

# 換気測定法に関する考察と事例研究

正会員 奥山博康(清水建設株) 同 澤地孝男(建築研究所) 同 瀬戸裕直(建築研究所)  
 同 高橋泰雄(建築研究所) 同 成田健一(日本工業大学)同 岡部 実((財)パターニング)  
 同 田島昌樹(東京理科大学)同 尾本英晴(松下精工株) 同 根本孝明(住友林業株)

## 1. はじめに

建築換気は、機械換気だけでなく、内外温度差や外部風が要因となる隙間風や自然換気による分も大きい。従って空気流動の所在や分布の直接的測定は難しく、トレーサーガスを用いた換気測定が有用である。本論ではシステム同定法(ガス断続発生法)と呼ぶ多数室換気測定法と他の測定法を比較しながら、各測定法の問題点を考察する。またシステム同定法による実建物での測定実施例も紹介する。

## 2. 多数室換気測定システム

本測定システムは、熱回路網のシステム同定理論の応用として開発したものである。本熱回路網モデルは温度の拡散系だけでなくトレーサーガスの拡散系も一般的に表現している。測定システムを図1に示す。ガスの注入も空気の吸引もコンピュータ制御する。多点ガス注入装置を経由して各ゾーンに断続的にガスを注入し、各ゾーンで時間的にも室間的にも変化する濃度を作り出す。これらの変動するガス注入流量とガス濃度の測定データに基づいてシステム同定計算プログラムSPID(System Parameter Identification)により、外気も含むゾーン間の風量、有効混合容積、ガス注入比率等の三種の拡散系のパラメータを推定する。推定方法は、多数ゾーン系においてガス濃度変化を表す連立常微分方程式の方程式誤差の二次形式を測定期間で時間積分して評価関数とし、これを推定すべきシステムパラメータで微分してゼロとおいた式を基本とする最小二乗法である。統計的な推定方法であるから誤差の評価も合理的に行うことができる。測定機器の誤差やガス濃度変化の数学モデルと実現象の差異等は、結局方程式誤差になって現れると考えられ、方程式誤差から同定パラメータへの誤差伝播が記述できるから

