

移動一括最小二乗法による換気量の時間変化の測定法

正会員 ○奥山博康*¹
正会員 吉浦温雅*²換気測定 システム同定 移動一括最小二乗法
トレーサーガス 移動平均 低周波濾波

1. はじめに

これまでトレーサーガス等の収支式を測定時間間隔 Δt で時間積分して回帰式とした最小二乗法により、一括最小二乗法と逐次最小二乗法によるシステム同定法を導いた^[1]。この理論に基づき多数室換気測定システムを開発した。例えば9室からなる戸建て住宅で20時間にわたる測定では、換気量の時間変化を把握できると思われた逐次最小二乗法は、一括最小二乗法よりも悪い結果を与えることが分かった^[2]。一方、一括最小二乗法の期間を2時間として、これを2時間ずつ移動して得られた換気量の変化が、屋内外の温度差の変化に追従する結果が得られていた^[2]。その後、不確かさと信頼性の評価法^[3]と移動平均の低周波濾波の導入^[4]等の理論を展開してきた。さらに励振のガス放出の適切な波形を検討し、実用的な発生装置を開発してきた^[5]。本論では、換気量の時間変動を、移動一括最小二乗法と呼ぶ方法で捉える可能性を探る。

2. 移動一括最小二乗法

現在、トレーサーガス濃度の測定は1分間隔で行っている。またガス発生波形は、滑らかな変化の正弦波が望ましいことが分かっている^[3]。この適切な周期は、諸条件で多少異なるが、建築の伝熱系のシステム同定では72hと長く、換気測定では1hぐらいと短い。

ここで移動一括最小二乗法の概要を図1に示す。まず測定不確かさを求めるために、5分間(6個)から9分間(10個)の連続した測定値に移動平均を施し、平滑化した曲線を作り、この曲線と測定点の偏差を全測定期間で統計処理して測定不確かさ標準偏差を求める。偶数個の測定点を移動平均の平滑化に用いるのは、測定不確かさのばらつきが、平均値の上下に、交互に発生することが多いと考えられるからである。測定不確かさ標準偏差と回帰式残差により測定前提の不適合率 β ^[4]が計算され最適同定結果の判断に用いられる。

最小二乗法の回帰に用いるのは、移動平均による低周波濾波を施した測定値である。システム同定のための正弦波励振の周期より短い変動は雑音と見なして、有意な励振の周期以下の期間による移動平均を施すことで、悪影響を減らす。今までの計算機実験やフィールド実験では、伝熱系は8hで、換気測定では10分程度が適当であ

った。この時間は不適合率 β により最適値を見出すことが可能である。

図1に示す様に、測定不確かさ平滑化曲線と、低周波濾波された曲線の期間の長さは、移動平均の期間だけ、全測定期間よりも短くなる。またこれらの移動平均と、一括最小二乗法の結果の時刻は、これらの期間の中央とする。一括最小二乗法の期間は、少なくとも励振周期以上とすることが望ましい。単室の一括最小二乗法の理論は既報^[3]に述べている。一括最小二乗法の期間を Δt ずつ繰り返して計算を進める表計算プログラムを開発した。

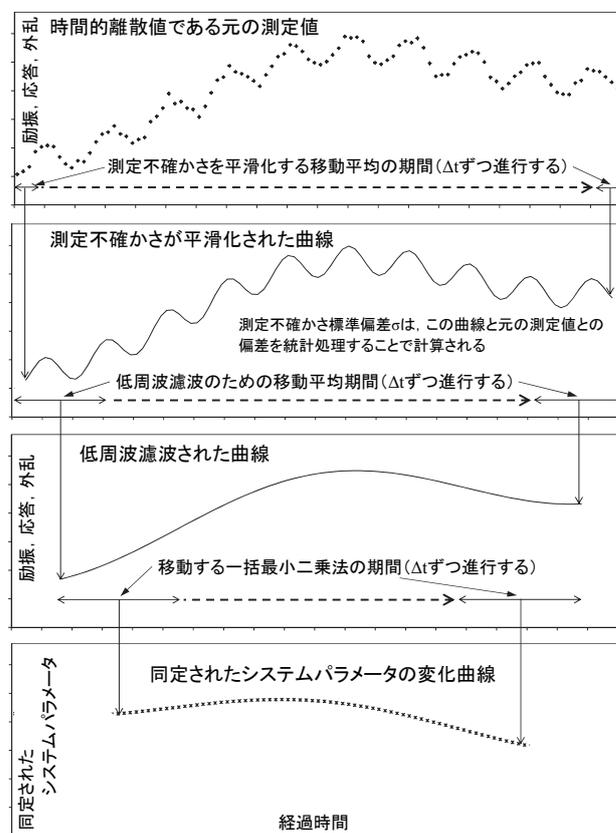


図1 移動一括最小二乗法の概要

3. 換気量変化の移動一括最小二乗法の計算機実験

熱・換気回路網モデル・シミュレーション・プログラム NETS により、単室モデルを仮定し、炭酸ガスを1時間周期の連続的な正弦波で与え、ガス濃度変化を1分間隔で約1日間計算した。室の容積は75m³とし、換気回数

