

# 住宅に対するニーズを考慮した カスケード型蓄熱システムの開発（その3） Development of Cascade-Type Heat Storage System (Part3)

吉田 尚弘\*      萩谷 宏三\*\*  
Naohiro Yoshida      Kozo Hagiya  
佐藤 健一\*      城田 修司\*  
Ken-ichi Sato      Shuji Shirota  
杉村 正次\*\*\*  
Masatsugu Sugimura

## 要 約

本研究は、温度成層型蓄熱槽の特徴を利用するカスケード型蓄熱システムの開発を目的としている。カスケード型蓄熱システムとは、複数の熱源から得られる熱を水の密度差を利用して温度レベル別に蓄熱し、熱のカスケード（多段階）利用を図るシステムである。

本報では、カスケード型蓄熱の基本要素である温度成層現象を解明すべく新評価法を使用し、実験データの検討を行った。また、実システムに適応した場合の性能評価を行うために、温度層を積層した状態での蓄放熱運転実験を実施し良好に温度成層を形成できることを確認した。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 有効温度域形成率の検討
- § 3. 実験概要
- § 4. 異なる温度層が他の温度層から受ける影響
- § 5. 放置状態の温度層が他の温度層から受ける影響
- § 6. 有効温度域形成率のカスケード型蓄熱槽への適用
- § 7. おわりに

## § 1. はじめに

本報では、新たに有効温度域形成率の検討を行い、時間経過における推移の分類(Type A, B)を行った。また、異なる温度層を3段に積層し、蓄放熱運転を行ない、3層同時運転においても温度成層形成を保つことが可能であるか確認した。

## § 2. 有効温度域形成率の検討

既報にて蓄熱槽内の時間毎に使用できない領域を温度死水域と定義し、定量的な評価方法として有効温度域形成率を提案した。各パラメータによる有効温度域形成率

に対する影響を確認し、温度差、流入流速による温度成層形成への影響が大きいことを確認した。また、各パラメータの影響により、時々刻々の温度成層形成に違いが生じ、有効温度域形成率の推移に一定の規則性が生じた。

図-1に2種類に分類した有効温度域形成率の推移、図-2に槽内状況の推移(上部流入、下部流出)を示す。

温度成層型蓄熱槽の温度成層形成に影響を与える現象としては、攪拌現象、熱拡散現象等が考えられる。攪拌現象は、蓄熱初期に流入水が槽内を攪拌する現象である。熱拡散現象は、槽内の混合域が安定した後、時間経過に伴い境界層での分子運動による伝熱現象である。この2つの現象より、有効温度域形成率の推移を分類でき、槽内の温度成層形成を把握することができる。

図-2より分類したType Aは、流入水による攪拌現象の影響が少なく、温度成層型のもので、流入初期において流入水温と初期槽内水温との境界(混合域)が安定する。また、流入後中盤以降まで熱拡散現象により混合域はわずかに増加し、流入後終盤より混合域が流出し、有効温度域形成率は上昇する。

Type Bは、流入水による攪拌現象の影響が大きく、時間経過とともに流入水温と初期槽内水温との境界(混合域)が拡大する。そのため、有効温度域形成率も低下する。また、流入後中盤以降より、槽内の混合域が流出口より流出するため、有効温度域形成率は上昇する。

