

# AHP を用いた電力設備ベストミックスに関する合意形成

千田 裕司, 亀山 嘉正, 倉重 賢治, 石井 正二, 森口 崇

## 1. はじめに

発電方式のベストミックスとは、火力発電・水力発電・原子力発電等、各発電方式ごとの特性を考慮した発電設備容量の最適な組み合わせ比率のことである。電力会社は、長期にわたり経済的かつ安定した電力供給をおこない、将来の電力需要動向あるいは燃料情勢の変化等に左右されにくい柔軟かつ強靱な供給システムを形成するために、設備計画においてベストミックスの概念を取り入れている。

また、ベストミックスについての考え方は一般消費者に充分納得してもらうことが重要であり、一般消費者との間で大きな差をもつ場合には、電力会社は一般消費者に対し必要な設備建設について一層の理解活動をおこなう必要がある。

## 2. 本研究の目的

従来、電力会社のベストミックスの求め方は、定量的解析が困難なため定性的な評価方法を用い、発電資源の安定供給性や経済性等の観点から判断していた。

本事例研究の目的は AHP[1][2][3][4]を用い、感覚的情報をも主観的ではあるが定量化して電力会社が将来必要とするベストミックスを総合的に導くことである。また、発電方式のベストミックスを求めるだけに終わらせず、そのベストミックスに対して一般消費者の理解を求める方策の重要度を AHP の後退プロセスにより考察する。

## 3. AHP

AHP (Analytic Hierarchy Process) とは、T. L. Saaty により提唱された階層化意思決定法のことである。この手法は、評価基準が多数存在し、その共通の尺度がなかったり、フィーリングに頼らざるを得ない要素があるために、数値化が難しい場合などに用いられる。

AHP の手順は、

- 1) 問題の構成要素とその関連を階層図で示す。
- 2) 階層図に示される評価項目の相対的重要度および各評価項目に対する代替案の相対的重要度を算出する。
- 3) 各代替案に対して総合的な重要度を算出する。となっており、それぞれ評価項目の重要度等の算出に一对比較法を用いて行われる。また表 1 には一对比較結果を表現する修飾語に割り当てられる数値尺度を示す。

表 1 一对比較結果を表現する修飾語とその数値尺度

重要度の数値尺度	意味 (前者は後者に比べ)
1	同程度
3 (1/3)	やや重要 (やや劣る)
5 (1/5)	かなり重要 (かなり劣る)
7 (1/7)	非常に重要 (非常に劣る)
9 (1/9)	極めて重要 (極めて劣る)

(2, 4, 6, 8 は中間の値として用いられる)

## 4. AHP の前進・後退プロセス

AHP で導かれるベストミックスは電力会社の立場で考えた結果であって、一般消費者にとって必ずしも納得できるものであるとは限らない。

そこで、電力会社の立場でのベストミックスを一般消費者にとって納得できるようにするためには前進・後退プロセスが考えられる。一般消費者の立場でのベストミックスを求める過程を前進プロセスとよび、両

せんだ ゆうじ, かめやま よしまさ, くらしげ けんじ  
岡山県立大学情報工学部  
〒719-1197 総社市窪木 111  
いしい しょうじ ニノミヤ(株)  
〒700-0926 岡山市西古松西町 7-16  
もりぐち たかし (株)両備システムズ  
〒700-8504 岡山市豊成 2 丁目 7 番 16 号  
受付 97.9.1 採択 99.3.10

者の立場でのベストミックスを近づけるためにおこなう方策の重要度を AHP を用いて算出する過程を後退プロセスとよぶ。次に、後退プロセスによって提起された方策を実施し、2 回目の前進プロセスを実行する。この2つのプロセスを繰り返して理想の結果に近づけてゆくことを総称して前進・後退プロセスという。

本来は、各方策をその総合的な重要度に従って組み合わせるべきである。しかし、本研究では、比較的簡単に実施や結果の確認ができる講演・対話活動および発電施設見学会を実施することにより一般消費者の考えるベストミックスが電力会社のそれにどの程度近づくのかを調査する。

