

## 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

#### Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST Part 125 Characteristics of Equipments used in Steam-supply Cogeneration Systems

正 会 員 ○	藤居達郎	(日立製作所)	正 会 員	笹嶋賢一	(日本設計)
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	工月良太	(東京ガス)
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	田端康宏	(日建設計)	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<sup>\*1</sup> Ryota KUZUKI<sup>\*2</sup> Shuzo MURAKAMI<sup>\*3</sup> Takashi AKIMOTO<sup>\*4</sup> Hisaya ISHINO<sup>\*5</sup>  
Kenichi SASAJIMA<sup>\*6</sup> Fumio NOHARA<sup>\*7</sup> Hiroshi NINOMIYA<sup>\*7</sup> Yasuhiro TABATA<sup>\*7</sup>  
Makoto SATOH<sup>\*8</sup> Norie TSUJIMARU<sup>\*8</sup>

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

Simulation models of steam-supply cogeneration systems (CGSs) and equipments used in this system are discussed in the BEST cogeneration study sub working group (SWG). For the first step, we defined a fundamental system of steam-supply CGS. This system includes 1) steam header, 2) small capacity steam boiler, 3) gas engine that generates steam and electricity, 4) steam-hot water heat exchanger, 5) steam driven absorption chiller, 6) steam-driven, waste heat assisted absorption chiller. In this part, models of the gas engine and heat exchanger as well as above fundamental system are reported.

### 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、これまで電力と温水を発生するシステムを主な対象として、ガスエンジン、直焚排熱投入型吸収冷温水機等のモデル化を進めてきた<sup>1,2)</sup>。一方、蒸気発生・供給型のコージェネレーションシステム (CGS) は熱エネルギーを潜熱で輸送し、蒸気焚二重効用吸収式冷凍機を駆動できるなどの省エネルギー性能に優れた特徴から普及が進んでいる<sup>3-5)</sup>。本稿では、これらの蒸気利用型 CGS のシミュレーションを BEST 上で行うために本 SWG にて行った全体システムと構成機器のモデリング内容について報告する。

## 1. 対象システムの基本モデル

### 1.1 基本構成と計算順序

蒸気利用型 CGS モデルは、本 SWG にて開発済みの温水利用型 CGS<sup>1,2)</sup> を基本として蒸気系統の接続を検討した結果、図 1 に示すシステムを対象とするものとした。

計算順序は、図 2 に示すように排温水系統を先に計算して排熱投入型吸収冷温水機などの排温水利用機器の運転状態を決定し、その結果を前提として蒸気消費機器の計算を行い、蒸気需要量を求めるものとした。その後、発電機器の運転状況からこれらの蒸気発生量を算出し、余剰となる場合は後述のように発生蒸気量が制御され、不足となる場

合は小型貫流ボイラがその不足分を賄うことを前提とした。

### 1.2 温水利用型からの主な変更点

次に蒸気利用型 CGS モデルの特徴として、温水利用型からの主な変更点、追加した点を以下に示す。

- (1) 温水利用型 CGS モデルでは、熱需要が発生熱量よりも少ない際は冷却塔で放熱するものとしていた。蒸気発生型では、ガスタービン、蒸気発生型ガスエンジンの排熱ボイラ側で蒸気発生量が制御され、余剰蒸気は発生しないものとする。したがって蒸気系統における冷却塔は用いない。
- (2) 蒸気ヘッダーとバックアップ用の小型貫流ボイラは、組合せて利用することを必須として一体化する。ただし、図 2 に示すように計算の順序としてこれらの中で蒸気発生機器の計算を行うため、内部的な計算モジュールとしては分離して扱う。
- (3) それぞれの蒸気発生機器に対応させてボイラ補給水ポンプを設置、接続する。
- (4) それぞれの蒸気利用機器(熱源)から排出される還水の温度は、今回の検討では機器ごとに固定とし、運転条件による還水温度の変動特性は今後の課題とする。なお、還水の流量は蒸気消費量に等しいものとする。
- (5) 蒸気圧力は 784.5kPa.G (8kgf/m<sup>2</sup>) に制御される。