\* 技術研究所技術研究部建築技術研究課

\*\* 技術研究所技術研究部環境技術研究課

\*\*\* 技術研究所技術研究部機電技術研究課

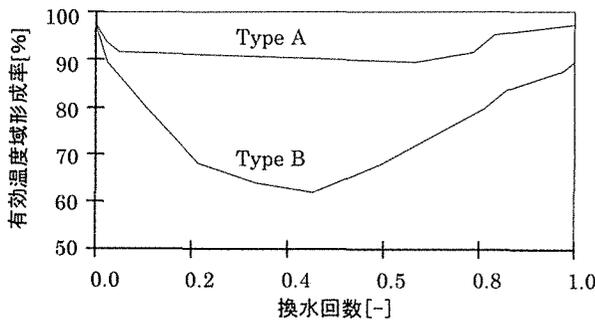


図-1 有効温度域形成率の推移

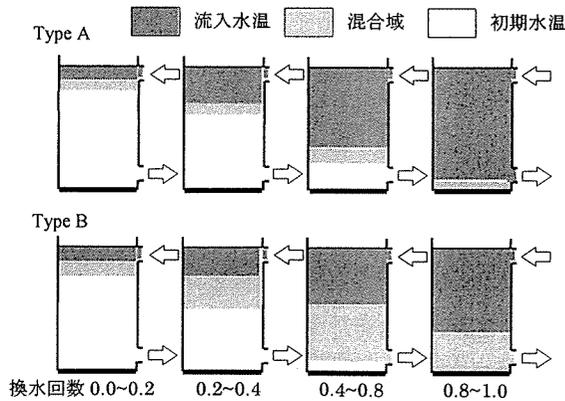


図-2 パターン別の槽内混合状況の推移

§ 3. 実験概要

3-1 実験目的

本実験では、実際のカスケード型蓄熱槽を想定して、異なる温度層を縦3段に積層した模型実験を行い、槽内の蓄放熱運転を行う温度層が、隣接する温度層の運転状況から受ける影響を確認し、温度成層形成状況の違いを把握する。また、放置状態にある温度層が、隣接している温度層の運転状況から受ける影響も確認する。

3-2 実験装置概要

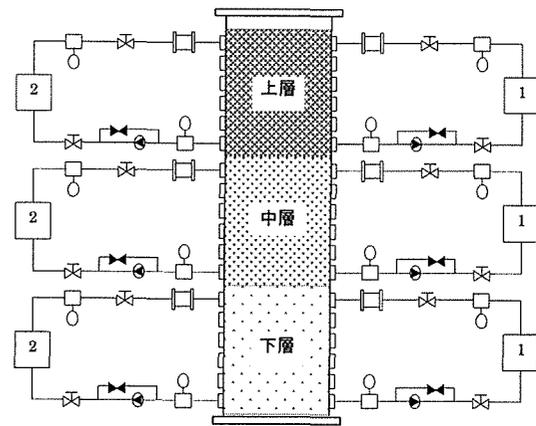
図-3に実験装置系統図を示す。実験装置は直径0.58m、高さ1.95mの円柱型透明アクリル製の実験槽、熱源側を想定した加熱ユニット3系統、負荷側を想定した冷却ユニット3系統により構成されている。各温度層ごとの加熱、冷却運転が可能であり、各循環系統の流量調整および温度制御を可能としている。

3-3 実験パラメータ

表-1に本実験における実験パラメータを示す。表中では、槽内水温が流入水温より低い場合は蓄熱運転、逆に槽内水温が高い場合は放熱運転、流量0l/minは放置状態を示している。

3-4 測定方法

表-2に本実験における測定項目を示す。槽内水温、



1: 加熱ユニット 2: 冷却ユニット  
 ①: 手動バルブ ②: 循環ポンプ ③: 流量計  
 ④: バイパスバルブ ⑤: 温度センサー

図-3 実験装置系統図

表-1 実験パラメータ

実験No	下層		中層		上層	
	槽内水温-流入水温 [°C]	流量 [l/min]	槽内水温-流入水温 [°C]	流量 [l/min]	槽内水温-流入水温 [°C]	流量 [l/min]
E1	20-40	5.2	40	0	60	0
E2	20-40	5.2	60	0	60	0
E3	20-40	5.2	40-60	5.2	60	0
E4	20-40	5.2	60-40	5.2	60	0
E5	30	0	40-50	5.2	50	0
E6	30-40	5.2	40-50	5.2	50-60	5.2
E7	40	0	40-50	5.2	50	0
E8	40	0	50-40	5.2	50	0
E9	40	0	50	0	60	0
E10	30	0	40-50	5.2	60	0
E11	30	0	50-40	5.2	60	0
E12	30-40	5.2	50	0	50	0
E13	40-30	5.2	50	0	50	0

