

50kW 級の高効率マイクロコージェネレーション システムの開発

増田正夫・谷野正幸・岡村明彦^{*1}・大井淳^{*1}

Development of High Efficiency 50kW-class Micro Cogeneration System

Masao Masuda・Masayuki Tanino・Akihiko Okamura・Jun Oi

コージェネレーションシステムはレジリエントなエネルギー社会の構築に向けて有望なシステムと位置付けられる。しかしながら、発電出力が数十 kW 級のマイクロコージェネレーションシステムは発電端効率が低い等の大きな課題を抱えているために、市場にあまり普及していない。筆者らは、既設の小～中規模建物に導入ターゲットを拡大するという観点で、世界最高レベルの発電端効率を実現する 50kW 級のマイクロコージェネレーションシステムを新たに開発した。本報では、システムの開発内容と開発結果、ならびに、あわせて開発した周辺ツールについて説明する。

1. はじめに

近年、東日本大震災、毎年のように発生する大規模自然災害、さらにはコロナ禍等を契機に、特に民間企業や医療施設等では、停電や電力不足に対する強靱性や BCP（事業継続計画）が求められている。一方で、世界規模でのカーボンニュートラル対応への機運がここ数年で急激に高まっており、我が国でも、官民を挙げた様々な取り組みが進められている。このように、エネルギー社会に求められる機能や役割はここ数年で大きく変化しており、レジリエントで脱カーボンに資するエネルギー社会の構築が強く求められている。

コージェネレーションシステム（以下、CGS）は、天然ガス、灯油、LPG 等を燃料として、エンジン、タービン、燃料電池等の方式で発電し、その際に生じる排熱も同時に回収・利用するシステムである。CGS は、再生可能エネルギーとの親和性、電源の多様化・分散化への対応、災害に対する強靱性、VPP（Virtual Power Plant：仮想発電所）への対応といった面で、レジリエントなエネルギー社会の構築に向けて有望なシステムと位置付けられる。しかしながら、実際に市場に導入されているのは、大規模建物に導入される大型機が殆どであり、その普及と展開には限界がある。発電出力が数十 kW 程度のマイクロ CGS（以下、 μ CGS）は、一般的に、発電端効率が低い、メンテナンス費が高い、運転騒音が大きい、筐体が大きくて重い、余剰排熱が多いために年間稼働時間が短いなど、多くの課題を抱えているため、市場にあまり普及していない。

そこで、筆者らは、既設の小～中規模建物に CGS の導入ターゲットを拡大するという観点で、これらの課題を解決すべく世界最高レベルの発電端効率を実現する 50kW 級の μ CGS を新たに開発した^{1),2)}。

μ CGS は、小型・軽量で比較的簡便に新規導入や追加増設が可能であるが故に、コロナ禍後の医療施設・病院等の社会基盤を支える建物のライフライン強化としての導入やエネルギー多消費建物であるホテル等の観光施設の省エネルギーや脱カーボンへの貢献を目的とした普及が期待される。地域のスマートエ

※本論文は、2023 年度空気調和・衛生工学会大会（福井）講演論文^{1),2)}を加筆修正したものである。

*1 TMES 株式会社

エネルギーネットワークにおける重要機器にも成り得る。

本報では、システムの開発内容と開発結果、並びに、併せて開発した周辺ツールについて説明する。

2. 開発の概要

2.1 基本構成

システムの主要構成部品は、**図 1** に示すように、ガスエンジン、発電機、排ガス HEX（熱交換器）、排熱利用 HEX（熱交換器）、冷却水ポンプ（温水 1 次ポンプ）、空冷ラジエータ、サイレンサ、切換弁、配管等である。排熱利用に関しては、シンプルなシステムを目指して、温水による回収のみとした。システムの心臓部であるエンジンは、CGS 向けに新たに開発した YGK 通商(株)製の 3,500CC、四気筒のガスエンジンである。

写真 1 には開発したエンジンの外観、**写真 2** にはこのエンジンを搭載した筐体ユニットを示す。

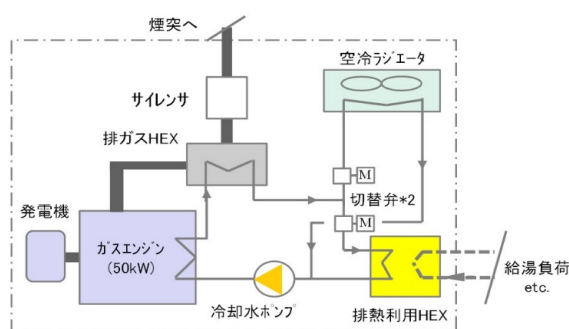


図 1 基本構成システム



写真 1 開発したエンジン本体



写真 2 開発システムの筐体ユニット

2.2 開発項目と課題

本開発は、主に、CGS 向けエンジン等の開発、システム開発、システム実証評価に分けられる。

2.2.1 CGS 向けエンジン等の開発

図 2 は、横軸がエンジンの正味平均有効圧力 P_{me} 、縦軸が LHV 基準の発電効率であり、国内外におけるガスエンジンを対象にしたシリンダ内径（Bore 径）毎（150mm、200mm、300mm）の発電効率の運転事例をプロットしたもの³⁾に、 μ CGS が一般的に採用する Bore 径 105mm の推定効率線を新たに引いたものである。この図が示すように、 μ CGS が採用するガスエンジンの発電効率は、30～33%程度と低い。

