

# 業務用コージェネレーションシステムの実働性能に関する研究

鄭 浩

## 1. はじめに

昨今課題される省エネルギーや有害物質の削減を始めとする環境保全、経済性の観点からも、省エネルギーの重要な技術の一つの電力と熱を同時に供給することができるコージェネレーションシステム（以下：CGS）が注目されている<sup>1)</sup>。しかし、CGSの研究事例は少なく、実際の運転時に補機動力や排熱利用量がどの程度なのかなど、機器の時々刻々の稼働状況は明らかになっていない。

本研究ではCGSの実働性能を把握するため、実際の運転時におけるCGSのシステムとしての性能を分析した上で、コージェネレーションユニット（以下：CGU）の各運転段階における補機の消費電力、CGUの排熱利用量を詳細に分析している。本梗概では、補機動力分析及び排熱利用量の分析について示す。

## 2. 分析対象建物概要

本論文での分析対象の建物概要を表1に示す。商業施設Aと給食センターBに導入されているCGUを対象に補機動力の分析を行う。病院Cと病院Eに導入されているCGUを対象に排熱利用量の分析を行う。

## 3. 補機動力分析

実際の補機動力は外気温度、CGUの運転段階などの状況に応じて変化しているものと考えられる。ここでは、CGUの補機動力について分析を行う。なおガスエンジンの補機動力には、CGU補機、温水循環ポンプ、冷却塔ポンプ、冷却塔ファン、冷却塔ヒーターの消費電力が含まれ、マイクロガスエンジンの補機動力には、CGU補機、温水循環ポンプの消費電力が含まれる。

商業施設Aにおける計測間隔1時間の外気温度と冷却塔ファン消費電力の関係を図1に示す。外気温度が高いほど冷却塔ファンの消費電力量が大きくなる傾向が見られる。なお、外気温度が20℃以上の範囲で消費電力量が4kWもしくは5.3kW程度に集中しているが、この要因については把握できていない。計測期間の中で、冷却塔ヒーターの稼働日は2日(2017年1月15日及び16日)のみであった。そのため、冷却塔ヒーターの分析結果についてここでは示さない。

商業施設AのCGUについて起動動作、運転、停止動作、待機の各段階における平均補機消費電力量、平

表1 建物概要

施設名	所在地	延床面積	CGU機種	CGU台数、発電容量	CGU定格排熱出力(/台)	発電効率	排熱回収効率	総合効率	排熱利用先	排熱利用優先順位	計測期間	データ間隔	CGU運転スケジュール			
商業施設A	関東	約142,000㎡	ガスエンジン	1台、700kW/台	262.9kW(温水) 273kW(蒸気)	38%	30%	68%	給湯、暖房、冷房、軟水予熱	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	2016.10.8~2017.11.26	1時間	平日、土曜:発電優先(8:00~22:00) 休日:OFF			
	給食センターB	関西	約2,000㎡	マイクロガスエンジン	4台、35kW/台	52.5kW	31%	46%	77%	給湯、暖房、冷房	①給湯 ②冷房、暖房	2016.11.14~2017.11.31	1分	夏期・中間期・冬期平日:8:00~18:00 春休み、夏休み、冬休み:停止		
		病院C	関東	約77,000㎡	マイクロガスエンジン	3台、35kW/台	52.5kW(温水)	31%	46%	77%	給湯、暖房、冷房	①給湯 ②暖房 ③冷房	2016.12.1~2017.11.30	1時間	夏期・中間期・冬期平日:9:00~18:00	
			病院E	関東	約45,000㎡	ガスエンジン	2台、370kW/台	306.8kW	37%	31%	68%	給湯、暖房、冷房	①冷房 ②暖房 ③給湯	2015.10.1~2016.9.30	1時間	夏期・中間期・冬期平日、休日:9:00~22:00

