

総論——エネルギー技術の評価手法

General Remarks—Methodologies of Energy Technology Evaluation

内 山 洋 司*

Yohji Uchiyama

1. はじめに

科学技術庁は、1987年5月に将来の科学技術に関する予測調査についての報告書を取りまとめ、その内容を発表した。それは、科学技術の異なる17分野に対して将来に実現可能な技術を800ほど選び、その技術の可能性と導入時期とを約2000人の専門家アンケートによりデルファイ法で予測したものである。調査は数年毎に行われており、第1回が1971年で今回は第4回目の調査である。今回の報告書の中で特に興味ある点は、15年前の第1回調査の予測結果について、課題の実現率と予測的中率とを分析したことである。実現率とはこの15年間にどういった課題が実現したかを分野別に割合で示したもので、保険・医療、ライフサイクル、鉱物の分野で実現率が高かった。的中率とは予測した導入時期が実際に当たったかどうかを割合で示したもので、通信、農林水産、情報・電子の各分野でその値が大きかった。それに対し、実現率と的中率ともにその値が低かった分野は、エネルギー、運輸、宇宙の分野であった。中でもエネルギー分野の的中率は、全分野の中で最下位であった。

確かにこの15年間、新エネルギー技術が社会へ導入された数は極めて僅かなものである。そのことは発電技術を例にあげて示すことができる。石油危機の発生当初、石油依存からの脱却は我が国での最重要政策であり、省エネルギーはもちろん、石炭、天然ガス、原子力、地熱、自然エネルギーなどの新技術開発が積極的に行われた。その開発は、ありとあらゆる可能性を求めて総花的に進められてきた観があった。それには新鋭微粉炭火力やLNG複合といった実用化に近いものから、MHD複合発電や核融合といったまだ基礎研

究の段階にある新技術も含まれ、実に多くの技術が開発の対象となっていた。しかも、各技術ごとに種々の方式が考察されており、技術開発のスペクトルは拡大する一方で微細化していた。しかしそれから15年経て電力需要の伸びが低迷し石油を始めとする燃料価格が下落した今、新技術で商用化したものはLNG複合とごみ焼却発電程度であり、他の技術の開発は計画が中止したり計画があっても商用化の目途がついていないものがほとんどである。

新エネルギー技術の商用化が進まなかった理由には、エネルギー技術特有の問題点を挙げるができる。電力技術でいうと、技術には公共性と等価性を持つ電気を低コストで供給できるようにすることが課せられている、そのためには経済的なスケール効果と高い熱効率を持った大型技術を長期間に渡り安定して運用しなければならない。さらにそれは、立地点周辺の地域住民を守るため安全性と環境保全においても優れたものでなければならない。このように電力技術には、安全性や環境保全といった経済性を悪くする要因に対し、一方で大型化、高効率化、長寿命化といった供給コストを下げるという互いに相反する要求が課せられている。大型で温度・圧力条件が厳しく、かつ長期間の技術的信頼性を保証したプラントを安価に、しかも、安全性と環境特性に優れたものを建設するという努力は、電力技術の開発において弛まなく続けられてきているが、最近では、その限界が少なからず見え出し始めている。すなわちその開発において時間、資金、人の面でのリスク負担が大きくなってきている。

しかし、こういった技術特有の問題とは別に、社会を取り巻く環境変化も新技術の導入に大きな影響を与えている。1970年代の石油危機は、先進諸国による石油輸入の脱OPEC化、省エネルギーやエネルギー転換の推進、および産業構造の変換といった政治および経済的な対策によって解決したといえる。言い換えると、

* 電力中央研究所・経済研究所・経済部・エネルギー研究室主査研究員

〒100 東京都千代田区大手町1-6-1

OPECによる経済の市場原理を無視して起きた石油危機は、先進諸国の政治経済的な努力で回避され、現在のエネルギー市場は市場の経済メカニズムによって変動する本来の姿に戻ったことになる。新技術開発は、今回の石油危機において石油価格の抑止力としての働きはしたものの、開発に時間がかかる新技術の導入前に、石油危機は鎮静化してしまったわけである。

さらに最近の社会情勢の変化、すなわちエネルギー需要の低迷、安価な燃料価格、エネルギー間競争、安全性や環境問題の高まりは、これからの新エネルギーの技術開発に従来とは異なった新しい方向を求めている。それは社会の多様なニーズに応えた技術開発であって、従来の規模と効率だけを追求した開発姿勢とは異なり、原子力発電のような大型技術と、コ・ジェネ、太陽電池といった分散技術とが併存するデュアルな供給システムを構築するものである。技術を選択する判断基準も一元的でなく複雑となり、問題を解決する方法は必ずしも一つに限らない。また技術の導入も導入者側の条件によって大きく異なることも考えられる。これからの技術評価には、意思決定者が求める多様なニーズを分析し、それを総合的に評価する手法の開発が必要となる。この報告は、電力技術を中心にして、新技術の各種評価手法のフレームワークとその概要を紹介すると同時に、今後の技術開発の在り方について考察したものである。

