

低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究

第1報——冷房期における人の動作がたばこ煙の動的挙動に及ぼす影響

並 木 則 和^{*1} 宇 田 貴 裕^{*2}
鍵 直 樹^{*3}

室内における非喫煙者の受動喫煙が問題視されており、それを防止するための分煙対策がとられている。喫煙空間と非喫煙空間の境界領域において、厚生労働省のガイドライン¹⁾は、喫煙室等に向かう風速（境界風速）を 0.2 m/s 以上に保つように定めている。本研究では飲食店を想定し、排気量が制御可能な喫煙空間および非喫煙空間からなる試験室において、店員を模したサーマルマネキンが扉の設置されていない両空間の境界面を通過する場合に、冷房期において境界風速が環境たばこ煙（ETS）の動的挙動に及ぼす影響について検証した。その結果、喫煙空間側ACの吹出口の調整や排気口位置の最適化、境界面への電子エアカーテンの設置を行うことで、境界風速 0.2 m/s未達の低境界風速条件においても一定の分煙効果が得られることが示された。

キーワード：環境たばこ煙・分煙・境界風速・動的挙動・気流制御

はじめに

近年の健康意識の高まりにより非喫煙者の受動喫煙防止の観点から、様々な分煙対策が施されている。分煙には、オフィスビル等で行われる喫煙室設置による分煙と、飲食店等において行われる空間分煙の2つに大別される。後者の空間分煙は、排気口に近い空間を喫煙空間としてパーティション等で仕切りを設けることで、比較的容易に設置が可能である一方、非喫煙空間側へのたばこ煙の流出を完全に防ぐことは困難である。

現在、「職場における喫煙対策のためのガイドライン」¹⁾により、喫煙空間と非喫煙空間との境界において、喫煙空間等に向う風速（以下「境界風速」と呼ぶ）を 0.2 m/s 以上とするように必要な措置を講ずることが明記されている。しかし、実際にこの境界風速を維持するためには店舗によっては新たに大きな排気風量の確保が必要となるため、店舗側の設備的費用及びエネルギー消費量が增大する恐れがある。さらに、境界風速 0.2 m/s 以上と設定された根拠も明確とは言えない。

環境たばこ煙（ETS）に関する既往の研究では、松田²⁾

が実際の事務所において喫煙ブースを設けることで、時間分煙に比べ空間分煙が有効な分煙手法であることを明らかにした。また、大和ら^{3),4)}は、喫煙が自由に行われている事務所において、新たに喫煙コーナーを設ける空間分煙を実施し、事務所内の空気環境が改善されることを示した。さらに、既存の喫煙室に新たな排気装置を設置し、喫煙室の室内外の粉塵濃度を 1 s 間隔でモニタリングする手法の有用性についても指摘した。ファミリーレストランなどの大型飲食店においては、近藤ら⁵⁾が実態調査に基づいてCFD（数値流体力学）ソフトウェアを用いた数値解析を行い、喫煙席と排気ファンの設置状況、空調の種類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。また、坂口ら⁶⁾は同様のCFDソフトウェアを用いて、暖房時のレストランにおける空間分煙を想定した数値解析による検討を行い、喫煙席の設置状況および換気回数、喫煙本数、エアコンの粉塵除去性能を変化させた場合の室内の粉塵濃度および臭気強度について明らかにしている。その結果から、喫煙席を排気口近辺に設置することで室内の粉塵濃度が最も低下することを指摘している。実際の店舗における測定については、Huss *et al.*⁷⁾が、レストランやバー、カフェなど 95 店舗を対象にたばこ煙由来のPM_{2.5}の測定を行い、喫煙室設置による分煙がなされている場合でも、ETSの発生