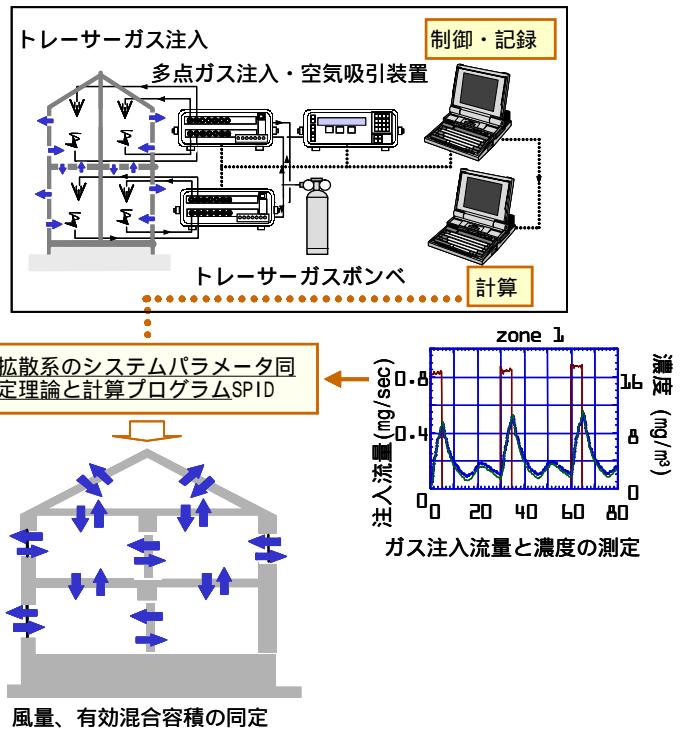


図1 多数室換気測定システム

表1 各種の単室換気測定法の問題点

静的測定法	一定濃度法	$dc/dt=0$ に制御する方法 ..... 多数ゾーンに適用された場合、一様濃度となるために、隣接ゾーン経由の外気が全く換気量として評価されない。
	一定供給法	$dc/dt=0$ と強いて見なす方法 ..... 自然換気駆動力の変動により正確には $dc/dt=0$ とはならないので、誤差になるか、有効混合容積 $V$ を仮定しなければならなくなる。
動的測定法	減衰・増加法	消極的に $dc/dt <> 0$ の過渡状態を利用する方法 ..... $dc/dt <> 0$ といっても変化に乏しく、従って有効混合容積 $V$ の仮定が必要となる。
	システム同定法	積極的に $dc/dt$ の変動状態を継続的に作り出す方法 ..... 測定データ自体の陽的な解釈が難しく、計算プロセスも分かり難い

である。現測定システムでは、ガス濃度測定に1分かかるので、評価関数の時間積分も1分間隔の台形近似積分であり、さらに空気吸引切り替え装置により1台のガス分析器で多数ゾーンを1分毎に切り替えて濃度測定するので、時間的線形補間近似を行っている。こうしたハードウェアの制約による誤差や、チューブ配管の手間による実用性に関する今後の研究開発課題等が残っている。

### 3. 各種の換気測定法の分類

本格的な多数室換気測定法は未だ数少ない。そこで主に単室の換気測定法に関して問題点を検討し、表1のようにまとめた。本システム同定法は単室の場合にも適用可能なので表1に含めた。本考察は単室モデルを例にとったが多数室モデルの測定法にも共通するものがある。ガス濃度変化の微分項  $dc/dt$  の性状によって、測定法を静的測定法と動的測定法に大別することができる。一定濃度法は、ガス濃度変化が無い様に能動的に制御を試み、一定供給法は、受動的にガス濃度変化が無いことを期待する方法と見なせるから、ともに静的測定法と呼ぶことができる。なお実現現象において厳密な定常状態は無いことにより静的測定法は誤差の問題がある。一方、減衰法も増加法も消極的ながらもガス濃度変化の過渡状況を利用し、さらに本システム同定法は積極的かつ継続的に濃度変化を生ぜしめた状況を利用するので、何れも動的測定法に分類できる。なお一定濃度法は、多数ゾーンに適用した場合に図2に示すような吹き抜け空間を経由してくる外気は全く評価されないのので、本質的には単室扱いの測定法と考えるべきであろう。

### 4. 統計的方法と決定論的方法

従来の測定法は基本的にガス濃度変化過程の1,2時点の測定値があれば換気量を決定できる決定論的方法である。これに対してシステム同定法は時系列的に多くの測定値を必要とする統計的方法なので、表2に示すように其々長所と短所がある。しかし換気風量等の推定誤差は、

測定機器自体の誤差よりは、幾何的室容積と有効混合容積の食い違いや、換気風量の変動などの数学モデルと実現現象の差異が、より大きな要因と考えられるから、方程式残差からの伝播則として誤差評価を行える統計的方法をとるのが

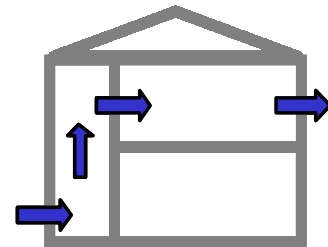


図2 一定濃度法の問題点

表2 統計的方法と決定論的方法

決定論的	ガス濃度変化の過程の1,2時点だけで換気量を決定できる。(推定パラメータ個数分の時点数の測定で決定できる)
	ガス濃度のサンプリングバック方式でも実施が可能。換気量の推定誤差の評価が難しい。
統計的	ガス濃度変化の過程の時系列の多くの時点から推定する。(推定パラメータ個数よりも多い時点数の測定から推定する)
	ガス濃度等の時系列の連続的測定機器が必要。最小二乗法等の数学的処理が面倒。換気量等の推定誤差の評価が容易。

