

熱回収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 Experiment of Multi-Chamber Air Flow Rates Measurement Method in a House with Heat Recovery Air Supply and Exhaust Equipment

学生会員 ○藤崎 詩織 (神奈川県) 技術フェロー 奥山 博康 (神奈川県)

正会員 吉浦 温雅 (神奈川県)

Shiori FUJISAKI*¹ Hiroyasu OKUYAMA*¹ Atsumasa YOSHIURA*¹

*¹ Kanagawa University

Synopsis: The prototype measurement system intermittently supplies carbon dioxide to each chamber to create changes in gas concentration, and air flow rates between chambers and effective mixing volumes are estimated by the least squares method. Measurements were performed in a two-story house that had a special mechanical ventilation system with merging and branching flow. A prediction calculation model for gas concentration change was constructed consisting of the estimated air flow rates and effective mixing volumes, and the measured change in gas supply was input into the model. The predicted and measured changes in gas concentration were compared in each chamber. Sufficient agreement was not found for the model that assumed air flow rates based on the geometrical relation between the chambers. However, reasonable agreement was found when using the prediction model that consisted of the estimated mixing air volumes and air flow rates based on the assumption that all chambers were fully inter-connected and furthermore applying a moving average of about 5 min to the measured values.

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¹⁾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²⁾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_{jj} 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 β 、同定パラメータの不確かさ標準偏差 σ 等を求める。

2. 多数室換気測定システム

本測定システムを図-1 に示す。炭酸ガスはボンベ(a)から、質量流量制御器と電磁弁切り替え装置の箱(b)(図-2)を経由して、最大 10 室各室に供給される。各室に小型の濃度計(d)(図-3)を置き、PC(e)に直結した無線機(f)により、

箱(b)を経由した無線(g)で、ガス流量制御・測定と濃度測定等を行う。無線を使うことによって遠隔から操作が行える。なお各室のガス攪拌ファン(h)(図-3)は、今回は常時稼働した。そして測定結果を行うシステム同定 SPIDS に与えることで室間の風量を推定できる。

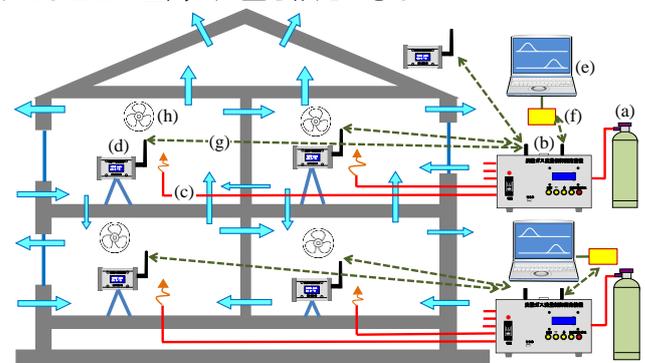


図-1 多数室換気測定システム



図-2 炭酸ガスボンベと炭酸ガス流量制御装置



図3 炭酸ガス濃度と温湿度の測定器とサーキュレーター

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 106m², 2階軒高 6.35m, 屋根最高 7.26m, 主な室の天井高 2.4m である。換気システムを図-4 に示す。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ダクトレスで給気され、1階の各室の床の給気口から吹出され、居室内に給気される。一方排気は、ドアのアンダーカットや吹き抜けを通り抜け、各階の各室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階床下にある全熱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。

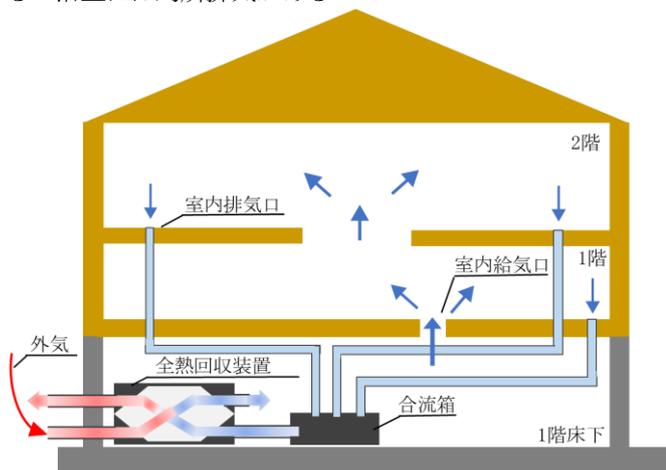


図4 換気システム

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。ガス供給流量は正弦波である。この後に停止(減衰)時間を加えた一周期の決め方を述べる。本件は機械換気で各室は毎時1回換気を仮定した。まず一定供給した場合の定常の濃度が 1500ppm 程度になる供給流量 S_a L/min を求める。一方、換気回数が N で、最適減衰期間が T_m (h) とすれば、 $N \cdot T_m = 1.24$ と

