

# 戸塚駅西口共同ビル棟新築工事における 水蓄熱システムの有効性の検証

## The verification of the effectivity of the water thermal energy storage tank system : The Totsuka-Nishiguchi complex building construction project.

戸田 高志\*

Takashi Toda

### 要 約

省エネルギー対策が叫ばれるようになって久しいが、今回施工した戸塚駅西口第1地区第二種市街地再開発事業共同ビル棟は専門店エリアの空調システムに高効率型空冷モジュールチラー+水蓄熱槽を採用した。

深夜電力を有効に利用し、外気温度が低い夜間に冷水蓄熱することで、電力需要の平準化を図り、併せて高効率型チラーを採用することでCOPの向上による省エネ・排出CO2の削減に寄与することを省エネ対策の柱の一つとして取り入れている。

本論では中央監視室に設置したBEMSにより昨夏のエネルギー使用状況の記録を検証し、蓄熱システムの有効性を判断すると共に、蓄熱槽利用による空調機能能力の削減を検証するものである。

### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 施設工事概要
- §3. 専門店エリアの空調方式
- §4. 蓄熱システムの概要
- §5. 蓄熱運転の考え方
- §6. 蓄熱運転の検証
- §7. おわりに

### §1. はじめに

当建物は市街地再開発事業において整備された施設建築物である。店舗数約170店、総床面積約70,800㎡、契約電力4,000KWに及ぶ大型複合商業施設である。

図-1に示すように、建物は地元権利者を中心とした地元店エリアと特定建築者誘致による専門店エリアに2分されており、再開発事業の背景から地元エリアにはビルマルチ方式による空調方式が採用されており、専門店エリアには真夏の電力需要の平準化を図る為に深夜電力利用の水蓄熱システム方式を採用している。専門店エリアは客用導線に対してオープン型の店構えとなっており、水蓄熱システムによる空調総面積は11,000㎡に及ぶ。

後に触れさせて頂くが、エリア配置上から方角による空調負荷の時間変動が少ないのが特徴となっている。



写真-1 建物全景

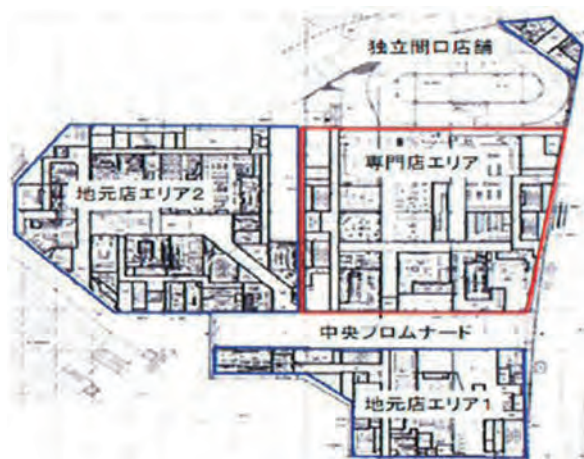
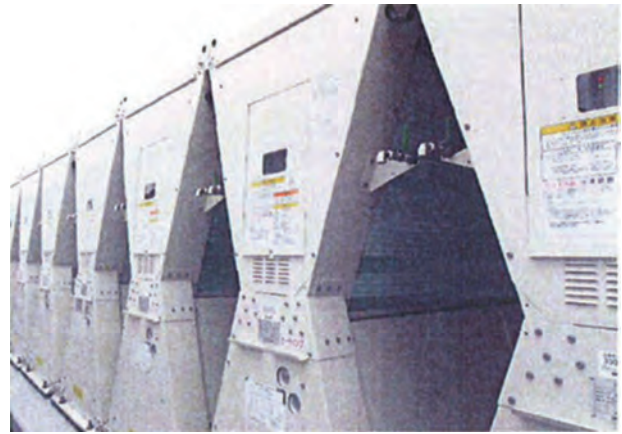


図-1 基準階エリア構成図

\* 関東建築 (支) 住友不動産南平台 (出)

