

学校施設のZEB化の手引き

令和6年3月



文部科学省

目次

目次			2
本手引きの目的			3
ZEB化の事例の見方			3
ZEB化の事例			
栃木県那須塩原市立 ^{ほうきね} 箒根学園	新築	Nearly ZEB	4
千葉県袖ヶ浦市立 ^{くらなみ} 蔵波小学校	新築	ZEB Ready	10
国立大学法人東北大学 北青葉山厚生会館・図書館	改修	Nearly ZEB	14
山形県 ^{かみのやま} 上山市立南小学校	改修	Nearly ZEB	20
栃木県那須塩原市立 ^{つきのきざわ} 槻沢小学校	改修	『ZEB』	24
コラム			
ZEBの定義と分類			9
BEIと地域区分			19
改修ZEBのススメ まずは断熱改修から			
1. 将来的にZEB化を目指す大規模改修			28
2. ZEB化を達成するための断熱改修仕様			29
3. 断熱改修の具体事例			30

本手引きの目的

学校を新築することになった、、老朽化した学校を大規模改修しないといけない、、このようなプロジェクトを進める上で、建物を「ZEB化」することに対してどのようなイメージをお持ちでしょうか。

「通常の工事をするだけで大変なのに、ZEB化なんてどれだけお金がかかるかわからない、無理だ。」というのが正直な印象かもしれません。

本手引きは、ZEB化を達成した学校施設の事例について、そのコストや工夫などの取組内容を紹介することで、ZEB化を検討する足掛かりにさせていただくことを目的として作成しました。

本手引きの事例を見ていただければわかるとおり、様々な工種のうち、主に「外皮断熱」「高効率空調」「高効率照明」にコストを上乗せすれば、建物の「ZEB化」は達成できます。

達成した事例の詳細を知ること、学校を新築や改修をする際の「ZEB化することが困難である」というイメージは、払拭していただけることと思います。

また、「ZEB化」を達成することにより、脱炭素化に貢献できるだけではなく、教育環境としての質の向上が期待でき、その上、光熱費が抑えられるなど、多くのメリットが享受できます。

なお、どうしても「ZEB化」が困難なケースのため、本手引きの後半には「改修ZEBのススメ」として、断熱改修について説明しています。

「ZEB化」をしたい！という担当者も、到底「ZEB化」なんか無理！という担当者も、この手引きでまずは「ZEB化」を知っていただくことから始めてみてください。

ZEB化の事例の見方



タイトル・概要

学校名・施設名称

1. 事業概要

事業種別: 改修 (1979年建築)

所在地: 山形県上山市

竣工時期: 2022年10月～2023年12月

構造・階数: 鉄筋コンクリート造・地上2階

延床面積: 11,390㎡ (校舎+体育館)

改修事業費: 4,472万円 (改修工事費含む)

2. 建物仕様

躯体: 鉄骨造

外壁: 鉄骨造

床: 鉄骨造

柱: 鉄骨造

耐力壁: Low-E複層ガラス (Low-E-A10-20)

窓枠: 樹脂窓

屋根: 高気密高断熱2層構造

床: 断熱床

天井: 断熱天井

基礎: 基礎断熱

設備: 高気密高断熱2層構造

3. キープラン

1 1階平面図

2 2階平面図

3 3階平面図

4. コスト

■全体コスト

項目	延床面積 (㎡)	単価 (円)	金額 (円)
改修事業費 (実費)	11,390	341,768,000	3,913,000,000
改修事業費 (実費)	4,472	487,308,000	2,177,000,000

■内訳

工種	内訳	単価 (円)	金額 (円)
外皮断熱	断熱材の取付・断熱材の取付 (Low-E-A10-T4)	34,000	1,500,000,000
断熱材	断熱材 (断熱材)	40,000	1,600,000,000
断熱材	断熱材 (断熱材)	148,000	1,480,000,000
断熱材	断熱材 (断熱材)	28,000	280,000,000
断熱材	断熱材 (断熱材)	145,000	1,450,000,000
断熱材	断熱材 (断熱材)	30,000	300,000,000
断熱材	断熱材 (断熱材)	58,000	580,000,000
合計			4,472,000,000

主な項目

- 1. 施設データ**
建物の基本情報、工事概要
- 2. 建物仕様**
当該建物の仕様のうちZEB化にかかるもの
- 3. キープラン**
対象建物
- 4. コスト**
ZEB関連工事に係る経費
- 5. 導入設備**
特に工夫されている設備
- 6. 一次エネルギー消費量 (MJ/延床㎡年) 計算結果**
省エネ法に基づく計算結果
- 7. ZEB評価**
省エネ率、創エネ率によるZEBの評価

以降、事例に応じて
コスト・工期短縮の工夫
経緯・きっかけ、課題、メリット

地域区分 (19ページ参照)

3小1中を統合した義務教育学校を Nearly ZEBで整備

新築

Nearly
ZEB



校舎

栃木県那須塩原市立箒根学園

施設データ

	校舎	体育館・武道場
新築/改修	新築	新築
所在地	栃木県那須塩原市	
地域区分	4地域	
工事期間	2022年7月 ～2023年3月	2023年7月 ～2024年2月
構造・階数	鉄筋コンクリート 造 地上2階	鉄骨造 地上1階
延床面積	1922.34㎡	1441.52㎡
新規事業費 (太陽光発電 設備を除く)	8億円	7億1千万円



体育館・武道場

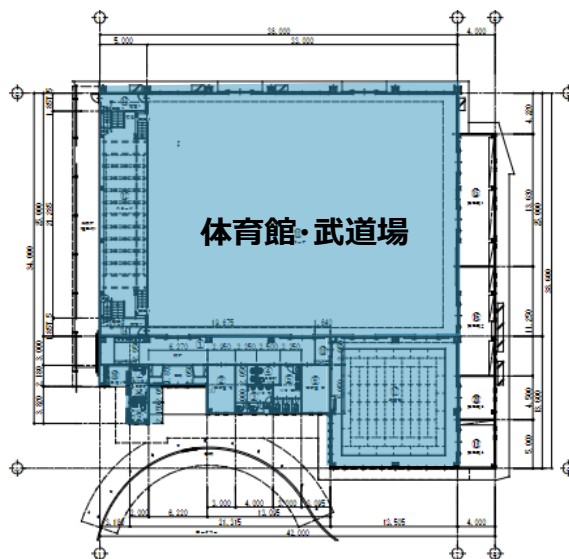
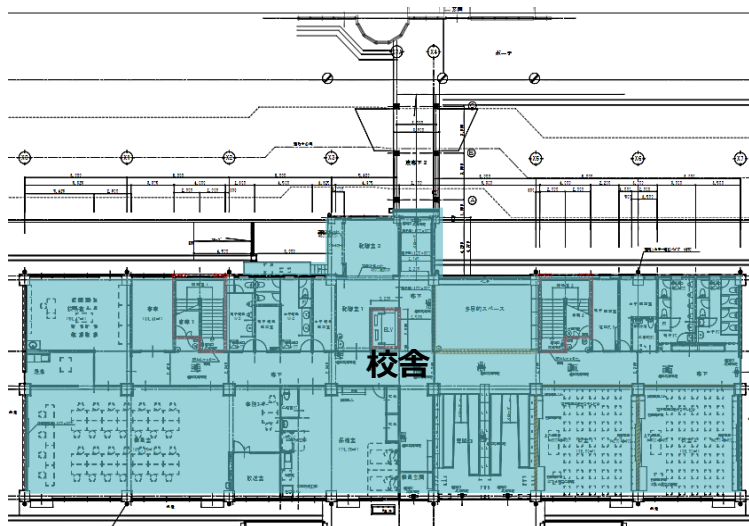
1. 事業概要

本事業では、校舎及び体育館において、断熱性能の向上を図るとともに、空調、全熱交換器の集中管理やCO₂センサー、照度センサーによる自動制御ができる機器選定を実施することで、ZEB Readyを達成した。さらに、太陽光発電設備を設置することでNearly ZEBを達成した。また、電力のピークシフトの観点や災害時の対応を考慮し、蓄電池設備を設置した。

2. 建物仕様

	校舎	体育館・武道場
屋根	押出ポリスチレンフォーム2種1号 厚30mm	高性能フェノールフォーム 厚35mm
外壁	押出ポリスチレンフォーム2種1号 厚30mm	グラスウール断熱材24K 厚100mm
窓	Low-E複層ガラス (LowE4・A12・強化4)	Low-E複層ガラス (LowE4・A6・強化4)
空調	空冷式パッケージ型エアコン	空冷式パッケージ型エアコン
換気	全熱交換器 (CO ₂ センサー付き)、天井扇、換気扇	全熱交換器 (CO ₂ センサー付き)、天井扇、換気扇
照明	LED照明 (明るさ検知制御付き)	LED照明 (調光設備付き)
給湯	ヒートポンプ給湯器	—
昇降機	VVVF方式	—
創エネ	太陽光発電 63.72kW (蓄電池20kWh)	太陽光発電 90.20kW (蓄電池20kWh)

3. キープラン



1階平面図

4. コスト

■全体コスト

	延床面積 (㎡)	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
校舎 (太陽光発電、蓄電池除く)	1,922	802,273,000	417,416
校舎 (太陽光発電63.72kW、蓄電池20kWh含む)		849,442,000	441,957
体育館・武道場 (太陽光発電、蓄電池除く)	1,441	707,505,000	490,981
体育館・武道場 (太陽光発電90.20kW、蓄電池20kWh含む)		774,422,000	537,419

■内訳

校舎	工種	内容	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
ZEB関連工事	外皮断熱	屋根：押出ポリスチレンフォーム2種1号 厚30mm 外壁：押出ポリスチレンフォーム2種1号 厚30mm 窓：Low-E複層ガラス (Low-E4-A12-T4)	30,100,000	15,661
	照明設備	LED照明 (明るさ検知制御)	13,345,000	6,943
	空調設備	空冷式パッケージ型エアコン	21,643,000	11,261
	換気設備	全熱交換器 (CO ₂ センサー付き)、天井扇、換気扇	16,556,000	8,614
	給湯設備	ヒートポンプ給湯器	2,358,000	1,227
	創エネ	太陽光発電63.72kW、蓄電池20kWh	47,169,000	24,542
ZEB以外の工事		上記以外のすべての工事	718,271,000	373,710
	合計		849,442,000	441,957

体育館・武道場	工種	内容	事業費 (円)	m ² あたり単価 (円/m ²)
ZEB関連工事	外皮断熱	屋根：高性能フェノールフォーム 厚35mm 外壁：グラスウール断熱材24K 厚100mm 窓：Low-E複層ガラス (Low-E4-A6-T4)	18,668,000	12,955
	照明設備	LED照明 (調光設備付き)	7,658,000	5,314
	空調設備	空冷式パッケージ型エアコン	25,817,000	17,916
	換気設備	全熱交換器 (CO ₂ センサー付き)、天井扇、換気扇	6,257,000	4,342
	給湯設備	なし	0	0
	創エネ	太陽光発電90.20kW、蓄電池20kWh	66,917,000	46,438
ZEB以外の工事		上記以外のすべての工事	649,105,000	450,454
	合計		774,422,000	537,419

