

再エネ余剰電力を有効活用する 水素利用システム「Hydro Q-BiC[®]」の実証と商品化

瀬川 裕太 下田 英介

(技術研究所)

(技術研究所)

PoC and Commercialization of the Hydrogen Utilization System "Hydro Q-BiC[®]"

Yuta Segawa, Eisuke Shimoda

地球温暖化防止のため再生可能エネルギー(以下、再エネと記す。)導入による CO₂ 排出量削減が求められており、水素は再エネの有力なキャリアとして期待されている。建物近傍において水素を貯蔵するためには、エネルギー効率、体積当たりの貯蔵量、安全性、コストなどを複合的に勘案する必要がある。我々は再エネから製造した水素を水素吸蔵合金に貯蔵し、適宜燃料電池で発電する水素エネルギー利用システム「Hydro Q-BiC[®]」を開発した。本稿では供用中の市場に設置した「Hydro Q-BiC[®]」の運用結果と、当社北陸支店へ導入した当システムについて報告する。

In order to prevent global warming, the introduction of renewable energy is required to reduce CO₂ emissions. Hydrogen is expected to be a promising carrier of renewable energy. When storing hydrogen near buildings, it is necessary to consider a combination of factors such as energy efficiency, storage volume per volume, safety, and cost. We have developed a hydrogen energy utilization system, "Hydro Q-BiC[®] ", which stores hydrogen produced from renewable energy sources in Metal Hydride (hydrogen storage alloy), and generates electricity & heat by using fuel cells as needed. This paper shows the operational results of the installation of "Hydro Q-BiC[®] " in a market in Koriyama City, Fukushima Prefecture, and the system installed at our Hokuriku Branch.

1. はじめに

太陽光発電等の再エネは天候や時間、季節による出力変動が大きい特徴がある。建物で発電した再エネ電力を地産地消するためには、建物で消費し切れない余剰電力の貯蔵が必要である。電力貯蔵には蓄電池が一般に広く普及しているが、自己放電する性質があり、長期間の貯蔵には不向きである¹⁾。一方、水素については水素吸蔵合金を用いて貯蔵することで、長期間ロスなく貯蔵することができる長所がある²⁾。また水素貯蔵に不燃性の水素吸蔵合金を用いることで、火災時における水素貯蔵の安全性についても担保することができる。著者らは再エネ電力の地産地消を目指し、産業技術総合研究所と共同で、再エネ余剰電力を利用して水素を製造し、有効活用できる水素利用システム「Hydro Q-BiC[®]」を開発した³⁾⁷⁾。当システムでは BEMS(Building Energy Management System)によって水素製造装置、水素貯蔵装置、燃料電池、蓄電池の各装置が一元的に管理され、

建物電力需要、天気予報データを基に各装置の運転計画を自動で立案し、運用することが可能である。当システムを福島県郡山市総合地方卸売市場に導入し、その CO₂ 削減効果を評価することを目的とする実証を行った。また、屋内における水素蓄エネルギー容量としては世界最大級の当システムを 2021 年 5 月に竣工した当社北陸支店内へ導入し、初めて業務用ビルでの運用を行っている。北陸支店へ導入したシステムには再エネ余剰電力を水素蓄電し、季節を跨いで活用する再エネ余剰電力のシーズンシフトの役割や、災害停電時における BCP(事業継続計画)機能を持たせており、水素蓄電による長所を最大限に活かしている。本稿では、郡山市市場における建物由来 CO₂ 削減効果の事前シミュレーション結果や、実際のシステム運用で得られた各装置効率を用いた CO₂ 削減量の評価結果など、これまで著者らが行ってきた研究成果をまとめ、また当社北陸支店へ導入し運用している当システムの再エネ余剰電力のシーズンシフト、BCP 機能に関して報告する。

