大阪大学キャンパスにおける脱炭素に向けたZEB化の取組み

ZEB Initiatives for Decarbonization at Osaka University

大阪大学　サステイナブルキャンパスオフィス
Osaka University, Campus Sustainability Office
鈴木　智博
Toshihiro SUZUKI

キーワード：環境，省エネルギー，地球温暖化，ZEB，エネルギーマネジメント，脱炭素，大学
Key word：Environment, Energy conservation, Global warming, ZEB, Energy Management, Decarbonization, University

1. はじめに

総合大学キャンパスは多数の多様な施設を持ち，活動時間も長く，特に実験施設などでは業務部門の一般的な事務所ビルなどと比較してもエネルギー消費原単位が高いため，大量のエネルギーを消費している．筆者らが研究対象とする大阪大学では2011年度より専門部署を設立し，大学全体を通して低炭素キャンパスの実現に向けた活動を行っている．これまでの活動内容は，学内大規模施設のESCO事業の推進（4施設）や老朽化した設備機器更新，実験施設の省エネ啓蒙活動などを実施してきた[1],[2]．その効果もあり，3カ所のキャンパス全体の一次エネルギー消費原単位は2010年度から2019年度にかけて約31%削減することができた．

さらに，大学として脱炭素を推進するために，2022年2月にエネルギー中長期目標を改定した[3]．その目標は①「2030年までエネルギー原単位を毎年1%削減すること」かつ，②「2013年度比で2030年に温暖化ガス排出量を55%削減すること」である．①は省エネ法の目標値を達成することを想定しており，②は脱炭素に向けた国としての業務部門における温暖化目標値 51%[4]をさらに上回る目標とした．

これらの目標を達成するべく，エネルギー基本方針と基本方針に基づく計画を作成した．その基本方針では大学初の「今後建築あるいは全面改修する建物はZEB Ready以上とすること」を明記した．本報告では，その基本方針に基づきZEB化した事例（国立大学初の新築ZEB Ready研究棟）と2021年4月に移転した箕面キャンパスの研究講義棟（国立大学初のZEB Oriented棟）のエネルギー分析事例を紹介する．さらに，今後のZEB化の予定についても記載する．

2. ZEB化のコンセプト

本学では，エネルギー基本方針に今後の建物はすべてZEB Ready以上とすると明記し運用を開始した．しかし，それは継続が必要であり特別な建物や設備を採用したZEB化技術では，持続可能とはいえない．そこで，本学では，普及可能なZEBをコンセプトに次の設備導入を基本として取り組んでいる．

・基本的に特別な設備導入はしない．
・適正な容量の空調設備を導入する．
・高効率な空調機器を導入する．
・ファン動力の小さいカセット型室内機を優先する．
・換気は全熱交換器を優先する．
・空調機はエネルギーマネジメントを行うために空調コントローラ（遠隔監視含む）を設置する．
・照明はLEDとし人感・照度制御を導入する．
・Low-E複層ガラスを採用する．

3. 国立大学初の新築 ZEB Ready 研究棟

3.1 建物概要

国立大学初の新築 ZEB Ready 研究棟となった薬学 4 号館の概要を図 1 に示す．第 2 章で記載した設備導入を基本として設計した．

・延床面積 3,389 ㎡
・階数 4 階
・構造 鉄骨造
・利用開始 2022 年 4 月
・空調方式 ビル用マルチ空調機 14 系統
＋室内機 118 台
＋全熱交換器 40 台

図 1 新築 ZEB Ready 研究棟の概要

3.2 1 階レイアウトと空調設備

図 2 に 1 階平面図を示す．1 階にはエントランスと実習室がある．エントランス，実習室ともに省エネ性を優先して 4 方向カセット型の室内機を採用した．また，容量は負荷計算の結果，過剰とならないように考慮してそれぞれ 168W/㎡，151W/㎡の機器を選定した．他の階についても 4 方向カセット型の室内機を中心に配置した．

