

(1) エアフィルタによる浮遊粒子除去のメカニズム

エアフィルタは主として慣性衝突、さえぎり、拡散、静電気の機構により、エアフィルタ近傍の浮遊粒子を捕集する。図-1-2 にその概要を示す。

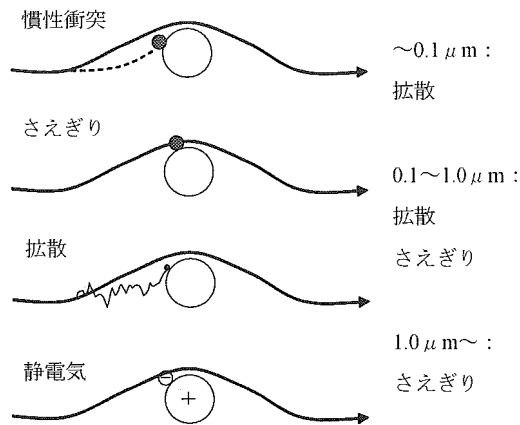


図-1-2 フィルタによる浮遊粒子捕集の機構

実際の場合、エアフィルタによる粒子の捕集は上記のどれかまたは複数の機構による。例えば機械式のエアフィルタは図-1-2 に示す粒径によって捕集機構が異なるが、 $0.2 \mu\text{m}$  前後の粒子に対しての捕集率は最も低いことが知られている。

(2) エアフィルタによる浮遊微生物粒子の除去性能

① 空中における微生物粒子の挙動

微生物はウイルス ( $0.02 \sim 0.3 \mu\text{m}$ )、細菌 ( $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ )、真菌 ( $3 \sim 100 \mu\text{m}$ ) に大別される。空中での微生物粒子の挙動は、その粒子の密度のほか、大きさ(空気力学径)に深く関係する。例えば、黄色ブドウ球菌の大きさが約  $0.8 \mu\text{m}$  とされているが、それは単体(裸)の幾何径を指している。実際に、微生物粒子が単体で空中を浮遊することがないわけではないが、今までの共通認識として、多くの微生物が粒子に付着して空中を浮遊するとされている。従って、付着する粒子径によって、空中での微生物粒子(微生物+粒子)の挙動が大きく異なる。このことは筆者らが行った測定結果、即ち、フィルタの上流空中、表面、下流空中、またはアンダーセンサンプラの違う捕集ステージに同じ種類の *Cladosporium* などが検出されることよりも説明できる。また、例えば SARS

ウイルスの大きさが  $80 \sim 160\text{nm}$  と小さいが、保菌者の咳で吐き出されるものが、その SARS ウイルスの単体よりも、水滴を含めたウイルスのかたまりと考えられ、飛沫感染が主な感染源であることもその根拠を裏付けている。飛沫の大きさに関して、Rao ら<sup>[5]</sup> は被験者 5 人が咳をした際に放出された粒子の大きさを測定し、 $0.6 \mu\text{m}$  以下から  $2.5 \mu\text{m}$  以上の 6 段階の粒径において全て検出されたと報告している。

以上のように、微生物に対する生物学の見方と環境工学の見地が大きく異なっており、室内環境中の微生物の挙動についてまだ分からないことが多い。

② エアフィルタによる浮遊微生物粒子の除去  
エアフィルタによる浮遊微生物の除去性能を予測するには、浮遊粒子の大きさ別に関するエアフィルタの捕集率を知る必要がある。日本では、エアフィルタの種類によって、その捕集率をテストする方法が異なる。JIS においては、高性能、超高性能フィルタは計数法、中性能フィルタは比色法、粗塵用フィルタは重量法によってその捕集率の試験法が定められている。従って、今まで高性能、超高性能フィルタによる粒径別捕集率に関するデータが多く発表されているが、中、低性能エアフィルタに関しては、その情報がない。筆者ら<sup>[6]</sup> が、オフィスビルなどに多く使用されている中、低性能エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集率を把握するために、オフィスビル A~D を対象に実証試験を行った。図-1-3 に中、低性能エアフィルタによる粒径別浮遊粒子の捕集率、図-1-4 に浮遊粒子に対する捕集率と浮遊微生物粒

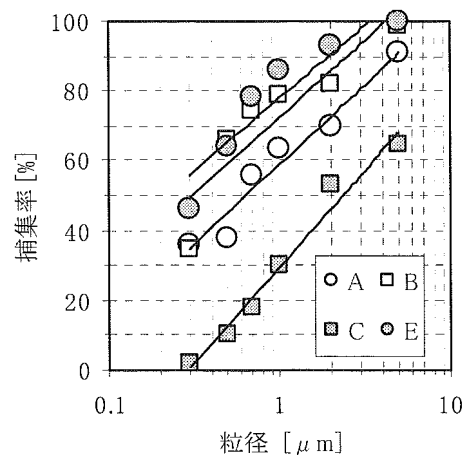


図-1-3 粒径別に対するエアフィルタの捕集率

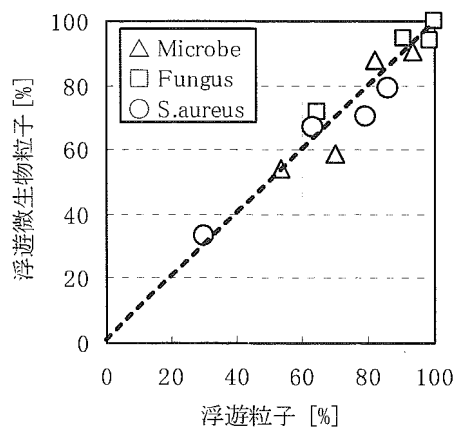


図-1-4 浮遊粒子と浮遊微生物粒子  
に対する捕集率の関係

子に対する捕集率の関係を示す。

浮遊黄色ブドウ球菌，浮遊総菌，浮遊真菌に対する捕集率はそれぞれ  $1\mu\text{m}$ ， $2\mu\text{m}$ ， $5\mu\text{m}$  以上の浮遊粒子に対する捕集率とほぼ等しいことを見出した。筆者らの実験は微生物に関わる室内空気清浄度を設計，管理するために行ったものであり，各種の微生物というよりも，空中を浮遊する微生物を粒子状物質として扱っている。

