環境と省エネルギーの両立を目指した「大阪フコク生命ビル」の空調計画 Air-conditioning planning for OSAKA FUKOKU SEIMEI BUILDING aimed at indoor environment and energy conservation balance

清水建設株式会社 設計本部 設備設計部 2 部

Shimizu Corporation Design Div. Mechanical/Electorical Design Dept.

清水 洋

HIROSHI SHIMIZU

キーワード:環境負荷低減 (Reduce Environmental Load)、潜熱顕熱分離空調システム (The Separate Latent and Sensible Heat Processing Air-conditioning System)、高機能ペリメータ空調システム (The High-Efficiency Perimeter Air-Conditioning System)、被験者実験 (Tests with Human Subjects)、

1. はじめに

「大阪富国生命ビル」は JR 大阪駅、大阪市営地下鉄 梅田駅に近接した都市再生特別地区内に位置しており、 周辺地上部では大規模な都市開発が急速に進み、多く の高層ビルが新たな風景を形成しつつある。一方で地 下には昔からの地下街が網目状に張り巡らされ、人々 と地域をつなぐインフラとして機能している。

本建物はこの地上と地下の都市空間をつなぎ、地下街のエネルギーを地上へと誘導する大阪の新たなランドマークの創出をテーマとしている。建物構成は、低層部の地下街ネットワークを活性化させる場となるアトリウム、店舗、教育・文化・芸術振興を目的とする関西3大学との産学連携施設、高層部のオフィス用途となっている。

外観は国際的に開かれたデザイナー選定プロセスに より、フランス人建築家ドミニク・ペロー氏のデザイ ンを選定し、建物全体を大樹に見立て、樹木のように 広がりのある低層部から矩形の高層部へと伸びていく フォルムを表現している。低層部に樹皮の綾模様を表 現する凹ユニットをもつガラスカーテンウォールは、 この建物を大樹として印象づけるための大きな役割を 果たすとともに、凹部の見込み部分に用いられたステ ンレス鏡面材と外壁のガラスが、時とともに変化する 周囲の情景を映し込み、印象深い表情を表現している。 エントランス廻りには、自然光で満たされるアトリウ ム空間「フコク生命(いのち)の森」があり、ガラス フィンに森の画像を転写したフォレストウォールやフ ローリングの床からなるこの空間は、地下商店街、地 下鉄、地上のオフィスロビー、周囲の店舗、低層部の 大学などを行き交う人々の広場となっている。



写真-1 建物全景



写真-2 外装カーテンウォール

建築概要

建 設 地 : 大阪市北区小松原町 2-4

規模:地上28階、地下4階、塔屋1階

構造:S造·SRC造

用 途 : 事務所、店舗、学校施設、駐車場

敷地面積 : 3,889.05 ㎡ 延べ面積 : 68,491.19 ㎡ 建物高さ : 132.06m

2. 計画概要

2-1 環境負荷低減手法

本計画で採用した環境負荷低減手法は大きくわけて4項目から成り、その一覧を図-1に示す。

空調計画上の主な特徴は、クールビズ空調に対応した快適性と省エネ性の両立を目指した潜熱顕熱分離 空調システム、日射負荷に対応した高機能なペリメータ負荷制御システムの採用であり、様々な空調熱負 荷に対し快適性を損なうことなく省エネルギーを実現することをコンセプトとしている。

これらの省エネルギー手法及び省 CO2 排出手法により、建物の総合性能を表す指標: CASBEE 大阪(大阪市建築物総合環境評価制度)ではBEE=3.3と最高のSランクとなり、2010 年度『CASBEE 大阪 OF THE YEAR』の顕彰建築物となっている。

