

業務用コージェネレーション設備の性能評価手法に関する研究：運転状況の把握と実働性能の評価

伊藤, 竜一
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻：修士課程

住吉, 大輔
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門：准教授

中村, 美紀子
住環境計画研究所

岡本, 洋明
住環境計画研究所

他

<https://doi.org/10.15017/1958363>

出版情報：都市・建築学研究. 34, pp.13-20, 2018-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：



業務用コージェネレーション設備の性能評価手法に関する研究 —運転状況の把握と実働性能の評価—

Research on Performance Evaluation Method about a Cogeneration System for a Building —Grasp of Operation Situation and Evaluation of Actual Performance—

伊藤竜一^{*1}, 住吉大輔^{*2}, 中村美紀子^{*3}, 岡本洋明^{*3}, 宮田征門^{*4}, 桑沢保夫^{*4}

Tatsuhito ITOU, Daisuke SUMIYOSHI, Mikiko NAKAMURA,
Hiroaki OKAMOTO, Masato MIYATA, Yasuo KUWASAWA

A cogeneration system (CGS) which can supply electricity and heat at the same time has high energy efficiency, and it is one of the important techniques for energy-saving of a building. However, the actual performance and operation state of the CGS in a field are not clarified enough though we know catalogue efficiency of the CGS. Therefore, in this research, we performed a questionnaire survey and an interview survey to managers of buildings where CGS are installed in, and analyzed the measurement data of CGSs to grasp the operation situation and actual performance of CGSs.

Keywords: cogeneration, questionnaire survey, interview survey, measurement data, actual performance

コージェネレーション、アンケート調査、ヒアリング調査、実測値、実働性能

1 はじめに

日本では2013年の省エネルギー基準の改正により、一定規模以上の建築物は省エネルギー基準に適合しているか確認することが義務づけられている。その中で電力と熱を同時に生産し供給するコージェネレーション設備（以下CGU: Cogeneration Unit）は総合効率が高く、建築物の省エネルギー化の重要な技術の1つとなっている。CGUの排熱利用システムを含むコージェネレーションシステム（以下CGS: Cogeneration System）は、電力や熱の需要に合わせて様々な組み合わせで導入されており、この様々な組み合わせがあるCGSの導入効果を設計段階において的確にかつ簡易に評価できる必要がある。

こうした背景を踏まえ、これまで本研究¹⁾では、CGSの性能評価のためにCASCADE III²⁾を参考として、CGSの導入効果を算定するシミュレーションプログラム（以下プログラム）の開発を行ってきた。本研究でこれまでに構築したプログラムは、給湯、暖房、冷房の各種熱負荷と電力負荷及びCGU機器仕様や冷熱源機器仕様などを入力とし、供給可能電力量、ガス消費量、負荷削減量を出力するものであり、比較的簡易な入力でCGS性能評価

が可能となっている。

CGSの実稼働状況における性能（実働性能）を的確に評価するためには、CGSを構成する各機器の実働効率や運転挙動を把握する必要がある。しかし、開発したプログラムでは、機器自体の効率として製品カタログ等に記載されているJIS試験値を入力としており、設計段階の評価においてはこうしたカタログ値しか拠り所がないのが現状である。そのため、カタログ等に記載の性能値が実働性能とどの程度乖離があるのかを把握し、プログラムでの評価に反映することが重要となる。既往研究では実測調査に基づいてCGSの実稼働状況の把握を行うものは見られる^{例えば3)、4)}が、カタログ等に記載の効率(以下カタログ値)が建物に設置された状況でも発揮されるのか調査した事例は少なく、実態の把握は十分に行われていない。また、CGSの運転実態や周辺機器の挙動など、把握されていない点も多い。そこで本研究は、CGSの的確な性能評価に向けて、CGSの運転実態や実働性能等の不透明な部分を明らかにすることを目的とする。

具体的にはCGSを導入している建物を対象にアンケート調査及びヒアリング調査を行い、それを通して運転実態等の把握を行う。さらにアンケート調査、ヒアリング調査を実施した建物を対象に、CGU及び周辺機器の実測データを収集し、CGSの実働性能を解析する。

*1 空間システム専攻修士課程

*2 都市・建築学部門

*3 住環境計画研究所

*4 国土技術政策総合研究所

2 アンケート調査

2.1 調査概要

アンケート調査は CGS 導入設備の用途や導入機器容量、CGS の運用状況等を体系的に把握すると共に、後のヒアリング調査の対象建物を選定することを目的として実施した。アンケート内容一覧を表 1 に示す。アンケートは基本的に選択方式とし、20 の設問とした。

2.2 調査結果

CGS が導入されている 179 件の施設にアンケートを送付し、84 件の回答を得た。建物用途の集計結果を表 2 に示す。建物用途（問 2）は、複数回答可能としており、複合施設の場合、複数の回答があるため、それらを個別に集計している。84 件のアンケートから得られた用途数はのべ 127 件となった。構成比が最も多い施設は単独の病院で 18.1%、次いで複合施設の事務所で 11.0%であった。複合施設においては物販店舗や飲食店などの用途が多く、大規模なショッピングモールや商業施設への CGS の導入が多い。続いて CGU 導入台数（問 7）、CGU 台数制御（問 19）についての集計結果をそれぞれ図 1、図 2 に示す。CGU 導入台数（問 7）は、1 台のみ導入している建物が 39 件と最も多い。次いで 2 台導入が 25 件であり、1 台導入と 2 台導入の建物がほとんどである。CGU は複数台導入するよりも少ない台数で運用する建物が多いことが分かる。台数制御（問 19）に関しては「電力負荷決定」と回答した建物が 19 件と最多で、次に「手動決定」と回答した建物が 12 件となっている。「手動決定」については管理者の感覚で判断するのか、明確な判断基準に基づいて設定しているのかをヒアリング調査によって明らかにする必要がある。また、「全台運転」と回答した建物も 9 件と一定数見られた。

