

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 233）

排熱投入型吸収冷温水機の特性を考慮した

コージェネレーションシステムの最適設計に関するケーススタディ

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST
Part 233 Case Studies on Optimal Design of Co-generation Systems Considering Characteristics
of the Absorption Chiller with Auxiliary Waste Heat Recovery

正 会 員 ○ 佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ)
正 会 員 二宮博史 (日建設計)
正 会 員 笹本太郎 (東京ガス)
正 会 員 笹嶋賢一 (日本設計)
技術フェロー 秋元孝之 (芝浦工業大学)
名 誉 会 員 村上周三 (建築環境・省エネルギー機構)

正 会 員 辻丸のりえ (佐藤エネルギーリサーチ)
正 会 員 藤居達郎 (ジョンソンコントロールズ BE ジャパン)
正 会 員 西田裕道 (東京ガス)
技術フェロー 野原文男 (日建設計総合研究所)
技術フェロー 石野久彌 (首都大学東京名誉教授)

Makoto SATOH*1 Norie TSUJIMARU*1 Hiroshi NINOMIYA*2 Tatsuo FUJII*3 Taro SASAMOTO*4
Hiromichi NISHIDA*4 Kenichi SASAJIMA*5 Fumio NOHARA*6 Takashi AKIMOTO*7
Hisaya ISHINO*8 Shuzo MURAKAMI*9

*1 Satoh Energy Research Co., Ltd. *2 Nikken Sekkei Co., Ltd. *3 Johnson Controls BE Japan, Ltd.

*4 Tokyo Gas Co., Ltd. *5 Nihon Sekkei Co., Ltd. *6 Nikken Sekkei Research Institute

*7 Shibaura Institute of Technology *8 Tokyo Metropolitan University

*9 Institute for Building Environment and Energy Conservation

In this report, we conducted case studies to verify the design and operation method for optimizing waste heat utilization and energy consumption of co-generation system using the BEST program. As a result, it appeared that the absorption chiller with auxiliary waste heat recovery is better to be selected according to the rated waste heat quantity of the gas engine power generator. It also presumed that the operation number of heat sources is better to be controlled by the priority to the sole operation of waste heat recovery.

はじめに

コージェネレーション検討 WG では、CGU、排熱利用機器、コントローラの計算モデルを開発してきた。昨今、排熱利用が高度化され、コージェネレーションシステム(以下、CGS という)と太陽熱を併用するシステムもある。太陽熱集熱器の集熱性能や排熱投入型吸収冷温水機(以下、RHA という)の排熱利用量は、排熱システムの温度や流量によって変化する特性を持っており、排熱システムの温度や流量が状態値として得られる BEST は、CGS の評価を適切に行えるプログラムである。

RHA は Figure 1 に示すように冷房負荷率によって排熱回収量が変化する特性¹⁾を持っており、一般的には中間能力で最大となる(この時の負荷率を排熱単独運転負荷率と

いう)。つまり、定格排熱利用量と排熱回収量の最大値が異なるため、CGUの定格排熱回収量をRHAのどの排熱利用量と整合させるべきかについては、必ずしも適切な設計法が確立しているわけではない。また、複数台のRHAを接続する場合、熱源を定格冷房能力で増段する方法と排熱単独運転で増段する方法によってRHAの排熱利用量が大きく変化すると考えられるが、その効果についても明確と

Table 1 Building outline of the targeted office building

所在地	東京 (事務所)
延床面積	20,580.88m ²
階数	地上 14 階 / 地下 1 階
設備容量	冷房: 2,342kW / 暖房: 2,160 kW

