首都圏の大規模住宅団地におけるコージェネレーションシステム
導入の可能性に関する研究A STUDY ON APPLICABILITY OF COGENERATION SYSTEMS
TO LARGE-SCALE HOUSING COMPLEX IN TOKYO METROPOLITAN AREA

市川 徹*, 佐土原 聡**, 尾島 俊雄***

Toru ICHIKAWA, Satoru SADOHARA and Toshio OJIMA

This study examines if and how application of cogeneration to largescale housing complex in Tokyo metropolitan area can be made. Using results from detailed energy consumption survey, 170 cogeneration model systems were created, and primary energy conservation ratio and utility cost saving ratio were calculated through hourly simulation. Following results were obtained :

① 20 % energy conservation and 10 % economic benefit can be achieved with either gas or diesel engine cogeneration system when it is applied to the entire complex rather than to restricted sections like utility plants.

② Both benefit can also be maximized when electricity is exclusively provided by cogeneration.

Keywords : cogeneration, housing complex, energy consumption, energy conservation, economic benefit, power grid

コージェネレーション, 住宅団地, エネルギー消費, 省エネルギー, 経済性, 系統電力

1. 研究の目的

コージェネレーションは、電力と熱を同時に高い総合効率で供給できるエネルギーシステムとして近年脚光を浴びている。通産省では、この社会的動向を受け、1986年5月、コージェネレーターと電気事業者との系統連系を認め、新たに業務用自家発補給電力制度を創設した^(注1)ほか、1987年11月には、コージェネレーターの電力供給（特定供給）対象の緩和を行う^(注2)など、政策的にその普及を推進している。これらの支援策もあって、その導入は民生用の分野でも大きく伸び、建築に対する実績も1990年3月には451件に達した。しかしその導入対象のほとんどは、熱電比^(注3)が比較的大きいホテル・病院などに限られており、都市の基本的な居住空間である住宅への導入は進んでいない。本研究は、住宅の中でも規模や設備の点で導入が比較的小さいと考えられる、首都圏^(注4)の大規模住宅団地^(注5)に対するコージェネレーションシステムの導入可能性を、地域や国家に対して意味の

ある省エネルギー性とコージェネレーターにとって意味のある経済性の両面から検討することを目的としている。

2. 研究の概要

コージェネレーションシステムを導入するためには、プラントから消費地点までの熱搬送設備が必要であるが、首都圏では近年、その整備が急速に進み、幾つかの大規模住宅団地でも地域暖房または地域冷暖房が行われている^(注6)。そこで本研究では、コージェネレーションの導入対象をこのような熱搬送設備をもつ大規模住宅団地とし、東京都心から約6kmの距離に位置し、約5200戸の規模をもつY団地を評価対象としてとりあげた。首都圏の大規模住宅団地の住戸数は、この地域の公団住宅の全戸数の36.7%を占めているが（参考文献1)), そのエネルギー消費に影響を及ぼす建物用途構成を、共同施設^(注7)の延床面積が全延床面積に占める割合

本論文の一部を、1987年10月（近畿）、1988年10月（関東）、1990年10月（中国）の日本建築学会大会学術講演会にて発表した。

* 東京ガス首都圏部 課長・工修

** 横浜国立大学工学部建設学科 助教授・工博

*** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

Manager, Metropolitan Business Coordination Dept., Tokyo Gas, M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Construction, Faculty of Engineering Yokohama National Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering Waseda Univ., Dr. Eng.

図一 3000戸以上の公団住宅における共同施設面積比率

(共同施設床面積比率)でみると(図一1), 1%から15%までばらつきがみられる。しかし, 1975年以降この割合の増加が認められるため, それが11.8%であるY団地を首都圏の大規模住宅団地の代表としてとりあげることが問題ないと考えられる。

本研究では, Y団地のエネルギー消費量を詳細に調査し, 網羅的に検討ケースを設定するシミュレーション手法により, 導入の可能性を検討した。シミュレーション手法を用いる場合の主たる検討要素としては, 導入効果の評価方法, エネルギー負荷, 導入範囲, システム, 運転パターン等が挙げられるが, 本研究では, これらについて, 次のような独自の手法により検討を行った。

① 評価方法については, 従来研究(参考文献2)・3)等)が省エネルギー性のみに関してか, 経済性を考慮した場合でも, ガスタービン等, 原動機を限定したうえで, 年間総経費の最小化等について検討を行っている。これに対し本研究では, 省エネルギー効果に加え, コージェネレーション採用の可否を決定するために不可欠なエネルギー費の削減効果を, 原動機の種類別に設備費やエネルギー単価等の実データを示して算出し, 両方の効果を同時に比較・解析するという独自の手法を用いた。

② エネルギー負荷は, 想定モデルではなく, 住宅団地における実際の消費量を発生場所別に詳細に調査し, その結果を各指標算定に直接用いた。また, 共同施設・共同設備^{注8)}におけるエネルギー消費や, 住宅団地において特に大きい地域冷暖房熱損失を負荷に加えることにより, 大規模住宅団地に対する独自の評価を行った。

③ 導入対象については, 電気事業法における制約条件にも着目して, 電力供給範囲を独自に3段階に設定し, それぞれについて導入の可能性を比較検討した。

④ 運転パターンについては, すでに参考文献2)等でもさまざまな提案がなされ, 合理的な比較検討が行われている。しかし地域冷暖房規模になると, コージェネレーション導入による系統電力^{注9)}への影響も無視できなくなるため, 本研究では, 系統電力負荷の昼夜間格差を広げない方式等を独自に加え, 6種類を提案した。

