

土壌を利用した季節蓄熱を有する空調システムの性能分析 (その3) シミュレーションによる採熱運転法の最適化とその効果の検証

宮田征門(日本学術振興会(九州大学), 元京都大学), 吉田治典(京都大学), 青野政信(四国電力), 竹川忠克(四国電力)
名倉義行(四電技術コンサルタント), 小林陽一(安井建築設計事務所), 金政秀(早稲田大学)

■ 本研究の目的

地盤による季節間蓄熱システム (図-1)

- 冬季の外気が持つ冷熱を建物地下地盤に蓄熱し、これを冷房期の熱源として利用
- 未利用エネルギーの活用による先進システム
- 先例が少なく、どのような運転法が最適か不明

運転は一年サイクルのため、実システムで試行錯誤による最適運転法を見出すことは困難
→ シミュレーションを用いて最適な運転法を探索する

■ 対象建物の概要

香川県にある地上7階、地下1階建てのオフィスビル

計64本の基礎杭(場所打ち鉄筋コンクリート拡底杭、直径1300mm)の内部に架橋ポリエチレン配管を配置



図-3 施工時の様子

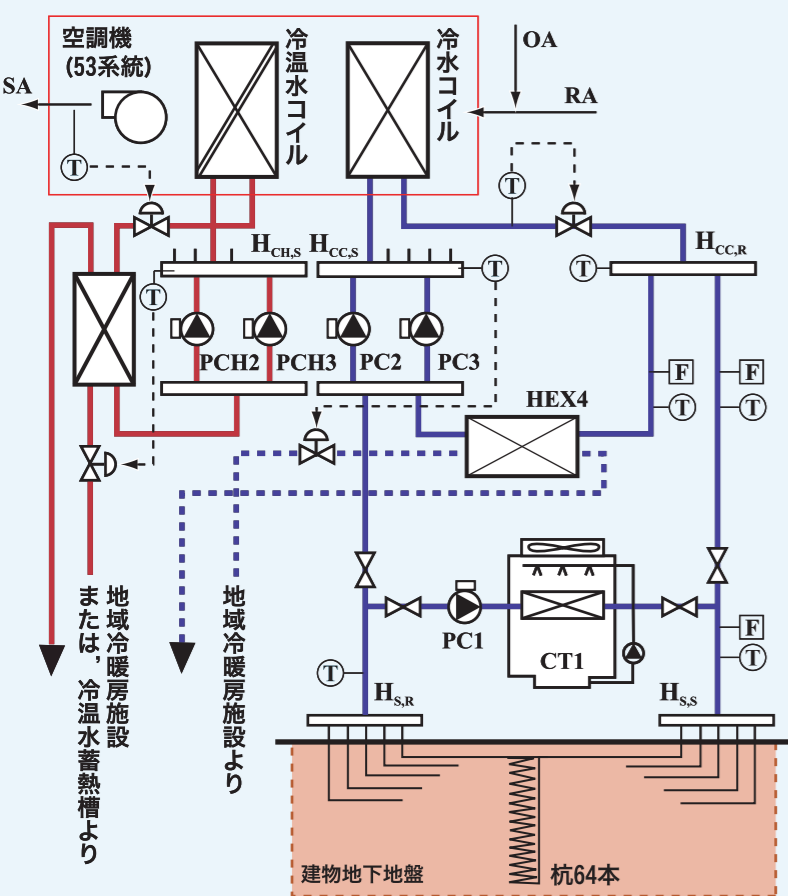


図-5 空調システム系統図

■ 空調システムの概要

冬季夜間：
冷却塔CT1とポンプPC1を運転して外気と循環水の熱交換を行い地盤に冷熱を溜める(蓄熱運転)

夏季昼間：
ポンプPC2, 3を運転して溜めた冷熱を取り出す(採熱運転)

