

優良省エネルギー設備顕彰事例①

改修設備部門 (助省エネルギーセンター会長賞)

富士オート本社ビル省エネルギー改修工事

設備所有者：富士オート(株)
設備施工者：(株)ヤマト

建物の概要

名称 富士オート株式会社 本社ビル
所在地 群馬県前橋市本町2丁目11-2
用途 事務所(テナント)ビル
構造規模 SRC造 地上9階 地下1階 塔屋
延床面積 7,126m²

1. 技術開発の目的と経過

1) 目的

富士オート本社ビルは竣工後22年が経過し、「エネルギー効率の低下」や「ランニングコストの増加」「設備の長期信頼性の低下」など、設備の老朽化による弊害が顕在化していた。加えて、施設ニーズの多様化や熱負荷の増加による不具合、使い勝手と旧式設備とのミスマッチなどの問題も表面化し、使い勝手や施設ニーズに対応した全面改修を行う必要が出てきた。

当ビルの更新計画に際しては、弊社がエネルギーを消費し、CO₂を排出する自動車販売を業とする背景から、「省エネルギーや環境保全に配慮した店づくり」を最重要テーマとして取り上げ、空調利用者側のニーズも十分満足できるとともに、LCC(ライフサイクルコスト)の視点からも有利な「大温度差全蓄熱空調システム」の導入を計画した。

改修計画終了後は、当ビルを省エネルギー型モデル店舗として位置づけ、グループ内他店舗にも広く普及活用できるシステムとして計画を行った。

なお、当ビル設備更新にあたっては「NEDO技術開発機構」主催、「住宅・建築物高効率エネ



建物外観

ギーシステム導入促進事業(建築物に係るもの)の補助金交付を受けている。

2) 経過

- ①基本計画 平成15年1月
- ②実施設計 平成15年2月
- ③施工竣工 平成15年8月～平成16年11月
- ④運用開始 平成16年12月～

2. 設備システム概要

1) 更新前の設備システム概要

●機械設備

空調熱源にガス焚吸収式冷温水発生機を採用

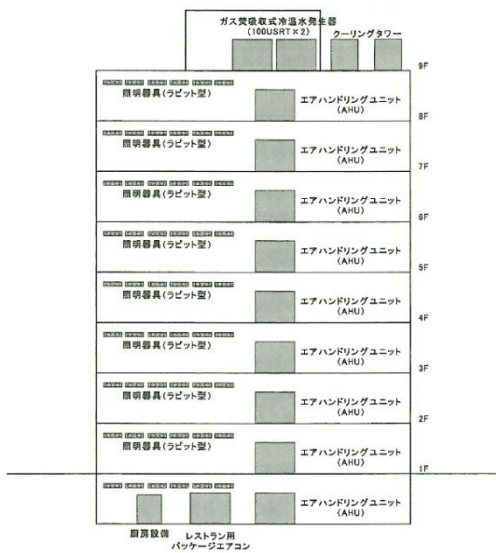


図1 更新前システム概要

し、空調時間帯において空調負荷に対応した運転を行っていた。冷温水ポンプは定格流量で運転し、空調機は標準型（利用温度差 $\Delta t=5\text{deg}$ 冷暖切替方式）仕様、冷温水制御は三方弁方式であった。換気設備は全熱交換器が設置され、中間期の外気が低い時は換気ファンの運転により、外気冷房に対応できるシステムとなっていた。

自動制御設備は温度制御が可能で、各フロアに一つ設置されている温度検出器により空調機が制御されていた。監視設備は現在の運転状況がわかる中央監視設備を備えていたが、データ印字機能は利用されていないかった。

●電気設備

受変電設備における変圧器は油入標準型が設置されていた。照明はラビット方式で、標準型の器具が設置され、手動でON-OFFを行っていた。

2) 更新後の設備システム概要

●機械設備

建物外部至近に有効水量370m³の大温度差温度成層型蓄熱槽（誘導管方式）を新たに設置し、屋上に新設した空冷ヒートポンプチラーにより夜間蓄熱時間帯^{※1}で1日の空調用エネルギー全量を冷水、または温水という形で蓄える。

