

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

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

Part 2: Ventilation Performance Measurement in an Apartment House

学生会員 ○井出 大輝 (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)

Daiki IDE*¹ Hiroyasu OKUYAMA*¹ Atsumasa YOSHIURA*¹

*¹ Kanagawa University

Synopsis: A prototype measurement system was experimentally tested for the operational confirmation in an apartment house. The system distributes carbon dioxide gas from a cylinder to each room by tubes via a mass flow controller and electromagnetic valve switching devices. A gas concentration measurement device is placed in each room. The system can be applied to 10 rooms at maximum and two PCs are used for wireless control of the devices. The experiment results showed appropriate causality in change curves of gas supply and gas concentration for all 7 rooms evaluated. Using these measurement data, the spreadsheet system identification program SPIDS produced an overall ventilation rate of 1.1 h^{-1} for all rooms and 0.92 h^{-1} for mechanical exhaust, the latter was close to flow rates in the design stage.

1. はじめに

現状のトレーサガスを用いた換気測定法は、主に単室用であり、多数室用に一定濃度法等が実用されてはいるが、室間の風量把握は難しい。しかし例えば多数室の住宅で第三種換気が行われると換気不足の室が生じる可能性がある等、室間の空気流動を把握できる多数室換気測定法は必要である。まず一般的な拡散系のシステム同定理論¹⁾が展開され、そして第一世代¹⁾と第二世代²⁾の多数室換気測定システムが開発された。2012年頃は理論が改良³⁾され、FORTRAN プログラム SPID (System Parameter Identification) も改良された。また単室モデルの実験に対応した表計算プログラムも開発され、さらに昨年度までには SPID を組み込んだ多数室モデル用の表計算プログラム SPIDS (SPID Spreadsheet) が開発された。そして計算機実験等による模擬測定値で理論の検討がされてきた。一方、測定装置系については、チューブ類を減らして扱いやすくする第三世代の測定装置システムが昨年度に試作された。本論では新測定システムの概要と、動作確認を主目的とした実住宅での測定実験について述べる。

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-3) を経由して、各室に供給される。全 10 室を 5 室ずつの二系統に分けたので、チューブ(c)は前世代の測定システムに比べて比較的短くてすむ。各室に小型の濃度計(d) (図-2) を置き、PC(e)に直結した無線機(f)により (図-5)、

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。こうして長いチューブとケーブルの煩わしさは極力低減した。なお各室のガス攪拌ファン(h) (図-4) は、今回は常時稼働した。励振のガス供給は初期の矩形波ではなく断続的な正弦波形になった。熱回路網の様な空間的離散化モデルは、高周波励振には適切に回答し難いが、移動平均を施した低周波励振への回答は妥当と考えられている。そして正弦波励振であれば、低周波濾波のための移動平均を施しても相似形が保てる。ただし熱性能測定に対し、換気測定では低周波濾波は殆ど必要ないとされている。またシステム同定を行う表計算プログラム SPIDS は、2012 年の理論³⁾に、測定不確かさ標準偏差も推定する機能が加えられた。これは測定不確かさによるばらつきを平滑化する数分間の移動平均曲線からの偏差を統計処理することで行われる。

