

大学キャンパス喫煙室内の粉じん濃度日変化と喫煙室周辺濃度分布

内田 美穂* 鈴木 昴** 林田 義伸** 東平 拓也**

Distribution of particulate matter in and near smoking rooms on a university campus

Miho UCHIDA*, Subaru SUZUKI**, Yoshinobu HAYASHIDA** and Takuya HIGASHIDAIIRA**

Abstract

The concentrations of particulate matter in and near designated smoking areas constructed indoors and outdoors on a university campus were measured to assess the influence of passive and third-hand smoking. Near the outdoor smoking compartment, high particle concentrations were detected near the entry door and exhaust port. The fence that separated the smoking area prevented the diffusion of particles from the smoking compartment. Near the indoor smoking compartment, the particle concentrations near entry door and adjoining space were as high as or higher than near the exhaust port of the outside compartment. An outdoor smoking compartment and area designed to prevent cigarette smoke from diffusing can reduce the influence of passive smoking. The particle concentrations in the smoking compartment were measured for 24 hours continuously. At night (20:00–8:00), in the absence of smokers, low particle concentrations were detected continuously. The particle concentration at night tended to be high when the daytime (8:00–20:00) concentrations were high. Residual particles were still present in the designed smoking compartments in the absence of smokers, *i.e.*, third-hand smoke would still be present.

1. はじめに

喫煙は、喫煙者本人への様々な健康影響(能動喫煙) [1]だけでなく、喫煙者のたばこから立ち昇る煙や喫煙者が吐き出す煙に含まれる有害物質を喫煙者の近くで過ごすことにより吸引してしまう受動喫煙の健康影響も問題となっている[1]。粉じんは吸入した場合の呼吸器への到達の程度により吸引性粉じん、咽頭通過性粉じん、吸入性粉じんに分けられる[2]。吸入性粉じんのなかでも、肺胞への到達率が50%にあたる粉じんは50%カット径が4 μm でPM₄と呼ばれ、じん肺の予防を目的として作業環境管理の対象とされている[3]。また、50%カット径が2.5 μm の粒子状物質は微小粒子状物質PM_{2.5}として高リスク吸入性粉じんと分

類される一方、大気常時監視項目に設定されている[4]。これらの粉じんは粒径の小ささ故に肺胞まで達し健康影響を引き起こす。日本において屋外大気環境は光化学オキシダント等の一部の項目を除いて改善されつつあるが、屋内の空気質環境は喫煙規制が遅れているため、たばこの煙による屋内の空気汚染が問題となっている[1]。たばこの煙は屋内での主な粒子状物質の発生源となっている[5,6]。

受動喫煙を防止するために、職場や公共空間での喫煙規制の法的な強化が必要となり、健康増進法の一部を改正する法律(平成30年法律第78号)が2018年7月25日に公布され、2019年1月24日より順次施行されている[7]。この施行を踏まえ、労働安全衛生法(第68条の2)による事業者が実施すべき事項を一体的にまとめた「職場における受動喫煙防止のためのガイドライン」[8]が2019年7月1日に策定された。

2019年12月2日受理

* 環境エネルギー学科 教授

** 環境エネルギー学科 学生

また、ガイドライン策定に先がけ、職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会による報告書[9]が作成され、各事業場において、効果的に受動喫煙防止対策に取り組むための、工学的・技術的な対策手法が検討された。

「健康増進法の一部を改正する法律」の基本的な考え方の1つに、施設の類型・場所ごとに対策を実施する、とある。大学を含め学校は「第一種施設」に該当し、「原則敷地内禁煙」とされている。これらの施設では、喫煙をすることができる場所である特定屋外喫煙場所を設置する場合は一定の技術的基準を満たす必要がある。

東北工業大学では2014年度八木山キャンパスに屋内喫煙専用室が設置された。また、2015年度には長町キャンパスに別建屋の喫煙所が設置された[10]。(これらの喫煙場所は前述の「健康増進法の一部を改正する法律」公布を前に2019年6月30日をもって廃止された。)2017年度には八木山キャンパスの屋外に設置されていた開放型の喫煙場所が廃止され、隣接する位置にパーティション付の別建屋の喫煙室が設置された。

そこで本研究では、屋内喫煙専用室及び屋外専用喫煙室の各周辺における受動喫煙の影響を評価するため、粉じんをマーカーとしてたばこ煙の拡散状況を調査した。

また、たばこを消した後も衣服や室内に残留する化学物質を吸入する三次喫煙(残留受動喫煙)[11]も新たに問題となっており、長時間の室内でのたばこの煙による影響を把握する必要があると考えられる。前述の「職場における受動喫煙防止のためのガイドライン」別紙2の「技術的基準を満たすための効果的な手法等の例」の中で喫煙室内でのたばこ煙成分の壁への付着についての維持管理に関して言及されている[8]。本研究では、長時間の喫煙室内でのたばこの煙による影響を把握する目的で、喫煙専用室内で喫煙者在室/不在の状況下でのたばこの煙/残留煙の状況を粉じんをマーカーに調査した。東北工業大学八木山キャンパス内の専用喫煙室で粉じん濃度の24時間測定を行い、1日を通しての粉じん濃度の変化を調査し、捕集される粉じんの形態観察を行い、その性状を評価した。

2. 調査方法

2.1 調査場所

東北工業大学八木山キャンパス9号館南西に別建屋で設置された屋外喫煙室、4号館内の入り口付近に設置された屋内喫煙室、および各喫煙室周辺で測定を行った。

9号館脇喫煙室とその周辺の平面図及び測定地点を図1に示す。

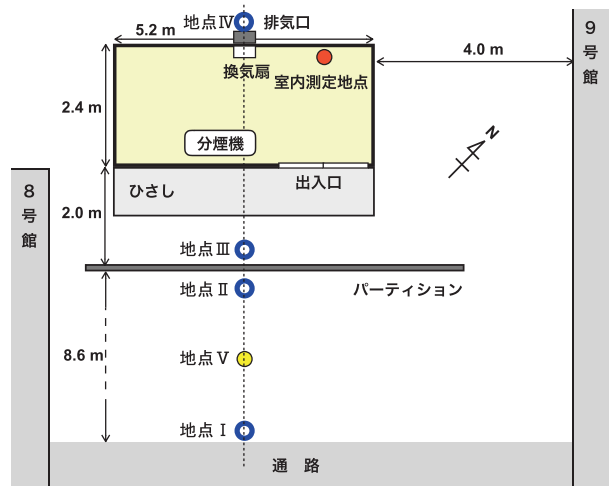


図1 9号館脇屋外喫煙室とその周辺の平面図

喫煙室内の粉じん濃度測定と捕集は出入口反対側の壁面付近(図1●地点)でおこなった。喫煙室内には分煙機と灰皿が設置されている(図2(a))。また壁面上部に屋外排気装置として換気扇が設置されている。8号館と9号館を接続する通路側から喫煙室を見る(図2(b))と喫煙室の南東側には喫煙室と非喫煙エリアを区切るパーティションが設置されている。また、喫煙室出入口と反対側(北西側)には喫煙室の屋外排気装置の排気口(図2(c))がある。喫煙室北西側は石垣で土盛りされ、南西側にはコンクリート壁があり、喫煙室の出入口がある南東方向以外は人の往来がないエリアとなっている。