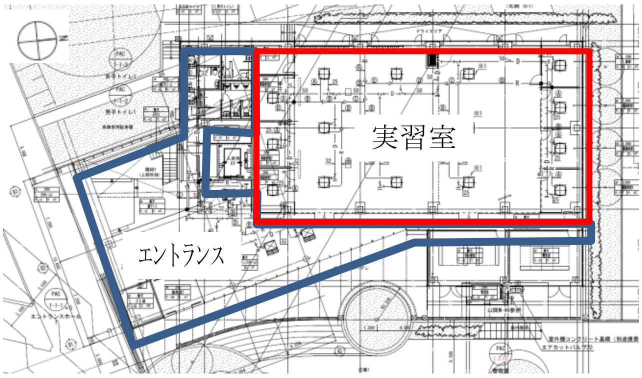

図 2 1 階レイアウト

3.3 ZEB 化の可能性事前検討

本研究棟は，エネルギー基本方針立案前に基本設計が完了していたために，設計当初 ZEB 化は計画に含まれていなかった．しかし，基本設計の内容をチェックすると ZEB Ready の可能性が見受けられた．そこで，ZEB の評価手法である WEBPRO [5] 入力の前に，事前の 1 次診断（ZEB Ready の可能性検討）を行った．その結果，空調機のさらなる高効率化と室内機のカセット割合増加，照明のさらなる高効率化により ZEB Ready が達成できる可能性が高いことがわかった．1 次診断試算条件を表 1 に示す．また，1 次診断試算結果を図 3 に示す．空調機の高効率化と室内機動力低減による COP 向上が非常に大きいことがわかる．また，照明の高効率化の影響もそれに次いで高いことがわかる．

表 1 1 次診断試算条件

項目	初期設計	空調機高効率化	照明高効率化
BPI	0.95	←	←
室外機	ビルマル（COP=3.0）	ビルマル（COP=4.0）	←
室内機	4 方向ｶｾｯﾄ＋ﾀﾞｸﾄ	ｶｾｯﾄ型室内機割合増化	←
照明	LED 500LX60W	←	LED 500LX40W
照明制御	廊下人感センサーあり居室昼光センサーあり	←	←

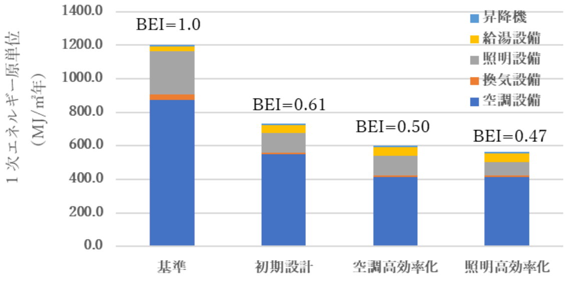

図 3 1 次診断試算結果

3.4 完成時の WEBPRO 計算結果

図 4 に完成時の WEBPRO 計算結果，表 2 に各 BEI 値を示す．前述したように普及型の ZEB Ready 事例として監修を行った結果，BEI=0.49 となった．そのうち空調 BEI=0.52 であった．各フロアにおいてファン動力の小さい 4 方向型カセット室内機を設置することで，省エネ性を大幅

に向上させた．また，高効率なビルマル室外機も採用した．さらに，空調機器の設備容量は 1F の平面図で示したように過剰な機器選定とならないように考慮した．その結果，意匠性，省エネ性，快適性を維持しつつ，コストアップとならない普及型の ZEB 事例となった．本研究棟は 2022 年 2 月に竣工しており，4 月から運用を開始する予定である．今後は運用時のエネルギー分析を行い ZEB 検証する予定である．

