

## 移動一括最小二乗法による多数室換気量の時間変化測定法の計算機実験

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

熱回路網 システム同定 移動一括最小二乗法  
最適励振 測定不確かさ平滑化曲線 移動平均

## 1. はじめに

従来のトレーサガスをを用いた換気測定法は主に単室用であり、室間の空気流動も把握できる多数室換気測定法が研究されている。この中で最小二乗法を原理とした一般的な拡散系のシステム同定理論<sup>[1]</sup>が展開され、これを表計算プログラムに組み込んだ SPIDS も開発された。そして第三世代の測定システム<sup>[2]</sup>も開発された。なお隙間風換気量は内外温度差の変化に伴い変化するが、この変化を捉えるために移動一括最小二乗法と呼ぶ方法<sup>[3]</sup>が提案されている。本論では二室モデルでの計算機模擬測定により、その可能性を探った。

## 2. 模擬測定の計算モデルと計算条件

既往の研究<sup>[1]</sup>における二階建て二室建物のモデルを用いた。一階が幅 10m×奥行 10m×高さ 2.5m、二階が幅 10m×奥行 10m×高さ 3.5m（屋根部分を含む）である。また各室は東西南北方向に幅 5m×高さ 2m の面積 10m<sup>2</sup>の窓がある。さらに詳細な仕様は既報<sup>[1]</sup>を参照されたい。計算には熱・換気・ガス回路網予測計算プログラム NETS を使用した。東京の標準気象データを使用した。計算期間 1月1日0時から1月9日24時の計9日間で、助走期間は3日間、計算間隔30秒、室温初期値0℃、ガス濃度の初期値は400ppmとした。換気回路網は図1に示す。単位床壁面積当たりの相当隙間面積を2cm<sup>2</sup>として、外皮に均等に隙間を分散させた。また一階と二階の間の階段による開口面積は2m<sup>2</sup>とした。また各部屋に交互にピーク発熱量4kWで谷から谷の周期3日間の正弦波形の発熱を断続的に与えた。発熱は熱性能測定のためであったが、これによる内外温度差変化により隙間風換気は変化する。

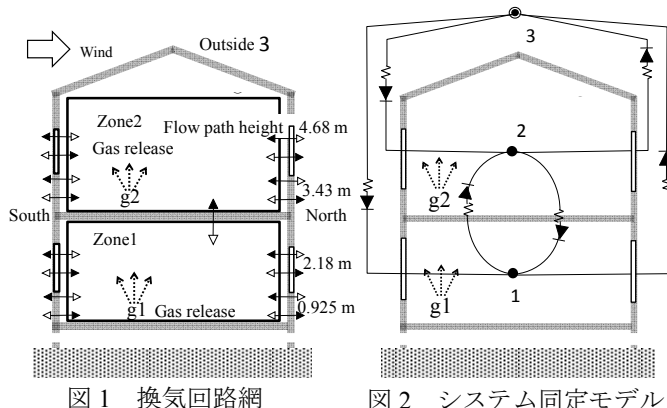


図1 換気回路網

図2 システム同定モデル

## 3. 励振の与え方についての検討

システム同定モデルは図2に示す。SPIDSによる移動一括最小二乗法で推定する風量と有効混合容積の推定精度は、各

室へのガス供給パターン（励振型）に大きく影響される。そこで表1に示す様な5種類の励振型について検討した。

表1 ガス供給の励振の種類

ガス供給の励振型	型1	型2	型3	型4	型5
供給時間(h)	1	1	1	4	4
停止(減衰)期間(h)	0	0	7	0	8
最大流量(L/min)	3	9	3	3	3
同定期間(h)	8	8	8	8	12
移動間隔(min)	30	30	30	30	30

