

第5章 普及率および市場価格の算出

5.1 概要

第3章で示したとおり、本研究ではエネルギー技術ロードマップの民生部門中の家庭用環境技術から分析対象とする技術を下表5-1のように抽出した。ただ、ここで示される目標値は、各技術を用いて実現すべき「省エネルギー率」の目標値であり、この目標値を遵守するためにはその技術がどれだけ普及すればよいかという「技術普及率」が示されているものは太陽光発電とエネルギーマネジメントのみである。そこで本章ではまず、省エネルギー率目標値を遵守するための各技術普及率を算出し、次にモデルに投入するために、算出した普及率を18の所得階層別に割り当てていく。

表5-1 省エネ率および技術普及率目標値（再掲）

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

また、各技術がいったいいくらでの市場価格で普及されるか、といった経済面はエネルギー技術ロードマップでは全く語られていない。従って、現時点での市場価格を調査するとともに、2050年および2030年における各技術の市場価格を算出する必要がある。そこで本章では、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、学習曲線概念を用いて2050年における価格を算出した。

5.2 技術普及率推計

省エネ率目標を遵守するときの技術普及率を推計した。エネルギー技術ロードマップでは各技術の詳細が下表5-2のように示されているため、これによって省エネ率を達成するための技術普及率を算出した。

表5-2 各技術の詳細

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

以下に技術ごとに技術詳細、省エネルギー率目標、削減エネルギー目標、および技術普及率やデータの出所等を示す。なお、太字部分の指標はエネルギー技術ロードマップに記載されていた値である。

太陽光発電

技術詳細としてモジュール効率が上げられているが、ここでは技術普及率である創エネ率目標が設定されているためこれを採用する。また、可数とは導入可能台数の略称であり、全国で導入することが可能な台数を示す。太陽光発電の場合 2600 万台^[1]であり、現在の普及台数は普及台数欄にある 22 万台である^[2]。

表 5-3 太陽光発電データ

モジュール効率(%)			創エネ率目標(%)		可数(万台)	普及台数(万台)		
2000	2030	2050	2030	2050	2600	2000	2030	2050
17	22	30	15	25		22	390	650

高効率給湯

技術詳細である COP とは成績係数(Coefficient of performance) という、投入エネルギーに対する出力エネルギーの比率のことである。この値から導入後のエネルギー需要量を算出し、省エネルギー目標値を満たすように一般普及率を算出した。現在の高効率給湯器の普及台数はヒートポンプ蓄熱センター^[3]から引用した。導入可能台数のデータはなかったため世帯数合計と同値とした。のちに所得階層ごとに普及率を割り当てるので、ここではエネルギー技術ロードマップを遵守するための階層に関係のない技術普及率を「一律普及率」と呼ぶこととする。

表 5-4 高効率給湯データ

COP			エネルギー需要(倍)		省エネ目標(%)	
2000	2030	2050	2030	2050	2030	2050
3.2	5.3	6.3	0.170	0.143	30	45
一律普及率(%)			可数(万台)		普及台数(万台)	
2030	2050	4961	2000	2030	2050	
36.14	52.50		23	2891	4200	

高効率 PDP パネルおよびその他動力（プラズマディスプレイパネルで代表）

発光効率 (lm/W) とは光源の効率をあらわすもので、単位電力あたりの全光束 lm/W (ル

一メン毎ワット)で示す。この値が大きくなればなるほど、少ない電力で稼動可能となる。また高効率給湯と同様にエネルギー需要と省エネルギー目標とをあわせて技術普及率を算出した。導入可能台数はJEITA^[4] およびエネルギー・経済統計要覧^[5]より引用した。

表 5-5 プラズマディスプレイパネルデータ

発光効率(lm/W)			エネルギー需要(倍)		省エネ目標(%)	
2000	2030	2050	2030	2050	2030	2050
1.5	10	15	0.00	0.00	30	40
一律普及率(%)			普及台数(万台)			
2030	2050	11439	2000	2030	2050	
30	40		281	4202	5291	

高効率調理器

技術詳細は熱効率の上昇で示されている。現在使用されているガスコンロの熱効率は55%^[6]であることから、高効率調理器を導入した際のエネルギー需要を算出した。これを用いて省エネ目標率を満たすように一律普及率を算出した。また、導入可能台数は高効率給湯器と同数とした。

表 5-6 高効率調理器データ

熱効率(%)			エネルギー需要(倍)		省エネ目標(%)	
2000	2030	2050	2030	2050	2030	2050
85	90	95	0.61	0.58	30	40
一律普及率(%)			普及台数(万台)			
2030	2050	4961	2000	2030	2050	
77	95		183	6171	7600	

エネルギーマネジメント (HEMS)

普及率目標が100%と指定されているためこれに従った。エネルギー需要は経産省「今後の省エネルギー対策の概要」^[7]から抜粋した。

表 5-7 HEMS データ

連携制御・需要予測			普及率目標(%)		エネルギー需要(倍)		
2000	2030	2050	2030	2050	空調電力消費量	照明電気消費量	創エネとの連携
-	創エネとの連携	電力貯蔵との連携	100	100	0.7	0.85	0.85
省エネ目標(%)			普及台数(万台)				
2030	2050	4961	2000	2030	2050		
10	15		0	4961	4961		

高効率照明 (高効率蛍光灯・LED 照明)

PDP と同じく、技術詳細は発光効率である。現在普及している蛍光灯は発光効率が80lm/W、将来 LED 照明に移行する白熱灯は発光効率が15lm/Wである。ここで下表に示した2000年の発光効率の値は、現在わずかながら市場に出ている高効率蛍光灯およびLED照明の発光効率の値である。これより消費電力を算出し、省エネ率目標を遵守するように一律普及率を求めた。また、寿命時間、効率、一日使用時間、出荷台数から、保有台数を推計した。寿命時間は市販されている蛍光灯および白熱電球の市販されている丸型蛍光灯

(15W) 62 種（販売元は日立、ナショナル、東芝、NEC、三菱電機）の平均寿命時間である。同様に市販されている白熱電球(5W、二個入り)235 種（販売元はヤザワ、ナショナル、東芝）の平均寿命時間である。販売蛍光灯、白熱電球のデータはヨドバシカメラ HP^[8]より引用した。

表 5-8 保有台数の推計

	光束lm	寿命(h)	効率lm/W	消費電力W	一日使用時間
蛍光灯	810	6000	57.86	14	12
白熱電球	810	3000	14.21	57	8
	寿命(年)	出荷台数(万台)	保有台数(万台)	保有比率	電力比率
蛍光灯	1.369863	4245.9	5816.3	0.737193	0.48003934
白熱電球	1.0273973	2018.2	2073.5	0.262807	0.69675381

表 5-9 照明データ

	発光効率(lm/W)			消費電力(倍)		省エネ率目標(%)	
	2000	2030	2050	2030	2050	2030	2050
高効率蛍光灯	80	150	200	0.53	0.40	30	35
LED照明	50	125	175	0.12	0.09	30	35
	一律普及率(%)		可数(万台)	普及台数(万台)			
	2030	2050		2000	2030	2050	
高効率蛍光灯	64.3	58.3	5816	0	1285.7	3791.7	
LED照明	34.1	38.3	2073	0	1534.1	2488.3	

ハイブリッド自動車

(内燃機関ハイブリッド車:HV および燃料電池ハイブリッド車:FCV)

燃費改善の割合は、現在のガソリン車の燃費を 1 とした場合の値である。まず、ロードマップに示されている削減エネルギー目標を各車に配分する。この配分比率は公表されていないため、ここで設定を行った。参考とした指標は、エネルギー技術ロードマップ内で公表されている「普及率各車内訳」内における、「各車普及割合目標は 2030 年に電化率が 1%以上とする」および「2050 年には燃料電池ハイブリッド車と電気自動車とをあわせて 4 割以上とする」の記述で、削減エネルギー目標の各車配分比率にはこの比率を使用した。ただし、FCV の削減エネルギー目標は一律普及率における FCV の一律普及率が 26.5%となり、合計してハイブリッド車の一律普及率が 100%を超えてしまうことから、FCV の削減エネルギー目標値に修正を加え、FCV 一律普及率が 20%となるようにした。なお、「普及率各車内訳」は、一律普及率の算出には使用していない。

2000 年普及台数のデータは運輸低公害車普及機構ホームページ^[9]から引用し、保有台数に関してはエネルギー・経済統計要覧^[6]から引用した。

表 5-10 ハイブリッド自動車データ

	燃費改善(倍)			エネルギー需要量(倍)		削減エネルギー目標(%)		削減エネルギー目標(%)	
	2000	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
HV	1.5	1.75	2	0.57	0.50	30	60	29	40
FCV	3	3.5	4	0.29	0.25			1	15
	一律普及率(%)		可数(万台)	普及台数(万台)			普及率各車内訳(%)		
	2030	2050		2000	2030	2050	2030	2050	
HV	67.7	80.0		4.9	4896.8	5789.3	99	60	
FCV	1.4	20.0		0.82	101.3	1447.3	1	40	

最後に、技術普及率の推定結果を下図 5-3 にまとめた。

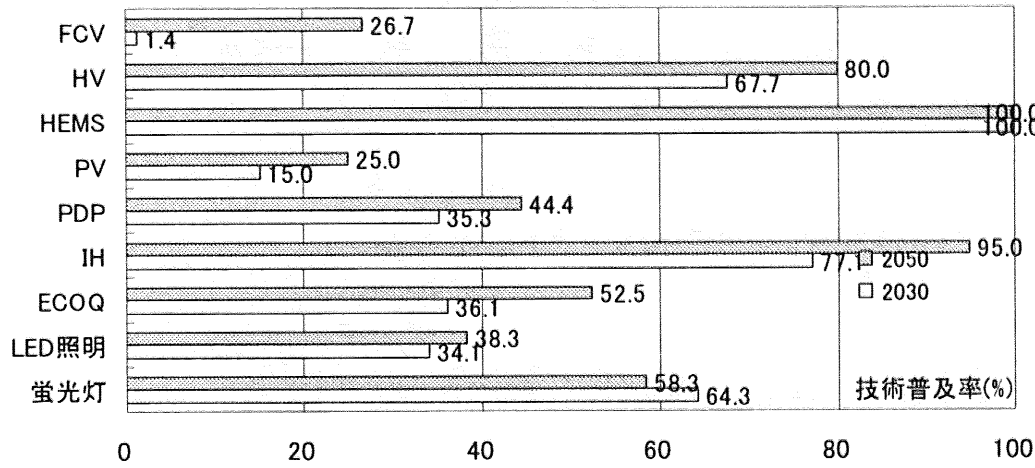


図 5-1 目標遵守を可能にする技術普及率（目標技術普及率）

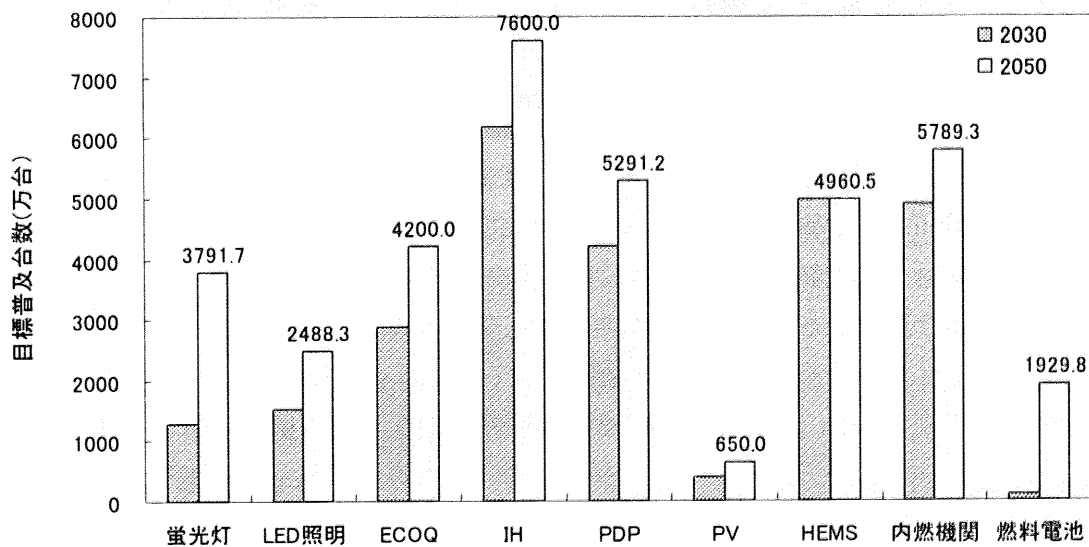


図 5-2 目標遵守を可能にする普及台数（目標普及台数）

5.3 所得階層別普及率

前節で算出した技術普及率を満たすように、各階層における技術普及率を算出した。各階層での技術普及率は全階層で一律の普及率とするのではなく、ロジット曲線に従い算出した値とした。すなわち、一律の普及率で普及した台数を満たすようにロジット曲線に従い各階層の普及率を決定する。ロジット曲線はマーケティングなどで製品普及曲線として多用される以下の図 5-3 および(5-1)で示される曲線である。

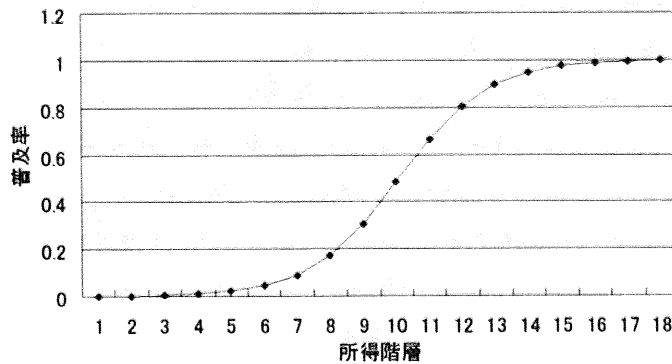


図 5-3 ロジット曲線

$$y = \exp(ax + b) / 1 + \exp(ax + b) \quad (5.1)$$

y : 普及率 x : 所得階層 a, b : 形状パラメータ

ロジスティック回帰によりパラメータ a および b の推計を行った。ロジスティック回帰とは、目的変数が百分率のときに適用される回帰分析法で、百分率 y と説明変数 x の間に $y = \exp(-ax - b) / 1 + \exp(-ax - b)$ という関係式を想定し、 $\ln(\frac{y}{1-y}) = ax + b$ という回帰式を求め

る。すなわち、 y をロジット変換した、 $\ln(\frac{y}{1-y})$ を目的変数として回帰分析を行う¹¹。

パラメータ推計においては、所得階層 1 の普及率が 0、所得階層 18 の普及率が 1 に近い値となるように端の階層と普及率を固定した。さらに、所得階層ごとに一律に普及したときの技術普及率の値が所得階層 9 の普及率の値になるように設定した。すなわち、全所得階層で一律の値により普及した場合の普及率が中所得階層によって実現するようになっている。これら 3 つの条件よりロジスティック回帰を行い、パラメータ a および b を技術ごとに推計し、その推計値を用いて他の階層の普及率を算出した。ただし、普及率合計の誤差については、補正項を設け、適宜補正を行った。

