

## レストランにおける受動喫煙に関する基礎的研究 STUDY ON THE PASSIVE SMOKING IN THE RESTAURANT

坂口 淳<sup>\*1</sup>, 赤林伸一<sup>\*2</sup>, 鍛冶紘子<sup>\*3</sup>, 都丸恵理<sup>\*3</sup>  
*Jun SAKAGUCHI, Shin-ichi AKABAYASHI, Hiroko KAJI  
and Eri TOMARU*

This paper described the distribution of contaminants (fine particle and bad smell from tobacco smoking) in the restaurant where the smoking seat and the non-smoking seat are arranged in the same space.

The results are as follows;

- (1) When the smoking seats are in close formation near the exhaust outlet, the fine particle concentration from tobacco smoking is the lowest.
- (2) It is very difficult to reduce bad smell intensity to the comfortable level, where smoking seats and non-smoking seats are arranged in the same space.

**Keywords:** *Passive Smoking, Environmental Tobacco Smoke, Restaurant, Dust Concentration, Odor*  
受動喫煙, 環境たばこ煙, レストラン, 粉塵濃度, 臭気

### 1. はじめに

タバコ煙の健康へのリスクは広く認められており、公共空間における受動喫煙防止対策として、施設の分煙化が注目されている<sup>1)</sup>。我が国では、2003年5月に施行された健康増進法<sup>注1)</sup>により、公共空間の施設管理者は、受動喫煙防止対策を講ずる努力義務が求められている。厚生労働省のガイドライン<sup>注2)</sup>では、喫煙所からの汚染質の流出を防ぐため、非喫煙空間から喫煙空間へ0.2m/s以上の風速を確保することが定められている。一方、レストランなどの飲食店では、依然として同一空間に喫煙席と非喫煙席が設けられる場合が多い。同一空間に喫煙席と非喫煙席を設ける場合、外気取入口や排気口と喫煙席の相対位置関係を考慮した詳細な換気計画を行う必要があるが、空調方式などを考慮したタバコ煙の拡散状況に関する設計資料は不足しているのが現状である<sup>注3)</sup>。一般にタバコに関する室内環境基準は粉塵濃度で評価されている。宮崎によるタバコの分煙に関するアンケート調査<sup>2)</sup>の結果によると、服に匂いがつくなどのタバコ臭を問題と考える非喫煙者も多く、タバコの臭気も考慮した室内環境基準に関して検討する必要がある。

タバコ煙に関する既往の研究では、楢崎らは<sup>3) 4)</sup>、喫煙量と室内粉塵濃度や喫煙があるときの必要換気量について研究を行っている。事務所や喫茶店などの用途別喫煙の実態については太田ら

<sup>5)</sup>、大倉ら<sup>6)</sup>、金子ら<sup>7)</sup>、横田ら<sup>8)</sup>が明らかとし、部屋用途別の喫煙率や平均喫煙時間等について報告している。喫煙者からのタバコ煙が受動喫煙者の呼吸域に与える影響に関して、林ら<sup>9)</sup>は喫煙者の人体周辺の気流解析により明らかにしている。野崎ら<sup>10)</sup>はタバコ煙と空気清浄機の除去性能に関する実験を行い、家庭用空気清浄機のタバコ煙の除去効果について明らかとしている。近藤ら<sup>11) 12)</sup>は、神奈川県横浜市における飲食店の分煙と禁煙の実態調査を行い、さらに客席数108席の喫煙席と禁煙席のあるレストランを対象にCFD解析を行い、喫煙席と排気ファンの設置状況を変化させた場合の室内の粉塵濃度について明らかにしている。

本研究では、暖房時のレストラン空間を対象に、同一空間内に喫煙席と禁煙席を設け、喫煙席の相対的な位置関係によるタバコ煙の拡散状況を数値流体解析により明らかにし、効率的な喫煙席の配置計画、および粉塵濃度と臭気強度を用いた室内空気環境評価結果について報告する。近藤ら<sup>12)</sup>の研究では、解析対象の空調方式は室内の空気を吸い込み、下がり天井部分に設置されたVHS吹き出し口より空調空気を供給する方式である。換気方式はレストラン出入口からの隙間風により供給し、店舗中央部の坪庭上部に排気ファンが2台設置されている。本研究の対象は近藤らの研究と同様に、ファミリー向けレストランを対象としているが、本研究で対象としているレストランの平面形状は、レストラ

\*1 県立新潟女子短期大学生活科学科 准教授・博士(工学)

\*2 新潟大学大学院自然科学研究科 教授・工博

\*3 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生

Assoc. Prof., Niigata Woman's College, Dr. Eng.

Prof., Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ.

ンチェーンより提供のあった標準的な平面形状と座席の配置形状であり、更に空調方式は天井カセット式のビル用マルチエアコンを対象としている。この点は、近藤らの研究より対象が汎用的であると考えられる。また、本研究ではタバコ煙の粉塵濃度の他に、代表的な臭気物質であるアセトアルデヒドの濃度分布の解析を行っており、臭気物質であるアセトアルデヒドの解析を行っている点に特徴がある。

## 2. 解析対象と解析方法

### 2.1 解析対象

図1に解析対象の概要を示す。実在するファミリーレストランの座席配置を参考に、天井カセット型エアコンを設置し、給気口と排気口をそれぞれ3箇所に設置した床面積100m<sup>2</sup>、容積300m<sup>3</sup>、座席数が約56席のレストランを対象とする。ビルの中間階に設置されたレストランを想定し、東面、西面、南面は外気に面し、北面、天井面、床面は上下階及び隣室に面している。

