

第1報 スマートタウンへの導入に関わる基礎的検討 水素エネルギー利用システムの建築物への導入シミュレーション

Part 1 Basic study for the introduction into a smart town
Simulation of hydrogen energy utilization system installation in buildings

池 開成*, 今井 彩恵*, 湯浅 和博**, 垂水 弘夫***, 北川 遼****, 下田 英介****

Kaisei Ike, Sae Imai, Kazuhiro Yuasa, Hiroo Tarumi, Haruka Kitagawa, Eisuke Shimoda

keywords: Hydrogen Energy, Smart City, Simulation, CO₂ Emissions
水素エネルギー、スマートシティ、シミュレーション、CO₂ 排出量

1. はじめに

太陽光発電システムを導入した住宅はこれまで余剰電力を売電してきたが、FIT 制度終了や再生可能エネルギー出力制御等の課題により、全国的に展開されるスマートタウンを含め建物・街単位での自家消費拡大に向けた取り組みが進んでいる。余剰電力の活用手段としては、大容量かつ長期間のエネルギー貯蔵が可能である水素エネルギー利用システム(以下、水素システム)が注目されている。²⁾しかし、水素システムのスマートタウンへの導入条件及び運用方法は十分に明らかでない。そこで本研究では、スマートタウンにおける水素システムの導入条件及び最適運用シミュレーションによりシステムの設備構成と運用方法を明らかにすることを目的とする。

2. スマートタウンへの水素システムの導入

2.1 FSST 概要

モデルケースとして、Fujisawa サステナブル・スマートタウン(以下、FSST)を対象とする。2021 年時点で、545 軒の戸建住宅に PV と蓄電池が設置されており、そのうち 369 軒には燃料電池も導入されている。蓄電容量は 5.0kWh で、災害対策のため常に満充電状態で運用されている。加えて、表 1 に示す 3 つの非住宅施設が存在する。

2.2 水素システム導入モデルの提案

図 1 に中間期における提案システムのエネルギーフローと設備構成を示す。従来は各住宅が電力会社と個別契約して売電・買電を行っていたが、本提案では商業施設をエネルギー拠点とし、一括受電方式を採用する。商業施設が電力会社との売買を担い、住宅とは地中自営線で接続し電力を融通する。住宅には新たに電力メーターを設置し、商業施設には蓄電池と水素設備を導入する。

中間期における晴天日昼間の住宅余剰電力は商業施設へ供給され、施設需要の補填や住宅への夜間供給のための蓄電に利用される。近日中で予想される雨天日を考慮して蓄電量が決定され、なお余剰がある場合は水電解により水素を製造・貯蔵する。雨天日や夜間など PV 発電がない時間帯は、主に蓄電池と電力会社からの買電(一定値以下)で需要を賄う。中間期にはこのフローにより水素を蓄積する。

図 2 に夏期・冬期における提案システムのエネルギーフローと設備構成を示す。空調使用増加に伴う電力・熱需要の上昇に対し、中間期に貯蔵した水素を燃料電池や水素焚吸収冷温水機で電力や熱に変換して利用する。ここで、

蓄電池と比較して大量かつ長期の貯蔵に優れる水素の利用により、街全体の余剰電力を季節間で融通するシーズンシフトが実現する。

表 1 FSST 概要

FSSTの概要			
所在地	神奈川県藤沢市辻堂元町	街区大きさ	東西700m×南北500mの19.3ha
タウンビジョン	計画 2008 生成・構築期 2018 成長期 2048 成熟期 2078 発展 2108		
対象住宅の概要		設備概要	
type1 369軒	電気+ガス	太陽光発電・蓄電池(5,000Wh)・固体高分子形燃料電池(750W)	
type2 194軒	全電化住宅	太陽光発電・蓄電池(5,000Wh)	
対象非住宅施設の概要		施設概要	
施設A		施設Bと併設され、FSSTのマネジメント機能を持つ商業施設	
施設B		書店を中核としたカフェなどを有する商業施設	
施設C		特別養護老人ホームや各種クリニック、保育所が一体となった複合施設	

