上海市超高層複合施設のコージェネレーションシステムの導入における
省エネルギー効果の評価及び影響因子の感度分析SENSIBILITY ANALYSIS OF INFLUENCING PARAMETERS OF ENERGY SAVING
EFFECT BY INTRODUCING A CO-GENERATION SYSTEM
IN A SKYSCRAPER COMPLEX IN SHANGHAI

玄 姫*, 高 偉 俊**, 韋 新 東***, 李 海 峰****, 堤 洋 樹*****

Ji XUAN, Weijun GAO, Xindong WEI,
Haifeng LI and Hiroki TSUTSUMI

In this paper, a proposed co-generation system (CGS) for a skyscraper complex building (JM Tower) in the centre of Shanghai has been evaluated. Two types of energy supply systems are considered: electricity-only and CGS. Compared with a conventional system, the CGS is capable of reducing the primary energy consumption by 29.94% per year. Sensitivity analysis about energy saving ratios is carried out in this paper to study influencing parameters, such as unit capacity, generator's scales and efficiency, partial load, increase-decrease rate of fuel charge. It is shown in result that different influencing parameters have different weight in energy saving ratio, and the power generation efficiency of CGS is the most important influencing parameter on energy saving ratio.

Keywords : Shanghai, Skyscraper complex building, Co-generation (CGS), Energy saving, Influencing parameter, Sensibility analysis

上海市, 超高層複合施設, コージェネレーションシステム (CGS), 省エネルギー性, 影響要因, 感度分析

1. はじめに

近年では、経済の急速な発展と生活レベルの向上に伴い、中国の一人当たりの年間エネルギー消費量は年々増加する傾向になっており、2001 年における中国の一次エネルギー総消費量は 13.2 億 Tce (標準炭換算 1 Tce=29.31 GJ) に達し¹⁾、アメリカに次ぐ世界第二のエネルギー消費大国となり、世界のエネルギー消費量の約 11%まで占めるようになった。一方、中国のエネルギー構造は約 7 割を石炭に依存しているため、石油資源が欠乏し、今後のエネルギー消費量の増加と環境保護の矛盾は日々顕著になり、急速な経済成長に伴うエネルギー資源の相対的な不足も中国経済及び社会の持続可能な発展にとって大きなボトルネックになることは明らかである。

現在、上海のような大都市部におけるこのようなローカルな環境問題とグローバルな環境問題を同時に解決するには、従来の石炭依存のエネルギー供給システムから、コージェネレーションシステム (以下、CGS と略記する) のようなクリーンかつ高効率な省エネルギーシステムへの転換は急務である。これまで上海市におけるエネルギー事情、省エネ技術の導入検討に当たって、工場、病院や空港、娯楽センターにおける CGS 導入ケースはいくつも見られたが²⁾、オフィスビルやホテル等を対象とする CGS の導入事例がまだないため、その導入効果をより定量的に把握することは重要であり、今後の中

国国内における CGS の推進と普及にとって大きな意味を持つと考えられる。

このような背景を踏まえ、本研究は世界に注目されている大都市である中国上海市を対象に、近年では急速に普及し始めた超高層複合施設のエネルギー消費状況を調査し、CGS の導入を模索する。研究対象である上海市の Jim Mao Tower (以下 JM ビルと略記する) では、現在上海市金茂 (集団) 股分有限公司が当該ビルのエネルギー使用を管理・運営しており、そのうち、ホテル、キッチン以外の部分を対象に、インテリジェント照明システム等の導入を通じて、省エネルギー効果を向上させている。また、当該ビルに銀行等の金融機関が多く入居しているため、近年の電力不足の状況にあっても、停電しないように電力が優先的に供給されている。当該ビルのエネルギーセンター管理者の話によると、2010 年の上海万博会へ向け、上海市では CGS、地域冷暖房システムの導入、また分散型発電システム、氷蓄熱システムの導入を推奨しており、当該ビルにも CGS の導入を積極的に試みたいという。

日本では、CGS に関しては多くの研究が行われている。市川ら³⁾大規模住宅団地における CGS 導入の可能性に関する研究を行った。三瀬ら⁴⁾はキャンパスにおける CGS の省エネルギー性および環境性を評価した。村上ら⁵⁾は集合住宅と高齢者福祉施設の複合建物にお

* 北九州市立大学大学院 大学院生・工修

** 北九州市立大学・西安交通大学・吉林建築工程学院教授・工博

*** 吉林建築工程学院 教授・工博

**** 佐賀大学理工学部 准教授・工博

***** 九州共立大学 准教授・工博

Graduate Student, The Univ. of Kitakyushu, M. Eng.

