

オークラヤ麹町ビル 過冷却を利用した 潜熱顕熱分離空調システム

(株)大林組 設備設計部 山 本 雅 洋・木 村 剛・平 井 大 介

■キーワード／潜熱顕熱分離空調・過冷却・快適性・省CO₂・性能評価

1. はじめに

環境省は平成17年度から地球温暖化対策および節電の取り組みとして、軽装化などを行うことにより、冷房設定温度を28℃設定などと、設定温度を高くするクールビズ空調を推奨してきた。

しかし、従来の空調システムでは、夏期の除湿は室内空気温度制御に伴う成り行きとなっていた。そのため、設定温度を高くするクールビズ空調の設定では、除湿量が減り、温熱環境を損なうものとなっていた。

そこで、オークラヤ麹町ビルでは、クールビズ空調時の快適性を向上させるため、室温以外の温熱環境要素として湿度に着目し、過冷却による除湿を利用した潜熱顕熱分離空調を開発・導入した。これにより、室内乾球温度28℃でも相対湿度45%以下の執務環境を可能とする空調システムを実現した。^{1) 2)} 本報では、この過冷却を利用した潜熱顕熱分離空調のシステムおよび、運用の実績について紹介を行う。

2. オークラヤ麹町ビルの概要

建 物 名 称 オークラヤ麹町ビル
所 在 地 東京都千代田区麹町
敷 地 面 積 344.8m²
延 床 面 積 2,563.2m²
階 数 地上8階、地下1階
構 造 S造(一部SRC造)
施 工 期 間 平成24年1月～平成25年3月
建 築 主 オークラヤ住宅(株)
設計・監理 (株)大林組

オークラヤ麹町ビルは東京都の都心に位置し、1フロアの執務面積が約200m²の地上8階・地下1階の事務所である。マルチグリッドシステムによるロバスト性を有する構造形式が採用され、ファサードに特徴を与えている。外壁の窓はボツ窓となっており、ペリメータの放射温度による温熱環境への影響が少ない建物となっている。これにより、快適性を室の温湿度に代表させて評価することとした。



写真-1 建物外観



写真-2 執務室内観

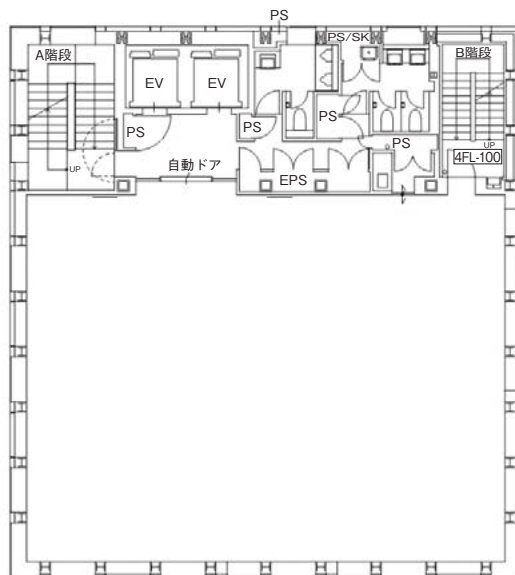


図-1 基準階平面図

3. 空調システムの概要

オークラヤ麹町ビルの空調方式は、汎用性や利便性が高いことから近年で中小規模のビルに多く採用されている個別分散型の空気熱源ヒートポンプエアコンとした。またメンテナンス性を考慮し、各階で給気および排気を行い、フロアごとに完結する空調システムとした。そのフロアごとの空調システムのフロー図を図-2に示す。

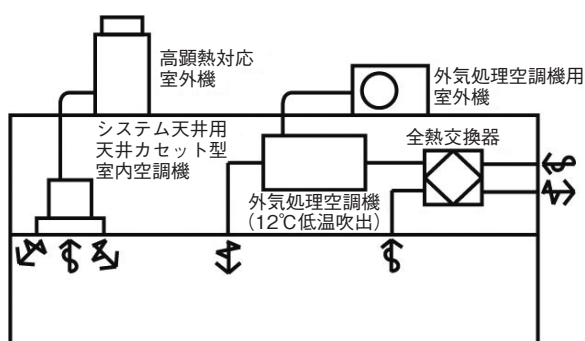


図-2 空調システムのフロー図



写真-3 システム天井用天井カセット型室内空調機

オークラヤ麹町ビルでは、外気処理空調機で外気を過冷却することによる潜熱を主体とした処理、室内空調機で高顕熱運転を行うことによる顕熱を主体とした処理によって潜熱顕熱分離空調を行った。