5. 導入設備

■ 創エネ見える化モニター



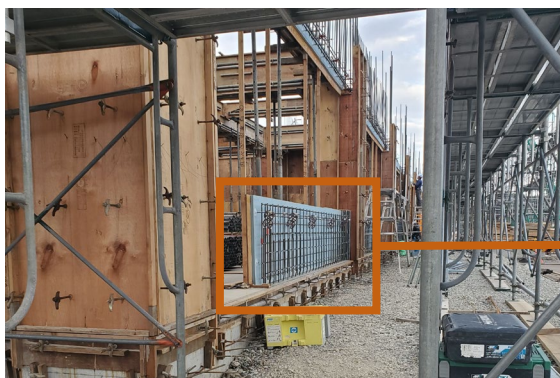
蓄電池付き太陽光発電システムの見える化モニターを昇降口付近の多目的スペースに設置することで、児童生徒に対してエネルギーの見える化を行い、環境教育の教材として使用できるよう配慮した。

■ CO₂センサー (全熱交換器)



CO₂センサーで測定した教室内のCO₂濃度により全熱交換器を自動で作動するシステムを採用。これにより学校教職員の負担軽減を図った。

■ 断熱材打込み



断熱材を吹き付ける工法ではなく、コンクリート外壁と一緒に断熱材を打ち込むことで工期が短縮できた。

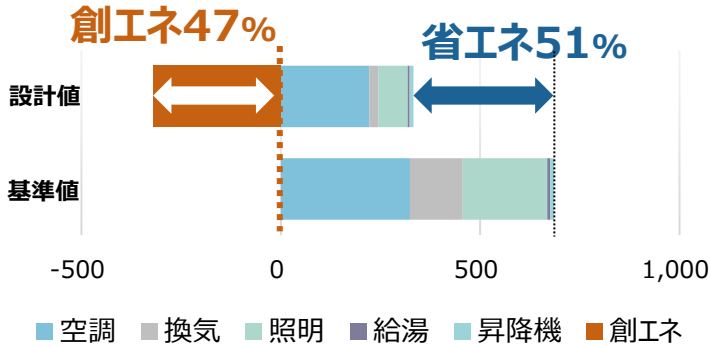


押出ポリスチレンフォーム 厚 30mm (断熱材)

6. 一次エネルギー消費量 (MJ/延床㎡年) 計算結果

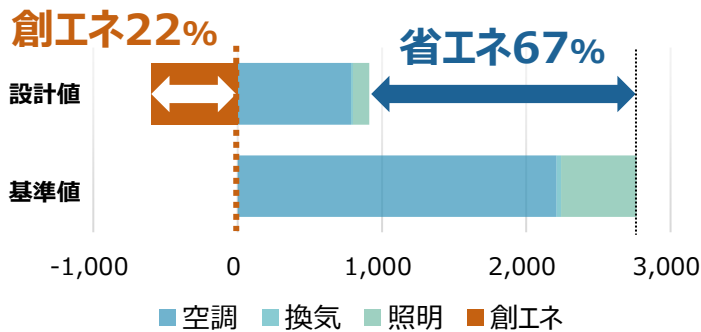
省エネ仕様の空調設備・換気設備の導入や、明るさ検知制御機能の付いたLED照明の導入により、校舎と体育館・武道場共にNearly ZEBを達成することができた。

■ 校舎



	基準値	設計値
空調	313.66	215.04
換気	128.93	21.51
照明	205.66	72.35
給湯	6.91	4.60
昇降機	9.09	9.09
創エネ	0.00	-310.89
合計	664.25	11.70

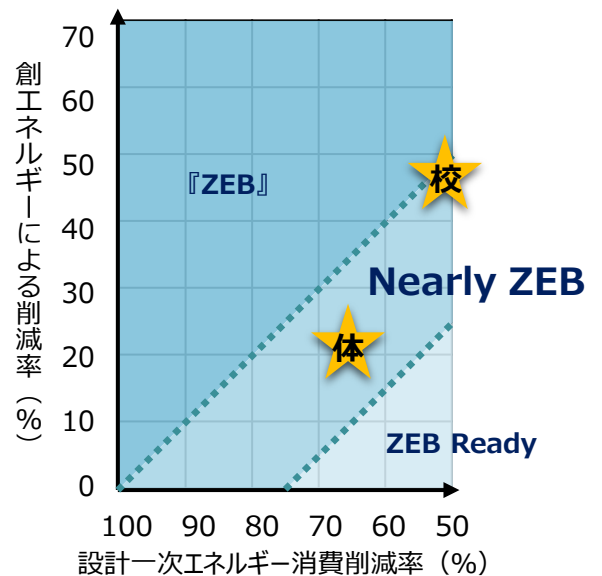
■ 体育館・武道場



	基準値	設計値
空調	2,209.93	786.64
換気	30.44	11.51
照明	525.27	113.94
創エネ	0.00	-599.71
合計	2,765.69	312.45

7. ZEB評価

	校舎	体育館・武道場
ランク	Nearly ZEB	
レファレンス	平成28年省エネルギー基準	
省エネルギー率	51% (設計値/基準値)	67% (設計値/基準値)
創エネルギー率	47% (設計値/基準値)	22% (設計値/基準値)



8. ZEB化の経緯・きっかけ

- 本市では2050年までにCO₂排出量実質ゼロを目指すことを宣言し、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に規定する実行計画として「那須塩原市環境マネジメントシステム」を策定した。具体的な取組事項として「新築建築物における率先したZEBの実現」を掲げ、ZEB化を推進することについて庁内の理解が得やすかったため、設計段階から太陽光発電の設置や断熱性の向上について検討し事業の推進に繋げることができた。

9. ZEB化の課題

- 設計業務においては、ZEBの実績があり、専門的な知識を有している設計者が少なく、ZEB計算についての協議に時間を要した。そのため、市側でもZEB計算について知識を得て、計算内容を精査する必要がある。また、工事監理においても、ZEBの知識を有する工事施工者が少ないため、適切な工事監理者を設置する必要がある。本工事においても適当な工事監理者がいなかったため、工事監理を市側で行った。これらのことから、今後ZEBを進めていく上で、設計者及び工事監理者（特に設備設計）の育成が課題であると感じた。
- コスト面においては、太陽光発電設備、高効率エアコンや開口部の断熱サッシの採用など、通常の建物と比べ建築費用が上乘せされることから、ZEB化によるランニングコストの削減やメリットについて庁内で具体的な説明を求められる場面で、数値化することが難しく、説明がしづらいつと感じた。

10. ZEB化のメリット

- 照明の明るさセンサーにより、適切な照度管理が自動でできる。
- 全熱交換器の導入により、自動で換気管理が可能となり、学習環境の改善、学校職員の負担軽減に繋がった。（設置前は、新型コロナウイルス感染症対策として、個別のCO₂センサーにより数値を確認し、窓を開けて換気をしていた。）また、窓を閉め切った状態で授業ができるため、屋外からの音の影響が減り、児童生徒が授業に集中できる環境が整備できた。

11. コスト・工期短縮の工夫

■校舎

- コンクリート外壁の施工後に断熱材を吹き付ける工法ではなく、コンクリートと一緒に断熱材を打ち込むことで工期が短縮できた。
- 建物を単純な直方体の形状として、外壁量を極力減らすことにより、省エネ性能が高く、低コストな建物とし、また、工期は短工期となるよう工夫した。

■体育館・武道場

- 開口部をできるだけ減らすことで、省エネガラスに必要な費用を抑えつつ、高い省エネ性能を確保した。

コラム | ZEBの定義と分類

「2050年カーボンニュートラルの実現に資する学校施設のZEB化の推進について」報告書14、15ページより
 (令和5年3月 学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議)

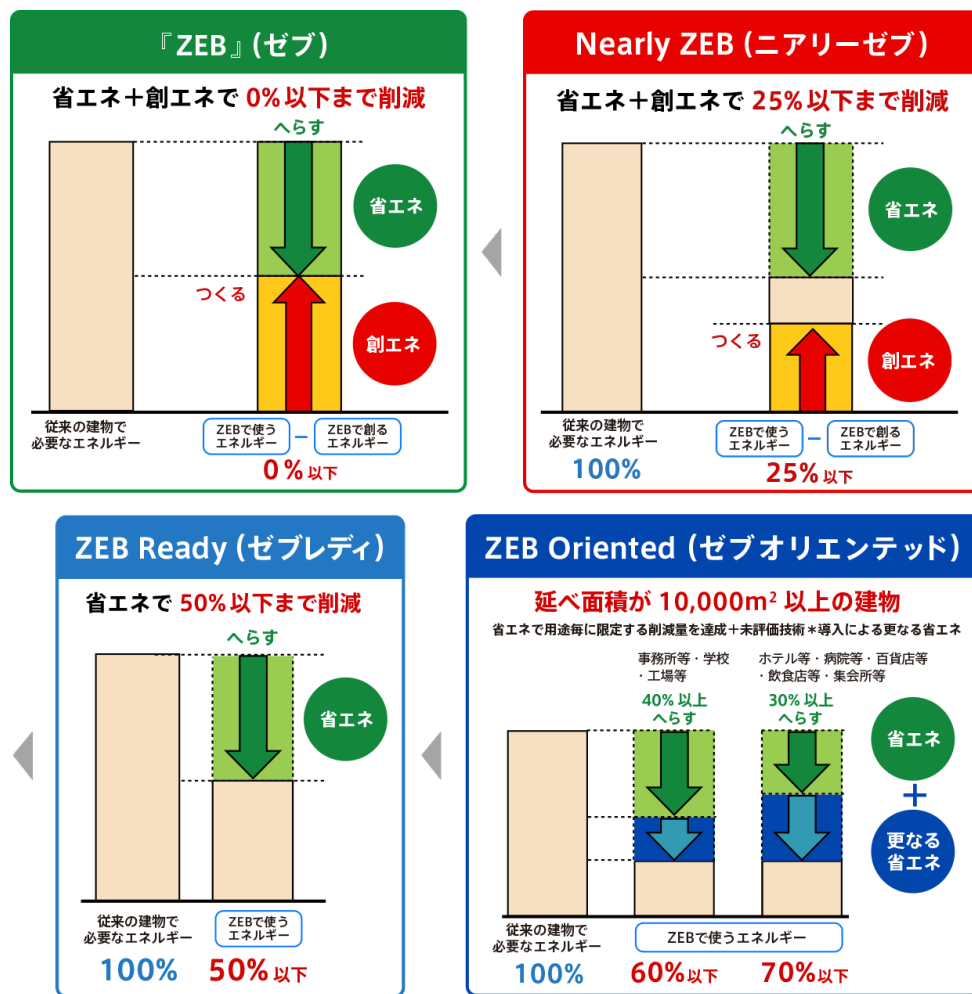
ZEBとは

「ZEB」(「ゼブ」と読む。)とは、「Net Zero Energy Building (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)」の略称であり、経済産業省資源エネルギー庁「ZEBロードマップ検討委員会とりまとめ」(2015年12月)によれば、「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」と定義されている。

