

多数室換気測定システムの最適トレーサガス供給法の実験

正会員 ○中谷 剛 *1 同 奥山 博康 *2 同 吉浦 温雅 *3
同 柏原 誠一 *1 同 大石 匡 *1

多数室換気測定 システム同定 現場測定法 最小二乗法 ガス移動回路網モデル 最適励振

1. はじめに

住宅室内の空気環境を良好に保つには計画換気が欠かせない。適切な計画換気を実現するためには、意図された換気性状が達成できているか、住宅室内における空気流動の実態把握が必要である。現状のトレーサガスを用いた換気測定法は、主に単室扱いのものが実用されており、多数室の換気測定法として一定濃度法等はあるが、室間の風量把握は困難である。よって、室間の空気流動も把握できるような多数室換気測定法が必要である。本システム同定理論では、断続的な正弦波形の炭酸ガス流量の励振を与え、各室のガス濃度変化の応答を測定する。そしてこれらの供給ガス流量と濃度変化の測定値に最小二乗法を適用して、各室と外気および室間の相互風量だけでなく、各室の有効混合容積も推定することができる。

既報¹⁾において、本システムの動作確認を主目的とした実験が横浜市の集合住宅で行われた。そこでは、ガス供給における流量、周期、供給停止の減衰期間の取り方など、最適な供給法が課題となった。本研究では、集合住宅ではなく、戸建て建物で換気測定の実験を行い、最適な供給法について検討する。また、実測とともに、計算機実験での模擬測定による補完を行った。

2. システム同定の表計算プログラム SPIDS

本システム同定理論²⁾では、熱回路モデルから始まって、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示している。室を節点番号で表し、 j 室から i 室への風量 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_{jj} と表す。最小二乗法により、2種類のシステムパラメータ推定を行い、決定係数 COD も求める。さらに得られた常微分方程式での残差を利用して、パラメータの不確かさ標準偏差 σ_c, σ_m を求め、同定前提の不適合率 β も計算している。

3. 実験の概要

実験は静岡県富士市にある平屋建ての実験棟(20.09m²)を利用し、2019年12月に実施した。実験棟は洋室①～③の三室からなる(洋室②と③は同じ面積)。表1に実験棟概要、表2に各室の面積と気積、図1に実験棟平面図を示す。実験は、隙間風換気状態と第三種換気状態の二つの状況で行った。なお実験と並行して、本実験建物のNETSによる模擬測定を行っている。

この模擬測定データをシステム同定の表計算プログラム SPIDS に与え、NETS で仮定したモデルの諸係数の推定結果を検討した。

表1 実験棟概要

| | |
|-------|---------------------|
| 所在地 | 静岡県富士市 |
| 構造・階数 | 鉄骨造・平屋 |
| 延べ床面積 | 20.09m ² |

表2 各室の面積と気積

| | 大洋室① | 小洋室② | 小洋室③ |
|---------------------|-------|------|------|
| 面積(m ²) | 13.40 | 3.35 | 3.35 |
| 気積(m ³) | 31.09 | 7.51 | 7.51 |

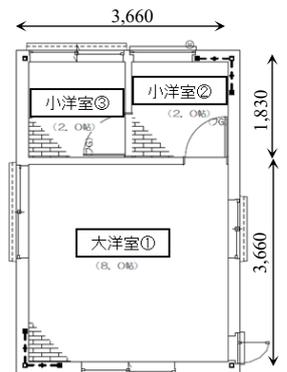


図1 実験棟平面図

4. 実験方法と結果

測定するゾーンは大洋室①、小洋室②、小洋室③の三室と外気を含む4ゾーンとした。第三種換気状態では、小洋室②から機械排気し、大洋室①に給気口を設けた。隙間風換気状態では、それぞれの給排気口を塞いだ。ガス供給は、既往研究³⁾で奥山により検討されたガス供給スケジュールに基づいた。大洋室①→小洋室③→小洋室②の順でガスを供給し、2周期を繰り返し測定した。ガス供給による励振の期間は15分、励振間での減衰期間は隙間風換気で30分、第三種換気では減衰期間を15分設けて行った。温度差換気を促進するため、大洋室①ではヒーターを使用し、内外温度差を17度とした。

測定による各室の励振と濃度変化を図2と図3、SPIDSのシステム同定による相互風量を図4に示す。各室での濃度変化を見ると、隙間風換気では、ほとんど減衰せず、第三種換気では、想定よりも減衰がかなり遅かった。また、システム同定結果においては、第三種換気状態での実験で、小洋室③からもガスが排気されている。本来ならば、小洋室②にある排気口から全て排気されることが理想的であるが、そのような結果には至っていない。

実験により得られた結果に基づき求めた有効混合容積を表3、決定係数 COD と不適合率 β を表4に示す。隙間風換気状態に比べ、第三種換気状態では COD, β ともに良いが、さらなる測定精度の向上が必要と考える。