Prof., The Univ. of Kitakyushu, Xi'an Jiaotong Univ., Jilin Archit. and Civil Eng. Institute, Dr. Eng.

Prof., Jilin Archit. and Civil Eng. Institute, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Saga Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Kyushu Kyoritsu Univ., Dr. Eng.

けるコージェネレーションシステムの効果を検討した。岡ら⁶⁾は CGS を導入した病院施設のライフサイクル評価等を行った。また、近年では佐土原ら⁷⁾、村上ら⁸⁾、柳井ら⁹⁾は地域熱供給における CGS を含めた分散型エネルギー供給システムの研究が多く行っている。内山ら¹⁰⁾は分散型電源システムの発電コストを検討する際、割引率の変化が発電コストに与える影響を感度解析した。ホテルやオフィスを含めた複合施設への CGS 導入研究がまだ少ない。

中国の CGS 研究では、岡田らは¹¹⁾、中国広州市における次世代エネルギーシステム評価のための都市モデル構築に関する基礎的検討を行う時、日本の代表的な民生部門負荷パターンに基づき、気温との相関により、広州市における負荷パターンの推定を試み、CGS 評価プログラムを用いて試算した。また、安芸ら¹²⁾は文献調査や専門家への聞き取り調査を基に、中国の都市部における天然ガスによる建物 CGS の現状や政策的、経済的及び技術的課題並びに将来見通しについて分析し、感度分析を用い経済性のみを検討した。

以上の背景から、本研究ではまず収集した JM ビルの 2006 年の各種エネルギー消費量データを基に、複合施設の電力・熱負荷の特性を解析したうえ、既存システムに対する一次エネルギー削減効果の評価から CGS の導入可能性を検討する。また、重回帰分析法を用い、省エネルギー性への影響因子と考えられる要因変化(発電機の単機容量の規模、発電機の効率、発電機の台数、部分負荷、燃料料金の増減)について総合的な感度分析を行う。

2. 実態調査

2.1 調査概要

JM ビルの外観と平面図を図 1 に示す。JM ビルは 1998 年に竣工され、地上 88 階、現在世界第 4 位の高さ(420.5 m)を誇る中国を代表する建物である。

調査項目は建物概要、設備概要、空調設備容量、エネルギー消費量及び省エネルギーに対するビル側の認識や、その取り組み等をヒアリングした(表 1)。建物階数別の主な用途別建物として、3~50 階はオフィス(約 130,000 m²)、53~87 階はホテル(約 70,000 m²)である。

2.2 受電設備及び空調設備

現状の JM ビルの電力消費はすべて系統電力によって賄われ、受電電圧は 6.6 kV である。複合施設である当ビルは、通年に渡って冷水と温水が必要であるため、冷水を用いた冷房運転と温水を用いた暖房運転を同時に行う事ができる 4 管式を採用している。冷熱供給では、遠心式冷凍機の容量が 1200 USRT (1 USRT=3.5 kW) の 6 台と 400 USRT の 2 台、計 8 台を低層と高層にそれぞれ 4 台ずつ設置され、冷房需要を賄っている。また、57 階以下または 86 階からビルの最高階までには変风量全空気システムがあり、58 階から 85 階ではファンコイルと外気取り入れ制御システムが設置されている。一方、暖房需要に対してボイラーから熱交換器、ポンプ、空気調和機、ファンコイルを通じて供給されている。給湯は温水発生器を通じて賄われている。

