

## ■ 報 文 ■

## 階層分析法による高層集合住宅用エネルギーシステムの評価

Comparative Evaluation of Energy System Alternatives for  
Multiple Dwelling House by Analytic Hierarchy Process

辻 毅一郎\*・朴 炳植\*\*・鈴木 胖\*\*\*

Kiichiro Tsuji Pyong Sik Pak Yutaka Suzuki

## 1. はじめに

近年従来からの各種冷暖房機器に加え、太陽エネルギーの利用や、トータルエネルギーシステムのような新しい型の住宅用エネルギーシステムが種々提案されている。これらの新しいシステムはいずれも快適性を追求するだけでなく、エネルギーの有効利用を意図したシステムであるが、これら種々の提案を比較評価し、その中から1つの望ましいシステムを選択する必要がある。今後しばしば生ずるものと考えられる。

一般に代替案の評価は多面的で、住宅用エネルギーシステムについても、人々には安価な方がよい、静かな方がよい、よくきく方がよいといった種々の尺度から総合的な評価を行い個々の選択を行ってきたと考えられる。このように多くの評価尺度からの代替案の比較評価を合理的に行う方法として多属性効用関数の応用がある。しかしこの方法は効用関数の同定という問題を含んでおり、評価項目の数が多くまたその構造が複雑な場合への適用は、不可能ではないにしてもかなり困難である。一方、最近サーティ<sup>1)</sup>により提案された階層分析法(Analytic Hierarchy Process-AHPと略記する)は、方法自体が単純で、複雑な評価を比較的簡単に、系統だてて行う方法として注目されている<sup>2)</sup>。エネルギーシステムに関しては、エネルギー政策の検討への適用や<sup>3)</sup>、発電技術の評価への適用<sup>4)</sup>がみられるが、住宅用エネルギーシステムの評価への適用はまだ報告されていない。

われわれは、将来の住宅用エネルギーシステムの望ましい姿についての考察を行ったが<sup>5)</sup>、その中でこのAHPによる定量的評価を試みた。本論文では、その中から高層集合住宅用のエネルギーシステムに焦点を

絞りに、比較評価の実施過程ならびに評価結果を具体的に示すとともに、AHPの適用に関して得られた知見を明らかにする。

## 2. AHPによる比較評価手順の概要

この節ではAHPの実施手順の概略を述べておく。

## STEP 1. 評価構造の決定

通常評価基準は最も「望ましい」、「重要である」、「効果的である」といった漠然としたものである場合が多い。これをより具体的な評価項目で表現してゆき、それらの評価項目の階層化を行い、評価構造を決定する。図-1に代替案A、BおよびCを評価する際の簡単な例を示す。

## STEP 2. 1対比較表の作成

各評価項目について代替案(上位レベルでは下位の評価項目が代替案として扱われる)の1対比較を行い通常1~9の整数(評点)を用いて1対比較表を作成する。この表の形式を図-2に、用いる整数の意味を表1に示す。

## STEP 3. 重みの計算

得られた1対比較表を行列Aで表わすとき、代替案の重みを次式で計算する。

$$w_i = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^k}{\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n a_{lj}^k}, \quad i = 1, \dots, n$$

ただし $w_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ は $n$ 個の代替案の重み、 $a_{ij}^k$ はAを $k$ 回乗じたあとの行列 $A^k$ の $ij$ 要素である。

## STEP 4. 総合的な重み(評価結果)の計算

中間レベルの評価項目の重みを勘案し、代替案の総合的な重みを決定する。たとえば図-1において、代替案Aの総合的な重み $w_A$ は

$$w_A = w_1 w_{A1} + w_2 w_{A2} + w_3 w_{A3}$$

により決定する。

\* 大阪大学工学部電気工学科 助教授

〒565 吹田市山田丘2-1

\*\* 大阪大学工学部電気工学科 講師

\*\*\* 大阪大学工学部電気工学科 教授

(註) 本研究会第4回研究発表会(60/4/25)で講演  
原稿受付日(60/5/21)

