

新エネルギーコストのモデル化とシミュレーション

New Energy Cost Model and Simulation

早野 拓朗*・槌屋 治紀**

Takuro Hayano Haruki Tsuchiya

1. はじめに

本報告は、新エネルギーをはじめとする石油代替エネルギーの導入可能性を計量的に分析した調査^{1,2)}のなかから、その一環として行った新エネルギーコストのモデル化を中心に述べるものである。

新エネルギー等、石油代替エネルギーの導入可能性を計量的に分析するには、すべてのエネルギーについて各エネルギー源別の用途別、部門別需給量をはじめ、経済性、価格動向、導入コスト等を総合的かつ整合的に把握しておく必要がある。このためには、エネルギー需給の前提となる経済、産業活動の水準や新エネルギーコスト、さらには各エネルギーの相対価格に関する計量的な分析が不可欠である。新エネルギーコストのモデル化は、こうした石油代替エネルギー導入量をマクロに検討することを目的として行った調査の一部であるため、若干ラフでもコンピュータ処理によるシミュレーションにより長期の見通しを可能にすることを目指したものである。

2. モデルの全体構成

モデル全体は図-1に示すように大別して経済分析モデル、新エネルギーコストモデル、エネルギー需給モデルの3つのモデルから構成されている。経済分析モデルは、さらにGNP等のマクロな経済活動を扱うマクロ経済モデルと産業別の生産活動を扱う産業連関モデルからなる。

モデル全体の大きな流れは、まず原油価格、世界経済等の与件変数や財政、金融関連の国内の政策変数を前提条件として与え、マクロ経済モデルによって国民総支出勘定の内訳、所得分配、各種物価、賃金、労働

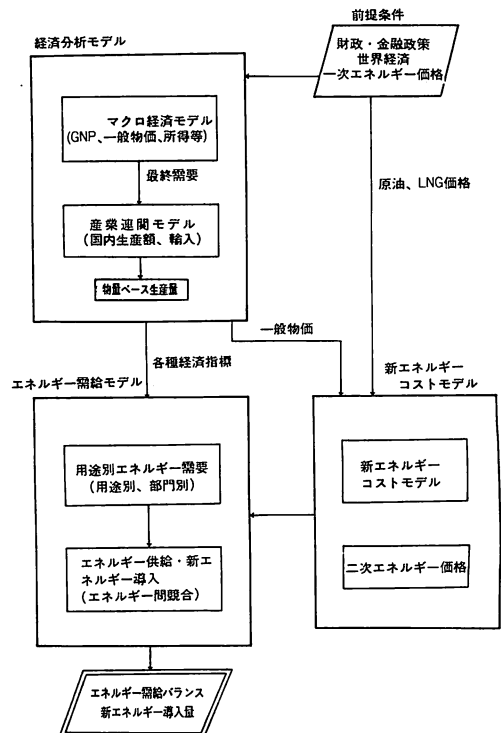


図-1 モデルの全体構成

需要等が推計される。次に、産業連関モデルではマクロモデルで得られた最終需要（国民総支出）を前提として、これと整合のとれた各産業の生産活動水準を推計する。

新エネルギーコストモデルでは、各新エネルギー源ごとのラーニングカーブ（習熟曲線）の考えに基づくモデルをベースに、卸売物価、LNG価格等を考慮して各新エネルギーのコストが推計される。また、石油製品、電力、都市ガスなどの二次エネルギー価格は、原油価格、LNG価格の一次エネルギー価格と一般物価とによって求められる。

エネルギー需給モデルでは、前述の2つのモデルで得られた諸指標を前提として、まず各最終需要部門ご

* 東京ガス(株)産業営業部工業用営業グループ課長

〒105 東京都港区海岸1-5-20

** システム技術研究所所長

〒103 東京都中央区東日本橋2-8-11

との用途別エネルギー需要量が推計される。次に、この分野ごとの用途別需要量に見合うエネルギーソースの決定が、競合モデル・新エネルギー導入モデルによって決定され、さらにエネルギー転換を経て一次エネルギー供給量が求められ、最終需要から一次エネルギーに至る全てのエネルギーフローがエネルギーバランス表の形式で求められる。

