

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 76)  
太陽熱利用とコージェネレーションの複合システムのシミュレーション

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

Part 76 Simulation of Cogeneration Systems Integrated with Solar Energy

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<sup>\*1</sup> Shuzo MURAKAMI<sup>\*2</sup> Takashi AKIMOTO<sup>\*3</sup> Hisaya ISHINO<sup>\*4</sup> Kenichi SASAJIMA<sup>\*5</sup>  
Fumio NOHARA<sup>\*6</sup> Hiroshi NINOMIYA<sup>\*6</sup> Yasuhiro TABATA<sup>\*6</sup> Ryota KUZUKI<sup>\*7</sup>

<sup>\*1</sup> Satoh Energy Research Co., Ltd. <sup>\*2</sup> Buildin Research Institute <sup>\*3</sup> Shibaura Institute of Technology  
<sup>\*4</sup> Tokyo Metropolitan University <sup>\*5</sup> Nihon Sekkei Co., Ltd. <sup>\*6</sup> Nikken Sekkei Co., Ltd. <sup>\*7</sup> Tokyo Gas Co., Ltd.

This paper describes the overview of the development of Cogeneration Systems combined with solar system for the integrated energy simulation tool for buildings and MEP systems. The development modules were the solar collector. Building, air conditioning equipment, sanitary 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

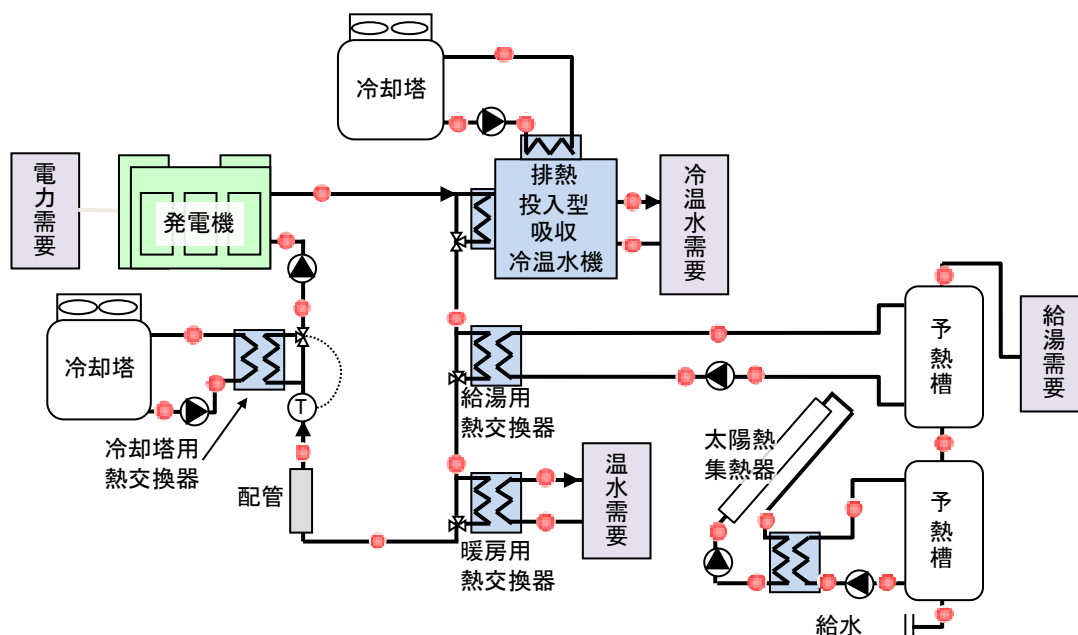


図 1 太陽熱利用エンジンコージェネレーションシステム例  
(BEST 省エネルギー計画書作成支援ツールで使用されるシステム)

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。一方、コージェネレーションシステムと太陽熱利用システムとを統合したシステムの事例も出てきており、複雑な制御の工夫によってシステム性能が変化することから BEST などの連成シミュレーションによって性能を把握することは重要である。

既報<sup>1),2)</sup>では、構成する代表的なモジュールでのシミュレーションモデルの紹介に加え、事務所ビルを対象に発電機からの排熱を冷暖房に利用するシステムのシミュレーション例を紹介した。また、コージェネレーション排熱利用機器の例として BEST に実装したデシカント空調機の計算モデルや連成シミュレーション例を紹介した。本報では新たに太陽熱利用機器として作成した集熱器の計算モデルと太陽熱とコージェネレーション排熱を給湯に利用するシステムのシミュレーション例について紹介する。

