

グリーン水素ビルシステムに関する運転実態調査
金沢に立地する ZEB オフィスの温熱環境・エネルギー性能検証 第3報
 O Survey on Actual Operation of the Green Hydrogen Building System
 Verification on thermal environment and energy performance of the ZEB office in Kanazawa, Part 3

渡 陽* 加藤 創* 垂水 弘夫**
 Akira Watari Hajime Kato Hiroo Tarumi
 宮村 泰至*** 天田 靖佳*** 山本 ミゲイル*** 長谷部 弥****
 Yasushi Miyamura Yasuyoshi Amada Miguel Yamamoto Hisashi Hasebe

Keywords : Green hydrogen building system, Lithium-ion battery, Energy storage system
 グリーン水素ビルシステム、リチウムイオン電池、エネルギー貯蔵システム

1. はじめに

近年、我が国では、「脱炭素社会」を目指している。そこで、温室効果ガスを排出しないエネルギーである水素が注目されており、二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待されている。しかし、これまでに建築物に水素エネルギーシステムを適用した事例は、ほとんど報告されていない。

本研究では、金沢に新築されたnZEBオフィスを対象として、グリーン水素ビルシステム（太陽光発電+水素製造装置(水電気分解装置)+水素吸蔵合金タンク+燃料電池)を中心とする運転実態調査を実施し、投入する太陽光発電電力量と水素吸蔵流量との関係を把握することや当該システムが BCP(事業継続計画)に及ぼす効果を検討することなどを目的とする。図1に研究概念図を示す。

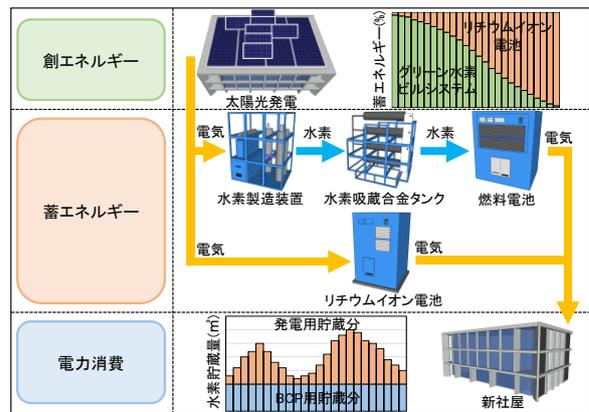


図1 研究概念図

2. 調査対象建物・設備の概要と調査方法

2.1 研究対象

本研究では、石川県に立地する nZEB オフィスのグリーン水素ビルシステム、及びリチウムイオン電池を対象に行う。研究対象建物とグリーン水素ビルシステムの構成要素を写真1に示す。オフィスの屋上に設置している太陽光発電の発電能力は140kW、水素製造装置の水素製造能力は10Nm³/h、水素吸蔵合金タンクの水素貯蔵量は1350Nm³(2000kWh)、燃料電池の発電能力は100kW、リチウムイオン電池の蓄電容量は104kWhである。表1に水素関係機器の仕様書を示す。

2.2 測定方法

測定方法は BEMS から太陽光発電電力、水素放吸蔵・放出流量、燃料電池発電電力量、回収熱利用量、リチウムイオン電池充電・放電電力量を測定する。

図2に系統図を示す。電力計測点は7つあり、温度計測点は2つある。リチウムイオン電池充電電力量、リチウムイオン電池放電電力量、グリーン水素ビルシステム消費電力量とそこに含まれる水素製造装置消費電力量、燃料電池発電電力量は補機込みの値である。また、温度計測点に関わる回収熱利用量は7月から12月の今回における測定期間において、利用している動きは見られなかった。



写真1 研究対象建物とグリーン水素ビルシステムの構成要素

* 金沢工業大学大学院建築学専攻 大学院生 Graduate School, Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology.
 ** 金沢工業大学建築学部 教授・工博 Prof., Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.
 *** 清水建設株式会社 Shimizu Corporation
 **** 清水建設株式会社 博士(工学) Shimizu Corporation, Dr. Eng.

