

既存建築物の『ZEB』化改修の進め方 ～久留米市の事例を基に～

備前グリーンエネルギー株式会社
Bizen Green Energy Corporation.
山口 卓勇
YAMAGUCHI TAKUO

キーワード:ZEB(net-Zero Energy Building)、脱炭素社会(Carbon neutral society)、省エネ(Energy Saving)、
ファシリティマネジメント(Facility Management)、費用対効果(Return On Investment)

1. 概要

福岡県久留米市では、2019 年以降、既存公共施設の ZEB 化改修を 3 件実施してきた。これは脱炭素社会の実現と施設維持コスト抑制の両立を図ることを目的としている。

久留米市公共施設総合管理基本計画では、今後 40 年で、老朽化した施設が増加し、安全性や施設機能を維持するための大規模改修や建替え等の施設更新事業が必要とされる中、想定される施設更新事業費は、これまでの約 1.5 倍となる年間 105 億円が必要と見込まれており、施設コストの縮減のために様々な対応策をとる必要がある。

久留米市では、地球温暖化対策区域施策編を改定するための基礎調査を実施しており、国の温室効果ガス 2030 年度 46%減の目標に対する地方公共団体としての率先行動として、久留米市公共施設からのエネルギー起源 CO₂排出量を 2030 年までにゼロに極力近づけることを目指している。

既存建築物の長期利用、設備更新で ZEB を実現しその光熱水費を大幅に削減、ZEB 実現とともに導入した BEMS を活用した高度なエネルギーの管理により、地球温暖化対策に対する高い要求に答えつつ、公共施設維持のための費用を大幅に抑制することを計画した。

2. ZEB 実現までの流れ

(ア) 概要

2017 年度頃から久留米市環境部庁舎は設備更新の必要性が話し合われるようになった。環境部と都市建設部は、ZEB の実現のための検討を共同で行っていた。環境部庁舎の ZEB 化の可能性を様々なコンサルタント会社に相談したところ、「改修して ZEB 化するのは困難」「解体して新築するほうが安い」という回答であった。そのような中、岡山県津山市総合福祉会館の ZEB 改修事例を見学し、既存建築物の ZEB 化が、設計の工夫で現行汎用技術により十分可能であること、補助事業を活用することで高い経済性で実現可能であることを知った。

そこで、実現可能な ZEB の種類(ZEB Ready、Nearly ZEB、『ZEB』、ZEB Oriented)、その実現にかかる費用、省エネ額や CO₂削減量を把握するために、2019 年度に環境部庁舎を含めた既存の 4 施設を対象に ZEB 化可能性調査を実施した(表 1 参照)。2019 年度の ZEB 可能性調査では、すべての施設で ZEB にできる可能性があることが確認できたことから、設備改修の緊急度が高い施設から ZEB 化改修工事を進めていくこととした。その最初の施設が久留米市環境部庁舎である。

表 1 久留米市 ZEB 化可能性調査

建物名	用途	延床面積(㎡)	可能性のある ZEB ランク
久留米市環境部庁舎	事務所	2,089	『ZEB』/ Nearly ZEB
久留米市中央図書館	図書館	4,320	Nearly ZEB / ZEB Ready
久留米市企業局合川庁舎	事務所	3,116	Nearly ZEB / ZEB Ready
えーるピア久留米	文化施設	10,196	ZEB Ready / ZEB Oriented

