

平成 24 年 6 月  
平成 24 年 7 月改  
平成 25 年 6 月改

**【緊急提言】**

東日本大震災に伴う節電・省エネ対策のための  
「蓄熱システムの有効活用」について

併せて、健康的環境保持の基本原則に関して

2011.3.11 東日本大震災以降、日本は今までにない電力供給不足問題に直面しており、その対策として更なる省エネ・節電を推し進めることが急務である。また、省エネ・節電生活において住環境が軽視されがちだが、電力供給不足問題が長期的課題であることを考えても、健康的環境を保持する前提を忘れてはならない。

一方、蓄熱システムは、空調にかかる昼間の電力を削減するだけでなく、熱のバッファータンクとしての役割も果たすため、健康的環境を損なうことなく、エネルギー高効率利用に対しフレキシブルな運用が可能である。

本緊急提言では、省エネ・節電生活における環境工学としての前提条件を踏まえ、蓄熱システムの良さを改めて紹介すると共に、より有効に蓄熱システムを活用するにはどうしたら良いか具体策を提示している。

いよいよ迫りくる2012年夏に備え、更なる省エネ・節電の一助となれば幸いである。

## 1. 省エネ・節電生活に対する環境工学の視点からの前提条件

### 1-1. 環境条件に関して

- ① 基本として健康的住環境を保持すること。
- ② 緊急避難的に快適性を軽視せざるを得ないときにも、人体行動調節(着衣調整)を含めた健康的環境の原理の下に政策と実務とを展開すべきである。
- ③ 建築環境工学者は快適環境理論を無視すべきでなく、応用し主張すべきである。

### 1-2. 省エネ、温暖化防止の論理との兼ね合い

- ① 省エネルギーはすべての環境において真理であり、節電、温暖化防止、エネルギー資源保存、原発保存の可否等、すべての観点からこれを推進すべきである。
- ② 現在人口に膾炙される温暖化物質起因の地球温暖化は、太陽活動などの影響もあって因果関係の確立した現象ではないが、温室効果による太陽輻射熱の閉じ込め、温室効果を加速させる化石燃料使用によりCO<sub>2</sub>濃度は増大し続けるため、いかなる社会環境の中にあっても忘れることはできない。
- ③ 緊急避難のために一時的に温暖化対策を無視せざるを得ない時期が有っても、それが常態となっては地球規模の国際合意に反するし、国土としても疲弊に至る。
- ④ 自然エネルギー活用、未利用エネルギー或いは再生可能エネルギーの活用は、無制限に活用することは不可能であり、不安定資源でもあること、乱用は逆の自然破壊を生み、社会システムとの矛盾を新たに生み出すので期待し過ぎてはならないし、これを無視して無制限に拡大してはならない。

## 2. 省エネ設定温度 28℃適用の限界を認識すべき

快適環境理論より、「省エネ設定温度 28℃」の限界を知らしめ、別の指標、概念を導入すべきである。結論としては乾球温度を意味する「温度」を「体感温度」に置き換え、「夏の冷房時省エネ設定温度は体感温度として 28℃を基準とする」と言い換えるべきである。

### 理由(理論)

- ① 室の寒暑・涼暖の要因となる指標は、温度(乾球温度 DB)・湿度・輻射・気流(風速)の大きさによる。
- ② 人体の寒暑・涼暖の要因となる指標は、このほかに着衣と作業状態が加わる。
- ③ 一般に乾球温度だけで快適性を表現するときは、人によってイメージする状況は異なるものの、28℃設定の状況を一般化するには、相対湿度 RH が 50%、輻射環境は壁面温度で表現して室温と同等、着衣はクールビズ(薄い半袖下着と開襟シャツ程度)と解釈するのが妥当であろう。(これをクールビズの標準状態とする)
- ④ 伝統的な空調方式の場合に真夏に設定温度を 28℃に設定すればシステム特性によって相対湿度は 60~70%に上昇し、また日射の当たる窓面の室内側表面温度(ガラス面ないしブラインド)は室温より数℃上昇し、体感温度は標準状態より数℃上昇する。逆に言えば標準状態 28℃と同等の健康温度に保持するには 28℃より1~2℃下げる必要が生じる。いずれにしてもそのような環境で上下背広を着ることは健康と不快の視点から許されるべきではない。
- ⑤ 体感温度の指標にはいろいろあるが、ここでは乾球温度と平均輻射温度 MRT (≒平均壁面温度)との平均値で略算される作用温度(OT)と、OT と相対湿度環境と(厳密にはそのほか風速が関係するが室内では扇風機などの強制風を与える以外は 0.3m/s 以下のほぼ無風環境が普通である)から表現される新有効温度(ET\*)が用いられる。

(注:環境が快適か否かを示すにはこの ET\*線図上にて OT と相対湿度で囲った範囲を以て示されるが、計器で直接に快適性の目盛で示されるものに PMV 計がある。)

### ⑥ 概算例

- ・クールビズ標準状態:DB28℃、RH50%、MRT=OT= ET\*=28℃(やや暑い)
- ・着衣、DB28℃のまま、湿度 RH が 70%になった⇒ET\*線図より ET\*=29.5℃(蒸し暑い)
- ・上記の状態、日射の関係で MRT=30℃になったとする⇒OT=29℃、線図より ET\*=30.5℃(かなり蒸し暑い)