3. 運転実態

3.1 太陽光発電電力用途内訳の時刻別解析

図3に太陽光発電電力用途内訳時刻別平均推移を示す。太陽光発電電力は5時から18時の間に電力が得られており、11時頃に49.0kWhでピークを迎えている。また、グリーン水素ビルシステムは8時から16時の間に本格的に電力が供給されており、12時頃に4.9kWhでピークを迎えている。

3.2 太陽光発電電力用途内訳の月積算推移

図4に太陽光発電電力用途内訳日別積算推移を示す。7月から12月の期間において、グリーン水素ビルシステム消費電力量は7月18日が379.0kWh/日で最も大きく、太陽光発電電力量は721.2kWh/日であった。また、グリーン水素ビルシステム消費電力量は9月6日が66.0kWh/日で最も小さく、太陽光発電電力量は536.7kWh/日であった。

表2に2021年7月から12月の太陽光発電電力を含む電力需給割合を示す。7月から12月の期間において、供給側では、

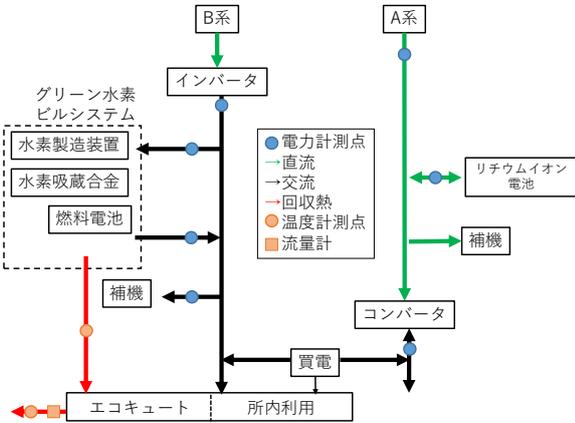


図2 系統図

表1 水素関係機器仕様書

水素製造装置		水素吸蔵合金タンク	
メーカー	日立造船(株)	メーカー	清水建設(株)
型式	固体高分子電解質型水電解装置	水素吸蔵合金	TiFe系合金SAJ
水素最大発生量	10Nm ³ /h	水素貯蔵タンク本数	20本
燃料電池		水素貯蔵量	1本あたり67.5Nm ³
メーカー	東芝エネルギーシステムズ(株)	貯蔵合計量	1350Nm ³
型式	TH2-100C-A	水素吸蔵能力	10Nm ³ /h
定格出力	100kW	水素供給能力	66Nm ³ /h
定格発電効率(LHV)	50%		

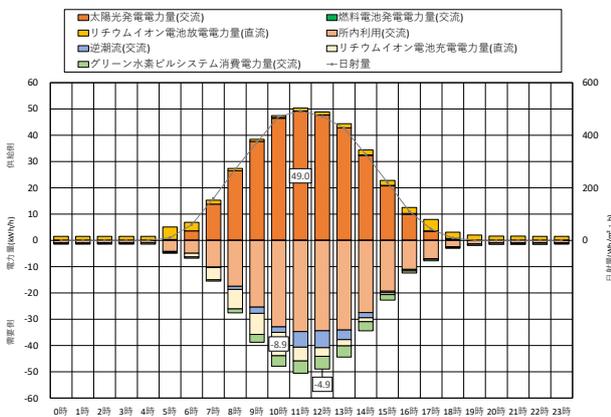
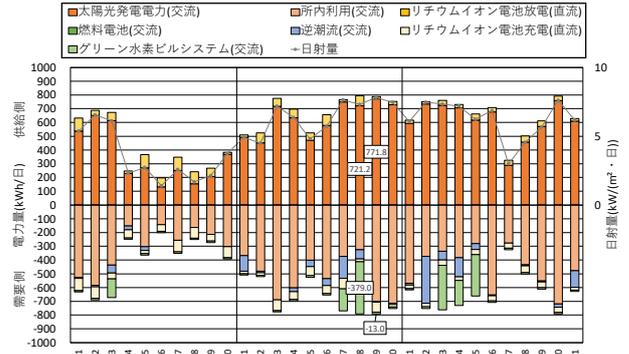
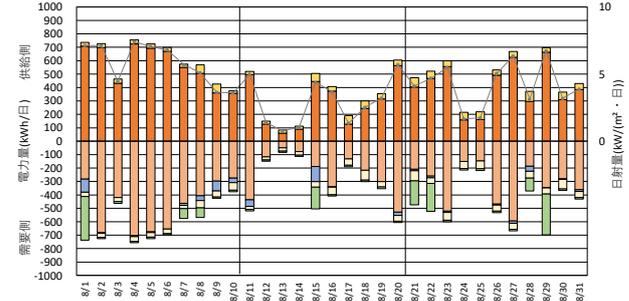