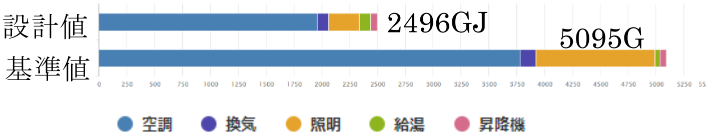

図 4　WEBPRO 計算結果（薬学 4 号館）

表 2　各 BEI 値（薬学 4 号館）

設備	全体	空調	換気	照明		給湯	昇降機
各 BEI	0.49	0.52	0.75	0.26		2.33	1.00

4. 国立大学初の ZEB Oriented 棟のエネルギー分析

4.1　建物概要

エネルギー分析を行った外国学研究講義棟の概要を図 5 に示す．棟全体の空調はビル用マルチ空調機を中心としており，室内機は前章と同様 4 方向カセット型を中心に設置した．

・延床面積　24,897 ㎡
・階数　10 階
・構造　SRC 造
・開学　2021 年 4 月
・空調方式　ビル用マルチ空調機 94 系統
＋設備用 6 系統
＋室内機 650 台

図 5　建物概要

4.2　WEBPRO 計算結果

まずは，WEBPRO による設計 ZEB 評価を実施した．その結果を図 6、表 3 に示す．全体の BEI は 0.58 となり，国立大学初の ZEB Oriented 棟として登録された．空調対象面積は 15,264 ㎡であり，それに対して選定した総冷房能力は 4,089kW であったため，平均で 268W/㎡の機器を設置した．結果的に少し大きい容量の機器選定となったことで，空調 BEI は 0.60 と薬学 4 号館より評価が低い結果となった．また，照明 BEI についても 0.36 と薬学 4 号館より大きい値となった．外国学研究講義棟はエネルギー基本方針に ZEB Ready 条項を入れる以前の建物だったため，ZEB Oriented となったが，設計時に空調容量の最適化と照明制御エリアを増やすことで ZEB Ready も可能であったと考えている．

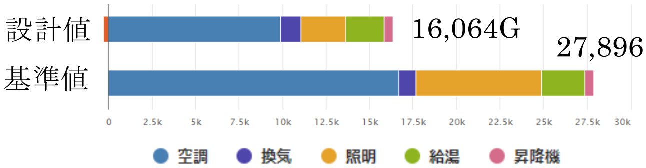

図 6　WEBPRO 計算結果（外国学研究講義棟）

表 3　各 BEI 値（外国学研究講義棟）

設備	全体	空調	換気	照明	給湯	昇降機
各 BEI	0.58	0.60	1.20	0.36	0.89	1.00

4.3　建物全体のエネルギー消費量分析

図 7 に建物全体のエネルギー消費量実績を示す．一番左のグラフは，2018 年度の旧キャンパス（移転前同等の機能を有していた建物分のみ）の 1 次エネルギー消費量である．旧キャンパスに比べて実績では，48.1%減となり省エネを実現できた．また，ZEB 評価のためのコンセント分を除く実績による BEI 相当値は 0.37 となり，ZEB Ready を実現した．

4.4　全空調機器の効率分析

図 8 に空調機 100 系統すべての室外機の冷房平均 COP ランキングを示す．また，表 4 に冷房 COP の上位，下位 10 系統の情報を示す．上位に入っているのは，基本的に空調が 24 時間稼働し続けており，接続されている室内機が一台のみのサーバー室や電気室を除き，全てが学生交流スペースや自習室，エントランスといった共用空間となっている．これらの効率が高かった系統は，負荷率が高くかつ室内機の同時使用率も高い系統であった．一方，下位の系統は全て研究室系統となっていた．研究室系統は室内機台数が 10 台程度と多いが，運転実態は常に室内機が 1 台あるいは 2 台のみの運転（同時使用率 10%～20%）となっている時間が多く，負荷率が 10%を下回ることがほとんどであった．そのために効率が悪かったと考えられる．ただし，使っていない研究室を空調しないことで，全体としての省エネは実現できていると考える．

4.5　今後の省エネ改善項目別の試算値

初年度である 2021 年度は空調機についてはユーザに自由に使用してもらった．その結果，様々な改善点が見つかった．そこで，それぞれの項目についての削減量を試算した．

