

令和6年度 学校施設における ZEB 化基本計画作成支援事業報告書(概要版)

1. 事業概要

我が国では、「2050 年カーボンニュートラル社会の実現」を目標に掲げ、官民一体となって様々な取り組みを進めており、地方公共団体においても、学校建築を含む公共建築物の新築プロジェクトにおいて、「ZEB Ready など ZEB 基準の水準を超える省エネ性能」が公共入札やプロポーザル仕様書に示されるケースが増加している。

しかしながら、既存建築物の ZEB 化は依然として普及途上にあり、一部の地方公共団体による先導的事例は見られるものの、特に学校施設の既存改修 ZEB 事例は全国的に見ても限定的である。

こうした背景から、本事業では学校施設の脱炭素化に関する技術的な充実と、普及啓発を目的とし、既存学校施設における ZEB 化を発案・具体化するような施設整備に関する基本計画等の策定支援を行った。

2. 支援対象の地方公共団体選定

2.1 選定の方針

- 支援対象とする地方公共団体数は2件とした。
- 選考する地方公共団体は、地域区分の異なる2つのエリアから1自治体ごと選出することとし(寒冷地から1事例、温暖地から1事例)、以下の項目を条件とした。
- ・既存学校施設(公立小中学校)の ZEB 化を検討しているもの。
- ・具体的な基本計画をこれから検討するもの。
- ・施設の整備、運営について、関係部局等も含めて検討する意思を有し、検討体制が整っている地方公共団体であること。
- ・今後の学校建築物の ZEB 化普及促進のため、支援内容を後日公表することに同意するもの。

2.2 支援対象の地方公共団体の募集について

○支援対象の選定の考え方に合致する地方公共団体を広く募集するためウェブページを公表し、申

込フォームを構え広く募集を行った。



図 2-1 募集ページ

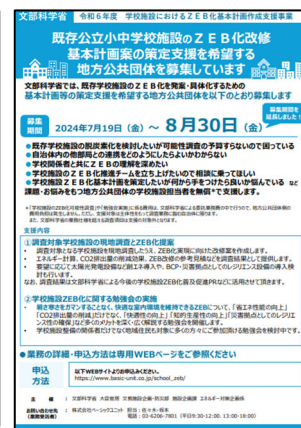


図 2-2 応募概要パンフレット

○ウェブページでの募集の他、以下の広報活動を行った。

- ・寒冷地、温暖地の脱炭素先行地域(全 23 件)への公募情報周知と応募打診。
- ・北海道地方環境事務所、九州地方環境事務所への情報周知協力依頼。
- ・関係協力会社と協働し、ZEB 検討を行う可能性のある地方公共団体への応募打診。

2.3 応募状況と選考プロセス

○募集の結果、6つの地方公共団体より申し込みがあり、募集時に申込フォームから得た情報と併せ、学校改修 ZEB の検討状況や、抱えている課題についてヒアリングを実施し選考を行った。

地方公共団体	地域区分	行政規模(人口)
北海道 A 市	2地域	1,965,823
茨城県 B 市	5地域	60,484
島根県 C 町	5地域	6,875
島根県 D 市	5地域	34,341
福岡県 E 市	6地域	27,273
宮崎県 F 市	7地域	113,725

表 2-1 応募のあった地方公共団体

○選考の結果、北海道札幌市(地域区分:2)と宮崎県延岡市(地域区分:7)を支援先として選定した。

2.4 調査対象となる学校施設選定(札幌市)

○札幌市は、300施設以上の公立小中学校施設を有しており、調査対象施設を選出するプロセスから支援要請を受けたため、調査対象選定の考え方に沿って札幌市教育委員会が挙げた複数の候補物件について確認し、選定支援を行った。

