

## 技術開発と市場外部性（Ⅱ）

—エネルギー開発を例として—

○竹下 寿英（テクノバ）

## 1. はじめに

技術開発は、資源の希少性を相殺し、また地球環境の保全の主要な手段である。21世紀のエネルギー・システムの構築に向けた技術開発は、使い勝手の良い安い石油、天然ガスの枯渇傾向の下で、1世紀をかけた、主要エネルギー源のトランジションを進めてゆく。このトランジションは、石炭、原子力、あるいは新再生可能エネルギーの各技術開発が、経済性、環境特性、それにセキュリティなどの条件をどれだけ充足するか、という面での競争の下で展開する。そのプロセスでは、いずれのシナリオも様々なリスクを抱えており、リスクの克服、あるいはコントロールの程度が、市場でのシェアを左右してゆくものとみられる。エネルギー技術開発に伴うリスクの多くは、短期的には市場メカニズムで対応されることになる。しかし、世界規模でのエネルギー源の転換は、過去半世紀はかかっており、将来共、同様のオーダーになるだろう。その間の制度や価値観、政策的転換等の外部条件の変化は私企業のリスクテイクの範囲を超えるものがあり、その下で、技術開発が継続的に維持されるためには、社会的、政治的な支援を得ていることが必要である。

## 2. 石油価格の変動に伴うリスク

1973、1979の石油危機後、活発に進められた石炭液化、オイルシェル、タールスサンドなどの開発は、1980年代の半ばの原油価格の低落の頃は低調になっていた。しかし、一方石油、石炭の資源開発技術は、低コスト化と生産性向上の技術開発を成功している。石油採掘では、オフショアなどでの水平掘りの技術によって、1.5～2倍のコストで、生産性は20倍に高まっている。また石炭採掘も今やハイテク産業と言われるように、コンティニアス・マイニングで1人年間8千～1万トンの生産、ロングウォールの設備で2万トンの生産規模になっている。

石油価格の変動に応じて、他のエネルギー価格も同様な変動を受けることになるが、一般にエネルギー産業では、この価格変動は消費者に転嫁できるため、変動への感度はエネルギー技術開発に比べては低い。特に新しいエネルギー開発は、サンシャイン計画が始まって20年経過していることから明らかなように長期課題であり、石油価格が上昇してもすぐ供給力を持つことはできず、また下落した時には、プライオリティが低下するばかりでなく、開発のインセンティブが失われるというリスクを伴うことになる。石油は近年NY商品取引所での先物取引で決まる市況商品となって価格の乱高下がみられるが、石油の消費に伴う先進国のバレル当たりの税率は、日独で49%、米国では22%にのぼって

おり、政策的対応の位置づけの重要性を示している。

新エネルギーの市場導入における政策的対応は、1978年成立した米国のPURPA（再生可能及びコジェネレーションなどの電気を、回避可能のコストで電力が買い取る）やわが国で1993年成立した余剰電力購入方針の決定に見られる。実際にカリフォルニア州では、

150万kW以上のウィンド・ファームなど再生可能エネルギーが42%の電力供給を荷うまでになっている。更に将来炭素税が環境外部性を内部化する手段として導入されれば、化石燃料の相対的な競合力に影響するが、現状では不確定要因となっている。

### 3. 21世紀のエネルギー・トランジション

国際応用システム研究所のマルケッティ等が分析しているロジスティックの方程式による市場浸透度  $f / (1-f)$  ( $f$ は市場シェア)を利用して、21世紀のエネルギー・トランジションのシナリオを検討した。基礎数値は世界エネルギー会議(1993)の長期予測を利用し、化石燃料は石油・天然ガスの究極可採量(2.2兆バレルと1.7兆バレル)に応じて配分した。水力及び非商業エネルギーは、大きなシェア

