

## 建物の換気システムに関する研究 居室の換気効率に関する実測調査

原子 正生

### 1 研究目的

近年、事務所ビルに限らず住宅でも高気密化が進行しており、建物の換気計画の重要性が増している。従来の換気計画は、換気量のみを規定している場合が殆どで、室内の気流分布や汚染質の濃度分布まで考慮した換気計画手法は確立されていないのが現状である。

空気齢を用いた換気効率指標は、建物内のある測定点における新鮮外気の供給の効率を示し、この指標を用いることにより居住域に対する換気の良否を評価することができると考えられる。

本研究では、オフィスビル内の執務室や会議室及び木造住宅を対象として、換気効率の実測を行い、換気効率指標の標準化のための基礎資料を得ることを目的とする。

### 2 オフィスビルを対象とした実験の概要

#### 2.1 対象室の概要（表1）

(1) 対象室A:RC造4階建て建物の2階にある、会議室を対象とする。延べ床面積は付室も含めて $202\text{m}^2$ 、室容積は天井内を含めて $928.8\text{m}^3$ である。対象室の空調空気は天井に設置された給気口から水平方向に吹き出され、天井面に設置された天井ガラリを介して天井裏チャンバーに吸い込まれ、その後ダクトで空調機械室に戻る。外気は空調機械室内でレターンチャンバー内に取り込み、排気は天井面に設置された排気口よりダクトで単独に屋外に排出する。

(2) 対象室B:鉄骨造4階建て建物の3階にある、執務室を対象とする。延べ床面積は付室も含めて $240\text{m}^2$ 、室容積は天井内及び床下を含めて $882\text{m}^3$ である。対象室の空調空気は床下に設置された給気口から垂直方向に吹き出され、天井面に設置された吸入口から天井裏チャンバーに吸い込まれ、還気ダクトを通じて空調機械室に戻る。外気は空調機械室に取り込み、排気は天井面に設置された排気口よりダクトで単独に屋外に排出する。

(3) 対象室C:RC造4階建て建物の4階にある、執務室を対象とする。延べ床面積は $489\text{m}^2$ 、室容積は天井内及び床下を含めて $1883\text{m}^3$ である。対象室の空調空気は空調機械室からダクトで天井面に設置されている給気口から吹き出される。そして、天井面に設置されている排気口に吸い込まれ、その後ダクトで空調機械室に戻りその一部は排出され、残りの空気は再び空調機に吸い込まれる。

#### 2.2 換気効率測定の概要

(1) 測定方法:空調機械室の外気取り入れダクト内でトレーサーガスを定量発生させ、ステップアップ法とステップダウン法により室内の各測定点におけるトレーサーガス濃度の時系列データをマルチガスマニター（B&K社製TYPE1302）で10分間隔に測定する。室内居住域の測定点は、呼吸高さを想定して床上 $1.0\text{m}$ である。

(2) 局所平均空気齢と局所空気交換効率の算出方法:算出方法は注参照。取り入れ外気量は、ステップアップ法測定時の排気口の定常濃度とトレーサーガスの注入量から算出する。

(3) 実験条件（表2）:給気口と排気口の状態が通常の場合（実験条件N0.1）とその一部を閉鎖して換気不良空間を意図的に作成した場合

（実験条件N0.2）の2種類の測定を行う。なお、対象室Aと対象室Cの実験条件N0.1では、居住

表1 対象室の換気・空調システム

対象室	給気口		運気口		排気口	
	設置位置	PACとの接続	設置位置	PACとの接続	設置位置	排せん
A	天井面	ダクト	天井面	天井裏チャンバー	天井面	ダクトで屋外に排出
B	床面	床下チャンバー	天井面	天井裏チャンバー	天井面	ダクトで屋外に排出
C	天井面	ダクト	天井面で吸い込まれダクトを通して一部はPACに運送され残りは屋外に排氣される			

注) PAC: パッケージ型空調機

表2 対象室の実験条件

対象室	実験条件NO.	室内の条件				トレーサーガス濃度の測定点番号
		給排気口の閉鎖状況	給気口の数	排気口の数	運気口の数	
A	N0.1	通常状態	12	4	2	(1)~(2) 21~32
	RUN1 RUN2	給排気口の一部閉鎖状態	6	2	2	(1)~(2)
B	N0.1	通常状態	116	6	20	(1)~(16)
	N0.2	給排気口の一部閉鎖状態	46	4	20	(1)~(16)
C	N0.1	通常状態	32	8	0	(1)~(19) (9)~(37)
	RUN1 RUN2	給排気口の一部閉鎖状態	22	8	0	(1)~(19)

