

<地球環境・省エネルギー>

# 省エネルギーの限界に関する評価

—家庭部門と運輸部門における省エネルギー—

Analysis of the Potential for Energy Efficiency Improvement

—Energy Efficiency Improvement in

Residential and Transportation Sectors—

キーワード：省エネルギー，家庭，運輸，効率向上

永 田 豊 藤 井 美 文

CO<sub>2</sub>削減の最も費用対効果の高い手段として、省エネルギーが再び注目されている。そこで、わが国の家庭部門と運輸部門について、今後の省エネルギーの可能性について分析した。これら両部門には、サービス品質の重要性をはじめとするいくつかのエネルギー消費構造に関する共通点があり、省エネルギー分析のために同じアプローチを使うことができる。

主要な結果は次の通りである。

- 1) 主要家電機器の機器当たりの消費電力は4~30%程度の改善の可能性がある。しかし、現在の大型化や保有台数の増加が今後とも続けば、機器全体の消費電力は増加しよう。
- 2) 1)の機器効率向上に加え、家屋断熱化・太陽熱温水器・給湯用ヒートポンプなど既存の省エネ技術を組み合わせることで15~30%程度省エネが期待できる。しかし、30%の省エネの達成は10年以上の投資回収期間を必要とする。
- 3) 乗用車の大型化やラグジュアリー化による車重増加は、100 kgにつき10モード燃費を0.5 km/l、実燃費を1 km/l程度悪化させる。また、走行モードの改善が実燃費の向上に大きく貢献する。
- 4) 10モード燃費の工学的限界値を試算した結果、現状より60~70%というきわめて大幅な向上の可能性が有る。

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1. はじめに              | 4. 運輸部門における省エネルギー    |
| 2. 両部門の省エネに関する類似点    | 4.1 乗用車の燃費および性能仕様の実態 |
| 3. 家庭部門における省エネルギー    | 4.2 10モード燃費と実燃費の推定   |
| 3.1 エネルギー消費構造と検討項目   | 4.3 燃費要因の分析結果        |
| 3.2 家庭用電気機器効率の推定     | 4.4 10モード燃費の限界値試算    |
| 3.3 その他既存技術による省エネルギー | 5. おわりに              |
| 3.4 日本全体の省エネ量と経済性    | 参考文献                 |

## 1. はじめに

地球環境問題を契機に、省エネルギーは特に

CO<sub>2</sub>削減の最も費用対効果の高い手段として、その実現可能性や成立条件が注目されている。

本研究は、個別技術の効率改善を中心に、産業

・民生（家庭・業務）・運輸・転換の各エネルギー消費部門の省エネルギーの可能性とその成立条件を明らかにすることを目的とした。ここでは、このうち共通点の多い家庭部門と運輸部門についての分析結果について報告する。

## 2. 両部門の省エネに関する類似点

家庭部門と運輸部門は、技術効率の改善に関して以下に示す類似点を持っている。

### (1) サービス品質の重要性

これら両部門では、費用最小化よりむしろ効用最大化という原理に基づいてエネルギーが消費されているといえる。そして近年、所得水準の向上を反映して、ますますサービス品質の向上が求められている。エネルギー利用機器の大型化や高機能化は単機当りのエネルギー需要を増大させ、機器効率の向上を打ち消す恐れがある。

### (2) 技術の均質性と代替硬直性

これら両部門で用いられているエネルギー消費技術は、暖房器具や自動車エンジンなどに代表され、極めて多様な技術が用いられている産業部門に比べ種類が少ない。また、技術効率の改善は、耐久消費財（建物・機器）

という性質上、短期的には進みにくい。

以上の理由から、これらの部門については、サービス品質や新技術の市場浸透速度を考慮しながら技術効率の改善の余地について分析するという共通の方法を用いることができる。省エネルギーに影響を持つ要因と本研究の検討項目を表1に示す。

## 3. 家庭部門における省エネルギー

### 3.1 エネルギー消費構造と検討項目

まず、全国平均の世帯当り用途別エネルギー需要を、(財)住環境計画研究所発行の家庭用エネルギー統計年報(1989年版)と「電力需給の概要(平成二年度)」の電気機器別構成比から作成した(図1)。この図から、給湯用ガス・暖房用石油・冷房その他用電力が大きなウエイトを占めており、これらを重点的に削減することが省エネルギーの近道であることがわかる。

そこで、主要な家電機器の効率向上を大型化や保有台数の増加を考慮しながら分析するとともに、給湯・暖房用については家屋の断熱化・太陽熱など既存の省エネルギー技術を見直すことによって、今後の省エネの可能性を評価した。将来導入が期待される太陽光や他部門の廃

表 1 省エネルギーに影響を持つ要因と本研究の検討項目

	要因の影響度				要因の詳細項目			
	技術	社会システム	サービス品質	エネルギー価格	技術		社会システム/インフラ/制度	サービス品質/ライフスタイル
					単体/要素	システム		
家庭	◎	○	○	△	・主要電機機器効率の改善 ・断熱化の普及 ・太陽熱温水器	・給湯/空調トータルシステム(給湯用ヒートポンプ)	・都市未利用廃熱の活用	・サービス品質の向上(大型化) ・我慢、節約
運輸	◎	◎	○	△	・エンジン燃費の改善 ・電気自動車などのプロダクトイノベーション		・交通モード改善(高速道路建設による速度向上)	・大型・高性能化 ・職住接近 ・我慢、節約