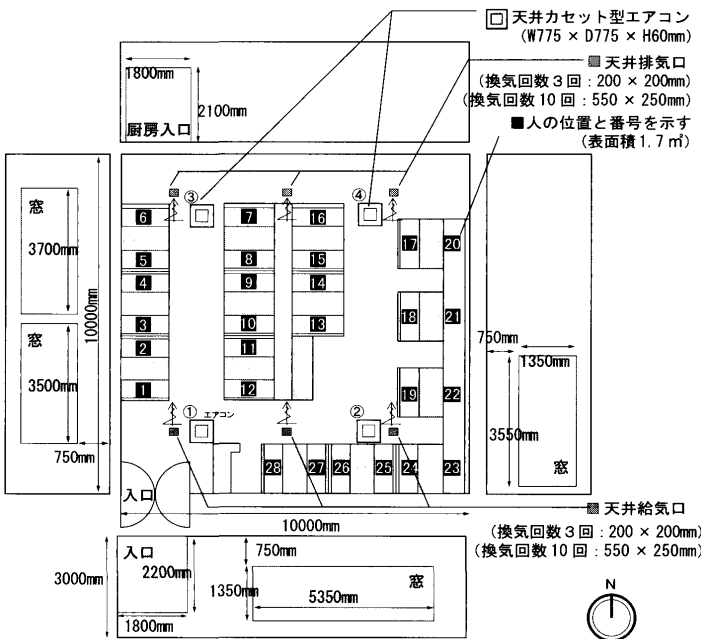
### 2.2 解析方法

表1に解析ケース、図2に喫煙席の配置型式を示す。換気回数、喫煙席の配置、喫煙本数等を変化させた30ケースの解析を行う。図3に人体モデル、机、椅子とタバコ煙の発生方法の概要を示す。人体モデルは成人男性を想定し、体表面積1.7m<sup>2</sup>、発熱量

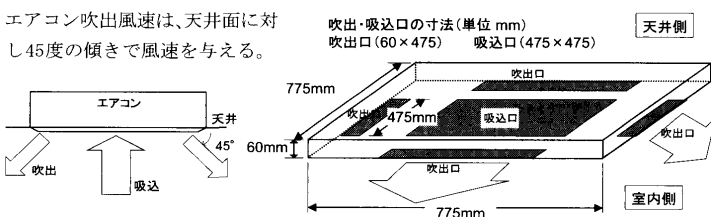
量50Wの立方体としてモデル化する。表2に喫煙本数の算出条件を示す。在室者数を28人と仮定し、空気調和・衛生工学会規格SHASE-S102<sup>11)</sup>に示された算出方法を用いて同時喫煙者数を6名と算出した<sup>注4)</sup>。一般にレストランなどの分煙は、出入口やトイレなどの位置関係を考慮し、通路やパーテーションなどにより喫煙席

表1 解析ケース

解析case	喫煙席の配置型	喫煙本数	換気回数	解析case	喫煙席の配置型	喫煙本数	換気回数
case1	(1)給気口側	喫煙本数 66本/h	3回/h	case16	(1)給気口側	喫煙本数 66本/h	10回/h
case2	(2)排気口側			case17	(2)排気口側		
case3	(3)室内東側			case18	(3)室内東側		
case4	(4)給気口側密集			case19	(4)給気口側密集		
case5	(5)排気口側密集			case20	(5)排気口側密集		
case6	(1)給気口側	喫煙本数 22本/h (1/3)		case21	(1)給気口側	喫煙本数 22本/h (1/3)	
case7	(2)排気口側			case22	(2)排気口側		
case8	(3)室内東側			case23	(3)室内東側		
case9	(4)給気口側密集			case24	(4)給気口側密集		
case10	(5)排気口側密集			case25	(5)排気口側密集		
case11	(1)給気口側	喫煙本数 66本/h エアコンに 粉塵除去フィルタ を設置 (捕集率80%)	case26	(1)給気口側	喫煙本数 66本/h エアコンに 粉塵除去フィルタ を設置 (捕集率80%)		
case12	(2)排気口側		case27	(2)排気口側			
case13	(3)室内東側		case28	(3)室内東側			
case14	(4)給気口側密集		case29	(4)給気口側密集			
case15	(5)排気口側密集		case30	(5)排気口側密集			



(1) レストラン室内の概要



(2) エアコン吹出・吸込口の概要

図1 解析対象の概要

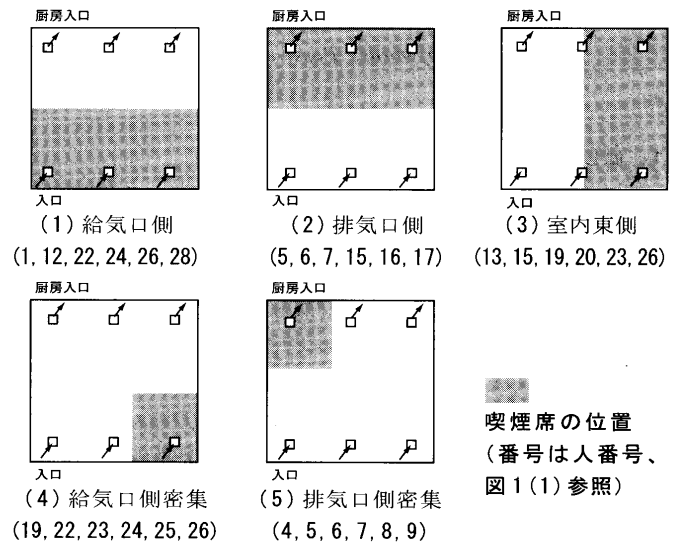


図2 喫煙席の配置型式

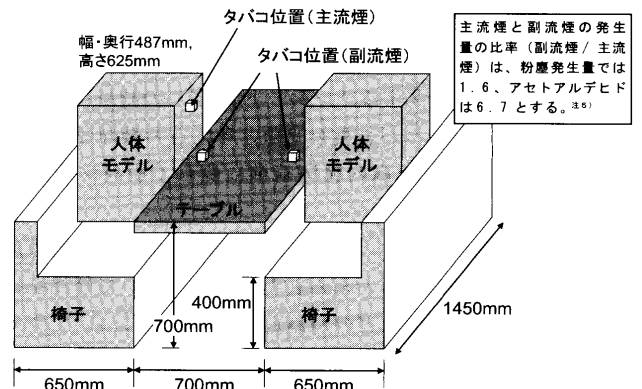


図3 タバコ煙の発生方法の概要

と禁煙席を分けている。図2で示す喫煙席の配置では、排気口側密集において同じテーブルに喫煙者と禁煙者が混在しているが、

表2 喫煙本数の算出条件<sup>14)</sup>

在室者数	n = 28人
喫茶店における男女構成比	男性m:女性w = 0.55:0.45
タバコ常用者率	男性tm = 0.49, 女性tw = 0.14
在室者平均タバコ常用者率	Ps = 0.33 (Ns = 9.3)
最大タバコ常用者数	N = 17人
常用者喫煙率	$\beta_s = 0.34$
同時喫煙者数	Nx = 6人

