

高断熱性住宅における空調システムと熱環境の評価（夏季）

川原 秀夫* 山田 操**

Evaluation of Air Conditioning System and Thermal Environment in the High Thermal Insulation Housing (Summertime)

Hideo KAWAHARA* and Misao YAMADA**

Abstract

The understanding of the thermal environment of the old people nursing housing is more important than the general housing. Because, the management of satellites, amenity, safely, etc is more due to be required. Old people such as bedridden old person is necessary air conditioning management for the 24 hour in order to do the like during a day in the house. The electricity use in the midsummer increases about 1.7 times in comparison with spring and autumn.

The purpose of this study is the levelization of the electric power load in the nursing housing. We examine the electric power reduction effect of heat storage system by electric power on the basis of the measuring result in the high thermal insulation housing night.

Key words: Air conditioning, Electric power, Heat storage system, Thermal insulation housing

1. 緒言

近年の生活水準向上に伴い、住宅などの民生用エネルギー消費量は着実に増加しており、我が国の全エネルギー消費量の約12%を占めている。快適な生活を求め生活水準が年々高くなり、使用する電化製品の増加、更にはテレビ画面や冷蔵庫等の大型化が進み、省エネルギー化が図られても結局は大型化による消費電力の増加は避けられない状況である。また今後、高齢化社会へ進むにつれ寝たきり等の高齢者の増加に伴い24時間の空調管理が現在よりさらに必要となり、エネルギー消費量が増加するものと予測されている。夏季における電気使用量は、春や秋の約1.7倍であり、夏季一日での使用量の変動は、ピーク時は早朝のボトム時の約2倍である。そのため電力需要の安定供給やエネルギー効率の向上が早急に求められており、一日の冷暖房による室内の熱環境を設定範囲内に維持することは重要な課題である。これまで本研究では、夏場の学校施設である教室、さらには老人介護施設の24時間の室内熱環境について実験的に調査し、一日の熱環境の変化が人間に与える影響について報告している。

本研究では、高断熱の建物を利用して室内の精密な熱環境データを採取すると共に、ランニングコス

トの低減と電力負荷の平準化を目的として、安価な夜間電力を利用した氷蓄熱システムによる電力負荷軽減効果について計測結果を基にして検討する。

2. 実験方法

2.1 実験室

実験対象とした建物は、ハウジングメッセ周南（山口県下松市）に設置された実験室である。実験室の概観図を図1に示す。建物の延べ床面積は31.7m²で、実験室は24.4m²である。図2に外壁及び屋根の断熱構造を示し、表1に各基準対応の断熱仕様を示す。今回の実験では、次世代省エネ基準に対応し



Fig.1 Laboratory

Table 1 Thermal insulation specification of the each standard correspondence

部位	仕様	熱貫流率[kcal/m ² h°C]
次世代省エネ基準 (熱損失係数: 2.718kcal/ m ² h°C)		
外壁	UF50mm	0.381
屋根	UF50mm	0.387
開口部	複層ガラス	3.00
新省エネ基準 (熱損失係数: 3.793718kcal/ m ² h°C)		
外壁	UF25mm	0.670
屋根	UF45mm	0.469
開口部	単板ガラス	5.60
住宅メーカー標準仕様 (熱損失係数: 4.342kcal/ m ² h°C)		
外壁	UF20mm	0.791
屋根	UF20mm	0.817
開口部	単板ガラス	5.60