運転スケジュールの変更頻度と判断の基準（問 17）の集計結果を表 3 に示す。変更頻度で最も多かった回答は「年間を通じて同じ時間帯に運転」で 40 件、その次に「季節ごとに運転時間帯を見直している」が 20 件であった。スケジュールの変更についてはあまり頻繁に行わず、通年で同じ、もしくは季節毎に行う建物がほとんどであることが分かった。「季節ごとに運転時間帯を見直している」と回答した建物の多くは「主に熱負荷で運転時間を決定」もしくは「主に電力負荷で運転時間帯を決定」のどちらかを選択しており、季節毎に運転スケジュールに関する検討を行っていると考えられる。

建物用途毎の CGU の発電出力制御（問 18）の集計結果を表 4 に示す。常時定格運転させている建物が最も多く、複合用途も含めると 91 件であった。これは、建物の電力負荷に対して小さい発電出力の機器を導入するケースが多いためと考えられる。病院と事務所について単独用途と複合施設の場合とを比べると、複合施設のほうが

表 1 アンケート内容一覧

問	質問内容	解答欄
1	CGSが導入されている施設の所在地と名称	1.住所所在地 2.施設名称
2	CGS導入施設の建物用途 (複合施設の場合は複数回答可)	1.施設用途名
3	CGS導入施設の延べ床面積	1.延べ床面積
4	CGS導入施設の契約電力及び自家発補給契約を締結している場合の契約電力	1.契約電力 2.自家発補給電力
5	建物の最低買電量	1.分かる(kW) 2.分からない
6	CGSの稼働開始時期(導入時期)	1.稼働開始年月
7	CGUのメーカー名、機種名(型番)、 発電機容量、台数	1.メーカー名 2.機種名(型番) 3.発電容量 4.台数
8	CGUの燃料種類	1.燃料種類
9	CGUの排熱の取り出し方(温水、蒸気)	1.蒸気 2.温水
10	CGUの排熱の利用方法(暖房、冷房、給湯等)	1.冷房 暖房 給湯 その他
11	CGU排熱の貯湯槽の有無、容量	1.有る(貯湯槽容量 L) 2.無い
12	CGUの設置場所	1.屋内(地下) 2.地下以外の屋内 3.屋上 4.屋上以外の屋外
13	CGSの平均的な年稼働時間	1.平均的な年稼働時間
14	CGSの稼働時間帯	1.日常的に運転している→稼働時間帯 2.日常的には運転していない
15	CGSをどのように使用しているか	1.エネルギーコスト削減のために日常的に運転 2.省エネ、省CO2の実現のために日常的に運転 3.電力ピークカットのためにピーク時間帯に運転 4.非常時に備えた電源二重化のために設置しており、日常的には運転しない 5.その他
16	問15で電力ピークカットのためにピーク時間帯に運転していると解答した場合、どのような条件でピークカット運転を起動しているか	1.手動で起動(閾値 kW) 2.自動で起動(閾値 kW) 3.その他
17 (1)	CGSの運転スケジュールの変更頻度	1.年間を通じて同じ時間帯に運転 2.季節ごとに運転時間帯を見直している 3.月ごとに運転時間帯を見直している 4.週ごとに運転時間帯を見直している 5.毎日運転時間帯を見直している 6.その他 7.分からない
17 (2)	CGSの運転スケジュールの判断の基準	1.主に熱負荷で運転時間を決定 2.主に電力負荷で運転時間帯を決定 3.予め定められた運転時間帯で運転 4.その他 5.分からない
18	CGUの発電出力制御について	1.常時定格運転 2.電力負荷追従運転 3.熱負荷追従運転 4.その他 5.分からない
19	CGUの運転台数の決定について	1.常に全台数で運転(全台運転) 2.施設の負荷状況を見ながら管理者が運転台数を手動で決定(手動決定) 3.施設の電力負荷に合わせて自動で運転台数を決定(電力負荷決定) 4.施設の熱負荷に合わせて自動で運転台数を決定(熱負荷決定) 5.その他 6.分からない
20	ヒアリング調査が可能かどうか	1.協力できる 2.協力できる可能性がある 3.協力できない

表 2 建物用途計数結果

	建物用途	件数[件]	構成比
単独	事務所	10	7.9%
	病院	23	18.1%
	学校	9	7.1%
	ホテル	4	3.1%
	飲食店	1	0.8%
	福祉施設	4	3.1%
	その他	14	11.0%
	計	75	
複合	事務所	14	11.0%
	病院	2	1.6%
	学校	3	2.4%
	ホテル	3	2.4%
	物販店舗	10	7.9%
	飲食店	11	8.7%
	温浴施設	1	0.8%
	会議場・ホール	8	6.3%
	集合住宅	1	0.8%
	その他	9	7.1%
	計	127	100%

※構成比 = 件数 / 総件数(127)

常時定格運転の回答の割合が多く、単独用途では割合がやや少ない。複合施設のほうが熱負荷、電力負荷共に大きく、CGUの発電電力や排熱を使い切れる建物が多いためと考えられる。発電出力制御を行う際には電力負荷追従運転がほとんどであった。

3 ヒアリング調査

3.1 調査概要

ヒアリング調査の対象物件は回収したアンケート調査票を基に、用途や延床面積、CGSの容量等に極力偏りができないよう選定した。ヒアリング調査の目的は管理者に直接話を聞き、アンケートで得られなかった制御手法や管理実態、システム構成等を把握すること及び実測調査、データ収集への協力を依頼することである。ヒアリング調査に際しては事前に対象建物の管理者にヒアリングシートを送付し、記入されたシートを基に聞き取り調査を実施する。この際、システム構成について重点的に聞き取りを行うとともに、当該施設固有の制御方法などについて詳細に調べる。聞き取り調査の後、調査内容を踏まえながら実際のシステムを視察して、聞き取りで得られた情報を補完する。

