

## オフィスビルを対象とした換気効率に関する実測調査

## オフィスビルを対象とした換気効率に関する研究 その1

## EXPERIMENTAL STUDY ON AIR EXCHANGE EFFECTIVENESS IN OFFICE

## Study on air exchange effectiveness in office Part 1

赤林伸一\*1, 坂口 淳\*2, 村上周三\*3, 加藤信介\*4, 深尾 仁\*5

長谷川 功\*6, 須山喜美\*7

*Shin-ichi AKABA YASHI, Jun SAKAGUCHI, Shuzo MURAKAMI,**Shinsuke KATO, Hitoshi FUKAO, Kou HASEGAWA**and Yoshimi SUYAMA*

In order to evaluate indoor air quality and ventilation effectiveness, it is necessary to comprehend properties of various ventilation systems. In this paper we describe the results of field measurement of ventilation effectiveness for four office rooms using age of air and air exchange effectiveness.

The results are as follows.

- (1) In the case of air conditioning system and ventilation system using ceiling chamber for return air, the local air exchange effectiveness in the room is ranged from 0.8-1.2.
- (2) In the case of raised floor air supply system, the local air exchange effectiveness is ranged from 0.9-1.1, however in the case of ceiling supply chamber system is ranged from 0.8-1.0.
- (3) The room which is ventilated by duct system, local air exchange effectiveness becomes about 0.7-1.1. When supply outlets are closed to make bad ventilated area, local air exchange effectiveness of bad ventilated area becomes 0.8-1.0, in the other hand the release area of supply outlets becomes 1.0-1.1.
- (4) It is possible to evaluate ventilation characteristics of office space by local age of air and local air exchange effectiveness.

Keywords: Air Change Effectiveness, Age of Air, Office Space, Field Measurement

換気効率、空気齢、事務所空間、実測調査

## 1. はじめに

近年、室内空気質向上の観点から、適切な換気量の確保や室内で発生した汚染質の除去についての要求が高まっている。オフィス空間では、シックビルディングシンドロームなどの外気の不適切な導入による室内空気質の低下が社会問題としてしばしば取り上げられ、その解決が迫られている。また数値流体力学の普及に伴い、室内の流れ場や汚染質拡散場の構造的な理解が進み、室内分布を配慮した設計を行うことが可能となってきた。

従来行われていた瞬時一様拡散の仮定に基づいた換気設計ではなく、気流分布や濃度分布を考慮にいたした換気設計を行うためには、室内の換気性状を換気効率の概念に基づいた評価手法の確立が必要不可欠である。そこで新鮮外気の分配を評価する空気齢を用いた換気効率指標により室内の換気性状を評価する。空気齢を用いた換気効率指標はAIVC(Air Infiltration and Ventilation Center)<sup>4)</sup>やASHRAE<sup>5) 6)</sup>などで測定方法が検討されており、換気性状の評価手法として広く世界で使用されようとしている。本論文ではオフィス空間を対象にトレーサーガスを用いて局所平均空気齢及び名目換気時間及び局所空気交換効率の実測調査を行い、導入外気の分配状況を完全混合の状態を基準に評価することを目的とする。

オフィス空間を対象として換気効率指標を用いた換気性能を評価する試みは、Sandberg<sup>7)</sup>やFisk<sup>8)</sup>らによって行われているが種々の換気方式のオフィス空間においてこれを実測し、評価した事例は少ない。

## 2. 測定概要

## 2.1 対象空間 A

## (1) 対象空間 A の概要

平面図を図1に示す。RC造4階建て建物の2階にある会議室を対象とする。延床面積は付室も含めて202m<sup>2</sup>、室容積は天井内を含めて929m<sup>3</sup>、室空間のみの容積は617m<sup>3</sup>である。室内の仕上げ材は、床はカーペット敷き、壁はクロス張り、天井は石膏ボードである。換気設備は隣室と独立しており、給排気のバランスはとれており、隣室への漏入漏出は殆どない。

## (2) 換気・空調設備

空調換気設備の概要を図2に示す。空調機械室に設置されたパッケージ型空調機により空調・換気されている。設計給気風量は9300m<sup>3</sup>/h、設計取り入れ外気量は2000m<sup>3</sup>/hである。空調空気は下がり

本論文の概要は日本建築学会大会学術講演会(1994年9月)において発表した(文献1, 2, 3)

\*1 新潟大学大学院自然科学研究科 助教授・工博

\*2 県立新潟女子短期大学生活科学科 講師・博士(工学)

\*3 東京大学生産技術研究所 教授・工博

\*4 東京大学生産技術研究所 助教授・工博

\*5 大成建設技術研究所

\*6 三井建設技術研究所

\*7 ㈱ハザマ技術研究所 工博

Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., Dr. Eng. Lecturer, Dept. of Human Life and Environmental Science, Niigata Women's College, Dr. Eng.

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

Assoc. Prof., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.

Technology Research Center, Taisei Co., Ltd.

Technical Research Institute, Mitui Co., Ltd.

Technical Research Institute, Hazama Co., Ltd., Dr. Eng.

天井から水平方向に吹き出され、天井に設置された還気口を介して天井裏チャンバーに吸い込まれ、その後ダクトにて空調機械室に戻る。外気は空調機械室でレターンチャンパー内に取り込み、排気は室内の天井面ガラリによりダクトにて単独に屋外に排出している。

## 2.2 対象空間 B

### (1) 対象空間 B の概要

対象空間の平面図を図3に示す。4階建て鉄骨造事務所ビルの3、4階執務室を測定対象とする。3、4階とも同一の平面で、床面積は240m<sup>2</sup>、天井チャンバー、床下チャンバー及び機械室を含む容積は882m<sup>3</sup>、室空間のみの容積は612m<sup>3</sup>である。3階執務室は電磁シールドが施工されており、通常の施工状態である4階と比べ気密性が高いと考えられる。対象空間は3、4階とも独立した換気システムが設置されており、給排気量のバランスがとれており、隣室の影響は少ない。