Table 2 Case study conditions

ID	目的	内容
Case1		建物冷房需要の設備容量に合わせて排熱投入型吸収冷温水機を選定
Case2	最適な排熱投入型吸収冷温水機を選定方法の検証	排熱投入型吸収冷温水機の定格排熱回収量がガスエンジンの定格排熱回収量と一致するように選定
Case3		排熱投入型吸収冷温水機の排熱単独運転時の排熱回収量がガスエンジンの定格排熱回収量と一致するように選定
Case4	排熱優先の熱源台数制御の効果の検証	ケース 2 と同じ容量の排熱投入型吸収冷温水機を 2 台設置、定格冷房能力で増段する通常の熱源台数制御
Case5		ケース 2 と同じ容量の排熱投入型吸収冷温水機を 2 台設置、排熱単独運転優先の熱源台数制御

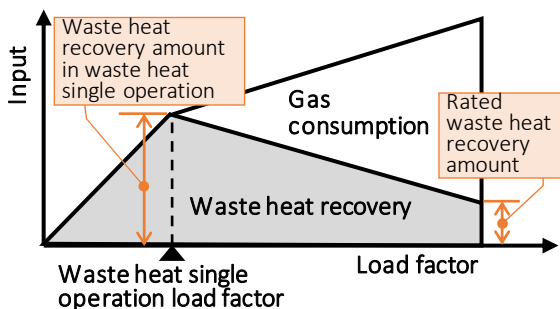


Figure 1 Waste heat utilization characteristics of Absorption chiller with auxiliary waste heat recovery (RHA)

はなっていない。BEST ではこういった CGS の排熱システムの自由な設計を再現するポテンシャルを有しており、BEST を活用する需要は大きい。本報では、20,000m²の事務所ビルにおいて CGS を導入することを前提に、CGU と RHA との組み合わせや接続方法を変更した時のシステム全体の省エネルギー性能について、BEST を用いた数値実験のケーススタディを報告する。

1. ケーススタディ条件

CGS における排熱利用を最適化する設計・運用方法を検証するため、BEST 専門版を使って CGS が導入された事務所ビルを対象としたケーススタディを実施した。事務所ビルの建物概要を Table 1 に示す。

各ケースのケーススタディ条件を Table 2 に示す。今回対象とした CGS システムは、ガスエンジン発電機 1 台から排出される排温水を冷房用熱源 (RHA) および暖房用熱源 (暖房用熱交換器) で使用するシステムである。RHA の能力・構成を変化させることで、排熱およびエネルギーを適切に利用する熱源構成を検証する。

2. 主要機器仕様と熱源構成図

ケース 4 および 5 における熱源構成図を Figure 2 に示す。その他のケースでは RHA2 台目に相当する熱源 (Figure 2 の網掛け部分) がケース 1 では熱源なし、ケース 2, 3 では直焚吸収冷温水機となる。また、主要機器仕様についてガスエンジン発電機の仕様 (各ケース共通) を Table 3、ケース 1, 2, 3 の冷熱源機器の仕様を Table 4 に示す。ケース 4, 5 における RHA の熱源仕様は 2 台ともケース 2 と同じであるが、2 台の排熱利用量を同程度にするため、Table 5 に示すように排温水出入口温度が各 5°C 差となるように設定した。

