

1. 目的

給湯設備に熱エネルギーを回収させることで、総合効率を上昇させようとするのが、コージェネレーションシステムであり、このシステムの実験を通じエネルギー効率化を考える。

2. 概要

1. コージェネレーションでのエネルギー効率

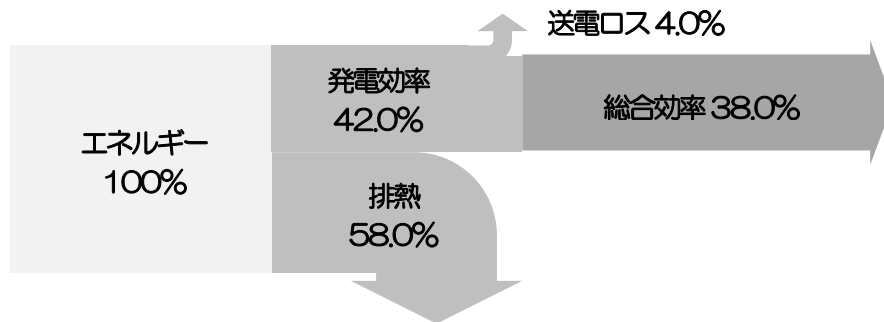


図1 電力会社でのエネルギー効率

図1は火力発電所から需要家までの電力発生と輸送におけるエネルギー効率を示す。発電効率と送電損失を考えると38%しか電気エネルギーを利用していないことを表している。排熱の58%は復水器を冷却するための大量の海水を通じて捨てられているのが現状である。海水の温度をあまり上昇させないことが発電効率を高めることになるため、現状では排熱利用は行われていない。なお、一般的には海水温の上昇は数度程度である。ところが排熱を回収するシステムが組み込まれた場合、総合効率は格段に上昇する。この考え方がコージェネレーションの思想である。小型の発電設備を需要家に近い場所に配置すれば送電ロスも低く抑えられ更に利点が得られる。給湯設備で排熱回収することが実用されている。この場合、給湯の需要があることが必要条件となる。

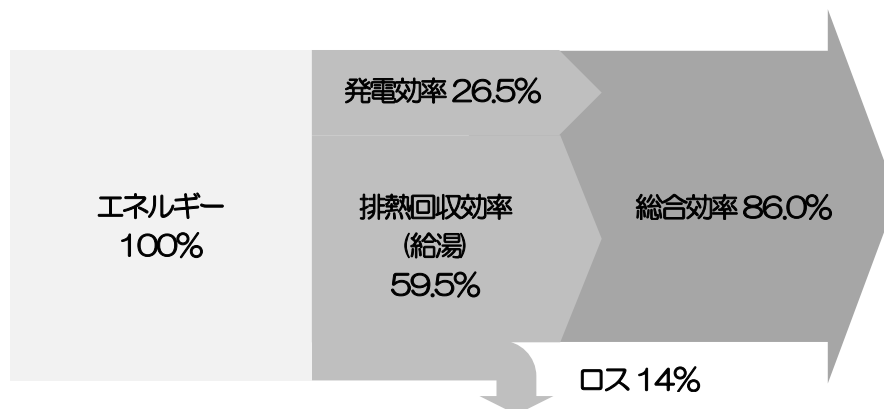


図2 本実験で用いられるコージェネレーションでのエネルギー効率

図2は今実験で用いられるコージェネレーションでのエネルギー効率を表したもので、最も条件が良い場合である。現実にはこれ以下の効率になる。取り出せる電気エネルギーの2倍以上が給湯設備に注ぎ込まれている。多くの湯を消費することが絶対条件になることが理解できるであろう。また発電効率が電力会社の発電設備より悪いのは、この発電機が小型であるため、高効率の設計ができないからである。

2. スマートグリッドについて

利点はピークシフト（昼間電力消費の一部を夜間電力に移行させる方法）による電力設備の有効活用と需要家の省エネ、再生可能エネルギーの導入、エコカーのインフラの導入、停電対策が挙げられる。しかし、一方でセキュリティ上の問題が挙げられる。スマートグリッドのインフラには、高度な通信システムや技術が集結している。不正操作やウイルス感染などの対策が不十分であり、セキュリティの脆弱性が問題である。

