

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 218）
 入力値変更が非蓄熱と水蓄熱システムの結果に及ぼす影響

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems,
 the BEST (Part218)

Influence of Change of Input Value on Calculation Result of Air Conditioning System with
 Non-Thermal Storage and Thermal Storage

正会員 ○河路 友也（愛知工業大学） 名誉会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）
 技術フェロー 柳原 隆司（RY 環境・エネルギー設計） 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（環境システック中原研究処）

Tomoya KAWAJI*1 Shuzo MURAKAMI*2 Ryuji YANAGIHARA*3 Hisaya ISHINO*4
 Hiroshi NINOMIYA*5 Nobuo NAKAHARA*6

*1 Aichi Institute of Technology *2 Institute for Building Environment and Energy Conservation

*3 RY Environmental and Energy Design Office *4 Tokyo Metropolitan Univ. *5Nikken Sekkei Ltd. *6 NESTEC

The purpose of this study is to examine the influence of change of input value on calculation result of air conditioning system with non-thermal storage and thermal storage. Since there are many input items in BEST Professional Edition, it is important to understand the priority of each input item. In this paper, we examined the increase rate of electricity consumption when changing the input value of eleven items by comparing non-thermal storage and thermal storage.

はじめに

BEST プログラムを用いてエネルギー消費量の計算を行う場合には、建築側、設備側の多くのデータ入力が必要とする。入力支援のために、多種多様なテンプレートが用意され、利用者の負担軽減が図られているが、テンプレートの活用により、各機器の細部までの入力や確認を行わなくとも計算実行が可能となってしまう、実設計の仕様とは異なる計算となってしまう危険性もある。また、BEST ユーザーからは、多くの入力項目があり、全ての項目を詳細に入力・確認すると膨大な時間を要するため、作業効率向上・時間短縮のためにも、入力項目の優先順位を示して欲しいといった要望もある。

以上のようなことから、本稿では、BEST 専門版 (BEST1805) (以下、本ツールと称す) を利用して、入力項目の計算結果に与える影響度を明らかにするために、非蓄熱システムと水蓄熱式空調システムにおいて、様々な入力条件を変更して計算を実行し、エネルギー消費量の計算結果に及ぼす影響について、両システムを比較しながら示している。

1. 計算対象建物・設備概要

1.1 建物・空調設備概用

計算を行った建物は、本ツールの講習会で使用されている A ビルである。表-1 に建物・空調設備概要、図-1 に基準階の平面図を示す。空調計算ゾーンとしては、図-1 に

示すようにインテリアゾーンと西、東のペリメータゾーンに分けられている。エレベータホールなどのコア部分は計算対象外とし、コア部分と接する面については、内壁として処理され、隣室温度差係数 0.3 で負荷を算入している。空調方式は、各ゾーンに 1 台ずつの AHU とし、



図-1 計算対象建物基準階平面図

表-1 建物・空調設備概要

建物概要	建設地	東京都
	建物用途	事務所
	建築面積	1,497.75 ㎡
	延床面積	20,580.88 ㎡
空調設備概要	階数	地上 14 階、地下 1 階
	熱源設備	非蓄：空冷ヒートポンプ 水蓄熱：連結完全混合槽型蓄熱槽＋空冷ヒートポンプ
空調設備概要	空調方式	各階空調機＋VAV ユニット インテリア系統 (AHU1) 東ペリメータ系統 (AHU2) 西ペリメータ系統 (AHU3) 各階 1 台設置

VAV ユニットと組み合わせた方式となっている。熱源設備は、基本データでは、吸収式冷温水発生機と空冷ヒートポンプチラーの組み合わせであるが、本稿では水蓄熱式空調方式についても計算を行うため、必要熱源能力および蓄熱槽容量の設計を行った。

1.2 各システムの設計

表-2 に非蓄熱システム、表-3 に水蓄熱システムの空調関連機器表を示す。非蓄熱システムの熱源は 2 台構成として、水蓄熱システムの設計はピークシフト（熱源 24 時間運転）としたため、非蓄熱システムの熱源のほぼ半分の容量となっている。蓄熱槽の槽容量は、TESEP-W[®]を用いて算出し、30m³×24 槽で 720m³となった。二次側の仕様は同一条件としている。