4.5.1　設定温度の上下限設定による省エネ効果試算

図 9 に代表室内機の設定温度履歴を示す．設定温度が頻繁に変更されていない 2F 大学事務室（左図）のような室内機がある一方で，学生交流スペース（右図）のように頻繁に設定温度が変更されている室内機もあることがわかった．これらの室内機のうち，サーバー室と厨房系統を除く室内機をすべてチェックし，設定温度制限を加えた場合の省エネ値を試算した．冷房の場合は 24℃以上，暖房の場合は 26℃以下に制限した場合，棟全体では，12,850kWh（空調機消費電力のうち 3.6%分）削減できることがわかった．

4.5.2　消し忘れ設定による省エネ効果試算

図 10 に代表室内機の時刻別の合計運転時間を示す．比較的消し忘れ時間と想定している 22

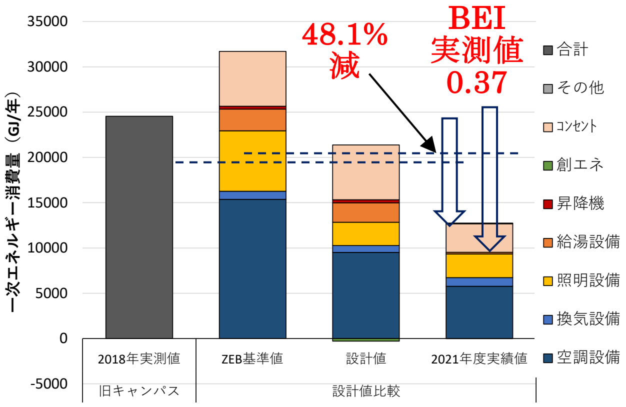

図 7　建物全体のエネルギー消費量実績

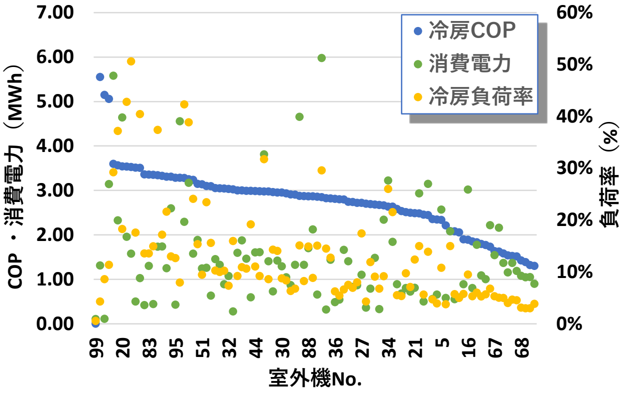

図 8　全系統の冷房 COP ランキング

表 4　平均 COP ランキング詳細
上位系統（上表）、下位系統（下表）

順位	系統	電力	冷房COP	負荷率	運転時間	場所	室内機台数
1	98	1.7	5.65	4.1%	2,621	4Fサーバー室2	1
2	100	3.8	5.14	11.5%	4,061	4Fサーバー室1南	1
3	61	0.1	5.13	7.9%	14	1F世界言語サーバー室	1
4	94	3.0	3.74	36.1%	1,203	4F学生交流スペース	4
5	14	6.8	3.67	26.9%	1,412	5F学生交流スペース	5
6	77	1.3	3.64	39.2%	299	3Fエントランスホール	2
7	20	5.0	3.55	17.0%	1,124	1Fホワイエ	5
8	93	1.6	3.53	49.7%	445	4F中講義室（循環）	3
9	90	2.0	3.52	41.9%	671	4FSALC中	4
10	59	0.5	3.51	17.2%	203	1F電気室	1