⑤ システムについては, 基本的に従来の研究と同様のものを設定しているが, 住宅団地規模になると, 原動機台数の設定自由度が大きいため, これが単体機器効率,

部分負荷運転状態, 機器購入費用等に影響を与え, 省エネルギー性, 経済性も変化すると考えられる。このため本論文では, 独自に原動機台数を1台~5台に変化させてケーススタディを行い, 結果を比較検討した。

3. 熱・電力消費量調査

3.1 概要

研究に用いる熱消費量調査^{注10)}をY団地で行った。Y団地では, 地域冷暖房中央プラントから130°Cの高温水を送出し^{注11)}, 18カ所のサブプラントで80°Cの温水に熱交換し, 住宅全戸と学校・商店などの共同施設へ供給しており, 住宅では暖房・給湯用に, 共同施設では冷暖房・給湯用にその熱を利用している。また, 中央プラントでは130°Cの温水で直接冷房用冷水を作り, 一部の共同施設に供給している。本研究では, これらの冷房用消費熱量を含めた中央プラントおよびサブプラントからの高温水送出熱量と, 各住戸内の消費熱量を調査した。電力消費に関しては, すべての調査をY団地のみで行うことが困難であったため, Y団地に加え, H団地内の調査値も合わせて使用した。H団地は, 都心から15 kmに位置する総戸数約12000戸の大規模団地で, 住宅の床面積や間取り, 居住者の属性がY団地と非常に似ており, 両団地間で電力消費量に違いが見られないことが参考文献4)で確認されている。表一1に調査対象と調査期間を示す。

3.2 熱消費

Y団地における熱消費量の月別変動をみると(図一2), 冬期と夏期の消費量に大きな違いがみられる。また, 冷熱供給用熱消費量を含む年間の中央プラントおよびサブプラント送出熱量, 住戸内の熱消費量は一戸あたりそれぞれ8.58 Gcal, 6.90 Gcal, 3.90 Gcalであるが, これらの差は主として供給管路における熱損失と考えられる。

地域冷暖房における熱損失は, 中央プラント~サブプラント間の熱供給導管における熱損失と, サブプラント

表一1 熱・電力消費量調査対象と調査期間

データ種別		年 間	月 別	時刻別
調査対象	中央プラント送出	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3
	サブプラント送出	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3
	住 戸 内	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3	—
電 力 消 費 量	ト 共 給 内 給	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3
	中央プラント	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3	Y 団地 1985.4~1986.3
	サブプラント	Y 団地 6カ所 1985.4~1986.3	Y 団地 6カ所 1985.4~1986.3	Y 団地 6カ所 1985.8,10;1986.1
	共 屋 外 灯	H 団地 1カ所 1984.4~1985.3	H 団地 1カ所 1984.4~1985.3	H 団地 1カ所 1984.4~1985.3
	給 水 ポ ン プ	H 団地 1カ所 1984.4~1985.3	H 団地 1カ所 1984.4~1985.3	H 団地 1カ所 1987.5.8
	エ レ ベ ー タ	H 団地 1棟 1988.3~1987.2	H 団地 1棟 1988.3~1987.2	H 団地 1棟 1987.5.8
	備 住 棟 内 共 用 灯	H 団地 3棟 1984.4~1985.3	H 団地 3棟 1984.4~1985.3	H 団地 2棟 1987.5.8
	共 同 施 設 内	推測値 ¹⁾	推測値 ¹⁾	推測値 ¹⁾
	住 戸 内	H 団地 109戸 1983.11~1984.10	H 団地 109戸 1983.11~1984.10	H 団地 40戸 1983.8,10;1984.2
	注	上段: 調査対象 下段: 調査期間(西暦年月) 1): 早稲田大学尾島研究室調査値により推測

図-2 熱消費量の月別変動 (Y団地)

図-3 中央プラント送出熱量の時刻別変動 (Y団地)

の下流側、主として建物内における熱損失に大別される。まずY団地の熱供給導管における熱損失は、年間約15%であるので、他の地域冷暖房と比較して非常に大きいとは言えない。後者のサブプラント以降の熱損失については、住宅団地の場合、熱の計量が各戸ごとに行われるため、建物内の熱損失が地域冷暖房の熱損失として計上され、他の用途に比べ大きくなる。集合住宅の住棟内の熱損失は、住棟単位で暖房・給湯を行っている集合住宅でもみられるので、比較のため住棟熱源機からの送出熱量を調査したところ、本論文の調査値との間に大きな差がないことが確認された^[12]。また、住戸内の熱消費量についても、首都圏の他の大規模住宅団地とY団地との間で大きな差は見られない^[13]。これらの点から、本

図-4 電力消費量の月別変動
(H団地、Y団地測定値及び推測値)

論文の調査値を首都圏の大規模住宅団地における熱消費量の代表値として用いることは問題ないと考えられる。

中央プラント送出熱量の時刻別変動を見ると(図-3)、温熱用熱消費は各月とも朝・晩2回のピークが見られるが、冷熱用を加えた全熱量では、8月は他の月のようなはっきりしたピークが見られない。年間を通じたピークは1月の21時～22時で、3.27 Mcal/h・戸となっている。

