ビル用エネルギー供給システムの最適更新計画*
(問題構成と経済性分析)吉田 修^{*1}, 伊東 弘一^{*2}, 横山 良平^{*2}Optimal Renewal Planning of Energy Supply Systems for Buildings
(Problem Formulation and Economic Analysis)Shu YOSHIDA^{*3}, Koichi ITO and Ryohei YOKOYAMA^{*3} Research and Development Center, Kansai Electric Power Co., Inc.,
3-11-20 Nakoji, Amagasaki-shi, Hyogo, 661-0974 Japan

An optimization method has been proposed for the renewal planning of energy supply systems installed into buildings. Assuming the raise of future equipment's energy efficiency, the renewal year is determined optimally together with the structure of renewal system. In the mathematical optimization formulation, the average value of the annual total cost of the system during the evaluation period is minimized in consideration of system's operational strategy corresponding to seasonal and hourly energy demands requirement. Through the numerical study for an office building, it is shown that 2~3% reduction of the average value of the annual total cost could be achieved if the renewal planning could be optimized based on the proposed method. The influence of the following items on the renewal solution is also clarified; i.e., available types of equipment to be installed newly, upgrading rates of performance, and so on. For example, it is recognized that the optimal renewal year becomes later if the future upgrading rate of equipment's performance is assumed to be high enough.

Key Words: Energy Saving, Systems Engineering, Optimal Design, Energy Supply Planning, Renewal, Economic Analysis

1. 緒 言

我が国の事務所・ホテル・病院などの各種ビルは、近年約60年前後と長寿命化が計られてきている。一方で、これらのビルが必要とする冷暖房や給湯などのエネルギーを供給するシステムの寿命は高々15~20年程度にすぎない。したがって、新築ビルに対するシステム導入の計画よりも、システムの更新計画の割合が多く発生することとなる。

上述のエネルギー供給システムの更新においては、すべての機器が撤去されて新しいシステムに置換されることはほとんど無く、省エネルギー化を促進して行く新しいビジネス手法として注目を集めているESCO(Energy Service Company)事業に例示されるように、一部の機器が適当に更新される場合が一般的である。

上記システムの更新計画においては、既存システム

の今後の機器劣化を含めた性能特性、メンテナンス費、更新時の撤去機器下取り価格、今後の各種技術進歩を反映した新型高効率機器の性能特性および価格、更新時の工事費、年間に渡るエネルギー需要量および更新システムの運用方策、入力エネルギー料金体系、金利を含む経済因子など、様々な要因を総合的に考慮して計画立案を行っていく必要がある。

従来、このような更新計画問題の立案に対して、システム設計者らは自らの過去の経験と勘に基づいて試行錯誤的にいくつかの代替案を比較検討し、適当にシステム更新時期と既設撤去機器および新規導入機器類を決定してきたのが現状である。その理由は、新設システムに対するいくつかの計画手法⁽¹⁾や多段階システム拡張計画問題に対する研究⁽²⁾はなされているものの、システムの更新計画に対する合理性に富む方法論に関する研究が皆無といえる程過去なされてこなかったことに起因するものと思われる。また、新設システムの計画よりも更新計画の問題がより多様な各種要因を総合的に考慮する必要があるため、より複雑な計画問題の構成となり、求解もより困難性を伴っている。しかしながら、ESCO事業に代表されるように、システム

* 原稿受付 2005年12月19日。

^{*1} 正員、関西電力(株)研究開発室エネルギー利用技術研究所
(〒661-0974 尼崎市若王子3-11-20)。^{*2} 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: yoshida@ese.me.osakafu-u.ac.jp

Fig. 1 Structure of optimal renewal planning

更新による省エネルギー化の促進は社会的にも切望されている課題であり、また更新計画問題がより複雑であればある程、より合理的方法論の探索が必要とされているものと考えられる。

