最適化手法に基づくマイクロタービン熱電併給システムの
需要規模に対する経済的導入可能性分析*蒲生恵司^{*1}, 横山良平^{*1}, 伊東弘一^{*1}Economic Feasibility Study of Microturbine Cogeneration Systems for
Various Maximum Energy Demands by an Optimization ApproachSatoshi GAMOU^{*2}, Ryohei YOKOYAMA and Koichi ITO^{*2} Department of Energy Systems Engineering, Osaka Prefecture University,
1-1 Gakuen-cho, Sakai-shi, Osaka, 599-8531 Japan

Economic feasibility of microturbines as cogeneration application is investigated. For this purpose, the relationships between the installation number of microturbine cogeneration units and maximum energy demands are surveyed based on an optimization approach. A method to obtain a maximum energy demand for which the optimal installation number changes is proposed by combining an optimal unit sizing problem and a non-linear equation with this problem as a lower level one. In the optimal unit sizing problem, equipment capacities except for microturbine cogeneration unit and utility maximum contract demands are determined together with the system's operational strategies so as to minimize the annual total cost subject to satisfaction of energy demand requirements. Based on this method, a map expressing the relationships between the optimal installation number and the maximum energy demands is illustrated. Through numerical studies for a hotel and an office building, the economic feasibility of the microturbine cogeneration system is clarified.

Key Words: Gas Turbine, Optimum Design, Systems Engineering, Cogeneration, Microturbine, Economic Viability Study, Map Expressing Installed Number

1. 緒 言

近年, 出力100kW以下のマイクロタービン⁽¹⁾ (以下, MTと記述) が分散型電源の一つとして注目されている^{(1),(2)}. その理由は, 再生器, 空気軸受, 高精度インバータ, 希薄予混合燃焼, 圧縮機およびタービンの発電機との一体化などの技術開発によって, MTが初期設備費が安い, 従来の小型ガスタービンより発電効率が低い, 信頼性が高い, 保守費が安い, NOx排出量が少ない, 軽量でコンパクトであるなどの利点を有しているからである. また, 従来のガスタービンは部分負荷での発電効率が低いという特性を持っているが, 小容量でも発電効率の高いMTの場合, 複数台導入することにより発電効率の低い部分負荷での運転を避ける

ことができるという特長も有している. 上記分散型電源としての注目に加えて, さらに排ガスを熱回収することが可能であり, MTは民生用の熱電併給システムの主機としても期待されている. しかしながら, この場合, 総合効率は高くなるが, いつくかの欠点も存在する. 例えば, 排熱回収装置が新たに必要のために初期設備費が高くなる, 排ガス温度が大容量のガスタービン発電機と比較して低いために排熱を冷房供給に有効利用できないなどが挙げられる. また, 発電効率も従来の小型ガスタービンと比較すると高いが, 他の熱電併給システムの主機と比較すると決して高いとはいえない. したがって, MTを民生用の熱電併給システムの主機として導入する場合には, 上記欠点を踏まえて経済的導入可能性を分析することが重要である. その際, 複数台導入することにより効果が増大するというMTが本来有している特長を考慮することも重要であると考えられる.

MTの民生用熱電併給システムへの導入可能性分析に関する研究は数多く行われている^{(3),(4),(5)}が, 様々な熱電比を持つ需要に対してその規模を連続的に考慮して導入台数を検討したものはない. 本論文では, 様々

* 原稿受付 2001年7月9日.

^{*1} 正員, 大阪府立大学大学院工学研究科(〒599-8531 堺市学園町1-1).

E-mail: gamou@ese.energy.osakafu-u.ac.jp

⁽¹⁾ 都市ガスを燃料として使用する場合にはマイクロガスタービンと記述されることもあるが, 灯油や軽油も使用可能であり, また欧米では通常 Microturbine と記述されるので, 本論文ではこの記述を用いる.