注) N0.2の閉鎖する給気口の位置は図を参照

域の測定点の位置を変化させて2ケース(RUN1, RUN2)の測定を行う。

### 3 対象室Aの測定結果

#### 3.1 トレーサガス濃度の時系列変化(図1)

各測定点の濃度のはらつきは極めて少ない。これは、換気の効率に差がないことや対象室での漏入や漏出が少ないためであると考えられる。

#### 3.2 取り入れ外気量(表3)

NO.1のRUN1は $1861\text{m}^3/\text{h}$ 、RUN2は $1799\text{m}^3/\text{h}$ 、NO.2は $1642\text{m}^3/\text{h}$ である。

#### 3.3 局所空気交換効率の分布(図2)

NO.1では、どの測定点においても局所空気交換効率は1.0を上回り良好な換気状況である。居住域の測定点(RUN1は⑦~⑫、RUN2は25~32)

表3 取り入れ外気量と名目換気時間(対象室A)

実験条件No.	排気口の定常濃度(ppm)	取り入れ外気量(m <sup>3</sup> /h)	換気回数(回/h)	名目換気時間(min)
NO. 1	RUN1	206.3	2.00	29.9
	RUN2	213.5	1.94	31.0
NO. 2		233.9	1.77	33.9

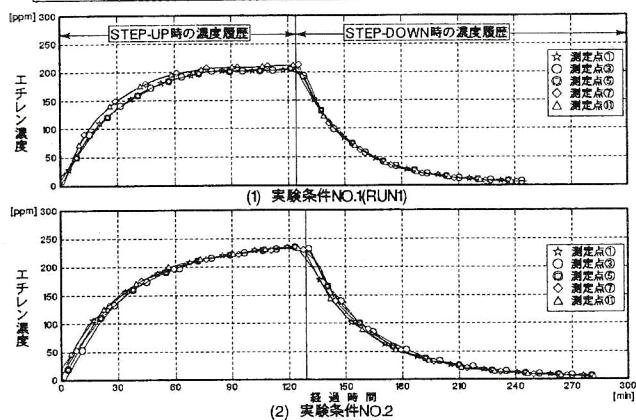


図1 対象室Aのトレーサガス濃度履歴

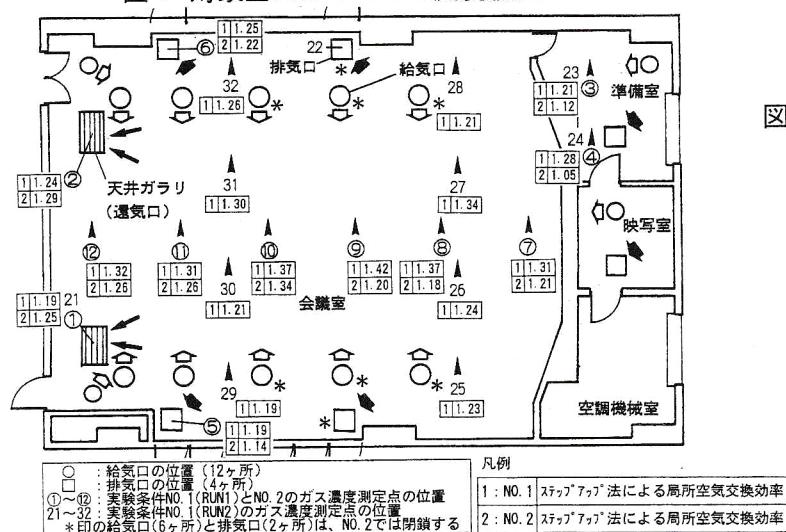


図2 対象室Aの局所空気交換効率の分布

は1.19~1.42の範囲に入り、RUN2よりRUN1の方が高い値となる。これは、RUN1の測定点が室内の中央にあり給気口からの気流が室内に拡散される前に直接測定点に到達するためであり、RUN2の測定点では吹き出された気流が室内に十分に拡散されているためであると考えられる。NO.2でも、どの測定点においても局所空気交換効率はほぼ1.0を上回る。居住域の測定点で給排気口を閉鎖した領域(測定点⑦~⑫)は1.18~1.21、開放した領域(測定点⑩~⑭)は1.26~1.34の範囲に入り、閉鎖した領域の方が局所空気交換効率は低い。