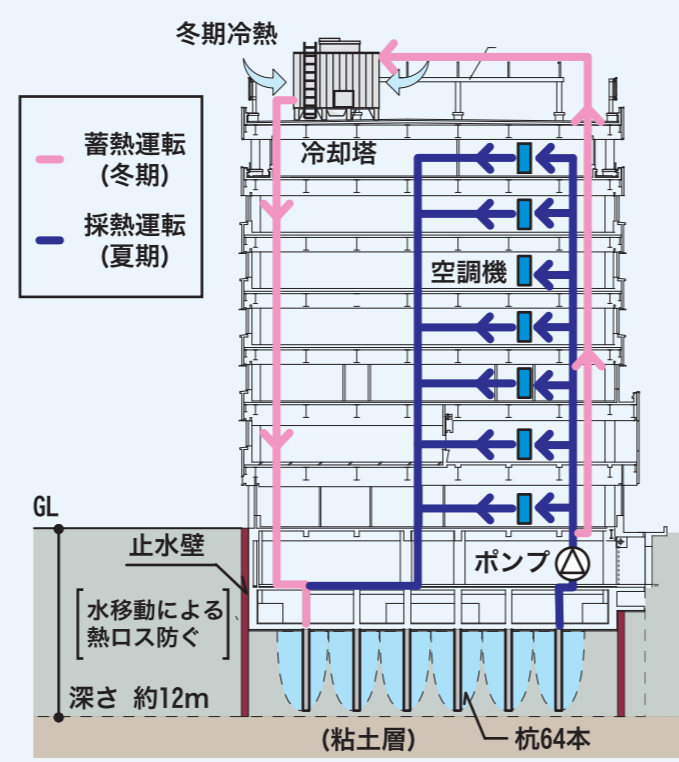


図-1 季節蓄熱空調システム

図-2 建物の概観

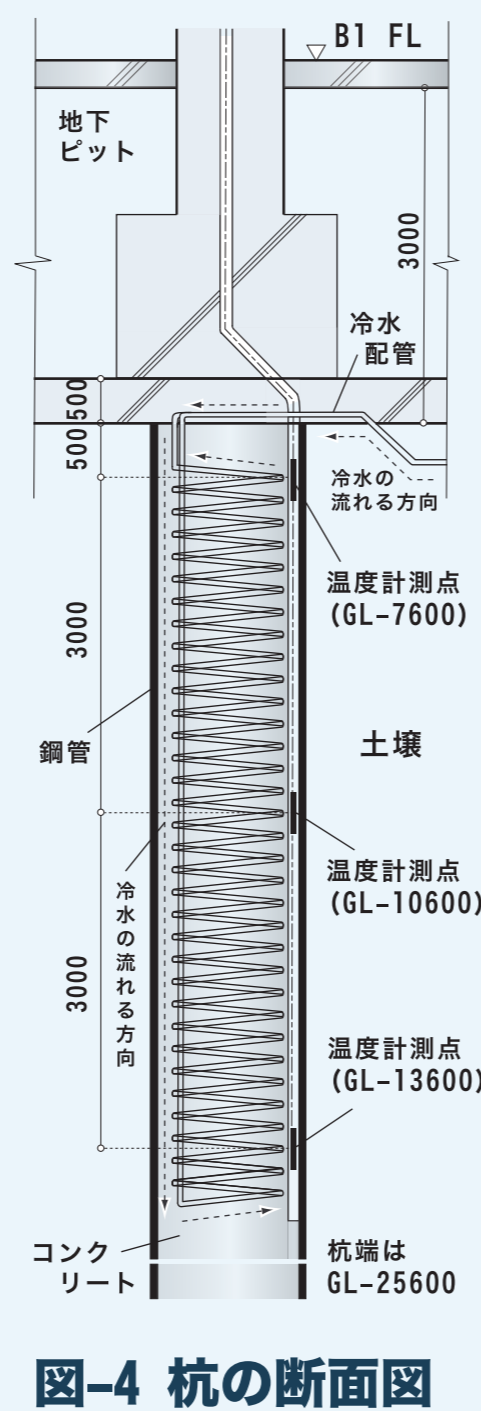


図-4 杭の断面図

■ システムシミュレーションの開発

以下のモデルを繋ぎ合わせて、システムシミュレーションを作成(図-6)

- 1) 有限要素法による地盤と杭の非定常伝熱計算モデル(図-7)
- 2) 物理現象を基礎とする空調機器モデル(冷却塔, ポンプ, コイル, 熱交換器)

