

喫煙室の換気設計の実態と汚染面積率による評価
**Actual situation of ventilation design and
evaluation using the contamination area ratio of smoking rooms**

○平田 怜 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学)
小林 知広 (大阪市立大学)

Satoshi HIRATA^{*1} Noriko UMEMIYA^{*1}

Tomohiro Kobayashi^{*1}

^{*1} Osaka city university

For smoking rooms assessed using a questionnaire survey, few smoking rooms have dust concentration lower than 0.15 mg/m³ in actual ventilation. 1)The area ratio of the dust concentration less than 0.15 mg/m³ in the ventilation calculated using the dust criterion exceeded 80%. 2)The ventilation determined using the smell criterion is not necessarily greater than the ventilation determined using the dust criterion because acetaldehyde does not spread more than dust. 3)A desirable air environment can be produced by increasing ventilation, creating a strong air current in the smoking rooms.

1. はじめに

喫煙による直接的・間接的健康障害に社会的関心が高まるなか2003年に健康増進法が施行され、わが国における成人男性の喫煙率は、ピーク時の1966年に83.7%であったものが2013年には20.9%まで減少している。若年層で特に著しく、ある大学の調査によると学生の喫煙率は8.4%にすぎない。喫煙者は今後も減少の一途をたどるものと予想される。一方、2010年には政府の新成長戦略の一貫として職場に全面禁煙か空間分煙のいずれかを義務づけられ、喫煙室の必要性は高い。そこで喫煙室の設計の実態を把握することは必要であるが、不明な点が多い。

2010年10月に喫煙室設計の経験を有する設備技術者を対象に、喫煙室の設計および設計者としての喫煙室に対する考え方についてのアンケート調査^{*1)}を空調・衛生工学会近畿支部役員および大阪市立大学研究室同窓会を通じて依頼し、配布と回収は電子メールにより行なった。事例については関西に限定しておらず、結果として、建築設備会社42、ゼネコン35、建築設計事務所10、官公庁2、合計89建物の事例を回収した。

そのアンケート調査から喫煙室の空調・換気機器や実際の喫煙室の換気能力等を分析した結果、喫煙室内における排煙機能が喫煙室内環境に大きく関わっていることがわかった。さらにアンケートから得られた喫煙室をCFD解析によって室内空気環境の実態や換気量の違いによる汚染物質の面積率、室内風速の分布等、換気設計の実態を明らかにした。

2. CFD解析による喫煙室の空気環境の検討

2.1 喫煙室の換気設計

良好な喫煙室内環境を保つためには、たばこが発生する煙や粉塵をいかに効率良く排気するかが重要である。たばこの煙、粉塵は発生と共に拡散し、喫煙室内に広がっていく。よって喫煙室の換気状況が室内環境の良し悪しに大きく影響をする。そこで換気量決定方法において実際に設定されている換気量が理論値換気量に及ばない喫煙室に対して流体解析を行ない、その設定した換気量で満たしており、汚染物質の拡散状況がどのようなか分析を行なった。

2.2 解析概要

アンケート調査結果から回収した喫煙室の中から、換気量の決定根拠が粉塵濃度である喫煙室3室、においてある喫煙室3室、風速である喫煙室3室を選出し、さらに根拠別に関わらず、ほぼ同程度の喫煙室の面積、容積で、1人当たりの換気量の値に差をつけたものである。(Fig. 1)

その9種類の喫煙室の実換気量での汚染物質の拡散状態の分布を分析するとともに、換気量を1000CMH、2000CMH、4000CMH、6000CMH、8000CMHと順に換気量を増やした状況でどの程度汚染物質が排気され、改善されるかを分析する。また喫煙室の機能や定員によってどれ程度換気量が必要であるかを決定する目安とする。評価に使用する指標は、粉塵根拠ではガイドラインの粉塵濃度0.15mg/m³以下とする。におい根拠では臭気強度を

Table.1 Smoking rooms

	Dust 1	Dust 2	Dust 3	Smell 1	Smell 2	Smell 3	Wind 1	Wind 2	Wind 3
Size	10	12	15	12	11	10	8	13	10
Volume	27	30	37.5	31.2	28.6	27	20	35.1	25
Capacity	10	8	7	10	6	2	4	8	5
Ventilation rate	20	30	40	25	30	40	5	30	40
Amount of ventilation	540	900	1500	780	858	1080	100	1053	1000
Ventilation per capita	54	112.5	200	78	143	540	25	131.625	200
Ventilation of the dust criterion	8000	6400	6000	8000	4800	1600	3200	6400	4000
Ventilation of the smell criterion	2380	1904	1785	2380	1428	476	952	1904	1190