### ⑦ 対応

- 1) 従ってこのような場合には DB(いわゆる温度)はそれぞれ 1~2℃下げて制御するか、気流の冷却効果を生かす(簡単には扇風機を設置、システム的には変動風空調などのタスク・アンビエントまたはパーソナル空調方式に改修する)ことを考えないと健康上、また業務効率上不具合が生じる。
- 2) 空調システムを低負荷時に相対湿度が上がらない方式に改造し ET\*を下げる。CAV⇒VAV に。
- 3) 窓面の日射熱取得を減らす工夫をし、MRT、従って OT を下げる工夫をする。
- 4) 可能な範囲で送風温度を低温化する。
- 5) 体に当たる風速が 0.3m/s から 0.8m/s になると基準条件によるが、体感温度は 2~3℃低下する。

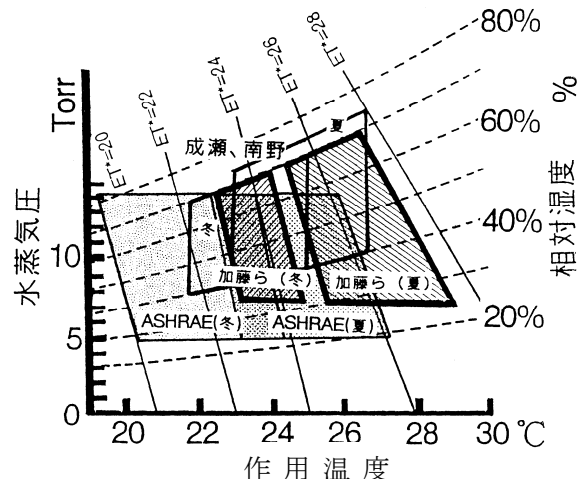


図 湿り空気線図上における至適温度領域

### 3. 蓄熱システムのメリットを再認識すべき

#### 3-1. 基本的なメリット

##### ① 省エネルギー・節電効果

・蓄熱運転は、ピーク負荷より小さい能力のヒートポンプ(チラー)を高効率な全負荷運転にて延長運転するので、昼間の冷房負荷の約 1/2 を夜間の電力負荷にシフトしてピーク電力需要を減らせる。

・殆どの場合、電力ピーク時の運転を避けるピークカット運転が可能である。これによりピーク電力kW の低減(節電)と、日電力使用量kWh の低減(省エネ、温暖化防止)に貢献する。

・躯体蓄熱は熱源動力のみでなく、昼間の空調用電力を節減できるので節電効果があり、それをより効果的に省エネルギー性を持たせるには、躯体蓄熱時の外部への熱損失の抑制、熱源の COP 低下を防ぐことが望ましい。

##### ② 運転のフレキシビリティ

・多くの場合、蓄熱運転時間は 20 時間を越えず、現実には機器の余裕、ピーク外の気象条件・負荷条件のために日運転時間は 15 時間前後で済むことが多い。

・実績を解析することによって大電力負荷となる熱源機器の夜間以外の追従運転を最適な時間帯に選択シフトすることができる(節電)。

##### ③ 省コスト運転

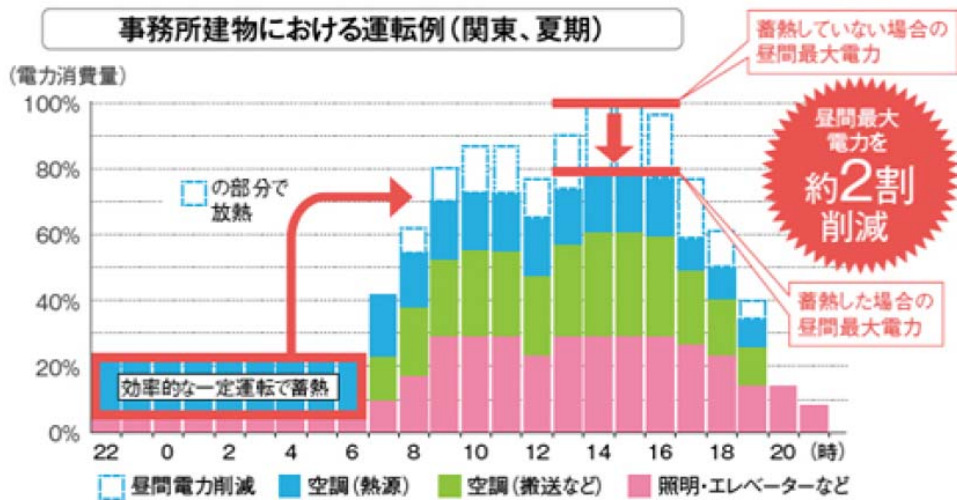
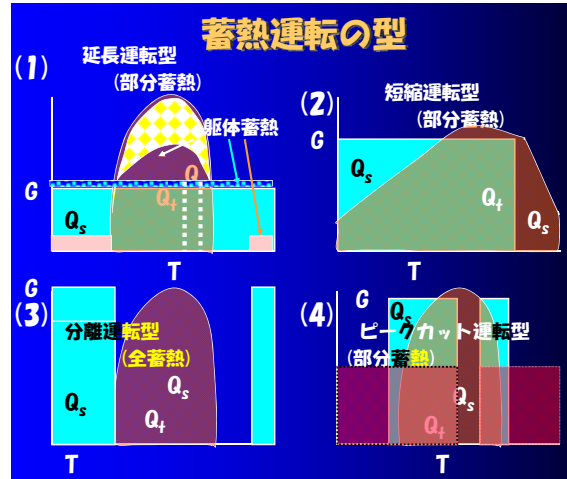
・このような省エネ・節電、ピーク需要時回避の効果はエネルギーのみでなく運転コストの低減に役立つ。

