

平成29年度建築基準整備促進事業

E8:業務用コージェネレーション設備の 性能評価手法の高度化に関する検討

平成30年4月26日(木)

場所:すまい・るホール

事業実施主体:九州大学大学院人間環境学研究院 住吉研究室

株式会社 住環境計画研究所

共同研究:国立研究開発法人 建築研究所

1-1.事業の背景と目的

- 電力と熱を同時に生産し供給するコージェネレーション設備（CGU）は総合エネルギー効率が高く、建築物の省エネルギー化のための重要な技術の1つである。
- 現在、建築物省エネ法に基づく告示においては、CGUの排熱利用システムを含むコージェネレーション設備（CGS）の省エネルギー効果は年間積算値をベースとして評価され、この方法では機器の細かな性能の差を評価することはできない。

本調査は、CGSを構成するガスエンジンコージェネレーションや燃料電池等のCGU及びその周辺機器を対象として、時々刻々の熱負荷の変化及びエネルギー消費特性の変化を考慮したエネルギー消費量の計算法を構築することを目的とする。

また、実物件において実測調査を行い、開発した計算法の精度を検証し、現行の評価手法に反映させるための検討を行う。

※用語の定義

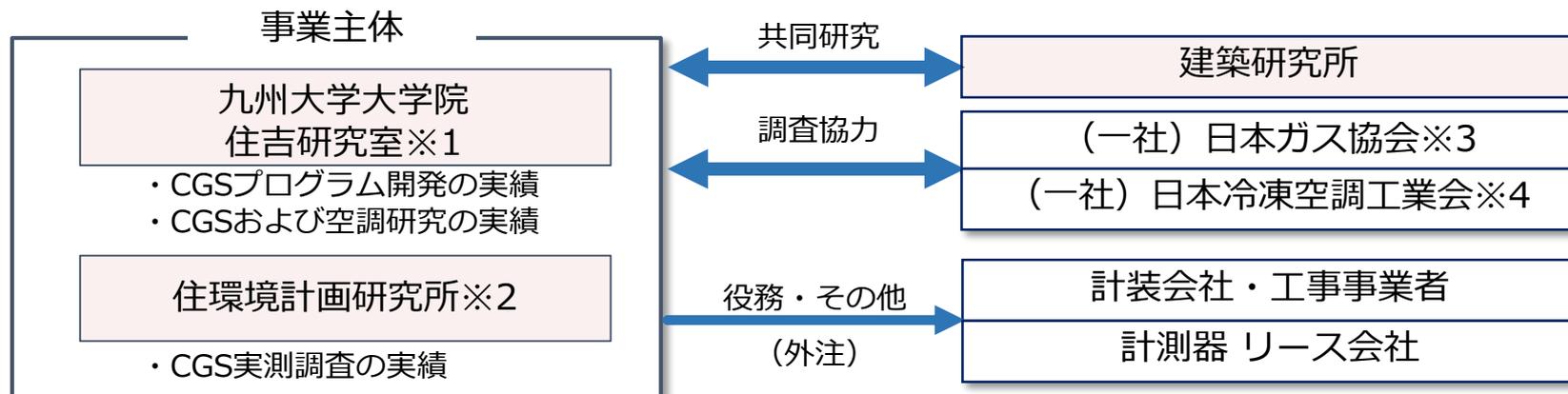
CGU：業務用コージェネレーション設備の略。業務用コージェネレーション設備の本体をいう

CGS：業務用コージェネレーション設備を含むシステムの系統全体をいう

RHA：排熱投入型吸収冷温水機の略。排熱投入型吸収冷温水機の本体をいう

1-2.調査の実施体制

■事業実施主体■



■ 検討体制 ■ 調査の進捗や検討事項の内容を定期的に共有し、外部有識者や委員らの御意見および評価をいただくことにより、事業実施主体の知見及び技術のみによらない、幅広い御意見等を踏まえた検討成果とする

有識者検討委員会

◇有識者委員への業務進捗報告、意見収集
(年2回程度開催)

ワーキンググループ

◇事業内容検討, 進捗確認
(年5回程度開催)

幹事会

◇事業内容検討、準備・調整
調査・分析・検討
(月1回程度開催)

- ※1 (一社) 日本サステナブル建築協会に設置されている建築物新省エネ基準検討委員会コージェネレーションタスクグループで主査代理を務める。本調査では、実測準備・調査、計算ロジックの構築、実測値と評価値の照合等を担当。
- ※2 民生部門のエネルギー政策等に係る事業に数多く従事。本調査では、コージェネの運転状況等把握のためのアンケート調査、ヒアリング調査、実測準備・調査、実測データの精査・取り纏めを担当。
- ※3 コージェネレーション設備に関する知見とノウハウを数多く保有。ヒアリング調査及び実測調査に関し、対象物件の選定等への協力ならびに実測データ等の分析・評価法構築に向けた検討に協力。
- ※4 吸収式冷凍機に関する知見とノウハウを数多く保有。排熱投入型吸収冷温水機の実測データ等の分析・評価法構築に向けた検討に協力。

1-3.事業の概要

CGU及びその周辺機器を対象としたエネルギー消費量の計算法を実測による**実働性能解析を基に構築**することを目的に、調査内容（イ）（ロ）に対して以下のとおり提案する。

（イ）エネルギー消費量計算法の開発

現在、省エネ基準に基づく非住宅のエネルギー消費性能を計算するWEBプログラムでは、（公社）空気調和・衛生工学会のCASCADEⅢ等で計算した数値を用いることとされている。このCASCADEⅢをベースに、建築物省エネ法に基づく告示対応のWEBプログラムへのロジックの内蔵を目的として九州大学住吉研究室で開発中のコージェネレーション計算プログラムを発展させ、様々なシステムに対応できる汎用性のあるプログラムを開発する。開発のポイントは以下の4点である。

