



Title	パルス法による通風輪道の同定とその検討
Author(s)	西澤, 繁毅; Nishizawa, Shigeki; 繪内, 正道 他
Citation	日本建築学会技術報告集 : journal of architecture and building science, 15, 155-160
Issue Date	2002-06-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50498
Rights	日本建築学会、本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
Type	journal article
File Information	AIJT.15.155-160.pdf



パルス法による通風輪道の同定とその検討

NUMERICAL IDENTIFICATION FOR MAIN CURRENT OF CROSS VENTILATION BY USING PULSE INJECTION METHOD

西澤繁毅 —*1 繪内正道 —*2
羽山広文 —*3 森 太郎 —*4

Shigeki NISHIZAWA —*1 Masamichi ENAI —*2
Hirofumi HAYAMA —*3 Taro MORI —*4

キーワード:

パルス法, ガス濃度分布, 通風輪道, 通風場

Keywords:

Pulse injection method, Distribution of gas concentration, Main current, Cross ventilation

It is too difficult to find out the main current in the field of cross ventilation as current zone. In this report, the distribution of gas concentration diffused after the pulse injection in the field of steady cross ventilation is calculated by using CFD, and the zone of main current is identified by degree which gas reaches from opening and goes out. And it is confirmed that the current zone has spatial characteristics.

1. はじめに

通風を対象とした研究はこれまでに数多くなされているが、室外・室内環境の影響を複雑に受けるため、定量的な把握は難しいのが現状である。通風環境を定量的に把握する方法としては、実測、建物模型による風洞実験、CFDに代表されるシミュレーション等があげられるが、室内空間の卓越流域(通風輪道)の一般的な性質を検討している事例^{1), 2), 3)}は多くはない。

著者らは、既報^{4), 5)}で、トレーサーガス法を用いた換気量測定法に影響を及ぼす有効混合容積⁶⁾を指標として定常通風空間の特性を検討した。その結果、有効混合容積は、流入空気が吹き抜けるときに小さく、空間内でよく混合されるときには実容積に近づくことから、通風場の性状を表す指標となることを確認した。しかし、このステップアップ法から求めた有効混合容積は、元来換気測定を対象にした概念であり、通風の時間スケールよりも長い時間スケールを対象としているため、有効混合容積で通風輪道のすべてを説明できるわけではない。また、通風輪道は、室内において風が開口部から流入してもう一方の開口部へ抜けていく通風の経路⁷⁾とされるが、これまでの通風空間の研究では、通風輪道は風速(通風率)の分布によって議論されることが多く、経路という「領域」として通風輪道を把握している研究は少ない。本研究では、通風場のパルス法による濃度変化をCFDにより解析し、通風特性を表現する時間スケールを対象として、領域としての通風輪道の定義を試み、その検討を行う。

2. 解析概要^{8), 9)}

CFD解析の概要を表1に示す。あらかじめ定常気流場を計算し、その後、時間間隔 $\Delta t=0.02$ 秒でガス濃度分布の変動解析を行う。濃度のパルス入力、時刻 $t=0$ で流入口に $C_{in} \cdot \Delta t=1$ となる濃度 C_{in} を与えている($t \geq \Delta t$ で $C_{in}=0$)。

解析対象は1.8m立方の空間とし、500mm角の流入開口(Y-)を下方(開口中央が床上300mm)に、流出開口(Y+)を上方(開口中央が床上1,500mm)に配置している。また、流入境界には、開口面に垂直に $U_{in}=0.24$ m/sの速度を設定した。解析では、この空間の1/2を解析領域とし、17(X)×24(Y)×38(Z)にメッシュ分割している(図1、以後このケースをTest 0とする)。

3. ガスの拡散状況と時間スケール

図1にTest 0の流線を示す。壁面にぶつかった後、スムーズに流出口に到達する一次的な流れ①、回り込んで流出口に到達する二次的な流れ②、室内を回流する流れ③、④が確認できる。開口から流入する流れにより複雑な流れ場が形成されており、速度分布のみから輪道を領域とし

て検討するのは難しいことが分かる。

図2にガスの拡がっていく状況を、図3に流出口平均濃度と室内に残存しているガス量の時間変動

表1 CFD概要

乱流モデル	標準k-εモデル
解析法	有限体積法(SIMPLE法)
差分スキーム	べき乗法
流入境界	$k_{in}=(U_{in}*0.05)^2/2$ $\epsilon_{in}=C_{\mu} k_{in}^{3/2}/L$ L:開口幅の20%
流出境界	開口流量指定
壁表面	一般化対数則

*1 北海道大学大学院工学研究科 大学院生・工修
(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学工学部建築環境学分野)

*2 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博

*3 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)

*4 北海道大学大学院工学研究科 助手・博士(工学)

*1 Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., M. Eng.

