

大阪ガス北部事業所改修工事  
**Refurbishment of the Hokubu Office by Osaka Gas Co. Ltd**  
 -入居者の特性を考慮した設備システム-  
**Equipment System in Consideration of the Characteristic of the Occupants**

(株)日建設計  
 NIKKEN SEKKEI LTD  
 宮崎亜由美  
 Ayumi MIYAZAKI

**キーワード：** 行動観察(Behavior Observation)クーリングルーム(Cooling-Room)、在室者検知(Detection of the occupants)、温冷感申告 (Thermal Sensation Vote)、改修工事 (Refurbishment)

1. はじめに

大阪ガス北部事業所は大阪府高槻市城東町の主要幹線である国道 170 号線沿いに位置しており、大阪北部の業務拠点として運用されている自社ビルである。1982 年の竣工以来、陳腐化と経年劣化、さらには昨今の省エネルギーへの積極的な取り組みを背景に、大阪ガスが自社で進める積極的かつ継続的な省エネ活動である「グリーンガスビル活動」の一環として改修工事が計画された。

本館は延床面積約 6,000m<sup>2</sup> で地下 1 階は機械室、1 階から 4 階は事務室フロアとなっており、最上階である 5 階に会議室と食堂を持つ。事務室フロアには家庭用営業・料金（検針）部隊、導管部隊の他、緊急保安部隊も入居しているため休日勤務や 24 時間運用が必要な室も存する。

表 1-1 施設概要

|      |                              |
|------|------------------------------|
| 建物名称 | (株)大阪ガス北部事業所                 |
| 竣工   | 1982 年                       |
| 所在地  | 大阪府高槻市藤の里町                   |
| 用途   | 事務所(自社ビル)                    |
| 延床面積 | 5,989.39 m <sup>2</sup> (本館) |
| 規模   | 地下 1 階、地上 5 階                |
| 改修工期 | 2011 年 11 月～2012 年 6 月       |
| 発注者  | 大阪ガス(株)                      |
| 設計者  | (株)日建設計                      |
| 施工者  | (株)大成建設                      |

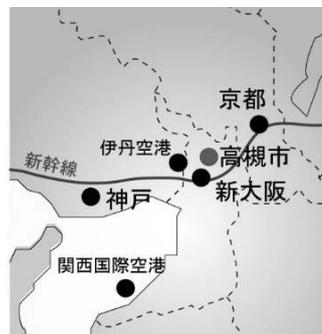


図 1-1 施設所在地



写真-1 全景写真

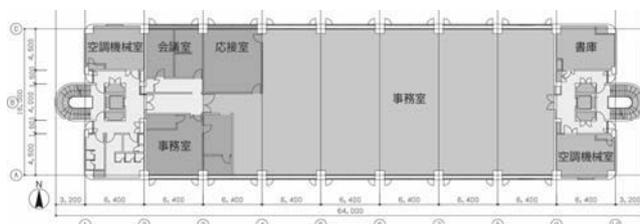


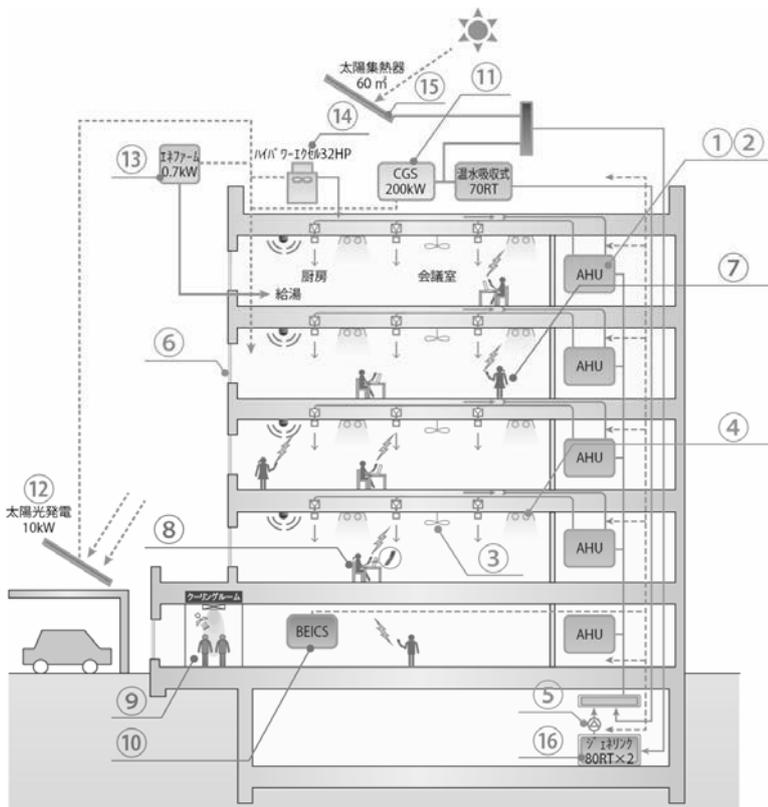
図 1-2 基準階平面図



図 1-3 施設断面構成

2. 改修工事の概要

本改修工事では、比較的大きな効果が期待でき、実績も多い「ベースとなる省エネ手法」、行動観察という手法を取り入れ、入居者の日常行動から省エネ行動を阻害する要因を明確化し、快適性とのバランスの上でさらなる省エネ・低炭素化を図る「行動観察に基づく手法」、熱利用や発電設備の導入による「オンサイト発電設備を有効に利用した電力・熱エネルギーシステム」を計画した。



- ベースとなる省エネ手法**
- ① 空調搬送動力の低減
  - ② 外気冷房・ナイトパージ
  - ③ シーリングファン
  - ④ 高効率照明器具  
調光制御(明るさセンサー)
  - ⑤ ポンプの変流量化
  - ⑥ 高性能ガラスへ入替

- 行動観察に基づく手法**
- ⑦ 在室者検知による温度設定制御
  - ⑧ 温冷感申告による温度設定制御
  - ⑨ クーリングルーム
  - ⑩ BEICS

- オンサイト発電設備を有効に利用した電力・熱エネルギーシステム**
- ⑮ ガスコージェネレーションシステム
  - ⑯ 太陽光発電
  - ⑰ 燃料電池(エネファーム)
  - ⑱ 発電機搭載型 GHP (ハイパワーエクセル)
  - ⑲ 太陽熱集熱器利用空調システム (ソーラークーリング)
  - ⑳ 排熱投入型吸収式冷温水機 (ジェネリンク)

図 2-1 改修工事の全体概要

3. 行動観察に基づく手法

(1) 行動観察とは

行動観察とは、サービスの改善を目的としてサービスに関係する人間の行動から潜在意識を読み取り問題解決を図る手法で、これまで「商品開発」や「店舗などのサービス・生産性向上」などに成果をあげている。この手法に着目し、一歩先んじた省エネ提案のヒントとすることとした。

(2) 行動観察の概要

表 3-1 に行動観察の実施概要を示す。本施設のエネルギー消費傾向から、夏期の空調における省エネを重視し、盛夏日における入居者の行動を観察した。これに加え、ビル管理者・利用者へのインタビュー、事後アンケートを行った。

(3) 行動観察の結果概要

インタビューを含む行動観察の結果を図 3-1 と以下に示す。

- ・ 時間により在席率の変化が比較的大きい。
- ・ 内勤者と外勤者で構成され、外勤は男性、内勤は女性が多く、互いの温冷感に気遣っている。
- ・ 冷房時における女性の防寒行動が見られる。
- ・ 省エネ行動への意識レベルのばらつきが大きい。
- ・ ビル設備管理者は入居者の状況が直接分からず空調設定温度はクレームに対する安全側に偏る傾向にある。
- ・ ビル管理者は設定温度に対するフィードバックを受ける機会がなく判断に困ることがある。

表 3-1 行動観察実施概要

■実施日時：2010年8月26日（木）9：00-20：00

■実施内容

- 行動観察
  - ・ 交流的観察  
観察員がフロアに入り込み、オフィス内空調、照明の運用に関するオフィス利用者の行動や反応を終日観察
  - ・ オフィス利用者の方々の反応や行動を理解するために、対象の方にその場で簡単な質問を実施
- オフィス利用者およびビル管理者へのインタビュー
  - ・ オフィス利用者2名（男女1名ずつ）、総務担当者1名、ビル設備管理者1名を対象に、省エネ行動の実態や意識、組織での運用などについてインタビューを行う。
- 事後アンケート
  - ・ 当日の温冷感、作業生産性に関する主観評価、属性項目などのデータを収集

■分析の視点

- ・ ビル内エネルギー消費行動の動線、エネルギー消費行動に影響を与える要因（人間工学、環境心理学など）
- ・ エネルギー消費行動の意識（社会心理、組織心理など）

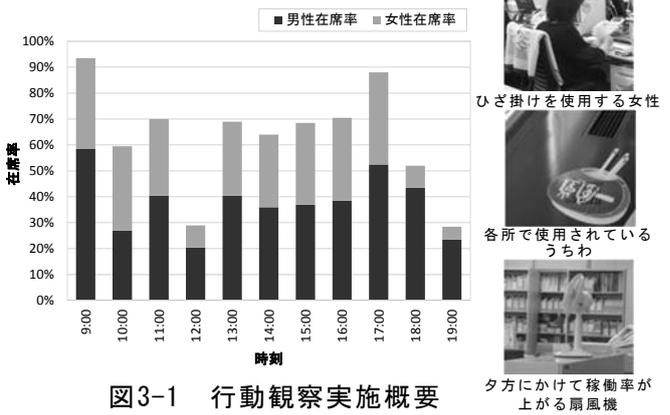


図 3-1 行動観察実施概要

#### (4) 行動観察から導入した省エネ手法

以上の結果を踏まえ、入居者の在席率や温冷感の違いを温度設定に反映できる仕組みとして、「**在室者検知による温度設定制御**」と「**温冷感申告による温度設定制御**」を導入する。「**BEICS**」は BEMS 機能を拡張し、消費エネルギーなどの基本情報に加えて、温冷感申告機能と集計結果の表示を行い、納得感を持ちながら温度設定（緩和）を行えるシステムとした。また、外勤者が帰社時に体内蓄熱を解消できる「**クーリングルーム**」を設置することとした。

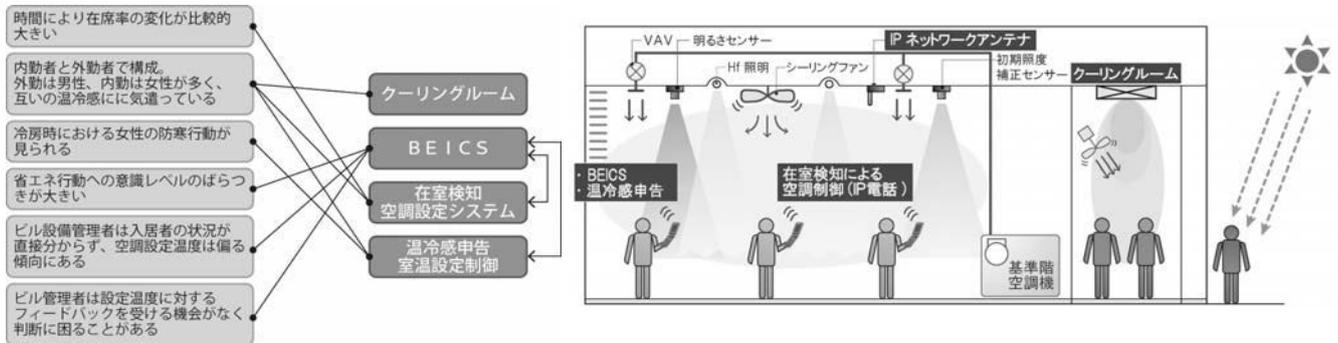


図 3-2 行動観察から導入した省エネ手法概念図

### 4. BEICS

#### (1) BEICS のシステム構成

「**BEICS**」(**Building Energy and Interactive Communication System**)は開発済みの簡易型クラウド BEMS (もっと SAVE) を拡張させたシステムである。簡易型クラウド BEMS はビルエネルギーに馴染みの薄い入居者が容易に消費エネルギー等の情報にアクセスできるシステムで、クラウド化することで画面の自由度を高め、変更も容易に行うことができる。

BEICS は前述の「在室検知による温度設定制御」「温冷感申告による温度設定制御」に関するデータ取得・演算・設定までの一連の制御を実行する機能を併せ持つ。また、省エネ行動への誘導を目的とした入居者へ省エネに関する様々な情報を提供する専用の web 画面（以下 BEICS 画面）を付加した。

システム構成を図 4-1 に示す。BEICS は温冷感申告データの収集と BEICS 画面の作成・表示を行う「簡易型クラウド BEMS」と各種データを格納し、温度設定値算出を行う「データサーバ」からなり、「中央監視」、IP 電話による在室検知を司る「IP 電話サーバ」と相互にデータのやり取りを行うことによって成り立っている。

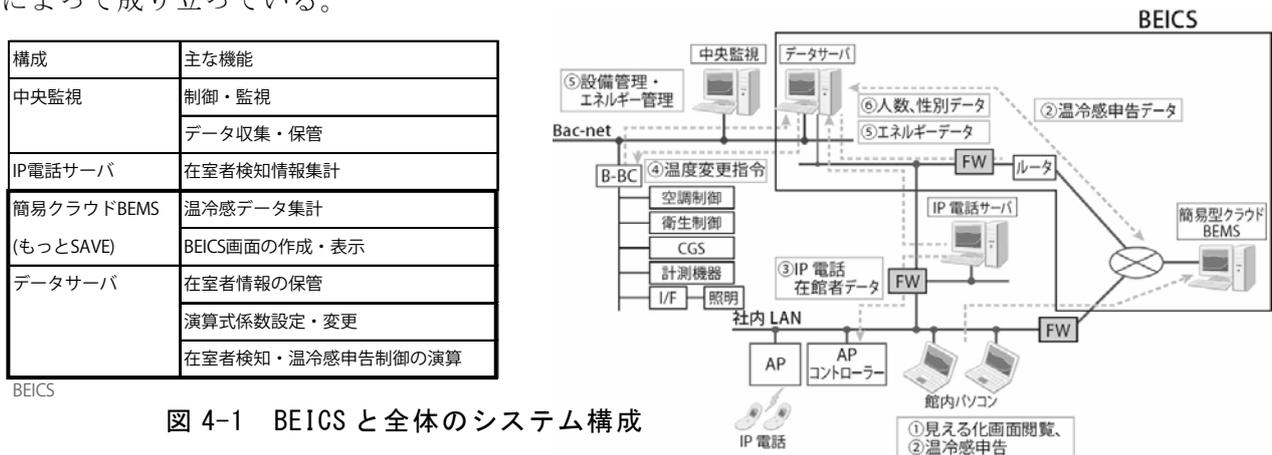


図 4-1 BEICS と全体のシステム構成

#### (2) BEICS 画面の開発

入居者の省エネ行動への誘導は入居者・運用者を中心として構成される省エネワーキンググループ（以下 WG）での啓蒙活動に加えて、BEICS 画面を用いて積極的に行った。BEICS 画面は省エネ WG での意見も取り込み、単純な消費エネルギー情報を表示するだけでなく、利用者への分かりやすさと親しみやすさ、飽きさせない工夫を盛り込み、省エネ対決や天気情報、ウォーキング指数等の生活情報も表示した。