制御モデル
の構築

補機動力計算
の精緻化

負荷追従特性
の高度化

負荷と機器挙動
の適正化

（ロ）実測調査に基づくエネルギー消費量計算法の精度検証

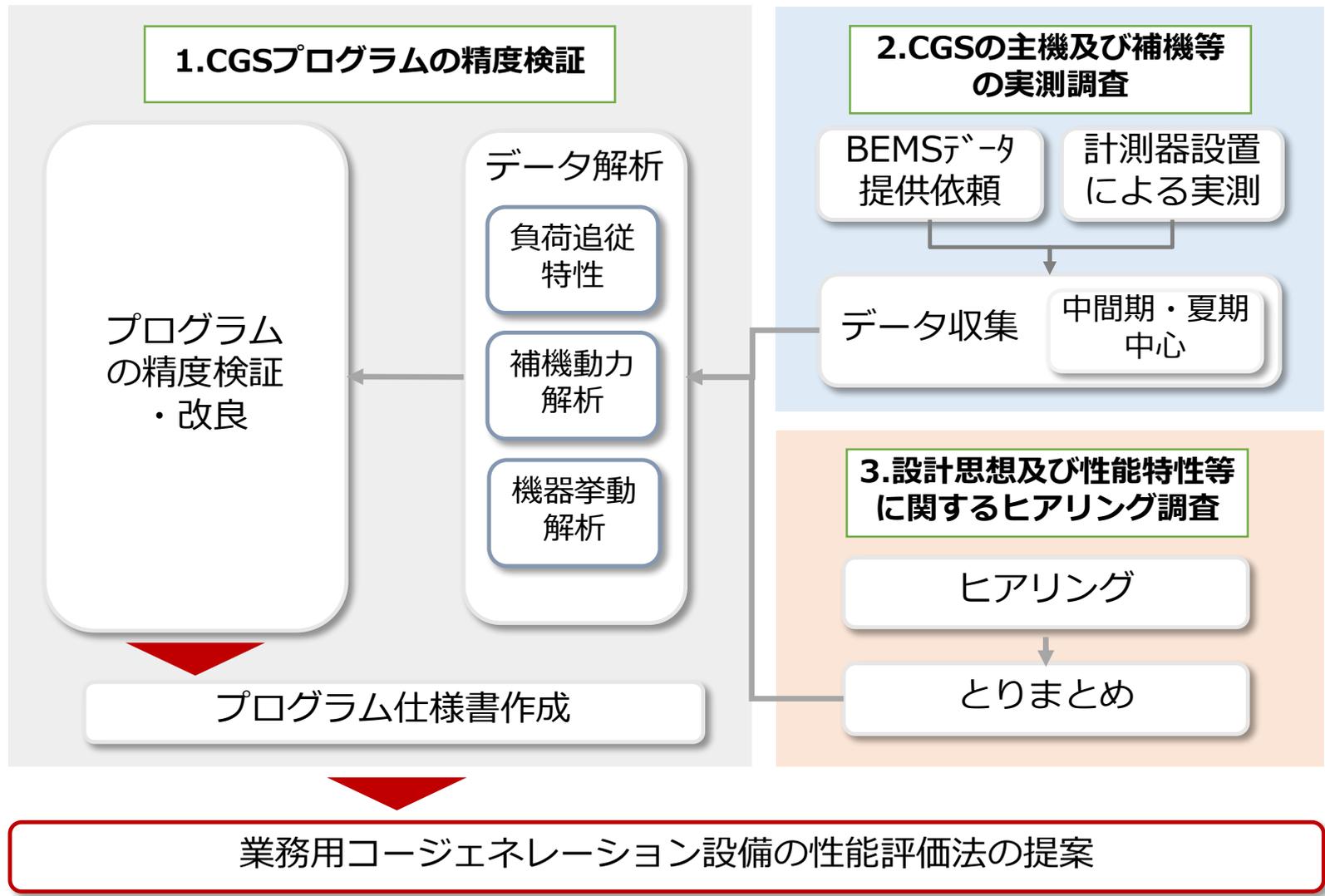
（イ）で行う性能評価手法の構築に資する実測データを収集するため、実物件でのエネルギー消費特性に関する実態把握を行う。実測のポイントは以下の3点である。

ヒアリング
による実態把握

データによる
実働性能解析

ロジックの
精度検証

1-4.平成29年度の調査フロー



報告書の構成

- 平成29年度報告書には、2か年の事業全体の成果を各種調査結果ごとに整理し、以下の構成で取り纏めた。

第1部：事業の目的と概要

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

- ベースプログラムの構築
- 計算プログラムの概要
- 計算プログラムの精度検証

第3部：業務用コージェネレーション設備の計算プログラム構築に向けた検討

- CGSの管理・運転実態（アンケート調査結果）
- システムの運用状況、設備機器の設計・建築設計における思想（ヒアリング調査結果）

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

- 実稼働性能解析に向けた基礎分析
- 実稼働性能解析に向けた詳細分析

第5部：調査・検討より得られた成果

- 調査結果の要旨
- 本事業の成果と課題のまとめ

第6部：参考資料

- 以降より、主に平成29年度事業成果について報告する

2-1.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

目的：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。

■ CASCADE IIIの課題と本事業で目指すところ

<CGUの本体特性について>

- CGU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検証が必要。
- 本事業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。

<補機特性について>

- CASCADE IIIでは補機電力が発電量の5%と定義され、固定となっているが、実態として5%の妥当性は検証されていない。また、余剰排熱の放熱用機器（冷却塔あるいはラジエーターファン）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。
- 本事業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。併せて、冷却塔あるいはラジエーターファンの電力についても把握し、これらの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>

- CASCADE III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。
- 本事業におけるアンケート調査やヒアリング調査によって、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>

- CASCADE III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。

2-2.エネルギー消費量の計算のためのベースプログラムの構築

■ベースプログラム概要■

● CASCADEⅢを参考として、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、本事業で得られた知見に基づく改良を加え、最終的な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。CASCADEⅢベースの計算手法に以下を加えた。

<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。※なお、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要検討。
- 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。