Table.2 Analysis condition

Calculation code	CRADLE General purpose structured mesh thermal-fluid analysis system STREAM Ver.9
Analysis summary	Uncompressed, Turbulence, Stationary analysis
Initial condition	Room temperature 30°C, Outside temperature 30°C Individual temperature 20°C
Turbulence model	Standard k-ε model
Boundary condition	i) Heat boundary : Heat transfer is ignored ii) Wall boundary : Smooth wall
Flow rate condition	i) Air conditioning : Supply : Wind speed 6.0m/s, Four inclinations of 45° to the ceiling 0.019m ² /s ² , ε=0.0005m ² /s ³ Suction : Quantity of flow 24.0m/s
Flow rate condition	i) A wall ventilation fan : Internal radius : 30cm Amount of ventilation, Ventilation rate are on Table. 3
Diffusion of taining material	Buoyancy and molecular diffusion are ignored. Calculation of advective or turbulence diffusion.
Generation of dust	15 mg /one tobacco × 8 tobacco /h=120 mg/h= 0.033 mg/s
Human model	Body surface area : 1.7 m ² , Fixed temperature : 37°C Smoking at the height of 1.4m.

Table.3 Odor intensity

Odor intensity	Content	Acetaldehyde concentration [ppm]
0	Odorless	—
1	Detectable smell (Detection threshold concentration)	0.002
2	Weak smell (Recognition threshold concentration)	0.01
2.5		0.05
3	Appreciable smell	0.1
3.5		0.5
4	Strong smell	1
5	Intense smell	10

Table.4 Beaufort wind scale

Wind scale	Wind speed [m/s]
0	0.0-0.2
1	0.3-1.5
2	1.5-3.3

能力が低く空気環境は悪い。また換気量 1000CMH でも濃い濃度の粉塵は残っており、4000CMH で濃度 0.15mg/m³以上が高さ 1.0m、1.4m とともに約 50%であり、粉塵根拠における理論値換気量 8000CMH で基準濃度以上の面積率は約 20%まで減少する。

2) 粉塵 2

粉塵 1 の喫煙室と比較して容積は同程度で換気量が約 1.7 倍の 900CMH で定員も 8 人と少ない。粉塵濃度は粉塵 1 よりは改善されているが、基準濃度以上の面積率は 20% 以下にするためには理論値換気量 6400CMH に近い、約 6000CMH が必要である。汚染面積率の推移は粉塵 1 と似ている。

3) 粉塵 3

換気量は他の喫煙室と比較して大きい値を設定しているが、1.0m、1.4m の高さでの粉塵濃度は粉塵 2 と喫煙室とほとんど変わらない。

換気量 2000CMH、高さ 1.4m での基準濃度 0.15mg/m³ 以上の面積率が 61.8%であり、汚染物質はまだ多い。4000CMH に換気量を増加させると高い粉塵濃度の領域は喫煙者の口付近のみで、約 5000CMH で基準値以上の汚染面積率は 20%を下回る。理論値換気量の 6000CMH での汚染面積率は 12.6%である。

4) におい 1 (Fig.3, 4)

臭気強度分布は喫煙室内の大半を臭気強度 2 以上

用い、たばこ煙の代表臭気としてアセトアルデヒドを設定する。(Fig. 3) さらに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) 以下とする。風速根拠では世界気象機構の定めるビューフォート風力階級を使用し、風力階級 1 以下すなわち風速 1.5m/s 以下の室内風速を許容範囲とする。(Fig. 4) さらに汚染物質の面積率の推移も比較する。

2.3 解析結果

2.3.1 汚染物質濃度分布と汚染面積率分布

1) 粉塵 1 (Fig.1, 2)

1.0m 1.4m のどちらの高さでも粉塵が広がっている。喫煙室内の粉塵濃度で 0.15mg/m³ 以下を満たしている領域はなく、高さ 1.4m では粉塵濃度 0.5mg/m³ 以上が大部分を占めている。選出した喫煙室の中でも換気量は 540CMH と少なく、定員が 10 人と多い事例であるため、喫煙室内の粉塵濃度は高い。喫煙室の排気設備が換気扇のみのため喫煙室内の空気が換気扇方向に集中し、換気扇を設置している側で喫煙している人は特に周囲の粉塵濃度が濃く、粉塵は拡散している。実換気量で粉塵濃度 0.5mg/m³ の面積率は高さ 1.0m と 1.4m の両方で約 70%を占める。現状では換気

