

簡易蓄熱槽による既存空調システムの運転効率改善手法に関する研究
 (第8報) システムの有効性検証と設計・運用方法の整理
 A Study on Energy Saving Method of Existing Air Conditioning System
 by Using a Simple Thermal Energy Storage Tank

学生会員 ○丸山健太(名古屋市立大学大学院)
 技術フェロー 渡邊 剛 (NTT ファシリテース)

正会員 尹 奎英(名古屋市立大学大学院)

1. はじめに

近年、我が国の最終エネルギー消費実態を鑑みて、民生部門、とくに空調分野における省エネルギー対策は急務である¹⁾。そして、既存建物のストックをみると5,000m²未満の中小規模建物が全体の約9割を占める²⁾。

一般に空調システムは、負荷率 50%以下の運転時間が年間の約 70%以上を占める³⁾とされており、低負荷運転時の効率低下⁴⁾が課題である。また、中小規模建物の空調システムはスケールの小ささから経済面での制約を受けて、エネルギーマネージメントは皆無に近い状態であるため、運転効率の低下は否めない。

そこで本研究では、既存の中小規模建物の中央熱源方式空調システムを対象に、システムの運転効率向上とエネルギー消費量の削減を図るとともに、システムの改良手法を提案する。既往の省エネルギー手法のうち、顕熱・潜熱材を熱媒にして日周期の蓄放熱を行い、熱負荷の平準化を図る蓄熱技術⁵⁾は、熱源機器の運転負荷率向上に最良の手法といえる。一方で、中小規模建物の空調システムへの適用を考えるうえで、安価で容易な適用が不可欠である。しかし、蓄熱技術の導入には蓄熱槽の設置スペースを必要とし、既存建築物への適用には建築構造面やコスト面での制約が課題⁶⁾となる。

そこで筆者らは、上記の制約を克服でき、既存のシステムに容易に適用できる蓄熱システムを考案した。従来の蓄熱技術が多く採用している日周期の蓄放熱を改めて、一時間よりも短い周期を採用することで、蓄熱槽の必要容積を大幅に縮小できることに着目した⁷⁾。これにより、小型の蓄熱槽を用いて蓄熱システムを構築でき、既存の中小規模建物にも容易に導入可能なシステムの改良手法が提案できた。

2. 提案システム概要

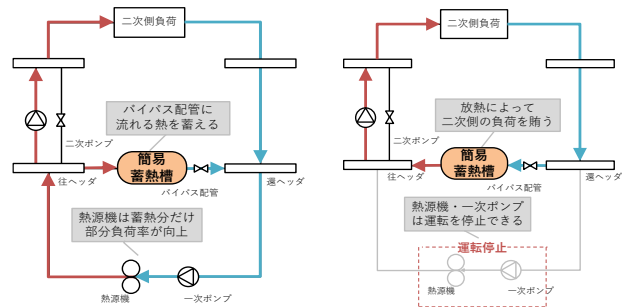


図1 提案システム概念図 (左:蓄熱時、右:放熱時)

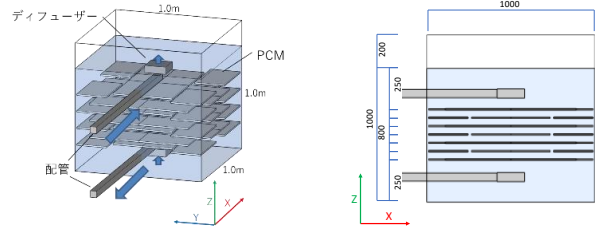


図2 簡易蓄熱槽概要 (左:立体図、右:X-Z断面図)

図1に考案した蓄熱システムを導入する空調システムの概念図を示す^{注2)}。本システムは、バイパス配管部分に小型の蓄熱槽(以下、簡易蓄熱槽と記す)を設置し、冷温水一次側流量が二次側要求水量を上回るときに、その一部をバイパス配管上の簡易蓄熱槽に流入することで蓄熱を図る。この際、熱源機は蓄熱する分だけ製造熱量が増加し、部分負荷率の向上が可能となるため、二次側負荷が低い場合でも高効率で運転をすることができる。満蓄後は二次側還水をバイパス配管へ流し、簡易蓄熱槽へ流入させることで放熱を図る。その際、簡易蓄熱槽からの放熱のみで二次側負荷を賄うため、熱源機及び冷温水一次ポンプの運転を停止させることができる。なお、本提案システムは日平均負荷率が低くなることが多い暖房期間への適用を前提としている^{7)8)注3)}。