5.4 技術価格の算出

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^[10]や燃料電池自動車の普及^[11]等）に適用されている。製造業ではこの進歩係数の値が大きいといわれている。

$$y = ax^{-b} + c \cdots (6)$$

y : 価格 x : 累積普及台数 a : 初期コスト

¹¹本研究では Excel のソルバーを用いてロジスティック回帰を行った。

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

2030年の環境技術普及率から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。進歩係数は、太陽光発電に関しては太陽光発電設置データ(1979-1999)に基づいて求められた値^[10]である0.8255を、内燃機関ハイブリッド自動車および燃料電池自動車は文献^[11]より引用した値である0.87を引用した。

進歩係数は、一般に製造業で値が高く、労働集約度の低い半導体産業などで値が低いことが知られている。文献のないものについては、高効率照明LED照明、HEMSは半導体産業とみて前者を、高効率調理器、高効率給湯器、高効率PDPおよびその他動力は製造業とみて後者の値を引用した。

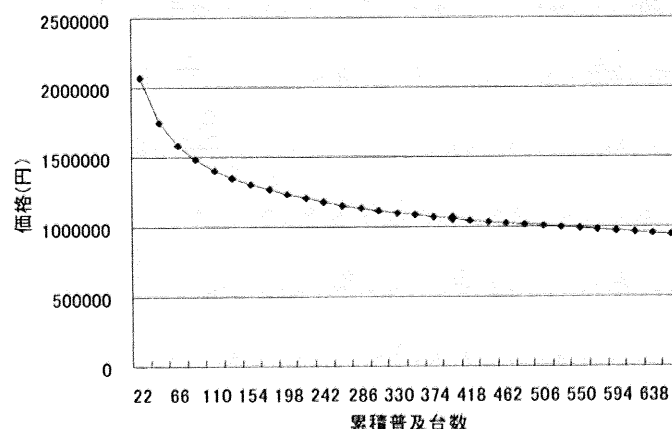


図5-4 学習曲線

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^[12]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、エネルギー技術ロードマップには技術の価格に関するデータは何も公表されていないことから、2030年の技術価格は、現在の市場価格等から調査した値とした。下表に現在市場価格とその情報源を示す。

表5-11 現在市場価格^{[13][14][15][16]}

技術名称	現在市場価格(万円)	価格情報源
高効率蛍光灯	1.0	カカクコム
LED照明	1.0	
ECOQ	75.0	東京電力・ヒートポンプ蓄熱センター
IH	8.5	東京電力
PDP	24.3	カカクコム
PV	207.0	(財)エネルギー財団
HEMS	5.0	電力中央研究所
内燃機関HV	332.0	(株)トヨタHP
燃料電池(FCV)	320.7	(2004年度論文)

高効率給湯器はヒートポンプ蓄熱センターにて製品の詳細が公表されていたため、2005年から2006年の間にヒートポンプ蓄熱センターに登録があった製品のうち、ガス給湯器を

代替できる型、容量のものについて抽出し、その平均価格を算出した。下表にその一部を示す。IH、PDP についても同様に平均価格を算出した。

表 5- 12 高効率給湯市場価格データ^[3]

会社名	機種名	用途	容量	機能	床暖房	地域	登録年月日	機器No.	価格
(株)コロナ	UF-30WM4-C	家庭用	300 L	フルオート	無し	一般地	#####	8218	745500
(株)コロナ	UF-37WM2-C	家庭用	370 L	フルオート	無し	一般地	#####	8219	829500
(株)コロナ	US-37M5-C	家庭用	370 L	オート	無し	一般地	#####	8217	661550
(株)コロナ	HP-H3726A2	家庭用	370 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8126	829500
(株)コロナ	HP-H3726A2-BL	家庭用	370 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8127	831600
(株)コロナ	HP-H3026A2-BL	家庭用	300 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8125	747600
(株)コロナ	HP-H3026A2	家庭用	300 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8124	745500
長州産業(株)	HP-372FSZ	家庭用	370 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8128	743400
(株)長府製作所	HP-4653GPXH	家庭用	460 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8132	934500
三菱電機(株)	RT-HP37WZ1	家庭用	370 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8149	782500
三菱電機(株)	RT-HP30WD1	家庭用	300 L	フルオート	無し	一般地	2006/9/29	8160	677250

また、ハイブリッド車については、長谷川^[14]が現在普及しているセダークラスの乗用車で燃料が水素になった場合の燃料電池ハイブリッド自動車の価格を推計しており、この値を引用した。現存する FCV の価格は 1130 万円であるが、2030 年から普及が本格的に始まる FCV の場合、この価格で 2000 年より普及が開始するとは考えにくい（すなわち、全所得階層で導入確率が 0 より大きくなることはない）ため、2030 年ごろに技術進歩により市場で競合できる価格まで減少したことを想定して、2000 年の HV と同程度の価格としている。

次に、各技術の学習曲線の漸近コストおよび価格情報源の一覧を下表に示す。

表 5- 13 学習曲線の漸近コストおよび価格情報源^{[17][18]}

技術名称	漸近コスト(円)	価格の目安および情報源	情報源
高効率蛍光灯	1760	蛍光灯価格	ヨドバシカメラHP
LED照明	122	白熱電球価格	ヨドバシカメラHP
ECOQ	317840	ガス給湯器価格	リンナイ、ノーリツカタログ
IH	22430	ガスコンロ価格	ヨドバシカメラHP
PDP	27945	カラーテレビ28型価格	ヨドバシカメラHP
PV	1012500	試算結果	
HEMS	20000	電力中央研究所	
内燃機関HV	1763377	(2004年度論文)	
燃料電池(FCV)	2132281	(2004年度論文)	

現在使用されている機器の価格（高効率給湯器であれば、ガス給湯器）の平均値を目安とした。太陽光発電は現在、1kW 設置価格が平均 46 万円^[2]であるが、松橋ら^[12]によれば、ライフサイクルコストの最低額、すなわち、十分に市場が成熟したときの究極の製造コストは 22.5 万円である。そこで、平均出力規格が 4.5kW であることから、漸近コストを 1012500 円と定めた。

また HEMS については、電力中央研究所^[13]が消費者アンケート調査を元に、購入意思のある HEMS 価格のうち、十分に普及がなされた場合の価格の推計をおこなっていたため、この値を用いた。ハイブリッド自動車に関しては、現存するハイブリッド自動車と同性能・同馬力（セダンクラス）の車種の価格を試算した結果^[14]を用いた。

以上より 2030 年市場価格と 2050 年市場価格を比較したものが下表 5-14 である。

表 5-14 技術価格変化

技術	価格(万円)	
	2030	2050
高効率蛍光灯	1.0	0.26
LED照明	1.0	0.16
ECOQ	75.0	43.31
IH	8.5	4.73
PDP	24.3	12.96
PV	207.0	142.14
HEMS	5.0	2.28
内燃機関	332.0	212.9
燃料電池	320.7	236.9

また、価格の低下率を示したものが下図 5-5 である。HEMS は 2030 年においてすでに普及率が 100%であるために累積普及台数が多く、価格も大きく低下している。

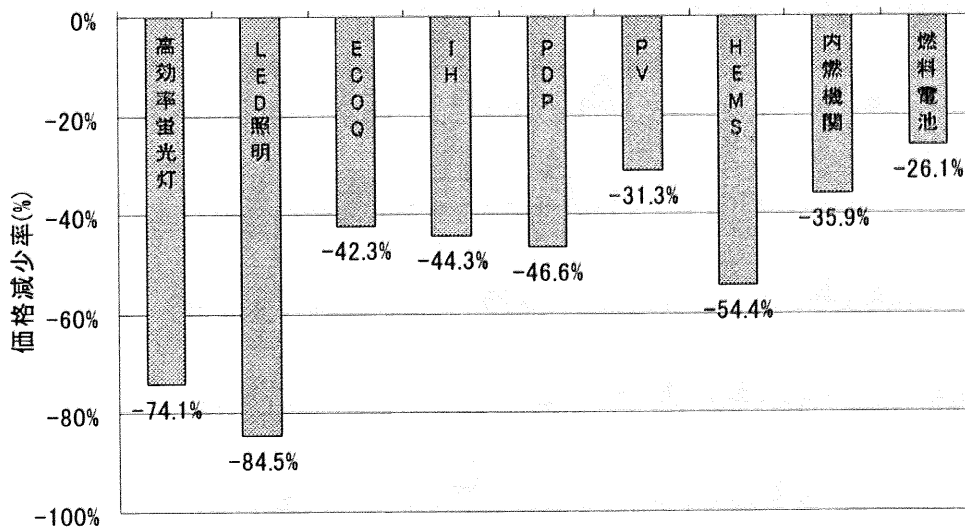


図 5-5 価格減少率

5.5 家計消費支出シェア

ここでは、家計消費支出の項目について解説し、具体的にどのように技術を投入していくかを述べる。第3章で解説したように、モデルでは家計パラメータとして、18の所得階層が月あたりにどの消費財をどれだけ消費するかの割合を消費シェアとして設定している。

表 5-15 消費支出シェア

消費支出シェア																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0.2294	0.2292	0.2390	0.2418	0.2414	0.2402	0.2411	0.2382	0.2360	0.2366	0.2307	0.2317	0.2270	0.2249	0.2230	0.2162	0.2109	0.1974
0.2862	0.2829	0.2500	0.2362	0.2314	0.2255	0.2153	0.2182	0.2156	0.2073	0.2138	0.2088	0.2132	0.2098	0.2010	0.2021	0.1940	0.1703
0.0203	0.0186	0.0190	0.0190	0.0189	0.0186	0.0187	0.0185	0.0182	0.0184	0.0176	0.0179	0.0173	0.0169	0.0168	0.0160	0.0155	0.0138
0.0068	0.0078	0.0078	0.0077	0.0075	0.0073	0.0073	0.0072	0.0070	0.0066	0.0067	0.0065	0.0062	0.0061	0.0058	0.0055	0.0047	0.0047
0.0043	0.0037	0.0037	0.0036	0.0036	0.0034	0.0034	0.0034	0.0032	0.0032	0.0030	0.0031	0.0029	0.0028	0.0027	0.0025	0.0023	0.0019
0.0066	0.0063	0.0066	0.0066	0.0069	0.0068	0.0069	0.0070	0.0069	0.0070	0.0066	0.0068	0.0066	0.0064	0.0064	0.0062	0.0060	0.0053
0.0110	0.0108	0.0115	0.0118	0.0120	0.0120	0.0123	0.0123	0.0122	0.0124	0.0119	0.0123	0.0119	0.0117	0.0117	0.0113	0.0111	0.0101
0.0041	0.0040	0.0043	0.0045	0.0046	0.0046	0.0048	0.0049	0.0049	0.0051	0.0049	0.0051	0.0050	0.0050	0.0051	0.0051	0.0051	0.0050
0.0016	0.0017	0.0019	0.0021	0.0023	0.0024	0.0026	0.0027	0.0028	0.0030	0.0030	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0035	0.0036	0.0039
0.0217	0.0192	0.0193	0.0193	0.0192	0.0190	0.0192	0.0192	0.0190	0.0193	0.0186	0.0191	0.0187	0.0183	0.0185	0.0180	0.0178	0.0167
0.0351	0.0378	0.0407	0.0425	0.0438	0.0452	0.0467	0.0474	0.0484	0.0497	0.0501	0.0513	0.0516	0.0528	0.0544	0.0559	0.0588	0.0636
0.0374	0.0343	0.0352	0.0354	0.0353	0.0347	0.0349	0.0347	0.0340	0.0343	0.0326	0.0333	0.0322	0.0312	0.0310	0.0295	0.0283	0.0249
0.0437	0.0436	0.0432	0.0422	0.0404	0.0403	0.0391	0.0372	0.0371	0.0360	0.0372	0.0353	0.0354	0.0368	0.0356	0.0356	0.0354	0.0375
0.0038	0.0075	0.0112	0.0142	0.0170	0.0192	0.0217	0.0235	0.0252	0.0267	0.0283	0.0289	0.0300	0.0328	0.0334	0.0334	0.0370	0.0514
0.0205	0.0252	0.0268	0.0305	0.0316	0.0324	0.0331	0.0329	0.0331	0.0332	0.0334	0.0330	0.0328	0.0335	0.0330	0.0327	0.0321	0.0326
0.0351	0.0330	0.0330	0.0325	0.0316	0.0312	0.0308	0.0299	0.0295	0.0293	0.0287	0.0284	0.0279	0.0277	0.0272	0.0263	0.0256	0.0239
0.0018	0.0040	0.0066	0.0089	0.0114	0.0133	0.0160	0.0185	0.0204	0.0231	0.0236	0.0270	0.0280	0.0296	0.0340	0.0385	0.0466	0.0622
0.1130	0.1182	0.1229	0.1246	0.1243	0.1264	0.1271	0.1255	0.1268	0.1272	0.1294	0.1284	0.1289	0.1326	0.1331	0.1351	0.1386	0.1478
0.1156	0.1124	0.1154	0.1165	0.1167	0.1175	0.1191	0.1189	0.1195	0.1212	0.1203	0.1219	0.1210	0.1217	0.1235	0.1234	0.1255	0.1265

この家計の月間消費額はもとより、家計調査の消費項目および単身世帯収支調査「年間収入階級別1世帯当たり1か月間の収入と支出」を元に長田^[9]が19消費財消費支出の内訳を推計したものである。このパラメータをそのまま使用するのではなく、前節で求めた技術普及率と技術価格を組み込み、新たな支出シェアを求めてモデルに投入しシミュレーションを行う。19分類については下表5-16を参照されたい。

表 5-16 家計消費財 19 分類

	1	18	→	所得階層
食料	1				1 -200
住居	2				2 200-250
電気代	3				3 250-300
ガス代	4				4 300-350
他の光熱	5				5 350-400
上下水道料	6				6 400-450
家事用耐久財	7				7 450-500
冷暖房機器	8				8 500-550
一般家具	9				9 550-600
その他家具等	10				10 600-650
被服及び履物	11				11 650-700
保健医療	12				12 700-750
交通	13				13 750-800
自動車新購入	14				14 800-900
自動車等維持	15				15 900-1000
通信	16				16 1000-1250
教育	17				17 1250-1500
教養娯楽	18				18 1500-
その他の消費支出	19				

また、各技術がこの19財の指標の中からどの指標を変化させたかを示す。

表 5-17 環境技術普及で変化のある家計消費支出部門

技術	考慮する消費財					
	電気代	ガス代	家庭用耐久財	冷暖房用器具	自動車購入	自動車維持
高効率照明	-		+			
高効率給湯(ECOQ)	+	-	+	+		
高効率調理器(IH)	+	-	+			
PDP・情報家電	-		+			
HEMS	-			+		
太陽光発電	-				+	-
ハイブリッド自動車					+	-

これらを月間支出額に投入するためには、家庭用耐久財、冷暖房器具、自動車購入においては、(各所得階層技術普及率) × (各技術価格) / 月、電気代・ガス代・自動車維持費においては(エネルギー需要) × (各所得階層技術普及率) / 月、を算出する。前者は消費額に加算され、後者は表 5-4 に従って加算または減算される。

