

帯水層蓄熱を用いた空調システムの適切な運用手法に関する研究

馮 元沢

1. はじめに

東日本大震災を契機に省エネルギーの一層の推進が求められており、地中熱は都市内に広く賦存し、季節や昼夜を問わず利用可能な再生可能エネルギーの一つとしてその価値が認識されつつある¹⁾。現在、日本で普及している昼夜間蓄熱システムは、主に水蓄熱システムと氷蓄熱システムである。しかし近年は、地下水で飽和された地層である帯水層を用いた帯水層蓄熱システムが注目されている。

本研究では、帯水層蓄熱システムを用いた空調システムを対象として、空調システムシミュレーションモデルを構築し、空調システム全体の適切な運用手法を検討することを目的とする。

2. 対象システム概要

本研究の対象建物は、平成 28 年 4 月に竣工した香川県高松市に位置する建物である。敷地面積は 14,060 m²、延床面積は 11,613 m²であり、5 階建の事務所である。

2.1 システム全体の概要

対象空調システム全体の系統図を図 1 に示す。一次側で水蓄熱システム、水冷 HP が連携し、二次側の冷暖房負荷を処理する。また、熱交換器(以下:HEX)HEX-11 と HEX-21 は一階の AHU の熱源となる帯水層蓄熱システムに接続されており、蓄熱時浅井戸から地下水を汲上げ、HEX-11 で熱交換を行い、蓄熱井戸に貯められる。放熱時は、蓄熱井戸から揚水され、HEX-21 で熱交換されて、還元井戸から地中に戻される。対象空調システムでは各機器の出入口温度、流量、消費電力などについて BEMS によりデータを収集している。

2.2 一階 AHU の概要

一階にある AHU 内のコイルの配置について図 2 に示す。HEX-21 で熱交換を行った冷温水は予冷・予熱コイルに送られ、室内からの還気を予冷・予熱する。熱交換された空気は氷蓄熱システム、水冷 HP システムを熱源とする冷温水コイル(以下: HC コイル)で最終的な温度コントロールが行われたのち、室内に送られる。

