トレーサーガスを用いた新鮮空気量充足度の推定実験

シリンダーハウスにおける検証

PRESUMPTION EXPERIMENT OF SUPPLY RATE FULFILLMENT USING TRACER GAS

Verification on the cylinder house

田島昌樹^{*1}, 澤地孝男^{*2}, 瀬戸裕直^{*3}, 武田 仁^{*4}Masaki TAJIMA, Takao SAWACHI, Hironao SETO
and Hitoshi TAKEDA

The purpose of this study is to estimate the accuracy of SRF (Supply Rate Fulfillment) value using tracer gas methods, which are constant concentration method and constant injection method, on the test house. The test house is established in an artificial climatic chamber, its air tightness can be varied and airflow rate can be known by ΔP method which uses the differential of pressure between outside and rooms. Using SRF as a ventilation performance index, properties given by tracer gas are compared to their values given by network model or ΔP method. The following are conclusions on the experiment in nearly steady conditions.

1. The ways to calculate and to treat SRF and other properties are shown.
2. The SRF values, which indicate less than 1.0, are shown by using the tracer gas method.
3. SRF, α and other properties using tracer gas method can be indicated moderate value compare to other method.
4. The tracer gas method is useful to presume SRF value from practical standpoint.

Keywords: ventilation performance, tracer gas, constant concentration method, constant injection method, network model, house

換気性能 トレーサーガス 一定濃度法 一定発生法 換気回路網 住宅

1. はじめに

一般に住宅は多数の室が連続的に接続されており、ある室の換気性状や換気性能を考える場合、他室を通過した空気の影響を無視できない場合が多い。特に第3種型の換気システムや2階建住宅における温度差を利用した自然換気システムを導入している場合は直接的に当該室に外気が導入されるのではなく他室を通過して当該室に流入する空気の中に新鮮空気としてのポテンシャルを見出して換気に供することも多く、このような他室を通過した空気の影響は相対的に小さくはない。本研究は2階建実験住宅に、温度差換気と第3種換気を設定した定常条件下で、SRF⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ (Supply Rate Fulfillment) を換気性能評価指標に用いてトレーサーガスによる同指標や余剰新鮮空気量率 α などの特性値の算定を行い、換気回路網による理論計算や差圧法(後述する微差圧計を用いる方法)を用いて推定した場合と比較し、実住宅での測定を視野に入れ測定手法の精度確認を行ったものである。

2. トレーサーガスによる換気性能の測定

2.1 既往の換気測定法

トレーサーガスを使用した換気性状および換気性能の測定は、特に単一のトレーサーガスを使用する場合、その注入手法により分類

すると以下ようになる。

(1) パルス注入法	(Pulse injection method)
(2) 減衰法	(Decay method)
(3) 一定発生法	(Constant injection method)
(4) 一定濃度法	(Constant concentration method)

(1)は空気齢測定のためのパルス発生法や室間空気流量を推定するための奥山のシステム同定法⁵⁾などが代表的である。(2)は空気齢を測定するためのステップダウン法や住宅の換気量測定法としてJIS⁶⁾に定められており厳密には換気回数の測定法である。(3)の一定発生法 Constant injection method⁷⁾⁽⁹⁾は Constant emission method⁸⁾とも呼ばれ、換気性状が変動しない条件で主に単室の換気量¹⁰⁾を求める手法で、このような条件下で換気量を求める場合は対象室の容積の影響を考慮しないよい。また換気システムの給気ダクトなどに同様の発生法を用いてステップアップ法による空気齢測定が行われており上述のステップダウン法と併せた測定事例¹⁰⁾⁽¹¹⁾はわが国でも多い。(4)は住戸内各室のトレーサーガス濃度を均一にするため室間の空気流量は把握できないが、多数の室がある場合でも各室に直接供給される外気導入量が測定でき、換気性状が変動する場合でも比較的安定して測定が行える。また多種のガスを用いる方法では室間の換気量

^{*1} 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻
博士後期課程・工修

^{*2} 独立行政法人建築研究所 上席研究員・工博

^{*3} 独立行政法人建築研究所 主任研究員

^{*4} 東京理科大学理工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Tokyo University of Science, M. Eng.

Building Research Institute, Dr. Eng.

