

技術研究所本館 ZEB 化改修工事 — アトリウム空間における自然換気システムの検証 —

Study on Natural Ventilation System for the Thermal Environment of the Atrium Space in ZEB Renewal Building of Research Institute of Technology

花田 俊之*1 伊藤 真二*1 川原 淳一*1
Toshiyuki Hanada Shinji Ito Junichi Kawahara

要旨

技術研究所本館 ZEB 化改修工事に関しては、既報¹⁾において、ZEB 化要素技術の概要とアトリウム空間における自然換気システムの熱環境シミュレーション結果について報告を行った。本報告はその後の各種計測値と、事前の解析結果との比較を行い、自然換気システムの効果について検証した。

キーワード：ZEB 省エネ 一次エネルギー消費量 BELS 改修工事 自然換気

1. はじめに

技術研究所の本館は、1997 年の竣工以来、20 年間にわたり鴻池組の研究開発の拠点として使われてきた。2017 年に行った本館の ZEB 化改修工事¹⁾は、今後増加が予想される既存ビル居ながら改修のモデルケースにするとともに、工事完了後には採用した最新要素技術を検証する体験型実証モデルとして運用を行った。さらに、ZEB 化の効果検証のために消費電力、外気温および室内温度など様々な計測値の蓄積を行っている。

本報告では、上述した計測値と事前の解析結果との比較により、ZEB 化および自然換気システムの効果について検証した結果を述べる。

2. ZEB の定義

2015 年 12 月に公表された「ZEB ロードマップ検討委員会とりまとめ」（経済産業省 資源エネルギー庁²⁾により、それまであいまいであった ZEB の概念が明確に定義された（図 1）。

なお、一次エネルギー消費量の計算方法については、「建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令」（平成 28 年経済産業省・国土交通省令第 1 号）またはこれと同等の方法による計算で「その他負荷」を除き設計時で評価することになっている。

ZEB の定義

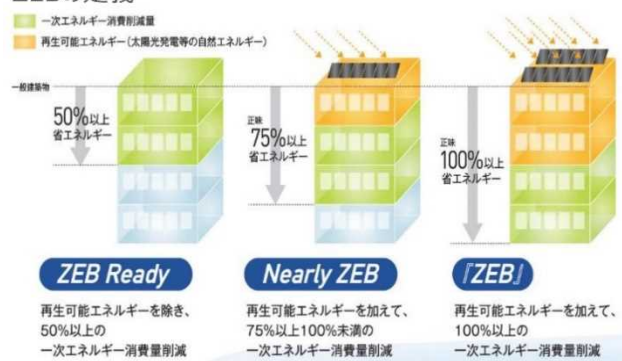


図 1 ZEB の定義

3. 技術研究所本館 ZEB 化の効果検証

3.1 ZEB 化の概要

技術研究所本館の ZEB 化は、エネルギーを①「減らす」②「上手に使う」③「創る」という 3 つのコンセプトのもとに改修を行った。建築概要を表 1 に、コンセプトと要素技術を図 2 にそれぞれ示す。

表 1 建築概要

建物名称	㈱鴻池組 技術研究所 本館
所在地	茨城県つくば市
設計	㈱鴻池組 東京本店 一級建築士事務所
施工	㈱鴻池組 東京本店
建築面積	1,206.00㎡
延床面積	3,183.73㎡
構造	鉄筋コンクリート造・免震構造
階数	地上3階 塔屋1階

*1 技術研究所



図2 コンセプトと要素技術

本 ZEB 化によって設計一次エネルギー消費量は、一般的な建築物と比較して 51% の削減、さらに太陽光発電設備による創エネルギーを加えると 59% 削減する結果となり、BELS (Building Energy-efficiency Labeling System : 建築物省エネルギー性能表示制度) の認証を第三者評価機関より取得した (図 3)。評価は、『ZEB Ready, ★★★★★』で、評価指標である BEI (Building Energy Index, 設計一次エネルギー消費量を基準エネルギー消費量で除した値。★数により 5 段階評価) 値は 0.59 である。図 4 にエネルギー性能評価を示す。