### (2) 換気・空調設備

空調換気設備の概要を図4、図5に示す。外気は機械室に導入され、還気と混合されて3階(図4)では床下をサブライチャンバーとして床面に分散配置された114カ所の吹出口から執務室に給気される。還気は天井裏をレターンチャンパーとして照明器具(20カ所)から吸い込まれる。(床吹出、天井吸込方式)。4階(図5)では天井裏をサブライチャンバーとして15カ所のアルミパンチングパネルより給気され、還気は床下を還気チャンバーにしている(天井吹出、床吸込方式)。排気は両方式とも同様であり、天井に設置した排気口(6箇所)より吸い込まれ、それぞれの排気口からそれぞれの排気ファンによって直接執務室から排気する。室内の設計給気風量は3200

m<sup>3</sup>/h、また設計取り入れ外気量は1800m<sup>3</sup>/hである。

## 2.3 対象空間 C

### (1) 対象空間 C の概要

平面図を図6に示す。RC造4階建ての建物4階部分の約1/3を占める事務所空間を対象とする。測定空間の延床面積は489m<sup>2</sup>、室容積は、給気・排気ダクトを含めた容積は1271m<sup>3</sup>、室空間のみの容積は1246m<sup>3</sup>である。室内の仕様はカーペットタイル敷きのフリーアクセスフロア、壁面は石膏ボード下地の塗装仕上げ及び大型書庫キャビネット据え付け、天井は岩綿吸音板システム天井、室両側の窓面ははめ殺し窓及び一部縦軸回転窓である。また、室内の執務場所は高さ1.2mのパーティションにより、個人が区画された形式となっている。測定点34、35を設置した隣室は、対象空間と同じ換

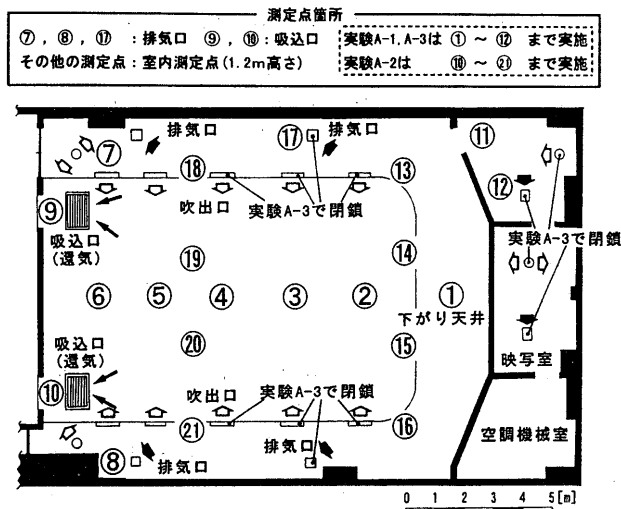


図1 対象Aの平面と測定点

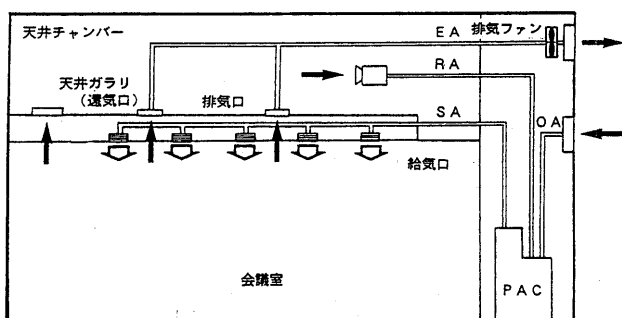


図2 対象Aの換気・空調システム

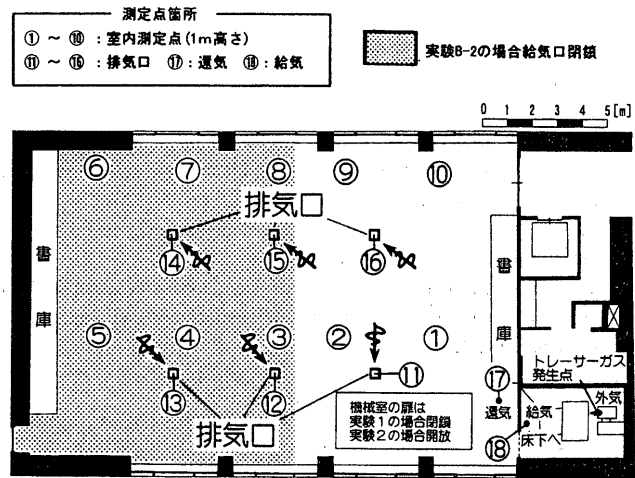


図3 対象Bの平面と測定点

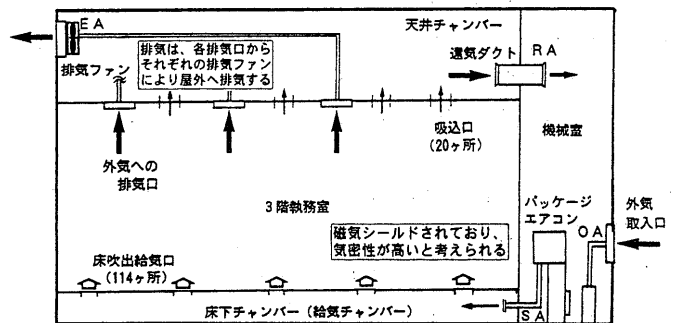


図4 対象Bの換気・空調システム (3階: 床吹出天井吸込)

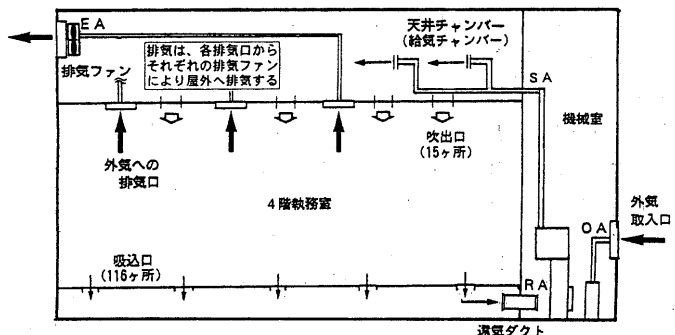


図5 対象Bの換気・空調システム (4階: 天井吹出床吸込)

気系統に属しているが、吹出口および吸込口を閉鎖し換気系統から切り離れた状態で測定を行っている。

## (2)換気・空調設備

空調換気設備の概要を図7に示す。対象空間Cは、隣接する空調機械室内に設置されたエアハンドリングユニットにより空調・換気されている。室内の設計給気風量は9840m<sup>3</sup>/h、また設計取り入れ外気量は4200m<sup>3</sup>/hである。エアハンドリングユニット内で室内からレターン空気と混合され、天井裏の給気ダクトにより天井吹き出しユニットまで導かれ、室内に吹き出される室内からの排気は天井吸込みユニットから排気ダクトにより空調機械室に導かれ、再循環空気と建物外への排気に分けられる。