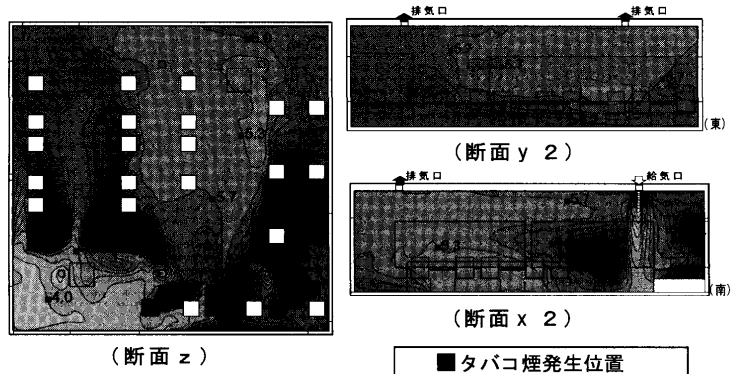
表3 タバコからの汚染質発生速度

汚染質	タバコ1本あたりの発生量 (mg/本)		発生速度 (mg/s)
	主流煙	副流煙	
粉塵	主流煙	5.7	0.0173
	副流煙	9.3	0.0282
アセトアルデヒド	主流煙	0.63	0.00191
	副流煙	4.2	0.0127

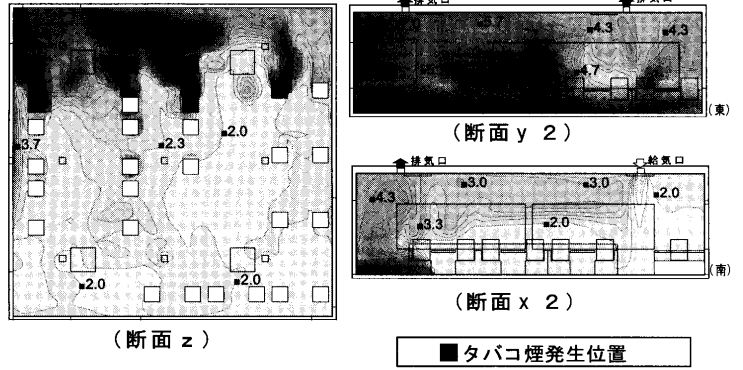
表4 数値解析の解析条件

計算コード	ソフトウェアクレイドル 汎用熱流体解析ソフト STREAM Ver. 6
乱流モデル	標準k-εモデル
解析格子	163 (x) × 167 (y) × 61 (z) = 16,60,481メッシュ (壁面近傍最少メッシュ幅: 5mm)
境界条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>室内の天井・壁・床面境界条件: 風速は一般化対数則、温度は温度対数則を与える。</li> <li>天井・壁(北面)、床面: 隔壁を想定し、隔壁温度を20°C、境界面の熱伝達率9W/mKを与える。</li> <li>壁(南、西、東面)は外部を想定し、外気温0°C、境界面の熱伝達率23W/mKを与える。</li> <li>テーブル・椅子・人体: 風速は一般化対数則、温度は温度対数則を与える。</li> </ul>
建物仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>窓ガラス(厚さ15mm)、出入口扉及び扉開口(木材15mm)</li> <li>壁(室外側からサイディングボード20mm、グラスウール100mm、石膏ボード15mm)</li> <li>天井(室内側から石膏ボード15mm、グラスウール200mm、サイディングボード20mm)</li> <li>床(室内側から合板10mm、グラスウール100mm)</li> <li>椅子及びテーブルの材質(木材)</li> <li>熱伝達率(ガラス: 0.776、サイディングボード: 0.129、グラスウール0.051、石膏ボード0.213、木材: 0.069) 単位: W/(mK)</li> </ul>
放射条件	各壁面に放射率0.9を与える。形態係数の算出は、モンテカルロ法によるView Factor法を使用。
人体モデル	成人男性を想定し、体表面積1.7m <sup>2</sup> 、発熱量50Wの立方体とする。人体モデルの概要は図3に示す。
吹出風速	給気口: 天井給気 *室温が暖か22°Cになるよう、それぞれの換気回数毎に給気温度を調整。
	換気回数3回/h 給気口面積=0.04m <sup>2</sup> 、吹出風速=2.08m/s、k = 0.0216m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> 、ε = 0.0014m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> 、吹出温度=10°C
	換気回数10回/h 給気口面積=0.138m <sup>2</sup> 、吹出風速=2.02m/s、k = 0.0204m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> 、ε = 0.0013m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> 、吹出温度=20°C
	排気口: 天井排気
汚染質の拡散	換気回数3回/h 排気口面積=0.04m <sup>2</sup> 、吸込風速=2.08m/s
	換気回数10回/h 排気口面積=0.138m <sup>2</sup> 、吸込風速=2.02m/s
	エアコン吹出①~④
	吹出風速=2.08m/s、k = 0.0194m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> 、ε = 0.0005m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> 、天井面に対して45度の傾きで吹出(図1(2)参照)
フィルタ	吹出温度=35°C(①、②)、30°C(③、④)
	エアコン吸込①: 自由流入流出条件
	エアコン吸込②~④: 吸込風速=0.9972m/s
汚染質の拡散	タバコ煙の浮力・分子拡散は無視し、移・乱流拡散の計算を行う。
フィルタ	フィルタの捕集率を0.8とし、エアコン吸込口の粉塵濃度に0.2を掛けた値を、エアコン吹出温度として与える。

