

応用一般均衡モデルを用いたエネルギー技術ロードマップの経済性評価

環境システム情報学分野 56742 小林弦美 (指導教員: 松橋隆治教授)

1. はじめに

現在, 家庭および自家用車からの二酸化炭素排出量は国内全体の約 4 割を占めており, この分野での排出削減が急務となっている. しかし, 消費者対象の環境技術の個別評価は数多くみられるものの, 複数の環境技術の包括的評価は例をみない. また, 経済産業省資源エネルギー庁は, 2100 年までの長期的視野で, 資源・環境制約から技術普及の姿を逆算した「超長期エネルギー技術ロードマップ報告書」¹⁾を公表し, 「再生可能エネルギーの最大利用と究極の省エネルギー実施」という削減方針を推進している. ただ, 本策は経済面について何も語られておらず, 環境技術が市場投入された際の消費者への影響等にはふれていない.

2. 研究目的

そこで本研究では, エネルギー技術ロードマップ中の民生・運輸部門の消費者対象の環境技術に着目し, 複数の家庭用省エネ機器普及にとまなう家計効用への影響を評価・分析することを目的とする. さらに, 効用を維持し技術ロードマップの削減目標を遵守するために必要な技術の普及台数へ到達する普及経路を示すことで, 環境技術普及に関する提言を行う.

3. モデルと年代階層

3.1 応用一般均衡モデル²⁾

本研究で用いるモデルは, 日本国内の経済を対象とした静学モデルであり, モデル内の経済主体は大きく分けて家計, 産業, 政府, 海外の 4 つである. 産業部門は 39 部門に分類され, 家計部門は年間所得ごとに 18 階層に分類(表 1 右)しており, 階層ごとの経済影響評価が可能である. 家計部門で消費する家計消費財は産業 39 部門から各々一定の割合で構成された 19 部門の消費財(表 1 左)である.

表 1 家計消費財と所得階層

	1	...	18
食料	1		
住居	2		
電気代	3		
ガス代	4		
他の光熱	5		
上下水道料	6		
家事用耐久財	7		
冷暖房機器	8		
一般家具	9		
その他家具等	10		
被服及び履物	11		
保健医療	12		
交通	13		
自動車等購入	14		
自動車等維持	15		
通信	16		
教育	17		
教養娯楽	18		
その他の消費支出	19		

所得階層	
1	-200
2	200-250
3	250-300
4	300-350
5	350-400
6	400-450
7	450-500
8	500-550
9	550-600
10	600-650
11	650-700
12	700-750
13	750-800
14	800-900
15	900-1000
16	1000-1250
17	1250-1500
18	1500-

家計に環境技術が普及し消費財の支出シェアが変化することで財需要量が変化し, 財の価格, 家計の効用へと波及する. 家計は効用関数(2段階の CES 関数, 式(1))を最大化するように現在消費と将来消費(貯蓄)の割合を決定し, 現在消費は財消費とレジャーの消費(式(2))から成立している.

$$U_i = [\alpha_i^{1/\sigma_{2i}} H_i^{v_i} + (1 - \alpha_i)^{1/\sigma_{2i}} C_{Fi}^{v_i}]^{1/v_i} \dots (1)$$

U : 効用 C_{Fi} : 現在消費 H_i : 将来消費

$$H_i = [\beta_i^{1/\sigma_{1i}} l_i^{\phi_i} + (1 - \beta_i)^{1/\sigma_{1i}} \bar{X}^{\phi_i}]^{1/\phi_i} \dots (2)$$

l_i : 余暇, \bar{X} : 財消費

σ_{1i} は \bar{X} と l_i 間の, σ_{2i} は C_{Fi} と H_i 間の代替性を示

し, $\phi_i = (\sigma_{1i} - 1) / \sigma_{1i}$, $v_i = (\sigma_{2i} - 1) / \sigma_{2i}$ である. また, α_i β_i はウ