■ 本研究の検討項目

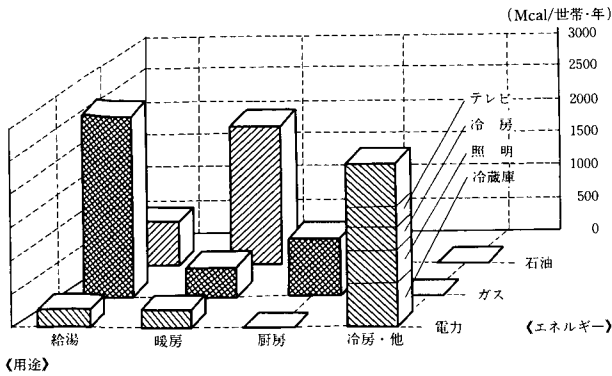


図 1 世帯当たり用途別エネルギー需要 (1989 年度, 全国平均)

熱利用などは、技術開発・コスト・法規制など不確定な点が多く、また、ガスや灯油の燃焼効率改善は現在すでに高水準 (80%~90%) に達していると思われるため、ここでは考慮していない。

3.2 家庭用電気機器効率の推定

冷蔵庫・カラーテレビ・エアコンの機器効率の推定手順を図 2 に示す。サイズ別出荷台数は文献 [1][2] を使用した。また、機器当り電力消費量の推移を図 3 に示す [3]。照明については、詳細な機器効率の推移や出荷統計が得られなかったため、効率改善幅を単純に推定した。

推定には (1) 式のような非線形の推定式を用いた。ここで  $E_0$  は過去の改善実績から予想される消費電力の最小値であり、効率改善の限界を表す。この式は、効率改善速度が  $E-E_0$  に比例するという仮定のもとで導かれたものである。

$$E = E_0 + \exp(a + b \cdot T) + c \cdot \ln(P_{ELEC} / CPI) \quad (1)$$

$E$ : 各年式のサイズ別消費電力  
 $E_0$ : 消費電力の最小値

$T$ : 出荷年

$P_{ELEC}$ : 電力価格 (名目値)

$CPI$ : 消費者物価指数

カラーテレビとエアコンについては、それぞれサイズの違う 2 種類の効率を推定した。推定結果を表 2 に示す。

消費電力の最小値に対する現在値の比は、冷蔵庫が 1.2 と最も大きく、以下エアコンが 1.1 前後、カラ

ーテレビがほぼ 1 となった。つまり、カラーテレビは現在水準以上の効率改善が期待できない反面、冷蔵庫は最も効率改善の余地が大きい (20%) と考えられる。しかし、この比も 2000 年には冷蔵庫で 1.03 前後、エアコンで 1.01~1.02 まで低下し、飽和に達してしまう。また、サイズ間の差異はほとんどみられなかった。

推定した出荷ベースの機器効率から、図 2 に示す手順に従ってストックベースの効率を求

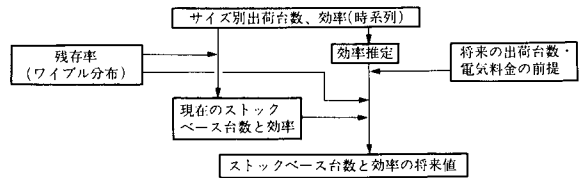


図 2 家電機器効率の推定手順

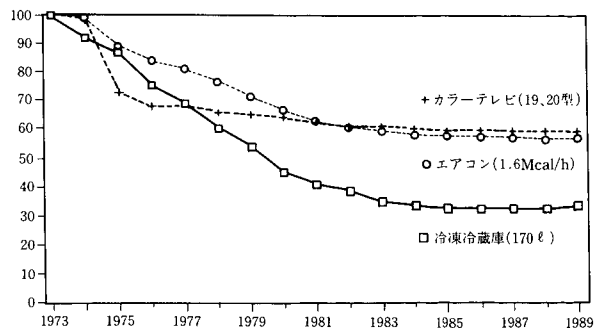


図 3 家電機器当たり消費電力の推移 (1973 年度 = 100)

表 2 電気機器効率の推定結果

機器：サイズ	推定期間	消費電力（現在値）	出荷年（ $t$ 値）	価格（ $t$ 値）	$R^2$
冷蔵庫：170 $l$	1976—89	23.19 kWh/月（27）	-0.239（10.1）	-0.93（2.9）	0.989
エアコン：2 Mcal/h	1974—87	601.4 W/台（681）	-0.141（8.6）	-0.34（1.7）	0.991
：1.6 Mcal/h	1974—88	440.9（482）	-0.181（10.1）	-0.65（2.1）	0.990
カラー：19—20型	1970—88	82.93 W/台（83）	-0.340（2.9）	-2.14（1.1）	0.917
テレビ：13—14型	1970—88	51.83（53）	-0.202（6.6）	-1.02（2.0）	0.985