各種の微生物粒子に対するエアフィルタの捕集性能については，アメリカからいくつかの研究成果が発表されている。表-1-2 に数種類の微生物に対するエアフィルタの捕集率を示す<sup>[7]</sup>。なお，表-1-2 に示す捕集率はフィルタメーカーから提示された捕集性能に基づいた予測値である。同じ状態のフィルタであっても図面風速によってその捕集率が異なることに注意を払う必要がある。

図-1-5 に中性能フィルタによるウイルス，細菌，真菌胞子の除去率の予測値を示す。フィルタの捕

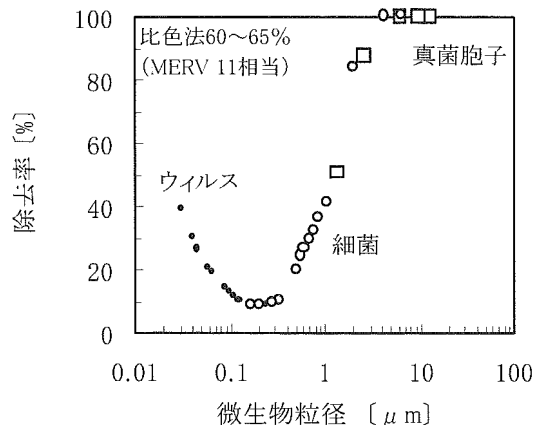


図-1-5 中性能フィルタによる微生物の除去率

集率が最も低い  $0.2\mu\text{m}$  前後において，浮遊微生物の捕集率も低くなっている。

前述の通り，微生物単体で空中を浮遊することが稀であるため，エアロゾルとして見た微生物粒子はその単体の幾何径より大きくなっている。従って，図-1-5 を基に微生物の除去性能を予測する場合，細菌，真菌胞子が安全側（実際に空中を浮遊している微生物粒子が大きいため），ウイルスが危険側（粒径が大きくなっても  $1\mu\text{m}$  以下の場合）になりうることに注意を要する。

## D 考察

### D-1 日本政府における生化学物テロ対策の現状

日本政府は米国 9・11 同時多発テロ事件とその直後に起きた郵便物の炭疽菌混入事件を受けて，緊急な対応を検討し，適時に十分な情報を円滑に国民に提供していることが分かった。危機管理体制として，政府全体（内閣総理大臣がトップ），各

表-1-2 微生物粒子に対するフィルタの予測捕集率

	平均径 $\mu\text{m}$	MERV6	MERV8	MERV10	MERV13	MERV15	MERV16
炭疽菌	1.118	15.5	36.7	39.2	96.3	99.979	99.981
結核菌	0.637	7.4	18.1	19.5	78.6	98	98.1
天然痘	0.224	3.7	7.4	7.9	39.6	68	70.6
ボツリヌス毒素	2.24	34.6	69.9	76.3	99.986	100	100
インフルエンザ	0.098	6.2	11.2	12.0	46.229	71	76

注1: MERV: Minimum Efficiency Reporting Value

注2: ANSI/ASHRAE Standard 52.2-1999では，エアフィルタの捕集性能の試験法を計数法に1本化し，エアフィルタの捕集性能をMERV1～MERV20の20段に分類した。

都道府県行政機関、保健所のネットワークの構築に精力を入れている。しかし、例えば、「天然痘対応指針」に示されている各状況レベルの設定と対応からも分かるように、今までの生化学物テロに対する行政の対応は、主として病原体の管理、検査、及びその予防措置などを施すことである。言い換えれば、生化学物テロが行われる場所について必ずしも明確に想定していないのは現状である。従って、建築物を対象とした生化学物テロの対策に関する本研究成果は、生化学物テロ対策の行政対応において極めて必要である。

#### D-2 建築物を対象とした生化学物テロの対策－緊急時

調査結果からも分かるように、今までアメリカを中心とした建築物における生化学物テロの対策は生化学物の放出が分かったことを前提としている。実際の場合、即ち、建築物のどこで何を放出されたかが分からない場合においては、その対策が非常に難しい。この場合においては、現状では2つの方法が考えられる。

1つは病原体または毒性化学物質を検知できるセンサーを設置し、そのセンサーから急激な濃度上昇（化学物質または病原体）を検知し、素早く空調を止めると同時に生化学物テロ発生の警報を関連部門に出す方法である。病原体の場合、在来の方法は、病原体を捕集して一定の温湿度条件で長時間培養するプロセスが必要になるため、緊急時の対応に適さないものとされている。最近では、アメリカのBioVigilant社は、米国軍とホームランドセキュリティのために0.3~7 $\mu$ mの粒径の浮遊細菌を検知する技術を開発したと報告されている。その測定メカニズムは在来の培養法と異なり、細菌より発光した蛍光を測定することによって細菌を間接に測定するものである。現段階では、その感度などを含めた実用性について検証が行われている。本研究においては、次年度その実用性に関する検証を行う予定である。

もう1つの方法は被暴者に対する臨床上の検査といった医療行為を施し、早急に生化学物テロの原因究明を務めることである。しかし、下記のように、毒性化学物質と病原体の臨床上的特徴がかなり異なるため、生物テロへの対応がまだ難しい。

毒性化学物の質暴露を受けた場合、被暴者は以下のひとつまたは複数の症状が見られる<sup>[4]</sup>。

- ・ 瞳孔収縮
- ・ 瞳孔膨張（一部の化学物質）
- ・ 眩暈
- ・ 鼻水
- ・ 呼吸困難
- ・ 吐き気、嘔吐
- ・ 視覚低下または失明

1995年東京で起きた地下鉄サリン事件は典型的な化学物テロであった。当日朝8:30頃咽喉痛、目の痛みを訴える患者（乗客）が見られた。8:40最初の救急車の搬送が行われた。その時に二つ典型的な症状、すなわち、結膜の充血と縮瞳が見られた。前者は刺激性ガスの暴露、後者は有機リン系中毒によるものと考えられたため、9:15に硫酸アトロピン投与が開始した。また、警視庁が11:00定例記者会見で原因物質はサリンであることを発表した。