な熱電比を持つ需要の規模と最適な導入台数との関係を明らかにすることによって、MTの民生用熱電併給システムへの導入可能性を分析することを目的とする。以下では、そのための評価手法の提案と、その手法に基づいてホテルおよび事務所ビルに対して導入可能性に影響を与えると考えられる都市ガス料金を変化させて行った数値計算事例の結果について述べる。

2. 対象システム

具体的な対象システムとして図1に示すMT熱電併給システムを取り上げる。エネルギー需要量としては電力、冷熱および温熱の3種類を想定する。図中の機器記号は、MTU：MT熱電併給ユニット、BG：ガスボイラ、RW：温水吸収冷凍機、RG：ガス吸収冷温水機、RD：放熱器およびEP：受送電設備をそれぞれ表す。なお図中、一点鎖線は電力、破線は都市ガス、点線は冷水、実線は温水の流れをそれぞれ表す。

このシステムでは、MTUによる発電と買電によって電力が供給され、電力需要ならびにシステム内で消費される各種補機動力に消費される。余剰電力は受送電設備を通して電力会社に逆送される。MTUが稼働している際に発生する排熱は、90℃の温水として回収される。大容量のガスタービンの場合、排ガス温度が高いので利用価値の高い蒸気として熱回収することができるが、MTの場合、排ガスは再生器で熱交換した後に排出されるので温度が低く温水としてのみ熱回収することができる。回収された排熱は、冷熱および温熱に利用され、過剰となるものは放熱器を経て廃棄される。また、冷熱需要はMTUからの温水を熱源とする温水吸収冷凍機およびガス吸収冷温水機によって、温熱需要は排熱、ガス吸収冷温水機およびガスボイラによってそれぞれ賄われる。

3. 評価手法

上記システムに対して、MTUの導入可能性を分析

するために、需要の規模とMTUの導入台数との関係を明らかにする。このために、最適な導入台数が切り替わる需要規模を求めるという問題を考える。この問題は、 n 台のMTUが導入された場合のシステムの年間設備費と年間運用費との総和、すなわち年間総経費の最小値と、 $n+1$ 台のMTUが導入された場合の年間総経費の最小値が一致する最も小さい需要規模を求める問題に等しいと考えることができる。この問題の概念を一種類の需要の場合を例として示せば、図2のようになる。需要の種類が二つになれば、図2の年間総経費は曲面となり、求める需要規模は二つの曲面の交線、すなわち曲線として得られる。需要の種類が増えれば、求める需要規模は曲面や超曲面として得られる。このような問題を考えることにより、例えば需要の種類が二つの場合には、後述する図3に示すような需要規模とMTUの最適導入台数との関係を表すマップを得ることができると考えられる。本論文ではこのようなマップを用いて需要の規模とMTUの導入台数との関係を明らかにする。以下に、上記問題の構成および解法を示す。

3.1 問題の構成 上述した問題は次の非線形方程式の解を求める問題に帰着することができる。

$$f_n(s) - f_{n+1}(s) = 0 \quad (1)$$

ただし、 s は需要の規模を表す変数ベクトルを、 f_n は与えられた需要規模 s に対してMTUが n 台導入されたときの年間総経費の最小値をそれぞれ表す。

また、 f_n は、与えられた需要規模 s および需要パターンに対して、エネルギー需要量をバランスよく満足するように各種構成機器の運用方策を考慮しながら、MTU以外の機器の容量を電力や都市ガスなどのユーティリティ最大契約量とともに、年間総経費が最小となるように決定するという最適設計計画問題⁽⁶⁾の最適解における目的関数値として求めることができる。

上記のように、本問題は最適化問題を下位に持つ非線形方程式の解を求める問題として構成することがで

Fig. 1 Schematic diagram of a microturbine cogeneration system

Fig. 2 Concept for problem of finding maximum energy demand at which optimal installation number of MTU changes

きる。以下に、下位の最適化問題の定式化について簡単に記述する。

3.2 下位の最適化問題の定式化 最適化問題の定式化に際し、年間をいくつかの代表日およびサンプリング時間に分割し、各サンプリング時間に対して、平均的エネルギー需要量を推定する。また、機器容量の余裕を考慮するために夏期および冬のピーク需要量も推定する。以下の定式化において下付添字 t を各サンプリング時間を表す番号、 T を t の年間を通じてのすべての値の集合、 d_t をサンプリング時間 t の年間における相当時間とする。なお、下付添字 n および s はそれぞれMTUの導入台数および需要規模を表す。