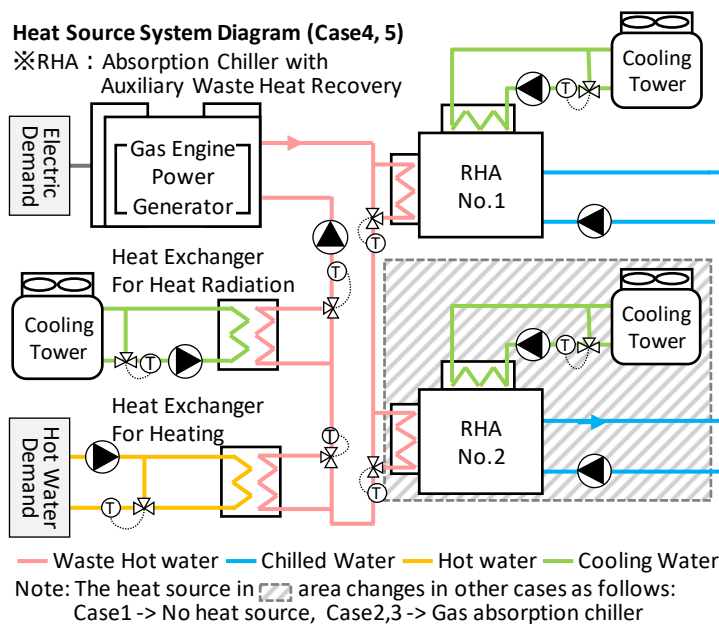


Figure 2 Heat source system diagram

Table 3 Specifications of the gas engine power generator (same for each case)

機器名称	項目名	仕様
ガスエンジン発電機	定格発電出力[kW]	370
	定格発電効率(LHV) [%]	41
	定格排熱温水回収効率(LHV) [%]	34
	定格排熱回収量[kW]	307
	定格排熱温水流量[L/min]	440
	排温水出口温度上限値[°C]	90

Table 4 Specification of cold heat sources (case1, 2, 3)

機器名称	項目名	仕様		
		Case1	Case2	Case3
排熱投入型吸収冷温水機	定格冷却能力[kW]	2110	949	422
	定格冷房ガス消費量(排熱無) [kW]	1,564	704	313
	定格排熱入口温度[°C]	90	90	90
	排熱出口下限温度[°C]	80	80	80
	定格排熱温水流量[L/min]	960	432	192
	定格排熱回収量[kW]	650	292	130
	排熱単独運転負荷率[%]	46	46	46
	排熱単独運転時の排熱回収量[kW]	1,387	624	277
	定格冷温水流量[L/min]	6,049	2,720	1,210
	直焚吸収冷温水機	定格冷却能力[kW]	—	1,055
定格冷温水流量[L/min]		—	3,023	4,537
定格冷房ガス消費量[kW]		—	798	1,196

Table 5 Waste hot water inlet/outlet temperatures of RHA (case4,5)

機器名称	項目名	仕様	
		1台目	2台目
排熱投入型吸収冷温水機	定格排熱入口温度[°C]	90	85
	排熱出口下限温度[°C]	85	80

※その他の仕様はケース 2 と同じ

2.1 各ケースの目的と詳細

2.1.1 排熱投入型吸収冷温水機の選定方法の検証

RHA は前述したように負荷率によって排熱回収量が変化するため、ケース 1~3 では最適な RHA の選定方法を検証する。ケース 1 では建物冷房需要に合わせて RHA を選定した。ケース 2 では RHA の定格排熱回収量がガスエンジンの定格排熱回収量と一致するように RHA を選定した。ケース 3 では RHA の排熱単独運転時の排熱回収量がガスエンジンの定格排熱回収量と一致するように RHA を選定した。ケース 2, 3 では RHA の冷房能力がケース 1 よりも小さくなり、冷房能力が不足するため、追加熱源として直焚吸収冷温水機を設置した。

2.1.2 排熱優先熱源台数制御の効果検証

ケース 4 および 5 では、ケース 2 と同じ容量の RHA を 2 台直列に設置し、排熱優先の熱源台数制御の効果を検証する。熱源台数制御モジュール²⁾の排熱単独優先機能を用いて、ケース 4 では定格冷房能力で熱源を増段する通常の熱源台数制御、ケース 5 では排熱単独運転優先の熱源台数制御の設

定とした。通常の熱源台数制御では、RHA1 台目の排熱運転からガス追焚運転に移行した後に RHA2 台目を運転する。これに対して排熱単独運転優先の熱源台数制御では、RHA1 台目の排熱運転の後、RHA2 台目の排熱運転に移行し、その後は RHA1 台目のガス追焚運転→RHA2 台目のガス追焚運転の順で運転する。