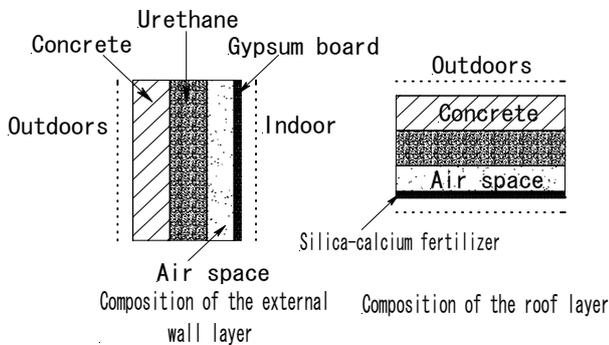


Fig.2 The insulation structure of external wall and roof

た構造のものを使用した。

図3は熱環境計測の概略を示す。熱環境計測データは、サンプリング時間1秒毎にAD変換ボードを介して、パーソナルコンピュータ内に蓄積される。

図4は温度計測箇所を壁近傍の側面図と上面図に分けて示す。温度計測にはK型熱電対を使用して、断熱居室の床、壁、天井に合計87点、居室空間内には16点、さらに湿度計1点を設置した。

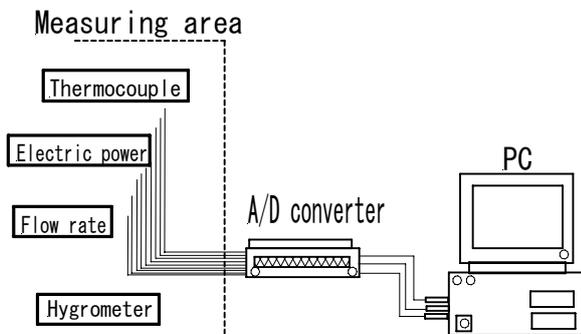
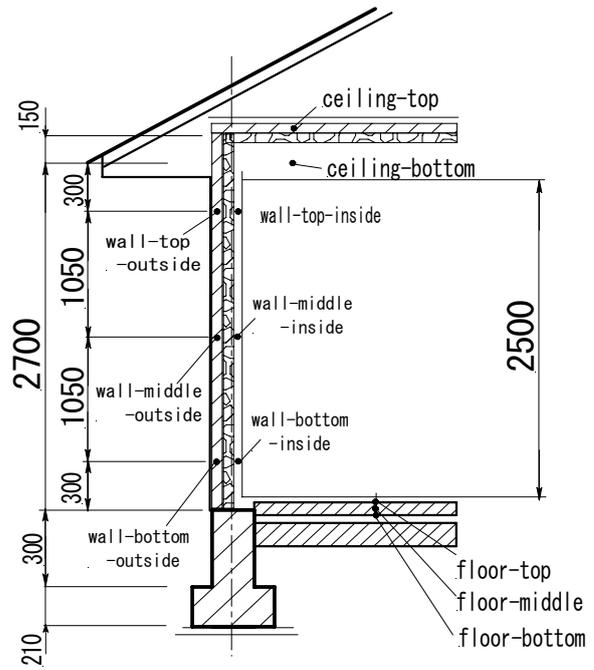
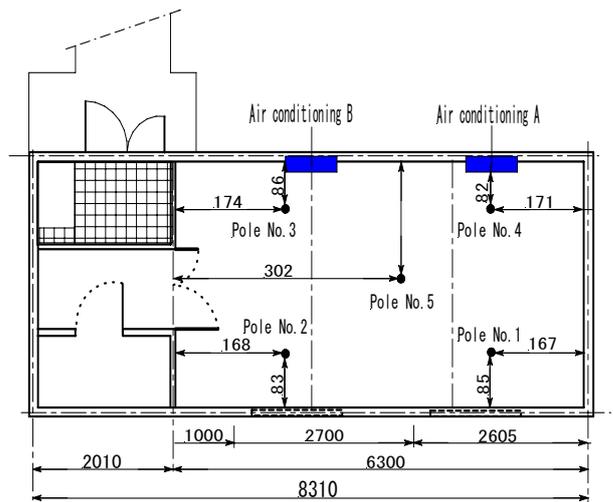