入居者は個人 PC でログインして BEICS 画面を閲覧できる他、来館者への啓蒙の意味もあり EV ホールに設置した大型ディスプレイでも常時表示している。



図 4-2 BEICS トップ画面



図 4-3 温冷感申告結果画面

5. IP 電話による在室者検知を利用した温度設定制御

(1) 制御の概要

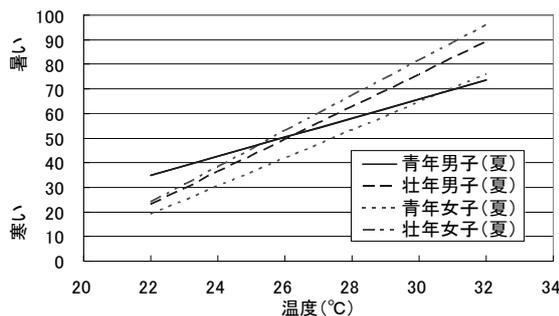
設定温度算出式を表 5-1 に示す。(1) 式中の初期温度  $T(i_0, j)$  は文献<sup>1)</sup>による温冷感が中立になる時の温度とし、属性別の重みづけ  $\alpha$  (=温度に対する感度) と、属性別の在席割合に応じた初期温度を掛け合わせたものが設定温度となる。 $\alpha$  の値は文献<sup>1)</sup>に見られる近似式の傾きを温度に対する感度として見た場合の青年<壮年、男子<女子とする傾向を反映して暫定的に設定し、温冷感申告の結果を反映していく。なお、計算(設定温度変更)は 30 分に一回の割合で行っている。

在室者検知は当建物で既に導入されている IP 電話の持つ機能を利用することとした。IP 電話用の無線アンテナで検知した在室情報と、個々の IP 電話に対してあらかじめ登録しておいた所有者の属性情報を集計することで、対象範囲にどの属性の人が何人在室しているかを特定できる。VAV 制御単位をこの IP 電話検知単位とリンクさせておおむね 70 m<sup>2</sup> の制御ゾーニング内に属性ごとの人数を算出し、ゾーニングごとに VAV 設定温度を変更する仕組みとした。図 5-2 に 4 階でのゾーニングを示す。なお、本制御は 4 階のみに適用している。

(2) 制御の結果

在室者検知結果の例として、時刻別の設定温度の推移の例を図 5-3 に示す。13 時~14 時の間に青年男子が不在になり壮年女子の割合が増えたことにより、次の 30 分以降で設定温度が 0.5℃程度高くなっており、その後それまで 26.5℃程度であった室温が 27.5℃程度まで緩和されていることが分かる。

以上のように、温度設定変更制御が概ね狙い通り推移していること、また制御による室温の緩和も期待できる結果となっている。ただし、現地での確認では、設定温度と室内温度との差が平均して 0.5~1.0℃ついており、この点については今後改善が必要である。



A 図 5-1 年齢、男女による温冷感の違い 文献<sup>1)</sup>

表 5-1 在室者検知を利用した温度設定制御

$$T_s(i) = T(i_0, j) \times \sum \alpha(j) \times N(i, j) \div \sum N(i, j) \quad \dots (1)$$

$T_s$  : 設定温度  
 $T$  : 初期温度  
 $\alpha$  : 重みづけ  
 $N$  : 検知人数  
 $i$  : 時間  
 $j$  : 属性 [年齢×性別 (a~d)]

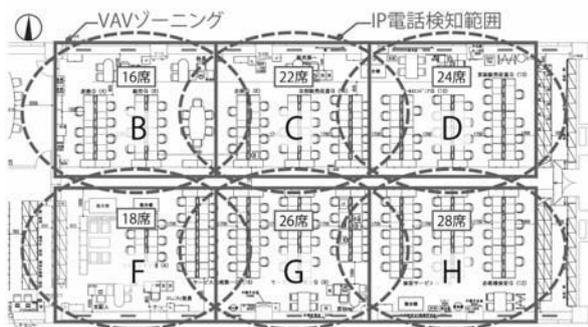


図 5-2 VAV ゾーニングと IP 電話検知エリア (4 階)

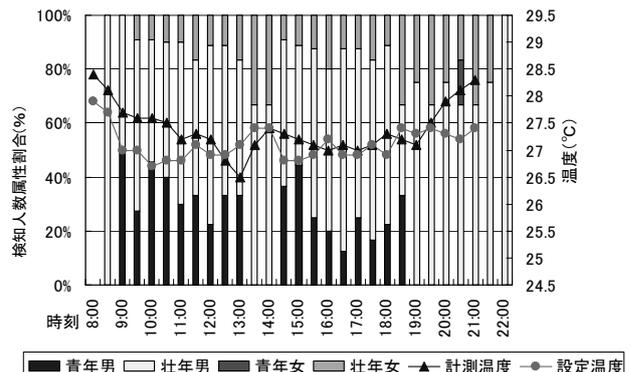


図 5-3 D ゾーン時刻別検知結果と温度推移 (2012 年 8 月 3 日)

## 6. 温冷感申告による温度設定制御

### (1) 制御の概要

5.では在席者に応じて自動的に設定温度が決定される受動的な制御であったのに対し、本制御では、居住者からの温冷感などを申告できる機能を持ち、その集計値(申告値)を提示することで納得感を持ちながら温度設定を行うシステムを構築した。さらに、申告値に対して属性別に重みづけすることができる係数 $\beta$ を乗じることにより、最終的には設定温度に対する納得感を損なわずに省エネルギーを図ることを目指している。

温冷感申告スケールは、中立をゼロとした5段階で表し、冷房・暖房にかかわらず「寒い～暑い」を「-1～+1」とした。これらを先述の青年・壮年×男・女のカテゴリー別に積算平均し、前の時間の室温に対して補正することとした。算出式を表6-1に示す。

表 6-1 温冷感申告による温度設定制御

$$T_s(i) = T(i-1) + \beta(j) \times \sum R(i,j) \div N \quad \dots (2)$$

$T_s$  : 設定温度  
 $T$  : エリア温度  
 $\beta$  : 重みづけ  
 $R$  : 申告  
 $N$  : エリア人数  
 $i$  : 時間  
 $j$  : 属性[当初設定: 年齢×性別 (a~d)]

寒い -1      ちょうどよい 0      暑い +1

### (2) 制御の結果

代表日の申告結果と温度変化を図6-1に示す。朝の空調立ち上がり時には暑い申告により一時的に設定温度が低くなっているが、その後寒い申告が増えたため設定温度が上がっている。

2012年と2013年7,8月の計測温度と申告評価数の関係を図6-2に示す。全体的に女性の方が申告時における室温の温度帯が低く、また室温が低くなるにつれ「寒い」の申告が増えていることが分かる

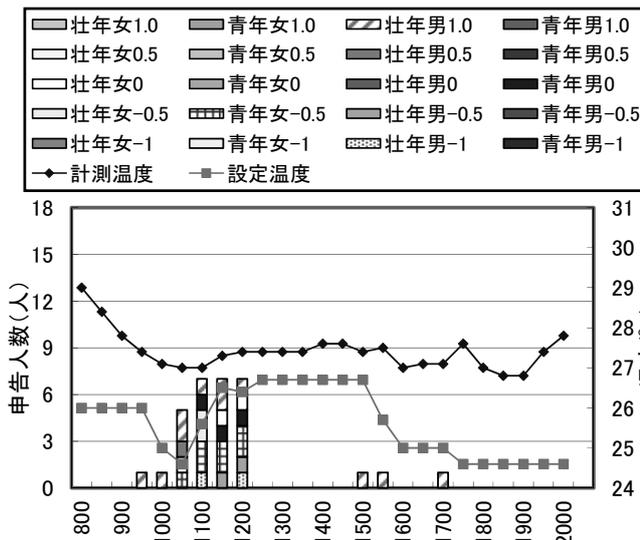


図 6-1 1階Dゾーン申告数と温度変化 (2012年8月1日)

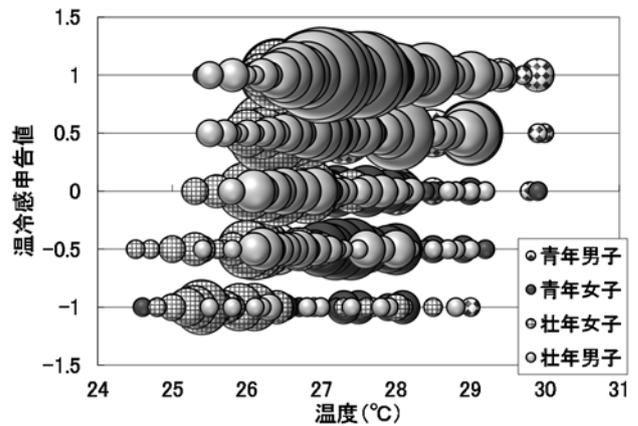


図 6-2 計測温度と申告評価数の関係

### (3) 制御式における設定値の検討

温冷感申告結果を反映させ、より良い制御を行うため、(1)式の初期温度 $T(i_0, j)$ と(1)(2)式の重みづけ( $\alpha$ ,  $\beta$ )の検討を以下の手順で行った。

① 温冷感申告結果から、不満足者率のグラフを推定

(3)式より、各属性において申告率とその時の室温の関係を散布図にプロットした。

$$\begin{aligned} \text{「暑い」側申告率} &= \frac{\text{各温度における1及び0.5申告の和}}{\text{各温度における全申告数}} \\ \text{「寒い」側申告率} &= \frac{\text{各温度における-1及び-0.5申告の和}}{\text{各温度における全申告数}} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

② 「暑い」側申告率と「寒い」側申告率を0～1の間のロジスティック曲線<sup>注1)</sup>で近似

ロジスティック曲線計算式を式(4)に示す。今回の計算では温度が高くなると暑い側の申告率が1に近づき、温度が低くなると寒い側の申告率が1に近づくので、 $X$ =温度、 $K=1$ として作成した。

$$Y = \frac{K}{1 + a \times \exp(-bX)} \dots (4)$$

Y: 「暑い」側申告率 / 「寒い」側申告率

X: 温度、K=1、a, b: 係数

### ③ 不満足者率の算出

式 (5) により不満足者率を求め、不満足者率が最低となる温度 = 初期温度  $T(i_{0,j})$  とする。

$$\text{不満足者率} = \text{「暑い」側申告率} + \text{「寒い」側申告率} \dots (5)$$

### ④ 重みづけ係数の算出

重みづけに関しては「室温変化への許容度」と捉え、室温 26℃～28℃における温冷感申告値の変化率（傾き）を元にすることとし、算出を行った。不満足者率最低温度と傾きの結果を表 6-2 に示す。不満足者率最低温度は壮年男子 < 青年男子 < 青年女子 < 壮年女子となり、女性より男性がより低い温度を好む傾向がある。傾きについては青年男子 < 青年女子 < 壮年女子 < 壮年男子の順となっており青年より壮年の方が室温変化への許容度は低い結果となった。

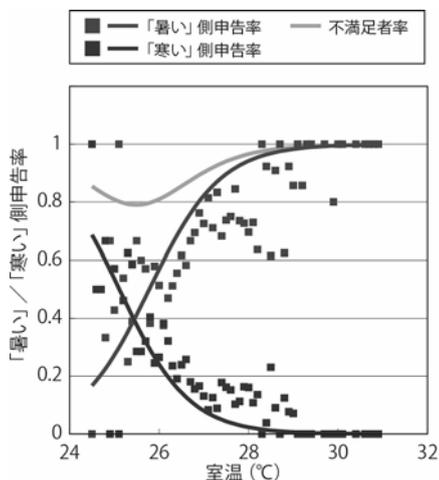


図 6-3 ロジスティック曲線

表 6-2 計測温度と申告評価数の関係

| 属性   | 不満足者率<br>最低の温度 | 26℃から28℃の傾き |       |
|------|----------------|-------------|-------|
|      |                | 暑い側         | 寒い側   |
| 全属性  | 25.5℃          | 0.19        | -0.11 |
| 青年男子 | 25.2℃          | 0.14        | -0.07 |
| 壮年男子 | 24.7℃          | 0.48        | 0.01  |
| 青年女子 | 25.5℃          | 0.17        | -0.32 |
| 壮年女子 | 26.5℃          | 0.28        | -0.22 |

## 7. クーリングルーム

### (1) 導入の背景とクーリングルーム (C-Room) の概要

夏期における外勤者は外部の日射や運動によって、体内蓄熱が高い状態となり、入室後しばらくは生理的非常状態にあると考えられる。一方内勤者は一部の女性には防寒行動が見られ、設定温度の緩和に対する要望があるが、外勤者への配慮もあり、難しい状況であった。

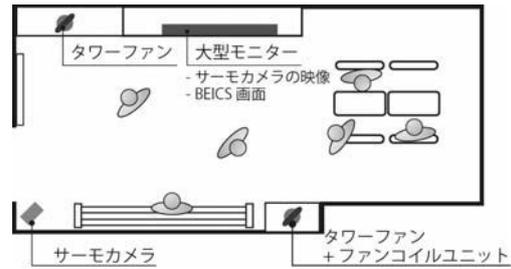
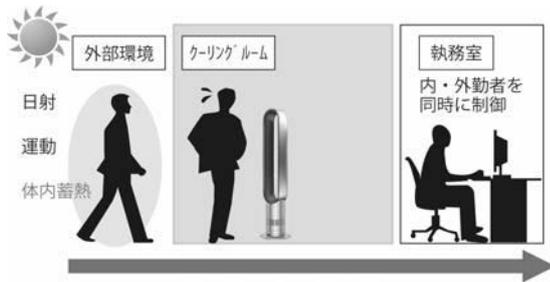
クーリングルーム（以下 C-Room）は、外勤者が帰社する際に入室し、体内蓄熱をより効率的に除去することで、執務室での生理的な定常状態に早く近づけることを意図したものである。

### (2) C-Room の設備

C-Room の平面図を図 7-2 に示す。C-Room は 1 階の社員用出入口近くの一室（約 18m<sup>2</sup>）を改修した。外勤者の帰社時は発汗状態にあることが多く、气流暴露が体内蓄熱の除去に効果的であると予測し、室内にタワーファンを 2 台設置した。内 1 台は、暴露気流の温度による効果の違いを分析するため、ファンの下部よりファンコイルの給気を誘引し約 2℃程度低い冷風を送り出すことができる機能を持たせた。

室内には大型モニターも設置されており、BEICS による省エネ啓蒙画面が随時映し出されるほか、サーモカメラにより在室者の人体表面温度を映し出すことができる。C-Room の効果を簡易的にはあるが可視化することにより、利用者の興味・関心を引き出すことを意図した。

夏期以外の時期にもリフレッシュスペースとして、短時間の休憩や打ち合わせに利用でき、入居者が利用しやすい空間づくりを図っている。



### (3) C-Room の効果検証

C-Room の環境形成要素としては滞在時間・室内温度・気流条件などが考えられるが、蓄熱除去に適した設定値については明らかになっていない。これらを求めるため、下記の手順で C-Room の検証を行った。

#### ①利用実績調査

竣工後入居者を対象とした Web アンケートを行い、C-Room の利用実態を調査した。

#### ②被験者実験

①と並行して、実験室にて環境形成要素の異なる複数ケースで被験者実験を行い、蓄熱除去に最適なケースを検討した。

#### ③シミュレーションによる評価

蓄熱除去の定量的な効果の算出を目的とし、人体熱モデルを用いてシミュレーションによるクーリングルームの効果検証および最適な環境設定値を検討した。

### (4) C-Room の利用実績調査

竣工後 2012 年 8 月下旬に入居者（約 170 名）を対象に Web アンケートを行った。C-Room の利用状況に関するアンケート結果を図 7-3 に示す。

竣工後 1 回以上 C-Room を利用した（回答を得られた）人は全体の 60%程度、週に 1~2 回以上の頻度で使う人は男性で 52.5%、女性で 25%であり男女で差が見られた。外勤者の利用を狙ったこと、改修計画上帰社動線から外れた位置に配したことから積極的な利用が期待し辛い面もあるが、省エネWG や BEICS 画面での呼びかけにより、利用率を上げる取り組みを進めている。なお、体感的効果は「利用後は仕事がしやすい」との回答が半数近く、おおむね好意的である。