### 5. ISM (Interpretative Structural Modeling) モデル

AHP においては、問題の要因間の関係を階層構造図で表現する。その場合において意思決定者が主観的に階層構造を作成するよりは、数学モデルを用いてより客観的な手法で最適な階層構造を作成したい。

そこで本研究においては、J. W. Warfield により提唱された階層構造化モデルである ISM モデル[5]を使用した。

以下に例題を用いてその手順を説明する。

- 1) 表2のように評価項目を抽出した後、各評価項目を1対1で比較してゆき、番号*i*の評価項目  $t_i$  が番号  $j$  の評価項目  $t_j$  に影響を与えていれば行列の ( $i, j$ ) 要素が1, そうでなければ0として表3に示す関係行列 E を作成する。
- 2) E に単位行列 I を加えた行列 N を、 $N^k = N^{k-1}$  となるまでべき乗して計算し、この式を満足する行列を可達行列  $N'$  と定義し、表4に示す。
- 3) 可達行列  $N'$  の各評価項目である  $t_i$  に対し、可達集合  $R(t_i) = \{t_j | n_{ji} = 1\}$ , 先行集合  $A(t_i) = \{t_j | n_{ij} = 1\}$  を求め、表5に示す。なお、 $n_{ij}$  とは可達行列の ( $i, j$ ) 要素を示す。( \*: 可達集合とは、可達行列の各行を見て1になっている列の集合、先行集合とは、可達行列の各列を見て1になっている行の集合のことである。)
- 4)  $R(t_i)$  と  $A(t_i)$  において、 $R(t_i) \cap A(t_i) = R(t_i)$  となるものを求めてゆき、階層構造の各要素のレベルを決定する。ただし、すでにレベルの決定している評価項目は消去してゆく。なお、例題における各評価項目のレベルは表6に示す。
- 5) 可達行列において隣接しないレベル間の評価項目

の関係を0にしたものを構造化行列といい、各レベル間の評価項目の関係を示す。例題では表7で与えられる。この行列の各列を見たときに行列要素が1になっているものがその行の示す評価項目と従属関係にあることを示している。

- 6) 手順4)で求めた各評価項目のレベルと手順5)で

表2 例題の評価項目 (購入する車の選定について)

番号 (i)	要因 (ti)	番号 (i)	要因 (ti)
①	車の購入	⑥	諸経費
②	価格	⑦	走行性能
③	デザイン	⑧	安全性
④	性能	⑨	燃費
⑤	本体価格	⑩	積載量

表3 例題の関係行列 E

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
①	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
②	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
③	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
④	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
⑤	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
⑥	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
⑦	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
⑧	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
⑨	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
⑩	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

表4 例題の可達行列  $N'$

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
①	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
②	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
③	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
④	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
⑤	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
⑥	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
⑦	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
⑧	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
⑨	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
⑩	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1

表5 例題の可達集合と先行集合

(i)	R(ti)	A(ti)	R(ti) ∩ A(ti)
①	①	①~⑩	①
②	①, ②	②, ⑤, ⑥	②
③	①, ③	③	③
④	①, ④	④, ⑦~⑩	④
⑤	①, ②, ⑤	⑤	⑤
⑥	①, ②, ⑥	⑥	⑥
⑦	①, ④, ⑦	⑦	⑦
⑧	①, ④, ⑧	⑧	⑧
⑨	①, ④, ⑨	⑨	⑨
⑩	①, ④, ⑩	⑩	⑩

表6 例題の各評価項目のレベル

レベル	要素
1	①
2	②, ③, ④
3	⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨, ⑩

表7 例題の構造化行列

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
①	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
②	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
③	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
④	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
⑤	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
⑥	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
⑦	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
⑧	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
⑨	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
⑩	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