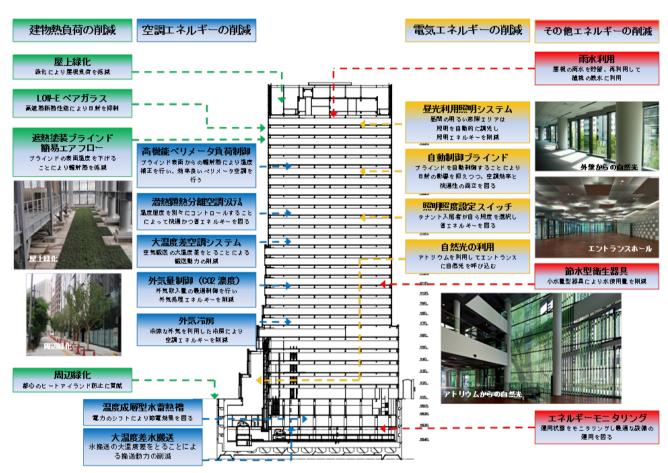
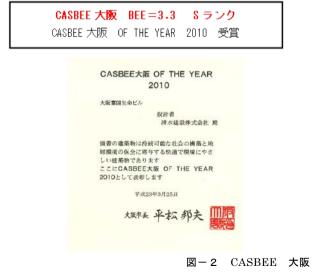
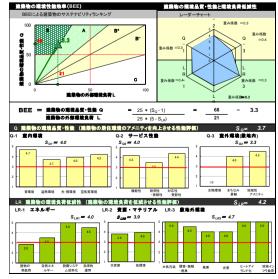


図-1 環境負荷低減手法





2-2 建築計画

基準階オフィスフロアは 7.2 m スパン、奥行 13 m \sim 16 m、天井高 2.8 m の整形で使いやすい執務空間を東、南、西面に配置している。執務空間は H = 100 mm の O A フロアとグリッドシステム天井で構成されおり、3.6 m モジュールに対応したフレキシブルな計画となっているとともに、開口部は床から天井までの Low-e ペアガラスによって構成されており、開放感あふれる執務空間を創出している。(図 \sim 3、写真 \sim 3)

また、建物中央部北側にコア部を配し、北側外壁側に外光の入る開放的なWCを設けている。コア南側の機械室内には屋上からの外気取入れのためのOAシャフトを設置し、外気冷房も可能としている。

階構成は、地下4階~地上27階から成り、地下2階では周辺の地下街と接続している。地下から3階には金融、飲食をはじめ店舗が入居するエリアとなっており、6~27階がオフィスエリアとなっている。

4,5階には産学連携施設として3つの大学(大阪大学、立命館大学、京都造形芸術大学)が入居し、地域への情報発信の場として貢献している。(図-4)

2-3 外装

今回の「都市における大樹」というコンセプトを端的に表現しているのがこの建物の最大の特徴であるカーテンウォールである。(写真-4)このカーテンウォールは4種類のユニットから構成され、その組み合わせは200種類にもなる。ガラスは金属の蒸着膜を2層にしたLow-eペアガラスを使用し、室内側に設置されるブラインドは外側を遮熱塗料として、日射が当たっても表面温度が上がりにくいものを使用している

2-4 フコク生命の森

地下 2 階のアトリウム「フコク生命 (いのち) の森」は地上 4 階までの吹き抜け空間であり、日中は太陽の自然光を地下街へと導いている。フコク生命の森の壁面には巨大なフォレストウォールが設置されており、これは白神山地の原生林の写真をピクセル化し、短冊状のガラスに挟み込んだものを 45 度角度をつけながら木場立てしている。(写真-5)

見上げる位置によって視線が透過したり、巨大な森が 出現したりすることで表情豊かな空間を創出している。 またこの空間への空調には木の精油から抽出した「フ 写真-4 カーテンウォール ィトンチッド」による香り空調を採用し、アトリウム に集う人々に「森林に包まれて癒される」ことを感じ られるように計画している。 写真-5 フォレストウォール

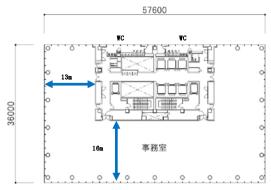


図-3 基準階平面図



写真-3 基準階事務室





3. 設備概要

大阪富国生命ビルでは、快適性と省エネルギー性の両立をコンセプトとし、以下を設備計画の方針とした。

- 1) クールビズ運転時においても快適性を確保する。
- 2) 建物の特徴であるガラスカーテンウォールとから成るペリメータ空間の快適性、省エネ性を両立する。
- 3) 自然エネルギー利用と高効率機器を採用する。

