第6回 サステナブル建築賞 ―商業施設その他部門―

一般財団法人　建築環境･省エネルギー機構理事長賞

主催：一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構

福島白河第一データセンター

本施設ではPUE*1＜1.2を目標として、外気の高度利用による省エネルギー空調システムを計画した。建築・設備の総合的なエンジニアリングにより、冷却に必要となる多量の外気導入･空気流通に適した建築形態、および、建築と設備が融合した建築一体型空調システムを構築するとともに、外気の高度利用を可能とするための各種周辺技術の開発・検証を行った。

設計段階のシミュレーションに基づいた計画・性能予測、施工段階の各種実験による性能確認、および、運用段階の実績値による性能検証、継続的な運用改善とプロジェクトを俯瞰し、計画的に目標達成に向け取り組んだ。

設計時の予測、運用実績の分析から、IT機器負荷率*2が50%に増加した時点で、計画目標のPUE＜1.2が達成される見込みである。

*1 PUE (Power Usage Effectiveness)

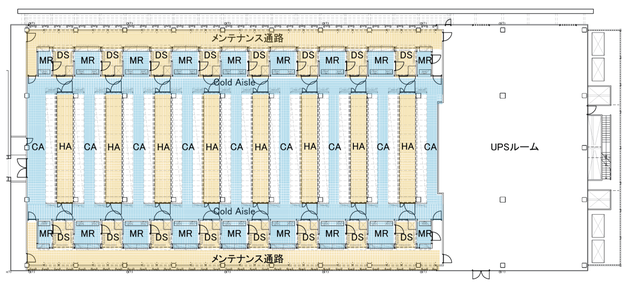
$$PUE = \frac{\text{データセンター全体の消費電力}}{\text{IT機器による消費電力}}$$

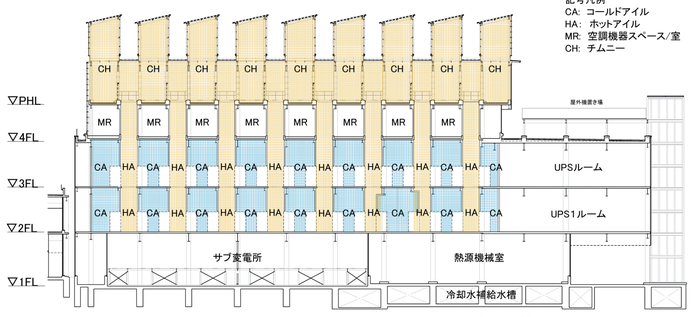
*2 IT機器負荷率　計画電源容量に対するIT機器消費電力の割合



1 外気の高度利用による省エネルギー空調システムの構築

1-1 外気の直接利用





□ サーバー棟　3階平面図、断面図

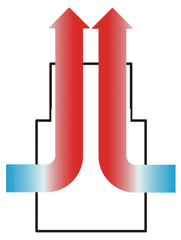
外気直接利用に適した建築形態

サーバー棟は4階建てであり、1階に熱源機械室、サブ変電所、2･3階にサーバールーム、UPSルーム、4階にチャンバー、塔屋にチムニーを配置した。サーバーラックはコールドアイルとホットアイルの境界に1列20台（柱のある列は18台）、合計608台設置されている。積層して設けられたサーバールームのホットアイルは吹抜けとなっており上部のチャンバー・チムニーに接続されている。

サーバールーム外側に空調機器室、ホットアイルからの還気経路となるダクトシャフト、外気導入、外気と還気の混合を行うメンテナンス通路が配置されている。

サーバーの熱排気を棟外へ排出することをサーバー冷却の基本とし、建物側面に外気取入口、塔状の建物上部に排気口を設け、自然にエアフローが形成される建築形態を計画した。

多量の空気の流路はコールドアイル・ホットアイル、メンテナンス通路を利用し、人と空気の動線を兼用して断面積を拡大し、圧力損失を低減している。建築各部の形状・寸法は、設計と同時に繰り返し行ったCFDに基づき計画された。