HEMS

暖房分電気代(25.3%) / 月、照明分電気代(14.7%) / 月、その他電気代 / 月のうちから空調電力消費量、照明電気消費量のエネルギー需要(5.2.5 参照) 分を減算した。

太陽光発電

発電電力量 kWh / 月を(年間平均発電電力量^[3]4500kWh) × (各所得階層技術普及率) 分を電気代から減算した。

ガス代

ガス代のうち 70%を高効率給湯、30%を高効率調理器とし、ガス調理器一台設置につき1500 円分^[6]のガス代が差し引かれるという設定の下で各所得階層技術普及率をかけてガス代減少分を算出した。

また、高効率給湯と高効率調理器を導入してオール電化ハウスにした場合は全電化割引として、毎月の電気代が 5%割り引かれるという「全電化割引」^[20]を適用した。

次に、変化前および変化後(次章参照ケース B の場合)の世帯あたりの月間消費額および消費シェアを示す。モデルには後者の消費額シェアを投入する。

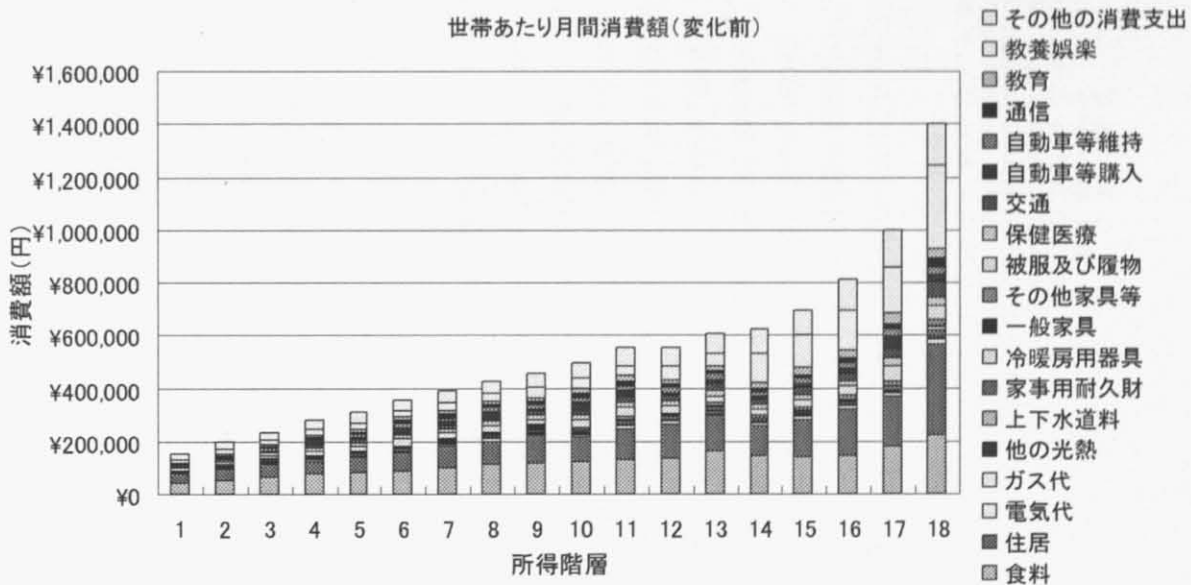


図 5-6 世帯あたり月間消費量(変化前)

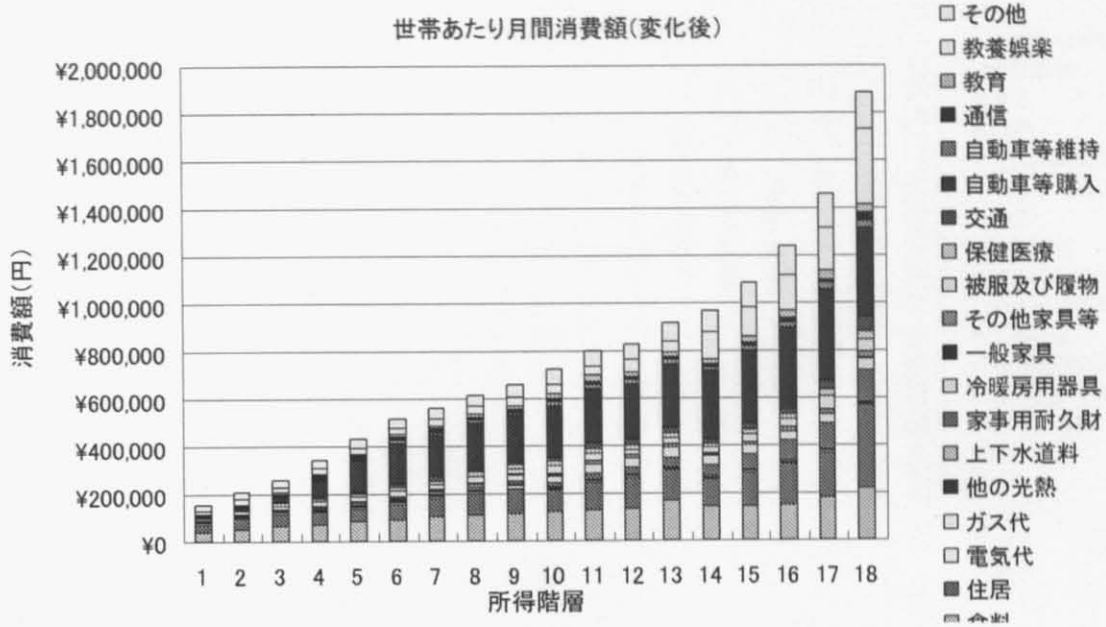


図 5-7 世帯あたり月間消費量 (変化前)

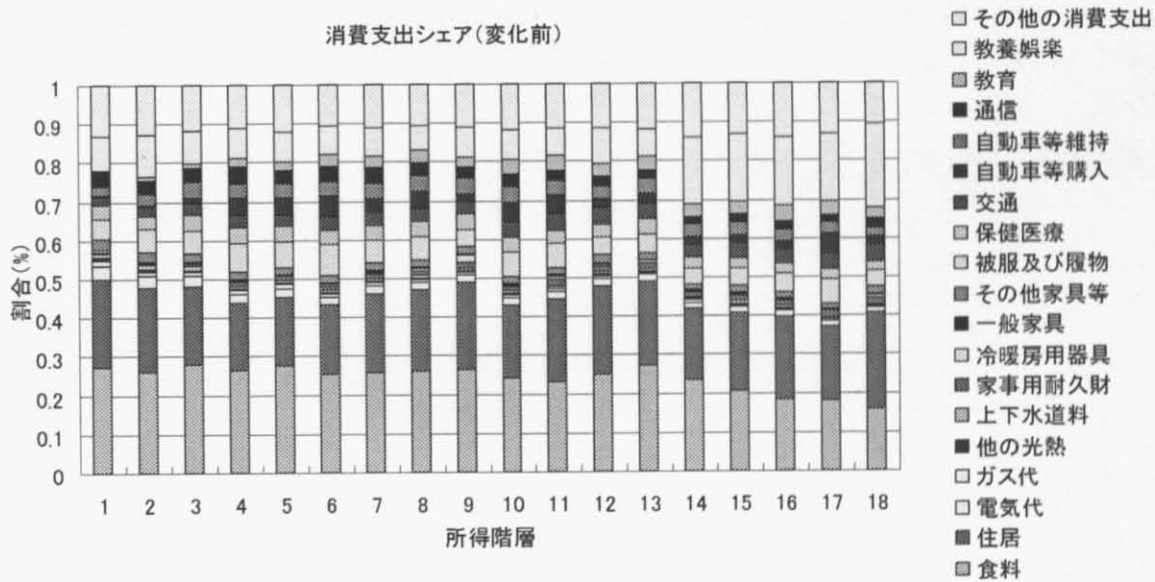


図 5-8 消費支出シェア (変化前)

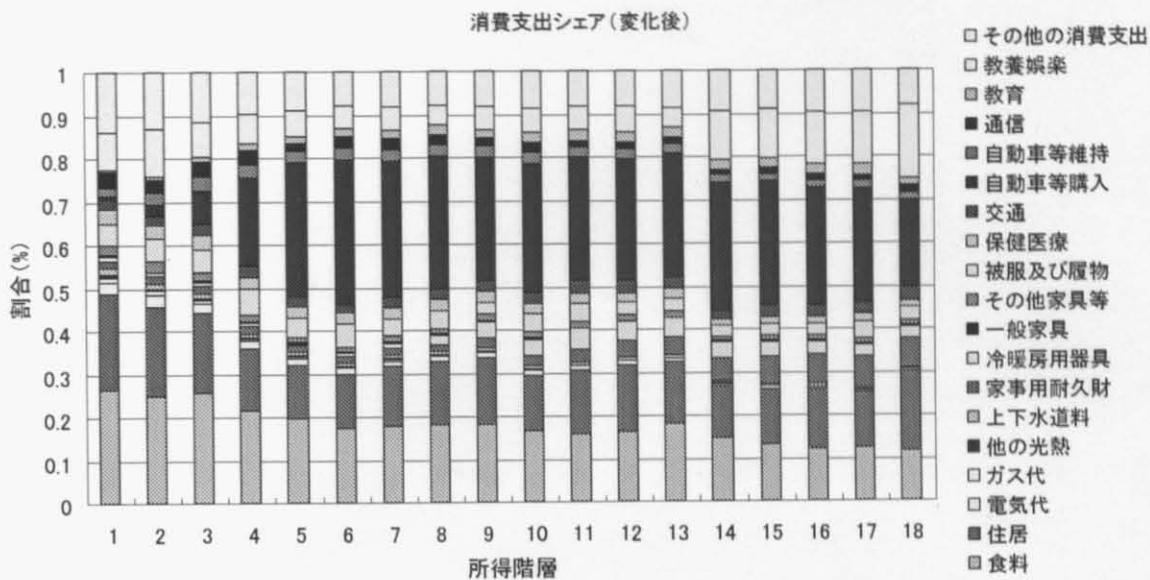


図 5-9 消費支出シェア(変化後)

本章では技術ロードマップで提示されている技術詳細でもって、省エネルギー率目標値を遵守するための各技術普及率を算出し、さらにその普及率をモデルに投入するために18の所得階層別に分配した。また、現時点での市場価格を調査するとともに、2050年および2030年における各技術の市場価格を算出するために、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、学習曲線概念を用いて2050年における価格を算出した。このデータを用いて5.5節で示したように、家計支出シェアを変化させることでモデルへの投入を行う。なお、家計支出シェアは下図5-10のように算出している。

表 5-18 新規家計支出シェアの算出(一部抜粋)

第5章 普及率および市場価格の算出

			-200	200-250
			1	2
1	食料		40311.00	51091.00
2	住居		33855.81	43104.83
3	電気代		4602.00	5324.00
		(-)高効率蛍光灯	0.15	1.57
		(-)LED照明	0.52	0.99
		(+)ECOQ	0.41	1.07
		(+)IH	507.05	848.07
		(-)PDP	0.04	0.12
		(-)太陽光発電	0.98	1.73
		(-)HEMS	864.95	1000.65
		計	4242.83	5168.08
		全電化住宅割引適用	4242.74	5167.80
4	ガス代		2284.00	2514.40
		(-)ECOQ	0.65	1.89
		(-)IH	315.84	581.56
		計	1967.50	1930.95
5	他の光熱		1038.80	1149.88
6	上下水道料		2176.00	2530.00
7	家事用耐久財		710.00	867.00
		(+)IH	1913.76	3200.89
		(+)照明	0.87	1.57
		(+)PDP	1.13	2.98
		(+)太陽光発電	22.03	38.95
		(-)太陽光補助金	0.00	0.00
		計	2647.79	4111.39
8	冷暖房用器具		825.00	490.00
		(+)ECOQ	15.75	41.53
		(+)HEMS	1971.93	1971.93
		(-)ECOQ補助金	0.00	0.00
		計	2812.68	2503.46
9	一般家具		169.00	243.00
10	その他家具等		3778.00	4990.00
11	被服及び履物		7540.00	11301.00
12	保健医療		4938.00	6115.00
13	交通		3356.00	4788.00
14	自動車等購入		465.00	1218.00
		(+)HV車購入分	1116.85	4051.96
		(-)補助金	0.00	0.00
		計	1581.85	5269.96
15	自動車等維持		2910.00	5339.00
		(-)燃費向上減少分	9.20	30.50
		計	2900.80	5308.50
16	通信		5339.00	6346.00
17	教育		757.00	1792.00
18	教養娯楽		13551.00	22328.00
19	その他		21091.00	27243.00

第6章 シミュレーション結果

6.1 概要

本章では4章および5章で推計した値をモデルに投入し、2050年で静学的シミュレーションを行った結果を記述していく。本研究は、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、これを遵守した時すなわち複数の家庭用省エネ機器が一般家庭に普及した際に、家計の効用にどれほどの影響を及ぼすかを評価することが主要な目的であるため、家計の効用に関する指標を中心に考察を加えていく。

6.2 ケース設定

以下第8章のケーススタディにおいて、異なる条件で普及台数および2050年市場価格を算出するために別のケースを設定するため、本章および4章、5章で推計した値を投入することでシミュレーションを行った本ケースを「参照ケース」と称することとする。ただし、以下の3パターンを設け、パターン比較を行った。

参照ケース A：技術価格が2005年時市場価格

参照ケース B：技術価格が学習曲線に従い低下した価格である

参照ケース C：技術普及なし

6.3 ケース設定

6.3.1 効用変化率

まず、2000年初期均衡状態からの効用の変化率を示したものが以下図6-1である。家計の効用変化とは、2000年初期均衡状態における家計効用からの変化率で計った値である。

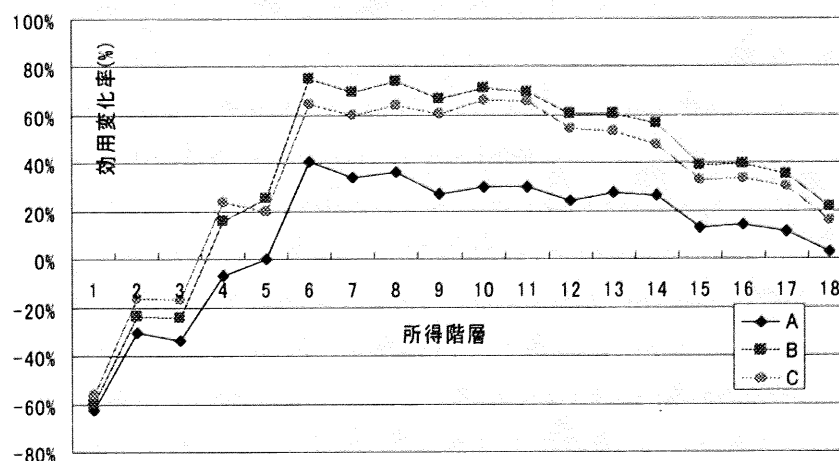


図6-1 効用変化率

所得階層1-3において効用変化率が減少（効用が低下）している要因は、技術普及によるも

のではなく、将来世帯数の変化によるものと考えられる。世帯数が増加することで、世帯あたりの労働所得→可処分所得→現在消費→効用と減少が伝播するためである。本研究では、階層ごとの労働所得は2000年均衡状態のままで変化はしないとしていることから、将来世帯数の変化が要因となりえるのである。