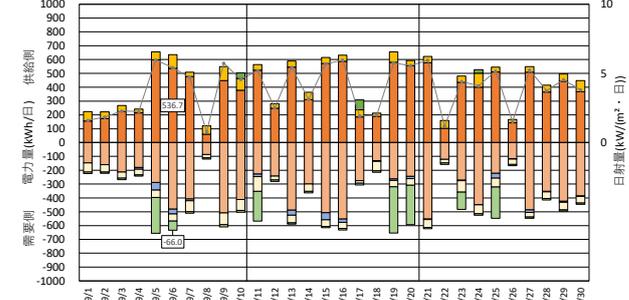
図3 太陽光発電電力用途内訳(時刻別平均推移)



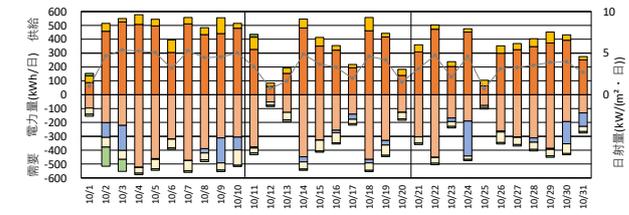
(1)7月日別積算パターン(7/1~7/31)



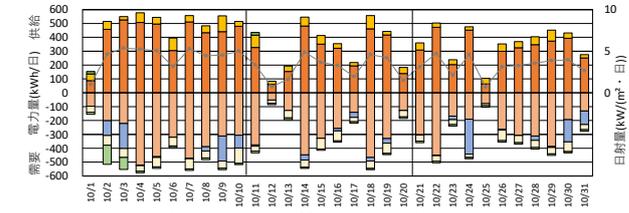
(2)8月日別積算パターン(8/1~8/31)



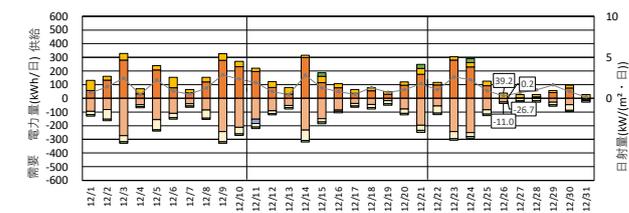
(3)9月日別積算パターン(9/1~9/30)



(4)10月日別積算パターン(10/1~10/31)



(5)11月日別積算パターン(11/1~11/30)



(6)12月日別積算パターン(12/1~12/31)

図4 太陽光発電電力用途内訳(日別積算推移)

表2 太陽光発電電力を含む電力需給割合

	供給						需要								日射量 kW/(㎡・日)
	太陽光発電 電力量 (交流)		燃料電池 発電電力量 (交流)		リチウムイオン 電池 放電電力量 (直流)		グリーン 水素 ビルシステム 消費電力量 (交流)		リチウムイオン 電池 充電電力量 (直流)		逆潮流 (交流)		所内利用 (交流)		
	kWh/月	%	kWh/月	%	kWh/月	%	kWh/月	%	kWh/月	%	kWh/月	%	kWh/月	%	
7月	16459.9	91.9%	0.0	0.0%	1460.5	8.1%	1743.0	9.7%	1492.9	8.3%	1392.0	7.8%	13324.6	74.2%	166.5
8月	13051.6	90.8%	0.0	0.0%	1322.6	9.2%	1666.0	11.6%	1357.6	9.4%	588.0	4.1%	10764.1	74.9%	133.1
9月	11424.3	86.8%	137.0	1.0%	1597.1	12.1%	1764.0	13.3%	1604.0	12.1%	360.0	2.7%	9492.7	71.8%	118.0
10月	10651.2	87.0%	38.0	0.3%	1558.7	12.7%	530.0	4.3%	1645.0	13.4%	1350.0	11.0%	8726.8	71.2%	109.6
11月	6581.3	84.1%	38.0	0.5%	1202.9	15.4%	467.0	6.0%	1237.7	15.9%	832.0	10.7%	5249.1	67.4%	66.9
12月	3485.5	75.7%	85.0	1.8%	1036.0	22.5%	328.0	7.1%	1032.0	22.4%	35.0	0.8%	3218.6	69.8%	40.0
6ヶ月合計	61653.8	86.0%	298.0	0.7%	8177.9	13.3%	6498.0	8.7%	8369.2	13.6%	4557.0	6.2%	50775.9	71.6%	594.1