□ 自然にエアフローを生む建築形態

6つの空調モードと空調プロセスの計画

年間を通じて連続的に最大限、外気の直接利用を行うため、Mode1～6の空調モードとその空調プロセスを計画した。

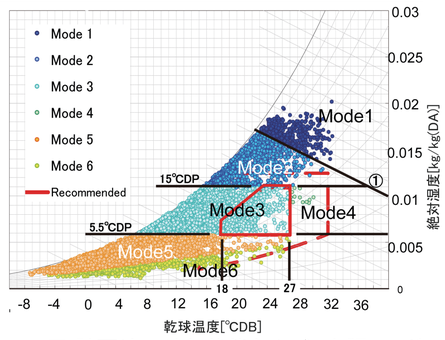
空調システムの各部の機能、構成機器は以下の通りである。

外気導入機能：	外気ガラリ・フィルター・MD①
冷水冷却機能：	MD②・冷水コイル
コイル通過後空気・還気混合機能：	MD③
コイル通過前空気・還気混合機能：	MD④
送風機能：	サーバールームファン
排気機能：	フィルター・MD⑤・排気ガラリ
冗長化・加湿・除塵：	多目的空調機

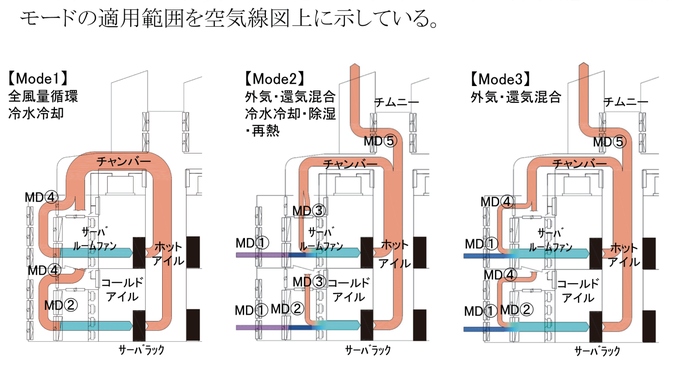
各Modeのエアフローと空調プロセスを下図に示す。

右図はASHRAE推奨条件の範囲と白河市の年間の外気状態での空調モードの適用範囲を空気線図上に示している。

空調モードの選択はコールドアイル設定温度の上限にサーバー排熱温度上昇分を加えた状態点（図中①）、および、設定露点温度・相対湿度の上下限により行われる。空調プロセスのシミュレーションにより、年間のサーバー発熱の83％を外気直接利用で処理可能と予測した。



□ 計画地の外気状態および、空調モード



□ 各Modeの空調プロセスとエアフロー



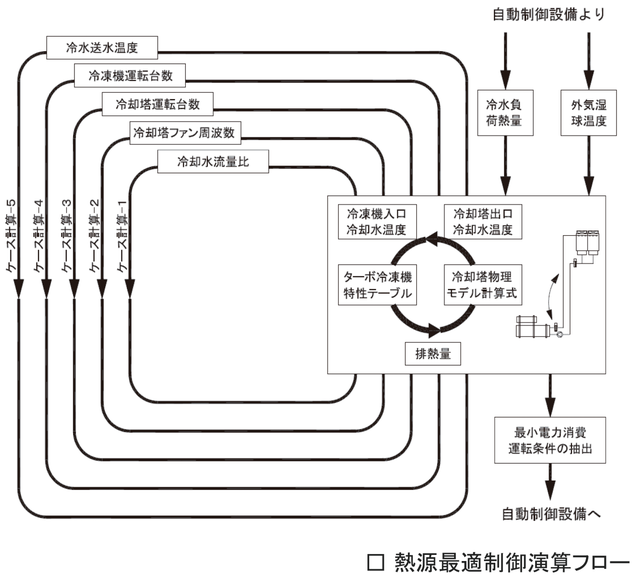
□ サーバー棟内部写真

1-2 外気の間接利用

熱源システムは、インバーターターボ冷凍機5台を主体として構成され、冷却水配管を統合・ループ化することにより、冷凍機と冷却塔の運転台数を自由に組合せることができる。