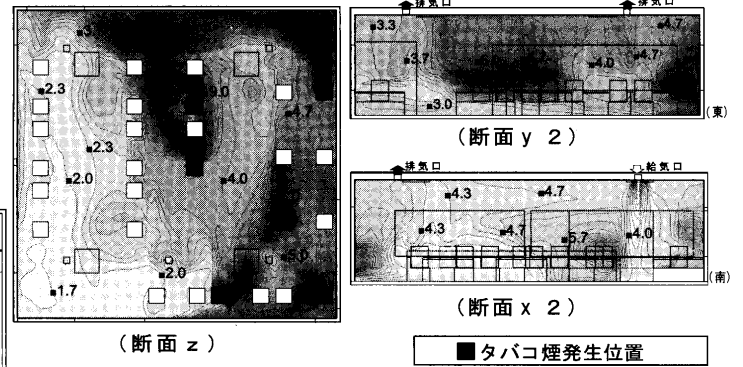
喫煙席と給排気口との位置関係を明らかにするため解析を行っている。表3にタバコからの汚染質の発生速度を示す<sup>注5)</sup>。タバコの主流煙および副流煙に含まれる粉塵と代表的な臭気物質であるアセトアルデヒドに着目し、室内の粉塵濃度およびアセトアルデヒド濃度を計算する。



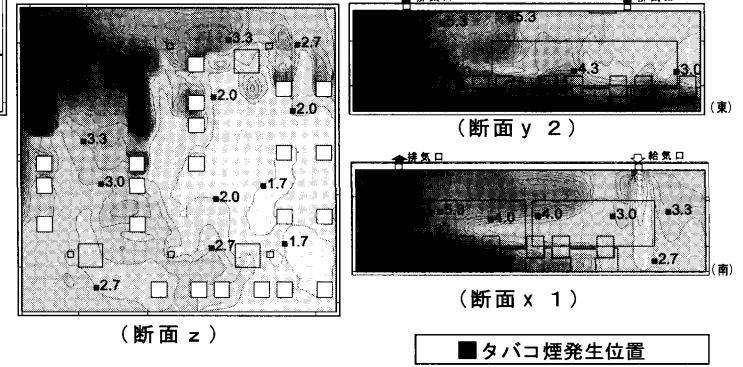
(1) case 1 (給気口側に喫煙席を配置)



(2) case 2 (排気口側に喫煙席を配置)



(3) case 3 (室内東側に喫煙席を配置)



(4) case 5 (排気口側に密集して喫煙席を配置)  
図5 粉塵濃度分布 (換気回数3回/h、喫煙本数66本/h)

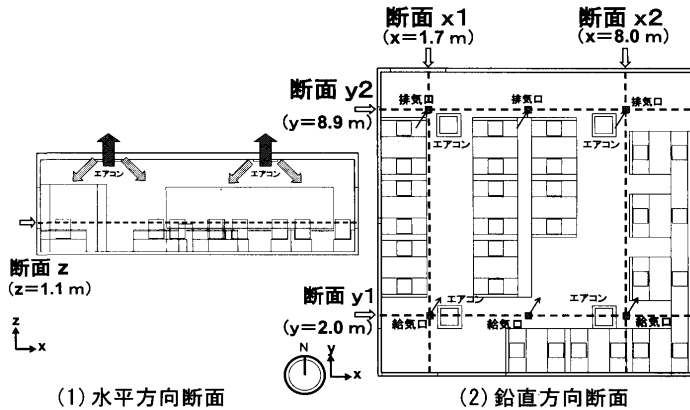


図4 解析表示位置

表5 臭気強度 (6段階)

臭気強度 (アセトアルデヒド濃度[ppm])	内容
0	無臭
1 (0.002)	やっと感知できる(検知閾値濃度)
2 (0.01)	何のにおいであるかがわかる弱(認知閾値濃度)
3 (0.1)	らくに感知できる(におい)
4 (1)	強(におい)
5 (10)	強烈(におい)

主流煙の発生点は人体モデルの口元付近（テーブル上部より300mm上、人体モデル前方8mm）から発生する。タバコからの汚染質は、タバコ煙の凝集やクラスタ化などの現象が知られているが、本研究ではタバコ煙の凝集等について考慮せず、パッシブ・コンタミネントを仮定し発生させる。副流煙の発生点は、テーブルに置いた灰皿の位置を想定し（テーブル上部より120mm、人体モデル前方143mm）、副流煙の汚染質を発生する<sup>注6)</sup>。主流煙では、呼気の吹出風速を与えて計算<sup>9)</sup>する必要があるが、本研究では呼気風速が0.5m/s以下<sup>注7)</sup>の低風速であると仮定し、呼気風速を与えずに汚染質濃度分布を算出する。衣服や壁面へのタバコ煙の吸着については、本研究では衣服や壁面等の吸着については考慮せずに解析する。表4に数値解析の解析条件<sup>注8)</sup>、図4に解析表示位置を示す。数値解析は汎用流体解析ソフトを使用し、乱流モデルは標準k-εモデルを使用した対流・放射連成解析により行う。解析は計算負荷の関係から時々刻々変化する窓面への日射の影響を考慮しない。数値解析は、喫煙席と排気口の位置関係等を検討するため、本研究では換気回数3回/hと10回/hの時の気流・温度の解析を最初に行い<sup>注9)</sup>、その後タバコ煙を模擬したパッシブなトレーサーガス（粉塵・アセトアルデヒド）を発生し、6ヶ所からタバコ煙が発生している場合の濃度分布の解析を行う<sup>注6)</sup>。本研究では、空調換気方式は、ビル用マルチエアコンと全熱交換換気扇による換気空調方式を想定し、全熱交換換気扇内部のリークを無視し、給気口の濃度は外気濃度（粉塵濃度、アセトアルデヒド濃度とも0mg/m<sup>3</sup>）とする。エアコンの吹出温度は、出入口部分のペリメータ負荷を考慮し、出入口側のエアコン①、②の吹出温度は35℃、厨房側のエアコン③、④は30℃とする<sup>注10)</sup>。

## 2.3 解析結果の評価方法

厚生労働省の『職場における喫煙対策のためのガイドライン』<sup>13)</sup>では、職場の空気環境を浮遊粉塵濃度0.15mg/m<sup>3</sup>以下にすることを求めており、浮遊粉塵濃度0.15mg/m<sup>3</sup>を基準とし、粉塵濃度を評価する。表5にアセトアルデヒド濃度と臭気強度の関係を示す。臭気はタバコ煙から発生するアセトアルデヒドを代表臭気とし、アセトアルデヒド濃度を臭気強度に変換し、臭気強度1（検知閾値濃度）以下を良好な室内環境として評価する。

