

内燃機関によるコージェネレーション

Cogeneration Using Internal Combustion Engine

垂水 弘夫*・藤井 修二**・早川 一也***

Hiroo Tarumi Shuji Fujii Ichiya Hayakawa

1. はじめに

コージェネレーションシステムは、発電に伴い発生する排熱を回収して利用することから、エネルギーの有効利用システムとして注目されている。このコージェネレーションシステムは、生産部門特に大規模工場においては、蒸気併給発電として第2次大戦以前から実施されているが、我が国の民生部門に例がみられるようになったのは1979年以降のことであり、これまでの実績数も30例程度を数えるにすぎない。海外では、米国と西ドイツにおいて普及が著しいが、これは自家発電側と系統電力との並列運転に係わる問題をはじめとして、制度的整備がいち早く進められているためと考えられる。我が国でも、そろそろコージェネレーションの効用を説く総論的展望の時代を過ぎ、技術的課題や法制度等について各論的に解決を見出す時機が到来しつつあるし、また、そうでなければコージェネレーションシステムの普及は計りがたいと思われる。ここで検討対象とする民生部門の主な特徴としては、以下の点が挙げられる。

- (1) 冷暖房・給湯で要求される温度レベル(°C)は、2桁かあるいはせいぜい3桁であり、排熱の利用が可能である。
- (2) 電力・熱需要の季節および時刻変動が大きく、生産部門に比べてコージェネレーションシステムの適用効果の把握が容易でない。

そこで、当面解決すべき課題としては、(2)の適用効果に関する検討が重要となってくる。

民生部門へのコージェネレーションシステムの適用効果を把握するためには、電力・熱の負荷変動に対応可能なシミュレーションモデルの開発と評価が必要と

される。ここでは、民生部門への適用を前提として試験的に開発した、内燃機関を駆動源とするコージェネレーションシステム・シミュレーションモデルについて、その概略と評価の1例を述べるとともに、末尾では今後の課題について触れる。

尚、ここで対象とした内燃機関は、ディーゼルエンジンとガスエンジンである。

2. システムシミュレーションモデルの作成

2.1 基本的考察とモデルの構成

コージェネレーションシステムの建築への適用にあたっては、民生部門の特徴である電力・熱需要の変動に注目した省エネルギー効果の把握が必要であり、これが経済性評価の基礎となる。生産部門等にみられるように、電力と熱の需要量が常時一定に近い条件下では、省エネルギー率は表1の如く、買電電力量の占める割合と、熱電力比(熱需要量/電力需要量)に従って求められる。

しかし、民生部門における電力・熱需要は、既に述べた如く季節や1日の中の時間帯によっても異なり、一方、コージェネレーションシステムの駆動源となる各種のエンジンやタービンは、負荷によって電力及び熱の出力特性に変化を生じる。そこで、図-1(1)、(2)に示すような、従来システム(吸収式冷凍機+ボイラーの場合)とコージェネレーションシステムにおける利用目的別エネルギー需要と消費の従属関係を考えた。従来システムでは、需要量により燃料消費量、買電量は一意的に定まる。これに対し、コージェネレーションシステムでは、閉ループをなし、各需要量から燃料消費量が一意的に定まらない。このため、発電量あるいは排熱回収量のうち一方を初期値設定し、収束演算を行う必要が生じる。コージェネレーションシステムの省エネルギー効果の評価モデル作成にあたってはこの点を考慮する必要がある。図-2に評価モデルのゼネラルフローチャートを示す。発電電力量は一般電力需

* 東京工業大学工学部建築学科助手

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

** 東京工業大学工学部建築学科助教授

*** (株)フォルム設計事務所会長

(元東京工業大学工学部建築学科教授)

表1 省エネルギー率の算定式

考慮対象とする任意の需要家の電力需要量をA(kWh)、熱需要量をB(kcal)とする。

従来の(ボイラー利用+買電)システムにおけるエネルギー消費熱量 Q_1 (kcal)は、

$$Q_1 = \frac{A \cdot 860}{E} + \frac{B}{F}$$

ここに、E：火力発電の熱効率(送配電ロスを含む)

