

余剰電力を蓄電池・低圧水素で貯蔵運用する 再エネ利活用実証

岡田 健志・七里 彰俊・張 本 和 芳

カーボンニュートラルに向けて再生可能エネルギーの普及が期待されるが、発電量が変動することから需給バランスが課題である。これに対し需要家側の取組として蓄エネルギー設備の導入が挙げられる。筆者らは蓄エネルギーのシステム計画、制御、効率等を検証するため ZEB を達成した建物を実証フィールドとして余剰電力を蓄エネルギーし、不足時に利用する再エネ利活用実証を開始した。蓄エネルギー設備はリチウムイオン蓄電池と、低圧水素の貯蔵設備で構成される。蓄電池は効率・制御性の観点から短期貯蔵、水素は容量・貯蔵性能の観点から長期貯蔵として運用し、それぞれの特徴を生かす。本報ではシステム構成や制御、計画の概要について報告する。

キーワード：太陽光発電、蓄電池、低圧水素、エネルギー自立、実証、EMS

1. はじめに

第6次エネルギー基本計画では2030年度の電源構成の再エネ構成比率を36～38%にするという高い目標が定められている¹⁾。その中でも太陽光発電(PV)は14～16%で最も多い比率となっているが、現状のPV普及率においても全国的に出力制限が発生している²⁾。出力制限は電力系統の送電容量制約と、PV発電と電力需要の不一致による需給バランス制約の2つの要因で発生する³⁾。PVを普及させるためには出力制限を回避して再エネ利用率を高めることが重要である。筆者は電力の余剰／不足を時間・季節間で融通する蓄エネルギー技術のシステム計画、制御性、エネルギー効率等を検証するため、余剰電力を蓄電して需給調整する再エネ利活用実証を開始した。蓄エネルギー設備にはリチウムイオン蓄電池と低圧水素を採用し、それぞれの効率性・制御性・貯蔵性の特徴を生かす最適なシステム構築を目指した。本報では蓄エネルギーシステムの構成や制御・計画を含む実証の概要について説明する。

2. 実証概要

本実証ではPVが普及し需給調整が必要な社会を想定するため、ZEBを達成した建物に対して蓄電池と水素設備から構成される蓄エネルギーシステムを接続し、電力余剰時に蓄電して不足時に放電する。対象建

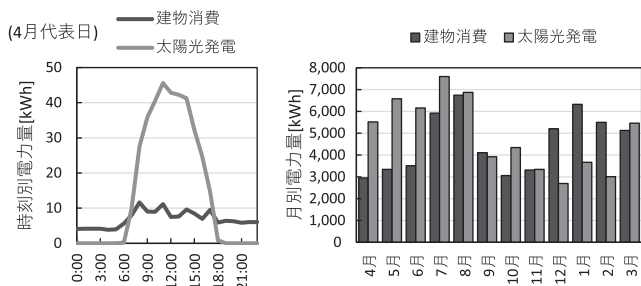
物の外観を写真―1、建物概要を表―1に示す。本建物の用途はオフィスで、壁面と屋上に太陽光パネルを設置(定格容量124kW)している。加えて空調や照明の省エネルギー化により電力需要を抑えることでZEBを達成している。建物の時刻別・月別の電力需要と太陽光発電量を図―1に示す。時刻別の図は4月代表日を示しており、電力需要に対して余剰が多く発生している。月別を見ると中間期である4～6月に発



写真―1 建物外観

表―1 建物概要

所在地	神奈川県横浜市
延べ床面積	1,277.32 m ²
階数	地上3階 塔屋1階
用途	オフィス
PV 定格発電量	124 kW (屋上: 56 kW, 壁面: 68 kW)



図—1 太陽光発電量と電力需要量（時刻別・月別）

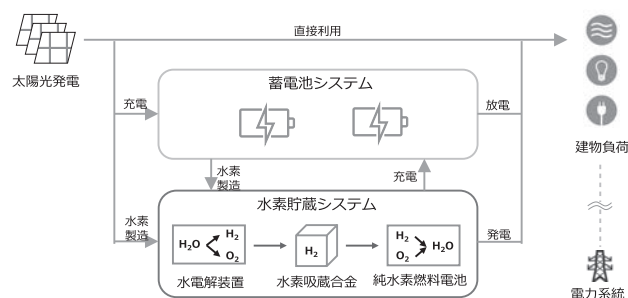
電が余る一方、冬の期間である12～2月は電力需要の増加と発電量の減少により電気が不足する。社会全体でPVが普及するとこのような時間・日単位の短期的な調整と月・季節単位の長期的な調整が課題となるため、蓄エネルギーによる平準化が期待される。本実証では蓄電池と水素貯蔵設備を最適制御することでPVのみで建物運用を達成する、エネルギー自立を目指した。