3. 簡易蓄熱槽の構成検討と数値モデル化及び精度検証

3.1 簡易蓄熱槽の概要

図2に簡易蓄熱槽の概要を示す。蓄熱槽の大

きさは一辺が 1m の立方体の小型の温度成層型蓄熱槽とする。これを基本ユニットとし、複数ユニットを連結させることで対象建物に応じて数を調節することができる。また、簡易蓄熱槽内には潜熱蓄熱材（以下、PCM と記す）を挿入している。PCM の挿入目的は、槽内の流れの整流と蓄熱容量の増強である。

3.2 PCM 配置による槽内整流効果

まず、PCM の配置方法を CFD 解析により検討した。表 1 に各ケースの蓄熱槽効率^{9)注4)}を示す。表によると、PCM なしと比較して PCM を鉛直に配置したときの蓄熱槽効率は 100L/min のときは 1.4%減少し、200L/min のときは 2.3%増加している。一方で PCM を水平にした場合、100L/min のときは 1.2%増加し、200L/min のときは 6.2%増加している。よって PCM を水平に設置した場合はどの流入流量に対しても蓄熱槽効率の向上効果があることが分かった。以上の検討から PCM は 56 枚の水平配置とした。

3.3 簡易蓄熱槽の数値モデル化

簡易蓄熱槽の蓄放熱の振る舞いを再現し、提案システムのエネルギー性能を評価するために、簡易蓄熱槽における非定常数値解析モデルを作成した¹⁰⁾。図 3 に数値モデルの概要を示す。簡易蓄熱槽を単純化し、高さ Z 方向に 11 個のセルに分割したモデルとした。各セルの寸法は、水と PCM の伝熱面積とそれぞれの容積が実際のものと整合するようにした。伝熱計算は、水だけのセルでは移流のみを考慮し、PCM と隣接するセルでは、移流の他に PCM の相変化、水と PCM 間に伝熱を考慮した。

3.4 実測実験による数値モデルの精度検証

数値モデルの精度を検証するため、簡易蓄熱槽の実験装置を作成し、実験を行った。図 4 に実験装置の外観の様子を示す。蓄放熱運転を行い、槽出口温度の推移を比較することで精度検証を行った。流量は 200, 160, 120 L/min の 3 パターンである。

図 5 に蓄熱時における流量 200L/min での槽出口温度の推移を示す。計算値と実験値は概ね近

表 1 PCM 配置の違いによる蓄熱槽効率算出結果

| | 蓄熱槽効率 [%] | |
|----------|-----------|----------|
| | 100L/min | 200L/min |
| PCM なし | 88.5 | 79.1 |
| PCM 鉛直配置 | 87.1 | 81.4 |
| PCM 水平配置 | 89.7 | 85.3 |

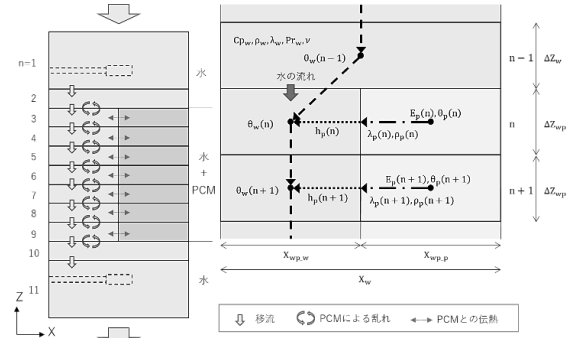


図 3 簡易蓄熱槽数値モデル概念図



図 4 実験装置外観

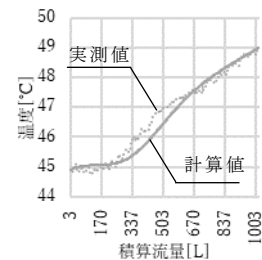


図 5 槽出口温度推移の比較 (200L/min)