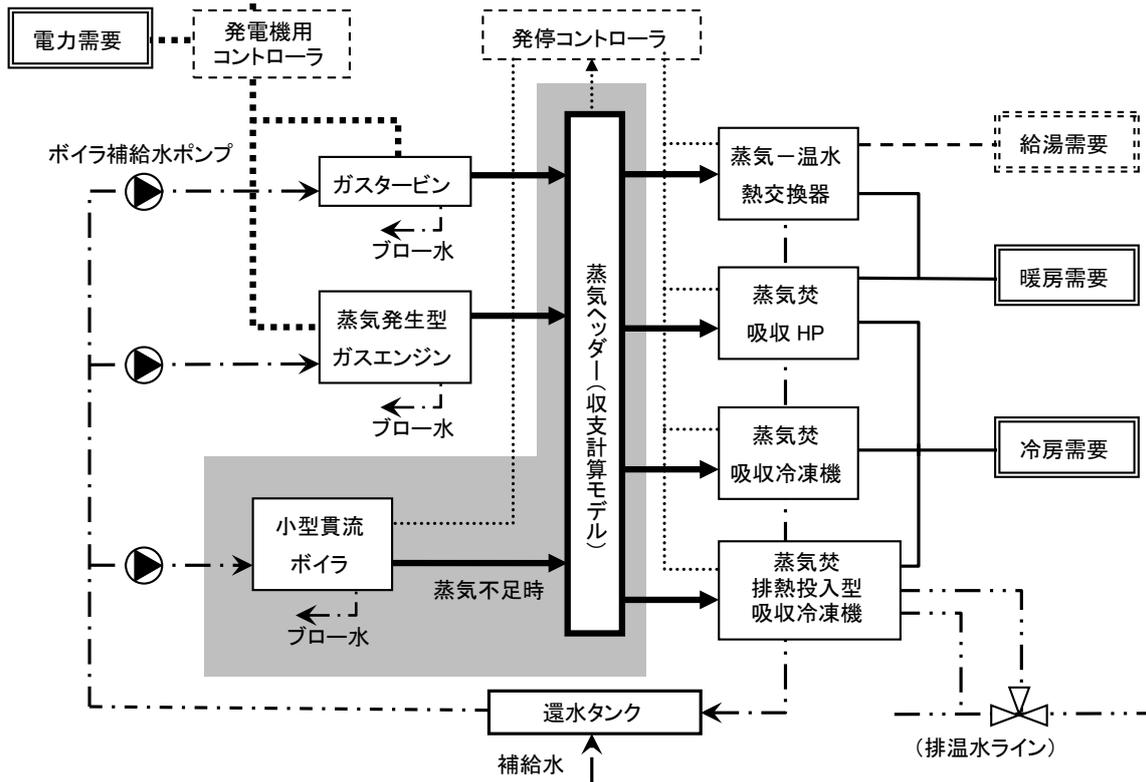


図1 蒸気利用型コージェネレーションシステム(CGS)の基本構成(例)