3.3 電力消費

年間電力消費量は、中央プラント・サブプラントを合わせた熱供給プラント全体で一戸あたり349 KWH、共同設備で796 KWH、また共同施設では877 KWHと推定されるので、共同設備・共同施設の合計では1673 KWHとなる。さらに各住戸内での消費量は2225 KWH/年・戸であるので、団地全体では4247 KWH/年・戸の電力消費が見られる。熱供給プラント、共同設備、共同施設、住戸内、の各電力消費量が全消費量に占める割合はそれぞれ8.2%、18.7%、20.7%、52.4%となる。

月別電力消費量を重ねてみると(図-4)、熱供給プラント関係の電力が、冷水・温水供給用ポンプ動力が増える夏期と冬期に増加しているが、団地全体から見ると大きな変動ではなく、住戸内の消費量の変動が全消費量に大きく影響している。特に、夏期の家庭内でのクーラーの使用によるピークが顕著である。時刻別に見ると、熱供給プラント関係では(図-5)、1月は朝晩に2回ピークが現れるが、8月は昼にピークが現れ、10月はピークがはっきり見られない。共同設備関係では(図-6)、屋外灯は日中の消灯、住棟内共用灯は、日中・夜・夜中の

図—5 熱供給プラントの電力消費量の時刻別変動 (Y団地)

図—6 各共同設備の電力消費量の時刻別変動 (H団地)

図—7 住戸内電力消費量の時刻別変動 (H団地)

3段階の切り替えによる変動がみられる。給水ポンプの電力消費は、午前中にピークが見られ、洗濯などによる水消費と対応している。またエレベータの消費電力は、朝の出勤・登校、夕方の帰宅・主婦の買物に対応した2回のピークが見られる。住戸内の電力消費は(図-7), 各月とも朝・晩2回のピークが見られるが、8月はクーラー使用のため日中・夜間の消費量が増加する。

4. コージェネレーション導入の評価

本研究では、以下のモデルを用い、合計170の評価ケースを設定した。次に各ケースごとに時刻別シミュレーションを行い、一次エネルギー消費量を算出し、これに基づき各評価指標を計算した。また、系統電力と高温水ボイラーによる従来の供給方式¹⁴⁾についてもモデルを設定し、比較のための数値を算出した。

4.1 評価モデル

4.1.1 電力供給範囲

現行の電気事業法の範囲内で、住宅団地に対しコージェネレーションの導入を図った場合、少なくとも地域冷暖房プラント内の消費電力の供給と全施設への熱供給が可能である。また、熱供給事業者と団地の事業主体が一致する場合には、電力消費が夜間に多いか一日中一定に近い、共同設備・共同施設も電力供給対象とすることが可能となり、稼働率の向上により導入の可能性が高くなることが予想される。さらに、コージェネレーションによって各住戸にも電力を供給した場合の有効性について検討しておくことは、長期的な都市エネルギー供給計画策定の際に必要であろう。そこで本研究では、電力供給範囲を、Ⅰ：熱供給プラント、Ⅱ：熱供給プラント・共同設備・共同施設、Ⅲ：住戸内を含む団地全体、とした場合の3段階のスケールを設定し(表-2)、導入効果を比較・検討した。電力供給範囲別の電力消費量の月別変動を図-4内に太線で、時刻別変動を図-8に示す。Ⅰ・Ⅱ・Ⅲのピーク消費量は、それぞれ87 WH/h・戸、352 WH/h・戸、813 WH/h・戸で、8月の範囲Ⅰのピークが15~16時にみられる以外は、各月・各電力供給範囲とも夜間の18時~21時の間のピークが現れている。熱については、どの電力供給範囲においても団地全体を

表—2 各電力供給範囲の対象エネルギー消費項目

エネルギー消費項目	電力供給範囲Ⅰ	電力供給範囲Ⅱ	電力供給範囲Ⅲ
熱			
中央プラント送熱	●	●	●
電力			
中央プラント内	●	●	●
サブプラント内	●	●	●
屋外灯		●	●
給水ポンプ		●	●
住棟内エレベータ		●	●
住棟内共用灯		●	●
共同施設		●	●
住戸内			●

表—3 コージェネレーションシステムの運転パターン

	① ピーク電力対応型	② ベース電力対応型	③ 電力・熱バランス型	④ 電力自給型	⑤ 買電一定型	⑥ 深夜電力利用型
電力供給例模式図						
熱供給例模式図						
備考	電力のピーク消費に対応して一定時間運転。中間期は発電量を下げ余熱回収熱の発生を抑える。	電力消費のベース部分を24時間供給。熱消費が年間を通じて多いホテル等で実例がある。	電力・熱ともに余剰を生じない範囲で最大量の電力と熱をコージェネレーションにより供給。	電力供給範囲内のすべての消費電力を発電。熱供給範囲が狭い場合、中間期は余熱が発生する。	一定の買電部分を除きコージェネレーションシステムで発電。④より余熱の発生を減少できる。	基盤に限り電力自給型の運転を行い夜間は低廉な深夜電力を買電。系統電力の昼夜間格差を是正。

(凡例) 電力消費量 (熱消費量) コージェネレーション発電部分 (コージェネレーション回収熱利用部分) 買電部分 (補助熱源利用部分) コージェネレーション余剰回収熱部分

図—8 電力供給範囲別の電力消費量の時刻別変動
(H団地・Y団地測定値および推測値より作成)