また、技術普及による効用変化をより明確に表現するために、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およびBの効用変化率を以下に示す。

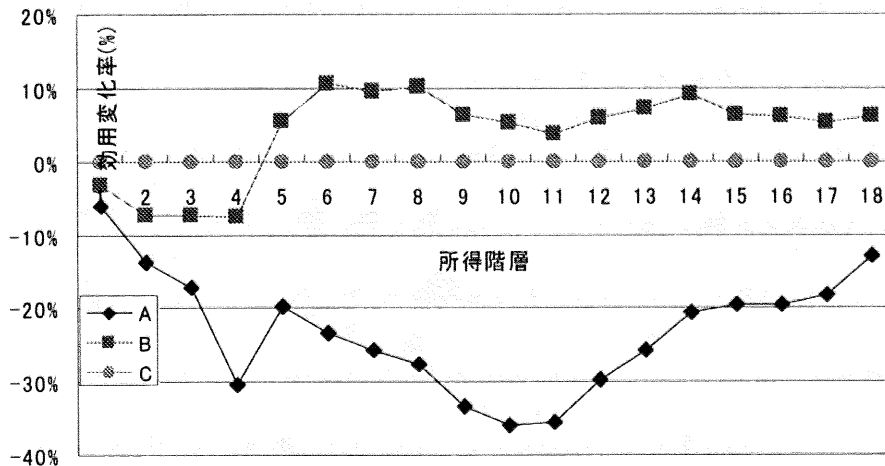


図 6-2 効用変化率 (C 基準)

2005 年市場価格のまま技術が普及すれば、A に示されるように、技術普及がない場合 C と比較して効用が低下してしまうが、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、消費者における環境技術普及と経済性の両立が可能となることが見て取れる。特に、所得階層 5 (年間収入 350 万円～400 万円)～所得階層 11 (650 万円～700 万円) では、技術が普及することで大幅に効用が増加している。

また、世帯数の増加による効用変化ではなく、技術普及による効用変化の要因は以下のように考えられる。

効用増加の要因

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ることと、環境技術購入にあたる家事用耐久財・冷暖房機器の支出割合が消費予算に対して高すぎず、それ以外の支出を極端に減少させていない、ということがあげられる。

効用低下の原因

普及する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 (合成消費財を形成する際に偏った消費の仕方をするようになり)、その所得階層で効用が低下してしまうことがあげられる。

6.3.2 等価変分

家計の厚生分析の尺度が家計の効用変化率であると具体的な効用変化のイメージが付き

にくいため、別の尺度として等価変分で効用の変化を示した。等価変分は、変化後の効用を変化前の財価格の元で達成するのに必要な費用と変化前の所得の差で表されるものであり、効用変化分を金銭換算した指標である。

基準均衡 2000 年と仮想均衡 2050 年では、異なる価格が均衡価格として成立しているので、その元で達成された効用の変化分が金銭表示されたとしても、価格変化による効用への影響も含まれており、純粋な厚生変化を比較することができない。従って、変化後の効用を基準均衡における価格による効用に換算し、効用の変化を金銭表示する。効用は現在消費量と将来消費量を CES 関数で定義した値であるが、効用と価格に関して支出関数を設定し（その価格において効用を達成するための最小の支出額）効用の限界費用（効用価格）を求めるため、家計の効用変化を具体的な金額で把握することができる。

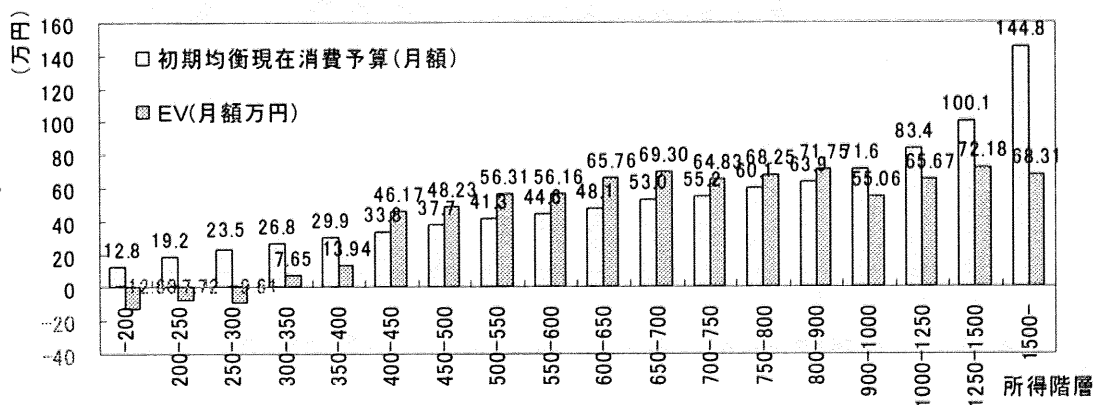


図 6-3 等価変分（ケース B）と初期均衡での一ヶ月当たり現在消費予算（消費額）

たとえば、年間収入 300・350 万の所得階層では、ケース B（技術価格が学習曲線により低下）を実行したとき、効用変化率は+0.16 であり、これを月額で示すと、7.8 万円分となる。現在消費予算の額は所得階層の一ヶ月の消費額であり、等価変分の規模がわかりやすいよう比較用として掲載した。年間収入 250・300 万の所得階層では、月間消費額が 23.5 万円、効用変化率は-0.22 であり、これは月額にして 9.2 万円分の効用減少にあたる。以下にケースごとの等価変分の比較を示す。

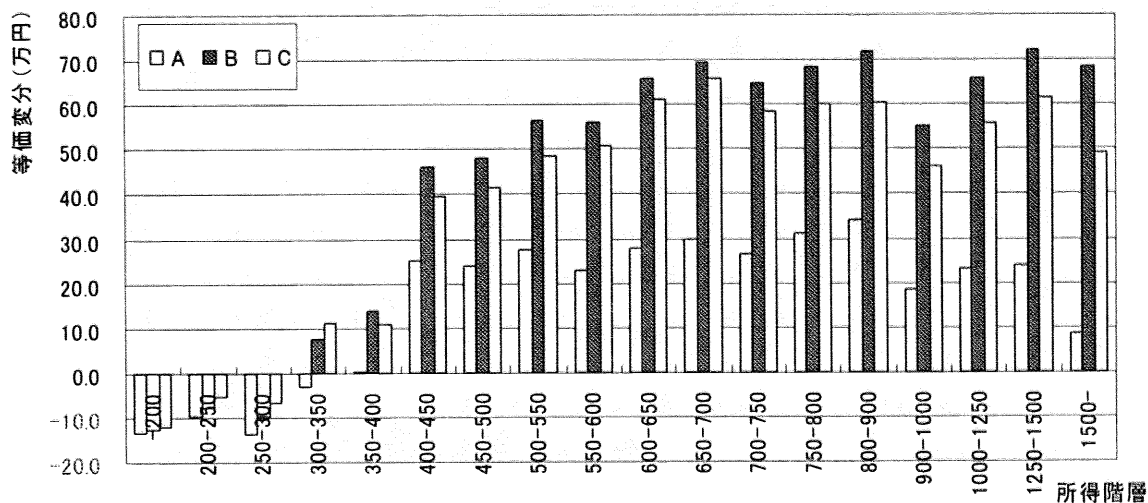


図 6-4 ケース別所得階層ごとの等価変分

これをC（環境技術が普及しないケース）基準にして表示すると、下図のようになる。

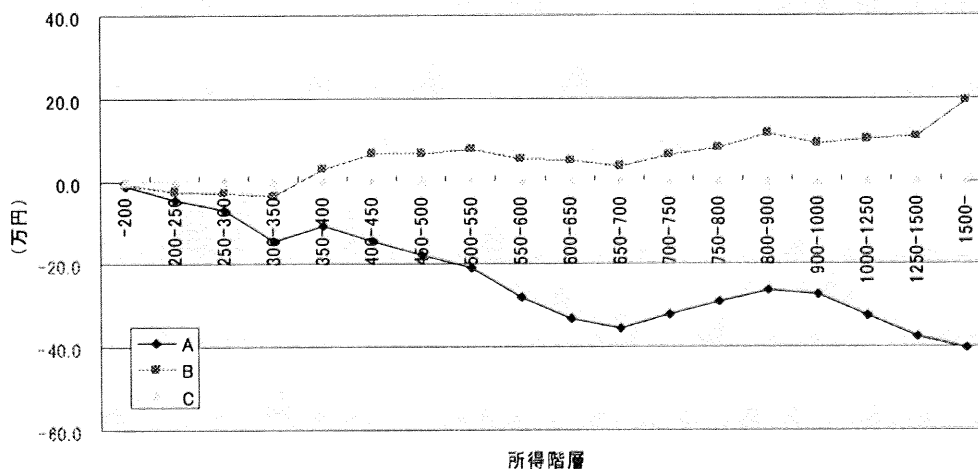


図 6-5 ケース別所得階層ごとの等価変分（C基準）

ケース B では 1-3 所得階層は等価変分で見ると効用が回復しているが、18 所得階層は月額にして 11 万円分の効用低下がある。この所得階層ではすべての環境技術がほぼ 100%で普及していると設定していることが要因である。ただ、この階層は年間所得が 1500 万円以上で月間消費額は 144.8 万円（図 8 参照）であるので、ケース A と比較して大幅に効用が回復したことも考慮すれば、問題ないと考えられる。

さらに、効用変化率を C 基準としたときの効用変化分を等価変分で示したものが下図 6-6 である。これは図 6-2 の効用変化分を金銭換算した値である。

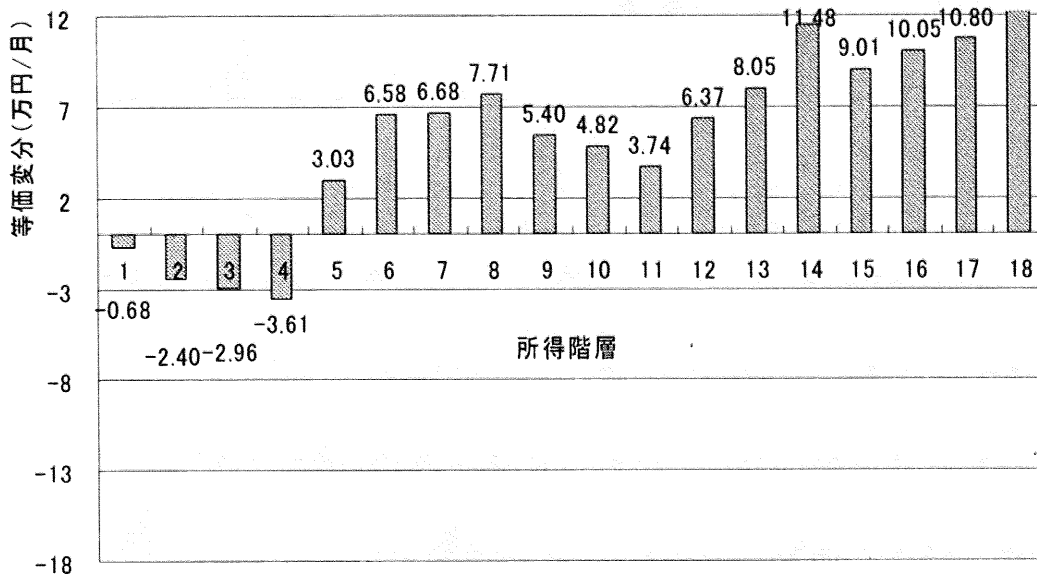


図 6-6 効用変化率（C 基準）の等価変分

年間所得が 1500 万円以上である所得階層 18 では、年間所得が 200 万以下である所得階層 1 とほぼ同じ効用変化率の-0.1（-10%）であるが、もともとの所得が大きいため、等価変分の値も大きくなっている。

6.3.3 GDP 変化

GDP（国内総生産）の変化を示す。エネルギー技術ロードマップは、環境と経済の両立を目標とした政策であるため、GDP が 2050 年には 1.5 倍になるという設定であるが、本研究におけるシミュレーションでは-0.34%となった。

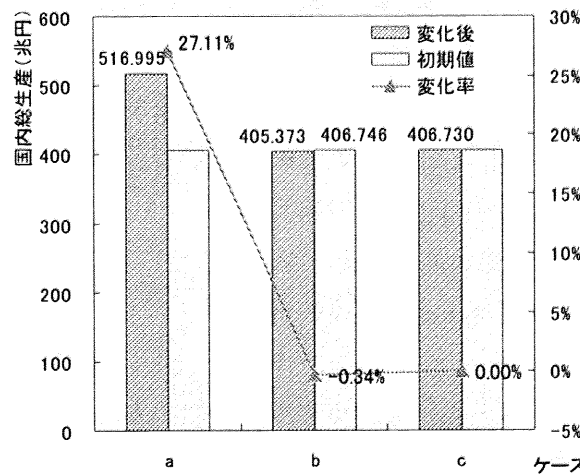


図 6-7 2050 年シミュレーション時の GDP 変化

ケース A（2005 の価格で普及するケース）では、価格が高い分需要である消費額も高くなることで供給である生産額も上がることから国内総生産も上昇している。ケース B（価格が学習曲線により減少するケース）では家計の効用を保ちながら GDP も維持できている結果といえる。

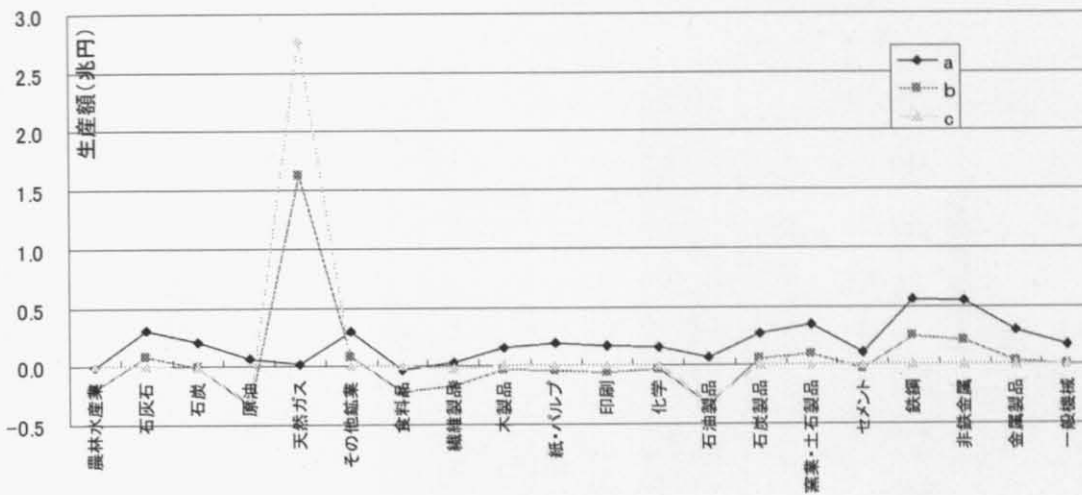


図 6-8 ケース B における生産額変化率 (財 1-20)