ZEB の分類

ZEBの評価・分類においては、建築物省エネ法と同様にBEIが用いられる。国立研究開発法人建築研究所が公表している建築物のエネルギー消費性能計算プログラム(WEBPRO※)又はこれと同等の方法によりBEIを計算し、再生可能エネルギーを除き $BEI \leq 0.50$ の場合にZEB Ready、さらに再生可能エネルギー導入によって $0.00 < BEI \leq 0.25$ となる場合には Nearly ZEB、 $BEI \leq 0.00$ となる場合には「ZEB」と分類される。

※WEBPROとは、建築物省エネ法で規定された非住宅建築物の省エネルギー基準(平成28年度基準)への適合性を判定するためのプログラム



*WEBPROにおいて現時点で評価されていない技術

環境省「ZEB PORTAL (ゼブ・ポータル)」より

校舎増築棟をZEB Readyで整備

新築

ZEB Ready



くらのなみ

千葉県袖ヶ浦市立蔵波小学校

施設データ

新築／改修	新築（増築）
所在地	千葉県袖ヶ浦市
地域区分	6地域
施工期間	2023年3月～2024年2月
構造・階数	鉄骨造・地上2階
延床面積	903.30㎡
新築事業費	4億円 （太陽光発電設備を除く）

1. 事業概要

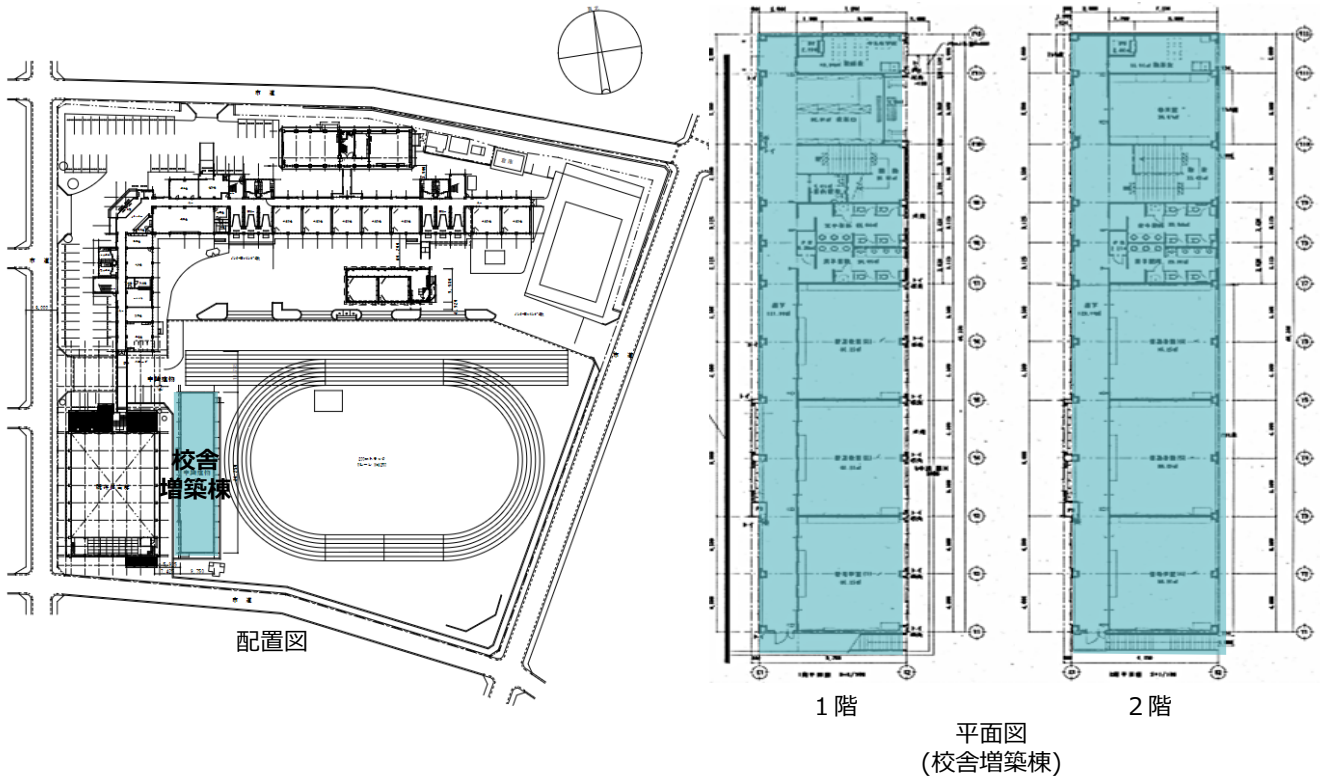
本事業は、蔵波小学校区内の児童増加に対応するため、校舎を増築した。増築棟の整備にあたり、外皮性能を高めるための複層ガラスや、高効率の空調設備、換気設備、照明器具の整備等により省エネを図ることで、ZEB Readyを達成した。また、将来的に更なるZEB化を進めるため、太陽光パネルの基礎を屋上に余剰に確保した。

2. 建物仕様

屋根	グラスウール 厚100mm
外壁	グラスウール 厚100mm
窓	Low-E複層ガラス（LowE4・A12・強化4）
遮蔽・遮熱	カーテン
空調	ガス式ヒートポンプエアコン

換気	全熱交換ユニット、天井扇、換気扇
照明	LED照明（明るさセンサー、換気扇連動）
昇降機	小荷物専用昇降機 200kg
創エネ	太陽光発電 20kW

3. キープラン



4. コスト

■全体コスト

	延床面積 (㎡)	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
全体事業費 (太陽光発電除く)	903.30	400,130,000	442,965
全体事業費 (太陽光発電含む)	(校舎増築棟)	431,530,000	477,726

■内訳

	工種	内容	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
ZEB関連工事	外皮断熱	屋根：グラスウール 厚100mm 外壁：グラスウール 厚100mm 窓：断熱サッシ+Low-E複層ガラス (Low-E4-A10-T4) 遮蔽・遮熱：カーテン	10,749,000	11,900
	照明設備	LED照明 (明るさセンサー、換気扇連動)	6,338,000	7,016
	空調設備	ガス式ヒートポンプエアコン	15,983,000	17,694
	換気設備	全熱交換ユニット、天井扇、換気扇	4,087,000	4,525
	創エネ	太陽光発電20kW	31,400,000	34,761
ZEB以外の工事		上記以外のすべての工事	362,973,000	401,830
	合計		431,530,000	477,726

5. 導入設備

■ 断熱化



屋上部分の断熱性確保については、天井裏にグラスウール100mmを敷き込むことにより実現した。一般的な工法でかつ施工性も高く、コストも比較的安価であることから、屋根や躯体への断熱ではなく、天井裏に敷き込む方法を選択した。

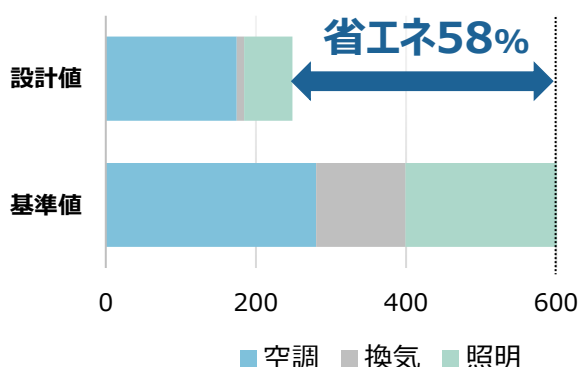
■ 太陽光発電設備



更なるZEB化を進めるため、太陽光発電設備の基礎を余剰に確保した。将来的に13.5kW程度分の太陽光発電設備を更に設置する見込み。

6. 一次エネルギー消費量 (MJ/延床㎡年) 計算結果

省エネ仕様の空調設備・換気設備の導入が、ZEB Ready達成に大きく寄与した。

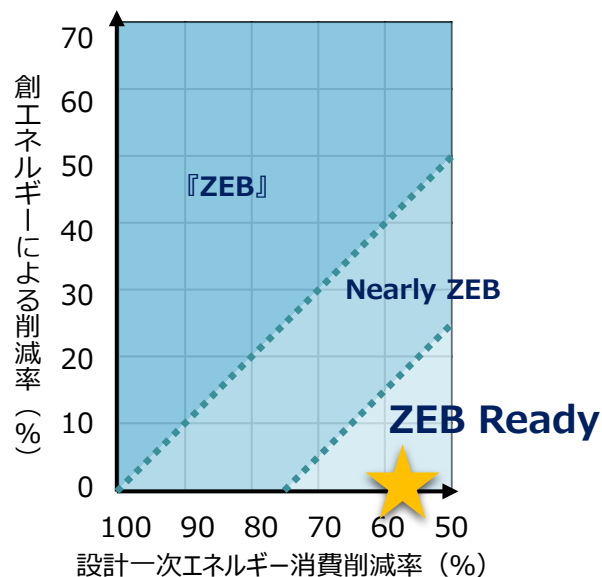


	基準値	設計値
空調	280.18	174.15
換気	118.99	9.84
照明	201.73	64.77
合計	600.90	248.76

※太陽光発電は容量が軽微なので創エネには計上しない。

7. ZEB評価

ランク	ZEB Ready
レファレンス	平成28年省エネルギー基準
省エネルギー率	58% (設計値/基準値)



8. ZEB化の経緯・きっかけ

- 別事業である市内小学校の増築の際、プロポーザル方式による事業者提案があった。既にZEB取得した事例があること、また、市として脱炭素の取組みとして省エネを進めていることから、大規模改修や新築・増築では積極的に建物の省エネ化を進めており、可能な限りZEB取得に向けて検討していくこととしているため提案を採用することとした。

9. ZEB化の課題

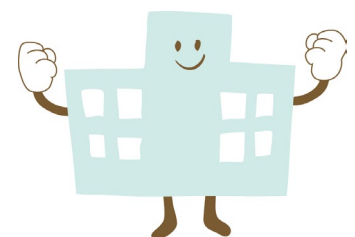
- 環境に配慮した施策として、賛同が得られやすい一方、エネルギーが削減された際の光熱費の比較など、費用対効果についての検討が困難であると感じた。
- 市でZEB化を進めていくことについて、どこまでの性能を求めていくのか、建物の築年数や空調、換気、照明等の更新状況、リースしている設備、大規模改修を終えているもの等、建物毎に状況が異なっており、ZEB化を見据えることができる建物と現実的には難しい建物がある中で、折り合いをつける必要があること。

10. 整備する際の課題や苦労した点

- 校舎の増築にあたり、既存校舎や職員駐車場の関係でどこに配置するべきか検討を重ねた上で、グラウンドの一部に建てることとした。教育環境上、広いグラウンドを確保しておきたかったが、防犯や景観等を考慮し、現在の位置に決定した。
- 将来的な市の人口減少を見込んだうえで、最低限必要な教室数について線引きを行うことが難しい。

11. ZEB化のメリット

- ZEB化をしたことで光熱費が削減されるなどの効果がある。今後は他校の状況と比較するなど、効果を検証予定である。
- 気候変動問題による気温上昇により、今後は学校への空調需要が増えていく中、高効率の空調・換気を使用することは有用である。