## 3. 換気効率の測定概要

### 3.1 換気効率の測定方法

トレーサーガスを外気取入口で定量供給し、各測定点のトレーサーガス濃度履歴から局所平均空気齢 $\tau_p$ 及び局所空気交換効率 $\varepsilon_p$ を算出する。測定はステップアップ法、ステップダウン法の両方を行う。ステップアップ法は注目する吹出口からの新鮮外気の到達時間、ステップダウン法は隙間等あらゆる開口から室内に供給された新鮮外気及び隣室からの空気の到達時間を示す。そのためステップアップ法とステップダウン法では対象室の気密性などにより測定結果に差が出る。局所空気交換効率を算出する為に必要な名目換気時間 $\tau_n$ は、室容積と取り入れ外気量から測る場合、室容積の算定の方法(天井裏や床下を含めるかどうか)が大きく影響する<sup>21)</sup>。本論文では排気口の平均空気齢を名目換気時間として換気効率を算出する。トレーサーガスにはエチレン(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)を使用し、マスフローコントローラ

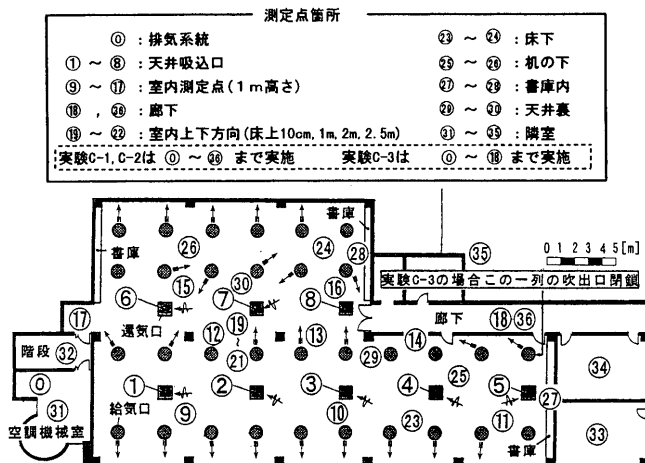


図6 対象Cの平面と測定点

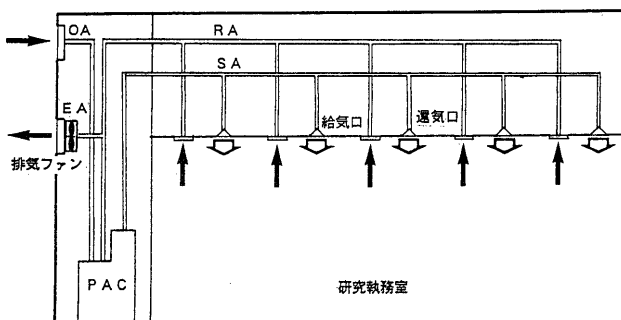


図7 対象Cの換気・空調システム

により対象A、Bでは6.4%/min、対象Cでは25.6%/minで定量供給する。ガス濃度の測定はマルチガスモニタ(B&K社製TYPE1302)及び炭化水素濃度計(大倉理研社製)によって測定する。測定点を対象Aは、図1、対象Bは図3に対象Cは図7に示す。測定点の高さは呼吸域の高さを想定し、床上1mで測定する。

### 3.2 実験条件と測定期間

実験条件と測定期間を表1に示す。対象Aは通常の使用状態と図1に示すように空調空気の給気口と排気口の一部を閉鎖した場合(図1)の2種類の実験を行う。対象Bは通常の使用状態(3、4階執務室)と図3に示すように室の半分の吹出、吸込口をシール(図3)して機械室の扉を開放した場合(3階執務室)の3種類の実験を行う。対象Cは通常使用状態と吹出口の一部を閉鎖した場合の2種類の測定を行う。測定はどの対象空間も中間期を想定し、冷暖房を行わない状態で換気のみ測定を行う。測定中の室内外の温度差は、どの実験条件においても、最大5℃以内である。

### 3.3 局所平均空気齢 $\tau_p$ と局所空気交換効率 $\varepsilon_p$ の算出方法

局所平均空気齢 $\tau_p$ 及び局所空気交換効率 $\varepsilon_p$ の算出方法を表2に示す。ステップアップ法、ステップダウン法の各濃度履歴データより算出する。名目換気時間 $\tau_n$ は本論文では、各排気口の平均空気齢の平均時間 $\tau_e$ とする<sup>21)</sup>。

## 4. 対象空間Aの測定結果

### 4.1 濃度履歴

図8、図9に対象Aの測定結果を示す。トレーサーガス発生開始

表1 実験条件と測定期間

		実験条件	測定期間
対象A	実験A-1	通常使用状態1	1993年10月17日~18日
	実験A-2	通常使用状態2	
	実験A-3	給排気口の一部閉鎖	
対象B	実験B-1	通常使用状態(床吹出天井吸込)	1993年10月23日~24日
	実験B-2	給排気口の一部閉鎖(床吹出天井吸込)	
	実験B-3	通常使用状態(天井吹出床吸込)	
対象C	実験C-1	通常使用状態	1993年10月30日~31日
	実験C-2	通常使用状態(書庫など測定)	
	実験C-3	給排気口の一部閉鎖	

表2 換気効率指標の算出方法

〈局所平均空気齢の算出方法〉

$$\tau_p = \int_0^{\infty} \left\{ 1 - \frac{C_p(t)}{C_p(\infty)} \right\} dt \quad \dots \text{ステップアップ法}$$

$$\tau_p = \int_0^{\infty} \left\{ \frac{C_p(t)}{C_p(\infty)} \right\} dt \quad \dots \text{ステップダウン法}$$

〈取り入れ外気量の算出方法〉

$$Q_s = \frac{K}{\sum_{i=1}^n C_e(\infty) / n} \quad \langle \text{名目換気時間の定義} \rangle \quad \tau_n = \frac{V}{Q_s}$$

〈局所空気交換効率の算出方法〉

$$\varepsilon_p = \frac{\tau_n}{\tau_p} \quad \langle \text{本論文で使用した名目換気時間} \rangle \quad \tau_n = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_e}{n}$$

