

## 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

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part34)

### Development of the Program for Cogeneration System

正会員 ○秋元 孝之（芝浦工業大学） 特別会員 村上 周三（建築研究所）  
正会員 笹嶋 賢一（日本設計） 正会員 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）  
正会員 野原文 男（日建設計） 正会員 佐藤 誠（システック環境研究所）  
正会員 工月 良太（東京ガス）

Takashi AKIMOTO\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Kenichi SASAJIMA\*<sup>3</sup> Hisaya ISHINO\*<sup>4</sup>

Fumio NOHARA\*<sup>5</sup>, Makoto SATO\*<sup>6</sup> Ryota KUZUKI\*<sup>7</sup>

\*<sup>1</sup> Shibaura Institute of Technology \*<sup>2</sup> Building Research Institute. \*<sup>3</sup> Nihon Sekkei Co.,Ltd \*<sup>4</sup> Tokyo Metropolitan Univ.

\*<sup>5</sup> Nikken Sekkei Co.,Ltd. \*<sup>6</sup> SYSTECH Environmental Research Laboratory \*<sup>7</sup> Tokyo Gas Co.Ltd.

For the purpose of applying the BEST to buildings including cogeneration systems, a module of cogeneration system is being developed. Referring existing cogeneration simulation/assessment tools and mainly considering thermal energy balances, the development work is focusing on modeling the gas engine generator, waste heat use absorption chiller, heat exchanger and controllers. Based on the design concept of the BEST, as the first step, a sample system consisting of one-unit of each equipment has been developed adopting “forward method”. Additional requirements to be solved have been recognized such as finding a proper calculation flow and/or iteration algorithm for robust simulation.

#### 1. はじめに

コージェネレーションシステムは、オンサイトで発電し、同時に発生する排熱を空調や給湯等に利用することによりエネルギーの利用効率（一次エネルギー効率）を向上させるシステムである。民生分野の建築プロジェクトでも数多く採用されており、BEST がカバーすべき要素の1つである。この効果を定量的に表現するためには、建築・空調、電気、衛生の各分野との連成計算を必要とするが、初期段階として比較的簡易なモデルをBEST のモジュールとして開発し、一連の計算を行ったので、本稿ではその概要について報告する。

#### 2. 対象としたシステム

本開発で第一段階として対象としたモデルの構成を図1に示す。主要な構成要素として、ガスエンジン、排熱投入型吸収冷温水機、給湯用予熱槽を想定し、それぞれ各1台ずつで構成されるシステムをサンプルシステムとした。排熱の利用順序は、①排熱投入型吸収冷温水機、②給湯用熱交換器、③暖房用熱交換器とした。建物により給湯排熱利用系統がない場合でも①、③で対応可能である。

また本サンプルシステム単体で動作確認を行うことができるよう、電力、冷水、温水の負荷を想定した。

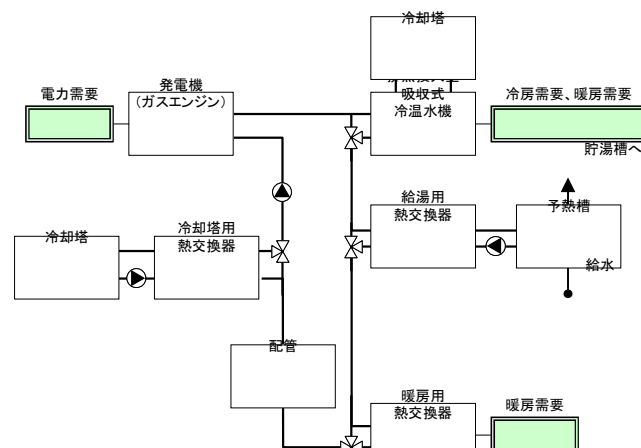


図1 コージェネレーションシステムのサンプルシステム

#### 3. 参考とした既存のシミュレーションプログラム

プログラムの作成に先立ち、コージェネレーションシステム設計・評価用プログラムとして知られている CASCADE III<sup>1)</sup> を参考とした。

表1に示すとおり、BEST で求められる仕様と CASCADE III では熱収支の表現が異なる。BEST 熱媒(水)の流量と温度差で表現されること、ならびに5分程度の短い間隔での計算を可能とすることが求められる。以上の要件を踏まえて開発を行った。