決定変数は、図1に示したMTU以外の機器容量やユーティリティ最大契約量を表す設計変数ベクトル $\mathbf{x}$ と、各サンプリング時間 t におけるエネルギー需要量に対応する機器運用方策 $\mathbf{y}_t$ および $\mathbf{z}_t$ とする。ここで、 $\mathbf{y}$ はエネルギー流量を表す連続変数ベクトルで、 $\mathbf{z}$ は機器の運転・停止に対応する0-1整数変数ベクトルである。

目的関数は年間総経費である。年間総経費は年価法によって年間設備費と年間運用費の和として求められる。ここでは、各構成機器の初期設備費を容量の関数として表し、年間設備費を評価する。一方、年間運用費をユーティリティ基本料金とその従量料金の和として算定する。基本料金はユーティリティ最大契約量の関数として表すものとする。従量料金は、年間の機器運用方策に基づいて決定されるユーティリティ消費量から算定される。以上より、年間総経費 $J_{n,s}$ は、次式のように表される。

$$J_{n,s} = F_{n,s}(\mathbf{x}_{n,s}) + \sum_{t \in T} V_{n,s,t}(\mathbf{x}_{n,s}, \mathbf{y}_{n,s,t}, \mathbf{z}_{n,s,t}) d_t \quad (2)$$

ただし、 F は年間設備費と年間基本料金との和であり、設計変数ベクトル $\mathbf{x}$ の関数として表される。関数 V は単位時間当たりのユーティリティ従量料金を表す。 V は直接的にはユーティリティ消費量のみの関数であるが、後述の制約条件によって $\mathbf{x}$ 、 $\mathbf{y}_t$ および $\mathbf{z}_t$ の関数となる。ここで、 $J_{n,s}$ の最小値が式(1)における $f_n(\mathbf{s})$ となる。

制約条件として、各エネルギー需要量に対して各機器の性能特性を表すエネルギーの入出力関係、各エネルギー・フローについてのエネルギー・バランスおよび需給関係を考慮する。

図1に示された各機器の運転時における性能特性は、一般に各サンプリング時間ごとに一次式で精度よく近似できるので、ここでは入力量 u と出力量 v 、例えばMTUでは都市ガス消費量と発電量あるいは排熱

回収量との関係を基本的に次式で定式化する⁽⁷⁾。

$$\left. \begin{aligned} v &= p(\eta)u + q(\eta)\delta \\ \underline{u}(\eta)\delta &\leq u \leq \bar{u}(\eta)\delta \\ \delta &\in \{0, 1\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 δ は0-1整数変数であり、運転・停止状態を表現するために用いられ、 p および q は性能特性値、 $\underline{u}$ および $\bar{u}$ は入力量の下限值および上限値をそれぞれ表し、これらは容量 η の関数として考慮する。式(3)において、 u および v は $\mathbf{y}_t$ 、 η は $\mathbf{x}$ 、および δ は $\mathbf{z}_t$ の各要素をそれぞれ表す。ここで、式(3)中の係数 p 、 q 、 $\underline{u}$ および $\bar{u}$ をそれぞれ $p(\eta) = p'$ 、 $q(\eta) = q'\eta + q''$ 、 $\underline{u}(\eta) = \underline{u}'\eta + \underline{u}''$ 、 $\bar{u}(\eta) = \bar{u}'\eta + \bar{u}''$ のように近似する⁽⁸⁾。前文の $()'$ および $()''$ は近似式の定数を表す。上記近似において、係数 p は定数としている。これは、 p が η の一次関数によって近似した場合、式(3)第1式において η と u との積による非線形項が現れ、最適化問題を過度に複雑にするためである。一方、係数 q 、 $\underline{u}$ および $\bar{u}$ は η の一次関数によって近似している。これは、式(3)において η と δ との積による非線形項が現れるが、変数の置換および制約条件の付加によって厳密に線形化できるためである⁽⁸⁾。

また、エネルギー・バランスおよび需給関係を、各サンプリング時間について図1に示されたエネルギーの各分岐・合流点におけるエネルギー流量 $\mathbf{y}_t$ の線形等式関係式によって表現する。

