

## ■ 報 文 ■

## 代替エネルギー開発テーマの評価手法

## A New Method to Evaluate Energy Technologies

柴 田 祐 作\*

Yusaku Shibata

## 1. ま え が き

代替エネルギーの開発は、基礎的な技術開発を終わり実証プラント建設のための多額な投資が必要な段階に入っている。そのために、客観的な評価による重点化が求められているが、関係者の合意形成は困難である。(財)エンジニアリング振興協会の代替エネルギーコスト調査研究委員会の分析によると<sup>1)</sup>、その原因は、評価対象が資源、技術、需要、価値観などを含むため複雑かつ不確定であることと、関係者が利害を異にするタテ割組織に所属するためコミュニケーションが困難なこととである。したがって、現実に受け入れられる評価手法は、単に資源量やコストのような定量的データだけでなく、入手安定性や開発確実性のような数量化し難い量も扱うことができなければならない。さらに、利害関係者のコミュニケーションのような、実施上の阻害要因を解決する手段をも含んでいなければならない。

そこで、上記研究委員会では、研究活動の一環として、既存の定量的評価方法(発電コスト、あるいは開発投資の予想利益率)を適用する前提条件を整備するために、新しい定性的評価手法を開発することとした。手法の開発にあたっては、実用面に重点を置いてできる限り簡便なものとするように留意した。そのため、論理的な厳密さよりも関係者の合意形成を重視し、将来の確実な予測に基づく不動の決定よりも、状況の変化にダイナミックに対応できる意思決定の道具を提供するように配慮した。また、評価者の立場による政策、戦略の相違が、技術の評価に対してどのような影響をもつかを判断できるようにし、技術評価にあらわれた差異がいかなる立場の相違に基づくものであるかを、さかのぼって理解できるようにした。建設的な合意形

成の前提として、立場の相違を相互に正しく理解する必要があると考えたからである。以上の考え方にしたがって、次の三つの方針で研究を進めた。

- (1) 評価とは、評価者の立場(=政策、戦略)に基づく目標達成手段の選択である、との考え方にしたがって、評価プロセスを3段階に分離した。第1段階は評価の前提となる目標項目(=戦略)の決定であり、組織内の上位者(経営者)の役割である。第2段階は評価項目(技術の有する属性)の決定であり、専門的技術者の役割である。第3段階では具体的にデータをあてはめ、目標項目と評価項目との関係に基づいて評価を実施する。第3段階は経営者と技術者との協同作業であるが、その間を媒介する戦略スタッフの役割が重要である。
- (2) この定性的評価手法は、評価の厳密さよりも、関係者が参加し易いことと、相互理解を促進することとに重点を置く。つまり、異なった組織、専門分野、価値観の参加者が短時間の中に共通目標を設定するための、コミュニケーション手段を指向する。そのため、問題の状況を参加者に適確に理解させ、短時間に問題意識を集約し、本質的な発言を引き出し、個々の意見を体系化する道具を提供する。
- (3) 価値観を含む複雑な資源・エネルギー問題は、単に客観的なデータを収集し定量的に分析するだけでは、関係者の納得を得ることは困難である。複雑なデータを整理し提供する方法としては、シナリオ法による仮設法的アプローチを採用し、立場や価値観の相違については、相違に配慮した複数のシナリオによって対応する。

以下、事例によって、上記委員会で筆者が開発した評価手法の要点を報告する。

\* 日立精工機製品企画室長  
〒243 神奈川県海老名市上今泉2100

(註) 本研究会第2回研究発表会(58/4/26)で講演  
原稿受付日(58/7/11)

## 2. 評価フレームワークの作成

評価は戦略形成という非常に複雑な組織意思決定のある断面に過ぎないから、評価手法を適用する前提として、戦略形成のイメージについて関係者の間で共通理解を得ておかなければならない。この共通イメージが評価フレームワークである。この研究では、戦略形成プロセスとしてSINPL(Simplified Normative Planning)法<sup>2)</sup>を採用した。SINPL法は、グループ討議において下記の五つのステップ(S-I-N-P-L)を踏むことにより、複雑多岐にわたる問題の構造を明確化し、具体的な実行プランに到達するための合意形成手法である。

