

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

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

Part 141 Studies of Equipments used in Steam-supply Cogeneration Systems and Characteristics of Absorption Chillers with Auxiliary Waste Heat Input

正 会 員	○ 藤居 達郎 (日立製作所)	技術フェロー	秋元 孝之 (芝浦工業大学)
特別会員	村上 周三 (建築環境・省エネルギー機構)	正 会 員	笹嶋 賢一 (日本設計)
技術フェロー	石野 久彌 (首都大学東京名誉教授)	正 会 員	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	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} Takashi AKIMOTO^{*2} Shuzo MURAKAMI^{*3} Kenichi SASAJIMA^{*4} Hisaya ISHINO^{*5}
 Ryota KUZUKI^{*6} Fumio NOHARA^{*7} Hiroshi NINOMIYA^{*7} Makoto SATOH^{*8} Norie TSUJIMARU^{*8}

^{*1} Hitachi, Ltd. ^{*2} Shibaura Institute of Technology ^{*3} Institute for Building Environment and Energy Conservation
^{*4} Nihon Sekkei Co., Ltd. ^{*5} Tokyo Metropolitan University ^{*6} Tokyo Gas Co., Ltd.
^{*7} Nikken Sekkei 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 calculation models of a steam generation controller and a hot well tank. The controller model operates a small-capacity once-through steam boiler attached to the steam header, based on the balance of steam supply from cogeneration and steam demand by steam consuming machineries, i.e. steam-driven absorption chillers. Additionally, we studied the characteristics of absorption chillers with auxiliary waste heat and proposed general explanation of their behaviors to follow the increasing variations of these machines.

はじめに

BEST コー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行ってきた^{1,2)}。これらのモデルは BEST 平成 25 年省エネ基準対応ツールに適用され、ケーススタディと検証により精度と機能の向上が進められている³⁾。

さらに、2013 年度からは蒸気発生・供給型のコーージェネレーションシステム (蒸気利用 CGS)^{4,6)} を対象として、基本システム構成の定義と蒸気発生型ガスエンジン、蒸気-温水熱交換器の計算モデルと運転特性の検討について報告した⁷⁾。本 SWG では、これらに引き続き、蒸気利用 CGS の周辺機器である還水タンク、また主にバックアップ用ボイラを制御する「蒸気発生コントローラ」を設定した。本稿ではこれらの計算モデルの検討と、モデルの一般化を目指した排熱投入型吸収冷温水機の特性モデルの再検討内容について報告する。

1. 蒸気利用 CGS の基本モデル

対象システムは既報⁷⁾と同様、図-1 のシステムである。発電機器、および小型貫流ボイラを含む各熱源機器はモデル化済みである。従って、要素機器としては蒸気ヘッダ、小型貫流ボイラおよび還水タンクをモデル化することにより、図-1 に示すシステムのシミュレーションが可能となる。

2. 蒸気発生コントローラモデル

2.1 蒸気発生コントローラモデルの概要と前提条件

図-1 のシステムのシミュレーションには、これらの要素機器からの情報から蒸気系統の収支を監視するコントローラが必要である。このコントローラは、ガスエンジンなどの蒸気発生型発電機からの蒸気供給量と、負荷側から入力される蒸気需要量を比較して、蒸気供給量の制御、小型貫流ボイラの発停および容量制御を行う。

したがって、コントローラのモデルは図-1 に示すように必須の要素である蒸気ヘッダおよび小型貫流ボイラと一体化した概念とし、以下の前提条件を設けた。

- (1) 小型貫流ボイラは十分な容量を持っており、蒸気需要量に対する不足は発生しない。
- (2) 小型貫流ボイラは、最小容量未満では発停運転により容量制御される。
- (3) 蒸気発生型発電機からの蒸気発生量は、運転負荷率から決定する最大量以内で調節可能である。

2.2 蒸気発生コントローラモデルの入出力

モデルの入出力は図-2 のように設定した。ここで、発電機等の蒸気を発生する機器は 4 台、蒸気焚吸収式等の蒸気を消費する機器は 6 台接続できるものとした。また、小型貫流ボイラの機器特性から熱効率を求めめるため、ボイラの定格蒸気発生量を設定項目とした。