^{*1} 工学院大学工学部 正会員

^{*2} 工学院大学大学院工学研究科

^{*3} 東京工業大学 正会員

が無い場所に比べ、禁煙区域における幾何平均の $PM_{2.5}$ の値が相対的に高くなったことを報告している。模擬試験室における実験では、Miller & Nazaroff⁸⁾が、喫煙室および非喫煙室の2室からなる試験施設において測定を行い、その結果を用いた数値流体解析により、非喫煙者の肺に沈着するETS粒子個数の推定を行った結果として、喫煙室側で排気を行った場合に予想される非喫煙室に在室する人について、ETS粒子の肺への沈着を80%以上抑制できることを明らかにしている。また、Ning *et al.*⁹⁾は、容積 $30 m^3$ の試験室において、たばこの本数や銘柄、サンプリング位置および排気風量を変化させて、それらが粒子の個数濃度および粒径分布に及ぼす影響について調査し、その結果十分な換気量を取ることがETSの粒子濃度および幾何平均径の減少に寄与することを明らかにした。Wan *et al.*¹⁰⁾は、喫煙室における人の出入りを想定し、模擬喫煙室において排気量や扉の種類を変化させた場合のマネキンの移動(移動速度:0.3 m/s)に伴うETSの流出について検討を行った。その結果、ETSの流出の支配的要因は排気量だけでなく、マネキンの移動に伴う“押し出し効果”がより重要である点や二重扉が流出防止に有効である点について指摘している。以上、紹介した研究例が示すように、空間分煙が行われている空間において粉塵濃度を多数の測定点で系統的に測定した例は少なく、さらに人が境界面を移動した場合を想定し、瞬間的な変動に着目した測定例はあるものの、マネキンの移動速度が遅く現実的でない。また、分煙効果に及ぼす境界風速の影響を加味した研究もほとんど無いのが現状である。

そこで本研究では、飲食店における空間分煙を想定した非喫煙空間および喫煙空間からなる試験室を用いて、境界風速を0.2 m/s未満に下げた場合でも空間分煙が適切に行える可能性について検証し、更に人を模したマネキンが2室間を移動した際にも分煙効果が得られる対策を模索することを目的とする。本報では、冷房期において境界面に扉が設置されていない条件における検討を行った。さらに、CFD ソフトウェアを用いたたばこ煙の濃度分布の計算と比較することで、実験結果のたばこ煙の挙動を検証した。

1. 実験の概要

1.1 試験室の概要

図-1, 2に分煙試験室の概要を示す。試験室($12 m^L \times 6 m^W \times 2.7 m^H$)を長手方向に2領域に分割して喫煙空間と非喫煙空間とし、その間に境界面の開口($0.9 m^W \times 2.2 m^H$)が設けられている。混雑して人の出入りの多いファミリーレストランを想定して、空気を非喫煙空間左側の開口($1.7 m^W \times 2.1 m^H$)から流入させ、境界面の開口を通して喫煙空間側の天井部にある排気口($200 mm \times 200 mm$)から排出させる。また、両室には天井埋込型カセットエアコン(AC:

循環風量 $11 m^3/min$)が1台ずつ設置されている。境界面開口の喫煙空間側上部には電子エアカーテン(EAC)を設置した。今回EACを採用した理由として、従来のファン式(消費電力40 W)に比べてコンパクトかつ消費電力の少ない(消費電力20 W)ことによる。EACは、針状の放電極と下流に設置された平行平板間で負のコロナ放電を発生させ、それに伴い発生するイオンの静電反発力により周囲の空気に流れを誘発するイオン風を用いている。

境界風速の設定では、ACが動作しない条件で排気ファンのみを動作させ、超音波三次元風速計を用いて境界面中央部で境界風速 $v_1=0.2, 0.15, 0.1 m/s$ になるように設定した。また、境界面を通過する人を模して、ガイドレール付き台車に載せたサーマルマネキン(発熱量100 W/人)を90 m/min(5.4 km/h)の速度で両室間を手動で移動させた。たばこ煙の発生では、4体1組で計3組の客を模したサーマルマネキン(発熱量100 W/人)の設置位置中央部から計12本ほぼ同時に着火し、専用のフォルダにたばこを挿入して副流煙を発生させた。粉塵濃度の測定のためにデジタル粉塵計を計13台(図-1, 2中の①~⑬)設置した。粉塵計の測定間隔は1 sで、質量濃度変換係数(K値)には0.0008 mg/m³/cpmを用いた。さらに、境界面開口部の高さ1.2 mの

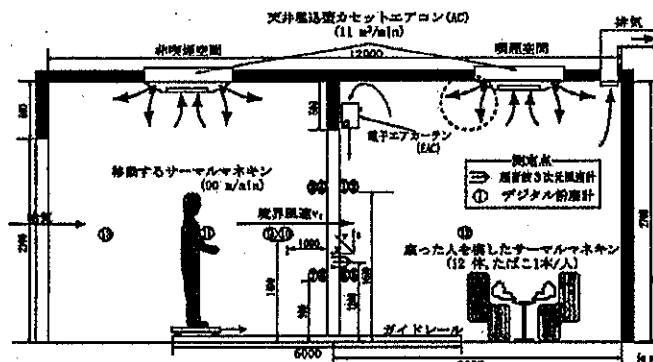


図-1 試験室の概要(断面)

