

第2部. 業務用コージェネレーション設備のエネルギー消費量の計算法の提案

空気調和・衛生工学会コージェネレーション評価プログラム「CASCADE III」をベースにCGS計算プログラムを開発し、様々な建物に対応できる汎用性のある計算ロジックを構築する。

2-1. CGSの性能評価の高度化に向けた既存プログラムの課題と本事業の目標

2-1.1. 既存プログラム「CASCADEⅢ」の概要

空気調和・衛生工学会コージェネレーション評価プログラム「CASCADEⅢ」は業務用CGSのエネルギー消費量試算のためのプログラムであり、Excelのマクロとして計算プログラムが組まれている。入力は簡単で、年間および月別のエネルギー消費量などが出力される。

以下、CASCADEⅢの計算ロジックについて記述する

- ▶ 計算は各月代表日1日分（24時間）の年間12日のみを計算し、それを年展開する。計算間隔は1時間である。
 - ▶ 負荷（電力、冷房、暖房、給湯）に応じてCGUの運転時間を決定し、排熱利用量などを算出する。
 - ▶ 計算手法の中心は発電効率と排熱回収効率の特性式を用いた効率計算となっており、負荷から発電量を決定し、発電量（負荷率）に応じた発電効率、排熱回収効率を求めることで、CGUのガス消費量や排熱回収量を計算する。
 - ▶ 電力負荷追従、熱負荷追従、発電量一定の運転方法と電力の逆潮流の可否が選択可能である。
 - ▶ 負荷データは、建物用途と延床面積を選択すると自動生成される。複数の用途を選択することも可能である。また、実負荷データをファイルとして用意すれば入力することもできる。
 - ▶ 主な入力は建物条件、システム条件、機器効率の三つである。以下、それぞれの内容を記述する。
- ◇ 建物条件の設定内容
 - ・ 建物用途、延床面積（負荷データ生成に使用、複合用途の選択も可）
 - ◇ システム条件の設定内容
 - ・ 発電機の種類
 - ・ 容量と台数 *容量が異なる機種同時設置は不可
 - ・ 買電制御電力 *買電量の下限値
 - ・ 運転制御：電力負荷追従、熱負荷追従（逆潮流の可否）、発電量一定
 - ・ 発電機最高負荷率と最低負荷率
 - ・ 貯湯槽容量
 - ・ 排熱利用機器への優先順位：給湯、暖房、冷房
 - ・ 冷房への排熱利用の有無
 - ・ 排熱投入率（ガス削減率） *冷房機器が最大何%まで排熱を利用できるのか
 - ・ 運転時間と休日運転の有無
 - ・ 比較システムの構成：ガス冷温水器＋給湯ボイラ、ターボ冷凍機＋蒸気ボイラ、空冷ヒートポンプ＋蒸気ボイラ

◇ 機器効率

- ・ 発電効率、排熱回収効率 *デフォルト値あり、書き換えも可能
- ・ 各熱源機器のCOP、補正率

CASCADEⅢの計算フローを以下の図に示す。負荷から「発電量の決定」をし、それに基づいて発電効率と排熱回収効率の特性式を用いた「負荷率・発電効率・排熱回収効率の計算」を行うことで、「ガス消費量・排熱回収量の決定」が行われる。排熱回収量を冷房・暖房・給湯のうち優先順位が高いものから消費する計算を行って、排熱がどれだけ有効に利用できるかを計算して、1時刻の計算が終了する。

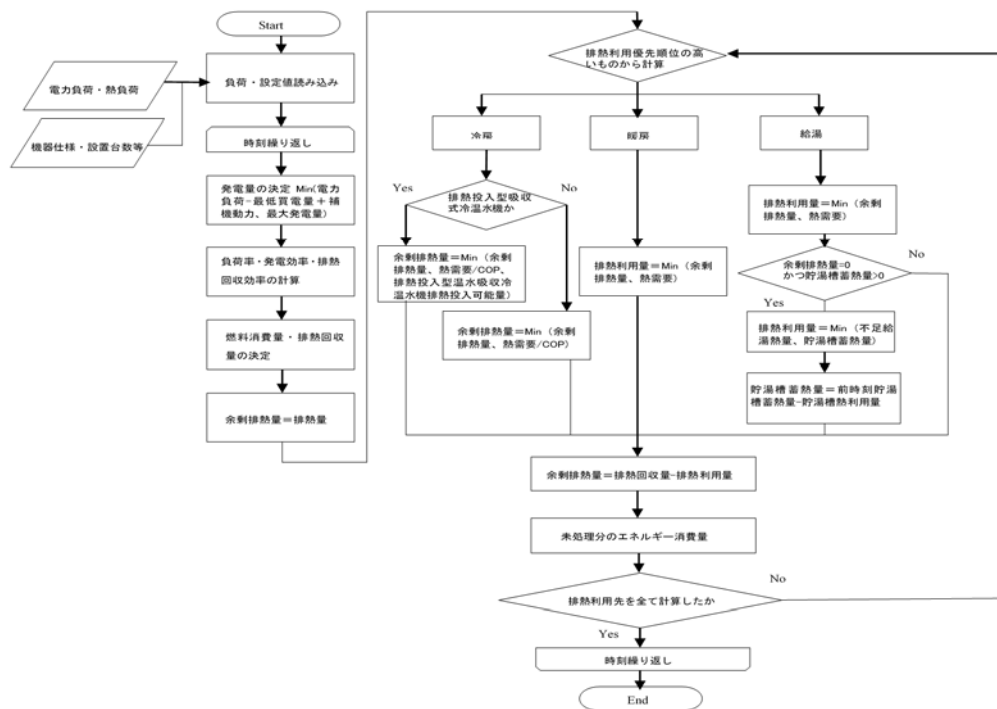


図 2-1.1 CASCADEⅢ計算フロー

2-1.2. CASCADEⅢの課題と本研究で目指すところ

以下、CGSの性能評価の高度化に向けたCASCADEⅢの課題と本研究で明らかにしたい内容について整理する。

■負荷データについて

- 負荷データ(電力、給湯、暖房、冷房)のデフォルト値があるが、デフォルト値は一般的には実態の負荷よりも大きく、CGSの発電量を大きく、運転時間を長く計算する可能性がある。

◇ 負荷データを適切なものにすることは重要だが、本研究で考えるCGSの性能評価の高度化の中には負荷データの見直しは含んでおらず、負荷データは別途適切な方法で与えることができるものと仮定している。

■CGUの本体特性について

- CASCADEⅢでの計算の基本となる各CGS機器のカタログに示されている発電効率特性や排熱

回収効率特性が、実態としての実働効率と一致しているかどうかほとんど検証されていない。

◇ 本研究において実測データを取得し、カタログ特性が実働効率と一致しているかを検証し、的確な評価が行えるようカタログ特性の補正方法などを検討する。

➤ CASCADEⅢでは起動時及び停止時の機器特性を考慮していない。

◇ 本研究において実測データを取得し、CGU機器の起動停止特性を明らかにして、エネルギー量評価全体に与える影響を把握する。さらに、影響が大きければそれを性能評価にどのように取り込むべきか検討し、提案する。

■補機特性について

➤ CASCADEⅢでは補機電力が発電量の5%（数値は変更可能、正確には105分の5）と定義され、固定となっているが、実態として5%でよいのか検証されていない。また、余剰排熱の放熱用機器（冷却塔あるいはラジエータファン）の電力は補機電力に含まれているが、余剰排熱の有無にかかわらず発電量に対して一定の補機電力となっている。

◇ 本研究において実測データを取得し、補機電力の割合や待機電力も含めた変動について検証する。合わせて冷却塔あるいはラジエータファンの電力についても把握し、これら的確な評価が行えるよう補機電力の評価方法を検討する。

■CGS の運転制御について

➤ CASCADEⅢでは運転スケジュールをユーザーが入力して与えるが、設計段階でCGSの性能評価を行うためには、ユーザーが意図的に決めることができるユーザー入力の運転スケジュールを用いない方法が望ましい。

◇ 本研究におけるアンケート調査やヒアリング調査によって、用途やCGSの規模別の標準的な運転スケジュールを抽出するなどの方法により、運転スケジュールの標準化について検討する。

■関連機器の特性について

➤ CASCADEⅢでは、排熱利用の計算において機器効率は常に一定で負荷の使用先の決定が単純化されている。

➤ 排熱投入型吸収式冷温水器の排熱投入可能量について、排熱温度による影響を考慮していない。

◇ 上記2点について、排熱利用時の温度条件が機器や熱利用の効率に影響している可能性があるため、本事業において実測データを取得して、排熱の取出温度と利用状況の関係を評価する。また、ヒアリング調査により実態としてどの程度の温度で排熱が利用されているかを調査し、評価すべき排熱の利用温度帯を明らかにする。

■その他

➤ CASCADEⅢでは、配管やその他の機器からの放熱が見込まれていない。また、タンクや配管からの熱ロスも見込まれていない。

◇ 本研究において実測データを取得し、配管からの熱損失やタンクからの熱損失がどの程

度あるか把握を行う。ただし、本項目についてはCGSに限らず他の給湯設備、空調設備などでも扱われるべき項目であり、エネルギー量の評価においては他の設備での扱いも参考にしながら評価方法を考慮する。

- ▶ 蒸気と温水が同時に発生するような機器は考慮されていない。
 - ✧ 蒸気と温水が同時に発生する機器はそれほど多くないことから、本研究による検討の対象とはしない。
- ▶ CASCADEⅢでは、蒸気ボイラも温水ボイラも効率は同じと設定されている。
 - ✧ 給湯設備、空調設備などでも扱われる項目であり、本研究での調査の対象とはしない。

2-2. ベースプログラムの構築

2-2.1. ベースプログラム概要

業務用コージェネレーション設備の性能評価のために CASCADE Ⅲを参考として、CGS の省エネルギー効果を算定するシミュレーションプログラム（以下、ベースプログラム）の開発を行った。ベースプログラムは、CASCADEⅢ相当の計算を行うためのものであり、これにアンケート調査や実測調査等で得られた知見に基づく改良を加え、最終的な CGS のエネルギー消費量計算法の構築を行うためのベースとなるものである。

ここでは、ベースプログラムの概要を記述する。本プログラムは入力 of 簡略化を行いながら一般的な CGS 性能評価が可能なプログラムを目指している。給湯、暖房、冷房の各種熱負荷と電力負荷及び CGU 機器仕様や冷熱源機器仕様などの設定値を入力とし、供給可能電力量、ガス消費量、負荷削減量を出力する。プログラムの計算フローと全体構成を以下に示す。

<プログラム計算フロー>

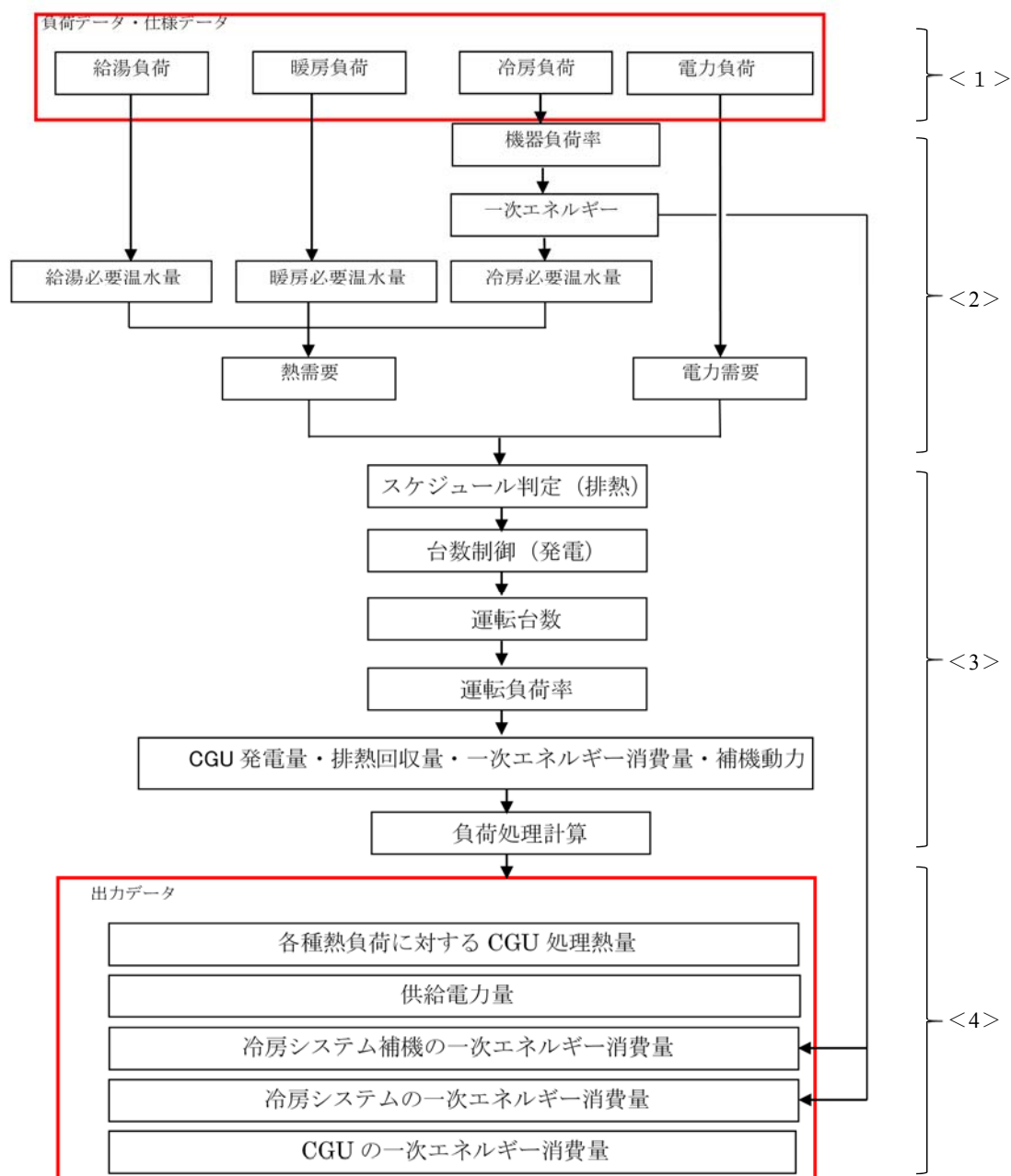


図 2-2.1 プログラム計算フロー図

1) 設定値入力

以下の入力を求める。

- *CGU 本体条件：機種、定格発電効率、定格排熱回収効率 など
- *排熱利用機器：機種、定格能力、消費電力 など
- *稼働条件：CGS 運転時間、排熱利用順位 など