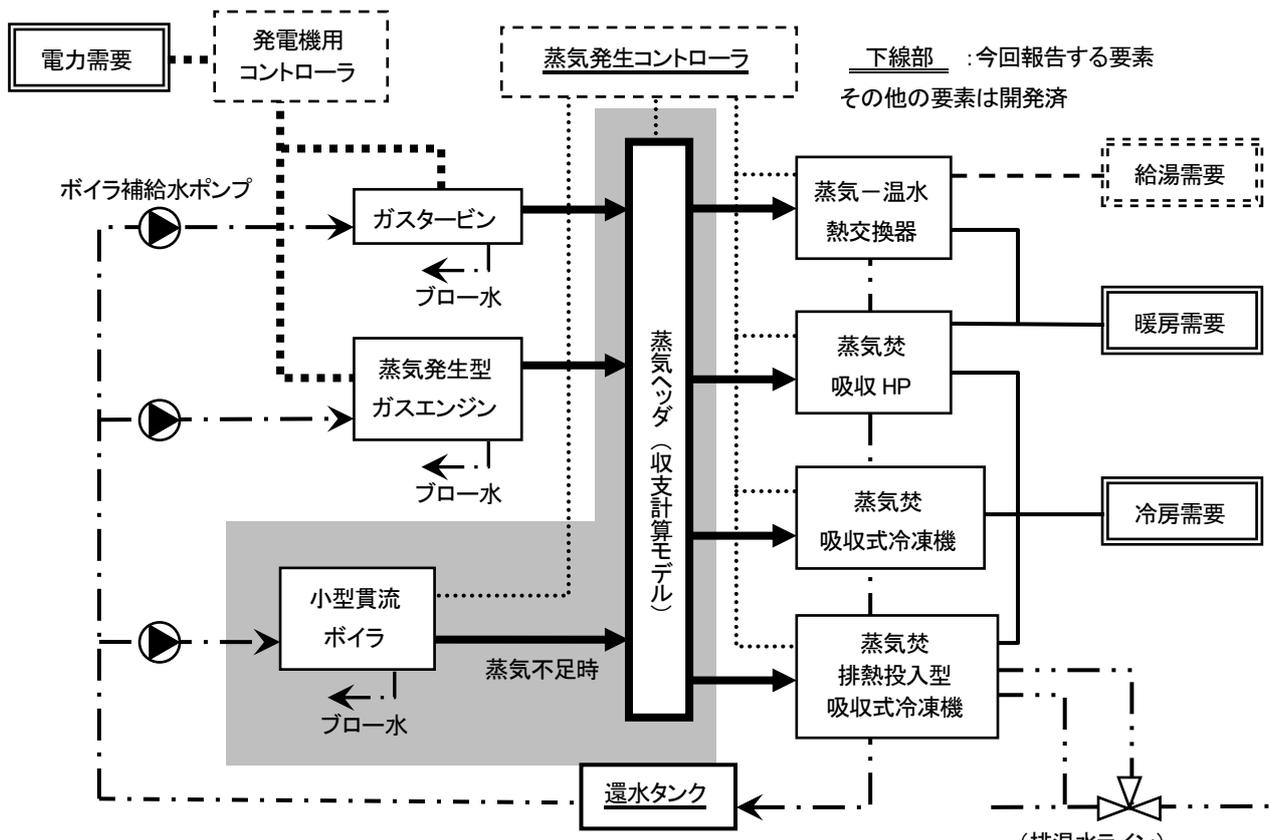


図-1 蒸気利用型コージェネレーションシステム(CGS)の基本構成例

入力変数は、いずれも蒸気ヘッドに接続された機器の状態である。したがって蒸気発生コントローラの計算は、これらの機器における1ステップ前の状態をもとに行う方法を検討している。出力変数は小型貫流ボイラへの運転信号、容量制御信号および蒸気発生機器への要求蒸気量である。