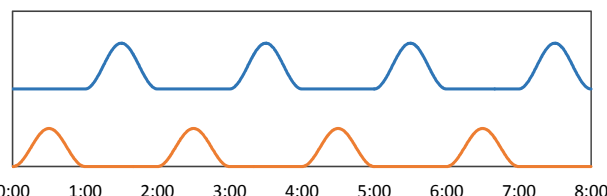


図3 励振型1の各室へのガス供給流量

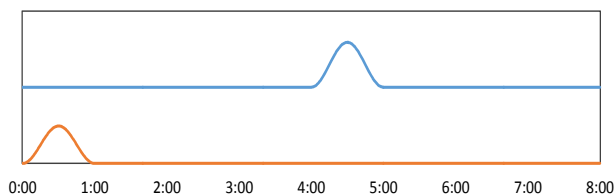


図4 励振型3の各室へのガス供給流量

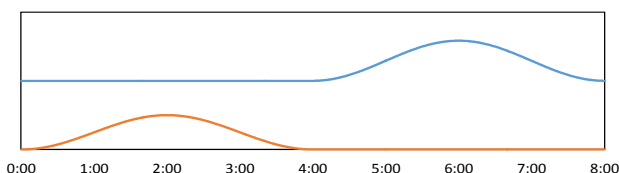


図5 励振型4の各室へのガス供給流量

図3から図5には、励振型1, 3, 4の各々について、ガス供給の流量変化のピークが3(L/min)として、横軸は時間(h)として、1階と2階をそれぞれ下の曲線と上の曲線で表す。

## 4. システム同定結果の評価

NETSによる各流路の風量を集計して建物の換気回数 $N_S$ を計算し、一方SPIDSにより推定された各風量による換気回数 $N_E$ も求める。これらの2つの換気回数を、各移動期間から次式(1)により集計した適合率でも評価する。

$$\text{適合率}\% = 100 \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sum (N_E - N_S)^2}{\sum N_S^2}} \right] \quad (1)$$

またSPIDSによる決定係数CODとシステム同定前提の不適合率 $\beta$ の評価も行う。

## 5. 換気回数について同定精度検討

NETS による換気回数  $N_S$  と SPIDS による換気回数  $N_E$  の比較を図 6 から図 8 に示す。横軸の日付の目盛は当日の 0 時を表す。これらの比較から、励振型 3 の場合に換気回数が比較的に良好に推定されていることが分かる。一方、減衰期間の短い励振型 1 の場合は適切な同定結果が得られていない。励振型 5 では、ガス供給と減衰期間も同定期間も長い、換気回数の変化が均され追従性が良くない。