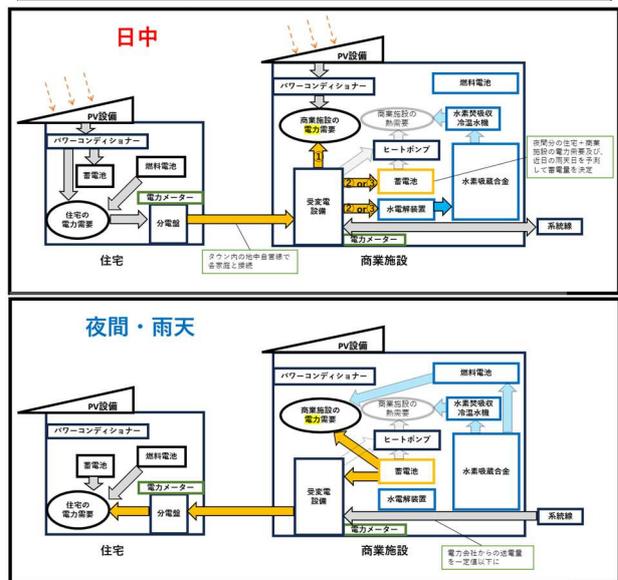


図 1 中間期におけるエネルギーフロー及び設備構成

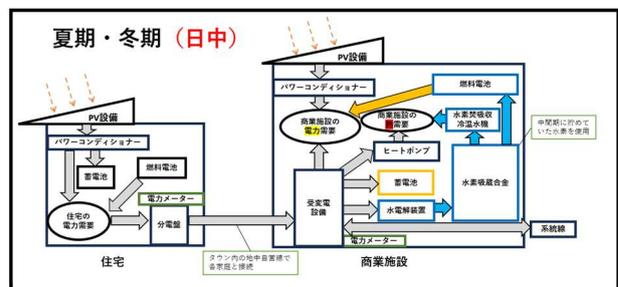


図 2 夏期・冬期におけるエネルギーフロー及び設備構成

*東京科学大学 修士課程 **東京科学大学 准教授・工博

金沢工業大学 名誉教授・工博 *清水建設株式会社

*Graduate Student, Institute of Science Tokyo**Assoc. Professor, Institute of Science Tokyo, Dr. Eng.

*** Professor Emeritus, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng. ****Shimizu Corp.

3. 四季代表晴天日モデルの最適シミュレーション

3.1 電力・熱需要諸量設定

図3に、517世帯の住宅および3つの商業施設を対象としたHEMSデータと欠損期間を気象データにより補完^{*1}した、四季代表晴天日における時刻別電力・熱需要諸量を示す。住宅売電量・買電量は積算値、商業施設のPV発電量・電力需要は3施設分を合算して算出した。春期は比較的住宅からの売電が多く11219kWh/日となり、夏・冬期は熱需要が増大し、特に冬期には最大2336MJ/hを示した。

3.2 最適運用シミュレーション

3.2.1 シミュレーション概要

Pythonを用い作成した線形計画法モデルに基づき、水素システムの最適運用を解く。前節のエネルギー需要をもとに年間^{*2}時刻別シミュレーションを行い、目的関数はCO₂排出量最小化とした。買電電力 E_{buy} 、CO₂排出係数^{*3}を用いて式(1)となる。

$$m = \sum (E_{buy} \times 0.421) \quad (1)$$

表2に示すBT^{*4}、WE、FC、MH等の定格出力/容量を用い、各機器の1時間毎の運転計画を決定した。

3.2.2 HP有無による運用方法の変化

HP有のMH貯蔵量・BT蓄電量時刻別推移を図4に、HP有・無の各季におけるエネルギー諸量時刻別推移を図5および図6に示す。図4より、水素は春期・秋期^{*2}で単調に貯蔵され夏期・冬期に使用されている。また、日々の蓄電最大値(kWh)は概ね蓄電池容量と一致している。図5より、春期・秋期では昼間の余剰電力から夕方・夜間需要分を蓄電し、翌日はPV発電が始まった直後の数時間でWE稼働させて水素を製造している(春期:722Nm³/日)。夏期・冬期には中間期に貯蔵した水素をHCH稼働に日々使用し熱需要を賅っており(夏期:487Nm³/日、冬期-MH内水素有:1356Nm³/日)、シーズン間のエネルギーシフトが確認された。また、1月10日を境に貯蔵分の水素を概ね使い切りHPの主運転に切り替えている。

図5(i)と図6(i)を比較すると、HP0では深夜から早期の買電量が増加し、その影響で蓄電量が低下している。その日中の余剰電力を水素製造に企てている。夏期は全熱需要をHCHが負担し(848Nm³/日)、住宅への送電および商業施設の電力需要は買電と昼間の蓄電池充電量で補う。また、日中の余剰電力の一部は水素変換されている。

4. まとめ

- 1) 水素システム導入モデルのエネルギーフローおよび設備構成を提案した。
- 2) 四季代表日を用いた最適運用シミュレーションで、長期間水素貯蔵を伴う水素システム運用の可能性を示した。

*1: PV発電量は、HEMS取得期間における全日射量(東京)をErbsモデルで直散分離し、斜面日射量(30°)とPV発電量の近似式を導出した上で、東京の年間時刻別日射量に適用し算出した。電力・熱需要は、住宅・商業施設の曜日別に時刻別平均電力消費量を中間期・夏期・冬期で区分して作成し外気温との線形関係から欠損期間の推計をした。商業施設の中間期消費を固定電力とし、夏期・冬期との差分を熱需要とみなし、外気温が基準範囲(19~25℃)外では季節別の線形回帰式で推定した。尚、5~10月を冷房期、11~4月を暖房期とした。

