

雪国型 ZEB を実現する年間電力収支のケーススタディ

藤田愛稀¹, 杉原幸信², 上村靖司²¹長岡技術科学大学 工学研究院 機械系, ²長岡技術科学大学大学院 工学専攻 機械工学分野

1. はじめに

我が国では、「グリーン成長戦略」^[1]を開始し、カーボンニュートラルな社会を目指すことを宣言した。枯渇が懸念され、大量使用による環境影響が大きい化石燃料の消費量削減に向け、再生可能エネルギー（地中熱、雪氷熱、バイオマス等）の開発と実装を進め、地域特性を踏まえた低炭素社会を目指している。豪雪地帯にある新潟県長岡市では、冬季の暖房等のためエネルギー消費量に占める化石燃料の割合が高く、1人当たりの二酸化炭素排出量は全国平均の約 1.75 倍（2020 年度）^[2]である。

本研究では、熱負荷が大きく、太陽光発電等の創エネルギーの観点でも不利な豪雪地である、新潟県長岡市内で建て替え予定の事業所を対象として、太陽光、雪氷熱、バイオマスの組み合わせにより、対象事業所で雪国 ZEB を実現するための条件を検討する。本研究で検討する事業所の概要を表 1 に示す。

表 1 再建設事業所の概要

2000 年度	現在の事業所	再建設後の事業所
外皮面積[m ²]	5086	3680
断熱性能 [W/(mK)]	断熱等級 2 [1.5]	HEAT20 G1 [0.46]

2. ZEB, 雪国型 ZEB とは

図 1 に ZEB の概念を示す。ZEB (Zero Energy Building) とは、使うエネルギーと創るエネルギーの 1 年間の総量がゼロになる事業所ビルや商業施設などの建築物である^[3]。ZEB は、「エネルギーを外から実質的に購入しないで済むため環境に優しく、省エネルギーに貢献できる住宅」とされている。しかし表 2 を見ると長岡市では、日射量が低く太陽光パネルによる発電量が全国平均と比較して低い。そのため豪雪地帯である特徴を活かし、雪氷冷熱エネルギーを利用した雪冷房、さらに木質バイオマスを組み合わせる事で、創エネルギーの観点で不利な豪雪地帯でも正味の消費電力をゼロにできる新たな ZEB(本研究では雪国型 ZEB と呼ぶ)の成立条件を検討する。

表 2 太陽光パネルによる年間発電量の比較

2000 年度	全国平均	長岡市	比率
太陽光発電量	955.8 kWh	809.5 kWh	85 %

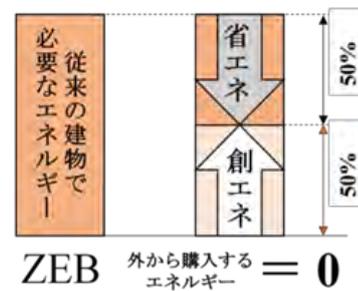


図 1 ZEB の概念

3. 再建設予定の事業所の雪国型 ZEB について

再建設予定の事業所を雪国型 ZEB にするために、まず再建設予定の事業所で予想される各月の消費電力を調査し、その消費電力に対して必要な再生可能エネルギー設備を算出した。そして再生可能エネルギー設備で、消費電力分の電力を賄い、必要量以上に生成した電気(売電)と再生可能エネルギー設備でも賄えない電気(買電)の差を取り、年間の電力収支を評価した。以下に消費電力の計算、再生可能エネルギー設備の必要設備数の計算、年間の電力収支の評価方法について順に説明する。

4. 再建設予定の事業所の予想消費電力について

商業施設では、40%以上を空調機の消費電力が占めている事が知られている^[4]。そのため再建設予定の事業所で予想される消費電力の計算では、空調機に注目し空調機の消費電力とその他の電化製品の消費電力との 2 つに分けて計算を行った。以下に計算方法を説明する。

4.1 空調による消費電力

再建設後の事業所の断熱性能を、新潟県の政策動向^[5]に合わせ HEAT20 G1 とし、事業所の窓、外壁、屋根、床などの外気に触れる部分の熱が伝わりにくい構造と仮定した。空気調和ハンドブック^[6]の計算式(1)を使用し、冷房を使用する 6月~9月を夏期、暖房を使用する 12月~3月を冬期と定め、消費電力の計算を行った。E

[MWh]は消費電力, UA は外皮熱貫流率(新潟県は 0.46 [W/m²K]), S は外皮面積(3680 [m²]), ΔT [°C]は冷暖房設計外気温度と室内の設定温度との差, D は稼働日数(各月の日数), COP は冷房の場合は 3, 暖房の場合は 4.3, K は補正係数とした. この補正係数は各月の稼働時間, 換気量, 人の出入りを考慮した値とし, 現在の事業所の消費電力データを参考に決めた.