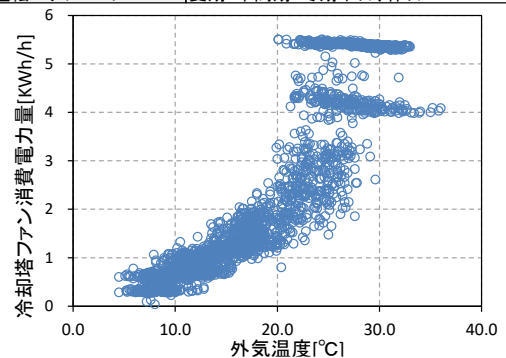


図1 冷却塔ファン消費電力量と外気温度の相関

均発電量、平均補機消費電力量割合を表2に示す。表2より、CGUは発電を行っていない待機段階でもCGU補機では電力を消費している。一方、冷却塔ポンプ、温水循環ポンプでは待機段階における電力消費はほとんどない。

また、冷却

塔ポンプ及び温水循環ポンプの消費電力は発電量の増減に応じて変化している。発電時間に比例して電力消費が発生していると考えられる。なお、本建物では発電量を1時間間隔で計測しており、運転段階を細かく分けて分析することができないため、8時のデータを起動動作段階、20時を停止動作段階、9時から19時を運転段階、その他の時刻を待機段階として集計した。その結果、運転段階の補機消費電力量割合は発電量の5%前後となった。また、待機段階では冬期にCGU補機消費電力量が高くなっている。これは本体内部のヒーターの稼働等が影響していると考えられる。停止段階では、発電量が補機消費電力量よりも顕著に低下しているため、補機消費電力量割合が計算上高くなっ

ている。

給食センターBのCGUの運転段階別補機消費電力と補機消費電力割合を表3に示す。なお停止特性の影響は小さいと考えられるため、停止動作段階は示して

表4 温度センサーの設置場所

いない。温水循環ポンプは夏期の利用しかみられないため、冬期、中間期については示していない。表3より、運転段階のCGU補機消費電力割合は発電出力の2%前後となった。起動動作段階のCGU補機消費電力割合も2%程度で、運転段階との差は小さい。また給食センターBにおいては、CGUが発電を行っていない待機段階でもCGU補機では0.05kW前後の電力を消費していることが確認されている。

#### 4. 排熱利用量分析

既往研究<sup>2)</sup>では、CGUの排熱利用率が高いと想定される時間を抽出して夏期、冬期に分けて排熱回収効率について検討した。しかし、排熱利用量についてまだ把握していない点があったため、各排熱利用機器間に温度センサーを設置し(表4)、各排熱利用機器の入口温

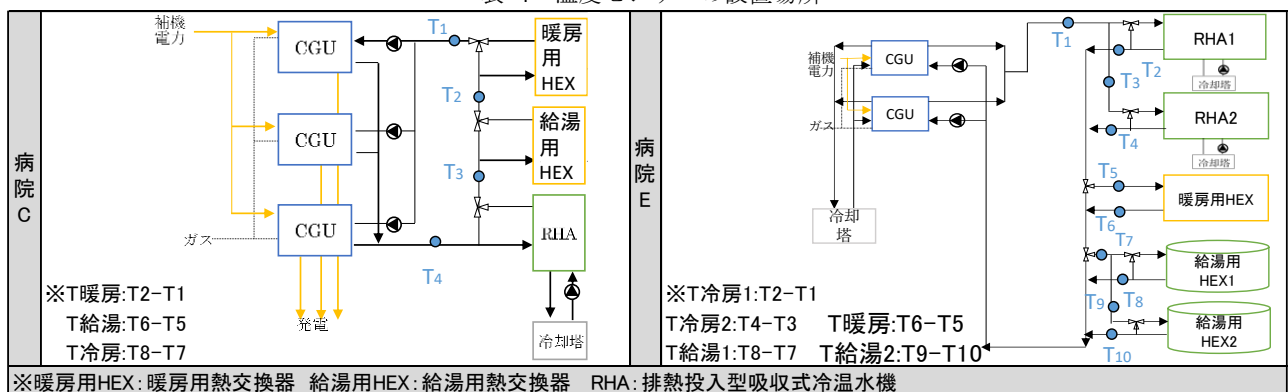
表2 CGU運転段階別補機消費電力量と補機消費電力量割合(商業施設A)