表 2 実測値に対する数値モデルの蓄放熱量誤差

| 流量 [L/min] | 蓄熱量誤差 [%] | 放熱量誤差 [%] |
|------------|-----------|-----------|
| 200 | +2.16 | +3.39 |
| 160 | +3.70 | +2.65 |
| 120 | -2.84 | -3.80 |

い値で推移している。表 2 に実験値に対する計算値の蓄放熱量誤差を示す。どの流量でも誤差は 5%以内に収められており、その精度は次項の検討を行うために十分であると考えられる。

4. シミュレーションによる省エネルギー効果検証

4.1 想定建物概要

図 6 に想定建物の基準階平面図を示す。想定建物は、東京所在、空調延床面積 5,000 m² の 10 階建て RC 造の事務所ビルである。

4.2 システム概要とシミュレーション

空調システムは熱源として空冷ヒートポンプチャラーを用いており、熱源機性能特性は部分負荷率が高いほど運転 COP も高い一般的な機器の採用を想定した。冷温水一次ポンプは定流量、冷温水二次ポンプは変流量方式としている。

シミュレーションでは、想定建物をモデル化した室モデルを含む空調システム全体を対象とし、室温を計算しながら空調搬送機器や熱源機

器のエネルギー消費量を算出する。簡易蓄熱槽の蓄放熱の運転切り替えは槽出口温度で判断しており、49℃で蓄熱完了、46℃で放熱完了としている^{注5)}。シミュレーション期間は空調システムが暖房運転となる12月から3月であり、計算間隔は2秒である。

4.3 シミュレーション結果

図7に熱源機部分負荷率の一日の時刻別変化を示し、簡易蓄熱槽の有無による比較をしている。図によると、従来システムでは40%あたりを推移しているが、提案システムでは100%に達する場合もあり、部分負荷率を向上させていることが分かる。これは簡易蓄熱槽の蓄熱運転時、熱源機は蓄熱する分だけ製造熱量が増加したためである。一方、提案システムでの色付けされた範囲では熱源機部分負荷率は0%となっている。これは簡易蓄熱槽の放熱運転によって、熱源機及び一次ポンプの運転を停止させることができた時間であり、熱源機及び一次ポンプの運転時間を当該日の従来システム比で約44%削減している。

図8に期間積算エネルギー消費量とシステムCOPを示す。従来システムの空調熱源システム一次エネルギー消費量は28.9MWhであり、提案システムでは20.2MWhと削減となった。内訳をみると、熱源機のエネルギー消費量が従来システムに比べて約25%削減、一次ポンプのエネルギー消費量は約80%削減となった。熱源機のエネルギー消費量削減は図7で示した通りの部分負荷率向上と、それによるCOPの向上によるものである。また、一次ポンプのエネルギー消費量減少は、前述の通り、放熱運転中に一次ポンプの運転を停止できたからである。

図9に期間全体での熱源機の部分負荷率とCOPの関係を示す。従来システムでは主に20~40%の部分負荷率であったが、提案システムでは主に50~100%となり、それに伴いCOPも向上できている。

5. 設計・運用方法の整理

5.1 設計方法

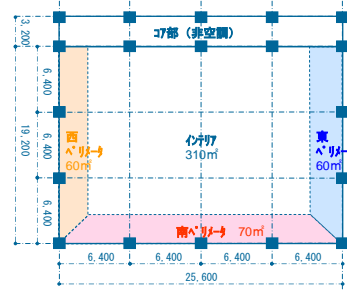


図6 想定建物基準階平面図

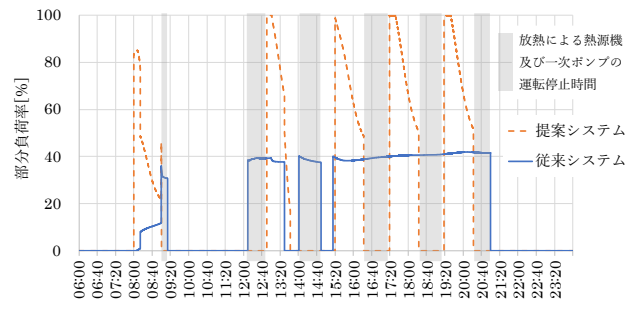


図7 熱源機部分負荷率の時刻別変化 (12月3日)