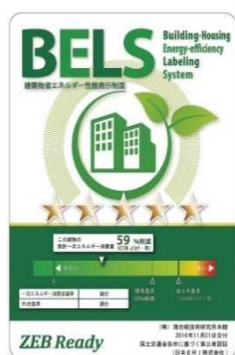


図3 BELS 評価プレート

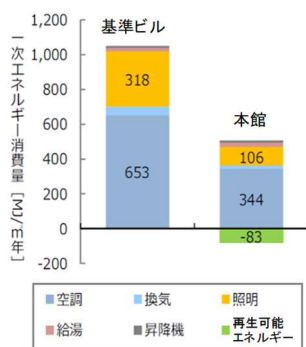


図4 エネルギー性能評価

3.2 本館 ZEB 化改修後の計測結果

本館 ZEB 化改修後は、電力量計により計測した電力量を BEMS (Building and Energy Management System) により集計し、保存管理している。保存管理データの内、2017 年 4

月から 2018 年 3 月までの年間一次エネルギー消費量の設計値と計測値を表 2 に示す。ZEB 化改修後の本館の一般的な建築物に対する年間一次エネルギー消費量削減率は、設計値 51% に対し計測値で 57%、太陽光発電設備による創エネルギーを加えた設計値 59% に対し計測値で 68% となり、計測値を設計値が上回った。この結果により、本館 ZEB 化の『ZEB Ready』達成が実証された。

表2 年間一次エネルギー消費量の設計値と計測値 (2017 年 4 月～2018 年 3 月)

	設計値	計測値	備考
一般建築物	3,323 GJ	—	—
51%(ライン)	1,605 GJ 51%削減	1,424 GJ ↓ 57%削減	計画値 ライン Clear
59%(ライン) 太陽光発電込	1,345 GJ 59%削減	1,066 GJ ↓ 68%削減	

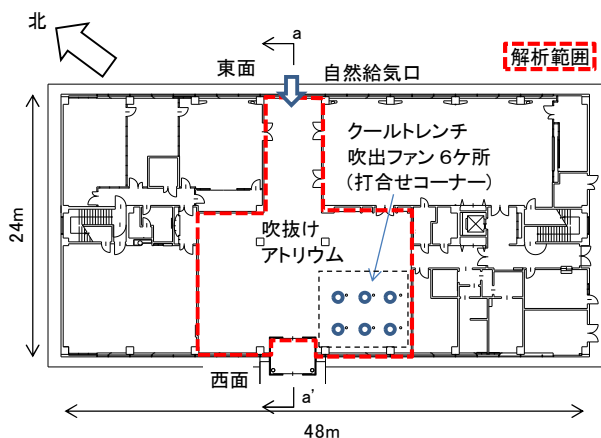
4. 自然換気システムの概要

本館のエントランスは吹抜けのアトリウムになっており、このアトリウム空間の 3 階および屋上階のトップライトに自動的に開閉する自然排気口、1 階に自然給気口を設けた自然換気システムを導入した。さらに、年間を通して温度の安定している地下の免震ピットはクールトレンチ^{4), 5)}として利用し、打合せコーナー床に免震ピット内の空気を直接吹出すことができる床吹出ファンを設置した。

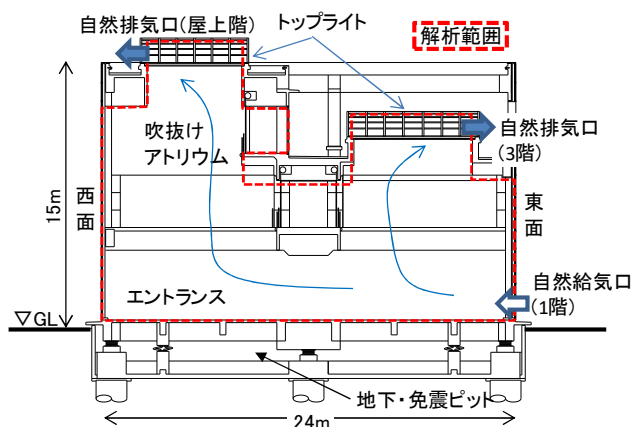
4.1 自然換気システム

図 5 に自然換気システムの自然給気口および自然排気口の位置を示す。自然給気口は 1 階東面に 1 ヶ所設置し、自然排気口は 3 階のトップライト (東面) に 1 ヶ所、屋上階のトップライト (西面) に 1 ヶ所、それぞれ設置した。