これより、インテリア空間に対しては潜熱顕熱分離空調システムを、ペリメータ空間には簡易エアフロー からなる高性能ペリメータ負荷制御システムを取り入れている。

3-1 潜熱顕熱分離空調システム

近年、エネルギー削減のために夏期の室内の設定温 度を27 \mathbb{C} \sim 28 \mathbb{C} にする例が多く見られる。従来型 の空調機では設定温度を上げると吹き出し温度が上が り、結果として除湿されない空気が室内に供給されて 湿度までが上がってしまい、室内の快適感が損なわれ てしまうことが多い。除湿するためには室内からの還 気を冷却し、再熱して吹き出し温度を上げる必要があ るが、温熱が必要となる。

省エネルギーに配慮しつつ、快適性を確保する温湿 度条件を実現するには、潜熱・顕熱を分けて処理する ことが有効であると考え、空調機には「潜熱処理」を 主目的とした外気処理コイルと、「顕熱処理」の為の室 内負荷処理コイルを別々に設けた。外気処理コイルは 外気を室内の湿度を適切に保つレベルに処理し、室内 負荷処理コイルは顕熱分のみを処理することとした。 この潜熱顕熱分離空調機(以下デュアルコイル型空調 機)の概念および従来型空調機との違いを図-5,6 に示す。

3-1-1 潜熱顕熱分離空調システムの 省エネルギー性の検証

①シミュレーションによる省エネルギー性の検証

計画段階にて、空調機の内部挙動を確認することが できる簡易計算モデル (以下、計算モデル)を作成し、 デュアルコイル型空調機の調湿範囲の確認を行った。 また、従来型空調機及び再熱型空調機との処理熱量比 較を行った。図-7にデュアルコイル型空調機の計算 モデルの概要図を示す。このモデルを使用し、目標と する温湿度を入力することで還気処理コイルと外気処 理コイルの出口温湿度や吹出温度、空調機全体の処理 熱量等を算出可能できる。

この結果、従来型再熱なしでは28℃時の相対湿度は 54%RH が下限であったが、デュアルコイル型では 40%RH ~54%RH の範囲を自由に調節ができることが確認でき た。図-8に各空調機の処理熱量を示す。再熱型とデ ュアルコイル型を比較した場合、デュアルコイル型は 再熱型に比べ処理熱量が少なくなる事が確認できた。

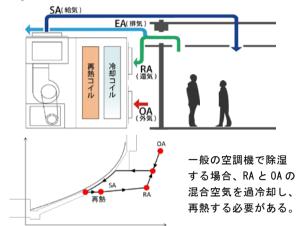
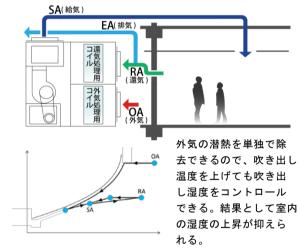


図-5 従来型の空調機及び空気線図



図ー6 デュアルコイル型の空調機及び空気線図



140 E 100 献 劇 40 室内相対湿度 (28℃時)

図-8 各空調システムの処理熱量比較

②省エネルギー性の検証結果

図-9に設定温湿度が目標 26℃・50%の場合の再熱 150 型空調機とデュアルコイル型空調機のコイル消費熱量 150 の変化の実積、及び目標 28℃・40%の場合の同変化の 実積を示す。代表日は各目標温度差の測定日の中から 日中の外気温湿度が高く、日射量の値が大きい一日を 選出した。

デュアルコイル型空調機は目標温湿度が 26 \mathbb{C} · 50%、 28 \mathbb{C} · 40%いずれの場合も 9 時から 17 時の間、常に再熱型空調機よりも消費熱量が小さくなっていることが確認できた。再熱を行わず、湿度コントロールを伴わない従来のクールビス空調は省エネルギーに繋がるが、快適性は損なわれる。潜熱顕熱分離空調システムは快適性を確保しつつ省エネルギーを考慮した空調システムであるといえる。(図-10)

3-1-2 潜熱顕熱分離空調システムの快適性の検証

図-11に CASE1~3 の温冷感申告と湿潤不満足者率の結果を示す。CASE1~3 の各条件下で湿度を変化させているが、平均放射温度等のちがいで PMV 値が+1.0 程度となる被験者実験のデータを抽出し、比較検討した。

室温 28℃で PMV が同程度の 3 ケースであるにもかかわらず、アンケートによる温冷感申告は低湿度に向かうにつれて低下している。特に 28℃40%RH の温冷感申告は 28℃60%RH、28℃50%RH に比べ有意に低くなっている。また湿潤不満足者率も湿度が低下するにつれ減少している。図-12に環境測定による PPD、アンケートによる不快者率との比較を示す。アンケートによる不快者率は低湿度に向かうにつれて低くなり、PPD との差は徐々に大きくなっている。

