民生施設への太陽光・熱／コージェネレーションシステム導入によるコストおよび一次エネルギー消費量の削減

正員 見目 喜重 (豊橋技術科学大学)
 正員 阿部 太志 (豊橋技術科学大学)
 正員 滝川 浩史 (豊橋技術科学大学)
 正員 河本 映 (静岡大学)
 正員 榊原 建樹 (豊橋技術科学大学)

Reductions of Primary Energy and Cost in Commercial Facilities Equipped with a PV/Solar Heat/Cogeneration System
 Yoshishige Kemmoku, Member, Futoshi Abe, Member, Hirofumi Takikawa, Member, Teru Kawamoto*, Member,
 Tateki Sakakibara, Member
 (Toyohashi University of Technology, *Shizuoka University)

Cost and primary energy consumption are investigated, imaging that a photovoltaic/solar heat/cogeneration system (here, it is called a proposed system) is equipped in a hotel and a hospital. The proposed system is operated using a dynamic programming into which hourly data of electric load, heat load, insolation intensity and air temperature during a year are input. In the dynamic programming, the objective function is the cost or the primary energy, i.e., the former case is the cost minimum operation and the latter case is the primary energy minimum operation. The proposed system is compared with a conventional system, a cogeneration system and a photovoltaic/solar heat system. The results of the cost minimum operation shows that the proposed system in the hotel (the floor area ratio : 1000 %, the heat storage tank : 50 m³) reduces the primary energy to 84% and the cost to 96% of the conventional system. And the proposed system reduces the primary energy to 91% of the photovoltaic/solar heat system and 92% of the cogeneration system. The proposed system with the same size in the hospital reduces the primary energy to 90% while increases the cost to 101% of the conventional system. The primary energy minimum operation reduces the primary energy still lower than the cost minimum operation, while increasing the cost a little.

キーワード：太陽光・熱／コージェネレーションシステム，コスト，一次エネルギー消費量，動的計画法

1. はじめに

我が国における使用電力量は、平成4年度以降、産業部門は頭打ちになっているが、民生部門は緊張に増加し続けている⁽¹⁾。そのため、民生部門におけるエネルギー消費削減が重要となってきた。民生施設において、化石エネルギー消費削減を目的とした太陽光・熱利用システムやコージェネレーション（以下：コージェネ）システムの導入が図られている⁽²⁾。

太陽エネルギーは季節・時間により変動し、エネルギー密度が低いため、太陽エネルギーだけで全てのエネルギー負荷を賄うことは困難である。従って、その導入に当たっては従来の化石エネルギー消費型のシステムとの適切な組み合わせが不可欠である⁽³⁾。

一方、コージェネシステムは、その経済的な運用のためには、負荷の熱電比が適切な範囲内にあること、またその

変動が小さいことが求められている。このような要求を全ての施設の電力・熱負荷が満たすわけではなく、従って、導入したコージェネシステムが期待通りの経済性を達成していないケースも多く見受けられる。

それぞれの課題を持つ太陽光・熱システムとコージェネシステムとを組み合わせるハイブリッドにした場合、好ましい運用が期待できる。

本研究においては、太陽光・熱システムとコージェネシステムとを組み合わせる太陽光・熱／コージェネハイブリッドシステムの都市部民生施設への導入を提案し、その導入による年間コストおよび一次エネルギー消費量削減効果を検討する。コストおよび一次エネルギー消費量の計算には、年間の電力・熱負荷および気象データ（日射量、気温）を入力として、動的計画法を利用する。

また、太陽光・熱システム、コージェネシステムとの比較から、これらのシステムを組み合わせることによる効果

についても検討する。

2. システムの概要

〈2.1〉 システムのエネルギーフロー

提案する太陽光・熱/コージェネシステムのエネルギーフローを図1に示す。システムは、太陽電池、太陽熱集熱器、蓄熱槽、ガスエンジン、ガスボイラ、および温水吸収式冷凍機から成る。なお、従来型システムは、熱負荷をガスボイラおよび温水吸収式冷凍機で、電力負荷を系統電力で賄うシステムである。

