

## 多数室建物の熱・換気性能現場測定システムの動作確認実験 その1 熱性能測定

正会員 ○吉浦温雅\*<sup>1</sup> 正会員 奥山博康\*<sup>2</sup>  
 正会員 井出大輝\*<sup>3</sup>

熱回路網 システム同定 最小二乗法  
 間欠的正弦波形励振 現場測定法 動作確認実験

## 1. はじめに

建物の熱損失係数等の性能は、施工や経年劣化により設計とは異なる場合もあるので、実際の熱性能を現場測定する技術が必要になる。しかし変動する外気温と日射量と躯体熱容量等の影響により、熱性能推定は難しい。そこで1984年に、多数室系の一般的なシステム同定理論<sup>[1]</sup>が公開され、2012年には改良理論<sup>[2]</sup>が公開されている。2016年頃には単室用に特化した励振の発熱装置と測定値分析の表計算ソフトが研究開発<sup>[3]</sup>されていたが、2018年度には2012年の多数室理論<sup>[2]</sup>をさらに改良した理論を組み込んだ表計算ソフトが開発された。そして多数室で断続的正弦波の励振発熱を与えるシステムも試作された。そこで本論では、某集合住宅において2018年末に実施した本試作システムの動作確認実験について述べる。

## 2. システム同定の表計算プログラム SPIDS

多数室の室温変化は熱回路網の連立常微分方程式モデルで表される。システム同定される係数は、一般化熱コンダクタンス  $c_{ij}$  [W/K]、相当熱容量  $m_{ij}$  [kJ/K]と日射熱取得係数等の  $r_{ij}$  [ $m^2$ ]である。ここに  $r_{ij}$ は発熱源  $g_j$ から節点  $i$ への入力係数を表す。システム同定理論<sup>[2]</sup>の FORTRAN プログラム SPID は表計算 SPIDS(末尾の S は Spreadsheet を表わす)の中に組み込まれている。低周波濾波と測定不確かさ推定は表計算側で行われる。また推定係数の時間変化も追える移動一括同定<sup>[4]</sup>は任意の時間間隔で行える。また決定係数を求め、さらに得られた常微分方程式の残差を利用して、其々の係数の不確かさ標準偏差  $\sigma_c$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_r$  を求め、測定前提の不適合率<sup>[2]</sup> $\beta$ も計算する。

## 3. 電熱発熱制御・測定システム

本装置システムの概要図は図1に示す。最大10室に対応し、各室に約1kWの電熱ヒータ(a)と電力センサ(b)と温・湿度測定器(c)を置く。これらの制御と測定は箱(d)と(e)を介し無線(f)でPC(g)制御する。外気温(h)と水平面全日射量(i)の測定も行う。電熱発熱は正弦波形の谷から谷までを断続的に繰り返す。室間と内外温度差および時間変化も大きくなる様に、合計消費電力は許容値を超えない様に発熱を行う。なお攪拌ファン(j)は常時使用した。計算機による模擬の実験<sup>[2]</sup>から、発熱周期は4日が、低周波濾波の移動平均期間は8時間が最適としている。また測定不

確かさ平滑化の移動平均期間は、測定時間間隔が1分として、偶数の測定点になる9分を最適としている。

## 4. 実験と結果

横浜市某集合住宅で本測定システムを試した。機械換気は全て停止して測定した。本同定モデルは、図2の様に、外気を含め全7ゾーンとして測定した。リビングは2台の発熱装置を同時並行で使用し、トイレのドアは開放して廊下と一体化した。今回は動作確認実験なので、期間短縮のため、発熱周期は2日(48時間)にして、2018年11月14日18:10から18日18:10まで測定した。幾つかの室での電熱発熱量と室温の変化を図3と4に示す。これらの測定値を SPIDS に与えシステム同定した。推定された相当熱容量と一般化熱コンダクタンスも図2に示す。日射取得係数は水平面全日射量を  $g_T$ として、 $r_{1,7} = 4.925$ ,  $r_{6,7} = 2.614$ , 不適合率  $\beta = 1.46$ , 決定係数  $COD = 0.957$ , 総合的な熱損失係数は  $2.156W/Km^2$ となった。発熱量と室温の変化形状も妥当な因果関係を示して、試作した発熱制御と測定機器の正常動作が確認できた。