表 3 ワイブル分布の係数と平均使用年数

	冷蔵庫	カラーテレビ	エアコン
$a$	1/545	1/150	1/130
$b$	2.75	2.40	2.15
$t_0$	8.7年	6.9年	8.1年

め、これより1989年から2000年にかけて要因別に電力需要の変化を計算した。ある年式の機器の残存率を表すワイブル分布の係数には、文献[4]を参考に表3に示す値を用いた。ワイブル分布は(2)式のようになる( $a$ と $b$ が係数)。

$$f(t) = \exp(-a \cdot t^b) \quad (2)$$

$f(t)$ ：ある年の出荷機器の $t$ 年後の残存率  
このとき、各機器の平均使用年数 $t_0$ は $f(t_0) = 0.5$ を $t_0$ について解き、(3)式で与えられる。

$$t_0 = (\ln 2/a)^{1/b} \quad (3)$$

現在のペースで機器の出荷や大型化が続くと仮定した場合の結果を表4に示す。要因のうち、稼働率低下は、世帯当りの保有台数が増加するに従って一台当りの平均稼働率が低下することによる減少分を意味し、実態調査を参考に、2代目以降の稼働率をテレビが1台目の60

%、エアコンが30%と仮定した。また、照明用電力需要は、世帯当り・床面積当りの照明原単位を以下の簡単な式で推定し、2000年までの実質所得増加率を年率2%（過去5年間の平均）、実質電灯単価を一定として求めた。

推定期間：1981～1989年 ( $R^2 = 0.956$ )

$$\ln(\text{原単位}) = -3.0044 + 0.4008 \cdot \ln(\text{実質所得}) \\ [\text{kWh/世帯} \cdot \text{m}^2] \quad (1.929) \quad [¥]$$

$$-0.1116 \cdot \ln(\text{実質電灯単価})$$

$$t \text{ 値} \rightarrow (-0.864) \quad [¥/\text{kWh}]$$

どの機器についても世帯当りの消費電力量の増加が予想される。この原因を各要因に分解して考える。

- ・ 冷蔵庫による消費電力量は全体で微増となる。台数増加と大型化という増加要因と効率向上という減少要因がほぼ相殺した形になっている。大型化の影響が小さいのは、体積/表面積比の向上という省エネ要因があるため、単位容積当りの消費電力は350 $l$ クラスが最も少ないことによる。
- ・ カラーテレビによる消費電力量は現在値と比べて倍増する。その要因は台数増加が

表 4 電力量変化の要因分解（1989～2000年）

機器	効率向上	大型化	普及遅れ	台数増加	稼働率低下	合計（年率換算）
冷蔵庫	-29.5%	+9.6%	+2.2%	+20.7%	—	+2.9%（0.3%）
カラーテレビ	-3.8%	+46.4%	+0.2%	+70.5%	-12.4%	+100.9%（6.5%）
エアコン	-14.9%	—	+2.2%	+75.4%	-2.3%	+60.4%（4.4%）
	効率向上	所得向上	床面積増加	世帯数増加	合計（年率換算）	
照明	-15%（最高）	+9.2%	+12%	+15%	約+20%（1.7%）	

表 5 家電機器の省エネポテンシャルと現実的な効率変化

	1989年のストック効率	既存技術による最高効率 (改善率)	大型化・普及遅れを考慮 した効率(改善率)
冷蔵庫	37.3 kWh/月	26.3 kWh/月 (-30%)	30.7 kWh/月 (-18%)
カラーテレビ	82.3 W/台	79.2 W/台 (-4%)	102.4 W/台 (+24%)
エアコン	718.9 W/台	612.0 W/台 (-15%)	627.5 W/台 (-13%)
照明	—	(最高 -15%)	(最高 -15%)

70%、大型化が46%となっており、機器効率の向上はほとんど期待できない。実際、よく売れているテレビはAV対応型やBSチューナー内蔵型など、多機能のものが中心であることからこの点がかがえる。また、増加するほとんどの機器が2台目以降であるため、稼働率低下による影響は-12%とエアコンより大きい。

- ・ エアコンによる消費電力量は60%増加する。ストック効率は機器単体効率の向上とその普及により15%程度改善するが、台数増加による影響が圧倒的に大きく、効果が打ち消されてしまう。エアコンは今後1台目を保有する世帯が数多く存在するため、稼働率は現在水準からわずかに低下するにとどまる。

分析結果から、どの機器についても若干の効率改善が期待されるものの、保有台数の増加や大型化などの影響で全体の消費電力量は増加してしまう。特にテレビ用の電力需要増加は著しく、革新的な省エネ技術(例:液晶テレビ)の開発が望まれる。

また、今回分析していない効率悪化の要因の一つにフロン規制がある。冷蔵庫の場合、現在開発されているフロン代替物質を用いると効率が10~20%程度悪化するという試算[5]もあり、この点についても効率低下を最小限に食い止める努力が求められる。

照明機器効率は、業務用では蛍光灯(約15

W/10<sup>3</sup>lm)より30%~50%効率の優れたメタルハライドランプや高圧ナトリウムランプが利用できる(共に400Wクラス)が、家庭用では蛍光灯の省電力化・安定器の省電力化・グロー球の電子化により15%程度の省エネルギー(安定器を含む消費電力が直管40W×2灯用で94W→78W)しか期待できない[6]。

以上の結果から、家電機器の省エネポテンシャルと、大型化・普及遅れなどを考慮した2000年にかけての現実的な効率変化を求めた結果を表5に示す。機器効率は、最高効率のものに置き換えるだけで現在より4~30%の改善が期待できる。しかし、機器の大型化や普及遅れにより改善幅は小さくなり、テレビは逆に現在より悪化することが予想される。

