

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その219）

—水熱源 HP と蓄熱槽の実測比較—

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Comparison between Simulation Results and Actual Measurements on the Performance of Water-source Heat Pump and Thermal Storage Tank)

正 会 員 ○中塚 一喜(三晃空調)
 技術フェロー 柳原 隆司(RY 環境・エネルギー設計)
 正 会 員 河路 友也(愛知工業大学)
 技術フェロー 石野 久彌(首都大学東京名誉教授)

正 会 員 二宮 博史(日建設計)
 名誉会員 中原 信生(環境シテック中原研究処)
 名誉会員 村上 周三(建築環境・省エネルギー機構)

Kazuki NAKATSUKA*¹ Hiroshi NINOMIYA*² Ryuji YANAGIHARA*³

Nobuo NAKAHARA*⁴ Tomoya KAWAJI*⁵ Shuzo MURAKAMI*⁶ Hisaya ISHINO*⁷

*¹ Sanko Air Conditioning Co. Ltd. *² Nikken Sekkei *³ RY Environmental and Energy Design Office

*⁴ Nakahara Laboratory, Environmental Syst.-Tech. *⁵ Aichi Institute of Technology

*⁶ Institute for Building Environment and Energy Conservation *⁷ Tokyo Metropolitan University

Using CKK as the building and HVAC system model the simulation program 'BEST' was verified by comparing with actual system operation results for heat pump system with temperature-stratified thermal storage tanks. This paper presents results of the efficiency of water-source heat pump and water thermal storage tank with COP and temperature profiles in summer cooling and winter heating modes.

はじめに

本報では、BEST 専門版 ver.1805（以下、BEST と表記）による水蓄熱システムの計算結果と実測値を比較し、プログラムの精度を検証した。対象建物は温度成層型水蓄熱槽が採用されている CKK 大学研究棟(以下、CKK ビル)とした。既報²⁾で夏期蓄熱槽の一部期間について検討を行ったが、本報では冬期も含めて検討する。さらに水熱源ヒートポンプの性能特性に関しても実測値と比較した。

1. 建物概要

建物名称：名古屋大学研究所共同館
 延床面積：7,046 m²(一般系統換算延床面積 4,403m²)
 階数：8 階
 建物種別：研究実験棟
 用途構成割合：50% [教官室・院生室] 17% [実験室]
 竣工：2013 年 2 月
 一般系統熱源：温度成層蓄熱槽 126m³×2 槽
 井水熱源高効率ヒートポンプ(HP)100RT
 一般系統空調：大温度差確保 FCU+エコ外気導入

CKK ビルの主要機器を表 1 に示す。システム等、詳しくは既報²⁾を参照されたい。熱源能力に関しては COP の最も高い定格能力比率 75% に設定して運転が開始された。ヒートポンプは既存の井水を冷温熱源としているが、受渡後コミッションング過程期間中の、運転開始後約半年後から井水熱交換器(プレート型)系にスライム障害による不具合が生じ、12 月に入った頃より極端に水量が低下したため、熱源容量を 25% の低負荷で運用している期間があった。本事情に鑑み、暖房時の分析はこの期間に対して項目を絞った。蓄熱槽は 126m³ の温度成層型蓄熱槽を 2 槽備えているが、設計時の負荷より小さく、熱回収も不可能であったので実運用では 1 槽運転となった。そのため、本論文でも蓄熱槽は 1 槽としてモデル化しシミュレーションを行った。

BEST の計算モデルを図 1 に示す。計算対象は 1 次側のみとし、境界条件として CKK ビル BEMS より取得した外気温度、熱源水の熱源入口温度と流量、2 次側からの還水流量と温度を設定し入力した。また熱源の能力は実際の運転に合わせて定格能力比率を夏期は 75%、冬期は 25%、冬期の熱源入口温度は 39℃(ポンプ流量の調整はされなかったため出入口温度差 2℃)とした。BEST では熱源の特性をデフォルト値にて計算した。

表 1 CKK ビルの主要機器表

機器	機器名称	定格能力仕様			台数
R-1	水熱源ヒートポンプ	冷却出力			1
		冷却能力	kW	348.5	
		消費電力	kW	56.4	
		冷水入口	℃	14	
		冷水出口	℃	6	
		冷水水量	L/min	466	
		熱源水量	L/min	500	
		温水出力			
		加熱能力	kW	403.1	
		消費電力	kW	65.4	
		温水入口	℃	33	
		温水出口	℃	41	
温水流量	L/min	722			
熱源水量	L/min	484			
PC-1 PH-1	冷温水一次ポンプ	流量	L/min	730	2
		動力	kW	3.1	
		変流量制御			
PCH-1-1	放熱一次ポンプ	利用温度差	℃	8	2
		流量	L/min	640	
		動力	kW	3.7	
PCH-2-1-6	放熱二次ポンプ	変流量制御			6
		流量	L/min	140	
		動力	kW	2.2	
	蓄熱槽	蓄熱槽容量	m ³	126	2