以上より、制約条件式は、各サンプリング時間 t について、

$$\mathbf{C}_{n,s,t}(\mathbf{x}_{n,s}, \mathbf{y}_{n,s,t}, \mathbf{z}_{n,s,t}) = \mathbf{0} \quad (t \in T) \quad (4)$$

と表される。ここで、 $\mathbf{C}$ は制約条件式を表す関数から成るベクトルである。

3.3 問題の解法 上述の問題は、3.2節の最適化問題を下位問題として持つ非線形方程式の解を求めるという大規模なものとなる。また、前述したように複数種類の需要規模を同時に変数として考慮した場合、上述の問題は曲線、あるいは曲面や超曲面を求める問題となる。曲線などを数値的に直接求めるのは困難であるので、本論文では図3に示すように、求めるべき最適導入台数が切り替わる境界線上のいくつかの点を導出し、それらを結ぶことで近似的に曲線を求めることとする。図3は需要の種類が二つの場合の例であるが、需要の種類が増えればより多くの点を導出し、曲面や超曲面を近似的に求めることになる。

上記の各点の導出は以下のように行う。式(1)は需要の種類が一つであり、MTUの導入台数 n が与えられれば、一つの需要規模の値を求める問題となる。そこで本論文では、各最大需要量の比を固定し、ある一つ

の需要の最大値を需要規模とみなし、図3に示すように比が一定の直線上で最適導入台数が切り替わる点を求めることとする。この比およびMTU導入台数 n を様々に変化させることにより、多くの点を導出することで近似的に曲線、あるいは曲面や超曲面を求める。

なお、各点を求める一変数の場合の非線形方程式(1)は、微分値を必要とせず、関数値のみを利用する二分法と割線法とを組み合わせたBrent法⁽⁹⁾を用いて解く。また、関数値を求める下位の最適化問題は、混合整数線形計画問題として定式化し、一般的解法であるGAMS/CPLEX⁽¹⁰⁾を用いて解く。

4. 計算事例

4.1 計算条件 検討対象として、ホテルおよび事務所ビルを取り上げる。各エネルギー需要量は、年間に冬期、夏期および中間期代表日と冬期および夏期ピーク日の計5代表日を設定し、各代表日を2時間ご

との12サンプリング時間に分割したものを推定した。推定された需要の一例として、電力最大需要量400kWh/hのものをホテルおよび事務所ビルに対してそれぞれ図4および5に示す。推定された電力、冷熱および温熱の最大需要量の比は、ホテルおよび事務所ビルに対してそれぞれ約1:1.2:1.6および約1:1.6:1.3である。本計算事例では、冷熱と温熱との間の比は固定し、これらと電力との間の比を様々に変化させることとする。これにより、独立な需要の種類が3つから2つに減少し、図3のように二次元的に結果を把握しやすくなる。また、この最大需要量の熱電比の変化に伴って、図4および5の需要パターンも線形的に変化する。

MTUとしてHoneywell社製のものを参考とし、最大出力が75kWのものを取り上げる。性能特性はHoneywell社のカタログに基づいて設定する。MTUは吸気温度によって性能特性が大きく影響を受ける。図6は吸気温度とMTUの最大出力および発電効率との関係を示したものである。また、本計算事例における各代表日のサンプリング時間ごとの吸気温度として採用した外気温を図7に示す。

表1に各構成機器の代表的な性能特性値および初期設備費単価を示す。表中、MTUの初期設備費単価はパラメータ α とし、15および25万円/kWの2ケースを取り上げる。前者は排熱回収装置を含んだMTUの将来的な目標値であり、後者は現状より少し安くなった場合を想定した値である。電力の料金体系は表2に示すものを、都市ガスの料金体系は表3に示すものをそれぞれ採用する。都市ガスについては料金体系の違いによる影響を分析するために、表3に示すように2種

Fig. 3 Concept for solution method

Fig. 4 Hourly energy demands (hotel, maximum electricity demand of 400 kWh/h)

Fig. 5 Hourly energy demands (office building, maximum electricity demand of 400 kWh/h)

類のものを取り上げる。ガス1はトータルエネルギーシステム契約を、ガス2は小型空調契約をそれぞれ想定したものである。ガス1の方がガス2よりも都市ガス従量料金単価が安いという違いがある。