3.3 その他既存技術による省エネルギー

家庭部門において、機器効率の向上以外に有望な既存技術による省エネルギー対策として、

- ・ 断熱材
- ・ 太陽熱温水器
- ・ 給湯用ヒートポンプ

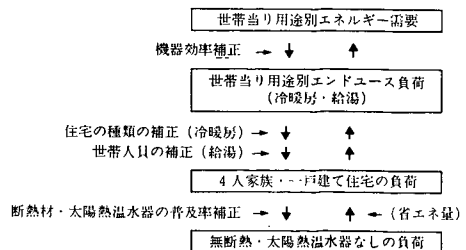


図 4 モデル住宅のエネルギー需要データの作成手順

表 6 各省エネ対策の効果と経済性（モデル住宅）

	断熱化 (50 mm)	太陽熱温水器	給湯用 ヒートポンプ	断熱化+太陽熱	断熱化+給湯用 ヒートポンプ
投資額(万円)	7.8	31.2	54.4	39.0	62.2
年間省エネ量(Mcal/年)	1,967	2,544	6,582	4,511	7,175
省エネ単価(円/Mcal)*1	2.9	16.7	11.2	11.8	11.8
年間節約額(万円/年)	1.8	3.1	3.3	4.9	4.9
単純回収年数(年)	4.3	10.2	16.6	8.0	12.6
投資回収年数(年)*1					
エネルギー価格上昇率: 3%/年	4.8	12.8	24.0	9.6	16.6
5%/年	4.6	11.4	19.2	8.8	14.3
7%/年	4.5	10.4	16.4	8.2	12.7
省エネ率(1次換算ベース)	21.3%	27.6%	34.6%	48.9%	49.2%
(うち給湯)		56.6%	50.9%	56.6%	50.2%
(うち暖房)	45.9%		27.8%	45.9%	60.9%
(うち冷房)	5.0%			5.0%	5.0%

\*1 金利6%/年

が考えられる。これらの技術の導入可能性を省エネ単価や投資回収期間に基づいて分析した。なお、これらの経済性は住宅種類と床面積、世帯人数と構成、断熱材や温水器の普及率などに大きく影響される。そこで、図4に示す方法で、図1のエネルギー需要データから4人家族・一戸建て・無断熱・太陽熱温水器なしというモデル住宅の冷暖房負荷と給湯負荷を作成し、そこで得られた結果を元のエネルギー需要にフィードバックするという方法で分析を行った。モデル住宅の負荷は、それぞれ給湯3,550、暖房3,530、冷房1,160 Mcal/世帯・年(1次換算ベース)である。住宅種類別世帯人員と床面積、断熱材や温水器の普及率、世帯人数と給湯需要の関係は文献[7][8][9][10]を参考にし求めた。また、断熱化による冷暖房負荷の変化は文献[11]を、太陽熱温水器や給湯用ヒートポンプの性能・価格などの諸元は各カタログ値を参考にした。結果を表6に示す。

年間省エネ量では、給湯用ヒートポンプ・太陽熱温水器・断熱化(50 mm)の順となるが、経済性でみれば逆順となる。特に、断熱化の回収期間は住宅の寿命よりはるかに短く、極めて

優れた省エネ対策であるといえる。太陽熱温水器は、自然循環形の回収期間が10~13年で、ほぼ耐用年数内での投資回収が可能であり、年間日射量が3 Mcal/m<sup>2</sup>・日以上地域で、特に給湯をLPGで行っている家庭では十分な経済性を持っていると考えられる。一方、給湯用ヒートポンプは大きな省エネ効果をもつと考えられるが、耐用年間中の投資回収は困難であると予想される。また、上記の計算には含まれていないデメリットに工事費と設置面積の必要性がある(約1 m<sup>2</sup>)。特に設置面積は地価の高い都市部や集合住宅において重大で、給湯用ヒートポンプの普及には薄型の貯湯槽の開発が不可欠であろう。

### 3.4 日本全体の省エネ量と経済性

3.2と3.3で得られた省エネルギー対策とその効果から、世帯当りの平均エネルギー消費量が現在の水準からどの程度削減できるかについて検討した。省エネ対策は経済性の高い順に、低・中・高の3ケースを考慮した。

#### ・低ケース

家電機器効率…技術効率改善(要因分解で示した改善幅)