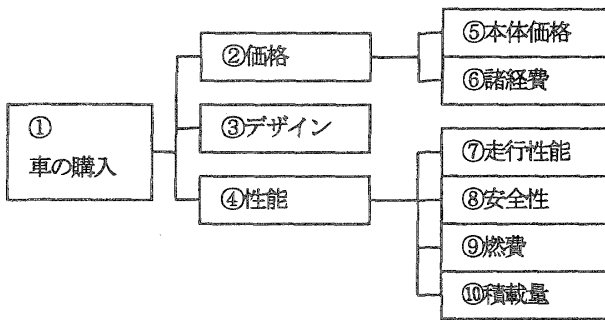


図1 例題の階層構造

求めた各要素の従属関係から、図1に示す階層構造が決定される。

## 6. 電力会社と一般消費者の立場によるベストミックス

まず、電力会社から入手した資料、ならびに関係者の意見などを参考にして、電力会社の立場における発電設備のベストミックスを求めるための階層図をISMの順にしたがって作成した。表8にはブレインストーミングにより発電設備のベストミックスを考える際に必要と考えられた評価項目を示し、図2には電力会社の立場における発電設備のベストミックスを求めるための階層図を示す。

ここで、図2の階層図に含まれる評価項目ならびに代替案の重要度の重みづけを電力会社の立場に立ち一対比較法で求めた。

一方、問題を煩雑にしないため図3に示すレベル3までの階層図を作成し、一般消費者27名に一対比較をおこなってもらったアンケートを実施した結果から、一般消費者の考えている発電設備のベストミックスを求めた。

表9には、それぞれの階層図のレベル2における評価項目の重要度を示している。電力会社の立場では技術的要因に関する相対重要度が高く、一般消費者の立

表8 発電設備のベストミックスを求める際の評価項目

番号	要因名	説明
①	ベストミックス	各発電方式ごとの特性を考慮した電力設備の最適な組み合わせ比率。
②	経済的要因	発電施設の建設・運営など発電施設全般における費用。
③	社会的要因	発電施設が一般社会に与える影響、および資源的な電力の安定供給。
④	技術的要因	発電に関する技術的な側面。
⑤	地域社会との共存	発電施設と環境や人間等の周囲との共存性。
⑥	資源の安定性	発電資源（石油、石炭、水源等）の調達・確保が量的・確実性でどのくらい安定しているのか。
⑦	運転性	発電施設運営に関する要因。操作性、信頼性、少人化の程度等。
⑧	技術面での将来性	発電についての技術的な発展が期待できるかどうか。
⑨	性能的要因	発電方式別に見た発電量や運転効率など性能の善し悪し。
⑩	消費者感情	消費者が考えるそれぞれの発電施設への選好度。
⑪	地域整備	発電施設建設により得られる道路整備や公共施設の建設等の見返りについて。
⑫	環境問題	発電施設が排出する物質やエネルギーが環境に与える影響。
⑬	資源の量的安定性	発電資源の可採年数、および定常的な入手が可能かどうか。
⑭	資源の地域的安定性	発電資源を依存している地域の地理的、政治的な状況。
⑮	資源の特有性	発電資源の備蓄性・運搬性・価格安定性・再生利用性等の資源特有の性質について。
⑯	発電施設の安全性	事故の確率、事故時の影響等。
⑰	発電施設の安定性	発電施設が故障などなく定常的に運転できるかどうか。
⑱	需要変動対応性	需要の変動に対し稼働率の柔軟性、拡張のしやすさ。
⑲	1基当たりの設備容量	熱効率など、与えた発電資源に対して求めうる発電量。
⑳	建設条件	地理的、面積、地盤など、建設時の制約の程度。