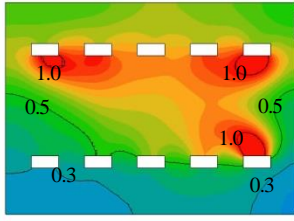


Fig. 1 Dust 1
Dust concentration distribution (height 1.0m)

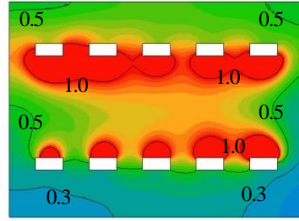


Fig. 2 Dust 1
Dust concentration distribution (height 1.4 m)

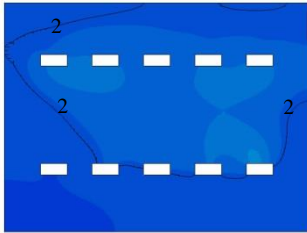


Fig. 3 Smell 1
Odor intensity distribution (height 1.0m)

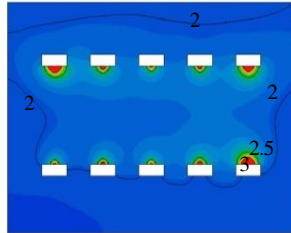


Fig. 4 Smell 1
Odor intensity distribution (height 1.4m)

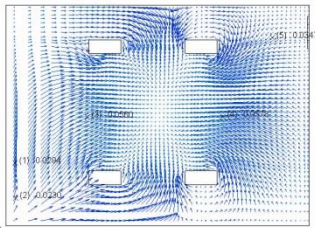


Fig. 5 Wind 1
Wind speed distribution (height 1.0m)

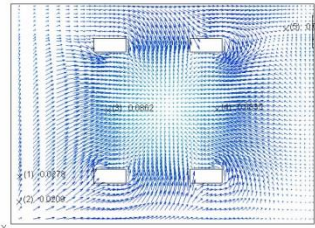


Fig. 6 Wind 1
Wind speed distribution (height 1.4m)

の濃度のアセトアルデヒドが拡散している。実換気量 780CMH で高さ 1.4m において臭気強度 2 以上の汚染面積率は 60% であり、現況では良好な空気環境とは言えない。さらに 2000CMH では臭気強度 2 以上の面積率は 32.3%、4000CMH では 7.7% まで減少する。理論値換気量において粉塵濃度では 8000CMH と大きい換気量が必要だが、においを根絶の換気量決定方法には比較的小さい換気量でも可能であることが言える。

5) におい2

喫煙者周辺に臭気強度 2 の分布がみられ、においは感じる。しかし喫煙者の後方や喫煙室の隅まで広がっておらず、その領域は臭気強度 2 以下であるため喫煙者周辺を除く位置ではあまりにおいは感じられない。実換気量 858CMH で臭気強度 2 以上の汚染面積率は 21.2% であり、1000CMH で臭気強度 2 以上の汚染面積率は 14.4% である。理論値換気量は 1428CMH であり、1000CMH で問題はない空気環境であると考えられるが、良好な空気環境と定義した臭気強度 1 が広く分布するには大きな換気量が必要で、におい 1 の喫煙室では換気量を 8000CMH まで増加させても臭気強度 1 以上の汚染面