図 1 研究対象の外観と平面図

表 1 調査項目

① 建物概要 各フロアの用途、延べ床面積、階数、在館人員、客室数(ホテル)、竣工年、契約電力、冷暖房負荷設計値
② 設備概要 電気設備・空調方式
③ 空調設備容量 空調熱源機器容量(冷・温熱源機器機種、型式、冷・温熱源ポンプ、空調機ファン、ファンコイル等の容量・定格入力) 空調動力容量 (冷却塔ファン、冷却水ポンプ、冷・温熱ポンプ、空調機ファン、ファンコイル等の容量・定格入力)
④ エネルギー消費量 電力、天然ガス、油、水の消費量
⑤ エネルギー種別の使途 冷房、暖房、給湯、厨房、プール加温、殺菌、消毒、非常用発電機、その他

図 2 既存システムのフロー

図 3 延べ床面積当たりの月別各種エネルギー消費量

図4 各季節の時刻別電力・熱負荷

る (図2)。

2.3 エネルギー消費量の分析

図3に建物用途別における月別の各種エネルギー消費量を示す。季節ごとから見ると、夏期では大きい山ができて、全体の50%近く占めている。延べ床面積当たりの年間のエネルギー消費量の中、一般電力が最も高く(オフィス: 557 MJ/m²、ホテル: 1112 MJ/m²)、次に給湯(オフィス: 151 MJ/m²、ホテル: 1435 MJ/m²)、冷房(オフィス: 300 MJ/m²、ホテル: 1002 MJ/m²)、及び暖房(オフィス: 43 MJ/m²、ホテル: 96 MJ/m²)の順となる。建物用途別の各種エネルギー消費量から見ると、ホテルが全体の6割以上を占めている。その中、給湯の割合はホテル全体エネルギー消費の71%であり、給湯消費量が高くなり高いことから、洗濯やシャワーなどに大量のお湯が使われていると考えられる。

図5 熱電比

2.4 時刻別負荷特性に対する考察

CGS導入可能性を検討するに当たって、JMビルの時刻別負荷特性の分析は重要である。ここでは当該ビルの冬期(1月)、中間期(5月)、夏期(8月)の代表平日の24時間の一般電力、冷暖房及び給湯負荷を図4のa~cに示す。これらの結果から次の特徴が得られた。

- ① 一般電力負荷はいずれの季節でも全時間帯を通じて一定になっており、夏期の負荷が他の季節より大きい、それぞれのパターンはほぼ一致している。
- ② 冷房負荷は7時から22時までに山ができて、夏期の午後3時頃にピークを迎え、大きな山が見られる。また、夜間の間も一定の負荷があり、これは、ホテルに宿泊する人が多く、夜間も冷房をつけたままで就寝していること等の原因が考えられる。全時間帯を通じて一般電力負荷と比べ、冷房負荷の変化幅が大きいことが分かる。
- ③ 暖房負荷が小さい。その原因として、上海市の気候、当該ビルの高気密構造及び内部発熱等の要因が考えられる。
- ④ ホテルの給湯負荷は年中高く占め、22時以

図6 シミュレーションの流れ

降になってもその消費量が非常に高い。

また、熱需要と一般電力需要の累積曲線（図 5）を見ると、温熱需要量が一般電力需要量を上回っている。CGS のエネルギー利用評価には、建築物の熱需要と電力需要のバランスが非常に重要である。年間 8760 時間の温熱消費量と一般電力消費量の比率（熱電比）を算出し、最大値は 3.72 であり、平均値は 1.55 に達している。

3. CGS 導入のシミュレーション手法

3.1 研究流れ

図 6 にシミュレーションの流れを示す。まず、上述の時刻別熱・電力負荷の特性を入力し、CGS の容量、効率、運転状況及び燃料料金等を設定し、筆者ら¹³⁾が開発した CGS エネルギー計算手法を用いて、一定の制約条件の下に CGS を導入したシステムの一次エネルギー消費量を計算する。計算された一次エネルギー消費量を既存システム（図 2）の一次エネルギー消費量と比較し、その省エネルギー率を以下の式により分析する。

$$\eta_{\Delta E}^{CGS} = \frac{Q_E^{Conv} - Q_E^{CGS}}{Q_E^{Conv}} = \frac{\left(Q_{Gas}^{Conv} + \frac{Q_{Power}^{Conv}}{\eta_E^{Utility}} \right) - \left(Q_{Gas}^{CGS} + \frac{Q_{Power}^{Utility}}{\eta_E^{Utility}} \right)}{\left(Q_{Gas}^{Conv} + \frac{Q_{Power}^{Conv}}{\eta_E^{Utility}} \right)} \quad (1)$$

