

Independent-smart Zero Emission Building (IsZEB) に関する研究 その3 全国4地域におけるライフサイクルコスト・CO₂に関する検討 Study on Independent-smart Zero Emission Building (IsZEB) Part 3 Life cycle cost and CO₂ of IsZEB in 4 cities

学生会員 ○HU JIAMING (新潟大学) 技術フェロー 赤林 伸一 (新潟大学)
正会員 有波 裕貴 (新潟大学)
HU Jiaming*¹ Shin-ichi AKABAYASHI*¹ and Yuki ARINAMI*¹
*¹ Niigata University

This study shows the correlation between power consumption and outside temperature, and proposes a method for estimating power consumption from outside temperature. Based on the power consumption and the solar power generation estimated by expanded AMeDAS weather data. The optimal system for IsZEB ② has been configured. Furthermore, the power consumption of the target buildings located in the three regions of Sapporo, Tokyo, and Fukuoka was estimated. Finally, the optimal IsZEB system configuration, life-cycle cost, and CO₂ in the four regions was compared.

1 研究目的

前報(その2)では、太陽光発電装置、蓄電装置に加えて、燃料電池、水素製造装置、蓄水素装置を導入した場合のIsZEB(IsZEB②)の概要を説明した。水素製造装置稼働率と余剰電力量の利用効率を向上させるための一日平均法についても述べた。さらに、一日平均法を利用し、2018年の新潟市の気象データと対象建物(小・中学校)のエネルギー消費量を基に、IsZEB②の最適なシステム構成の検討を行った。

本報では、対象建物^{文1)}の2018年の電力消費量(ガス換算分も含む)と気象庁の外気温データ(新潟市)により、日平均外気温と日積算電力消費量の分析を行い、外気温と電力消費量の近似式を作成する。作成した近似式を用いて、札幌、新潟、東京、福岡を対象に拡張アメダス気象データ^{*1}(以下EA気象データ)から、電力消費量を推定する。推定した電力消費量とEA気象データから算出した太陽光発電量を基に、4地域においてIsZEB②の最適なシステム構成を検討する。さらに、最適なシステム構成のライフサイクルコスト・CO₂を算出し、投資回収年数の検討を行う。

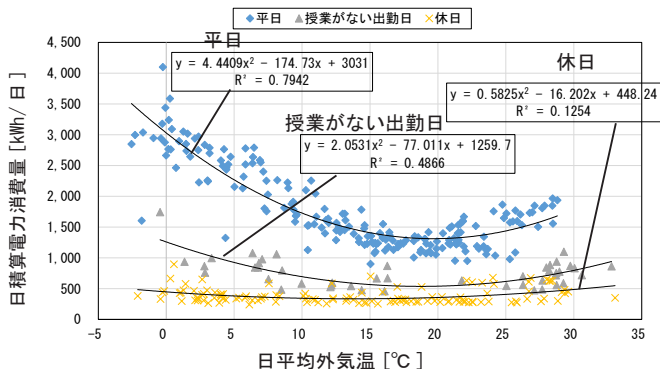


図1 対象建物における2018年の日積算電力消費量と日平均外気温の関係

2 研究概要

2.1 電力消費量の推定方法: 図1に対象建物における2018年の日積算電力消費量と日平均外気温の関係を示す。2018年の日積算電力消費量を対象建物の行事予定カレンダーを用い、授業日、授業がない出勤日、休日の3つに分けてそれぞれ最小2乗法により電力消費量と日平均外気温の近似式を求める。求めた近似式を基に、各地域におけるEA気象データの日平均外気温から日積算電力消費量を推定する。

図2に例として日積算電力消費量に対する各時刻の電力消費量の比(2018年1月10日:授業日)を示す。推定した日積算電力消費量に対し、各時刻の電力消費量の比を用いて、1時間あたりの電力消費量を求める。

図3にEA気象データの外気温から推定した対象建物の日積算電力消費量を示す。合計電力消費量は約426,434[kWh/年]、年平均日積算電力消費量は1,168[kWh]、日積算電力消費量のピーク値は約3,248[kWh]となる。

