

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

A Simulation Analysis for the Thermal Environment of the Atrium Space in ZEB Renewal Building of Research Institute of Technology

林 宣夫*1 安藤 慎二*1 花田 俊之*1
Norio Hayashi Shinji Ando Toshiyuki Hanada
川原 淳一*1 熊井 晴彦*2 伊藤 真二*3
Junichi Kawahara Haruhiko Kumai Shinji Ito

要旨

日本国内で相当数を占める中小規模ストックビルの省エネルギー化は、緊急を要する課題となりつつある。このような状況の中で、既存建物の省エネルギー化を目指し、技術研究所本館の ZEB (Net Zero Energy Building) 化改修工事を行なった。ZEB 化改修工事では様々な要素技術を採用し、一次エネルギー消費量を 50% 以上削減し、ZEB Ready の第三者評価を取得した。本報告では、ZEB 化要素技術の概要を述べるとともに、その中で採用した自然換気システムの効果と事前に検証するために実施したアトリウムの熱環境シミュレーションについて述べる。

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

2014 年 4 月、国のエネルギー基本計画として ZEB に関する政策が閣議決定された。政府は「建築物については、2020 年までに新築公共建築物等で、2030 年までに公共建物以外の建築物も含め新築建築物の平均で ZEB を目指す」とする政策目標を設定した。

東日本大震災以降、建築物の省エネルギー化への関心の高まりを受け、当社では ZEB に関する研究開発に取り組んできた。技術研究所の本館は、1997 年の竣工以来、20 年間にわたり研究開発の拠点として使われてきた。この建物を居ながら ZEB 化改修することで、今後増加が予想される既存ビル改修のモデルケースにするとともに、採用した最新の要素技術を検証する体験型実証モデルとして運用し、様々なデータの蓄積を図っていく予定である。

本報告では ZEB 化要素技術の概要を述べるとともに、その中で採用した自然換気システムの効果と事前に検証するために実施したアトリウムの熱環境シミュレーションについて述べる。

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)¹⁾により、それまであいまいであった ZEB の概念が以下のように定義された。

○『ZEB』: 再生可能エネルギーを加えて、100%以上の一次

エネルギー消費量を削減

○NearLy ZEB: 再生可能エネルギーを加えて、75%以上 100%未満の一次エネルギー消費量を削減

○ZEB Ready: 再生可能エネルギーを除き、50%以上の一次エネルギー消費量を削減

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となっている。

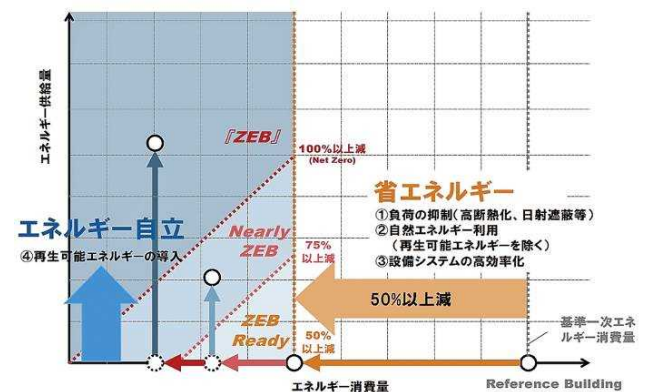


図 1 ZEB の定義・評価方法(ZEB の定義イメージ)¹⁾²⁾

3. ZEB 化要素技術の概要

3.1 ZEB 化コンセプト

今回の ZEB 化改修では、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、以

*1 東京本店 設備エンジニアリング部 *2 設計本部 建築設計第 2 部 *3 技術研究所

下に示す要素技術を採用した。建物概要を表1に、ZEB 化コンセプトを図2に示す。これらの技術を導入することにより、一次エネルギー消費量は一般的な標準ビルと比較して 51%削減することが可能となり、太陽光発電設備による創エネルギー分を加え、削減率 59%を達成した。

①エネルギーを減らす

建物の周りに存在する様々な外的要因によるエネルギー負荷を削減することでハイパースリムな建物を目指す。

〔採用要素技術〕後付け Low-E ガラス（写真 1）、後付け二重窓による複層化、日射追従ルーバー、太陽光追尾自動ブラインド、内貼断熱、吹抜けを利用した最適自然換気システム（写真 2）