また、28°C40%RHでのアンケートによる不快者率は約 13%、快適感は 0.5~1 程度(やや快適)となっていて、概ね快適な空間を形成できていると言える。今回の被験者実験における CASE1~CASE3 での快適感申告の比較では、有意差は見られなかったものの、28°C 40%RH の快適感申告は 28°C 60%RH よりも明らかに高くなった。

室温 28℃において快適性を向上させるには低湿度を 目指すことの有効性が示され、28℃40%RH の快適性を 実証することが出来た。

図-13に CASE3 と CASE4 での PPD とアンケート不快率を示す。26%50%RH における PPD とアンケートによる不快率の差は 7.3%しかなかったのに対して、28%40%RH では PPD とアンケートによる不快率の差は 17%あった。このことから 28%環境下で

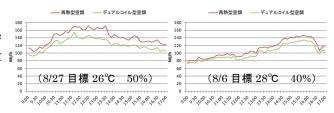


図-9 消費熱量の変化

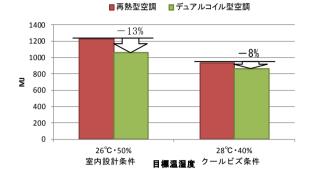


図-10 一日の投入熱量の積算結果

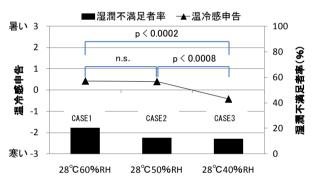


図-11 温冷感申告(左軸)湿潤不満足者率(右軸) (CASE1-CASE3)

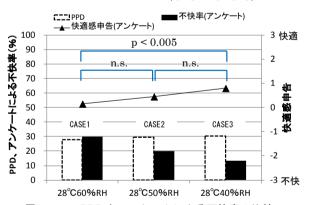


図-12 PPD とアンケートによる不快率の比較 (CASE1-CASE3)

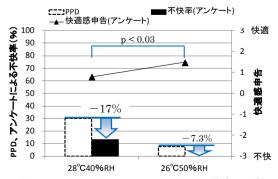


図-13 PPDとアンケートによる不快率の比較 (CASE3-CASE4)

は湿度を制御することで PPD による指標以上の快適性効果を期待できる可能性が示され、室温設定を 28℃ とする際は低湿度にすることで快適感はあまり損なわれないことが確認された。

3-2 高機能なペリメータ負荷制御システム

今回の「都市における大樹」というコンセプトを端的に表現しているのがこの建物の最大の特徴であるカーテンウォールである。(写真-6)このカーテンウォールは執務空間の開放性を高めているが、窓廻りの建築・空間システムにおいては快適性と省エネルギーを両立させる計画とした。

3-2-1 窓廻りの放射環境の改善

窓廻りの熱負荷の低減手法として以下の対策を行い、 ペリメータ環境の快適性の確保と省エネルギー性を図った。

- 1)日射の遮へいを目的として外壁ガラスはLow-eペアガラスとした。(遮蔽係数: SC=0. 44)
- 2) 日射によるブラインド表面温度の上昇を防ぐため に、室内側に設置されるブラインドは外側を遮熱塗 料とした。
- 3) 更にブラインド表面温度を下げるために、ガラス とブラインドとの間に室内空気を吹き上げ、ブラ インドボックスより吸い込む簡易エアフローを 構築した。(図-14)

図-15に外側を遮熱塗料としたブラインドと一般 塗料としたブラインドの室内側表面温度の違いを示す。 また、図-16にエアバリアファンを運転した場合の ブラインドの室内側表面温度の違いを示す。

今回の窓廻りのシステムは、一般のブラインド+エアバリアファンの運転なしの場合に比べると、遮熱塗料により、ブラインドの表面温度の上昇が抑えられ、さらにペリカウンター内のエアバリアファンで室内空気を吹き上げて上部のブラインドボックスから吸い込むことによって、内部にたまった熱気を効率よく除去できており、この場合も表面温度が低下していることが分かる。遮熱塗料の効果で約1.0deg、エアバリアファンの効果で約2.0deg、ブラインド表面温度は低下している。この事から、窓からの放射温度が低下し、快適性に貢献するとともに、同一の快適性を得るための設定温度も高く出来るので省エネルギーにもつながる。