今回のグループ討議では、予め幹事役が作成した代替エネルギーの開発戦略案をベースに、各委員が電力供給関係者の役割を演じることによって、次のように5段階の議論(以下ではその結論のみを箇条書きで記す)を展開した。

- (1) 将来シナリオの検討 (S : Scenario)
  - 安定成長軌道の定着、産業構造の高度化と省エネルギー化、1次エネルギー需要の伸びが鈍化
  - 電力需要の漸増、石油の供給制約と高価格化、原子力・LNG・石炭・新エネルギーへの転換
  - 物から生きがいへの価値観の転換、産業・居住の地方分散、自助努力を加味した福祉社会
- (2) 阻害要因の分析・洞察 (I : Insight)
  - 電源開発計画の前提となる電力需要予測は、上下限の中が大きく確定は困難
  - 国際政治もからむため、今後のエネルギー資源の供給量と価格は不確実
  - 代替エネルギー技術は、実証が未だ不十分
  - 政府のエネルギー政策は計画性と総合性が不足、しかし、権限を政府に集中するのも逆効果
  - これらの問題解決のため、電気事業トータルとしての総合性・効率性を高めることが緊急に必要
  - しかし組織としての肥大・細分化、人事の高令・不活性化など多くの問題に直面
- (3) 新しい政策ガイドライン (N : New Guideline)
  - 膨大な投資の必要と経営資源の制約の下では、国を始めとする関連主体との協力が不可欠
  - 電力供給者としては、エネルギー資源の確保から電力サービスまで一貫する総合機能を発揮
  - 組織全体の事業革新を通じて経営機能を強化し、総合力によってリーダーシップを獲得

- エネルギーシステムのオルガナイザーとして、内外情報の収集・分析により経営政策を決定し、国への要望、メーカーへの開発目標提示、国民への理解の要請を通じ社会の合意を形成
- (4) 戦略的計画 (P : Plan)
    - 経営政策機能の強化と事業機会の拡大
    - 原子力・LNG・石炭・新エネルギーなどへの多様化による資源確保
    - 第3セクター・分散型など新方式の設備形成を導入することにより電力供給を安定化
    - 需要家・ガス事業との協力により、負荷率改善・省エネルギー・緊急時対策を準備
    - 地域社会の発展に協力し、新しい社会的合意の形成に寄与
    - 燃料費などのコスト上昇要因に対する施策の検討、および総合的生産性向上策の推進
    - 償却方式の改善および資金調達力の強化等により、財務体質を強化
    - 事業分野の新編成と分権化および人材育成により、組織全員を活性化
  - (5) 実行計画の策定 (L : Launch)
 

前項の戦略的計画を実行する施策の一環として、代替エネルギー開発テーマを評価した。その結果は次項に述べる。

## 3. 評価手法とその適用事例

表1に示した目標項目 $l$ は、前項のようにSINPL法によって策定した戦略的計画を短縮して表現したものである。目標ウェイト $u_{kl}$ は必ずしも均一ではなく、その時点での社会情勢と、それに対応する会社の姿勢とによってウェイトの配分(=政策パターン $k$ )は変化する。たとえば、石油ショック直後には表1の安定供給重視のパターン(3)になるであろうし、現在のような景気低迷の時代にはコスト重視のパターン(2)になるであろう。

表1には、次の段階で決定された評価大項目 $j$ と目標項目との関係も示してある。表の内部の5段階の数字(符号つき)は、各評価項目の目標項目に対する貢献度 $v_{ji}$ を委員会で判定したものであり、各目標項目内部での相対値である。次に、各目標項目に対する貢献度の合計がその目標ウェイトと一致するように、貢献度の絶対値を比例按分で決定した。この貢献度を評価項目毎に集計したものが、表1の右側の評価ウェイト $W_{jk}$ (%)であり、計算式は下の通りである。