図2(a) 9号館脇喫煙室内部と粉じん濃度測定・捕集地点



図 2(b) 9号館脇喫煙室周辺(通路側)と粉じん濃度測定地点

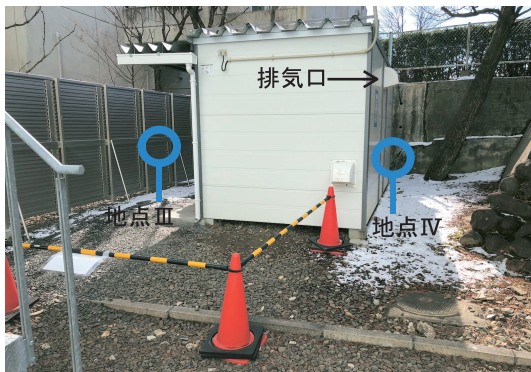


図 2(c) 9号館脇喫煙室周辺(裏側)と粉じん濃度測定地点

喫煙室からの粉じんの拡散状況を見るために、喫煙室周辺の測定は図 1,2 の I~IV 地点の 4 地点で行った。

- 地点 I : 9号館と8号館間の通路脇
- 地点 II : パーティションの通路側
- 地点 III : 喫煙室出入り口とパーティションの間
- 地点 IV : 喫煙室裏にある排気口付近

4号館屋内喫煙室とその周辺の平面図及び測定地点を図 3 に示す。

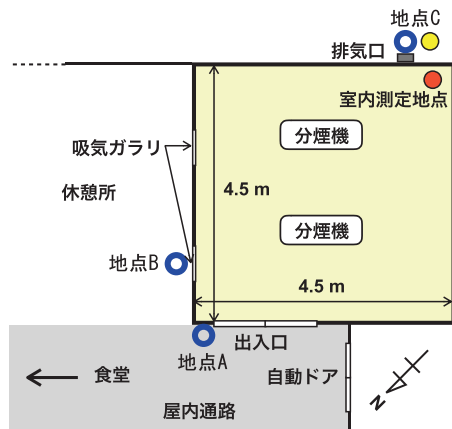


図 3 4号館屋内喫煙室とその周辺の平面図

喫煙室内の粉じん濃度測定と捕集は出入口と対角側の壁面付近(図 3 ● 地点)でおこなった。喫煙室内には、天井にダクト式換気扇が 2 台、分煙機、吸気ガラリといった、喫煙室内のタバコの煙や空気を吸引するための設備が設置されている(図 4(a))。喫煙室の出入口は食堂へ通じる 4 号館屋内通路に面している。喫煙室と壁をへだてて、休憩スペースが隣接している(図 4(b))。喫煙室出入口から屋内通路を介して自動開閉式の 4 号館出入口がある。喫煙室外、4 号館屋外壁面に排気口が設置されている(図 4(c))。喫煙室周辺の測定は図 3,4 に示す A~C 地点の 3 地点で行った。

- 地点 A : 喫煙室出入口付近
- 地点 B : 喫煙室横休憩所(吸気ガラリ外)
- 地点 C : 喫煙室屋外排気口下



図 4(a) 4号館喫煙室内部と粉じん濃度測定・捕集地点



図 4(b) 4号館喫煙室周辺(屋内通路側)と粉じん濃度測定地点



図 4(c) 4号館喫煙室周辺(屋外)と粉じん濃度測定地点

2.2 調査日時

各喫煙室及び周辺において次の日時に調査を行った。

(1) 喫煙室周辺

(a) 八木山キャンパス 9 号館脇喫煙室

2017年7月14日, 9月27日, 10月25日, 11月10日, 11月17日, 11月24日, 12月7日, 12月14日

(b) 八木山キャンパス 4 号館喫煙室

2017年7月13日, 10月4日, 11月8日, 11月15日, 11月22日, 12月6日, 12月13日, 12月15日
両喫煙室とも, 昼休み(12:00~13:00)の時間帯に調査した。

(2) 喫煙室内

(a) 八木山キャンパス 9 号館脇喫煙室

2018年7月17日, 7月24日, 10月3日, 10月9日, 11月20日, 11月26日, 11月29日

(b) 八木山キャンパス 4 号館喫煙室

2018年7月4日, 7月31日, 8月27日, 9月26日, 12月11日, 12月12日, 12月17日
両喫煙室とも粉じんの 24 時間連続測定, 捕集を行った。測定開始時間は統一していないが, 概ね 10:00~14:00 の時間帯に開始した。

2.3 測定方法

(1) 粉じん相対濃度

光散乱方式デジタル粉じん計 (KANOMAX 3442) を用いて相対濃度 (CPM; count per minute) 測定した。吸引口を天井向きに, 高さ約 1m の位置に設置した。測定は喫煙室周辺については 1 サイクル 2 分, 10 分毎に行った。喫煙室内については 1 サイクル 5 分, 24 時間 (288 回) 連続測定した。

(2) 粉じんの捕集

喫煙室内に多段平行板式分級装置 (SIBATA C-30 型) を吸引口に取り付けたローボリウムエアサンプラー (SIBATA SL-30N 型) を設置し, 流量 30L/min で喫煙室内空気を 24 時間連続吸引した。この条件において 10 μ m 以上の浮遊粒子は 100% カットされて吸引される。粉じん捕集には直径 55mm のテフロンバインダーガラス繊維フィルター (T60A20) を用いた。捕集前後のフィルター質量を, 精密電子天秤 (SHIMADZU AUW120D) を用いて 0.01mg 単位で測定し, 捕集前後の質量差を捕集粉じん質量とした。

(3) 室内外環境

喫煙室内外の気温等の環境測定を気象観測計

(Kestrel, Pocket Weather Tracker Kestrel 4500, 5500) を (風向測定時は風向測定用ウインド・ベインを取り付け) 行った。

(a) 喫煙室周辺

9 号館脇喫煙室について地点 V, 4 号館喫煙室について地点 C で, 気温, 相対湿度, 気圧, 風向, 風速を 10 分毎に測定した。

(b) 喫煙室内

各喫煙室内で気温, 相対湿度, 気圧を 24 時間粉じん測定開始時に測定した。

(4) 利用者数

喫煙室周辺測定時に, 12:00~13:00 までの喫煙室入退室者数を目視で計数し, 10 分毎及び 1 時間の利用者数を求めた。

2.4 分析方法

(1) 質量濃度変換係数 (K 値)

相対濃度計による相対濃度測定値と捕集粉じん質量から質量濃度変換係数 (K 値) を計算した。K 値 [mg/(m³·CPM)] は, 捕集した粉じん質量 [mg] を吸引大気の体積 [m³] [大気吸引流量 [m³/min] に吸引時間 [min] を乗じて算出] で割り, さらに平均相対濃度 [CPM] で除して計算した。通常 K 値は相対濃度測定値から質量濃度を算出するために用いられるが, 本研究では粉じんの特性指標として, 粉じん 1 カウントあたりの質量濃度として次式で評価した。以下に K 値の計算式を示す。

$$K \text{ 値} [\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{CPM})] = \frac{\text{捕集した粉じん質量} [\text{mg}]}{\text{吸引流量} [\text{m}^3/\text{min}] \times \text{吸引時間} [\text{min}] \times \text{平均相対濃度} [\text{CPM}]}$$

(2) 採取粉じんの形態観察

フィルターに捕集した粉じんを光学顕微鏡 (OLYMPUS CX41) で明視野観察した。

3. 結果及び考察

3.1 喫煙室周辺濃度分布

(1) 測定日毎の変化

2017 年に八木山キャンパス喫煙室周辺の測定日毎の気象条件, 喫煙室利用者数, 喫煙室周辺の粉じん濃度を調査した。

9 号館脇屋外喫煙室周辺の気象条件を表 1 に, 地点 I~IV の粉じん濃度 10 分毎測定の平均値, 最高値及び最低値を図 5(a) に, 喫煙室利用者数(喫煙室