2) 条件設定、事前処理

上記入力をもとに、計算に必要な条件を設定する。

- *定格排熱回収量、定格燃料消費量
- *CGS 特性式の各種係数項

*冷熱源定格能力

3) 時間毎計算

上記設定をもとに、負荷データ等を読み込み1時間ステップのエネルギー収支計算を行う。

*CGU 運転：発電量、排熱回収量、ガス消費量

*排熱利用：不足熱量、余剰排熱回収量など

4) 出力

上記計算を集計し結果のアウトプットを行う。

<プログラム入出力値>

ベースプログラムの入力値および出力値の一覧を以下に示す。

表 2-2.1 プログラム入力値

	項目	単位
負荷データ	電力負荷	[kW]
	冷房負荷	[MJ]
	暖房負荷	[MJ]
	給湯負荷	[MJ]
	外気温	[°C]
冷熱源仕様	熱源機種群名	[-]
	熱源機種	[-]
	運転順位	[-]
	熱源送水温度	[°C]
	熱源定格冷却能力	[kW]
	熱源一次エネルギー消費量	[kW]
	熱源補機定格消費電力	[kW]
CGS 系統仕様	発電機機種	[-]
	発電機容量	[kW]
	設置台数	[-]
	最低買電量	[kW]
	定格発電効率	[-]
	負荷率 0.75 時発電効率	[-]
	負荷率 0.50 時発電効率	[-]
	定格排熱回収効率	[-]
	負荷率 0.75 時排熱回収効率	[-]
	負荷率 0.50 時排熱回収効率	[-]
	排熱利用順位	[-]
	貯湯槽容量	[m ³]
	貯湯槽蓄熱の暖房利用への有無	[-]
	排熱の種類	[-]
	冷却塔ファン電力	[kW]
熱源機種群名	[-]	

表 2-2.2 プログラム出力値

項目	単位
CGU ガス消費量	[MJ]
冷房システムガス消費量	[MJ]
冷房システム補機ガス消費量	[MJ]
供給電力量	[kW]
冷房負荷削減量	[MJ]
暖房負荷削減量	[MJ]
給湯負荷削減量	[MJ]

<運転スケジュールの決定>

CGS の運転スケジュールは後述するアンケート調査の結果からも明らかとおおり、建物ごとに異なり、用途による傾向が見られるものの CGS をどの時間帯に ON とし、どの時間帯は OFF とするのかについて明確な基準はない。アンケート調査の結果では、主な判断の基準は電力負荷または熱負荷があるかどうかとなっており、電力負荷や熱負荷に合わせて ON/OFF のスケジュールを決めることが合理的な運転スケジュールの決定方法と考えられる。作成したベースプログラムでは、運転スケジュールの決定方法として専門家等の意見に基づき以下のように設定した。

➤ 負荷(電力・熱)状況によって発停スケジュールを決定する。

◇ CGS 稼働条件：

- 設置される CGU1 台分の定格発電量の 50%以上の電力負荷がある
- 設置される CGU1 台分の定格排熱回収量の 50%以上の熱負荷がある

ここで定める運転スケジュールは、CGS を ON とするか OFF とするかを判断するものであり、CGU の運転台数を決定するものではない。CGU1 台分の定格発電量の 50%以上の電力負荷と定格排熱回収量の 50%以上の熱負荷があれば、CGS を ON にすると判断することで建物によってまちまちなスケジュール設定を標準化したものである。なお、本設定の妥当性についてはアンケート調査、ヒアリング調査、実測調査の結果に基づいて検証する必要がある。特に 50%という数値については実測調査の結果から実態をどの程度捉えているか判断できる。

<運転台数の決定>

CGS の運転台数は、後述するアンケート調査において熱負荷に応じて決定する熱主運転の考え方を採用している建物がほとんどないことから、全台運転か電主運転のいずれかを選択するものとした。電主運転を選択した場合、電力負荷を上回る最小台数の CGU が運転されるものとした。

<適用範囲>

ベースプログラムは、以下の条件を満たすものに適用可能である。

- CGS：ガスエンジンコージェネレーション設備を利用したシステム
排熱が温水、または蒸気・温水同時取り出しの機器

JIS B 8122で規定される効率試験結果が公表されているもの

- 制御：電主運転を行うもの
- 冷熱源機器：（排熱を冷熱源機器に使う場合）排熱を利用する冷熱源機器として温水吸収冷凍機または、排熱投入型吸収冷温水機を用いているもの
- その他：発電電力を系統に売電しないもの

＜対象外機器＞

- ・ガスタービンCGS、燃料電池CGS
- ・排熱を蒸気のみで取り出す機器
- ・熱主運転を行う機器
- ・売電を行うシステム

2-2.2. ベースプログラムとCASCADE IIIの相違点

ベースプログラムは従来のCASCADE IIIを用いた計算ではデフォルト入力となっていた項目をユーザー入力とすることにより、設計内容に即した計算方法に改善するとともに、一部の項目については入力を簡略化するための標準的な入力値を定めている。下表にベースプログラムとCASCADE IIIの相違点を示す。

表 2-2.3 ベースプログラムと CASCADE IIIの相違点

		CASCADE III	ベースプログラム
精緻化	CGU 発電・排熱回収効率	デフォルト値	カタログ値より負荷率 100%、75%、50%時の効率を入力し、近似式により計算
	電力・熱需要	用途別のデフォルト値	負荷データを入力 冷熱負荷から排熱利用冷熱源機器の温水需要をベースプログラム内で計算
	吸収冷温水機等の冷熱機器効率	デフォルト値を使用した単純計算	機器仕様を入力し、計算
	温熱不足時のボイラ効率	デフォルト値を使用した単純計算	プログラムの中で計算
入力の標準化	制御方法	電主、熱主など選択可	採用が多い電主運転に限定
	運転時間	運転開始時刻、終了時刻、土日運転有無を入力	負荷データを基に時間毎にON/OFFを判定

2-2.3. ベースプログラムの動作確認

実際に負荷データ、冷熱源仕様、CGU 仕様を設定し、負荷に対する出力の変化、季節毎の結果の違いなどについて動作確認を行った。表に示す設定で計算を行い、2)プログラム入出力値で示した7項目を出力した。

表 2-2.4 ベースプログラム計算設定

項目	設定内容
建物用途	事務所
CGU 機種	ガスエンジン
CGU 容量	25kW
CGU 設置台数	1台
CGU 定格排熱回収量	138MJ
冷熱源機種	RHA
排熱利用優先順位	1.冷房 2.暖房 3.給湯
土日・祝日の運転の有無	全日運転
運転時間	24 時間運転
最低買電量	5kW

計算結果の出力例を以下に示す。ここでは代表期間毎の負荷に応じた出力結果の推移と各月のエネルギー消費量、負荷削減量、排熱投入割合を示す。計算結果は時間ごとに出力され、集計を行うことで CGS の稼働状況や各月の稼働状況など必要に応じた分析を行うことが可能である。

