

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 Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST Part 126 Simulation Study on Cogeneration system using BEST for Revised Energy-Conservation Standards

| | | | | | |
|--------|--------|-----------------|--------|-------|---------------|
| 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) |
| 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 | 笹嶋賢一 | (日本設計) |
| 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 | 工月良太 | (東京ガス) |
| 正会員 | 藤居達郎 | (日立製作所) | | | |

Makoto SATOH^{*1} Norie TSUJIMARU^{*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} Tatsuo FUJII^{*8}

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

This paper describes a method for determining power generator capacity from yearly power consumption duration curve by cogeneration system simulation using BEST for Revised Energy-Conservation Standards. It is also shown the result of simulation case studies of cogeneration system by changing generator capacity and number of generators.

1. はじめに

2013年4月に改正された省エネルギー基準(以下、平成25年省エネ基準)では、建物の外皮性能と単位面積当たりの年間1次エネルギー消費量で評価することとなり、The BEST Program(以下、BEST)においても平成25年省エネ基準に対応するように、BEST改正省エネ基準対応ツールが開発され公開された。

コージェネレーション検討SWGでは主にBEST専門版の開発を行ってきており、既報¹⁾の通り報告してきた。本報では、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シミュレーション方法の事例と、コージェネレーションシステムのケーススタディについて述べる。なお、本報はBEST改正省エネ基準対応ツールのVer. 1.0.5について記載しており、今後のバージョンアップでは変更になる部分もあることを記しておく。

2. 通常のコージェネレーション容量設計法と提案方法

通常のコージェネレーションシステムの設計法は、表1に示されるような建物用途ごとの電力、冷房、暖房、給湯の最大負荷や年間負荷や文献²⁾に示される季節・時刻別パターンを参考に、発電機定格出力などを決定することが多いと考えられる。一般的な建物においては原単位を使った容量設計法は非常に便利であるが、省エネに配慮した建物を設計する場合には、表1に示す最大負荷や年間負荷とは異なる場合が多い。たとえば、昨今はZEBや低炭素建築への関心から照明用消費電力の削減などを狙った設計がなさ

れているが、当然ながら最大負荷や年間負荷は同表とは大

表1 文献²⁾による各種建物の最大負荷、年間負荷

| | 事務所 (標準型) | 事務所 (OA型) | 病院 | ホテル | 店舗 | スポーツ 施設 |
|----------------------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|------------|
| 最大負荷[W/m ²] | | | | | | |
| 電力負荷 | 50 | 71 | 50 | 50 | 70 | 70 |
| 熱負荷 | 給湯 | 16.3 | 46.5 | 116.3 | 23.3 | 814* |
| | 暖房 | 58.1 | 34 | 95.3 | 77.9 | 93 |
| | 冷房 | 104.7 | 123.3 | 104.7 | 87.2 | 139.5 |
| 年間負荷[kWh/m ² y] | | | | | | |
| 電力負荷 | 156 | 189 | 170 | 200 | 226 | 250 |
| 熱負荷 | 給湯 | 2.6 | 2.1 | 93 | 93 | 1017* |
| | 暖房 | 36 | 68.6 | 86 | 93 | 40.7 |
| | 冷房 | 81.4 | 153.5 | 93 | 116.3 | 145.3 |

*スポーツセンターの給湯負荷は建物規模[m²]の影響が少ないため実数値となっている

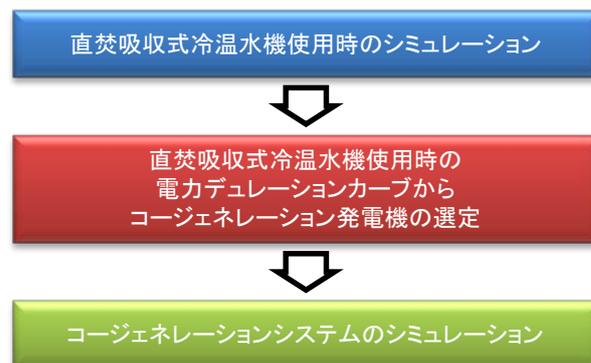


図1 BEST改正省エネ基準対応ツールを使用したコージェネレーションシステムのシミュレーション方法

大きく異なることも多い。

BEST 改正省エネ基準対応ツールによるシミュレーションでは、図 1 に示すように設計する建物に対してまず直焚吸収式冷温水機を使用した時の年間システムシミュレーションを実施し、得られた毎時の消費電力のデューレーションカーブ等から発電機の定格容量などを決定する。本提案方法を