3. 新エネルギーコストモデル

新エネルギーのコストは、おおよそ資本費、燃料費、操業費より構成されている。新エネルギーのうちでも、太陽熱、太陽光発電、風力エネルギーなどの場合には、燃料費はゼロかあるいは極めて小さく、操業に要する人件費、修善費に対して、初期の資本費が大きな比重を占めている。また燃料電池やコージェネレーションのような新エネルギーは、燃料費の比重も無視できない割合になっている。

新エネルギーコストを評価するモデルとしては、まず第一に建設に要する初期の資本費が重要である。しかしながら、一般には新エネルギーコストは既存エネルギーよりもコスト高であり、将来その建設コストが技術開発や市場開拓によって低下してくるかどうかを評価することが重要になってくる。

ここでは、新エネルギーコストの過去における時間的推移を調査し、習熟曲線によってそのコスト低下過程をシミュレートして将来のコストを評価する方法を検討する。将来の新エネルギーのコストは、その生産量の増加率、習熟曲線の形、競合するエネルギー価格によって決定され、実際の新エネルギーの導入量は、ロジスティック曲線と市場浸透率とによって推定するという方法をとった。

3.1 習熟曲線

習熟曲線は、製品の生産を継続して実行してゆくと、

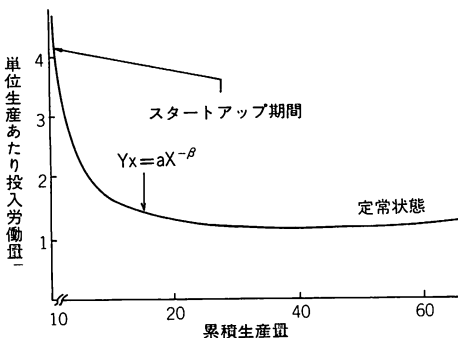


図-2 習熟曲線

情報の蓄積が経験として活用され、生産コストを低下させてゆくことを曲線に表現したもので、経験曲線 (Experience Curve) とも呼ばれている。この曲線について体系的な研究を行ったのが、ボストンコンサルティング・グループで、通常の工業製品は累積生産量の増加に伴って単位あたりのコストが低下し、一般に累積生産量が同じ割合で増加した時、単位あたりのコストの減少割合は一定とされている。

一般的には次のように表現される³⁾

$$Y_x = a \cdot X^{-\beta}$$

Y_x : X番ユニットの単位あたりのコスト

X : 1～X番ユニットの累積生産量

a : 第1番ユニットの生産に要したコスト

β : 累積生産にともなうコストの減少割合

現実の生産をみると、スタートアップ時期と、定常状態 (累積生産がきわめて大きくなってコストの低下がもうほとんど生じなくなる状態) とがあり、習熟曲線はある程度のスタートアップ期間を経てから、定常状態へ至る中間の過程を説明するのに適しているといわれている。

ここで、 X_1 、 X_2 という2つの時期の累積生産量もちいて、

$$X_2 = 2 \cdot X_1$$

のように累積生産量が2倍になる場合を考えると、

$$F = \frac{Y_{X_2}}{Y_{X_1}} = \frac{aX_2^{-\beta}}{aX_1^{-\beta}} = \left(\frac{X_2}{X_1}\right)^{-\beta} = 2^{-\beta}$$

F (Progress Index) は累積生産量が2倍になるごとのコスト低下の程度を表わしている。

$$\beta = -\log F / \log 2$$

3.2 新エネルギーコストのモデル化

この習熟曲線を利用すると生産量に応じてコストが低下してゆく様子をモデル化できるが、充分にコストが低下して市場に受け入れられるようになると、コス

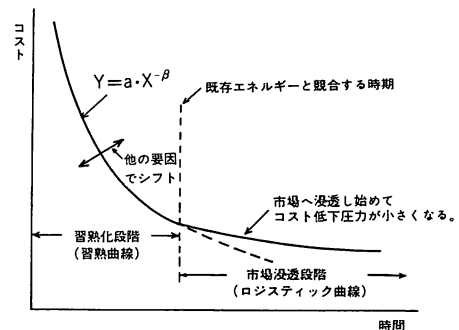
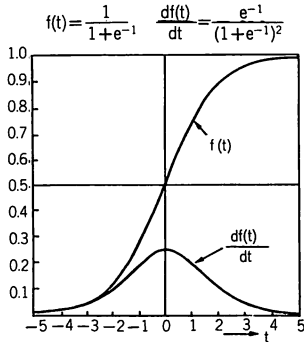


