

次世代技術を導入した環境配慮型建築（その2）

— 運転実績に基づく各種技術の効果の検証 —

中村 卓司 川島 実
(技術研究所) (技術研究所)

Environmentally Conscious Building with State of the Art Technologies (Part 2)

— Evaluation of the technologies using data collected during actual operation —

by Takuji Nakamura and Minoru Kawashima

Abstract

One of the design concepts for the main office building of the Institute of Technology, Shimizu Corporation, was environmental consciousness. The target of a 35 percent reduction in Life Cycle CO₂(LCCO₂) over that of an ordinary office building was established. Using data collected during actual operation, this paper evaluates of each new technology, including the TRIMAX thermal storage HVAC system, slurry ice transportation, free air cooling, task and ambient air conditioning with personal diffusers, a zone control system using positioning data with PHS Phone, etc.,. The results show that the target reduction of LCCO₂ has been reached.

概要

清水建設技術研究所新本館は環境配慮型建築を設計コンセプトの一つとして計画し、その目標はLCCO₂排出量で一般事務所ビルに比べ約35%低減と定められた。本報では、省エネルギー・環境負荷低減の技術として導入したTRIMAX蓄熱空調システム、氷水搬送、外気冷房、パーソナル吹き出し口を使ったタスク&アンビエント空調、PHS位置情報利用の省エネ制御システムの個々の技術の効果を明らかにするとともに、年間の運転実績から当初目標の達成状況を報告する。

§ 1 . はじめに

本建物は、平均的なエネルギー消費を想定したベンチマークビルに比べLCCO₂を35%削減する次世代型環境配慮建築として計画し、種々の省エネルギー、環境負荷低減技術を導入した。また、本建物は計画のみにとどまらず、実際に運用時の評価を行い、当初の性能を発揮しているか確認する検証用建物としての要素も備えている。前報では建物のコンセプト、建築設備概要と導入技術について説明を行った。本報では、導入した各要素技術について、実際の運用実績より省エネルギー、負荷平準化効果等について検証した結果を報告する。対象技術としてはTRIMAX蓄熱空調システム、氷水搬送、外気冷房、パーソナル吹き出し口を使ったタスク&アンビエント空調、PHS位置情報利用の省エネ制御システムを取り上げる。また、年間の運転実績より当初目標の達成状況を報告する。

§ 2 . 熱源設備と氷水搬送の運転実績

熱源設備は図 - 1 に示すように地上熱源ヤードにダイナミック型氷蓄熱システム2台(DPI1A、DPI1B)、空冷ヒートポンプチラー1台(HPC)、屋上熱源ヤードにダイナミック型氷蓄熱システム1台(DPI2)が設

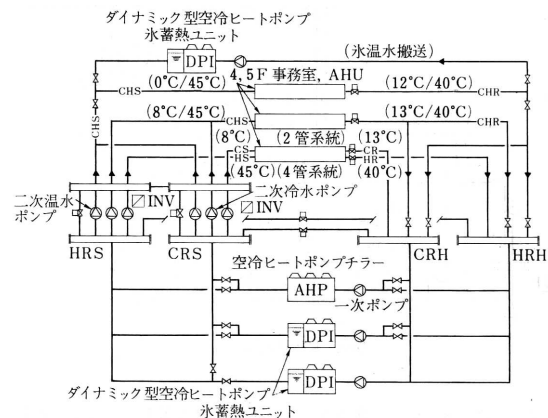


図 - 1 熱源・配管系統図

置されている。このうち屋上の DPI2 が 4 階、5 階事務室のインテリア部分を受け持ち、氷水搬送が可能となっている。また、通常の熱交換器を利用する冷水熱交モードの他に水槽内の氷水を直接 2 次側に搬送する氷温送水モード、氷水直送モードを持ち、搬送動力の低減が期待できる。表 - 1 に熱源機器の仕様を示す。

表 - 1 熱源機仕様

ダイナミック型氷蓄熱システム: DPI	
電源	3相200V 50Hz
能力 製氷	kW 105.0
圧縮機 定格出力	kW 37.0
冷媒	R134a
水張量	m ³ 25.2
空冷ヒートポンプチャラー: HPC	
電源	3相200V 50Hz
能力 冷却	kW 265.0
圧縮機 定格出力	kW 74.0
冷媒	R407c

まず、熱源機の成績係数の実測結果を示す。図 - 2 は冷房時(2004年5月1日~10月31日)の結果であり、DPI2 は外気温 25 のとき平均で約 2.4、HPC は外気温 30 のとき平均で約 2.6 である。また、図 - 3 は暖房時(2004年12月1日~2005年3月31日)の結果である。DPI2 は外気温 7 のとき平均で約 2.2、HPC は同じく外気温 7 のとき約 2.7 である。