ここでは、

$\eta_{\Delta E}^{CGS}$ = CGSシステムの省エネルギー率（一次エネルギー削減率）
 Q_E^{Conv} = 既存システムの一次エネルギー消費量 MJ
 Q_E^{CGS} = CGSシステムの一次エネルギー消費量 MJ
 Q_{Gas}^{Conv} = 既存システムのガスエネルギー消費量 MJ
 Q_{Power}^{Conv} = 既存システムの商用電力消費量 MJ
 Q_{Gas}^{CGS} = CGSシステムのガスエネルギー消費量 MJ
 $Q_{Power}^{Utility}$ = CGSシステムの商用電力消費量（買電による電力消費量） MJ
 $\eta_E^{Utility}$ = 商用電力の発電効率（中国の場合、約 33.25%¹²⁾）

また計算では、CGS の導入に関しては、表 2 に示すように評価項目を設定し、変数として、システムの一次エネルギー消費量を試算する。分析では、まず CGS の容量（規模）による省エネルギー性への影響を分析する。経済性とあわせて、CGS 導入の適切な発電容量（規模）を確定する。選択された CGS 発電容量に対して、発電機の発電効率と熱回収効率を変化した場合、省エネルギー率への影響を分析する。さらに台数制御によるシステムの省エネルギー性への影響を検討する。CGS 発電機の規模、効率及び台数が確定されたところ、運転時において、燃料料金の省エネルギー性への影響を探ることとする。

経済性を分析するときには、ライフサイクルコスト¹⁴⁾を用いて下記の式で計算する。

$$M(n) = (C_0 + \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{(1+i)^j}) \times \frac{(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (2)$$

ここでは、

$M(n)$ = LCC平均年間コスト 円
 C_0 = 初期投資 円
 E_j = 使用年数 j 年目のランニングコスト 円
 n = 使用年数 年
 i = 金利 %（今回は 2.5%とする）

表 2 評価項目

評価視点	評価項目	変化範囲
省エネルギー率	単機容量の規模	最大電力需要量の10%~100%
	発電効率・排熱効率	発電効率：25%~40% 熱回収効率：40%、45%
	台数	1~4台
	燃料単価の増減	電力：現行料金の100%と50% ガス：現行料金の-60%~140%

表 3 各種パラメーターの設定値

運転形態			CGS導入率※	CGS初期投資(円/kW)		
a.	電主熱従（逆潮なし）		10%	212,500		
	原動機	ガスタービン	20%	200,110		
			30%	197,500		
	電力需要のピーク値 9470 kW		40%	191,670		
	発電機最高負荷率 100%		50%	186,250		
	発電機最低負荷率 30%		60%	181,250		
	補機動力消費量 5%		70%	177,500		
	最小買電量 10%		80%	172,500		
機器効率			90%	165,000		
b.	CGS発電効率※		25-40%	100%	163,750	
	CGS熱回収効率		40、45%			
	系統電力の発電効率		33.25%	他設備の単価(円/kW)		
	吸収式冷凍機COP		1.1	遠心式冷凍機	6,621	
	熱交換器COP		1.0	吸収式冷凍機	18,043	
	ボイラー		85%	ボイラー	1,814	
			熱交換器	2,100		
e.	エネルギー		価格			
	電力（円/kWh）	ピーク	準ピーク	その他		
		8:00h-11:00h	6:00h-8:00h	22:00h-6:00h		
		18:00h-22:00h	11:00h-18:00h			
		16.09	11.39	5.93		
	天然ガス（円/m3）		30			
CGS導入率※：電力需要量のピーク値当たりCGSの導入容量 その他：一次エネルギー換算値（電力：10.38MJ/kWh、天然ガスの熱量：38.97MJ/Nm ³ ） CGS保守費用と人件費用は初期投資の1%と3.4%と仮定する 1元=14円と換算する

図 7 提案システムのフロー

CGS 等の設備初期投資に関しては、安芸ら¹²⁾の研究により表 3 に転記する。但し、CGS 導入規模による初期投資は異なるとする¹⁵⁾。また、2 年目からの稼働費用は 1 年目と同様、発電設備のライフサイクルを 15 年と設定する。CGS の各種パラメーター設定値及び適用した上海市のエネルギー料金¹²⁾は表 3 に示す。