このシステムは、夏期はクールビズ空調の設定温度である28℃でも相対湿度45%以下の温熱環境を実現し、冬期も建築物衛生法を考慮した22℃・40%以上を十分に確保できるシステム、つまり快適性と省エネルギー性を両立したシステムとして開発した。

外気処理空調機は過冷却した外気を室内に供給するため、空調立ち上がり時の執務室の湿度が高い場合に結露が生じる恐れがある。そこで、室内空調機による予冷運

転により、執務室の除湿後に、外気処理空調機による外気の冷却を始めるシステムとした。

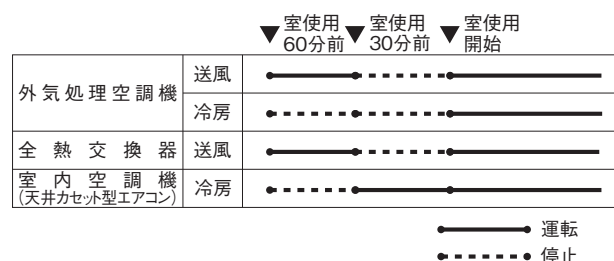


図-3 制御スケジュールイメージ

4. 開発システムの概要

4-1-1 過冷却による外気処理

外気処理のシステムは、省エネルギーを目的とし熱回収を行うための全熱交換器と、外気を12℃まで過冷却し低温吹出を可能とする直膨コイル形全外気空調機から構成される。この外気処理空調機の過冷却を利用して除湿を行うことになる。ここでは、人体からのCO₂発生量を換気により除去するための外気風量によって、同時に人体から生じる潜熱負荷の処理を行うことを目的として、外気を12℃まで冷却するシステムとした。

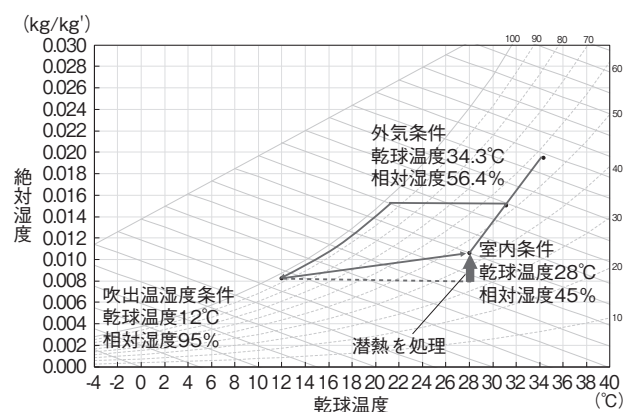


図-4 空気線図

過冷却を行った外気による顕熱処理量は、外皮負荷を除く人員負荷(0.2人/㎡)、OAコンセント負荷(10W/㎡)、照明負荷(8W/㎡)とほぼ同等となりベースの冷房装置としての役割を果たし、冷え過ぎの現象を防止している。あわせて、室内の顕熱負荷を処理することで、室内空調機(天井カセット型エアコン)のファン動力を削減することが可能となる。

過冷却の外気の吹出温度を12℃とすることにより処理できる顕熱・潜熱と発生する顕熱・潜熱の量的バランスは表-1・2となり、おおむねバランスしていることが分かる。(一人あたりの外気風量は30m³/hとする。)

表－1 顕熱処理熱量と顕熱発生熱量のバランス

| | |
|----------------------|------|
| 一人あたりの外気風量が処理する顕熱の熱量 | 160W |
| 一人が占める面積から発生する顕熱の熱量 | 144W |

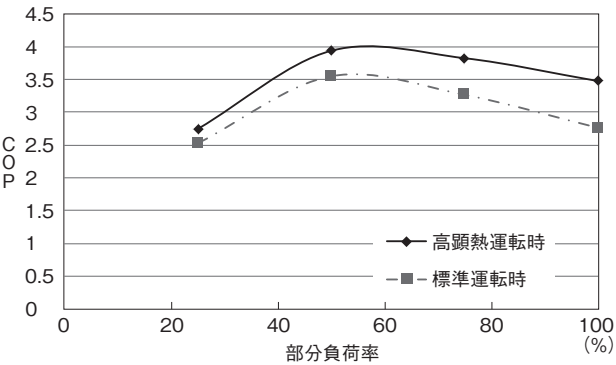
表－2 潜熱処理熱量と潜熱発生熱量のバランス

| | |
|----------------------|-----|
| 一人あたりの外気風量が処理する潜熱の熱量 | 69W |
| 一人あたりから発生する潜熱の熱量 | 66W |