次に負荷平準化効果を把握するため、熱源機 4 台の夜間電力移行率を算出した結果を図 - 4 示す。冷房運転を行う 5~10 月の夜間電力移行率は 50.1~75.5%で、期間全体では 63.3%、使用電力量が多くなる 6~9 月では 60.8%である。なお、年間の夜間電力移行率は 53.8%、空冷ヒートポンプチャラーを除いた 3 台のダイナミック型氷蓄熱システムでは 69.1%である。

最後に氷水搬送の効果についてまとめる。図 - 5 は DPI2 の氷温送水モードと冷水熱交モードによる送水流量と熱量の関係である。氷温送水モードは、2004年6月21日(月)、22日(火)、23日(水)、24日(木)、冷水熱交モードは6月28日(月)、29日(火)、7月1日(木)、2日(金)の9時から15時までの1分間データを抽出している。なお、氷温送水モードには、一部氷水直送モードを含んでいる。図中の回帰式より 600MJ/h の熱量を送水するのに氷温送水モードでは冷水熱交モードと比較して、約 1/2 の流量で賄えている。

以上より、熱源に関しては夜間電力移行率は高く、負荷平準化効果、省コスト効果は望めるものの成績係数は定格に比べ若干低い結果となった。また、氷水搬送に関しては送水エネルギーの削減効果が見られた。

§ 3 躯体蓄熱、および外気冷房による省エネルギー、負荷平準化効果

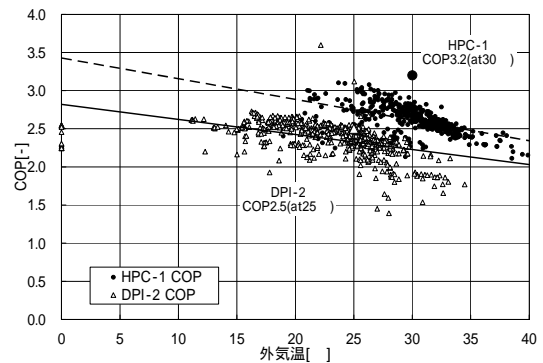


図 - 2 冷房時の熱源機成績係数

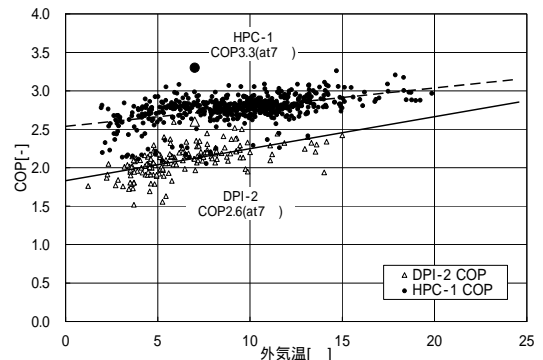


図 - 3 暖房時の熱源機成績係数

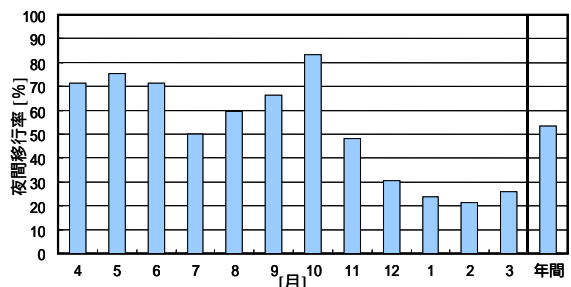


図 - 4 熱源夜間電力移行率

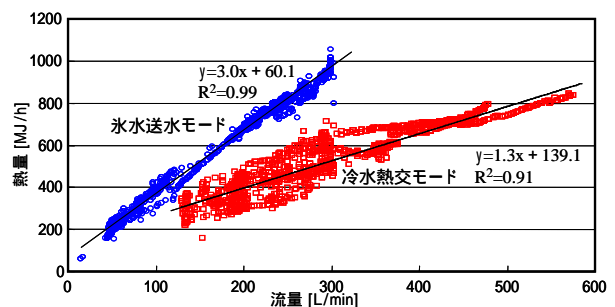


図 - 5 送水モード別の送水流量と熱量の関係

躯体蓄熱空調システムは基準階である 4 階、5 階事務室のインテリア部に設置した。図 - 6 に断面図を、図 - 7 に基準階の平面図を示す。図 - 7 に示すようにコア部をはさんで SE ゾーン(コア左)と NW ゾーン(コア右)に大きく分かれ、さらに 120m²~140m²