*2 Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

*4 Instructor, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

を示す。ただし、図2に示した領域は後述の領域A(容積 V_a の占める領域)である。 $t=0s$ に下方の開口から流入したガスは、やや下降気味に流れにのって運ばれていき(図2(a),(b))、 $t=6s$ 前後から上昇に転じて(図2(c))、対向壁にぶつかり(図2(d),(e))、急速な拡がりを見せ、ガスの一部が流出する(図2(f))。流出するガス濃度は、 $t=14.34s(=t_1)$ にピークに達し(図3)、室内を回流する流れにのって拡がっていく(図2(g),(h),(i))。その後、流出口平均濃度は $t=54.94s(=t_2)$ に極小値を示し、回流する流れにのったガスが再び流出口に到達して $t=88.04s(=t_3)$ に極大値を示す(図3)。

以上のようなガスが拡がっていく状況において、通風の時間スケール(換気の室平均空気齢に対応するような物理要因)をまず考える必要がある。流出口平均濃度が極小となる時刻 $t_2=54.94s$ は、流れにのったガスが塊として流出するまでに要した時間と仮定することも可能だが、この時刻には図2(g),(h),(i)のように、ほとんどのガスが室内を回流する流れにのっている上に、流出口付近の二次的な流れ(図1②)にのって流出するガスが流出口平均濃度に含ま

れるため、通風輪道のような流入口から流出口への一次的な流れを考える時間スケールとしてはふさわしくないと考えられる。本研究では、ガスが一次的な流れにのっている時間を考えるために、流出口平均濃度が最大となる t_1 をもって一次流の時間スケールとし、以後の検討は $t=0-t_1$ の範囲で進めることにする。

4. 領域Aの導入

ガスが濃度勾配をもって拡がっている空間に、ガスの拡がる程度を表す領域Aを定義し、その容積を以下の式で表す。

$$V_a = \frac{CV}{C_{max}} \dots\dots\dots(1)$$

C は室内平均濃度、 V は実容積、 C_{max} は空間最大濃度である。ある瞬間(図4では $t=9.2s$)に、各コントロールボリューム要素を濃度 C で降順に並べて横軸に累積した体積比をとった図4において、領域Aは、容積比 V_a/V 以下の部分にあたる。これは、 C_{max} の濃度で満たされた領域Aと濃度0の周辺領域に空間を仮想的に二分するものと捉えることができ、領域Aは最大濃度 C_{max} で基準化した領域だといえる。この領域Aが時間とともに移動していく様子を示したものが図2であり、図5は V_a の経時変化を示す。 V_a は120s程度まで直線的に増大し、その後多少の変動を伴いながら収束に向かって

時々刻々変化していく領域Aを経時的に重ねていくことでガスの

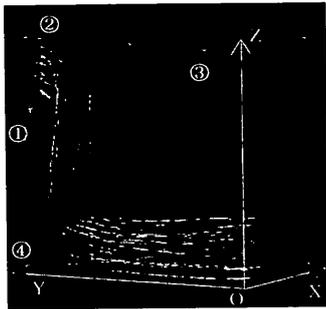


図1 流線

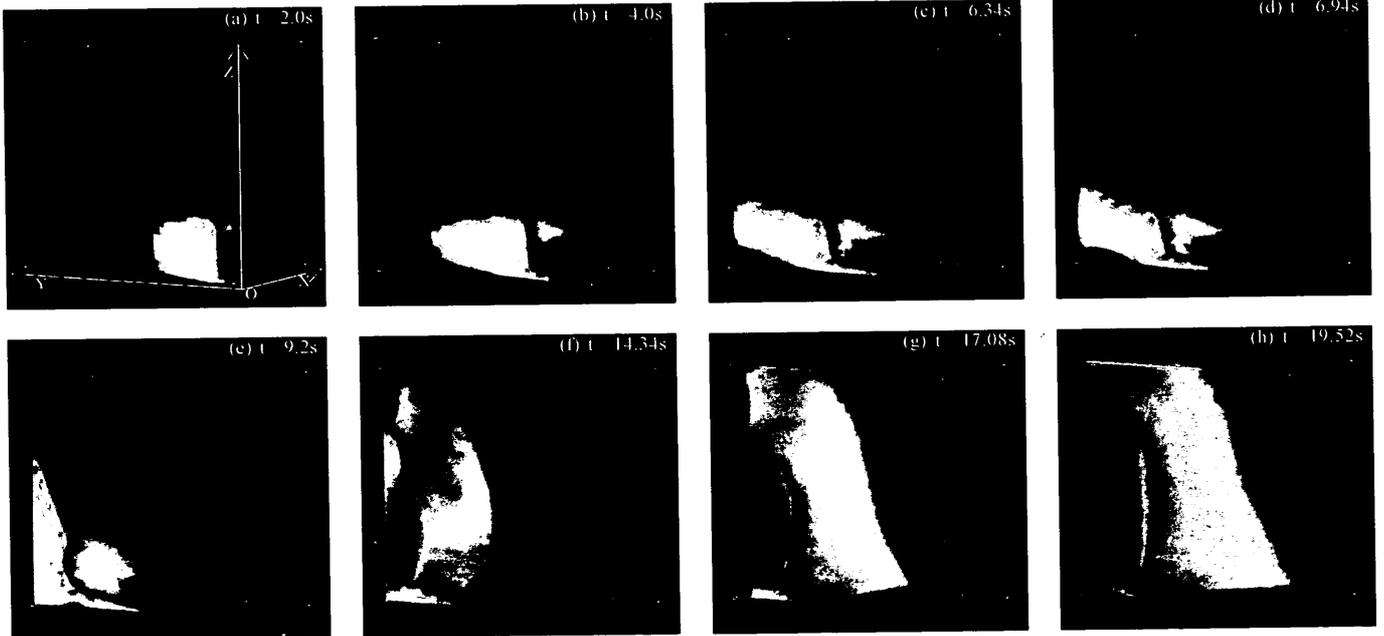


図2 ガスの拡がる過程 (領域Aを白抜表示)