Building Research Institute

Prof., Tokyo University of Science, Dr. Eng.

を推定する絵内の多種トレーサーガス法¹²⁾があり一定の精度で測定できることが確認されている。

2.2 本研究で用いた手法

本研究では、測定手法の複雑さや測定データの処理に特別専門的な知識を必要としない比較的簡単な測定手法を用いて換気性能を求めることを目的とし、住宅の外気導入量を測定する手法として一定濃度法¹³⁾を、さらに換気性能評価指標 SRF 値を推定する手法として一定発生法を採用した。なお本研究では一定発生法とは上記 Constant injection method のように換気量や空気齢の測定を目的としたものではなくその収束濃度から対象室が充足状態にあるかどうかを判断し SRF 値を算定するために各室で異なる量のトレーサーガスを一定発生させるものである。

3. 換気性能評価手法

3.1 既往の研究における換気性能評価

換気性能評価に関する既往研究は換気効率に関してなされているものが多い。赤林ら¹⁰⁾や吉野ら¹¹⁾は、外気がある点に到達するのに要する平均的な時間を表す局所空気齢を用い、名目換気時間で除して基準化した局所空気交換効率により建築空間内の導入外気の分配に着目した評価を行っている。また空気が有している汚染物質の希釈能力に着目した換気性能指標として、加藤ら¹³⁾¹⁴⁾が CFD によりオフィス空間などを対象に検討を行ったパーキングフローレイト¹⁵⁾があげられる。パーキングフローレイトは特に瞬時一様拡散場でない汚染質の濃度分布が存在する条件で、対象とした局所領域内で発生する汚染質量を当該対象領域の平均汚染質濃度で除した値として表され、局所領域の汚染質濃度を定める実質的な換気量を示している。

一方、本研究で用いた SRF は多数室間の空気流動が有する汚染質の希釈能力を考慮に入れた対象空間の換気性能を示す指標であり上記指標とは異なり、瞬時一様拡散の仮定のもとで使用される。

3.2 新鮮空気量充足度 SRF

換気性能評価指標として SRF 指標を用いることで以下のような利点がある。

- ・各室および住宅全体の換気性能を 1 つの数字で示すことができ、様々な換気システムを簡単に比較評価できる。
- ・当該指標の数字を比較することで適切な換気システムの選定に用いることが出来る。
- ・各室に流入する空気量に含まれる新鮮外気としてのポテンシャルに着目し各室に供給される実質の新鮮空気量が評価できる。

また外気を含めた室間の空気流量が既知の場合、SRF 値は以下の手順により算定できる。各室において必要新鮮空気量 P_i を設定し、室数だけたてられる新鮮空気の保存に関する式(1)を連立方程式として解き、各室の余剰新鮮空気量 α_i を求める。次に、式(2)によって算出される各室の有効新鮮空気量 S_i を式(3)に代入し算出される。式(3)の最初の等式にあるように、SRF は有効新鮮空気量と必要新鮮空気量の比であり完全な充足状態で 1.0 を示す。なお SRF は他室を通過した空気が汚染物質を希釈する能力がある場合はそのポテンシャルを新鮮空気として、逆に汚染物質濃度が高い場合はそのポテンシャルを負の新鮮空気として扱うことができる。実務における換気計画

では必要新鮮空気量 P_i の設定が重要になるが通常は在室人数から算定される空気量や次世代省エネルギー基準の新鮮空気の供給量の目標値¹⁶⁾などをもとに決定する。また住宅全体の換気性能を表す指標 OSRF(Overall Supply Rate Fulfillment)を式(4)のように定義する。

$$A_i + \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot Q_{ij} - \alpha_i \cdot \left(\sum_{j=1}^m Q_{ji} + B_i \right) - P_i = 0 \quad (1)$$

$$S_i = A_i + \sum_{j=1}^n \max(0, \alpha_j \cdot Q_{ij}) - \sum_{j=1}^m \max(0, \alpha_i \cdot Q_{ji}) - \max(0, \alpha_i \cdot B_i) \quad (2)$$

$$SRF_i = \frac{S_i}{P_i - \sum_{j=1}^n \min(0, \alpha_j \cdot Q_{ij})} = \frac{S_i}{P'_i} \quad (3)$$

$$OSRF_i = (SRF_1 \times SRF_2 \times SRF_3 \times \dots \times SRF_N)^{1/N} \quad (4)$$

