

## 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 集合住宅における熱性能測定

## Experiment for Operational Confirmation of an On-Site Ventilation and Thermal Performance Measurement System for Multi-Zone Buildings

### Part 1: Thermal Performance Measurement in an Apartment House

正会員 ○吉浦 温雅 (神奈川大学) 技術フェロー 奥山 博康 (神奈川大学)

学生会員 井出 大輝 (神奈川大学)

Atsumasa YOSHIURA\*<sup>1</sup> Hiroyasu OKUYAMA\*<sup>1</sup> Daiki IDE\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Kanagawa University

**Synopsis:** This paper describes the results of an experiment for operational confirmation of an on-site thermal performance measurement system for multi-zone buildings. In this measurement system, an approximately 1 kW electric heater, a power sensor, and temperature and humidity measuring device are set up in each room and are wirelessly controlled by a PC for up to 10 rooms. The power consumption and change curve of room temperature in all 6 rooms evaluated showed a reasonable causal relationship. According to the spreadsheet program SPIDS, the results of system identification given these measured values showed relatively good estimation results with an overall heat loss coefficient of 2.156 W/(K m<sup>2</sup>) per unit floor area. Therefore, normal operation of this prototype device and software is confirmed for thermal performance measurement.

#### 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]と日射取得係数等の  $r_{ij}$  [m<sup>2</sup>]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は表計算プログラム SPIDS (System Parameter Identification Spreadsheet)の中から実行する様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。

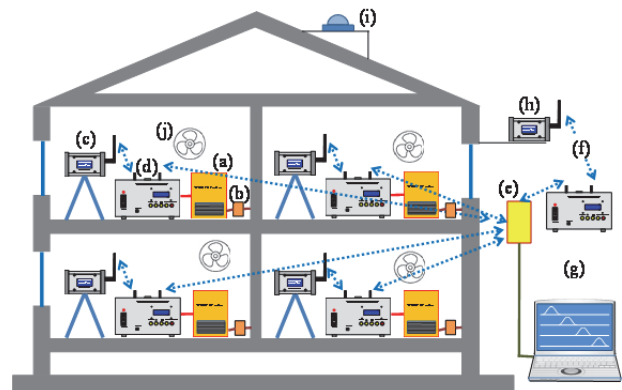


図-1 多数室建物の熱性能現場測定システムの概要

#### 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。図2に電熱発熱制御装置、図3に電熱ヒータと攪拌サーキュレーター、図4に電熱発熱制御・測定のパソコン、図5に温・湿度センサーを示す。計算機による模擬的実験<sup>2)</sup>から、発熱周期は4日が、低周波濾波の移動平均期



図-2 電熱発熱制御装置



図-3 電熱ヒータと攪拌サーキュレータ



図-4 電熱発熱制御・測定のパソコン



図-5 温・湿度センサー



図-6 測定住戸の南側の玄関付近

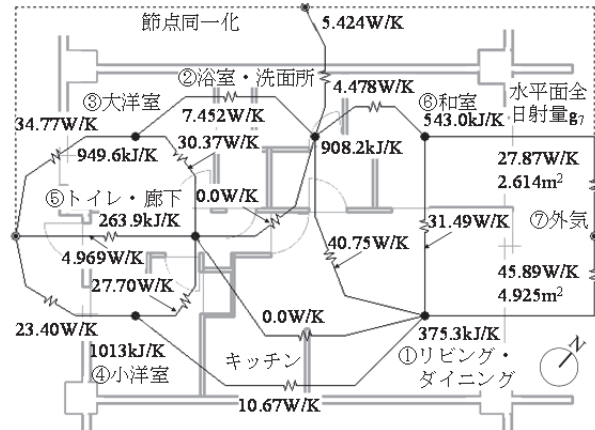


図-7 測定の3LDK 床面積約66m<sup>2</sup>の住戸と同定結果

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

横浜市の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7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8~13に示す。