Fig.3 Thermal environment measurement system



(a) Side-view



(b) Top-view

Fig.4 The installation position of the thermocouple

2. 2 空調システム

図5は空調システム(冷房時)の概略図を示す。本システムは、23:00~翌朝8:00の間にヒートポンプを作動させて蓄熱槽内に氷を製氷させていく。蓄熱槽内(蒸発器)に低温低圧の冷媒(液体)を送り込み、この冷媒が蒸発する際に槽内から熱を吸収し冷却する。槽内から熱を吸収した冷媒は、蒸気となり圧縮機に送られ加圧されて高温高圧の蒸気になった後、凝縮器に送られる。ここで、冷媒の熱は外部へ放出される。熱を放出した冷媒は液体になった後、膨張弁を通過して急激に膨張して低温低圧の液体となり、再び蓄熱槽内(蒸発器)へ送られる。こ

の繰り返しによって氷（冷水）が製氷される。本システムはこの氷を利用して冷房を行う。槽内より冷熱が空調機または床に埋設されているパイプに送られ再び槽内に戻ってくる。なお、蓄熱槽の容量は460Lである。

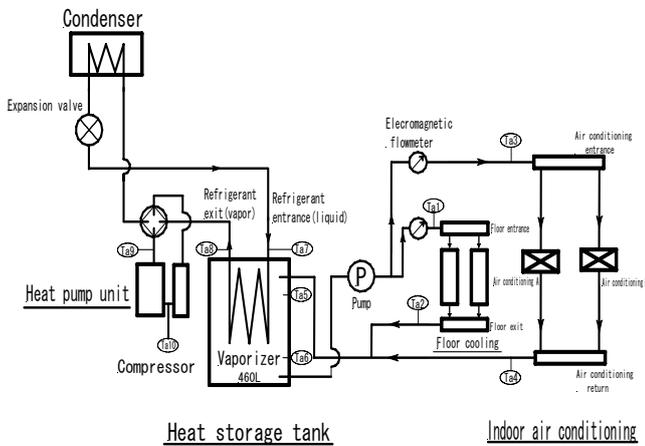


Fig.5 Air conditioning system

2. 3 実験条件

表 2 は夏季における実験条件を示す。ヒートポンプは 23 : 00 ~ 翌朝 8 : 00 まで作動し、8 : 00 ~ 20 : 00 まで空調機を作動させる。蓄冷の場合は、蓄熱槽の下側の温度が 8℃を超えるとヒートポンプの追いかけ運転が始まるように設定されている。

Table 2 Experimental conditions

実験日	実験内容	実験状況
8月4日	住宅の熱応答性	日射→室内の温度変化
8月5日	空調の結果 (25℃)	追いかけ運転有り
8月29日	空調の結果 (25℃)	追いかけ運転無し
8月12日	床冷房①	追いかけ運転無し
8月31日	床冷房②	追いかけ運転無し

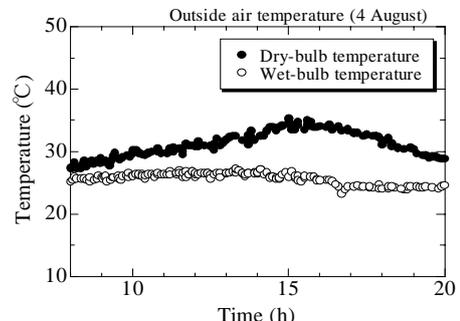
3. 実験結果および考察

3. 1 日射変化による住宅の熱応答性

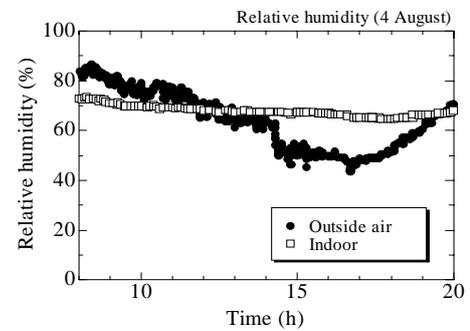
図 6 は、外気温度及び屋外と室内の相対湿度の時間変化を示す。図 6 (a) に示す外気温度は、8時から20時までの間で28℃から35℃の約7℃変化している。また図 6 (b) に示す外気の相対湿度は85%から45%の間で変化している。一方、室内では70%前後で一定である。一般的に夏季では50~60%RH

