

# 新エネルギー・システムの評価

今野 浩・近藤 謙一・下岡 浩・斉藤 雄志

## 1. はじめに

石油危機後さまざまな新エネルギー技術が将来のエネルギー需給を担うものとして検討されたが、その後世界の石油需給が緩和されたこともあり、新エネルギー技術はしだいに整理されていった。そのようななかで磷酸型燃料電池による電力・熱供給システム（以下、燃料電池システム）は太陽光発電、高速増殖炉などととも広範囲に影響を与える可能性がある有望な新技術として注目されている。

このような新エネルギー技術を評価するさいに問題となることは、①技術的要因ばかりでなく比較対象となる他のエネルギー・システムとの経済的競合関係、あるいはシステムの導入によって発生する社会的要因など、さまざまな側面からの検討が必要であること、また②それらの要因のいずれもが不確実性やあいまいさを含んでおり、その評価が容易でないという2点が挙げられる。この種の評価に関しては、専門家の総合的、あるいは直観的判断にゆだねざるを得ない面が多いと思われる。このような場合に最近広く知られるようになった階層分析法（以下、AHPと略称する）は

こんの ひろし 東京工業大学 工学部

こんどう けんいち 関西電力株式会社

しもおか ひろし (財)エネルギー総合工学研究所

さいとう たけし 専修大学 経営学部\*

\*〒214 川崎市多摩区東三田2-1-1

有効な評価手段を提供する可能性がある。

本研究は将来の都市型エネルギー供給システムとしての燃料電池の導入可能性の評価を通じて新エネルギー・システム評価手法としてAHPの有効性を検討しようとするものである。

## 2. 燃料電池システムの評価の考え方と条件設定

燃料電池システムは、都市ガス（天然ガス）等を燃料として発電を行なうとともに、排熱を回収して利用するきわめて高効率なシステムで、産業用、あるいはビルなどの業務用分散型エネルギー源として将来広く普及する可能性があり、電気事業やガス事業の形態にも影響を与えるとされている。

燃料電池システムが実用化されるには従来システム、つまり電力系統による電力供給とボイラー等による熱供給システムとその技術的、経済的あるいは社会的な競合において総合的に有利となる必要がある。そこで本研究では従来型システムと対比する形で評価を行なうこととした。燃料電池システムと従来型システムとの総合的競合関係を評価するには、両者を取りまく諸条件やシステムの特性を明確にする必要がある。ここでは以下の7項目を設定した。

### (1) 共通条件

#### ①供給対象地域

東京都内の新宿副都心を想定し、超高層の業務

用ビルあるいはホテルを中心とした大規模開発地域において利用されるものとする。

#### ②エネルギー供給方法

エネルギー供給センター1箇所から電力と熱を供給する。燃料電池システムは電力系統と連係を行わず、単独系として運用されるものとする。

#### ③評価対象範囲

エネルギー供給利用システム（電力、熱の生産から需要端での利用まで）とそれによる周辺地域への影響（周辺環境や事故の波及など）を評価対象範囲とし、供給地域への送配電やガス輸送に関する要因は含まない。

#### ④ピーク需要量

電力50MW、温熱55Gcal/h、冷熱75Gcal/h程度とする。

#### ⑤評価主体とその立場

東京都民総意の立場で評価する。実際のAHPによる評価では、評価者1人1人が東京都民の立場で評価するものとした。燃料電池の可能性を見きわめ、燃料電池システムを促進するのがよいか、抑制するのがよいかを判断をする材料を提供する。

#### ⑥事業主体

現在の電気事業法では可能ではないが、燃料電池システムの分散型システムとしての特徴を明確にするため、民間業者が主体となる事業であり、既存の電気事業あるいはガス事業の直接の事業ではないものとする。

#### ⑦導入時期

技術開発により燃料電池の価格がかなり低下すると予想される約10年後に導入されるものとする。（通産省による燃料電池導入時期を参考にした）

### (2) 燃料電池システムの設定条件

次に燃料電池による熱併給発電のシステムの設定条件は次のとおりである。

#### ①燃料電池システム

磷酸型で250kW×3基で構成される。電力系

統との連係はない。燃料は都市ガス（天然ガス）を用いる。

#### ②運転パターン

電力需要追従運転を行ない、冷房と暖房は排熱を利用する。つまり、燃料電池システムは、主として供給地域の電力需要に応じて発電を行なうが、そのさい発生した排熱と供給地域の熱需要の差はボイラーや吸収式冷凍機による追い焚きによって調整する方式をとる。

