

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 165）
 蒸気・温水発生型ガスエンジンのモジュール開発における特性検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST
 Part 165 Characteristics Validation in Module Development of Gas-Engine Power Generators
 that Supply Steam and Hot Water

正会員	○ 藤居 達郎 (日立製作所)	正会員	二宮 博史 (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	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)

Tatsuo FUJII^{*1} Hiroshi NINOMIYA^{*2} Shuzo MURAKAMI^{*3} Takashi AKIMOTO^{*4} Hisaya ISHINO^{*5}
 Kenichi SASAJIMA^{*6} Ryota KUZUKI^{*7} Fumio NOHARA^{*2} Makoto SATOH^{*8} Norie TSUJIMARU^{*8}

^{*1} Hitachi, Ltd. ^{*2} Nikken Sekkei Ltd. ^{*3} Institute for Building Environment and Energy Conservation
^{*4} Shibaura Institute of Technology ^{*5} Tokyo Metropolitan University ^{*6} Nihon Sekkei Co., Ltd.
^{*7} Tokyo Gas Co., Ltd. ^{*8} Satoh Energy Research Co., Ltd.

Simulation models of steam-supply cogeneration systems (CGSs) and equipments used in these systems are discussed in the BEST cogeneration study sub working group (CGS-SWG). In this report, we developed a test program of gas-engine power generators for these CGSs. This program covered both air-cooled and water-cooled gas-engine generators. Stand-alone tests were conducted to validate the functions and calculation results. Characteristics of a water-cooled gas-engine that supplied both steam and hot water were calculated as the first step. The simulation results showed that the developed program was reliable enough to be used in 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 (CGS-SWG) では、電力と温水を発生するシステムを対象とした構成機器のモデル化¹⁻²⁾ に引き続き、図-1 に示す電力と蒸気および温水を発生するシステムを対象として、蒸気・温水発生型ガスエンジン³⁾、蒸気発生コントローラの基本モデル⁴⁾ の検討を進めてきた。

本稿では、2014 年度に行った蒸気・温水発生型ガスエンジンのモデル仕様およびプログラム化、動作確認を目的とした単体計算の状況について報告する。

1. 温水発生型ガスエンジンモデルによる検討例

従来の温水発生型ガスエンジンモデルは、すでに BEST 専門版ならびに BEST 平成 25 年省エネ基準対応ツールに実装され、各種検討、ケーススタディが行われている⁵⁾。

ここでは、給湯需要の多いホテルを対象とした検討例を示す。計算対象は既報⁵⁾と同一条件である。図-2 は冷温水および冷却水の搬送動力を低減するため、冷温水および冷却水ポンプを変流量に設定した場合の計算結果である。