(イ) 既存建築物 ZEB 化実現の流れ

久留米市の既存建築物 ZEB 化改修の流れは図 1 の通りである。

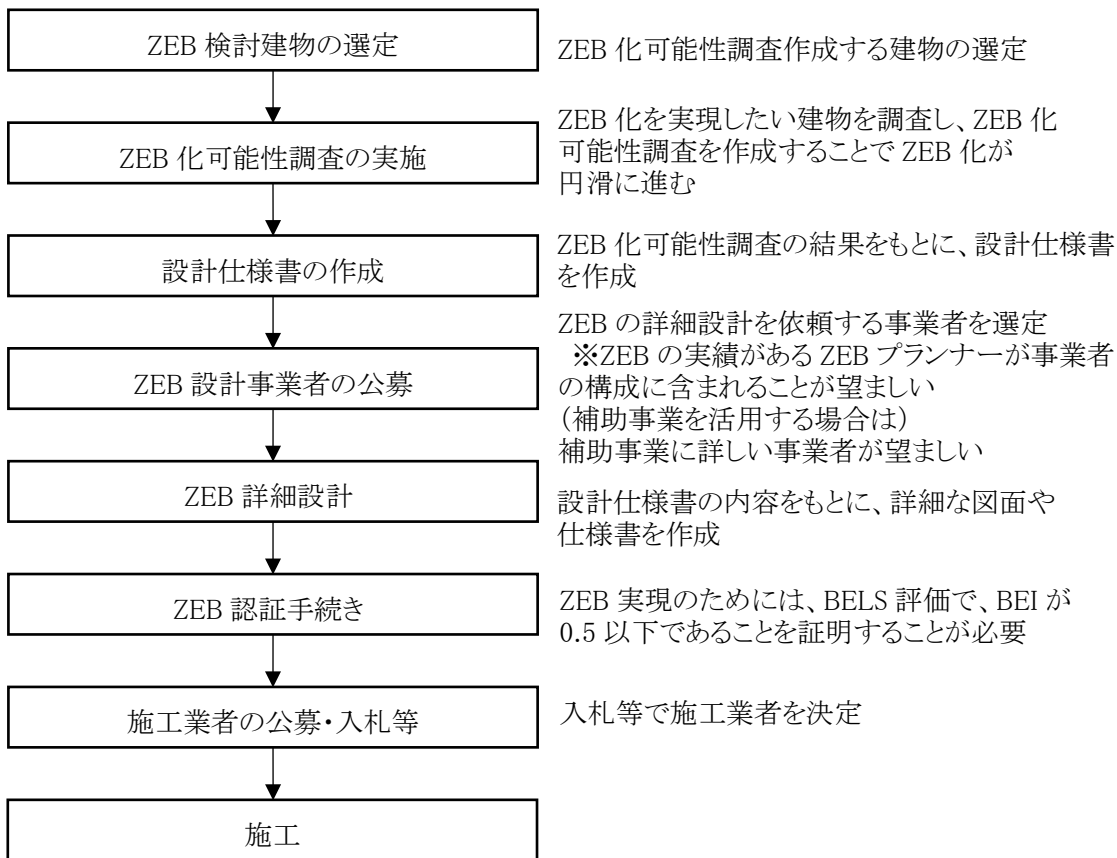


図 1 久留米市の既存建築物 ZEB 化改修の流れ

既存建築物の ZEB 化では、まず ZEB 化可能性調査作成する建物を選定する。まずは、今後5年以内に主な空調の更新を行う予定の建物を ZEB 化可能性調査対象として選定する。備前グリーンエネルギーの経験では、ほとんどの既存建築物は ZEB 化が可能である。ZEB 化改修で空調改修は多くの場合で必須である。5年以上先の改修だと、ZEB 改修計画の経済性分析(導入費、省エネ額)は役に立たない。

また、備前グリーンエネルギーの経験上、以下の建物は、選定対象外にしたほうが良いと考えられる。

1. 既存の建築図がない建物

建物断熱性能を計算するために必要な建物外皮情報(コンクリート厚など)が入手できない。

特に詳細断面図が必要(平面図のみでは外皮情報が入手できない)

2. 既存の構造計算書がない建物
空調機を屋上に置くにあたって、荷重が増える場合に構造計算書を確認する構造計算書がない場合は、構造計算を再度行う必要がある。
3. テナント
ZEB は基本的に建物全体を検討するため、テナント部分だけの検討はできない。
4. 既に改修計画が決まっている建物、改修予定がない建物(建替予定や廃止予定など)
ZEB 改修計画をしても反映されない。
5. ほとんど使っていない建物
投資回収年数が長くなる。
6. 外観変更規制がある建物
断熱向上を図りにくい場合、若干難しい。
7. 空調を行う吹き抜けの空間の割合が高い建物
天井高い空間の空調負荷が大きくなりがちである。一般的な公民館のホールは問題ない。

ZEB 化可能性調査では、以下の内容を調査する。

1. 実現可能な ZEB レベル(『ZEB』、Nealy ZEB など)
2. ZEB 改修の具体的な仕様と BEI 計算値(標準入力法)
3. 概算事業費及び補助事業の活用可能性
4. 一般改修と比較した経済性、省エネ性、CO2 削減効果
5. 具体的な改修スケジュール