2. 計算条件の設定

表-4 に入力値変更内容一覧を示す。入力値を変更する対象部位は、水蓄熱槽、熱源、1 次ポンプ、2 次ポンプ、空調機であり、合計で 11 項目について変更を行った。変更内容は設定値を変更するもの、本ツール内の選択肢を変更するものなど入力項目によって異なる。変更前基準データはデフォルト値である。この中でも、空調機の冷温水コイルについては、詳細な資料が無ければ入力が困難であり、また、本ツールでの入力においても AHU の台数が多い場合には、入力に労力と時間を要するため、ユーザーとしてはデフォルト値で計算してしまうことも多いと予想される。

表-4 入力値変更内容一覧

部位	変更項目	変更前 基準データ	変更内容				
			変更パターン1	変更パターン2	変更パターン3	変更パターン4	
水蓄熱槽	上部、下部接続バッファ槽水容積 [m ³]	15	10.00	20.00	-	-	
熱源	定格冷温水圧力損失 [kPa]	冷	15.3	10.80	19.90	-	-
		温	16.8	11.80	21.90	-	-
	定格散水量 [L/min(w)]	0	30.00	-	-	-	
	低負荷領域の計算方法	下限入力値固定	発停運転	下限COP値固定	下限入力値と中間切片	-	
1次ポンプ	定格全揚程 [kPa]	200	160.00	240.00	-	-	
2次ポンプ	定格全揚程 [kPa]	300	260.00	340.00	-	-	
空調機	冷温水 コイル	正面面積 [m ²]	No. 1	2.1	1.50	2.50	-
			No. 2	0.84	0.50	1.50	-
			No. 3	0.84	0.50	1.50	-
		列数	6	4.00	8.00	-	-
		フィン数	7	0.00	8.00	12.00	-
		チューブ数	20	15.00	25.00	-	-
		フロー種別	シングルフロー	自動	ハーフフロー	ダブルフロー	トリプルフロー

表-5 入力値変更による冷房期電力消費量増加率

部位	変更項目	冷房期電力消費量増加率 (%)								
		水蓄熱システム				非蓄熱システム				
		変更 パターン1	変更 パターン2	変更 パターン3	変更 パターン4	変更 パターン1	変更 パターン2	変更 パターン3	変更 パターン4	
水蓄熱槽	上部、下部接続バッファ槽水容積	0.69%	0.96%	-	-	-	-	-	-	
熱源	定格冷温水圧力損失	0.00%	0.00%	-	-	-0.00%	0.00%	-	-	
	定格散水量	-6.87%	-	-	-	-8.68%	-	-	-	
	低負荷領域の計算方法	0.30%	0.00%	0.00%	-0.37%	-2.65%	-1.14%	-	-	
1次ポンプ	定格全揚程	0.54%	3.55%	-	-	-3.02%	3.02%	-	-	
2次ポンプ	定格全揚程	2.02%	1.11%	-	-	0.00%	0.26%	-	-	
空調機	冷温水 コイル	正面面積	2.43%	-0.58%	-	-	0.95%	-0.11%	-	-
		列数	4.07%	-0.90%	-	-	3.11%	-0.76%	-	-
		フィン数	1.49%	-0.34%	-0.15%	-	0.22%	0.05%	-0.14%	-
		チューブ数	0.87%	3.19%	-	-	-0.44%	0.18%	-	-
		フロー種別	-1.24%	-1.80%	5.27%	6.45%	-0.56%	-0.92%	1.50%	5.60%

3. 計算結果と考察

3.1 全体の傾向

表-5 に冷房期間、表-6 に暖房期間の熱源、一次ポンプ、二次ポンプの合計電力消費量の増加率を示す。表中の値は、基準データに対する増加率を示している。マイナスの数値は電力消費量が減少したことを示している。

水蓄熱の上部、下部接続バッファ槽については、バッファ槽は蓄熱槽として機能するものではないため、電力消費量は増減しないことが望ましいが、変化が生じている。変更パターン 1 とした場合（バッファ槽容量減少）には計算が安定せず、槽内水温プロフィールが乱れた計算となることを確認している。この状態では、正常な計算結果ではないため、バッファ槽の最低槽容量の設定指針などが必要と考えられる。

