研究論文

住宅における用途別エネルギー消費構造と暖房需要の 省エネポテンシャル

― 関西文化学術研究都市における計測調査報告(その2) ―

Structure of End-Use Energy Demand and Potential of Energy Saving in Residential Houses

— Report of Energy Demand Monitoring Project in Kansai Science, Technology and Cultural City (No. 2) —

佐野史典*・上野 剛*・佐伯 修**・辻 毅一郎** Fuminori Sano Tsuvoshi Ueno Osamu Saeki Kiichiro Tsuji

(原稿受付日2002年10月15日, 受理日2003年2月6日)

Abstract

The increase of the energy demand in the residential sector in Japan is still quite significant and energy saving in this sector is indispensable for achieving the reduction of CO₂ emission. Therefore, better understanding of the ways of energy use in household is essential. The authors are carrying out a monitoring project in which electricity and city gas consumption and temperature are measured for residential houses in a newly developed town. Based on these monitored data, end-use energy demand such as space heating, cooling, etc. have been estimated. There is about 3.8 times difference between the household with the largest energy consumption and the one with the least energy consumption. It is important to clarify the causes of the difference for estimating the potential of energy saving. The authors pay attention to space heating, and have developed a model for estimating the demand that is represented by factors such as efficiency of heating system, insulation efficiency of houses and life-style. In this paper, the present state of end-use energy demand in the monitored houses will be given first. Second, the developed model will be described in detail, and then the potential of energy saving in residential houses will be discussed.

1. はじめに

我が国において、民生・運輸部門におけるエネルギー消費は依然として増加傾向にある.特に民生部門においては、いわゆるIT機器や、快適性を追求した暖房・冷房設備の一層の浸透によるエネルギー消費の増加が見込まれており、1997年の京都議定書に定められたCO。排出削減目標を達成するためには、今後、同部門において積極的に省エネルギーを図ってゆく必要がある.

省エネの具体的方策を立案するためには、まず、暖房・冷房・給湯といった最終用途別エネルギー消費の実態を把握することが重要である。しかし、実態把握のための詳細な計測調査は費用や労力の点で困難が伴い、我が国で本格的な計測調査が実施された例は極めて少ない¹⁾. 外国ではいくつかの詳細な実態調査が行われている例がある²⁻⁵⁾ が、各国の事情が大幅に異なるため単純に他国の状況を我が国に当てはめることは困難である.

*大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程

E-mail: fumi-s@polux.pwr.eng.osaka-u.ac.jp

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

このような状況の下,著者らは未来開拓学術研究推進事業からの委託を受け,1 戸建て住宅におけるエネルギー消費の計測調査を行う機会を得た 6 . 費用等の面から最終用途別エネルギー消費を直接的に得ることは困難であったが,計測結果に基づいて用途別エネルギー消費を推定するための手法を確立し 7 ,各住宅における実態を把握することができた.

本論文では、まず、住宅におけるエネルギー消費の現状について、計測結果を要約し、得られた知見を述べる。次いで、暖房用エネルギーに着目し、重回帰モデルを導出してその消費構造を明らかにする。さらに導出したモデルを用い、住宅の暖房における省エネルギーの可能性について検討した結果を述べる。

2. 自動計測調査の概要

計測対象地域には、京都府南部に位置する関西文化学術研究都市内のニュータウンを選択した。費用面から第1次の計測対象住宅は40軒(期間は1998年10月~1999年11月)とし、夫婦と子供2人の4人世帯を中心に選択した。その後、第2次計測住宅として新規に26軒(期間は2000年2月~2002年5月)を選択し、計測調査を行った。

計測項目は表1に示す通りである。電力消費量について

表1 計測項目と方法

計測項目	計測方法	計測内容		
住宅全体の	LSM	30分の積算値		
電力消費量	(Load Survey Meter)	有効・無効電力		
電力消費機器の	子機	30分の積算値(有効電力)		
電力消費量	(同時設置最大8台)	主要な電力消費機器		
住宅全体の	ガスメータ	30分の積算値		
都市ガス消費量				
住宅全体の	_ 購入量を	1ヶ月ごと		
灯油消費量	需要家が記入			
室内温度・湿度(複数点)	自記温湿度計,	30分毎の瞬時値		
	自記温度計	3ヶ月ごとに回収		
外気温度·湿度	自記温湿度計,	同上		
(複数点)	自記温度計	le) I		
水温	自記温度計 同上			
23.700	L IOMEX III	1-7-2		