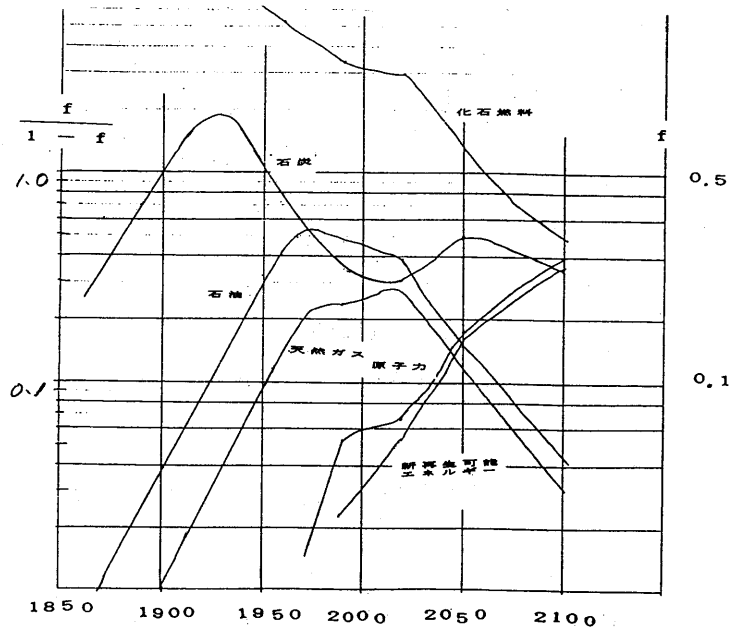


図1. エネルギー・ミックスのシナリオ  
( $f$  = 市場シェア)

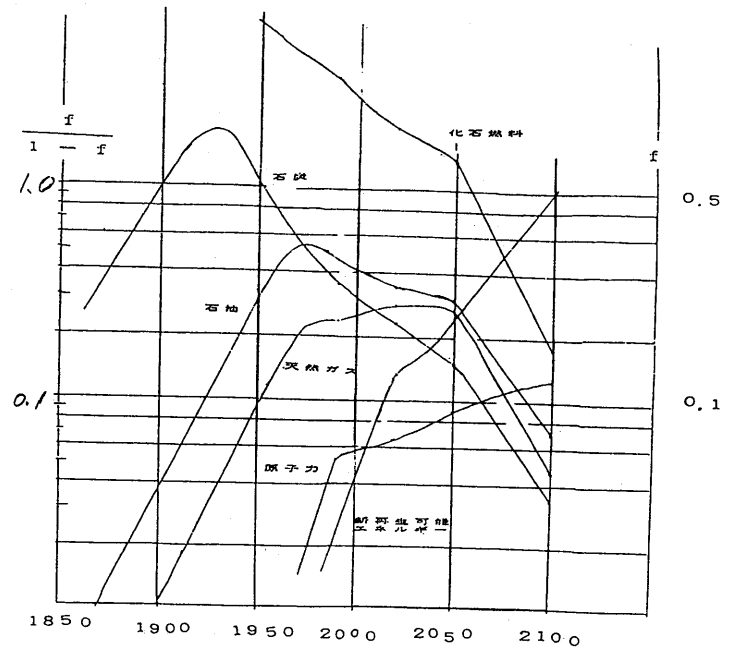


図2. 環境重視のシナリオ

の変化がないので図示していない。図1が標準シナリオで、21世紀一杯かかって、化石燃料、原子力、及び新再生可能エネルギー（太陽、バイオマス、風力、地熱等）の3つが約30%レベルにアプローチしてゆくシナリオである。図2は、エコロジーを重視し、石炭消費を減らし、新再生可能エネルギーを可能な限り導入するシナリオである。これら2つの図から、政策的、社会的対応の相違によって異なったエネルギー構成となるが、いずれもコンベンショナルな石油、天然ガスのシェアが減少してゆく分を、どのエネルギー源のシェアで埋めてゆくかを示すことになる。しかし、原子力及び新再生可能エネルギーが、継続的に導入され拡大してゆく点には、多くの不確実性とリスクが存在している。原子力発電の導入実績と予測を図3に示すが、過去の実績をロジスティクスにあてはめると、2260TWh(=368GW)で飽和する傾向がみられる。この90年～2010年の飽和傾向は、過去のチェルノブイリ事故や放射性廃棄物の処分問題で、社会的受容性が十分には得られておらず、国によってモラトリアムがなされていることが主要因である。21世紀の主要エネルギー源となるためには、国際的にも安全を担保できるような peer review による協力体制を作って、社会的な信頼性を高めると共に、放射性廃棄物の安全な処分技術に対する世界的な確証が求められる。しかも、原子力開発が第2の成長期を迎えると、図1のケースでは、Puリサイクルを考えない場合、今後発見されるウランを含めても（海水ウランは除く）2060年にはウラン不足を招来すると計算される（図2のケースでは2100年過ぎまでウランは持つ）。ところが、世界規模でPu利用を進めるためには、国際的にコンセンサスのとれた核不拡散とPuの国際管理のレジームが形成されねばならない。

