

## 事業所規模での雪国 ZEH の実現可能性の検討

BAYANMUNKH TSATSRAL<sup>1</sup>, BAASANDORJ MUNGUNTUUL<sup>1</sup>, ○藤田愛稀<sup>1</sup>, 杉原幸信<sup>2</sup>, 上村靖司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>長岡技術科学大学工学研究科機械系, <sup>2</sup>長岡技術科学大学大学院工学研究科機械工学分野

### 1. はじめに

我が国では「ゼロエミッション戦略プロジェクト<sup>[1]</sup>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、かつその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て、再生可能エネルギー（地中熱、雪氷熱、バイオマス等）の開発と実装が進められ、地域特性を踏まえた低炭素社会の構築を形成することを目指している。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、一人当たりの二酸化炭素排出量は全国平均の約 1.17 倍（2019 年度）である。エネルギー効率と断熱性能の高い新築の ZEH は普及が緒についたところで、特に豪雪地においては Nearly ZEH すらまだごくわずかである。

本研究では、事業所規模を対象として、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において、太陽光、雪氷熱、バイオマスおよび蓄熱を組み合わせることにより、ZEH を実現するための可能性調査を行う。

### 2. ZEH 及び ZEB とは

図 1 に ZEH 及び ZEB の概念を示す。ZEH (Zero Energy House) および 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住宅およびビルのことである。ZEH 及び 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、太陽光や雪氷熱等の再生可能エネルギーを利用した設備を用いるため省エネルギーに貢献できる住宅とされる。さらに、断熱性能が高いため、部屋ごとの温度差がなくなることでより快適に生活でき、健康面での効果もある。

ZEH 及び ZEB の種類を表 1 に示す。ZEH には、大きく分けて ZEH, Nearly ZEH, ZEH Oriented の 3 種類があり、それぞれ外から購入するエネルギー率で大きく異なる。通常、豪雪地では Nearly ZEH/ZEB が想定されているが、本研究では、これらの地域での ZEH/ZEB の実現可能性を検討する。

### 3. 事業所規模の ZEH の実現可能性検討

事業所を ZEH にするためのポイントは、「高断熱」「省エネルギー」「創エネルギー」の 3 つであるが今回は「高断熱」「創エネルギー」について以下で説明する。

#### 3.1 高断熱

事業所の断熱性能は、新潟県の政策動向<sup>[2]</sup>を参考に HEAT20-G1 以上、または UA 値 0.46 以下とし、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する。ここで、UA 値とは外皮平均熱貫流率のことで、建物からの熱の逃げにくさを意味し、数値が小さい方が熱が伝わりにくく、断熱性能が高いとされる。UA 値を求める計算式を式(1)に示す。UA 値は各部の熱損失量の合計を延べ外皮面積から断熱性能を計算するものである。各地域の UA 値の比較を表 2 に示す。

$$UA \text{ 値} = \text{各部の熱損失量の合計} / \text{延べ外皮面積} \quad (1)$$

また冷暖房で消費するエネルギー量の計算式を(2)に示す。

$$UA \text{ 値} = \text{各部の熱損失量の合計} / \text{延べ外皮面積} \quad (1)$$

$$E = UA \text{ 値} \cdot S \cdot \Delta T \cdot t \cdot D / 1000 \quad (2)$$

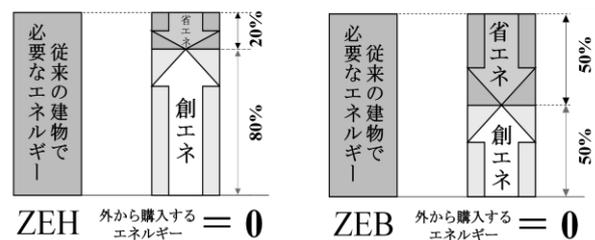


図 1 ZEH 及び ZEB の種類

表 1 ZEH 及び ZEB の種類

	ZEH	Nearly ZEH	ZEH Oriented
外から購入するエネルギー率	0 %	25 %	70 %
地域	—	豪雪地帯	都市部狭小地

ここで、E は必要なエネルギー量 (kWh) , S は外皮面積 (m<sup>2</sup>) , ΔT は温度差 (=冷暖房設定温度-平均外気温度(°C)) t は一日の冷暖房稼働時間 (h) , D は1ヶ月の日数/平均30日である。なお、今回は外皮面積を床面積 (5384 m<sup>2</sup>) とし、事業所の冷暖房稼働時間は1日中 (24h) とする。また、設定温度は冬季に20°C、夏季に26°Cと調整した。さらに、気象庁による2021年度の年平均気温データ<sup>[4]</sup>を使い、人が快適と感じる20°Cを基準として、これ以下の場合は暖房を、以上の場合は冷房を稼働させるとした。