長寿命化とNearly ZEBを 低コストで同時に実現

改修

Nearly
ZEB

国立大学法人東北大学 北青葉山厚生会館・図書館

施設データ

新築／改修	改修 (厚生会館：1975年建築) (図書館：1985年建築)
所在地	宮城県仙台市
地域区分	5地域
施工期間	2022年6月～2023年5月
構造・階数	鉄筋コンクリート造 厚生会館：地上2階 図書館：地上3階
延床面積	4,783㎡ (改修部分)
改修事業費	厚生会館：5億2千万円 図書館：5億8千万円 (太陽光発電設備を除く)

1. 事業概要

本事業では、老朽化した厚生会館（築46年）及び図書館（築36年）をNearly ZEBへ長寿命化改修し、再生整備を行ったものである。

仙台の気候に適した省エネ仕様を費用対効果を踏まえ検討し、外壁・屋根の高断熱化や複層ガラス、二重サッシ等による断熱性能の向上、高効率空調設備やLED化等で徹底的な省エネ化を図り、低コストで「改修によるNearly ZEB」を実現した。

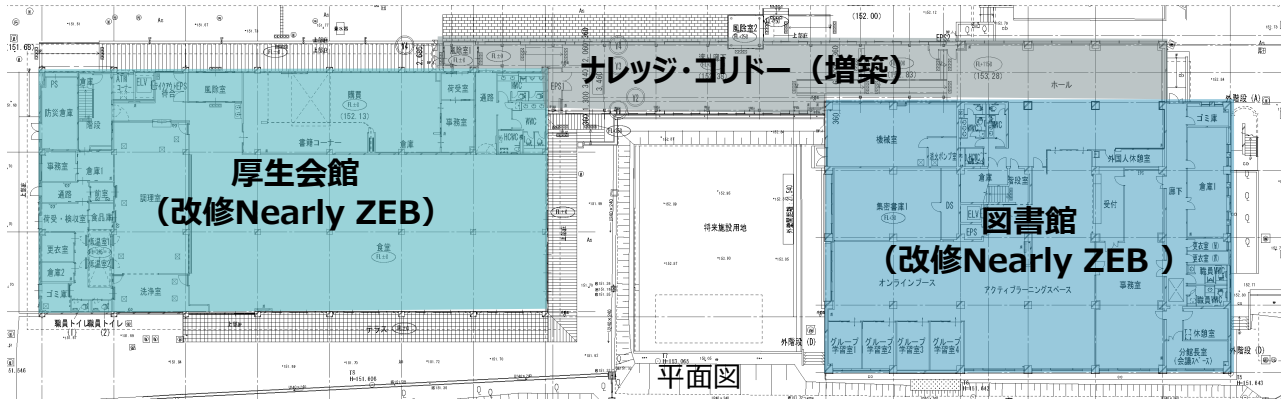
2. 建物仕様

厚生会館・図書館

屋根	押出ポリエチレンフォーム 厚100mm
外壁	硬質ウレタンフォーム吹付 厚60mm
床	床下断熱 厚60mm
窓	Low-E複層ガラス (LowE5・A12・強化5)
遮蔽・遮熱	ブラインド、庇
空調	空冷式ヒートポンプエアコン

換気	全熱交換器（自動換気切替）（+回転式全熱交換ユニット付外気処理設備（図書館））、天井扇、ストレートシロッコファン
照明	LED照明（在室検知制御、明るさ検知制御）
給湯	電気温水器、ガス給湯器（潜熱回収型）
昇降機	VVVF方式
創エネ	太陽光発電 220kW

3. キープラン



4. コスト

■ 全体コスト

	延床面積 (㎡)	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
厚生会館	1,448	519,222,000	358,579
厚生会館 (太陽光発電120 kW含む)	1,448	578,941,000	399,821
図書館	3,344	583,693,000	174,549
図書館 (太陽光発電100 kW含む)	3,344	641,916,000	191,961

■ 内訳

厚生会館	工種	内容	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
ZEB関連工事	外皮断熱	屋根：断熱防水 厚100mm 内壁：断熱材吹付け 厚60mm 床：床下断熱 厚60mm 窓：断熱サッシ+Low-E複層ガラス (Low-E5-A12-T5)	35,596,000	24,583
	照明設備	LED照明 (在室検知制御、明るさ検知制御)	21,065,000	14,548
	空調設備	空冷ヒートポンプエアコン、全熱交換器	30,569,000	21,111
	換気設備	天井扇、ストレートシロッコファン	1,023,000	706
	給湯設備	ガス給湯器	1,991,000	1,375
	昇降機	新設 (VVVF方式)	11,968,000	8,265
ZEB以外の改修		上記以外のすべての改修工事	417,010,000	287,990
	合計		519,222,000	358,579
図書館	工種	内容	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
ZEB関連工事	外皮断熱	屋根：断熱防水 厚100mm 内壁：断熱材吹付け 厚60mm 床：床下断熱 厚60mm 窓：断熱サッシ+Low-E複層ガラス (Low-E5-A12-T5) 真空ガラス (Low-E5+A0.2+P3) ※既存建具が再利用可能なら真空ガラスを採用	47,399,000	14,174
	照明設備	LED照明 (在室検知制御、明るさ検知制御)	4,829,000	1,444
	空調設備	空冷ヒートポンプエアコン、全熱交換器、回転式全熱交換ユニット付外気処理設備	59,983,000	17,938
	換気設備	天井扇、ストレートシロッコファン	1,342,000	401
	給湯設備	なし	0	0
	昇降機	改修 (VVVF方式)	1,650,000	493
ZEB以外の改修		上記以外のすべての改修工事	468,490,000	140,099
	合計		583,693,000	174,549

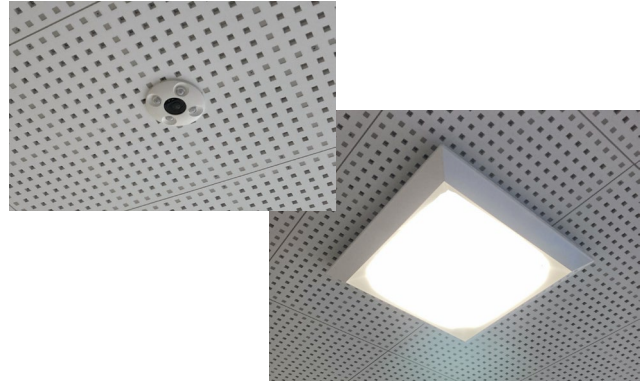
5. 導入設備

■ 太陽光発電設備



太陽光発電パネルは架台を設置せず平置きにすることで、構造躯体にかかる重量を軽減させた。

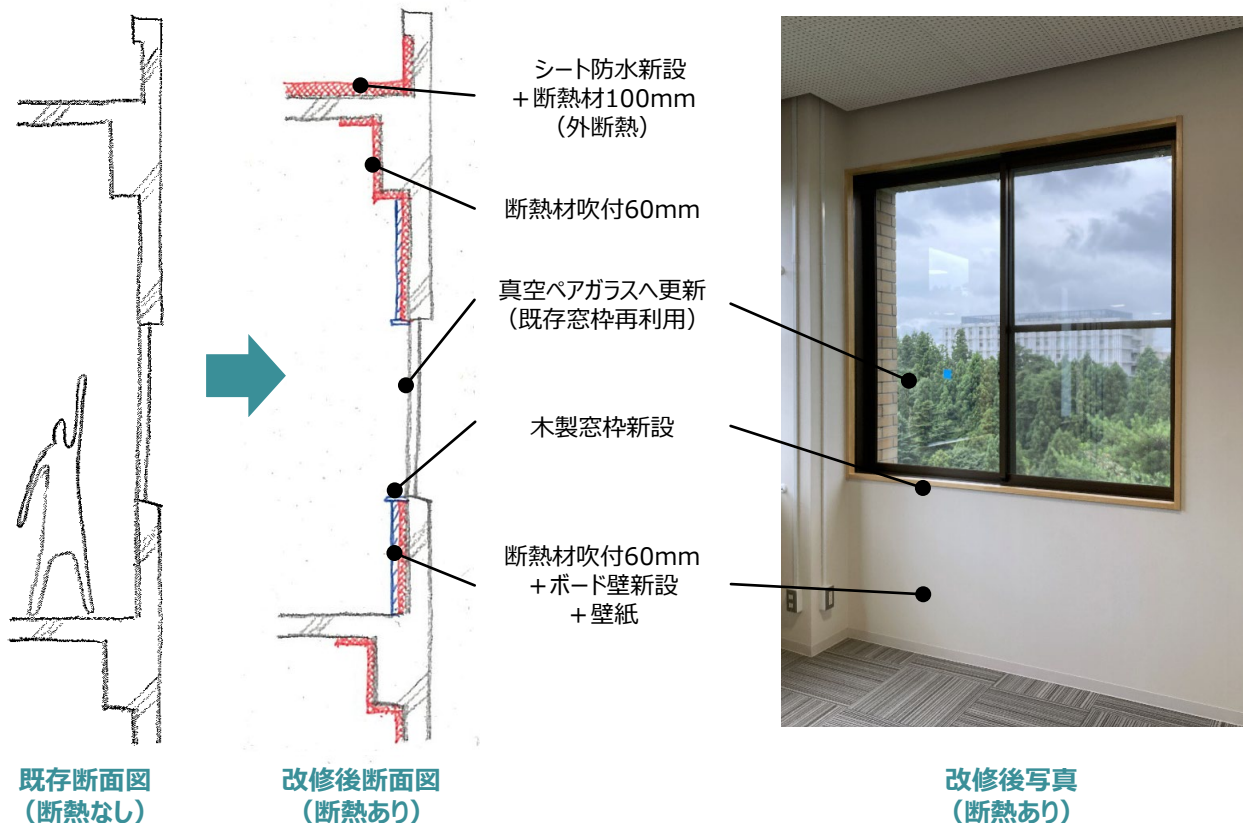
■ 画像センサ付き在室感知システム (図書館)



不在時は消灯し、在室時は画像センサにより、読書するわずかな動きにも反応して点灯し続ける。

■ 断熱改修

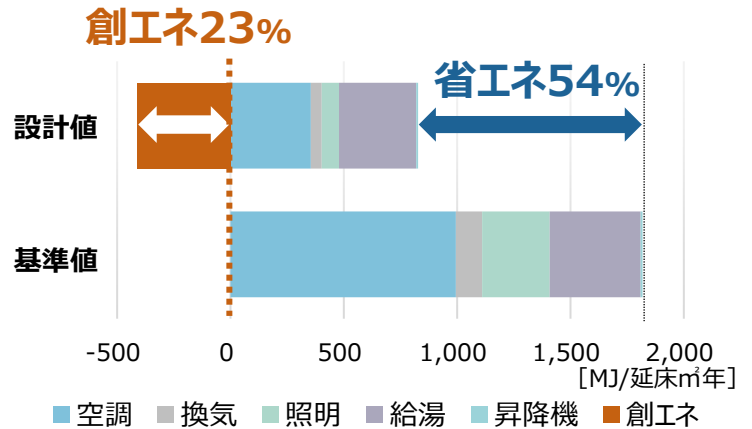
- 断熱性能の確保として、屋上に防水と共に100mmの断熱材を設置している。
- 室内は60mmの断熱材を吹き付けたうえでボード壁を新設している。
- 図書館棟の窓枠は既存のものを再利用しているため、既存窓枠と新設壁の取合いには木製窓枠を新設することで見た目も美しく納めている。
- ガラスは真空ペアガラスに更新し、高い断熱性能を確保している。



