

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 183）

蒸気システム要素機器モデルの改良と吸収冷温水機の排熱単独モード

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST Part 183 Reforming machinery models for steam generating CGS and waste heat limited mode of absorption chillers with auxiliary waste heat

正 会 員 ○ 藤居達郎 (日立製作所)

正 会 員 二宮博史 (日建設計)

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)

技術フェロー 石野久彌 (首都大学東京名誉教授)

正 会 員 辻丸のりえ (佐藤エネルギーリサーチ)

正 会 員 笹嶋賢一 (日本設計)

正 会 員 佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ)

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)

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

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, characteristics and individual test results are reported for a steam-driven absorption chiller with auxiliary waste heat and a hot well (return water) tank. A point of this tank model is reflection of its heat capacity of staying water and the tank itself. We also studied about a model of absorption chillers with auxiliary waste heat include “waste heat limited mode” for improved control strategy of a CGS consist of both thermally and electrically driven chillers.

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、電力と蒸気および温水を発生する蒸気利用 CGS を対象として、蒸気・温水発生型ガスエンジン³⁻⁴⁾、蒸気発生コントローラの基本モデル⁵⁾の検討を進めてきた。

本稿ではこれらに引き続き、蒸気・排熱投入型吸収式冷凍機⁶⁾の特性、還水タンクモデルの改訂、および排熱投入型吸収冷温水機および吸収式冷凍機に関する排熱単独運

モードの検討状況について報告する。

1. 蒸気利用 CGS の概要

蒸気利用システム構成の一例を図-1に示す。この構成では、ボイラ等からの蒸気を熱源とする排熱投入型蒸気・排熱投入型吸収式冷凍機を採用している。この構成のシステム効率は、蒸気を用いずに温水・排熱投入型吸収式冷凍機を採用した場合の68%に対して、ガスエンジンから発生する温度レベルに応じた熱エネルギーの有効活用により、83%との試算例がある⁶⁾。

省エネ性に優れた蒸気利用 CGS は現在も国内⁷⁾および

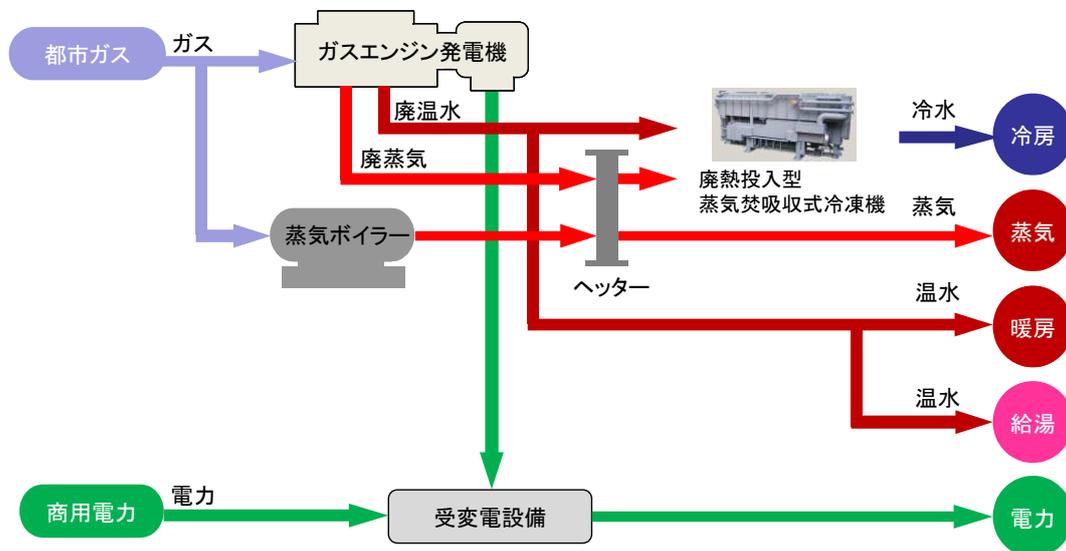


図-1 蒸気・温水発生型コージェネレーションシステムのシステムフロー(例)⁶⁾

海外⁸⁾への普及が進んでおり、要素機器の開発では排熱単独運転負荷率の増大、熱源種類の多様化、さらにはより低温の排熱を活用できる熱源機器の開発が進められている。

2. 蒸気焚排熱投入型吸収式冷凍機のモデルと検証

既報³⁾で触れた蒸気焚排熱投入型吸収式冷凍機のモデルをプログラム化し、動作テストを実施した。モデルの入出力を図-2に示す。入出力は蒸気焚吸収冷凍機モデルを基本とし、直焚の排熱投入型吸収式冷水機モデル¹⁾を参考にして設定した。また、本稿で検討する排熱単独モードを設定するための入力を追加した。計算フローについては次章で示す。