外皮面積5384 m<sup>2</sup>規模の事業所の月ごとの冷暖房で消費するエネルギー量を断熱性能基準ごとに計算した結果を表3に示す。モデル事業所の断熱性能をHEAT20-G1にすると、1年間の消費エネルギーを断熱等級2と比べて70%、ZEH基準と比べて23%削減できる。さらに仮に事業所の外皮面積を3680m<sup>2</sup>に縮減すると、同じHEAT20-G1でも消費エネルギーを29%削減できることが分かった。

### 3.2 創エネルギー

創エネルギーとは、自然の力を利用しエネルギーを自ら作り出すことを言う。表4に新潟県長岡市および東京都の2019年の冬季の日照量を示す。長岡市は東京都に比べ冬季の日照量が3分の1以下で、太陽発電量は十分には得られない。一方、表5に示す、2000年度に長岡市内の太陽光発電導入補助対象者から報告さ

れた1kW当たりの年間発電量は、全国平均の約85%であり、年間ベースでは遜色しない発電実績が得られている<sup>[3]</sup>。また表6に2018年度の長岡市の月別期待発電量を示す。4月から9月の間の期待太陽発電量が大きく、1年間の発電量は1141kWh/年である事が分かった。このことから、長岡市でも雪対策を行えば太陽光発電は十分に活用できると考えられている。

さらに、雪国であるからこそ使用できる再生可能エネルギーもある。例えば、雪の冷熱エネルギーを用いれば、夏季の事業所の冷房を補うことができると考えられる。また、豊富な森林資源から木質バイオマスを活用すれば冬季の温熱需要の大きな部分を補うことができると考える。

次に図2に対象とする事業所の2018年度の月別の電力消費量を示す。夏季(7~8月)と冬季(12~2月)に明確なピークが現れている。このピークをカットするために、図2の横破線を太陽発電で賄うエネルギー量として、これを上回る夏季のピーク(斜線部)と冬季のピーク(斜破線部)をそれぞれ雪の冷熱エネルギーとバイオマスで補うと考える。すなわち、事業所の電力需要の概ね半分を太陽光発電で補い、残りを冷熱およびバイオマスで賄うことを提案する。

### 4. 雪に強い太陽光発電の垂直積上設置法の提案

積雪による発電効率の低下、許容荷重を超えた場合の除雪作業の簡素化を目指し、豪雪地帯ならではの太

表2 各地域のUA値

UA値 (外皮平均熱貫流率, W/(m <sup>2</sup> K))							
地域番号	1・2	3	4	5	6	7	8
地域名	北海道	秋田・青森	新潟・長野・栃木	埼玉・群馬	東京・大阪	宮崎・鹿児島	沖縄
断熱等級2	0.8	1.3	1.5	1.7	1.7	-	-
ZEH基準	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	-
HEAT20-G1	0.34	0.38	0.46	0.48	0.56	0.56	-

表3 ある事業所の1年間の冷暖房で消費するエネルギー量(断熱性能基準ごと)

外皮面積(m <sup>2</sup> )	月	消費エネルギー量(MWh)											合計(MWh/年)	
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		3
5384	断熱等級2	48	22	42	45	66	28	25	52	84	104	92	69	677
	ZEH基準	19	9	17	18	27	11	10	21	34	42	37	27	272
	HEAT20-G1	15	7	13	14	20	9	8	16	26	32	28	21	209
3680	HEAT20-G1	10	4	9	10	15	6	5	11	19	23	21	15	148

表4 新潟県長岡市と東京都の冬季日照量比較

2019年度	12月	1月	2月	合計	比率
長岡市 (h)	48.9	28.9	63.9	141.6	28
東京都 (h)	145.3	222.2	138.0	505.5	100

表5 太陽光発電 kW 当たりの年間発電量の比較

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 %

表6 月別の期待太陽光発電量

2018年度	全天日射量 <sup>5)</sup> (kWh/m <sup>2</sup> )	期待発電量 (kWh)
2018年4月	4.78	126
2018年5月	5.22	138
2018年6月	4.92	125
2018年7月	4.87	128
2018年8月	4.97	127
2018年9月	4.18	110
2018年10月	3.41	87
2018年11月	2.29	55
2018年12月	1.43	36
2019年1月	1.54	39
2019年2月	2.71	71
2019年3月	3.86	98
合計	1141 kWh/年	