湿度が望ましいと言われている。

図 7 は日射変化に対応した室内の温度変化を示す。図 7 (a)、(b) に示す天井の下側及び居室空間内（ポール 3）では、外気の温度変化に対応して、室内の温度も変化しているが、16時以降の外気温度の低下に比べて、室内の温度は緩やかに低下している。これは断熱性の高い住宅であるためだと思われる。図 7 (c) に示す壁の内側についても図 7 (a)、(b) と同様な傾向が見られるが、計測位置によって温度変化の傾向が異なっているのがわかる。これは、太陽の高さにより単位面積当たりの熱エネルギー量が変わるからである。さらに床では、あまり温度変化は見られないが、これは日射による熱が屋根や外壁等から入り込み、その後床に伝わるため、時間的な遅れが生じて直接日射の影響を受けにくいからと思われる。



(a) Outside air temperature



(b) Humidity

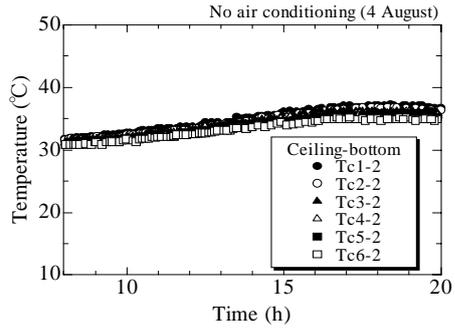
Fig6 Time-histories of outside air temperature and humidity

3. 2 冷房実験

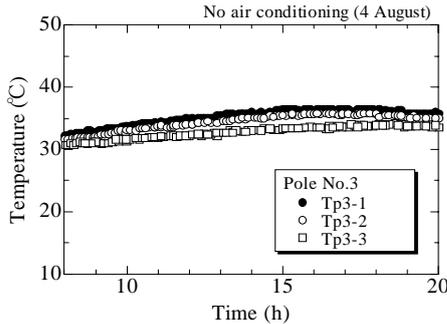
(1) 空調温度 25℃の結果（追いかけ運転有り）

図 8 は空調温度 25℃の時の各部の状態変化（追いかけ運転有り）を示す。外気温度は 28℃から 35℃の間で変化している。蓄熱槽の下側は初期温度が4℃で12 : 00 までの4時間で8℃を超えてヒートポンプの追いかけ運転が始まっている。室内の温度は設定温度の25℃で一定している。壁の中の温度が高くなっている場所が存在しているが、ここはドアが

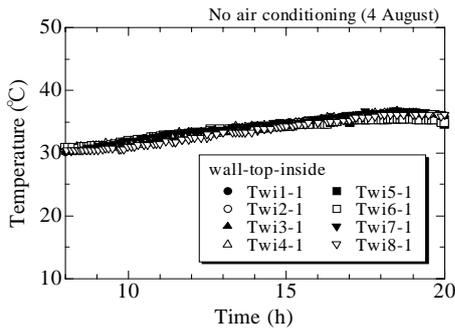
閉まっているため直接空調されていないからである。



(a) Ceiling-bottom



(b) Pole No.3



(c) Wall-top-inside

Fig.7 Time histories of each part in case of no air conditioning

(2) 空調温度 25°Cの結果 (追いかけ運転無し)

図9は空調温度 25°Cの各部の状態変化 (追いかけ運転無し) を示す。室内の温度変化は実験 (1) の場合とほぼ同様な傾向を示す。夜間にヒートポンプを作動して氷が十分に作られているため、12時間空調を行っても氷が全部は融解せずに利用できている。