図-3 新エネルギーのコストモデル



(時間を正規化, $\alpha = 1$ に相当)

図-4 ロジスティック曲線

ト低下の度合いは鈍化して定常状態になると考えられている。

新エネルギーの技術開発が積極的に行われる段階では、新エネルギーは既存のエネルギーの代替としての経済性では劣るが、技術開発によりコストと性能が改善されつつ、一方で適当な分野の市場には浸透してゆき生産量を拡大してゆく。この段階ではコストの低下は急激であり、習熟曲線によって説明される。しかし、いまだ経済性は充分でなく、新エネルギーの需要は政府援助、研究投資、経済性を無視した（例えば環境への影響の小さいことを高く評価した）導入などによって支えられている。図-3において習熟化段階としたところがこれにあたる。

習熟化の進展によってコスト低下が進み、既存エネルギーと経済性の面で競合できるようになり、市場への浸透が開始されると、もはやコストを低下させようとする力は小さくなってゆき、生産量はロジスティック曲線によって拡大してゆく。図-3において市場浸透段階としたところがこれにあたる。市場浸透段階では、

もはや習熟曲線のようなコスト低下は生じないと考えられる。

本報告では以上の考えに基づき、新エネルギーとして太陽光発電、太陽熱、燃料電池、風力エネルギーをとりあげ、これらのエネルギーコストのモデル化について述べる。なおロジスティック曲線は、新しい製品や技術が市場に浸透していく様子を説明するため、古くから用いられている。図-4に示すように、それぞれの新エネルギーは市場占有率が1%から50%になるまでの時間であるテイクオーバータイムと、各最終用途別需要のうち代替し得る最大の割合を表1のようにして、ロジスティック曲線に従って導入していくものとした。

4. 新エネルギーコストモデルの構築

4.1 太陽光発電

太陽光発電に用いる太陽電池は既に電卓や腕時計用に充分普及しているが、電力用はこれから実用化が進む分野としてNEDOを中心に開発が進められている。太陽電池は用いるシリコン結晶の種類から、単結晶、多結晶、アモルファスの3種類があり、コストや性能は異なるが、いずれにおいても技術開発によりコストは急速に低下しつつある。技術開発によるコスト低下の過程は、個々の技術的アイデアや量産化による効果などさまざまなものの結果であり、マクロに見た場合習熟化の過程と考えられる。

表2に過去の太陽電池モジュールの生産量およびコストを示す。モジュールコストに影響を与える要素として、累積生産量以外に政府補助金等の研究開発に投入された金額も考えられるが、回帰した結果その寄与は極めて小さく無視しうるほどであった。政府補助金

表1 新エネルギー導入の用途別可能性

新エネルギー	部門別	家庭用	業務用	交通用	産業用	農業
太陽熱 (T=30)		温水 (60)	温水 (60)		低温熱 (20)	
太陽電池 (T=30)		動力・照明 (30)	動力・照明 (30)		動力・照明 (30)	
燃料電池 (T=25)					電力加熱 (30) 電気分解 (30) 動力・照明 (30)	
自動車用代替燃料 (アルコールなど) (T=40)				自動車用 (15) (旅客、貨物)		
風力発電 (T=30)		動力・照明 (5)	動力・照明 (5)			動力・照明 (20)
コージェネレーション (T=20)			熱需要 (14) (空調、給湯) 動力・照明 (7)			

T: テイク・オーバー・タイム ()内の数字は、その最終用途別需要のうち最大代替した時の割合 (%) を示す。

表2 太陽電池のコスト⁴⁾

年	太陽電池生産量 (kWp/年)	太陽電池累積生産量 (kWp)	太陽電池モジュールコスト (円/Wp)
1979	85.8	85.8	7000
1980	291.0	376.8	4000
1981	1,024.0	2424.8	3500
1982	2,123.0	4547.8	2200
1983	4,826.0	9373.8	1800
1984	6,918.0	16291.8	1500
1985	10,800.0	27091.8	1200
1986	13,400.0	40491.8	1100
1987	12,450.0	52941.8	1000
1988	13,000.0	65941.8	900