従来型システムの設定条件の概要は省略する。

### 3. 評価項目の検討と階層構造の構築

新技術を総合評価するための項目は大きく経済的要因、技術的要因、社会的要因の3つに分けられるが、経済的要因をどう取り扱うかによって少なくとも2つのアプローチが考えられる。第1のアプローチは、前節で仮定した前提条件のもとで経済性評価を行ない、発電単価や熱の単価を計算し、AHPあるいは他の評価手法を用いて経済以外の要因の評価結果を総合する方法である。第2のアプローチは経済性評価の結果を直接総合評価に用いずに、その分析結果を評価者が間接的に総合化する方法である。

この2つの方法にはそれぞれ一長一短がある。第1の方法の最大の欠点は、燃料電池などの新システムの場合は信頼性の高い経済性評価がほとんど不可能で、このような経済性の評価結果をAHPに取り入れてもあまり意味ある結果は生まれないことである。これは経済性評価においては最も核心的な要因である建設費や燃料費には新技術開発やエネルギー情勢にかかわるさまざまな不確実性がからむからである。一見、定量的評価が容易にみえる経済性も、結局は専門家による総合的、直観的判断にゆだねざるを得ない。そこで本研究では、第2の方法を用いることにし、燃料電池システムの経済性は技術的要因や社会的要因とは別個に検討し、総合評価ではその結果を間接的に用いるものとした。

以上を考慮して作成した総合評価のための階層構造をまとめると図1のようになる。図においてF<sub>1</sub>以下は、直接にAHPを適用しないため破線で囲んである。AHPの適用に当たって最も重要な点は評価要因間の階層構造を適切に表現することである。今回の作業の中ではこの階層構造の作成に最も多くの時間を必要とした。

#### 4. 評価結果とその検討

##### (1) 評価者

図1の階層構造を構成する評価項目のウェイトづけ、およびそれらの評価項目を用いた2つのシステムの評価は、燃料電池技術専門家を含むエネルギー諸分野の7人の専門家(A, B, C, D, E, F, Gとする)によって行なわれた。結果として次のような興味あることが得られた。

①評価項目間のウェイトづけでは、技術的な項目を除くと評価者間の意見の差は意外に少ない。

②システム間の比較、つまり、燃料電池システムと従来型システムとの間のウェイトづけに、評価者間の意見の相違が明確に現われた。これは、燃料電池のように一般に評価がむずかしいとされている対象の場合の特徴と考えられる。

##### (2) 経済的要因の評価

経済性に関しては、前述の設定条件にもとづき別途、定量的な検討を行なった。結論からいえば、現状では燃料電池の建設費の推計が困難であり、燃料電池と従来型システムの競合性は今後の技術開発によってかなり左右される。建設費、都市ガス価格、熱価格などが楽観的な条件のもとでは、燃料電池は従来型システムよりかなり経済的に有利になるが、その逆に開発状況によっては従来型システムに太刀打ちできないという状況もあることがわかった。

その結果を上記の7人の評価者に示すことによ

表1 階層構造のウェイト例(評価者Aの場合)

| 第1水準のウェイト     |      | 第3水準のウェイト(つづき) |      |
|---------------|------|----------------|------|
| ①技術的要因        | 0.25 | ①プラントのコンパクト性   | 0.60 |
| ②社会的要因        | 0.75 | ②短工期性          | 0.26 |
| 第2水準のウェイト     |      | ③建設の容易性        | 0.11 |
| ①開発の難易・不確実性   | 0.20 | ①短工期性          | 0.08 |
| ②プラントの運転・保守性  | 0.20 | ②環境保全性         | 0.48 |
| ③設備容量増の難易度    | 0.60 | ③環境調和性         | 0.21 |
| ①パブリックアクセプタンス | 0.28 | ④事故時の影響度       | 0.15 |
| ②エネルギーの安定供給   | 0.65 | ⑤関連産業          | 0.05 |
| ③間接的な波及効果     | 0.07 | ⑥地域開発・社会資本の整備  | 0.03 |
| 第3水準のウェイト     |      | ①緊急時の対応性       | 0.25 |
| ①外国技術への依存度    | 0.75 | ②燃料輸入の安定性      | 0.75 |
| ②技術の不確実性      | 0.25 | ①関連産業          | 0.28 |
| ①負荷追従性        | 0.30 | ②社会制度          | 0.48 |
| ②無人運転性        | 0.09 | ③供給・拡充投資       | 0.12 |
| ③保守性、信頼性      | 0.61 | ④地域開発・社会資本の整備  | 0.12 |