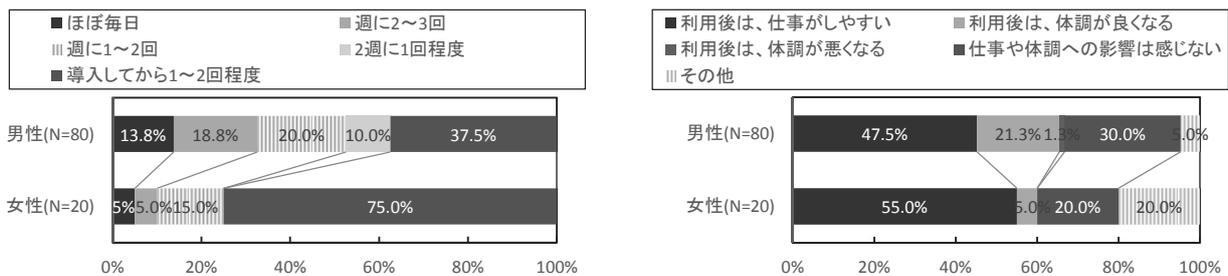


図 7-3 C-Room 利用に関するアンケート

### (5) 被験者実験による設定条件の検証

図 7-4 に実験概要を示す。室温やファンによる気流などをパラメータとし、より短時間で効果的な運用方法を検討するため、実験室で外勤者を想定した実験を行った。クーリングルームにおける各パラメータを変化させた実験ケースはクーリングルームを介さないものを含めた計 6 ケースとした。気流についてはタワーファンの強風運転を想定した 2.0m/s を基準として、気流の無い冷房室を想定したケースと低い気流温度に暴露させるケースを設けた。実験サンプル数は計 17 名である。実験スケジュールは実運用を想定し、移動時間や作業量等は各被験者で統一した。実験中は生理量として皮膚温度と発汗量を測定し、さらに執務室滞在時には脳血流量を測定する。

#### ①平均皮膚温、脳血流量の変化

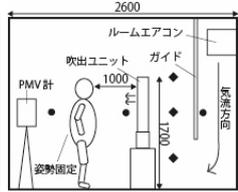
図 7-5 に平均皮膚温度の経時変化を示す。執務室入室後の皮膚温度は、2.気流なし≒5.短時間≒1.基準>3.執務室温>4.冷風暴露で、冷風を暴露したケースの皮膚温度の低下が大きい。

## ②脳血流量の変化

図 7-6 に TOI 値(脳内血流量)を示す。人体は暑く感じると放熱のために血流が活発になり TOI 値が高くなる。C-Room がない場合には血流量が多く残蓄熱があること、C-Room を利用した場合では室温、気流の有無、冷風の送風で有意な差は見られないものの平時と再入室時の TOI 値の差は小さいことがわかる。

### 実験ケース

| Case    | 気流速度   | 室温    | 気流温度 | 滞在時間 |
|---------|--------|-------|------|------|
| 0.CR 無  | 2.0m/s | 25.5℃ | 等温   | 5min |
| 1.基準    | 2.0m/s | 25.5℃ | 等温   | 5min |
| 2.気流無   | 無し     | 25.5℃ | 等温   | 5min |
| 3.室温+2℃ | 2.0m/s | 27.5℃ | 等温   | 5min |
| 4.冷風    | 2.0m/s | 25.5℃ | 低温   | 5min |
| 5.短時間   | 2.0m/s | 25.5℃ | 等温   | 2min |



| 記号 | 内容                             | 合計時間(分)   |
|----|--------------------------------|-----------|
| ①  | 執務室入室 + 測定器取付け + 着座・安静(1.0met) | 30        |
| ②  | 執務室(平時) + 事務作業(1.2met)         | 30        |
| ③  | 外部環境 + 着座・安静(1.0met)           | 30        |
| ④  | 外部環境 + 踏台昇降(1.4met)            | 5         |
| ⑤  | ケージルーム + 直立(1.3met)            | 0 / 2 / 5 |
| ⑥  | 執務室(再入室後) + 事務作業(1.2met)       | 30        |

被験者は 17 人の健康な男子大学生とし、着衣量は 1.0clo(半袖肌着、半袖シャツ、作業着上下、下着、靴下)とした。

図 7-4 実験のケース・スケジュール

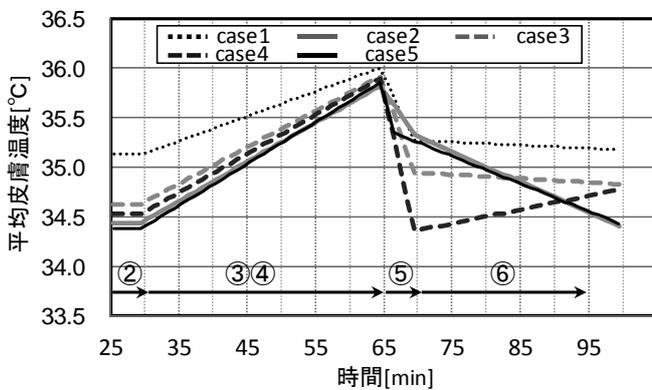


図 7-5 平均皮膚温度の変化

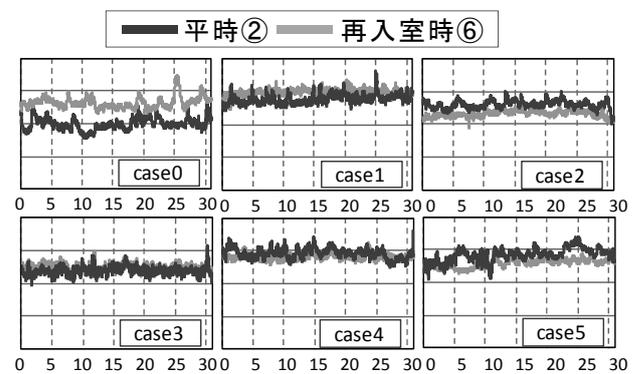


図 7-6 脳血流量の比較

### (6) シミュレーション

実験では C-Room の熱除去効果は見られたが、個人差があったため人体熱モデルによるシミュレーションで検証を行った。人体熱モデルは田辺らによる 65 分割体温調節モデル<sup>15)</sup> に着衣による蒸発潜熱の影響を組み込んだものとした(以下修正 65MN)。

評価は①代謝量の変化がなく屋外での高温多湿環境を考慮する低蓄熱時と、②屋外での歩行運動を想定した高蓄熱時(5分)③高蓄熱時、滞在時間を長くした(10分)ケースとし、下記の値の推移から評価を行った。

表 7-1 シミュレーション試算ケース

|      | 執務室    | 外部環境   | ケージルーム           | 執務室    |
|------|--------|--------|------------------|--------|
| 暴露時間 | 30min  | 30min  | 計12case          | 30min  |
| 気流速度 | 0.1m/s | 0.1m/s |                  | 0.1m/s |
| 温度   | 27.5℃  | 35℃    |                  | 27.5℃  |
| 相対湿度 | 50%    | 80%    | 50%              | 50%    |
| 代謝量  | 1.2met | 1.2met | 1.2met or 2.0met | 1.2met |

|           | 暴露時間 | 気流速度   | 温度    |  | 暴露時間      | 気流速度  | 温度     |
|-----------|------|--------|-------|--|-----------|-------|--------|
| case0     | -    | -      | -     |  | case2.1.1 | 10min | -      |
| case1.1.1 | 5min | -      | 25.5℃ |  | case2.1.2 | 10min | -      |
| case1.1.2 | 5min | -      | 23.5℃ |  | case2.1.3 | 10min | -      |
| case1.1.3 | 5min | -      | 21.5℃ |  | case2.2.1 | 10min | 2.0m/s |
| case1.2.1 | 5min | 2.0m/s | 25.5℃ |  | case2.2.2 | 10min | 2.0m/s |
| case1.2.2 | 5min | 2.0m/s | 23.5℃ |  | case2.2.3 | 10min | 2.0m/s |
| case1.2.3 | 5min | 2.0m/s | 21.5℃ |  |           |       |        |

- ・中央血液プールの熱量変化(図 7-7~9 上図)：人体蓄熱の変化として評価する<sup>注2)</sup>
- ・執務室入室以降のぬれ率(図 7-7~9 下図)：臨界ぬれ率(0.485)を超えると「無効発汗」が発生し蒸発による熱処理の効率が低下する。<sup>注3)</sup>

### ①低蓄熱状態、5分間利用(図 7-7)

中央血液プールは外部環境で 3.5kJ 程度の蓄熱がある。case1.1.1~case1.1.3 には顕著な変化は見られず、気流の暴露がある case1.2.1~case1.2.3 では効果が見られた。ぬれ率では C-Room を用いない場合に 13 分間続く無効発汗が case1.1.1~case1.1.3 を除き、執務室入室時に既に抑えられることがわかる。

### ②高蓄熱状態、5分間利用(図 7-8)

中央血液プールは外部環境で 8.5kJ 程度の蓄熱がある。気流による効果は大きく、執務室に入ってからぬれ率についても入室後から 5 分までの効果が特に大きい。

### ③高蓄熱状態、10分間利用（図 7-9）

中央血液プールは5分を過ぎてからは血管の収縮によって放熱の効率が落ちている。ぬれ率については入室時点では無効発汗はないものの、入室後に再び臨界ぬれ率を越えるため快適性の観点から好ましいとはいえない。

これらより C-Room の最適な環境設定値として、気流環境下において 25.5℃ の設定で 5 分程度の利用が好ましいと判断した。

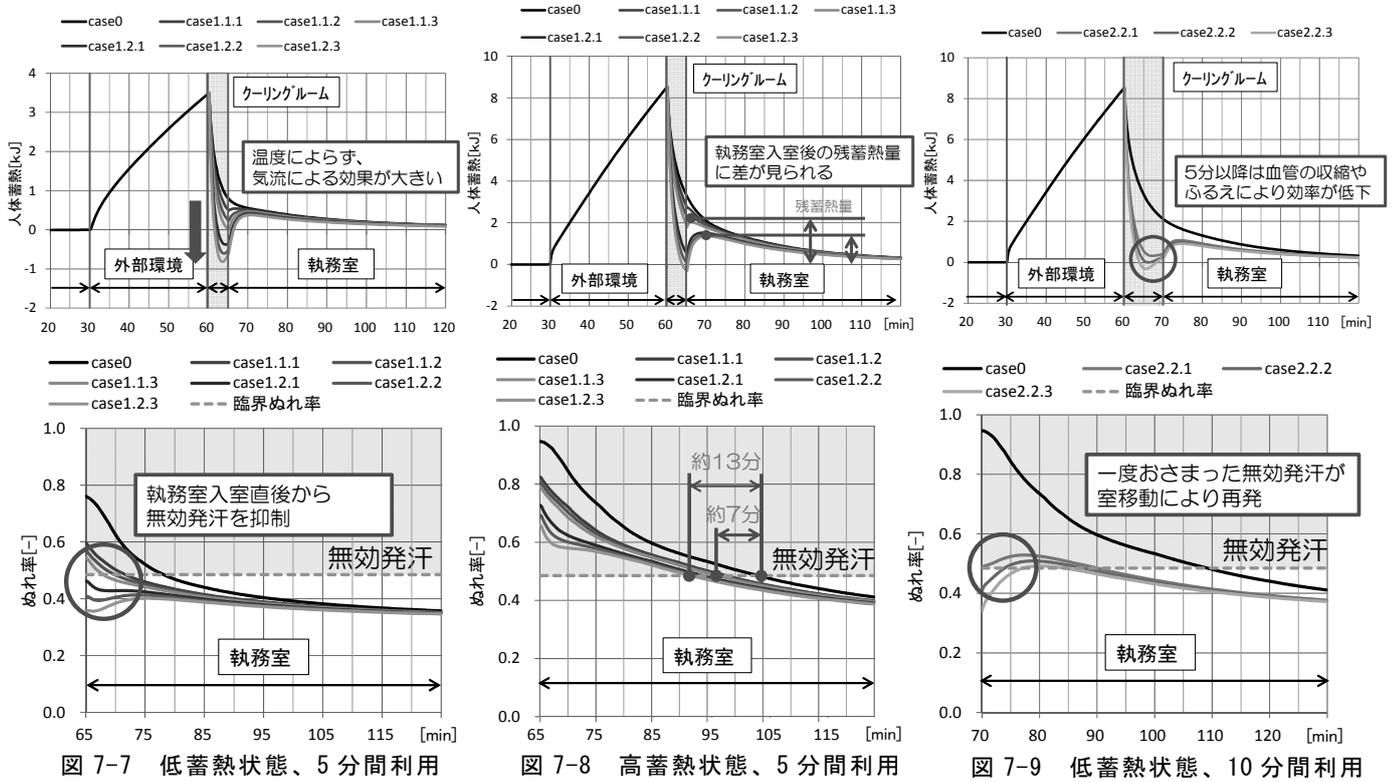


図 7-7 低蓄熱状態、5分間利用

図 7-8 高蓄熱状態、5分間利用

図 7-9 低蓄熱状態、10分間利用

## 8. 一次エネルギー削減量の計画値と実績

一次エネルギー削減量の目標と実績の内訳を図 8-1 に示す。<sup>注4)</sup> 改修前の基準となる一次エネルギー使用量は 2010 年、2011 年度の直近 2 年の実績値の平均 2,588MJ/m<sup>2</sup> とし、計画時の目標は 1,954MJ/m<sup>2</sup> (-24.5%) であった。これに対し 2013 年度の実績値は 1,904MJ/m<sup>2</sup> (-26.4%) となった。用途別では空気搬送、熱源、照明・コンセントでの削減割合が大きい。月別の基準と実績値の比較を図 8-2 に示す。削減率は夏期、冬期で 20~30%、中間期は 10~25% であり、改修直後から運用改善の検討を継続的に行い実施した効果もあり、2 年目に入った 2013 年 7 月以降は前年同月を上回り続けている。

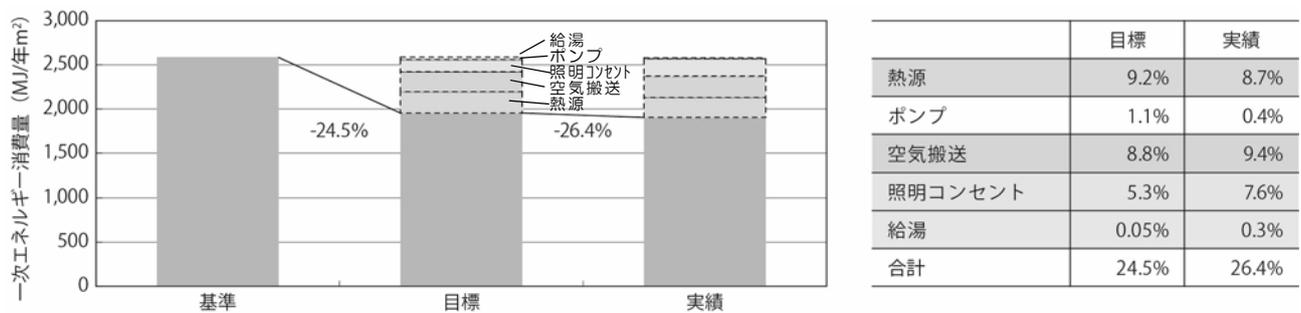


図 8-1 年間一次エネルギー消費量（基準/目標/実績）

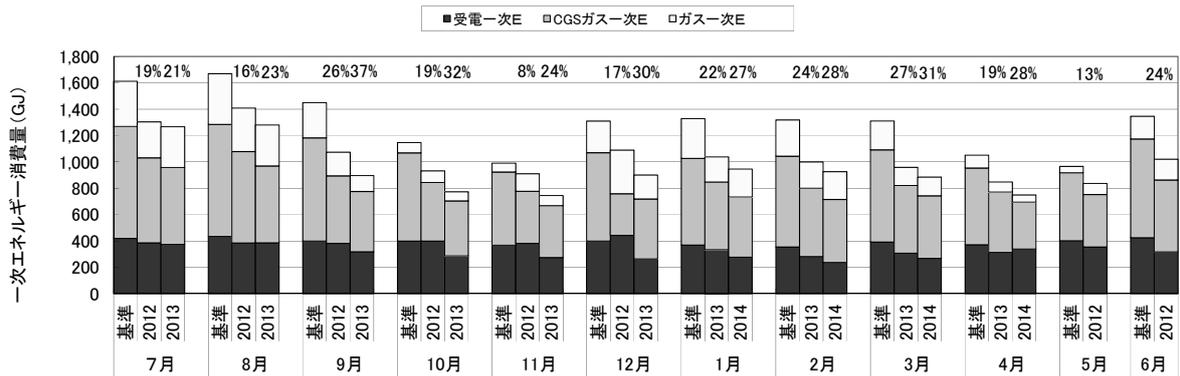


図 8-2 月別一次エネルギー消費量（基準/実績）

## 9. おわりに

本業績は大阪ガス株式会社が継続して行っているグリーンガビル活動のシンボルプロジェクトとして実施されたものである。消費エネルギーの観点では、改修前後で 25% を超える削減率を達成しているものの総量評価では更なる高効率化、更なる努力が必要である。