2.2 4地域における電力消費量と太陽光発電量: 表1に4地域における年間推定電力消費量と単位面積あたりの太陽光発電量を示す。年間電力消費量は札幌が最も多

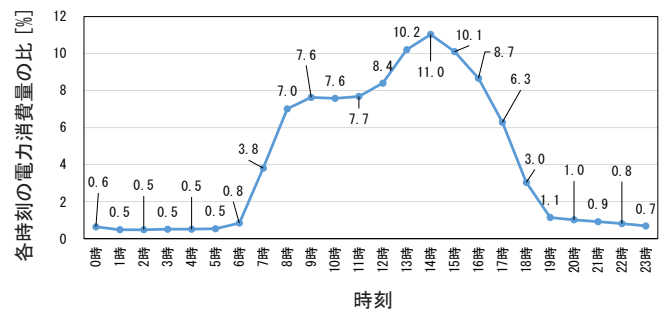


図2 日積算電力消費量に対する各時刻の電力消費量の比(2018年1月10日:授業日)

く約 52[万 kWh] となる。新潟は約 43[万 kWh]、東京と福岡は比較的少なく約 39[万 kWh] となる。年積算太陽光発電量は約 268 から 290[kWh/m²] となる。

2.3 各設備の概要：算出した太陽光発電量と推定した電力消費量におけるイニシャル・ランニングの各コストにより、システムのライフサイクルコストを算出する。IsZEB ②モデルは設備生産時 CO₂ 排出量の合計値をライフサイクル CO₂ とする。各設備のコスト単価・CO₂ 排出原単位は前報（その 2）と同様とする。

2.4 電力料金と投資回収年数の算出方法：表 2 に各電力会社の業務用電力料金プラン^{※2}を示す。電力料金は各地域の電力会社の料金プランから算出する。投資回収年数は IsZEB モデルのライフサイクルコストを電力会社供給モデル（従来）の年間電力購入料金で除すことで求める。本報では設備耐用年数を 20 年と仮定し、ライフサイクルコスト・CO₂、投資回収年数の検討を行う。

3 解析結果

3.1 各地域の電力料金：表 3 に 4 地域における電力会社供給モデルの 20 年間の電力料金と CO₂ 排出量を示す。CO₂ 排出原単位は各電力会社の 2022 年度実績値を用いる。20 年間の電力料金は、札幌では約 7.3 から 8.3[億円] となる。新潟、東京、福岡ではそれぞれ約 4.8 から 5.7[億円]、約 3.2 から 3.9[億円]、約 2.8 から 3.6[億円] となる。CO₂ 排出量は札幌で約 5,533[t]、新潟で約 3,923[t]、東京で約 2,947[t]、福岡で約 3,660[t] となる。

3.2 新潟における最適なシステム構成：本報では最適なシステム構成の条件を 2 つ検討する。最適条件①は、20 年間での投資回収可能を前提として、ライフサイクルコストと余剰エネルギー量が比較的少なく、屋根面積の利用を最小限としたシステム構成とする。最適条件②はライフサイクルコストが最少となるシステム構成とする。

図 4 に各太陽光発電容量（360[kW] から 936[kW]（2,000[m²] から 5,200[m²]）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、自家消費率、CO₂ 排出量（新潟）を示す。太陽光発電容量 432[kW]（2,400[m²]）の場合、ライフサイクルコストは約 4.2 億 [円]、CO₂ 排出量は約 2,743[t]、余剰電力の水素変換率は約 100[%]、20 年間の余剰水素量は約 20[Nm³]（約 1[Nm³/年]）となる。この場合の自家

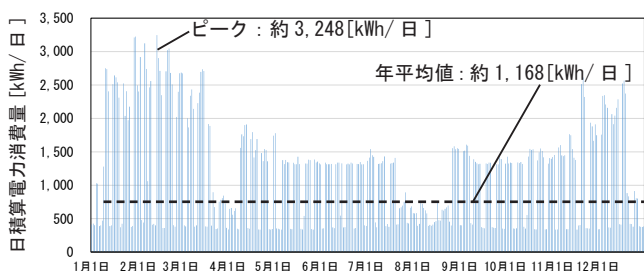


図 3 EA 気象データの外気温から推定した対象建物の日積算電力消費量（新潟）

消費率は 65[%] である。このシステム構成は対象建物の屋根面積（5,222[m²]）の約 46[%] を利用し、自家消費率が比較的高く、余剰エネルギー量が少ない組み合わせであり、この構成を新潟における最適条件①とする。