②エネルギーを上手に使う

居住者の快適性を確保しながらエネルギーロスを減らし、効率のよいエネルギー制御・運用を行なう。

〔採用要素技術〕高効率空調機への更新、パーソナル吹出しによるタスク&アンビエント空調、輻射冷暖房、CO₂ 連動全熱交換換気、大温度差変流量制御、空調変風量制御、自動調光型 LED 照明、タスク&アンビエント照明（写真 3）、超高効率変圧器への更新、BEMS による最適な統合制御と管理（写真 4）

③エネルギーを創る

自然界に存在する再生可能エネルギーを積極的に利用することで、消費エネルギーの削減を行なう。

〔採用要素技術〕太陽光発電による電力系統連系、太陽熱の空調熱源利用、クールトレンチによる地熱利用

表 1 建物概要

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

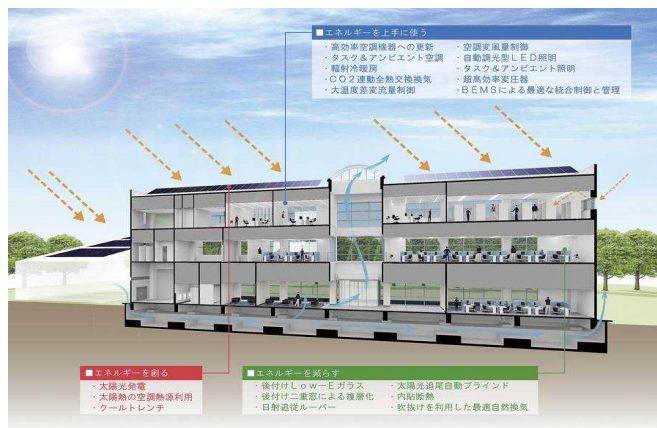


図 2 ZEB 化コンセプト



写真 1 後付け Low-E ガラス



写真 2 自然換気開口

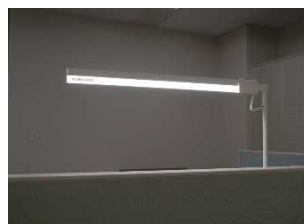


写真 3 タスクライト



写真 4 BEMS 管理の一例

3.2 改修工事

建物を使用しながらの工事であるため、技術研究所関係者と打ち合わせを密に行い、所員の執務空間および動線が確保できる工事計画とした。また、建築工事と設備工事の施工期間を調整することで、空調停止期間の短縮や作業の平準化に配慮して工事を進めた。

3.3 BELS 認証

本工事は、ZEB 補助金対象工事の条件である 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ている。評価は、『ZEB Ready, ★★★★★』(図 3) 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。空調・照明・断熱などによる大幅な削減に加え、再生可能エネルギーである太陽光発電による創エネルギーにより達成している。

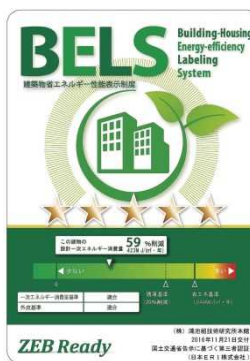


図 3 BELS 評価プレート

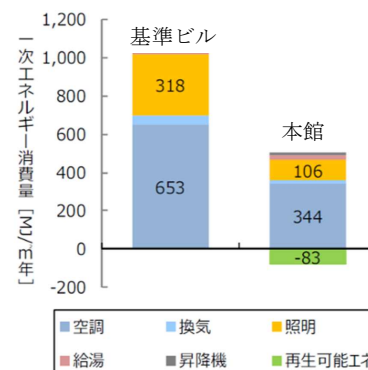


図 4 エネルギー性能評価

4. 自然換気システムの概要

本館全景を写真 5 に示す。1 階エントランスホール上部には 3 層吹抜けのアトリウムがあり、3 階および屋上階はトップライトとなっている。ZEB 化要素技術の一つとして、このアトリウムを利用した自然換気システムを導入し、その効果を検証することとした。また本館は免震構造であり地下には免震ピットがある。免震ピットなどの地下ピットは年間を通じて温度が安定しており、この地下ピットをいわゆるクールトレンチ³⁾⁴⁾として利用することも計画した。