3-2-2 高機能ペリメータ負荷制御による 室内環境向上

空調システムによる更なる環境改善手法としてブラインド表面から放射される輻射熱による温度補正制御 を採用した。ペリメータでの空調吹き出し空気は方位

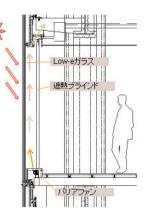




図-14 窓廻り概念図 写真-6 ガラスによる外壁



図-15 遮熱ブラインドの効果

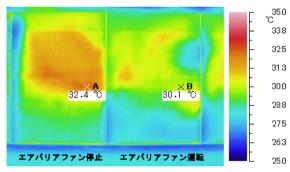


図-16 エアバリアファンの効果 (9月14日,快晴,南面,11:00測定,遮熱ブラインド)

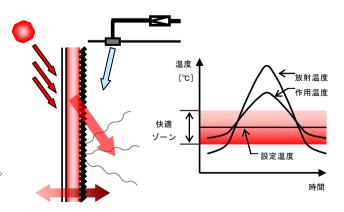


図-17 従来型ペリメータ空調システム 概念図

毎の専用の空調機から供給されるが、天井設置の温度 センサーによる温度調整・風量調整に加えて、その設 定値をブラインドの表面温度によって補正し、居住者 の快適性と更なる省エネルギー性の両立に配慮してい。

図-17に従来型ペリメータ空調の概念図を示す。 従来は設定温度を一定に保っていたため、ブラインド 表面からの輻射の影響により、作用温度が快適域を外 れる事がある。一方、作用温度のピークに天井温度セ ンサーの設定を合わせると省エネに反することとなる。

図-18に今回計画のペリメータ空調の概念図を示す。今回計画のシステムでは太陽輻射熱を放射温度センサーで読み取ることで設定温度の補正を行うため、作用温度は快適域を維持しながら省エネルギーを図ることが出来る。

尚、エアバリアファンは外気温度による発停とし、 外気温度によるガラスからの伝熱を除去するものとし た。エアバリアファンによる伝熱負荷の制御、放射温 度センサーによる輻射負荷の制御との考え方に基づい ている。

ブラインドの表面温度による天井温度センサーの補正係数 θ mod は、 \triangle T1: (ペリメータ基準温度-ブラインド表面温度) に対して、 θ mod= \triangle T1/10×補正値として補正値は1.0とした。これは事前の被験者実験により、補正値1.0の場合にインテリアの温冷感申告、快適感申告とペリメータの温冷感申告、快適感申告が最も一致したためである。尚、これは放射温度制御システムのデフォルト値1.7を緩和している。

3-2-3 冬期及び夏期の高機能ペリメータ 負荷制御の効果検証

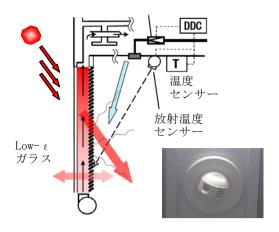
冬期及び夏期において日射変化により負荷性状が大き く異なる南側のペリメータについて、室内環境と快適 性の評価を行った。

実測箇所は夏期及び冬期とも同一箇所とし、インテリアの快適性の検証を行った場所と同じとした。

3-2-4 冬期の環境実測の結果

①日射量と温度分布

図ー19、20に2/26、3/1の日射量、ペリメータ(吹き出し口なし)の各高さにおける温度、ペリメータ空調吹き出し温度、およびペリメータ設定温度(1時間毎)を示す。図ー19より、日射負荷の大きい2/26は12時ごろから吹き出し温度が低下し、暖房から冷房に切り替わっている。日射の影響を受けて高性能ペリメータ空調システムにより、ペリメータ設定温度が最大で-1.0deg 程補正されていて、居住域温度が良好に制御されている。一方、図-20より日射負荷の小さ



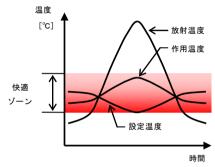


図-18 高機能ペリメータ負荷制御システム 概念図

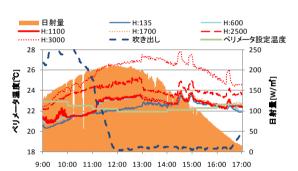


図-19 日射量とペリメータの各高さの温度 (2/26)