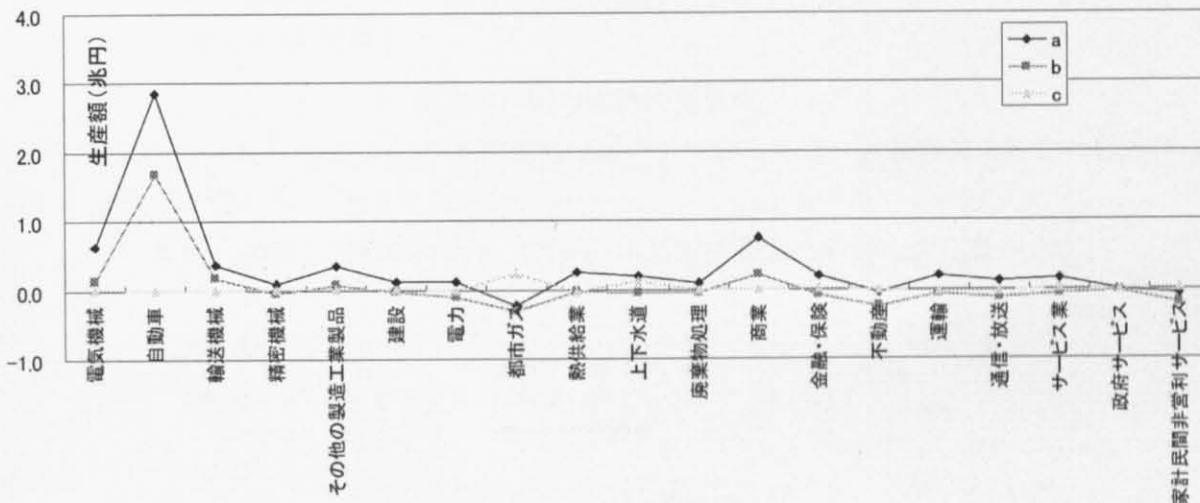


図 6-9 ケース B における生産額変化率 (財 20-39)

本研究では、エネルギー技術ロードマップに従ってエネルギー供給は石炭・原油からではなく、2050年には完全に天然ガス・水素に移行するという設定を変換行列(家計消費財⇄生産財の変換を行う行列)内で行ったことから、天然ガスの生産額が上昇している。加えて、ハイブリッド時自動車普及にともない、これの製造である自動車の生産額が上昇している。

6.3.4 二酸化炭素排出量変化

まず、ケース B および C の国内総排出量変化を示す。

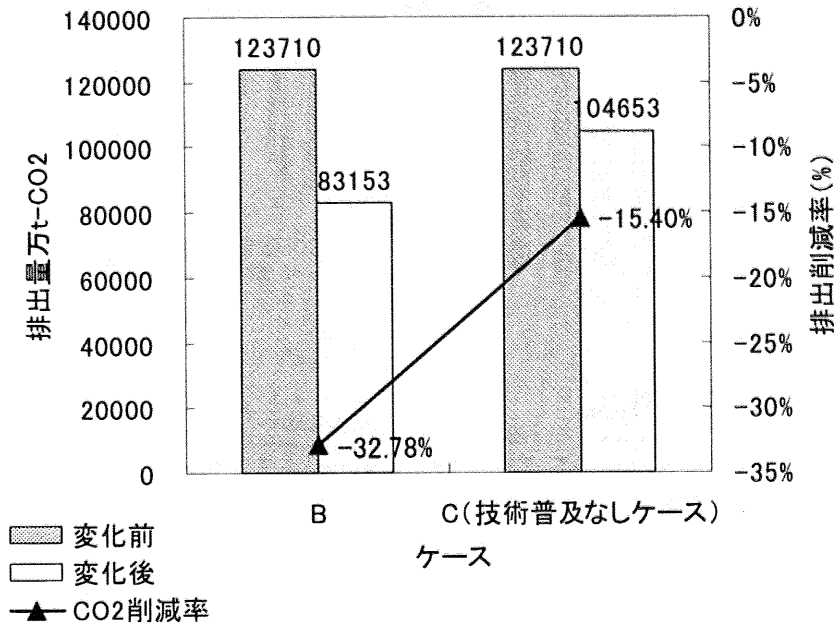


図 6- 10 国内総排出量変化

技術普及のないケース C においても排出量に変化しているのは、世帯数変化すなわち人口減少によるものである。

また、ケース B における国内総排出量（再掲）と家計消費からの排出変化量を示す。

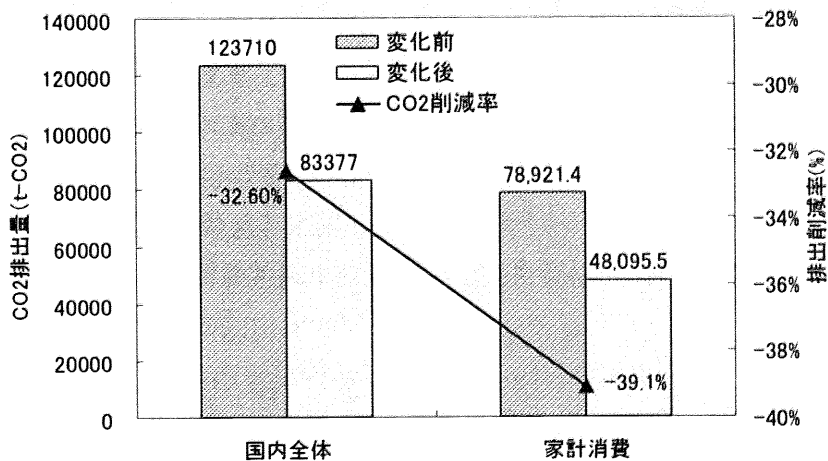


図 6- 11 ケース B における国内総排出量および家計消費からの排出量変化

家計消費からの排出量は-39.1%と大きく削減されている。GDP あたりの排出原単位は-32%となっており、技術ロードマップの目標値である、2050 年に GDP あたりの排出原単位が 1/2 という目標は遵守していない。しかし、本研究で取り上げた環境技術は、技術ロードマップに示されている環境技術のうちの一部である。したがって、削減目標である-50% (GDP あたりの排出原単位が 1/2) のうちの-30%を占める環境技術が、本研究で取り扱った技術であるといえる。

さらに、家計消費における所得階層別排出削減量と排出削減率は以下のようにになっている。

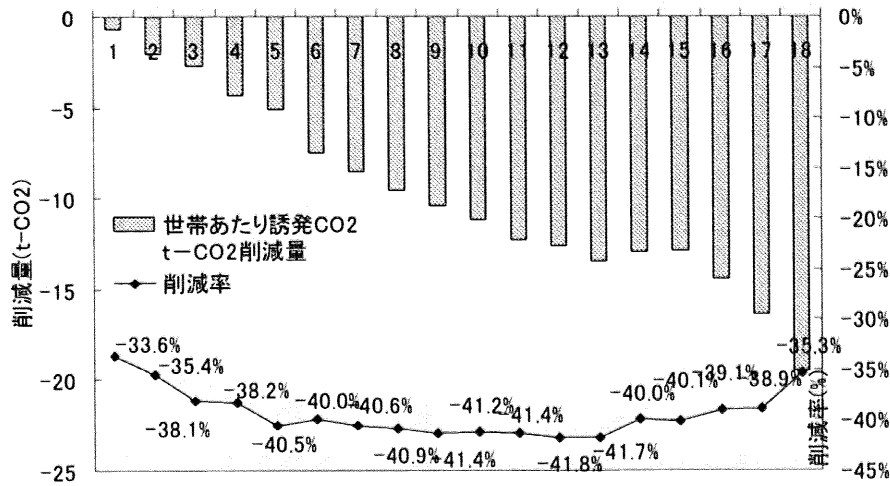


図 6-12 所得階層別誘発二酸化炭素排出量変化

誘発二酸化炭素排出量とは、家庭からの直接排出量に、輸送や製造段階での間接的な排出量を足したものである。中所得階層での削減率が低所得・高所得階層より高いことがわかる。高所得階層は、2000 年均衡状態での初期排出量の値が大きいことが要因で、環境技術が多く普及していても、削減率で見れば中所得階層よりも小さくなっている。

6.4 感度分析

ここまで、効用変化率の結果を中心に述べてきたが、各環境技術価格と所得階層別効用の関係を明確にすることが必要である。そこで、どの所得階層が複数普及する技術のうち、どの技術の価格変化に対して敏感であるのか、感度分析を行った。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表示したものが下図 6-13 である。

ここで感度を以下①、②の差と定義した。

- ① ある一つの技術のみ学習曲線により低下した技術価格、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
 - ② 全技術の価格が 2005 年市場価格とした場合(A の場合)の効用変化率
- すなわち、これらの差が大きいほど価格の変化に影響されやすいことを意味する。

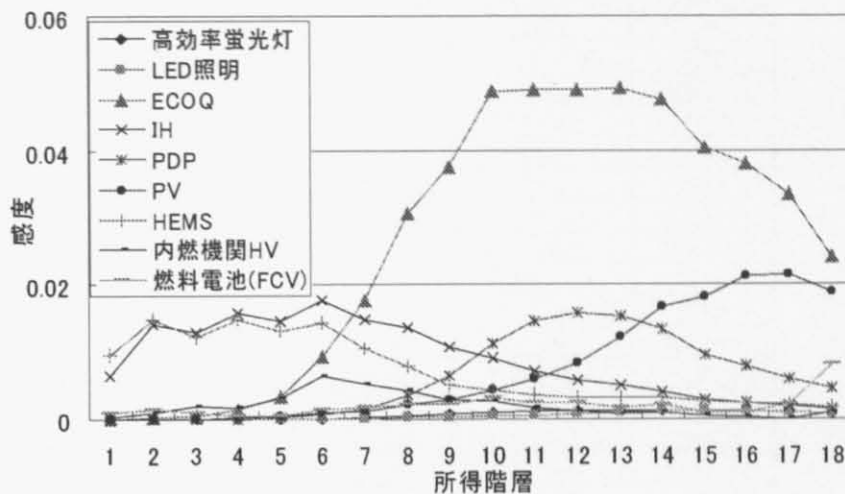


図 6-13 感度分析結果

中・高所得者階層においては省エネ給湯器の価格変化に対する感度が高く、所得階層になるにつれて PV（太陽光発電）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という結果になっている。各階層でどの技術の感度が高いかが異なるということが考察され、この結果を考慮した具体的普及策の考案が必要となる。

6.5 補助金および価格調整

上述した 6.3 では、2050 年には 2005 年よりも技術価格が低下するという条件でシミュレーションを行ったにもかかわらず、所得階層 1・2・3・18 で効用の回復がみられなかった。これは、その所得階層にとっては技術価格が高い、すなわち家庭用環境製品への初期投資額が家計消費において多大なシェアを占めてしまっている、ということを意味する。従って、技術普及により効用が低下している所得階層 1・3 および 18 について、6.4 の感度分析結果に基づき、感度の高い技術価格について

- ①（量産による価格低下+）どの程度まで価格を低下させればよいのか
- ② 補助金としていくら投入すればよいのか

を考察した。

まず①（量産による価格低下+）どの程度まで価格を低下させればよいのかであるが、各技術を感度分析に従って、効用が回復する価格を求めた。結果は以下の表の通りになる。

表 6-1 効用回復の価格

階層	技術	推計価格(円)	効用回復価格(円)	差額(円)
1	IH	32373	16533	15840
	HEMS	6105	1716	4389
	HB内燃機関	1927143	1321428	605714
	HB燃料電池	2642882	1514085	1128797
2	IH	32373	16533	15840
	HEMS	6105	1716	4389
	HB内燃機関	1927143	1321428	605714
	HB燃料電池	2642882	1514085	1128797
3	IH	32373	16533	15840
	HEMS	6105	1716	4389
	HB内燃機関	1927143	1321428	605714
	HB燃料電池	2642882	1514085	1128797
18	ECOQ	209895	32863	177032
	PV	1487832	207062	1280770
	HB内燃機関	1927143	1321428	605714
	HB燃料電池	2642882	1514085	1128797

所得階層 1・2・3 では、IH および HEMS の普及による効用低下が大きかったため、効用回復価格も、参照ケースで入力した値の半額以下であることが多い結果となった。また、効用が回復した際の効用変化率（C 基準）を以下に示す。

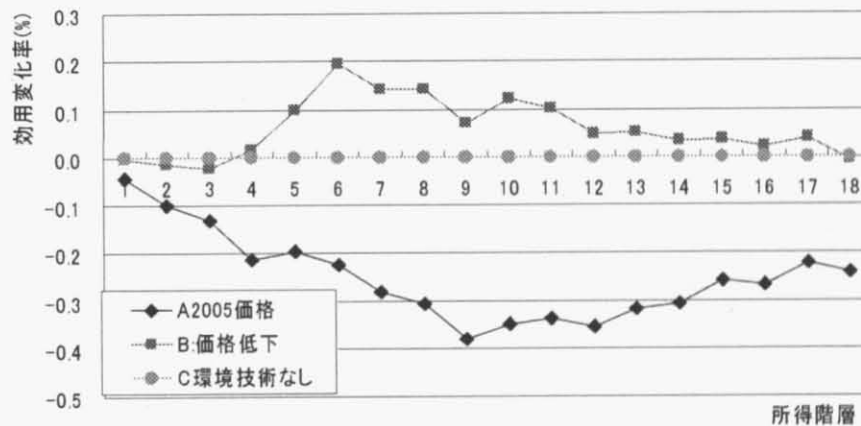


図 6-14 効用回復したときの効用変化率

次に、②補助金を以下のように設定した。

表 6-2 効用回復したときの効用変化率

階層	技術	推定価格(円)	補助金(円)	出所
1	IH	32373	30000	-
	HEMS	6105	5000	-
	HB内燃機関	1927143	200000	日本自動車研究所
	HB燃料電池	2642882	200000	
2	IH	32373	30000	-
	HEMS	6105	5000	-
	HB内燃機関	1927143	200000	日本自動車研究所
	HB燃料電池	2642882	200000	
3	IH	32373	30000	-
	HEMS	6105	5000	-
	HB内燃機関	1927143	200000	日本自動車研究所
	HB燃料電池	2642882	200000	
18	ECOQ	209895	260000	2005年度補助金価格
	PV	930492	405000	2004年度補助金価格
	HB内燃機関	1927143	200000	日本自動車研究所
	HB燃料電池	2642882	200000	

この設定の下で補助金の支給を行ったときの効用変化率は以下図 5-21 のようになった。エコキュートの補助金金額は現在以下のようにになっているが、家庭用の 5 万円を補助金として投入しても効用の回復がみられなかったため、最高額の 26 万円とした。

表 6-3 高効率給湯器補助金^[1]

申請方式 申込区分 1台あたりの 補助金額(定額) 予算枠
(一般用)
1 家庭用 — 新築 50,000円 家庭用 — 新築
2 家庭用 — 既築 80,000円 家庭用 — 既築
3 業務用 — 小型(加熱能力26kW未満) 170,000円
4 業務用 — 大型(加熱能力26kW以上) 260,000円
(販売用)
1 家庭用 — 新築、既築 50,000円 予定枠
2 業務用 — 小型(加熱能力26kW未満) 170,000円
3 業務用 — 大型(加熱能力26kW以上) 260,000円