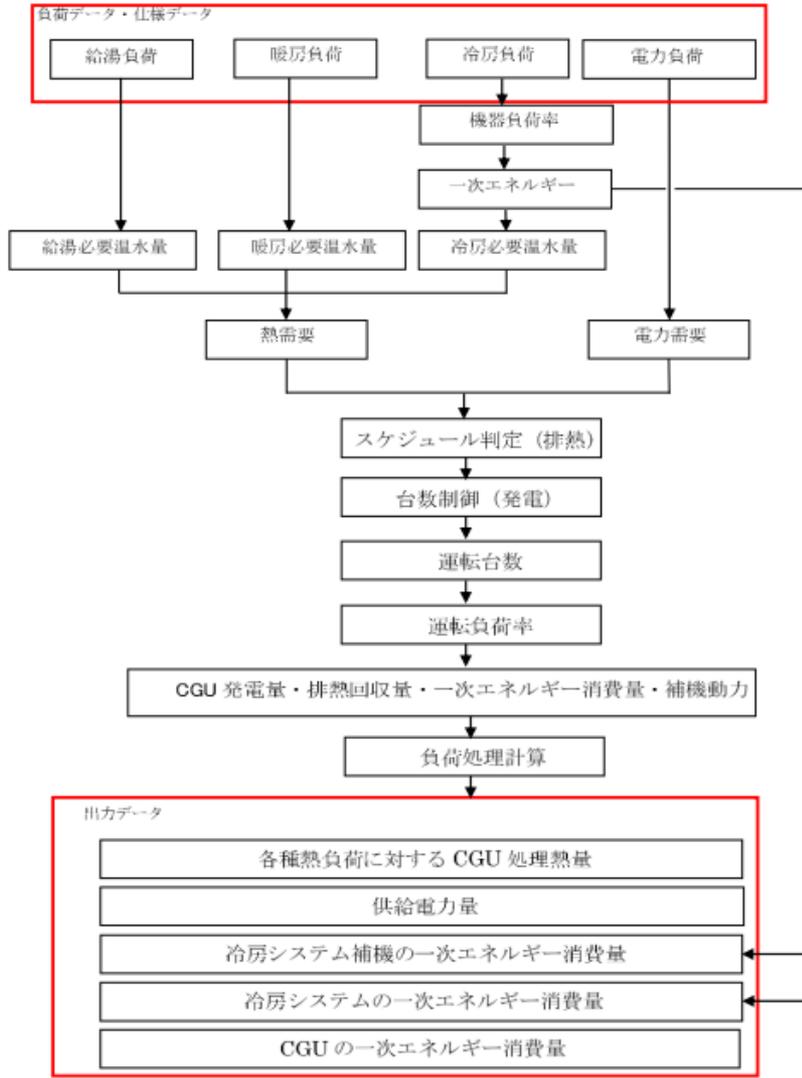


図 開発したベースプログラムの計算フロー

2-3.エネルギー消費量の計算法の開発

■エネルギー消費量計算プログラムの概要■

- 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ものである。
- 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. 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

2-3.エネルギー消費量の計算法の開発

CGSの評価において何を考慮すべきかを特定するため、詳細な計算プログラムを作成して、各項目を計算上考慮に入れた場合と入れない場合とを比較し、その影響の大きさを把握した。検討した項目は以下の通りである。

表 計算ケースの概要

ケース	内容
0	CGSが設置されていない場合
1	CGSあり 補正等はなし
2	CGSあり 発電効率補正 発電効率×0.99
3	CGSあり 起動特性考慮
4	CGSあり 補機動力考慮
5	CGSあり 配管ロス考慮

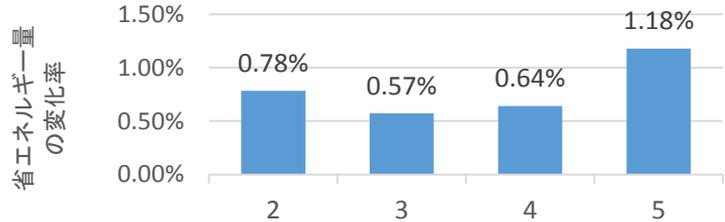


図 省エネルギー量の変化率 (マイクロガスエンジン、特性検討)

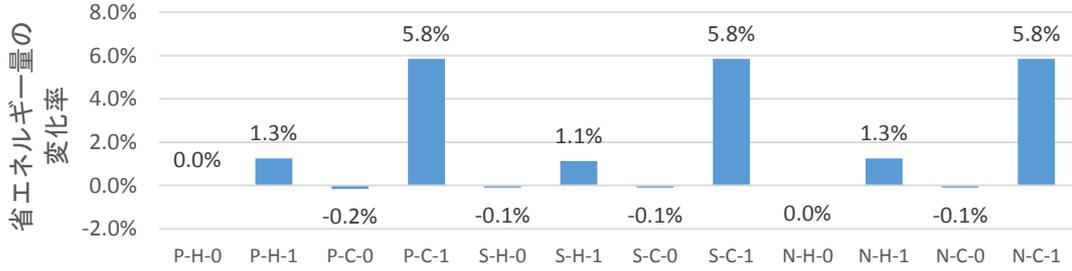


表 配管の接続方法や熱の利用方法の検討ケース

ケース	配管接続	優先	温度制御
P-H-0	並列	給湯・暖房	なし
P-H-1		冷房	あり
P-C-0			なし
P-C-1			あり
S-H-0			給湯・暖房
S-H-1		冷房	あり
S-C-0			なし
S-C-1			あり
N-H-0			給湯・暖房
N-H-1		冷房	あり
N-C-0			なし
N-C-1			あり

左図 省エネルギー量の変化率 (マイクロガスエンジン、接続方法検討)

2-3.エネルギー消費量の計算法の開発

計算の設定には本事業で得られた実測調査、ヒアリング調査等の成果を活用した。

CGU発電効率の分析

実測効率

負荷率	発電	度数
0~10%	12.9%	53
10~20%	27.5%	46
20~30%	28.1%	23
30~40%	19.2%	4
40~50%	25.7%	7
50~60%	34.8%	11
60~70%	35.7%	28
70~80%	36.1%	30
80~90%	35.7%	59
90~100%	36.7%	2657

カタログ効率(高位換算)