○調査対象の選定の考え方は以下のとおり。

- ・ 長寿命化計画により 2050 年まで存続させる予定のある学校施設のうち、近い将来改修計画が予定されている学校施設。
- ・ 既存学校施設のZEB化に向けた課題が明確であり、その課題解決手法が札幌市内の他の多くの学校施設にも適用できる汎用性を有しており、同様の課題を抱える地方公共団体への横展開も期待できる学校施設。
- ・ 空調、照明設備に更新時期が近い学校施設。
- ・ 規模や建築計画が、市の標準的な仕様にある学校施設（特殊性の少ない学校施設）。

○以上の考え方を踏まえ、「札幌市立西野小学校」を調査対象施設に選定した。

3. 既存学校施設の ZEB 化改修案の検討

3.1 札幌市立西野小学校

対象施設	西野小学校校舎棟
建築物所在地	北海道札幌市西区西野 8 条 4 丁目 4-1
敷地面積	14,395 m ²
省エネ基準地域区分	2 地域
年間日射地域区分	A3
構造	鉄筋コンクリート造
階数	地上 4 階 地下 0 階
建築面積	3,698 m ²
延床面積	5,875 m ²

表3-1 対象施設 概要

○校舎棟の ZEB Ready 改修に必要な技術提案、ZEB 改修に要する経費の算出、環境性評価を行うとともに、通常仕様による標準改修との比較を通して、経済性を含めた総合評価を行えるよう以下の通り調査を実施した。

調査	内容
① 資料確認、現地調査	現状の竣工図を確認、現場調査で現況を反映。
② 現状の建物仕様、BEI	現状の設備を整理し、BEI を計算。
③ 改修方針作成	資料確認、現地調査、現状 BEI をもとに、改修方針を定める。
④ 具体的な設備検討	改修方針元に ZEB 及び標準改修のための設備を選定。ZEB 及び標準改修の BEI を計算。
⑤ BEI 計算	ZEB 改修、標準改修の設備リスト、設備配置図を作成。
⑥ 事業費の算出	現状、標準改修の設備リスト、設備配置図をもとに事業費を概算。
⑦ 経済性分析、副次的効果	現状と比較した標準改修、ZEB 改修の CO ₂ 削減量計算、経済性の分析。ZEB 改修の副次的効果を整理。

表3-2 ZEB 可能性調査概要

○札幌市より提供を受けた設計図書、現地調査、現状仕様のエネルギー計算結果を基に、学校機械設備設計要綱(札幌市)に沿って従来通り設備改修を行う計画を「標準改修計画」とし、健康快適性を維持する学習環境への改善を図るための外皮強化と全熱交換換気設備の導入を踏まえ、ZEB Ready を目指す改修仕様を「ZEB 改修仕様」と設定。

○校舎の現状、標準改修、ZEB 改修の設計一次エネルギー消費量について表 3-3 に示す。

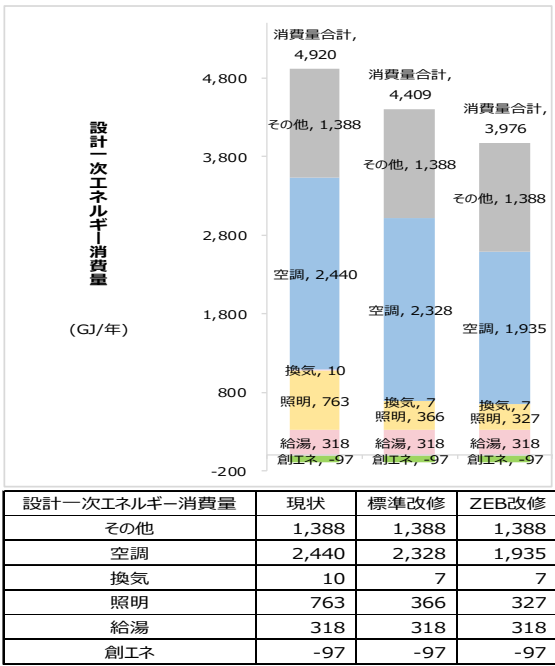


表3-3 校舎棟の設計一次エネルギー消費量

○現状の西野小学校校舎棟は、BPI が 0.96 であり、断熱性能の向上が必要であると判断した。教室に冷房設備、換気設備が整備されていないことから、BEI は 0.68 と比較的低い状況であった。

