

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 168)

太陽光、CGS を導入した学校における ZEB の実現可能性検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST Part 168 A feasibility study of zero energy building for a school applying solar power and cogeneration system

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 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 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.

In this study we have investigated how to utilize cogeneration system effectively to achieve net zero energy building in a high school by using the BEST for energy conservation standards (2013). It is not sufficient to achieve zero energy by adopting solar power, cogeneration system and energy-saving approaches in building, lighting and ventilation. As the result of case studies, it is found that the nearly zero energy is the closest when adopting industrial fuel cell (SOFC) to cogeneration system, restricting the exhaust heat utilization equipment and reconsidering heat source system.

はじめに

BEST コーージェネレーション検討 SWG では、コーージェネレーションシステム(以下、CGS)の構成要素機器や制御機器の計算モデルの作成と関連モジュールの開発を行ってきた。発電機(温水や蒸気取り出し型のガスエンジンなど)や排熱利用機器(排熱投入型吸収冷温水機、温水焚吸収式冷凍機、デシカント空調機、熱交換器、予熱槽など)、コントローラ(発電機コントローラ)が主な開発内容である。これら開発項目を活用すると民生用建物で利用されている CGS の多くをシミュレーション実施できる。既報¹⁾では太陽熱と組み合わせた CGS のシミュレーションや CGS 導入時のピーク電力削減効果のシミュレーション、冷却水変流量制御による省エネ効果のシミュレーションなどの先進的なケーススタディを実施してきた。また、平成 25 年省エネ基準対応ツールにおいて CGS のシミュレーションが可能となったことから、事務所やホテルを用いたケーススタディも実施した。本報では、昨今研究が盛んにおこなわれているゼロエネルギー建築(Zero Energy Building, 以下、ZEB)について CGS を有効的に活用する方法について BEST を用いて検討したので報告する。

本報では平成 25 年省エネ基準対応ツールの Ver. 1.2.0 を用いている。今後のバージョンアップにより結果が変更になる箇所がある可能性がある。

1. 本報における CGS を導入した ZEB の考え方

本報における ZEB はネットゼロエネルギー建築であり、

系統電源からの購入電力と CGS 運転のためのガス消費を太陽光発電の売電で相殺する方法である。建物の省エネ技術をふんだんに活用し、最大限に太陽光発電を設置(ここではオンサイトのみ対象とする)した場合のコンセント電力も含んだ ZEB の達成可能性について検討する。

2. CGS を導入した ZEB の建物用途の検討

CGS を有効利用するためには、発電時に生成される排熱を極力使い切ることが重要である。そのため、建物の熱電需

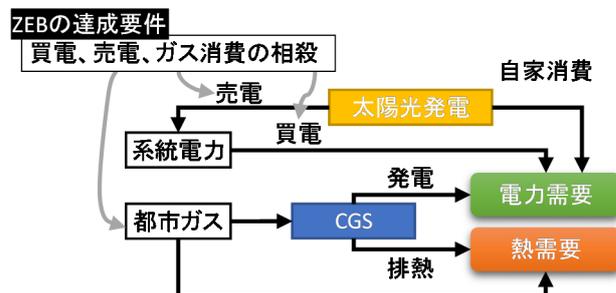


表 1 建物用途選定のための建築概要

	地域	延床面積	階数	建物用途	主な室用途
事務所 1	東京	10,358 m ²	地上 7 階	事務所等	事務所 事務室
事務所 2	東京	10,000 m ²	地上 9 階	事務所等	事務所 事務室
ホテル	東京	10,027 m ²	地上 7 階	ホテル等	ホテル 客室
飲食店舗	東京	1,500 m ²	地上 1 階	飲食店等	レストラン 客室
病院	東京	20,251 m ²	地下 1 階、地上 7 階	病院等	病院 病室
学校	東京	20,024 m ²	地下 1 階、地上 4 階	学校等	高等学校の教室

要比が発電機の排熱回収効率と発電効率の比に近い方が良いと考えられる。ZEB の検討を行うために適切な建物用途の選定を行った。表 1 に示す 6 種の建物において主要室にガス熱源の中央式の空調を想定した年間エネルギーシミュレーションを実施した。年間電力消費量(一次エネルギー換算)とガス消費量を図 2 に示す。同図中破線が LHV 基準の発電効率 41.6%、排熱回収効率 33.5%の熱電比である。飲食店やホテルでは発電機の熱電比と比べて熱需要の割合が相対的に大きい。一方で、学校、事務所、病院はほぼ発電機の熱電比に合致している。ここでは、以下の理由から学校を用いて ZEB 化の検討を行うこととした。