2.3 帯水層蓄熱システムの概要

帯水層蓄熱システムの概念図を図 3 に示す。帯水層

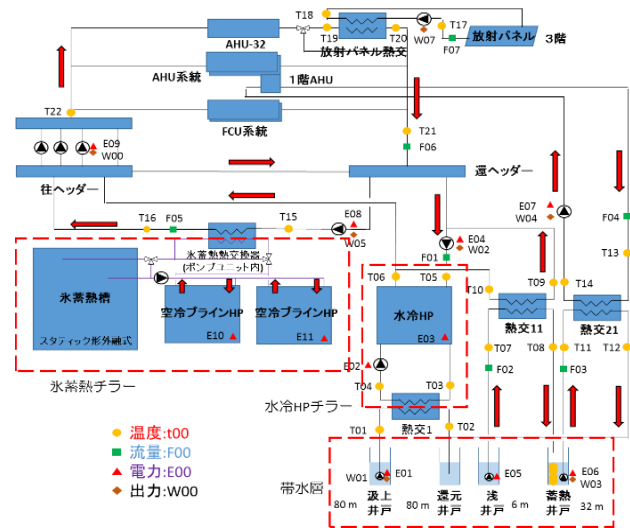


図 1 対象システム全体系統図

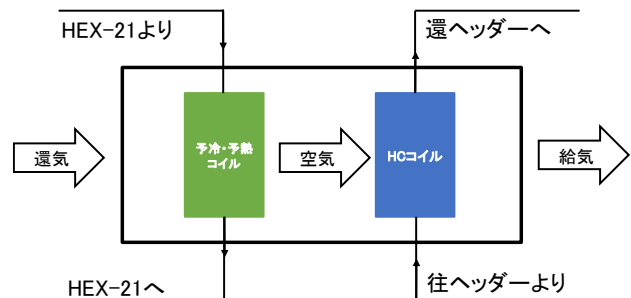


図 2 一階 AHU 系統図

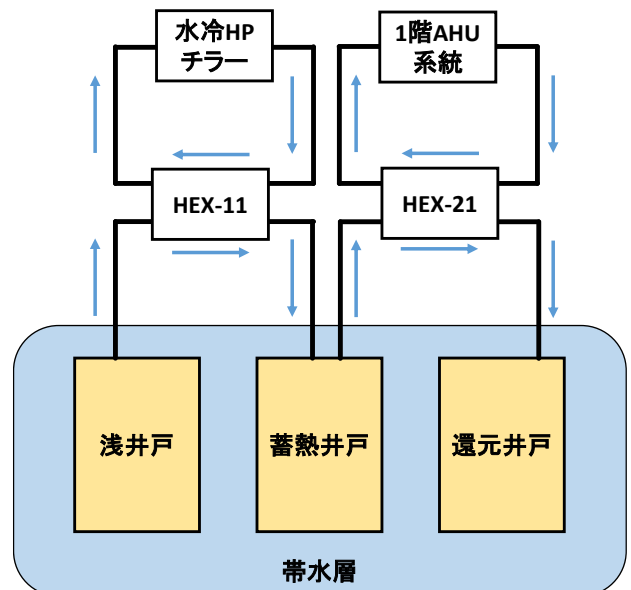


図 3 帯水層蓄熱システム

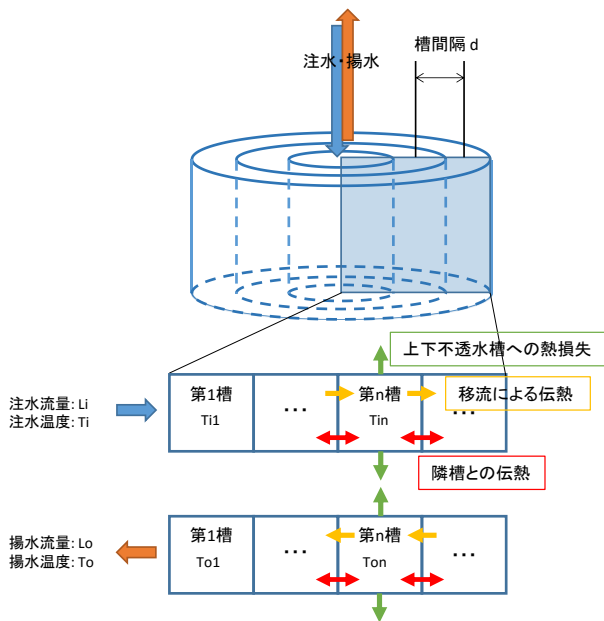


図4 帯水層蓄熱システム円筒モデル概念図

とは、地下水で満たされた砂層等の透水性が比較的良好な地層のことを指し、地下水取水の対象となり得る地層である。帯水層蓄熱システムは、この帯水層を水蓄熱システムの蓄熱槽のように利用するもので、夜間のうちに冷温水を注水して蓄熱し、昼間に揚水して使用するシステムである。地下水が豊富に得られることから、運用方法を工夫することで、地下水自体が持つ熱も利用することができる。

3. シミュレーションモデルの構築

3.1 帯水層モデルの構築

帯水層蓄熱システムのモデル2)は幾つかの槽に分けられた円筒モデル(図4)を想定する。注水時熱量は円筒の中心である第1槽から流入した水が外部の槽へ拡散し、揚水時は逆に第1槽から汲み上げられる。その際に上下不透水層への熱損失や隣槽との伝熱も含めて考慮している。帯水層内では実際には地下水流があることが多いが、計算では一定方向の広域的な地下水流はないものとしている。

3.2 コイルモデルの構築

コイルモデルのフロー図を図5に示す。コイル入口の空気温湿度、風量、水温、流量などを入力し、空気状態量計算と対数平均温度差の概念に基づく熱交換計算を組み合わせて、コイル出口の空気温湿度と水温を算出する。なお同様の考え方で水-水熱交換器モデルも構築している。