表-2 測定項目

測定箇所	測定点	
槽内水温	熱電対	最大 284 点
流入出口水温	熱電対	36 点
流入出口流量	電磁流量計	各 1 点
熱授受量	熱流量素子	10 点

流入出水温の測定は、0.2mm径のCC熱電対を用い、アルミ棒で固定し測定を行った。また、実験槽表面と室内空気との熱授受量の測定は熱流量素子を用いて行った。

§ 4. 異なる温度層が他の温度層から受ける影響

4-1 下層、上層が他の温度層から受ける影響

下層のみ蓄放熱運転を行った実験と、下層と同時に中層も蓄放熱運転を行った実験を比較し、下層の温度成層形成が中層の運転状況から受ける影響の確認を行った。また、上層についても下層と同様に、中層の運転状況が

ら受ける影響の確認を行った。図-4に下層蓄熱運転時の換水回数毎の垂直温度分布、図-5に有効温度域形成率を示す。

図-4より、下層蓄熱運転を行う場合、各実験の温度勾配の傾きはほぼ等しく、下層の温度成層形成状況は同様である。図-5より、中層の槽内水温が60℃で放置の場合、蓄熱運転では流入水温が中層からわずかながら影響を受け、温度死水域が減少し、有効温度域形成率が高い値を示すことを確認した。しかし、他の実験の有効温度域形成率の推移はほぼ同様である。下層放熱運転を行う場合においても下層蓄熱運転とほぼ同様の結果を示した。上層蓄熱運転を行う場合は、中層からの影響は見られない。

以上より、下層蓄放熱運転を行う場合、中層の槽内水温の違いにより若干の差はあるものの、下層の温度成層形成はそれほど影響を受けないことを確認した。また、上層蓄放熱運転においても、温度成層形成は中層の運転状況から影響を受けないことを確認した。

4-2 中層が他の温度層から受ける影響

中層のみ蓄放熱運転を行った実験と、3層同時運転を行った実験を比較し、中層の温度成層形成が、隣接する温度層の運転状況から受ける影響を確認した。3層同時運転は実験装置上の制約により、各温度層10℃差運転により実験を行った。図-6に中層垂直温度分布、図-7に中層有効温度域形成率を示す。

図-6より、各実験の温度勾配の傾きはほぼ等しく、中層のみ蓄熱運転と3層同時運転の温度成層形成は、ほぼ同様であることを確認した。図-7より、有効温度域形成率の推移においてもほぼ同様であることを確認した。放熱運転を行う場合も蓄熱運転と同様の結果を示した。

§ 5. 放置状態の温度層が他の温度層から受ける影響

各温度層が放置状態にある場合、隣接する温度層の運転状況による各温度層の受ける影響の確認を行った。図-8に下層有効温度域形成率、図-9に上層有効温度域形成率、図-10に中層有効温度域形成率をそれぞれ示す。

図-8より、下層放置状態における有効温度域形成率の推移は、ほぼ同様で高い値を示した。図-9より、上層放置状態における有効温度域形成率の推移は、中層の蓄熱運転における流入水より、若干攪拌の影響を受け混合域が増加し、低い値を示すものがあることを確認した。図-10より、中層放置状態における有効温度域形成率の推移は、下層の蓄熱運転における流入水の影響より、若干に攪拌の影響を受け混合域が増加し、低い値を示すものがあることを確認した。