(注) 項目間の階層構造については図3.1参照。

りAHPの評価に反映させるとともに、また後述のように経済性をパラメータとして総合的な検討を行なった。

##### (3) 技術的要因および社会的要因の評価

これらの評価項目のウェイトづけは一对比較によって行なった。図1の第1水準の技術的要因と社会的要因の評価については、全評価者が「社会的要因が、技術的要因に比べてやや重要(評点3)である」と答えている。評価対象項目は全部で36対あるが、そのうち3/4については7人の評価者間でかなり一致している。不一致が多いのは第2水準の技術的要因に関するものが多い。

表1に階層構造の項目間のウェイトの例(評価者Aの場合)を示す。

##### (4) 個別項目によるシステム評価

表2に2つの対象システム、燃料電池システムと従来型システムに対する7人の評価結果を示す。この表では従来型システムが燃料電池システムと比較してより優れている場合に1よりも大き

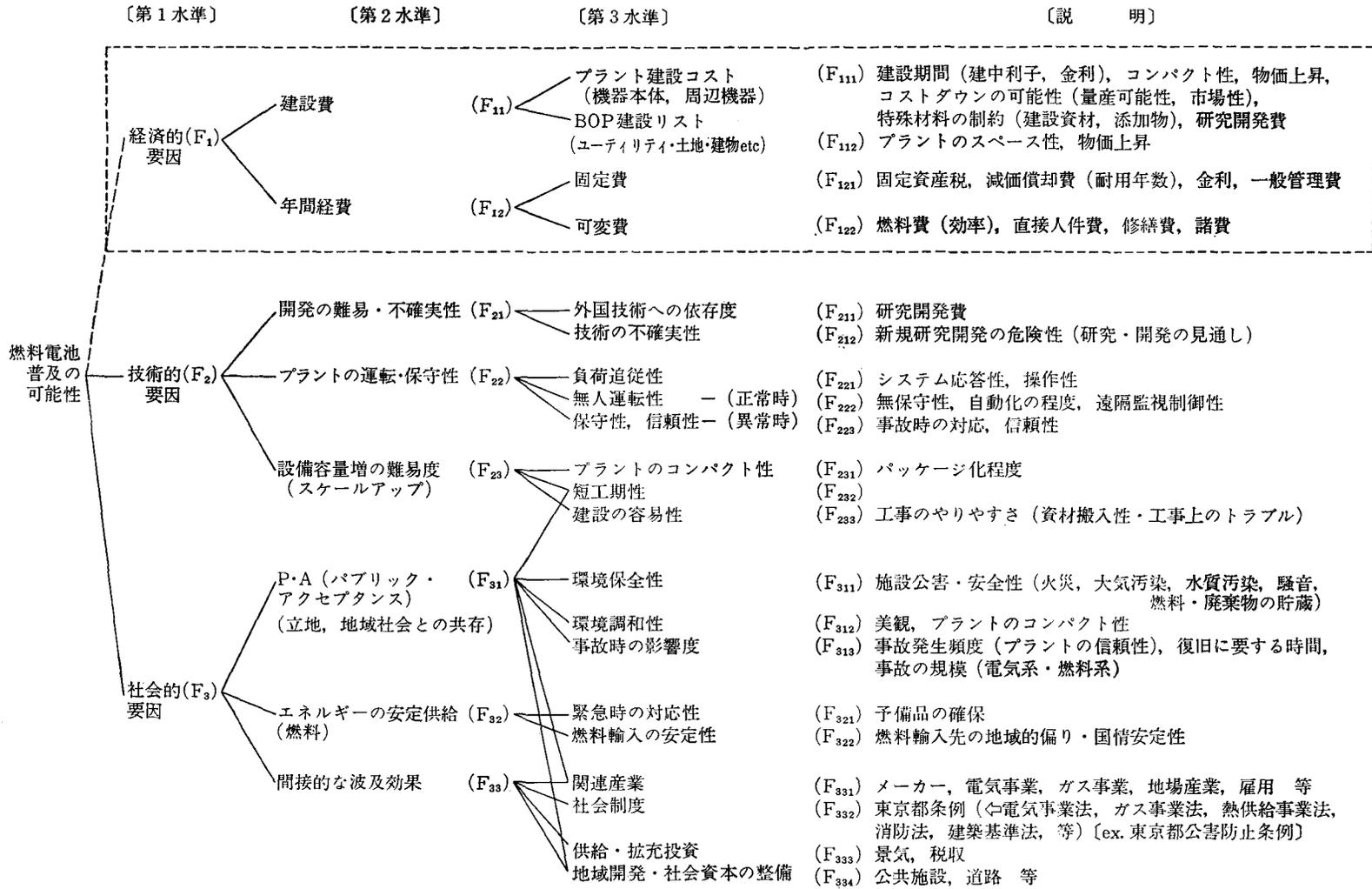


図1 AHP階層グラフ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.

な値となっている。7人の評価者間の整合度（◎：ほとんど一致，・・・，×：ほとんど一致せず）を見ると，全体的に高くないが，さらに細かくみると技術的要因に関しては評価の結果がおおむね同じ方向であるのに対して社会的要因に関してはやや不一致が見られる。意見が分かれた項目はプラントのコンパクト性，短工期性，事故時の影響，緊急時の対応性，燃料輸入の安定性，社会制度，地域開発・社会資本の整備等の項目である。これらは，燃料電池の現在の開発状況では，見通せない項目が多く，いずれも評価がむずかしいものである。

表2 燃料電池に比べた従来システムの評価結果

| 評価者<br>分類    |             | A   | B   | C   | D   | E   | F   | G   | 整合度 |
|--------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 技術的<br>要因    | 外国技術への依存度   | 3   | 3   | 3   | 1   | 2   | 3   | 5   | ◎   |
|              | 技術の不確実性     | 9   | 7   | 7   | 3   | 2   | 3   | 5   | ◎   |
|              | 負荷追従性       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 3   | ◎   |
|              | 無人運転性       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | ◎   |
|              | 保守性，信頼性     | 2   | 3   | 5   | 1   | 1   | 3   | 3   | ◎   |
|              | プラントのコンパクト性 | 1/4 | 3   | 1/5 | 1/5 | 1   | 3   | 1   | △   |