上記の事例からも分かるように、毒性化学物質であるため、その症状が早く現れたことと、現場担当者が化学知識を持っていることは早急に原因物質の特定につながった。しかし、微生物（病原体）の暴露を受けた場合、被暴者に症状が現れるまで、毒性化学物質よりかなり長い時間を要する。例えば、感染力の強い天然痘の暴露を受けた場合、発症するまで約2週間かかることがある<sup>[8]</sup>。

以上のように、現段階では、毒性化学物または病原体に対する感度のよいセンサーが開発され、実用化されることが期待されている一方、生化学物テロが発生直後の対応についてさらなる検討が必要である。

#### D-3 建築物を対象とした生物テロの対策－平常時

平常時の対策として、室内気流の適正な計画、空調システムの適正な維持管理などが重要であるほか、外気取入れ口の適正な設置が重要である。**写真-1-1**は外気取入れ口を道路の横の地上に設置されている例である。この場合、テロリストが容易に毒性化学物または病原体を外気取入れ口に投入することができる。従って、外気取入れ口を屋上などの高いところに設置し、しかも関係者以外が立ち入りすることができないように施錠する必要がある。

近年、日本の多くのビルの空調が中央方式より各階方式、さらに、各階方式でもゾーンニングし



写真-1-1 空調の外気取入れ口不適切な設置例

て空調の細分化が進んでいる。この場合や、個別空調方式の場合などは、生化学物テロの対策の視点からリスク分散の役割にもなっている。

## E 結論

本研究では、日本政府における生化学物テロの対策の現状、建築物を対象とした生化学物テロが起きた緊急時の対応方法、および平常時における生化学物テロの対策についての文献調査およびインターネットの検索を行った結果、以下の結論が得られた。

- [1] 日本政府は米国9・11同時多発テロ事件とその直後に起きた郵便物の炭疽菌混入事件を受けて、緊急な対応を検討し、政府全体、各都道府県行政機関、保健所の健康危機管理体制を構築するとともに、適時に十分な情報を円滑に国民に提供している。しかし、現状では生化学物テロの対策は必ずしもその発生場所を明確に想定されているものではない。
- [2] 建築物を対象とした生化学物テロが起きた緊急時の対応方法は、基本的に病原体または毒性化学物質の拡散を防ぐこと、即ち、空調と個別ファンを止め、居住者の避難通路を確保することであるが、病原体または毒性化学物質を検知できるセンサーが前提となることが分かった。細菌をリアルで検知できる簡易センサーが開発されているが、その実用性について検証する必要がある。
- [3] 平常の対策手法としては、室内気流の適正計画、エアフィルタなどの空気清浄装置の設置と適正な管理のほか、とくに、空調の外気取入れ口の適正な設置と管理（セキュリティ

が重要である。

## 参考文献

- [1] NIOSH, 2003. Guidance for Filtration and Air-Cleaning Systems to Protect Building Environments
- [2] NAFA, 2001. NAFA Guide to Air Filtration (Third edition).
- [3] Kowalski, W.J. 2002. Immune Building System Technology.
- [4] LBNL/PUB-51959, 2003. Protecting Buildings From a Biological or Chemical Attack: actions to take before or during a release.
- [5] Rao S. Papineni, Frank S. Rosenthal, 1997. The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *J Aerosol Med.* 1997 Summer; 10(2):105-16
- [6] Yanagi U, Ikeda K. In Situ Tests about Removal Performance of Airborne Microbe Particules by an Air Filter. The 10rd International Conference on Indoor Air Quility and Climate; 2005; China. Preceeding of the 10rd International Conference on Indoor Air Quility and Climate. 3000-4.
- [7] Kowalski W. J. 2003. Immune-building technology and bioterrorism defense. *HPAC Engineering*, 57-62.
- [8] しのびよる病原体 感染症ファイル：竹内書店, 2000.

## 研究 2 浮遊微生物測定器の性能比較

研究協力者：菅原文子 国立保健医療科学院  
建築衛生部 客員研究員

### A 研究目的

空中浮遊細菌、真菌の測定に種々な測定器が用いられているが、大きくインピンジャ法、衝突法、及びフィルタ法の3種類に分類される。建築分野における微生物の測定について、日本では衝突法、欧米では衝突法またはフィルタ法がよく用いられている。

そこで、本研究では、次年度の研究を円滑に行えるように、衝突法（1段と多段）とフィルタ法の測定器における捕集性能について検討を行った。

### B 研究方法

#### 1. 使用測定器の概要

比較実験において以下に示す3種類の測定器を用いた。

① MBS-1000 (BIOSAMP MBS-1000, ミドリ安全製, 図-2-1 参照)。この測定器は JIS K 3836「空中浮遊菌測定器の捕集性能試験方法」規格にて 99%の捕集率を持ち、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子まで捕集できるものとされている<sup>[1]</sup>。

② アンダーセンサンプラ (東京ダイレック製, 図-2-2 参照) 用いて測定した。この測定器は6段のステージから構成され、粒径別に浮遊細菌、真菌を測定することができる。

③ MD8 (MD8 エアースキャン, Sartorius AG 製)。この測定器は孔径  $3\mu\text{m}$  のゼラチンフィルタを用いており、*Bacillus subtilis niger* に対して 99.9995%の捕集率 (流速:  $0.25\text{m/s}$  時) を有するとされている (図-2-3)。