## §2. 施設工事概要

建物名称：戸塚西口共同ビル  
 所在地：神奈川県横浜市戸塚区戸塚町16番地1  
 特定建築者：東急不動産(株)，(株)東急コミュニティー  
 設計・施工：西松建設(株)  
 監理：(株)日本設計  
 延床面積：70,813.76 m<sup>2</sup>  
 階数：地下2階，地上7階，塔屋2階  
 主用途：商業施設，業務施設，駐車・駐輪場  
 工期：H19年12月4日～H22年2月28日



写真一2 空冷ヒートポンプモジュールチラー

## §3. 専門店エリアの空調方式

専門店エリアの空調は，屋上に配置した空冷ヒートポンプチラー（写真一2）で造り出された冷温水により行われている。

チラーと共に熱源システムを構築している蓄熱槽，熱交換器（写真一3），冷温水ポンプは地下2階に設置としている。

2次側空調機は外調機（以下AHU），及びファンコイルユニット（以下FCU）で構成されている。

AHUは要求熱量に対して電動2方弁により冷温水量を比例制御，FCUは電動2方弁により冷温水量をON-OFF制御している。

インテリア部分のFCUには2管式により常時冷水を供給としているが，AHU，及びペリメータ部分のFCUには2管式にて冷水・温水の何れかを選択し，供給している。

なお，後述の蓄熱モードの切り替えによりインテリアシステムにも温水供給可能なシステムを構築している。

また，深夜電力により蓄熱する時間に及んで営業する1部店舗については，別に空冷ヒートポンプエアコンにより空調している。

### 3-1 熱源機

熱源機には高効率型（散水装置付）空冷ヒートポンプモジュールチラーを採用しており，1組は冷房専用機，もう1組は冷暖房切替機としている。

以下に蓄熱運転時の仕様を列記する。

- ・高効率型空冷ヒートポンプモジュールチラー（冷専）  
 冷却能力：612 KW 消費電力：112.2 KW
- ・高効率型空冷ヒートポンプモジュールチラー（冷暖）  
 冷却能力：780 KW 消費電力：141.6 KW  
 加熱能力：708 KW 消費電力：210.0 KW

冷水蓄熱運転時の場合，チラー出口水温が目標の5℃になるように運転モジュール台数が制御され，チラーを通過させることで温度差を8℃確保できる機種を採用している。



写真一3 プレート熱交換器

蓄熱に関連するポンプを含めた熱源機器は電力会社と深夜電力利用による蓄熱契約を結んでいる。

### 3-2 蓄熱槽

蓄熱槽は1槽で，地下2階に縦型の躯体式水槽を設置している。縦型の為，理想的な温度成層を作れる形状であり，写真一4に示すディストリビューター4台を槽内に配置することで，さらにその効果を高めている。

蓄熱槽の有効水量は960 m<sup>3</sup>であり，水槽内には残蓄熱量の算出，温度成層状況監視の為に9個の温度センサーを配置している。

なお，蓄熱槽は冷温水対応型としているが，現状は年間冷水蓄熱として利用されている。

### 3-3 外調機（AHU）

全負荷の約半分を占める外気による空調負荷を軽減する為に，店舗混雑状況や，外気温により外気導入量を100%，70%，30%の3つのモードで切り替えることを可能とし，省エネを図っている。

また，一定時間，外気取入れを停止したウォーミングアップ運転も可能とし，開店前の空調立ち上がり時間を短縮している。（現状，開店1時間前より運転開始）

前述のようにAHUの冷温水量は比例制御の為，上記

機能を運営側で上手に活用することで時間による冷温水要求量を平準化することに貢献している。

§4. 蓄熱システムの概要

当建物には店舗からの要求や天候による負荷変動に対応できるように、蓄熱・放熱合わせて6つのモードを備えており、外気温度条件等により中央監視室でモード変更する事で稼働ポンプ、電動バルブの自動切り替えを行い、各モードへの適応を可能としている。