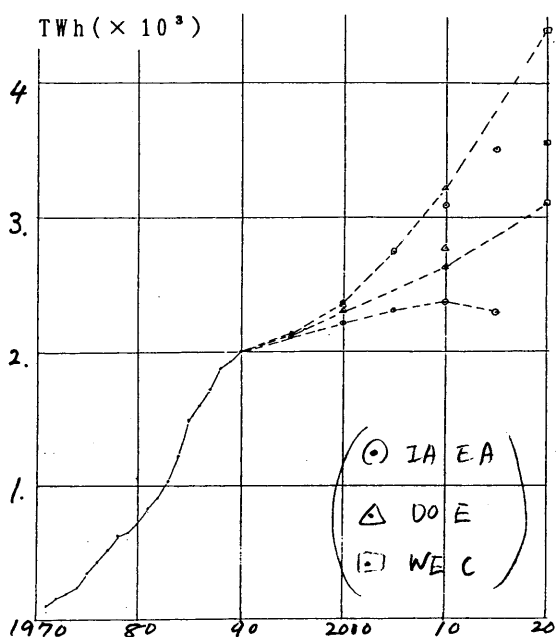


図3 世界の原子力発電導入実績と予測

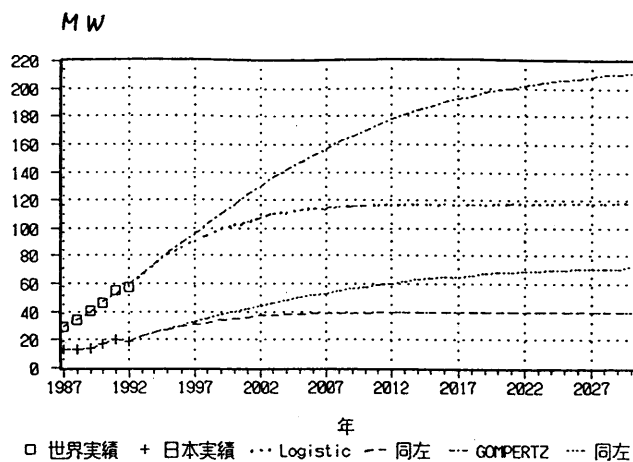


図4. 世界の太陽光発電の市場規模  
(年当り) 実績と予測  
(ロジスティクスとゴムパツ関係)

太陽電池は、膨大な利用可能資源のポテンシャルからバイオマスと並んで新再生可能エネルギーのエースである。しかし、その利用は電卓や時計などの消費電力の小さなものから入り、コストも80年の5000円/W、セル効率8%台が、90年には650円/W、効率16%台に上昇し、ようやく将来市場の展望が開きかけた所である。この市場への普及をロジスティックスにあてはめると、いまの傾向では120MW程で飽和することになるが、世界全体でこのレベルでは量産効果がみえない。現在の家庭の電気料金25円/kWhになるのは、2010年の少し前と予測される。そこに到るまでは、政策的な導入支援策を機器の標準化と効率向上等の技術開発に並行してすすめるばかりでなく、ODAの活用による開発途上諸国の電化への協力、国際的な技術協力、技術移転の積極化によって、世界的な利用の展開をはかる必要がある。これらの展開をバックアップしているのは、環境影響などの社会的コストを考慮したときの光発電のメリットであり、また分散型で社会的な受容性の高い点である。