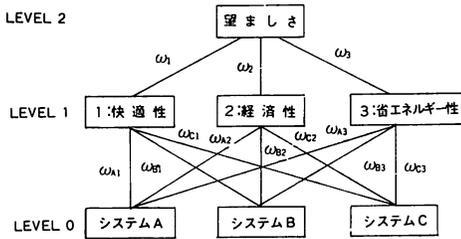


図-1 階層的評価構造の例

評価項目	代替案	
	j	
代替案	i	$w_i/w_j$

代替案  $j$  の重みを  $w_j$ 、代替案  $i$  の重みを  $w_i$  とするとき  $w_i/w_j$  に相当する相対的な数値を表1から決めて、表の  $i$   $j$  要素に入れる。

図-2 1対比較表の形式

表1 1対比較表の評点の付け方の一例

使用する相対的な重みの評点 ( $i$ $j$ 要素の数値)	意味
1	同等である
3	やや重要*である
5	かなり重要である
7	明らかに重要である
9	極めて重要である
2, 4, 6, 8	それぞれの前後の中間的な判断
逆数	システム $i$ をシステム $j$ と比べたときの点が $w$ ならシステム $j$ をシステム $i$ と比べたときの点は、 $1/w$ とする

\*この表現は考えている評価項目によって異なる。“優れている”“望ましい”などが考えられる。

以上のSTEPのうち、STEP 2～4はパーソナルコンピュータにより計算および実行管理を容易に行うことができる。

### 3. 高層集合住宅用エネルギーシステムの代替案

この節では比較評価の対象としたエネルギーシステムの代替案を明らかにしておく。高層集合住宅用のエネルギーシステムは、現在、その大部分が各住戸ごとに構成されている。しかし、高層住宅は、ある程度まとまった規模の熱負荷を有し、規模のメリットが期待できるため、住棟単位の共有設備としての集中冷暖房給湯システムを設置することが十分考えられ、どのよ

表2 想定した高層集合住宅の熱負荷(住棟あたり)

規模 総戸数120戸10階建 構造 鉄筋コンクリート造り 住戸床面積 90㎡/戸	最大暖房負荷 $3.06 \times 10^6$ kcal/h 最大冷房負荷 $2.80 \times 10^6$ kcal/h 最大給湯負荷 $3.71 \times 10^6$ kcal/h
--	--

うなシステムを選択するかが、住棟建設の際の重要な意志決定の1つとなる。そこでここでは住棟単位の集中冷暖房給湯システムを評価の対象とした。

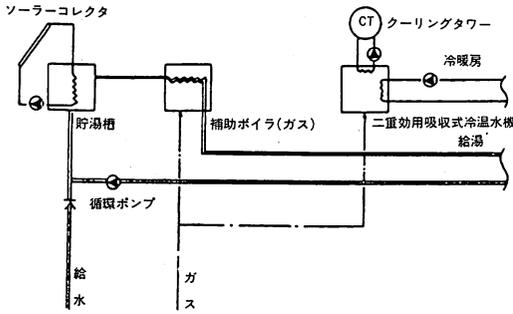
想定した高層集合住宅の規模や、冷暖房負荷などは表2のとおりで、この前提条件のもとで設計した5つのシステム代替案の概略機器構成を図-3に示す。ガス中心従来型システムMおよび電気中心従来型システムNは、いずれも現在大型空調用としてよく用いられているシステムである。これらは新しいタイプのシステムと比較するため取り上げた。

ガスエンジントータルエネルギーシステムOおよび燃料電池トータルシステムPは、脱石油および環境安全性の観点から、将来その積極的な利用が期待されている天然ガスの有効利用をはかったトータルエネルギーシステムである。ガスエンジントータルエネルギーシステムOは、ガスエンジンにより、ヒートポンプチャラーを駆動し冷暖房を行うことを基本とするが、エンジンからの排熱を回収して冷暖房給湯に有効に利用するとともに、発電機を駆動して冷暖房給湯の動力をまかなうシステムである。燃料電池トータルシステムPは、燃料電池による電力でヒートポンプチャラーを駆動し冷暖房を行うことを基本とするが、燃料電池からの排熱を回収し、給湯にも利用するシステムである。

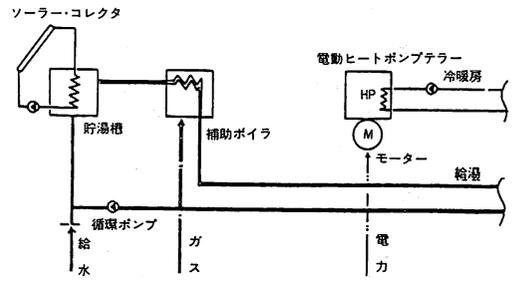
深夜電力利用システムQは、将来、石油の代替が進み、電源として原子力の占める割合が増加し負荷平滑化への要求が高まると予想されていることを考慮し、深夜電力の積極的な利用をはかったシステムである。冷暖房用と給湯用の2つの大型蓄熱槽を設け、深夜電力を利用してヒートポンプを駆動し蓄熱を行い、冷暖房給湯を行うシステムである。