3.2 調査結果

14件の建物についてヒアリング調査を実施した。調査を行った物件の一覧と結果を表5に示す。

(1)制御に関する分析

排熱利用先として主要なものは冷房・暖房・給湯であり、冷房が最優先される傾向にあるが、ID02のような給湯負荷の大きい建物では給湯を最優先している。冷房に排熱が利用される場合はCGUの排熱利用機器として排熱投入型吸収式冷温水機（以下 RHA：Recovered Heat-Driven Absorption Chiller）が導入されているため、実測値分析の際にはCGU周辺機器としてRHAについて重点的に分析する必要がある。発電出力制御については、CGUを常時定格運転する建物が多く、発停の判断のみ負荷を見て行うケースが多い。発電出力制御を行う際には電力負荷追従運転する場合がほとんどである。なお、ID04では熱負荷追従運転という回答が得られたが、この建物では研究として熱負荷追従運転に取り組んでおり、特殊な制御を行っていた。台数制御に関しては電力負荷によって変更を行う建物がほとんどで、管理者が手動で設定する場合が多く、それぞれ判断の基準が異なっている。そのため、エネルギー消費量計算の際にどのように台数制御を再現するかが課題となる。スケジュールの設定方法に関しては、休日と平日で運転台数を変える建物も見られ、空調負荷の小さい中間期には運転を停止する建物が多い。日毎に管理者の判断で発停を決定する建物もある。

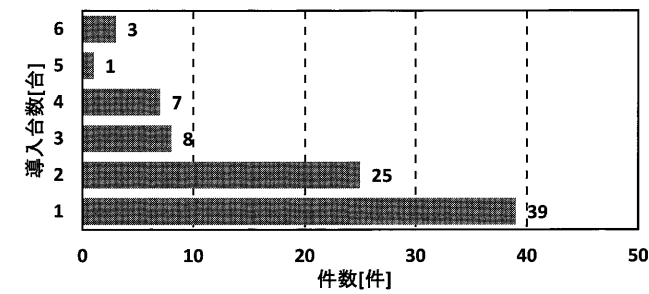


図1 CGU導入台数

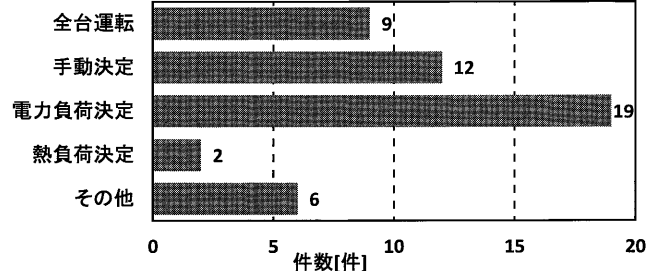


図2 CGU台数制御

表3 運転スケジュール変更頻度と判断の基準（単位：件）

		判断基準					合計
		熱負荷を見て判断	電力負荷を見て判断	運転時間常を固定	その他	分からない	
変更頻度	年間を通じて同じ	3	12	23	2	0	40
	季節毎に見直し	12	10	3	2	0	27
	月ごとに見直し	1	1	0	0	0	2
	週ごとに見直し	0	1	1	0	0	2
	毎日見直し	2	2	0	2	0	6
	その他	0	2	1	6	0	9
	分からない	0	0	0	0	2	2
合計		18	28	28	12	2	88

表4 建物用途毎のCGUの発電出力制御（単位：件）

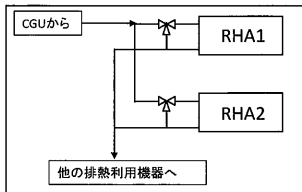
建物用途		発電出力制御					合計
		常時定格運転	電力負荷追従運転	熱負荷追従運転	その他	分からない	
単独	事務所	3	3	3	1	0	10
	病院	13	9	1	1	0	24
	学校	7	2	0	0	0	9
	ホテル	3	0	1	0	0	4
	飲食店	1	0	0	0	0	1
	福祉施設	3	1	1	0	0	5
	その他	9	5	0	1	0	15
複合	事務所	11	3	0	1	0	15
	病院	1	1	0	0	0	2
	学校	3	0	0	0	0	3
	ホテル	3	1	0	0	0	4
	物販店舗	9	2	0	0	0	11
	飲食店	10	2	0	0	0	12
	温浴施設	1	0	0	0	0	1
	会議場・ホール	7	2	0	0	0	9
	集合住宅	1	1	0	0	0	2
	その他	6	3	0	1	0	10
	合計	91	35	6	5	0	137

(2)システムに関する分析

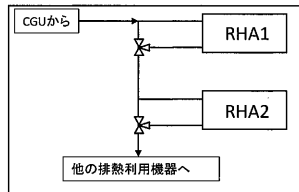
RHAが2台導入されていた建物で図3(a)のように並列に接続されたものと図3(b)のように直列に接続されたものが2件ずつ見られた。並列に接続された場合、流量は変化するが、各RHA入口での排熱温水温度は同様である。一方、RHA2台を直列に接続する場合は、RHA1で利用された後の排熱温水がRHA2に投入されるため、RHA2入口での排熱温水温度が低下する。RHAは排熱温水温度が低下すると投入排熱量が低下するため、直列の接続方法が導入される理由と効果について今後調査が必要である。また排熱温水温度によるRHAの実システムでの特性についても分析が必要である。