F：ボイラー効率

一方、コージェネレーションシステムを適用した場合について考えてみると、電力需要分のエネルギー消費熱量 Q_{2A} (kcal)は、

$$Q_{2A} = \frac{A \cdot 860 \cdot (1-P)}{E} + \frac{A \cdot 860 \cdot P}{r}$$

ここに、P：電力需要量に占める自家発電量の場合(0 ≤ P ≤ 1)

r：自家発電機効率

熱需要分のエネルギー消費熱量 Q_{2B} (kcal)は、

$$Q_{2B} = \frac{B - \frac{A \cdot 860 \cdot P}{r} (S-r)}{F}$$

ただし、 $Q_{2B} < 0$ のときは、 $Q_{2B} = 0$ である

ここに、S：コージェネレーションシステムの駆動源の総合熱効率

よって、コージェネレーションシステムにおけるエネルギー消費熱量 Q_2 (kcal)は、

$$Q_2 > 0 \text{ のとき,}$$

$$Q_2 = Q_{2A} + Q_{2B}$$

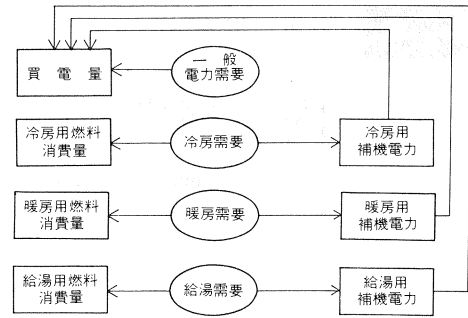
$$= A \cdot 860 \cdot \left(\frac{1-P}{E} + \frac{P}{r} - \frac{P(S-r)}{F \cdot r} \right) + \frac{B}{F}$$

$Q_{2B} \leq 0$ のとき、

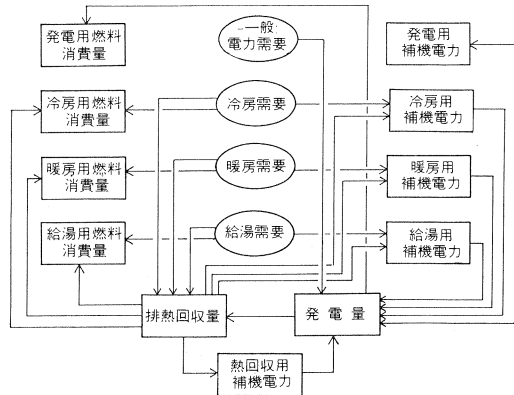
$$Q_2 = Q_{2A} = A \cdot 860 \cdot \left(\frac{1-P}{E} + \frac{P}{r} \right)$$

省エネルギー率Tは、次式で求められる。

$$T = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$



(1) 従来システム



(2) コージェネレーションシステム

図-1 エネルギー需要および消費量の従属関係

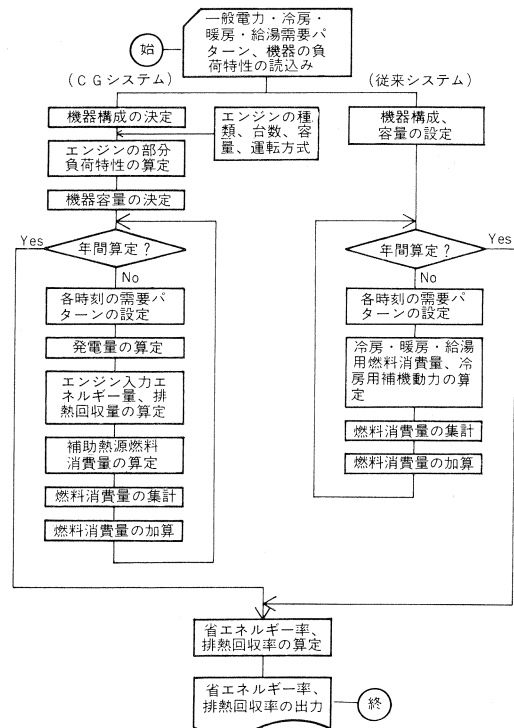


図-2 モデルのゼネラルフローチャート

要、熱需要及びエンジン自体の稼動状態に依存し、エネルギー需要パターンからは一意的に定まらないため収束演算を行っている。エンジンの運転制御方式としては電力需要をすべて発電で賄う方式と一部買電を併用する方式を取り入れた。表2は、ここで研究対象と