高効率給湯器の補助金金額

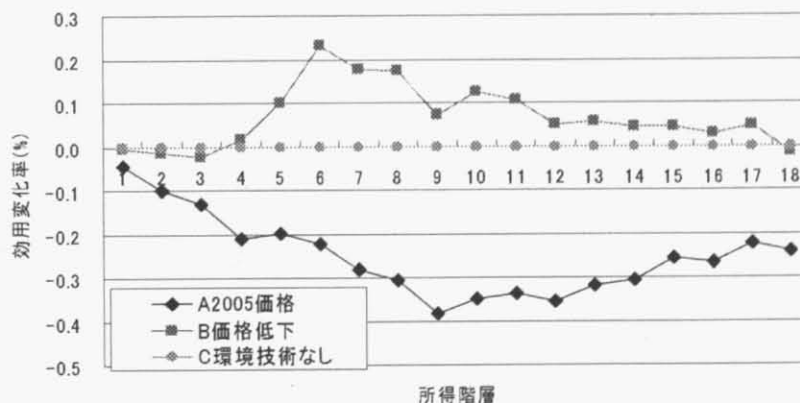


図 6-15 効用変化率

上述したとおり、①では算出した 2050 年市場価格の半額以下、②では多額の補助金が必要となり、非現実的であることがわかる。また、価格を大きく変化させてもまだ効用が回

復しない階層もあることから、感度分析をもとに、効用が回復していない階層のみに価格低下や補助金などの対策を行うことは、あまり有効ではないことがわかる。したがって、階層横断的な普及策や価格低減策の有効性を評価することが重要になる。そこで次章では、技術の価格低下をもたらす普及台数の増加について、その普及経路を分析する。

第7章 普及パス

7.1 概要

本研究ではこれまで、技術普及率と学習曲線による価格低下を考慮したシミュレーションを行った。そこでは、普及台数は技術エネルギーロードマップで目標とされている普及台数が必ず普及するという前提であった。しかし実際は、技術ロードマップで示されている目標普及台数が必ず普及するとは限らない。また、普及するとしてもその普及の過程には触れられていない。

そこで本章では、2050年の目標普及台数へ到達する普及パスを2000年から10年ごとに2050年まで設定し、10年毎の普及台数と普及価格の経過を把握することで、各技術の普及特性を定量評価し、実際の普及策への提言を行うことを目的とする。

7.2 普及パスの想定

7.2.1 算出フロー

上記で示したように目標普及台数に到達するまでの具体的な普及パスを、技術価格と導入確率の関係を利用して想定した。算出方法は下図に示す。2000年の技術価格および環境技術を投入したことによる光熱費の削減分を所得階層ごとに求め、2000年の投資回収年数を算出する。次に、以下数式 8-1・8-2 により階層ごとに導入確率を求め、保有台数から階層ごとの導入台数が算出される。2000年にすでに技術が普及している場合は、その普及台数もあわせて累積導入台数を求める。2010年であれば、2000年までの導入台数を加えて2010年の累積導入台数とする。2000年累積導入台数から学習曲線により、新たな技術価格が求められ、2010年における投資回収年数は、この新たな技術価格から算出される。すなわち、新たな技術価格は、次の10年後の投資回収年数を算出するためにフィードバックされる。このとき、技術価格は全所得階層で共通のものとする。

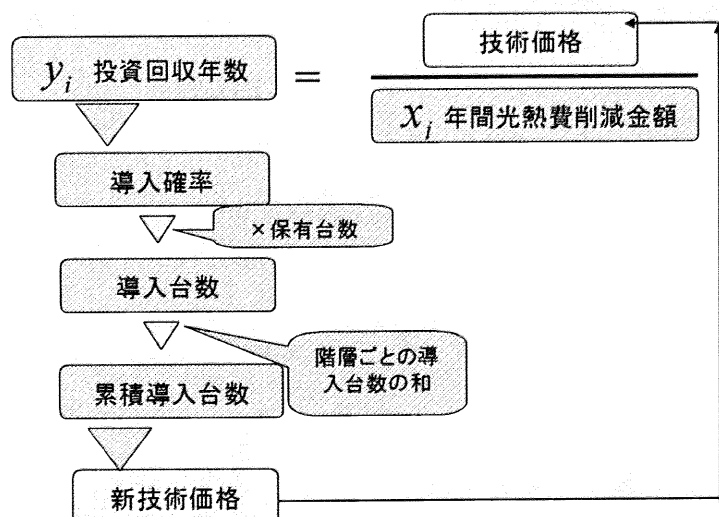


図7-1 ケース1の市場価格算出フロー

投資回収年数は環境技術を導入したことによる光熱費（電気代・ガス代・自動車維持費）削減分の技術価格で表されるが、本章での目的は技術価格の低下と普及パスについての考察を得ることから、光熱費削減金額は、2000年における技術詳細から算出した。なお、環境技術の技術詳細は技術ロードマップで示された値を用い、現段階で使用している既存技術の技術詳細のうち、技術ロードマップに記載のないものは調査を行い、得られた値を用いた。各技術詳細、光熱費削減、および投資回収年数の詳細は次節で述べる。

7.2.2 導入確率

導入確率を低所得者および高所得者別に設定した。パラメータの推定は、太陽光発電の購入に関するアンケート調査の結果¹¹⁾を利用した。このアンケートは選択型コンジョイント分析（回答者に複数のプロファイルの中から望ましいプロファイルを選択させることで属性別の選好を推定する評価方法であり、プロファイルに点数をつけることで選好を評価する評価型コンジョイント分析に比べて現実の消費行動に近いことが特徴である。）のアンケート結果であり、属性は「購入価格」「売電価格」「投資回収年数」であった。この結果から属性を「投資回収年数」のみ抽出し、パラメータの推定を行った。同時に、アンケート回答者を下図のように年間収入で分類しているため、本研究での18所得階層に分類し直した。

表7-1 所得階層分類

アンケートでの階層	年間収入(万円)	本研究での階層
低所得	-300	第1階層～第7階層
低所得	300-500	
中所得	500-700	
中所得	750-1000	
高所得	1,000-1500	第8階層～第18階層
高所得	2000-3000	
高所得	3000-	

パラメータ推定後の高所得階層および低所得階層での導入確率と投資回収年数の式は以下のようになっている。

$$y_i = \frac{EXP(-0.256x_i)}{1 + EXP(-0.256x_i)} \quad i = 1 \dots 7 \quad \dots(7.1)$$

$$y_i = \frac{EXP(-0.159x_i)}{1 + EXP(-0.159x_i)} \quad i = 8 \dots 18 \quad \dots(7.2)$$

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

$$x_i = \frac{P_k}{P} \quad \dots(7.3)$$

P : 光熱費削減金額 P_k : k 年時技術価格

2000 年時の P_k は、2005 年時市場価格とする。さらに、境界条件

$$x_i=0 \text{ のとき } y_i=1, \quad x_i=25 \text{ のとき } y_i=0$$

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(7.1)、(7.2)を満たすように直線で置換を行った。

7.2.3 投資回収年数の算出

太陽光発電

まず、2000 年均衡状態における電気代より消費電力量を算出し、太陽光発電を導入した際に年間平均発電電力量が 4500kWh 発電されるとき、電力需要量を算出した。定格出力が 1kWh のとき年間およそ 1000kWh を発電することから、家庭における平均定格出力が 4.5kWh（世帯数 3 人を想定）であることから、年間 4500kWh の発電電力量を得る。変換効率の超過発電分については売電価格を 7 円^[2]として、導入後の電気代を算出した。また、下図に示すようにモジュール変換効率の技術向上を考慮して、2030 年以降の発電電力量は年間 5824kWh として光熱費の削減および売電による収入を算出した。ただし、不確実性が高い売電価格は 2000 年時の 7 円/kWh のまま不変とした。

表 7-2 太陽光発電技術詳細

モジュール変換効率(%)			年間平均発電電力量kWh		
2000	2030	2050	2000	2030	2050
17	22	30	4,500	5,824	7,941

2000 年の削減光熱費は年間 69153 円（所得階層 1）から 167330 円（所得階層 18）であり、太陽光発電の現在の市場価格である 207 万円から、投資回収年数が 30 年（所得階層 1）から 12 年（所得階層 18）と算出された。

高効率給湯器

下図のように、2000 年均衡状態におけるガス代より消費ガス需要量を算出し、高効率給湯器を導入した際の新規電気代を算出した。また、ガス代は下図 7-2 家庭部門世帯あたり用途別エネルギー源別エネルギー消費量より給湯に使用される比率を求め、これを給湯分ガス代とし、給湯分エネルギー消費量を算出した。

表 7-3 家庭部門世帯あたり用途別エネルギー源別エネルギー消費量^[3]

	暖房用	冷房用	給湯用	厨房用	動力他	計
電力	215	212	188	161	3962	4738
都市ガス	567	0	1070	312	0	1949
LPG	162	0	961	204	0	1327
灯油	1884	0	777	31	0	2692
石炭他	5	0	13	3	0	21
太陽熱	0	0	149	0	0	149
計	2833	212	3158	711	3962	10876

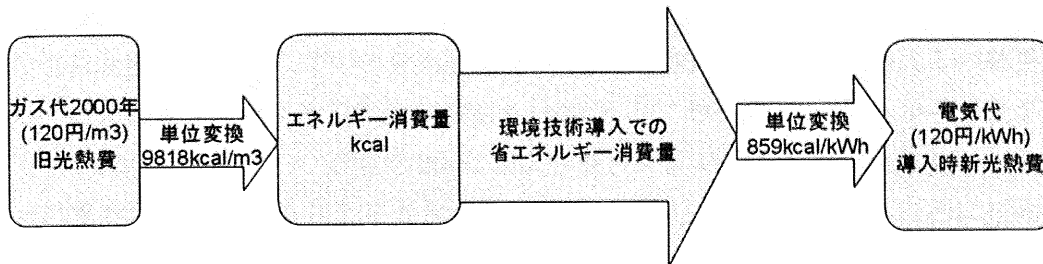


図 7-2 高効率給湯器の光熱費算出フロー

高効率給湯はガス給湯と比較して COP（成績係数）の値が高い。成績係数とは熱効率を表す指標で、COP=3 は熱効率 300%を意味する。

表 7-4 高効率給湯器技術詳細

ガス給湯COP	エコキュートCOP			エネルギー需要量(倍)			価格(円)		
	2000	2030	2050	2000	2030	2050	エコキュート	ガス給湯器	差額
0.9	3.2	5.3	6.3	0.281	0.170	0.143	751978	317840	434138

ガス給湯の COP については東京ガス^[4]が公表している値を使用した。また、エネルギー需要量はガス給湯からエコキュートを導入した際の必要エネルギー需要量がどの位減少するかを示したもので、ガス給湯器の COP とエコキュート COP の比率である。2000 年・2010 年・2020 年の光熱費削減分は 2000 年時のエネルギー需要量から求められた新規光熱費と旧光熱費の差額を用いるが 2030 年、2040 年および 2050 年の光熱費削減分は、技術の向上と価格低下を考慮した上での投資回収年数を求めるべく、2030 年時のエネルギー需要量を用いて算出した。

また、現在の給湯器であるガス給湯器の市場価格については、ガス給湯器の大手二社（リンナイ・ノーリツ）^{[5][6]}が現在販売している機種のうち、世帯数が 3～4 人分を供給可能な機種である 24 号（給湯ガス消費量 44.8kWh）のフルオートおよびオートタイプ（ガス給湯専用ではないもの）計 58 台の平均価格を用いた。これは、本研究で対象とした家庭用エコキュートの容量 370 リットル（4～7 人家族で 460 リットルが目安）、機能フルオートおよびオートタイプに相当する。

内燃機関ハイブリッド自動車（HV）および燃料電池自動車（FCV）

自動車に関しては以下のデータを用いた。現在のガソリン燃費を 1 とした場合の燃費向上はエネルギー技術ロードマップに従った。ガソリン価格が 45 ドル/バレル（2005 年）に対し、ハイブリッド自動車燃料である GTL の価格が 35 ドル/バレル（推計値）^[7]であり、

水素はガソリン価格に換算して54ドル/バレル^[7]（推計値）とされている。ただ、今後もガソリン価格は高騰すると考えられ、同時にこれら新エネルギーの初期段階での価格は推計値よりも高価であると考えられることから、ここでは燃料費はガソリン価格で代替する。すなわち、燃料変換にともなう自動車維持費の削減分は、燃費改善による減少分として算出を行う。また、ガソリン車の価格は、現存するハイブリッド自動車と同性能・同馬力（セダークラス）の車種の価格を試算した結果^[8]を用いた。同試算内でFCVの市場価格（普及がなされた時期を想定している）も推定しており、2000年の市場価格はその結果を用いている。なぜなら、現存するFCVの価格は1130万円であるが、2030年から普及が本格的に始まるFCVの場合、この価格で2000年より普及が開始するとは考えにくい（すなわち、全所得階層で導入確率が0より大きくなることはない）ため、2030年ごろに技術進歩により市場で競合できる価格まで減少したことを想定して、2000年のHVと同程度の価格としている。

ただ、本章における普及パスでは、2000年から10年毎の普及台数を把握することが目的であるため、2000年の段階で市場性がほぼ皆無であり市場に普及する目処が2030年までたっていないというFCVの現状を考慮して、今回はFCVの普及パスは考えないこととする。

表 7-5 ハイブリッド自動車技術詳細

	燃費改善(倍)				エネルギー需要量(倍)			価格		
	ガソリン燃費	2000	2030	2050	2000	2030	2050	2000	ガソリン車価格	差
HV	1	1.5	1.75	2	0.67	0.57	0.50	3297578	1763377	1534201
FCV	1	3	3.5	4	0.33	0.29	0.25	3207281	2132281	1075000

高効率蛍光灯およびLED照明

現在の蛍光灯は高効率蛍光灯に、白熱灯はLED照明に置き換わる。投資回収年数を算出するためのデータは以下を用いた。

表 7-6 照明技術詳細

	寿命(時間)	発光効率(lm/W)			消費電力(倍)			価格(円)		
		2000	2030	2050	2000	2030	2050	2005年価格	従来照明価格	差額
高効率蛍光灯	12000	110	150	200	0.53	0.4	0.3	10000	1760	8240
LED照明	50000	30	125	175	0.47	0.1	0.1	10000	121.6	9878

高効率蛍光灯の寿命時間は社団法人日本電球工業会蛍光ランプ業務委員会^[9]より、LED照明の寿命時間はシチズン電子^[10]より引用した。また、2030年2050年の発光効率は技術ロードマップに記載されていた値を使用し、2000年時の発光効率は、高効率蛍光灯は（社）日本電球工業会蛍光ランプ業務委員会、LED照明は機械システム振興協会^[11]より引用した。

現在使用されている蛍光灯の価格は、市販されている丸型蛍光灯（15W）62種（販売元は日立、ナショナル、東芝、NEC、三菱電機）の平均価格である。同様に市販されている白熱電球（5W、二個入り）235種（販売元はヤザワ、ナショナル、東芝）の平均価格である。販売蛍光灯、白熱電球のデータはヨドバシカメラHP^[12]より引用した。

