

Independent-smart Zero Emission Building (IsZEB) に関する研究

水素製造装置と燃料電池を導入した IsZEB システムの検討

設楽 悠人 指導教員 有波 裕貴 助教

1 研究目的

近年、net ZEB^{*1} など様々な ZEB が提案され普及促進が図られている。net ZEB は年間の電力収支をゼロとするためオンサイトでの再生可能エネルギーによる発電（主に太陽光発電）及び逆潮流が必須となる。一方で、一般電気事業者は電力の需給バランスを維持するため、管内の太陽光発電量に応じて発電設備の出力調整を行っている。今後再生可能エネルギー由来の比較の変動が大きい逆潮流がさらに増加した場合、調整が困難となる可能性がある。

本研究では年間全時刻において売買電せずに建物単体でエネルギー需給を自立する Independent-smart Zero Emission Building (以下 IsZEB) の検討を行う。既往の研究^{文1)}では、新潟大学附属小・中学校を対象とし、太陽光発電・蓄電装置によって構成された IsZEB (IsZEB ①) により、設備耐用年数より短い期間で投資回収できることが示されたが、最少のライフサイクルコスト時において約 100 万 [kWh/年] 以上の余剰電力が生じた。本研究では既往の研究^{文1)}と同じ建物を対象とし、IsZEB ①に加えて水素製造装置、蓄水素装置、燃料電池を導入し、余剰電力を水素変換する IsZEB (IsZEB ②) を検討する。最適システム構成、ライフサイクルコスト・CO₂、投資回収年数の分析を行うことで、水素関連設備を導入した IsZEB (IsZEB ②) の効果及び経済性を明らかにすることを目的とする。

2 研究概要

2.1 対象建物及び水素製造装置、蓄水素装置、燃料電池を導入した IsZEB の概要：表 1 に対象建物の概要、図 1 に水素製造装置、蓄水素装置、燃料電池を導入した IsZEB

表 1 対象建物の概要

構造	鉄筋コンクリート		
冷暖房設備	パッケージエアコン、ガス暖房		
機械換気設備	標準換気扇	23,415	
換気量 [m ³ /h]	全熱交換換気扇	1,710	
床面積 [m ²]	小学校	1階	2,542
		2階	2,242
		3階	1,443
	中学校	1階	1,788
		2階	821
		3階	675
階高 [m]	4.12		
総屋根面積 [m ²]	5,222		

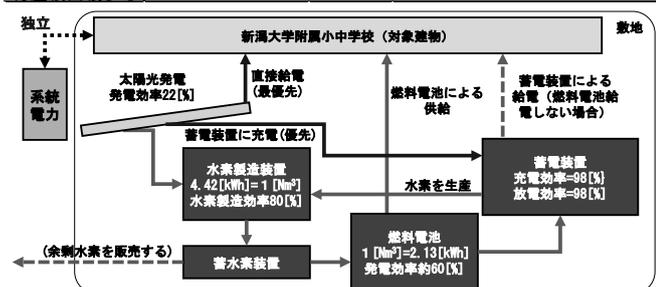


図 1 水素製造装置、蓄水素装置、燃料電池を導入した IsZEB システム (IsZEB ②) の概要

システム (IsZEB ②) の概要を示す。既往の研究^{文1)}で示された IsZEB ①は比較的大規模な太陽光発電・蓄電装置で構成される。本研究ではこれに加えて、水素製造装置、蓄水素装置、燃料電池を設置し、系統電力から独立した状態で電力自給と水素生産・蓄蔵ができる建物を検討する。

2.2 対象建物の電力消費量及び太陽光発電量：図 2 に対象建物においてガス消費量を電力消費量に換算した合計電力消費量、図 3 に単位太陽光パネル面積あたりの日積算発電量を示す。対象建物では電力とガスが使用されている。ガスを電力消費量へ換算する方法^{*2}と太陽光発電量の計算方法は既往の研究^{文1)}と同様である。

2.3 装置稼働率を向上させるための手法（一日平均法）の検討：IsZEB ①では、太陽光発電量が対象建物の電力消費量より多く、蓄電装置が満充電の場合、余剰電力が発生する。IsZEB ②では翌日の余剰電力を推定し、主に夜間に