2.3 蒸気発生コントローラモデルの計算フロー

以上の設定項目および入力変数から出力変数を求める計算フローを、図-3に示す。運転状態はONまたはOFFであり、ONの場合は蒸気の供給量(a)と需要量(b)の関係によって小型貫流ボイラの発停を設定する。小型貫流ボイラがONの場合のボイラ効率は、機器特性SWGにて調査、定式化された特性⁸⁾を適用した。図-3のフローにより、図-2に示した出力値はすべて計算される。

3. 還水タンクモデル

3.1 還水タンクモデルの概要と前提条件

図-1に示した還水タンクは、プログラムの実用性を考慮して、以下の仮定によりモデル化を行った。

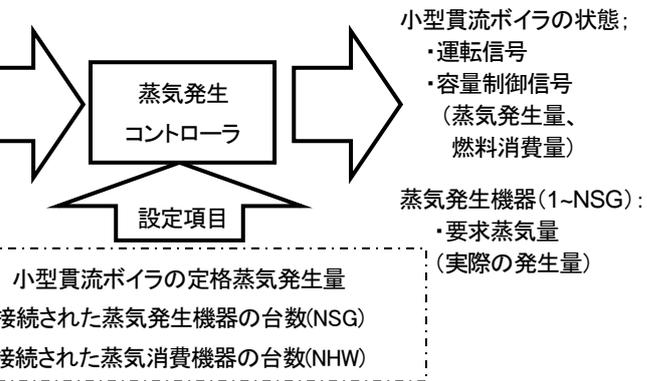


図-2 蒸気発生コントローラモデルの入出力

- (1) タンク内は完全混合状態である。
 - (2) 系からの蒸気および還水の漏洩は無視できる。
 - (3) 仮定(2)により、補給水も省略する。
 - (4) タンク本体の熱容量は、保有水に比べて無視できる。
 - (5) 本体は十分断熱されており、熱漏洩は無視できる。
- なお、タンク内還水の初期温度は設定可能とし、デフォルト値は一例として20℃とした。

3.2 還水タンクモデルの入出力

還水タンクモデルの入出力および設定項目を図-4に示す。入力データは、還水を発生する蒸気消費機器からの還水流入量と温度である。出力は、小型貫流ボイラを含む各蒸気発生機器への還水出口温度である。なお、還水の流出量は蒸気発生機器からの要求量すなわち蒸気発生量とし、還水タンクモデルの出力からは除いた。