内、喫煙室外)を図 5(b)に示す。

表1 9号館脇喫煙室周辺測定日の気象条件

	7/14	9/27	10/25	11/10	11/17	11/24	12/7	12/14
天気	晴れ	晴れ	くもり	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
気温 [°C]	30	25	13	14	9	5	7	6
相対湿度 [%]	71	69	80	42	49	72	58	42
気圧 [hPa]	995	993	1003	1002	1003	997	1001	1002
風速 [m/s]	0.9	0.6	0.0	0.5	0.9	0.3	1.0	1.8
卓越風向	西北西	南	静穏	北北西	北西	南西	北西	北西

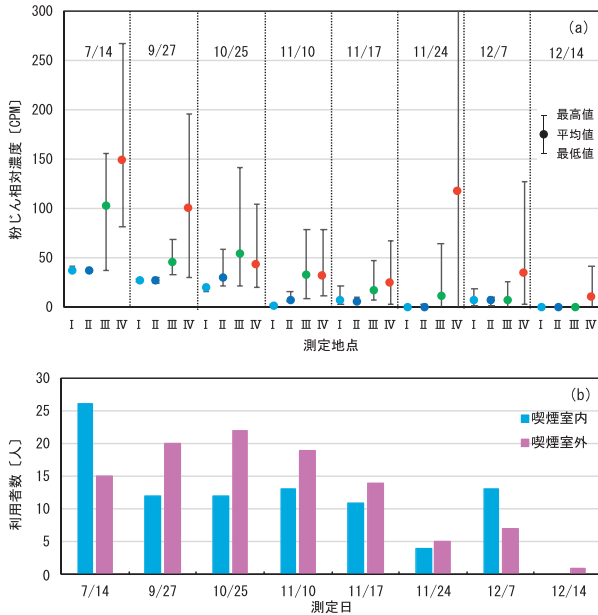


図5 9号館脇喫煙室 測定日毎の(a)周辺粉じん濃度、
(b)喫煙室内外利用者数

地点 I~IVのなかでは、喫煙室裏に設置された排気口下の地点IVの粉じん濃度が最も高い傾向にあった。次いで喫煙室出入口とパーティションの間の地点IIIが高かった。地点 I と II は各測定日ではほぼ同程度の濃度を示し、10月25日を除いて、地点IVの濃度の3分の1以下であった。また、濃度の平均値が高い程、測定された濃度の変動幅は大きい傾向があった。このことから、喫煙室から排気口、出入口を介して流出した粉じんは喫煙室周辺に拡散するが、喫煙室前に設置されたパーティションによりその拡散は抑制されると考えられる。測定時間帯の喫煙室の利用者は日により大きく変化し、1~41名であった。喫煙室外の利用者は喫煙室とパーティションの間の地点III付近で喫煙をしている場合が多かった。地点IIIの粉じん濃度と喫煙室外利用者数との間に相関はみられなかった。

4号館屋内喫煙室周辺の気象条件を表2に、地点A~Cの粉じん濃度10分毎測定の平均値、最高値

及び最低値を図6(a)に、喫煙室利用者数を図6(b)に示す。

表2 4号館喫煙室周辺測定日の気象条件

	7/13	10/4	11/8	11/15	11/22	12/6	12/13	12/15
天気	くもり	くもり	晴れ	晴れ	くもり	晴れ	くもり	くもり
気温 [°C]	27	17	16	13	10	5	2	7
相対湿度 [%]	86	48	64	60	48	45	64	49
気圧 [hPa]	993	1002	996	994	1004	1000	995	1006
風速 [m/s]	2.0	1.7	0.7	0.2	0.5	2.2	0.8	0.6
卓越風向	西北西	北東	北	北西	北	西北西	北西	北西

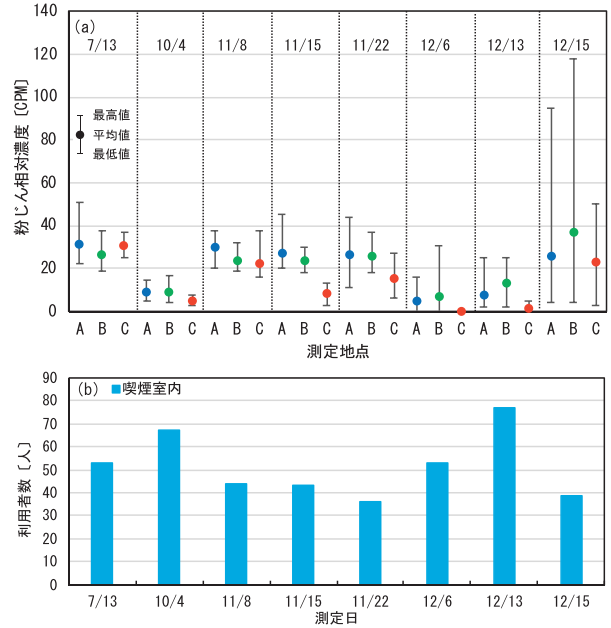


図6 4号館喫煙室 測定日毎の(a)周辺粉じん濃度、
(b)喫煙室利用者数

粉じん濃度は屋内の測定地点である地点AとBで同程度であった。屋外の測定地点Cは測定日よりA,Bと同程度か低い場合に分かれた。屋内においても喫煙室出入口から流出した粉じんが、出入口付近だけではなく、隣接するスペースまで拡散していたと考えられる。測定時間帯の粉じん濃度の変動幅は9号館脇喫煙室の地点III, IVと比較して小さかった。測定時間帯の喫煙室の利用者は36~77名であった。喫煙室利用者と粉じん濃度のとの間に相関はみられなかった。

(2) 時間変化

粉じんの喫煙室周辺への拡散状況を把握するために10分毎に各測定地点で粉じん相対濃度を測定した。一例として図7に11月10日の9号館脇喫煙室周辺の粉じん濃度、風速・風向、喫煙室利用者数、図8に11月8日の4号館喫煙室周辺の粉じん濃度、風速・風向、喫煙室利用者数を示す。