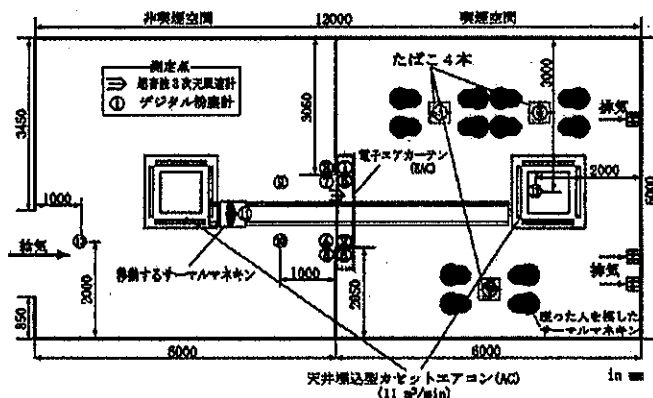


図-2 試験室の概要(平面)

位置における風速の時間変化を超音波風速計で1間隔で

低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究 (第1報)

モニターした。

1.2 実験手順および条件

図-3に各回の実験スケジュールを示す。たばこの燃焼時間(約600s)を念頭に、1回の実験で3回の境界通過を行えるようにスケジュールを決定した。粉塵測定開始を $t=0$ sとし、 $t=60\sim120$ sでマネキンが動かない場合(静的状態)の風速の測定を行った。 $t=90$ sでたばこに着火し、 $t=270$ sからおおよそ90s周期にマネキンを移動させ(動的状態)、その前後30sの風速を測定し、 $t=600$ sで測定を終了とした。なお、マネキンは境界通過30s後に元の位置に戻した。

実験条件として、境界風速($v_f=0.2, 0.15, 0.1$ m/s)および入退室、ACの境界側吹出口の有無、排気口位置、EACの有無とした。なお、非喫煙空間から喫煙空間に向かってマネキンが移動する場合を“入室”，非喫煙空間に向かって移動する場合を“退室”とした。

喫煙空間側天井部のACの境界側へ向かう吹出口(図-1中の破線の円で囲まれた吹出口)を塞いだ場合を“吹出口無し”，塞がない場合を“吹出口有り”とした。図-4に検討した排気口位置の組合せを示す。排気口の位置は、喫煙空間右奥の3ヶ所より排気を行う場合(図-4中の④,⑤,⑥)を標準とし、排気位置が喫煙空間側境界面上部の3ヶ所(図-4中の①,②,③)の場合、そして標準の位置に喫煙空間側境界面上部の1ヶ所を追加した場合(図-4中の②,④,⑤,⑥)の計3条件について検討を行った。

