

## 住宅の熱性能現場測定における測定不確かさ標準偏差の推定のための最適移動平均期間

正会員 ○井出 大輝\*<sup>1</sup>正会員 奥山 博康\*<sup>2</sup> 正会員 吉浦 温雅\*<sup>3</sup>熱性能測定 システム同定理論 正弦波発熱装置  
熱損失係数 不確かさ評価 移動平均期間

## はじめに

実態の住宅熱性能は施工や経年劣化の影響を受けるので現場測定法が重要である。しかし測定は、変動する外気温と日射量にさらされ、建物の熱容量も関係するので問題がある。そこで多数室モデルでの一般的システム同定理論<sup>[1]</sup>と単室モデルに特化した理論と表計算ソフトも展開された<sup>[2]</sup>。本研究では、正弦波形の電熱発熱の試作装置<sup>[2]</sup>を用い、実験用建物<sup>[2]</sup>で試験した。また信頼性評価には測定不確かさ標準偏差が必要である。これを推定するための平滑化曲線を得る移動平均の最適期間も検討した。

## 実験の概要

建物には熱容量があるので、電熱発熱は緩やかな変化が望ましく、また発熱の正弦波も長周期の方が適切な熱損失係数等が得られると考えられる。測定値は外気温、水平面全日射量、室温と電熱発熱量等である。室温と外気温は不適切な測定値を検出するため其々3点ずつ測った。また今回は、正弦波の周期は72時間、低周波濾波の期間は8時間、測定時間間隔は1分とした。そして幾つかの平滑化の移動平均期間を試した。

## 表計算プログラムの概要

開発された表計算プログラムに、温度、電熱発熱量と水平面全日射量等を与えれば、低周波濾波の数時間の移動平均を施した後に、最小二乗法により、総合熱損失係数  $c$  [W/K]、相当熱容量  $m$  [kJ/K]と日射熱取得係数  $r$  [m<sup>2</sup>]を推定し、決定係数 COD も計算する。さらに各々の推定パラメータの不確かさ標準偏差  $\sigma_c$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_r$  について、測定不確かさからの伝播によるこれらの標準偏差に対して、得られた常微分方程式の残差からの伝播による標準偏差の比をとり、測定前提の不適合率  $\beta$  も計算する。

## 実験結果と分析

各種測定値等の時間変化を図1、図2と図3に示す。測定期間は2017年11月22日13:00から26日05:00である。システム同定の主な結果を表1に示す。決定係数 COD は0.786であるが、システム同定の前提の不適合率  $\beta$  は1に近く、妥当性を示している。図3で、同定結果による予測モデルの計算室温は、測定室温を良くトレースしている。また同定パラメータ値は設計値にも近く昨年度までの値にも近い。なお試作制御装置と電力センサにより発熱量は滑らかな正弦波形を得ることが出来た。

表1 同定結果と信頼性評価指標

$m$ [kJ/K]	$c$ [W/K]	$r$ [m <sup>2</sup> ]	COD	$\beta$
216.1	49.79	0.418	0.78624	0.95857

