

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 106)

コージェネ排熱と太陽熱による複合冷房給湯システムの検証とケーススタディ

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

Part 106 Case study and verification on the combined cooling and hot water supply system using exhaust heat of cogeneration and heat from solar collector

正 会 員	○ 田端康宏	(日建設計)			
特別会員	村上周三	(建築環境・省エネルギー機構)	技術フェロー	秋元孝之	(芝浦工業大学)
技術フェロー	石野久彌	(首都大学東京名誉教授)	正 会 員	笹嶋賢一	(日本設計)
技術フェロー	野原文男	(日建設計)	正 会 員	二宮博史	(日建設計)
正 会 員	工月良太	(東京ガス)	正 会 員	佐藤 誠	(佐藤エネルギー・リサーチ)
正 会 員	辻丸のりえ	(佐藤エネルギー・リサーチ)	正 会 員	藤居達郎	(日立製作所)

Yasuhiro TABATA^{*1} Shuzo MURAKAMI^{*2} Takashi AKIMOTO^{*3}
 Hisaya ISHINO^{*4} Kenichi SASAJIMA^{*5} Fumio NOHARA^{*1} Hiroshi NINOMIYA^{*1}
 Ryota KUZUKI^{*6} Makoto SATOH^{*7} Norie TSUJIMARU^{*7} Tatsuo FUJII^{*8}
^{*1} Nikken Sekkei Co., Ltd. ^{*2} Institute for Building Environment and Energy Conservation
^{*3} Shibaura Institute of Technology ^{*4} Tokyo Metropolitan University ^{*5} Nihon Sekkei Co., Ltd.
^{*6} Tokyo Gas Co., Ltd., Ltd. ^{*7} Satoh Energy Research Co. ^{*8} Hitachi, Ltd.

This paper describes the case study and verification on the combined cooling and hot water supply system using exhaust heat of cogeneration and heat from solar collector. The verification is to compare the measured data of a real building and the simulation data using the BEST program. The case study was carried out for energy-saving operation. We report a case of utilizing the case study using the BEST program.

はじめに

BEST コージェネレーション検討サブワーキンググループ (SWG) では、コージェネレーションシステム (以下、CGS と表記) の複雑な制御を BEST で再現するため、関連モジュールの開発やシミュレーションモデルの作成などを行ってきた¹⁾。既報²⁾では、CGS と太陽熱集熱による複合熱源システム例のモデルを作成し、機器廻りにおける時刻別の温度変動を中心に動作確認を行った。

本報では既報²⁾での検討を基に、CGS と太陽熱集熱の複合システムを具備した実在ビルを対象に、その実測値と BEST による計算値を比較することで複合システムの検証を行う。また、熱源システムのケーススタディを行い、省エネルギー検証に関する BEST の活用例について報告する。

1. 熱源モデルと計算条件

1-1. システムの特徴と入力条件

本報で参考とした対象建物は、床面積 1,500m² 程度の事務所本社ビルである。図 1 に熱源システムのモデル^{注1)}を示す。熱源システムの特徴としては、①太陽熱集熱システムと CGS 排熱利用システムが指定時間別に並列運転することができる点、②排熱利用の順序が冷房→暖房→給湯である点、③冷温水システムは温水焚吸収冷凍機 (以下温水焚と表

記) を吸収式冷温水発生機 (以下吸収式と表記) の予冷熱源として活用している点、以上の 3 点があげられる。表 1 に主要機器の入力条件を示す。実在ビルの機器とほぼ同様の機器仕様を入力している。

1-2. 境界条件

境界条件は、冷温水還り温度、給湯用給水の温度、気象条件 (外気温湿度及び日射量) の 3 種とした。それぞれ実測値を入力値としており、CSV 形式データから読み込めるように作成している。日射の実測データは全天日射量であるため、BEST で入力可能とするべく、直達日射量と天空日射量に分離している^{注2)}。

1-3. 二次側模擬モジュール

二次側模擬モジュールは、冷温水行き温度が目標出口温度に達しなかった場合、冷温水還り温度に熱量を加算するモジュールである。これにより熱源システムのケーススタディ時に未処理負荷が生じて、次計算ステップ時に反映することができる。

2. 夏期代表日における実測値と計算値の比較

2-1. 境界条件の特徴

夏期代表日として 2011 年 8 月 24 日を選定した。図 2 に境界条件である実測データを示す。午後 1 時頃には 1,000W/m² 程度の全天日射量を記録し、日中の外気温度

