

# 集中換気システムを設置した木造独立住宅の換気効率に 関する実測調査

住宅の換気システムに関する研究 その1

## EXPERIMENTAL STUDY ON AIR CHANGE EFFECTIVENESS IN DETACHED HOUSES WITH CENTRAL VENTILATION SYSTEM

Study on ventilation system of house Part 1

坂口 淳\*, 赤林伸一\*\*

*Jun SAKAGUCHI and Shin-ichi AKABAYASHI*

Performance of a ventilation system used to be evaluated only by air change rate. But now it is possible to evaluate it by ventilation effectiveness, which is determined by such conditions as the distribution of tracer-gas concentration and an air flow in a room.

This paper describes the results we got from the field measurement of air change effectiveness (i. e. local mean age of air and local air change index). The measurement was carried out on three wooden detached houses equipped with different kinds of ventilation system.

The results are as follows:

- (1) The value of local mean age of air ( $\tau_{P1}$ ), based on the definition of AIVC and measured by the step-up tracer-gas method, is twice to fifth times as large as the value got through the step-down tracer-gas method, because of the infiltration of the houses.
- (2) The value of local mean age of air ( $\tau_{P2}$ ), based on the definition of Sandberg, is nearly the same through both the step-up and step-down methods.
- (3) The spatial distribution of local mean age of air ( $\tau_P$ ) and local air change effectiveness is very large when a circulating fan is not operating, but when a fan is working the distribution of  $\tau_P$  and  $\epsilon_P$  is relatively small.

**Keywords :** Air Change Effectiveness, Age of Air, Air Change index, Infiltration

換気効率, 空気齢, 空気交換効率, 漏入外気

### 1. はじめに

従来の換気計画では、室内に滞在する人や燃焼器具などから発生する汚染物質や臭い、粉塵の発生量とその許容濃度から算出された必要換気量が設計に使用されている。しかしこの考え方は、汚染質が室内で瞬時に一様な拡散をする場合にのみ有効な方法である。実際の建物においては給気口と排気口の相対的な位置関係により、局所的に換気が不良となる場所や、逆に新鮮外気の供給が人体に対して効率よく行われる場合もあると考えられる。又、住宅の換気は自然換気のみを頼っている場合が多く、機械換気設備が施されない場合が殆どである。しかし、近年省エネルギーや室内環境の快適性の観点から、住宅の気密性能が向上し、これに伴い自然換気量が減少しており、室内空気汚染や結露の問題を引き起こす原因となっており、住宅においても効率的な機械換気を行う必要があることを示している。

本論文では、木造独立住宅を対象にトレーサーガスをを用いて室内のある測定点に外気が到達する時間を定義した局所平均空気齢及び局所空気交換効率の実測調査を行い、導入外気の分配の状況を定量的に評価することを目的とする。住宅では機械換気以外の自然換気量（漏入外気）が相対的に大きいため、換気効率を評価する際には、漏入外気の影響を考慮する必要がある。本報では従来から定義されている局所平均空気齢を2種類、局所空気交換効率を3種類を定義し、漏入外気のある場合の算出結果について検討を行う。

集中換気システムを設置した住宅を対象として、換気効率指標を用いて換気性能を評価する試みは吉野ら<sup>1)</sup>によって行われている。本論文は、①室内での空気循環の有無が換気効率指標に及ぼす影響を検討した点、②気密性能の異なる住戸の比較等を行っている点、③漏入外気が従来の換気効率算出方法にどのくらい影響を与えるか検討した点に特徴がある。

本論文の概要は日本建築学会大会学術講演会(平成6年9月)において発表した(文献6,7)。

\* 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生・工修

\*\* 新潟大学工学部建設学科 助教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata Univ., Dr. Eng.

## 2. 対象住宅の概要

### 2.1 対象住宅A

#### (1)対象住宅の平面

図1に対象住宅Aの平面図を示す。栃木県鹿沼市に建設された木造軸組工法の2階建住宅である。延床面積は108㎡、小屋裏、床下を含まない容積は253m<sup>3</sup>である。加圧法、減圧法によって測定された隙間の有効開口面積は約10cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>（表1）である。

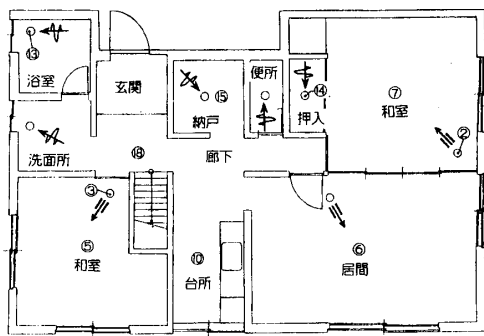
#### (2)換気設備の概要

図2に換気設備の概要を示す。台所に設置された顕熱交換型換気扇で外気を1階、2階の各居室に供給し、納戸、浴室、便所等から熱交換型換気扇を経由して排気する換気システムが設置されている。

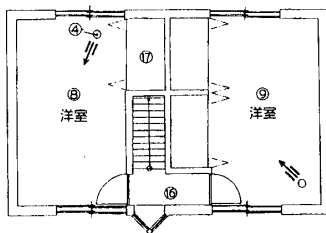
### 2.2 対象住宅B

#### (1)対象住宅の平面

図3に対象住宅Bの平面図を示す。新潟県新津市に建設された木造軸組工法の2階建住宅である。延床面積は



(1) 1階平面図



(2) 2階平面図

○数字は濃度測定点

図1 対象住宅Aの平面と測定点

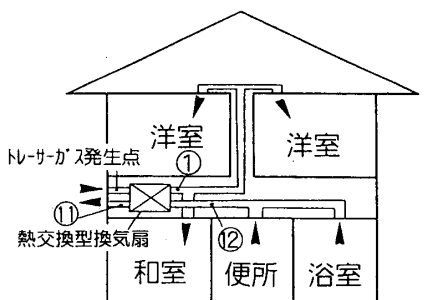


図2 対象住宅Aの換気システム

127㎡、容積は小屋裏及び1階床下を含めて497m<sup>3</sup>である。隙間の有効開口面積は約3cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>（表1）であり、比較的気密性能が高い。