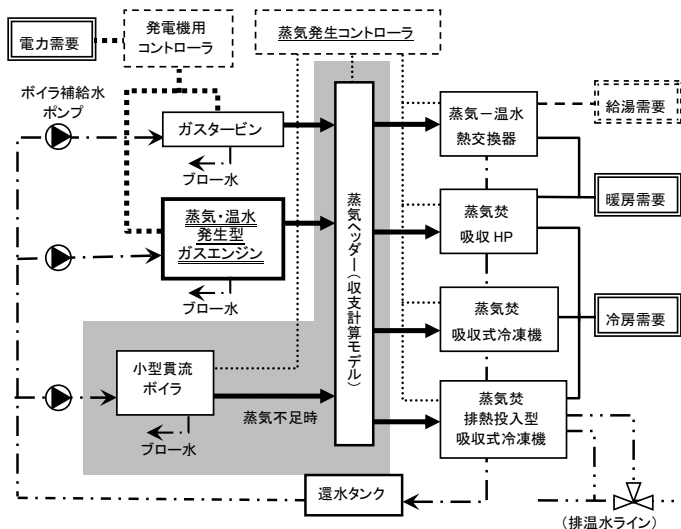


図-1 蒸気利用型 CGS の基本構成例³⁾

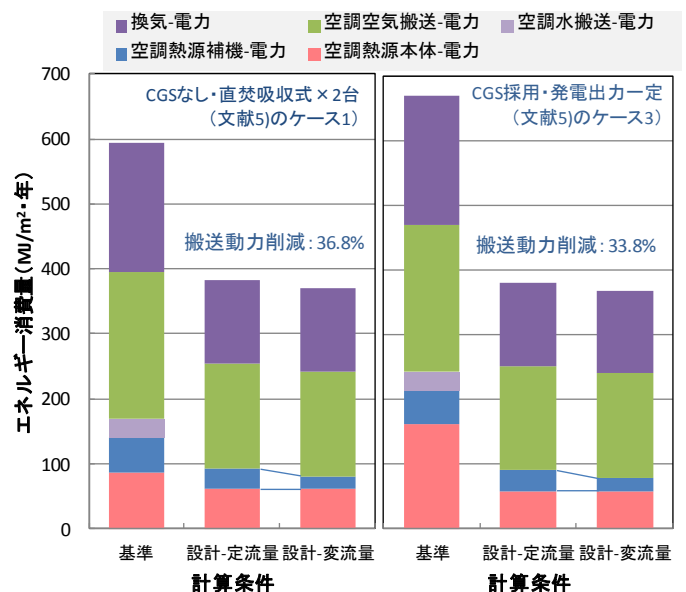


図-2 温水発生型ガスエンジンモデルによる検討例 (使用プログラム:平成 25 年省エネ基準対応ツール 1.1.3)

図-2 の例では項目「空調熱源補機-電力」が対象とする搬送動力である。冷温水および冷却水を変流量とすることにより、搬送動力が35%前後削減される結果が得られた。

2. CGS 用ガスエンジンモデルの適用範囲拡大

蒸気利用型CGSに現在利用されているガスエンジンの機器仕様⁶⁾は、出力の種類と冷却方法により表-1のように分類される。

表-1 CGS 用ガスエンジン発電機の種類

		冷却・放熱方法	
		空冷(放熱)	水冷(冷却水)
熱出力	温水のみ	(A)	(B)
	蒸気・温水	(C)	(D)

表-1の中で、現在BESTで利用可能な方式は(A)と(B)であり、ケーススタディ⁵⁾や前節の検討はこのモデルによる結果である。今回プログラム化したモデルは表-1の(D)に対応しており、機器仕様の設定によって(A)~(D)のいずれにも対

応可能な汎用性の高いものとした。そのため、今回プログラム化したガスエンジン本体には、既存のプログラムに実装済の温水排熱回路に加え、蒸気排熱回路とともに冷却水回路を備えた。

なお、マイクロガスエンジンと分類される発電出力35kW以下のガスエンジン発電機はいずれも表-1の(A)に相当し、現行のプログラムを用いて計算可能である。また温水出力がなく、蒸気のみを出力する機種やガスタービンに対しては、今回モジュールを開発したモデルで対応可能である。