本研究では、以上述べてきた視点より、一つのシステム計画手法として最適化手法に基づくエネルギー供給システム更新計画のための方法論的検討を行ったものである。ここで、最適化手法を導入した理由は、それが、勘に基づく試行錯誤的方法論よりもより合理性に富むシンセシス手法と考えられるからである。以下では、まず最適更新計画問題の概要と解法について述べる。また、標準的ビルに対する数値計算を通じて、新規導入可能な機器機種や、今後の性能向上の相異による影響について分析を行う。

2. 最適更新計画問題

2.1 問題構成の概要 図1は、本研究で考察したビル用エネルギー供給システムの最適更新計画問題の構成の概要を示したものである。年の経過を表す変数を t とし、 $t=0$ で導入された既存システムの更新計画を、現時点 $t=t_0$ で行うものとする。更新は、システムの評価期間 $t=t_0 \sim t_0+T$ (すなわち T は評価期間の長さ) の間の $t=\tau$ 年での一回のみ実施されるもの

とする。ただし、図中で $\tau=\tau^*$ は最も望ましいと判断された最適更新年を表した値であり、この τ^* は以下に述べる最適化手法により決定される未知変数である。システムの更新に関しては、既存システムの効率の低いまたは不経済で不要な機器を撤去し、さらに図中に示す新規導入可能な代替機器群の中から選定され、更新システムが構成される。ここで、撤去機器、および新規導入機器の機種ならびに機器容量は最適化手法により決定される未知変数である。新規導入機器の同一機種の台数は、方法論的には複数台としても問題構成が可能ではあるが、本報においては簡単に一台のみと仮定する。なお、既存および新規導入機器は、評価期間内においてその寿命に達しないものと仮定する。

2.2 システム経済性評価 次にシステム評価に関しては、経済性のみを考慮する。すなわち、省エネルギー性や環境性を考慮した多目的最適化に関しては今後の課題とする。図2は、システムの経済性検討における諸経費の発生を示したものである。まず、システム新設時 ($t=0$) および更新時 ($t=\tau$) においてそれぞれ新設設備費および設備更新費が発生する。さらに、図2に示すように毎年の運用費としての入力エネルギー費およびメンテナンス費が発生する。その他の

Fig. 2 Economic evaluation of renewal system

経費としては人件費などが発生するが、ここではシステムの更新代替案に関連せず一定として経済性評価の経済項目から除くものと仮定する。

以上の経費項目の経済性分析を、本手法においては基本的に年価法に基づいて行うものとする。すなわち、各機器の耐用年数をここでは単純に機種によらず一定（方法論的には機種に依存させることも可能）で κ 年とし、金利を $i\%$ /年、耐用年数後の残存価値率を ε と仮定する。また、更新における既存機器撤去時の売却費は、その残存価値に下取り評価率 w を乗じた値とする。さらに、新規導入機器の設備費は、ここでは単純に機器容量に比例するものとする。また、機器導入に関連した工事費は機器設備費に工事費用率 β を乗じて算出する。次に、年間入力エネルギー費については、電力およびガスなどの料金体系を反映した定額基本料金、流量基本料金、および従量料金に基づいて計算する。この際、年間に渡って変動する各時刻のエネルギー需要量に対して、入力エネルギー費をシステム運用方策の関数として考慮する⁽³⁾⁽⁴⁾。また、年間のメンテナンス費に関しては、各機器の容量に機種により異なる値の比例係数を乗じて算出する。これらのシステム更新時の機器設備および工事費を含めた年間設備費、年間入力エネルギー費および年間メンテナンス費の合計である年間総経費を評価期間 T の各年についてそれぞれ現在価値に換算する。これらの各年に対して異なる年間総経費の評価期間 T 内における平均値を本計画問題における最小化すべき目的関数として採用する。

2.3 その他の前提条件 年間に渡るエネルギー需要量に関しては、システム検討期間内において変化しないものと仮定する。更新に際し新規導入可能な各種代替機器の効率 η は、新設時から機種毎に毎年一定率 α_j （ただし j は機器機種を表す）で向上するものと仮

