

熱・換気性能現場測定法の小規模建物での可能性実験

正会員 ○奥山博康*¹
会員外 菅野康介*²最小二乗法 測定不確かさ平滑化曲線 正弦波励振
低周波濾波法 炭酸ガス発生法 信頼性評価法

1. はじめに

変動する外気温と日射量に曝された住宅等の実態の熱・換気性能の把握には動的測定法が必要となる。また従来の測定法では、有効熱容量と有効混合容積の推定法および信頼性と不確かさ評価方法も不十分である。これに対し多数室モデルでの一般的システム同定理論^[1]を考案しているが、まずは単室モデルから実験的な検証を行うため、単室モデルで簡便に同定する理論^{[2][3]}と表計算ソフトも開発した。また熱と換気のシステム同定の正弦波励振発生装置も試作した。本研究ではこれらの装置、ソフトと低周波濾波の移動平均長さ等を小規模建物での実験により検討した。

2. システム同定の表計算シートの概要

単室モデルの室温変化もトレーサガス濃度変化も熱回路網の常微分方程式モデルで表される。システム同定されるパラメータは、伝熱系では総合熱損失係数 c_t [W/K]、有効熱容量 m_t [kJ/K]と日射熱取得係数 r_t [m²]であり、換気系では換気量 c_v [m³/h]と有効混合容積 m_v [m³]である。測定値として、伝熱系では温度、電熱発熱量と水平面全日射量、換気系ではガス濃度とガス発生量の数分間隔の時系列値を表計算に与え、低周波濾波のため任意の時間の移動平均を施した後に、最小二乗法により、前述の5種のシステムパラメータ推定を行い、得られた常微分方程式での残差を利用して、其々のパラメータの不確かさ標準偏差 σ_{c_t} , σ_{m_t} , σ_{r_t} , σ_{c_v} , σ_{m_v} を求め、決定係数 COD と同定前提の不適合率 β ^[2]も求める。なお移動平均の時間を伝熱系では T_{m_t} [h]、換気系では T_{m_v} [min]と表す。

3. 実験の概要

横浜キャンパス内に設置した測定対象とするプレファブ建物の仕様とシステム同定モデルを図1に示す。温度とガス濃度等の超小型データロガーと励振発生装置の配置を図2に示す。

3.1 熱性能測定法の実験 同定期間は2014年12月5日14:49～12月10日03:55まで、同定間隔 $\Delta t=1$ [min]とした。電熱器の加熱はPulse Width Modulation制御による装置を試作し、周期72[h]、休止期間0[h]、最大1014[W]を2回繰返す正弦波で行い、室温湿度、外気温湿度、水平面全日射量、室内電力消費量を測定した。電力消費量は他の電気機器も含めパルス出力電力センサで計測し、記録は他の測定量についても主に超小型データロガーを用いた。

3.2 換気性能測定法の実験 本測定法ではアルコール燃焼でトレーサの炭酸ガスを発生する。アルコール流量の正弦波の制御は、シリンジポンプをPC制御により行う試作装置を用いた。燃焼皿の中央部からニードルを約6[mm]突出し円錐状に岩綿を被せアルコールを浸潤させることで炎の大きさはアルコール流量[m³/min]に応じ自然に変化するようにした。この流量による炭酸ガス発生量 [l/min]は燃焼の化学反応式より0.59[l/m³]とした。今回は正弦波2

山を作り、その後の減衰期間も考慮する程度の測定期間とし、同定期間は12月3日15:42～12月4日04:00まで時間間隔 $\Delta t=1$ [min]とした。この間の内外温度差は平均5[°C]程度だった。アルコール流量の正弦波の周期は30[min]、最小流量0.135[m³/min]の休止期間は60[min]、最大流量は1.5[m³/min]を試した。なお室内と外気の炭酸ガス濃度は超小型データロガーで測定した。

3.3 測定値の分析法 方法は概ね既報^{[2][3]}と同様とした。ただし測定不確かさ標準偏差^[2] σ_x , σ_g , σ_h は測器の±X[%]等から定める方法は実際的ではないので、短い測定間隔(本件では1分間)の時系列で顕在化するギザギザを滑らかにする最小時間として、熱測定では9分間(10個の偶数測定値)で、換気測定では5分間(6個の測定値)の移動平均を施して得られる変化曲線を測定不確かさ平滑化曲線と名付け、元の測定値との偏差を測定期間で統計分析し測定不確かさ標準偏差とした。そして平滑化曲線値を元の測定値と見なして同定と不確かさ評価を行った。一方粗いモデルの同定に必要な低周波濾波を目的とした移動平均期間 T_m は数十分から数時間と比較的に長くした。なお移動平均処理を加えた測定値の使用可能期間は元の両端から $T_m/2$ ずつ狭まることに留意した。