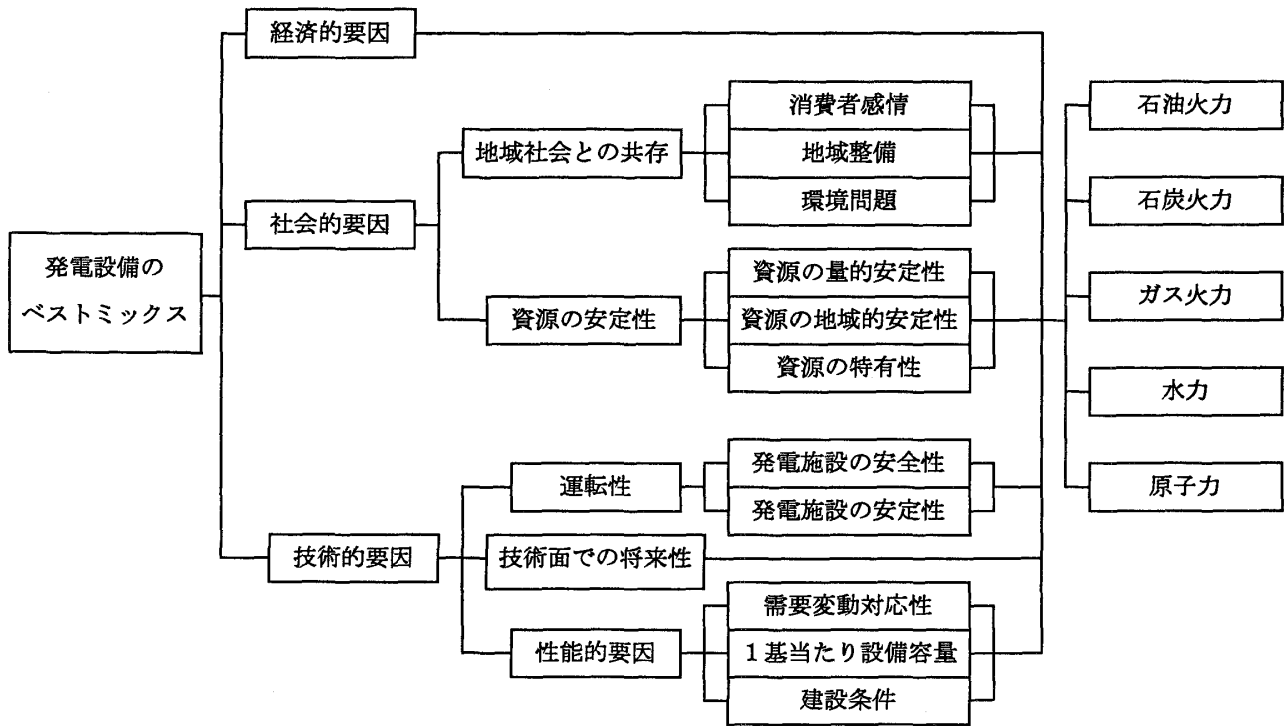


図2 発電設備のベストミックスを求める階層図

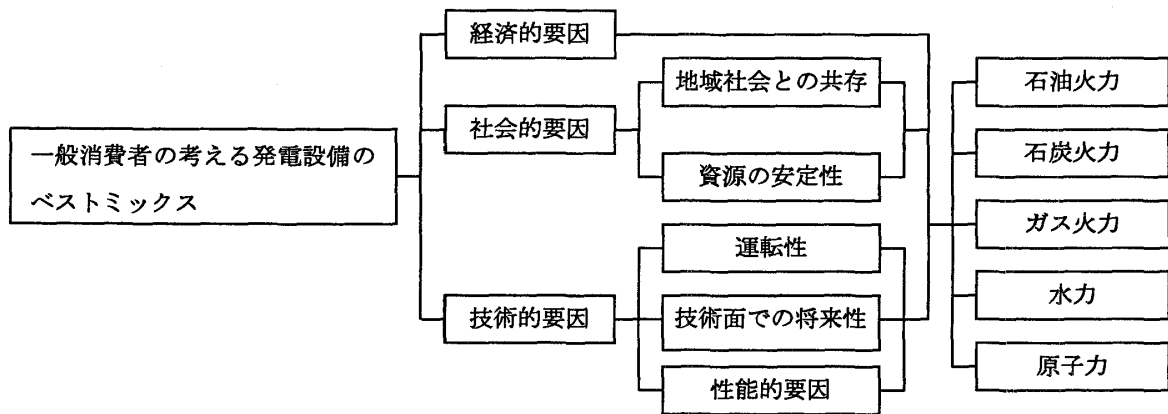


図3 一般消費者の考えるベストミックスを求める階層図

場では社会的要因に関する相対重要度が高くなっている。表 10 には、評価項目間の相対的重要度と各評価項目に対する発電方式の相対的好ましさを総合した電力設備のベストミックスを示している。ただし、一般消費者のアンケート結果についてはそれぞれの対比較値の幾何平均を求めている。

ところで、中国地方における将来的なベストミックスとして、表 11 で示すように電源種別の特徴を考慮して“石炭火力と原子力が 1/3 ずつ、残りの 1/3 が石油火力・水力・ガス火力の合計となるのが望ましい”と電力会社では考えている。したがって、本研究で

AHP を用いて電力会社の立場に立って算出したベストミックスは、これまで関係する電力会社が電源種別の特徴を考慮して提案しているベストミックスの考え方に近い結果となっている。

また、一般消費者の立場では石油火力や水力の割合が大きく、原子力や石炭火力の割合が小さくなっており、両者のベストミックスについての考えの違いがかなり大きいものであることも分かった。

なお表 12 には、電力会社の立場と一般消費者の立場でのベストミックスを考えると、各発電方式に対する考え方の特徴を示している。

表9 ベストミックスに関する階層図におけるレベル2の評価項目の重要度

電力会社の立場	経済的要因	社会的要因	技術的要因	重要度	一般消費者の立場	経済的要因	社会的要因	技術的要因	重要度
経済的要因	1	1	1/2	0.250	経済的要因	1	0.485	1.113	0.251
社会的要因		1	1/2	0.250	社会的要因		1	2.455	0.529
技術的要因			1	0.500	技術的要因			1	0.220