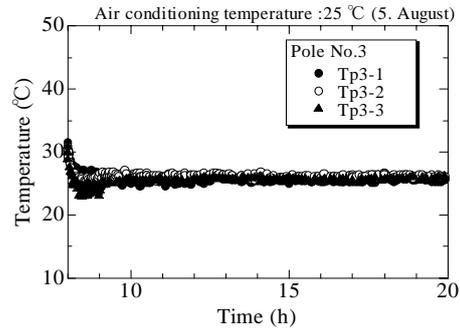
(3) 床冷房①

図10は床冷房①を実施した時の結果を示す。前日にヒートポンプを作動させていないため、蓄熱槽に氷が新しく作られておらず、以前からの残りの氷であるため、11:00に氷が完全に融けて蓄熱槽の温度が急激に上昇している。そのため、あまり冷房効果が得られず温度は上昇している。

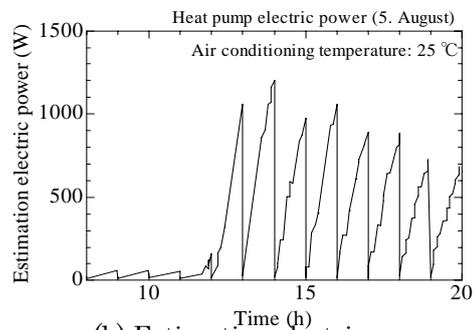
(4) 床冷房②

図11は床冷房②を実施した時の結果を示す。前日

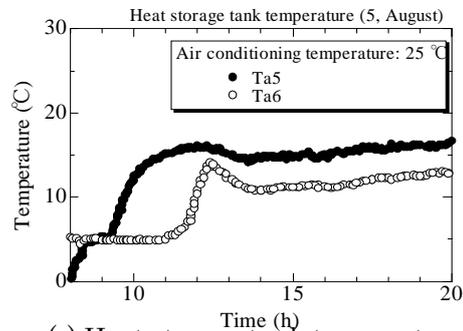
からヒートポンプを作動させ氷が作られているため、長く使用でき室内の温度は実験 (3) に比べ、約 5°C 低く抑えられている。しかし空調機を使用した場合の結果に比べて冷房の効果は低い。