供給対象とし、中央プラント送出熱量を供給熱量として用いた。シミュレーションに用いる各月の時刻別電力・熱消費量は、月別消費量と8月・10月・1月（住戸内の電力消費量は2月）の時刻別消費変動より算出した。

4.1.2 運転パターン

運転パターンは、表—3の6種類を比較検討の対象とした。①のピーク電力対応型は、事務所や商業施設における代表的運転パターンで、日中のピーク負荷に対応して発電量と運転時間を設定し、その時間の電力消費の相当部分を発電する。熱消費の少ない中間期は、発電量を下げ余熱の発生を抑える。住宅は夜間も電力消費が大きいため、本研究では運転時間を8時から22時ないし24時までで設定し、その間の最低消費量を各月の発電量とした。②のベース電力対応型は、電力消費のベース部分を常時発電するパターンで、中間期も熱消費が比較的多いホテルなどに適している。本研究では、年間を通じた最低電力消費量を常時発電するものとした。③の電力・

熱バランス型は、余剰を生じない範囲で最大量の電力と熱をコージェネレーションにより供給するパターンで、供給対象のエネルギー消費変動とシステムの機械的特性とが適合する範囲内で、どの程度のエネルギーをコージェネレーションにより供給できるかを知ることができる。④の電力自給型は、系統電力から全く独立した電力供給を行うパターンで、常時電力消費量に追従して発電を行う。⑤の買電一定型は、最低消費量を②とは逆に常時買電し、それ以外の部分を発電するパターンである。④に比べ発電量が下がるため、中間期における余熱の発生を抑制でき、また買電量が常に一定となるため、系統電力の昼夜間格差をさらに広げることがない。⑥の深夜電力利用型は、④の電力自給型運転を日中に限定し、夜間は経済的な深夜電力を買電しながら、系統電力の昼夜間格差是正を目指す方式である。本研究では、深夜電力料金適用時間帯内の0時～8時の全消費量を買電することとした。各パターンとも電力の不足分は系統電力から買電し、熱の不足分は既存の高温水ボイラーより供給し、余剰回収熱は廃棄することとした。

4.1.3 システムモデル

コージェネレーションシステムの概念を図—9に、シミュレーションの基本フローを図—10に示す。

原動機には、一般的にガスタービン、ガスエンジン、ディーゼルエンジン、蒸気タービン、燃料電池などがあるが、蒸気タービンは数千KW程度の小容量では発電効率が低く実用的ではなく、燃料電池はまだ開発段階であるため、本研究ではガスタービン、ガスエンジン、ディーゼルエンジンの3種類を用いることとした。原動機の台数は1～5台の範囲で可変とし、電力供給範囲と運転パターンにより決まる必要設備容量に原動機補機動力を加え、単体機器容量と設置台数を設定した(表—4)。原動機の燃料は、ガスタービン・ガスエンジンは都市ガ

図—9 コージェネレーションシステム概念図
 (電力供給範囲Ⅲ・ガスエンジン5台設置の場合)

図—10 コージェネレーションシミュレーションフロー
 (原動機: ガスタービン, 運転パターン: ①②④⑤⑥)

表—4 各コージェネレーションシミュレーションケースの原動機設定容量・台数

運転パターン 原動機種別・台数		電力供給範囲Ⅰ						電力供給範囲Ⅱ						電力供給範囲Ⅲ					
		①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
ガスタービン	1 台			570	570	500	570	1200	600	2100	2100	1600	2100	2200	1350	4800	4800	3400	4800
	2 台							600		1050	1050	800	1050	1100	680	2400	2400	1700	2400
	3 台									700	700	540	700	730		1600	1600	1150	1600
	4 台									530	530		530	550		1200	1200	850	1200
	5 台															960	960	680	960
ガスエンジン	1 台	110	100	570	570	500	570		600										
	2 台			290	290	250	290	600	300			800			680				
	3 台			190	190	170	190	400	200	700	700	540	700	730	450				
	4 台			150	150	130	150	300	150	530	530	400	530	550	340			850	
	5 台			120	120	100	120	240	120	420	420	320	420	440	270	960	960	680	960
ディーゼルエンジン	1 台			570	570	500	570	1200	600	2100	2100	1600	2100	2200	1350	4800	4800	3400	4800
	2 台			290	290	250	290	600	300	1050	1050	800	1050	1100	680	2400	2400	1700	2400
	3 台							400	200	700	700	540	700	730	450	1600	1600	1150	1600
	4 台							300		530	530	400	530	550	340	1200	1200	850	1200
	5 台							240		420	420	320	420	440	270	960	960	680	960
運 転 時 間		7時 24時	0時 24時	0時 24時	0時 24時	0時 24時	8時 24時	10時 22時	0時 24時	0時 24時	0時 24時	0時 24時	8時 24時	8時 24時	0時 24時	0時 24時	0時 24時	0時 24時	8時 24時
最大発電量(KWH/H)		103	79	540	540	461	540	1126	566	2004	2004	1438	2004	2109	1272	4414	4414	3142	4414