表10 AHPを用いた電力会社の立場と一般消費者のアンケート結果による発電設備のベストミックス (単位%)

	石油火力	石炭火力	ガス火力	水力	原子力
電力会社の立場	11.8	26.2	14.0	17.4	30.6
一般消費者の立場	21.0	12.1	16.6	34.1	16.2

表11 電力会社の考える電源種別の特性評価

発電方式	発電資源供給性	経済性	その他	電源の形態
石油火力	賦存地域の偏在による不安定性がある。	発電原価試算は平均的だが、燃料費が高い。	備蓄能力に優れる。新增設は難しい。	補助電源。ガス・水力とで1/3程度。
石炭火力	賦存地域・可採年数に優れる。	発電原価試算は平均的だが、燃料費が安い。	環境特性は劣る。負荷調整能力が低い。	ベース(ミドル)電源として1/3。
ガス火力	燃料契約の硬直性がやや大きい。	発電原価試算はやや安くなっている。	環境特性に優れる。湾港条件等の制約大。	補助電源。石油・水力とで1/3程度。
水力	豊満水による変動大きい。	経済性のある地点は開発し尽くされている。	国産・クリーン・再生可能。	補助電源。石油・ガスとで1/3程度。
原子力	賦存地域・価格安定性に優れる。	発電原価試算はやや安く、燃料費が最小。	環境特性に優れる。社会的受容が低い。	ベース電源として全体の1/3。

表12 電力会社の立場と一般消費者の発電設備のベストミックスに対する考え方の特徴

発電方式	電力会社の立場	一般消費者の立場
火力	資源量に優れる石炭火力が最大、逆に石油火力の比率が最小となる。	『火力発電=石油火力』の概念があるため、石油火力の比率が最大となる。
水力	豊満水による発電量の安定性が乏しく、立地条件も厳しいため、比率が小さくなる。	クリーンで安全なイメージでとらえているため、比率が大きくなる。
原子力	可採年数、発電効率に優れているため、比率が大きくなる。	危険で有事の際の被害が大きいというイメージでとらえているため、比率が小さくなる。