等は直接コストに影響を与えるのではなく、累積生産量の増大を通じて寄与すると考えるのが妥当であろう。

モジュールコストを累積生産量と卸売物価指数で説明すると次のようになる。

PPHV : 太陽電池モジュールコスト (円/Wp)

PRO.PHV : 太陽電池生産量 (kWp/年)

RP.PHV : 太陽電池累積生産量 (kWp)

WPI : 卸売物価指数

(1979~1988)

LOG (PPHV/WPI)

= 5.61102 - 0.30123 LOG (RP.PHV)

(37.31) (-16.99)

決定係数=0.97624 標準誤差=0.10

ダービンワトソン比=3.073

習熟曲線でのβは0.30123でプログ्रेसインデックスFは0.8115となり、累積生産量が2倍になると、コストは約80%になることを示している。

一方、モジュールコストが決まれば、太陽放射の条件、利用上の条件によってkWhあたりの電力コストが算出できる。年間の太陽光の利用可能な時間は通常940時間程度が用いられることが多く、年間利用可能時間と年経費率を考慮し、モジュールWpあたりの電力供給価格を0.22とすると、電力供給量とそのコストは次のように表わせる。

PEL.PHV : 太陽電池による電力供給価格

(円/kWh)

Q.PHV : 年間電力供給量 (kWh/年)

PEL.PHV = 0.22 · PPHV

Q.PHV = 940 · RP.PHV

以上のように習熟の程度を表わすF (またはβ) により、電力供給量に対応した電力価格を習熟曲線とし

表3 導入可能分野とシステムに要求されるコスト

	要求コスト	導入可能分野
① ディーゼル発電程度	50~90円/kWh (440~800円/Wp)	離島等におけるディーゼル発電代替用電源 (20~40MWp)
② 業務用電力料金程度 (事務所・ホテル・病院等)	28~34円/kWh (250~300円/Wp)	公共施設・事務所用電源 (3,600~5,200MWp)
③ 電灯料金程度 (一般家庭)	27~31円/kWh (240~270円/Wp)	住宅用電源 (17,000~27,000MWp)
④ 小口電力料金程度 (産業)	22~29円/kWh (190~250円/Wp)	各種産業用電源 (10,000~14,000MWp)
⑤ 大口電力料金程度 (産業)	15~18円/kWh (130~160円/Wp)	

(注) 1. ディーゼル発電を除き要求コストは現在の電灯・電力料金をベースとした。以下の価格比較は、特に注記してある以外は1984年価格による。
2. 屋外照明、屋外時計等の独立用途のものは、1984年に0.5MW程度と推定されるが、これらはコスト比較が困難なため除外した。

て表せることを示した。一方、太陽電池の需要がコストに応じてどのように変化するかは、「新エネルギー導入ビジョン」⁵⁾の中に表3のように示されている。これをコストの高い需要から順次累積してゆくと、累積生産量に対応する需要量とコストの関係が示される。図-5の中の最も傾きが急な曲線が、この「新エネルギー導入ビジョン」にある太陽光発電の需要曲線である。コスト低下が過去のトレンドに従い習熟度Fが0.8で推移すると、累積生産量が1400万kWに達するまで生産を支えないと、市場での競争力がでないことになる。ただし市場を国内にとどめず、発展途上国等の分散電源を含め世界に広がった場合は、この需要曲線は右方向にシフトし累積生産量ももっと低い段階で競争力を持つことになろう。またコスト低下が半導体で生じた程度のF=0.7が達成できれば、120万kWの累積生産