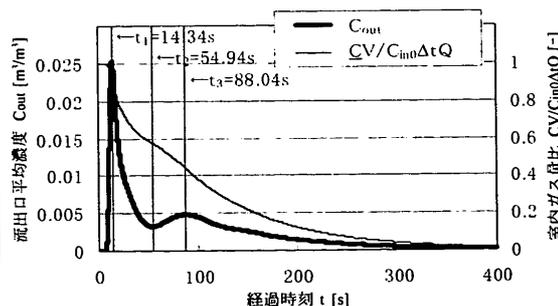


図3 流出口平均濃度変動

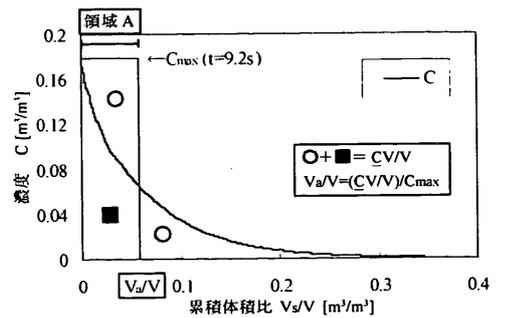


図4 相当容積の算出 ($t=9.2s$)

到達のしやすさを表す領域を考える。図6は $t_1=14.34s$ までの領域Aを重ねた領域(領域A')である。この領域A'は、ガス塊が対向壁面へ衝突して拡がる前まで($t=6\sim 7s$ まで)は「開口部から流入してもう一方の開口部へ抜けていく通風の経路」を表していると考えられるが、領域Aが壁面に衝突してX, Z軸方向へ拡がった後は、室内を回流する部分(図6楕円部付近)を含んでおり、領域A'が通風輪道そのものを表しているとは言えない。この室内に回流する部分を除外して、「開口部へ抜けていく経路」を考えるために、続けて「抜けやすさ」の検討を行う。

5. ガスの「抜けやすさ」の検討

ある時刻に空間に分布するガスの流出口への到達のしやすさを検討するために、各コントロールボリューム要素ijkにおけるガス量のパルス入力(時刻 $t=0$ で $Min-ijk \cdot \Delta t=1$ となるガス量 $Min-ijk$ を与える。 $t \geq \Delta t$ では $Min-ijk=0$)を空間内の全要素にわたって行い、それぞれの入力に対するガス流出量の経時的な変化 $M_{out-ijk}$ を求める。この $M_{out-ijk}$ を用いて、ある時刻に空間に分布するガス量 $M_{ijk}=(C_{ijk}(t) \cdot V_{ijk})$ のうち、 $t_1=14.34s$ までに流出するガス量 M_{r-ijk} を次式で表すことができる。

$$M_{r-ijk}(t_1) = \frac{C_{ijk} V_{ijk}}{M_{in-ijk} \Delta t} \int_0^{t_1} M_{out-ijk}(t-t_1) dt \quad \dots\dots\dots(2)$$

式2の積分は、ある時刻 t_1 、要素ijkにおいて単位のパルス入力

があったときの、時刻 $t_1 \sim t_1$ の間のガス流出量を表している。また、 $(C_{ijk} \cdot V_{ijk}) / (M_{in-ijk} \cdot \Delta t)$ は、要素ijk、時刻 t_1 に存在するガス量 $C_{ijk} \cdot V_{ijk}$ をその瞬間の要素ijkへのパルス入力とみなしたときの、単位のパルス入力に対する比であり、この2項の積が、ある時刻に空間に分布するガスのうち、 $t_1=14.34s$ までに流出するガス量 M_{r-ijk} となる。この M_{r-ijk} の単位体積あたりの量 M_{r-ijk}/V_{ijk} を、時刻 t_1 、要素ijkにおける抜けやすさの尺度とする。

以上を具体的に示す。要素 $(x, y, z)=(0.025, 0.85, 0.275)$ の $C_{ijk}(t)$ と $M_{out-ijk}(t)$ (図7)から、 $t_1=4.0s$ にこの要素にあるガス量 M_{ijk} のうち、 $t_1=14.34s$ までに流出する量 $M_{r-ijk}(t_1)$ を考える。 $t_1=4.0s$ における M_{ijk} は、 $C_{ijk}(t_1)$ (図8①height)に容積 V_{ijk} をかけたものであり、 $t_1=4.0s$ における単位のパルス入力 $Min-ijk$ に対する時刻 $t_1 \sim t_1$ の間のガス流出量は、 $\int_{t_1}^{t_1} M_{out-ijk}(t-t_1) dt$ (図8②height)となり、 M_{r-ijk} を求めることができる。