既存建築物の ZEB 化改修は、現状の建物の状況によって、ZEB 化にかかる費用が大きく異なる。これまでの経験上、一般的な空調改修とそれほど変わらない場合もあれば、3 倍以上になることもある。ZEB 化可能性調査を行うことで ZEB 化にかかる費用、経済性が明確になる。これら資料を関係者に提示することで、関係者間の理解が一致する。理解が一致することにより、ZEB 化実現への過程が円滑に進む。

ZEB 化可能性調査の結果をもとに、設計仕様書を作成し、ZEB の詳細設計を依頼する事業者を選定する。設計者は、ZEB の実績がある ZEB プランナーが構成に含まれることが望ましい。設計者を市内事業者から公募する場合に、市内事業者が ZEB に精通していない可能性がある場合は、設計者を支援する ZEB プランナーを別途選定することが望ましい。

入札等で施工業者を決定する。施工者は ZEB の経験がなくとも、ZEB プランナーが支援することで、ZEB 化実現は可能である。

3. 久留米市環境部庁舎の事例

(ア) 概要

久留米市で最初に ZEB 化改修した久留米市環境部庁舎の事例を示す。久留米市環境部庁舎は、1990 年竣工の 3 階建て RC 造、延床面積は 2,089 m²の建物である(表 2、図 2 参照)。以前は、廃棄物収集基地として活用していたが、現在は久留米市環境部庁舎として利用している。この建物を 2021 年 1 月に『ZEB』に改修した。

『ZEB』への改修にあたり、『ZEB』の実現と同時に快適性、レジリエンス性、再エネの自家消費率向上を図った。

快適性向上は、断熱性を向上させた後に、詳細な空調負荷計算を行い、最適空調能力の空調設備を導入することで実現した。レジリエンス性向上は、太陽光発電と蓄電池による停電時の設備利用を可能とした。自家消費率向上は、蓄電池を平時に太陽光発電の余剰電力の調整に活用することで、経済性向上と系統安定化を図った。また、ZEB 化改修の経済性を向上させるために、これらの実現を汎用設備の導入により達成した。

表 2 久留米市環境部庁舎 概要

建物名称	環境部庁舎
構造	鉄筋コンクリート造
階数	地上3階
延床面積	2,089 m ²
建物用途	事務所等
竣工	1990 年



図 2 久留米市環境部庁舎 外観

(イ) 改修内容

『ZEB』改修前、改修後の設備内容を、表 3 に示す。パッシブ技術は、床裏に吹付硬質ウレタンフォーム 35mm、窓はガラスを単層ガラス(熱貫流率 5.8W/m²・K)から Low-E 真空ガラス(熱貫流率 0.65W/m²・K)に更新した。サッシは既存流用である。

アクティブ技術は、照明を蛍光灯(定格電力合計 12.9kW)から LED 照明(定格電力合計 6.5kW)に更新した。トイレ、エントランス、外部照明は人感制御、事務室は照度制御とした。空調は、吸収式冷温水発生機をパッケージエアコンに更新した。換気は、空調エリアは、全熱交換換気扇を導入した。トイレなどの非空調エリアは DC ブラシレスモーター換気扇を導入した。給湯機は改修前と同様にガス瞬間湯沸かし器(5号給湯機)を利用している。受変電装置は、老朽化していたため、アモルファストランス 単相 30KVA、三相 100KVA に更新した。太陽光発電システムは発電容量 52.1kW、双方向パワーコンディショニングシステム(以下 PCS)を組み込んだ蓄電池は容量 89.2kWh を導入した。