・今後の料金体系の動向は見通せないが、ピーク回避政策はますます重要視されるであろう。

・以前は原子力運転条件確保のための夜間シフトが強調されたが、そうでなく電力供給力不足そのものがピーク回避、夜間シフトを要求するからである。

##### ④ 地域社会への貢献

蓄えられた冷温熱を近隣の緊急需要ビル(病院など)に提供したり、消防用水或いは雑用水として緊急給水したりすることにより、災害時対応として地域社会への貢献が可能である。



※事務所建物のモデルケース。

### ⑤バックアップ

インフラが停止した時(停電)には、ポンプとファンだけ発電機対応を行えば、相当な時間の空調が可能となる。熱源が故障した場合も、ほぼ通常時と同じ空調運転が可能である。

## 3-2. きめ細かな対応を可能としメリットを生み出す蓄熱システムの良さ

- ① 室内温熱環境を維持した節電が可能(節電効果)
  - ・・・ピーク時の熱源電力を減らせるので空調条件を極端に低下させなくて済む。
- ② 熱源の運転時間を自由に変更可能(節電効果)
  - ・・・空調時間と熱源の蓄熱運転時間は分離できるから余裕度に応じて最適な運転シフトが可能。
- ③ 夜間運転中心のため、熱源の COP 向上が期待できる(省エネ効果)
  - ・・・夜は外気温が低下するのでチラーの効率(COP)が向上する。
- ④ 蓄熱運転適正化によってより一層の節電・省エネ・省コスト効果が得られる。
- ⑤ 豊富な技術資料、不具合診断ツールによって現存の蓄熱システムの運転効率を容易に高められることが多い。
  - ・・・但し、適正な運転と保守のノウハウが必要である。
    - ・断熱効果が低下して放熱ロスが増えないようにする必要あり。
    - ・必要に応じ専門家に診断依頼する。

## 3-3. 運用中の蓄熱システムに対して、節電・省エネ効果を向上させる対策メニュー

### 3-3-1. 蓄熱を正しく稼働させるためのチューニング・補修対策

- ①水槽断熱性の確保
  - ・劣化した水槽断熱材の補修
- ②メンテナンスの実施
  - ・故障している機器はないか(二方弁が故障していた事例あり)
  - ・熱源機、熱交換器の清掃
- ③システムの基本的なエネルギー特性の改良

今は古くなってしまった昔の常識を、最新の技術と照らし合わせてシステムのエネルギー特性の改善を行う。以下、考えられる例を挙げる。

  - ・三方弁定流量制御(CWV)を二方弁変流量制御(VWV)に変更(利用温度差確保)。
  - ・VWV 制御において、ポンプがVFD(変速モーター・・・インバーター機)でないものにVFDを付加。
  - ・VFDの最低回転数を無意味に高い周波数に設定していないかどうか。(50%以上にセットしていることが多く、VFD本来の省エネ効果を得ていない場合がある。)
  - ・前項に関連するがポンプ締め切り運転保護のバイパス流量が過大。手動弁の調節を行う。
  - ・2次ポンプのVWV制御で、送水圧力設定が高すぎ、インバーター回転数が下がらず、ポンプの発停頻度が高くなっているケース(台数制御の場合)に対する再調整ないし圧力リセットの導入。(蓄熱、非蓄熱共通)
  - ・最近では、熱源機の凝縮器(冷却水)入口温度が13℃程度で制御可能だが、20℃程度と高温設定とし、熱源機が低効率運転をしている場合がある。設定値を見直せばCOPは大幅に向上する可能性がある(省エネ効果)。
  - ・複式蓄熱熱回収方式では熱回収運転を適正化していない場合がある。また、外気冷房優先運転になっている。熱源機のCOPにもよるが、一般に冷房ゾーンからの熱回収運転が可能で暖房要求があるときは、先ず熱回収運転を優先し、過剰熱回収しないように次段階で外気冷房による放熱運転とする。

- ・蓄熱、非蓄熱の複合熱源方式のとき、ヘッダー周りのバイパスが悪影響を与えて蓄熱槽への大温度差還水を不可能にしていることが多く、改良が必要である。

### 3-3-2. 更なる効果向上を図る追加対策

- ① 熱源出口水温の高温化(2℃程度上げる) →2次側負荷削減、若しくは安全率分の使い切りに伴う
  - ・…水温上昇により熱源機 COP 向上、熱源機能力増大(電流値制御として)
  - ・…逆効果として二次側送水温度上昇によるポンプ・ファン動力の増加に留意
- ② 熱源出口水温の低温化によるシステム COP の上昇
  - ・…VWV の場合は二次側温度差増大によりポンプ動力低下
  - ・…項目①とのトレードオフの確認が必要
- ③ 負荷を減らしてピークシフト運転を縮めピークカット運転を増やす方法(節電効果)
 

