外断熱建物の躯体蓄熱暖房運転 方法とシステム成績係数に関する 実験研究

EXPERIMENTAL STUDY ON HEATING OPERATION MODE USING BUILDING MASS FOR THERMAL STORAGE AND SYSTEM COEFFICIENT OF PERFORMANCE OF OUTSIDE INSULATION BUILDING

三浦寿幸 ——— * 1

キーワード:

外断熱建物, 躯体蓄熱, 暖房運転方法, システム成績係数

Keywords:

Outside insulation building, Thermal storage in building mass, Heating operation mode, Coefficient of performance of the total heating system

Toshiyuki MIURA ——— * 1

This paper describes the experimental result of heating operation mode using building mass for thermal storage to make use of a stability at room temperature of the outside insulation building. As heat load per hour of this building was reduced by extension of heating operation time, so the hot water temperature produced by a heat pump and the supply air temperature for heating could be set lower than usual operation. As a result, the heat load per day didn't so increase and the coefficient of performance of the total heating system were on an equality with usual operation.

1. はじめに

外断熱によって断熱性を高めた建物は暖房停止後の室温低下が小さく、1日の積算熱負荷が暖房運転時間の長さによって左右されにくくなる。著者は9時間暖房を前提に設計された外断熱建物の空調設備を利用して9時間暖房と16時間暖房および全日暖房との比較実験を試み、この点についての検証を行った¹⁾。さらに、暖房時間を延長することで単位時間あたりの熱負荷が小さくなるため、空調給気温度の低い低温暖房に移行し、上下温度差の小さな居住性の高い温熱環境が形成されることを確かめた。しかし、暖房運転時間の延長に伴いポンプやファンの搬送動力が増加することが問題点として挙げられた。このような時間延長運転の搬送動力の増加をできるだけ抑える方法として水方式が考えられるが、配管埋設型の躯体蓄熱暖房システムとその簡易予測制御について菊田、絵内らが数値解析により検討を行っている²⁾。

本報では引き続き空気方式について、前述の外断熱建物の空調設備改修後に空気熱源ヒートポンプでつくる温水温度を低めに設定した時間延長暖房運転を試み、熱源効率の向上によって搬送動力の増加を補う方法について検討した結果を示す。

2. 実験対象建物および空調設備の概要

表1に建物及び改修後の空調設備の概要、図1に配管系統図を示す。建物はRC造6階建て、外壁は外断熱構造、窓は複層ガラスである。電力会社の安価な夜間電力の躯体蓄熱利用を前提に空調設備の改修を2006年に行った。電力会社による躯体蓄熱は氷蓄熱との併用が条件となっているため、熱源設備や天井裏ダクトの改修はその方式に従っている。氷蓄熱ユニット(以後、HP蓄熱ユニットと呼ぶ)

表1 建物及び空調設備の概要

所在地	茨城県つくば市	/	構造・規模	RC造 6階建
用途	事務所等(民間会社研究所本館棟)			
延床面積	2,145 m ²	/	建築面積	382 m ²
断熱	外壁 G.W. 40mm(1~2F), F.P.板 38mm(3~6F)			
窓仕様	複層ガラス			
熱損失係数	0.81 W/(m ² ・K)(窓 39%、外壁・基礎 61%)			
空調方式	中央単一ダクト方式(VAV併用) / 換気			全熱交換器
空調対象面積	1,420 m ²	/	躯体蓄熱床面積	712 m ²
床スラブ厚	125 mm	/	躯体蓄熱吹付け風量	20 m ³ /h
躯体蓄熱対象熱容量	687 kJ/(m ² ・K)			
[内訳] 大梁 303、スラブ 242、柱 62、小梁 54、間仕切壁・天井PB 26				
熱源	空冷ヒートポンプ式氷蓄熱ユニット			
能力	冷房 104 kW、暖房 117 kW			
最大蓄熱量	冷房 2180 MJ/日、暖房 840 MJ/日			
	ソーラーシステム(平板型集熱器 103m ²)

図1 配管系統図

は空気熱源ヒートポンプ式で、最大蓄熱量が冷房 2,180MJ/日に対して暖房は温水蓄熱となるため 840MJ/日と相対的に小さくなるが、夜間電力利用の観点から冬季の躯体蓄熱はその不足分を補う意味でも有効と考えられる。本建物の空調対象面積は 1,412m²で、このう

¹⁾ 筑波技術大学産業技術学部 教授・博士(工学)
(〒305-8520 茨城県つくば市天久保 4-3-15)
(当時 戸田建設機技術研究所)

¹⁾ Prof., Faculty of Industrial Technology, Tsukuba Univ. of Technology, Dr. Eng.

