

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150）
 平成25年省エネ基準対応ツールを用いたホテルにおけるコージェネレーションシステムの試算
Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST
Part 150 Simulation Study of cogeneration system in hotels using BEST for energy conservation standards (2013)

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)
 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 藤居達郎 (日立製作所)

Makoto SATOH^{*1} Norie TSUJIMARU^{*1} Shuzo MURAKAMI^{*2} Takashi AKIMOTO^{*3} Hisaya ISHINO^{*4}
 Kenichi SASAJIMA^{*5} Fumio NOHARA^{*6} Hiroshi NINOMIYA^{*6} Ryota KUZUKI^{*7} Tatsuo FUJII^{*8}
^{*1} Satoh Energy Research 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} Nikken Sekkei Co., Ltd. ^{*7} Tokyo Gas Co., Ltd. ^{*8} Hitachi, Ltd.

The BEST cogeneration study sub working group has been developed simulation models related to cogeneration systems(CGS) since 2008 to simulate CGS using the BEST program. This paper describes simulation case studies of cogeneration system in a hotel which has high hot water loads using BEST for energy conservation standards (2013) and summarizes input items about CGS and exhaust heat utilization equipments. Simulation case study results show that exhaust heat is used efficiently for hot water loads in most cases, and it would be better to use exhaust heat for hot water load than cooling/heating load.

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)の評価を BEST で実施するため、CGS の構成要素機器の計算モデルの作成と関連モジュールの開発を行ってきた。これまでの主な活動内容を表 1 に示す。

一方、昨年度より平成25年に改正された省エネルギー基準(以下、平成25年省エネ基準)に対応した BEST 平成25年省エネ基準対応ツールを用いた試算も行っている。初期バージョンでは、CGS 排熱を空調だけに利用できたことから、既報¹⁾では BEST 平成25年省エネ基準対応ツール Ver.1.0.5 を用いて事務所を対象とした CGS の設計例とケーススタディ結果について報告した。Ver.1.0.10 より CGS 排熱を給湯に利用できるように拡張されたため、本報では給湯需要の多いホテルを対象とした CGS のケーススタディを行ったので報告する。また合わせて BEST 平成25年省エネ基

準対応ツールでの CGS の入力項目についても紹介する。なお本報は執筆時点における最新版である Ver.1.1.2 を用いて記載しているが、今後のバージョンアップにより変更になる箇所がある可能性もある。

1. BEST 平成25年省エネ基準対応ツールの CGS の入力項目

1.1 「コージェネ」の入力画面

BEST 平成25年省エネ基準対応ツールにおける CGS 排熱を空調に利用するときの入力画面、入力項目は既報¹⁾に示した通りである。コージェネの入力画面では、発電機制御方式、発電機の台数および仕様、放熱用冷却塔の仕様、排熱利用の優先順位と運転スケジュール等について入力する。排熱利用側である空調熱源や給湯熱源については、それぞれ「空調/中央熱源」、「給湯」の入力画面で設定を行う。

1.2 「空調/中央熱源」の入力画面

表 1 BEST コージェネ検討 SWG の主な活動内容

平成 20(2008)年度	平成 21(2009)年度	平成 22(2010)年度	平成 23(2011)年度	平成 24(2012)年度	平成 25(2013)年度
<ul style="list-style-type: none"> CGS 関連モジュールのモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> 建築、空調、電気、衛生との連成計算 デシカント空調機の計算モデル作成 BEST 省エネルギー計画書作成支援ツールの整備 	<ul style="list-style-type: none"> テンプレート構成の見直し 排熱利用順序の変更 太陽熱集熱器の計算モデル作成 	<ul style="list-style-type: none"> 発電制御方式の拡充 既存モジュールの機器特性テスト CGS と太陽熱の複合熱源システムのシミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> 排熱投入型吸収冷温水機の計算モデルの拡張 蒸気利用 CGS のモデル化検討 冷却水変流量制御の検証、最大電力の低減効果検証 	<ul style="list-style-type: none"> 蒸気利用 CGS 構成機器の計算モデル検討 BEST 平成25年省エネ基準対応ツールの整備

冷暖房熱源に CGS 排熱を利用する場合は、「空調/中央熱源」の入力画面で排熱を利用できる熱源機器を登録する。排熱を利用できる熱源機器は、Ver. 1.1.2 では「吸収式冷温水発生機/排熱投入型」(排熱を冷房のみに使用する機種)および「温水熱交換器(CGS 排熱)」が選択できる。各熱源の入力画面を図 1 および図 2、主な入力項目を表 2 に示す(表中では一次ポンプ、冷却塔等の入力項目は省略している)。なお熱源グループの登録画面では左端に配置している熱源から優先運転をするため、暖房時に CGS 排熱を優先して利用する場合は、温水熱交換器を左端に配置する必要がある。