3.4 結果と考察 熱性能測定の結果については表1に示す。低周波濾波である移動平均の時間を長くするに伴い決定係数は小さくなるが、日射熱取得係数以外は、あまり大きく変化しない。同定前提の不適合率 β が8時間で最小となるので、本件での最適時間と考えられる。換気測定については表2に示す。移動平均期間を長くする程に決定係数が小さくなるが、不適合率 β は90分で最小で最適推定値を与えると思われる。様々な移動平均期間によるガス発生曲線を図3に示す。2山の形状特徴は移動平均期間が90分で、なだらかな1山になる。設計上の総合熱損失係数と幾何的室容積は図1の中に記すが、これらに近い同定結果である。また最適同定されたパラメータで予測計算モデルを作りシミュレーションを行い、室温と室ガス濃度の予測値と実測値の比較を図4と図7に示す。これらの予測値は実験値を良好にトレースしている。ただしアルコール燃焼による炭酸ガスの正弦波発生装置は、実用機に向けてさらに精度と経済性の改良と検証が必要と思われる。

4. まとめ

正弦波の励振発生装置の試作装置とシステム同定の表計算プログラムを試した結果、総合熱損失係数等は設計値等に近い妥当な同定結果が得られた。また実際的な測定不確かさ標準偏差の決定法も考案し試した。さらに最適移動平均時間は前提の不適合率 β で決定できることも確かめた。

[謝辞] 日本工業検査の益子智久氏には表計算修正と分析で、深井一夫先生には測定機器等の助言で、御世話になりました。

＜参考文献＞

- [1] Hiroyasu Okuyama, et al. System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, Building and Environment, vol.54, 2012, pp39-52
- [2] Hiroyasu Okuyama, et al. Uncertainty analysis and optimum concentration decay term for air exchange rate measurements: Estimation methods for effective volume and infiltration rate, Building and Environment, vol. 49, 2012, pp182-192.
- [3] 奥山博康, 単室建物モデルの熱性能現場測定法, 日本建築学会大会梗概集, 環境工学 II, pp23-24, 2013年8月

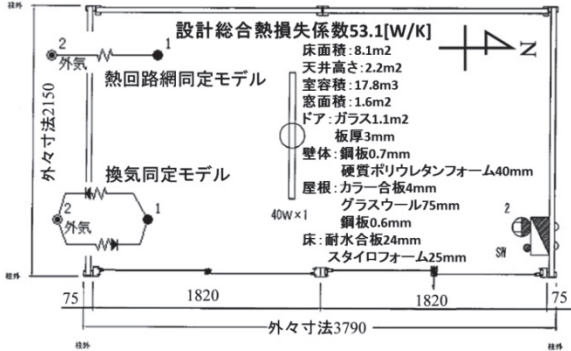


図1 実験建物平面図と同定モデル

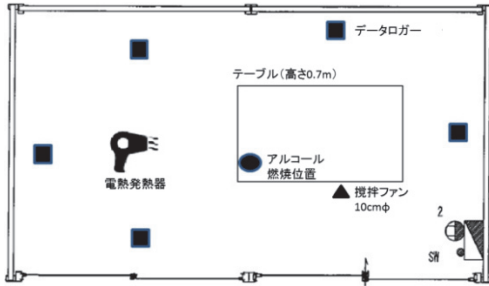


図2 室内の測定機器

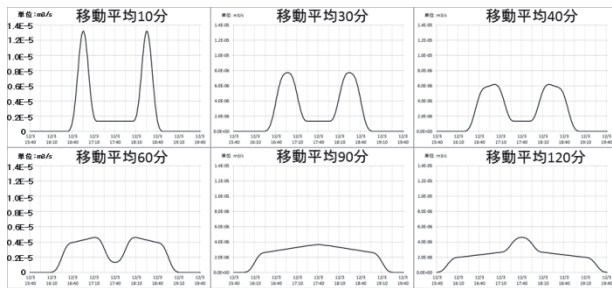


図3 移動平均別のガス発生量形状

表1 熱性能測定法実験の同定結果

Tmt [h]	mt [kJ/K]	ct [W/K]	rt [m²]	COD	σmt	σct	σrt	β
0	188.3	55.9	0.88	0.987	2.30	0.043	0.036	0.2041
1	229.9	56.2	1.24	0.987	2.36	0.044	0.037	0.1713
2	240.6	56.2	1.33	0.986	2.39	0.044	0.037	0.1660
8	265.6	56.6	1.80	0.985	2.51	0.046	0.039	0.1577
16	264.9	56.8	2.23	0.984	2.58	0.048	0.040	0.1627
24	204.8	57.9	3.92	0.970	3.56	0.066	0.055	0.2898