一方、スクラップ&ビルトからストックの時代へ移行するなか、単純な省エネルギー手法だけではなく行動観察をもとにして入居者の動きや思考を理解した上で省エネ手法を導入する手順は新築時にはもちろん、改修時に特に効果を発揮する考え方である。

さらに、運用側・利用者側の考えをつなぎ、省エネ行動へ入居者を誘導する BEICS、居住者の在室状況や温冷感により設定温度を変化させる制御システム、クーリングルームによる人体蓄熱状態のコントロール等は普及性、波及性をもち、「我慢の省エネ」ではない、継続的な「納得感をもった省エネ」に貢献する手法として発展する可能性を持つ。

### 注釈

- 1) 当初は少なく、途中で大きくなり、その後また少なくなるような現象を表す曲線（成長曲線）の一つ。S 字型の曲線で、時間 X が経つにつれ、増加が止まり一定値 K に近づく性質がある
- 2) 修正 65MN には中央血液プールと呼ばれる容量質点が全身各部位の容量質点とは別に設けられている。中央血液プールは全身各部位との血流によってのみ熱交換を行っているため、非定常状態における全身各部位の総合的な熱量変化を示す指標として考えることが出来る。この中央血液プールの熱量変化を人体蓄熱の変化とみなすことでクーリングルームにおける効果を検証する。
- 3) 発汗によるぬれ率がある値を越えると、発汗した汗の一部が人体の表面で蒸発しないで滴り落ちる現象、すなわち、人体を冷やす役割を果たさず失われる無効発汗が発生する
- 4) 一次エネルギー換算値 電気 9.76MJ/kWh、ガス 45MJ/m<sup>3</sup>(大阪ガス)

### 参考文献

- 1) 宇野、堀越他/温熱環境を変化させた場合による生理心理反応の季節差および年齢差、性差 その 2 生理心理反応の分析/日本建築学会大会学術講演梗概集, 2004 年 8 月, pp561-562
- 2) 中山昭雄編 / 理工学社温熱生理学 図 7.30
- 3) 村上、原田、久野、寺野/居住者の温熱要望申告を利用した空調制御方式に関する研究/日本建築学会環境系論文集, 2008 年 pp535-542
- 4) Kuno/A New Concept of Air-Conditioning Systems Based on the Theory of Thermal Comfort in Transitional Conditions/Proceedings of International Symposium on Eco Topia Science 07, 2007, pp.1171-1174
- 5) 持田、嶋倉、吉田: 各種平均皮膚温算出式の特性比較, 日本生理人類学会, 13(6), pp. 357-373, 1994
- 6) 高木、平川、長野、栃原: 温冷感に及ぼす気温のステップ変化の影響, 日本建築学会大会, pp. 367-368, 2001
- 7) 大堀、原田、久野/ 夏季に屋外から室内へ移動後の整理・心理反応に関する研究/人間と生活環境, 2002 年 11 月
- 8) 近本、加藤、宋: 人間の動的快適感を考慮した空調制御法の検討 建物における実施事例とシステムの提案, 日本建築学会大会, pp. 1171-1174, 2003
- 9) 大堀、原田、久野/夏季に屋外から室内へ移動後の生理・心理反応に関する研究/人間と生活環境, 2003 年, pp. 70-78
- 10) 田中他: 高温環境から冷房空間へ移動する場合の深部温の過渡応答, 日本建築学会環境系論文集, 第 609 号, pp. 23-30, 2006
- 11) 橋本、近本/劇場建築の空調性能と室内環境の検討 (その 6) 移動に伴う温冷感実測による空調制御の検討/日本建築学会大会学術講演梗概集, 2007 年 8 月
- 12) 倉成、近本: 非定常状態の温熱環境における人体の快適性の研究(その 3), 空気調和・衛生工学会大会, pp. 1291-1294, 2009
- 13) 岩田、松原、齋藤、久野: 夏期に屋外から入室後の快適な温熱環境に関する研究 (その 1) 採涼空間利用後の体重減少量・発汗感に関する検討, 日本建築学会大会, pp. 57-58, 2011
- 14) 伊藤、平山、野部/ 放射と自然対流によるタスク・アンビエント空調システム, 建築設備&昇降機 (89), 23-30, 2011
- 15) 田辺、中野、小林: 温熱環境評価のための 65 分割体温調節モデルに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 541 号, p. 9-16, 2001 年 3 月

# 神戸薬科大学 80 周年記念館の環境設備計画

## Environmental Facility Planning in Eighty Anniversary Building of Kobe Pharmaceutical University

株式会社 竹中工務店  
Takenaka Corporation

増田 恭大、粕谷 敦、中川 浩明、小林 佑輔

Yasuhiro MASUDA, Atsushi KASUYA, Hiroaki NAKAGAWA, Yusuke KOBAYASHI

キーワード：ライズ型外ルーバ (External Louver of Rise Type)、太陽熱利用 (Solar Heat Utilization)、  
デシカント空調 (Desiccant Air-conditioning System)、自然換気 (Natural Ventilation)、  
省エネルギー型厨房換気 (Energy-saving HVAC System for Commercial Kitchen)

### 1. はじめに

本建物は、周囲を緑で囲まれた六甲山の山裾に位置するキャンパスの開校 80 周年記念事業の一環として計画された。学生数の増加に伴って手狭になった既存食堂の移転をきっかけとして、老朽化した体育館の更新、学生の勉強・団欒・食事など多目的に利用できるラウンジを加えた構成となっており、学生生活の中心となる場所の提供を目的として取り組んだ。



写真 1 建物外観 (南面)

このような与条件から、本建物を「にぎわいの杜」と称し、「キャンパスの中心となる立体広場」、「自然と交歓する建物」、「斜面特性を生かした環境配慮建築」の 3 つを建物全体の基本コンセプトとした。設備計画への展開として、学生生活が豊かとなる自然と交歓可能な場所の構成と自然エネルギーを活用したエコキャンパスを目標とし、①自然との交歓—立地条件を活かした建築・環境デザイナー、②再生可能エネルギーを活用した環境設備の 2 つをコンセプトに掲げて計画した。具体的な計画内容として、①-1)眺望性を確保した外ルーバによる環境調整、①-2)建築空間と調和したアンダーフロア空調、①-3)敷地特性を活用した自然換気 (体育館)、②-1)太陽熱を利用した換気・空調・給湯システム、②-2)省エネルギー型厨房換気システムの構築に取り組んだ。

これらの計画と検証により、コンセプトである「にぎわいの杜」を高い環境性能で実現している。

### 2. 建築計画概要

神戸薬科大学のキャンパスは、六甲の山裾の豊かな緑に包まれた、自然と共生する学び舎である。溢れる緑に映える白く統一されたキャンパスに、本建物が計画された。計画地は南北で約 11m の高低差があり、周囲の建物と立体的に接続が可能になっている。この特性を生かし、複数のレベルからアクセス可能な学生生活及び動線の中心としての立体広場を生み出した。内部は、体育館を最上階とし、学生が集中する購買・ラウンジ・食堂の 3 層は、ゆるやかな吹き抜け階段で結び、高さや明るさ、仕上、家具等に変化を持たせ、好みの場所を自由に選択できる均質でない快適空間を実現した。また、南に大阪湾、北に六甲山を持つ自然と景観を取り込むことができる開口配置とした。自然の風に対しては、夏季昼間の海風を建物に取り込むことができる開口計画とし、景観に対しては、周辺の豊かな緑や大阪湾を一望可能な景色を光と共に内部空間に最大限取り入れることができる大開口を設け、四季や時刻、天候による変化を楽しむことができるように配慮した。建物全体として、神戸の斜面地特有の自然と景観を感じられる快い空間となっている。

表 1 建築概要

|       |                      |
|-------|----------------------|
| 建物名称  | 神戸薬科大学80周年記念館        |
| 建築主   | 学校法人 神戸薬科大学          |
| 所在地   | 神戸市東灘区本山北町4丁目19番1    |
| 設計・施工 | 株式会社竹中工務店            |
| 工期    | 2012年1月5日～2013年2月28日 |
| 建築面積  | 1,316.77㎡            |
| 延床面積  | 5,459.63㎡            |
| 規模    | 地下2階 地上4階 塔屋2階       |
| 構造    | RC造、一部S造             |
| 用途    | 体育館、食堂、ラウンジ          |

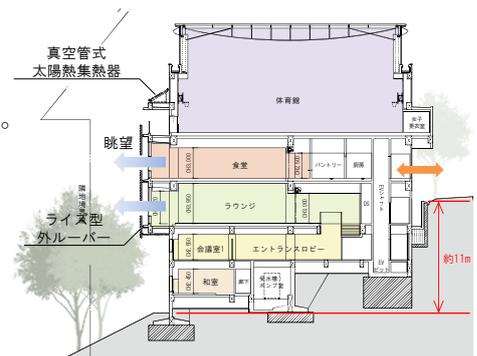


図 1 断面図

### 3. 立地条件を活かした建築・環境デザイン

#### 3.1 眺望性を確保した外ルーバによる環境調整

##### (a) 計画概要

ラウンジ・食堂南側のパノラマ大開口に対して、下記の性能を踏まえた外ルーバを上下に配置した。(図2)

- ・環境調整：四季や時刻、天候による変化を室内まで積極的に取り込み、学生がその時の好みに応じた環境（温熱環境、視環境）が選択可能な場所を提供する。

- ・眺望性の確保：豊かな自然を一望することができる。
- ・プライバシー対策：眼下の民家への視線対策を行う。
- ・日射の適正化夏季の日射遮蔽と冬季の日射取得のバランスを考慮し、適正化を図る。

図3に本計画で採用しているライズ型外ルーバと水平型外ルーバとの比較を示す。ルーバ形状の決定は、太陽光の入射・反射角、眺望性（仰角）・視線対策（俯角）、形状の意匠性・内部からの開放性の観点から行った。

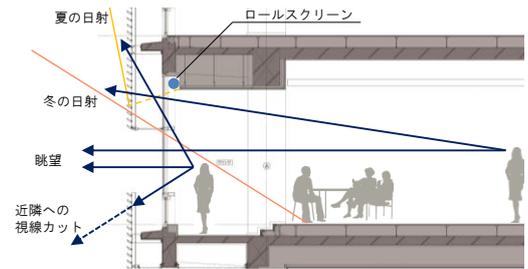


図2 ライズ型外ルーバ概念図

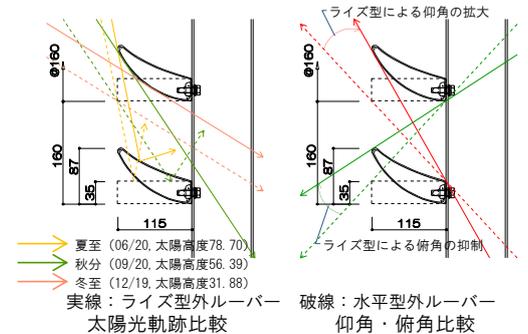
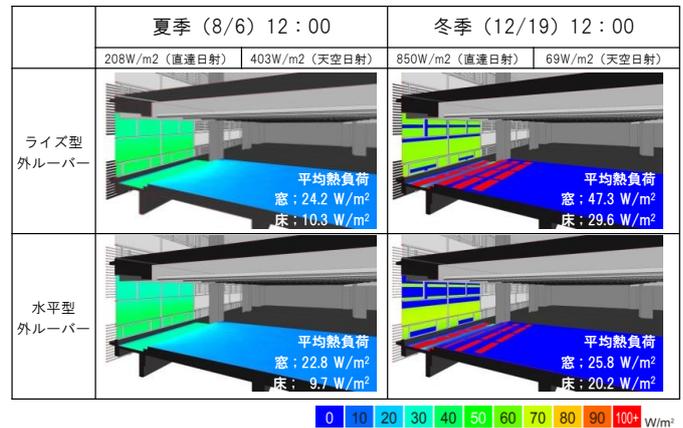


図3 ルーバ形状比較

##### (b) 温熱環境評価

図4に日射シミュレーション結果、図5に日射シミュレーション結果に基づく夏季・冬季の代表日における日射熱負荷を示す。ライズ型を採用することで、水平型に比べ、夏季南中時において窓廻りで日射熱負荷が約7%増加（＝冷房負荷に対する増）、冬季南中時においては、日射熱負荷が約50%増加（＝暖房負荷に対する減）する結果となっている。夏季・冬季南中時の日射熱負荷を合わせると、空調負荷で約23%の減少となる。このことから、年間を通しての熱負荷性能は、ライズ型外ルーバが優れていると考えられる。

2013/9/7 から 9/8 のライズ型外ルーバの熱環境実測結果を図6に示す。全天日射量は、参考として同日の大阪府のデータとしている。9/7は曇天、9/8は午前中が曇天、14時から15時にかけて晴天であった。ロールスクリーンが併設されているが、全て開けた条件で測定を実施した。測定は、ラウンジ東西方向中央部、窓部から約5mの位置での垂直温度・グローブ温度・風速である。PMV値は測定値より算出した。PMV値については、曇天時は概ね0~0.6、晴天時は日射の影響により上昇しているが1.0未満の範囲で推移している。ルーバにより窓廻りの温熱環境を調整することで均質でない快適な空間を提供することができた。



■シミュレーション条件  
 【光学的性能】 反射率 壁:50% 天井:70% 床:20% スクリーン:0.8 ルーバ(鏡面反射率0%):0.76  
 【熱的性能】 日射透過率 ガラス(FL8+A6+FL8):0.6 スクリーン:0.18 日射熱取得率 ガラス(FL8+A6+FL8):0.71 熱貫流率 ガラス(FL8+A6+FL8):3.2 スクリーン:5.0  
 【気象データ】 拡張アメダス標準年1981-2000 神戸 【対象日】 夏至:8/20 冬至:12/19 時刻:12時  
 【設定温度】 室内温度 夏至26/冬至22℃ 外気温度 12時 夏至27.8/冬至13.7℃

図4 日射シミュレーション

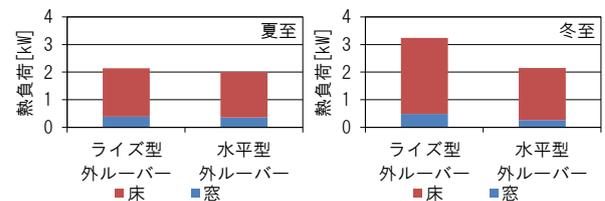


図5 夏至・冬至における日射熱負荷

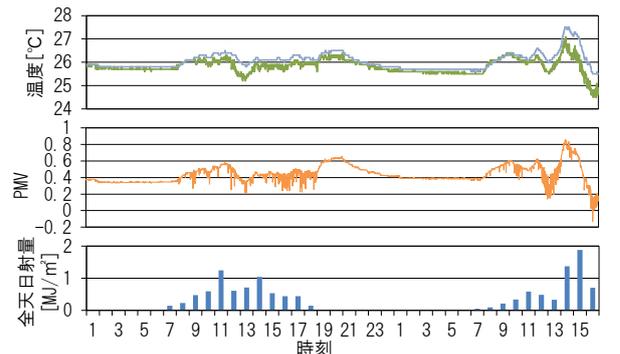


図6 熱環境実測結果

(c) 光環境評価

図7に自然採光シミュレーション結果、表2に窓面からの距離における平均照度を示す。ライズ型は、水平型に比べ、秋分時の室奥8~14mの天井面・床面においても約15%の平均照度の上昇がみられる。グレア評価は事前にライズ型と水平型の比較をDGP (Daylight Glare Probability, 0.3 < Barely Perceptible, 0.45 > Intolerable) にて行い、同等の性能であることを確認した。