太陽光・熱/コージェネシステムでは、ガスエンジンの廃熱と集熱器により集めた太陽熱とを、冷房負荷、暖房負荷および給湯負荷に供給する。ただし、蓄熱槽からの熱供給は、冷房負荷に対しては蓄熱槽温度が 90℃ 以上の場合に、暖房および給湯負荷に対しては蓄熱槽温度が 60℃ 以上の場合に行う。ガスエンジンからの廃熱で負荷を十分に賄える場合、その余剰熱は蓄熱槽に蓄える。ただし、蓄熱槽の温度の上限を 95℃ とする。なお、給湯負荷への熱供給は貯湯槽を介して行い、貯湯槽温度は 50℃ を保つように運用する。蓄熱槽およびガスエンジンからの熱供給で熱負荷を賄えない場合には、不足熱をガスボイラにより供給する。

太陽光発電電力およびガスエンジン発電電力で電力負荷が賄えないときには系統電力を購入する。太陽光発電およびガスエンジン発電電力が電力負荷よりも大きい場合には、その余剰電力を系統に売電する。

図1 太陽光・熱/コージェネレーションシステムのエネルギーフロー

Fig.1 Energy flow of a PV/solar heat/cogeneration system.

〈2.2〉 システム規模の設定

システム規模の設定パラメータは、太陽電池面積、集熱器面積、ガスエンジン定格出力、ガスボイラ定格出力および蓄熱槽容量である。

太陽電池・集熱器の設置面積は対象とする施設の屋根面積により制限される。ここでは、太陽電池・集熱器を施設の屋根全面に設置することとしてそれらの合計設置面積を対象施設の建物容積率の逆数で表すことにし、その合計設置面積に占める太陽電池/集熱器面積の割合を PV/SC 比とした。それらの値を設定すれば、施設の階数および太陽電池・集熱器の屋根面積に対するパーセントが定まる。例えば、容積率を 500%、PV/SC 比を 60/40 とした場合、5 階建ての施設の屋根に太陽電池および集熱器を 6:4 の割合で設置することになる。病院やホテルは高層化される傾向にあることから、本研究では、容積率を 500%および 1000%に設定した。

ガスエンジン定格出力は、1 台の定格出力を 200 kW とし、台数をパラメータにとった。また、ガスボイラ定格出力は、それぞれの熱負荷における最大負荷の値に設定し、蓄熱槽容量は、0 ~ 100 m³ の間で変化させた。貯湯槽容量は、1 時間当たりの最大給湯量に設定した。

3. システムの導入対象

システムを導入する対象地域として、愛知県刈谷市刈谷駅南口再開発地区を取りあげた。この地域に建設が計画されている民生施設の内の、病院およびホテルを導入対象施設とした。それらの施設における 2005 年のエネルギー負荷（想定値）と延べ床面積を表 1⁽⁴⁾に示す。ホテルでは、電力負荷の割合は 44%であり、給湯負荷の割合が冷房および暖房負荷と同程度の高い割合を示している。病院では、電力負荷が 55%を占め、給湯負荷の割合が非常に少ない。

表 2 には、年間負荷を延べ床面積と年間時間数で割ったエネルギー負荷密度、ならびに熱電比の年平均値とその標準偏差を示す。ガスエンジン発電機を用いたコージェネシステムを導入する場合、熱電比が 1.3 ~ 1.7 であることが好ましいと言われている⁽⁵⁾。また、コージェネシステムを経済的に運用するためには、熱電比が安定していることも一つの条件である。それらの観点から、ホテルがコージェネシステム導入に適していると言える。

表 1 各施設の年間エネルギー負荷
Table 1 Annual energy load in each facilities.

施設名	延床面積 [m ²]	年間負荷 [GWh]				
		電力	冷房	暖房	給湯	合計
ホテル	12,000	2.79	1.39	1.12	1.12	6.42
病院	21,000	4.15	1.74	1.22	0.32	7.43

表 2 各施設のエネルギー負荷密度、ならびに熱電比の年平均値および標準偏差

Table 2 Energy load density, mean value and standard deviation of heat / electric load ratio in each facilities.

施設名	エネルギー負荷密度 [W/m ²]	熱電比	
		年平均値	標準偏差
ホテル	61.0	1.39	0.47
病院	40.5	0.81	0.58

図2 負荷の日変化パターン
Fig.2 Daily load pattern.