負荷率	発電効率
50%	31.6%
75%	35.2%
100%	37.0%

カタログ値に対する実測値の比率 **99.2%**

実測の結果、十分な性能が得られているが、安全側を見て、発電効率をカタログ値の99%とする。

CGU起動特性

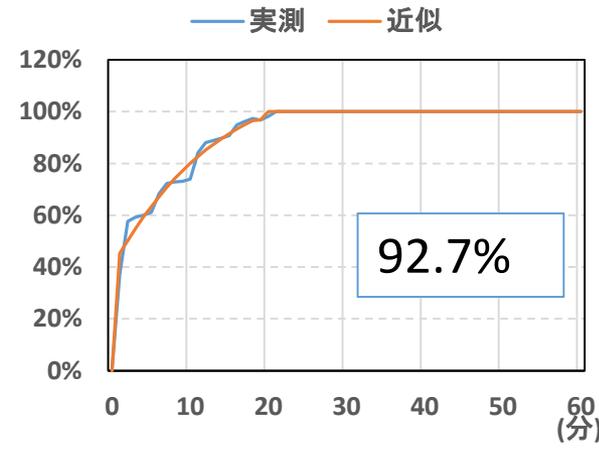


図 発電出力

実測分析結果を用いて、起動後1時間の出力を補正する

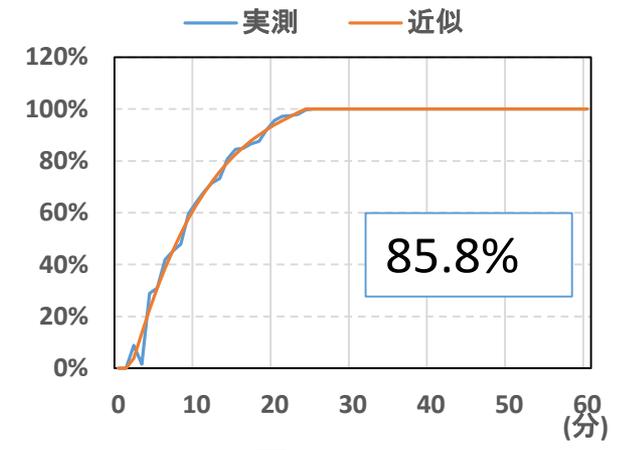


図 排熱出力

図 マイクロジェネ実測値

RHA排熱投入量特性

RHAの排熱投入可能率は、排熱温度、冷却水温度、冷水出口温度、定格流量比に応じて右図のように補正する。

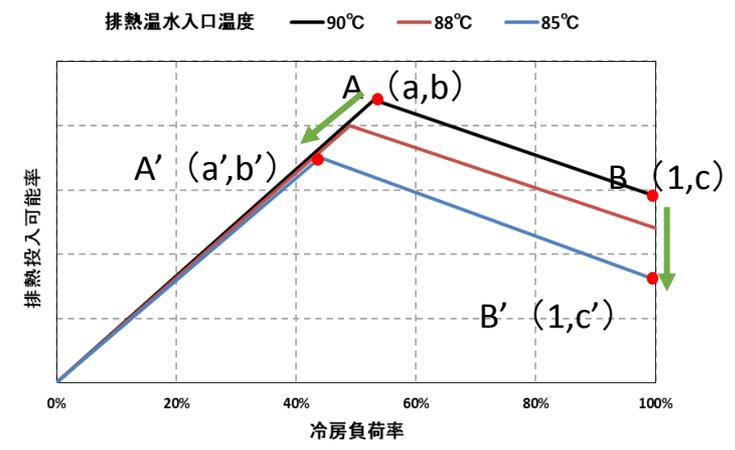
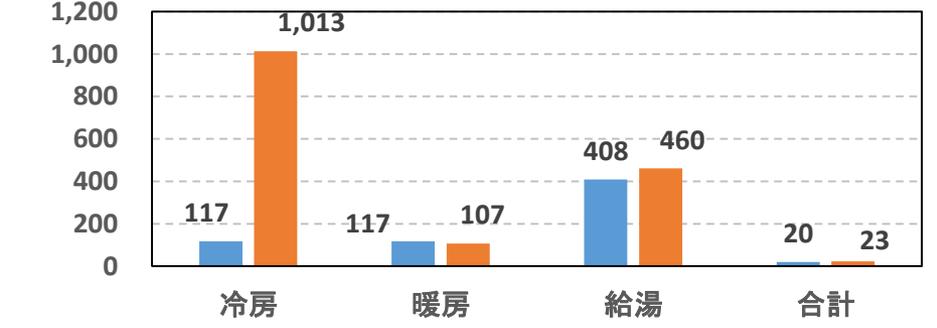
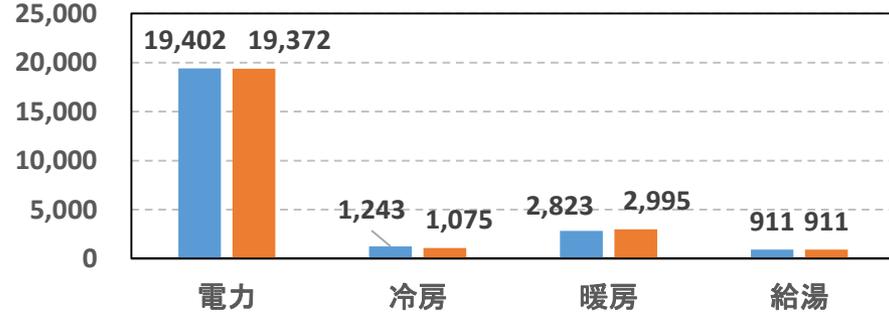
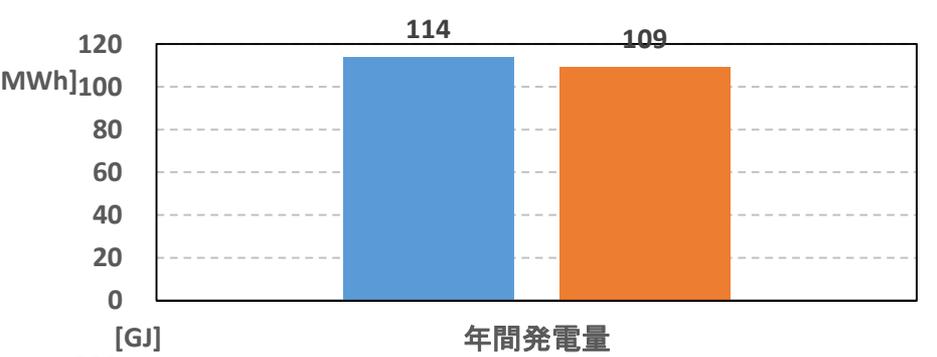
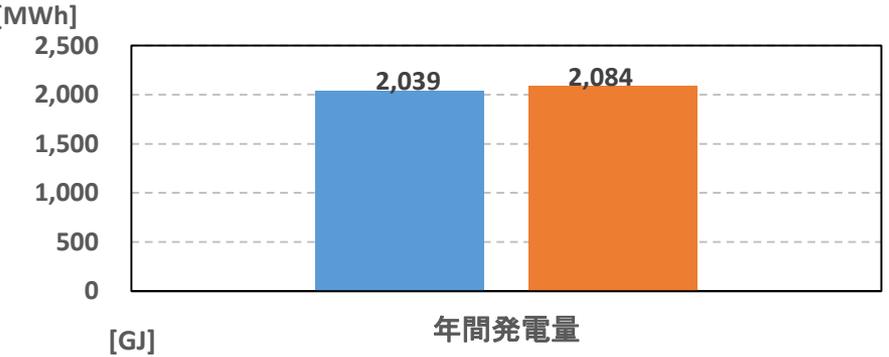
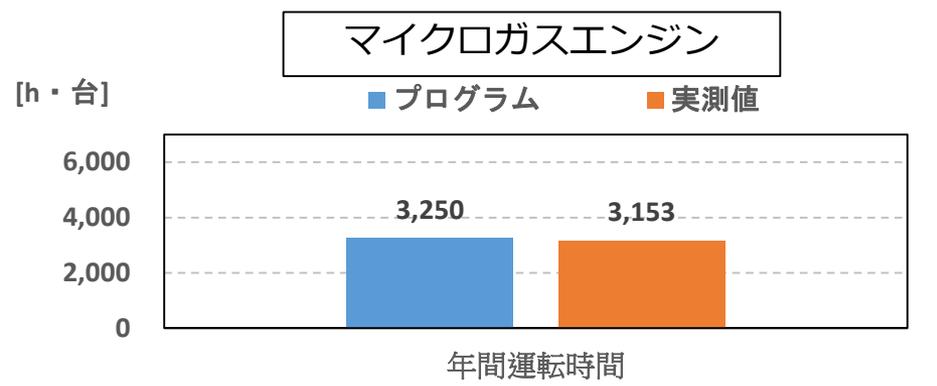
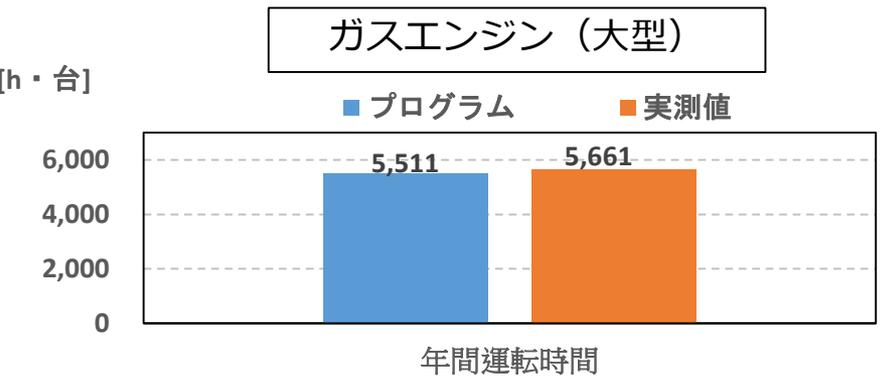