以上の二つのMTU初期設備費単価および都市ガス料金体系に対して、電力および熱需要の最大値の比を変化させながら、3章で述べた手法を用いて最適導入台数の切り替わる境界線を求める。

4.2 計算結果および考察

4.2.1 ホテルの場合 図8および9に、MTU初期設備費単価 α がそれぞれ15および25万円/kWの場合の、ガス1における上述の境界線を求めることによって得られた最大エネルギー需要量とMTUの最適導入台数との関係を表すマップを示す。図の横軸は電力最大需要量を表し、縦軸は冷熱および温熱最大需要量を

Fig. 6 Relationship between intake air temperature and maximum output power or electrical generating efficiency at rated load

表している。また、最適導入台数が変化しない領域を模様分けして示している。なお、凡例中のかっこ内は導入されたMTUの総容量を表している。図8によれば、MTUの最適導入台数が切り替わる境界線はL字に近い状態になっている。この結果から、ある程度熱最大需要量が大きい範囲では、MTUが導入される電力最大需要量がほぼ同じであり、電力最大需要量の増加に伴って最適導入台数も増加することがわかる。逆に熱最大需要量が小さければ、電力最大需要量が大きくなっても最適導入台数が変わらないということがわかる。また、冷熱の最大需要量が100kWh/h以上の範囲では、1台目が導入されるのは電力最大需要量がMTUの最大出力である75kWよりも小さいときであることがわかる。これは、熱需要量が多い場合にはMTUの導入可能性が非常に高いことを示している。このように小さな需要規模でMTUが導入される大き

Fig. 7 Ambient air temperature

Table 1 Performance characteristic values and capital unit costs of equipment

Equipment	Performance characteristic value (rated load)	Capital unit cost
Microturbine cogeneration unit	Electrical generating efficiency 0.288*1,*2 Exhaust heat recovery efficiency 0.351*1,*2	α yen/kW
Gas-fired absorption refrigerator	Coefficient of performance 1.12*1 (space cooling) Thermal efficiency 0.93*1 (space heating)	38.7×10^3 yen/kW
Single-stage absorption refrigerator	Coefficient of performance 0.69	43.7×10^3 yen/kW
Gas-fired boiler	Thermal efficiency 0.91*1	12.9×10^3 yen/kW
Radiator	Electricity consumption rate 0.0096	12.8×10^3 yen/kW
Receiving device for purchased/reversed electricity	—	56.0×10^3 yen/kW

*1 The net thermal efficiency is calculated under the assumption that the lower heating value of natural gas is 11.55 kWh/m³

*2 When intake air temperature is 15 °C

Table 2 Rates for purchased electricity

	Unit cost		
	Customer charge	Demand charge	Energy charge
Purchased electricity	—	1 620 yen/(kW · month)	14.15(summer) yen/kWh 12.86(other seasons) yen/kWh
Reversed electricity	—	—	8.30(10:00~17:00 in summer) yen/kWh 6.20(8:00~22:00 except above hours) yen/kWh 3.40(22:00~8:00) yen/kWh

Table 3 Rates for natural gas

	Unit cost		
	Customer charge	Demand charge	Energy charge
Gas 1	24 800 yen/month	850 yen/(Nm ³ /h · month)	43.13 yen/Nm ³
Gas 2	1 700 yen/month	—	83.82(winter) yen/Nm ³ 56.87(other seasons) yen/Nm ³

Fig. 8 Map expressing relationship between optimal installation numbers and maximum energy demands(hotel, gas 1, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW)

Fig. 9 Map expressing relationship between optimal installation numbers and maximum energy demands(hotel, gas 1, $\alpha=250 \times 10^3$ yen/kW)

な要因の一つは、MTUの初期設備費単価の安さであると考えられる。これに対して、図9では境界線は全体的に右斜め上方向に移動しており、図の範囲内では2台までしか導入されない。この結果から、MTUの導入可能性における α の影響は大きいということがわかる。