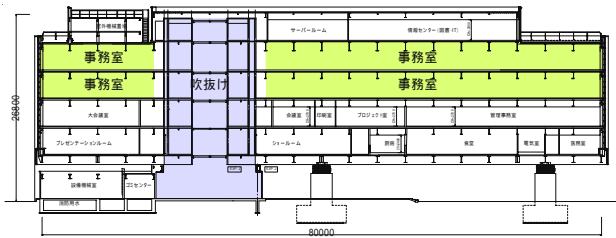


図 - 6 断面図



図 - 7 基準階平面図

ごとに空調機を設置しゾーニングを行っている。

2004年度は7月20日から9月30日まで躯体蓄熱運転を行った。蓄熱時間は5:00から8:00までの3時間(月曜日のみ3:00から8:00までの5時間)蓄熱温度は空調機吹出しの設定温度を13.0とした。空調時間は8:00から18:00までとし、それ以降は残業対応で空調機別の運転となる。躯体蓄熱効果の検証には非蓄熱運転との比較が必要であるため、8月24日から9月4日を非蓄熱運転とした。比較対象日は気温と日射量の気象条件が同程度で躯体温度の影響の受けにくい週の後半の日から選ぶこととし、躯体蓄熱日として9月9日(平均気温26.7、スラブ初期温度27.4)非躯体蓄熱日として9月3日(平均気温27.2、スラブ初期温度27.4)を選定した。

図-8は図-7の平面図中に示すAHU403Bゾーンのスラブ蓄熱量(スラブ厚150mm)とGRC(OAフロアー、厚さ22mm)蓄熱量を積算した結果である。図中の横棒は電力会社との蓄熱契約時に用いる躯体蓄熱評価シートに記されている標準的な蓄熱量である。本システムはそれより一週間の合計で9.1%多く蓄熱している。

次に蓄熱効率を調べるため、空調機の夜間投入熱量に対しどれだけ躯体に蓄熱されたかを示す蓄熱投入熱量比率を算出した。同じくAHU403Bゾーンの値であり図-9に結果を示す。一週間の平均で71.9%となり、空気吹き付け方式の標準とされる70%を超えている。

次に、躯体蓄熱の負荷平準化効果を明らかにするため非蓄熱との比較を行った。図-10は9月9日(躯体蓄熱日)と9月3日(非蓄熱日)の4階、5階の躯体蓄熱システムのインテリア空調機全20台の冷水負荷変化である。これによると、非空調日の負荷のピークは空調開始にあり213.4kWとなる。ピークが空調開始時

に出現するのは給気側に熱容量のある床吹き出し空調全般の特長と考えられる。これに対し、躯体蓄熱を行うことで昼間のピークが109.2kWに減少している。両者の差を比率で示したピークカット率は48.8%となり、ピークカット効果が高いことが分かる。蓄熱日と非蓄熱日の昼間負荷の差の比率であるピークシフト率は33.6%である。

図-11は建物全館の日負荷に占める氷蓄熱と躯体蓄熱の比率を示した図である。非躯体蓄熱日では約50%が氷蓄熱でまかなわれているが、躯体蓄熱を行うことで氷蓄熱のうち約4割を移行できることが分かる。この比率は躯体蓄熱の面積比率や蓄熱時間を増やすことで増加させることが可能である。