表5 ヒアリング結果一覧

ID	建物用途	延べ床面積	CGU 容量	CGU 台数	排熱利用優先順位	発電出力 制御方式	台数制御方式	スケジュールの設定方法
01	事務所 商業施設	約142000㎡	700kW	1台	夏期・中間期:①軟水予熱②冷房③給湯 冬期:①軟水予熱②給湯③暖房④冷房	常時 定格運転	無し	夏期・冬期・中間期平日土曜:発電優先(8:00~20:00)自動 夏期・冬期・中間期休日:OFF(ピークカット運転)自動
02	給食センター	約2000㎡	35kW	4台	①給湯②暖房、冷房	常時 定格運転	電力負荷で判断	夏期・中間期・冬期平日:8:00~18:00 (夏休み・春休み・冬休みは停止)
03	病院	約77000㎡	35kW	3台	①冷房②給湯、暖房	常時 定格運転	常に全台稼働	夏期・冬期・中間期平日:9:00~18:00
04	事務所	約9000㎡	35kW	3台	季節による冷暖切り替えのため 優先順位無し	熱負荷 追従運転	増設:発電出力の100% 減設:発電出力の83% 熱負荷400MJ/h以上で起動 350MJ/h以下で停止	夏期・冬期平日:8:00~17:45 夏期・冬期休日:運転しない 中間期:使用しない
05	工場 (化学プラント)	約413000㎡	①7200kW ②6500kW ③730kW	9台	①生産反応熱②冷房	手動出力 固定制御	電力負荷で手動設定 (負荷率50%を基準)	係員が負荷や天候に応じて判断
06	事務所 ホール	約41000㎡	300kW	2台	温水:季節切り替えのため優先順位無し 蒸気:ボイラと併設され、ヘッダーから分岐	発電出力 固定 (70%~80%)	熱負荷が余らないよう手動設 定、部屋の温度などを見なが ら判断	夏期・冬期:8:30~16:30 中間期:使用しない 気温等を見ながら排熱が余りそうな日は運転しない
07	病院	約54000㎡	700kW	1台	①冷房②暖房③給湯	常時 定格運転	無し	夏期・中間期・冬期平日:7:00~20:00 自動 夏期・中間期・冬期休日:OFF 自動
08	病院	約45000㎡	370kW	2台	①冷房②暖房③給湯	常時 定格運転	平日は2台 休日は1台	夏期・中間期・冬期平日:8:00~22:00 夏期・中間期・冬期休日:8:00~22:00
09	事務所 物販店舗 飲食店	約356000㎡	①1000kW ②900kW	①1台 ②1台	①冷房、暖房②給湯	常時 定格運転	電力負荷による手動設定	夏期・中間期・冬期平日:8:00~22:00 夏期休日:8:00~22:00 中間期・冬期休日:OFF
10	物販店舗 飲食店	約76000㎡	815kW	2台	①冷房②冷房	電力負荷 追従運転	電力負荷による自動設定	夏期平日・休日:8:30~22:30 中間期平日・休日:8:30~22:15 冬期平日・休日:8:30~22:00
11	学校	約10000㎡	35kW	1台	給湯	常時 定格運転	管理者が手動設定	夏期・中間期・冬期平日:8:00~18:00 (土曜日は時間短縮運転8:00~15:00) 夏期・中間期・冬期休日:OFF (学校が休みの日は運転停止)
12	学校	約10000㎡	35kW	3台	①暖房、冷房②給湯	常時 定格運転	管理者が手動設定	夏期・中間期・冬期平日:8:00~18:00 (中間期平日は台数制御あり) 夏期・中間期・冬期休日:OFF
13	体育館 屋内プール	約21000㎡	350kW	1台	①暖房、冷房②給湯	電力負荷 追従運転	無し	夏期・冬期・中間期:8:30~20:30 (中間期は需要見て契約会社が止める) (プールが休み(第1、3水曜日)のとき停止)
14	ショールーム	約28000㎡	35kW	1台	-	常時 定格運転	無し	夏期・冬期・中間期(水曜日を除く):9:30~17:00 夏期・冬期・中間期水曜日OFF



(a)並列接続(ID08, ID10)



(b)直列接続(ID04, ID07)

図3 RHA 接続方式

4 実測値分析

4.1 目的

CGSの性能評価を実態に合わせて適切に行うことを目的に、CGSの実測値分析を行う。具体的には、得られたデータを基にCGU効率特性とRHA温度特性の分析を行い、実働性能を解析する。

4.2 実測概要

本研究で用いるデータには、計測器を取り付けて取得したデータと、ヒアリング建物より取得したBEMS等データの2種類があり、ヒアリング調査を行った14件の建物のうち、9件の実測値を入手できた。表6に建物別の実測値の収集結果を示す。

4.3 分析対象建物概要

実測値を入手できている9件のうち、必要なデータが十分に得られたID03、ID08、ID10を分析対象とした。これらのシステム図を図4~図6に示す。ID03、ID08の用途は病院であり、ID10の用途は物販店舗、飲食店である。また、ID03は35kWのマイクロガスエンジンが3台、ID08は370kWのガスエンジンが2台、ID10は815kWのガスエンジンが2台導入されている。いずれの建物にお

表6 建物別の実測値収集結果

ID	種別	データ取得期間	日数	間隔
01	計測	2016/10/18 ~ 2017/11/26	405	1分
	BEMS	2016/11/1 ~ 2017/10/31	365	1時間
02	計測	2016/11/14 ~ 2017/10/31	352	1分
	BEMS	2016/12/1 ~ 2017/11/30	365	1分
	BEMS	2016/12/1 ~ 2017/11/30	365	1時間
04	BEMS	2015/8/1 ~ 2016/8/31	397	1分
	BEMS	2015/2/5 ~ 2016/8/31	574	1時間
05	BEMS	2015/9から2016/8までの 各月の代表週(2015/11以外)	77	1時間
08	BEMS	2016/7/1 ~ 2016/7/31	31	1分
	BEMS	2016/2/1 ~ 2016/2/29	29	1分
	BEMS	2016/8/1 ~ 2016/8/31	31	1分
	BEMS	2016/5/1 ~ 2016/5/31	31	1分
	BEMS	2016/10/1 ~ 2016/9/30	366	1時間
10	BEMS	2015/7/1 ~ 2016/9/30	458	1時間
13	BEMS	2014/10/1 ~ 2015/9/30	365	1時間
14	BEMS	2017/7/2 ~ 2017/11/9	131	1分
	BEMS	2017/7/2 ~ 2017/11/9	131	30分
	BEMS	2016/8、2017/2、2017/5	90	1時間

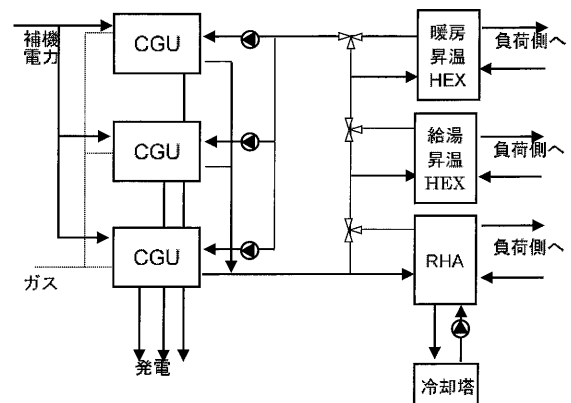


図4 システム図(ID03)