このようにして求めた M_{r-ijk}/V_{ijk} の分布を図9に経時的に示す。ただし、図9は、図2の領域Aと同様に、式(3)で定義した V_b の容積をもつ領域Bで表してある。

$$V_b = \frac{\sum M_{r-ijk}}{(M_{r-ijk}/V_{ijk})_{max}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$(M_{r-ijk}/V_{ijk})_{max}$ は M_{r-ijk}/V_{ijk} の空間最大値である。図10は領域Bを $t_1=14.34s$ まで重ねた領域を示している(領域B')。領域B'は、流入口から流出口へスムーズに抜ける経路を示しているが、領域A'

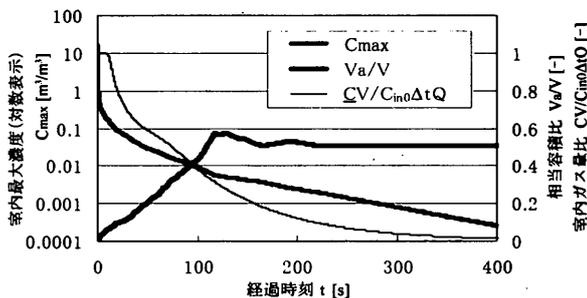


図5 相当容積の時間変動

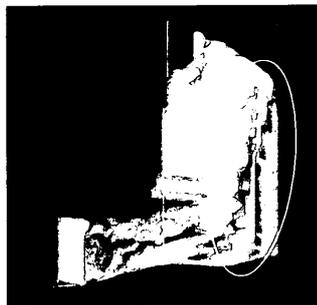


図6 領域A' (t=0~14.34s)

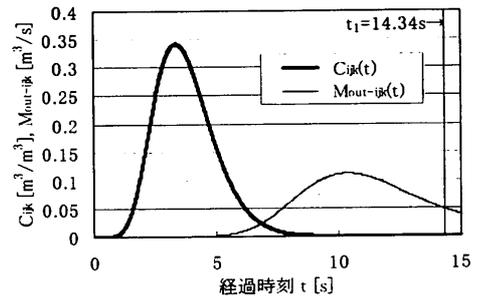


図7 (0.025, 0.85, 0.275)のCijkとMout-ijk

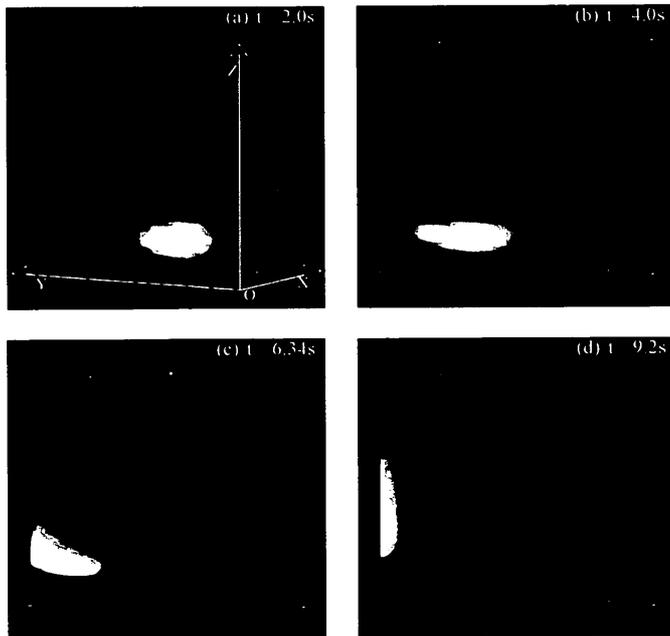


図9 空間に分布するガスが $t_1=14.34s$ までに流出する量 M_{r-ijk}/V_{ijk} の拡がり (領域B)

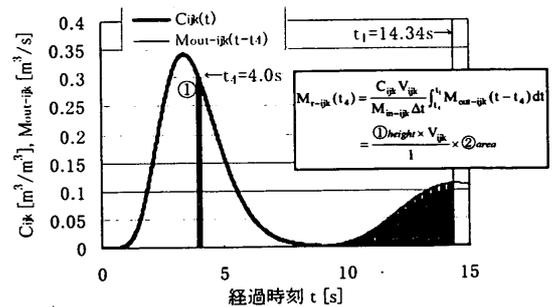


図8 M_{r-ijk} の算定

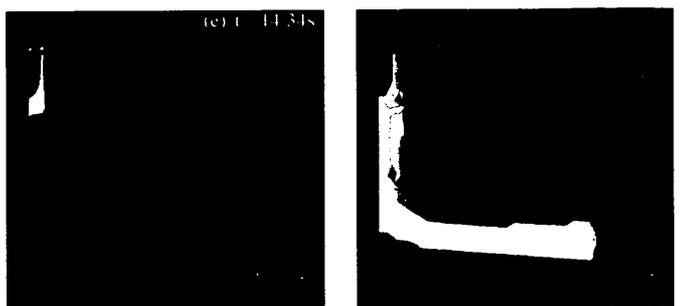


図10 領域B' (t=0~14.34s)

に比べて非常に細い領域となっており、通風輪道の中核部分を表しているといえる。通風輪道を示す領域は、この領域B'と領域A'の一部(ガス塊が対向壁面へ衝突して拡がる前まで)からなると考えられる。