## 3. 解析結果

### 3.1 粉塵濃度分布

粉塵濃度分布は、室内環境基準濃度（0.15mg/m<sup>3</sup>）で除した基準化濃度で示す。すなわち、図中の基準化濃度の数値が1.0以下の領域は、室内環境基準を満足する領域として示される。

#### 3.1.1 喫煙席の配置と室内浮遊粉塵濃度の関係

図5に換気回数3回/h、喫煙本数66本の場合の粉塵濃度分布を示す。給気口側に喫煙席を配置したcase 1では、浮遊粉塵が給気口からの気流により室全体に拡散するため、室内全域で濃度が高くなる。排気口側に喫煙席を配置したcase 2では、図に示すその他の配置型式より、室内の粉塵濃度が相対的に低くなる。これは喫煙席を排気口側に配置し、排気口近傍で粉塵が発生するため、給気口側の領域へ浮遊粉塵が拡散する前に排気口より排気されているためである。また、喫煙席で発生した粉塵は、喫煙席の気流速度が遅く、温度成層が形成されるため、床面付近に粉塵濃度の高い領域ができ、北側壁面に沿って天井付近の粉塵濃度が高くな

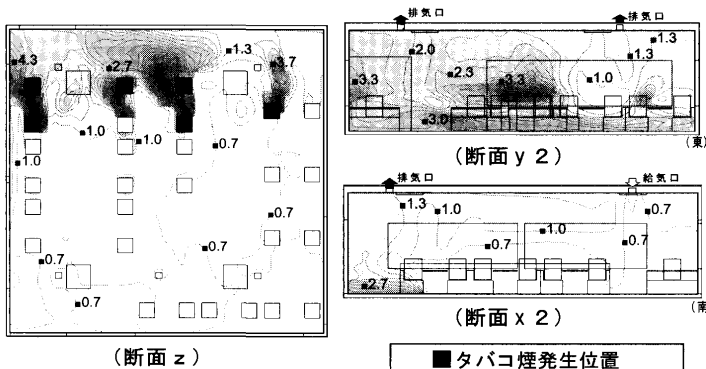


図6 case 7・case12の粉塵濃度分布（換気回数3回/h）

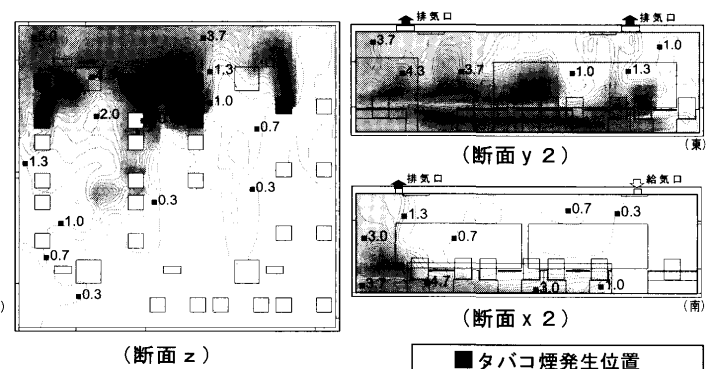


図7 換気回数10回/hの時の粉塵濃度分布（喫煙本数66本）

る傾向がみられる<sup>注11)</sup>。

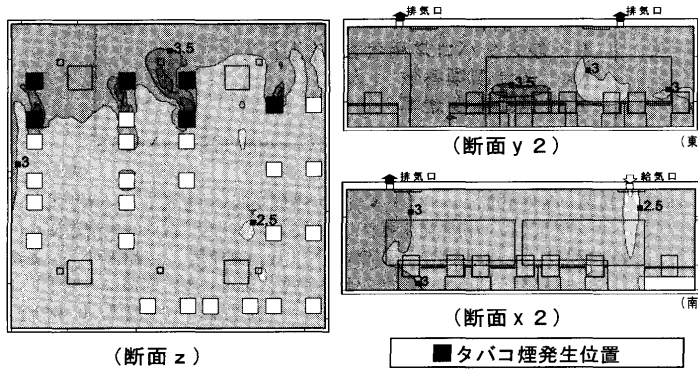
室内東側に喫煙席を配置した（入口付近を禁煙席、室内奥を喫煙席とし、禁煙席、喫煙席ともに給気口、排気口が設置された場合）case3では、喫煙席を配置した室東側の領域の粉塵濃度が相対的に高くなる。浮遊粉塵は室東側を通過して排気口へ流れており、禁煙席である室西側への浮遊粉塵の拡散が抑制されているため、室西側の粉塵濃度は相対的に低くなる。排気口側に喫煙席を密集させたcase5は喫煙席が集まっている室西側の粉塵濃度が相対的に高くなる。排気口側に喫煙席を設置したcase2とcase5の粉塵濃度を比較すると、case5の方が入口付近の粉塵濃度が高くなる傾向がある。case5では喫煙席を密集させたため、喫煙席周辺の粉塵濃度が高くなり、さらに天井面に設置されたエアコンによって室内に拡散するため、case2と比べて入口付近の濃度が高くなる。

### 3.1.2 喫煙本数を減らした場合と粉塵除去フィルタの効果

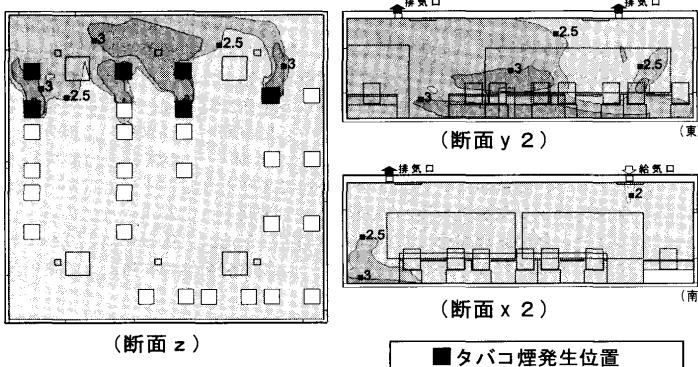
喫煙本数を3分の1に減らしたcase7と、エアコンに粉塵除去フィルタを取り付けたcase12の粉塵濃度分布を図6に示す。喫煙本数を3分の1（22本/h）としたcase7は、基準化濃度1.0以下の領域が拡大し、禁煙席の濃度が環境基準0.15mg/m<sup>3</sup>以下を満足する。エアコンに捕集率80%の粉塵除去フィルタを設置したcase12は、case7と比較して禁煙席の粉塵濃度が高いものの、禁煙席の床上1.1mの粉塵濃度は0.7から1.1程度の値である。