2. 冷房時の実測比較

2.1 月別熱源処理熱量と消費電力の比較

図2に6月~9月の熱源処理熱量と消費電力の比較結果を示す。熱源処理熱量は7月を除きBESTの方が小さい結果となっており、6月で10.3%と最も大きく合計では2.5%の差であった。熱源処理熱量の差は主に蓄熱槽からの熱損失の違いと考えられる。7月に関してはCKKビルにて熱源に不具合による停止期間があったため実測値の熱源処理熱量が小さくなっている。消費電力は熱源処理熱量の推移から予想される傾向と異なっていた。消費電力の合計値で見ると18.7%の差が見られ、熱源処理熱量の差よりも大きくなっている。要因として、特性式の違いと熱源稼働している時間帯に若干の差があるため、熱源稼働時の熱源水温度に差があった点が挙げられる。

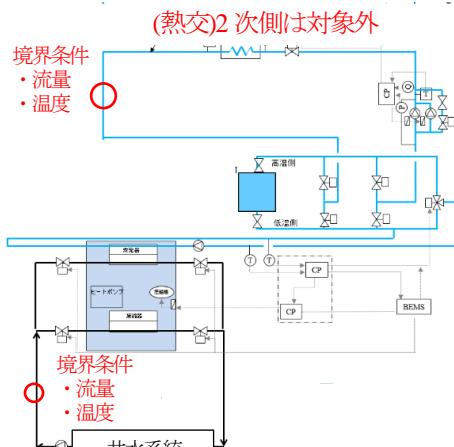


図1. BEST計算モデル（冷水回路）

2.2 水熱源 HP の COP 分布比較

図3に6月~9月の熱源水温度別の水熱源 HP の COP 分布を示す。実測値では低負荷率になると低COPになる傾向があったが、BESTでは負荷率が低くなってもCOPの低下が小さかった。CKKビルでは定温蓄熱制御を有するため本来負荷率は一定であるが、熱源起動時は制御上、低負荷率運転が発生すること、また蓄熱槽が満蓄に近い場合、熱源出入口温度が低下するためやや低負荷の運転が発生する。BESTでも制御を反映したシミュレーションとなっているため、低負荷率運転の発生を再現できているが、実機との差はCOPの特性式の差によるものである。実機では負荷率75%が最高効率点ということで運転負荷率が制御されていたが、BESTの結果をみると今回の結果内では最高効率点が負荷率約45%の位置にあった。熱源(冷却)水温度帯別にCOPを比較すると、実機では19~22℃時にCOPが7.3、22~25℃時にCOPが7.0、BESTでは19~22℃