順位	系統	電力	冷房COP	負荷率	運転時間	場所	室内機台数
91	67	1.8	1.61	5.0%	1,153	9F共同研究室	10
92	64	2.7	1.59	4.6%	1,771	8F研究室	8
93	12	1.6	1.56	4.6%	1,221	9F研究室	8
94	63	1.4	1.56	3.8%	1,119	8F研究室	8
95	15	1.6	1.52	4.3%	1,102	10F研究室	10
96	13	1.5	1.48	4.2%	1,100	9F研究室	8
97	68	1.3	1.44	3.0%	1,141	9F研究室	8
98	69	1.3	1.40	2.8%	1,208	9F研究室	8
99	10	1.3	1.31	2.8%	1,269	9F研究室	10
100	19	1.1	1.30	3.5%	833	10F研究室	8

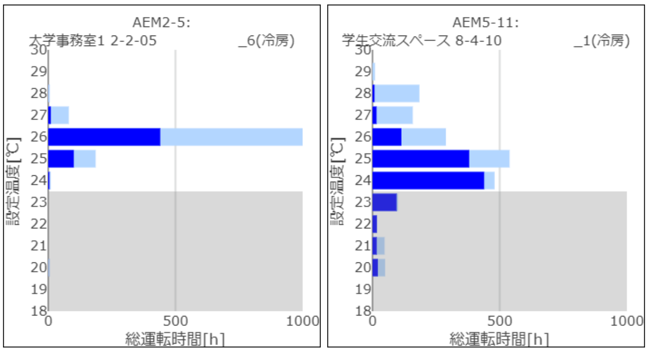

図 9　冷房設定温度履歴

時から朝の6時までにおいて運転されている時間は少ないが，一部の室内機については消し忘れがあることが確認できる．これらの消し忘れについて，フリーザー室，厨房，設備管理室，サーバー室を非制御として，消し忘れが解消された場合の省エネ効果は合計で10,789kWh（空調機消費電力のうち3.2%）と試算できた．

4.5.3　デマンド抑制による削減効果

デマンド制御による基本料金削減可能性を検討した．図 11 に上位 50 位までのデマンドランキングを示す．最大デマンド 788kW に対して，上位 14 位までの上限値を 725kW（削減量 63kW）とした場合のデマンド制御日数は 3 日間であった．最も制御がかかる日時は 1/18（火）12：30 であるが，全体の電力値 788kW に対して，空調分が 543kW と 68.9%を占めており，空調によるデマンド削減余地は大きく，室外機の能力抑制機能のみで対応できる程度の値であると想定される．今後，デマンド抑制を実施し，室内温熱環境への影響を検証する予定である．

4.5.4　棟全体の効果試算

その他に，冷媒温度制御と全熱交換器の CO_2 制御＋夜間間欠運転を実施した結果の試算結果を表 5 に示す．その結果，空調分の電力使用量のうち 16.9%の削減可能性があることがわかった．今年度はこれらの運用改善による省エネを進める予定である．

5.　今後の ZEB 化計画

ZEB 化が継続的に実施できるように今後，学内に建設される建物についても ZEB 化を予定している．本章ではそのうち 2 つの建物について記載する．

5.1　工学部の ZEB Ready 研究棟の計画

2022 年度に工学部に建てる研究棟の概要を図 12 に示す．薬学 4 号館と同様，高効率な空調・換気および LED 照明と制御による省エネ手法により ZEB Ready 化を考えている．ZEB Ready 可能性検討である 1 次診断を実施した結果，BEI=0.5 以下となった．そのため，現在詳細設計を実施している．今後，ZEB Ready 研究棟としてこちらも進めている．

