

第4部. 業務用コージェネレーション設備の実働性能解析

4-1. 実稼働性能解析のための実測調査

本調査で用いる分析データには、事業主体が計測器を取り付けて取得したデータと、他事業者より取得した BEMS 等データの 2 種類がある。ここでは、実条件下における CGS の稼働状況を把握するために実施した前者の実測調査について報告する。

4-1.1. 調査概要

4-1.1.1. 調査目的

本実測は、CGS の評価プログラムの精度向上を目指し、実条件下における機器の挙動や実働性能のデータを取得して、プログラム開発の基礎データを収集することを目的とする。具体的には、CGS の実働性能把握と計算法の精度検証に必要な計測点を検討し、CGU の主機及び補機・周辺機器を測定し、得られた結果とプログラムによる計算結果との比較を行うことで、プログラムの精度検証を行う。

4-1.1.2. 調査対象物件の概要

実測対象先は、CGU の排熱を給湯や暖房、冷房に利用している物件で、本調査の趣旨をご理解いただき、調査協力いただける 3 物件に依頼した。表 4-1.1 に計測物件の概要を示す。

表 4-1.1 計測対象物件の概要

建物 ID	01	02	03
所在地	東京	大阪	兵庫
建物用途	複合施設（事務所、商業、 駐車場、ホテル）	給食センター	病院
延床面積	約 142,000 m ²	約 2,000 m ²	約 77,000 m ²
CGS 導入時期	2013 年 4 月	2014 年 12 月	2015 年 1 月
CGS 設置場所	屋外	屋外	屋外
CGU 種類	ガスエンジン	ガスエンジン	ガスエンジン
定格発電量	700kW	35kW	35kW
定格排熱回収量	262.9kW（温水） 273kW,0.8MPaG（蒸気）	52.5kW	52.5kW
設置台数	1 台	4 台	3 台
排熱利用先	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	1_給湯、2_暖房、冷房	1_冷房、2_給湯、暖房

4-1.1.4. 計測項目

計測項目については、計算法構築のための分析に必要な計測ポイント（表 4-1.2）を中心に、ご協力いただける範囲で計測器を取り付けて実測を行う。なお、既に BEMS 等でデータを取得している場合は、併せてデータ提供を依頼する。

表 4-1.2 計測項目

項目		計測ポイント	
CGU 本体	発電量	発電量	
		排熱回収量	排熱回路 CGU 入口温度
			排熱回路 CGU 出口温度
	排熱回路流量		
	CGU ガス消費量	CGU ガス消費量	
		ガス温度	
		ガス圧力	
	補機消費電力	CGU 補機消費電力	
		排熱回収回路ポンプ電力	
		余剰排熱放熱回路ポンプ・ファン電力	
余剰排熱放熱	余剰排熱放熱回路放熱量	余剰排熱放熱回路入口温度	
		余剰排熱放熱回路出口温度	
		余剰排熱放熱回路流量	
熱利用	熱交換器 2 次側熱量	熱交換器 2 次側入口温度	
		熱交換器 2 次側出口温度	
		熱交換器 2 次側流量	
	吸収式冷温水発生機	再生水回路入口温度	
		再生水回路出口温度	
		再生水回路流量	
	貯湯槽熱量	貯湯槽入口温度	
		貯湯槽出口温度	
		貯湯槽流量	
需要	電力需要	建物全体電力需要 (CGS 対応分)	
		熱需要	
	熱需要	温熱回路入口温度	
		温熱回路出口温度	
	温熱回路流量		

4-1.1.5. 計測機器

計測は主に電力量、流量、温度であり、以下の計測器を使用した。計測器を屋外にて設置する場合は、計測ボックスを準備し、雨風や日射を遮る対策を施した。

(1) 電力計測：CGUIによる発電量、CGSの主な補機の電力

<使用機器>

表 4-1.3 電力計測に用いる計測機器

型式	HIOKI クランプオンパワーロガーPW3365	HIOKI パワーアナライザ 3390 クランプオンセンサ 9272-10
写真		
レンジ	<ul style="list-style-type: none"> 電圧：AC 400 V (有効測定範囲: 90.0 V ~520.0 V) 電流：AC 500.00 mA~5.0000 kAまで 電力：200.00 W~6.0000 MW 	<ul style="list-style-type: none"> 電圧: 15~1500 V, 7レンジ 電流: 400 mA~500 A 電力：6.0000 W~2.2500 MW 周波数：0.5 Hz~5 kHz
基本確度	<ul style="list-style-type: none"> 電圧：±1.5% rdg. ±0.2% f.s (PW3365+PW9020組合わせ確度) 電流：±0.3% rdg. ±0.1% f.s. + 電流センサ確度 電力：±2.0% rdg. ±0.3% f.s. + 電流センサ確度 (力率=1) 	<ul style="list-style-type: none"> 電圧：±0.05% rdg. ±0.05% f.s. 電流：±0.05% rdg. ±0.05% f.s. +組合せ電流センサ確度 電力：±0.05% rdg. ±0.05% f.s. +組合せ電流センサ確度
使用物件	建物 ID01 にて使用	建物 ID02、03 にて使用

(2) 流量計測：CGS排温水流量、吸収冷温水機の冷却水流量 など

<使用機器>

表 4-1.4 流量計測に用いる計測機器

型式	富士電機 超音波流量計 FSC シリーズ		
写真	 <p style="text-align: center;">変換器(型式:FSC) 簡単取付検出器 配管へは布ベルトで簡単取付</p>		
測定対象	測定流体：超音波が通る均一な液体 流体の濁度：10,000 度 (mg/L) 以下 流体の様子：満水円管内の十分に成長した乱流または層流 流体温度：-40～+200 °C 測定範囲：0…±0.3～±32 m/s		
精度定格	管内径	流速範囲	精度
	φ 13～φ 50 mm	2～32 m/s	±1.5% ～ 2.5% of rate
		0～2 m/s	±0.03 m/s
	φ 50～φ 300 mm	2～32 m/s	±1.0% ～ 1.5% of rate
		0～2 m/s	±0.02 ～ 0.03 m/s
φ 300～φ 6000 mm	1～32 m/s	±1.0% ～ 1.5% of rate	
	0～1 m/s	±0.01 ～ 0.02 m/s	
使用物件	建物 ID02、03 にて使用		

温度計測：CGS 排温水温度、各種熱交換器出入口温度 など

温度計：白金測温抵抗体 Pt100Ω (シースタイプ)

使用物件：建物 ID02、03 にて使用

(3) データロガー

<使用機器>

表 4-1.5 データ記録に用いるデータロガー

型式	HIOKI データロガーLR8402		
写真	 <p style="text-align: right;">272W × 182.4H × 66.5D mm</p>		
ユニバーサル ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧測定範囲： ±10mV～±100V, 1-5V, 分解能 500nV ・ 熱電対測定範囲： -200°C ～2000°C, 熱電対 (K, J, T, 他), 分解能 0.01°C 		

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測温抵抗体測定範囲 -200°C ~800°C, 分解能 0.01°C ※ch 間是非絶縁 ・ 抵抗測定範囲 : 0~200Ω, 分解能 0.5mΩ ・ 湿度測定範囲 : 5.0~95.0% rh, 分解能 0.1% rh
電圧・温度 ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧測定範囲 : ±10mV~±100V, 1-5V, 分解能 500nV ・ 熱電対測定範囲 : -200°C ~2000°C, 熱電対 (K, J, T, 他), 分解能 0.01°C ・ 測温抵抗体・抵抗 : 機能なし ・ 湿度測定範囲 : 5.0~95.0% rh, 分解能 0.1% rh
使用物件	建物 ID02、03 にて使用

4-1.2. データ取得項目と取得状況

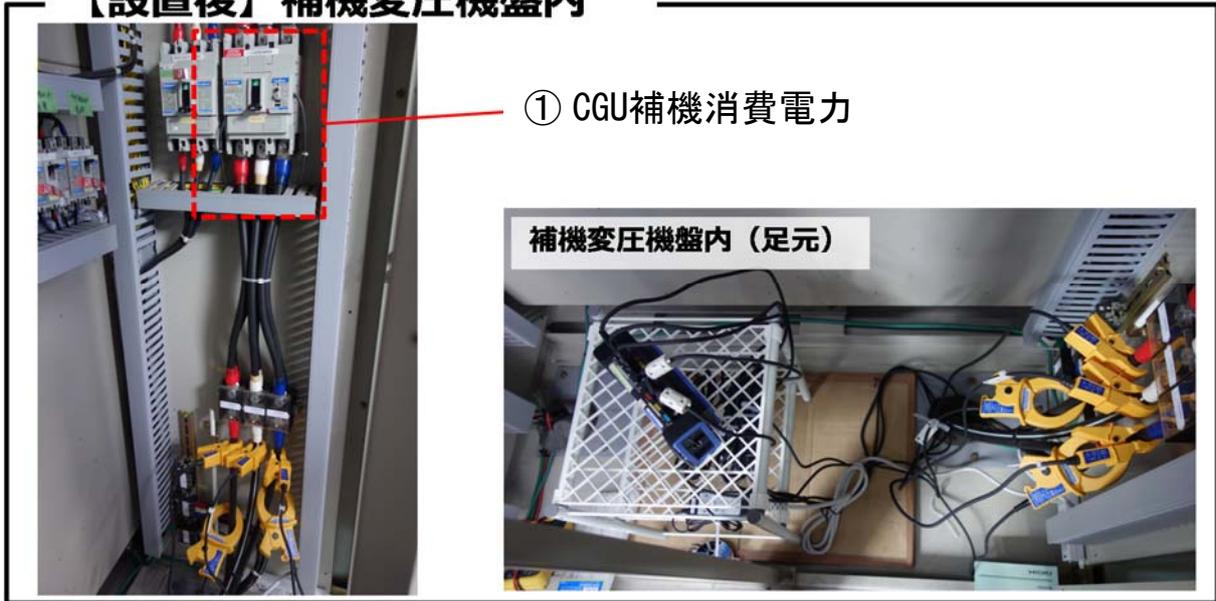
表 4-1.1 に示す建物 ID ごとに、データ取得項目及び計測器設置の様子と計測器取り付けによる実測項目について、確認を行った時系列データの一例を示す。

(1) 建物ID01 (複合施設)

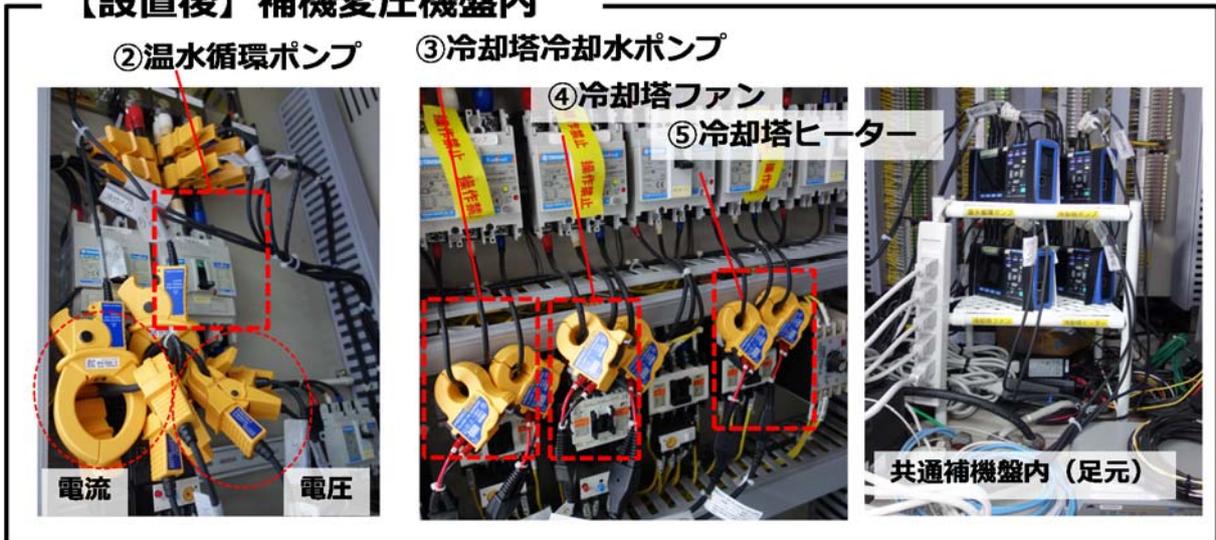
表 4-1.6 建物 ID01 (複合施設) での取得データ及びデータ回収期間

取得データ : (実測)	下記 5 項目データを 1 分間隔で取得した。
	<ul style="list-style-type: none"> ① CGU補機消費電力 ② 温水循環ポンプ電力 ③ 余剰排熱放熱用冷却塔冷却水ポンプ電力 ④ 余剰排熱放熱用冷却塔ファン電力 ⑤ 余剰排熱放熱用冷却塔ヒーター電力
取得データ : (BEMS)	下記 4 項目データを 1 時間間隔で取得した。
	<ul style="list-style-type: none"> ① ガス消費量 ② 発電量 ③ 排熱利用量合計値 ④ 排ガス蒸気ボイラ給水量
計測期間	<p>2016 年 10 月 18 日 : 計測開始</p> <p>2016 年 12 月 1 日 : 第 1 回データ回収</p> <p>2017 年 1 月 20 日 : 第 2 回データ回収</p> <p>2017 年 1 月 31 日 : 第 3 回データ回収</p> <p>2017 年 4 月 4 日 : 第 4 回データ回収</p> <p>2017 年 6 月 5 日 : 第 5 回データ回収</p> <p>2017 年 7 月 7 日 : 第 6 回データ回収</p> <p>2017 年 8 月 21 日 : 第 7 回データ回収</p> <p>2017 年 11 月 26 日 : 計測終了</p> <p>2018 年 2 月中旬 : 機器撤去</p> <p>※2017 年 1 月 22 日 5:13 頃から 6:10 までの 1 時間程度、施設停電の関係でデータに欠測があるが、分析への影響はない。</p>

【設置後】補機変圧機盤内



【設置後】補機変圧機盤内



一例として図 4-1.1～図 4-1.3 に、2016 年 11 月 15 日～11 月 28 日の 2 週間で取得した 1 分値データを時系列で示す。取得データには異常値は確認されておらず、正常に回収ができています。

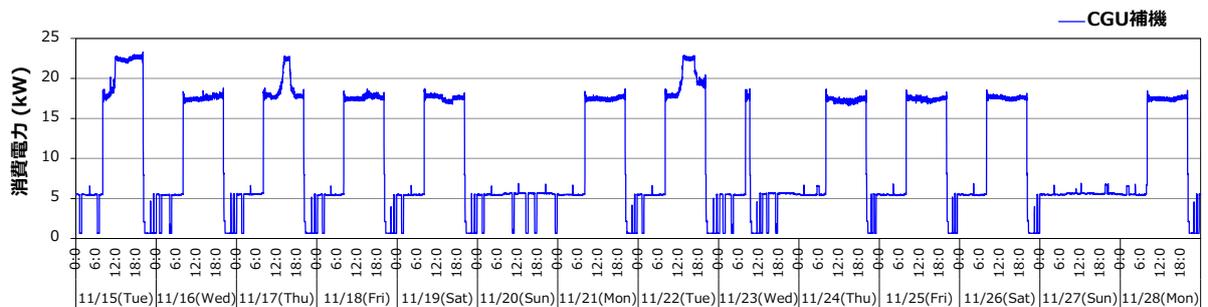


図 4-1.1 CGU 補機消費電力の実測データ (2016 年 11 月 15 日～11 月 28 日 1 分値)

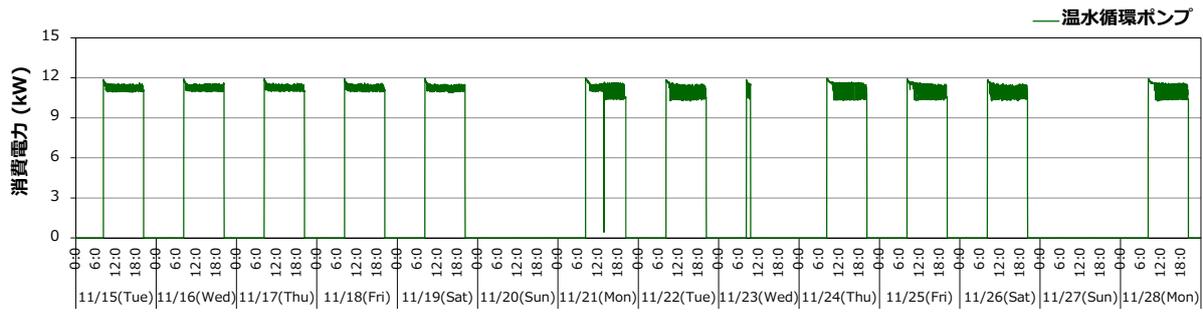


図 4-1.2 温水循環ポンプ消費電力の実測データ (2016年11月15日～11月28日1分値)

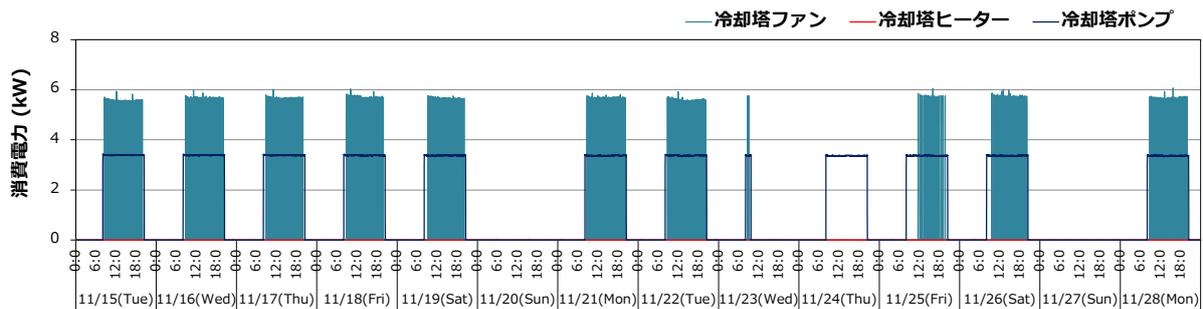


図 4-1.3 冷却塔での消費電力の実測データ (2016年11月15日～11月28日1分値)

なお、ID01 の CGU 排熱取り出し方式は蒸気・温水であるため、排熱利用量の評価においては蒸気分と温水分の評価が必要となる。そのうち蒸気分の排熱利用量については、本分析では給水流量を用いて算定している。この場合①加温(顕熱回収)、②蒸発(潜熱回収)の2段階で評価する必要があるが、①加温(顕熱回収)については BEMS から取得できている。以下に②蒸発(潜熱回収)の評価方法を示す。

②蒸発分の評価

ボイラ給水を蒸発させるのに必要な熱量であり、以下の式で求める。

$$Q_S = \rho W (1 - \alpha) (h_{Bv} - h_{Bl})$$

ここで、

2a) Q_S : 蒸発に要する熱量(kJ)

2b) W : 給水流量(L/hour)

2c) ρ : 水の密度(kg/L)

2d) α : ブロー率 ※不純物の影響により蒸発に寄与できない割合

2e) h_{Bv} : 蒸気の比エンタルピー(kJ/kg)

2f) h_{Bl} : ボイラ給水の比エンタルピー(kJ/kg)

これらの値の中で 2b)は BEMS からの取得値である。一方で、2c)は補給水温度によって変化するが、補給水温度データが現状では得られていない。よってここでは、気象庁ホームページから

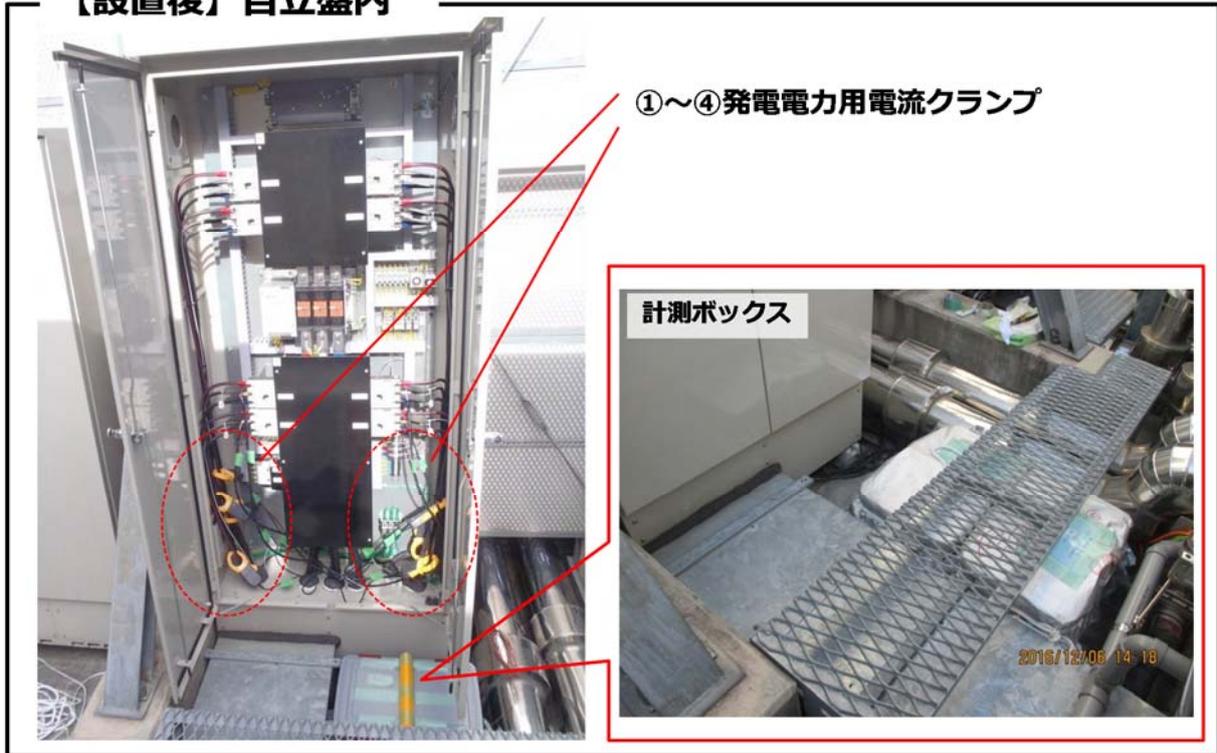
東京の時別外気温度を引用し、JIS C9220 家庭用ヒートポンプ給湯機 p.61 に掲載されている、外気温度と給水温度の関係を仮に適用した。また、密度と比エンタルピーについては、NIST の RefProp 9.1 を用いて算出した。2f)は 2017/7/6 まではボイラ給水温度 60°C一定として定数としているが、2017/7/7 からボイラ給水温を計測しているため、計測値から算出している。また、蒸気圧力を 0.8 MPaG で一定と考えると 2e)は定数となる。ブロー率は一律 10%ではないが、ヒアリングにより本物件では 10%としている。

(2) 建物ID02 (給食センター)

表 4-1.7 建物 ID02 (給食センター) での取得データ及びデータ回収期間

取得データ :	下記 16 項目データを 1 分間隔で取得した。	
(実測)	①	ガスエンジン1号機 (CG-1) 発電量
	②	ガスエンジン2号機 (CG-2) 発電量
	③	ガスエンジン3号機 (CG-3) 発電量
	④	ガスエンジン4号機 (CG-4) 発電量
	⑤	ガスエンジン1号機 (CG-1) 補機消費電力
	⑥	ガスエンジン2号機 (CG-2) 補機消費電力
	⑦	ガスエンジン3号機 (CG-3) 補機消費電力
	⑧	ガスエンジン4号機 (CG-4) 補機消費電力
	⑨	CGS排熱回収回路系統入口温度
	⑩	CGS排熱回収回路系統出口温度
	⑪	CGS排熱回収回路系統流量
	⑫	外気温湿度 (※10分値)
	⑬	吸収式HP(GR-1)~暖房用熱交(HEX-5)熱源水温度
	⑭	暖房用熱交(HEX-5)~タンク(ST-2)熱源水温度
	⑮	タンク(ST-2)~給湯用熱交(HEX-6)熱源水温度
	⑯	タンク(ST-2)出口熱源水温度
計測期間	2016年11月14日	: 計測開始
	2016年12月14日	: 第1回データ受領
	2017年2月3日	: 第2回データ受領
	2017年5月29日	: 第3回データ受領
	2017年6月7日	: 第4回データ受領
	2017年8月4日	: 第5回データ受領
	2017年11月13日	: 計測終了

【設置後】 自立盤内



【設置後】 ガスエンジン (CG-1～4共通)



【設置後】温度・流量計測箇所

断熱材内部に白金側温抵抗体を貼りつける場合



既存アナログ温度計取外して計測する場合



温湿度計測

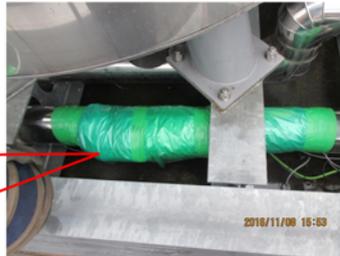
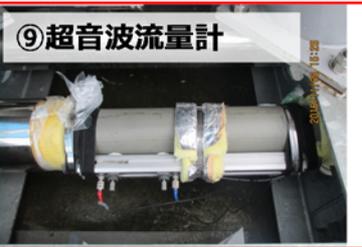
冷却塔下



温湿度・流量計測用ボックス



流量計測



一例として図 4-1.4～図 4-1.9 に、2016 年 11 月 14 日～11 月 27 日の 2 週間で取得した 1 分値データ（外気温湿度のみ 10 分値データ）を時系列で示す。取得データのうち、CGS 排熱回路系統流量において、排熱温度 80℃以上の条件で異常値（100 m³/h）が確認されている（図 4-1.8 の青線）。そのため、当該異常値に対して、温水循環ポンプの電流値から補完した。ID02 の 1 分間の実測データのうち、50 m³/h 以下の時の排熱回路流量と温水循環ポンプ電流との関係を図 4-1.10 に示す。これより、近似式は以下のようになった。

$$F = 2.5027A - 29.834$$

ここで、

F : 排熱回路流量(m³/h)

A : 温水循環ポンプ電流(A)

この式を用いて 50(m³/h)を超える排熱回路系流量の異常値を補完した。ID02 夏期代表週の補完前の実測値と補完後の値を図 4-1.11 に示す。

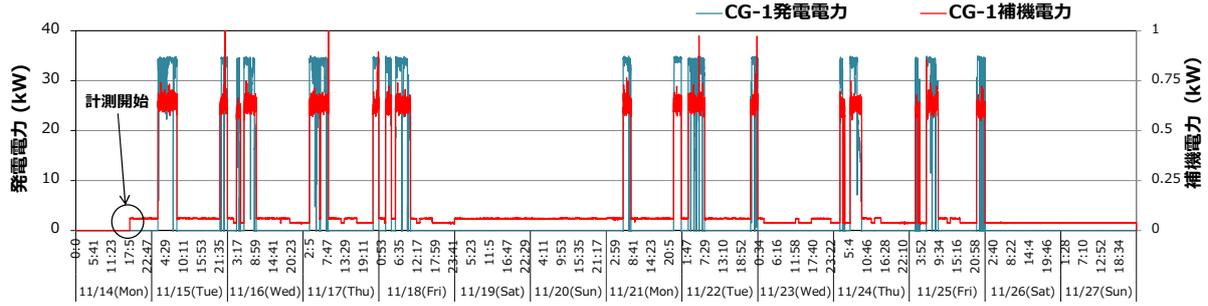


図 4-1.4 CG-1 発電量および補機消費電力量の実測データ
(2016年11月14日～11月27日1分値)

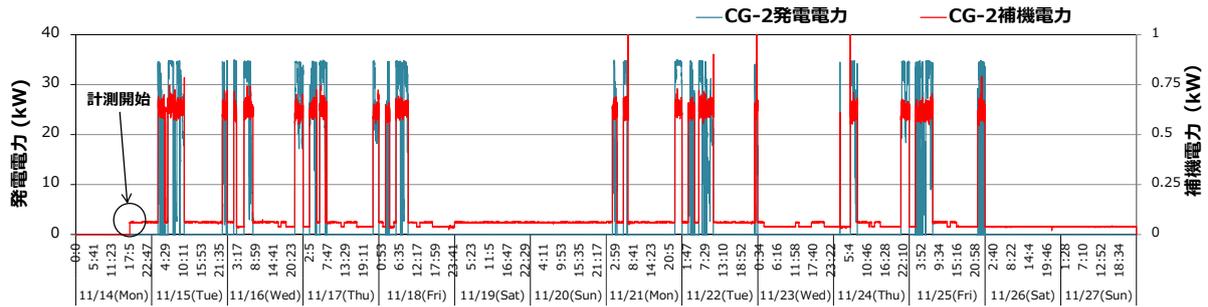


図 4-1.5 CG-2 発電量および補機消費電力量の実測データ
(2016年11月14日～11月27日1分値)

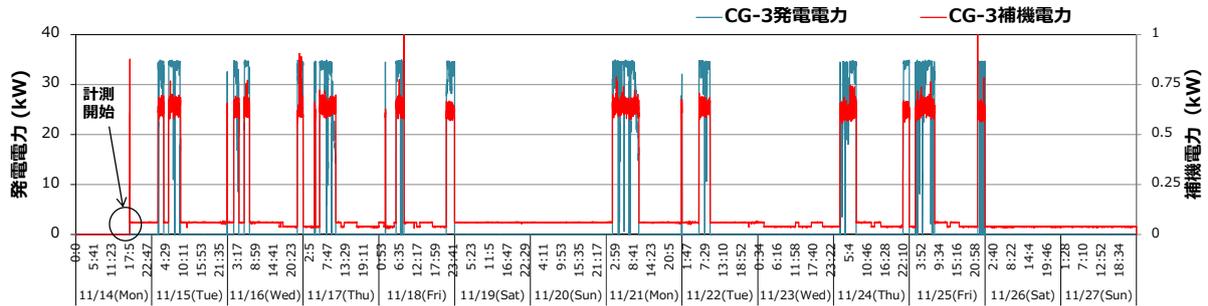


図 4-1.6 CG-3 発電量および補機消費電力量の実測データ
(2016年11月14日～11月27日1分値)

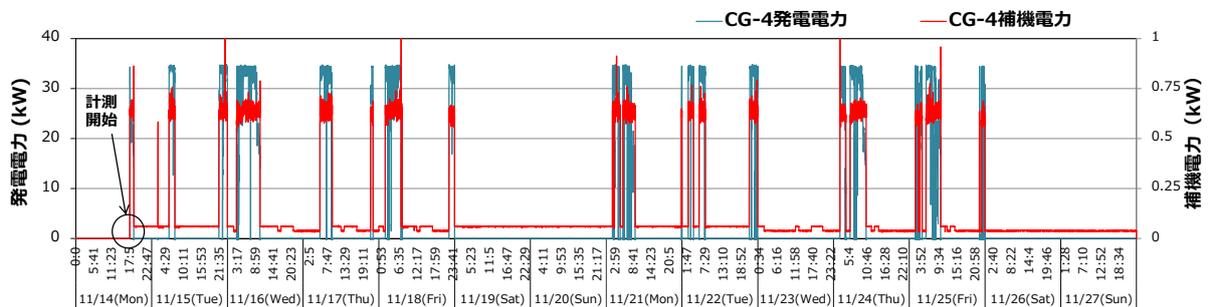


図 4-1.7 CG-4 発電量および補機消費電力量の実測データ
(2016年11月14日～11月27日1分値)

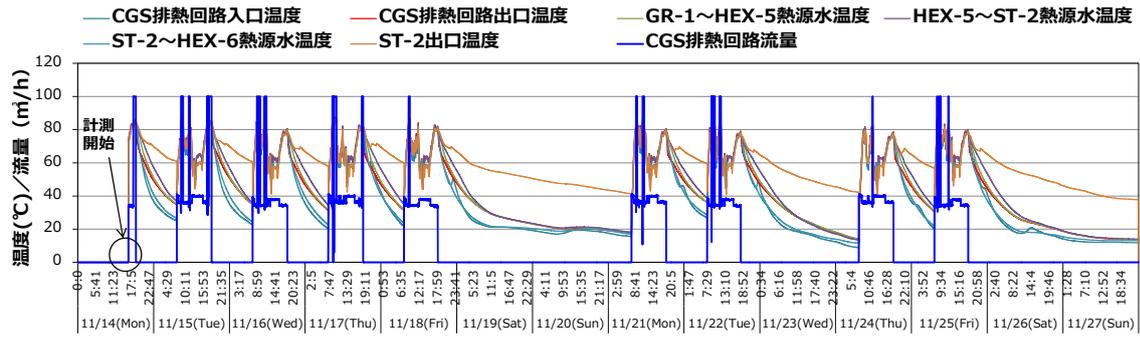


図 4-1.8 排熱回収回路系温度および流量の実測データ
(2016年11月14日～11月27日1分値)

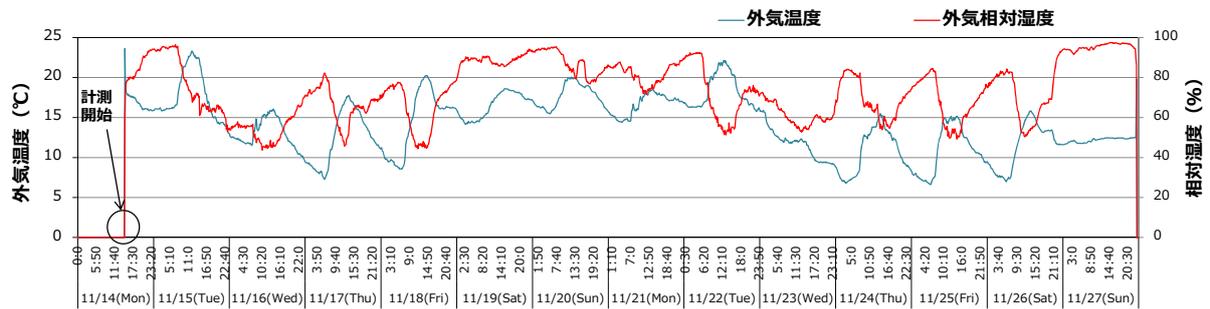


図 4-1.9 外気温湿度の実測データ (2016年11月14日～11月27日10分値)

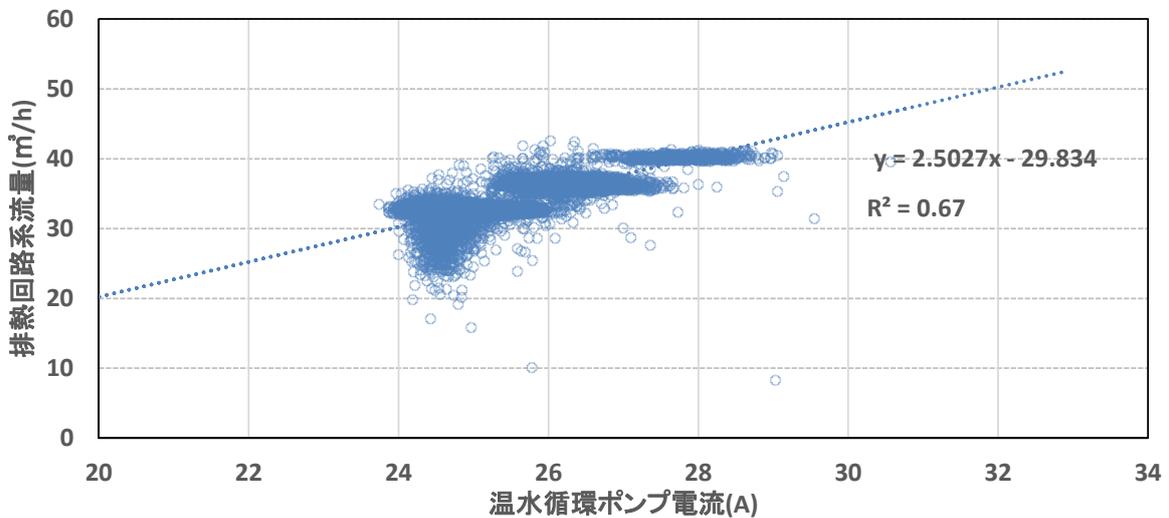


図 4-1.10 ID02 : 排熱回路系流量の正常値と温水循環ポンプ電流の関係

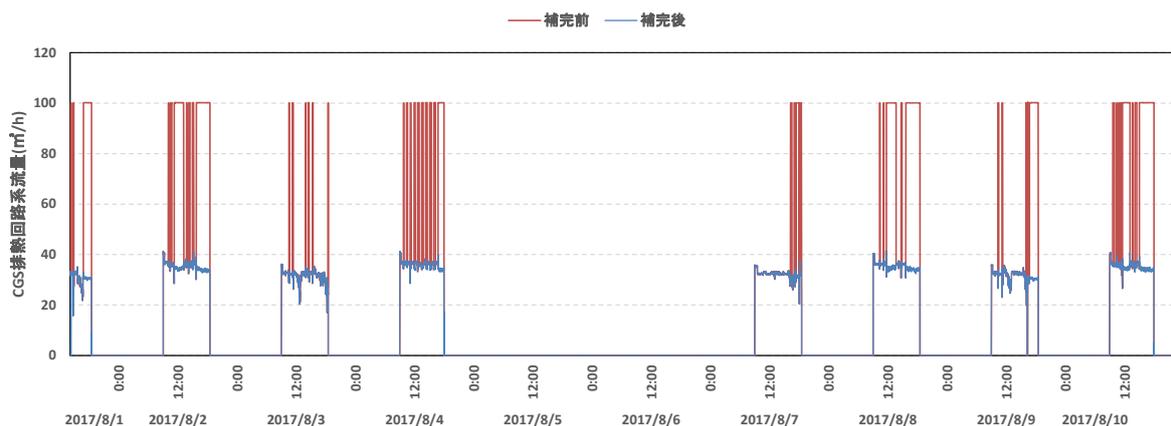


図 4-1.11 ID02 夏期：排熱回路系流量異常値の補完前と補完後（1分値）

(3) 建物ID03（病院）

表 4-1.8 建物 ID03（病院）での取得データ及びデータ回収期間

取得データ	下記 10 項目データを実測および BEMS により取得した。
RHA 関連項目：	<ul style="list-style-type: none"> ① RHA排温水入口温度（実測／1分間隔） ② RHA排温水出口温度（実測／1分間隔） ③ RHA排温水流量（実測／1分間隔） ④ RHA冷却水流量（実測／1分間隔） ⑤ RHAガス消費量（BEMS／時間間隔） ⑥ RHA冷水入口温度（BEMS／1分間隔） ⑦ RHA冷水出口温度（BEMS／1分間隔） ⑧ RHA冷水出口流量（BEMS／1分間隔） ⑨ RHA冷却水入口温度（BEMS／1分間隔） ⑩ RHA冷却水出口温度（BEMS／1分間隔）
取得データ：	下記 6 項目データを実測および BEMS により取得した。
CGU 関連項目	<ul style="list-style-type: none"> ① CGUガス消費量（BEMS／1時間間隔） ② CGU発電量（BEMS／1時間間隔） ③ CGU排熱温水入口温度（BEMS／1分間隔） ④ CGU排熱温水出口温度（BEMS／1分間隔） ⑤ CGU排熱温水出口流量（BEMS／1分間隔） ⑥ CGU補機消費電力量（BEMS／1時間間隔）
取得データ：	下記 6 項目データを実測および BEMS により取得した。
その他の項目	<ul style="list-style-type: none"> ① 給湯用給水流量（実測／1分間隔） ② 給湯用熱交換器排熱温水入口温度(1次側)（BEMS／1分間隔） ③ 給湯用熱交換器排熱温水出口温度(1次側)（BEMS／1分間隔） ④ 暖房用熱交換器排熱温水入口温度(1次側)（BEMS／1分間隔）

⑤ 暖房用熱交換器排熱温水出口温度(1次側) (BEMS/1分間隔)

⑥ 外気温度 (BEMS/1分間隔)

計測期間	2016年11月30日	: 計測開始
	2017年1月25日	: 第1回データ受領
	2017年5月31日	: 第2回データ受領
	2017年6月7日	: 第3回データ受領
	2017年8月4日	: 第4回データ受領
	2017年12月7日	: 計測終了

【設置後】RHA周辺計測



【設置後】給水流量計測



一例として図 4-1.12～図 4-1.13 に、2016 年 12 月 19 日～2017 年 1 月 1 日の 2 週間で取得した 1 分値データを時系列で示す。取得データには異常値は確認されておらず、正常に回収ができています。

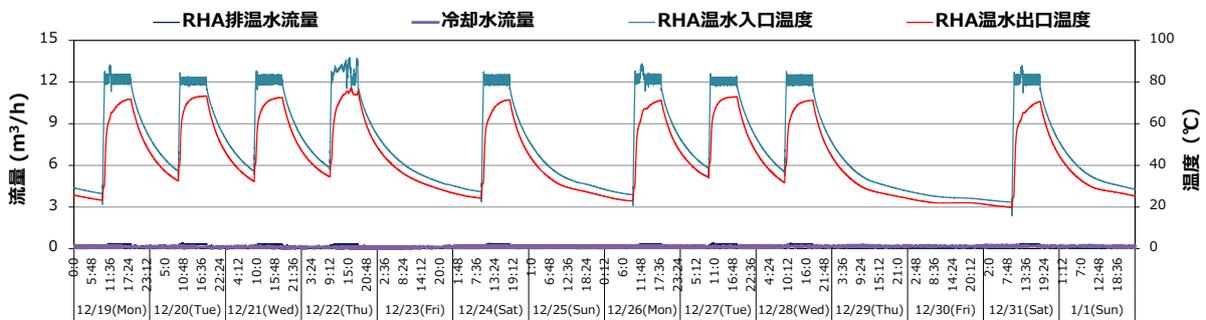


図 4-1.12 RHA 周辺の実測データ (2016 年 12 月 19 日～2017 年 1 月 1 日 1 分値)

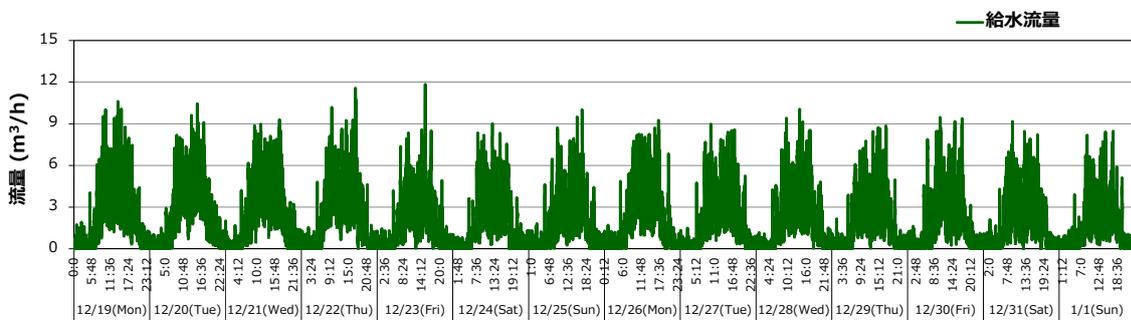


図 4-1.13 給水流量の実測データ (2016 年 12 月 19 日～2017 年 1 月 1 日 1 分値)

4-2. 業務用コージェネレーション設備の実働性能解析に向けた基礎分析

4-2.1. 実働性能解析に向けた基礎分析概要

4-2.1.1. 目的

排熱利用システムを含む業務用コージェネレーション設備（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の実働性能解析を実施する。具体的には、本調査により得られたデータを基にCGU、排熱投入型吸収冷温水機(RHA)単体、システム全体の分析を行い、プログラム改良に向けた基礎データとする。なお、建物IDごとの分析結果は参考資料6-7に示し、CGU、RHA、システム全体の分析については、比較的データ取得項目の多い建物ID04、ID08、ID10、ID13の結果を代表例として示す。また、補機電力特性については実測調査を行っている建物ID01、02の結果による。

4-2.1.2. 分析に用いる実測データ

分析に用いるデータは、4-1節にて示した実測調査対象物件（3物件）より得られたデータ（計測器を取り付けて取得したデータ及びBEMSデータ）、また、3-1.1節のアンケート調査および3-1.2節のヒアリング調査先より得られたCGU及び周辺機器の実測データ（BEMSデータ）とする。なお、分析データは建物IDで管理することとし、建物IDごとの物件概要は参考資料6-7に示す。

4-2.1.3. 分析内容

<p>➤ CGUの分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日別運転状況 ・ 月別運転状況 ・ 日平均外気温度と発電量、有効排熱回収量の関係 ・ 日平均外気温度と発電効率、有効排熱回収量効率の関係 ・ 実測効率とカタログ効率の比較 ・ 発電量および排熱回収量の実測値とカタログ値の比較 ・ 排温水温度による効率特性 ・ 季節別・時間帯別運転状況 ・ 起動特性、停止特性 ・ 電力負荷変動追従性 ・ 補機電力特性 	<p><評価に向けた分析の観点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 運転状況の把握 ・ カタログ効率は達成されているか ・ 発電量、排熱回収量がカタログ通り出るのか ・ 運転効率、運転出力の温度依存性 ・ 実運転スケジュールの把握、負荷と運転時間の関係 ・ 補機によるエネルギー消費量がどれだけあるか
<p>➤ RHA単体の分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日別運転状況 ・ 月別 COP 	<p><評価に向けた分析の観点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 運転状況の把握 ・ 排熱投入量特性はカタログ通りか

<ul style="list-style-type: none"> ・ 月別冷暖房使用状況 ・ 投入排熱回収量の実測値とカタログ値の比較 ・ 冷却水温度、熱源水温度別の効率・排熱投入量 ・ 冷却水温度、熱源水温度別の COP ・ 起動特性、停止特性 ・ 暖房時特性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 排熱投入の冷水、冷却水、熱源水温度依存性 ・ カタログ効率は達成されているか ・ 起動時や停止時の出力が得られるまでの時間や過渡的な能力、効率
<p>➤ システム全体の分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ CGS の発電寄与率 ・ 排熱利用機器への排熱投入量、排熱利用率 ・ 外気温度と有効総合効率の関係 ・ 台数制御特性 ・ 余剰排熱と冷却塔等補機電力 	<p><評価に向けた分析の観点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実際の有効総合効率 ・ 実際の増減段タイミング ・ CGS の余剰排熱放熱用の冷却塔運転状況

4-2.1.4. 分析方法

CGU、RHA、システム分析シートそれぞれに、以下の表の入力項目を入力する。

分析シート名	No	入力項目
CGU 分析シート	1	ガス消費量
	2	発電量
	3	排温水入口温度
	4	排温水出口温度
	5	排温水出口流量
	6	外気温度
RHA 分析シート	1	ガス消費量
	2	冷水入口温度
	3	冷水出口温度
	4	冷水出口流量
	5	排温水入口温度
	6	排温水出口温度
	7	排温水出口流量
	8	冷却水入口温度
	9	冷却水出口温度
	10	冷却水出口流量
システム分析シート	1	受電量
	2	CGS 発電量
	3	CGS 排熱回収量

	4	CGS ガス消費量
	5	CGS 冷却水入口温度
	6	CGS 冷却水出口温度
	7	CGS 冷却水流量
	8	補機消費電力
	9	冷房用熱交換器排熱温水入口温度（一次側）
	10	冷房用熱交換器排熱温水出口温度（一次側）
	11	冷房用熱交換器排熱温水出口流量（一次側）
	12	暖房用熱交換器排熱温水入口温度（一次側）
	13	暖房用熱交換器排熱温水出口温度（一次側）
	14	暖房用熱交換器排熱温水出口流量（一次側）
	15	給湯用熱交換器排熱温水入口温度（一次側）
	16	給湯用熱交換器排熱温水出口温度（一次側）
	17	給湯用熱交換器排熱温水出口流量（一次側）
	18	冷房用熱交換器排熱温水入口温度（二次側）
	19	冷房用熱交換器排熱温水出口温度（二次側）
	20	冷房用熱交換器排熱温水出口流量（二次側）
	21	暖房用熱交換器排熱温水入口温度（二次側）
	22	暖房用熱交換器排熱温水出口温度（二次側）
	23	暖房用熱交換器排熱温水出口流量（二次側）
	24	給湯用熱交換器排熱温水入口温度（二次側）
	25	給湯用熱交換器排熱温水出口温度（二次側）
	26	給湯用熱交換器排熱温水出口流量（二次側）