表1 CASCADE III<sup>1)</sup>の主な仕様とBESTで求められる仕様

	仕様	仕様(案)
排熱出力	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱量の収支を計算</li> <li>温水・蒸気・排ガスの区別はない</li> </ul>	計算する
	固定	
	時刻とともに変化しない	(時刻とともに変化)
扱い	ガス直焚吸収冷温水機、ボイラとの混合は可	他熱源との連携を可能とする
発電機の扱い	複数台の機器容量を合計し1台として扱う	転時間割当て等の対応を行う

#### 4. 主な構成要素のモデル

##### (1) ガスエンジン

ガスエンジンは、後述のコントローラから得られる発電需要量に応じて発電し、発電量に応じ、ガス消費量と排熱利用量を求める。本開発では文献<sup>2)</sup>の発電効率(定格の75%負荷時、50%負荷時)の3点の数値をもとに、部分負荷の場合の特性式を図2に示すとおり二次曲線として作成した。

ガスエンジン等では部分負荷時に発電効率が定格時(100%負荷時)に比べ低下する一方、排熱回収効率は向上する傾向がある。そこで排熱回収効率についても、文献<sup>1)</sup>を参考に、75%負荷時、50%負荷時の数値をもとに、3点を通る二次曲線で表現した。なお、発電効率、排熱回収効率ともに負荷率0~50%の領域については、同二次曲線にて外挿する方針とした。

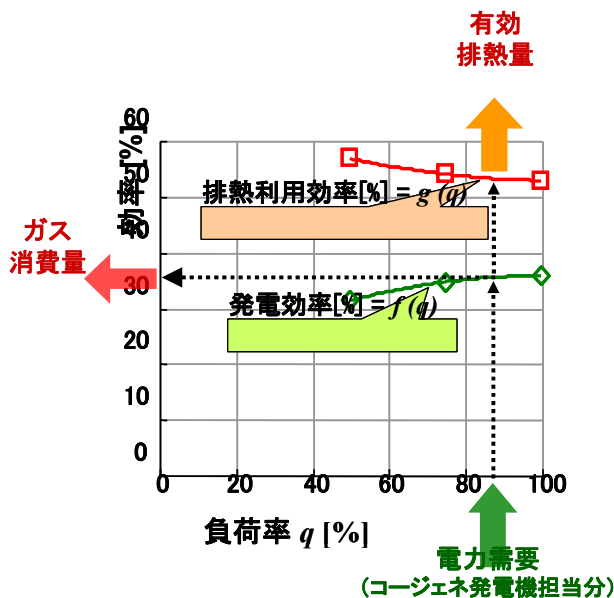


図2 ガスエンジンにおける部分負荷特性

なお、文献<sup>2)</sup>における各種のガスエンジンの部分負荷時のデータをもとに、平均的な水準をデフォルト値として、図3に示すとおり  $\eta_{75}=93(\%)$ 、 $\eta_{50}=82(\%)$  を設けた。

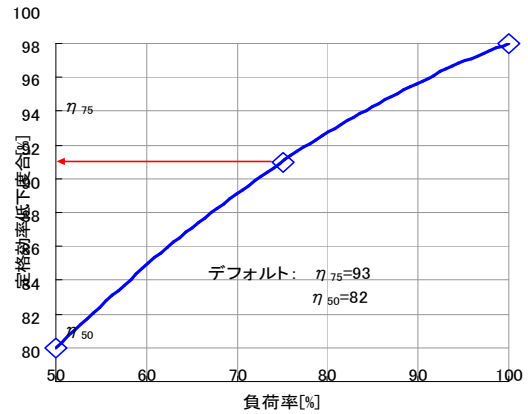


図3 ガスエンジンのモデル開発における部分負荷特性 (発電効率に関するデフォルトの設定)

##### (2) 発電機のコントローラ

図4、図5にガスエンジン発電機の制御のイメージを示す。出力一定制御の場合は「発電目標量=対象発電機の定格発電」として、制御対象発電機に制御信号を送る。一方、電力負荷追従制御の場合は、図5に示すロジックで発電目標量を求め、制御対象発電機に制御信号を送ることとした。