2. 技術評価

2.1 概要

一般に、技術と社会との関係には、技術シーズが社会を変える（Seed oriented）、社会の要求とその価値観が技術を変える（Market oriented）、それに技術シーズと社会的要求とが相互に依存し合う（Mutual causality）場合がある。革新的な科学的発見や技術の発明がある時代における技術の発展はシーズ指向になるが、最近のように技術が成熟し、かつ極限化してその開発に大きなリスクが伴うようになると、その発展の流れはニーズ指向になってくる。エネルギー技術に関していえば、それにエネルギー消費の鈍化も働いて、その技術は今や明らかに社会あるいは需要家のニーズに応えるものが要求されてきている。

これからの新技術の開発をより効率的に推進するには、将来の社会・経済の不確実性を考慮し、各技術が持つ技術環境特性、経済性、商用化時期、寄与量、開発の難易度などを整合的かつ総合的に分析していく必

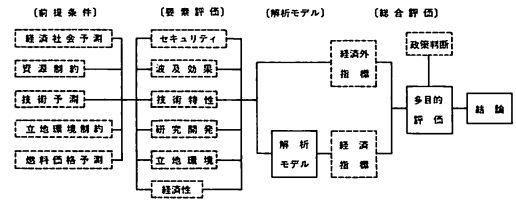


図-1 新エネルギー技術評価手法のフレームワーク

要がある。図-1は、新技術を総合的に分析する各種評価手法を体系化したフレームワークの一例を示したものである。以下、図のフレームワークにそって評価手法を説明することにしよう。

評価手法は、まず最初に、経済社会予測、資源制約、燃料価格予測など、技術評価に必要な前提条件を決める。具体的には、調査やシナリオ分析によって、新技術の研究開発とその導入に影響を及ぼす評価要因を整理する。次にその前提条件を基に、個別技術の各種要素を評価する要素評価を行う。要素評価とは、新技術の評価に必要な種々の要素（セキュリティ、波及効果、技術特性、研究開発特性、立地環境特性、コスト）について、各技術ごとに分析、評価するものである。要素評価によって得られた評価結果のうち、経済性に関する定量的なデータは、次の経済性評価によって解析され、新技術の期待利益や導入量が算定される。一方、各要素評価で経済性以外の評価因子（例：エネルギーセキュリティ、開発成功の確率など）は、経済外指標として定量化に指標化される。総合評価とは、経済指標と経済外指標で表わせられる評価指標について、意思決定者の政策判断を基に、総合的に評価する方法である。

図に示す評価手法は、ある技術を評価する際にすべて適用することではなく、またその必要もない。技術評価は、その目的に応じて分析方法も柔軟なものであって、その最終目的は意思決定者に適切な分析結果を分かりやすく提示することになる。

エネルギー技術の評価は、国あるいは電気事業のエネルギー計画の一環であって、それは①石油輸入依存度の軽減、②消費者の費用を最小にする供給システム、③最適な産業発展のためのエネルギー供給、④信頼度と安全性を最大化する供給システム、⑤環境影響の最小化といった政策目標の達成を補助するものである。

評価手法を開発するにあたっては、まず第一に対象技術の選定はもちろん評価の範囲、規模、導入時期、

詳細さをあらかじめ決めることが大切である。すなわち、評価範囲が全世界的なエネルギー分析なのか、国家的なものか、あるいは狭い範囲での技術開発に関するものか。また、全国的な規模での評価か、地方的、地域的なものか。さらに目標とする導入時期は短期か、長期か。こういった評価条件の違いで、分析方法も異なったものになる。分析は詳細に行うほど得られる結果の情報価値は高まるが、簡略な分析も詳細な手法を多面的に補完する意味から必要である。

2.2 要素評価

技術評価を分析と総合化とに分けるとすると、要素評価は前者に属する。それは総合化に必要な要素項目を詳細に分析するもので、技術特有の要素（技術特性、研究開発特性）と、技術と社会・経済との相互関係についての要素（立地環境、経済性、セキュリティ、波及効果）が含まれる。

(1) 技術特性

これは技術的な視点からの分析法で、エネルギー技術の場合は、エネルギー効率と技術的信頼性がその分析の中心となる。エネルギーの利用をエネルギー変換の立場から見ると、エクセルギーを最大にする方法が理想で、事実、技術の発展も高温高压や複合化などによりその方向に進んでいる。一方では、コ・ジェネレーション、コ・プロダクション技術の発展で同一供給システムから複数の生産物が供給されるようになると、総合的な効率を考えるとエネルギーを有効に利用するシステムの評価が必要になっている。そこではエネルギーの価値や質を評価する考えが要求されている。このように社会でのエネルギー供給形態が複雑になるほどで、エクセルギー解析による評価は次第にその有効性を増すことになる。