表 2 建物、熱源概要

| 項目名 | 仕様 |
|-------------------|--------------------------------------|
| 建物概要 | |
| 延床面積 | 10,000 m ² (地上 9 階) |
| 運転時間 | 8:00~21:00(月曜~金曜) |
| 冷暖房期間 | 冷房(5~11 月)、暖房(12~4 月) |
| 送風制御 | CAV 方式 |
| 2 次ポンプ制御 | CWV 方式 |
| 熱源 | |
| 直焚 | 定格能力 冷房:985kW、暖房:788kW |
| 吸収式 冷温水 機 | 定格ガス消費量 冷房:895kW、暖房:901kW |
| | 定格消費電力 8.2kW |
| | 定格流量 冷温水:1700L/min 冷却水:4500 L/min |
| | 排熱 |
| 投入型 吸収冷 温水機 | 定格ガス消費量 冷房:704kW(排熱無)、暖房:965kW |
| | 定格消費電力 9kW |
| | 定格流量 冷温水:1700L/min 冷却水:4500 L/min |
| | |

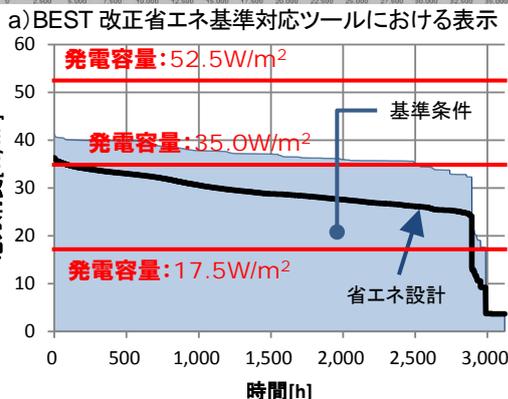
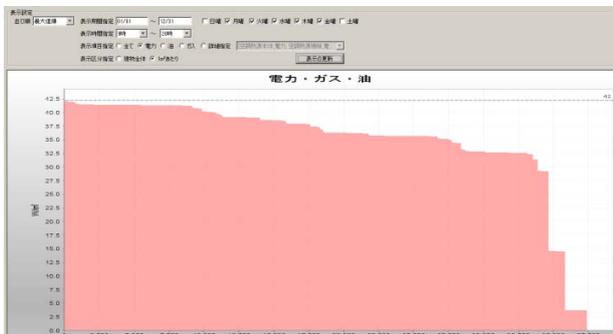


図 2 直焚吸収式冷温水機使用時の電力消費デューレーションカーブ

- ※ 年間の平日(月~金曜、祝日を含む)の 9~21 時を抽出して描画した。
- ※ 基準条件: CAV、CWV、照明: 省エネ制御なし
- ※ 省エネ設計: VAV、VWV、照明: 事務室一昼光利用、非空調室一在室検知制御)

用いると、建築的な工夫や省エネ設計を行った建物においても適切な容量の設計が行え、非常に有用である。しかしながら、コージェネレーションシステムの容量設計は本来、熱電需要の両方から選定する必要があり、熱需要についても確認できる方法が必要であると考えられる。

3. コージェネレーションシステムの計算例

ここでは、BEST 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機器容量の設計や年間エネルギーシミュレーションのケーススタディについて述べる。

3.1 建物概要

コージェネレーションシステムの計算例は、東京の 9 階建て 10,000m²の事務所とした。建物概要を表 2 に示す。

3.2 直焚吸収式冷温水機使用時のシミュレーションによる発電機器容量の設計

図 1 に示したように、まずは当該建物に対し直焚吸収式冷温水機を採用して年間エネルギーシミュレーションを実施した。年間平日の 9~18 時の時間帯についての電力デューレーションカーブを図 2 に示す。同図 a) は BEST 改正省エネ基準対応ツールにおける描画例であり、抽出条件を設定すると時系列グラフやソートした結果を表示することができる。同図のデューレーションカーブから定格発電容量として 35W/m²以下を選定することで年間 2000 時間を超えて定格発電出力で稼働できることがわかる。もし最小発電出力が定格発電出力の 50% であるとすれば、年間の稼働時間は 2800 時間を見込める。また、同図中には省エネ設計を行った場合の電力消費のデューレーションカーブも記載した。BEST 改正省エネ基準対応ツールを用いると、省エネ設計等による実際の建物の電力消費特性を加味したコージェネレーションシステムの容量設計を行うことができ、表 1 に示したような建物用途ごとに示される固定値を用いるよりも適した容量設計が行えると考えられる。

