

## 多数室換気測定法の現場測定における誤差検討

正会員 ○ 奥山 博康\*1

正会員 梶間智明\*2 正会員 鈴木道哉\*3 正会員 竹林芳久\*4

熱回路網 システム同定 誤差分析

## 1. はじめに

多数室換気測定法とは、建物内部空間と外気との換気量だけでなく、室から室への風量も把握できるものである。現状の換気測定法は単室扱いなので、実際の複雑な内部空間構成を持つ建物においては、測定法の前提であるトレーサガスの屋内での一様性が成立し難く、誤差が大きくなることや、機能的な面でも、例えば1階から外気が侵入して2階から漏出する等といった換気の経路が分からないという欠点もある。著者は熱回路網のシステムパラメータの同定理論[1]を考案し、一つの応用として多数室換気測定システムを開発した。さらに検証実験[2]を行い、理論とハードの改良[3]も行ってきた。本論は現場測定の実験データを利用して、システム同定の行い方によって誤差がどの様に変わるか検討したものである。

## 2. 多数室換気測定システムの概要

今回測定に用いたのは、ハード的には市販のガスモニターと多点ガス注入・多点空気サンプリング装置を利用して開発したシステムでありFigure1に示す。これらの装置を制御するのは自作のプログラムである。測定システムは、各室にトレーサガスを断続的に放出し、十分なガス濃度変化を作り出し、この時のガス注入流量変化と各室のガス濃度変化を測定する。こうして得られた測定データを熱回路網のシステムパラメータ同定計算プログラムSPIDで処理すれば、多数室における室間の風量等の複数の風量が推定される。なおこのSPIDは風量だけでなく、室の有効混合容積等も推定することができる。

## 3. 現場測定

現場測定を行ったのは東京近郊の某マンションである。当建物は11階建てであるが、測定対象としたのは5階の一戸であり、専有面積73.4m<sup>2</sup>の3LDKである。この居間のベランダは南東向きである。比較的細かいゾーン割りと粗いものの二種類の同定モデルを想定した。各々のゾーン番号は細かいモデルで①北東洋室、②北西洋室、③居間・食堂、④洗面室、⑤玄関ホール、⑥台所、⑦和室、⑧浴室、⑨トイレと⑩外気であり、粗いモデルで①北東洋室、②北西洋室、③居間・食堂・台所・和室、④洗面室・浴室、⑤玄関ホール・トイレと⑥外気である。ガスの放出チューブと空気の吸入チューブの本数は細かいモデルに合わせて各々10本設置した。細かいモデルに合わせて間仕切り襖やドアやカーテンを開けた状態を小区画状態と呼び、粗いモデルに合わせてそれらの間仕切りを開けた状態を大区画状態と呼ぶことにする。従って大区画状態でありながら、細かいモデルでシステム同定することもできるわけである。なお各室においては直径10cm程度の冷却ファンを1、2個設置してガスが混合す

るようにした。ガスの放出のスケジュールは、一周期100分とし、この中で各ゾーン一回づつ、室の容積に応じて6分から9分間の放出を行うようにした。そして間仕切りや換気の状態を変更しない限り、数時間から24時間にわたって、このガス放出スケジュールを継続した。換気測定システムを動かしたのは、'95年9月4日の夕方から9月8日の朝までである。小区画にしたのは5日の16:38から6日の9:40までと、7日の13:10から15:10までであり、これ以外は大区画状態である。機械換気したのは、5日の13:05から14:58までが浴室・トイレONで台所OFF、同日14:58から16:38までが浴室・トイレOFFで台所ON(中)、9月7日の10:20から浴室・トイレONで台所もON(中)を最後まで継続した。これらの他は隙間風だけの状態である。なお5日を除く毎朝9時ぐらいから1時間程度窓を開放して空気の入れ換えを行った。

## 4. 誤差の分析方法

本システム同定理論は誤差の分析理論[1]も伴っている。それは方程式の残差から同定パラメータまでの誤差伝播則を記述したものである。しかし今回は、より簡便で直感的な方法によった。すなわちシステム同定された風量により、ガス流動の計算機シミュレーションモデルを構成し、このモデルに対して、測定されたガス放出量変化と外気濃度を与えて計算された各室のガス濃度変化と、測定された各室のガス濃度変化の誤差の二乗平均平方根RMS(Root Mean Square)を判断基準とした。