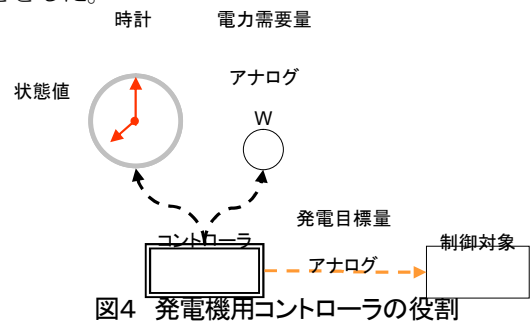


図4 発電機用コントローラの役割

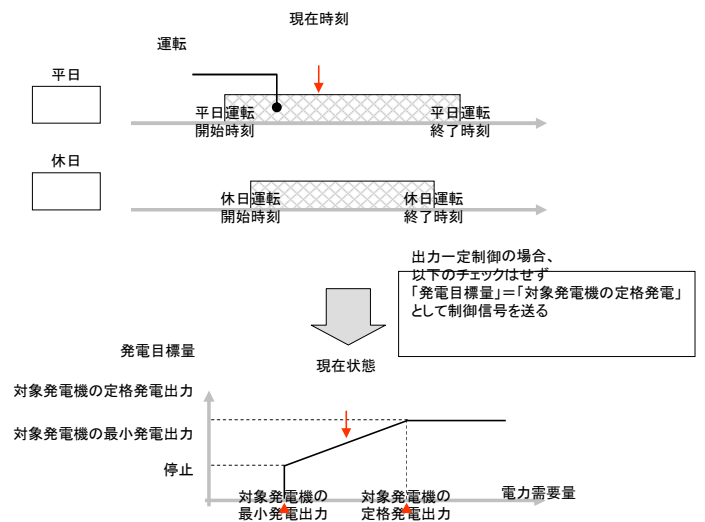


図5 発電機の発電目標量の制御方法

### (3) 排熱投入型吸収冷温水機

排熱投入型吸収冷温水機では、直燃き吸収冷温水機の特性に、排熱利用時の特性を加えてモデル化を行った。図6にモデルの構成を示す。

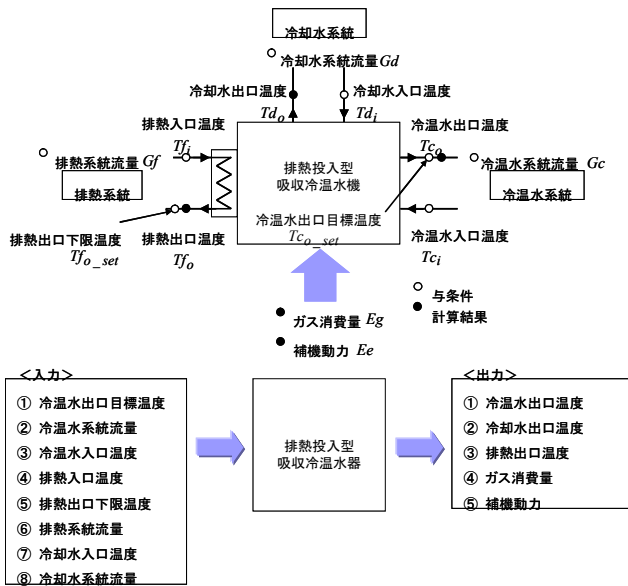


図6 排熱投入型吸収冷温水機のモデル

計算の流れを図7に示す。コントローラから冷水需要量が与えられ、この需要量と排熱のポテンシャル（排熱入口温度、排熱流量）によって排熱回収量を算出する。排熱回収量から、ガス消費量や各系統における出口温度が算出可能となる。

排熱回収量の計算は、各系統の入口温度、流量から排熱回収可能量を算出する。これをもとに排熱出口温度をチェックし、最終的な排熱回収量を算出する。ガス消費量については、排熱利用をせずに直燃吸収冷温水機として運転した時に消費されるガス量から、排熱利用分を差し引いて求める。