表3 換気量と有効混合容積

単一係数推定	単室のガスの質量収支式に基づいて換気量または換気回数の何れか一つを求める。
	換気風量や換気回数が決定できても有効混合容積が決められないので不十分である。
複数係数推定	一般に単室/複数室のガスの質量収支式に基づいて複数の風量と有効混合容積とガス入力率等を同時に推定する。
	連立した最小二乗法等の数学的処理が必要。推定係数が多いため変化に富んだ長期の時系列的な測定値が必要になる。

表4 換気の時間変化の推定(時変係数推定)

非同定法	非システム	一定濃度法では $dc/dt=0$ 制御の問題がある。一定供給法では有効混合容積の仮定が必要になる。減衰/増加法では有効混合容積の変化か換気量の変化かの区別がつかない。
同定法	システム	推定すべき係数が複数ある限り、瞬間々の係数の変化を求めることは困難で、ある程度の時間の移動平均的な変化推定になる。

適切であろう。

### 5. 有効混合容積

有効混合容積と呼ぶものについて考えてみる。これはガス濃度変化の常微分方程式に縛られたパラメータと見なさなければならないが、室の幾何的容積あるいはこれ以下の一定の容積とは異なり、本来は変化するものと考えべきである。表3に示すように、従来法は幾何的容積を有効混合容積と仮定するケースが多いが、システム同定法では換気風量と共に推定することが可能である。仮にガスの混合状況を支配する気流分布は変化しないとしても、ガス供給の停止や開始の変動があつてから、この影響が及ぶ容積は、その変動からの経過時間に依存すると考えられる。従つてもし減衰法や増加法において、有効混合容積を一定と仮定する限り、ガス供給の変動からの経過時間によって、推定される換気風量も少し異なつた値になると考えられる。言い換えれば、換気量の推定に室の幾何的容積を用いる限り、適切な経過時間はどれくらいかという問題がある。これは  $dc/dt$  をゼロと見なさない、あるいは見なせない全ての測定法に関して言えることであり、断続的なガス供給を行うシステム同定法においても適切な断続周期があると考えなければならない。例えば極端な場合であれば、秒単位の短い周期でガス発生が断続しても、適切な濃度変化応答は得られないであろう。そこで断続発生法では、適切なシステム同定を行うための系への最適励振は、どのような周期と振幅かという問題がある。しかし有効混合容積も換気風量と同時に推定できる方法では、前述の問題はある程度回避することができる。もし短絡的流れや成層の流れが無視できず存在する場合はむしろ積極的に有効混合容積も推定する必要があるだろう。