		補機消費電力量(kWh)				合計	発電量(kWh)	補機消費電力量割合				合計
		CGU補機	冷却塔ファン	冷却塔ポンプ	温水循環ポンプ			CGU補機	冷却塔ファン	冷却塔ポンプ	温水循環ポンプ	
起動動作	冬期	16.8	0.0	3.1	8.4	28.3	577.4	2.92%	0.01%	0.53%	1.45%	4.90%
	中間期	21.3	1.5	3.1	8.6	34.5	576.7	3.69%	0.25%	0.54%	1.49%	5.97%
	夏期	21.0	3.7	3.0	8.4	36.1	568.4	3.69%	0.65%	0.53%	1.48%	6.36%
運転	冬期	17.4	0.4	3.3	11.1	32.2	700.0	2.49%	0.06%	0.47%	1.59%	4.60%
	中間期	22.4	2.9	3.4	11.1	39.8	700.0	3.20%	0.41%	0.49%	1.59%	5.69%
	夏期	22.6	4.2	3.3	11.0	41.1	700.0	3.23%	0.60%	0.47%	1.57%	5.87%
停止動作	冬期	6.0	0.0	2.6	6.8	15.4	38.4	15.63%	0.09%	6.68%	17.62%	40.02%
	中間期	8.8	0.3	2.6	6.8	18.5	38.6	22.80%	0.69%	6.76%	17.66%	47.91%
	夏期	9.1	0.5	2.6	7.0	19.2	47.5	19.20%	1.10%	5.54%	14.64%	40.48%
待機	冬期	4.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	-	-	-	-	-
	中間期	2.3	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	-	-	-	-	-
	夏期	1.7	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	-	-	-	-	-

表3 CGU運転段階別補機消費電力量と補機消費電力量割合給食センターB)

		補機消費電力(kW)					発電出力(kW)					補機消費電力割合							
		CGU1	CGU2	CGU3	CGU4	温水循環ポンプ	合計	CGU1	CGU2	CGU3	CGU4	合計	CGU1	CGU2	CGU3	CGU4	温水循環ポンプ	CGU補機	合計
起動動作	冬期	0.65	0.62	0.62	0.66	2.55	34	31	31	33	129	1.9%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
	中間期	0.68	0.71	0.68	0.65	2.72	34	34	34	34	136	2.0%	2.1%	2.0%	1.9%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
	夏期	0.61	0.85	0.62	0.78	4.06	6.92	29	34	28	34	125	2.1%	2.5%	2.2%	2.3%	3.2%	2.3%	5.5%
運転	冬期	0.62	0.62	0.62	0.62	2.48	34	33	34	34	135	1.8%	1.9%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%
	中間期	0.64	0.64	0.65	0.65	2.58	34	34	34	34	135	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%
	夏期	0.66	0.66	0.67	0.67	3.73	6.39	34	34	34	34	136	1.9%	1.9%	2.0%	2.0%	2.8%	2.0%	4.7%
待機	冬期	0.04	0.04	0.04	0.04	0.16	0	0	0	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
	中間期	0.06	0.06	0.06	0.06	0.24	0	0	0	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
	夏期	0.06	0.06	0.06	0.06	0.00	0.24	0	0	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-

表4 温度センサーの設置場所



度と出口温度を計測し、実測データを用いて、CGS 放熱量、各排熱利用機器の排熱利用量、有効排熱効率について分析を行う。

病院 C では各排熱利用機器は直列接続だが、1 つ目の排熱利用機器を通った温水が次の排熱利用機器に送られる。病院 E では各排熱利用機器は並列接続のため、それぞれの排熱利用機器に温水が分配される流量をそれぞれ計測している。病院 C、病院 E の 1 時間の排熱回収量、有効排熱量の推移、日積算の放熱量、放熱量割合(放熱量/排熱回収量)の推移をそれぞれ図 2～図 5 に示す。また、各排熱利用機器への排熱利用量の推移を図 6、図 7 に示す。図 2、図 3 に示すように、CGU 運転時に病院 C、病院 E のどちらも定格で運転している。病院 C について冬期の放熱量が大きく、病院 E に