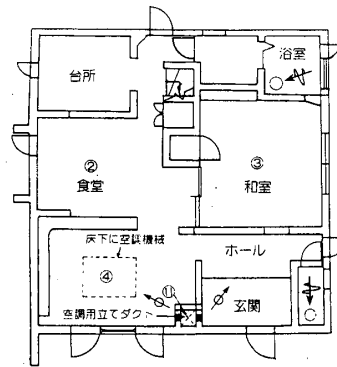
#### (2)換気設備の概要

図4に換気設備の概要を示す。全熱交換型換気扇で外気を居間の吹き抜け部分に供給し、便所と浴室から熱交換換気扇を経由して排気する。この住宅には各室の天井に空調用の吸込口が設置されており、室内の空気は1階天井裏、小屋裏を経由して床下に設置された空調機に戻り、居間、2階廊下から吹き出す全室冷暖房設備が設置されている。

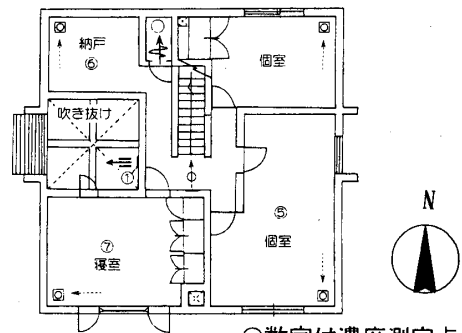
### 2.3 対象住宅C

#### (1)対象住宅の平面図

図5に対象住宅Cの平面図を示す。新潟県新津市に建



(1) 1階平面図



(2) 2階平面図

○数字は濃度測定点

図3 対象住宅Bの平面と測定点

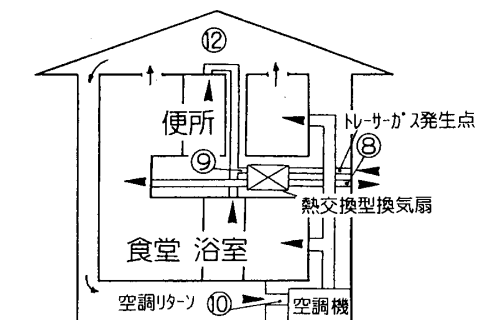


図4 対象住宅Bの換気・空調システム

設された木造枠組壁工法の2階建住宅である。延べ床面積は214㎡、容積は小屋裏及び1階床下を含めて765m<sup>3</sup>である。隙間の有効開口面積は約1cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>(表1)であり、気密性能が大変高い。

## (2)換気設備の概要

図6に換気設備の概要を示す。全熱交換型換気扇で外気を1階床下部分に供給する。供給された外気は1階床下に設置されたファンコイルユニットによって玄関ホール、居間、2階ホールに送風される。室内の空気は浴室、脱衣室、洗面所、便所から全熱交換型換気扇を経由して

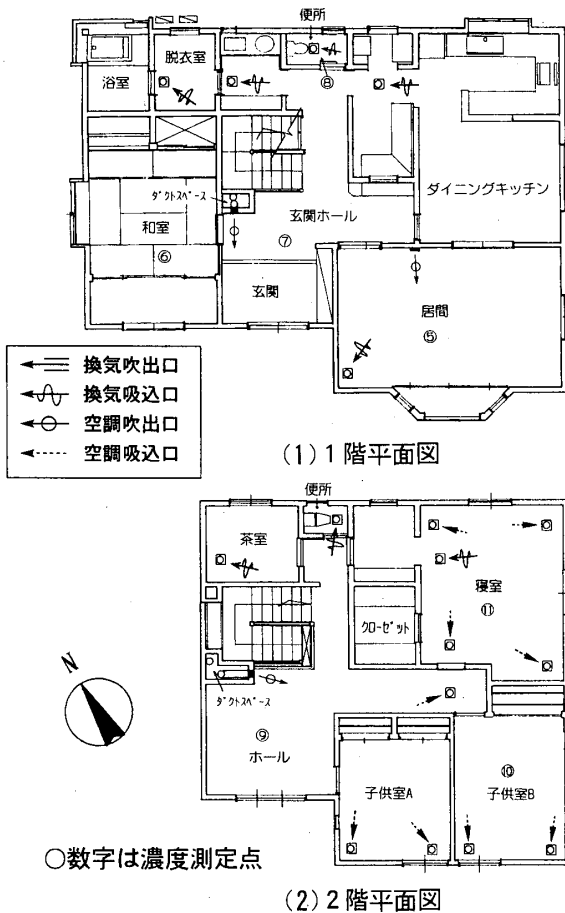


図5 対象住宅Cの平面と測定点

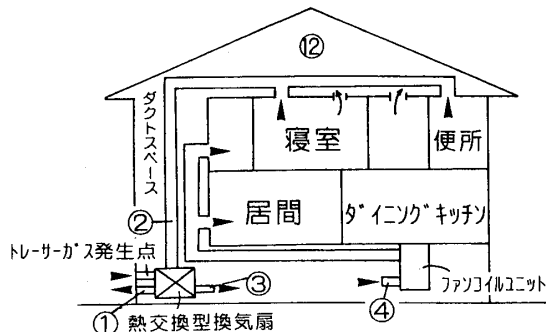


図6 対象住宅Cの換気システム

屋外に排気される。

## 3. 換気効率の測定概要

### 3.1 換気効率の測定方法

トレーサーガス (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) を熱交換換気扇の外気取入口で定量 (住宅Aで115.2ℓ/h、住宅B、Cで76.8ℓ/h) 供給し、室内で測定された、トレーサーガスの濃度履歴から局所平均空気齢τ<sub>P</sub>、局所空気交換効率ε<sub>P</sub>を算出する。濃度測定にはマルチガスモニタ (B&K1302型) を使用し、図1~6に示す各測定点で測定する。測定時には間仕切扉をすべて閉鎖する。吹出口、吸込口以外の測定点は、部屋の中央部の床から1mの居住域の高さで測定を行う。

