

低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究

第2報——冷房期および暖房期におけるスライド式扉の
開閉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スライド式のガラリ付き扉の設置されている両空間の境界面を通過する場合に、冷房期および暖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討した。その結果、冷房期と比べ分煙を行うことが困難である暖房期においても、扉に設けられたガラリの開口部分を全面使用し、ガラリの向きを上向きにすることにより、境界風速0.15および0.1 m/sの低境界風速条件下においても一定の分煙効果を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・スライド式扉・気流制御・動的挙動・数値解析

はじめに

近年、受動喫煙に対する社会的な関心が高まっており、非喫煙者のたばこ煙への曝露を分煙により防止することが推奨されている。分煙は、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ー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と考えられる。

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増大する恐れが

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。

前報²⁾において、飲食店における空間分煙を想定し、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、扉の設置されていない両空間の境界面において店員を模したサーマルマネキンが通過する場合に、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討した。その結果、マネキンが喫煙空間側から非喫煙空間側へ移動する場合（退室）には、非喫煙空間側（境界面より100 mmの測定点）における粉塵濃度の上昇が観察されないのに対し、マネキンが非喫煙空間側から喫煙空間側へ移動する場合（入室）には、マネキンの移動に伴う非喫煙空間側における瞬間的な粉塵濃度の上昇が確認された。そこで、マネキン通過時に粉塵濃度の上昇が確認された入室の条件において、境界風速 $v_b=0.15$ m/sにおける実験を行ったところ、喫煙空間側天井埋込型カセットエアコン（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、

^{*1} 工学院大学工学部 正会員

^{*2} 工学院大学大学院化学応用学専攻

^{*3} 東京工業大学 正会員

境界風速 0.2 m/s 未満の低境界風速条件においても、一定の分煙効果を得られることが示された。

このように、喫煙空間および非喫煙空間の境界面に扉を設置しない場合については、境界風速 0.2 m/s 未満の低境界風速条件下での分煙が、簡易な空気流れの調整により可能であることが示された。一方、実際には境界面にスライド式扉を設けて空間分煙を行うような店舗も多く見受けられる。境界面に扉を設ける理由としては、非喫煙者が喫煙者の喫煙行為を目視することによる不快感の緩和が挙げられる。しかし、扉を設ける場合には両室間に差圧が生じるため、扉の開放に伴う瞬間的な空気の流入に伴い、喫煙空間側の高粉塵濃度の空気が非喫煙空間側へと移動する可能性がある。

関連する既往の研究として、Wan et al.³⁾は、喫煙空間および非喫煙空間からなる試験室において、扉の開閉やマネキンの通過（移動速度：0.3 m/s）がある条件における非喫煙空間側への ETS の漏洩の把握を目的に実験を行った。その結果、両室間の差圧を少なくとも 5 Pa とし、新鮮空気の供給量を典型的なオフィスの 3～5 倍程度とすることが、非喫煙空間側への ETS の漏洩を低減する上で重要であることを指摘している。また、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、二重扉が漏洩防止に有効である点についても指摘している。このように、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ているが、人を想定したマネキンの移動速度が遅く、両室間の差圧を 5 Pa と過大に設定している点から、現実の環境を想定しているとは言えない。また、実際の飲食店やオフィスビル等で分煙を行う際に二重扉を設けることは、設置スペースの制約や施工費用の面で現実的に有効な対策とは言えない。一方、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、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、前報²⁾に引き続き空間分煙を想定した試験室を用いて、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、境界面に設置したスライド式のガラリ付き扉の開閉が分煙効果に及ぼす影響について、冷房期および暖房期において検討を行った。さらに、CFD ソフトウェアを用いてたばこ煙の濃度分布の計算と比較することで、扉開放時の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