2013/9/7 から 9/8 の光環境実測結果について、図8に屋内照度実測値、図9に屋内/屋外照度比を示す。測定点は、ラウンジ東西方向の中央部、窓面から約1m・5m・11mの位置とした。昼間は照明が点灯した状態で、反射率は床68%、天井63%、壁65%となり事前のシミュレーション条件よりも高い値であった。自然採光下の室奥の室内照度で、約840Lx (FL+700・晴天時・9/8 13:25、人口照明除く)の照度が確保されている。また、図10に示す室奥の輝度画像よりグレア評価も併せて実施した。グレア画像の色がついた箇所がグレア源 (平均輝度×5倍の輝度を持つ領域) となっている。自然採光下のグレア評価として、PGSVは、晴天時:0.4、曇天時:-0.2であり、極端なグレアは室奥において生じておらず、温熱環境同様に学生が好みに応じて場所を選択可能であることを示唆している結果ともいえる。

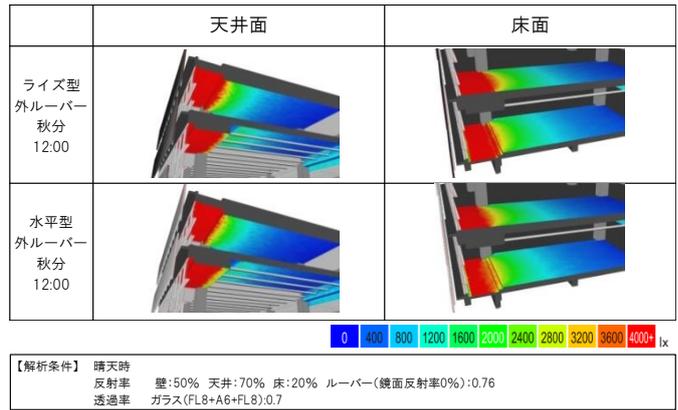


図7 熱環境実測結果

表2 窓面からの距離における平均照度

|            | 天井面   |       | 床面    |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|
|            | 5~8m  | 8~14m | 5~8m  | 8~14m |
| ①ライズ型外ルーバー | 713Lx | 313Lx | 995Lx | 480Lx |
| ②水平型ルーバー   | 586Lx | 270Lx | 873Lx | 418Lx |
| 照度比 (①/②)  | 122%  | 116%  | 114%  | 115%  |

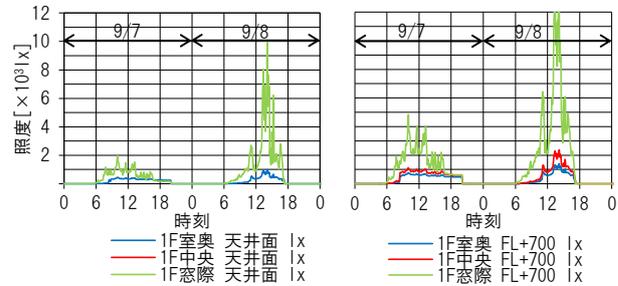


図8 屋内照度実測値 (ラウンジ)

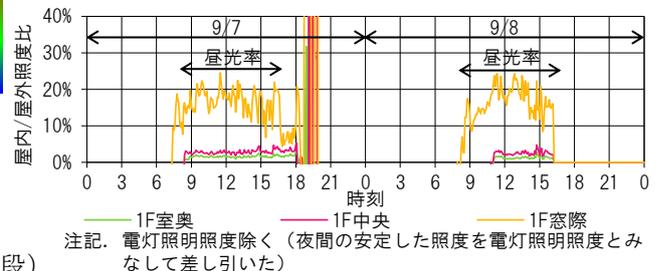


図9 屋内/屋外照度比実測値 (ラウンジ)

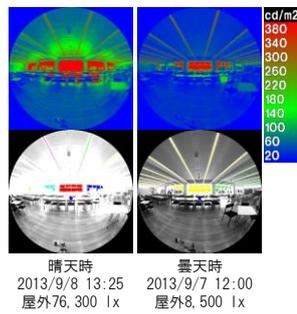


図10 輝度画像実測値(上段) グレア画像(下段)

3.2 建築空間と調和したアンダーフロア空調

(a) 計画概要

学生の勉強・団欒・食事など多目的に利用できるラウンジ及び食堂は、学生生活の中心となる場所である。ラウンジ・食堂は、空間構成として平面的に柱がなく、限られた階高の中で天井高さを確保するため、長スパンで梁成を抑えることができるPC梁を採用し、梁貫通をしない計画とした。そこで、建築・構造計画との調和を図りながら、居住域の快適性を確保することを目指した計画を行った。空調方式は、アンダーフロア空調とし、眺望と大空間構成を主とした機器配置とすることで、快適性とゆとりのある空間の両立を図った。

空調設備の基本構成は、ラウンジ・食堂とも同様である。熱源は高効率空冷ヒートポンプチラーを採用し、室内側は東西に2系統型アンダーフロア空調機を各1台ずつ設置しており、ペリメータ系とインテリア系で冷暖切替が可能な空調ゾーニングとした。また、空調機械室を東西にまとめることで、大空間を実現した。アンダーフロア空調は、二重床高さを300mmとし、床内全域をチャンバーとする加圧チャンバー方式を採用した。吹出口はペリメータ側にスリット型及び階段型吹出口、インテリア側に好みに応じて風向が調整可能な指向性と拡散性を有する丸型吹出口をそれぞれ配置している。

(b) 温度測定結果

夏期及び冬期にラウンジの温熱環境を評価することを目的として、ペリメータ及びインテリアの実測を行った。図 11 に夏期及び冬期の鉛直温度分布を示す。測定点高さは 5ヶ所とし、各測定点の鉛直温度分布を作成した。なお、測定時刻は 10 時、12 時、14 時、16 時としている。

夏期は、ペリメータ・インテリアともに鉛直温度差が 1℃以内となっており、居住域での上下温度ムラのない快適な空間となっていることがわかる。冬期は、空調運転時の立上りの 10 時では、下部の温度が低温域に振れているが、時間の経過とともに立上り時の足元の冷気は解消され、居住域における鉛直温度分布は一樣に近づいていることがわかる。夏期・冬期ともに居住域の上下温度差がなく、快適な空間を実現することができた。

3.3 敷地特性を活用した自然換気

(a) 計画概要

建築地は、夏季日中、都市部での気温上昇に伴い大阪湾から海風が侵入するため、南から南西にかけての風向が卓越風となる。本建物では、夏季日中の卓越風向を考慮した開口部と吹抜け階段を設けることで、建物内を風が通り抜けるように計画を行った。特に、体育館は、換気によって夏季日中の温熱環境を維持することができるように、卓越風を有効に活用することを目指して自然換気の計画を行った。体育館の換気は、自然換気を主体とし、機械換気の補助設置としている。開口部は、設計段階での CFD 解析による検討に基づいて決定した。開口部は、床面積当り 775.0c m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>で、下部開口は、南面と西面に大きく設け、上部開口は、四周に部分的に配置している。ある。また、開口部の開閉と機械換気の使用は、学生の判断により自由に操作できるようにした。

(b) 実測結果

2013 年 4 月～9 月及び 2014 年 4 月～6 月の実測データより、温熱環境について考察を行った。図 12 に室内温度と外気温度の関係、図 13 に機械換気の使用状況に関する度数分布を示す。対象としたデータは、海風の発生する 9 時～17 時の間で、体育館の使用されている時間とした。使用状況は、照明の点灯によって判断した。

機械換気の使用に関わらず、室内温度と外気温度の関係は、同様の分布となっていることがわかる。外気温度が 27℃以上になると、機械換気の使用に関わらず、室内温度が外気温度と同等になる。また、外気温度が高くなると、機械換気の使用に関わらず、外気と室内の温度差が小さくなる。外気温度が 27℃未満では、外気温度が低くなると、外気と室内の温度差が大きくなっていることがわかる。これは、外気温度が低い時は、開口部を開けている範囲が少ないためと考えられる。機械換気の使用状況に関する度数分布より、外気温度に関わらず、機械換気の使用頻度は 0～50%であり、低い運用となっていることがわかる。

体育館では、自然換気を行っており、機械換気と同等の性能を確保できていると考えられる。

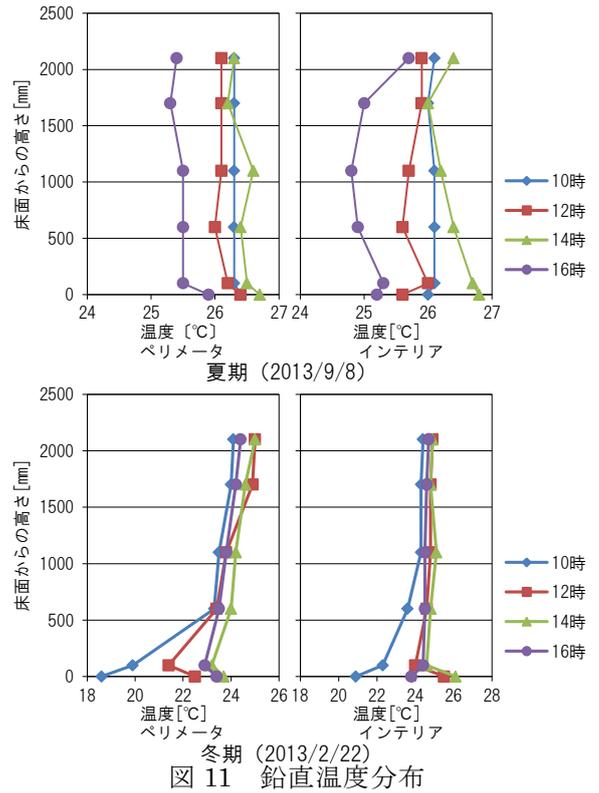


図 11 鉛直温度分布

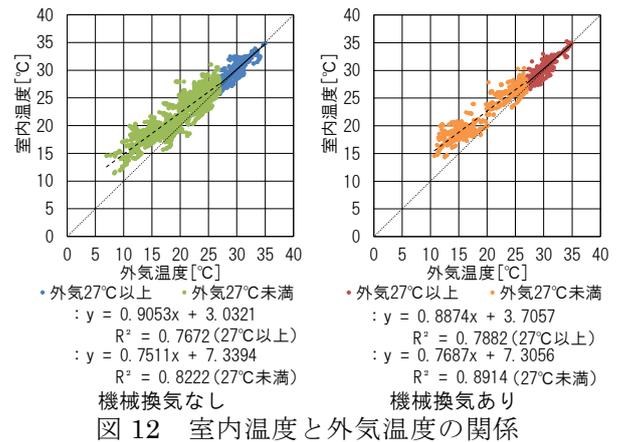


図 12 室内温度と外気温度の関係

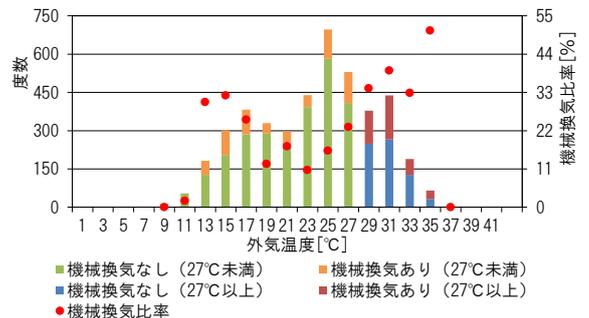


図 13 換気状況度数分布

## 4. 再生可能エネルギーを活用した環境設備

### 4.1 太陽熱利用換気・空調・給湯システム

#### (a) 計画概要

南側に開けた立地を活かして真空管式太陽熱集熱器を設置した。図 14 に太陽熱利用概念図を示す。真空管式太陽熱集熱器を導入することで、冷房期のデシカント外調機除湿ローターの再生熱、冬季の暖房負荷、年間を通して発生する給湯負荷を組み合わせ、太陽熱を安定的に利用することで、環境負荷低減に寄与することを目指して計画を行った。

本建物は、学生生活の中心となる場所であり、ラウンジ・食堂は、多数の学生が利用する。特に、ラウンジは、様々な家具を採用しており、食事以外にも、勉強・団欒など多目的な利用が想定された。そこで、人からの潜熱負荷や導入外気の潜熱負荷による全熱負荷に占める割合が大きくなる条件下においても、良好な室内環境を保つことができるように、外気導入に対してデシカント外調機を採用し、除湿ローターの再生熱に太陽熱を利用する計画とした。また、食堂に併設された厨房があるために年間を通して存在する給湯負荷や冬季の暖房に対しても利用することで、有効的に活用できる計画とした。

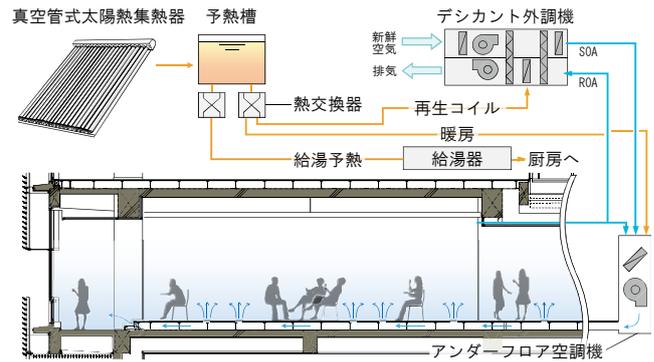


図 14 太陽熱利用概念図

#### (b) システム概要

本計画では、太陽熱利用設備として、真空管式太陽熱集熱器を採用した。太陽熱集熱器の設置角度は建築計画と集熱効率から、40度とした。集熱された太陽熱エネルギーは、図 15 に示すように、集熱タンクを介して、空調と給湯の予熱に利用する計画とした。空調利用では、夏季はラウンジ系統空調機へ新鮮空気を搬送するデシカント外調機の除湿ローターの再生熱として、冬季は暖房用とした。給湯の予熱は、年間を通じて利用可能な計画とした。

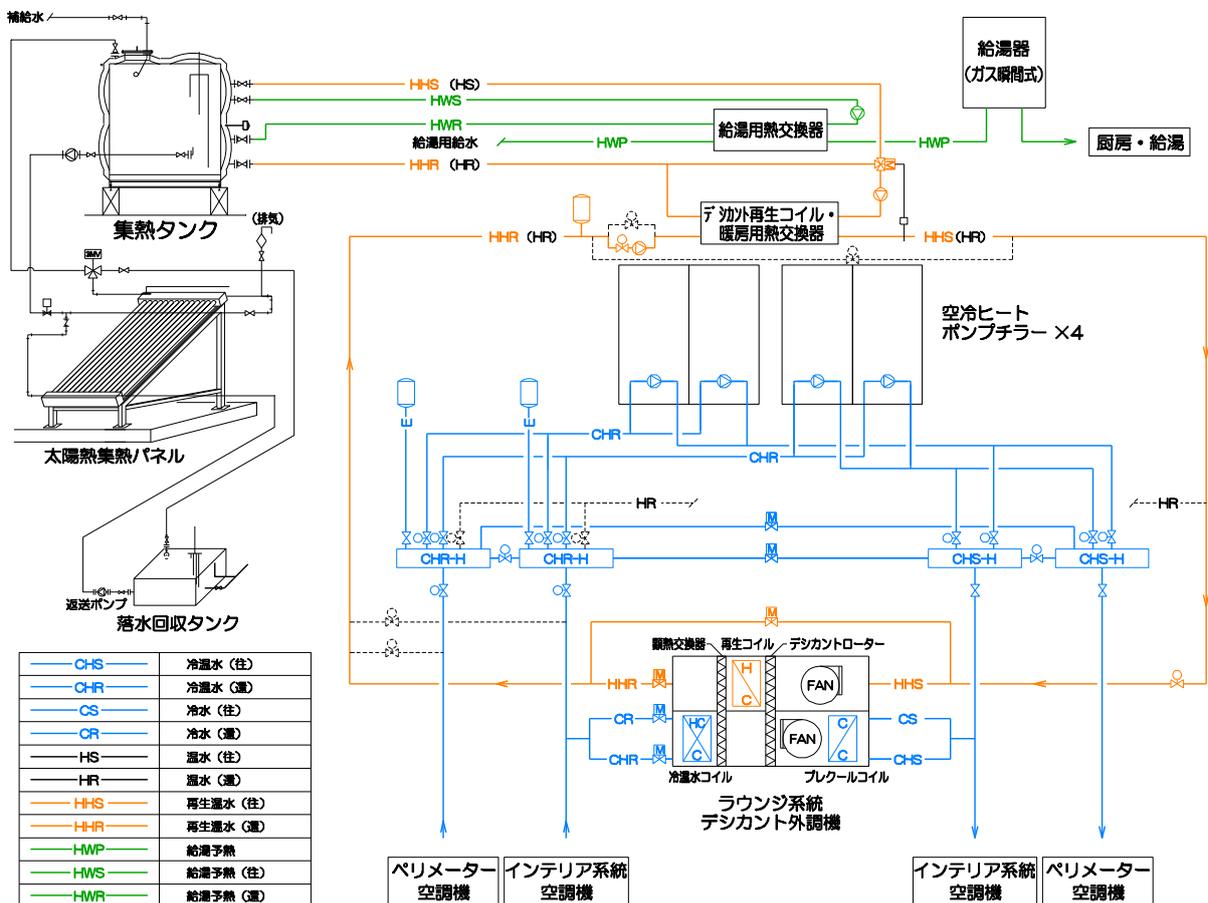


図 15 太陽熱利用換気・空調・給湯システムフロー図

運用方法は、季節毎に運転フローを切替えることで年間を通じて安定的に太陽熱を利用できる計画とした。図15は太陽熱利用換気・空調・給湯利用のシステムフロー図のうち、夏季の太陽熱をデシカント外調機の除湿ロータ再生熱と給湯予熱に利用する場合（モード①）を示している。前述のモード①を含めて、