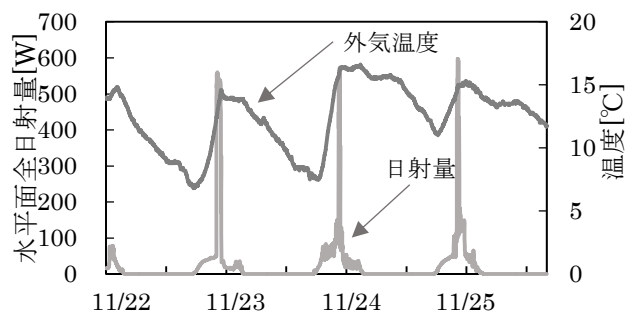


図1 水平面全日射量と外気温度

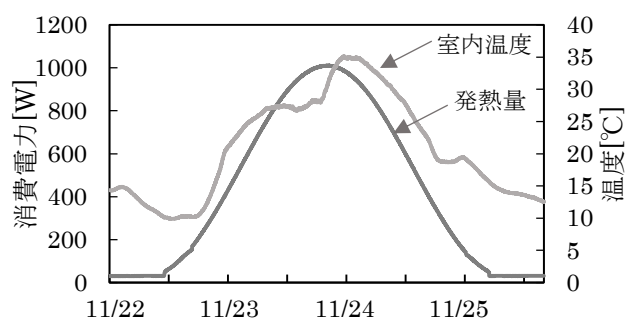


図2 電熱発熱量と室温の変化

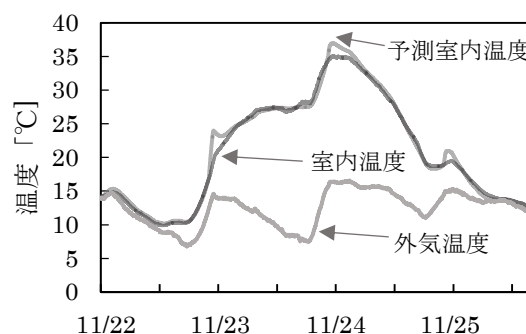


図3 予測された室内温度と外気温度と室内温度

## 測定不確かさ平滑化の移動平均期間の比較検討

測定不確かさ評価のために、測定時間間隔は1分としている。測定不確かさ標準偏差  $\sigma$  を求めるため、数分間の移動平均を施して得られる平滑化曲線と各測定点からの偏差を、測定期間で統計分析する。この  $\sigma$  を測定前提の不適

合率  $\beta$  の算出に用いる。この移動平均期間が短すぎると平滑化曲線は測定誤差変動に左右され、長すぎると有意な変化も均した曲線になる。そこで移動平均期間による平滑化曲線と測定点の関係を比較検討した。

#### 温度測定の測定不確かさ標準偏差

1分間隔の温度測定値に、1分から19分の時間の移動平均を施して得られた測定不確かさ標準偏差を図4に示す。ここに1分の移動平均とは2時点の平均である。図4により、移動平均時間が増えるに連れて変化の傾きが小さくなる傾向があり、19分以上では有意な変化が均されてしまう。この標準偏差  $\sigma$  の値は約0.025から0.045の間である。また移動平均時間が5分未満だと測定の誤差的な変動と同様な曲線になる。そこで移動平均時間が5分 ( $\sigma=0.035$ )、9分 ( $\sigma=0.04$ )、17分 ( $\sigma=0.045$ ) の曲線を、部分的時間で拡大し、測定値と比較して図5に示す。図5より5分の移動平均だと変動が大きく、17分の移動平均だと適切な誤差偏差ではなくなる。従って本件では9分の移動平均時間が最適と見なせる。

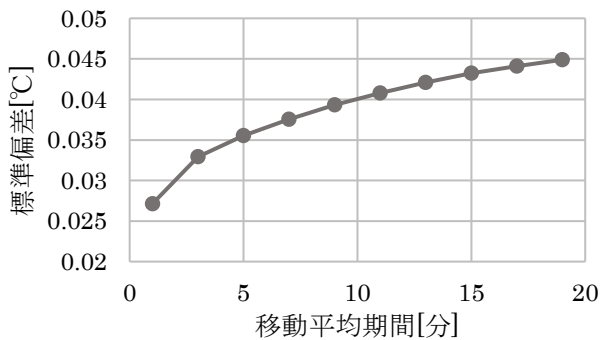
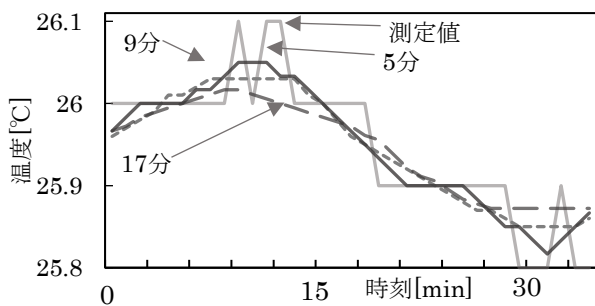