3. 蓄エネルギーシステム

蓄エネルギーシステムの概要を図—2に示す。蓄エネルギーシステムは蓄電池と水素貯蔵設備で構成される。PVの発電時は優先的に建物負荷へ電気を供給し、余剰した場合に蓄電池もしくは水素に変換して蓄電する。蓄電池は効率が高く制御の応答性が早いリチウムイオン型蓄電池を採用し、時間・日単位の短期的な需給調整を担う。一方の水素貯蔵キャリアには水素吸蔵合金タンク（Metal Hydride、以下MHタンク）を用いる。MHタンクは水素を低圧で吸放出可能なため建物近辺でも安全に管理でき、かつ高いエネルギー密度で貯蔵できる。また、水素に変換後は長期的に貯蔵しても損失がないことから季節を超えるような月単位の長期的な需給調整を担う。電気から水素への変換は水電解装置を用い、貯蔵した水素は純水素型の燃料電池（FC）で発電して建物へ供給する。蓄電池と水素設備を協調して運転させ、常時受電をゼロにして、PV発電量のみで建物を運用する。

主要な設備仕様を表—2に示す。蓄電池は900 kWh、水素貯蔵は2,000 Nm³（FC発電換算で3,333 kWh相当）の容量とした。容量は建物の発電・電力需要の実績データを用いてエネルギーシミュレーションに基づき決定した⁴⁾。

蓄電池システムの外観を写真—2、水素貯蔵システムの外観を写真—3に示す。蓄電池システムは局舎内に蓄電池盤を設置、水素貯蔵システムは屋外コンクリート基礎上に主要機器および補器類を設置している。MHタンクの水素吸放出は熱・圧力を管理して行



図—2 蓄エネルギーシステム概要

表—2 主要設備仕様

主要設備		仕様
蓄電池システム		Li-ion型、容量:900 kWh(450 kWh×2台)、入出力:100 kW/台
水素貯蔵システム	水電解装置	固体高分子電解質膜 (PEM) 型 製造能力:5.0 Nm ³ /h
	水素吸蔵合金	貯蔵量:2,000 Nm ³ (111 Nm ³ ×18台)
	純水素燃料電池	出力:5.0 kW



写真—2 蓄電池システム外観



写真—3 水素貯蔵システム外観

う（吸蔵時冷却・放出時加温）ため、補器類は主に熱源やポンプと制御システムである。水素のフローを図—3に示す。再エネ余剰電力で水素製造を行い、MHタンクおよびガスタンク（用途は4-(2)-(b)で後述）

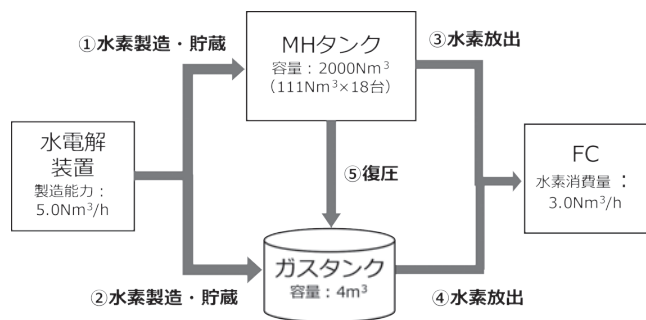


図-3 水素フロー

へ水素を貯蔵（図-3の①・②）し、冬場など電気が不足する時期に水素を放出（図-3の③・④）させてFCで発電し建物へ電力を供給する。

蓄電池と水素貯蔵システムはエネルギーマネジメントシステム（EMS）により充放電の制御を行う。蓄電池はPV発電と建物および水素貯蔵で消費される電力の差を監視し、系統から受電、逆潮しないように0.2秒間隔で充放電制御する。水素設備はEMSが蓄電池の蓄電残量および余剰電力発生状況から長期貯蔵の時期を判断して水素製造およびFCの発電を行う。