写真 1 に東面の自然給気口と自然排気口を示す。自然給気口は、1 階中央部の 4 ブロックで、自然排気口は、トップライトの 4 ブロックである。自然給気口および自然排気口はスケジュールタイマー (平日 6 : 00 ~ 20 : 00) と各種センサー (降雨、風速、温湿度) により自動開閉する。写真 2 に各種センサーの設置状況を示す。また、表 3 に自然給排気口の閉鎖条件を、表 4 に風向の条件による自然換気パターンをそれぞれ示す。



a) 1階平面図



b) a-a' 断面図

図5 自然給気口および自然排気口位置



写真1 自然給気口・自然排気口(東面)

表3 自然給排気口の閉鎖条件

瞬間風速	10m/s 以上
外気温	14℃以下または36℃以上
湿度	90%以上
その他	降雨時

表4 風向条件による自然換気パターン

風向	1階給気	3階(東)排気	屋上(西)排気
無風	開放	開放	開放
東風	開放	閉鎖	開放
西風	開放	開放	閉鎖



写真2 各種センサーの設置状況

4.2 床吹出ファン

表5に床吹出ファンの仕様および外観を示す。エントランス打合せコーナー床に6ヶ所床吹出ファンを設置した。床吹出ファンは、打合せコーナーの使用時間に合わせ、スケジュールタイマー(冬季を除く平日 9:00~17:00)による制御とした。

表5 床吹出ファンの仕様および外観

形状：直径220丸型
 風量：150m³/h・個
 電源：DC24V 0.16A



5. アトリウム温度の計測と事前の解析

自然換気システムおよびクールトレンチ給気の効果検証を目的として、アトリウム高さ方向の温度計測を行い、熱流体解析による結果との比較を行った。

5.1 熱流体解析の方法

熱流体解析には「WindPerfectDX⁶：環境シミュレーション社製」を使用した。解析条件を表6に示す。

表6 解析条件

・乱流モデル：標準 k-ε モデル
・計算領域：20m(X) × 24m(Y) × 17m(Z)
・格子数：162(X) × 116(Y) × 108(Z) (要素数約 50 万)
・最小格子幅：0.1m(X) × 0.1m(Y) × 0.1m(Z)

5.2 解析概要

5.2.1 解析範囲

解析範囲は、エントランスホールを含むアトリウム全体とした。図6に解析モデルを示す。

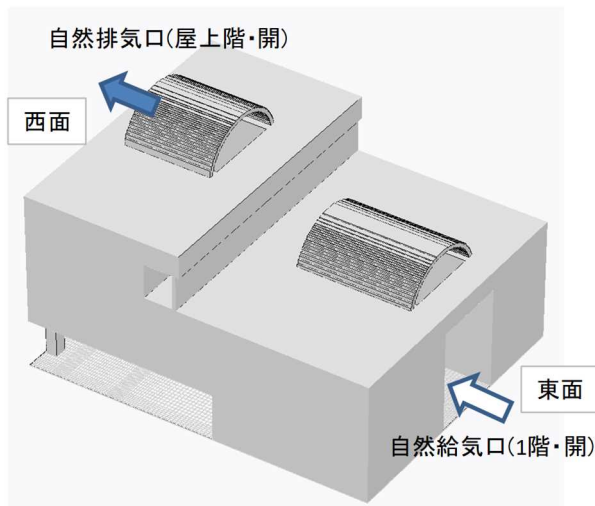


図6 解析モデル

5.2.2 解析条件

解析時期は中間期中でも気温の高い6月とした。

(1) 気温・風の条件

- 気温：24.6℃ (6月の最高気温の平年値、つくば市)
- 風速：2.4m/s (6月の平均風速の平年値、つくば市)
- 風向：東 (6月の最多風向の平年値、つくば市)

(2) 日射

- カーテンウォール面からの日射 396W/m²
(午前：東面、午後：西面)