はLSM・子機と呼ばれる機器を使用し、住宅全体・各電 気機器について計測を行った. 子機については主要な電気 機器について一定期間以上の計測が行えるよう住宅毎に適 切なスケジューリングを行った. 都市ガス消費量について は、住宅全体の消費量のみを計測した、以上のデータは、 電話回線を通して大阪大学内に設置されたデータ収集装置 に収集される. 灯油については消費量の実測を行うことは 困難であるため、各需要家に購入量の記録を依頼した. 温 度及び湿度の計測は、30分毎の瞬時値を内部メモリに記憶 する自記温湿度計ならびに自記温度計を使用し、3ヶ月に 1度程度各住宅を訪問してデータを回収した. 室温は利用 頻度の高い部屋並びに玄関等において計測し、居間では湿 度も同時に計測した. なお, 室温の計測点は同一室内では 1点であり、床からの高さが1~1.5mで、付近に熱源機 器がない所で計測した. 外気温ならびに外気の湿度につい ては対象地域内の小学校で計測した. また, 水温は一部住 宅のトイレの貯水タンク等で計測した.

3. 用途別分解の概要

本研究では、エネルギーの用途として暖房・冷房・給湯・厨房・電力特定の5つを考えることとした。本計測システムでは前述のように、電力に関しては子機の数が最大8台、また都市ガスに関しては用途毎の消費量を直接計測すること自体が不可能であるため、用途別エネルギー日負荷曲線は計測結果から何らかの方法により推定する必要がある。このためのデータ処理を著者らは単に用途別分解と呼んでいる。

まず,電力消費量の用途別分解は,基本的に計測した機器を各用途に振り分けることにより行う.ここでは,各電

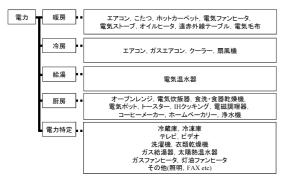


図1 各電気機器の用途分類

気機器の用途への振り分けを図1に示す通りとした. 使用 中の一部期間しか計測していない機器については、未計測 期間の電力消費量を推定する必要がある. 本調査では、こ のような機器について計測対象住宅のいずれかで同一機種 の長期間の計測が行えるよう配慮した. その結果, 月平均 1日あたり電力消費量は、冷蔵庫については外気温の影響 があることが明らかとなったが、他の機器についてはその 影響は明確ではなかった.また、主な機器の日負荷パター ンは月に依らずほぼ一定であった.以上より,冷蔵庫につ いては外気温との相関より未計測期間の月平均1日あたり の電力消費量を推定し、当該機器の計測期間における平均 日負荷曲線のパターンを用いて日負荷曲線へ展開した. ま た, その他の機器については計測期間における平均日負荷 曲線を直接推定値とした. こうして得られた各機器の電力 日負荷曲線を各住宅各用途でまとめることにより、電力の 用途別分解が完了する.

都市ガス消費量については、住宅全体の消費量の計測であるが、厨房用以外の都市ガス消費機器が稼働していない時刻については厨房用(主にガスコンロでの消費)と特定される。そこで、都市ガスの用途が給湯・厨房の2つである中間期・夏期においては、ガス給湯器の電力消費量より稼働状況を判定し、厨房用と特定されるデータに基づいて2つの用途に分解した。この処理により、中間期・夏期については2つの用途に分解される。冬期についても、都市ガスによる暖房を行っていない住宅には同様の処理が行える。それらのうち用途別分解結果が妥当であると判定された住宅の給湯・厨房需要の月別推移パターンと、中間期・夏期の用途別分解結果より、その他の住宅についても冬期の用途別分解を行った。詳しくは文献でを参照されたい。

灯油消費量に関しては、計測対象住宅における用途が暖 房のみであるため用途別分解の必要はない.