### 6. 換気の時間変化の推定

換気風量等の変化は考慮されるべきであるが、従来の測定法は無視できることを前提に成り立っている。本来は積極的に時間変化をとら

えて行くことができる方法論を組み立てておくべきである。しかし表4に示す様に、何れにせよある程度の時間での移動平均的な推定になるであろう。

### 7. 測定実施例

本多数室換気測定を、つくば市の(財)ベターリビング筑波試験センター内に建てられた在来

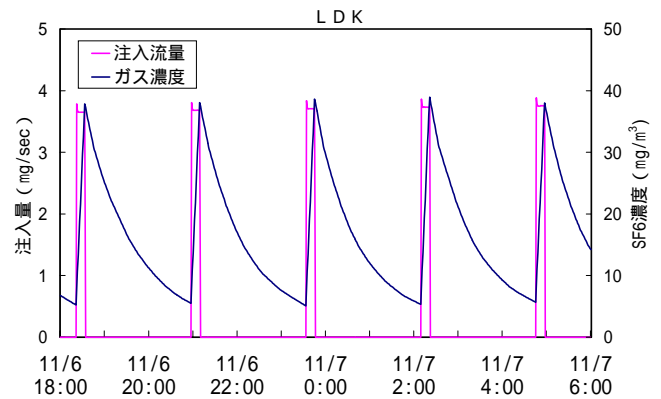


図3 LDKでのガス濃度と注入流量の変化

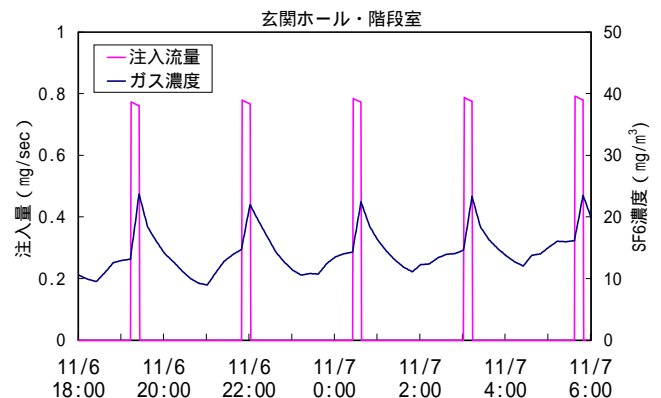


図4 玄関ホール・階段室でのガス濃度と注入流量の変化

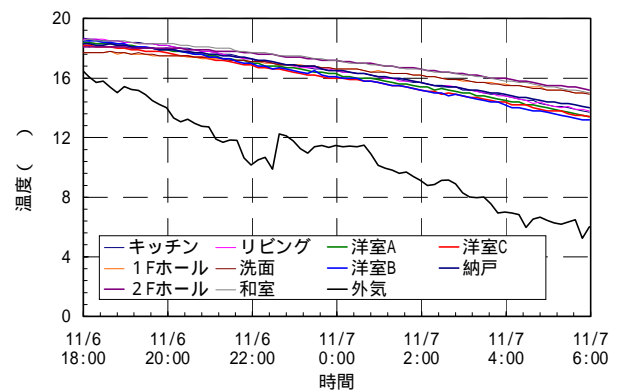


図5 各室の中心温度と外気温度の変化

軸組構法の二階建木造住宅で、平成13年11月6日朝から11月12日朝まで実施した。これ以外の期間は一定濃度法等の測定法を実施している。建物と換気システムや他の測定方法について詳しくは他報[2]に譲るが、本測定時には第三種ダクト式(ダクト式排気セントラル)が稼動していた。連続的に測定されたガス濃度変化のデータから図3や4に示すような11月6日18時~7日の6時までの12時間分の測定データについてシステム同定した結果を図7に示す。この期間では機械換気風量が強の状態であり、図5に示すように平均的外気温度は約10℃、建物内は約17℃、外気風速は2m/s前後であった。建物全体での換気回数は、本測定法では約0.6回/時となったが、一方同様な条件で熱線式風量計による排気風量からは0.5回/時、一定濃度法では約0.64回/時となった。全般的風量分布に一定濃度法と顕著な違いは見られなかったが、幾つかの室においては隣室からの風量と直接侵入外気量を合計した風量が、一定濃度法での直接侵入外気量に近くなっている状況が認められた。

## 8. まとめ

主に単室扱いの各種換気測定法の分類と問題点の検討を行いシステム同定法の特長も述べた。また本測定法の適用事例で全体的換気量に関しては一定濃度法とほぼ同じ値となった。

【謝辞】本測定とデータ分析やまとめ等に関して同僚の大西由哲氏のご協力を得ました。

## 【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", 博士号学位論文, 1987年12月  
 [2] 根本, 澤地, 瀬戸, 高橋, 成田, 渡部, 岡部, 尾本, 奥山, 坂本, 田島, "室内空気質改善を目的とした複数の換気システムを有する実験住宅における換気・温熱環境に関する研究 その1全体概要", "同主題 その2換気測定概要", "同主題 その3外部風が換気量に与える影響", "同主題 その4換気量と温熱環境", 建築学会2002年度大会(金沢)・学術講演梗概集・環境工学

