

# 戸建て住宅における空調熱負荷簡易推計モデルの構築

2014年3月修了予定 環境システム学専攻  
指導教員：吉田 好邦 教授  
126698 三枝 遼

キーワード：戸建て住宅，空調，省エネルギー，簡易モデル，SMASH

## 1. 背景と目的

地球温暖化問題の解決には、エネルギー消費量の削減が必要である。

特に家庭部門における省エネルギーの推進が喫緊の課題である。図1の日本の部門別二酸化炭素排出割合(1990年と2010年の比較)に示すようにエネルギー起源二酸化炭素排出量が増えた原因の1つとして家庭部門があげられる。

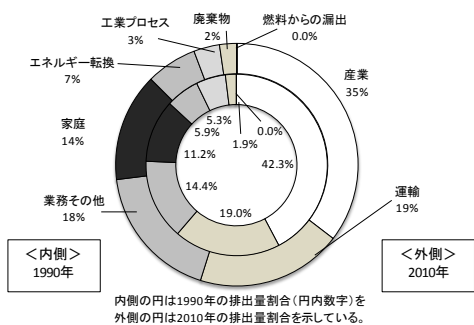


図1 日本の部門別二酸化炭素排出割合<sup>1)</sup>

近年、スマートメーターの設置が進み、各世帯の電力消費量をリアルタイムで認識できるようになった。また、計測した電力消費量を活用した省エネアドバイスを求める声が上がっている。特に、世帯当たりエネルギー消費量の約3割を占める空調負荷に対する省エネアドバイスが家庭部門の省エネ促進に必要なだと考える。

省エネ促進手法としては標準的な負荷の利用もあると考える。空調負荷は気象条件、建築物の仕様や使用方法などによる変動の幅が大きいことから省エネの評価を一律の基準値でおこなうことは難しい。そこで各住宅に合わせた標準負荷を用いることで省エネの評価をおこなうことで省エネ促進することができると考える。

これまで、空調負荷の推計には一般に、手間と時間のかかる非定常熱負荷計算プログラ

ムが用いられており、各世帯で空調負荷を簡易に推計できるモデルは開発されていない。また、業務店舗における空調負荷簡易推計モデルを構築した研究<sup>2)</sup>はあるが、住宅における研究は行われていない。

そこで本研究では、家庭部門の省エネルギー化促進を目的とし、空調の標準負荷を計算する空調熱負荷簡易推計モデルの構築を行う。

## 2. 空調熱負荷簡易推計モデル

### 2.1 簡易推計モデルの構築方法

簡易推計モデル構築の流れを図2に示す。住宅用熱負荷計算プログラムSMASHで空調負荷を再現し、建築物仕様や使用方法などのパラメータで感度分析をおこない簡易推計モデルに組み込むパラメータを選定する。選定したパラメータでモデルを設計し、SMASH計算との整合性を確認しモデルを構築する。

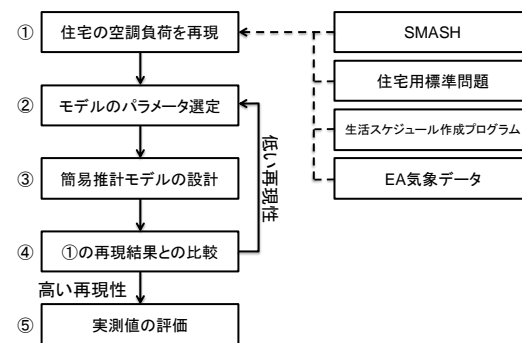


図2 簡易推計モデル構築の流れ

### 2.2 住宅用熱負荷計算プログラムSMASH

SMASHは財団法人 建築環境・省エネルギー機構が開発した住宅用の熱回路網モデルによる多数室の動的熱負荷計算プログラム<sup>3)</sup>である。壁体を2個の熱容量と1個の熱抵抗を有する熱回路で近似させるなどの仮定によって形成される建物全体の熱回路網に時間後退差分法を用いて時間前進させ、毎時の室の室温あるいは熱負荷の算出を行う。