いても冷房に排熱を最優先に利用する制御方法をとっている。

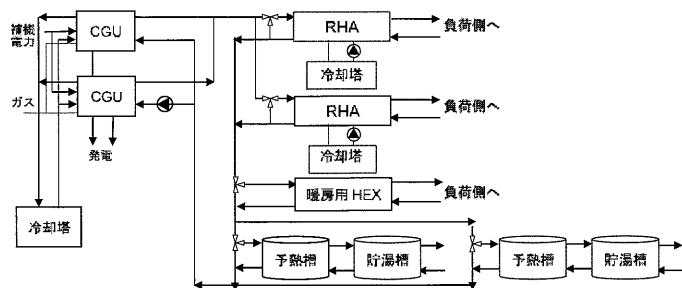


図5 システム図(ID08)

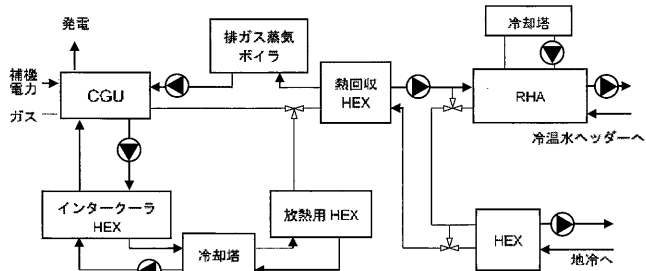


図6 システム図(ID10)

4.4 CGU 効率特性分析

ID08、ID10のCGU負荷率と発電効率、(有効)排熱回収効率、(有効)総合効率^{注1)}の関係及び、実測値とカタログ値⁵⁾の比較をそれぞれ図7、図8に示す。さらに、ID08、ID10の実測値のCGU負荷率を10%毎に区切ったそれぞれの区間での効率の平均値とカタログ値を表7、表8に示す。なおガス消費量は全て高位発熱基準で分析しており、低位発熱基準で記載されているカタログ値を高位発熱基準に換算している。図7、図8、表7、表8に示すように、いずれの建物においてもCGU負荷率90%~100%の度数が最も多い。一方でCGU負荷率90%未満の範囲においては度数が少ないため、CGU負荷率90%未満の結果については信頼度が低い。50%以下の低負荷率帯にも効率値の分布が見られるが、これらの値にはCGUの起動及び停止時の過渡的な状態の実測値が含まれている。発電効率はすべての建物において概ねカタログ値通りであり、CGU負荷率90%~100%の範囲の平均値はいずれの建物もカタログ値に等しい。一方、有効排熱回収効率はカタログ値の排熱回収効率よりも低い値を示した。排熱回収量とはCGUから得られる排熱量であるが、有効排熱量はCGUからの排熱のうち排熱利用機器で利用された熱量である。そのため、排熱の需要が小さくCGUの排熱を使い切れないことや配管からの熱損失によりカタログ値の排熱回収効率と実測値の有効排熱回収効率は乖離することになる。実測では熱需要のデータが得られておらず、排熱の需要が小さい状況であったことで乖離が発生しているのか明確には判断できない。そこでCGUの排熱利用率が高く、熱需要が十分であると想定される時間を抽出して夏期、冬期に分けて有効排熱回収効率について再検討する。

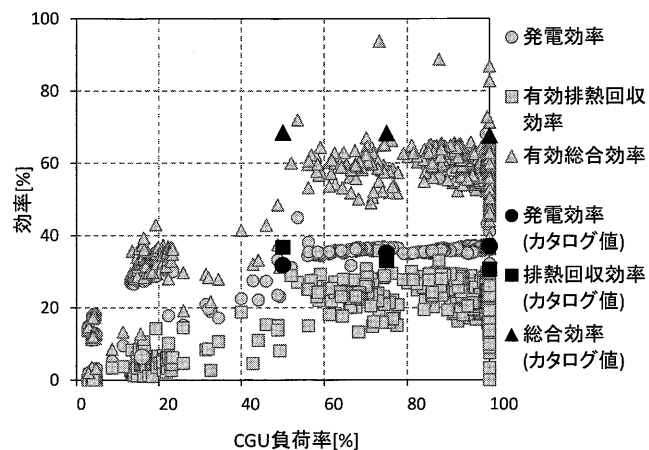


図7 CGU 効率の分布とカタログ効率の比較(ID08)

表7 CGU 負荷率別実測効率とカタログ効率 (ID08)

実測効率						カタログ効率			
CGU 負荷率	発電	有効排熱回収	有効総合	度数	度数割合	CGU 負荷率	発電	排熱回収	総合
0~10%	13%	0%	13%	52	2%	50%	32%	37%	69%
10~20%	28%	5%	32%	46	2%	75%	35%	33%	68%
20~30%	28%	6%	34%	23	1%	100%	37%	31%	68%
30~40%	19%	8%	27%	4	0%				
40~50%	26%	12%	38%	7	0%				
50~60%	36%	25%	61%	12	0%				
60~70%	36%	23%	58%	28	1%				
70~80%	37%	23%	60%	31	1%				
80~90%	36%	26%	62%	60	2%				
90~100%	37%	24%	61%	2663	91%				
合計					100%				