室温設定上昇の実効性が疑わしいときは負荷処理能力自体を落として室温を冷やし過ぎないように制約を与える方法がある。

  - ・熱源機の追従運転の抑制
  - ・2次側送水量の制限 例え、二次側送水ポンプの最大供給水量の縮小(台数制御ポンプの1台停止、吐出圧力設定の緩和等)
  - ・熱源機昼間送水温度の緩和
  - ・空調機送風量の強制縮小(最大風量の縮小)
- ④ 蓄熱量を増加しピークカットさらにはピークシフトを増す工夫(節電効果)
 

熱源容量に余裕があるとき、或いは熱源を増設して可能になるもの。蓄熱量を増加するには以下の方法がある。

  - ・蓄熱槽水量増加
  - ・潜熱蓄熱材の投入
  - ・利用温度差の拡大(放熱完了温度の高温化、蓄熱完了温度の低温化、熱源機出口水温の低温化)
  - ・既存水槽の蓄熱水槽化
- ⑤ 緊急対策として、蓄熱槽の2回転利用(節電効果)
  - ・何らかの不可避の理由で大温度差が確保できていない(いわば低効率な)蓄熱システムの場合、10～12℃の放熱完了蓄熱水を再循環する。設定温度を上げて負荷を低減した空調系統では、再利用することが可能である。(そのようなモードを必要とする日は高負荷であるため、二循環目の空調条件はかなり粗悪になる可能性が高い。)
  - ・放熱完了時、蓄熱槽内水温が設計値より高温となるため、翌日の蓄熱槽内水温が下がりきらず十分に蓄熱容量を確保できない可能性が高い。よって、週末或いは休日前にしか適用はできないと考えられる。
  - ・タスク&アンビエント空調の場合はアンビエント空調が冷水を7→12℃で利用した後、タスク空調は12℃の冷水をさらに活用するといったことも可能となる。アンビエントだけでは快適性が不十分な場合タスク空調で補うこととなる。

\*あくまでも緊急対策であり、より効果向上を図るには大温度差利用が可能なシステムに改良した方がよい。
- ⑥ 低温送風空調システムの活用
  - ・クールビズ空調への対応
  - ・送風量を低減できるため VAV の変風量域を拡大(省エネ効果)
 

(後述:4 アズビル株式会社藤沢テクノセンター第100建物における変風量域の拡大実施例)
  - ・氷蓄熱だけでなく、水蓄熱・非蓄熱での実現性検証が必要

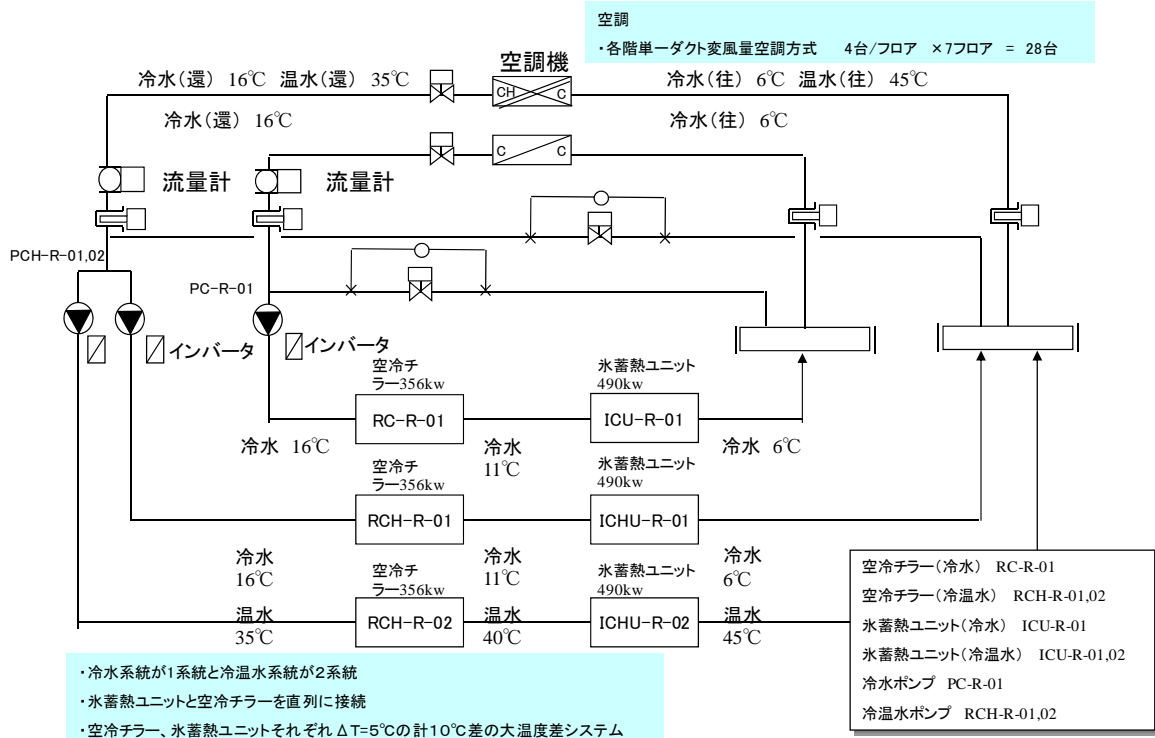
⑦ ビルマルチ空調システムの節電・省エネ対策

- ・夜間に冷房し躯体蓄熱を行うことで、昼間の空調負荷を減らし電力消費量を低減。
- ・マルチ空調機システムとセットで導入される換気システムの自動化による省エネ(CO2 濃度制御等)。
- ・照明との連動による無駄運転回避による省エネ、節電。