図 2 ガス消費量を電力消費量に換算した合計電力消費量

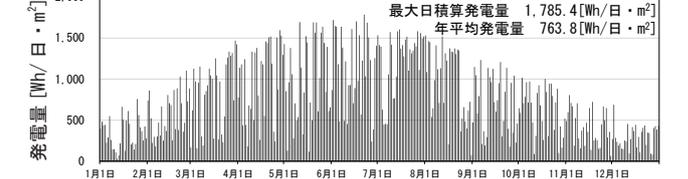


図 3 単位太陽光パネル面積あたりの日積算発電量

表 2 各設備の基本情報

太陽光発電装置	単価 [円/kW]	140,000
	メンテナンス費用 [円/(kW・年)]	5,000
	廃棄費用 [円/kW]	9,700
蓄電装置	定格出力量 [Wh/m ²]	220
	発電効率 [%]	20
水素製造装置	単価 [円/kWh]	16,500
	充/放電効率 [%]	98
燃料電池 (SOFC)	単価 [円/kW]	150,000
	メンテナンス費用 [円/(kW・年)]	4,800
	電解効率	4.42 [kWh/Nm ³] (80 [%])
水素蓄蔵装置	単価 [円/kWh]	500,000
	発電効率 [kW/Nm ³]	2.13 (60 [%])
水素蓄蔵装置	単価	1,878 [円/kWh] (4,000 [円/Nm ³])

表 3 東北電力の業務用電力料金プラン (2024)

基本料金 [円/kW]	2,031.70	
電力量料金 [円/kWh]	夏季 (7月-9月)	31.67
	その他季	30.47
再生可能エネルギー促進賦課金単価 [円/kWh]	3.49	
燃料調整費 [円/kWh]	0、5、10	

表 4 各 CO₂ 排出原単位

太陽光発電装置	1,500 [kg-CO ₂ /kW]
蓄電装置	200 [kg-CO ₂ /kWh]
水素製造装置	100 [kg-CO ₂ /kW]
燃料電池 (SOFC)	250 [kg-CO ₂ /kW]
水素蓄蔵装置	25 [kg-CO ₂ /kW]
東北電力の CO ₂ 排出原単位	0.457 [kg-CO ₂ /kWh]

において蓄電電力を予め水素変換することで、余剰電力分の蓄電容量を確保する手法（一日平均法）を検討する。この方法により、各設備の稼働率が向上すると考えられる。

2.4 ライフサイクルコスト及び投資回収年数、CO₂排出量の計算方法：表2に各設備の基本情報、表3に東北電力の業務用電力料金プラン、表4に各CO₂排出原単位を示す。IsZEB②モデルは水素製造装置、蓄水素装置、燃料電池のイニシャル・ランニングの各コストにより、ライフサイクルコストを算出する。料金プランは2024年4月に公表された最新のものを使用する。電力会社供給モデルは購入電力量と電気料金プランによりランニングコストを求め、ライフサイクルコストとする。投資回収年数は各モデルのライフサイクルコストを電力会社供給モデルの年間電力購入料金で除して計算する。CO₂排出量はIsZEB②モデルでは設備生産時CO₂排出量の合計値をライフサイクルCO₂とする。電力会社供給モデルは購入電力量と東北電力のCO₂排出原単位により算出する。

2.5 IsZEB②のシステム構成の検討方法：本研究では太陽光発電量18[kW](100[m²])ごとに各設備容量を変化させてライフサイクルコストを求める。その上で最適なシステムをライフサイクルコスト、二酸化炭素排出量、余剰電力の水素変換率^{*3}と余剰水素量により総合的に判断する。

3 解析結果

3.1 一日平均法による余剰電力の水素変換率：図4に一日平均法の有無による蓄電残量の年変化^{*4}を、図5に一日平均法の有無による年間の余剰電力の水素変換率を示す。一日平均法により、主に夏季・中間季において蓄電装置の稼働率が向上する(図4)。水素製造装置容量が330[kW]において、一日平均法ありの場合、余剰電力の水素変換率がほぼ100%となる(図5)。一方、一日平均法なしの場合、余剰電力の水素変換率は約60%となる。余剰電力の水素変換率は一日平均法を利用した場合に高くなる。

3.2 各太陽光発電容量における最少ライフサイクルコスト

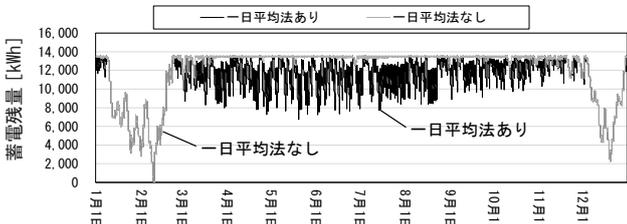


図4 一日平均法の有無による蓄電残量の年変化^{*4} (太陽光発電装置 936[kW] (5,200[m²]))