これらの新しいシステムは、技術的開発課題を一部含んでいるものの、近い将来、自由に選択可能なシステムになるものと考えられる。なお、太陽熱の利用はコレクタの設置可能面積が住戸数に較べて小さく、それだけで全住戸の熱負荷をまかなうことが不可能であるので、いずれのシステムにおいても、補助熱源として利用するものとした。ただし、深夜電力利用システムQでは昼間ポンプを駆動するための電源を得るため、太陽熱・光ハイブリッド型コレクタを用いている。

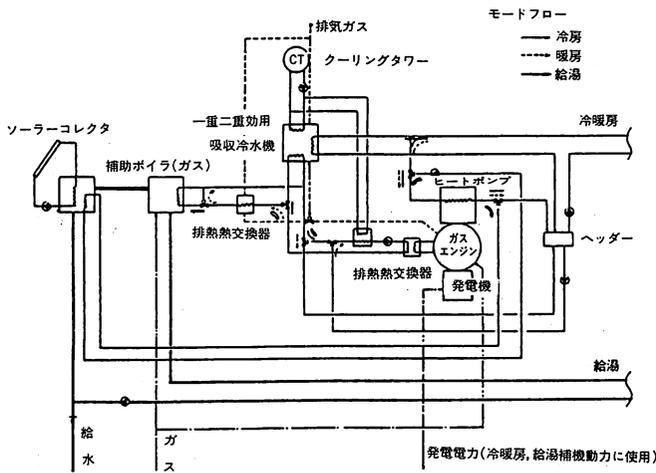
表2で示した最大冷暖房負荷をもとにして決定した



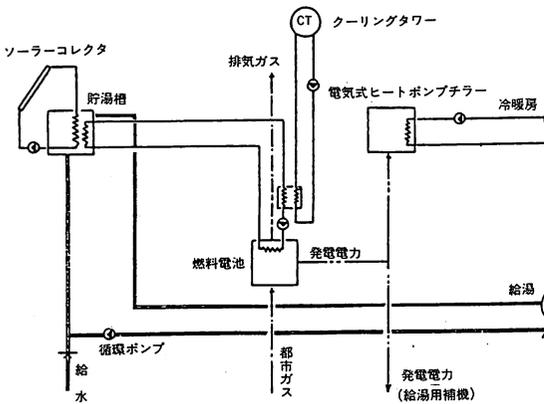
システム M：ガス中心従来型システム



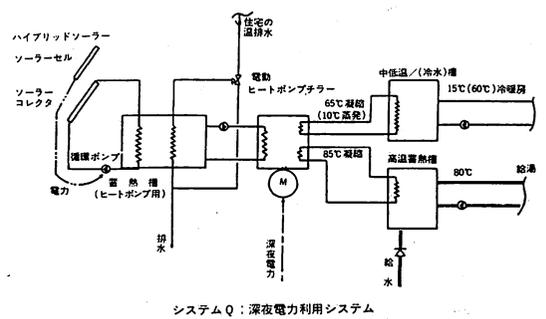
システム N：電気中心従来型システム



システム O：ガスエンジントータルエネルギーシステム



システム P：燃料電池トータルシステム



システム Q：深夜電力利用システム

図-3 高層集合住宅用集中冷暖房給湯システム代替案のシステム構成

表3 高層集合住宅用冷暖房システムの諸元および初期コストの概算 (万円/棟)