ついては通年で放熱量が大きくなっている。図 4 より、病院 C では冬期の放熱量が大きく、放熱量割合は 24% であり、夏期の放熱量割合は 3% である。その原因としては、図 6 に示すように、病院 C では、冬期の暖房、給湯と冷房の合計排熱利用量が少ないため、放熱量割合が大きくなったと考えられる。病院 E では排熱利用量が少ない場合にも 2 台運転している。また、有効排熱利用量が少ない時間帯でも運転しているため、放熱量が増加している。つまり、病院 E では、運転台数、運転スケジュールなどの設定が不適切なため、50% を越える熱が放出されている。また、図 5 より、病院 E では、中間期の放熱量が大きく、放熱量割合は 66% 程度の値を示している。夏期と冬期の放熱量割合は 55% 程度であり、大きな差はない。その原因としては、図

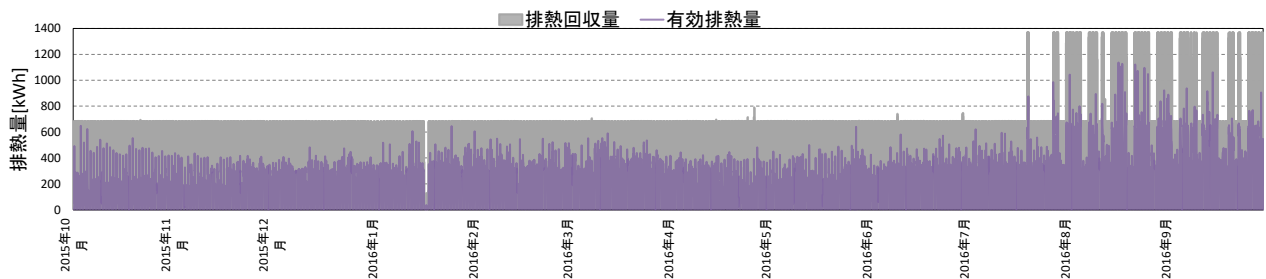


図 2 1 時間の排熱回収量と有効排熱量の推移(病院 C)

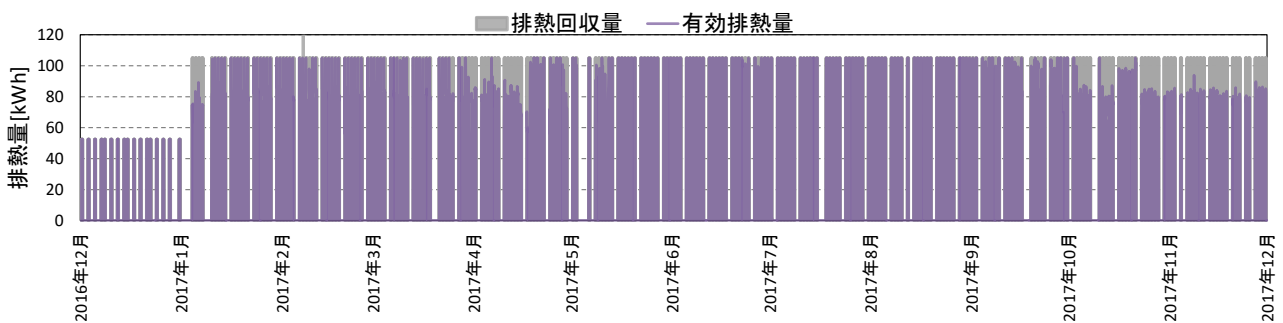


図 3 日積算の放熱量と放熱量割合(病院 C)