高効率 PDP パネル（動力その他省エネ家電）

将来出現する新たな機器も含めて様々な電気機器が省エネの対象として考えられるが、大画面ディスプレイで代表する。競合価格とは、プラズマディスプレイテレビではない、現在普及しているカラーテレビ 28 型のことであり、（販売元はシャープ、三菱電機、パナソニック、ソニー）22 種の平均価格である。照明器具と同様にヨドバシカメラ HP^[12]より引用した。

表 7-7 高効率 PDP 技術詳細

発光効率(lm/W)			エネルギー需要(倍)			価格(円)		
2000	2030	2050	2000	2030	2050	現在価格	従来製品価格	差額
1.5	10	15	0.5	0.15	0.1	243079	27945	215134

HEMS

電気代のうち、約 15%が照明器具による消費、約 25%が空調による消費であることから、2000 年均衡状態における電気代からそれぞれの電気消費量を求め、HEMS 導入後の消費電力量から、電気代削減分を求めた。HEMS 価格に関しては引用値^[13]とした（第 5 章参照）。

表 7-8 HEMS 技術詳細

エネルギー需要(倍)			価格
空調電力消費量	照明電気消費量	創エネとの連携	
0.7	0.85	0.85	50000

高効率調理器

高効率調理器は導入後の電気代が導入前のガス代よりも大きくなり、光熱費削減は望めなかった。主要な理由は、導入前において厨房に使用されるガス消費量がガス消費量全体に占める割合が約 2 割弱と小さいため、導入後の電気代（厨房使用分）よりも導入前のガス代（厨房使用分）の方が高額になってしまったためである。すなわち、高効率調理器は、単体で導入するよりも、高効率給湯器を導入した際に付随的に導入することがコスト面から最適であるといえる。したがって、本章では高効率調理器は考慮しないこととする。

7.3 分析結果

導入確率と保有台数より導入台数を求めるが、太陽光発電と HEMS 以外の技術は、新規導入ではなく従来の機器からの買い替えであるため、耐用年数を考慮して買い替え需要のみを対象としている。すなわち、例えば 2010 年における導入台数が 100 万台であっても、その機器の耐用年数が 20 年であれば、買い替え需要は 1/20 となるため、導入台数は 5 万台となる。各技術の耐用年数は以下のようにになっている。

表 7-9 耐用年数一覧^{[14][15]}

技術	耐用年数(年)	データ出所
PV	20	技術ロードマップ
ECOQ	15	(株)東京電力
HV	10	環境省
FCV	10	環境省
高効率蛍光灯	2.7	試算結果
LED照明	17.1	試算結果
PDP	10	(株)シャープ
HEMS	10	(財)電力中央研究所

照明に関しては、表 7- の寿命時間÷1 日平均使用時間（高効率蛍光灯 12 時間、LED 照明 8 時間）÷365 日より、試算した結果である。

全体の結果を下图 7-5 に示す。ここで、

$$\text{達成率} = \frac{\text{累積普及台数}}{\text{2050年目標普及台数}}$$

として、2050 年目標普及台数に対してどの程度達成しているかを示す。

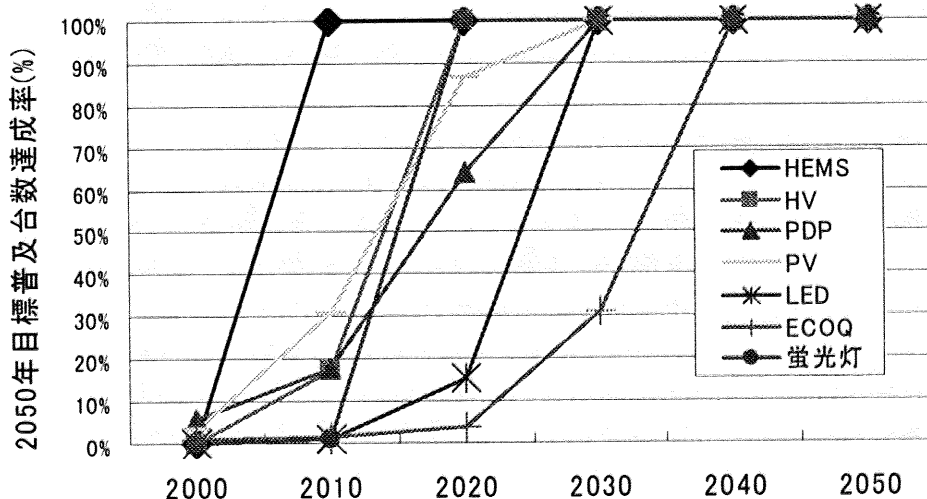


図 7-3 2050 年目標普及台数達成率の推移

ここに上がった技術は 2050 年までに 2050 年の目標普及台数まで到達可能である技術である。HV・PV・LED・PDP は 2020 年・2030 年に達成しており、目標年時よりも早く到達する。HEMS に関しては、削減光熱費が高いため投資回収年数が短いことが短時間で達成した要因となっている。高効率給湯器については後に詳細に述べるが、現行の補助金制度を考慮した場合の結果である。

達成率の数値は下表 7-5 のようになっている。2050 年の目標普及台数を超えて全保有台数に達したものは達成率を 100%とする。

表 7-10 2050 年目標普及台数達成率

達成率	HEMS	HV	PDP	PV	LED	ECOQ	蛍光灯
2000	0.0%	0.1%	5.5%	3.4%	0.1%	0.9%	0.0%
2010	100.0%	17.3%	17.9%	30.4%	0.8%	1.2%	1.1%
2020	-	130.7%	64.3%	86.8%	15.2%	190.5%	171.4%
2030	-	142.3%	197.6%	143.2%	109.4%	-	-
2040	-	-	-	199.5%	261.2%	-	-
2050	-	-	-	255.9%	-	-	-
目標普及台数(万台)	4961	5084	5789	650	793.8	2604	3393
保有台数(万台)	4961	7237	11439	2600	2073	4961	5816
目標/保有台数(%)	100%	142%	198%	400%	261%	190%	171%

ここで、2050 年目標達成率が保有台数を超過しているものは、保有台数すべてが環境技術に置き換わったものとみなす。従って、達成率ではなく保有台数に対する普及率で換算すると以下ようになる。

表 7-11 保有台数に対する普及率

普及率	HEMS	HV	PDP	PV	LED	ECOQ
2000	0.0%	0.0%	3.9%	0.8%	0.0%	0.5%
2010	100.0%	8.9%	15.3%	7.6%	0.3%	0.9%
2020	-	65.7%	48.0%	21.6%	5.9%	100.0%
2030	-	100.0%	100.0%	35.5%	41.3%	-
2040	-	-	-	49.4%	100.0%	-
2050	-	-	-	63.4%	-	-
保有台数(万台)	4960.5	7236.6	11439	2600	2073.5	4960.5

これに保有台数をかけて、累積普及台数に換算すると以下の表 7-12 になる。

表 7-12 累積普及台数（単位：万台）

普及台数	HEMS	HV	PDP	PV	LED	ECOQ
2000	0.001	3.1	443.5	22	1	23
2010	4961	641.2	1747	197.9	6.289	45.11
2020		4751	5496	560.5	122.2	4961
2030		7237	11439	923	856.7	
2040				1286	2073	
2050				1648		
保有台数(万台)	4961	7237	11439	2600	2073	4961

高効率蛍光灯に関しては普及が困難であり、2050 年目標普及台数に到達しない、という結果となった。これは 2000 年初期価格の 10000 円が高く、導入確率が全ての所得階層で 0 となることが要因である。2000 年から 2010 年にかけて導入台数が 0 であれば、価格低下が起こらないために、2050 年まで普及台数が 0 になってしまう。そのため、2000 年の初期価格を任意に低下させ、第 18・第 17 高所得階層の導入確率が 0 以上になる価格を求めたところ、7500 円となった。2020 年には目標普及台数に到達することから、初期価格が 7500 円程度まで低下すれば、現在市販されている蛍光灯の価格である 2000 円とすぐに競合可能で、一気に普及することが可能である。

高効率給湯器

高効率給湯器の現在市場価格は 751978 円であるが、2000 年の初期価格がこの価格であると、2010 年までの導入確率がどの階層においても 0 となり、(所得階層 18 で投資回収年数 26 年となる) 普及が困難となる。そのため、現在試行されている補助金政策を考慮して、補助金額を差し引いた価格である 701978 円を初期価格とした。現在高効率給湯器は、下表 7-7 のように補助金が高効率給湯器購入者の約 8 割に支給されている。

表 7-13 高効率給湯補助金詳細^[16]

申請方式	申込区分	1台あたりの補助金額(定額)	予算枠
(一般用)			
1	家庭用 — 新築	50,000円	家庭用 — 新築
2	家庭用 — 既築	80,000円	家庭用 — 既築
3	業務用 — 小型(加熱能力26kW未満)	170,000円	
4	業務用 — 大型(加熱能力26kW以上)	260,000円	
(販売用)			
1	家庭用 — 新築、既築	50,000円	予定枠
2	業務用 — 小型(加熱能力26kW未満)	170,000円	
3	業務用 — 大型(加熱能力26kW以上)	260,000円	

従って、家庭用 50000 円の補助金を支給した場合を算出すると、所得階層 18 の投資回収年数が 24 年となり普及が進み、上図 7-5 に示されるように 2040 年には 2050 年普及台数へ到達する結果となった。したがって、高効率給湯器は、現行の補助金制度を継続することが必要であるといえる。

また、第 6 章では、感度分析の結果をもとに、高効率給湯で感度が高く、効用変化率もわずかにマイナスであった第 18 階層で補助金を考慮した普及を 2050 年シミュレーションの際に行ったが、効用は回復せず効果はなかった。しかし本章での試算では、普及の初期段階である 2000 年から 2010 年での導入台数は 22 万台で、その全てが所得階層 18 における導入台数である。

7.4 効用変化

ほぼすべての技術が 2050 年の目標普及台数を達成する 2030 年においてシミュレーションを行い、効用がどの程度変化するかを考察した。

累積普及台数が全保有台数を超過することはないので、累積普及台数が 2050 年目標普及台数を超えても、それが保有台数を超えなければその時点での累積普及台数とした。超過した場合は保有台数全てに環境技術が普及したとみなして、全保有台数を累積普及台数とした。技術価格は、2030 年における累積普及台数から得られた値としたが、累積普及台数が保有台数である技術(HEMS)は、保有台数すべてを累積普及台数としたときの価格とした。

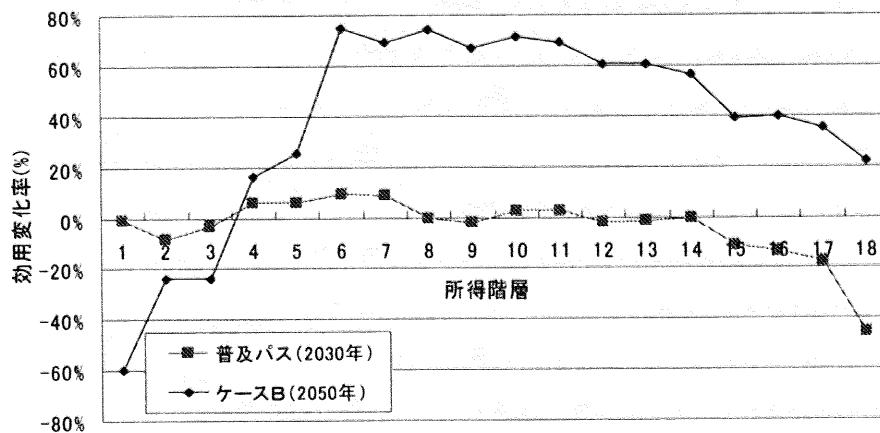


図 7-4 効用変化率（普及パス 2030 年および 2050 年ケース B 比較）

第 6 章におけるケース B（2030 年の目標普及台数を累積普及台数として学習曲線により 2050 年の普及価格を低下させたケース）との効用を比較すると、所得階層 4 から 18 において、初期均衡からの効用変化率ケース B よりも 60%ほど小さくなっている。ケース B においては初期均衡よりも効用が上昇したが、普及パスに従った場合は、初期均衡における効用とほぼ変わらないという結果となった。また、2050 年ケース B における所得階層 1 から 3 の効用変化率の低下は、世帯数の増加により世帯あたりの効用が小さくなっていることが原因である。2030 年においては、2050 年と比較してこの階層における世帯数増加は見られないので、世帯あたりの効用もそれほど低下しない。

所得階層 18 から 15 については、-40%から-10%の効用の低下がみられる。この階層は初期均衡状態での光熱費も高いため、環境技術が導入したことによる光熱費削減分が大きい。すなわち投資回収年数が他の階層よりも小さく、導入確率が大きくなったため、導入が多くなされた。高効率給湯器および LED 照明は、2000 年から 2010 年にかけて、所得階層 18 のみに普及がなされている。従って、環境技術導入による光熱費削減費が大きくてもなお、2030 年までに環境技術の初期投資に支払った額が多かったため、最適な消費がなされず効用が低下したといえる。また、効用変化を等価変分で示すと、以下の図 7-6 のようになる。

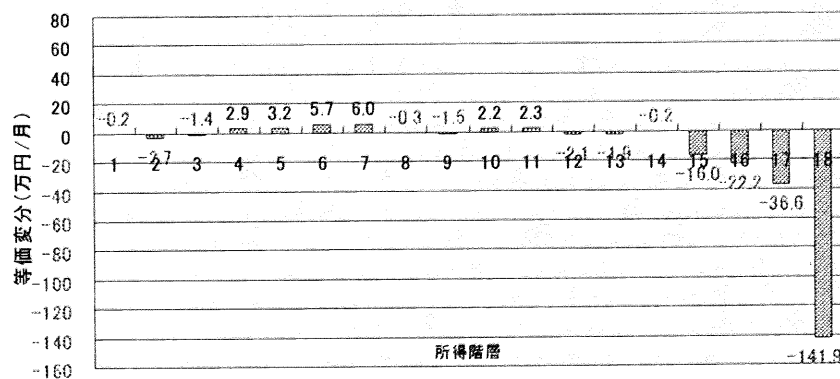


図 7-5 普及パス(2030 年)における等価変分

中所得階層および低所得階層ではほぼ効用が変化していないことがわかる。

また、2050 年におけるケース B を基準として表記した効用変化率(%)は以下の図 7-7 のようになっている。

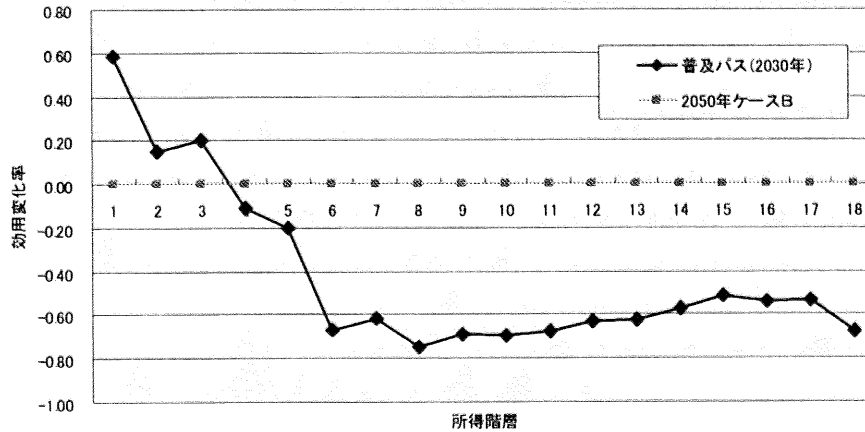


図 7-6 効用変化率(2050 年ケース B 基準)