6. 一次エネルギー消費量 (MJ/延床㎡年) 計算結果

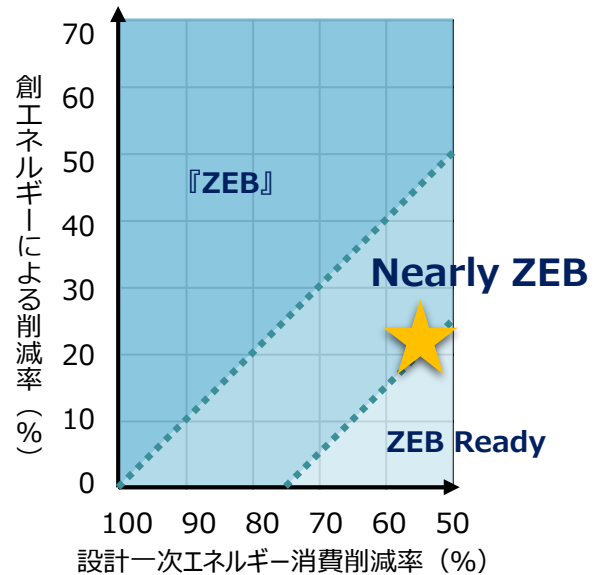
断熱化を徹底した上で、空冷ヒートポンプエアコン、全熱交換器を導入し、省エネルギー化を図った。

	基準値	設計値
空調	993.87	355.06
換気	115.84	47.58
照明	299.07	76.70
給湯	400.68	340.45
昇降機	8.46	8.46
創エネ	0	-410.86
合計	1817.92	417.39



7. ZEB評価

ランク	Nearly ZEB
レファレンス	平成28年省エネルギー基準
省エネルギー率	54% (設計値/基準値)
創エネルギー率	23% (設計値/基準値)



8. ZEB化の経緯・きっかけ

- 厚生会館は築46年、図書館は築36年を超えているが、これまで大規模な改修は実施されておらず、著しい老朽化や設備・機能面の陳腐化が大きな課題であった。
- 改築による整備では、莫大な施設整備費が必要になるとともに、廃棄物の発生等地球環境に多大な影響が出るため、厚生会館及び図書館は既存施設を最大限活用した長寿命化改修とした。また、厚生会館と図書館をつなぐ「ナレッジ・コリドー」と命名した渡り廊下兼コモンスペースを増築し、天候に左右されない快適な2棟間の移動を実現した。増築した「ナレッジ・コリドー」により2棟を連結させ、相乗的な機能強化を図る計画を策定した。
- 地球環境と人類の接続可能な未来に向けて、「グリーン社会の実現」に貢献する人材の育成、研究開発、社会共創を進めるとともに、大学キャンパスのカーボンニュートラル、エネルギー消費の削減を進めるため、仙台の気候に配慮した国内でも例の少ない「改修によるNearly ZEB」を目指すこととした。

10. ZEB化の新規性・革新性・独創性

- 仙台の気候に適した省エネ仕様「東北大学仕様モデル」を費用対効果を踏まえ検討し、外壁・屋根等の高断熱化、ペアガラス、二重サッシなどを採用することにより、外皮の断熱性能を向上するとともに、高効率空調設備、LED照明、画像認識による人感センサー等を採用することで徹底的な省エネ化を行い、低コストの「改修によるNearly ZEB」を達成した。
- 創エネ（太陽光パネル）については、厚生会館及び図書館の屋上の他、本改修工事に併せて整備した隣接する駐車場の上部を活用するなど、スペースを有効活用するとともに、キャンパスの景観・環境に配慮する計画とした。
- 耐久性やメンテナンス性の高い建築資材等を採用することにより、日常的な維持管理にかかる手間やコストの軽減を図った。

11. ZEB化後の展望

- Nearly ZEB化で削減された光熱費の一部を施設の維持管理費に充当し、予防保全や適切な維持管理のための仕組みを構築し、整備から維持管理までを一貫したサステナブルな施設運営を計画している。
- 省エネ・脱炭素への取組みを先導し、仙台の気候における低コストでのNearly ZEB改修の知見を地域に還元し、持続可能な地域社会形成の一助となるとともに、全国の大学施設の長寿命化においても貢献するプロジェクトに継続して取り組んでいく。

コラム | BEIと地域区分

BEI (Building Energy Index)

建築物のエネルギー消費性能の向上等に関する法律（平成27年法律第53号）では、住宅・建築物の一次エネルギー消費量の水準として、BEI という指標を用いる。BEIは、実際に建てる建物の設計一次エネルギー消費量を、地域や建物用途、室使用条件などにより定められている基準一次エネルギー消費量で除した値で評価される。

$$BEI = \frac{\text{設計一次エネルギー消費量の合計} - \text{エネルギー効率化設備による削減量}}{\text{基準一次エネルギー消費量の合計}}$$

基準仕様	設計仕様
空調エネルギー消費量 ESAC	空調エネルギー消費量 EAC
+	+
換気エネルギー消費量 ESV	換気エネルギー消費量 EV
+	+
照明エネルギー消費量 ESL	照明エネルギー消費量 EL
+	+
給湯エネルギー消費量 ESw	給湯エネルギー消費量 ESw
+	+
昇降機エネルギー消費量 ESEV	昇降機エネルギー消費量 ESEV
+	+
事務・情報機器等エネルギー消費量 ESM	事務・情報機器等エネルギー消費量 EM
	-
	エネルギー効率化設備によるエネルギー削減量(エネルギーの創出) ES
	=
基準一次エネルギー消費量 EST	設計一次エネルギー消費量 ET

環境省「ZEB PORTAL (ゼブ・ポータル)」より

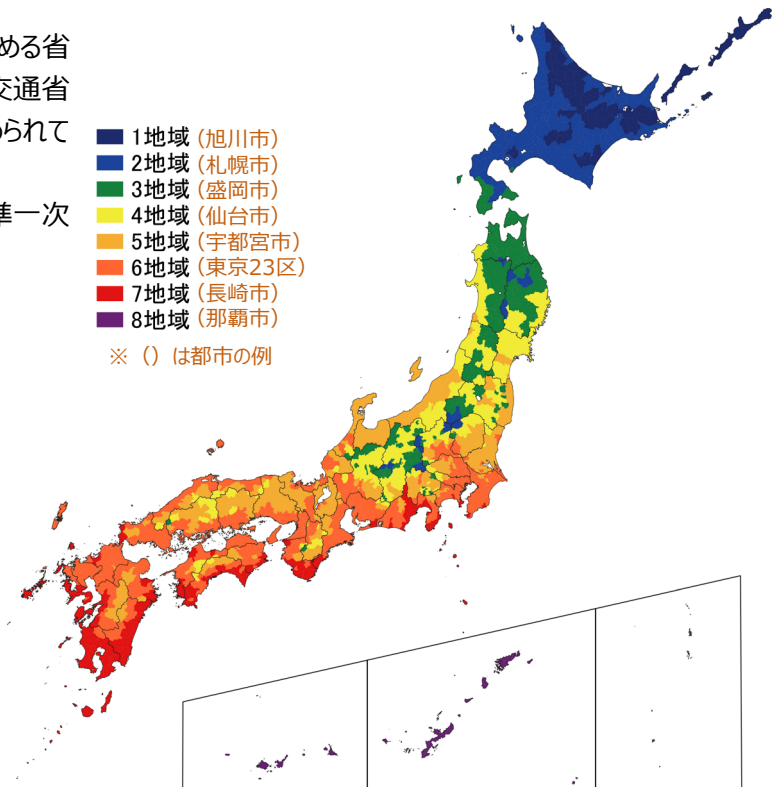
「2050年カーボンニュートラルの実現に資する学校施設のZEB化の推進について」報告書14ページより
(令和5年3月 学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議)

地域区分

「建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令における算出方法等を定める件（国土交通省告示第265号）」において地域区分が定められている。

地域区分によってBEIの算出に用いる基準一次エネルギー消費量の数値が異なる。

- 1地域 (旭川市)
 - 2地域 (札幌市)
 - 3地域 (盛岡市)
 - 4地域 (仙台市)
 - 5地域 (宇都宮市)
 - 6地域 (東京23区)
 - 7地域 (長崎市)
 - 8地域 (那覇市)
- ※ () は都市の例



「平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（非住宅建築物）」より

校舎・体育館を改修し 一体でNearly ZEBを達成

改修

Nearly
ZEB



かみのやま

山形県上山市立南小学校

施設データ

新築／改修	改修（1979年建築）
所在地	山形県上山市
地域区分	4地域
事業期間	2022年6月～2023年12月
構造・階数	鉄筋コンクリート造・地上2階
延床面積	11,390㎡（校舎+体育館）
改修事業費	3億4千万円 （太陽光発電設備を除く）

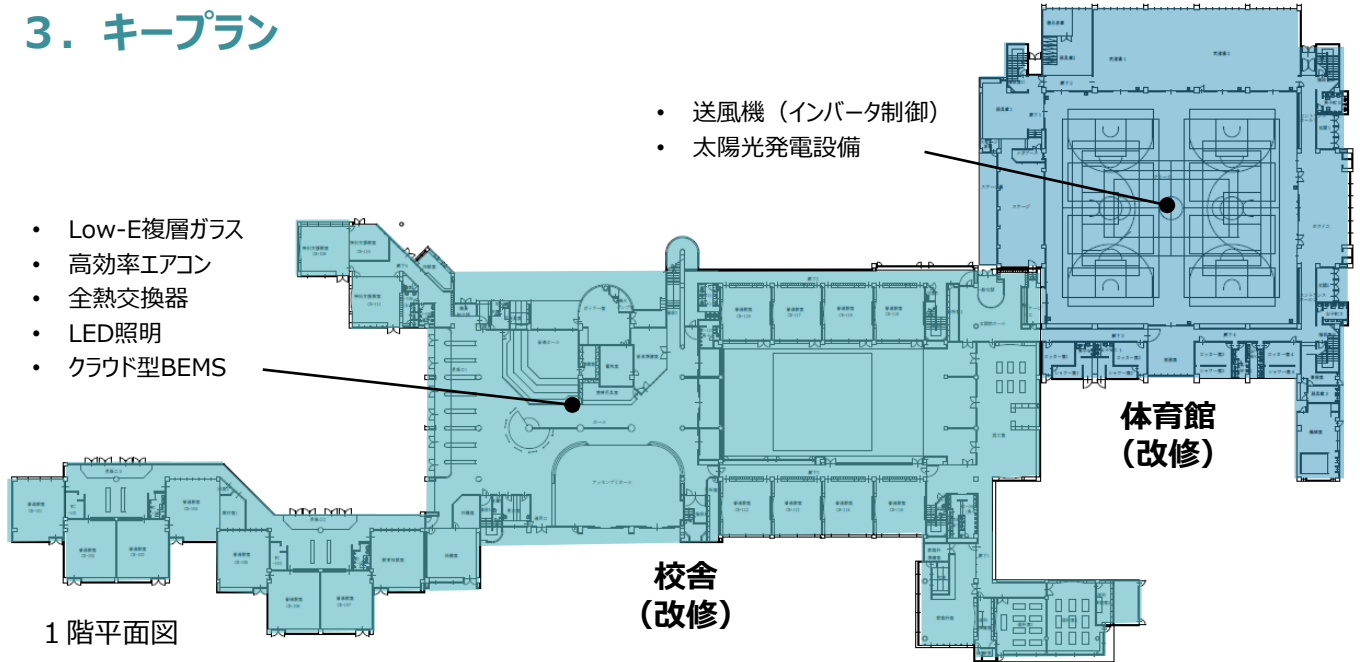
1. 事業概要

本事業では、築44年の校舎・体育館に対し、空調・換気・照明設備等の最適化・高効率化を図りつつ、教室等の窓改修により省エネを図ることでZEB Readyを達成した。さらに113kWの太陽光発電設備を設置することでNearly ZEBを達成した。また、蓄電池設備を導入することで、平常時はもとより、災害時に防災拠点として機能維持できる施設を目指した。