3. ケーススタディ結果

各ケースの 4～11 月の冷房期間における集計結果を Figure 3～Figure 5 に示す。Figure 3 は熱源一次エネルギー消費量、Figure 4 は排熱利用量、Figure 5 は処理熱量の比較結果である。

3.1 排熱投入型吸収冷温水機の選定方法の検証結果

ケース 1～3 の夏期代表日における排熱回収量および処理熱量の比較結果を Figure 6 に示す。

ケース 1 では、冷房需要に合わせて RHA を選定し、排温水仕様について配慮しなかったため、ガスエンジンからの排温水に対して RHA の排温水仕様が過大となり、排熱利用が行われない結果となった。

BEST における RHA の排温水特性の適用範囲を Table 6 に示す。ガスエンジンの排温水流量(440 L/min)が RHA の定格排温水流量(960 L/min)に対して 46%と小さく、排温水の下限流量比 50%に満たないため、排熱投入が行われずにすべて放熱されている。

ケース 2 ではガスエンジンの定格排熱量に合わせて RHA を選定したため、無駄なく排熱利用が行われており、最も一次エネルギー消費量が少ない。

Table 6 Range in application of RHA waste hot water characteristics in the BEST program (cooling operation)

名称	定格値	上限		下限	
		上限値	範囲外の処理	下限値	範囲外の処理
排温水入口温度	90℃	95℃	運転継続 (上限値固定)	入力値	排熱投入停止
排温水流量比	100%	100%	運転継続 (上限値固定)	50%	排熱投入停止

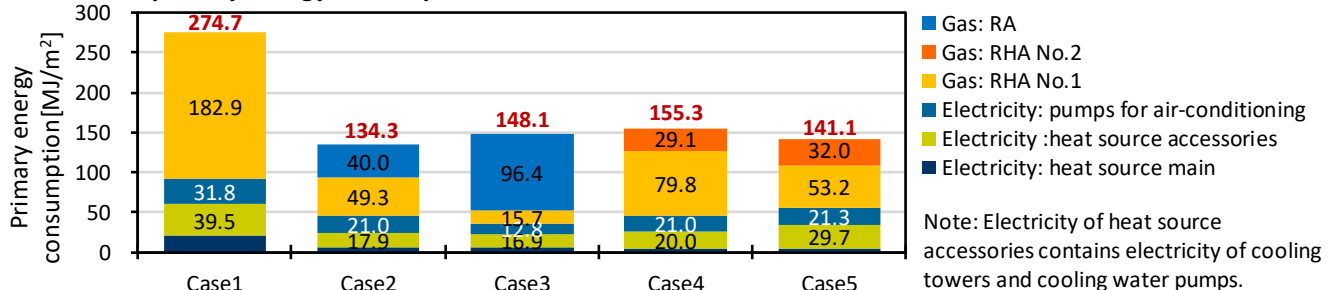
ケース 3 では、排熱回収量が最大となるように RHA を選定したが、ガスエンジンの排温水流量(440 L/min)が RHA の定格排温水流量(960 L/min)の約 2.3 倍となり、排温水の上限流量比を超えるため、定格排温水流量以上の排温水が利用されず、ケース 2 よりも放熱が多い結果であった。

3.2 排熱優先熱源台数制御の効果検証結果

ケース 4、5 の中間期代表日における RHA の挙動の比較結果を Figure 7 に示す。冷房需要の少ない中間期では、通常の台数制御を行うケース 4 では RHA1 台目のみが運転し、RHA2 台目は運転していない。排熱単独運転優先の台数制御を行うケース 5 では、同じ冷房需要でも RHA2 台とも排熱単独運転となり、冷熱量が不足する時間帯は RHA1 台目のみガス追焚運転を行っている。そのため、Figure 4 に示したようにケース 5 の方がケース 4 よりも排熱を有効に利用できる結果となった。