3. コージェネレーション実験での発電と給湯システム

本実験での発電と給湯システムは次のようである。

- (1) 入力エネルギー源は東邦ガスから供給される 13A という天然ガスで、 CH_4 （メタン）88%、 C_2H_6 （エタン）6%、 C_3H_8 （プロパン）4%、 C_4H_{10} （ブタン）2% である。発熱量は 0°C 、 101kPa の場合 $46\text{MJ}/\text{m}^3$ （高位発熱量）である。しかし、発電に用いられる場合は、ガスの温度等を考慮し、通常 $42\text{MJ}/\text{m}^3$ の（低位発熱量）の値が用いられる。供給ガス量はガスメータで確認する。本実験装置は自動データ収集ができるようになっているが、ガスメータの出力は 50 liter が最低単位であり、この実験には大雑把すぎてデータとして精度が上がらない。とりあえず人力でガスメータの表示を読み取り、データとして利用する。
- (2) 天然ガスは水冷式レシプロ式ガスエンジンに供給し、 1800min^{-1} で回転させる。ただし、出力に応じて回転数は変化する。
- (3) 回転数は三相 16 極の永久磁石式回転界磁型同期発電機に伝えられ、交流を発生する。電気出力は 6kW である。
- (4) 電源はそのまま中部電力の電源と同期させるには不十分であるため、一度直流にし、インバータで中部電力の電源と同期できるような波形に成型し、単相 3 線式の電源として出力する。
- (5) 発生した電力は中部電力の電源に送り込むことも可能であるが、安全を確保するための設備が複雑になることから、現時点ではこのような回路は構成せず、抵抗負荷で消費している。また、負荷に対し、中部電力の電源から常時 1000~800W 程度の電力が供給される設定になっている。
- (6) 発電した電力は本体の制御パネルに表示される。しかし、パネルの電力表示はインバータの入り口電力を表示しており、正確な出力はインバータ消費電力を差し引く必要がある。同時にデジタル式の電力計で正確な出力電力を測定表示している。回路に CT に入れているため、数値を 10 倍する必要がある。さらに、電子式電力計も取り付けられており、これからは 100 パルス/kWh 出力され、この信号もデータ収集機で記録される。1 パルスあたり 36kJ に相当する。
- (7) 排熱を給湯設備に利用するために、水冷式ガスエンジンの冷却水は熱交換器を通じて、貯湯槽の水に熱を伝える。このため、貯湯槽の水は常時、熱交換器との間をポンプで循環させ効率を上昇させる工夫をしている。
- (8) 熱交換器の入り口と出口には温度計を取り付け、水温の測定を行い、また循環する水量の測定（最低単位 10 liter）もできる。
- (9) 供給ガス量、出力電力、熱交換器の入り口と出口の温度、循環温水量の信号はデータ収集装置に送られ、コンパクトフラッシュ（CF）カードに自動記録される。
- (10) CF カードで記録されたデータはマイクロソフトエクセルを用いた専用の解析ソフトによりデータを取り出すことができる。さらに、自動的にデータの補正が行われ、表示される。このデータはエクセル上で自由に加工できる。
- (11) パソコン上でデータ処理を行え、効率の計算、グラフの作図等は容易である。
- (12) 熱交換器の一次冷却水温度が 80°C 程度になると、エンジン冷却用のファンが回転し

始め、大気中に熱を放出するため総合効率は悪くなる。

次にエネルギーの計算式を示す。

$$\text{入力エネルギー } W_{in} \text{ (J)} = \text{ガスの量 } V \text{ (m}^3\text{)} \times \text{ガスの発熱量 } G \text{ (J/m}^3\text{)} \\ + \text{中部電力側の電力量 } P \text{ (W)} \times \text{時間 } t \text{ (s)}$$

50 liter 当たり 1 パルス出力記録パルス数を利用する場合

$$\text{入力エネルギー } W_{in} \text{ (J)} = (\text{パルス数} \times 50 \text{ (liter)} / 1000) \times \text{ガスの発熱量 } G \text{ (J/m}^3\text{)} \\ + \text{中部電力側の電力量 } P \text{ (W)} \times \text{時間 } t \text{ (s)}$$