エネルギー計測装置(BEMS)は、計測点が 40 点で、エネルギー使用量を 10 分間隔で用途別(空調、換気、照明、コンセント、動力)に計測している。

改修前のガス式吸収式冷温水発生機の能力は冷房 175kW、暖房 170kW であった。空調負荷計算により、改

修後は高効率パッケージエアコン冷房 97.5kW、暖房 109.5kW となり、約 40%のダウンサイジングを達成した。

表 3 改修内容

内容		改修前	ZEB 改修後	
パッシブ技術	外皮	外壁	タイル張り	—
		床裏	コンクリート打放し	断熱材吹付け
		屋根	アスファルト露出防水	—
		窓	単層ガラス 熱貫流率 5.8W/m ² ・K	Low-E 真空 ガラス 熱貫流率 0.65W/m ² ・K
	アルミサッシ		—	
	遮蔽遮熱	特になし	—	
	その他	特になし	—	
アクティブ技術	空調		ガス式吸収式冷温水発生機(冷房 175kW、暖房 170kW)、冷却塔、冷温水ポンプ、FCU	高効率パッケージエアコン(冷房 97.5kW、暖房 109.5kW)
	換気	空調室	通常換気	全熱交換器
		非空調室	三種換気 (AC モーター)	三種換気 (DC モーター)
	照明	器具	蛍光灯、LED 照明器具(一部) 12.9kW	LED 照明器具(全) 6.9kW
		制御	特になし	明るさ検知制御(事務室)
				人感制御(トイレ、玄関)
給湯	ガス瞬間湯沸器	—		
再エネ		特になし	太陽光発電(52.1kW)	
その他		特になし	蓄電池(89.2kW)	
			BEMS	

—:既存のままを示す。

4. ZEB 化の効果

(ア) 省エネ性

表 4 に建築物のエネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版)標準入力法で計算した結果を示す。BEI が -0.06 となり、『ZEB』を達成した。

表 4 標準入力法計算結果

省エネルギー性能			
	一次エネルギー消費量(MJ/年 m ²)		BPI, BEI
	基準値	設計値	
PAL*	470	418	0.89
空調	433.82	173.4	0.4
換気	13.52	2.19	0.17
照明	267.29	59.3	0.23
給湯	0	0	-
昇降機	0	0	-
コジェネ	0	0	-
創エネ	0	-282.71	-
計	714.63	-47.82	-0.06
その他	142.37	141.82	-
合計	857	94	-

図 3 に改修前の 2018 年度、改修後の 2021 年度の年間エネルギー消費量を示す。2018 年度と比較して、エネルギー使用量は、売電分を含まない場合で 83%、売電分を含む場合で 94% 減である。

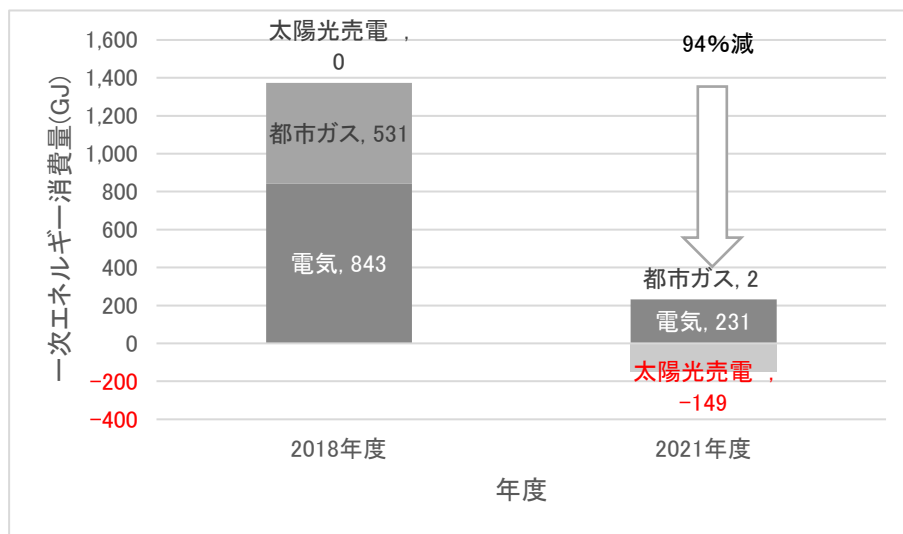
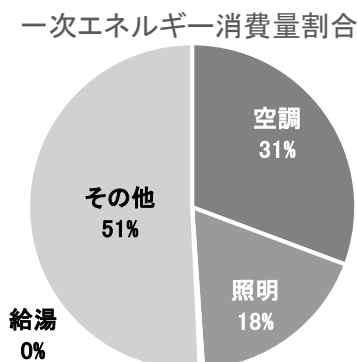