〈記号〉  $Q_s$ : 取り入れ外気量[m<sup>3</sup>/min]  $C_p(t)$ : 各測定点の濃度[ppm]

$C_e(t)$ : 排気口の濃度[ppm]  $V$ : 室容積[m<sup>3</sup>]  $K$ : トレーサーガス供給量[cc/min]

$\tau_e$ : 排気口の平均空気齢[min]  $\tau_p$ : 局所平均空気齢[min]

$\tau_n$ : 名目換気時間[min]  $\varepsilon_p$ : 局所空気交換効率[-]  $n$ : 排気口の数

後、約90分で安定した濃度に達し、発生中止後約90分でほぼ0に減衰する。測定点の違いによる濃度測定結果のばらつきは少ない。これは外気の漏入や漏出が少ないためと考えられる。通常状態と給排気口の一部を閉鎖した場合で濃度履歴の違いは見られず、ほぼ同様で測定点の違いも少ない。

#### 4.2 取り入れ外気量

定常状態の排気口のガス濃度から算出した取り入れ外気量を表3に示す<sup>※2)</sup>。実験A-1の場合の取り入れ外気量は1860m<sup>3</sup>/h、実験A-2では1810m<sup>3</sup>/h、給排気口の一部を閉鎖した実験A-3では1660m<sup>3</sup>/hである。

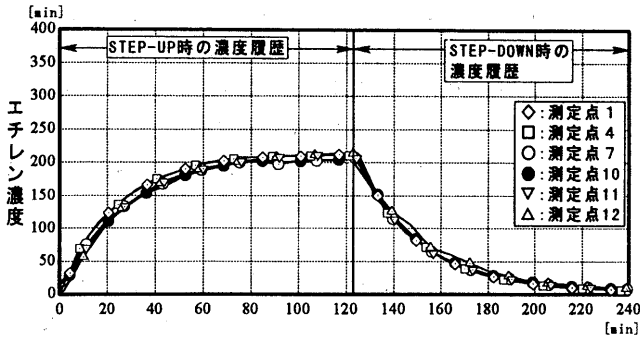


図8 トレーサーガス濃度の測定結果  
(通常状態・実験A-1, A-2)

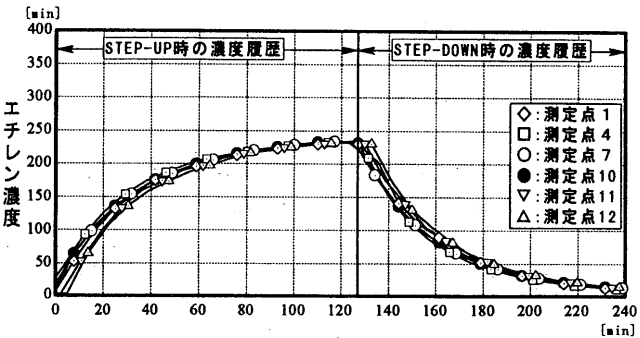


図9 トレーサーガス濃度の測定結果  
(給排気口一部閉鎖・実験A-3)

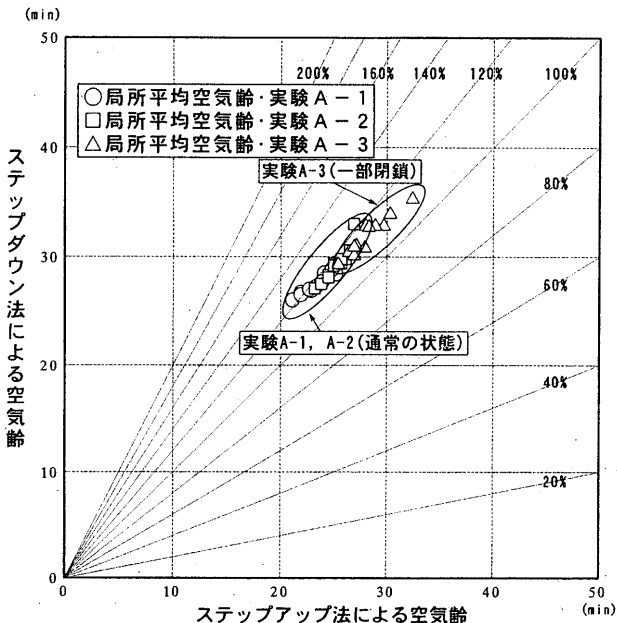


図10 ステップアップ法とステップダウン法による局所平均空気齢  $\tau_p$  の比較(対象A)

#### 4.3 局所平均空気齢 $\tau_p$

トレーサーガス濃度履歴より算出した  $\tau_p$  を図10に示す。通常使用状態の  $\tau_p$  は、呼吸域の測定点では21分から23分、排気口やレターン吸入口では24から26分の範囲の値となる。給排気口の一部を閉鎖した実験A-3では閉鎖領域の測定点の  $\tau_p$  が3分ほど長くなる。ステップアップ法とステップダウン法の  $\tau_p$  を比較すると、ステップダウン法の方が2割ほど長い傾向が観られる。排気口の平均空気齢(名目換気時間)を表3に示す。実験A-1のステップアップ法で25分、ステップダウン法で29分。実験A-2のステップアップ法で27分、ステップダウン法で33分。実験A-3のステップアップ法で29分、ステップダウン法で32分である。

#### 4.4 局所空気交換効率 $\epsilon_p$

$\epsilon_p$  の算出結果を図11に示す。実験A-1(通常の使用状態)では、どの測定点でも  $\epsilon_p$  は1.0を上回り良好な換気状態を示す。実験A-1と吹出口と吸入口の一部を閉鎖した実験A-3で得られた居住域の  $\epsilon_p$  を比較すると、通常使用状態の実験A-1の実験の方がわずかに高い値を示す。実験A-3で吹出口と吸入口の閉鎖の有無による違いを見るために、居住域の測定点で機械室側と吸入口側の値を比較すると、機械室側が若干小さい値を示す。このことより、 $\epsilon_p$  によって吹出