図2には各施設におけるエネルギー負荷の日パターン(2月, 5月, 8月, 11月)を示す。なお, 本研究ではエネルギー負荷パターンは, 1ヶ月間同一であるとした。電力負荷パターンは, ホテル, 病院ともに月による変化はない。熱負荷パターンは, ホテルでは, 5月と11月は電力負荷パターンと同形であるが, 病院では, 5, 11月は非常に小さくなる。

4. システムの評価量およびその計算方法

4.1) システムの評価量

システムの評価は, 経済性および省エネルギー性の観点から, 年間コスト C および年間一次エネルギー消費量 E で行った。 C および E の式を以下に示す。

$$C = C_o + C_i \quad \dots (1)$$

$$\begin{aligned} C_o = & C_{GBB} + C_{GBS} + C_{GBW} \\ & + C_{GU} \cdot (G_E + G_B) \\ & + C_{EB} + C_{EUB} \cdot P_B - C_{EUS} \cdot P_S \quad \dots (2) \end{aligned}$$

$$E = G_E + G_B + (P_B - P_S) / \eta \quad \dots (3)$$

ここで,

- C_o : 年間運転コスト [円]
- C_i : 年間設備コスト [円]
- C_{GBB} : 年間のガス定額基本料金 [円]
- C_{GBS} : 夏季流量基本料金 [円]
- C_{GBW} : 冬季流量基本料金 [円]
- C_{GU} : ガス従量料金 [円/m³]
- G_E : ガスエンジンのガス消費量 [m³]
- G_B : ガスボイラのガス消費量 [m³]
- C_{EB} : 年間の電力基本料金 [円]

- C_{EUB} : 買電単価 [円/kWh]
- C_{EUS} : 売電単価 [円/kWh]
- P_B : 買電電力量 [kWh]
- P_S : 売電電力量 [kWh]
- η : 発電効率 (= 0.38)

これらの評価量の内, 年間運転コストおよび年間一次エネルギー消費量は, システムの運用法により大きく変化する。そこで, あるシステム構成におけるそれらの値は<4.2>で述べる手法で計算し, それに年間設備コストを足し合わせることで, そのシステム構成における年間コストを計算した。

4.2) 年間運転コストおよび年間一次エネルギー消費量の計算方法

負荷および気象状況が変動する下で太陽エネルギーシステムを適切に運用する手法としては, 例えば, 気象予測や負荷予測を利用した運用法が提案されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。しかしながら, 太陽光・熱/コージェネシステムの最適な運用法は, 現段階では確立されていない。そこで, 本研究では, 電力・熱負荷および気象データが年間を通して既知であるとの仮定の下で, 太陽光・熱/コージェネシステムの運用に動的計画法を適用し, 年間運転コストおよび年間一次エネルギー消費量を計算した。ここで, 動的計画法の制御変数をガスエンジン出力, 状態変数を蓄熱槽温度, 目的関数を年間運転コストないしは年間一次エネルギー消費量とした。

まず, 各時刻の気象データ(日射量および気温)および蓄熱槽温度から, 太陽熱集熱量, 太陽光発電出力, 蓄熱槽の熱損失を計算する。ここで, 太陽熱集熱量や蓄熱槽の熱損失は, 熱系統における熱流・温度・熱抵抗を, 電気回路

における電流・電圧・電気抵抗に対応付け、その熱系統と等価な電気回路⁽⁸⁾を用いて計算した。太陽光発電出力は文献(9)の特性式に従った。

これらの計算値と電力・熱負荷データを入力し、状態変数（蓄熱槽温度）を変化させて各時刻のガスエンジン出力（制御変数）を決定した。なお、複数台のガスエンジンを運転する場合には、各時刻ごとに評価関数が最小になるように負荷を分担させた。

本研究では、ガスエンジンのガス消費量は式(4)、廃熱量は式(5)によるとした⁽¹⁰⁾。ただし、ガスエンジンの最低出力は定格の20%とした。

$$G(P_G) = -0.2 \cdot 10^{-3} P_G^2 + 0.272 \cdot P_G + 9.9 \quad (4)$$

$$Q(P_G) = -0.6 \cdot 10^{-3} P_G^2 + 1.145 \cdot P_G + 97.1 \quad (5)$$

ここで、

G : ガス消費量 [m^3/h]

Q : 廃熱量 [kW]

P_G : ガスエンジンの発電電力 [kW]

太陽光発電出力は、シリコン多結晶型の太陽電池を想定し、25℃での変換効率を12.5%、インバータの変換効率を92%とした。また、ガスボイラの熱効率を75%、温水吸収式冷凍機の成績係数を0.8とした。