エイト付パラメータである. さらに, 家計の現在消費における財消費は, 消費支出のシェアから算出された合成消費財を消費するものとし, これは以下式(3)のコブダグラス型関数で表される.

$$\bar{X}_i = \prod_{j=1}^{19} X_{ij}^{\lambda_{ij}} \dots (3) \quad \lambda_{ij} \text{ 全消費財支出合計に占める第 } j \text{ 消費財シェア}$$

3.2 少子高齢化の反映

所得階層ごとに設定されている世帯数を変化させることで少子高齢化を表現する. 人口問題研究所による将来世帯数の推計結果と統計局による世帯主の年齢と所得階層のデータより, 2050 年までの所得階層別世帯数の推計を行った. (図 1) 2030 年から 2050 年にかけて世帯数の減少が起こるが, 年間収入 200 万以下の世帯は増加している. これは年率 15% で世帯主 75 歳以上の世帯数が増加していることが原因である.

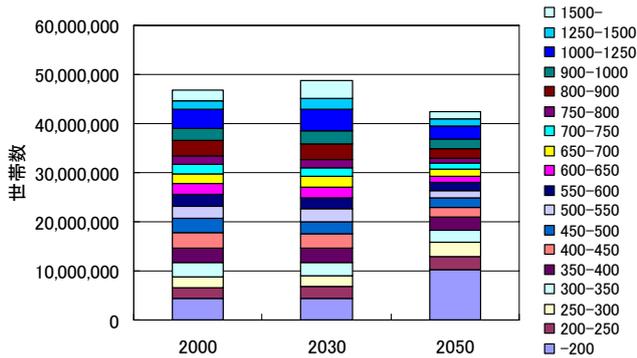


図 1 所得階層別世帯数の推計結果

表 2 省エネ率および技術普及率目標値¹⁾

技術名称		省エネ率目標 (%)		技術普及率 (%)	
		2030	2050	2030	2050
省エネ照明	高効率蛍光灯	30	35	-	-
	LED照明	30	35	-	-
省エネ給湯	ECOQ	30	45	-	-
省エネ調理器	IH	30	40	-	-
省エネ電気機器	PDP	30	40	-	-
自家用太陽光発電	PV	-	-	15	25
エネルギーマネジメント	HEMS	10	15	100	100
ハイブリッド車	内燃機関	30	60	95	60
	燃料電池			5	40

4.2 技術普及率

表 2, 表 3 より, エネルギー技術ロードマップを遵守するために必要な普及率 (目標技術普及率) を算出した (図 3)。また, 各所得階層における技術普及率は, 全所得階層で一定とするのではなく, 図 3 の目標技術普及率を満たすように, 図 2 および式 (4) で示されるロジット曲線に従い算出した。

$$y = \exp(ax + b) / 1 + \exp(ax + b) \dots (4)$$

y : 普及率 x : 所得階層 a, b : 形状パラメータ

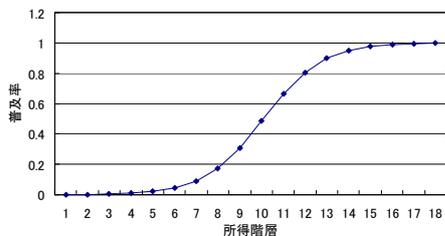


図 2 ロジット曲線

4.3 技術価格の推計

技術普及にともなう消費財の市場価格低下を考慮すべく, 学習曲線 (図 4, 式 (5)) を用いて 2050 年における価格を算出した。学習曲線とは, 特定の作業あるいは工程に関する熟練の獲得をモデル化したものであるが, 近年は将来コスト分析 (太陽光発電の普及等³⁾) に適用されている。