A_i	: i 室への直接新鮮空気量 m^3/h
B_i	: i 室から直接外部へ排出される空気量 m^3/h
N	: 必要新鮮空気量を設定した室数
P_i	: i 室の必要新鮮空気量 m^3/h
P'_i	: i 室の実質必要新鮮空気量 m^3/h
Q_{ij}	: j 室から i 室へ流れる空気量 m^3/h
S_i	: i 室の有効新鮮空気量 m^3/h
m_i	: i 室から流出する空気の先となる室数
n_i	: i 室へ流入する空気の元となる室数
α_i	: i 室の余剰新鮮空気量率

3.3 トレーサーガス一定発生法による SRF の推定方法

表 1 に本研究で用いた換気性能および換気量予測・算定手法をまとめる。表 1 中の「○」はその手法のみで各項目が求められることを、「△」は一定の条件下で求められることを、「×」はその手法のみでは求められない項目を示している。なお差圧法は各室間や外壁に存在する隙間特性が完全に把握されている場合のみ有効な手法で室内外や室間の差圧を微差圧計¹⁷⁾などを用いて測定することで、室間空気流量を求める手法である。本研究では一定濃度法と一定発生法を用いるため室間空気流量を完全に把握するには至らず、式(1)～式(3)を解く手法では SRF を算定することはできないが、トレーサーガスの収束濃度などから一定条件下で SRF が求められる。

表 1 換気性能および換気量予測・算定手法

	SRF	α	室間空気流量	外気導入量
一定発生法	△	○	△	△
一定濃度法	×	×	×	○
換気回路網	○	○	○	○
差圧法*	○	○	○	○

*シリンダーハウスのように隙間の位置と特性が既知である場合のみ可能

一定発生法を用いて SRF を算定する場合式(5)のように許容濃度を定義し、式(6)のように各室のトレーサーガス発生量 q_i の比が必要新鮮空気量 P_i の比と等しくなるように設定する。その結果すべての室で許容濃度 α_c が等しくなり設定した必要新鮮空気量 P_i に対して充足 (SRF=1) もしくは非充足 (SRF<1) であるかがわかる。図 1 を用いて例示する。図 1 は A～D の 4 室で一定発生法を行った場合のトレーサーガス濃度変化を模したものであり、トレーサーガス注入開始後十分時間が経過しガス濃度が収束した状態で、許容濃度 α_c を上回っている室が非充足状態にあることを示す。つまり許容濃度が α_{c3} として決められた場合は A 室および B 室が SRF=1 の充足状態にあり、C 室および D 室が非充足状態 SRF<1 となる。また、許容濃度が α_{c10} や α_{c20} である場合には、全室が許容濃度を下回り SRF=1 となる。

図1 一定発生法による収束濃度と許容濃度の例

既往の研究³⁾では $SRF < 1$ の条件では、充足か非充足かの判断を行うことのみこの手法を使用していたため SRF の算定は行っていないが本研究では、以下のような方法で算定を行った。余剰新鮮空気量率 α_i と許容濃度 σ_c および収束濃度 σ_i はその定義から式(7)の関係にあり式(9)の i 室に流入する空気平均的な余剰新鮮空気量率 $\bar{\alpha}_i$ が分かれば、式(8)で定義した濃度比 d_i および式(10)によって SRF 値が算定できる。トレーサーガスの測定結果のみで $\bar{\alpha}_i$ を算定するには空気の流入元となる室数が外気を含めて2室までとする限定条件がつけられるが、多くの居室ではこの条件になると考えられる。各室の濃度推移と換気量およびトレーサーガスの発生量は式(11)の関係にあり、収束状態では式(11)'のように左辺が0となり、測定結果から各室のトレーサーガス濃度 (C_i, C_j) および一定濃度法により外気導入量 A_i の値が得られるため室間空気流量 Q_{ij} もしくは空気流入のもととなる室からの室間空気流量の比が算定できる。よって式(9)から $\bar{\alpha}_i$ が求められ、 SRF が算定できる。また SRF_i は式(3)に示したように i 室の有効新鮮空気量の実質必要新鮮空気量に対する比であるので、式(12)のように当該室に不足する外気相当空気量が算定でき、 $SRF < 1$ を示した室の換気性能改善に必要な空気量を知ることができる。

