

人体からの浮遊粒子物質の発生に関する研究

建設工学専攻(修士課程)
建築環境工学研究

506053 ねもとまや
根本摩耶
指導教員 西村直也

1. 背景と目的

室内環境中には様々な空気汚染物質の発生源が混在している。発生源は一般環境では主に、たばこや空調機、人間、事務機器等が挙げられ、これらから発生する浮遊粒子状物質 (Suspended Particle Matter、以下 SPM と称す) は室内空気質のあり方に強く影響を与えている¹⁾。

近年では室内での禁煙化・分煙化の推進や空調機器やフィルタの技術的進歩、OA 機器の多様化等により、SPM を発生させる要因を含んだ発生源は人間と OA 機器が主となっている。特に事務所ビルでは、室内での OA 機器の使用頻度が高い事や、それらに伴う在室者の活動が活発な為、その影響が強いことが予想される。

当研究室で過去に行ってきた実測調査において、SPM はほとんどの建物で建築物衛生法の基準を超えるような濃度を示すことは無かったものの、より詳細な測定を行った結果からは粒径が 0.1 μm 以下の粒子の実状が明らかとなっていった。実測値の発生要因は外気由来のものも多数含むが、室内の活動もまた影響していると考えられる。そこで、実使用空間で人間の行動に関係した活動と SPM の関係について実測調査を行った²⁾。しかし、行動様式が幅広く、動作が一律でない人間については直接的な関係性を明らかにすることは出来ず、個々の発生源に関して詳細な測定が必要であるという結論に至った。

個々の発生源については、プリンタに関して近年詳細な報告²⁾が見られる。しかし、人単体に関しては今だに不明確な点が多いままである。一般的に人体から発生する SPM は皮膚やふけ、唾液などのほか、衣服の繊維や歩行による砂塵などの巻き上がり等があるといわれ³⁾、多くの要因を混在して含んでいる。これら人体由来の SPM はその大きさに関わらず有害性は低いと考えられるものの、粒径は 2.5 μm 以下の微小なものが多く、更に 0.1 μm 以下の超微粒子域まで含むものと思われるが、詳細は不明である。

これまでに、クリーンルーム (Clean Room、以下 CR) や病院手術室等のように清浄度の高い空間においては、主な SPM の発生源は在室者であるとされ¹⁾、無塵衣を着用した状態での人体や衣服、動作に関する研究が行われてきた。しかし、超微粒子域にまで及ぶ実験は報告が少なく、今後より高い清浄度を求めるためには以上の事項を明確にすることが必要であると考えられる。

本研究では、人体からの SPM の発生が一般環境や CR において重要な存在となっていることから過去の研究も踏まえ、様々な条件下で実験を行い、人体からの SPM の発生を確認するとともに、特に超微粒子域の粒子に関する挙動の把握を行うことを目的とする。また、本実験に備え行った予備実験から、発汗による人体からの発生が空気中の粒子濃度に何かしら影響していると考えられるので、発汗に由来する発じん量の計測を主とした実測も行う。そこから、運動における発汗による発じんの有無、粒径特性、発汗の程度による発じん量の変化についての特性把握を行うことも併せて目的とする。

2. 動作による発じんと発汗による発じんの試験

測定は、人間の動作による発じん試験および一定負荷運動時の発汗による発じん試験を行った。表 1～3 に測定日程と測定室概要、測定機器を示す。本研究での被験者は 20 代の男女各 2 名の計 4 名で行われた。

表 1 測定日程

		被験者			
		A: 男	B: 男	C: 女	D: 女
日程	スーツ 動作別 発汗	11月8日	11月13日	11月6日	11月16日
	一般着 動作別 発汗	11月9日	11月14日	11月7日	11月20日

表 2 測定室概要

清浄度クラス	フィルタ	新鮮外気量	温度	湿度
クラス100 (0.3 μm)	中性能 + HEPA	0~20回/h	10~35°C ($\pm 1^\circ\text{C}$)	20~90% ($\pm 5\%$)
測定時の設定値		500 m^3/h	22.0°C	50%

表 3 測定機器

測定対象	測定機器	概要
個数濃度	WPS	発汗部位 12ch、3.2sec、1分間隔連続測定 その他 6ch、6.5sec、1分間隔連続測定
	LPC	流量2.83L/min、1分間の連続測定
温湿度	温湿度計	1分間隔連続測定
換気回数	風速計	1分間隔連続測定
	マルチガスモニタ	新鮮外気取入れ回数の測定、SF ₆ 使用