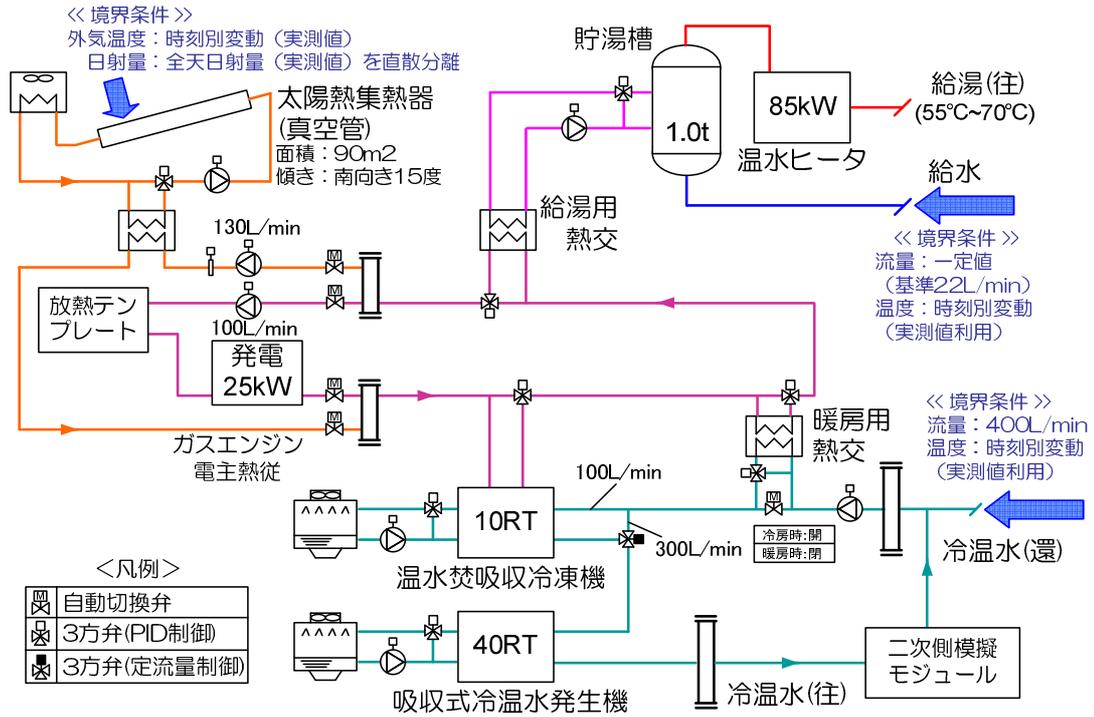


図1. 熱源システムのモデル

表1. 主要機器の入力条件

a) ガスエンジン		b) 太陽熱集熱器		c) 温水焚吸収冷凍機	
定格発電出力	25 kW	面積	90 m ²	定格冷却能力	35 kW
定格発電効率	33.5 %	タイプ	真空ガラス管*1)	定格入口温度	75 °C
定格排熱回収効率	51.5 %	設置方位	真南	下限出口温度	70 °C
定格排熱温水流量	100 L/min	設置傾斜角	15 °C	定格温水流量	144 L/min
		*1)特性値は切片0.83、傾き5.3とする		目標温水熱量	50 kW
				冷水	目標出口温度 7 °C
				定格入口温度	12 °C
				定格流量	100 L/min
				冷却	定格入口温度 31 °C
				定格出口温度	35 °C
				定格流量	300 L/min

d) 吸収式冷温水発生機		e) 真空温水ヒータ	
冷水出口水温設定値	7 °C	出口水温設定値	55 °C
温水出口水温設定値	55 °C	定格能力	85 kW
定格冷却能力	141 kW	定格流量	50 L/min
定格暖房能力	123 kW	定格消費ガス	94 kW
定格冷温水量	400 L/min		
定格冷却水量	610 L/min		
定格ガス消費量(冷房)	135 kW		
定格ガス消費量(暖房)	185 kW		

が30°C以上となる晴天日である。空調の冷水還り温度は10°C前後、給湯の給水温度は20°C~25°Cで推移している。

2-2. 太陽熱集熱器の出口温度比較

太陽熱集熱器の入力条件は集熱器特有の特性値が必要となる。本報では特性値が得られなかったため、BEST入力画面に記載されている特性値を用いた。図3に集熱器出口温度の実測値と計算値の比較を行った結果を示す。実測データである循環流量と入口水温、及び図2の気象条件を入力した結果、概ね出口温度が一致することが確認できた^{注3)}。