機器		代替システム				
		M	N	O	P	Q
冷暖房 関連	二重効用吸収式冷水機(100RT)	2,350	—	—	—	—
	吸収式冷水機(40RT)	—	—	1,780	—	—
	電動ヒートポンプチャラー	—	(100RT) 2,600	—	(100RT) 2,300	(200RT) 4,200
	ガスエンジンヒートポンプ(60RT+40kW)	—	—	2,300	—	—
	燃料電池(100kW)	—	—	—	2,000	—
	高温蓄熱槽(22.6㎡)	—	—	—	—	170
	中・低温蓄熱槽(250㎡)	—	—	—	—	1,880
	ヒートポンプ熱源用蓄熱槽(200㎡)	—	—	—	—	1,500
	クーリングタワー	240	—	110	150	—
	循環ポンプ類・配管	150	150	150	200	200
	空調用循環ポンプ・配管	—	—	—	200	200
ハイブリッドソーラーコレクタ	—	—	—	—	700	
給湯 関係	ソーラーコレクタ(240㎡)	600	600	600	600	—
	ソーラー用蓄熱槽(12㎡)	270	270	270	270	—
	ソーラー用ポンプ類・制御系	50	50	50	50	50
	補助ボイラ(44,500kcal/h/台)	600	600	600	—	—
	循環ポンプ類・配管	200	200	200	—	—
合計		4,460	4,470	6,060	5,770	8,900

各システムの機器容量，および初期コストの概算結果を表3に示す。ただし，初期コストは比較のための参考データとして示したもので，現状ベースの推定値であり，将来，変化が生じるものと予想される。またランニングコストについては，不確定要素が大きいため，具体的な算定は控えた。

4. 住宅用エネルギーシステムの評価構造

AHPを適用するにあたり，採用した評価項目ならびにその階層構造を図-4に示す。図-4の評価構造は，一般に住宅用エネルギーシステムを対象として考えたもので，望ましいシステムに要求される条件がほとんど網羅されている。

利便性は，設置しようとする機械設備に関する要件を表わしており，具体的には，設備の部分的変更の容易さを示す柔軟性，維持・管理に関する保守性，信頼性および操作性の4項目から構成されている。安全性は，基本的な要件で，住宅用エネルギーシステムはいずれも十分安全でなければならないことから，比較評価のための独立な項目としては採用せず，信頼性の中に入れて考えることとした。

快適性は，住宅に住む人が，十分快適に過ごせるかを表わすもので，肉体的感覚からの評価項目である。具体的には冷暖房能力に関係した機能充足性，騒音，省スペース，美観および空気の清浄性の5項目で構成されている。