以上の分析に基づいて、重回帰分析法により、CGS の発電容量、発電機の効率、部分負荷、台数及び燃料単価の増減等を評価項目とし、省エネルギー率への影響因子の感度分析を行う。

3.2 システム設定

提案システムのフローは図7に示す。一般電力は系統電力及びCGSの発電により賄われる。排熱は熱交換器（COP=1.0）、吸収式冷凍機（COP=1.1）を用いて、熱、給湯、冷熱を供給し、熱需要の不足分は追加した補助ボイラー（効率 80%）により賄われる。

3.3 運転形態の設定

負荷変動の特性分析結果から見ると、熱需要の総量が一般電力需要をかなり超えている。熱負荷の変動に追従して発電する熱主電従運転（熱負荷追従運転）方式は回収される排熱が熱負荷にほぼ等しくなるように運転されるため、一般にエネルギー効率の高い運転と言えるが、実際は制限が困難である。また、中国では現在、逆潮流による売電は実現できていないことも考え、電力負荷の変動に追従して発電し、回収された排熱を出来るだけ利用した上、余った時は放熱する方式である電主熱従運転（逆潮流なし）を選定する。

3.4 制約条件の設定

本論では、図6の中間に示すように、三つの制約条件を課す。

まず、一般にCGSは負荷率の低下に伴い発電効率が低下され、一定の負荷率以下では運転が行われない。石田ら¹⁶⁾の研究により、定式化されたCGSの部分負荷効率を用いて、部分負荷により発電効率の低下を考慮する。詳細は注¹⁾を参照する。CGSの発電量がCGS発電容量の30%より低い場合、運転しないとす。

その次、経済性から考えて、系統電力から買電のコストがCGS発電コストより低い場合、系統電力からの買電を優先とする。

最後に、電主熱従運転（逆潮流なし）の場合、系統電力からコンスタントに一定量（最低買電量）を受電する必要があるので、本論ではこの最低買電量を複合施設の一般電力需要量のピークの10%とする。

4 省エネルギー性の影響因子分析

省エネルギーに影響する因子は数多くあるが、本論ではCGS導入容量の規模、発電機の発電効率・熱回収効率、台数、燃料単価増減を評価項目とし、且つ独立因子で省エネルギー率との関係を求め、それらの因子の省エネルギー性への影響を分析する。また、重回帰分析により評価視点に最も関係のある主要な因子を選択する。

4.1 CGS導入容量（規模）と省エネルギー性

図8に発電効率と熱回収効率をそれぞれ30%、45%と設定した場合の電力需要量のピーク値当たりCGSの導入容量と省エネルギー率の関係を示す。図からCGS原動機の導入容量が電力需要量のピーク値（9470 kW）の10%から100%まで変化させ、導入規模の増加につれ、省エネルギー率が上がることが分かる。その原因として、当該ビルではホテルを含めた建物の熱需要が図5のように非常に高く、電力需要を大きく超えているので、CGS発電による排熱量がほとんど利用されているものだと考えられる。ただし、一定の規模に達してから、規模が増加することに対して、省エネルギー率の増加率は緩やかになっている。例えば、電力需要のピーク値の60%をCGSで賄われる場合に比べ、100%CGSにより満たされる場合の省エネルギー率の変化は2%程度しかない。またCGSの容量が大きくなると、排熱が十分に使いきれなくなり、システムの初期投資が増える恐れがあるため、適切な容量の決定が望ましい。そこで、定量的に経済性効果を需要家に提示する意味を持つライフサイクルコストを計算する。その結果は図8の棒グラフに示す。ライフサイクルコストが最も低いケースは電力需要量のピーク値の60%である。従って、省エネルギー且つ経済効果の視点から、電力需要のピークの6割程度をCGSにより賄われることが妥当であると考え、以下の他の因子分析では