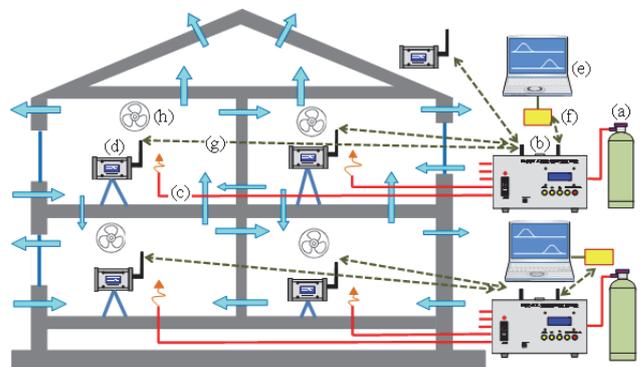


図-1 多数室換気測定システム

3. 実験の概要

横浜市の集合住宅(図-6)で本測定システムを試した。浴室・洗面所とトイレから排気の第三種換気状態である。図-7に示す様に室数は7で、和室(節点番号(1)), 大洋室(2), リビング(3), 小洋室(4), 玄関廊下(5), トイレ(6), 洗面所と浴室(7)とした。ガス供給の正弦波形の谷から谷までは各室が同じ15分とし、ピーク流量は室の大きさと想定した機械換気量に応じて2L/minから12L/minと変えた。測定値は、室濃度、外気濃度、ガス供給流量等である。測定期間は、2019年4月22日の11:30から16:45まで、動作確認なので短めに215分間行った。もし長期間にわたり測定を続ければ、各室へのガス供給が一回ずつの一周期105分を一括移動平均期間として、換気量の移動平均的な変化もとらえることができる⁴⁾と考えられる。



図-2 炭酸ガス濃度と温湿度の測定器



図-3 炭酸ガスボンベと炭酸ガス流量制御装置



図-4 攪拌用のサーキュレータ

4. システム同定パラメータと信頼性評価指標

本システム同定理論³⁾では、熱回路網モデルから始まって、ガス流動も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

て j 室から i 室への風量を $c_{i,j}$ とし、逆方向は $c_{j,i}$ とする。また j 室の有効混合容積を $m_{j,j}$ と表す。最小二乗法により2種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、其々の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³⁾ β も計算する。

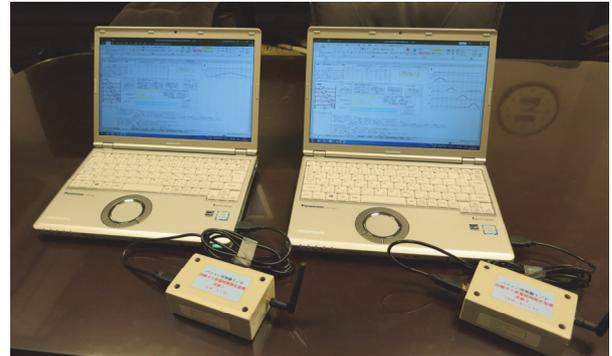


図-5 測定システム制御・データ集録パソコン



図-6 測定住戸の南側の玄関付近

5. 測定結果とシステム同定結果

各室のガス供給流量と濃度と外気濃度の変化を図-8から図-14に示す。これらの測定データをSPIDSに与えて得られた室間の風量は図-7に、推定された有効混合容積は表-1に示す。全室での換気回数は1.1、このうち機械排気は0.92回毎時と設計風量に近い。なお総床面積は66m²、平均天井高さ2.1m、そして屋内容積は138m³とした。この場合にCODは0.926で、 β は0.958となった。

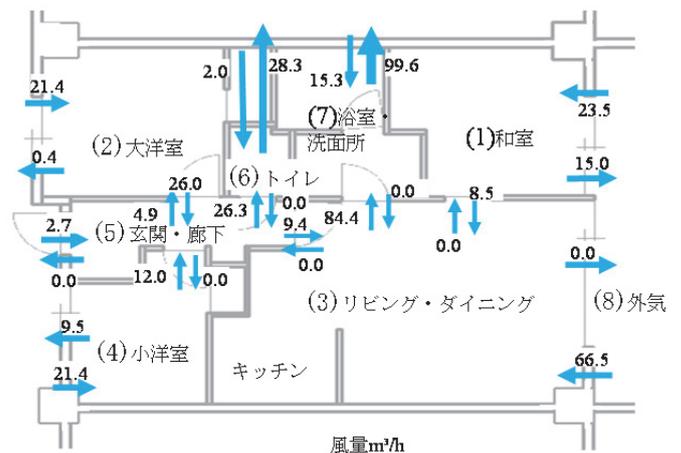


図-7 室間風量のシステム同定結果

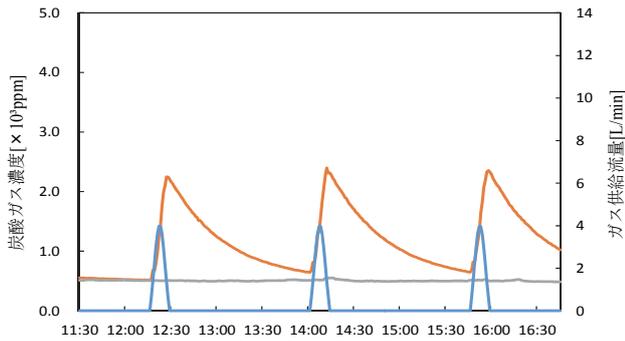


図-8 ガス供給量と濃度変化 (和室)