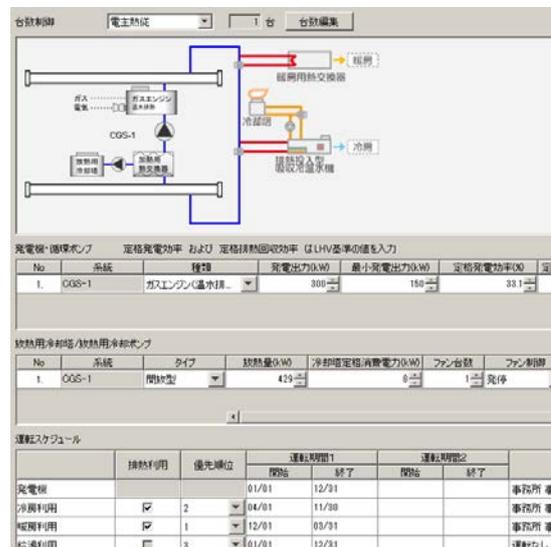


図 3 BEST 改正省エネ基準対応ツールにおけるコージェネレーションシステムの入力画面

3.3 コージェネレーションシステムのシミュレーション

BEST 改正省エネ基準対応ツールにおけるコージェネレ

表 3 コージェネレーションシステムの入力項目

| 項目 | 単位 | 備考 |
|-----------------|-------|-----------------------------------|
| 発電機・循環ポンプ | | |
| 発電機種類 | — | Ver. 1.0.5 では『ガスエンジン(温水排熱)』のみ選択可能 |
| 発電出力 | kW | |
| 最小発電出力 | kW | |
| 定格発電効率 | % | |
| 定格排熱回収効率 | % | |
| 補機動力電力消費率 | % | |
| 定格排熱温水流量 | L/min | |
| 揚程 | kPa | |
| ポンプタイプ | — | 『渦巻/多段渦巻/ライン』より選択 |
| 電動機 | — | 『標準/高効率/IPM』より選択 |
| 放熱用冷却塔・放熱用冷却ポンプ | | |
| タイプ | — | 『開放型/密閉型』より選択 |
| 放熱量 | kW | |
| 冷却塔定格消費電力 | kW | |
| ファン台数 | 台 | |
| ファン制御 | — | 『発停/台数制御/インバータ制御』より選択 |
| 出口水温 | ℃ | |
| 最低出口温度 | ℃ | |
| 冷却水量 | L/min | |
| 揚程 | kPa | |
| ポンプタイプ | — | 『渦巻/多段渦巻/ライン』より選択 |
| 電動機 | — | 『標準/高効率/IPM』より選択 |
| 電動機制御 | — | 『固定速/インバータ制御』より選択 |
| 運転スケジュール | | |
| 排熱利用有無 | — | 『冷房/暖房/給湯』について有無を選択 |
| 優先順位 | — | |
| 運転期間 | — | |
| 運転スケジュール | — | 登録したスケジュールより選択 |

ーションシステムの入力画面を図 3、入力項目を表 3 に示す。入力項目は Ver. 1.0.5 における項目であり、今後のバージョンアップによって変更になる可能性もある。入力は、コージェネレーションシステムの入力を重点的に行えばよく、空調熱源や給湯熱源 (Ver. 1.0.5 では給湯にコージェネレーション排熱は使用できない) については自動的に接続されるようになっている。本例題では給湯にコージェネレーション排熱を使用していないため、主な変更点は、①コージェネレーションシステム、②空調熱源の暖房用熱交換器の 2 点である。直焚吸収式冷温水機と排熱投入型吸収式冷温水機とでは、排温水に関連する入力項目が異なるが、BEST 改正省エネ基準対応ツールでは排温水に関連する項目については自動的に設計されるようになっているため、実質暖房用熱交換器のスペックのみを入力するだけでよい。

表 4 に示すコージェネレーションシステムを導入した時のシミュレーション結果を図 4 に示す。BEST 改正省エネ基準対応ツールだけで同図程度の集計グラフの表示が可能であるが、論文掲載上グラフを再作成している。同図を見ても、月ごとの発電量はほとんど変化しないことから発電機の運転時間が安定している様子が確認できる。HHV 基準で入力した定格発電効率 36.5% に対し、シミュレーションによる年間発電効率は 34.3% であり、効率の面からも定格発電出力で運転していることがうかがえる。空調熱源本体はコー