環境性は，周辺の他の住民に対して負うべき社会的

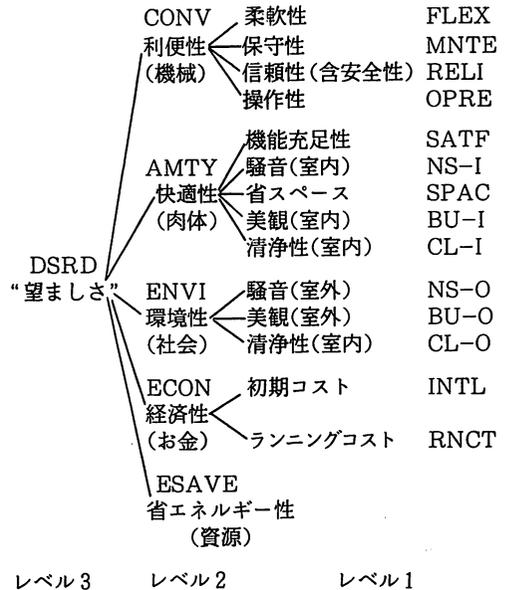


図-4 住宅用エネルギーシステムの比較評価のための評価項目とその階層的構成

責任に関する評価項目としてとらえており，機器の発する騒音，美観および排気に関係した清浄性の3項目から構成されている。

経済性は，初期コストとランニングコストの2項目にわけ，それぞれに対する金銭的感覚の相違を考慮することとした。

最後に省エネルギー性は，1次エネルギーの利用効率の高さ，あるいは自然エネルギーの有効利用の程度

表4 レベル1および2の評価項目に関する1対比較結果および重みの計算結果

		1対比較結果および重みの計算結果						注 釈
レ ベ ル 1 の 評 価 項 目	FLEX	M	N	O	P	Q	weights	柔軟性：• 吸収式冷水機はコンパクトになり、MとNとでは大差はない。 • O, P, Qは設備としては、M, Nに比べて大がかりである。中でもQは大きな蓄熱槽を必要とし、柔軟性に欠ける。
	M	1	1	3	3	5	.343	
	N	1	1	3	3	5	.343	
	O	1/3	1/3	1	1	3	.129	
	P	1/3	1/3	1	1	3	.129	
	Q	1/5	1/5	1/3	1/3	1	.055	
	MNTE	M	N	O	P	Q	weights	保守性：• 電動ヒートポンプチラーの技術は確立されており、保守が容易。 • 新しいシステムの中でも電動ヒートポンプチラーを使用するQの保守が容易。Oは機器構成が複雑でやや不利であろう。
	M	1	1/3	5	3	1	.199	
	N	3	1	7	7	3	.491	
	O	1/5	1/7	1	1/3	1/3	.047	
P	1/3	1/7	3	1	1/3	.082		
Q	1	1/2	3	3	1	.181		
RELI	M	N	O	P	Q	weights	信頼性：• 従来型のシステムM, Nは確立された技術で、同程度の信頼性(安全性)がある。 を含む)• OとQとを比べると、ガスエンジン駆動より電動式の方が信頼性が高い。	
M	1	1	3	1	1	.221		
N	1	1	3	3	3	.356		
O	1/3	1/3	1	1/3	1/3	.074		
P	1/3	1/3	3	1	1	.175		
Q	1/3	1/3	3	1	1	.175		
SATF	M	N	O	P	Q	weights	機能充足性：• N, PおよびQは電動ヒートポンプを使用するが、NおよびPは空気熱源、Qは水熱源であるので、NとPは外気温の影響を受け、Qよりやや不利となる。 • MとOとQとは同一レベルと考えた。	
M	1	3	1	3	1	.273		
N	1/3	1	1/3	1	1/3	.091		
O	1	3	1	3	1	.273		
P	1/3	1	1/3	1	1/3	.091		
Q	1	3	1	3	1	.273		
SPAC	M	N	O	P	Q	weights	省スペース性：• 共同利用すべき建物の一部が、機器設備に使用される。とくに追加する機器のない従来型が有利である。燃料電池は新しいシステムの中では、もっともコンパクトである。Qは蓄熱槽が大きくなるので、Oの方がやや有利である。	
M	1	1	5	3	7	.365		
N	1	1	5	3	7	.365		
O	1/5	1/5	1	1/3	3	.079		
P	1/3	1/3	3	1	3	.148		
Q	1/7	1/7	1/3	1/3	1	.044		
NS-O	M	N	O	P	Q	weights	騒音：• 騒音源は以下のとおり、M なし (室外) N 電動ヒートポンプチラー(100 RT) O ガスエンジンヒートポンプ P 電動ヒートポンプチラー(100 RT) Q 電動ヒートポンプチラー(200 RT)	
M	1	3	7	3	5	.496		
N	1/3	1	3	1	1	.154		
O	1/7	1/3	1	1/3	1/3	.054		
P	1/3	1	3	1	1	.154		
Q	1/5	1	3	1	1	.141		
CL-O	M	N	O	P	Q	weights	清浄性：• ガスエンジンからの排気やや問題となる。 (室外)	
M	1	1	3	1	1	.231		
N	1	1	3	1	1	.231		
O	1/3	1/3	1	1/3	1/3	.077		
P	1	1	3	1	1	.231		
Q	1	1	3	1	1	.231		
INTL	M	N	O	P	Q	weights	初期コスト：• コストの算出結果は以下のとおり、M 4,460万円 N 4,470 " O 6,060 " P 5,770 " Q 8,900 "	
M	1	1	5	5	9	.389		
N	1	1	5	5	9	.389		
O	1/5	1/5	1	1	5	.096		
P	1/5	1/5	1	1	5	.096		
Q	1/9	1/9	1/5	1/5	1	.030		
RNCT	M	N	O	P	Q	weights	ランニングコスト：• MとNとでは電動ヒートポンプチラーのCOPが高く、ランニングコストでは同程度と判断される。 • OとPとではPの方が総合熱効率でやや優れている。 • PとQとではPの方が総合熱効率でまさっているが、Qは深夜電力を利用するので、将来両者のランニングコストは近づくと考えられる。	
M	1	1	1/7	1/9	1/9	.036		
N	1	1	1/7	1/9	1/9	.036		
O	7	7	1	1/2	1/2	.214		
P	9	9	2	1	1	.357		
Q	9	9	2	1	1	.357		
レ ベ ル 2 の 評 価 項 目	CONV	FLEX	MNTE	RELI	OPRE	weights	利便性：• 住棟単位のエネルギーシステムが対象であるので、安全性を含む信頼性を重視した。また、共同管理の問題があるので保守性も重視した。	
	FLEX	1	1/7	1/9	1/3	.045		
	MNTE	7	1	1/3	3	.271		
	RELI	9	3	1	5	.573		
	OPRE	3	1/3	1/5	1	.110		
	ANTY	SATF	NS-I	SPAC	CL-I	BU-I	weights	快適性：• 住棟単位のエネルギーシステムが対象であるので、冷暖房の機能が十分であるかという機能充足性を重視した。次いで、清浄性、省スペース性を重視した。
	SATF	1	3	5	7	5	.507	
	NS-O	1/3	1	3	3	3	.229	
	SPAC	1/5	1/3	1	3	3	.135	
	CL-I	1/7	1/3	1/3	1	1	.062	
BU-I	1/5	1/3	1/3	1	1	.068		
ENVI	NS-O	BU-O	CL-O	weights	環境性：• 外観よりも公害の原因を重要視した。			
NS-O	1	3	1	.429				
BU-O	1/3	1	1/3	.143				
CL-O	1	3	1	.429				
ESAVE	M	N	O	P	Q	weights	省エネルギー性：• M 1.0 総合効率はおおよそ左のとおりであるものと N 1.05 した。NとQとではQに放熱ロスがあり、 O 1.45 Nよりやや不利となる。 P 1.6 Q 1.05	
M	1	1/3	1/9	1/9	1	.036		
N	3	1	1/7	1/9	3	.075		
O	9	7	1	1/3	9	.318		
P	9	9	3	1	9	.534		
Q	1	1/3	1/9	1/9	1	.036		