一方、太陽光発電容量 864[kW]（4,800[m²]）の場合、ライフサイクルコストが最少で約 3.4 億 [円]、CO₂ 排出量は約 2,156[t]、余剰電力の水素変換率は約 90[%]、自家消費率は約 32[%]、20 年間の余剰水素量は約 330 万 [Nm³]（約 16.5 万 [Nm³/年]）となる。このシステム構成は、ライフサイクルコストが最も少ないが、太陽光発電に使用する屋根面積が比較的多く、余剰電力の水素変換率及

表 1 4 地域における年間推定電力消費量と単位面積あたりの太陽光発電量

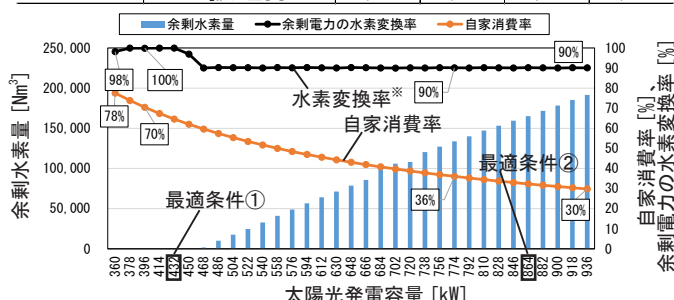
	札幌	新潟	東京	福岡
合計電力消費量[kWh]	517,105	426,434	391,867	385,287
夏季(7~9月)電力消費量[kWh]	73,178	80,051	85,004	85,048
他季電力消費量[kWh]	443,927	346,383	306,863	300,239
一時間あたりのピーク電力消費量[kWh]	599	363	285	271
太陽光発電量[kWh/年・m ²]	268	275	275	290

表 2 各電力会社の業務用電力料金プラン^{※2}

基本料金 [円/kW]	東北電力	東京電力	北海道電力	九州電力	
	2031.7	1814.37	2547.6	2142.78	
従量料金 [円/kWh]	夏季	32.97	23.84	33.24	15.82
	他季	31.77	22.68	33.24	14.92
再生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				

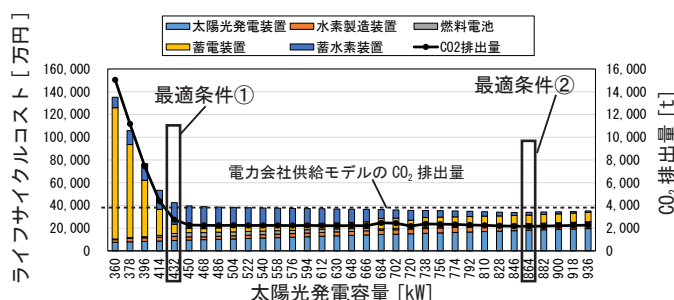
表 3 4 地域における電力会社供給モデルの 20 年間の電力料金と CO₂ 排出量

20年間の電力料金 [百万円]	燃料調整費 [円/kWh]	札幌	新潟	東京	福岡	
		0円/kWh	725	480	315	283
		5円/kWh	776	522	354	321
20年間の CO ₂ 排出量	燃料調整費 [10円/kWh]	828	565	393	360	
	CO ₂ 原単位 [kg-CO ₂ /kWh]	0.535	0.460	0.376	0.475	
	CO ₂ 排出量 [t]	5,533	3,923	2,947	3,660	



※本報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っているため、どの設備構成でも 90%以上となる。

(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設備構成の余剰水素量、余剰電力の水素変換率と自家消費率



(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 4 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、自家消費率、CO₂ 排出量（新潟）

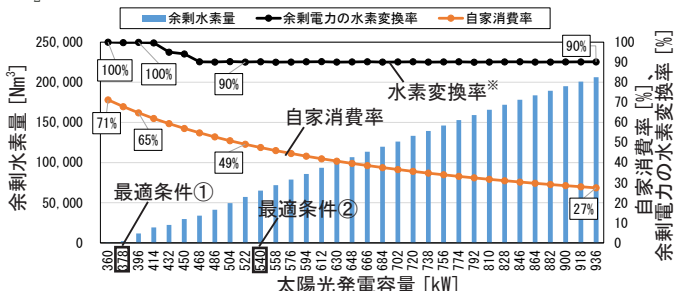
び自家消費率が低い組み合わせである。この構成を最適条件②とする。

3.3 東京における最適なシステム構成：図5に各太陽光発電容量(360[kW]から936[kW])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、余剰電力の水素変換率、自家消費率、CO₂排出量(東京)を示す。