#### 5. リスクの同定とリスク・マネジメント

リスクとして、技術開発のブレークスルーに関する不確実性と、投資に対する収益性に関するリスク及び環境影響や事故の可能性に対するリスクについては個別に検討され、計画策定の中に様々に取り入れられている。しかし、数十年の超長期に及ぶエネルギー技術開発では、政治的・社会的な受容性の変動あるいは制度的な支援メカニズムの有無等、リスクの範囲が拡大し、またその影響が大きくなっている。そこでリスクの同定からその評価、そしてリスク・コントロールとリスクの削減策を、エネルギー技術開発の計画策定から実施の過程に取り入れていくことの重要性が増している。

エネルギー技術開発に伴うリスクを技術開発に伴うもの、市場に係わるもの、環境安全面、社会的政治的側面それに組織・戦略面に分けて表1に示した。21世紀の主要なエネルギー源と考えられる原子力開発も、太陽光発電を中心とする再生可能エネルギーも、90年代から2010年位にかけて、技術開発の維持がどうはかれるか、という問題に直面していることがみられる。その開発を左右する最大の要因が、石油・天然ガスの供給ポテンシャルとその価格動向であり、また地球環境問題など、環境・安全面からのエネルギー選択へのインパクトである。長期のエネルギー・シナリオにみるごとく石油、天然ガスの供給削減が始まる頃には、これらがプレミアム燃料となり、他の資源による流体燃料コストが、同様のレベルになると考えるならば、エネルギー価格体系の変化から新技術分野も競争力を持つ多くの分野が生まれてくると予想せられる。この時点において、多様な技術成果が利用可能となっているためには、90年代から2010年にかけて、安い化石燃料が豊富な時点での継続的な技術開発によるオプションの維持であり、フレキシビリティの確保である。

すなわち、21世紀の持続的なエネルギーシステムは、化石燃料中心の社会から、新しいエネルギーシステムにいかにかんたんに移行し変わるかをマネジすることによって成立する。そのためには、国際的な不安定要因によるエネルギー技術

表1. エネルギー技術開発に伴うリスク

リスクの種類	リスクの内容	原子力開発の場合	太陽光発電の場合
技術開発上のリスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術からの革新度のレベルとブレークスルーのポテンシャル</li> <li>技術開発競争</li> <li>安全性と信頼性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期的なオプションとして開発維持されるかどうか</li> <li>安全性のレベル向上</li> <li>放射性廃棄物の長期安全処分</li> <li>再処理路線か、使用済燃料処分か</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コスト競合的で高効率システムの開発</li> <li>発電の出力変動（日射変動）と系統連系での安定性</li> </ul>
市場に係わるリスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発導入の時期と規模</li> <li>他のエネルギー資源との競合での優位性（経済性及び信頼性等）</li> <li>制度的支援と規制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状の飽和傾向（～2010）から次の拡大期に移りうるか、また時期</li> <li>各国・各地域での市場特性差（米・独の停滞とアジア地域の発展）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状のニッチ・マーケットから脱皮し、市場規模拡大に移る時期</li> <li>量産効果による経済性向上</li> <li>電力による余剰電力購入（価格等）</li> </ul>
環境・安全面のリスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>地域的な環境影響</li> <li>グローバルな環境影響（CO<sub>2</sub>等）</li> <li>事故影響の可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球温暖化対応への有効性</li> <li>放射線に対する影響評価</li> <li>重大事故の可能性（他のエネルギー源とのリスク比較）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球環境面での効用と広いオープン・スペースの利用</li> </ul>
社会的・政治的リスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>社会的受容性</li> <li>政治的支援のレベル</li> <li>セキュリティ上の障害</li> <li>国際的貢献とコンフリクト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>社会的受容性の確立</li> <li>国の開発支援の継続性（あるいはモラトリアム）</li> <li>核不拡散対応による制約</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>社会的期待に応えうる経済性と信頼性の確保</li> <li>分散型電源としての受容性と生活密着性</li> </ul>
組織・戦略面のリスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー価格変動あるいは国際環境変動への拮抗力</li> <li>技術の選択・事業の選択と組織の成長性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発・組織体制の継続的維持</li> <li>技術転換での硬直性（フレキシビリティのなさ）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国による開発支援及び導入・普及補助の継続性</li> <li>住宅一体型、遊休地利用等事業間協力のニーズ</li> </ul>