図 RHA排熱投入可能率の変化(概念図)

2-4.計算プログラムの精度検証

基整備促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、ガスエンジン（大型）とマイクロガスエンジンの実測値との比較を行った。



年間一次エネルギー削減量

年間一次エネルギー削減量

3-1.業務用コージェネレーション設備の設計・管理・運用に関する実態調査

目的：業務用コージェネレーション設備の評価プログラムの精度向上に向けて、実際の設計手法や設計思想、管理方法、機器性能やメーカーの制御方法を把握することを目的とする。（システム制御手法、管理実態、運用状況等に関する調査結果については、平成28年度成果に掲載）

①CGUメーカー：ヒアリング結果まとめを示す。



共通点のある回答



特徴的な回答

質問項目	CGUメーカーA (実施日:2017.6.2)	CGUメーカーB (実施日:2017.8.23)
容量・台数の想定	電力と熱どちらを重視するかで変わる	定量的な設計思想はない
	電力需要の1/3程度を導入しデマンドカットとして用いる	既築の場合は電力、熱負荷からスタート
	予算が現実的に重視して考えられる	経済性の問題が重要視される
どの機種(ガスエンジン・ガスタービン)の導入が多いか	ガスタービンはほとんど流通していない(熱が取れすぎる、メンテナンス費が高い、うるさい、発電効率が低い 等から)	発停することを前提とするならガスエンジンを導入する
	100kW以下の機種の導入が圧倒的に多く、その中でもマイクロガスエンジンが多い	ガスエンジンの高効率化が進み、圧倒的に導入が増えている
運転スケジュールの変更頻度、基準の想定	業務用はスケジュール運転がほとんど 熱を捨てても電力のデマンドをカットしたいユーザーが多い	複数台導入で各機が定格運転が望ましい 実運用はある程度使用者に任せるが、最低負荷率50%以上にするようお願いしている
導入用途の想定	病院への導入が圧倒的に多い 大学は多く入っており、空調利用 避難所として小学校も導入が多い	病院、ホテルへの導入が多い 大規模開発エリアでの面的利用計画において大容量の機種の導入がある(万kW規模)
排熱温度と効率の関係	発電効率は還り側の温度に影響されない	排熱温度を変えても発電効率は変わらない
排熱温度制御手法	機械本体で出口温度の設定はできない	機械本体で出口温度の設定はできない
排熱回収効率のカタログと実行効率の誤差	配管の放熱や施工状況の影響を受けやすい 2次側の飲み込み量の変動がある場合は機械保護の観点から少し効率が下がる	排熱回収効率の乖離は配管からの熱損失が一因だと考えられる 冷却水温度が上昇すると効率が低下する(下がっても効率に悪影響はない)
補機消費電力	5%の補機想定は過大である	機種によって異なるが大まかに5%前後

3-1.業務用コージェネレーション設備の設計・管理・運用 に関する実態調査

②RHAメーカー：ヒアリング結果のまとめを示す。

質問項目	RHAメーカーC (実施日:2017.10.27)
容量・台数の想定	CGU発電容量と合わせてRHAの機種が選定されているわけではない
RHA複数台設置 の接続方法	冷凍機メーカーではなく、設備設計者の判断による 直列接続よりも同温度の排熱温水を並列接続の方が望ましい 設計上、排熱利用できる流量には下限値がある
加熱時の特性と 排温水利用	暖房時は排熱水を優先し、熱交換器を介して暖房用温水を供給する。排熱水が不足した場合、RHAは暖房運転を行う COPIは高位発熱量基準で0.9程度となりボイラによる暖房利用と同等になる
補機消費電力の 想定値	RHA本体外部の補機は、冷水ポンプ、冷却水ポンプ、冷却塔ファンがあり、冷却水ポンプが消費電力が最大 RHA本体内部の補機は溶液循環ポンプ、冷媒ポンプ、溶液散布ポンプ、バーナー送風機があり、溶液循環ポンプが消費電力最大で、例として1,000 RT機種で7.5 kW程度
起動・停止特性	起動時は必ずガスの投入がある まずガスと排熱温水が同時に投入され、その後冷水出口温度を7°Cで保持できるようにあればガス投入量を絞ってゆく 停止時はガス投入も排熱温水投入も同時に停止する。停止は低燃焼遮断で、1~2秒で炎は消える 残留熱で冷房できるのは10分程度と考えられる 基本的には停止指令によって全ての機器は停止するが、蒸発器内の熱容量で冷却をするため、冷水ポンプだけ動かすこともある
排熱温度 制御手法	冷水出口温度7°Cを保証しながら排熱を可能な限り投入するというのが基本思想 まずは排熱を優先的に投入し、必要冷凍能力(冷水出口温度7°C)が得られない場合に都市ガスを燃焼させる 排熱を最大限投入すると、他用途のための排熱が残らないことがあるため、中~高負荷率運転時の廃温水出口温度が低下する場合には排熱温水出口温度過低制御により三方弁で排熱温水をバイパスさせて投入排熱量を絞る機能をオプションとして付帯させることがある。これにより排熱投入量が負荷率にかかわらず一定になる
排熱利用可能量の カタログ特性の 種類	排熱投入可能量の線は、単独運転可能となる最大負荷率から負荷率が上昇するに従って(1)「一定(過低制御により一定とする)」、(2)「低下」、(3)「暫くは一定となる(過低制御により一定とする)」が、その後低下する」の3種類 排熱投入の特性線図は容量よりも機種の違いにより特性が異なる
排熱利用可能量	冷却水温度が低下すると排熱投入量が増加する。 ガスが投入され、一重効用から二重効用に切り替わると、系全体の溶液温度が上昇する。その場合に排熱温水入口温度が低いと、溶液との温度差が小さくなって排熱投入量が減少してしまう。二重効用においては、冷却水温度も影響があると考えられる