最適条件①では、太陽光発電容量378[kW](2,100[m²])で、ライフサイクルコストは約2.8[億円]、CO₂排出量は約1,628[t]、余剰電力の水素変換率は約100[%]、自家消費率は約68[%]、20年間の余剰水素量は約4.2万[Nm³](約2,100[Nm³/年])となる。

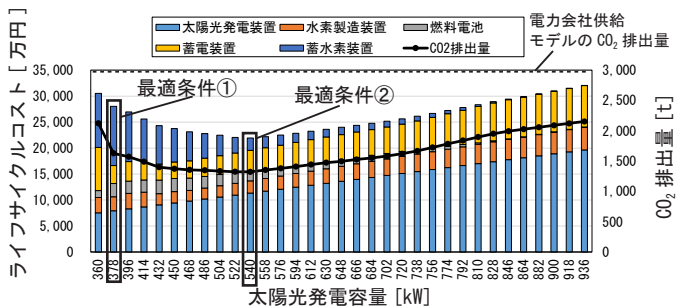
最適条件②は、太陽光発電容量540[kW](3,000[m²])の場合で、ライフサイクルコストは約2.2[億円]、CO₂排出量は約1,323[t]、余剰電力の水素変換率は約90[%]、自家消費率は約47[%]、20年間の余剰水素量は約130万[Nm³](約6.5万[Nm³/年])となる。

3.4 新潟と東京において余剰水素を販売した場合のライフサイクルコスト、CO₂排出量：図6余剰水素を販売した場合の各太陽光発電容量におけるライフサイクルコストとCO₂排出量(新潟、東京)を示す。余剰水素を販売することが出来れば、さらにライフサイクルコストを低下させることが可能となると考えられる^{*3}。水素を全て販売した場合、最適条件②では、新潟において、ライフサイクルコストは約1.48[億円]削減され、約1.92[億円]となる。ライフサイクルCO₂排出量は約-1,081[t]となる。東京の場合、ライフサイクルコストは約0.58[億円]削減され、約1.6[億円]となり、ライフサイクルCO₂排出量は約-280[t]となる。



*本報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っているため、どの設備構成でも90%以上となる。

(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設備構成の余剰水素量、余剰電力の水素変換率と自家消費率



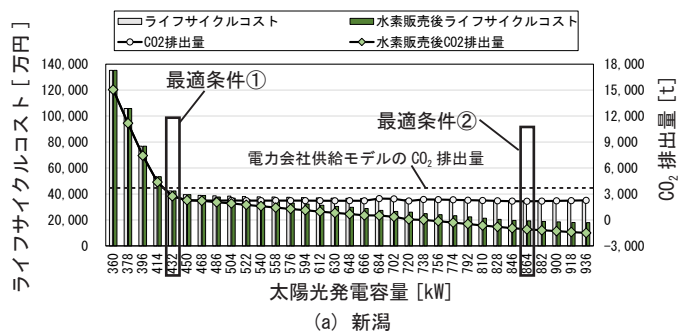
(b) 各太陽光発電容量における最少ライフサイクルコストとCO₂排出量

図5 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、自家消費率、CO₂排出量(東京)

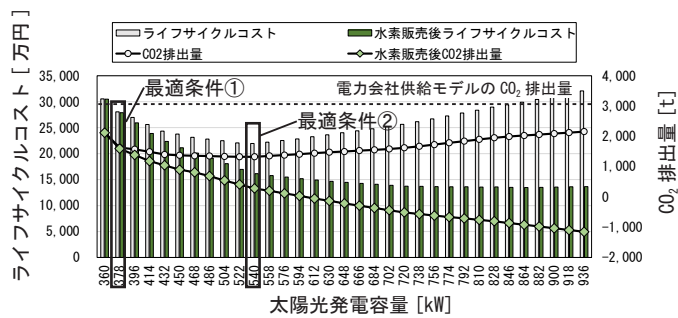
3.5 4地域における最適条件①・②のシステム構成のライフサイクルコスト、CO₂排出量：図7に最適条件①、②における設備構成と年間余剰水素量、20年間の水素販売利益、余剰電力の水素変換率、自家消費率、ライフサイクルコスト、CO₂排出量を示す。水素販売利益は負のライフサイクルコストとして示す。