4-2.1.5. 本分析における計算条件

分析は以下の条件で行う。

- ・ ガスのエネルギー消費量は高位基準（45MJ/m³）で計算（一般的にCGSカタログ効率は低位基準で記載されているのでカタログ効率を高位基準に換算して分析）
- ・ ガスの温度、圧力は計測していないため温圧補正は行わない
※温度15℃、圧力2kPaで温圧補正を行う場合を想定すると、補正をした場合ガスのエネルギー消費量は3%～5%程度小さくなる。
- ・ ID01の蒸気発生量は給水流量を用いて算定する。
- ・ 余剰排熱のデータが得られない場合は排熱利用機器で利用された排熱回収量のみを用い有効排熱回収量、有効排熱回収効率として分析する。
- ・ マイクロガスエンジンの分析の際には補機データが得られない場合、実測発電量に5%（CASCADEⅢ参考）を加算する。
- ・ RHAへの投入排熱量はガス使用がある時間帯とない時間帯の2パターンに分けて分析する。
- ・ 実測データのうち1時間間隔での測定を行っているものに関しては、1時間の合計の発電量や負荷熱量から負荷率を算出する。起動時や停止時を含む測定点では、実際の稼働時間が1時間に満たない場合もあるため、負荷率が実際よりも低く表示されるが、ここではそれらも含めて掲載している。

4-2.1.6. 実測データの取得状況

建物別計測データの収集結果を以下の表 4-2.1 に示す。

表 4-2.1 建物別計測データ収集結果

建物ID	種別	データ取得期間	日数	間隔	CGU関連データ				RHA関連データ				排熱利用量データ			負荷データ				
					発電量	排熱回収量	ガス消費量	補機電力	排熱投入量	処理熱量	ガス消費量	補機電力	冷房	暖房	給湯	電力	冷房	暖房	給湯	
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	○	○	×	○	○	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×
03	計測	2016/12/5 ~ 2017/11/30	361	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	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	△	△

○	データあり
×	データなし
△	一部欠測あり
△	利用なし

4-2.1.7. データ出力状況

建物別実測値分析結果の出力可能状況を以下の表 4-2.2 に示す。

表 4-2.2 建物別出力可能結果状況

分析内容		建物ID									
		01	02	03	04	05	08	10	13	14	
CGU単体	日別運転状況	△	△	×	○	△	○	○	△	○	
	月別運転状況	△	△	×	○	△	○	○	△	○	
	日平均外気温度と発電量、有効排熱回収量の関係	△	○	×	○	△	○	○	△	○	
	日平均外気温度と発電効率、有効排熱回収効率の関係	△	△	×	○	△	○	○	△	○	
	実測効率とカタログ効率の比較	△	×	×	○	△	○	○	△	○	
	発電出力および排熱回収量の実測値とカタログ値の比較	△	△	×	○	△	○	○	△	○	
	排温水温度による効率特性	×	△	×	○	×	○	○	×	○	
	季節別・時間帯別運転状況	×	△	×	○	△	○	○	△	○	
	起動特性、停止特性	×	△	×	△	×	△	×	×	○	
	電力負荷変動追従性	×	×	×	△	×	△	△	×	×	
	補機動力特性	○	△	×	×	×	×	○	△	△	
RHA単体	日別運転状況	×	×	○	○	×	○	○	×	○	
	月別COP	×	×	○	○	×	○	○	×	○	
	月別冷暖房使用状況	×	×	○	○	×	○	○	×	○	
	投入排熱量の実測値とカタログ値の比較	×	×	○	○	×	○	○	×	○	
	冷却水温度、熱源水温度別の効率・投入排熱量	×	×	○	○	×	○	×	×	○	
	冷却水温度、熱源水温度別のCOP	×	×	○	○	×	○	×	×	○	
	起動特性、停止特性	×	×	○	△	×	△	×	×	△	
	暖房時特性	×	×	○	○	×	○	○	×	○	
システム全体分析	CGUの発電寄与率	×	×	×	○	×	○	×	×	×	
	排熱利用機器への投入排熱量、排熱利用率	×	○	○	○	×	○	○	×	×	
	外気温度と総合効率の関係	△	×	△	○	△	○	○	×	○	
	台数制御特性	×	△	△	△	×	△	△	×	×	
	余剰排熱と冷却塔等補機動力	△	△	×	×	×	×	△	×	×	

○	分析可能
×	分析不可能
△	一部分析不可能

4-2.2. CGU分析結果

A) 年間の日別運転状況

ID04、ID08、ID10、ID13 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移をそれぞれ図 4-2.1～図 4-2.7 に示す。

ID04 は自社内の研究として、排熱需要に応じて発電量を決定する熱主運転を実験的に採用している。そのため 2015 年 10 月及び 11 月や 2016 年 4 月などの空調負荷の小さい中間期には発電量、有効排熱回収量、ガス消費量が非常に低い値を示している。

ID08 では CGU を 2 台導入しているが、1 台分 (CGU2) のデータしか得られていないため、1 台分のみ分析結果を示す。図 4-2.4 を見ると、ID08 の CGU2 は稼働時には常に定格運転となっている。2015 年 10 月から 2016 年 7 月まで運転をしていない期間が一定の間隔で見られるが、これは 2 台の CGU を交互に運転させているためと考えられる。2016 年 8 月からは休日等を除いてほぼ毎日稼働しており、CGU を 2 台同時に運転させていることと予測される。

図 4-2.5 および図 4-2.6 を見ると、ID10 においては、CGU1、CGU2 ともに、冬期及び中間期に短時間での発停を繰り返している。このことから、ID08 と同様に空調負荷が小さい時期に非効率な運転となることを避け、2 台の CGU を交互に運転させていることが読み取れる。

図 4-2.7 を見ると、ID13 においては、2015 年 1 月、2 月は CGU を停止させていることがわかる。また、2014 年 10 月から 2014 年 11 月まで、発電量が定格発電量の概ね 2/3 になっている日がある。これは 2014 年 10 月から 11 月まで 11:00 から 14:00 までの時間帯に、CGU を停止させている日があることが原因である。2015 年 4 月、5 月に有効排熱回収量が低下している日があるが、これは ID13 が電主運転で CGU を運転させているため、中間期に熱需要がなく、排熱を使い切れなかったことが原因であると考えられる。

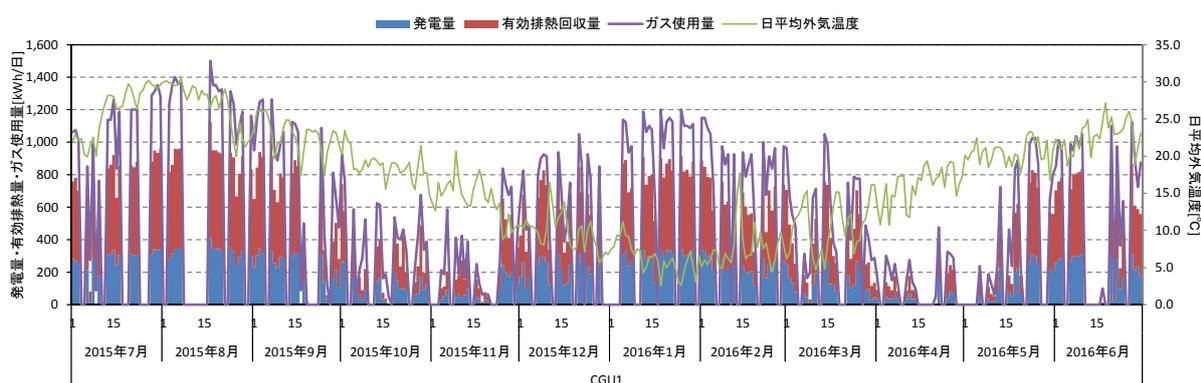


図 4-2.1 ID04 : CGU1 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

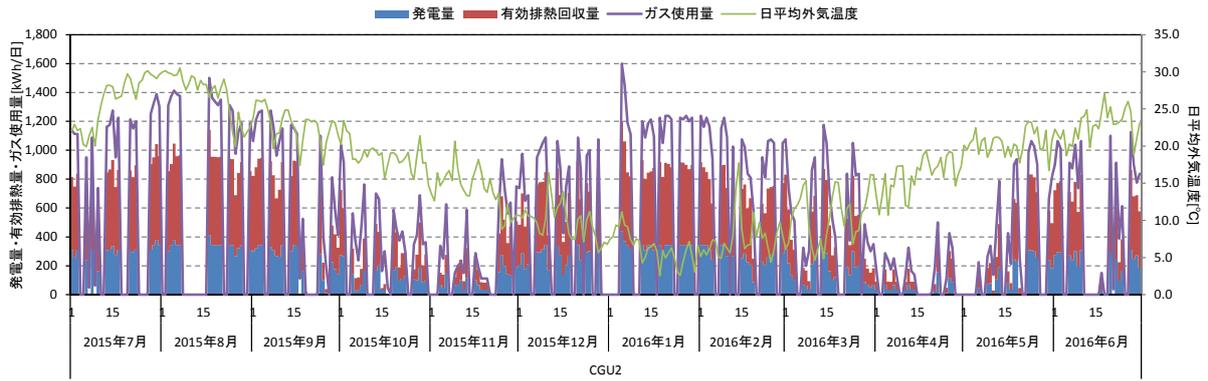


図 4-2.2 ID04 : CGU2 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

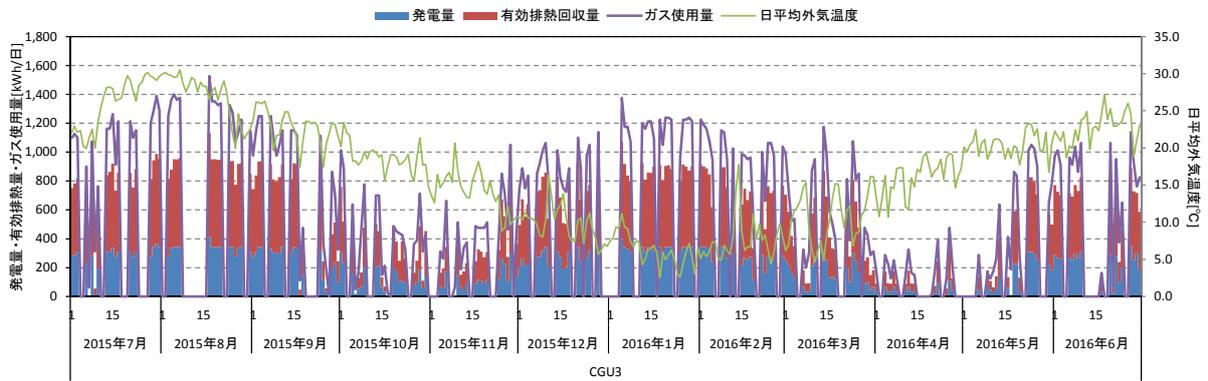


図 4-2.3 ID04 : CGU3 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

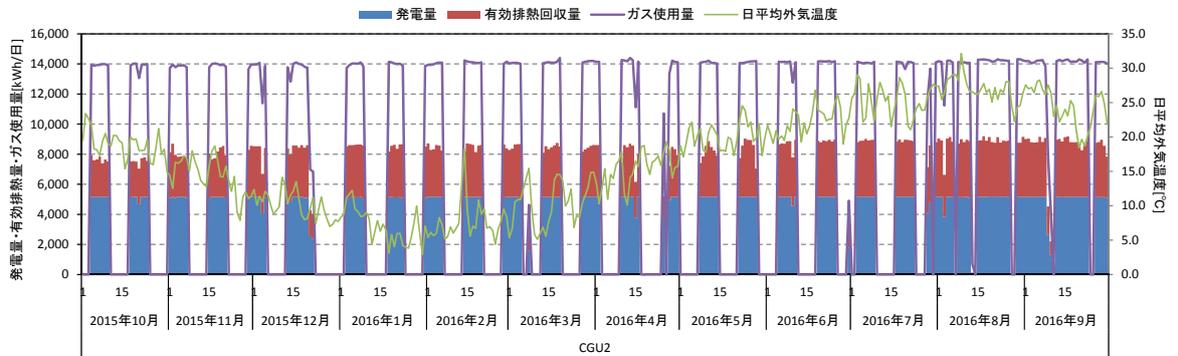


図 4-2.4 ID08 : CGU2 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

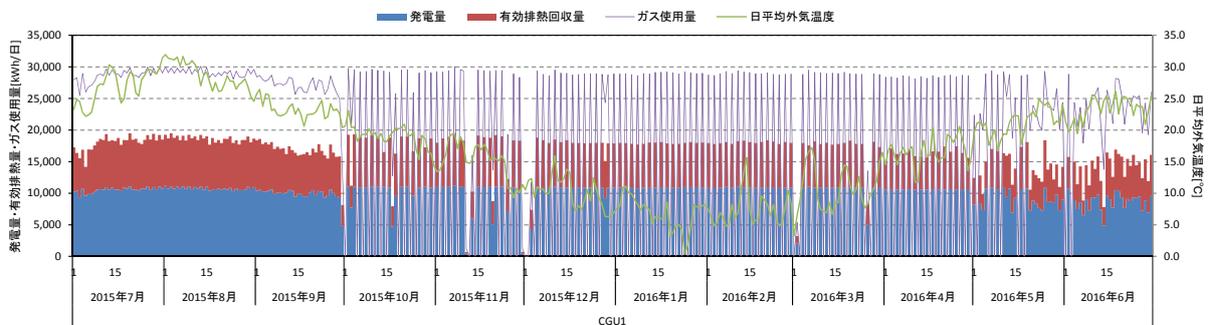


図 4-2.5 ID10 : CGU1 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

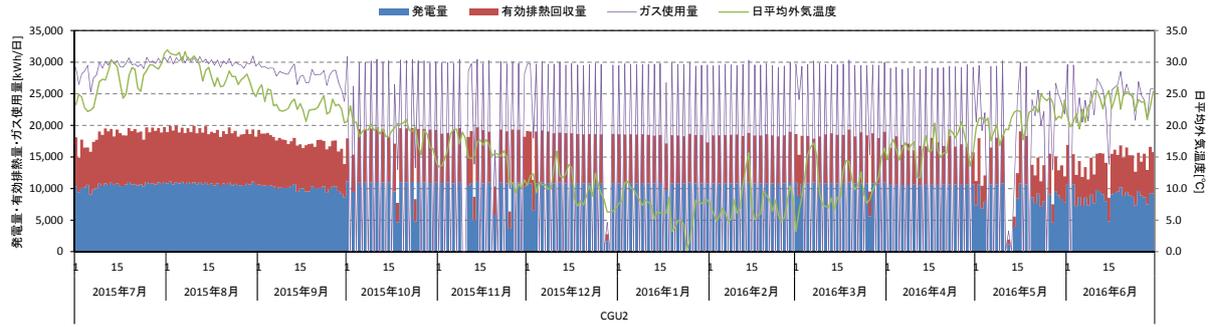


図 4-2.6 ID10 : CGU2 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

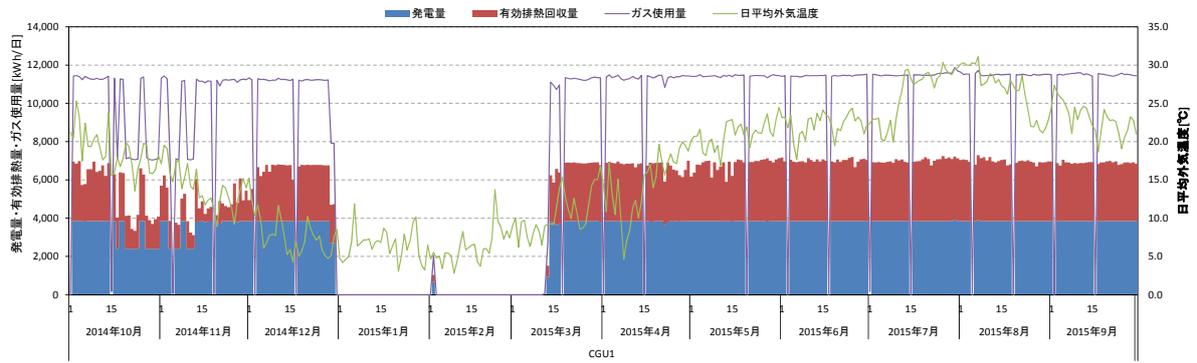


図 4-2.7 ID13 : CGU の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

また、ID01 の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移を図 4-2.8 に示す。図 4-2.8 を見てわかるように日曜・祝日は運転を停止しており、平日・土曜は定格運転をしていることがわかる。

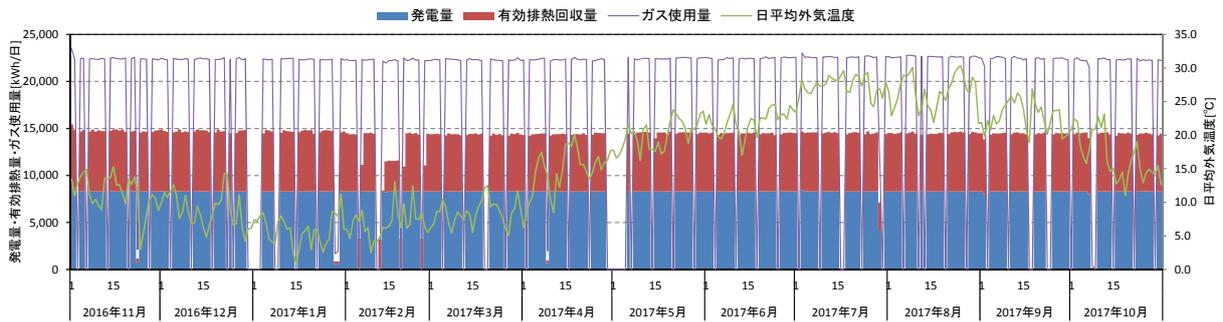


図 4-2.8 ID01 : CGU の日積算発電量、有効排熱回収量、ガス消費量と日平均外気温度の推移

B) 日平均外気温度と発電量、有効排熱回収量、効率の関係

ID04、ID08、ID10、ID13 の発電量、有効排熱回収量と日平均外気温度を図 4-2.9～図 4-2.12 に、発電効率、有効排熱回収効率、総合効率（有効排熱回収効率ベース）と日平均外気温度との関係を図 4-2.13～図 4-2.16 に示す。

ID04 は熱主運転のため、熱負荷が小さくなる中間期にあたる日平均外気温 10℃から 20℃の範囲で発電量、有効排熱回収量共に小さくなっている。そのため図 4-2.13 においても同様の範囲で効率値のばらつきが大きくなっている。

図 4-2.10 および図 4-2.14 を見ると、ID08 では発電量、発電効率は外気温度によってほとんど変化していない。これは電力負荷に追従して CGS の稼働の有無を判定する電主運転を採用しているためである。一方で有効排熱回収量、有効排熱回収効率は日平均外気温度の低下に比例して小さくなり、ID04 と同様に日平均外気温 15℃から 20℃の範囲で大きく下がっている。ID10 に関しても同様の傾向が見られる。

図 4-2.12 および図 4-2.16 を見ると、ID13 では発電量、発電効率は外気温度によってほとんど変化していない。これは電力負荷に追従して CGU の稼働の有無を判定する電主運転を採用しているためである。一方で有効排熱回収量及び有効排熱回収効率は日平均外気温度の低下に比例して小さくなり、日平均外気温度 15℃から 20℃に加え、10℃から 15℃の範囲で大きく下がっている。なお、日平均外気温度が 10℃から 15℃の範囲で排熱回収効率 0～15%程度と大きく下がっているのは、2014 年 10 月から 11 月まで 11:00 から 14:00 までの時間帯に、CGU を停止させている日があることが原因である。

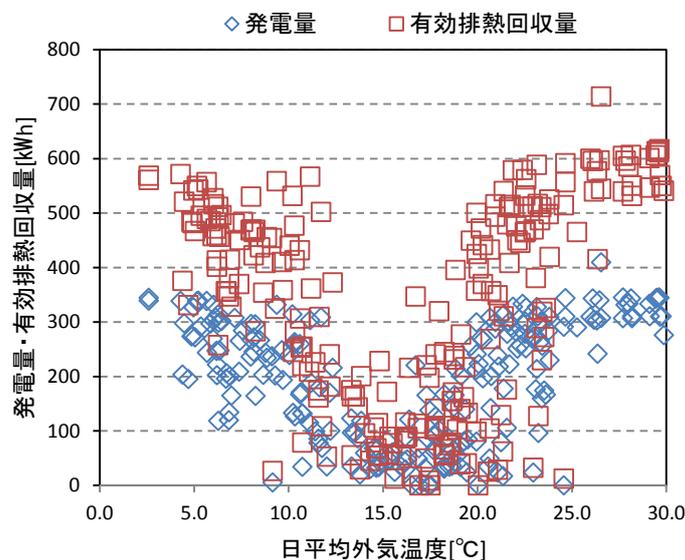


図 4-2.9 ID04 : CGU1 の発電量、有効排熱回収量と日平均外気温度との関係

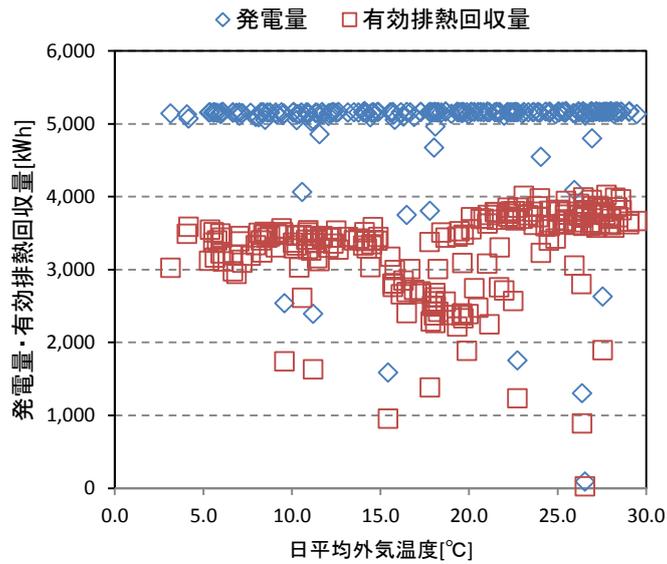


図 4-2.10 ID08 : CGU2 の発電量、有効排熱回収量と日平均外気温度の関係

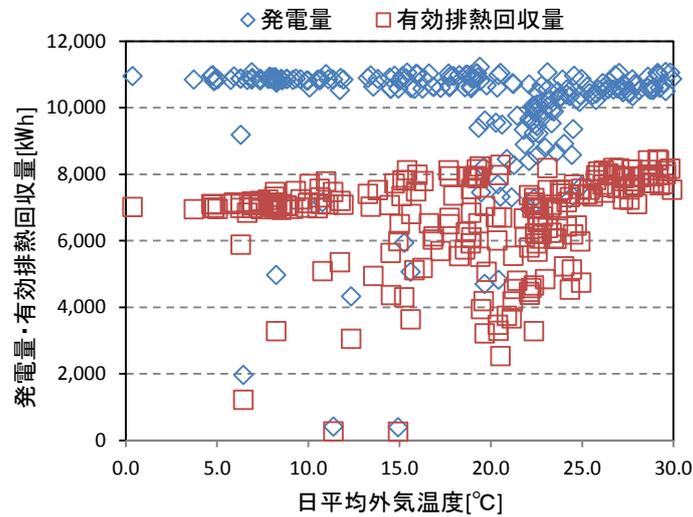


図 4-2.11 ID10 : CGU1 の発電量、有効排熱回収量と日平均外気温度の関係

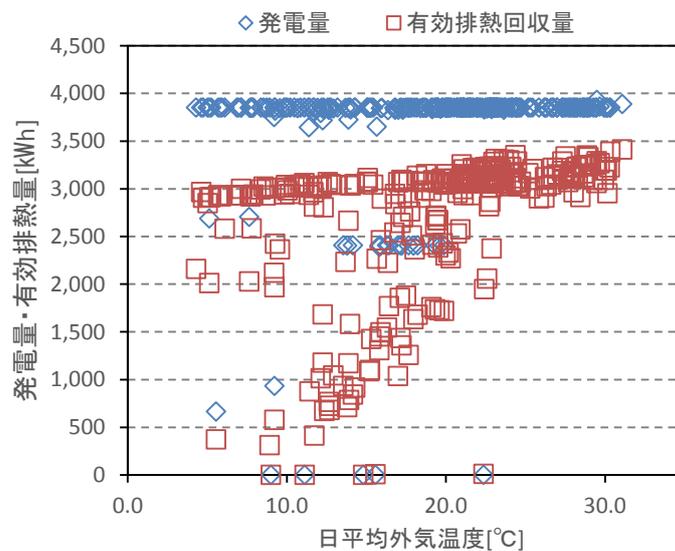


図 4-2.12 ID13 : CGU の発電量、有効排熱回収量と日平均外気温度の関係

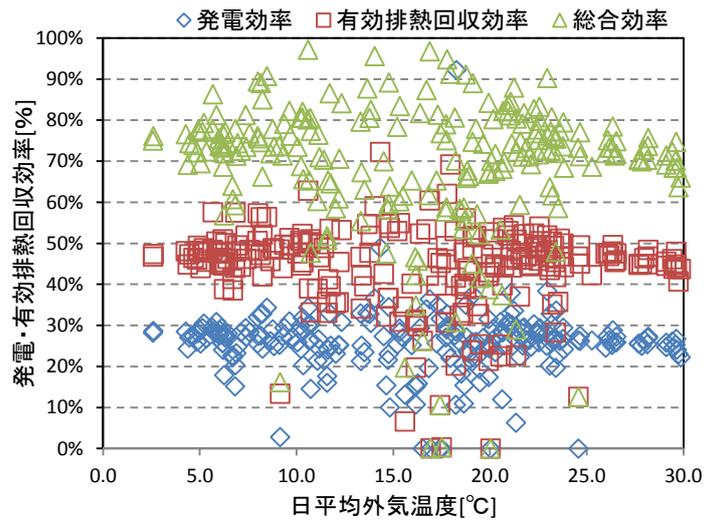


図 4-2.13 ID04 : CGU1 の発電効率、有効排熱回収効率、総合効率と日平均外気温度の関係

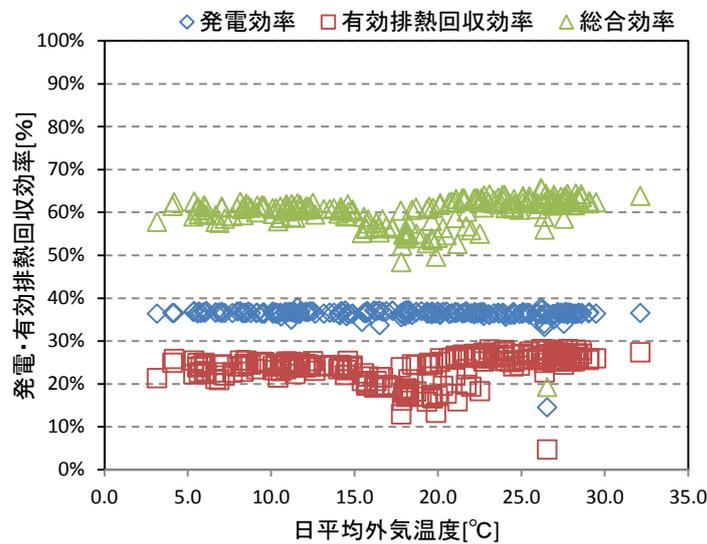


図 4-2.14 ID08 : CGU2 の発電効率、有効排熱回収効率、総合効率と日平均外気温度の関係

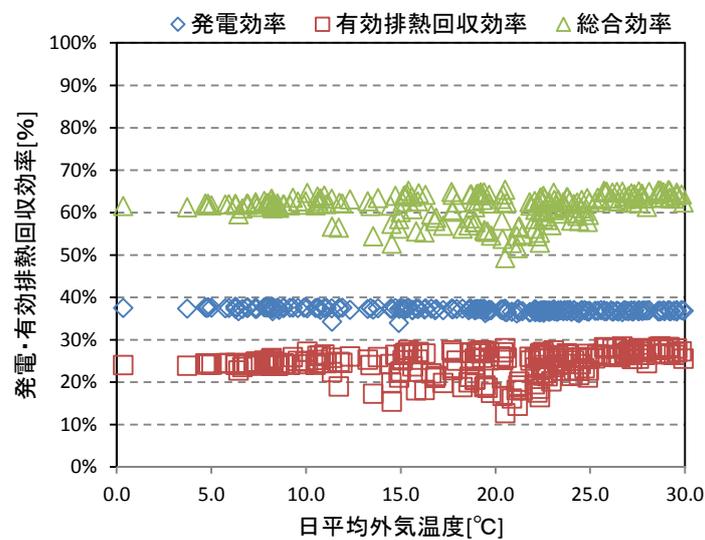


図 4-2.15 ID10 : CGU1 の発電効率、有効排熱回収効率、総合効率と日平均外気温度の関係

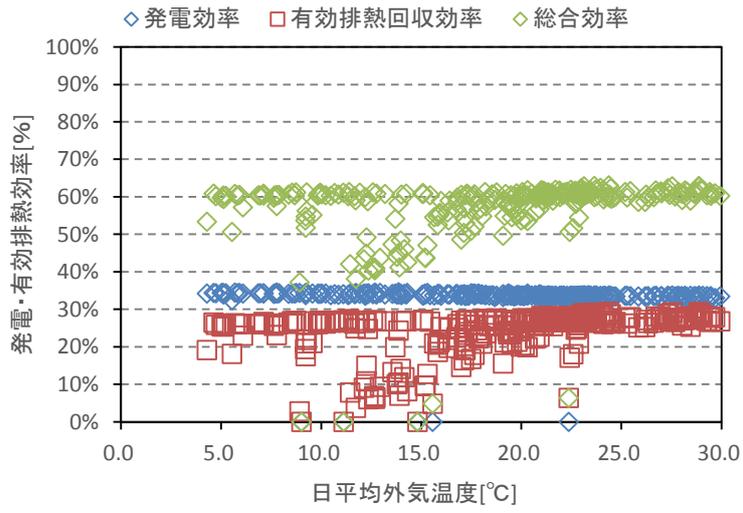


図 4-2.16 ID13 : CGU の発電効率、有効排熱回収効率、総合効率と日平均外気温度の関係

ID01 における発電量、有効排熱回収量と日平均外気温度の関係を図 4-2.17 に、発電効率、有効排熱回収効率、有効総合効率と日平均外気温度の関係を図 4-2.18 に示す。ID08、ID10、ID13 と異なり、外気温度と発電量、有効排熱回収量、効率との相関は確認されていない。これは、ID01 については特に配管等からの放熱ロスが少ないことが原因であると考えられる。

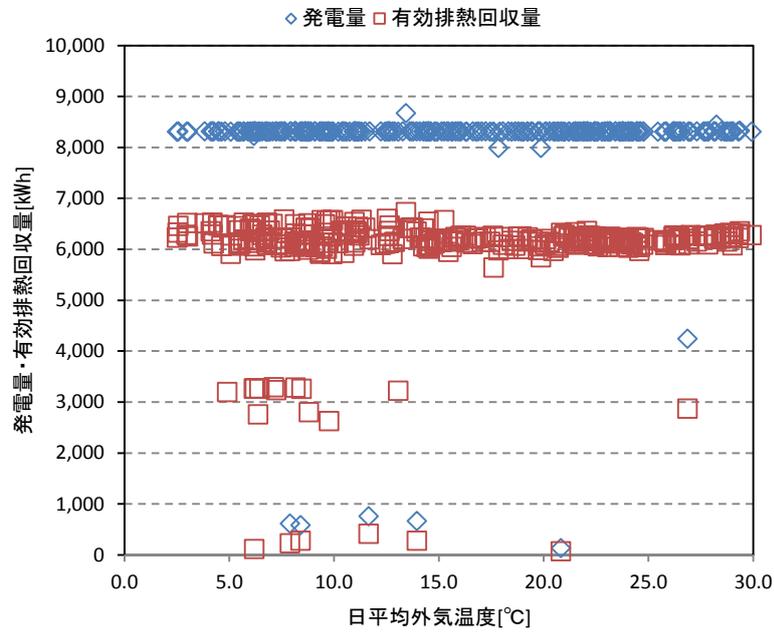


図 4-2.17 ID01 : CGS の発電量、有効排熱回収量と日平均外気温度の関係

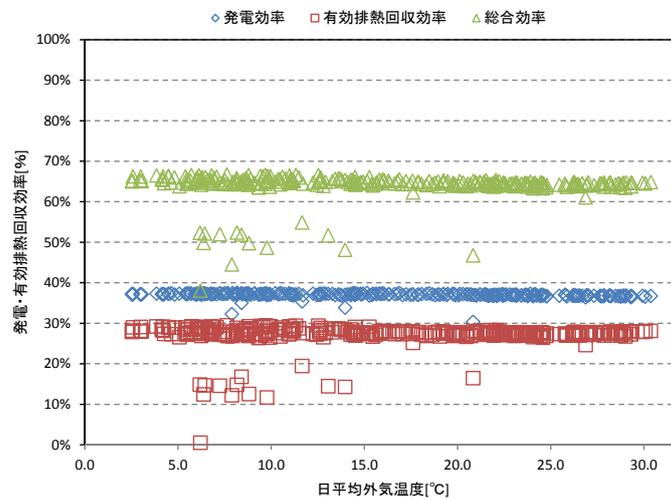


図 4-2.18 ID01 : CGS1 の発電効率、有効排熱回収効率、総合効率と日平均外気温度の関係

C) 実測効率とカタログ効率の比較

ID04、ID08、ID10 の負荷率と発電効率、有効排熱回収効率、総合効率（有効排熱回収効率ベース）の関係および、実測値とカタログ値の比較をそれぞれ図 4-2.19～図 4-2.24 に示す。いずれの建物においても負荷率 90%～100%の度数が最も大きくなっている。一方で負荷率 90%未満の範囲においては度数が小さいため、負荷率 90%未満の結果については信頼度が低い。また、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、負荷率 90%～100%の範囲の平均値はすべての建物でカタログ値に等しい。有効排熱回収効率はカタログ値よりも低い値を示しているが、放熱分のデータが得られていないため、その分を反映できていないことが原因である。また 50%以下の低負荷率帯にも効率値の分布が見られるが、これは、CGU の起動及び停止における実測値が反映されていることが原因である。ID04 に関しては熱主運転を行っており、すべての負荷率帯において有効排熱回収効率が低い値を示す一方、発電効率は負荷率に比例して上昇している。

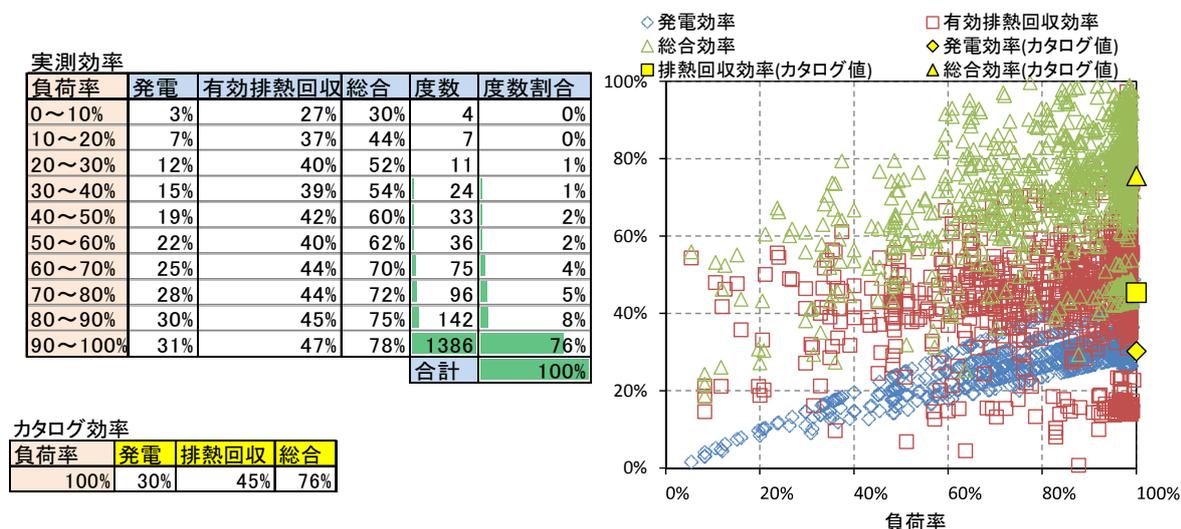


図 4-2.19 ID04 : CGU1 の負荷率による効率の分布とカタログ値との比較

実測効率

負荷率	発電	有効排熱回収	総合	度数	度数割合
0~10%	4%	19%	23%	4	0%
10~20%	8%	18%	26%	3	0%
20~30%	10%	36%	47%	7	0%
30~40%	14%	41%	55%	11	1%
40~50%	17%	35%	52%	10	1%
50~60%	20%	41%	61%	31	2%
60~70%	24%	40%	64%	32	2%
70~80%	26%	37%	63%	42	2%
80~90%	29%	42%	71%	63	3%
90~100%	31%	47%	78%	1663	89%
合計					100%

カタログ効率

負荷率	発電	排熱回収	総合
100%	30%	45%	76%

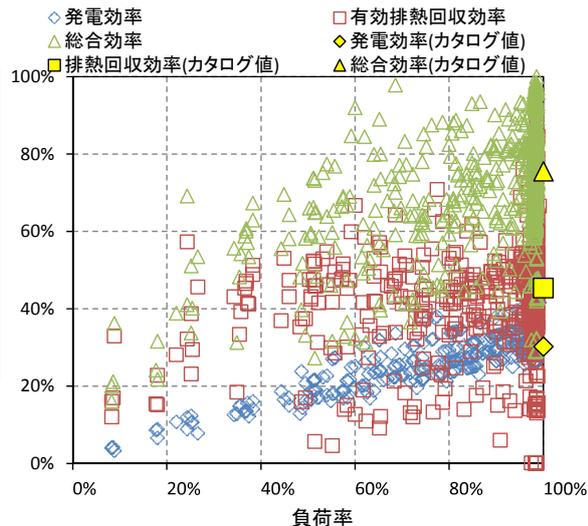


図 4-2.20 ID04 : CGU2 の負荷率による効率の分布とカタログ値との比較

実測効率

負荷率	発電	有効排熱回収	総合	度数	度数割合
0~10%	3%	35%	39%	10	1%
10~20%	6%	24%	30%	6	0%
20~30%	10%	35%	45%	4	0%
30~40%	15%	41%	56%	15	1%
40~50%	18%	42%	60%	13	1%
50~60%	20%	37%	57%	31	2%
60~70%	24%	42%	67%	37	2%
70~80%	26%	40%	66%	49	3%
80~90%	30%	41%	71%	76	4%
90~100%	31%	47%	78%	1660	87%
合計					100%

カタログ効率

負荷率	発電	排熱回収	総合
100%	30%	45%	76%

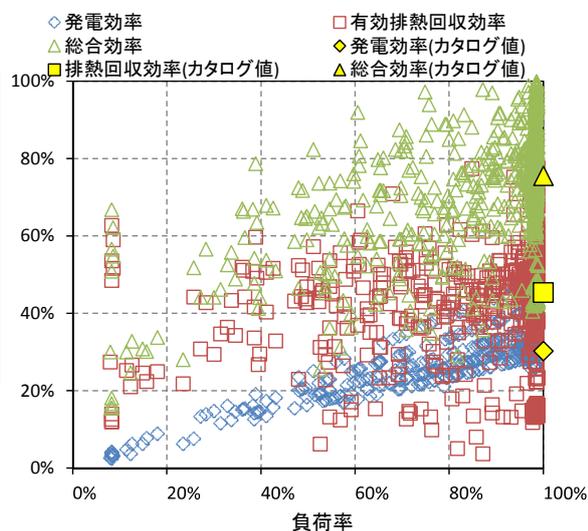


図 4-2.21 ID04 : CGU3 の負荷率による効率の分布とカタログ値との比較

実測効率

負荷率	発電	有効排熱回収	総合	度数	度数割合
0~10%	13%	0%	13%	52	2%
10~20%	28%	5%	32%	46	2%
20~30%	28%	6%	34%	23	1%
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%

カタログ効率

負荷率	発電	排熱回収	総合
50%	32%	37%	69%
75%	35%	33%	68%
100%	37%	31%	68%

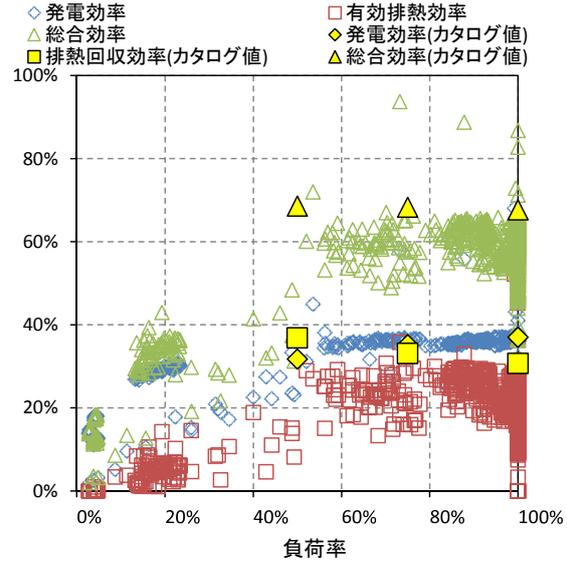


図 4-2.22 ID08 : CGU2 の負荷率による効率の分布とカタログ値との比較

実測効率

負荷率	発電	有効排熱回収	総合	度数	度数割合
0~10%	27%	24%	51%	96	4%
10~20%	32%	14%	46%	30	1%
20~30%	32%	16%	48%	37	1%
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%

カタログ効率

負荷率	発電	排熱回収	総合
50%	33%	38%	71%
75%	36%	33%	69%
100%	37%	31%	68%

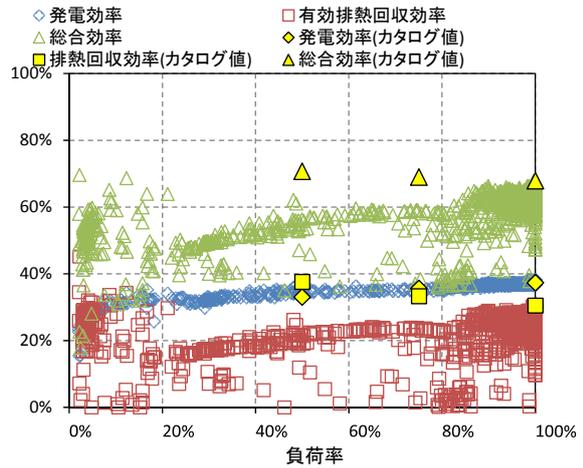


図 4-2.23 ID10 : CGU1 の負荷率による効率の分布とカタログ値との比較

実測効率

負荷率	発電	有効排熱回収	総合	度数	度数割合
0~10%	26%	24%	51%	94	4%
10~20%	31%	15%	46%	24	1%
20~30%	32%	16%	48%	48	2%
30~40%	32%	16%	49%	34	1%
40~50%	34%	18%	52%	32	1%
50~60%	34%	20%	54%	32	1%
60~70%	34%	19%	53%	21	1%
70~80%	35%	20%	54%	31	1%
80~90%	35%	19%	54%	96	4%
90~100%	36%	27%	64%	2099	84%
合計					100%

カタログ効率

負荷率	発電	排熱回収	総合
50%	33%	38%	71%
75%	36%	33%	69%
100%	37%	31%	68%

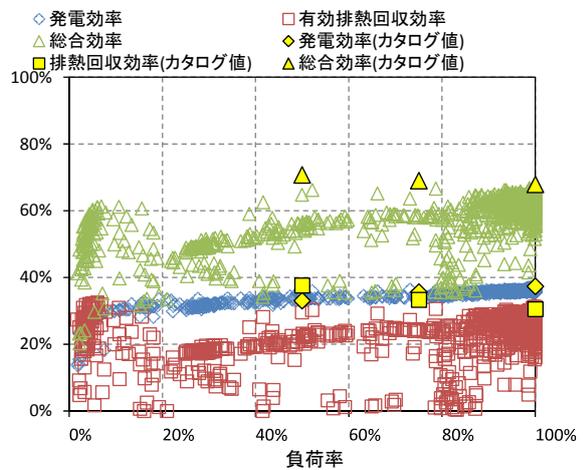


図 4-2.24 ID10 : CGU2 の負荷率による効率の分布とカタログ値との比較

ID01 の負荷率と発電効率、排熱回収効率、総合効率の関係と実測値およびカタログ値との比較を以下の図 4-2.25 に示す。ID01 のみ冷却塔ファンの消費電力の計測を行っているため、排熱回収効率を求めることができています。度数の最も集中する負荷率 90%~100%の範囲においては発電効率、排熱回収効率ともにカタログ値より若干低くなっている。この原因としては、主に配管等からの放熱ロスや排熱負荷が十分でないことなどが考えられる。

実測効率					
負荷率	発電	排熱回収	総合	度数	度数割合
0~10%	33%	69%	101%	119	27%
10~20%	26%	25%	51%	1	0%
20~30%	36%	31%	67%	1	0%
30~40%	-	-	-	0	0%
40~50%	-	-	-	0	0%
50~60%	-	-	-	0	0%
60~70%	-	-	-	0	0%
70~80%	34%	10%	44%	1	0%
80~90%	36%	14%	50%	41	9%
90~100%	37%	27%	65%	278	63%
				合計	100%

カタログ効率			
負荷率	発電	排熱回収	総合
50%	34%	36%	70%
75%	36%	32%	69%
100%	38%	29%	67%

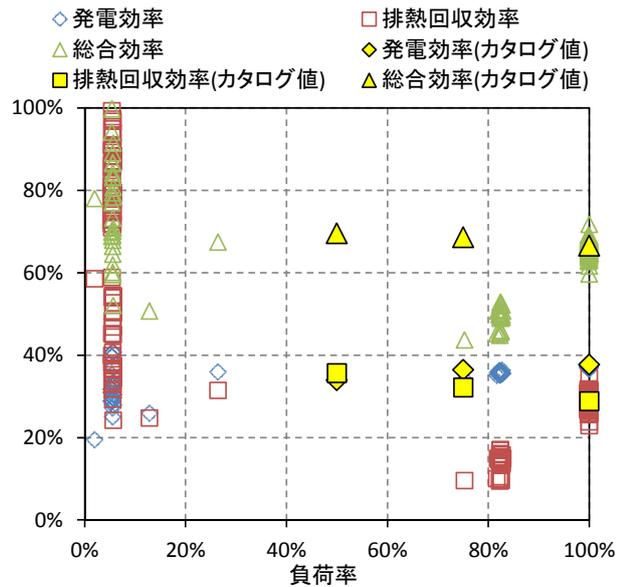


図 4-2.25 ID01 : CGU の負荷率による効率の分布とカタログ値との比較

D) 補機電力特性

ここではまず、ID01における補機電力特性についての分析結果を示す。ID01は、前述の通り、補機電力消費量の計測を行っている建物である。

補機消費電力の代表週、代表日における推移をそれぞれ図 4-2.26、図 4-2.27 に示す。本物件ではCGUは屋上に設置され、熱源機器は地下に設置されており、一般よりも揚程が大きくなっている。図 4-2.26 および図 4-2.27 を見ると、CGU補機はCGU非稼働時においても約3kWh/hの消費電力が見られる。このことからCGU停止時において待機電力が発生していることがうかがえ、待機電力を計算ロジックに反映する必要がある。