への制約、量産効果や市場外部性の内部化をむずかしくしている市場メカニズム等に対して、制度的、社会的あるいは国際的な支援策を策定し、技術開発上のリスクを削減・コントロールしてゆくことが求められる。

#### 6. リスク・コントロールの諸手段

エネルギー技術開発におけるリスク・コントロールの主体としては、国際的な枠組み、国レベル、社会・地域レベル、それに組織・企業レベルがある。中長期的な開発と地球環境問題への対応では、国の政策方針が基本となるが、様々の国際的な協力や条約、ネットワーク等が作られ、グローバルなリスク・コントロールが行われるようになってきている。民間企業の研究開発は、現在利用されているシステムの改良、あるいはガスタービンのように他分野で成熟した

表2. リスクの削減・コントロールの諸手段

国際レジームの形成、国際協力の推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核不拡散のための管理体制（技術、核物質と施設）</li> <li>・地域的なエネルギー安全保障の枠組み（アジア地域等）</li> <li>・技術開発の国際協力体制（IEAプラス開発途上国）</li> <li>・原子力安全のための国際条約、及び研修</li> <li>・技術開発機関間の国際ネットワークの形成</li> </ul>
制度的な支援メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国の研究開発プライオリティとエネルギー技術開発の位置づけ評価</li> <li>・初期市場導入のためのインセンティブ—補助金、減免税等</li> <li>・環境コストなど市場外部性の内部化</li> <li>・公共調達、余剰電力購入等の市場プル対策</li> <li>・セキュリティ対応、地球環境対応としての公的支援</li> </ul>
社会的な環境整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギー・環境と生活に関する社会的関心の高揚</li> <li>・持続的な成長と発展に関する国際的なコンセンサス形成</li> <li>・省エネルギーと分散型エネルギーシステムによる地域形成</li> </ul>
組織・戦略面の対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究開発組合、企業間提携などによる開発力集中とリスク分散</li> <li>・エネルギー市場のグローバル化への戦略—地域発電ビジネス等</li> <li>・技術の水平展開を含むフレキシビリティの向上</li> </ul>

技術の転用では機能を果たしているが、次世代の革新的なエネルギー技術開発では、国の支援のウエイトが大きい。1990年での民間の原子力関連売上が、1兆7700億円、その研究開発費1431億円、政府の研究開発費が3955億円となっている。太陽光発電は売上が138億円、国の研究開発費が73億円である。

具体的なリスク削減・コントロールの手段を表2にまとめた。国際的なコンティンジェンシーでは、セキュリティを考えた石油の緊急時融通制度や核不拡散管理体制があり、それぞれ国内制度化とリンクしている。技術開発の国際協力では先進国間の体制から開発途上国を含むものに進展しつつあり、技術移転の促進を考えた開発機関間のネットワーク構想も提案され始めた。環境と安全性に対する条約や協定は、技術開発の方向性を左右する要因であり、リスク・コントロールの主要な手段となっている。

競争前段階の技術開発に対する支援について、初期の市場の創成のための国の支援は、リスク軽減に有効であるが、市場の競争環境の成長とともに削減されてゆく。いずれのエネルギー供給手段にも何らかのリスクが伴っており、リスクとコスト、ベネフィットをおわせてトータルのシナリオとして、リスク・ミニマムを図ってゆく必要がある。

#### 参考資料

- (1) World Energy Council, "Energy for Tomorrow's World" St Martin's Press, 1993
- (2) P. Bech, "Prospects and Strategies for Nuclear Power", the Royal Institute of International Affairs 1994
- (3) C. Marchetti, "Nuclear Energy and Its Future -- Taxonomy of the Context", IIASA, 1992