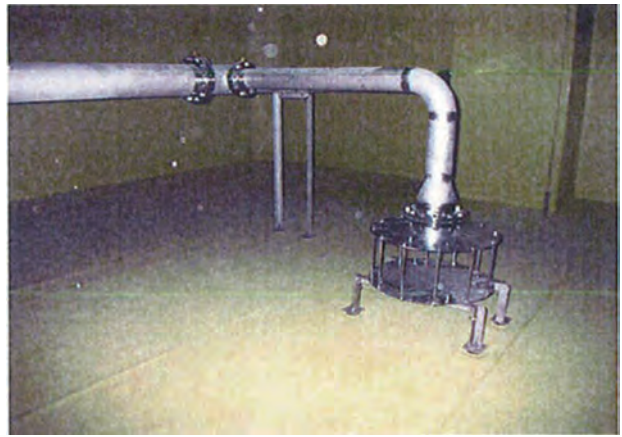
図一2にBEMSによる空調熱源運転制御画面を示す。各モードは以下の通りとなっている。

- ① 夏期・中間期・冬期（冷水）蓄熱モード
- ② 夏期・中間期（全館冷水）放熱モード
- ③ 冬期（ペリ系温水，インテリ系冷水）放熱モード
- ④ 冬期（温水）蓄熱モード
- ⑤ 冬期（全館温水）放熱モード
- ⑥ 冬期（全館温水）放熱モード+（冷水）蓄熱モード

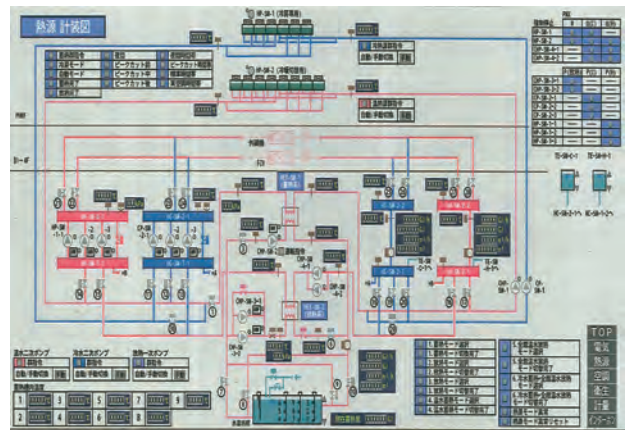
上記モードの内、蓄熱に関しては年間を通じて冷水蓄熱としてモード①を、放熱に関しては外気温度によりモード②，③を切り替えて使用することを念頭に計画しており、④～⑥モードは全館規模での暖房要求に対応可能なイレギュラーモードとして構築されている。