$$E = \frac{UA \times S \times \Delta T \times D \times 10^{-6}}{COP} \times K \quad (1)$$

4.2 その他の電化製品による消費電力について

その他の電化製品の消費電力を, 現在の事業所の消費電力データを参考に算出した. 図 2 にその結果を示す. なお 4 月の消費電力データの実績データを参考に 100 MWh とした場合の, 年間の消費電力を示している. 図 2 の各月における左側の棒グラフ 1 は現在の事業所の消費電力, 2 は再建設予定の事業所の消費電力を示している. 夏期, 冬期以外の期間(4 月, 5 月, 10 月, 11 月)の現在の事業所の消費電力を, 空調機以外のその他の消費電力と定めた. さらに現在の事業所の電化製品と同じ製品を同じ数だけ, 再建設予定の事業所でも使用すると仮定した. そして現在の事業所の冷暖房を使用しない期間の平均値を, 再建設予定の事業所での各月のその他の電化製品の消費電力として算出した.

再建設予定の事業所は断熱性能の向上と, 外皮面積の減少により, 空調の消費電力において消費電力の 5%削減効果が見られた.

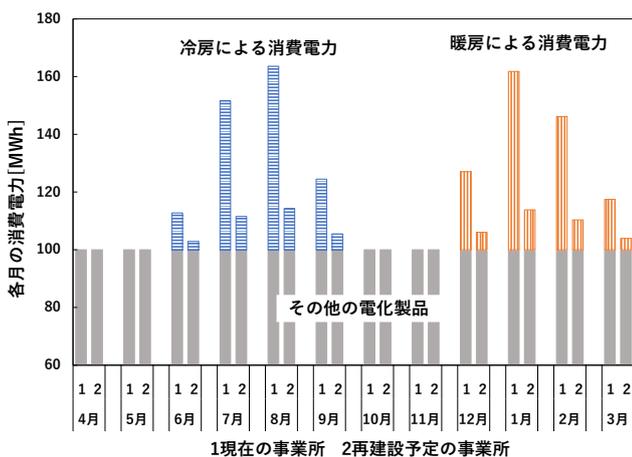


図 2 各事業所での年間消費電力

5. 再生可能エネルギー設備について

図 2 の冷房を使う夏期に雪冷房を使用し, 暖房を使用する冬期に木質バイオマスボイラーを使用し, その他の電化製品の消費電力を太陽光パネルで賄うための貯雪量, 木質バイオマス量, 太陽光パネルの台数の計算につ

いて順に説明する.

5.1 雪冷房について

夏期の冷房を雪冷房で補うための必要貯雪量を計算する. 本研究では片野らの「雪堆積場の雪冷熱利用技術に関する研究」^[6]で, 使用された雪冷房に必要な貯雪量計算式(2)を参考にし, 必要貯雪量を求めた. 表 3 に貯雪量を示す. E_s は夏期の冷房による消費電力, 冷房使用時の COP は 3, C_R は雪冷房利用可能熱量(0.099491 [kWh/kg]), R は雪冷房使用時の雪のロス率(0.5 [-])とした.

$$W = \frac{E_s \times COP \times 10^{-3}}{C_R \times R} \quad (2)$$

5.2 木質バイオマスボイラーについて

冬期の暖房を木質バイオマスボイラーで賄うための必要木質バイオマス量を計算する. Mahesh Wail らの「PRACTICAL POWER PLANT MAINTENANCE」^[7]による, 木質バイオマスの発熱量と木質バイオマス量の関係式(3)を参考にし, 冬期の暖房による消費電力から必要な木質バイオマス量を算出した. 表 3 に必要な木質バイオマス量を示す. M [kg]は必要な木質バイオマス量, E_w [kWh]は冬期の暖房による各月の消費電力, 暖房使用時の COP は 4.3, L は木質バイオマスによる発熱量(2.78 [kWh/kg]), R は木質バイオマスボイラーの使用によるロス率(0.6)とした.

$$M = \frac{E_w \times COP \times 10^{-3}}{L \times R} \quad (3)$$

5.3 太陽光パネルについて

その他の電化製品の消費電力を賄うための 10 [kW]容量の太陽光パネルの必要枚数について計算する. 太陽光発電協会^[8]による, 太陽光パネルの発電量計算式(4)を参考にし, 発電量を計算した. また太陽光パネルの設置条件を BAYANMUNKH TSATSRAL ら^[9]による, 雪国に有効な太陽光パネルの設置角度 60°と図 3 の垂直積上設置法を参考にし, 計算を行った. そして夏期の売電と冬期の買電の差が最小の正の値になるように太陽光パネルの枚数を計算する. X はパネル枚数, H [kWh/m²月]は太陽光パネルの角度 60° による 1 か月あたりの平均日射量, K は損失係数(0.85), P はシステム容量(10), D は日数, E_p [kWh]はその他の電化製品を賄うために必要な発電量, r は標準状態における日射強度(1). 必要な太陽光パネル台数を表 2 に示す.