2-3. 排熱システムの生成熱量及び利用熱量の比較

排熱システムの熱収支について、実測値と計算値を比較する。図4では、実測値で1,524MJ、計算値で1,475MJ/日

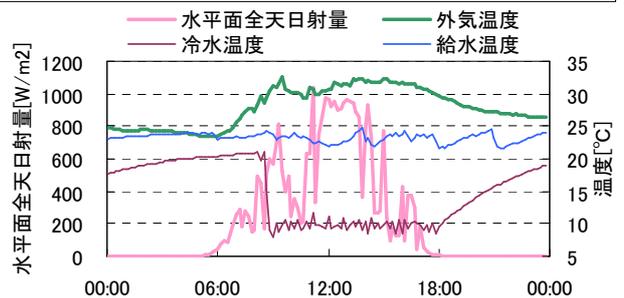


図2. 夏期代表日の境界条件

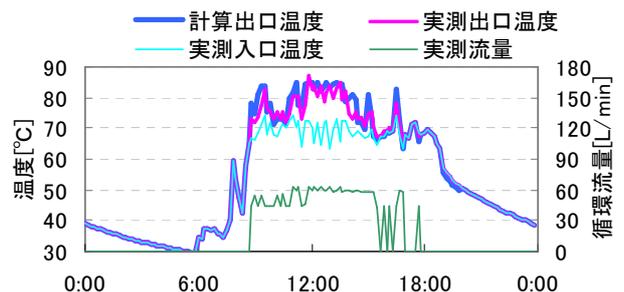


図3. 太陽熱集熱器の出口温度比較

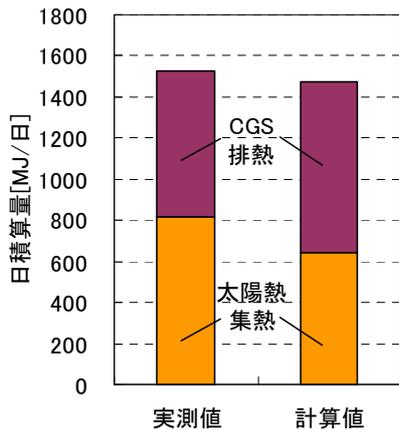


図4. 排熱生成熱量の比較

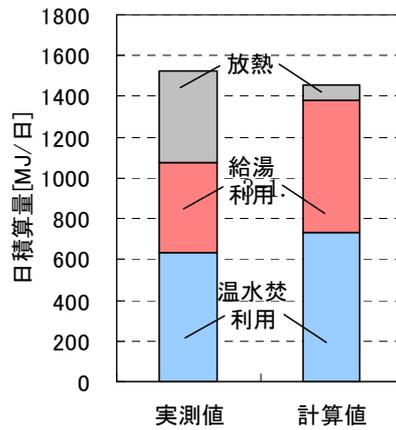


図5. 排熱利用熱量の比較

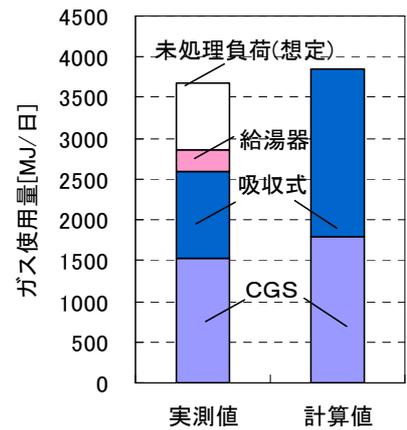


図6. ガス消費量の比較

の熱量を生成としており、ほぼ同等となった(誤差3.3%)。しかし内訳では太陽熱集熱の実測値が大きくなっている。これは太陽熱集熱器の入口温度が影響する。図7-1、7-2に集熱器の出入口温度を示す。実測値では排熱系統の下限温度70℃前後で推移している。集熱器ラジエータの稼働温度が85℃であるため、計算値よりも多くの温度差が確保できるため、実測値の集熱量が多くなったと言える。

図5では排熱利用の内訳を比較している。実測値の放熱は、総生成熱量から給湯と温水焚の利用熱量を減じた数値とした。具体的には冷却塔放熱、配管熱ロスが含まれると考えられる。計算値の給湯利用量が実測値よりも210MJ多く排熱利用できている分、給湯器のガス消費量が削減できていることが確認できた(図6参照)。また吸収式ガス使用量の計算値が実測値の2倍程度に増えているのは、実測値に未処理負荷があるためである。図7-3で示した未処理負荷は日積算値で850MJであり、仮に定格COP1.05で処理すると、建物全体ガス消費量の計算値は実測値とほぼ同程度と言える。

