

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 56)
 コージェネレーションシステムプログラムの特徴

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

Part 56 Characteristics of the Program for Cogeneration Systems

正 会 員	○ 佐藤 誠	(佐藤エネルギーリサーチ)	特別会員	村上周三	(建築研究所)
正 会 員	秋元孝之	(芝浦工業大学)	正 会 員	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)	正 会 員	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	工月良太	(東京ガス)			

Makoto SATOH^{*1} Shuzo MURAKAMI^{*2} Takashi AKIMOTO^{*3} Hisaya ISHINO^{*4} Kenichi SASAJIMA^{*5}
 Fumio NOHARA^{*6} Hiroshi NINOMIYA^{*6} Yasuhiro TABATA^{*6} Ryota KUZUKI^{*7}

^{*1} Satoh Energy Research Co., Ltd. ^{*2} Buildin Research Institute ^{*3} Shibaura Institute of Technology
^{*4} Tokyo Metropolitan University ^{*5} Nihon Sekkei Co., Ltd. ^{*6} Nikken Sekkei Co., Ltd. ^{*7} Tokyo Gas Co., Ltd.

This paper describes the overview of the development of Cogeneration Systems for the integrated energy simulation tool for buildings and MEP systems. The development modules were the expansion of the generator and controller. Building, air conditioning equipment and electrical equipment integrated with the simulation results were shown.

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。このため、コージェネレーションシステムの性能は、電力需要量と冷温熱需要量(以下、熱電需要量と呼ぶ)のバランスに大きく影響されるのに加え、その発生時刻のずれによっても影響される。この効果を定量的に表現するためには、建築や空調設備、電気設備、衛生設備によるコージェネレーションで賄うべき全ての熱電需要量との連成計算を必要とする。BESTはこれら建築と各種設備とを連成させたシミュレーションが可能のため、コージェネレーションシステムの評価に適したシミュレーションプログラムである。

既報¹⁾では、採用しているシミュレーションモデルの概要に加え、既存の評価プログラムである CASCADE III²⁾に用意されている熱電需要量を境界条件として用いたシミュレーション結果を報告したが、ここでは建築、空調設備、電気設備による熱電需要量との連成計算が可能となったのでここで報告する。

1. 対象としたコージェネレーションシステム

BESTは設備機器やコントローラ、境界条件などのモジュールを自由に接続するアルゴリズムを採用しているため、基本的には自由なシステム構築が可能である。コージェネレーションシステムでは、原則として発電機と排熱利用機器、余剰排熱放熱機器、補機、コントローラで構成される。本報で対象としたのは事務所ビルで採用されることを想定した図1に示すコージェネレーションシステムであり、排熱を冷房と暖房に使い、熱需要の少ない給湯には用いないシステムである。発電機からの排熱は、最も高温が

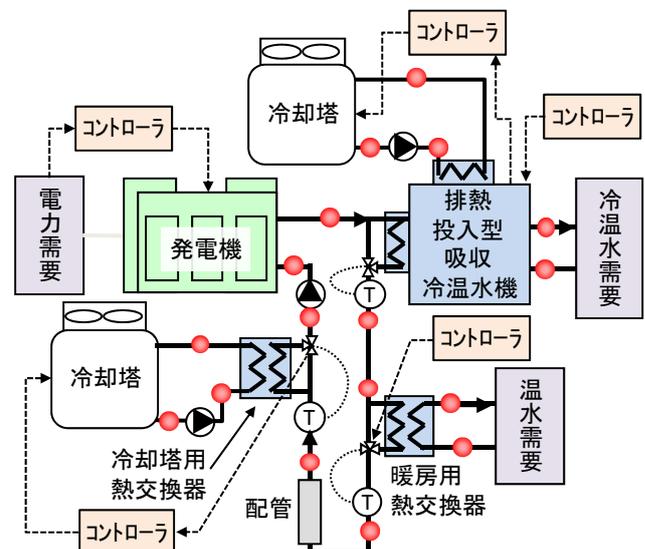
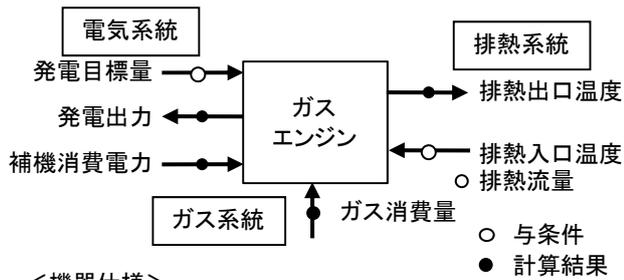