表1 目標項目と評価項目のウェイト

目標項目, $l$	評価大項目, $j$	1. エネルギー源確保	2. 電力安定供給	3. 事業機会拡大	4. 経営の活性化	5. 費用の低減	6. 財務の改善	7. 需要の方策	8. 社会的合意	評価ウェイト, $W_{jk}$ %				
										1. ベース	2. コスト重視	3. 供給重視	4. 住民重視	5. エネルギー産業
目標項目への貢献度、 $v_{jl}$	1. 資源安定性	5	5	0	0	0	0	0	2	21.2	7.2	28.1	12.7	10.3
	2. 新資源開拓性	1	1	3	4	0	0	0	5	10.9	8.1	11.0	13.3	18.2
	3. 立地容易性	1	3	0	0	3	0	4	5	17.4	15.0	16.4	26.2	9.3
	4. 運 転 性	0	3	0	3	4	3	0	0	11.3	18.3	9.2	6.9	11.3
	5. 負荷変動対応性	0	3	0	0	0	0	4	3	9.4	8.5	11.1	19.5	6.0
	6. 開発確実性	1	2	-1	0	4	3	0	-2	9.9	14.7	8.6	2.6	3.5
	7. 経 済 性	0	0	4	4	5	3	0	0	12.4	20.6	8.1	7.9	20.6
	8. 経営政策貢献性	0	0	5	3	0	0	0	4	7.2	7.2	7.0	10.6	20.3
目標ウェイト、 $u_{kl}$	政策パターン、 $k$													
	1. ベース	5	3	1	2	4	1	2	2					
	2. コスト重視	1	2	1	2	5	5	2	2					
	3. 安定供給重視	6	6	2	1	1	1	2	1					
	4. 住民意識重視	2	2	1	1	2	1	5	6					
5. エネルギー産業化	2	2	5	5	1	2	1	2						

表2 資源安定性と立地容易性の評価

評価大項目, $j$	発電方式, $i$	評価小項目, $m$											ウェイト % $w_{jm}$
		1. 石油 (OIL)	2. 天然ガス (NG)	3. 石炭 (CO)	4. 流動体 (LFC)	5. ガス化 (G)	6. 燃料電池 (MFC)	7. 電磁流体 (MHD)	8. 軽水炉 (LWR)	9. 高速炉 (FBR)	10. 地熱 (GEO)	11. 太陽光 (PHV)	
1. 資源安定性	1. 入手安定	P	F	G	G	G	G	G	G	G	P	P	60
	2. 価格安定	P	F	F	F	F	F	F	G	G	G	G	10
	3. 複数燃料使用	F	F	F	P	F	F	F	P	P	F	G	10
	4. 備蓄コスト	F	P	F	F	F	F	F	G	G	G	F	10
	5. 供給可能地点	F	F	G	G	G	G	G	F	F	F	F	10
	評価点, $a_{ij}$	2.2	4.6	8.5	8.1	8.5	8.5	8.5	8.6	8.6	3.6	3.6	
3. 立地容易性	1. 用地取得	F	F	F	F	F	F	F	P	P	F	F	20
	2. 所要面積	G	G	F	F	F	F	F	F	F	F	P	8
	3. 安全性	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	16
	4. 排出物毒性	F	G	P	F	F	F	G	F	F	F	G	16
	5. 温排水	F	F	F	F	F	G	F	P	P	G	G	12
	6. 環境対策	G	G	F	F	F	F	F	P	P	F	F	4
	7. 地域の合意	F	F	F	F	F	F	F	P	P	P	F	16
	8. 建設期間	G	G	F	F	F	F	F	P	P	F	G	8
	評価点, $a_{ij}$	6.8	7.6	5.2	5.8	5.8	6.4	6.6	3.4	3.4	5.8	7.3	

$$W_{jk} = \frac{\sum_i \frac{v_{jl}}{\sum_j v_{jl}} u_{ki}}{\sum_j \sum_i \frac{v_{jl}}{\sum_j v_{jl}} u_{ki}} \dots\dots\dots(1)$$