測定期間中の外部風速は、住宅Aでは現地より約10km離れた宇都宮気象台で測定した10分間の平均風向風速を、住宅B、Cでは棟上2mで測定した10分間の平均風向風速を使用する。

### 3.2 実験条件と測定期間

実験条件と測定期間を表2に示す。住宅A、Cは冷暖房せず、自然室温で測定を行う。住宅Bは全室冷暖房設備が設置されているので、空調機を運転し住宅全体の空気を循環させた場合と空調機を停止した場合の2ケース実験を行う。測定期間中の外気温、室温、外部風速を表2に示す。

### 3.3 局所平均空気齢と局所空気交換効率の算出

住宅では機械換気量と漏入外気量(自然換気量)が同程度である場合が多く、漏入外気を無視することが出来ない。外気取り入れ口でトレーサーガスを発生させ、十分に時間を経た後のガス濃度は、漏入外気の無い場合には、どの測定点においても同じ値となる。しかし漏入外気がある場合には、漏入外気により各測定点におけるトレーサーガス濃度が減少し、定常時の濃度が一定とならない。理論的にはステップアップ法、ステップダウン法を用いた局所平均空気齢は、定常時の濃度がどの測定点でも一定である場合に算出可能なので、局所平均空気齢等を求めるためには算出方法を検討する必要がある。本報では図7に示す従来から使用されている算出方法で局所平均

表1 対象住宅の概要

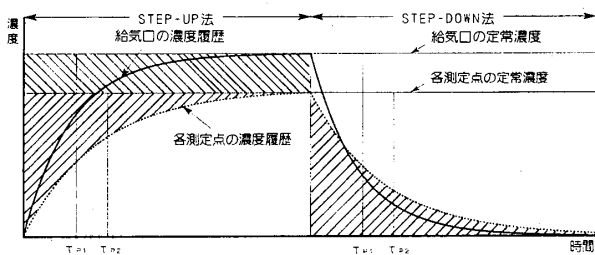
対象住宅	延床面積	容積	気密性能	
			加圧法	減圧法
対象A	108m <sup>2</sup>	253m <sup>3</sup>	10.2cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	10.0cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
対象B	127m <sup>2</sup>	497m <sup>3</sup>	3.08cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	3.23cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
対象C	214m <sup>2</sup>	765m <sup>3</sup>	1.08cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	1.09cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>

表2 実験条件と測定期間

対象住宅	条件	期間	外気温	室温	外部風速
対象A	冷暖房無し	1993年11月1日~11月3日	5~20℃	16~23℃	1~6m/s
対象B	B-1 空調機運転	1993年12月2日~12月11日	1~15℃	21~32℃	0~4m/s
	B-2 空調機停止	1993年12月13日~12月17日	0~9℃	8~26℃	0~10m/s
対象C	冷暖房無し ファンコイルユニットON	1994年5月30日~6月7日	14~28℃	24~26℃	0~3m/s

空気齢  $\tau_{P1}$ 、 $\tau_{P2}$ 、局所空気交換効率  $\epsilon_{P1}$ 、 $\epsilon_{P2}$ 、 $\epsilon_{P3}$  を算出し、算出結果と漏入外気の影響を検討する。

ステップアップ法では機械換気による取り入れ外気には、トレーサーガスが含まれているが、漏入外気にはトレーサーガスが含まれていないので、漏入外気は各測定点の濃度を低下させるため、機械換気のみによる局所平均空気齢  $\tau_{P2}$  よりも空気齢  $\tau_{P1}$  が長く算出されることになる。反対にステップダウン法では、機械換気と漏入外気は区別が出来ないため、機械換気による局所平均空気齢よりも空気齢が短く算出されることになる。 $\tau_{P1}$  は、AIVC<sup>2)</sup> (AirInfiltration and Ventilation Center) による局所平均空気齢である。 $\tau_{P1}$  は漏入外気が多い室ほど給気口と各測定点の定常濃度<sup>注</sup>の差が大きくなるため、ステップアップ法とステップダウン法の算出結果が大きく異なる。 $\tau_{P2}$  は、Sandberg<sup>3)</sup> やFisk<sup>4)</sup> によって定義された局所平均空気齢である。この方法は各測定点に漏入する外気が常時一定と仮定すると、ステップアップ法では機械換気によって各測定点に到達したトレーサーガスが常時一定の割合で薄まるため、漏入が局所平均空気齢の算出結果に影響を及ぼさない。つまり機械換気によって取り入れた外気のみで局所平均空気齢が算出される。またステップダウン法では機械換気と漏入外気は区別が出来ないため、漏入外気を含めた局所平均空気齢が算出され



〈局所平均空気齢の算出方法〉

- STEP-UP法の場合:  $\tau_{P1} = \int_0^{\infty} \frac{C_p(t) - C_p(\infty)}{C_p(\infty)} dt$  (1)
- STEP-DOWN法の場合:  $\tau_{P1} = \int_0^{\infty} \frac{C_p(t) - C_p(\infty)}{C_p(\infty)} dt$  (2)
- STEP-UP法の場合:  $\tau_{P2} = \int_0^{\infty} \frac{C_p(t) - C_p(\infty)}{C_p(\infty)} dt$  (3)
- STEP-DOWN法の場合:  $\tau_{P2} = \int_0^{\infty} \frac{C_p(t) - C_p(\infty)}{C_p(\infty)} dt$  (4)

〈名目換気時間の算出方法〉

- $T_{n1} = V / (K / C_s)$  (5)
- $T_{n2} = V / (K / C_p)$  (6)