3.3 全体システムモデルの構築

シミュレーションモデルのフロー図を図6に示す。モデルはHEX-11・HEX-21モデル、水冷HPモデル3)、帯水層モデル、コイルモデルから構築されている。蓄

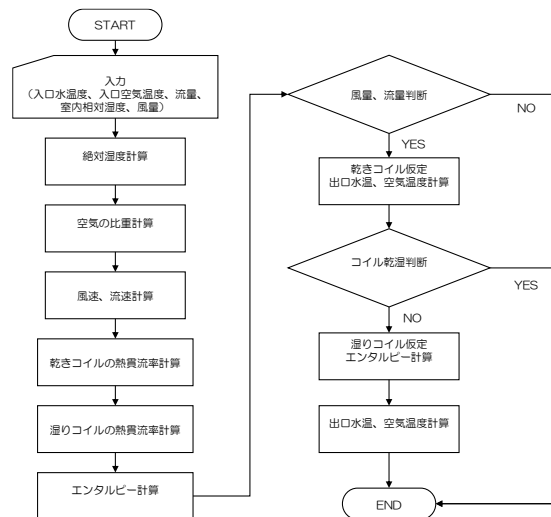


図5 コイルシミュレーションモデルフロー図

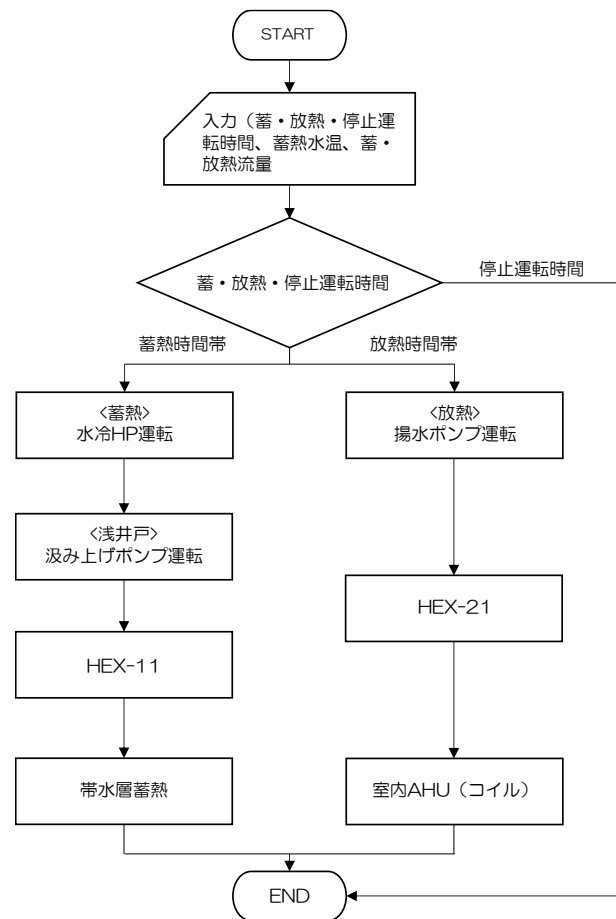


図6 帯水層蓄熱システム全体フロー図

熱運転時は、水冷HPから冷温水温度・流量と浅井戸から汲み上げた水の温度(19.1℃)・流量をHEX-11モデルに入力し、帯水層への注水温度を計算して帯水層モデルに入力する。また、放熱時は、帯水層モデルにより汲み上げられる水の温度を計算しHEX-21に入力する。HEX-21モデルで計算された冷水温度をコイルモデルに入力して、予冷・予熱量を計算する。