6. ガス塊の対向壁面への衝突

開口から流入し、ある領域に拡がっているガスの塊が、流れによって対向壁面に衝突するのはいつかを特定するのは難しい問題であるが、いくつかの方法が考えられる。ある時間間隔において領域Aの濃度分布(または形状)の相関を考え相関値が著しく低下した(濃度分布や形状が著しく歪んだ)時刻をもって「衝突」したと考えるのも一つの方法であるが、ここでは、より簡単にガス濃度分布の方向別の標準偏差を指標として検討する。

ガス濃度分布の方向別の標準偏差を(4)式で表す。

$$\sigma_n = \sqrt{\sum_{ijk} \frac{C_{ijk} V_{ijk}}{CV} \frac{\{a(x_i - x_0) + b(y_j - y_0) + c(z_k - z_0)\}^2}{a^2 + b^2 + c^2}} \quad \dots\dots(4)$$

$$(a, b, c) = \begin{cases} (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1) & \dots\dots \text{各軸方向} \\ (x_0 - x_{0p}, y_0 - y_{0p}, z_0 - z_{0p}) & \dots\dots \text{移動方向} \end{cases}$$

C_{ijk} , V_{ijk} は各コントロールボリュームijkの濃度と体積、(a,b,c)は方向ベクトル、 (x_0, y_0, z_0) , (x_{0p}, y_{0p}, z_{0p}) は時刻tとt-Δtの濃度の重心座標である。移動方向とはガス濃度の重心位置の移動する方向であり、移動方向の標準偏差 σ_0 は、ガスの移動方向への拡がりを表す。

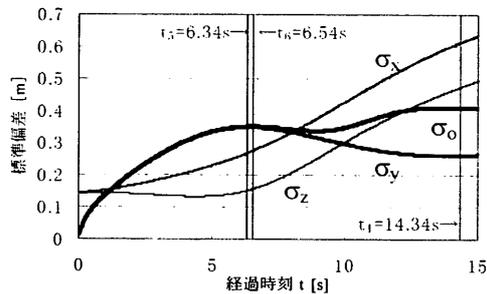


図11 方向別標準偏差

図11に方向別標準偏差の経時変化を示す。 σ_y と σ_0 はt=6s前後まで同調して急激に増大し(σ_y と σ_0 がほぼ同じ値を示すのはガスがほぼY軸に沿って移動するからである)、 σ_y は $t_s=6.34s$ で、 σ_0 は $t_n=6.54s$ で極大値をとる。この時刻附近から、ガス塊がY軸ならびに移動方向に徐々に押し潰された形状を示すようになり(図2(c))、X軸、Z軸方向へ急激に拡がっていくことが分かる。図11に示した時刻 t_s , t_n をガスが壁面に衝突した時刻と考えることは妥当だといえる。

しかし、この方向別標準偏差の極大をとる時刻に「衝突」と判断する方法では、後述のケース(Test3)のように壁面に斜めに衝突する場合に標準偏差に極大値が現れないことがあり、判断できないケースも生じる。

ガス塊の衝突を判断するもっと直截な方法として、領域Aが壁面に接する時刻をもって衝突と判断する方法が考えられる。この方法を採用すると確実に衝突を判断できるが、この時刻($t_l=6.94s$)の領域Aは、壁面の衝突により、かなり変形がすすんでおり(図2(d))、ガス塊の衝突する時刻としては多少遅いといえる。

7. 通風輪道の同定

以上のガス塊の衝突に対する考察から出てきた時刻のうち、 $t_s=6.34s$, $t_l=6.94s$ を衝突時間 t_c として求めた、通風輪道を表す領域C'を図12、図13に示す。領域C'は、領域B'を核として、領域A'の衝突時間 t_c までの領域を重ねて求めている(式(5))。

$$C' = B' \cup A_{t=0 \rightarrow t_c}, \quad A_{t=0 \rightarrow t_c} = \{a | a \in A_t, 0 \leq t < t_c\} \quad \dots\dots(5)$$

t_c を6.34s, 6.94sとして求めた領域C'には大きな違いはなく、実容積Vに占める割合はともに0.1強となっている。ただし、図中①、②で示した壁面に衝突する部分に若干の違いが生じている。

図14、図15に、 $t_c=6.34s$, 6.94sでのガスの量と領域間の移動量(パルス入力したガス量に対する比で表示)の経時変化を示す。ここで、領域D'は室内の領域C'以外の領域(通風輪道に対する周辺の領域)であり、 M_c' と M_d' は各々領域C'と領域D'のガス量比を示す。また、 $m_{c'd'}$ は、領域C'から領域D'へのガス移動量比であり、 m_{out}

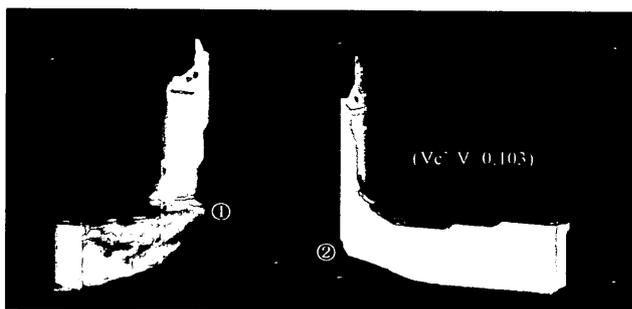


図12 領域C' (tc=6.34s)