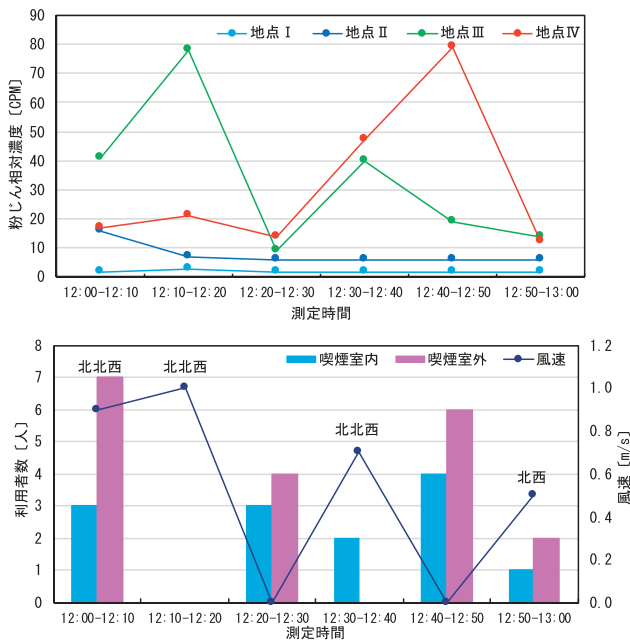


図7 9号館脇喫煙室周辺 粉じん相対濃度,風向・風速及び喫煙室利用者数, 2017年11月10日

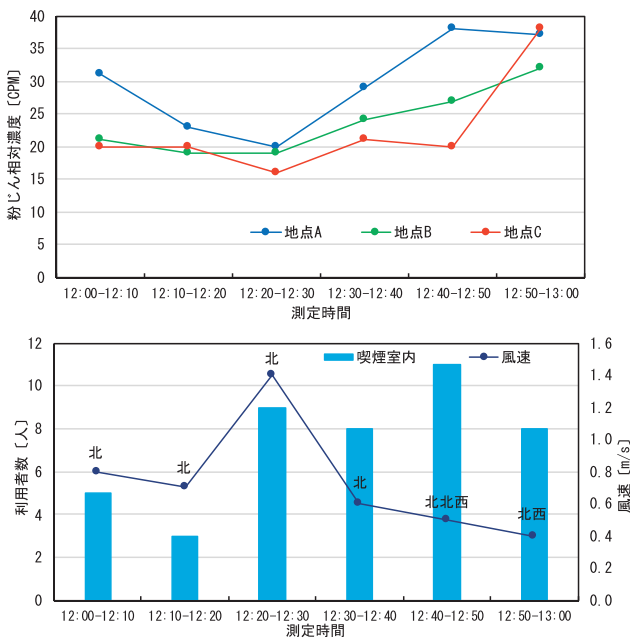


図8 4号館喫煙室周辺 粉じん相対濃度,風向・風速及び喫煙室利用者数, 2017年11月8日

図7より, 12:00~12:20までは地点Ⅲの粉じん濃度が最も高いが, 12:30以降は地点Ⅳの濃度が上昇した。地点Ⅰ, Ⅱは測定開始時を除いた測定時間内で10 CPMの以下の低い濃度を示した。間欠的に北北西~北西の風が観測された。これは, 喫煙室裏側からパーティション, 通路側に向かう風である。この方向からの風が吹くとき地点Ⅲでの粉じん濃度が上昇する傾向がみられた一方, 地点Ⅰ, Ⅱでの濃度上昇はみられなかった。このこと

から, 喫煙室から通路に向かう気流はパーティションにより遮られていたことが示唆される。また, 喫煙室内の利用者数は地点Ⅳ, Ⅲの粉じん濃度に, 喫煙室外の利用者は地点Ⅲの粉じん濃度に影響を与えることが予想されたが, 利用者数と粉じん濃度の変化に類似性はみられなかった。

図8より, 4号館喫煙室周辺では屋内の測定地点A, Bと屋外の測定地点Cにおいて粉じん濃度は類似した時間変化を示した。測定時間内で常時北~北西の風が観測された。これは4号館喫煙室から喫煙室裏手の排気口側へ向かう風である。風速が低下すると地点Cの粉じん濃度がやや上昇する傾向がみられた。また, 喫煙室の利用者数と各測定地点の粉じん濃度の変化に類似性はみられなかった。

喫煙室の利用者は日時により変化する。本調査条件における喫煙室利用者数と喫煙室周辺の粉じん濃度の関連性の有無を明らかにするために, 同時間帯の各喫煙室の利用者と喫煙室周辺の各測定地点における粉じん濃度間の相関を分析した。図9に9号館脇喫煙室周辺の粉じん濃度と(a)喫煙室内利用者数, (b)喫煙室外利用者数, (c)喫煙室内外利用者数の間の散布図を, (d)4号館喫煙室周辺の粉じん濃度と喫煙室内利用者数の間の散布図を示す。

9号館脇喫煙室の喫煙室内利用者数と各測定地点の粉じん濃度間(図9(a))の相関係数は, 地点Ⅰ; 0.420, 地点Ⅱ; 0.401, 地点Ⅲ; 0.638, 地点Ⅳ; 0.299であった。地点Ⅲのみ弱い正の相関がみられた。

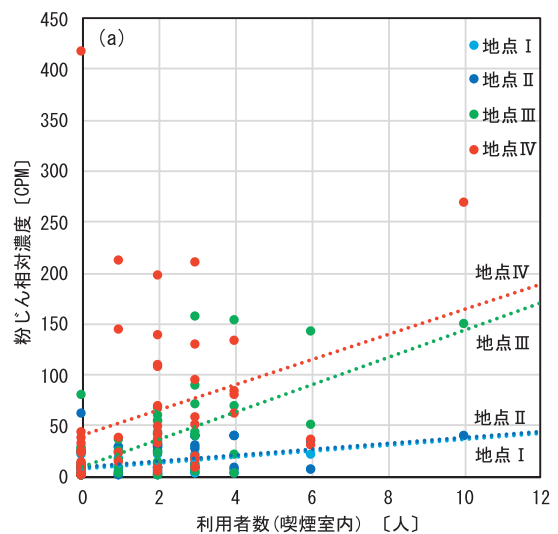


図9(a)9号館脇喫煙室の喫煙室内利用者数と喫煙室周辺の粉じん濃度の相関

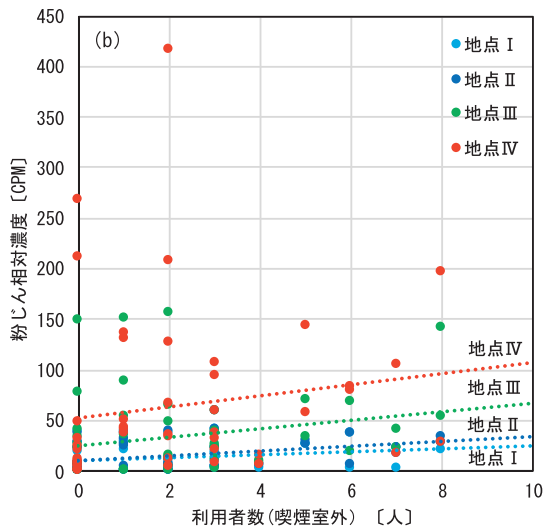


図9 (b)9号館脇喫煙室の喫煙室外利用者数と喫煙室周辺の粉じん濃度の相関

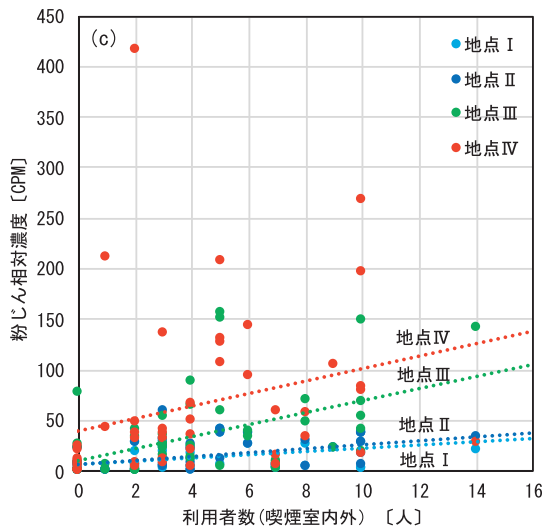


図9 (c)9号館脇喫煙室の喫煙室内外利用者数と喫煙室周辺の粉じん濃度の相関

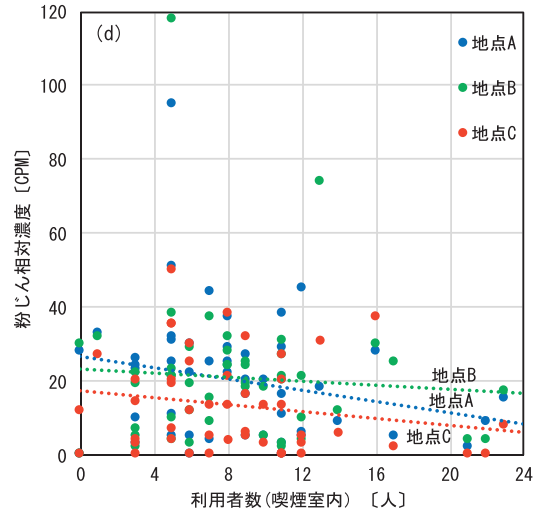


図9 (d)4号館喫煙室の喫煙室内利用者数と喫煙室周辺の粉じん濃度の相関

9号館脇喫煙室の喫煙室外利用者数と各測定地点の粉じん濃度間(図9(b))の相関係数は、地点I; 0.271,地点II;0.380, 地点III;0.226, 地点IV;0.155であった。同様に喫煙室内外利用者数との(図9(c))相関係数は、地点I;0.414,地点II;0.475, 地点III;0.507, 地点IV;0.270であった。