以上から、実在システムとシミュレーションとの制御方式に差異があると思われるものの、夏期でのケーススタディを行う基準ケースを整備することができた。

3. 複合システムのケーススタディ

表2にケーススタディ項目を示す。温水焚と吸収式の熱源構成に着目し、4ケースの比較検討を行う。Case1は送水温度を緩和する案であり、空調室温を上げるなどの熱負荷そのものを低減した場合である。Case2は温水焚と吸収式を並列にした場合であり、冷水還り温度が直接に吸収式へ繋がることによる、吸収式の効率向上を期待した。Case3は吸収式の熱源容量を40RTから30RTに縮小し、部分負荷効率の向上を意図した案である。Case4は温水焚20RT、吸収式30RTの容量按分に変更し、より多くの排熱利用を図ろうとする試算である。

表3に吸収式及び温水焚の日積算処理熱量を示す。

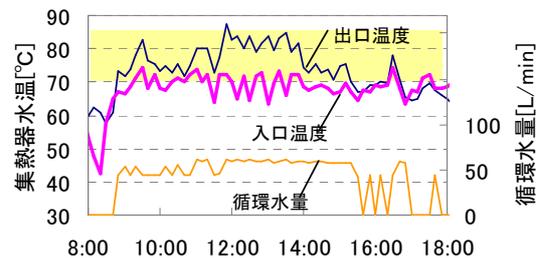


図7-1. 太陽熱集熱器の実測値

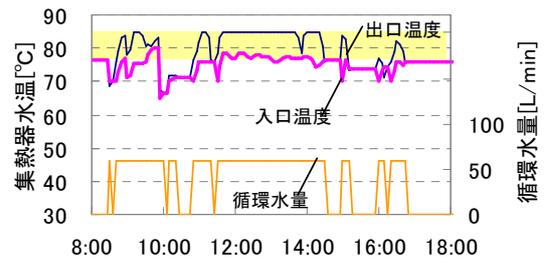


図7-2. 太陽熱集熱器の計算値

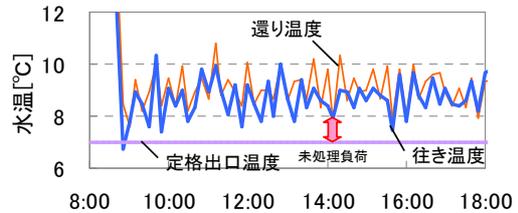
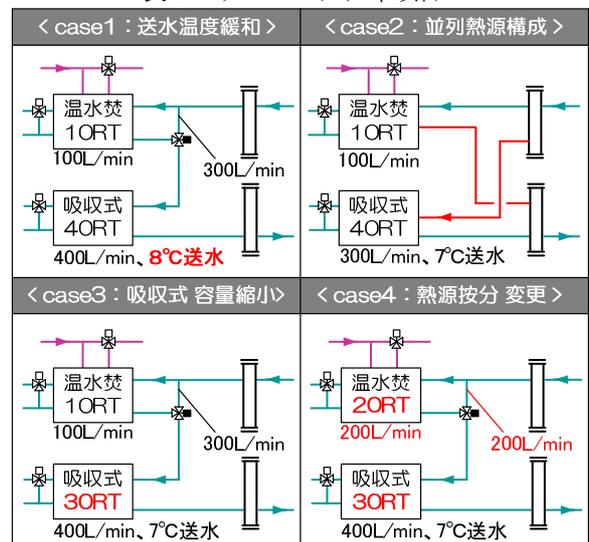


図7-3. 吸収式の実測値

表2. ケーススタディ項目



前述の二次側模擬モジュールを作成したことで、合計の日積算処理熱量は2800MJ程度で同じとなっている。熱源にかかる処理熱量が最も少ないのは、送水温度を緩和したcase1である。しかし、図8に示すようにcase1では目標出口温度を8°Cとしているにも関わらず、二次側送水温度が9°C程度となる場合がある。これは温水焚にて運転する最低負荷率を下回ったことでバイパスしたためである。また図8にてcase3及びcase4にて目標設定温度7°Cに達していないのは、吸収式の定格冷温水流量275 L/minに対して400L/minが過流量となったためであり、機器内でバイパスした結果である。

図9に検討ケース別の吸収式ガス消費量と温水焚排熱利用量及び日積算期間 COP^{注4)}を示す。並列熱源構成case2にて基準ケースと大差がなかったのは、冷水還り温度があがったものの、冷水流量が減ったため、負荷率が変わらなかったためである。熱源按分を変更したcase4では温水焚の排熱利用量が増加し、全処理熱量の23%分の冷水供給を賄った。同時にガス消費量も削減され、case2～case4の中で最も少ない結果となった。