4. 計測対象住宅におけるエネルギー消費の現状

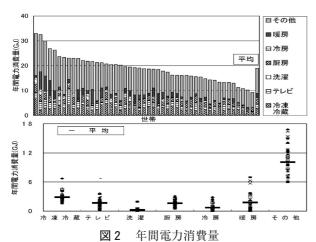
本節では、計測対象住宅のエネルギー消費の現状について述べる。以下におけるエネルギー消費量の単位については、電力 $1\,\mathrm{kWh}=3.6\,\mathrm{kJ}$ 、都市ガス $1\,\mathrm{m}^3=46.046\,\mathrm{MJ}$ 、灯油 $1\,\mathrm{U}\,\mathrm{y}\,\mathrm{h}\,\mathrm{v}=37.2554\,\mathrm{MJ}\,\mathrm{e}\,\mathrm{l}\,\mathrm{c}$ 、また、電力を $1\,\mathrm{x}\,\mathrm{x}\,\mathrm{r}\,\mathrm{v}$ ギーに換算する場合は、 $1\,\mathrm{kWh}=10.3\,\mathrm{kJ}\,\mathrm{e}\,\mathrm{l}\,\mathrm{c}$.

図2,3は各住宅の用途別年間電力,都市ガス・灯油それぞれについて,住宅毎および用途毎の消費量の分布を示したものである。対象とした期間は第1次計測住宅については1998年11月~1999年10月,第2次計測住宅については2000年2月~2001年1月であり,期間による差異は考慮に入れていない。対象住宅は,それらの期間において精度良く用途別分解が行われた47軒(第1次30軒,第2次17軒)である。なお、電力特定分は、冷凍冷蔵(冷蔵庫、冷凍庫)、

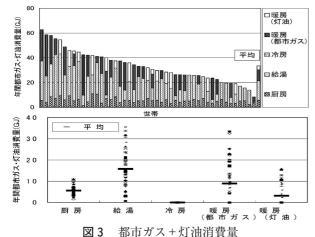
テレビ (テレビ, ビデオ),洗濯 (洗濯機,衣類乾燥機) および「その他」(それ以外の電気機器) に細分化して示 している.

住宅全体の年間エネルギー消費量の分布は23.2~88.4GJ, 平均52.4GJであった.近畿地域平均43.5GJ,全国平均46.4GJ®と比較して、それぞれ20%、13%上回っている.これは、計測調査は新しい住宅を対象とし、床面積も120m²と平均より大きいためであると考えられる.また、前の報告でと比較して若干平均値が増加している。第2次計測調査では第1次計測調査において計測しなかったいわゆる2世帯住宅(夫婦と親夫婦と子供)の計測を行ったことなどが要因として考えられる。エネルギー種別では、電力消費量が近畿平均値比112%、全国平均値比117%であったが、都市ガス消費量ではそれぞれ147%、163%と極めて多かった.一方、灯油の消費量は比較的少なかった.

用途毎にエネルギー消費をみると、電力に関して構成比が大きかったのは「その他」・冷凍冷蔵・暖房の3用途でそれぞれ53.2、15.1、9.4%であった。逆に構成比が小さかったのは冷房・洗濯で、それぞれ3.7、1.2%であった。なお、電力特定分の合計では78.4%であり、電力消費量の大部分は電力のみにより供給される用途であったと言える。



(2次エネルギー:47軒, 用途別分解結果)



(2次エネルギー:47軒,用途別分解結果)

また標準偏差が大きいのは「その他」・暖房であり、それぞれ3.0、1.8GJであった.都市ガス・灯油に関しては、構成比が大きいのは給湯・暖房(都市ガス)・厨房で、それぞれ47.3、26.8、16.6%であった.標準偏差は暖房(都市ガス)・給湯でそれぞれ9.7、8.5GJで、住宅による差が大きい。図2と図3を加え、住宅全体のエネルギー消費で評価すると、給湯・暖房・「その他」の3用途が占める割合が大きく、構成比はそれぞれ30.2、26.4、19.3%(1次エネルギー換算では18.1、19.6、32.9%)であり、3用途合計では75.9%(1次エネルギー換算では70.6%)を占めていた。これら3用途のエネルギー消費は分散も大きいことから、計測対象住宅におけるエネルギー消費の多寡の大きな要因は、給湯・暖房といった熱エネルギーと、照明を主とする電力特定分中の「その他」にあると言える.