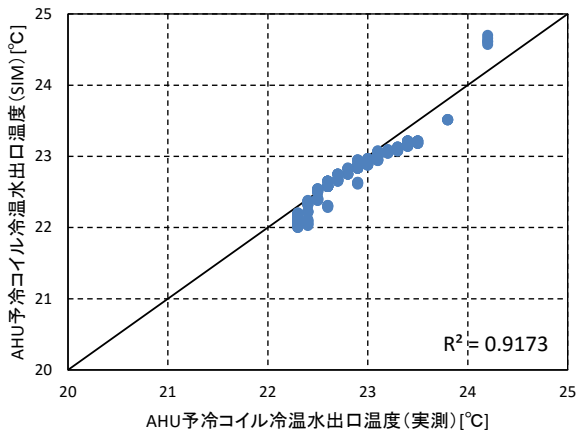


図7 AHU 予冷コイル冷温水出口温度精度検証

3.4 精度検証

二つのコイルで構成される AHU の計算精度を確認するため、構築したモデルに実測値の予冷・予熱コイル冷温水入口温度・流量、HC コイル冷温水入口温度・流量、AHU 空気入口温湿度・風量を入力し、各出口温度を算出した。2017 年 10 月 3 日の実測データを用い、シミュレーションで算出された出口温度を実測値の出口温度と比較し、精度検証を行った。

AHU 予冷コイルの精度検証結果を図7~図8に示す。予冷コイルでは、23 度付近で冷温水出口温度の計算結果が実測値とほぼ同値である。HC コイルでは、温度は高い時、冷温水出口温度の計算結果の誤差が大きくなる。AHU コイル空気出口温度では、風量は少ない時の計算結果が実測値より高くなり、風量が大きくなる時には、実測値と同一である。

4. ケーススタディ

帯水層蓄熱システムの適切な運転方法を検討するため、蓄熱運転の有無、注揚水量及び夜間蓄熱時水冷 HP の出口温度設定についてパラメータを変更した

表1 冷房運転方法のケース設定

ケース	運転方式	注水流量 [L/min]	揚水流量 [L/min]	水冷 HP 出口温度 [°C]
ケース C_0_0	帯水層不使用	0	0	7
ケース C_0_30	蓄熱停止、直	0	30	
ケース C_0_65	接地下水を利 用する	0	65	
ケース C_0_100		0	100	
ケース C_1_30	蓄・放熱運転	30	30	
ケース C_1_65		65	65	
ケース C_1_100		100	100	
ケース C_T_5	夜間水冷 HP 出口温度制御	30	30	5
ケース C_T_6		30	30	6
ケース C_T_7		30	30	7