〈局所空気交換効率の算出〉

- $\epsilon_{P1} = T_{n1} / \tau_{P1}$  (7)
- $\epsilon_{P2} = T_{n1} / \tau_{P2}$  (8)
- $\epsilon_{P3} = T_{n2} / \tau_{P2}$  (9)

〈記号〉

- V: 室容積 (m<sup>3</sup>)
- K: トレーサーガスの供給量 (cc/h)
- C<sub>s</sub>: 給気口の濃度 (ppm)
- C<sub>p</sub>: 各測定点の濃度 (ppm)
- T<sub>n1</sub>: 名目換気時間① (hour)
- T<sub>n2</sub>: 名目換気時間② (hour)
- $\tau_{P1}$ : 局所平均空気齢① (hour)
- $\tau_{P2}$ : 局所平均空気齢② (hour)
- $\epsilon_{P1}$ : 局所空気交換効率①
- $\epsilon_{P2}$ : 局所空気交換効率②
- $\epsilon_{P3}$ : 局所空気交換効率③

図7 局所平均空気齢、局所空気交換効率の計算方法

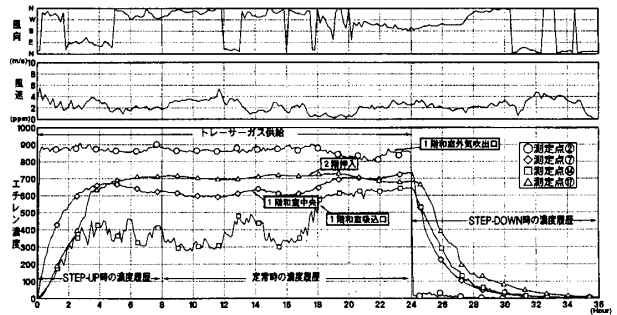


図8 対象住宅Aの濃度履歴と測定結果

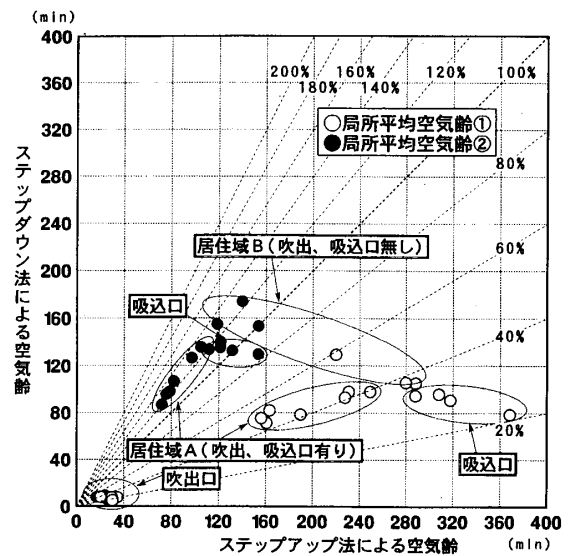


図9 ステップアップ法とステップダウン法による局所平均空気齢  $\tau_P$  の比較(住宅A)

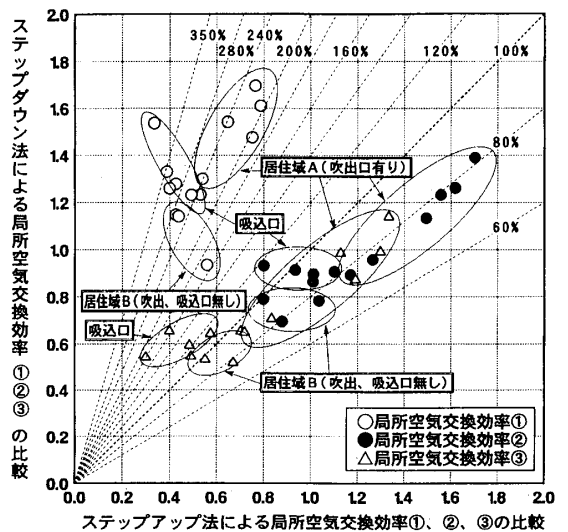


図10 ステップアップ法とステップダウン法による局所空気交換効率  $\epsilon_P$  の比較(住宅A)

る。 $\tau_{n1}$ は給気口の定常濃度（住宅A、住宅Bでは①、住宅Cでは③の測定点）から算出した機械換気量と室容積から求めた名目換気時間（換気回数の逆数）である。

$\tau_{n2}$ は測定点の定常濃度から算出した漏入外気を含めた換気量より求めた名目換気時間である。 $\epsilon_{P1}$ は $\tau_{P1}$ と $\tau_{n1}$ から算出された空気交換効率である。 $\epsilon_{P2}$ と $\epsilon_{P3}$ は空気齢は $\tau_{P2}$ を使用し、名目換気時間はそれぞれ $\tau_{n1}$ 、 $\tau_{n2}$ を用いた空気交換効率である。 $\tau_{P2}$ は漏気も換気の一部として考えた局所平均空気齢であるため、名目換気時間も漏気も含めた換気量から算出した $\tau_{n2}$ を使用して $\epsilon_{P3}$ を求めたものが実際の空気交換効率の値となる。

$\epsilon_{P2}$ は $\epsilon_{P3}$ を比較することにより、機械換気と漏入外気が空気交換効率に与える影響を比較することが出来ると考えられる。

#### 4. 対象住宅Aの測定結果

##### 4.1 濃度履歴

図8に対象住宅Aの測定結果を示す。ステップアップ法の場合、吹出口ではトレーサガスを注入した直後に濃度が約850ppmまで上昇し、その後安定する。居住域の測定点は、トレーサガス注入後約8時間で600ppm前後で安定する。吸込口でも居住域と同様に約8時間後に安定し、定常時の濃度は400ppm前後の値となるが、外部風の影響を受け変動する。吹出口と居住域及び吸込口の濃度の差は漏入外気の影響によるものである。ステップダ