表3 取り入れ外気量及び名目換気時間

実験条件	取り入れ外気量	排気口の平均の局所平均空気齢 (名目換気時間)		
		ステップアップ法	ステップダウン法	
対象A	A-1	1860m <sup>3</sup> /h	24.5分	28.6分
	A-2	1810m <sup>3</sup> /h	26.9分	33.0分
	A-3	1660m <sup>3</sup> /h	28.8分	31.8分
対象B	B-1	1820m <sup>3</sup> /h	25.4分	29.5分
	B-2	1170m <sup>3</sup> /h	35.2分	42.2分
	B-3	1610m <sup>3</sup> /h	30.9分	33.1分
対象C	C-1	3950m <sup>3</sup> /h	29.4分	26.9分
	C-2	3920m <sup>3</sup> /h	31.1分	28.1分
	C-3	3680m <sup>3</sup> /h	30.6分	33.3分

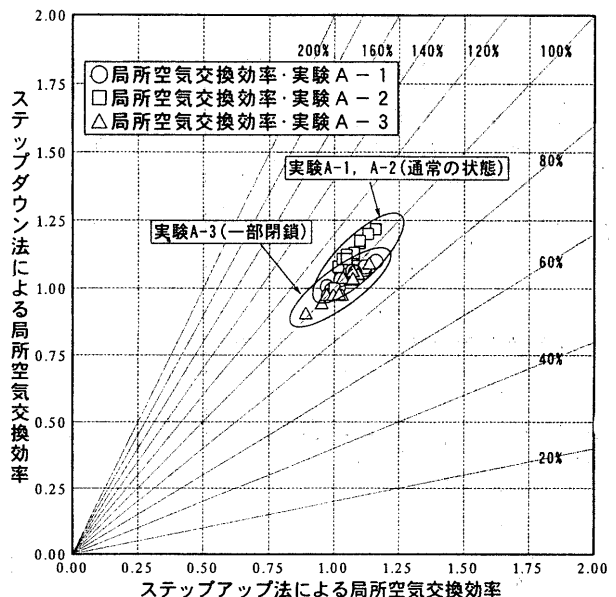


図11 ステップアップ法とステップダウン法による局所空気交換効率  $\epsilon_p$  の比較(対象A)

口と排気口の閉鎖による影響を見ることが出来、換気性能の良否を評価することが可能である。対象Aで $\varepsilon p$ の室内分布に大きな差が生じなかった原因は、取り入れ外気がエアハンドリングユニット内部でレターン空気と混合する点とレターン空気が天井面全体の隙間から天井チャンバー内に吸い込まれ、その結果室内気流の拡散性が良くなっているためと考えられる。

## 5. 対象空間Bの測定結果

### 5.1 濃度履歴

実験B-1~B-3における濃度履歴を図12~図14に示す。各実験とも空調機出口の給気チャンバー(測定点⑬)では当然のことながら他の測定点と異なり濃度の上昇・下降が速い。実験B-1(図12)では、居住域における濃度は約120分後に200~210ppmで定常に達する。各測定点の濃度の差は小さい。実験B-2(図13)では給気チャンバーと還気ダクト(測定点⑰)が全く同じ濃度履歴を示している。定常濃度は

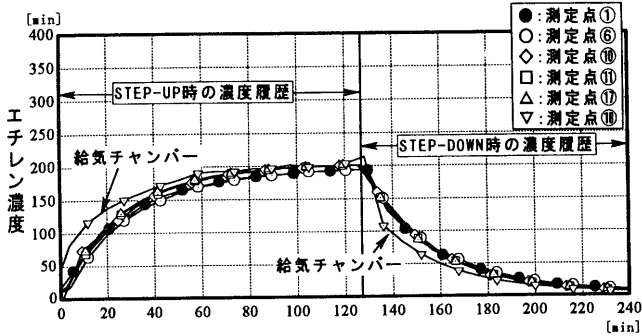


図12 トレーサーガス濃度の測定結果  
(床吹出天井吸込通常状態・実験B-1)

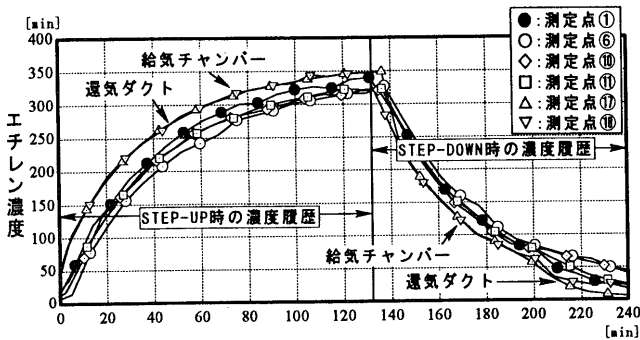


図13 トレーサーガス濃度の測定結果  
(給排気口一部閉鎖・実験B-2)

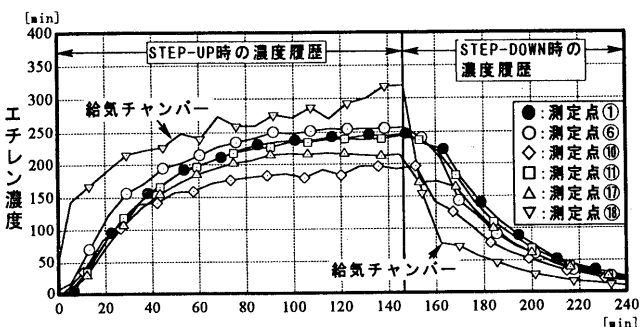


図14 トレーサーガス濃度の測定結果  
(天井吹出床吸込通常状態・実験B-3)

取り入れ外気量が最小であることに対応し最も高い濃度(約350ppm)を示している。また、実験B-1に比べて居住域の濃度の差が大きくなっている。実験B-3(図14)では、実験B-1と比べて定常濃度が高く、各測定点間の濃度の差が大きくなっている。特に執務室入口付近の測定点⑩では定常濃度が他に比べて低く、入口扉の隙間からの漏気が影響しているものと考えられる(入口扉は両開きスイング扉で上、左右、召し合わせ部分に約8mm、下部に約12mmの隙間がある)。

### 5.2 取り入れ外気量

取り入れ外気量の算出結果を表3に示す。床吹出天井吸込方式の通常状態(実験B-1)では取り入れ外気量は1820m<sup>3</sup>/h、給排気口の一部閉鎖した場合(実験B-2)では、1170m<sup>3</sup>/h。天井吹出床吸込方式の