表 4 動作別測定項目

動作項目			
① 静止	—	⑤ 上体捻り	20 回/分
② 首の左右	10 回/分	⑥ 歩行	90 歩/分
③ 腕上下	30 回/分	⑦ 走行	180 歩/分
④ 上体前屈	20 回/分	※測定時は靴も着用	

表 5 発汗別測定項目

動作項目		服装	無汗	微汗	多汗
① 静止	—	スーツ	○	○	—
		一般着	○	○	○
② 歩行	90 歩/分	スーツ	○	○	—
		一般着	○	○	○

それぞれ着衣をスーツと一般着でほぼ同じ項目を行い、合わせて簡単な聞き取り調査を行った。

着衣のスーツは個人で所有しているものを使用し、一般着はTシャツとジーパン (下着類は適宜着用) とし、素材等を統一したものを使用した。

今回の試験の測定対象は SPM 全粒径とし、超微粒子域を含んだ個数濃度のより詳細な測定を行うために WPS (Wide-Range Particle Spectrometer;測定範囲 0.01~10 μm) を使用した。

測定方法は主に、被験者からの総発じん量の把握のため、CR 内に設置した約 120×60×290cm の簡易ブースを用いて行った。サンプリングはブースの下方にダクトを設置し、そこからチューブにて吸引した。

2. 1 人間の動作による発じん試験

在室者からの動作別の総発じん量を把握する為、既往の研究⁴⁾を参考に、表 4 に示した 7 項目の動作を決定し、ブース内で 5 分間ずつ行った。動作の間はブース内の SPM 濃度を十分に下げる為適度な時間をとっている。

まず、動作別の個数濃度の結果を図 1 に示す。縦軸に全粒径幅の平均総個数濃度を取り、横軸には動作項目毎に被験者を並べ表した。各動作における発じんは測定中比較的安定しており、発じん量は動作の相違により異

なっている。一般着、スーツ共に個数濃度は発じん量の小さい方から、「静止」<「首左右」<「上体捻り」<「上体前屈」<「腕上下」<「歩行」<「走行」という結果となり、無塵衣で行われた既往の研究ともほぼ一致している。すなわち、動作強度が大きくなるほど発じん量が多くなるといえる。スーツでは各動作での濃度に個人差が見られるが、一般着ではどの被験者も同程度の値になっている。これらの結果から、単純に動作のみを行った際には、衣服からの発生が多くを占めており、その影響が顕著に出ているのではないかと考える。

粒径別発生個数の結果を図2に示す。動作による発じんでは粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以下の微粒子はほとんど出ていないことが分かる。濃度変化が現れているほとんどの場合で、ピーク粒径は $0.65\mu\text{m}$ 付近の値となっている。また、「歩行」「走行」では特に、濃度も形状も近い粒径分布を示した。粒径分布の形は被験者によってその形状に類似性があることが分かり、動作が異なっても同じ形状を示すことが多く分布形状はスーツよりも一般着のほうが安定していた。またそれは、服装が異なると変化している。大きい粒径では、動作強度によって発じん量が多くなるという傾向はみられない。

2. 2 一定負荷運動における発汗による発じん試験

発汗時、人間は体から汗滴を発生する。汗滴の成分は主に水分や、ナトリウム、カリウムである。これらの物質が体温の上昇によって蒸発し、粒子状になることで体外、服外に放出しているのではないかと考えられることから、一定負荷運動後の発汗の程度別に発じん量を測定した。測定項目は「静止」と「歩行」の2項目のみとし、発汗の程度は運動量と体感により、「無汗」、「微汗」、「多汗」の3種類で測定した。詳細は表5に示す。

項目、発汗別に個数濃度の結果を図3に示す。縦軸に全粒径の平均個数濃度を取り、横軸に発汗の程度毎に被験者別に示した。

結果より、発汗の程度が大きい程濃度が高くなっていることが分かる。項目別では「歩行」の方が、特に女性よりも男性の方が濃度は高く、特に被験者Bは常に高い値を示している。被験者Bは普段から運動習慣があり、汗をかきやすい体質でもあった。また、今回は男性も女性もパンツスーツを着用していたので、露出面や動きの幅についてあまり差は無いと思えるが、ネクタイを着用していた事も考えられる。それが、「歩行」という動作を行ったことで、服外に出てきたとも考えられる。各項目、発汗の程度による発じん量は無汗では安定していたが、「微汗」、「多汗」ではバラつきが見られた。主にそれは男性に顕著に見られた。運動を停止したことで汗の発生が変化した事が理由として考えられる。