図8 CGSの導入容量と省エネルギー性及び経済性の関係

図9 CGS発電効率と省エネルギー性

図10 台数制御と省エネルギー性

CGSの容量を6割に近く6000 kWとする。

4.2 CGSの効率と省エネルギー性

CGSの効率に関しては、定格熱回収効率を40%と45%に、定格発電効率を25%から40%まで変化させ、CGSの発電効率及び熱回収効率の省エネルギー性への影響度を分析し、その結果を図9に示す。導入CGSの発電容量は前節に述べたように、6000 kWとする。計算結果から、熱回収効率に比べ、発電効率が省エネルギー性に与える影響はより大きい。例えば、同じ熱回収効率の場合、CGSの発電効率を30%から35%まで変化させると、省エネルギー率の増加割合が約8%以上になる。一方、同じ発電効率の場合、熱回収効率を40%から45%まで増加しても、エネルギー率の増加割合が約2%にとどまっている。CGSの技術革新は発電効率の向上に重点を置くべきである。

4.3 台数と省エネルギー性

ここでは、前節と同様に、CGS導入の発電容量は6000 kWとし、

定格熱回収効率(45%)、定格発電効率を 25%から 40%までに変化させる場合、CGS の導入台数と省エネルギー率の関係を検討する。その結果は図 10 に示す。ここでの最大発電効率 (Pmax) は、負荷率 100% 時の発電効率 (定格発電効率) であり、最小発電効率 (Pmin) は、負荷率 30% 時の発電効率である。部分負荷を考慮する場合、実際の負荷率に当たる各々の発電効率は注 1) の式 4 より求める。なお、負荷率が 30% 以下になると、CGS のシステムが稼動しないと仮定する。図 10 から、台数制御は省エネルギー性に影響を与えることが分かる。例えば、6000 kW×1 台の場合、いずれも省エネルギー率が低く、発電効率が 25% 以下になると、既存システムよりもエネルギー消費量が増えているため、省エネルギー率がマイナスになる。一方、2000 kW×3 台の省エネルギー率が最も高く、次に 1500 kW×4 台と 3000 kW×2 台の順となっている。省エネルギー性から、CGS の妥当な台数は 2000 kW×3 台であると考えられる。

4.4 燃料単価増減と省エネルギー性

次に、発電容量 2000 kW 台数 3 台の CGS を導入する場合、燃料料金(電気・ガス)の増減による省エネルギー率の変化を検討する。ここでは、定格発電効率は 35%、定格熱回収効率は 45%とする。図 11 は燃料料金の変化につれ、CGS 運転費用を最小にする 3 台の平均運転時間の積算値を示す。ガス料金が-60%から 140%まで変化させ、電力料金の倍増、半減の 2 ケースを加え、燃料料金の省エネルギー率への影響度を検討する。計算結果から、現行料金での 3 台 CGS の平均運転時間は 6008 時間であることが分かる。

全体として、ガス料金が上がると、運転時間が減り、CGS の競争力が低くなる。逆にガス料金が下がると、運転時間が上がり、CGS の普及に有利である。また、電力料金が倍増すると、運転時間も上がり、ガス料金が上がるとしても、CGS の運転時間が長いことが見られる。これは石油高騰により、将来電力とガス料金が共に増加する場合でも、CGS 普及の市場があることを意味する。

燃料料金の増減による省エネルギー率の変化を図 12 に示す。現行料金での省エネルギー率は 29.94%となる。また、燃料料金の同時増加による省エネルギー率は現行料金の省エネルギー率とほぼ同様となっていることから、燃料料金増の場合でも、地球温暖化を軽減するためには、CGS を積極的に導入すべきであると考えられる。

4.5 エネルギー収

今まで、CGS の規模、発電効率及び台数等について検討してきたが、ここでは、省エネルギー性への影響原因を調べるために、電力及び熱の消費バランスを検討する。CGS の発電容量は 2000 kW の 3 台で 6000 kW、定格発電効率は 35%、定格熱回収効率は 45%とする。

図 13 と図 14 に現行料金の下で計算した時刻別エネルギー収支の積算曲線を示す。図 13 は電力供給と需要のバランスを示している。CGS の発電容量が 2000 kW である原動機が一般電力負荷に合わせて 1 台から 3 台まで運転する。発電機的全負荷運転と部分負荷運転の時間及び系統電力からの買電量等を図 13 に示す。例えば、1 台目の場合、全負荷運転時(負荷率=100%)と部分負荷運転時(負荷率<100%)の発電量はそれぞれ約 13.8 GWh と 1.6 GWh である。一台目の CGS 運転時間を見ると、全負荷での運転時間は 6917 h であり、年間 8 割を占める。1 台目の停止時間は 889 h となっている。これは、約束条件として経済的な運転及び最低買電量を考慮する場合、夜間で