- ① 最寒期、最暑期のようにエネルギー需要が大きくなる時期に長期休みとなるためエネルギー原単位が小さい
- ② 建物規模に対して建築面積が大きく、屋上面などに大容量の太陽光発電が設置可能

なお、図 2 についてはここで想定したシミュレーション条件によるものであり一般解ではないことに注意が必要である。また、図 2 では単に熱電比で検討しているが、実際には熱需要といっても温度レベルを考えた検討が必要であることを記しておく。

3. 学校 ZEB 化シミュレーションのケーススタディ

3.1 ZEB 化のための設定条件

ZEB 化検討のためのシミュレーション条件を表 2 に示す。Base は現在の新築の仕様を想定しており、平成 25 年省エネ基準における基準条件相当となっており、Base においても建築における省エネ手法がかなり取り入れられていることがわかる。ZEB 仕様ではさらなる省エネを狙った仕様とした。照明については器具の高効率化(Hf→LED)に加え、照明の点灯・調光制御も強化している。ZEB 仕様における空調・給湯については CGS 排熱を利用することとした。

太陽光発電設備は、校舎棟と体育館の屋上に水平設置することとし、それぞれ屋上面積の 70%に相当する容量を

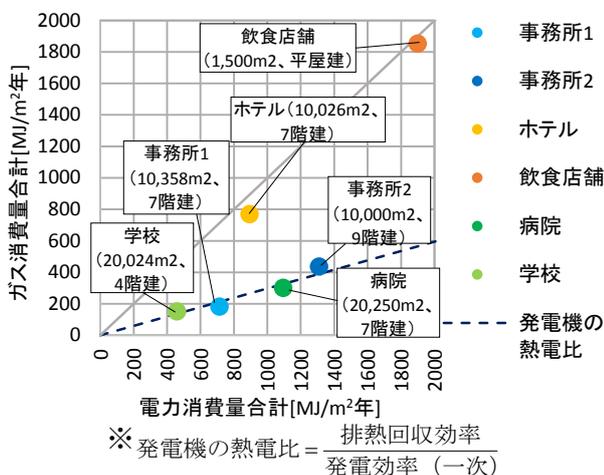


図 2 各種建物(表 1)の電力消費量(一次)、ガス消費量の関係

想定して合計 438kW とした。

3.2 シミュレーション結果

BEST を用いた ZEB 仕様の夏期代表日エネルギー消費量を図 3、年間一次エネルギー消費量のシミュレーション

表 2 ZEB 化検討のケーススタディ条件

※学校(20,024 m²、4 階建)のモデルを対象とした

		Base	ZEB 仕様
建築	外壁断熱	吹付け硬質ウレタンフォーム A 種 1 40mm U=0.64W/m ² K	硬質ウレタンフォーム保温版 2 種 1 号 50mm U=0.39W/m ² K
	開口部	日射取得型 Low-E+透明 U=2.16W/m ² K、η=0.4、中間色ブラインド標準操作	高日射遮蔽型 Low-E+透明(アルゴン層) U=1.72W/m ² K、η=0.25、中間色ブラインド標準操作
	庇	なし	南面開口部に 1m の水平庇
照明	照明器具	Hf 型蛍光灯	LED 照明
	照明制御	昼光利用制御: 教室、実習室、食堂 在室検知制御: なし 初期照度補正制御: 体育館、電子計算機器演習室、更衣室を除く全室	昼光利用制御: 教室、実習室、食堂 在室検知制御: ロビー、更衣室 初期照度補正制御: 体育館を除く全室
空調	教室、実習室、体育館、事務室、食堂など	直燃吸収冷温水機×3 台 定格冷房能力: 738kW、定格暖房能力: 494kW、定格冷房 COP: 1.28、定格暖房効率: 86%	排熱投入型吸収冷温水機×1 台 定格冷房能力: 527kW、定格暖房能力: 353kW、定格冷房 COP: 1.28、定格暖房効率: 86% 直燃吸収冷温水機×2 台 定格冷房能力: 527kW、定格暖房能力: 348kW、定格冷房 COP: 1.33、定格暖房効率: 87% 暖房用熱交換器×1 台 定格熱交換熱量: 760kW
	電子計算機器演習室、職員室	個別分散(EHP)	個別分散(EHP)
	冷暖房期間	冷房: 4~11 月 暖房: 12~3 月	冷房: 6~9 月(中間期停止) 暖房: 12~3 月
換気	方式	全熱交換換気(高効率モーターなし)	全熱交換換気(高効率モーターあり)
	制御	機械室: 温度制御 更衣室: 制御なし 便所: 制御なし 厨房: インバータ方式	機械室: 温度制御 更衣室: CO ₂ 濃度制御 便所: 制御なし 厨房: インバータ方式
給湯設備	利用先	食堂、体育館、一部の教室(1700L/日)	同左
	設備	潜熱回収型給湯器 一管式、各利用先の需要に合わせた能力	CGS 排熱の利用 潜熱回収型給湯器 定格加熱能力: 588kW、定格効率: 93% 貯湯槽 容量 5m ³ 。二管式に変更
発電設備	CGS	なし	315kW ガスエンジン×1 台 定格発電効率: 41.6%(LHV)、定格排熱回収効率: 33.5%(LHV)、補機動力電力消費率: 5%、排熱利用順序: 給湯→冷房→暖房、平日のみ 8~18 時に運転
	太陽光発電設備	なし	校舎屋上: 271kW 水平面設置、体育館屋上: 167kW 水平面設置(いずれも屋上面積の 70%に敷設すると仮定)