表3. 吸収式及び温水焚の日積算処理熱量

日積算処理熱量[MJ/日]	基準	case1	case2	case3	case4
吸収式	2335	1379	2269	2242	2173
温水焚	493	469	537	570	645
送水温度差の熱量	0	957	0	0	0
合計	2827	2805	2806	2812	2818

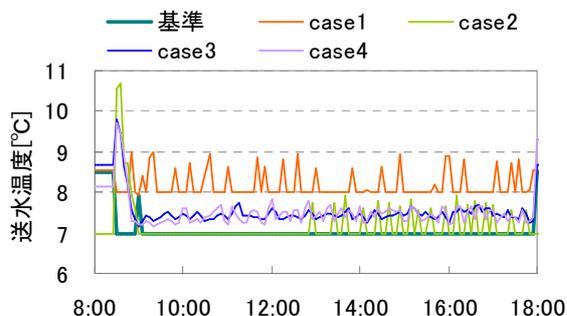


図8. 検討ケース別の二次側送水温度

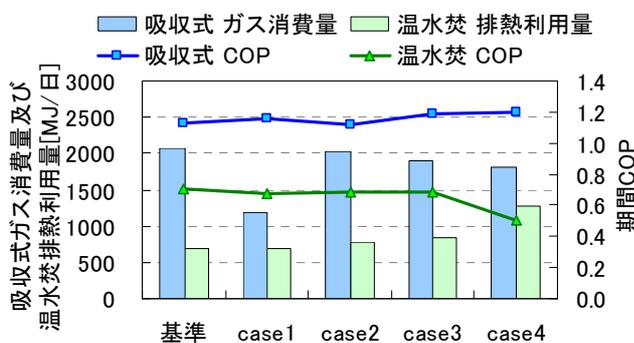


図9. 検討ケース別のガス消費量と排熱利用量及び日積算期間COP

4. まとめ

本報では、CGS排熱と太陽熱による複合冷房給湯システムを具備した実在ビルの実測値と、BESTによる同システムのシミュレーション結果を比較し、それらが概ね一致することを確認した。またBESTによるケーススタディを実施し、省エネ運用のためのケーススタディを実施した。

今後は、①シミュレーション期間の延長、②温水焚吸収冷凍機のモジュールバージョンアップへの対応³⁾、③ケーススタディ例の充実を中心に検討を進める予定である。

【謝辞】

本報は、(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)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、クラス構想WG(石野久彌主査)、コージェネレーション検討SWG(秋元孝之主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。

コージェネレーション検討SWG名簿(順不同)主査:秋元孝之(芝浦工業大学)、副主査:笹嶋賢一(日本設計)、委員:野原文男、二宮博史、田端康宏(以上、日建設計)、昆野京一郎(ヤンマーエネルギーシステム)、藤居達郎(日立製作所)、佐藤誠、辻丸のりえ(佐藤エネルギーリサーチ)、工月良太(東京ガス)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

【注記】1) 本報では実測データを完全に再現することが目的ではなく、熱源システムのケーススタディを行うことを主目的としている。従って実在する熱源システムから一部変更し、モデル化を行った(①冷却塔一体型の吸収式冷温水発生機を計算上分離している点、②マイクロコージェネレーションを発電機と冷却塔に分離している点が主としてあげられる)。また発停制御や温度制御については、既報(2)を参照とする。2)直分散離には渡辺の式を使用した。3)実在ビルにおける太陽熱集熱器のラジエータは、循環水温度85°Cで起動する。本報ではその制御に依り、集熱器出口温度が85°Cを超えないよう、太陽熱集熱器モジュールの改造を行った。4)吸収式COPは処理熱量に対するガス消費量の割合、温水焚COPは処理熱量に対する排熱利用量の割合として算出した。

【参考文献】

- 1)佐藤、村上、秋元、石野、笹嶋、野原、二宮、田端、工月: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56)コージェネレーションシステムプログラムの特徴、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.707-710、2009.9
- 2)田端、村上、秋元、石野、野原、佐藤、工月、二宮、笹嶋: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92)コージェネレーションと太陽熱による複合システムの計算例、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1731-1734、2011.9
- 3)小川、村上、石野、工月、藤居、柳井、石崎、品川: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111)吸収式冷凍機・ヒートポンプの新規モデルの特性、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2012.9(投稿予定)