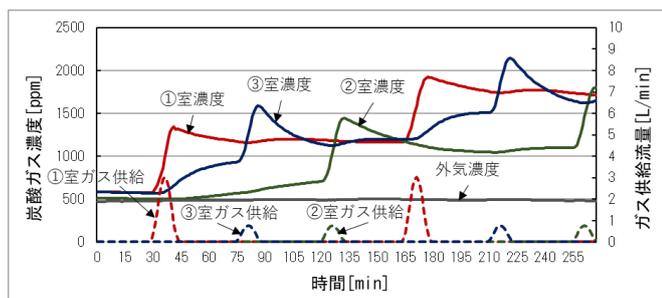


図2 隙間風換気状態での各室の励振と濃度変化

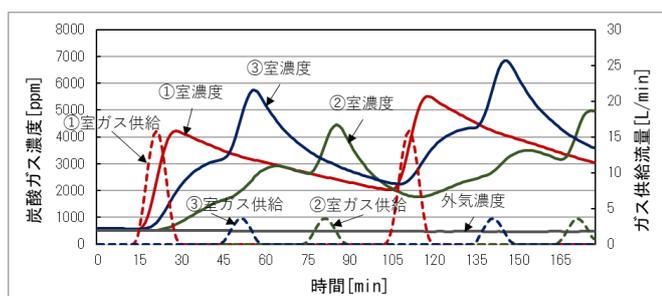


図3 第三種換気状態での各室の励振と濃度変化



図4 システム同定による相互風量 [m³/h]

表3 システム同定による有効混合容積 (実測)

| 容積(m³) | m _{1,1} | m _{2,2} | m _{3,3} |
|--------|------------------|------------------|------------------|
| 隙間風換気 | 26.34 | 7.15 | 6.92 |
| 第三種換気 | 30.88 | 7.52 | 6.06 |

表4 システム同定による決定係数と不適合率 (実測)

| | 決定係数 COD | 不適合率 β |
|---------|----------|--------|
| 隙間風換気状態 | 0.938 | 1.894 |
| 第三種換気状態 | 0.987 | 0.582 |

5. 模擬測定によるガス供給停止期間の効果検討

実測に並行し、熱・換気回路網予測計算プログラム NETS による計算結果を模擬測定値とし、SPIDS によるシステム同定を行った。まずは、隙間風換気状態で、励振の期間 15 分、減衰期間は設けずに模擬測定を行った。結果は絶え間なくガス供給を続けることで濃度が上昇し、室内の濃度はなかなか減衰しない。これは実測と同様の結果である。この結果から、励振間の減衰期間を多く設けることが必要と考え、減衰期間を 6 時間設けて模擬測定

を再度行ったところ、濃度が十分に減衰することが分かった。この場合の大洋室①での濃度変化を図 5 に示す。小洋室②と③も同様であった。

また、これらの模擬測定値からシステム同定を行った結果を表 5 で示す。隙間風換気状態において、減衰期間を与えない場合の決定係数 COD は 0.969 で、励振間に減衰期間を 6 時間設けた場合の COD は 0.983 と良くなった。同様に第三種換気状態の検討においても、減衰期間が無い場合の COD は 0.974 で、6 時間の減衰期間を設けると 0.985 となった。従って濃度減衰法での最適減衰時間³⁾程度にすることで、良い同定結果が得られると思われる。

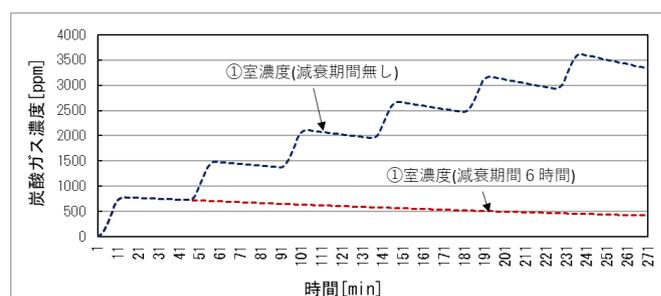


図5 減衰期間の設け方による濃度変化 (模擬測定)

表5 システム同定による決定係数と不適合率 (模擬測定)

| | | 決定係数 COD | 不適合率 β |
|---------|---------|----------|--------|
| 隙間風換気状態 | 減衰期間無し | 0.969 | 0.47 |
| | 減衰期間6時間 | 0.983 | 0.17 |
| 第三種換気状態 | 減衰期間無し | 0.974 | 0.27 |
| | 減衰期間6時間 | 0.985 | 0.18 |

6. まとめ

本研究では、住宅室内における空気流動の実態把握を目的とし、多数室換気測定システムの精度を向上すべく、最適なガス供給法について、実測と模擬測定により検討を行った。その結果、励振間の減衰期間を十分に設けることで、良い同定結果に繋がるということが推察された。今回の実測においては、測定時間を節約するため十分なガス濃度減衰期間を設けなかったことにより、システム同定精度を損ねたと思われる。また、最適のガス供給流量と正弦波周期等も含めた最適の励振の与え方は、さらなる検討が必要である。

【謝辞】

本研究は神奈川大学との共同研究であり、当時の卒研 市川海の検討結果も含まれる。

【参考文献】

- 井出大輝ら, 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 換気性能測定 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019, pp367-368
- Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, Building and Environment, Vol54, 2012, pp39-52
- 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 旭化成ホームズ株式会社

*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 Asahi Kasei Homes Corporation.

*2 Professor, Dr. Eng., Kanagawa University

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