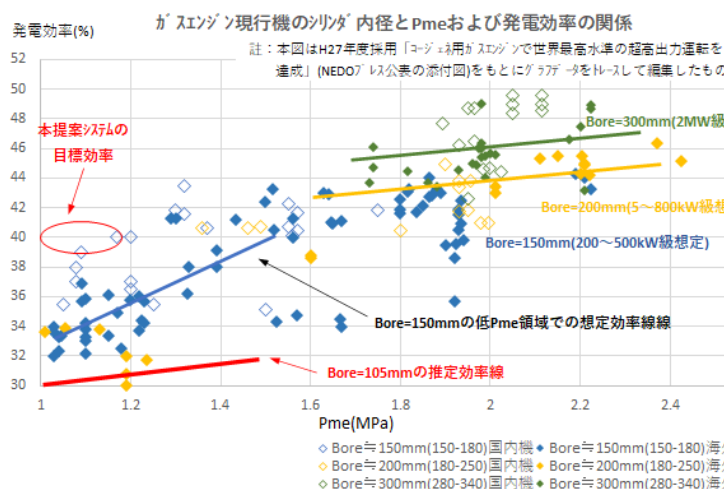


図 2 国内外のガスエンジン発電機の効率比較³⁾

本開発では、エンジンに関わる最新技術を投入してエンジンの構造や主要部品等を根本的に見直し、 μ CGS のクラスでは LHV 基準で世界最高レベルの発電端効率 40%超を目指して、50kW 級 CGS ガスエンジンを独自開発した。

2.2.2 システム開発

CGS では、一般的に熱電比が高いことから、発電に伴って多量に発生する排熱を建物内の熱需要で賄いきれないことが多い。これを防ぐためには、システムの年間稼働時間を短くせざるを得なくなり、CGS の導入メリットが低減してしまう。

図 3 は、本開発システムが目指すエネルギー効率を、既存の μ CGS と比較したものである。既存の μ CGS のエネルギー効率は、ここでは最新の性能として、LHV 基準の発電出力 33%+排熱出力 54%=総合効率 87%を示した。このときの熱電比（電気に対する熱の割合）は、 $0.54 \div 0.33 = 1.64$ となる。一方、本開発システムでは、発電端効率の向上に狙いを絞って、発電出力 40%+排熱出力 50%=総合効率 90%を目指した。このときの熱電比は、 $0.50 \div 0.40 = 1.20$ となる。

本開発システムの熱電比は、既存 μ CGS に対して 73%程度まで低減できる。すなわち、発電電力に対する排熱量を 30%程度小さくできる。このことは、余剰排熱量の低減につながり、ひいてはシステムの年間稼働時間の拡大に直結する。

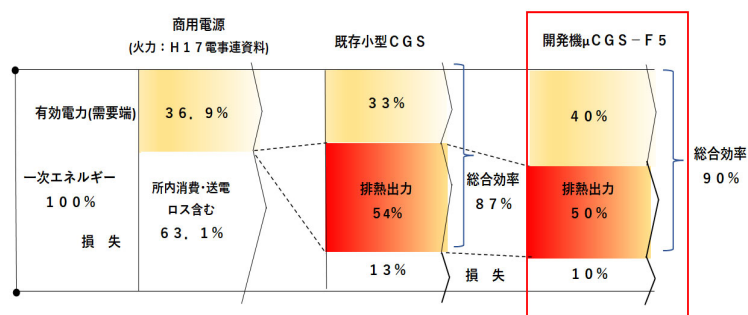


図 3 従来機と本開発システムのエネルギー効率

2.2.3 システム実証評価

本開発では、エンジン開発及びシステム開発と併行して、実フィールドへのシステム導入とシステム評価を行った。実建物での実運用におけるシステム効率の評価を行い、併せて運転の安定性やメンテナンス性等の評価を行った。

3. 具体的な開発内容

3.1 CGS 向けエンジン等の開発

3.1.1 エンジン本体の軸端効率向上

システム発電端効率 40%超を実現するためには、システム構成機器として不可欠な発電機やインバータによるエネルギーロスを考慮する必要があるため、少なくとも 44%程度のエンジン軸端効率が求められる。ここでは、エンジン軸端効率を飛躍的に向上させるための重要な要素技術として、①急速燃焼、②高膨張比化、③二点点火等を主に検討した。

①急速燃焼

図 4 に示すように、開発したエンジンでは、吸気バルブの中心線の延長線と二つの点火プラグの中心線の延長線が、燃焼室を形成する球殻の中心で交わる。この形状だと、バルブシート（弁座）や点火プラグ取り付けねじ部の燃焼室側の縁の全周が半径 R の基円上に配置されるため、燃焼室内の凹凸を避けることができる。これにより、燃焼室の表面積を減らすことで冷却損失の低減につながるだけでなく、火炎の伝播を促進できるように冷却損失を増大させるガス流動を抑えることができる。