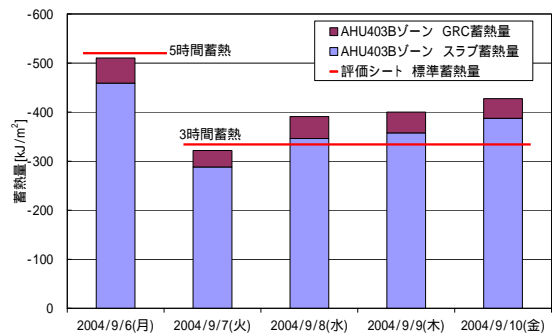


図 - 8 躯体蓄熱量の日積算値

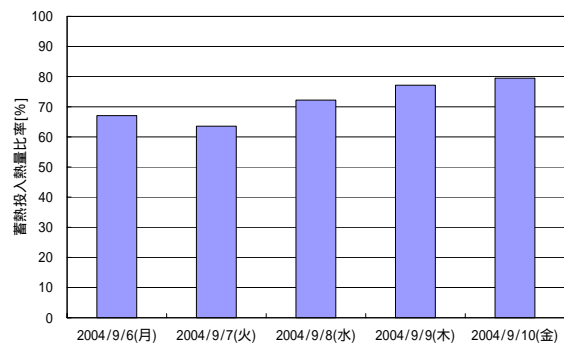


図 - 9 蓄熱投入熱量比率

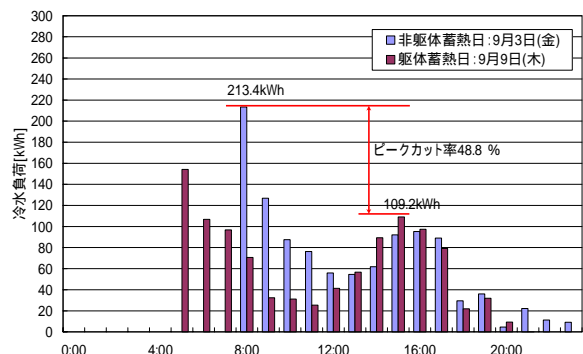


図 - 10 負荷平準化効果

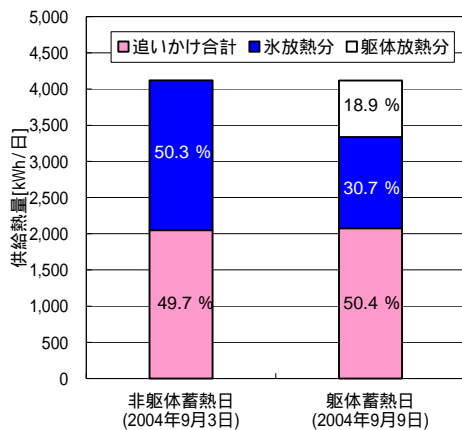


図 - 11 熱源分担比率

次に外気冷房、外気蓄冷による省エネルギー効果を示す。評価は4階、5階のインテリア空調機とペリメータ空調機の全負荷を比較することで行った。2004年度は9月16日より冷房期間終了の10月30日まで外気冷房、外気蓄冷を同時に実施した。ただし、この期間でも非設定日と降雨時は排気窓が閉まり通常空調となるため結果からは除かれる。図 - 12 は日平均外気温度別に日負荷をプロットし、通常空調と比較した結果である。回帰分析から日平均外気温度が25℃の場合、外気冷房・外気蓄冷をすることにより約47.5%の省エネルギー効果が得られた。2004年度は10月のみの実施であったが実施期間の調整を行うことで今後はさらに省エネルギー効果を高めていく予定である。

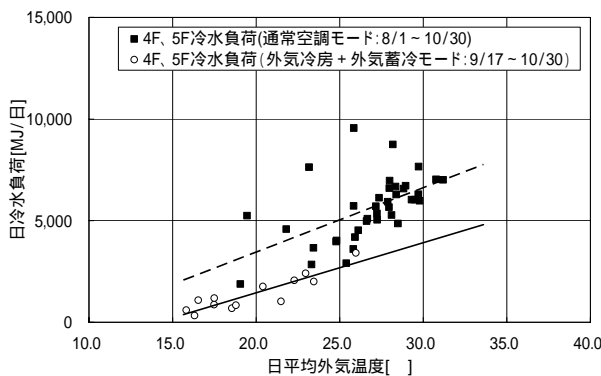


図 - 12 外気冷房の省エネルギー効果

§ 4 . パーソナル空調による快適性と省エネルギー評価

本建物では全面床吹出し空調を採用し、さらに4、5階事務室では執務者個人の温熱環境に対する要求を満足させることが出来るよう開発したパーソナル空調用

床吹出し口（以下パーソナル吹出し口）を採用している（図 - 13）。アンビエント域は通気性タイルカーペットからの均一な空調とし、これにパーソナル吹出し口を設置することでタスク域を局所的に効率よく空調すると同時に、アンビエント域の空調条件を緩和することで省エネルギーを図ることをねらいとしている。

本章では2004年夏季に行ったアンビエント域設定温度緩和時におけるパーソナル空調の快適性、および省エネルギー効果の評価について述べる。

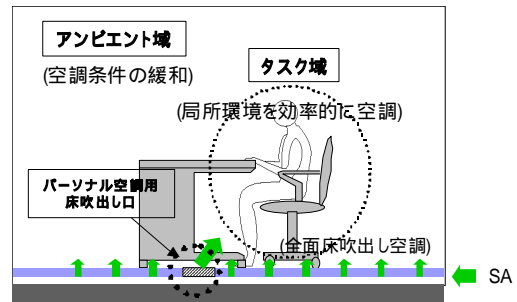


図 - 13 全面床吹出し空調における TAC 空調

アンビエント域の設定温度は2条件（27℃、28℃）設定し、各々数週間継続した。また、エネルギー、室内環境計測と同時に設定条件を伏せた状態でアンケートを実施した。アンケートの対象者は4、5階の103名である。9割以上が男性であり、年齢は40代が最も多い。アンケート記入の際、パーソナル吹出し口の使用については、それまでの一週間を振り返って記入するように教示を行った。