#### 2. 測定方法

浮遊真菌において、図-2-4 に示すスケジュール

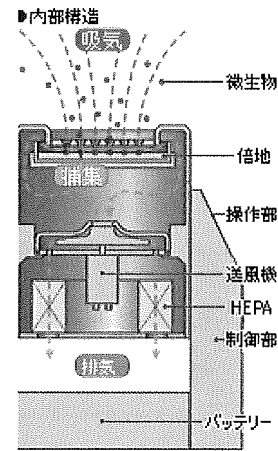


図-2-1 MBS-1000

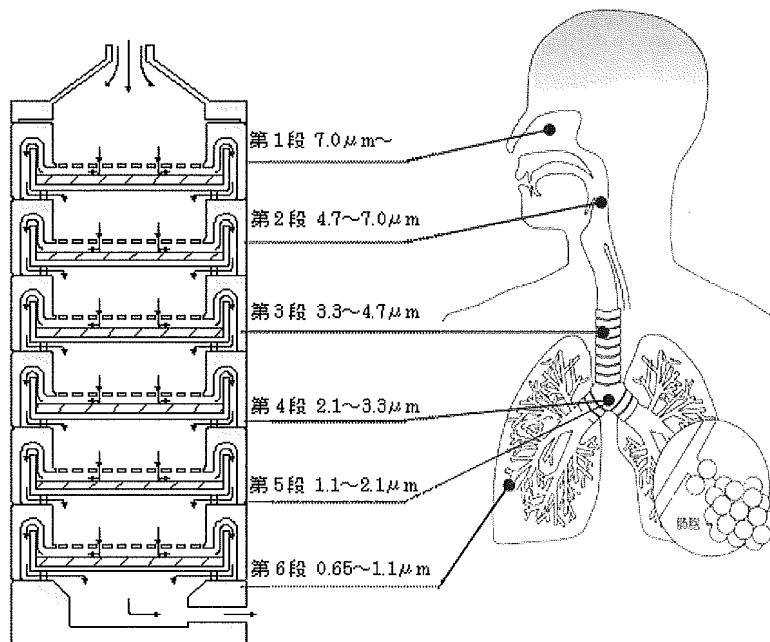


図-2-2 アンダーセンサンプラ

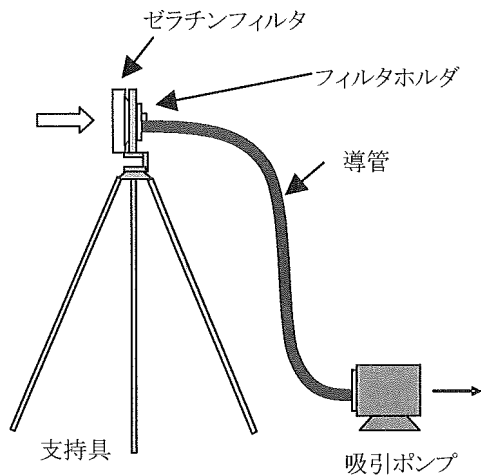


図-2-3 MD8

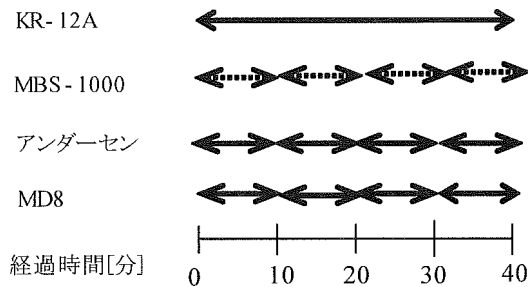


図-2-4 測定スケジュール

4 回繰り返して測定を行った。浮遊細菌の測定は同じように行ったが、浮遊細菌濃度の低さを勘案して、各回のサンプリング時間を浮遊真菌の2倍の20分とした。また、上記の測定器の比較実験中において、KR-12A (リオン製) (粒径範囲:  $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ,  $0.5 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ,  $0.7 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ,  $1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$ ,  $2.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$ ,  $5.0 \mu\text{m} \sim$ ) を用いて浮遊粒子の粒径別濃度を測定し、浮遊真菌、細菌の参考データを得た。

### 3. 使用培地

浮遊細菌に SCD 培地、浮遊真菌に PDA 培地を用いた。

① トリプトソーヤ寒天培地 (以降 SCD と呼ぶ)。SCD は一般細菌用として用いられ、ダイズペプトンおよびカゼインのトリプシン消化ペプトンが含まれているため、極めて広範囲の菌の発育に適する。

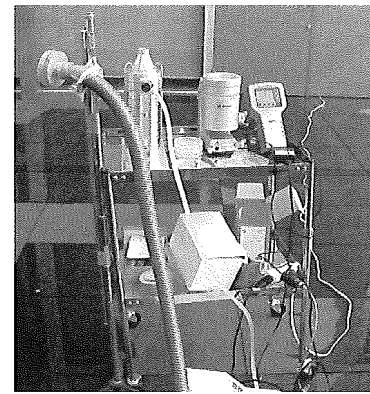


写真-2-1 測定風景

② CP 加ポテトデキストロース寒天 (以降 PDA と呼ぶ)。本培地はポテトデキストロース寒天培地に抗生物質クロラムフェニコール  $100\text{mg/L}$  を添加して調製したものであるため、主として真菌の測定に用いられる。

また、フィルタのゼラチンは動物由来のゼラチンであり、メンブレン構造となっている。ゼラチンフィルタで浮遊細菌、真菌を捕集した後、細菌については SCD、真菌については PDA 培地に移して培養した。

なお、SCD と PDA 培地の培養条件はそれぞれ  $32^\circ\text{C} \cdot 48$  時間、 $25^\circ\text{C}$ 、72 時間とした。測定風景を写真-2-1 に示す。

### C. 研究結果

浮遊真菌と浮遊細菌の測定期間中の浮遊粒子濃度を図-2-5、図-2-6 に示す。

浮遊真菌の測定期間中において、浮遊粒子粒径別

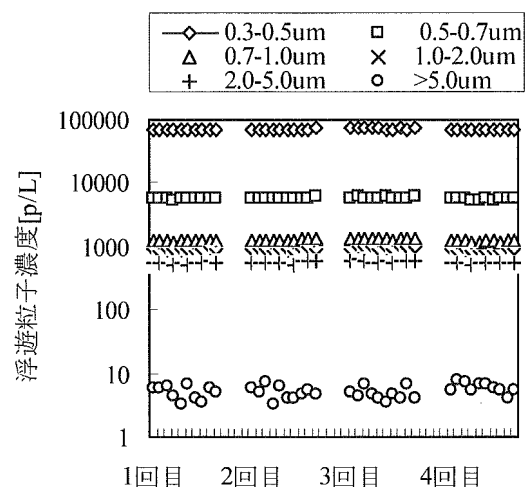


図-2-5 浮遊粒子濃度 (浮遊真菌測定時)