5. 気象データの概要

本研究では、システムの導入地域を愛知県刈谷市としたが、その地域では日射量および気温が計測されていない。そこで、名古屋市の気象台で計測されている日射量および気温の1991～1995年の5年間の特別値を使用した。

年平均日射量の5年間の平均値は153 W/m^2 である。最大は94年の169 W/m^2 で、最少は93年の137 W/m^2 である。年による違いは夏季の影響が強い。

なお、太陽電池および集熱器の傾斜角度は35度に設定したため、計算においては全天日射量をIEA法⁽¹¹⁾により35度傾斜面日射量に変換した日射量を使用した。

年平均気温の5年間の平均値は15.8℃である。最高は94年の16.6℃で、最低は95年の15.5℃である。

6. 計算条件

年間コストを計算するのに用いた設備費および運転費の詳細を表3に示す。設備費の詳細はカタログ値および実績値⁽¹²⁾を参考にした。なお、表中のガスエンジンの設備費には工事費が含まれている。また、太陽光発電システムの設備費の中には、架台、インバータ等周辺装置および工事費が含まれている。年間設備費は、表3に示す値に耐用年数および年利（＝5%）を考慮した資本回収係数を掛け合わせて計算した。

7. 計算結果

種々のシステムパラメータ（建物容積率：500，1000%，

表3 太陽光・熱/コージェネレーションシステムの設備費および運転費

Table 3 Equipment cost and running cost of PV/solar heat/cogeneration system.

設備費			
	耐用年数	単価	
ガスエンジン	15	35 万円/kW	
系統連系等電気設備	15	800 万円	
計装費	15	500 万円	
蓄熱槽	15	16 万円/m³	
太陽光発電システム	20	95 万円/kWp	
太陽熱集熱システム	20	4.2 万円/m²	
ガスボイラ	15	0.52 万円/kW	
運転費			
ガス料金 (ガス空調専用 料金)	定額基本料金	35,000 円	
	夏季流量基本料金	2,310 円/m³	
	冬季流量基本料金	3,454 円/m³	
	従量料金	49.65 円/m³	
電気料金 (6 kV 業務用 電力)	基本料金	1,625 円/kW	
	従量料金	夏季	16.23 円/kWh
		その他	14.76 円/kWh
	売電料金	夏季昼間	6.23 円/kWh
		その他昼間	5.66 円/kWh
		夜間	2.95 円/kW
ガスエンジン維持費		1 円/kWh	

PV/SC 比：100/0～0/100、蓄熱槽容量：0～100 m^3 ）の組み合わせの下で、まずシステムコスト最小で、次に一次エネルギー消費量最小で運用した。なお、対象とした施設にコージェネシステムのみを導入した場合、最も経済的なガスエンジン台数は1台となることから⁽¹⁰⁾、太陽光・熱/コージェネシステムにおいてもガスエンジン導入台数は1台とした。

<7.1> コスト最小運用の場合

太陽光・熱/コージェネシステムをホテルに導入し、コスト最小で運用した場合の時系列結果の例を図3に示す。

コスト最小で運用した場合、ガスエンジンは電主熱従に近い運用をしている。そのために、熱負荷の小さい5・11月の夜間には、廃熱が蓄熱槽に蓄えられる。昼間はPV出力が得られるため、買電電力は減少する。また、熱負荷には、昼間は蓄熱槽を介して夜間のガスエンジン廃熱および太陽熱が供給され、ガスボイラによる加熱量が減少している。

建物容積率を500%、蓄熱槽容量を50 m^3 とし、PV/SC比をパラメータとした場合のガスエンジン出力の持続曲線を図4に示す。図(a)は導入施設をホテル、図(b)は病院とした場合である。図中のCGは、コージェネシステムのみを導入した場合である。

図(a)から、ホテルにおいて集熱器だけが設置された場合（PV/SC 比：0/100）、ガスエンジンの運用は、コージェネ単独システムとほぼ同じであることが分かる。これは、運用が電主熱従に近い形態をとるからである。太陽電池面

図3 コスト最小運用の場合の時系列結果例（建物容積率：1000%，PV/SC比：50/50，蓄熱槽容量：50 m³）
Fig.3 Time series result in case of cost minimum operation (floor area ratio : 1000%, PV/SC ratio : 50/50, capacity of heat storage tank : 50 m³).