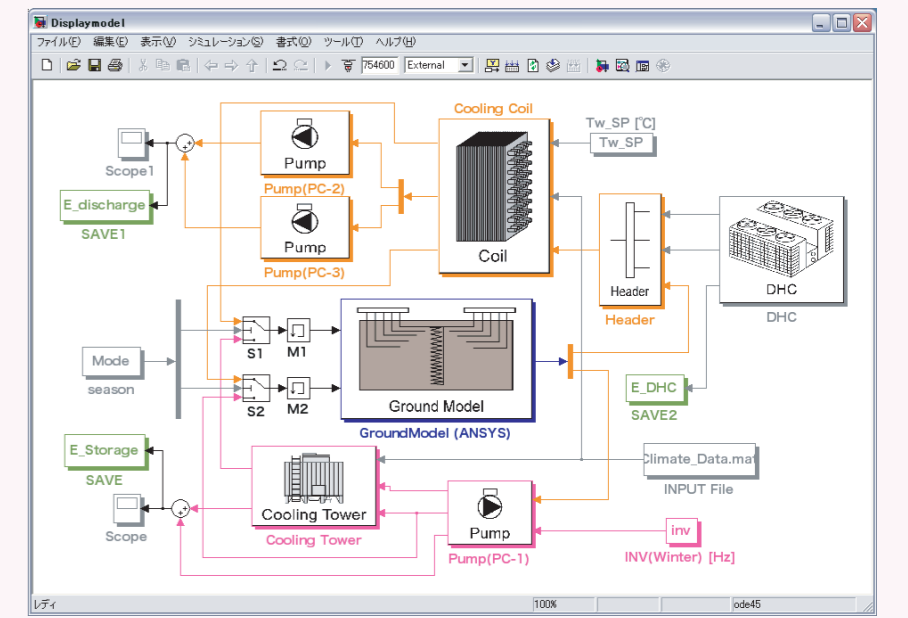


図-6 システムシミュレーション (MATLAB/Simulink + ANSYS)

■ 前報までの検討結果

これまでに計3回運転最適化を行い、分析結果に基づいて運転法を変えた(表-1).

- ・ 3回目の最適化：蓄熱運転法の最適化
- 二年目の運転実績から、蓄熱効率が悪いことが判明

蓄熱に要する消費電力の約50%は、冷却塔ファンが消費している
→ 冷却塔ファンにインバータを設置

インバータ導入後のシステムに対して、最適な蓄熱運転法を見出した
→ 冷水流量30m³/h, 冷却塔ファンインバータ値50%とする運転法が最適

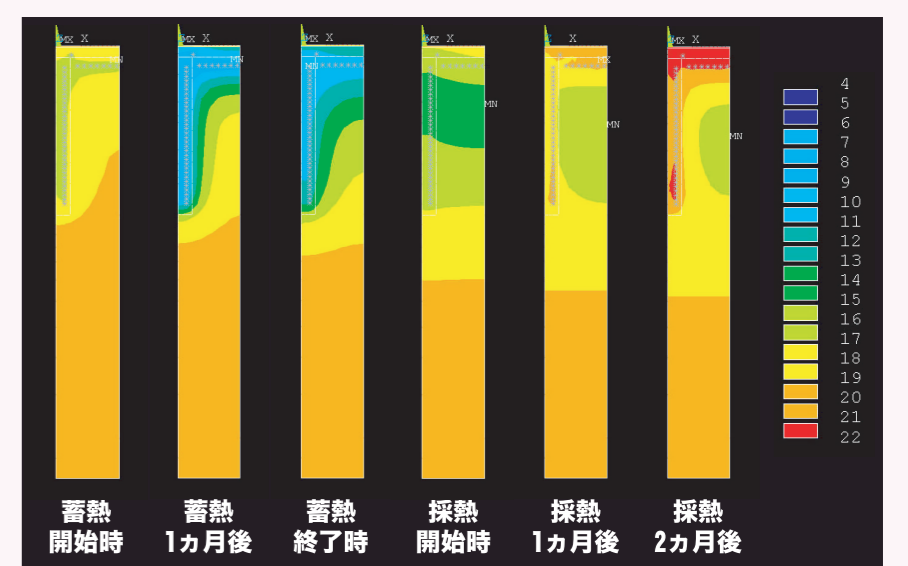


図-7 地盤温度計算結果の例

(注)
システムCOP = (採熱量)/(蓄熱に要した消費電力)
蓄熱効率 = (蓄熱量)/(蓄熱時消費電力)
採熱効率 = (採熱量)/(採熱時消費電力)

表-1 竣工後三年目蓄熱運転終了時までの運転法と運転実績の変化

運転手法	蓄熱			採熱			システムCOP
	蓄熱量	消費電力	効率	採熱量	消費電力	効率	
設計目標	256 GJ			154 GJ			
1年目	蓄熱 冷水流量：50 m ³ /h 運転期間：2ヶ月	213.4 GJ	27.0 GJ	7.9			
	採熱 コイル冷水出口温度：23℃				145.1 GJ	13.2 GJ	11.0
最適化 (1)							
2年目	蓄熱 冷水流量：45 m ³ /h 運転期間：3ヶ月	374.1 GJ	55.5 GJ	6.7			
	採熱 コイル冷水出口温度：25℃ バイパス弁開放(設定ミス)				205.1 GJ	8.9 GJ	23.0
最適化 (2)							
最適化 (3)							
3年目	蓄熱 冷水流量：30 m ³ /h 冷却塔ファンインバータ値：50% 運転期間：3ヶ月	280.3 GJ	24.0 GJ	11.7			