2. 建物仕様

屋根	既存のまま	換気	全熱交換器、排風機（インバーター制御）
外壁	既存のまま	照明	LED照明（明るさセンサー、タイマースケジュール運転、人感センサー）
床	既存のまま	給湯	既存のまま
窓	Low-E複層ガラス（LowE4・A10・強化4）	昇降機	既存のまま
遮蔽・遮熱	既存のまま	創エネ	太陽光発電 113kW（蓄電池40kWh）
空調	高効率パッケージエアコン、高効率ビルマル	BEMS	クラウド型BEMSによる設備のエネルギー計測

3. キープラン



4. コスト

■ 全体コスト

	延床面積 (㎡)	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
全体事業費 (太陽光発電除く)	11,390 校舎：7,170	341,760,000	30,005
全体事業費 (太陽光発電含む)	体育館：4,220	487,300,000	42,783

■ 内訳

	工種	内容	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
ZEB関連工事	外皮断熱	窓：Low-E複層ガラス (Low-E4-A10-T4)	34,920,000	3,066
	照明設備	LED照明 (明るさセンサー、タイマースケジュール運転、人感センサー)	40,070,000	3,518
	空調設備	高効率パッケージエアコン、高効率ビルマル	148,580,000	13,045
	換気設備	全熱交換器、排風機 (インバーター制御)	28,930,000	2,540
	創エネ	太陽光発電113kW、蓄電池40kWh	145,540,000	12,778
	BEMS	クラウド型BEMSによる設備のエネルギー計測	30,360,000	2,665
ZEB以外の改修		上記以外のすべての改修工事	58,900,000	5,171
	合計		487,300,000	42,783

5. 導入設備

■クラウド型BEMS



クラウド型のBEMSを採用し、設備ごと（空調・換気、照明等）の電力量のモニタリングを行う。クラウド内でエネルギー需要の分析、予測を行うことで各設備のデマンド制御が可能。

■見える化モニター



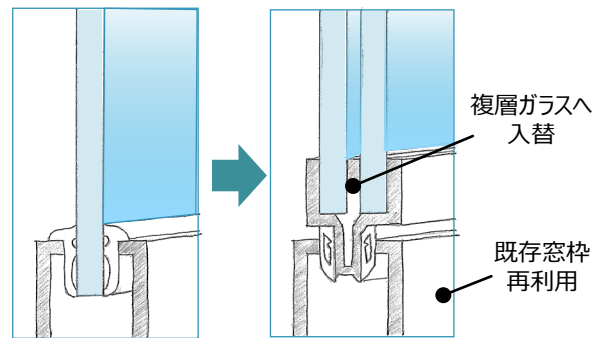
太陽光発電システムの稼働状況が見られるモニターを、図書室に設置している。

■蓄電システム



防災機能の向上として太陽光発電設備（112.5kW）と蓄電システム（40kWh）を導入。災害時には避難所として活用する体育館2Fの照明、コンセントに電源供給を行う。

■断熱化

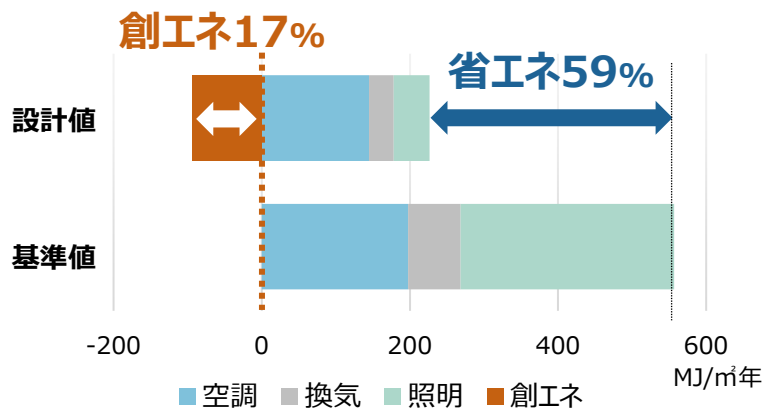


足場設置や工期等の制約に対応するため、既存建具のガラス部分のみを複層ガラスに入れ替える工法を採用し高断熱化を実現した。

6. 一次エネルギー消費量（MJ/延床㎡年）計算結果

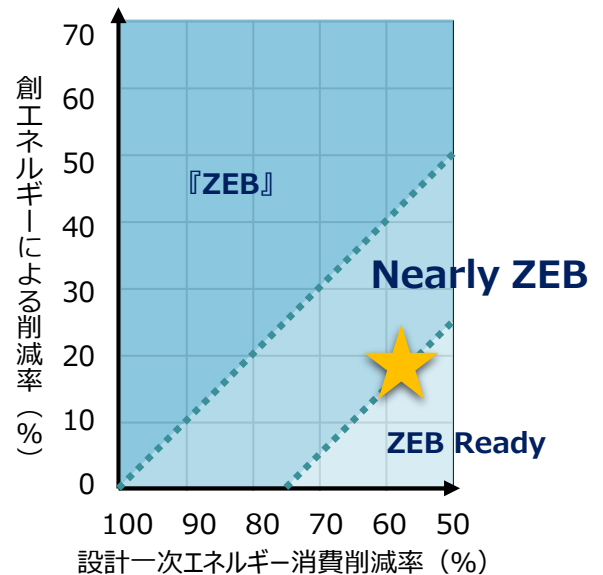
照明を全てLEDで整備することで大幅な省エネルギー化が実現した。

	基準値	設計値
空調	199.91	146.44
換気	71.78	33.90
照明	291.53	48.89
創エネ	0.00	-93.35
合計	563.22	135.88



7. ZEB評価

ランク	Nearly ZEB
レファレンス	平成28年省エネルギー基準
省エネルギー率	59% (設計値/基準値)
創エネルギー率	17% (設計値/基準値)



8. ZEB化の経緯・きっかけ

- ・ 空調設備の更新時期とも重なり、また、照明のLED化も未着手であったため、学習環境の整備についてどのような手法で行うのか検討し、ZEB化の手法が有効であるとの結論に至った。
- ・ 災害時の指定避難場所、市役所庁舎罹災時の災害対策本部等となっており、さらなる災害対応の機能強化が求められた。
- ・ 市全般として温室効果ガス削減目標の達成に貢献し、低炭素社会の実現に資することが求められた。
- ・ ZEB建物とするため、より良い事業提案を受けるべく設計・施工一括発注方式を採用した。

9. ZEB化の課題

- ・ 既存建物の設計図書の不足によるZEB化検討箇所の複雑化
⇒既存設計図書が保存されていない場合に、どこをZEB化するか判断が難しくなってしまう。
- ・ 生徒の安全性を確保しながらの大規模改修実施
⇒特に外皮断熱性向上は、足場設置があることから困難（今回の窓改修は屋内側から施工を実施）。
- ・ 事業としての経済性効果
⇒イニシャルコストをランニングコストの低減で償還できないため、国庫補助がなければ事業が成立し難い。

10. ZEB化のメリット

- ・ 児童生徒の学習環境の改善
- ・ 校舎だけではなく、体育館も含めた設備の合理化
- ・ 児童生徒への環境教育
- ・ 集中管理、自動制御による学校職員の負担軽減

長寿命化改修でZEBを実現

改修

『ZEB』



つきのきざわ
栃木県那須塩原市立槻沢小学校

施設データ

新築／改修	改修（1979年建築）
所在地	栃木県那須塩原市
地域区分	4地域
構造・階数	鉄筋コンクリート造・地上2階
施工期間	2024年5月～2025年3月
延床面積	1765.61㎡
改修事業費	4億7千万円 （太陽光発電設備を除く）

1. 事業概要

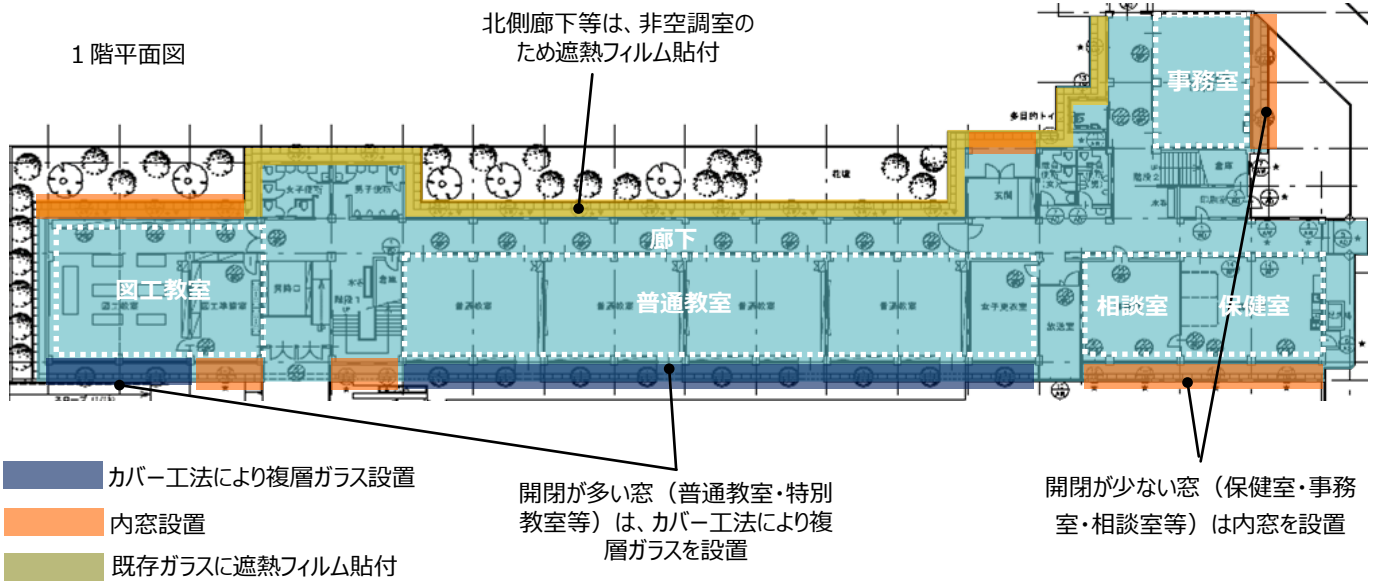
本事業では、築44年の校舎に対し、空調・換気・照明設備等の最適化・高効率化とともに、断熱性向上における外壁や窓改修により省エネを図ることで、ZEB Readyを達成予定。さらに、60kWの太陽光発電設備を設置することで、『ZEB』を達成予定。また、電力のピークシフトの観点や災害時の対応を考慮し、30kWhの蓄電池設備も導入予定。