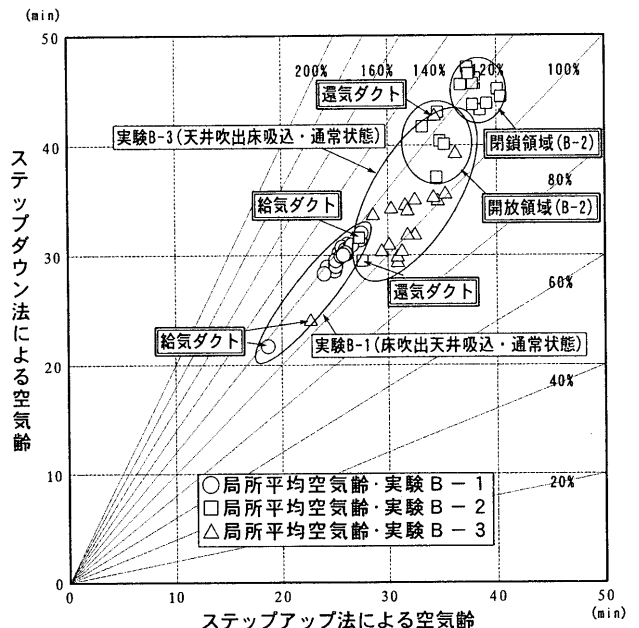


図15 ステップアップ法とステップダウン法による局所平均空気齢 $\tau$ の比較(対象B)

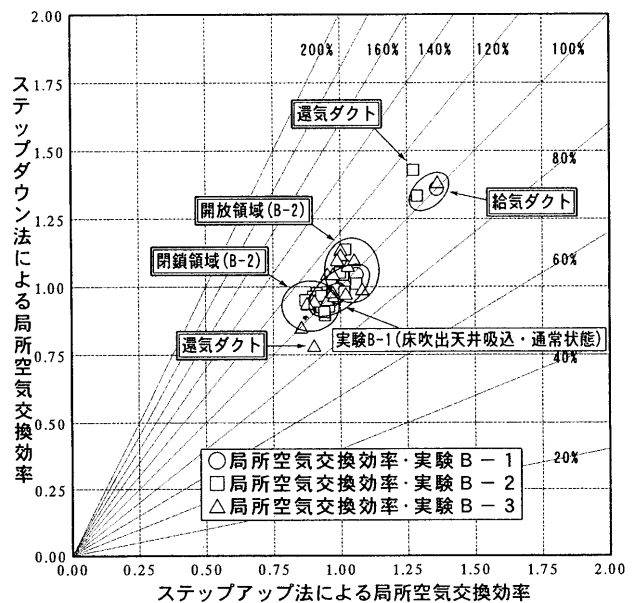


図16 ステップアップ法とステップダウン法による局所空気交換効率 $\varepsilon$ の比較(対象B)

通常状態(実験B-3)では1610m<sup>3</sup>/hである。

### 5.3 局所平均空気齢 $\tau_p$

ステップアップ法、ステップダウン法を用いて算出した  $\tau_p$  を図15に示す。実験B-1のステップアップ法による  $\tau_p$  は20~32分の範囲にあり、給気ダクトを除くと室内の分布は小さい。実験B-2では取り入れ外気量が実験B-1と比べて少ないため  $\tau_p$  は長くなり、30~40分の範囲に分布する。吹出、吸込、排気口をシールした領域の  $\tau_p$  は、シールしていない領域の  $\tau_p$  と比較して相対的に長くなる。実験B-3では給気ダクトを除いて26~35分の範囲に入る。ステップアップ法とステップダウン法の差は、実験B-1~実験B-3を通じて0~9分の範囲に入り、大きな差がない。排気口の平均空気齢(名目換気時間)は実験B-1のステップアップ法で25分、ステップダウン法で30分。実験B-2のステップアップ法で35分、ステップダウン法で42分。実験B-3のステップアップ法で31分、ステップダウン法で33分となる。

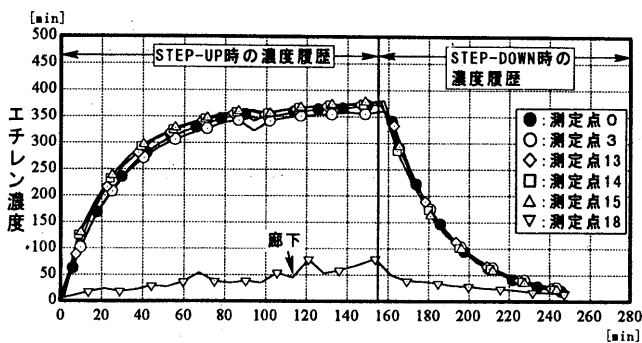


図17 トレーサーガス濃度の測定結果 (通常状態・実験C-1)

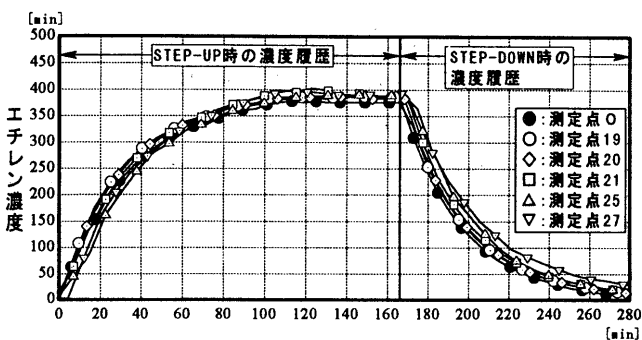


図18 トレーサーガス濃度の測定結果 (通常状態・実験C-2)

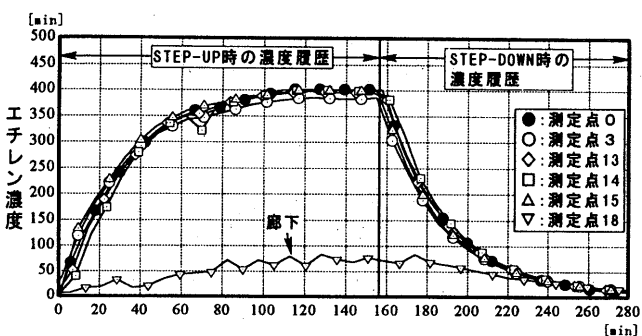


図19 トレーサーガス濃度の測定結果 (吹出口の一部閉鎖・実験B-3)