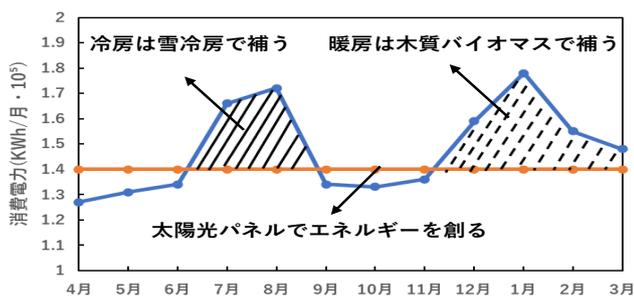


図2 事業所の消費電力および電気を補う提案

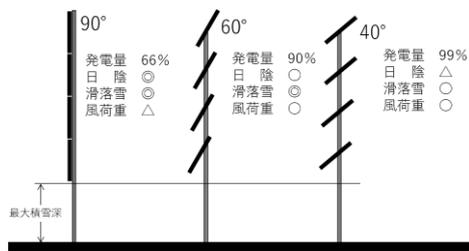


図3 雪国に適した垂直積上設置法 HASA の概要

太陽光発電パネルの新たな設置方法を提案する。図3に雪国に適した太陽光パネルの新たな設置方式の提案を示す。垂直積上設置法 (Heap-up Architecture for Solar cell Array, HASA) と名付けたもので、水平にパネルを並べるのではなく、パネルを垂直に積層する手法であり、スペース効率を高め、パネルに雪が積もる面積を減らすことが出来る。さらに、適切な傾斜を設けることによって、自動的に積雪が滑落するようにする。

夏や冬の発電量の差を小さくして、一年通して安定的な発電を可能とするために、太陽光発電パネルを傾斜させて設置した場合の、新潟県長岡市における年間発電量の計算を行った。本研究で用いた発電量計算式を式(3)に示す。

$$E_p = (H \cdot K \cdot P \cdot 365) / P \quad (3)$$

ここで、 $E_p$  は年間発電量 (kWh) ,  $H$  は年間全天日射量<sup>4)</sup> (kWh/m<sup>2</sup>) ,  $K$  は損失係数 (一般的に 85%) ,  $P$  はシステム容量 (kW) , 365 は年間日数, 1 は標準状態日射強度 (kW/m<sup>2</sup>) である。計算期間は 2010 年から 2019 年の 10 年間データとし、容量を 1kW として、傾斜角度を 10 度から 90 度の範囲で 10 度きざみで変化させた。方位は南向き 0 度とした。年間全天日射量は、新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) の月平均データ MONSOLA-20<sup>[5]</sup> の 2010 年から 2019 年までの 10 年間日射量データを用いた。

新潟県長岡市の年間発電量の計算および傾斜角度選定の結果を表7に示す。効率は傾斜角度 30 度の年間発電量を 100%として計算した。計算の結果、10 度から 60 度の範囲では 90%以上の効率が確保できることが分かった。一方、雪の滑り落ちやすさを考慮すると 40 度以上の勾配が望ましいことから、40~60 度で設置するのが、妥当であると考えられる。今後設置条件毎の詳細な年間の発電量見込みを試算してレイアウトの最適化を進めていく。

表7 年間発電量の計算および傾斜角度選定の結果

傾斜角度	H	K	P	$E_p$	効率
10度	3.54	0.85	1	1098	96 %
20度	3.64			1129	99 %
30度	3.67			1139	100 %
40度	3.62			1123	99 %
50度	3.49			1083	95 %
60度	3.30			1024	90 %
70度	3.05			946	83 %
80度	2.75			853	75 %
90度	2.41			748	66%

## 5. まとめ

本研究では、事業所規模を対象として、低炭素社会の実現に向けて、豪雪地における ZEH/ZEB の実現可能性を断熱性能や省エネルギーおよび創エネルギーの 3 つの観点に分けて検討を行った。新潟県長岡市のある事業所の月別の電気代を調べて、再生可能エネルギーで賄う部分について調査した。また、スペース効率を高め積雪の影響を軽減させつつ、発電効率を落とさない新たな垂直積上設置法を提案した。滑落雪によって荷重を軽減しつつ発電効率を落とさない角度として 40～60 度が妥当であると結論づけた。

今後は夏季の冷房需要を賄う雪冷熱および冬の暖房需要を賄うバイオマスの必要熱量について詳細な検討を進める事、省エネルギーによる使用電力の抑制について検討を行い、雪国 ZEH/ZEB を実現させる組み合わせを見出していきたい。

## 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. マエショウ, 「G1.G2.G3 の3つのグレードのUA値や体感温度の基準」, (2021年04月21日)  
<https://www.maesho-c.co.jp/blog/post-4241/>
3. 新エネルギー財団, 「太陽光発電 kW 当たりの年間発電量の比較」, (2021年04月21日)  
<https://www.nef.or.jp/energy/photovolataicpower/shikumi01.html>
4. 気象庁 HP, 「過去の気象データ検索」(2023年4月21日)  
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
5. 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](https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100041.html)
6. BAYANMUNKH TSATSRAL, BAASANDORJ MUNGUNTUUL, 杉原幸信, 上村靖司 (2022) : 豪雪地における事業所規模での ZEH の実現可能性検討, 雪氷研究大会(2022・札幌)講演要旨集(A1-1 P1)
7. BAYANMUNKH TSATSRAL, BAASANDORJ MUNGUNTUUL, 杉原幸信, 上村靖司(2022) : 事業所規模での雪国 ZEH の実現可能性, 寒地技術論文・報告集 Vol. 38 論文番号 II-025.