図一3に全館冷房運転時（モード②）のフローを、図一4に冬期冷暖房運転時（モード③）のフローを示す。

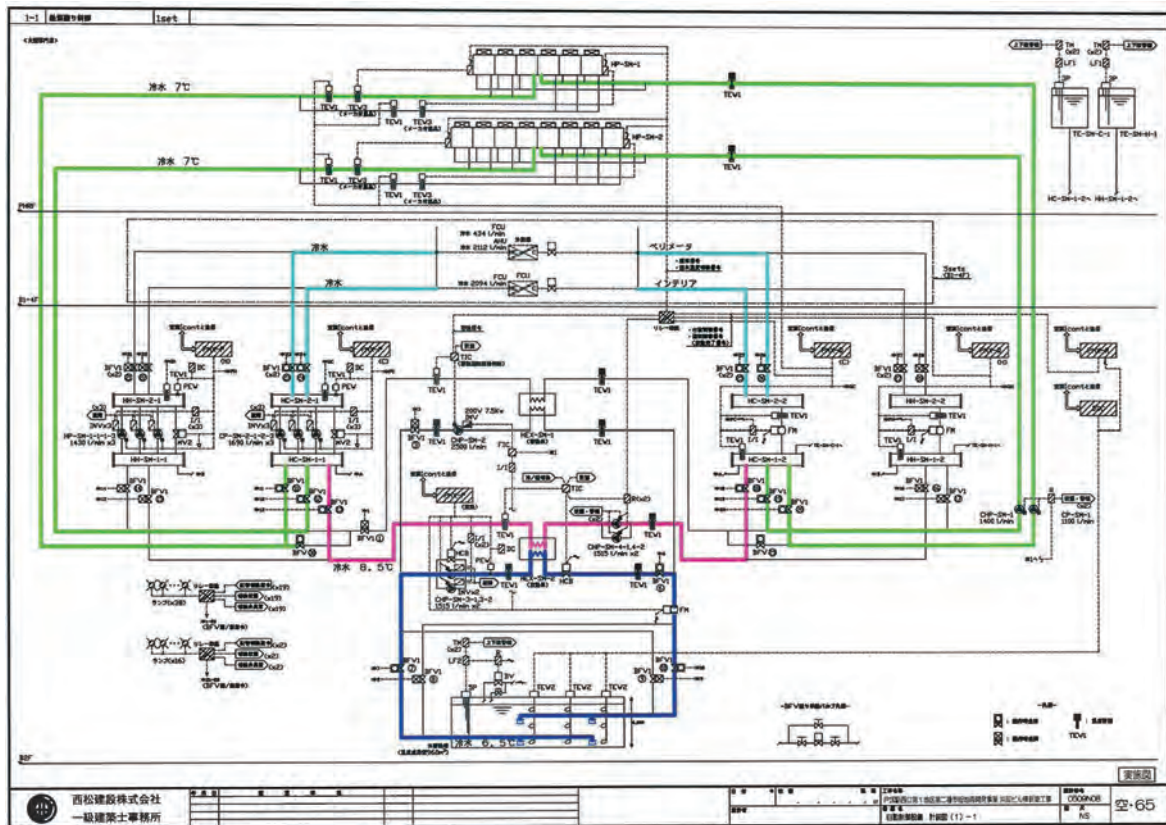
冬期暖房要求がある場合、深夜電力利用時間内で冷水



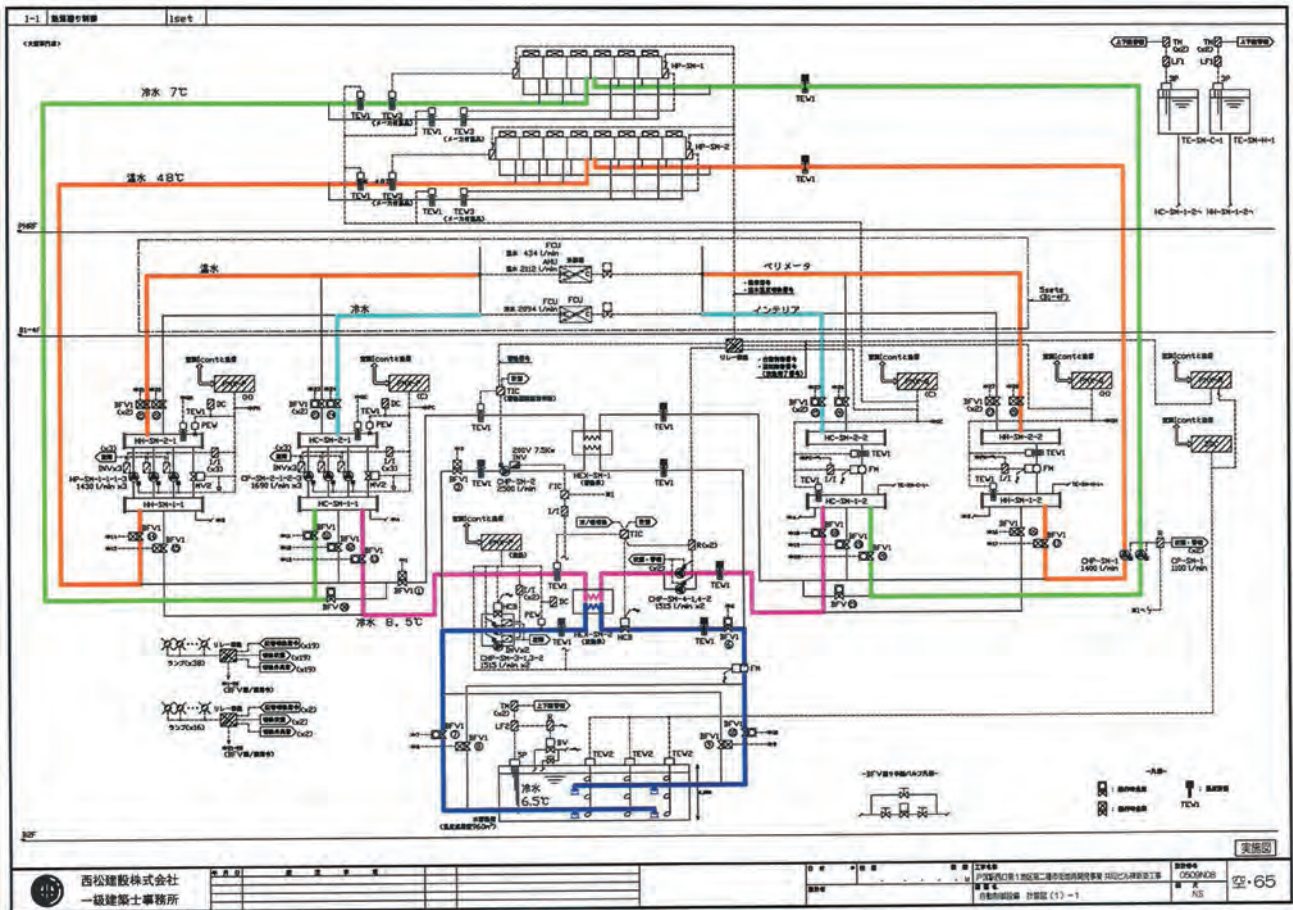
写真一4 蓄熱槽内ディストリビューター



図一2 空調熱源運転制御画面



図一3 全館冷房運転時フロー図



図一4 冬期冷暖房運転時フロー図

蓄熱を完了する為には冷暖兼用型のチラーを含めた2機の蓄熱運転が必要である為、日中はモード③、夜間はモード①へと切り替える必要が生じる。

§5. 蓄熱運転の考え方

運営に当たり、朝方には蓄熱槽内の冷水が全て6.5℃になるようにチラーの運転台数を制御している。

一方、蓄熱槽の放熱が進むにつれ、夕刻に生ぬるい冷水がミキシングされ2次側へ供給されることを避ける為、放熱完了を早目の11.5℃に設定することで、放熱完了前後でもチラーが作り出した冷水(7℃)をより有効に2次側空調機に送り出すことを可能としている。

この場合、有効温度差は11.5-6.5=5℃、冷水蓄熱量は蓄熱槽効率を80%として16.0 GJ (4,450 KW 相当)となる。