2. 実験結果および考察

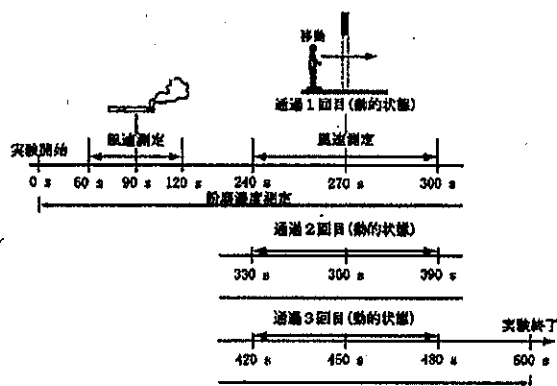


図-3 実験各回スケジュール

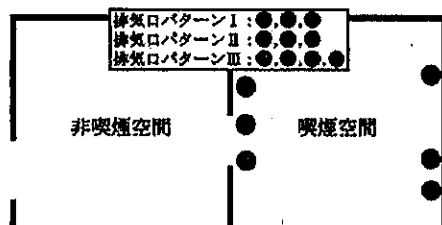


図-4 排気口の位置

2.1 入室時と退室時の比較

相対的に粉塵濃度が高かった非喫煙空間側左上(図-1,2中の③)における粉塵濃度の経時変化を図-5(a),(b)に示す。図の質量濃度 $C_M=0.15$ mg/m³の破線は、ガイドライン値である平均粉塵濃度を目安として表示したものである。なお、非喫煙空間側の境界から1m地点の⑨,⑩においてはすべての条件においても顕著な粉塵濃度の上昇が見られなかったことから、境界面近傍のデータに着目した。図の(a)より、退室時には、全ての境界風速条件でマネキンが通過しない場合(静的状態)およびマネキンが通過する場合(動的状態)においても粉塵濃度の上昇は見られない。一方、図の(b)では、入室時には静的状態においては粉塵濃度の上昇が見られないのに対し、動的状態においては瞬間的な粉塵濃度の上昇が見られる。この粉塵濃度の上昇の割合は、境界風速が低いほど高くなる。この理由として、退室時には半閉鎖空間である喫煙空間から開放空間である非喫煙空間へ移動するため、境界面の面積がマネキンの断面積分縮小し、実効的な境界風速の上昇により濃度上昇は起きないと考えられる。一方、半閉鎖空間へ入室時には、通過に伴う喫煙空間側の瞬間的な圧力上昇により、非喫煙空間側への逆流が生じるためと考えられる。そこで、非喫煙空間側における濃度上昇が観察される入室に固定し、境界風速 $v_f=0.15$ m/sについて対策を講ずることによる分煙効果の向

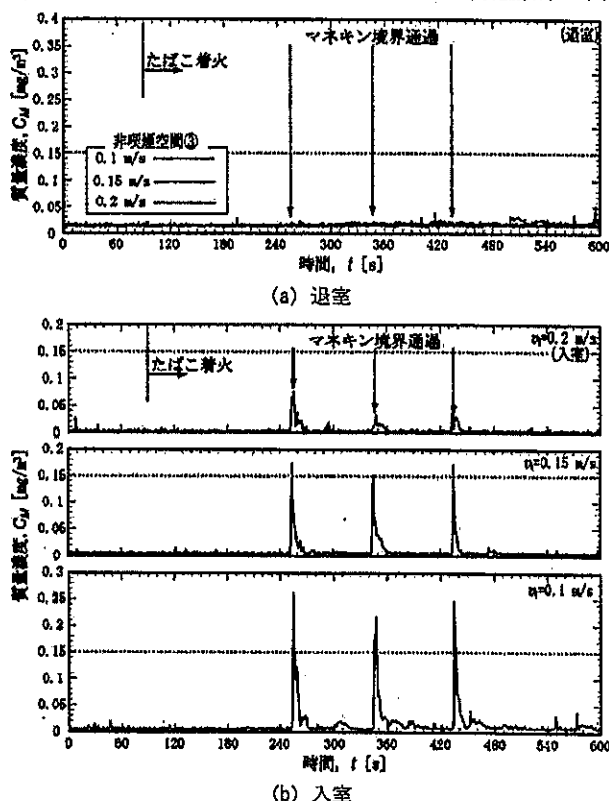
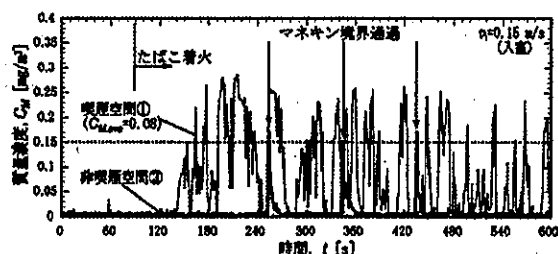


図-5 入退室における粉塵濃度の時間変化の比較

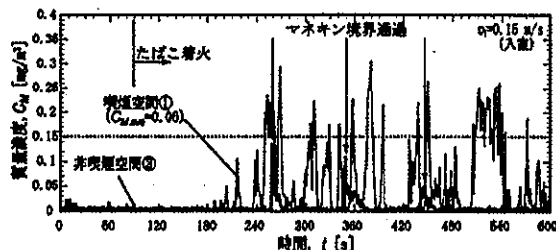
上に関する実験を行った。

2.2 AC 吹出口の影響

相対的に粉塵濃度が高かった非喫煙空間側左上 (③) および喫煙空間側左上 (①) における粉塵濃度の経時変化を図-6 (a), (b) に示す。図の (b) は、図-1 の喫煙空間側 AC の破線の円で囲われた吹出口を塞いだ場合の結果である。(a) と (b) を比較すると、喫煙空間側天井部の AC の境界側へ向かう吹出口を塞ぐことで、喫煙空間側 (①) における粉塵濃度の平均値 (270~600 s) $C_{M,ave}$ で 25 % 程度低下している。これに伴い、マネキン通過時の瞬間的な非喫煙空間側での粉塵濃度の上昇が抑制されている。これは、喫煙空間の天井部分に滞留する高濃度の粉塵が AC の吹出気流によって