4. 蓄熱システムの節電、省エネの実施例からの知見整理

4-1. アズビル株式会社藤沢テクノセンター第 100 建物

4-1-1. 空調システム概要



4-1-2. 節電目標と取り組み内容

この建物では、主な節電施策を、震災前から既に実施済み。一般の事務所ビルよりも、既に 30%も省エネとなっていた。その上で、2011 年夏期、消費電力半減を目標に様々な取り組みに挑戦した。

①既に実施されていた第 100 建物の節電・省エネ項目

- ・照度設定の見直し
- ・室温設定の見直し
- ・エントランス照明の点灯区分見直し
- ・1階廊下の照明を間引き
- ・自動販売機台数削減(23 台⇒12 台)
- ・平日終業後の一斉消灯
- ・中間期の熱源運転時間の削減
- ・執務室のCO2濃度設定値見直し(900ppm)
- ・空調機毎の熱量管理: 流量計測機能付バルブの導入

② 2011年夏期に挑戦した新たな取り組み

1).蓄熱システムに係る節電項目

➤ 氷蓄熱の有効活用(図 4.1 参照)

冷温水系統/冷水系統の氷蓄熱フル活用による、9～20時の空冷チラー完全停止(省エネのために使用率の低かった氷蓄熱を、日中節電のためにフル活用とし夜間シフト率を増大した…節電優先)

➤ 躯体蓄熱の有効活用

6時～9時は、冷温水系統/冷水系統の空冷チラーのフル運転により、躯体に冷熱を蓄熱。負荷予測結果により、始業時の室温設定を決め、予冷時間を決める。

2).空調システムに係る節電・省エネ項目

➤ VAV 最低風量設定の改良(図 4.2 参照)

夏期ピーク時も各 VAV が最低風量に固着していることが多く、より低風量にできるようにゾーン単位で最低風量値を見直した。

3).節電インセンティブ制御の導入

照明と空調の連動制御

➤ 照明を節約すれば設定室温が下がり快適になるような仕掛けを作った。

➤ 目標電力によるペナルティー制御

目標電力と瞬時電力との差分により空調強度を調節する仕掛けを作った。見える化装置が役立つ。

4).デマンド制御

電力デマンド状況に応じて、室温設定や照明の照度設定の緩和、機器・照明の OFF を実施し、目標電力を遵守した。

4-1-3. 2011年度夏期取り組みの実績

(図 4.3 参照)