### 2.3 パラメータの感度分析

SMASH で、住宅モデルを図 3 に示す住宅用標準問題<sup>4)</sup>、立地を東京と想定し、在室者・照明・発熱機器のスケジュールを生活スケジュール自動作成プログラム<sup>5)</sup>で 4 人世帯（男勤め人・家庭婦人・高校生・中学生）として作成し、冷暖房両期間の月ごとの空調負荷を再現した。再現結果を年間空調負荷デフォルト値とする。

表 1 は感度分析のパラメータと変域である。変域は初期値に対する値の割合で示した。建物伝熱の原理、SMASH に入力できる値に基づき設定した。変域の設定は、熱貫流率、遮蔽係数、暖冷房設定温度は省エネルギー基準<sup>6)</sup>を参考にした。その他のパラメータは、現実に想定される任意の変域を設定した。

表 1 感度分析のパラメータと変域

	パラメータ	初期値※	変域[%]	
			最小	最大
建築物仕様	不透明外壁の熱貫流率	1.013W/m <sup>2</sup> K	50%	150%
	窓の熱貫流率	4.65W/m <sup>2</sup> K	50%	150%
	窓の日射熱取得率	0.46	25%	115%
	窓の面積	16.32m <sup>2</sup>	60%	140%
スケジュール	暖房設定温度	20°C	90%	120%
	冷房設定温度	26°C	85%	108%
	機械換気	80m <sup>3</sup> /h	80%	120%
	自然換気	0.5回/h	0%	200%
	世帯数	4人	50%	150%
	照明	1004W	80%	120%
	発熱機器	2237W	80%	120%

※建築物仕様の初期値は各パラメータに含まれる部材の抜粋例を記した。

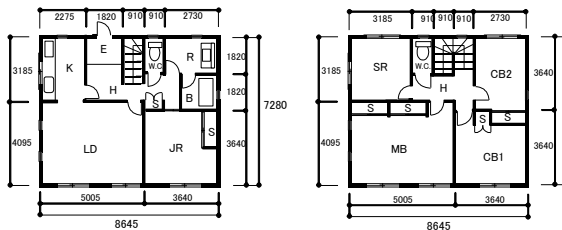


図 3 住宅モデル（木造戸建住宅）<sup>4)</sup>

### 3. 感度分析の結果

感度分析の結果を図 4、図 5 に示す。

暖房期間では、不透明外壁の熱貫流率、暖房設定温度、窓の熱貫流率の影響が大きいこ

とがわかる。また、機械換気量はほとんど影響がないことがわかった。

冷房期間では、冷房設定温度、窓の日射熱取得、外壁の熱貫流率の影響が大きいことがわかる。また、機械換気量はほとんど影響がないことがわかった。

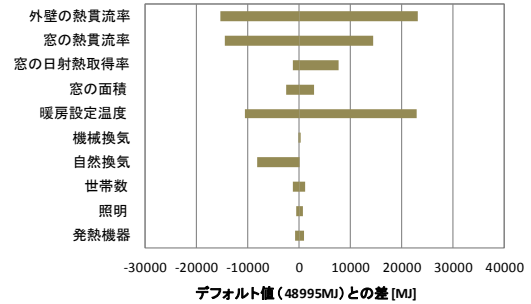


図 4 感度分析結果（暖房期間）

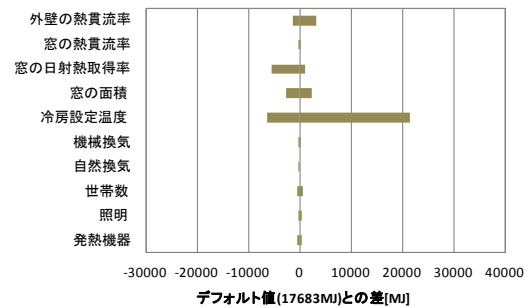


図 5 感度分析結果（冷房期間）

### 4. 目標とする簡易モデル

3.の結果から影響の小さい機械換気量を除いた 9 項目を組み込んだ簡易推計モデルを構築する。

目標とする簡易推計モデルを下式とする。

$$W_h = \{h_n \times (\theta_h - \theta_1) + h_m \times (\theta_h - \theta_2) + c_a \times \gamma_a \times q \times (\theta_h - \theta_o) - S\} \times t - G \quad \dots(1)$$