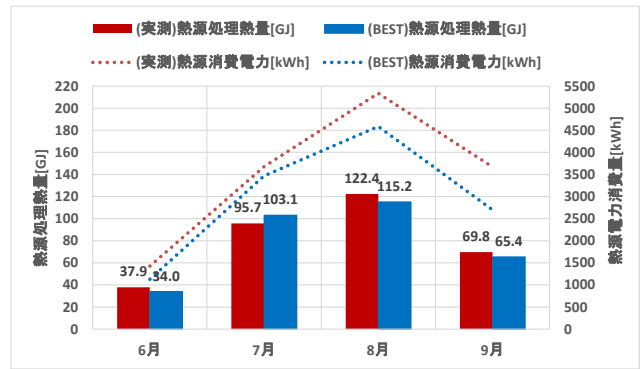


図2. 熱源処理熱量と消費電力の推移

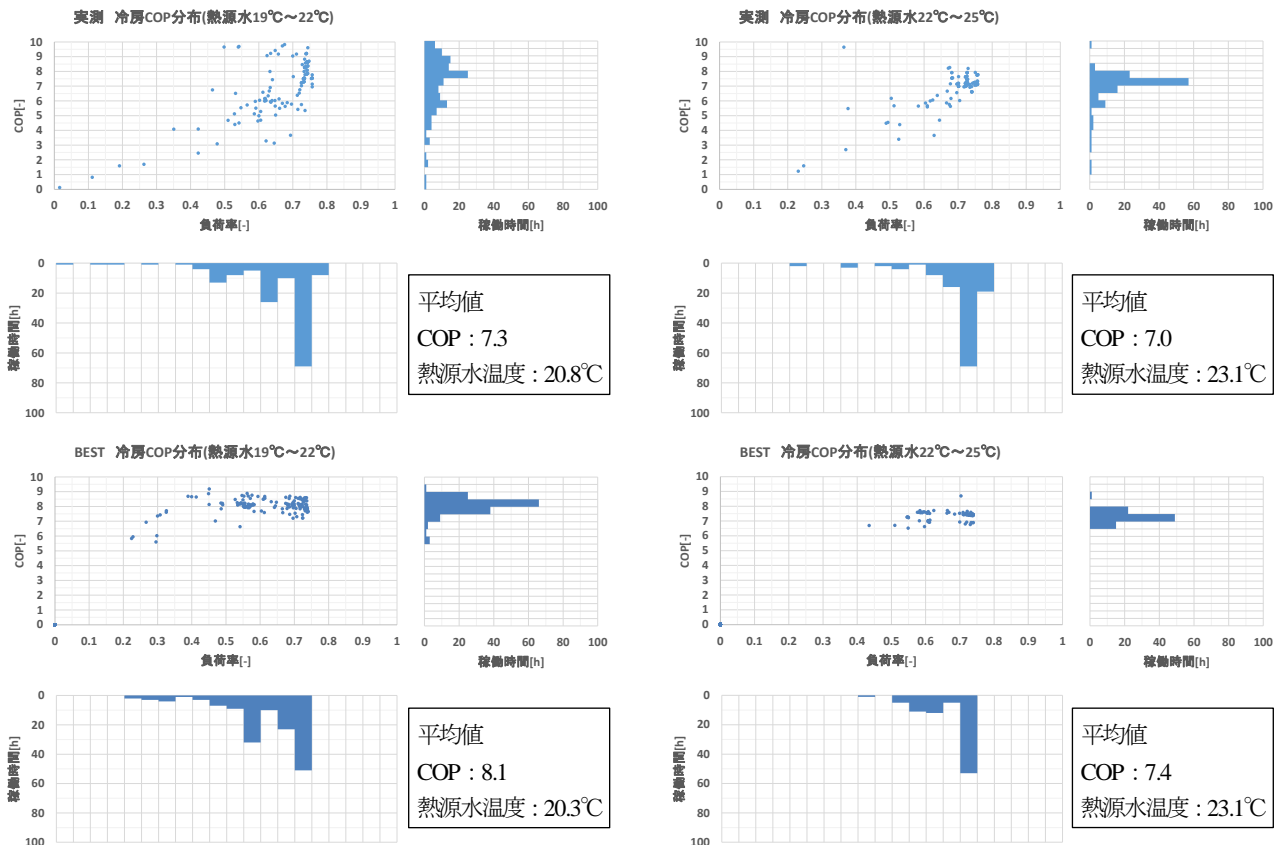


図3. 水熱源 HP 夏期 COP 分布 (上段: 実測、下段: BEST、左段: 熱源水 19~22℃、右段: 熱源水 22~25℃)

時に COP が 8.1、22~25°C時に COP が 7.4 で、比率で比較すると BEST の方が、19~22°Cでは 9.9%、22~25°Cでは 5.4%、COP が高く、熱源水温度変化に対する COP の変動が実測と比べ BEST は大きい傾向にある。以上のような特性の違いが図 2 のエネルギー消費量の差につながったと考えられる。BEST にて運用時のシミュレーションを行う場合、実機の特性を反映できる機能があれば、より一層実態に即した検討が行えると考える。

2.3 温度成層型蓄熱槽の比較

既報りで夏期蓄熱槽内の動きが実測と比較しても妥当なものであるということは述べた。本項では CKK ビルの蓄熱制御と BEST の蓄熱制御の違いについて述べる。井水系が正常であった冷房期は蓄熱最適制御(OPC)の下に、予測負荷と推定蓄熱余量に基づいて運転されている。図 4 に 6/16 22:00~6/23 22:00 の蓄熱槽内温度・熱源処理熱量・2 次側負荷流量の推移を示す。2 次側負荷流量は実測値を BEST に境界条件として入力しているため等しい。上述の OPC では 22 時からの蓄熱用の熱源運転時間を、その時の蓄熱余量を考慮して、翌日の予測負荷に対応できる蓄熱量を確保するように決定される。BEST では蓄熱制御として簡易予測(前日、曜日別、熱源運転時間)と負荷計算予測が実装されている。本計算では負荷計算予測を採用した。負荷計算予測は、OPC を疑似するために、事前に計算した負荷を賄うのに必要な熱源運転時間を計算し 22:00 から蓄熱を行う。従って 22:00 時点の蓄熱余量(残蓄熱量)は考慮