$$\sigma_c = \frac{q_i}{P_i} \quad (5)$$

$$P_1 : P_2 : P_3 : \dots : P_n = q_1 : q_2 : q_3 : \dots : q_n \quad (6)$$

$$1 - \frac{\sigma_i}{\sigma_c} = \alpha_i \quad (7)$$

$$d_i = \frac{\sigma_c}{\sigma_i} \quad (8)$$

$$\bar{\alpha}_i = \frac{A_i + \sum_{j=1}^N \max(0, \alpha_j \cdot Q_{ij})}{A_i + \sum_{j=1}^N Q_{ij}} \quad (9)$$

$$SRF_i = d_i \cdot \frac{1}{d_i + (1 - d_i) \cdot \frac{1}{\bar{\alpha}_i}} \quad (10)$$

$$\frac{dC_i}{dt} V = q_i + \sum_{j=1}^n Q_{ij} (C_j - C_i) - A_i C_i \quad (11)$$

$$0 = q_i + \sum_{j=1}^n Q_{ij} (C_j - C_i) - A_i C_i \quad (11)'$$

$$Q_{Li} = (1 - SRF_i) \cdot P_i' \quad (12)$$

- C_i : i 室のトレーサーガス濃度 mg/m^3
 Q_{Li} : i 室の不足する外気相当空気量 m^3/h
 d_i : i 室における濃度比
 q_i : i 室のトレーサーガス発生量 mg/h

- $\bar{\alpha}_i$: i 室に流入する空気平均余剰新鮮空気量率
 σ_c : 許容濃度 mg/m^3
 σ_i : i 室の収束濃度 mg/m^3

4. シリンダーハウスにおける実験

4.1 実験概要

測定精度検証のための実験は建築研究所の人工気候室内に設置されたシリンダーハウス⁴⁾ (図2および図3) において行った。シリンダーハウスは図3のようにシリンダーが外壁面に多数設置されており気密性能が自由に設定できる他、屋外条件となる人工気候室やシリンダーハウス内部の温度を自由に設定できる。実験に用いたシリンダー等の隙間特性を表2に示す。また実験に先立ち当該建物の気密測定を行ったところ建物全体で相当隙間面積が $7.2[\text{cm}^2]$ 、相当隙間面積が $0.1[\text{cm}^2/\text{m}^2]$ を示し、外壁部にはほとんど隙間のない状態であった。また人工気候室内は $400[\text{m}^3/\text{min}]$ の風量で換気されておりシリンダーハウスからトレーサーガスが排出された場合でもガス濃度があがらないようになっている。トレーサーガスの注入や採取はシリンダーハウスや人工気候室とは別室となる制御室に設置したINNOVA製のトレーサーガスモニター⁵⁾を使用した。当該測定器にガス搬送のためのチューブを接続し図2中の×印部分(高さは天井高の半分)にてガスの注入および採取を行い、注入口前面にはガスが十分拡散するように小型ファンを設置した。なお本研究ではトレーサーガスとして SF_6 を用いた。

● Exhaust Grill
 × Tracer gas injection & sampling point
 図3 シリンダーハウス平面図および設定

図4 シリンダーハウス断面図

実験条件を表3に、換気システムの形態を図4に、各室に設定した必要新鮮空気量の設定値を表4に示す。本研究は他室を通過する空気についての評価値推定を目的としているため、排気を居室で行うほか温度差換気が併用されるよう設定した。室内外温度は1℃未満程度の変動で制御され、排気風量は図3の天井裏および小屋裏内のダクト内風速を測定することによりモーターダンパー（MD）を制御して風量を一定に保つようになっており、超音波流量計で更正した熱線式風量計などで調整を行い $\pm 2[\text{m}^3/\text{h}]$ 程度^{注5)}の誤差範囲で設定した。またドアアンダーカットを模した室間の開口は文献¹³⁾を参考に $\alpha A = 136[\text{cm}^2]$ と設定した。

表2 隙間および開口条件

開口形状	$\alpha A [\text{cm}^2]$	n
シリンダー（流入）	15.3	2.0
（流出）	15.6	2.0
スリット（流入）	1.47	1.28
（流出）	1.55	1.25
ドアアンダーカット $\phi 160$	136.0	2.0