5. 暖房用エネルギー消費に関する分析

前節で述べたように、計測対象住宅におけるエネルギー 消費多寡の要因の1つとして、給湯・暖房といった熱エネ ルギーが挙げられる。本節では暖房に着目し、その消費構 造について考察すると共に、重回帰モデルを導出する。更 に、モデルを用いて暖房における省エネルギーの可能性に ついて分析した結果を述べる。

5.1 暖房用エネルギー消費の現状

図4に、暖房用の年間エネルギー消費量の分布を示す。 暖房に関わる電力の項目には、ガスファンヒータ等が消費 する電力も含めている。主に都市ガスで暖房を行っている 住宅は比較的消費量が多く、主に石油で行っている住宅は 中間に、電力のみの住宅は少なくなっていると言える。

5.2 重回帰モデルの導出

暖房用エネルギー消費を決定する要因として、1) ライフスタイル、2) 住宅の断熱性能、3) 暖房システムの性能、といった複数の項目が考えられる。著者らはこれまでに近畿地域の地区別月別の世帯平均の電力・都市ガス消費データを用いて暖房・冷房・ベース分のエネルギー消費に関する重回帰分析を行っている^{9)、10)}. そこでは、平均所得、エネルギー価格、冷房・暖房度日、住宅床面積などを説明変数とした重回帰式が得られている。しかし、これらの式で省エネルギーの可能性を分析することはできない。

ここでは、計測調査のデータを活用し、より直接的に式(1)に示すようなモデルを考える。被説明変数は、各住宅、

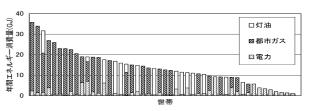


図4 暖房用年間エネルギー消費量(用途別分解結果)

各月平日平均1日あたりの暖房用エネルギー消費であり、 住宅において主に暖房が行われる居間に着目した.

H.
$$D = k T^a L^b 1/E^c$$
(1)

ただし、H. D: 居間における暖房用エネルギー消費、k: 定数項で、T, LおよびEは、それぞれ暖房時間、暖房負荷、暖房システムの効率に関する説明変数である。式(1)において、kを暖房システムに固有の定数とみなした場合は、式(2)のように表すことができる。以下では便宜上式(1)をモデル1、式(2)をモデル2と呼ぶ。

家庭用の暖房機器には様々な種類があると共に、複数の機器を同時に使用することを考えると更に多種多様となり、システムとして分類する際に様々な定義が考えられる。ここでは、単に主に使用している暖房機器によって暖房システム(住宅)を以下の4種類に分類した。

- (1) エアコン:エアコンを主に使用する住宅
- (2) 都市ガス:都市ガス消費機器 (ガスファンヒータ等) を主に使用する住宅
- (3) 石油:石油消費機器 (石油ファンヒータ) を主に使用 する住宅
- (4) その他:エアコン以外の電力消費機器を主に使用する 住宅(こたつ等)

次に各説明変数及び計測対象住宅におけるその現状について述べる.以下において対象とした住宅は、図4に示した住宅から(1)暖房時間が正確に把握できない床暖房使用住宅,(2)居間のみの暖房用エネルギー消費が推定できない住宅を除いた33軒である.

説明変数Tは、居間における各月平日平均1日あたりの暖房時間である。暖房機器の使用状況の判定は、当該機器の電力消費量に基づいて行った。なお算出にあたっては、(1)使用している場合は、データの計測間隔である30分間継続して使用したものとする、(2)複数の機器を同時に使用した場合は、システムとして稼働したとして加算しない、と仮定した。

図5に、計測対象住宅における居間の暖房時間と、各月の暖房時間が年間暖房時間に占める割合(各月暖房時間/年間暖房時間)と暖房度日(基準温度19℃)との相関を示す。図5a)より、各住宅、各月による暖房時間のばらつきが大きいことがわかる。住宅間の差については、世帯員の在宅時間等様々な要因が考えられる。月による差については、図5b)より暖房度日に大きく依存していると言える。

説明変数Lは、暖房機器を使用することによって上昇させた室温に居間の面積を乗じたものとし、本論文では暖房度面積と呼ぶことにする、暖房が行われていない時間帯の

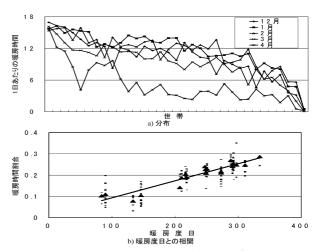


図5 1日あたりの居間における暖房時間(各月平日平均)