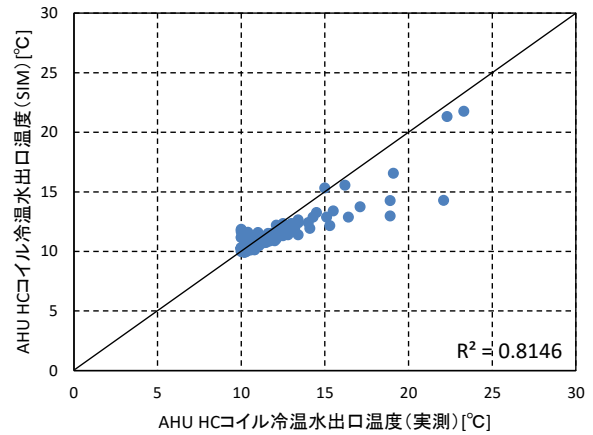


図8 AHU HC コイル冷温水出口温度精度検証

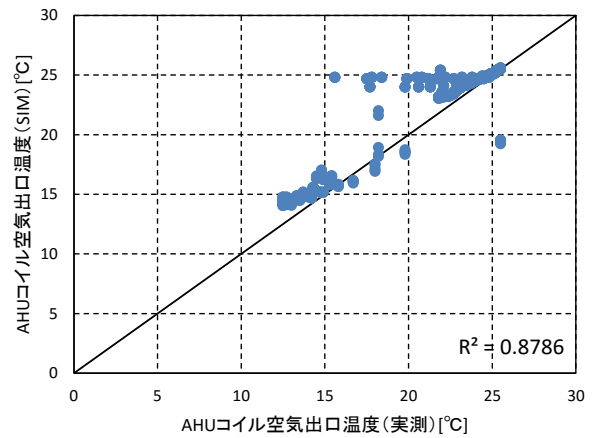


図9 AHU コイル出口温度精度検証

ケーススタディにより、システム全体の消費電力量やピークカット効果に与える影響を計算する。なお、実システムでは予冷・予熱コイルが建物一階にある 5 台の AHU のみに設置されているが、シミュレーションでは、建物内全ての AHU に予冷・予熱コイルを設置されているとして計算を行う。計算では、2017 年 7 月や 2017 年 1 月の実測データを入力値として用いる。検討ケースを表 1、表 2 に示す。蓄熱なしの場合では、夜間蓄熱を行わず、昼間に直接地下水を汲み上げ、AHU の予冷に利用する。また、蓄熱ありの場合では、

表2 暖房運転方法のケース設定

ケース	運転方式	注水流量 [L/min]	揚水流量 [L/min]	水冷 HP 出口温度 [°C]
ケース W_0_0	帯水層不使用	0	0	45
ケース W_1_30	蓄・放熱運転	30	30	
ケース W_1_65		65	65	
ケース W_1_100		100	100	
ケース W_T_35	夜間水冷 HP 出口温度制御	30	30	35
ケース W_T_40		30	30	40
ケース W_T_45		30	30	45

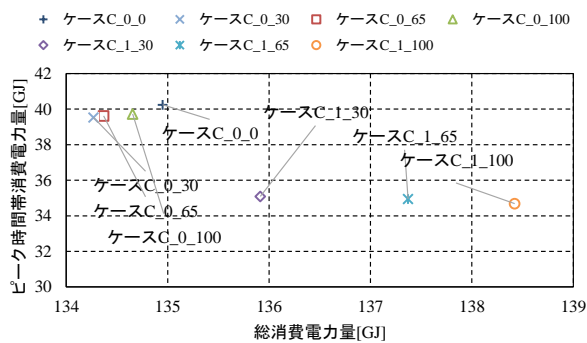


図 10 冷房時期ピークカット効果計算結果 (流量)

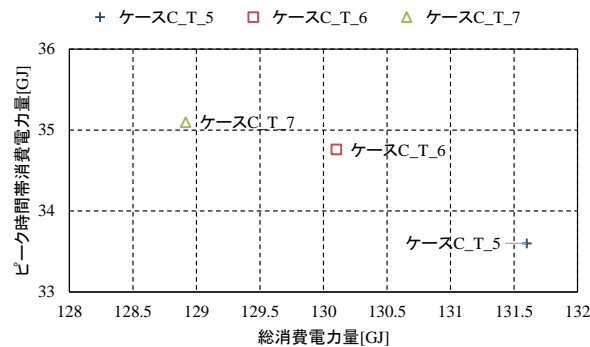


図 11 冷房時期ピークカット効果計算結果 (温度)

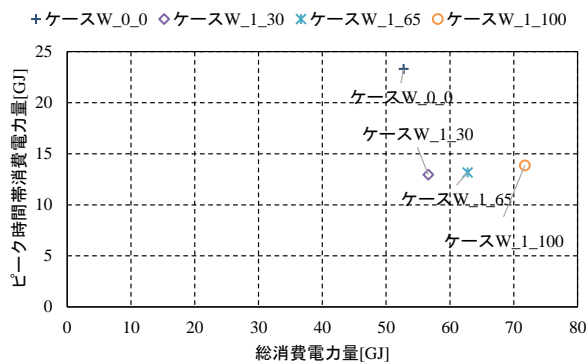


図 12 暖房時期ピークカット効果計算結果 (流量)