を表わすもので、エネルギーの有効利用という観点からの評価項目である。ランニングコストがこれに相当すると見られがちであるが、両者は互いに異なる評価項目と考えるのが妥当であろう。

## 5. 評価結果と感度分析

評価は、住宅用エネルギー設備の専門家を含む数名のグループにより実施した。評価の前提として、新しい型のシステムO、PおよびQに関する基本的技術はすべて整い、いずれも設置可能であるものとした。

図-4の各評価項目について得られた1対比較表と重みの計算結果、およびそのような結果となった背景や理由を簡単にまとめたものを表4に示す。重みは、望ましきという観点からのものであるため、大きな値の方がより望ましいと解釈される。例えばコストは安い方が望ましい。また計算された重みの解釈は、一般的には表1の評定の付け方に準じて行うのが妥当であろう。図-4の評価項目で表4に含まれていないものは、代替案の間に評価の差がない（各代替案の重みが0.2）という結果になった項目である。

比較評価の対象としたのは住棟単位のシステムであるため、各住戸内の評価に関係する騒音(室内)、美観(室内)、清浄性(室内)については、どのシステムも評価に差がないとした。その他、操作性および美観(室外)についても差がないという結果になっている。表4においてレベル1の項目および省エネルギー性については、その評価結果が、そこに示したような根拠に基づく比較的客観的なものとなっている。このような項目については、コンピュータの支援のもとで評価を繰り返すことにより、評価を行う側のグループ内で合意に達することが期待できる。

レベル2および3の項目は、省エネルギー性を除いて主観的要素が多く、合意の得られにくい評価項目といえよう。利便性、快適性および環境性については、対象が住棟単位の設備であることを念頭におき表4に示すような1対比較表を作成した。利便性では、システムが共有設備で共同管理の問題があるため、信頼性および保守性に重点がおかれている。快適性については、冷暖房機能の充足性と設備の発生する騒音の室内に及ぼす度合が重視され、室内設備に関係する清浄性と美観の重みは低いものとなっている。環境性では外観よりも公害防止に関係する項目が重視されている。

レベル3の望ましきおよび経済性については、評価する人々の立場や考え方によりレベル2の各項目に対

表5 高層集合住宅用集中冷暖房給湯システム評価のシナリオ

・経済性重視のシナリオ							
DSRD	CONV	AMTY	ENVI	ESAVE	ECON	weights	
CONV	1	1	3	9	1/5	.186	
AMTY	1	1	3	9	1/3	.199	
ENVI	1/3	1/3	1	3	1/5	.075	
ESAVE	1/9	1/9	1/3	1	1/9	.029	
ECON	5	3	5	9	1	.510	
・省エネルギー重視のシナリオ							
DSRD	CONV	AMTY	ENVI	ESAVE	ECON	weights	
CONV	1	1/3	1/8	1/9	1/7	.031	
AMTY	3	1	1/5	1/7	4	.061	
ENVI	8	5	1	1/3	2	.254	
ESAVE	9	7	3	1	3	.476	
ECON	7	4	1/2	1/3	1	.178	
・初期コスト重視のシナリオ							
ECON	INTL	RNCT	weights				
INTL	1	3	.750				
RNCT	1/3	1	.250				
・ランニングコスト重視のシナリオ							
ECON	INTL	RNCT	weights				
INTL	1	1/3	.250				
RNCT	3	1	.750				