室温変化に着目すると、室温は指数関数的に減少していた. そこで、居間における熱収支を1容量系モデル(以下では CRモデルと呼ぶ)を用いて表すことにした。 CRモデルとは、住宅の熱収支を図6のように電気回路に相似化させた 熱回路理論に基づいたモデルであり、暖房を行っていない時間帯については、内部発熱等の影響を無視して簡略化すると式(3)のように表される.

$$C d\theta_r/dt = - (\theta_r - \theta_o) / R \cdots (3)$$

ここで、C: 部屋の相当熱容量 [J/K], R: 部屋の熱抵抗 [K/W], θ : 室温, θ 。: 外気温である. 外気温がほぼ一 定であると仮定して式 (3) を解くと式 (4) のようになる.

$$\theta_r - \theta_o = (\theta_r - \theta_o) \cdot e^{-t/CR} \cdot \cdots \cdot (4)$$

ただし、(θ_r - θ_o)。は、室内外の気温差の初期値である.式(4)において、時定数CRが大きいほど室温の降下が遅く、室内の気温が維持されるため、暖房用エネルギー消費を抑える効果があると言える.この時定数CRを室温維持特性の指標とし、暖房機器の使用が終了した時刻から2時間継続して暖房が行われなかった時間帯のデータを用いて最小2乗法によって推定し、各月平均の値を住宅毎に求めた.暖房が行われた時刻において暖房をしなかったと仮定すると、式(4)を用いて暖房をしなかった場合の室温(以下自然室温と呼ぶ)を推定することができる.この自然室温を実際の室温から引くと、暖房によって上昇した室温が推定される.これを暖房が行われた全時刻について算出し、動特性を無視して単純に月毎に平均した値に居間の面積を乗じたものを暖房度面積とした.なお、「室温 - 自然室温」が負となった場合は換気等の外乱があったと考え



図6 CRモデル

て除くものとした.

図7に、暖房度面積推定の基本データである暖房時の室 温, CRの分布を示す. 暖房時の室温は, 各住宅平均で 12.4~20.8℃と差が大きく、快適と感じる室温に差がある ことがわかる. 図5の暖房時間の分布と比較して暖房時の 室温は月に依存しておらず、各住宅においてほぼ一定な快 適性を求めていると言える. CRは室温降下の時定数とし てとらえられたもので、暖房用エネルギー消費に関する住 宅の特徴量の1つと考えられる. これが平均で3.9~33.2と 住宅により大きくばらついている要因としては断熱材の種 類,厚さの他,間取り,住宅の方位等様々なものが考えら れる. 実際、設計図等から断熱材に関する情報を得ること の出来た一部の住宅に関する予備的な検討では、外壁・天 井の断熱材としてロックウールを使用している住宅がグラ スウールを使用している住宅よりCRが大きい傾向が認め られた. しかし、断熱材や住宅の間取り・構造等について のデータが不足しており、CRのばらつきの現状を説明する までには至っておらず,今後更に考察を進める必要がある.

説明変数Eは、居間で使用している暖房機器の総合的な効率とし、以下では総合機器効率と呼ぶ。個別の暖房機器の効率は、(1) エアコン:COP (カタログ値)、(2) 都市ガス消費機器、石油消費機器:0.9、(3) その他の機器:1とし、月によって変化しないものとした。都市ガスおよび石油消費機器の効率を0.9としたのは、先述のように制御等に必要とする電力消費量も含んでいるためである。また、複数の機器を使用している住宅については、各機器の使用時間の割合によって重みをつけて平均をとった値とした。

表2に、以上の説明変数の相関行列を示す。室温のデータが欠損した月は除き、全標本数は226である。表2より各説明変数間の相関は低い。また、単一の説明変数では十分に暖房用エネルギー消費を説明できていないことがわかる。

次に,式(1),(2)の係数の推定について述べる.推定は,両辺の対数をとった後の対数線形式で行う.モデル1

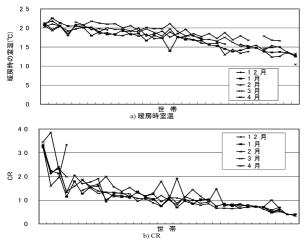


図7 暖房度面積推定に関するデータ(各月平日平均)

表 2 相関行列 (標本数226)

	暖房時間	暖房度面積	1/総合機器効率	暖房需要	
暖房時間	1.000	0.237	0.258	0.757	
暖房度面積		1.000	0.276	0.491	
1/総合機器効率			1.000	0.486	
暖房需要				1.000	

表 3 係数推定結果 (標本数226)

	使用説明変数						自由度	
	暖房時間	暖房度 面積	1/総合 機器効率	ダミー (エアコン)	ダミー (都市ガス)	ダミー (石油)	定数項	調整済 決定係数
モデル1	1.072 <26.136>	1.085 <22.281>	0.753 <7.387>				-2.043 <-11.555>	0.875
モデル2	1.101 <37.264>	0.668 <14.740>	0.423 <2.648>	0.766 <4.657>	1.293 <14.014>	0.891 <10.375>	-1.641 <-12.825>	0.937

については式(5)のように書ける.