(石油火力、石炭火力、ガス火力をここでは総称して火力としている。)

## 7. 一般消費者への理解促進活動とその効果

次に、一般消費者の意見と電力会社とのベストミックスについての意見の違いをAHPの前進・後退プロセスによって埋めてゆく方策を検討する。

ここでも、電力会社の資料や関係者の意見を参考に、各理解促進活動の内容を調べ、AHPの後退プロセスの階層図(図4参照)を作成した。

各理解促進活動はいずれも大切であり、またそれらを組み合わせて実施すべきだが、理解促進の効果をすべての組み合わせについて調査することが容易ではな

いので、今回の研究では各方策の重要度を算出するとどめた。そして、各方策の重要度算出のため図4を用いて、電力会社の立場で評価項目・代替案の一対比較をおこなった。

その結果、“講演・対話活動”が表14に示す通り重要度0.277となり、最も効果的な理解活動であるとの結果を得た。

次に、理解促進活動のなかでは比較的調査しやすいと考えられた“講演・対話活動”および“発電施設見学会”をおこない、その活動結果がどの程度の効果を持っているのかを調査した。

その調査方法としては、講演・対話活動においては、

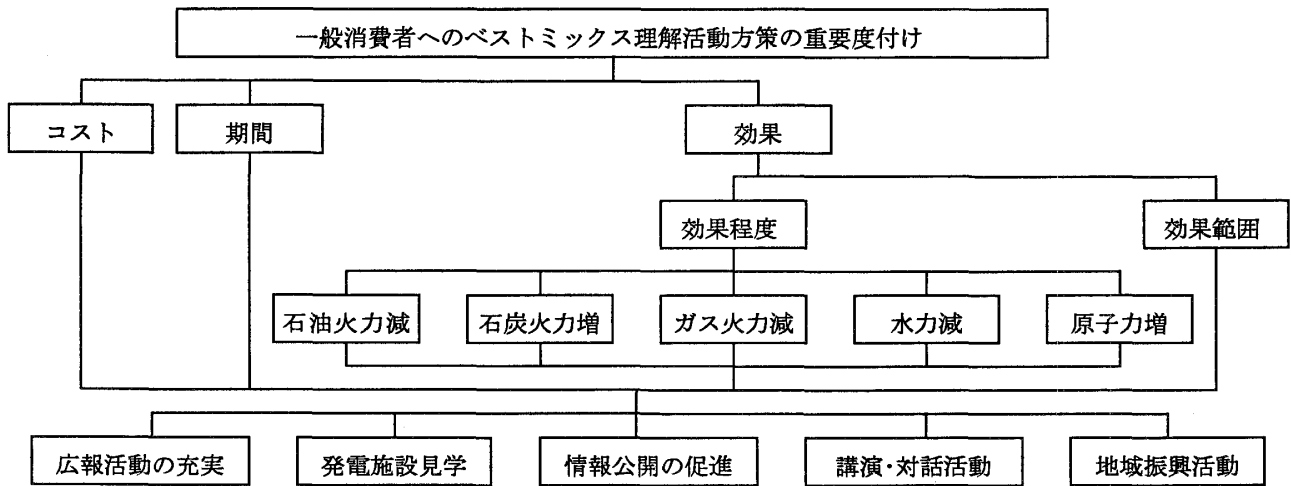


図4 ベストミックス理解促進活動重要度選定のための階層図

表13 各理解活動方策の説明

方策名称	説明
広報活動の充実	マスメディアの利用・正しい報道・原子力等の安全性・エネルギー問題に対するアピール等
発電施設見学	発電施設を見学してもらい各発電方式の特性などの理解を得る等
情報公開の促進	有事の際、迅速で正確な発表ができるような社内規定の強化・研究成果の公表等
講演・対話活動	訪問対話・セミナー・知識人による講演会等
地域振興活動	地域社会への貢献活動・ふれあい活動等