空調利用時間帯において、夜間蓄えた冷水・温水を蓄熱槽よりポンプで汲み上げ、熱交換器を介

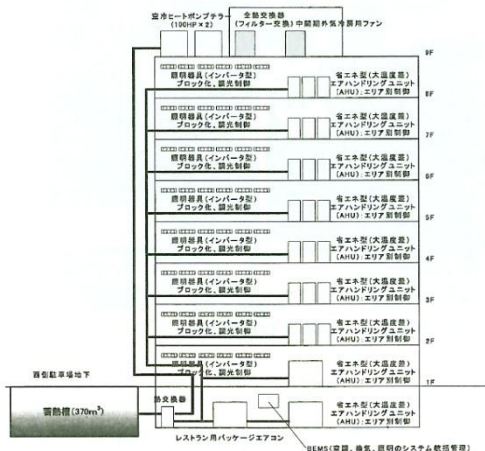


図2 更新後システム概要



図3 大温度差変流量対応空冷HPチラー

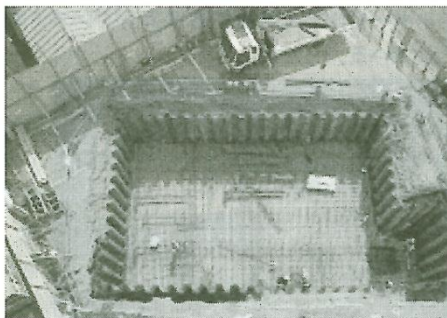


図4 蓄熱槽全景 (掘削後)

し、各階に設置された空調機（高効率型 利用温度差 $\Delta t=10\text{deg}$ 冷暖切替方式）に供給し室内の空調を行う。昼間時間帯^{※1}は空調機側の温度差化を図ったことにより蓄熱容量が増加しているため、熱源機の運転を全く行わない（大温度差全蓄熱運転）。

※1 昼間時間帯（8：00～22：00） 夜間時間帯（22：00～翌8：00）

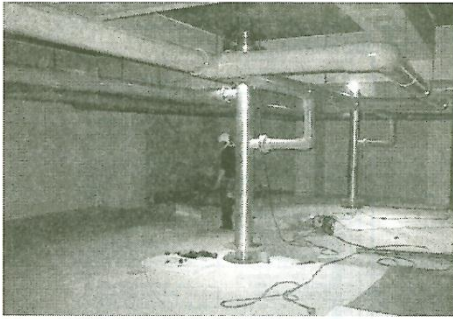


図5 蓄熱槽内部（誘導管設置状況）

空調機は各階1台設置であったものを3台ずつ分割設置することで、1フロアの空調エリアを細かく分割制御でき、エリア毎に温度設定が可能なシステムとした。

換気設備は外気処理系統に、室内から排気される排気熱を凝縮器（暖房時は蒸発器）へ通し排熱回収を図った、熱回収型ヒートポンプ外調機を採用した。

自動制御設備は、BEMS（Building Energy Management System）により統合管理され、季節による空調運転温度の変更、流量調整、定期監視等を自動で行うとともに、取得したデータを弊社と設備施工業者及び管理会社の3社でwebを介し検索可能となり、計画→実行→点検→処置（PDCA）サイクルをまわすことで、より一層の省エネルギーを図ることができるよう、システム計画されている。