第 100 建物として、使用時間帯(9時～20時)におけるピーク電力を、2010年夏期と比較して約 45%節電できた。

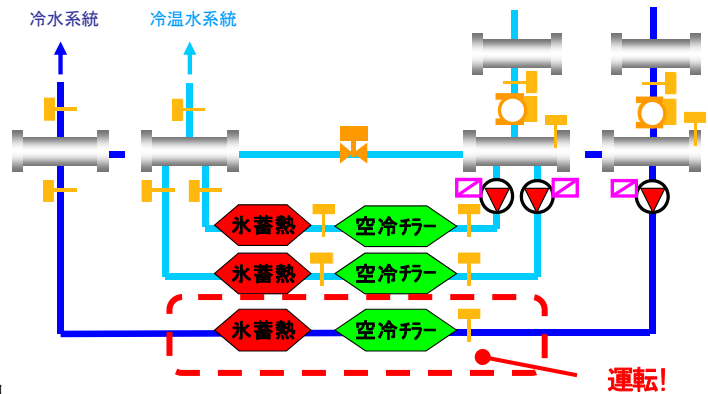


図 4.1 氷蓄熱の有効活用について

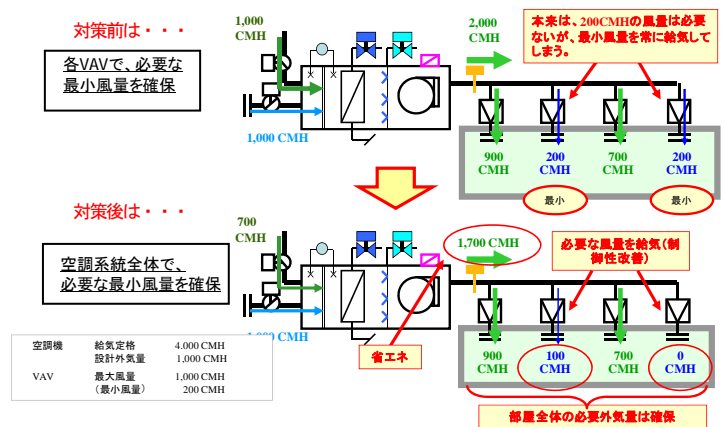


図 4.2 VAV 最低風量設定の改良

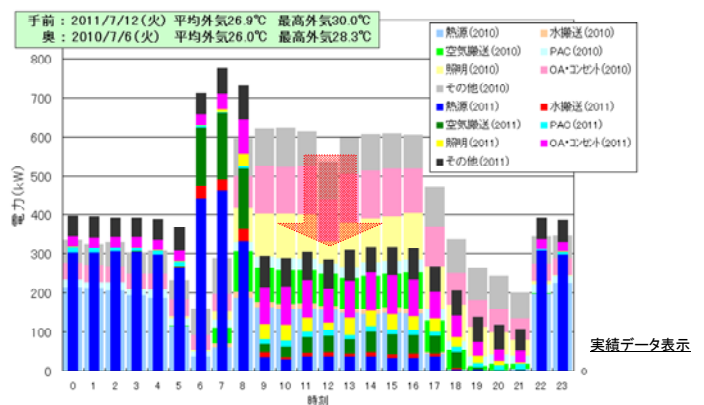


図 4.3 第 100 建物における消費電力の実績

\*第 100 建物では「躯体蓄熱の有効利用」の取り組みのため、早朝(6時～8時台)に最大電力が発生しているものの、他の施設の電力消費の状況から、施設全体の契約電力には影響を与えていない。



## 4-2. 竹中工務店東京本店社屋

### 4-2-1. 建物概要

サステナブル建築の先駆けとして 2004 年に竣工した本建物では様々な省エネ手法を採用することで、従来と比較し、一次エネルギー消費量を 60%削減させ、CASBEE のSランク(BEE=4.9)を取得した建築である。本建物の概要を表 4.1 に示す。

竣工後も運用の改善活動を行い、一次エネルギー消費を毎年削減している。

表 4.1 建物概要

建設地	東京都江東区新砂 1-1-1
建築面積	5904 m <sup>2</sup>
延床面積	29,747 m <sup>2</sup>
構造	鉄骨造+鋼管コンクリート(CFT)柱
規模	地上7階、塔屋1階
用途	事務所
竣工年	2004年9月
設計施工	株式会社 竹中工務店

### 4-2-2. 熱源システム概要と実績

#### (1) 概要

図 4.4 に熱源システムの系統図を記す。空調システムの主な特色は以下のとおりである。

- ①3℃の低温水蓄熱+大温度差送水(3.5℃→13℃)+低温送風(11℃送風)
- ②上記水蓄熱に氷蓄熱(クリスタルリキッド)とガス吸収式冷温水機を組み合わせた熱源システムを採用。

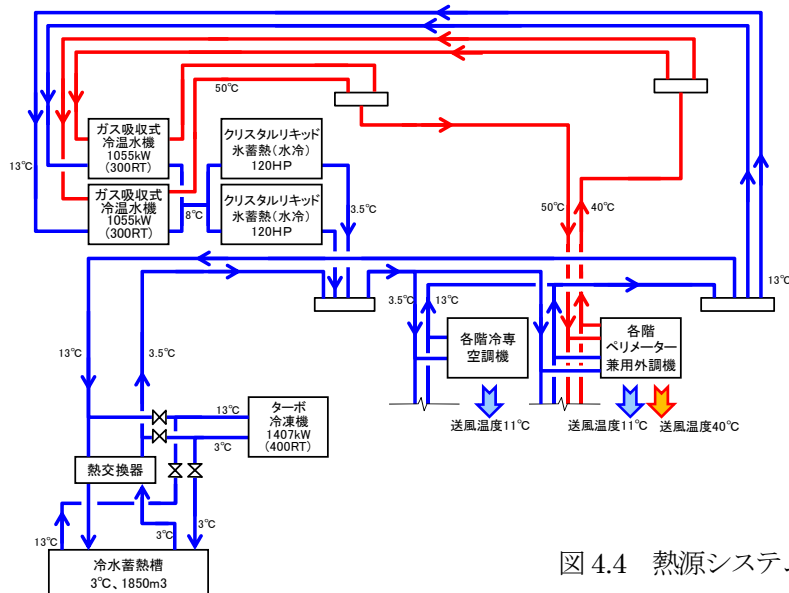


図 4.4 熱源システム

現状の運転状況であるが、室内負荷の減少(パソコンモニターの液晶化、パソコンのノート化、照明のLED化+照度制御)に伴い、5℃→12℃で夏期のほとんどをカバーできており、氷蓄熱を運転するケースはほとんどなくなっている。

#### (2) 蓄熱空調の運転実績

東日本大震災前より、ピーク電力を削減するための活動を行っており、熱源の運転パターンとしては、追掛運転はガス吸収式冷温水機のみで対応している。図 4.5 に 2011 年度の冷房負荷の実績を示す。中間期及び冬期は冷房負荷のほぼ 100%、年間では冷房負荷の 76%を蓄熱で対応している。