要がある。

「吸収式冷温水発生機/排熱投入型」の入力項目において、冷房の燃料消費量(排熱なし時)、単独運転負荷率、定格排熱回収量の関係を図 3 に示す。排熱単独運転負荷率とは、図中に示すように排熱単独運転が可能となる限界の負荷率であり、カタログには数値もしくはグラフで示されている。負荷率が排熱単独運転負荷率以上の場合、排熱とガスとの併用運転となる。

1.3 「給湯」の入力画面

CGS 排熱は二管式中央給湯方式の場合に利用できる。二管式中央給湯方式の入力画面を図 4 に示す。「コージェネ排熱利用」の有無にチェックを入れ、予熱槽容量を入力する。給湯用の CGS 排熱熱交換器は熱交換量、定格流量等が自動設計されるため、入力が行わなくてもよい。

2. ホテルを対象としたケーススタディ

BEST 平成 25 年省エネ基準対応ツール ver1.1.2 を用いて、ホテルを対象とした CGS のケーススタディを行った。

2.1 シミュレーション条件

試算対象は、東京に建つ約 10,000 m²の地上 7 階建てのホテルとした。ここでは宴会場などを有しないいわゆるビジネスホテルを想定したモデルとした。発電機および給湯、冷

図 1 吸収式冷温水発生機/排熱投入型の入力画面

図 2 温水熱交換器(CGS 排熱)の入力画面

表 2 CGS 排熱利用熱源機器の主な入力項目

熱源機器	入力項目	備考
吸収式冷温水発生機/排熱投入型	冷房/暖房能力(kW)	
	冷房/暖房消費電力(kW)	
	冷房/暖房燃料消費量(kW)	冷房は排熱なし時の燃料消費量を入力(図 3 参照)
	冷房/暖房出口温度(°C)	
	排熱単独運転負荷率(%)	図 3 参照
	定格排熱回収量(kW)	図 3 参照
温水熱交換器(CGS 排熱)	熱交換量(kW)	
	一次側出口水温(°C)	
	二次側出口水温(°C)	

表 3 発電機、熱源機仕様

● 網掛け: 入力画面上で自動計算されるもの

機器	項目	仕様
発電機	発電機種類	ガスエンジン
	発電出力	定格 100kW、最小 50kW
	定格発電効率	40.5% (LHV 基準)
	定格排熱回収効率	34.5% (LHV 基準)
	補機動力電力消費率	5%
	発電機運転期間	24 時間運転
	ガス給湯器	加熱能力
	ガス消費量	707kW
	定格効率	0.92
	貯湯槽容量	貯湯槽: 15m ³ 、コージェネ排熱予熱槽: 15m ³
吸収式冷温水発生機/直燃二重効用/高効率	定格能力	冷房: 352kW、暖房: 231kW
	定格ガス消費量	冷房: 274kW、暖房: 274kW
	定格 COP	冷房: 1.27、暖房: 0.84
	定格消費電力	2.34kW
	定格流量	冷温水: 630L/min、冷却水 1667L/min
吸収式冷温水発生機/排熱投入型	定格能力	冷房: 352kW、暖房: 231kW
	定格ガス消費量	冷房: 274kW(排熱なし)、暖房: 274kW
	定格 COP	冷房: 1.27、暖房: 0.84
	定格消費電力	2.34kW
	定格流量	冷温水: 630L/min、冷却水 1667L/min
温水熱交換器	排熱利用	排熱単独運転負荷率: 43%、定格排熱回収量: 111kW
	熱交換量	85kW
	定格流量	244L/min(温度差 75°C→55°C)