図4 コスト最小運用の場合のガスエンジン出力の持続曲線（建物容積率：500%，蓄熱槽容量：50 m³）
Fig.4 Duration curve of gas engine output in case of cost minimum operation (floor area ratio : 500%, capacity of heat storage tank : 50 m³).

Figure 4 shows the duration curve of gas engine output in case of cost minimum operation (floor area ratio : 1000%, capacity of heat storage tank : 50 m³).

積が増大するに連れて（PV/SC比：100/0），ガスエンジン出力が定格出力以下で運転される時間が減少している。それは，太陽電池が日中の電力負荷の一部を担っているからである。図(b)から，病院においては，ガスエンジンは年間を通じて定格出力で運転され，PV/SC比の影響が全くないことが分かる。これは，昼間の電力負荷がガスエンジン出力(200 kW)や太陽電池出力(420 kWp)に比べて大きいからである。

次に，ホテルにおけるシステムの年間コストおよび一次エネルギー消費量のPV/SC比による影響を図5に示す。図中の左端の棒グラフは従来型システムの年間コストおよび一次エネルギー消費量を表している。

図5(a)から太陽光・熱/コージェネシステムを導入すると，ガスボイラ燃料費と買電に伴うコストとが大幅に削減されるが，ガスエンジンの燃料費，維持費およびシステム設備費が追加されることが分かる。特に設備費は，太陽電池面積の比率が高いほど増大している。現在のコスト状況下では，最も経済的なPV/SC比は0/100のときであり，その年間コストは従来型のそれをわずかに下回る。図5(b)から，一次エネルギー消費量は，買電およびガスボイラの分が大幅に減少するが，ガスエンジンの分が追加して

図5 年間コストおよび一次エネルギー消費量のPV/SC比による変化（コスト最小運用，建物容積率：1000%，蓄熱槽容量：50 m³）
Fig.5 Change of annul cost and primary energy consumption of the system by PV/SC ratio (cost minimum operation, floor area ratio : 1000%, capacity of heat storage tank : 50 m³).

Figure 5 shows the change of annul cost and primary energy consumption of the system by PV/SC ratio (cost minimum operation, floor area ratio : 1000%, capacity of heat storage tank : 50 m³).

Aa: PV/SC比=0/100 Bb: PV/SC比=100/0
ab: 蓄熱槽容量=10 m³ AB: 蓄熱槽容量=100 m³

図6 太陽光・熱/コージェネシステムの年間コストおよび一次エネルギー消費量（コスト最小運用）

Fig.6 Annual cost and primary energy consumption of the system (cost minimum operation).

いることがわかる。しかし、その全量は従来型に比べて85%に減少している。

図5はホテルにおいて建物容積率を1000%一定、蓄熱槽容量を50 m³一定とし、PV/SC比を一次元的に変化させたときのコストおよび一次エネルギー消費量であった。蓄熱槽容量とPV/SC比を2次的に変化させたときのコストおよび一次エネルギー消費量は同様に計算でき、その結果得られたコストおよび一次エネルギー消費量の範囲を図6のドットゾーンで示す。図中の黒丸はコージェネシステム、グレーゾーンは太陽光・熱システムの結果である。小面積のドットゾーンは建物容積率が10%の場合、大面積は20%の場合である。輪郭AaはPV/SC比=0/100、BbはPV/SC比=100/0のシステム構成である。さらに、abは蓄熱槽容量10 m³、ABは蓄熱槽容量100 m³のシステム

構成である。

ホテルの場合（図6(a））、太陽光・熱システムを導入すると、コストは従来システムを超えるが、一次エネルギー消費量は削減できる。コストならびに一次エネルギー消費量が最小となるPV/SC比は、建物容積率1000%、500%ともに0/100と、太陽熱だけを利用した場合である。

コージェネシステムを導入すると、コストおよび一次エネルギー消費量が従来システムに比べて減少する。

太陽光・熱/コージェネシステムを導入すると、コストはコージェネシステムと太陽光・熱システムとの中間に来るが、一次エネルギー消費量は大幅に減少する。

コストが最小となるPV/SC比は、建物容積率1000%、500%ともに0/100であるが、一次エネルギー消費量が最小となるPV/SC比は、建物容積率1000%では0/100、500%では20/80である。太陽光・熱/コージェネシステムではガスエンジンからも廃熱が供給されるため、建物容積率が高くなった場合には、集熱器を設置すると熱供給が過剰気味になり、一次エネルギー消費量を削減するためには、太陽電池の導入が必要になる。