定する。ただし、方法論的には機器効率向上が一定でなくてもよい。既存および導入機器の劣化に関しては、システムの評価期間内において新設時および更新時にエネルギー需要の各種種類に対するシステムとしての供給余裕率が無い場合、供給不足を生じる事態となる。方法論的には、機器劣化率を機種毎に導入して定式化が可能である。本報においては、他の各種要因が更新計画に及ぼす影響をまず分析する目的を優先し、劣化が無いものとし、システム供給余裕率は零と仮定した。

各機器の部分負荷に対する性能特性に関しては一次式で近似することも可能であるが、最適解導出に長時間を要するため、ここでは単純に線形近似した。なお、本計画問題の詳細な定式化に関しては紙面の制約上省略する。

2.4 解法 以上述べてきた最適更新計画問題は、混合整数線形計画問題として定式化できる。ここで、未知変数として 0-1 整数変数が必要となるのは、既存システムの各機器存続・撤去および新規導入機器としての採用・非採用を定式化する必要が生じるためである。

本最適化問題における最小化すべき目的関数は前述したようにシステムの年間総経費の平均値であり、未知変数は既存システム撤去機器、新規導入機器機種およびその機器容量、各種エネルギー需要量に対するシステム運用方策、最適更新年 τ^* である。

制約条件としては、各機器性能特性、各種エネルギー需給条件、新規導入可能な機器の容量上・下限制約である。

本問題に対する数値計算法としては、分枝限定法とシンプレックス法を組み合わせた GAMS/CPLEX⁽⁵⁾を採用した。なお、システムの新設時に対する最適計画問題と異なり、更新計画問題においては、各種機器の将来に渡る性能特性向上を考慮する必要上、評価期間の各年においてシステムの運用方策および運用費などが変化するため、解の導出がより難しくなる特徴がある。

3. 事務所ビルに対する数値分析

3.1 前提条件 本報では、2章で提案した最適更新計画の問題構成の妥当性を検証するために、延床面積が約 15 000m² の標準的事務所ビルを対象として数値分析を行った。その基礎となるエネルギー需要量の想定を文献⁽⁶⁾に基づいて行った。

まず、対象ビルの年間に渡るエネルギー需要量に関しては、各季節（夏・冬・中間期）の3代表日に夏期・冬期の2最大需要日を加えた5代表日における1時間

Table 1 Economic and performance characteristic values of existing equipment

Equipment	Capital unit cost	Maintenance unit cost	Capacity	Performance characteristic value
Electric compression refrigerator	12 600 yen/kW + 10.626×10^6 yen	597 yen/(kW·y)	1 041 kW	COP* (space cooling) 4.07
Steam boiler	3 720 yen/kW + 0.591×10^6 yen	—	113 kW	Thermal efficiency (space heating) 0.89
Gas-fired absorption refrigerator	11 400 yen/kW + 7.11×10^6 yen	995 yen/(kW·y)	2 084 kW	COP* (space cooling) 0.96 Thermal efficiency (space heating) 0.89

*COP=Coefficient of performance

(a) Summer peak

(b) Winter peak

Fig. 3 Example of hourly energy demands

毎のデータを採用した。その一例として図3に夏期・冬期最大需要日の電力・冷暖房需要量を示す。なお、年間に渡る電力・冷房・暖房需要の最大値はそれぞれ555, 2083, 691kWh/hである。

既存システムは図4の上部に示すターボ冷凍機(RE), 蒸気ボイラ(BS)およびガス吸収式冷温水器(RG)各1台より構成され、電力は買電により供給されるものとする。なお、これらの機器類の新設時の設備費、メンテナンス費単価、容量(RGは冷房能力で表示)および新設時の効率を表1に示しておく。ただし、BSのメンテナンス費は無視した。新規導入可能な機器機種としては、図4の下部に示すように、既存機種RE, BSおよびRGに加えて電動ヒートポンプ(HP), ブラインヒートポンプ(HB)とそれに付随したブライン熱交換器(HEB)および温水・氷蓄熱槽(IHB)を考慮する⁽⁷⁾。ここで、HPは新設時のシステムに採用されなかった