熱源に関しては、定格冷温水圧力損失を変更しても、1 次ポンプ電力消費量に変化は現れなかったため、この値は 1 次ポンプの計算には影響しない入力値と考えられる。定格散水量を設定した計算では、水蓄熱・非蓄熱のいずれ

表-2 非蓄熱システムの空調関連機器表

名称	仕様				数量
空冷ヒートポンプチラー	冷却能力	1171 kW	加熱能力	1084 kW	2
	冷水量	3356L/min	温水量	3110L/min	
	冷房期消費電力	327 kW	暖房期消費電力	286 kW	
1次側ポンプ	定格流量	3356L/min	(定流量対応)		2
2次側ポンプ	定格流量	3400L/min	(インバータ対応)		2

表-3 水蓄熱システムの空調関連機器表

名称	仕様				数量
蓄熱槽 (完全連結混合槽型)	冷房期槽容量	720 m ³	暖房期槽容量	720 m ³	1
	冷房期槽数	24 槽	暖房期槽数	24 槽	
	冷却能力	1060 kW	加熱能力	1060 kW	
空冷ヒートポンプチラー	冷水量	3040L/min	温水量	2871L/min	1
	冷房期消費電力	296 kW	暖房期消費電力	280 kW	
	運転時間(蓄熱)	22:00-8:00			
1次側ポンプ	定格流量	3040L/min	(定流量対応)		1
2次側ポンプ	定格流量	3400L/min	(インバータ対応)		2

表-6 入力値変更による暖房期電力消費量増加率

部位	変更項目	暖房期電力消費量増加率 (%)								
		水蓄熱システム				非蓄熱システム				
		変更 パターン1	変更 パターン2	変更 パターン3	変更 パターン4	変更 パターン1	変更 パターン2	変更 パターン3	変更 パターン4	
水蓄熱槽	上部、下部接続バッファ槽水容積	-0.42%	0.83%	-	-	-	-	-	-	
熱源	定格冷温水圧力損失	0.00%	0.00%	-	-	-0.00%	0.00%	-	-	
	定格散水量	0.73%	-	-	-	0.00%	-	-	-	
	低負荷領域の計算方法	-0.80%	0.00%	0.00%	-	2.87%	-6.58%	-3.30%	-	
1次ポンプ	定格全揚程	17.61%	19.79%	-	-	-2.37%	3.29%	-	-	
2次ポンプ	定格全揚程	0.27%	-0.64%	-	-	0.97%	1.27%	-	-	
空調機	冷温水 コイル	正面面積	-0.05%	1.06%	-	-	0.79%	1.15%	-	-
		列数	0.06%	-0.76%	-	-	0.05%	0.34%	-	-
		フィン数	1.08%	1.08%	0.87%	-	0.33%	0.73%	1.56%	-
		チューブ数	-0.98%	2.37%	-	-	0.62%	0.61%	-	-
		フロー種別	-1.04%	-0.01%	1.94%	2.37%	0.94%	0.10%	1.42%	1.76%

も冷房期には電力消費量の削減が確認でき、水蓄熱システムの方が削減量は小さくなることと合わせて妥当な結果と考えられる。しかしながら、水蓄熱システムでは暖房期に若干ではあるが変化が見られる。散水開始外気条件に該当することは無いと考えられるが、12月の熱源本体の電力消費量が増大する結果となっていた。低負荷領域の計算方法の違いについては、3.2で詳細に示す。

1次ポンプ、2次ポンプは、定格全揚程を小さくした場合にも電力消費量が増大する結果となり、原因が不明な部分もある。図-2に水蓄熱システムの1次ポンプの定格全揚程を小さくした場合の電力消費量増加率を月別に示す。1次ポンプはいずれの月も電力消費量は減少しており、全揚程の設定値変更が反映されていると考えられるが、熱源や二次側ポンプの電力消費量が増加する月があり、合計として増加してしまっている。1次ポンプの定格全揚程の変更が、熱源の電力消費量に及ぼす影響については更に確認が必要である。2次ポンプにおいても全揚程の変更により、熱源や1次ポンプにまで変化が生じていた。