2. 水素利用システムの郡山市場実証

本章では市場に導入した水素利用システムによる実証の概要、事前シミュレーション結果、実運用結果について述べる。

2.1 市場実証概要

図-1、表-1に郡山市場に設置した「Hydro Q-BiC[®]」の外観と各装置諸元を示す⁸⁾。電力供給対象は、延床面積4,310m²で2階建ての市場管理関連店舗棟(以下、管理棟と記す。)であり、主に市場の事務用途に利用されている。また、対象の年間最大電力(2020年)は54kWである。システムは主に太陽光発電パネル、水電解装置、水素貯蔵装置、燃料電池、蓄電池から構成されており、管理棟で消費しきれない太陽光発電余剰電力の内、短期間貯蔵する電力は蓄電池へ、長期間貯蔵する電力は水素貯蔵へそれぞれBEMSの運転計画に沿って自動で割り振られる。図-2に管理棟と当システムのエネルギーフローを示す。当システムではエネルギー効率を高めるため燃料電池排熱の活用も図っており、水素貯蔵装置からの水素放出の際に利用している。余った排熱を更に建物で利用することも可能である。また、コンテナの給排気ファンと水素貯蔵装置や燃料電池の冷却に用いるラジエータ・ファンを一体化しており、システムの省エネ化を実現している。

2.2 市場における水素利用システムの運用

市場は朝方にかけて稼働するため、電力需要の



図-1 郡山市場と「Hydro Q-BiC[®]」

表-1 郡山市場のシステム諸元

設備	種類	設備容量
太陽光発電	ヘテロ接合型	64.75kW
水素製造装置	PEM水電解	5Nm ³ /h
水素吸蔵合金タンク	TiFe系水素吸蔵合金	180Nm ³
燃料電池	PEFC	14kW (3.5kW×4台)
蓄電池	Li-ion	出力: 20kW 貯蔵量: 20kWh

ピークは明け方となる。一方、太陽光発電電力は12時~14時にかけてピークとなるため、このピーク時間帯の相違により太陽光発電の余剰電力が発生する。この余剰電力を用いて水電解装置を稼働させ、水素を製造し、水素吸蔵合金タンクに貯蔵する。太陽光発電電力が得られない夜間や悪天候時に燃料電池で発電することで、電力系統からの買電量を削減することが可能である。図-3に「Hydro Q-BiC[®]」を晴天日に運用した際のデータを示す。図中の電力系統からの買電電力(*Grid_P*)は実際の建物電力需要(*Load_P*)、水電解装置出力(*WE_P*)、太陽光発電電力(*PV_P*)、燃料電池出力(*FC_P*)を用いて次式より計算される。

$$Grid_P = (Load_P + WE_P) - (PV_P + FC_P) \quad (1)$$

$$(Grid_P \geq 0)$$

実験当日は過去の電力需要データを元に設定した想定電力需要(グレー点線)を基にシステムを運用しており、リアルタイムでの電力需要データ取得は行っておらず、後日得た実際の電力需要データ(グレー実線)を重ねて評価を行った。想定電力需要は9時においてピーク電力29.1kWであったのに対し、実際の電力需要のピーク電力は11時頃に22kWであった。また、想定電力需要では5時か