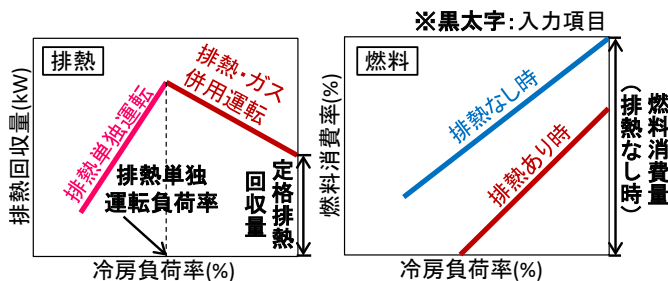


図 3 吸収式冷温水発生機/排熱投入型の入力項目の関係

図 4 二管式中央給湯方式の入力画面

房、暖房の各熱源仕様を表 3、主な空調対象室の空調方

表 4 主な空調対象室の空調方式

空調対象室	熱源	空調方式	運転スケジュール
1階エントランス	中央式	FCU	24時間運転
1階ロビー	中央式	空調機(VAV)	24時間運転
1階フロント	中央式	空調機(VAV)	24時間運転
1階ラウンジ	中央式	空調機(VAV)	24時間運転
1階レストラン	個別分散	ビルマルチ	6:00~21:00
1階事務室	個別分散	ビルマルチ	7:00~21:00
2-7階客室	中央式	外調機(CAV) ^{※注} +FCU	19:00~翌10:00

※注:外調機の吹出温度は冷房時26℃、暖房時22℃で固定となる

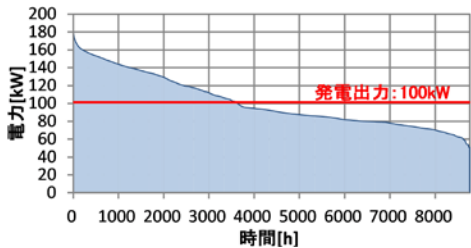


図 5 直焚吸収式冷温水機使用時の電力消費デューションカーブ

式と空調運転スケジュールを表 4 に示す。また、空調の熱源に直焚吸収式冷温水機を使用した場合の電力消費のデューションカーブを図 5 に示す。

2.2 ケーススタディ条件

表 5 に示すケーススタディ条件に基づき試算を行った。ケース1は CGS なしを想定したケース、それ以外はすべて CGS ありのケースであり、ケース 2(100kW ガスエンジン電主熱従)を基準ケースとして発電制御方式、排熱利用の優先順位、発電出力等を変更した。表中の赤字箇所はケース 2 と異なる部分を示している。

2.3 ケーススタディ結果

ケーススタディ結果として年間一次エネルギー消費量と年間発電効率、平均発電負荷率を図 6 に示す。図中の赤枠および赤太字で示しているのは年間一次エネルギー消費量の合計(一次エネルギー消費量合計-CGS 発電量)である。また、図 7 に空調熱源ガス消費量と熱源群 COP、図 8 に排熱収支を示す。全てのケースで冷房の空調熱源ガス

表 5 ケーススタディ条件

●赤太字: ケース 2(基準ケース)と異なる部分

No	ケース名	CGS 採用	発電制御方式	発電出力 [kW]		発電機台数	排熱利用の優先順位			冷暖房熱源	予熱槽容量 [m ³]
				最大	最小		1位	2位	3位		
ケース 1	直焚吸収式	なし	—	—	—	—	—	—	—	直焚吸収式×2台	—
ケース 2(基準)	電主熱従	あり	電主熱従	100	50	1	給	冷	暖	排熱投入型吸収式冷温水発生機×1台 直焚吸収式×1台	15
ケース 3	出力一定	あり	出力一定	100	50	1	給	冷	暖		15
ケース 4	熱主熱従・逆潮あり	あり	熱主熱従・逆潮あり	100	50	1	給	冷	暖		15
ケース 5	熱主熱従・逆潮なし	あり	熱主熱従・逆潮なし	100	50	1	給	冷	暖		15
ケース 6	発電機運転なし	あり	電主熱従(運転なし)	100	50	1	給	冷	暖		15
ケース 7	電主熱従・冷暖給	あり	電主熱従	100	50	1	冷	暖	給		15
ケース 8	電主熱従・予熱槽半分	あり	電主熱従	100	50	1	給	冷	暖		7.5
ケース 9	50kW 電主熱従	あり	電主熱従	50	25	1	給	冷	暖		15
ケース 10	50kW×2 台電主熱従	あり	電主熱従	50	25	2	給	冷	暖		15
ケース 11	200kW 電主熱従	あり	電主熱従	200	100	1	給	冷	暖		15
ケース 12	200kW 出力一定	あり	出力一定	200	100	1	給	冷	暖		15
ケース 13	200kW 熱主熱従・逆潮あり	あり	熱主熱従・逆潮あり	200	100	1	給	冷	暖		15
ケース 14	200kW 熱主熱従・逆潮なし	あり	熱主熱従・逆潮なし	200	100	1	給	冷	暖		15