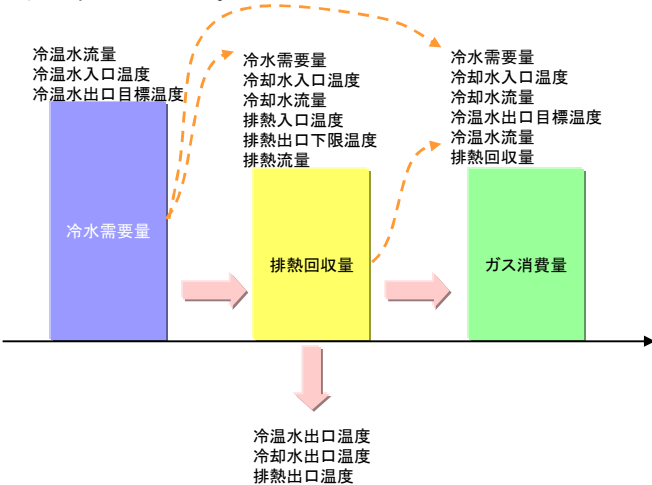


図7 排熱投入型冷温水機の計算フロー

### 5. 連成計算

以下に、開発したサンプルシステムの動作テストを目的として行った夏季の運転シミュレーションの例を示す。事務所を想定しているため給湯予熱の系統は含まれない。本例では下記の条件ならびに表2のケースで実施した。

- ① 各種熱電需要（冷房、暖房、電力）は CASCADE III のモデルを活用し、5分間隔の負荷データを作成
- ② 空調2次側システムについては計算対象から除く
- ③ 熱交換器には、流量によって熱通過有効度が変わるモデルを採用
- ④ 各月は代表日計算（平日、休日）とする

表2 試算用のケース

分類	項目	内容
全体	建物用途	事務所
	延床面積	20,000 m <sup>2</sup>
	ガス種別	都市ガス13A
需要	高位発熱量(HHV)	45 MJ/Nm <sup>3</sup>
	低位発熱量(LHV)	40.63 MJ/m <sup>3</sup>
	電力需要	886 kW
	冷房需要	1,839 kW
発電機	給湯需要	8 kW
	暖房需要	-
	最大発電量	1000 kW
排熱投入型吸収冷温水機	出口温度・90℃、入口温度(戻り温度)・80℃	(10℃差)
	定格冷房能力	2500 kW
給湯	排熱利用時COP	0.7
	定格COP	ガス直燃時COP(冷房):1.3 (暖房):0.88
	給湯用熱交換器効率	70%
	給湯予熱槽側循環流量	10 kg/sec(600 l/min)
	初期の予熱槽内温度	60℃
計算時間間隔	600 sec(10 min)	
予熱槽容量	4 m <sup>3</sup>	
予熱槽給水温度	15℃	

試算結果の例を図8（夏季の2日間の試算結果）に示す。本例ではガスエンジンはDSS運転であり、夜間の停止中の入り口温度の低下、立ち上がりの様子などが再現できている。

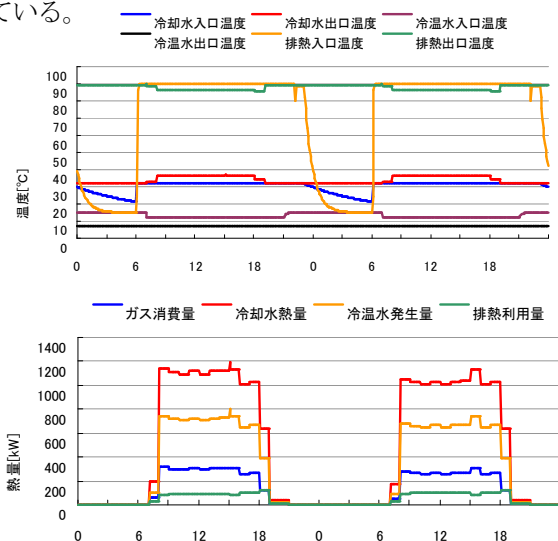


図8 シミュレーション結果(例)

本シミュレーションでは計算負荷軽減の目的から前進法を採用している。そのため、シミュレーション結果をもとに各種構成要素内、要素間の熱収支をチェックした。図9に発電機の排熱量と排熱利用量の例を示す。積算値における両者の差は約15%と無視し得ないものであるが、これは計算順序によっては循環流量と吸収させる熱容量次第で熱収支がずれるためと考えられる。収束計算を行わない連成計算の方針にしたがっているためであるが、計算順序の工夫等が必要になると考えられる。いずれにしても生産量に対して需要量が小さいためコージェネレーションシステムを過大に評価しているわけではなく、概ね満足できる結果を得た。