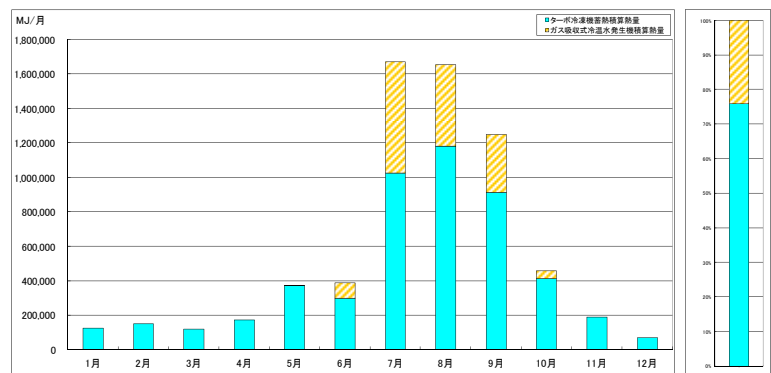


図 4.5 蓄熱空調の実績 (2011年度)

### 4-2-3. 空調システム概要

2次側の空調システムは自然換気を併用したハイブリッド空調となっている。図4.6にその概要を示す。

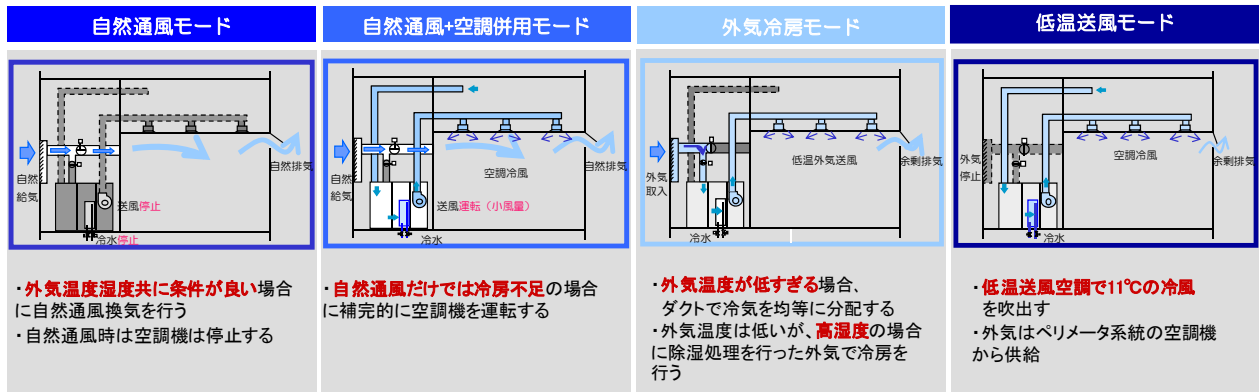


図 4.6 自然風利用ハイブリッド空調システム

### 4-2-4. 竣工後の改善活動とその成果

#### (1) 運用による改善活動

2005年から2010年までは運用改善により省エネルギーを図っている。主要な改善項目は以下のとおりである。

##### ① 自然風利用の拡大(ハイブリッド空調の最適化)

省エネルギーと室内環境の両立を図りつつ、下記のような制御の手直しを実施した。その効果を図4.7に示す。

- ・エリア内の空調機モードのグループ化
- ・無負荷時の空調機停止(自動再起動)
- ・各モード毎の許可/禁止を選択(花粉症対策)
- ・空調モードの切替判断に「継続時間」を追加
- ・外気取入れ許容上下限温度を可変(満足度向上)
- ・自然通風許可判断の条件緩和

##### ② 熱源システム運転の見直し(冬期蓄熱運転の最適化)

##### ③ 冬期暖房運転の改善(ウォームビズ)

##### ④ エリア別照明リモコンの設置

##### ⑤ 不要照明の消灯徹底

##### ⑥ 照明管球一斉交換時の照度調整

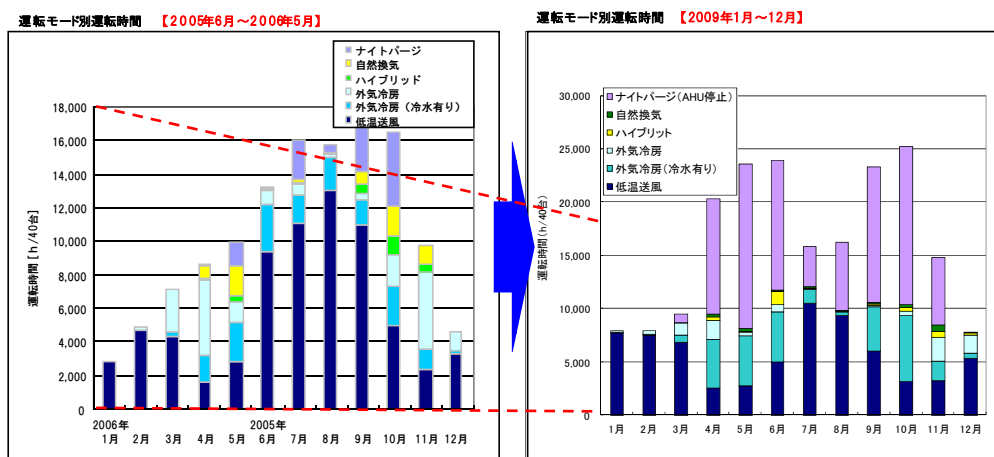


図 4.7 ハイブリッド空調制御の改善効果

注) 改善前のグラフは月の並びを1月～12月とするため、2006年1月～5月の後に2005年6月～12月の実績を記載している。

## (2) 東日本大震災以降の改善活動

3.11 の東日本大震災を受けて、自立型 ZEB (net Zero Energy Building) に向けた取り組みを前倒しで実施することとなり、以下のような改修を行った。