ス、ディーゼルエンジンはA重油とした。また、各原動機は25~100%の範囲内で部分負荷運転を行うものとした。

熱源機器は、原動機からの排熱を回収する熱回収機器と熱の不足分を供給する補助熱源機器で構成される。本研究では原動機からの熱回収形態を、ガスタービンが蒸気(8 kg/cm²)、ガスエンジン・ディーゼルエンジンが蒸気(8 kg/cm²)および温水(80℃)とし、蒸気はY団地のシステムに合わせ、130℃の高温水に熱交換して利用する。また補助熱源機器はコージェネレーション導入後も既設の高温水ボイラーをそのまま用いることとし、新たに予備機器の設置は行わない。各機器の定格効率・部分負荷特性や原動機の補機動力は、すべての実機の調査が困難であるため、主として参考文献5)によ

た¹⁵⁾。参考文献5)は、国内メーカー10社延べ550機種のコージェネレーション関連機器を独自に調査したもので、これで得られないデータについては、参考文献6)およびメーカーの技術資料を参考にした。またディーゼルエンジンの温水回収率は、参考文献5)の値が低すぎると考えられるため、最新の資料により使用値を見直した。機器の効率や燃料の発熱量は、公表されている系統電力の供給効率¹⁶⁾に合わせ、すべて高位発熱量基準とした。地域輸送熱媒は、ガスタービン方式は130℃の高温水、ディーゼルエンジン・ガスエンジン方式は80℃温水とし、後者については中央プラントにおけるポンプ動力と中央プラント~サブプラント間の熱損失について、温度差による補正を行った。

4.2 評価指標

一次エネルギー消費量を基礎とした省エネルギー性と、電力や燃料等の二次エネルギー価格を基礎とした経済性に関し、以下の2指標により評価を行った。

4.2.1 省エネルギー率

団地全体における一次エネルギー消費量^(註17)の削減率を「省エネルギー率」として次のように定義し、導入による省エネルギー効果の評価を行った。

$$r = \frac{Q_{pa} - Q_{ca}}{Q_{pa}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_{pa} = \sum_{m=1}^{12} \left[\left\{ \sum_{t=1}^{24} (Q_{2ph} + Q_{3ph}) \right\} \times K_m \right] \dots \dots \dots (2)$$

$$Q_{ca} = \sum_{m=1}^{12} \left[\left\{ \sum_{t=1}^{24} (Q_{1ch} + Q_{2ch} + Q_{3ch}) \right\} \times K_m \right] \dots \dots \dots (3)$$

$$Q_{2ph} = \frac{E_h}{\gamma} \dots \dots \dots (4)$$

$$Q_{3ph} = \frac{B_h}{\beta_{ph}} \dots \dots \dots (5)$$

$$Q_{1ch} = \frac{G_{ch} \times 0.86}{\eta_{ch}} \dots \dots \dots (6)$$

$$Q_{2ch} = \frac{E_h + V_{ch} - G_{ch}}{\gamma} \dots \dots \dots (7)$$

$$Q_{3ch} = \frac{B_{1ch}}{\beta_{ch}} \dots \dots \dots (8)$$

(主記号)

- r : 省エネルギー率 (%)
- Q : 団地全体における一次エネルギー消費量 (Gcal)
- Q_1 : 原動機の一次エネルギー消費量 (Gcal)
- Q_2 : 買電の一次エネルギー消費量 (Gcal)
- Q_3 : ボイラーの一次エネルギー消費量 (Gcal)
- K : 月別日数
- E : 団地全体における電力消費量 (MWH)
- B : 中央プラント送出熱量 (Gcal)
- G : 発電量 (MWH)
- V : 補機動力 (MWH)
- B_1 : ボイラーによる補助熱量 (Gcal)
- γ : 系統電力の供給効率 (0.351)
- η : コージェネレーションの発電効率
- β : ボイラー熱効率

(添字)

- p : 従来方式
- c : コージェネレーション方式
- a : 年間
- h : 時刻別
- m : 月
- t : 時

省エネルギー率は、様々な立場から重要な指標で、導入対象を含むエネルギー供給域にとっては、省エネ

ギーへの貢献度や、大気汚染・熱汚染に対する効果を測る指標となる。また国家的には、1次エネルギー輸入量の削減による経済的効果等、政策面からコージェネレーション導入推進の有効性を評価する指標となる。

4.2.2 エネルギー費削減率

設備投資に対する経済的効果を表す指標として「エネルギー費削減率」を次のように定義し、コージェネレーション導入による経済性の評価を行った。

$$S = \frac{U_{pa} - (U_{ca} + I_a)}{U_{pa}} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

$$U_{pa} = E_{1pa} + Q_{3pa} \times N_2 \dots \dots \dots (10)$$

$$U_{ca} = E_{1ca} + E_{2ca} + E_{3ca} + Q_{1ca} \times N_1 + Q_{3ca} \times N_2 \dots \dots \dots (11)$$

$$I_a = L_a + J_a + K_a + O_a \dots \dots \dots (12)$$

$$L_a = F \times \epsilon_1 \dots \dots \dots (13)$$

$$J_a = H \times \epsilon_2 \dots \dots \dots (14)$$

(主記号)

- S : エネルギー費削減率 (%)
- U : 団地全体におけるエネルギー費 (円)
- I : コージェネレーション導入経費 (円)
- E_1 : 高圧電力料金 (円)
- E_2 : 深夜電力料金 (運転パターン⑥のみ) (円)
- E_3 : 自家発補給電力料金 (円)
- N_1 : コージェネレーション用燃料単価 (円/Mcal)
- N_2 : 地域冷暖房用燃料単価 (円/Mcal)
- L : 設備固定費 (円)
- J : 空間固定費 (円)
- K : 管理人件費 (円)
- O : 維持修理費 (円)
- F : コージェネレーション設備取得費 (円)
- H : コージェネレーション設置空間建設費 (円)
- ϵ_1 : 資本回収係数 (設備)
- ϵ_2 : 資本回収係数 (設置空間)