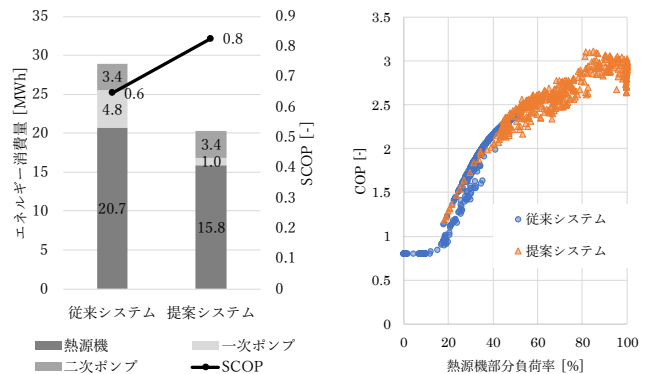


図8 期間積算エネルギー消費量とSCOP

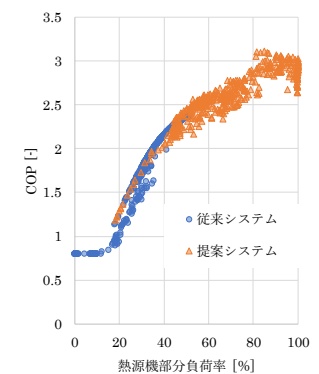


図9 熱源機部分負荷率とCOPの関係

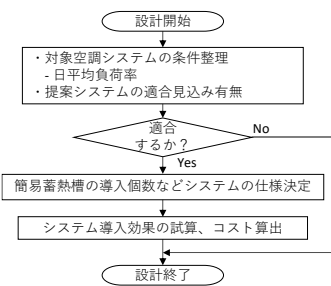


図10 設計フローチャート

提案システム導入の検討や設計を行う際の設計手順を整理した。図10に設計フローチャートを示す。まず、設計対象となる空調システムの条件整理を行う。導入を検討する期間中の日平均負荷率の分布を照会し、提案システムの適合性を判断する。適合すればシステムの仕様決定に移り、簡易蓄熱槽の個数を決定する。個数決定には、中原ら¹¹⁾のR値モデルによって算出した簡易蓄熱槽1ユニットあたりの上限流入量を用いる。設計対象の熱源機定格流量に対して

必要な簡易蓄熱槽個数を決定する。その後、システム導入によって見込まれる省エネルギー効果の試算を行う。試算にはシステム導入前のディレクションカーブを用いて導入後の変化を推定し、熱源機性能特性と照合させる。

5.2 運用方法

簡易蓄熱槽の蓄放熱判定温度の設定方法を整理し、その設定値を変更した場合のエネルギー消費量への感度検証を行うことで、運用者に細かなシステムチューニングの実施支援を狙った。表3に蓄放熱判定温度の基本設定値と変更時のケースを示す。また、図11にケース別のエネルギー消費量比較結果を示す。基準となるケース1での12月積算エネルギー消費量は5,103kWhであり、設定温度の変更を行ったケース2では4,935kWhとなった。この結果から、蓄放熱判定温度の変更で一か月当たりおおよそ半日分の省エネルギー化が見込まれる。

次に、簡易蓄熱槽と共に配管上に設置される三方弁の制御方法を述べる。蓄熱時に三方弁を意図的に操作してバイパス流量の一部を簡易蓄熱槽に流入させないことで、熱源機の種類に応じた部分負荷率の調節が可能である。図12に部分負荷率を100%まで引き上げたケースと、意図的に50%までに制限したケースの運転負荷率の分布図を示す。仮に熱源機の最大COPが得られる部分負荷率が50%であった場合、この三方弁制御によってより効率的な運用が可能である。