AHU, FCUの最大冷水量は4,640 L/min (内AHU: 2,110 L/min)であるが、チラー2台の供給水量は合計2,500 L/minである。また、蓄熱槽に関しても、放熱用ポンプの能力は3,030 L/minである。この為、ピーク負荷時には、チラーと蓄熱槽の両方から冷水供給することが還りヘッダーからのミキシングを防止し、往還温度差を極力8℃に近く確保する為に必要になる。

そこで、冷温水量が要求負荷に応じて比例制御されるAHUの運転方法が重要となってくる。

次章で使用する図一5に記載のようにAHUを開店1時間前からFCUに先立ち外気を取り込まないウォーミングアップ運転することで開店時以降のFCUの要求冷水量を減らすことに成功している。

日中も外気導入モードを適切に選択することで冷温水量に極端なピークが現れることを防止している。

夏期の日中に電力需要に明確なピーク時間帯が存在する場合には、予めスケジュールを入れておくことでチラーの運転を強制的に停止させ、蓄熱のみで負荷対応していくピークカット運転が省エネ上効果的であり、その機能も備えている。

しかし、前述のように専門店エリアの配置や、駅直結の商業施設という点、及びAHUの運転方法の工夫等から、当建物には負荷の時間推移にピークが存在していない。

そこで、蓄熱槽をピークカット用途として使うのではなく、1年を通して負荷処理のベース機として位置付け、必要に応じてチラーが追い掛け運転するスケジュールで運営している。