CGS-SWGではBEST専門版でプログラム化したモジュールの動作テストを実施した。図-3は冷房負荷率に対する排温水から回収される熱量の特性を、排温水の入口温度ごとにプロットしたものである。冷水、冷却水および排温水の流量は一定値であり、冷水設定温度はすべて7°Cである。冷房負荷率の変化は冷水入口温度を変化させることによって与えた。

排温水入口温度が80°C以下の場合には吸収式冷凍機に

は投入されず、排熱回収熱量は冷房負荷率によらずゼロとなっている。

排温水入口温度が82°C~86°Cに上昇すると排熱回収熱量は増加する。この時回収熱量は、排熱温水出口の下限温度で規定されるため、冷房負荷率が所定の値以上の範囲では負荷率によらず一定となり、水平な特性となっている。冷房負荷率が低下すると、冷房負荷を賄うために必要な熱量のみが回収されるため、回収熱量も低下する。この特性は図中に排温水単独運転で示す破線となっている。

排温水入口温度が88°C以上に上昇すると、回収熱量は吸収式冷凍機の熱回収部分との温度差で規定されるようになる。したがって、排温水入口温度が高いほど回収熱量も増加するが、冷房負荷率の増加に対しては減少する。これは、冷房負荷率の増加によって高温熱源である熱源蒸気の投入量が増加し、上述の熱回収部分の温度が上昇して排温水との温度差が小さくなるためである。

以上のように、テスト結果は一般的な排熱投入型吸収式冷凍機の特性和同様の傾向を示し、開発したモデルおよびモジュールプログラムの妥当性が確認された。

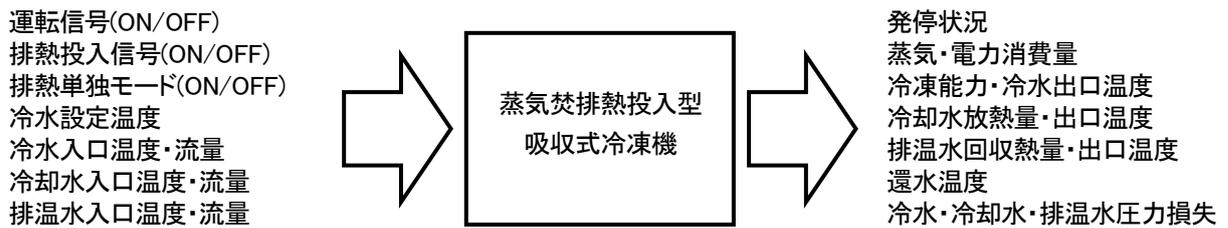


図-2 蒸気焚・排熱投入型吸収式冷凍機の入出力(機器仕様の設定項目は省略)