ガスの発熱量は 42MJ/m³ とする。

$$\text{出力電力量 } WE_{out} \text{ (J)} = \text{出力電力 } P_{out} \text{ (W)} \times \text{時間 } t \text{ (s)}$$

出力電力はデジタル電力計で表示される。表示の 10 倍が正しい値である。

36kJ 当たり 1 パルス出力の電力計の記録パルス数を利用する場合

$$\text{出力電力量 } WE_{out} \text{ (J)} = \text{パルス数} \times 36 \text{ kJ}$$

$$\text{水の加熱エネルギー } WW_{out} \text{ (J)} = \text{水の水量 } Q \text{ (liter)} \times 1000 \\ \times (\text{出口湯温 } T_o \text{ (}^\circ\text{C)} - \text{入力湯温 } T_i \text{ (}^\circ\text{C)}) \times 4.186$$

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J} = 1 / 860 \text{ Wh}$$

$$\text{発電効率 } \eta_e \text{ (\%)} = (\text{出力電力量 } WE_{out} \text{ (J)} / \text{入力エネルギー } W_{in} \text{ (J)}) \times 100$$

$$\text{総合効率 } \eta_t \text{ (\%)} = ((\text{出力電力量 } WE_{out} \text{ (J)} + \text{水の加熱エネルギー } WW_{out} \text{ (J)}) \\ / \text{入力エネルギー } W_{in} \text{ (J)}) \times 100$$

負荷は純抵抗負荷で 6kW である。

発生した湯は現時点では利用していない。

カタログによると最大効率は、熱交換器での湯温が 60～65℃で 6kW の負荷の場合で総合効率が 86% となっている。

4. コージェネレーションシステムの仕様

表 1 コージェネレーションシステムの仕様

項目			機種	
			GECC60A1N GECC60A1NR (都市ガス 13A)	GECC60A1P (い号プロパン)
基本仕様	定格出力	-	6.0kW	
	出力相数・線数	-	単相 3 線式	
	出力電圧	-	100/200V	
	電流	A	30	
	力率	-	95%以上	
	接続・運転	-	系統連系	
	方式	-	直流変換+インバータ連系	
	排熱回収量	kW	13.5	
	出力温水温度	℃	60→65 (入→出) (標準値)	
	温水流量	L/min	38.7 (標準値)	
	燃料ガス種	-	都市ガス 13A	い号プロパン
	燃料ガス消費量	M3N/h	1.96	0.91
	制御電源(入力)	-	単相 200V (50/60Hz)	
	運転電流	A (50/60Hz)	1.18/1.28 (ファンOFF 時)	
			1.77/2.10 (ファンON 時)	
	消費電力	kW (50/60Hz)	0.229/0.257 (ファンOFF 時)	
			0.335/0.414 (ファンON 時)	
エンジン	形式	-	水冷立型 4 サイクル 3 気筒 OHV	
	総排気量	cc	952	
	定格回転数	min-1	1800	
	NOx 対応	-	希薄燃焼方式	
発電機	形式	-	永久磁石式 回転界磁同期発電機	
			開放保護形	
	相数・極数	-	三相・16 極	
ユニット	外形寸法	mm	1100(幅)・660(奥行)・1500(高さ)	
	質量	kg	465	
	外板塗装色	-	マンセル No.3.6GY8.0/0.9 近似	
	運転音	dB (A)	56	
効率	総合効率	%	86.0	
	発電効率	%	26.5	
	排熱回収効率	%	59.5	