表2 システム構成の6方式

方式	駆動源	冷房		暖房	
		C.G.システム	補助熱源	C.G.システム	補助熱源
A	ディーゼルエンジン	排温水吸収式冷凍機	吸収式冷凍機	熱交換器	吸収式冷凍機ボイラー
B	〃	――	吸収式冷凍機	〃	吸収式冷凍機ボイラー
C	〃	――	ヒートポンプ	〃	ヒートポンプボイラー
D	ガスエンジン	排温水吸収式排ガス吸収式冷凍機	吸収式冷凍機	〃	吸収式冷凍機ボイラー
E	〃	――	吸収式冷凍機	〃	吸収式冷凍機ボイラー
F	〃	――	ヒートポンプ	〃	ヒートポンプボイラー

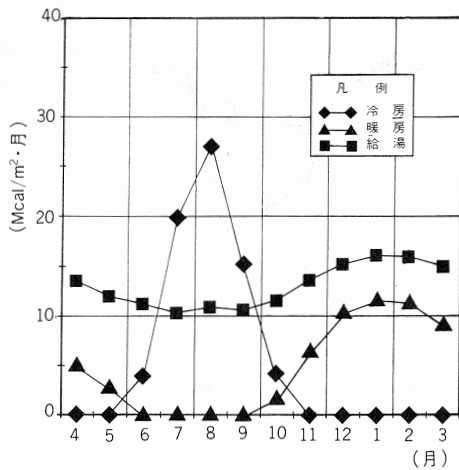
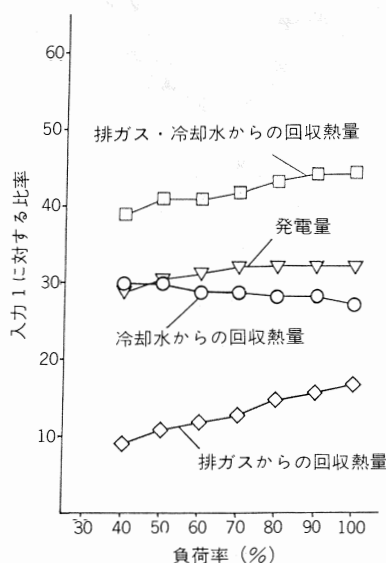


図-3 熱需要月変動 (ホテル)

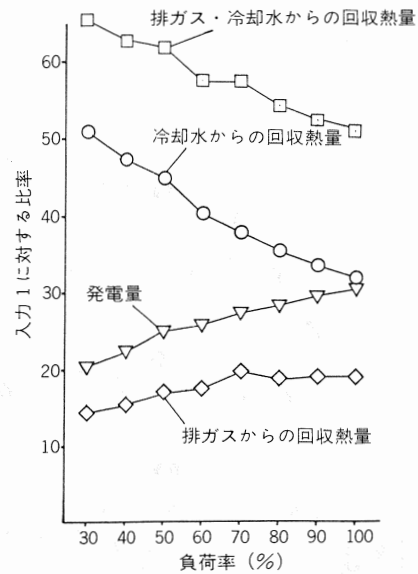
したコージェネレーションシステムの6方式を示している。A, B, Cの3方式は駆動源にディーゼルエンジンを用い、D, E, Fの3方式はガスエンジンを使用するものである。また、比較対象とする従来システムとしては、(ターボ冷凍機+ボイラー)、(吸収式冷凍機+ボイラー)、(ガスエンジン駆動ターボ冷凍機+ボイラー)を取り上げた。

2.2 適用対象と算定条件

適用対象としては、比較的熱需要量の大きいホテルを選定した。電力・熱需要変動条件は、実態調査結果に基づき、月別・時刻別に入力している。図-3は、熱需要月変動の例を示したものである。一方、システム側の条件としては、図-4(1)、(2)に、各々ディーゼルエ



(1) ディーゼルエンジン



(2) ガスエンジン

図-4 負荷率による発電量および回収熱量

ンジンおよびガスエンジンの部分負荷特性を示した。ディーゼルエンジンでは負荷率の上昇に伴い、発電量・回収熱量ともに増加するが、ガスエンジンでは、発電量は増加するものの、回収熱量は減少傾向を示す。