$$W_c = \{h_n \times (\theta_1 - \theta_c) + h_m \times (\theta_2 - \theta_c) - c_a \times \gamma_a \times q \times (\theta_c - \theta_o) + S\} \times t + G \quad \dots(2)$$

- $W_c, W_h$  : 期間暖冷房負荷 [J]
- $h_n$  : 不透明外壁の総合熱貫流率 [W/K]
- $h_m$  : 窓の総合熱貫流率 [W/K]
- $\theta_h, \theta_c$  : 暖冷房設定温度 [°C]
- $\theta_1, \theta_2$  : 外壁、窓の相当外気温度 [°C]
- $C_a \cdot \gamma_a$  : 比熱 × 比重量 [J/Kkg]
- $\theta_o$  : 外気温 [°C]
- $q$  : 熱の移動量 [W]
- $t$  : 期間(時間) [s]
- $S_h, S_c$  : 窓からの日射熱取得量 [W]
- $G$  : 内部発熱 [J]

## 5. 簡易推計モデルの計算結果

SMASH での計算と条件を統一し、簡易推計モデルで暖冷房両期間の1時間ごとの空調負荷を計算し、月ごとの合計空調負荷を求めた。相当外気温度  $\theta_{SAT}$  は EA 気象データから算出した。設定温度は暖房 20°C、冷房 26°C とした。

SMASH での計算結果との比較を図 6、図 7 に示す。図には月ごとの簡易モデルと SMASH の推計結果に対して 2 乗平均平方根誤差 (RMSE) を計算した結果を併記した。暖房期間では RMSE=338 と誤差が小さい結果が得られた。冷房期間では RMSE=1090 と比較的大きな誤差となった。要因としては、4-6 月、10、11 月において簡易推計モデルが過大な熱負荷を計算していることにある。これらの月で再現性が低い要因としては排熱換気の影響があると考えられる。排熱換気は SMASH のシミュレーションには組み込まれているがモデルには組み込んでいない。また、本計算結果の妥当性は木造戸建住宅に対する熱負荷計算の結果<sup>5)</sup>と比較し妥当であることを確認した。