ち躯体蓄熱は3～6階の床712m²を対象としており、蓄熱方法はスラブ吹付け方式である。また、他の熱源として空調機の専用コイルに冷温水を供給する冷暖房専用のソーラーシステムを有している。

空調方式は中央単一ダクト方式で、改修では蓄熱対象となる床下の天井裏ダクトを日中室内に冷温風を吹出す系統と夜間にスラブへ冷温風を吹付ける系統とに分け、それらを切替えダンパーで制御可能とした。天井裏ダクト系統図の一例を図2に示す。図面をもとに算出した蓄熱対象となるスラブや梁(RC)等の熱容量は687kJ/(m²K)であり、吹付け口数は4.7個/100m²、吹付け風量は20m³/(m²h)とした。

3. 実験概要

温度等の実測は4階の執務室と床スラブ及び3階の天井裏を中心に行った。図3～5にセンサー設置位置を示す。床スラブは測定点1ヵ所につき、高さ方向に熱電対が上中下3点埋設されており、3階天井裏内部には各測定点の中央の高さに熱電対が設置されている。さらに建物屋上で外気温度と日射量を測定するとともに、空調機風量、給気温度、建物全体のコイル供給熱量、熱源及び搬送設備の消費電力量を測定した^{注1)}。

表2に空調設備の実験運転条件、図6に運転スケジュールを示す。MODE-01はこの建物で通常行っている運転方法で、電力会社の躯体蓄熱を1:00から5:00まで4時間行い、暖房時間は8:00～17:30である。また、氷蓄熱槽内に温水蓄熱を5:00から蓄熱完了まで(最大3時間、蓄熱完了時温水温度55℃)行い、利用温度差は10℃とし、それ以下で追掛運転となる。日中の空調時(MAX)及び躯体蓄熱時(固定)の空調機送風温度設定は35℃である。MODE-02、03は躯体蓄熱運転時間をMODE-01と同じとし、暖房運転時間をそれぞれ22:00、翌日1:00まで延長するとともに、温水蓄熱槽の蓄熱完了温度を50℃、45℃(利用温度差は共に10℃)に下げ、空調機送風温度設定を32℃、30℃と相対的に低く設定した。また、暖房時設定室温(22℃)及び新鮮外気取入れ時間、ソーラーシステムの蓄熱槽利用下限温度は3つの運転方法で同じとした。

4. 実験結果

実施した3つの運転について、4階の室温と床スラブ温度(上中下3点の平均値で整理)、3階の天井裏空気温度、及び消費エネルギー等の空調システム稼動状況の経時変化を図7に示す。この実験に先立って改修後の空調設備による躯体蓄熱を行う場合の運転(MODE-01)と行わない場合との比較実験を行い、躯体蓄熱によってコイル負荷が昼夜に平均化されて単位時間当たりの負荷が抑えられる傾向となることを確認した³⁾。図7より、躯体蓄熱を行い、か

つ暖房時間を延長したMODE-02、03では暖房時間の長さに応じてさらにその傾向が顕著になることがわかる。また、躯体蓄熱時及び暖房運転時の空調機送風温度はMODE-01～03のいずれもほぼ設定通りとなっていることが確認できる。暖房運転時の空調機給気風量の制御はVAV方式である。晴れた日の日中は室温がやや上昇傾向にあるが、MODE-01、02の暖房停止後の室温低下は小さく、MODE-03を含めた3つの運転の室温、床スラブ温度はほぼ同様の傾向になっていることがわかる^{注2)}。

図3 4階室内の測定点

図2 3階天井裏ダクト系統図

図4 床スラブ内の測定点

図5 3階天井裏の測定点

図6 空調運転スケジュール

表2 実験運転条件

	躯体蓄熱時 吹付け空気 温度 *1	温水蓄熱槽 蓄熱完了 温度 *2	温水蓄熱槽 利用温度差	温水蓄熱槽 チラー追掛 温度	空調時間 *3	空調時給気 MAX温度	運 転 日	MODE-01～03共通
MODE-01	35℃一定	55℃	10℃ (55℃-45℃)	46℃	8:00～17:30	35℃	2007年 1/10～1/19 2007年 3/12～3/24	*1 躯体蓄熱運転時間 4時間(1:00～5:00) *2 温水蓄熱時間 3時間(5:00～蓄熱完了まで) *3 空調時新鮮外気取入れ時間 8:30～17:30 * その他 ソーラーシステム蓄熱槽 下限利用温度 35℃
MODE-02	32℃一定	50℃	10℃ (50℃-40℃)	41℃	8:00～22:00	32℃	2007年 1/22～2/9	
MODE-03	30℃一定	45℃	10℃ (45℃-35℃)	36℃	8:00～翌 1:00	30℃	2007年 2/12～3/9

図7 各運転方法による温度、消費エネルギー等の経時変化

図8に日平均外気温度と日積算コイル供給熱量（HP蓄熱ユニット+ソーラーシステム）との関係を示す。MODE-01と運転時間を延長したMODE-02、03のコイル供給熱量にさほど違いはみられない。

図9に日平均外気温度（HP蓄熱ユニット稼働時間帯）とシステムCOP（熱源）との関係を運転方法別に示す。ここで、システムCOP（熱

源）は入力側がHP蓄熱ユニット日積算消費電力量の2次エネルギー換算値、出力側がHP蓄熱ユニットによる日積算コイル供給熱量である^{注3)}。これより、同程度の外気条件のもとでは、蓄熱槽内の温水温度を低く設定したMODE-02、03のCOPが向上していることが確認できる。しかし、MODE-02、03は暖房運転時間を延長しているので、冷温水