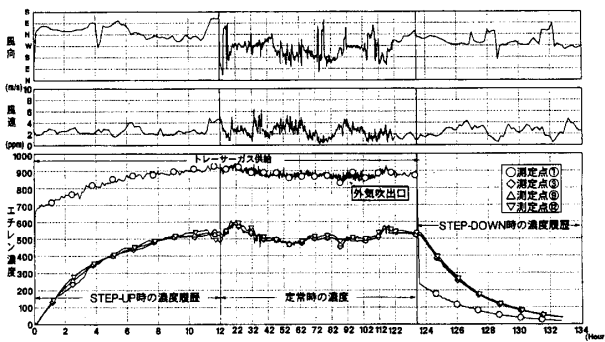


図11 対象住宅Bの濃度履歴と測定結果 (実験B-1 空調機を運転)

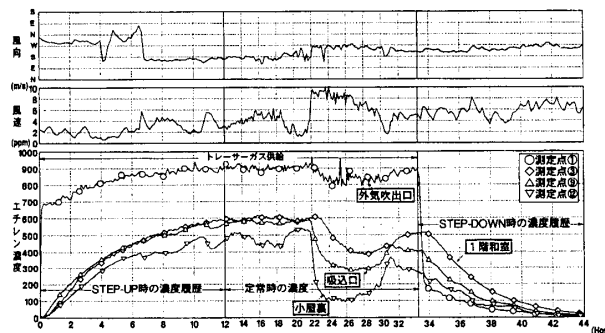


図12 対象住宅Bの濃度履歴と測定結果 (実験B-2 空調機を停止)

ウン法では、トレーサガス注入停止後約8時間までの測定点でも濃度は、ほぼ0に減衰する。

##### 4.2 局所平均空気齢 $\tau_P$

局所平均空気齢の算出結果を図9に示す。吹出口では、 $\tau_{P1}$ 、 $\tau_{P2}$ ともに約20分である。吹出口、吸込口のある居住域では、ステップアップ法で $\tau_{P1}$ が160~260分、 $\tau_{P2}$ が70~120分の範囲の値に入る。吹出口、吸込口の無い居住域では、ステップアップ法で、 $\tau_{P1}$ が220~300分、 $\tau_{P2}$ が120~160分の範囲に入る。吸込口はステップアップ法で $\tau_{P1}$ が280~360分、 $\tau_{P2}$ が120~160分の値となる。

##### 4.3 局所空気交換効率 $\epsilon_P$

局所空気交換効率の算出結果を図10に示す。

(1)局所空気交換効率 $\epsilon_{P1}$ ：ステップアップ法では、吹出口のある部屋では0.5~0.8、吸込口では0.3~0.5、吹出、吸込口の無い領域では0.4~0.5の範囲の値となる。

(2)局所空気交換効率 $\epsilon_{P2}$ ：ステップアップ法では、吹出口のある部屋では1.1~1.8、吸込口では0.8~1.1、吹出、吸込口の無い領域では0.8~1.1の範囲の値となり、完全拡散の値とほぼ同様である。

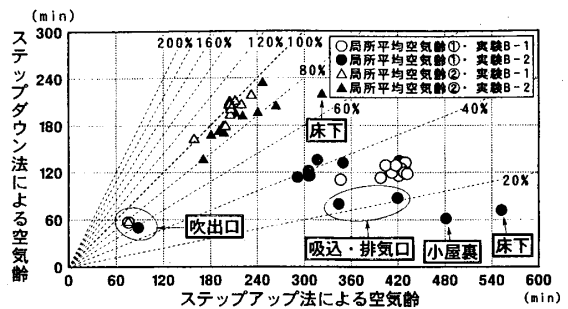


図13 ステップアップ法とステップダウン法による局所平均空気齢  $\tau_P$  の比較(住宅B)

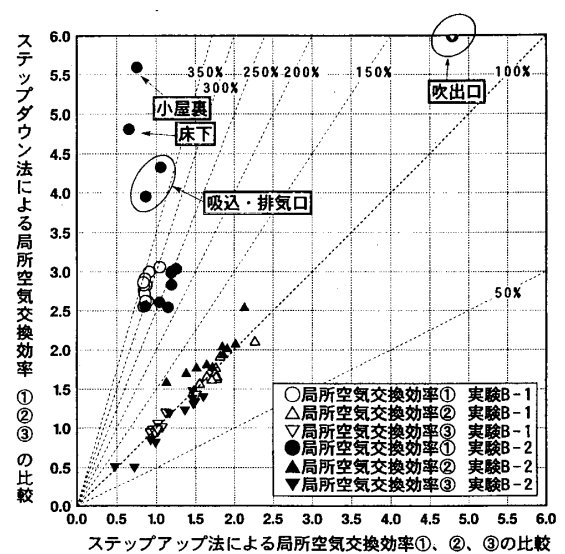


図14 ステップアップ法とステップダウン法による局所空気交換効率  $\epsilon_P$  の比較(住宅B)

(3)局所空気交換効率  $\varepsilon_{p3}$  : ステップアップ法では、吹出口のある部屋では0.7~1.4、吸込口では0.3~0.6、吹出、吸込口の無い領域では0.5~0.8の値となる。

## 5. 対象住宅Bの測定結果

### 5.1 濃度履歴

濃度履歴を図11(実験B-1)、図12(実験B-2)に示す。吹出口では、トレーサーガスの注入開始直後に約650ppmまで上昇し、更に全熱交換型換気扇のリークにより濃度は上昇し、12時間後に約900ppmとなり定常に達する。居住域では実験B-1、B-2で濃度履歴が異なる。実験B-1(空調機を運転)では、測定点の違いによる濃度差が小さく、定常後の濃度は外部風の影響を受け450ppm~600ppmの範囲で変化する。実験B-2では空調機による室内空氣の循環が無いいため実験B-1と比較して、測定点による濃度差が大きくなる。トレーサーガスの注入停止後は約15時間で濃度は、ほぼ0に減衰する。