4－1－2 高顕熱型室内空調機

オークラヤ麹町ビルは、システム天井を採用しているため、室内空調機にはシステム天井用天井カセット型エアコンを採用した。室外機は立ち上がり時など負荷が大きな場合は、標準運転を行い、室内の温湿度が一定条件を満たした時に、制御により高顕熱運転に切り替えが可能システムとした。

標準運転と高顕熱運転の切り替えにより冷媒の蒸発温度が自動で変更する。すなわち、冷房時に高顕熱運転で冷媒の蒸発温度を上げることにより、効率を上げることができる。高顕熱運転と標準運転によるJIS条件下のCOPは図－5のようになる。負荷が100%の場合に、高顕熱運転は標準運転に比べ、約26%の省エネルギーとなる。



図－5 JIS条件下でのCOP

4－1－3 ランニングコスト試算

一般的な空調システムとして、直膨コイル付全熱交換器による換気と標準運転のみの室内空調機による空調を比較対象とする。この一般的な空調システムでは、冷房時、乾球温度26℃相対湿度50%を空調設定値とする。開発システムではクールビズ空調対応として、一般ビルと同等の快適性を維持するよう乾球温度28℃相対湿度45%を空調設定値とした。¹⁾

この空調設定条件下によって、シミュレーションによる年間計算(各月代表日による試算)を行った。その結果、

開発システムは一般的な空調システムと比較して、年間で23%の消費電力の削減が可能となった。

| | 一般的な空調システム | 開発システム (全熱交換器＋外気処理空調機) |
|----------------------|--|--|
| 概要 システム | 外気負荷処理 熱交換換気、除塵、冷暖房、加湿を1台で行う。直膨コイルの冷暖房能力により、空調負荷を低減する。 室内負荷処理 標準運転のみで空調を行う。 乾球温度26℃ 相対湿度成行 | 外気負荷処理 全熱交換器を通し外気を1次処理した後、外気処理空調機によってさらに過冷却を行う。 室内負荷処理 標準運転と高顕熱運転の切り替えによって空調を行う。 乾球温度28℃ 相対湿度45% |
| クールビズ 対応 | × | ○ |
| 建築物 衛生法 対応(加湿) | ○ | ○ |
| 空調 消費電力 削減率 | (基準) | 23% |

図－6 空調システムの比較

4－2 性能検証のための計測項目

オークラヤ麹町ビルの各機器のCOPを計測するため、表－3の温湿度、電力量を計測した。天井カセット型空調機の処理能力の算定には、天井カセット型空調機の入口出口温度差から求めた顕熱処理能力に、高顕熱運転時または標準運転時の想定SHFを用いて、全熱の処理能力を算出した。

表－3 計測箇所

| | |
|-------|--------------------|
| 状 態 | 高顕熱運転または標準運転の状態 |
| | 外気処理空調機の運転状態 |
| | 天井カセット型空調機の運転状態 |
| 温湿度計測 | 代表室 温度・湿度 |
| | 全熱交換器入口 温度・湿度 |
| | 外気処理空調機入口 温度・湿度 |
| | 外気処理空調機出口 温度・湿度 |
| | 天井カセット型空調機入口 温度 |
| | 天井カセット型空調機出口 温度 |
| 電 力 量 | 外気処理空調機 |
| | 外気処理空調機用室外機 |
| | 天井カセット型室内空調機・全熱交換器 |
| | 天井カセット型室内空調機用室外機 |

5. ビルの運用実績

オークラヤ麹町ビルは平成25年3月に完成し、一年を通して実績を確認した。ここでは、夏期と冬期の代表的な日を通して、執務室の環境の確認を行う。

5-1 夏期運用時の室内温湿度

図-7は平成26年8月4日から8日までの代表室内の温湿度である。青で示した範囲は夜間のため空調が止まっている。また執務室の使用開始時刻は9時である。昼間の空調が動いている時間帯については、目標としていた28℃・45%の執務環境がおおむね達成できている。なお8月4日については、高顕熱運転に入らず標準運転を行っており、外気処理空調機に加え、室内空調機でも潜熱処理を行っているため28℃・45%を下回ることとなった。夏期では快適性を確保したクールビズ空調が実現できていることを確認した。

5-2 冬期運用時の室内温湿度

図-8は平成26年1月19日から23日までの代表室内の温湿度である。青で示した範囲は夜間のため、空調が止まっている。また執務室の使用開始時刻は9時である。

オークラヤ麹町ビルでは執務室の空調設定温度が25℃で運用されているが、この条件下でも40%程度の湿度を確保できている。さらに図-9で示すように22℃・40%の絶対湿度である6.56g/kgを、室使用時間を通して確保しており、十分に加湿できていることが確認できる。

