需要家の位置関係を図6に示す。水素製造地点からの3需要家までの距離は、約35～50 kmだった。

また、FCV(燃料電池自動車)用の燃料として、トヨタ自動車(株)土別試験場向けに、高圧水素トレーラー(約2,000 Nm<sup>3</sup>)に水素を充填し、実証期間で一度供給を行った。

図7に、3需要家及びトヨタ自動車(株)土別試験場への水素の配送回数を示す。実証期間で水素を配送した回数は延べ695回、配送した水素量は延べ160,554 Nm<sup>3</sup>に

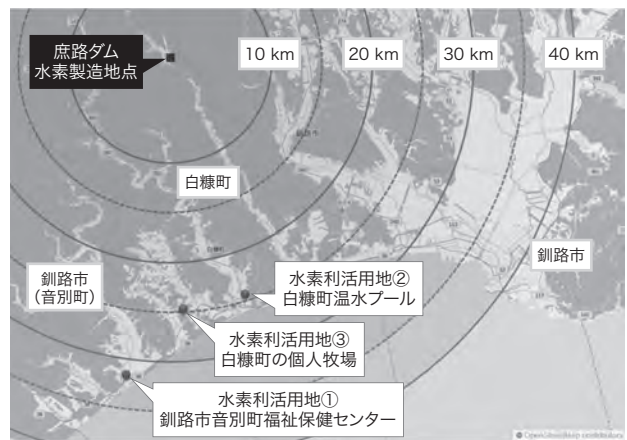


図6. 水素製造地点と3需要家の位置関係

庶路ダムに設置の水素製造地点と3需要家の位置関係から、水素の配送距離は片道約35～50 kmとなった。

Positional relationships between hydrogen production site and three power consumers

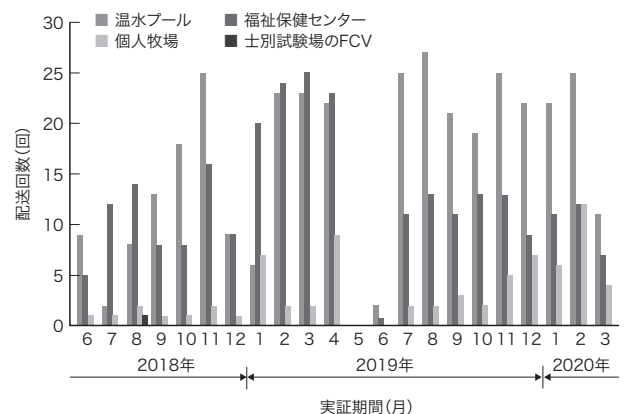


図7. 水素配送先別の配送回数

3需要家及びトヨタ自動車(株)土別試験場への配送回数は、延べ695回に上った。100 kW級純水素燃料電池システムを設置した白糠町温水プールには、ほぼ毎日配送を行った。

Number of deliveries of hydrogen by destination

上った。100 kW級純水素燃料電池を設置した白糠町温水プールには、ほぼ毎日配送を行った。

#### 4. 需要家における電力・熱利用システムの構築

需要家施設の選定には、水素製造地点である庶路ダムから施設までの距離や、施設での電気及び熱需要量、実証設備設置スペースの確保などの条件を考慮した。小水力発電による水素は、製造及び利用段階ではCO<sub>2</sub>をほとんど排出しないが、配送段階では配送距離、配送頻度によりCO<sub>2</sub>の排出がある。そのため配送距離も考慮の対象とした。これらの結果、釧路市音別町福祉保健センター、白糠町の個人牧場、及び白糠町温水プールを水素利活用地として選定した。実証設備の機種選定に際しては、事前に収集したデータを基に、各施設に設置する純水素燃料電池の容量及び台数を、以下のように決定した。

- (1) 釧路市音別町福祉保健センター 単相100Vの電力需要が3.5kW以下となる時間が全体の20%程度であることや7kWを超える時間が30～40%となることから、3.5kW級純水素燃料電池を2台設置した。
- (2) 白糠町の個人牧場 単相100Vの電力需要が3.5kW以下となる時間が全体の80%以上を占めることから、3.5kW級純水素燃料電池を1台設置した。
- (3) 白糠町温水プール 三相200Vの電力需要が平均25～50kW程度であることから、100kW級純水素燃料電池を1台設置した。

白糠町温水プール向け実証設備を例に、需要家における水素利活用設備の機器構成を図8に示す。庶路ダムから配送され温水プール敷地内に設置の低圧水素タンクに貯蔵された水素を燃料として、純水素燃料電池で電気と熱を発生

する。発生した電気はそのまま使用し、熱は貯湯タンクで温水に変換し温水プール施設へ供給する。水素の利用により系統電力や灯油などの化石燃料の使用量を削減することで、CO<sub>2</sub>排出量の削減を実証した。

白糠町温水プールに設置した実証設備を図9に示す。

ここで、北海道電力(株)との系統連系協議の結果、系統容量に余力がないことや実証期間が限定されていることから、今回の実証では逆潮流を行わない条件で系統連系することとした。