3. 使用機器

表 2 に実験に用いた使用機器を示す。

表2 コージェネレーションシステムの実験の使用機器

名称	メーカー名	製造番号	製品番号	仕様
ガスエンジン コージェネ [GEC]	アイシン 精機 株式会社	GECC60AINR	00100147	表 1 参照
コージェネ レーション システム	Kyoto Denkiki	IGC-1206A	02B007	入力 3φ3W, AC280V 出力 1φ3W, 9.0kVA AC200/100V
プチャイン	川本 製作所	F4651146	02D398433	出力 0.15kW 周波数 60Hz 電流 2.6A 水量 90℃ 吐出量 0.045/0.09m ³ /min 全揚程 75m
可変負荷抵抗器	山菱電機 株式会社	RZ-100-4B	151-1	AC100V1φ, 4kW PC100V, 2-40A
			151-3	
POWER HITESTER (電力量計負荷側)	HIOKI	3331	060204563	60ARMSMAX 100V-240V 50/60Hz 50VAMAX
DIGITAL POWER HITESTER	HIOKI			50/60Hz 100V±15% FUSE0.5A 一次電流 100A 二次電流 5A
中部電力側		3185	-	
発電機側		3184	-	
遮断機	山菱	NF50-CS	41-14988	AC220V, IC5kA POLE3P, AC600V 4OAPM
単三アナログ 電力量計	Tosiba	573	3656160	5A 100V, 60Hz 交流単相 3 線式 1400kV/kWh
単三デジタル 電力量計	大崎電気 工業株式 会社	A2HA-K26R	022693	交流単相 3 線式, 120A 125/6pulse/kWh 100V, 50/60Hz
ガスメータ	愛知時計 電機株式 会社	RN1445	K9718号 15	都市N3 Qmax 3m ³ /h Pmax 3.5kPa