H.
$$D = X \beta + \beta_0$$
(5)

ただし、 $X:(1\times3)$ 説明変数ベクトル、 $\beta:(3\times1)$ 係数ベクトル、 β 。: 定数項である. 次に、モデル 2 についてはダミー変数を導入することによって、式 (6) のように書ける. 暖房システムとして 4 種類を考慮に入れたので、導入するダミー変数は 3 個である.

H.
$$D_i = X \beta + \beta_i Dummy_i + \beta_0 \cdots (6)$$

式 (5), (6) について係数を推定した結果を表 3 に示す。なお,表 3 において空欄はその項が推定式に取り込まれていないことを示している。表 3 より,モデル 2 においては自由度調整後の決定係数が0.937とかなり強い相関が得られていると言える。また,モデル 1 と 2 の間のF値はF (3,219) = 75.0であった。この値は十分高く有意であり,モデル 2 がより精度が高いと言える。

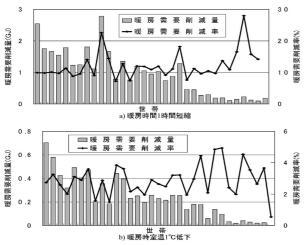
5.3 重回帰モデルに基づく省エネポテンシャル

以下では、モデル2を用いて住宅における暖房用エネルギー消費の削減可能性について分析した結果について述べる。削減率は式(7)で定義した。対象としたのは居間のみである。また、各住宅において算出するのは、計測が正常に行われた期間での値である。なお、以下で特に記述のない場合は、2次エネルギーベースでの評価である。

S. H.
$$D_i$$
 [%] = 100 × (H. $D_{i, old}$ – H. $D_{i, new}$) / H. $D_{i, old}$ ······ (7)

ただし、S. H. D_i :暖房用エネルギー消費削減率、H. $D_{i. old}$: モデル 2 で推定した現状の暖房用エネルギー消費、H. $D_{i. new}$: モデル 2 で推定した説明変数変化後の暖房用エネルギー消費である.

まず、ライフスタイルの変化による暖房用エネルギー消費の削減可能性について述べる。図8は、各月において暖房時間が1時間短くなった場合、暖房時室温が1℃低くなった場合の暖房用エネルギー消費削減率・削減量を示したものである。暖房用エネルギー消費削減量は、現状の年間



359

図8 ライフスタイルを変化させた場合の暖房需要削減可能性(2次エネルギー)

暖房用エネルギー消費にモデルより算出した削減率を乗じて求めた.暖房時間については、単純に説明変数の暖房時間のみを変化させた.暖房時室温が1℃低くなった場合については、非暖房時においても同様に1℃低くなったとして暖房度面積を算出した.なお、以下の住宅による分布を示した図においては、住宅は居間の暖房用エネルギー消費が大きい順に並べている.暖房時間削減については、平均で約12%の削減率であった.図5における1日の暖房時間の平均が9.5時間であったことを考えると、使用時間が1時間減った際の削減率としては自然である.また、暖房時の室温低下については、平均で2.9%の削減率であった.図7a)に示したように暖房時の室温については各住宅で特徴があり、室温を下げることは我慢を強いることになるが、設定温度を適切にして過剰な暖房を行わないように心がけることにより削減が可能であると言える.

次に、住宅の室温維持特性、暖房システムの総合機器効率の向上による暖房用エネルギー消費削減可能性について述べる。図9は、図7b)において最も室温維持特性が良かった住宅(5ヶ月平均のCR:33.2)とCRが同一であったと仮定した場合の各住宅の暖房用エネルギー消費削減率・削減量を示したものである.削減率算出にあたっては、「室温 – 自然室温」は現状時において値が正であった全時刻について算出し、CRの改善によりその値が負となった場合には0とした。室温維持特性が最良であった住宅を除くと、削減率は3.4~35.0%、平均約20%と高い水準であり、その効果は高いと言える.