New type of alternative equipment to be installed

Fig. 4 Structure of renewal system

が、当時導入可能な機器機種であった。一方、HBはここ数年前に開発された新型機器機種である。なお、HEBおよびIHBの機器容量はHBに比例的に決定されるものとし、またそれらの機器設備費はHBにすべて含めて考慮した。また、表2に新規導入可能な各機器の設備費、メンテナンス費単価、最小機器容量および現時点における効率を示す。なお、最大機器容量に関しては複数台の機器導入を想定してここでは制約を設けない。また、RG, HPおよびHBの冷房と暖房を共に出力可能な機器の容量に関しては、冷房供給能力に基づいて表す。

次に、システムの更新に関して、表3に示す各種前提条件を設定した。すなわち、システムの新設時から $t_0=7$ 年後の時点で更新計画の検討を行うものとし、評価期間の長さを $T=15$ 年とする。また、既設および新規導入各機器の耐用年数を、ここでは単純にすべて同一に $\kappa=22$ 年と仮定する。システムの経済性評価

Table 2 Economic and performance characteristic values of equipment installed newly

Equipment	Capital unit cost	Maintenance unit cost	Range of capacity		Performance characteristic value
			Min	Max	
Electric compression refrigerator	12 600 yen/kW + 10.626×10^6 yen	597 yen/(kW·y)	352 kW	—	COP* (space cooling) 5.5
Steam boiler	3 720 yen/kW + 0.591×10^6 yen	706 yen/(kW·y)	125 kW	—	Thermal efficiency (space heating) 0.9
Gas-fired absorption refrigerator	11 400 yen/kW + 7.11×10^6 yen	995 yen/(kW·y)	352 kW	—	COP* (space cooling) 1.1 Thermal efficiency (space heating) 0.9
Electric heat pump	44 700 yen/kW + 0.35×10^6 yen	110 yen/(kW·y)	118 kW	—	COP* (space cooling) 3.1 Thermal efficiency (space heating) 2.7
Brine electric heat pump system	67 300 yen/kW + 3.7×10^6 yen	894 yen/(kW·y)	118 kW	—	Thermal efficiency (space heating) 3.1 COP* (space cooling) 2.7 Thermal efficiency (brine) 3.0 COP* (brine) 2.0

*COP=Coefficient of performance

Table 3 Values of miscellaneous parameters

Item	Symbol	Value
Present year	t_0	7 y
Evaluation period	T	15 y
Life of equipment	κ	22 y
Interest rate	i	3 %/y
Trade-in value rate	w	0.5
Salvage value rate	ε	0
Construction cost rate	β	0.2

に関連して、金利 $i = 3\%$ /年、機器の下取り評価率 $w = 0.5$ 、残存価値率 $\varepsilon = 0$ および更新時新規導入機器工事費用率 $\beta = 0.2$ とする。

以下の数値分析においては、更新時に表3に示す機器機種がすべて導入可能とした場合(ケース A)と、HB および HEB と IHB が導入可能でない場合(ケース B)の比較分析も行うこととした。

次に、入力エネルギーとしての電力およびガスの料金体系を表4に示す。なお、RE、RG および HP には上水が必要となるため、その単価を表4に示す。

新規導入可能機器類の年間性能向上率 α_j に関しては、過去の技術進歩の動向をデータ収集・分析し、表5のケース A および B のように想定した。ただし、表5の α_j は年度毎に複利的に変化するのではなく、現時点を基準として差率的に効率向上するものとした。さらに、技術進歩による機器機種性能向上が更新計画に与える影響を分析するために、ケース A に対して機器毎に技術進歩を変化させた以下の3つのケース(A-1～A-3)を想定して追加検討した。これらのケースでは、