表 4 計算例におけるコージェネレーションシステム入力項目

| 項目 | 内容 |
|-----------|-----------------------------|
| 定格発電出力 | 350kW (35W/m ²) |
| 定格発電効率 | 40.5% (LHV) = 36.5% (HHV) |
| 定格排熱回収効率 | 34.5% (LHV) = 31.1% (HHV) |
| 補機動力電力消費率 | 5% |
| 発電機運転期間 | 6~9 月、12~3 月 |
| 排熱利用 | 暖房(優先順位 1 位)、冷房(同 2 位) |
| 発電機制御方式 | 電主熱従方式 |

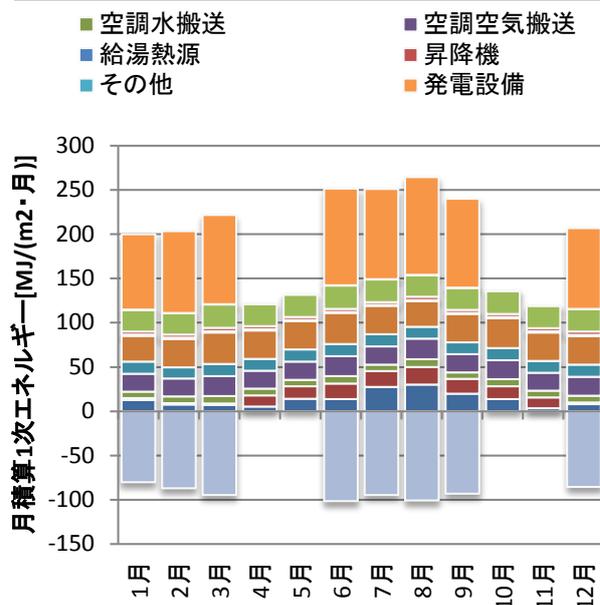
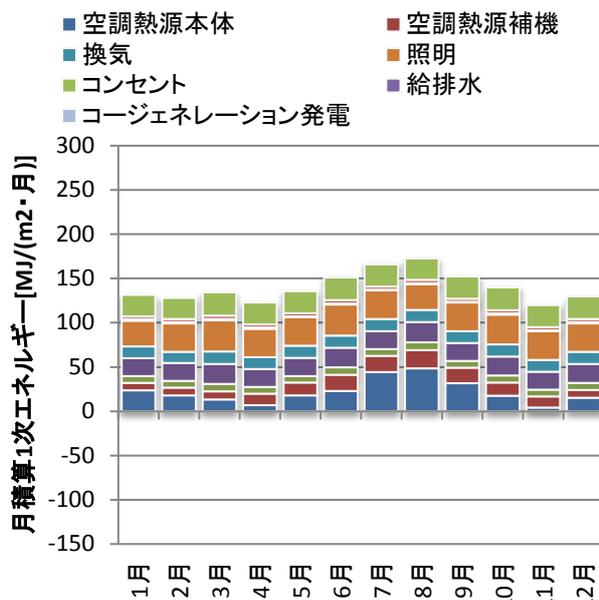