(3) 流入・流出条件

- 1F 給気：1.8m/s
- RF 排気：自然流出
- 吹出温度 20.2℃(免震ピットの6月の平均気温)

5.2.3 解析ケース

表7に解析ケースを示す。この内、計測値との比較は、「Case0」および「Case2」について行った。

表7 解析ケース

Case0：換気なし(午前・午後)
Case1：自然換気(午前・午後)
Case2：自然換気+クールトレンチ(午前・午後)
Case3：クールトレンチ(午前・午後)

5.3 東側アトリウムの温度計測概要

東側アトリウムの床から1.5m、3.5m、5.5m、7.5m、9.5mの高さに温度計を設置した。計測に用いた機器は、おんどとり(温度データロガー)で自動計測し2017年6月から2018年7月まで1時間ごとに記録した。

5.4 解析値と計測値

比較に用いた計測値は、解析条件である春季の外気温24.6℃、風速2.4m/sに近い日を用いた。表8は比較に用いた計測値の時間、外気温、風速に関する条件である。

表8 比較に用いた計測値の条件(2018年5月5日(土))

ケース	時刻		外気温	風速
Case0:換気なし	午前	12:00	23.6℃	2.5m/s
	午後	16:00	24.1℃	2.6m/s
Case2:自然換気+クールトレンチ	午前	12:00	24.6℃	2.7m/s
	午後	16:00	24.2℃	2.6m/s

図7にアトリウム断面温度分布の解析値と計測値を示す。

「Case0 換気なし」の場合、解析では午前の2階は25℃、3階で東面の午前の日射の影響で33℃、午後は西面の日射の影響で2階は30℃、3階は31℃になっている。これに対し、計測値では、午前の2階は25.5℃、3階は34.6℃、午後は、2階は25.6℃、3階は30.4℃となり、午後の2階部分に違いはあるものの解析値と計測値はほぼ同じ結果となった。

「Case2 自然換気+クールトレンチ」の場合、解析では午前の2階で25℃、3階は33℃になっている。午後は2,3階で、28℃になっている。これに対し、計測値では、午前の2階は26.4℃、3階は29.1℃、午後の2階は26.1℃3階は28.3℃となっており、解析値と計測値はほぼ同じ結果となった。