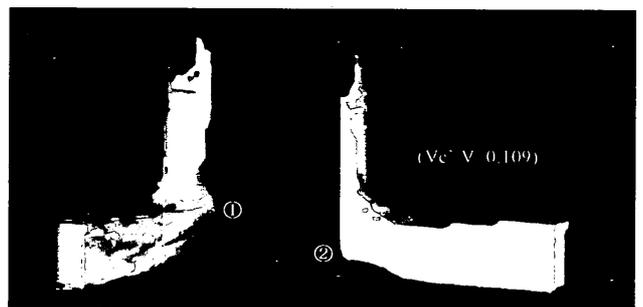


図13 領域C' (tc=6.92s)

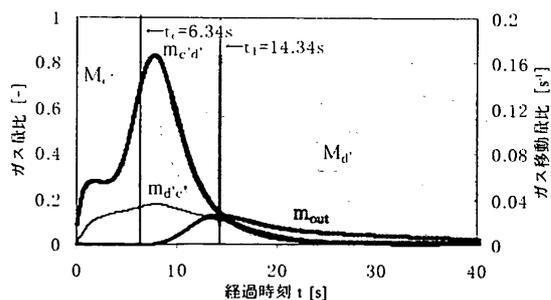


図14 領域間ガス移動量 (tc=6.34s)

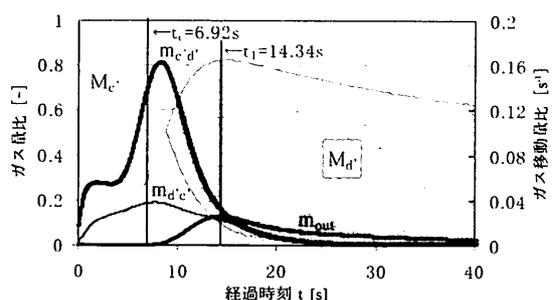


図15 領域間ガス移動量 (tc=6.92s)

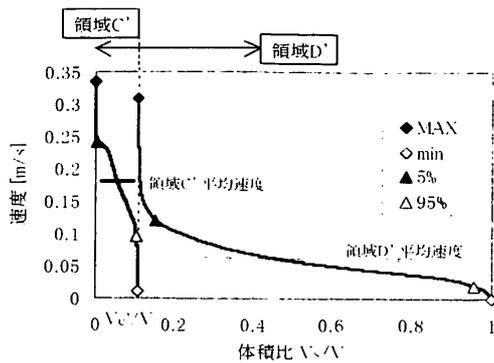


図16 領域C', D'の風速分布 (tc=6.92s)

表2 解析条件

	Test 1	Test 2	Test 3
サイズ	W 5.0m×L 5.0m×H 2.7m		
分割メッシュ	32(X)×28(Y)×18(Z)		
開口	対面(Y-→Y+)中央配置 引違窓(W1.8m×H1.2m)片側開放		
流入風速	1.0m/s		
流入角度	0°	10°(X-)	30°(X-)

はガス流出量比である。いずれも t_c 近傍で領域C'から領域D'へのガス移動量 $m_{c'd}$ が極大となり、 $M_{c'}$ の減少と $M_{d'}$ の増大を招いており、壁面への衝突によるガスの拡がりによって、 t_c から t_1 の間に領域C'から領域D'へガスが移動していく様子が分かる。

図10に領域C'と領域D'の風速分布を示す。領域毎にコントロールボリューム要素を風速で降順に並べ、横軸に累積した容積 V_s と実容積 V の比をとっている。風速の速い通風輪道(領域C')と遅い周辺域(領域D')という傾向から外れている部分は各領域の一部であり、この同定法で求めた領域C', D'の間に風速の違いは明白に現れている。

8. ケーススタディ

本報告で定義を試みてきた通風輪道の同定法をもとに、表2のケースの通風輪道を検討する。ガス塊の衝突時刻 t_c は領域Aが壁面に接する時刻としている。

Test 1～3の通風輪道(領域C')を図17～19に、ガス量の経時変化を図20～22に、風速分布を図23～25に示す。開口面に鉛直に流入するTest 1では、直線状の輪道が形成されている(図17)。Test 1では、 $t_c(=5.28s)$ が $t_1(=5.24s)$ より遅く現れるため、通風輪道は領域A'そのものとなっている。10sほどで5割以上のガスが室内から流出していることから、流入口から流出口に向かってスムーズに流れが形成されていることが分かる(図20)。

開口面に10°の傾きで流入するTest 2では、通風輪道が流向の影響を受けてカーブし、室内の水平方向に発達した回流の影響を受けて、Z軸方向に引き延ばされた形状になっている(図18)。Test 1に比べて、 t_c 付近のガス移動量比 $m_{c'd}$ が非常に大きくなってお

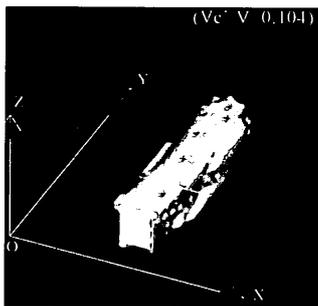


図17 領域C' (Test 1)