以上より、下層放置状態は、隣接する温度層の影響を受けないが、上層、中層放置状態は、隣接する温度層の

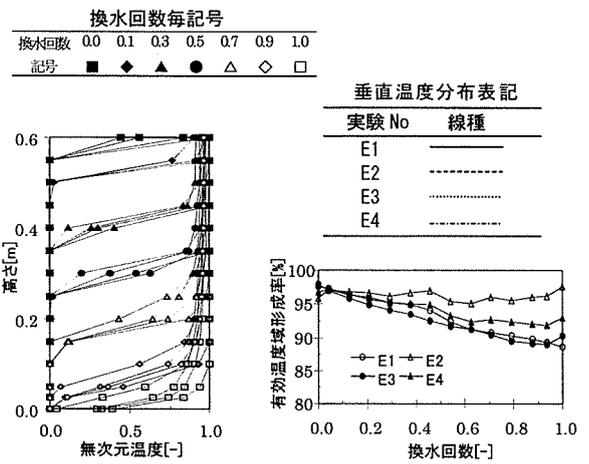


図-4 下層垂直温度分布 図-5 下層有効温度域形成率

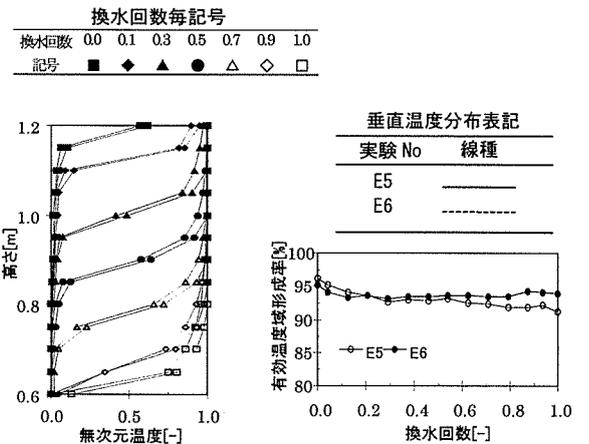


図-6 中層垂直温度分布 図-7 中層有効温度域形成率

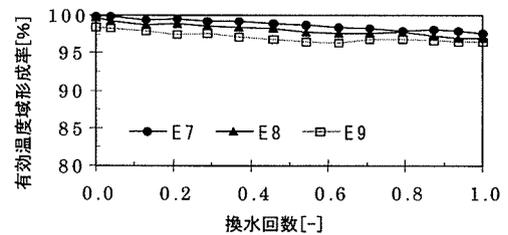


図-8 下層有効温度域形成率

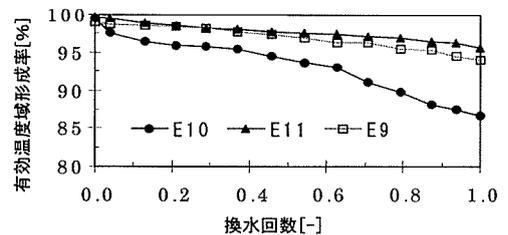


図-9 上層有効温度域形成率

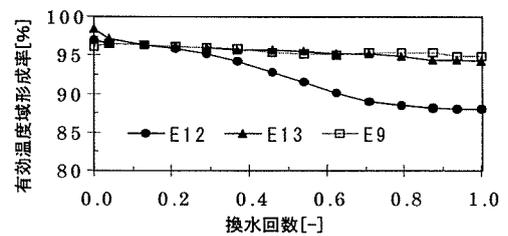


図-10 中層有効温度域形成率

運転状況により、攪拌の影響を受けることを確認した。

§ 6. 有効温度域形成率のカスケード型蓄熱槽への適用

蓄熱槽の評価を行う場合、一回の蓄放熱運転が完了、または蓄放熱運転のサイクルにより評価を行うのが一般的である。しかし、カスケード型蓄熱槽においては、蓄熱槽内の保有熱量をある一定の時間内に使いきり、後に熱量を蓄える一般的な蓄熱槽の運転サイクルは行わない。そのため、既往の評価法では槽内状況を評価することが困難である。

一方、有効温度域形成率は、一般的な温度成層型蓄熱槽の任意の時間における槽内状況を表現することが可能である。そのため、温度成層型蓄熱槽の特徴を利用しているカスケード型蓄熱槽の評価が可能となる。図-11に理想線と実測線の動き(蓄熱運転は槽上部流入、放熱運転は槽下部流入)、表-3に図-11の詳細表を示す。

