オフィスビルにおける ZEB 改修効果に関する研究
-建物全体の電力需要分析と CO_2 濃度制御、画像センサー制御の効果検証-

梶原　遼人

1.　はじめに

年々深刻さが増す地球温暖化への対策として、政府はカーボンニュートラルの実現を目指し、2030 年には温室効果ガスを 2013 年度比 46%削減とすることを目標と示した。こうした中で、既存建物を ZEB 化する取り組みが進められているが、改修後に ZEB 化の効果検証を行っている建物は少ない。

そこで本研究では、ZEB 改修後の ZEB 化の効果を検証し、ZEB 改修の 1 つの事例として、今後の ZEB 改修の指針となることを目的とする。建物全体の電力消費量、CO_2 濃度制御技術導入の効果、画像センサー技術導入の効果について分析することで、ZEB 改修が行われたオフィスビルにおける改修後の電力需要の変動を総合的に分析する。

2. ZEB 概要

2.1.　建物全体概要

計測対象であるオフィスビルの概要を図 1、表 1 に示す。対象建物では竣工後、15 年が経過しており、空調の更新時期が近づいていたため CSR(企業の社会的責任)の観点から ZEB 化改修工事を計画した。月別の電力消費量を図 2 に示す。ZEB 改修後の建物全体の電力消費量は ZEB 改修前の平均比 40%削減となった。

2.2.　CO_2 濃度制御概要

対象のオフィスビルは外調機に CO_2 センサーと VAV による外気量制御を採用している。系統毎に VAV を設置し、室内 CO_2 センサーにより CO_2 濃度を検知して外気量を制御し、空調負荷の低減を行っている。また、VAV での外気量制御に応じて給気静圧を検知して外調機ファンのインバータ制御を行っている。

2.3.　画像センサー概要

照明制御用の画像センサーの「在/不在」信号を空調に取り込み床吹出口の自動開閉制御を行う。また床の開閉数により室内機の風量制御を行う。対象の画像センサーが全て「不在」を検知した場合、床吹き出し口系統に「閉」の信号を送り、床吹出口が閉じられ、電圧制御が行われ、風量が絞られる。

3.　建物全体の電力需要分析

3.1.　分析全体の概要

分析全体の概要と分析期間の概要を表 2 に示す。分析は夏季と冬季で行い、月曜日と他の曜日における最も電力を消費する日の各項目の電力消費量の時間推移、太陽光発電による発電量、室温と空調電力の関係を分析する。太陽光発電分析では、夏季と冬季それぞれ 1 日の全天日射量が最も大きい日と最も少ない日で分析を行う。

3.2.　夏季分析

3.2.1.　建物全体の電力需要分析

図 3 に 2022 年 7 月の建物全体の電力消費量、図 4 ～図 6 に 7 月の福岡の気温と全天日射量を示す。対象建物では空調の電力によって電力消費量の変動が大きくなり、最高気温が 34℃を超える日は全体的に電力消費量が大きくなることが分かり、30℃を下回る日は電力消費量が少なる傾向が見られた。

表 1　建物概要

項目	内容
建物名称	博多駅南Rビル
所在地	福岡市博多区博多駅南1-8-13
敷地面積	1111.64㎡
延床面積	5536.63㎡
建物規模	鉄骨造、地上8階
主用途	事務所
フロア構成	1階　エントランスホール 2階～5階　自社フロア 6階～8階　テナントフロア
竣工	2003年5月（新築） 2020年2月（ZEB化改修工事）