## 1. 太陽熱利用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。太陽熱を利用す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太陽熱集熱器、予熱槽、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病院やホテルのように比較的給湯需要が大きな建物用途を想定したことから図 1 に示す太陽熱利用コージェネレーションシステムである。排熱は冷房と暖房、給湯に使用する。太陽熱は比較的低温で熱需要の大きい給湯の予熱に利用され、太陽熱の予熱槽をコージェネレーションシステムの予熱槽に接続し、給湯の 2 次側へ供給される。本システムは BEST 省エネルギー計画書作成支援ツールで使用されているシステムであるが、BEST 省エネルギー計画書作成支援ツールが延床面積 5,000m<sup>2</sup> 以下の建築物を対象としていることから勘案すると若干過剰設備となっている。

発電機からの排熱は、最も高温が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、給湯用熱交

換器、暖房用熱交換器の順に利用されそれでも余剰排熱があった場合には冷却塔で排出され発電機へと戻るシステムである。排熱系統に設置されている配管は、排熱系統の熱損失をシミュレートする目的もあるが、BEST におけるシステムシミュレーションで用いられている前進法のアルゴリズムでは、小さい系でシミュレーションした際にハンチングすることがあるので、ハンチングを防止するため配管の熱容量でハンチングを吸収させる役割を持たせている。

## 2. 代表的なモジュールの計算モデル

### 2.1 太陽熱集熱器

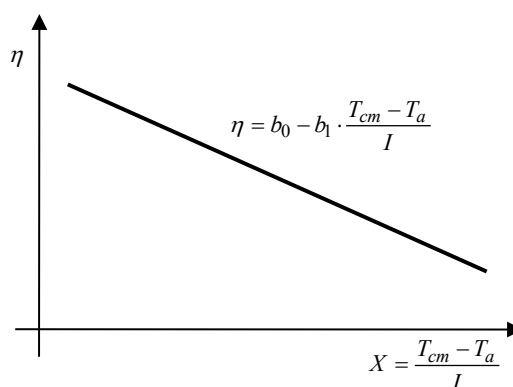


図 2 太陽熱集熱器の計算モデル

$T_{cm}$  : 熱媒の平均温度[°C]、 $T_a$  : 外気温度[°C]、 $I$  : 集熱器入射日射量[W/m<sup>2</sup>]、 $\eta$  : 集熱効率[-]、 $b_0$  : 集熱器特性式切片[-]、 $b_1$  : 集熱器特性式傾き[W/m<sup>2</sup>K]

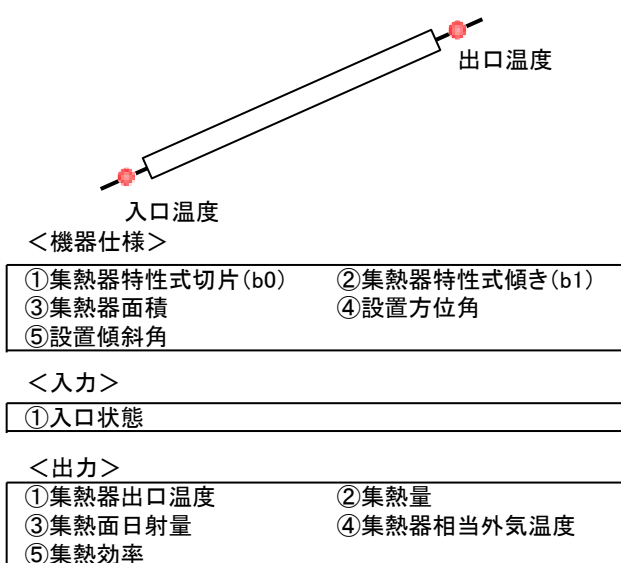


図 3 太陽熱集熱器の入出力項目

### 2.1.1 計算モデルの概要

太陽熱集熱器の計算モデルは文献<sup>3)</sup>に示されるモデルである。これはJIS A 1425に示される図2に示すような効率特性を想定するものであり、効率を線形近似する方法である。集熱器の透過体には文献<sup>3)</sup>に示される入射角特性も考慮している。

