

## 給排気換気設備を持つ住宅での多数室換気測定法の実験

正会員 ○藤崎詩織\*<sup>1</sup> 正会員 奥山博康\*<sup>2</sup> 正会員 吉浦温雅\*<sup>3</sup>多数室換気測定      ガス流動回路網      システム同定  
最小二乗法          低周波濾波          機械給排気換気

## 1. はじめに

トレーサーガスを用いた換気と隙間風の現場測定法は単室扱いが実用されている。しかし実態は多数室系であり、室間の風量と各室の有効混合容積の把握も重要である。このためのシステム同定理論<sup>1)</sup>が提案されている。また断続的な正弦波形の炭酸ガスを与え、各室のガス濃度変化を測定し、これらの励振と応答の測定値に最小二乗法を適用して、各室と外気及び室間の相互風量だけではなく、各室の有効混合容積も推定する測定システム<sup>2)</sup>も試作された。この度、ダクトによる分流と合流と熱回収装置も持つ特殊な機械換気システムでの測定の実験をする機会を得たので概要を報告する。

## 2. システム同定理論の表計算プログラム SPIDS

本理論の基礎モデルは熱回路網から始まったが、ガス流動を含めた一般的な拡散系のシステムパラメータを同様な記号で表している。室を節点番号で表し、 $j$ 室から $i$ 室への風量を $c_{ij}$ とし、逆方向は $c_{ji}$ とする。また $j$ 室の有効混合容積を $m_{j,i}$ と表す。最小二乗法により、これら二種類のシステムパラメータ推定を行い、決定係数 COD, 前提の不適合率  $\beta$ , 同定パラメータの不確かさ標準偏差  $\sigma$  等を求める。

## 3. 住宅と換気システムの概要

測定した住宅は大阪府四条畷市にある木造の外断熱 2 階建て延床面積約 106m<sup>2</sup>, 2 階軒高 6.35m, 屋根最高 7.26m, 主な室の天井高 2.4m である。換気システムは第一種で、地面高さ付近からの取入外気は 1 階の床下空間を加圧して給気され、1 階の各室の床の給気口から吹出される。一方排気は、二階やトイレ等の床面の排気口からフレキシブルダクトを経由して 1 階床下にある合流箱に集められて、1 階床下にある熱交換・回収装置を経由して排気される。浴室には局所排気がある。

## 4. 測定の概要

システム同定モデル上の室分けをした。リビング①, 和室②, 洗面所と浴室③, 1 階トイレ④, 洋室⑤, 廊下⑥, 大洋室⑦, 2 階トイレ⑧の 8 室からなり、外気も一種の室と見なして、全部で 9 室とした。ガス供給量は正弦波で、一山の周期は全室が同じ 10 分とし、各室 8 回ずつ供給を行った。測定値は 1 分間隔の、室内濃度、外気濃度、ガス供給流量等である。換気量を何通りか変えて、数日間、数回測定したが、本論で紹介するのは、最大機械換気量の場合で、測定期間は、2020 年 9 月 16 日 18 時 17 分から 9 月 17 日 8 時 4 分までの 13 時間 47 分である。外気温と日射量と各室温等も測定したが、期間平均で外気温は 26.2°C, また主な室は冷房していたが、平均 23.8°C 程度であった。

## 5. システム同定処理

前述の SPIDS と連続的測定値を用いて、室間や外気との風量と各室の有効混合容積を推定した。これまでの実施例は、隣接する室間の風量推定だけでよかったが、今回はその様な風量個数が 30 個だけでなく、室間の風量で完全連結した 72 個の検討になった。同定結果の妥当性確認のため、決定係数 COD と前提の不適合率  $\beta$  等の検討と、推定された風量を用いて NETS のガス流動回路網を作り、各室の濃度変化の予測計算を行い、測定濃度変化と一致度の比較も行った。 $\beta$  は正常であれば 1 に近く、前提や仮定の不適合性を表す。

## 5.1 風量 30 個の同定モデルの場合

表 1 に低周波濾波の移動平均時間が 1 分から 5 分其々の決定係数と不適合率  $\beta$  を示す。5 分の場合が比較的によい。表 2 に移動平均 5 分の場合の有効混合容積を示す。図 1 に、この 5 分の場合に推定された風量分布図を示す。これにより作った NETS モデルの予測濃度は、図 2 の様にリビング①は測定濃度にほぼ一致したが、2 階のトイレ⑧は、図 3 の様に隣室⑥の影響が見られず、予測と測定の違いが大きかった。ガス供給の流量は右軸 (L/min) に表す。