これまでの実績的な技術進歩の割合(ケース A)よりも、今後の性能向上が低くなるものと仮定した。

- ケース A-1:性能向上が少し低い場合
- ケース A-2:性能向上が低い場合
- ケース A-3:性能向上がほとんど見込めない場合

3.2 最適更新解 3・1節で述べた前提条件の下に、2・4節の手法に基づき最適解を導出した。図5に、ケース A, B におけるそれぞれの最適更新年 $\tau^* = 10$ および 12 年に対する年間総経費削減率を示した。なお、参考までに、更新年 τ を変化させた場合の削減率を同時に図示した。ここで削減率は、更新を将来全く行わない場合の評価期間 T 内における年間総経費をそれぞれ現在価値に換算した値の平均値を基準としている。

また、図6はケース A、最適更新年 $\tau^* = 10$ 年における夏期日に対するシステムの最適運用方策を示したものである。

表6は、図5に示す更新解における撤去機器ならびに新規導入機器の機種と最適機器容量を示している。

図7には、ケース A および A-1～A-3 に対する年間総経費削減率の τ に対する変化を示した。なお、図8は、図7の各ケースに対する検討期間中の撤去機器および新規導入機器機種を更新年 τ に対して示したものである。

なお、1つのケースに対する最適解の導出に必要な計算時間は、ワークステーション HP Alpha Station DS15 で約 30～40 分であった。

3.3 結果に対する考察

Table 4 Rates of purchased electricity, natural gas and water

Utility	Unit cost		
	Customer charge	Demand charge	Energy charge
Electricity	—	1.66×10^3 yen/(kW · month)	(Summer) 11.43 yen/kWh (Middle, winter) 10.39 yen/kWh
Electricity for thermal storage	—	—	(22:00 ~ 8:00) 4.28 yen/kWh
Natural gas	75×10^3 yen/month	(Summer, middle) 0.928×10^3 yen/(month · m ³ /h) (Winter) 2.247×10^3 yen/(month · m ³ /h)	(Summer, middle) 28.19 yen/m ³ (Winter) 32.10 yen/m ³
Water	—	—	550 yen/m ³

Table 5 Upgrading rate of performance of equipment

Equipment			α_j			
			Cases A&B	Case A-1	Case A-2	Case A-3
Electric compression refrigerator	α_{RE}	Space cooling	5 %/y	3 %/y	2 %/y	1 %/y
Steam boiler	α_{BS}	Space heating	0.2 %/y	0.2 %/y	0.2 %/y	0.2 %/y
Gas-fired absorption refrigerator	α_{RG}	Space cooling	2 %/y	2 %/y	2 %/y	1 %/y
		Space heating	0.2 %/y	0.2 %/y	0.2 %/y	0.2 %/y
Electric heat pump	α_{HP}	Space cooling	5 %/y	3 %/y	2 %/y	1 %/y
		Space heating	5 %/y	3 %/y	2 %/y	1 %/y
Brine electric heat pump system	α_{HB}	Space cooling	5 %/y	3 %/y	2 %/y	1 %/y
		Space heating	5 %/y	3 %/y	2 %/y	1 %/y

Fig. 5 Reduction rate of average value of annual total cost (influence of new type of equipment)

Fig. 6 Optimal operation of the system (case A, $\tau^* = 10$ y, summer)

3.3.1 新規導入可能な機器機種の影響 図5から、ケース A および B の最適な更新年はそれぞれ $\tau^* = 10$ 年および 12 年である。このときの更新によるシステム年間総経費削減率はケース A および B でそれぞれ 2.9 および 2.7% である。このように、ケース B と比較してケース A のように更新時に新規導入可能な機器機種が多い程、更新によりシステムの経済性向上が計れることが明示されている。ケース A の最適更新年がケース B に対して 2 年早まっているのは、HB という高性能な新型機器が導入可能となった影響を反映した

ものである。更新計画を行った現時点 t_0 が最適更新年とならないのは、表 5 に示すように年経過とともに機器性能の高い機器群の導入が可能となるためである。しかしながら、システムの評価期間が終了する間近になって更新を実行するのであれば、高性能な新規導入機器の全評価期間における寄与率が低下するため、その効果は低減してしまう結果となる。