## 5. 誤差の検討

誤差の大きさを検討したのは、風量に関する非負の拘束の有無(ULS:Usual Least Squares, NLS:Nonnegative Least Squares)、同定期間の長短やシステム同定モデルの細かさによる違いである。まず誤差原因が多い実際の状態では、非負の拘束無しよりも有りの方がTable1に示すように誤差が小さくなるのが分かった。Figure2には各々の同定法によるガス流動の計算モデルで計算したガス濃度を測定濃度と比較して示す。非負の拘束無しで得られた風量によるガス流動のモデルでガス濃度変化を計算すると、測定値から大きく外れていくのが分かる。同定期間の長短に関しては、もし換気駆動力の変化が無く、風量が一定で変化しない限り、最小二乗法の特性として同定期間が長い方が誤差が小さくなるはずである。しかし実現象は変化するから最適期間が存在することになる。Table1から分かるように2時間程度が最小の誤差となる。この最適期間は同定すべき風量の個数が増えれば大きくなるであろうし、問題により同じではない。次に同定モデルの細かさ

## Error Analysis of Multi-chamber Airflow Field Measurement

OKUYAMA Hiroyasu, KAJIMA Tomoaki, SUZUKI Michiya and TAKEBAYASHI Yoshihisa

よる影響を9室モデルと5室モデル各々についてFigure3と4に比較する。一戸全体での外気との換気風量については両者に大きな違いは無い。実際に空間の仕切が無ければ、同定モデルも仕切を設けない方が精度的には有利である。参考に機械換気状態の結果をFigure5に示す。

6. まとめ

精度検討のために、同定された風量でガス濃度流動の予測計算モデルを作り、予測値と測定値の誤差の二乗平均平方根RMSに着目する方法も有用である。実際の様々な誤差の多い状況では、非負拘束条件を持つ最小二乗法が、持たないものより比較的良い精度を示す様である。

【謝辞】 データ処理と実験は大西由哲氏らにご協力頂いた。

【参考文献】

- [1]奥山博康,一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメーターの同定理論, 日本建築学会論文報告集, 第344号, 昭和59年10月, pp103-115
- [2]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, pp.349-363, 1990
- [3]Hiroyasu Okuyama, Recent Progress on the Multi-chamber Airflow Measurement System, 1992 International symposium on Room Air convection and Ventilation effectiveness ISRAVE July 1992 Tokyo, pp.351-356, 1992

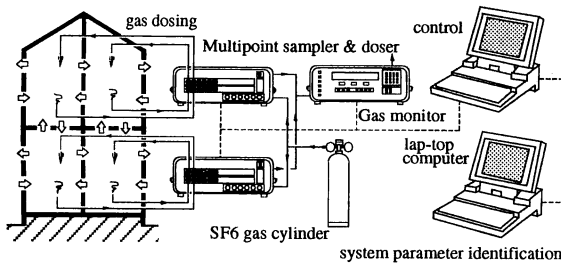


Figure 1 Diagram of multi-chamber airflow measurement system

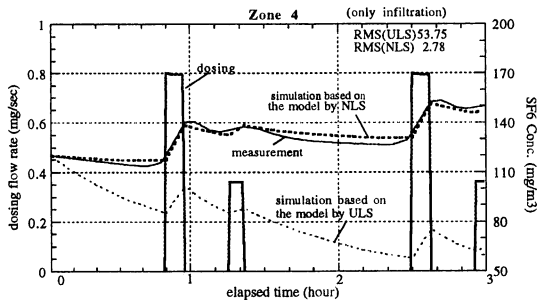


Figure 2 Measured and simulated gas concentration Zone 4

Table 1 RMS Error Analysis

method \ period(min)	240	180	120	100
Usual Least Squares	43.01	38.95	29.98	21.70
Non-negative Least Squares	1.86	1.33	1.11	1.14