表2 換気性能測定法実験の同定結果

Tmv [min]	mv [m³]	cv [m³/h]	COD	σmv	σcv	β
0	14.8	6.78	0.907	0.18	0.19	0.4347
10	15.1	6.86	0.907	0.18	0.19	0.4275
30	15.5	7.09	0.905	0.18	0.20	0.4201
60	16.1	7.26	0.900	0.19	0.20	0.4154
90	16.7	7.31	0.893	0.19	0.21	0.4152
120	16.8	7.29	0.892	0.19	0.21	0.4154

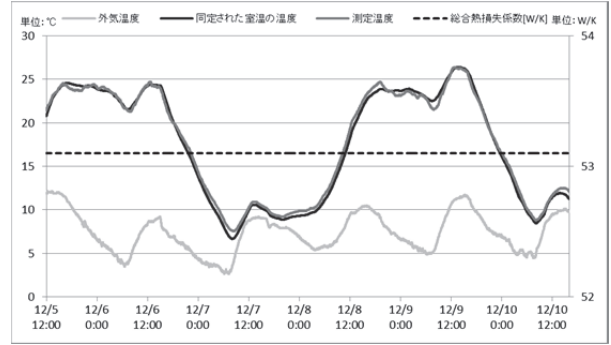


図4 内外気温変化の実験値と予測値の比較

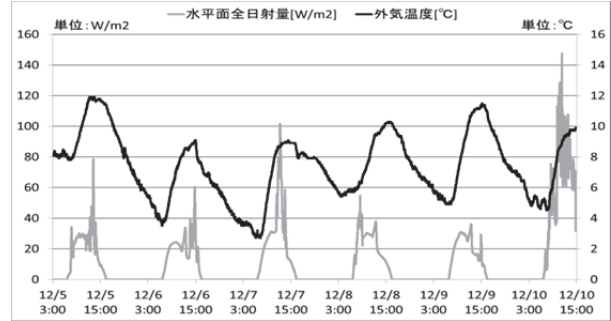


図5 水平面全日射量と外気温

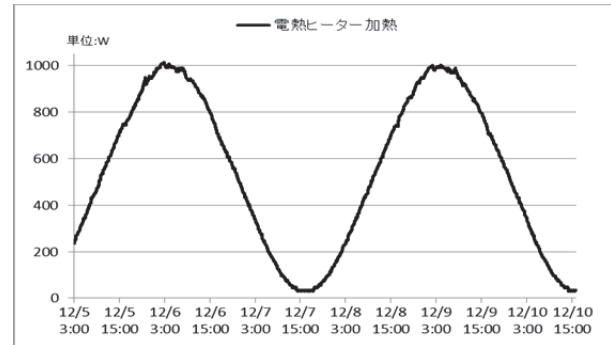


図6 電熱ヒータの加熱

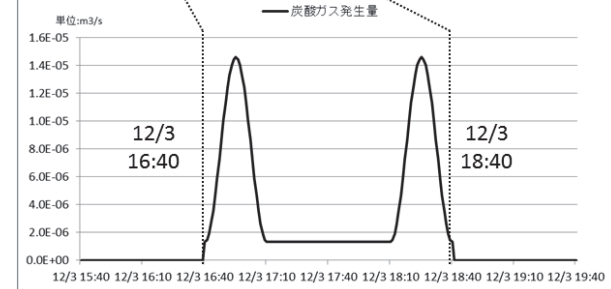
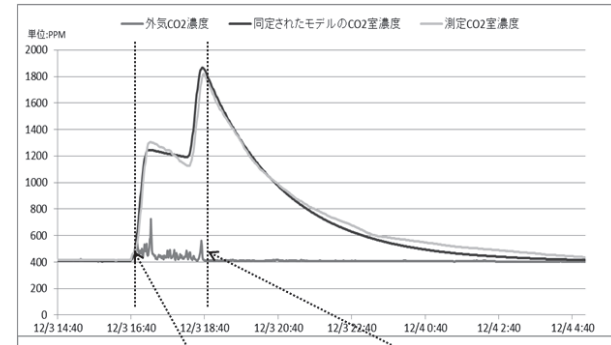


図7 ガス濃度変化の予測値と実験値およびガス発生量

*1 神奈川大学・教授・工博

*2 高砂熱学工業株式会社 (卒業研究当時 神奈川大学)

*1 Professor, Dr. Eng., Kanagawa University

*2 Takasago Thermal Engineering Co.,LTD.