■ シミュレーションによる採熱運転法の最適化

最適化前の採熱運転法：

各コイルの出口冷水温度が設定値になるように冷水流量を制御

二年目の運転実績(図-3)

採熱運転開始後約一ヶ月間は、コイル出入口冷水温度差は約5℃と大きいが、8月以降は温度差は約2℃となる。
→ 採熱用ポンプの冷水流量はほぼ定格値(30m³/h)となる。

運転法に関するケーススタディ(表-2)を行い、最適運転法を見出す。

- ケース0) 二年目の採熱運転法(リファレンス),
- ケース1) 土壌温度の上昇を防ぐために、採熱運転開始直後は設定値を低くし、一ヶ月毎に一度ずつ上げる,
- ケース2) コイル入口空気温度とコイル出口冷水温度の差を小さくして冷水流量が小さくなるように、入口空気温度の変化に合わせて山形に設定値を変化させる,
- ケース3) 出口冷水温度による制御を行わず、冷水流量を強制的に固定する。

表-2 ケーススタディ

ケース	コイル出口冷水温度 / 冷水流量			
	7月	8月	9月	10月
0	25℃			
1-1	23℃	24℃	25℃	26℃
1-2	23.5℃	24.5℃	25.5℃	26.5℃
2-1	26℃	27℃	26℃	25℃
2-2	26.5℃	27.5℃	26.5℃	25.5℃
2-3	27℃	28℃	27℃	26℃
3-1	20 m ³ /h			
3-2	15 m ³ /h			
3-3	10 m ³ /h			

