

固形アルコール燃焼を用いて換気量変化と有効混合容積を現場測定する方法

Method for On-site Measurement of Ventilation Flow Rate Change and Effective Mixing Volume Involving Solid Alcohol Combustion

正会員 ○吉浦 温雅 (神奈川大学) 技術フェロー 奥山 博康 (神奈川大学)

Atsumasa YOSHIURA*¹ Hiroyasu OKUYAMA*¹ Tsuyoshi NAKATANI*²

*¹ Kanagawa University

Synopsis: Through computational simulations, we investigated a simple on-site measurement method using carbon dioxide gas generated by solid alcohol combustion. Simulated measurements were performed on a small hut with a ventilation rate that changed every 6 h. We repeated 2-h cycles consisting of combustion and carbon dioxide concentration decay 12 times. We tested moving least squares periods of 1.5, 2, and 4 h and found that the change in ventilation flow rate and the effective mixing volume can be estimated appropriately by using a moving least squares period of 2 h.

1. はじめに

建物の換気量は、機械換気だけではなく、所在も分布も大きさも不明な隙間風もあるので、風量計等による直接的な測定は難しい場合が多い。そこでトレーサーガスを用いた換気測定が行われるが、多くの場合にボンベからの炭酸ガスや六フッ化硫黄ガスを用いるので、減圧弁や流量制御装置も必要になり複雑になる。

またよく行われるガス濃度減衰法で推定できるのは、換気量そのものではなく、換気量を室の有効混合容積で除した換気回数と呼ばれるものである。多くの場合には、室の幾何的容積が有効混合容積に等しいと仮定して換気量と見なしている。従って本来は換気量と有効混合容積を分けて推定することが望ましい。

さらにガス濃度減衰法も一定濃度法も、換気量は時間的に変化しないという前提が必要である。しかし外気温度の変化により、屋内外の温度差も変化し、隙間風換気量は変化するので、変化する換気量が推定できることが望ましい。

そこで、簡易的な建物の換気量の測定方法として、既報¹⁾では、固形アルコール燃料の燃焼による炭酸ガス利用の可能性が検討された。固形燃料から発生する総量は既知であり、約20分の燃焼中の発生量変化は未知だが、矩形的な発生をすると仮定し、測定された炭酸ガス濃度の変化にも約20分の移動平均処理を施して最小二乗法を適用して、換気量と有効混合容積が妥当な精度で推定できた。

さらに、換気量の変化についても、複数回の間欠的な燃焼を行い、同定期間内に炭酸ガスの発生が含まれるように、同定期間を設定し移動一括最小二乗法²⁾を適用す



図-1 固形アルコール燃料の炭酸ガス発生装置



図-2 タイマー装置



図-3 燃焼皿

ることで、実用的な精度の推定結果が得られると思われる。

本論では、計算機での模擬の換気測定を行い、固形アルコール燃焼による炭酸ガス発生を利用する換気量変化と有効混合容積の簡易測定法の推定精度を検討する。

2. 固形アルコール燃焼装置の概要

炭酸ガスを簡便に発生させる事ができる図1の固形アルコール燃焼装置(480×210×80mm)が試作された。着火予定時間を、図2のタイマーにセットすることで、ユーティリティライターからの炎が固形燃料を着火する。測定中は炭酸ガス発生装置を金属製のメッシュパネルで作

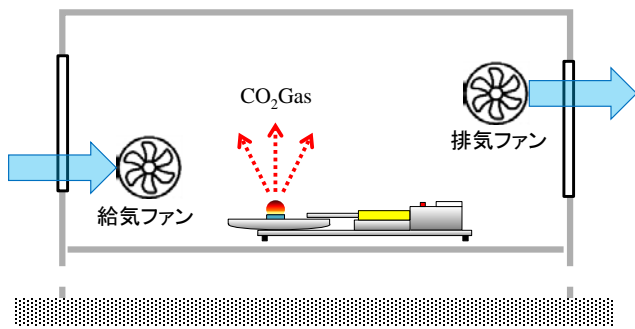


図-4 計算機実験のイメージ

成したカバーで囲い、落下物等による延焼を防ぐ。しかし、今年度は社会的な状況により、これを用いた実験は困難になったので、計算機による模擬的な実験を行った。

3. 模擬測定の概要

熱・換気・ガス回路網計算プログラム NETS による模擬測定を実施した。実験用のプレハブ小屋を図4の様なイメージとした計算モデルとして有効混合容積は 20m^3 、測定期間は24時間とした。

換気風量は第一種機械換気を想定し、図5の様に、5、10、15、 $20\text{m}^3/\text{h}$ の4段階で変化させた。6時間程の周期なので内外温度差等の影響を考慮した変化である。