図6 熱回収ヒートポンプ外調機

●電気設備

受変電設備は省エネルギーを考慮し、高効率型（トッランナー）変圧器に更新した。

照明は全館インバーターHi高効率照明に更新し、誘導灯は省エネ型を採用した。また、各階ト

表1 設備更新前・更新後設備概略

| | 変更前 | 変更後 | |
|------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 機械設備 | 熱源機 (エネルギー起源) | ガス焚吸収式冷水発生機 都市ガス13A | 空冷セードポンプチラー (大温度差変流量対応型) 電気 |
| | 蓄熱槽 (有効水量) | | 温度成層型蓄熱槽 370m ³ |
| | 空調機 (制御エリア数) | 標準型 (利用温度差Δt=5deg) 1エリア | 高効率大温度差型 (利用温度差Δt=10deg) 3エリア |
| | 換気設備 | 全熱交換器 中間期外気冷房 | 熱回収ヒートポンプ外調機 |
| | 自動制御設備 | 中央監視設備 | BEMS※2 |
| 電気設備 | 受変電設備 | 油入標準型 | 油入高効率型 (トッランナー) |
| | 照明設備 | ラビッド方式 標準型照明器具 手動スイッチ | インバーター方式 高効率照明器具 人感センサー（一部） |

イレでは消し忘れ防止を図るため、人感センサーを備えている。

3. 着想

更新前の設備状況を調査すると、低負荷時（中間期等）に熱源機が頻繁に発停を繰り返している、空調機流量制御は三方弁方式の上利用温度差がとれておらず、ポンプが定流量連続運転をしている、空調機が各フロアに1台ずつのフロアダクト制御となっている、全熱交換器を採用していたが必要以上の外気量と排気量で運転され空調負荷が過大になっている等、エネルギーを多く消費している状況が見受けられた。

また、照明は竣工当初のラビッド式、変圧器も竣工時の機器をそのまま利用しているなど、耐用年数の超過によるロスが見受けられ、自動制御監視設備もデータは放置されたままとなっており、省エネルギー目的の設定変更が為された形跡はなかった。

1) 機械設備における着想

①熱源システムの検討

●比較対象システムの選定

熱源システムの選定では、既存システムと同じ「ガス吸収式冷水発生機方式」と、電気を利用する方式を比較対象とした。

電気を利用する方式は、搬送動力削減で有利な「空冷式」を比較対象とした。また、当ビルが事務所を主体としたテナントビル用途であり、年間空調負荷を調べると暖房に比べ冷房負荷期間が長い特徴を備えていることから、一次

エネルギー消費量・CO₂排出量原単位が小さくコストが安価な電力を利用する「夜間蓄熱方式」を採り入れることとした。さらに「夜間蓄熱方式」では「氷ビルマルチ方式（個別）」と「セントラル方式」の選択が考えられるが、既存セントラルシステムの付帯設備を極力活かしたいという施主の意向と、暖房蓄熱がほとんどできない氷ビルマルチ方式に比べ、年間を通じて安価な夜間電力を利用できる「セントラル蓄熱方式」を採用した。

なお、「セントラル蓄熱方式」の蓄熱量はテナント用途事務所ビルのため夜間の電力負荷がほとんど存在しないという建物の使用状況と、ライフサイクルコストで有利な「全蓄熱方式」とし、蓄熱槽容積を最小限とするため利用温度差を拡大利用（ $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ ）した。

以上を総括し、電気利用の比較対象システムを「大温度差全蓄熱空調システム」とした。

●コスト比較

(1)イニシャルコストの評価

「ガス吸収式冷水温水発生機システム」のほうが「大温度差全蓄熱空調システム」より24%ほど安価であった。

「大温度差全蓄熱空調システム」は、機器本体設備費に加え、蓄熱槽の構築費が割高となっている。

表2 イニシャルコスト概算比較

| | 大温度差全蓄熱空調システム | ガス吸収式冷水温水発生機 |
|------------|---------------|--------------|
| 機器設備工事 | 48 | 52 |
| 配管設備工事 | 8 | 8 |
| 換気設備工事 | 4 | 4 |
| 自動制御設備工事 | 11 | 7 |
| 電気工事 | 7 | 4 |
| その他(内装養生等) | 23 | 23 |
| 撤去工事 | 3 | 3 |
| 蓄熱槽構築費 | 21 | 0 |
| | 124 | 100 |