< 代表期間毎の推移（出力例） >

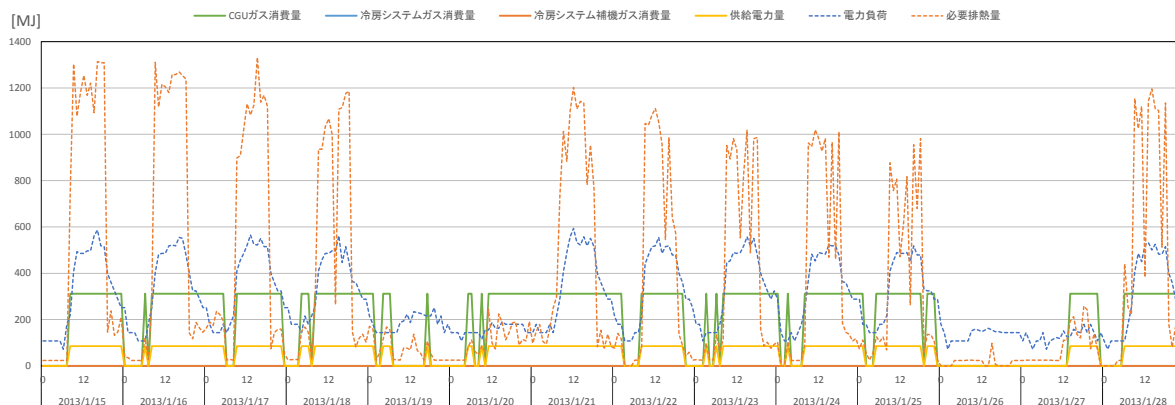


図 2-2.2 冬季代表週 ガス消費量・供給電力量

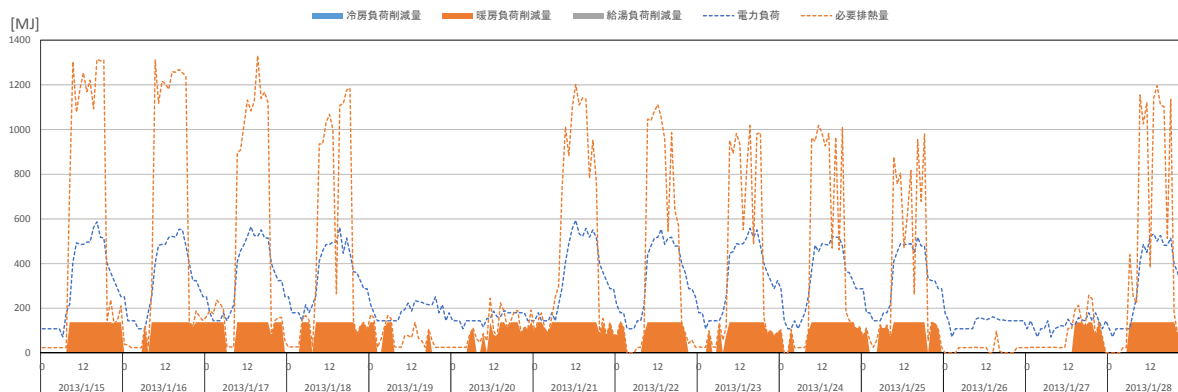


図 2-2.3 冬季代表週 各種負荷削減量

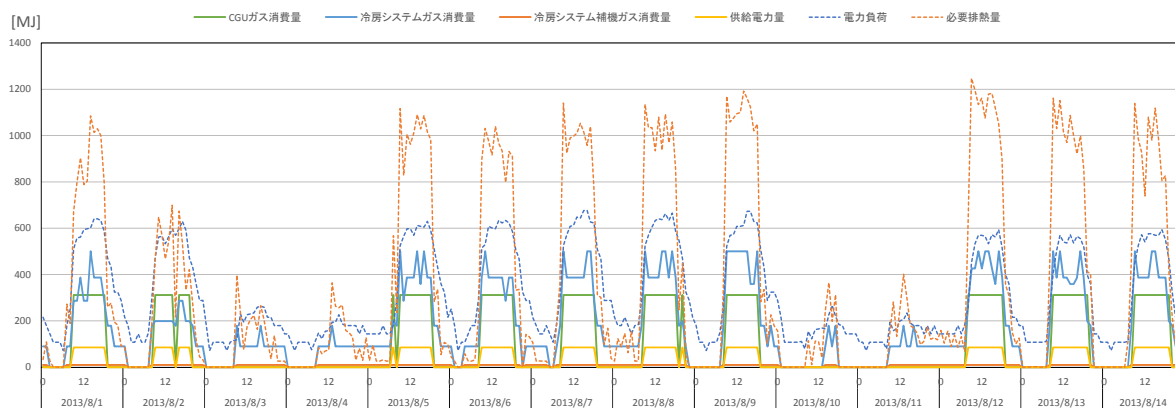


図 2-2.4 夏季代表週 ガス消費量・供給電力量

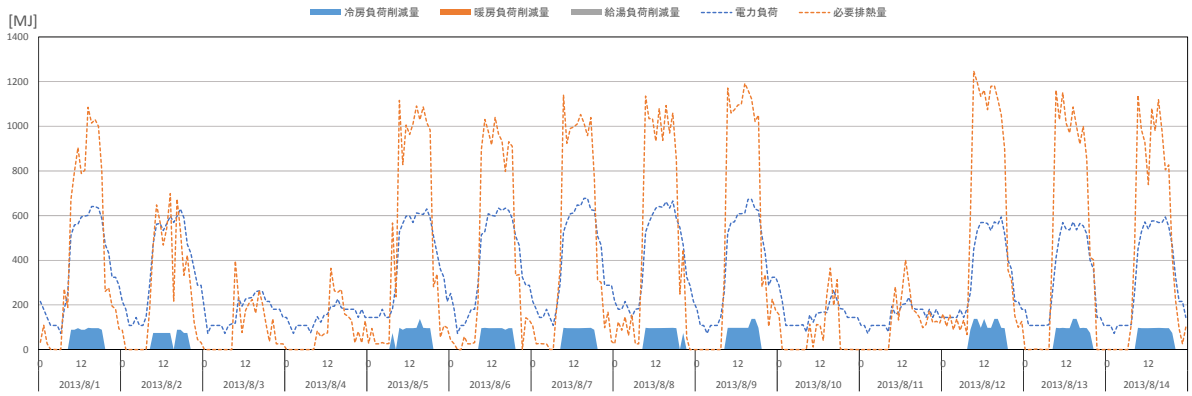


図 2-2.5 夏季代表週 各種負荷削減量

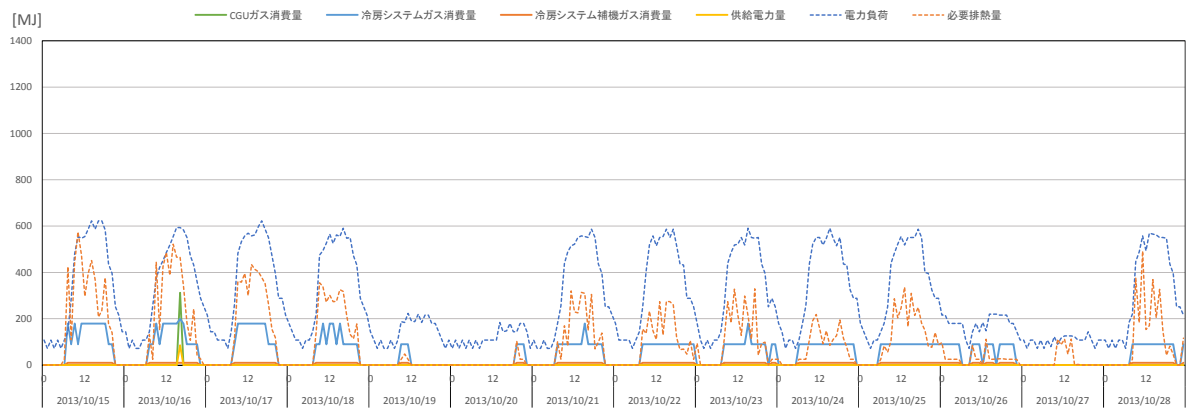


図 2-2.6 中間期代表週 ガス消費量・供給電力量

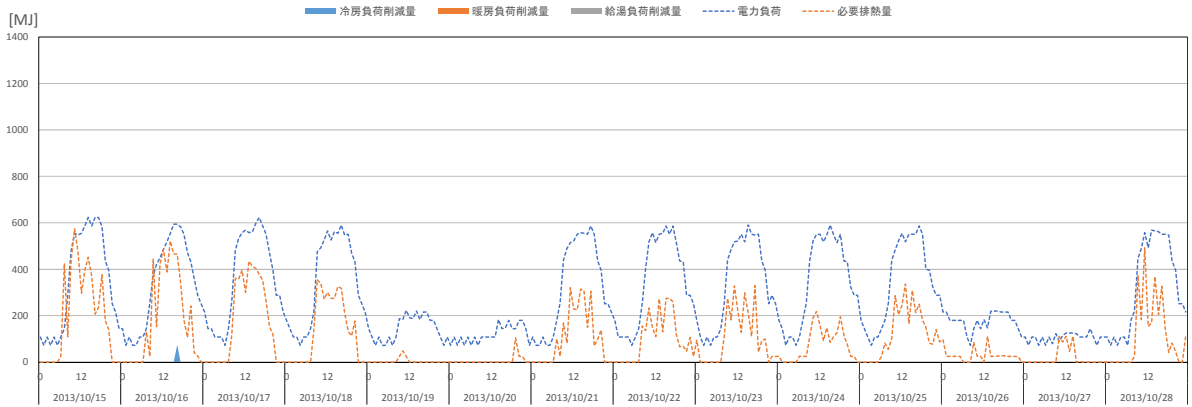


図 2-2.7 中間期代表週 各種負荷削減量

<各月のエネルギー消費量、負荷削減量、排熱投入割合（出力例）>

表 2-2.5 各月のエネルギー消費量、負荷削減量、排熱投入割合

	CGU ガス消費量 [GJ]	負荷削減量[GJ]			排熱投入割合[%]		
		冷房	暖房	給湯	冷房	暖房	給湯
1月	148	0	60	0	0%	100%	0%
2月	132	0	54	0	0%	100%	0%
3月	79	2	30	0	7%	93%	0%
4月	79	6	25	0	19%	81%	0%
5月	36	8	2	0	79%	21%	0%
6月	41	11	0	0	100%	0%	0%
7月	72	21	0	0	100%	0%	0%
8月	73	22	0	0	100%	0%	0%
9月	56	15	0	0	100%	0%	0%
10月	19	2	0	0	100%	0%	0%
11月	35	0	13	0	1%	99%	0%
12月	102	0	42	0	0%	100%	0%

2-2.4. プログラムによるケース検討

従来の CASCADEⅢを用いた計算ではデフォルト入力となっていた項目をベースプログラムではユーザー入力とすることにより、より実態に近い計算方法に改善するとともに、一部項目については入力を簡略化するために標準的な入力値を定めている。最終的に提案するエネルギー消費量計算プログラム（以下、基整促プログラム）は、ベースプログラムにこれまでの調査結果（第3章以降に記述）を反映し、補機動力や RHA の排熱投入可能率をより精緻な計算とするなどして設計者の工夫を評価し、実態に則した計算が可能なものとするのがよいと考えられる。しかし、評価する項目が増えれば、計算が複雑になり、入力の手間が増える。そこでここでは、最終的に基整促プログラムに反映すべき項目について検討するため、詳細な計算プログラムを作成して、各項目が計算結果への程度影響を与えるのかを把握する。

2-2.4.1. ケース設定

実際の計算で影響の大きい項目を明らかとするため以下のケースを設定し検討を行う。検討は主に CGU の効率等について検討するケース 0～5 と配管の接続方法や熱の利用方法の違いが与える影響について検討するケース P-C-0～N-H-1 とする。以下に各ケースの概要を示す。

表 2-2.6 計算ケースの概要

ケース	内容	詳細
0	CGS設置なし	ベースプログラムでCGSの導入を0台として計算
1	CGS設置あり 補正なし	ベースプログラムのまま計算
2	CGS設置あり 発電効率補正	ベースプログラムの発電効率に0.99を掛けて計算
3	CGSあり 起動特性考慮	ベースプログラムの計算ロジックに起動時の特性を追加して計算
4	CGSあり 補機動力考慮	ベースプログラムの計算ロジックの補機動力を修正して計算
5	CGSあり 配管熱損失考慮	ベースプログラムの計算ロジックに排熱温水の配管からの熱ロスを考慮するロジックを追加して計算。

表 2-2.7 配管の接続方法や熱の利用方法の検討ケース

ケース	配管接続	優先	温度制御
P-H-0	並列 	暖房・給湯	無し
P-H-1			有り
P-C-0		冷房	無し
P-C-1			有り
S-H-0	直列 	暖房・給湯	無し
S-H-1			有り
S-C-0		冷房	無し
S-C-1			有り
N-H-0	直列 (RHAのみ並列) 	暖房・給湯	無し
N-H-1			有り
N-C-0		冷房	無し
N-C-1			有り

2-2.4.2. ケース設定の根拠

以下にケース設定の根拠を示す。

■ 発電効率補正

図 2-2.8 に実測値の発電効率の分析結果とカタログ発電効率の比較を示す。結果を見るとカタログ値に対する実測値の比率は 99.2%~99.6%となっており、十分な性能が出ていることが分かるが、100%を僅かに下まわっている。実測の測定精度が十分ではなく、その誤差である可能性も十分に考えられるが、今後のケース検討等では安全側を見て発電効率をカタログ値の 99%として計算を行うこととした。この数値については、今後吟味して見直していくことが重要である。

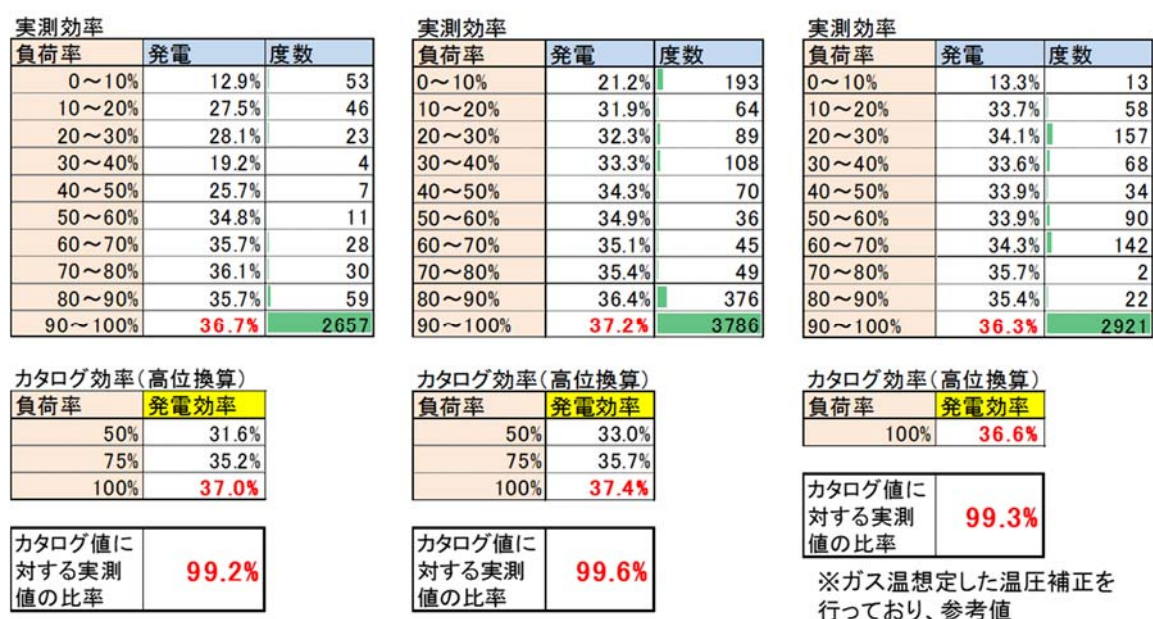


図 2-2.8 実測発電効率とカタログ発電効率の比較

■ 起動特性の計算

図 2-2.9 に CGU の起動特性を示す。CGU は次に示す 3 段階に分かれた動きをする。

- ① 起動後、発電出力（排熱出力、ガス消費）が始まるまでの出力0の段階
- ② 発電出力（排熱出力、ガス消費）が始まり出力100%となるまでの段階
- ③ 発電出力（排熱出力、ガス消費）が100%に到達したあとの段階

②の段階では定格出力と比較して出力が低下するため、起動特性の考慮の有無によって計算結果が変わることが予想される。そのため、起動特性が与える影響を明らかとするためケース検討では起動時の最初の 1 時間に実測分析より得られた補正値を掛けて計算を行う。マイクロガスエ

ンジンとガスエンジンコージェネの発電出力、排熱出力、ガス出力の起動特性、補正値を図 2-2.10、図 2-2.11 に示す。

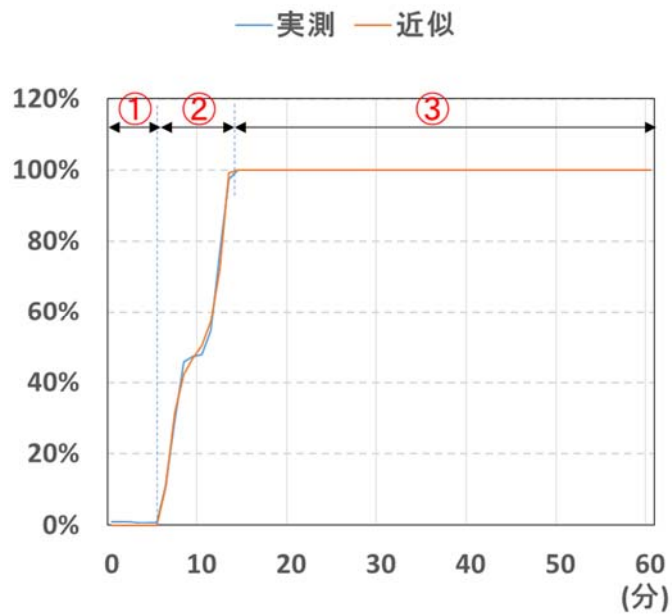
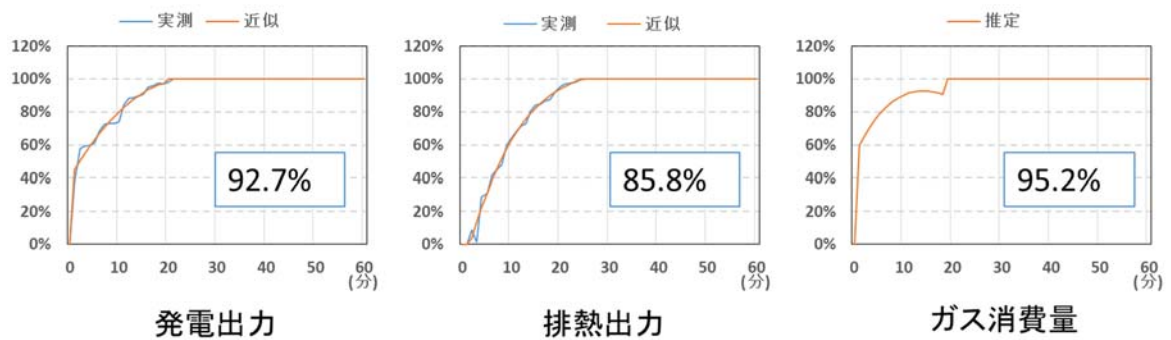