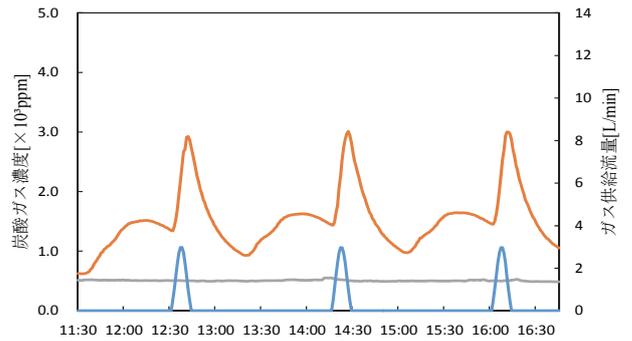


図-12 ガス供給量と濃度変化 (玄関・廊下)

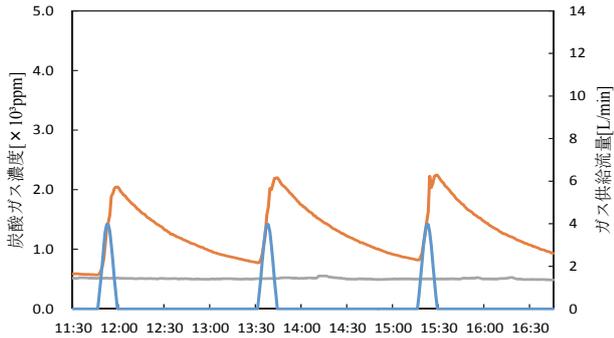


図-9 ガス供給量と濃度変化 (大洋室)

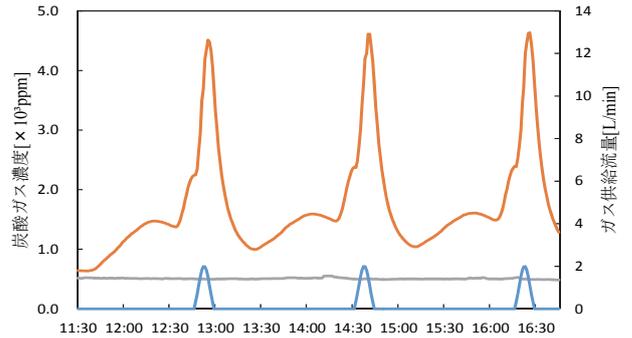


図-13 ガス供給量と濃度変化 (トイレ)

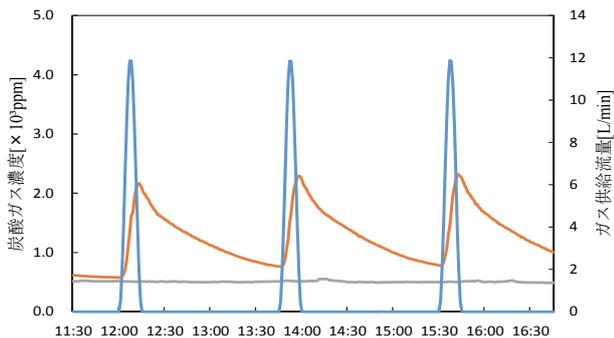


図-10 ガス供給量と濃度変化 (リビング)

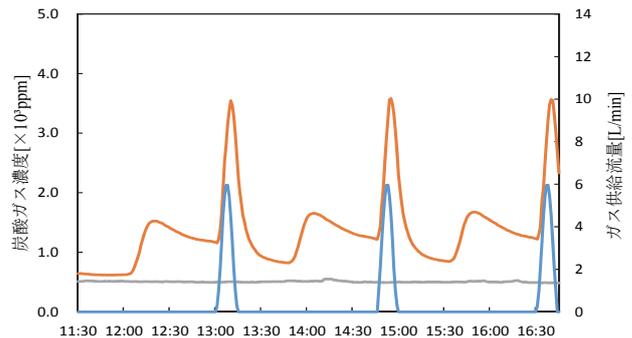


図-14 ガス供給量と濃度変化 (洗面所・浴室)