#### 3.4 実験条件NO.1とNO.2の比較(図3、4)

NO.2の局所平均空気齢はNO.1と比較して10~40%程度大きく、局所空気交換効率は若干低い値となる。この条件で室内の分布に大きな差が生じたのは、レターン空気が還気口のみから天井裏チャンバーに吸い込まれずに天井面全体の隙間からも吸い込まれ、その結果室内の気流の拡散性が良くなっているためであると考えられる。

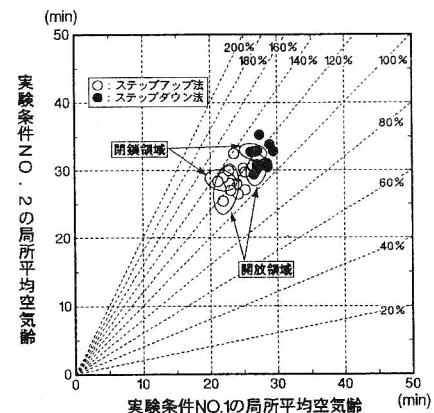


図3 対象室Aの局所平均空気齢の比較

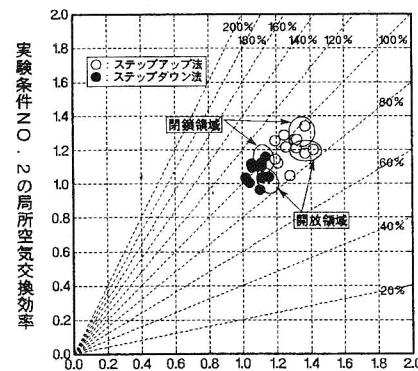


図4 対象室Aの局所空気交換効率の比較

## 4 対象室Bの測定結果

### 4.1 トレーサガス濃度の時系列変化(図5)

ステップアップ法開始後、N0.1は110分程度、N0.2は130分程度で定常に達し、室内の測定点はほぼ同様の濃度履歴を示す。しかし、N0.1の給気ダクト(測定点⑧)は、他の測定点よりも濃度の上昇・下降が速い。N0.2では、還気ダクト(測定点⑯)も給気ダクトと同様に濃度の上昇・下降が速い。

### 4.2 取り入れ外気量(表4)

N0.1は $1823\text{m}^3/\text{h}$ 、N0.2は $1125\text{m}^3/\text{h}$ である。

### 4.3 局所空気交換効率の分布(図6)

N0.1では、どの測定点においても局所空気交

表4 取り入れ外気量と名目換気時間(対象室B)

実験条件NO.	排気口の定常濃度(ppm)	取り入れ外気量(m <sup>3</sup> /h)	換気回数(回/h)	名目換気時間(min)
N0.1	210.7	1822.5	2.07	29.0
N0.2	341.3	1125.8	1.28	47.0