されている³⁾。そこで 74min の減衰時間を取り、ガス供給時間は全室 10min として、一周期は約 84min となる。ガス供給量は $84S_a$ (L) となる。正弦波の最大流量を S_m とすれば、 $84S_a = (S_m/2)10$ から $S_m = (2/10)84S_a$ となる。最大ガス流量は室の大きさに応じて 1L/min から 19L/min に変えた。約 14 時間で各室 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 15 分から 9 月 17 日 8 時 4 分までの 13 時間 49 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 28.4°C、また主な室は冷房していたが、平均 28.5°C 程度であった。

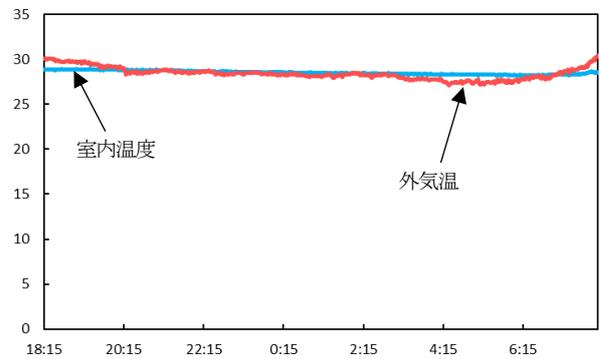


図5 室内温度と外気温度

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 β 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。 β は正常であれば 1 に近く、前提や仮定の不適合性を表す。

6. 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 β 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-6 に、この 5 分の場合に推定された風量分布図を示す。図-7、図-8、図-9、図-10 に測定ガス濃度変化と NETS の予測濃度を示す。ガス供給流量は右軸 (L/min) に表す。図-7 のリビング①と、図-9 の一階トイレ④では、測定と予測濃度はほぼ一致した。しかし図-8 の和室④は隣室のリビング①の影響が見られず、また図-10 の 2 階のトイレ⑧は隣の廊下⑥の影響が見られず、予測と測定の違いが大きい。なお NETS の計算開始時刻は定時の 18 時だが測定値は 18 時 15 分からで初期濃度に違いが生じた。

表-1 風量30個の決定係数CODと前提の不適合率 β

低周波濾波の移動平均	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 β	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[m³]