病院にシステムを導入したときの一次エネルギー消費量とコストとの変化範囲を図6(b)に示す。コージェネシステムを病院に導入すると、一次エネルギー消費量およびコストは、従来システムよりも減少するが、その減少幅はホテルの約半分である。建物容積率1000%で太陽光・熱システムを導入すると、コージェネシステムに比べて、一次エネルギー消費量は2～3ポイントは減少するが、コストが7ポイント以上増加する。太陽光・熱/コージェネシステムを導入すると、太陽光・熱システムに比べて、一次エネルギー消費量およびコストは約2ポイント減少するが、減少程度はホテルの場合程ではない。また、コストは従来システムを切ることはない。建物容積率を500%に下げて屋根面積（合計設置面積）を2倍にすると、1000%のシステムに比べて、一次エネルギー消費は減少するが、コストが増加する。蓄熱槽容量が一定（例えば、100 m³：輪郭AB）の場合、太陽電池面積の割合を増やしていくと、一次エネルギー消費は減少していくが、コストが増加していく。

図6において、コストが最小となるシステムのコストおよびそのときの一次エネルギー消費の値をまとめると表4のようになる。ただし、建物容積率が1000%の場合を取りあげ、従来システムおよびコージェネシステムと比較した。太陽光・熱/コージェネシステムをホテルに導入したときの一次エネルギー消費削減量（15.59ポイント）は、コージェネシステムを導入したときの削減量（7.95ポイント）と太陽光・熱システムを導入したときの削減量（6.78ポイント）の和よりも大きい。このことは、コージェネシステムと太陽光・熱システムとの組み合わせによる相乗効果が現れていることを意味している。

表4に示すように、ホテルに太陽光・熱システムを導入した場合、コストが従来型よりも1.68ポイント上昇する。

表4 年間コストが最小となるシステム構成におけるコストおよび一次エネルギー消費量の比較（コスト最小運用，建物容積率：1000%）

Table 4 Comparison of annual cost and primary energy consumption of a system construction in which the annual cost is minimum (cost minimum operation, floor area ratio : 1000%).

システム	ホテル		病院	
	コスト	一次エネルギー消費量	コスト	一次エネルギー消費量
従来	100.00	100.00	100.00	100.00
太陽光・熱	101.68	93.22	103.48	94.45
コージェネ	94.46	92.05	96.74	96.79
太陽光・熱/コージェネ	96.31	84.41	101.53	90.85

このシステムの導入が経済的に成立するためのエネルギー税額（コスト増額分を一次エネルギー消費削減量で割る）を計算すると 1.97 円/Mcal となる。同様の計算を病院について行くと、太陽光・熱システムでは 4.58 円/Mcal となるが、太陽光・熱/コージェネシステムでは 1.22 円/Mcal まで低下する。エネルギー税額 1.00 円/Mcal は、需要家の経済的負担という観点からは、炭素税額 20 千円/t-C とほぼ同程度と考えられる。この程度のエネルギー税額に収まるのであれば、炭素税額の試算例および導入例^{(14)~(17)}を考えると、一次エネルギー消費削減の対策として、有効な選択肢になり得る。

7.2 一次エネルギー消費最小運用の場合

次に、太陽光・熱/コージェネシステム（建物容積率：1000%，蓄熱槽容量：50 m³）を一次エネルギー消費最小運用した場合の結果を述べる。この場合には、式（3）で示す一次エネルギー消費量が年間で最小になるように動的計画法を適用した。時系列結果は割愛するが、その結果を見ると、太陽光・熱/コージェネシステムは熱主電従で運用されていた。すなわち、集熱器だけを導入した場合（PV/SC 比：0/100），熱負荷の低い時間帯ではガスエンジン廃熱よりも太陽熱を利用するようになり、その結果、ガスエンジンの出力が抑制された。特に、病院においては、熱負荷の低い春・秋にガスエンジン出力が大幅に抑制された。そのような傾向は、ガスエンジン出力の持続曲線にも現れるはずであり、図7にそれを示す。確かに、集熱器面積、すなわち SC 比を増大するのに伴い、ガスエンジンが定格出力で運転する時間が減少していることが読みとれる。

建物容積率 1000%での太陽光・熱/コージェネシステムを一次エネルギー消費最小で運用したときの一次エネルギー消費量とコストとの変化範囲を図8の白抜き面積で示す。また、コージェネシステムを一次エネルギー消費最小で運用したときの結果を白抜きの丸印で示す。比較のため、図中にはコスト最小で運用した結果をドットゾーン

図7 一次エネルギー消費最小運用の場合のガスエンジン出力の持続曲線（建物容積率：500%，蓄熱槽容量：50 m³）

Fig.7 Duration curve of gas engine output in case of primary energy consumption minimum operation (floor area ratio : 500%, capacity of heat storage tank : 50 m³).