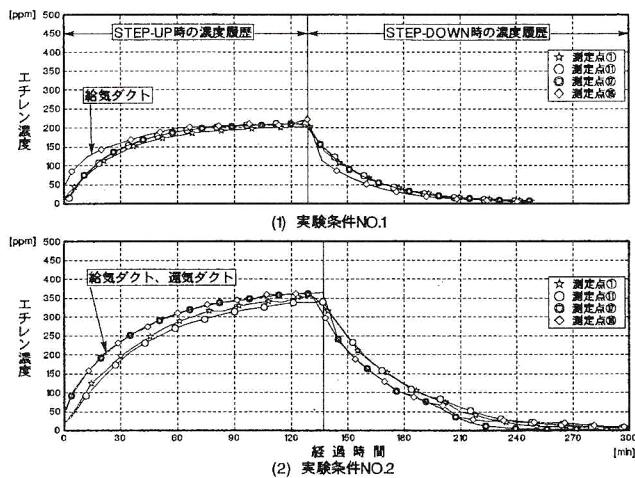


図5 対象室Bのトレーサガス濃度履歴

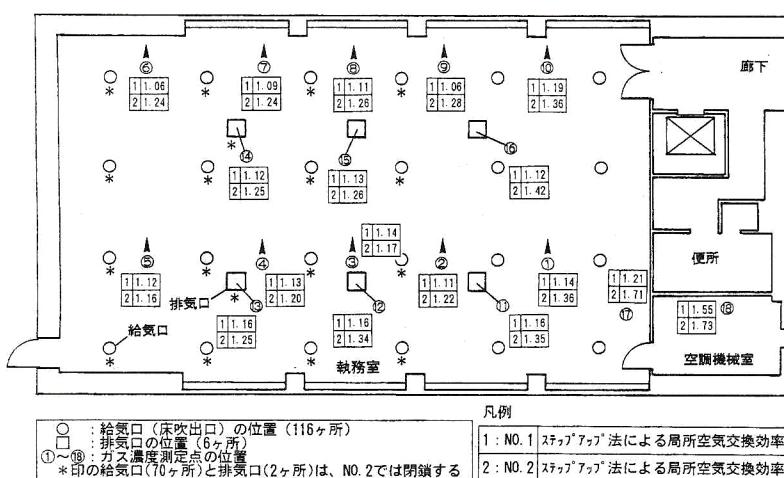


図6 対象室Bの局所空気交換効率の分布

換効率は、1.0を上回り良好な換気状況である。居住域の測定点(①～⑩)は1.06～1.19の範囲に入る。N0.2でも、どの測定点においても局所空気交換効率は、ほぼ1.0を上回り良好な換気性状である。居住域の測定点で給排気口を閉鎖した領域(測定点③～⑧⑬⑯)は1.16～1.26、開放した領域(測定点①②⑨⑩)は1.22～1.36の範囲に入り、閉鎖した領域の方が局所空気交換効率は低い。

### 4.4 実験条件N0.1とN0.2の比較(図7、8)

N0.2の居住域の測定点の局所平均空気齢は、N0.1と比較して20～60%程度大きく、ばらつきが大きい。N0.2において給排気口を閉鎖した領域の局所空気交換効率は、開放した領域よりも0.1～0.2程度低くなることからその値で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、N0.2において還気ダクトの局所空気交換効率が給気ダクトと同様の値であることからシートサーキットしていると考えられる。

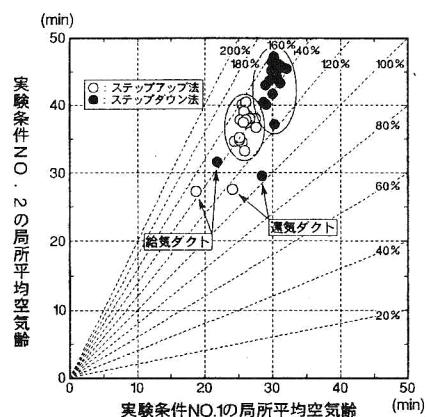


図7 対象室Bの局所平均空気齢の比較

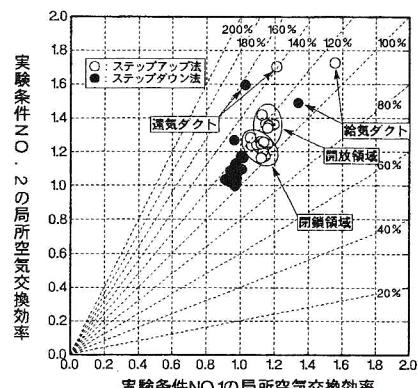


図8 対象室Bの局所空気交換効率の比較

## 5 対象室Cの測定結果

### 5.1 トレーサーガス濃度の時系列変化(図9)

NO.1、NO.2とともにステップアップ法開始後150分程度で定常に達し、室内の測定点はほぼ同様の濃度履歴を示す。また、RUN2の床下、書庫内、天井裏の測定点の濃度履歴は、RUN1の居住域の測定点の濃度履歴と同様である。なお、隣室の測定点でもガス濃度の上昇が見られ、測定対象室からの漏出があることがわかる。

### 5.2 取り入れ外気量(表5)

NO.1のRUN1は3951m<sup>3</sup>/h、RUN2は3919m<sup>3</sup>/h、NO.2

表5 取り入れ外気量と名目換気時間(対象室C)