図 1　建物外観

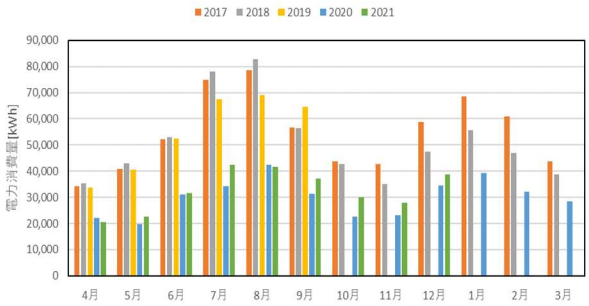

図 2　建物全体の月別電力消費量

表 2　建物全体の電力需要分析概要

分析内容	季節	分析期間
ビル全体の電力消費量	夏季	2022年7月～2022年8月
	冬季	2021年12月～2022年1月
1日の電力消費量の時間推移	夏季	2022年7月1日、7月4日（月曜日）、8月1日（月曜日）、8月2日
	冬季	2021年12月27日（月曜日）、12月28日、2022年1月14日、1月17日（月曜日）
太陽光発電分析	夏季	2022年7月1日、8月17日
	冬季	2021年12月16日、2022年1月31日
室温と空調電力の関係分析	夏季	2022年8月1日、8月2日
	冬季	2021年12月27日、12月28日

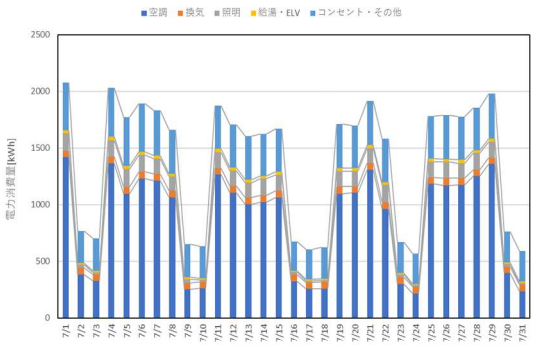

図 3　7 月の建物全体の電力消費量

3.2.2.　ピーク時の電力消費量分析

7 月の最も電力消費量が大きかった日のうち、月曜と月曜以外の日でそれぞれ 1 日の電力消費量の時間推移の比較を行った。図 7 に 7 月 4 日の、図 8 に 7 月 1 日の 1 日の電力消費量の時間推移を示す。どちらの日も午前 10 時ごろに電力消費量が大きくなり、気温が高く、日射量も多い 1 日は午後も電力消費量が大きいままであったが、気温も日射量も低い 4 日は電力消費量が下がる傾向が見られた。

3.2.3.　室温による空調電力分析

室温と空調電力との関係を分析した。室温の測定は 5 階のペリメーターゾーンとインテリアゾーンの 2 箇所で行った。図 9 に建物全体の空調の電力消費量と室温の時間推移を示す。対象日は 8 月の月曜日と月曜以外の日で最も全体の電力消費量が大きくなった 8 月 1 日と 8 月 2 日とした。どちらの日も 8：00～12：00 の間に室温を下げるために空調の電力を多く使っていることが分かる。8 月 2 日は 1 日よりも室温が下がっているが、使用した電力はどちらもほぼ同じだった。これは、8 月 1 日が月曜日であり、建物の躯体が暖まっていて、建物を冷やすのに電力を多く使用したものであると考える。

3.2.4.　太陽光発電分析

対象建物では、屋上に太陽光パネルを設置しており、その発電容量は 31.5kW である。一日の電力消費量のうちどのくらい太陽光発電で賄えるのかを分析するため、発電量と建物全体の電力消費量から発電分を差し引いた総消費量の分析を行った。図 10 に 7 月 1 日の、図 11 に 8 月 17 日の時間推移を示す。合計全天日射量が大きかった 7 月 1 日ではある程度発電による電力消費量の削減が確認できたが、8 月 17 日はほとんど太陽光パネルによる発電ができなか 194kWh 発電しており、全体の電力消費量の約 9%の削減が確認できたった。7 月 1 日では 194kWh 発電しており、全体の電力消費量の約 9%の削減が確認できた。