ポンプと空調機ファンの電力量が増加傾向となっていることを考慮する必要がある。そこで、システム COP（熱源）の入力側に冷温水ポンプと空調機ファンの電力消費量 2 次エネルギー換算値を加算して算出される値をシステム COP（熱源+搬送）と定義し、それと日平均外気温（HP 蓄熱ユニット稼働時間帯）との関係を整理して図 10 に示す。これより、MODE-02、03 のシステム COP（熱源+搬送）は MODE-01 に比べてやや高め、もしくは同等となっていることがわかり、エネルギー効率の面からこうした運転方法が不利にはならないことが確認できる。なお、実験期間全体で MODE-01～03 の平均外気温（HP 蓄熱ユニット稼働時間帯）は 5.0℃、5.1℃、5.3℃であったが、これに対するシステム COP（熱源+搬送）はそれぞれ 1.27、1.32、1.35 となった。また、MODE-02、03 は躯体蓄熱に利用する夜間電力量が減少傾向となって運用コスト的にはやや不利になるが、躯体蓄熱時間を長くするといった対応が考えられる。

5. まとめ

外断熱建物の安定した室温を生かす方法として、暖房運転時間の延長により単位時間あたりの熱負荷を小さくし、ヒートポンプでつくる温水温度及び空調機送風温度を通常よりも低い設定とする運転を試行した。その結果、熱源の成績係数が向上し、暖房運転時間の延長に伴う搬送動力の増加分をほぼ補えることを実験的に明らかにした。

夜間電力利用を念頭に蓄熱時の温度差を大きくとった短時間での躯体蓄熱も一つの方法ではあるが、時間延長運転を併用して小さな温度差でゆっくりと蓄熱し、設備容量の縮小や太陽熱、排熱などの低落差エネルギーの有効利用を図る躯体蓄熱が外断熱の熱特性に適した方法と考える。

謝辞

実験に際してご協力頂いた戸田建設(株)栗木茂氏、戸田ビルパートナーズ(株)桜井重雄氏をはじめ、関係各位に謝意を表する。

注

- 注 1) 空調設備廻りの測定は、空調制御及び監視用として各所に設置した風量計（ピトー管利用）、温度センサー、カロリーメーター、電力量計を用いて行った。
- 注 2) 図 7 の各実験日における執務時間帯平均での室内上下温度差（FL+1.1m と FL+0.1m の差）は、それぞれ MODE-01 で 1.7℃及び 2.6℃、MODE-02 で 2.6℃及び 1.5℃、MODE-03 で 0.4℃及び 1.4℃であり、暖房時間の延長によって上下温度差が縮小され、居住性が向上することも確認できた。
- 注 3) システム COP（熱源）の算定はソーラーシステムを除外して行った。この場合、1 日の日射量（ソーラーシステム供給熱量）の違いによる追掛運転時間の差のシステム COP（熱源）へ及ぼす影響の程度が気になるところだが、MODE-01～03 の各実験期間における雨天、曇天、晴れ日の頻度にさほど違いはないこと、追掛運転時間が増える雨天や曇天日の日中の外気温はさほど上昇しないことが多いことからその影響は小さいと考えられる。なお、各 MODE の実験期間におけるソーラーシステム供給熱量の傾向（①0～400MJ/日、②401～800MJ/日、③801～1200MJ/日、④1201MJ/日～ の出現割合）は、MODE-01（13%、37%、50%、0%）、MODE-02（8%、38%、54%、0%）、MODE-03（16%、17%、61%、6%）であった。

文献

- 1) 三浦寿幸，小池浄一，荒谷登：外断熱の熱特性を生かした躯体蓄熱空調システムに関する研究 ― 天井チャンバーを利用した躯体蓄熱方式 ―，日本建築学会計画系論文集 No. 526，pp. 25-30，1999. 12

図 8 外気温とコイル供給熱量との関係

図 9 外気温とシステム COP（熱源）との関係

図 10 外気温とシステム COP（熱源+搬送）との関係

- 2) 菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，森太郎：簡易予測制御を適用した躯体蓄熱システムに関する研究，日本建築学会環境系論文集 No. 599，pp. 95-102，2006. 01
- 3) 三浦寿幸，小池浄一，栗木茂：夜間電力を利用した躯体蓄熱方式への設備改修躯体蓄熱を試みた外断熱建物の熱環境性状と運転実績 その 5，日本建築学会大会梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 1289-1290，2006. 09
- 4) 三浦寿幸，小池浄一，栗木茂：暖房運転方法とシステム成績係数 躯体蓄熱を試みた外断熱建物の熱環境性状と運転実績 その 6，日本建築学会大会梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 1049-1050，2007. 09

[2015 年 10 月 7 日原稿受理 2016 年 3 月 1 日採用決定]