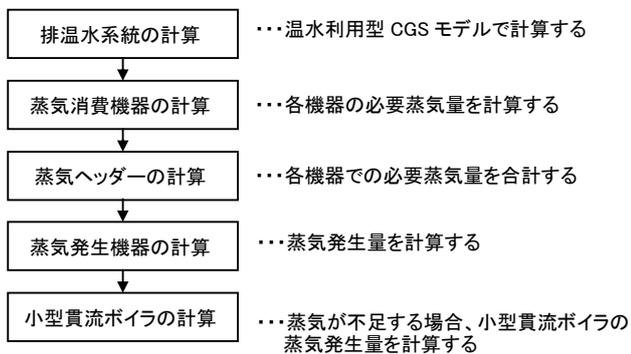


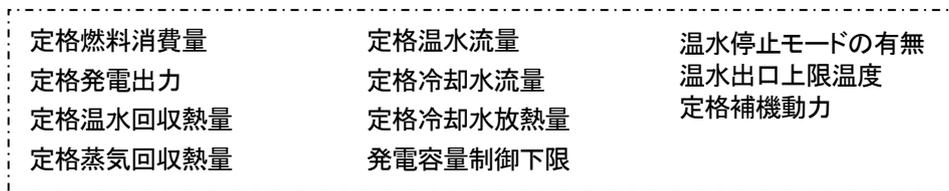
図2 蒸気利用型CGSの計算順序

## 2. 蒸気発生型ガスエンジンのモデル

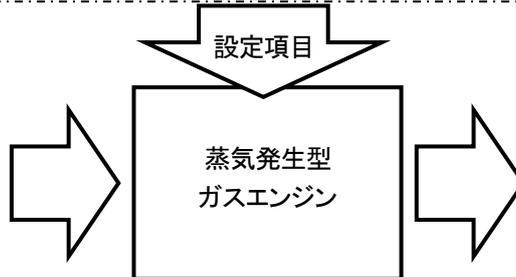
### 2.1 計算モデル

蒸気発生型ガスエンジンは、エンジンと発電機からなる発電部と、エンジン出口の排ガスで加熱される排ガス蒸気ボイラから構成される。今回のモデル化では、参考にしたガスエンジンの機器データ<sup>6)</sup>においてこれらを一体として扱っていることから、計算モデルとしても同様に扱うものとした。

モデルの入出力を図3に示す。主な機器仕様を設定項目として入力し、定格発電効率は定格燃料消費量(kW)と定格発電出力(kW)から内部で算出される。また発電単独(モノジ



運転信号(ON/OFF)  
要求発電量  
要求蒸気量  
給水(還水)温度  
温水入口温度  
温水流量  
冷却水入口温度  
冷却水流量



発電  
燃料消費量  
発電量  
蒸気発生量  
温水加熱量・出口温度  
冷却水放熱量・出口温度  
補機類消費電力  
総合効率(計算結果から)

図3 蒸気発生型ガスエンジンモデルの入出力

エネ) 運転への対応として、温水温度が目標温度に到達した場合の余剰熱は、実際の CGS で行われているように冷却水に放熱するものとした。

## 2.2 計算フロー

前節のモデルを計算する問題分析図(PAD) の概略を図4に示す。③の蒸気発生量および④の温水加熱量は、要求量が 1) ゼロの場合、2) 0～最大値の場合、3) 最大値以上の場合、のいずれかによって処理を分岐した。

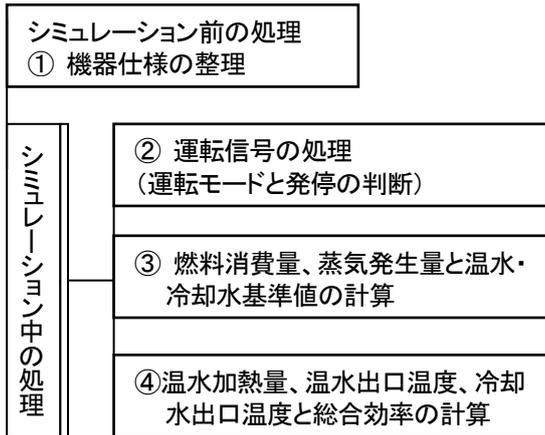


図4 蒸気発生型ガスエンジンモデルの問題分析図(PAD)

## 2.3 蒸気発生型ガスエンジン運転特性の例

主要メーカーの機器データ<sup>6)</sup>から、代表的な機器特性の一例を図5に示す。容量制御により発電負荷率が減少すると、既報<sup>1,2)</sup>の温水取出型ガスエンジンと同様、発電効率割合が低下する。このとき蒸気効率割合は排ガス量が燃料消費量に比例することからほぼ一定である。従って、発電効率低下に伴う放熱量の増大は温水加熱に消費され、その結果温水効率割合が増加する結果となった。

なお、発電効率割合の低下傾向が温水取出型と比較してやや小さくなっているが、これは一般に蒸気発生型ガスエンジンが大容量であることによりものと考えられる。

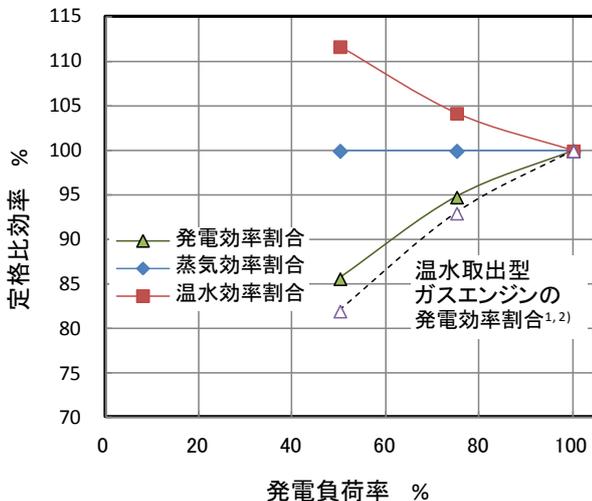


図5 蒸気発生型ガスエンジンモデルの運転特性(例)