※ガス吸収式システムのイニシャルコスト合計を100とした場合の指数表示

(2)ランニング・メンテナンスコストの評価

「大温度差全蓄熱空調システム」のほうが「ガス吸収式冷水温水発生機システム」より60%も割安となった。

電気料金が安いのは、契約電力低減と夜間電力単価割引の相乗効果によるところが大きい。

(1)、(2)のコスト比較から、LCC（ライフサイクルコスト）で評価すると、以下のグラフのようになる。

表3 ランニングコスト比較

| | 大温度差全蓄熱空調システム | ガス吸収式 |
|--------|---------------|-------|
| 電気 | 2.4 | 2.9 |
| ガス・水道 | 0.0 | 2.9 |
| メンテナンス | 0.4 | 1.1 |
| 合計 | 2.7 | 6.9 |

※ガス吸収式システムのイニシャルコスト合計を100とした場合の指数表示

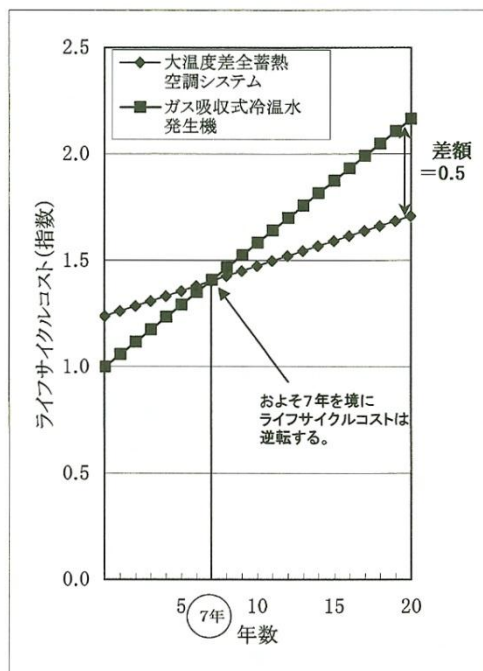


図7 ライフサイクルコスト比較

ライフサイクルコストで評価した場合、初期の段階では「ガス吸収式冷水温水発生機システム」のほうが有利であるが、7年目を境に逆転し「大温度差全蓄熱空調システム」のほうが有利となる。

建物、機器の耐用年数から、20年のライフサイクルコストで評価すると、「大温度差全蓄熱空調システム」のほうが有利である。

以上の検討を踏まえ、当ビルの熱源システムに「大温度差全蓄熱空調システム」を採用することを決定した。

4. 効果

1) エネルギー消費量

表4 エネルギー消費量

| 区分 | 採用システム | 更新前 | | 更新後 | | |
|-----------|---|-------------------|-------------------|--------------------|---------------|--------------|
| | | 消費量(実績) (GJ/年) | 削減後 目標値 (GJ/年) | 消費量(実績値) (GJ/年) | 省エネルギー (%) | 目標達成率 (%) |
| 空調 | 大温度差蓄熱空調システム 搬送ポンプのインバータ制御 空調機の分散設置 | 6,788 | 3,967 | 4,024 | 41% | 99% |
| 換気 | 熱回収型外調機 給排気ファン動力の見直し | 679 | 207 | 138 | 80% | 134% |
| 照明 その他 | 高効率照明器具 トイレ照明の人のセンサー制御 高効率変圧器 | 6,109 | 4,856 | 4,849 | 21% | 100% |
| 合 計 | | 13,575 | 9,030 | 9,010 | 34% | 100% |

2) 評価

(1)実績データに基づくエネルギー管理

BEMSの導入により、エネルギー消費実態が把握できるようになったため、過去の消費エネルギー実績から日ごと、月ごとの目標値を設定し、その達成度に応じた省エネルギー方策を実施した。また「施設管理細則」を見直し、省エネルギーのためのルールづくりを行い、空調機の運転時間や設定温度、蓄熱温度や照明点灯時間の変更などを行い、年間とおしてのエネルギー管理を実施した。