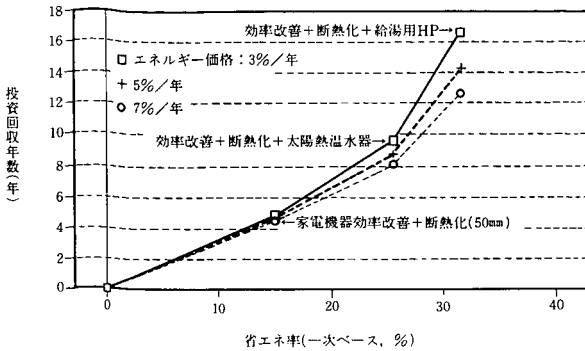


図5 一次換算省エネ率と単純回収年数の関係

断熱化……………50mmの断熱化が100%  
普及

・中ケース

低ケースに加えて、  
太陽熱温水器…すべての一戸建てに設置

・高ケース

低ケースに加えて、  
給湯用ヒートポンプ…100%普及

一次換算ベースでの世帯当りエネルギー消費量は、低・中・高各ケースでそれぞれ15%、26%、32%削減できる可能性がある(図5)。しかし、断熱化は新築住宅に限られること、太陽熱温水器は建物に遮られない実際の日照時間、給湯用ヒートポンプは設置スペース(特に集合住宅の場合)など、現実的には多くの阻害要因がある。また、省エネ率と回収年数の関係では、明らかなトレードオフ関係が存在する。ただし、この図の回収年数はモデル住宅の場合である。一般的傾向として、回収期間の長いほどエネルギー価格上昇率変化の影響が大きい。また、数十%とも言われる家庭部門の割引率を考慮すると、省エネ機器導入の回収年数はさらに長くなってしまうことが予想される。

4. 運輸部門における省エネルギー

本章では、運輸部門の約4割程度のエネルギー

を消費している乗用車の10モード燃費と実燃費について、技術と社会双方のシステムに関する要因を含めたモデル分析を行い今後の燃費の改善可能性を論ずるとともに、工学的な観点からも10モード値がどの程度改善可能かに関する考察を行った。

4.1 乗用車の燃費および性能仕様の実態

まず新車の主要諸元[12]をもとに、10モード燃費および燃費に関連する主要な系列データを作成した。その際、販売台数[13]からみて主要な車種を排気量別(大きく小型、中型、大型)に約30車種をサンプルとして選び、これらのカタログ諸元値を販売台数で加重平均する方法を用いた。表7は、新車の燃費に関連するとともにそれぞれ独立すると考えられる諸元の推移を示している(表中出力比はエンジン排気量当りの出力を表している)。表からは、エン

表7 新規登録乗用車の諸元の推移

年度	車重 (kg)	出力比 (PS/l)	60 km/h 燃費 (km/l)	10モード 燃費 (km/l)	AT比率 (%)
70	930	46.2	20.5	12.7	0.7
71	920	46.8	20.9	12.9	2.3
72	920	46.8	21.3	13.0	4.2
73	970	56.3	20.4	12.3	6.5
74	974	56.3	20.7	12.4	8.1
75	1024	56.3	20.6	12.3	8.9
76	1009	57.2	20.8	12.4	11.1
77	989	56.1	21.4	12.7	14.7
78	1008	57.5	21.1	12.5	16.8
79	1021	57.2	20.6	12.2	21.9
80	1017	56.5	20.7	12.3	27.0
81	1014	57.8	21.9	13.1	32.6
82	1024	57.8	22.3	13.3	35.1
83	1018	59.6	23.2	13.5	37.9
84	1013	59.7	23.6	13.9	43.1
85	1033	60.2	23.1	13.6	48.8
86	1040	61.6	22.8	13.4	57.1
87	1051	63.2	22.8	13.5	60.6
88	1071	66.1	23.0	13.4	64.0



表 8 保有乗用車の諸元の推移

年度	車重 (kg)	出力比 (PS/l)	60 km/h 燃費 (km/l)	10モード燃費 (km/l)	実燃費 (km/l)
70	933	44.2	19.7	12.4	9.0
71	931	44.9	20.0	12.5	8.6
72	928	45.4	20.3	12.6	9.1
73	929	46.5	20.5	12.7	8.9
74	937	48.7	20.5	12.6	8.8
75	946	50.1	20.6	12.6	8.9
76	959	51.5	20.6	12.5	8.8
77	967	52.5	20.7	12.5	8.7
78	974	53.6	20.8	12.5	8.6
79	983	54.6	20.8	12.5	8.4
80	992	55.3	20.8	12.4	8.4
81	998	55.8	20.9	12.5	8.6
82	1003	56.4	21.1	12.5	8.6
83	1008	56.9	21.3	12.7	8.6
84	1011	57.4	21.6	12.8	8.8
85	1014	57.9	21.9	13.0	8.9
86	1018	58.4	22.1	13.1	8.9
87	1022	59.0	22.3	13.2	9.4
88	1028	59.9	22.5	13.3	9.5

ジン排気量の大型化から車重が重量化し、また AT車が増加しているにも関わらず、10モード燃費は着実に改善されてきたものの、その改善率もすでに飽和状況を示していることなどがわかる。

次に、実燃費との関連を論じるためにストックベースの諸元を求めた。ここでは、家電機器の場合と同様、登録データから年別の残存分布を作成し、フローベースをストックベースに変換する手順を用いた。乗用車のストックベースの諸元を示した表8では、新規登録車の普及に時間的ラグが存在するため、重量化、燃費改善率ともに依然増大する傾向があることが読める。

#### 4.2 10モード燃費と実燃費の推定

10モード燃費は走行パターンが定められているため、燃費の決定要因としては、車両重量、比出力、AT/MT、ならびにこもり抵抗や空気が抵抗改善などのその他の技術進歩などが考え

られる。

これに対し、実燃費には、上記の技術的条件以外に渋滞などの走行モードをはじめとする多くの要因が関連している。このため、ガソリン実質価格と、走行モードを代表する指標として平均運転速度を説明変数に加えた。