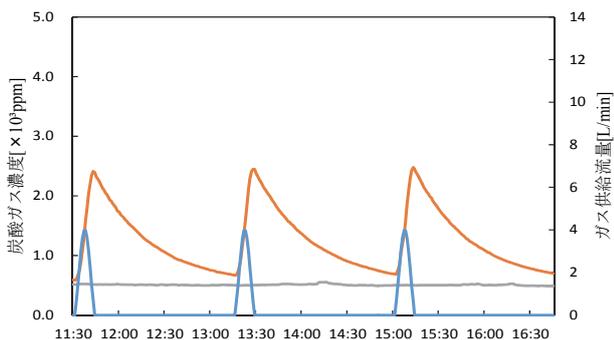


図-11 ガス供給量と濃度変化 (小洋室)

い構造としたところ、小洋室と廊下の間、あるいは和室とリビングの間の風量が0になる現象が見られたので、外気侵入もあり得る一般的な構造にしたところ、本報の同定結果になった。水回り室の天井裏にはダクトの漏れや短絡が無いとは言えない。また当住戸は4階なので外風圧の影響もあり、各室が平均的には負圧で、外気侵入が起こるとしても、外気への漏出が起こる場合もあり得る。なお実用上は濃度測定範囲の制約等があるので、励振のフィードバック制御機能も必要と考えられる。

6. 同定されたモデルによる予測濃度と測定濃度比較

推定された有効容積と風量を用いてNETSの換気とガス流動回路網モデルを作り濃度変化の予測計算を行い測定濃度変化と比較した。これらは図-15から図-21に示す。予測濃度は破線で、測定濃度は実線で表す。概ね予測濃度は測定濃度に一致している。当初のシステム同定モデルは、水回り室からの排気は存在しても、外気侵入は無

表-1 上段・同定容積/下段・幾何的容積(m³)

容積(m ³)	$m_{1,1}$	$m_{2,2}$	$m_{3,3}$
同定値	13.94	14.98	44.81
幾何的容積	20.22	24.13	47.53
$m_{4,4}$	$m_{5,5}$	$m_{6,6}$	$m_{7,7}$
13.91	8.52	2.71	7.36
17.98	8.84	5.17	14.4

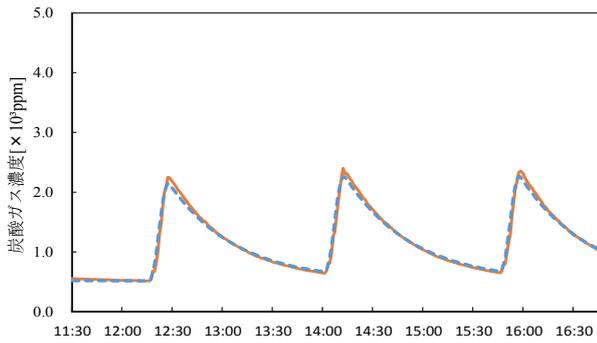


図-15 実測と予測濃度比較 (和室)

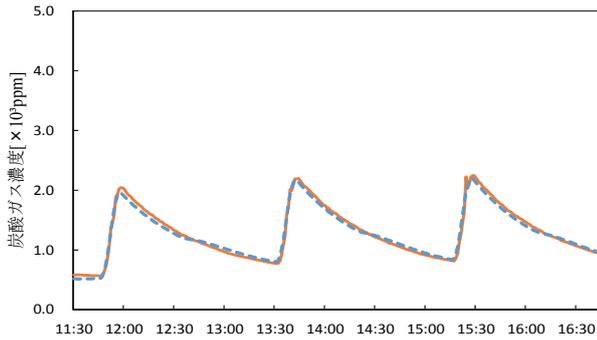


図-16 実測と予測濃度比較 (大洋室)

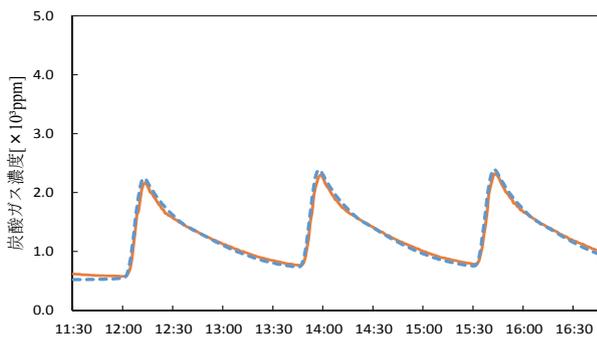


図-17 実測と予測濃度比較 (リビング)