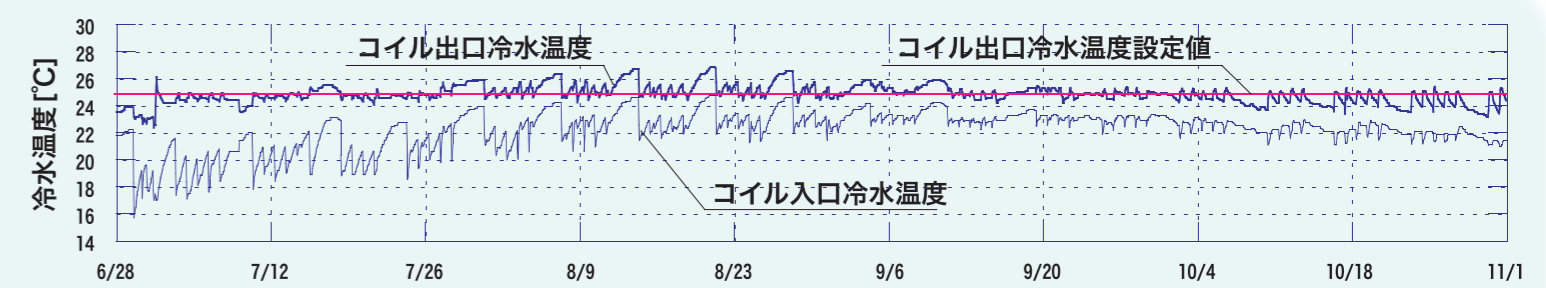


図-9 二年目のコイル出入口冷水温度と冷水流量の実測値



図-10 三年目のコイル出入口冷水温度の実測値

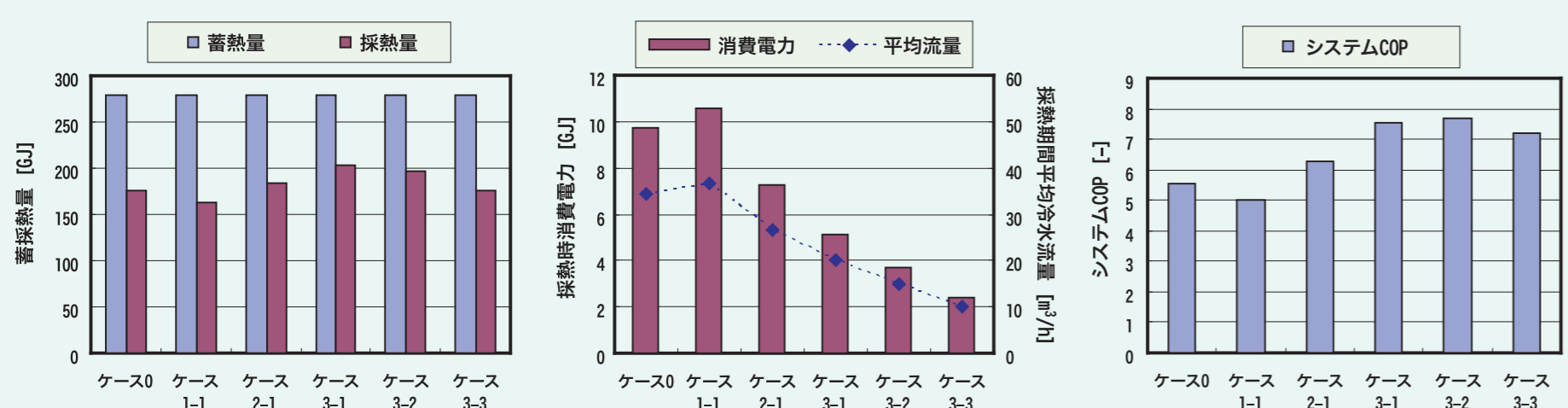


図-8 採熱運転法に関するケーススタディの結果

ケース3-2)の冷水流量を固定する運転法を取れば、ケース0)と比較して、消費電力は約62%減少し、システムCOPは7.71に向上する(図-8)

→ ケース3-2)の運転法を最適運転法とする

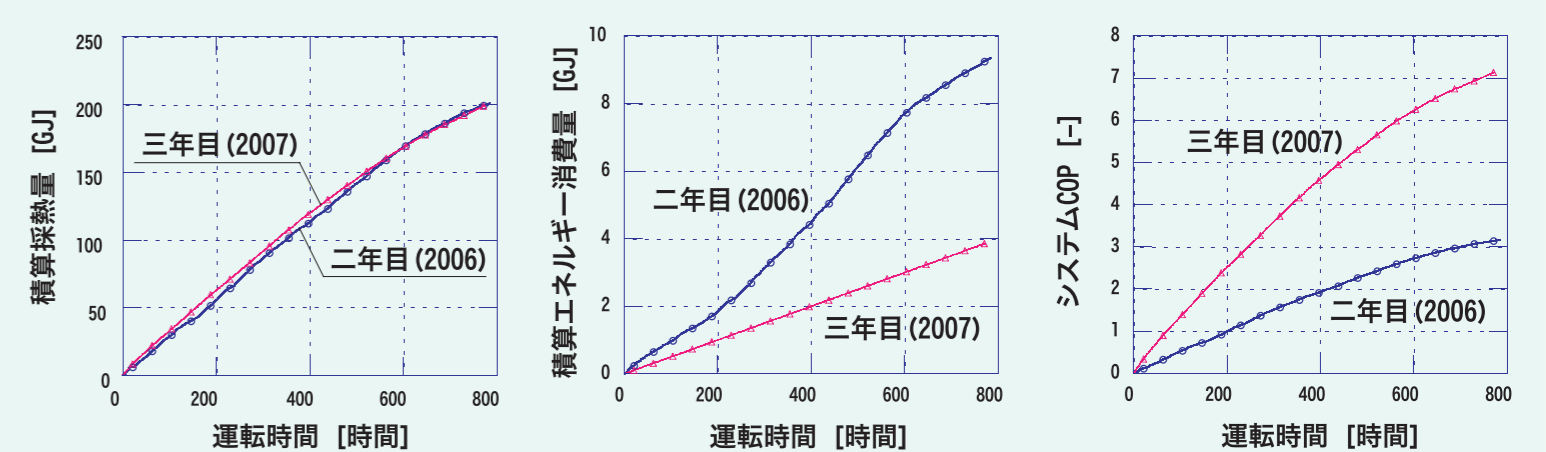


図-11 二年目と三年目の運転実績(採熱)の比較

■ 最適運転法の効果検証

最適採熱運転法を実システムに適用(採熱運転期間：2007/7/1~10/30)

コイル出入口冷水温度差は採熱期間を通じて約4℃で一定(図-10)

採熱量は199.3GJ, 採熱に要したエネルギー消費量は3.86GJ

二年目の実績値と比較(図-11)

採熱量はほぼ同じであるが、エネルギー消費量は約57%減少し、システムCOPは3.18から7.14に向上

■ まとめ

自然エネルギー利用の季節蓄熱空調システムを採用している建物について、シミュレーションで最適運転法を探索するプロセスを示し、それを実システムに適用して採熱時の運転法を改良した結果を示した。

具体的な改良結果は、前年の実績値と比べて冷熱採熱量はほぼ変わらないが、エネルギー消費量は約57%削減し、システムCOPが3.18から7.14に向上するというものである。