(2)関係者の協力と役割分担

事業者単独での省エネルギー対応には限界がある。事業者、設備工事施工者、設備運転管理者が定期的に意見交換し、お互いが協力しあいながら、

表5 CO₂排出量・SO_x排出量・NO_x排出量の推移

| 排出量削減状況 | | CO ₂ 排出量 | | | | | SO _x 排出量 | | | | |
|---------|---|-------------------------|-----|-------------------------|-----|--------------------------------|--|-----|-------------------------|-----|--------------------------------|
| 区分 | 採用システム | 更新前 | | 更新後 | | 削減量 (kg-CO ₂ /年) | 更新前 | | 更新後 | | 削減量 (kg-SO _x /年) |
| | | (kg-CO ₂ /年) | (%) | (kg-CO ₂ /年) | (%) | | (kg-SO _x /年) | (%) | (kg-SO _x /年) | (%) | |
| 電気(昼) | 熱回収型ヒートポンプ外調機 搬送ポンプのインバータ制御 空調機の分散設置 給排気ファン動力の見直し 高効率照明器具 トイレ照明の人のセンサー制御 高効率変圧器 冷却塔の廃止 | 408,053 | 68% | 303,890 | 82% | 35,874 | 131 | 92% | 98 | 82% | 12 |
| 電気(夜) | 大温度差蓄熱空調システム | | | 68,289 | 18% | | | | 22 | 18% | |
| 都市ガス | 吸収式冷温水発生機の廃止 | 188,343 | 32% | 0 | 0% | 188,343 | 12 | 8% | 0 | 0% | 12 |
| 合 計 | | 596,395 | | 372,179 | | 224,217 | 143 | | 119 | | 23 |
| 排出量削減状況 | | NO _x 排出量 | | | | | 更新前に比べ、更新後のCO ₂ 排出量は38%、SO _x 排出量は17%、NO _x 排出量は56%それぞれ削減された。 | | | | |
| 区分 | 採用システム | 更新前 | | 更新後 | | 削減量 (kg-NO _x /年) | 更新前 | | 更新後 | | 削減量 (kg-NO _x /年) |
| | | (kg-NO _x /年) | (%) | (kg-NO _x /年) | (%) | | (kg-NO _x /年) | (%) | (kg-NO _x /年) | (%) | |
| 電気(昼) | 熱回収型ヒートポンプ外調機 搬送ポンプのインバータ制御 空調機の分散設置 給排気ファン動力の見直し 高効率照明器具 トイレ照明の人のセンサー制御 高効率変圧器 冷却塔の廃止 | 181 | 48% | 135 | 82% | 16 | | | | | |
| 電気(夜) | 大温度差蓄熱空調システム | | | 30 | 18% | | | | | | |
| 都市ガス | 吸収式冷温水発生機の廃止 | 197 | 52% | 0 | 0% | 197 | | | | | |
| 合 計 | | 378 | | 165 | | 212 | | | | | |

それぞれの立場で省エネルギー方策を実施したことが目標達成につながったと考えている。

(3)テナントへの協力要請

本建物はテナントビルのため、設備ユーザーであるテナントの協力も不可欠である。各テナント担当者に本事業の主旨を説明し、事業への賛同に努めた。

このように、個別機器やシステム性能の向上だけでなく、運用上における努力も相乗、効果を発揮し省エネルギーにつながった。

5. 投資回収年数

1) 投資回収年数(工事費用全体)

投資回収年数=16.2(年)

2) 投資回収年数(比較対象との差額)

大温度差蓄熱空調システムと吸収式冷温水発生機のイニシャルコストの差額を、ランニングコスト削減額で除した場合の投資回収年数を試算した。

投資回収年数(比較) = (イニシャルコスト差額) / (ランニングコスト削減額) = 3.1(年)

6. 環境保全

表5は、CO₂・SO_x・NO_xの推移を示す。

7. 工夫した点、発想した点、創作した点、新しい点等、設備の特徴

1) 計画時点での工夫

通常、蓄熱システムが設備されている建物は、地下スラブ空間を利用して建物地下に蓄熱槽を配置するが、本建物の空調システムはガス吸収式冷水発生機が設備されていたため蓄熱槽を所有しておらず、建物外部に新たに蓄熱槽の新設が必要となった。