エネルギー利用は、理論的に高い変換効率と総合利用効率を図ったシステムが理想である。しかし、実際にはシステムのエネルギー損失は免れず、また技術的および経済的な制約から理論的に考えた状態でエネルギーが利用できることはまずない。特に、高い信頼性と安全性が要求されているエネルギー技術には、エネルギー効率をある程度犠牲にして建設することが多い。また、技術は使用燃料、立地場所、環境基準、あるいは運転状況が変わっても、それに応じて運転しなければならぬ。もちろん事故や故障を完全になくすことは不可能であり、いかにそれらを低減するかが技術の開発課題として重要になる。そのためにはシステムの供給信頼度に関する研究が必要である。電気事業の場

合、それは電力系統の信頼度に関する研究である。その尺度には事故発生頻度を過去の経験から指数化する決定論的方法と、不確実性を考慮し確率的に解析する確率論的方法がある。これらは系統信頼度を電力会社の見地から技術的基準によって検討したもので、系統の拡張計画に適用される。それに対し、最近では系統信頼度を需要家の見地から評価する必要もでてきている。それは停電コストに代表されるもので、経済基準を基に需要家が電力会社から信頼に足るサービスを受けていると認める信頼度を算定するものである。

(2) 研究開発特性

社会のニーズにあった技術を実際に導入するためには、数多くの研究と改良が必要になる。エネルギー技術は大型であるため、その研究開発には巨額の資金と開発期間を要する。効率的な研究開発投資と限られた研究開発資源を有効に使うためには研究開発過程を分析し適切な研究計画を立てることが大切となる。ここでいう研究開発の資源とは、人、物、金、情報であって、それらはマン・パワー（頭脳力）、研究設備、研究員、および研究開発の素材となる知識・情報をいう。研究開発評価とは、資源配分の問題であって、それはアウトプットになる成果を最大にすることを目的に、インプットする研究開発資源の最適解を求めることである。

エネルギー技術のような大型技術の研究開発には、その評価にネットワーク解析手法を用いることが有益である。それは、大規模なプロジェクトに包含する多くの要素研究作業を体系的に把握するもので、その代表的な手法にPERT（Program Evaluation and Review Technique）とGERT（Graphical Evaluation and Review Technique）がある。PERTとは、古くから工程管理に使われてきたネットワーク手法で、研究プロジェクトの開発過程に従って、構成する要素課題（アクティビティ）を分解し、各アクティビティをネットワークで構造化するものである。それによりプロジェクトを期間、コスト、人で分析することができる。しかしPERTでは、各アクティビティの成功確率や複数の代替案による評価や選択過程を扱うことができない。それを改良したものがGERTで、この手法により各アクティビティの成功の不確実性をプロジェクト全体の不確実性に結びつけ研究開発スケジュールを分析することが可能になる。

研究開発を開発段階で大きく分けると、基礎研究、応用研究、開発研究の3つに分類できる。一般に、基礎研究段階の技術ほど、革新性は大きいですが、逆に未知

の事柄も多く、成果への不確実さも大きくなる。研究開発の資源リスクが大きいエネルギー技術は、開発に際してその方向づけと研究資源の配分を適切に行うことが重要であり、また今日のように社会・経済の変化が速いときには、研究活動を常に見直せるような研究管理が必要になる。

(3)立地環境特性

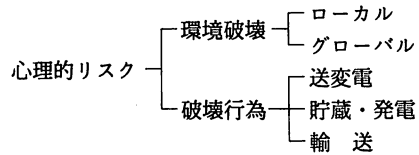
新技術は、研究開発で実証されても、それですぐに社会に導入できるとは限らない。技術的実証以外に、経済性、立地環境特性の面から社会にその受入れが容認されなければならない。特に立地環境問題は、原子力発電のような大型発電技術には大きな問題で、リスクに対する評価が必要になる。

一般にリスクは二つのカテゴリーに分けられる。一つは、地震、洪水などの自然現象の結果としての自然リスクであり、他は人間が自らのまで創り出した技術による人為的リスクである。前者は、人間の力でそれは除去できず、ただ最悪の結果にならないように努力するだけである。それに対し後者は、技術の進歩と共に増大するリスクであって、その対策としては、実行可能な限りリスクの除去を図るか、そのリスクが社会に容認できるまでそのレベルを引き下げるかである。

電力技術のリスクは、単に発電設備だけでなく送電などの関連施設も含まれ、それは職業人、公衆への肉体的および精神的被害として表わすことができる。肉体的被害とは、職業人、公衆が発電所設備（関連施設を含む）で発生する環境汚染、事故によって受ける死亡、負傷、疾病等の物理的なもので、精神的被害とは、発電所設備（関連施設も含む）で発生の恐れがある破壊行為や環境破壊に対する心理的不安と考えられる。