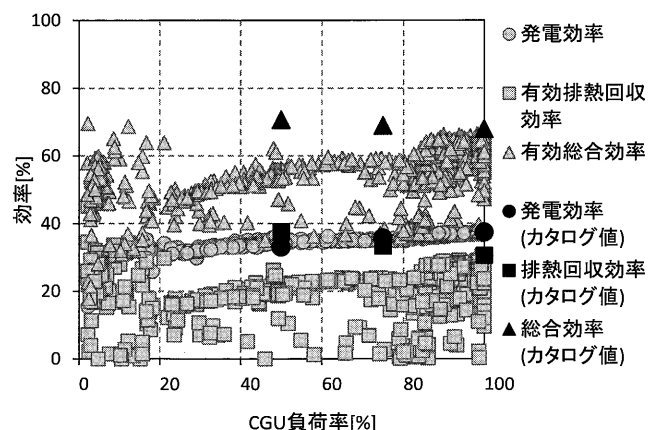


図8 CGU 効率の分布とカタログ効率の比較(ID10)

表8 CGU 負荷率別実測効率とカタログ効率 (ID10)

実測効率						カタログ効率			
CGU 負荷率	発電	有効排熱回収	有効総合	度数	度数割合	CGU 負荷率	発電	排熱回収	総合
0~10%	27%	24%	51%	96	4%	50%	33%	38%	71%
10~20%	32%	14%	46%	30	1%	75%	36%	33%	69%
20~30%	32%	16%	48%	37	1%	100%	37%	31%	68%
30~40%	33%	16%	49%	42	2%				
40~50%	34%	19%	53%	42	2%				
50~60%	35%	19%	54%	20	1%				
60~70%	35%	20%	55%	22	1%				
70~80%	35%	17%	53%	32	1%				
80~90%	36%	18%	54%	102	4%				
90~100%	37%	26%	64%	2088	83%				
合計					100%				

ID08、ID10 の有効排熱回収量の夏期代表期間の推移と冬期代表期間の推移をそれぞれ図 9～図 12 に示す。CGU が全負荷で運転し、かつ排熱需要が安定して十分にある状況は出現頻度が高いことが予想される。そこで期間中で CGU 負荷率 100%の時の有効排熱回収量を 5kWh/h ごとに区切った場合に出現頻度が最も高い区分が、排熱需要が十分にある状態であると判断し、その際の効率を抽出することとした。ID08 では、夏期は 295kWh/h～300kWh/h が、冬期は 255kWh/h～260kWh/h が最も出現頻度が高く、ID10 では、夏期は 675kWh/h～680kWh/h が、冬期は 525kWh/h～530kWh/h が最も出現頻度が高かった。

この区分での ID08、ID10 の効率の実測値とカタログ値の比較および外気温度との関係をそれぞれ図 13、図 14 に示す。なお CGU 負荷率が 100%であり、かつ、夏期は外

気温度が 20℃以上、冬期は 10℃以下の時間を抽出している。図 13 に示すように、ID08 については夏期、冬期ともに発電効率の実測値はカタログ値と概ね一致している。一方で、有効排熱回収効率の実測値は夏期で 1%、冬期で 5%程、排熱回収効率のカタログ値より低い。図 14 に示すように、ID10 についても夏期、冬期ともに発電効率の実測値はカタログ値と概ね一致している。一方で、有効排熱回収効率の実測値と排熱回収効率のカタログ値を比較すると、夏期は一致しているが、冬期は有効排熱回収効率の実測値が 6%程低い。これらの効率値についての結果のまとめを表 9 に示す。表 9 に示すように、有効排熱回収効率の実測値は夏期よりも冬期の方が排熱回収効率のカタログ値よりも低くなっている。この原因は、配管等からの熱損失の影響が大きいと考えられる。

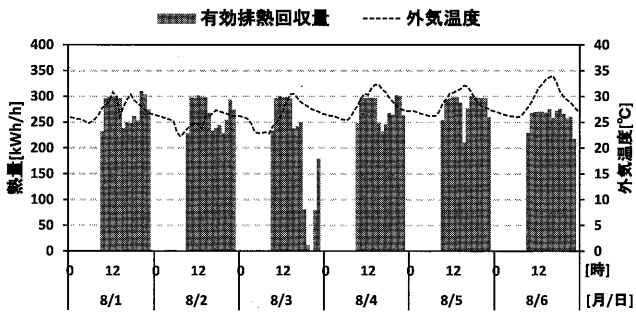


図 9 夏期代表期間の有効排熱回収量(ID08)

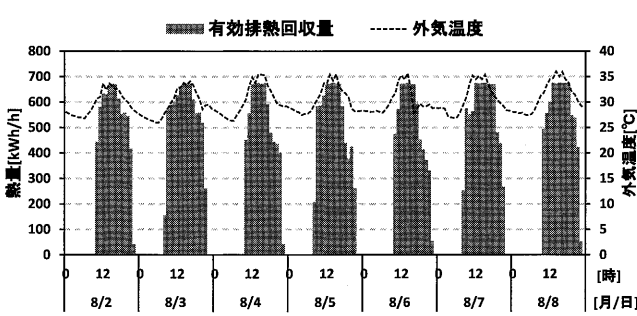


図 10 夏期代表期間の有効排熱回収量(ID10)

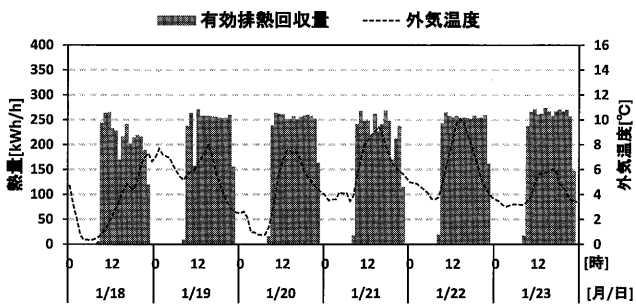


図 11 冬期代表期間の有効排熱回収量(ID08)

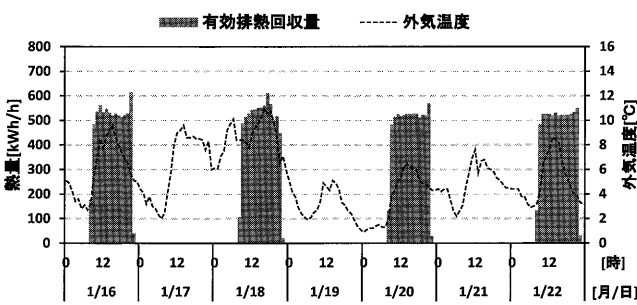


図 12 冬期代表期間の有効排熱回収量(ID10)