○ZEB 改修の改善方針は、生徒の健康と快適性を確保しつつ、ZEB Ready 達成を目標に検証を進めることとした。ZEB 改修の主な提案内容は以下

のとおりである。

- 開口部の Low-E ペアガラス化、屋根・天井の断熱強化により、断熱性能を向上。
- 高効率パッケージエアコンと全熱交換器の導入による空調・換気の整備。
- LED 照明の導入と照度・人感センサによる制御。

○表 3-4 に標準改修、ZEB 改修の省エネ、CO2 削減効果と経済性の比較を示す。

	現状	標準改修	ZEB 改修
BPI	0.96	0.89	0.7
BEI (再エネ除く)	0.68	0.58	0.5
BEI (再エネ含む)	0.66	0.56	0.48
実態一次エネルギー消費量 (GJ/年)	3,023	2,750	2,387
CO2 排出量(t-CO2/年)	189	172	148
CO2 削減量(t-CO2/年)		17	24
光熱水費(円/年)	8,721,571	7,937,412	7,048,385
省エネ額※ ¹ (円/年)		784,159	1,673,186
かかりまし省エネ額※ ² (円/年)			889,027
<経済性分析>			
事業費(千円)		191,211	289,084
補助率		27.00%	45.00%
補助額(千円)		51,000	130,000
実質負担額(千円)		140,211	159,084
かかりまし事業費※ ³ (千円)			18,873
かかりまし省エネ額(千円/年)			889
実質回収年数(年)			21.2
<次回 (15 年後) 更新時のコストを含めた経済性分析>			
実質負担額(千円)		140,211	159,084
次回更新費用※ ⁴ (千円)		197,274	201,073
次回更新まで含めた実質負担額(千円)		337,484	360,157
かかりまし事業費(千円)			22,672
かかりまし省エネ額(円/年)			889
次回更新まで含めた実質回収年数(年)			25.5

※1 現状に対する標準改修・ZEB 改修それぞれの省エネ額
※2 標準改修に対する ZEB 改修の省エネ額の増分
※3 標準改修に対する ZEB 改修の事業費の増分
※4 補助事業や交付税措置を用いないと仮定

表3-4 標準改修、ZEB 改修の省エネ、CO2 削減効果と経済性の比較

○西野小学校校舎棟の ZEB 改修は、技術的に ZEB Ready を達成可能であることが示され、経済性については、長期的にみると投資回収が可能であることが確認できた。また、ZEB 改修には省エネ効果だけでなく、室内環境の質の向上や環境教育への活用など、多様な副次的効果(ZEB 化による非エネルギー的便益 (Non-Energy Benefits:NEBs)) が期待できる。これらの効果を総合的に考慮すると、ZEB 改修の実施は有意義であると結論づけられる。

3.2 延岡市立南方小学校

	南方小学校				
建物の名称	11 棟	12-16 棟	17 棟	24 棟(体育館)	31 棟
建築物所在地	〒882-0805 宮崎県延岡市野田 3 丁目 1 4 番地 2				
敷地面積 [㎡]	23,693				
省エネ基準地域区分	7				
年間日射地域区分	A4				
竣工年	昭和 48 年 8 月	12 棟 昭和 49 年 3 月 16 棟 昭和 53 年 3 月	昭和 54 年 3 月	平成 9 年 2 月	平成 29 年 6 月
構造	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄骨鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造
階数	地上 3 階 地下 0 階	地上 3 階 地下 0 階	地上 2 階 地下 0 階	地上 2 階 地下 0 階	地上 3 階 地下 0 階
延床面積 [㎡]	955	1,205	1,017	1,314	3,084

表3-5 対象施設 概要

○札幌市立西野小学校の調査と同様に、南方小学校の ZEB Ready 改修に必要な技術提案、ZEB 改修に要する経費の算出、環境性評価を行うとともに、通常仕様による標準改修との比較を通して、経済性を含めた総合評価を行えるように調査を実施した。