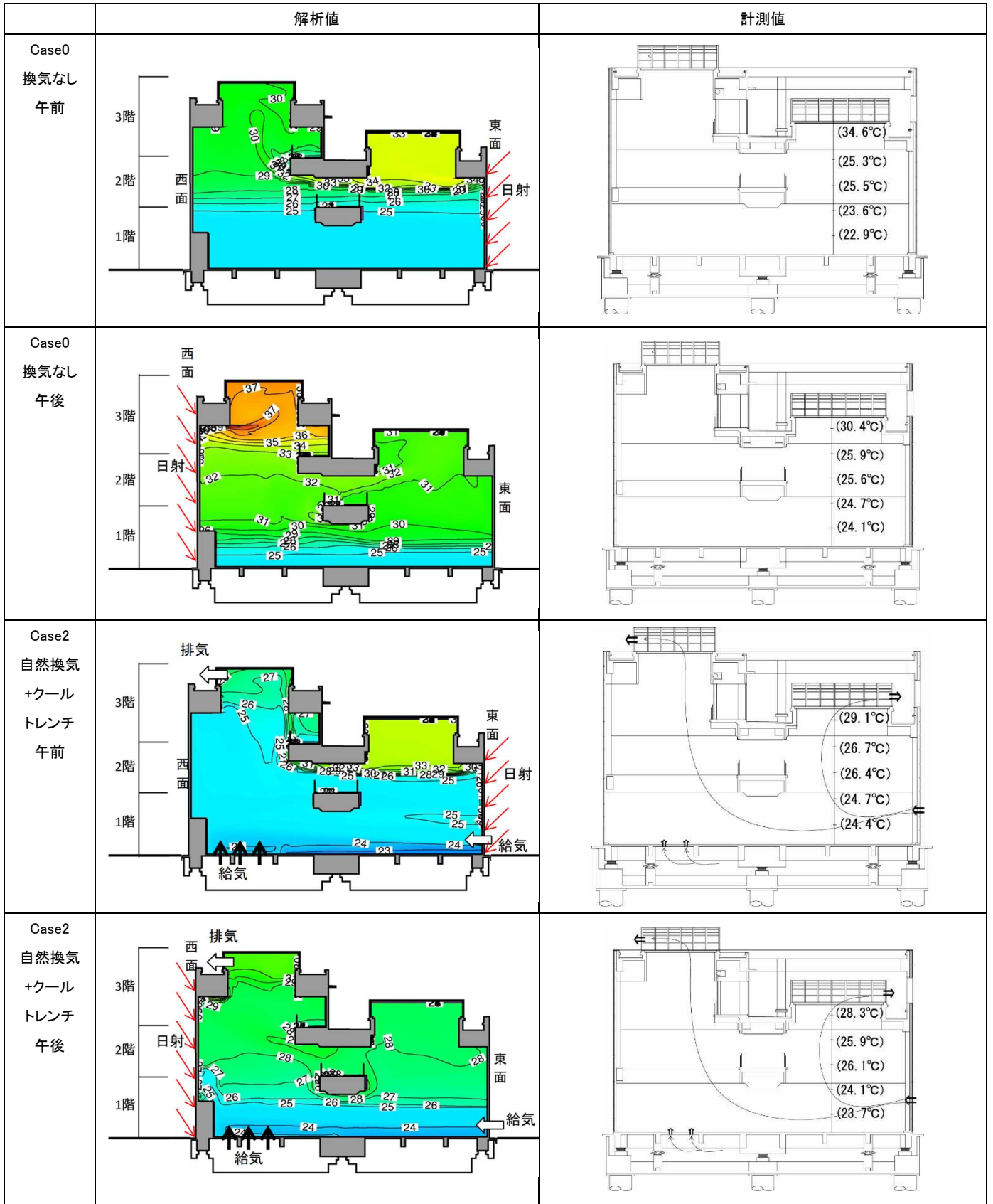


図7 アトリウム断面温度分布解析値と計測値

6. 夏季におけるエントランスホール温熱環境の実測に基づく検証

アトリウム空間の中でも打合せなどで利用するエントランスホールの熱環境は、事前の熱流体解析により春季には「自然換気」システムを運用することでその快適性が保たれると予測された。そして、夏季についてもエネルギー削減の観点から「自然換気」システムにて運用する計画とした。ここでは夏季におけるエントランスホールの熱環境について、温度計測によって検証した結果について述べる。

6.1 夏季における自然換気システムの効果の検証

2017年夏季(7月～9月)のエントランスホール、外気およびクールトレンチの温度を図8に、同様に2018年夏季(7月～9月)の温度を図9にそれぞれ示す。2017年、2018年共、エントランスホールの温度は、外気温の変動に左右されず、クールトレンチの温度より2～3℃高い値で追従している。写真3にエントランスホールの温度センサー設置状況を示す。



写真3 エントランスホール温度センサー設置位置

2017年は、自然給気口および自然排気口の閉鎖条件である外気温が36℃を越えた日数は8日間(その内平日は3日間)であり、外気温の最高値は38.4℃であった。自然換気システムは、平日のほとんどの日数で作動している。また、エントランスホールの室温が29℃を越えた日数は5日間(その内平日は1日)であり、空調機による冷房運転の必要はなかった。2017年は、「自然換気」システムが有効に働くことで外気温の割にはエントランスホール内での熱環境の快適性が保たれていたことが確認できた。一方、2018年は、36℃を越えた日数は20日間(その内平日は12日間)、また、外気温の最高値は42.0℃であり、2017年と比較すると外気温の高い日が多かった。このため、自然換気の運用のみではエントランスホールの快適性が損なわれると判断し、空調機の冷房運転を行った。運転日数は8日間、空調機の設定温度は28℃、吹出温度は25℃として運転した。