表 1 風量 30 個の決定係数 COD と前提の不適合率  $\beta$ 

低周波濾波の移動平均期間	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
決定係数 COD	0.86	0.90	0.93	0.94	0.95
前提の不適合率 $\beta$	1.52	1.59	0.87	1.03	2.24

表 2 移動平均 5 分の有効混合容積 [m<sup>3</sup>]

$m_{1,1}$	$m_{2,2}$	$m_{3,3}$	$m_{4,4}$	$m_{5,5}$	$m_{6,6}$	$m_{7,7}$	$m_{8,8}$
92.6	12.4	21.7	2.61	32.2	33.0	34.8	4.16

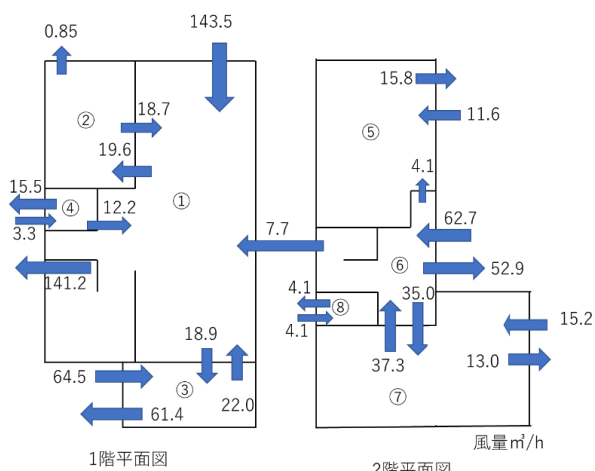


図 1 風量 30 個のシステム同定結果

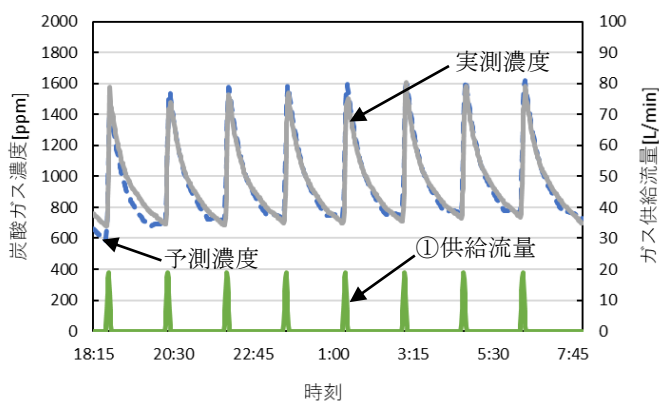


図2 同定風量 30 個の リビング①の濃度変化の比較

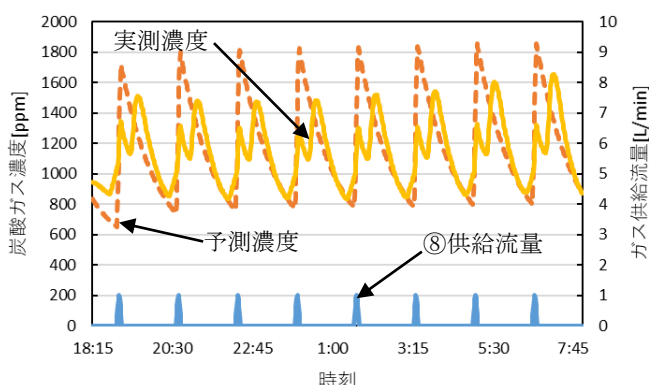


図3 同定風量 30 個のトイレ⑧の濃度変化の比較

## 5.2 風量 72 個の同定モデルの場合

低周波濾波の移動平均時間が 1 分から 5 分の COD と不適合  $\beta$  は表 3 に示すが、4 分が最もよい。この時の有効混合容積は表 5 に示し、それぞれのガス供給流量は図 4 と図 5 に示す。同定風量と容積による NETS モデルの濃度予測結果は、図 4 に示すリビング①だけでなく、図 5 に示す 2 階トイレ⑧ともに良い結果となった。ただし、存在すると期待する風量が 0 だったり、予期しない風量が存在したりするので、今後の検討が必要である。