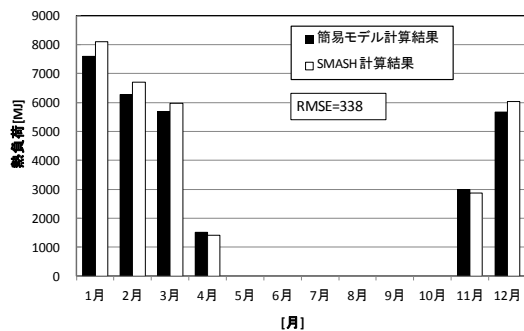


図 6 暖房期間の計算結果比較

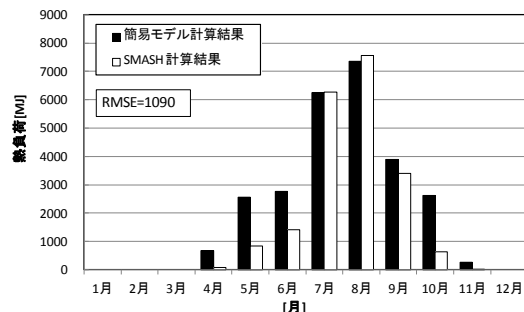


図 7 冷房期間の計算結果比較

## 6. 簡易モデルの補正 (冷房期間・排熱換気)

5 の結果から冷房期間の再現性を高めるた

めに排熱換気の影響を回帰分析をおこない、モデルに組み込む。排熱換気の内容は、「室内温度が 27°C 以上、外気温度が 25°C 以下の時に排熱換気を  $x$  回/h の回数で行う」とする。 $x=0,1,2...10$  として分析した。分析の結果、5-10 月では式(3)に示すように指数曲線で回帰式を求めた。各月の当てはまりは  $R^2=0.64\sim 0.97$  と妥当である。式(5)に示すように回帰式の切片  $A_i$  と換気回数 0 回での熱負荷の比を簡易推計熱負荷に乗じた値  $W'_{c,i,0}$  を式(3)の切片として[式(4)]換気回数を代入することで補正を行った。4,11 月は換気回数による変動が小さかったため式(6)に示すように 1-10 回/h での熱負荷の平均値と換気回数 0 回での熱負荷の比で補正を行った。結果を図 8 に示す。RMSE=298 と誤差の小さい再現ができた。

### ・5-10 月

$$y_i = A_i e^{B_i x_i} \quad \dots(3)$$

$$W'_{c,i,x} = W'_{c,i,0} \cdot e^{B_i x_i} \quad \dots(4)$$

$$W'_{c,i,0} = W_{c,i,0} \frac{A_i}{Y_{c,i,0}} \quad \dots(5)$$

### ・4-11 月

$$W'_{c,i} = \frac{Y_{c,i,0}}{\sum_{x=1}^{10} y_i(x_i)} \cdot W_{c,i,0} \quad \dots(6)$$

$y_i$ : 回帰式による  $i$  月の熱負荷 [J]

$x_i$ :  $i$  月の排熱換気回数 [回/h]

$A_i, B_i$ : 回帰分析で求めた  $i$  月の係数 [-]

$W_{c,i,0}$ :  $i$  月の簡易モデルの推計 熱負荷 [J]

$W'_{c,i,x}$ :  $i$  月の簡易モデルの補正 推計熱負荷 [J]

$Y_{c,i,0}$ :  $i$  月の換気回数 0 回/h の熱負荷 [J]

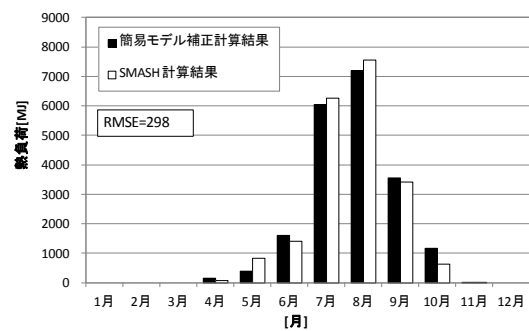


図 8 冷房期間の補正計算結果比較

## 7. 間欠部分空調への適用方法

在室時間・在室している部屋のみ空調を行う間欠部分空調への適用方法について述べる。

### 7.1 全館空調から部分空調への適用

全館空調負荷から空調対象  $i$  室の位置 (階数・方位) と空調面積から部分空調負荷を算出する係数  $k_i$  を求める。係数  $k_i$  は住宅を 1 階

2 階とに分け、さらに南向き、北向きの部屋に分けた 4 分割モデルを SMASH で再現して求めた。式(7)に係数 $k_i$ を、式(8)に係数 $k_i$ での全館空調から部分空調負荷への計算方法を示す。

$$k_i = \frac{S_{total}}{S_i} \times \frac{W_{S_i,24}}{W_{S_{total},24}} \quad \dots(7)$$

$$W_{E_{S_i},24} = W_{E_{S_{total},24}} \times \frac{S_i'}{S_{total}} \times k_i \quad \dots(8)$$

$S_{total}, S_i$ : 延床面積,  $i$ 室空調面積 [m<sup>2</sup>]

$W_{S_{total},24}, W_{S_i,24}$ : 全館空調負荷,  $i$ 室空調負荷 [J]

$W_{E_{S_{total},24}}, W_{E_{S_i},24}$ : 全館推計空調負荷,  $i$ 室推計空調負荷 [J]