粒径別発生個数の結果を図4に示す。動作別の場合と同じく、 $0.65\mu\text{m}$ 付近にピークをもつことが多かった。しかし、発汗の程度が大きい時に $0.3\mu\text{m}$ 以下の小さい粒径で発生していることも見られた。特に、被験者A、Bはその傾向がある。大きい粒径に関しては、動作別の場合と同じ傾向であった。しかし、全般的に濃度は低いため、粒径分布形状が十分明らかになったとは言いにくい。

3. まとめ

本研究より、人体から発生している SPM の多くは衣服からによるものが多く、その粒子は粒径がおおよそ $0.3\mu\text{m}$ 以上から発生し、 $0.6\mu\text{m}$ 付近にピークを持っていることが分かった。また、発汗による発じんは確認できたが、その濃度は個人の体質などによって異なることが分かった。今後は、更なるデータの蓄積と、成分分析などから発生要因を究明する事が必要である。

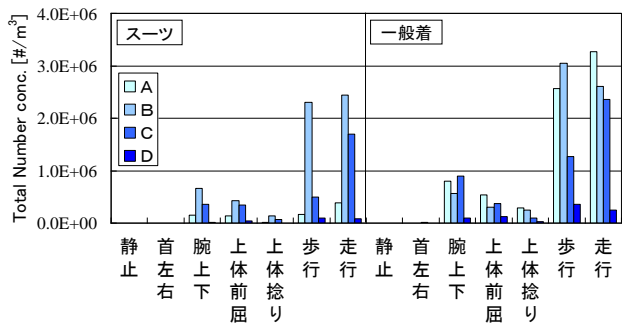


図1 動作別SPM個数濃度

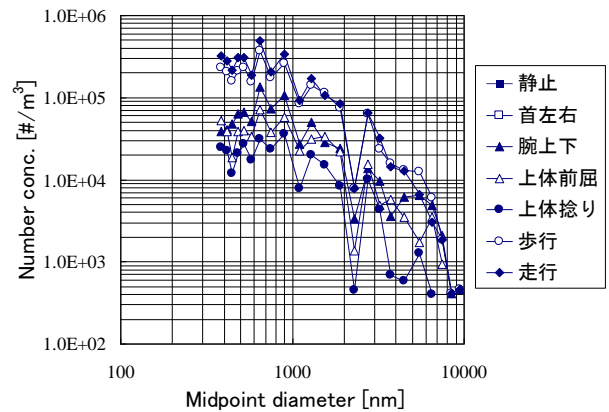


図2 動作別粒径分布 (被験者A : 一般着)

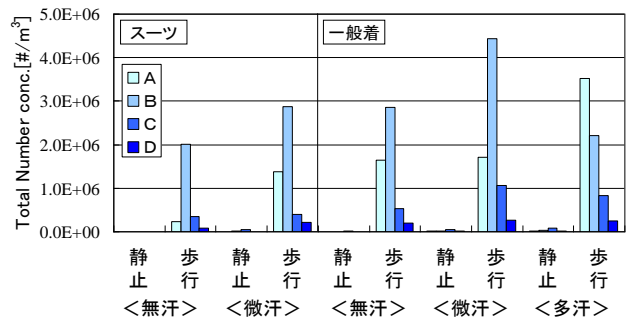


図3 項目・動作別SPM個数濃度

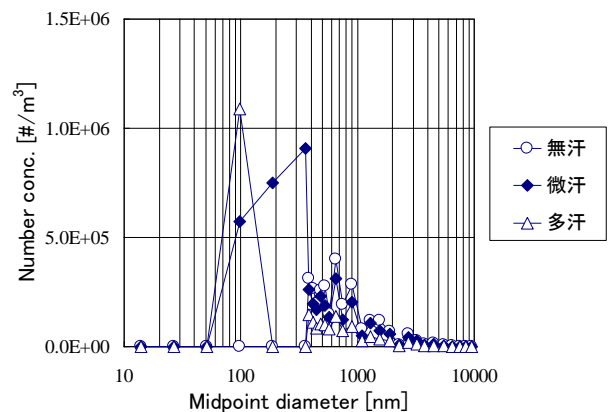


図4 発汗別粒径分布 (被験者B : 一般着)

<参考文献>

- 1) 本間克典他：実用エアロゾルの計測と評価、1990.7
- 2) 根本摩耶：事務所ビルにおけるアクティビティがIAQに与える影響、芝浦工業大学学士論文、2005.3
- 3) Congrong He et al. : Particle Emission Characteristics of Office Printers, Environmental Science & Technology, 6039-6045, 41(2007)
- 4) 藤井修二、早川一也：クリーンルーム用衣服を着用した作業からの動作別発塵について、空気調和と冷凍、日本空調技術出版社、Vol.24, No5、198