##### (1) 乗用車10モード燃費説明モデル

10モード燃費の説明モデルでは、(4)式のような簡単なログ・リニアモデルを設定し、1970～88年までの個々の新規登録車をサンプルとした。 $a_i$ 、 $b_i$ などの係数はいわば各要因の燃費改善の弾性値を表している。

$$\ln(Fe_{10i}) = a_i \cdot \ln(W_i) + b_i \cdot \ln(PS_i) + c_i \cdot T_i + d_i \cdot \text{Dum}(AT_i) + e_i \quad (4)$$

$Fe_{10}$  : 運輸省に届けられた10モード燃費 [km/l]

$W$  : 自動車重量 [kg/台]

$PS$  : 比出力 (排気量当りの最大出力) [PS/l]

$T$  : その他の技術進歩 (製造年)

$\text{Dum}(AT)$  : ダミー変数 (ATは1, MT車は0)

$e_i$  : 誤差項

$i$  : 個別車種

##### (2) 実燃費説明モデル

運輸省から毎年公表される実燃費データは、全国の運輸局別にランダム抽出された20,000台のサンプルの2ヶ月間の実モード燃費の平均値であるが、走行条件や車種に関するデータは取られていないため、これらサンプルだけから燃費説明モデルを作成することは困難である。したがって、分析にあたり、まず先に示したように全乗用車を対象にして新規生産から毎年の登録台数および寿命を考慮した仕様諸元のストックの系列を作成する。つぎに、これに建設省が3年毎に公表している統計から、道路(高速、

都市高速、国道、都道府県道)別の走行台キロで加重平均した平均速度[14]を推計する。以上から、全乗用車の平均諸元(ストックベース)と全国平均の速度によって実燃費を説明するモデルを作成し、時系列回帰を行った。

$$\ln(Fe_t) = a \cdot \ln(\dot{W}) + b \cdot \ln(\dot{PS}) + c \cdot \ln(V_{ave}) + d \cdot \ln(P_g) + f \cdot T + e \quad (5)$$

$$\dot{W} = \sum_{i=7}^{T-L} \sum_i W_{i,t} \cdot \omega_i$$

$$\dot{PS} = \sum_{i=7}^{T-L} \sum_i PS_{i,t} \cdot \omega_i$$

$$V_{ave} = \sum_j TR_j \cdot V_j$$

$Fe_t$ : 実燃費 [km/l][13]

$\dot{W}$ : 平均車両重量 (\*印はストックベースを表す) [kg]

$\dot{PS}$ : 排気量当りの平均最大出力 [PS/l]

$\omega$ : 年別残存シェア分布関数[15]  
(各年の登録台数を考慮)

$V_{ave}$ : トラフィック平均速度 [km/h]

$TR_j$ : 道路種(j)別走行台キロ

$V_j$ : " 平均速度 [km/h]

$P_g$ : ガソリン実質価格

$T$ : 時間(年)

$L$ : 自動車のライフタイム

$i$ : 車種(大型, 中型, 小型)

$j$ : 道路種類(高速, 都市高速, 国道, 都道府県道)

### 4.3 燃費要因の分析結果

#### (1) 10モード燃費説明モデル

表9に10モード燃費モデル分析の推計結果を示す。決定係数( $R^2$ )はそれほど高くないものの、パラメータは予見された符号条件をすべて満たし、かつt値も有意で安定している。燃費悪化の最大

表9 10モード燃費及び60km/h定地走行燃費の推定結果

説明変数	パラメータ(t値)	
	10モード燃費	60km/h定地走行
車両重量	-0.4961(-23.9)	-0.4101(-22.3)
エンジンの高出力化	-0.2711(-5.95)	-0.2351(-5.83)
その他の技術進歩	0.00656(9.06)	0.00893(14.0)
A T ダ ミ ー	-0.074(-14.0)	-0.061(-13.0)
$R^2$	0.616	0.615

の原因は重量化で、100kgの増加につき0.5km/l程度燃費が悪化することがわかる。

この推計結果をもとに、他の変数に関してはサンプルの平均値で固定して、車重と燃費の関係をモデル年別に表したのが図6である。図からは、「その他の技術進歩」は76年以降燃費を改善してきたもののその改善率は逡減しており、車重の重量化から平均燃費はほぼ横ばいであることが示される。1975年から88年までの「その他の技術進歩」による10モード燃費の改善は年率にして1.3%程度である。なお、新車カタログにみる重量化は、単に80年代半ば頃から高級車のシェアが増大してきただけでなく、同一車種においてもエンジンが大きくなるとともにエアコンをはじめとする補機が年々多く装備されるにつれて車両重量が増大している結果である。

#### (2) 実燃費説明モデル

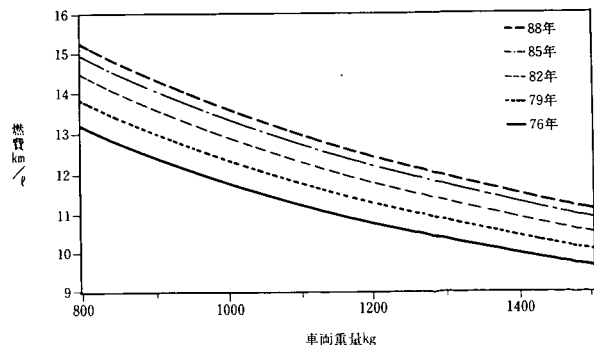


図6 車両重量と10モード燃費の関係

表 10 実燃費の推定結果

説明変数	パラメータ (t 値)
車両重量	-0.9751 (-0.93)
エンジンの高出力化	-1.141 (-2.73)
全国平均速度	1.241 ( 2.97)
ガソリン実質価格	0.0391( 1.34)
その他の技術進歩	0.016 ( 7.20)
$R^2$	0.892