いずれのケースも夜間 10 時間蓄熱を行い、昼間に揚水し、予冷・予熱コイルに利用する。実測時、暖房時期の室内温度は約 23℃であり、約 19℃の地下水では、部屋を暖めることができないため、暖房運転では地下水の直接利用は検討しない。ピークカット効果については、二次側負荷が最大となる午前 8 時～12 時をピーク時間帯として分析を行う。

5. シミュレーション計算結果の検討

冷房期における総消費電力量とピークカット効果の計算結果を図 10、図 11 に示す。直接地下水を利用するケースは、総消費電力量やピーク時間帯消費電力量がわずかに削減されているが、効果は高くない。それに対し、蓄熱したケースでは、予冷コイルの負荷処理能力の限界があり、蓄えられた熱量の一部が還元井戸に捨てられるため、総消費電力量は増えている。ピーク時間帯にケース 1_30 は約 5.2GJ の消費電力量削減効果を得られ、約 1GJ 総消費電力量が増加した。夜間蓄熱時水冷 HP 出口温度を 7℃から 5℃まで下げると、約 1.5GJ のピークカット効果を得られるが、システム全体では約 2.7GJ 消費電力量が増加している。以上から、冷房運転時には、30L/min の注揚水量とし、ピークカット効果を優先する場合には水冷 HP の出口温度を低く設定するのが良いと考えられる。

暖房期におけるピークカット効果計算結果を図 12、図 13 に示す。冷房期と同様に、暖房期でも帯水層蓄熱

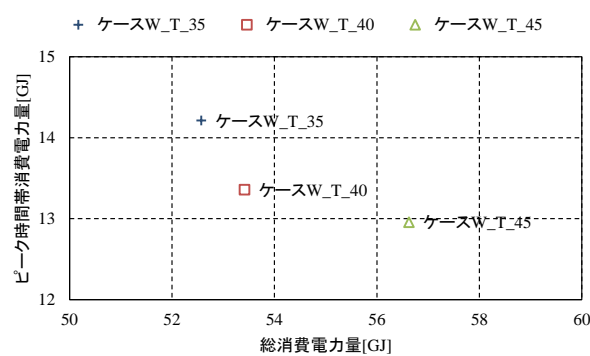


図 13 暖房時期ピークカット効果計算結果 (温度)

を行うと、総電力消費量が増加したが、ピーク時間帯には 10.4GJ の電力消費量を削減できている。注揚水量を増加させたケースでは、ピーク時間帯消費電力量が増加している (ケース W_1_100)。揚水量の増加は、多くの熱量が還元井戸に捨てられる上に、ポンプの消費電力量が増える。夜間蓄熱時水冷 HP 出口温度を 35℃から 45℃まで上げると、1.2GJ のピークカット効果を得られるが、4GJ 総電力消費量は増加している。以上から暖房運転時には、水冷 HP の夜間蓄熱時出口温度は 40℃と設定し、30L/min の注揚水量で帯水層蓄熱を行うケースが、最も適切な運転方法と考える。

6. まとめ

本研究では、帯水層蓄熱システムを用いた空調システムを対象とし、シミュレーションモデルを構築した。さらに、注揚水流量や水冷 HP 出口温度制御がピークカット効果に対する影響を検討し、冷暖房時期それぞれの適切な運転方法を提案した。

【参考文献】

- 1) 山本真平, 他: 帯水層を利用した蓄熱空調システムの研究—季節間蓄熱の直接利用・熱源水利用併用システムの検討—, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集(高知), No.248, 2017 年 11 月
- 2) 伊藤貴之, 帯水層を利用した昼夜間蓄熱システムの研究—帯水層の温度応答を予測する集中定数モデルの構築—, 大阪市立大学大学院 工学研究科修士論文, 2011 年
- 3) 呉清元, 他 4 名: 複合化蓄熱方式とハイブリッド空調を採用した事務所建物における エネルギーの評価・改善に関する研究 (第 3 報) シミュレーション構築及び運転方法の検討, 日本建築学会大会 (広島), 2017 年 9 月