されていない。実測値では 6/22 22:00 から熱源が運転していない。これは負荷が小さく残蓄熱量のみで負荷を賄えるかと判断したためであるが、BEST の方をみると負荷がある日はその分だけ熱源を稼働させている。例えば 6/16 22:00 からの蓄熱運転では満蓄(熱源入口限界温度 10°C 設定)となっているし、負荷の小さい 6/22~23 も蓄熱運転が行われている。蓄熱槽内の温度推移をみると BEST の方が過蓄熱の低温状態となっており、この状態は蓄熱槽の熱損失増大を招く。BEST でも蓄熱余量(残蓄熱量)を踏まえた熱源制御が可能のように検討作業を行う必要があるだろう。

3. 暖房時の実測比較

3.1 水熱源 HP の COP 分布比較

暖房時は前述の通り実システムにて井水量の不具合があったため、熱源処理熱量と消費電力の比較検討が負荷率 25% 付近に集中し高負荷率の特性の比較は行えなかったが、特に論点の多い低負荷時の COP 特性に興味ある結果が得られている。冷房時と同様に熱源水温度別に COP 分布を図 5 に示す。BEST では熱源水温度に依らない分布を示し、原点に向かって直線補間可能な分布(即ち入力電力が一定)であった。BEST では COP 特性が負荷率 25% 以下で線形補間となっていることがわかる。それに対し実測値は熱源水平均温度が 2.2°C 上昇すると COP は 14% 上昇した。熱源能力は設定した負荷率 25% で実測では 60% 以上、BEST では 65% 以上稼働していたが実測値で負荷率の変動幅が大きい。これは、実測では井水不具合状況に応じ