4. 結線図

図3に配管・配線図・システムフロー図、図4に実験に用いたコージェネ盤の引込回路図を示す。

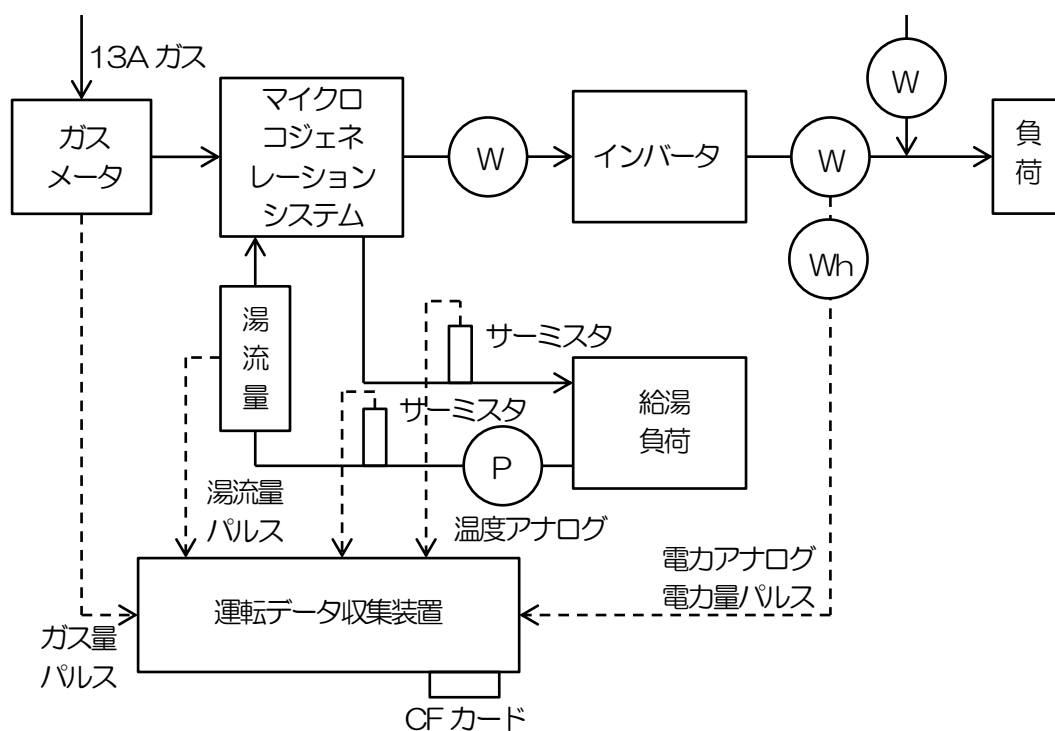


図3 配管・配線・データ収集場所

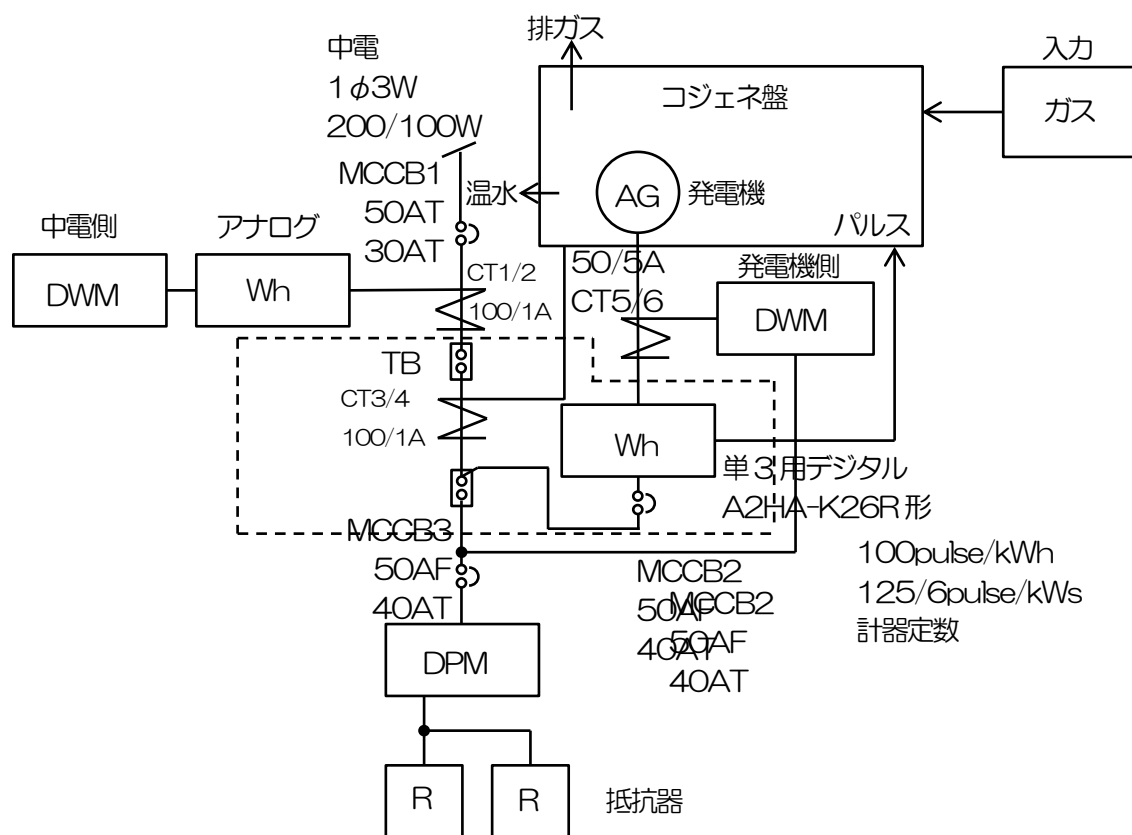


図4 コジェネ盤の引込回路図

5. 実験方法

- (1) 貯湯槽の前に取り付けてあるボックスを開ける。
- (2) CF カードの取り付け準備をするため、データ収集装置の電源を切る。電源が入った状態での取り付けは避ける。
- (3) CF カードを慎重に挿入した後、電源を入れる。
- (4) 十→キーを押して[ショキセッテイ]にカーソルを合わせ、決定キーを押して日付やデータ収集間隔などの初期設定を行う。(事前に設定が行われている可能性大)
- (5) [ショキセッテイ]を選択決定すると次の通り液晶画面に表示が出る。

カンカク [01] 05 10 30 60

07/04/09 10:23:45 YN

十→キーと←キーを利用して1分、5分、10分、30分、60分の中からデータ収集間隔を選択する。データ書き込みカンカク(タイミング) 01は1分の意味で、毎分00秒でデータを書き込む。05は5分の意味で、毎時00, 05, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65分でデータを書き込む。以下略。次は年、月、日、時、分、秒を「十→キー」と「←キー」で順次合わせる。

カーソルの移動は決定キーである。最後にカーソルを[Y]に合わせて決定キーを押すと、初期設定条件の本体内部メモリへ反映され、データ収集が始まる。今回は5分間隔でのデータ取り込みに設定する。