このように、蓄熱槽の有効温度差の設定や、蓄熱槽の利用目的(ピーク時温存用とするか、ベース運転用とす

るか)の考え方はその建物の負荷特性や、その年の気候に合わせ、運営しながら最良の設定を見つけ出していくことが大切となる。

より省エネ性に優れた建物を追及する為に、設備としてはそれを可能なシステムとしておくことが重要となる。

§6. 蓄熱運転の検証

2010年8月15日のデータによるBEMSの空調熱量に関する時間推移グラフを図-5に示す。

6-1 蓄熱利用サイクル

蓄熱に関する機器は電力会社との深夜電力契約に伴い、昼間の運転状態を把握する為のデータ、電力量はBEMSに取り込んで記録していない。しかしながら、得られている情報から、空調負荷対応の蓄熱利用サイクルは以下のようになっていると考えられ、図-5に見られる残蓄熱量の減少の勾配もそれを裏付けている。

段階1：＜蓄熱槽のみで負荷対応＞（例：9時～10時）

段階2：＜蓄熱槽がメインで負荷対応＞ 放熱用熱交換器の能力以上の負荷要求によりチラーが追い掛け運転を始める。（例：10時前後）

段階3：＜チラーがメインで負荷対応＞ チラーが運転

することで2次側への送水温度が下がり、その信号を受けて放熱1次ポンプの流量が絞られ、蓄熱槽の利用量が減る。（例：10時～12時）

段階4：＜チラーがメインでの負荷対応から蓄熱槽のみで負荷に対応する状態に移行＞ 要求負荷を満足しだすと、チラーの追い掛け運転が終了し、再び放熱1次ポンプの流量が増え始め蓄熱槽のみでの対応に移行する。（例：12時前後）

このサイクルの中で14時～15時は残蓄熱量に変化が無く、夕刻の負荷上昇に対応する為、運営側で放熱ポンプを運転停止し、蓄熱槽を温存させていることがうかがえる。

6-2 負荷の平準化

図-5より18時には蓄熱槽は放熱完了している。従って、18時以降に負荷要求がチラーの最大能力（4.9GJ/h）以上になると蓄熱槽の利用時間や放熱完了温度を見直さないとチラーのみでは対応できないことになるが、そのような負荷要求は現れていない。

また、同図より要求負荷熱量に極端なピークは存在していないことがわかる。朝の空調立ち上がり時は、大きな負荷になると予想されたが、この時間帯はAHUのみのウォーミングアップ運転とすることで冷水量を抑え、蓄熱槽だけで負荷に対応できている。逆に日没近くにも