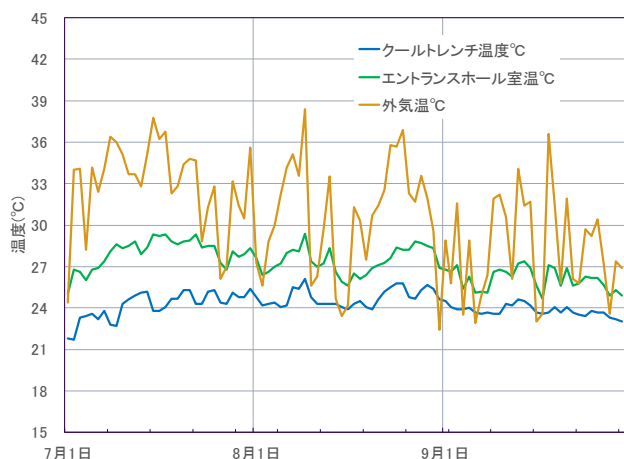


図8 夏季におけるエントランスホールの温度(2017年)

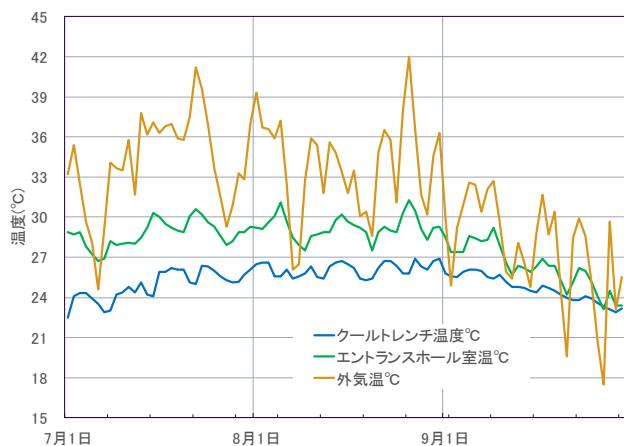


図9 夏季におけるエントランスホールの温度(2018年)

6.2 夏季におけるアトリウム空間の断面温度分布

図10に夏季のエントランス断面温度分布を示す。また、計測条件を表9に、計測機器を表10にそれぞれ示す。

アトリウムの1FL+1.5m、+3.5m、+5.5mの温度は、それぞれ28.5℃、30.1℃、31.6℃と高さとともに上昇しており、居住域であるアトリウムの1FL+1.5mの高さのゾーンは、コンクリート躯体の熱容量、クールトレンチからの吹出温度およびアトリウム上下の温度差による換気で28.5℃に保たれていると考えられる。アトリウムの1FL+9.5mの温度は、38.7℃で自然排気口よりも3℃程度高い。打合せコーナーは床吹出ファンから27.1℃の空気を吹出されることで、快適な環境となっている。

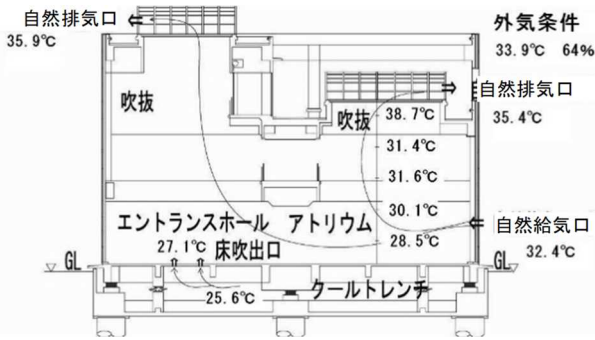


図 10 エントランスホール断面温度分布

表 9 断面温度分布計測条件

日時：2017年7月19日10:00
天候：晴れ
自然給気口、自然排気口の状態：開
クールトレンチ床吹出ファン：運転

表 10 断面温度分布計測機器

アナモマスター：自然給気口、排気口、床吹出ファン
おんどとり：アトリウム5ヶ所
中央監視：外気温、湿度、エントランス室温

6.3 「自然換気」システムの省エネ効果

エントランスホールの熱環境は、ZEB 化改修前は閉鎖的な空間を空調機により冷房することで室温を調整し、快適性を保っていた。一方、ZEB 化改修後は、「自然換気」システムの採用により、猛暑時以外は、空調機の必要の無い空間とすることができ、空調機の運転消費電力を削減することができた。その効果を検証するため、ZEB 化改修前と改修後の消費電力を比較した。なお、ZEB 化改修前の消費電力は、改修後のエントランスホール温度計測に基づく推定値を改修後の消費電力には、実際の計測値を採用した。比較した期間は2018年7月から9月である。