コージェネレーションを住宅団地の各住戸にまで導入する場合、系統連系装置を各戸ごとに設置するのは非常に不経済であるため、プラント側に設置してあらかじめ連系させたうえで電力を供給するのが現実的である。しかしその場合の電力料金や、現在は電力会社が行っている受電設備の点検および計量の費用負担の方法等については明らかではない。そこで本論文では、コージェネレーション方式と従来方式の経済性の比較を明確に行うために、両方式とも高圧電力単価を用いることとし、住戸の点検・計量コストを対象から除外した。計算はすべて基本料金と電力量料金に分けて計算した。エネルギー価格は1990年8月現在のもの^(註18)を用いたが、石油価格については、その後の急激な変動^(註19)の影響についても考察を行った。また予備電力は、原動機1台分の発電出力にあたる年間の基本料金に、定期点検時の買電分の従量料

(1) 電力供給範囲による評価

(2) 運転パターンによる評価

(3) 原動機による評価

図-11 コージェネレーション評価指標の算出結果

金を加え算出した。固定費・管理人件費・維持修理費は、参考文献3) およびコージェネレーターに対する調査により求めた^(注20)。

「エネルギー費削減率」は、費用対効果という評価軸で設備の導入がどの程度経済的恩恵をもたらすかを示す指標であり、コージェネレーターが導入の可否を判断するための基準として用いることができる。

図-12 エネルギー費・コージェネレーション導入経費内訳
(従来方式とガスエンジン5台設置・運転パターン④の比較)

4.3 結果

設定した170ケースのコージェネレーションシステムについて評価指標を算出した結果を、電力供給範囲別、運転パターン別、原動機種類別に示す(図-11(1)~(3))。

4.3.1 電力供給範囲による評価

省エネルギー率は、電力供給範囲Ⅰでは0~2%, Ⅱでは5~10%に集中しているが、Ⅲでは-5~20%に分散している。最大値はそれぞれ2.0%, 11.0%, 21.6%となった。エネルギー費削減率は、Ⅰでは供給範囲が小さすぎ、経費に対して十分な効果が得られずすべてマイナスとなる。Ⅱでは-10~10%に分散しているが、プラスが30ケースあり、ある程度の経済効果が認められる。Ⅲでは、プラスがほとんどで、14ケースは10%以上の効果がある。各費用の内訳を電力供給範囲別にみると(図-12), Ⅲではスケール効果により、電力料金の削減分がコージェネレーション導入経費を上回っている。全体では、電力供給範囲Ⅲが省エネルギー性、経済性とも最も優れている。

4.3.2 運転パターンによる評価

省エネルギー率は、①~⑥のどのパターンでも10%以上得られるケースがあるが、特に③④では20%程度、⑥でも15%程度と高いケースが見られる。これに対して、現在稼働中のシステムで適用例の多い①②は、最高でも12%にとどまっている。エネルギー費削減率は、どのパターンでも10%程度の効果が得られるケースがあるが、③④に高いケースが多い。全体としては、③④が最も省エネルギー効果・経済効果とも大きく、⑥がこれに次ぐ。したがって住宅団地では①②等ではなく、これらの新しい考えに基づいた運転パターンの導入を検討すべきである。

4.3.3 原動機による評価

ガスタービンは、他の原動機に比べ発電効率が低いため、省エネルギー率は最高でも8%程度で、マイナス

図-13 原動機台数による評価指標の比較

になるケースが多い。これに対し、ガスエンジン、ディーゼルエンジンでは、20%以上の高い省エネルギー効果が得られるケースもある。エネルギー費削減率については、3種類の原動機とも10%以上のケースがあるが、その数はガスタービンが最も多い。これは3000KW以上のガスタービンの経済性が高いためである。一方、ガスエンジンは、100~200KWの小型のものではマイナスになるケースが多い。ディーゼルエンジンは、熱電比が高い住宅団地では、排熱回収率が発電効率に比べ低すぎ、地域冷暖房用燃料費をあまり減少できず、経済性はそれほど高くはならない。また、石油価格の変動により経済性が左右されやすい^{注21)}。設置台数の比較では(図-13)、ガスタービンでは、大容量機器を少数台設置するほうが省エネルギー上有利であるが、ディーゼルエンジンでは逆に多数台設置が有利となる。また経済性は、大容量の原動機ほど単位発電容量あたりの価格が低いため、どの原動機についても台数の少ない方が高い経済効果が得られる。省エネルギー性・経済性の総合評価では、ディーゼルエンジン・ガスエンジンともかなりの導入効果があるが、ガスタービンは省エネルギー性に難がある。

4.3.4 総合評価

最も省エネルギー率の高いケースは、電力供給範囲Ⅲでガスエンジンまたはディーゼルエンジン5台を導入し、③または④のパターンで運転した場合の21.6%である。また同様の条件で、運転パターン⑥にした場合も約16.7%と効果は大きい。最も高いエネルギー費削減率は、電力供給範囲Ⅲでガスタービンを1台導入し、④の運転パターンで運転した場合の16.8%で、同条件で運転パターンを⑥にした場合の13.6%、ガスエンジン・ディーゼルエンジンで④にした場合の12.7%、12.6%がこれに次ぐ。