炭酸ガスの発生のスケジュールについては、固形燃料 25g の燃焼期間は約20分であること、最適減衰期間 T_m については、換気回数 N と $T_m \cdot N = 1.24$ の関係が導かれている³⁾ことを参考にして、燃焼と減衰期間を含めた2時間周期を12回繰り返した。この炭酸ガス発生量は既報¹⁾の実験により得られた結果を用いた。模擬測定の条件のガス発生量変化の詳細を図6に示す。尚、シミュレーションの計算時間間隔は1分とした。

図6と7のガス濃度変化を模擬測定値とし、システム同定の表計算プログラム SPIDS に与えて、15分毎の移動一括最小二乗法により、換気量の時間変化と有効混合容積の推定をした。低周波濾波のための移動平均期間は3分とした。システム同定期間長さは、実用上は短い程良いが、逆に推定精度は悪化する。そこで、1.5時間と2時間と4時間の3種類でシステム同定を試みた。

4. システム同定表計算プログラム

システム同定表計算プログラム SPIDS (System Parameters Identification Spread sheet) の主な計算処理を述べる。最小二乗法を基本とするシステム同定自体は Fortran プログラム SPID が行い、これの起動制御と入出力処理を表計算が行う。表計算は、次の複数のシートから成る。「1_測定値または模擬測定値から「元測定データ」生成」は、決められた CSV 書式の測定値あるいは、熱換気回路網予測計算 NETS からの模擬測定値を読み込む。

「2_測定不確かさ分析用「元測定データ」読込」は、最

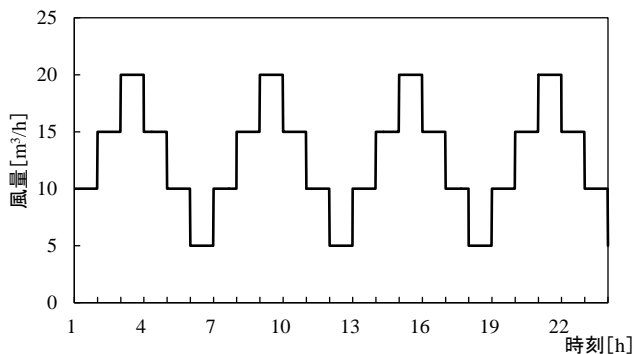


図-5 給排気換気量の時間変化

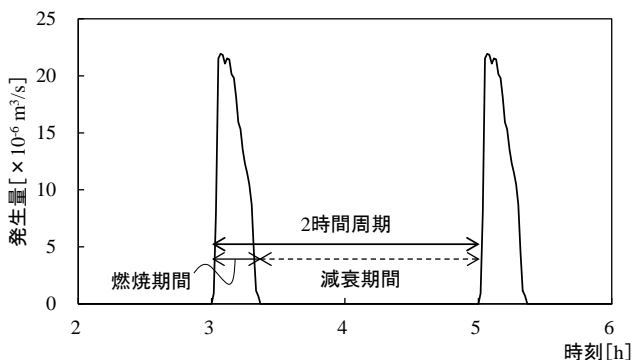


図-6 間欠的な炭酸ガス発生量の概要

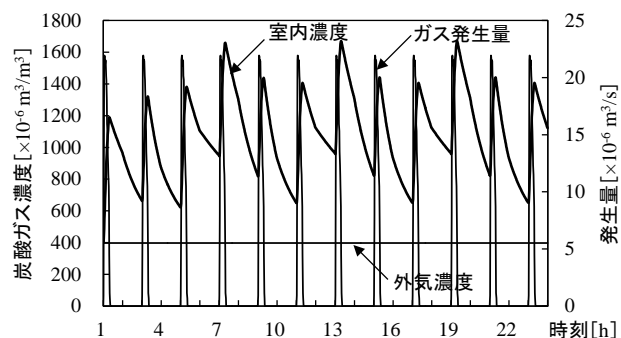


図-7 炭酸ガス濃度変化

初に測定不確かさを計算するために、「元測定データ」を読み込む。次に測定不確かさによるばらつきを評価する基準となる平滑化曲線を作成する「3_測定誤差平滑化設定」に進む。そして「4_測定不確かさ標準偏差」において、平滑化曲線からの偏差(ばらつき)を測定期間において統計処理し、不確かさ標準偏差を計算する。次に最小二乗推定を行うために「5_システム同定用「元測定データ」読込」をする。そして壁の熱容量による悪影響を低減するための「6_低周波濾波の処理」と「7_低周波濾波後の測定値」を行う。例えば伝熱系では8時間ほどの移動平均を測定値に施してから最小二乗法を適用する。図8に示す「8_システム同定モデル作成と測定データとの対応付けと同定実行」において、システム同定モデルの総節点数や節点間のどのつながりを推定するか等の情報と節点と測定値との対応を定義する。もし伝熱系の場合