2. 建物仕様

屋根	硬質ウレタンフォーム2種（厚 30mm）	換気	全熱交換器（CO ₂ センサー付き）、換気扇
外壁	押出ポリエチレンフォーム3種（厚 30mm）	照明	LED照明
床	改修（一部を除く）	給湯	ヒートポンプ給湯器
窓	内窓新設、複層ガラス（カバー工法）	昇降機	既存のまま
遮蔽・遮熱	—	創エネ	太陽光発電 60kW、蓄電池30kWh
空調	空冷式パッケージエアコン		

3. キープラン

1階平面図



4. コスト

■全体コスト

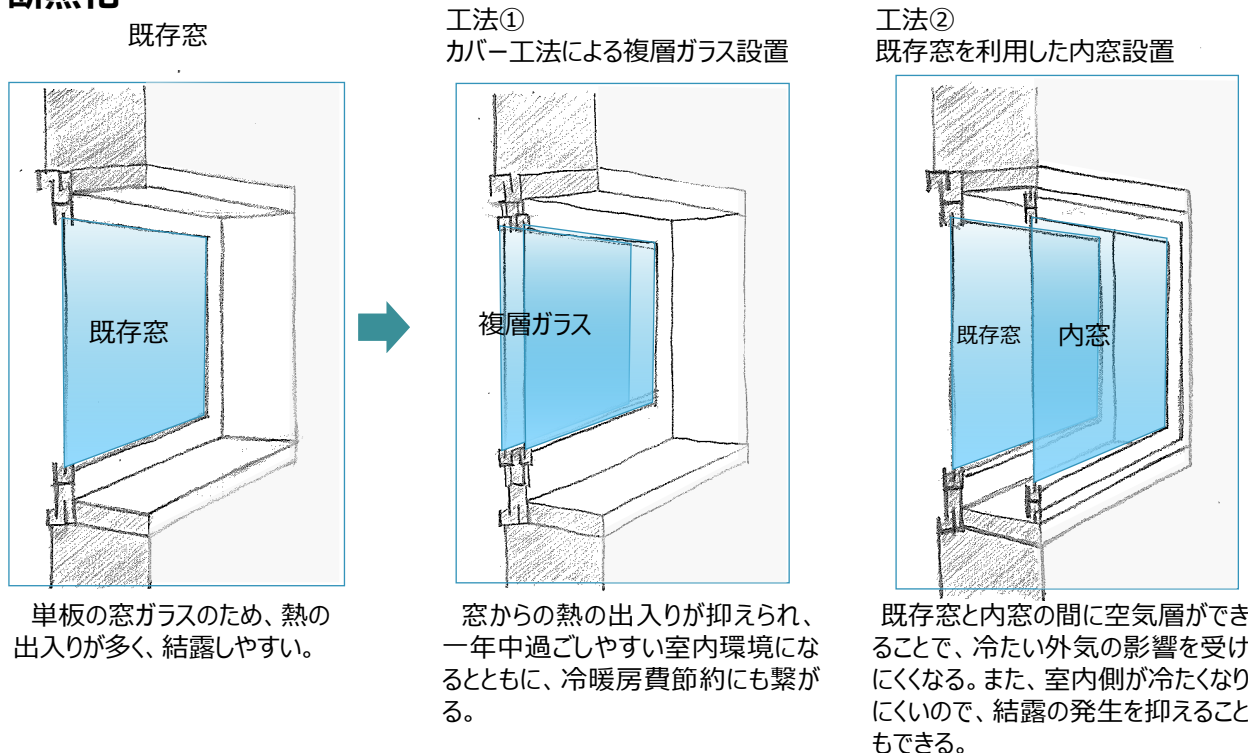
	延床面積 (㎡)	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
全体事業費 (太陽光発電、蓄電池除く)	1765.61	469,809,476	266,089
全体事業費 (太陽光発電、蓄電池含む)		560,736,000	317,588

■内訳

	工種	内容	事業費 (円)	㎡あたり単価 (円/㎡)
ZEB関連工事	外皮断熱	屋根：硬質ウレタンフォーム2種 厚30mm 外壁：押出ポリスチレンフォーム3種 厚30mm 窓：内窓新設、複層ガラス(カバー工法)	103,078,803	58,381
	照明設備	LED照明	10,347,578	5,861
	空調設備	空冷式パッケージエアコン	23,829,892	13,497
	換気設備	全熱交換器(CO ₂ センサー付き)、換気扇	15,229,726	8,626
	創エネ	太陽光発電60kW、蓄電池30kWh	90,926,524	51,499
ZEB以外の改修		上記以外のすべての改修工事	317,323,477	179,725
	合計		560,736,000	317,588

5. 導入設備

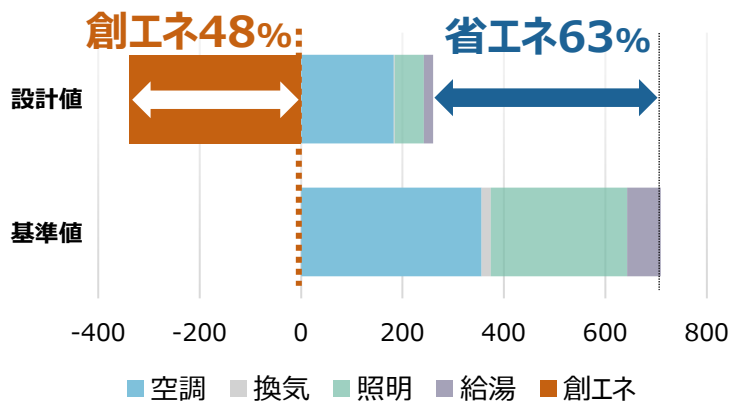
■断熱化



6. 一次エネルギー消費量 (MJ/延床㎡年) 計算結果

省エネ仕様の空調設備・換気設備の導入や、LED照明の導入により、大幅な省エネが実現した。

	基準値	設計値
空調	355.66	182.79
換気	18.01	1.78
照明	269.33	57.77
給湯	65.99	17.78
創エネ	0.00	-338.84
合計	708.99	-78.82



7. ZEB評価

ランク

レファレンス

ZEB

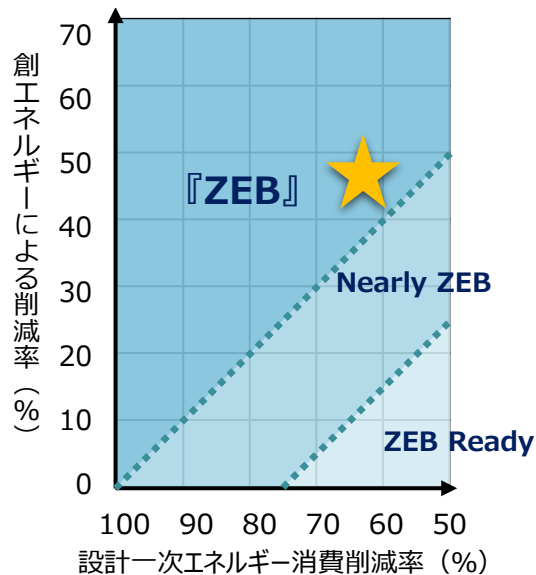
平成28年省エネルギー基準

省エネルギー率

63% (設計値/基準値)

創エネルギー率

48% (設計値/基準値)



8. ZEB化の経緯・きっかけ

- 本市では2050年までにCO₂排出量実質ゼロを目指すことを宣言し、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に規定する実行計画として「那須塩原市環境マネジメントシステム」を策定した。具体的な取組事項として「既存建築物における計画的な省エネルギー改修の実施」を掲げ、ZEB化を推進することについて庁内の理解が得やすかったため、設計段階から太陽光発電の設置や断熱性の向上について検討し事業の推進に繋げることができた。

9. ZEB化の課題

- 設計業務においては、ZEBの実績があり、専門的な知識を有している設計者が少なく、ZEB計算についての協議に時間を要した。そのため、市側でもZEB計算について知識を得て、計算内容を精査する必要があった。また、工事監理においても、ZEBの知識を有する工事施工者が少ないため、適切な工事監理者を設置する必要がある。
- コスト面においては、太陽光発電設備、高効率エアコンの設置、断熱性向上における屋上や外壁、窓ガラスの改修工事費用が通常の改修と比べ改修費用が上乗せされることから、ZEB化によるランニングコストの削減やメリットについて庁内で具体的な説明を求められる場面で、数値化することが難しく、説明がしづらいつと感じた。

10. ZEB化のメリット

- 全熱交換器の導入により、自動で換気管理が可能となり、学習環境の改善、学校職員の負担軽減に繋がる予定である（現在は、新型コロナ感染症対策として、個別のCO₂センサーにより数値を確認し、窓を開けて換気をしている）。また、窓を閉め切った状態で授業ができるため、屋外からの音の影響が減り、児童が授業に集中できる環境を整備予定である。

11. コスト縮減の工夫

- 窓ガラス：設置箇所に必要な性能に応じて、窓ガラス改修の仕様を変えた。
（例：開閉が多いところはカバー工法で改修。開閉が少ないところは内窓を設置。
非空調室は遮熱フィルム貼付とした。）
- 前年度から工事期間中に使用できる空き教室の確保や工事期間中の工区分けを細かく計画することにより、児童が居ながらでの工事を実施できるようにしたため、仮設校舎の建設費を削減することができた。
- 既存施設で再利用できる機器（空調設備・全熱交換器）は取り外して再設置予定である。

まずは断熱改修から！

ZEB Readyを目指そう

1. 将来的にZEB化を目指す大規模改修

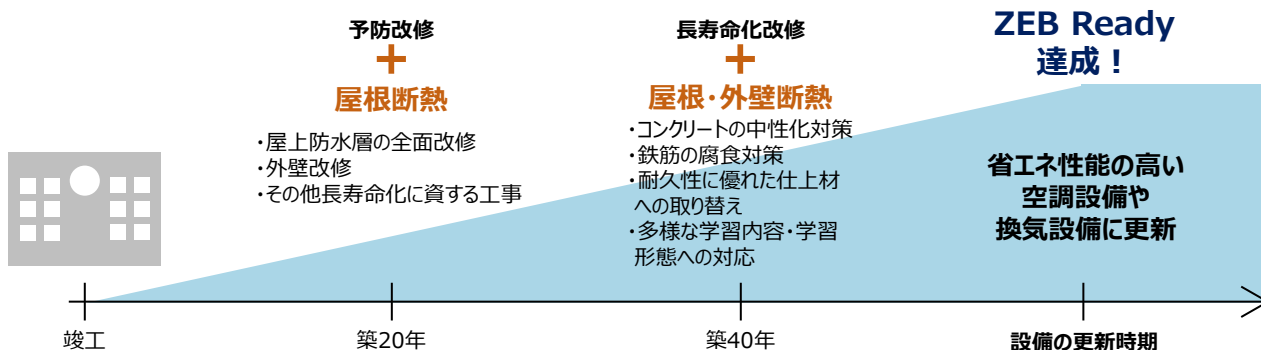
適切なコストをかけることで、新築だけではなく、大規模改修工事においてもZEB化が可能であることが事例からわかりました。

