

人由来の浮遊粒子状物質の特性に関する研究

Characteristics of Suspended Particle Matter from Human Body

J04091-3 廣井 正人

Abstract

Generally speaking, major source of SPM at indoor is activity of human. A lot of investigations of clean room, clean room garments have reported until now. However, On the whole, these investigations cover particle of larger ultrafine particle size. Therefore particular of characteristics of ultrafine particle is unknown. We investigated characteristics of SPM includes ultrafine particle from human body by use of WPS.

The results are as follows, 1) Characteristics of SPM from every human body are similar in the number concentration in spite of differences between experimental subjects. 2) The number concentration in every region of body tends to be similar between experimental subjects. 3) The number concentration tends to increase in proportion with mass of perspiration.

Keywords 浮遊粒子状物質 (Suspended Particle Matter) 人体 (human body) 動作 (activity) 汗 (perspiration)
クリーンルーム (clean room) 超微粒子 (ultrafine particle) 粒径別個数濃度 (the number concentration)

1. 背景・目的

浮遊粒子状物質(以下、SPM)に関する最近の疫学調査により非常に微細な粒子が人体の健康に影響していることがわかっている。事務所等における実測調査も行われるようになり、発生源と考えられるプリンタ等の研究もされている。しかし、一般的に室内における主要発生源は人の活動とされている。人体からの発汗に関しては、クリーンルーム(以下、CR)またはその室内で使用される無塵衣を対象にした研究が行われ、多数の報告があるものの、一般環境下でのものは少なく、超微粒子域まで測定された報告はほとんどない。一般的に人体からは、粒径0.3μm程度の粒子を中心に発汗しているとされているが、その詳細については不明点が多く、超微粒子域を含め更なる調査・検討が必要とされている。

そこで本研究では、室内におけるSPMの主要発生源とされている人の活動に注目し、清浄な空間で発汗実験を行うことで、各種動作または発汗による人体からの超微粒子域を含むSPMの発生を確認することを目的とする。また、その個数濃度および粒度分布の特性を把握する。

2. 実験概要

2.1 実験室概要

実験は国立保健医療科学院の室内空気汚染機構実験室内、手術室CRにて、CR内または同室内に作成した簡易ブースにて行った。ブースの大きさは、横1.2m×縦0.6m×高さ2.9mであり、ブース壁面の2辺はCRの壁面を利用し、ほか2辺はビニールカーテンである。また、粒径10~1000nmの範囲において、バックグラウンドはほぼゼロであることを確認した。室内空気汚染機構実験室概要を表1に示す。

2.2 測定機器

測定には、Wide-Range Particle Spectrometer ; WPS と Laser Particle Counter ; LPC を用いた。WPSの測定範囲は粒径10~1000nmである。実験概要を表2に示す。

表1 室内空気汚染機構実験室概要

清浄度クラス	フィルタ	換気回数	外気量	温度	湿度
クラス100 (0.3μm)	中性能 HEPA	CR 3.7[-/h] ブース 134.3[-/h]	0~20[回/h]	10~35±1[°C]	20~90±5[%]
非一方向流型		実験時の設定値	500[m ³ /h]	22.0[°C]	50[%]

表2 測定機器概要

測定対象	測定機器	概要
個数濃度	Laser Particle Counter; LPC RION製、KR-12A	2.83[L/min] 1分間隔連続測定
	Wide-Range Particle Spectrometer; WPS MSP製、MODEL 1000XP	発汗の影響 12ch 3.2[sec] 1分間隔連続測定 その他 6ch 6.5[sec] 1分間隔連続測定
温湿度	温湿度計 SATO製、SK-L200TH II α	1分間隔連続測定

表3 被験者概要

	性別	年齢[歳]	身長[cm]	体重[kg]	血液型	喫煙	髪型	化粧
被験者A	男	21	170	70	B	—	ショート	無
被験者B	男	21	161	63	O	10[本/日]	ショート	無
被験者C	女	23	151	未回答	B	—	ロング	有
被験者D	女	21	150	未回答	O	—	ミディアム	有