写真 5 本館全景

4.1 自然換気システム

自然換気システムの給気および排気の位置を図 5 に示す。給気は 1 階東面に 1 ケ所設置し、中間期(4~6 月、9~11 月)に卓越する東風に対して有効な配置とした。排気は 3 階トップライトの東面および屋上階トップライトの西面に 2 ケ所設置する計画とした。本自然換気システムは、屋上に設置した各種センサーにより外部気象条件を測定し、それにより給排気開口(写真 2 参照)を開閉することが可能となっている。表 2 に給排気開口の開鎖条件を、表 3 に風向の条件による自然換気パターンをそれぞれ示す。

表 2 給排気開口の開鎖条件

瞬間風速10m/s以上、 外気温14℃以下、降雨時

表 3 風向条件による自然換気パターン

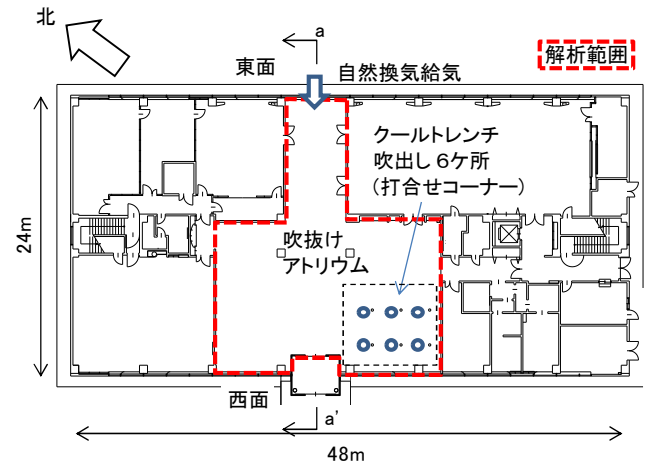
風向	1階給気	3階(東)排気	屋上(西)排気
無風	開放	開放	開放
東風	開放	閉鎖	開放
西風	開放	開放	閉鎖

4.2 クールトレンチ

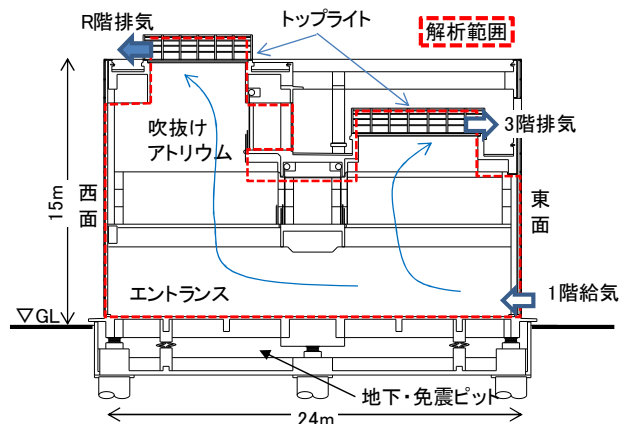
クールトレンチにおける吹出し口(図 5 参照)は、1 階エントランスの打合せコーナーに設けた。床スラブに 6 ケ所の貫通孔をあけ、ファンを設置し、免震ピット内の空気を当該エリアに取り入れる計画とした。

4.3 免震ピットの温度測定

免震ピットをクールトレンチとして利用することを目的として、事前に温度測定を行った。期間は 2014 年の 1 年間とした。図 6 に免震ピット内部の温度および昼間(9 時~18 時)の外気温の日平均値を示す。免震ピット内部の温度は図のように日変動が少なく外気温に比べ安定している。5 月から 8 月までは外気温に比べ低く、この期間は免震ピットをクールトレンチとして利用できることが確認された。