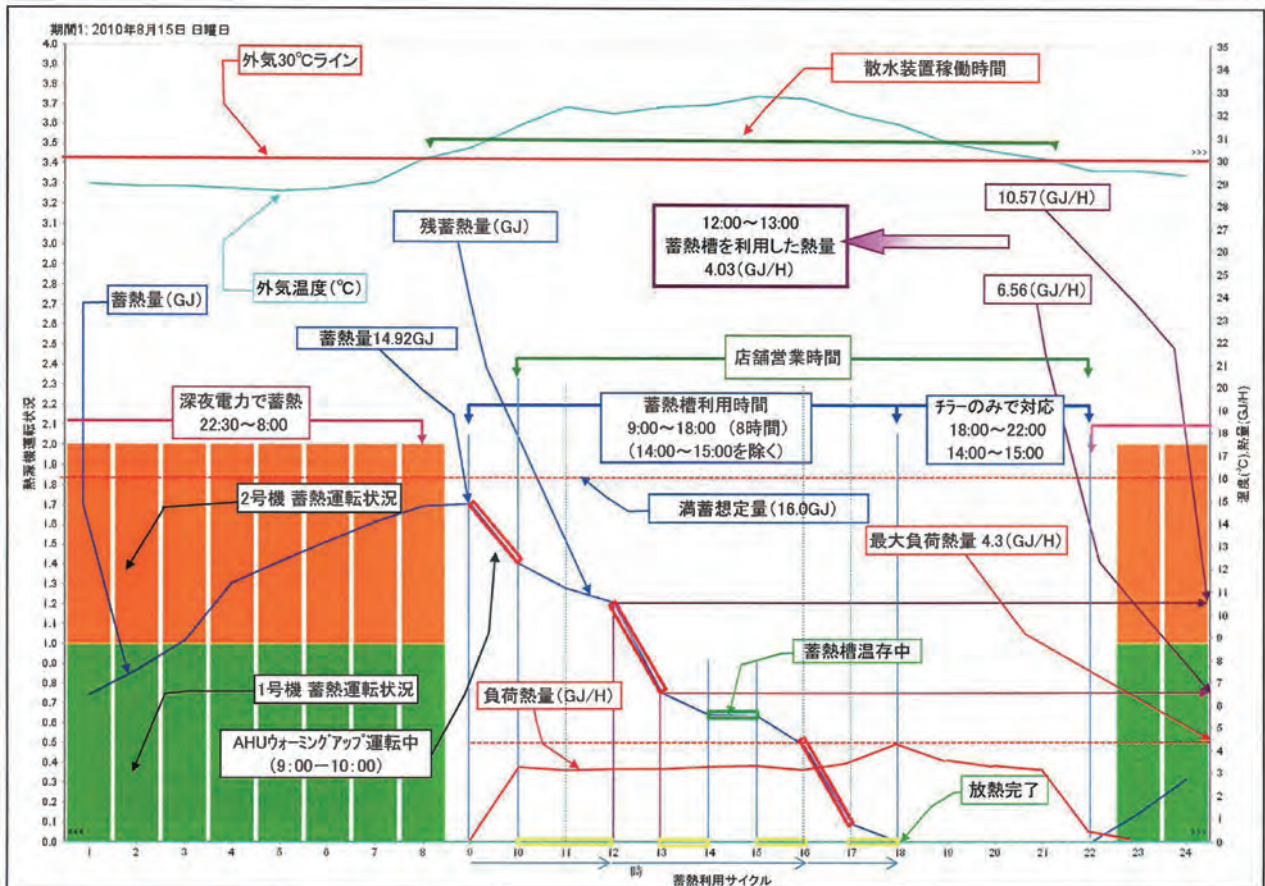


図-5 空調熱量の推移グラフ（夏期）

かわらず、蓄熱槽を使い終わりチラーのみで対応している18時頃にピークが現れている。

店舗要望負荷等の積み上げにより算出した2次側空調機の最大能力は熱量に換算すると9.0 GJ/h (8℃差)であるのに対して、昨年度の記録的な猛暑においても実際の最大要求負荷熱量が4.3 GJ/hしかないのはAHUの有効な利用により負荷の平準化に成功していることの現れと考えられる。

負荷の平準化により要求負荷熱量のピークは4.3 GJ/hとなっており、チラー2機の最大能力(4.9 GJ/h)を継続的に発揮出来れば、蓄熱槽を利用せずともピーク時に対応できることになる。

しかしながら、蓄熱を利用することが夜間を含めた1日を通しての電力量平準化にいかん大きく貢献しているかについて次項で検証させて頂く。

### 6-3 蓄熱利用の有効性の検証

図-5に示すチラー1, 2号機の蓄熱運転状況から深夜電力を利用できる間、チラーは2台とも100%能力で運転し続けて朝方までに目標の蓄熱量16.0 GJに対して14.92 GJ (4,170 KW相当)を蓄熱出来ていることがわかる。これは蓄熱槽有効水量の75%を蓄熱(冷水6.5℃)出来たことに相当する熱量である。

#### (1) 時間当たりの負荷に対する検証

図-5より蓄熱槽利用時間は8時間であり、18時に全ての蓄熱を無駄なく使い終えている。放熱開始時の蓄熱量は14.92 GJであったことから、時間平均にすると1.86 GJ/h (517 KW相当)を放熱したことになる。