図 - 14 に快適性を示す。設定温度27℃で“不快でない”申告が69%と大部分を占めていたが、設定温度28℃では45%に減少し、“やや不快”が25%から45%に増加した。しかしながら、“不快”と“非常に不快”を合わせた合計では設定温度緩和により6%が10%に増加したのみで、快適性の低下は微小であった。

図 - 15 にパーソナル吹出し口の使用頻度を示す。パーソナル吹出し口の使用頻度は“使用しない”から“常に使用”まで分散している。ここで“常に使用”はパーソナル吹出し口を常に開放している状態である。設定温度27℃では“使用しない”との申告が22%であったが、設定温度28℃では14%に減少しパーソナル吹出し口の使用率が上昇した。すなわち室温設定27℃での使用人数は80名で、28℃では89名に増加した。

図 - 16 にパーソナル吹出し口使用時の快適感を示す。設定温度を27℃から28℃に緩和すると“快適”が25%から11%に減少するが、“やや快適”が55%から72%に増加する。どちらの設定温度でも“変わらない”と答えた執務者はほぼ変わらず、いずれの設定温度でも8割以上の執務者がパーソナル吹出し口使用

の使用により快適感を感じている。

図 - 17 に各室温設定時における 4、5 階の空調機への供給熱量を示す。日平均外気温別に日負荷をプロットし回帰分析を行った。27 設定よりも 28 設定の方が概ね負荷は低い。回帰式より日平均外気温を 30 として求めると、27 から 28 への設定温度緩和により約 18%の省エネルギー効果がある。

これらの結果から、本建物に採用したパーソナル吹出口を用いることで大きくは快適性を損なわずに省エネルギーが達成できることが示唆された。

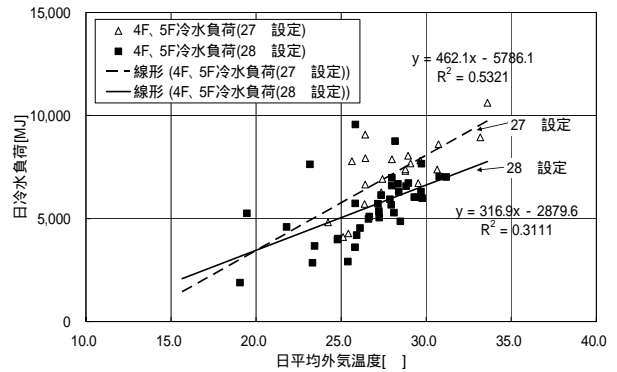


図 - 17 各室温設定時における空調機供給熱量

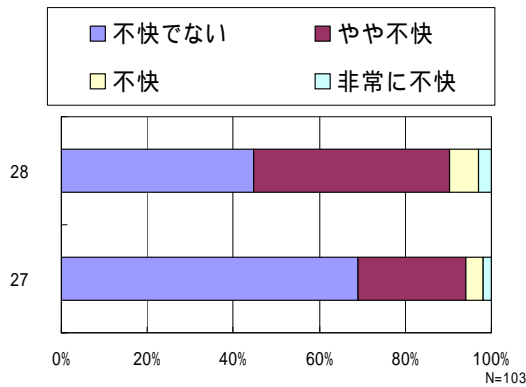


図 - 14 快適性の比較

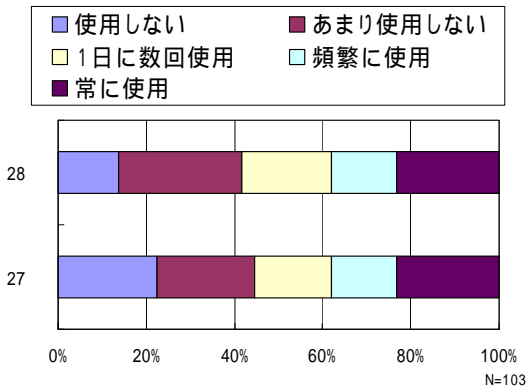


図 - 15 パーソナル吹出口の使用頻度

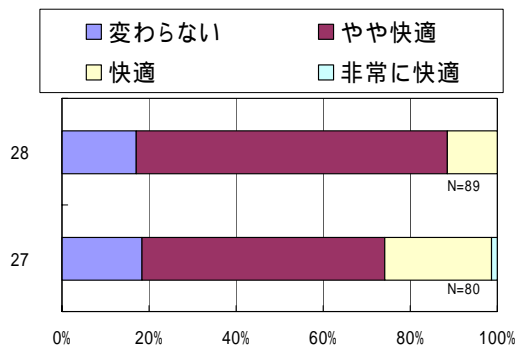


図 - 16 パーソナル吹出口使用時の快適感

§ 5 . PHS 位置情報利用省エネルギー制御システム

本建物は全面的に構内 PHS を採用しており、電話交換機 (PBX) から PHS 端末位置情報を抽出する技術を新たに開発したことで、ゾーンごとの在室人数をリアルタイムに把握することが可能となった。これを次の空調省エネルギー技術に応用したので、その効果について示す。