a) 1階平面図



b) a-a'断面図

図 5 自然換気システムの概要

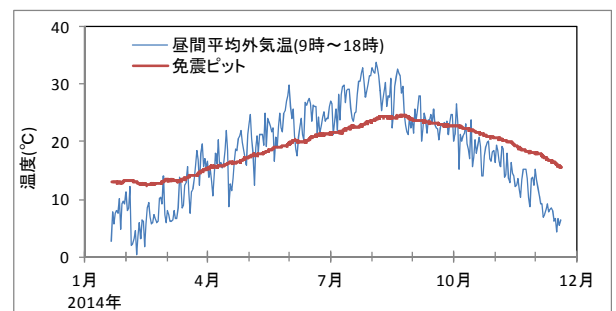


図 6 免震ピットの温度測定結果

5. アトリウムの熱環境シミュレーション

自然換気システムおよびクールトレンチの効果を検証することを目的として、コンピュータシミュレーションによる熱・流体数値解析、CFD(Computational Fluid Dynamics)解析を行った。

5.1 熱流体解析の方法

アトリウム空間およびそれを囲む壁、床、屋根などの建物の部分をモデル化し、コンピュータによる数値流体解析を行い、アトリウム空間の温度分布を予測した。

数値流体解析には「WindPerfectDX⁵⁾:環境シミュレーション社製」を使用した。解析条件を表4に示す。

表4 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(X)

5.2 解析概要

5.2.1 解析範囲

解析範囲(図5参照)は、吹抜けのアトリウムの内部、アトリウムと繋がっている1階エントランスホール、2階および3階の廊下部分とした。図7に解析モデルを示す。

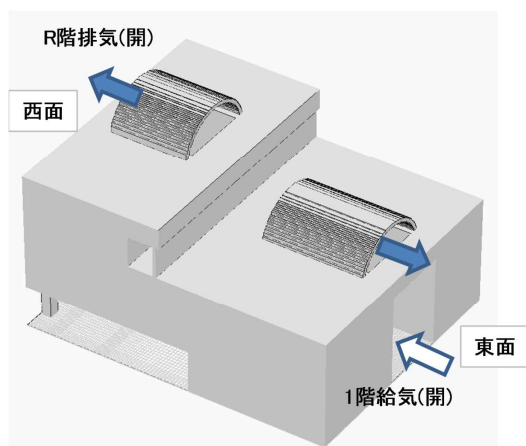


図7 解析モデル

5.2.2 解析条件

解析時期は中間期の中でも気温の高い6月を想定した。

(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

クールトレンチ吹出し：6ヶ所

開口面積 0.01m²/ヶ所

風量 150m³/時間/ヶ所

吹出し温度 20.2℃(免震ピットの6月の平均気温)

5.2.3 解析ケース

表5に解析ケースを示す。解析検討は「Case0 換気なし」に対して自然換気およびクールトレンチによって温度分布がどの程度変わるか比較することによって評価した。

表5 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 解析結果

図8にアトリウムの断面温度分布を示す。「Case0 換気なし」の場合、午前は東面、午後は西面の日射により温度が上昇している。特に、午後には2階以上の高さで30℃以上まで上昇することが予測された。一方、「Case1 自然換気」の場合には、外気を導入することによって日射による温度上昇が抑えられており、午後でもトップライト付近まで概ね30℃以下に抑えられている。また、「Case2 自然換気+クールトレンチ」の場合では、免震ピットからの給気により床付近の温度も低くなることが確認された。

図9に打合せコーナーの温度分布(断面、高さ0.5m、午後)を示す。「Case0 換気なし」の場合、打合せコーナーの温度は25℃程度と予測されたのに対し、「Case3 クールトレンチ」の場合には免震ピットからの給気により23℃程度まで温度が低下することが予測された。

表6に打合せコーナーの高さ1mまで、表7にアトリウムの高さ2mまで、表8に2階渡り廊下+2mまでの解析空間の平均温度をそれぞれ示す。打合せコーナーの温度はクールトレンチの効果により、午前で2.7℃、午後で1.4℃低下する結果となっている。また、アトリウム全体の温度では自然換気およびクールトレンチの効果により午前で0.3℃、午後で1.0℃、2階の渡り廊下では自然換気により午前で2.1℃、午後で2.7℃、それぞれ低下することを確認した。