表2は、11種類の発電方式*i*について、表1の評価大項目の中の資源安定性 (*j* = 1) と立地容易性 (*j* = 3) を評価した過程を示している。このように、評価大項目は発電方式の有するいくつかの同類の特性 (=評価小目)*m*をまとめたものであり、小項目の評点 *b<sub>ijm</sub>* は3段階 (G = 10, F = 5, P = 1) とし、これに右端のウェイト *w<sub>jm</sub>* (%) を掛けて下の如く集計した *a<sub>ij</sub>* を評価大項目の評点とした。

$$a_{ij} = \sum_m w_{jm} \times b_{ijm} \dots\dots\dots(2)$$

このようにして、すべての評価大項目の得点を決定した段階で、図-1に示すように、任意の二つの項目の

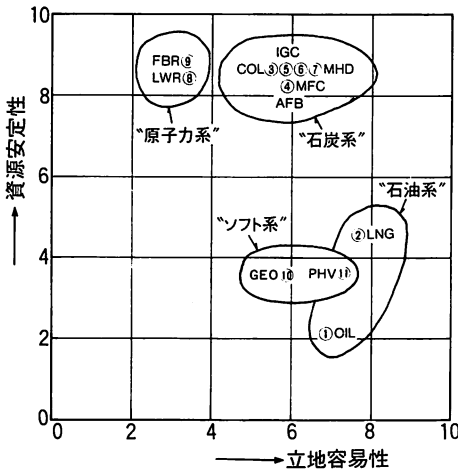


図-1 資源安定性 / 立地容易性の相関

得点の相関をパターン化することにより、その意味を検討することが有効である。図-1の事例からは、一見して次のような意味を読みとることができる。すなわち、石油に代替する資源として原子力、石炭、ソフト・エネルギーが検討されているが、石炭系発電方式に着目すると、期待される役割は資源安定性の確保だけでなく、原子力系の弱点となっている立地容易性を補完する意味が大きい。したがって、石炭利用新発電技術の選択においても、立地容易性に影響する環境対策技術が重要な決め手となるであろう。

他の項目の間の相関図 (紙数の関係で図示は省略するが) から、次のように有益な示唆が得られている。たとえば、運転性と負荷変動対応性の相関図からは次のことがわかる。①OILと②LNGは運転性、負荷

変動対応性に優れている。一方、⑧LWR、⑨FBR、⑩GEO、⑪PHVは運転性は良いが負荷変動対応性は劣る。石炭系の③COL、④AFB、⑤IGC、⑥MFC、⑦MHDは両者の中間の特性を示している。

また、資源安定性と開発確実性の相関図からは、今後10~30年のエネルギーの谷間を乗切るという観点から、資源の量を確保すると共に、開発のタイミングが大切であることがわかる。その意味で、④AFB、⑤IGC、⑥MFC、⑨FBRが重要であることがわかる。

最後に、下に示すように、(2)式と表2に示す評価大項目の得点 *a<sub>ij</sub>* に、(1)式と表1に示す評価ウェイト *W<sub>jk</sub>* を加重して集計することによって、総合評価点 *S<sub>ik</sub>* を計算する。この例では、評価ウェイトとして5通りの政策パターンを考えており、その結果、総合評価点  $S_{ik} = \sum_j W_{jk} \times a_{ij} \dots\dots\dots(3)$

も、表3に示すように、5通りのパターンが得られている。冒頭に述べたように、代替エネルギーの導入評価においては、評価者の立場によって変る主観的な側面と、純技術的に判定できる客観的な側面とが混在している。この評価手法では、評価ウェイトの決定と大項目別の評価点の決定という形で、この両側面の分離を可能にしている。

表3には、定量的評価尺度として一般に使用されている発電原価のある公開事例<sup>3)</sup>を、参考値として示しておいた。代替エネルギーの最終的選択は、図-2に示すように、本研究で実施した定性的評価と、発電原価のような定量的評価とを多面的に検討した上で行われる。図-2の(3)から(2)への変化を較べると、石油需給が緩み経済状態が厳しくなると共に、資源安定性が悪くても、運転性、開発確実性、または経済性の優れた技術の総合評価が高くなっていることがわかる。ここで、コスト重視の政策パターンであるにもかかわらず、発電原価の高い重油 (①OIL)、天然ガス (②LNG) の総合評価が高いのは、定性的評価の内容として発電原価のウェイトをあまり高く見ていないことと、経済性以外の項目が効いていることが理由である。