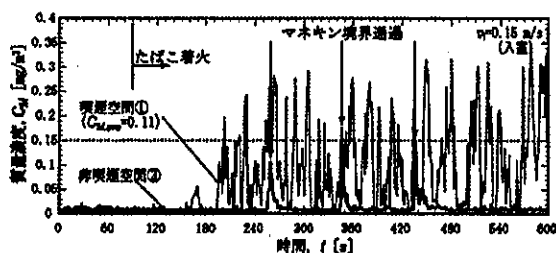


(a) 吹出口有り

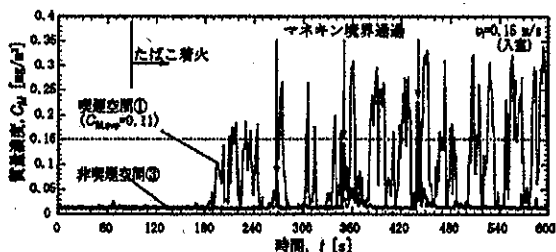


(b) 吹出口無し

図-6 AC 吹出口の有無による粉塵濃度の時間変化の比較



(a) パターンⅡ



(b) パターンⅢ

図-7 排気口位置による粉塵濃度の時間変化の比較

境界面へ輸送されることを防止できると考えられる。これを踏まえ、以降は吹出口を塞いだ条件で測定を行い、さらなる分煙効果の向上を目指した。

2.3 排気口の位置の影響

排気口位置の比較を図-7 (a), (b) に示す。図の (a), (b) はそれぞれ、パターンⅡ (図-4 中の①,②,③) およびパターンⅢ (図-4 中の②,④,⑤,⑥) の位置で排気を行った条件を表している。図より、(a), (b) ともに喫煙空間側奥の排気口で排気する場合 (図-6 (b)) と比較すると、非喫煙空間側の濃度上昇についてはそれほど差が見られないが、喫煙空間側で平均濃度が 2 倍程度上昇していることが分かる。このため境界面近傍で排気をとることは、分煙効果の向上に寄与しないと考えられる。

2.4 EAC の効果

EAC 設置の効果を図-8 に示す。なお、別に行った EAC 動作時の EAC の吸入口 ($C_{in,ave}=0.25 \text{ mg/m}^3$) および吹出口 ($C_{out,ave}=0.12 \text{ mg/m}^3$) におけるたばこ煙の粉塵濃度から求めた粉塵除去効率 は 54 % 程度であり、その時の吹出風速は 2.5 m/s であった。EAC を設置しない条件の図-6 (b) と比較すると、EAC を設置することで、喫煙空間側 (①) における平均の粉塵濃度が 30 % 程度低下している。そのため、マネキン通過時の非喫煙空間側での粉塵濃度の上昇が顕著に抑えられている。これは、EAC から相対的に低粉塵濃度の吹出気流が供給され、さらに境界面に喫煙空間から非喫煙空間に流出する気流に対する遮蔽効果によると考えられる。

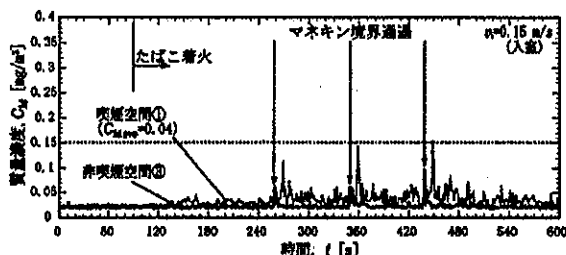


図-8 EAC を設置した場合の粉塵濃度の時間変化

3. CFD (数値流体力学) による検証

3.1 数値計算の概要

計算に使用した CFD ソフトウェア (Software Cradle 社 ; Stream) は、有限体積法を基本としており、計算は 3 次元非定常計算とした。図-9 に計算に使用した模擬試験室の空間メッシュおよび、表-1 に計算に使用した物性値の一覧を示す。計算は、試験室 ($329^L \times 80^H \times 188^W$) を 4,948,160 メッシュに分割して行った。サーマルマネキンの発熱量は、マネキン 1 体あたり表面に均一に合計 100 W 相当の熱量を与えた。計算ステップは 0.1 ms で行い、乱流モデルには標

低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究 (第1報)

準k-εモデルを用いた。境界条件として、流速に関する壁面近傍の条件は対数分布則を用い、温度に関する壁面近傍における条件は温度対数則を用いた。計算対象の条件として、冷房期において非喫煙空間側のACの吹出口を塞いだ場合および塞がない場合、塞いだ条件でさらにEACを設置した場合(3条件)で、CFD付属の移動物体解析を用いてマネキンが喫煙空間に入室する条件で行った。