### 5.4 局所空気交換効率 $\epsilon_p$

ステップアップ法による  $\epsilon_p$  とステップダウン法の  $\epsilon_p$  の関係を図16に示す。実験B-1では給気チャンバーを除いた  $\epsilon_p$  は0.9~1.1の範囲に入る。実験B-2では給気チャンバーと還気ダクトを除いた  $\epsilon_p$  は、0.8~1.1の範囲に入る。実験B-1と比較して室内の分布が大きくなっている。実験B-3の  $\epsilon_p$  は0.7~1.1の範囲に分布し測定点によるばらつきが大きい。部屋の半分の吹出、吸込、排気口をシールした実験B-2の  $\epsilon_p$  は、実験B-1に比べて室内の分布が大きい。実験B-2で吹出、吸込、排気口をシールしていない領域の  $\epsilon_p$  は0.9~1.1、シールした領域は0.8~1.0の範囲に入る。シールしていない領域の  $\epsilon_p$  より0.1程度小さくなることから、その値で

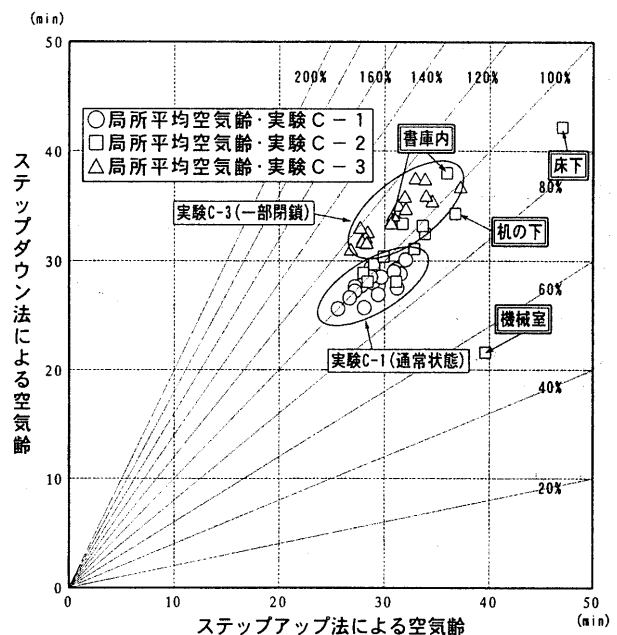


図20 ステップアップ法とステップダウン法による局所平均空気齢  $\tau_p$  の比較(対象C)

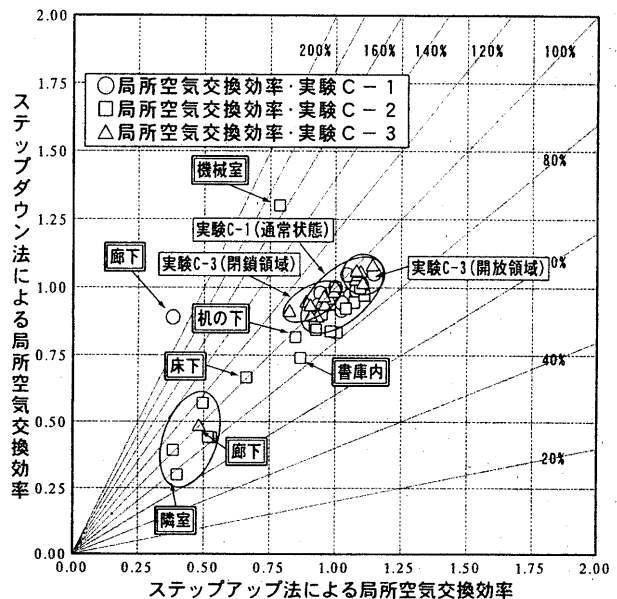


図21 ステップアップ法とステップダウン法による局所空気交換効率  $\epsilon_p$  の比較(対象C)

換気の良否を評価することができると考えられる。さらに実験B-2での還気ダクトの $\epsilon p$ が給気ダクトの $\epsilon p$ とほぼ同一の値となることから、意図した通りショートサーキットしていることが考えられる。 $\epsilon p$ は、ステップアップ法では機械換気のみ $\epsilon p$ が算出され、ステップダウン法では漏入空気を含めたトータル $\epsilon p$ が算出される。一般的に漏入空気の影響が大きい場合、漏入空気を含めた $\epsilon p$ のステップダウン法の方がステップアップ法よりも大きな値となる。どの実験ケースもステップアップ法、ステップダウン法ともに同様な値であり、対象空間は漏気の影響が小さいといえる。

## 6. 対象空間Cの測定結果

### 6.1 濃度履歴

濃度履歴の測定結果を図17～図19に示す。各実験、各測定点ともステップアップ法開始後約150分程度ではほぼ定常状態に達する。またステップダウン法では同様に約150分程度の時間で濃度がほぼ0に減衰する。実験C-2において、床下、書庫内、室の上下方向、天井裏、机下空間等の測定点は、実験C-1の居住域の測定点と同様の濃度履歴となっている。なお、測定対象室外の隣接空間に設けた測定点でもかなりの濃度上昇をしており、測定対象室からの漏出・漏入がかなりあることが判る。

### 6.2 取り入れ外気量

取り入れ外気量の算出結果を表3に示す。通常状態の取り入れ外気量は約3950 $\text{m}^3/\text{h}$ である。吹出口の一部閉鎖した場合(実験C-3)では、3680 $\text{m}^3/\text{h}$ である。

### 6.3 局所平均空気齢 $\tau p$

図20に $\tau p$ の算出結果を示す。実験C-1において、呼吸域高さの測定点(9～16)の $\tau p$ は25～32分程度である。書庫内部や机の下などを測定した実験C-2では、書庫内部(27、28)は31～36分程度、机の下(25、26)は28～37分程度の値となり呼吸域の測定点と比較して、3～5分 $\tau p$ が長くなる。吹出口の一部を閉鎖し、室内の一部に換気の不良空間を形成することを意図した実験C-3では、吹出口閉鎖領域の測定点(12～14)の $\tau p$ は30～34分、吹出口開放領域の測定点の $\tau p$ は27～28分程度の値となり、換気の良否を反映した結果になっている。排気口の平均空気齢(名目換気時間)は実験C-1のステップアップ法で29分、ステップダウン法で27分。実験C-2のステップアップ法で31分、ステップダウン法で28分。実験C-3のステップアップ法で31分、ステップダウン法で33分である。