### 2.1.2 入出力項目

太陽熱集熱器の入出力項目は図3に示すものであり、集熱器の特性値や集熱面積、設置方位角、傾斜角である。

### 2.2 予熱槽

コージェネレーションの排熱や太陽熱を用いた給湯の予熱槽は簡易化のため完全混合モデルを採用している。BEST省エネルギー計画書作成支援ツールでは入力項目を極力少なくするために予熱槽の容量や設置環境などはコージェネレーションの発電機排熱能力や太陽熱集熱器面積などから自動設計するようになっている。

## 3. BESTにおける入力項目

### 3.1 BEST専門版

BEST専門版における入力項目の例として太陽熱集熱器の入力画面を図4に示す。BEST専門版では、非常に多くのシステム入力ができるようにする必要があるので入力が非常に煩雑である。太陽熱集熱器では夏季などに集熱システムの熱媒温度が100℃を超え沸騰することを避けるためにラジエータを設けることがあるが、太陽熱集熱器のモジュールにおいてもシミュレーションで集熱器出口温度が100℃を超えるような結果になった場合にはラジエータが運転することを想定し、ラジエータの消費電力を積算する機能を有する。

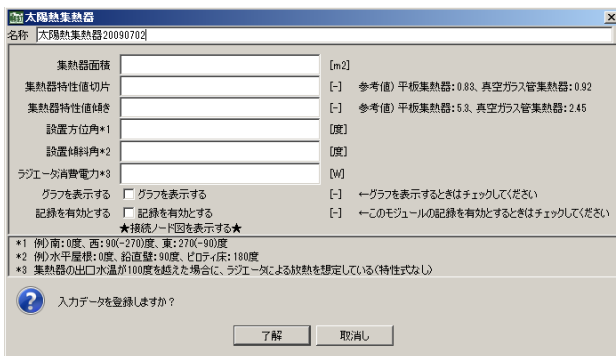


図4 BEST専門版における太陽熱集熱器の入力項目

## 3.2 BEST省エネルギー計画書作成支援ツール

BEST省エネルギー計画書作成支援ツールにおけるコージェネレーションシステム及び太陽熱利用における入力項目を表1に示す。太陽熱給湯では、集熱器の容量、タイプ、設置方法を入力する。コージェネレーションシステムでは、排熱を利用する用途ごとに利用有無を選択し、

表1 BEST省エネルギー計画書作成支援ツールのコージェネレーション、太陽熱利用の入力項目

項目	入力内容
給湯 (太陽熱利用)	有無フラグ、集熱面積、集熱器タイプ(平板型、真空ガラス管型)、設置方位角、設置傾斜角
給湯 (CGS 予熱)	有無フラグ
効率化設備 (CGS)	発電機種類(当面はガスエンジンのみ)、排熱利用先(暖房、冷房、給湯)、発電出力、発電効率、排熱回収効率

表2 シミュレーション設定条件

項目	設定値
使用ツール	BEST省エネルギー計画書作成支援ツール Ver. 1.0.1
建築	建物用途: 病院、延床面積: 5,000m <sup>2</sup> 、病床数: 100床
空調省エネ手法	FCUの採用
コージェネレーションシステム	発電機出力: 25kW、発電効率: 35%、排熱回収効率: 45%、排熱利用用途: 冷房、暖房、給湯
太陽熱利用システム	集熱面積: 200m <sup>2</sup> 、形式: 平板型、太陽熱利用用途: 給湯
熱源	冷暖房: 排熱投入型吸収冷温水機(冷房能力: 500kW)、給湯: 潜熱回収型給湯機(加熱能力: 200kW)