### ①太陽光発電の導入

屋上にシステム容量 145kW の太陽電池パネルを設置した。(2011年9月末完成)

### ②照明の省エネルギー～LED化、タスク&アンビエント照明の採用

天井のHF型蛍光灯を直管型LED照明に交換した。また、タスク照明を全席に設置することでアンビエント照明(=天井照明)の照度を300ルクスとした。さらに人感センサーを設置し、人が不在時は100ルクスまで減光するようにした。なお、照明のLED化はダウンライト等直管以外の照明についても実施している。図4.8に基準階各月1週間の照明電力消費量の推移を示す。

### ③中圧ガス/バイオガス切替型発電機の導入

BCP的観点も合わせ、230kW のガス発電機を設置した。燃料は耐震性及び信頼性の高い中圧ガスを常用とし、将来的にはバイオガスも使用可能なように計画されている。

夏期のピーク日に関して2010年～2012年の1日の消費電力量の推移を図4.9に示す。

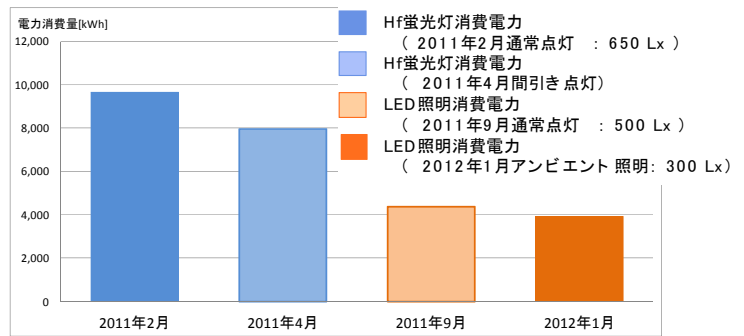


図 4.8 照明消費電力の推移 (基準階、各月の1週間)

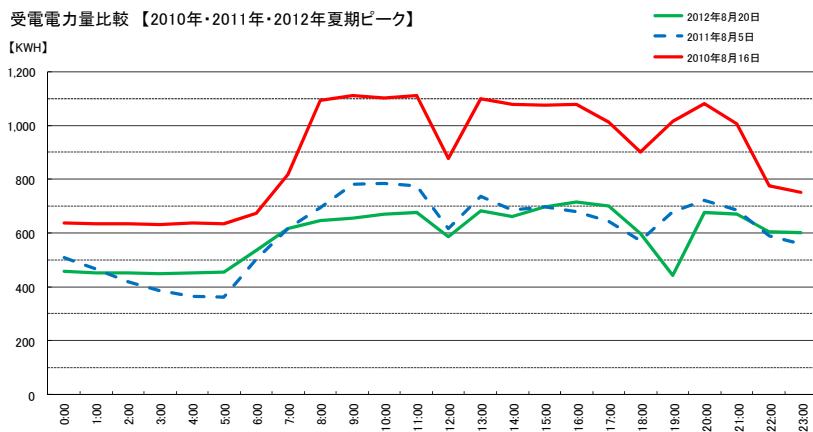


図 4.9 夏期ピーク日の消費電力の推移

## (3) 活動の成果

2005年以降の一次エネルギー消費量を図4.10に示す。一般的なオフィスの一次エネルギー消費量は2500MJ/m<sup>2</sup>とされているが、2012年度には約60%減の1012MJ/m<sup>2</sup>となっている。

### 【履歴】

2012年7月更新  
2013年6月更新

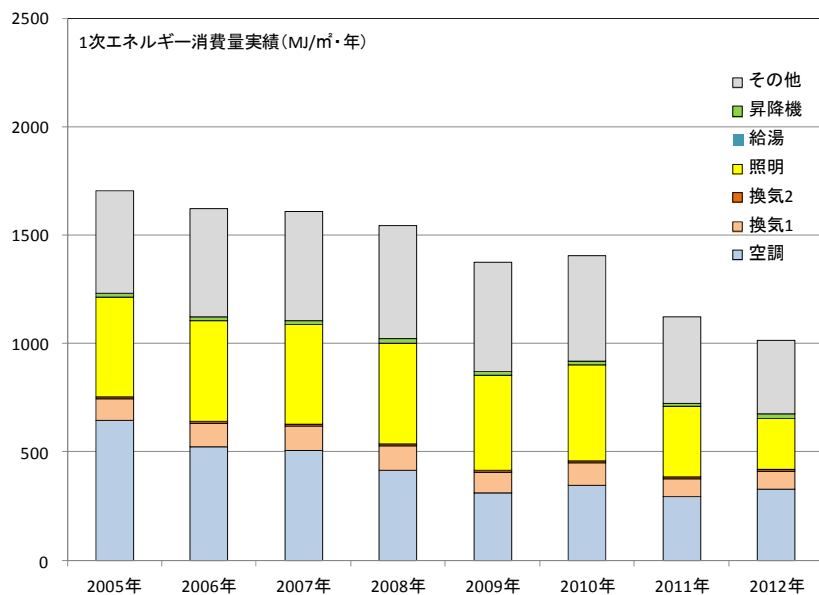


図 4.10 一次エネルギー消費量の推移