図-11より、カスケード型蓄熱槽においてNo.1~No.4までの時間経過による理想線と実測線の動きによ

表-3 実験詳細

No	温度域	対応する状態	実験時間	
			[sec]	運転方式
1	40~50	【1】	390	放置
2	40~50	【2】~【3】	150	放熱
3	40~50	【4】	90	放置
4	40~50	【5】~【6】	60	蓄熱

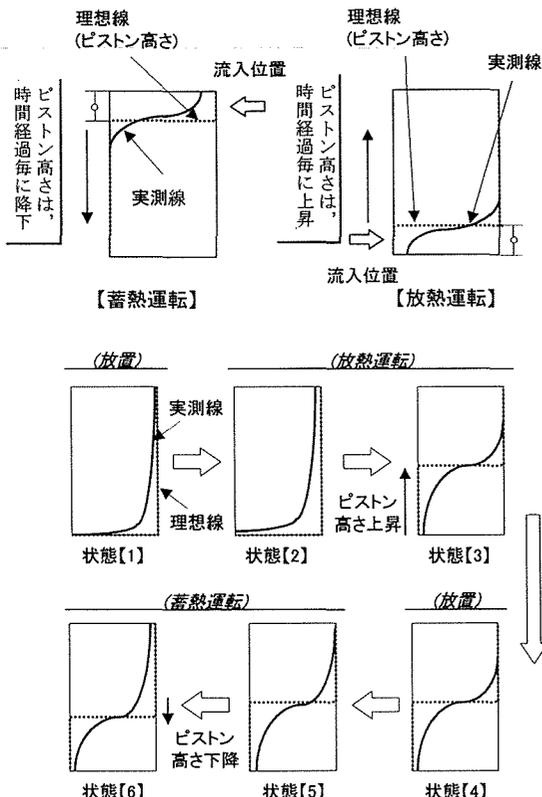


図-11 換水回数毎の理想線と実測線の表現

り、温度死水域を算出することが可能である。

次に、図-12にスケジュール運転における有効温度域形成率を示す。図-12より、有効温度域形成率では、時々刻々の槽内における温度成層形成が確認でき、槽内の有効に利用されている割合が示される。そのため、保有熱量、垂直温度分布に頼ることなく熱源の制御が容易になり、追いかけて運転による槽内への投入熱量、投入する時間帯が算出でき、高効率運転が可能となる。

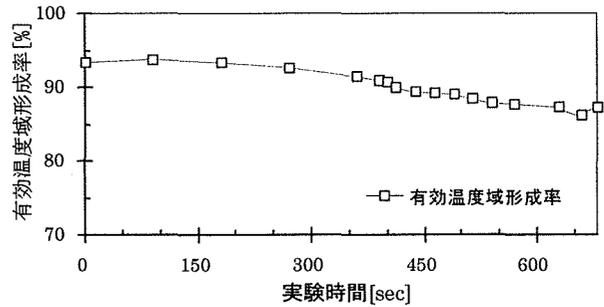


図-12 実負荷運転における有効温度域形成率の推移

§ 7. おわりに

本報では、有効温度域形成率の変化により、温度成層形成状況を分類することが可能であることを示した。また、実際の運転に則した性能評価を行うため、異なる温度層を共存させた状態での蓄放熱および放置運転を実施し、複数の温度層を共存させた状態でも温度成層を形成できることを確認した。さらに、有効温度域形成率のカスケード型蓄熱槽への適用方法を示し、実負荷を想定した運転におけるカスケード型蓄熱槽の槽内状況を、時間経過毎に表現できることを確認した。

なお、本研究開発は通産省の「生活価値創造住宅開発プロジェクト」の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 中島康孝：蓄熱槽(1)~(7)，空気調和衛生工学 VOL.54, No.5~No.11, 1979~1980.
- 2) 中島康孝：蓄熱槽の熱的重みに関する研究(その1) 日本建築学会論文報告集 第199号, 1972.
- 3) 空気調和・衛生工学会編：蓄熱式空調システム 基礎と応用, 丸善(株), 1995.
- 4) 関信弘編：蓄熱工学2 応用編, 森北出版(株), 1995.