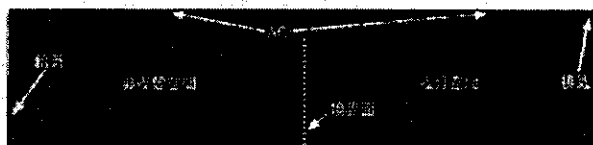


図-9 計算に用いた模擬試験室のメッシュ (断面)

表-1 数値解析の解析条件

使用ソフトウェア	ソフトウェアクレイドル 汎用熱量対流解析ソフト STREAM Ver.9
乱流モデル	標準k-εモデル
解析格子	329×30×138=4,948,160 メッシュ
境界条件	- 壁: 対数則応力条件 - 温度: 温度対数則条件 - 天井, 壁, 床面: 隔壁を想定し, 隔壁温度23℃ - 乱流エネルギー: $k=1 \times 10^{-10}$, エネルギー散逸率: $\epsilon=1 \times 10^{-10}$
流れ条件	- エアコン - 吹出風速=1.6 m/s, 吹出温度=18℃ - 風向: 水平面から下向き30° - 排気口 - 風速=1.8 m/s, 面積=0.01837 m²×3箇所
加熱物質発生条件	- 粉塵上向きに0.35 m/sの流れ条件として設定 - 流入温度=60℃ - 発生面積=16 mm角×4箇所×3箇所 - 発生量=1.0×10⁻² mg/(s・piece) - 拡散係数=1.0×10⁻¹¹ m²/s

3.2 数値計算の結果

図-10 (a), (b)に、非喫煙空間側のAC吹出口を塞がない場合と塞いだ場合の試験室内の粉塵濃度分布を示す。本図の(a), (b)は前述の実験結果図-6 (a), (b)の条件に対応して

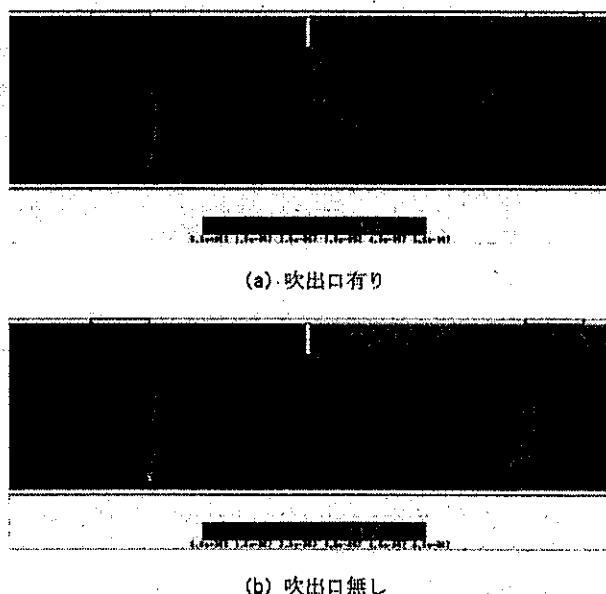


図-10 吹出口の有無による試験室内の粉塵濃度分布の比較

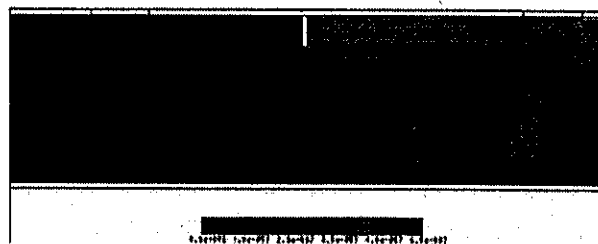


図-11 マネキン通過3s後の試験室内の粉塵濃度分布

いる。本図の(a)を見ると、喫煙空間側境界面近傍における粉塵濃度が高くなっており、マネキン移動前の段階で微量ながら境界を越える粉塵が観察される。さらに、喫煙空間側のたばこ煙発生位置よりやや右側の天井部には、非常に高濃度の粉塵が滞留しているのが観察される。一方、本図の(b)を見ると、(a)と比べ境界面近傍における粉塵濃度が低くなっている。これは、ACの吹出口を塞ぐことにより、喫煙空間に滞留する高濃度の粉塵の境界面への輸送を防止できたためであると考えられる。

図-11に、図-10 (b)の条件においてマネキンが境界を通過した3s後の試験室内の粉塵濃度分布を示す。本図より、マネキンの通過に伴い境界を越えて非喫煙空間側へと移動した粉塵が観察される。さらに、マネキンの移動に伴う喫煙空間の空気の逆流により、境界面下部に濃度のやや高い部分が出現している。