○南方小学校は、設備導入量が少ない(冷房未導入教室があり、換気は全館未導入、教室の照明照度不足など)ことから、エネルギー消費量自体は低い実態があった。そこで今回の ZEB 改修の基本方針は、生徒たちが健康で快適で過ごせる空間に改善しつつ、ZEB Ready の達成を、可能な限り安価に実現することとした。また、提供を受けた資料と現地調査から、南方小学校の古い校舎には、快適性に関して改善すべき課題があることがわかった。その課題と考えられる対策を表 3-6 に示す。ただし、窓際の不快感、教室の空気質は、新しい校舎も同様の状況である。

No	課題	考えられる対策
1	蛍光灯では、十分な明るさが得られない。	更新する LED を現状より明るい機種を選定する。
2	11 棟の特別教室（音楽室など）にエアコンが入っていない。	新たにエアコンを導入する。
3	窓が単板ガラスであるため、窓際が不快である。	窓の断熱をはかる。
4	屋根の断熱材が 25mm であるため、屋根に面している部屋が不快である。	屋根裏にグラスウールを敷き込むことで、屋根の断熱をはかる。
5	教室に換気扇がないため、窓を開けないと換気ができない。そのため、空調使用時の空気質（CO2 濃度、清浄度）に懸念がある。	空気質の改善と省エネのために全熱交換器を導入する。

表3-6 古い校舎の課題と対策

○表 3-6 の対策はすべて行うことが良いが、費用的に難しい部分があると考えられる。照度不足の改善(No.1)と、空調設備がない特別教室への空調導入(No.2)は必須の対策と考える。窓際の不快感の改善(No.3)、屋根に面した部屋の不快感の

改善(No.4)、空気質の改善(No.5)は比較検討したうえで、採用する対策を選択する。

○校舎の現状、標準改修、ZEB 改修の設備概要について表 3-7に示す。

	現状	標準改修	ZEB 改修
断熱性能			
開口部	単板ガラス+アルミサッシ	単板ガラス+アルミサッシ	単板ガラス+アルミサッシ
壁	コンクリート 150mm+モルタル 40mm	コンクリート 150mm+モルタル 40mm	コンクリート 150mm+モルタル 40mm
屋根	コンクリート 120mm+スタイロフォーム 25mm	コンクリート 120mm+スタイロフォーム 25mm	コンクリート 120mm+スタイロフォーム 25mm+グラスウール 24K 100mm
設備			
空調	パッケージエアコン、壁付扇風機（教室各 4 台）	標準効率パッケージエアコン、壁付扇風機（教室各 4 台）	高効率パッケージエアコン、壁付扇風機（教室各 4 台）
換気	換気扇（トイレ）	換気扇（トイレ） 人感センサ	全熱交換器、CO ₂ 濃度制御換気扇（一部 DC ブラシレスモーター トイレ） 人感センサ
照明	主に蛍光灯、一部 LED	LED 階段人感センサ	LED 教室明るさセンサ 階段人感センサ
給湯	なし	なし	なし
昇降機	なし	なし	なし
再エネ	なし	なし	なし
BPI	0.68	0.68	0.68
BEI（再エネ除く）	0.39	0.35	0.31
BEI（再エネ含む）	0.39	0.35	0.31
設計一次エネルギー消費量（合計その他除く）（GJ/年）	428	376	334
空調（GJ/年）	319	291	253
換気（GJ/年）	20	21	20
照明（GJ/年）	88	64	61
給湯機（GJ/年）	0	0	0
昇降機（GJ/年）	0	0	0
その他（GJ/年）	17	17	17
効率化（再エネ）（GJ/年）	0	0	0
基準一次エネルギー消費量（合計その他除く）（GJ/年）	1,098	1,098	1,098
空調（GJ/年）	395	395	395
換気（GJ/年）	415	415	415
照明（GJ/年）	288	288	288
給湯機（GJ/年）	0	0	0
昇降機（GJ/年）	0	0	0
その他（GJ/年）	17	17	17