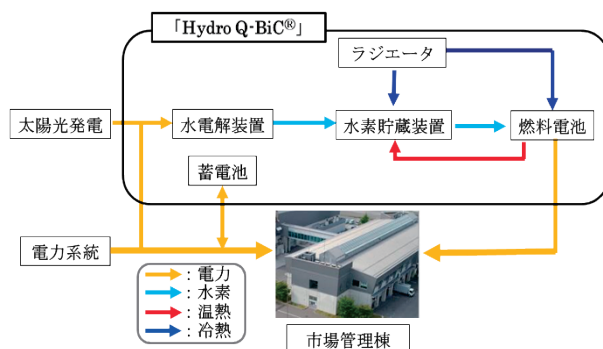


図-2 管理棟と水素利用システムのエネルギーフロー図

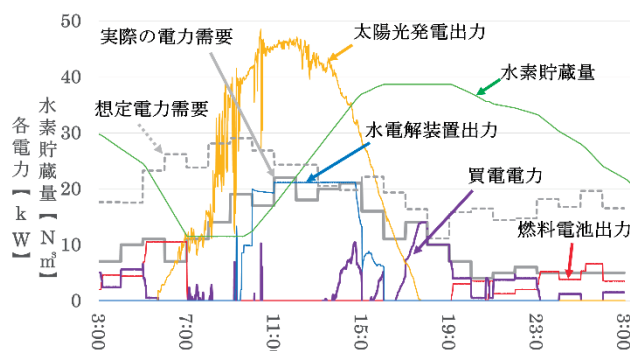


図-3 晴天日におけるシステム運用データ

ら 9 時にかけてピーク電力に次ぐ大きな電力需要が想定されていたのに対し、実際には 10kW 程度であった。燃料電池は想定電力需要に合わせて運用を行っており、ピーク電力時間帯に出力を増加させるピークカット運転を行っている。しかし、想定と実際の電力需要に差異が生じたため、燃料電池発電電力の一部が逆潮し、エネルギーの地産地消が行われていない結果となっている。本結果より、燃料電池運転を適切なタイミングで行うためにはリアルタイムでの電力需要取得と、その後の電力需要予測、運転計画値の誤差補正が非常に重要であると言える。また、買電電力に着目すると、14 時から 15 時にかけて水電解装置運転中に買電電力が生じている。これは太陽光発電電力が減少したにも関わらず水電解装置の出力を絞らなかつた事に起因しており、晴天日における当初の太陽光発電電力の予測が、実際の太陽光発電電力と異なっていたことが一因である。よって水電解装置の運転計画に関しては電力需要予測と同様に、太陽光発電電力の発電量予測も重要であると言える。燃料電池・水電解装置を適切に運用するためには太陽光発電電力や電力需要の急変に備え、運転計画見直し頻度の向上、急激な電力変動を吸収する蓄電池の稼働等の対策が考えられる。後述する当社北陸支店導入の「Hydro Q-BiC[®]」については、リアルタイムでの太陽光発電電力・電力需要取得を行い対策している。

2.3 年間 CO₂ 排出削減量の事前シミュレーション

運用開始前において年間 CO₂ 削減効果の推定を目的とした事前シミュレーションを行った。シミュレーションは市場管理棟の 2017 年時別電力需要データと NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)が公表する年間時別日射量データベース METPV-11 より取得可能な日射量データを用いて行った⁹⁾。日射量データは日射量の少ない寡照年：Case.1、日射量の平均的な平均年：Case.2、日射量の多い多照年：Case.3 のデータを用いた。太陽光発電電力量は日射量、太陽光発電設備容量と太陽光発電損失係数の積より求められる。今回、補機電力による損失を考慮し、太陽光発電設備容量は 60kW とした。各 Case における年間太陽光発電電力量と余剰電力量の評価結果を図-4 に示す。再エネの地産地消を目的としているため、今回シミュレーションにおいて、太陽光発電余剰電力の逆潮流分は CO₂ 削減に寄与しない。各時刻において水電解装置の定格出力である 30kW 以内の余剰電力は全て水素製造に

用い、30kW を超える余剰電力は蓄電池へ貯蔵するものとした。また、水電解効率と燃料電池発電効率の積より、電力から水素、水素から電力に再変換した際の変換効率(以下、電力-水素-電力変換効率と記す。)を求めた。シミュレーションにおいて設定した各装置効率、CO₂ 排出係数等諸条件を表-2 に示す。特別電力需要に対して不足する電力系統からの買電量に CO₂ 排出係数を乗じて年間 CO₂ 排出量を算出した。年間 CO₂ 排出量の各 Case の評価結果を図-5 に示す。結果より、「Hydro Q-BiC[®]」を導入することで、年間 CO₂ 排出量を約 43~61%削減可能であり、日射量予測の違いにより 18%変動するこ

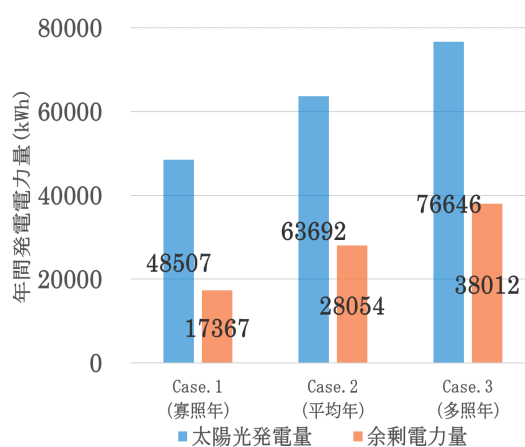


図-4 各 Case の年間太陽光発電電力量と余剰電力量

表-2 事前シミュレーションの設定条件

設定項目	種類
太陽光発電損失係数	0.75
水電解効率(LHV)	75.0%
燃料電池発電効率(LHV)	55.0%
電力-水素-電力変換効率	41.3%
CO ₂ 排出係数 (kg/kWh)	0.523 (東北電力:17年度)
蓄電池充放電効率	85.0%