蓄熱槽の計画にあたっては、計画地の将来の土地利用を十分協議した。また、付近が住宅密集地であり不要な掘削はできないため、シートパイルは打放し、低騒音・低振動工法の採用を検討する等、周囲の環境に細心の注意を払うよう留意した。

幸い、蓄熱槽を本建物近接地に計画が可能となり、機械室に設置したポンプのサクシオン側配管までの長さを極力短くすることができたため、吸込抵抗を小さくすることができた。

現在は、蓄熱槽上部は駐車場として利用している。

2) 設計時点での工夫

(1)空調設備について

●熱源システムの工夫

本計画では、蓄熱槽を建物屋外に新たに設置するということもあり、蓄熱槽設置場所の確保とイニシャルコストの縮減の意図も含め、槽自体を極力小さくする必要があった。

そこで蓄熱槽効率を上げるため、一般的に採用される利用温度差 $\Delta t = 5\text{deg}$ ($7.0^{\circ}\text{C} \rightarrow 12.0^{\circ}\text{C}$ 、 $45.0^{\circ}\text{C} \rightarrow 40.0^{\circ}\text{C}$)のところを $\Delta t = 10\text{deg}$ に拡大した。

この利用温度差 $\Delta t = 10\text{deg}$ を確保するために、まず空調機において放熱面積の広い大温度差高効率コイルを採用し、電動比例二方弁を設置して各個別に流量制御をかけた。さらに搬送動力削減のため冷水ポンプをインバーター化し、自動制御にて回転数制御を行っている。蓄熱槽本体においては冷水、温水のミキシングロスと死水域発生防止を意図し誘導管を設け、蓄熱槽効率のアップを図った。

蓄熱時の熱源機制御においては有効に蓄熱を行うために大温度差変流量チラーを採用し、始端槽と終端槽の温度差を極力低減できるよう「ヤマト大温度差蓄熱運転管理システム（特許番号：第2744758）」による制御を行っている。

運転管理システムの仕組み（平成10年特許取得・第2744758号）

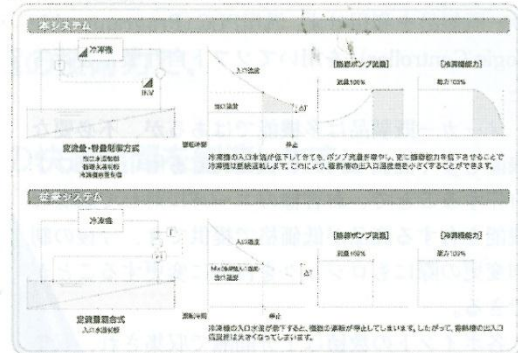


図8

このような工夫を行うことにより、蓄熱槽効率 $\eta = 91\%$ を確保でき、限られた土地スペースの中で、蓄熱槽をコンパクト化することができた。

また、チラーの設置場所が地上30mの高い位置にあり、蓄熱槽とチラー間の実揚程にかかる搬送動力が増大することが想定された。このエネルギーロスを防ぐため、地下機械室の熱源系統に熱交換器を設置し、チラーと熱交換器の間を密閉回路化することで実揚程を無くし、搬送動力の削減を図った。

●空調システムの工夫

空調機側システムは、ポンプインバーター制御＋空調機VWVによる比例制御を行い、変動する空調負荷に対し追従性を高め、かつ搬送動力の低減を図っている。空調機は1フロアに対し1台の設置であったものを3台に分割設置し、従来よりきめ細かな温度設定、運転制御が行えるよう設計した。

空調機を3分割するにあたり、できるだけ既存設備を活かしたいという施主の意向と、竣工後22年経過しているが、ダクト本体には目立った損傷が見られない。また、幸い既存ダクトルートが機械室内ダクトの根元部分から3エリアに分岐されていたことから、既存ダクトを極力再利用し、新たに設置される部屋に対しては、既存ダクトからの分岐により対応することとした。