図4 機械換気形態（左をシステムa、右をシステムbとする）
ダクト式のシステムであるが機械排気を壁付けファンで示した

表3 実験条件

実験 CASE	換気 システム	相当隙間面積* [cm^2/m^2]	温度設定[℃]		
			屋外	室内	温度差
01	a	5	5	20	15
02	b	↑	↑	↑	↑
03	a	2	↑	↑	↑
04	b	↑	↑	↑	↑

*隙間はSC以外の居室に平均的に配した

表4 各室の必要新鮮空気量設定値

	LV	DK	BS	BN	SC
$P_i [\text{m}^3/\text{h}]$	40	20	20	40	0

4.2 他手法との比較方法

上述のようにトレーサーガスを用いた手法により得られた結果を、差圧法や換気回路網と比較することで精度を確認した。これら比較対照とした手法は表2の隙間特性を用いて室間空気流量を算定することで室数分の余剰新鮮空気量率 α_i に関する連立方程式（式(1)）を解きSRF等の換気性能特性値を算出した。ただし差圧法では室間差圧が小さく空気流量に誤差が生じやすいので、外壁から流出入する空気量のみを算定し、系が閉じるようにSCで空気量の調整を行った。また機械排気風量は設定値として固定した。

4.3 実験および計算結果と考察

一定発生法によるトレーサーガスの発生量と濃度推移の例を図5に示す。このCASEではBN室の換気風量がほとんど得られなかったため濃度収束までに最も時間がかかった。全てのCASEで図5のように収束するまでトレーサーガスによる測定を継続し収束後1時間以上のデータを採取しSRF等の特性値を算定した。

図5 CASE01 トレーサーガス発生量および濃度推移（一定発生法）

本研究では換気回路網による計算結果を理論的な正解値と考え、差圧法による推定は微差圧計の精度や僅かに生じていると考えられる温度ムラおよびシリンダーハウス外壁に僅かに存在する隙間などの影響による推定誤差を含む準正解値と考え、トレーサーガス法による推定値がこれらの値とどの程度乖離しているかを基準に比較を行った。

(1) 直接外気導入量および室間空気流量

住宅の換気性能評価において直接外気導入量は最も基本的な指標である。またSRFの算定には各室の直接外気導入量が既知となれば推定精度が高くなるため本研究では一定濃度法を用いて各室の外気導入量を測定した。実験および回路網計算によって得られた各室の外気導入量を図6に、シリンダーハウス全体の換気量を表5に示す。また換気回路網計算と差圧法によって得られた室間空気流量を図7および図8に示す。トレーサーガス法と示してあるものは、一定濃度法によって得られた数値である。すべての手法において外気導入量に大きな差異はなく、また図7および図8のように差圧法と回路網計算で室間の空気流動も比較的一致しており、各手法で同様の換気性状が示されている結果を得た。

図6 各室の外気導入量比較

表5 シリンダーハウス全体換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

CASE	トレーサーガス法	換気回路網	差圧法
01	111.2	104.2	116.5
02	98.9	104.2	115.2
03	80.2	79.8	80.8
04	86.7	79.8	80.1

図7 換気回路網計算による換気性状

図8 差圧法による換気性状

(2) SRF および α 算定値

トレーサーガス法による SRF 算定値を表 6~9 および図 9 に示す。また各手法による SRF と α を表 10~13 に示す。表 6~9 で各 CASE の許容濃度が異なっているのは測定時のガスボンベ圧などによりガスの供給量が異なっていたためである。また表 6~13 では SRF<1 および $\alpha<0$ の部分をグレーに、またそのうち居室で最も SRF が低い室は黒く塗りつぶした。図 9 のように各 CASE で充足状態の室が変化に富んだ結果となっている。各手法で SRF、 α とも非常に近い値を示しているほか各 CASE で室ごとの傾向が一致している。一部 CASE04 の SC において換気回路網による値が他手法と比較して若干低い値を示した以外は、SRF=1 もしくは SRF<1 (充足もしくは非充足) についても一致した。なお換気回路網による当該部分 (CASE04 の SC) は α 値が他手法と同様 0 に近く、SRF 値もほぼ一致していると言える。