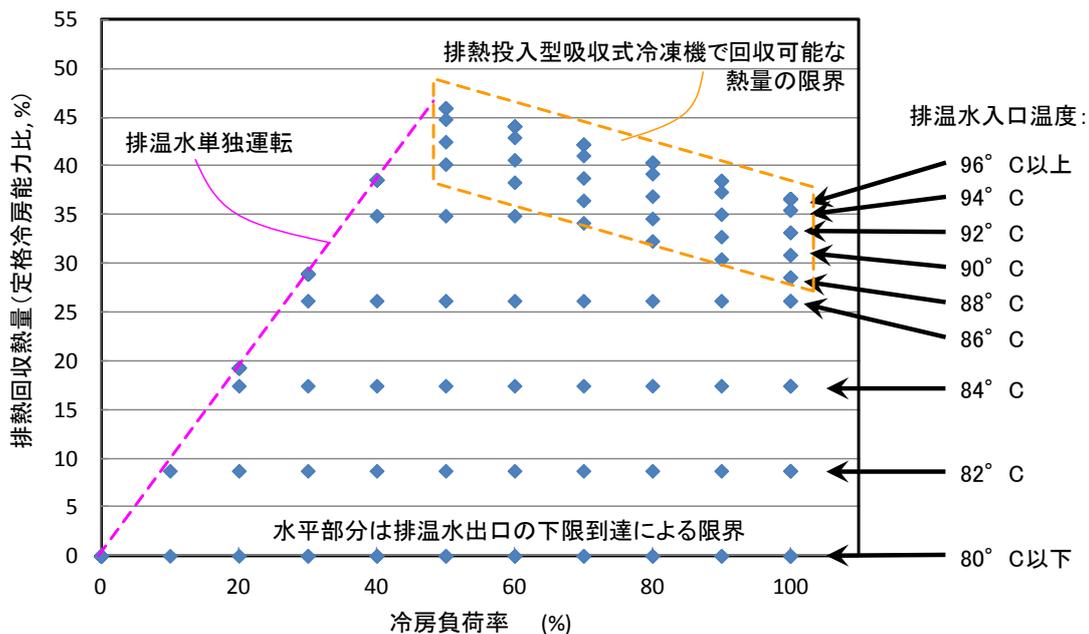


図-3 蒸気焚排熱投入型吸収式冷凍機の単体動作テスト結果による機器特性の確認

3. 還水タンクモデルの改良

3.1 計算モデル

還水タンクのモデルは、各蒸気使用機器からの還水の混合温度でガスエンジン等の蒸気発生器機に供給されるとした基本モデルを既報⁵⁾で報告した。しかし、還水タンクは相当の熱容量を持つことから時間遅れ、また断熱材を介した放熱による熱損失を有する。今回、タンク容器および内部の還水の熱容量を集中定数系としてこれらを考慮したモデルを開発し、現在テスト中である。

モデル改良後の入出力を図-4に示す。一点鎖線枠は計算前に設定する項目である。タンクの寸法は熱容量の計算に、断熱材厚さは放熱量の計算に用いられる。入力項目には周囲温度を追加し、これを元に出力値の放熱量を計算する。

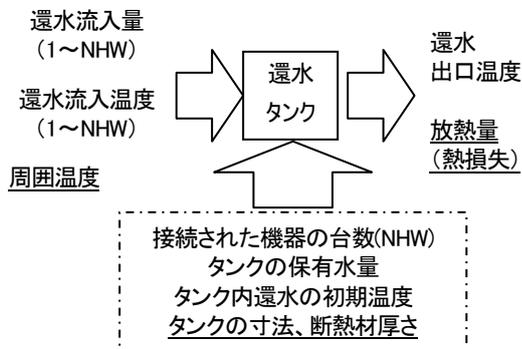


図-4 還水タンクモデルの入出力
(既報⁵⁾に下線部追記)

3.2 計算内容

改良後の計算では、計算前に放熱量を計算するための設定項目として放熱面積 A_{lossHW} (m^2)、熱通過率 K_{HW} (kW/m^2K)、タンク本体の熱容量 Cp_{HWM} (kJ/K)、タンク内還水の熱容量 Cp_{HWW} (kJ/K)、をそれぞれ算出する。

計算開始後は、還水合計流量 $G_{WIN,S}$ (kg/s)、還水混合流入温度 $T_{WIN,S}$ ($^{\circ}C$)、放熱温度差 ΔT_{loss} ($^{\circ}C$) および図-4 および次項に示す放熱量 Q_{loss} (kW)、還水タンク温度 T_{HW} ($^{\circ}C$) を、前回値 $T_{HW(-1)}$ ($^{\circ}C$) を用いながら逐次計算する。

3.3 計算結果

CGS-SWG で実施した還水タンクモデル単体テストの結果を図-5に示す。このテストでは還水タンクの初期温度を $90^{\circ}C$ として、 $50^{\circ}C$ 、1 系統の流入還水(上図) $50^{\circ}C$ および $60^{\circ}C$ の 2 系統の流入還水を設定して(下図)、流出水温度および熱損失を出力した。

図-5 から、流出水すなわちタンク内温度が初期値の $90^{\circ}C$ から流入還水の温度に近づいて行くことがわかる。2 系統の流入水を設定した計算結果では、流出水温度が各流入還水の間中値である $55^{\circ}C$ 付近に安定して行き、妥当な計算結果が得られている。なお下図において、それぞれの還水の流量は同じ値である。