残業時の切り忘れ防止 : 残業時に在室人員がゼロとなった時点で当該ゾーンの照明・空調を停止する。
 外気導入量適正化制御 : ゾーンごとの外気導入量を在室人員に応じた適正量に絞り、外気負荷の低減を図る。(CO₂制御と切り替え可能)

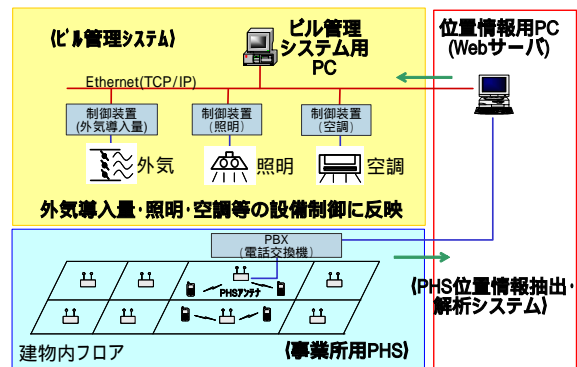


図 - 18 PHS 利用のビル制御システムの全体構成

まず、残業時の切り忘れ防止の PHS による省エネルギー効果を示す。図 - 19 は中央監視からのスケジュール制御だけを行った週とスケジュール制御に加え、PHS による消し忘れ防止制御を行った週との日積算電力量の比較結果である。これによると、中央監視によるスケジュール制御のみの場合、10 日間の平均で 1 日当たりの消費電力量は 910kWh である。これに対し、PHS による消し忘れ防止制御と併用した場合は 9 日

間の平均で1日当たりの消費電力量は890kWhとなり、約2%と省エネルギー効果が向上した。

次に在室人員による外気導入量制御の省エネルギー効果を示す。図-20はある冬場の1日の外気導入量制御の実測データである。設計外気量 $5\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ を一定に取り入れた場合に比べ、1人当たり $25\text{m}^3/\text{h}$ で在籍人数制御を行った場合には、外気導入量は約1/3以下となり、70%の省エネルギー効果があることが確認できた。次に、設計風量に対して、エリアの在籍人数に応じた外気導入量制御を行った場合の竣工後1年間の省エネルギー効果を図-21に示す。月ごとの外気負荷を設計外気量の場合と PHS 人数制御を行った場合について示している。プラス側が冷房負荷、マイナス側が暖房負荷である。ここで、設計外気量の場合、年間外気負荷は 235GJ、PHS 人数制御による年間外気負荷は 47GJ で削減量は 188GJ となる。

§ 6 . 年間の運用実績

最後に年間データを用いて、本建物の運用状況をまとめる。建物の運用は2003年11月からスタートしたが、本章では年度としての2004年4月から2005年3月までの1年間について分析した結果を報告する。

図-22に(1)ベンチマークビル、(2)省エネルギーシステム導入後予想(設計時点)、(3)2004年度実績の月単位電力消費量比較を示す。ベンチマークビルとは「住宅・建築省エネルギーハンドブック2002」からの算出値で、一般的な事務所ビルの平均値である。各月の実績値は多少オーバーしている月もあるが、シミュレーションによる導入後予想の値に近い値となっていることが分かる。2004年度は猛暑であったため6、7、9月が予想を超えていること、また、年度末の残業が増えたため1~3月に予想値を超える状況となった。

図-23に単位面積あたりの一次エネルギー消費量の比較を示す。ベンチマークビル $2041\text{MJ}/\text{m}^2$ 年、システム導入後予想 $1029\text{MJ}/\text{m}^2$ 年に対し、実績では $1164\text{MJ}/\text{m}^2$ 年となり、予想より若干のアップとなった。実績値には設計時点で見込まなかった厨房のガスによる値 $32\text{MJ}/\text{m}^2$ を含む。図より照明・コンセントによる部分が予想より大きめであることが分かる。これは、タスク&アンビエント照明による省エネルギー寄与が設計時点の予想より小さかったことが挙げられる。実用上の要求からアンビエント照度を多少上げざるを得なかったためである。一次エネルギー消費量ではベンチマークビルに対し43%削減を実現し、予想値には至らなかったものの大きな省エネルギーが実現できたと思われる。