これらの測定値を SPIDS に与えシステム同定した。表1~3に同定結果と信頼性評価指標の計算結果を示す。推定された相当熱容量と一般化熱コンダクタンスも図7に示す。各室での電熱発熱量は $g_1$ から $g_6$ なので、日射取得係数は水平面全日射量を $g_7$ として、リビング①の日射取得係数は $r_{1,7} = 4.925$ 、和室のそれは $r_{6,7} = 2.614$ となった。ここに小・大洋室は隣棟により殆ど日射は当たらない。また不適合率 $\beta = 1.46$ 、決定係数 $COD = 0.957$ 、単位床面積当りの総合的な熱損失係数は $2.156 \text{ W/Km}^2$ 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

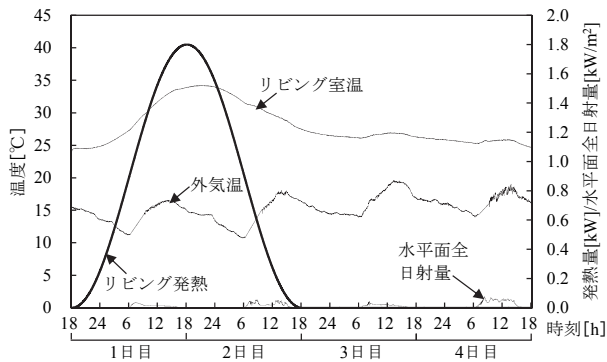


図-8 発熱量と室温の変化(リビング)

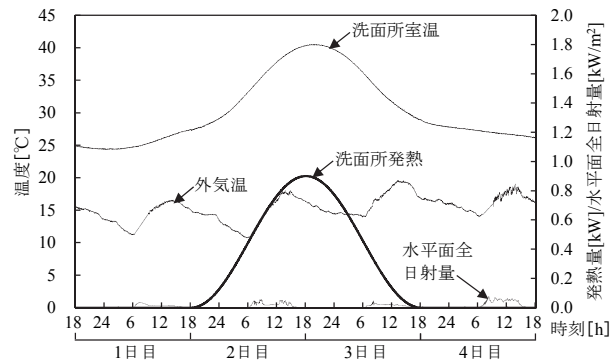


図-9 発熱量と室温の変化(洗面所)

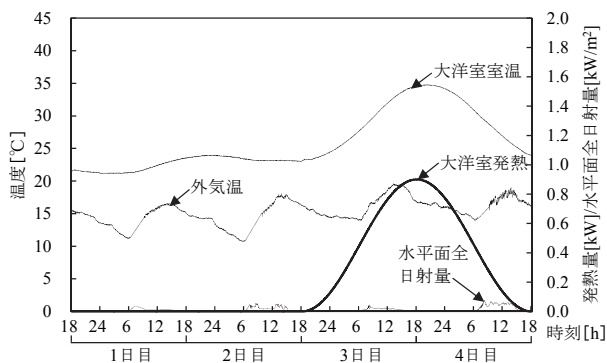


図-10 発熱量と室温の変化(大洋室)

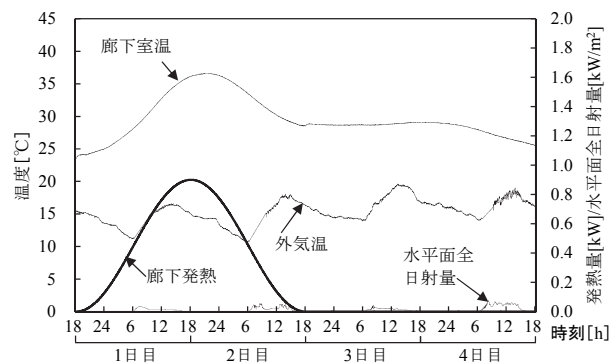


図-11 発熱量と室温の変化(廊下)