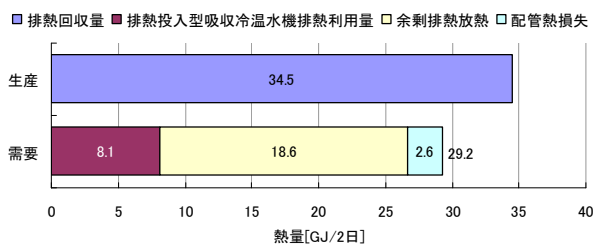


図9 熱収支のチェック(ガスエンジン排熱の例)

## 6. GUIについて

GUIについてはBEST0803版<sup>3)</sup>の標準仕様にしたがい要素機器の仕様のユーザー入力画面を作成した。

図10に例を示す。デフォルト値を充実するとともに、各機種ごとのカタログ値は機種別の型式選定と同時に表示されるようデータベースを順次準備していく予定である。

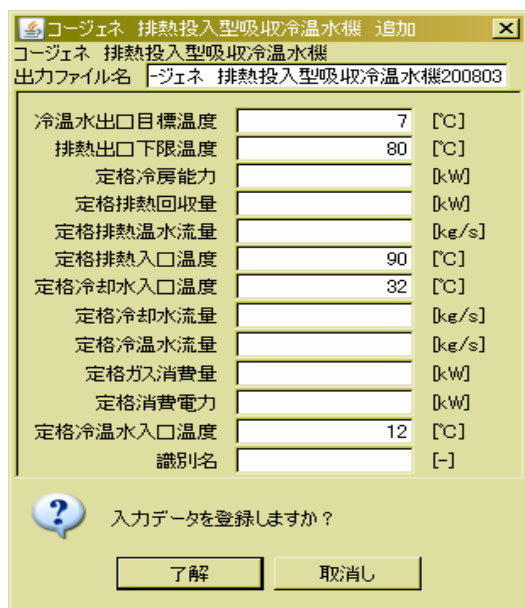


図10 GUIの例

## 7. まとめと今後の課題

設備機器の計算モデルについては、既存の計算モデル

からの流用やメーカーへのヒアリングによって決定しているが、これを接続した状態での試算を行ったところ、循環流量と吸収させる熱容量の大きさによっては、熱収支がずれるという問題があることがわかった。これについては、計算順序の工夫や、現実的な流量にするなどの対処法が必要と考えられる。概ね系の熱収支も良好であり、簡易な計算法で可能なシステムシミュレーションの方法が構築できたと考える。

今後さらに汎用的なシミュレーションを行うにあたっては、以下のような点について検討が必要である。

### (1) 設備機器の拡充

実際の建物では複数の熱源機などが台数制御によって動作するケースが多い。そのため、熱源機の拡充や空気系統の機器の拡充によって、建物全体のシステムシミュレーションを行うような環境が必要になる。

### (2) 汎用性の向上

今回のアルゴリズムには、簡易な「前進法」を採用した。「前進法」の場合、設備機器の計算順序によって、計算結果が大きく異なることが予想されるため、堅牢な計算順序の決定法、もしくはより汎用性を高めるのであれば、簡易な収束を行うアルゴリズムへの変更なども必要と考えられる。

### (3) BEST簡易版、行政版への反映

建築物の省エネルギー基準の仕様基準(ポイント法)対応も視野に入れ、排熱利用給湯などについても適切な評価が行えるよう開発を進める必要がある。

### 【謝辞】

本報は、(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開発普及事業研究会(村上周三委員長)」ならびにアーキテクチャ検討部会(坂本雄三部会長)、建築・空調作業部会(石野久彌部会長)、コージェネレーション検討WG(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ものである。

コージェネレーション検討WG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(日建設計)、昆野京一郎(ヤンマーエネルギーシステム)、佐藤誠(システック環境研究所)、工月良太(東京ガス)、SE: 浅野良吾、神田千恵美(シグマシステム・エンジニアリング)、事務局: 諏佐庄平、生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

### 【参考文献】

- 1) 都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム-CASCADEIII, (社)空気調和・衛生工学会, 2003.12
- 2) 天然ガスコージェネレーションシステム計画・設計マニュアル2005, 日本工業出版, 2005.4
- 3) BEST開発普及事業研究会(第一次)におけるプログラムリリース及び説明会資料, (財)建築環境・省エネルギー機構, 2008.3