## 3. 蒸気-温水熱交換器のモデル

### 3.1 計算モデル

蒸気利用型 CGS で一般的に設置されている、蒸気-温水熱交換器のモデルを開発した。モデル化の主な条件を以下に示す。

- (1) 温水温度が目標値になるように、蒸気入口のバルブが調節される。
- (2) 定格条件を最大加熱量として、このとき蒸気調整バルブが全開となり、蒸気圧の飽和温度が加熱側温度となる。
- (3) 温水ポンプは計算モデルに含めない。

図6にモデルの入出力と属性値を示す。蒸気入口圧力については、現状モデルでは1.2節(5)に示したように一定値であるが、機器モデルとしては今後の拡張を考慮して入力可能とした。

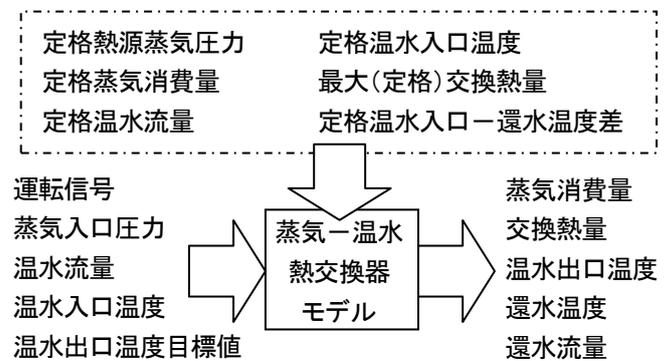


図6 蒸気-温水熱交換器モデルの入出力

### 3.2 運転特性の例

図7は温水温度の定格値が入口50℃、出口60℃の熱交換器を対象とし、温水流量を80, 90, 100, 110%とした場合の試算結果である。

温水の入口温度が定格の50℃未満の場合は交換熱量が最大値となり、入口温度が50℃を超えると、出口温度が60℃を超えないように交換熱量すなわち蒸気供給量が制御される。ここで、交換熱量の最大値  $Q_{max}$  は次式で算出している。

$$Q_{max} = KA\_N * (TS_{stm} - T_{Win}) \quad (1)$$

ここで、 $KA\_N$ : 熱交換器の  $KA$  値 (kW/K)、 $TS_{stm}$ : 熱源蒸気の飽和温度 (°C)、 $T_{Win}$ : 温水入口温度 (°C) である。 $KA\_N$  は温水入口温度と熱源蒸気の温度差で定義され、図6の一点鎖線内に示した熱交換器の属性値から次式で算出する。

$$KA\_N = Q_{h\_N} / (TS\_N - T_{Win\_N}) \quad (2)$$

ここで、 $Q_{h\_N}$ : 定格加熱量 (kW)、 $TS\_N$ : 定格蒸気圧力に対する飽和温度 (°C)、 $T_{Win\_N}$ : 定格温水入口温度 (°C) である。式(2)の処理は属性値のみから、シミュレーション前に行う。