$$y = ax^{-b} + c \dots (5) \quad y : \text{価格} \quad x : \text{累積普及台数}$$

a : 初期コスト b : コスト減少割合 c : 漸近コスト

ただし $b = -\log F / \log 2$ F : 進歩係数

4. 技術のモデルへの投入

4.1 エネルギー技術ロードマップ

目標としての制約条件は, 資源制約; 石油生産量が 2050 年にピーク・天然ガスが 2100 年に生産量のピーク, 環境制約; GDP あたりの CO2 排出原単位が 2050 年に 1/3 で 2100 年に 1/10 以下であり, この大枠の目標から逆算して各技術の普及率目標および家庭用環境技術使用による省エネ率の目標値を定めている。本研究で分析対象とする省エネ率および技術普及策詳細を以下表 2, 3 に示す。

表 3 個別技術詳細¹⁾

技術名称	改善技術詳細		
	技術内容	2030	2050
高効率蛍光灯	発光効率	>150lm/W	>200lm/W
LED照明		>125lm/W	>175lm/W
ECOQ	COP	COP5.3	COP6.3
IH	熱効率	90%	80%
PDP	発光効率	10lm/W	15lm/W
PV	モジュール効率	22%	30%
HEMS	連携制御・需要予測	創エネとの連携	電力貯蔵との連携
内燃機関	燃費改善	1.75倍	2倍
燃料電池		3.5倍	4倍

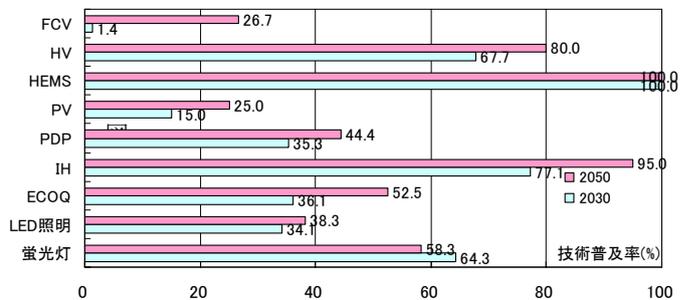


図 3 目標技術普及率

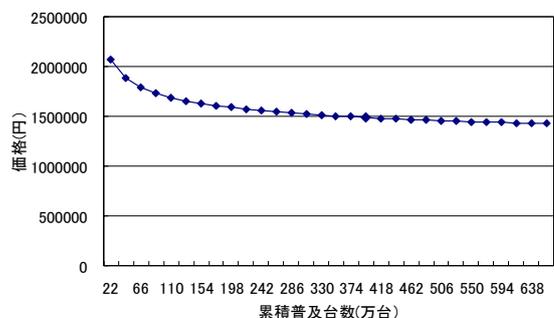


図 4 学習曲線

表 4 技術価格推計結果

技術名称	2030			2050	
	技術普及率(%)	全保有台数(万台)	普及台数(万台)	技術価格(万円)	推計技術価格(万円)
高効率蛍光灯	64.3	5816	3739.1	1.0	0.26
LED照明	34.1	2073	706.9	1.0	0.16
ECOQ	36.1	4961	1792.5	75.0	43.3
IH	77.1	4961	3826.7	8.5	4.7
PDP	35.3	11439	4201.8	24.3	13.0
PV	15.0	2600	390.0	207.0	142.1
HEMS	100.0	4961	4960.5	5.0	2.3
内燃HV	67.7	7237	4896.8	332.0	212.9
燃料電池	1.4	7237	101.3	320.7	236.9

2030年の目標技術普及率から目標普及台数を算出しこれを累積普及台数として2050年の価格を算出した(表4)。進歩係数は太陽光発電設置データ(1979-1999)に基づいて求められた値³⁾を用いた。漸近コストとは、十分に量産化が進