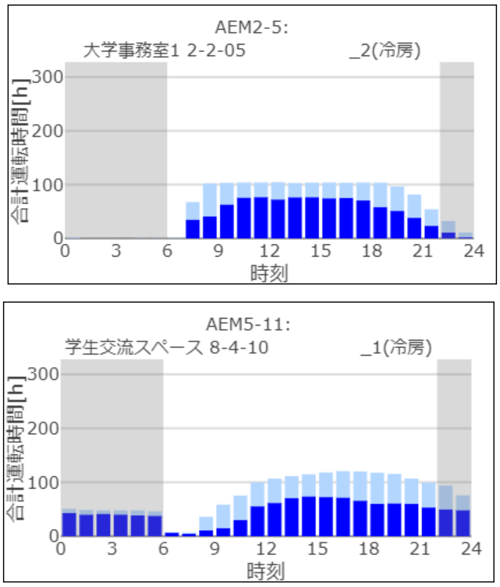

図 10　時刻別の合計運転時間

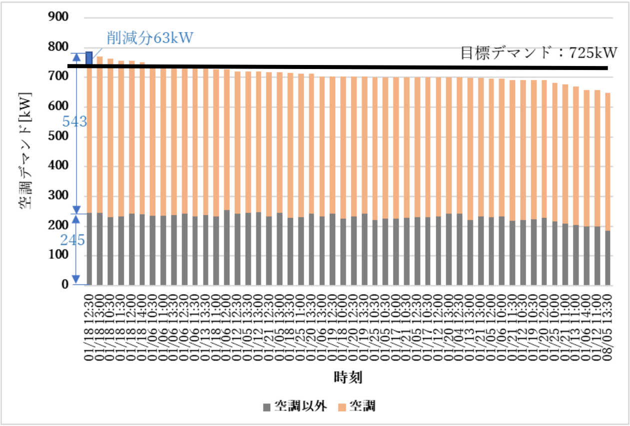

図 11　デマンドランキング

表　1　棟全体の削減効果試算結果

	空調想定削減率	想定削減電力量 kWh	制御内容
①設定温度の上下限設定	6.9%	23,648	冷房24°C以上 暖房26°C以下に制限
②消し忘れ設定			22時～6時停止
③冷媒温度制御	5.0%	17,102	省エネ優先
④全熱交換器の運用変更	5.0%	17,102	CO2制御＋夜間間欠
合計	16.9%	57,852	
削減金額(12円／kWh)		¥694,225	
デマンドによる削減額 （1130円／kW）	63kW	¥854,280	
	計	¥1,548,505	

5.2　10,000 ㎡超えの ZEB Ready 研究棟を目指して

さらに，大規模研究施設においても ZEB Ready 化の計画を立てて進めている．建物の概要を図 13 に示す．本研究棟の場合は，16,000 ㎡と大規模となるため，ZEB 化がより難しくなると想定しているが，1 次診断の結果，条件次第では ZEB Ready 化が可能であることがわかった．そのため，ZEB Ready 化を基本条件として今後進めることにした．

・延床面積　2,557 ㎡
・階数　　　4 階
・構造　　　鉄骨造
・工事着手　2022 年以降
・空調機　　パッケージ※＋全熱交換器
　　※店舗オフィス用業務用空調機

図 2　工学部の ZEB Ready 棟概要

・延床面積　16,000 ㎡
・階数　　　地上 10 階
・構造　　　鉄骨造（予定）
・竣工予定　2025 年
・デザイン監修　安藤忠雄建築研究所

図 1　10,000 ㎡超えの ZEB Ready 研究棟概要

6. 最後に

脱炭素社会に向けて本学では，エネルギー基本方針に則り，継続的に ZEB 化を実施していく予定である．現時点では，本報告に記載した新築の ZEB 化のみの実績であるが，今後は改修による ZEB 化についても，空調機の容量の最適化や LED 化および照明制御の実施などの汎用的な手法により実施していく予定である．

文　　献

[1] 大橋 巧，宮崎 正幸，下田 吉之 日本建築学会環境系論文集（688）529-, 2013-06

[2] 大橋 巧，宮崎 正幸，下田 吉之 日本建築学会環境系論文集 78 (684), 193-201, 2013

[3] https://www.osaka-u.ac.jp/ja/guide/about/energy-management, 2022.02,

[4] http://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html, 2021.10

[5] https://building.app.lowenergy.jp, 2022