8月15日の場合、蓄熱槽を利用した1時間当たりの最大熱量は4.03 GJ/h (12時~13時)である。この時間帯前後の要求負荷が3.2 GJ/hで一定であることから、チラーの追い掛け運転が無いものと仮定すると、その8割(3.2÷4.03)が2次側負荷対応に有効に利用されたといえる。

当建物ではAHU等の運転方法の工夫などで負荷の平準化が図られているが、仮に2次側空調機がもつ能力の最大負荷が発生した場合には、負荷熱量は約9.3 GJ/hに達する。

このことから、この最大負荷の43.3% (4.03÷9.3)を蓄熱槽でまかなうことが可能なことになる。これは負荷に対して通常の蓄熱槽利用率が3~4割程度であることと比較すると十分な値となっており、水蓄熱が有効に機能していることを裏付けている。裏を返せば、本来、当建物の負荷熱量に蓄熱槽無しで対応する為には、現在の2倍程度の熱源機を用意しておかないとピーク時の対応に不安を抱えることになる。

このような効率を達成できたことは、先にも触れたように当建物が蓄熱槽として通常確保が難しいとされる縦型で大容量の水槽を確保でき、理想的な温度成層型蓄熱槽が造れたことが要因の1つであると推察される。

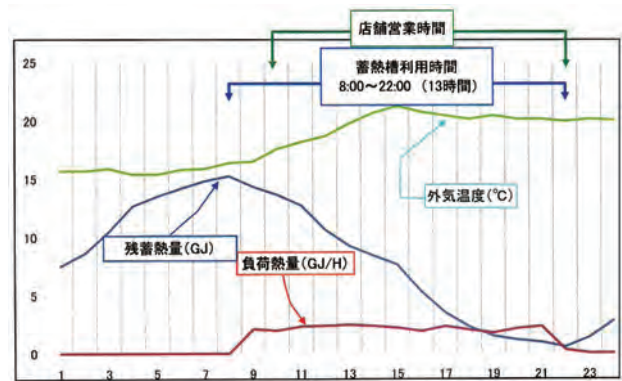


図-6 空調熱量の推移グラフ (中間期)

#### (2) 1日の負荷量に対する検証

図-5の負荷熱量より1日の総負荷熱量を求めると約41.8 GJとなる。その内蓄熱槽で賄った熱量は全ての蓄熱を使い切ったので14.92 GJとなる。従って、1日の全負荷熱量の35.7%を蓄熱槽で対応処理したことになる。

さらに蓄熱槽利用の時間帯においては33.3 GJの負荷の内、実に約45%を蓄熱槽で賄った事になる。

蓄熱は外気温が低く効率の良い夜間に安価な深夜電力を利用して行われる。この蓄熱した熱を使うことによって、日中、現状の2倍近い電力消費が必要となることを未然に防いでいる。

これは、熱源関連設備(チラー、熱交換器、ポンプ)の大型化を防ぐ効果と共にエネルギー消費量の減少、すなわちCO2の排出抑制に結びつくこととなる。

参考に図-6に中間期(10月25日)の空調熱量に関する時間推移グラフを示す。

これによれば中間期は1日の全負荷熱量の約53%を蓄熱槽利用で処理したことになる。

以上の検証により、深夜電力を利用した水蓄熱システムは省エネ対策として大いに有効であると言える。

## §7. おわりに

本論文執筆時に竣工から約1年が経過し、その間、昨夏の記録的な猛暑を経験することとなった。

現在に至るまで、運営側と数回にわたり協議を重ね、蓄熱槽のより効率的な運用、また、それを通じてさらなる省エネを達成する為に運転スケジュール等、設定の調整をして頂いた。

BEMSの蓄積データと共に、本資料がより効率の良い運転を目指して頂く為の運営側の手助けとなり、蓄熱システムが省エネの有効手段としてより普及していくことに貢献出来れば幸いである。

謝辞：検証に当たり資料をご提供頂いた戸塚西口共同ビル殿、BEMSのデータ分析にご協力頂いた施工協力業者である新菱冷熱工業(株)殿、(株)山武殿に御礼を申し上げます。