んだ段階での、必要最低限の製造コスト⁴⁾のことであり、これを価格低下の漸近線として設定した。また2030年の技術価格は、現在の市場価格とした。

5. シミュレーション

5.1 効用変化率

A: 技術価格が2005年時市場価格, B: 技術価格が学習曲線に従い低下(表5最右欄価格), C: 技術普及なし, の3ケースで2050年シミュレーションを行った。技術が普及した際の家計の効用変化は2000年初期均衡状態における家計効用からの変化率で計る。図5は、技術普及がない場合のケースCの効用変化率を基準として換算したA, Bの効用変化率である。2005年市場価格のまま技術が普及したAは、技術普及がない場合Cと比較して効用が低下するが、十分に価格が低下するとBのように効用はCと同程度もしくは増加し、家計効用を維持しながら環境技術の普及が可能となることわかる。

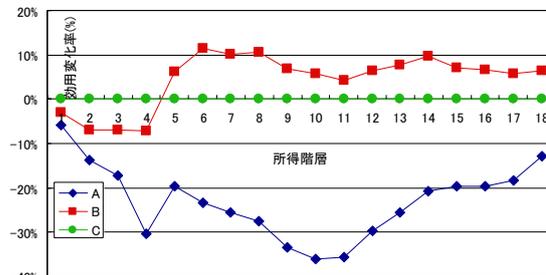


図 5 効用変化率 (ケースC基準)

環境技術導入による電気代やガス代の低下がそれ以外の支出を増加させ、家事用耐久財・冷暖房機器の支出割合が高すぎず、他の支出を極端に減少させていないことが効用増加の要因である。逆に、環境技術への消費支出シェアが高くそれ以外の支出を圧迫してしまうと、高い効用を得るような消費がなされず、その所得階層での効用は低下する。また、二酸化炭素の排出量は国内全体で33%の削減であった。

5.2 感度分析

各環境技術価格と所得階層別効用の関係を明確にするため、環境技術の価格変化に対する効用変化の感度を所得階層別で分析した(図6)。ある一つの技術のみ学習曲線により低下した技術価格(表5最右欄の値)他の技術の価格は2005年の現在市場価格とした場合の効用変化率を、全技術の価格が2005年市場価格とした場合(5.1のケースA)の効用変化率と比較し、この差を感度とした。中・高所得者階層においては省高効率給湯器の価格変化に対する感度が高く、高所得階層になるにつれて

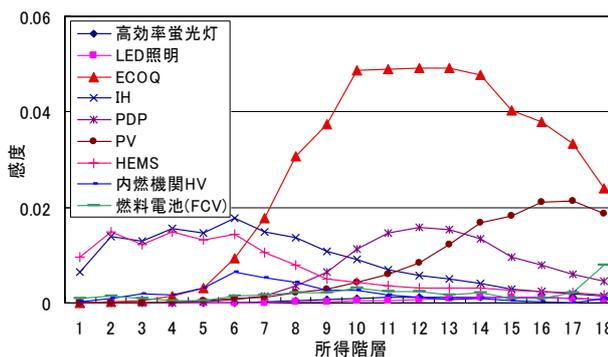


図 6 感度分析結果

PVの価格変化の感度が高くなっている。IH・HEMSの感度は低・中所得者層で高く、中所得者層ではPDPやハイブリッド車などの感度が高い等、各階層でどの技術の感度が高いかが異なる。

6. 普及パス

4.3の技術価格推計では、2030年目標普及台数が遵守される前提でこれを累積普及台数として2050年の技術価格を推計した。しかし実際は、目標普及台数が必ず普及するとは限らず、普及時でもその詳細な普