2.3 モデルの有効性評価

モデルによる算定値と実績値の比較・検討のために、山梨県のKホテルで稼動中のコージェネレーションシステム(図-5)に関する実績値調査を、昭和57年10月1日から昭和58年9月30日の電力日報を用いて行った。その結果として、図-6に実績値とモデル(表2, C方式)による算定値を示す。算定条件は、エンジン出力125kW×2基、全容量に対する買電量の割合72%である。電力消費量は比較的よく一致したが、給湯用エネルギー消費量は、Kホテルで温泉の加熱用にボイラーを用いているため、実績値より小さく算定されたものと思われる。

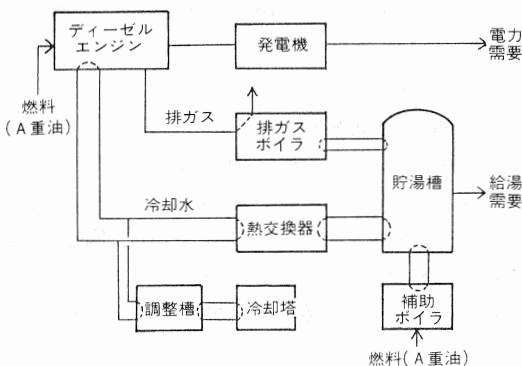


図-5 Kホテルにおけるコージェネレーションシステムの構成

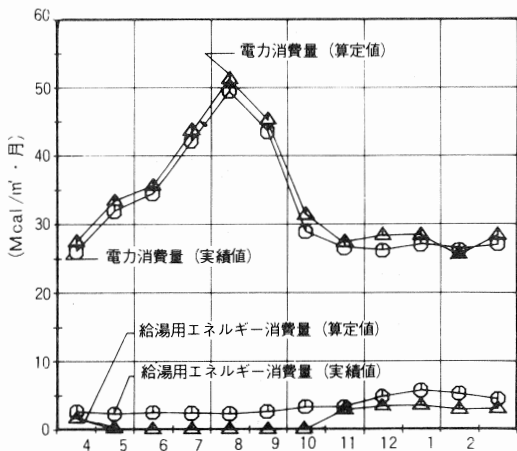
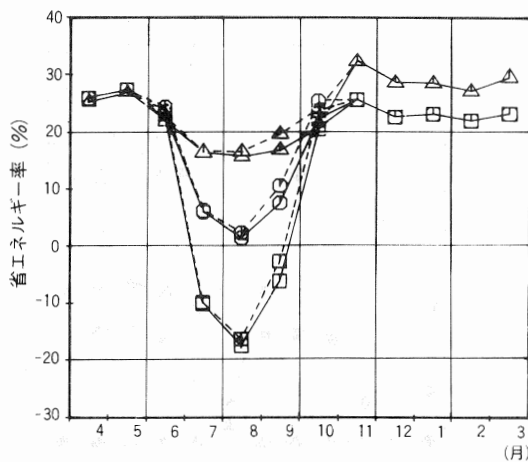


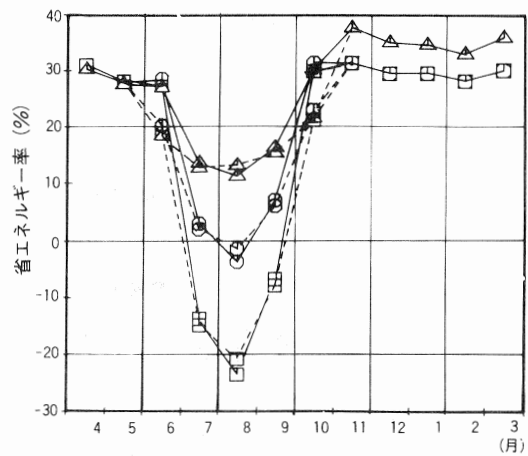
図-6 モデルによる算定値と実績値の比較

3. モデルの適用と評価例

従来システムの3方式と比較したコージェネレーションシステムの省エネルギー率を図-7(1), (2)に示す。ディーゼルエンジン・ガスエンジンをういたコージェネレーションシステムは、ともに中間期と冬期において20%~30%程度の省エネルギー率を得ているが、夏期に低い値を示し、特に従来システムの(ガスエンジン駆動ターボ冷凍機+ボイラー)との比較においては、7~9月に省エネルギー効果がみられない。年間を通じて最も高い省エネルギー率を示すのは、ガスエンジンを用いるD方式を従来システムの(吸収式冷凍機+