図 2-2.9 CGU の起動特性



※ガス消費量の実測値得られていないため、推計して算出

図 2-2.10 マイクロガスエンジン起動特性・補正値

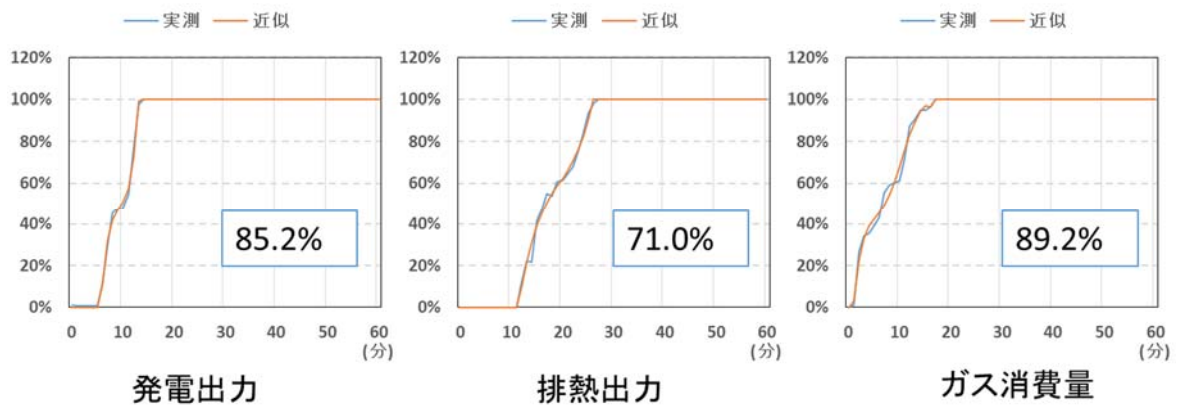


図 2-2.11 ガスエンジン起動特性・補正値

■ 補機動力特性

ベースプログラムでは発電量の5%を補機動力として計算を行っており、これは実態と大きな乖離がないことは昨年度の調査で確認された。しかし、更なる調査によってCGU非稼働時の待機電力や発電量とは相関の低い冷却塔ファン・ポンプ・ヒーター電力などが補機電力に含まれており、発電量に対する補機の割合も変化することが分かった。より精緻な補機動力計算手法とすることで、設計上の工夫の評価が可能となるため、補機計算の精緻化が結果に与える影響を検討する。ここでは補機を本体補機、温水循環ポンプ、冷却塔ポンプ、冷却塔ファンに分けて検討する。また、ラジエータを内蔵した小型の機種と冷却塔を外部に持つ中～大型の機種では補機動力の範囲が異なるため、機種に応じた計算を行う。補機動力の範囲は以下の通りとする。

マイクロガスエンジン：CGU本体補機・温水循環ポンプ

ガスエンジン：CGU本体補機・温水循環ポンプ・冷却塔ポンプ・冷却塔ファン

CGU本体補機に関しては実測値の分析結果から得られた値を用いて計算を行う。マイクロガスエンジン及びガスエンジンコージェネの補機分析結果を表2-2.8、表2-2.9に示す。

マイクロガスエンジン、ガスエンジンコージェネの本体補機及び待機中の補機は以下の通りとする。

マイクロガスエンジン

稼働時：CGU本体補機 = 発電量の2%

待機中：CGU本体補機 = 定格発電量の0.15%

ガスエンジンコージェネ

稼働時：CGU本体補機 = 発電量の3%

待機中：CGU本体補機 = 定格発電量の0.4%

表 2-2.8 マイクロガスエンジン 補機分析結果

		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	--	--	--	--		--	

表 2-2.9 ガスエンジン補機分析結果

		補機消費電力量(kWh)					発電量 (kWh)	補機消費電力割合				
		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%
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	-	-	-	-	-

温水循環ポンプ、冷却塔ポンプは以下に示す計算式を用いて計算を行う。ポンプ動力に関して、ポンプ効率を実機から特性式を作成し利用し揚程は 20m と設定している。冷却塔ファン定格消費電力は CGU 最大放熱量から実際の冷却塔カタログを参考に設定した。

温水循環ポンプ・冷却ポンプ計算式

$$W = \frac{\rho g H q}{1000 \eta}$$

W : 消費電力[kW]

ρ : 水の密度[kg/m³]

g : 重力加速度[m/s²]

H : 揚程[m]

q : 流量[m³/s]

η : ポンプ効率[-]

冷却塔ファン計算式

$$W = W_r \times \frac{Q_{loss}}{Q_{CGU,h,r}}$$

W : 消費電力[kW]

W_r : ファン定格消費電力[kW]

Q_{loss} : 放熱量[kW]

$Q_{CGU,h,r}$: CGU最大放熱量[kW]

■ 配管熱損失の考慮

実測値の分析結果から、排熱回収効率がカタログ記載の値よりも数%低い値を示すことが分かった。この傾向は夏季よりも冬季に顕著となっており、配管からの熱損失や2次側に十分な排熱負荷がないことが原因であると考えられる。そこでケース検討においてはベースプログラムに配管からの熱損失を計算するロジックを追加し、計算時に熱損失が与える影響を検討する。熱損失計算は以下に示す式によって行う。

$$Q = \frac{ti-to}{R} \quad (\text{式 1})$$

$$R = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r_0\alpha_1} + \frac{1}{\lambda_0} \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right) + \frac{1}{\lambda_1} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + \frac{1}{r_2\alpha_2} \right\} \quad (\text{式 2})$$

※ α_1 を別途計算して求める

$$\alpha_1 = \frac{Nu \times k}{d} \quad \left(= \frac{Nu \times k}{2r_0} \right) \quad (\text{式 3})$$

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^n \quad (\text{式 4}) \quad \text{※ディタス・ベルターの式}$$

$n = 0.4$ 流体が加熱されている場合(流体の温度が出口 > 入口)

$n = 0.3$ 流体が冷却されている場合(流体の温度が出口 < 入口)

$$Re = \frac{V \times d}{\nu} \quad (\text{式 5}) \quad \text{※ 流速 } V = \frac{\text{流量 m}^3/\text{s}}{\text{断面積 m}^2}$$

Nu : ヌッセルト数

k : 熱伝導率 W/mK (水の物性値より)

d : 直径 m (= $2 \times r_0$)

Re : レイノルズ数

Pr : プラントル数

V : 流速 m/s

d : 水力直径 m (円管の場合は \div 管内直径 $2 \times r_0$)

ν : 動粘性係数 m^2/s

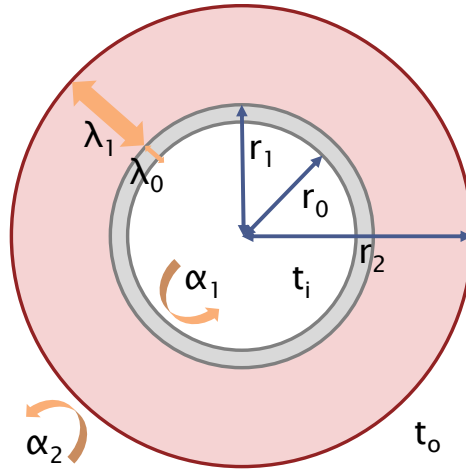


図 2-2.12 配管断面図

- r_0 : 円管の内半径[m]
- r_1 : 円管の外半径[m]
- r_2 : 保温材の外半径[m]
- λ_0 : 円管の熱伝導率[W/mK]
- λ_1 : 保温材の熱伝導率[W/mK]
- α_1 : 配管内側の表面熱伝導率[W/m² K]
- α_2 : 配管外側の表面熱伝導率[W/m² K]
- t_i : 配管内温度[°C]
- t_o : 周囲温度[°C]
- R : 配管の貫流熱抵抗[mK/W]
- Q : 単位長さ当たりの配管からの熱負荷[W/m]
- ※融通管長さ[m]

参考：空気調和・衛生工学会 編 「空気調和設備 計画設計の実務の知識(改訂3版)」

■ 配管接続の計算

これまでの分析結果から、RHA に関して直列に接続される場合と並列に接続される場合があることが分かっている。並列に接続された場合には流量が変化し、直列に接続された場合には排熱の温度が変化する。RHA は排熱温度によって投入可能量が変化することが明らかとなっており、接続方法が性能評価に影響を与えることが予想される。そこで、配管接続方法による温度流量の違いを計算で再現し、それらが与える影響を明らかにする。また、冷房を優先して利用した場合と暖房・給湯を優先して利用した場合の計算結果の違いについても考察する。並列、直列接続のそれぞれの計算方法は以下に示す通りとする。

<並列接続>

優先順位が高い機器から順に必要な流量を計算し、排熱を割り当てる。この際、排熱入口温度は全ての機器で CGU 排熱出口温度となる。

<直列接続>

優先順位が高い機器から順に計算し、各機器で使用した排熱量から出口温度を計算し、次の機器の入口温度とする。流量は全ての機器で同じとなる。

■ 温度制御の計算

CGU の熱利用においては排熱の温度が重要であり、排熱の温度レベルによっては利用可能な場合と不可能な場合が出てくる。また、実運用においても排熱の戻り温度を一定に保つ制御を設けるケースがあることも分かっている。そこで、ケース検討を行い、温度制御を行った場合と行わなかった場合の計算結果に与える影響を考察する。温度制御なしの場合は需要に対して限界まで熱利用を行い、温度制御ありの場合は図 2-2.13 に示す CGU の戻り側の温度を一定値に保つように熱利用を行う

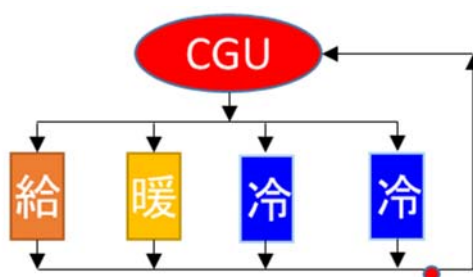


図 2-2.13 温度制御ありの場合

■ RHA特性計算

図 2-2.14 に RHA 排熱投入可能率の変化（概念図）を示す。実測値分析やヒアリング調査により、RHA の排熱投入可能率が排熱温水入口温度、冷却水入口温度、冷水出口温度、排熱温水流量に応じて変化することが分かった。そのため、プログラムでは機器毎の排熱投入可能率の頂点（図 2-2.14 中 点 A）と負荷率 100%時の排熱回収率（図 2-2.14 中 点 B）を入力し、各項目の特性に応じて補正することで与える。補正值に関してはこれまで収集したデータを基に作成した。図 2-2.15 に項目毎の特性の変化を示す。

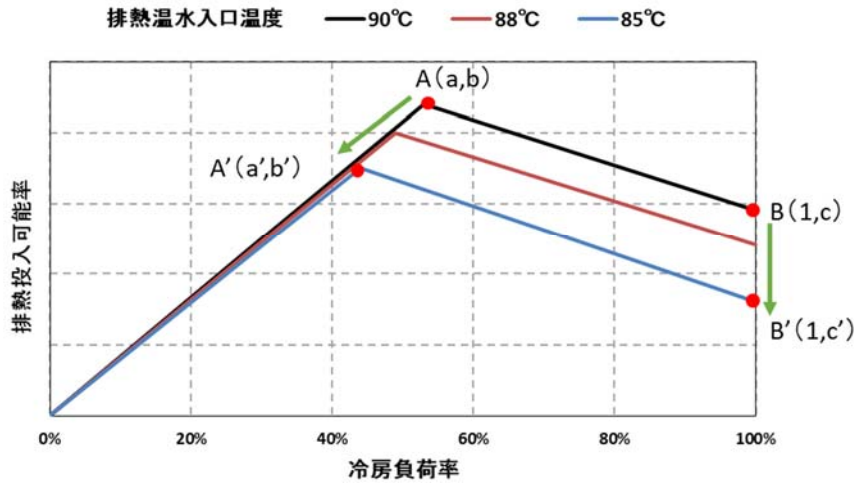


図 2-2.14 RHA 排熱投入可能率（概念図）

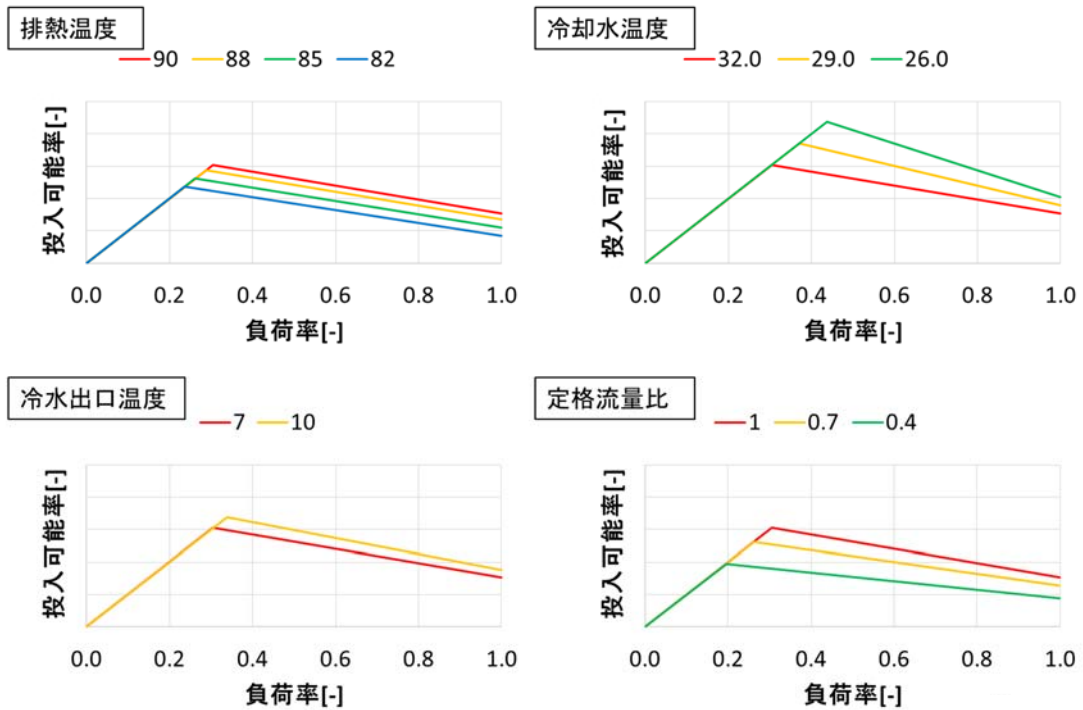


図 2-2.15 項目別特性式

2-2.4.3. 計算設定

収集した負荷データを用いてケース検討を行った。計算は必要なデータが揃っている ID08 を使用した。また、マイクロガスエンジン、ガスエンジンそれぞれについて計算を行い、機器仕様はそれぞれ ID03、ID08 の使用を用いている。計算設定一覧を表 2-2.10 に示す。