また放熱量(熱損失)の計算においては、タンク本体の温度を表す流出水温度の低下に対応して放熱量が減少する点、温度収束値の高い下図の方が放熱量が大きい点は妥当である。これらの絶対値の比較については現在さらに検証中である。

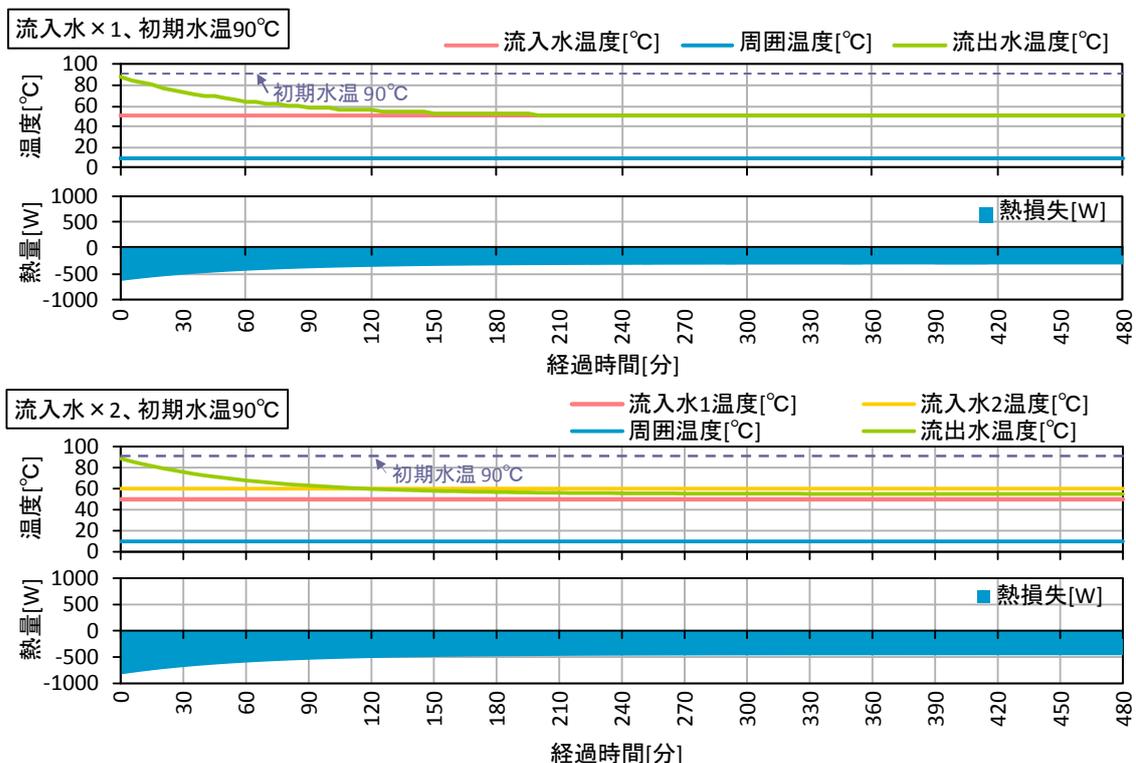
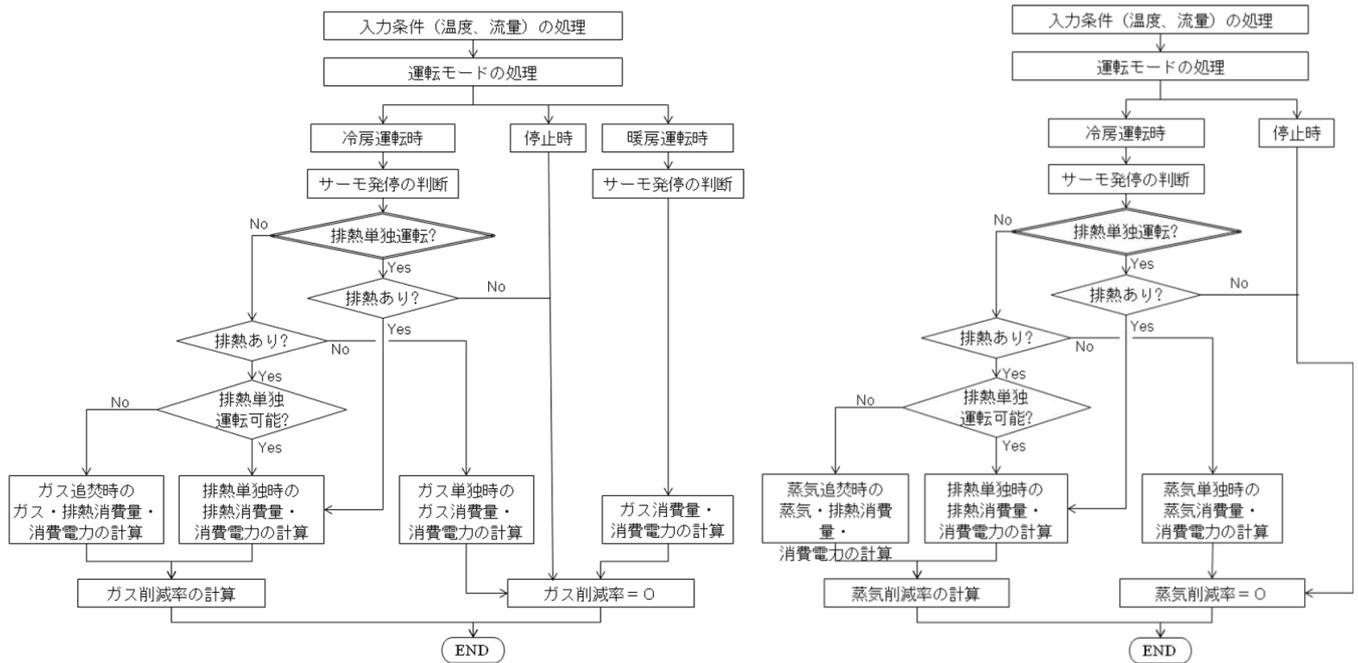