図1 ガスエンジンコージェネレーションシステム例



<機器仕様>

- | | |
|-----------------|-----------------|
| ①最小発電出力 | ②定格発電出力 |
| ③定格発電効率 | ④負荷率75%時の発電効率 |
| ⑤負荷率50%時の発電効率 | ⑥定格排熱回収効率 |
| ⑦負荷率75%時の排熱回収効率 | ⑧負荷率50%時の排熱回収効率 |
| ⑨補機動力電力消費率 | ⑩発電周波数 |
| ⑪発電相数 | ⑫発電定格電圧 |

<入力>

- | | |
|--------|---------|
| ①発電目標量 | ②排熱入口温度 |
| ③排熱流量 | |

<出力>

- | | |
|--------|---------|
| ①発電出力 | ②排熱出口温度 |
| ③ガス消費量 | ④補機消費電力 |

図 2 ガスエンジンの入出力項目

必要とされる排熱投入型吸収冷温水機に使用される。その後、暖房用の熱交換器に入り、配管を通して余剰排熱があった場合の冷却塔用熱交換器に入り、発電機へと戻るシステムである。BEST におけるシステムシミュレーション法は前進法を採用しており、系がハンチングするのを防止するために配管を設置し、前進法での循環系の前時刻との矛盾を配管の熱容量によって吸収させることを想定している。

2. 主要なモジュールの計算モデル

2.1 発電機

発電機としては、ガスエンジン、ガスタービンのモデルを作成した。一例として、ガスエンジンの入出力項目を図 2 に示す。機器仕様はカタログや技術資料に記載の一般的な内容であり、定格効率に加え、代表 2 点の部分負荷の効率も入力させるので、実際のシミュレーション時にはこれら 3 点の部分負荷特性曲線を 2 次式で補間する。ガスタービンもほぼ同様であるが、外気温度の上昇に伴う発電出力の向上を考慮している。また、動特性のモデル化を除けば、ガスエンジンと同様なロジックでリン酸型燃料電池にも応用でき、BEST に実装している。

2.2 コントローラ

コントローラについては、既報¹⁾の通り発電機用のコン

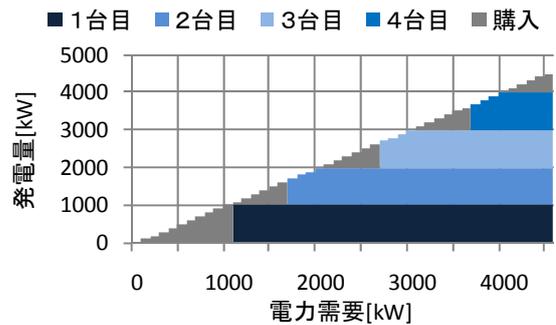
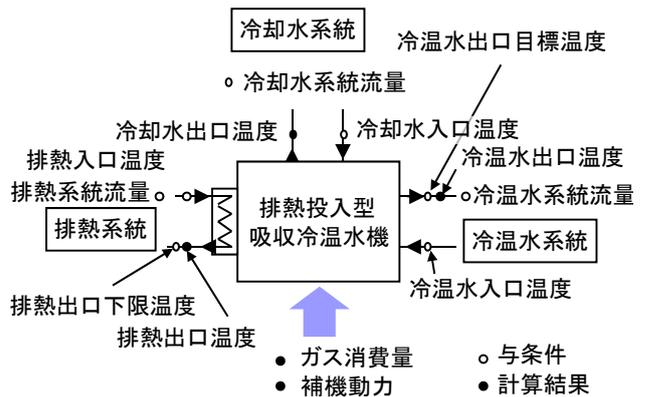