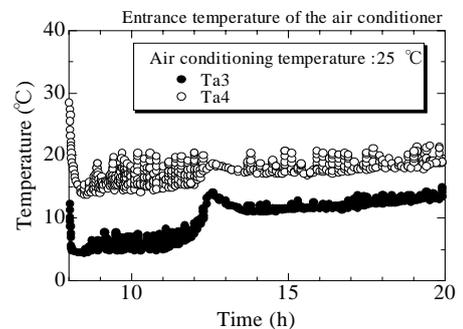
(a) Pole No.3 temperature



(b) Estimation electric power

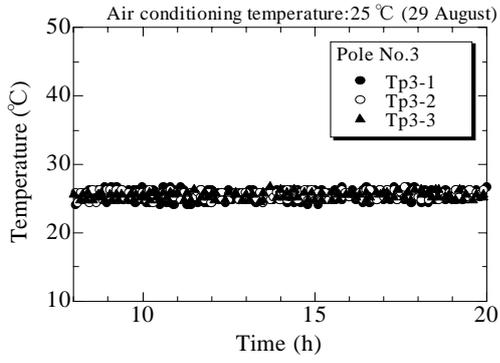


(c) Heat storage tank temperature

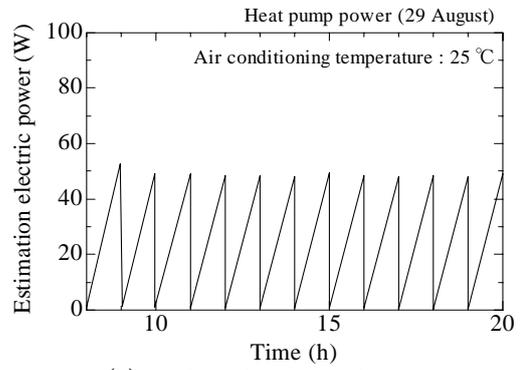


(d) Air conditioning temperature

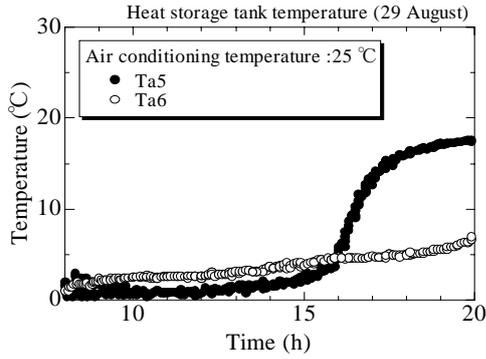
Fig.8 Quantity of state of each part in 25°C air conditioning temperature (working)



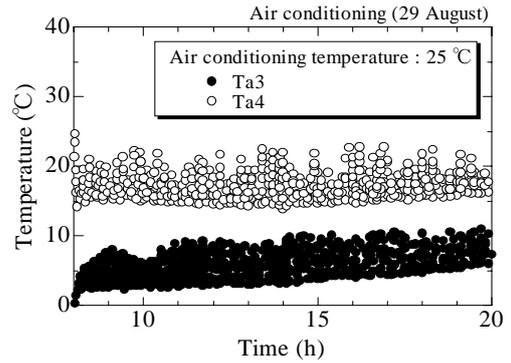
(a) Pole No.3 temperature



(b) Estimation electric power

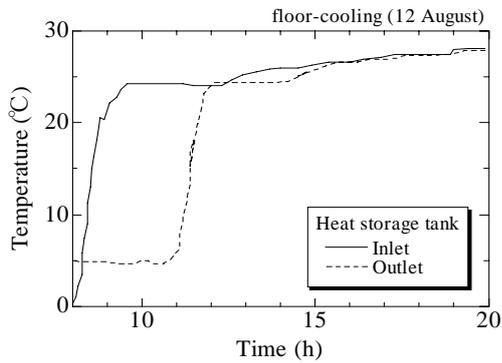


(c) Heat storage tank temperature

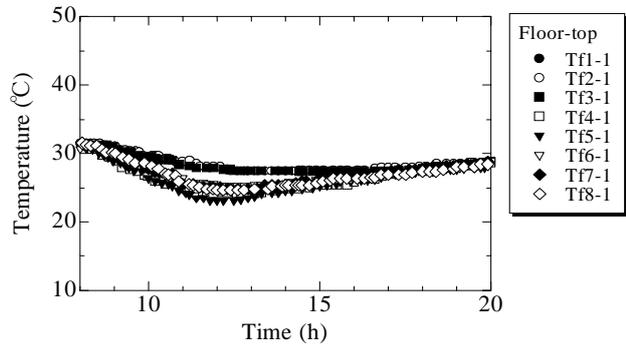


(d) Air conditioning temperature

Fig.9 Quantity of state of each part in 25°C air conditioning temperature (no working)

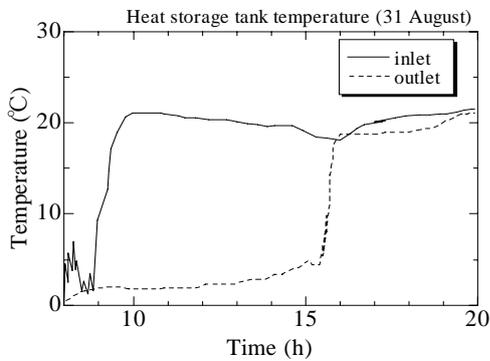


(a) Heat storage tank temperature

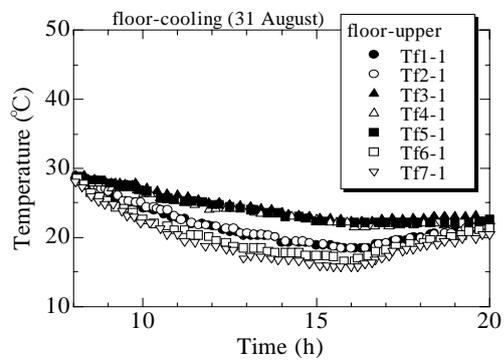


(b) Floor temperature

Fig.10 Quantity of state in each part in air-cooling the floor.