及過程については技術ロードマップでふれられていない。そこで、2000年から10年毎に普及台数と普及価格の経過を把握し、各技術の普及における特性の定量評価を行う。普及のパスは図7に示すように、所得階層ごとに導入確率を設定し、投資回収年数から導く。式(6)、(7)。投資回収年数は環境技術を導入時の光熱費削減金額技術価格である。各階層における2000年初期均衡時の光熱費からエネルギー消費量を逆算し、環境技術投入による削減エネルギー分を削減光熱費として算出した。

$$y_i = \frac{EXP(-0.256x_i)}{1 + EXP(-0.256x_i)} \quad i = 1 \dots 7 \dots (6)$$

$$y_i = \frac{EXP(-0.159x_i)}{1 + EXP(-0.159x_i)} \quad i = 8 \dots 18 \dots (7)$$

y_i : 所得階層 i での導入確率 x_i : 所得階層 i での投資回収年数
 ただし $x_i = P_k / p$ P : 光熱費削減金額
 P_k : k 年時技術価格 ($k=2000, 2010, 2020, 2030, 2040, 2050$)

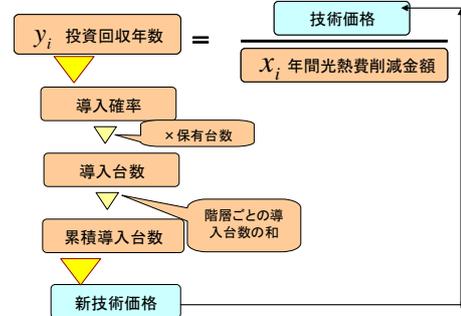


図7 普及パス算出フロー

2000年時の P_k は2005年時市場価格とする。さらに、境界条件 $x_i=0$ のとき $y_i=1$ かつ $x_i=25$ のとき $y_i=0$ を満たし、 $x_i=1, 2, 3, 4$ および $x_i=21, 22, 23, 24$ のときは数式(6)、(7)を満たすように直線で置換を行った。

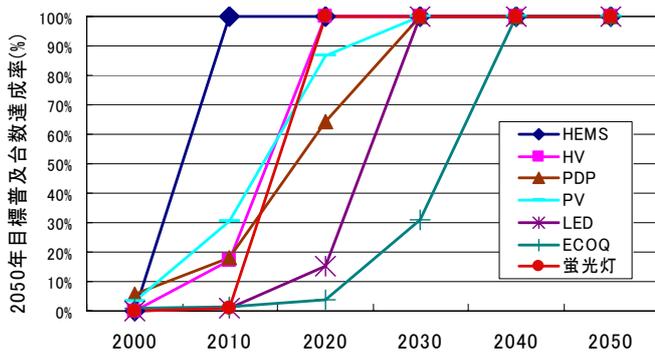


図8 2050年目標普及台数達成率

さらに、想定した普及パスにおける2030年時の普及台数と技術価格を元に、2030年でシミュレーションを行った。所得階層16~18を除く低・中所得階層では効用が維持されており、高所得者階層から順に普及が進めば、目標普及台数への到達時間の短縮が可能であると示された。ただ、6.1ケースBと比較して、各階層で効用が0.6程度低かったことから、達成時間と効用はトレードオフの関係であると考察される。

7. 結論

環境技術の価格が十分に低下すれば、家計効用は維持しつつ家計消費からの二酸化炭素排出量は39%減少し、環境・経済の両立が可能であると定量的に示すことができた。また、高所得階層から優先的に普及するという経路をたどれば、HEMS・PV・HV・LED照明は2030年に2050年の目標普及台数まで到達することが可能であり、かつ家計の効用も維持されていることから、更なる排出削減の可能性を示すことが出来る。ただ、高効率給湯や高効率蛍光灯は初期価格が高止まりすれば普及が進展しないため、補助金や技術革新による価格低下が必要である。

参考文献

- (財)エネルギー総合工学研究所；超長期エネルギー技術ロードマップ報告書，経済産業省資源エネルギー庁委託，(2006)，(2)市岡修；応用一般均衡分析，(1991)，有斐閣。
- (3) 樋屋治紀；学習曲線による新エネルギーコストの分析，日本太陽エネルギー学会誌，25, 6 (1999)。
- (4) 松橋隆治，石谷久；設備製造を考慮した太陽光発電システムの普及戦略に関する研究，電気学会論文誌B，25, (2001)，899-906。