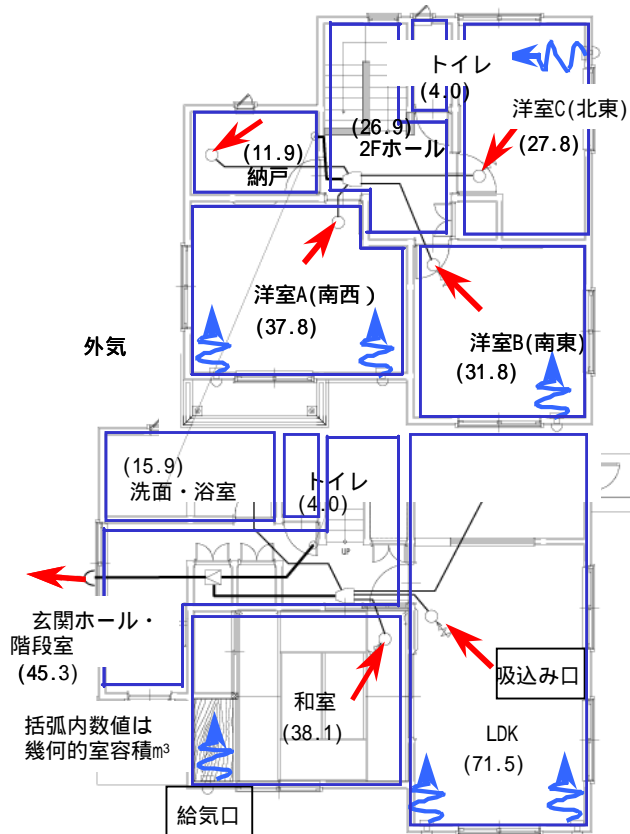


図6 第三種ダクト式稼動時の設計上流れと幾何的室容積

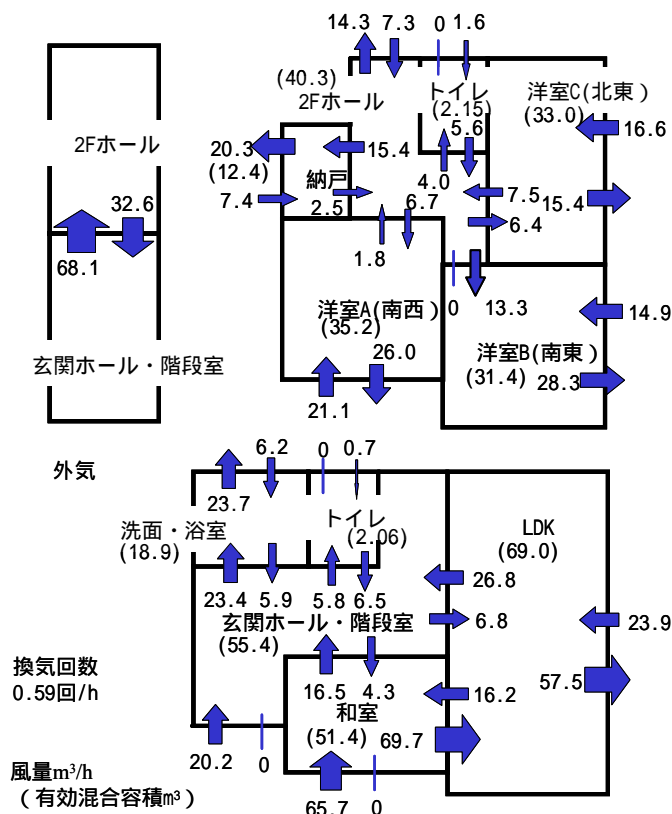


図7 システム同定結果の風量分布と有効混合容積