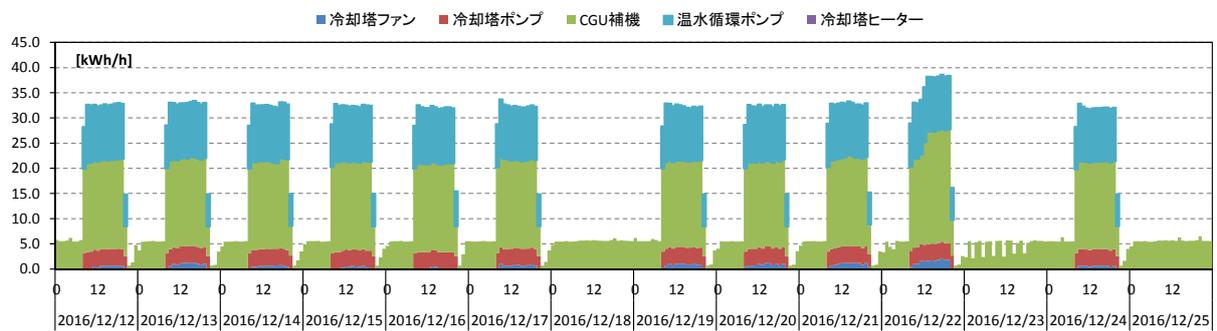


図 4-2.26 ID01 : CGU1 の代表週の補機消費電力の推移

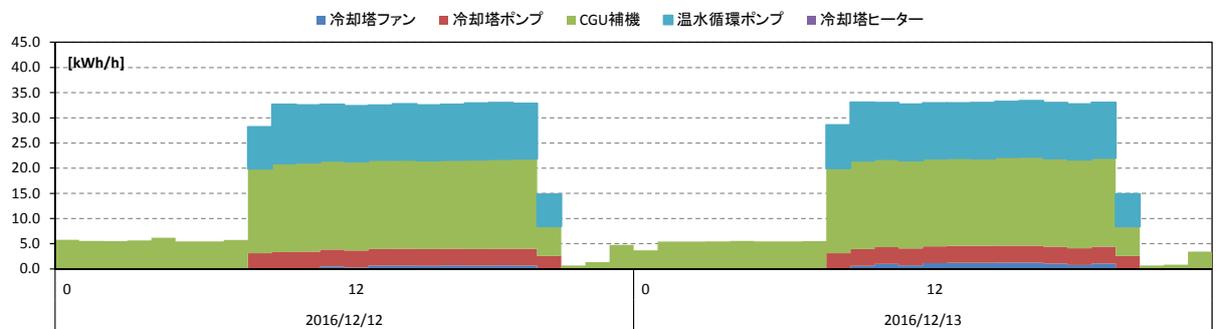


図 4-2.27 ID01 : CGU1 の代表日の補機消費電力の推移

ID01の建物の11月のCGU発電量、CGU補機の日積算値を図4-2.28に、CGU補機のみの日積算値を図4-2.29に示す。図4-2.28を見ると、日曜および祝日はCGSを停止しており、平日・土曜は毎日同じスケジュールで運転していることがうかがえる。発電量は稼働日には約8000～8500kWh/日となっている。ID01の平日の運転時間設定は8:00～20:00の12時間、CGSの定格発電量は700kWであることから日積算値を単純計算すると8400kWh/日となり、ほぼ実測値と一致する。このことからID01はスケジュール通りに定格運転していると考えられる。また、図4-2.28を見ると、CGSが停止している日曜および祝日にもCGU補機消費電力が発生していることがわかる。稼働時の補機消費電力割合は前述のとおり4～5%であるが、図4-2.29を見るとCGS停止時においても補機消費電力は稼働時の半分程度を占めている。このことから待機電力としてプログラムの計算ロジックに考慮することで精度を向上できる可能性がある。なお、待機電力が見られたのは上記5種類の補機の中でCGU補機のみであった。

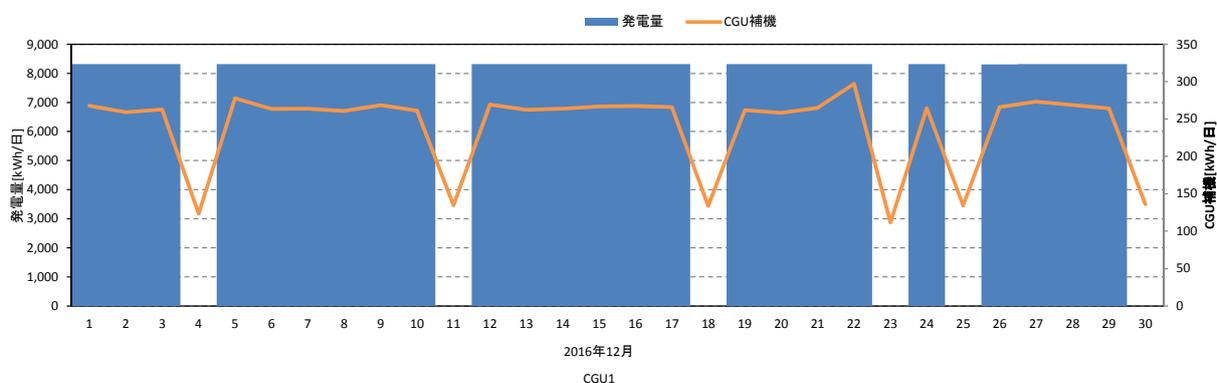


図 4-2.28 ID01 : CGU1 の代表月の日積算発電量、CGU 補機の推移

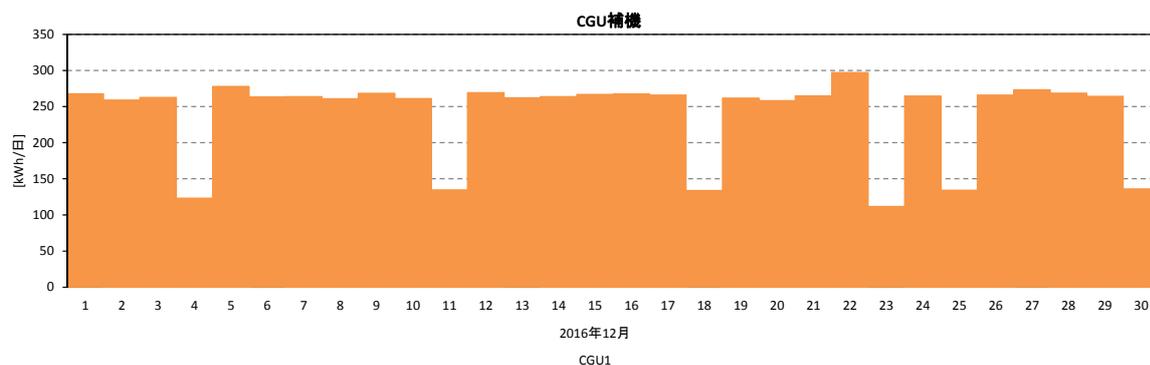


図 4-2.29 ID01 : CGU1 の代表月の CGU 補機の推移

続いて、ID02 における発電出力と CGU 補機消費電力の関係についての分析結果を示す。ID02 の建物では発電出力と CGU 補機消費電力の 1 分間隔で計測を行っている。ID02 はマイクロガスエンジンが導入されており、CGU 本体に放熱用ラジエータが内蔵されているので、補機消費電力は CGU 補機、温水循環ポンプの消費電力が含まれるが、ここでは計測を行っている CGU 補機の分析結果を示す。

ID02 における 4 台の CGU (CGU1、CGU2、CGU3、CGU4) の負荷率と CGU 補機消費電力割合の関係をそれぞれ図 4-2.30～図 4-2.33 に示す。これより、すべての CGU で負荷率が高くなるほど度数が大きくなり、負荷率が 100%で補機消費電力割合が 1.9%となっていることがわかる。また、低負荷時は CGU 補機消費電力の低下よりも発電出力の方が顕著に低下するため CGU 補機消費電力割合が計算上高くなっている。

負荷率	CGU補機消費電力割合	度数	度数割合
0～10%	16.3%	29	1%
10～20%	13.2%	46	1%
20～30%	7.7%	59	1%
30～40%	5.2%	62	1%
40～50%	4.0%	103	2%
50～60%	3.3%	179	3%
60～70%	2.8%	227	4%
70～80%	2.4%	343	7%
80～90%	2.1%	480	9%
90～100%	1.9%	3627	70%
		合計	100%

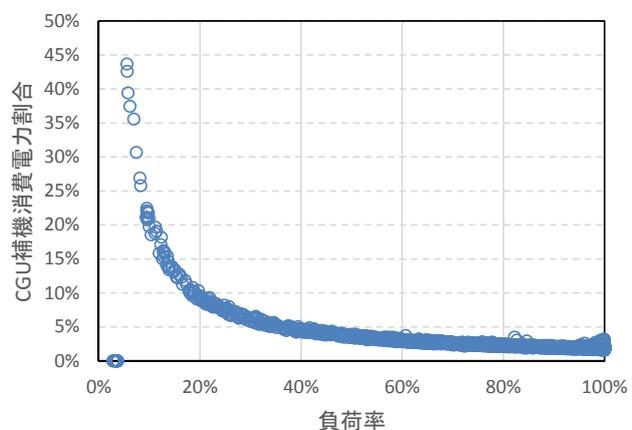


図 4-2.30 ID02 : CGU1 の負荷率による CGU 補機消費電力割合の度数分布

負荷率	CGU補機消費電力割合	度数	度数割合
0～10%	21.4%	73	1%
10～20%	14.0%	143	3%
20～30%	7.3%	155	3%
30～40%	5.3%	315	6%
40～50%	4.1%	403	8%
50～60%	3.3%	465	9%
60～70%	2.8%	507	10%
70～80%	2.4%	502	10%
80～90%	2.1%	529	10%
90～100%	1.9%	2062	40%
		合計	100%

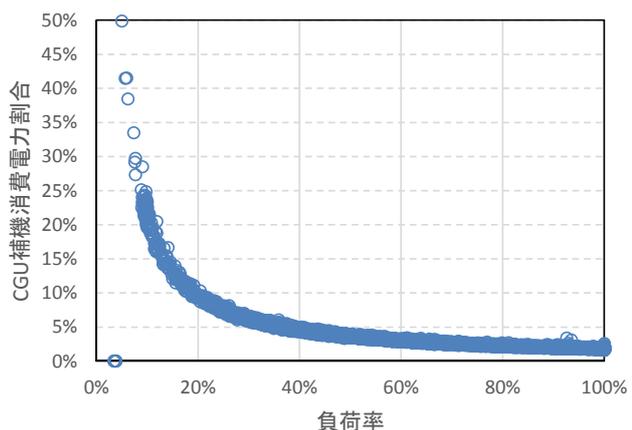


図 4-2.31 ID02 : CGU2 の負荷率による CGU 補機消費電力割合の度数分布

負荷率	CGU補機 消費電力割合	度数	度数割合
0~10%	12.5%	17	0%
10~20%	11.7%	20	0%
20~30%	7.1%	32	1%
30~40%	4.9%	92	2%
40~50%	4.0%	120	2%
50~60%	3.2%	220	4%
60~70%	2.7%	263	5%
70~80%	2.4%	316	6%
80~90%	2.1%	513	10%
90~100%	1.9%	3412	68%
		合計	100%

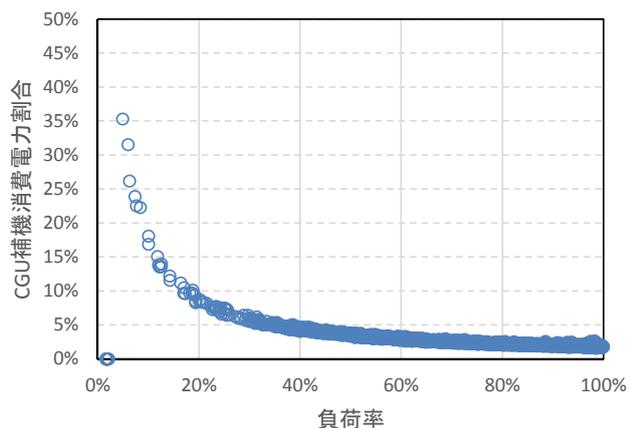


図 4-2.32 ID02 : CGU3 の負荷率による CGU 補機消費電力割合の度数分布

負荷率	CGU補機 消費電力割合	度数	度数割合
0~10%	17.7%	23	0%
10~20%	15.6%	31	1%
20~30%	7.9%	40	1%
30~40%	5.2%	58	1%
40~50%	4.1%	144	3%
50~60%	3.4%	209	4%
60~70%	2.8%	274	5%
70~80%	2.4%	328	7%
80~90%	2.2%	500	10%
90~100%	1.9%	3405	68%
		合計	100%

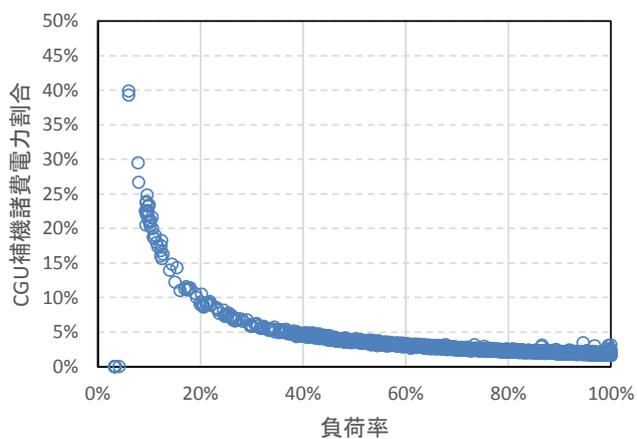


図 4-2.33 ID02 : CGU4 の負荷率による CGU 補機消費電力割合の度数分布

ID02 における CGU1、CGU2、CGU3、CGU4 の負荷率と定格発電量との CGU 補機消費電力の割合の関係をそれぞれ図 4-2.34～図 4-2.37 に示す。定格発電量との CGU 補機消費電力の割合は負荷率によって変化せず、CGU 補機消費電力は発電出力に比例して絞られていないことがわかる。これにより、上記の図では負荷率が下がったときに CGU 補機消費電力割合が大きくなっていることがわかる。

負荷率	CGU補機消費電力割合	度数	度数割合
0～10%	16.3%	29	1%
10～20%	13.2%	46	1%
20～30%	7.7%	59	1%
30～40%	5.2%	62	1%
40～50%	4.0%	103	2%
50～60%	3.3%	179	3%
60～70%	2.8%	227	4%
70～80%	2.4%	343	7%
80～90%	2.1%	480	9%
90～100%	1.9%	3627	70%
		合計	100%

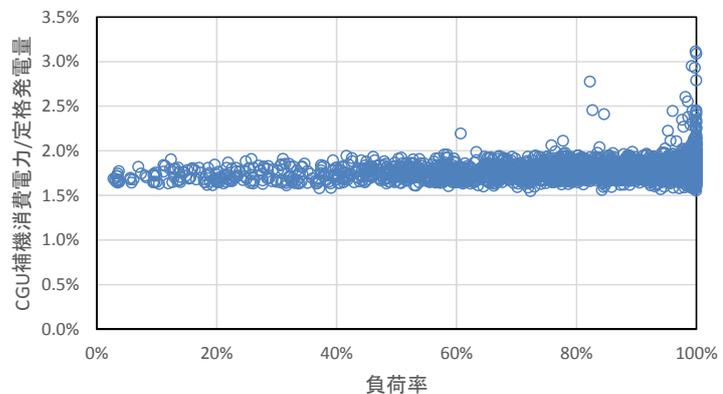


図 4-2.34 ID02 : CGU1 の負荷率による定格発電量との CGU 補機消費電力割合の度数分布

負荷率	CGU補機消費電力割合	度数	度数割合
0～10%	21.4%	73	1%
10～20%	14.0%	143	3%
20～30%	7.3%	155	3%
30～40%	5.3%	315	6%
40～50%	4.1%	403	8%
50～60%	3.3%	465	9%
60～70%	2.8%	507	10%
70～80%	2.4%	502	10%
80～90%	2.1%	529	10%
90～100%	1.9%	2062	40%
		合計	100%

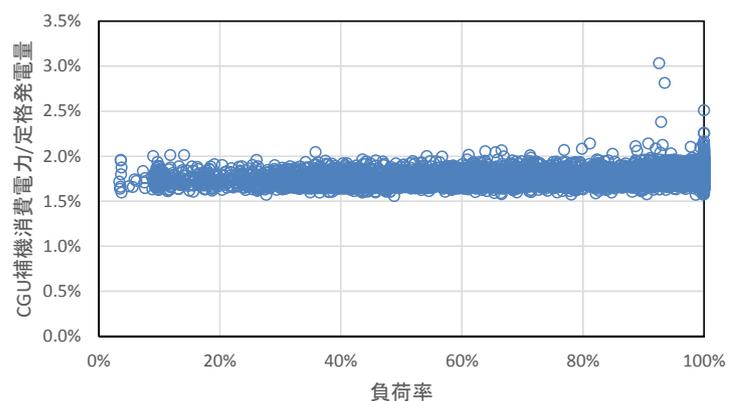


図 4-2.35 ID02 : CGU2 の負荷率による定格発電量との CGU 補機消費電力割合の度数分布

負荷率	CGU補機消費電力割合	度数	度数割合
0～10%	12.5%	17	0%
10～20%	11.7%	20	0%
20～30%	7.1%	32	1%
30～40%	4.9%	92	2%
40～50%	4.0%	120	2%
50～60%	3.2%	220	4%
60～70%	2.7%	263	5%
70～80%	2.4%	316	6%
80～90%	2.1%	513	10%
90～100%	1.9%	3412	68%
		合計	100%

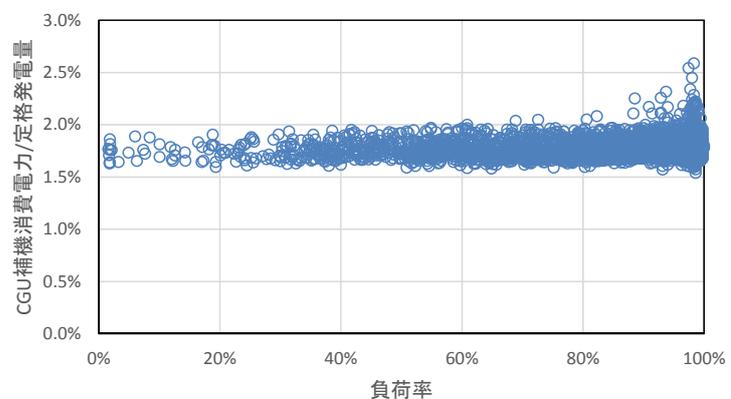


図 4-2.36 ID02 : CGU3 の負荷率による定格発電量との CGU 補機消費電力割合の度数分布

負荷率	CGU補機 消費電力割合	度数	度数割合
0~10%	17.7%	23	0%
10~20%	15.6%	31	1%
20~30%	7.9%	40	1%
30~40%	5.2%	58	1%
40~50%	4.1%	144	3%
50~60%	3.4%	209	4%
60~70%	2.8%	274	5%
70~80%	2.4%	328	7%
80~90%	2.2%	500	10%
90~100%	1.9%	3405	68%
		合計	100%

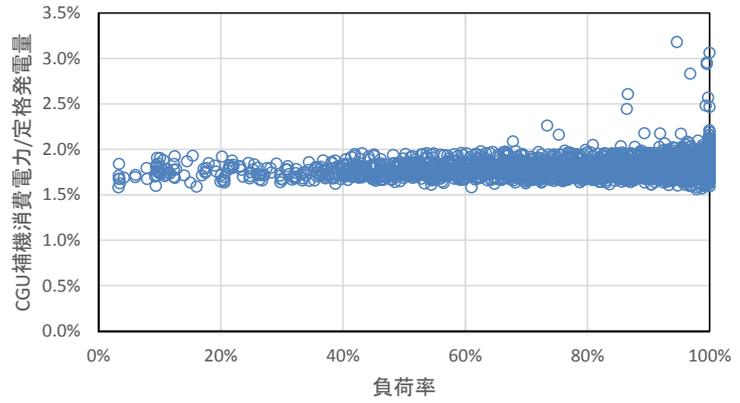


図 4-2.37 ID02 : CGU4 の負荷率による定格発電量との CGU 補機消費電力割合の度数分布

4-2.3. RHA単体分析

A) 月別COP

ID04、ID08 における年間の RHA 単体のガス消費量、投入排熱量、処理熱量の月積算値、月別 COP(排熱込み)、COP(ガスのみ)の推移を、それぞれ図 4-2.38～図 4-2.41 に示す。ここで COP(排熱込み)および COP(ガスのみ)は、下記ように定義している。

- ・ COP(排熱込み)=処理熱量/(ガス消費量+投入排熱量)
- ・ COP(ガスのみ)=処理熱量/ガス消費量

また、RHA の分析では熱量を MJ 換算している。

ID04 は RHA を 2 台設置しているため、図 4-2.38 および図 4-2.39 を見ると、夏期（2015 年 7 月、8 月、9 月）と冬期（2015 年 1 月、2 月）に COP(排熱込み)が高くなっている。一方、冷房期（2015 年 7 月、8 月、9 月、10 月や 2016 年 5 月、6 月など）は排熱を投入できているので COP(ガスのみ)は高くなっている。

ID08 にも RHA が 2 台設置されているが、ガス消費量、投入排熱量に関して 2 台の合計値しか得られていないため、2 台中 1 台のみ運転しているデータを分析している。図 4-2.40 および図 4-2.41 を見てわかるように、COP(排熱込み)が 1 を超えている月が多く、中間期であるために COP(排熱込み)が低くなることが予想される 2015 年 4 月において 1.5 と高い値が得られているため、データに異常値が含まれている可能性がある。COP(ガスのみ)が COP(排熱込み)より極端に高くなることは確認されていないが、ID04 と同様に 2016 年 6 月、7 月、8 月、9 月などの冷房を使う時期に COP(ガスのみ)が高くなっている。

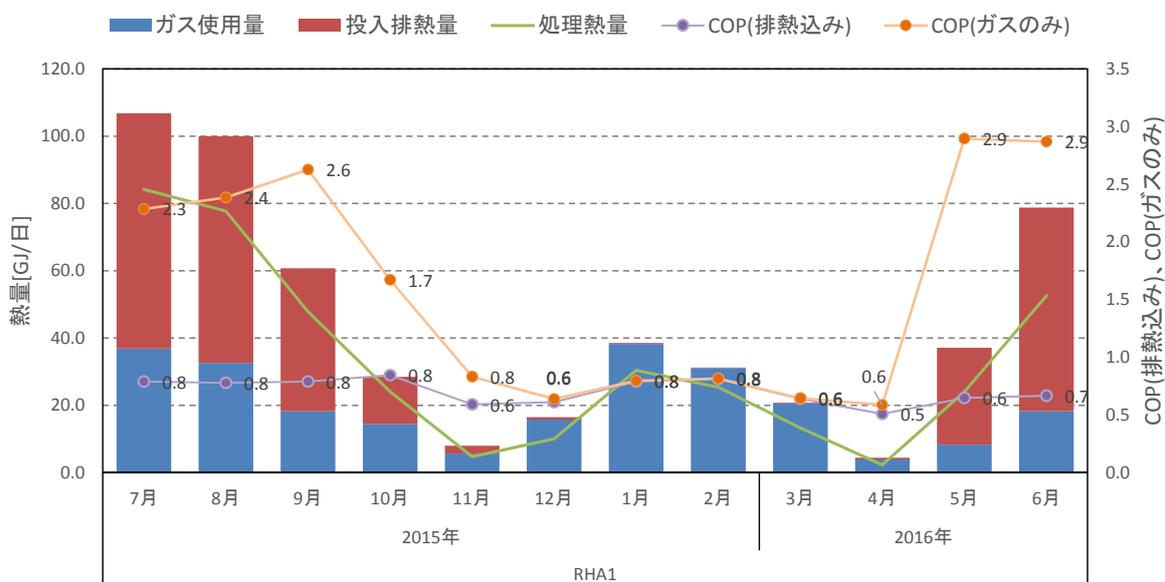


図 4-2.38 ID04 : RHA1 の熱量の月積算値、月別 COP(排熱込み)、COP(ガスのみ)の推移

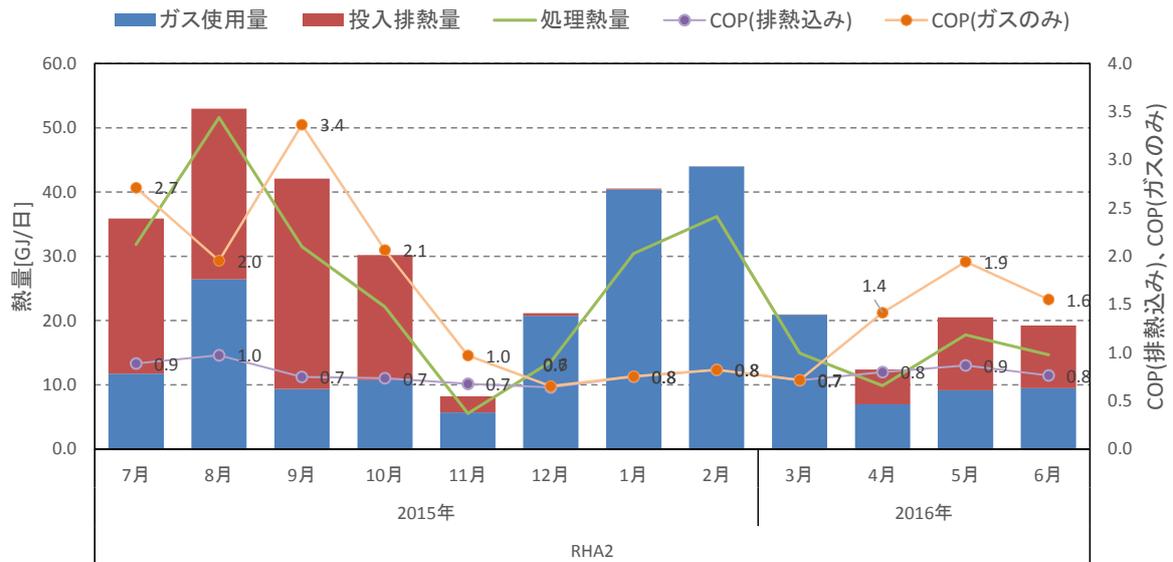


図 4-2.39 ID04 : RHA2 の熱量の月積算値、月別 COP(排熱込み)、COP(ガスのみ)の推移

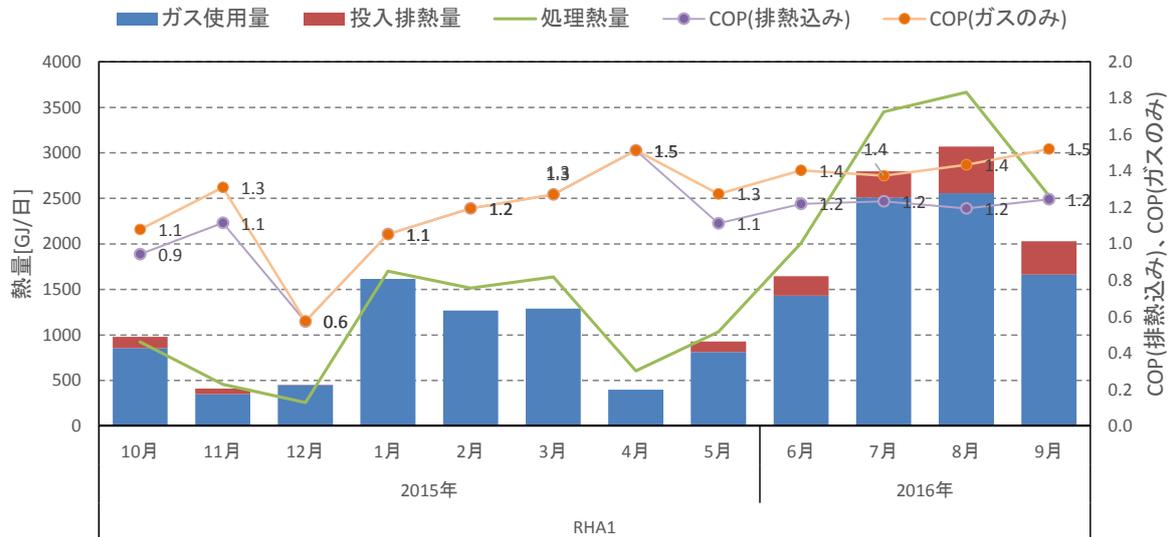


図 4-2.40 ID08 : RHA1 の熱量の月積算値、月別 COP(排熱込み)、COP(ガスのみ)の推移

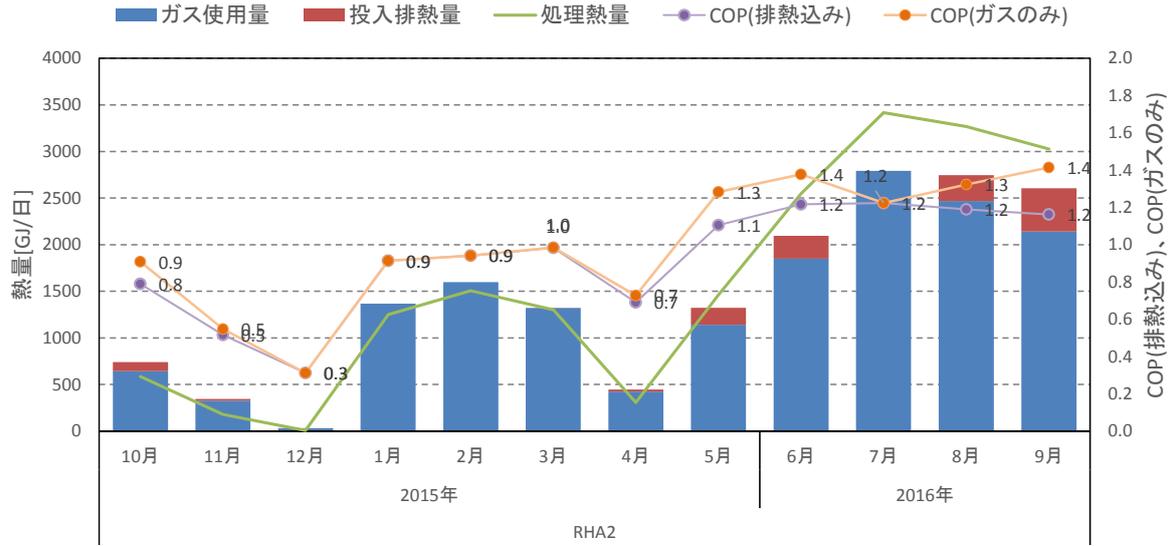


図 4-2.41 ID08 : RHA2 の熱量の月積算値、月別 COP(排熱込み)、COP(ガスのみ)の推移

B) 投入排熱量の実測値とカタログ値の比較

ID04 と ID08 の投入排熱量の実測値とカタログ値との比較を図 4-2.42～図 4-2.45 に示す。図 4-2.42 および図 4-2.43 を見ると、ID04 ではカタログ値と同様に RHA の負荷率が 45%程度になると投入排熱量が増加しなくなり、投入排熱量に加えてガスも使用していることがわかる。しかし実測値では、負荷率 45%以下の範囲においても投入排熱量(ガス使用あり)のデータが確認されている。この理由については、分析に用いているデータの時間間隔が 1 時間なので、RHA の停止時の測定結果が反映されている可能性、もしくは、もう一方の RHA に排熱が使われたことで利用できる排熱自体が少なくなっている可能性が考えられる。これは RHA1、RHA2 の両方で同様のことが言える。続いて、図 4-2.44 および図 4-2.45 を見ると、カタログ上では、ID08 においては RHA の負荷率が 16%程度で定格排熱温水流量時もガスを使用するようになっている。しかし、実測値を見てみると、RHA の負荷率が 16%以下のデータは見られず排熱のみで運転しているデータはない。また、実測値は排熱温水流量が定格の半分となる時のカタログ投入排熱量（図中緑線）に近くなっているが、これは RHA を 2 台併用して運転しているため、1 台当たりの流量も定格の半分になるためであると考えられる。

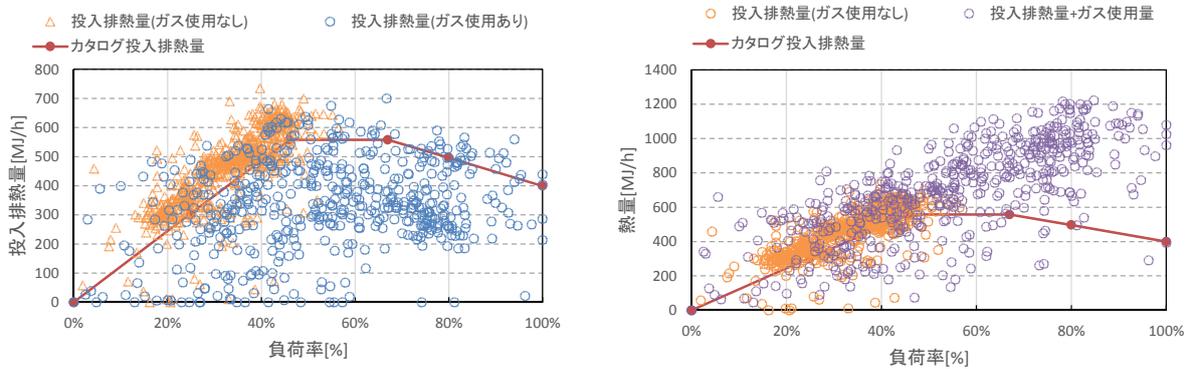


図 4-2.42 ID04 : RHA1 の投入排熱量の実測値とカタログ値との比較

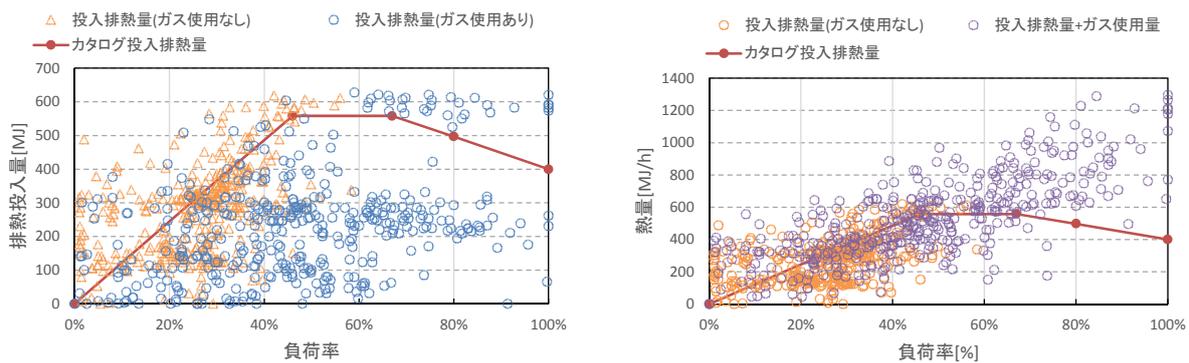


図 4-2.43 ID04 : RHA2 の投入排熱量の実測値とカタログ値との比較

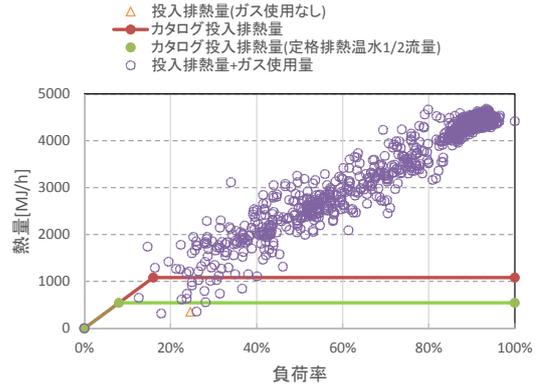
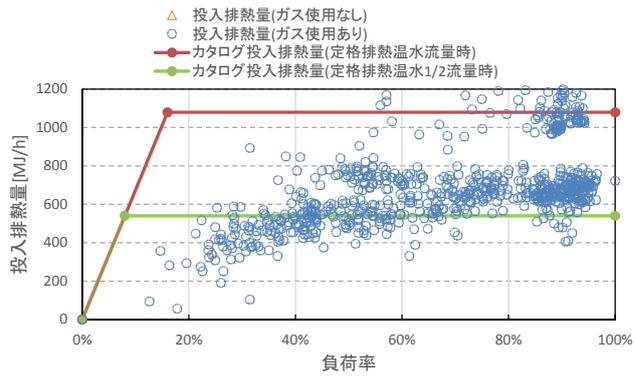


図 4-2.44 ID08 : RHA1 の投入排熱量の実測値とカタログ値との比較

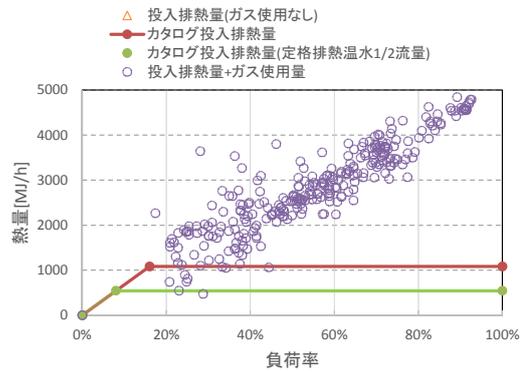
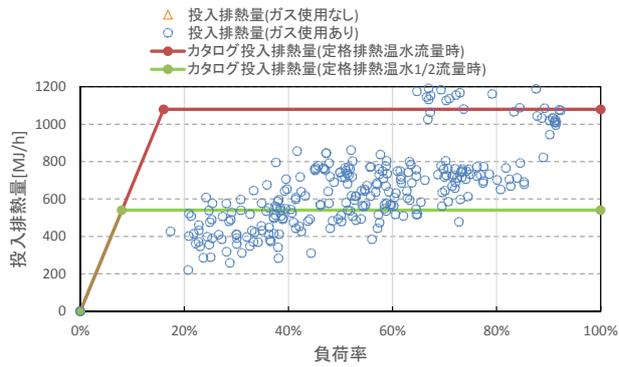


図 4-2.45 ID08 : RHA2 の投入排熱量の実測値とカタログ値との比較

C) 投入排熱量の温度特性

ID04 での RHA1 および RHA2 への投入排熱量と排熱温度の関係を図 4-2.46 に、ID08 での RHA1 および RHA2 への投入排熱量と排熱温度の関係を図 4-2.47 に示す。図 4-2.46 を見ると、ID04 は排熱温水入口温度が高くなるにつれて投入排熱量が大きくなっている。また RHA の負荷率が 40% 前後のときに投入排熱量が最も大きくなるという傾向も確認できる。RHA1 と RHA2 を比較すると、RHA2 の排熱温水入口温度は RHA1 の排熱温水入口温度より低くなっている。これは ID04 では RHA2 台を直列に接続しており、2 台目の RHA2 に入る排熱温水温度が低下しているためである。また、その影響により、投入排熱量が RHA1 より小さくなっている。図 4-2.47 を見ると、何らかの対応関係があるように見える。

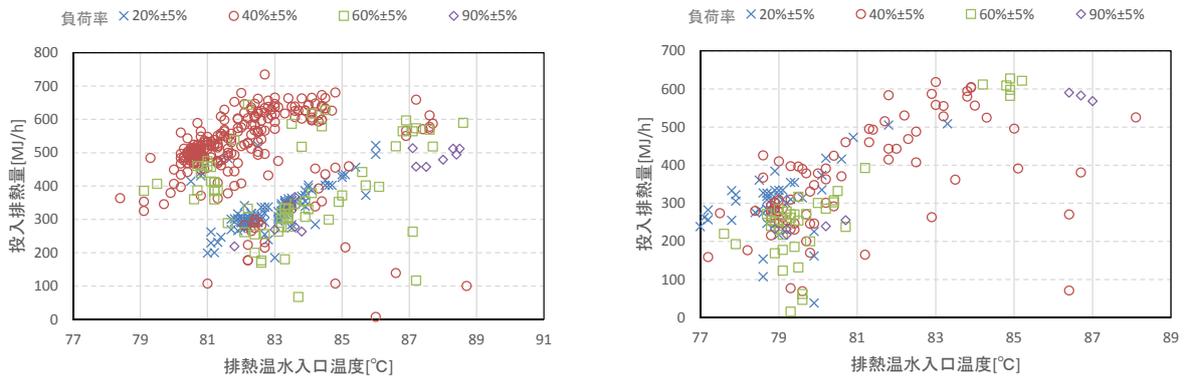


図 4-2.46 ID04：投入排熱量の排熱温度特性(左図：RHA1、右図：RHA2)

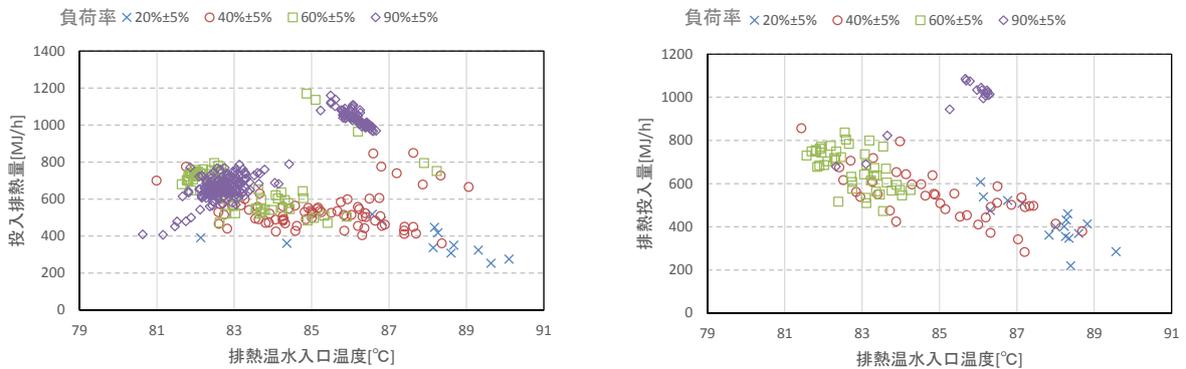


図 4-2.47 ID08：投入排熱量の排熱温度特性(左図：RHA1、右図：RHA2)

4-2.4. システム分析

A) 発電量、受電量、CGS発電寄与率の月別推移

ID04、ID08、ID10、ID13それぞれの発電量、受電量、CGS 発電寄与率の推移を図 4-2.48～図 4-2.51 に示す。ID10 に関しては、受電量のデータは得られていないが、補機消費電力のデータを得られたので、図 4-2.50 のみ第二軸が補機消費電力割合となっている点に留意されたい。図 4-2.48 を見ると、ID04 では空調負荷の小さい中間期にも CGU3 台を常に同じ負荷率で動かしており、台数制御を行っていないことが分かる。これは ID04 が実験的に熱負荷に追従する熱主運転で運用を行っていることによる。CGS 発電寄与率が 10%以下の範囲もあるが、これも熱主運転を行っていることが原因である。続いて図 4-2.49 を見ると、ID08 では 2016 年の夏期まで CGU2 台のうちどちらか 1 台を定格運転させており、2016 年夏期から 2 台併用運転を行っていることがわかる。CGS 発電寄与率は 20%～40%の範囲にあり、ID04 と異なり電主運転を行っていることがわかる。次に図 4-2.50 を見ると、ID10 では冬期、中間期の空調負荷の小さい期間に CGU を 1 日おきに交互に運転していることが分かる。補機消費電力割合は 1 日当たり約 7.6%となっているが、これは CGS 非稼働時の待機電力が発生していることによるものと考えられる。次に図 4-2.51 では、CGS 発電寄与率は 23%～45%の範囲にある。ID08 と同様に電主運転を行っていることで寄与率が比較的高い。CGS 発電寄与率が 0%のところもあるが、これは ID13 が休業(第 1、3 水曜日)のとき停止することが原因である。

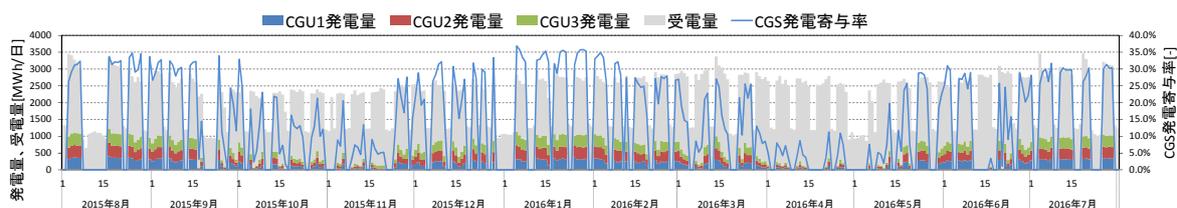


図 4-2.48 ID04：日積算 CGU 発電量、受電量、CGS 発電寄与率の推移

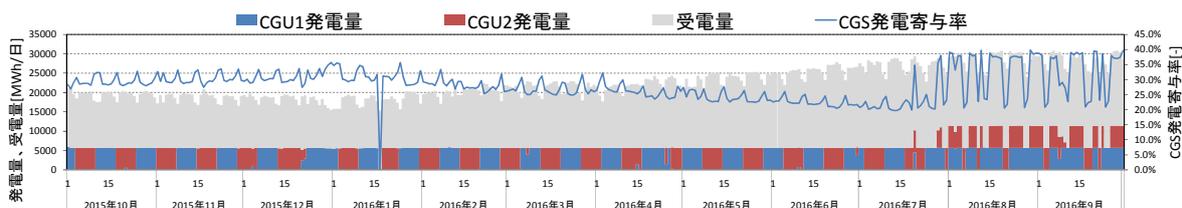


図 4-2.49 ID08：日積算 CGU 発電量、受電量、CGS 発電寄与率の推移

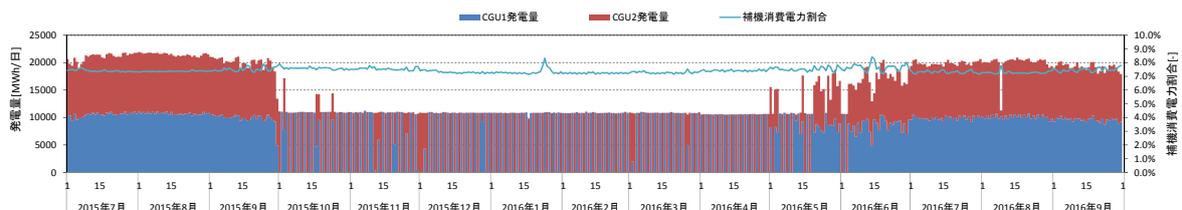


図 4-2.50 ID10：日積算 CGU 発電量、補機消費電力割合の推移

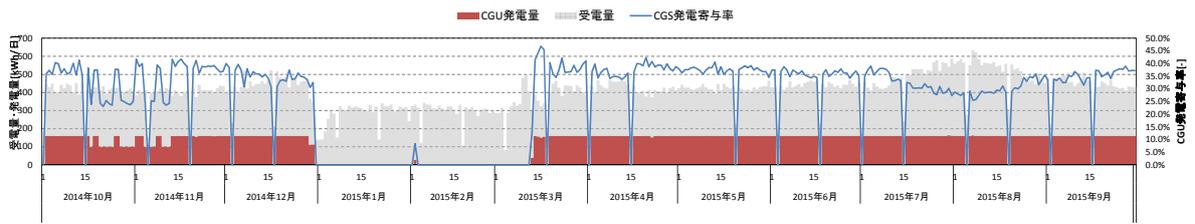


図 4-2.51 ID13 : 日積算 CGS 発電量、受電量、CGS 発電寄与率の推移

B) システム総合効率と外気温度の関係

ID04、ID08、ID10、ID13 におけるシステム総合効率と外気温度の関係を、それぞれ図 4-2.52～図 4-2.55 に示す。図 4-2.52 を見ると、ID04 では外気温度が下がるに従ってシステム総合効率も低下する傾向にあるが、図 4-2.53～図 4-2.55 を見ると、システム総合効率は外気温度によってほとんど変化していないことがわかる。これは ID04 が熱主運転、ID08、ID10、ID13 が電主運転をしていることが原因であると考えられる。また、ID08、ID10、ID13 は外気温度が 15°C～20°C の範囲ではシステム総合効率が 10%程低下する部分もあり、中間期には効率が低下することがわかる。