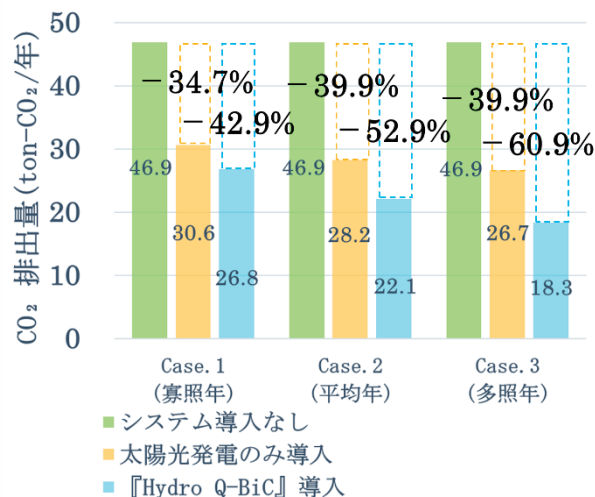


図-5 各 Case の年間 CO₂ 排出削減量

とが分かった。

2.4 システム実運用効率と CO₂削減量の評価

郡山市場におけるシステムの運用により、実際に得られた2020年6月から2021年2月にかけての運用データ(24時間連続等、纏まった運転データを取得できた代表日20日分)を元に、年間CO₂排出量の評価に必要な各装置諸元を求めた¹⁰⁾。水素製造に要した水電解装置の電力量と合金タンクへの水素供給量より水素製造原単位 0.194Nm³/kWh(水電解効率(LHV): 58.1%)を算出し、燃料電池発電電力量と合金タンクからの水素供給量より燃料電池発電原単位 1.391kWh/Nm³(燃料電池発電効率(LHV): 46.5%)を算出した。算出した各原単位には補機電力として水電解装置: 3.3kW、燃料電池: 0.5kWを各装置稼働時一定として含む¹¹⁾。これらの積より、電力-水素-電力変換効率を27.0%と求めた。また、蓄電池に関して電力潮流に合わせて充放電を繰り返し、24時間稼働させた際の合計充放電電力量と、稼働前後の電力貯蔵率より、実運用時の蓄電池効率66.5%を算出した。年間CO₂排出量(2020年)の評価を行う際、上記の各効率と、実際の市場太陽光発電電力量、建物電力需要を用いて行った。また、CO₂排出量の計算には2019年度東北電力CO₂調整後排出係数0.522kg-CO₂/kWhを用いた¹²⁾。今回熱に関しては評価しておらず、電力のみに着目して評価を行っており、電力-水素-電力変換効率は27.0%と低いが、各装置からの排熱も利用可能である点を考慮する必要がある。2.3において行った事前シミュレーションと同様の評価結果を図-6に示す。事前シミュレーションではシステムを導入しなかった場合の年間CO₂排出量は46.9tonであったが、新型コロナウイルス感染症対策の影響もあり2020年の市場管理棟の電力消費量が減少したため、年間CO₂排出量は38.2tonであった。本システムを導入しなかった場合と比較し、太陽光発電を導入し蓄電はせず、余剰電力を逆潮させた場合には40.6%のCO₂削減となるが、本システムにより余剰電力を有効活用することで年間53.1%のCO₂が削減可能であると評価した。実証で得られた電力-水素-電力変換効率は事前シミュレーションで用いた値より低かったが、2020年の市場管理棟の電力消費量が少なかった事も影響し、この結果は事前シミュレーションの内Case.2の平均年にほぼ等しい結果であった。これらの結果より日射量予測を基に行った事前シミュレーションの妥当性がおおよそ