6. まとめ

本研究は、既存中小規模建物の空調システムにおける熱源機器の運転効率向上と省エネルギー化を目的とし、簡易蓄熱槽の設置を考案してその有効性を検証した。また、設計手順や運用時のチューニング方法を提示した。以上より、既存空調システムにおける簡易蓄熱槽の追設は、システムの省エネルギー化に有効であることを示すと同時に、当該手法の普及支援に資する情報提供を行った。

注記 注1)特許第6118065:水冷式空調システム及びその運転制御方法、尹奎英、渡邊剛 注2)図中の一次ポンプは定流量方式、二次ポンプは変流量方式を採用す

表3 蓄放熱判定温度基本設定値とケースステータリー一覧

| 検討ケース | 蓄熱完了温度[°C] | 放熱完了温度[°C] |
|---------------|------------|------------|
| Case1 (基本設定値) | 49.0 | 46.0 |
| Case2 | 48.5 | 45.5 |

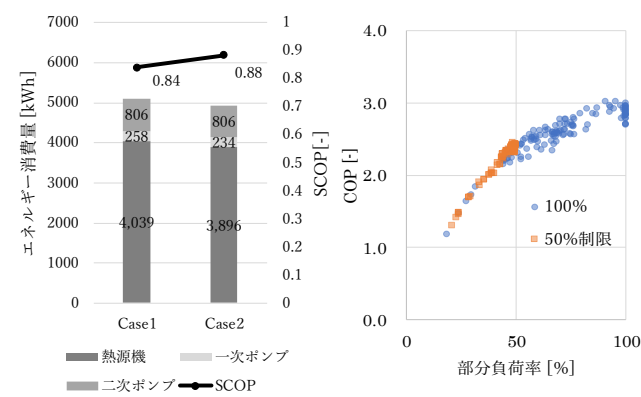


図11 蓄放熱判定温度変更によるエネルギー消費量比較 (12月)

図12 三方弁制御による負荷率分布比較 (12月)

るものとする。注3)既往文献⁷⁾⁸⁾において暖房期間に高いエネルギー消費量削減率が得られることが分かっている。注4)蓄熱槽効率は槽の水容積全部が基準利用温度差で利用すると仮定したときの熱量に対する実際の蓄熱量の比である。注5)空調システム暖房時の温水一次側往還温度(50-45°C)に対して、1K ずつ余裕をみて設定している。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー省:平成27年度エネルギーに関する年次報告、エネルギー白書2016
- 2) 下田吉之:建築エネルギーモデルの地域スケールへの展開、緊急講演会名古屋ワークショップ、2011.5
- 3) 空気調和システムのライフサイクルエネルギーマネジメントガイドライン、国土交通省、2010.5
- 4) 非住宅建築・設備の省エネルギー技術指針、空気調和・衛生工学会省エネルギー委員会、2009.3
- 5) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターHP “蓄熱とは”、<http://www.hptcj.or.jp/study/tabid/108/Default.aspx> (2018/11/28時点)
- 6) 田中ら:空調設備の更新時における蓄熱槽導入に関する研究、大林組技能研究所報、1984
- 7) 石川ら:簡易蓄熱槽による既存空調システムの運転効率改善手法に関する研究(第1報)改善手法の有効性検証及びエネルギー削減量比較、空気調和・衛生工学会大会学術研究発表会論文集(秋田)、2014.9、pp.121-124
- 8) 石川ら:簡易蓄熱槽による既存空調システムの運転効率改善手法に関する研究(第2報)適切な導入期間と簡便な蓄熱槽容量ごとのエネルギー消費量算出手法の検討、空気調和・衛生工学会大会学術研究発表会論文集(大阪)、2015.9、pp.121-124
- 9) 空気調和・衛生工学会:蓄熱式空調システム 計画と設計、2006、p.181
- 10) 横田ら:中温度潜熱蓄熱槽の蓄放熱シミュレーション その2、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2012.9、pp.2633-2636
- 11) 中原・相良ほか:蓄熱槽に関する研究 第1報、第2報、第4報、第5報、空気調和・衛生工学会論文集、No.16~35、1981.6~1987.10