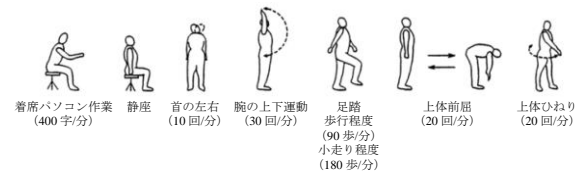


図1 各種動作模式図

表4 実験項目/動作部位別

実験項目/動作	CR+	ブース	実験項目/動作	CR+	ブース
着席/パソコン作業 400字/分	○ 手首	—	足踏(小走り程度) 180歩/分	○ 脇	—
静座	—	○ 首	上体前屈 20回/分	○ 腰	○
首の左右 10回/分	○ 首	○	上体のひねり 20回/分	○ 腰	○
腕の上下運動 30回/分	○ 脇	○	足踏(歩行程度) 90歩/分	○ 膝	○
足踏(歩行程度) 90歩/分	○ 脇	—	足踏(小走り程度) 180歩/分	○ 膝	○

* 右下に測定部位を記載

表5 実験項目/発汗の影響

実験項目	スーツ			Tシャツ、ジーンズ		
	非発汗	微汗	多汗	非発汗	微汗	多汗
CR	背中上着内部	○	○	—	○	○
	背中上着出口	○	○	—	○	○
	脇上着内部	—	—	—	○	○
	脇上着出口	○	○	—	○	○
	呼吸(呼吸のみ) 静座	○	○	—	—	—
	呼吸(発声あり) 朗読	○	○	—	—	—
ブース	静止	○	○	—	○	○
	足踏(歩行程度) 90歩/分	○	○	—	○	○

表6 汗の定義

程度	状態
非発汗	不感蒸泄を除く、発汗がない状態/通常の状態と仮定
微汗	肌表面が湿り、俗に言う汗ばんでいる状態/日常生活における発汗状態と仮定
多汗	滴るほどの多量の汗をかいている状態/運動を行ったり、夏場の発汗状態を仮定

2. 3 測定概要

本研究では、動作部位別測定と、発汗による影響を考慮するための測定を行う。動作部位別測定では、非発汗時の各種動作による部位別の発じんの有無の確認と、その特性を検討する。発汗による影響を考慮するための測定においては、発汗が人体からの発じんに影響を及ぼすか、およびその特性を検討する。また、併せて被験者に対して、年齢、身長、体重をはじめ、常習喫煙の有無、化粧品の使用状況、生活状況等の項目を含むアンケートを行った。実験当日の食事と水分摂取に関する調査も併せて行った。アンケートの結果は、実験結果と比較し、その関係性を検討する。

被験者は20代の男女各2名とする。被験者概要を表3示す。実験時に着用する衣服はスーツ、Tシャツとジーンズであり、実験は一部を除き、衣服を変えて2度行う。

2. 3. 1 動作部位別測定

各動作時に部位別に測定を行う方法と、簡易ブース内で動作を行い測定を行う方法の2つの場合をとる。前者では、動作ごとに測定部位に測定機器からのサンプリングチューブを伸ばして測定を行う。チューブは測定部位から約5cmの距離に、三脚、アルミパイプ等を用いて設置する。後者では被験者は簡易ブース内で動作を行い、ブース下方で捕集して測定を行う。どちらの場合も1分間隔の連続測定で各項目5分間とする。被験者には測定開始15秒前から動作を開始してもらい、測定中は動作を続けてもらう。動作のリズムは、メトロノームを用いて被験者に知らせる。

実験項目および動作は既存の研究⁵⁾から引用し、一部変更を加えた。なお、測定者はワンピース型の無塵衣、無塵靴、キャップとマスクを着用し、大きな動作を行わないなど、注意を払いながら測定を行う。各種動作模式図を図1に、実験項目を表4に示す。

2. 3. 2 発汗による影響を考慮するための測定

実験項目を表5に示す。測定箇所は発汗の影響が大きいと考えられる箇所を選定した。衣服内の空気が動作によって圧力が変わり、押し出され、粒子が発生しているとも考えられている。そのため、測定点を衣服内部と、衣服の開口部としている。衣服内部の測定の際は、サンプリングチューブを直接衣服内に、開口部の場合は開口部を覆うように設置する。また、ブース内での測定では日常生活に代表される動作として、静止と歩行とし、どちらの場合も測定手順は動作部位別測定と同様である。

呼吸に関しては、呼吸のみの状態と発声している状態の2つの場合に関して、非発汗時と発汗時で測定を行った。測定方法は動作部位別と同様ではあるが、チューブ先端に漏斗を装着し、被験者の口との距離は約15cmとした。