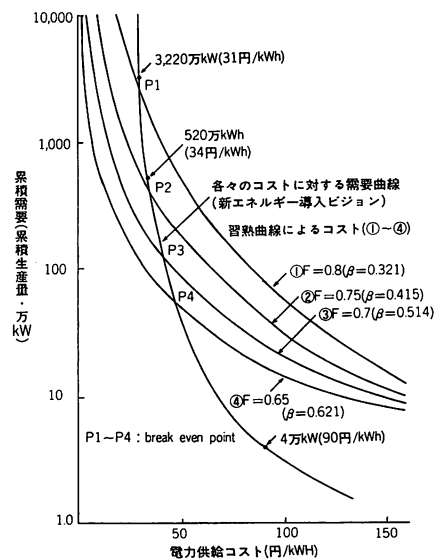


図-5 習熟曲線と需要曲線

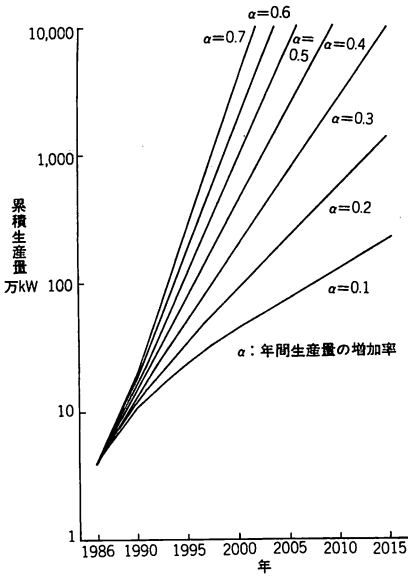


図-6 累積生産量の変化

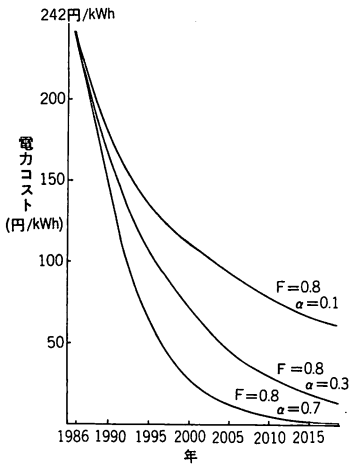


図-7 習熟曲線 (F=0.8)

量で市場の競争力が生じることになる。

累積生産量とコストの関係は示せたが、次にコスト低下を経時的に検討するため、年ごとの生産量増加率を α とし、年ごとの累積生産量を表わしてみる。T年の累積生産量は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 RP.PHV(T) &= \sum_{t=0}^T PRO.PHV(t) \\
 &= \sum_{t=0}^{T-1} PRO.PHV(t) \\
 &\quad + \sum_{t=T_1+1}^T PRO.PHV(N_1) \cdot (1 + \alpha)^{t-T_1}
 \end{aligned}$$

過去においては α は0.4程度であったが規模が拡大してゆくと、この値はやや小さくなるを得ないであろう。図-6に示すように累積生産量が100万kWに達

するのは、 $\alpha = 0.2$ の場合2001年、 $\alpha = 0.3$ の場合1998年、 $\alpha = 0.4$ の場合1996年となる。今後の年間生産量の増加率 α が過去の値より若干小さい0.3程度で推移すると、 $F=0.8$ でも図-7に示すように2010年において電力供給コストは30円/kWh程度となる。

4.2 太陽熱

太陽熱の利用には、太陽熱コレクターと温水タンクが一体になっている太陽熱温水器と、これにポンプ・制御装置等を組み込んだより規模が大きなソーラーシステムとがある。太陽熱温水器は家庭用として完全に実用化されている商品であり、ソーラーシステムも家庭用もしくは業務用としてある程度普及している商品と言えよう。標準的な太陽熱温水器は 2 m^2 のコレクターで効率60%、年間200万kcalの太陽熱輻射量のうち120万kcalを得られる。この温水器が1台あたり20万円、寿命が20年で競合する燃料の最終用途効率を70%とすると、太陽熱の供給する熱量のコストは次のようになる。

$$20\text{万円} / (20\text{年} \times 120\text{万kcal}) \times 0.7 = 5833\text{円} / 1000\text{kcal}$$

競合するエネルギーはLPG、都市ガス、灯油であるが、これらのエネルギーを太陽熱によって代替した場合の設備費用単純回収年数が推定されている⁶⁾。

表4 太陽熱と競合する燃料

	回収年数	実効効率	価格
L P G	5.9	0.7	PLPG
都市ガス	7.5	0.7	PTGAS
灯 油	10.0	0.65	PKERO

これより回収年数×実効効率の逆数を各々のエネルギー価格に重みづけすれば、太陽熱と競合するエネルギー価格として以下の式が得られる。

$$\begin{aligned}
 PSOCOM : \text{競合エネルギー価格 (円/1000kcal)} \\
 PSOCOM = 1.705 \cdot \left(\frac{PLPG}{5.9 \times 0.7} + \frac{PTGAS}{7.5 \times 0.7} \right. \\
 \left. + \frac{PKERO}{10.0 \times 0.65} \right)
 \end{aligned}$$