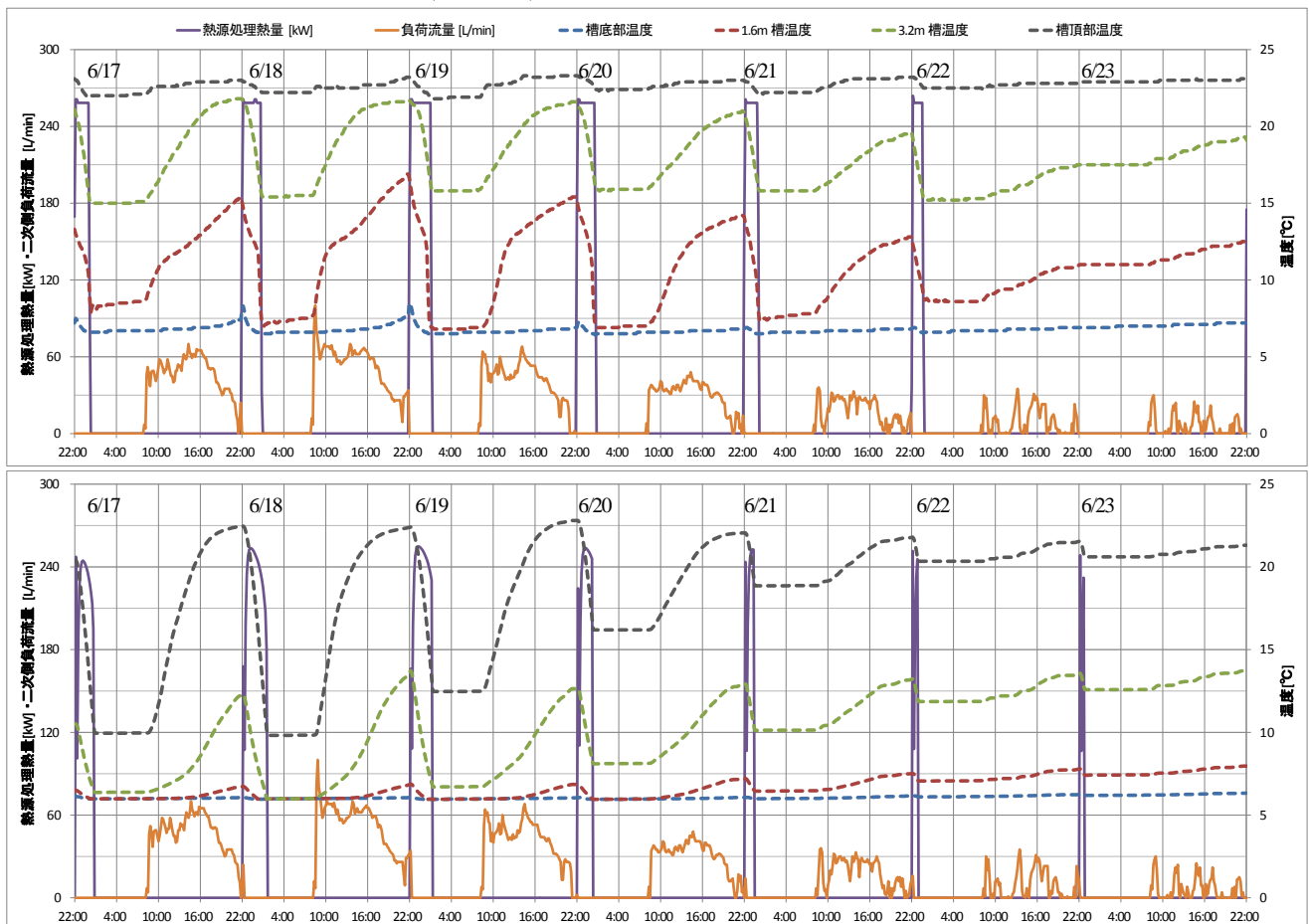


図 4.6.16 22:00~6/23 22:00 までの蓄熱槽温度、熱源処理熱量、二次側負荷流量推移(上段:実測値、下段: BEST)