## 5. 同定された係数による予測室温と測定室温との比較

システム同定で得られた相当熱容量及び熱コンダクタンスにより熱回路網モデルを作り、予測計算プログラム NETS で室温計算を行い、測定された室温変化と比較した。その結果を図5、図6に示す。実測室温を予測モデルでの初期室温に用いたが、最初の十数時間程は実測値を下回る現象が全ての室で見られた。その後は実測室温と予測室温が概ね近い値となった。本来は必要な上下階と左右の隣接住戸の室温測定ができず、適切なシステム同定を行える条件は満たされていなかった。既往の研究では戸建て住戸が殆どで集合住宅での実施例は少ない。隣住戸との隔壁の内表面の測定値が利用できるかは今後の検討課題である。また推定された相当熱容量は、躯体の熱容量を含むと考えると小さめであり、もし大きければ、その初期の室温低下は改善されるかもしれない。また住戸内の隣室間の室温変化の差は大きい方が良いが、測定期間の短縮のため、離れた室間では同時並行的な加熱も可能であると考えた。しかし多数室換気測定法の実績からは、同時複数室への加励振は未検討であり、熱性能測定でも研究課題と思われる。

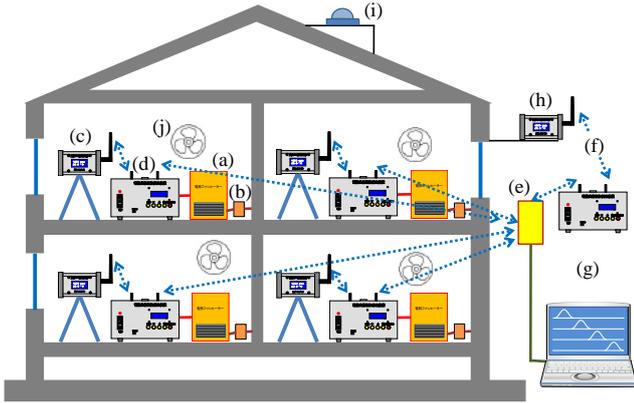


図1 多数室建物の熱性能現場測定システムの概要

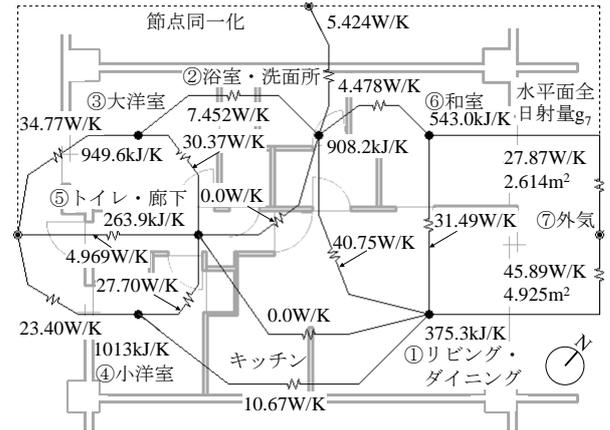


図2 測定の3LDK床面積約66m<sup>2</sup>の住戸と同定結果

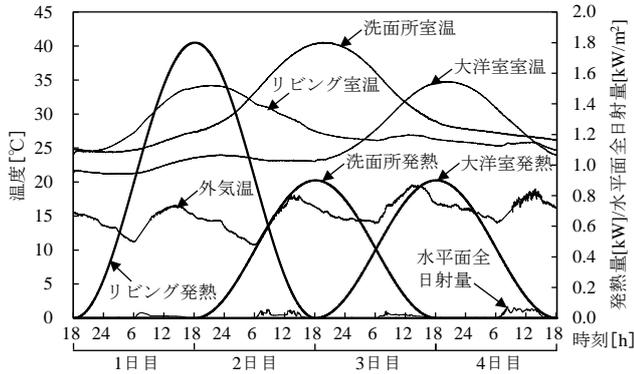


図3 発熱量と室温の変化(リビング,洗面所,大洋室)