- (6) 初期設定終了後、基本メニューから十→キーを押して[スタート]にカーソルを合わせ決定キーを押すと初期設定に基づいて記録をスタートする。
- (7) CF カード部の時計の0, 5, 10, 15, ...時にストップウォッチをスタートする。同時に5分おきにガスメータの指示値を記録する。
- (8) 中部電力側と発電機側のデジタル電力計の電源を入れる。
- (9) 中部電力からの電源スイッチを閉じ、電力計を電圧計に切り替え電圧のチェックを行う。
- (10) 電源は単相3線式であるため、負荷は2台接続されている。片側の負荷に電流を流し、電力計を3kWに設定する。次にもう一方の負荷を3kW追加し、合計6kWの負荷とする。電力計の表示は使用しているCTの比率に応じて20倍した値を読みとる。
- (11) ガスの元栓を開く。
- (12) 発電機の制御パネルの扉を開け、本体漏電ブレーカー、インバータ漏電ブレーカー、インバータのスイッチがONされているか確認する。
- (13) リモコンスイッチのふたを開け自動・手動ボタンを押して手動に設定する。
- (14) ストップウォッチの5分の倍数時にリモコンの運転・停止ボタンを押して運転開始する。
- (15) 程なく、エンジンが自動的に始動し、運転開始から300秒(5分)経過すると連携運転が始まる。連系時に電力の移動を電力計の表示で確認する。
- (16) 発電機から負荷への供給電力を示しているデジタル電力計の表示とガスメータの指示値も読み取り記録する。できれば温水ポンプの湯流量表示、湯タンクの湯温計指示値も読み取る。
- (17) 発電機の制御パネルの数値はインバータ入口での電力を表示しており出力電力より400~500W大きい値を示す。
- (18) 一時間以上運転する。
- (19) リモコンの運転・停止ボタンを押して運転を停止する。
- (20) 連系が外れ、発電機出力がゼロになり、冷却期間が過ぎるとエンジンが自動停止する。
- (21) ガスの元栓を閉じる。
- (22) 中部電力側の電源を切る。負荷抵抗器が高温になっているから気を付ける。
- (23) CF カードを取り出すため十→キーを押して、[カキコミショリチュウシ]にカーソルを合わせ、次に「決定キー」を押す。

- (24) CF カードを慎重に取り出す。
- (25) パソコンにCF カードを取り付け、エクセルを立ち上げる。
- (26) F ドライブが CF カードになる。F ドライブの今日の年月日と同じファイル名を C:\cogeneration にコピーする。
- (27) C:\cogeneration にある「日報元帳.xls」を起動する。マクロが組み込まれているため、「データ読み込み」にカーソルを合わせて左クリックをし、今日の年月日のファイル名を選択しデータを読み込む。
- (28) 今日の日付のシートを選択し、時刻、ガス流量、湯流量、入り口温度、出口温度、出力電力、出力電力量を別のファイルにコピーする。
- (29) 同じファイルにガスメータの読みを記入する。読み取った湯流量も記入すれば精度の高いデータが得られる。
- (30) エネルギーや効率の式を参考にしながら、計算結果が出るよう計算式の設定を行う。
- (31) エネルギーや効率を計算させ、グラフを作図する。
- (32) これらのデータは別のファイル名で保存する。
- (33) 総合的な検討を加える。