実モード燃費の要因分析結果を表 10 に示す。分析結果は、期待される符号条件を一応は満たすとともに、サンプルデータが少ないため決定係数も高いものの、カタログデータをサンプルにした 10 モード燃費説明モデルの結果に較べて、全般的に t 値も低く不安定な結果となった。これには前述のように集計度合いの高い全国の実燃費をこれら単純な要因だけで記述するには不十分であるというモデル側の要因と、実燃費のサンプルからモデルの説明変数のデータが得られないというデータ側の制約の双方の要因が考えられる。今後車毎に燃費と運転モードや自動車の性能諸元を収集して再推計するなどの改善が望まれる。

実燃費モデルからは、重量化は 100 kg 当り、エンジンの高出力化は 5[PS/l] あたりそれぞれ 1[km/l] 燃費を悪化させているとともに、走行モード（モデルでは平均速度）の改善が燃費向上に比較的大きな感度を示していることがわかる。

4.4 10 モード燃費の限界値試算

以上の分析では、燃費に影響を与える要因の感度は推計されたものの、技術的にみた燃費の限界値がどの程度なのかを知ることはできない。

そこで工学的に 10 モード燃費の限界を検討するため、文献[16]に示された走行抵抗の方程式を用いてシミュレーションを試みた。試算で

は、(6)式に示すように、走行抵抗を大きくころがり抵抗、空気抵抗、加速抵抗に分け、10 モードの走行パターン別にこれらの抵抗値を求めるとともに、変速機などの伝達効率を含めた燃料消費量のバランスから限界燃費を算定するという手順を用いた。また、分析に際しては、燃料消費率などのデータは現状で得られている最善のデータを用い、アイドル時燃料消費量は 15 [cc/min]、燃料消費率は一定、減速時には燃料をカットし補機類の駆動はしない、と仮定した。

$$\begin{aligned} \Sigma R \cdot \Delta L &= \Sigma (R_r + R_a + R_{ac}) \cdot \Delta L \\ &= \gamma \cdot V_f \cdot \eta_t \cdot \eta_f \cdot 75 \cdot 3600 / f_s \text{ [kgm]} \end{aligned} \tag{6}$$

R : 走行抵抗 [kg]

L : 走行距離 [m]

$R_r$  : ころがり抵抗

$R_a$  : 空気抵抗

$R_{ac}$  : 加速抵抗

$\gamma$  : ガソリン比重量 0.75[g/cc]

$V_f$  : 燃料消費量 [cc]

$\eta_t$  : 変速機伝達効率 0.95

$\eta_f$  : 最終減速機伝達効率 0.95

$f_s$  : 燃料消費率 190[g/PSH]

図 7 に重量 1071[kg] (1988 年販売実績平均値) のときの 10 モード走行時の走行抵抗割合を、図 8 には (6) 式に基づくシミュレート結果をもとに 10 モード走行時の走行モード別燃料消費割合を示す。また、図 9 にはシミュレート計算結果をもとに車両重量と限界 10 モード

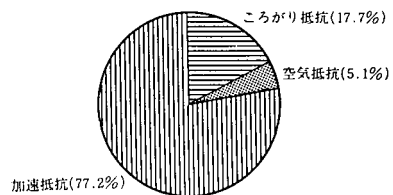


図 7 抵抗別燃料消費割合 (車両重量 1,071 kg)

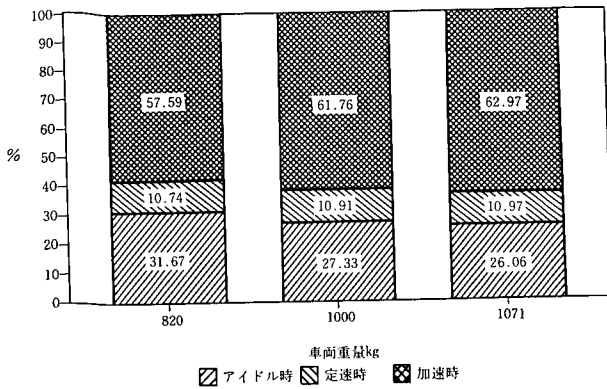


図 8 走行モード別燃料消費割合

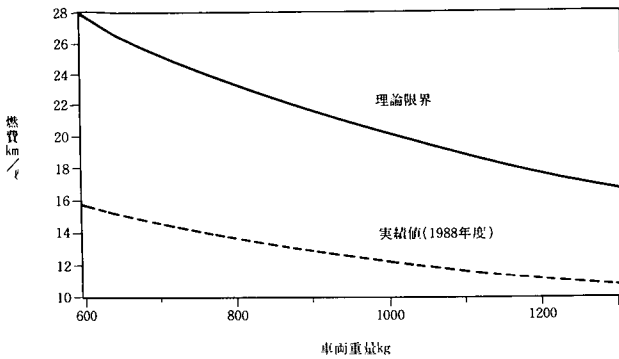


図 9 10モード燃費の理論限界と実績値

値との関係を示す。なお、図には限界値との比較を示すために、10モード燃費モデルで得たパラメータを用いて現状（1988年）における新車の平均的な燃費と車両重量の関係を併記している。