4号館脇喫煙室の喫煙室内利用者数と各測定地点の粉じん濃度間(図9(d))の相関係数は、地点A; -0.229,地点B; -0.075, 地点C; -0.186であった。

たばこ煙の発生源となる喫煙室利用者について、その数と喫煙室周辺の粉じん濃度との間には9号館脇喫煙室内利用者数と喫煙室出入口付近の粉じん濃度との間にのみ正の相関がみられた。これらの結果より9号館脇喫煙室については、前述の測定地点による粉じん濃度の傾向からも示唆されるように、喫煙室への入退出により粉じんは喫煙室外に流出するが、パーティションにより遮られ、通路側への拡散低減効果が見られた。4号館喫煙室については、非常に高濃度の粉じんの喫煙室外への流出は認められないものの、粉じんが屋内外へ一定量流出していることが確認された。

3.2 喫煙室内濃度日変化

2018年に八木山キャンパスに設置された屋外専用喫煙室内の24時間粉じん相対濃度測定及び捕集を行った。喫煙室内と比較するため4号館喫煙室に隣接する休憩所(図3)と主たる粉じん発生源の無い10号館内田研究室室内でも同様の測定を行った。表3に測定日時、粉じん累積相対濃度、粉じん捕集質量、室内環境(温度、相対湿度、気圧)の一覧を示す。

表3 喫煙室測定日時、粉じん累積相対濃度、捕集質量及び室内環境								
測定場所	9号館脇喫煙室							研究室
測定日	7/17	7/24	10/3	10/9	11/20	11/26	11/29	10/15
測定開始時刻	11:00	14:05	13:15	13:10	16:50	17:20	13:25	13:00
累積相対濃度 [CPM]	54270	74870	11339	18184	22468	5581	13916	366
捕集質量 [mg]	7.4	11.0	1.93	3.26	3.68	1.47	2.24	0.22
気温 [°C]	27	26	24	25	17	22	23	24
相対湿度 [%]	62	63	57	65	38	33	27	53
気圧 [hPa]	995	992	1004	999	1004	1009	1002	1001
測定場所	4号館喫煙室							休憩所
測定日	7/4	7/31	8/27	9/26	12/11	12/12	12/17	10/22
測定開始時刻	12:03	14:35	13:30	13:30	10:23	14:00	11:20	13:00
累積相対濃度 [CPM]	23929	37173	7693	34105	18837	13471	22361	1662
捕集質量 [mg]	3.9	6.0	1.65	6.02	2.44	2.06	2.95	0.71
気温 [°C]	29	30	28	26	19	24	21	24
相対湿度 [%]	57	67	64	62	34	32	34	32
気圧 [hPa]	988	990	998	1004	1016	994	990	1007

同一喫煙室において、粉じんの濃度、捕集質量は測定日より大きく変化した。累積相対濃度の変動係数は9号館脇喫煙室で83.3%、4号館喫煙室で43.3%であった。また、捕集粉じん質量の変動係数は9号館脇喫煙室で73.3%、4号館喫煙室で46.9%であった。4号館喫煙室と比較して9号館脇喫煙室のほうが測定日毎の粉じん濃度と捕集質量の変動が大きかった。

(1) 相対濃度の日変化

粉じん濃度は24時間の中で、時間帯により刻一刻と大きく変動していた。一例として、9号館喫煙室7月24日、4号館喫煙室7月31日の粉じん相対濃度の日変化を図10に示す。

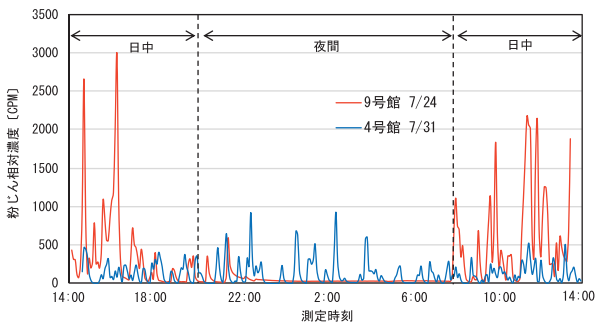


図10 9号館脇喫煙室(7月24日),4号館喫煙室(7月31日)の粉じん相対濃度の日変化

屋外一般環境ではほとんど観測されない100CPM以上の高濃度の粉じんが検出された時間帯は喫煙室により、その傾向が異なった。夜間も開放されている4号館喫煙室は、23:00から6:00かけて100CPM以上の粉じんが観測された。

一方、9号館脇喫煙室は、同時間帯は高濃度の粉じんは検出されず、9:00から17:00の間に1000CPM以上の非常に高濃度の粉じんが検出された。

また、喫煙室以外の場所で測定を行った結果、比較的人の出入りが多い4号館喫煙所脇休憩所で相対濃度の最高値が29CPM、人の出入りの少ない研究室で相対濃度の最高値が5CPMと喫煙室内と比較して粉じん濃度は非常に低かった。今回の測定から、昼休み時間(12:00~13:00)以外においても喫煙室周辺の粉じん濃度は喫煙室内と比較して低いことがわかった。

高濃度の粉じんが検出された時間帯は喫煙室により異なっていたので、残留受動喫煙の影響を調べるために24時間を喫煙室利用者が多い日中の時間帯8:00~20:00と夜間の時間帯20:00~8:00に分けて、測定日毎の粉じん濃度の変動幅を整理した。