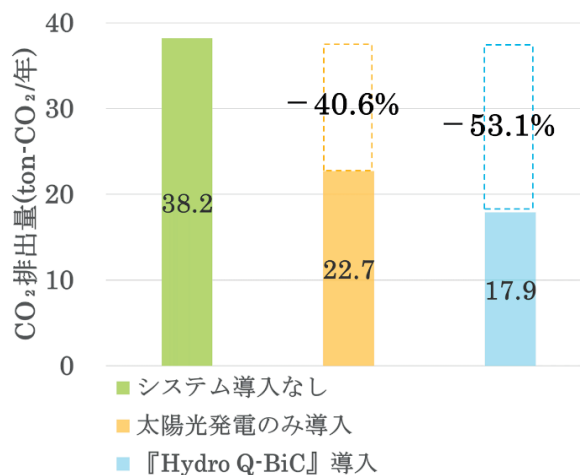


図-6 年間CO₂排出削減量(2020年)

確認できたと言える。また、水素利用システムを導入して再エネ電力の地産地消による脱炭素化を実現するためには、年間の日射条件によって変動する可能性があるCO₂削減効果に注意して、各設備の容量設計を行う必要がある。

3. 当社北陸支店への「Hydro Q-BiC[®]」導入

3.1 北陸支店システムの概要

商用第一号機となる「Hydro Q-BiC[®]」を2021年5月竣工の図-7に示す当社北陸支店へ導入し、現在運用を行っている¹³⁾。北陸支店では水素吸蔵合金の利用、水素漏洩検知システム、高換気量の確保により高い安全性を担保しており、屋内設置の再エネ水素利用システムとしては世界最大級となっている。当システムの諸元を表-3に、設備写真を図-8に示す。北陸支店では延床面積4,224m²の建物規模に対して、140kWの太陽光発電設備を実装しており、ZEBで最も環境性能の高い『ZEB』(ネット・ゼブ)を達成している。建物規模に対して大きな太陽光発電装置を設備しているため、土日祝日等の休業日に多量の余剰電力発生が想定されている。この余剰電力を蓄え、太陽光発電電力



図-7 清水建設(株)北陸支店外観

表-3 北陸支店システム諸元

設備	設備容量
太陽光発電	140kW
水素製造装置	10Nm ³ /h
水素吸蔵合金タンク	1,350Nm ³
燃料電池	100kW
蓄電池	出力：100kW 貯蔵量：104kWh



図-8 北陸支店内「Hydro Q-BiC®」

の少ない営業日や悪天候日に燃料電池で発電を行うことにより、再エネの地産地消を行う計画である。

3.2 北陸支店でのシステム運用方法

通常、システム運用時はエネルギー効率を重視するため、太陽光発電電力は直接利用することを優先する。一方、電力需要の少ない休日等に発生する太陽光発電余剰電力は水素利用システムに蓄え、平日の電力需要が大きい時間帯の電力ピークカットなどに利用する。

北陸支店の立地上、太陽光発電量は冬季が少ないのに対し、電力需要のピークは冬季に現れることが想定されている。水素を水素吸蔵合金に貯蔵した場合、貯蔵中のエネルギーロスがほとんどないため、蓄電池と異なり自己放電を考慮せず長期間の蓄エネルギーが可能である。そのため、当システムの運用方法として電力需要の少ない秋季に余剰電力を蓄え、冬季に利用するエネルギーのシーズンシフトを実施する予定である。

北陸支店においては、水素蓄エネルギー容量2,000kWhの内、通常時にも水素蓄エネルギー容量が1,000kWhを下回らないように運用することで、停電時にも当システムを活用して建物に電力供給することが可能である。早期の電力復旧見込みが想定される一時的な停電が発生した場合には、事業を継続するために必要な負荷に限定して12時間分の電力を供給する。一方、災害などで停電

が長期間継続すると判断した場合は、人が継続的に滞在するために不可欠な負荷に限定し、72時間分の電力を供給する。「Hydro Q-BiC®」において、水素吸蔵合金タンクの設置面積等を考慮する必要はあるが、設計段階で蓄エネルギー容量は自由に設定することができるため、施主の要望するBCP性能に合わせて設計することが可能である。