物理的リスクは、定量化可能なリスクで、それは「いつ」、「どこで」、「どの程度の規模で」、そして「どの程度の発生確率で」生じるかを分析することになる。被害の内容は、人間が受ける死亡、負傷、疾病等で表わされ、それらはプラントの事故時と定常運転時に発生する。また対象となる電力供給システムのプロセスには、①燃料採掘、②燃料加工・廃棄物管理、③燃料輸送、④建設・機器製造、⑤発電所での運転・保守がある。肉体的被害の定量指標は、「延べ労働損失日数」で表わされ、死亡、負傷、疾病といった被害の重度に応じて定量化が可能になる。

心理的リスクとは、現時点で定量化が困難である問題によって人間が受ける心理的不安感を指す。心理的リスク評価のためのフレームワークの一例を示すと以



環境破壊とは環境破壊による心理的被害で、次の二項から評価される。

- ① ローカルな問題：ばいじん、騒音、振動、地盤沈下、地下水枯渇問題などを指す。
 - ② グローバルな問題：CO₂問題（発電などから発生する二酸化炭素が原因となる長期的な気候の変化、生態系の破壊等地球的な規模での問題）を指す。
- 破壊行為とは、故意による人的破壊（燃料盗難、発電所占拠等を含む）に対する心理的不安感を示す。

下のようになる。

(4)経済性

新技術開発において、技術が最終的に採用されるか否かは、その技術のもつ経済性に大きくかかっている。貨幣経済社会の活動は、貨幣がすべての価値尺度機能としての働きをしているため、経済性は技術評価の中心となることが多い。中でも建設費と運転保守費の正確な見積りは、プラントの経済性評価の基本データとして重要である。特に異種技術の比較には、コスト推定において算定基準を統一しておく必要がある。

経済性が高い発電技術とは、建設費が安価であるだけでなく、電力の生産コストが安いものをいう。それは発電コストで表わされ、発電に要した総費用を発生電力量で除したものである。その値は、建設費や発電効率といった技術特有の問題以外に、金利、燃料価格、あるいは環境保全といった不確実性が大きい社会・経済的な要因の影響を受け、建設費以上にその正確な推定は難しい。

発電コストは、固定費と可変費とに二分できる。それらの値は、プラント耐用期間で毎年変動するのが普通で、例えば可変費である燃料費は燃料価格によって時間と共に変化するし、建設費に基づく固定費は課税や償却方法の如何で変動する。またそれらの費用は、プラントの稼働状況によっても影響を受ける。このように費用が経年で変化すると、各年の発電コストで異種技術の評価を行うことが難しくなる。

この問題を解決する方法として現在価値法がある。これは、技術経済の基本原則であって、貨幣の時間的価値、すなわち異なる時点に発生するすべての費用をある基準時点の貨幣価値に換算し、その総和をもって異なる発電プラントの経済性を比較する方法である。基準年価格の換算に使われる値は割引率と呼ばれ、

割り引かれた値は理論上、ある特定の投資化に対する貨幣の機会費用となる。発電コストの比較には、均等化コストと呼ばれるプラントの耐用年間の平均発電コストが使われる。それは耐用期間の各発電コストを同じ値としたもので、それらを現在価値換算した総和を上で述べた現在価値の総和に等しく求めたものである。均等化コストは言わば擬制コストである。

均等化発電コストを在来型技術と新技術とで計算し、新技術の発電コストのほうが小さければ、その差が新技術導入による利益となる。もしその利益に新技術の導入規模、すなわち総発電電力量を乗ずれば総利益が求まることになる。さらに、その値から研究開発費を差し引くと、新技術の正味の利益が求まる。コスト／ベネフィット評価とは、新技術について在来技術と比べた正味の利益を算定する方法である。

(5)セキュリティ

今日のように高度に発達した産業社会では、エネルギーは国の経済・社会の存立と発展の基盤となっている。エネルギー資源の安定確保は、国家安全保障の立場からも重要な政策の一つである。「エネルギーセキュリティ」の正確な定義は未だ明確ではないが、もしそれを国家的な総合安全保障の一環として考えたなら、エネルギーセキュリティを確保するということは「エネルギー供給の中断等によって、自国に対してマイナス影響をもたらすような事態を生ぜしめない状態を可及的に持続させるための保障」となる。ある国にマイナス影響をもたらす事態とは結局は、将来の不確実な要因から発生するものであり、それは政治・経済・社会の諸問題と密接な関係をもっている。これらの不確実な要因の分類には、いくつかの方法が考えられるが、表1は政治・経済・技術の面から発生地別に不確実性要因を整理したものである。

表に掲げたセキュリティの要因は、国家的な見地によるエネルギー全体の安全保障である。公益事業であ

る電気事業が考えるべきセキュリティとなると、それは基本的には電力の社会への安定供給を可及的に持続させることになり、その責任範囲も相対的に限定されることになる。電力の安定供給を脅かす問題は、国外と国内の問題に分けられ、前者は発電用燃料に係わる供給途絶問題で、後者は事故あるいは電源構成が特定のタイプの電源技術に偏ることによって生じる問題に相当する。セキュリティを国外の問題すなわち燃料の供給途絶に限定して考えるとすれば、それは以下に示すような項目を検討することになる。