4. システムの高効率化に向けた取組

蓄エネルギーシステムを高効率に運用するため、以下の点に取り組んだ。

(1) 需給バランスを考慮した水素設備制御の検討

水素製造時、PV発電量と電力需要の変動によって余剰電力が不足する場合は蓄電池が放電して調整するが、蓄電池と水素貯蔵の間での電力の入力・出力は変換ロスとなる。一方、水素設備の稼働開始時・停止時はウォームアップ等で補器の消費が発生するため、できる限り連続運転が好ましい。余剰電力が安定して発生するとは限らないため、状況に応じた最適な制御手法とした。具体的には水素制御パラメータとして稼働開始時刻・稼働継続時間を設けて余剰電力の発生状況から水素製造の開始を判断する。

(2) 補器類のエネルギー消費削減

蓄エネルギーシステムにおけるエネルギー損失はエネルギーを変換する際に生じるロス（蓄電池充放電・水素製造・FC発電）と、システムの保守や制御に必要な補器で生じるエネルギー消費の2つがある。前者は各メーカーで装置の効率向上が取り組まれている。後者はエネルギー消費を最小限に抑えるシステム設計、制御手法が重要で、本実証で検討・構築した。

(a) 蓄電池の局舎内空調

蓄電池は周辺温度を35度以下に保つ必要があり、局舎には自然換気開口と換気ファン、空調設備が設置されている。蓄電池が発熱する充放電制御時や夏場において局舎内の温度を下げる際、省エネルギーとなるように自然換気、換気ファン稼働、空調設備稼働の順で空調するシステムとした。実証では外気温や蓄電池の充放電制御と局舎内環境の関係性を明らかにし、空調消費電力を評価する。

(b) 水素放出時のFC排熱利用

MHタンクからの水素放出時は加温が必要であり、FC発電時の排熱を用いる。しかし冬場のFC起動開始時、MHタンクの温度・圧力が不足する場合は水素が放出できない。このため、FC排熱を回収してMHタンクを加温し始めるまでのバッファ用として水素ガスタンクから水素を供給する。さらに、回目のFC稼働用としてFC発電中にMHタンクから水素ガスタンクに復圧可能なシステムとした（図-3の⑤）。実証ではFC排熱の回収効率や水素ガスタンクによる省エネルギー効果を評価する。

(c) 水素吸放出時の個別タンク制御

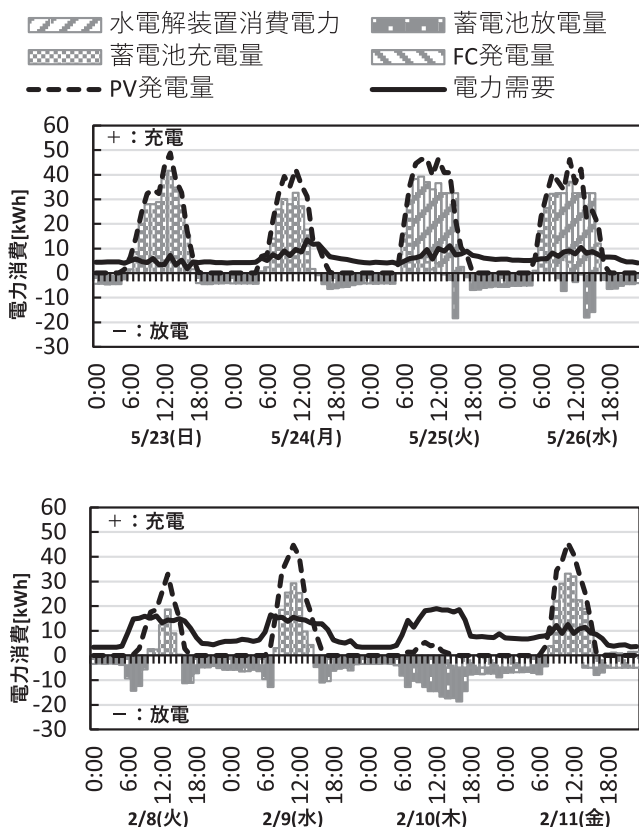
表-2の通りMHタンクは111Nm³×18台で構成されている。一方、水電解装置は5.0Nm³/hで水素を製造、FCは3.0Nm³/hで水素を消費するため、時間当たりの水素吸蔵・放出量は全体容量に対し少ない。そこで吸放出する際に必要な熱量の削減および熱媒の搬送動力を少なくするため、MHタンク1台ずつを加温・冷却対象とするよう制御するシステムとした。