6. 実験結果

実験の結果を表3にまとめ、入力エネルギー、出力電力量、水の加熱エネルギー、発電効率、総合効率を以下の図5にする。

表3 コージェネレーションシステムの実験結果

時間[分]	温度[℃]	ガスメータ[m3]	温水の流量[m3]	[L]	お湯の温度[℃]	中部電力[V]	[W]×20	[W]
0	13	569.228	688	391	19.6	103.6	398	7960
5	14	569.382	688	391	19.8		302	6040
10	14	569.522	688	556	18.8		41.1	822
15	16	569.685	688	777	21.2		41.2	824
20	17	569.842	688	950	23.8		41.7	834
25	18	569.908	689	124	26.2		42.8	856
30	19	570.065	689	297	29.4		42.2	844
35	20	570.230	689	470	32.2		40.8	816
40	21	570.401	689	644	35		41.0	820
45	21.5	570.568	689	817	37.6		42.4	848
50	22	570.738	689	991	40.2		41.3	826
55	22.5	570.905	690	166	43		41.4	828
60	23	571.072	690	340	46		41.3	826
65	23.5	571.238	690	515	48.2		42.8	856
							284	5680
							286	5720
時間[分]	ガス流量	温水流量	電力量		入温度	出温度	出電力	入温度
	liter	liter	kWs(kJ)		生デ-タ	生デ-タ	k W	℃
0	0	0	0	0	622.0	626.0	7.97	13.1
5	0	70	0	0	710.0	713.0	13.73	22.5
10	100	180	1,008	0	724.0	762.0	13.78	24.2
15	100	170	1,512	0	751.0	787.0	13.78	27.6
20	50	170	1,476	0	776.0	810.0	13.78	31.0
25	100	170	1,476	0	800.0	831.0	13.78	34.7
30	100	170	1,476	0	822.0	850.0	13.78	38.3
35	50	170	1,476	0	841.0	867.0	13.78	41.8
40	100	180	1,476	0	859.0	883.0	13.83	45.5
45	100	170	1,476	0	875.0	896.0	13.83	49.1
50	50	170	1,476	0	890.0	908.0	13.83	52.9
55	100	180	1,476	0	902.0	918.0	13.83	56.3
60	100	170	1,476	0	912.0	927.0	13.83	59.4
65	50	180	1,476	0	922.0	936.0	13.83	62.8
時間[分]	発電機[V]	[kW]×10	[kW]	出力電力Pout[W]	電力量計[kWh]	三相 発電機側[kWh]	抵抗器の電力[kW]	
0	103.6	-0.4	-4	-4000	20369	1377.9	0	
5		-0.0268	-0.268	-268	20369	1377.9	5.562	
10		0.500	5.000	5000	20371	1378	5.806	
15		0.503	5.03	5030	20371	1378.5	5.84	
20		0.496	4.96	4960	20371	1378.9	5.746	
25		0.495	4.95	4950	20372	1379.4	5.747	
30		0.493	4.93	4930	20372	1379.8	5.691	
35		0.491	4.91	4910	20372	1380.2	5.695	
40		0.491	4.91	4910	20372	1380.6	5.691	
45		0.492	4.92	4920	20372	1381	5.722	
50		0.494	4.94	4940	20372	1381.4	5.687	
55		0.491	4.91	4910	20373	1381.8	5.683	
60		0.489	4.89	4890	20373	1382.2	5.658	
65		0.49	4.9	4900	20373	1382.7	5.654	
		-0.025	-0.25	-250				
		-0.003	-0.03	-30				
時間[分]	出温度	入力エネルギーWin[J]	出力電力量WEout[J]	水の加熱エネルギーWWout[J]	発電効率ηe[%]	総合効率ηt[%]	排熱回収効率η[%]	
	℃							
0	13.5	0	0	0	0	0	0	
5	22.9	8280000	-80400	243784.5462	-0.971014493	1.973243311	2.944257804	
10	29.1	6126600	1500000	4529429.932	24.48340025	98.41396421	73.93056396	
15	32.7	7093200	1509000	3662159.349	21.27389613	72.90305291	51.62915678	
20	36.3	6844200	1488000	3813202.162	21.74103621	77.45539525	55.71435905	
25	39.9	3028800	1485000	3814908.7	49.02931854	174.9837791	125.9544605	
30	43.6	6847200	1479000	3818317.448	21.6000701	77.36472497	55.76465487	
35	47.2	7174800	1473000	3951381.307	20.53018899	75.60324061	55.07305162	
40	51.1	7428000	1473000	4047590.509	19.83037157	74.3213585	54.49098693	
45	54.5	7268400	1476000	3958840.156	20.30708271	74.7735424	54.46645968	
50	58.1	7387800	1482000	3811768.631	20.06009908	71.65554875	51.59544967	
55	61.4	7262400	1473000	3726383.894	20.28255122	71.59319087	51.31063965	
60	64.6	7261800	1467000	3869997.963	20.20160291	73.49414694	53.29254403	
65	68.3							