する重みづけが大幅に異なり、1つの評価に限定することはむしろ好ましくない。そこでここではいくつかの立場を反映させた評価のシナリオを設定することとした。その結果を表5に示す。経済性重視のシナリオは、住人の立場に立ち、経済性に優れ、快適で利便性に富む設備を望ましいとするシナリオである。これとは対照的に省エネルギー重視のシナリオは、大局的観点からエネルギーの有効利用を推進することが望ましいとする立場を反映させたもので、エネルギーの有効利用ができ、公害なども発生しない設備を望ましいとするシナリオである。経済性については、初期コストを重要視するシナリオとランニングコストを重要視するシナリオの2種類を考えている。これらを組合せた4種類のシナリオのもとで、図-4の評価構造に基づき、総合的な重み(評価結果)を求めた。その結果を表6に示す。

経済性重視のシナリオでは、初期コストを重視した場合、従来型の電気中心システムNおよびガス中心システムMの重みが高く、ランニングコストを重視した場合、燃料電池システムPおよび深夜電力利用システムQの重みが高い結果となった。前述したように初期コストの評価は現状に基づいており、現状では従来型システムの初期コストが低いことが、初期コスト重視の場合の結果に反映されている。燃料電池システムPと深夜電力利用システムQとは表4において多くの項目で互いに優劣があるもののランニングコストが同等に評価されていることが、ランニングコスト重視の場合の結果に反映されている。

省エネルギー重視のシナリオでは、経済性がそれ程

表6 シナリオ別の評価結果

項目 および 代替案	シナリオ	経済性重視のシナリオ		省エネルギー重視のシナリオ	
		初期コスト重視	ランニングコスト重視	初期コスト重視	ランニングコスト重視
評価結果	M: ガス中心	.272	.182	.180	.148
	N: 電気中心	.273	.183	.160	.129
	O: ガスエンジン	.139	.169	.211	.222
	P: 燃料電池	.168	.234	.345	.363
	Q: 深夜電力利用	.147	.231	.104	.133

表7 評価結果に対する感度分析

シナリオ	経済性およびランニングコスト重視シナリオ		
ケース 代替案	表6の評価 結果	信頼性に差 がないとし た場合*	システムO, Pおよび Qのランニングコスト が同一とした場合**
M: ガス中心	.182	.180	.185
N: 電気中心	.183	.166	.186
O: ガスエンジン	.169	.182	.203
P: 燃料電池	.234	.237	.214
Q: 深夜電力	.231	.234	.211
* RELIだけを下のように設定		**RNCTだけを下のように設定	
RELI	M N O P Q	RNCT	M N O P Q weights
M	1 1 1 1 1	M	1 1 1/7 1/7 1/7 .043
N	1 1 1 1 1	N	1 1 1/7 1/7 1/7 .043
O	1 1 1 1 1	O	7 7 1 1 1 .304
P	1 1 1 1 1	P	7 7 1 1 1 .304
Q	1 1 1 1 1	Q	7 7 1 1 1 .304

重視されていないため、コストに関する評価結果より省エネルギー性の結果が総合的な評価結果に直接的に影響を及ぼし、燃料電池システムPおよびガスエンジンシステムOの重みが高くなっている。

経済性およびランニングコスト重視のシナリオのもとでは新しい型のシステムがいずれも従来型より優れていると思われるが、ガスエンジンシステムOの総合的な重みがやや低くなっている。この原因を次のような感度分析により考察した。経済性およびランニングコスト重視のシナリオのもとで得られた結果を分析の基準にとり、表4でやや不利とされている信頼性が他のシステムと同等であるとした場合、およびランニングコストでガスエンジンシステムO、燃料電池システムPおよび深夜電力利用システムQの間に差がないとした場合の2つについて総合的な重みを計算した。その結果は表7の通りである。ガスエンジンシステムOの総合的な重みは両者とも高くなり、とくに後者の場合には新しい型のシステムに関する総合的な評価結果にはほとんど差がなくなっている。ガスエンジンシステムOの信頼性やランニングコストに関する評価の改善が総