このような急速燃焼技術の導入により、同クラスのエンジンでは類を見ない EGR（排気再循環）を採用することができ、さらなる効率向上が期待できる。

②高膨張比

エンジンは、膨張比を高めることで軸端効率（エンジン熱効率）が向上する。開発エンジンでは、高膨張比サイクル（ミラーサイクル）を実現するために、吸気カムシャフトを油圧で制御し、バルブタイミング可変方式を採用した。吸気バルブの取付け角を変化させるのに加えて、作動角（開弁期間）も増大させた。上死点（ピストンの最上点、0°）の近傍で吸気バルブを開き、下死点（ピストンの最下点、180°）通過後の 80°程度で閉じるカムシャフトを製作して採用した。

これにより、ポンピングロス（吸排気損失）を増大させずに圧縮仕事を低減できることを実証し、エンジン軸端効率が最大限に向上するバルブタイミングを特定して採用した。

③二点点火の採用

本開発の予備実験によると、50kW 級エンジンにおいては、二点点火は、エンジンの出力と軸端効率特性の改善に有効であった。これを図 5 に示す。A+B は二点点火、A 及び B は一一点点火のエンジン軸端効率の実測結果を示す。A は燃焼室スワール（作動流体が形成する渦）の上流側に配設したものであり、B は下流側に配置したものである。この結果から、二点点火における軸端効率は優れていることが分かる。

本開発では、二点点火における諸条件での特性を実機により検証した。

3.1.2 独自の混合ミキサの開発

BCP 対応では、常用と非常用燃料（都市ガスと LPG など）の切り替えが発生する。また、バイオガスの利用では、バイオガス製造量は日変動するため、バイオガスと LPG（または都市ガス）の混焼が採用され、その日変動が大きい場合には、混焼率が大きく変動する。

一般的な混合ミキサは、所定の空燃比となるように燃料を計量して、所定の空気吸入量を混合させる機能を持つ。ガスの種類を切り替える必要がある場合、ガス密度が異なり空燃比が変わるため、通常は、変更と安定化のための調整で 1～2 日間のエンジン停止を余儀なくされる。

開発した混合ミキサでは、通常よりも小さなオリフィス径を採用して、オリフィス上流圧によるミキシング制御を採用した。これにより、ガス種類に依存しない、セミオートでのガス種類の切り替えを実現することができた。

3.1.3 メンテナンス性の向上

本開発エンジンでは、発電効率が向上するが故に従来機に比べて排熱が余剰となるケースが少なくなるために、エンジンの運転時間が長くなることが想定された。

そこで、図 6 に示すように、エンジンの骨格であるシリンダブロックを、シリンダ部分（ピストン収納部）とクランクケース（クランクシャフト収納部）に上下二分割できる構造とした。これにより、長時間運転によってシリンダ内面が摩耗した場合に、シリンダ列を単独で交換することができるようになってメンテナンス性を飛躍的に向上させた。

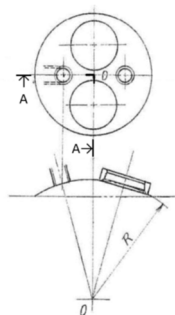


図 4 吸排気バルブと
点火プラグの位置

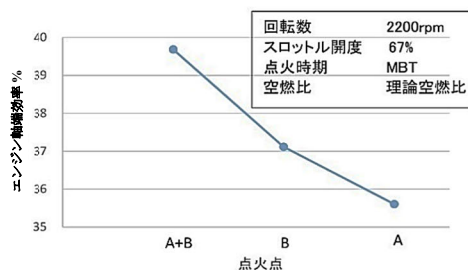


図 5 二点点火と一一点点火の比較

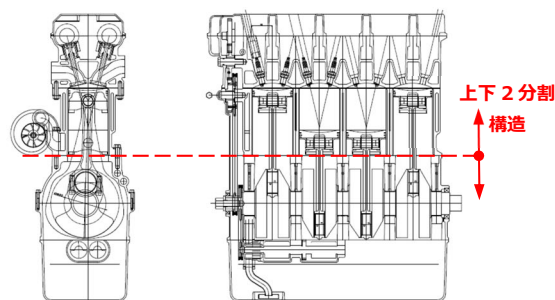


図 6 シリンダ列の二分割構造

3.2 システム開発とシステム実証評価

エンジン本体の開発、並びに、排ガス熱交換器などから構成される筐体の設計と製作を経て、実機を実フィールドに導入して評価試験を実施した。導入先は、福島県にある稼働中のホテルであり、実際の電力負荷（系統連系）と給湯負荷に接続し、LPG／都市ガスを燃料として、2021年7月から2022年3月にかけて、数か月間の実負荷運転を行った。実証試験のフローを図7に、設置した実証機の外観を写真3に示す。