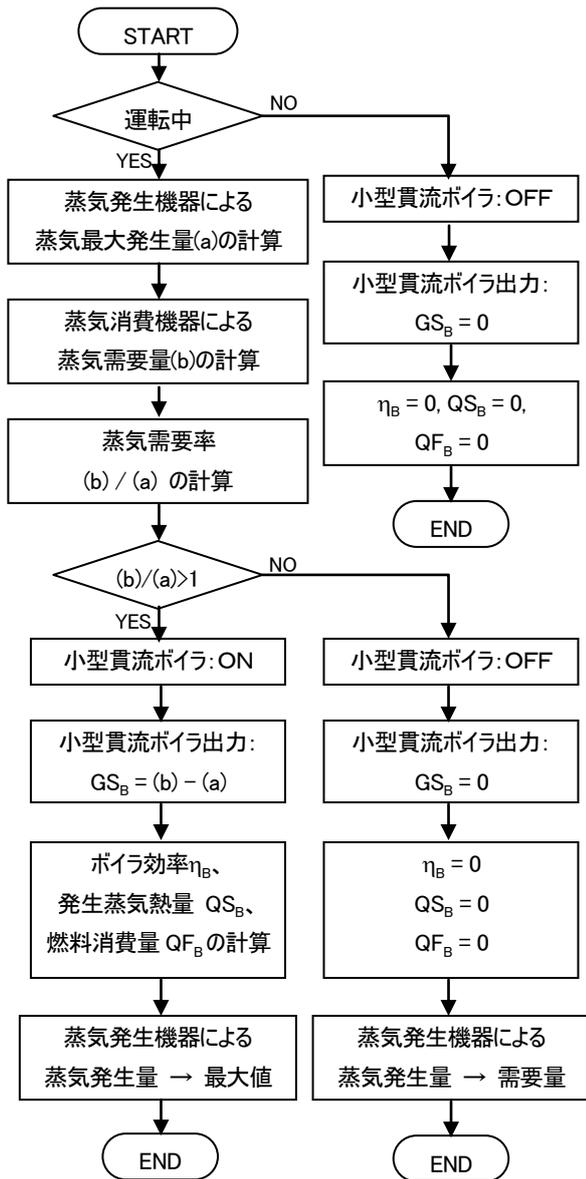


図-3 蒸気発生コントローラモデルの計算フロー

3.3 還水タンクモデルの計算フロー

図-5 は還水タンクモデルの計算フローである。蒸気消費機器からの還水合計流量を計算した後、一旦これらが合流した場合の温度を算出する。還水タンク内温度は、この合流温度と1ステップ前のタンク内温度から、時間ステップ Δt を用いて算出するものとした。

4. 排熱投入型吸収式モデルの検討

4.1 検討の背景

排熱投入型吸収冷温水機は、運転条件に影響を与えるパラメータが多い一方、実用化される機器の種類も多様である。BEST では、これまで基本的な特性をモデル化し、プログラムに反映済み³⁾であるが、さらに汎用的なモデルの検討を進めており、本節ではその内容について報告する。

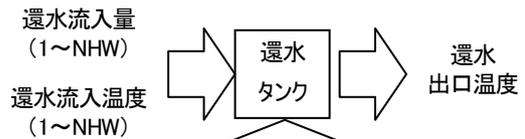


図-4 還水タンクモデルの入出力

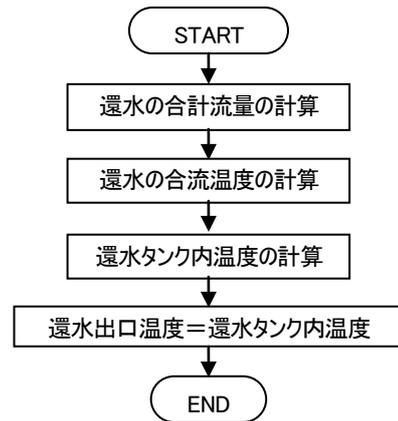


図-5 還水タンクモデルの計算フロー

4.2 排熱投入型吸収冷温水機の基本特性

各種のカタログや技術資料では、排熱投入型吸収冷温水機の基本特性は図-6 に示す負荷率-燃料(蒸気)消費量特性および負荷率-排熱投入(消費)量特性で表され、燃料削減率 ϕ_{FL} と、排熱単独運転が可能なる最大負荷率 q_{E1Max} は容易に読み取り可能である。