（太陽光・熱/コージェネシステム）と黒丸（コージェネシステム）で再掲した。

図8(a)のホテルの図を見ると、太陽光・熱/コージェネシステムにおいては、一次エネルギー消費最小運用とコスト最小運用との差はコストよりも一次エネルギー消費量に現れている。一次エネルギー消費最小運用の方がコスト最小運用よりもコストは 0.4 ポイント上昇するものの、一次エネルギー消費量は 1.4 ポイント減少している。一方、図8(b)の病院の図を見ると、一次エネルギー消費最小運用の方がコスト最小運用時よりもコストは 1.0 ポイント上昇するものの、一次エネルギー消費量は約 3.4 ポイント低い。このように、一次エネルギー消費最小運用時とコスト最小運用時との差は、ホテル（熱電比：1.4）よりも病院（熱電比：0.8）に大きく現れている。

8. まとめ

電力負荷と熱負荷とを有する施設に、太陽光・熱/コージェネシステムを導入したときのコストおよび一次エネルギー消費量を検討した。導入対象をホテル（熱電比：1.4）および病院（熱電比：0.8）とし、それらの電力・熱の日負荷曲線および日射量・気温の1年間の1時間ごとの値を基礎データとした。これらのデータを用い、年間のコストないし一次エネルギー消費量が最小になるように動

図8 太陽光・熱/コージェネシステムの年間コストおよび一次エネルギー消費量（一次エネルギー消費量最小運用）
 Fig.8 Annual cost and primary energy consumption of system (primary energy consumption minimum operation).

的計画法を利用して、一年間のシミュレーションを行った。太陽光・熱/コージェネシステムのパラメータとして、建物容積率（500, 1000%）、太陽電池面積/太陽熱集熱器面積比：PV/SC 比（100/0 ~ 0/100）および蓄熱槽容量（10 ~ 100 m³）とした。従来システム、コージェネシステム、太陽光・熱システムに対してもコスト最小および一次エネルギー消費量最小のシミュレーションを行い、得られた結果を太陽光・熱/コージェネシステムと比較した。主要な結果を以下に示す。

(1) 建物容積率が 1000%のホテルにシステムを導入し、コスト最小で運転した場合、一次エネルギー消費量はどのシステムでも従来システムよりも低くなる。中でも、最も低くなるのは、太陽光・熱/コージェネシステムである。コストが従来システムより低くなるのは、コージェネシステム、太陽光・熱/コージェネシステムであり、高くなる

のは太陽光・熱システムである。このように、太陽光・熱/コージェネシステムは一次エネルギー消費量およびコストが共に低く、最適なシステムと言える。最適システムのシステムパラメータは、PV/SC 比が 0/100、蓄熱槽容量が 50 m³である。建物容積率が 1000%から 500%に減ると、太陽電池・集熱器の合計設置面積の増大に伴って一次エネルギー消費は減少するが、コストが上昇し、その結果、従来システムのコストを超えてしまう。

(2) 同一のシステムを病院に導入した場合、ホテルに導入した場合と同様、一次エネルギー消費量はどのシステムでも従来システムよりも低くなるが、その減少程度はホテルよりも小さい。コストが従来システムより低くなるのは、コージェネシステムのみであり、太陽光・熱/コージェネシステムや太陽光・熱システムは高くなる。太陽光・熱/コージェネシステムにおいて、太陽電池面積の比率を増していくと、一次エネルギー消費量は減少するが、コストが増加する。このように、病院においては、一次エネルギー消費量およびコストを共に低くできるシステムはない。

(3) 病院において、太陽光・熱/コージェネシステムの導入が経済的に成り立つためには、例えば、1.22 円/Mcal のエネルギー税の導入が必要である。エネルギー税額 1.00 円/Mcal は、需要家の経済的負担という観点からは、炭素税額 20 千円/t-C とほぼ同程度と考えられるので、その程度のエネルギー税額の導入は実現される可能性がある。