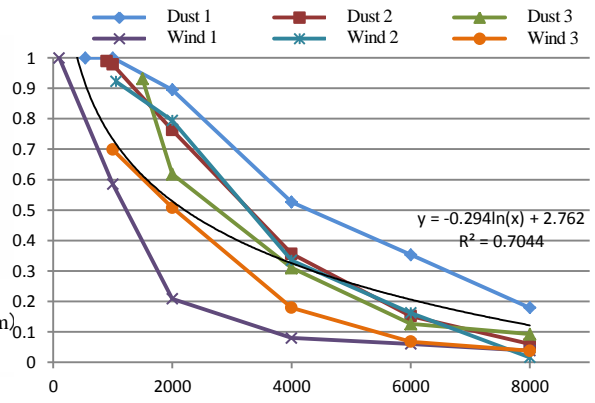


Fig.7 The area ratio of the dust concentration more than 0.15 mg/m3

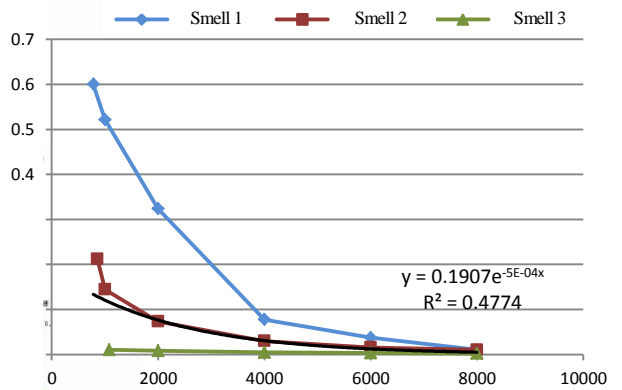


Fig.8 The area ratio of the odor intensity more than 2

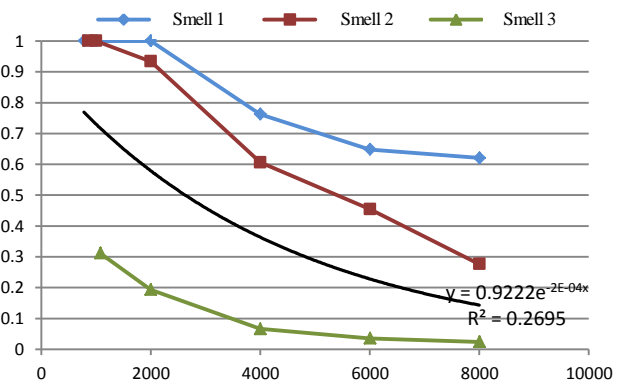


Fig.9 The area ratio of the odor intensity more than 1

積率は 60% 以上を超える。

6) におい3

定員が 2 人であり発生するアセトアルデヒドが少ないかつ 1 人当たりの換気量が 540CMH と大きく、喫煙者の周囲は臭気強度 1 以上であり、においは感じない。実換気量 1080CMH の換気量で臭気強度 2 以上の汚染面積率は 1%、臭気強度 1 以上の面積率は 68.8% で空気環境は良い。

7) 風速 1 (Fig.5, 6)

出入り口付近の風速は約 0.02m/s であり、ガイドラインで定める 0.2m/s の 10 分の 1 しかなくほぼ無風状態である。この条件では換気回数が少なく、粉塵が出入り口付近にまで拡散することから出入りを行う際の戸

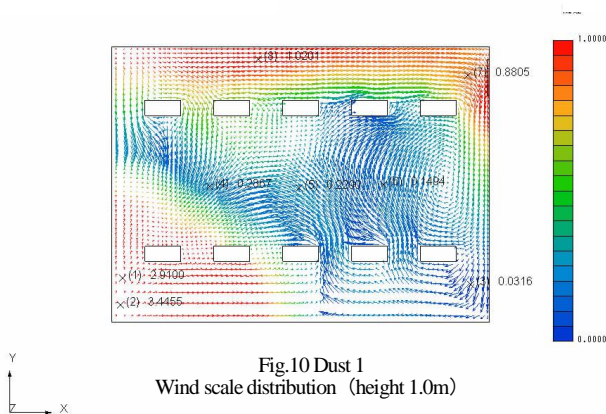


Fig.10 Dust 1
Wind scale distribution (height 1.0m)

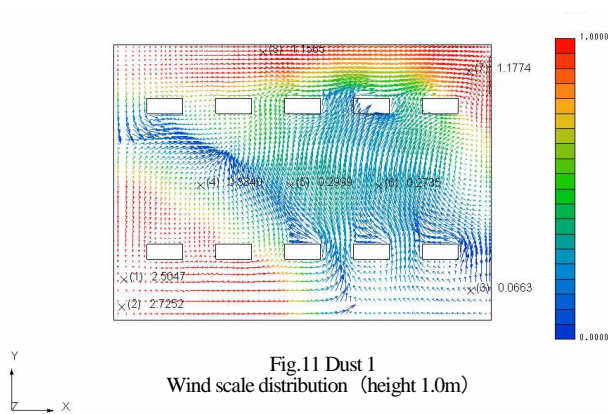


Fig.11 Dust 1
Wind scale distribution (height 1.0m)