ただし、ケース 5 では RHA が 2 台とも運転する時間帯が増えるため、冷却水ポンプおよび冷却塔の稼働時間が増え、熱源補機(冷却水関連機器を含む)の電力消費量がケース 4 よりも増加した。

Heat source primary energy consumption



RHA: Absorption chiller with auxiliary waste heat recovery, RA: Gas absorption chiller

Figure 3 Comparison of heat source primary energy consumption in each case (Total for April-November)

Waste heat recovery

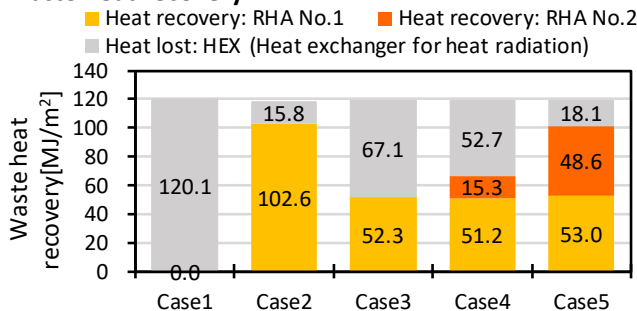


Figure 4 Comparison of waste heat utilization (Total for April-November)

Cold heat output

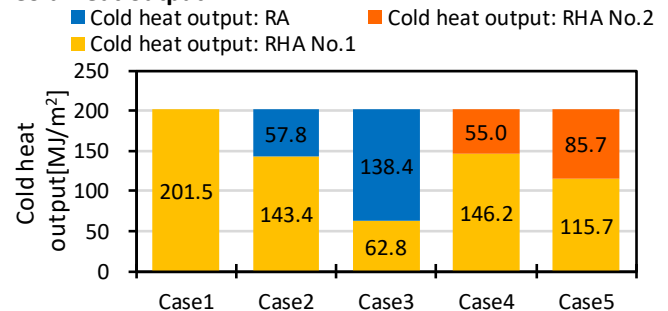


Figure 5 Comparison of cold heat output (Total for April-November)

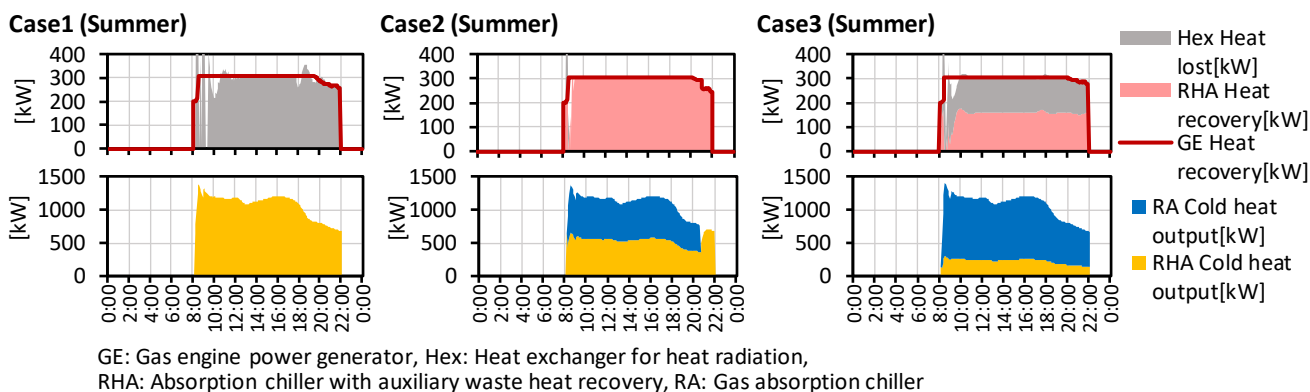


Figure 6 Comparison of waste heat recovery and cold heat output on a representative summer day (Case 1 - 3, August 3)