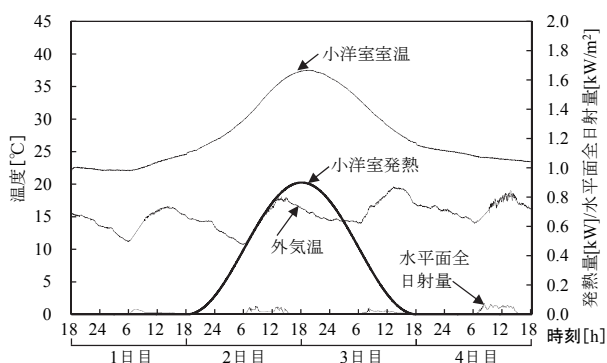


図-12 発熱量と室温の変化(小洋室)

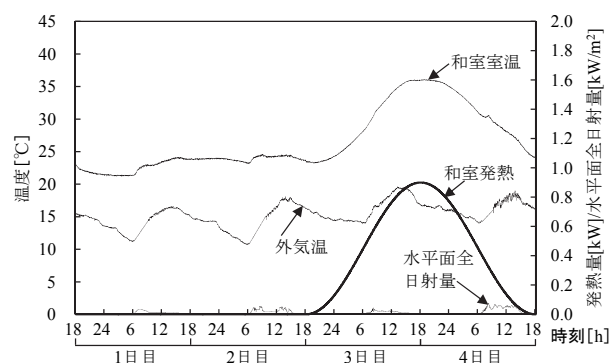


図-13 発熱量と室温の変化(和室)

表-1 相当熱容量  $m$ [kJ/K]の同定結果

$m(1,1)$	$m(2,2)$	$m(3,3)$
375.3	908.2	949.6
$m(4,4)$	$m(5,5)$	$m(6,6)$
1013	263.9	543.0

表-3 日射取得係数  $r$ [m²]の同定結果と信頼性評価

$r(1,7)$	$r(6,7)$	$\beta$	COD
4.925	2.614	1.460	0.957

表-2 熱コンダクタンス  $c$ [W/K]の同定結果

$c(1,2)$	$c(1,4)$	$c(1,5)$	$c(1,6)$	$c(1,7)$
40.75	10.67	0.0	31.49	45.89
$c(2,3)$	$c(2,5)$	$c(2,6)$	$c(2,7)$	$c(3,5)$
7.452	0.0	4.478	5.424	30.37
$c(3,7)$	$c(4,5)$	$c(4,7)$	$c(5,7)$	$c(6,7)$
34.77	27.70	23.40	4.969	27.87

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 14~19 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い。既往の類似の測定法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。隣住戸の室温の測定は実際上は難しいので、



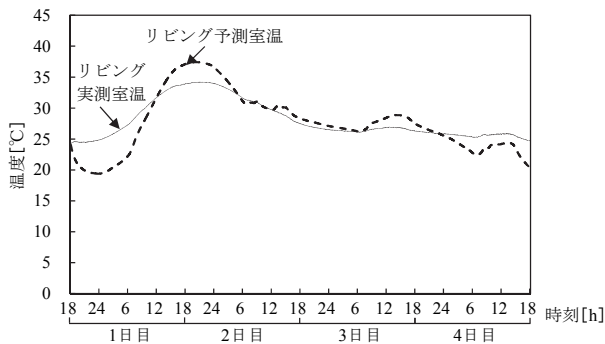


図-14 実測と予測室温比較(リビング)

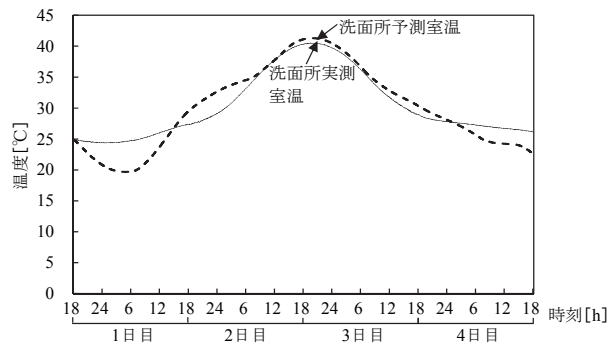


図-15 実測と予測室温比較(洗面所)