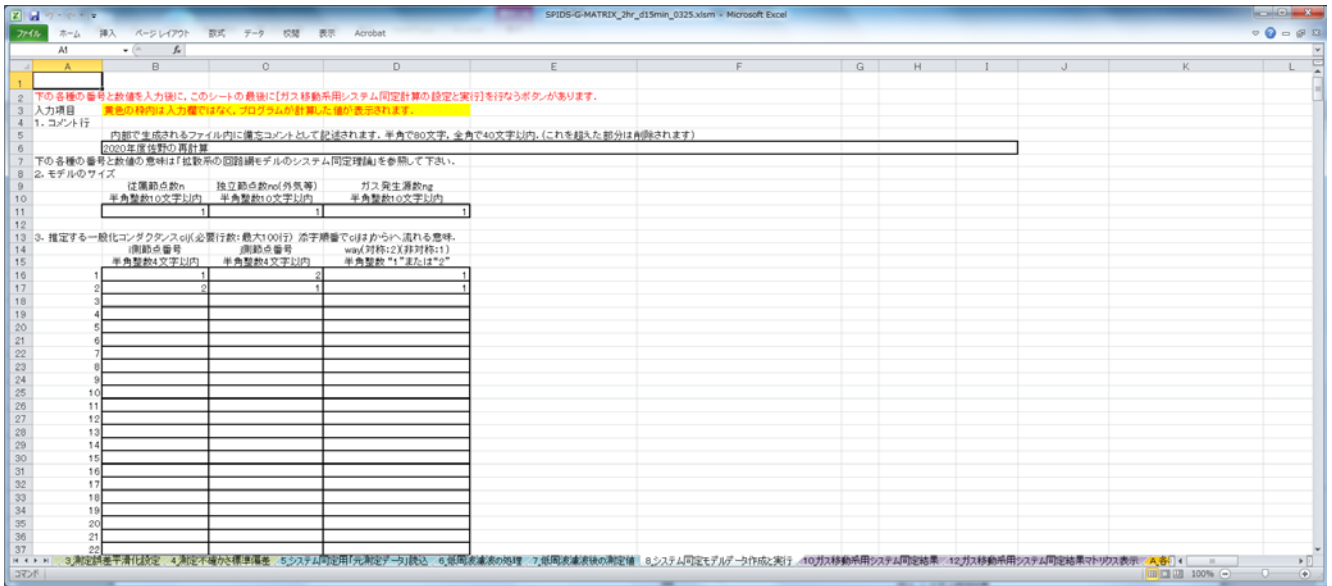


図-8 システム同定モデルの構造データ入力

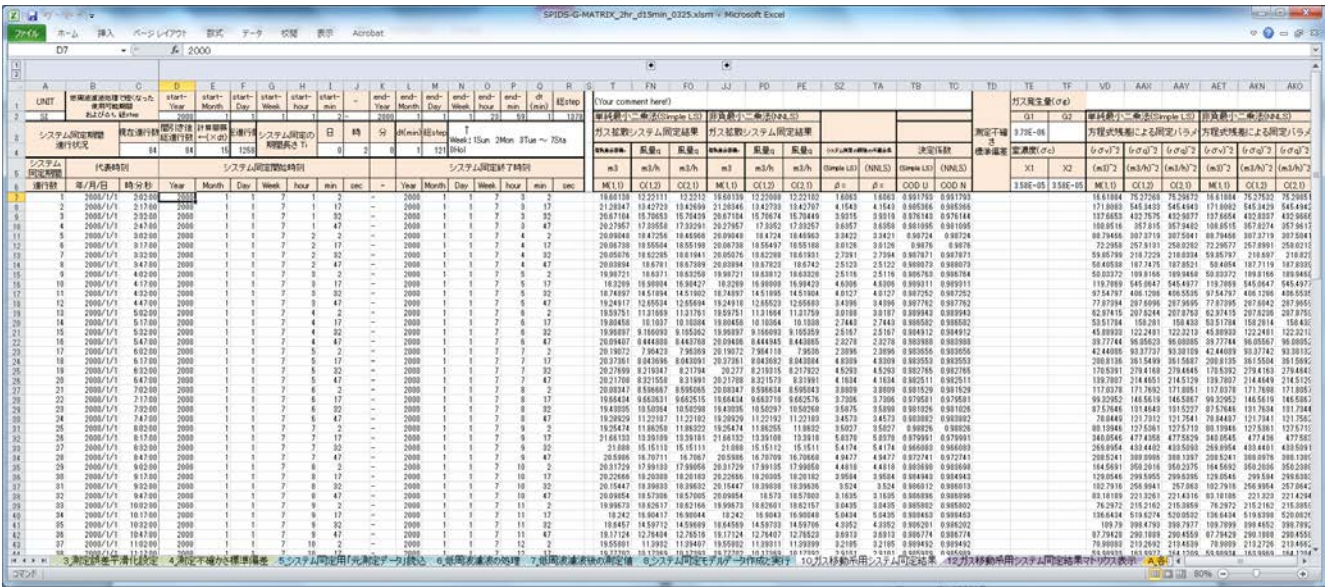


図-9 システム同定結果

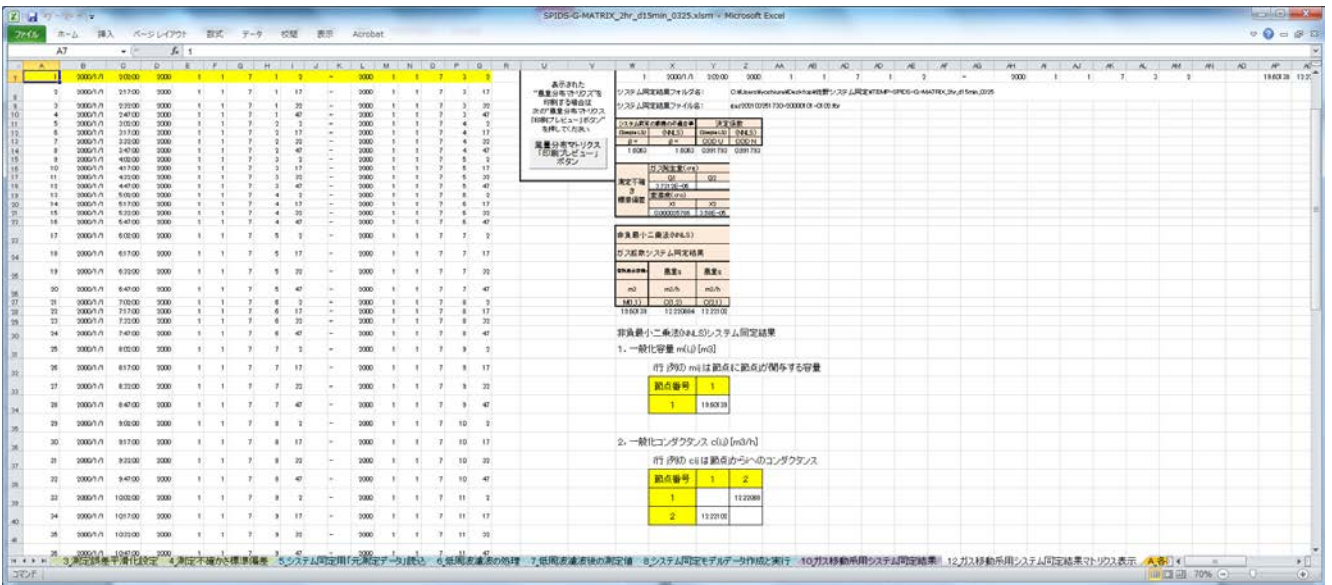


図-10 システム同定のマトリックス表示

合は「9_熱移動系用システム同定結果」が表示される。ガス拡散系は図9と10に示す「10_ガス移動系用システム同定結果」が表示される。

5. 換気量変化と有効混合容積の推定結果

図11に風量と有効混合容積の同定結果を示す。気象条件や室温による換気量変化は滑らかであるが、NETSのモード変化機能による送風機風量は段階的変化となる。一括同定期間が1.5時間の場合、ガス発生周期の2時間より短いので、この同定期間内にガス発生が入らず、減衰期間だけの場合も生じるので、換気量の良好な推定がなされていない。一括同定期間の長さが2時間の場合は、移動同定期間での平均的な風量が推定されるので、瞬間々の送風機風量は推定できないが、少し均した変化は捉えていることが分かる。さらに同定期間が4時間と長くなると、この期間内での換気量の変化は、さらに均されて推定されている。

計算モデルの有効混合容積については、測定の期間中において、設定した 20m^3 が一定に推定されるべきである。しかし同定期間が不十分な1.5時間の場合は、周期的に 10m^3 程度まで低下しており、良好な推定が出来ていない。一括同定期間の長さが2時間以上では、少し変動は見られるが、計算モデルでの 20m^3 を概ね推定できている。