汗をかく方法として、本研究ではエアロバイクを使用した。エアロバイクの運動強度設定は、各被験者に適切な強度とした。発汗状態は表6のように定義し、各被験者の自己申告と、測定者の目視で判断している。なお、測定直前に運動をし、測定時は運動を行っていない。

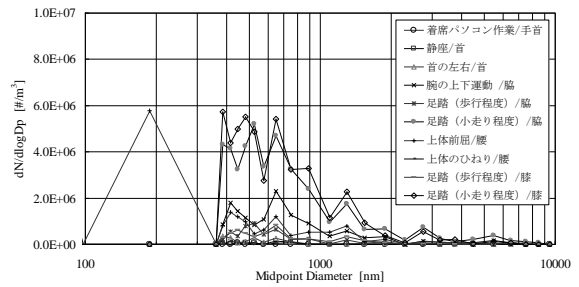


図2 動作部位別/スーツ/被験者C / Sample No. 3

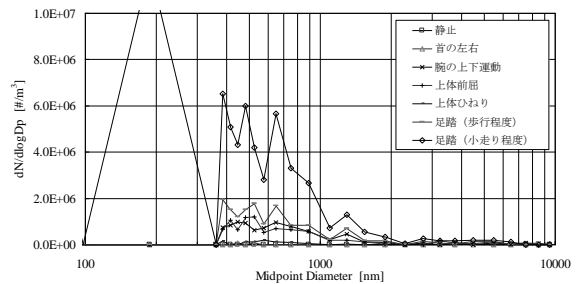


図3 動作部位別ブース/スーツ/被験者C / Sample No. 3

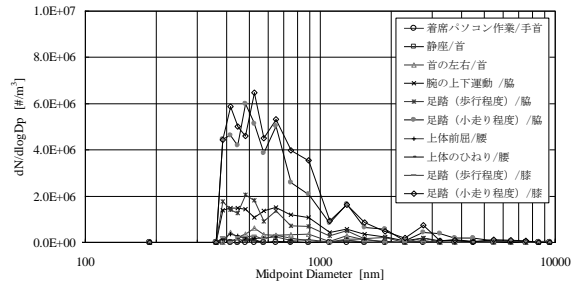


図4 動作部位別/Tシャツ、ジーンズ/被験者C / Sample No. 3

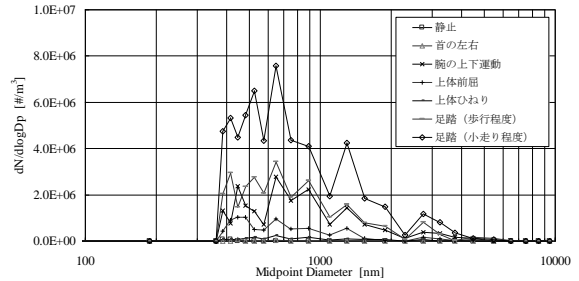


図5 動作部位別ブース/Tシャツ、ジーンズ/被験者C / Sample No. 3

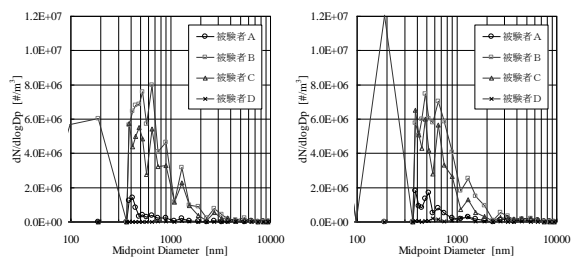


図6 動作部位別/スーツ/膝
足踏(小走) / Sample No. 3

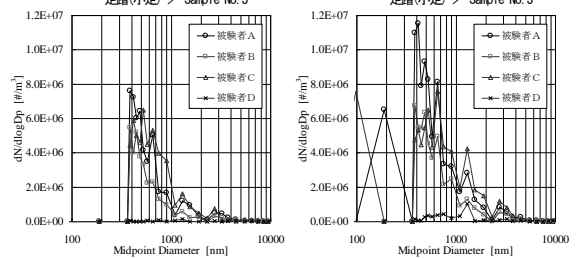


図7 動作部位別ブース/スーツ
足踏(小走) / Sample No. 3



図8 動作部位別/Tシャツ、ジーンズ/膝
足踏(小走) / Sample No. 3

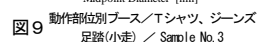


図9 動作部位別ブース/Tシャツ、ジーンズ
足踏(小走) / Sample No. 3

3. 非発汗時各種動作による発じんに関する考察

一例として、被験者Cの結果を測定方法、衣服別に、図2～図5に、動作部位別および同ブースの、足踏に関する結果を図6～図9に示す。

3. 1 被験者ごとの実験項目間での比較

個数濃度を実験項目間で比較すると、動作部位別、同ブース共に、全被験者において足踏に関する項目>上体前屈、腕の上下運動、上体ひねり、>首の左右、静座、着席パソコン作業（動作部位別のみ）となる傾向がみられる。