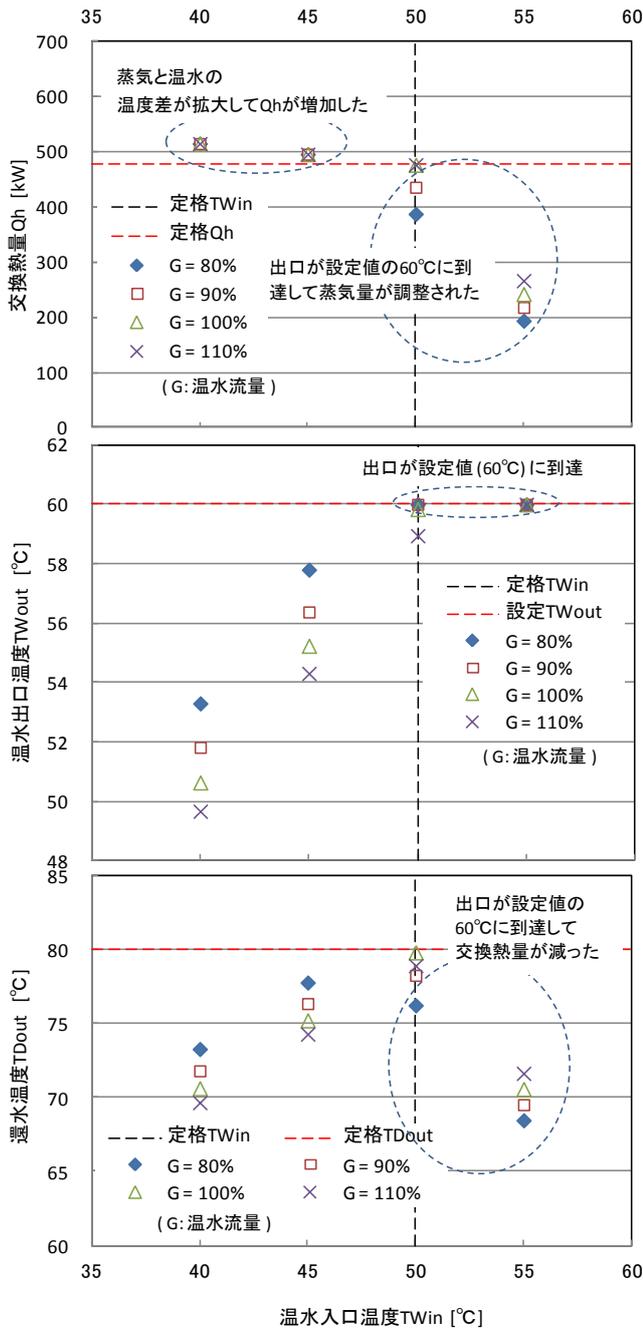


図 7 蒸気-温水熱交換器モデルの運転特性(例)

#### 4. その他の蒸気利用機器のモデル化について

その他の蒸気利用機器としては、従来のガス燃排熱投入型吸収冷温水機モデルを基本として蒸気燃の排熱投入型吸収式冷凍機のモデル化を行った。このモデルについては、検討済みの蒸気燃・冷温水同時供給吸収ヒートポンプと並んで、今後プログラム化と動作テストを進める予定である。

#### 5. まとめと今後の課題

本稿では、蒸気系統を持つコージェネレーションシステムのシミュレーションを行うための基本モデルとして、小型貫流ボイラと一体化した蒸気ヘッダーを含むシステムの基本

構成、本システムのコアとなる蒸気発生型ガスエンジンのモデル、基本モデルが未検討であった蒸気-温水熱交換器のモデルを開発した。

今後は BEST による蒸気利用型 CGS のシミュレーションを実現するため、以下のような検討を進める予定である。

- ① 蒸気発生型ガスエンジンモデルの動作テスト。
- ② 各種蒸気利用機器のモデルに対して、供給蒸気量が要求量に満たない場合の処理に関する検討。
- ③ 今回開発した蒸気発生型ガスエンジン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の確認。
- ④ 蒸気発生機器とボイラ一体型蒸気ヘッダ、蒸気利用機器を含めたシステムでのシミュレーション試算。
- ⑤ ②の応用として、供給蒸気量が不足の場合に燃料で追焚を行うタイプの排熱投入型吸収式冷温水機の検討。

#### 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) 秋元、村上、笹嶋、石野、野原、佐藤、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 34) コージェネレーションシステムプログラムの概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、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) 笹嶋、桂木、市ヶ谷、板齋、國友:スマートエネルギーネットワークによる省 CO2 まちづくり、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1227-1230、2011.9
- 4) 永井、佐々木、和田、土橋:特定エリアにおけるスマートエネルギーネットワーク実証試験(第一報) 千住スマートエネルギーネットワークの1年間の実績、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1231-1234、2011.9
- 5) 和田、佐々木、渡部、須澤、永井、土橋:特定エリアにおけるスマートエネルギーネットワーク実証試験(第二報) 千住スマートエネルギーネットワークの計画と目論見、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.2437-2440、2012.9
- 6) (社)日本エネルギー学会編:天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008、日本工業出版、2008.4