次に、図12に決定係数CODと前提の不適合率 β の結果を示す。一括同定期間が1.5時間の場合では、この同定期間内にガス発生が入らない期間が生じるので、決定係数CODが比較的悪くなっている。一方、同定期間が2時間と4時間の場合は、期間内にガス発生が入っているため、決定係数CODがほぼ1であり、比較的良い結果となっている。

前提の不適合率 β は正常であれば1に近いが、結果を見ると、同定期間に関わらず2以上を示している。これは、一般に最小二乗法で推定される係数は、同定期間中において一定であることを前提としているのに対して、今回の模擬測定での換気風量は、この期間中に変化しているために、この前提が成立していないこと検出していると考えられる。

6. まとめ

固形アルコール燃焼を間欠的に行って換気測定用の炭酸ガスを発生し、一括同定期間は燃焼期間と減衰期間の合計長さとする事で、換気風量の変化も捉えられることを確認した。また並行して、測定期間中の有効混合容積を良好に推定できることを確認した。今後は炭酸ガスが矩形的な発生をすと仮定して、換気風量の変化と有効混合容積の推定精度を検討する必要がある。また、実際の炭酸ガス発生を試作機もできているので、実建物で

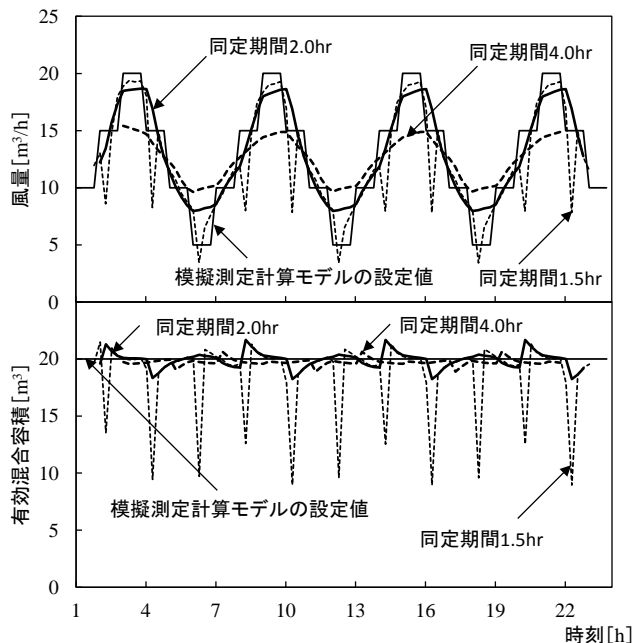


図-11 風量と有効混合容積の同定結果

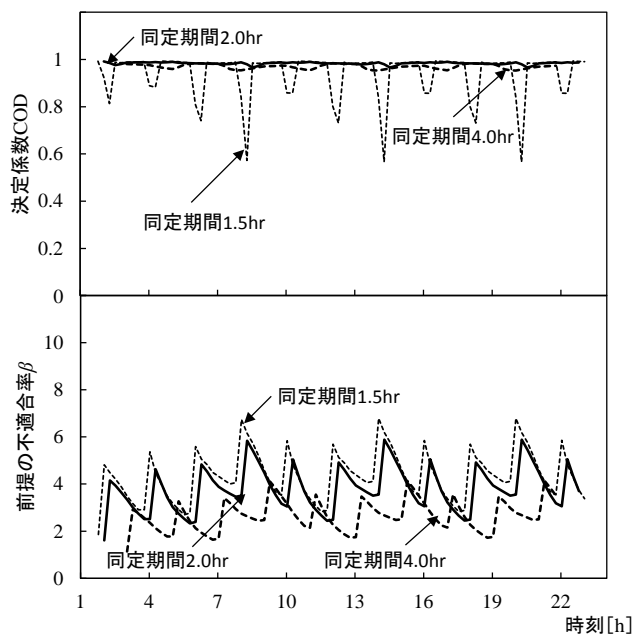


図-12 決定係数CODと前提の不適合率 β の結果

の実験が望まれる。

謝辞

本梗概は、佐野輝の2020年度の神奈川大学の卒業研究として行われた計算をもとに、改良したものである。

参考文献

- 1) 吉浦温雅・奥山博康：固形アルコール燃焼による炭酸ガス発生を利用した換気量と有効混合容積の簡易測定法，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1353-1354,2020.9
- 2) 奥山博康・吉浦温雅：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，pp.749-752,2017.8
- 3) H. Okuyama, et.al, 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