が0.2回毎時と0.6回毎時を3時間おきに交互に繰り返す状況をモード変化機能で模擬した。これらの模擬測定値を図2に示す。

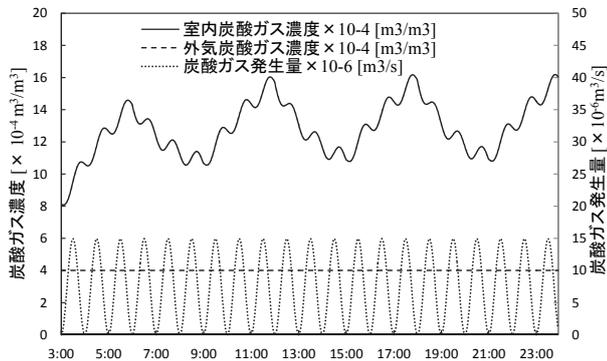


図2 ガス発生量とガス濃度の模擬測定値

移動平均の期間は、測定不確かさ平滑化は5分間、低周波濾波は9分間とした。また一括同定期間は2時間とした。本当の測定不確かさは無いが、予測計算値の桁落ちで、階段状を示す誤差を流用した。換気量と有効混合容積等の推定された結果を図3から図5に示す。

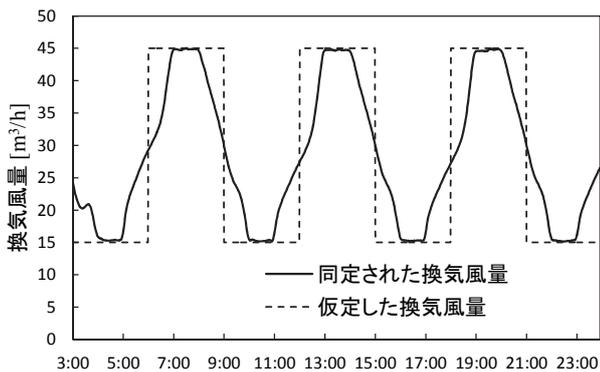


図3 換気風量の変化の仮定値と同定結果

換気量の瞬間的に大きな変化には追従が困難だが、2時間の一括最小二乗法の期間での平均的な換気量の変化としては推定されていると思われる。

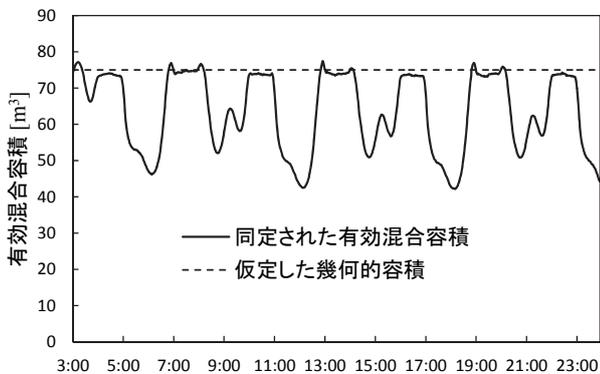


図4 有効混合容積の仮定値と同定結果

有効混合容積は、常に75m³が推定されるべきであるが、一括最小二乗法の期間に換気量の突然変化が入っている時間では、小さめの容積が推定されている。

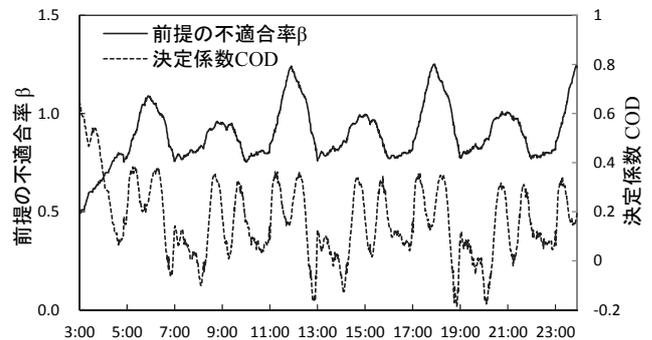


図5 信頼性評価指標βと決定係数COD

換気量は一定不変等の前提が成立しているかを判断する不適合率βは1を超える時間があり、CODは負になる時間も見られるのは合理的である。またこれらの信頼性評価指標が悪くなるのは換気風量の突発的な変化が一括最小二乗法の期間に入っている場合である。また不適合率βが決定係数CODよりも妥当な評価をしている。

実際に捉えたい換気量変化が、内外温度差変化等によるものとすれば、急変化よりは緩やかな変化の場合が多いであろう。その場合には、より良い結果が得られると考えられる。

4. まとめ

トレーサーガスの濃度変化から最小二乗法により換気量を測定する方法では換気量が変化しない前提が必要であると思われていたが、この移動一括最小二乗法により移動平均的な把握は可能と思われる。

【謝辞】本研究はJSPS 科研費 JP16K06623 の助成を受けたものです。

【参考文献】

- [1] 奥山博康, 建築物の熱回路網モデルに関する理論的研究, 早稲田大学・博士号学位請求論文, 1987年12月
- [2] Hiroyasu Okuyama, Recent Progress on the Multi-Chamber Airflow Measurement System, 1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness ISRACVE, 22-24 July 1992, Tokyo, pp351-356
- [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, 49 (2012) pp182-192
- [4] 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,
- [5] 奥山博康, 吉浦温雅, 熱と換気の現場測定法, 日本建築学会, 第46回熱シンポジウム「新しい時代の熱環境デザイン〜測定とシミュレーションによる設計・評価〜」, pp71-78, 2016年10月

*1 神奈川大学・教授・工博

*2 神奈川大学・特別助教・工博

*1 Professor, Dr. Eng., Kanagawa University

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