中高所得階層では、2050 年ケース B と比較して効用が低い値であることがわかる。高所得者世帯から順に普及が進むことにより達成時間は短縮されたが効用は低下したことから、2050 年の目標普及台数達成期間と効用はトレードオフの関係であるといえる。

さらに、本ケースにおける家計消費からの二酸化炭素排出量変化を以下図 7-8 に示す。

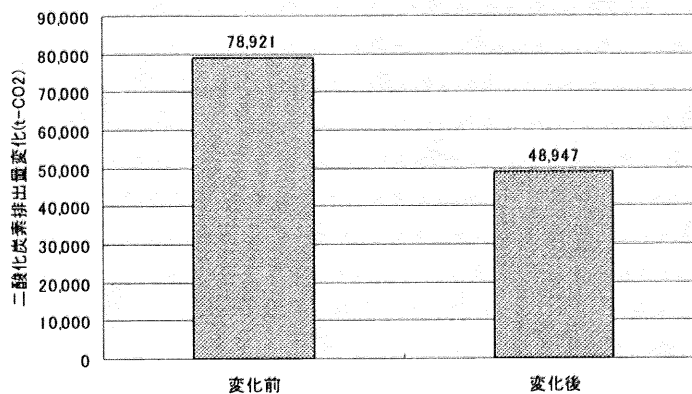


図 7-7 二酸化炭素排出量変化

削減率は-37.98%であった。国内全体での排出削減量は-32%とケース B とほぼ変わらない削減量が達成された。

図 7-5、図 7-6 にも示されるように、2030 年における効用は高所得世帯を除いて維持されていることから、本章で想定した普及パスは、効用を維持し排出削減量を-37.98%削減し、達成時間を短縮させることが可能であるといえる。さらに、普及パスでは高効率蛍光灯および FCV（燃料電池自動車）の普及は考慮していないため、より少ない環境技術でもって排出削減量を約 1%減少にとどめることができる普及パスであるともいえる。

本章では、2050年の目標普及台数へ到達する普及パスを2000年から10年ごとに2050年まで設定し、10年毎の普及台数と普及価格の経過を把握した。その結果、高効率蛍光灯と高効率給湯器では2000年の初期価格の低下が望まれ、その他の技術では2030年までに2050年の目標普及台数が達成可能であると示された。また、家計効用は階層15から18の高所得階層を除く全ての階層で維持され、排出量も約38%削減されることがわかった。ただ、ケースBと比較すると効用が下がっていることから、目標普及率の達成時間と効用にはトレードオフの関係があると示された。また2050年までに本ケースで考慮していない環境技術を含むその他の環境製品（冷蔵庫、冷暖房）の普及も進めば、さらなる排出削減も望めるだろう。

第8章 結論

本研究では、2050年にGDPあたりの排出原単位を1/3以下にするという削減目標から逆算された「超長期エネルギー技術ロードマップ」の民生部門の中から、高効率蛍光灯、LED照明、高効率給湯器、高効率調理器、エネルギーマネジメント（HEMS）、太陽光発電、および運輸部門の中から内燃機関ハイブリッド自動車、燃料電池自動車を取り上げ、これら複数の環境技術が普及した際の家計への影響を、応用一般均衡モデルを用いて試みた。応用一般均衡モデルでは、家計が所得階層ごとに18分類されていることから、所得階層別に効用変化を評価した。

技術ロードマップでは各技術の普及時期と技術の詳細が提示されており、これを利用して、2050年における削減目標を遵守可能な目標技術普及率を逆算した。目標技術普及率は各所得階層にロジット曲線を用いて分配することで、低所得階層への環境技術へのコスト負担を減少させた。また、各環境技術の価格は、学習曲線を用いて、普及台数の増加による価格低下を考慮した。さらに、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した。

また、第1章序論で、本研究の目的を以下のように述べた。

③ 複数の環境技術普及の際の家計への経済影響評価

④ 現在普及台数から目標普及台数へ至るまでの価格変化と普及経路の分析

①については、技術価格が現在市場価格よりも28%（太陽光発電）から87%（HEMS）減少すれば、家計効用は維持しつつ家計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いう結論を得た。ただ、年間収入200万円以下の所得階層1から年間収入250-300万円の所得階層3までの階層では、技術価格が低下してもなお効用が2%から4%（金銭換算して年間所得のうちの2%から4%分）低下し、回復することはなかった。これは、高効率調理器（IHクッキングヒーター）およびHEMSの目標技術普及率が高かったために、低所得階層に無理矢理普及させてしまったことを意味する。HEMSは2030年の目標普及台数が100%と提示されているが、これは家計効用を維持しながら普及させるという面からいえば厳しすぎる目標であるといえる。また、高効率調理器は、光熱費削減分が小さいため、排出量削減目標を遵守するために目標技術普及率が増加し、低所得階層まで高い技術普及率が必要であった。高効率調理器は高効率給湯器の導入に伴って導入されることが多いが、単体での導入を促進するためには、さらなる技術の向上が必要なのではないか、といえる。

②では、十分に価格が低下するためには普及台数増加が必須であるが、削減目標を遵守するために必要な目標普及台数へ各技術がどのような経路をたどって到達するかを、所得階層ごとに導入確率を設定することで求め、各環境技術の普及特性を把握した。導入確率は高所得階層でより高い、という設定の下では、HEMS・PV・HV・LED照明は2020年から2030

年という早期に 2050 年の目標普及台数を超えるような普及パスをたどった。従って、高所得階層から順に導入を促すことが効果的であるといえる。ただ、高効率給湯器は現在施行されている補助金制度（家庭用高効率給湯器一台あたり 50000 円）の元でのみ 2040 年に目標普及台数の達成が可能であり、現在の制度の続行が望まれるが、補助金がなくても普及が可能になるためには、現状の平均価格 75911 円から 48500 円定価した 71911 円まで平均価格が定価することが必要である。また、高効率蛍光灯は技術進展による初期価格の低下（7500 円以下であることが必要）があれば 2030 年には目標普及台数に到達する。高効率蛍光灯は現在市場価格が 2000 円弱であることから、初期価格が一定以下に下がれば、すぐに従来の蛍光灯と競合が可能であるといえる。

さらに、本研究で設定した普及パスで普及がなされれば、2030 年の段階で、家計効用は階層 15 から 18 の高所得階層を除く全ての階層で維持され、排出量も約 38%削減されることがわかった。ただ、ケース B と比較すると効用が下がっていることから、目標普及率の達成時間と効用にはトレードオフの関係があると示された。また 2050 年までに本ケースで考慮していない環境技術を含むその他の環境製品（冷蔵庫、冷暖房）の普及も進めば、さらなる排出削減も望めるだろう。

本研究から得られる知見を以下にまとめる。

- ① 普及にともない環境技術の価格が低下することで、効用を維持しながら 2050 年に現在より排出量を 33%削減することが可能である。
- ② 環境技術は、高所得世帯から優先的に普及が進むことで、価格が低下し、2030 年には 2050 年の目標普及台数を達成するとともに同量の排出量削減が可能である。
- ③ 2000 年の初期価格低下がないと普及が進展しない技術として高効率給湯器と高効率蛍光灯があり、現在施行されている補助金 50000 円を 2010 年までは続行する必要がある。また、高効率蛍光灯は、初期価格が 7500 円であれば、10 年で現在の蛍光灯と競合可能である。
- ④ 効用と目標普及台数への達成時間はトレードオフの関係にあり、達成時間が 20 年早まれば、効用が所得階層 5・18 でそれぞれ 60%低下し、2000 年初期均衡時と効用がほぼ変化しないという結果になる。
- ⑤ 2050 年において、低所得階層では高齢世帯の増加により世帯あたりの効用が低下する。そのため、普及パスに示すように高所得階層から順に普及させ十分に価格が低下してから普及させることで効用が維持される。

参考文献

第一章

- [1] EDMC：エネルギー・経済統計要覧,(2003),日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット.
- [2] (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), (財)エネルギー総合工学研究所.
- [3] 環境省：京都議定書達成計画,(2005)
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=6699&hou_id=5937
- [4] (独)国立環境研究所；「2050 年脱温暖化社会プロジェクト」,脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト」,(2003)
http://2050.nies.go.jp/index_j.html
- [5] 槌屋治紀；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). [6] 石田健一(1997)：戸建住宅のエネルギー消費量,日本建築学会計画系論文集,第 501 号, pp29-36
- [6] 小林紀；水素燃料電池自動車の導入シナリオの検討, 季報 エネルギー総合工学 Vol25 No.4(2003. 1),
- [7] 菱沼孝夫ほか；消費者の車両選好特性モデルに基づく将来型自動車の普及分析, 日本機械学会論文集, (2003), 第69巻第677号.
- [8] 菱沼孝夫ほか；将来型自動車の普及予測と炭酸ガス削減のためのシナリオ解析, 16 回 エネルギー・経済コンファレンス (2000), 153-158

第二章

- [1] 市岡修；応用一般均衡分析,(1991),有斐閣.
- [2] 長田浩司；気候変動に関する制度の不確実性を考慮した国内温暖化対策の影響評価,第 21 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス論文集, (2005),215-218.
- [3] 谷岡弘；応用一般均衡分析を用いたコツコツカード導入による省エネ活動への影響評価,平成 17 年度卒業論文
- [4] 川崎研一. 応用一般均衡モデルの基礎と応用. 日本評論社, Nov 1999.

第三章

- [1] (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), (財)エネルギー総合工学研究所.

第四章

- [1] 人口問題研究所；将来推計人口データベース,<http://www.ipss.go.jp/>
- [2] 総務省統計局；就業構造基本調査,「就業構造基本調査結果（全国編）」,(2004),
<http://www.stat.go.jp/>
- [3] 総務省統計局；社会生活基本調査票,「平成 13 年度社会生活基本調査」,(2004),

<http://www.stat.go.jp/>

第五章

- [1] (財) 新エネルギー・産業技術総合開発機構；技術評価委員会,「太陽光発電システム
共通基盤技術研究開発中間評価報告書」,(2004)
- [2] (財) 新エネルギー財団；新エネルギー産業会議；「太陽光発電の普及促進に関する提
言」,(2003) <http://www.nef.or.jp/>.
- [3] (財)ヒートポンプ・蓄熱センター；蓄熱関連データ集,(2006)
<http://www.hptcj.or.jp/>
- [4] (社) 日本電機工業会(JEMA)：HP, 統計データより,；<http://www.jeita.or.jp/japanese/>
- [5] EDMC：エネルギー・経済統計要覧,(2003),日本エネルギー経済研究所計量分析ユニッ
ト.
- [6] 東京ガスホームページ；<http://www.tokyo-gas.co.jp/>
- [7] 経済産業省；「総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会報告書」；今後の省エネルギ
ー対策概要」,(2003)
- [8] ヨドバシカメラホームページ；
<http://www.yodobashi.com/enjoy/more/index/index.html>
- [9] (財) 運輸低公害車普及機構；ホームページ
<http://www.levo.or.jp>
- [10] 槌屋治紀；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). [6]石田健一(1997)：戸建住宅のエネルギー消費量,日本建築学会計画系論文集,
第 501 号, pp29-36
- [11] 小林紀；水素燃料電池自動車の導入シナリオの検討, 季報 エネルギー総合工学 Vol25
No.4(2003. 1),
- [12] 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.
- [13] 今中健雄,「意識調査に基づく HEMS 普及影響分析」, 第 22 回エネルギーシステム・
経済・環境コンファレンス講演論文集 (エネルギー資源学会)、2006 年 1 月,(財)電力中
央研究所,社会経済研究所,
- [14] 長谷川孝彦；「燃料電池自動車の設計・評価・普及に関する研究」；第21回エネルギー
システム・経済・環境コンファレンス講演論文集,p85-88,(2005)
- [15] (株)カカクコム；<http://kakaku.com/>
- [16] (株)トヨタ自動車；<http://www.toyota.co.jp/index.html>
- [17] (株)リンナイ；給湯機器カタログ；
http://www.rinnai.co.jp/product/kyutou/kyutou_go.html
- [18] (株)ノーリツ；給湯機器カタログ；
<http://www.noritz.co.jp/kyutoki/index.html>

[19] 長田浩司;「気候変動に関する制度の不確実性を考慮した国内温暖化対策の影響評価」,
第21回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス論文集, (2005),215-218.

[20] 東京電力ホームページ; <http://www.tepco.co.jp/>

第六章

[1] (財)ヒートポンプ・蓄熱センター; エコキュート導入補助金制度,(2006)

<http://www.hptcj.or.jp/>

第七章

[1] 金山真之;「住宅用太陽光発電の普及に関する研究」, 第22回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス論文集, (2006)

[2] (財)ヒートポンプ・蓄熱センター; 蓄熱関連データ集,(2006)

<http://www.hptcj.or.jp/>

[3] EDMC: エネルギー・経済統計要覧,(2003),日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット.

[4] 東京ガスホームページ; <http://www.tokyo-gas.co.jp/>

[5] (株)リンナイ; 給湯機器カタログ;

http://www.rinnai.co.jp/product/kyutou/kyutou_go.html

[6] (株)ノーリツ; 給湯機器カタログ;

<http://www.noritz.co.jp/kyutoki/index.html>

[7] 日本エネルギー経済研究所;「天然ガス液体燃料 (GTL) の市場性に関する調査」

[8] 長谷川孝彦;「燃料電池自動車の設計・評価・普及に関する研究」;第21回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集,p85-88,(2005)

[9] (社)日本電球工業会; 蛍光ランプ業務委員会; 主要製造販売品種一覧

http://www.jelma.or.jp/about/goods_list.html

[10] シチズン電子; <http://www.c-e.co.jp/products/index.html>

[11] (財)機械システム振興協会; <http://www.mssf.or.jp/>

[12] ヨドバシカメラホームページ;

<http://www.yodobashi.com/enjoy/more/index/index.html>

[13] 今中健雄,「意識調査に基づく HEMS 普及影響分析」, 第22回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集 (エネルギー資源学会)、2006年1月,(財)電力中央研究所,社会経済研究所,

謝辞

研究に着手し現在に至るまで、ご多忙の中、広範囲にいたる数々のご指導、および多くの適切な助言を与えて下さいました松橋隆治教授および吉田好邦助教授に深く感謝し、慎んで御礼申し上げます。幾度となく軌道修正して頂き、同時に多角的な物の見方を学ばせて頂きました。今後のさらなるご活躍をお祈り申し上げます。

また、研究室の皆様にも研究だけでなく私生活でも大変お世話になりました。様々なバックグラウンドをもつ方々が集まっており、色々と勉強させて頂きました。

非常に中身の濃い二年間でした。本当にどうもありがとうございました。

2007年2月1日 小林 弦美