次に、図10に $\alpha=15$ 万円/kWのときのガス2におけるMTUの最適導入台数マップを示す。 $\alpha=25$ 万円/kWのときには、電力および冷熱最大需要量が400kWh/h以下の範囲でMTUは1台も導入されないという結果であったので省略する。この図によれば、電力と冷熱の最大需要量が400kWh/h以下の範囲では最大でも1台しか導入されず、ガス1に比較して明らかにMTUが導入されにくいことがわかる。この結果より、MTUの導入において都市ガス従量料金単価の影響は非常に大きいことがわかる。図8～10によれば、本計算事例の料金単価の違いは、 α が10万円/kW高くなるよりもMTUを導入しにくくするということを示している。また、境界線はガス1の場合に比べて傾きが緩く、電力と熱需要とのバランスがとれていないとMTUは導入されにくいこともわかる。

図11および12に、一例としてそれぞれ図8および9中の原点と点Aとを結ぶ直線上における電力最大需要量に対するMT熱電併給システムの年間総経費を示す。この直線は熱電比が一定のものであり、その値および需要パターンは一例として示した図4に等しい。両図中では、MTUの導入台数が0～3の場合と最適導入台数の場合のものを示している。図11より、導入台数によって年間総経費が需要の規模に対してどのように変化しているかが読み取れる。すなわち、導入台数が1～3の場合には需要規模に対する傾きが電力最大需

Fig. 10 Map expressing relationship between optimal installation numbers and maximum energy demands(hotel, gas 2, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW)

要量が小さい範囲で導入台数0の場合のそれより小さいが、電力最大需要量が大きくなるとその傾きがほぼ等しくなっていくことがわかる。最適導入台数の場合の傾きは、0台のそれよりも常に小さいものとなっている。また、最適導入台数が大きい場合には導入台数が最適値から1台程度変化しても年間総経費の差は小さいということがわかる。一方、図12ではMTUの初期設備費が高いために電力最大需要量が小さいときの年間総経費が高く、導入される電力最大需要量が大い方向に移動していることがわかる。

図13にガス2における電力最大需要量と年間総経費との関係を示す。この図によれば、電力最大需要量が400kWh/h以下の範囲では、各台数による年間総経費の差はガス1の場合に比較して非常に小さいことがわかる。

図14に各ケースにおけるMTUを導入しない場合に対する年間総経費の削減率を示す。この図によれば、

Fig. 11 Annual total cost (hotel, gas 1, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW) Fig. 12 Annual total cost (hotel, gas 1, $\alpha=250 \times 10^3$ yen/kW) Fig. 13 Annual total cost (hotel, gas 2, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW)

Fig. 14 Reduction rate of annual total cost(hotel)

Fig. 15 Optimal capacity(hotel, gas 1, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW)

需要規模が大きくなるほど削減率が大きくなることがわかる。このことは、MTUを複数台導入した方が年間総経費削減率が大きくなるということも意味する。また、ガス1かつ $\alpha=15$ 万円/kWの場合、電力最大需要量が200kWh/h以上の範囲で約10%の削減率が得られるが、 $\alpha=25$ 万円/kWおよびガス2の場合、削減率は非常に小さい。このことから、 α や都市ガス従量料金単価がMTUの経済的導入可能性に与える影響は大きいことがわかる。

図15にガス1かつ $\alpha=15$ 万円/kWの場合における電力最大需要量に対する各機器最適容量の変化を示す。図中、最適導入台数の切り替わる電力最大需要量では、両方の導入台数に対する各機器最適容量を示している。他のケースは、傾向がほぼ同じなので省略する。この図によれば、MTUの導入台数が増えることによって、ガス吸収冷温水機(RG)、ガスボイラ(BG)および受電設備(EP)の最適容量は小さくなり、温水吸収冷凍機(RW)および放熱器(RD)のそれは大きくなっている。また、MTUの導入台数が同じであれば、電力最大需要量の増大に伴って、RG、BGおよびEPの最適容量は大きくなり、一方、RWのそれはわずかに大きく、RDのそれは急激に小さくなっている。

4.2.2 事務所ビルの場合 図16にガス1かつ

Fig. 16 Map expressing relationship between optimal installation numbers and maximum energy demands (office, gas 1, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW)

$\alpha=15$ 万円/kWにおけるMTUの最適導入台数マップを示す。その他のケースについては、電力および冷熱最大需要量が400kWh/h以下の範囲ではMTUは1台も導入されないという結果が得られたので省略する。図17および18に図16中の原点と点Bとを結ぶ直線上における年間総経費および各機器最適容量を、図19にMTUを導入しない場合に対する年間総経費削減率をそれぞれ示す。なお、原点と点Bとを結ぶ直線上では熱電比は一定であり、その値および需要パターンは図5のもの