総合効率の向上を図る観点から、通常は廃棄される発電機並びにインバータからの放熱分を、オイルクーラーを介して熱回収する独自の方法を採用した。

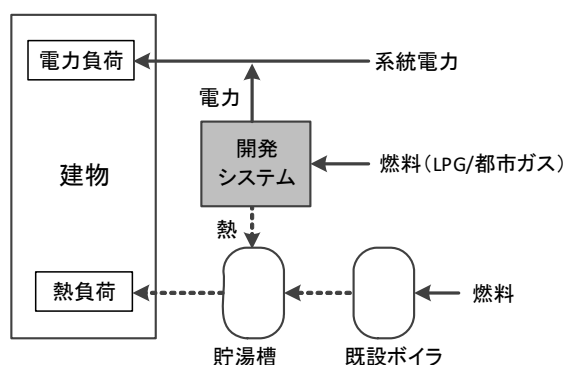


図7 実証試験のフロー



写真3 実証機の実証建物への設置

また、メンテナンスの向上を図る目的で、上下二分割構造のエンジンとしたことに加え、エンジンのオーバーホールに際しては、エンジン本体を載せ替える方式を採用した。

具体的には、図8のように、筐体からエンジン本体のみを取り外し、新エンジンに載せ替え、旧エンジンは工場にて重点検と重整備を行う方式である。この方式だと、現地でのオーバーホールに比べて、劇的にその作業時間が短縮されると共に、工場での作業であるために品質向上に資することになる。

4. 開発結果

4.1 エンジン本体の効率

標準機仕様エンジンの軸端効率は、本開発前は40%程度であった。これに対して、図9に示すように、新エンジンに対して、前述の急速燃焼（EGR）、高膨脹比化、二点点火に加えて、高圧縮比化（圧縮比を向上）、低摩擦（膨脹行程におけるピストンとシリンダの摩擦損失の低減）により効率向上を図った結果、このうち高膨脹比化は効率向上に寄与しなかったものの、テストベンチにて目標である軸端効率44%超を

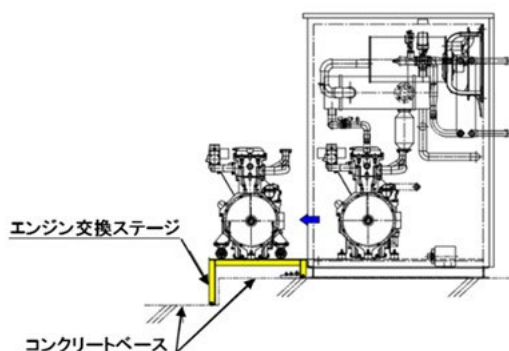


図8 エンジン本体の載せ替え



図9 エンジン軸端効率の向上

達成した。しかしEGRはエンジン出力を低下させることやコスト高につながることから、開発システムへの採用を見送ることにした。そこで、さらなる効率向上を求めて、吸気管の延長（吸気管：インテークマニホールドの長さの変更）、定格回転数の見直し等の追加検討を行った。

最終的には、図9の最右の棒グラフ（最終評価）に示したように、EGRを採用しなくても、目標であるエンジン軸端効率44.7%を達成することができた。

今回、開発エンジンに採用した各技術は、効率向上に対して、出力が低下するといったトレードオフの関係にないものである。

開発システムの発電端効率は、エンジン軸端効率、ならびに発電機とインバータの変換効率の掛け算で表現される。ここでは、 $44.7\% \times 91\% = 40.7\%$ となり、目標値40%超を達成できたことになる。

発電機とインバータの変換効率91%は、それぞれのカatalog値をベースに、実証試験結果をフィードバックして、補正した数値を採用した。

4.2 システム実証試験における総合効率

システム実証試験における総合効率（発電端効率と排熱回収効率の和）と排熱出力の計測結果を図10に棒グラフで示す。総合効率は約90%、排熱出力は70～80kWにて安定運転できていた。発電機及びインバータからの放熱分を約6kW熱回収することで、総合効率を5～6%押し上げる結果になっていた。

なお、実証試験での搭載エンジンは、標準機仕様であったため、発電端効率は35%程度にとどまっていた。これを図10に折れ線グラフで示す。

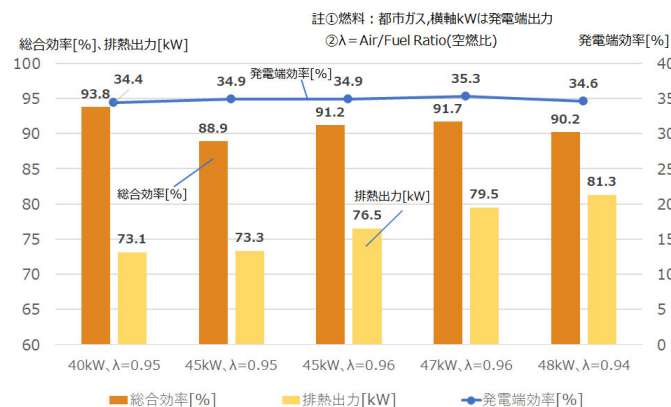


図10 実証試験における総合効率等

4.3 メンテナンス性の向上

メンテナンス性の向上を目的に、エンジン交換ステージを採用したシステムで、エンジン載せ替えの目標を3時間未満として現地作業を行った。

現地での実証では約5時間を要したが、本方式を実運用で実施できることを確認した。

5. 最終実用化

5.1 筐体の設計

実際の建物で実用運転を行った実証機を0号機、今後に商用販売を開始する商用機を1号機と定めて、その詳細設計を実施した。

商用機の詳細設計に当たっては、筐体内の換気方式を三種換気から二種換気に変更して冷却効率を高めたり、エレベータでの搬入・搬出を可能とするために機器本体の幅を1,100mm以下にできる分割構造を採用したりする等、本開発を通じて把握できた筐体の課題や改良点等を反映した。また、吸気管延長への対応など、新開発エンジンに対応した仕様とした。