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

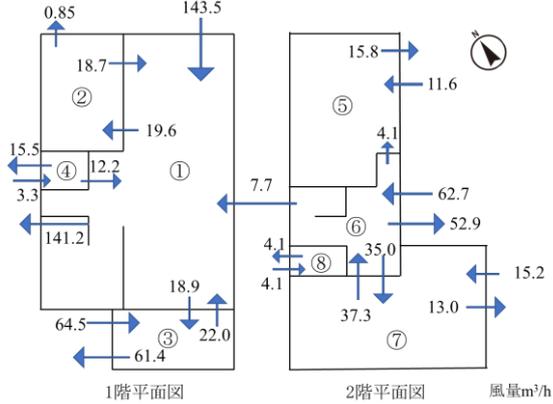


図-6 風量30個のシステム同定結果

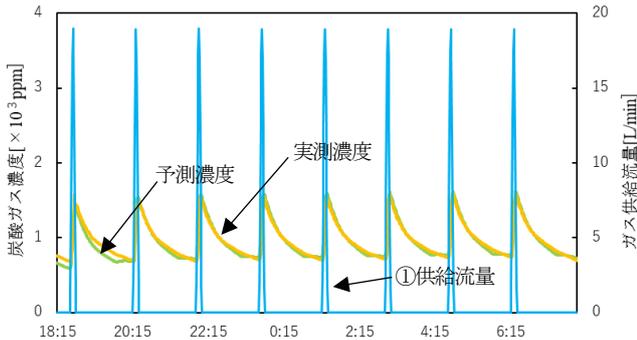


図-7 同定風量30個のリビング①の濃度変化の比較

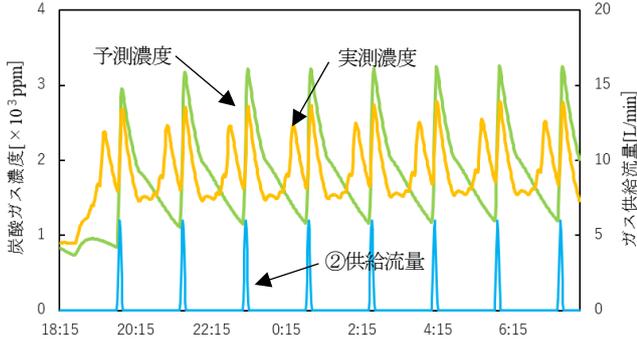


図-8 同定風量30個の和室②の濃度変化の比較

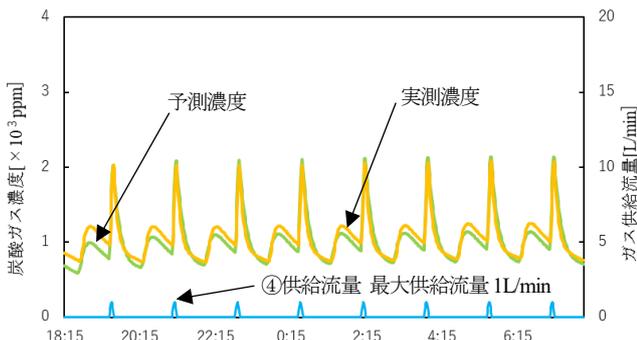


図-9 同定風量30個のトイレ④の濃度変化の比較

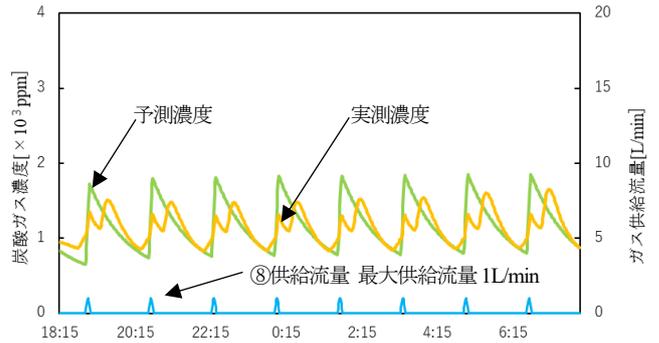


図-10 同定風量30個のトイレ⑧の濃度変化の比較

7. 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 β 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-4に示し、それぞれのガス供給流量は図-11、図-12、図-13、図-14に示す。

システム同定で推定された風量と有効混合容積によりNETSの多数室ガス流動回路網モデルを構成し、これに測定された各室へのガス供給流量を与えて、各室のガス濃度変化を計算した。これを予測濃度と呼ぶことにする。これらの予測濃度変化と測定された濃度変化を比較する。

結果は、図-11に示すリビング①だけでなく、図-13に示す1階トイレ④、図-14に示す2階トイレ⑧ともに良い結果となった。図-13の様に和室②だけが予測濃度と実測濃度の違いが大きかった。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と前提の不適合率 β

低周波濾波の移動平均	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 β	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[m³])

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[m³]