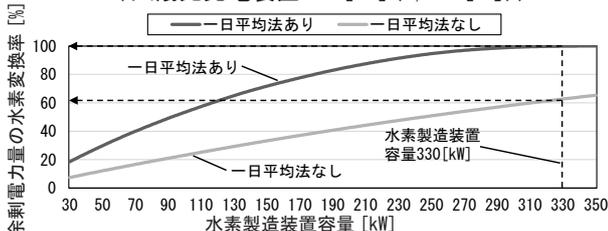


図5 一日平均法の有無による年間の余剰電力の水素変換率 (太陽光発電容量 936[kW] (5,200[m²]))

トと最適なシステム構成の検討：図6に各太陽光発電容量において最少ライフサイクルコストとなる設備構成と余剰水素量、余剰電力の水素変換率、CO₂排出量を示す。太陽光発電容量が396[kW]から432[kW]までは余剰電力の水素変換率は約100%であり、余剰水素量もほぼない。太陽光発電容量432[kW]では、ライフサイクルコスト約4.7[億円]、CO₂排出量は約3,130[t]であり、電力会社供給モデルに比べ約770[t]削減できる。太陽光発電容量が918[kW]では、ライフサイクルコストが最少となり約3.9[億円]、CO₂削減量は約1,470[t]、年間余剰水素量は18万[Nm³]となる。更に、この余剰水素の販売^{*5}が出来れば、ライフサイクルコストは2.3[億円]と減少し、ライフサイクルCO₂を1,050[t]削減することができる。

3.3 投資回収年数の算出：電力会社供給モデルの年間購入電気料金は燃料調整費0、5、10[円]の場合、約2,389[万円]、2,603[万円]、2,816[万円]となる。IsZEB②において太陽光発電容量が432[kW]の場合、それぞれの投資回収年数は19.7、18.0、16.7年となる。

4 まとめ

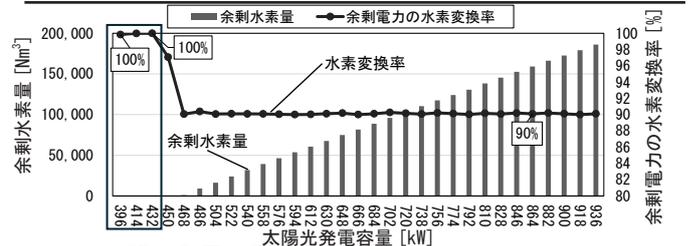
- ①太陽光パネル面積396[kW]から432[kW]にかけて余剰電力の水素変換率は約100%となり、432[kW]ではライフサイクルコスト約4.7[億円]となる。
- ②燃料調整費が0、5、10[円]の場合で20年以内に投資回収できる。

注釈

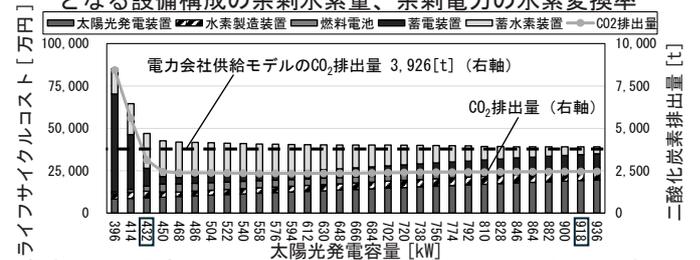
- ※1 先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを旨とした建築物。
- ※2 ガス消費量を電力消費量に換算する際、給食用ガス機器の熱効率を0.45[-]、IH調理機の熱効率は0.9[-]とする。給湯用ガス機器の熱効率は0.9[-]、エコキュートのCOPを3[-]とする。ガス暖房機器の熱効率を0.8[-]、経年劣化による熱効率低下を10[%]とし、エアコンのAPFを4.8[-]とする。
- ※3 本研究では、余剰電力の水素変換率が90%以上となる条件を対象に検討を行う。
- ※4 一年間の助走計算を行っている。
- ※5 水素販売純利益は500[円/kg] (45[円/Nm³])、水素販売によるCO₂排出削減量は1[Nm³]の水素の発電量(2.13[kWh])と東北電力のCO₂排出原単位から算出する。

参考文献

- 文1) 鈴木：「Independent-smart Zero Emission Building (IsZEB) に関する研究」、新潟大学工学部工学科建築学プログラム卒業論文、2023年



(a) 各太陽光発電容量における最少ライフサイクルコストとなる設備構成の余剰水素量、余剰電力の水素変換率



(b) 各太陽光発電容量における最少ライフサイクルコストとCO₂排出量
図6 各太陽光発電容量における最少ライフサイクルコストとなる設備構成と余剰水素量、余剰電力の水素変換率、CO₂排出量