図 4-2.52 ID04：システム総合効率と外気温度の関係



図 4-2.53 ID08：システム総合効率と外気温度の関係



図 4-2.54 ID10：システム総合効率と外気温度の関係

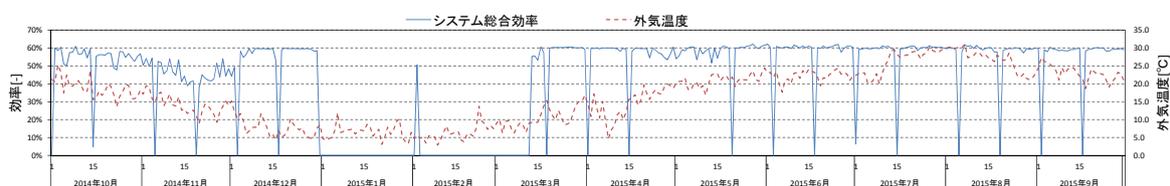


図 4-2.55 ID13：システム総合効率と外気温度の関係

4-2.5. 結果まとめ

(1) CGU分析

1) 年間の日別運転状況

- ID04：実験対象建物であり熱主運転なので、中間期の発電量、有効排熱回収量、ガス消費量は非常に低い。
- ID08：2016年8月までCGU2台を交互に運転しており、常時定格で運転している。
- ID10：ID08と同様に空調負荷が小さい時期に非効率な運転となることを避け、2台のCGUを交互に運転させている。
- ID13：中間期に熱需要がなく、排熱回収量が低下している日が存在する。

2) 日平均外気温度と発電量、有効排熱回収量、効率の関係

- ID04：熱主運転のため、中間期にあたる日平均外気温度 $10^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲で発電量、有効排熱回収量ともに少なくなっており、同様に効率値のばらつきも大きくなっている。
- ID08、ID10、ID13：発電量は日平均外気温度によって変化しないが、有効排熱回収量は日平均外気温度の低下に比例して小さくなり、日平均外気温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲で大きく低下している。

3) 実測効率とカタログ効率の比較

- ID04、ID08、ID10：負荷率90%~100%の範囲では発電効率はカタログ値と等しくなるが、放熱分を反映できていないため、排熱回収効率はカタログ値より低くなっている。
- ID01：負荷率90%~100%の範囲では発電効率、排熱回収効率共にカタログ値より若干低い。

4) 補機消費電力特性

- CGU非稼働時にも待機電力が生じている。
- 負荷率に反比例した補機消費電力特性が見られる。
- 補機消費電力は全体を通してCASCADEIIIで見込まれている5%と同程度か、小さい値を示している。

(2) RHA単体分析

1) 月別COP

- ID04：冷房期は排熱投入が可能となるため、COP（ガスのみ）が非常に大きくなる。

2) 投入排熱量の実測値とカタログ値の比較

- ID04：カタログ値はおおむね実測値を捉えている。
- ID04：負荷率45%以下で投入排熱量（ガス使用あり）のデータが見られる。データ間隔は1時間で分析しており、立ち上がり時に短い時間しかデータが計測されていない、もしくは2台同時にRHAが排熱利用することにより、排熱回収量が低下していることが原因と考えられる。
- ID08：カタログにおいて排熱のみで稼働するとされている負荷率16%以下にデータが見られ

ず、投入排熱量（ガス使用なし）のデータがない。排熱のみではほとんど運転されていないと思われる。

- ID08：実測値は定格再熱 1/2 流量に近く、RHA を 2 台併用運転している影響と考えられる。

(3) システム分析

1) 発電量、受電量、CGS発電寄与率の月別推移

- ID04：負荷が小さいと思われる時期も CGU3 台を常に同じ負荷率で動かしており、台数制御をおこなっていない。実験的要素の多く熱主運転の特別な運用を行っているためである。
- ID08：2016 年夏期まで CGU2 台のうちどちらか 1 台を定格運転させており、2016 年夏期から 2 台併用運転を行っている。CGS 発電寄与率は 20%~40%の範囲にあり、電主運転を行っている。
- ID10：冬期、中間期に CGS1 と CGS2 を 1 日で交互に運転している。補機消費電力割合は約 7.6%で落ち着いているが、その中には CGU が稼働していない時の待機電力が含まれている。
- ID13：CGS 発電寄与率は 23%~45%の範囲にあり、電主運転を行っている。

2) システム総合効率と外気温度の関係

- ID04：外気温度が下がる程、システム総合効率も下がり、熱主運転であることが原因で考えられる。
- ID08、ID10、ID13：外気温度によってシステム総合効率は変化せず、電主運転であることが原因であると考えられる。中間期と思われる外気温度 15°C~20°Cの範囲ではシステム総合効率は 10%程下がる。

4-3. 業務用コージェネレーション設備の実働性能解析に向けた詳細分析

4-3.1. 実働性能解析に向けた詳細分析概要

構築したベースプログラムの計算精度を向上させるため、アンケート調査及びヒアリング調査の分析結果や、実測データの基礎分析結果から以下の5点を抽出して詳細分析を実施した。

- (1) 入力データ及び規定値の設定（運転スケジュール等）
- (2) CGU効率
- (3) CGU起動停止特性
- (4) CGS補機動力特性
- (5) RHA特性

具体的には、本調査により得られたアンケート調査結果、ヒアリング調査結果、実測データを基に詳細分析を行う。これらの検討を進めることで、より計算精度が高く、設計者の省エネルギーに対する工夫を的確に評価できるようなプログラムの改良指針が得られる可能性がある。ただし、これらのポイントについて、入力の手間と計算結果への影響の大きさを考えながら、CGSの評価プログラムに組み込むべきか判断することが重要である。

4-3.2. 入力データ及び規定値の設定（運転スケジュール等）分析

4-3.2.1. 分析概要

アンケート調査によって得られたCGUの運転スケジュール設定時間から建物用途毎に稼働時間を抽出し、時間帯別の稼働率を算出することで、CGUの運転スケジュール分析を行う。ヒアリング調査対象物件の建物使用時間帯についても合わせて示す。

4-3.2.2. 分析結果

A) 建物用途別季節別CGU時間帯別稼働率

アンケート調査の集計結果から得られた、全建物用途77件のCGS導入物件におけるCGU時間帯別稼働率を表4-3.1に示す。建物用途別の物件数に対し、CGUを稼働させている物件数をCGU稼働率としている。表4-3.1を見ると、全建物用途のCGS導入物件では夏期平日、冬期平日、中間期平日、夏期休日、冬期休日、中間期平日の順にCGU稼働率が高いことがわかる。夏期平日の平均稼働時間は12時間であった。

表 4-3.1 全建物用途のCGU時間帯別稼働率 (n=77)

	時間帯																							平均稼働時間	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
夏期平日	4%	4%	4%	4%	4%	5%	14%	30%	72%	89%	91%	95%	95%	96%	96%	97%	97%	97%	85%	68%	55%	38%	31%	10%	12.8
冬期平日	3%	3%	3%	3%	3%	5%	12%	29%	65%	79%	83%	87%	87%	88%	88%	89%	88%	85%	74%	60%	47%	32%	26%	9%	11.5
中間期平日	4%	4%	4%	4%	4%	6%	12%	23%	51%	64%	70%	74%	74%	75%	75%	77%	75%	74%	63%	51%	38%	26%	22%	8%	9.8
夏期休日	4%	4%	4%	4%	4%	5%	9%	15%	32%	38%	42%	44%	44%	45%	45%	47%	45%	44%	41%	32%	25%	21%	18%	8%	6.2
冬期休日	3%	3%	3%	3%	3%	5%	8%	13%	27%	32%	36%	38%	38%	39%	38%	38%	38%	35%	33%	29%	21%	16%	12%	4%	5.1
中間期休日	4%	4%	4%	4%	4%	6%	9%	12%	23%	27%	29%	30%	30%	31%	30%	31%	31%	30%	27%	23%	18%	13%	11%	5%	4.4

建物用途ごとの CGU 時間帯別稼働率を表 4-3.2 に示す。表 4-3.2 から、建物用途が病院の物件では、平日のおおよそ 8 時から 19 時に CGU を稼働し、休日は稼働していない物件が多いことがわかる。夏期、冬期、中間期の順に CGU 稼働率が高く、夏期平日の平均稼働時間は約 14 時間であった。

学校では、平日 9 時から 19 時の CGU 稼働率が高い。休日にはあまり稼働していないが、CGU 稼働率は冬期、夏期、中間期の順に高くなっている。

またホテルでは平日よりも休日の方が CGU 稼働率は高く、15 時から 19 時の利用が多い。夏期平日の平均稼働時間は約 11 時間であった。

スポーツ施設は平日の 9 時から 21 時の稼働率が高く、休日は午後に比べて午前の稼働率が高い。

表 4-3.2 建物用途別の CGU 時間帯別稼働率

a) 病院単独 (n=21)

	時間帯																							平均稼働時間	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
夏期平日	10%	10%	10%	10%	10%	10%	21%	45%	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	86%	71%	60%	40%	29%	14%	14.1
冬期平日	5%	5%	5%	5%	5%	12%	40%	67%	86%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	86%	71%	57%	38%	29%	24%	10%	11.8
中間期平日	10%	10%	10%	10%	10%	10%	21%	40%	60%	79%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	90%	86%	64%	52%	33%	29%	24%	14%	12.2
夏期休日	10%	10%	10%	10%	10%	10%	19%	29%	29%	33%	38%	38%	38%	43%	43%	38%	33%	29%	24%	19%	19%	19%	10%	5.7	
冬期休日	5%	5%	5%	5%	5%	5%	10%	24%	24%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	24%	24%	24%	14%	14%	14%	5%	4.1
中間期休日	10%	10%	10%	10%	10%	10%	14%	19%	24%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	24%	19%	19%	14%	14%	14%	10%	4.4

b) 学校単独 (n=6)

	時間帯																							平均稼働時間
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	17%	21%	53%	83%	83%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	83%	33%	17%	13%	0%	0%	11.0
冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	17%	17%	21%	53%	67%	67%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	67%	33%	29%	0%	0%	9.9
中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	17%	17%	33%	33%	33%	33%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	17%	17%	17%	0%	0%	6.0
夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	17%	21%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	29%	17%	0%	0%	0%	0%	3.8
冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	17%	21%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	29%	17%	17%	17%	0%	0%	4.5
中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	0%	0%	2.8

c) ホテル単独 (n=4)

	時間帯																							平均稼働時間
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	50%	50%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	75%	75%	25%	11.0
冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	75%	75%	25%	11.5
中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	75%	75%	25%	11.5
夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	75%	75%	25%	11.5
冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	75%	75%	25%	12.0
中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	75%	75%	25%	12.0

d) 事務所単独 (n=10)

	時間帯																							平均稼働時間
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	70%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	70%	50%	40%	10%	0%	10.7
冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	10%	28%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90%	75%	50%	40%	10%	0%	11.8
中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	60%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	55%	40%	30%	0%	0%	8.2
夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	30%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	30%	20%	10%	0%	5.0
冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	30%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	30%	20%	10%	0%	5.0
中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	30%	20%	10%	0%	0%	4.7

e) 福祉施設単独 (n=4)

	時間帯																							平均稼働時間
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	63%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	63%	25%	0%	0%	12.5
冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	50%	25%	0%	0%	9.8
中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	50%	25%	0%	0%	9.8
夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	63%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	63%	25%	0%	0%	10.0
冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	25%	0%	0%	7.3
中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	25%	0%	0%	7.3

f) スポーツ施設単独 (n=5)

	時間帯																							平均稼働時間
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	60%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	20%	20%	11.9
冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	30%	40%	60%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	45%	0%	0%	9.2
中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	30%	40%	60%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	40%	0%	0%	9.0
夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	40%	40%	40%	40%	40%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	10%	0%	0%	3.4
冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	40%	40%	40%	40%	40%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	10%	0%	0%	3.4
中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	40%	40%	40%	40%	40%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	10%	0%	0%	3.4

g) 事務所複合 (n=12)

	時間帯																							平均稼働時間
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	8%	19%	75%	88%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	90%	75%	58%	58%	50%	50%	17%	12.3
冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	8%	67%	79%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	79%	75%	71%	58%	50%	50%	42%	42%	10.5
中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	8%	42%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	42%	42%	7.4	
夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	8%	33%	38%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	33%	33%	33%	17%	6.9	
冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	21%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	29%	25%	21%	17%	8%	8%	8%	8%	3.3
中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	1.3

B) 建物使用時間とCGU運転スケジュール

ヒアリング調査を行った14件の物件の建物使用時間とCGU運転スケジュールを表4-3.3に示す。建物使用時間とCGU稼働時間は1時間運用している時間帯を100%、運用していない時間帯を0%としている。(例：30分稼働…50%)

- ・ 病院の3件では、建物使用時間は平日休日ともに24時間だが、CGUは平日昼間に稼働し、スケジュール運転を行っている。建物使用時間とCGU稼働時間は一致しないが、病院は、給湯や空調などで平日昼間の業務時間帯にピーク負荷となると考えられる。建物使用時間が24時間でも十分負荷の大きい時間帯にCGUを稼働させている可能性がある。
- ・ 学校のID11とID12では、建物使用時間とCGU稼働時間は平日昼間の時間帯で、ほぼ一致している。CGU稼働時間はともに11時間であった。
- ・ 事務所のID04では建物使用時間は8時30分から17時であり、CGU稼働時間も夏期と冬期の平日8時から17時となっており、建物使用時間とほぼ一致している。ヒアリング調査により、ID04では中間期に熱負荷が小さくなるために運用を行っていないという実態も確認された。ID04では空調負荷により夏期・冬期が負荷のピーク期間となると推測できる。
- ・ ここでは事務所と他用途の空間を含む物件を事務所複合としている。そのうちID09は、建物使用時間は24時間だが、CGU稼働時間は平日8:00~22:00の14時間である。休日は夏期のみ運転している。病院同様に平日昼間や夏期の高負荷時にCGUを稼働させていると考えられる。
- ・ その他の建物用途のID02(給食センター)、ID10(物販店舗・飲食店)、ID13(体育館・屋内プール)では、建物使用時間とCGU稼働時間は概ね一致している。また、季節ごとに稼働時間の違いはほとんどなく、通年でCGUを稼働させている。

d) 事務所複合 (ID01, ID06, ID09)

ID01		時間帯																							合計時間	
事務所・商業施設		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
建物使用 時間帯	平日	6%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	6%	21%	30%	74%	100%	100%	95%	94%	94%	91%	94%	86%	73%	48%	33%	21%	12%	11.0
	土曜	6%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	5%	15%	27%	74%	100%	100%	98%	94%	100%	95%	85%	79%	73%	48%	30%	21%	12%	10.8
	休日	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	5%	15%	24%	62%	88%	88%	88%	85%	88%	85%	79%	76%	73%	48%	30%	21%	12%	9.9
CGU 運転スケジュール	夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	12.0
	中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	12.0
	冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	12.0
	夏期土曜	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	12.0
	中間期土曜	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	12.0
	冬期土曜	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	12.0
	夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.0
	中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.0
冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.0	

ID06		時間帯																							合計時間	
事務所・ホール		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
建物使用 時間帯	平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8.0
	休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8.0
CGU 運転スケジュール	夏期	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.0
	中間期	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.0
	冬期	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8.0

ID09		時間帯																							合計時間	
事務所・物販店舗飲食店		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
建物使用 時間帯	平日	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	24.0
	休日	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	24.0
CGU 運転スケジュール	夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	14.0
	中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	14.0
	冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	14.0
	夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	14.0
	中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.0
	冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.0

※ID01には複数の店舗が含まれるため、全店舗数に対する営業時間中の店舗数より建物使用率を算出している。

e) その他 (ID02, ID10, ID13)

ID02		時間帯																							合計時間	
給食センター		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
建物使用 時間帯	平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	11.0
	休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	40%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	12.8
CGU 運転スケジュール	夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	10.0	
	中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	10.0	
	冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	10.0

ID10		時間帯																							合計時間	
物販店舗・飲食店		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
建物使用 時間帯	平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	40%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	20%	0%	12.8
	休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	40%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	20%	0%	12.8
CGU 運転スケジュール	夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	14.0
	中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	13.8
	冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	13.5
	夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	14.0
	中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	13.8
	冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	13.5

ID13		時間帯																							合計時間	
体育館・屋内プール		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
建物使用 時間帯	平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	12.0
	休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	12.0
CGU 運転スケジュール	夏期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	12.0
	中間期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	12.0
	冬期平日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	12.0
	夏期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	12.0
	中間期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	12.0
	冬期休日	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	12.0

4-3.3. CGU効率特性分析

4-3.3.1. 分析概要

4-2.2 節にて発電効率については実測効率とカタログ効率が概ね同じ値を示しており、排熱回収効率については実測効率がカタログ効率より低い値を示すことを記述した。排熱回収効率の実測効率が低い値を示したのは、放熱分のデータを得られておらず、放熱量を反映できていなかったことが主要因として考えられる。よってCGUが排熱を安定して使い切っており、冷却塔から放熱していないと想定される時間だけを抽出して夏期、冬期に分けて排熱回収効率について再検討した。

4-3.3.2. 分析結果

A) 有効排熱回収量推移と度数分布

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 4-3.1～図 4-3.4 に示す。続いて、その有効排熱回収量を5kWh/hごとに区切った場合の度数分布を表 4-3.4～表 4-3.7 に示す。ID08について夏期は295kWh/h～300kWh/hが、冬期は255kWh/h～260kWh/hが最も出現頻度が高く、ID10について夏期は670kWh/h～675kWh/hが、冬期は525kWh/h～530kWh/hが最も出現頻度が高かった。

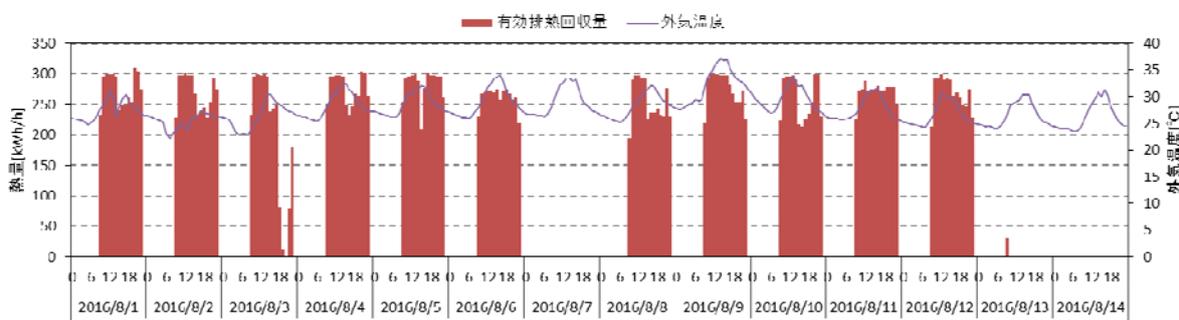


図 4-3.1 ID08：有効排熱回収量の夏期代表期間の推移

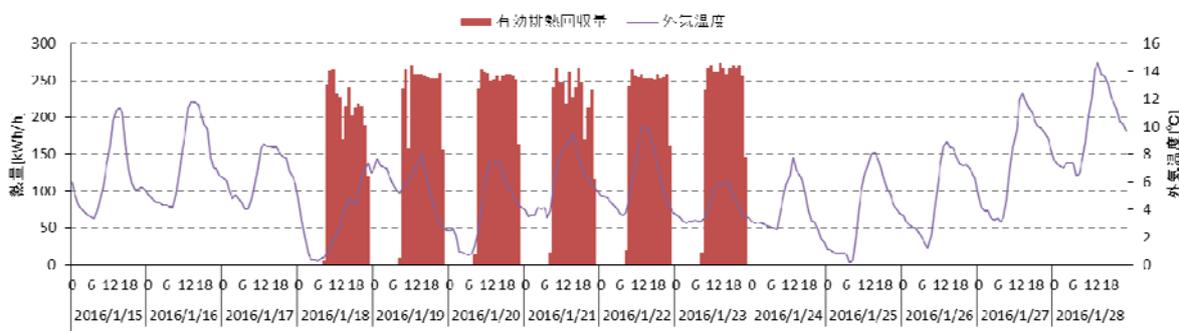


図 4-3.2 ID08：有効排熱回収量の冬期代表期間の推移

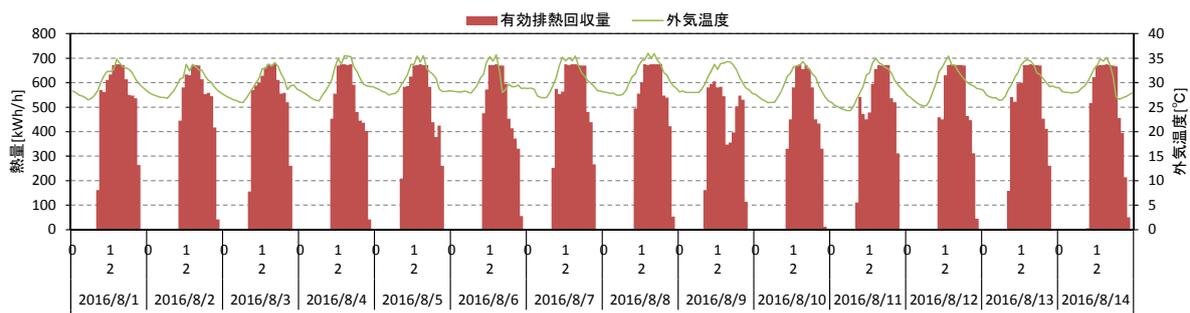


図 4-3.3 ID10：有効排熱回収量の夏期代表期間の推移

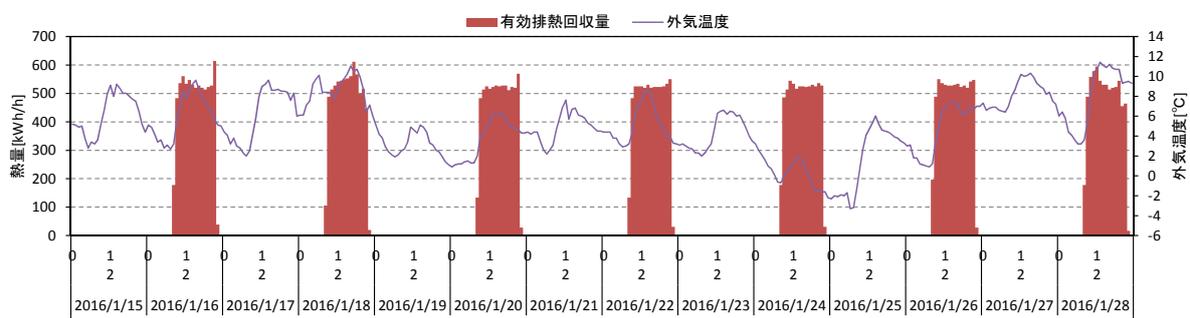


図 4-3.4 ID10：有効排熱回収量の冬期代表期間の推移

表 4-3.4 ID08 : 有効排熱回収量の夏期代表期間の度数分布

有効排熱 回収量区分	度数	度数分布
250～255kWh/h	7	6%
255～260kWh/h	2	2%
260～265kWh/h	7	6%
265～270kWh/h	8	7%
270～275kWh/h	12	11%
275～280kWh/h	10	9%
280～285kWh/h	1	1%
285～290kWh/h	3	3%
290～295kWh/h	12	11%
295～300kWh/h	39	36%
300～305kWh/h	6	6%
305～310kWh/h	0	0%
310～315kWh/h	1	1%
315～320kWh/h	0	0%
320～325kWh/h	0	0%
325～330kWh/h	0	0%
330～335kWh/h	0	0%
335～340kWh/h	0	0%
340～345kWh/h	0	0%
345～350kWh/h	0	0%
350～355kWh/h	0	0%

表 4-3.5 ID08 : 有効排熱回収量の冬期代表期間の度数分布

有効排熱 回収量区分	度数	度数分布
200～205kWh/h	1	1%
205～210kWh/h	0	0%
210～215kWh/h	2	3%
215～220kWh/h	4	5%
220～225kWh/h	0	0%
225～230kWh/h	2	3%
230～235kWh/h	1	1%
235～240kWh/h	4	5%
240～245kWh/h	5	7%
245～250kWh/h	3	4%
250～255kWh/h	14	19%
255～260kWh/h	17	23%
260～265kWh/h	9	12%
265～270kWh/h	8	11%
270～275kWh/h	4	5%
275～280kWh/h	0	0%
280～285kWh/h	0	0%
285～290kWh/h	0	0%
290～295kWh/h	0	0%
295～300kWh/h	0	0%
300～305kWh/h	0	0%

表 4-3.6 ID10 : 有効排熱回収量の夏期代表期間の度数分布

有効排熱 回収量区分	度数	度数分布
600～605kWh/h	3	4%
605～610kWh/h	1	1%
610～615kWh/h	4	5%
615～620kWh/h	0	0%
620～625kWh/h	1	1%
625～630kWh/h	2	2%
630～635kWh/h	4	5%
635～640kWh/h	0	0%
640～645kWh/h	0	0%
645～650kWh/h	0	0%
650～655kWh/h	0	0%
655～660kWh/h	3	4%
660～665kWh/h	1	1%
665～670kWh/h	15	18%
670～675kWh/h	28	34%
675～680kWh/h	21	25%
680～685kWh/h	0	0%
685～690kWh/h	0	0%
690～695kWh/h	0	0%
695～700kWh/h	0	0%
700～705kWh/h	0	0%

表 4-3.7 ID10 : 有効排熱回収量の冬期代表期間の度数分布

有効排熱 回収量区分	度数	度数分布
500～505kWh/h	1	1%
505～510kWh/h	0	0%
510～515kWh/h	6	8%
515～520kWh/h	10	13%
520～525kWh/h	9	11%
525～530kWh/h	20	25%
530～535kWh/h	11	14%
535～540kWh/h	3	4%
540～545kWh/h	6	8%
545～550kWh/h	2	3%
550～555kWh/h	4	5%
555～560kWh/h	1	1%
560～565kWh/h	2	3%
565～570kWh/h	2	3%
570～575kWh/h	0	0%
575～580kWh/h	1	1%
580～585kWh/h	0	0%
585～590kWh/h	0	0%
590～595kWh/h	1	1%
595～600kWh/h	0	0%
600～605kWh/h	0	0%

B) 実測効率とカタログ効率の比較

ここで、上記で示した有効排熱回収量の出現頻度が最も高い区分は冷却塔からの放熱はないと仮定する。ID08 については有効排熱回収量が夏期は 295kWh/h～300kWh/h、冬期は 255kWh/h～260kWh/h、ID10 については夏期は 670kWh/h～675kWh/h、冬期は 525kWh/h～530kWh/h が、有効排熱回収量の出現頻度が最も高い区分に該当する。この区分での実測効率とカタログ効率の比較および外気温度との関係をそれぞれ図 4-3.5～図 4-3.8 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℃以上冬期は外気温度が 10℃以下の時間を抽出している。図 4-3.5、図 4-3.6 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効率はカタログ効率と概ね一致している。一方で、排熱回収効率の実測効率は夏期で 1%、冬期で 5%程カタログ効率より低い値を示す。図 4-3.7、図 4-3.8 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効率はカタログ効率と概ね一致している。一方で、排熱回収効率の実測効率は夏期についてはカタログ効率と一致しているが、冬期で 6%程カタログ効率より低い値を示す。これらの効率値についての結果のまとめを表 4-3.8 に示す。表 4-3.8 に示すように、排熱回収効率の実測効率は夏期よりも冬期の方がカタログ効率よりも低くなっている。この原因としては、配管等からの熱損失や、2 次側に十分な排熱負荷がないことによる強制放熱が考えられる。

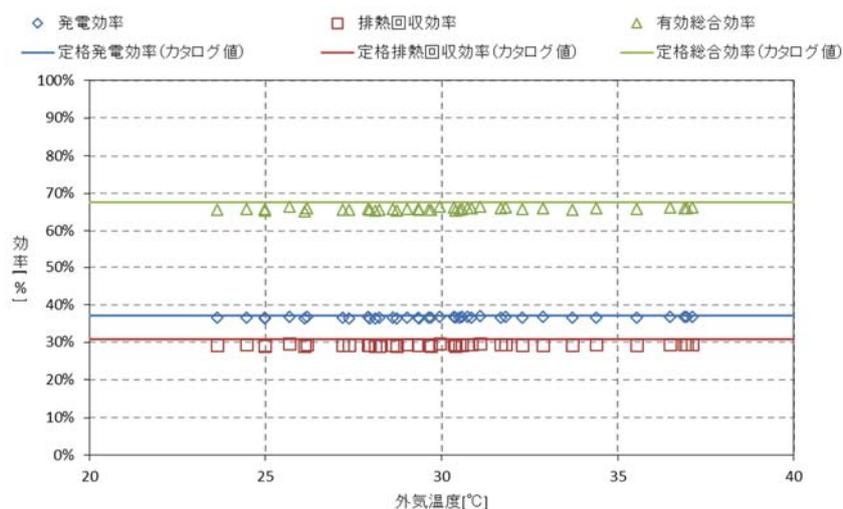


図 4-3.5 ID08 : 夏期の効率値分布

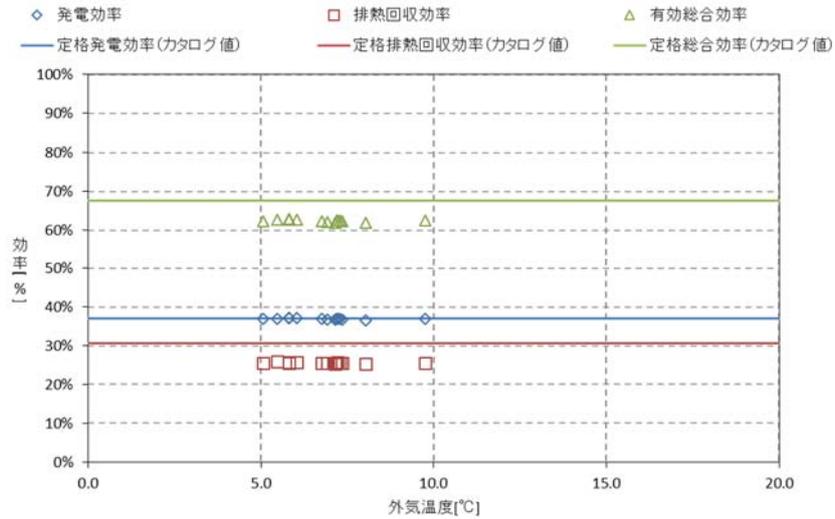


図 4-3.6 ID08：冬期の効率値分布

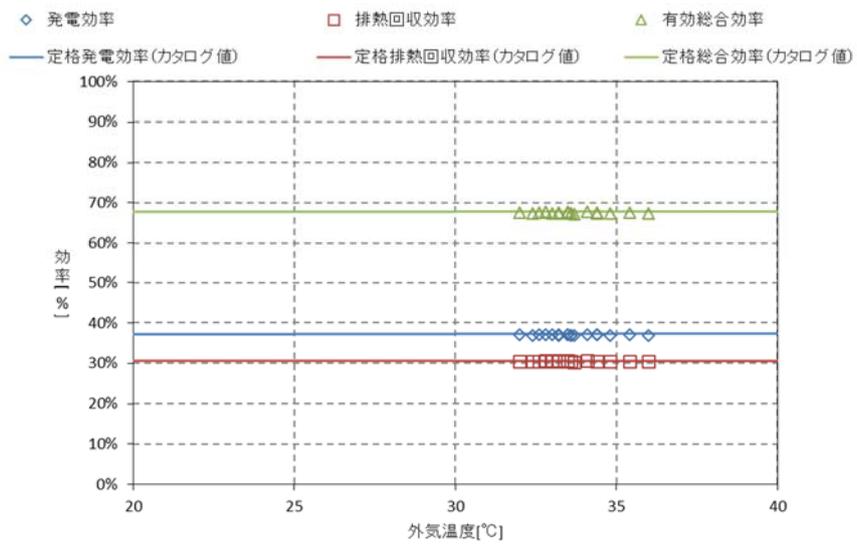


図 4-3.7 ID10：夏期の効率値分布

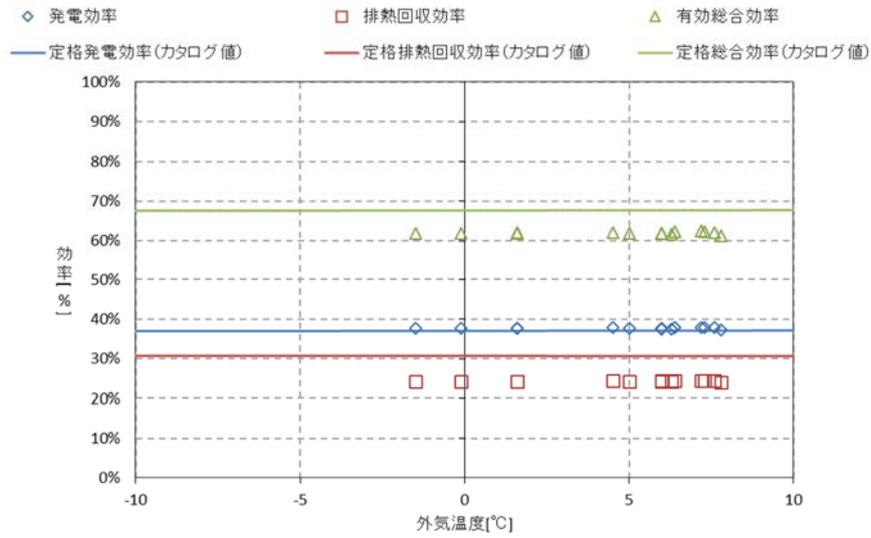


図 4-3.8 ID10 : 冬期の効率値分布

表 4-3.8 ID08,10 : 夏期、冬期の実測効率とカタログ効率の比較

	ID08		ID10	
	発電	排熱回収	発電	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%	29.3%	37.0%	30.5%
冬期実測効率	36.9%	25.6%	37.7%	24.3%

4-3.4. CGU起動停止特性分析

4-3.4.1. 分析概要

ベースプログラムではCGUの稼働状態を考慮した性能評価計算は実装していない。しかし、発電効率や排熱回収効率等の効率値および補機動力の割合等はCGSの稼働状態に応じて変化するため、CGUの稼働状態はエネルギー消費量に影響すると考えられる。よってここでは、CGUの運転段階を起動動作、運転、停止動作、待機の各段階に分け、計測間隔1分の実測値で分析する。

各運転段階の判定の条件の概念図を図4-3.9に示す。起動動作段階及び停止動作段階の定義は下記の通りである。

- ・ 起動動作段階：待機段階から発電を開始し安定的に発電および排熱出力が得られるようになるまでの過渡的な段階。起動動作の開始時刻は、発電出力、排熱出力、ガス消費量のいずれかが3kWを超え動作を開始する時刻としている。起動動作の終了時刻は、発電出力、排熱出力、ガス消費量の全てが概ね定格出力に到達する時刻としている。
- ・ 停止動作段階：CGUから安定的に発電および排熱が得られている状態から発電出力が低下し始め、発電出力0kWの待機段階となるまでの過渡的な段階。停止動作の開始時刻は、発電出力、排熱出力、ガス消費量のいずれかが定格出力を下回る時刻で、停止動作終了時刻は発電出力、排熱出力、ガス消費量の全てが3kWを下回り動作を停止する時刻としている。

※ID08にて運転スケジュール時間外等の待機段階にも2kW程度の発電出力がみられたため、3kWを起動動作開始、停止動作終了の基準としている。

各要素の集計条件を表4-3.9に示す。また発電出力、排熱出力、ガス消費量それぞれにおいて、定格出力に対する動作時間中の出力の比を η として分析した。起動動作段階と停止動作段階それぞれの η の定義を以下に示す。

$$\eta_{\text{start}} = \frac{\text{起動動作時間中の積算出力}}{\text{起動動作時間} \times \text{定格出力 R}}$$
$$\eta_{\text{stop}} = \frac{\text{停止動作時間中の積算出力}}{\text{停止動作時間} \times \text{定格出力 R}}$$

但し、定格出力 R=CGU1台のカタログ値×CGU稼働台数としている。

CGU稼働台数の判定条件は以下の通りである。

- ・ 起動動作段階におけるCGU稼働台数：待機段階から最初に起動するCGUの発電出力開始時刻から1時間のうち、発電出力3kW以上の時間が5分以上継続するCGUの台数
- ・ 停止動作段階におけるCGU稼働台数：待機段階となる前に最後に停止するCGUの発電出力停止時刻より前の1時間のうち、発電出力3kW以上の時間が5分以上継続するCGUの台数

起動動作時間、停止動作時間については、発電出力、排熱出力、ガス消費量のうち動作開始時刻の期間平均値が最も早い時刻から最も遅い時刻までの時間として算出している。

効率については、動作時間中の積算ガス消費量に対する積算発電出力を発電効率、動作時間中の積算ガス消費量に対する積算排熱出力を排熱回収効率として算出している。

分析対象物件は実測調査を行った物件のうち、1分間隔で計測している2物件である。定格発電量 370kW の ID08 と、定格発電量 35kW マイクロコージェネレーションの ID02 でそれぞれ分析を行う。

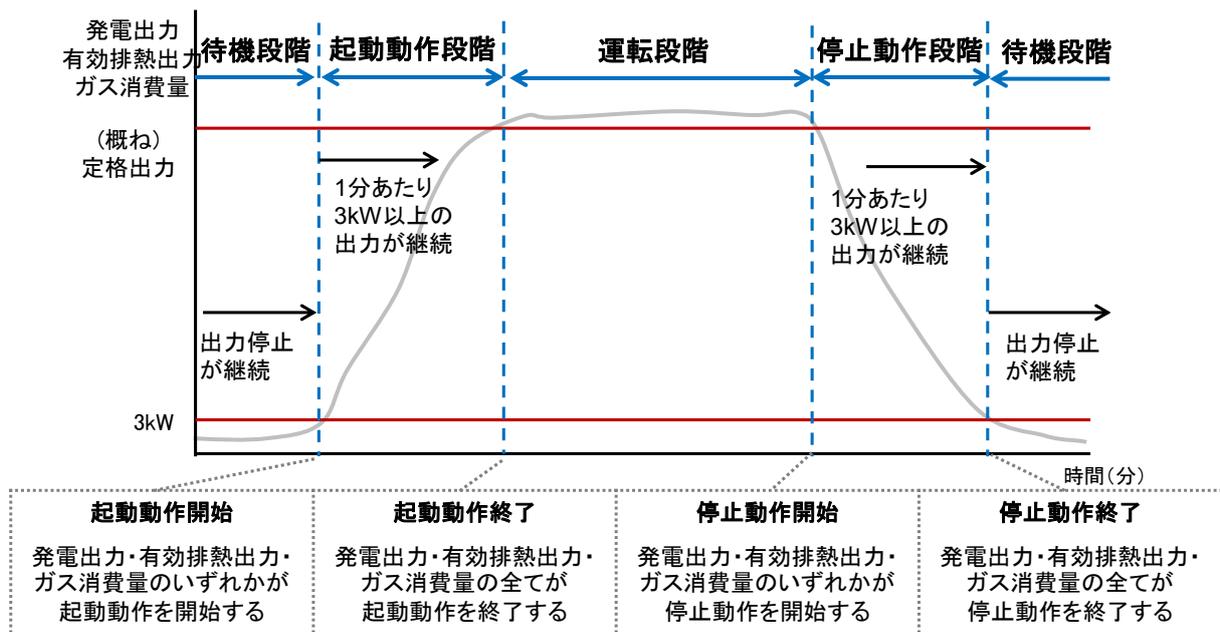


図 4-3.9 各運転段階判定条件の概念図

表 4-3.9 起動動作と停止動作の判定条件

起動動作判定条件	
起動動作開始	発電出力・排熱出力・ガス消費量のいずれかが動作を開始する
発電出力開始	3kW以下が30分継続し、その後3kW以上が30分継続する時刻
排熱出力開始	3kW以上が5分間継続する
ガス消費開始	3kW以上が5分間継続する
起動動作終了	発電出力・排熱出力・ガス消費量の全てが動作を終了する
発電出力定格到達	実測値とその5分の移動平均がともに定格出力Rを超える
排熱出力定格到達	実測値とその5分の移動平均がともに定格出力Rを超える
ガス消費量定格到達	5分の移動平均が定格を超える

停止動作判定条件	
停止動作開始	発電出力・排熱出力・ガス消費量のいずれかが動作を開始する
発電停止動作開始	実測値とその5分の移動平均がともに定格出力Rを下回る
排熱停止動作開始	実測値とその5分の移動平均が定格出力Rを下回り減少し続ける
ガス消費停止動作開始	実測値と5分の移動平均が定格を下回る
停止動作終了	発電出力・排熱出力・ガス消費量の全てが動作を終了する
発電出力終了	3kW以上が30分継続し、その後3kW以下が30分継続する時刻
排熱出力終了	3kW以下が5分間継続する
ガス消費終了	3kW以下が5分間継続する

4-3.4.2. 分析結果

1) 起動動作段階

A) 代表日の運転状況

■ 負荷率の推移

ID08 の起動動作段階における年間代表日の CGU1 の発電出力、ガス消費量、有効排熱出力、受電電力及び、CGU1 の負荷率の推移を図 4-3.10、CGU 複数台稼働時の運転状況を図 4-3.10 に示す。また、ID02 の年間代表日の発電出力、有効排熱出力及び負荷率の推移を図 4-3.11、CGU 複数台稼働時の運転状況を図 4-3.13 に示す。これらは発電出力開始時刻を 0 分としている。ID02 では受電電力、ガス消費量のデータが得られていないため示していない。図 4-3.10 より、ID08 では発電出力開始の約 5 分前からガスが投入される。発電出力開始の約 10 分後に有効排熱出力の上昇が見られ、発電出力開始の約 20 分後に安定する。CGU1 の負荷率は 10 分後には 100% に到達している。図 4-3.11 より、ID02 の発電出力は 3 分程度で定格出力に到達し、負荷率も 3 分程度で 100% に到達する。また、発電出力開始から 5 分後に有効排熱出力の上昇がみられ、発電出力開始の約 20 分後に安定する。図 4-3.12 より ID08 複数台稼働時は、2 台目の CGU は 1 台目の CGU の起動動作中に発電出力を開始している。図 4-3.13 より、ID02 の CGU 複数台稼働時は、各 CGU が 5~10 分の間隔で段階的に起動している。

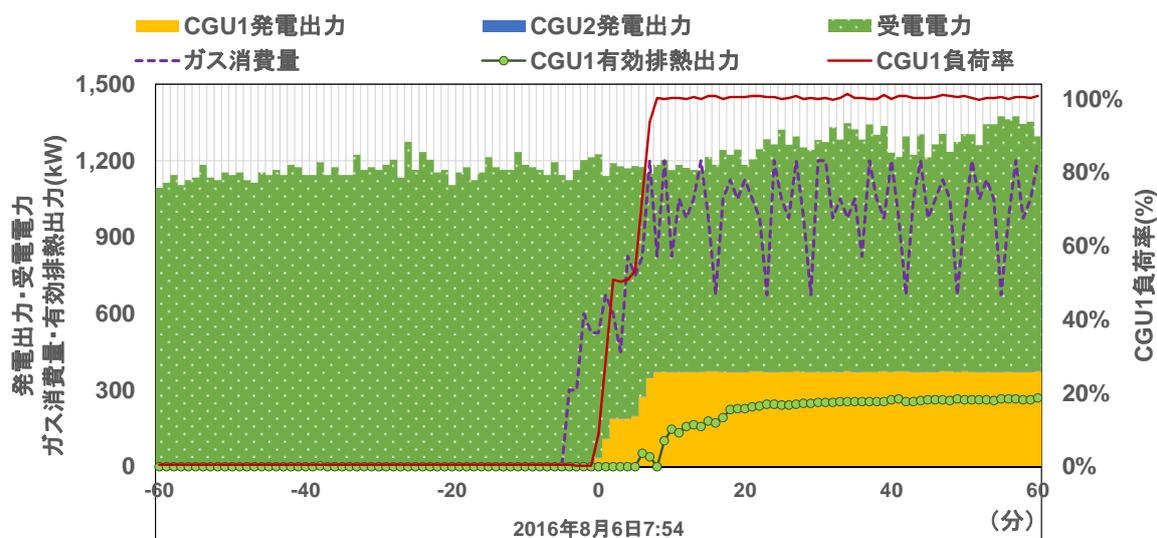


図 4-3.10 ID08 : 負荷率の推移 (CGU1 単独での起動動作段階)