図 3 発電機台数制御コントローラの例



<機器仕様>

- | | |
|------------|------------|
| ①定格冷房能力 | ②定格暖房能力 |
| ③定格冷房ガス消費量 | ④定格暖房ガス消費量 |
| ⑤定格冷房消費電力 | ⑥定格暖房消費電力 |
| ⑦定格排熱入口温度 | ⑧排熱出口下限温度 |
| ⑨定格排熱温水流量 | ⑩定格排熱回収量 |
| ⑪冷水出口目標温度 | ⑫定格冷水入口温度 |
| ⑬定格冷水流量 | ⑭温水出口目標温度 |
| ⑮定格温水入口温度 | ⑯定格温水流量 |
| ⑰定格冷却水入口温度 | ⑱定格冷却水流量 |

<入力>

- | | |
|------------|----------|
| ①冷温水出口目標温度 | ②冷温水系統流量 |
| ③冷温水入口温度 | ④排熱入口温度 |
| ⑤排熱出口下限温度 | ⑥排熱系統流量 |
| ⑦冷却水入口温度 | ⑧冷却水系統流量 |

<出力>

- | | |
|----------|----------|
| ①冷温水出口温度 | ②冷却水出口温度 |
| ③排熱出口温度 | ④ガス消費量 |
| ⑤補機動力 | |

図 4 排熱投入型吸収冷温水機の入出力項目

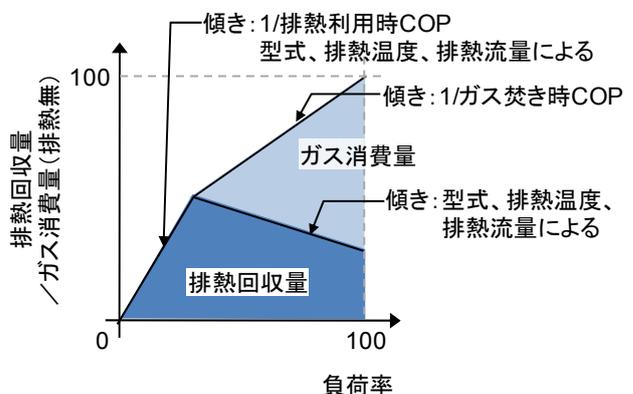


図 5 排熱投入型吸収冷温水機の計算概念

ントローラに加え、複数台の発電機を一括して制御する台

数制御対応のコントローラも開発した。台数制御コントローラの制御例を図 3 に示す。同図は 1000kW 発電機 4 台を台数制御し、1 台目は出力一定、それ以降は最小出力を 600kW として電力負荷追従運転をする場合の電力需要に対する各発電機の発電量を表している。

2.3 排熱投入型吸収冷温水機

排熱投入型吸収冷温水機の入出力項目は図 4 の通りである。ここでは、温水排熱を利用する型式のみを対象とする。排熱投入型吸収冷温水機の排熱回収量は、負荷率や排熱温度、排熱流量によって異なるが、ある程度の低負荷運転時には排熱のみによって冷水を発生するが、負荷率が高くなると排熱では冷水の需要に対応できなくなるため、排熱回収量を減じて行き徐々にガス焼き増し量を増加させていく機器の特徴を再現している。

3. シミュレーション例

3.1 シミュレーション設定条件

シミュレーションは表 1 の設定で行った。コージェネレーションシステムは、図 1 とした。発電機にはガスエンジンを用い、約 90℃の温水排熱を排熱投入型吸収冷温水機で利用する。この際、余剰排熱がある場合には冷却塔によって大気へ放熱する。

3.2 シミュレーション結果

図 6 に夏期代表日のシミュレーション結果を示す。ガスエンジンは電力負荷追従運転を設定したため、出力が時刻によって変動している様子がわかる。ガスエンジンの排熱出入口温度を見るとわかるが、夜間のシステム停止中に系の熱容量体である配管の温度が外気温度程度まで低下し、冷却された排熱温水がガスエンジンに流入している状態が再現されている。排熱投入型吸収冷温水機はガスエンジンの運転直後は排熱系の温度が低いことから排熱は全く用いずガスの直焼き運転を行っている。また、18 時ごろより冷温水熱量が徐々に減少してくると排熱利用量が若干増加し、ガス消費量は低下するという機器の特性を再現できていることが確認できる。