冷温水コイルの変更の結果については、増減の傾向は妥当と考えられる。3.3と3.4に正面面積とフロー種別の結果を詳細に示す。

3.2 熱源の低負荷領域の計算方法変更

熱源の低負荷領域の計算方法の違いを図-3に示す。図より、電力消費量は、下限入力値固定>発停運転>下限入力値と中間切片>下限COP値固定の関係になると予想される。水蓄熱式空調システムにおいては、基本的には低負荷運転は発生しないが、発停運転時のみ若干の電力消費量の変化が生じている。一方、非蓄熱システムでは増減が生じているが、上記の予想と反する部分は、下限値入力よりも発停制御の方が電力消費量は増加することである。図-4に月別の電力消費量増加率を示すが、低負荷運転の頻度が高まる4、11月に熱源電力消費量の減少が確認でき、発停運転設定による影響は確認できる。しかし、同月において1次ポンプの電力消費量が増加することで全体としては増加となっている。この原因は、熱源の発停に1次ポンプが連動しないこと、発停運転とした場合に低負荷にもかかわらず熱源が2台同時に運転してしまい、熱源停止時にも1次ポンプが2台運転を継続するため、1次ポンプの電力消費量が増加することを確認している。

3.3 冷温水コイルの正面面積変更

冷温水コイルの正面面積を小さくすれば出入口水温差は縮小し、大きくすれば拡大するため、2次ポンプ電力消費量への影響が予想され、水蓄熱システムでは蓄熱槽の利用温度差が縮小する弊害も予想される。図-5に水蓄熱、図-6に非蓄熱の正面面積を小さくした場合の電力消費量の変化を示す。2次ポンプの消費電力が増加することが確認でき、温度差縮小により二次側流量が増加した計算

になっていることが確認できる。水蓄熱と非蓄熱の比較では、熱源の電力消費量に差が生じており、水蓄熱では7～9月において熱源の電力消費量の増加が確認できる。

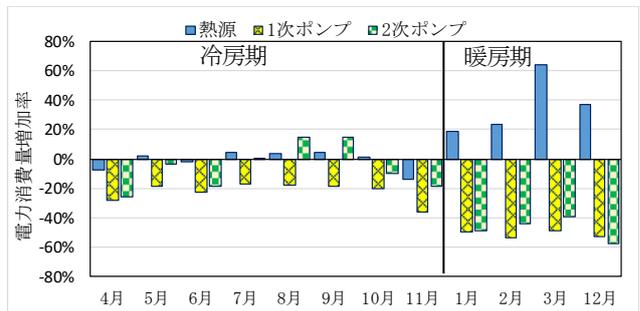


図-2 水蓄熱1次ポンプ定格全揚程変更パターン1の計算結果

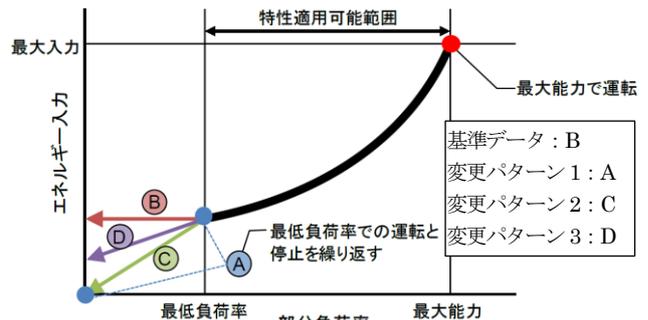


図-3 熱源低負荷運転領域計算方法(BEST 機器特性マニュアル²⁾)