表 2-2.10 ケース検討計算設定

項目	設定内容
建物用途	病院
CGU 機種	マイクロガスエンジン ガスエンジン
CGU 容量	マイクロガスエンジン：35kW ガスエンジン：370kW
CGU 設置台数	マイクロガスエンジン：3 台 ガスエンジン：2 台
冷熱源機種	RHA

使用した負荷データの月積算値を図 2-2.16 に夏期および冬期代表日の負荷推移を図 2-2.17、図 2-2.18 に示す。

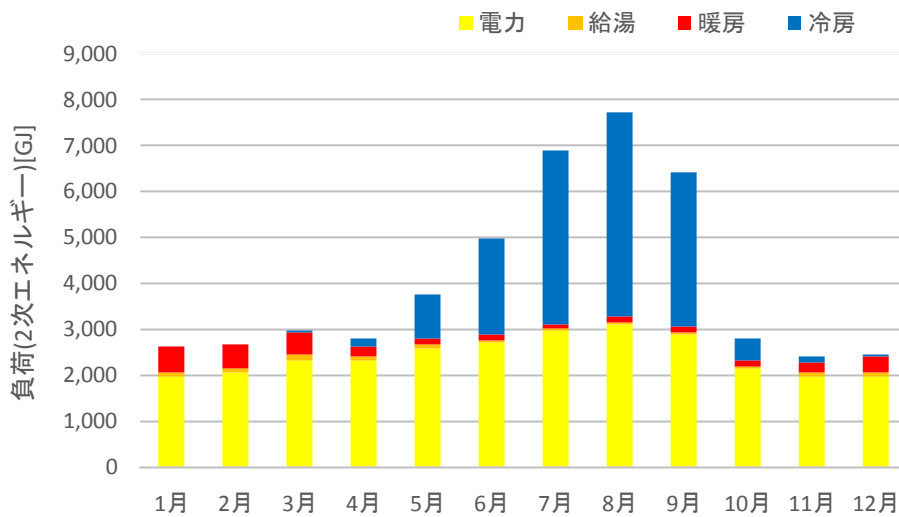


図 2-2.16 負荷の月積算値

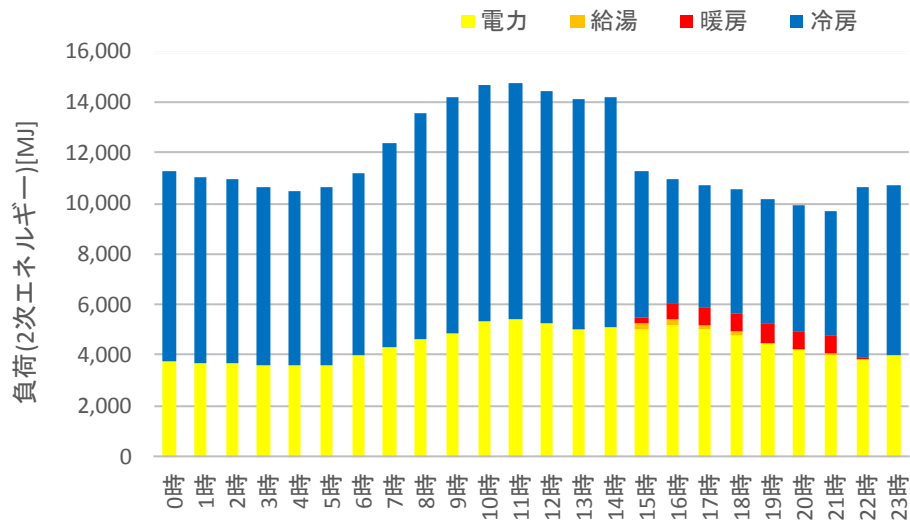


図 2-2.17 夏期代表日の負荷(8月22日)

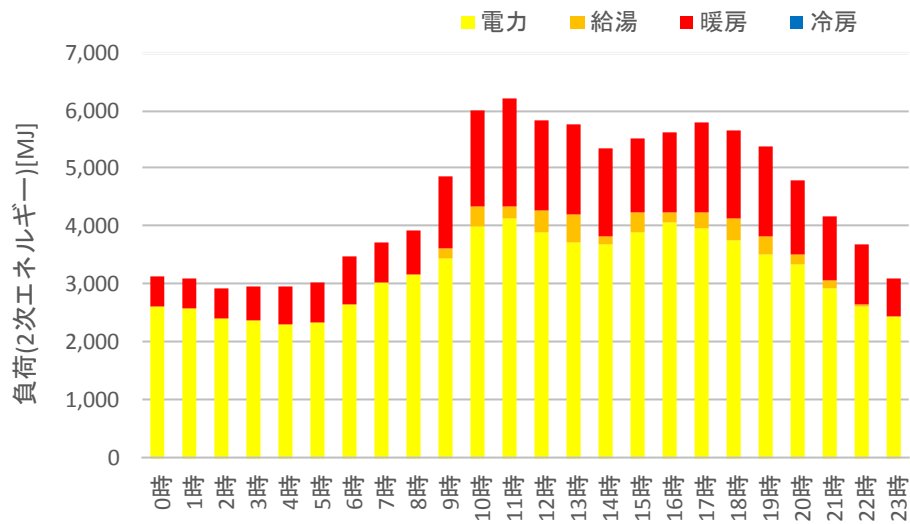


図 2-2.18 冬期代表日の負荷(3月11日)

2-2.4.4. ケース検討結果

ケース検討結果を以下に示す。

■ ケース0～ケース5

ガスエンジンケースの年間エネルギー消費量を図 2-2.19 に、省エネルギー量の比較を図 2-2.20 に、省エネルギー量の変化率を図 2-2.21 に示す。図 2-2.21 はケース 1 における発電量を基準として各ケースの省エネルギー量の変化量の比率を求めたものである。下式により変化率を算出している。このような方法を取るのには、発電量を基準として省エネルギー量を見ることで、その変化の大きさを把握しやすくするためである。例えば、変化率が 1% だった場合、発電量が 1% 目減りした状況に相当する。各ケースの状況を考慮することでどの程度省エネルギー効果が低下するかを把握することができる。

$$\text{省エネルギー量の変化率[\%]} = \frac{\text{ケース 1 のエネルギー消費量[GJ]} - \text{各ケースのエネルギー消費量[GJ]}}{\text{ケース 1 での発電量[GJ]}} \times 100$$

ケース 2 は、発電効率 1% の補正によりケース 1 と比べて省エネルギー量は 360GJ 減少している。これは発電量の 1.04% に相当する。つまり 1% の発電効率低下が、発電量 1% に相当する省エネルギー量の低下に繋がったことを示している。ケース 3 では起動特性を考慮したところ、発電量の 0.44% に相当する省エネルギー量の低下となった。ガスエンジンは起動が速く、起動特性による省エネルギー効果への影響は小さいと言える。ケース 4 では補機動力の計算方法を変え、ポンプ・ファンの定格消費電力を与える手法とした。ただし、実際の定格消費電力の情報などが得られておらず、想定値を入力している。結果として、3.16% の変化率となっており、ケース 2～5 までで最も影響が大きかった。補機動力の設計次第で省エネルギー効果に強い影響を与えることを示している。最後にケース 5 では配管からの熱損失を考慮したが、変化率は 0.04% で最も小さかった。想定した熱負荷が、排熱回収量に対して小さく、そのために排熱が冷却塔か放熱される状況となっており、配管からの熱損失があっても負荷を賄える状況であったためである。負荷が大きければ影響が現れるものと考えられる。

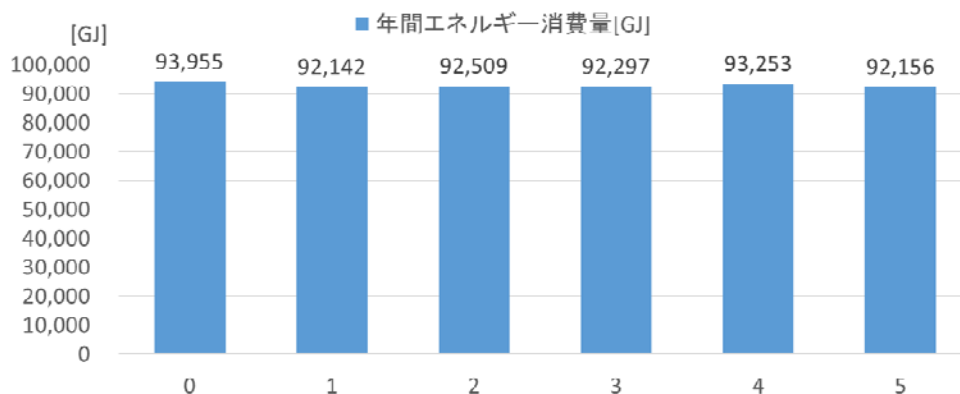


図 2-2.19 年間エネルギー消費量（ガスエンジン）

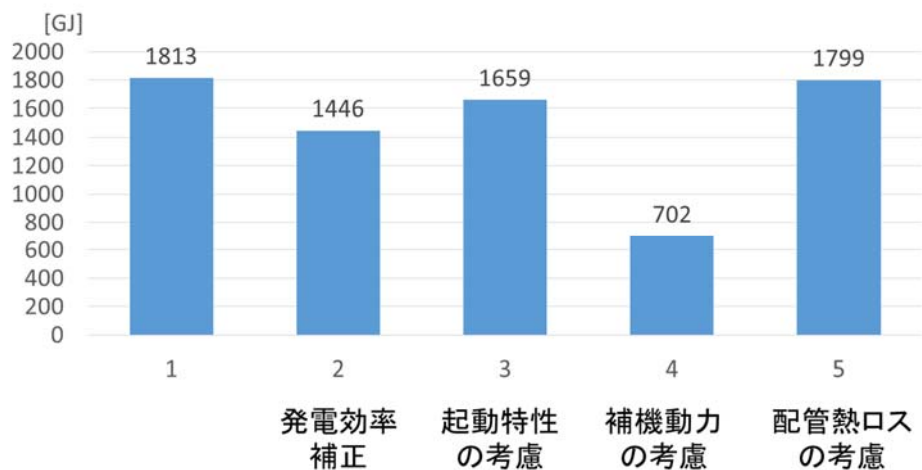


図 2-2.20 ケース 0 に対する省エネルギー量（ガスエンジン）

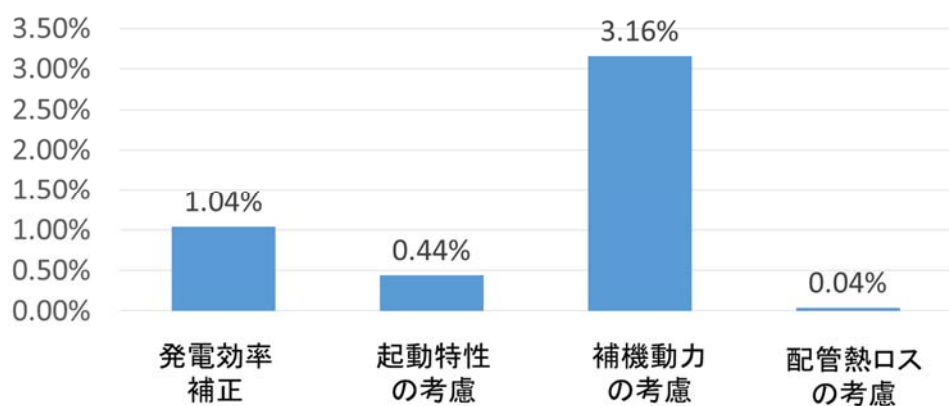


図 2-2.21 省エネルギー量の変化率（ガスエンジン）

ケース 1 におけるエネルギー利用状況を図 2-2.22 に示す。排熱回収量の 40%程度が強制放熱で失われていることが確認できる。このため、前述のようにケース 5 において、熱損失を考慮した影響が小さかったものと考えられる。

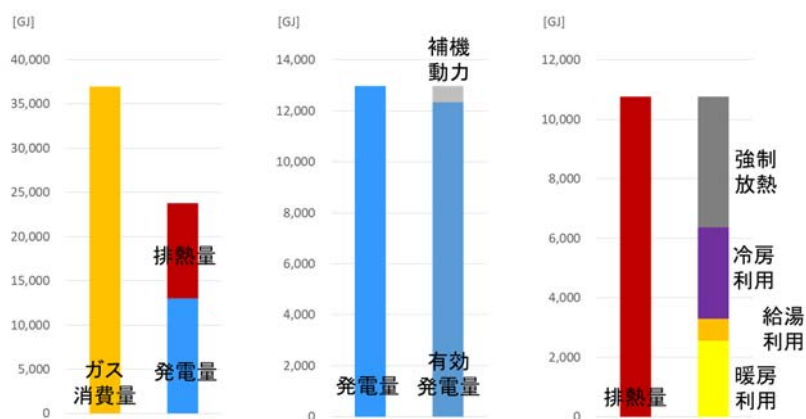


図 2-2.22 ケース 1 におけるエネルギー利用状況（ガスエンジン）

ガスエンジンケースと同様にマイクロガスエンジンケースの計算結果を図 2-2.23～図 2-2.24 に示す。発電効率の補正ケースの省エネルギー量の変化率は 0.78%となっており、ガスエンジンケースよりやや小さくなったが、大きくは変わっていない。起動特性の考慮による変化率もガスエンジンケースとほぼ同等である。補機動力の計算方法の変更はガスエンジンケースとは異なり、変化率は 0.64%と小さい。設計次第で省エネルギー効果に影響を及ぼす項目であることが分かる。配管熱ロスの考慮についてもガスエンジンケースとは異なり、変化量が 1.18%となっており、大きい。図 2-2.24 で確認できるようにマイクロガスエンジンケースでは強制放熱量が少なく、排熱を使い切っている状況が伺える。こうした場合には排熱損失の影響が大きくなるものと考えられる。