3. BEST 組込用ガスエンジンモジュールの開発

3.1 入力インターフェース

既報³⁾に示したガスエンジンモデルをもとに、排熱を蒸気と温水で取り出すことが可能なモジュールを開発した。ガスエンジンの仕様を設定する入力画面を図-3に示す。

■発電能力■では、最小発電出力を入力する。図-3では定格値の50%としているが、この割合は機器仕様により変更可能である。■発電効率■以下の各種部分負荷特性では、

コージェネ ガスエンジン201503

名称 コージェネ ガスエンジン201503

- 発電能力■
 - 定格発電出力 920 [kW]
 - 最小発電出力 460 [kW]
- 発電効率■
 - 定格発電効率 40 [%] 真発熱量(LHV)基準
 - 負荷率75%時の発電効率 38.7 [%] デフォルトは定格発電効率の93%です。
 - 負荷率50%時の発電効率 36.4 [%] デフォルトは定格発電効率の82%です。
- 排熱蒸気回収効率■
 - 定格排熱蒸気回収効率 21.5 [%] 真発熱量(LHV)基準
 - 負荷率75%時の排熱蒸気回収効率 22.2 [%]
 - 負荷率50%時の排熱蒸気回収効率 23 [%]
 - 定格排熱蒸気量 7.1 [kg/s]
- 排熱温水回収効率等■
 - 定格排熱温水回収効率 21.9 [%] 真発熱量(LHV)基準
 - 負荷率75%時の排熱温水回収効率 21 [%]
 - 負荷率50%時の排熱温水回収効率 22.2 [%]
 - 定格排熱温水流量 1440 [L/min(w)]
 - 排熱温水出口水温上限値 90 [°C]
- 冷却水放熱率■
 - 定格冷却水放熱率 3.9 [%] 真発熱量(LHV)基準
 - 負荷率75%時の冷却水放熱率 3.76 [%]
 - 負荷率50%時の冷却水放熱率 2.14 [%]
 - 定格冷却水流量 258 [L/min(w)]
- 補機動力■
 - 補機動力電力消費率 5 [%] 定格発電出力に対する割合
 - 発電周波数 50 [Hz]
 - 発電相数 3 [-]
 - 発電定格電圧 6600 [V]
- 仮設調整■
 - 容量を調整する 容量を調整する [-] ←容量を仮設調整するときはチェックしてください
 - 調整の計算ステップ数 12 [-] ←仮設調整する計算ステップ数を入力してください
- 記録・グラフ表示■
 - グラフを表示する グラフを表示する [-] ←グラフを表示するときはチェックしてください
 - 最大同時表示ステップ数 100 [-] ←グラフに同時表示する最大ステップ数を入力します
 - 記録を有効とする 記録を有効とする [-] ←このモジュールの記録を有効とするときはチェックしてください

★接続ノード図を表示する★

図-3 蒸気・温水発生型ガスエンジンモジュールの機器仕様入力画面

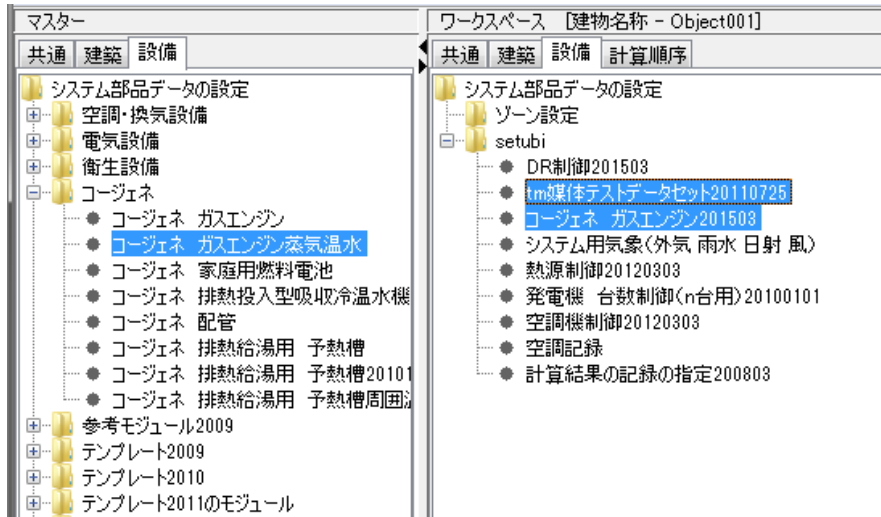


図-4 蒸気・温水発生型ガスエンジンモジュール単体計算用のモジュール構成

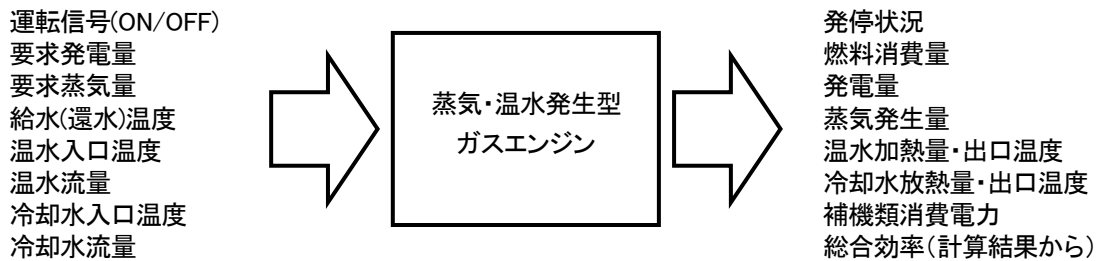


図-5 蒸気・温水発生型ガスエンジンモデルの入出力(機器仕様の設定項目は省略)