### 5.2 局所平均空気齢 $\tau_p$

局所平均空気齢の算出結果を図13に示す。空調機停止時の実験B-2は、空調機による家全体の空氣の循環が無いため、 $\tau_{p2}$ の値にばらつきがある。実験B-1では $\tau_{p1}$ の値のばらつきが小さく、ステップアップ法では400分程度、ステップダウン法では120分程度の範囲に入る。実験B-1、B-2を比較すると床下(空調機設置)の $\tau_{p2}$ が他の測定点と異なり、ステップアップ法の方が長く算出される。これは空調機による循環空氣の有無により、床下の換気性状が異なり、機械換気による取り入れ外気が搬送されにくくなっていると考えられる。

### 5.3 局所空気交換効率 $\varepsilon_p$

局所空気交換効率の算出結果を図14に示す。

(1)局所空気交換効率  $\varepsilon_{p1}$  : 実験B-1では、吹出口を除きステップアップ法では0.8~1.2、ステップダウン法では、2.5~5.5の範囲に入る。ステップダウン法の $\varepsilon_{p1}$ が相対的に大きな値となるのは、ステップダウン法の $\tau_{p1}$ がステップアップ法の $\tau_{p1}$ より小さいことが原因と考えられる。

(2)局所空気交換効率  $\varepsilon_{p2}$  : ステップアップ法、ステップ

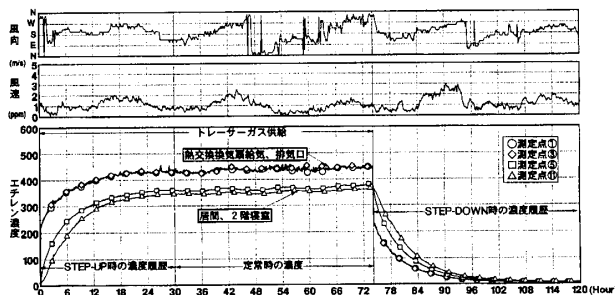


図15 対象住宅Cの濃度履歴と測定結果

ダウン法とも、ほぼ同様の値となる。実験B-1では1.5~2.3、実験B-2では1.0~2.3の範囲に入り、空調停止の場合は循環空氣がなくなるため測定点によるばらつきが大きくなる。

(3)局所空気交換効率  $\varepsilon_{p3}$  : ステップアップ法、ステップダウン法とも、ほぼ同様の値となり、 $\varepsilon_{p2}$ と比較すると約6割程度の値となる。実験B-1では0.9~1.1、実験B-2では、0.5~1.5の範囲に入る。

## 6. 対象住宅Cの測定結果

### 6.1 濃度履歴

住宅Cの測定結果を図15に示す。全熱交換型換気扇の

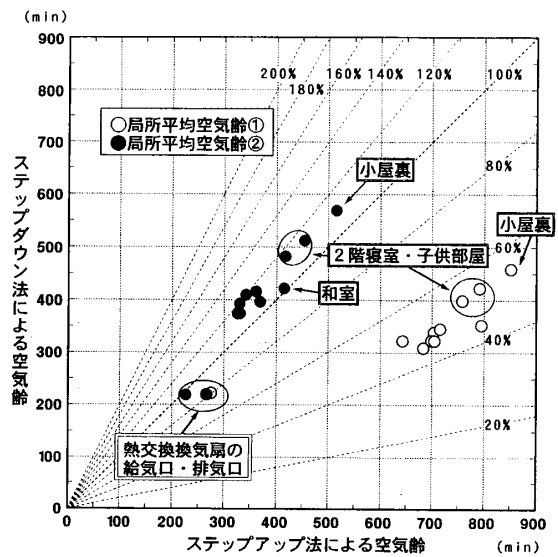


図16 ステップアップ法とステップダウン法による局所平均空気齢  $\tau_p$  の比較(住宅C)

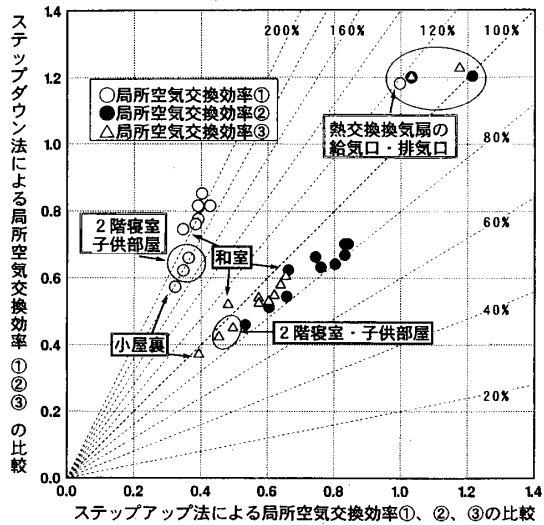


図17 ステップアップ法とステップダウン法による局所空気交換効率  $\varepsilon_p$  の比較(住宅C)

室内への給気口、外気への排気口は全熱交換型換気扇内部のリークによりトレーサーガス注入開始直後に約200 ppmまで上昇し、さらに約24時間で約420ppmまで上昇する。その他の測定点では測定点の違いによる濃度の差は少なく、約24時間で定常に達し約350ppmで安定する。トレーサーガス注入停止後は約30時間でほぼ0に減衰する。

### 6.2 局所平均空気齢 $\tau_p$

局所平均空気齢の算出結果を図16に示す。全熱交換型換気扇の給気口、排気口は  $\tau_{P1}$ 、 $\tau_{P2}$  とともに約250分である。排気口の  $\tau_P$  が給気口と同じなのは、全熱交換型換気扇内部で生じるリーク量が多い為と考えられる。1階居住域では  $\tau_{P1}$  のステップアップ法で約700分、 $\tau_{P2}$  で約350分となる。2階居住域では  $\tau_{P1}$  のステップアップ法で約800分、 $\tau_{P2}$  で約450分となる。小屋裏は  $\tau_{P1}$  のステップアップ法で約850分、 $\tau_{P2}$  で約550分の値となる。