暖房システムの総合機器効率向上については、エアコンの使用を考えた.近年、エアコンのCOPは向上しており、省エネルギーへの貢献が期待されている.対象とした33軒で使用されていたエアコンで、最もCOPが高かったものは暖房時で4.0(カタログ値)であった.そこで、異なる条件下(暖房時の室温、床面積等)においても同様の

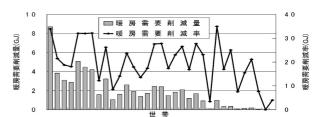


図9 室温維持特性が最良であった場合の暖房需要削減可能性(2次エネルギー)

COPで運転することが可能であると仮定し、各住宅の暖 房システムをエアコンに置き換えた場合の暖房用エネルギ ー消費の変化について分析した. 算出においては, 説明変 数におけるダミー変数をエアコンの値とし、効率をCOP= 4.0とした. なお、都市ガス・石油暖房住宅においてその 変化を評価する際には、1次エネルギーで比較することも 重要である. 1次エネルギー削減率算出には、総合機器効 率を発電・送電ロスを含んだ値として推定した表4の係数 を用いた. 結果を図10に示す. まず、図10a) において削 減率が負, つまり暖房用エネルギー消費が増加する住宅は 9軒であった。この9軒はこたつ等を中心として用いてい る「その他」の住宅である. 先に述べたように、暖房度面 積は室内の1点の気温と床面積に基づいて算出しており, 室温の分布は考慮していない. しかしながら,表3におい てダミー変数の値が異なっていることから、暖房度面積が 同じでも実際に供給された熱量は暖房システムによって異 なっていると予想される.よって図10a) においてエネル ギー消費が増加するのは、エアコンのように部屋全体を暖 める機器を使用すると、こたつ等のように局所的に暖める 機器よりエネルギー消費が多くなる結果となっていると言 える. これより、今後これらの住宅が部屋全体を暖めると

表 4 係数推定結果(標本数226)

白由庶

I \	文 州就·列及奴							日田茂	
	暖房時間	暖房度 面積	1/総合 機器効率	ダミー (エアコン)	ダミー (都市ガス)	ダミー (石油)	定数項	目田度 調整済 決定係数	
モデル2 (1次エネ ルギー)	1.223	0.489 <10.125>	0.122 <0.965>	0.552 <4.024>	0.672 <7.604>	0.342 <3.758>	-0.622 <-3.260>	0.916	
暖房需要削減量(GJ)	20 10 40 ② ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※								
暖房需要削減量(GJ)	6 3 0 - 3 - 6 - 9		需要削需要削	減量減率			0	0 (%) 救護 偏離 報	

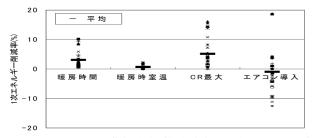


図11 エネルギー消費削減率(住宅全体,1次エネルギー)

いったより高い快適性を求めるようになると暖房用エネル ギー消費が増大する可能性があり、更なる効率及び室温維 持特性の向上が重要であると言える. 他の住宅については 2次エネルギーベースで削減効果があることは明らかで、 削減率は効果があった住宅平均で53.5%, 最高68.6%であ った. しかしながら、図10b)の1次エネルギーベースで は、依然効果が高い住宅もある(最高削減率23.1%)もの の、暖房用エネルギー消費が増加する住宅が増え、エアコ ン使用による効果は明確ではない.

図11に、各項目の暖房用エネルギー消費削減量が住宅全 体のエネルギー消費量に占める割合の分布を示す. 評価は 1次エネルギーベースで行った. ライフスタイルの改善は 各住宅の生活を制限するものではあるもののコストが必要 とならないため、心がけによって削減が可能であると言え る. 室温維持特性の向上による削減率は平均5.2%で項目 中最も効果が高く、削減率が最高の住宅では16.1%という 結果であった。エアコンの使用に関しては、先にも述べた ように住宅が使用している暖房システムによってその効果 に大きなばらつきが見られる. 平均値は低いものの最高削 減率は18.8%であり、改善に必要なコスト等も考慮に入れ ると室温維持特性の向上よりも効果的である可能性もある と考えられる.