図9 各手法による SRF 値比較

表 6 トレーサーガス法による SRF (CASE01)

	P_i [m³/h]	α_e [mg/m³]	α_i [mg/m³]	d_i	α_i	SRF _i
LV	40	386.7	307.5	1.26	0.20	1.00
DK	20		187.1	2.07	0.52	1.00
BS	20		325.6	1.19	0.16	1.00
BN	40		1208.3	0.32	-2.12	0.21
SC	0		199.0	1.94	0.49	1.00

表 7 トレーサーガス法による SRF (CASE02)

	P_i [m³/h]	α_e [mg/m³]	α_i [mg/m³]	d_i	α_i	SRF _i
LV	40	388.2	307.5	1.30	0.23	1.00
DK	20		187.1	2.14	0.53	1.00
BS	20		325.6	0.53	-0.88	0.38
BN	40		1208.3	0.78	-0.27	0.67
SC	0		199.0	2.01	0.50	1.00

表 8 トレーサーガス法による SRF (CASE03)

	P_i [m³/h]	α_e [mg/m³]	α_i [mg/m³]	d_i	α_i	SRF _i
LV	40	351.1	307.5	0.72	-0.38	0.72
DK	20		187.1	1.16	0.14	1.00
BS	20		325.6	0.67	-0.50	0.67
BN	40		1208.3	0.35	-1.86	0.26
SC	0		199.0	0.76	-0.31	0.25

表 9 トレーサーガス法による SRF (CASE04)

	P_i [m³/h]	α_e [mg/m³]	α_i [mg/m³]	d_i	α_i	SRF _i
LV	40	389.6	307.5	0.91	-0.10	0.87
DK	20		187.1	1.33	0.25	1.00
BS	20		325.6	0.79	-0.26	0.73
BN	40		1208.3	0.72	-0.39	0.56
SC	0		199.0	1.26	0.21	1.00

表 10 各手法による SRF 値比較 (CASE01)

	トレーサーガス法		換気回路網		差圧法	
	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i
LV	1.00	0.20	1.00	0.26	1.00	0.29
DK	1.00	0.52	1.00	0.58	1.00	0.59
BS	1.00	0.16	1.00	0.07	1.00	0.15
BN	0.21	-2.12	0.26	-1.49	0.22	-1.94
SC	1.00	0.49	1.00	0.51	1.00	0.52

表 11 各手法による SRF 値比較 (CASE02)

	トレーサーガス法		換気回路網		差圧法	
	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i
LV	1.00	0.23	1.00	0.26	1.00	0.30
DK	1.00	0.53	1.00	0.58	1.00	0.60
BS	0.38	-0.88	0.52	-0.48	0.19	-0.49
BN	0.67	-0.27	0.58	-0.37	0.62	-0.37
SC	1.00	0.50	1.00	0.51	1.00	0.52

表 12 各手法による SRF 値比較 (CASE03)

	トレーサーガス法		換気回路網		差圧法	
	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i
LV	0.72	-0.38	0.58	-0.49	0.67	-0.35
DK	1.00	0.14	1.00	0.24	1.00	0.27
BS	0.67	-0.50	0.40	-0.51	0.60	-0.25
BN	0.26	-1.86	0.32	-2.14	0.21	-3.14
SC	0.25	-0.31	0.23	-0.54	0.57	-0.22

表 13 各手法による SRF 値比較 (CASE04)

	トレーサーガス法		換気回路網		差圧法	
	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i	SRF _i	α_i
LV	0.87	-0.10	0.67	-0.33	0.74	-0.20
DK	1.00	0.25	1.00	0.24	1.00	0.27
BS	0.73	-0.26	0.63	-0.57	0.70	-0.43
BN	0.56	-0.39	0.34	-0.67	0.34	-0.61
SC	1.00	0.21	0.86	-0.03	1.00	0.10

(3) トレーサーガス法を基準とした他手法の特性値比較

図 10 に外気導入量 A_i 、余剰新鮮空気量率 α_i 、SRF および不足する外気相当空気量 Q_{li} についてトレーサーガス法と他種法を比較した散布図を示す。また表 14 に差圧法および換気回路網により算定された各特性値からトレーサーガス法による算定値を差し引いて得られた差を各室の条件ごとに整理したものを示す。表 14 では回路網と