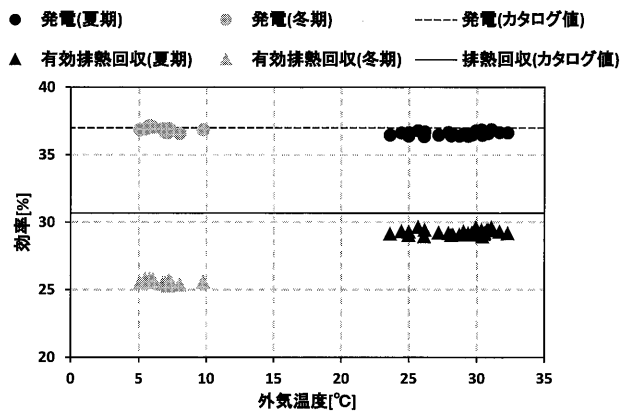


図 13 夏期、冬期の有効排熱回収効率値分布(ID08)

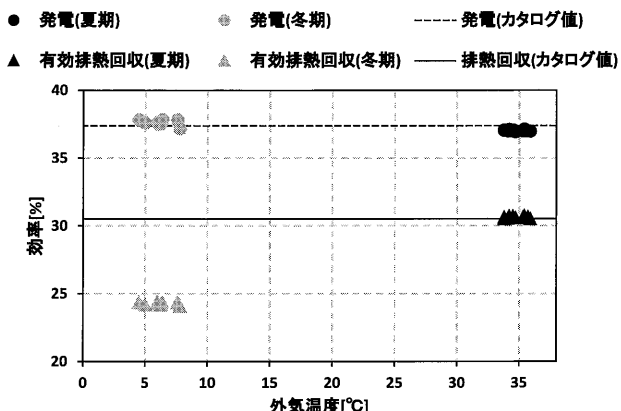


図 14 夏期、冬期の有効排熱回収効率値分布(ID10)

4.5 RHA 温度特性分析

RHA はガスを使用して冷熱を製造する吸収式冷温水機で、排熱を利用することでガス消費量を抑えることができるが、RHA 負荷率^{注2)}等によって利用できる排熱量が変化する。RHA への投入排熱量は、排熱温水入口温度、冷却水入口温度、排熱温水流量によっても変化することが知られており、ここでは、排熱温水入口温度、冷却水入口温度による投入排熱量の特性を実測値から分析する。分析対象となる ID03、ID08 に導入されている RHA の仕様を表 10 に示す。表 10 の値は機器のカタログに記載の定格値である。

ID03、ID08 に導入されている RHA 負荷率と投入排熱量の相関を排熱温水入口温度別に示した結果を図 15、図 16 に示す。ここでは CGU の排熱量が十分にあり、加えてガスも消費している時間を抽出している。なお、投入排熱量は冷却水入口温度、冷水出口温度、排熱温水流量が影響するため、これらの条件を絞って集計しているが、冷水出口温度については抽出範囲を狭めても結果の傾向は変わらなかったため、6℃～12℃と広い範囲の条件としている。図 15 に示すように、ID03 での計測では排熱温水入口温度が常にカタログ記載の条件値よりも低かったため、破線で示すカタログ特性よりも投入排熱量が小さい。また、排熱温水入口温度が低下するほど、投入排熱量も低下している。図 16 を見ると、排熱温水入口温度がカタログ記載の条件値（90℃）付近の結果はカタログ特性と概ね一致しているが、ID03 と同様に排熱温水入口温度が低下するほど投入排熱量も低下している。

ID03、ID08 に導入されている RHA 負荷率と投入排熱量の相関を冷却水入口温度別に示した結果をそれぞれ図 17、図 18 に示す。ここでも、排熱温水入口温度、冷水出口温度、排熱温水流量等の条件を統制して集計している。これらの図より、高負荷率になるほど冷却水入口温度が上昇し、冷却水入口温度の上昇に伴い投入排熱量がわずかに低下していることが確認できる。

5 おわりに

本研究は CGS の的確な性能評価に向けて、CGS の運転状況や実働性能等の不透明な部分を明らかにすることを目指したものである。本報ではアンケート調査結果、ヒアリング調査結果、実測値分析結果を示した。そこから得られた知見は以下に示す通りである。

- CGU が導入される場合の設置台数は 1、2 台であることが多く、台数制御を行う場合は、電力負荷に追従して自動的に決定するか、運転管理者が手動で台数を変更している状況である。
- CGU の発電出力制御は、全体の 90%程度の物件で常時定格運転もしくは電力負荷追従運転を採用しており、それ以外は少ない。よって、常時定格運転及び電

表 9 ID08、ID10：実測効率とカタログ効率の比較

	ID08		ID10	
	発電	排熱回収 (有効排熱回収)	発電	排熱回収 (有効排熱回収)
カタログ効率	37.0%	30.7%	37.4%	30.5%
夏期実測効率	36.6%	(29.2%)	37.0%	(30.6%)
冬期実測効率	36.9%	(25.6%)	37.6%	(24.3%)

表 10 ID03、ID08 に導入されている RHA の仕様

ID	冷房能力	燃料消費量		排熱温水			冷水		冷却水	
		排熱無	排熱有	入口	出口	流量	入口	出口	入口	出口
		kW	MJ/h	MJ/h	℃	℃	m³/h	℃	℃	℃
03	1055	2952	2655	88	83	27	15	7	32	37.6
08	1583	4386	3070	90	80	51.8	17	7	32	37.6

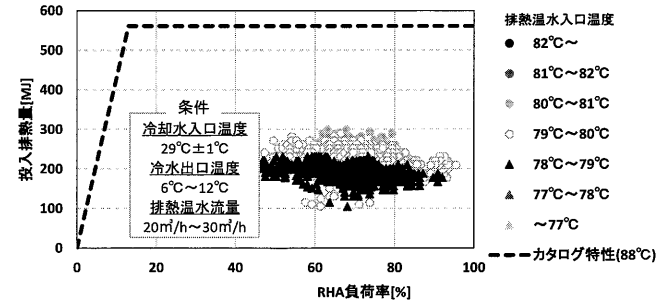


図 15 RHA 負荷率と投入排熱量の排熱温水入口温度別の相関(ID03)