(a) Heat storage tank temperature



(b) Floor temperature

Fig.11 Quantity of state in each part in air-cooling the floor.

3. 3 消費電力と空調出力との関係

今回の実験における消費電力と空調出力の関係について検討した。夜間に蓄冷された熱量が空調機へ与えた熱量を空調出力とし、次式より算出した。

$$P = c \times \rho \times \Delta T \times Q \times \tau \quad (1-1)$$

ここでPは空調出力 (MJ)、cは比熱 (J/gK)、ρは密度 (g/cm³)、ΔTは温度差 (K)、Qは冷媒流量 (cm³/h)、τは時間 (h)である。水の比熱は 4.19J/gK、水の密度は 1g/cm³とした。表 3 は、式 (1-1) より算出した消費電力と空調出力との関係を示す。

Table3 Between Electricity consumption and output of air conditioning

	Nighttime- Electricity consumption	Daytime- Electricity consumption	Air cond. Temp.	Output of air conditioning
Exp.1-1	0.2 MJ	27.8MJ	20°C	8:00~10:00 24.0MJ 10:00~20:00 40.8MJ Total:64.8MJ
Exp.1-2	35.0MJ	2.1 MJ	20°C	37.4MJ

実験 1-1 は、空調機設定温度 25°C、ヒートポンプの追いかけ運転がある場合である。図 8 に示したように 12 時からヒートポンプの追いかけ運転が始まっているため、昼間の消費電力が 27.8MJ まで増加している。一方で空調機出力の合計は 64.8MJ となり、消費電力に比べて約 2 倍以上高い値を示した。

実験 1-2 は、空調機設定温度 25°C、ヒートポンプの追いかけ運転が無い場合である。この条件では、夜間にヒートポンプが作動しているため夜間の消費電力が 35.0MJ まで増加している。このため、昼間でも氷が十分に作られているので、昼間の消費電力は 2.1MJ と僅かである。このときの空調出力は 37.4MJ であり、消費電力とほぼ同等であることがわかった。

4. 結論

本研究において日射による建物の熱応答性、水・氷蓄熱式空調システムによる冷房実験を行った結果、以下に示す知見が得られた。

- (1) 氷蓄熱式空調システムは、夏季の冷房時には COP が 1 程度であり消費電力を増やすことなく利用することができ、電力負荷平準化に有効である。さらに、昼間に比べ安価な夜間電力を利用するため経済的である。
- (2) 室内の詳細な熱環境データを採取し、空調を伴う建物の動特性を観察した結果、特に室内の温度分布は自然対流によって支配されていることがわかった。

参考文献

- [1] 宇田川光弘：建物と熱エネルギー，化学工学，第 62 巻，第 12 号 (1998) .
- [2] 石原 修：住宅における電力負荷平準化，エネルギー資源，Vol. 17, No. 5 (1996) .
- [3] 石原 修：イラストでわかる空調の技術，学芸出版社 (1991) .
- [4] 吉田総夫：文献にみる省エネルギー技術研究 - 石油危機以降の現場技術・足跡と課題 - ，財団法人 省エネルギーセンター .
- [5] 北陸電力：ビルの快適な冷暖房は、安全でクリーン・省エネ型の蓄熱式ヒートポンプシステム
- [6] 西谷由香：高齢者介護住宅における熱環境評価，平成 15 年度・大島商船高等専門学校商船学科卒業研究報告書
- [7] 松村一誠 他：蓄熱式空調システムの流量推定法に関する研究，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp.129-132 (2004.3)