最適条件①の場合、札幌では必要な太陽光発電容量は540[kW](3,000[m²])となり、屋根面積の約57.4[%]となる。新潟、東京、福岡はそれぞれ432[kW](2,400[m²])、378[kW](2,100[m²])、360[kW](2,000[m²])となり、屋根面積に占める割合は46[%]、40[%]、38[%]となる。ライフサイクルコストは札幌で最も高く約5.7[億円]、新潟では約4.2[億円]、東京、福岡では約2.8[億円]となる。電力会社供給モデルに対するライフサイクルCO₂削減量は札幌で約1,947[t]、新潟で約1,180[t]、東京で約1,319[t]、福岡で約2,088[t]となる。余剰電力の水素変換率は福岡以外では99[%]以上となり、新潟は約96[%]となる。自家消費率では新潟と札幌で約64[%]、東京と福岡では約67[%]となる。

最適条件②の場合、4地域の余剰電力の水素変換率はこの地域でも約90[%]となり、自家消費率は札幌と新潟で約37[%]と32[%]、東京で49[%]、福岡では43[%]となる。札幌ではライフサイクルコストが太陽光発電容量の増加に伴って減少するため、太陽光発電容量が対象建物で設置可能な最大容量である936[kW](5,200[m²])の場合でライフサイクルコストが最少となり、約4.7[億円]となる。一方、新潟では太陽光発電容量864[kW](4,800[m²])でライフサイクルコストが最少となり、約3.4[億円]となる。東京では378[kW](2,100[m²])、



(a) 新潟



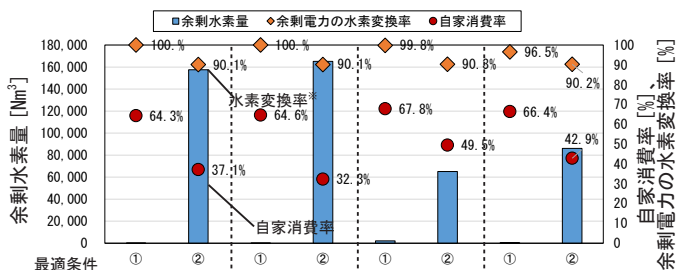
(b) 東京

図6 余剰水素を販売した場合の各太陽光発電容量におけるライフサイクルコストとCO₂排出量(新潟、東京)

福岡では360[kW] (2,000[m²]) でライフサイクルコストが最少となり、東京で2.2[億円]、福岡で2.3[億円]となる。20年間の水素販売利益は札幌と新潟では約1.5[億円]となり、東京では約5,800[万円]、福岡では約7,700[万円]となる。水素販売利益を含めた場合、ライフサイクルコストは札幌で約3.3[億円]、新潟で約1.9[億円]、東京と福岡で1.6[億円]となる。水素販売を行った場合、電力会社供給モデルに対するライフサイクルCO₂削減量は札幌で約5,624[t]、新潟で約5,000[t]、東京で約2,667[t]、福岡で約3,879[t]となる。

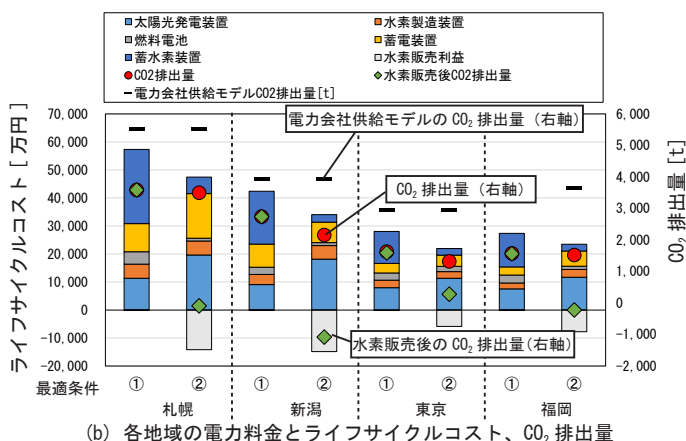
3.6 各地域における最適条件①・②の投資回収年数の比較：図8に最適条件①、②において燃料調整費を変化させた場合の投資回収年数を示す。どの燃料調整費でも、4つの地域で最適条件①、②ともに20年間で投資回収が可能となる。燃料調整費が0[円/kWh]の場合、福岡の最適条件①の場合で投資回収年数が19年と最長となる。札幌では16年、新潟と東京では17年となる。燃料調整費が10[円/kWh]で最適条件②の場合、投資回収年数は札幌と東京で約11年となり、新潟では12年、福岡では13年となる。水素を販売する場合、どの燃料調整費でも投資回収年数が11年以下となる。燃料調整費が10[円/kWh]では、新潟において投資回収年数が約7年で最短となる。