分煙試験室の概要を図-1、2 に示す。使用した試験室は前報²⁾と同様であり、試験室（12 m^L×6 m^W×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×2.2 m^H）が設けられている。境界面にはスライド式の扉が設置されており、空気は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×2.1 m^H）から流入させ、扉閉鎖時には境界面の扉のガラリ（0.6 m^W×1.7 m^H、羽の厚さ：4 mm、間隔：18 mm、形状：フラット（クランク）、開口率 43 %、羽の角度：30°）を通して、喫煙空間側の天井部にある排気口（200 mm×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 m³/min）が 1 台ずつ設置されている。境界風速の設定では、排気ファンを動作させ、超音波三次元風速計を用いて境界面中央部で境界風速 $v_b=0.15, 0.1$ m/s と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。なお、前報と異なりマネキンの動作開始位置を非喫煙空間側の境界面から 450 mm とした。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 本同時に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

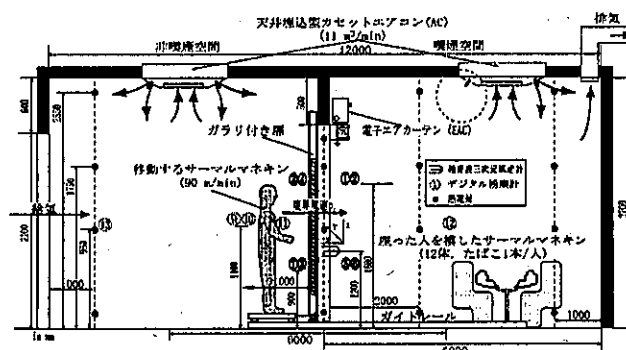


図-1 試験室の概要（断面）

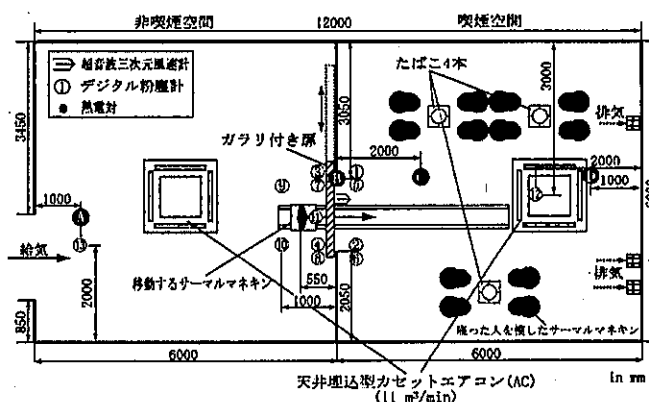


図-2 試験室の概要（平面）

低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究(第2報)

定間隔は 1 s で、質量濃度変換係数 (K 値) には $0.0008 \text{ mg/m}^3/(\text{count per minute})$ を用いた。なお、本研究では試験室内の気温の垂直分布を測定するために、図-1, 2 に示した計 16 点に K 型熱電対を設置し、温度レコーダにより室温の時間変化を測定した。さらに、非喫煙空間側境界面右側の壁には差圧計を設置し、閉扉時の非喫煙空間および喫煙空間の両室間の差圧を測定した。

1.2 実験手順および条件

各回の実験スケジュールを図-3 に示す。各回の実験スケジュールは前報²⁾とほぼ同様であり、粉塵測定開始を $t=0 \text{ s}$ とし、 $t=60 \sim 120 \text{ s}$ でマネキンが動かない場合 (静的状態) の測定を行った。その間に $t=90 \text{ s}$ でたばこに着火し、 $t=266 \text{ s}$ で扉を開けてマネキンを入室させた後の $t=273 \text{ s}$ に扉をいったん閉めた。マネキンの入室を計 3 回行い、 $t=600 \text{ s}$ で測定を終了とした。なお、実験時期は冷房期 (7 月) および暖房期 (12 月) で行った。また、前報²⁾の結果を踏まえて、本報では入室 (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) についてのみ検討を行った。

実験条件として、境界風速 ($v_f=0.15, 0.1 \text{ m/s}$) および扉の開閉の有無、ガラリの向き、ガラリの開口面積、ガラリの開口位置とした。図-4 に実験で使用した扉の概要を示す。ガラリの向きは、非喫煙空間側から見て下に向かう場合を“ガラリ下向き”とし、上に向かう場合を“上向き”とした。また、扉のガラリを全面使用した場合を“全開口”とし、下部 1/3 のみを開けて上部を閉じた場合を“下開口”、逆に上部 1/3 を使用した場合を“上開口”とした。本研究