## 7.2 24 時間空調から間欠空調への適用

24 時間空調負荷から間欠空調へは 1 日 24 時間のうち 1 時間単位で空調を利用している割合を算出し、24 時間空調負荷に乗じて計算する。

## 8. 簡易モデルを用いた実測空調負荷の評価

株式会社ミサワホームの HEMS(Home Energy Management System) “enecoco” で取得した電力消費量データを活用する。ミサワホームより、住宅の図面、断熱構造のわかる仕上表、1 時間単位の電力消費データを 1 年分いただいた。住宅の立地は兵庫県、延べ床面積は 117.6m<sup>3</sup>、居住者は 4 名、空調部分は 1F 北, 2F 南, 2F 北である。各部屋のエアコンの電力消費量から空調を利用している割合を算出した。図 9,10 に冷暖各期間の簡易モデルでの推計値と電力消費量から算出した空調負荷の比較結果を示す。エアコンの COP は冷房 3.6, 暖房 4.3 で計算した。

冷暖房両期間で実測値が推計結果より低かった。これは対象住宅で空調の省エネルギー化がなされていることを意味する。スケジュールは対象住宅のスケジュールを入力していることから、スケジュールによる省エネルギー化ではないと考えられる。エアコンの COP, 設定温度、もしくは図面からではわからない開口部のカーテンやすだれの設置による省エネルギー化だと考えられ、生活スタイルを除いた省エネアドバイスが行える。

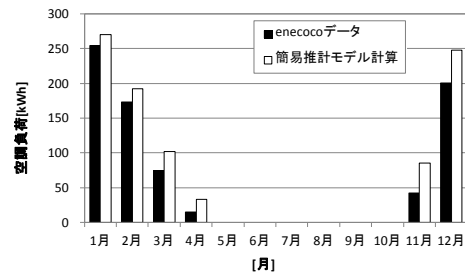


図 9 暖房期間の簡易モデル推計と実測値の比較

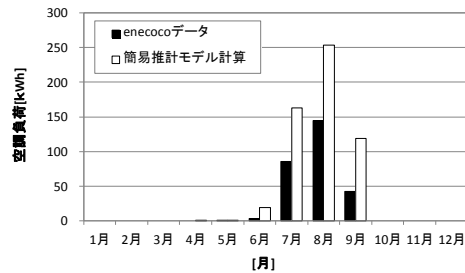


図 10 暖房期間の簡易モデル推計と実測値の比較

## 9. 結論

本研究では、住宅の断熱構造を考慮した空調熱負荷簡易推計モデルの構築を行った。既存の熱負荷推計モデルに対して、入力データを少なくし、24 時間全館空調で誤差の小さな推計をすることができた。また、24 時間全館空調モデルから係数を利用した間欠部分空調へ適用を行い、実測値の評価をした。

実測値の評価では対象住宅の空調スケジュールを利用することで空調使用時におけるエアコン設定温度や開口部の日射遮蔽などの省エネ努力・機器性能に対して省エネアドバイスをこなえることを示した。

### 参考文献

- 1) 環境省. 環境経済基礎情報, 地球温暖化/気候変動. 環境省 Web(2014)  
[http://www.env.go.jp/policy/keizai\\_portal/A\\_basic/a01.html](http://www.env.go.jp/policy/keizai_portal/A_basic/a01.html).
- 2) 吉原 昌子; 業務店舗における CO<sub>2</sub> 排出量ベースライン推計モデルの構築, 2011 年度東京大学修士論文, (2011)
- 3) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構. SMASH for Windows Ver.2 ユーザーマニュアル, (2000)
- 4) 宇田川光弘; 標準問題の提案 住宅用標準問題, 日本建築学会環境工学委員会,(1985)
- 5) 社団法人 空気調和・衛生工学会; 住宅における生活スケジュールとエネルギー消費, (2000)
- 6) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構; 住宅の省エネルギー基準の解説, 第 3 版, (2011)