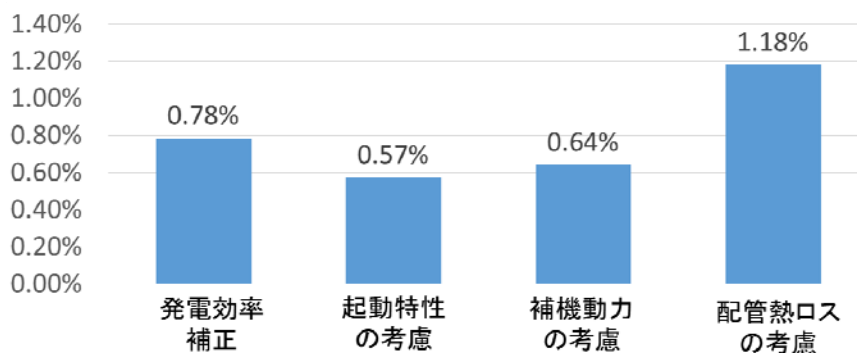


図 2-2.23 省エネルギー量の変化率（マイクロガスエンジン）

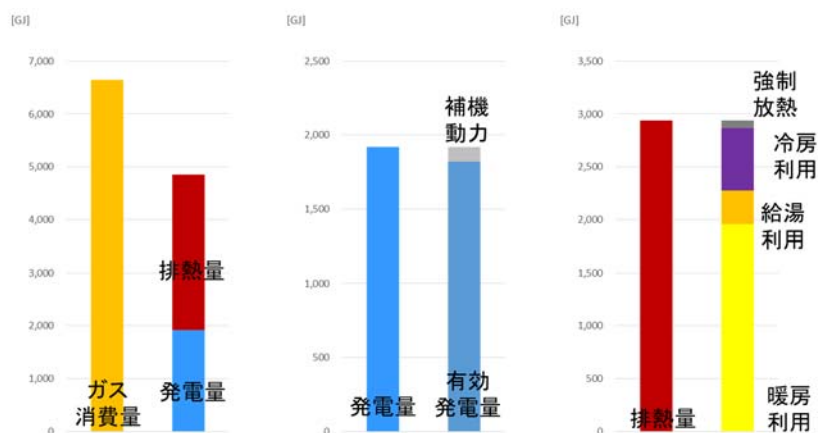


図 2-2.24 ケース 1 におけるエネルギー利用状況（マイクロガスエンジン）

最後にケース 5 における月別の排熱量に対する配管からの熱損失の割合を図 2-2.25、図 2-2.26 に示す。ガスエンジンの場合で年間 1.6%、マイクロガスエンジンの場合で年間 3.4%が熱損失となっている計算結果となった。いずれの場合でも中間期に高い熱損失率となっているのは、排熱利用先が少ないことにより配管回路内の温度レベルが高くなり、外気との温度差が大きくなるためである。また、マイクロガスエンジンの方が熱損失率が高いのは、配管径が小さいために流量に対する配管表面積が大きいためと考えられる。これらの数値は配管の長さや断熱性能に影響を受けるため、一概に設定することが難しく、本来は設計の工夫を反映するために、配管長や断熱性能などを入力できるようにすることが望ましい。

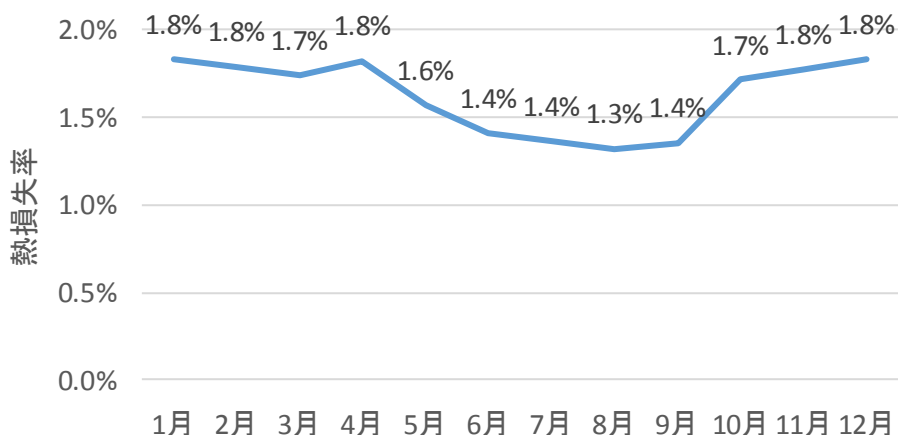


図 2-2.25 排熱量に対する配管からの熱損失の割合（ガスエンジン）

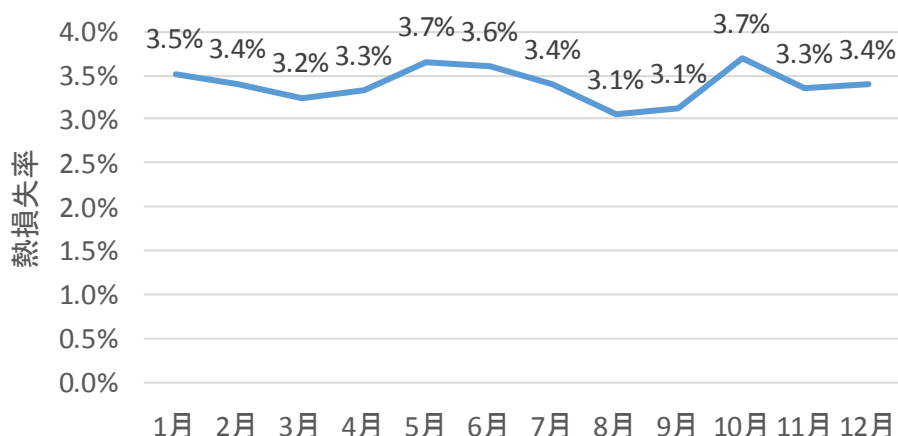


図 2-2.26 排熱量に対する配管からの熱損失の割合（マイクロガスエンジン）

■ ケースP-H-0～ケースN-C-1

次に配管の接続方法の変更と温度制御を行ったケース P-C-0～ケース N-H-1 の計算結果を図 2-2.27～図 2-2.32 に示す。なおこれらのケースでは、前述のケース 2～5 の全ての項目を考慮に入れた計算を行っている。また、省エネルギー量はケース P-C-0 のエネルギー消費量を基準に計算し、省エネルギー量の変化量も以下の式で計算している。

$$\text{省エネルギー量の変化率}[\%] = \frac{\text{ケース P-H-0 のエネルギー消費量[G]} - \text{各ケースのエネルギー消費量[G]}}{\text{ケース P-H-0 での発電量[G]}} \times 100$$

ガスエンジンケースでもマイクロガスエンジンケースでも顕著に省エネルギー量に差が出ているのは、ケース名の最後に「1」が付いている温度制御ありのケースである。ガスエンジンのケー

スでは並列か直列かといったつなぎ方で多少の差があるが 1.5%~2%変化量に差が出ている。温度制御を行うと冷房に投入できる排熱量が制限され、省エネルギー効果が低下する傾向にある。また、マイクロガスエンジンのケースでも温度制御ありのケースは大きく異なり、特に冷房優先とした場合に変化率が 6%近くまで上昇している。冷房優先とした場合でも温度制御を入れない場合には、暖房負荷や給湯負荷があるとそちらの利用温度レベルが低いために、排温水回路全体の温度レベルが低下し、RHA に投入できる排熱量が減少する。そのため、結果として暖房や給湯に多くの排熱が投入されることになる。暖房や給湯を優先した場合も同様である。したがって、冷房を優先しかつ温度制御を導入した場合のみ、冷房の排熱投入量が確保されることになる。この場合、暖房や給湯に投入される排熱量が減少するが、COP が高い冷房に排熱を投入するよりは、暖房や給湯に投入した方が省エネルギー効果が高いため、省エネルギー量が減少する結果となっている。ガスエンジンケースでは排熱が比較的潤沢にあり、暖房や給湯に投入される排熱量が大きくは減少しなかったが、マイクロガスエンジンケースでは排熱が負荷に対して潤沢ではなかったために、暖房や給湯に投入される排熱量が大きく減少し、省エネルギー効果に大きな違いが出たと考えられる。

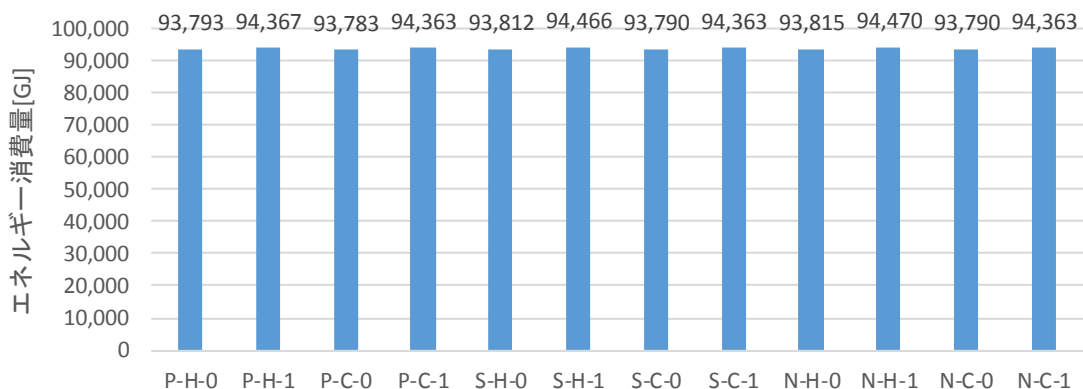


図 2-2.27 年間エネルギー消費量 (ガスエンジン)

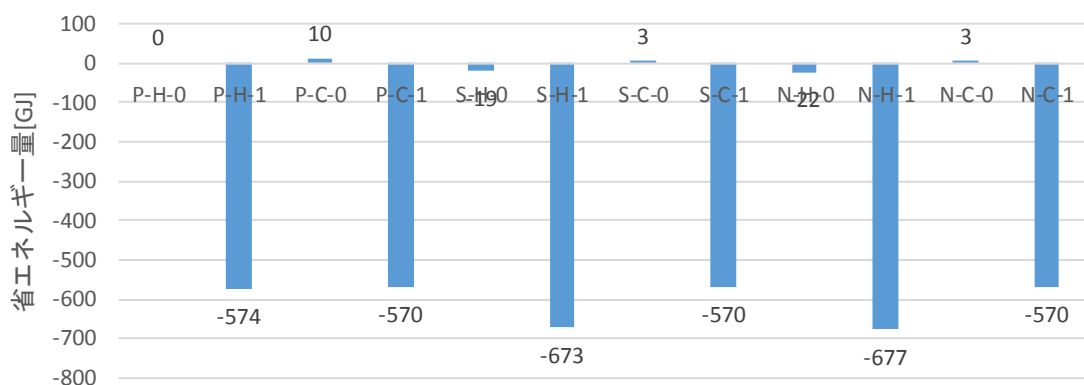


図 2-2.28 省エネルギー量 (ガスエンジン)

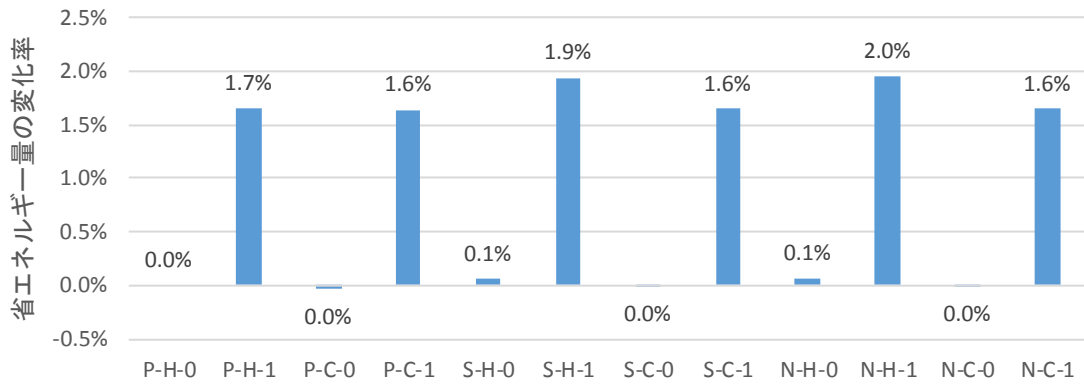


図 2-2.29 省エネルギー量の変化率 (ガスエンジン)

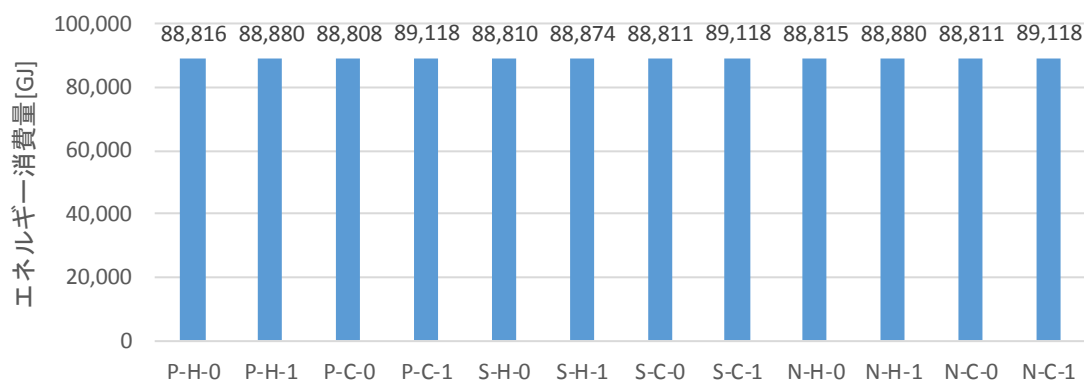


図 2-2.30 年間エネルギー消費量 (マイクロガスエンジン)