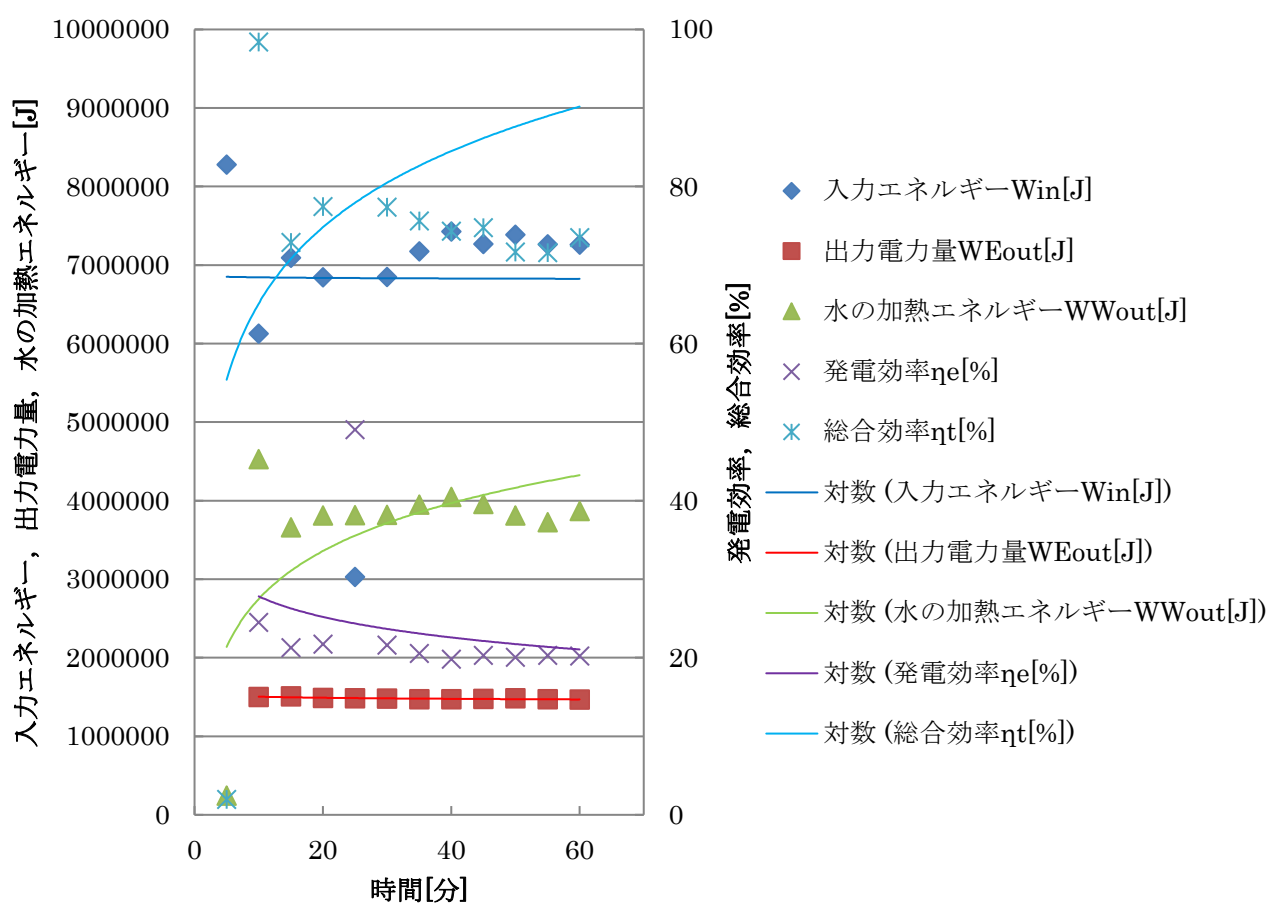


図5 コージェネレーションシステムの実験結果

7. 考察と課題

25 分のときだけ、すべての値で明らかに値が違う、一番わかりやすいのを例に挙げると、総合効率が 175% となっている。これは明らかに誤差の範囲を逸脱しているものである。この理由として、ガスメータの値はほぼ一定量ずつ上がっていくはずだが、25 分の時だけ、20 分から見ると、 0.66m^3 しか上がっていない。(ほかの値はほぼ 1.6m^3 である。) この値を読み間違えたと考えられ、それ以外の値はほぼ一定量上がっていると思われる。

8. 参考文献

電気工学実験ⅡA・ⅡB (平成25年度, 中部大学 工学部 電気システム工学科)