### 6.3 局所空気交換効率 $\epsilon_p$

局所空気交換効率の算出結果を図17に示す。

(1) 局所空気交換効率  $\epsilon_{P1}$  : ステップアップ法では、全熱交換型換気扇の給気、排気口は1.0~1.2の範囲に入り、その他の測定点は約0.4となる。ステップダウン法では、全熱交換型換気扇の給気、排気口が1.2、1階の居住域は0.8~0.9、2階居住域及び小屋裏が0.4となる。

(2) 局所空気交換効率  $\epsilon_{P2}$  : ステップアップ法、ステップダウン法とも、ほぼ同様の値となる。熱交換型換気扇の給気、排気口部分は1.0~1.2の範囲に入る。1階の居住域は0.7~0.9、2階居住域は0.6、小屋裏は0.5となる。

(3) 局所空気交換効率  $\epsilon_{P3}$  : 全熱交換型換気扇の給気、排気部分は1.0~1.2の範囲に入る。1階の居住域は0.6~0.7、2階居住域は0.5、小屋裏は0.4となる。ステップアップ法、ステップダウン法では差は見られない。

表3 熱交換換気扇の給排気風量とリーク量の算出方法

$Q \cdot Cr + K = Q \cdot Ce + Q \cdot Cs$	...	(10)
$Q = K / (Ce + Cs - Cr)$	...	(11)
$Co = K / Q$	...	(12)
$Q \cdot Ce = (Q - Le) \cdot Cr + Le \cdot Co$	...	(13)
$Le = Q \cdot (Ce - Cr) / (Co - Cr)$	...	(14)
$Q \cdot Cs = (Q + I) \cdot Cr$	...	(15)
$I = Q \cdot (Cs - Cr) / Cr$	...	(16)

(記号) K: トレーサーガスの供給量(cc/h)  
 Cs: 熱交換換気扇の給気的气体濃度(ppm)  
 Cr: 熱交換換気扇の還気的气体濃度(ppm)  
 Ce: 熱交換換気扇の排気的气体濃度(ppm)  
 Co: 熱交換換気扇の外気的气体濃度(ppm)  
 Q: 熱交換換気扇の給排気風量(m<sup>3</sup>/h)  
 Le: 熱交換換気扇内部のリーク量(m<sup>3</sup>/h)  
 I: 取り入れ外気量(m<sup>3</sup>/h)

表4 熱交換換気扇の給排気風量とリーク量

対象住宅	定常時の			給排気風量	リーク風量	取り入れ外気量 (名目換気時間)	換気回数
	給気口濃度	排気口濃度	還気口濃度				
対象A	882ppm	498ppm	464ppm	126m <sup>3</sup> /h	9m <sup>3</sup> /h	117m <sup>3</sup> /h	0.46回/h(130分)
対象B	874ppm	578ppm	496ppm	80m <sup>3</sup> /h	14m <sup>3</sup> /h	66m <sup>3</sup> /h	0.13回/h(452分)
対象C	436ppm	433ppm	349ppm	148m <sup>3</sup> /h	73m <sup>3</sup> /h	75m <sup>3</sup> /h	0.10回/h(612分)

## 7. 対象住宅A、B、Cの比較

### 7.1 熱交換換気扇の給排気風量とリーク量

定常時の熱交換換気扇の給気、排気、還気部分の濃度より、熱交換換気扇の給排気風量及び熱交換換気扇内部の還気から給気、外気から排気へ流れる空気のリーク量を求める。算出方法を表3に示す。熱交換換気扇に入るトレーサーガス量と出るトレーサーガス量はトレーサーガスが熱交換換気扇内部に吸着しなければ同じとなるので(10)式の様に表せる。(10)式を給排気風量Qで整理すると(11)式となる。排気口のトレーサーガス量は、排気風量Qとリーク量Leと還気、外気濃度から(12)式のように表せる。外気濃度はトレーサーガス発生量と給気風量より(13)式のように表せるので、(12)式と(13)式よりリーク量は(14)式のように表せる。熱交換換気扇から室内へ給気されたトレーサーガス量と熱交換換気扇に戻ってきた還気のリーク量は定常状態の場合同じとなるので、(15)式のように表せる。(15)式を取り入れ外気量Iで整理すると(16)式となる。住宅Aは顕熱型換気扇であるのでリーク量が少なく給排気風量の約7%であるが、住宅B、Cは全熱交換型換気扇であるので相対的にリーク量が多く給排気風量の約20~50%を占める。図18に外部風速と熱交換換気扇の風量の関係を示す。給排気風量及びリーク量はともに外部風の影響は少なくほぼ一定である。取り入れ外気量は隙間の有効開口面積の大きい住宅Aが一番大きく、住宅B、Cはほぼ同様な値である。

### 7.2 局所平均空気齢 $\tau_p$

ステップダウン法による  $\tau_{P1}$  はステップアップ法による  $\tau_{P1}$  に比較して約2~5割程度の範囲に入り、漏入外気の影響が顕著である。  $\tau_{P2}$  はステップアップ法、ステッ