しかし、予算や建物個別の要因でZEB化が達成できない大規模改修工事のプロジェクトも多くあると考えられます。

このようなZEB化が達成できない大規模改修工事であっても、必ず実施していただきたい工事が、「断熱工事」です。

外壁や屋根、窓（外部建具）の断熱工事は、内装や窓の撤去が伴うため、大規模改修時に併せて実施しなければ、後年、簡単に工事することができません。

このため、大規模改修工事を行う際は、将来的にZEB化を達成できる建物にするため、外壁や屋根、窓（外部建具）だけでもZEB Readyにしておくことで、後年、「照明」「空調」「換気」の交換時期に併せてZEB仕様にするだけで、ZEB Readyを達成することができるのです。



断熱性能を少しずつ改善し、少しずつZEB Readyを目指す！

学校施設におけるZEB化のメリット

- **快適性・生産性の向上**
自然エネルギーの適切な活用、個人の好みに配慮した空調や照明の制御などにより、省エネルギーを実現しつつ快適性・生産性を向上させることができる。
- **環境教育への活用**
学校施設では、エネルギーの使われ方や導入した技術の仕組みや原理を「見える化」「見せる化」することにより、学校施設そのものが環境教育の教材として活用することができる。
- **防災機能強化**
災害等の非常時において必要なエネルギー需要を削減することができ、さらに太陽光発電設備や蓄電設備等の活用により、部分的にはあってもエネルギーの自立を図ることができる。
- **光熱費の削減**
エネルギー消費量の削減に伴い、建築物の運用に係る光熱費を削減することができる。

「2050年カーボンニュートラルの実現に資する学校施設のZEB化の推進について」報告書18ページより
(令和5年3月 学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議)

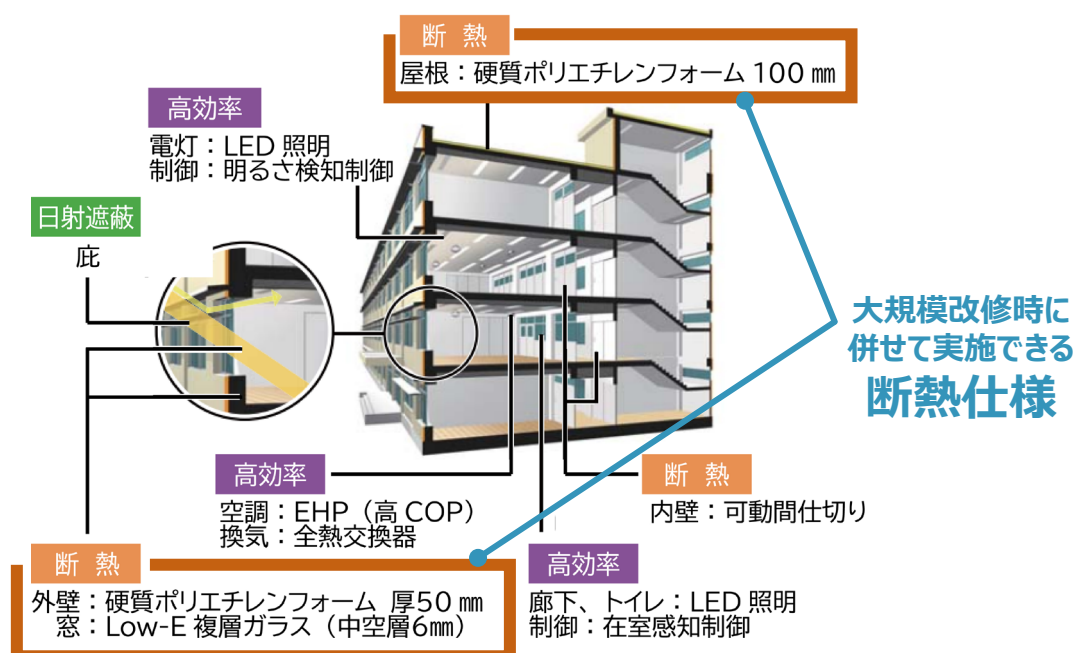
2. ZEB化を達成するための断熱改修仕様

ZEB化を達成するための断熱仕様として、文部科学省から以下の仕様を参考で示しています。改修設計の際はこれを参考にしつつ、設計者と将来的にZEBを達成するための断熱仕様の検討をしてください。

地域区分	2地域 (北海道札幌市)	4地域 (山形県山形市)	6地域 (東京都23区)	8地域 (沖縄県那覇市)
外皮	屋根	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 100mm		押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 50mm
	外壁	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 100mm	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 50mm	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 25mm
	窓	Low-E複層ガラス (中空層12mm)		
空調	冷房	EHP(高COP)		
	暖房	FF式暖房設備	EHP(高COP)	
換気	全熱交換器			
照明	LED照明(明るさ検知制御)			

断熱仕様

表9 地域区分別 ZEB Ready 使用例 (普通教室部分)



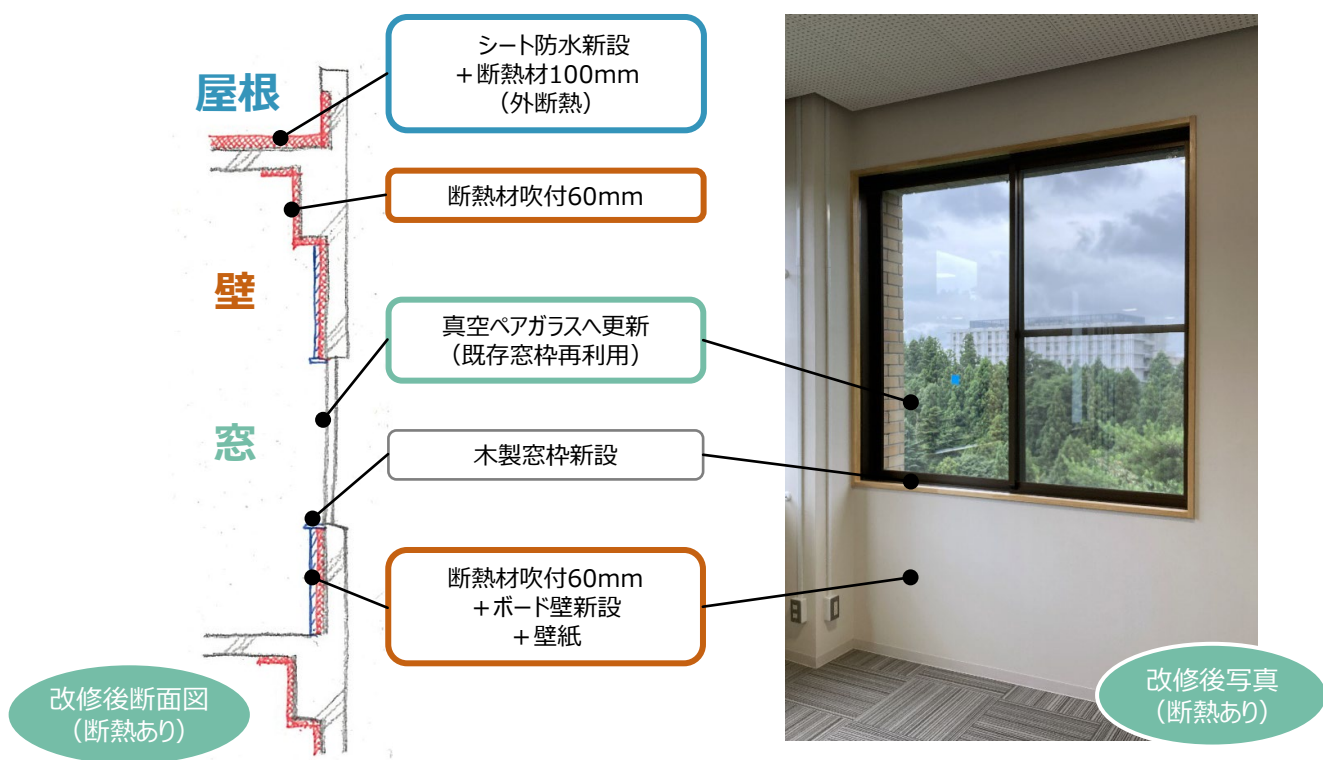
大規模改修時に併せて実施できる断熱仕様

(参考) 校舎 (東京) における技術導入イメージ

「2050年カーボンニュートラルの実現に資する学校施設のZEB化の推進について」報告書31ページより
(令和5年3月 学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議)

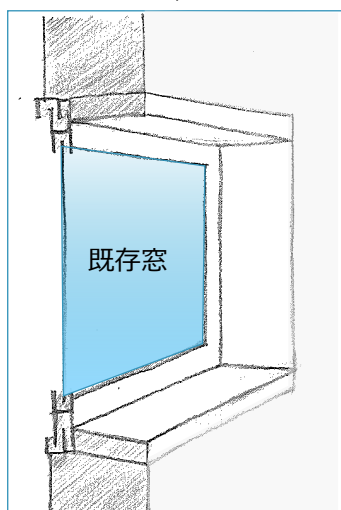
3. 断熱改修の具体事例

事例の中から、断熱改修工事の具体例を再掲します。



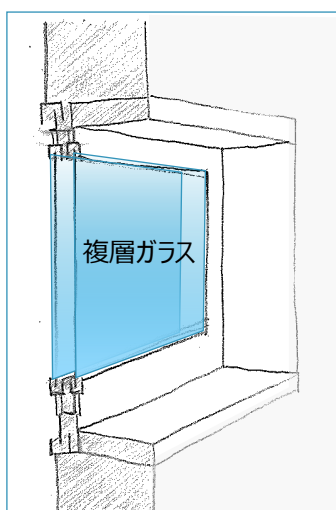
「国立大学法人東北大学 北青葉山厚生会館・図書館」より 16ページ参照

既存窓



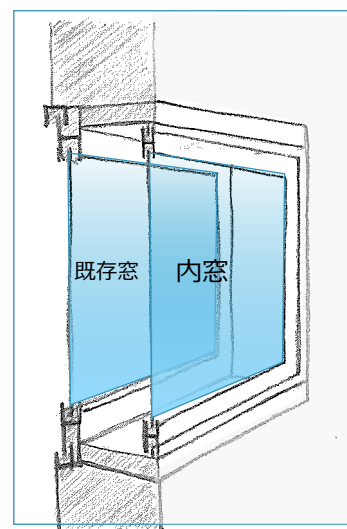
単板の窓ガラスのため、熱の出入りが多く、結露しやすい。

窓 カバー工法による
複層ガラス設置



窓からの熱の出入りが抑えられ、一年中過ごしやすい室内環境になるとともに、冷暖房費節約にも繋がる。

窓 既存窓を利用した内窓設置



既存窓と内窓の間に空気層ができることで、冷たい外気の影響を受けにくくなる。また、室内側が冷たくなりにくいので、結露の発生を抑えることもできる。

「栃木県那須塩原市立槻沢小学校」より 26ページ参照