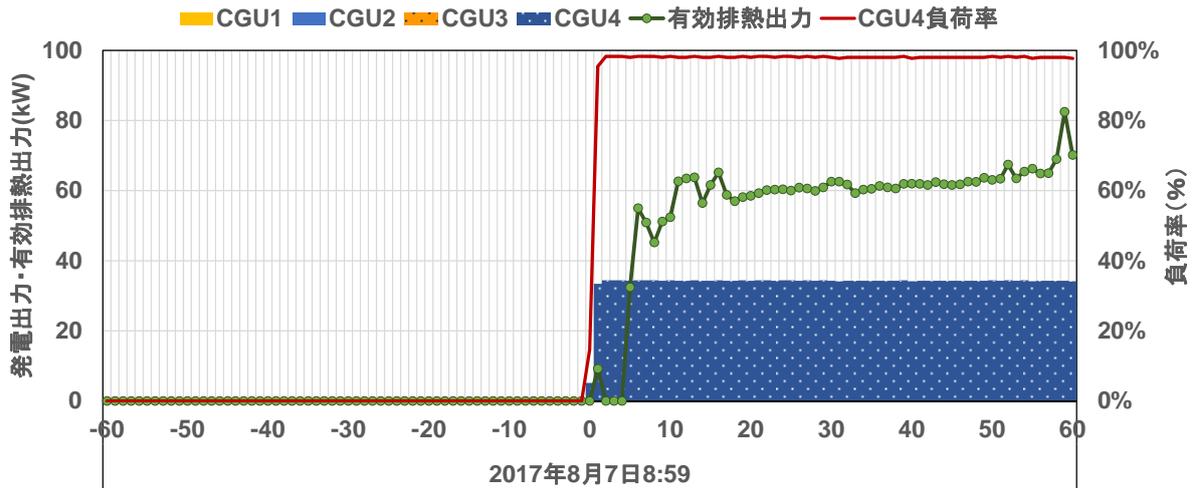


図 4-3.11 ID02：負荷率の推移（CGU4 単独での起動動作段階）

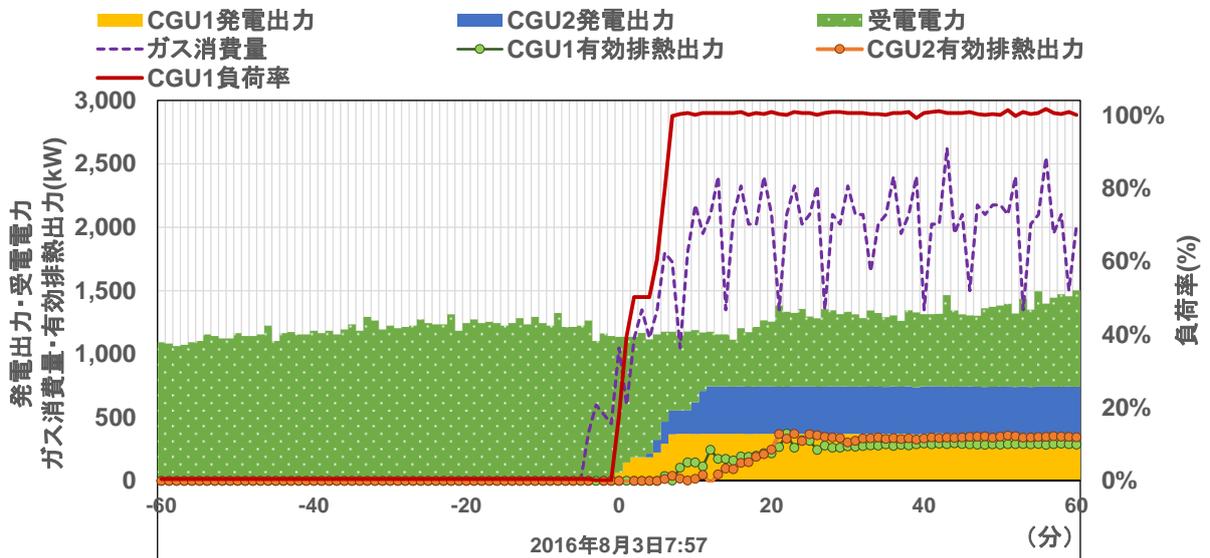


図 4-3.12 ID08：複数台稼働時の運転状況

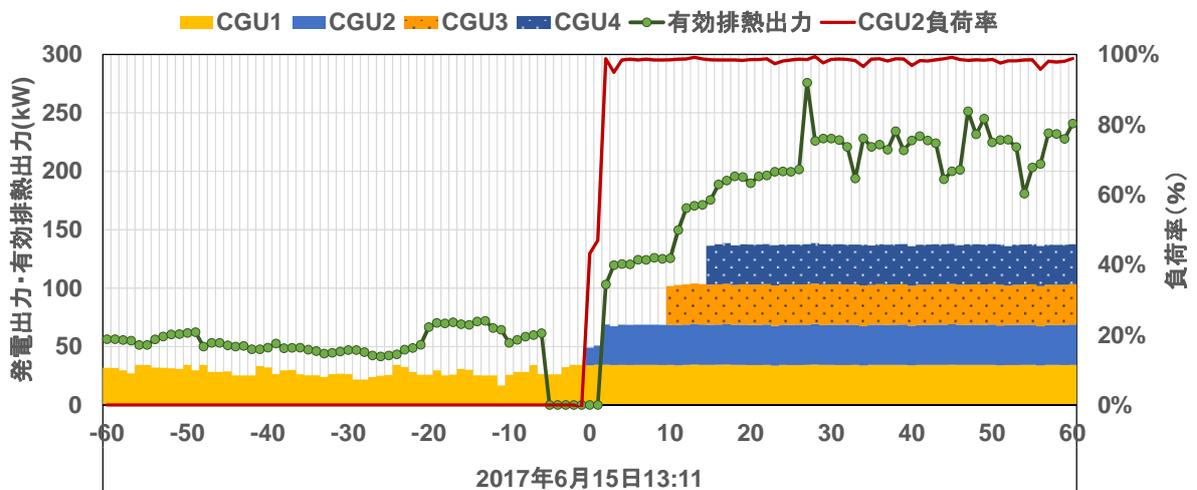


図 4-3.13 ID02：複数台稼働時の運転状況

■ 出口温度の推移

ID08の年間代表日の発電出力、ガス消費量、有効排熱出力及びCGU1出口温度の推移を図4-3.14に示す。また、ID02の冬期代表日の発電出力、有効排熱出力及び排熱回路系出口温度の推移を図4-3.15、図4-3.16に示す。図4-3.14より、ID08では発電開始の約10分後に出口温度が線形に上昇し始め、20分後に出口温度は85℃に達し安定している。また図4-3.15より、ID02の出口温度は放物線状に上昇し、60分後には70℃に到達している。図4-3.16に示す年間代表日では、発電開始後出口温度は放物線状に上昇して約50℃に到達し、約45分後CGU2が起動し始めると同時に40℃程度まで下がっている。排熱利用先が変化したためにCGU2が起動し、CGU1出口温度が変化した可能性がある。

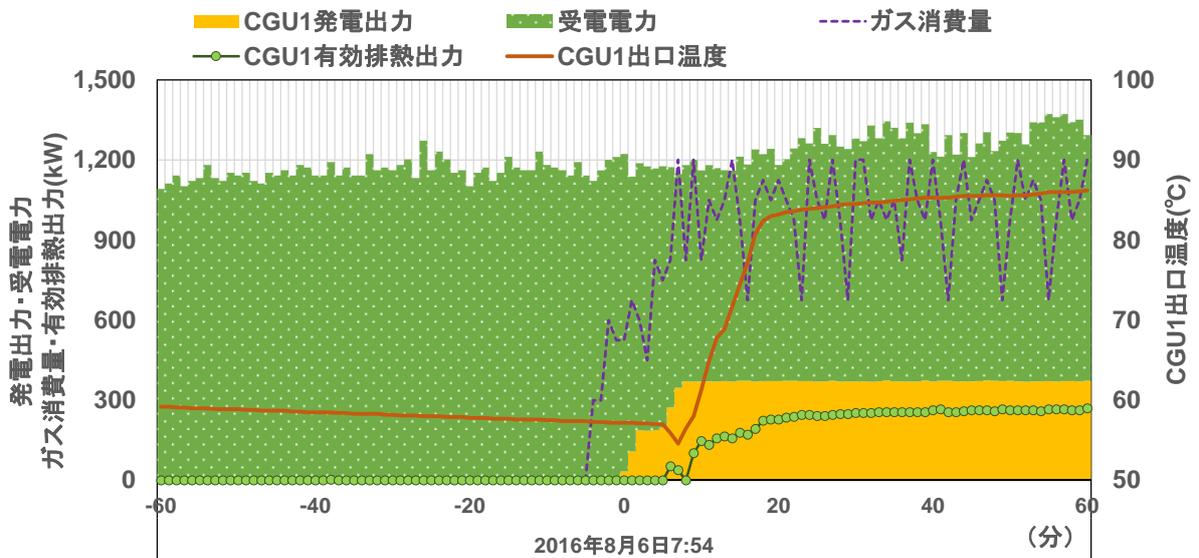


図 4-3.14 ID08 : CGU1 出口温度の推移

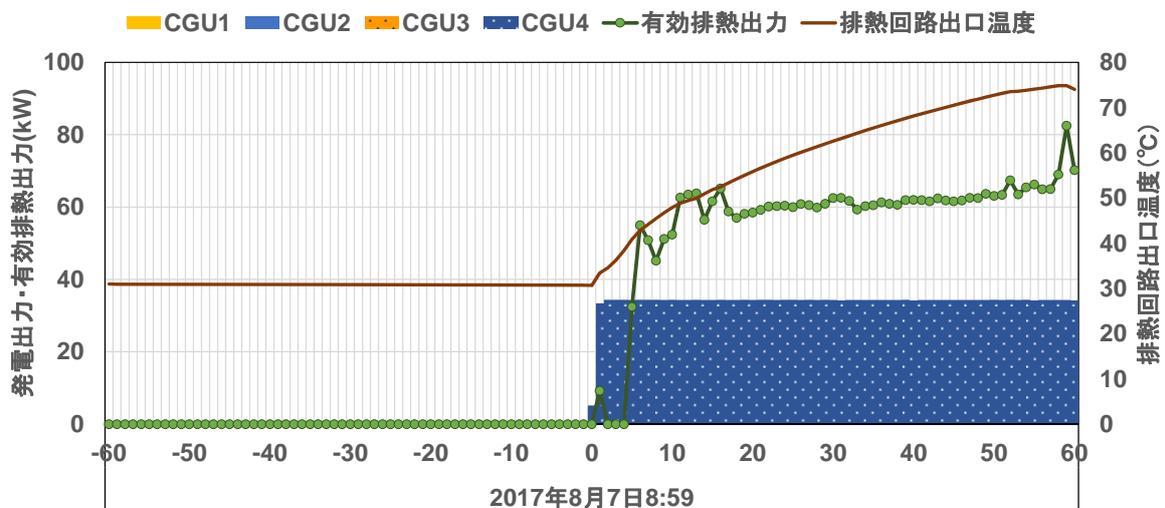


図 4-3.15 ID02 : 排熱回路系出口温度の推移

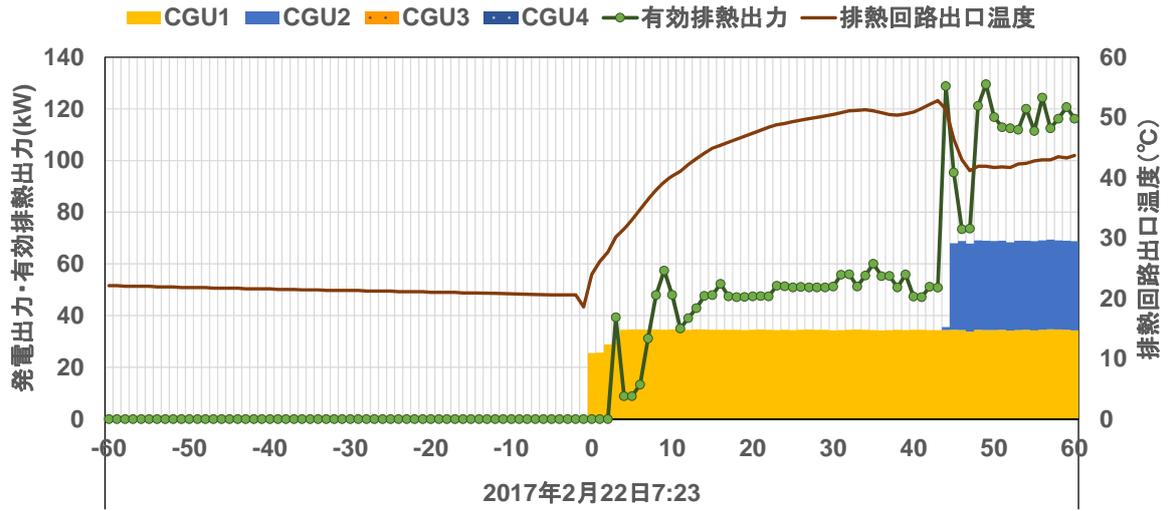


図 4-3.16 ID02 : 排熱回路系出口温度の推移

■ 排熱回路流量の推移

ID08 の代表日の発電出力、受電電力、有効排熱出力、ガス消費量及び排熱回路流量の推移を図 4-3.17 に示す。図 4-3.17 より、ID08 では発電開始の約 5 分後に排熱回路流量は上昇し、安定している。また、ID02 の代表日の発電出力、有効排熱出力及び排熱回路流量の推移を図 4-3.18 に示す。図 4-3.18 より ID02 では、発電出力開始とほぼ同時刻に排熱回路流量は瞬時に上昇し、概ね安定している。

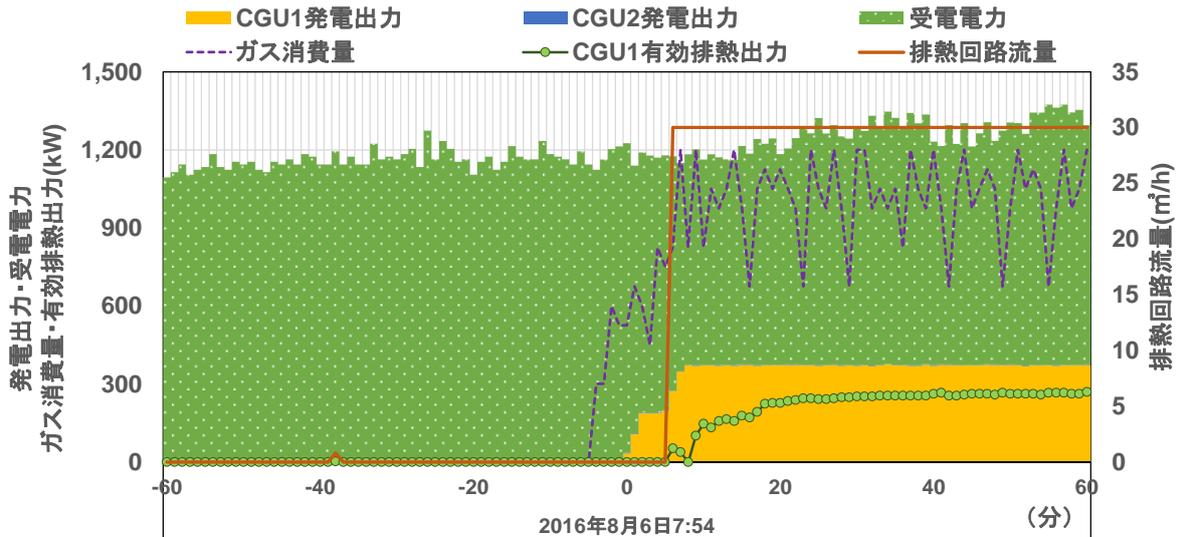


図 4-3.17 ID08 : CGS 排熱回路流量の推移

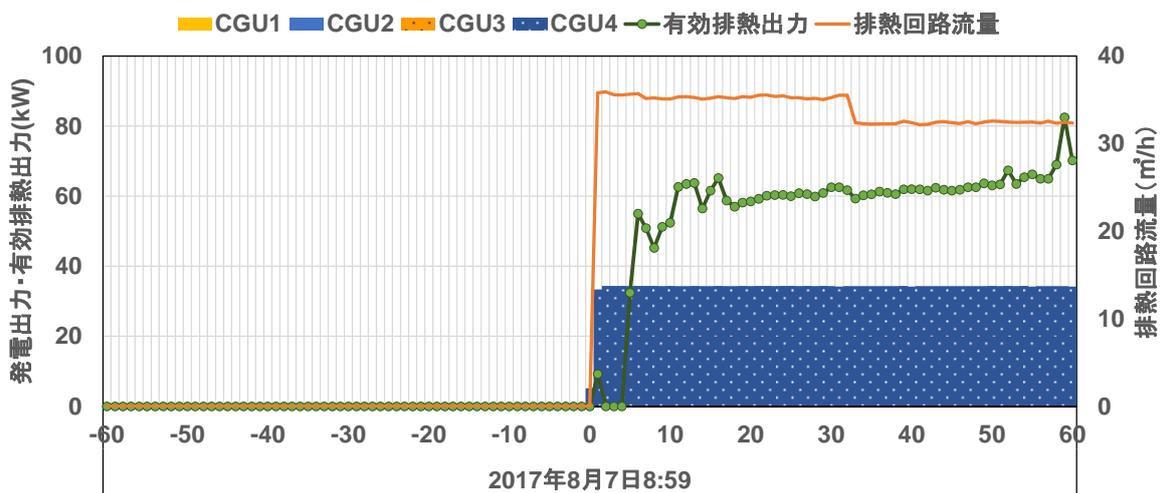


図 4-3.18 ID02 : CGS 排熱回路流量の推移

B) 運転段階別季節別平均出力および動作時間の判定

ID08 の CGU1 台起動時の季節平均の発電出力、有効排熱出力、ガス消費量の推移を図 4-3.19 に示す。これは、夏期 8 月及び冬期 2 月の季節ごとに起動動作段階を含む時間を抽出し、発電出力開始時刻を 0 分として各時刻の出力を季節別に平均した値である。また、稼働台数別平均の発電出力、有効排熱出力、ガス消費量の推移を図 4-3.20 に示す。これは夏期と冬期のうち起動台数ごとに同様に集計しているが、冬期は 2 台起動する場合がみられなかったため、2 台起動する場合は夏期のみの平均を示している。ID08 の季節別起動回数と起動動作時間、 η_{start} と効率値を表 4-3.10 に示す。図 4-3.19 より、1 台起動時の発電出力と有効排熱出力、ガス消費量の推移は夏期と冬期ではほぼ一致している。図 4-3.20 より、発電出力開始からおおよそ 5 分間の 1 台起動時と 2 台起動時の発電出力の挙動は一致している。排熱出力の 1 台起動時と 2 台起動時の挙動は発電出力開始から 10 分後まではおおよそ一致している。ガス消費量は 1 台起動時と 2 台起動時ともに発電出力開始から約 10 分までは上昇し、その後安定している。表 4-3.10 より季節別の平均値では、夏期と冬期ともにガス消費量が出力開始した約 4 分後に発電出力開始し、その約 7 分後に有効排熱出力を開始している。夏期の起動動作時間は約 24 分、冬期は約 28 分であった。出力開始時間の違いから、 η_{start} はガス、発電出力、有効排熱出力の順に低くなっている。同様に、発電効率に比べて有効排熱回収効率が低いのも有効排熱出力開始が発電出力開始に比べて遅いためと考えられる。

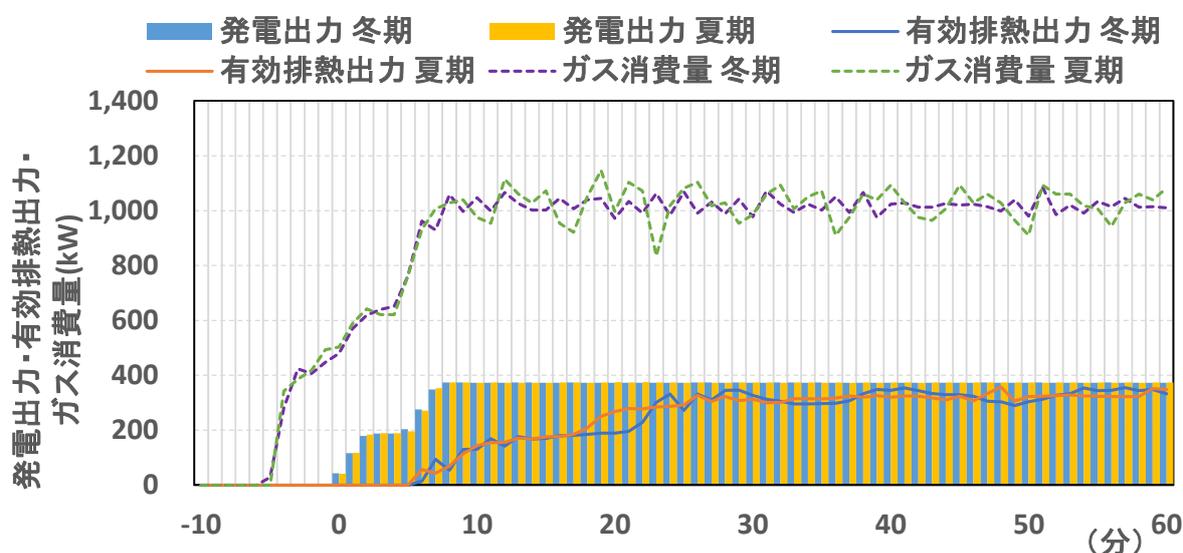


図 4-3.19 ID08 : CGU1 台起動時の起動動作段階における季節平均の発電出力及び有効排熱出力、ガス消費量の挙動

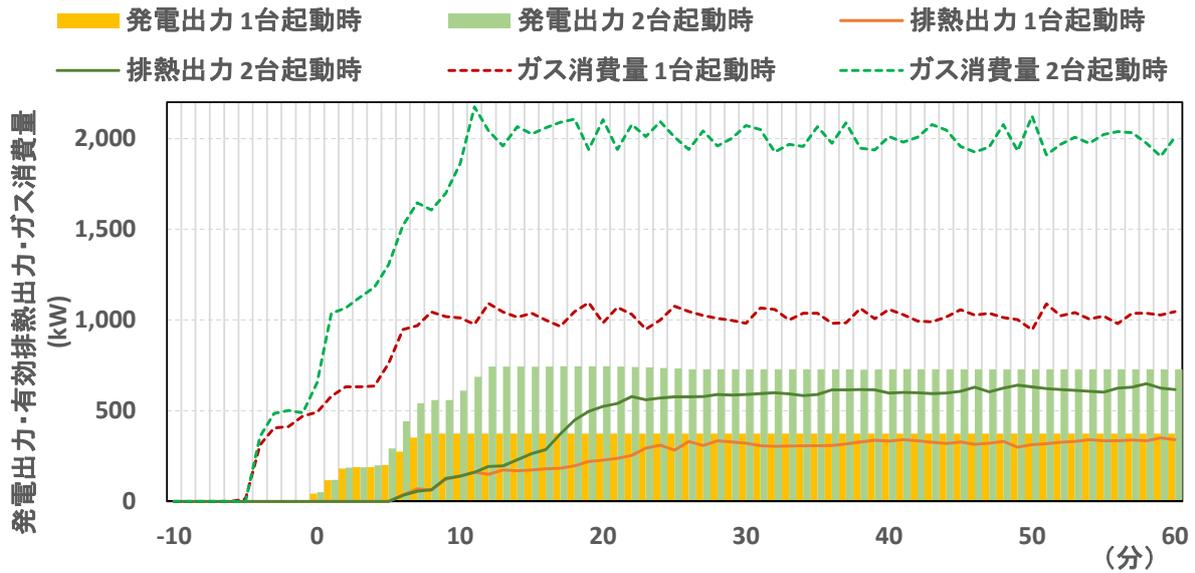


図 4-3.20 ID08：起動動作段階における稼働台数平均の
発電出力及び有効排熱回収効率ガス消費量の挙動

表 4-3.10 ID08：季節別起動動作回数と起動動作時間と η_{start} と各種効率値

	起動動作回数		夏期		冬期	
	夏期	冬期	起動動作時刻		起動動作時刻	
			動作開始(分)	動作終了(分)	動作開始(分)	動作終了(分)
1台起動時	7	28				
2台起動時	22	0				
合計	29	28				
ガス消費量			-4.0	8.7	-4.2	9.2
発電出力			0.0	8.0	0.0	7.9
有効排熱出力			6.6	20.0	7.4	23.6
起動動作時間			24.0		27.8	

※発電出力開始=0(分)

	η_{start}		各種効率値	
	夏期	冬期	夏期	冬期
ガス消費量	85%	86%		
発電出力	80%	84%	発電効率	31%
有効排熱出力	40%	45%	有効排熱回収効率	11%
			総合効率	42%
			負荷率	69%

ID08の起動動作段階における起動台数別季節平均のCGU1出口温度と排熱回路流量の推移を図4-3.21に示す。発電出力開始時刻を0分としている。図4-3.21より、1台起動時の夏期と冬期のCGU1出口温度は発電出力開始からおおよそ20分で75°Cに到達している。夏期2台起動時のCGU1出口温度は、発電出力開始から約20分で90°C程度まで上昇し安定している。夏期2台起動時の排熱回路流量は夏期1台起動時のおおよそ2倍になっている。いずれの場合も発電出力開始から約5分後に即座に排熱回路流量は上昇し、安定する。

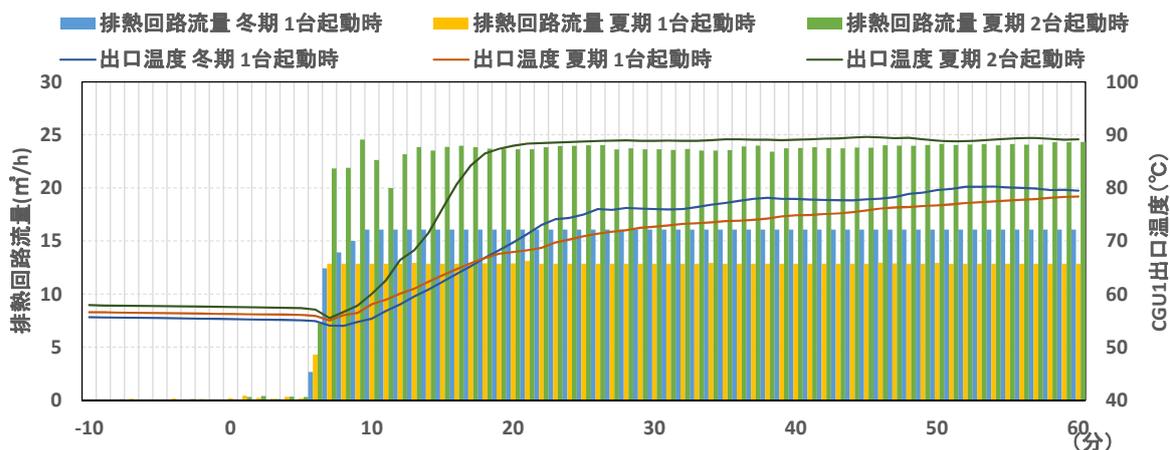


図 4-3.21 ID08: 起動動作段階における稼働台数別季節平均の排熱回路流量及びCGU1出口温度の推移

ID02 の季節平均の発電出力と有効排熱出力の推移を図 4-3.22 に示す。これらは 4 台合計の期間平均値である。また、ID02 の起動動作回数と起動動作時間、 η_{start} を表 4-3.11 に示す。図 4-3.22 より、発電出力開始から約 5 分間は発電出力、有効排熱出力の推移は夏期と冬期でほとんど一致している。それ以降は夏期の発電出力、有効排熱出力に比べて冬期の発電出力、有効排熱出力の方が低くなっている。発電出力の夏期と冬期の差は、表 4-3.11 の稼働台数別起動動作回数に示すように稼働台数が異なるためと考えられる。有効排熱出力は放熱による熱損失の影響が考えられる。表 4-3.11 より、ID02 の夏期平均値では、発電出力開始から約 3 分後に有効排熱出力を開始し、発電出力開始から約 20 分で発電出力、排熱出力の定格値に到達している。冬期平均値では発電開始の約 4 分後に有効排熱出力開始し、発電出力開始の約 30 分後に定格出力に到達している。また、ID08 と同様に、発電出力に比べて有効排熱出力の η_{start} が低くなっている。

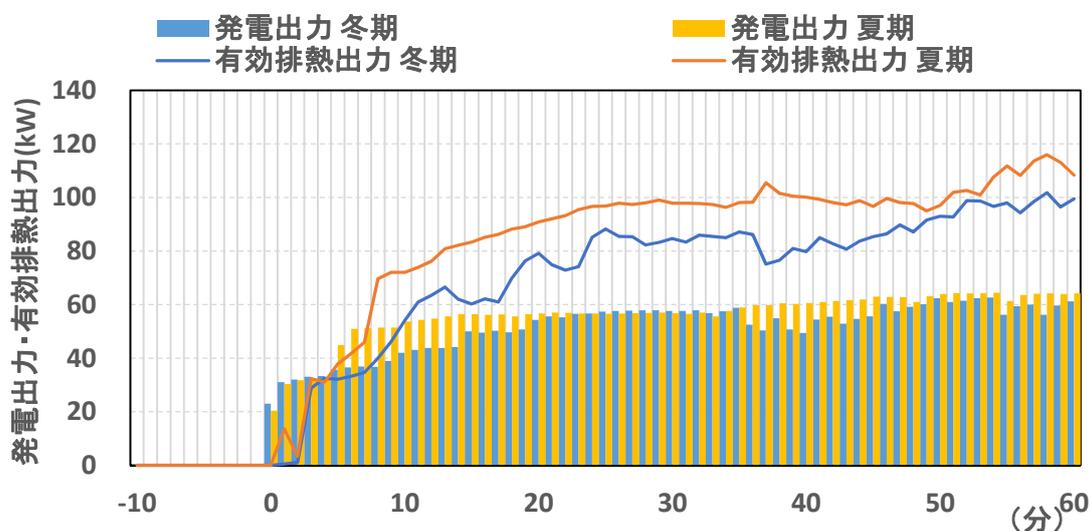


図 4-3.22 ID02：起動動作段階における季節別平均の発電出力及び有効排熱出力の挙動

表 4-3.11 ID02：起動動作回数と起動動作時間と η_{start}

	起動動作回数		夏期		冬期	
	夏期	冬期	起動動作時刻 動作開始(分) 動作終了(分)		起動動作時刻 動作開始(分) 動作終了(分)	
1台起動時	6	1	0.0	17.6	0.0	32.1
2台起動時	16	21	2.9	15.4	4.4	30.3
3台起動時	6	6	17.6		32.1	
4台起動時	0	0	※発電出力開始=0(分)			
合計	28	28				

	η_{start}	
	夏期	冬期
発電出力	92%	75%
有効排熱出力	51%	59%

ID02 の起動動作段階における季節別平均の排熱回路流量の推移を図 4-3.23、排熱回路出口温度の推移を図 4-3.24 に示す。図 4-3.23 より、排熱回路流量は起動台数や季節に関わらず、発電出力開始とほぼ同時に開始し、すぐに CGU4 台の排熱回路流量の定格値 36 m³/h 程度で安定する。図 4-3.24 より、夏期の排熱回路出口温度は放物線上に上昇し、約 50 分で定格値の 80℃に到達しているが、冬期の排熱回路出口温度は約 60 分で 50℃程度までしか上昇していない。ID02 の冬期は主に給湯に排熱を利用しているため、夏期と比べて冬期は排熱回路温度が低いまま利用していると考えられる。

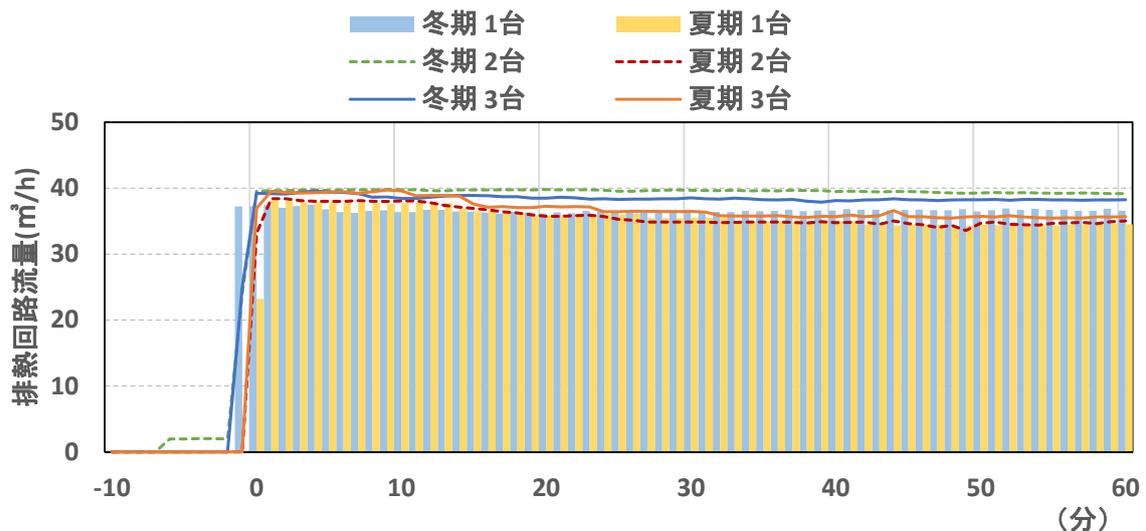


図 4-3.23 ID02 : 起動動作段階における起動台数別季節平均の排熱回路流量の推移

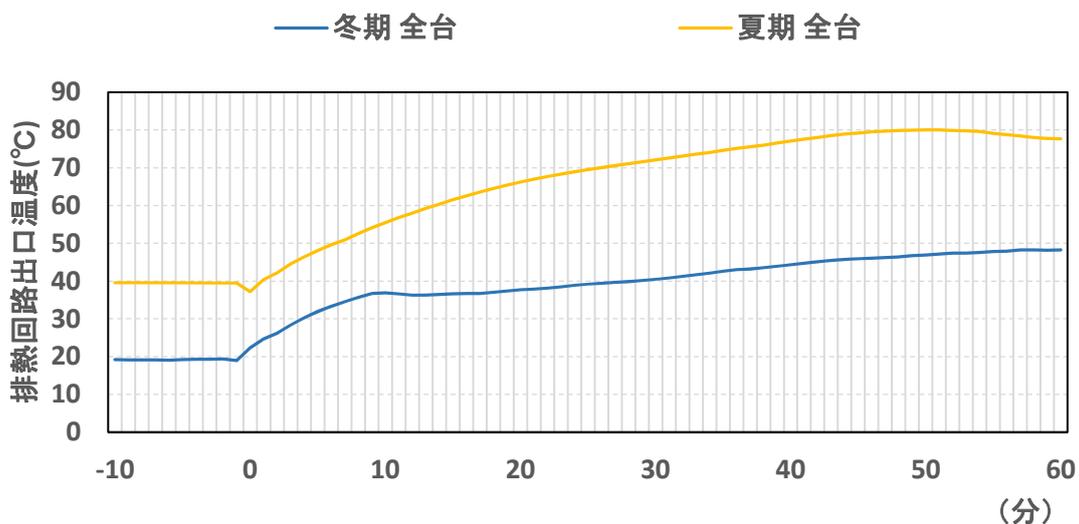


図 4-3.24 ID02 : 起動動作段階における季節平均の排熱回路出口温度の推移

C) 動作時間と外気温度との相関関係

ID08 の起動動作時間及び各起動動作判定時刻、 η_{start} 、各効率と外気温度の相関を図 4-3.25 に示す。各起動動作判定時刻は、発電出力開始時刻を 0 分として各要素の動作判定時刻の分布を示している。また、起動動作段階における動作時間、 η_{start} 、各効率の年間平均値も表 4-3.12 に示す。図 4-3.25 より、起動動作時間は外気温度が低いときの方が数分長い。また、ガス消費量開始時刻及び有効排熱出力開始時刻は外気温度に関わらずほぼ一定に分布している。各種効率と外気温度との相関はあまり見られない。

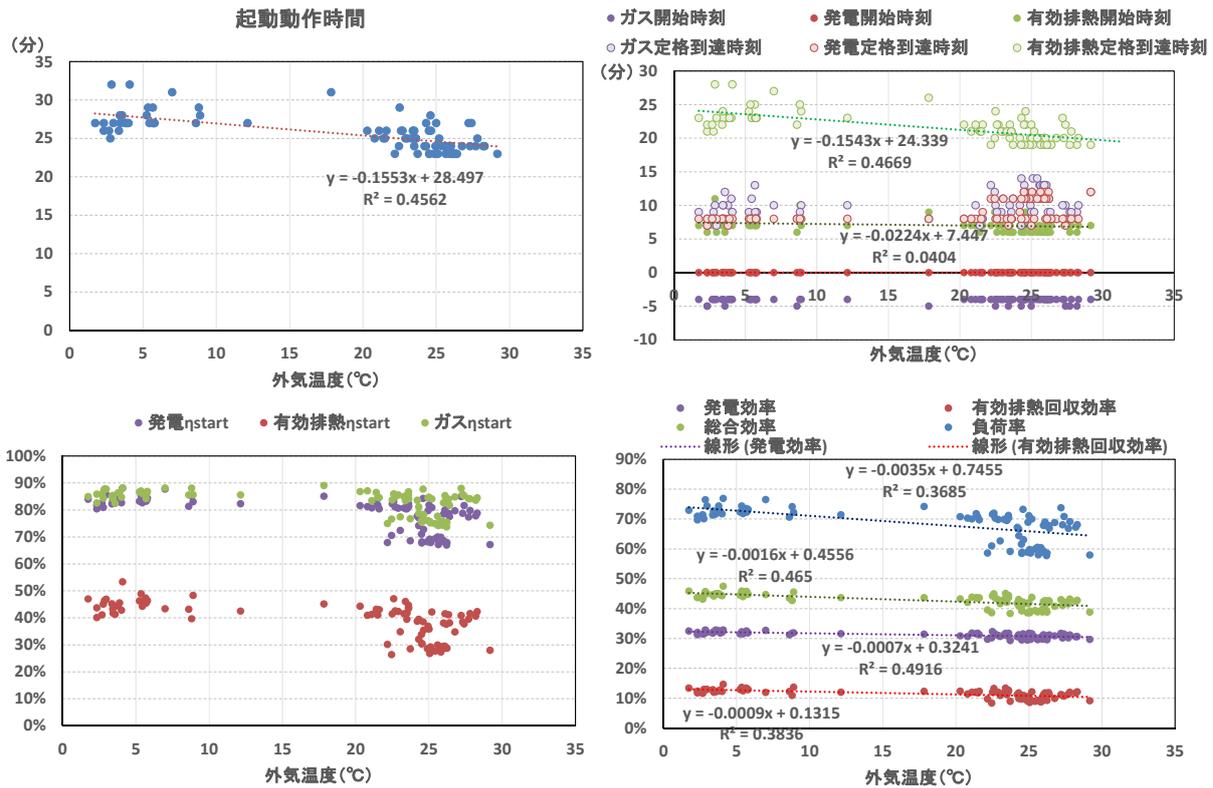


図 4-3.25 ID08 : 起動動作時間及び各起動動作判定時刻、 η_{start} 、各効率と外気温度の相関

表 4-3.12 ID08 : 起動動作段階における動作時間、 η_{start} 、各効率 (年間平均値)

ID08	起動動作時刻	
	動作開始(分)	動作終了(分)
ガス消費量	-4.1	9.0
発電出力	0.0	8.0
有効排熱出力	7.0	21.8
起動動作時間	25.9	

※発電出力開始=0(分)

ID08	η_{start}
ガス消費量	85%
発電出力	82%
有効排熱出力	42%

ID08	各種効率値
発電効率	32%
有効排熱回収効率	12%
総合効率	44%
負荷率	71%

次に ID02 の起動動作時間及び各起動動作判定時刻、 η_{start} と外気温度の相関を図 4-3.26 に示す。各起動動作判定時刻は、発電出力開始時刻を 0 分として各要素の動作判定時刻の分布を示している。また、起動動作段階における動作時間及び η_{start} の年間平均値も表 4-3.13 に示す。図 4-3.26 より、起動動作時間はばらつきが大きく、外気温度との相関はあまりみられない。また、有効排熱出力開始時刻は外気温度に関わらずほぼ一定に分布している。発電出力開始時刻に対し約 4 分有効排熱出力開始時刻が遅れているため、有効排熱出力の η_{start} が低く分布している。有効排熱出力の η_{start} と外気温度との相関はあまり見られない。

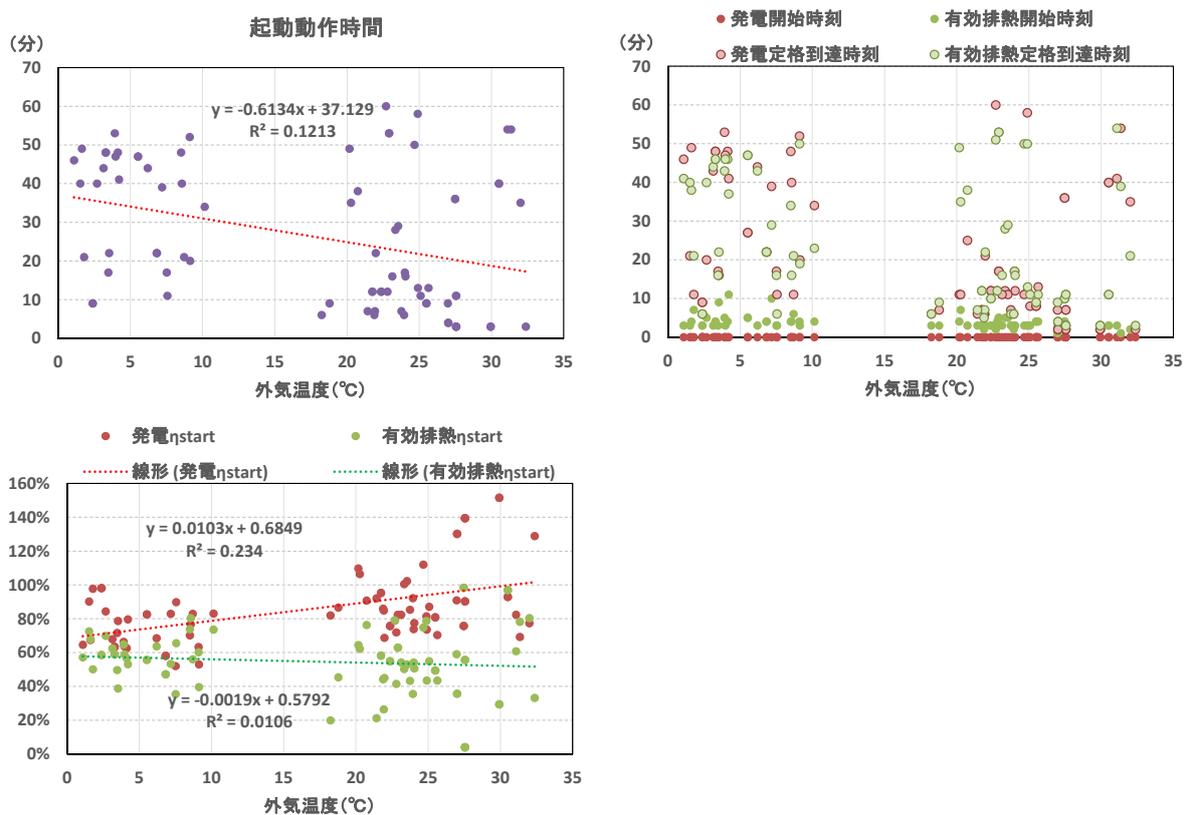


図 4-3.26 ID02 : 起動動作時間及び各起動動作判定時刻、 η_{start} と外気温度との相関

表 4-3.13 ID02 : 起動動作段階における動作時間及び η_{start} (年間平均値)

ID02	起動動作時刻		ID02	η_{start}
	動作開始(分)	動作終了(分)		
発電出力	0.0	24.9	発電出力	83%
有効排熱出力	3.7	22.8	有効排熱出力	55%
起動動作時間	24.9			

※発電出力開始=0

ID08、ID02の起動動作段階における年間平均の動作時間、 η_{start} 、各効率のまとめを表 4-3.14 に示す。表 4-3.14 より、どちらの物件でも発電出力開始時刻に対して有効排熱出力開始の遅れがみられ、ID08 では約7分、ID02 では約4分である。そのため、どちらも発電出力の η_{start} に対して有効排熱出力の η_{start} が小さくなっていると考えられる。

表 4-3.14 ID08,ID02 : 起動動作段階の動作時間、 η_{start} 、各効率 (年間平均値)

	ID08		ID02			η_{start}			各種効率値	
	起動動作時刻		起動動作時刻			ID08	ID02		ID08	ID02
	動作開始(分)	動作終了(分)	動作開始(分)	動作終了(分)						
ガス消費量	-4.1	9.0			ガス消費量	85%		発電効率	32%	
発電出力	0.0	8.0	0.0	24.9	発電出力	82%	83%	有効排熱回収効率	12%	
有効排熱出力	7.0	21.8	3.7	22.8	有効排熱出力	42%	55%	総合効率	44%	
起動動作時間	25.9		24.9					負荷率	71%	

※発電出力開始=0(分)

D) プログラム改良方法の検討

以上の結果より、起動動作段階における発電出力、有効排熱出力、ガス消費量は定格出力での運転段階に比べて出力の低下が大きく、それらの推移は外気温度との相関が小さいということが分かった。また、ガスエンジンとマイクロガスエンジンでは起動動作時間や出力の推移は異なっている。よって、プログラムの改良方法はガスエンジンとマイクロガスエンジンのそれぞれにおいて、定格出力に対する起動動作開始から1時間の出力の比である $\eta_{\text{start.h}}$ の年間平均値を用いて検討する。 $\eta_{\text{start.h}}$ の定義を以下に示す。

$$\eta_{\text{start.h}} = \frac{\text{起動動作開始から1時間の積算出力}}{\text{1時間} \times \text{定格出力 R}}$$

ID08、ID02 の起動動作開始時刻から1時間の、発電出力、有効排熱出力、ガス消費量の定格出力 R に対する比を図 4-3.27、図 4-3.28 に示す。起動動作終了後の台数制御や負荷追従制御など制御方法の影響を取り除くため、起動動作終了後は100%に収束させている。また図 4-3.27、図 4-3.28 に示す1時間の $\eta_{\text{start.h}}$ を表 4-3.15、表 4-3.16 に示す。表 4-3.15 より、ID08 の有効排熱出力の $\eta_{\text{start.h}}$ は67%と低い値になっており、エネルギー消費量への影響があると考えられる。それに加えて、燃料電池の将来の普及をみすえ、起動特性をプログラムに反映する必要がある。よって、定格出力に起動動作開始からの1時間を基にした低減率を乗じることで、プログラムに起動特性を反映させる。

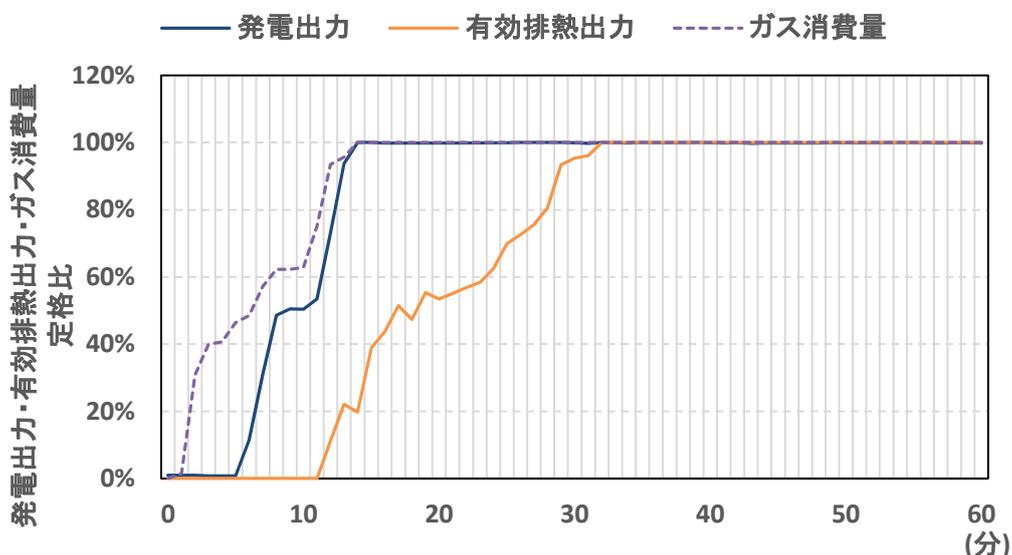


図 4-3.27 ID08 : 起動動作開始時刻から1時間の定格出力 R に対する各出力の比

表 4-3.15 ID08 : 各出力の $\eta_{\text{start.h}}$

発電出力 $\eta_{\text{start.h}}$	有効排熱出力 $\eta_{\text{start.h}}$	ガス消費量 $\eta_{\text{start.h}}$
85.2%	67.7%	90.3%