図4 移動平均時間による温度測定不確かさ標準偏差



(11月23日12時00分~12時34分 34分間)

図5 温度測定値と測定不確かさ平滑化曲線の比較

#### 日射量と電熱発熱量測定の測定不確かさ標準偏差

移動平均時間による日射量測定不確かさ標準偏差を図6に示す。日射量の移動平均時間は、雲の動き等による有意な変動を考えれば、長くても20分程度と思われる。よって移動平均時間が1分 ( $\sigma=10$ )、5分 ( $\sigma=15$ )、17分 ( $\sigma=20$ ) の平滑化曲線を測定値と比べて部分的時間を拡大し図7に

示す。この図により、1分の移動平均では誤差変動に左右され過ぎ、17分の移動平均では有意な変化が均されている。従って日射量測定は5分の移動平均が最適と言える。また電熱発熱量も日射量と同様に最適移動平均期間を求めると日射量と同じ5分となった。

以上、測定不確かさ平滑化曲線を得る最適な移動平均期間は、温度測定が9分、日射量と電熱発熱量測定が5分と見なせる。

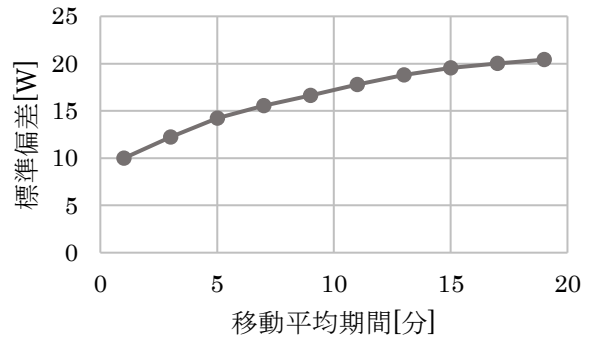
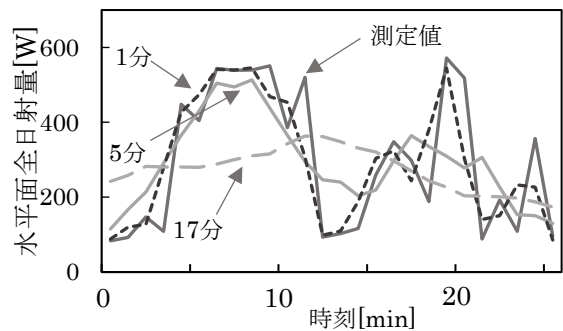


図6 移動平均時間による日射量測定不確かさ標準偏差



(11月24日11時21分~11時46分 25分間)

図7 日射量測定値と測定不確かさ平滑化曲線の比較

#### まとめ

正弦波電熱発熱制御装置を使って熱損失係数等の適切なシステム同定結果を得ることができた。また測定不確かさ標準偏差推定のための測定不確かさ平滑化曲線を得る最適移動平均期間について検討したところ、温度測定が9分で、発熱測定が5分となった。しかしグラフによる見かけの比較検討だけでは数量的客観性に欠けるため、新たな評価方法の検討が必要と考えられる。

#### 【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP16K06623 の助成を受けた。

#### ＜参考文献＞

- [1] H. Okuyama, Y. Ohnishi, System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, Building and Environment, Vol54, 2012, pp39-52.
- [2] 奥山,吉浦,菅野,住宅の熱・換気性能現場測定法の理論と可能性実験,空気調・衛生工学会大会学術講演論文集,2015年9月,A-62,pp49-52

\*1 神奈川大学大学院工学研究科・博士前期課程  
 \*2 神奈川大学・大学院・教授・工学  
 \*3 神奈川大学・特別助教・博士 (工学)

\*1 Graduate School of Engineering, Kanagawa University  
 \*2 Professor, Dr. Eng., Kanagawa University  
 \*3 Assistant Professor, Dr. Eng., Kanagawa University