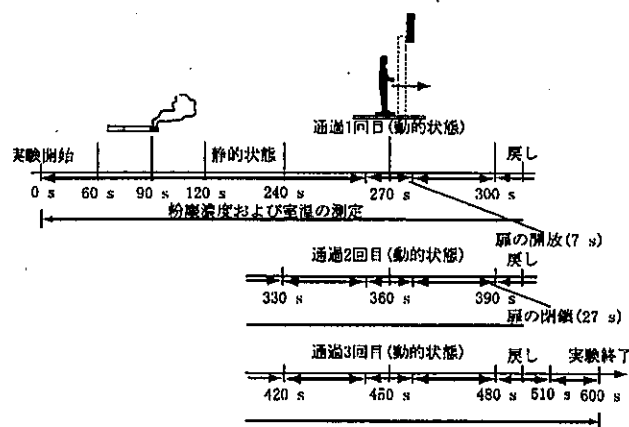


図-3 実験各回のスケジュール

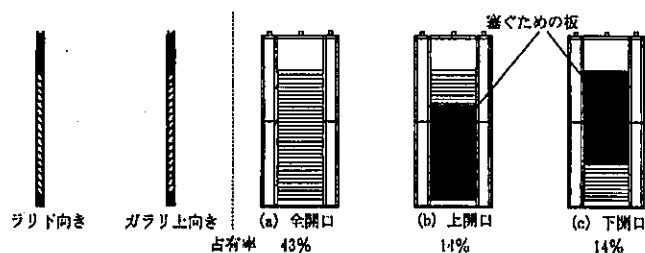


図-4 実験で使用した扉の概要

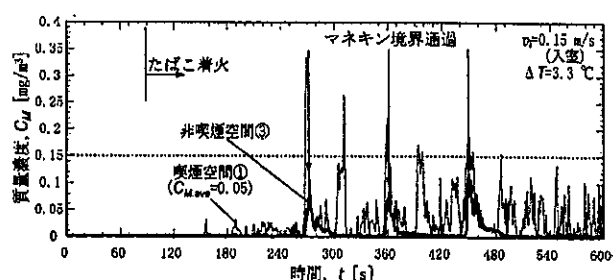
では、“全開口”のガラリ“下向き”を標準として実験を行った。

2. 実験結果および考察

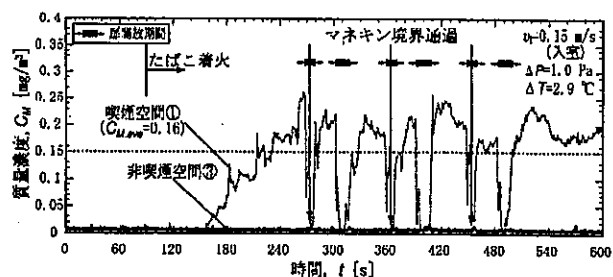
2.1 扉の開閉の有無による比較

冷房期において扉の開閉が有る場合 (全開口下向き) および無い場合 (開放状態の場合) の比較を図-5 (a), (b) に示す。なお、非喫煙空間側の境界から 1 m 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), (b) を比較すると、終始扉を開放した場合には、マネキン通過に伴う非喫煙空間側における粉塵濃度の上昇が観察されるのに対し、扉の開閉がある場合では粉塵濃度の上昇がほとんど観察されていない。これは、扉開放時における喫煙空間および非喫煙空間の圧力差に伴う非喫煙空間側からの空気の流入に起因すると考えられる。つまり扉が閉鎖している場合には、ガラリの開口面積が小さいため喫煙空間側が扉解放時に比べて負圧となっている。そして、扉が開くことで非喫煙空間側の清浄空気が、喫煙空間側の扉開放領域に瞬間的に高風速で流入し、喫煙空間側境界面近傍の粉塵濃度が低下することにより、マネキンが通過した場合でも、非喫煙空間側における粉塵濃度の上昇が観察されなかったものと考えられる。

次に、暖房期において扉の開閉がある場合 (全開口下向き) および無い場合の比較を図-6 (a), (b) に示す。本図の (a) と図-5 の (a) を比較すると、冷房期ではマネキン通過の時