図 4 月積算 1 次エネルギー消費量

※ コージェネレーション発電: 発電機の発電量 ※ 発電設備: 発電機に係る全エネルギー消費量

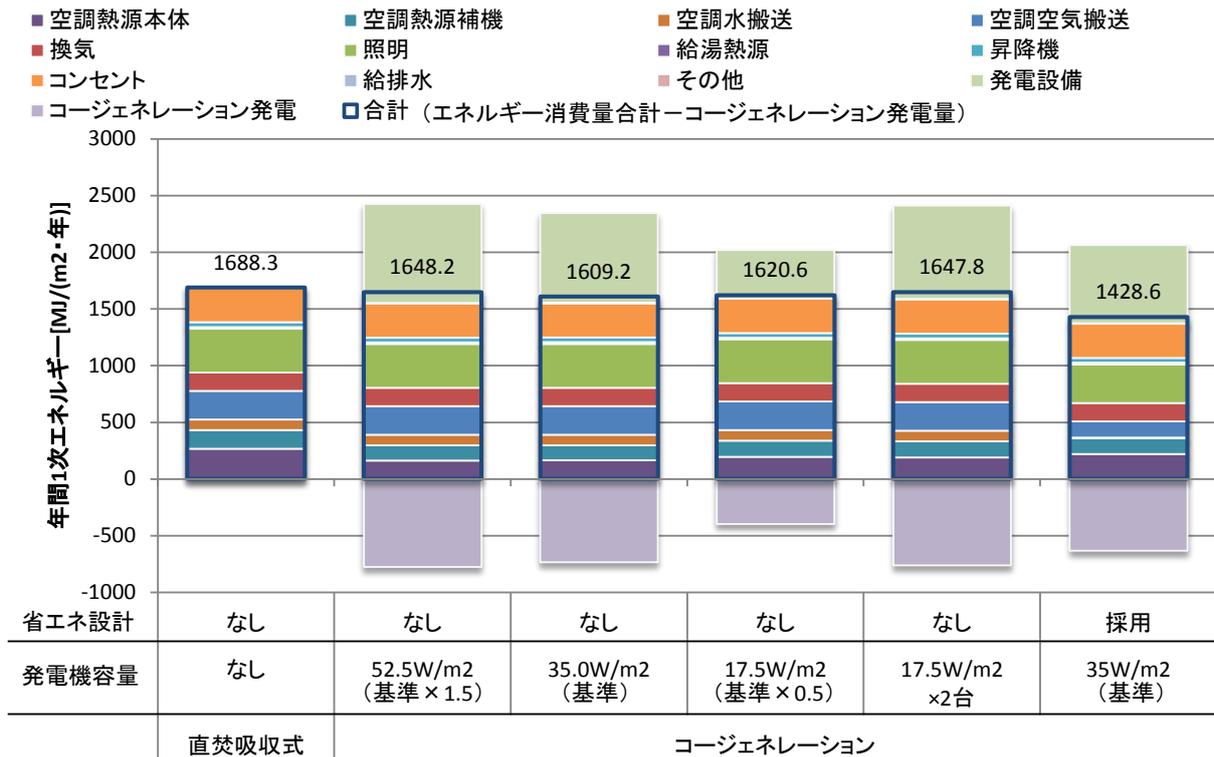


図 5 コージェネレーションシステムのケーススタディ

※ 省エネ設計 なし:CAV、CWV、照明(省エネ制御なし)、採用:VAV、VWV、照明(事務室-昼光利用、非空調室-在室検知制御)
 ※ コージェネレーション発電:発電機の発電量 ※発電設備:発電機に係る全エネルギー消費量

ジェネレーション排温水を使用できることから冷房で 34%、暖房で 47%の燃料消費量の削減効果があった。

4. コージェネレーションシステムのケーススタディ

BEST 改正省エネ基準対応ツールを用いてコージェネレーションシステムのケーススタディとして発電機容量の変更や台数制御の有無、コージェネレーション以外の省エネ設計の有無による感度解析を実施した。発電機容量は図 2 で求めた 35W/m²を基準として、1.5 倍と 0.5 倍、さらに 0.5 倍の発電機を 2 台設置し台数制御をおこなったケースも想定した。また、空調 2 次側と照明について省エネ設計を実施した時のシミュレーションも行った。

シミュレーション結果を図 5 に示す。図 2 のデューレーションカーブが比較的矩形に近いことから、今回の設定条件では発電機容量を変更した時のシミュレーション結果の変化は小さいことがわかった。本シミュレーションでは、電力需要だけから容量選定する方法を示したが、今後は排熱の利用状況も加味した容量設計法の検討が必要であろう。また、台数分割を行った場合は、高効率に運転する一方で発電機まわりの補機の消費電力が増加することから、同容量で 1 台の場合(35.0W/m²)に比べてエネルギー消費量が増加する傾向となった。発電機の容量設計も重要であるが、空調 2 次側や照明の省エネルギーによる削減効果が大きいことが確認できる。

5. まとめと今後の課題

BEST 改正省エネ基準対応ツールのコージェネレーションにおける活用例として、新たな容量設計法の提案を行った。また、発電機容量を種々に変化させた場合のケーススタディを行った。

今後、コージェネレーション検討 SWG では、BEST における蒸気排熱を利用したコージェネレーションシステムの試算や、BEST を用いた ZEB の検討などの計算事例の拡充を行う予定である。

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「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)、藤原達郎(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) 秋元ら: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、56、57、76、91、92、105、106)、空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集
- 2) (社)日本エネルギー学会編、柏木孝夫監修: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、pp. 64、2008.4