5.2 商用機の仕様

商用機の仕様を図 11 に示す。

発電端効率 40% (LHV 基準) を重視した高効率 (スーパーエコ) 型、ならびに発電出力を重視した標準 (スタンダード) 型の二通りをラインナップした。ここでの効率の相違は、ハードの違いではなく、チューニングの違いによる。高効率型は運転回転数を下げる関係で発電出力が 1 割程度低下する。

排熱利用温度は、二次側の利用先によって、低温型 (55/67℃) と吸収冷凍機等に接続可能な高温型 (68/80℃) の二通りをラインナップした。

参考までに、システムの最終ヒートバランスの運転事例を図 12 に示す。4 章で示した発電端効率 40.7% と本数値には若干の相違があるが、最終販売においては、納入先での実機運転条件の制約および計測誤差など含まれてくるため、ここでは、安全性を考慮した数値としている。

5.3 筐体の寸法・重量

商用機の寸法と重量を図 13 に示す。エレベータ等からの搬入・搬出時は、最大で四分割にて対応することができる。

5.4 CGS 制御システム

μ CGS 開発に伴い、ユニット内のポンプや空冷ラジエータファンの発停、ならびに冷却系 (排熱利用系) の三方弁の開閉といった CGS 制御システムをゼロベースから開発した。エンジンと排ガスの冷却機能 (排熱利用機能) と外部遠隔監視機能を有しつつ、シンプルかつ堅牢な制御とした。

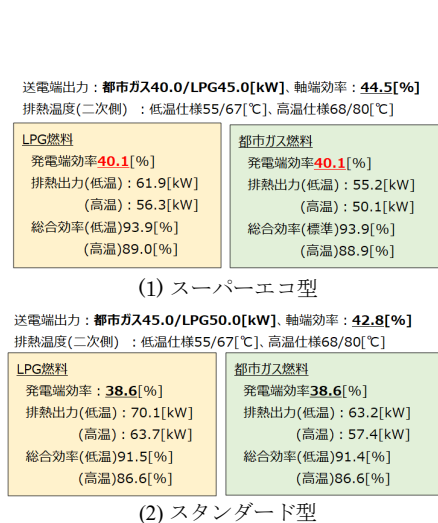


図 11 商用 1 号機の仕様

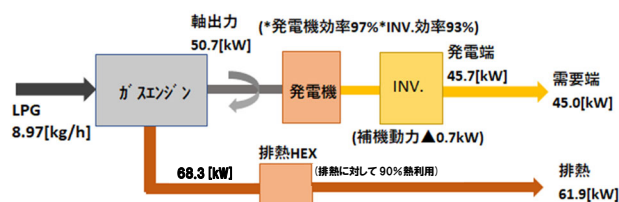


図 12 ヒートバランスの事例
(スーパーエコ型で排熱温度を低温とした場合)

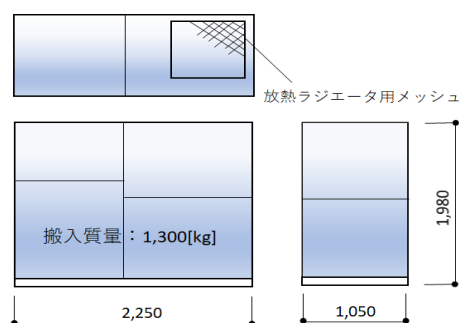


図 13 商用機の筐体寸法 (参考)

6. 周辺ツールの開発

6.1 CGS 設計ツールの開発

6.1.1 開発の目的

建物への μCGS 導入を最初に検討する際、一般的に、対象建物の月別/時刻別の電力/暖房/給湯の各負荷パターンを入手もしくは想定した上で、システム導入台数や運転方法を変えながら、導入前後のエネルギーコストの削減効果を比較・検討して、最適な導入台数を決定する。しかし、この作業には、専門の知識や経験が必要になると共に、大変な労力を要する。たとえ優れたハードを開発しても、その良さを直ち

に判断できるツールを併せて整備しなければなかなか市場からは受け入れられない。一方で、あらゆる建物用途に対応できるツールを開発するのは容易ではない。

そこで、対象とする建物用途を限定し、空気調和・衛生工学会等から報告されている一般的な電力・熱の各負荷パターン⁴⁾を活用することにより、必要最低限の建物情報の入力のみで、 μ CGS の導入で電力料金やガス料金がどう変わるかを、誰でも容易に瞬時に判断できる専用の CGS 設計ツールの開発を目指した。