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

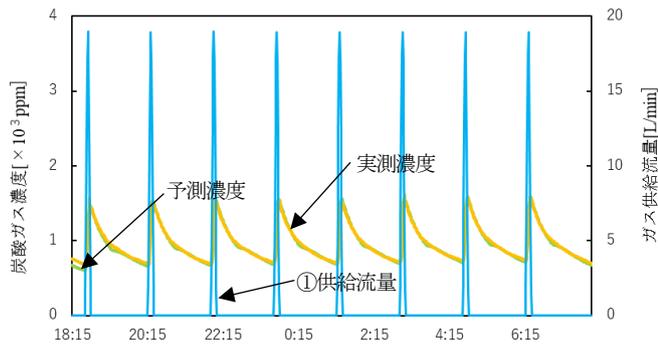


図-11 同定風量 72 個のリビング①の濃度変化の比較

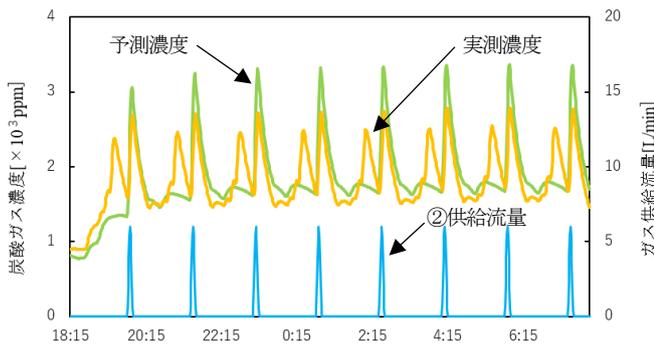


図-12 同定風量 72 個の和室②の濃度変化の比較

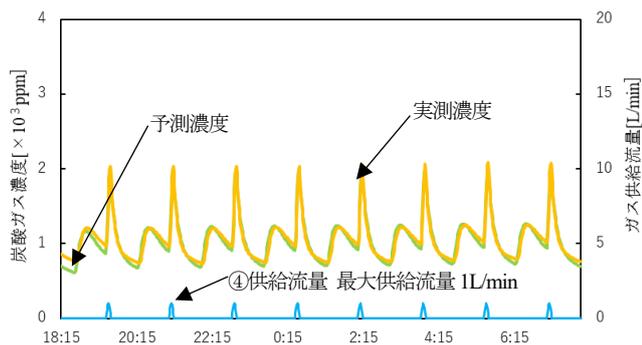


図-13 同定風量 72 個のトイレの④濃度変化の比較

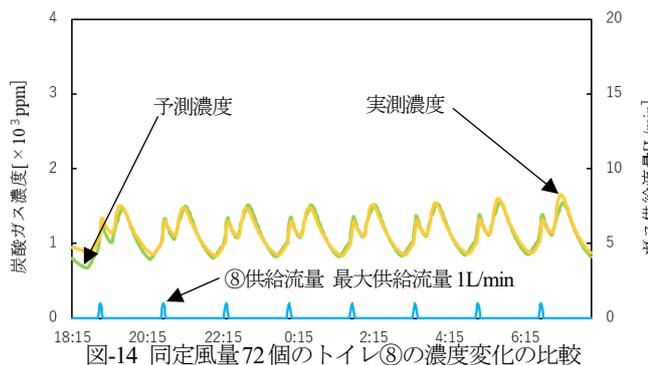


図-14 同定風量 72 個のトイレ⑧の濃度変化の比較

8. 和室②のガス濃度変化

図-12 の和室②の濃度変化は測定値と予測濃度に大きな違いが見られた。表-4 から、和室②へ流入している室は、2階北の洋室⑤、1階リビング①、2階南の大洋室⑦からである。これらの濃度変化を図-15 に示す。合理的な因果関係が分からないが、和室②に置いた炭酸ガス流量制御装置からのガス漏れも一つの原因と思われる。

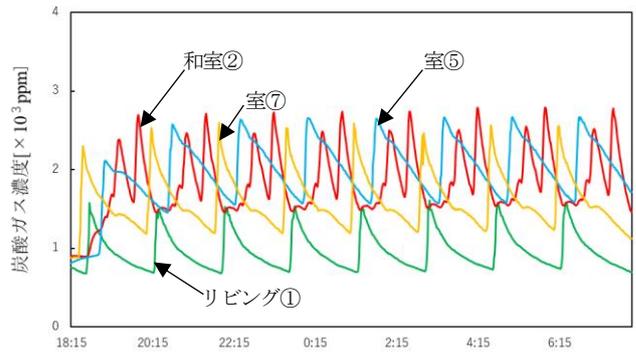


図-15 和室②へ流入する室のガス濃度変化

9. 2階トイレ⑧のガス濃度変化

表-4 から、2階トイレ⑧へ流入している室は、2階の隣の廊下⑥、1階のトイレ④、1階のリビング①からである。1階の室からの経路は不明であるが、図-16 に示す濃度の関係と、推定された風量は、2階トイレ⑧の濃度変化をよく説明していると思われる。

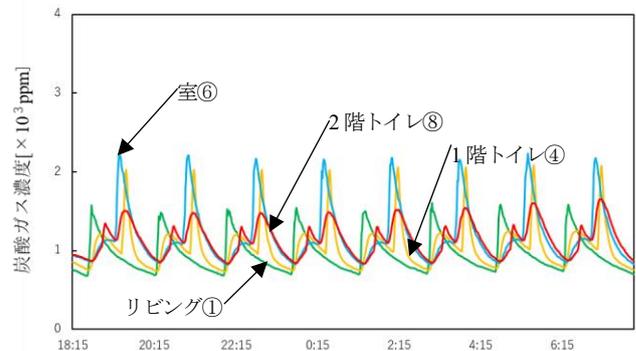


図-16 2階トイレ⑧へ流入する室のガス濃度変化

10. おわりに

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, Vol54, 2012, pp39-52.
- 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
- 3) 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