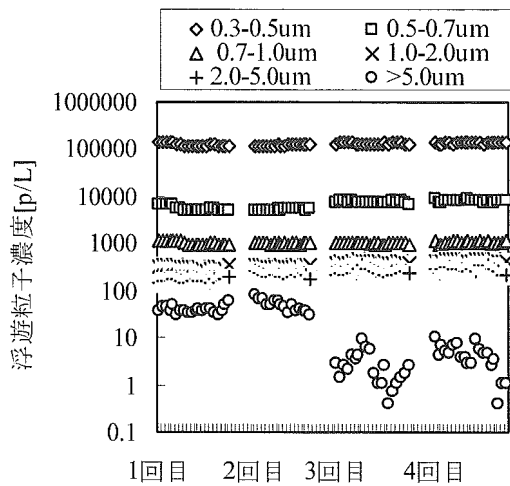


図-2-6 浮遊粒子濃度 (浮遊細菌測定時)

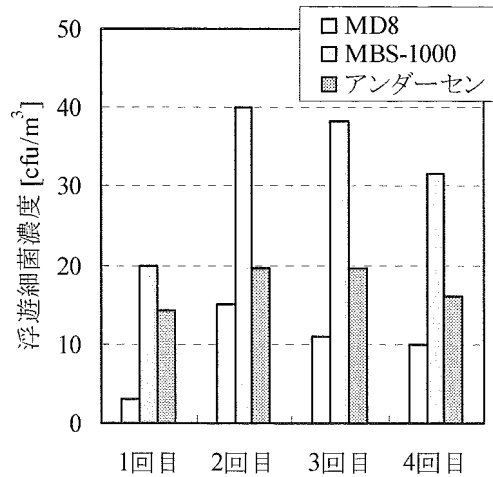


図-2-8 浮遊細菌の測定結果

濃度がほぼ同じであったことが分かる。また、浮遊細菌の測定期間中に  $5\mu\text{m}$  以上の浮遊粒子濃度が低下したものの、 $1\sim 5\mu\text{m}$  の浮遊粒子濃度は上昇、 $1\mu\text{m}$  以下の浮遊粒子濃度はほぼ同じであった。

図-2-7 に浮遊真菌の測定結果を示す。4回測定の結果、どれも MD8, MBS-1000, アンダーセンの順に高くなっている。アンダーセンの測定値を1とした場合、MD8は0.59, MBS-1000は0.78であった(4回の平均値)。

図-2-8 に浮遊細菌の測定結果を示す。4回測定の結果、どれも MD8, アンダーセン, MBS-1000の順に高くなっている。アンダーセンの測定値を1とした場合、MD8は0.56, MBS-1000は1.87であった(4回の平均値)。

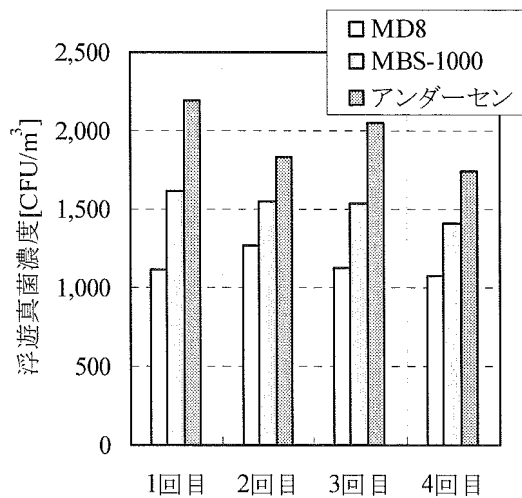


図-2-7 浮遊真菌の測定結果

#### D. 考察

MD8はフィルタ法を用いているが、他の測定器に比べ、浮遊真菌、細菌の測定結果の何れにおいても低い値を示した。ゼラチンフィルタに測定初期段階で捕集された微生物がその後、フィルタを通過する風により乾燥され、一部が損傷または死滅する可能性があると考えられる。これについては、次年度に詳細な検討を行う予定である。また、この検討結果は、空調システムのフィルタに捕集された微生物の挙動についても参考になるものである。

MBS-1000とアンダーセンは、浮遊真菌と浮遊細菌における測定結果が正反対になった。即ち、浮遊真菌の測定にはアンダーセン、浮遊細菌の測定にはMBS-1000の方が高い値を示した。これは、浮遊細菌と浮遊真菌の粒度分布、即ち測定対象粒子径に係るものであり、次年度において、更なる検討を行う予定である。

#### E. 結論

衝突法のMBS-1000(1段)、アンダーセン(6段)、及びフィルタ法のMD8(ゼラチンフィルタ使用)を用いて行った同時測定の結果、MD8は浮遊真菌と細菌の何れにおいても最も低い値を示した。また、浮遊真菌の測定にはアンダーセン、浮遊細菌の測定にはMBS-1000の方が高い値を示した。

#### 参考文献

- [1] 山崎省二編：環境微生物の測定と評価，オーム社，2001。

### 研究3 浮遊微生物の測定における諸培地の比較

研究協力者：山田花菜 国立保健医療科学院  
建築衛生部 研究生

#### A 研究目的

今年度では、真菌の測定に用いられる諸培地の比較を行った。真菌の検出に諸種類の培地が用いられている。日本では主として PDA 培地がよく用いられ、日本建築学会環境基準 AIJES-A002-2005 も PDA 培地を推奨している<sup>[1]</sup>。一方、欧州などでは好稠性真菌の検出に適するとされる DG18 や M40Y などの培地がよく用いられている。

このように、異なる培地による測定結果間の比較が難しくなっているのは現状である。そこで本研究では、PDA、M40Y、DG18 培地を用いた同時測定を行い、異なる培地間の測定性能に関する検討を行った。