6.1.2 計算フローと入力項目

開発した CGS 設計ツールの計算フローを図 14 に示す。必要最低限の建物情報の入力だけで、 μ CGS の導入台数や運転方法に応じた年間のエネルギーコストの削減効果の大まかな計算を行うことができる。

次に、具体的な入力項目について説明する。建物用途は、 μ CGS が導入される可能性の高い病院とホテルの二種類に限定した。建物負荷パターンは、以下の三通りを採用した。

- (1) 空気調和・衛生工学会「CGS 設計に関する研究」の負荷パターン⁴⁾を引用
- (2) IBEC「コンパクトエネルギーシステム開発」の負荷パターン⁴⁾を引用
- (3) ユーザーによる手入力

入力データとしての負荷とその単位は、以下の通りとした。病院でもホテルでも、通常日と休日の負荷に違いはないものとした。

- (1) 電力負荷：(1～24 時) × (1～12 月 + ピーク負荷)、単位：Wh/(h・m²)
- (2) 暖房負荷：(1～24 時) × (1～12 月 + ピーク負荷)、単位：kJ/(h・m²)
- (3) 給湯負荷：(1～24 時) × (1～12 月 + ピーク負荷)、単位：kJ/(h・m²)

ここでの 1 時とは 0～1 時のことであり、24 時とは 23～24 時のことを差す。年間の負荷の積算値により、年間の電力料金やガス料金を算出し、ピーク負荷で機器容量を選定する。

暖房負荷に対しては、以下の地域係数⁴⁾を乗じた。

- (1) ピーク負荷：北海道 1.5、東北 1.3、北陸 1.1、沖縄 0.5、その他 1.0
- (2) 年間熱負荷：北海道 2.4、東北・北陸 1.4、関東 1.0、九州 0.7、沖縄 0.07、その他 0.9

また、LED の使用等の理由で、実際の負荷と異なる場合は、全負荷に対して任意に係数を乗じることができるようにした。

導入する μ CGS の仕様に関して、燃料を LPG と都市ガスの二通りとして、次に 1 台当たりの発電出力、熱出力、並びに燃料消費量は、各燃料における開発システムの現行の性能を初期値とした。将来的な性能向上を見据えて、手入力による数値の変更も可能とした。

以上を整理すると、ユーザーによる入力が必要とする項目は以下の九項目のみとした。

- ① 延床面積：数値を入力
- ② 建物用途：ホテル／病院のいずれかを選択
- ③ 電力／暖房／給湯の負荷パターン：空気調和・衛生工学会／IBEC から選択（もしくは手入力）
- ④ 地域：10 地域から選択
- ⑤ 負荷に対する任意係数：数値を入力（初期値は 1.0）
- ⑥ CGS 台数：数値を入力（1～10 台）
- ⑦ 運転パターン：運転開始時刻と運転終了時刻（24 時間運転可）、および運転月を選択

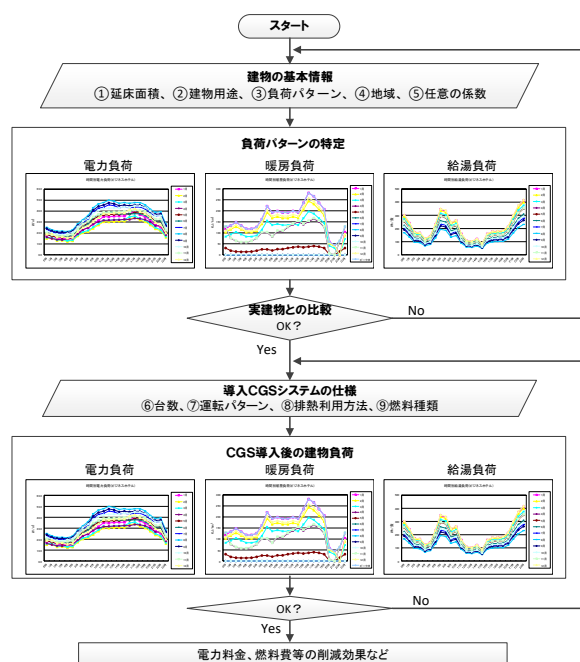


図 14 計算フロー

- ⑧ 排熱利用方法：給湯優先／暖房優先／給湯のみ／暖房のみのいずれかを選択
- ⑨ 燃料種別：LPG／都市ガスから選択
- 本ツールは Microsoft Excel のマクロで動作する。

6.1.3 計算の事例

以下の条件で計算した事例を紹介する。導入前後の各負荷の変化を図 15、導入前後のランニングコストの比較結果の事例を表 1 に示す。

- ①延床面積：15,000m²
- ②建物用途：ホテル
- ③負荷パターン：空気調和・衛生工学会
- ④地域：関東
- ⑤負荷に対する任意係数：1.0
- ⑥CGS 台数：2 台
- ⑦運転パターン：24 時間運転、1～12 月運転
- ⑧排熱利用方法：暖房優先（ピークカット）
- ⑨ 燃料種別：都市ガス