- ・モード①（熱源：冷房、太陽熱利用：デシカント外調機再生温水＋給湯）
  - ・モード②（熱源：暖房、太陽熱利用なし）
  - ・モード③（熱源：暖房、太陽熱利用：給湯＋暖房温水）
  - ・モード④（中間期（熱源：暖房＋冷房、太陽熱利用：デシカント外調機再生温水＋給湯）
  - ・モード⑤（熱源：暖房＋冷房、太陽熱利用：給湯＋暖房）
- を季節毎にスケジュール運転する計画とした。

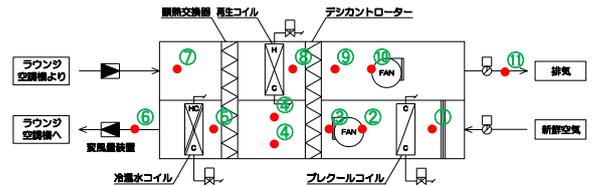


図 16 デシカント外調機温湿度計測点

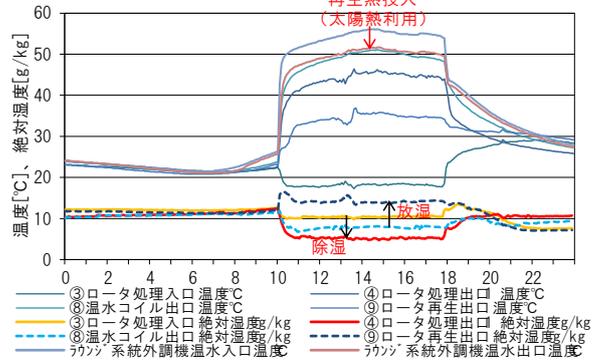


図 17 デシカント外調機廻りの実測値

(c) 太陽熱利用デシカント外調機による温熱環境評価

太陽熱を利用したデシカント外調機による除湿効果と室内温熱環境について、実測を行った。計測期間は、デシカント外調機が2013年9月9日～2013年9月28日、室内温熱環境計測が2013年9月7日～2013年9月8日である。また、期間内の空調運転時間は、10時～16時である。図16にデシカント外調機の温湿度計測点を示す。

図17にデシカント外調機廻り経時変化、図18にデシカント外調機廻りの空気状態、図19にデシカント外調機の処理熱量を示す。図18では、9月18日14～16時のデシカント外調機廻りの空気線図上の動きを5分間隔データとしてプロットしている。図19では、同日の1日のデシカント外調機の処理熱量を冷却減湿方式と比較している。図17～図19より、再生コイルに太陽熱による温水が供給され、デシカントロータによる除湿・再生が行われ、ラウンジに平均で20度・43%の新鮮空気が給気されていることが確認できた。また、冷却減湿方式に比べて熱処理熱量が約20%低減されている。

図20に同日の室内温熱環境実測値を示す。空調時間帯での安定した条件下では、室内温度は約26～27℃前後、室内湿度は約50%前後にて推移しており、良好な室内環境を維持できている。

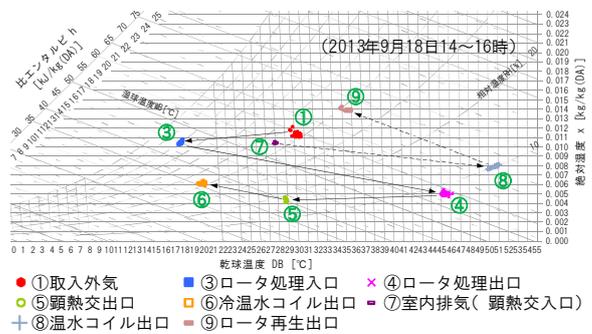


図 18 デシカント外調機廻りの空気状態

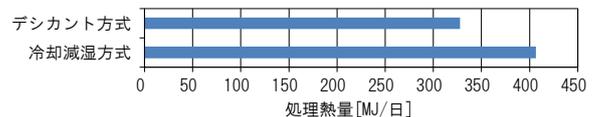


図 19 デシカント外調機の処理熱量



図 20 夏季における室内環境実測値

(d) 太陽熱集熱パネルの利用実績

図21に月別集熱タンク内温度を示す。タンク内では温度計測を垂直方向に3点実装しており、上部・中部・下部に設置している。1時間毎の温度データを集熱ポンプが稼働している時間帯のみ抽出し、各月毎に平均値・最大値・最小値をプロットしている。上部・中部の温度はほとんど差異がなく図21では重なった状態にある。一方、下部の温度は上部・下部に比べて常に低い温度となっている。集熱タンク内の熱を利用する際には、下部の温度で実施していたが、より有効に熱を利用するために、現在は中部の温度での利用

に変更している。また、12月から3月にかけて相対的に集熱タンク温度が低下しているため、今後の運用として、集熱タンクの水位変更を実施していく方向である。

図22に給湯負荷実績値を示す。例年4月は新入生による影響で給湯負荷は増えるが、2013年4月は、80周年記念館運用開始時にも重なり、冬季よりも大きな給湯負荷となっている。

図23に2014年6月における太陽熱利用先内訳を示す。デシカント用再生温水と給湯余熱に供給されている。土曜日は授業がないが、食堂は運用されており、給湯予熱が発生している。日曜日は食堂は運用されていないが、自習での利用があり、デシカント外調機の除湿ローター再生用温水が発生している。太陽熱の集熱量に対する利用率は約59%となっているが、温熱負荷の小さい土日・日曜を除くと約68%であった。

図24に2013年4月から2014年6月までの太陽熱集熱量の実績値を示す。集熱量のうち2013年4～6月は運用開始後の調整期間としていたため、他月に比べて低い値となっている。2014年4～6月の集熱量は、安定していることがわかる。運用時間の短い8月を除くと各月とも4,000MJから6,000MJの間で推移している。

#### (e) 太陽熱利用による効果

図25に太陽熱利用による一次エネルギー削減量を示す。換気・暖房・給湯にかかわる一次エネルギーは、導入なし（太陽熱集熱パネルなし、ラウンジへの換気は冷却減湿型外調機）と比べて年間で5%の削減となった。

## 4.2 省エネルギー型厨房換気システム

### (a) 計画概要

業務用厨房は、利用人数が多くエネルギー消費量が多い傾向にある。従来厨房における換気量は、理論廃ガス量や電気容量に基づくもの、フードの面風速に基づくもの等、様々な基準や指針があるが、いずれも換気量が多く、エネルギー消費が大きくなる。また、大量の外気を室内に供給する必要があるため、作業空間の温熱環境に大きな影響を及ぼすことが考えられる。そこで、本厨房は、換気風量制御による省エネルギー化を図りながら、置換換気の併用により、温熱環境を改善することを目指して計画を行った。

### (b) 厨房計画概要

食堂に併設された厨房は、ガス・電気併用の厨房であり、主厨房・パントリー・洗浄室から構成される。表2に厨房概要、図26に厨房平面図を示す。

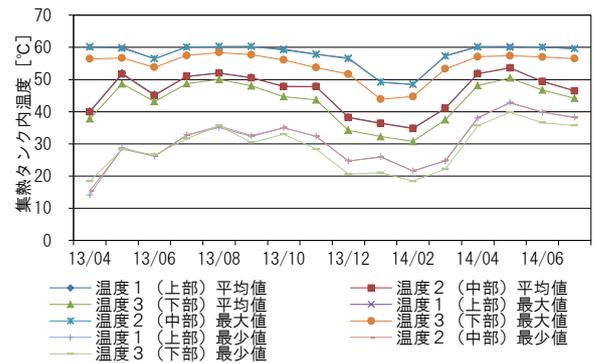


図21 月別集熱タンク内温度



図22 給湯負荷実績値

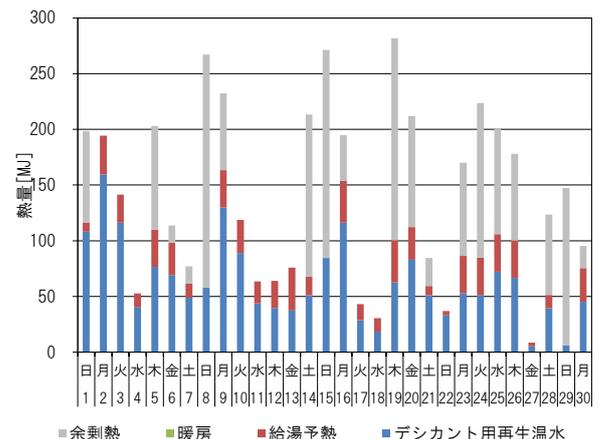


図23 2014年6月における太陽熱利用先内訳

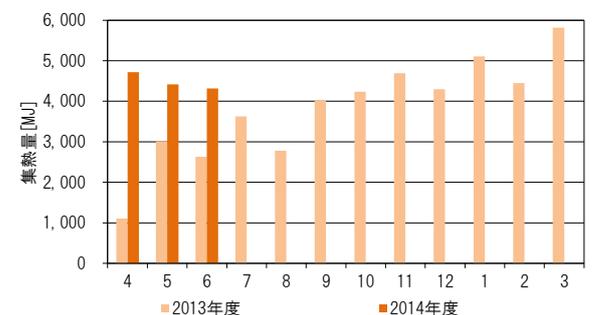


図24 太陽熱集熱量実績値

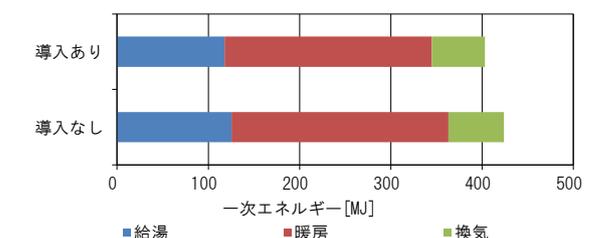


図25 太陽熱利用による一次エネルギー削減量

パントリー・洗浄室の換気計画は、食堂に設置されている空調機に導入された新鮮空気が食堂からパントリー・洗浄室を通じて排気される。主厨房については、専用に設置した外気処理空調機及び給気ファンからの未処理外気が主厨房内の各エリアに給気され、排気フードを通じて排気される計画とした。給気場所については、外気処理分は天井面から低風速にて吹出しとし、未処理外気は、蒸気系厨房機器の側面の壁面下部からの低風速での吹出しとした。

空調計画は、空冷ヒートポンプパッケージエアコン室内機(天吊型厨房用、循環タイプ)を設置した。

換気量は厨房機器のガス流量及び電流値により制御を行い、換気動力と外気処理空調機の処理熱量の削減を図っている。図 27 に換気量制御系統図を示す。換気量制御の考え方として、排気系統は、油系フードと蒸気系フードの 2 系統とし、各 1 台のファン (EF-R-1、EF-R-3) を設置している。給気系統は、前述の通り、外気処理空調機、給気ファン (OF-R-1)、食堂の空調機経由にて供給されている。

蒸気系フード A・C・F・G・J の排気風量制御は、各厨房機器のガス流量及び電流値により、フード毎に VAV の比例制御を行う。各 VAV の風量設定値をコントロール間通信により受信し、加重平均により必要風量の算出を行い、排気ファン (EF-R-1) の回転数制御を行う。油系フードの排気風量制御は、D・E 系統 (主厨房) と H・I 系統 (パントリー) に分け、各々にモーターダンパーを設置し、微風・弱・強の組合せにより 9 運転モードを設定し、手動もしくはスケジュール運転により排気ファン (EF-R-3) の回転数制御を行う。上記に対する給気ファン制御は、主厨房蒸気系フード A・C に対しては、給気ファン (OF-R-1)、主厨房油系フード D・E に対しては外気処理空調機、蒸気系フード F・G・J と油系フード H・I に対しては、食堂の空調機経由給気ファン (OF-3-1、OF-3-2) が対応し、それぞれファンの回転数制御を行う。

### (c) 実測結果

図 28 に主厨房内の温度実測の経時変化を示す。厨房内の温度状態は外気温度に関わらず、24℃前後となっていることがわかる。換気量の変化に関わらず、平均的に温熱環境は維持されていることが確認された。

図 29 に厨房機器のガス流量の経時変化、図 30 に厨房機器の電流値の経時変化を示す。食器洗浄機は、運用時間内において継続的に利用されており、洗い物がある程度発生した時点で都度利用されている。ゆで麺機は、9:30~13:30 に稼働しており、昼食の提供後、停止されている。ライスロボは、食数に応じて 7:30~8:30 を主として 3 回に分けて炊き分ける運用となっている。スチームコンベクションオ

表 2 厨房概要

| 形態     | 学生食堂(食数(昼): 400食×3回転=1200食)          |    |    |         |
|--------|--------------------------------------|----|----|---------|
| 床面積    | 主厨房: 75.29㎡ パントリー: 50.82㎡ 洗浄室: 30.9㎡ |    |    |         |
| 食堂営業時間 | 10:00~15:00(昼食) 朝食                   |    |    |         |
| 場所     | 主要機器名称                               | 熱源 | 台数 | 消費量(kW) |
| 主厨房    | スチームコンベクションオープン                      | 電気 | 2  | 36.2    |
|        | ガステーブル                               | ガス | 1  | 90.9    |
|        | ライスロボ                                | ガス | 2  | 34.2    |
|        | 低輻射ガスフライヤー                           | ガス | 1  | 22.8    |
| パントリー  | IH調理器                                | 電気 | 1  | 5.2     |
|        | 無沸騰噴流ゆで麺機                            | ガス | 1  | 18.6    |
|        | 電気フライヤー                              | 電気 | 1  | 6.0     |
| 洗浄室    | IH調理器                                | 電気 | 1  | 15.0    |
|        | 自動食器洗浄機                              | ガス | 1  | 28.0    |