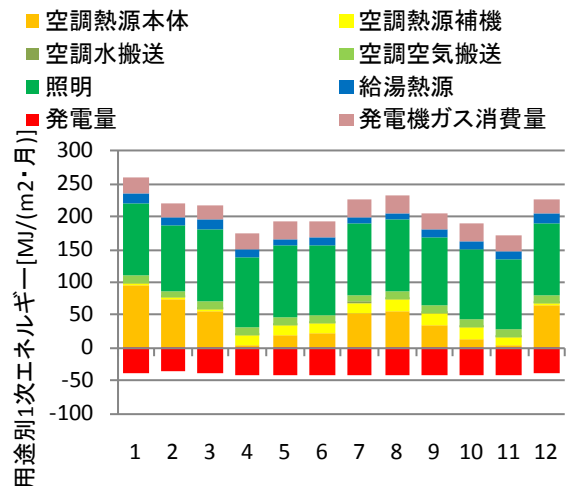


図5 月積算用途別1次エネルギー

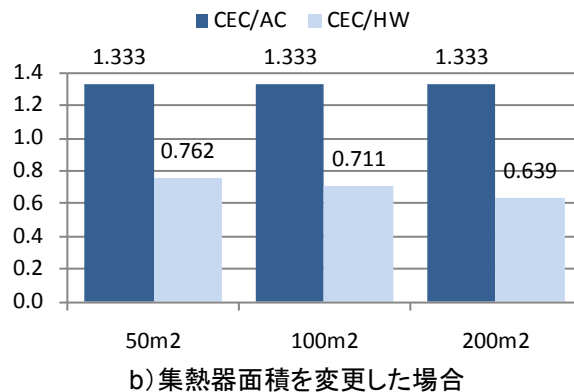
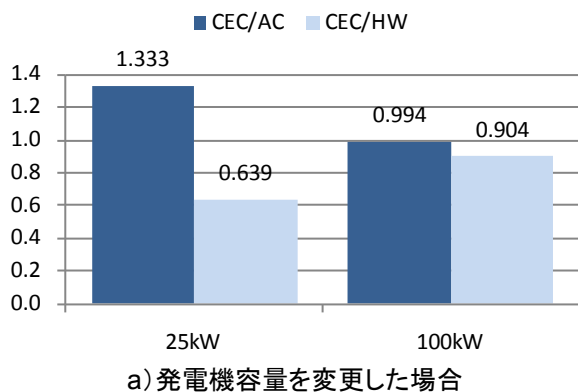


図 6 機器容量を変更したときの CEC の計算値

さらに高効率設備のコージェネレーションシステムで排熱利用先を選定する構造を採用している。

#### 4. BEST省エネルギー計画書作成支援ツールでのシミュレーション例

##### 4.1 シミュレーション設定条件

シミュレーションは表 2 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、排熱を冷房、暖房、給湯に用いる。給湯の予熱槽の上流には太陽熱で予熱された給水が接続される。

##### 4.2 シミュレーション結果

図 5 に表 1 で示した条件によりシミュレーションによる月積算用途別1次エネルギー消費量を示す。太陽熱とコージェネレーション排熱の両方を給湯に採用していることから給湯需要の大きい病院という用途であっても多くを太陽熱やコージェネレーション排熱でまかなえており、給湯用の1次エネルギー消費量は非常に小さくなっている。ちなみに、本設定条件を採用したときの CEC/AC は 1.33 (基準値 2.5)、CEC/HW は 0.64 (基準値 1.5) であった。

図 6 に表 1 に示した機器容量を変更したときの CEC を示す。このケースでは発電機容量を大きくすると、排熱投入型吸収冷温水機で排熱が使用され CEC/AC が小さくなったが、給湯への排熱利用が減り、CEC/HW は増加した。容量選択に自由度があれば、いろいろなケースを検討することができる。

#### 5. まとめと今後の課題

BEST における太陽熱利用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シミュレーション例について

述べた。BEST を用いて太陽熱と発電機の排熱を利用するような非常に複雑なシステムのシミュレーションが可能となった。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 実在する物件のBESTへの入力と測定データによる検証
- ② 熱主電従運転や冷却水の変流量等の制御ロジックの拡充
- ③ 各種マニュアルの整備

#### 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)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

#### 参考文献

- 1) 佐藤誠、村上周三、秋元孝之、石野久彌、笹嶋賢一、野原文男、二宮博史、田端康宏、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56)コージェネレーションシステムプログラムの特徴、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 707-710、2009.9
- 2) 田端康宏、村上周三、秋元孝之、石野久彌、野原文男、佐藤誠、工月良太、二宮博史、笹嶋賢一: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57)コージェネレーション排熱利用としてのデシカント空調機、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 711-714、2009.9
- 3) 木村建一編、宇田川光弘著:建築環境学2 15章 太陽熱利用システム、丸善、1993.2