レーサーガス法の差を「NM」差圧法との差を「 ΔP 」として示し、データ分類条件では空気流動の上流室（外気は含まない）数と $SRF < 1$ について分類した。図 10 では各数値とも相関が高く回路網と差圧法と近い値を示しており SRF_i や Q_{Li} は各手法で若干のばらつきが見られるが、 Q_{Li} の数値の差自体は大きくはない。また表 14 では、当該室がどのような条件でも各手法の平均的な差は大きくないことがわかる。トレーサーガス法が他手法と比較して一定の精度を持ち、実用上問題が無いと考えられる。

図 10 各手法特性値比較散布図

表 14 トレーサーガス法を基準とした他種法の特性値差

データ分類条件 (n = データ数)		SRF_i		α_i		Q_{Li}	
全データ (n = 20)	平均	-0.05	-0.02	-0.03	-0.03	2.08	1.77
	s.d.	0.10	0.10	0.23	0.33	4.29	3.00
上流室数: 1 (n = 7)	平均	-0.09	-0.09	0.03	0.05	3.32	2.86
	s.d.	0.14	0.09	0.32	0.20	4.52	3.07
上流室数: 2 (n = 4)	平均	-0.04	0.08	-0.11	0.01	3.90	2.47
	s.d.	0.07	0.16	0.14	0.08	7.15	4.93
$SRF < 1$ (n = 10)	平均	-0.08	-0.05	-0.05	-0.09	2.61	2.56
	s.d.	0.14	0.15	0.32	0.46	4.38	2.80

NM: 回路網(Network Model)とトレーサーガス法の差

ΔP : 差圧法とトレーサーガス法の差

s.d.: 標準偏差

5. おわりに

本研究では SRF を換気性能評価指標とし、トレーサーガスを用いた同指標の算定手法と関連する指標の関係式や導出方法を示した。またシリンダーハウスにおいてほぼ定常的な条件を設定し SRF 値やその他特性値の推定実験を行い換気回路網計算や差圧法により算定された同指標との比較を行い以下のような結果を得た。

- ① トレーサーガスを用いた一定発生法および一定濃度法により $SRF < 1$ 条件での SRF 値の算出を行い、換気回路網による理論計算や差圧法により算出された値と比較して平均的差は 0.1 以内にありほぼ正確な値であることを確認した。
- ② SRF 値や他の換気性能をあらわす特性値から算出される各室の

不足する外気相当空気量 Q_{Li} の算出を行い、他手法により算出された値と比較して大きな誤差の無いことを確認した。

- ③ トレーサーガス法は一定の精度を有しており、定常的条件では実用上問題がないと考えられる。

本研究の手法を用いることで他室を通過した空気の新鮮空気としてのポテンシャルを評価できるため実住宅における換気性能評価に有効であると考えられる。本研究により実験室における SRF 推定のためのトレーサーガス法の精度が確認されたので、フィールドでの非定常的な条件における同測定手法の適用を試みる予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、日本工業大学の成田健一教授およびジェイバック(株)の石橋誠司氏(研究当時日本工業大学研究生)の多大なる協力を得ました。記して謝意を表します。

注

本論文は口頭発表したもの¹⁸⁾¹⁹⁾を精査し再編集したものである。

- 注1) 一定発生法では多数室の換気も扱えるが、換気性状が変動するような条件下では測定データから換気量に変換する際の平均化作業が室容積などの影響が大きく室ごとに換気量を算出するための平均時間に差が生じる。
- 注2) 一定濃度法はトレーサーガスの濃度制御が複雑ではあるが本研究で使用した機材は比較的正確かつ容易に自動制御により測定ができる。
- 注3) 測定レンジは 1Torr(133.322Pa)で分解能は 0.01%F.S. 精度は 0.15%である。
- 注4) トレーサーガス濃度検知部の性能は検出限界が 10ppb~1ppm ダイナミックレンジが通常検出限界の 100,000 倍である。本研究では主に 5ppm~50ppm 程度の範囲で測定を行った。また本論文では濃度は重量濃度で表示した。
- 注5) シリンダーハウスの室間のドアアンダーカット模擬開口を閉鎖し各室を単室として設定し、シリンダーの数を調整し室内外差圧を測定している微差圧計の誤差およびシリンダー以外に極僅かに存在する隙間が影響しない程度の圧力条件を当該排気システムによって作り出し、シリンダーを通過する風量の合計=排気システムから排気される風量とみなした実験結果やトレーサーガスを用いた減衰法(室容積は内法寸法とし室内に設置された測定器などの容積を把握できる範囲で考慮した)などと比較をしてこの程度の精度にあることを確認した。