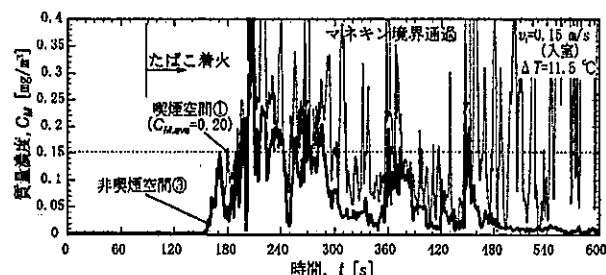
(a) 扉の開閉が無い場合 (開放状態の場合)



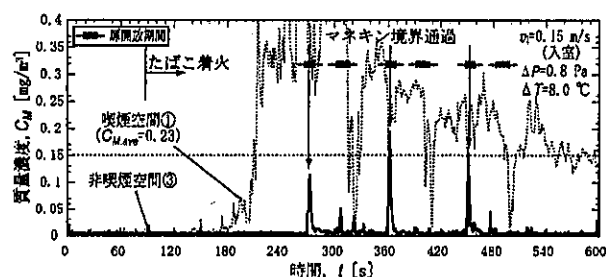
(b) 扉の開閉が有る場合

図-5 冷房期において扉の開閉がある場合および無い場合の比較 ($v_f=0.15 \text{ m/s}$)

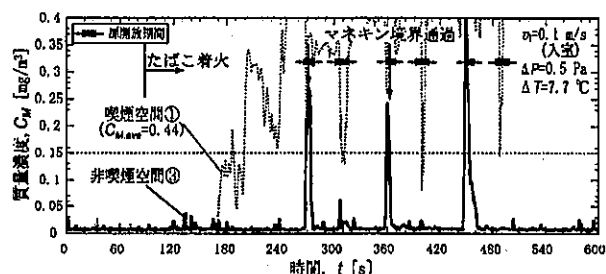
にのみ非喫煙空間側における瞬間的な粉塵濃度の上昇が観察されるのに対し、暖房期ではマネキン通過の有無に関わらず非喫煙空間側において断続的な粉塵濃度の上昇が観察される。また、本図の(b)と図-5の(b)を比較すると、冷房期はマネキンの通過に関わらず非喫煙空間側における粉塵濃度の上昇が観察されないのに対し、暖房期は扉開閉時にマネキン通過に伴う非喫煙空間側における瞬間的な粉塵濃度の上昇が観察される。これは、冷房期と比べ暖房期は、



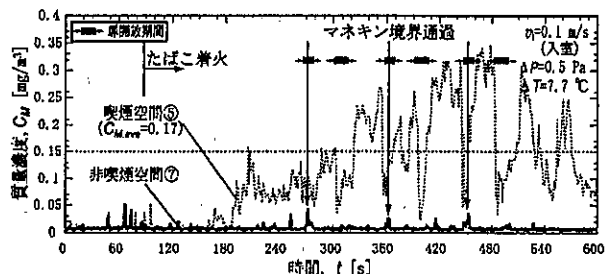
(a) 扉の開閉が無い場合（開放状態の場合）



(b) 扉の開閉が有る場合

図-6 暖房期において扉の開閉がある場合 ($v_f=0.15$ m/s)

(a) 左上



(b) 左下

図-7 暖房期において扉の開閉がある場合 ($v_f=0.1$ m/s)

試験室内の鉛直方向の温度差が大きくなったことに起因すると考えられる。つまり、冷房期は非喫煙空間側開口部より高温の空気が流入し、ACからの低温の吹き出し空気が混合しやすいため、鉛直方向の温度分布が相対的に均一となる。一方、暖房期では低温の空気が部屋の下層へ流入し、ACからは高温の空気が吹き出すことにより、温度成層が発達して空気が混合しにくくなり、高濃度の粉塵が喫煙空間の天井付近に滞留するためと考えられる。しかし、閉扉時には非喫煙空間側における粉塵濃度の上昇が見られない上、マネキン通過時の瞬間的な粉塵濃度の上昇も最大で 0.15 mg/m^3 程度であることから、暖房期においても一定の分煙効果が得られている。