AIR CHANGE RATE IN EACH ZONE (1/Hour), AIRFLOW(m<sup>3</sup>/Hour):  
 1: 4.275, 2: 5.18, 3: 9.757, 4: 2.589, 5: 2.284,  
 6: 38.253, 7: 4.271, 8: 0.018, 9: 7.961, 10: 0.631,

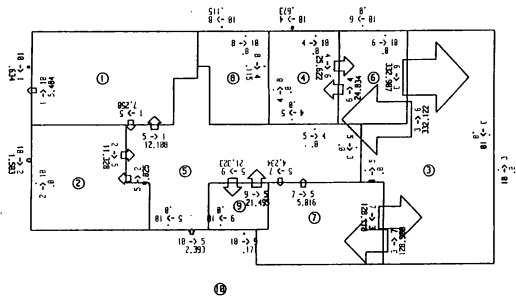


Figure 3 Airflow rates in fine model (fans off)

AIR CHANGE RATE IN EACH ZONE (1/Hour), AIRFLOW(m<sup>3</sup>/Hour):  
 1: 2.288, 2: 5.888, 3: 1.084, 4: 1.226, 5: 1.481,  
 6: 0.832,

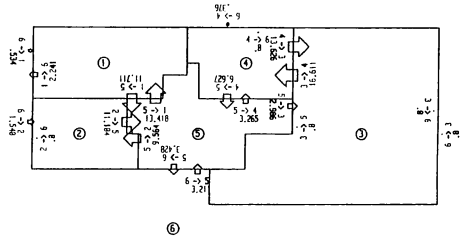


Figure 4 Airflow rates in coarse model (fans off)

BY NON-NEGATIVE LEAST SQUARES, BATCH SYSTEM IDENTIFICATION RESULTS FILE NAME: RES173  
 SYSTEM IDENTIFICATION MODEL DATA FILE NAME : S12U102.DAT  
 MEASUREMENT DATA FILE NAME FOR THE IDENTIFICATION: CASE1986.D01  
 STARTING TIME = 1995- 9- 7, 0: 0 PERIOD OF TIME = 180(min)

AIR CHANGE RATE IN EACH ZONE (1/Hour), AIRFLOW(m<sup>3</sup>/Hour):  
 1: 2.489, 2: 2.944, 3: 5.048, 4: 7.918, 5: 18.684,  
 6: 32.672, 7: 5.338, 8: 1.022, 9: 0.888, 10: 18.627,

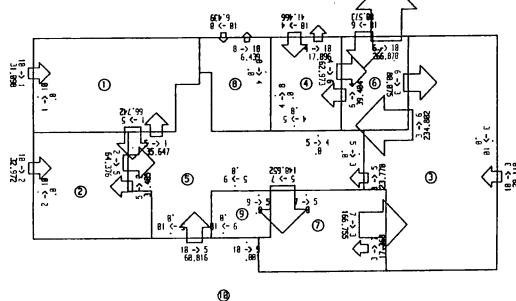


Figure 5 Airflow rates in fine model (fans on)

BY NON-NEGATIVE LEAST SQUARES, BATCH SYSTEM IDENTIFICATION RESULTS FILE NAME: RESK273  
 SYSTEM IDENTIFICATION MODEL DATA FILE NAME : S12U101.DAT  
 MEASUREMENT DATA FILE NAME FOR THE IDENTIFICATION: S12U0995.D01  
 STARTING TIME = 1995- 9- 7, 10: 0 PERIOD OF TIME = 180(min)

\*1 清水建設(株)技術研究所・主任研究員・工博 \*1 Dr.Eng.,Senior Researcher, Institute of Technology, Shimizu Corporation  
 \*2 清水建設(株)技術研究所・主任研究員 \*2 Senior Researcher, Institute of Technology, Shimizu Corporation  
 \*3 清水建設(株)技術開発センター・工博 \*3 Dr.Eng.,Technology Development Division, Shimizu Corporation  
 \*4 清水建設(株)設備本部・部長・工博 \*4 Dr.Eng.,Director, Mechanical and Electrical Engineering Division, Shimizu Corporation