図11に9号館脇喫煙室、図12に4号館喫煙室

の測定日毎の日中(8:00~20:00)、夜間(20:00~8:00)の各粉じん相対濃度の変動幅を示す。

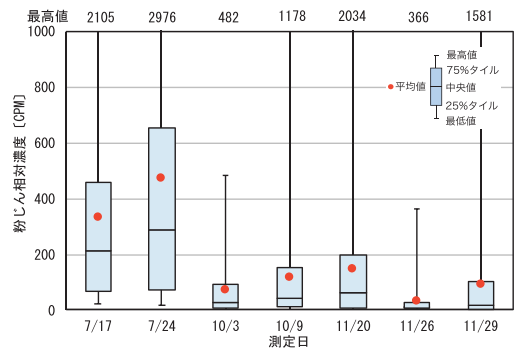


図11(a) 9号館脇喫煙室各測定日の粉じん相対濃度の変動幅 日中 8:00~20:00

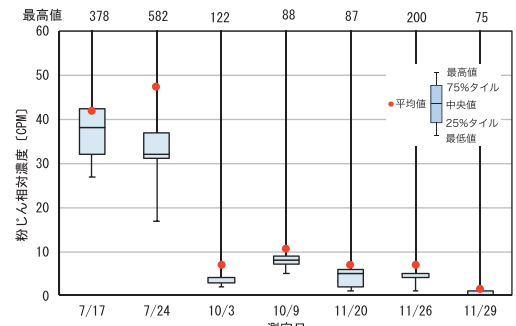


図11(b) 9号館脇喫煙室各測定日の粉じん相対濃度の変動幅 夜間 20:00~8:00

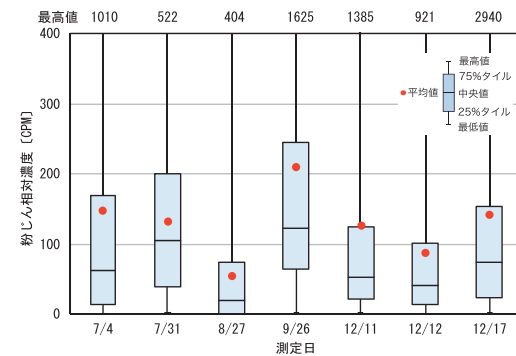


図12(a) 4号館喫煙室各測定日の粉じん相対濃度の変動幅 日中 8:00~20:00

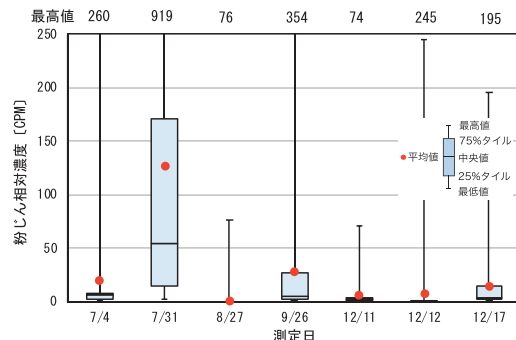


図12(b) 4号館喫煙室各測定日の粉じん相対濃度の変動幅 夜間 20:00~8:00

2つの喫煙室、2つの時間帯のいずれにおいても相対濃度の平均値が高い場合に、濃度の変動幅が大きい傾向がみられた。

同一喫煙室において時間帯による変動を比較すると、各喫煙室での8:00~20:00の時間帯（以下日中とする）と20:00~8:00の時間帯（以下夜間とする）を比較したとき、両喫煙室ともに日中の濃度に対して夜間の濃度は平均で1/10程度またはそれより小さい値を示した。また、濃度の変動幅も日中のほうが夜間よりも大きかった。

また、同一時間帯における2つの喫煙室の濃度変動を比較すると、日中は、授業が行われる時間帯（8:50~18:00）を含んでいるので、8号館や講義室のある9号館の近くに設置された9号館脇喫煙室で、1000CPM以上の高濃度の粉じんを検出した。また、4号館喫煙室も1000CPM以上を観測した日があった。4号館には食堂があるため、昼休憩の時間帯（12:00~13:00）に利用者が集中したためと考えられる。夜間は、喫煙室の利用者が少なく日中と比べると、相対濃度の最高値は約2000CPM以上低かった。夜間も開放されている4号館喫煙室は、深夜でも喫煙室利用者がいるため、23:00~6:00にかけて100CPM以上の濃度を観測した日が2日あったが、9号館では観測されなかった。粉じん濃度の変動幅は測定時間により異なっていることが分かった。9号館脇喫煙室と4号館喫煙室の日中の四分位範囲（25%タイルから75%タイルの間）は、9号館脇喫煙室が2CPM~654CPM、4号館喫煙室が0CPM~246CPMとなり、9号館脇喫煙室がのほうが四分位範囲が大きかった。また、夜間の四分位範囲は、9号館脇喫煙室が0CPM~42CPM、4号館喫煙室が0CPM~27CPM（7月31日は除く）となり、9号館脇喫煙室がのほうが四分位範囲が大きかった。

日中と夜間の粉じん濃度の変化を把握するために、粉じん濃度の階級別検出回数を整理した。一例として、日中の濃度の四分位範囲が最も大きい日（9号館脇喫煙室；7月24日、4号館喫煙室9月26日）の粉じん濃度階級別検出回数を図13,14に示す。9号館脇喫煙室において、日中検出された粉じん濃度は50CPM未満、300~400CPM、1000CPM以上の3段階にピークがあった。喫煙室の利用状況により検出された濃度にばらつきがあったと考えられる。特に50CPM未満の検出回数が最も多いが、喫煙室の利用者がいない時間帯と考えられる。

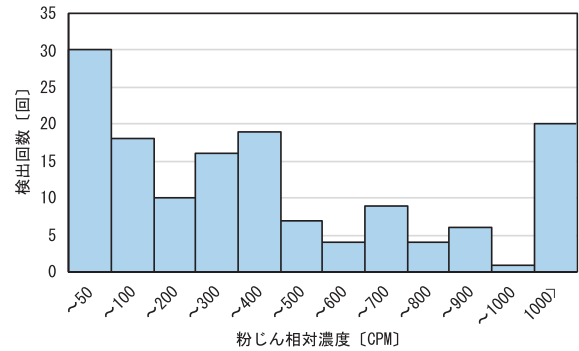


図13(a) 9号館脇喫煙室粉じん相対濃度階級別検出回数
7月24日 日中 8:00~20:00

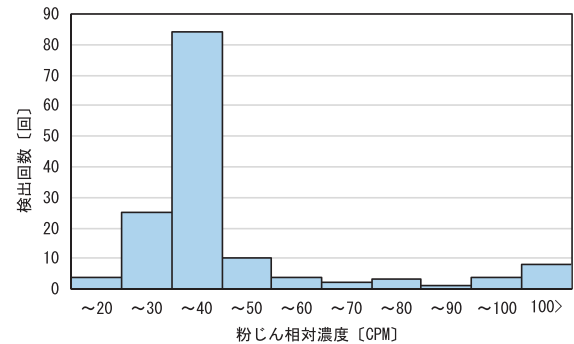


図13(b) 9号館脇喫煙室粉じん相対濃度階級別検出回数
7月24日 夜間 20:00~8:00

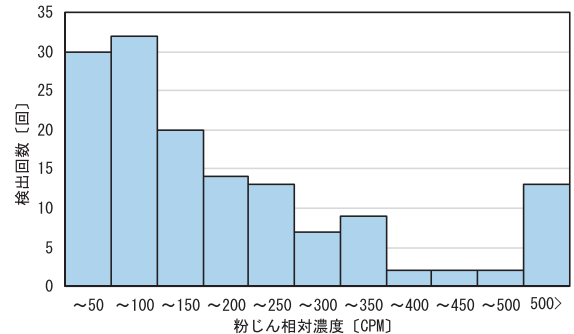


図14(a) 4号館喫煙室粉じん相対濃度階級別検出回数
9月26日 日中 8:00~20:00

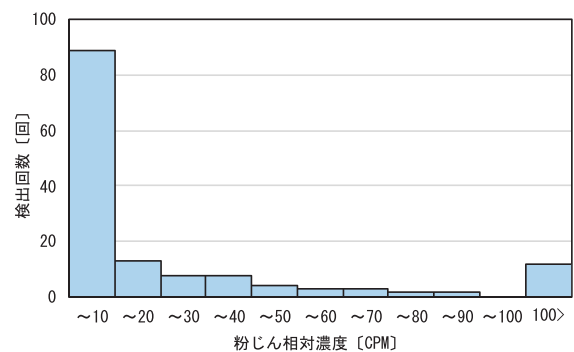


図14(b) 4号館喫煙室粉じん相対濃度階級別検出回数
9月26日 夜間 20:00~8:00

夜間については 30~40CPM の濃度の検出回数が最も多かった。日中の濃度の検出状況と併せて考えると、夜間は喫煙室の利用者はほとんどいないが、常時低濃度の粉じんが室内に存在していることが示唆された。