(3) 蓄エネルギー残量予測に基づくデマンドレスポンス

エネルギー自立を高める上では建物消費を抑えることも有効である。そこでEMSが天候や気温等の状況で余剰電力が足りない場合に空調・照明を制御して建物消費を削減するデマンドレスポンス（DR）機能を構築した。具体的にはEMSが年間の発電と電力需要を予測して蓄電池と水素設備の稼働をシミュレーションし、蓄エネルギーの残量推移を推計することでエネルギーの不足を予見してDRを判断する。

5. 運用計画

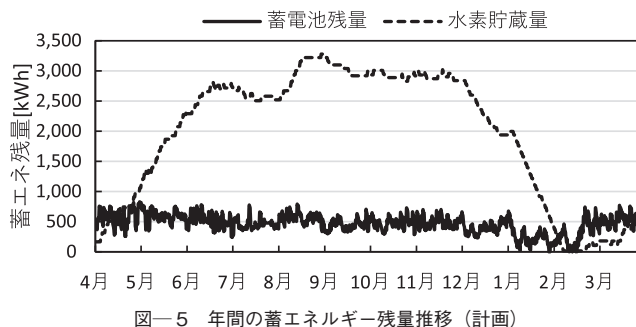
蓄エネルギー制御の運用計画として、時系列のPV発電と電力需要に対する蓄電池充放電と水素製造、FC発電の電力量を図-4に示す。折れ線でPVの発電量と電力需要、積み上げで蓄エネルギーの充電（+）



図一 4 PV 発電と電力需要に対する蓄エネルギー制御 (上段: 5月代表日, 下段: 2月代表日)

と放電(－)を示す。上段は中間期、下段は冬期の例として5月、2月の代表日を示している。5月は余剰が多く発生するため23、24日は蓄電池へ充電し、25、26日は長期調整用に水素製造する。25日15時や26日14～15時で蓄電池の放電が発生しているが、これは余剰電力では不足する電力量を補って水素製造しているためである。水素製造の稼働時間数を確保するために蓄電池から放電しているが、蓄電池の放電による水素製造はシステム効率が低下するため最適な制御を実運用で検証していく。夜間は蓄電池が放電することでPVの発電のみで建物を運用している。一方2月はPV発電が少なく電力需要が多いことから蓄電池放電が多く、また長期調整として中間期などに製造した水素でFCを発電(2月10日14時～11日4時)する。

年間を通してシミュレーションした際の蓄電池残量・水素貯蔵量の推移を図一5に示す。4月から夏にかけて余剰電力による水素の貯蔵量が上昇し、12月から放出し始め、2月頃に最小となる。一方、蓄電池は日々の充放電を繰り返すため天候の変動に合わせて小刻みに充電量が変化する。このように短期調整する蓄電池と長期調整する水素貯蔵の特徴が残量推移に現れている。



図一 5 年間の蓄エネルギー残量推移 (計画)

6. おわりに

本報では蓄電池・水素貯蔵を用いた再エネ利活用実証のシステム構成や高効率化に向けた取組、運転時のエネルギーバランスの計画について報告した。今後は蓄電池、水素貯蔵システム、全体の各システムの性能検証を進め、年間を通したエネルギー性能評価、CO₂削減効果を評価していく。

JCMA

《参考文献》

- 1) 経済産業省、今後の再生可能エネルギー政策について、2024.5.29, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/062_01_00.pdf (2024.8.7 参照)
- 2) 経済産業省、再生可能エネルギーの出力制御の抑制に向けた取組等について、2024.5.29, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene-shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/051_01_00.pdf (2024.8.7 参照)
- 3) 経済産業省、出力制御について、https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/grid/08_syuturyokuseigyo.html (2024.8.7 参照)
- 4) 岡田、他：建物・施設における蓄エネルギーシステムに関する研究 その1 蓄電池・水素による季節間蓄エネルギーシステムの検討、日本建築学会学術講演梗概集、2022.9

〔筆者紹介〕

岡田 健志 (おかだ たけし)
大成建設
技術センター 都市基盤技術研究部
空間研究室
主任



七里 彰俊 (しちり あきとし)
大成建設
技術センター 都市基盤技術研究部
空間研究室
課長代理



張本 和芳 (はりもと かずよし)
大成建設
技術センター 都市基盤技術研究部
空間研究室
次長