4. まとめ

本論文では水素利用システム「Hydro Q-BiC®」の市場実証、当社北陸支店への当システム導入について記述した。市場導入前の事前シミュレーション結果を、実際の運用データを用いた年間CO₂排出削減量の評価結果と比較し、よく一致することを確認した。また再エネ余剰電力が大量に発生する場合は、余剰電力の地産地消がCO₂排出量削減に大きく寄与することが確認できた。当システムは商用化しており、当社北陸支店への導入も実現している。水素蓄電の特性を活かし、災害時でも長期間自立運転を可能とするBCP機能をシステムに付与することで、今後は病院やデータセンターなど、BCPニーズの高い建物への普及が期待される。

謝辞

水素利用システムの開発・実証において、共同研究先である産業技術総合研究所、市場を管理されている郡山市に多大なご協力を頂きました。また、北陸支店への水素利用システム導入の際には環境省・令和2年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（水素を活用した社会基盤構築事業）「水素を活用した自立・分散型エネルギーシステム構築事業」より助成を受けております。ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) エネルギー総合工学研究所：エネルギーの展望 二次電池 - 改訂版 -, pp.10-14, 2008
- 2) 大角泰章：「新版 水素吸蔵合金—その物性と応用—」, アグネ技術センター, pp.14-16, pp.23-25, pp.517-521, 1993
- 3) 下田英介, 山根俊博, 野津剛, 遠藤成輝, 五舛目清剛, 前田哲彦：「建物付帯型水素エネルギー利用システムの開発(その1)」, 第37回水素エネルギー協会大会予稿集, pp.55-58, 2017
- 4) 前田哲彦, 五舛目清剛, 遠藤成輝, 下田英介, 山根俊博, 野津剛：「建物付帯型水素エネルギー利用システムの開発(その2)」, 第37回水素エネルギー協会大会予稿集, pp.143-144, 2017

- 5) 野津剛, 下田英介, 山根俊博, 遠藤成輝, 前田哲彦: “建物付帯型水素エネルギー利用システムの開発・実証—その1 システム概要—”, 2018年電気設備学会全国大会梗概集, pp.363-364, 2018
- 6) 山根俊博, 下田英介, 野津剛, 遠藤成輝, 前田哲彦: “建物付帯型水素エネルギー利用システムの開発・実証—その2 制御方法と運用結果—”, 2018年電気設備学会全国大会梗概集, pp.365-366, 2018
- 7) 下田英介, 山根俊博, 野津剛, 遠藤成輝, 前田哲彦: “建物付帯型水素エネルギー利用システムの開発・実証—その3 実建物適用に向けたシミュレーション検討—”, 2018年電気設備学会全国大会梗概集, pp.367-368, 2018
- 8) 瀬川裕太, 下田英介, 遠藤成輝, 前田哲彦: “建物付帯型水素利用システムの開発・実証—その5 実建物における水素利用システム運用実証—”, 2019年電気設備学会全国大会梗概集, pp.393-394, 2019
- 9) NEDO: 日射量データベース閲覧システム <https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>(最終閲覧日: 2021年11月11日)
- 10) 瀬川裕太, 下田英介, 山根俊博, 遠藤成輝, 前田哲彦: “建物付帯型水素利用システムの開発・実証—その7 実運用データを用いた年間CO₂削減量の評価—”, 2021年電気設備学会全国大会梗概集, pp.181-182, 2021
- 11) Naruki Endo, Shimoda Eisuke, Kiyotaka Goshome, Toshihiro Yamane, Tsuyoshi Nozu, Tetsuhiko Maeda: “Construction and operation of hydrogen energy utilization system for a zero emission building” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.44, pp.14596-14604, 2019
- 12) 東北電力: 2020年度のCO₂排出実績(速報値)について, <https://www.tohoku-epco.co.jp/enviro/picup/co.html>(最終閲覧日: 2021年11月11日)
- 13) 田川章裕, 下田英介, 瓦大介, 北村信之: “省エネルギーとBCP機能を実現する水素利用蓄エネルギーシステム—清水建設(株)北陸支店新築工事における超環境型オフィスへの取り組み—(その2)”, 2021年電気設備学会全国大会梗概集, pp.183-186, 2021