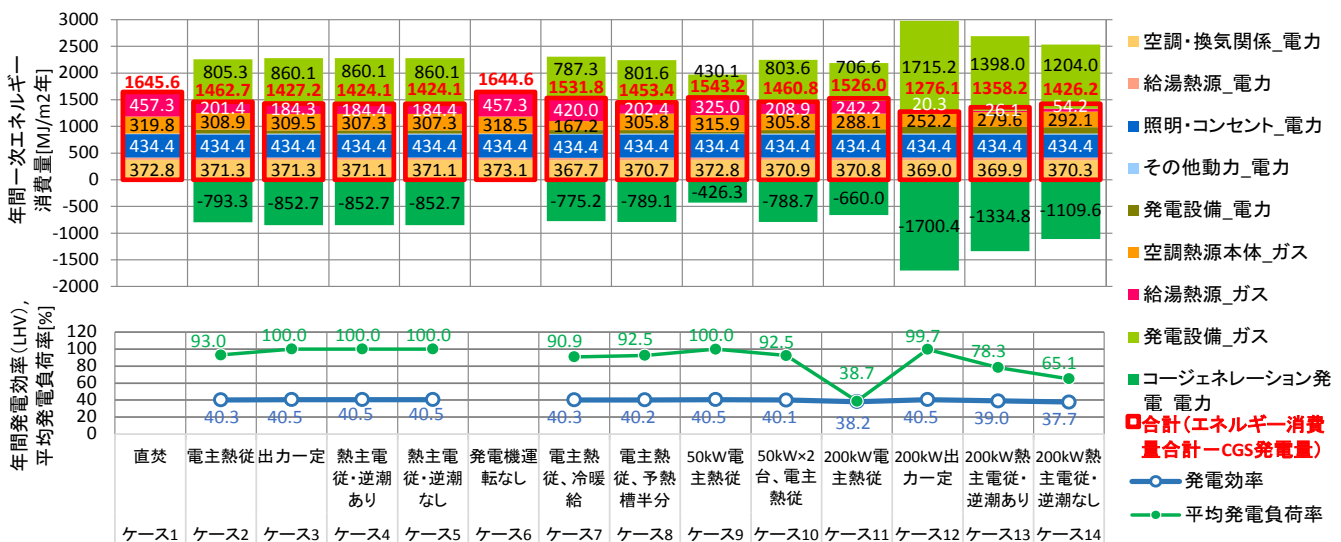


図 6 ホテルにおける CGS のケーススタディ結果(一次エネルギー消費量)

※空調・換気関係_電力:空調熱源本体、空調熱源補機、空調空気搬送、換気の電力

※その他動力_電力:昇降機、給排水、その他の電力

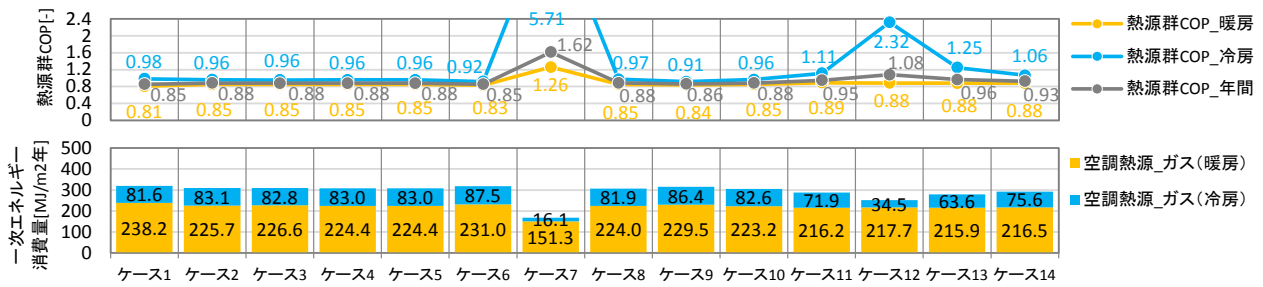


図 7 ホテルにおける CGS のケーススタディ結果(空調熱源ガス消費量)