実証期間における、3需要家合計の水素による月別エネルギー量の内訳を図10に示す。

実証期間の合計で、釧路市音別町福祉保健センター



図9. 白糠町温水プールの実証設備

実証設備として、低圧水素タンク、コンテナ(貯湯タンクなどを収納)、及び100kW級純水素燃料電池システムを設置した。

Demonstration facility installed at heated indoor pool in Shiranuka Town

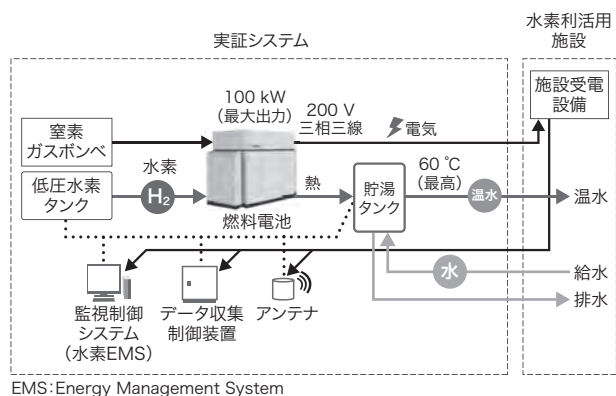


図8. 水素利活用設備の機器構成例

白糠町温水プールには、100kW級純水素燃料電池システムを設置し、電気と熱(温水)を供給した。

Example of configuration of equipment for hydrogen utilization systems

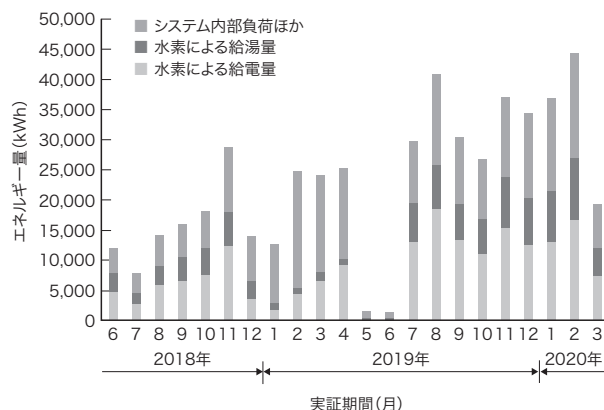


図10. 3需要家への水素による月別エネルギー量の推移

3需要家に、水素を燃料とする電気と熱(温水)を供給した。

Changes in total amount of energy supplied to three power consumers by month

が水素による給電量37,979 kWh, 水素による給湯量17,379 kWh, 白糠町温水プールが水素による給電量143,722 kWh, 水素による給湯量73,497 kWh, 白糠町の個人牧場が水素による給電量2,970 kWh, 水素による給湯量3,646 kWhであった。ここで、2019年の5月と6月のエネルギー供給量が極端に少ないのは、2章で述べたとおり、点検のため水電解装置を停止したためである。

## 5. サプライチェーンマネジメントシステムの構築

水素の製造から、貯蔵、配送、利用までのサプライチェーンにおけるCO<sub>2</sub>排出量を最小化することを目的として、効率的な配送計画や水素を最大限に生かした燃料電池運転計画などを行う水素サプライチェーンマネジメントシステム（以下、水素SCMSと略記）を構築した。水素SCMSは、以下の基本機能から構成されている。

- (1) 供給予測 水素製造施設での水素製造量を、1日単位で予測する。
- (2) 需要予測 3需要家各々の電力と熱需要を、30分単位で予測する。
- (3) 配送計画 CO<sub>2</sub>排出量が最小になるように配送日・配送順を計画し、配送業者へメールで通知する。
- (4) 燃料電池運転計画 電力需要予測結果と配送計画結果から燃料電池の運転計画を30分単位で立案し、燃料電池を制御するために各需要家施設に設置した監視制御システム（水素EMS（Energy Management System））に対してオン／オフを通知する。

水素SCMSの運用による、実証期間の給電と給湯におけるCO<sub>2</sub>排出削減量の試算結果を表1に示す。各施設でのCO<sub>2</sub>排出削減量は、100 kW級燃料電池を設置した白糠町温水プールが74.1 t、3.5 kW級燃料電池を設置した音別町福祉保健センターと白糠町の個人牧場が合わせて15.9 t、土別試験場のFCVが1.6 tとなり、合計で91.6 tであった。また、電力に限定すると、水素を燃料として燃料電池で作った電気を利用することにより、3需要家施設の合計で約15%のCO<sub>2</sub>排出量を削減したとの試算結果となった。

表1. 実証期間中のCO<sub>2</sub>排出削減量の試算結果

Results of estimations of CO<sub>2</sub> emission reduction during demonstration period

項目	実証設備を運用した場合のCO <sub>2</sub> 排出量 (t)	実証設備を運用しない場合のCO <sub>2</sub> 排出量 (t)	CO <sub>2</sub> 排出削減量 (t)
温水プール	37.5	111.6	74.1
福祉保健センターと個人牧場	16.0	31.9	15.9
土別試験場のFCV	1.4	3.0	1.6
合計	54.9	146.5	91.6

## 6. あとがき

電力系統に接続しない単独自立運転の小水力発電所を電源として、水素製造から、貯蔵、配送、利用までを行う、低炭素な水素サプライチェーンの構築と、CO<sub>2</sub>排出量削減の実証ができた。今後、今回の実証で得られたデータを活用し、水素供給コストの低減に向けたモデル検討を実施する予定である。



上滝 直樹 KOTAKI Naoki  
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 事業開発部  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.