太陽熱価格の低下を習熟効果から考えてみる。1975～1986年に太陽熱温水器の販売価格にはほとんど変化がない。この間、卸売物価は1.153倍になっており、 $1/1.153 = 0.8673$ 倍のコスト低下が生じたとみることができる。従って初期の10万台から360万台の累積生産に至るまでに、習熟の程度は次のようになる。

$$(360/10)^{-\beta} = 0.8673$$

表5 太陽熱温水器関連データ

年(期)	競合エネルギー価格	累積設置数	設置台数	太陽熱価格 (円/1000kcal)
1975	5,16365	100,000	100,000	3,99793
1976	5,42171	200,000	100,000	4,19023
1977	5,61570	370,000	170,000	4,18150
1978	5,19894	500,000	130,000	4,07172
1979	6,58693	730,000	230,000	4,58619
1980	9,13018	1,490,000	760,000	5,13699
1981	9,17949	1,966,000	476,000	5,18972
1982	9,53395	2,375,000	409,000	5,23126
1983	9,39737	2,758,000	383,000	5,10217
1984	8,71793	3,084,000	326,000	5,10693
1985	8,27077	3,352,000	268,000	4,95611
1986	6,31522	3,603,000	251,000	4,45696

これより、βは0.039、Fは0.973となる。これは非常に小さいコスト低下であり、累積生産量が2000万台になっても約20%のコスト低下にとどまる。

一方、太陽熱価格を既に市場で競合しているエネルギーとして市場競合型のモデルとして検討してみると次のようになる。ここで、1980年の太陽熱温水器の生産の急増は第2次オイルショックによる心理的要因が大きいとして、この年をダミー変数として扱うことにした。

SOLHTW : 太陽熱温水器の設置台数/年

RSOL : 太陽熱温水器の累積設置台数

PSOL : 太陽熱供給価格 (円/1000kcal)

Q : 太陽熱供給量 (kcal)

DUM80 = 1 (1980年のみ、他の年はゼロ)

(1976~1986)

SOLHTW = -518447 + 508957PSOCOM / PSOL

(-4.59) (7.08)

+373856DUM80

(6.99)

決定係数=0.93264 標準誤差=48721.80

ダービンワトソン比=1.883

シミュレーションに用いるコストモデルは、コスト低下段階は習熟曲線に従い、市場競合後の浸透の程度はロジスティック曲線に従うモデルを採用した。この場合、太陽熱価格および太陽熱供給量は次のように表わせる。

$$PSOL = \frac{WPI}{100} \times 5.833 \times \left(\frac{RSOL}{RSOL_{1986}} \right)^{-\beta}$$

$$RSOL = RSOL_{1986} \times \sum_{t=1}^T (1 + \alpha)^{t-1}$$

$$= RSOL_{1986} \frac{(1 + \alpha)^T - 1}{\alpha}$$

Q = 1,200,000 · RSOL なお、ソーラーシステム

による太陽熱のコストも太陽熱温水器と同様と考えた。

4.3 燃料電池

燃料電池は、天然ガス等を燃料として直接直流を発生させ、同時に発生する熱を利用できるので、コージェネレーションとして使われる可能性があり、都市内の分散電源のひとつとして有望視されている。日本でも既に将来の導入規模などに関する調査研究が行われている⁷⁾。しかし、コストの推定や単位容量の設定については未知の点も多いようである。

表6 燃料電池の年平均想定導入量

用途 \ 期間	平3~平7年 (1991~1995年)	平8~12年 (1996~2000年)	平13~17年 (2001~2005年)
電気事業用	70	130	300
オンサイト型	14	68	121
計	84	198	421

燃料電池については、習熟度を推定する有効なデータがないため、ここではその報告で採用しているF=0.85程度を用いた。建設コストについて、海外のメーカーや国内のメーカーによるコストダウンが、かなり進んでいるとの情報もあるが、ここでは公表されているデータを用いた。国内重電メーカーの予測値によると、初期の建設コストは1000kW級で425万円/kWとなっている。これを1kWに拡大する時、2/3乗法則によるとkWあたり197.2万円に低下する。これに技術革新が加われば、100万円を切ることを期待しても良いと考えられる。シミュレーションでは、kWあたり160万円の値を採用した。