図 11 に 2018 年 7 月から 9 月の ZEB 化改修前と ZEB 化改修後の消費電力合計値を示す。また、表 11 に空調機の仕様を、表 12 に ZEB 化以前の空調機運転条件をそれぞれ示す。ZEB 化改修後の消費電力は床吹出ファン 130kwh、空調機運転時の熱源 880kwh、空調機送風機 66kwh の計 1,076kwh に対し、ZEB 化改修前は空調機の熱源 15,889kwh、空調送風機 6,413kwh の計 22,302kwh と想定され、消費電力は ZEB 化改修前との比較において約 95%削減となった。

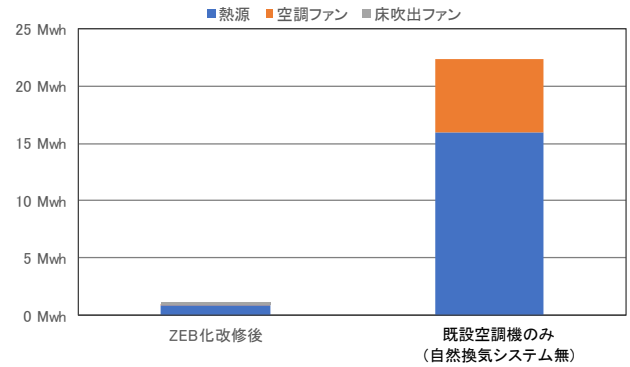


図 11 ZEB 化前後の消費電力比較

表 11 空調機仕様

既設エアハンドリングユニット
冷房能力：75kw/h 暖房能力：59.9kw/h
送風機：16,000m ³ /h×50mmAq×7.5kw
冷温水はモジュラーチラーから供給

表 12 ZEB 化前の空調機運転条件

空調機運転時間：平日 6:00~20:00
空調機設定温度：28℃ 吹出温度：25℃
エントランス室温・湿度：計測値
空調機吹出空気絶対湿度：エントランスの値
送風機風量：定格風量

7. まとめ

技術研究所本館 ZEB 化改修の計画段階での解析と ZEB 化改修後の計測との比較を行った結果、ZEB 化本来の目的である一次エネルギー消費削減率が設計値に対し計測値で上回った。また、要素技術の1つである自然換気システムにおいて、アトリウム温度計測値は事前解析結果とほぼ同じ結果が得られた。

CO₂削減に向けた世界的な流れの中、企業の環境への配慮も多様化している中、今回の ZEB 化改修の実績をもとに、継続して研究を進め最新の省エネルギー技術を盛り込んだエネルギー運用をお客様へ提案することで、地球環境問題に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 林宣夫・安藤慎二・花田俊之・川原淳一・熊井晴彦・伊藤真二：技術研究所本館 ZEB 化改修工事におけるアトリウムの熱環境シミュレーション、株式会社鴻池組技術研究報告、Vol. 27、pp. 37-42、2017. 7
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー対策課：ZEB ロードマップ検討委員会とりまとめ、2015. 12
- 3) 一般社団法人環境共創イニシアチブホームページ
<https://sii.or.jp/>
- 4) 永井久也・渡辺孝佳・孫元得・田中英紀・奥宮正哉・中原信生：床下ピットを用いた空調外気負荷低減システムに関する研究、日本建築学会技術報告集、第 6 号、pp. 121-126、1998. 10
- 5) 芦谷友美・白石靖幸・安永 龍一・龍有ニ：CFD 解析による夏季及び冬季の地下ピット内伝熱性状の動的評価 土壌熱交換システムの冷却・加熱効果の予測手法に関する研究（その 1）、日本建築学会環境系論文集、第 677 号、pp. 575-582、2012. 7
- 6) 株式会社環境シミュレーションホームページ
<http://www.env-simulation.com/jp>