図 11 燃料料金と CGS の運転時間

図 12 燃料料金と省エネルギー率

図 13 一般電力需要累積曲線及び利用状況

図 14 熱需要累積曲線及び利用状況

ここでは、 P =発電効率
 $P_{\min}$ =発電効率の最小値
 $P_{\max}$ =発電効率の最大値
 r =負荷率 r_0 =最小負荷率

図 15 CGS の部分負荷特性の定式化

参考文献

- 1) 湯浅俊昭, CHEW CHONG SIANG, 川原田抄苗: 中国天然ガス政策の現状と展望～「西気東輸」1 を中心に～, 国際協力プロジェクト部・日本エネルギー経済研究所, IEEJ, 2003. 2
- 2) 高偉俊, 李海峰他: 電源開発株式会社委託調査「上海地域における省エネルギーの現状及び ESCO 事業の参入可能性に関する調査業務」, 有限会社ジオ・クラスター, 2005. 12
- 3) 市川徹, 佐土原聡, 尾島俊雄: 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, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 427, pp. 29-38, 1991. 9
- 4) 三瀬農士, 佐藤春樹: 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスにおけるコージェネレーションシステムの省エネルギー性および環境性評価, 日本建築学会環境系論文集, No. 616, pp. 51-58, 2007. 6
- 5) 村上公哉他: 集合住宅と高齢者福祉施設の複合建物におけるコージェネレーションシステムの効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1 分冊, pp. 997, 2002. 8
- 6) 岡建雄他: CGS を導入した病院施設のライフサイクル評価とコミッショニングのり方に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 分冊, pp. 1181, 2002. 8
- 7) 佐土原聡他: CGS を拠点とした小規模地域熱供給のあり方に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1 分冊, pp. 523, 2003. 8
- 8) 村上公哉他: 都市における分散型エネルギー供給システムの導入促進に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1 分冊, pp. 561, 2003. 8
- 9) 柳井崇他: 既存街区におけるコージェネレーションシステム導入によるエネルギーの面的利用に関する研究 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1 分冊, pp. 907, 2007. 8
- 10) 内山洋司, 萩原啓太: エネルギーチェーン多層評価システムを用いた分散型電源の環境影響分析, エネルギー・資源学会, 第 22 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp. 199-202, 2006. 1
- 11) 岡田和宏, 加藤丈佳, Wu Kai, 窪田光宏, 鈴置保雄: 中国産業都市における次世代エネルギーシステム評価モデル構築に関する基礎的検討, 電気関係学会東海支部連合大会, 講演論文集, No. 500, pp. 344, 2002. 9
- 12) 安芸裕久, 村田晃伸: 中国都市部における民生ビルへのガスコージェネレーション導入に関する検討, 第 21 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, エネルギー資源通巻, Vol. 26, No. 3, pp. 225-228, 2005. 1
- 13) 阮応君, 高偉俊: Optimization of co-generation system for housing complex-Housing complex's scale and system's operating mode, 日本建築学会環境系論文集, No. 592, pp. 15-22, 2005. 6
- 14) 原英嗣, 高偉俊, 尾島俊雄: 事務所建築における空調設備の保全費予測と更新時期の評価手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 547, pp. 209-214, 2001. 9
- 15) (社) 日本ガス協会
<http://esd.env.kitakyu-u.ac.jp/weijun/lesson/2003/2003under1/chapter6/6-6.htm> (参照 2008-11-14)
- 16) 石田武志, 森俊介, 堂脇清志: 経済制約と機器の部分負荷特性を考慮した業務建物の最適 CGS 導入決定支援システムの構築, 電気学会論文誌 B 部門, Vol. 125, No. 4, pp. 373-380, 2005. 4
- 17) 日本コージェネレーション編: コージェネレーション総合マニュアル (2003)
- 18) 韋新東: 地域冷暖房の評価手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 537, pp. 71-76, 2000. 11

(2008年7月9日原稿受理, 2009年2月25日採用決定)