燃料電池の場合、燃料を必要とするが、排熱利用分だけ燃料コストを減じて発電コストと考えた。発電効率および排熱回収率を43%、利用率をa、年間経費率を17%、燃料費をy円/1000kcalとすると、電力供給コストは次のように表わせる。

PFC₀ : 初期の燃料電池建設コスト

(万円/kW)

PFC : 燃料電池建設コスト (万円/kW)

RP.FC : 燃料電池累積導入量 (kW)

PEL.FC : 燃料電池電力供給コスト (円/kWh)

PEL.FC : 排熱を考慮した燃料電池電力供給コスト (円/kWh)

PFC = PFC₀ · (RC.FC)^{-β}

PEL.FC = PEL.FC - 0.86y = 0.194 $\frac{PFC}{a}$ + 1.14y

累積生産量は1990年に10万kW生産され、以後、年増加率αで生産が増加するとすると、次のように表わ

せる。

$$RP.FC = 10 \cdot \sum_{i=1}^T (1 + \alpha)^{i-1} = 10 \cdot \frac{(1 + \alpha)^T - 1}{\alpha}$$

(万kW)

α の値は表6から考えると、0.25~0.3ぐらいになるが、この値を継続的に維持するとその資金負担は大きなものとなる。

4.4 風力エネルギー

風力エネルギーの利用は主として発電用を目指している。習熟度を推定するためのデータは少ないが、他の新エネルギーと同様に習熟曲線を求めてみると、次のようになる。

表7 風力発電の建設コスト⁸⁾

累積生産台数	55kWユニットの建設コスト (万円)
1	6178
2	5149
5	3913
10	3089
20	2059

PWND : 50kWのユニットの建設コスト
(万円)

PEL.WND : 風力発電の電力供給コスト(円/kWh)

RP.WND : 累積生産台数

$$\text{LOG(PWND)} = 8.78158 - 0.35456 \text{LOG(RP.WND)}$$

(140.38) (-10.56)

決定係数=0.96504 標準誤差=0.08

ダービンワトソン比=1.644

これからFは0.782であることがわかる。日本における風力発電コストを1986年で220円/kWh、建設台数

を50基とし、毎年20%で生産が増加すると、発電コスト、累積生産台数は次のように表わせる。

$$PEL.WND = 220 \cdot \left(\frac{RP.WND}{50} \right)^{-\beta} \times \frac{WPI}{WPI_{1986}}$$

$$RP.WND = 50 \cdot \sum_{i=1}^T (1 + 0.2)^{i-1} = 50 \cdot \frac{1.2^T - 1}{0.2}$$

以上述べてきたように新エネルギーのうち太陽光発電、太陽熱、燃料電池および風力エネルギーについてエネルギーコストモデルのための数式化を述べてきた。設備費は導入量を変数とし、累積生産量の増大によるコスト低下を習熟曲線を用い推定し、設備の耐用年数と利用率等から年経費率を想定して資本費を導いた。さらに燃料費の必要なものはエネルギー価格を変数として表わし、これを加えることによりそれぞれのエネルギーコスト推算式とした。

5. 新エネルギー導入シミュレーション

前述したモデルを用いたシミュレーション結果の一部を紹介する。シミュレーションケースはモデルに与える前提条件の組合せにより種々に設定できるが、ここでは新エネルギーの導入可能性を考える際の典型的パラメータとして「原油価格」および「新エネルギー技術開発の進展の度合」をとりあげ、3つのケースを比較する。

表8 原油価格の想定 (\$/bbl)

年	低価格ケース	高価格ケース
1991	20	20
2000	27.3	35.3
2010	38.5	66.2

為替レートの想定：2000年で105円/\$、2010年で100円/\$

表9 新エネルギーコストのパラメータ (トレンド型、ブレイクスルー型)