3.3.　冬季分析

3.3.1.　建物全体の電力消費量分析

図 12 に 2021 年 12 月のビル全体の電力消費量、図 13～図 15 に 12 月の福岡の気温と全天日射量を示す。

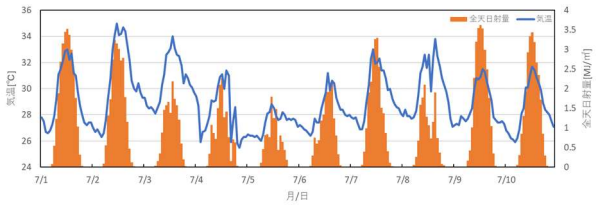

図 4　7 月 1 日～10 日の福岡の気温と全天日射量

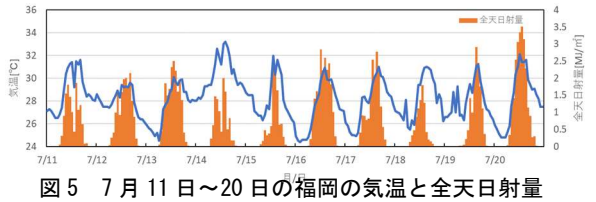

図 5　7 月 11 日～20 日の福岡の気温と全天日射量

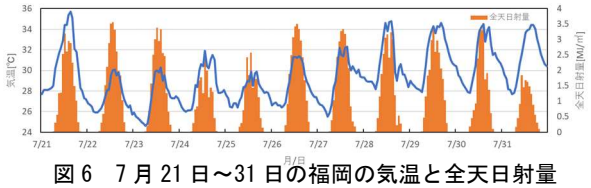

図 6　7 月 21 日～31 日の福岡の気温と全天日射量

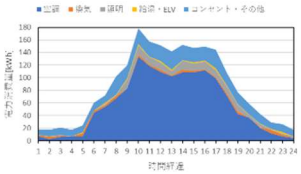

図 7　7 月 4 日（月曜日）

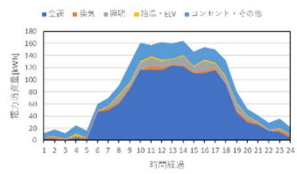

図 8　7 月 1 日

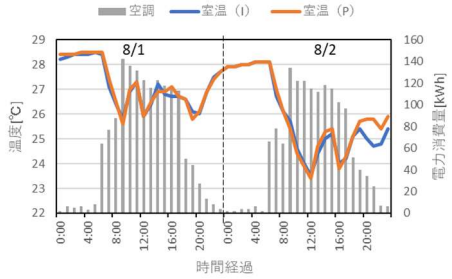

図 9　室温と空調電力の関係図

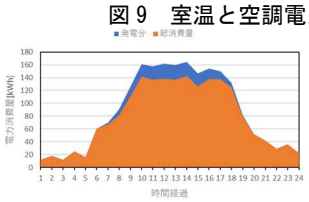

図 10　7 月 1 日

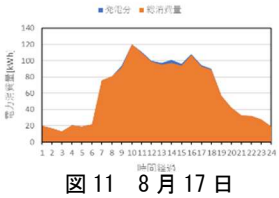

図 11　8 月 17 日

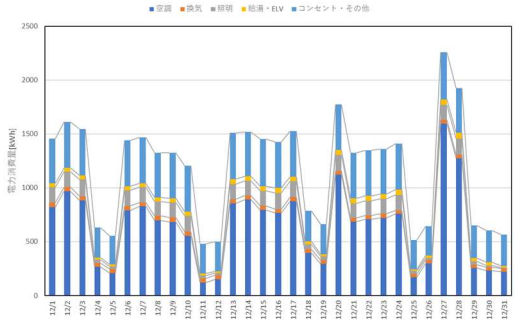

図 12　12 月の建物全体の電力消費量

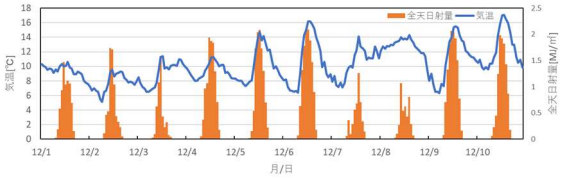

図 13　12 月 1 日～12 月 10 日の福岡の気温と全天日射量

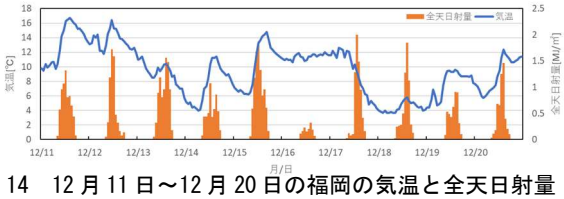

図 14　12 月 11 日～12 月 20 日の福岡の気温と全天日射量

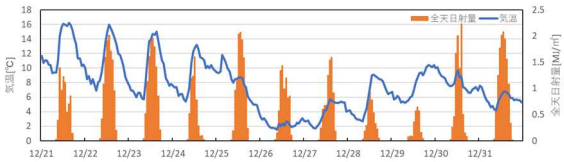

図 15　12 月 21 日～12 月 31 日の福岡の気温と全天日射量

12 月は、気温の低下が激しかった 27 日、28 日に電力消費量が大きくなることが分かる。冬季は休日明けの月曜日に電力消費量が大きくなる傾向が見られた。

3.3.2　ピーク時の電力消費量分析

図 16 に 12 月 27 日（月曜日）、図 17 に 12 月 28 日の電力消費量の時間推移をそれぞれ示す。夏季と同じく午前 10 時あたりに最も電力消費量が大きくなる。