計算に際しては、初期値として用意した電力料金やガス料金を容易に変更することができる。昨今のエネルギーコストの高騰に応じた計算と評価も容易に行うことができる。

6.2 CGS 台数運転制御ツールの開発

6.2.1 開発の目的

開発した CGS 制御システムでは、単一ユニット内において発電出力と熱出力の運転制御を完結させている。また、遠隔 PC から、ネットワークを介して、ユニットの運転操作や運転データ収集を行うことができる。そこで、これらの仕組みを活用して、複数台ユニットを最適運転できるツールを開発した。

具体的には、μCGS ユニット 1 台の発電特性と熱出力特性（発電出力に対する発電端効率と熱出力）をもとに、μCGS を複数台（1～10 台）導入した場合の最適な台数運転を特定できるツールを開発した。すなわち、以下の二つの項目を同時に達成することを目指した。

- (1) システム全体で最高効率を実現する台数運転
- (2) 最適なローテーションを実現する台数運転

本ツールのシステム概要を図 16 に示す。

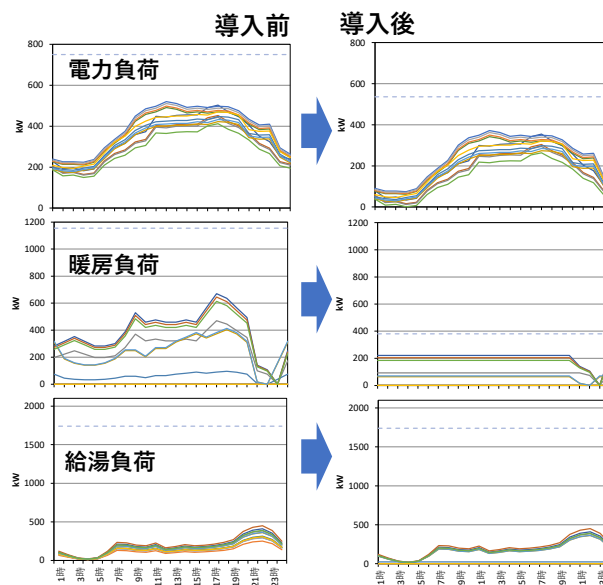


図 15 計算の事例(導入前後の各負荷)

表 1 コスト比較の事例 (単位：円)

	導入前	導入後	差分
電力	75,000,000	42,412,800	-32,587,200
暖房	19,541,666	7,848,899	-11,692,767
給湯	19,541,666	11,306,380	-8,235,286
CGS運用	0	45,727,200	45,727,200
総額	114,083,332	107,295,279	-6,788,053

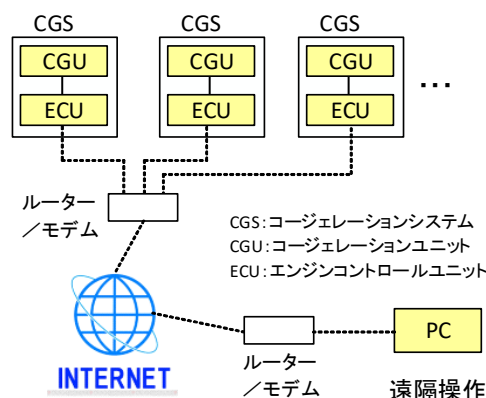


図 16 台数運転制御ツールのシステム概要

6.2.2 台数運転の考え方

本ツールで採用した台数運転の考え方を以下に示す。

遠隔からの指令は、運転するユニットの特定と各ユニットの発電出力の割合の二項目とした。すなわち、どのユニットを何%の発電出力で運転するかを指令する。

その決定方法は、エンジンにとっての高効率運転領域、ならびにエンジンの負担軽減、さらにはシンプルな組み合わせを目指すという観点から、発電出力は、第一優先を定格である80%とし、第二優先を90%、第三優先を70%、第四優先を60%と考えた。基本は、それらの四通りのみに限定して、対応不可の場合には、50%や40%等も対応できるものとした。

このルールのもとで、システム全体に必要な発電の総電力を、どのようなユニットで構成して対応するか全ての組み合わせを想定・演算して、最もシステム全体で高効率な組み合わせを決定する。

次に、複数台ユニットのローテーションの考え方を説明する。ここでは、累積運転時間に発電負荷率を組み合わせた数値でローテーションの可否を判断することにした。あるユニットの発電負荷率を乗じた累積時間が、所定の数値に達したらそれを停止して、別なユニットの運転を開始する。どのユニットを選択するかは、全てのユニットのうちで、発電負荷率を乗じた累積時間が最も小さいものとした。

このツールはブラウザ上で動作する。

6.2.3 台数運転制御の事例

開発した台数運転制御ツールの運転事例の画面を図17に示す。この事例では、8台のμCGSユニットを対象として、その時刻の必要発電量が177.39kWであった場合に、8台のうち4台のみを運転させている。具体的には、ユニットNo.2の発電出力を80%、ユニットNo.4の発電出力を70%、ユニットNo.6の発電出力を70%、ユニットNo.7の発電出力を70%として、システム全体で181.4kWの発電出力を達成し、その際のシステム全体の発電端効率41%が実現されている。すなわち、このツールの活用により、システム全体で最も高い発電端効率を実現できている。