実験条件NO.	排気口の定常濃度(ppm)	取り入れ外気量(m <sup>3</sup> /h)	換気回数(回/h)	名目換気時間(min)
NO. 1	RUN1	388.8	3950.6	2.10
	RUN2	391.9	3919.4	2.08
NO. 2		418.0	3674.6	1.95

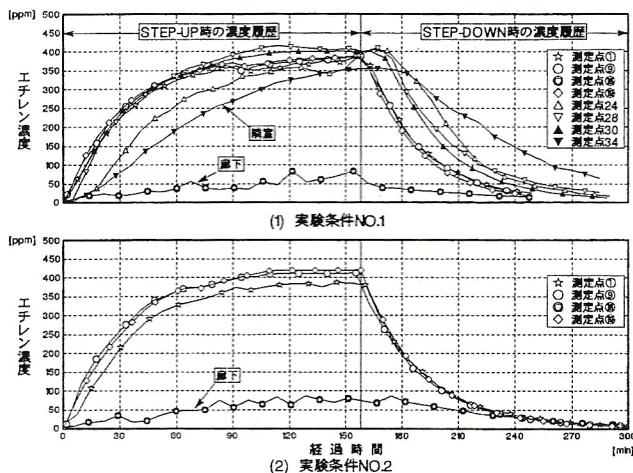


図9 対象室Cのトレーサーガス濃度履歴

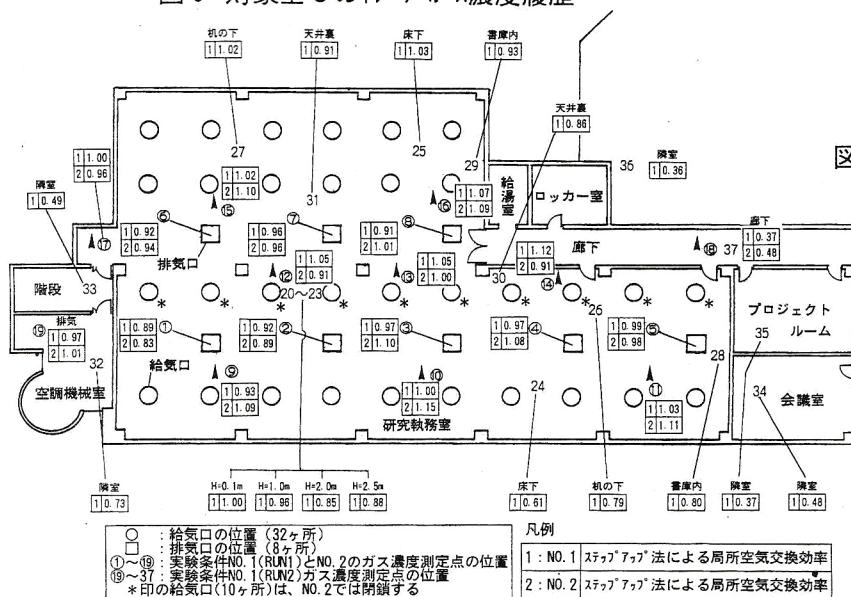


図10 対象室Cの局所空気交換効率の分布

は3675m<sup>3</sup>/hである。

### 5.3 局所空気交換効率の分布(図10)

NO.1において居住域の測定点(⑨～⑯)の局所平均空気齢は25～31分程度であり、床下、書庫内、天井裏、室内の上下方向の測定点(20～31)もほぼ同程度である。また、居住域の測定点の局所空気交換効率は0.93～1.12の範囲に入る。NO.2において給気口を閉鎖した領域(測定点⑭～⑯)の局所平均空気齢は30～34分程度(NO.1では25～27分)に上昇し、局所空気交換効率は0.91～1.00程度(NO.1では1.05～1.12)に低下し、この領域の換気不良の状況を反映した値となる。

### 5.4 実験条件NO.1とNO.2の比較(図11、12)

NO.2の居住域の測定点の局所平均空気齢は、NO.1と比較して、給気口を開放した領域ではほぼ同程度であるが、閉鎖した領域では3～8分程度長い。また、NO.2の閉鎖した領域の局所空気交換効率は、開放した領域の局所空気交換効率と比較して0.1～0.2程度低い値となる。