(4) 一次エネルギー消費量が最小になるように太陽光・熱/コージェネシステムを運用した場合、一次エネルギー消費量は、コスト最小運用の時より減少するが、コストはさほど上がらない。

以上のように、太陽光・熱/コージェネシステムは、現在の価格状況下においても、ホテルのような熱電比が高い施設に導入する価値があると言える。また、実現される可能性がある額のエネルギー税を導入することで、病院のような施設に対しても太陽光・熱/コージェネシステムの導入が経済的に成立するようになることが予想される。

（平成 12 年 7 月 4 日受付，平成 13 年 1 月 4 日再受付）

謝辞

本研究の一部に対して、日本証券奨学財団より助成を頂きました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 電気事業連合会統計委員会：「電気事業便覧（平成 11 年版）」，（社）日本電気協会，p.65，1999
- (2) 岡澤：「21 世紀のエネルギーと環境技術」，OHM，Vol.86，No.1，pp.57-64，1999
- (3) 見目 他：「炭素税及びエネルギー税導入下での戸建て住宅用太陽光・熱/大気熱システムの最適構成」，太陽エネルギー，Vol.23，No.2，pp.39-46，1997

- (4) 刈谷地区 ECO-ENE プロジェクト資料, 1998
- (5) 空気調和・衛生工学会編:「都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価」, 空気調和・衛生工学会, p.10, 1994
- (6) 織田 他:「多段型ニューラルネットを用いた日射量予測」, 電気学会論文誌 B, Vol.117-B, No.8, pp.1146-1151, 1997
- (7) 見目 他:「翌日の日射量を予測した太陽熱/電力給湯システムの運用」, 電気学会論文誌 B, Vol.119-B, No.10, pp.1056-1063, 1999
- (8) 榊原 他:「風力・太陽熱ハイブリッド利用暖房システムのシミュレーション」, 電気学会論文誌 B, Vol.105, No.9, pp.70-76, 1985
- (9) 谷, 横内:「系統連系型太陽光発電システムの最適設計」, 太陽エネルギー, Vol.18, No.5, pp.39-45, 1992
- (10) 日本エネルギー学会編:「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル '98」, 日本工業出版, p.187, 1998
- (11) 日本太陽エネルギー学会編:「太陽エネルギーの基礎と応用」, オーム社, pp.27-31, 1978
- (12) 日本エネルギー学会編:「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル '98」, 日本工業出版, p.239, 1998
- (13) 阿部 他:「民生用コージェネレーションシステムへの蓄熱槽の導入効果」, 太陽/風力エネルギー講演論文集(1999), pp.233-236, 1999
- (14) 松尾:「炭素税の現状とその政策オプションとしての位置付け」, 第 14 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.383-388, 1998
- (15) 松井 他:「税制改革と環境税の関係に関する研究」, エネルギー・資源学会第 18 回研究発表会, pp.165-170, 2000
- (16) 松岡 他:「我が国における二酸化炭素排出量の見通しとその抑制対策の効果について」, 土木学会論文集, No.580, pp.27-36, 1997
- (17) 後藤:「課税による CO₂ 排出量抑制の有効性について」, エネルギー・資源, Vol.14, No.1, pp.43-47, 1993

見目 喜重 (正員) 1995 年 3 月豊橋技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程満了。同年 4 月同大学電気・電子工学系助手, 現在に至る。工博。日本太陽エネルギー学会会員。

阿部 太志 (正員) 2000 年 3 月豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 4 月ローランドに入社。

滝川 浩史 (正員) 1986 年 3 月豊橋技術科学大学大学院工学研究科電気・電子工学専攻修士課程修了。以後, カナダ・シヤールブルック大学研究員, 豊橋技術科学大学電気・電子工学系助手などを経て, 現在, 助教授。工博。応用物理学会, プラズマ・核融合学会, フラーレン研究会会員。

河本 映 (正員) 1982 年 3 月豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了。現在, 静岡大学工学部助教授。工博。日本太陽エネルギー学会会員。

榊原 建樹 (正員) 1972 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。以後, 名古屋大学助手などを経て, 現在, 豊橋技術科学大学電気・電子工学系教授。工博。IEEE, 応用物理学会, 日本太陽エネルギー学会会員。