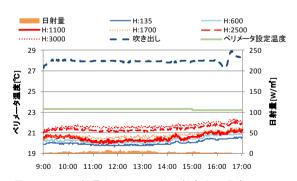


図-20 日射量とペリメータの各高さの温度(3/1)

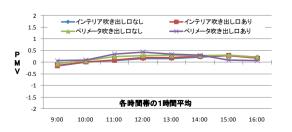


図-21 各測定点の PMV (2/26)

い3/1は常時暖房になっていることが分かる。サーモの設置位置が天井の為、ペリメータ設定温度と高さ1100mm 地点の温度に若干の温度のずれが生じているものの、高さ方向の温度勾配が少なく、コールドドラフトが抑えられていることがわかる。

(2) P M V

図-21、22に2/26、3/1のアメニティメータによるインテリアとペリメータ(各 FL+1100 の地点)の PMV(1 時間平均)を示す。日射量が大きく異なる2/26及び3/1ともに各測定点で PMVに大きく差はなく、インテリアとペリメータの温熱環境に差はなかった。 PMVは概ね-0.5~+0.5 の範囲に納まっており、快適な環境を維持できていることが実証できた。

③温冷感と快適感

図ー23、24に2/23(日射量は2/26とほぼ同等)に被験者実験を行った時の被験者の温冷感申告・快適感申告結果を示す。申告結果はインテリア、ペリメータで調査したアンケート結果を1時間平均したものである。被験者Dには温冷感・快適感に差はあったものの、概ねインテリア、ペリメータで申告結果は一致している。実測したPMV同様、アンケート結果からもインテリアとペリメータの温熱環境に差はなく、快適性が実証された。

3-2-5 夏期の環境実測の結果

夏期についても同様に南側のペリメータにて、室内 環境と快適性の評価を行った。

夏期については、放射温度の補正を行った場合と行わなかった場合とで比較を行った。図-25に PMV 度数分布を示す。PMV は温度補正を行った場合は 0 $\sim+0.5$ になる時間が多く、温冷感申告においても、涼しい側の申告であり冷房効果の優位性が多くあらわれている。(図-26)

3-3 外気冷房システム

今回計画では、1フロアの空調ゾーニングを4つに 分けてそれぞれにインテリア系統の空調機を配置して いる。外気の取入れについては、密集市街地内でも安 定して良好に取入れられる様に屋上に外気取入れ口を 設置し、コア中央部に外気取入れシャフトを設置した。

計画段階においては気流、圧力のシミュレーションによりシャフト内風速分布や圧力分布を把握し、適正な給気ファンを選定することで給気ファンを最適化し、搬送動力減を実現した。この取入れ外気は室内 CO2 濃度による外気量制御はもとより、外気冷房システム(最大空調機定格風量の60%)で、更なる省エネルギーに貢献している。

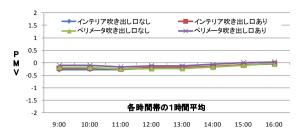
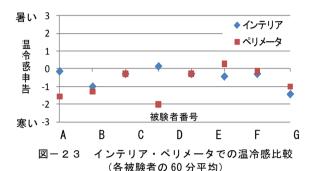


図-22 各測定点の PMV (3/1)



快適 3 2 滴 該 0 -1 ◆ インテリア ■ ペリメータ 被験者番号 不快 -3 C R D F インテリア・ペリメータでの快適感比較 図-24 (各被験者の60分平均)

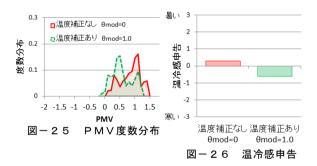


図-27 コア廻り詳細図

図-28に外気冷房の省エネルギー効果を示す。この中央シャフトを利用した外気冷房システムにより、 年間の冷房消費エネルギーが約10%減となった。

3-4 温度成層型蓄熱槽をもつ

環境配慮型熱源システム

熱源計画においては、環境負荷低減とランニングコスト低減のために最新の高効率機器を採用し、種々のエネルギー需要にフレキシブルに対応できるように電気とガスのハイブリッド熱源としている。さらに電気熱源には、電力のピーク削減、夜間電力へのシフトのために水蓄熱を組み合わせている。