5. おわりに

本研究では、戸数約5200戸のY団地をモデルに、首都圏の大規模住宅団地におけるコージェネレーションシ

ステム導入の可能性を、省エネルギー性と経済性から検討した。その結果以下の点が明らかになった。

- (1) ガスエンジン・ディーゼルエンジンを用いたコージェネレーションシステムの導入により、20%程度の一次エネルギー削減効果と、10%程度のエネルギー費削減効果が同時に期待できる。また、大容量のガスタービンは経済性が高い。
- (2) どの原動機も、台数は少ない方が経済効果は大きい。省エネルギー効果は原動機により異なる。
- (3) 電力供給範囲は大きいほど効果があり、一部の施設や設備でなく団地全体を導入対象とする場合が、省エネルギー性、経済性とも最も高くなる。
- (4) 運転パターンは、団地内で消費する電力のすべてを発電するパターンが、省エネルギー性・経済性とも最も高くなる。また、昼間は全消費量を発電し、夜間は深夜電力を買電する運転パターンも、これに次ぐ高い省エネルギー効果と経済効果を期待できるので、首都圏の大規模住宅団地においては、系統電力負荷の昼夜間格差を是正しながらコージェネレーションシステムを導入することが可能である。

これらの結果から、首都圏の大規模住宅団地では、団地全体を対象にしたコージェネレーションシステムの導入可能性が高いことが明らかになった。今後の研究課題としては、蓄熱槽導入の有効性や、エネルギー消費量、機器効率、エネルギー費等、本研究で用いた因子の変化が各指標に及ぼす影響等があげられる。最後に本研究を進めるにあたって貴重な資料のご提供を頂いた東京熱供給(株)に謝意を表します。

注

- 1) 系統連系による電源の二重化により、コージェネレーション導入対象における電力供給の信頼性が高まり、またシステムの稼働率向上が可能になった。業務用自家発補給電力制度により、民生用コージェネレーションシステムの定期検査・補修時における買電が経済的に行えるようになった。
- 2) 特定供給対象の緩和によりビルオーナーによるテナントへの電力供給が可能になった。
- 3) 一定時間内に消費される電力量に対する熱量の比を「熱電比」という。
- 4) 東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県を「首都圏」と定義する。
- 5) 総戸数3000戸以上の住宅団地を「大規模住宅団地」と定義する。
- 6) 首都圏ではこのほか、幕張新都心住宅地区・千葉ニュータウン(千葉県)、港北ニュータウン(神奈川県)等で地域冷暖房の導入が計画されている。
- 7) 学校、保育園、店舗、集会所等、団地内における住宅以外の建物を「共同施設」と定義する。
- 8) 団地内の設備のうち、屋外灯、給水ポンプ、住棟内エレベータ、住棟内共用灯を「共同設備」と定義する。

- 9) 東京電力の電力供給網を「系統電力」と定義する。
- 10) 熱消費は、団地内の冷暖房・給湯用熱消費を対象とし、厨房用熱消費は除外する。
- 11) Y団地では、高温水の一部は検査等による運転停止期間を除き、隣接する清掃工場から供給されており、不足分については高温水ボイラーを使用している。
- 12) Y団地のサブプラントからの送出熱量が6.90 Gcal/年・戸であるのに対し、1988年7月～1989年6月における都市ガス熱源の住棟セントラル方式の熱源機送出熱量は、27棟（総戸数1687戸）の平均で7.66 Gcal/年・戸である。
- 13) Y団地の3.90 Gcal/年に対し、1988年度の実績値で光が丘地区が4.10 Gcal/年・戸、千葉海浜ニュータウン検見川地区が3.32 Gcal/年・戸となっている。
- 14) 「従来の供給方式」では、Y団地の電力・熱消費のすべてを系統電力からの買電と高温水ボイラーにより供給するものとして、一次エネルギー投入量を求めた。高温水ボイラーの燃料は、ガスタービン・ガスエンジンシステムと比較する場合は都市ガス、ディーゼルエンジンシステムと比較する場合は灯油を用いることとした。

15) 表—5 コージェネレーションシステム設備概要

(高位発熱量基準)				
種 別	ガスタービン	ガスエンジン	ディーゼルエンジン	
容 量 (KW/台)	500 ～ 5,000	100 ～ 1,000	200 ～ 5,000	
定 格 効 率 (%)	17.2 ～ 25.3	30.8 ～ 31.5	35.7 ～ 43.2	
部分負荷係数 ¹⁾	0.56 ～ 1.00	0.62 ～ 1.00	0.82 ～ 1.00	
補機動力 (KW/台)	2.4 ～ 29.3	5.0 ～ 22.1	8.5 ～ 51.3	
種 別	排ガスボイラー	排ガスボイラー 冷却水熱交換器	排ガスボイラー 冷却水熱交換器	
熱 回 収 形 態	蒸気 (8kg/cm ²)	蒸気 (8kg/cm ²) 温水 (80℃)	蒸気 (8kg/cm ²) 温水 (80℃)	
熱 回 収 効 率 (%)	39.1 ～ 47.5	12.3～13.8(蒸気) 25.2～29.6(温水)	12.3～21.5(蒸気) 9.5～20.0(温水)	
使 用 燃 料	都市ガス	都市ガス	A 重油	
地 域 供 給 熱 媒	高温水(130℃)	温水 (80℃)	温水 (80℃)	