3-1.業務用コージェネレーション設備の設計・管理・運用 に関する実態調査

③設計事務所設備設計担当者：ヒアリング結果のまとめを示す。

質問項目	複数あった回答	少数の回答
導入 用途・目的	<ul style="list-style-type: none"> ・病院、ホテル、工場、電算センター、プール、浴場施設、ショッピングセンター、大学、オフィス、放送局 ・特別高圧受電回避 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域冷暖房、大型再開発 ・ガス単価低下
運用 に 関 し て	<ul style="list-style-type: none"> ・小容量：給湯 ・大容量：空調 ・病院：給湯、空調・再熱 ・プール・温浴施設：給湯、加温 ・電算センター：冷房（年間） ・工場：生産用蒸気、冷房 	<ul style="list-style-type: none"> ・業務用ビル：空調、給湯 ・デシカント再生、プロセス熱 ・地域熱供給事業：蒸気
24時間運 転の有無	<ul style="list-style-type: none"> ・行わない (点検費用増加、電力料金の高い昼間の稼働を想定、CGUの耐用年数15~20年は年間稼働時間3000時間程度を想定している等のため) 	<ul style="list-style-type: none"> ・行う (24時間稼働する工場や電算センター、大規模な病院で複数台導入したうちの1台を24時間稼働するケース等)
スケジュー ル設定方法	<ul style="list-style-type: none"> ・年間・月単位などでシミュレーションし、得られた負荷から決定 ・経済性の高いスケジュールを提案 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的には24時間365日稼働を想定するがコストを考慮して決定 ・定格で稼働時間を決め、年間稼働時間が3,000時間程度となるようにスケジュールと容量を決定
排熱利用の設計	<ul style="list-style-type: none"> 冷房、暖房、給湯の優先順位 <ul style="list-style-type: none"> ・冷房、暖房、給湯の順 ・小容量では給湯、大容量では冷房優先 RHA他排熱利用機器の直列利用と並列利用 <ul style="list-style-type: none"> ・直列利用：冷房、暖房、給湯の順 RHA複数台設置時の接続方法 <ul style="list-style-type: none"> ・並列利用（RHA2台に投入できる88度の排温水があるという条件で、更新時期を同時にするため） 負荷追従運転方法 <ul style="list-style-type: none"> ・電主運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・冷房（蒸気吸収RHA）、温水、暖房、冷房（単効用RHA）の順 ・RHA、給湯、暖房の順 ・1台の排熱を空調・給湯などの複数用途に利用することはあまりない ・直列利用だが熱利用の優先順位と系統のつなぎ方は逆 ・同時使用しない（通常は冷房暖房切り替えで給湯は給湯専用のため） ・RHAを複数台設置することはあまりない なし
機種選定の基準	<ul style="list-style-type: none"> 容量の選定 <ul style="list-style-type: none"> ・選定の際の指標は排熱の利用可能量、電力負荷、契約電力、BCPIに必要な電力と経済性、熱負荷と電力負荷のバランス等 機種の選定 <ul style="list-style-type: none"> ・ガスエンジン、マイクロCGSが多い ・ガスタービン発電効率が悪いので導入は少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・BCPでは法的な非常用電源の容量を満たす範囲内で発電量の防災用と保安用のバランスを決定 ・ガスエンジンは排熱の半分は温水で回収せざるを得ないので温水の排熱利用先がないとガスエンジンの導入は難しい ・電力より熱負荷側が潤沢であれば、ガスタービンとして蒸気回収する

以上、機器設計・建築設計におけるCGS設計手法に関するヒアリング調査で得られた知見は以下の通りである。

- CGUの発電効率は排熱温度に影響されない。また、CGU本体では排熱出口温度の設定はできず成り行きとなっている。
- RHAメーカーとしては、排熱利用においては冷水出口温度を保証しながら排熱を可能な限り投入することを設計思想としているが、排温水の温度レベルが低下することを防ぐため、低～中負荷率運転時に排熱温水出口温度制御が導入されることもある。
- RHAの排熱投入可能量は、負荷率、排温水温度、排温水流量、冷却水温度に影響される。特に、冷却水温度の影響は大きい。
- 運用方法に関しては、24時間稼働は行わずスケジュール稼働を想定する設計者が大半で、CGUの耐用時間や耐用年数から年間稼働時間を設定し、一日のスケジュールやCGU容量を決定することが多い。