図 3 年間エネルギー消費量

図 4 に用途別一次エネルギー消費量割合を示す。ZEB に関する用途(照明、空調、換気、給湯)を徹底

的に省エネした。それにより ZEB に関係しない要素(OA 機器、家電類、EV など)の割合が 51%と半数以上を占める結果となった。ZEB 化更新後のエネルギー消費量の削減のためには、OA 機器、家電、EV 類などの対策が不可欠である。



※換気は空調に含まれる。

図 4 用途別一次エネルギー消費量割合

(イ) 快適性

久留米市環境部庁舎は、改修前は 1 階(駐車場)がピロティ形式で、2 階床スラブ裏は吹付塗装のみであった。そこから熱が奪われ、職員から、「足元が冷えて耐えられない」と不評であり、しもやけを発症するほどであった。

ZEB 化改修後は、床の断熱性能強化で、室内温度分布が均一化し、職員は足元から、ZEB 化の効果を体感した。改修後、しもやけになった職員はいない。

改修前の開口部は、アルミサッシに単板ガラスであった。冬期、窓辺が非常に冷たく不快であった。

ZEB 化改修では、アルミサッシを流用し、ガラスを Low-E 真空ガラスに更新した。これにより、窓辺の寒さが低減、職員は省エネ効果を実感した。サッシ枠・障子は流用しているが、結露は生じていない。真空ガラスには、外部の騒音を低減する副次的効果があり、事務室の快適性は向上した。

(ウ) 経済性

表 5 に久留米市環境部庁舎の『ZEB』化による経済性の計算結果を示す。改修前の設備を単純に更新する場合を標準改修、『ZEB』にした改修を ZEB 化改修として比較した。標準改修の改修内容は、照明の LED 化、熱源、冷却塔、冷温水ポンプ、ファンコイルユニットの更新とした。その場合の改修費用は 6,300 万円と推計された。標準改修の場合の省エネ額は 111 万円/年と推計された。

ZEB 化改修の場合、設計費、施工費、消費税含めて 2 億 500 万円の費用がかかった。ZEB 化改修では、補助率 3/4 の補助事業が活用できたため、国庫補助金として 1 億 3500 万円の支援があった。そのため、実質負担額は、7,500 万円となる。省エネ額は 290 万円と推計された。

ZEB 化にかかる費用の回収年数を計算するため、実質回収年数を以下のように定義した。

$$\text{実質回収年数} = (\text{実質負担額}_{\text{ZEB 改修}} - \text{実質負担額}_{\text{標準改修}}) / (\text{年間コスト削減額}_{\text{ZEB 改修}} - \text{年間コスト削減}_{\text{標準改修}})$$

ZEB 化改修の実質回収年数は 6.7 年となり、極めて短期間で、ZEB にかかる費用が回収可能なことが示され

た。

省エネ額の実績は、2021年と2018年の比較で324万円であり、推計値より大きい値となった。

表 5 経済性計算結果

	標準改修	ZEB化改修
改修内容	照明のLED化、熱源、冷却塔、冷温水ポンプ、ファンコイルユニットの更新	真空ペアガラス、硬質ウレタンフォーム断熱、パッケージエアコンの導入、全熱交換器、LED照明、太陽光・蓄電池ほか
改修費用※1	6,300万円	2億500万円(実績値)
国庫補助金	—	1億3500万円(補助率:3/4 実績値)
実質負担額	6,300万円	7,500万円(補助率:3/4 実績値)
年間コスト削減額	111万円/年	290万円/年(推計値) 324万円/年(実績値 2021年と2018年比較)
実質回収年数	—	6.7年(補助率:3/4)

※1 設計費、施工費、消費税含む

5. まとめ

福岡県久留米市の事例を元に、既存建築物 ZEB 化改修の実現に向けた具体的手法を示した。ZEB 化可能性調査を実施することが、ZEB 化実現を円滑に進めるために重要である。

久留米市環境部庁舎の ZEB 化改修の実例を報告した。既存建築物の ZEB 化により、一次エネルギー消費量が大きく削減され、室内の快適性も向上する。国庫補助事業を活用することで、経済的に ZEB 化することが可能である。既存建築物の ZEB 化改修を進めることで、国の温暖化対策に寄与することを目指す。

6. 謝辞

本報告の作成にあたり、久留米市環境部環境政策課にはデータの提供など多大な支援をいただいた。ここに感謝を申し上げる。