4号館喫煙室において日中は 100CPM 未満の比較的低い濃度と 500CPM 以上の高濃度側で検出回数のピークがみられた。9号館脇の喫煙室と比較して濃度の階級分布は低濃度側にシフトしている。夜間については 10CPM 未満の検出回数が全体の6割を占めるが、夜間の喫煙室利用者に起因すると考えられる 100CPM 以上の濃度の粉じんも 8%程度検出された。4号館喫煙室は9号館脇喫煙室よりも排気設備が多く[10]、喫煙室の粉じん濃度は日中、夜間ともに9号館よりも低濃度となっている。しかし、夜間においても 10CPM 未満であるが、低濃度の粉じんが継続的に検出され、その濃度は主たる粉じん発生源のない研究室（夜間平均濃度 1CPM）よりも高かった。

図 15 に各測定日の日中の平均相対濃度と夜間の平均相対濃度の散布図を示す。ただし4号館喫煙室7月31日については濃度変動から夜間の喫煙室利用が多数回あったと考えられ、残留粉じんの影響の評価には不適と考え除外した。

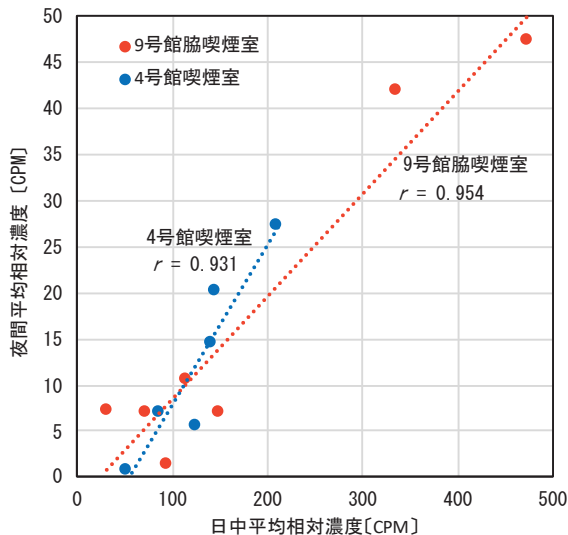


図 15 粉じんの日中平均相対濃度と夜間平均相対濃度の相関

日中平均濃度と夜間平均濃度との間には高い正の相関が見られた。相関係数は9号館脇喫煙室で 0.954、4号館喫煙室で 0.931 であった。日中の喫煙室の粉じん発生状況が、夜間の喫煙室利用者不在時における粉じん濃度-残留受動喫煙-に影響している可能性が示唆された。

(2) 相対濃度と質量濃度の傾向

本研究では光散乱方式の粉じん計による相対濃度の測定と併行して粉じんの捕集を行った。粉じん捕集質量は9号館脇喫煙室で 1.47~11.0mg、4号館喫煙室で 1.65~6.02mg であった。図 16 に各測定日の累積相対濃度と捕集質量の散布図を示す。

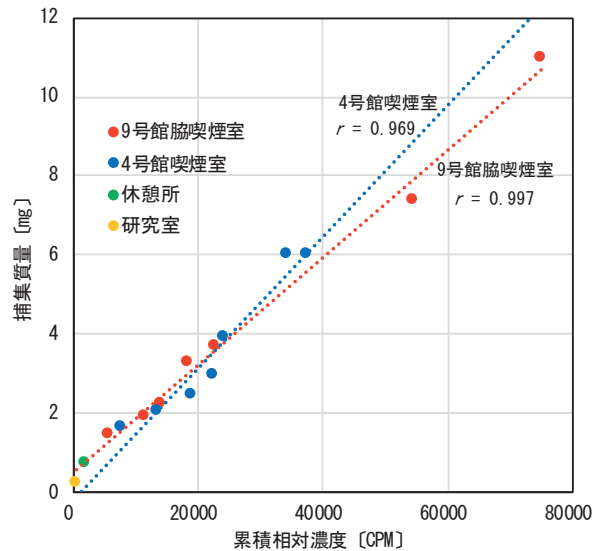


図 16 粉じんの累積相対濃度と捕集質量の相関

喫煙室2カ所ともに累積相対濃度と捕集質量は非常に高い相関を示した。相関係数は9号館脇喫煙室で 0.997、4号館喫煙室で 0.969 であった。また、休憩所及び研究室における同様の測定結果は9号館脇喫煙室の回帰直線の外挿線によく一致した。これらの結果から、光散乱により計数された粉じんと捕集された粉じんには非常に高い相関があり、喫煙室以外における粉じんも同様の関係が成立する可能性が示唆された。

粉じん濃度の測定においては通常、相対濃度と粉じんのフィルター捕集の併行測定から質量濃度を算出する。この時、相対濃度から質量濃度への変換に、粉じんの成分や粉じん計の種類により設定された K 値を用いる。本研究では K 値を粉じんの特性指標として、粉じん1カウントあたりの質量濃度として評価した。併行測定結果から算出された K 値は9号館脇喫煙室で $9.1 \times 10^{-4} \sim 1.8 \times 10^{-3} \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{CPM})$ 、4号館喫煙室で $8.6 \times 10^{-4} \sim 1.4 \times 10^{-3} \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{CPM})$ であった。7回測定の変動係数は9号館脇喫煙室で 22.2%、4号館喫煙室で 16.6%であり、9号館のほう測定日による K 値の変動が大きかった。

図 17 に各測定日の累積相対濃度と K 値の散布図を示す。

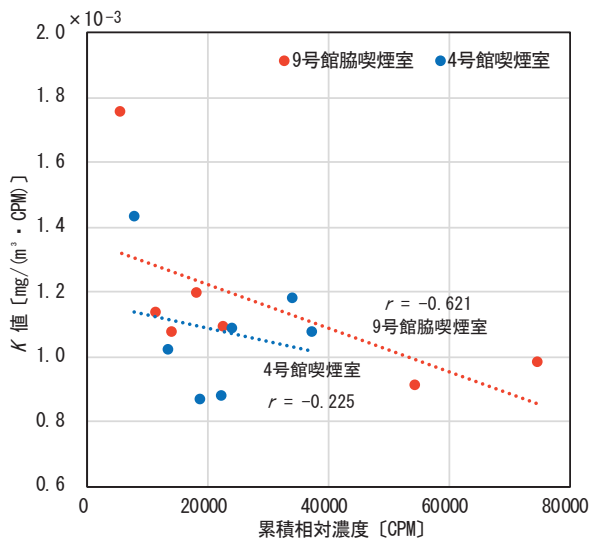


図 17 粉じんの累積相対濃度と K 値の相関

図 17 において両喫煙室ともに累積相対濃度と K 値の間の回帰直線は負の勾配を示した。両喫煙室ともに累積相対濃度が低い値の日は K 値が大きくなる傾向があった。K 値は相対濃度計で検出される粉じん 1 カウントあたりの質量濃度を表している。K 値が大きく累積相対濃度が小さい場合には、測定される粉じんの密度が大きいまたは平均粒径が大きいと考えられる。4 号館喫煙室での相関係数が-0.22 と小さかったのは、上述したように、様々な形態の粉じんが含まれていたため、それらの性質が複合的に影響したため、累積相対濃度と K 値との相関が低くなったためと考えられる。

今回使用した粉じん計と同型の粉じん計を用いて、たばこの主流煙と副流煙を直接測定した研究における K 値はそれぞれ 7.6×10^{-4} 、 $1.2 \times 10^{-3} \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{CPM})$ と報告されている[12]。本研究のデータを通常の K 値の定義で計算すると喫煙室の K 値は $8.6 \times 10^{-4} \sim 1.8 \times 10^{-3} \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{CPM})$ となり、既往の報告とよく一致した。