#### B. 研究方法

##### 1. 使用測定器

微生物の測定には MBS-1000 (前出) を用いた。また、浮遊微生物濃度の測定に KR-12A (前出) を用いた。

##### 2. 使用培地

比較に用いた PDA、M40Y、DG18 の成分は以下の通りである。

###### PDA

Potato 200g  
Glucose 15g  
Agar 20g  
Distilled water 1L  
Chloramphenicol 0.1g

###### M40Y

Malt extract 20g  
Yeast extract 5g  
Sucrose 400g  
Agar 20g  
Distilled water 1L

###### DG18

Peptone 5g  
Glucose 10g  
Potassium dihydrogen phosphate (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 1g

Magnesium sulphate (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) 0.5g  
Dichlorane(2,6-dichlor-4-nitroanilin) 0,2%in ethanol 1mL  
Chloramphenicol 0.1g  
Glycerol 220g  
Agar 15g  
Distilled water 1L

#### 3. 測定方法

PDA 培地、M40Y 培地、DG-18 各 1 枚を設置した MBS-1000 計 3 台を用いて同時に測定を行った。測定は計 10 回を行い、1~5 回は吸引量 200L、6~10 回は吸引量 500L とした。なお、浮遊微生物測定期間中において、浮遊粒子濃度の 1 分間隔の連絡測定を行った。

各培地に捕集された浮遊真菌を 25°C、5 日間の培養を行った後、形成されたコロニーを計数し、同定を行った。

#### C. 結果

図-3-1 に浮遊微生物測定期間中における粒径別浮遊粒子濃度の測定結果を示す。浮遊微生物測定期間中浮遊粒子濃度が比較的安定していることが分かる。

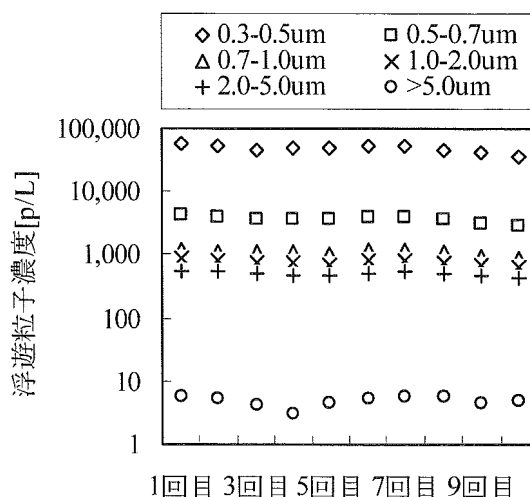


図-3-1 浮遊粒子濃度

図-3-2 に 3 種類の培地による浮遊真菌総数の測定結果を示す。全体的に、M40Y で測定された真



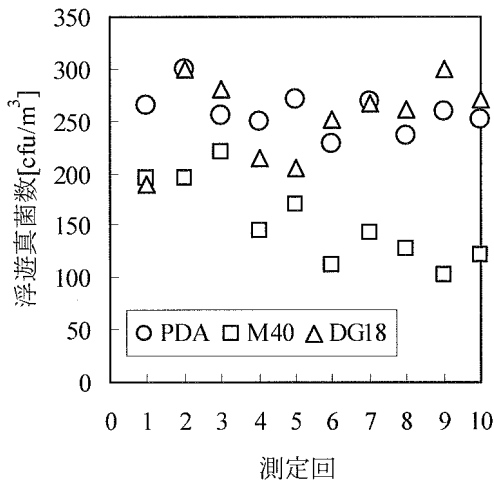


図-3-2 真菌総数の比較

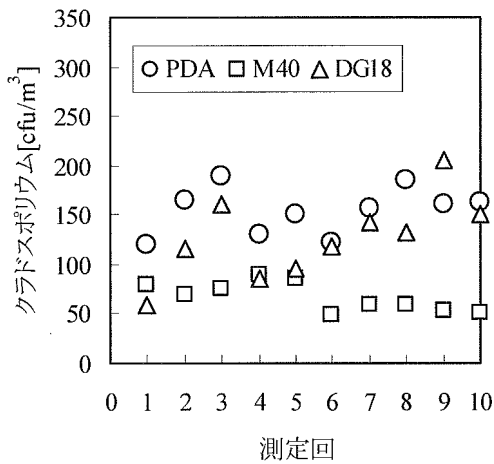


図-3-3 クラドスポリウム属菌の比較

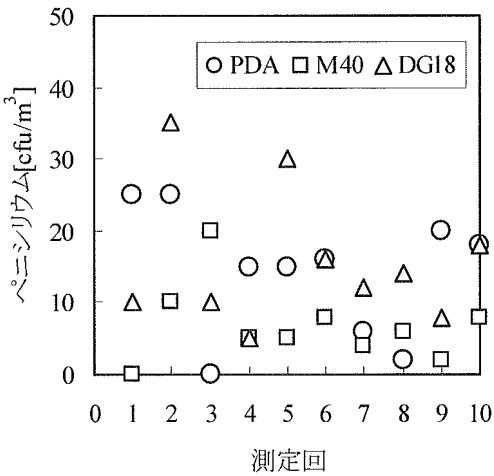


図-3-4 ペニシリウム属菌の比較

菌数が少ないが、PDA と DG18 での測定結果に明確な差が認められなかった。PDA, DG18, M40Y を用いた 10 回測定の平均値はそれぞれ、258 cfu/m<sup>3</sup>, 254 cfu/m<sup>3</sup>, 153cfu/m<sup>3</sup>であった。

図-3-3 に 3 種類の培地によるクラドスポリウム (*Cladsporium*) 属菌の測定結果を示す。総真菌数と同じように、M40Y での測定結果が全体的に低くなっている。PDA と DG18 での測定結果についてみると、9 回目の測定結果を除けば、その他の全てにおいて PDA での測定値が高くなっている。PDA, DG18, M40Y を用いた 10 回測定の平均値はそれぞれ、154 cfu/m<sup>3</sup>, 126cfu/m<sup>3</sup>, 67cfu/m<sup>3</sup>であった。写真-3-1 にクラドスポリウムの巨大培養と分生子を示す。