太陽光発電電力量は86.0%、グリーン水素ビルシステム発電電力量は0.7%、リチウムイオン電池放電電力量が13.3%となる。需要側ではグリーン水素ビルシステム消費電力量が8.7%、リチウムイオン電池充電電力量が13.6%、逆潮流が6.2%、所内利用が71.6%となる。需要側のグリーン水素ビルシステムでは6498.0kWh(6ヵ月)消費されている一方で、リチウムイオン電池には8369.2kWh(6ヵ月)の電力が充電されている。半年間の運用では長期の蓄エネルギーを目的としたグリーン水素ビルシステムと比較して、短期的な蓄エネルギーを担うリチウムイオン電池側の電力量が上回る状況にあった。

4. グリーン水素ビルシステムとリチウムイオン電池の運転特性把握

4.1 電力と水素との相関関係

図5に水素製造装置に消費した電力量と水素吸蔵流量との相関関係及び水素放出流量と燃料電池発電電力量との相関関係を示す。水素製造装置関連である、水素製造装置消費電力量と水素吸蔵流量は相関係数が0.95を超える高い正の相関がある。近似式の傾きは0.137である。すなわち、対象建物における水素製造装置の能力が約300kWhの電力を投入すると約40㎡の水素をタンクに吸蔵することができることを示している。また、燃料電池関連である燃料電池発電電力量と水素放出流量も同様に0.94を超える高い正の相関がある。yを変数としたときの傾きは2.094である。すなわち、吸蔵タンクから30㎡の水素を放出し、燃料電池に投入すると約39.27kWhの電力が得られる。

このことから水素製造関連、燃料電池関連共に水素の吸蔵と放出との間に比例関係が存在することを確認した。また、対象建物におけるグリーン水素ビルシステムの能力を把握することができた。

4.2 グリーン水素ビルシステムとリチウムイオン電池の比較

図6に水素製造装置消費電力量とリチウムイオン電池充電電力量9月稼働日時刻別推移を示す。9月5日と9月6日を比較して、13時に水素製造装置消費電力量を除く電力量は同程度であるが、水素製造装置消費電力量は約25.0kWh 差があることが分かり、余剰電力を活用することから所内電力負荷等に影響されていることが考えられる。

9月7日はリチウムイオン電池への電力供給が6時開始でピークが10時であるのに対し、水素製造装置への電力供給の開始が8時で、ピークが12時となっており、リチウムイオン電池が約2時間程度先行していることが分かる。また、9月5日

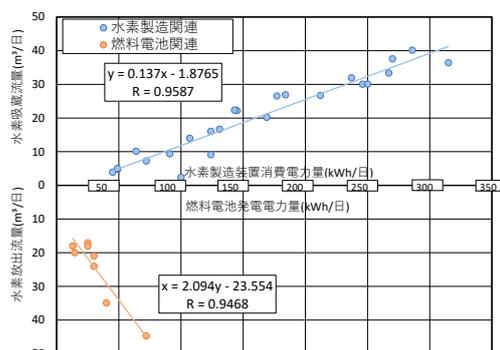
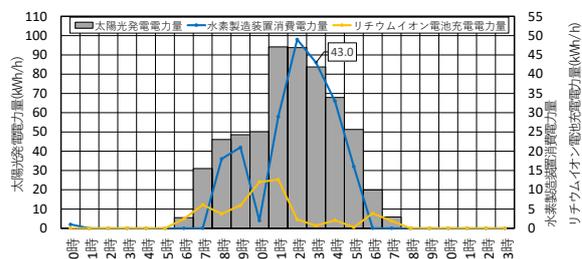
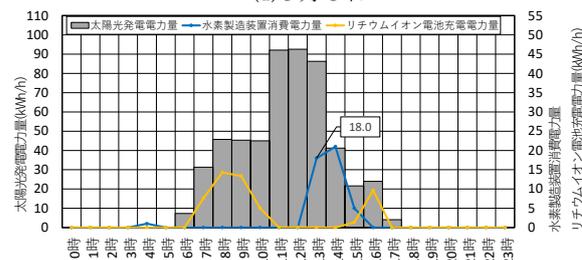