以上のように、 $v_f=0.15 \text{ m/s}$ の条件でスライド式扉を設置することで、冷房期だけでなく分煙が困難である暖房期においても一定の分煙効果が得られることから、さらに境界風速を 0.1 m/s に下げた場合についても検討した。

2.2 境界風速を 0.1 m/s に下げた場合

暖房期において扉の開閉がある場合における $v_f=0.1 \text{ m/s}$ の時の境界面左上および左下での粉塵濃度の経時変化を図-7に示す。本図の(a)と図-6の(b)を比較すると、 $v_f=0.15 \text{ m/s}$ と比べ $v_f=0.1 \text{ m/s}$ では喫煙空間側における平均粉塵濃度が2倍程度高くなっている。これに伴い、マネキン通過時の非喫煙空間側における粉塵濃度の上昇の割合も高い。次に、本図の(a)、(b)を比較すると、左上と比べ左下では喫煙空間側における平均粉塵濃度が6割程度低くなっている。また、マネキン通過時の非喫煙空間側における粉塵濃度の上昇が確認されるが、非常に小さなピークであり顕著な上昇は見られない。これは、喫煙空間側で発達した温度成層の影響により空気の混合が抑制され、喫煙空間側で鉛直方向の粉塵濃度差が生じたためと考えられる。また、扉開放時には非喫煙空間側下層部の低温の空気が支配的に流入するため、境界面において鉛直方向の風速に差が生じ、非喫煙空間側左下における顕著な粉塵濃度の上昇が起こらなかったと考えられる。そのため、ガラリーの仕様を変更することで分煙効果が $v_f=0.15 \text{ m/s}$ の場合と同程度に維持できるかについて調べた。

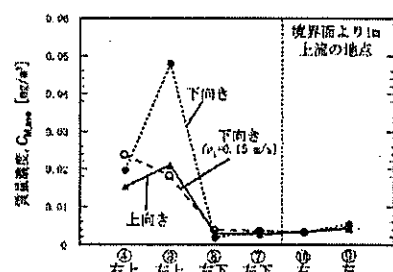
2.3 ガラリーの仕様を変更した場合

図-8に、 $v_f=0.1 \text{ m/s}$ でガラリー開口の割合別に非喫煙空間側境界面の各測定点における扉開放期間中の平均濃度の比較を示す。平均濃度は、マネキン通過時 (270~300, 360~390, 450~480 s) における非喫煙空間側の1s毎の粉塵濃度により算出した。その際、比較する条件の喫煙空間側における粉塵濃度の影響を抑えるため、喫煙空間側中央部の平均粉塵濃度が $0.23\sim0.30 \text{ mg/m}^3$ となる条件の結果を採用した。また図中には、参考として非喫煙空間側の1m地点におけるデータも記載する。さらに、比較として(a)に

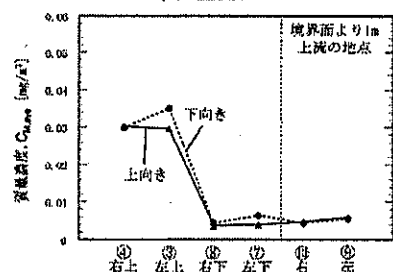
低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究(第2報)