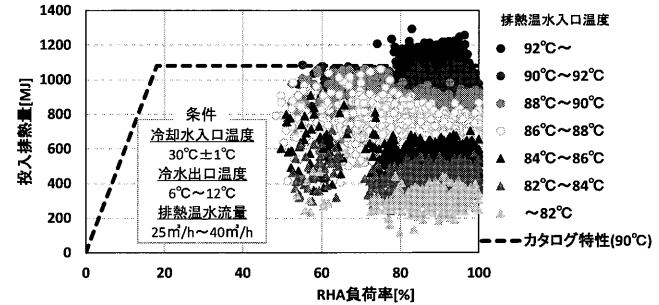


図 16 RHA 負荷率と投入排熱量の排熱温水入口温度別の相関(ID08)

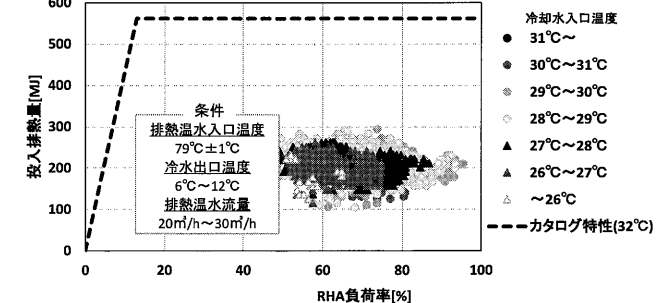


図 17 RHA 負荷率と投入排熱量の冷却水入口温度別の相関(ID03)

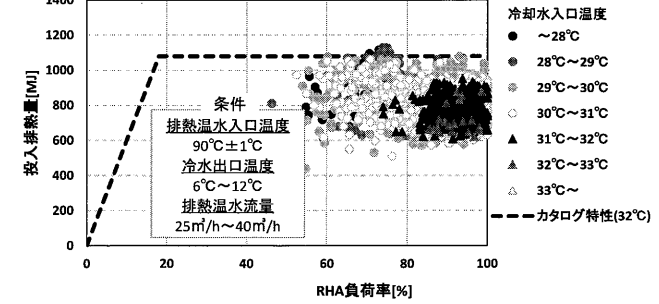


図 18 RHA 負荷率と投入排熱量の冷却水入口温度別の相関(ID08)

力負荷追従運転を評価可能とすることで、ほぼすべての建物に対応できると考えられる。

- ・ 排熱利用機器の排熱利用優先順位は冷房、暖房、給湯の順で利用されることが多く、冷房の排熱利用機器として RHA が導入されている。
- ・ 排熱利用機器の有効性を評価するためには、機器が直列に接続される場合、排熱温水温度の影響を考慮する必要がある。
- ・ CGU の発電効率の実測値はカタログ値と概ね一致している。
- ・ 特に冬期の CGU の有効排熱回収効率はカタログ値の排熱回収効率より低く、配管等からの熱損失が原因と考えられる。
- ・ RHA への投入排熱量は排熱温水入口温度や冷却水入口温度に依存しており、排熱温水入口温度がカタログ条件に近いときには、カタログと同等の投入排熱量が確認された。また、排熱温水温度がカタログ条件の温度に達していない建物も見られ、排熱温水温度の評価が、CGS 全体の性能を評価する上では重要である。

今後は本研究で得られた知見を基に、CGS の運転方法や機器性能の実態を踏まえたプログラムの改良を進めていく。

謝辞

本調査は、国土交通省「平成 28、29 年度建築基準整備促進事業 E8.業務用コージェネレーション設備の性能評価手法の高度化に関する検討」（実施主体：九州大学大学院住吉研究室、住環境計画研究所、共同研究：独立行政法人建築研究所）の調査研究成果の一部である。関係諸氏に対して謝意を表す。

注釈

注1) CGU 負荷率、発電効率、(有効) 排熱回収効率、(有効) 総合効率を以下の式のように定義する。

$$\text{CGU 負荷率}[-] = \frac{\text{発電量[kWh/h]}}{\text{定格発電量[kW]}}$$

$$\text{発電効率}[-] = \frac{\text{発電量[kWh/h]}}{\text{ガス消費量[kWh/h]}}$$

$$(\text{有効}) \text{排熱回収効率}[-] = \frac{(\text{有効}) \text{排熱回収量[kWh/h]}}{\text{ガス消費量[kWh/h]}}$$

$$(\text{有効}) \text{総合効率}[-] = \text{発電効率}[-] + (\text{有効}) \text{排熱回収効率}[-]$$

注2) RHA 負荷率を以下の式のように定義する。

$$\text{RHA 負荷率}[-] = \frac{\text{処理熱量[kW]}}{\text{定格冷房能力[kW]}}$$

参考文献

- 1) 坂口他：業務用コージェネレーションシステムの性能評価手法の開発-シミュレーションプログラムの開発と感度解析-，日本建築学会九州支部研究報告，No55，pp345-348，2016 年 3 月
- 2) 空気調和・衛生工学会：都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム—CASCADEⅢ Ver.3.2—，2013 年 7 月
- 3) 枘川依士夫，小川健次，鈴木勇馬，伊東秀二：中規模飲食宴会場におけるコージェネレーションの稼動評価に関する研究（第 2 報）稼動開始後 1 年間のコージェネレーション稼動実績，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.101-104，2016 年 9 月
- 4) 伊藤卓，鈴山晃弘，太宰龍太，大曲康仁，新倉由久：コージェネレーションシステムの制御システム構築と運転効率評価，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.109-112，2016 年 9 月
- 5) クリーンエネルギー編集部編：月間「クリーンエネルギー」別冊天然ガスコージェネレーション機器データ 2014，日本工業出版，2014 年 4 月

(受理：平成30年 5 月31日)