#### 4. 開発戦略形成への適用

以上で、今回開発した定性的評価手法の説明を終るが、第2項にも述べたように、開発戦略形成は複雑な意思決定プロセスであり、上述の評価手法は、その一断面を抽象的に表現したものに過ぎない。現実の組織においては、この評価手法に含まれる一つ一つの要素が断片的な意思決定として既成事実の積み上げとなり、

表3 代替発電方式の総合評価

発電方式, $i$		評価大項目, $j$										
		1. OIL	2. LNG	3. COL	4. AFB	5. IGC	6. MFC	7. MHD	8. LWR	9. FBR	10. GEO	11. PHV
大項目別評価点 $a_{ij}$	1. 資源安定性	2.2	4.6	8.5	8.1	8.5	8.5	8.5	8.6	8.6	3.6	3.6
	2. 新資源開拓性	1.0	1.0	2.2	3.0	3.0	4.0	2.2	1.0	7.5	6.5	10.0
	3. 立地容易性	6.8	7.6	5.2	5.8	5.8	6.4	6.6	3.4	3.4	5.8	7.3
	4. 運 転 性	10.0	10.0	8.6	6.0	5.2	5.7	4.7	7.0	4.3	6.9	7.4
	5. 負荷変動対応性	9.4	8.9	9.4	8.8	6.8	7.6	3.6	3.8	3.8	5.1	4.6
	6. 開発確実性	10.0	10.0	10.0	5.0	4.4	3.6	1.0	8.9	3.6	9.3	2.1
	7. 経 済 性	3.7	3.7	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	6.1	6.1	4.9	6.1
	8. 経営政策貢献性	1.8	1.8	3.9	3.9	3.9	5.1	4.5	2.5	3.2	4.2	6.2
総合評価点 $S_{ik}$	政策パターン 1. ベ ー ス	5.4	6.0	6.7	6.0	5.7	6.1	5.1	5.5	5.4	5.6	5.8
	2. コ ス ト 重 視	6.3	6.5	6.7	5.6	5.2	5.5	4.4	5.6	4.9	6.0	5.9
	3. 安 定 供 給 重 視	5.1	5.8	6.9	6.2	6.0	6.3	5.3	5.6	5.6	5.4	5.6
	4. 住 民 意 識 重 視	5.5	5.9	6.2	6.0	5.6	6.2	5.0	4.3	4.9	5.4	6.3
	5. エ ネ ル ギ ー 産 業 化	4.2	4.5	5.5	5.1	4.9	5.5	4.6	4.5	5.3	5.4	6.6
発 電 原 価 (¥/kwh)		21.7	23.9	13.6	13.8	14.5	12.7	14.5	7.2	9.4	10.3	16.5

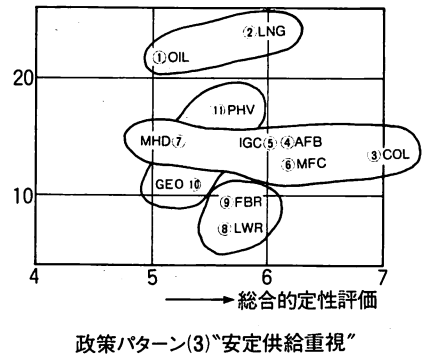
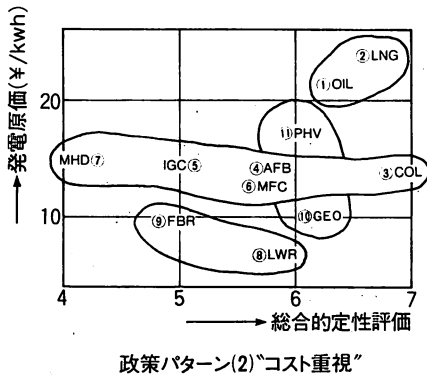


図-2 総合的定性評価と発電原価

最終的な開発戦略が形成されるのであり、特定の時点で評価に関する作業が総合的に行われるわけではない。評価は長い時間をかけて段階を追って進められ、その際、途中を省略して先の段階へ飛躍したり、元の段階に戻って修正したりすることは、例外であるよりも通例である。

第2項では、戦略形成プロセスの共通イメージを評価フレームワークとして定式化した。その結果開発された評価手法を現実の戦略形成に適用することは、換言すると、この共通イメージを維持するための道具として評価手法を利用することである。このように利用されるためには、この評価ツールは、戦略形成という