図-6に示す $v_f=0.15$ m/s での結果(全開口下向き)も載せている。

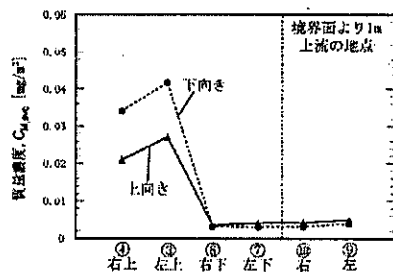
図より, いずれの開口パターンにおいても, ガラリが上向きの場合の非喫煙空間側の境界面左上(③)および右上(④)の粉塵濃度が下向きに比べて低い傾向にある。これは, 非喫煙空間側から見てガラリを上向きにすることで, 風速を下げた場合でも, 天井付近に滞留した高濃度の粉塵を含む空気の境界面への移動をある程度防止できていると考えられる。また, すべての条件において境界面下部に比べ, 境界面上部の粉塵濃度が高い。これは, 試験室左側の開口より流入した冷たい空気が, 扉解放時に喫煙空間側へと集中的に流入することで, 喫煙空間側境界面下部の粉塵濃度が低下し, マネキン通過に伴う非喫煙空間側における瞬間的な粉塵濃度の上昇が抑制されるためと考えられる。次に, ガラリ上向きの条件で3つの開口パターンを比較すると, 上開口および下開口ではそれほど大きな差は見られないのに対し, 全開口では粉塵濃度が低くなっている。これは, 開口面積が小さい上開口および下開口の場合と比べ, 開口面積の大きい全開口では, ドア閉鎖時にガラリ全面を通して非喫煙空間側からの清浄空気が流入するため, 喫煙



(a) 全開口



(b) 上開口



(c) 下開口

図-8 $v_f=0.1$ m/s でガラリの開口の割合別に非喫煙空間側境界面の各測定点の扉開放期間中の平均濃度

空間側扉近傍への粉塵の滞留をより効果的に抑制できるためと考えられる。また, (a) の $v_f=0.15$ m/s の結果と比較しても, $v_f=0.1$ m/s でガラリを上向きとすることでほぼ同程度の平均濃度となっている。このことから, ガラリの仕様を変えることで, より低い境界風速でも一定の分煙効果が得られることが示された。

3. CFD (数値流体力学) を用いた粉塵挙動の検討

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 に計算条件の一覧を示す。計算は, 試験室 ($330^{\circ}\times 84^{\circ}\times 188^{\circ}$) を 5,211,360 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, 乱流モデルには標準 $k-\epsilon$ モデル²⁾ 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。なお, 本解析では放射計算は考慮していない。計算対象の条件として, 冷房期において扉の開閉がある場合および冷房期において扉の開閉がある場合 (2 条件) で, CFD 付属の移動物体解析ツールを用いて扉の開閉前後にマネキンが喫煙空間に入室する条件で行った。

3.2 数値計算の結果

図-10(a), (b) にマネキン通過前 ($t=0$) における試験室内の粉塵濃度分布の比較を示す。図の (a), (b) より, 冷房期と比べ暖房期では, 喫煙空間側床面近傍における粉塵濃度が低くなっている。これは, 冷房期では試験室内の鉛直方向

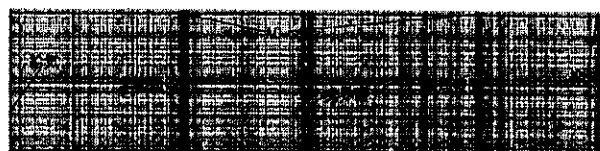


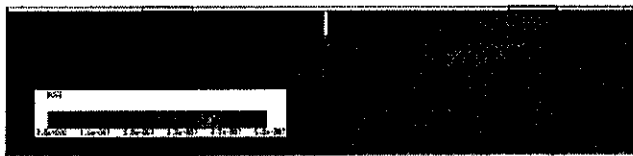
図-9 計算に用いた模擬試験室のメッシュ (断面)

表-1 数値解析の解析条件

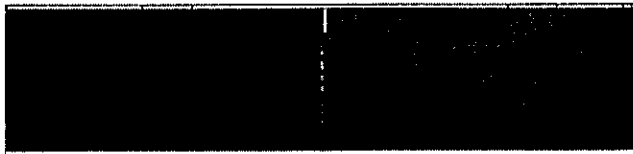
使用ソフトウェア	ソフトウェアクレイドル 汎用熱流体解析ソフト STREAM Ver.9
乱流モデル	標準 $k-\epsilon$ モデル (一次精度風上置分)
解析格子	$330^{\circ}\times 84^{\circ}\times 188^{\circ}$ = 5,211,360 メッシュ
境界条件	- 壁: 対数分布則条件 - 温度: 温度対数則条件 - 天井, 壁, 床面: 断熱を想定し, 室温温度 23℃
各部分での条件	- 非喫煙空間側の開口: 鉛直方向の温度分布の実測値を多項式近似を行い, ユーザー関数で与える - エアロゾル - 冷房期: 吹出風速=3.6 m/s, 吹出温度=18℃ - 暖房期: 吹出風速=3.6 m/s, 吹出温度=32℃ - 風向: 水平面から下向き 30° - 排気口: 風速=1.8 m/s, 面積=0.01(837mm²)×3箇所 - ガラリ: 多孔質媒体を使用し, 両室間の差圧が 1.0 Pa となるよう抵抗係数を設定 - 鉛直上向きに 0.15(m/s) の流れ条件として設定 - 流出温度=60℃ - 発生面積=16mm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