負荷率 75%、50%時の各種効率を入力する。これらの値は、ガスエンジン本体とともにメーカーから供給される仕様表から得られるほか、一般的な情報⁹⁾としても入手可能である。一般的には低位発熱量(LHV)基準で記載されているため、図-3においてもLHV基準での入力とした。

表-1の(B)に相当する、温水のみを出力する水冷機についても、図-3の■排熱蒸気回収効率■において定格排熱蒸気量をゼロに設定することで対応可能である。

また、表-1に示した各冷却方式に対しては、空冷式の場合に■冷却水放熱率■の定格冷却水流量をゼロに設定することで反映する。ガスタービンなどの、熱出力が蒸気のみで得られる機器に対しては、図-3の■排熱温水回収効率等■の定格排熱温水流量をゼロとすることにより反映する。なお、空冷式の場合の外気への放熱量と排ガスとしての放熱量は、計算結果から総和として求められるが、これらの区別は行わないものとした。

3.2 モジュール単体テスト方法

作成したモジュールによる計算結果の妥当性を確認するため、蒸気・温水発生型ガスエンジンモジュールの単体計算を行った。計算に際しては、各排熱回収と放熱の接続ノードを設定し、図-4に示すモジュール構成とした。

境界条件の入力は、図-5に示す入力条件を、図-4右欄

に示す「媒体テストデータセット」の当該ノードにセットした。このうち図-5の要求発電量は、同じく図-4右欄の発電機台数制御モジュールを経てガスエンジンに送信される。台数制御の運転方式は電主熱従運転とした。

今回の境界条件の値は、要求発電量を図-4に示した定格の920kWに対して、920, 800, 700, 600, 500, 460kWを与えた。この条件により、蒸気・温水発生型ガスエンジンモジュールの部分負荷特性を確認するものとした。計算結果は、仕様表および図-3の設定値との整合性を考慮して、入力と同様にLHV基準で出力した。

3.3 モジュール単体テスト結果

図-6は今回作成した蒸気・温水発生型ガスエンジンのモジュール単体計算結果である。出力の各数値は妥当な値を示しており、総合効率 η_{all} が次式のように発電効率 η_{el} 、温水回収効率 η_{hw} 、蒸気回収効率 η_{st} の合計となっている点も確認された。