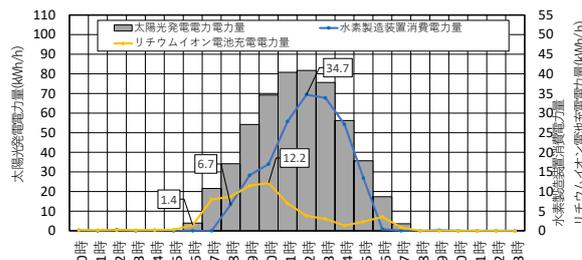
図5 水素製造装置消費電力量と水素吸蔵流量及び水素放出量と燃料電池発電電力量との関係



(1)9月5日



(2)9月6日



(3)9月7日

図6 水素製造装置消費電力とリチウムイオン電池充電電力量 9月稼働日時刻別推移

表3 BCP性能の検討における条件と凡例

電力消費の 大小関係	A(X)	現状	季節による	a(△)	夏季(8月3日から8月5日)
	B(□)	ELVなし、空調75%、照明50%、コンセント50%	電力需要の	b(O)	秋季(10月5日から10月7日)
	C(△)	ELVなし、空調50%、照明50%、コンセント50%	大小関係	c(◎)	冬季(12月22日から12月24日)
	D(O)	ELVなし、空調25%、照明50%、コンセント50%	太陽光発電	1(◎)	晴天(季節に応じた)
	E(◎)	ELVなし、空調なし、照明50%、コンセント50%	電力量の	2(O)	曇天(季節に応じた)
	F(☆)	ELVなし、空調なし、照明50%、コンセント50%	大小関係	3(△)	雨天(季節に応じた)

	大			小			
	A(X)	B(□)	C(△)	D(O)	E(◎)	F(☆)	
	名称	名称	名称	名称	名称	名称	
大	1(◎)	Aa1	Ba1	Ca1	Da1	Ea1	Fa1
小	2(O)	Aa2	Ba2	Ca2	Da2	Ea2	Fa2
大	3(△)	Aa3	Ba3	Ca3	Da3	Ea3	Fa3
小	1(◎)	Ab1	Bb1	Cb1	Db1	Eb1	Fb1
大	2(O)	Ab2	Bb2	Cb2	Db2	Eb2	Fb2
小	3(△)	Ab3	Bb3	Cb3	Db3	Eb3	Fb3
大	1(◎)	Ac1	Cb1	Cc1	Dc1	Ec1	Fc1
小	2(O)	Ac2	Cb2	Cc2	Dc2	Ec2	Fc2
大	3(△)	Ac3	Cb3	Cc3	Dc3	Ec3	Fc3
小							

の10時に水素製造装置への電力供給が2.0kWhと一時的に下がっている。これらは、水素製造装置の出力上昇時に停止を回避するため、電力投入を抑制していると考えられる。

5. グリーン水素ビルシステムが建物の非常時に果たす役割の検討

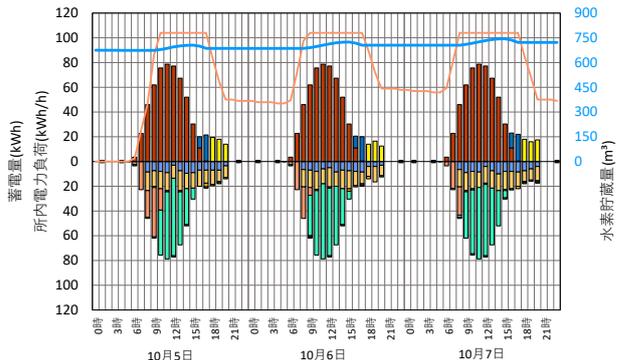
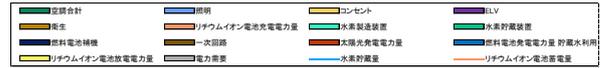
表3にBCP性能の検討における条件と凡例、図7に非常時の運転シミュレーション例、表4に非常時の運転シミュレーション結果を示す。水素枯渇時間が3日間以内では計算条件Fc1が最も長く、計算条件Aa3が最も短かった。Cの条件では、計算条件Ca3が水素枯渇時間は最も短く、2日目0時に水素が枯渇している。しかし、Dの条件で晴天の場合に3日間水素が枯渇することなく、事業継続が可能であると確認できた。その他にも、新社屋が非常時に想定する条件に最も近いEの条件では、計算条件Ea3以外3日間水素が枯渇することなく、事業継続が可能であると確認できた。