### 3.1.3 換気回数10回/hの時の粉塵濃度分布

図7に換気回数10回/h、喫煙本数66本の場合の粉塵濃度分布



(1) case 2（排気口側に喫煙席を配置）



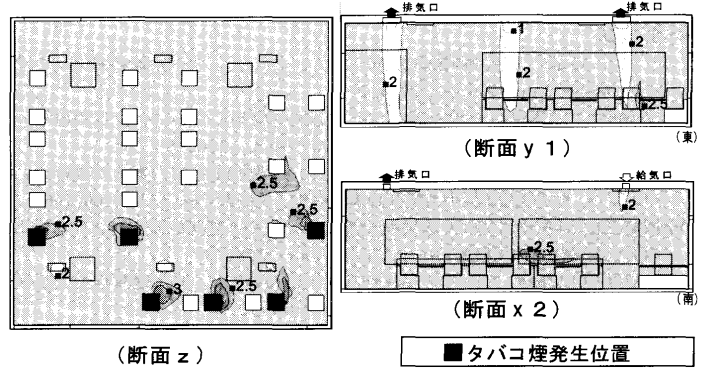
(2) case 7（排気口側に喫煙席を配置、喫煙本数1/3）

を示す。排気口側に喫煙席を配置したcase17と排気口側に密集して喫煙席を配置したcase20を比較すると、case20の方が基準化粉塵濃度が1.0以下の領域が広がる。換気回数3回/hのcase2、case5の解析では、喫煙席を密集させた方が出入口付近の室内の濃度が高くなる傾向があり、換気回数10回/hのcase17、case20では、喫煙席を密集させたcase20の方が出入口付近の室内濃度が低くなり、異なる傾向が見られる。換気回数3回/hの場合、換気風量が少ないため、密集した喫煙席から排気できなかった粉塵が、天井に設置しているエアコンにより室内に拡散し、一方、換気回数10回/hの場合、換気風量が多いため、喫煙席から比較的速やかに粉塵が排気されるため、室内濃度が低くなると考えられる。

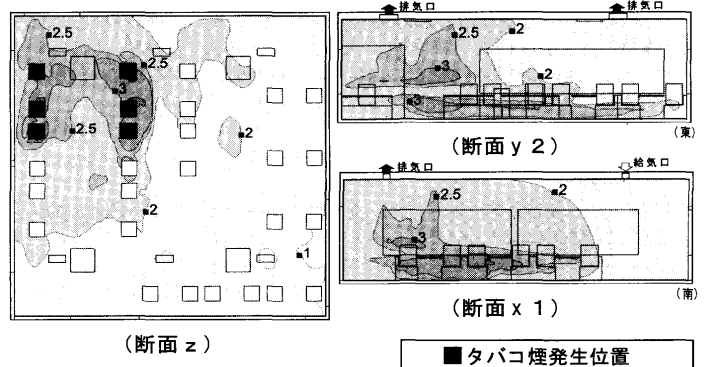
### 3.2 臭気強度分布

図8に臭気強度分布を示す。換気回数3回/hの場合、排気口側に喫煙席を配置したcase2でも、臭気強度が1（検知閾値濃度）以下になる領域はない。更に、喫煙本数を3分の1（22本/h）にしたcase7（排気口側に喫煙席を設置）でも、臭気強度が1以下になる領域はない。喫煙本数（アセトアルデヒド発生量）を減少させたことにより、喫煙領域付近の臭気強度の減少は見られるが、臭気強度は検知閾値濃度以下になっていない。本研究で試算した臭気強度は、アセトアルデヒド濃度をウェーバー・フェヒナーの法則に基づき臭気強度に変換しているため、室内の濃度と臭気強度の関係は対数関数として表される。このため、喫煙本数を3分の1に減らしても、臭気強度の差は小さい。

換気回数10回/hの場合、給気口側に喫煙席を配置したcase21、および排気口側に密集して喫煙席を配置し、喫煙本数を3分の1



(3) case 21（給気口側に喫煙席を配置、喫煙本数1/3）



(4) case 25（排気口側に密集して喫煙席を配置、喫煙本数1/3）

図8 臭気強度分布

(22本/h)としたcase25の結果では、共に臭気強度1以下になる領域は極めて少ない。case25では臭気強度2(認知閾値濃度)以下の領域が、他の配置型式と比べて拡大しており、喫煙席が排気口側に密集しているほど室内の臭気強度は低下する。