図-5 動特性と熱損失を考慮した改良型還水タンクモデルの単体テスト結果



(a) ガス焚吸収冷温水機の場合

(b) 蒸気焚吸収式冷凍機の場合

図-6 排熱単独運転モードを持つ吸収冷温水機・吸収式冷凍機フロー図

4. 吸収冷温水機の排熱単独モードの反映

中・大規模の CGS では、蒸気利用機器と組み合わせて直焚の排熱投入型吸収冷温水機、インバーターボ冷凍機などの高効率電動式の冷凍機を組み合わせるシステムを構成する事例が増えている。

この場合、燃料と電力のエネルギー源の優先順位に自由度を持たせるため、特に直焚の排熱投入型吸収冷温水機については排熱単独モードへの対応が課題であった。そこで今回、図-6 のように計算フロー中に排熱単独運転の判別を設けた。なお、排熱単独モードで排熱がない場合には機器は停止となり、冷房能力はゼロとなる。

5. まとめと今後の課題

本稿では主に蒸気利用型 CGS シミュレーションの機能と精度を向上する観点から、蒸気焚排熱投入型吸収式冷凍機、還水タンクの動的モデルおよび排熱投入型吸収冷温水機の排熱単独運転モードへの対応について報告した。今後はこれらの実装とテストを進めるとともに、未利用排熱吸収ヒートポンプ等の新型機への対応を進めて行く予定である。

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「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)、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 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, 空衛講論(第 5 巻), pp. 49-52, 2015.9
- 5) 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
- 6) サイエンス&テクノロジー:未利用工場排熱の有効活用技術と実用展開, pp. 263-277, 2014.3
- 7) 國友理、笹嶋賢一ほか 6 名: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 (第 5 報)施設概要と再生可能(未利用)エネルギーの利用実績, 空衛講論(第 2 巻), pp. 257-260, 2015.9
- 8) 藤居達郎ほか 5 名:東南アジアのコージェネレーション施設に設置された蒸気焚二重効用吸収式冷凍機の劣化診断, 空衛講論(第 2 巻), pp. 317-320, 2015.9
- 9) 小川聡嗣、藤居達郎他 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 111)吸収式冷凍機・ヒートポンプの新規モデルの特性, 空衛講論, pp.1395-1398, 2012.9