- ①海外依存度（あるいは自給率）
- ②燃料供給国の分散
- ③供給国における資源の枯渇
- ④供給国のカントリーリスク
- ⑤輸送途上の供給途絶
- ⑥国内での燃料備蓄

上記の評価項目からわかるように、セキュリティ問題は特定の技術を評価するよりむしろ異なるエネルギー資源の安定供給の度合いを評価するのが主な狙いである。しかし、電力技術を国全体でみれば、燃料の供給問題は電力を安定に生産する点で大きな問題であり、セキュリティは技術評価に影響する要因といえる。エネルギーセキュリティの分析例には、原子力発電の導入規模を我が国の電源構成で検討したもの〔文献1〕と新型原子炉の導入を最適化モデルに基づく双対分析で行ったもの〔文献2〕などがある。

(6)波及効果

新技術開発は、導入主体の目的達成の為に行うことが原則であるが、その開発と導入は社会に間接的に貢献することがある。技術の開発とその普及による波及効果を、技術、経済、社会面に分けてその項目を列挙すると以下のようなものがある。

- ①技術面：科学技術の水準向上、研究基盤の強化、欧米依存の技術開発からの脱却、研究者・技術者の養

表1 エネルギーセキュリティにおける不確実性要因

	国 外		国 内
	輸 出 国	輸 送 経 路	
政治 社会	東西問題、南北問題戦争、内乱、政変、テロ、資源の国有化（生産制限、保全政策）	主要航路などの関係当事国にかかる国際紛争	テロ、ストライキ、政策変更、制度改変、パブリック・アクザプリンス
経済	経済恐慌、インフレーション、国際金利、為替、燃料価格、	輸送コスト	インフレーション、金利、税金、エネルギー需要
技術	供給施設の自然災害と事故	船舶の自然災害と事故	発電所・貯蔵施設および送電ルートなどの自然災害と事故

成、技術面での国際競争力の強化

②経済面：産業構造の転換をリード、製品の高付加価値化、経済成長の活力を喚起、エネルギー資源の海外依存度の低下

③社会面：地域経済を活性、雇用の促進、国際協調、多極化流動化する国際情勢への対応

上に示した項目からもわかるように波及効果というもの、その範囲と内容を明確に定義することが困難なものである。また各項目は相互に複雑に関係し合っているため、効果を独立して評価することはできない。そのため評価手法も、定性的な判断に頼る直感的な手法にならざるをえない。クロス・インパクト・マトリックス法は、その評価に対する有効な手段の一つで、それについては幾つか研究報告がある [文献3]。

2.3 解析モデル

電気事業の電源設備計画は、1960年代後半から、電力需要が高い伸び率で成長すると共に、その決定要因の数が増えかつ複雑になってきた。それは、コンピュータによる電力系統計画の必要性を増し、電源設備の建設と運用計画をシミュレートしたり最適化する電源構成モデルの開発が発達した。

電源構成モデルは、可能な最低コストで、適正な信頼性と安全性をもって需要家が必要とする電力を供給するという電力会社の目的を支援する手法である。それは、将来の負荷持続曲線に従って、決められた電力

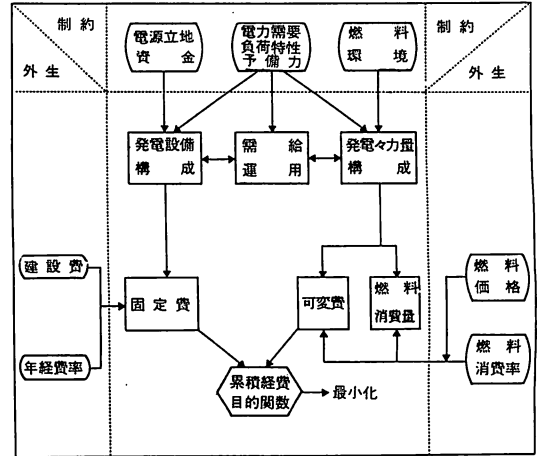


図-2 電源構成モデルの構造

需要を満たすように設備の建設と運用を予測するものである。その目的関数は、最小化されるべきコスト関数で、それには資本費、運転費、供給コスト等が含まれる

図-2は、電源構成モデルの構造の概要を示したもので、モデルには電源計画で考慮すべき問題、電力需要、負荷曲線、発電ユニットの事故停止、運転予備力、系統信頼性、補修計画、一般水力和揚水の運用、新設電源の導入容量と時期、発電コストなどが含まれている。計画立案者は、モデルを用いて最も経済性の高い電源計画を追求することになるが、それには各種制