以上より,暖房に関するエネルギー消費削減のためには, 住宅毎に現状を考慮に入れながら最も効果的な方策を考え ることが重要であると言える.

6. おわりに

計測調査から得られた用途別エネルギー消費量より、計 測対象住宅における用途別エネルギー消費の現状を示し た. 更に、暖房用エネルギー消費に着目し、構築した重回 帰モデルについて述べると共に, モデルを用いて住宅にお ける省エネルギー可能性について示した. 主な結論は以下 のとおりである.

1) 用途別分解結果に基づき計測対象住宅における用途別 エネルギー消費の現状を示した. 年間エネルギー消費 量を近畿及び全国平均値と比べると、それぞれ20、 13%上回っていた。特に都市ガスの占める割合が大き かった. また, 暖房・給湯といった熱エネルギーと,

主たる用途が照明である電力特定用の「その他」のエ ネルギー消費が多く、住宅のエネルギー消費の多寡に 支配的であった.

- 2) 暖房用エネルギー消費に着目し、ライフスタイル・住 宅の室温維持特性・暖房システムの総合機器効率とい った指標に基づくエネルギー消費に関する重回帰モデ ルを構築した. 自由度調整後の決定係数は0.937と高 く, 精度の高いモデルが構築できた.
- 3) 構築したモデルを利用し、住宅における省エネルギー 可能性について分析した。 住宅の室温維持特性の向上 は効果が高く、暖房用エネルギー消費を約35%、住宅 全体のエネルギー消費を約5.2%削減できる可能性が あると言える. また, エアコン使用の効果は住宅によ って大きなばらつきがあった.

暖房用エネルギー消費に関するモデルは、更なる精度向 上は勿論のこと, 短期間の計測調査から予測可能なモデル に改良することが必要であろう. 住宅の室温維持特性につ いては、断熱材・窓・部屋の位置等の要素とCR値の関係 を明確にすると共に、改善に必要なコストも考慮して評価 することが重要である. また, 本論文では暖房用エネルギ ー消費を取り上げたが、それ以外の用途についても類似の 評価モデルを構築し、住宅全体での効果的な省エネ方策を 検討する必要がある.

なお, 本研究は日本学術振興会未来開拓学術研究プロジ ェクト「環境負荷低減を目的とした新しい自律分散型都市 エネルギーシステム」(JSPS-RFTF97P01002) の一環とし て行ったものであることを付記し、関係各位に謝意を表す る. また計測調査には(財大阪科学技術センター、(財)関西文 化学術研究都市推進機構, 京都府精華町および木津町およ び大阪ガス(株)の協力を得た. ここに謝意を表する.

参考文献

- 1)(財)省エネルギー
- (財省エネルギーセンター;家庭におけるライフスタイルの変化とエネルギー消費に関する実態調査研究報告書, (1997). F. J. Peterson et al.; End-Use Load and Consumer Assesment Program: motivation and overview, Energy and

- Assesment Program: motivation and overview, Energy and Buildings, 19 (1993), 159-166.

 A. Stoecklein et al.: Understanding Energy End-Use in New Zealand, Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1 (2000), 331-342.

 O. Sidler et al.: An Experimental Investigation of Cooking, Refrigeration and Drying End-uses in 100 Households, Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1 (2000), 285-294.

 Matthew P. Bouchekke et al.: Factors Influencing Space Heat and Heat Pump Efficiency from a Large-Scale Residential Monitoring Study, Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1 (2000), 39-51.

- Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1 (2000), 39-51. 日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業 (JSPS-RFTF97P01002): 関西文化学術研究都市における住宅用エネルギー消費の計測調査報告書(第1, II部), (2001, 2002). 佐野ほか4名: 住宅用用途別エネルギー消費日債備曲線の推定-関西文化学術研究都市における計測調査報告(その1)-、エネルギー・資源, 24-5 (2003), 50-56. (株住環境計画研究所;家庭用エネルギーハンドブック, (1999), (助省エネルギーセンター. 辻, 中村, 鈴木: バネルデータに基づく民生用都市ガス需要構造の分析 近畿地域を例として , 電気学会 C部門論文誌, 108-C-2 (1988), 119-126.
- 108-C-2 (1988), 119-126. 辻, 竹田;家庭用電力の地区別需要特性 近畿地域のパネルデータによる分析 (その1) , エネルギー・資源, 17-2 (1996), 67-74.