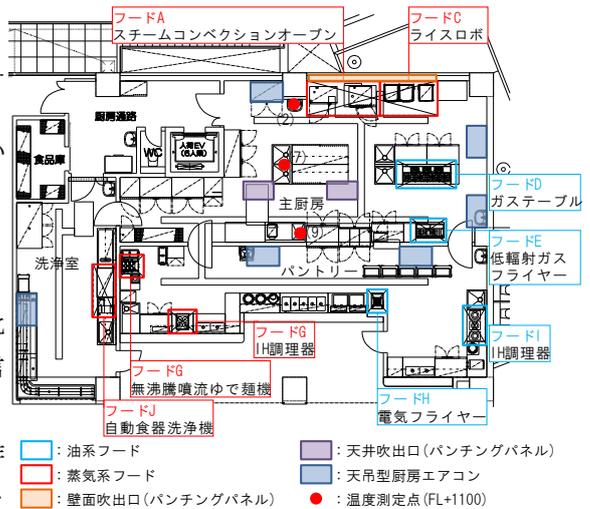


図 26 厨房平面図

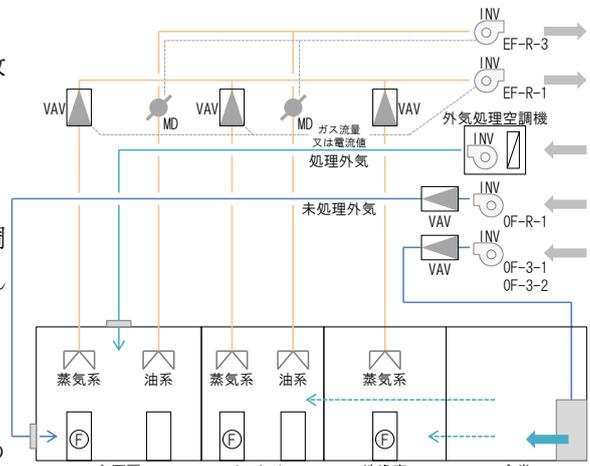


図 27 換気量制御系統図

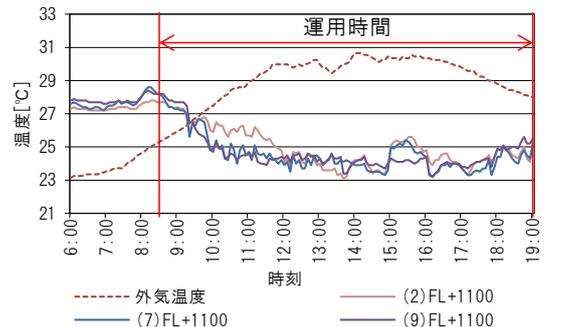


図 28 主厨房内の温度変化

ーブンは、昼食及び寮食の提供前に稼働している。

図 31 に排気ファン電流値の経時変化及び厨房機器のガス流量・電流値からの要求排気風量の経時変化を示す。排気ファンの電流値は、定格電流値約 10A に対して約 2A を下限として経時変化している。傾向としては、食器洗浄機を除く厨房機器のガス流量、電流値をベースとして稼働し、食器洗浄機のガス流量に合わせて排気ファンの電流値が変動していることがわかる。

また、図 32 に厨房機器負荷率の経時変化（1 時間平均）を示す。厨房機器負荷率は、機器全体のピーク値で約 6%、機器単体では数%から 40%の間で経時変化しており、実態として低い負荷率での運用となっていることが確認された。

図 31 及び図 32 より、排気ファンは、厨房機器のガス流量及び電流値に追従して制御されていることが確認された。但し、厨房機器の負荷率が低いため、排気ファン風量の下限值でも要求排気風量以上の運転となっている。換気風量の観点からは、排気ファンの台数分割により対応可能となる。なお、本計画では、定格風量での運用に対して、換気動力の削減量は約 83%となった。

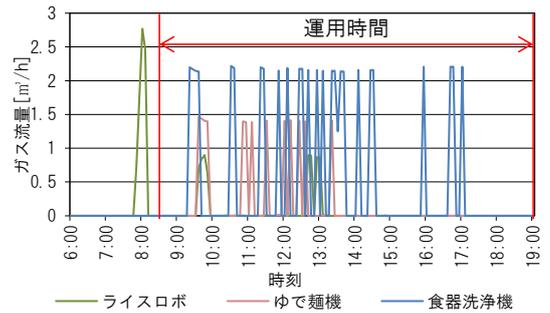


図 29 ガス流量の経時変化  
(ガス式厨房機器)

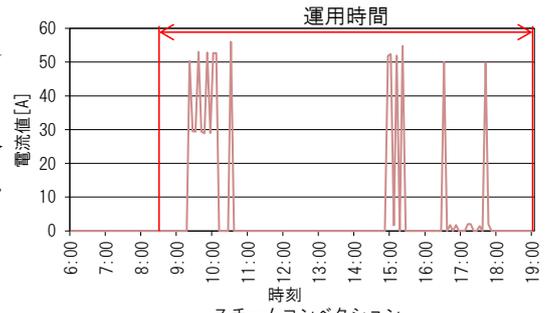


図 30 電流値の経時変化  
(電気式厨房機器)

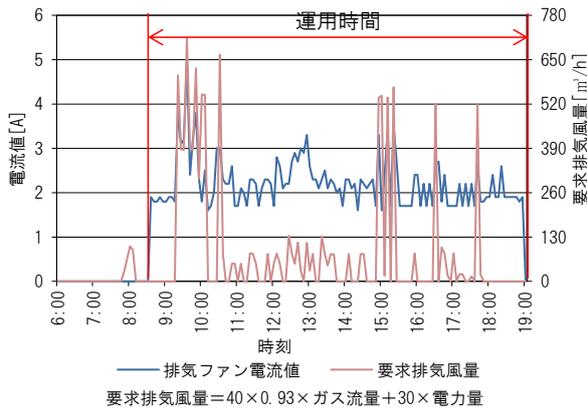


図 31 排気ファン電流値と要求排気風量の経時変化

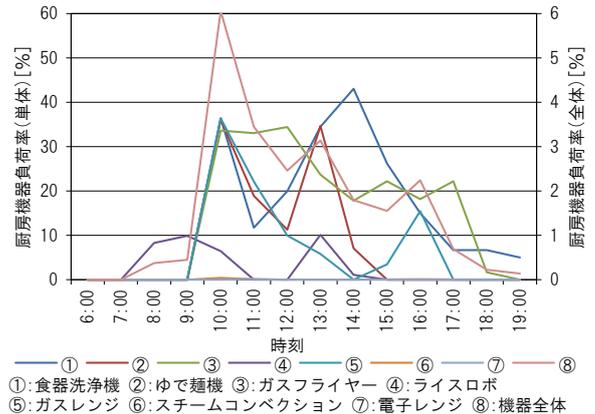


図 32 厨房機器の時間別負荷率

## 5. 省エネルギー効果

2013 年 4 月～2014 年 3 月のエネルギー消費量の実績より、本建物の省エネルギー効果を確認した。年間の一次エネルギー消費量について、図 33 に本建物の実績値と既存建物の実績値から算出した基準値の比較を示す。単位面積あたりの年間一次エネルギー消費量は、792[MJ/m²・年]であり、基準値の 1507[MJ/m²・年]と比べて約 47%の削減を達成した。

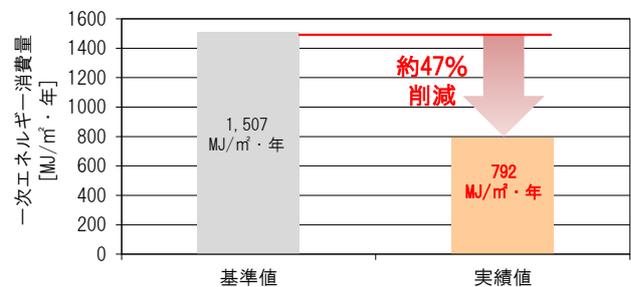


図 33 一次エネルギー消費量の比較

## 6. まとめ

神戸薬科大学では、6 年制への対応やより高度な教育カリキュラムを提供するため、施設拡充と魅力的なキャンパス作りに継続的に取り組んでいる。また、学生数の増加や教育カリキュラムの充実により、キャンパス全体のエネルギー消費量が増加傾向にある中で、施設・設備の建設・改修・保全を通して地球環境保全への取り組みを積極的に進めている。

本建物は、学生数の増加に伴って手狭になった既存食堂の移転、老朽化した体育館の更新、学生の勉強・団欒・食事など多目的に利用できるラウンジを一体化した施設として、

- ・キャンパスの中心となる立体広場
- ・自然と交歓する建物
- ・斜面特性を生かした環境配慮建築

を建物全体の基本コンセプトに掲げ、計画された。

このコンセプトを具現化するために、立地条件を活かしながら建物全体のシステムとして、建築・構造・設備の各分野で様々な技術検討を行いながら、計画の融合を図っている。その中で、設備分野においては、

- ・眺望性を確保したライズ型外ルーバーによる環境調整
- ・建築空間と調和したアンダーフロア空調
- ・敷地特性を活用した自然換気（体育館）
- ・太陽熱を利用した換気・空調・給湯システム
- ・省エネルギー型厨房換気システム

を検討・実施し、基本コンセプトを実現することができたと考えている。

# 大正製薬関西支店における環境計画と実施

## Environmental Planning and realization of Taisho Pharmaceutical Kansai Branch

㈱竹中工務店 大阪本店 設計部

Takenaka Corporation、 Mechanical and Electrical Engineering Section、 Building Design  
Department

篠島 隆司、矢野 聡之

Takashi SHINOJIMA、 Satoshi YANO

キーワード: 健康な(Healthy)、外部吹抜け(open-air atrium)、外光利用(use of the external light)、  
外気利用(use of the outside air)、省エネルギー(Energy Saving)

### 1. はじめに

本計画は大正製薬が創立 100 周年を迎える記念事業の一環として、関目にある大阪支店(現関西支店)を利便性の高い千里中央に移転することに始まった。大正製薬の企業姿勢は「生活者の皆さまの健康でより豊かな暮らしの実現に貢献すること」に代表される。そこで製薬企業の新社屋として、「健康」をテーマとして新しい「健康な未来のオフィス」を創造することを目指して、設計を進めた。

本計画では環境配慮にも積極的に取り組み、先進的な省エネルギー技術・省CO<sub>2</sub>技術を多々採用することで、大阪府CASBEEのSランクを取得している。

### 2. 建築概要

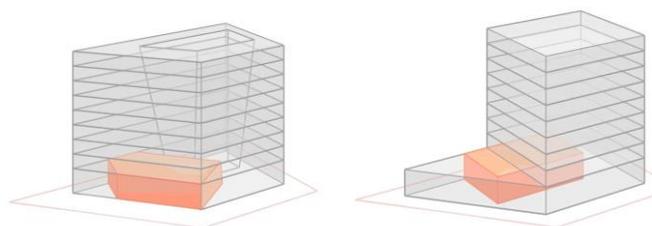
建物名称 大正製薬関西支店  
所在地 大阪府豊中市新千里西町  
建築主 大正製薬㈱  
主用途 事務所  
設計監理 ㈱竹中工務店  
延床面積 11、966m<sup>2</sup>  
階数 地下2階、地上8階、塔屋1階  
構造 地上S造、地下SRC、RC、S造  
工期 2010年9月～2012年7月



写真—1 建物外観

### 3. 建築計画

敷地は 1970 年代に一体開発された区域で、幹線道路が交差するインターチェンジに面しており、東から南にかけて眺望が開けている。この優れた眺望を確保し、自然の風や光などを最大限に利用した省エネルギーのオフィスとすることが求められた。この地域は地区計画条例により、5mの壁面後退と4階以上の水平投影面積が敷地面積の40%以下にする制約があった。通常であれば、低層部が大きく高層部が細いタワー型のボリュームになるが、オフィスとしては奥行きが深くL字型のレイアウトになってしまう。豊中市との綿密な協議により、建物中央部に地下1階から屋上まで続く外部吹抜空間を配することで規制をクリアし、奥行きが浅く眺望に優れた明るいオフィスレイアウトを実現することが可能となった(図—1)。



図—1 建物ボリューム検討(左:実施)

環境にやさしいオフィスは人にもやさしく、使う人が健康になれるオフィスとなる。身体を積極的に使う階段や回遊動線があり、吹抜から光や風を取り入れ五感を刺激し、気分が変わるよう空間に変化をつけることで、人々の交流が深まりコミュニケーションが誘発される。建築を通じて、人から都市に健康を広げていく、大正製薬の企業理念を建築に具現化し、新しい建築のあり方を提示できたのではないかと思う。

#### 4. 環境配慮計画

##### 4. 1 吹抜から取り入れる自然の光、風

自然の風や光などを最大限に利用した省エネルギーのオフィスとすべく、建物中央部に地下まで続く外部吹抜空間を配することで、眺望に優れた明るいオフィスレイアウトを実現した(写真-2)。吹抜は上部が広がった形状をしており、執務空間と共用ゾーンを緩やかに分けつつ光と風を取り入れる。その傾きは夏至の太陽高度(78°)と同じで、夏至の正午には地下1階の車寄せまで太陽光が届く計画とした(図-2)。執務室は両面採光により明るく、照明制御の効果も合わせ、照明の消費電力を50%低減している。

中間期には窓を開放し積極的に外気を取り入れることにより、空調負荷を低減する計画とした。気流解析を行い、卓越風である西南西の風向きの場合、吹抜から外気を有効に取り入れられることを検証した。(図-3)

##### 4. 2 立体的緑化とミストによる吹抜の空気質向上

新鮮外気は各階吹抜け側より取り入れる計画としている。それは立体的緑化(写真-2、3)を施し植物が光合成により発する良質な酸素を取り入れるためである。またミスト噴霧装置を各階バルコニーに設置し、夏期は吹抜空気全体を冷却し、吹抜全体の空気質向上に寄与している。

吹抜けに南面するバルコニーは立体的な緑化(写真-2)を行い、日射遮蔽するとともに執務空間からいつでも眺められる身近な緑となる。

##### 4. 3 外装による熱取得率の低減

東と南面の外部には大型の遮光水平ルーバー(写真-4)を設置し、開放的な眺望(図-4)は保ちつつ年間平均で約21%の日熱量を制御している。ガラスは高遮熱複層ガラスを全面に採用し、更なる熱負荷低減を目指した。屋上(写真-5)は、屋上緑化と下階の食堂に連続し回遊できるウッドデッキにより、遮熱性能を高めヒートアイランド現象を防止するとともに、オフィスワーカーの気分転換の場所として快適性を高めている。



写真-2 内部吹抜け

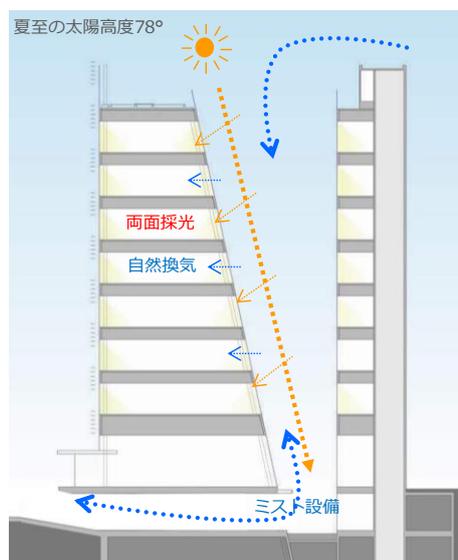
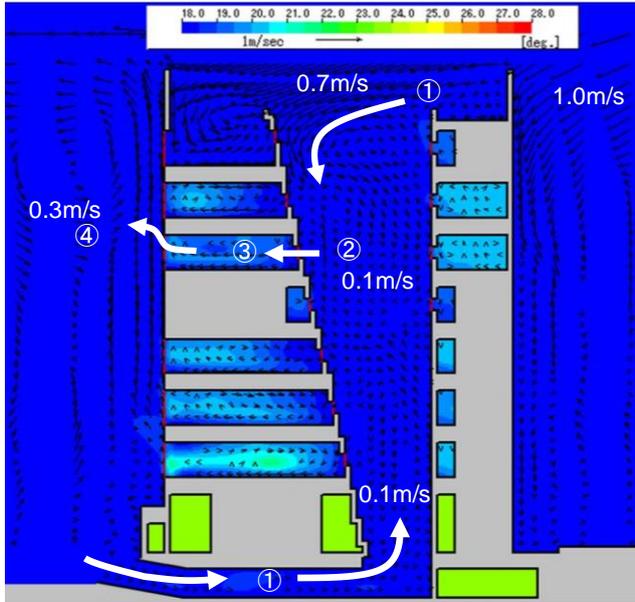