図-12 (a), (b)に、AC吹出口を塞いだ上でEACを設置した場合の試験室内における粉塵濃度分布を示す。本図の(a), (b)は、図-8に示す実験結果に対応している。本図の(a)より、図-10 (b)と比べ、喫煙空間側天井部の粉塵濃度がさらに低下している。これは、EACが天井部の高濃度の粉塵を含む空気を吸い込み、粉塵の一部を捕集して下方へ吹

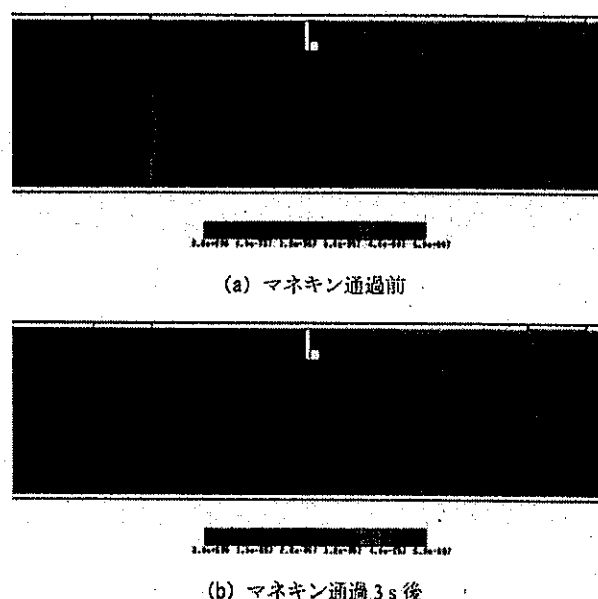


図-12 EACを運転した場合の試験室内の粉塵濃度分布

き出すことで、天井部での粉塵の滞留が解消されていると考えられる。次に、本図の(b)より図-11では見られた、境界面をマネキンが通過した3s後の境界面下層部における粉塵濃度の上昇が見られない。これは、エアカーテンの吹出気流により、移動に伴う喫煙空間側の空気の逆流が抑制されたためと考えられる。一方、境界を超える粉塵濃度の上昇は両図を比較すると顕著な違いは見られない。

次に、境界面全体での流出粉塵量の比較を次の図-13に示す。流出粉塵量は、境界面において喫煙空間から境界面を超える流速成分とその地点における粉塵濃度との積の総和で求めた。図より、EACを設置することでCFDの計算結果から非喫煙空間側へと流出する粉塵量が6割程度に抑えられることが推算された。

以上より、非喫煙空間に向かうACの吹出口を塞ぐ効果およびEAC設置の効果が、CFDによる計算においても実証された。

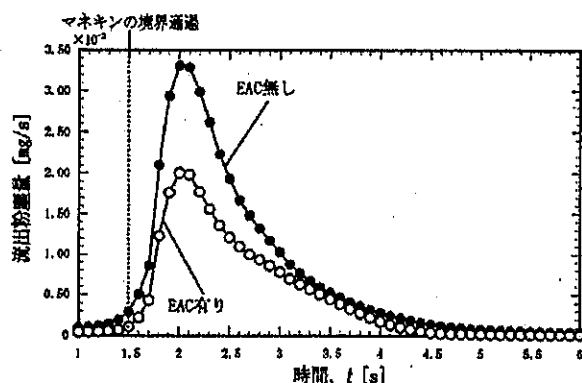


図-13 EACの有無における流出粉塵量の比較

4. まとめ

本研究では、飲食店における空間分煙を想定した非喫煙空間および喫煙空間からなる試験室を用いて、人を模したマネキンが2室間を移動した際の煙の動的挙動を調べることで、境界風速を0.2 m/s未満に下げた場合でも、空間分煙が適切に行える可能性について検証し、より分煙効果を高める対策を検討した。その結果得られた知見を以下に示す。

- 1) マネキンが境界を通過する場合の粉塵濃度の上昇は、境界近傍0.1 m位置では見られるが、境界1 m地点での粉塵濃度の上昇は全ての条件において見られない。
- 2) 退室時は非喫煙空間側境界部分（非喫煙境界）での粉塵濃度の上昇が見られないのに対し、入室時には瞬間的な濃度上昇が見られる。
- 3) 喫煙空間中のACの吹出気流が境界面へ向かう場合、該当する吹出口を塞ぐことにより境界面近傍での粉塵濃度の上昇を抑えられる。
- 4) 喫煙空間側境界面近傍に排気口を設置した場合、マネ