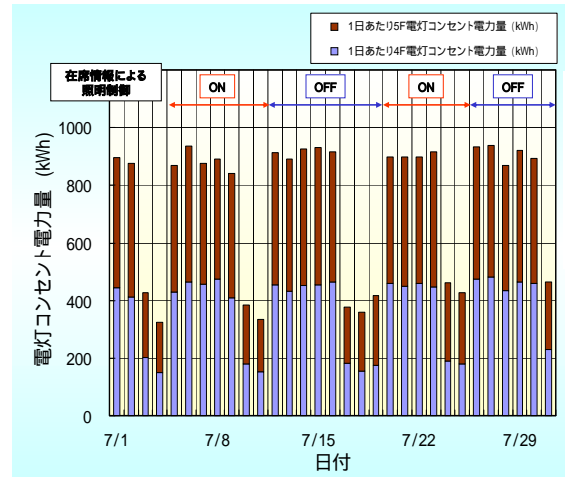


図-19 PHSによる照明消し忘れ防止制御の効果

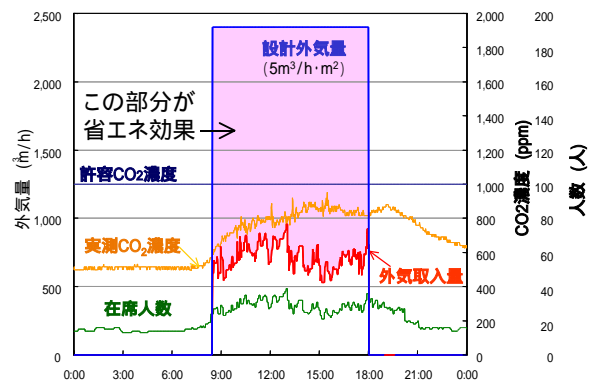


図-20 在席人数による外気量制御データ

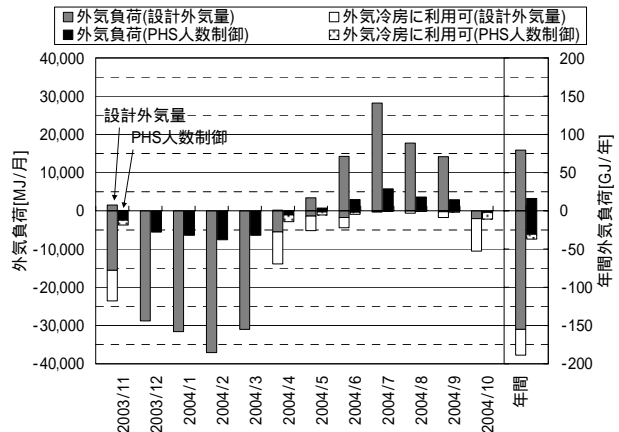


図-21 在席人数による外気量制御省エネ効果

図-24に前述の省エネルギー分43%の内訳を示す。計算上、分離しにくいものも含まれているため、推定の値ではあるが、最も省エネルギーに貢献したのは外気取り入れ量の適正化制御によるものであった。本建物ではこれを実現するために PHS を利用した在室人数 $\times 25\text{m}^3/\text{h}$ となるよう外気側 VAV 制御とする機能、CO₂ センサーを使って 800PPM に制御する機能、の切替可能な二種が設置されている。実測期間中はほ

とんどの PHS による制御を選択している状況であった。二番目に省エネ効果が高かったのは照明・コンセント類であるが、これには高効率 Hf 照明が効いていることと、設計目標の省エネルギーが達成できなかったとは言えアンビエントを調光制御で多少落としている効果と思われる。次は全熱交換器による熱回収、外気冷房の順となった。その他の部分には建物自体の断熱気密性能といった建築側での省エネルギー手法や VVW、台数制御といったシステム上の省エネルギー効果が含まれるものと思われる。

図 - 25 には建物生涯 60 年とした場合の年間に換算した LCCO₂ を示す。ベンチマークビルを 100 とした場合の実績値は 35.3%削減となった。これにより、当初の設計時点に想定した、標準ビル比 35%削減の目標は実現できているものと思われる。この値は一年分の実績値からの換算であるため、今後も長期間に亘って省エネルギーを実現・維持してゆくことが重要である。