水素が3日間の合計で675m³を超えるものは計算条件Ea1・Fa1・Fc1であり、3日間の余剰電力の合計が3日間の所内電力負荷の合計を上回っている。つまり、夏季の晴天時はEの条件から余剰電力が上回り、秋季の晴天時はFの条件から余剰電力が上回り、冬季の晴天時は全ての条件において余剰電力が上回らないと判断できる。

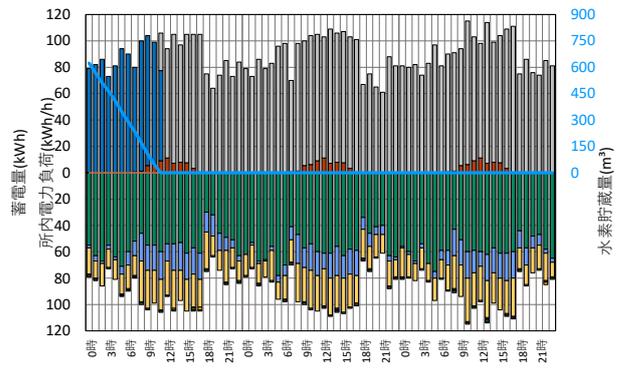
太陽光発電電力量の大小関係に着目すると、同じ電力需要では、水素枯渇時間の差は、どの場合であってもAの条件よりBの条件が、Bの条件よりCの条件が大きく開いている。このことから、水素枯渇時間は所内電力負荷が大きい場合は、太陽光発電電力量の大小関係の影響は小さく、所内電力負荷が小さい場合は、太陽光発電電力量の大小関係の影響は大きくなる。

6. まとめ

- 1) 水素製造に消費する電力と水素吸蔵流量との関係を2021年7月以降のデータを取得して解析したところ、相関係数が0.95を超える高い相関関係を見出すことができた。水素放出流量と燃料電池発電電力量の関係においても高い相関が認められ、それぞれにおいて単回帰による回帰式が導かれた。
- 2) 太陽光発電電力量を時刻別に追跡し、水素製造装置充電電力量に振り分ける過程を可視化したグラフからは、水素製造装置の出力上昇時の停止を回避するため、装置への投入電力量を抑制的に制御している結果、リチウムイオン電池充電電力量が時間的に先行する形となって現れることが把握された。



(1)Fc1



(2)Aa3

図7 非常時の運転シミュレーション

表4 非常時の運転シミュレーション結果

	A	B	C	D	E	F	
	水素枯渇時間	水素枯渇時間	水素枯渇時間	水素枯渇時間	水素枯渇時間	水素枯渇時間	
1	1日目18時	2日目5時	3日目3時	3日以上	3日以上	3日以上	a
2	1日目15時	2日目0時	2日目13時	3日目22時	3日以上	3日以上	
3	1日目11時	1日目17時	2日目0時	2日目11時	3日目22時	3日以上	
1	1日目18時	2日目6時	3日目1時	3日以上	3日以上	3日以上	b
2	1日目15時	2日目2時	2日目13時	3日目8時	3日以上	3日以上	
3	1日目14時	2日目0時	2日目7時	2日目21時	3日以上	3日以上	
1	1日目20時	2日目23時	3日目23時	3日以上	3日以上	3日以上	c
2	1日目18時	2日目7時	3日目2時	3日以上	3日以上	3日以上	
3	1日目14時	1日目23時	2日目7時	2日目20時	3日以上	3日以上	

は3日間以上
は3日間以上かつ水素貯蔵量が伸びている

3) グリーン水素ビルシステムがBCP性能に及ぼす影響を発災時期(夏・秋・冬)、発災時期及び、天候条件による太陽光発電レベル(晴・曇・雨)、発災時に想定する電力消費レベル(6段階)に応じて評価する算定モデルを構築した。評価指標を水素枯渇時間として求めた結果、空調・照明・コンセント系の電力消費を現状の50%に抑制しても厳しい条件設定下では、2日目の0時で水素が枯渇すること、しかし、内訳として最大の空調用電力消費を25%にまで抑制し、天候条件さえ整えば、3日間以上の事業継続が可能となることなどを提示できた。

文献

- 1) 野津剛, 下田英介, 前田哲彦, 遠藤成輝: 水素エネルギー利用システムを用いたZEB実証 (その1) システム概要と基本性能, 日本建築学会学術講演梗概集, 1269-1270, 2018, 7