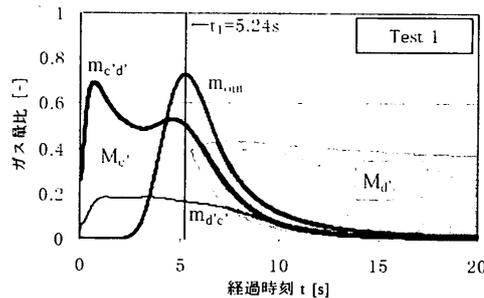


図20 領域間ガス移動量 (Test 1)

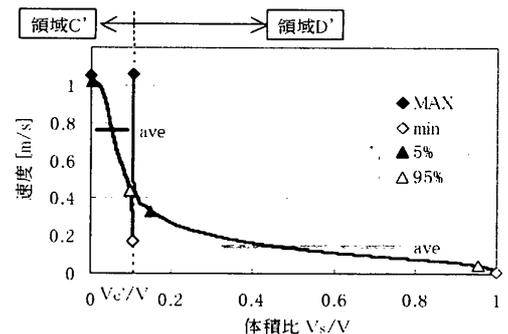


図23 風速分布 (Test 1)

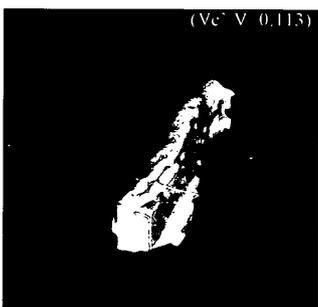


図18 領域C' (Test 2)

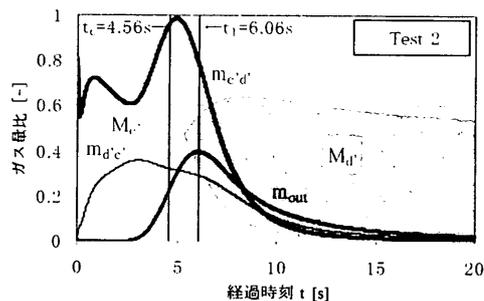


図21 領域間ガス移動量 (Test 2)

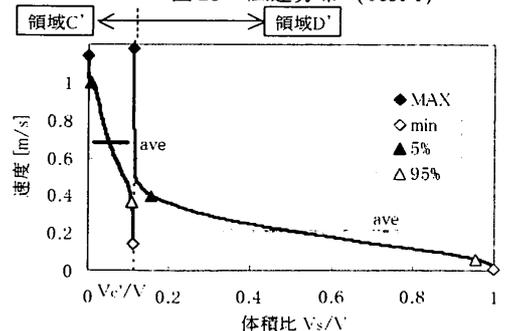


図24 風速分布 (Test 2)

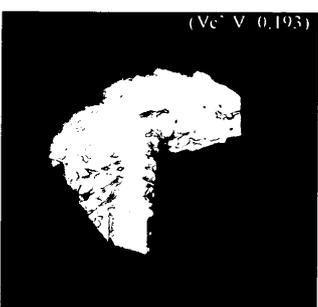


図19 領域C' (Test 3)

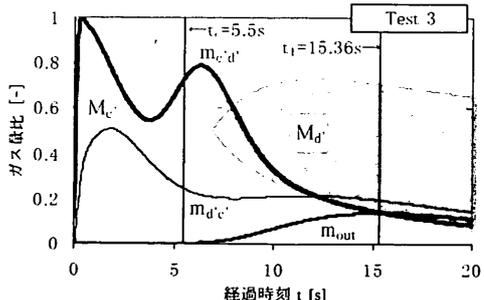


図22 領域間ガス移動量 (Test 3)

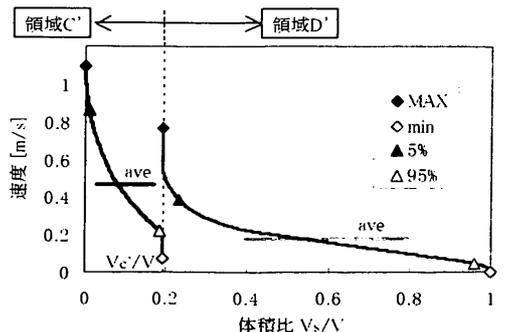


図25 風速分布 (Test 3)

り、 t_1 以降の領域D'のガス量比 M_d' を増大させている(図21)。

開口面に 30° の傾きで流入するTest3では、通風輪道はX-側の壁面にぶつかり屈折した形状を示しており、他のケースに比べて $V_{c'}$ が大きな値を示している(図19)。他の2ケースに比べて、 $t_1(=15.36s)$ が遅く、流出量比 m_{out} が小さく、領域D'のガス量比 M_d' が大きくなっており、流入した空気が室内に拡がりやすいことを示している(図22)。

Test1~3の風速分布(図23~25)は、領域C'で風速が大きく領域D'で小さい傾向にあることを示している。各領域の上下5%を除外した区間(図中5%-95%区間)に注目すると、Test1,2では、領域C'と領域D'が、流入風速の約4割を境にして空間を二分している様子が分かる。Test3では、領域C'と領域D'の上下5%を除外した区間は重なるものの、風速の違いは明確に現れている。