諸数値の出自：参考文献3・4及びメーカー技術資料

1) 負荷率25～100%における定格効率に対する部分負荷効率の割合

- 16) 送配電損失を含めた系統電力の供給効率で、本研究ではこれまでの論文等で広く用いられてきた35.1%（一次エネルギー換算：2450 Kcal/KWH）を用いる。なお、東京電力は2000年までにこの値を2150 Kcal/KWHまで引き下げることを目標としており、資源エネルギー庁でも最近の実績値に基づきこの値の見直しをはじめている。
- 17) 厨房用エネルギー消費を除く。

18) 表—6 エネルギー費削減率算定に用いたエネルギー単価

種 別	単 価	適 用 対 象
電力料金 ¹⁾	高圧電力(甲) 基本料金 1,175円/KW・月 電力料金(夏期) 11.90円/KWH " (その他季) 10.82円/KWH	団地全体
	深夜電力(乙) 基本料金 340円/KW・月 電力料金 8.87円/KWH	団地全体(運転マシンのみ)
	自家発電給電 基本料金(使用月) 1,293円/KW・月 " (不使用月) 259円/KW・月 電力料金 11.90円/KWH	原動機1台分の年間基本料金と定期点検に伴い必要となる電力料金を計上
	時間契約 4.1円/Mcal ²⁾ 夏期空調契約 8.5円/Mcal ³⁾	ガスエンジン燃料用 地域冷暖房熱源用
ガス料金	A 重油 3.5円/Mcal 灯 油 3.7円/Mcal	ディーゼルエンジン燃料用 地域冷暖房熱源用

¹⁾ 1989年4月改訂東京電力単価²⁾ 1990年8月現在東京ガス単価による³⁾ 1989年4月改訂東京ガス単価による（夏期以外は一般料金を適用）⁴⁾ 1990年8月現在特約店販売単価（財団法人経済調査会調べ）

- 19) 1991年1月現在の石油価格は、A重油：4.3円/Mcal、灯油：4.8円/Mcalで、本論文で用いた価格に比べ、それぞれ23%、30%の上昇がみられる。

20) 表—7 コージェネレーション導入経費算定に用いた数値またはその出典

項 目	式	使用数値またはその出典
コージェネレーション設備取得費 (F)	原動機価格 + 発電設備価格 + 熱回収設備価格 + その他設備価格 + 付帯工事費	文献3 P.59 図2.1.6.20, P.71 図2.1.6.30 " P.83 図2.2.3.1 系統連系装置を含む " P.60, 図2.1.6.21, P.72 図2.1.6.31 制御盤等：原動機1台あたり7,000,000円 ¹⁾ 原動機価格・発電設備価格・熱回収設備価格・その他設備価格の合計の25% ¹⁾
コージェネレーション設置空間建設費 (H)	建設単価 × 床面積	250,000円/㎡ ¹⁾ 文献3 P.50 図2.1.6.13, P.51 図2.1.6.14, P.67 図2.1.6.27
資本回収係数 (ε)	$\frac{r}{1-(1+r)^{-n}}$	r：利率 8% (税・保険を含む) ¹⁾ n：耐用年数 15年(設備), 45年(設置空間)
管理人員費 (K)	人件費単価 × 管理人数	5,000,000円/人・年 ¹⁾ 原動機 1台：1名, 2-3台：2名, 4-5台：3名 (文献3 P.48-49-69による)
維持修理費 (O)	修繕費 + 保守点検費	設備取得費の5%/年 ¹⁾

¹⁾ コージェネレーターに対する調査による

- 21) 注19)の石油価格で計算すると、例えば1990年8月の価格では12.7%であったエネルギー費削減率が6.7%に低下する。

参考文献

- 1) 住宅・都市整備公団：住宅・都市整備公団管理団地一覧 昭和56年度版，住宅・都市整備公団，1981.10
- 2) 藤井修二，垂水弘夫，下正 純，湯浅和博：コージェネレーションシステムの建築への適用に関する研究建物用途及び運転条件を考慮した評価，日本建築学会計画系論文報告集，No.387，pp.14～22，1988.5
- 3) 伊東弘一，横山良平：コージェネレーションシステムの最適運用計画法 第1報 方法論の検討，空気調和・衛生工学会論文集，No.42，pp.59～67，1990
- 4) 尾島俊雄，佐土原聡，大崎一仁：東京における高温と低温の地域暖房住宅の比較調査，空気調和・衛生工学会学術講演会論文集，1985.10
- 5) 安藤光春ほか12名：コージェネレーション構成機器，日本コージェネレーション研究会，1988.5
- 6) 平田賢ほか41名：コージェネレーションシステム導入計画のためのガイドライン，社団法人日本ガス協会，1990.3
- 7) 山本直幸ほか24名：コージェネレーション法令手引書，日本コージェネレーション研究会，1989.4
- 8) 市川 徹，佐土原聡，ほか3名：集合住宅（東京）へのコージェネレーションシステム導入の可能性に関する研究（その1～3），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.597～599，1987.10，pp.1079～1080，1988.10
- 9) 市川 徹，佐土原聡，尾島俊雄：普及期におけるコージェネレーションシステムの導入評価方法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1287～1288，1990.10

(1990年10月9日原稿受理，1991年7月10日採用決定)