赤字は更新内容

表3-7 現状、標準改修、ZEB 改修の設備概要(12-16 棟)

○標準改修案は、延岡市の標準改修方針を基にして従来通りの設備改修を行う案であり、照明の LED 化や特別教室へのエアコン新設を行うものの、断熱性能は現状維持とする内容である。ZEB 改修案は、高断熱化を図った上で、全熱交換換気システムを導入することで、空調エネルギーの大幅な削減を図りかつ、年間を通して良質な空気質維持することで感染症予防の観点を含め生徒たちの健康で快適な生活環境を実現することに重きを置いて検証を行った。

○標準改修、ZEB 改修すべてで ZEB Ready を達成している。標準改修、ZEB 改修ともに教室の明るさが改善している。ZEB 改修では、教室の空気が清浄になり、屋根からの熱の放射が減少することで、室内環境が大きく改善している。

○表 3-8に標準改修、ZEB 改修の省エネ、CO₂ 削減効果と経済性の比較を示す。

項目	標準改修	ZEB 改修
断熱	特になし。	11 棟、12-16 棟、17 棟、24 棟において、屋根裏にグラスウール 24K 100mm を敷き込む（31 棟は現状のまま）。
空調	標準効率エアコンへの更新、11 棟は特別教室へのエアコン新設。	高効率エアコンへの更新、11 棟は特別教室へのエアコン新設。
換気	換気扇の更新（トイレ）、その他は現状維持（11 棟、12-16 棟、17 棟は換気設備なし）、31 棟は職員室などに導入されている全熱交換器の更新。	全熱交換器を導入（CO ₂ 濃度制御機能付き）。
照明	LED 照明への更新（500lx 程度）。トイレ、階段は人感センサ導入。	LED 照明への更新（500lx 程度）、トイレ、階段は人感センサ、教室、職員室などは明るさセンサ導入。
BPI	空調範囲の増加により変化。	若干の改善。
BEI（再エネ除く）	17 棟以外は ZEB Ready を達成。	ZEB Ready を達成。
省エネ量	7GJ/年の増加、11 棟の特別教室へのエアコン新設が主な要因。	164GJ/年の減少。
省エネ額	25 千円/年増加。	641 千円/年の減少。
CO ₂ 削減量	若干増加。	8t-CO ₂ /年の減少。
概算事業費	全棟で 198 百万円。補助を含めた実質負担額は 148 百万円。	全棟で 263 百万円。補助を含めた実質負担額は 147 百万円。
快適性	11 棟の特別教室へのエアコン新設、教室の明るさ改善。	教室の空気質改善、屋根からの熱放射減少、明るさの自動調整。
メンテナンス	現状と変わらず。	全熱交換器のフィルタ清掃。
経済性	実質回収年数は ZEB 改修との比較による。	実質回収年数は、11 棟が 26 年、12-16 棟が 6 年、17 棟が 14 年、24 棟が 2 年、31 棟が 13 年、合計が 2 年。次期更新時のコストを含めると、11 棟が 332 年、12-16 棟が 88 年、17 棟が 99 年、24 棟が 18 年、31 棟が 13 年、合計が 58 年。

表3-8 標準改修、ZEB 改修の省エネ、CO₂ 削減効果と経済性の比較

4. 支援対象の地方公共団体向け学校 ZEB 勉強会の実施

4.1 学校 ZEB 勉強会

○学校施設の脱炭素化に関する技術的な充実と、普及啓発を目的として学校 ZEB 勉強会を実施した。勉強会は全 2 回の開催とし、支援対象の地方公共団体に参加者を絞ることでより深化したコンテンツとした。

○第1回では、環境部局や教育委員会にとどまらず、学校施設の ZEB 推進に係る多数の部署からの参加があった。

○第2回では、ZEB 可能性調査結果の報告と調査結果に対する議論の場とするため、支援対象の地方公共団体個別に現地で勉強会を実施した。

5. 支援対象の地方公共団体の今後の ZEB 化改修に向けた所感

5.1.1 北海道札幌市

○札幌市は、2021 年 3 月に策定した「札幌市気候変動対策行動計画」に基づき、2030 年までに新築ビル等の 80%を ZEB 相当以上の省エネ性能とする目標を掲げている。市有建築物においても、新築・改築や大規模改修における ZEB 化を推進