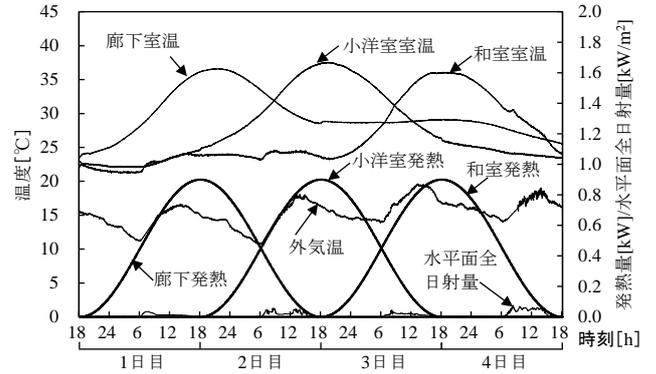


図4 発熱量と室温の変化(小洋室,廊下,和室)

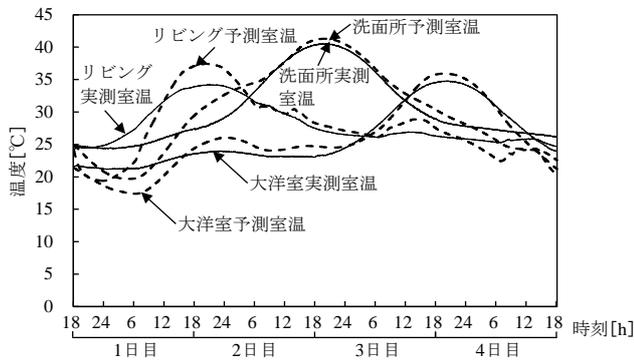


図5 実測と予測室温比較(リビング,洗面所,大洋室)

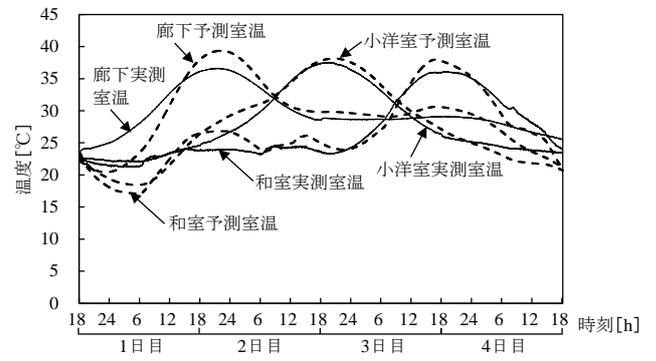


図6 実測と予測室温比較(小洋室,廊下,和室)

## 6. おわりに

試作装置とソフトの正常動作の確認はできた。今後は戸建て住宅での長い期間での実験が必要である。集合住宅については、隣住戸の室温等の仮定方法等の工夫が実際には必要となるであろう。

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP16K06623 の助成を受けました。また石橋佳大の卒業研究の貢献がありました。

### 【参考文献】

[1] 奥山博康,一般拡散システムの回路網による状態方程式

とそのシステムパラメーターの同定理論, 日本建築学会論文報告集, Vol1.344, 1984年10月, pp103-115

[2] Hiroyasu Okuyama et al. System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, Building and Environment, Vol54, 2012, pp39-52.

[3] 奥山,吉浦,中島,住宅の伝熱と換気と気密性の現場測定法の理論と実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, E-9, 2016年, pp113-116

[4] 奥山,吉浦,移動一括最小二乗法による換気量の時間変化の測定法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 41409, 2017, pp875-876

\*1 神奈川大学・特別助教・博士 (工学)

\*2 神奈川大学・教授・工博

\*3 神奈川大学大学院工学研究科・博士前期課程

\*1 Assistant Professor, Dr. Eng., Kanagawa University

\*2 Professor, Dr. Eng., Kanagawa University

\*3 Graduate School of Engineering, Kanagawa University