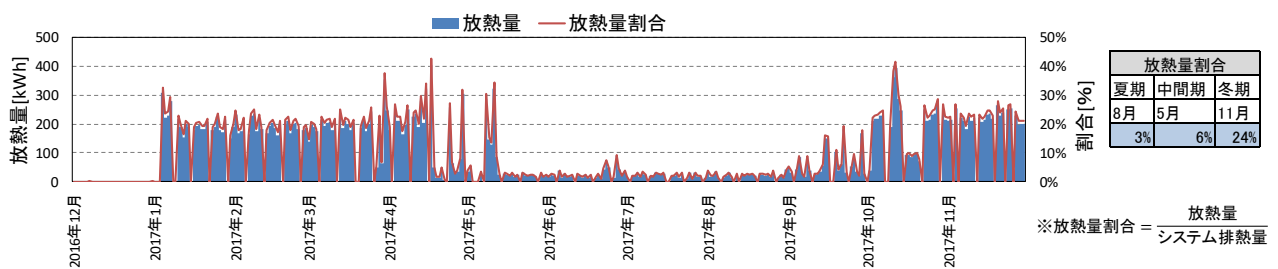


図 4 1 時間の排熱回収量と有効排熱量の推移(病院 C)

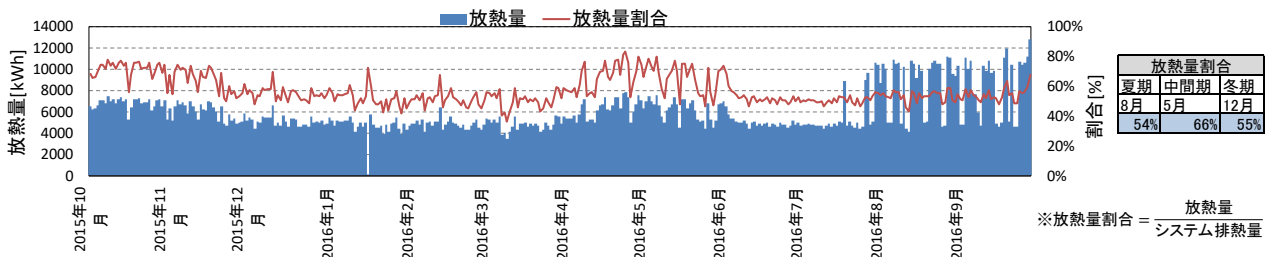


図 5 1 時間の排熱回収量と有効排熱量の推移(病院 E)

7に示すように、病院Eの場合は中間期の暖房、給湯と冷房の合計排熱利用量が少ないため、放熱量割合が大きくなったと考えられる。

病院C、病院Eの季節毎の各効率の推移を図8に示す。どちらの建物においても、発電効率(発電量/ガス消費量)は季節に関わらず、カタログ値<sup>3)</sup>とほぼ同じ値を示している。病院Cの夏期と中間期の有効排熱回収効率(排熱利用量/ガス消費量)はほぼ同じの52%程度であり、システム総合効率(発電効率+有効排熱回収効率)は78%程度と高い値を示している。冬期は、有効排熱回収効率が39%であり、システム総合効率が68%と低い値を示している。冬期の有効排熱回収効率は夏期と中間期より顕著に低くなった。病院Eでは、中間期の有効排熱回収効率とシステム総合効率がそれぞれ20%、57%と低い値を示しており、夏期と冬期より顕著に低くなった。これは建物ごとで季節により冷暖房、給湯の熱需要量が違うことが原因と考えられる。

### 5. まとめ

本研究では、業務用コージェネレーションシステム

の実働性能を詳細な実測調査により分析した。特に補機動力特性と排熱利用量、放熱量について分析し、カタログ性能と比較した際にどの程度効率が異なるかなどについて明らかにした。

### 【参考文献】

1. 環境マーケティングレポート コージェネレーションシステムの現状と将来展望 2014年9月号
2. 伊藤他：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高度化に関する研究（第五報）機器効率及び、排熱投入型吸収式冷温水機の特性分析、日本建築学会研究報告九州支部 2018年3月
3. 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