図 7 に BEST にて実施した年間シミュレーションの内、7 月、8 月の 2 ヶ月間についてガスエンジンの運転時における負荷率と発電効率、排熱回収効率の関係を示す。同図には、入力した定格、負荷率 75%、同 50%時の発電効

表 1 シミュレーション設定条件

項目	設定値
全体	ガス種:都市ガス 13A 発熱量:45MJ/m ³ (HHV)
建築	延床面積:9919m ² (12 フloor) 天井高さ:2.6m ゾーニング:8 ゾーンに分割し、各ゾーンに空調機を設置
運転スケジュール	運転時間:8:00~22:00(月曜~金曜) 暖冷房期間:冷房(5~11月)、暖房(12~4月)
ガスエンジン	定格発電出力:350kW 定格発電効率/定格排熱回収効率(LHV 基準):40.5%/34.5% 補機動力:17.5kW 制御方法:電力負荷追従運転
排熱投入型吸収冷温水機	冷房時(定格能力/ガス消費(排熱無し)/電力消費/定格排熱回収量):1055/822/5.1/326kW 加熱時(定格能力/ガス消費/電力消費):692/822/4.8kW
暖房用熱交換機	能力 298kW
ポンプ	冷温水ポンプ 流量:3024L/min、消費電力:30kW 冷却水ポンプ 流量:5000L/min、消費電力:22kW 温水ポンプ 流量:855L/min、消費電力:11kW 排熱循環ポンプ 流量:481.8L/min、消費電力:3.7kW 排熱冷却用冷却水ポンプ 流量:963.6L/min、消費電力 7.5kW
冷却塔	冷却水流量:5000L/min ファン:16.5kW
冷却水三方弁制御	熱源の冷却水入口温度を観測対象とし、目標設定温度になるように冷却水三方弁の流量比に PID 制御を行なう
熱源台数制御	還りヘッダ入口と送りヘッダ出口の状態から求めた熱量を観測対象に、熱源2台の台数制御を行なう

率、排熱回収効率も併記したが、発電効率、排熱回収率のいずれにおいても各部分負荷時の効率を 2 次補間するという想定通りの結果が得られていることを確認できた。

システムシミュレーションで採用している前進法の妥当性を検証するために夏期 2 カ月間の排熱系統の熱収支を確認したところ、ガスエンジンの排熱回収量と需要量(排熱投入型吸収冷温水機の排熱回収量と未利用分との合計値)との差は 3%程度であり、実用上支障の無い範囲であった。しかしながら、細かく見るとシステムの運転開始時の収支にずれが生じることがあることが確認できた。これは、前進法を用いているためであり、本来計算時間間隔である 5 分後には排熱系統が循環して系の温度が