3.3.3.　室温による空調電力

図 18 に建物全体の空調の電力消費量と室温の時間推移を示す。対象日は 12 月の月曜日と月曜以外の日で最も全体の電力消費量が大きくなった 12 月 27 日と 12 月 28 日とした。前日の 26 日の気温が低かった影響で、建物の室内の温度が大きく下がっており、27 日の午前中に室内の温度を上げるために空調電力を大きく使用していたことがわかる。

3.3.4.　太陽光発電分析

2021 年 12 月 1 日～2022 年 1 月 31 日の間で 1 日の合計全天日射量が最も大きい日と最も小さい日の発電量と建物全体の電力消費量から発電分を差し引いた総消費量の分析を行った。図 19 に 1 月 31 日の、図 20 に 12 月 16 日の時間推移を示す。冬季は日射があまり確保できないため、全天日射量が大きい日でも発電で賄える電力が夏季より少ないことが確認できた。

4.　CO_2濃度制御分析

4.1.　分析全体の概要

分析は外調機の電力消費量で行い、夏季、冬季に期間を分けて、通常の運転時とコロナ禍での運転の場合を比較分析する。夏季は、設定濃度 800ppm にした場合と 450ppm にした場合を比較し、冬季は、設定濃度 1000ppm にした場合と 450ppm にした場合の比較を行う。

4.2.　夏季分析

図 21 に外調機の 1 日の電力消費量を示す。800ppm 設定時は 450ppm 設定時と比較して電力消費量が約 42%少ない。450ppm 設定時は外調機を定格運転しているため、電力消費量が大きくなる。800ppm 設定時は、室内の CO_2濃度によって VAV で外気量制御が行われているため、450ppm 設定時と比べて電力の消費量が少ない。

気温と電力消費量との関係図を図 22 に、比エンタルピーと電力消費量との関係図を図 23 に示す。気温と電力消費量との関係では、800ppm 設定時と 450ppm 設定時のどちらの場合も気温が高くなるにつれて、電力消費量が大きくなる傾向が見られる。同じ気温の場合、450ppm 設定時のほうが、800ppm 設定時よりも電力消費量が大きくなる。比エンタルピーと電力消費量との関係では、比エンタルピーによって電力消費量の値が定まらず、比エンタルピーと電力消費量との間にはあまり相関がないといえる。これは、外調機での除湿がそれほど行われていないためと考えられる。同じ比エンタルピーの値の場合、450ppm 設定時のほうが、800ppm 設定時よりも電力消費量が大きくなる。