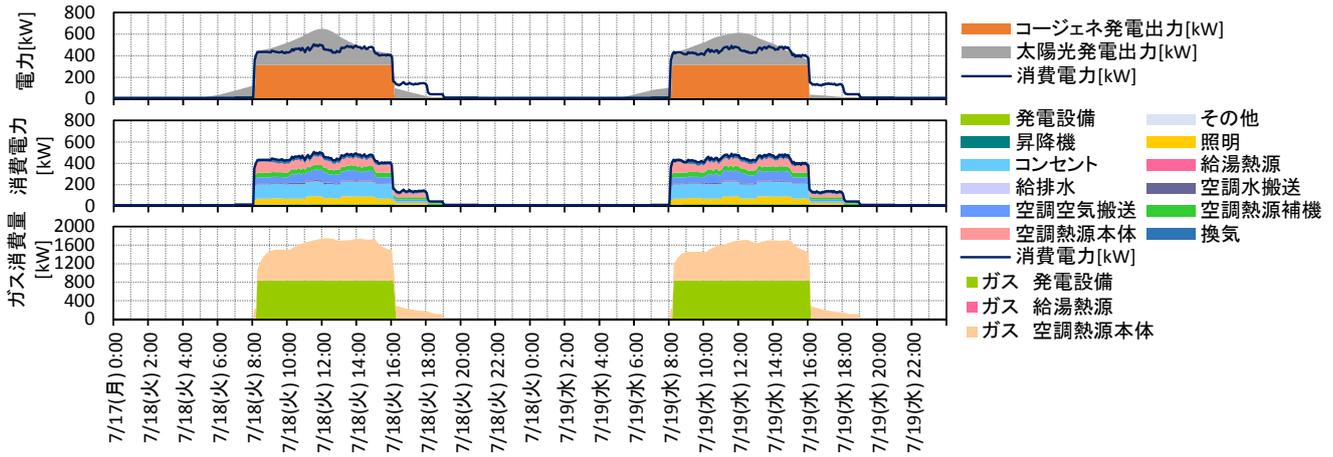


図 3 ZEB 仕様の夏期代表日エネルギー消費量

結果を図 4 に示す。ガスエンジンは電主熱従制御を想定したが、日中はほぼ定格出力で運転できていることが確認できる。消費電力を超えた部分が売電量に相当する。図 4 では、建築・照明・空調・換気についてのみ採用した ZEB 仕様（発電設備未導入）についても併記した。建築・照明・空調・換気に関する省エネ手法を採用することで、Base ケースの 597.0MJ/(m²・年)に対し 23%の省エネとなった。省エネ効果が大きいのは空調熱源_ガスで 32%の削減、照明_電力が 46%の削減である。CGS や太陽光発電の導入により年間一次エネルギーは 150.5MJ/(m²・年)まで削減され、Base ケースから 75%の削減が実現できるが ZEB の実現には至っていない。

3.3 業務・産業用燃料電池(SOFC)導入による ZEB 化の検討

発電設備にガスエンジンと太陽光発電を導入しただけではまだ ZEB を達成できなかったことから、CGS の発電機に将来実用化が見込まれる業務・産業用燃料電池(SOFC)²⁾を採用することによる ZEB 化の検討を行った。発電機を

SOFC とした場合、発電効率が向上するとともに排熱回収効率の低下が考えられ十分な排熱が得られない可能性もあるため、排熱利用を空調+給湯、給湯のみとする場合や、SOFC の電力で駆動する空気熱源ヒートポンプ(空冷 HP)を併用する場合についてもケーススタディを行った。SOFC、空冷 HP の仕様を表 3、ケーススタディ条件を表 4 に示す。なお SOFC はまだ実用に至っておらず機器仕様も不明であることから、シミュレーションではガスエンジンと同じ部分負荷特性を用いて計算した。また、本来 SOFC は夜間も停止せずに運転することが想定されるが、DSS 運転を前提にシミュレーションした。