キンの通過により境界面の気流が乱されるため、境界面近傍に排気口を設けるよりも、離れた位置に排気口を設ける方が分煙効果の向上に寄与する。

- 5) 電子エアカーテン（EAC）を喫煙空間側境界面上部に設置することで、入室時における非喫煙境界の粉塵濃度の上昇をさらに抑えられる。
- 6) 非喫煙空間に向かうACの吹出口を塞ぐ対策およびEAC設置の効果が、CFDによる数値計算においても確認された。

参考文献

- 1) 厚生労働省労働基準局：職場における喫煙対策のためのガイドライン厚生労働省基発第0509001号，東京，2003。
- 2) 松田明美・松原節子・原田ヨシ子・松田晋哉：「職場における空間分煙の有効性について」，産業医科大学雑誌，No. 19(1997)，pp.278～295
- 3) 大和浩，瀬戸拓，森本泰夫，保利一，東敏昭，田中勇武，日野義之，船越春男，上村勝裕：「事務所における効率の高い空間分煙対策に関する検討」，産業衛生学会誌，Vol. 42(2000)，pp.1～6
- 4) 大和浩・秋山泉・大神明・梶原隆芳・黒田香織・大藪貴子・森本泰夫・保利一・田中勇武：「有効な喫煙室の設置手法と粉じん濃度のリアルタイムモニタリングの有用性について」，産業衛生学会誌，No. 46(2004)，pp.55～60
- 5) 近藤靖史・小笠原岳・宿谷昌則：「実態調査およびCFD解析に基づく飲食店舗の空間分煙に関する研究」，空気調和・衛生工学会論文集，No. 127(2007)，pp.25～30
- 6) 坂口淳・赤林伸一・鍛冶絃子・都丸恵理：「レストランにおける受動喫煙に関する基礎的研究」，日本建築学会環境系論文集，Vol. 74，No. 635(2009)，pp.39～45
- 7) A.Huss, C.Kooijman, M.Breuer, P.Bohler, T.Zund, S.Wenk and M.Roosli: Fine particulate matter measurements in Swiss restaurants, cafe's and bars: What is the effect of spatial separation between smoking and non-smoking areas?, INDOOR AIR, Vol. 20(2010), pp.52～60
- 8) S.L. Miller and W.W. Nazaroff: Environmental tobacco smoke particles in multizone indoor environments, Atmospheric Environment, Vol. 35(2001), pp.2053～2067
- 9) Z.Ning, C.S.Cheung, J.Fu, M.A.Liu and M.A.Schnell: Experimental study of environmental tobacco smoke particles under actual indoor environment, Science of the Total Environment, Vol. 367(2006), pp.822～830
- 10) M.P. Wan, C.L. Wu, T.T. Chan, C.Y.H. Chao and L.L. Yeung: Removal and Leakage of Environmental Tobacco Smoke from a Model Smoking Room, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 7, No. 4(2010), pp. 573～584

(平成 24. 2. 10 原稿受付)

低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究 (第1報)

Effect of Smoke Isolation at a Low Interfacial Velocity between Non-smoking and Smoking Zones

Part 1—Influence of Dynamic Behaviors of Smoke on Person Movements during the Cooling Period

by Norikazu NAMIKI ^{*1}, Takahiro UDA ^{*2}, Naoki KAGI ^{*3}

Key Words: ETS, Isolation of Smoke, Interfacial Velocity, Dynamic Behavior, Air Flow Control

Synopsis : Recently, passive smoking by non-smokers has become an issue of concern in indoor environments. Various measures for the isolation of smoking areas have been taken. In particular, the regulation that the interfacial air velocity between smoking and non-smoking zones should be over 0.2 m/s is imposed in the guideline relevant to smoking in workplaces. This study was aimed at investigating the influence of the interfacial air velocity on dynamic behaviors of environmental tobacco smoke in a test room consisting of smoking and non-smoking zones with a controllable ventilation system and a thermal manikin crossing over between these zones. As a result, it was found that appropriate measures for air flow control, such

as the closure of the air-conditioner louver on the side of the non-smoking zone, optimization of the exhaust position in the smoking zone, and installation of an electronic air curtain at the interface between the zones can isolate environmental tobacco smoke in the smoking zone from people in the non-smoking zone, despite the interfacial velocity being lowered to less than 0.2 m/s. Furthermore, the dynamic behaviors of smoke were investigated by a CFD simulation. The data obtained by the numerical analysis help provide an explanation of the results obtained by the experiments.

(Received February 10, 2012)

*1 Faculty of Engineering, Kogakuin University, Member

*2 Graduate School of Engineering, Kogakuin University

*3 Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Member