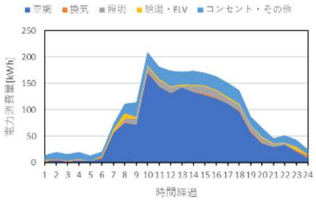

図 16　12 月 27 日（月曜日）

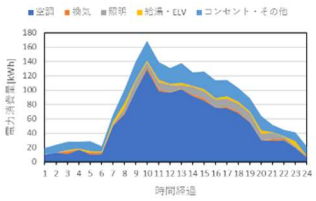

図 17　12 月 28 日

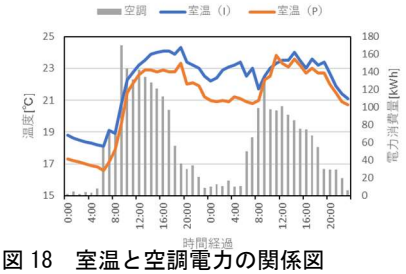

図 18　室温と空調電力の関係図

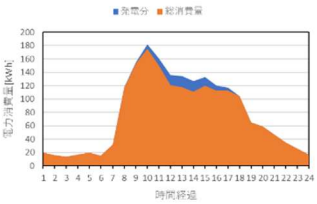

図 19　1 月 31 日

図 20　12 月 16 日

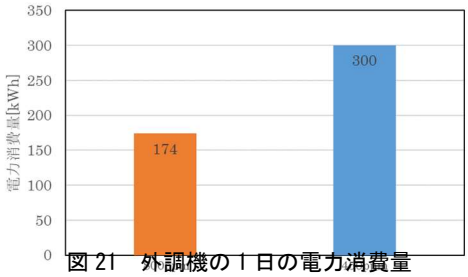

図 21　外調機の 1 日の電力消費量

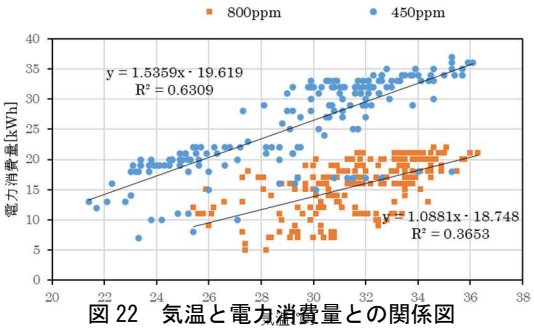

図 22　気温と電力消費量との関係図

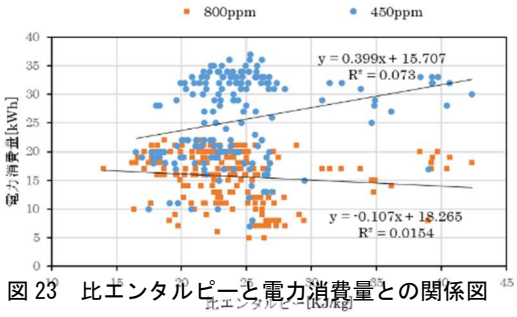

図 23　比エンタルピーと電力消費量との関係図

4.3.　冬季分析

図 24 に 1 日の電力消費量の比較を示す。1000ppm 設定時は 450ppm 設定時と比較して電力消費量が約 31%少ない。また、夏季の方が外調機の 1 日の電力消費量が大きくなる。これは、対象建物の外調機の暖房能力が 66.1kW であるのに対して、冷房能力が 80.7kW であるためだと考えられる。

気温と電力消費量との関係図を図 25 に示す。同じ温度の場合、450ppm 設定時のほうが 1000ppm 設定時よりも電力消費量が大きくなることがわかる。450ppm 設定時の場合では、気温が低いほど電力消費量が大きくなる傾向が見られるが、1000ppm 設定時の場合では、気温によって電力消費量の値が定まらず、気温が低い場合でも外調機の電力消費量が抑えられており、CO_2 濃度制御の効果が現れている。

5.　画像センサー制御分析

5.1.　分析全体の概要

画像センサーによる室内機の風量制御、照明の点滅・調光制御によって電力消費量がどのくらい削減するかを検証する。その概要を表 3 に示す。計測は 2 階、4 階の執務室のエリアの室内機の送風量制御、5 階執務室の照明の点滅・調光制御を行う。

5.2.　室内機の送風量制御の分析結果

図 26 に在室人員が少ない 2 階執務室の制御有無における電力消費量を、図 27 に在室人員が多い 4 階執務室の制御有無における電力消費量を示す。制御なしの場合、一定電圧での運転を行っており、電力消費量も一定で推移する。在室人員が少ない 2 階執務室の室内機では約 17%の電力消費量削減の効果があった。一方で、在室人員の多い 4 階執務室の室内機は不在検知がほとんどなかったため、電力消費量の削減は確認できなかった。