$$\eta_{all} = \eta_{el} + \eta_{hw} + \eta_{st} \quad (1)$$

また、図-6中に破線で示す冷却水放熱率 η_{cd} が、放熱ロス分 $(1 - \eta_{all})$ 以内となっている点も妥当な結果である。

$$\eta_{cd} < 1 - \eta_{all} \quad (2)$$

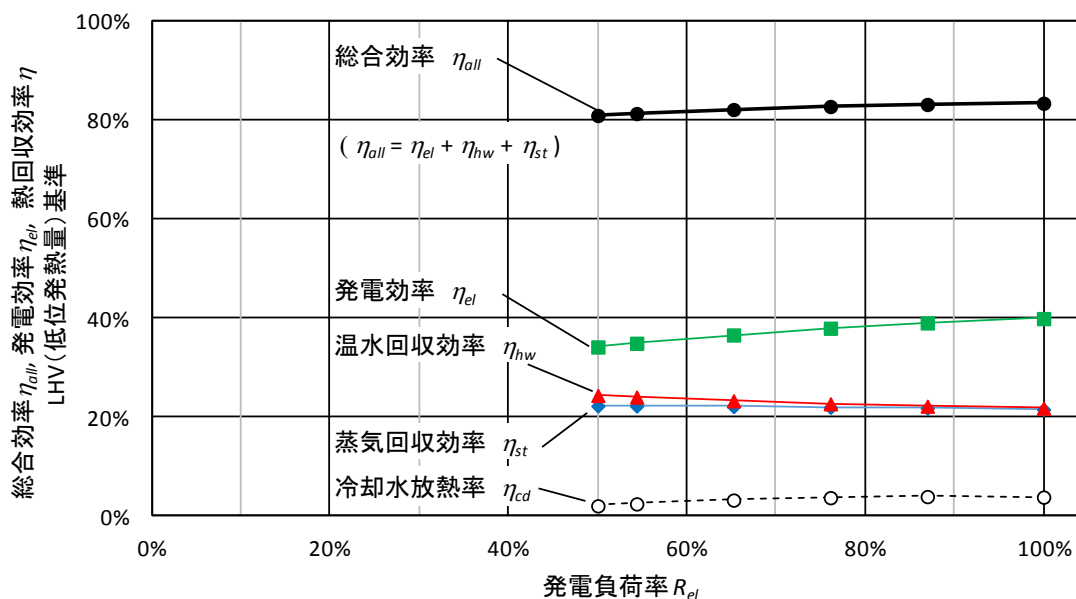


図-6 蒸気・温水発生型ガスエンジンのモジュール単体計算結果

なお、電力や温熱に変換されず、冷却水にも放出されない割合 $(1 - \eta_{all} - \eta_{cd})$ は、排ガスとして放出されたエネルギーである。

対象機の特徴としては、発電負荷率が低下すると発電効率が緩やかに低下し、温水回収効率が微増している。すなわち、発電効率の低下分の一部は温水回収効率の増加分となっていることがわかる。ただし、総効率も同時に低下していることから、残りの一部は図-6には表れない排ガスとして外部に放出される損失となったことがわかる。

図-6の計算結果から、開発したモジュールは妥当な計算結果を示し、BESTへの採用が可能であることを確認した。

4. まとめと今後の課題

本稿では前報^{3,4)}に引き続き、蒸気利用型CGSの主機となる蒸気・温水発生型ガスエンジンの開発状況を報告した。現状、計算モデルに基づくモジュールを作成し、単体計算において妥当な計算結果が得られた段階である。

今後は以下の作業を進める予定である。

- ① 今回開発した蒸気・温水発生型ガスエンジンモジュールと別途開発中の蒸気発停コントローラモデル、開発済みの蒸気焚吸収冷凍機モデルなどを組み合わせた、蒸気利用型CGSの基本システムでのテスト。
- ② 今回のモデルが蒸気発生型ガスタービンにも適用可能であることを確認。
- ③ 排熱投入型吸収冷温水機の2温水回収型、蒸気・温水投入型、排熱投入型吸収ヒートポンプ、一部で実用化されている排熱単独強制モードへの対応等の、熱源機器モデルのさらなる改良。
- ④ 以上の検討の後、蒸気利用型CGSシミュレーションのスマートエネルギーネットワーク等の街区レベルでのエネルギーシミュレーションへの活用。

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(以上、日建設計)、工月良太(東京ガス)、佐藤誠、辻丸のりえ(佐藤エネルギーリサーチ)、藤居達郎(日立製作所)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

参考文献

- 1) 秋元孝之ほか 6 名: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 34)コージェネレーションシステムプログラムの概要, 空衛講論, pp.1137-1140, 2008.8
- 2) 秋元孝之、工月良太:コージェネレーションのシミュレーション法, IBEC, No. 170, pp. 60-65, 2009-1
- 3) 藤居達郎ほか 10 名: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 125)コージェネレーションシステムにおける蒸気利用機器の特性, 空衛講論(第 5 巻), pp. 53-56, 2013.9
- 4) 藤居達郎ほか 9 名: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 141)蒸気利用 CGS の周辺機器と排熱投入型吸収冷温水機の特性検討, 空衛講論(第 5 巻), pp. 45-48, 2014.9
- 5) 佐藤誠ほか 9 名: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, 空衛講論(第 5 巻), pp. 81-84, 2014.9
- 6) 日本工業出版:天然ガスコージェネレーション機器データ 2013, 2013-4