合評価の結果に大きく影響することがわかる。

### 6. AHPによる比較評価に関する留意点

AHPによる総合的な評価結果は、評価構造すなわち採用する評価項目とその階層構造に依存するものである。著者らが、これまで住宅用エネルギーシステムや交通システムの評価<sup>5)</sup>に適用した経験では、レベル1の項目に関しては比較的客観的な評価を得ることが期待できるものの、レベル2以上の項目に関しては、主観的判断に左右されるところが大きい。表6で、シナリオにより結果が変化していることからわかるように、レベル2以上の項目に関する評価結果が最終結果に及ぼす影響が強い。これらのことからAHPにより得られた結果は絶対的なものでないことに十分注意する必要がある。逆に、評価構造の決定ならびに一部の評価項目に関する判断を専門家に委ね、残りの項目に関して主観的判断を行うようにすれば、AHPは、個人がその選好に基づいて代替案の評価を行う場合に強力な支援手段であるといえよう。

次に1対比較の評点は、表1で示したように1~9

の整数およびその逆数による。表4のランニングコストに関する1対比較表において、ガスエンジンシステムOと燃料電池システムPの差は僅かであるので、表1に従って2という数が使われているが、これがシステムO、Pについての重みがそれぞれ.214、.357となった原因となっている。ランニングコストに関する1対比較表を表7のように変えるとシステムO、Pの重みが両者とも.304となるが表7の感度分析結果からも類推できるように、この差は最終結果にも影響を及ぼしていることがわかる。最終的な重みについて、表1の評点の付け方に準じた解釈をすとしても、表7中の左端の結果と右端の結果ではその解釈が異なってくる。このような意味からも感度分析を行って結果の解釈を慎重に行うことが必要であろう。

## 7. むすび

本論文では、代替案の比較評価法として最近注目されているAHPを、住宅用エネルギーシステムの代替案の比較評価に適用した結果を示した。

21世紀初頭に関西文化学術研究都市内に建設されると想定した高層集合住宅に対し、具体的に設計した集中冷暖房給湯システムの5つの代替案について評価を行った結果は次の通りである。経済性重視のシナリオで初期コストを重視した場合は電気中心従来型およびガス中心従来型システムが、同じシナリオでランニングコストを重視した場合には燃料電池および深夜電力利用システムが、省エネルギー重視のシナリオではコストのシナリオによらず燃料電池システムおよびガスエンジンシステムが、それぞれ他より評価が高くなった。

比較評価に用いたAHPの特徴をまとめると以下のようになる。

- 評価の過程がパーソナルコンピュータにより容易に管理でき実行は簡単である。
- 最も具体的なレベル1の評価項目については、1対比較を繰り返すことによりかなり客観的な評価への収束が期待できる。
- 高位レベルの評価項目については、シナリオを設定することにより、個人の好みや立場の相違を評価に反映させることが容易にできる。
- 特定の代替案が有利または不利となった原因を本論文で示したような感度分析により追求することが容易にできる。したがって、その代替案に関する重点的技術開発課題を明らかにすることもでき

る。

- 評価の過程を通して、代替案選択の際の合意形成に役立てることができる。

効用関数に基づく手法との比較や、AHPと組合わせた評価法などの検討が必要であるが、今後の課題としたい。

おわりに本研究は、(財)大阪科学技術センターのもとに組織された新トータルエネルギーシステム部会の研究プロジェクトの研究成果をもとに行われたものである。同プロジェクトのメンバー諸氏に厚く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980
- 2) Special Issue on Modeling of Social Decision Processes, Mathematics and Computers in Simulation, Vol. XXV, No. 2, April 1983
- 3) A. H. Gholamnezhad, A New Model in the Energy Policy Planning, ibid.
- 4) 内山洋司, 新発電技術の総合評価—微粉炭火力と石炭ガス化複合発電の比較評価—, 電力経済研究No. 18, 1985
- 5) (財)大阪科学技術センター, 21世紀都市のトータルユティリティシステムの提言とその評価, 1984