3.4 ケーススタディ結果

図 5 に年間一次エネルギーのケーススタディ結果を示す。同図中に空調熱源・給湯熱源の一次エネルギー消費量を示す。CGS の発電機を SOFC に変更したケース 3 では、年間一次エネルギー消費量合計はケース 2(ZEB 仕様/ガスエンジン)より減るものの、排熱量が減るため空調熱源一次エ

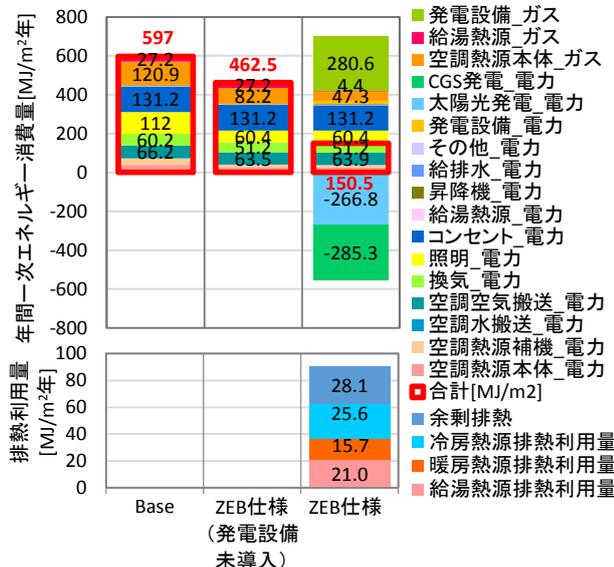


図 4 年間一次エネルギー消費量のシミュレーション結果と CGS の排熱利用状況

表 3 産業用燃料電池(SOFC)、空冷 HP の仕様

仕様	
産業用燃料電池	定格発電出力:315 kW×1 台、定格発電効率:55%(LHV)、定格排熱回収効率:18%(LHV)、補機動力電力消費率:5%(SOFC) ²⁾
空冷 HP	タイプ:空冷 HP チラースクロールインバータ、 定格能力: 冷房 475kW、暖房 450kW、定格消費電力: 冷房 99kW、暖房 119kW、定格 COP:冷房 4.8、暖房 3.78

表 4 ケーススタディ条件

No	ケース名	説明
ケース 1	Base	平成 25 年省エネ基準相当
ケース 2	ZEB 仕様/ガスエンジン	CGS の発電機にガスエンジン 315kW(発電効率 41.6%)を採用
ケース 3	ZEB 仕様/SOFC	CGS の発電機を SOFC(発電効率 55%)に変更
ケース 4	ZEB 仕様/SOFC、空冷 HP2 台	ケース 3 に加え、バックアップ用の直焚吸収冷温水機 2 台を空冷 HP に変更
ケース 5	ZEB 仕様/SOFC、空冷 HP3 台	ケース 3 に加え、排熱利用先を給湯・暖房のみとし、熱源を温水熱交換器+空冷 HP 3 台に変更