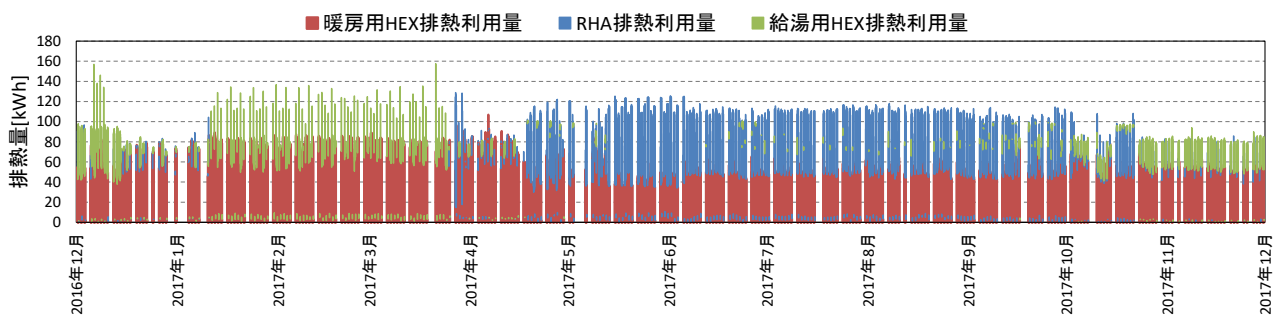


図6 排熱利用量の推移(病院C)

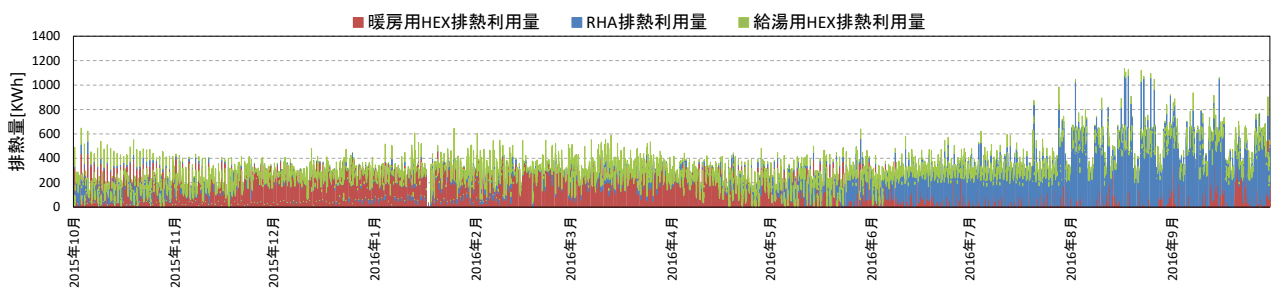


図7 1時間の各排熱利用機器へ排熱利用量の推移(病院E)

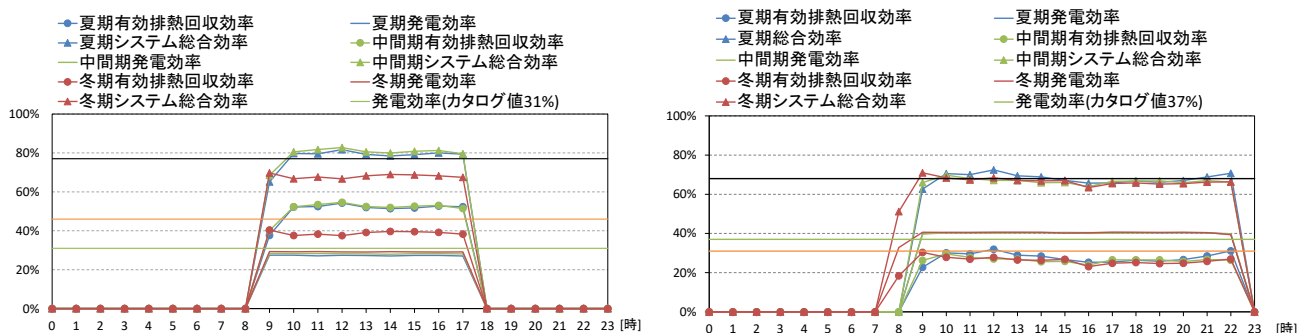


図8 季節毎の月平均の各効率の推移(左：病院C 右：病院E)