(3) 粉じんの形態観察

捕集した粉じんの形態観察を行った。図 18 に粉じん捕集後のフィルターの外観を示す。

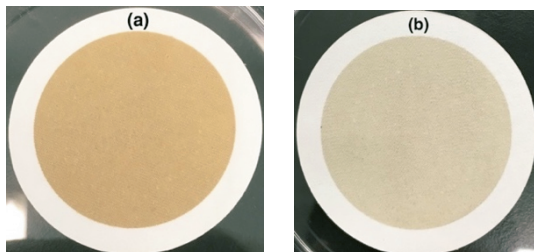


図 18 粉じんの捕集後のフィルターの外観 (a)9 号館脇喫煙室 7 月 17 日捕集(b)9 号館脇喫煙室 11 月 26 日捕集

図 18(a)は粉じん捕集質量が大きかった 9 号館脇喫煙室 7 月 17 日測定、(b)は K 値が最も大きかった 9 号館脇喫煙室 11 月 26 日測定の捕集後のフィルターである。フィルター全面が茶系色に着色していた。着色の色相、程度は測定日より異なっていた。

フィルター捕集粉じんの顕微鏡画像を図 19 に示す。

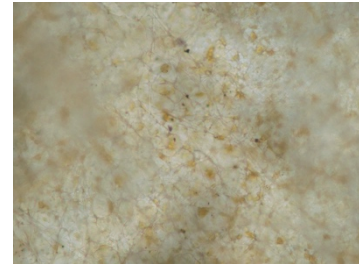


図 19(a) 捕集粉じんの顕微鏡画像 ×400
9 号館脇喫煙室 7 月 17 日捕集

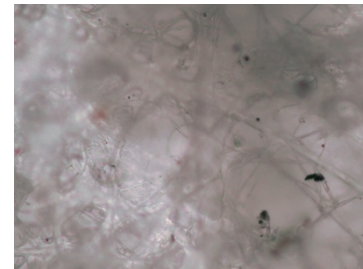


図 19(b) 捕集粉じんの顕微鏡画像 ×400
9 号館脇喫煙室 11 月 26 日捕集

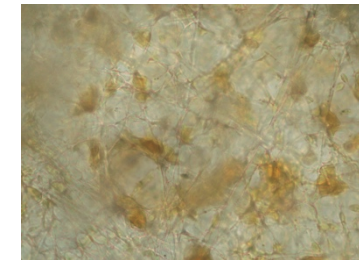


図 19(c) 捕集粉じんの顕微鏡画像 ×1000
9 号館脇喫煙室 7 月 24 日捕集

全てのフィルターで様々な形態の黒色の固体粒子が観察されたが顕微鏡観察で確認できる黒色の固体粒子の量は少なかった。同様の黒色粒子は喫煙室以外で捕集したフィルター上にも確認された。また、粉じんの捕集質量が大きい場合、図 19(a), (c)の画像中にみられる不定形の茶色い半透明の物質が多数観察された。これらの結果から、フィルター上に捕集された着色成分は固体粒子状物質ではなく、たばこ煙から拡散したガス状物質が凝縮したもの、またはミスト状物質であると

考えられる[13]。K値が大きかった測定日(11月26日)の捕集フィルターを観察すると、有色固体粒子が他の測定日より多く確認された。また、粒径の大きい粒子も確認された。このことから前項で考察したK値が大きい場合、測定される粉じんの密度が大きいかまたは平均粒径が大きいかと考えられる、という内容を支持する結果が得られた。

4. まとめ

大学キャンパス内に設置されている屋外専用喫煙室及び屋内専用喫煙室周辺におけるたばこ煙の拡散状況を粉じんをマーカーとして調査した。屋外喫煙室では、出入口付近や喫煙室裏側の排気口付近で高濃度の粉じんが検出されたが、喫煙室前面の屋外通路側に設置されたパーティションを超えた通路側では同時間帯の粉じん濃度は低く、パーティションによる粉じん拡散抑制効果が確認された。屋内喫煙室では、屋内の喫煙室出入口付近や、喫煙室隣接スペースにおいて、屋外排気口付近と同程度またはそれ以上の濃度の粉じんが検出された。屋内に出入口をもつ喫煙室は隔離型の専用喫煙室であっても、喫煙室入退室によるたばこ煙の屋内への流出と滞留による影響があると考えられる。

残留受動喫煙評価を目的として、喫煙者不在時も含めた喫煙室での1日を通してのたばこ煙と残留煙の状況を把握するために粉じん濃度の24時間測定を行った。測定した2カ所の喫煙室で喫煙者不在の夜間(20:00~8:00)の時間帯において、継続的に低濃度の粉じんが検出された。日中(8:00~20:00)の粉じん濃度が高い場合に、夜間の濃度も高い傾向が見られた。専用喫煙室として使用することにより、喫煙室の利用状況により喫煙者不在時においても喫煙室内では喫煙室外よりも高い濃度で粉じんが存在していることがわかった。

健康増進法の一部を改正する法律が公布されたことをうけて、大学キャンパス内は原則敷地内禁煙となった。屋内喫煙室は廃止され、一定の技術的基準を満たす場合に設置が可能な特定屋外喫煙場所として、隔離型の屋外喫煙室のみ使用可能となった。これらの措置により、キャンパス内における受動喫煙による影響低減の効果が期待される。

参 考 文 献

- [1] 「たばこの煙と受動喫煙」 e-ヘルスネット 生活習慣病予防のための健康情報サイト, 厚生労働省 <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/tobacco/t-05-004.html>
- [2] ISO 7708:1995, Air quality – Particle size fraction definitions for health – related sampling.
- [3] 作業環境測定, 作業環境測定協会, <http://www.jawe.or.jp/sokutei/sokuteikiso.html?id=sokutei>
- [4] 微小粒子状物質(PM2.5)に関する情報, 環境省, <http://www.env.go.jp/sir/osen/pm/info.html#STANDAED>
- [5] 「PM2.5と受動喫煙」 e-ヘルスネット 生活習慣病予防のための健康情報サイト, 厚生労働省 <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/tobacco/t-05-005.html>
- [6] 内田美穂 “微小粒子状物質の個人曝露量に及ぼす生活環境・行動様式の影響評価”, 公衆衛生情報みやぎ, No.495, pp.24-30, Aug. 2019.
- [7] 受動喫煙対策, 厚生労働省, <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000189195.html>
- [8] 職場における受動喫煙防止対策について, 厚生労働省, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anzen/kitsuen/index.html
- [9] 職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会報告書, 厚生労働省, 2015. <https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000085280.html>
- [10] 内田美穂, 大友敦博, 小野快, 大石祐弥, 本田大地 “大学キャンパス内個室型喫煙所の有害物質及び粉じん分布状況”, 東北工業大学紀要 理工学編, 第37号, pp.1-9, Mar. 2017.
- [11] 「三次喫煙」 e-ヘルスネット 生活習慣病予防のための健康情報サイト, 厚生労働省 <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/tobacco/yt-057.html>
- [12] たばこのK値測定の概要, 第2回職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会, 厚生労働省, Jan. 2015.
- [13] 大貫文, 齋藤育江, 多田宇宏, 保坂三継, 中江大 “喫煙室及び非喫煙所における室内空気中たばこ煙由来化学物質濃度の実態調査”, 室内環境, 14巻1号, pp.43-50, 2011.