5-3 室内空調機用室外機のCOP

図-10に夏期(8/4～8/8・8/18～8/22)の部分負荷時のCOPを示す。グラフを見やすくするため、部分負荷5%ごとに統計処理したCOPを示す。また図-10の基準COPは図-5のJIS基準のCOPに対して、配管長補正、外気温度補正を行ったものである。

高顕熱運転、標準運転ともに基準COPに対し、やや下回るものの、おおむね能力が出ていることが分かる。また高顕熱運転は標準運転に比べ、COPが高い状態で稼働していることが分かる。

なお、実負荷は最大能力の50%程度の部分負荷にとどまった。これは将来テナントビルとなった時の室内空調機増設対応や、安全率の考え方から、室外機が必要能力に対し、大きな機械を選定したことによると考えられる。

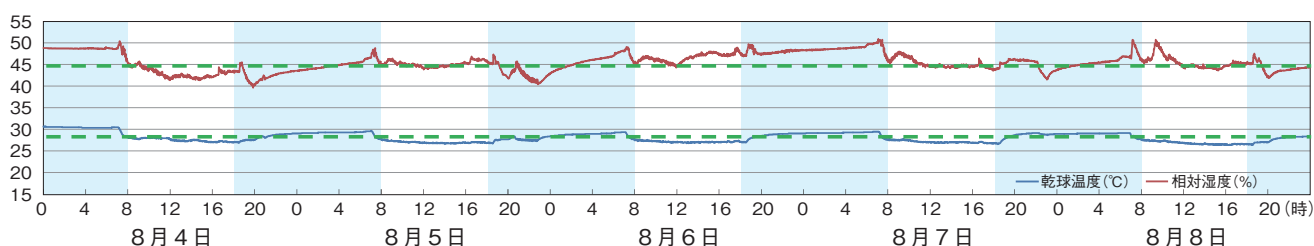


図-7 夏期室内温湿度

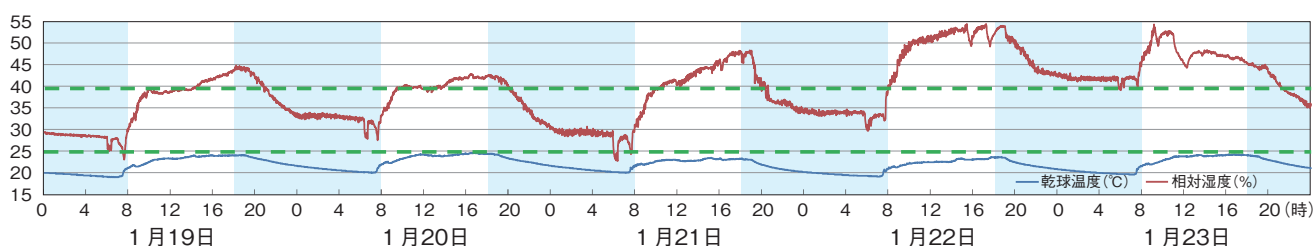


図-8 冬期室内温湿度

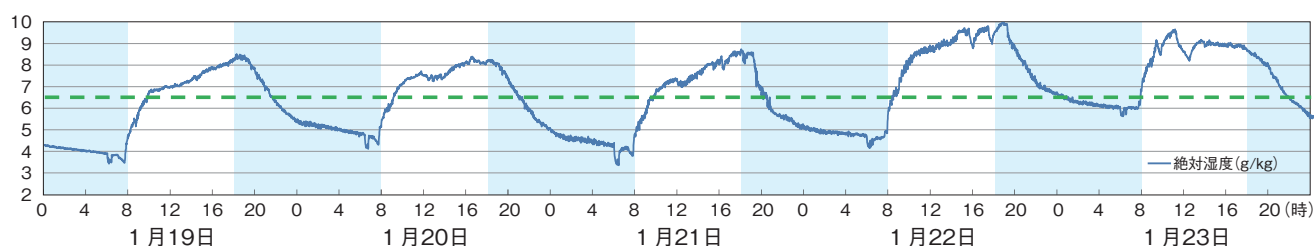


図-9 冬期室内絶対湿度

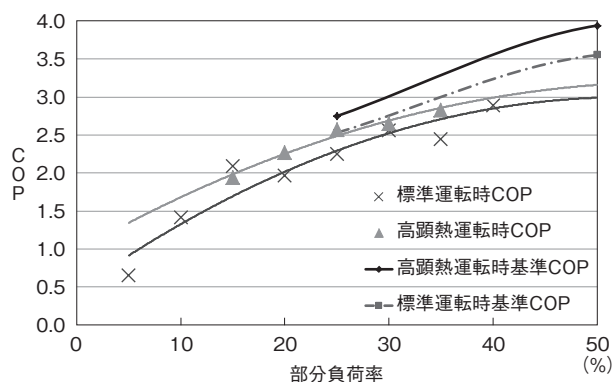


図-10 夏期における高顕熱運転時と標準運転時の比較

5-4 外気処理空調機のCOP

夏期(8/4～8/8・8/18～8/22)の全熱交換器・外気処理空調機・外調機システムのCOPを図-11に示す。ここでは部分負荷1kWごとに統計処理したCOPの値を示す。なお、COPは以下のように求めた。

$$\text{全熱交換器COP} = \frac{\text{全熱交換器により処理した熱量}}{\text{全熱交換器の消費電力}}$$

$$\text{外気処理空調機COP} = \frac{\text{外気処理空調機により処理した熱量}}{\text{外気処理空調機(室外機を含む)の消費電力}}$$