の開閉によって喫煙室内の汚染物質が室外に漏れ出る可能性がある。

換気量 2000CMH までは粉塵濃度 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の汚染面積率は急減し、2000CMH 以降は緩やかになる。この喫煙室の換気量が 100CMH で換気回数が 5 回と少ないにも関わらず、他と比較して粉塵濃度の高い領域の面積率が小さかったのは定員が 4 人で粉塵発生絶対量が少ないためだと考えられる。

8) 風速 2

出入口付近の風速は $0.2\text{m}/\text{s}$ を超えるため入退室時における煙の流出はないと考えられる。粉塵 2 の喫煙室と容積、定員、換気量ともに同程度であるため汚染面積率の推移は以ており、理論値換気量も 6400CMH と同値でありその換気量での粉塵濃度 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の汚染面積率は 13.6% と少ない。

9) 風速 3

高さ 1.4m の出入口付近の風速は $0.27\text{m}/\text{s}$ で、高さ 1.0m では $0.15\text{m}/\text{s}$ ほどで基準より下回る。実換気量の 1000CMH での粉塵濃度 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の汚染面積率が 30.1% で少ないが、良好な空気環境であるとは言えない。換気量 2000CMH では粉塵濃度 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の面積率は 50.8%、4000CMH では 17.9% まで減少する。

3. 結論

オフィスビルのビルオーナーや喫煙室の設計を有する設備設計者を対象に喫煙室の必要性や喫煙室に対する考えのヒアリング調査、喫煙室の設計経験を有する設備設計者を対象にアンケート調査を行った。その回答から喫煙室の詳細や換気設計方法の分析し、室内空気環境の実態や換気量の違いによる汚染物質の面積率や室内風力の推移を CFD 解析から以下のことを明らかにした。

- 1) ガイドラインの基準である粉塵濃度 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ の領域を喫煙室内の全てにおいて満たすことは非常に困難な事であり、同じくガイドラインに記載されている換気量算出方法では非常に大きい換気量が必要である。
- 2) 換気量が増加すれば室内の粉塵は排気され、粉塵根拠で算出される換気量での基準値 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以上

の汚染面積率は比較した喫煙室 6 室全てにおいて 20% 以下にまで減少する。

- 3) 喫煙人数が多いほど汚染物質発生量が大きいため、喫煙室内を良好な空気環境にするためにはそれだけ大きな換気量が必要であり、採用すれば汚染物質は排気されるが換気量大きい分、喫煙室内に最大で $4.0\text{m}/\text{s}$ の強い風を感じる。
- 4) その状況下で喫煙することが現実的でないため根拠別で算出される換気量を実際に採用することは難しく、汚染物質をできるだけ排除し、風邪を感じないほどの換気量に設定する工夫が必要である。
- 5) におい根拠で換気量を決定する場合、アセトアルデヒドは粉塵ほど拡散しないため粉塵根拠よりもはるかに小さい換気量で十分である。臭気強度 1 の良好な空気環境化下にするには粉塵根拠から算出した換気量と同程度必要である。

謝辞

本研究は、空気調和・衛生工学会近畿支部・中小建物 EM 研究会の活動成果の一部である。今回のアンケート調査にあたってはご多忙の中、設備設計者の方々には多くの貴重なご回答をいただいた。さらに EM 研究会の方々にも多くの助言を戴くなど、ご協力をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 平田怜ほか：中小ビルの空調設備エネルギーマネジメントのためのアンケート調査(その 5)、空・衛・近論文集 pp.225-228、2011 年
- 2) 畑康介ほか：喫煙室における現状と問題点—建物オーナーを対象としたヒアリング調査—、空・衛・近論文集 pp.229-232、2011 年
- 3) 川本遼平ほか：喫煙室の設計とエネルギーマネジメント—設備設計者を対象としたアンケート調査—、空・衛・近論文集 pp.233-236、2011 年
- 4) 大阪市立大学： 学生生活実態調査 2010 年
- 5) 厚生労働省：効果的な分煙対策を行うための留意事項
- 6) 国土交通省：建築設備設計基準
- 7) 赤林ほか：「オフィスビルを対象とした換気効率に関する研究 その 1」日本建築学会計画系論文集 第 516 号、pp.39-46、1999 年 2 月
- 8) 空気調和・衛生工学会、第 14 版 空・衛工学便覧 3. 空気調和設備編、2010 年 2 月
- 9) 近藤ほか：「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 年 9 月
- 10) 社団法人 日本空気清浄協会編「室内空気清浄便覧 第 5 章 室内空気汚染物質濃度構成機構」、pp.140-147、2000 年 8 月 25 日