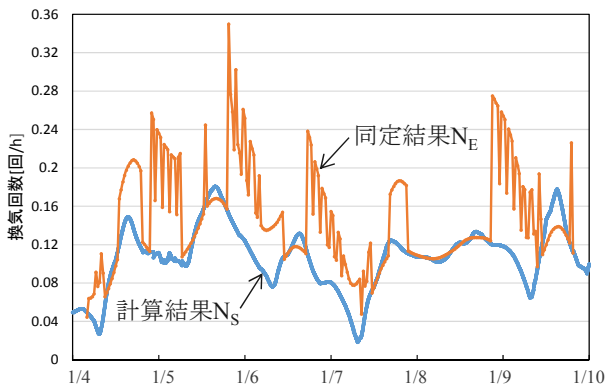


図 6 励振型 1 の換気回数変化の比較

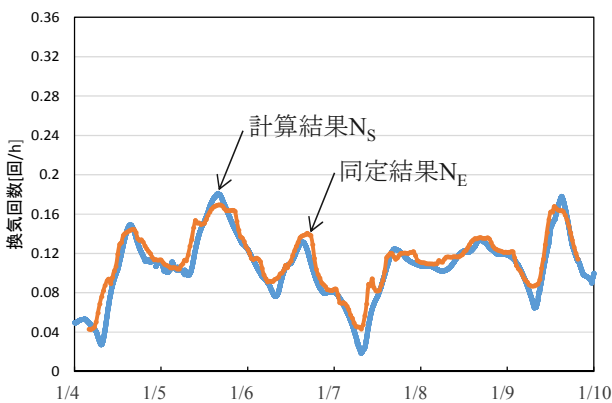


図 7 励振型 3 の換気回数変化の比較

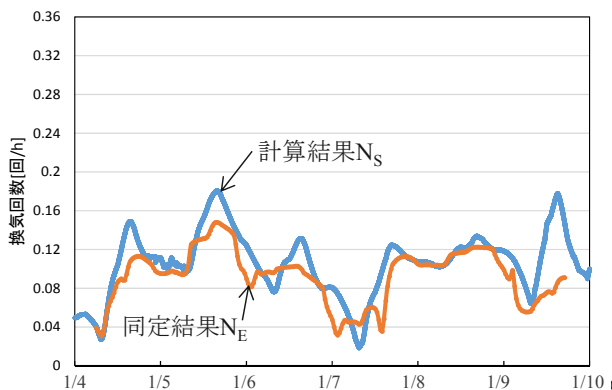


図 8 励振型 5 の換気回数変化の比較

表 2 には、5 種類の励振型によるシステム同定結果の精度比較を、決定係数 COD、システム同定前提の不適合率  $\beta$ 、推定された換気回数  $N_E$  の適合率で比較した。これらの信頼性

評価指標でも、励振型 3 の場合の同定結果が良好であることが分かる。なお不適合率  $\beta$  の計算には測定不確かさ標準偏差  $\sigma_m$  が必要であるが、今回は数値計算誤差だけとし、5 分間(6 個)の移動平均による平滑化曲線からの偏差を統計処理して得た。従って  $\sigma_m$  は小さめであり、全ての  $\beta$  は大きめとなる。また一定が前提である換気回数変動したという不適合もある。ただし  $\beta$  は励振型 3 が最小であり、 $N_S$  の適合率は最大である。一方 COD は全ての励振型で、通常では良好と言われる 1 に近い値であり、判断指標としては感度が良くない。

表 2 励振型による同定精度比較

励振型	型1	型2	型3	型4	型5
決定係数COD	0.989	0.992	0.999	0.997	0.993
前提の不適合率 $\beta$	24.0	26.9	9.6	22.0	14.4
$N_S$ の適合率%	51.0	57.4	89.0	83.3	75.4

励振型 1 の様に、十分な濃度減衰を与えずガス供給を繰り返せば、最小二乗法での比較的長い同定期間では、有意な変動ではなく、雑音的変動になってしまうと考えられる。濃度減衰法については最適減衰期間の研究<sup>[4]</sup>がある。測定不確かさだけの考慮ではあるが、換気回数  $N(1/h)$  と最適減衰期間  $T(h)$  には  $N \cdot T = 1.24$  の関係があるので、仮に  $N = 0.1$  であれば、 $T$  は 12(h)程になる。しかし換気量の変化を追う目的では減衰期間は短くしたい。実際幾つかの試算を経て、今回は 7(h)の減衰期間となった。

励振 3 は 8 時間の移動同定期間の中で各室に 1 回ずつ励振がある。もし同定期間を 7 時間に短くすると、同定期間の中に励振を含まない室が生じ、試算結果も悪くなった。逆に移動同定期間を 16(h)等に長くすると換気量の変化を追なくなり、均されたような同定結果になった。

## 6. まとめ

移動一括最小二乗法を用いれば、室間の風量と換気量の時間変化を移動同定期間内の平均的な意味で推定することができる。この移動同定期間は、各室へガス供給を 1 回ずつ行う一周分分の長さが適切である。またガス供給時間を比較的短くし、かつガス濃度の減衰のため、ある程度のガス供給停止期間を設けることが有効である。

## 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
- [2] 井出, 奥山, 吉浦, 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, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2019, D-13
- [3] 奥山博康, 吉浦温雅, 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, 2017 年 8 月, 875-856
- [4] Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, "Uncertainty analysis and optimum concentration decay term for air exchange rate measurements: Estimation methods for effective volume and infiltration rate", Building and Environment, Elsevier, 49 (2012) pp182-192

\*1 フジテック株式会社・修士 (工学)

\*\*2 神奈川大学・教授・博士 (工学)

\*\*3 神奈川大学・特別助教・博士 (工学)

\*1 Graduate School of Engineering, FUJITEC CO., LTD.

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

\*\*3 Assistant Professor, Dr. Eng., Kanagawa University