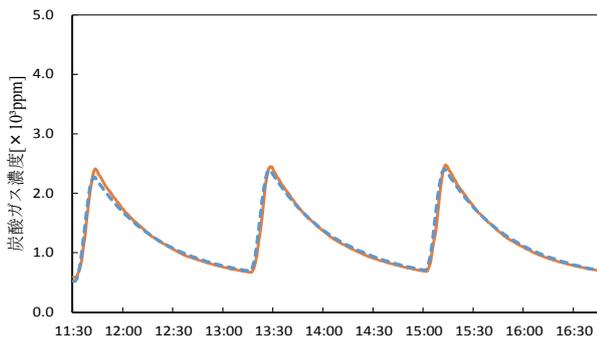


図-18 実測と予測濃度比較 (小洋室)

7. おわりに

測定装置類と制御プログラム及びシステム同定プログラム SPIDS の正常動作の確認はできた。さらに最適な励振の与え方やシステム同定の信頼性評価法の検証も行っていく必要がある。なお例え機械排気であっても、一方向だけでなく、二方向をシステム同定の風量とした方が、合理的な結果が得られる場合がある。

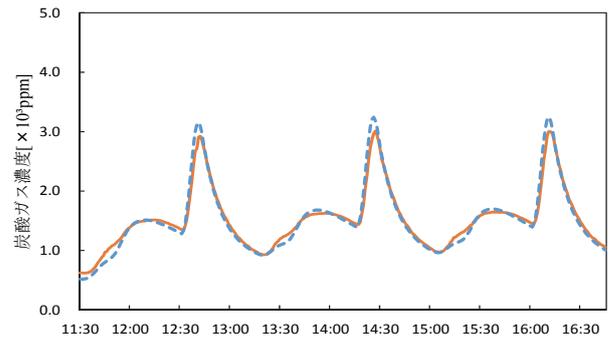


図-19 実測と予測濃度比較 (玄関・廊下)

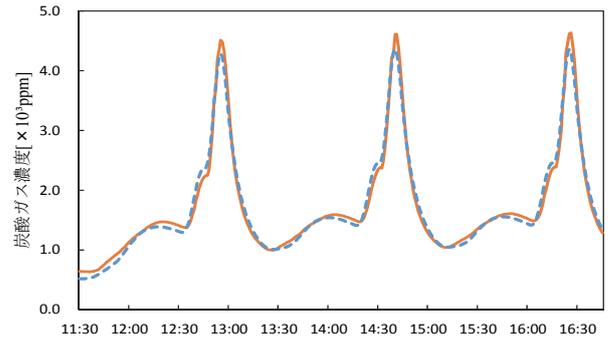


図-20 実測と予測濃度比較 (トイレ)

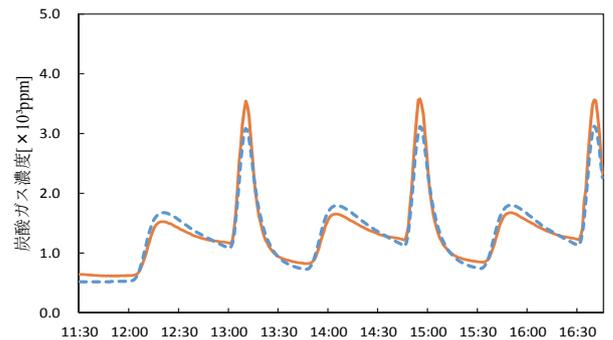


図-21 実測と予測濃度比較 (洗面所・浴室)

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 2018 年度の卒業研究も貢献しました。

参考文献

- 1) Hiroyasu Okuyama, System Identification Theory of the Thermal Network Model and an Application for Multi-chamber Airflow Measurement, Building and Environment, Vol.25, No.4, 1990, pp349-363
- 2) Hiroyasu Okuyama, Recent Progress on the Multi-Chamber Airflow Measurement System, 1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness ISRAVCVE, 22-24 July 1992, Tokyo, pp351-356.
- 3) 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.
- 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