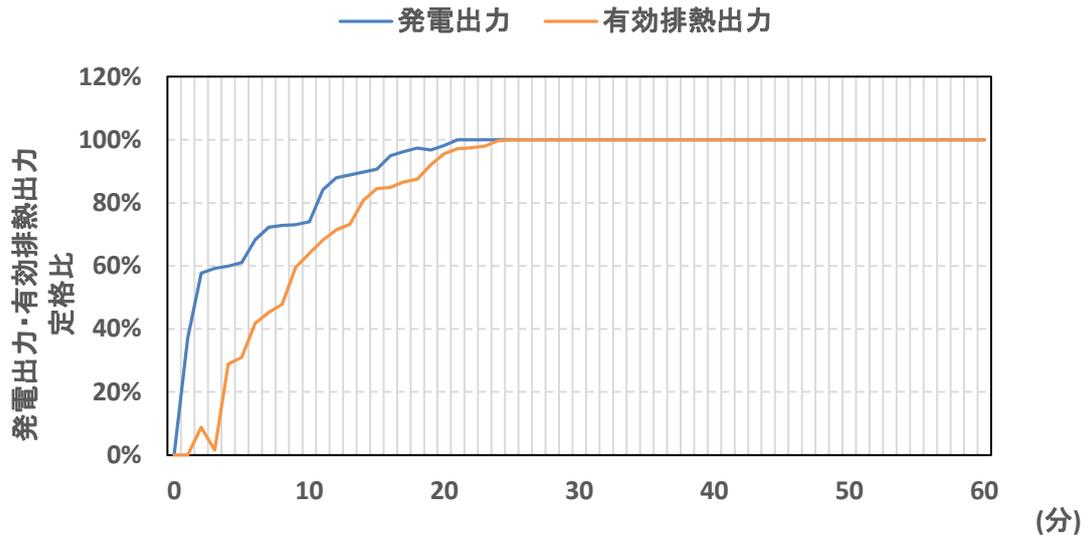


図 4-3.28 ID02 : 起動動作開始時刻から 1 時間の定格出力 R に対する各出力の比

表 4-3.16 ID02 : 各出力の $\eta_{start,h}$

発電出力 $\eta_{start,h}$	有効排熱出力 $\eta_{start,h}$
92.7%	85.8%

2) 停止動作段階

A) 代表日の運転状況

■ 負荷率の推移

ID08 の年間代表日の停止動作段階における CGU1 の発電出力、ガス消費量、有効排熱出力、受電電力及び CGU1 の負荷率の推移を図 4-3.29、複数台稼働時の推移を図 4-3.31 に示す。また、ID02 の年間代表日の発電出力、有効排熱出力、CGU4 の負荷率の推移を図 4-3.30、複数台稼働時の運転状況を図 4-3.32 に示す。これらは発電出力の停止時刻を 0 分としている。図 4-3.29 から、ID08 では発電出力と排熱出力、ガス消費量がおおよそ 5 分かけて出力が低下し始め、ほぼ同時に 0kW になっている。また図 4-3.30 より、ID02 では 30 分程度緩やかに発電出力と排熱出力が低下を続け、瞬間的に 0kW になる。図 4-3.31 から、ID08 の複数台稼働時は、ほぼ同時に CGU2 台の出力が低下し始め、ほぼ同時に 0kW になる。図 4-3.32 より、ID02 では CGU1 が発電出力を停止した約 45 分後に CGU2 が発電出力を停止している。排熱出力は緩やかに低下し続け、CGU2 が発電出力を停止した直後に停止している。ID02 では、複数台が同時に発電出力を停止させ待機段階となる場合は見られなかった。

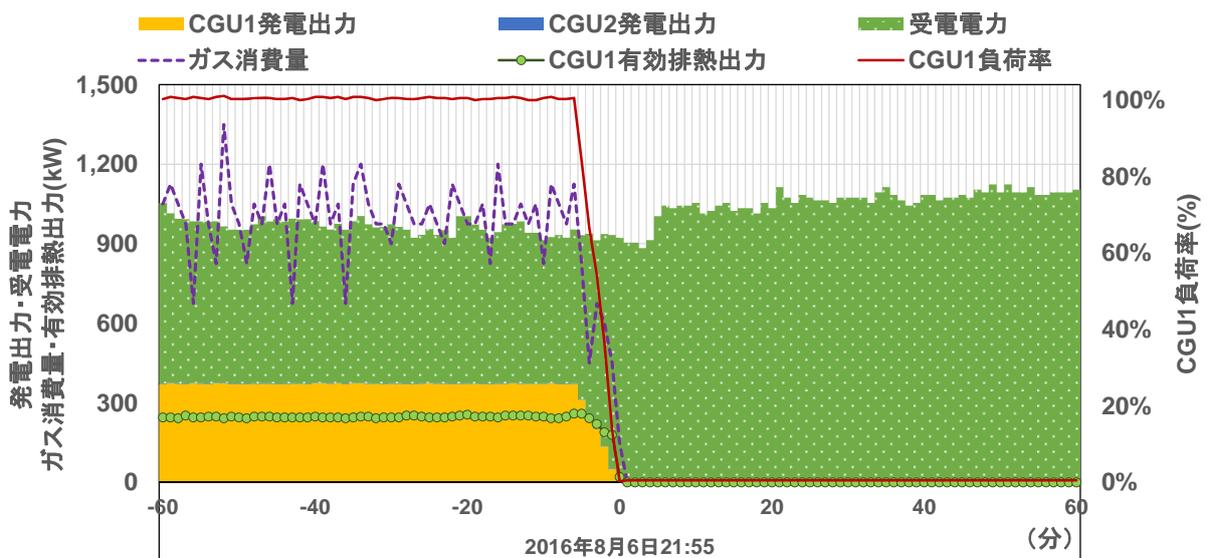


図 4-3.29 ID08 : CGU1 の負荷率の推移 (CGU1 単独での停止動作段階)

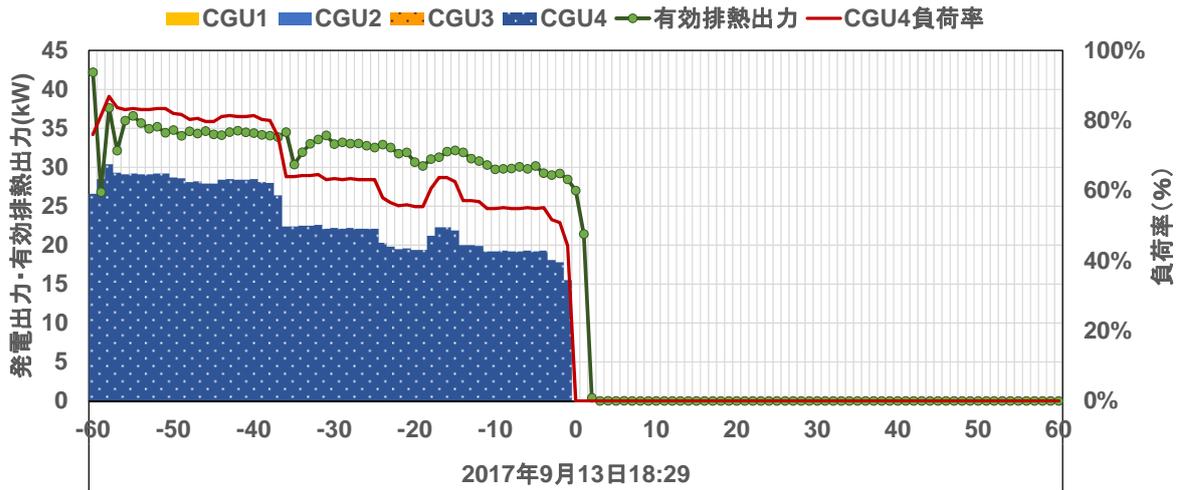


図 4-3.30 ID02 : CGU4 の負荷率の推移 (CGU4 単独での停止動作段階)

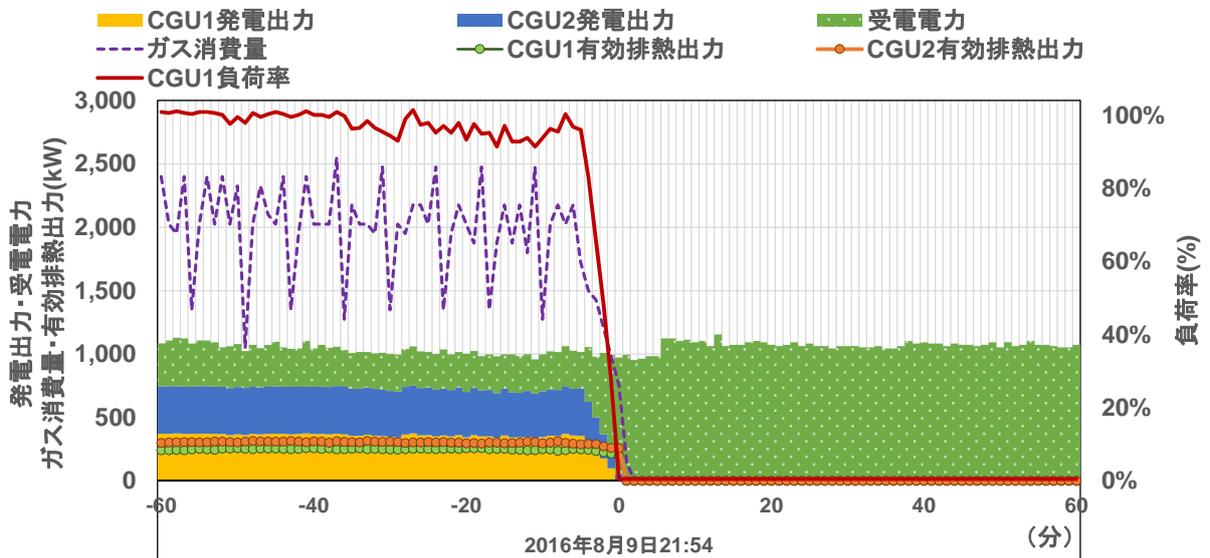


図 4-3.31 ID08 : 複数台稼働時の運転状況

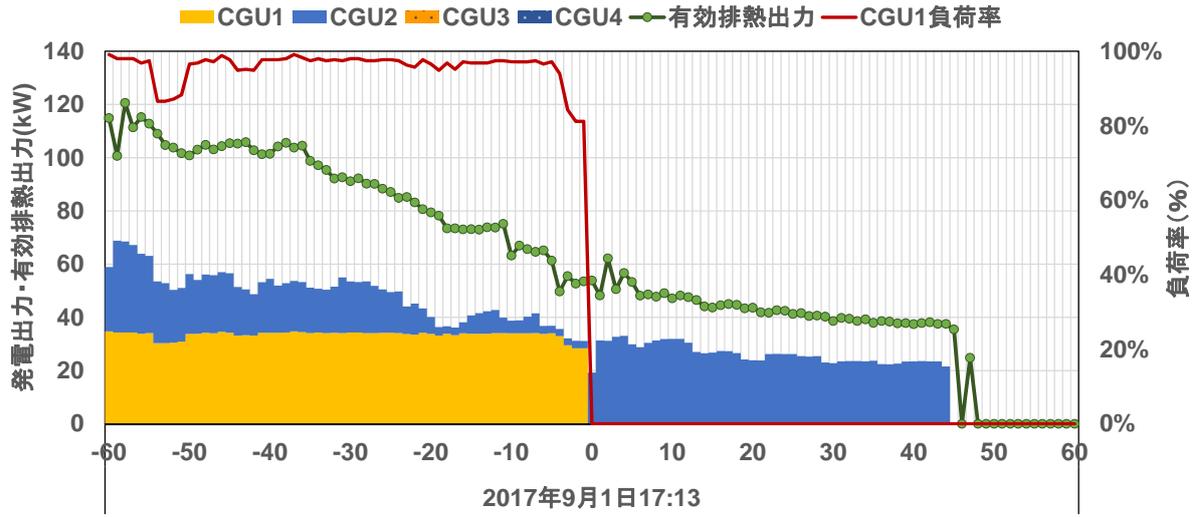


図 4-3.32 ID02 : 複数台稼働時の運転状況

■ 出口温度の推移

ID08 の発電出力、排熱出力、受電電力、ガス消費量及び CGU1 出口温度の推移を図 4-3.33 に示す。また、ID02 の発電出力、排熱出力、排熱回路出口温度の推移を図 4-3.34 に示す。図 4-3.33 と図 4-3.34 より、ID08 と ID02 では発電出力停止後に出口温度は 85℃程度から緩やかに下降する。

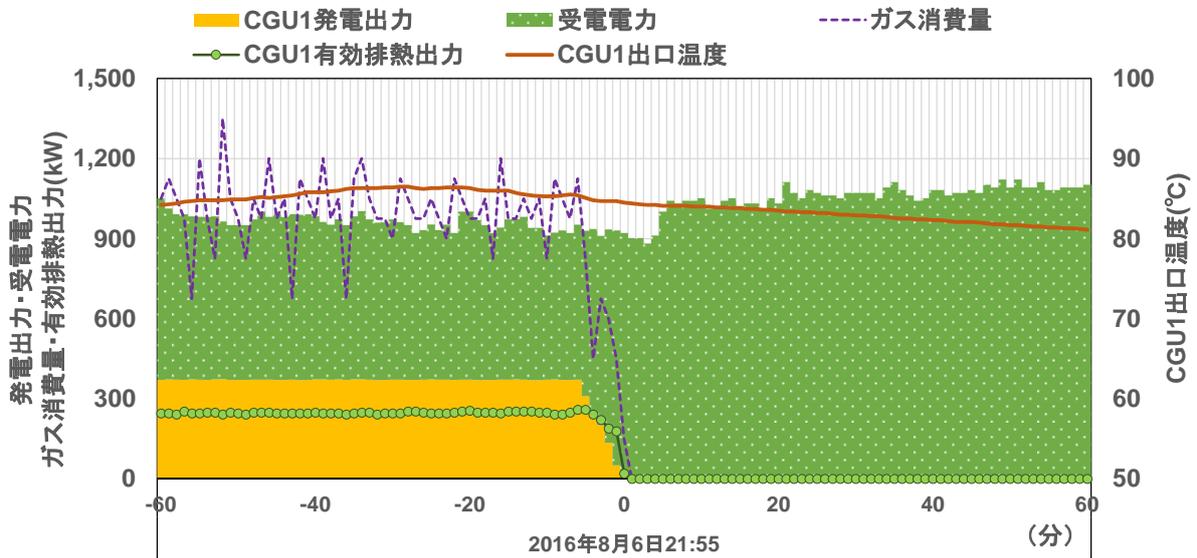


図 4-3.33 ID08 : CGU1 出口温度の推移

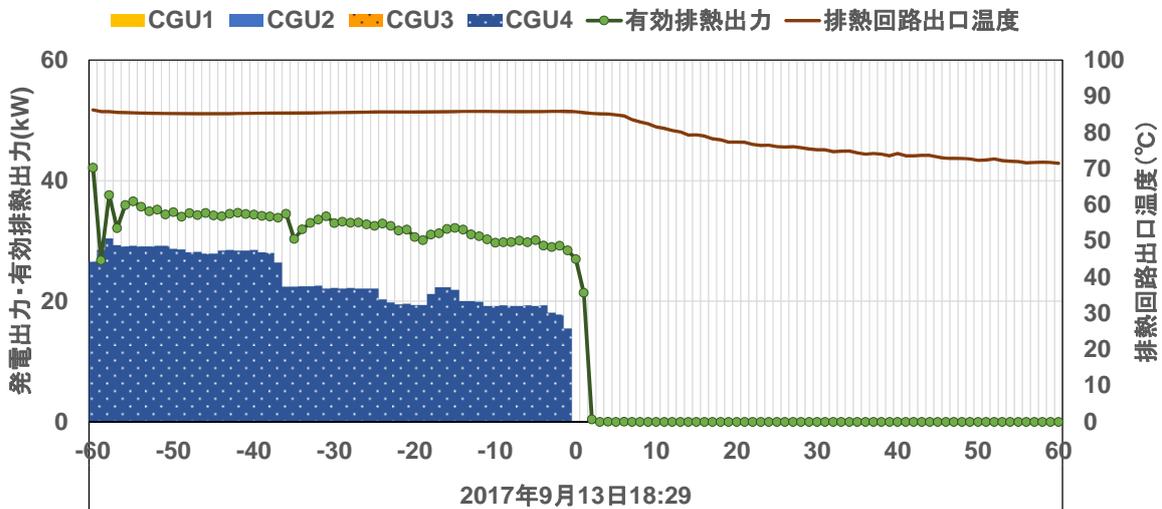


図 4-3.34 ID02 : 排熱回路出口温度の推移

■ 排熱回路系統流量の推移

ID08 の発電出力、有効排熱出力、受電電力、ガス消費量及び排熱回路流量の推移を図 4-3.35 に示す。また ID02 の発電出力、有効排熱出力、排熱回路系統流量の推移を図 4-3.36 に示す。これらは発電出力停止時刻を 0 分としている。図 4-3.35、図 4-3.36 より、ID08 と ID02 ではともに発電出力停止とほぼ同時に排熱回路流量は 0 m³/h になっている。発電出力停止後の排熱を使用する残留運転は行っていないことがわかる。

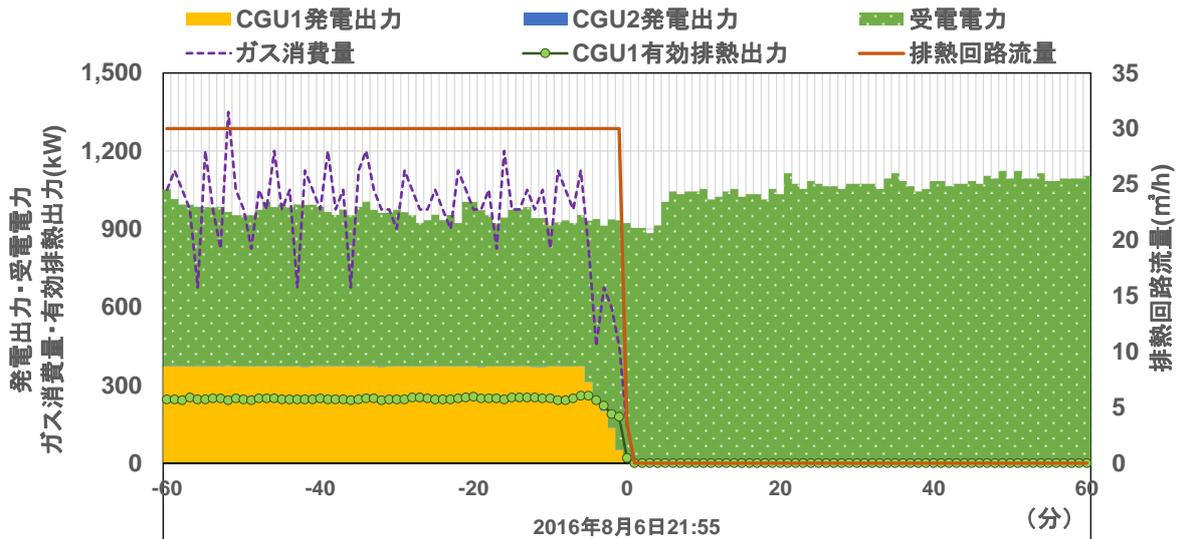


図 4-3.35 ID08：排熱回路流量の推移

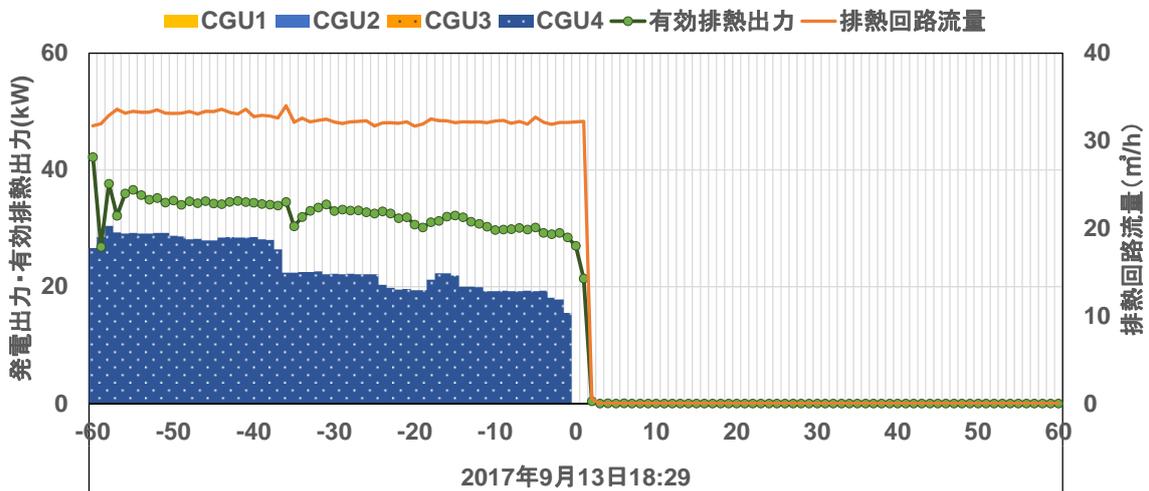


図 4-3.36 ID02：排熱回路流量の推移

B) 運転段階別季節別平均出力および動作時間の判定

ID08 の CGU1 台停止時の季節別平均値の発電出力及び有効排熱出力、ガス消費量の挙動を図 4-3.37 に示す。これは、夏期 8 月及び冬期 2 月の季節ごとに停止動作段階を含む時間を抽出し、発電出力開始時刻を 0 分として各時刻の出力を季節別に平均した値である。また、稼働台数別平均の発電出力及び有効排熱出力、ガス消費量の推移を図 4-3.38 に示す。発電出力と有効排熱出力、ガス消費量は全台合計の値である。起動動作段階と同様に、冬期は CGU2 台が停止する場合はみられなかったため、CGU2 台停止の場合は夏期の平均値としている。また、ID08 の停止動作回数及び停止動作時間、 η_{stop} 、効率値を表 4-3.17 に示す。図 4-3.37 より、夏期と冬期ともに発電出力は出力停止の約 5 分前に定格出力を下回り減少し始める。有効排熱出力、ガス消費量は夏期も冬期もおおよそ同時に減少し始め、発電出力停止とほぼ同時刻に 0kW になる。図 4-3.38 より、CGU1 台停止時と 2 台停止時はともに発電出力停止のおおよそ 5 分前に出力が低下し始め、ほぼ同時刻に 0kW になる。有効排熱出力は発電出力停止のおおよそ 3 分前に出力が低下しはじめ、発電出力停止直後に 0kW になる。ID08 の停止動作の推移に季節変化はあまりないと考えられる。表 4-3.17 より、夏期はまずガス消費量及び発電出力が停止動作を開始し、続いて約 4 分後に排熱出力が停止動作を開始、発電出力が 0kW となった約 1 分後に排熱出力とガス消費量が停止動作を終了するとわかる。停止動作時間は約 6 分であった。冬期はまずガス消費量及び発電出力が停止動作を開始し、続いて約 3 分後に排熱出力が停止動作を開始、発電出力が 0kW となった約 1 分後に排熱出力とガス消費量が停止動作を終了するとわかる。停止動作時間は約 7 分であった。 η_{stop} は、発電出力及びガス消費量に比べて排熱出力が最も高くなっている。これは発電出力とガス消費量の排熱出力の停止動作開始と動作終了が最も遅い時刻であるためと考えられる。

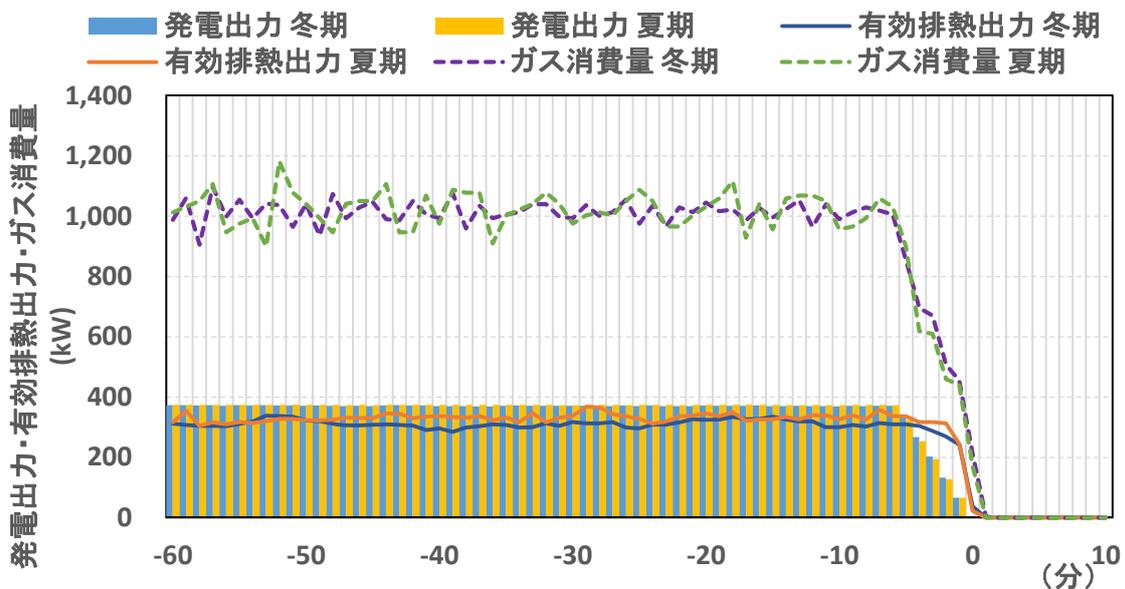


図 4-3.37 ID08 : CGU1 台稼働時の停止動作段階の季節別平均の発電出力及び有効排熱出力、ガス消費量の挙動

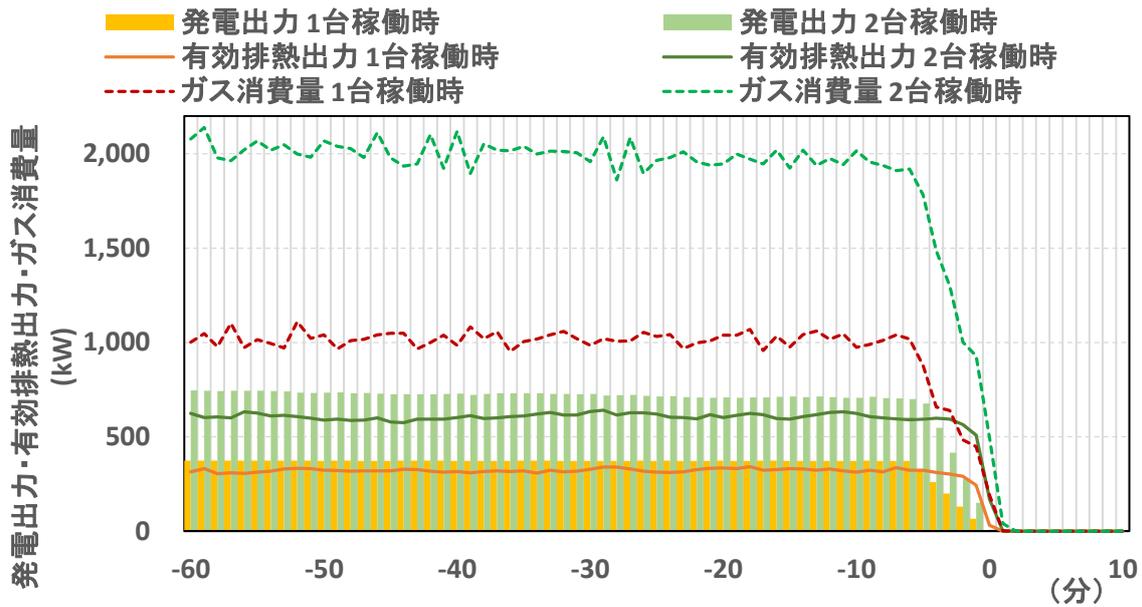


図 4-3.38 ID08 : 停止動作段階の台数別平均の発電出力及び有効排熱出力、ガス消費量の運転状況

表 4-3.17 ID08 : 停止動作回数及び停止動作時間、 η_{stop} 、各種効率値

	停止動作回数		夏期		冬期	
	夏期	冬期	停止動作時刻		停止動作時刻	
			動作開始(分)	動作終了(分)	動作開始(分)	動作終了(分)
1台停止時	8	29	-5.4	0.9	-5.6	1.0
2台停止時	35	0	-4.8	0.0	-5.7	0.0
合計	43	29	-0.4	0.3	-2.7	0.6
			停止動作時間		6.3	
					6.8	

※発電出力終了=0(分)

	η_{stop}		各種効率値	
	夏期	冬期	夏期	冬期
ガス消費量	56%	61%	発電効率	31%
発電出力	53%	59%	有効排熱回収効率	48%
有効排熱出力	78%	83%	総合効率	79%
			負荷率	41%
				47%

ID08 の停止動作段階における季節別平均値の排熱回路流量及び CGU1 出口温度の推移を図 4-3.39 に示す。発電出力停止時刻を 0 分としている。図 4-3.39 より、排熱回路流量は夏期、冬期ともに発電出力停止後に即時停止し残留運転は行っていないことがわかる。夏期と冬期ともに発電出力停止時の排熱回路出口温度は 80°C を超えており、その後 50 分間 80°C 以上を維持している。発電出力停止後も、ある程度の時間は排熱を利用できる可能性がある。

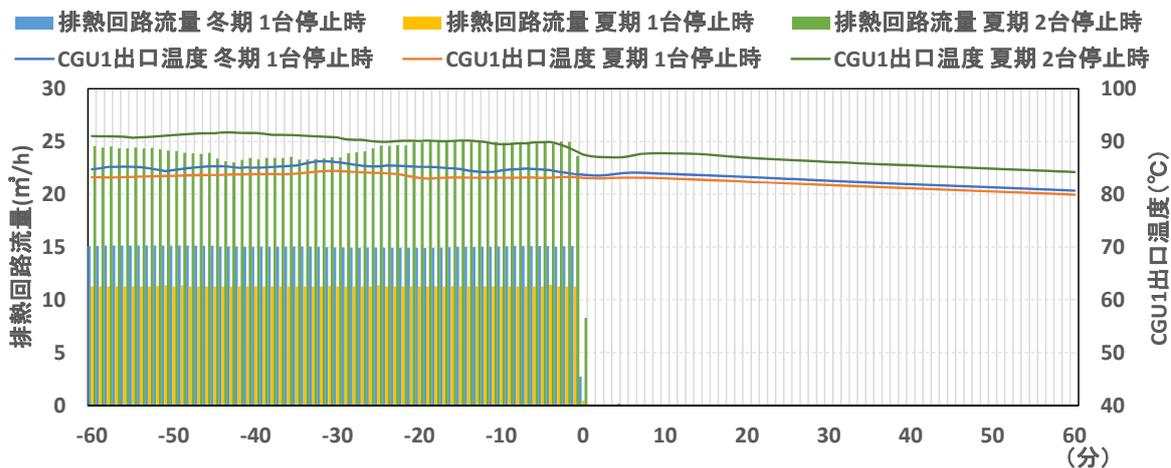


図 4-3.39 ID08: 停止動作段階における台数別季節平均値の排熱回路流量及び CGU1 出口温度の推移

ID02 の停止動作段階における季節別平均値の発電出力及び有効排熱出力の挙動を図 4-3.40 に示す。発電出力停止時刻を 0 分としている。また、ID02 の停止動作時間と η_{stop} と効率値を表 4-3.18 に示す。表 4-3.18 の停止動作回数に示すように、ID02 の実測値が停止動作段階の条件に合うのは、CGU1 台のみが停止する場合以外は確認されなかった。図 4-3.40 より、発電出力が停止動作終了の約 50 分前から緩やかに低下していることがわかる。ID02 では電力負荷追従運転を行っているため、停止動作段階以前の運転段階は電力負荷が低下し、発電出力が低下している可能性も考えられる。表 4-3.18 より、夏期の場合は発電出力と有効排熱出力はほぼ同時刻に停止動作を開始し、発電出力は約 5 分後に停止する。有効排熱出力は発電出力停止の約 1 分後に動作を停止する。停止動作時間は約 6 分であった。冬期の場合は、まず有効排熱出力が停止動作を開始し、その約 3 分後に発電出力が停止動作を開始する。発電出力が停止した約 5 分後に有効排熱出力が停止する。冬期の停止動作時間は約 8 分であった。また、発電出力に比べて排熱出力の終了時刻が数分遅いため、 η_{stop} は有効排熱出力の方が高い値となっている。

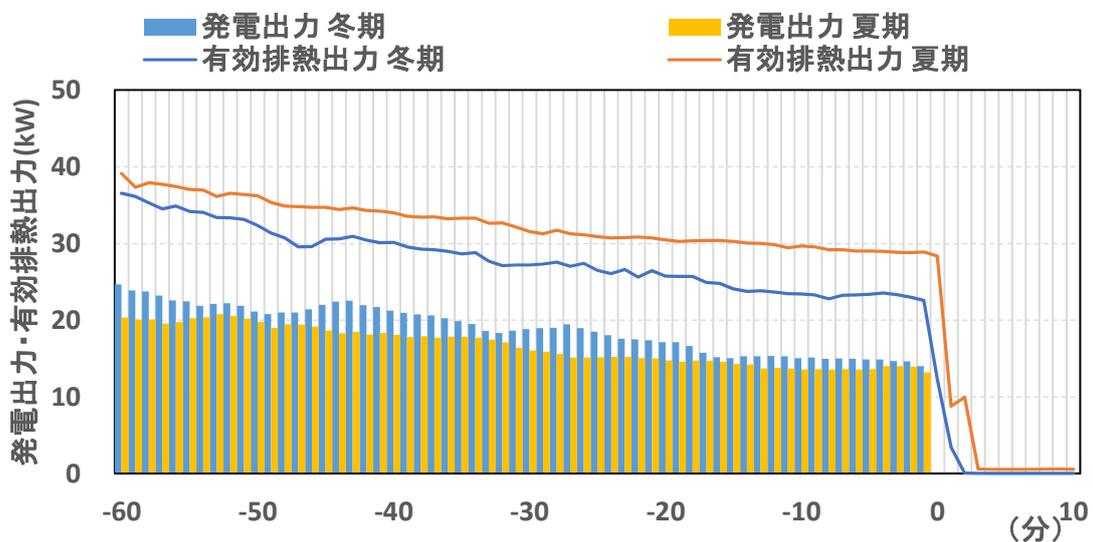


図 4-3.40 ID02 : 停止動作段階の季節別平均値の発電出力及び有効排熱出力の挙動

表 4-3.18 ID02 : 停止動作回数及び停止動作時間、 η_{stop}

	停止動作回数		夏期		冬期	
	夏期	冬期	動作開始(分)	動作終了(分)	動作開始(分)	動作終了(分)
1台停止時	44	41	-5.3	0.0	-4.3	0.0
2台停止時	0	0	-4.4	1.1	-7.7	-5.0
3台停止時	0	0	6.4		7.7	
4台停止時	0	0				
合計	44	41				

※発電出力終了=0(分)

	η_{stop}	
	夏期	冬期
発電出力	36%	46%
有効排熱出力	65%	52%

ID02 の停止動作段階における季節平均値の排熱回路流量と CGU1 出口温度の推移を図 4-3.41 に示す。発電出力停止時刻を 0 分としている。これより、排熱回路流量は夏期、冬期ともに発電出力停止後に即時停止し残留運転は行っていないことがわかる。ID02 夏期の発電出力停止時刻の排熱回路出口温度は 90℃程度で、その 15 分後も 80℃以上を維持している。発電出力停止後も、ある程度の時間は排熱を利用できる可能性がある。

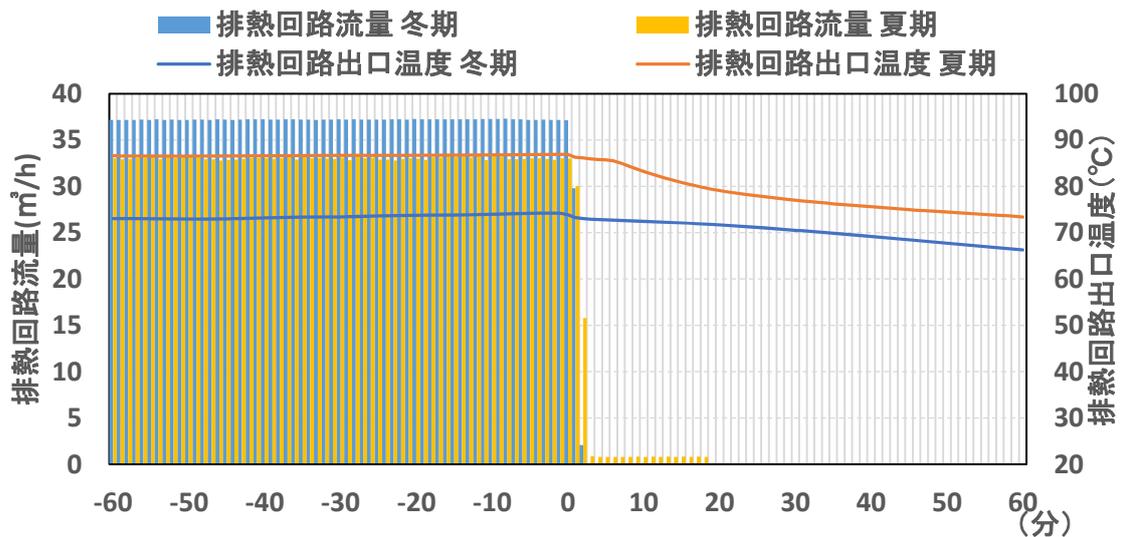


図 4-3.41 ID02 : 停止動作段階における季節平均の排熱回路流量及び排熱回路出口温度の推移

C) 動作時間と外気温度との相関関係

ID08 の停止動作時間及び各停止動作判定時刻、 η_{stop} 、各効率と外気温度の相関を図 4-3.42 に示す。各停止動作判定時刻は、発電出力終了時刻を 0 分として各要素の動作判定時刻の分布を示している。また、停止動作段階における動作時間、 η_{stop} 、各種効率の年間平均値も表 4-3.19 に示す。図 4-3.42 より、停止動作時間は外気温度との相関あまりみられない。また、ガス消費量停止動作開始時刻及び発電出力停止動作開始時刻、排熱終了時刻は外気温度に関わらずほぼ一定に分布しており、ガス消費量、発電出力、排熱出力の順に停止動作を開始する。各種効率についても、外気温度との相関はあまり見られない。

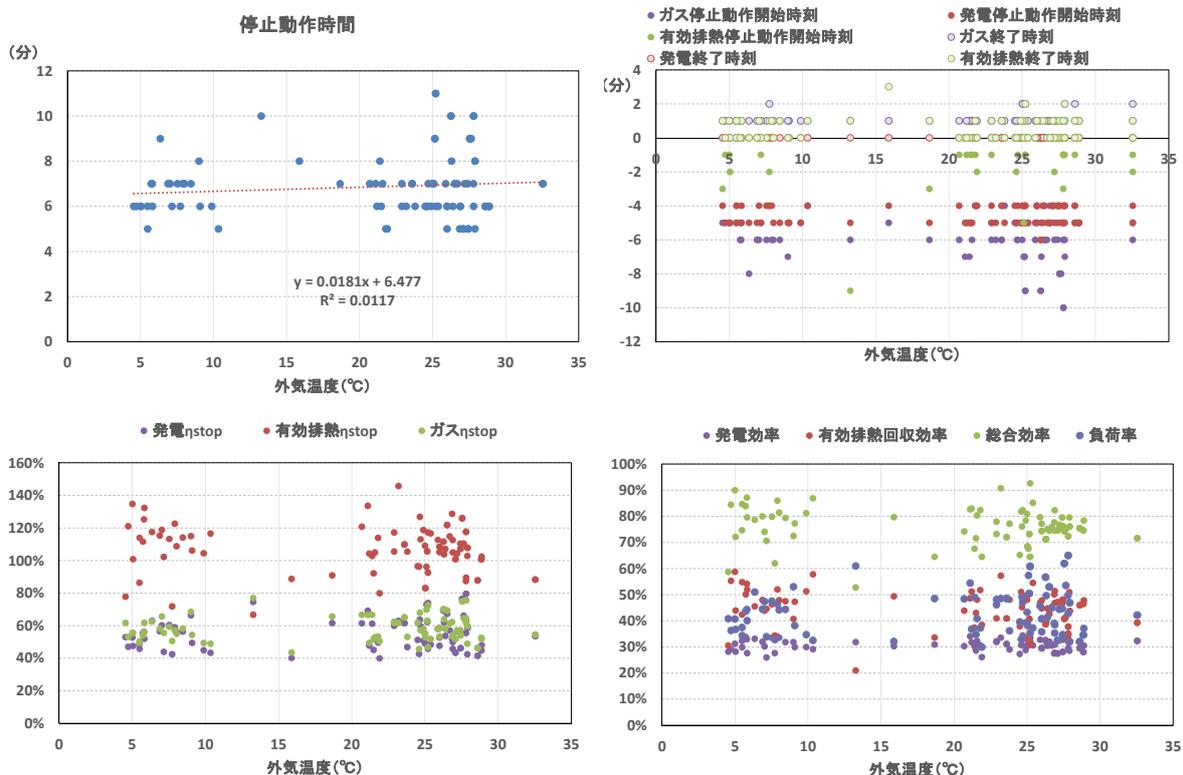


図 4-3.42 ID08 : 停止動作時間及び各停止動作判定時刻、 η_{stop} 、各効率の外気温度との相関

表 4-3.19 ID08 : 停止動作段階における動作時間及び η_{stop} 、各種効率値 (年間平均値)

ID08	停止動作時刻	
	動作開始(分)	動作終了(分)
ガス消費量	-5.5	1.0
発電出力	-5.2	0.0
有効排熱出力	-1.5	0.4
停止動作時間	6.4	

※発電出力終了=0(分)

ID08	η_{stop}
ガス消費量	58%
発電出力	56%
有効排熱出力	80%

ID08	各種効率値
発電効率	31%
有効排熱回収効率	45%
総合効率	77%
負荷率	44%

次に ID02 の停止動作時間及び各停止動作判定時刻、 η_{stop} と外気温度の相関を図 4-3.43 に示す。各停止動作判定時刻は、発電出力終了時刻を 0 分として各要素の動作判定時刻の分布を示している。また、停止動作時間、 η_{stop} の年間平均値を表 4-3.20 に示す。図 4-3.43 より、停止動作時間はばらつきが大きく、外気温度との相関はあまりみられない。また、有効排熱出力終了時刻は外気温度に関わらずほぼ一定に分布している。発電出力の η_{stop} に比べて排熱出力の η_{stop} が高く分布しているが、外気温度との相関はあまり見られない。

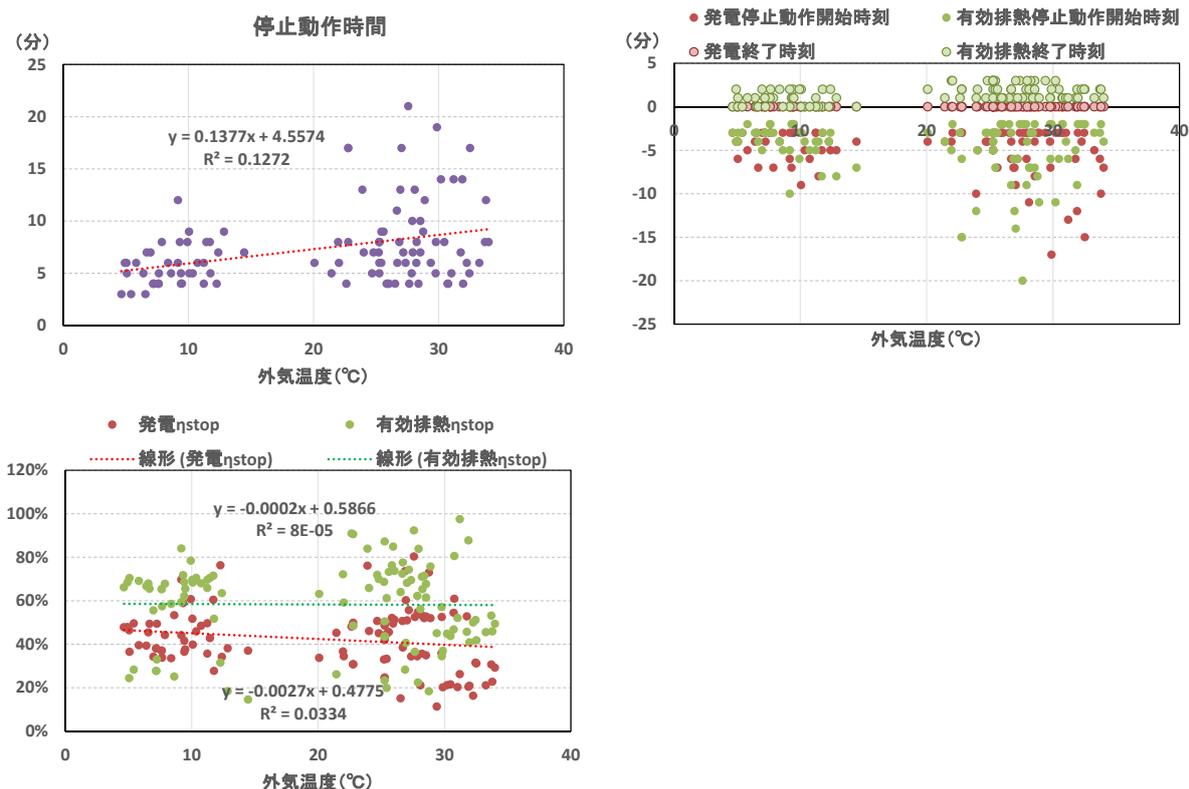


図 4-3.43 ID02 : 停止動作時間及び各停止動作判定時刻、 η_{stop} と外気温度との相関

表 4-3.20 ID02 : 停止動作段階における動作時間及び η_{stop} (年間平均値)

ID02	停止動作時刻		ID02	η_{stop}
	動作開始(分)	動作終了(分)		
発電出力	-4.8	0.0	発電出力	41%
有効排熱出力	-6.0	-1.9	有効排熱出力	59%
停止動作時間	6.0			

※発電出力終了=0

ID08 と ID02 の停止動作段階における年間平均の動作時間、 η_{stop} 、効率値のまとめを表 4-3.21 に示す。表 4-3.21 より ID02 はガス消費量を得られていないが、ID02 の停止動作時間は約 6 分、ID08 の停止動作時間も約 6 分となっている。また、どちらも発電出力の η_{stop} に比べて有効排熱出力の η_{stop} が大きい値となっている。有効排熱出力停止時刻の平均値が発電出力停止時刻より数分遅いためと考えられる。

表 4-3.21 ID08, ID02 : 停止動作段階における動作時間、 η_{stop} 、効率値（年間平均値）

	ID08		ID02		η_{stop}		各種効率値	
	動作開始(分)	動作終了(分)	動作開始(分)	動作終了(分)	ID08	ID02	ID08	ID02
ガス消費量	-5.5	1.0			58%		31%	
発電出力	-5.2	0.0	-4.8	0.0	56%	41%	45%	
有効排熱出力	-1.5	0.4	-6.0	-1.9	80%	59%	77%	
停止動作時間	6.4		6.0				44%	

※発電出力終了=0(分)

D) プログラム改良方法の検討

以上の結果より、停止動作段階における発電出力、有効排熱出力、ガス消費量は定格出力での運転段階に比べて出力の低下が小さく、それらの推移は外気温度との相関が低いということが分かった。また、ガスエンジンとマイクロガスエンジンでは停止動作時間や各出力の推移は異なっている。起動特性と同様に、定格出力に対する停止動作終了より前の1時間の出力の比である $\eta_{\text{stop.h}}$ の年間平均値を用いてプログラムの改良方法を検討する。 $\eta_{\text{stop.h}}$ の定義を以下に示す。

$$\eta_{\text{stop.h}} = \frac{\text{停止動作終了より前 1 時間の積算出力}}{1 \text{ 時間} \times \text{定格出力 } R}$$

ID08、ID02 の停止動作終了時刻より前1時間の、発電出力、有効排熱出力、ガス消費量の定格出力 R に対する比を図 4-3.44、図 4-3.45 に示す。停止動作開始前の台数制御や負荷追従制御など制御方法の影響を取り除くため、停止動作開始前の運転段階は 100% に収束させている。また図 4-3.44、図 4-3.45 に示す1時間の $\eta_{\text{stop.h}}$ を表 4-3.22、表 4-3.23 に示す。表 4-3.22、表 4-3.23 より、ID08、ID02 とともに $\eta_{\text{stop.h}}$ の値は 90% を超えており、停止特性の影響は非常に小さいと考えられる。よって、プログラムには停止特性を反映しない。