しているが、現状では以下の課題が存在する。

- ・新築 ZEB の事例は増加しているものの、改修による ZEB 化は、学校を含めた市有施設で未導入である。
- ・執務並行での工事、現状と同等の機器更新、エアコン設置率の低さ、投資回収の難しさ等が、ZEB 化を阻害する要因と考えていた。
- ・ZEB のノウハウを持つ市内設計事務所が限定的であり、設計者・市職員双方にとって負担が大きい状況も否めない。

○従来行ってきた調査では費用面の制約から、効果的な断熱方法や設備のダウンサイジング等の検討が不十分であり、ZEB 化改修はコスト的に見合わないという認識が強かった。しかし、本調査では、以下の点において、従来の調査では得られなかった新たな知見を得ることができた。

- ・工事費を抑えた断熱改修と空調方式変更を最小限に抑えた ZEB 化改修の提案。
- ・長期的な視点で投資回収の可能性を示した試算結果。
- ・コスト面だけでなく、学習環境向上といった視点の提示。

○これらの知見は、今後の ZEB 化改修に関する庁内での議論において、試算方法等の参考資料として活用する。

5.1.2 宮崎県延岡市

○延岡市は脱炭素先行地域に指定されており、市有施設の ZEB 化に向けた検討を進めている。特に、今後本格化する学校施設の長寿命化改良や新增改築に向け、担当者は ZEB 化計画の策定と予算確保に課題を抱えていた。

○本支援事業では、現地詳細調査に基づくシミュレーションの報告を受けた結果、対象施設は既存のエネルギー消費量が想定よりも少なく、ZEB 化が可能であるという意外な結果が得られた。この結果は、「古い学校施設は ZEB 化に多額の費用がかかる」という従来の概念を払拭するものであり、今後の ZEB 化計画策定において大きな示唆を与えるものであった。

6. 総括

○本業務では、2つの地方公共団体の既存学校施設の現地調査と、各地方公共団体が保有する公共小中学校施設の外皮仕様・設備仕様について調査を実施した上で、費用対効果に鑑みた効果的な ZEB 改修案を策定し、これの実現に要する経費と投資回収効果について報告を行った。

○一般に、既存建築物の ZEB 化を検討する際、省エネルギー性能や CO2 排出量削減率、光熱費削減効果が注目されがちであるが、良質な室内環境を維持することが ZEB の便益の根底にあることを忘れてはならない。特に、学校施設は、児童・生徒が長時間を過ごすもの場所であり、知的生産性や健康優良性の向上はエネルギーベネフィットとともに重要視すべきテーマである点に異論はないだろう。

○学校施設の ZEB 改修を検討する際には、以下に挙げる点も踏まえて検討することを推奨する。

- ・既存学校施設に冷房設備の新設を行う際は、熱負荷計算を行い空調設備の容量適正化(ダウンサイジング)の検証と、機器の高効率化を踏まえることを推奨する。
 - ・可能であれば内窓設置や最上階天井断熱などの断熱改修を検討する。
 - ・長寿命化改修計画と併せた省エネ改修を行う場合は、耐用年数を超えた外窓を高断熱窓に改修すると、空調設備のダウンサイジング効果や快適性の向上効果はより大きくなるので併せての検討を推奨する。
 - ・換気設備は良質な室内環境の確保に欠かせないものであるが、全熱交換型換気設備を導入することで熱損失の大幅な低減を図るだけでなく、空調設備のダウンサイジングにも寄与するため、換気設備の導入にあたっては全熱交換器の導入を推奨する。
- 今後、「脱炭素化の実現」と「良質な室内環境の確保」を両立する学校施設の改修計画が広がることに期待する。