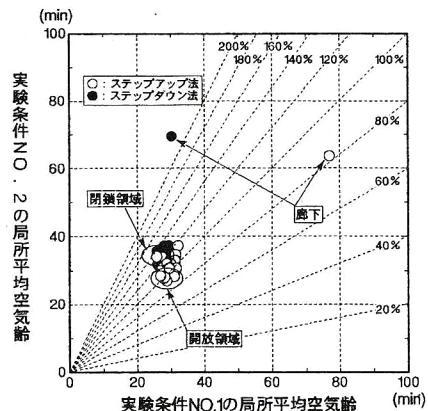


図11 対象室Cの局所平均空気齢の比較

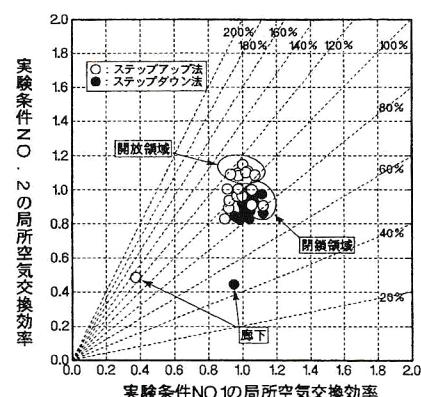


図12 対象室Cの局所空気交換効率の比較

## 6 住宅を対象とした実験の概要

### 6.1 対象住宅の概要（表6）

長岡市川崎団地に建設された木造二階建住宅を対象とする。延べ床面積は164.0m<sup>2</sup>、室容積は393.6m<sup>3</sup>である。対象住宅は、リビング、和室、子供室A、子供室B、主寝室の5箇所に給気口（電動ファン付き）が設置されており、1階の便所、浴室、キッチン、2階の便所、主寝室の廊下の5箇所から排気される排気型セントラル換気システムが設置されている。表6に給気口のシールの有無による気密性能を示す。

### 6.2 換気効率測定の概要

(1) 測定方法：測定の方法は、オフィスビルを対象とした場合と同様であり、室内にトレーサガス（エチレン）を攪拌させてからステップダウン法で測定する。また、外壁に風圧板を設置して室内外の圧力差を測定する。

(2) 局所平均空気齢と局所空気交換効率の算出方法：オフィスビルを対象とした場合と同様。

(3) 実験条件（表7）：すべての給気口ファンを運転、あるいは停止して2ケースをステップダウン法で測定する。測定時は、暖房室温を20℃に設定し、間仕切り扉を全て閉鎖する。

## 7 対象住宅の測定結果

### 7.1 室内外圧力差の頻度分布（図13）

図13に暖房時（室内16°C、外気-2°C）、給気口ファンをすべて停止した場合の給気口③の室内外圧力差（室外-室内）の頻度分布を示す。室内よりも室外の方が圧力は高く、圧力差の平均値は0.198mmAqである。その他の給気口においても同様であり、給気口ファンが停止しても排気ファンにより給気口から室内に給気されていることがわかる。

表6 対象住宅の気密性能

給気口のシール	測定方法	漏気量(m <sup>3</sup> /h)	相当開口面積(cm <sup>2</sup> )	床面積1m <sup>2</sup> 当たりの隙間の有効開口面積(cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
無	加圧法	195.0	134.2	0.82
	減圧法	204.6	140.8	0.86
有	加圧法	113.9	78.4	0.48
	減圧法	117.6	80.9	0.49

表7 対象住宅の実験条件

実験条件	トレーサガス供給場所	給気口のファン	測定方法
CASE.1	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> を攪拌	ON(運転)	ステップダウン法
CASE.2	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> を攪拌	OFF(停止)	ステップダウン法

### 7.2 トレーサガス濃度の時系列変化(図14)

給気口ファンを運転して測定したCASE.1は、測定開始約6時間後には全ての測定点において30ppm以下に減衰しているのに対し、給気口ファンを停止して測定したCASE.2では、全ての測定点が30ppm以下に減衰するのに約10時間かかる。また、CASE.1では測定点③⑧⑨、CASE.2では測定点③の濃度が他の測定点よりも早く減衰する。