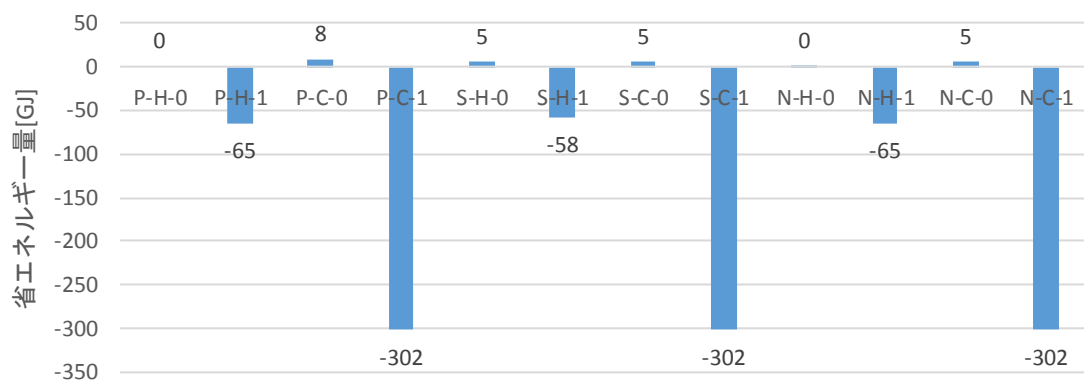


図 2-2.31 省エネルギー量 (マイクロガスエンジン)

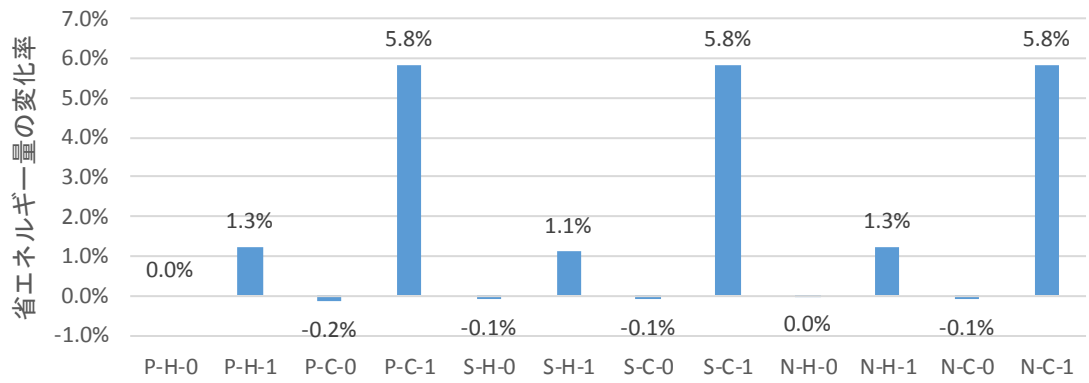


図 2-2.32 省エネルギー量の変化率（マイクロガスエンジン）

2-2.5. ケーススタディに基づく評価手法への反映方法

<基本方針>

- 入力の手間を押さえつつ、設計者の工夫と機器性能の向上を反映できるような評価手法とする。
- 将来の機器性能の向上を織り込めるようにするため、現状のプログラムでの計算方法に近い手法を採り、そこに各種パラメータを組み込む。

CASCADEⅢをベースとする計算手法に以下の点を加える。

<設計者の工夫を評価するための入力項目>

- 補機動力

循環ポンプ、冷却塔ファン、冷却塔ポンプ（マイクロ CGU の場合は循環ポンプのみ）の定格消費電力を入力し、計算に反映する。

- 貯湯タンクの有無

貯湯タンクがある場合は、発電時間帯以外の給湯負荷も排熱利用の対象とする。

<機器の性能を表現するパラメータ(内部パラメータ)>

- 発電効率低減

安全側を見て実測値より 1%低減した値を乗じる。

- 補機動力

本体補機動力および待機電力を見込む。

- 起動特性

初めの 1 時間(or30 分)の出力・ガス消費量に、実測値に基づき低減率を設定する。

- 排熱損失

排熱のうち一定割合(3%)を配管からの放熱と見込む。※ケーススタディではマイクロガスエンジンの場合 3%以上の熱損失が見られ、ガスエンジンの場合は 1.6%と低かった。システムによって幅があると考えられるがここでは一律の数値を想定した。この数値の妥当性については今後検討が必要である。

- RHA の排熱投入可能量特性

負荷率、冷却水温度による標準的な特性を組み込む。

<機器性能を的確に評価するために組み込むべきパラメータ>

- 冷却水温度

外気温度と冷却水温度の関係を定義し、RHA の評価に用いる。

<その他>

- 運転スケジュール

運転スケジュールの多様性を反映するため、月別に運転時間帯および最大運転台数を設定できるようにする。

上記の方針に従って基整促プログラムの仕様書を作成した。仕様書は参考資料（6-2）として収録している。次節でその概要を説明する。

2-3. エネルギー消費量計算プログラムの概要

ベースプログラムは従来の CASCADEⅢを用いた計算ではデフォルト入力となっていた項目をユーザー入力とすることにより、より実態に近い計算方法に改善するとともに、一部項目については入力を簡略化するために標準的な入力値を定めている。提案するエネルギー消費量計算プログラム（基整促プログラム）は、ベースプログラムを基に補機動力や RHA の排熱投入可能率をより精緻な計算とすることで設計者の工夫を反映し、実態に則した計算が可能な計算としている。

2-3.1. 計算プログラムの特徴

構築した基整促プログラムの主な改良点及び CASCADEⅢ、ベースプログラムとの相違点一覧を表 2-3.1 に示す。なお、本事業での成果の一部は平成 30 年 4 月に実装される省エネルギー基準 WEB プログラム（標準入力法 エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版））のコージェネレーションプログラムの中に採用されている。表 2-3.1 には平成 30 年 4 月更新のこのプログラムについても記載している。

表 2-3.1 基整促プログラムとベースプログラム、CASCADEⅢの比較

項目	基整促プログラム	WEB プログラム (平成 30 年 4 月更新)	ベースプログラム	CASCADEⅢ
計算ステップ	1 時間×8760	1 日×365	1 時間×8760	1 時間×288(月代表日)
負荷計算	将来の WEB プログラムとの連動を見据えた入力項目	WEB プログラムと連動	WEB プログラムと連動可	WEB プログラムと連動不可
稼働段階に応じた計算	起動時の性能を考慮	1 日の稼働時間を最大 14 時間と設定	ON/OFF のみを考慮	ON/OFF のみを考慮
発電効率補正	発電効率 1%減	発電効率 1%減	なし	なし
補機動力	本体補機動力を発電量の 2%と想定 温水循環ポンプ、冷却塔ポンプ、冷却塔ファンについては定格消費電力を入力し計算	マイクロ CGS では発電量の 5% 大型 CGS では発電量の 6%	発電量の 5%と設定	発電量の 5%と設定
配管熱損失	排熱量の 3%を放熱量として見込む	排熱量の 3%を放熱量として見込む	なし	なし
RHA の排熱投入可能率	CASCADEⅢの特性式に排熱投入温度 2℃低下時の効率を加味 RHA の冷却水温度特性を考慮	CASCADEⅢの特性式に排熱投入温度 2℃低下時の効率を加味	CASCADEⅢの特性式を踏襲	デフォルトの特性式を用いて計算
貯湯タンクの考慮	あり(貯湯タンク容量を入力)	なし(十分な容量の貯湯タンクがあるものと想定)	なし	あり(貯湯タンク容量を入力)
CGU 運転スケジュール設定	月別に運転時間帯と最大運転台数を入力 設置される CGU1 台あたりの定格発電量、定格排熱回収量に対してそれぞれ 50%以上の負荷がある場合に稼働	1 日の稼働時間を最大 14 時間と設定	設置される CGU1 台あたりの定格発電量、定格排熱回収量に対してそれぞれ 50%以上の負荷がある場合に稼働	ユーザーの入力によって稼働時間を決定

2-4. 計算プログラムの精度検証

2-4.1. ガスエンジン(大型)での検証(ID08)

2-4.1.1. 計算条件

基整備プログラムの仕様書に従って計算プログラムをエクセルにより作成し、実測値との比較を行った。計算対象は実測データが得られた ID08(病院)である。利用したデータ期間は 2015 年 10 月 1 日～2016 年 9 月 30 日となっている。入力した機器仕様を表 2-4.1 に示す。また、スケジュール設定を表 2-4.2 に示す。

なお、以下の点は、実際の条件が不明のため、想定した項目である。

- ・循環ポンプの定格消費電力：1.5kW
- ・冷却塔ポンプの定格消費電力：3.2kW
- ・冷却塔ファンの定格消費電力：6.8kW

表 2-4.1 プログラム入力値（機器仕様）

記号	意味	単位	数値
$E_{cgs,rated}$	CGS の発電機容量	kW	370
N_{cgs}	CGS 設置台数	台	2
$f_{cgs,e,rated}$	CGS の定格発電効率(低位発熱量基準)	無次元	0.41
$f_{cgs,e,75}$	CGS の負荷率 0.75 時発電効率(低位発熱量基準)	無次元	0.39
$f_{cgs,e,50}$	CGS の負荷率 0.50 時発電効率(低位発熱量基準)	無次元	0.352
$f_{cgs,hr,rated}$	CGS の定格排熱効率(低位発熱量基準)	無次元	0.34
$f_{cgs,hr,75}$	CGS の負荷率 0.75 時排熱効率(低位発熱量基準)	無次元	0.367
$f_{cgs,hr,50}$	CGS の負荷率 0.50 時排熱効率(低位発熱量基準)	無次元	0.408
$n_{pri,hr,c}$	排熱利用優先順位(冷熱源) ※1	無次元	3
$n_{pri,hr,h}$	排熱利用優先順位(温熱源) ※1	無次元	2
$n_{pri,hr,W}$	排熱利用優先順位(給湯) ※1	無次元	1
$Q_{AC,link,c,j,rated}$	排熱投入型吸収式冷温水機 j の定格冷却能力	kW/台	1583
$E_{AC,link,c,j,rated}$	排熱投入型吸収式冷温水機 j の主機定格消費エネルギー	kW/台	1217.5
$N_{AC,ref,link}$	CGS の排熱利用が可能な系統にある排熱投入型吸収式冷温水機の台数	台	1
$E_{cgsp,rated}$	循環ポンプの定格消費電力	kW/台	1.5
N_{cgsp}	循環ポンプの設置台数	台	2
$E_{ctp,rated}$	冷却塔ポンプの定格消費電力	kW/台	3.2
N_{ctp}	冷却塔ポンプの設置台数	台	1
$E_{ctf,rated}$	冷却塔ファンの定格消費電力	kW/台	6.8
N_{ctf}	冷却塔ファンの設置台数 ※マイクロコジェネの場合本体ファンの設置台数	台	1
V_{tank}	給湯タンク容量	m ³	18

表 2-4.2 プログラム入力値（スケジュール設定）

月	月別 CGS 運転開始時刻	月別 CGS 運転停止時刻	月別 CGU 最大運転台数
1	9	23	1
2	9	23	1
3	9	23	1
4	9	23	1
5	9	23	1
6	9	23	1
7	9	23	1
8	9	23	2
9	9	23	2
10	9	23	1
11	9	23	1
12	9	23	1

2-4.1.2. 計算結果

計算値と実測値の比較を表 2-4.3 に示す。また計算値と実測値の比較グラフを図 2-4.1～図 2-4.8 に示す。図より年間運転時間や発電量が実測を捉えており、年間一次エネルギー削減量合計の誤差は 13%だった。誤差が大きかった項目は冷房の年間一次エネルギー消費量であり、実測よりも計算の方がより多くの排熱を投入できる結果となった。

表 2-4.3 計算結果の実測値との比較

項目	単位	計算値	実測値	比率
年間運転時間	h・台	5,511	5,661	97%
年平均負荷率	-	0.0376	-	-
年間発電量	MWh	2,039	2,084	98%
年間排熱回収量	GJ	6,087	-	-
年間ガス消費量	GJ	20,045	20,503	98%
年間発電効率	%	37%	37%	100%
年間排熱回収効率	%	30%	29%	106%
年間有効発電量	MWh	1,988	-	-
年間有効排熱回収量	GJ	5,275	5,899	89%
有効総合効率	%	62%	-	-
年間一次エネルギー削減量(電力)	GJ	19,402	19,372	100%
年間一次エネルギー削減量(冷房)	GJ	1,243	1,075	116%
年間一次エネルギー削減量(暖房)	GJ	2,823	2,995	94%
年間一次エネルギー削減量(給湯)	GJ	911	911	100%
年間一次エネルギー削減量合計	GJ	4,333	3,849	113%