図7からは、10モードにおける3つの走行抵抗の中では加速抵抗が8割弱を占めており、車両重量および回転部分相当重量の軽減により、かなり燃費向上ができることがわかる。また図8からは、10モード走行時には車両重量にかかわらず加速時の燃料消費が最も多く、ついでアイドル時になっていることなどがわかる。ただし、定地走行時の燃費は車両重量にあまり影響を受けないのに対し、加速時には車両重量の影響がかなり強く、重量増加とともにそ

の割合は増えている。図9の10モード燃費の限界と現状値を比較したシミュレーション結果からは、車両重量1000kgにおいて限界値が20.2km/lであるのに対し、モデル現状値は12.2km/lであり、まだ66%程度の改善の余地があることがわかる。また、現在の平均車体重量で19.2[km/l]の限界値が、20%軽量化すると22.3[km/l]まで改善が可能であり、今後のエンジンやトランスミッションなどの技術開発や新材料による軽量化によってかなりの省エネルギーが図れるものと期待できる。

ただし、この改善率には、シミュレーションでエンジン回転数全域で最適トルク（一定）が確保されているとの前提をおいていることや、実際には減速時の燃料カットを安全に

は行えないこと、補機類の動力分を見込まねばならない、といった点を割り引く必要がある。また、シミュレーション結果と現状モデル値との比較からは、車両重量が軽くなるほど両者の乖離が大きくなっていることがわかる。これは、車両が小さくなるにつれてエンジンの出力に対して補機類の駆動に使用される動力が大きくなってしまったためであると思われる。

### 5. おわりに

家庭部門と運輸部門における省エネルギーポテンシャルが明らかになった。家庭用途別では、温熱需要であり量的にも大きい給湯用と暖房用で省エネルギーの余地が大きいことが示された。元来、これらの用途はエクセルギー的に

低質なエネルギーで賄われることが望ましいと指摘されており、この研究でもこのことが裏付けられたということが出来る。また、運輸部門では、車両重量の軽減に加え、エンジンの改良によって燃料消費率を改善し、きめ細かい変速などにより高度な制御を行うこと、更に補機類の効率を向上させることで、大幅な燃費向上の可能性があることが示された。

また、家電機器や乗用車の大型化や保有増加に見られるサービス品質の向上が、機器効率の向上を打ち消してしまうほど大きなエネルギー消費の増加要因となることも示された。機器の大型化は核家族化・余暇時間の増加・女性の社会進出といった長期的な社会情勢やライフスタイルの変化を反映しているとも考えられる。従って、このような観点からもエネルギーの適正な役割が問われ始めていえると言えよう。

ライフスタイルがエネルギー需要に与える影響については、文献[17]で分析が行われている。それによると、在宅時間と世帯人数やその年齢構成による影響が大きく、どちらについてもエネルギー需要の増加要因と減少要因が指摘されている（例：共働き－減少要因，労働時間短縮－増加要因）。また、ライフスタイルと運輸部門の関連では、単位時間当りのエネルギー消費は移動中が最も大きく、余暇時間の増加は家庭部門のエネルギー需要を減らす代わりに、運輸部門のエネルギー需要を増加させるという効果を持つことも予想される。

なお、本研究では早稲田大学理工学部の多大なる協力を得た。永田勝也教授ならびに野村茂樹・兵藤義之の両氏に深く感謝いたします。

#### 【参考文献】

- [1] (社)日本電機工業会，内部資料（1990）
- [2] (社)日本電子機械工業会，民生用電子機器データ集（1990）
- [3] (財)家電製品協会，家電産業ハンドブック（1989）
- [4] (財)家電製品協会，廃家電製品発生量の予測調査研究（1989）
- [5] (社)日本電機工業会，電機冷蔵庫技術専門委員会資料（1990）
- [6] (財)住宅・建築省エネルギー機構，省エネルギーハンドブック '85（1985）
- [7] 総務庁統計局，昭和63年住宅統計調査報告全国編（1990）
- [8] 経済企画庁調査局，家計消費の動向（1990）
- [9] (財)住宅・建築省エネルギー機構，内部資料（1990）
- [10] 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，民生部門エネルギー消費実態調査（総括編）（1990）
- [11] 東芝レビュー，36巻1号（1981）
- [12] (社)自動車工業会，自動車ガイドブック（1975～88）
- [13] (財)自動車検査登録協会，登録年別自動車保有台数（1975～88）
- [14] 建設省道路局企画課道路経済調査室，道路交通センサス（全国道路交通情勢調査）一般交通量調査基本集計表（1975～88）
- [15] (財)計量計画研究所，所内資料（1990）
- [16] 樋口健治，自動車工学，朝倉書店，p. 39～p. 45（1980）
- [17] EPRI CU-7069，“Energy Use and Changing Lifestyles”（1990）

（ながた ゆたか  
経済部 エネルギー研究室  
ふじい よしふみ  
元経済部エネルギー研究室）