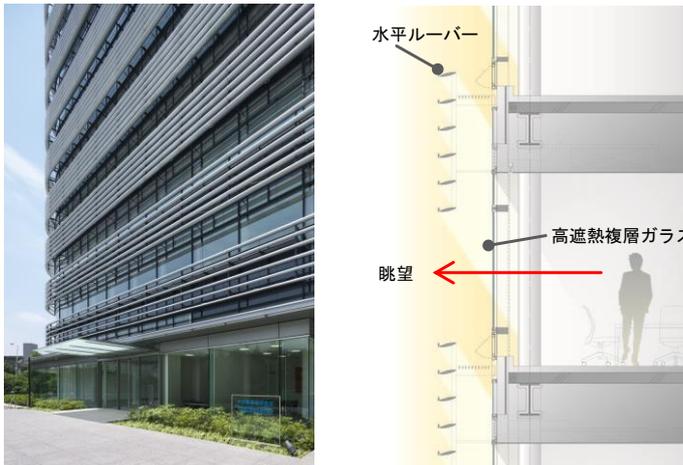
図-2 建物断面構成



図—3 気流シミュレーション

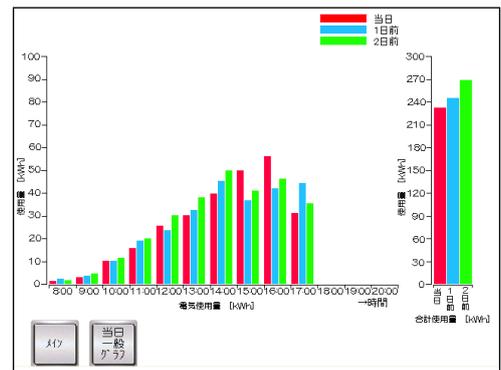


写真—3 屋上緑化



写真—4 外装ルーバー

図—4 外装断面



図—5 消費電力量表示

#### 4. 4 階段利用促進によるEV利用率の低減

階段は吹抜に面して執務室からEVに行く手前に設けることにより、日常での階段利用を促進し、EV利用の低下を狙っている。吹抜をとりまく回遊動線とともにこの開放的な階段が出会いと交流を促し、日々の健康増進に役立つものと期待している。

#### 4. 5 全員参加型省エネ啓蒙

建築主、設計者が如何に密な打合せを実施し省エネルギー可能なシステムを導入し完成させたプロジェクトであっても、ユーザー自身への使い勝手によりエネルギー使用量には膨大な差が表れる。そこで各階事務室の照明・コンセント・空調の消費電力量を計測し、これらの数値を事務所出入口2か所に配置したタッチパネル式液晶に表示（図—5）することで、前日・前月・前年、もしくは各階（各部署）等の値と比較でき、客観的な電力使用量を執務者全員に認識させ、省エネへの意識向上を図る計画とした。

#### 4. 6 循環可能エネルギーの利用

約8kwの太陽光発電設備と蓄電設備を設けて、照明用電力として利用している。地下には雨水貯留

槽を設けて、日常的には植栽への散水やトイレ洗浄水に利用している。震災時には非常用濾過装置を用いて、飲料水としての利用も可能としている。

## 5. 空調設備計画

### 5. 1 熱源設備

1970年供給開始の日本初地域冷暖房プラント（千里エネルギーセンター）より冷水と高温水を受け入れ、冷水についてはブリードイン、高温水については熱交を介して二次側に接続している。ブリードイン方式とすることで冷水ポンプの稼働が最小限となり、省エネに貢献している。

### 5. 2 基準階事務室空調計画

空調方式はファンコイルユニット（FCU）＋調湿外気処理ユニットを採用し、事務室を6分割したゾーニングを計画した。南北3系統ずつ、事務室は両面外壁となる建築計画から、ペリメーター4ゾーン、インテリア2ゾーンで冷温水の切替えが可能な計画とし、冬期・中間期のペリメーターゾーンの執務者の冷温感に配慮した。

インテリアゾーンの制御には外気と事務室のエンタルピーを演算してエネルギー消費を最小限とする5モード（①自然換気モード②外気冷房モード③調湿外気処理モード④ハイブリッドモード⑤通常空調モード）を自動選択できる方式とした（図-6）。特にハイブリッドモードとは、設定室温よりも少し低い外気をFCUのRA側に導入し、定格流量よりも少ない冷水をFCUに送り処理負荷に応じた吹き出し温度を実現できるシステムである。これにより必要な冷熱量は削減できる。また1台のFCUに5個のCAVを天井内に設置し、執務者の好みに応じてリモコンで風量を強弱選択できる計画とした。

ペリメーターは床吹き出し方式とし、暖房時の足寒頭温対策、冷房時の居住域空調を実現できる方式とした。冷房時直接冷気が当たる執務者への配慮として吹き出し温度を18℃とするFCUを選定している。

また、換気装置に調湿外気処理機を用い、夏期は除湿、冬期には加湿を有効に行える方式とした。外気導入量は室内設置CO<sub>2</sub>センサーにより各モード最少運転台数とする計画としている。

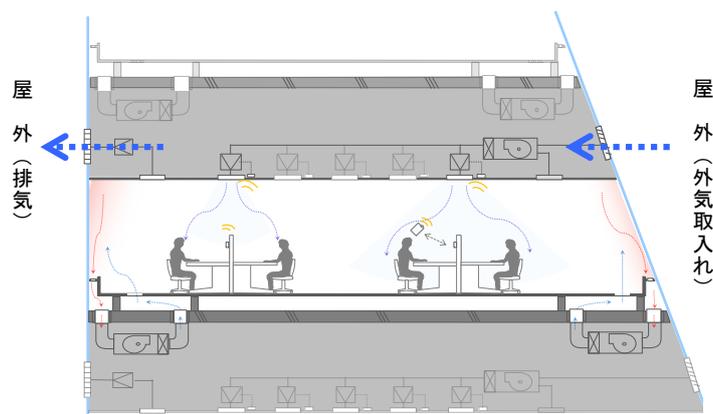


図-6 ハイブリッド空調システム概念図

### 5. 3 空調吹出口

事務室内設置の吹出口は、執務空間からはどれが吹出口か分からないよう、天井仕上材を活用し意匠的な配慮を行った。天井仕上材の上部に整流板付きのボックスを新規開発し、風量により気流感を得られる形状を実験（写真-5）にて確認し導入した。

また、仕上材は金属のパンチングパネルであり結露の懸念があった。これも実験にて空調吹き出し温度条件で一般の既成



写真-5 吹出口風向可視化実験

吹出し口と同等の性能を確保していることを確認した。ただし本プロジェクトでは事務室に手動解放窓が設置されており、湿度の高い外気が室内へ導入されることも想定されたので、手動解放窓の解放信号受信により空調システムを全停止する制御も組み込んだ。

## 6. 検証と実績

### 6. 1 ハイブリッド空調システムの効果

主に空調がハイブリッドモードとなるのは中間期である。図-7に3F執務室の中間期の1日(2012年10月5日)のハイブリッド運転モード時間を示す。この日、ハイブリッドモードになったのは9時~18時間の8.5時間程度で、外気温度が24~25℃と前日より低下した時間帯であった。10月5日と、この日と同程度の外気温度で、かつ通常運転モードのみ行っている日の空調熱負荷を比較した結果、インテリアゾーンで約30%削減できており、冷水量が低減できていることが確認できた。

### 6. 2 ミスト設備の効果

夏期のミスト噴霧による外気低減効果を調べるため、ミスト効果の高い4階の外気取入れ温度と、効果の低い7階外気温度の夏期実測データを比較した。吹抜けのミスト効果により、3~4℃外気取入れ温度が低くなっていることが確認できた(図-8)。

### 6. 3 地域冷暖房冷水ブリードインの効果

年間を通じて、冷水ポンプの稼働がなく、ブリードインによる効果が確認できた。なお、夏期ピーク時の冷水往還温度差を図-9に示すが、6℃~12~14℃と地冷側の供給条件を満足する結果であった。

### 6. 4 自然換気の効果

竣工後の5月に、自然換気の効果確認の実測を行った。外気温度が22~24℃のとき、日射負荷により室温が29~30℃の状態から、執務室東側半面の自然換気を行い、その後南東面も自然換気し全面換気を行った結果を、図-10に示す。半面換気開始5分間で急激に室温が減少しているが、それ以後変化は少なくなる。換気により室内熱負荷を処理することで、同一室温度を維持していると考えられる。全面換気後は、室内温度は外気温度に近づき、自然換気の有効性が確認できた

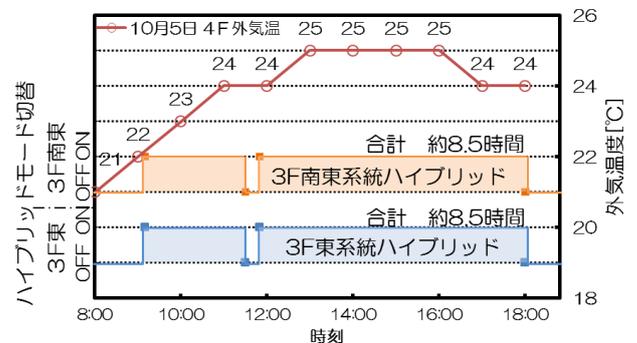


図-7 ハイブリッドモード運転状況

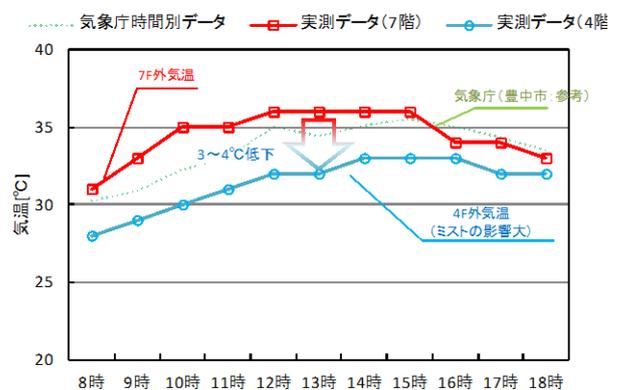


図-8 外気取入れ温度の比較

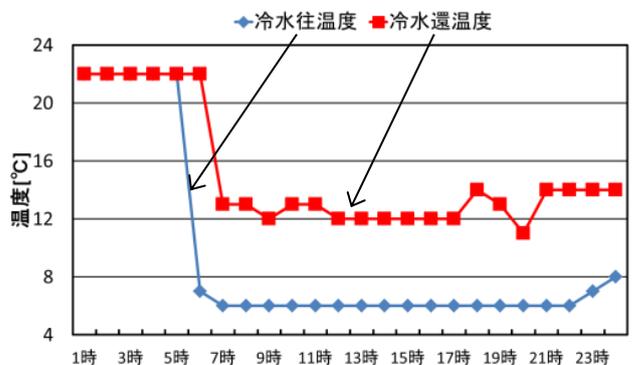


図-9 地域冷暖房冷水往還温度差(夏期)

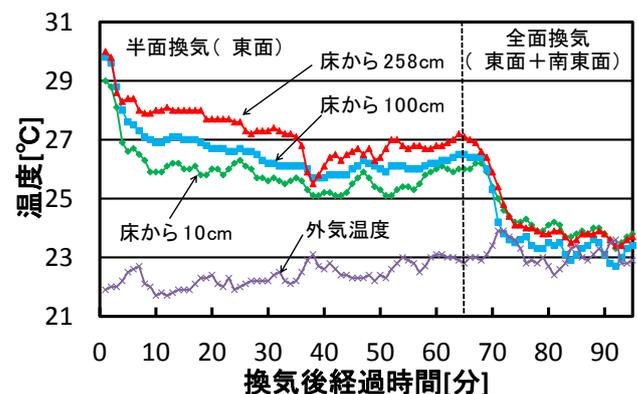


図-10 自然換気実測:執務室中央(2014.5.13)

## 6. 5 ペリメータ空調の効果

図-11より、ペリメータ空調として床吹出方式を採用したことにより、天井付近では熱だまりが確認できるものの床面及び床上1mの地点においては居住域空調が確認でき、居住域においてはインテリアゾーンとほぼ同程度以下の温度空間になっていることが確認できた。また、ペリメータにおける天井温度と居住域との差はおよそ2℃程度であった。

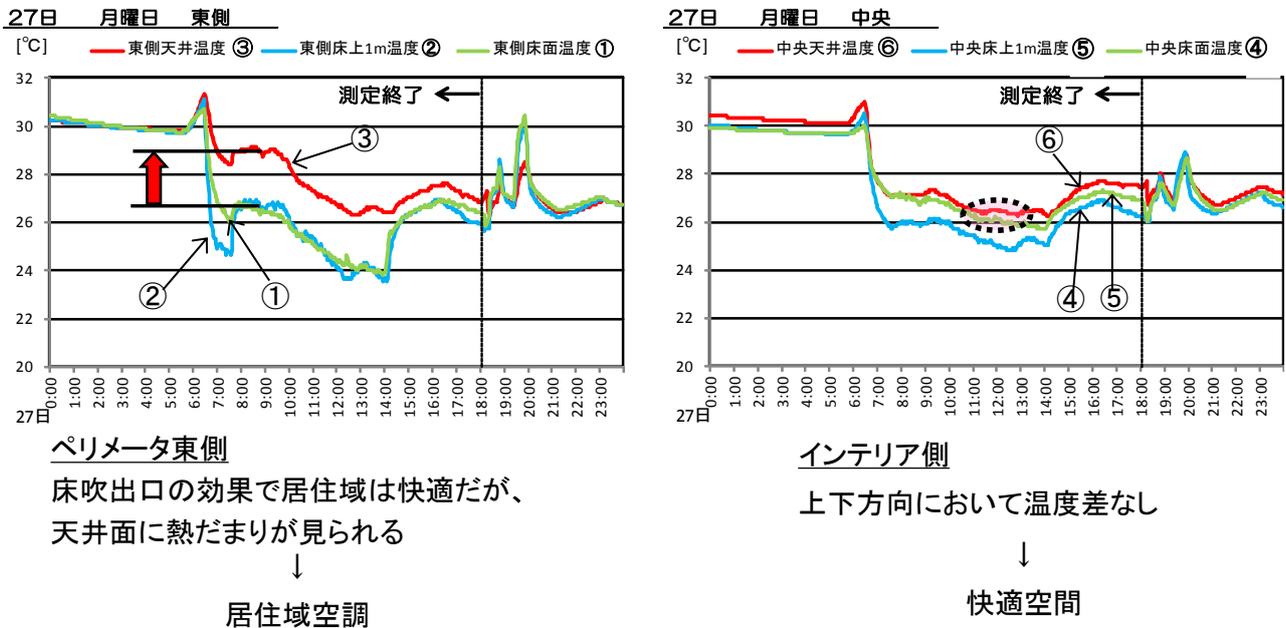


図-11 ペリメータゾーン及びインテリアゾーンの測定温度(2012.8.27)

## 6. 6 建物全体のエネルギー実績

建物全体の1次エネルギー及びCO2排出量は、空調の省エネ効果に加え、照明制御、エネルギーの見える化などの省エネ技術の導入や、運用面でも旧大阪支店における省エネの取り組みの継続により、大きな削減を図ることが出来た。1次エネルギーは、960MJ/m<sup>2</sup>・年と、一般事務所に比べ47%の削減となり、CO2排出量は、50kg-CO2/m<sup>2</sup>・年と一般事務所に比べ52%の削減となった。

## 7. おわりに

「健康」をテーマとした、新しい「健康な未来のオフィス」を創造し、今後のオフィスビルにおける、新たな提案を実現できた。最後に、本建物の設計・建設・運用にあたり、建築主をはじめとする多くの方々にご指導、ご支援を頂き、紙面をお借りし厚くお礼申し上げます。