の温度差がほとんど無いため比較的均一な濃度分布になっているのに対し、暖房期では非喫煙空間側左隅の開口より試験室内の下層部へと流入した新鮮な低温の空気が、境界面の扉の下の際間から支配的に流入するためと考えられる。また、冷房期と比べ暖房期に喫煙空間側境界面近傍における粉塵濃度が高くなっている理由として、前述の通り扉のガラリ下部および下の際間を新鮮空気が選択的に通過するためと考えられる。

図-11(a), (b)に、マネキン通過 2.2 s 後の試験室内の粉塵濃度分布を示す。図より、冷房期では非喫煙空間側における粉塵濃度の上昇が確認されないのに対し、暖房期ではマネキン通過に伴う非喫煙空間側における粉塵濃度の微量な上昇が確認されるが、速やかにバックグラウンドレベルにまで低下する。また、冷房期ではマネキン通過に伴う空気



(a) 冷房期

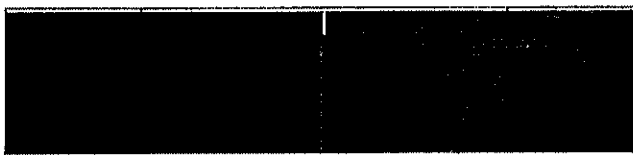


(b) 暖房期

図-10 マネキン通過前 (t=0) における試験室内の粉塵濃度分布の比較



(a) 冷房期



(b) 暖房期

図-11 マネキン通過 2.2 s 後の試験室内の粉塵濃度分布

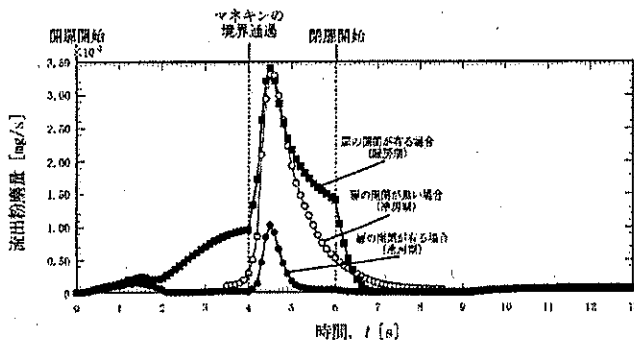


図-12 冷房期および暖房期における境界面全体での流出粉塵量

の巻き込みによる喫煙空間側境界面下部における粉塵濃度の上昇が確認されるが、暖房期ではそれが確認されない。これは、暖房期における温度成層の形成により、扉解放時に非喫煙空間側の下層部に新鮮空気が喫煙空間側へと選択的に流入するため、喫煙空間側境界面下部の粉塵濃度の上昇が抑制される一方、境界面上部の喫煙空間に向かう流れが弱いためと考えられる。

図-12 に、冷房期および暖房期における境界面全体での流出粉塵量を示す。流出粉塵量は、境界面の各点における粉塵濃度と境界面に直交する風速成分の積の総和として求めた。図より、冷房期において扉の開閉が無い場合では、全流出粉塵量が 0.377 mg と推算されたが、冷房期において扉の開閉が有る場合では、0.096 mg と全流出粉塵量が 1/4 程度に抑えられている。これは、扉の開閉が有る場合において両室間に生じた差圧に起因した瞬間的な非喫煙空間側の新鮮空気の流入により、喫煙空間側境界面近傍の粉塵濃度が低下するため考えられる。次に、扉の開閉が有る場合の冷房期および暖房期と比較すると、冷房期ではマネキン通過に伴うピークが見られるのに対し、暖房期では扉の開放に伴うピークおよびマネキン通過に伴うピークの 2 つが観察される。さらに、全流出粉塵量で比較した場合、0.636 mg と冷房期の 6.5 倍程度となっている。これは、前述の暖房期における温度成層の発達に伴う境界面における風速の乱れによるものであると考えられる。