粒度分布は、値の高低はあるものの、被験者間、実験項目間問わず類似しており、被験者A、B、Cにおいては385、445、648nmに、被験者Dにおいては1296nmをピークにもつことが多い。また、全被験者に共通して574、1095、2291nmの値が低くなる傾向があり、2291nmの点に関しては測定値がゼロになることもある。385nm未満において、非常に高い値を示す、または測定されていないことに関しては、WPS (DMS) の測定システムに原因があると思われる、385nm以上の粒度分布から、被験者A、B、Cでは300～500nm付近もしくは300nm以下を、被験者Dでは1300nm付近をピークとする正規分布、もしくは滑らかな山型の分布であると推測される。しかし、DMS側の測定に疑問が残るため、はっきりとしたピークはわからないとともに、385nm未満の測定値は信頼性に欠ける可能性がある。

個数濃度、粒度分布共に測定時間内での経時変化はほとんど見られない。なお、被験者Dの測定に用いたWPSは、被験者A、B、Cの測定に用いたWPSとは異なる。測定機器の原理、性能等は同じであるが、本実験でみられた被験者A、B、Cの測定結果が非常によく類似していることから、機差がある可能性も考えられる。

粒度分布に衣服の違いによる大差は見られない。また、個数濃度に関しては、着用衣服ごとに動作部位別、同ブースの個数濃度はほぼ同程度であるが、衣服間で比較した場合、被験者Aにおいては概してTシャツとジーンズ>スーツ、被験者Bにおいては同程度、被験者C、Dにおいては、同程度から多少の差が見られる程度であり、衣服の差よりも被験者の個体差が目立つ傾向にある。

被験者Aは腕の上下運動の値が高く、被験者Cは首の左右、静座の項目において、他被験者より高い値を示すなど、被験者ごとに特定の傾向が見られ、衣服の素材や化粧などの原因が考えられるが、特定するに至らない。また、足踏の項目において、その個数濃度が運動強度に比例しない場合があるが、これは被験者の動作が一定ではなく、その時々で動作に違いが生じることが原因であると考えられる。

3. 2 実験項目ごとの被験者間での比較

個数濃度は、スーツ着用日では概して被験者B、C>被験者A、D、Tシャツとジーンズ着用日では概して被験者A、B、C>被験者Dとなる傾向が見られる。また粒度分布は前述の通り類似する傾向が見られた。