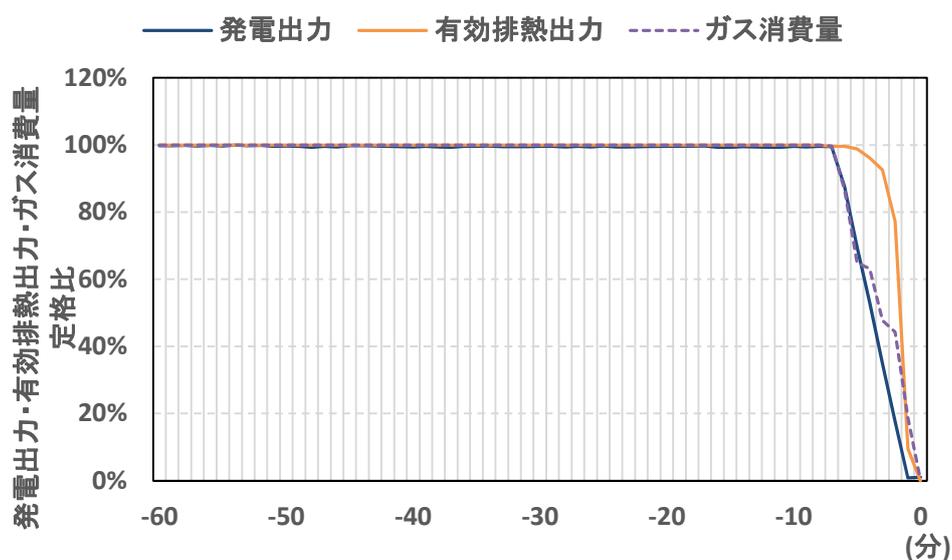


図 4-3.44 ID08 : 停止動作終了時刻より前 1 時間の定格出力 R に対する各出力の比

表 4-3.22 ID08 : 各出力の $\eta_{\text{stop.h}}$

発電出力 $\eta_{\text{stop.h}}$	有効排熱出力 $\eta_{\text{stop.h}}$	ガス消費量 $\eta_{\text{stop.h}}$
94.0%	97.9%	95.4%

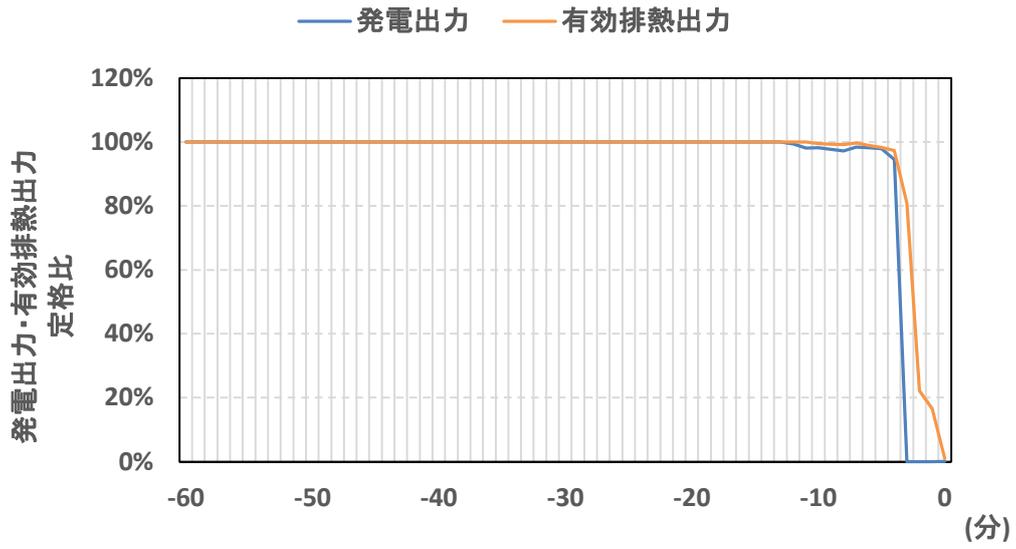


図 4-3.45 ID02 : 停止動作終了時刻より前 1 時間の定格出力 R に対する各出力の比

表 4-3.23 ID02 : 各出力の $\eta_{stop,h}$

発電出力 $\eta_{stop,h}$	有効排熱出力 $\eta_{stop,h}$
94.7%	96.9%

4-3.5. CGS補機動力特性分析

4-3.5.1. 分析概要

ベースプログラムでは発電量の5%が補機動力として見込まれているが、実際の補機動力は発電量に比例するだけでなく外気温度、CGU 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 の補機動力の特性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。

4-3.5.2. 分析結果

1) ガスエンジン (ID01)

A) 冬期代表月における各補機の時刻別平均消費電力

冬期代表月(1月)のID01における時刻別平均のCGU補機、冷却塔ファン、冷却塔ポンプ、温水循環ポンプの消費電力をそれぞれ図4-3.46～図4-3.49に示す。図4-3.46より、CGU補機は待機段階でも4～6kW程度の消費電力を示す。図4-3.47より、冷却塔ファンは最大1.4kW程度の消費電力を示すが、消費電力の振幅が大きい。図4-3.48、図4-3.49より、CGUが運転段階と想定される時に、冷却塔ポンプの消費電力は3kW程度であり、温水循環ポンプの消費電力は10kW程度である。冷却塔ヒーターの稼働日の冷却塔ヒーターの消費電力の推移を図4-3.50、図4-3.51に示す。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2017年1月16日)のみであった。冷却塔ヒーターは冷却塔内の溶液の温度によって凍結防止のために運転していると考えられる。また、冷却塔ヒーターが稼働するときは5kW程度の消費電力を示す。

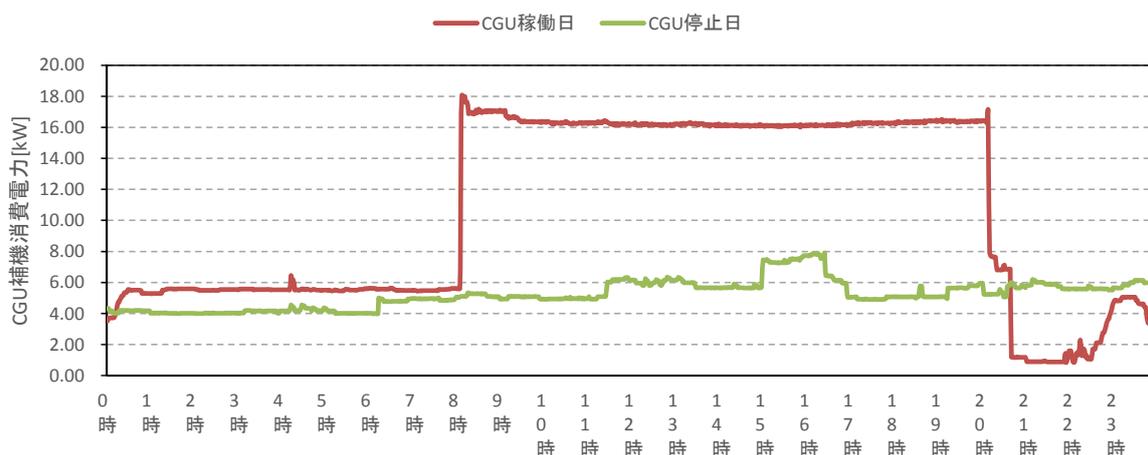


図 4-3.46 ID01 : 冬期における CGU 補機の時刻別平均消費電力

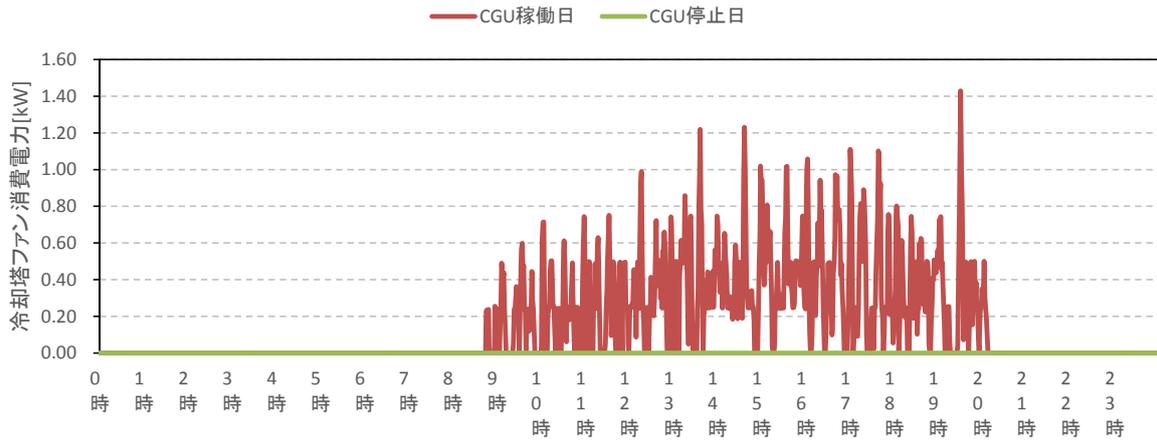


図 4-3.47 ID01 : 冬期における冷却塔ファンの時刻別平均消費電力



図 4-3.48 ID01 : 冬期における冷却塔ポンプの時刻別平均消費電力

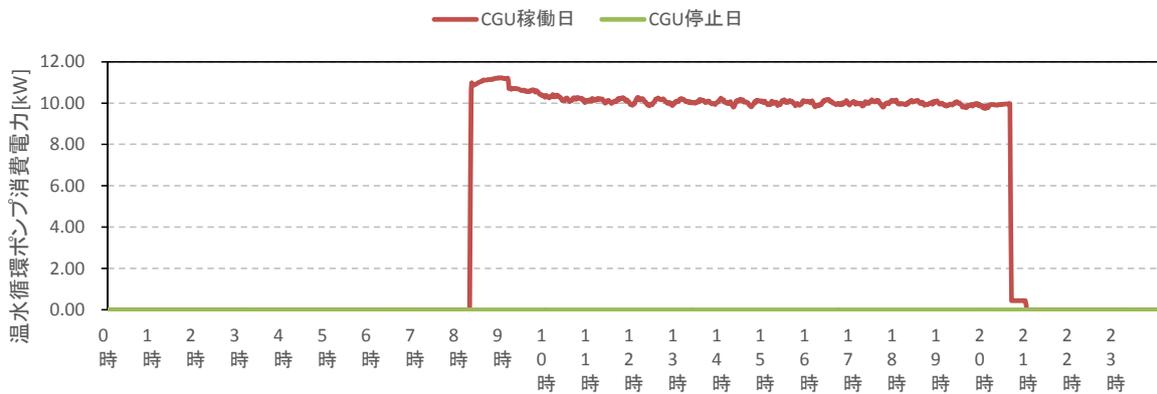


図 4-3.49 ID01 : 冬期における温水循環ポンプの時刻別平均消費電力



図 4-3.50 ID01 : 2017 年 1 月 15 日の冷却塔ヒーターの時刻別消費電力及び外気温度



図 4-3.51 ID01 : 2017 年 1 月 16 日の冷却塔ヒーターの時刻別消費電力及び外気温度

B) 中間期代表月の各補機消費電力の平均推移

中間期代表月(5月)のID01のCGU補機、冷却塔ファン、冷却塔ポンプ、温水循環ポンプの消費電力の平均推移をそれぞれ図4-3.52～図4-3.55に示す。図4-3.52、図4-3.53より、中間期のCGU補機と冷却塔ファンの消費電力は冬期より大きくなっていることがわかる。またCGU補機の消費電力は、冬期と異なり時間帯によって増減している。これはジャケット冷却水ヒーターの稼働並びにCGU内蔵のファンの稼働が原因として考えられる。図4-3.54、図4-3.55より、冷却塔ポンプ、温水循環ポンプの消費電力は冬期と変化がなく、一定の消費電力を示す。

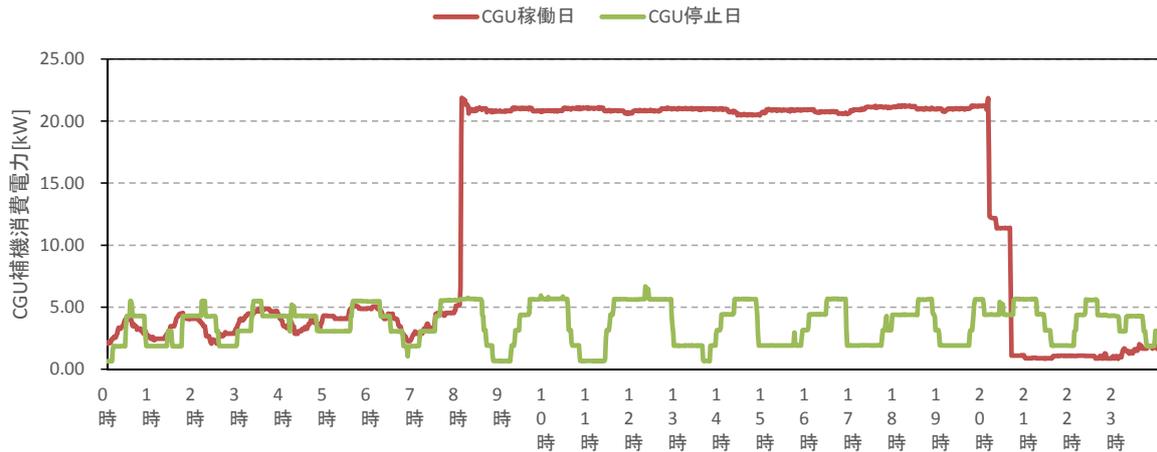


図 4-3.52 ID01 : 中間期における CGU 補機の時刻別平均消費電力



図 4-3.53 ID01 : 中間期における冷却塔ファンの時刻別平均消費電力

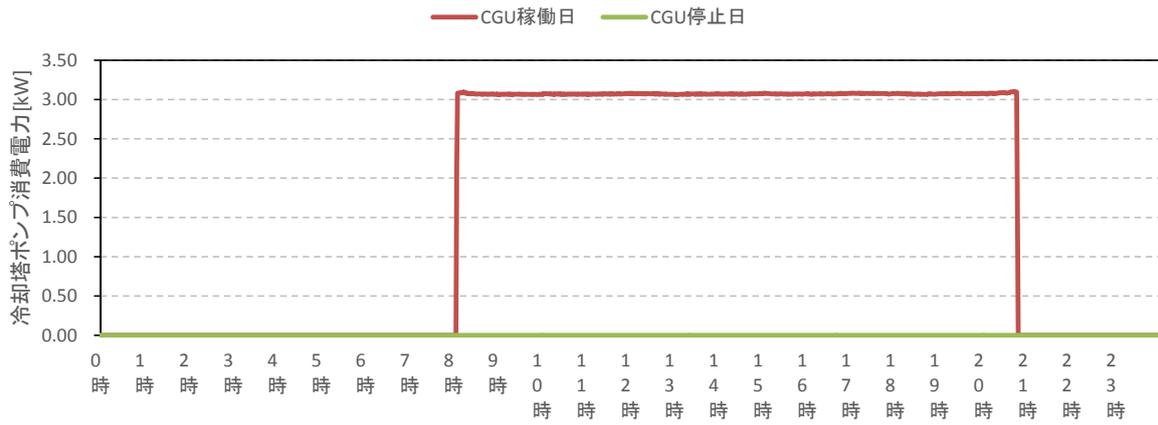


図 4-3.54 ID01 : 中間期における冷却塔ポンプの時刻別平均消費電力



図 4-3.55 ID01 : 中間期における温水循環ポンプの時刻別平均消費電力

C) 夏期代表月における各補機の時刻別平均消費電力

夏期代表月(8月)のID01における時刻別平均のCGU補機、冷却塔ファン、冷却塔ポンプ、温水循環ポンプの消費電力をそれぞれ図4-3.56～図4-3.59に示す。図4-3.56より、夏期のCGU補機消費電力は中間期のCGU補機消費電力より若干大きくなっている。また、CGU補機消費電力は中間期と同様に時間帯によって増減しており、ジャケット冷却水ヒーターの稼働並びにCGU内臓のファンの稼働が原因として考えられる。図4-3.57より、冷却塔ファンの夏期の消費電力は冬期と中間期の消費電力より安定した4～4.5kW程度を示す。図4-3.58、図4-3.59より、夏期の冷却塔ポンプ、温水循環ポンプの消費電力は冬期、中間期と変化はなく一定の消費電力を示す。

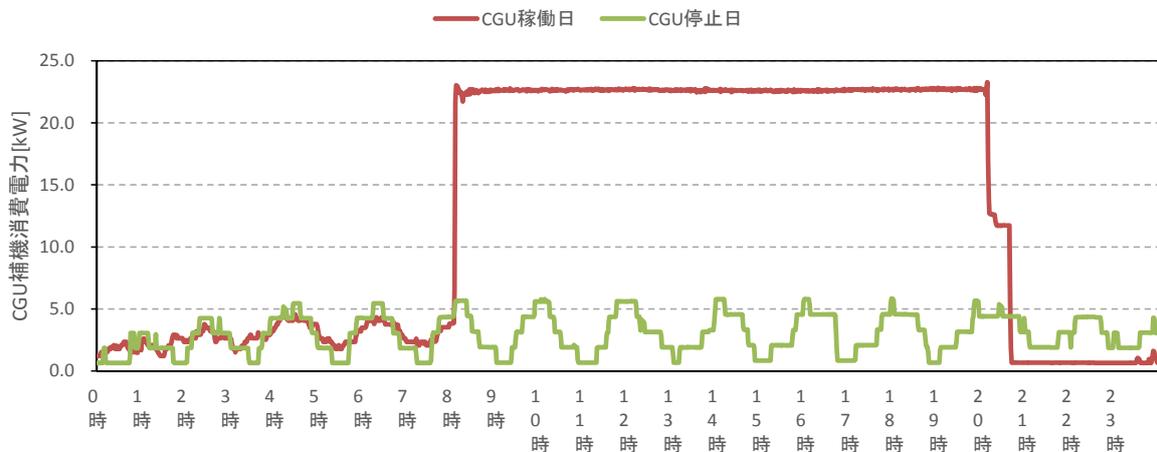


図 4-3.56 ID01 : 夏期における CGU 補機の時刻別平均消費電力

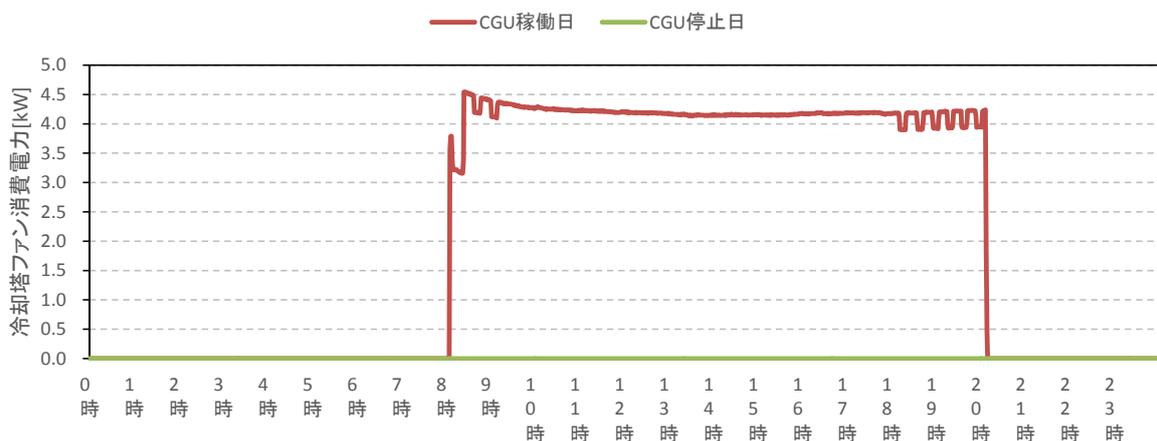


図 4-3.57 ID01 : 夏期における冷却塔ファンの時刻別平均消費電力



図 4-3.58 ID01 : 夏期における冷却塔ポンプの時刻別平均消費電力



図 4-3.59 ID01 : 夏期における温水循環ポンプの時刻別平均消費電力

D) 冬期代表月における各補機の時刻別平均消費電力及び発電量

ID01 の冬期代表月の 2017 年 1 月における時刻別平均の各補機消費電力量と発電量を図 4-3.60 に示す。図 4-3.60 より、CGU 補機では 5kWh 前後の待機電力が発生している。また、CGU 補機、冷却塔ポンプ、温水循環ポンプは発電量と相関があるが、冷却塔ファンは発電量と相関がほとんどないことがわかる。

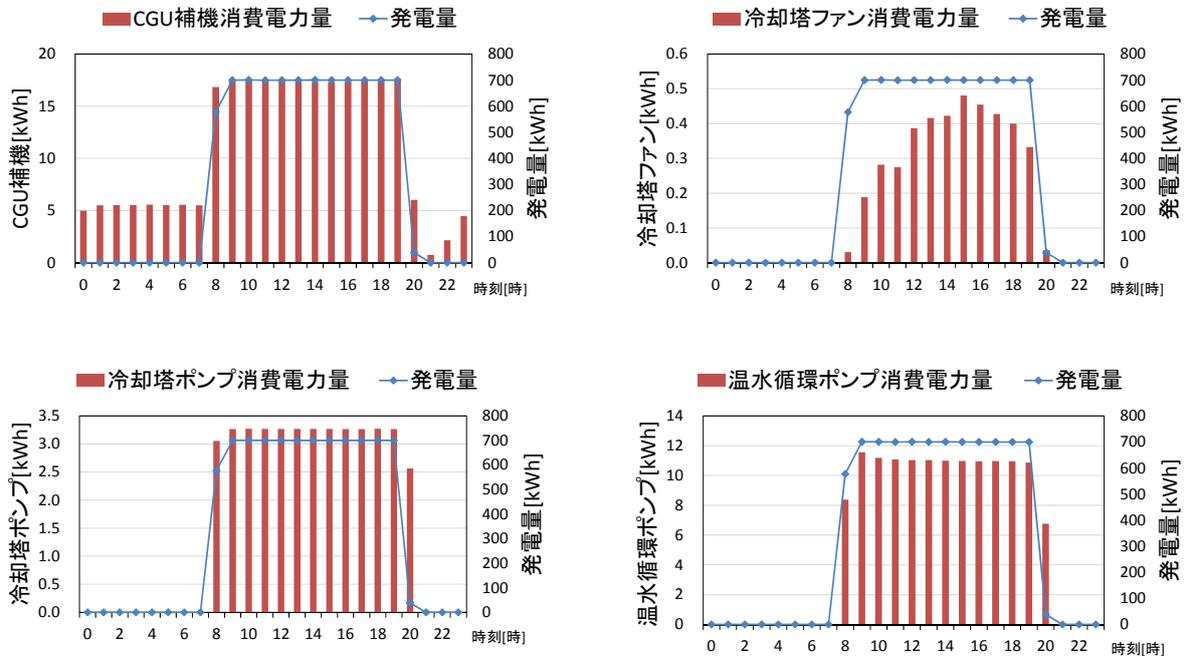


図 4-3.60 ID01 : 冬期における各補機の時刻別平均消費電力量及び発電量

E) 中間期代表月における各補機の時刻別平均消費電力及び発電量

ID01 の中間期代表月の 2017 年 5 月における各補機の時刻別平均消費電力量及び発電量を図 4-3.61 に示す。CGU 補機の待機電力は冬期より、低くなっていることがわかる。

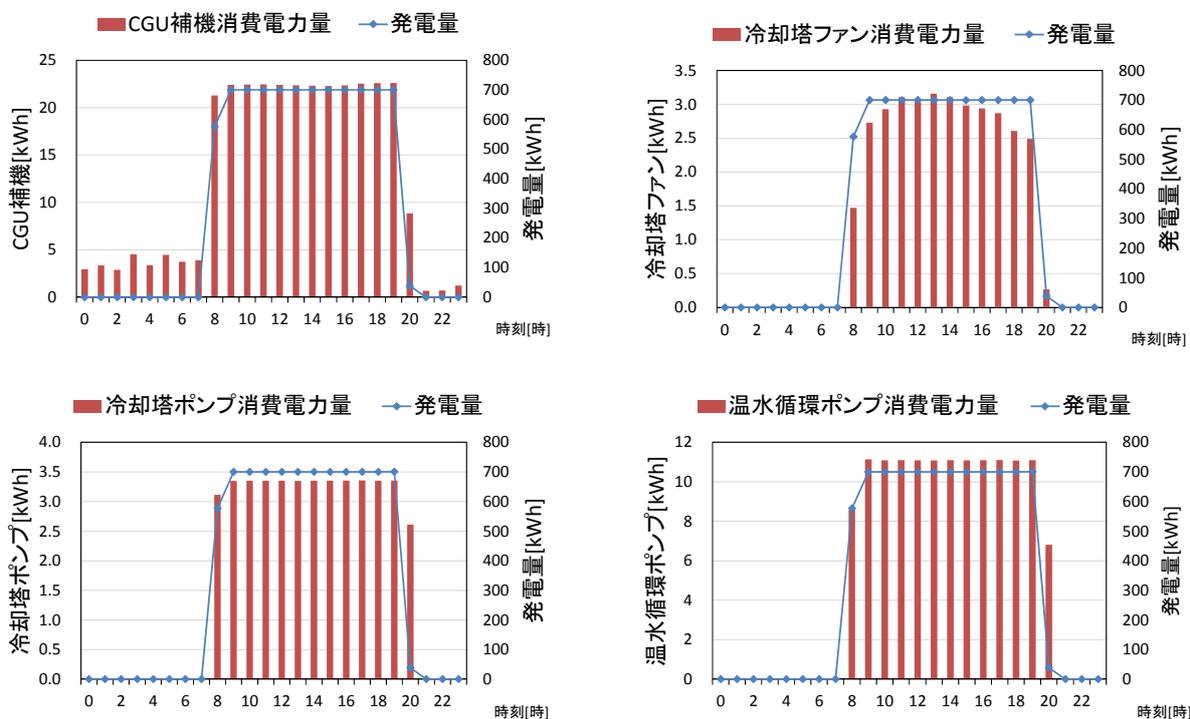


図 4-3.61 ID01 : 中間期における各補機の時刻別平均消費電力量及び発電量

F) 夏期代表月における各補機の時刻別平均消費電力及び発電量

ID01 の夏期代表月の 2017 年 8 月における各補機の時刻別平均消費電力及び発電量を図 4-3.62 に示す。夏期の冷却塔ファンの消費電力は冬期と中間期より高くなっていることがわかる。冷却塔ファンの消費電力と外気温度に相関があることが考えられる。

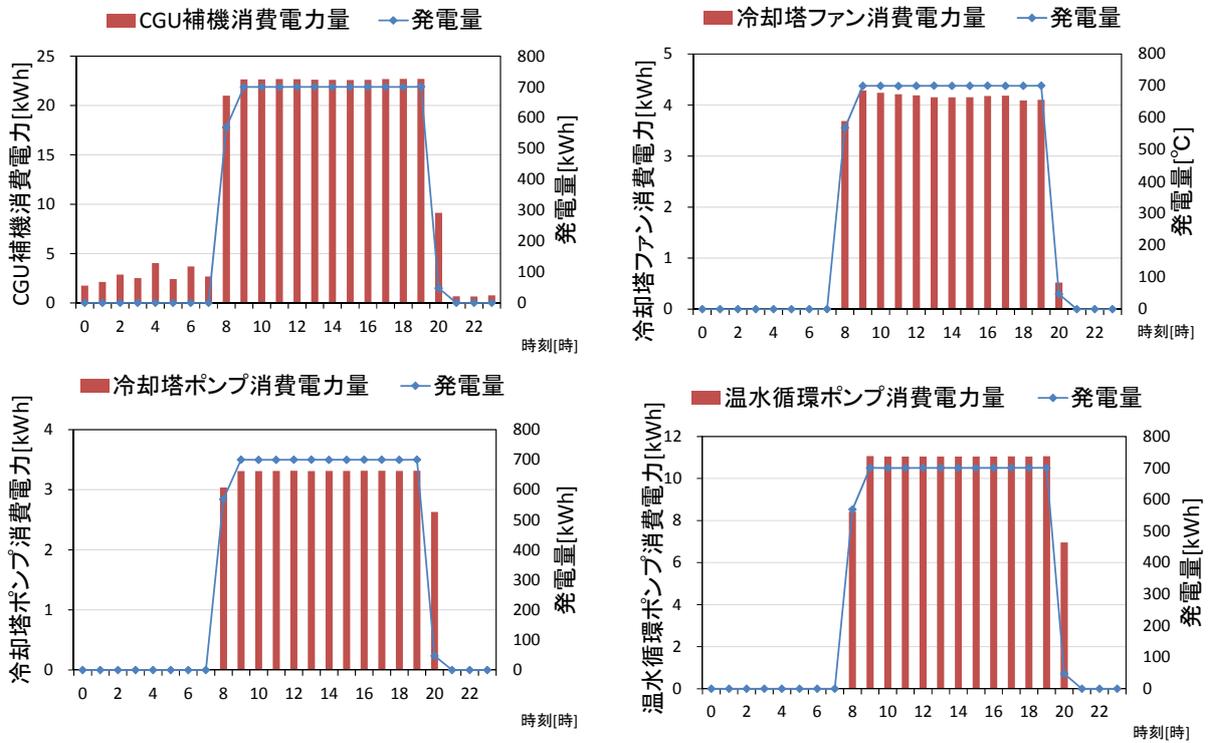


図 4-3.62 ID01 : 夏期における各補機の時刻別平均消費電力及び発電量

G) 冷却塔ファンと外気温度の相関

ID01 の冷却塔ファン消費電力量と外気温度の相関を図 4-3.63 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。

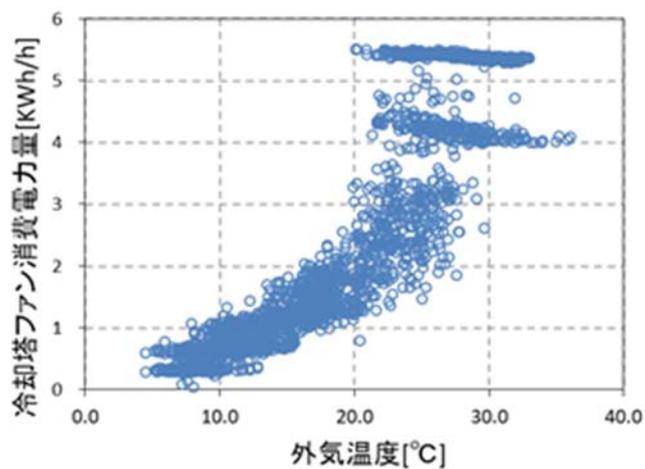


図 4-3.63 ID01 : 冷却塔ファン消費電力量と外気温度の相関

H) CGUの運転段階別補機消費電力量と補機消費電力量割合

ID01でCGUの起動動作、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、平均発電量、平均補機消費電力量割合を表4-3.24に示す。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。

表 4-3.24 ID01 : CGU の運転段階別補機消費電力量と補機消費電力量割合

		補機消費電力量(kWh)					発電量 (kWh)	補機消費電力量割合				
		CGU補機	冷却塔ファン	冷却塔ポンプ	温水循環ポンプ	合計		CGU補機	冷却塔ファン	冷却塔ポンプ	温水循環ポンプ	合計
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	-	-	-	-	-

2) マイクロガスエンジン (ID02)

A) 各CGU補機の時刻別平均消費電力および発電出力

ID02 の冬期、中間期、夏期代表日の各 CGU 補機の時刻別平均消費電力及び発電出力を図 4-3.64～図 4-3.66 に示す。図 4-3.64～図 4-3.66 からわかるように、冬期には 0.04kW ほどの待機電力が、中間期と夏期に 0.06kW ほどの待機電力が発生していることがわかる。また CGU 補機消費電力と発電出力に相関がある。しかし CGU 毎、日毎に CGU 補機消費電力と発電出力の変動が大きい。ID01 のように毎日同じような挙動を示さないので、ID02 において起動動作や停止動作時の推移を分析するには、より細かい時間間隔で検討をする必要がある。

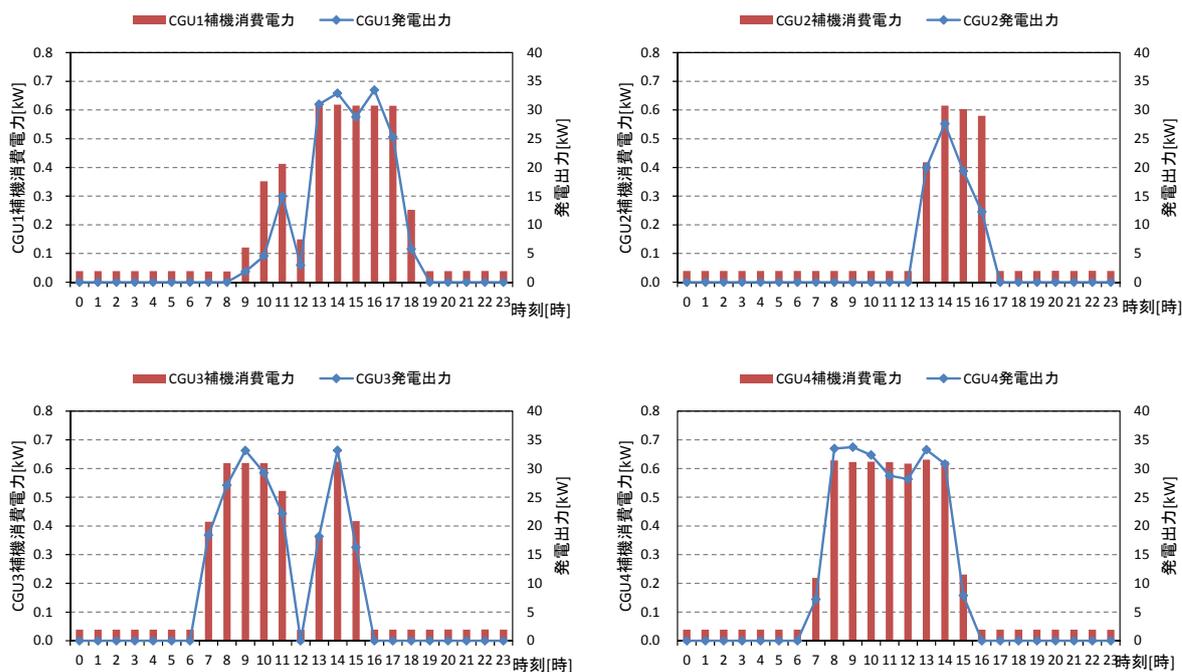


図 4-3.64 ID02 : 冬期代表日 (2017/1/25) の各 CGU 補機の時刻別消費電力及び発電出力

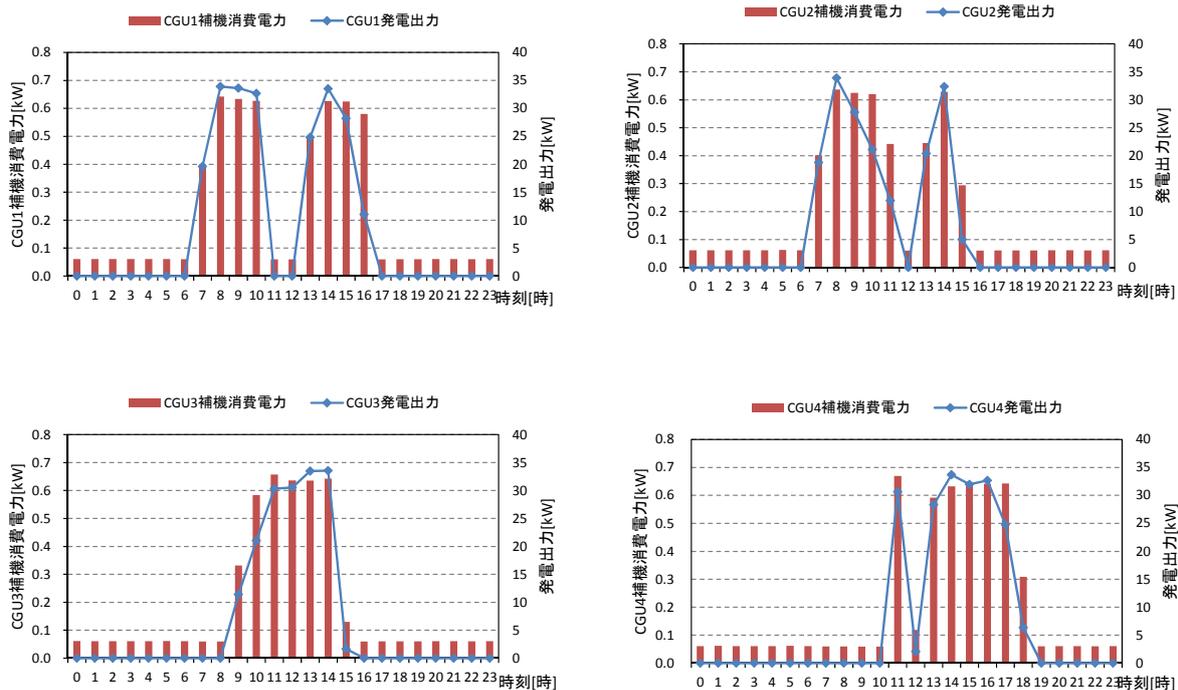


図 4-3.65 ID02：中間期代表日（2017/5/25）の各 CGU 補機の時刻別消費電力及び発電出力

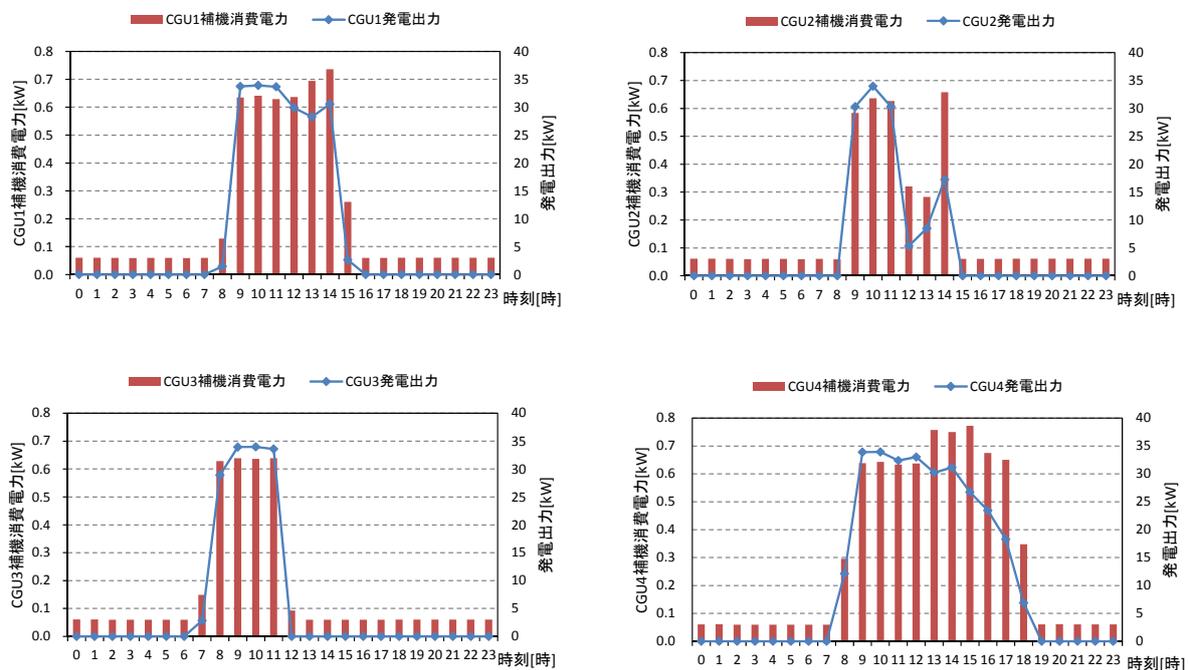


図 4-3.66 ID02：夏期代表日（2017/8/29）の各 CGU 補機の時刻別消費電力及び発電出力

B) 各CGU補機消費電力量と発電量の日積算値の推移

ID02 の各 CGU 補機消費電力量と発電量の日積算値の推移をそれぞれ図 4-3.67～図 4-3.70 に、CGU1～CGU4 合計の CGU 補機消費電力量と発電量の日積算値の推移を図 4-3.71 に示す。図 4-3.67～図 4-3.70 に示すように、CGU 補機消費電力量と発電量には相関がある。また CGU 補機の待機電力が 2017 年 4 月 3 日あたりから増加しており、88 kWh/日ほどになった。この要因については把握できていない。図 4-3.71 に示すように、2017 年 3 月 23 日～2017 年 4 月 7 日及び 2017 年 7 月 27 日～2017 年 8 月 25 日の期間では、CGU 補機消費電力量と発電量が低下している。原因として、ID02 は用途が給食センターであるため、その 2 つの期間が学校の長期休暇であることが主要因として考えられる。

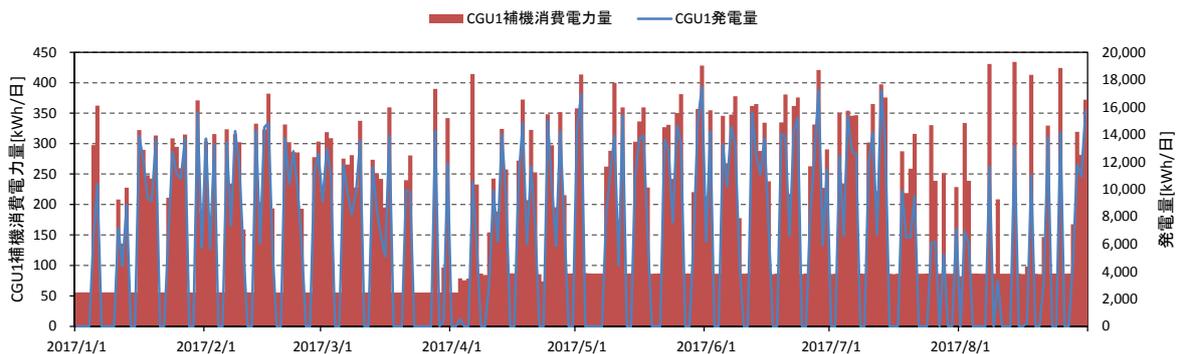


図 4-3.67 ID02:CGU1 補機消費電力量と発電量の日積算値の推移

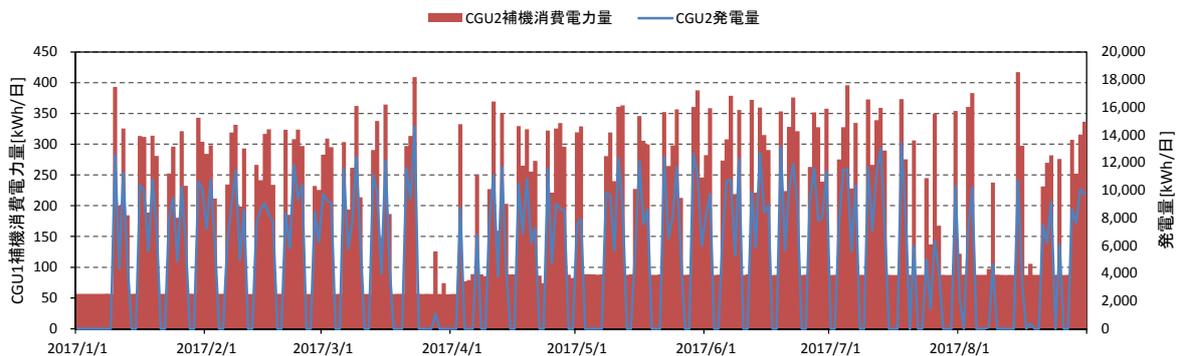


図 4-3.68 ID02:CGU2 補機消費電力量と発電量の日積算値の推移

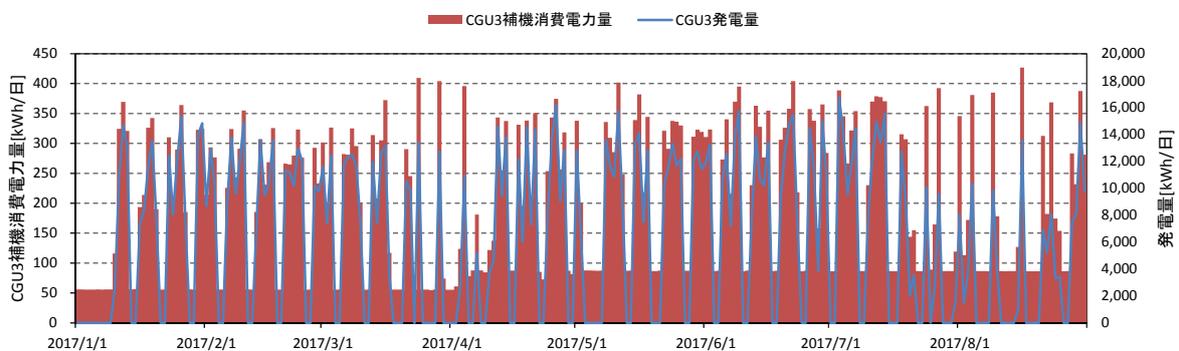


図 4-3.69 ID02:CGU3 補機消費電力量と発電量の日積算値の推移

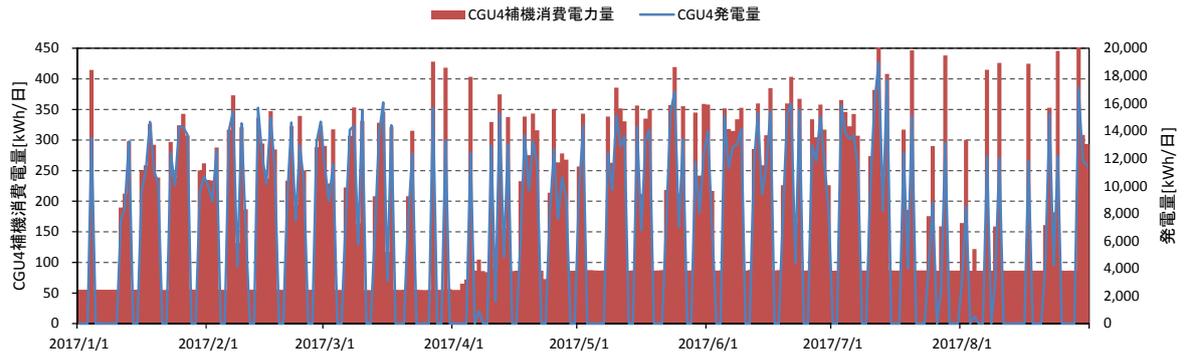


図 4-3.70 ID02:CGU4 補機消費電力量と発電量の日積算値の推移

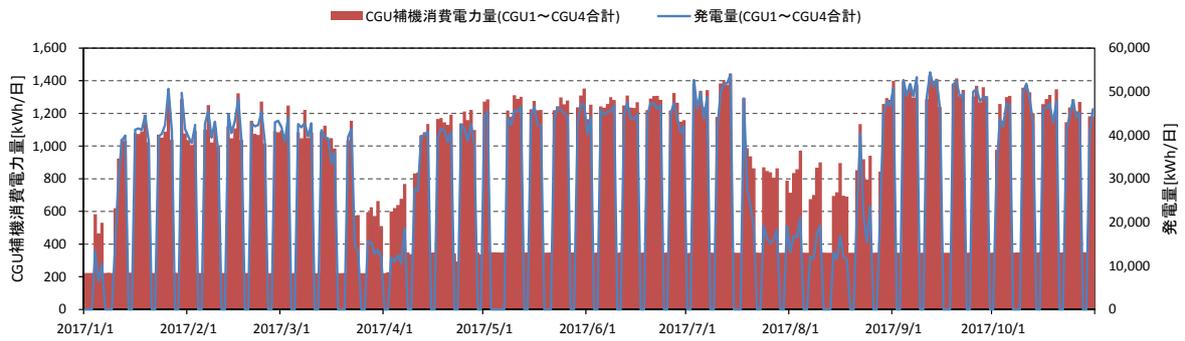


図 4-3.71 ID02:CGU1~CGU4 合計の CGU 補機消費電力量と発電量の日積算値の推移

C) 温水循環ポンプの夏期代表日における時刻別消費電力及び発電出力

ID02 の夏期代表日における温水循環ポンプの時刻別平均消費電力および発電出力を図 4-3.72 に示す。図 4-3.72 に示すように、CGU が起動動作段階と予想される 8 時に温水循環ポンプの消費電力が増加している。また、発電出力と温水循環ポンプの消費電力に相関はほとんどなく、9 時～17 時に 3kW 程度の一定の温水循環ポンプ電力消費が見られる。