$$X = \frac{H \times K \times P \times D}{E_p \times r} \quad (4)$$

表 3 再生可能エネルギー設備台数, 数量

設備	数量
10kW 容量 PV パネル	約 143 枚
雪 (雪冷房使用)	約 1760 t
木質バイオマス (木質バイオマスボイラー使用)	約 105 t

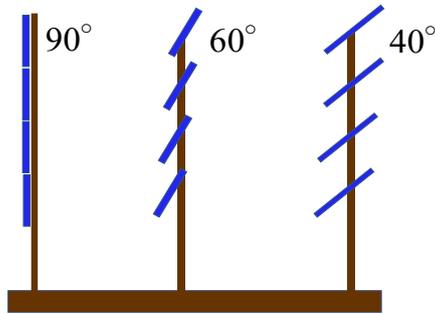


図 3 垂直積上設置法

再生可能エネルギーと、再建設予定の事業所の消費電力関係図を図 4 に示す。図 4 を見ると夏期に必要な以上の電力を発電しているため売電を行い、冬期に必要な消費電力分を買電する。そして売電-買電の結果が最小の正の値になるためには 143 枚の太陽光パネルが必要になり、雪冷房による必要貯雪量が約 1760 トン、木質バイオマスボイラーによる必要木質バイオマス量が約 105 トン必要であることが確認できた。

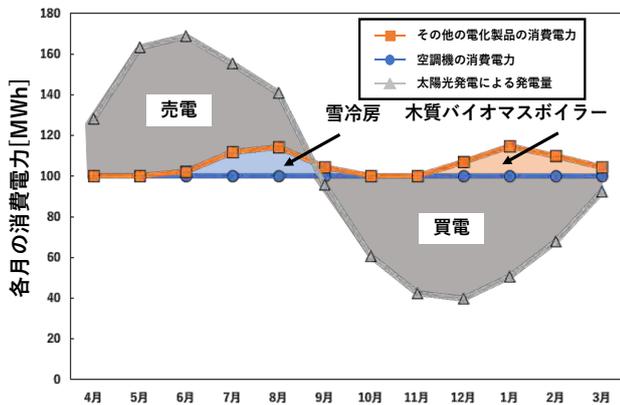


図 4 年間の電力収支図

6. 結果

本研究では長岡市にある再建設予定の事業所を雪国型 ZEB にするために、仮想計算によって予想される消費電力と、それに対する再生可能エネルギー設備について計算を行ってきた。今後は今回注力して計算をしていないその他の電化製品の消費電力データを詳細にし、省エネ化を進めていく。そして 50% の省エネルギー化を目指す。現在では、その他の消費電力データを詳細にしておき、厨房で使用される電化製品が 70% 以上を占め

ている事が確認できた。そのため今後は厨房施設の省エネルギー化を進めていき、さらに電化製品の雪、木質バイオマス利用を考案していく。そして雪国型 ZEB を達成する設備の組み合わせを見つけていく。

参考文献

1. Prime Minister's Office of Japan, 内閣官房内閣広報室(2020)「第二百 三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説」(2021年04月21日)
2. 「長岡市カーボンニュートラルチャレンジ2050 長岡市地域新エネルギービジョンにおける算定の考え方 1 太陽光エネルギー」
<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/cate01/energy-vision/>
3. 環境省 ZEB PORTAL[ゼブ・ポータル], 「ビルは”ゼロ・エネルギー”の時代へ」, (2024年04月19日)
4. <https://www.env.go.jp/earth/zeb/detail/01.html>
5. 財団法人/省エネルギーセンター ビル省エネ技術部 商業施設の省エネルギー P4(2023年4月21日) https://www.eccj.or.jp/commercial_bldg/
6. 井上宇市, 空気調和ハンドブック, 丸善出版株式会社, 平成30年2月20日 P54
7. 片野浩司, 山口和哉, 永長哲也, 五十嵐匡, 平伴斉(2002): 雪堆積場の雪冷熱利用技術に関する研究
8. MAHESH WALI (2023): PRACTICAL POWER PLANT MAINTENANCE
9. 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), 月平均データ MONSOLA-20(2023年4月21日) https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100041.html
10. BAYANMUNKH TSATSRAL, BAASANDORJ MUNGUNTUUL, 杉原幸信, 上村靖司(2022): 事業所規模での雪国 ZEB の実現可能性, 寒地技術論文・報告集 Vol.38 論文番号 II-025.