表2 代表的な電源計画モデル

モデル名	手法	系統信頼性	特徴	開発者
WASP	DP	確率LDC	確率論的生産費用	Genkins & Goy (TVA, ORNL)
OPTGEN	DP	近似法	決定論的民産費用	Lee
Univ. of Massachusetts	LP	近似法	—	Noonan & Giglio
MIT	LP	供給予備力	経済・環境システム計画	MIT, Energy Lab.
PUPS	スクリーニング曲線	事系列	—	Lee & Dechamps
MNI-GRETA	最適 (MNI) モンテカルロシミュレーション (GRETA)	決定論的LDC	最適投資プログラム	EDF (フランス)
GMP	DP	LOLP	WASPの応用版モジュール構造	Southern Company Services, Inc.
WAGP	スクリーニング曲線分枝限定法	決定論的LDCまたはLOLP	資本費と運転費の現在価値最小化, モジュール構造	Westinghouse
OGP	容量表法	LOLP	年最適化	GE
O/U	確率シミュレーション	なし	計画予備力範囲で投入設備容量を評価	Decision Focus, Inc.
RPI	LP	なし	環境制約と最適設備計画	Rensselaer Polytechnic Institute
BNL	LP	なし	立地モデル・石炭輸送費と送電費用の最小化	BNL
EGEAS	拡張最適化とシミュレーション	決定論的 LDC	自動感度解析と不確実性分析に有効	EPRI

約を定量化しなければならない。最小コストの計算は、財政、資源、技術、環境、政治など関連する要因によって制約を受ける。さらにモデルの分析期間は、通常15—30年といった長期にわたっているため、電力需要、技術進歩、燃料の利用可能性、各種コスト、財務状況、あるいは季節的な負荷変動など計算に使われる重要なパラメータの不確実性も大きく、それらを整合的に解析する工夫がいる。

モデルの分析法を大きく分けると、シミュレーション法と最適化法とがある。両者は相互に補完し合って利用されており、シミュレーション法は一般に最適化プログラムの精度を高めるのに使われている。また主要なパラメータについては、感度分析で検討することが多く、その結果は電源計画立案にとって有益な情報になる。表2は、今までに開発された代表的な電源構成モデルの解析手法と特徴を示したものである [文献4]。

2.4 総合評価

不確実性の時代では、責任ある意思決定者は種々の選択肢(代替案)をいろいろな選択基準から総合的に判断し意思決定を下さなければならない。特に、社会組織に属する意思決定者は、その結果が個人の問題に比べ社会的な影響が大きいかつ広範囲に及ぶことから、勤や経験によってその政策を決定することは危険なことである。一般に、技術選択の評価要因には、経済的な有利性や開発課題の容易さのみならず、設備の安全性やエネルギー供給の安定性といった他次元の価値観が含まれている。そして、評価に際しては安全性やセキュリティといった本来定量化し難い要因(Intangibles)を、経済性と同時に総合的に考慮する必要ができてきている。

こういったエネルギー技術の選択問題を定量的に分析する方法は数多くあるが、ここでは近年、多目標の意思決定問題に有力な方法として注目されている多属性効用関数法(MUF: Multiattribute Utility Function Method) [文献5] を採り上げ、それについて説明することにする。この方法は、現代の複雑な技術社会が生み出した諸問題を取り扱うシステム分析法の一つであって、評価は評価対象の代替案に対し、単に総合的な優先順位を決めるにとどまらず、問題複合体としての評価対象の複雑な構造の個々の成分に至るまで、互いに満足度を比較することが可能になるという特徴をもったものである。言い換えると、MUF法とは多目的意思決定問題に含まれる解析的局面と判断的

局面のなかで、とくに判断的局面を中心に、「 Γ 」異なる要因やトレード・オフ(二律背反)の關係にある要因を、効用理論により統合化して定量的に評価するものである。

この手法を用いた場合、その評価プロセスは次の4ステップで表わされることになる。

- (a)問題の構造化
 - 代替案の分類
 - 目標(属性)の設定と構造化
 - 属性の効用範囲
- (b)代替案の属性分析
 - 属性の定量化
 - 不確実性の評価
- (c)価値構造の定式化
 - 効用関数の定式化
 - 重みの設定
 - 価値のトレード・オフ
- (d)代替案の比較評価
 - 代替案の解析計算
 - 感度解析

上に示す評価プロセスのうち問題の構造化と代替案の属性分析は客観的・解析的なプロセスであり、それに対し価値構造の定式化は主観的・判断的な要素が大きいプロセスである。

ここでは、上に掲げた各ステップの分析方法を、新エネルギー技術の簡単な総合評価を例にして説明することにする。図-3は、総合評価の一例としてとりあげた各属性を階層構造にして表わしたものである。