(1) ディーゼルエンジンを用いる場合



(2) ガスエンジンを用いる場合

- 凡 例
- : A方式
 - - - : B方式
 - △ : (吸収式冷凍機械+ボイラー)との比較
 - : (ターボ冷凍機+ボイラー)との比較
 - : (ガスエンジン駆動ターボ冷凍+ボイラー)との比較

図-7 省エネルギー率の年間月変動

ボイラー)と比較した場合で27%に達する。一方、ディーゼルエンジンを用いるA方式を従来システムの(ガスエンジン駆動ターボ冷凍機+ボイラー)と比較した場合の省エネルギー率は約15%にとどまっている。次にエンジンの運転方式別の省エネルギー率を図-8及び図-9に示す。図-8は、電力需要をすべて2基のエンジンの発電で賄う場合に、全容量に占める1基の容量を変化させたものである。A, B, D, E方式では容量の比が1:3のとき最も高い省エネルギー率が得られ、C, F方式では、容量比2:3のときに省エネルギー率が高くなる。また、図-9は、買電を併用し、全容量に占める買電量の割合を変化させたものである。各方式とも、買電量の占める割合が増加するほど省エネルギー率は低下し、全容量に占める買電量の割合が、40%以上では省エネルギー率は急激な低下を示す。以上を要約すると、以下のようにまとめられる。

① 年間でみると正の省エネルギー率が得られる場合

でも、方式によっては夏期に省エネルギー効果の得られないものもある。

② 複数のエンジンを設置する場合、最も高い省エネルギー率が得られるように、容量比を決定する必要がある。

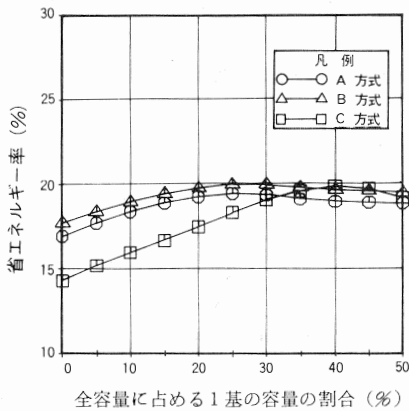
③ 買電を併用する場合、省エネルギー率が大幅に低下しない範囲で契約電力を決定する必要がある。

4. 今後の検討課題と内容 (建築屋の視点から)

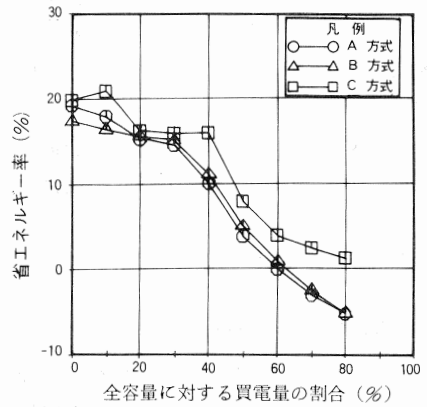
4.1 モデル開発に係わる問題

ここで述べたシミュレーションモデルでは、台数分割や買電割合に関する検討は行ったものの、発電におけるダミー負荷設定の良否や、蓄熱効果に関する判断材料を提供するには至っていない。この点で、一層のモデル開発の余地が残されているものと思われる。

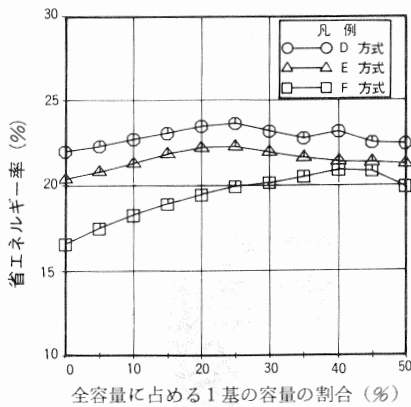
また、モデルの有効性確認の点からは、実績データとシミュレートした結果との対照が求められているが、