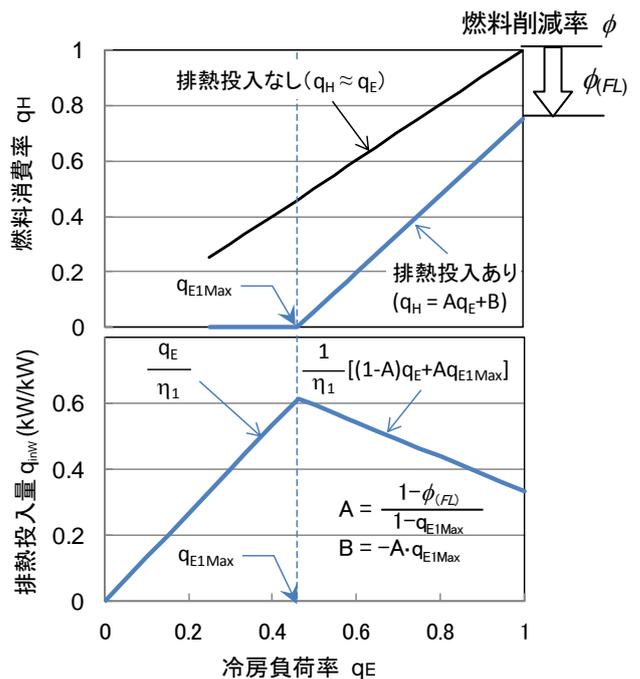


図-6 排熱投入型吸収冷温水機の基本特性

そこで、今回の検討ではこれらの特性を既存のモデル⁹⁾に反映する方針とした。図-6において、上段の燃料消費率 q_H は排熱投入がない場合の冷房負荷率 $q_E=1$ の値を基準とした比率である。また、下段の排熱投入量 q_{inW} は定格冷房能力を基準とした比率である。排熱投入型吸収冷温水機のモデル化ではこれらの特性を、外部条件を反映して表すことが重要である。

図中の q_{E1Max} は排熱単独運転が可能な最大負荷率であり、 q_{E1Max} 以下では排熱投入機は一重効用運転である排熱単独運転モードとなる。この領域では熱効率、すなわちCOPはほぼ一定となり、その値を η_1 とすると、排熱投入量は冷房負荷率 q_E と η_1 を用いて

$$q_{inW} = \frac{q_E}{\eta_1} \quad (q_E \leq q_{E1Max}) \quad (1)$$

と表される。

一方、冷房負荷率 q_E が q_{E1Max} よりも大きくなると、排熱投入型吸収冷温水機は燃料と排熱の両方の熱源により駆動される、燃料・排熱投入モードとなる。この領域では、図-6上段に示すように燃料消費率は排熱投入によって削減される。この削減率を ϕ とし、最大負荷率における値が $\phi_{(FL)}$ である。

図-6における排熱投入時の燃料消費率を直線と見なすと、このモードにおける燃料消費率 q_{Hd} は次式で表せる。

$$q_{Hd} = A \cdot q_E + B \quad (2)$$

そして、図-6上段からこの直線は $(q_{E1Max}, 0)$ および $(1, 1 - \phi_{(FL)})$ を通ることから係数 A, B は以下ようになる。

$$A = \frac{1 - \phi_{(FL)}}{1 - q_{E1Max}}, B = - \frac{1 - \phi_{(FL)}}{1 - q_{E1Max}} \cdot q_{E1Max} \quad (3)$$

これらの関係から、燃料・排熱投入モードにおける排熱投入量 q_{inWd} は次式で表される。

$$q_{inWd} = \frac{1}{\eta_1} [(1 - A) \cdot q_E + A \cdot q_{E1Max}] \quad (q_E > q_{E1Max}) \quad (4)$$

以上により、図-6に示した特性がカタログ値などから得られる $\phi_{(FL)}, q_{E1Max}$ で表された。これにより、ユーザーはよりの確な特性値入力が可能となる。今後は以上の結果で現状モデルを拡充、更新してBESTプログラムに反映していく。

5. まとめと今後の課題

本稿では前報⁷⁾に引き続き、以下の項目に関する検討内容を報告した。

- (1) 蒸気の需給バランスによって小型貫流ボイラを制御する「蒸気発生コントローラ」のモデルを作成した。
- (2) 還水タンク保有水の熱容量を考慮したモデルを作成し、2013年度の報告内容⁷⁾と合わせて蒸気系CGS

の基本構成要素のモデル化を終了した。

現在、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、以下の作業を進めている。

- 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 本報告の結果を反映した、汎用的な排熱投入型吸収冷温水機モデルの作成。

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)、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、湯浅りつ子(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) 佐藤誠ほか 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, 空衛講論(第5巻), pp. 57-60, 2013.9
- 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, 空衛講論, 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計画と目論見, 空衛講論, 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1年間の実績, 空衛講論, 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
- 7) 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
- 8) 助飛羅力、藤居達郎:機器特性のデータベース, 空衛誌, 82-11, pp.45-50, 2008.11
- 9) 藤居達郎ほか 3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90)新規採用熱源機器の特性, 空衛講論, pp.1723-1726, 2011.9