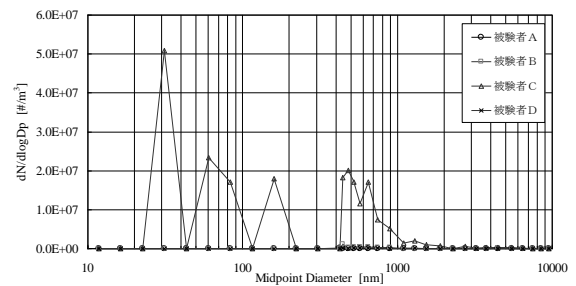


図10 部位別/スーツ/背中上着内部/非発汗/ Sample No.2

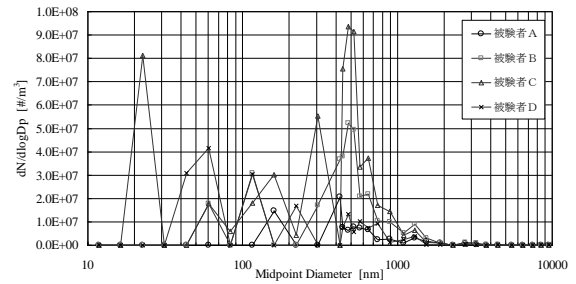


図11 部位別/スーツ/背中上着内部/微汗/ Sample No.2

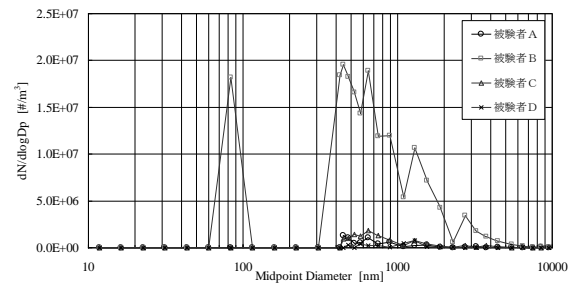


図12 部位別/Tシャツ、ジーンズ/背中上着内部/非発汗/ Sample No.2

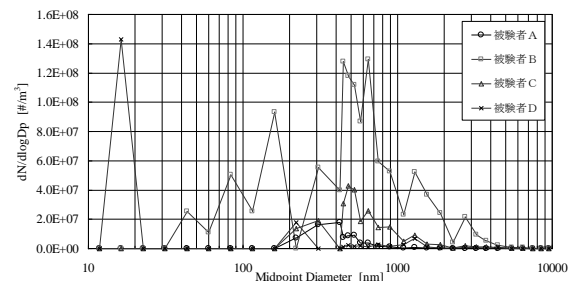


図13 部位別/Tシャツ、ジーンズ/背中上着内部/微汗/ Sample No.2

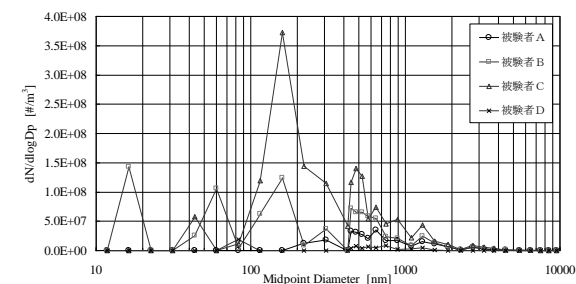


図14 部位別/Tシャツ、ジーンズ/背中上着内部/多汗/ Sample No.2

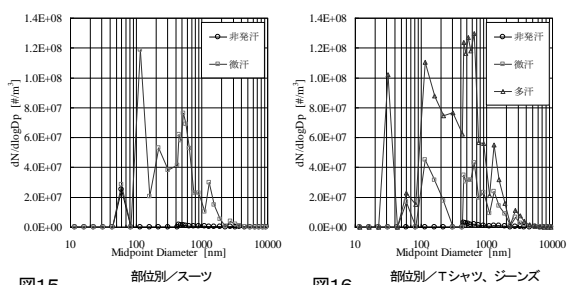


図15 部位別/スーツ 被験者B/背中上着内部/ Sample No. 5

図16 部位別/Tシャツ、ジーンズ 被験者B/背中上着内部/ Sample No. 5

4. 汗の影響に関する考察

一例として、背中上着内部の結果を衣服、発汗の程度別に、図10～図14に、被験者Bの背中上着内部の結果を衣服別に、図15、16に示す。

4. 1 被験者ごとの実験項目間での比較

個数濃度に部位別の差はあまり見られず、背中上着内部、同出口、袖上着内部、同出口の項目において、ばらつきはあるものの、被験者および発汗の程度ごとに同程度である。また、ブースにおいては足踏>静止となる傾向がみられる。

発汗の程度別に見ると、概して多汗>微汗>非発汗の傾向が見られるが、その限りではない。微汗>多汗となっている場合があるが、これは汗のかき方の問題、または発汗のメカニズムを反映していると考えられる。多量に汗をかいた場合、皮膚表面で水滴となり、蒸発して体温を下げるのに時間が掛かる状態に陥る。その場合、人体は発汗量を抑える働きがある。また、その際に皮膚組織の断片が、汗腺の穴を埋めてしまい、発汗を妨げることもある。これらの作用があり、このような結果になった可能性はあるが、原因を特定するには至らない。

また、個数濃度が高くなるに伴って、DMS側においても測定される傾向がある。しかし、DMS側の数点でしか測定されていない場合、出現率が低くなれば、たまたま計数された粒径範囲の個数濃度が高く換算されるという測定機器の特性も考えられ、留意が必要である。

粒度分布は、被験者A、B、Cにおいては300～500nmに、被験者Dにおいては1296nmにピークをもつことが多く、LPS側において、動作部位別または同ブースに類似するところがみられる。しかし、発汗時には30～70nm付近、および160nm付近で高い値が測定されることもあり、1～3山のピークが存在する可能性がうかがえるが、ばらつきが大きく、傾向を読み取るには至らない。また、被験者Dにおいて汗の程度が増すに伴って、300～500nm付近の個数濃度が高くなり、DMS側が測定されている場合は、そちらの個数濃度のほうが高い値を示すなど、ピークが小さい粒径に移動している場合もみられる。