極めて複雑で創造的なグループ思考のプロセスを阻害しないだけでなく、むしろ促進するものであることが望ましい。我々は、会議の席上で参加者の評価点をインプットし、即座に図や表をディスプレイするコンピュータ会議支援システムを開発し、創造思考の促進と同時に、不必要な脱線や後戻りを防ぐことにも有効であることを確認できた。

その一方、本手法は定性的であるから、これだけでは実用上の限界が大きい。たとえば、想定される電力需要の増加に対して、どのような発電所の組合せとタイミングで電源開発を進めるのが最適か、その場合、予想される投資額、利益率、系統信頼性はどうか、

というような定量的な評価は、別のプログラムを使用しなければならぬ<sup>4)</sup>。しかし、そのように詳細な定量的な分析を実施する場合にも、どのような項目を重点的に取上げるという前提条件の設定や、計算結果の判断基準の設定などの土台づくりのためには、定性的な評価のフレームワークが不可欠である。

最後になったが、この評価手法を現実の開発戦略形成へ適用する上でもっとも重要なことは、質の高いインプットを提供できる専門家と、結論を実行に結びつける責任者が参加するように動機づけることである。ところが、このような人々は、将来の戦略よりも当面の問題解決に追われている等の理由で、戦略策定のために長時間拘束することは困難である。そこで、それらの関係者の間を媒介しつつ開発戦略の代替案を作成する、戦略スタッフの必要性が浮かび上がってくる。事前に開発戦略の素案と、コンピュータによる会議支援システムとを準備することによって、専門家と経営者の参加が容易になり、短時間で質の高い結論が得られるものと期待される。このような戦略スタッフの構成と運用をどう進めれば良いかは、それ自身別個の問題であるから参考文献<sup>5,6)</sup>に譲るが、今後の重要な課題である。

## 5. む す び

代替エネルギー技術の導入戦略を定性的に評価するための手法およびそれをコンピュータで支援するシス

テムを開発し、ケース・スタディによって実用性を確認した。今後は実践的な戦略問題に適用しつつ、この手法をつかひこなす戦略スタッフの強化とコンピュータ支援システムの改良（特に、エキスパート・システムなど知識工学の応用）を進めたいと考えている。

最後に、本研究の機会を与えていただいた㈱日立製作所システム開発研究所・川崎淳所長、研究課題を与えていただいた同電力事業本部 二宮敏次長、ならびに(財)エンジニアリング振興協会において研究指導たまわった幾徳工業大学 平山省一教授に心から感謝の意を表わします。

## 参 考 文 献

- 1) (財)エンジニアリング振興協会；代替エネルギーコストに関する調査研究，ENAA 1982-1代1（昭和58年6月）
- 2) 柴田；政策科学の一手法SINPLについて，オペレーションズ・リサーチ，26巻9号（1981）533-539
- 3) Bechtel；Economic Review of Advanced Fuel and Power Technologies (Dec. 1981)
- 4) Pomeroy, B.D. et al.；Comparative Study and Evaluation of Advanced Cycle Systems, EPRI Report AF-664, General Electric (Feb. 1978)
- 5) H. A. サイモン；複雑な意思決定，組織科学，13巻4号（1979）2-5
- 6) Shibata, Y.；Toward a Policy Guidance System for Complex Innovation, in Eto, H. et al. (eds.)；R & D Management Systems in Japanese Industry, North Holland (1984)

新刊図書あんない

物理学論文選集223

### 「レーザーと物質との相互作用」

山中千代衛 責任編集

大出力レーザーはレーザー核融合の発展に伴って長足の進歩をとげた。本編はここ十数年の大出力レーザーの開発の歩み、レーザーを物質に照射したときに発現する種々の異常現象、レーザー核融合研究の歩み等について概観しようとするものであり本年3月末、(社)日本物理学会より刊行された。(B5例、14論文166ページ、英文版、1500円と送料130円)

(申込先) 〒105東京都港区芝公園3丁目5-8 機械振興会館211号室

(社)日本物理学会 TEL03-434-2671、郵便振替口座 東京2-167544