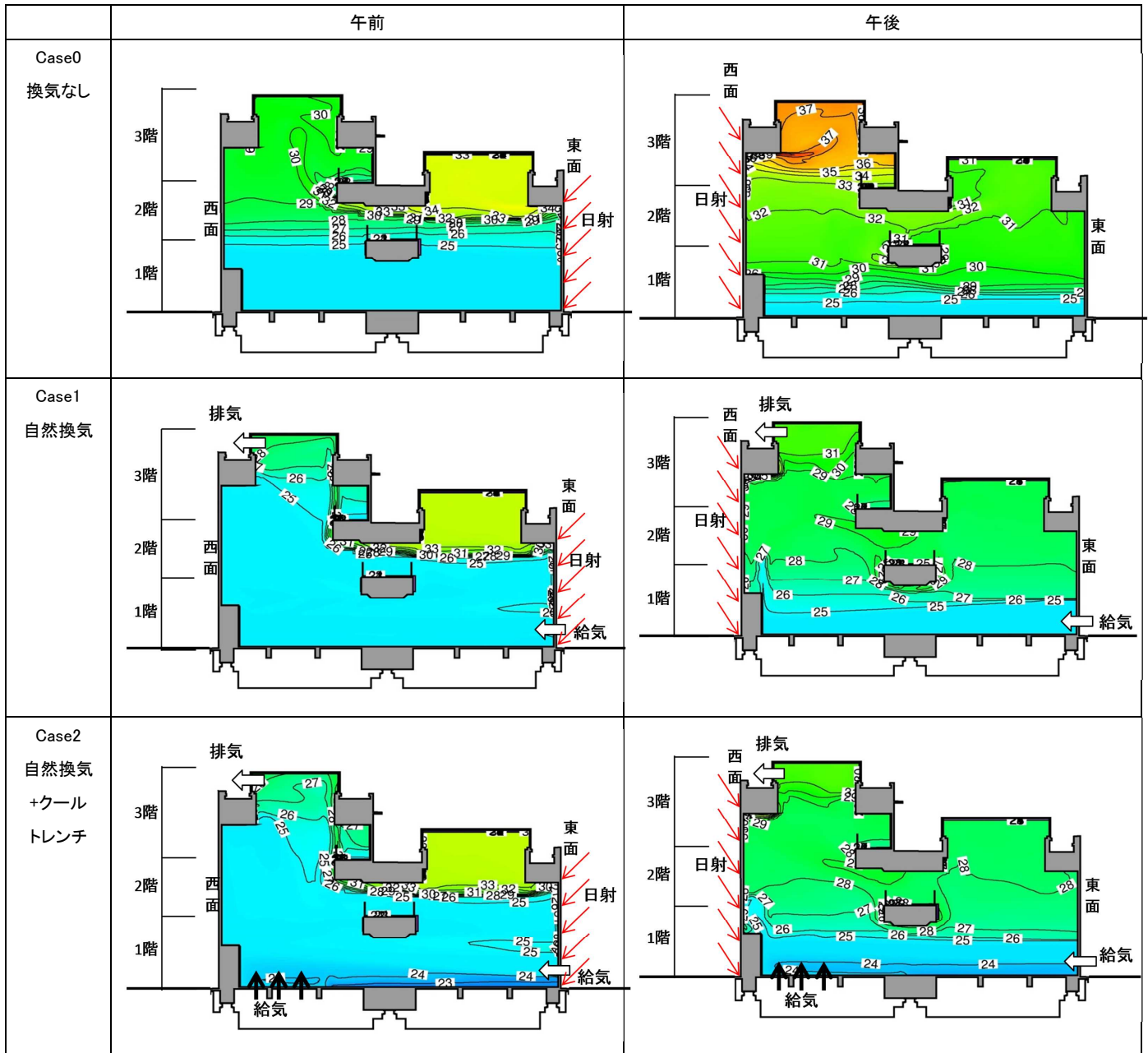


図8 アトリウムの温度分布(断面図)