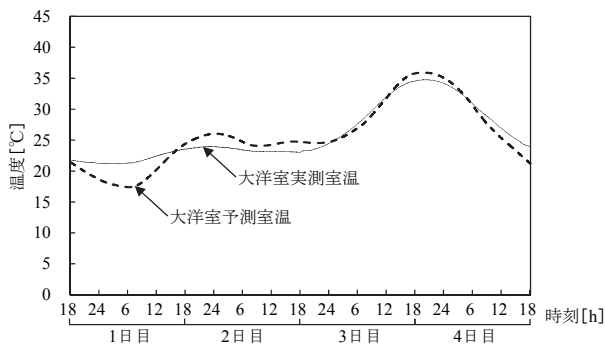


図-16 実測と予測室温比較(大洋室)

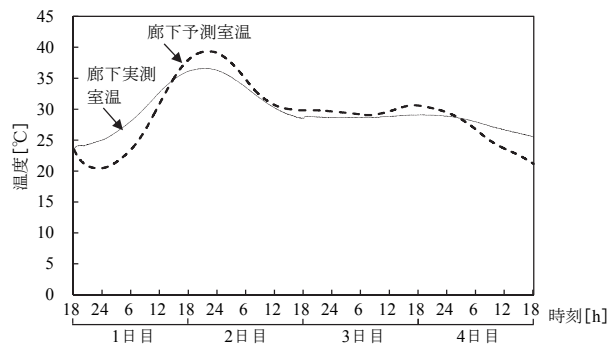


図-17 実測と予測室温比較(廊下)

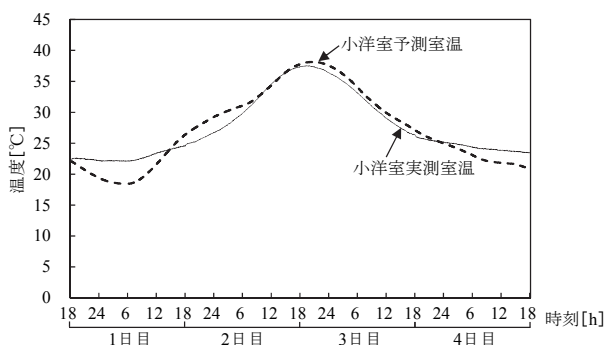


図-18 実測と予測室温比較(小洋室)

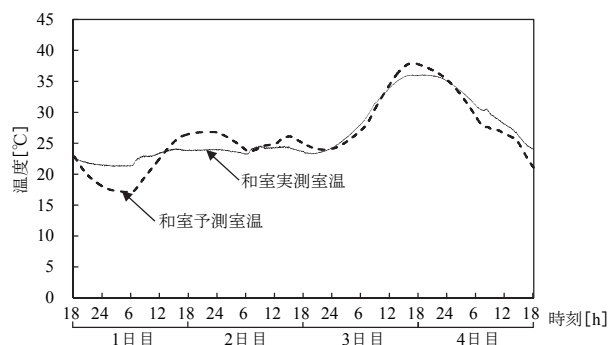


図-19 実測と予測室温比較(和室)

隔壁の内表面の測定値が利用できるか等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、もし大きく推定されていれば、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。さらに本住戸のベランダ側は北向きで日射の影響が少なく、南側も別棟の日陰で日射が当たらない。推定される日射取得係数の妥当性検討も含め、戸建て住宅での実験が必要である。

## 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。今回は短い測定期間だったことと隣接住戸の扱いの問題があり、システム同定結果の十分な妥当性検討にはならなかった。従って今後は戸建て住宅での長い期間での実験が必要で

ある。ただし集合住宅の熱性能測定の必要性もあるので、集合住宅については、隣接住戸との境界壁の内表面温度を測定して用いる等の方法も試してみたい。

## 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の同定理論, 日本建築学会論文報告集, Vol.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