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前報²⁾と同様の試験室を用いて、スライド式のガラリ付き扉の開閉がある条件で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) 冷房期において扉の開閉がある場合、扉の開放とともに非喫煙空間側の清浄空気が瞬間的に流れ込み、喫煙空間側境界面近傍の粉塵濃度が低下するため高い分煙効果が得られる。
- 3) 暖房期においては冷房期と比べ温度成層が発達しやすいため、喫煙空間側天井部に高濃度の粉塵が滞留し、低境界風速時の分煙が困難になる場合がある。
- 4) 暖房期でも、通常の扉よりも開口の大きいガラリを使用し、ガラリの向きを上向きにすることにより、喫煙空間側境界面上部への高粉塵濃度の空気の滞留を阻止

低境界風速条件における空間分煙効果に関する研究(第2報)

できるため、境界風速 0.15 および 0.1 m/s の低境界風速条件下においても一定の分煙効果が得られる。

- 5) CFD の解析により、冷房期および暖房期の扉開放時の粉塵濃度の時間変化を定性的に再現できた。

注

標準 $k-\epsilon$ モデルはレイノルズ平均を利用して導出されたモデルであるため、厳密に非定常の乱流現象を捉えるためには LES や DNS を使用する必要がある。しかし、シミュレーションの利用目的を以下のように限定すれば非定常 RANS を用いた解析についても有用性があると考えられる。

- i) 目的が比較検討である点

本論文の数値計算の目的は、冷房期と暖房期の比較に着眼している。一つの結果について議論する場合には検証が重要になるが、本稿では両者の大局的な違いについてののみ議論している。

- ii) 両計算の移動物体条件が同じである点

冷房期、暖房期ともにドアの開閉、マネキンの移動条件は同じである。従って両者の違いは、基本的に温度成層の違いによって発生する。LES や DNS では微細な渦を非定常的に追跡できる優位性があるが、温度成層差によって駆動する流れは物体移動によって発生する流れと比べると複雑な乱流場ではないため、非定常 RANS でも追跡可能で

あると考えられる。なお、初期の成層場は定常解析で求めている。

- iii) 移動物体の細かな形状に着目していない点

本解析を LES や DNS で行う利点は、マネキンやドアまわりの流れがより精度良く追跡できる点にあるが、本稿では喫煙者を模擬するためにマネキンを利用しているため、マネキン形状の細部に着目していない。マネキン通過時のドアの開閉率とマネキンが空気に与える圧力抵抗を模擬できれば、大局的な流れ場は把握できると考え非定常 RANS を適用した。

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) 並木則和・宇田貴裕・鎌直樹：「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」，空気調和・衛生工学会論文集，No. 183(2012)，pp.59～65
- 3) 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 年 10 月 10 日 原稿受付)

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

Part 2—Dynamic Behaviors of Environmental Tobacco Smoke at the Interface when a Sliding Door with Louvers is Opened and Closed during the Cooling Period and the Warming Period

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

Key Words: ETS, Isolation of Smoke, Interfacial Velocity, Sliding Door, Air Flow Control Dynamic Behavior, Numerical Analysis

Synopsis: In recent years, passive smoking by non-smokers in workplaces has been a critical issue. In our country, over 0.2 m/s of air velocity space between smoking and non-smoking zones has been regulated by guidelines for smoke isolation in workplaces. This study was aimed at investigating the influence of opening and closing a sliding door with louvers installed at the interface on the isolation of environmental tobacco smoke (ETS) at an interfacial velocity of less than 0.2 m/s. It was found

that a temporary ETS entry into the non-smoking zone due to the passage of a mannequin through the interface can be decreased by adopting a sliding door having a wide area coverage for upward louvers, although this countermeasure was less effective during the warming period than during the cooling period.

(Received October 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