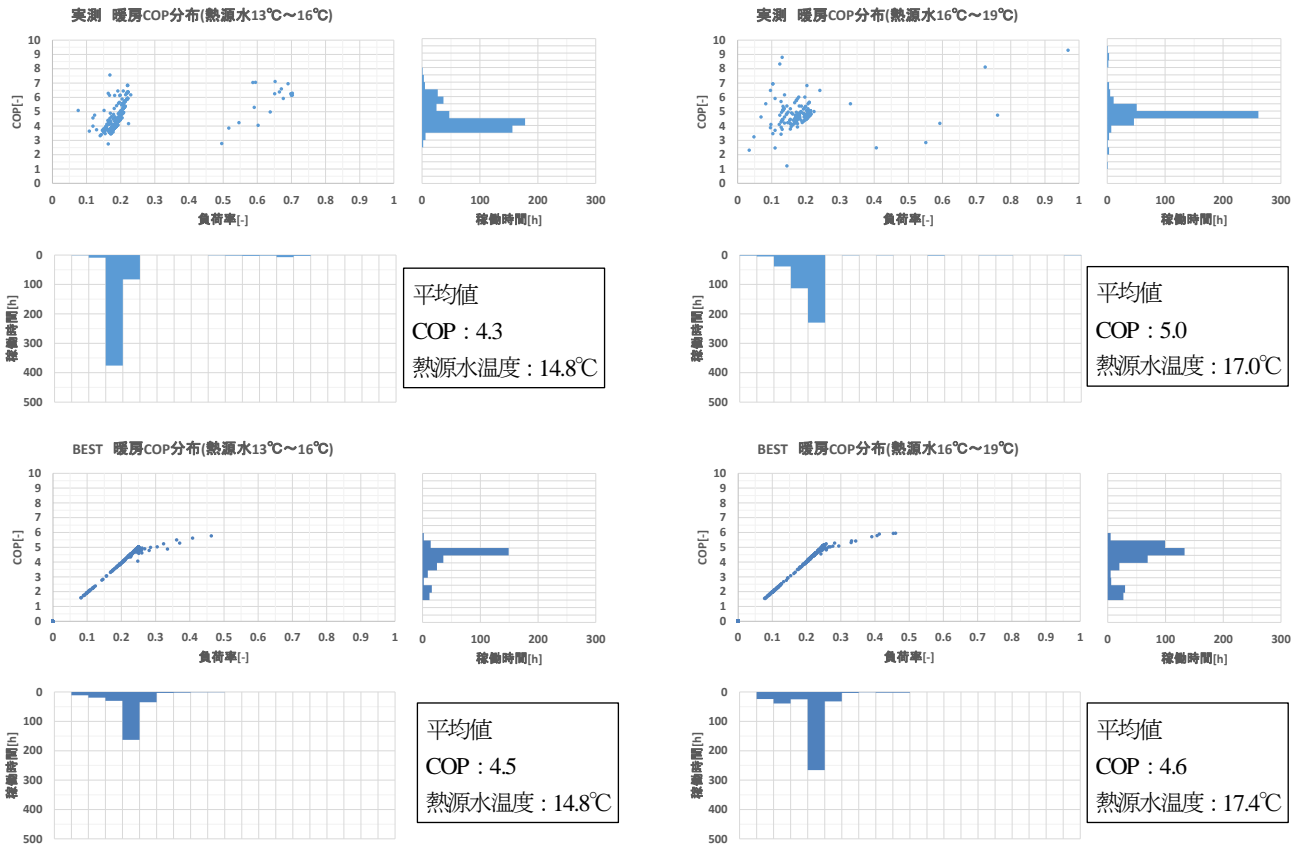


図5.水熱源HP 冬期 COP 分布 (上段:実測、下段: BEST、左段: 熱源水 13~16°C、右段: 熱源水 16~19°C)

た負荷率の調整等が影響しているが、BEST では熱源負荷率上限を 25%と設定してシミュレーションを行っているため差が生じた。

3.2 温度成層型蓄熱槽の比較

図6に暖房時の蓄熱槽温度プロフィールを示す。なお双方とも満蓄からスタートしており、負荷(2次側からの還り流量と水温)も同じである。実測値と BEST の結果を比較すると槽内の温度勾配に差が見られ、BEST では還ってきた温水が実測より槽上部まで影響を与えており、低水量時の混合モデルに誤差が生じていると推定された。また槽上部の温度推移をみると実測値で温度低下がみられるのに対し、BEST ではほとんど見られない。初期温度プロフィール(右端)の差が移流により生じたもののほか、実機での上下方向の断熱性能の不揃いも想定される。

おわりに

本報では BEST の水熱源 HP と温度成層型蓄熱槽に関して実測値との比較結果を報告した。比較を通して BEST のさらなる機能改善、精度向上に寄与できると考えている。

【謝辞】

本報は、(一財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会」および「プログラム開発委員会」・「蓄熱・蓄電等システム検討WG」の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表します。また CKK ビルの運転データの提供等にご協力頂きました名古屋大学の関係各位に御礼申し上げます。

【参考文献】

1) 中塚ほか: 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレ

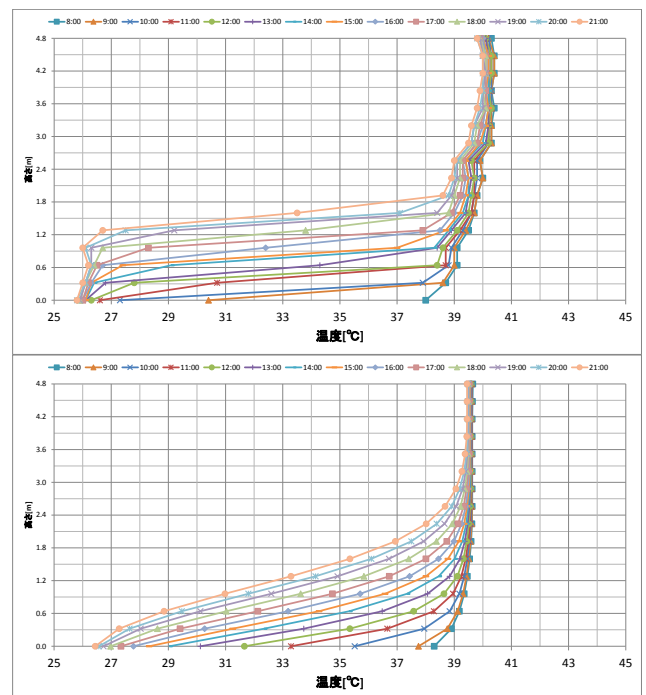


図6. 冬期代表日 放熱時 蓄熱槽温度プロフィール (上段:実測値、下段: BEST)

ーションツール「BEST」の開発(その186)、2016.9

- 2) 中原ほか: 大学施設のトータルビルコミッションングの実践研究、第1報~第19報、空気調和・衛生工学会講演論文集、2012~2015
- 3) 中原・奥宮: 省エネルギー型大温度差水蓄熱・FCU-水・空気式空調システムの性能、第1報: 概要、空気調和・衛生工学会講演論文集、2016.9