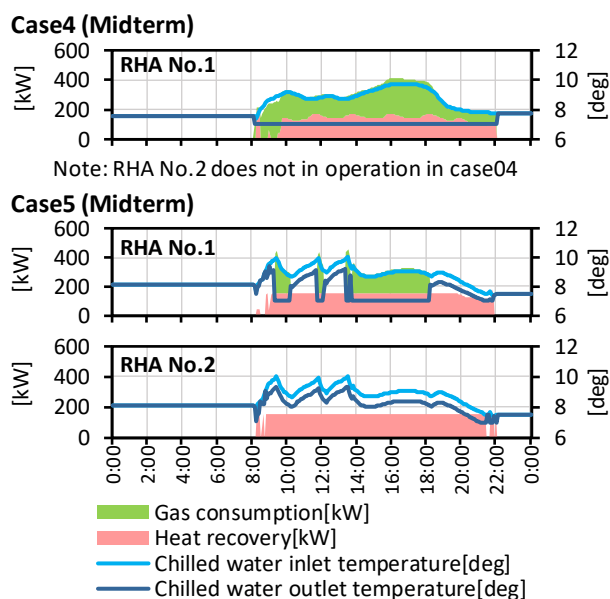


Figure 7 Comparison of RHA operation on a representative midterm day (Case 4 and 5, May 22)

4. 考察

RHA 選定方法の検証結果(ケース 1~3)により、冷水側だけでなく排温水側についても配慮した設計とすることで、排熱利用熱源において排熱を有効に利用できることを示した。ケース 1 でも RHA の排温水仕様をガスエンジンに合わせた設計とすれば、ケース 2 と同等の結果になると思われるが、実際の運用では熱源のメンテナンス時を考慮してケース 2 のように熱源を複数台設置すべきである。

ケース 3 では排熱回収量が最大となるように RHA を選定したため、RHA の容量削減も可能となり、排熱利用量・省エネルギー性能ともに最適になると思われたが、排温水流量比の制約により、想定した結果にならなかった。現在の BEST では表現しきれていない部分がある可能性もあり、計算ロジックの見直しも含めてさらに検証したい。

排熱優先熱源台数制御の効果検証(ケース 4、5)については、今回のケーススタディでは各ケースの電力需要を同一とするため全てガス熱源で設計したが、実際に排熱単独運転優先の熱源台数制御を行う場合は、ターボ冷凍機などの電動系熱源と組み合わせた設計とすることも多い。最

適な熱源種類の組み合わせとその台数制御の方法を検証できるように、BEST 入力データ作成を容易にする豊富なパターンのテンプレートの整備が望ましい。

5. おわりに

CGS が導入された事務所ビルを対象に、省エネルギー性能や排熱利用量が最適となる設計・運用方法を、BEST 専門版を用いたケーススタディにより検証した。ガスエンジン発電機の定格排熱量に合わせて RHA を選定したケースや、排熱単独運転優先の台数制御としたケースにおいて、省エネルギー性能や排熱利用量が優れる結果となった。

今回は限られた条件での試算であるが、異なる熱需要の建物や他熱源との組み合わせでは、省エネルギー性能も大きく異なり、さらに設計の重要性が増すと考えられる。そのような場合でも BEST を用いて容易に検証が行えるように、今回のケーススタディで利用した入力データなどを基に、テンプレート等の整備を行うことを今後の課題とする。

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」・「企画委員会(村上周三委員長)」および「プログラム開発委員会(石野久彌委員長)」、「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るものである。

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、二宮博史(以上、日建設計)、笹本太郎、西田裕道(以上、東京ガス)、藤居達郎(ジョンソンコントロールズ BE ジャパン)、佐藤誠、辻丸のりえ(佐藤エネルギーリサーチ)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

参考文献

- 1) 藤居他: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 141)蒸気利用 CGS の周辺機器と排熱投入型吸収冷温水機の特長検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.45-48、2014.9
- 2) 二宮他: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 180)空調熱源グループの制御機能の拡張、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.45-48、2016.9