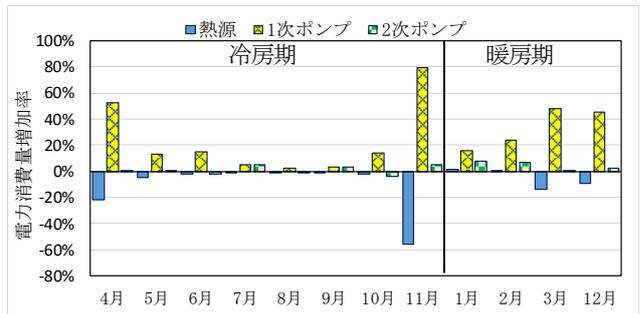


図-4 非蓄熱低負荷領域運転変更パターン1の計算結果

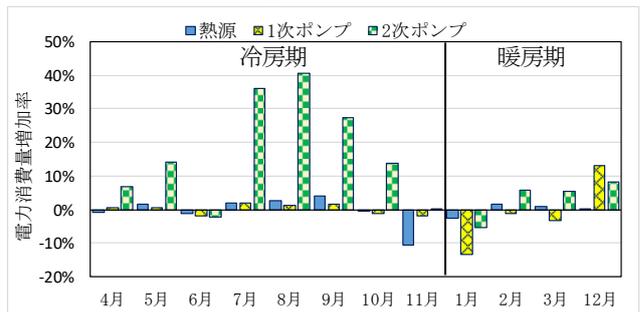


図-5 水蓄熱冷温水コイル正面面積変更パターン1の計算結果

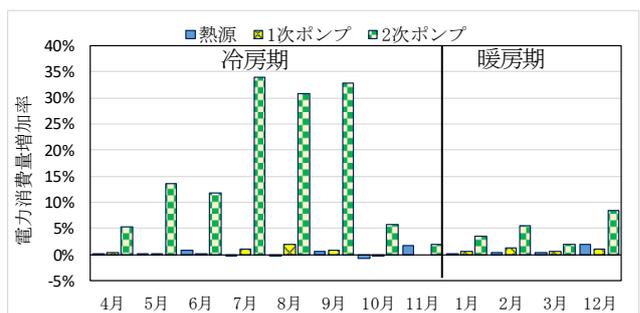


図-6 非蓄熱冷温水コイル正面面積変更パターン1の計算結果

水蓄熱の熱源については、前述の通り二次側利用温度差の縮小により、水蓄熱槽の利用熱量が減少するため、運転時間帯や時間数が異なることが予想される。図-7 に変更前、図-8 に変更後の放熱時槽内水温プロフィールを示す。正面面積を小さくした図-8 では、往還温度差が小さくなるため、蓄熱槽の利用温度差も縮小し、始端槽側水温の上昇が早期に発生していることが分かる。熱源追従運転開始判定は始端槽水温 8℃としているが、4 時間の差が生じている。また、図-8 では熱源追従運転が開始されても能力不足により二次側送水温度は上昇することになる。このように、蓄熱槽容量設計時の利用温度差とコイル仕様の整合性が取れていない場合には、正しい計算とならないため注意が必要である。

3.4 冷温水コイルのフロー種別変更

冷温水コイルはチューブとフィンで構成されるが、フロー種別は空気の通過方向のチューブ列数を示している。列数が増加すると流量が増加し、同一負荷熱量を処理する場合には出入口水温差が小さくなる。図-9 に水蓄熱システムのフロー種別による 2 次側ポンプの流量と温度差を示す。ハーフフローが最も温度差は大きくなり、流量も小さくなっていることが分かる。図-10 にハーフフロー、図-11 にダブルフローの電力消費量増加率を示す。ハーフフローでは 2 次側ポンプ電力消費量は減少し、ダブルフローでは増加している。冷房期においては、ハーフフローでは熱源電力消費量も減少傾向にあり、ダブルフローでは増加傾向にある。コイル関係の設定値は、特に水蓄熱システムにおいては、2 次ポンプのみでなく、蓄熱槽利用熱量に影響が多く、その結果、熱源の電力消費量や夜間移行率に与える影響も大きいいため、入力においては十分に注意しなければならない点である。

4. まとめ

本稿では、入力値の変更による計算結果への影響について考察を行った。エネルギー消費量への影響有無や度合いを示せたものもあるが、結果について疑問の残る項目もあるため、今後も入力値変更項目の追加と共に、出力結果の詳細な分析を行い、電力消費量増減の原因を明らかにしていく予定である。

【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」(村上周三委員長) および「プログラム開発委員会」(石野久彌委員長)、「蓄熱・蓄電等システム検討 WG」(柳原隆司主査)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、計算の実施においては、平成 29 年度愛知工業大学建築学科卒業生の伊藤智史君、加藤華君、平成 30 年度 4 年生の中島諒君に協力いただいた。記して謝意を表します。