4-2.業務用コージェネレーション設備の実働性能解析

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。

- 9件の建物で計測データを収集し、CGU、RHA、CGSの基礎分析を行い、得られた結果を基にプログラムに組み込む性能特性値等に関する詳細分析を実施した。

表 計測データ収集物件の建物および設備の概要

ID	建物仕様		CGU仕様				RHA仕様			その他の仕様
	建物用途	延床面積	機種	容量	排熱取出方式/出力	台数	容量	台数	ガス消費量	
01	事務所・商業施設	約142000㎡	ガスエンジン	700kW	温水：262.9kW 蒸気：273kW	1台	1407kW	1台	—	給湯用HEX：263kW×1 暖房用HEX：263kW×1 余剰排熱冷却塔：432.6kW×1
02	給食センター	約2000㎡	ガスエンジン	35kW	温水：52.5kW	4台	281kW	1台	—	給湯用HEX：206kW×1 暖房用HEX：206kW×1
03	病院	約77000㎡	ガスエンジン	35kW	温水：52.5kW	3台	1055kW	1台	46.5Nm ³ /h	給湯用HEX×1 暖房用HEX×1
04	事務所	約9000㎡	ガスエンジン	35kW	温水：51.5kW	3台	281kW	1台	12Nm ³ /h	暖房用HEX：154.5kW×1 熱負荷追従運転
05	工場 (化学プラント)	約413000㎡	①ガスタービン ②ガスタービン ③ガスエンジン	①7200kW ②6500kW ③730kW	①蒸気：12.67t/h ②蒸気：13.3t/h ③蒸気：0.5t/h	9台	—	1台	—	余剰排熱：大気放出
08	病院	約45000㎡	ガスエンジン	370kW	温水：165.1kW	2台	1583kW	2台	68.2Nm ³ /h	給湯用HEX：220kW×2 暖房用HEX：500kW×1 余剰排熱冷却塔：389.3kW×1
10	物販店舗・飲食店	約76000㎡	ガスエンジン	815kW	温水：—	2台	1583kW	1台	97.4Nm ³ /h	暖房用HEX：1330kW×1 余剰排熱冷却塔×1
13	体育館・屋内プール	約21000㎡	ガスエンジン	350kW	温水：—	1台	739kW	1台	—	給湯用HEX×1 暖房用HEX：300kW×1 余剰排熱冷却塔：385.1kW×1
14	ショールーム	約28000㎡	ガスエンジン	35kW	温水：52.5kW	1台	211kW	1台	10.4Nm ³ /h	—



各物件の建物概要や設備仕様は左図のようなアイコンを付記し、IDごとに分析シートに取り纏めている。

4-2.業務用コージェネレーション設備の実働性能解析

- 建物ごとに計測できた項目などは異なる。
- BEMSによるデータ取得が行われていない建物も多く、運転データの確保が課題である。

表 建物別計測データ収集結果

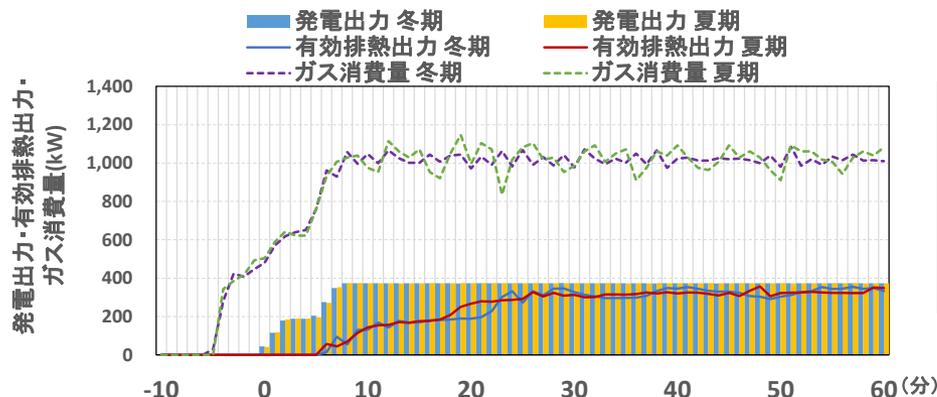
建物ID	種別	データ取得期間	日数	間隔	CGU関連データ				RHA関連データ				排熱利用量データ			負荷データ			
					発電量	排熱回収量	ガス消費量	補機電力	排熱投入量	処理熱量	ガス消費量	補機電力	冷房	暖房	給湯	電力	冷房	暖房	給湯
01	計測	2016/10/18 ~ 2017/11/26	405	1分	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	BEMS	2016/11/1 ~ 2017/10/31	365	1時間	○	△	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
02	計測	2016/11/14 ~ 2017/10/31	352	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

4-3.業務用コージェネレーション設備の実働性能解析（詳細分析）

■ 起動特性分析 ■

- 起動特性の分析として、発電出力開始を0分として、その前後の発電出力、排熱出力、ガス消費量の推移を分析した。機器は、ガス、発電、排熱の順に起動を開始している。また、起動動作全体にかかる時間は約26分であった。



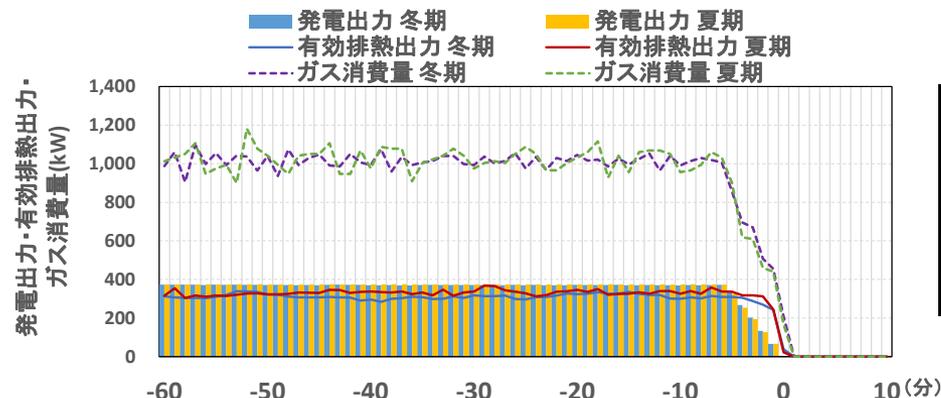
ID08	起動動作時刻	
	動作開始(分)	動作終了(分)
ガス消費量	-4.1	9.0
発電出力	0.0	8.0
有効排熱出力	7.0	21.8
起動動作時間	25.9	

※発電出力開始=0(分)

図 ID08 : CGUの起動特性

■ 停止特性分析 ■

- 停止特性分析として、発電出力が0となる時点を0分として、その前後の発電出力、排熱出力、ガス消費量の推移を分析した。ガス消費、発電出力、排熱出力はほぼ同時に停止している。停止にかかる時間は短く、停止特性の影響は小さい。



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)

図 ID08 : CGUの停止特性

※ ガス熱量は全て高位発熱 (HHV)

4-3.業務用コージェネレーション設備の実働性能解析（詳細分析）

■ 補機動力分析 ■

- CGU本体補機の消費電力は、運転段階は約2%、起動動作段階は約2.3%
- 起動動作段階と運転段階の、補機消費電力割合の差は小さい。
- 待機段階にも0.05kW程度のCGU本体補機消費電力が発生している。