冷却塔による外気の間接利用と冷凍機の特性を活かすことを目的とした熱源最適制御では、冷凍機と冷却塔間の冷却水往き・還り温度の収束計算を、冷凍機特性のデータベース、および、強制通風冷却塔の理論式を用いて行っている。

冷水送水温度、冷凍機運転台数、冷却塔運転台数、冷却塔ファン風量、冷却水流量を変化させて行った演算結果の中から、合計消費電力が最も小さくなる組合せを抽出し、自動制御設備へ伝達している。



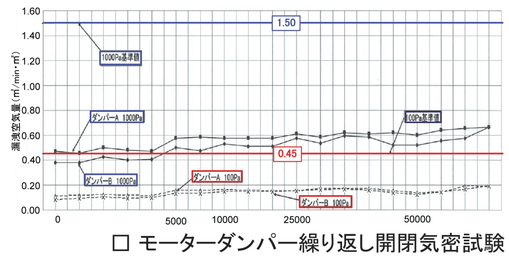
□ 熱源最適制御演算フロー

2 外気高度利用を可能とする周辺技術の開発・検証

2-1 モーターダンパー･ファンの検証

モーターダンパーは空気流路形成・風量制御、ガス消火防護区画の形成など重要な役割を担っている。気密構造の検討、繰り返し開閉気密試験を行い性能を確認した。

サーバールームファンには、大風量・低静圧での運転効率が高く、運転騒音が小さい、プラグファン形式のECファンを採用した。



□ モーターダンパー繰り返し開閉気密試験

2-2 空気質の測定・評価

外部空気質測定を行い、IT機器に対する影響評価を行った。JEITA-IT-1004の評価基準により、計画地の外気は、「温度・湿度が低く、ガスが検知されず、塵埃の少ない良好な環境」と評価した。

2-3 ガス消火設備　関連技術の検討・開発

「ガス消火区画を多数のモーターダンパーにより形成すること」、「火災の煙が区画外へ排出されるために消火設備の自動起動が難しいこと」の2つの課題を「モーターダンパーの自動定期点検による動作確認」、「超高感度煙検知器の検知信号により空調システムを全量循環空調モード（Mode1）へ切替、棟内に火災の煙を蓄積すること」により解決した。

3 施工段階の実験・検証と運用段階の検証・改善

3-1 施工段階での検証

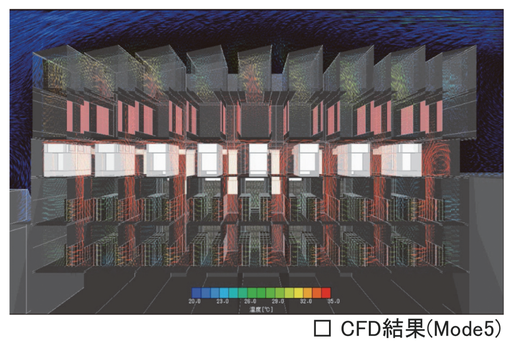
CFDによる検討

サーバー棟の内外空間を一体としてモデル化し外部風の影響を含めた検討を行った。外部風向・風速を変化させたCFD結果についてサーバールーム内の温度分布・圧力分布、サーバーラック通過風量を確認するとともに、チムニーの排気促進効果を検証した。

モックアップ実験

空調システムのモックアップを人工気候室内に製作、計画地の年間の気象条件を再現し、空調システムの各Modeの定常時の動作、Mode移行時の動作について実験を行い、自動制御プログラム・パラメータを調整した。

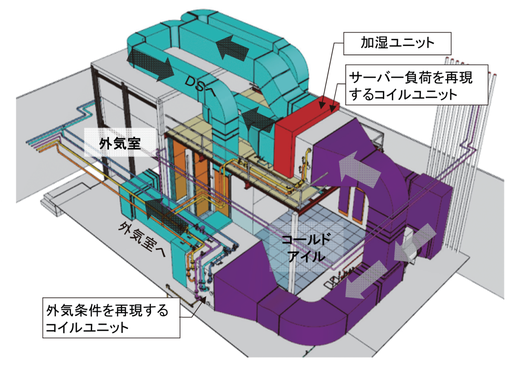
特にMode移行状態では、空調プロセス・エアフローが大きく変化する。移行状態を模擬した試験の計測値により、制御安定性を確認した。