#### 4. まとめ

同一空間内に喫煙席と禁煙席を設けたレストラン空間を対象に、タバコ煙の拡散状況について数値流体解析により明らかにした。

- ①喫煙席を密集させ、喫煙席空間に排気量の大きな排気口を専用で設けた場合に、室内の粉塵濃度が最も低下する。
- ②本解析では、喫煙席が排気口に近い場合、換気量の大小を問わず、温度成層の影響により、喫煙席周辺の床面に粉塵濃度の高い部分が現れている。換気と空調方式の再検討が必要であると考えられる。
- ③粉塵濃度に関しては喫煙本数の制限やフィルタの設置、換気量の増加のいずれの方法も、室内の粉塵濃度を低下させる効果がある。
- ④粉塵濃度の室内環境基準を満足させる配置は可能であるが、臭気に関しては認知閾値濃度以上である場合が殆どである。従来の粉塵濃度によるタバコ煙対策が臭気に関して良好な室内環境であるとは言い難いと考えられる。
- ⑤本研究では暖房時のレストランを対象としたタバコ煙の濃度分布について検討を行った<sup>注12)</sup>。今後、冷房時の解析やパーティションなどを設置した場合のタバコ煙の拡散状況など解析を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 内山巖雄：「受動喫煙対策について」, 空気調和衛生工学, Vol. 78, no. 7, pp. 19~23, 2004. 7
- 2) 宮崎竹二：「喫煙コーナー等における分煙の効果について」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp. 953~954, 2002. 8
- 3) 植崎正也, 藤井弘：「喫煙に関する研究(1)：喫煙量と室内塵との混合比について」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系, pp. 159~160, 1969. 7
- 4) 植崎正也：「喫煙に基づく必要換気量算定のための基礎的研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D, pp. 347~348, 1986. 8
- 5) 太田洋一, 宮崎竹二：「室の用途別喫煙率について」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系, pp. 271~272, 1977. 10
- 6) 大倉良司, 藤井正一, 植崎正也, 太田洋一, 南野脩, 森山正和：「事務所建築の室内環境調査：冬期：その4 在室者率・喫煙状況調査」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系, pp. 327~328, 1981. 10
- 7) 金子能也, 若井正一：「公共の場における喫煙者の行動特性に関する基礎的研究」, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第25号, pp. 665~668, 2002. 3
- 8) 横田隆司, 柏原士郎, 吉村英祐, 阪田弘一, 飯田匡, 林志穂：「病院種別にみた喫煙室の利用実態とその座席数の規模計画に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第543号, pp. 123~129, 2001. 5
- 9) 林立也, 加藤信介, 村上周三, 曾潔：「CFDを用いた人体周辺微気象解析による受動喫煙の研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第553号, pp. 17~21, 2000. 7
- 10) 野崎淳夫, 清澤裕美, 吉澤 晋：「家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能と室内濃度予測に関する研究(その1) 環境タバコ煙に対する除去効果」, 日本建築学会環境系論文集, 第576号, pp. 37~42, 2004. 2
- 11) 中村雅子, 近藤靖史, 宿谷昌則：「飲食店の分煙・禁煙実態に関する研究(その1) 飲食店に対するアンケート調査とその分析」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp. 773~774, 2005. 9
- 12) 近藤靖史, 小笠原岳, 中村雅子, 宿谷昌則：「飲食店の分煙・禁煙実態に関する研究(その2) 飲食店の換気実態調査とCFD解析による検討」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp. 775~776, 2005. 9

- 13) 厚生労働省：「職場における喫煙対策のためのガイドライン」, 2003. 5. 9
- 14) 社団法人 空気調和・衛生工学会：「SHASE-S102 - 2003 換気基準・同解説」, 空気調和・衛生工学会, 2004
- 15) 日本空気清浄協会：「室内空気清浄便覧」, オーム社, 2000

#### 注

- 注1) 健康増進法(平成14年8月2日公布)では、学校、体育館、病院、劇場、観覧場、集会場、展示場、百貨店、事務所、官公庁施設、飲食店その他の多数の者が利用する施設の受動喫煙を防止措置が求められている。また、平成16年6月8日にわが国が受諾した、世界保健機関(WHO)による「たばこの規制に関する世界保健機関枠組条約」では、健康増進法と同様に、職場等の公共の場所における受動喫煙の防止が定められている。
- 注2) ガイドラインとは、平成15年5月9日に厚生労働省より発表された「職場における喫煙対策のためのガイドライン」<sup>13)</sup>のことである。
- 注3) 分煙ではなく、施設全体を禁煙にする受動喫煙防止方法もあるが、本研究では分煙化の意義を考える上で、同一空間内に喫煙席と禁煙席を設けた場合の解析を行う。
- 注4) 1時間当たりの喫煙本数は喫煙時間<sup>14)</sup>を5.5分/本とすると、11本/人となる。レストラン全体の1時間当たりの喫煙本数は、同時喫煙者数は6人であるため、66本/hとなる。同時喫煙者数の算出式<sup>15)</sup>を表6に示す。

表6 同時喫煙者数の算出式

$P_s = m \times t_m + w \times t_w$	...	(1)
$N_s = n \times P_s$	...	(2)
$N = N_s + 3\sigma$	...	(3)
$N_x = N \times \beta s$	...	(4)
$\sigma = (n \times P_s \times (1 - P_s))^{0.5}$	...	(5)

**n** : 在室者数 [人]  
**m** : 男性構成比  
**w** : 女性構成比  
**t<sub>m</sub>** : 男性タバコ常用者率  
**t<sub>w</sub>** : 女性タバコ常用者率  
**N<sub>s</sub>** : 在室者平均タバコ常用者数 [人]  
**P<sub>s</sub>** : 在室者平均タバコ常用者率  
**N** : 最大タバコ常用者数 [人]  
**N<sub>x</sub>** : 同時喫煙者数 [人]  
**β s** : 常用者喫煙率

- 注5) 粉塵の発生速度はタバコ1本当たり喫煙時間<sup>14)</sup>を5.5分/本とし、タバコ1本当たりの粉塵発生量<sup>14)</sup>を15mg/本とし、室内空気清浄便覧<sup>15)</sup>等々に示されている主流煙と副流煙の発生比(副流煙/主流煙=1.6)を参考に、主流煙・副流煙の粉塵の発生速度を決定した。同様にアセトアルデヒドの発生速度は、タバコ1本当たりの発生量<sup>15)</sup>(主流煙:0.63mg/本、副流煙:4.2mg/本)より発生速度を算出する。
- 注6) 林ら<sup>9)</sup>は、タバコの燃焼発熱量は4.3W/本を与え、人体周りのCFD解析を行っている。本研究では人体発熱量と比較してタバコの発熱量は小さいため、タバコの燃焼発熱量を与えずに解析を行う。本解析方法では、タバコ煙の発生位置が変化しても、換気回数ごとに共通の気流解析結果を用いることが可能であるため、喫煙空間、非喫煙空間を変化させた検討が比較的簡便に行うことが可能である。なお、タバコの発熱の有無と室内のタバコ煙の濃度分布に関する予備計算(同一の解析対象とした予備計算)を行い、タバコの発熱の有無が室内タバコ煙の濃度分布に影響が小さいことを確認している。なお、林ら<sup>9)</sup>の副流煙の解析結果によると、副流煙はタバコ自身の発熱により上昇し、床面付近から人体発熱の熱上昇気流と合流し、頭部上方へ流れることが示されている。このため、静穏気流環境において人体周辺の気流が人体発熱により熱上昇気流が形成されている状況では、タバコの燃焼発熱の有無による室内濃度分布の違いは少ないと考えられる。
- 注7) 呼吸は呼気と吸気のサイクルによる非定常現象であり、タバコ喫煙時の呼気風速も変動している。本研究では着席安静時の人体発熱による熱上昇気流によるタバコ煙の平均的な拡散を対象としている。参考文献9)の呼気風速0.5m/sの解析では、人体の熱上昇気流の影響により呼気のタバコ煙は水平方向に拡散せず、熱上昇気流と合流することが報告され