9. まとめ

パルス法による通風場の濃度変化をCFDで解析し、通風特性を表わす時間スケールに基づいて、通風輪道の検討を行った。

ガスの拡がる過程から通風の時間スケールを検討し、流出口濃度が最大となる時刻 t_1 を通風の時間スケールとした。時々刻々のガスの拡がりを示す領域Aを導入し、流入空気が到達しやすい領域をA'に表した。時刻 t に空間に分布するガスが時刻 t_1 までに流出する量をもとに領域Bを作成し、流出口にスムーズに抜ける領域をB'に表した。そして、ガスが壁面に衝突する時刻 t_c を検討し、領域B'と時刻 t_c までの領域Aを重ね合わせることで領域C'を得た。最後に、この領域C'が「通風の経路」を表現できることを確認し、領域のガス量とガス移動量の変動を検討した。

今後は、本手法を用いた通風空間の解析事例を増やし、通風環境の特徴を定量的に把握する方法についてさらに検討を深めていきたい。

記号

- C : 室内平均濃度 [m^3/m^3]
- C_{ijk} : 流入口のパルス入力に対する点 ijk の濃度変動 [m^3/m^3]
- C_{in} : 流入口における濃度のパルス入力 [m^3/m^3s]
- C_{max} : 室内濃度の最大値 [m^3/m^3]
- C_{out} : 流出口平均濃度 [m^3/m^3]
- k_{in} : 流入境界の乱流エネルギー
- Min_{-ijk} : 点 ijk におけるガス量のパルス入力 [m^3]
- $M_{out-ijk}$: 点 ijk におけるガス量のパルス入力に対する流出量 [m^3]
- M_{r-ijk} : 点 ijk の時刻 t_1 におけるガスが t_1 までに流出する量 [m^3]
- $M_{c'}$: 領域C'のガス量のパルス入力量に対する比 [-]
- $M_{d'}$: 領域D'のガス量のパルス入力量に対する比 [-]
- $m_{c'd'}$: 領域C'から領域D'へのガス移動量比 [s^{-1}]
- $m_{d'c'}$: 領域D'から領域C'へのガス移動量比 [s^{-1}]
- m_{out} : ガス流出量比 [s^{-1}]
- Q : 通風量 [m^3/s]
- t : 時刻 [s]
- t_1 : 出口平均濃度が最大となる時刻 [s]
- t_2 : 出口平均濃度が1度目の極小を示す時刻 [s]
- t_3 : 出口平均濃度が2度目の極大を示す時刻 [s]

- t_4 : 5. の M_{r-ijk} の算出に用いる時刻 [s]
- t_5 : Y軸方向の標準偏差 σ_y が極大を示す時刻 [s]
- t_6 : ガス塊の移動方向の標準偏差 σ_o が極大を示す時刻 [s]
- t_7 : 領域Aが壁面に接する時刻 [s]
- t_c : ガス塊が壁面に衝突する時刻 [s]
- Δt : 濃度の非定常解析の時間間隔 [s]
- U_{in} : 流入境界の平均速度 [m/s]
- V : 室の実容積 [m^3]
- V_a : 濃度Cの拡がりを示す領域Aの容積 [m^3]
- $V_{a'}$: $t=0 \sim t_1$ の領域Aを重ね合わせた領域A'の容積 [m^3]
- V_b : M_{r-ijk} の拡がり示す領域Bの容積 [m^3]
- $V_{b'}$: $t=0 \sim t_1$ の領域Bを重ね合わせた領域B'の容積 [m^3]
- $V_{c'}$: 領域C'の容積 [m^3]
- ϵ_{in} : 流入境界の乱流散逸率
- σ_n : n方向の濃度の拡がりを表す標準偏差

参考文献

- 1) 何平, 片山忠久, 林徹夫, 堤純一郎: 単室モデルの通風量に関する数値シミュレーションによる基礎的検討, 日本建築学会計画系論文集, 第474号, pp.47-55, 1995.8
- 2) 甲谷寿史, 山中俊夫, 古川準: 直列配置された複数開口をもつ建物における通風量算定法に関する基礎研究(その3)一様流下における通風量算定への干渉係数の適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp.553-554, 2000年
- 3) 清田誠良, 澤地孝男, 成田健一, 瀬戸裕直, 阿部優美: 住宅の通風設計および評価性能に関する研究 その7 開口部の通風量と流量係数, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp.575-576, 2000年
- 4) 西澤繁毅, 繪内正道, 羽山弘文, 森太郎: 有効混合容積を指標とした通風空間の換気特性について, 日本建築学会技術報告集, 2001.12(掲載決定)
- 5) 西澤繁毅, 繪内正道, 羽山弘文, 森太郎: 有効混合容積による通風空間の基礎的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp.647-648, 2001年
- 6) 奥山博康, 梶間智明, 鈴木道哉, 竹林芳久: 多数室換気測定法の現場測定における誤差検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp.613-614, 1996年
- 7) 浦野良美: 住宅のバッシブクーリングー自然を活かした涼しい住まいづくり, 森北出版, 1991年
- 8) 荒川忠一: 数値流体工学, 東京大学出版会, 1994年
- 9) 加藤信介: 数値流体力学CFDの室内環境への応用(1)~(7), 空気調和・衛生工学, Vol.71 No.6 ~ Vol.72 No.1, 1997.6 ~ 1998.1

[2001年10月19日原稿受理 2002年2月18日採用決定]