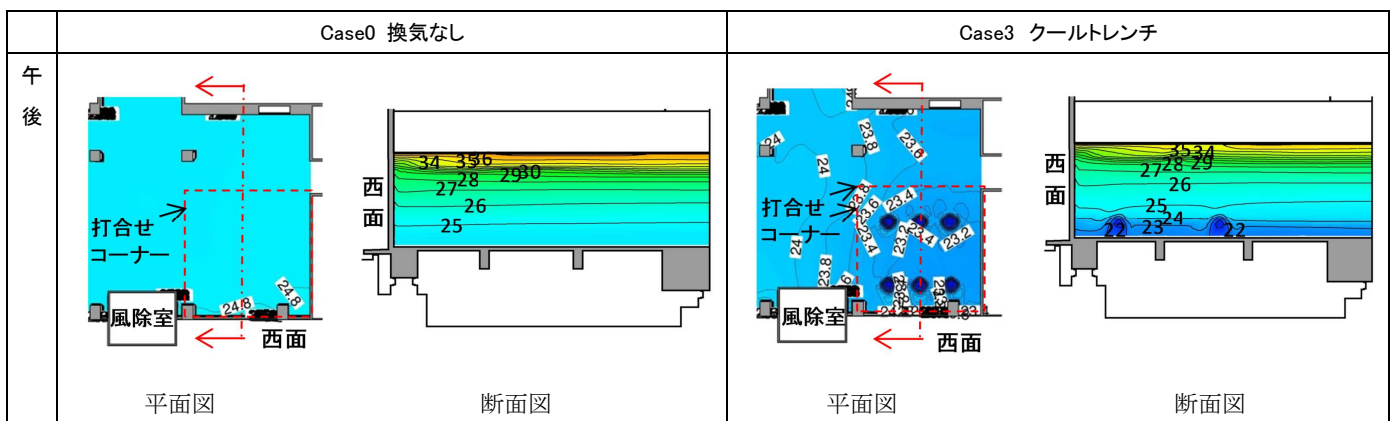


図9 打合せコーナーの温度分布

表 6 空間平均温度(打合せコーナー 高さ 1m まで)

	午前	午後
Case0 換気なし	24.5	25.0
Case3 クールトレンチ	21.8	23.6
対Case0差	-2.7	-1.4

表 7 空間平均温度(アトリウム 高さ 2m まで)

	午前	午後
Case0 換気なし	24.6	25.3
Case2 自然換気	24.3	24.3
+クールトレンチ 対Case0差	-0.3	-1.0

表 8 空間平均温度(2 階渡り廊下 高さ 2FL+2m まで)

	午前	午後
Case0 換気なし	27.7	31.4
Case1 自然換気	25.6	28.7
対Case0差	-2.1	-2.7

6. まとめ

新築から 20 年が経過した技術研究所本館を対象として ZEB 化改修工事を行った。ここでは、エネルギーを①「減らす」、②「上手に使う」、③「創る」の 3 つのコンセプトのもと、様々な要素技術を採用し、一次エネルギー消費量を 50% 以上削減し、BELS 認証を取得することができた。これらの採用技術の中で、特に既存建築物の特徴を利用した 3 層吹抜けアトリウムおよび免震ピットによる自然換気システムについては事前に熱流体解析を行い、その効果を検証した。

新しく建てられる建物については、最新の省エネ技術が数多く取り入れられ、環境に配慮した建築物の建設により省エネ化が急速に進みつつあるが、今回のような既存建築

物の改修によるエネルギー効率の改善はこれからの時代に必要不可欠である。

国が 2015 年に閣議決定した「長期エネルギー需給見通し」を達成するためには、新築物件だけでなく既存建物の省エネルギー化の推進が求められており、そのためのさまざまな支援制度も準備されている。

今後は光熱費の削減や再生可能エネルギーによる環境負荷の低減など、省エネルギー化に対する取り組みがあたりまえとなる時代がやってくる。

今回、ZEB 化改修を行った技術研究所は、実証モデルとしてデータの収集、運用のノウハウを蓄積していくとともに、お客様が ZEB を体験しながら見学していただける施設として活用する。

今回の ZEB 化改修の実績を活かし、最新の省エネルギー技術を取り入れたエネルギー運用をお客様に提案するとともに、継続して研究開発を進め、ハイレベルで実用的な ZEB の実現を目指していく。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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/>
- 3) 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
- 4) 芦谷友美・白石靖幸・安永 龍一・龍有二：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
- 5) 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>