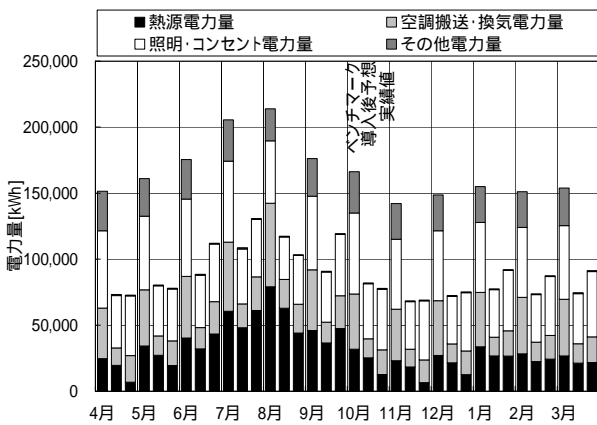


図 22 月単位の電力量比較

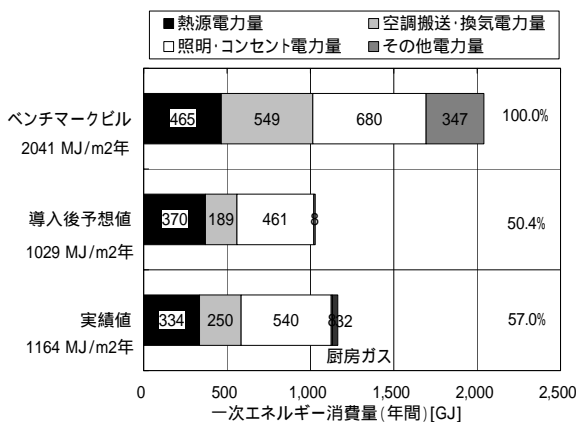


図 - 23 一次エネルギー消費量比較

ベンチマークビルより43%一次エネルギー削減の内容推定値

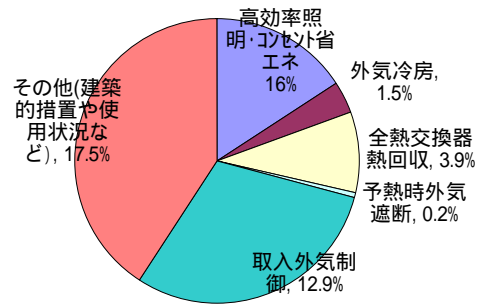


図 - 24 省エネルギー内訳推定

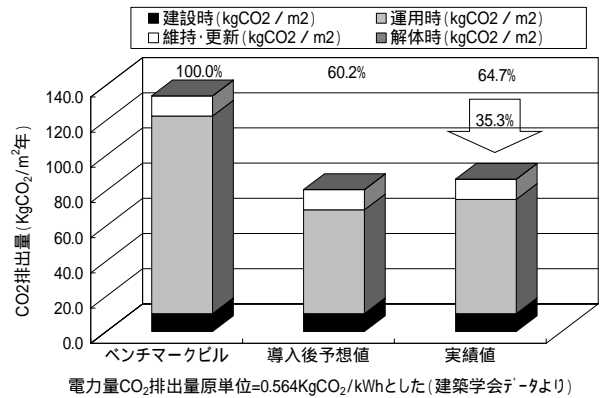


図 - 25 LCCO₂ (60 年) の比較

§ 7 . まとめ

技術研究所新本館に盛り込んだ省エネルギー・環境負荷低減技術の実際の運転状況、各種効果についてまとめた。また、建設時に策定した LCCO₂ の 35%削減目標は達成できる状況であることを報告した。

環境の質を落とさず、真の意味での省エネルギー・環境負荷低減を目指すには継続的な運用時の努力が必要であり、今後とも中央監視制御システムや設備モニタリングシステムからのデータを基に、建物全体の性能を検証してゆく予定である。また、ここで得られた情報は、今後、他の建物にも展開し、環境負荷低減の推進に貢献してゆければと考えている。

<参考文献>

- 1)川島, 中村、佐藤：“次世代技術を導入した環境配慮型建築(その1)”, 清水建設研究報告, Vol.80, 2004年10月
- 2)川島, 中村、佐藤、竹林：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第1報)建築設備の概要”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2004年9月
- 3)中村, 川島、佐藤、栗原：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第2報)新規導入設備、モニタリングシステムの概要とシミュレーションによる比較”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2004年9月
- 4)栗原、小久保：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第3報)熱源と氷水搬送の運転状況”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 5)中村、川島：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第4報)二次側空調設備の工夫による省エネ・負荷平準化効果”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 6)大塚、橘、川島、野部：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第5報)全面床吹出し空調におけるパーソナル空調の快適性と省エネルギーの評価”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 7)岩谷、橘、小久保、川島：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第6報)吹抜けに面した執務空間への全面床吹出し空調システム適用事例及び夏期実測”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 8)小林、川島、橘：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第7報)PHSを利用した省エネ型ビル制御システム概要とその導入効果”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 9)山口、富岡、布施他：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第8報)室内化学物質モニタリングシステム”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 10)鈴木、川島、中村、大塚：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第9報)エネルギー評価システムと環境性能総合評価”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 11)川島、郷、小林、中村：“次世代技術を盛り込んだ環境配慮型建築(第10報)2004年度の運用実績”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005年8月
- 12)IBEC:「住宅建築省エネルギーハンドブック2002」