### 7.3 名目換気時間（表8）

排気口（測定点②）の定常濃度から算出した名目換気時間はCASE.1で133分、CASE.2で209分でありCASE.2の方が長い。

### 7.4 局所平均空気齢の分布（図15）

1階の測定点③の局所平均空気齢が最も短く、CASE.1では84分、CASE.2では126分である。両ケースともに1階、2階の各測定点から吸込口のある測定点に近くなるにつれて局所平均空気齢は長くなる。1階の居室（測定点①③）の平均は、CASE.1では96分、CASE.2では132分である。2階の居室（測定点⑥⑦⑧⑨）の平均は、CASE.1

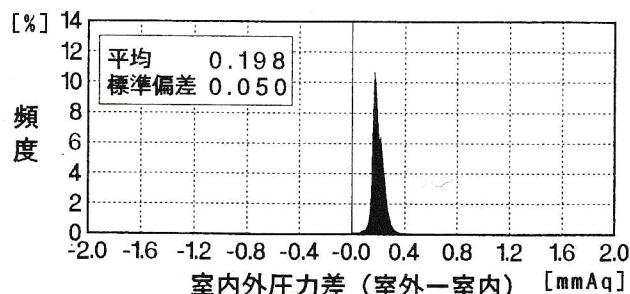


図13 室内外圧力差（室外-室内）の頻度分布

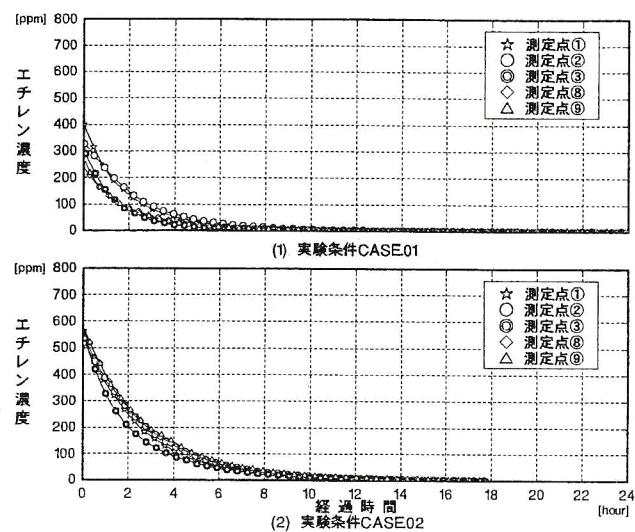


図14 対象住宅のトレーサガス濃度履歴

では132分、CASE.2では160分であり1階の方が短い。

### 7.5 実験条件CASE.1とCASE.2の局所平均空気齢の比較(図16)

CASE.2の局所平均空気齢はCASE.1と比較して10~50%程度長い値である。特に測定点③⑨⑫では、給気口ファンを運転することにより新鮮な外気が効率よく供給されている。その他の測定点においても給気口ファンを運転した方が効率の良いことがわかる。

## 8まとめ

### 8.1 オフィスビルを対象とした結果

(1) 隣接空間に設けた測定点でもガス濃度が上昇しており、測定対象室からの漏出がある。

(2) 給気口を全て開放した通常状態の場合、室内の居住域の局所空気交換効率は、どの測定点でもほぼ1.0以上である。

(3) 床下空間、机の下空間、室内上下方向、書庫内の空間の局所空気交換効率は、居住域と同程度である。

(4) 給排気口を閉鎖した領域では明らかに局所平均空気齢が長く、局所空気交換効率は低くなり、この手法によって室内の換気不良空間の形成等の換気性状の良否を評価することができる。

### 8.2 住宅を対象とした結果

(1) 全ての給気口ファンを停止しても、室内外圧力差が負圧であるので給気口から室内に給気されている。

(2) 排気口へ近くなるにつれて局所平均空気齢は長い。

(3) 給気口ファンを運転すると停止した場合よりも換気量が増えるため室内の全ての測定点において、局所平均空気齢を短くすることができ、室内の換気性状を良くすることができる。

注) 局所平均空気齢と局所空気交換効率の算出方法

$$\text{局所平均空気齢: [STEP-UP法]} \quad \tau_p = \int_0^{t_e} (1 - C_p(t)/C_p(t_e)) dt$$

$$[\text{STEP-DOWN法}] \quad \tau_p = \int_0^{t_f} (C_p(t)/C_p(t_e)) dt$$

$$\text{局所空気交換効率: } \epsilon_p = \tau_p / \tau_{n0} = (V/Q) / \tau_p = (V/(K/C_p(t_e))) / \tau_p$$