|              | 短工期性        | 1/7 | 1   | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 3   | 1/3 | △   |
| 社会的<br>要因    | 建設の容易性      | 1   | 1   | 5   | 1   | 5   | 3   | 1   | ◎   |
|              | 環境保全性       | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1   | ◎   |
|              | 環境調和性       | 1/7 | 1   | 1/2 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1   | ○   |
|              | 事故時の影響度     | 1   | 1/2 | 3   | 1/3 | 1   | 3   | 5   | △   |
|              | 緊急時の対応性     | 1   | 3   | 1/3 | 1   | 3   | 5   | 3   | △   |
|              | 燃料輸入の安定性    | 1/3 | 1   | 1/3 | 1   | 1   | 3   | 3   | △   |
|              | 関連産業        | 1/2 | 1   | 1/5 | 1   | 1   | 1/3 | 1/3 | ○   |
|              | 社会制度        | 2   | 1/3 | 5   | 3   | 1/3 | 3   | 5   | △   |
| 供給・拡充投資      | 1/2         | 1/3 | 1/5 | 1   | 1   | 1   | 1   | ○   |     |
| 地域開発・社会資本の整備 | 1/2         | 1/3 | 3   | 5   | 1/2 | 1   | 1/3 | △   |     |

技術的要因に関する評価では，プラントのコンパクト性，短工期性等の点で燃料電池が有利となっているが，その他の点では，従来技術が有利になっている。社会的要因では環境保全性，環境調和性などの項目で燃料電池が有利になっているが，事故時の影響度，緊急時の対応性等の項目では従来システムが有利とされている。

### (5) 総合システム評価

まず評価がむずかしい経済的要因を除いて，AHPにより求めた7人の評価者の結果を示すと表3のようになる。

許点が1より大きい場合は，燃料電池システムの方が優れていると考えていることを示す。（数値3は「やや優れている」ことを意味する。）燃料電池システムが従来システムよりやや勝っていると考えた評価者が1名，ほぼ同程度と考える評価者が4名，逆に多少劣っていると考えた評価者が2名いることになる。

2図は評価者Aについて経済的要因をパラメトリックに変化させた場合の燃料電池システムと従来システムの評価値を示す。図では燃料電池の経

表3 7人の評価者の結果

| 評価者 | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 評点  | 2.02 | 1.26 | 1.19 | 1.10 | 1.00 | 0.68 | 0.70 |