図 6 は、これらの最適更新計画案の計算過程において導出されたシステムの最適運用計画に関する結果

の一例であるが、安価な夜間電力を HB が適切に活用して冷水を蓄熱し、昼間に上手く利用していることが判る。

次に、表 6 に示す結果に基づいて、各ケースの更新後のシステム機器構成について分析する。まず、ケース A に関しては、相対的に性能が低い既存機器である RE および RG を撤去する結果となっている。一方、BS に関しては新規導入可能機器の性能向上率が非常に小さいため、全更新年 τ に対して存続する結果となっている。新規導入機器については、更新年が遅くなるに従って、まず RG および HB が導入され、次に RE と RG が導入され、最後は RE, RG および HB が導入される結果となっている。

以下、ケース B の結果を分析すると、既存機器に関しては、更新年が遅くなるに従ってまず相対的に性能の低い RE を撤去し、次に RG を撤去し、最後に BS を撤去する結果となっている。新規導入機器としてはまず RE が導入され、次に既設 RG の撤去に伴いより高性能な RG が導入され、最後に HP が導入される。

新規導入機器の容量に関しては、ケース A および B の場合とも更新年が遅くなるに伴って複雑な変化をしている。ケース A に関し、 $\tau = 7 \sim 12$ 年において HB の容量が増大し、逆に RG の容量が減少するのは、HB の性能向上率が RG より高いためである。また、 $\tau = 15 \sim 21$ 年において性能向上率の高い HB の容量は増大するが、電力の基本料金低減化のため RE の容量が減少し、RG の容量が増大する。ケース B に関しても、電力の基本料金低減化のため RE の容量が減し、RG の容量が増大する結果となっている。ただし、ケース B のように蓄熱槽 IHB が無いと、各更新年に対するこれらの最適機器容量の合計値はすべて一致している。ケース B の $\tau = 16 \sim 21$ 年において、HP=118kW となっているのは、表 3 に示す下限制約に拘束された結果である。

3.3.2 技術進歩による機器性能向上率の影響分析

技術進歩に伴って将来の機器性能向上率がより高く見込まれる場合、年間総経費削減率がより高くなると予想されるのは自然である。図 7 には、逆にケース A からケース A-1 ～ A-3 のように性能向上率が低減するに従って、年間総経費削減率が低下する結果が明示されている。図 7 は、また、性能向上率の低減に伴って最適更新年が早くなる結果を示している。これは、性能向上率が高い場合、早急に更新するのではなく、ある程度機器類の性能が向上した段階で更新を行う方が有利であるためと考えられる。

更新年 τ の変化に対する更新システムの機器構成

Table 6 Optimal capacity of equipment of renewal system

Renewal year τ	Capacity of equipment kW							
	Existing equipment			Newly installed equipment				
	RE	BS	RG	RE	BS	RG	HP	HB
<7	694	113	1389	-	-	-	-	-
Case A	7	dis.	113	dis.	-	1583	-	264
	8	dis.	113	dis.	-	1581	-	265
	9	dis.	113	dis.	-	1580	-	265
	10	dis.	113	dis.	-	1578	-	266
	11	dis.	113	dis.	-	1577	-	267
	12	dis.	113	dis.	-	1575	-	268
	13	dis.	113	dis.	990	1093	-	-
	14	dis.	113	dis.	972	1111	-	-
	15	dis.	113	dis.	978	604	-	270
	16	dis.	113	dis.	969	612	-	271
	17	dis.	113	dis.	961	619	-	271
	18	dis.	113	dis.	952	627	-	272
	19	dis.	113	dis.	944	634	-	273
	20	dis.	113	dis.	935	642	-	274
	21	dis.	113	dis.	927	650	-	274
Case B	7	dis.	113	1389	694	-	-	-
	8	dis.	113	1389	694	-	-	-
	9	dis.	113	1389	694	-	-	-
	10	dis.	113	1389	694	-	-	-
	11	dis.	113	dis.	1025	1058	-	-
	12	dis.	113	dis.	1007	1076	-	-
	13	dis.	113	dis.	990	1093	-	-
	14	dis.	113	dis.	972	1111	-	-
	15	dis.	113	dis.	955	1128	-	-
	16	dis.	dis.	dis.	1011	954	118	-
	17	dis.	dis.	dis.	997	968	118	-
	18	dis.	dis.	dis.	982	983	118	-
	19	dis.	dis.	dis.	968	997	118	-
	20	dis.	dis.	dis.	954	1011	118	-
	21	dis.	dis.	dis.	940	1025	118	-