表. ID02補機動力特性

		補機消費電力(kW)				発電出力(kW)		補機消費電力割合		
		CGU本体 4台平均	CGU本体 4台合計	温水循環 ポンプ	補機 合計	CGU 1台平均	CGU 4台合計	CGU本体 4台平均	温水循環 ポンプ	補機合計
起動動作	冬期	0.64	2.55		2.55	32	129	2.0%		
	中間期	0.68	2.72		2.72	34	136	2.0%		
	夏期	0.71	2.86	4.06	6.92	31	125	2.3%	3.2%	5.5%
運転	冬期	0.62	2.48		2.48	34	135	1.8%		
	中間期	0.65	2.58		2.58	34	135	1.9%		
	夏期	0.67	2.66	3.73	6.39	34	136	2.0%	2.8%	4.7%
待機	冬期	0.04	0.16		0.16	0	0	-		
	中間期	0.06	0.24		0.24	0	0	-		
	夏期	0.06	0.24	0.00	0.24	0	0	-	-	

5.事業成果まとめ

平成29年度の実施内容は課題のうち、(□) 実測調査に基づくエネルギー消費量計算の精度検証であった。以下に平成29年度の成果を示す。

(□) 実測調査に基づくエネルギー消費量計算法の精度検証

実物件において時々刻々のシステムのエネルギー消費特性を実測して、計算値と実測値を比較して開発した計算法の精度を検証し、現行のエネルギー消費性能の評価手法に反映させるための検討を行う。

- 機器設計・建築設計におけるCGS設計手法に関する調査及び9件の建物の実測値の詳細分析を行った。
- 得られた知見を基に排温水温度も計算できる詳細なプログラムを作成し、ケーススタディを実施し、最終的な評価手法に反映すべき項目を抽出した。
- 得られた知見から、最終的なプログラム仕様書を作成した。最終的なプログラム仕様書に導入した内容のうち、本事業の分析によって得られた知見は以下の通りにまとめられる。
 - ✓ 実測調査より発電効率がカタログ値よりわずかに低下している状況が確認されたため、安全側となる設定となるように発電効率をカタログ値から1%低下させる。
 - ✓ 補機動力として循環ポンプ動力、冷却塔ポンプ動力、冷却塔ファン動力は定格値を入力する仕様とし、CGUの運転台数に比例してポンプ類が稼働し、放熱量に応じて冷却塔ファンが稼働するものとして消費電力を計算するロジックを組みこんだ。また、本体補機動力は実測調査より発電量の2%程度であることが確認されたため、2%と設定した。

5.事業成果まとめ

- ▶ 得られた知見から、最終的なプログラム仕様書を作成した。最終的なプログラム仕様書に導入した内容のうち、本事業の分析によって得られた知見は以下の通りにまとめられる（前頁続き）。
- ✓ 起動開始直後の1時間の発電量・排熱回収量・ガス消費量について実測調査より得られた補正をかける。なお、補正值は大型のCGU(発電出力50kW超)とマイクロCGUとで異なる値とした。
- ✓ 実測値より十分に排熱負荷がある状況であっても有効排熱回収量と定格排熱回収量との間には乖離が見られ、配管からの熱損失があることが見込まれた。そこで、計算により配管からの熱損失量を計算したところ、排熱回収量の約3%程度が熱損失量と考えられたため、それを見込む計算仕様とした。なお、この数値はシステムの配管長さや断熱性能によって影響を受けるため、今後も継続した調査が必要である。
- ✓ ヒアリング調査時にRHAメーカーから提供されたRHAの特性から、冷却水温度および排温水温度による排熱投入可能量の補正を取り込んだ。冷却水温度については外気温度から計算し、排温水温度については実態を勘案して定格温度から2℃低下しているものとした。
- ✓ アンケート調査から建物ごとに運転スケジュールが異なることが明らかになったため、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した。
- ✓ 最終的なプログラム仕様書に基づいて計算プログラムを構築し、2件の建物について精度検証を行った結果、省エネルギー量の計算誤差は±10%程度であった。発電量を基準に誤差を計算すると一次エネルギー換算した発電量の±2.5%程度に相当する誤差となっており、計算精度は十分に高いことを確認した。

5.事業成果まとめ

- ▶ 本検討と並行して、本事業で得られた成果を省エネ基準検討委員会 コーージェネレーションTGに提供し、平成30年4月に更新される予定のWEBプログラムに新たに組み込まれる業務用コーージェネレーションの計算において、以下の点が実装されることとなった。
 - ✓ 15年間で60000時間の運転時間が耐用年数から判断した運転時間の目安となるとのヒアリング調査結果から一日の運転時間を最大14時間と設定する。
 - ✓ 実測調査より発電効率がカタログ値よりわずかに低下している状況が確認されたため、安全側となる設定となるように発電効率をカタログ値から1%低下させる。
 - ✓ 冷却塔を有しないマイクロCGSでは補機動力は発電量のおよそ5%であったが、冷却塔を有する大型のCGSでは6%程度であったため、大型のCGS(発電出力50kW超)では補機動力を発電量の6%とする。
 - ✓ 実測で確認された配管からの熱損失を考慮して、排熱回収量の3%を熱損失量と想定する。
 - ✓ RHAの排熱温度が定格値よりも2℃程度低い実態が確認されたため、排熱投入可能量の計算において排熱温度が定格値よりも2℃低い状況での特性を採用する。

- ▶ 最後に今後の課題として、実測値のさらなる収集が挙げられる。本事業では計測およびBEMSデータの収集により実測データの収集を試みたが、CGSを導入しており、かつBEMSを導入している建物が少ないこと、データ提供の協力を得られる建物が多くなかったことから、十分な実測データが得られ無かった。本事業で構築したプログラムに用いた様々なパラメータを実測データからより精緻に検証していくことが今後の課題と言える。

参考：本事業成果の省エネルギー基準への反映

■エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）※への反映■

2018年4月よりコージェネレーション設備の評価方法が追加され、その計算ロジックに用いたパラメータの根拠等として本事業の成果が活用されている。

項目	2018年4月のプログラム更新で反映された本事業の成果
運転スケジュール	15年間で60000時間の運転を目安として運転時間最大14時間として実装
発電効率低減	発電効率1%減として実装
補機動力	CGSの放熱を冷却塔で行うシステムについては補機動力を発電量の5%から6%に変更
RHAの排熱投入可能量特性	排熱温度が定格値よりも2°C程度低い実態を考慮して、飲み込み可能量を補正
その他	本事業での実測値を用いてプログラムの精度検証を実施

※国立研究開発法人建築研究所「建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報」
「5. 非住宅建築物に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム及び技術情報」
<https://building.app.lowenergy.jp/>