### 6.4 局所空気交換効率 $\epsilon p$

$\epsilon p$ の算出結果を図21に示す。通常状態の実験C-1、C-2では、呼吸域の $\epsilon p$ は0.9～1.1、机の下や書庫内では0.8程度の値となる。また隣室や廊下、執務室フリーアクセスフロア床下などの測定空間外の $\epsilon p$ は0.25～0.6程度の値となり漏気の影響により、執務室に供給された外気が隣室に若干分配されている。吹出口の一部を閉鎖した実験C-3では、閉鎖領域の測定点の $\epsilon p$ は0.8～1.0、開放領域の測定点の $\epsilon p$ は1.0～1.1程度となり、この値から換気の良否を評価することが出来ると考えられる。

## 7. まとめ

- ①天井裏にレターンのチャンバーを設置した対象Aでは、 $\epsilon p$ は0.8～1.2程度の値となる。給排気口の一部を閉鎖した場合と閉鎖しない場合では、閉鎖しなかった場合の方がわずかに $\epsilon p$ が高い。
- ②床吹出天井吸込方式(実験B-1)では、 $\epsilon p$ は0.9～1.1の範囲に入る。給排気口の一部を閉鎖した場合の $\epsilon p$ は0.8～1.0の範囲に入り、閉鎖しない場合と比較して1割程度 $\epsilon p$ が小さくなり、換気が不良となっていることを評価出来る。天井吹出床吸込方式(実験B-3)では、 $\epsilon p$ は0.7～1.1の範囲に入る。
- ③吹出、吸込ダクト方式の対象Cでは、 $\epsilon p$ は0.9～1.1、机の下や書庫内の $\epsilon p$ は0.8程度の値となる。吹出口の一部を閉鎖した場合、閉鎖領域の $\epsilon p$ は0.8～1.0、開放領域の $\epsilon p$ は1.0～1.1程度となる。
- ④空調機内部で取り入れ外気をレターンと混合し室内に供給する換気空調方式では、取り入れ外気量と比較してレターンの循環空気量が多いため、室内の $\epsilon p$ の分布が小さくなる傾向がある。
- ⑤吹出口や排気口が無い領域の $\epsilon p$ は吹出口、排気口のある領域の $\epsilon p$ よりも小さな値となる。このことにより室内への外気の分配の良否と吹出口や排気口の配置状況の関係を局所空気交換効率 $\epsilon p$ で評価することが可能である。
- ⑥室内に取り入れた外気が瞬時一様拡散する場合の $\epsilon p$ は1となり、さらに $\epsilon p$ の定義により排気口の $\epsilon p$ は1となる。室内に取り入れた外気は、その滞在時間に比例して汚染されると仮定すると、 $\epsilon p$ が1よりも小さい値の場所では、排気口の室内汚染物質濃度よりも高い濃度となる確率が高くなる。このように $\epsilon p$ の値が完全混合の1より大きい小さいかで絶対的な換気の良否を評価することが可能である。

## 注釈

- 1) 取り入れ外気が排気装置を通過する平均時間を定義した名目換気時間 $\tau n$ は、換気回数として表される。この名目換気時間 $\tau n$ の算出には、室容積が必要となるが、この室容積は測定することが出来ず、設計図書などから求めるため、その算出が非常に困難である(天井裏チャンバやダクトの容積などの解釈が困難であるなど)。一方、名目換気時間はその定義から、排気口の局所平均空気齢と定義することが可能であり、本論文では排気口の局所平均空気齢を名目換気時間と定義する。排気口が多数ある場合では、それぞれの排気口の平均空気齢を排気風量で重み付け平均した値として算出することが出来る。本論文では排気口ごとの排気風量を測定していないが、排気口毎の違いは少ないものと仮定して排気口の平均空気齢を算出している。
- 2) 漏入空気の量が多く、漏入空気によって定常時のトレーサーガス濃度分布が大きい場合では、換気量は各排気口の排気風量で重み付けしたトレーサーガス濃度を用いて、漏入空気の量を含めた取り入れ外気量を算出する必要がある。対象空間Aでは全ての排気口でトレーサーガス濃度を測定していないが、室内の定常時におけるトレーサーガス濃度分布は極めて小さく(図8、図9参照。)、測定した排気口のガス濃度の平均より取り入れ外気量を算出した。対象空間Bでは測定した排気口の定常濃度より単純平均した値を用いた。対象空間Cでは排気ダクト内の定常濃度より算出した。

## 謝辞

本実測調査は、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)の活動の一環として行ったものである。一部の実測は、樋渡 潔(大成建設)、酒井英二(三井建設)、青山三男(ハザマ)、青木大明(ハザマ)各氏の協力を得た。データの集計など新潟大学大学院生の方々の御協力を得た。ここに記し、関係各位に心から謝意を表します。

## 参考文献

1) 樋渡 潔、村上周三、加藤信介、深尾 仁、赤林伸一：オフィスビルを対象とした換気効率の実測調査 その1 天井裏チャンパー方式の会議室を対象とした実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp117-118、1994年9月  
2) 長谷川功、村上周三、加藤信介、赤林伸一、坂口 淳：オフィスビルを対象とした換気効率の実測調査 その2 床吹出及び天井吹出の執務空間を対象とした実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp119-120、1994年9月

3) 青山三男、村上周三、加藤信介、赤林伸一、須山喜美：オフィスビルを対象とした換気効率の実測調査 その3 給排気ダクト方式の執務空間を対象とした実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp121-122、1994年9月

4) AIVC, "A Guide to Air Change Efficiency", Technical Note 28, 1990

5) David Etheridge and Mats Sandberg, "Building Ventilation Theory and Measurement", 1996

6) William J. Fisk et al., "Commercial Building Ventilation Measurements Using Multiple Tracer Gases", 9th AIVC Conference, 1988

7) ASHRAE Standard (Public Review Draft), Standard Method of Measuring Air Change Effectiveness, BSR/ASHRAE, 1992

8) 須山喜美、村上周三、吉野 博、加藤信介：欧米における換気効率の研究(その2) ASHRAEにおける換気効率測定方法に関する規格の動向、空気調和衛生工学会学術講演梗概集、1993年

9) 坂口 淳、赤林伸一：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、日本建築学会計画系論文集第488号、pp35-42、1996年10月

(1998年1月28日原稿受理、1998年9月14日採用決定)