この水蓄熱槽は、地下 4 階と地下 3 階の 2 層にわたる高さを利用した高効率な温度成層型水蓄熱槽とし、蓄熱効率は 90%とした。内部には上下の仕切りとなるものはなく、ディストリビューターを上下に分けて、冷水/温水の比重によって冷水と温水を同時に蓄熱する仕組みとし、(写真-18) 夏期及び中間期は全体を冷水槽、冬期は上部を温水槽、下部を冷水槽として冷水と温水を同時に取り出すことが出来るシステムとなっている。蓄熱用の熱源としては高効率型の排熱回収スクリューチラーを設置し、温水蓄熱時は冷水製造時の排熱を利用する計画とした。(図-29)

図-30に平成23年度の蓄熱槽の夜間移行率を示す。平成23年度は蓄熱槽の暖房対応は行わず、冬期におけるピーク電力の削減の為に、冷房対応として年間冷水蓄熱の運用とした。11月以降の中間期及び冬期の夜間移行率はほぼ100%で安定している。

夏期は平日で約 30%、土日の休日の小負荷時で 60% ~80%となっている。

夏期のピーク負荷の約 30%を夜間にシフトすることによって昼間の電力のピークを約 300kW 程度削減している。

3-5 照明照度設定システム

事務室内の照明は、最小モジュールを 3.6m×3.6m として、その中に高効率型照明器具 FHP45w×2 灯×4 台を設置する計画としている。これらの照明は、昼光利用、初期照度補正が可能な照度センサーによる調光制御を行い、常に設定照度を維持することを可能としているが、更に設定照度を入居者が自ら変更できる「照度設定スイッチ」を各テナント入口付近に設置している。(写真-7)これは、通常の照明リモコンスイッチの脇に照度を選択できるスイッチを設けたもので、入居者が 3 段階に設定照度を選択できるものとしている

図-31に代表フロアの晴れた日の運用実績を示す。

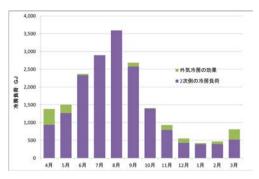


図-28 外気冷房の効果

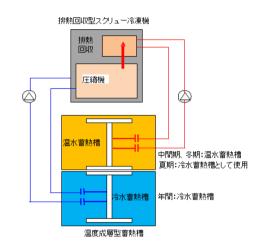


図-29 蓄熱システム概念図

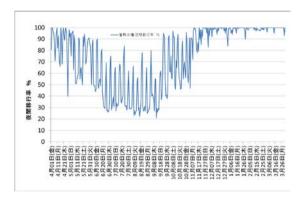


図-30 蓄熱槽の運用実績及び夜間移行率



写真-7 執務室内

750lx 固定の場合と比較してこれらの照明制御システムにより 1 日当たりの照明電力量が約 14%減となり、同時に空調エネルギーの削減につながっている

4. 年間のエネルギー使用実積

図-27, 28に H23年度の1次エネルギー消費量及び C02 排出量の原単位の実績値を示す。

各々の実績値は設計段階での計算値を下回り、東京都の平均値(テナントビル)と比較して1次エネルギーで約19%、CO2排出量で約29%の減となった。(テナントの入居率を考慮)3月の震災以降、設定温度の緩和など節電意識の高まりの影響もあると思われるが、28℃でも快適かつ省エネな環境、ペリメータ負荷を建築的・設備的に効率よく処理する機能、外気冷房などの自然エネルギーの積極活用、蓄熱槽の効率的な運用によって、当初の計画以上の省エネルギー効果が得られたことが実証できた。

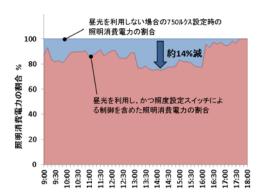


図-31 照度設定スイッチの効果 (5月17日 晴れ)

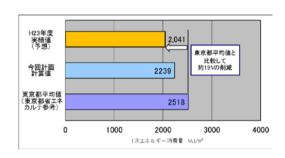


図-32 1次エネルギー消費量原単位

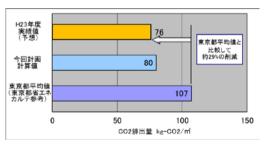


図-33 CO2排出量原単位