5.3.　照明の点滅・調光制御の分析結果

図 28 に画像センサーによる照明の点滅・調光制御有無の代表日の時刻別比較を示す。制御なしの場合、ほぼ一定の電力消費量で推移し、制御ありの場合、画像センサーの点滅制御が働き、制御なしの場合よりも電力消費量が低く推移している。16 時以降は少しずつ電力消費量が増加しており、日照の関係で調光制御を行っていることが確認できた。制御ありの日は制御なしの日と比べて約 17%の電力消費量の削減が見られた。

6.　おわりに

ZEB 改修を行ったオフィスビルにおいて建物全体の電力需要の分析と CO2 濃度制御、画像センサー制御の効果検証を行い、ZEB 改修後の建物の ZEB 化の総合的な評価を行った。建物の電力消費量は空調が大きな割合を占め、夏季、冬季ともに午前中に電力消費量のピークが来ることが分かった。CO_2 濃度制御分析では、夏季は 1 日の外調機の電力消費量を約 42%削減でき、冬季では、約 31%の削減効果を示した。送風量制御では、在室人員が少ない場所では制御が適切に行われ、室内機の電力消費量削減の効果があることが分かった。照明の点滅・調光制御では、制御によって約 17%の電力消費量の削減効果が確認できた。

【参考文献】1)　宍戸　里帆、他:オフィスビルにおける ZEB 改修効果に関する研究-躯体蓄熱空調の適切な運用と画像センサー導入効果の分析-,九州大学卒業論文,2022/1

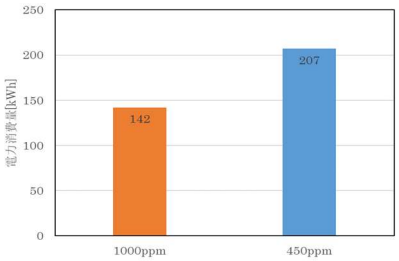

図 24　外調機の 1 日の電力消費量

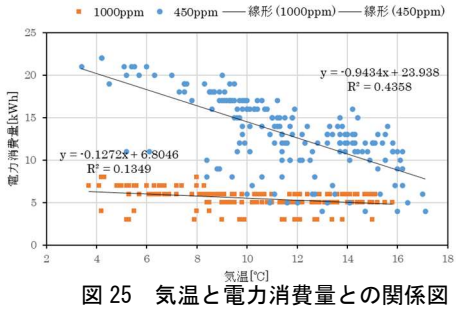

図 25　気温と電力消費量との関係図

表 3　画像センサー制御分析概要

計測項目	対象エリア	計測パターン	日付
送風量制御	2階　執務室	制御あり	2022年1月17日～1月21日（代表日：1月18日）
		制御なし	2022年1月24日～1月28日
	4階　執務室	制御あり	2022年1月31日～2月4日（代表日：2月2日）
		制御なし	2022年2月7日～1月10日
点滅・調光制御	5階　事務室	制御あり	2022年6月13日～6月17日
			代表日：6月17日
		制御なし	2022年6月20日～6月24日
			代表日：6月24日

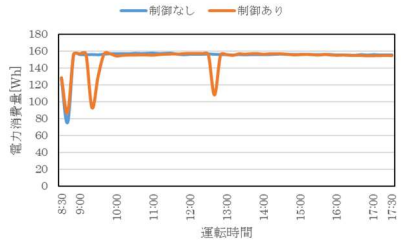

図 26　2 階執務室の制御有無の電力消費量の比較

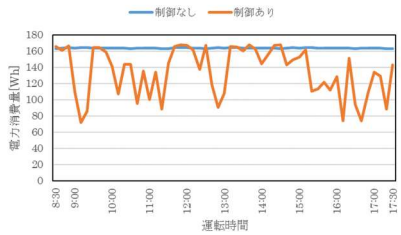

図 27　4 階執務室の制御有無の電力消費量の比較

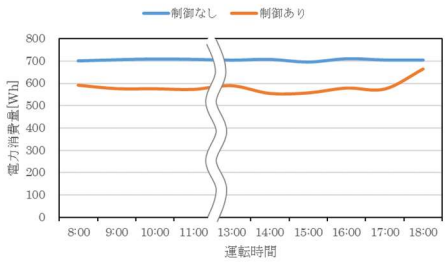

図 28　5 階執務室の制御有無の電力消費量の比較