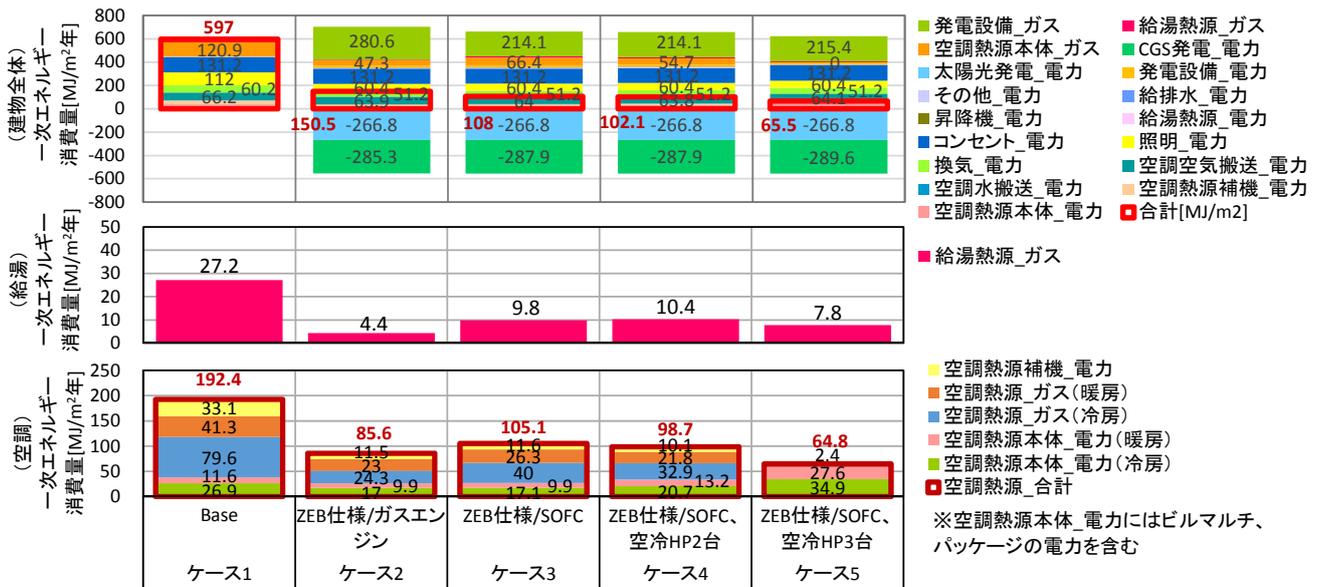


図 5 ケーススタディ結果

エネルギー消費量がケース 2 より増える。バックアップ用の直焚吸収冷温水機を 2 台とも空冷 HP としたケース 4 (ZEB 仕様/SOFC、空冷 HP2 台)もケース 3 と同様の結果となった。発電機を SOFC とした場合は排熱量がガスエンジンの場合よりも減るため、排熱利用先を給湯、暖房のみとし、熱源を温水熱交換器+空冷 HP3 台に変更したケース 5 (ZEB 仕様/SOFC、空冷 HP3 台)では、空調熱源一次エネルギー消費量がケース 2 と比較して約 24.3%減となった。年間一次エネルギー消費量合計も 65.5MJ/m²年と全ケースで最小となり ZEB に近い結果を得ることができた。

3.5 ZEB の評価

図 6 に縦軸に太陽光発電による自然エネルギー生成量、横軸に一次エネルギー消費量をとった ZEB の評価チャート³⁾を示す。横軸の一次エネルギー消費量には、CGS による正味の一次エネルギー消費量(発電設備ガス消費量- CGS 発電量)を含んでいる。図中の実線が Net 0 の境界であり、この線より上にプロットがあれば Net 0 が達成できている。発電設備を導入したケース 2~5 はいずれも Net 0 に近いプロットとなり、中でもケース 5 が最も Net 0 に近い結果と

なった。

4. まとめと今後の課題

CGS、太陽光発電を有効的に活用する ZEB の実現可能性について平成 25 年省エネ基準対応ツールを用いて検討を行った。各種省エネ手法を採用するとともに、発電機に産業用燃料電池(SOFC)を採用し、排熱利用先を絞って熱源構成を見直したケースが最も Net 0 に近い結果となった。

今度は蓄電設備の導入により系統電力に極力依存しない ZEB の実現可能性についても検証を行いたい。

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 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)」、「コーディネート検討 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。

コーディネート検討 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

- 例えば 辻丸、佐藤他: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 105)排熱投入型吸収冷温水機の計算モデル検討と CGS による最大電力の低減効果の検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1371-1374、2012.9
- 資源エネルギー庁燃料電池推進室「業務・産業用燃料電池について」
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodench/suiso_nenryodench_wg/pdf/002_02_00.pdf (2015/6/16 アクセス)
- 丹羽英治(2013)『エネルギー自立型建築』(NSRI 選書)、工作舎

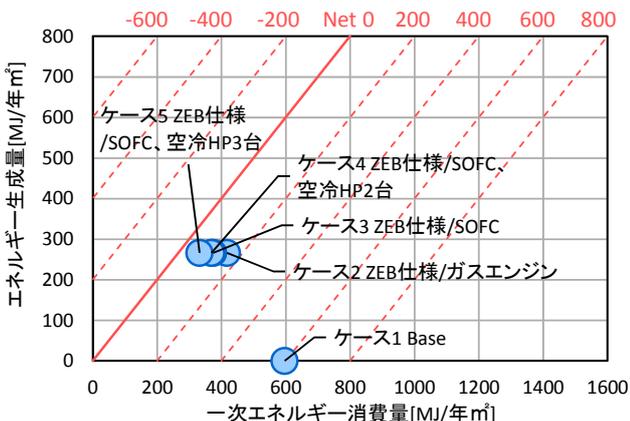


図 6 ZEB の評価チャート³⁾