*dis.=discarded

を示した図 8 は、すべてのケースにおいて既設機器の RE および RG は撤去するが、機器性能向上率が小さい BS は存続させる結果となっている。また、機器性能向上率がケース A と比較して相対的に低いケース A-1 ～ A-3 に関しては、すべて新規導入機器機種として RG および HB が採用されている。さらに、ケース A およびケース A-1 ～ A-3 に対するそれぞれの最適更新年 τ^* における機器構成はすべて同一の結果となっている。

Fig. 7 Reduction rate of average value of annual total cost (influence of upgrading rate of performance)

Fig. 8 Diagram of discarded and newly installed equipment of renewal system

4. 結 言

本報では、エネルギー供給システムの更新計画を合理的に立案するための最適化手法を提案し、事務所ビルに対する数値計算を通じてその有効性を検証した。新設のシステム計画と比較して、考慮すべき要因が非常に多い更新計画問題に対して、シミュレーション手

法と異なる数理計画手法を導入し、最適解を導出できることが判明した。すなわち、本手法により、設定した目的関数に対して既設機器のどの機器を撤去し、また新規にどの機器を導入して更新を行えばよいかを、導入機器類の最適機器容量を含めて決定できることが判った。得られた主要結果を以下に示す。

(イ) システムの更新をあまり早期に行い過ぎると、技術進歩を反映した高効率機器類の導入ができず、経済的に得策ではない。一方、更新時期をあまり遅らせれば、低効率な既存機器を長く使う結果となり、年間総経費削減率も低くなる。

(ロ) 高性能な新規導入可能機器が出現した場合、新旧の機器更新がより早期に行われ、年間総経費削減率も高くなる。

(ハ) 各種機器の性能向上率が将来高く予想されるに従ってシステム全体の年間総経費削減率は向上する。ただし、そのためには更新を適切に遅らせて実施することが必要である。

今回の検討においては、既存機器類の劣化については無視したが、この特性の影響や、システムの機器余裕率ならびに省エネルギー性、環境性、さらに他の対象ビルなどに対する検討については今後の研究課題としたい。

文 献

- (1) Ito, K. and Yokoyama, R., *Optimal Planning of Cogeneration Systems (in Japanese)*, (1990), Sangyo-Tosho.
- (2) Yokoyama, R., Ito, K. and Matsumoto, Y., *Optimal Multistage Expansion Planning of a Gas Turbine Cogeneration Plant*, *Trans. ASME, J. Eng. Gas Turbines Power*, **118-4** (1996), 803-809.
- (3) Gamou, S., Ito, K., Yokoyama, R. and Yoshida, S., *Structural Optimization of an Energy Supply System from Economic Viewpoint*, *JSME International Journal, Series B*, **47-2** (2004), 173-179.
- (4) Yokoyama, R. and Ito, K., *A Novel Decomposition Method for MILP and Its Application to Optimal Operation of a Thermal Storage System (in Japanese)*, *Trans. JSME, Series C*, **65-638**, (1999), 4164-4171.
- (5) Brooke, A., et al., *GAMS Release 2.50 a User's Guide*, (1998), GAMS Development Corp.
- (6) The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan (ed.), *Planning, Design and Evaluation of Cogeneration Systems by City Gas (in Japanese)*, The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, (1995).
- (7) Research Institute for Buildings Construction Prices (ed.), *Buildings Construction Prices (in Japanese)*, 948 (2002-3), Research Institute for Buildings Construction Prices.