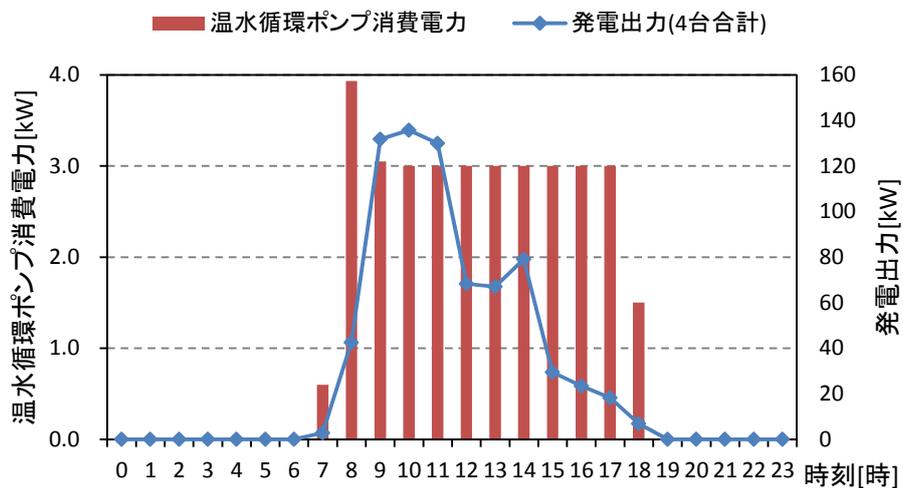


図 4-3.72 ID02 : 夏期代表日 (2017/8/29) における温水循環ポンプの時刻別消費電力及び発電出力

D) CGUの起動動作段階のCGU補機消費電力と補機消費電力割合

ID02 の起動動作段階の発電出力及びCGU 補機消費電力の年間平均の推移を図 4-3.73、発電出力の定格出力に対する割合及びCGU 補機消費電力割合の年間平均の推移を図 4-3.74 に示す。なお、ID02 では発電出力を1分間隔で計測しており、前述の起動停止特性分析と同様の条件で起動動作、運転、停止動作、待機のCGS稼働状態を判定している。これは、起動動作判定条件に合う時間帯を発電出力の開始時刻を0分としてCGU4台の発電出力と補機消費電力の値を年間で平均した値である。図 4-3.73、図 4-3.74 より、起動動作段階におけるCGU 補機消費電力は発電出力と比例して上昇することがわかる。またCGU 補機消費電力割合は開始の一瞬は3%程度になるがすぐに2%程度で安定する。CGU 補機消費電力割合の起動動作段階と運転段階の差は非常に小さいと考えられる。

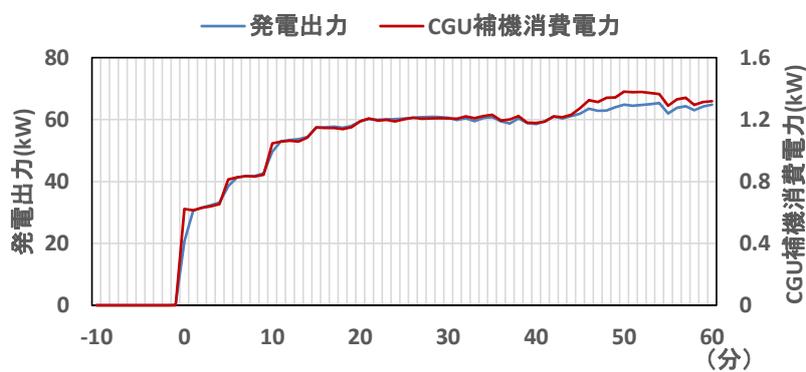


図 4-3.73 ID02：起動動作段階の発電出力及びCGU 補機消費電力の年間平均の推移

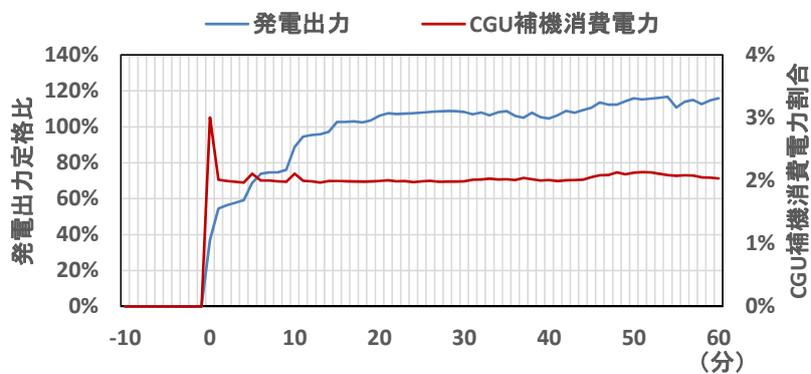


図 4-3.74 ID02：起動動作段階の発電出力の定格比及びCGU 補機消費電力割合の年間平均の推移

E) CGUの停止動作段階のCGU補機消費電力と補機消費電力割合

ID02 の停止動作段階の発電出力及びCGU 補機消費電力の年間平均の推移を図 4-3.75 に、発電出力の定格出力に対する割合及びCGU 補機消費電力割合の年間平均の推移を図 4-3.76 に示す。これは、停止動作判定条件に合う時間帯を発電出力の終了時刻を0分としてCGU4 台の発電出力とCGU 補機消費電力の値を年間で平均した値である。図 4-3.75、図 4-3.76 より、停止動作段階におけるCGU 補機消費電力は、おおよそ0.6kW程度で安定している状態から一瞬で0kWになることがわかる。停止動作段階におけるCGU 補機消費電力割合は緩やかに上昇していき4%程度になったところで瞬時的に0kWになる。これは、発電出力が緩やかに低下しているのに対しCGU 補機消費電力の低下はみられないので、相対的にCGU 補機消費電力の割合が大きくなっているためである。

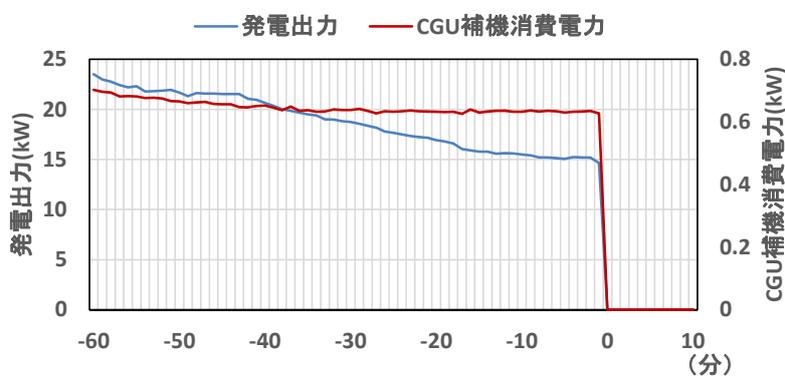


図 4-3.75 ID02 : 停止動作段階の発電出力及びCGU 補機消費電力の年間平均の推移

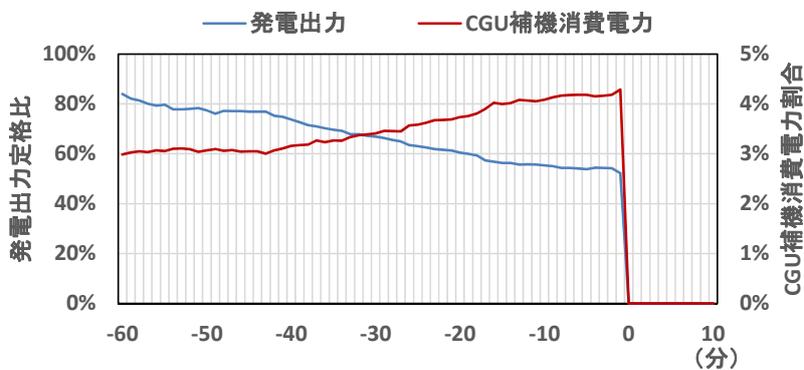


図 4-3.76 ID02 : 停止動作段階の発電出力の定格比及びCGU 補機消費電力割合の年間平均の推移

F) CGUの運転段階別補機消費電力と補機消費電力割合

ID02 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 4-3.25 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 4-3.25 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 ID02 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。

表 4-3.25 ID02 : CGU の運転段階別補機消費電力と補機消費電力割合

		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%	
	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%	
	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%	
	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%	
	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	0.00	-	-	-	-		-	

4-3.6. RHAの特性分析

4-3.6.1. 分析概要

4-2.3 節において RHA への投入排熱量の実測値はカタログ特性と乖離する場合があることに言及した。この主な要因として、RHA への排熱温水入口温度、冷却水入口温度の実測値がカタログ値と異なっていることが考えられる。よってここでは、排熱温水入口温度、冷却水入口温度に追従した投入排熱量の特性を分析する。同時に、ガスの消費特性、補機動力特性についても検討する。また、ID14 において RHA の時々刻々の特性を把握するために負荷を変動させる実験を行ったため、その実験結果についても示す。分析対象となる ID03,08,14 に導入されている RHA の仕様を表 4-3.26 に示す。表 4-3.26 に示す値はカタログ記載の定格値である。

表 4-3.26 ID03,08,14 の RHA の定格仕様

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	流量	入口	出口	流量
	kW	MJ/h	MJ/h	℃	℃	m ³ /h	℃	℃	m ³ /h	℃	℃	m ³ /h
03	1055	2952	2655	88	83	27	15	7	113	32	38	300
08	1583	4386	3070	90	80	52	17	7	136	32	38	450
14	211	585	468	88	83	9.3	15	7	23	32	37	64

4-3.6.2. 分析結果

A) 投入排熱量の排熱温水入口温度特性

ID03、ID08 に導入されている RHA の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 4-3.77、図 4-3.78 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、排熱温水流量等が影響するため、これらの条件を統制して集計しているが、冷水出口温度については統制する範囲を狭めても結果の傾向は変わらなかったため、6℃～12℃と広い範囲の条件で集計している。図 4-3.77 に示すように、ID03 では計測では排熱温水入口温度が常にカタログ条件値よりも低かったため、カタログ特性よりも投入排熱量が低くなっている。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。続いて図 4-3.78 に示すように、ID08 は排熱温水入口温度がカタログ条件 (90℃) 付近の結果を見ると、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。

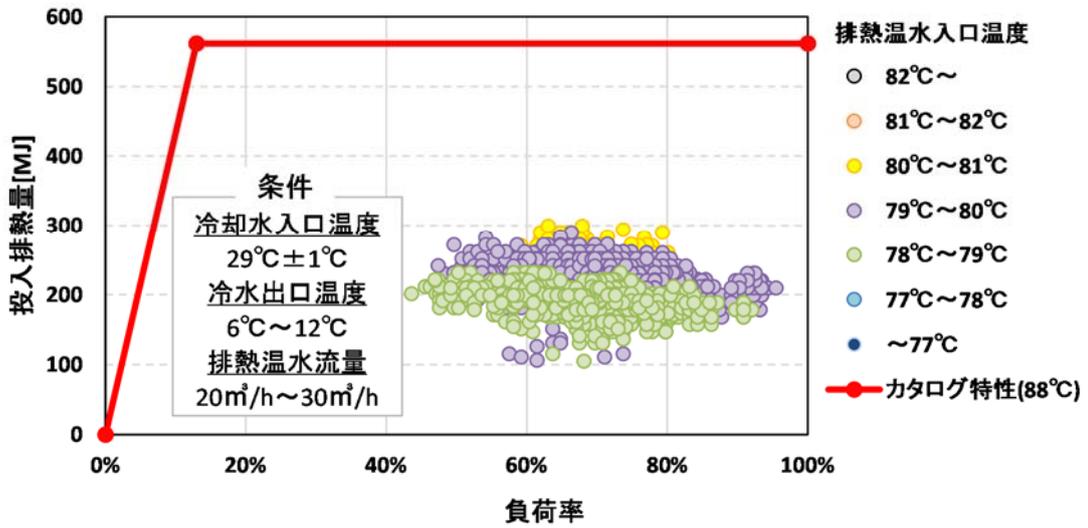


図 4-3.77 ID03 : 負荷率と投入排熱量の排熱温水入口温度別の相関

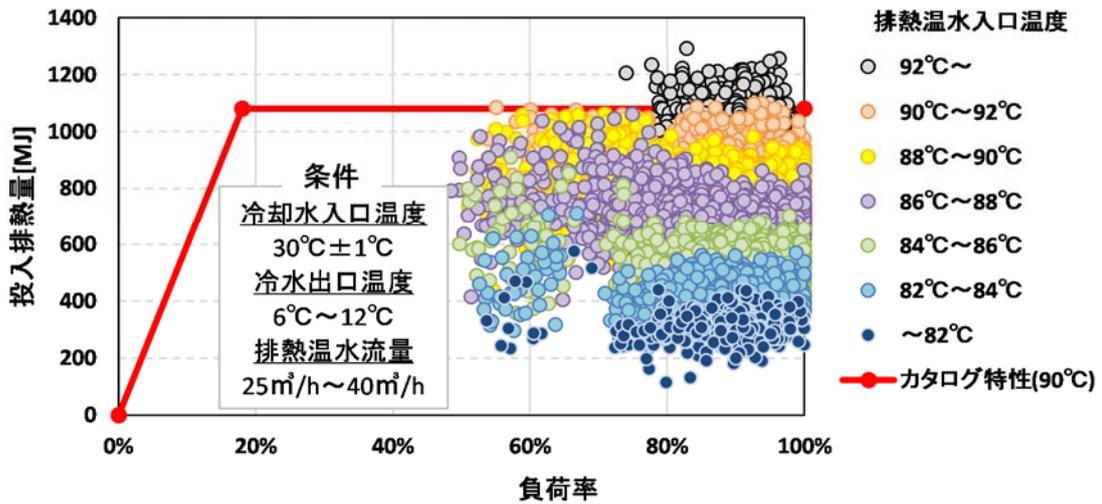


図 4-3.78 ID08 : 負荷率と投入排熱量の排熱温水入口温度別の相関

B) 投入排熱量の冷却水入口温度特性

ID03、08 に導入されている RHA の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 4-3.78、図 4-3.79 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。図 4-3.78、図 4-3.79 に示すように、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若干低下する。

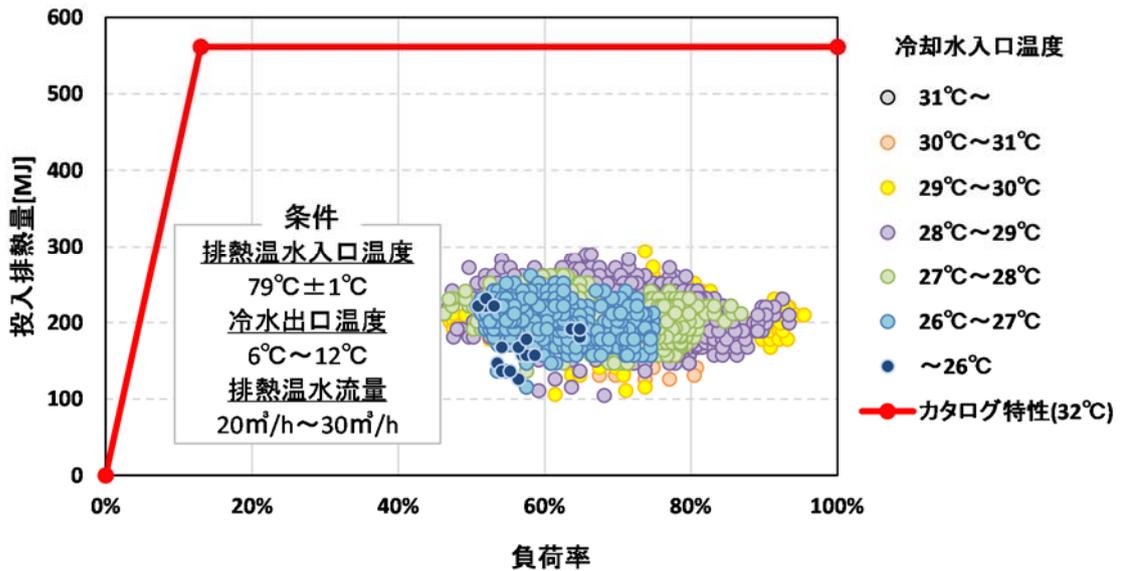


図 4-3.79 ID03：負荷率と投入排熱量の冷却水入口温度別の相関

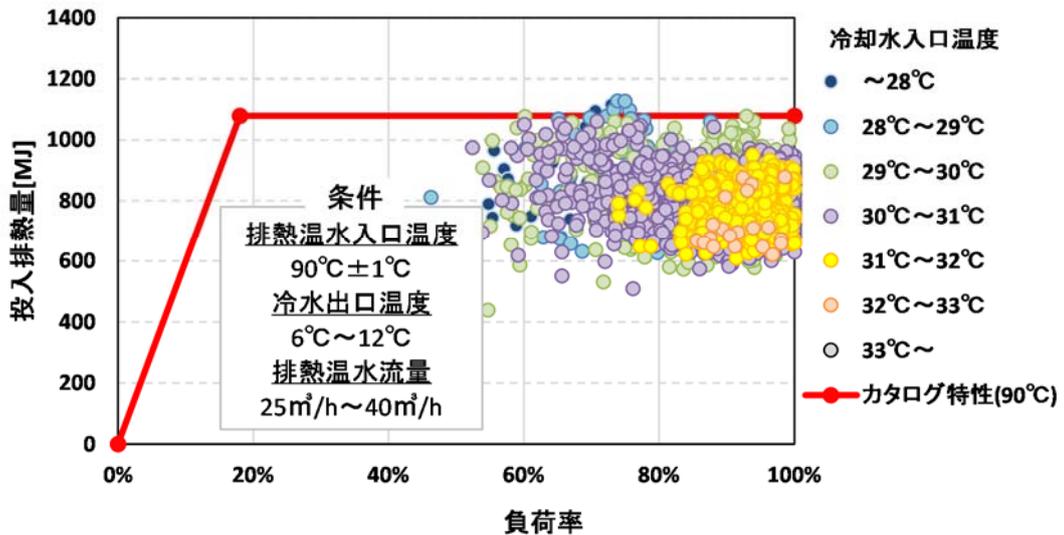


図 4-3.80 ID08：負荷率と投入排熱量の冷却水入口温度別の相関

C) ガス消費特性

ID08 の代表日 (2016 年 7 月 23 日) の RHA の投入排熱量、ガス消費量、負荷率の推移を図 4-3.81 に示す。ID08 のみガス消費量の実測値を 1 分間隔で入手できているため、短い時間間隔での RHA のガス消費特性を検討する。図 4-3.81 に示すように、ガス消費量の値が 0 になっている時間帯が一時的に存在する。ID08 のように RHA を 24 時間運転させている病院では、ガス消費による RHA の冷房運転が基本であり、排熱のみでの RHA の冷房運転は図 4-3.81 に示すように一時的にガスが途切れた時間帯であることが考えられる。

よって、病院のように RHA を 24 時間運転させている物件では、低負荷率で排熱のみで RHA を運転させることがほとんどない可能性が考えられる。

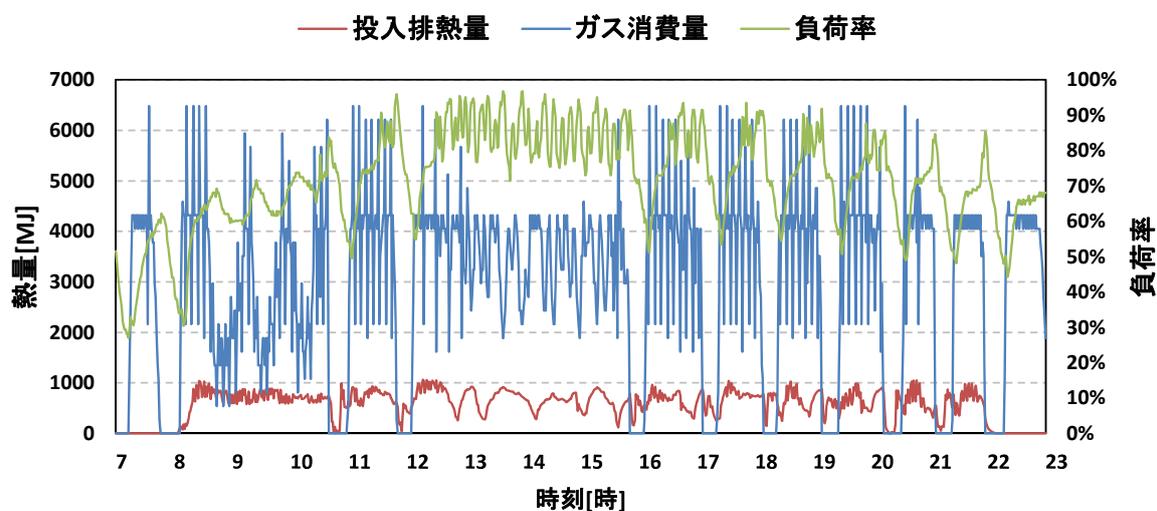


図 4-3.81 ID08 : 代表日 (2016 年 7 月 23 日) の投入排熱量、ガス消費量、負荷率の推移

D) 補機消費電力推移

ID03、14 の代表日の RHA の処理熱量、ガス使用量、投入排熱量、補機消費電力量の推移をそれぞれ図 4-3.82、図 4-3.83 に示す。図 4-3.82 より、ID03 は建物使用時間が 24 時間であり、基本はガス使用により RHA を冷房運転し、CGU 稼働時間のみ排熱を投入する運転となっていることがうかがえる。図 4-3.83 より、ID14 もガス消費による RHA の冷房運転が基本であり、排熱のみで運転することはほとんどない。また、ID03、14 の両方とも、CGU 稼働かつ排熱投入時間帯に補機消費電力量が若干増加している時間がみられるため、補機消費電力量は処理熱量もしくは投入排熱量と相関がある可能性がある。

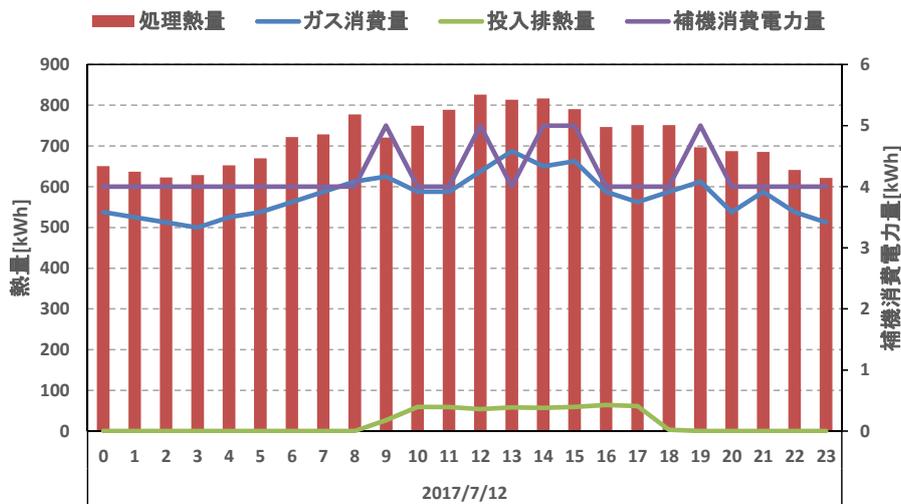


図 4-3.82 ID03 : 代表日 (2017 年 7 月 12 日) の処理熱量、投入排熱量、補機消費電力量の推移

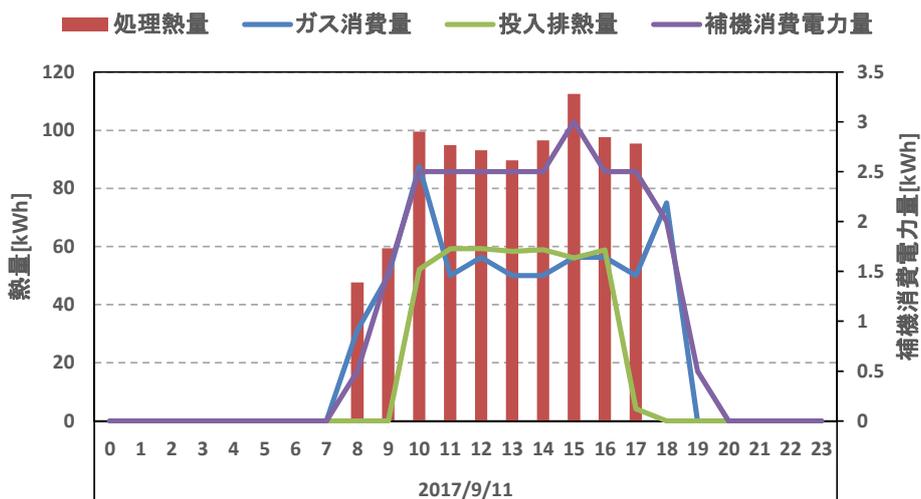


図 4-3.83 ID14 : 代表日 (2017 年 9 月 11 日) の処理熱量、投入排熱量、補機消費電力量の推移

E) 負荷率と補機消費電力量の関係

ID03、14 の RHA の負荷率と補機消費電力量の相関をそれぞれ図 4-3.84、図 4-3.85 に示す。図 4-3.84、図 4-3.85 の破線の回帰直線に示すように、負荷率と補機消費電力量は比例関係にあり、負荷率が増加するほど補機消費電力量が大きくなる。同様に投入排熱量と負荷率の相関を分析したところ、ほとんど相関は見られなかった。

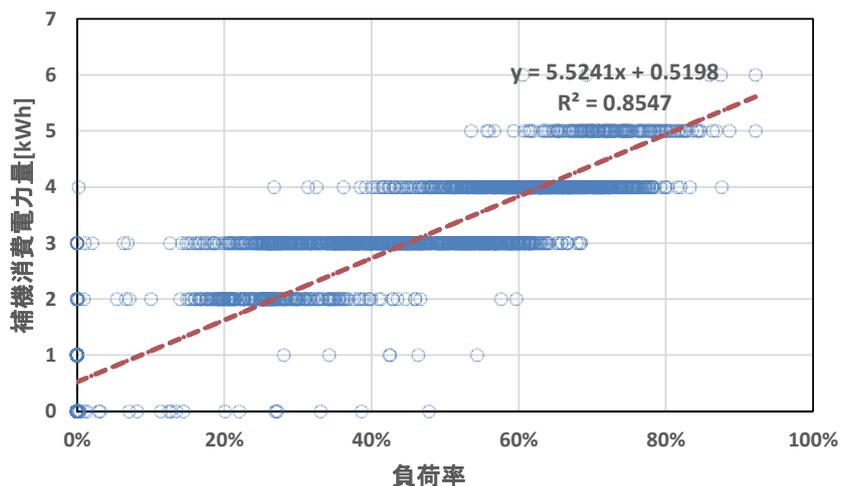


図 4-3.84 ID03 : RHA の負荷率と補機消費電力量の相関

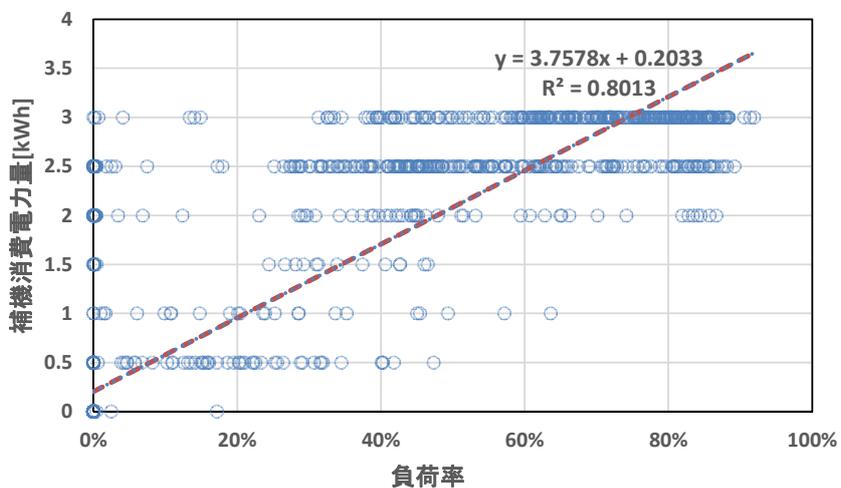


図 4-3.85 ID14 : RHA の負荷率と補機消費電力量の相関

F) RHA補機消費電力量割合の度数分布

ID03、14 の RHA 補機消費電力量割合を 0.1%毎に区切った場合の度数及び度数割合をそれぞれ表 4-3.27 及び表 4-3.28 に示す。表 4-3.27 に示すように、ID03 の RHA 補機消費電力量割合は 1%未満がほとんどである。一方表 4-3.28 に示すように、ID14 の RHA 補機消費電力量割合は ID03 より大きく、1.5%～2.0%の度数が最も大きい。しかし ID03、14 の両方とも RHA 補機消費電力量割合は CGU の補機消費電力割合と比べて小さい。よって RHA の補機消費電力量の影響は非常に小さく、計算において重要でない可能性もあるが、その判断においては、他の物件や他の機種での検討が必要である。

表 4-3.27 ID03 : RHA 補機消費電力量割合の度数分布

RHA補機 消費電力量割合区分	度数	度数割合
0.0%～0.1%	23	1%
0.1%～0.2%	1	0%
0.2%～0.3%	4	0%
0.3%～0.4%	3	0%
0.4%～0.5%	173	8%
0.5%～0.6%	666	29%
0.6%～0.7%	701	31%
0.7%～0.8%	306	14%
0.8%～0.9%	128	6%
0.9%～1.0%	90	4%
1.0%～1.1%	69	3%
1.1%～1.2%	42	2%
1.2%～1.3%	18	1%
1.3%～1.4%	13	1%
1.4%～1.5%	4	0%
1.5%～1.6%	5	0%
1.6%～1.7%	3	0%
1.7%～1.8%	4	0%
1.8%～1.9%	3	0%
1.9%～2.0%	2	0%
2.0%～	0	0%

表 4-3.28 ID14 : RHA 補機消費電力量割合の度数分布

RHA補機 消費電力量割合区分	度数	度数分布
0.5%～1.0%	18	3%
1.0%～1.5%	62	10%
1.5%～2.0%	232	37%
2.0%～2.5%	157	25%
2.5%～3.0%	70	11%
3.0%～3.5%	46	7%
3.5%～4.0%	19	3%
4.0%～4.5%	19	3%
4.5%～5.0%	3	0%
5.0%～5.5%	2	0%
5.5%～6.0%	1	0%
6.0%～6.5%	1	0%
6.5%～7.0%	2	0%
7.0%～	0	0%

G) RHAの時々刻々の特性解析実験

RHA の時々刻々の特性を把握するために ID14 で実験を行った。ID14 は参考資料 1-1 に示すように 35kW のマイクロガスエンジンが 1 台、211kW の RHA が 1 台導入されているショールームである。実験期間は ID14 が定休日である 2017 年 9 月 13 日の 11:05～17:05 であり、FCU 室内設定温度のみを 1 時間おきに変更し、その他の CGU 排熱温水出口温度、冷却水入口温度の設定値を固定する実験である。実験日の実測データは BEM にて取得し、RHA のガス使用量のみパソコンに接続した WEB カメラにてガスメーターを 1 分間隔で撮影して取得する。データ実験の目的を表 4-3.29 に、実験の行程を表 4-3.30 に示す。なお、14:05 に FCU 温度変更をする際、FCU の電源が落ちていたため 13:05 と同様の 26℃で設定している。

表 4-3.29 実験の目的

・ 負荷変化時の RHA の負荷率、投入排熱量、ガス消費量の変動についての検討
・ 低負荷時の排熱のみでの冷房運転特性の検討
・ 投入排熱量のカatalog特性と実測特性の比較

表 4-3.30 実験の行程

時刻	操作	CGU 排熱出口 温度設定値	FCU 室内温度 設定値	RHA 冷却水入口温度 設定値
11:05	CGU ON FCU 温度変更 (30℃)	88℃	30℃	32℃
12:05	FCU 温度変更 (28℃)	88℃	28℃	32℃
13:05	FCU 温度変更 (26℃)	88℃	26℃	32℃
14:05	FCU 温度変更 (26℃)	88℃	26℃	32℃
15:05	FCU 温度変更 (24℃)	88℃	24℃	32℃
16:05	FCU 温度変更 (22℃)	88℃	22℃	32℃
17:05	CGU OFF	—	—	—

実験日の負荷率、投入排熱量、ガス消費量の推移を図 4-3.86 に示す。図 4-3.86 に示すように、12 時、13 時、14 時など負荷増加時にはガスを消費していることがわかる。また、14 時以降の高負荷時と想定される時間帯でも負荷率は 80%を超えておらず、若干低い 150MJ 程度で投入排熱量が安定していることがわかる。

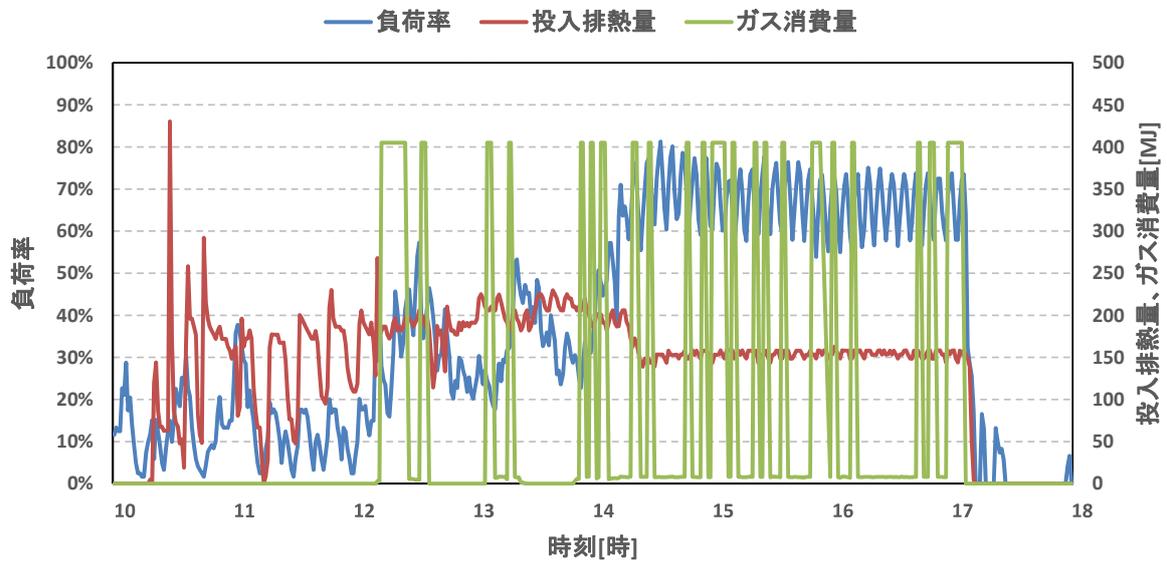


図 4-3.86 ID14 : 実験日の負荷率、投入排熱量、ガス消費量の推移

実験日の排熱温水温度、流量の推移を図 4-3.87 に、冷水温度、流量の推移を図 4-3.88 に、冷却水温度の推移を図 4-3.89 に示す。図 4-3.87 に示すように、排熱温水流量が一定であり、図 4-3.88 に示すように、14 時から 17 時までの時間帯で冷水流量が増加している。また、14 時 30 分あたりから排熱温水温度が比較的一定の温度になっている。図 4-3.89 に示すように、実験期間において冷却水入口温度を 32℃に設定している一方で、冷却水入口温度の実測値が 34℃を超える時間が一時的に存在する。この冷却水入口温度の挙動の影響で、前述のように負荷率が変動している可能性がある。また、冷却水出口温度が 14 時 30 分あたりから 39℃を超える挙動を示している。このように冷却水温度上昇の影響で 14 時 30 分あたりから排熱温水温度が比較的一定の温度になっていると考えられる。

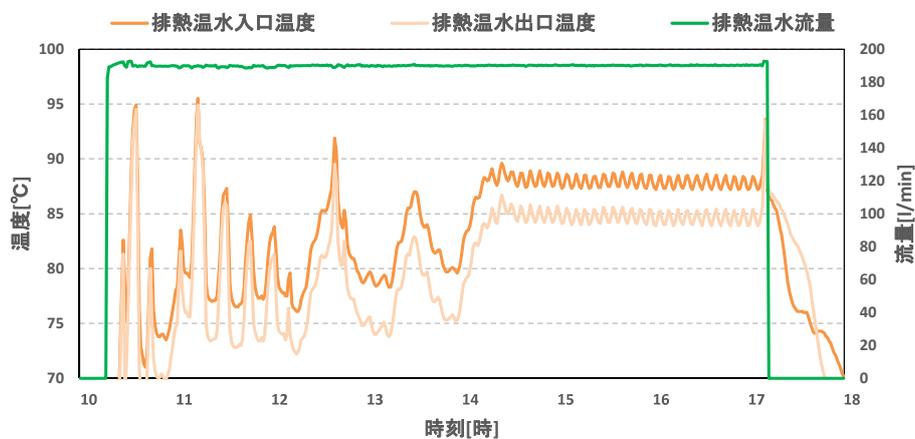


図 4-3.87 ID14 : 実験日の排熱温水温度、流量の推移

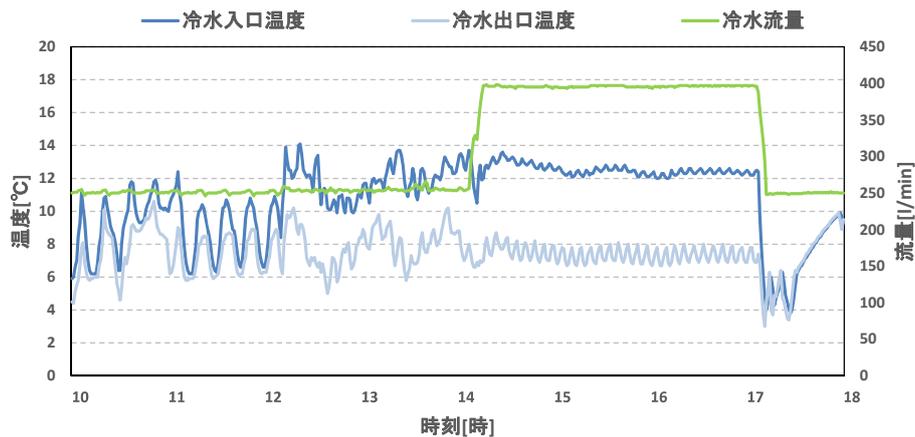


図 4-3.88 ID14 : 実験日の冷水温度、流量の推移

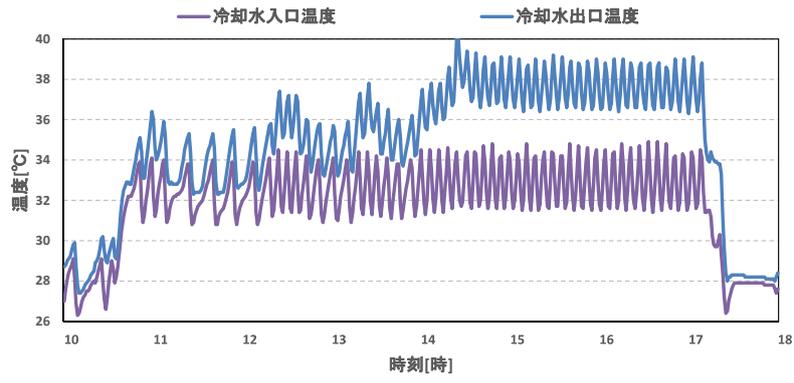


図 4-3.89 ID14 : 実験日の冷却水温度の推移

実験日の負荷率と投入排熱量の相関を図 4-3.90 に示す。図 4-3.90 に示すように、カタログ特性では負荷率 44%程度までは投入排熱量が増加し、その後投入排熱量が減少する傾向を示しているのに対し、実測値の投入排熱量は負荷率 55%程度から比較的一定の値を示す。このようにカタログ特性と実測特性が異なった原因として、以下の 3 点が可能性として考えられる。なお ID14 は用途がショールームであり、運用管理を詳細に行っていないことに留意が必要である。

- ① 排熱温水出口温度過低制御により投入排熱量が制限されている
- ② 破線に示すようにCGU定格排熱出力が189MJであるため、供給される熱量自体に限界がある
- ③ 冷却水入口温度が設定値より一時的に上昇し、冷却水出口温度も39℃付近まで一時的に上昇している

上記の 3 点の可能性について物件へのヒアリング調査、実測値分析結果を参考に再検討する。

- ① 排熱温水出口温度過低制御により投入排熱量が制限されている

ID14 にヒアリングした結果「排熱温水出口温度過低制御は導入していない」という回答であったため、排熱温水出口温度過低制御が原因ではない。

- ② 破線に示すようにCGU定格排熱出力が189MJであるため、供給される熱量自体に限界がある
ガス消費なしの時には投入排熱量が 189MJ 付近を示している一方で、負荷率 55%程度以上のガス消費ありの時に 150MJ 程度の一定値を示す。よって、負荷増加とガス消費が影響している可能性が高いため、CGU 定格排熱出力が 189MJ であることが原因であるとは一概には言えない。

- ③ 冷却水入口温度が設定値より一時的に上昇し、冷却水出口温度も39℃付近まで一時的に上昇している

上述のように、負荷率が 55%程度以上のガス消費ありの 14 時 30 分以降のときに、投入排熱量が 150MJ 程度の一定値を示す。また図 4-3.89 より、その時の冷却水出口温度は 39℃付近まで一時的に上昇している。よって実験における冷却水入口温度の設定を 32℃としたものの、実験中の冷却水温度が 32℃を超えたため、RHA サイクル内の温度レベルが上昇して飲み込める排熱量が低下し、投入排熱量が 150MJ 程度の一定値を示したと考えられる。

以上より、実験における冷却水入口温度が 32℃を超えた挙動を示していることが原因で投入排熱量の実測特性がカタログ特性と異なったことが考えられる。

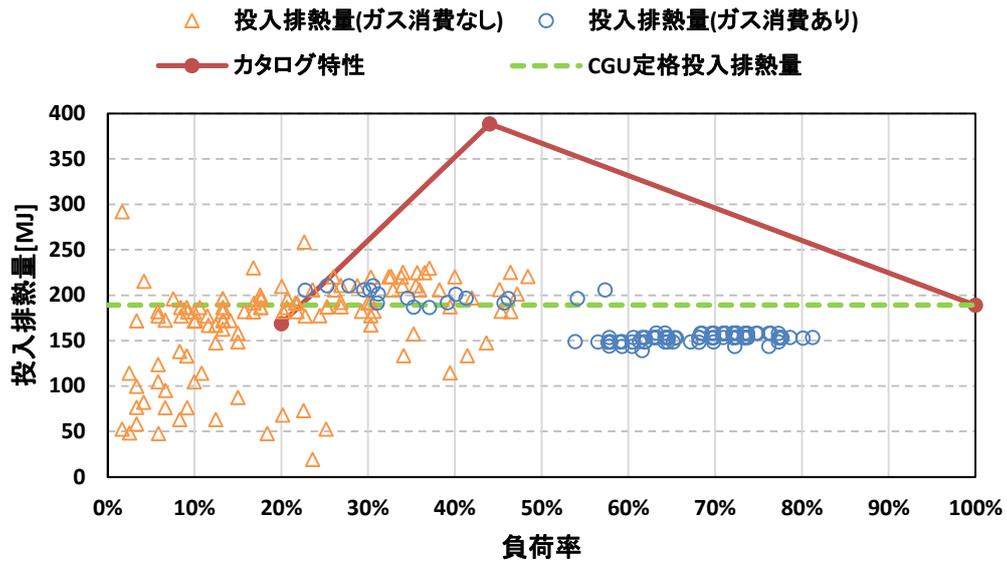


図 4-3.90 ID14 : 実験日の負荷率と投入排熱量の相関

4-3.7. 結果まとめ

(1) 入力データ及び規定値の設定（運転スケジュール等）

- 建物用途毎にCGUの稼働時間（稼働時間、季節ごとの運転状況、休日の稼働の有無など）に若干の違いが見られる。
- 建物の使用時間とCGU稼働時間には一定の相関がみられるが、中間期には稼働していない物件も見られる。（建物使用時間が24時間の物件は除く）
- 建物使用時間が24時間の物件は、十分負荷の得られる時間帯にCGUをスケジュール運転させていると考えられる。

(2) CGU効率特性分析

- ID08、ID10：発電効率の実測効率はカタログ効率と概ね一致している。
- ID08、ID10：排熱回収効率の実測効率は冬期ではカタログ効率より低い値を示すが、配管等からの熱損失、2次側に十分に排熱負荷がないことが原因として考えられる。

(3) CGU起動停止特性分析

- ID02、ID08：起動動作はガス消費量、発電出力、排熱出力の順に開始し、起動動作にかかる時間は約25分である。
- ID02：起動動作段階の排熱回路出口温度は熱荷の影響を受けると考えられる。
- ID02、ID08：停止動作はガス消費量、発電出力、排熱出力はほぼ同時に開始し、停止動作にかかる時間は約10分である。
- ID02、ID08：停止動作段階の排熱回路流量は即時に0m³/hとなり、残留運転は行っていない。
- 起動停止動作時間と外気温度との相関はあまり見られない。
- 起動動作は、定格出力に対する起動動作時間中の出力の比(η_{start})を低減率として反映できる可能性がある。
- 停止動作にかかる時間は短く、出力の低下もわずかで影響は小さいと考えられる。

(4) CGS補機動力特性分析

A) ガスエンジン

- ID01：CGU補機、温水循環ポンプ、冷却塔ポンプの消費電力は発電と相関があり、冷却塔の消費電力は外気温度との相関がある。
- ID01：冷却塔ヒーターは冷却塔内の溶液の温度によって凍結防止のために運転していると考えられるが、計測期間中2日しか稼働しなかった。
- ID01：CGU補機のみ待機電力が発生しており、消費電力量は冬期で4kWh、中間期と夏期で2kWh程度である。
- ID01：運転段階の補機消費電力割合は発電量の5%前後となった。
- ID01：待機段階では冬期にCGU補機消費電力が高くなっているが、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。

B) マイクロガスエンジン

- ID02 : CGU補機消費電力と発電出力に相関がある。
- ID02 : CGU補機は冬期には0.04kWほどの待機電力が、中間期と夏期に0.06kWほどの待機電力が発生している。
- ID02 : 温水循環ポンプ消費電力と発電出力に相関はほとんどない。
- ID02 : 運転段階、起動動作段階ともにCGU補機消費電力割合は発電出力の2%前後となった。

(5) RHAの特性分析

- ID03、ID08 : 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 : 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若干低下する。
- ID03、ID14 : 負荷率と補機消費電力量は比例関係にあり、負荷率が増加するほど補機消費電力量が大きくなる。
- ID03、ID14 : RHAの補機消費電力量の影響は非常に小さく、計算において重要でない可能性が高い。
- ID14 : 運転開始時、負荷増加時は排熱のみでなく、ガスを消費する。
- ID14 : 投入排熱量は冷却水温度に依存する。