$$\text{外調機システムCOP} = \frac{\text{全熱交換器と外気処理空調機により処理した熱量}}{\text{全熱交換器と外気処理空調機(室外機を含む)の消費電力}}$$

全熱交換器はファンの消費電力が一定になっているのに対し、室内温度と外気温度の差が大きいくほど熱回収する熱量が大きくなるため、負荷が大きくなるほどCOPが高くなる。外気処理空調機は負荷が大きくなるほど、COPが低くなる傾向にあった。

外調機システムはCOPが3.0～5.8程度と、比較的高効率に稼働していることが分かる。

5-5 過冷却を利用した潜熱顕熱分離空調システムのCOP

図-12に夏期における開発システムの全体のCOPを示す。ここでは部分負荷5kWごとに統計処理したCOPを示している。高顕熱運転と標準運転のCOPでは、すべての部分負荷時を通して、5～10%程度、高顕熱運転時の方が標準運転時に比べて高効率で運転していることを確認できた。

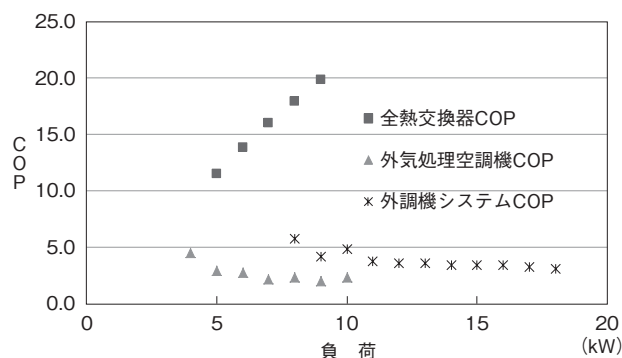


図-11 夏期の全熱交換器・外気処理空調機・外調機システムの負荷ごとのCOP

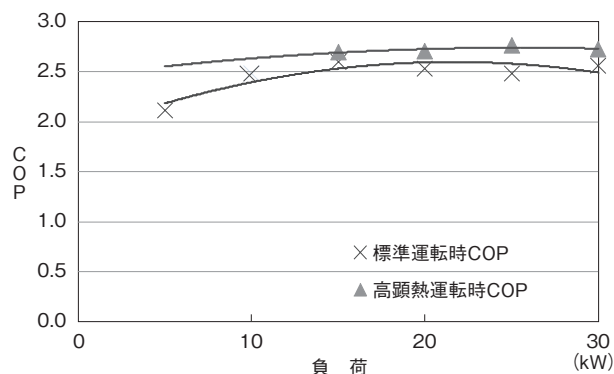


図-12 夏期の開発システム全体の負荷ごとのCOP

6. おわりに

シミュレーションにより開発システムは一般的な空調システムと比べ、年間23%の消費電力の削減効果があること、実測データをもとに効果が出ていること、また室内温湿度の結果により夏期の十分な除湿と冬期の十分な加湿ができていたことを確認した。これらにより開発システムによる快適性と省エネルギー性を確認した。

本計画に際して、ご支援をいただきました多くの方々に感謝の意を表するとともに、誌面をお借りして御礼申しあげます。

<参考文献>

- 1) 官庁施設におけるクールビズ/ウォームビズ空調システム導入ガイドライン
- 2) 我慢をしない省エネへー夏季オフィスの冷房に関する提言