このような設計主旨のため、更新後どうしてもエアバランスを取るのが難しい部屋が出現したが、建物全体でのVD調整を綿密に行い微調整することで、問題を解決することができた。

(2)自動制御設備について

BEMSの構築におけるDDCの設計において、メーカー既製品を利用せず、汎用PLC(Programmable Logic Controller)を用いてソフト自社製作を行った。

メーカー既製品は多機能ではあるが、不必要な機能も多く高価なため、汎用PLCを用いてソフト自作することで、お客様のニーズに対して適切な機能を有する商品が低価格で提供でき、今後の制御変更の際にもロジックを自由に変更することができる。

各ポイントの数値は1分間隔で収集され、収集したデータは解析しやすいよう、自動でグラフ化される。これらのデータ類は、ソフトとパスワードを入力することにより担当者がWEBを介してどこからでも閲覧することが可能である。

3) 施工での工夫

本システム更新計画は、テナントが入居しているビルのリニューアル工事であるため、速やかな工事の進行が望まれた。しかし、蓄熱槽の構築、熱源機の総入れ替え、新規配管の引き直し、各階機械室の空調機更新工事など工事項目が多く、在来工法により品質を保ちながら工期を短縮するのは困難な上、インシヤルコストも増大することが想定された。

そこで、本工事に着手する前に、工事によるプレハブユニット工法を検討し、工期の短縮と品質保持の両立を図った。その結果、現場ではユニットのつなぎ込み作業が主となり作業性が向上し、各階空調機械室の配管などは共通化することで手戻りも少なく、工事をスムーズに進行することができた。

4) 運用面での工夫

建築設備の省エネルギーを実施する上で重要なのは、機器導入後の使用実態の把握と、それに合わせた運用・調整を行うことである。しかしながら、当ビルはテナントビルという性格上、各エリアごとに使い勝手や使用時間が異なり、エネルギーの使用を制限することは難しい状況である。

そこで、オーナー、ビル管理会社、施工会社の三者で年度初めに省エネルギーの目標値を設定し、BEMSにより得られたデータに基づき年数回ミーティングを実施、使い勝手に大きな影響を及

ぼさない設定変更や、無駄の徹底排除を協議し、各テナント様の協力も得ながら目標値に近づけるための工夫や改善策を行い省エネルギーを図っている。

8. 市場性、適応市場の大きさ、競合品又は他システムとの比較、今後の方向性

1) 市場性、適応市場の大きさ

蓄熱空調システムは事務所ビルのみならず、病院、流通施設、電算センター、工場等、あらゆる施設で適用が可能である。

リニューアル分野においても冷水・温水配管方式で空調を行っている施設は比較的容易に適用可能である。

2) 競合品又は他システムとの比較

同じ夜間電力を利用する蓄熱空調方式に氷蓄熱空調方式がある。氷蓄熱システムは、夜間氷を蓄えて昼間空調に利用するシステムである。氷という形でエネルギーを貯蔵するため、水蓄熱方式に比べ蓄熱槽の設置スペースがおおよそ1/8で済むというメリットがあるが、製氷時には機器効率(COP)が低下する。また、冬季の暖房時には蓄熱量が不足する可能性があり、別熱源の併設が必要となる。大温度差全蓄熱空調システムは初期投資こそ大きいものの、年間にわたり夜間の安価な電力が利用でき、かつ利用する温度帯が空調温度に近い熱ロスが少なく機器効率も良い。

防災拠点としても、蓄熱槽の水が活用可能である。

3) 今後の方向性

京都議定書の発効により、日本は温室効果ガスの排出量を1990年比で6%削減することが義務付けられている。これを受けて、2005年4月には省エネ法が改正され、建築分野においてもストック対策の強化が示された。

しかし、2005年度の総排出量は基準年の10%の増加となっており、苦戦が強いられている。

富士オート本社ビルで実施された、省エネ・環境負荷低減効果が高く、ライフサイクルコストでも有利な空調システムや高効率機器の更新事例発表が、富士オートグループだけでなく、社会全体で問題に取り組む流れの一助となることを期待している。