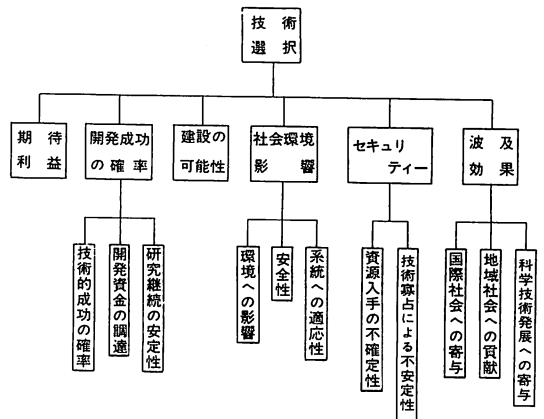


図-3 技術選択の関連樹木

(a)問題の構造化

もし意思決定者がある解決すべき問題に直面したならば、その意思決定者は通常、様々な状況の中でとりうる実行可能な行為(代替案)を考えるであろう。例えば、新発電技術を例に言えば、それは評価対象の代替技術になる。

評価する対象技術が明確になると、次に大切なことは、選択の意思決定を行う人がどういう立場にある人か、また将来の社会、技術の展望をどのように予測し、

どの時点で評価しているかによって、代替案の選び方や評価要因の構造が大きく異なることである。このことは、総合評価でまず第1に大事なことが、評価対象(代替案)とその目標設定、そして次に必要な評価要因(属性)を明確にすることである。

評価対象となる代替案が選定されると、次に代替案を評価するための評価項目すなわち選択目標の設定を行う必要がある。各目標は具体的に定量指標(属性)で表わされる必要があり、それによって代替案の定量的評価が可能になる。定量指標(属性)は目標の特徴を正確に表わしており、代替案に評価の有為差がつくようになるものが好ましい。

選定される属性は、同時に問題複合体として、階層的に構造化される必要がある。多属性効用理論で用いられている階層構造は、デシジョンツリー法で、重層構造(layer)によるものである。一般に重層構造における上位のシステムは、下位のシステムに比べ、次のような特徴を持っている。

- より広範囲で長期的な局面の問題
- 環境や政策の状況変化に対して敏速な適応が難しい
- 問題の記述により多くの不確実性を含み、数量的定式化が困難であり構造化されにくい。

問題の構造化において上位のシステムは、意思決定における調整的・総合的な機能を有していることから、その決定には慎重な判断が必要である。

(b)代替案の層的分析

定量的に評価できる属性が下部階層まで決まり、問題に対する階層構造ができあがると、次に各代替案についての属性分析が必要となる。分析しなければならない属性は、図-3に示す階層構造で単一属性に相当する部分であり、それぞれについて各代替案の層性を求める必要がある。

(c)価値構造の定量化

価値構造の定式化とは、これまでのステップで明確になった問題構造を効用という価値によって定量化することである。具体的には各属性の効用関数の同定と階層別に各属性の重要度を定めることである。

ある属性に対し効用関数を同定する場合は、効用理論の基礎である確実同値の概念が必要となる。

(d)代替案の比較評価と感度解析

今までの議論を整理すると、各代替案 i ($i = 1, 2, \dots, m$) が各属性の効用関数 $u_j(x_i)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) でとる効用値 $u_j(x_{ij})$ とその重み w_j とから計

算される最終的な期待効用 Eu_i は次式で表わされることがわかる。

$$Eu_i = \int w_j u_j(x_{ij})$$

ここで、 \int は積分または総和のどちらか適当な方を表わす。上式によって各代替案の期待効用が計算され、それにより、代替案の評価が決まることになる。

技選択を比較評価する点に於て重要なことに感度解析がある。この方法は、まず最初に課題に対する基本ケースを評価しておき、その評価結果がインプット情報にどれだけ依存しているかを調べることである。感度解析によって異なる多くの専門的な判断と様々な意思決定者の価値に対する同定が可能になる。それは、評価に影響を及ぼす意見の相違や様々な個人や団体の価値を探るのにも用いられることができる。

MUF法によって最終結果として得られる期待効用には、少なくとも2つの不確実性が含まれている。まず、実際の意思決定問題は極めて複雑な要因がからんでおり、用いられている問題の構造化は、構成上必ずしも正確なものにならない。2番目に効用関数の決定とその重みの評価は、ある特定な人の選好を基に決められており、他の個人や団体はそれとは異なる価値をもつ可能性がある。結果として、期待効用は技術選択の評価に相当であり有用であるが、複数の評価によって結果に大きな差異が生じる場合は各代替案の優先順位を公けに評価することが難しい。

この手法は、エネルギー技術のような複雑な問題に対し、変動の激しい社会的状況で絶えず意思決定をせまられる人々への支援システムとして役に立つが、これによって最終評価を下すことはできない。しかし、意思決定者はこれらの分析を通じて問題全体の相互関係を理解し、その中で何がどの程度重要な問題なのかを定量的に判断できることになる。

3. 今後の技術開発

エネルギー技術は、一般に他の技術に比べ社会への導入は保守的である。発電技術を取上げてみると、電力への変換には数多くの変換方式があるにも関わらず、実用化している方法は水力、蒸気サイクル、ガスタービンサイクル程度に過ぎない。それは、生産物である電気の性質、すなわち公共性、等価性、そして低廉さが大きな原因と考えられ、それにより成熟した技術のみ採用する傾向が生じてしまう。発電技術の発展を見ても、既存技術の改良が主であった。もちろんその改良は、社会経済の発展に合わせて進歩してきてはいる。