参考文献

- 1) 澤地孝男 瀬戸裕直 大西茂樹 谷口佳紀 大澤元毅: 住宅用換気システムの換気性能評価に関する研究その 10 換気性能評価指標 OVRF の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp645-646, 1996.9
- 2) 澤地孝男 瀬戸裕直 大澤元毅: 住宅用換気システムの換気性能評価に関する研究 その 11~12, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp607-610, 1997.9
- 3) 澤地孝男 瀬戸裕直: 住宅用換気システムの換気性能評価に関する研究 その 13 トレーサーガス一定発生法を用いた各種換気システムの評価事例, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp553-554, 1998.9
- 4) Shigeki Ohnishi Takao Sawachi Yoshinori Taniguchi Haruki Ohsawa Hironao Seto: A New Experimental Approach for the Evaluation of Domestic Ventilation Systems Part3 - Evaluation of Ventilation Systems for an Entire House, ASHRAE Transactions: Research, pp598-61, 1998
- 5) 奥山博康 澤地孝男 瀬戸裕直 大西由哲: トレーサーガスを用いた換気性状把握手法の検証と改良(その 2) 検証実験の結果, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp437-440, 1997
- 6) JIS A1406¹⁹⁷⁴ 屋内換気量測定方法(炭酸ガス法), 2001.6
- 7) Claude -Alain Roulet, Luk Vandaele: Technical Note AIVC34 Air Flow Patterns within Buildings Measurement Techniques, Air

- Infiltration and Ventilation Centre, 1991.12
- 8) Grieve P. W. : Measuring Ventilation using Tracer gases, Brüel & Kjær, 1989.10
 - 9) Allard Francis : Natural Ventilation in Buildings A Design Handbook, pp159-172, James & James, 1998
 - 10) たとえば赤林伸一 坂口淳 : 漏入空気の影響を考慮した換気効率指標の算出方法 住宅の換気システムに関する研究その2, 日本建築学会計画系論文集 第512号, pp33-37, 1998.10
 - 11) たとえば吉野博 長友宗重 小林仁 : 気密住宅における集中換気システムの空気齢による性能測定, 日本建築学会計画系論文集 第464号, pp57-64, 1994.10
 - 12) 絵内正道 澤地孝男 島田潔 福島史幸 瀬戸裕直 : 換気量既知の実験住宅を用いた多種トレーサガス法の検証, 日本建築学会計画系論文集第537号, pp49-56, 2000.11
 - 13) 加藤信介 : 数値流体力学 CFD の室内環境への応用(6) CFD 解析の実際 (その2) 汚染質・粉塵拡散, 空気調和・衛生工学会 第71巻 第11号, pp123-134, 1997.11
 - 14) 伊藤一秀 加藤信介 村上周三 : 平均拡散場解析による Visitation Frequency, Purging Flow Rate の解析 不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集第529号, pp31-37, 2000.3
 - 15) Etheridge David Sandberg Mats : Building Ventilation : Theory and Measurement, JHON WILEY & SONS, pp259-262, 1996
 - 16) 次世代省エネルギー基準解説書編集委員会 : 住宅の次世代省エネルギー基準と指針, (財) IBEC, 1999
 - 17) 清水則夫 : 住宅部品の通気抵抗について, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演梗概集, pp609-612, 1995
 - 18) 田島昌樹 澤地孝男 瀬戸裕直 成田健一 武田仁 石橋誠司 : 住宅の換気性能予測に関する研究 シリンダーハウスにおける検証実験, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp573-576, 2001.9
 - 19) 田島昌樹 澤地孝男 瀬戸裕直 津田学志 井前貴正 武田仁 内野徳弘 : 新鮮空気量の充足度指標を用いた換気システムの評価実験 その1 実験および評価方法概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp759-760, 2002.8

(2002年6月10日原稿受理, 2002年11月8日採用決定)