Fig. 17 Annual total cost (office, gas 1, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW)

Fig. 18 Optimal capacity (office, gas 1, $\alpha=150 \times 10^3$ yen/kW)

Fig. 19 Reduction rate of annual total cost (office)

に等しい。

図16によれば、MTUの最適導入台数が切り替わる境界線はL字に近い状態になっている。しかしながら、ホテルの場合と違い、電力および熱最大需要量が大きい方向に移動している。特に、熱最大需要量の移動量が大きい。これは、事務所ビルの場合、熱需要の負荷率が低いために、MTUを有効に利用するためには熱最大需要量が大きくなくてはならないからであると考えられる。また、ホテルの場合と比べて2台目の導入は電力および熱最大需要量がかかなり大きくなると行われないうこともわかる。図11および17によれば、事務所ビルの方が、最適導入台数と導入0台の時の年間総経費の差が非常に小さいことがわかる。これは図14と図19を比較すれば明らかである。したがって、事務所ビルの場合、経済的な効果も小さいということがわかる。これらの結果に加えて、その他のケースの場合では、電力および冷熱最大需要量が400kWh/h以下の範囲では導入されないことより、事務所ビルはホテルよりも導入可能性が低いことがわかる。なお、図15と18を比較すれば、ほぼ同じ傾向であるが、事務所ビルの場合にはガスボイラがほとんど導入されず、また放熱器の容量もあまり変化しないという結果になっている。

5. 結 言

本研究では、マイクロタービンの最適な導入台数が切り替わる需要規模を求める方法論を提案し、この手法に従ってマイクロタービンの最適導入台数と需要規模との関係を明らかにすることにより、マイクロタービンの経済的導入可能性を分析した。その結果、以下の事柄がわかった。

(1) 本手法に基づいたマップにより、マイクロタービンの最適導入台数と様々な熱電比を持つ需要の規模との関係をわかりやすく表現することができ、適切な

導入台数を容易に評価および分析することができる。

(2) また、本手法に基づいてシステムの年間総経費と需要規模との関係も容易に分析することができる。

(3) 本計算条件下では、ホテルへのマイクロタービンの導入可能性は高い。導入しない場合に対する年間総経費の削減率は約10%である。

(4) マイクロタービン・コージェネレーション・ユニット初期設備費単価および都市ガス従量料金単価がマイクロタービンの導入可能性に与える影響は非常に大きく、需要規模に対する最適導入台数は大きく変化する。

(5) 事務所ビルへのマイクロタービンの導入可能性は低く、ホテルの約2倍の需要規模にならないと同一最適導入台数にならない。また、たとえ同じ導入台数であっても、年間総経費の削減率は半分以下である。

文 献

- (1) 高瀬, マイクロガスタービン発電装置, コージェネレーション, 13-2(1998), 38-47.
- (2) W. G. Scott, Micro-Turbine Generators for Distribution Systems, *IEEE Industry Applications Magazine*, May/June(1998), 57-62.
- (3) 今村・浅野, エネルギー価格設定とマイクロタービン発電システムの経済性分析, 第16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, (2000), 637-642.
- (4) 安芸・他, 総合的なエネルギー供給におけるマイクロガスタービン導入とエネルギー料金変化に関する分析, 第17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, (2001), 537-542.
- (5) 奥田・他, マイクロガスタービン・コージェネレーションシステムの導入評価, エネルギー・資源学会第20回研究発表会講演論文集, (2001), 239-244.
- (6) 伊東・横山, コージェネレーションの最適計画, (1990), 産業図書, 111.
- (7) 文献(6)の27ページ.
- (8) 横山・他, 混合整数線形計画法の一分解法によるエネルギー供給システムの機器構成最適化, 機論, 66-652, C (2000), 4016-4023.
- (9) Brent, R. P., *Algorithms for Minimization without Derivatives*, (1973), Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- (10) Brooke, A., Kendrick, D., and Meeraus, A., *GAMS Release 2.25 a User's Guide*, (1996), GAMS Development Corp.