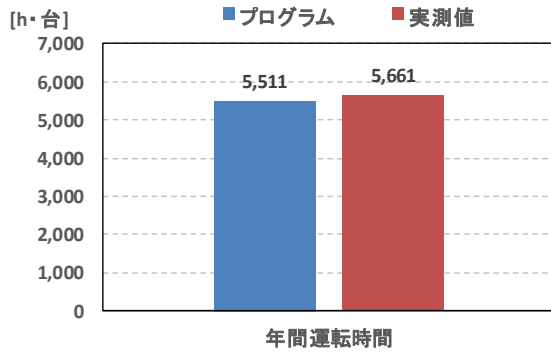


図 2-4.1 年間運転時間の比較

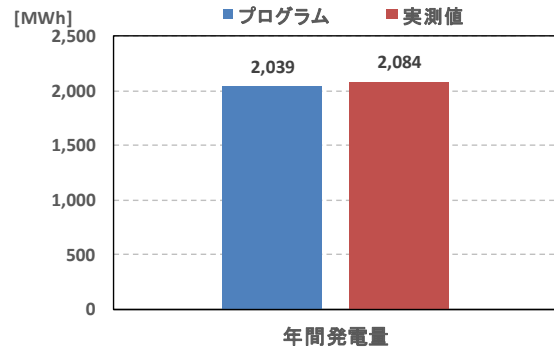


図 2-4.2 年間発電量の比較

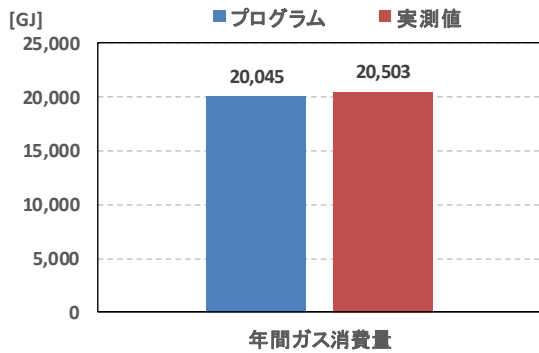


図 2-4.3 年間ガス消費量の比較

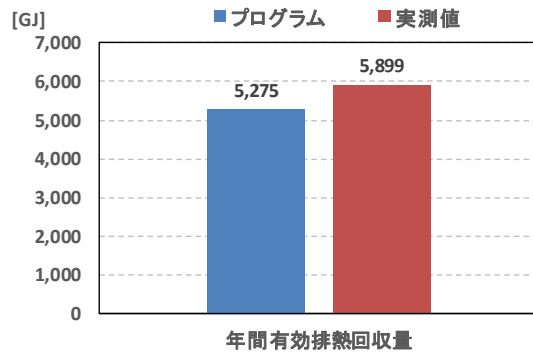


図 2-4.4 年間有効排熱回収量の比較

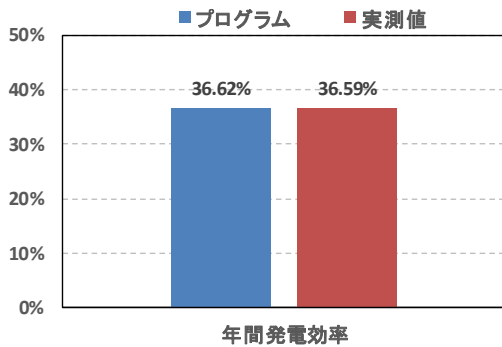


図 2-4.5 年間発電効率の比較

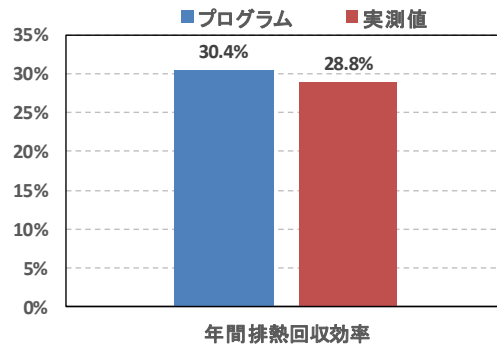


図 2-4.6 年間排熱回収効率の比較

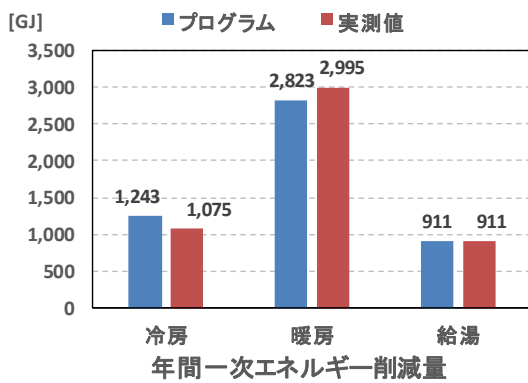


図 2-4.7 年間一次エネルギー削減量(排熱利用)の比較

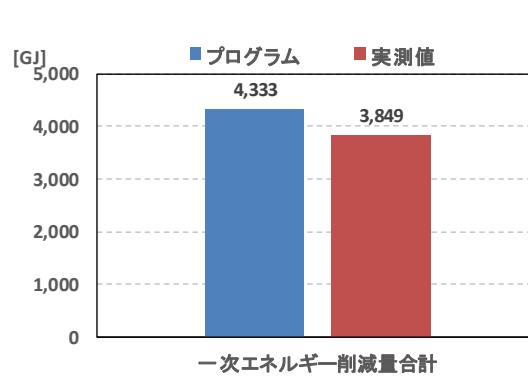


図 2-4.8 年間一次エネルギー削減量合計の比較

2-4.2. マイクロガスエンジンでの検証(ID08)

2-4.2.1. 計算条件

マイクロガスエンジンの検証では ID03(病院)を対象とした。利用したデータ期間は 2018 年 1 月 1 日～2018 年 7 月 31 日となっている。入力した機器仕様を表 2-4.4 に示す。また、スケジュール設定を表 2-4.5 に示す。

なお、以下の点は、実際の条件が不明のため、想定した項目である。

- ・循環ポンプの定格消費電力：0.5kW
- ・放熱ファンの定格消費電力：0.25kW

表 2-4.4 プログラム入力値（機器仕様）

記号	意味	単位	数値
$E_{cgs,rated}$	CGS の発電機容量	kW	35
N_{cgs}	CGS 設置台数	台	3
$f_{cgs,e,rated}$	CGS の定格発電効率(低位発熱量基準)	無次元	0.34
$f_{cgs,e,75}$	CGS の負荷率 0.75 時発電効率(低位発熱量基準)	無次元	0.34
$f_{cgs,e,50}$	CGS の負荷率 0.50 時発電効率(低位発熱量基準)	無次元	0.34
$f_{cgs,hr,rated}$	CGS の定格排熱効率(低位発熱量基準)	無次元	0.51
$f_{cgs,hr,75}$	CGS の負荷率 0.75 時排熱効率(低位発熱量基準)	無次元	0.51
$f_{cgs,hr,50}$	CGS の負荷率 0.50 時排熱効率(低位発熱量基準)	無次元	0.51
$n_{pri,hr,c}$	排熱利用優先順位(冷熱源) ※1	無次元	3
$n_{pri,hr,h}$	排熱利用優先順位(温熱源) ※1	無次元	2
$n_{pri,hr,W}$	排熱利用優先順位(給湯) ※1	無次元	1
$Q_{AC,link,c,j,rated}$	排熱投入型吸収式冷温水機 j の定格冷却能力	kW/台	1055
$E_{AC,link,c,j,rated}$	排熱投入型吸収式冷温水機 j の主機定格消費エネルギー	kW/台	737.5
$N_{AC,ref,link}$	CGS の排熱利用が可能な系統にある排熱投入型吸収式冷温水機の台数	台	1
$E_{cgsp,rated}$	循環ポンプの定格消費電力	kW/台	0.5
N_{cgsp}	循環ポンプの設置台数	台	3
$E_{ctp,rated}$	冷却塔ポンプの定格消費電力	kW/台	0
N_{ctp}	冷却塔ポンプの設置台数	台	0
$E_{ctf,rated}$	冷却塔ファンの定格消費電力	kW/台	0.25
N_{ctf}	冷却塔ファンの設置台数 ※マイクロコジェネの場合本体ファンの設置台数	台	3
V_{tank}	給湯タンク容量	m ³	0

表 2-4.5 プログラム入力値（スケジュール設定）

月	月別 CGS 運転開始時刻	月別 CGS 運転停止時刻	月別 CGU 最大運転台数
1	9	18	2
2	9	18	2
3	9	18	2
4	9	18	2
5	9	18	2
6	9	18	2
7	9	18	2
8	9	18	2
9	9	18	2
10	9	18	2
11	9	18	2
12	9	18	2

2-4.2.2. 計算結果

計算値と実測値の比較を表 2-4.6 に示す。また計算値と実測値の比較グラフを図 2-4.9～4.16 に示す。前節で示したガスエンジンケースと同様、年間運転時間や発電量が実測を捉えている。年間一次エネルギー削減量合計の誤差は-7%であり、ガスエンジンケースと同様大きな誤差ではない。実測値の年間発電量(109MWhの一次エネ換算値)を基準にすれば、年間一次エネルギー削減量合計の誤差は-2.1%である。同様の数値ガスエンジンケースで計算すると 2.4%であり、実態の発電量を計算で再現できれば誤差は小さいと言える。

表 2-4.6 計算結果の実測値との比較

項目	単位	計算値	実測値	比率
年間運転時間	h・台	3250	3153	103%
年平均負荷率	-	1	-	-
年間発電量	MWh	114	109	104%
年間排熱回収量	GJ	614	-	-
年間ガス消費量	GJ	1,348	1,290	104%
年間発電効率	%	30%	30%	100%
年間排熱回収効率	%	46%	42%	108%
年間有効発電量	MWh	112	-	-
年間有効排熱回収量	GJ	565	545	104%
有効総合効率	%	72%	-	-
年間一次エネルギー削減量(電力)	GJ	1,095	1,013	108%
年間一次エネルギー削減量(冷房)	GJ	117	107	109%
年間一次エネルギー削減量(暖房)	GJ	408	460	89%
年間一次エネルギー削減量(給湯)	GJ	20	23	89%
年間一次エネルギー削減量合計	GJ	291	313	93%

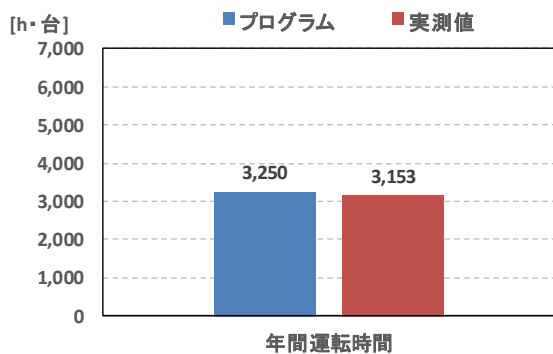


図 2-4.9 年間運転時間の比較

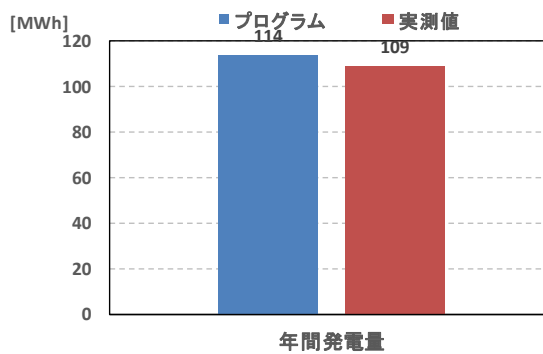


図 2-4.10 年間発電量の比較

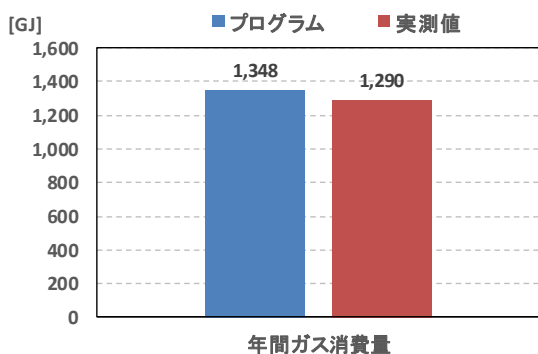


図 2-4.11 年間ガス消費量の比較

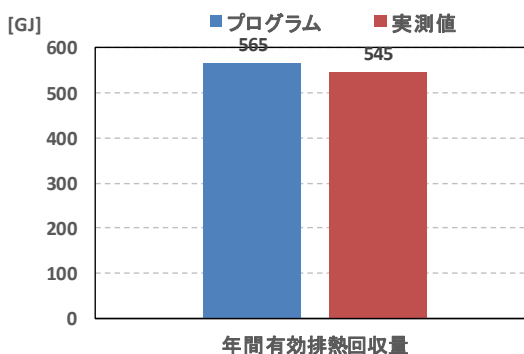


図 2-4.12 年間有効排熱回収量の比較

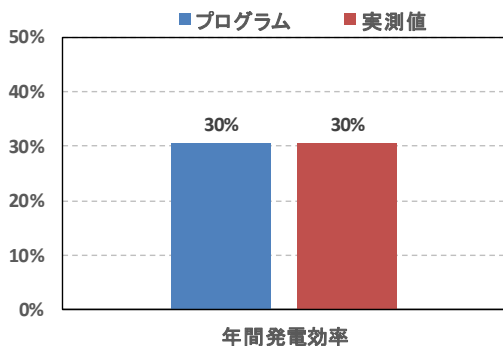


図 2-4.13 年間発電効率の比較

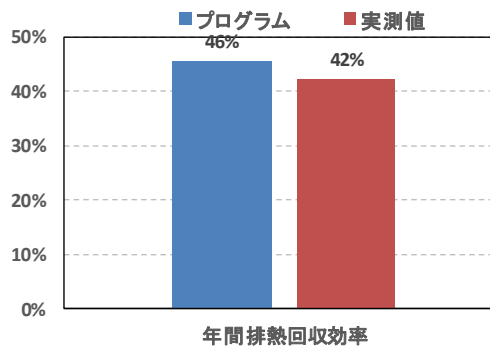


図 2-4.14 年間排熱回収効率の比較

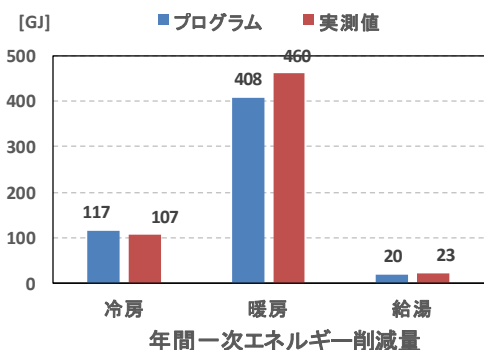


図 2-4.15 年間一次エネルギー削減量(排熱利用)の比較

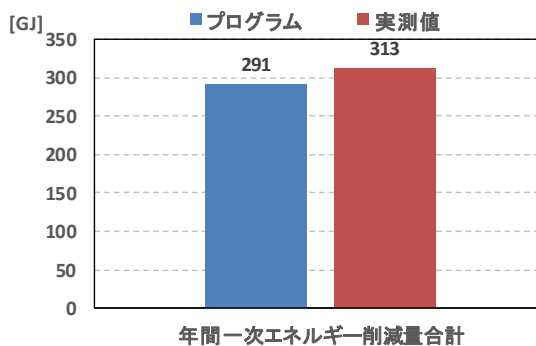


図 2-4.16 年間一次エネルギー削減量合計の比較