図-3-4 に 3 種類の培地によるペニシリウム (*Penicillium*) 属菌の測定結果を示す。総真菌数と同じように、M40Y での測定結果が必ずしも低くなっていない。また、PDA と DG18 での測定結果についてみると、同じ値を示すのは 2 回 (6 回目と 10 回目)、DG18 が比較的に高い値を示したのは 5 回であった。PDA, DG18, M40Y を用いた 10 回測定の平均値はそれぞれ、14 cfu/m<sup>3</sup>, 16cfu/m<sup>3</sup>, 7cfu/m<sup>3</sup>であった。写真-3-2 にペニシリウムの巨大培養と分生子を示す。

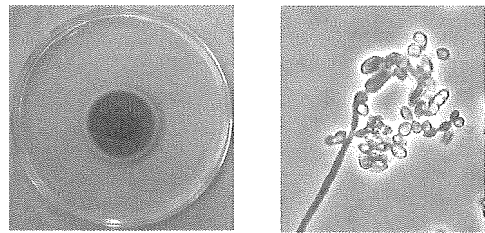


写真-3-1 クラドスポリウム

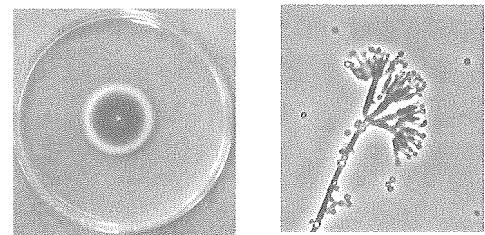


写真-3-2 ペニシリウム

## D. 考察

### ① PDA 培地について

前述した通り、PAD は日本でよく用いられている培地である。それは、一般居住環境中に最も高い確率でしかも多く検出された好湿性クラドスポリウムの測定に適していることが一因であると推察される。本研究では、図-3-3 に示している通り、PDA 培地でクラドスポリウムをもっとも多く検出されている。また、好稠性真菌を含めた総菌数においても、検出された真菌数は DG18 とほぼ同じである。以上の結果から、真菌の測定には PDA と DG18 倍値がほぼ同じ性能を示す。一方、一般居住環境における真菌の測定、とくに室内代表格のクラドスポリウムを測定においては PDA を用いるのが妥当であるといえる。

### ② DG18 と M40Y について

DG18 と M40Y は好稠性の真菌、即ち、高糖濃度、高塩濃度、高乾燥度など高い浸透圧の環境下でよく生育する真菌の発育に適するとされている<sup>[2]</sup>。このことは、今回の測定結果からも解釈できる。即ち、耐乾性の多いペニシリウム属菌においては、PDA より DG18 培地で若干多く検出されている（図-3-4）。M40Y 培地については、何れにおいても低い値を示している。

以上のことを総合して考えると、環境微生物の測定には、PDA と DG18 の使用が妥当である。

## E 結論

外気中の浮遊真菌における 3 種類の培地、即ち PDA, DG18, M40Y を用いて行った総真菌数、室内最も多く検出されるクラドスポリウム、ペニシリウムの比較の結果、真菌の測定に PDA と DG18 はほぼ同じ性能を示すことが明かになった。

## 参考文献

- [1] 日本建築学会：微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準・同解説，日本建築学会環境基準 AIJES- A002- 2005, 2005.
- [2] 日本微生物学協会編：微生物学辞典，技報堂，2000.
- [3] 高鳥浩介監修：かび検査マニュアル カラー図譜，特のシステム，2002.

## 研究 1～3

### F 健康危険情報

なし。

### G 研究発表

- [1] 柳宇，池田耕一，鍵直樹，山田花菜：エアフィルタによる微生物粒子除去に関する考察，室内環境学会誌，Vol.8(2)，204-5.2005.

### H 知的財産権の出願・登録状況

なし。

空調機エアフィルタの汚染物質の捕集と発生

分担研究者 鍵 直樹 国立保健医療科学院 研究員

研究要旨

本研究では、新品及び使用したエアフィルタについて、チャンバー及びフィルタ発生ガス測定装置を用いた発生ガス試験を行った。また、そのエアフィルタを含んだ実空調機通過空気の VOCs 及び微小粒子のエアフィルタの発生・透過（除去）率に関する実測を行った。

エアフィルタからの VOCs の発生量の測定には、小形チャンバー法を応用したもの、及び独自に製作したものをを用い測定を行った。使用済みのエアフィルタから VOCs の発生が確認され、面風速の違いにより発生量が異なることを明らかにした。また、実際の空調機から発生する VOCs の測定では、夏期の除湿時期の実験だったこともあり、結露水への VOCs の溶解などによりエアフィルタ後段では濃度の低減が見られるものもあった。また、エアフィルタの微小粒子の透過率について、実空調機での計測を行い、実際の空調機に装備されているエアフィルタについても、粒径 100nm 程度の粒子については、透過率が高く、エアフィルタでの捕集能力が低いことが明らかとなった。

A 研究目的

室内環境中の揮発性有機化合物(VOCs)の発生源として、内装材料などの建築材料からの放散に関する多くの検討が行われている。そして、厚生労働省により室内の濃度指針値が示され、ホルムアルデヒドなどは新築の住宅においてこの指針値を下回るような対策が行われている。また、粒子状物質に関しては、建築物衛生法により 10 μm 以下の粒子の重量濃度による規制が行われているが、人体に影響のある粒径範囲の粒子は更に微小なものであり、重量測定では評価することが困難であり、サブミクロンオーダーの粒子が対象とはならない。現実的には大気中に、自然発生源、ディーゼル排気ガスなど微小粒子が多く存在し、建築物内では換気が行われることにより室内に侵入すること、室内での発生がある場合には、これも含めて室内の空気を作り上げているために、微小粒子について考慮に入れることも重要となる。

オフィスビルなどの建築物や住宅にも換気が行われることにより、空調機由来の VOCs の発生についても考慮に入れる必要があると考えられる。特にオフィスビルなどに使用されるエアフィルタについては、外気及び還気空気がエアフィルタを通過し、室内環境中へ供給される。またエアフィルタの機能として、ある程度の粒径の粒子は