衣服の違いによる差異はあまりみられない。ピークなどの分布形状は一致するものもあるが、個数濃度のばらつきが大きく、傾向を読み取るには至らない。

4. 2 実験項目ごとの被験者間での比較

概して被験者B、Cの個数濃度が他被験者より高くなる場合が多いものの、被験者Aの個数濃度がB、Cを上回ることもあり、被験者間の個数濃度の大小関係は実験項目ごとに異なる。しかし、粒度分布は類似する傾向にある。

4. 3 呼吸

300～500nm付近で測定されている場合があるが、定量的に測定できていない。個数濃度および測定される頻度において、発声あり>呼吸のみ、発汗時>非発汗時となる傾向があるが、それ以上のことは本実験からは推測することは難しく詳細は不明である。一例を図17～図20に示す。

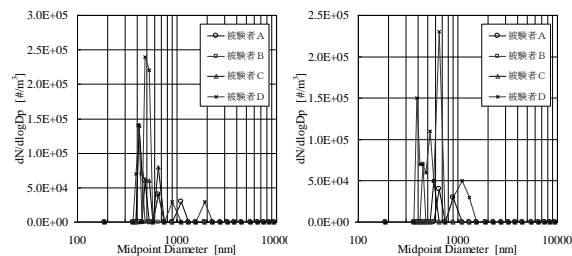


図17 呼吸のみ/非発汗

図18 呼吸のみ/非発汗

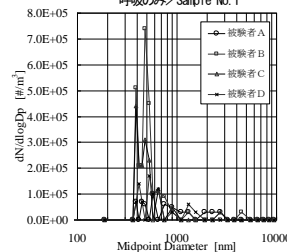


図19 呼吸のみ/発汗

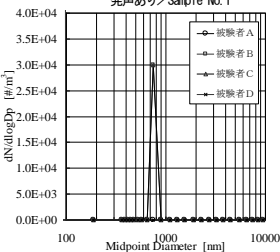


図20 発声あり/発汗

被験者別に見ると、被験者Cが他被験者に比べ個数濃度が高くなっているが、同被験者は動作部位別の実験において、首周りなどからの発生が確認されており、呼吸由来ではない可能性も考えられる。

5. 被験者アンケートに関する考察

化粧、整髪料などのコスメティクス、被服素材の一部においてその影響の可能性がみられたが、十分な根拠もなく、その影響はわからなかった。本実験のアンケートからは、被験者の生活状況による差異、影響はあまりみられない。

6. まとめ

人の動作に由来する浮遊粒子状物質の特性は、個数濃度、粒度分布ともに、被験者間でピークや分布形状が類似する傾向もあるが、個体差が大きかった。さらに浮遊粒子状物質の発生源がどの部位であっても、その粒度分布は被験者ごとに類似する傾向があることもわかった。

発汗を伴う人体、または人の動作に由来する浮遊粒子状物質の特性は、発汗量に比例して個数濃度が増す傾向にあるものの、その限りではなく、粒度分布に関してはばらつきが大きく、その傾向を読み取るには至らなかった。また、被験者の生活状況による差異、影響はあまりみられないということもわかった。

今後の課題としては、汗の程度の定義の改良を含めた測定方法の改良と測定データの蓄積、発生源の特定と測定された粒子の組成分析などが挙げられる。さらに、被験者の傾向がWPSの機差に由来する可能性が考えられるため、測定機器の検討と粒径300nm以下の個数濃度と粒度分布の把握が必要であると思われる。

【参考文献】

- 鈴木智彰: オフィス空間における浮遊粒子状物質の実態調査、芝浦工業大学士論文、2004.3
- 根本智之: 事務所ビルにおける浮遊微粒子の分布に関する研究、芝浦工業大学士論文、2005.3
- 久野寧: 汗の話、光生館、1963.5
- ウィリアムC・ハインズ、早川一也 監訳: エアロゾルテクノロジー、井上書院、1985.4
- 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”、空調調和と冷凍、日本空調技術出版社、Vol.24、No.5、1984
- 鈴木良延、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発塵量および発塵機構”、日本建築学会計画系論文報告集、第386号、p43-p52、1988.4