● 暖房は 12~3 月、冷房は 4~11 月の空調熱源ガス消費量。熱源群 COP は熱源負荷/空調熱源ガス消費量により算出。

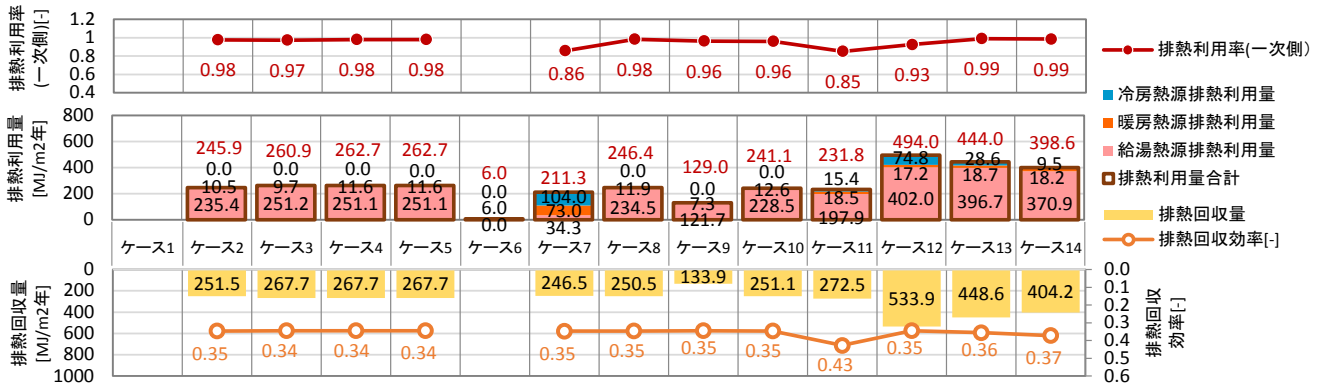


図 8 ホテルにおける CGS のケーススタディ結果(排熱収支)

- 排熱回収量[MJ/m²年]=発電用ガス消費量[MJ/m²年]×排熱回収効率[-]×低位発熱量[MJ/m³N]/高位発熱量[MJ/m³N]、排熱回収効率は平均発電負荷率より算出
- 冷房熱源排熱利用量[MJ/m²年]=空調熱源ガス削減量(冷房)×ガス燃え時 COP1.27÷排熱利用時 COP0.8
- 暖房熱源排熱利用量[MJ/m²年]=空調熱源ガス削減量(暖房)×ボイラ効率 0.84
- 給湯熱源排熱利用量[MJ/m²年]=給湯熱源ガス削減量×ボイラ効率 0.92
なお、ガス削減量はケース1(直焚)との差とし、マイナスになる場合は 0(排熱利用なし)とする
- 排熱利用率(一次側)[-]=排熱利用量合計[MJ/m²年]/排熱回収量[MJ/m²年]

消費量が暖房に比べて小さいのは、表 4 に示すように客室系統の外調機は冷房時吹出温度が 26℃固定であり、かつ外気温度の低い夜間を主体に運転するためである。

ケース 7(冷暖給)および発電出力を 200kW としたケースを除き、ほとんどの CGS ありのケースで排熱を主に給湯で使用しており、空調熱源ガス消費量はケース 1(直焚)と大きく変わらなかった。冷房の空調熱源ガス消費量はケース 1(直焚)と比較して微増となるが、これは排熱投入型吸気式冷温水発生機の機器特性に起因するものと考えられる。

ケース 4、5(熱主電従逆潮あり/なし)では、熱需要に比べて発電機の排熱の出力が小さいため、ケース 3(発電出力一定)と同じ結果となった。発電出力を 200kW としたケース 13、14 では熱需要に応じた制御が行われており、給湯、空調の各熱源ガス消費量もケース 2 と比較して減となった。

ケース 7(冷暖給)ではケース 2 よりも年間一次エネルギー消費量合計が大きくなり、排熱は給湯で優先的に使用した方がよい結果となった。ケース 8(予熱槽半分)ではケース 2 よりも給湯熱源ガス消費量が微増となるものの、年間一次エネルギー消費量合計は微減であった。ケース 9(50kW 電主熱従)では排熱が十分でないためケース 2 よりも年間一次エネルギー消費量合計が大きくなった。

3. まとめと今後の課題

BEST 平成 25 年省エネ基準対応ツール Ver.1.1.2 での

CGS の入力項目について紹介するとともに、給湯負荷の大きいホテルを対象としたケーススタディを行った。今後は太陽光発電や蓄電池と CGS を組み合わせた ZEB のシミュレーションなどの計算事例を拡充していきたい。

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「専門版開発委員会(石野久彌委員長)」、「BEST 改正省エネ基準対応ツール開発委員会(石野久彌委員長)」、「統合化 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)、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)

参考文献

- 1) 佐藤、辻丸、村上、秋元、石野、笹嶋、野原、二宮、田端、工月、藤居: 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 126)改正省エネ基準対応ツールを用いたコージェネレーションシステムのケーススタディ、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.57-60、2013.9