すなわち大量生産、大量消費時代には、スケールメリットのある大容量技術あるいは燃料消費の少ない高効率技術の開発が中心であった。そして、その流れは石油危機の影響があった1980年代の初期まで続いた。

しかし1980年の中期からその流れは大きく変わってきた。その変化の原因は、産業の空洞化、産業組織の転換によるエネルギー消費の停滞、石油価格の暴落、反原発運動の高まり、さらには地球規模での環境問題等があげられる。こういった社会環境の変化は、新エネルギー技術の開発にも従来とは異なる流れを求め始めている。エネルギー需要の長期的な低迷化傾向と燃料価格を始めとする社会・経済の不透明さは、投資リスクの高い大型技術の開発指向に疑問を投げかけており、それは反原発運動の高まりや地球的規模での炭酸ガス問題といった中で一段と厳しさを増している。

そもそも規模の経済から生まれる生産性の向上が、大量生産を前提として生じるというバードン法則は、経済の高度成長の時代のみには当てはまると言われている。石油危機を契機に日本経済は、高度成長から安定成長に移行し、それに伴い化学工業、造船、鉄鋼といった巨大産業はその構造転換を余儀なくされた。生産設備もそれまでは、大型化により規模の経済を追求していたが、経済成長の停滞に伴い規模が大きくなりすぎた設備では資本の固定費用が高すぎるという逆バードン法則の現象が出てきた。同じ現象が最近になって電力需要の低迷により電気事業にも出始めている。この点から考えると、電気事業の今後の経営は、他産業と同様に多面的にならざるを得ず、その技術政策も柔軟に対応するものでなければならない。例えば電力技術の開発では、単に従来の大型化と効率化を追求するだけでなく、需要家が求める複数のニーズに応えられる分散型技術の開発にも力を注ぐ必要がある。

それには、問題が生じてからそれを解決する従来の受け身の研究開発姿勢から脱皮しなければならない。これからは社会のニーズを的確に捉え、新しく課題を創造し、積極的にその課題に取り組んでいく研究姿勢が必要になる。図-4は、電気事業を取り巻く環境の変化の中で、電気事業が供給側と需要側とで当面对応すべき研究課題をあげたものである。これからの技術評価には、従来の評価基準を変更するだけでなく、その手法も社会の変化に柔軟に対応できるものを開発することが要求されている。すなわち、直面している不確実性の認識、それを解決するための解析的なマネジメント手法の構築、そしてリスクを最小にするよう

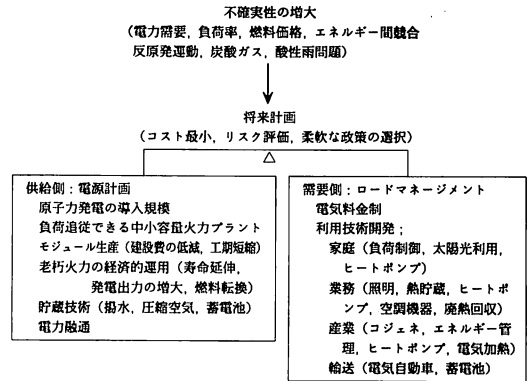


図-4 供給側および需要側における研究課題

な戦略的あるいは戦術的な政策の選択が必要となる。対象も発電技術だけでなく、需要側における利用技術も含め、評価は供給側と需要側でバランスを持ったものにならなければならない。

開発中の発電および貯蔵の新技术は、それぞれの特徴を生かしてその技術的性能や経済性を既存設備の寿命延伸やロードマネージメントといった他の戦略と比較した上で評価される必要がある。特にロードマネージメントの必要性は、今後一層高まることが予想される。そのため、木目細かな料金設定とそれを受入れる需要家への理解を深めることも必要になるであろう。

最後に、複雑かつ変化の速いこれらの社会において、技術評価をより良いものにしていくには、正確かつ有用な情報を研究者および政策を推進する関係者にタイミング良く伝達する情報伝達システムを構築することも重要となる。

参 考 文 献

- 1) 内山, 高橋, 斉藤; 経済性, セキュリティ, リスクからみた我が国の最適電源構成の検討; 電力経済研究No.20 (1986)
- 2) 大久保; エネルギーセキュリティの算定方法に関する一考察; 第6回エネルギーシステム・経済コンファレンス (1989)
- 3) エネルギー総合工学研究所; エネルギーシステム評価手法の開発研究報告書 (1981)
- 4) Electric Generation Expansion Analysis System; EPRIEL-2561(1) (1982)
- 5) Keeney, R.L. and A. Sicherman; An interactive computer program for assessing and analyzing preferences concerning multiple objectives, RM-75-12, IIAS (1975)