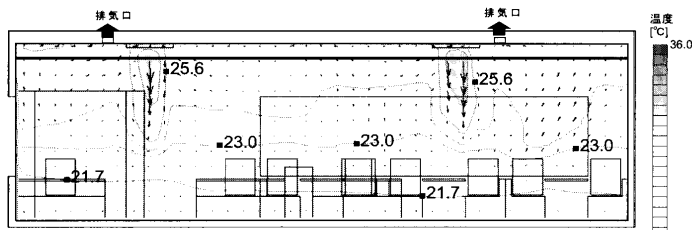
ている。このため、計算負荷の軽減の観点から本研究では呼気風速をいれずに解析を行っている。

注8) 照明発熱及び日射負荷の設定は、天井面の照明負荷は与えず、日射負荷は、日射は時々刻々変化するため、時間ごとのCFD解析を行うことは計算負荷から考えて不可能であるため、本研究では与えていない。放射解析では、モンテカルロ法によるView Factor法により形態係数を求め、対流放射連成解析を行う。モンテカルロ法によるView Factor法では、形態係数は、各面より20000個の粒子を乱数により放射し、形態係数を算出する対象面で吸収した粒子数を集計することにより、形態係数を算出する。

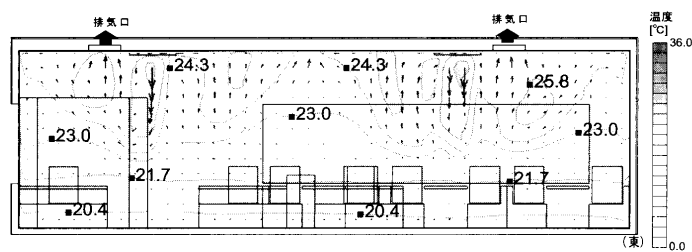
注9) 本解析では給排気口と喫煙場所の位置関係を評価するため、計算条件には機械換気のみを入力し、建物の隙間による自然換気は計算条件に入れていない。

注10) 本解析では、エアコン①の吸込口とその他のエアコン②～④の吸込口で、異なる境界条件を与えている。エアコン①のみ、自由流入流出条件とした理由は、全ての流出条件を風速規定とした場合、数値粘性等の影響により計算が不安定になるため、本解析ではエアコン吸込口①のみ、自由流入流出条件を設定している。なお、エアコン①とその他のエアコン②～④の吸込風量の違いは少ないことを確認している。

注11) 図9に示すように床面から人体頭部までの領域は換気回数3回/h、10回/hとも温度成層が形成しており、このためテーブル付近のタバコ煙の濃度は高くなる傾向がある。林ら<sup>9)</sup>の研究によると、人体周辺の気流は人体発熱による熱上昇気流により床面付近の空気が呼吸域まで上昇してくることが報告されている。このため、床面付近の高濃度のタバコ煙は呼吸域まで上がってくる可能性があり、換気・空調計画では配慮が



(1) 換気回数3回/hの上下温度分布 (断面 y 2)

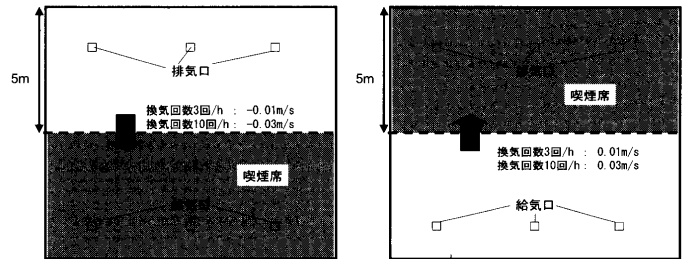


(2) 換気回数10回/hの上下温度分布 (断面 y 2)

図9 室内の上下温度分布

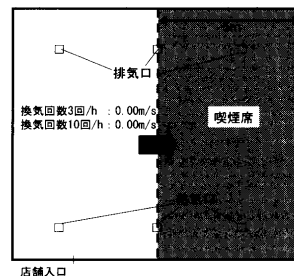
必要である。

注12) 参考までに、対象空間の喫煙席と禁煙席の仮想境界面の平均風速(仮想面の法線方向成分の平均値)を図10に示す。厚生労働省のガイドラインでは、非喫煙空間から喫煙空間への風速は0.2m/s以上の風速を確保するよう求められているが、本研究の禁煙席から喫煙席への平均風速は、極めて低風速であり、換気回数3回/hの時は-0.02~0.01m/s、換気回数10回/hでは-0.05~0.03m/sとなっている。仮想境界面の風速分布は比較的あり、テーブルや椅子などもあるため、仮想境界面の風向は一様ではない。しかし、最も風速の速い領域も厚生労働省のガイドラインで示されている0.2m/sよりも低い風速となっている。

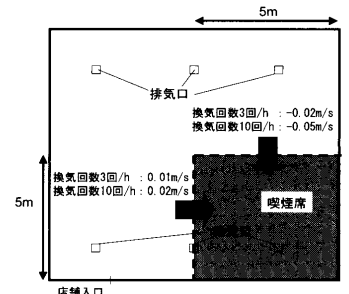


(1) 給気口側に喫煙席を配置

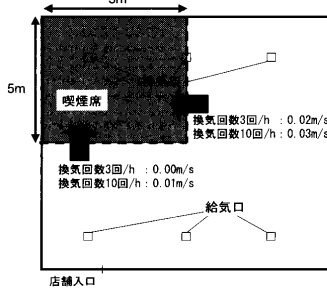
(2) 排気口側に喫煙席を配置



(3) 室内東側に喫煙席を配置



(4) 給気口側に密集して喫煙席を配置



(5) 排気口側に密集して禁煙席を配置

境界面平均風速は、床から天井までの境界面全面の風速の平均値である。

※マイナスの平均風速は、喫煙空間から禁煙空間へ空気が流れていることを示す。

図10 喫煙席と禁煙席の仮想境界面平均風速

(2008年6月7日原稿受理, 2008年10月7日採用決定)