表14 電力会社と一般利用者のベストミックスの差を埋める方策の重要度を求める AHP の結果

方策名	重要度
広報活動の充実	0.190
発電施設見学会	0.195
情報公開の促進	0.246
講演・対話活動	0.277
地域振興活動	0.092

表15 理解促進活動実施前後の一般消費者の立場からのベストミックス (単位: %)

発電方式	消費者実施前	講演・対話活動	発電施設見学	電力会社 AHP
石油	21.0	17.0	11.8	11.8
石炭	12.1	21.0	16.3	26.2
ガス	16.6	15.6	20.3	14.0
水力	34.1	17.5	22.0	17.4
原子力	16.2	28.2	29.6	30.6

発電方式のベストミックスに対してアンケートに協力してもらった一般消費者の理解を得るように口頭で発電方式別の特徴の説明をおこない、その後で再びベストミックスについてのアンケートをおこなった。また、発電施設見学会では、講演・対話活動とは別の集団(40名)に発電施設見学後にベストミックスについてのアンケートをおこなった。

なお、表15には、理解促進活動をおこなう前後の一般消費者の立場、および電力会社の立場によるベストミックスとを比較している。

講演・対話活動をおこなった結果では、石炭火力、水力、ならびに原子力の発電方式で一般消費者の考え方が電力会社のベストミックスに近づいた。一方、発

電施設見学会では、講演・対話活動よりも石油火力、原子力の発電方式については一般消費者の考え方が電力会社のベストミックスの比率に近づいた。また、見学した施設がLNG(ガス)火力発電の施設であったため、クリーンなイメージや自動化の高度さから、見学者の考えるベストミックスは電力会社の考えるそれよりガス火力の比率を高くするように望む傾向になっていた。

また今後、実施が容易ではないが各理解促進活動を組み合わせて、この前進・後退プロセスをおこなうことにより、電力会社のベストミックスについて、一般消費者に対する理解促進活動の効果を評価することができると思われる。

## 8. おわりに

まず、AHPを用いた将来の電力設備に対する発電方式のベストミックスを電力会社と一般消費者の立場から求め、次にAHPの前進・後退プロセスを用いて、電力会社の立場から求めたベストミックスについて一般消費者の理解を得るための方策とその効果について検討した結果、次のことが確認できた。

- (1) AHP手法を用いることにより、発電方式のベストミックス問題に対し主観的ではあるが定量的な評価をおこなうことができた。それにより電力会社と一般消費者の考え方が明らかになり、ベストミックスに関する合意形成に向けて一般消費者への説得力のある説明が可能になる。
- (2) AHPの前進・後退プロセスを用いた一般消費者への理解促進活動の方策の重要度ならびにその効率を明らかにすることにより、将来、電力会社にとって社内での意思決定に有効に

活用できることが期待できる。

## 謝 辞

本事例研究に際してアンケートにお答えいただいた方々、数々の資料を提供していただいた中国電力(株)企画室、広報部、ならびに柳井発電所の皆様に心から御礼申し上げます。

また、貴重なご意見をいただきました本稿査読者の方々、ならびに前近畿大学工学部教授権藤元先生に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 刀根 薫：ゲーム感覚意思決定法，日科技連，(1986)
- [2] 木下栄蔵：AHP手法と応用技術，総合技術センター，(1996)
- [3] 刀根 薫，真鍋龍太郎：AHP事例集，日科技連，(1990)
- [4] 木下栄蔵他：拡張AHP手法を利用したリニューアルのコストベネフィット分析，オペレーションズリサーチ誌，pp 411-416，Vol. 40，No. 8 (1995)
- [5] J. N. Warfield：Social Systems，John-Wiley，(1976)