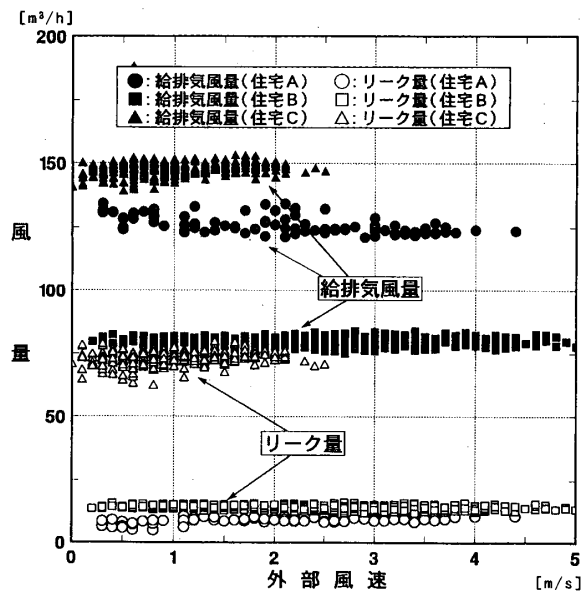


図18 熱交換換気扇の給排気風量と外部風速の関係

ブダウン法ともにはほぼ同様な値となる。外気吹出口(熱交換型換気扇の給気部分や室内の吹出口)の $\tau_{P1}$ は、極めて短いと考えられるが、熱交換型換気扇の内部のリークにより排気が、再び室内に供給されるために長くなる。住宅Aの居住域の $\tau_P$ が相対的に短い理由は、①換気回数が多い。②部屋全てに外気吹出口があると考えられる。

### 7.3 局所空気交換効率 $\epsilon_P$

空調機やファンコイルユニットによって住宅全体の空気を循環すると、その測定点の違いによる $\epsilon_P$ のばらつきが小さくなる。 $\epsilon_{P1}$ はステップダウン法の方がステップアップ法の方に比べて2~3倍高く算出される。 $\epsilon_{P1}$ は $\epsilon_{P2}$ を比較してその値や分布が異なるため漏気のある場合に、実用的には不相当であると考えられる。 $\epsilon_{P2}$ のステップアップ法(機械換気のみ)の空気交換効率は給気口を除いて、住宅Aでは0.8~1.7、住宅Bでは空調機運転時B-1で1.0~2.2、空調機停止時B-2で0.5~2.2、住宅Cで0.5~0.9の範囲の値となり、完全拡散の値が1であることから、機械換気による外気は概ね、居住域に均等に分配されていると考えられる。 $\epsilon_{P3}$ のステップダウン法(漏入外気を含めた空気交換効率)は給気口を除き、住宅Aでは0.5~1.2、住宅Bでは空調機運転時B-1で1.0~2.0、空調機停止時B-2で0.5~2.5、住宅Cでは0.4~0.6の値となり $\epsilon_{P2}$ のステップアップ法(機械換気のみ)の空気交換効率)と比べて0.2~0.5程度、局所空気交換効率が小さくなる。これは漏入外気が室内に均等に分配されていないため、漏入外気によって空気交換効率を若干低下する事を示している。

## 8. 結論

(1)漏入外気がある場合、 $\tau_{P1}$ はステップダウン法の方がステップアップ法の $\tau_{P1}$ の約2~5割程度の値となる。

(2) $\tau_{P2}$ はステップアップ法、ステップダウン法ともにはほぼ同様な値となる。 $\tau_{P2}$ のステップアップ法は機械換気のみ)の空気齢、ステップダウン法は漏入外気を含めた空気齢が算出されるが、同様な値となることより、漏気)の空気齢は機械換気のみ)の空気齢とほぼ同様な値となることが考えられる。

(3)空気交換効率は $\epsilon_{P1}$ ではステップダウン法の方がステップアップ法の方に比べて2~3倍高く算出される。

$\epsilon_{P2}$ のステップアップ法(機械換気のみ)の空気交換効率は給気口を除いて、どの住宅も機械換気は概ね、居住域に均等に分配されていると考えられる。

(4)居住域の $\tau_P$ を短くし $\epsilon_P$ を大きくするためには、①熱交換換気扇内部のリークを少なくする。②換気風量を多くする。③居住域に直接外気を吹き出す。ことが有効であると考えられる。

(5)空調用の循環ファンを運転すると $\tau_P$ 及び $\epsilon_P$ の測定点の違いによるばらつきは小さくなり、運転を停止した場合には、 $\epsilon_P$ のばらつきが大きくなる。従って、居住域のみに外気を供給する換気システムを設置することが重要である。

(6)住宅では換気回数が相対的に小さいため、ステップアップ法、ステップダウン法の測定時間が10~30時間と長くなる。外部風や室内外温度差は絶えず変動をしているので、より詳細な換気効率を算出するためには、それらの変動を考慮した算出方法を検討する必要がある、次報以降でこれについて検討する予定である。

## 謝辞

本研究を行うに当たって、空気調和衛生工学会・換気効率小委員会(主査 村上周三 東大生研教授)における議論が大変参考になった。測定に際して、ダウ化工(株)、(株)レック三和、(株)イシカワの関係各位の御協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

## 注釈

局所平均空気齢を算出する際に使用した定常濃度はステップアップ法ではステップアップ法の測定時間中の最高濃度、ステップダウン法では測定時間の直前の濃度を使用した。

## 参考文献

- 1)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、pp.57-64、1994年10月
- 2)Air Infiltration and Ventilation Center  
"A Guide to Air Change Efficiency", Technical Note 28, 1990
- 3)Sandberg, M et. al.  
"The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms", Building & Environment, Vol. 18, pp. 181-197, 1983
- 4)W. J. Fisk, R. J. Prill, O. Seppanen  
"Commercial Building Ventilation Measurements using Multiple Tracer Gases", Proceedings of 9th Air Infiltration and Ventilation Center Conference, pp161-182, 1988
- 5)Peter W. G., B&K,  
"Measuring Ventilation using Tracer-gases", 1991
- 6)赤林伸一、坂口 淳、原子正生  
木造独立住宅を対象とした換気効率の実測 その1 換気システムのみが設置された住宅における換気効率の実測結果 日本建築学会学術講演梗概集(東海)、pp. 125-126, 1994
- 7)坂口 淳、赤林伸一、原子正生  
木造独立住宅を対象とした換気効率の実測 その2 換気・空調システムが設置された住宅における換気効率の実測結果 日本建築学会学術講演梗概集(東海)、pp. 127-128, 1994

(1995年9月7日原稿受理、1996年5月10日採用決定)