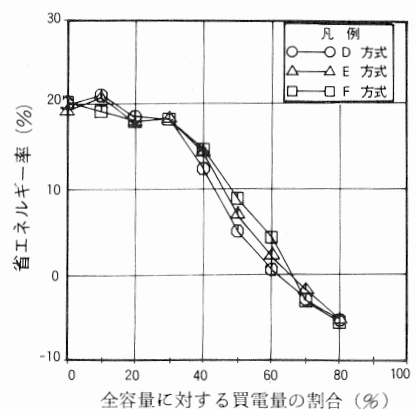
(1) A, B, C方式



(1) A, B, C方式



(2) D, E, F方式



(2) D, E, F方式

図-8 全容量に占める1基の容量の割合による省エネルギー率の変化

図-9 全容量に対する買電量の割合による省エネルギー率の変化

冒頭でも述べたごとく、民生部門への適用例が少ないこともあって、電力・熱消費量や買電量、燃料使用量等の変動を時刻レベルで追跡し、データを記録している例はほとんどみられない。システムが当初の狙い通りに稼働せず、実績値の公表が容易でない場合もあると思われるが、先駆者の義務としても、データの自動記録装置の設置や、実績値の公開に配慮すべきと考えられる。

4.2 適用対象に係わる問題

ここでは、適用対象建物の種類として、比較的熱需要の大きいホテルを例に取り検討を行ったが、この適用範囲を広げることにより、逆に、コージェネレーションシステムの適用に適した建物種類やシステム構成(特に冷凍機の種別)、規模を見い出す必要がある。

また、各種建物種類の混在する地域冷暖房では、集積の効果から電力・熱需要の尖頭的ピークが緩和され、駆動源の安定した運転が可能になる。さらに、純粋に研究的側面から言えば、商業・業務地区立地型の地域冷暖房と、高層集合住宅団地立地型の地域冷暖房間では、搬送ロスの大い熱については各地区でクロズドな形態で利用せざるを得ないが、電力については余剰分のやり取りを行うことによって、相互補間的に機能させることができる。これより、各々単独ではメリットの小さい場合でも、組み合わせを考えることによって、導入効果を高め得るケースが生じると考えられる。

4.3 総合評価に係わる問題

ここでは主に、評価項目として省エネルギー効果を中心に話を進めたが、この他にも、最も重要視されるであろう経済性をはじめとして、環境への影響や防災上の問題の面からも評価されるべきである。特に都心部に立地する場合には、環境面および防災面からの評

価が重要となる。環境面についてみると、都市内部でのエネルギー消費量が増大するため、燃料の質に対する配慮が必要とされる。防災面について言えば、分散電源としての特徴を活かし、災害復旧過程においてその性能を発揮することが期待される。こうした意味では、病院、放送、警察および消防等の公的機関の電力を賄うべく、コージェネレーションシステムの導入素地があると言えよう。

5. おわりに

今後、電気事業法の運用について、一般電力系統への併入、予備電力、余剰電力の取扱等が明確にされてくれば、経済性評価も厳密に行えるようになり、コージェネレーション発展の足掛かりとなるであろう。それだけに、エネルギーの有効利用という国家的方向性を踏まえたガイドラインの作成を望みたい。一方、コージェネレーションにビジネス・チャンスとしての期待を寄せる人々にも、質的に高いシステムを供給することが結局は利益に繋がり、そのためにはシステム構築技術や管理運営技術の高度化に精力を注ぐことが重要であると指摘しておきたい。

文 献

- 1) (社)日本ガス協会, ガスエンジン(ガスタービン)トータルエネルギーシステム技術研究報告書, 1984年
- 2) (財)エネルギー総合工学研究所, 石油トータルエネルギーシステムに関する調査, 1985年
- 3) 早川, 藤井, 垂水, 他, コージェネレーションシステムの導入に関する研究, 第1~10報, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1983年9月~1985年10月
- 4) 垂水, 早川, 藤井, 他, コージェネレーションシステムの省エネルギー効果の評価に関する研究, 日本建築学会建築環境工学論文集, 第6号, 1984年11月