□ CFD結果(Mode5)

実負荷試験

実負荷試験は、竣工前の施設にサーバーを模擬した負荷を設置して行った。試験では通常時に加え、停電・火災などの非常時についても、動作・性能を確認した。



□ モックアップ実験 環境装置部分

3-2 運用段階での性能検証･運用改善

運用状況の確認・PUE実績値の検証

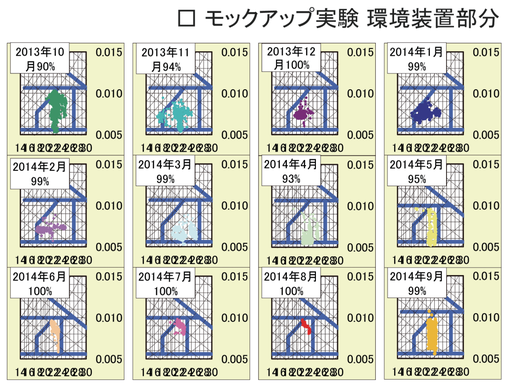
空調運転時間中、コールドアイルの測定温湿度が、設定温湿度範囲内となった時間の割合は年間で90.4％である。空調システムの動作・制御が良好に行われ、コールドアイル温湿度を適正に維持している。

2012年10月の施設供用開始後、サーバールーム内へのIT機器の設置が進められており、日積算電力消費量が暫時増大している。日積算電力量の消費の増加に伴い、PUEが低下した。

PUEは、「IT機器負荷率の変化」と「外気状態による空調システムの消費電力の変化」の2つの要因により変動する。 IT機器負荷率が低い状況では、システム効率の悪化、損失割合の増加によりPUEが増大する。

PUE実績値の評価ため、IT機器負荷率を横軸として、PUEの外気状態による変動幅、年間平均値を示すPUE予測曲線を作成した。

実績値から算出されたPUEは、IT機器負荷率の増加に伴い、おおよそPUE予測曲線をたどり低減している。2014年10月の月平均PUEは1.25である。

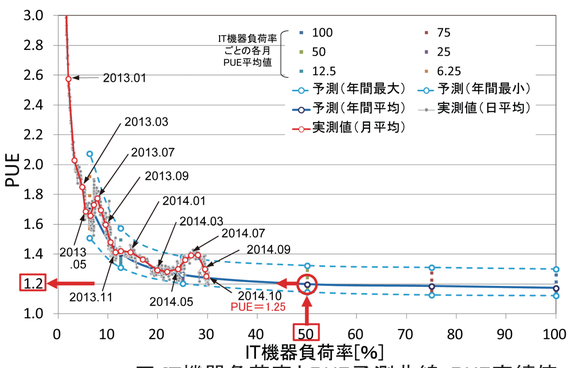


□ コールドアイル設定範囲と計測値

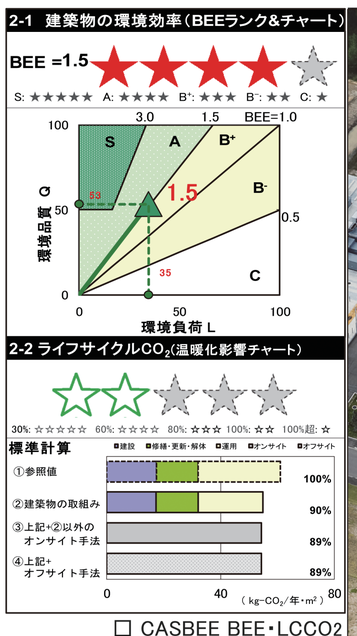
運用改善と目標値の達成

運用開始から2年が経過し、施設・設備側の運用改善はおおよそ完了している。現在、実施中、あるいは、実施予定の運用改善の対策は、設置されたITシステム機器の設定、および、運用基準の見直しである。

運用改善と合せ、IT機器負荷率50%付近で目標であるPUE＜1.2が達成される見込みである。



□ IT機器負荷率とPUE予測曲線・PUE実績値



□ CASBEE BEE･LCCO2