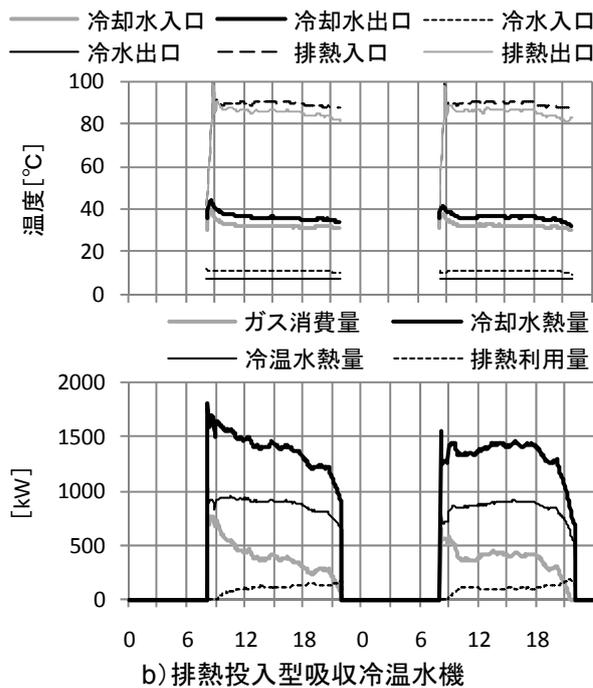
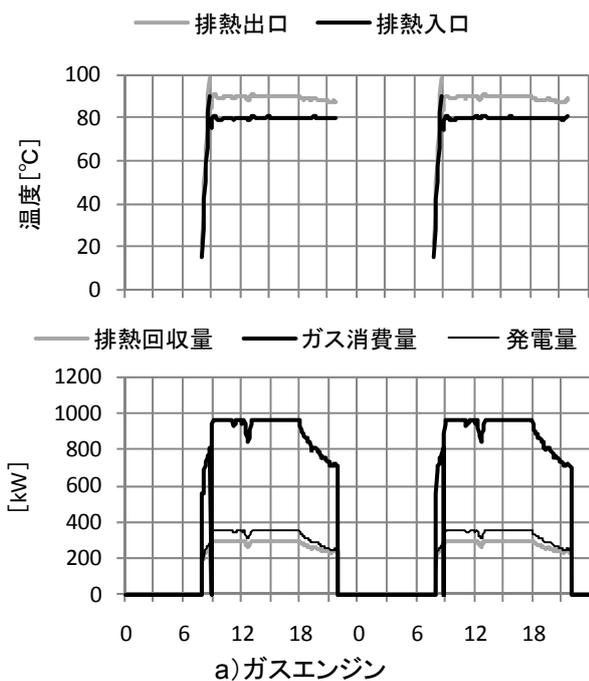


図 6 夏期代表日のコージェネレーションシステムシミュレーション結果例(8月10日、11日)

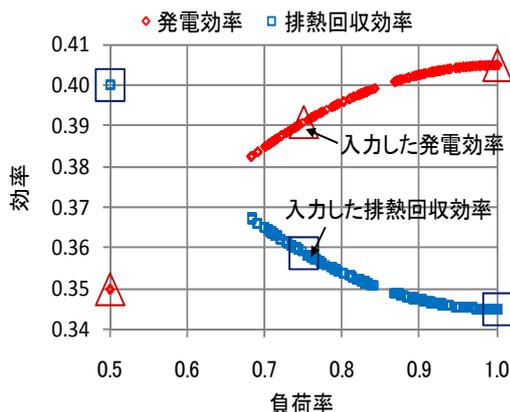


図 7 ガスエンジンにおける負荷率と発電効率、排熱回収効率の関係(7月、8月の2ヶ月間)

徐々に上昇するはずであるが、前進法では当該時刻のシミュレーション時に排熱が1回しか循環せず、理論上ガスエンジンの排熱は系の熱容量体である配管に全て蓄熱されたと扱われている。排熱回収量と配管熱容量との間の安定条件を無視していることも原因である。先に述べた通り、期間積算の誤差は3%程度であるが、以上の理由から運転回数が多くなってくると無視できない誤差を生じる可能性があるため今後も継続して確認する予定である。

4. まとめと今後の課題

BESTにおけるコージェネレーションシステムのシミュレーションの概要と例題について述べた。今後は以下のよ

うなシステムのシミュレーションについて検討する予定である。

- ① 給湯を含めた連成シミュレーション
- ② 排熱を蒸気で取り出した際のシミュレーション
- ③ 太陽熱とコージェネレーションシステムとが融合したシステムのシミュレーション

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 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)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、クラス構想 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)、昆野京一郎(ヤンマーエネルギーシステム)、佐藤誠(佐藤エネルギーリサーチ)、工月良太(東京ガス)、斎藤央、(システック環境研究所)、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、村上周三、笹嶋賢一、石野久彌、野原文男、工月良太: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) 都市ガスによるコージェネレーション評価プログラムー CASCADEIII、空気調和・衛生工学会、2003.12