3.3 IsZEBの検討結果：図9にIsZEB検討結果のフローチャート(新潟)を示す。これまでの検討結果をまとめ



※本報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っているため、どの設備構成でも90%以上となる。

(a) 各地域の余剰水素量、余剰電力の水素変換率と自家消費率



(b) 各地域の電力料金とライフサイクルコスト、CO₂排出量

図7 最適条件①、②における設備構成と年間余剰水素量、20年間の水素販売利益、余剰電力の水素変換率、自家消費率、ライフサイクルコスト、CO₂排出量

ると、逆潮流、余剰電力、水素販売の有無によって、(A)太陽光発電のみ、(B)蓄電池+太陽光発電、(C)蓄電池+太陽光発電+燃料電池、(D)蓄電池+太陽光発電+燃料電池+水素販売の4パターンとなる。どの場合でも、新潟においては系統電力接続の従来モデルと比較してコストが低くなる。Dパターンのライフサイクルコストが最も安く約2.3[億円]となり、Aパターン(net ZEB)より1.3[億円]削減でき、電力会社供給モデル(5.3[億円])と比較して約3[億円]削減できる。

4 まとめ

- ①最適条件①の場合、各地域のライフサイクルコストは約2.7[億円]～5.7[億円]、投資回収年数は約14年～19年となる。
- ②最適条件②の場合、各地域のライフサイクルコストは約2.2[億円]～4.7[億円]、投資回収年数は約11年～17年となる。余剰水素を全て販売した場合、新潟のライフサイクルコストは約1.9[億円]となり、投資回収年数は最短で約7年となる。

注釈
 ※1 拡張アメダス気象データは2000年版(1990年から2000年)とする。
 ※2 電力料金プランは2024年2月時点となる。
 ※3 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]、発電効率60[%])と東北電力のCO₂排出量原単位から算出する。

参考文献
 文1) 赤林ら：「Independent-smart Zero Emission Building(IsZEB)に関する研究 その1」、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2023年

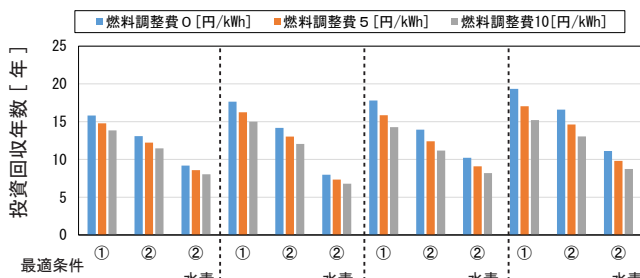


図8 最適条件①、②において燃料調整費を変化させた場合の投資回収年数

地域：新潟 燃料調整費：5[円/kWh]

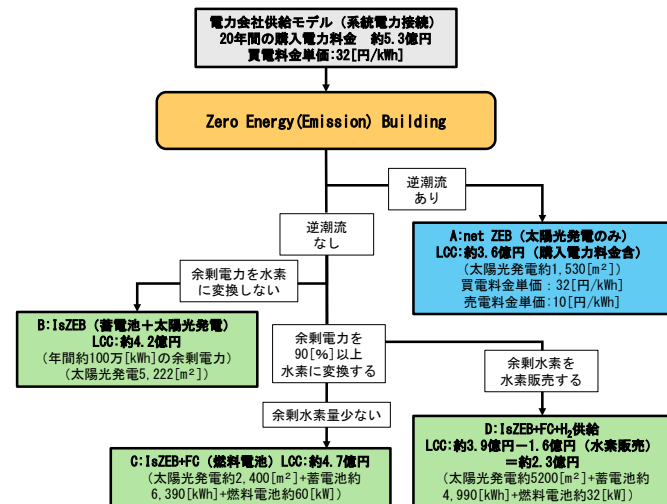


図9 IsZEB検討結果のフローチャート(新潟)