【参考文献】

1) 河路友也、中原信生：熱源・エネルギーシステム最適設計のためのシミュレーションプログラム実用化への取り組み、日本建築学会学術講演

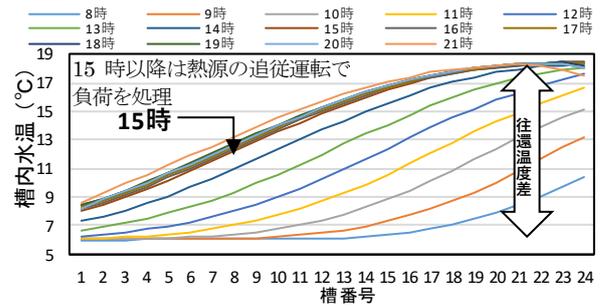


図-7 放熱時水温プロフィール (変更前)

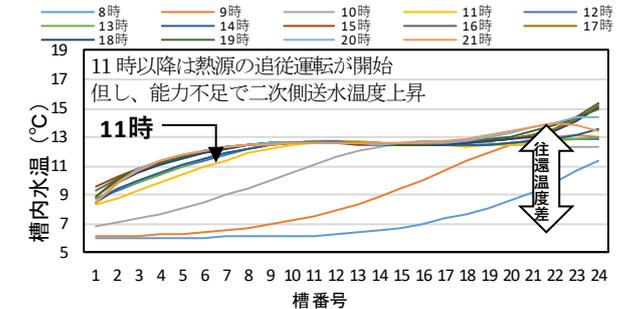


図-8 放熱時水温プロフィール (変更パターン 1)

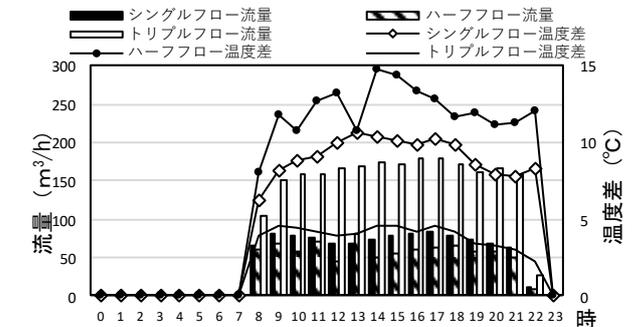


図-9 水蓄熱フロー種別による 2 次側ポンプ流量と温度差

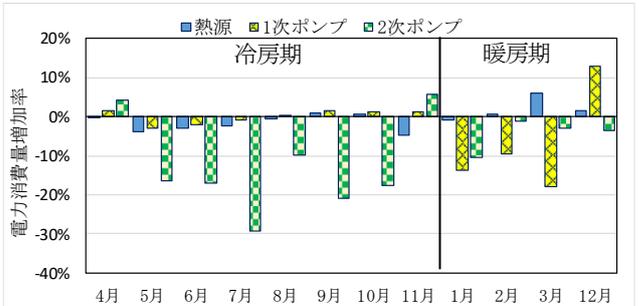


図-10 水蓄熱ハーフフローの計算結果

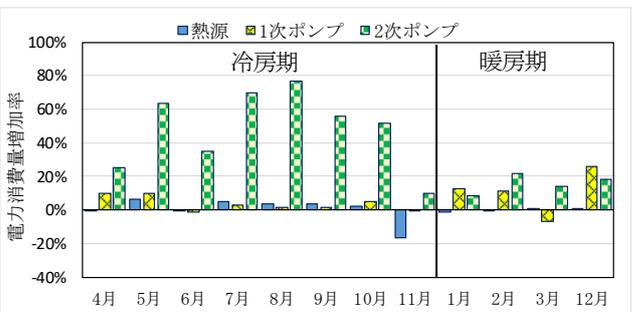


図-11 水蓄熱ダブルフローの計算結果

概観集 D-2, pp. 1123-1126, 2008

2) BEST-P 機器特性マニュアル, pp. 7-2, 図 7-2, 2014. 6

3) 伊藤智史、加藤華、河路友也：BEST プログラムの入力値が計算結果に及ぼす影響に関する研究、空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、第 19 号, pp. 103-106, 2018. 3