技術	ケース	パラメータ		コストモデル
		β (F)	α	
太陽電池	トレンド	0.3219 (0.8)	0.4	$242 \left(1 + 0.3565 \frac{(1 + \alpha)^{i-1986} - 1}{\alpha} \right)^{-\beta} \frac{WPI}{WPI_{1986}}$ (円/kWh)
	ブレイクスルー	0.5146 (0.7)	0.4	
太陽熱	トレンド	0.039 (0.973)	0.05	$5.833 \left(1 + 2.5 \frac{(1 + \alpha)^{i-1986} - 1}{36\alpha} \right)^{-\beta} \frac{WPI}{WPI_{1986}}$ (円/千kcal)
	ブレイクスルー	0.234 (0.85)	0.10	
燃料電池	トレンド	0.234 (0.85)	0.25	$62.08 \left(\frac{(1 + \alpha)^{i-1989} - 1}{\alpha} \right)^{-\beta} + 1.14y$ (円/kWh)
	ブレイクスルー	0.3219 (0.80)	0.30	
風力	トレンド	0.3546 (0.782)	0.20	$220 \left(\frac{(1 + \alpha)^{i-1985} - 1}{\alpha} \right)^{-\beta} \frac{WPI}{WPI_{1986}}$ (円/kWh)
	ブレイクスルー	0.5146 (0.70)	0.20	

表10 2010年における新エネルギー導入量 (単位: 10^{10} kcal)

項目	(低価格ケース) ケース1	(高価格ケース) ケース2	(高価格・ブ レークスルー) ケース3
(新エネルギー源別)			
太陽光発電	529	724	2,023
太陽熱	3,004	4,137	5,890
燃料電池	1,324	1,692	2,542
自動車用代替燃料	152	504	504
風力発電	47	90	255
コージェネレーション	4,972	5,573	5,624
合計	10,028	12,720	16,838
(部門別)			
産業	1,781	2,351	4,265
家庭	1,441	2,173	3,790
業務	6,654	7,692	8,279
交通	152	504	504
合計	10,028	12,720	16,838
石油換算 最終エネルギー需要全体に 占める新エネルギーの割合	1,081万kl 2.7%	1,372万kl 3.9%	1,816万kl 5.2%
一次エネルギー石油換算 一次エネルギー供給全体に 占める新エネルギーの割合	1,626万kl 2.6%	2,049万kl 3.6%	2,923万kl 5.2%

原油価格は不確定要素が多く想定は極めて困難であるが、異なる価格想定間にあられる新エネルギー導入量の差異を吟味できることが、シミュレーションの意味といえよう。新エネルギー技術開発についても習熟効果を表わすパラメータF、および毎年の生産増加率 α を、トレンド型と今後の技術開発の進展を期待したブレークスルー型の2ケースを設定し導入量に与える影響をみた。

太陽光発電は競合エネルギーが安価であれば導入が進みにくい、技術革新によるブレークスルーがあれば大きく導入が進む。太陽熱はコストは低下しにくい、既存エネルギー価格の上昇やブレークスルーで導入量が増える。燃料電池は燃料費がかかるため既存エネルギー価格の上昇よりブレークスルーにより導入量が増える。風力エネルギーは既存エネルギー価格の上昇とブレークスルーの双方により導入量が増えることになる。

6. おわりに

本報告の内容は、主として(財)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センターが、NEDOの委託により筆者らをまじえ行った代替エネルギーの導入量に関する調査報告がもとになっている。この調査は

「石油代替エネルギー計量分析モデル研究委員会」のメンバーおよび同センターの宮田満所長、松井賢一研究部長、伊藤浩吉計量分析室長をはじめ、多くの方々の協力により進められたものであり、特に全体のとりまとめおよび作成にあたっては伊藤浩吉氏が中心的に担当されたものである。ここに関係者各位に深く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) NEDO; 昭和62年度調査報告書, 石油代替エネルギー計量分析調査
- 2) 榎屋治紀, 早野拓朗; エネルギー経済, 5号 (1989), 17~24
- 3) Frank Krawiec, John Thornton, Michael Edeses; An Investigation of Learning and Experience Curves. Solar Energy Research Institute USA 1980
- 4) Haruki Tsuchiya; "Photovoltaics Cost Analysis Based on the Learning Curve", Solar World Congress 1989 Kobe
- 5) 資源エネルギー庁; 「新エネルギー導入ビジョン」, 1985年7月
- 6) (財)ソーラーシステム振興協会; 「伸びゆくソーラーシステム」
- 7) 中央電力協議会; 「燃料電池に関する調査研究報告」
- 8) NEDO; 「風力発電導入ビジョン調査」