ここに  $C_p(t)$ : 時刻tの測定点でのトレーガス濃度、 $C_p(t_e)$ : 排気口でのトレーガス定常濃度  
 $t_e$ : レーガス濃度が定常に達した時刻、 $t_f$ : レーガス濃度が完全に減衰した時刻  
 $\tau_{n0}$ : 名目換気時間、 $V$ : 室容積、 $Q$ : 取り入れ外気量、 $K$ : レーガス発生量

[参考文献]

(1) (社)空気調和・衛生工学会:「住宅・オフィスにおける換気効率の測定例と問題点」

シンポジウム資料 平成6年3月

(2) 赤林伸一、中沢倫明、高橋英明:「事務所ビルの換気効率に関する基礎的研究」

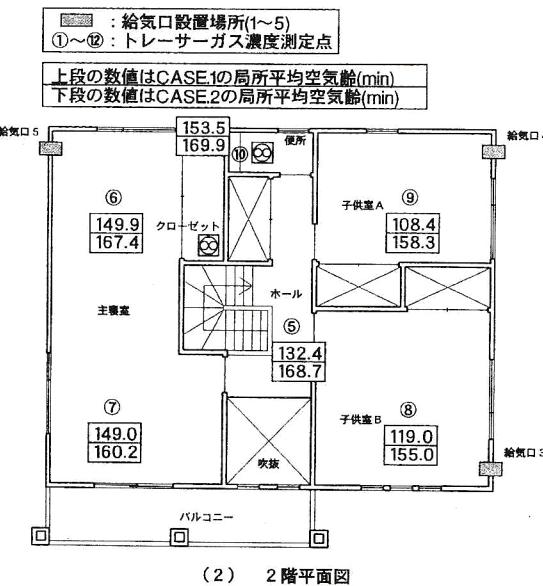
日本建築学会北陸支部研究報告集 1992年7月

(3) 赤林伸一、中沢倫明、大竹克:「集中換気システムを設置した住宅の換気効率に関する実測調査」 日本建築学会北陸支部研究報告集 1993年7月

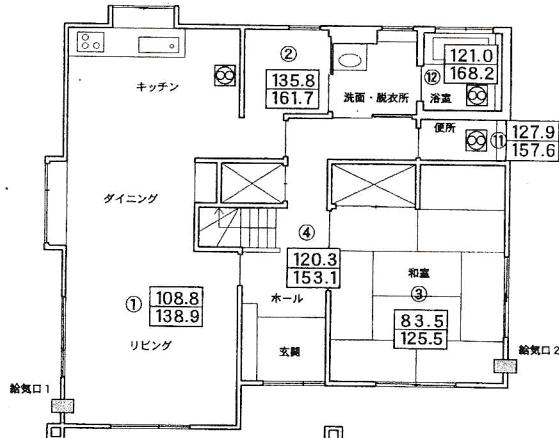
(4) 赤林伸一、坂口淳也:「木造独立住宅を対象とした換気効率の実測調査 その1、その2」 日本建築学会大会学術講演梗概集 1994年9月

表8 測定期間中の換気量と名目換気時間

実験条件	排気口の定常濃度(ppm)	換気量(m <sup>3</sup> /h)	換気回数(回/h)	名目換気時間(min)
CASE.1	433.9	177.0	0.45	133.4
CASE.2	680.8	112.8	0.29	209.3



(2) 2階平面図



(1) 1階平面図

図15 対象住宅の局所平均空気齢の分布

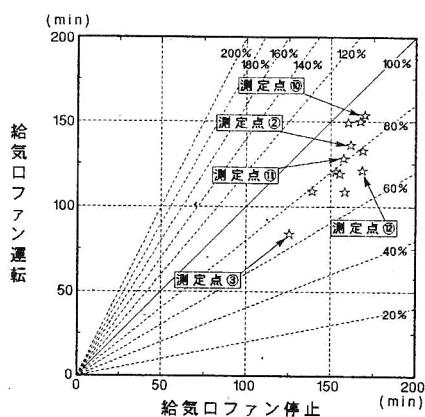


図16 対象住宅の局所平均空気齢の比較

指導教官：赤林伸一 助教授