時刻	12月 22時		総合発電効率		41 %	
台数	8		総合発電出力		181.4 kW	
必要発電量	177.39 kW					
ユニットNo	発電出力(kW)	熱出力(kW)	発電出力(%)	連続稼働時間 (h)	累積運転時間 (h)	運転比率 (%)
1	0	0	0	0.9	101	10.81
2	50	48	80	39.6	117.4	12.56
3	0	0	0	0	102.9	11.01
4	43.8	42	70	98.2	143	15.3
5	0	0	0	0	110.7	11.85
6	43.8	42	70	82.8	139.4	14.92
7	43.8	42	70	41.7	116.8	12.5
8	0	0	0	10.6	103.3	11.05

図 17 台数運転制御ツールの運転事例

6.2.4 熱出力を対象にした台数運転

この台数運転の考え方は、発電出力だけでなく、熱出力を対象にした場合でも同様の考え方ができる。昨今の実建物では、電力の逆潮流を行えないケースが多いため、寧ろ、熱出力を対象にした台数運転の方が採用される可能性がある。そこで、本ツールは、熱出力を対象にした台数運転も行えるようにした。

熱出力を対象にした台数運転は、発電出力を対象にした考え方と全く同じである。熱出力においても、

第一優先を定格の 80%とし、第二優先を 90%、第三優先を 70%、第四優先を 60%とした。基本は、それらの四通りのみとして、対応不可の出力に対しては、50%や 40%等も対応できるものとした。このルールのもとで、システム全体に必要な熱量を、どのようなユニットで構成して対応するかを組み合わせて全て想定して、最もシステム全体で高効率な組み合わせを決定する。

これらの台数運転ツールは、その日に変更したい、あるいは、その週の始めに変更したいという要望にも応えられるようにした。

7. おわりに

以上のように、本報では、50kW 級 μ CGS の開発に関して、以下を説明した。

第 1 章では、昨今に求められるエネルギー社会の機能や役割、それを受けての本開発の背景や目的を説明した。第 2 章では、開発の概要として、システム基本構成、並びに開発項目と課題を説明した。第 3 章では、具体的な開発内容として、高効率な CGS 向けエンジンの開発、多種類燃料に対応する独自の混合ミキサの開発、メンテナンス性の向上、システム開発とシステム実証評価について説明した。第 4 章では、開発結果として、新エンジンの効率向上の結果、並びに、実建物での実運用によるシステム発電端効率や総合効率の実証結果等について説明した。第 5 章では、実用化に向けた取り組みについて説明した。第 6 章では、周辺ツールの開発として、CGS 設計ツールと CGS 台数運転制御ツールの開発の概要を説明した。

本開発の課題の一つにエンジンの耐久性の確認があるが、現在までに、加速度試験を含めて 20,000 時間以上の耐久性試験を継続しており、大きな問題は見つかっていない。

本開発は、YGK 通商（株）、TMES（株）、高砂熱学工業（株）の 3 社の共同開発のもと、2020 年度から本格的な開発を着手し、2020 年 12 月～2022 年 11 月の NEDO 実用化開発を無事に完了するに至った。その後、2023 年 5 月には一般社団法人環境共生イニシアチブによる「令和 4 年度省エネルギー投資促進・需要構造転換支援事業費補助金」の「(A) 先進事業」における先進設備・システムに採択された。2023 年 9 月の NEDO 終了時評価では、最も評価の高い「優良」を頂いた。

本開発システムは、2023 年度から TMES（株）によりシステム販売を開始するに至っている。

謝 辞

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の 2020 年度助成事業「戦略的省エネルギー技術革新プログラム／実用化開発／世界最高の発電端効率を実現する μ CGS の開発」（助成先：YGK 通商（株）株、共同研究者：高砂熱学工業（株）、TMES（株））の結果、得られたものである。

ここに、様々な局面でご指導・サポートを頂いた関係各位に改めて謝意を表する。

文 献

- 1) 岡村，大井，増田：50kW 級 高効率マイクロコージェネレーションシステムの開発（第 1 報）基本構成と開発結果，令和 5 年度空気調和・衛生工学会大会（福井）学術講演論文集，(2023)．
- 2) 増田，岡村，大井：50kW 級 高効率マイクロコージェネレーションシステムの開発（第 2 報）設計ツールと台数運転制御ツール，令和 5 年度空気調和・衛生工学会大会（福井）学術講演論文集，(2023)．
- 3) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，株式会社サステナブル・エンジン・リサーチセンター：コージェネ用ガスエンジンで世界最高水準の超高出力運転を達成，(2020)．
(https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101279.html)
- 4) 都市環境エネルギー協会：地域冷暖房技術手引書 改訂第 4 版，(2013)．

ABSTRACT

A cogeneration system is attracting attention as a promising system for building a resilient energy society. However, micro cogeneration system with power generation outputs in the tens of kW range have not been widely introduced in the market because they have a major problem such as low generating efficiency. The authors have developed a new 50kW-class micro cogeneration system that achieves the world's highest level of power generation efficiency, with the aim of expanding its installation target to existing small to medium-sized buildings. This report describes the details and results of the system development, as well as the peripheral tools that were developed.