*2: 年間を四季代表日が連続する形で設定。春期(3月16日~6月15日)、夏期(6月16日~9月15日)、秋期(9月16日~12月15日)、冬期(12月16日~3月15日)

*3: 東京電力(2024年)のCO₂排出係数を使用。

*4: 容量は夕方・夜間需要量[買電+商業施設電力需要量]-[商業PV+売電]kWhから決定

参考文献

- 1) 田中: スマートタウンにおける余剰発電量の有効利用に関する研究、東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系修士論文 2024年
- 2) 下田ら: 建物の再エネ余剰電力を有効活用する水素エネルギー利用システムの開発、清水建設研究報告、第96号、2018年

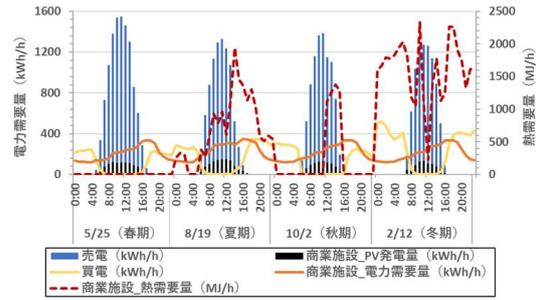


図3 代表日における電力・熱需要諸量

表2 システム構成機器の性能と容量の設定

BT	充電効率	0.85	BT	定格出力	5056 kW	容量	5056 kW
	自己放電率	0.0015/h	WE	定格出力	HP		
WE	電解効率	0.2 Nm ³ /kWh	FC	定格出力	0.1200 kW		
FC	発電効率	1.67 kWh/Nm ³		定格出力	FC		
	COP	1.36		定格出力	0 kW		
HCH	水素消費量	冷房 68.5 Nm ³ /h		定格出力	WE		
	暖房	99.4 Nm ³ /h		定格出力	1600 kW		
HP	COP	冷房 3.8		定格出力	HCH		
	暖房	3.6		定格出力	1200 kW		
				容量	MH		
					100000 Nm ³		

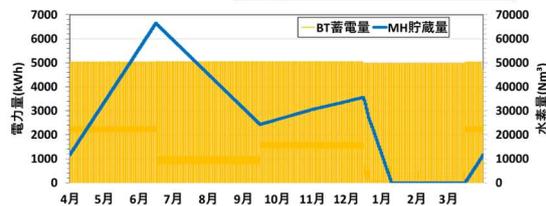


図4 MH貯蔵量・BT蓄電量推移 (HP1200)

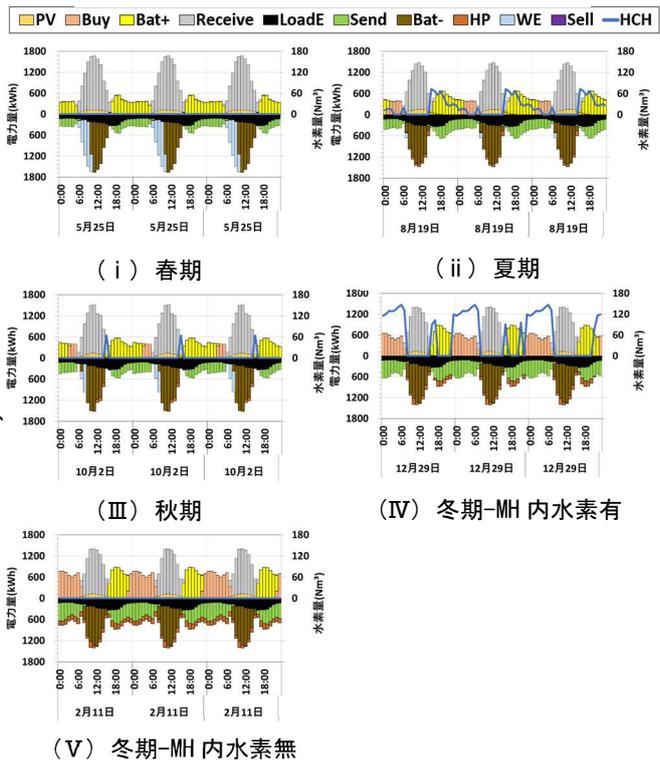


図5 エネルギー諸量推移 (HP1200)

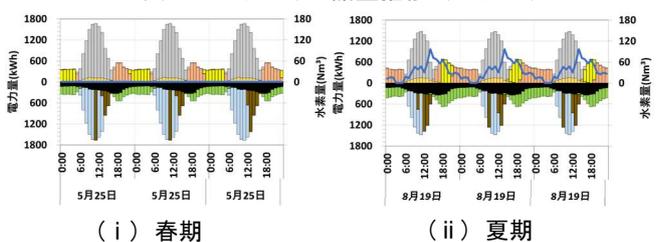


図6 エネルギー諸量推移 (HP0)