表 3 風量 72 個の決定係数 COD と不適合率  $\beta$

低周波濾波の移動平均期間	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
決定係数 COD	0.83	0.91	0.93	0.95	0.94
前提の不適合率 $\beta$	0.89	1.85	1.06	0.89	2.16

表 4 風量 72 個の同定結果 ( $i$  行  $j$  列は  $j$  から  $i$  への風量 [ $m^3/h$ ])

$i, j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	—	0	0	0	0	37.2	2.81	0	138
2	21.7	—	0	0	26.4	0	3.59	0	0
3	0	0	—	0	0	0	11.3	0	85.1
4	20.1	0	0	—	0	0	0	0	1.61
5	0	0	0	0	—	26.4	0	0	0
6	76.5	0	26.1	0	0	—	0	0	0
7	57.1	25.3	0	0	0	0	—	0	0
8	3.03	0	0	21.7	0	39.0	0	—	4.51
9	0	26.4	70.3	0	0	0	64.7	68.3	—

表 5 移動平均 4 分の有効混合容積 [ $m^3$ ]

$m_{1,1}$	$m_{2,2}$	$m_{3,3}$	$m_{4,4}$	$m_{5,5}$	$m_{6,6}$	$m_{7,7}$	$m_{8,8}$
90.1	13.0	21.2	2.76	31.9	34.9	33.2	9.68

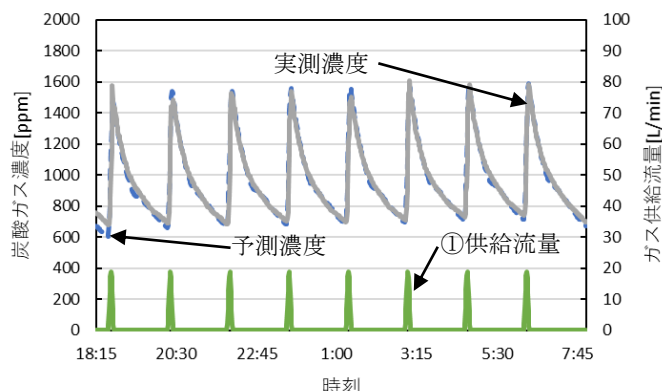


図4 同定風量 72 個のリビング①の濃度変化の比較

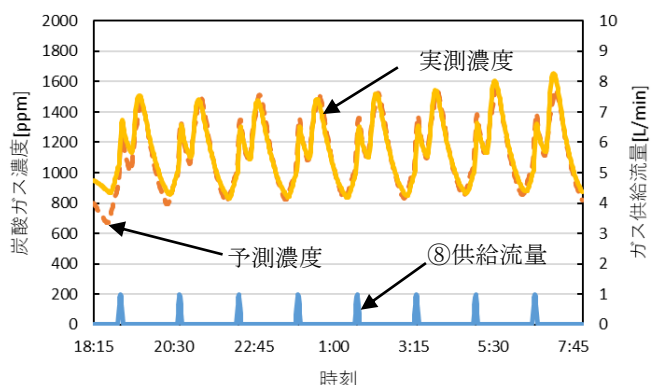


図5 同定風量 72 個のトイレ⑧の濃度変化の比較

## 6. まとめ

換気システムにダクトがあり、分流と合流もあり、熱回収装置も持つ場合でも、ダクト等による時間遅れの悪影響は数分間の移動平均の低周波濾波により低減し、また全ての室がつながる可能性があるとする完全連結の同定モデルにすることにより、測定ガス濃度変化に近い濃度予測ができる同定モデルが得られた。しかし期待と異なる風量が部分的に見られるので、今後の検討を要する。

### 【謝辞】

本測定住宅の御提供と御協力を頂きました株式会社創建の方々に御礼申し上げます。

### 【参考文献】

- 1) Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, Building and Environment 54 (2012) pp39-52, Elsevier
- 2) 井出大輝, 奥山博康, 吉浦温雅, 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2 集合住宅における換気性能測定, 空衛学会大会学術講演論文集, 2019.9, D-13, 53-56

\*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・教授・工博

\*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