済性は従来システムと比べてやや悪いと仮定されており，さらに技術・社会要因に対する経済的要因に対するウェイトを横軸にとってある。評価者Aの場合は，経済的要因と技術・社会要因のウェイトが1：1であれば2つのシステムの良さに有意な差がないということになる。しかしこのような分析では経済性を他の要因とどのようにウェイトづけるかに関して明確な決め手がないのが最大の欠点である。

以上の評価結果を一言で集約すれば，燃料電池システムと従来システムの総合的な競合性はかなり微妙であり，簡単には判断できないということになる。

## 6. あとがき

新エネルギー技術の評価を1つの事例として得たAHPの有効性に関する感想は次のようにまと

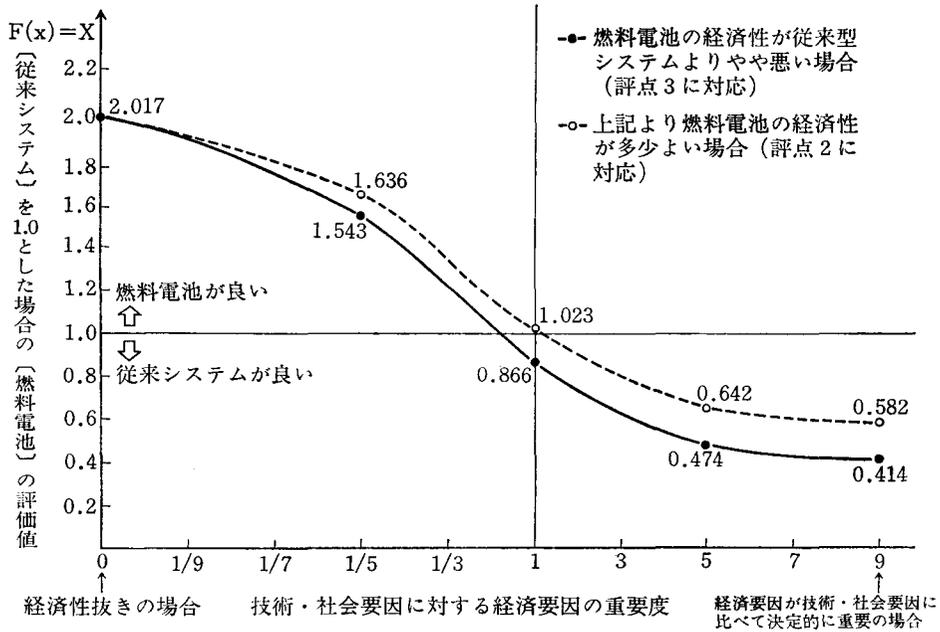


図 2 評価者Aにおける経済要因の影響度

められる。

まず、この手法の長所としては、きわめて手軽でわかりやすい点あげられる。また、論理の首尾一貫性に関して評価者に過度の負担をかけずに済むので、専門家の協力が得られやすい。したがって、定量的評価が困難で専門家の総合判断にゆだねざるを得ないような問題に関しては広く適用できそうである。反面、評価項目の中に本研究の「経済性」のように定量的評価を行なうほうが適切な項目が含まれている場合には、その取り扱いに工夫を必要とする。また、AHP自体にも改良すべき点や利用上注意しなければならない点があるようである。たとえば、重要度を表わすウエイトがAHPの前提である比尺度の条件を満足するか否か、総合評点を各項目の加重和として表現する方式は妥当か、一貫性係数はどこまでの大きさを許容してよいのか、といった問題点が指摘されよう。また、AHPは階層構造を構成する各評価項目や評価対象に関して「やや」、「ずっと」などの相対的な評価を行なっているのであって、最終的な評価結果も対象項目間の絶対的なウエイトを

計測しているのではないという点にも注意が必要である。

最後に、本研究は(財)電力中央研究所の助成により、昭和60年度において(財)エネルギー総合工学研究所において行なった研究「エネルギー・システム評価手法の開発研究」の一部であり、筆者等4名の他に多くの方にご参加、ご協力いただいた。これらの方々に厚くお礼を申し上げたい。

#### 参考文献

- [1] エネルギー・システム評価手法の開発研究(第5年度版)、(財)エネルギー総合工学研究所、昭和60年3月。
- [2] Saaty, T.L.: A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure, *J. of Mathematical Psychology*, 15, pp.234-281, 1977.