除去することが可能であるが、ガス状物質については除去することはない。逆にこれからの発生にも注目する必要があると考えた。

通常建築物に使用されるエアフィルタは粗じんフィルタ及び中性能フィルタで、通常ガラス繊維又は高分子樹脂で加工されている素材を接着剤などをつないでフィルタろ材としているため、VOCs の発生が危惧される。また、既往の研究<sup>1-3)</sup>では使用されダストを捕捉しているエアフィルタから発生する臭気成分について、独自の装置を用いて評価を行っている。

また、粒子状物質の除去についても、エアフィルタの除去効率、日本においては重量法又は比色法により行われ、粒径毎の微小粒子の除去率については評価の対象にはなっていないため、人体に影響が大きいとされる微小粒子の粒径分布毎の除去性能について把握する必要がある。

そこで本研究では、チャンバー及びフィルタ発生ガス測定装置を用いて新品及び使用したエアフィルタについての発生ガス試験を行った。これは測定装置の検討及び発生の特性も含めて検討を行うことを目的としている。また、そのエアフィルタを含んだ実空調機通過空気の VOCs 及び微小粒子のエアフィルタの発生・透過（除去）率に関する実測を行った。これは、例えば空調機、エアフィルタ前段にガス及び粒子状の汚染物質が

投入された際に、現在装備されているフィルタによりどの程度除去することが可能なのかについて、基礎資料となるものと考えられる。

## B 研究方法

### 1 チャンバーを用いた VOCs 除去測定概要

建築材料から発生する VOCs の放散量の測定には、小形チャンバーを用いることから、本研究でもこれを使用することとした。対象としたエアフィルタは某ビルの4階を受け持つ空調機に使用されている中性能フィルタとし、2005年1月より3ヶ月程度使用したものである。図1に示すように20×50cmに切り出したフィルタを空気が全面に当たるようにステンレスチャンバー(容積:20L, 温度28℃, 相対湿度:50%)内に配置し、清浄空気で換気(流量:0.33L/min, 換気回数:1回/h)を行い1日後に空気の捕集し、その放散量を求めた。通常の建材の測定では、気流の方向に水平の状態を立てかけることとなるが、表面から放散するものを対象としている。エアフィルタのように実際にフィルタろ材内部から発生するものをこの方法では測定しているものではない。ホルムアルデヒド・カルボニル化合物及び VOCs の捕集は DNPH カートリッジ及び Tenax 捕集管により行い、HPLC 及び GC/MS を用いて分析を行った。

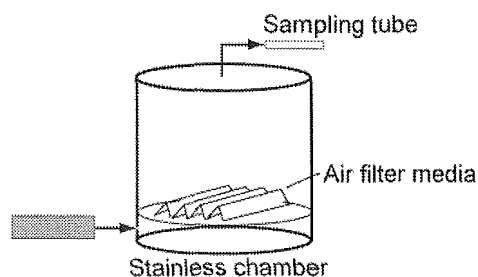


図1 チャンバーを用いた実験概要

### 2 新規装置による発生ガス測定

エアフィルタからの発生量を求める方法として、上記の方法では、エアフィルタ自体に空気が通過しておらず、実際のエアフィルタの使用状態とは異なる。またエアフィルタを通過した空気の風速の発生量に与える影響も明らかにされていない。そこで、フィルタを通過した空気を対象としてその発生量を求めることを目的として、図2に示すように、フィルタをガラス製のジグにより挟み込み、フィルタろ材(84mmφ)に清浄空気を通

過させた後の空気を測定することとした。試験には先に示した使用済みフィルタを使用し、28℃, 50%RHの環境下で行い、流量を1~5 L/minとした。フィルタ面の面風速は、5L/minの時に0.015m/s程度である。



図2 フィルタ発生ガス測定用装置

### 3 実空調システムにおけるエアフィルタの VOCs 発生測定

使用済みエアフィルタを設置していた空調機が設置されている図3に示すような空気調和システムにおいて、空調機の上流・下流の空気の測定を行った。ここでは、還気と外気を混合し、プレフィルタ、エアフィルタを通してコイルで冷却、除湿又は加温・加湿をするもので、この測定を夏期(6月)に行っているため、加湿は行っていない。プレフィルタの上流側(P1)及び加湿器の下流側(P2)を測定点とした。

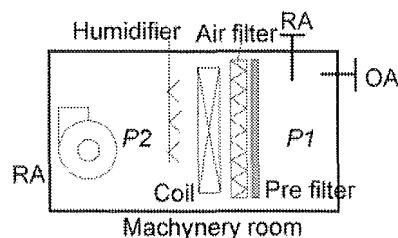


図3 空調システムの概要

### 4 実空調システムにおけるエアフィルタの微粒子透過の測定

微小粒子のエアフィルタによる透過率の計測についても、上記と同様に上流側(P1), 下流側(P2)及び外気, 居室において行った。計測には、粒径10nm から500nmに32チャンネルの粒径範囲の個数濃度が計数可能なワイドレンジ粒子スペクトロメータ(MPS社:WPS Model 1000XP)を用いた。これは微分モビリティ分離技術および凝縮核測定技術を用いた粒径分布及び粒子個数濃度の計測を行うことのできる装置である。

測定には、2006年冬期の晴天の某日に、P1, P2, 外気, 室内の順で、20分間ずつ計測を行い、

各測定点における濃度データを算術平均値として求めた。

### C 研究結果

#### 1 チャンバーを用いた VOC 除去測定概要

図4にホルムアルデヒド、アセトアルデヒド及びTVOCの発生量について示す。新品のフィルタでもそれぞれの物質については検出されているが、使用されたフィルタの方がフィルタの汚れの影響により多く検出されており、この方法で発生量の違いを判明することができる。しかしながら、検出量がごく微量であること、また空気がフィルタを通過せず、表面を接触する状態であることが考えられ、実際のフィルタの使用環境とは異なることが問題である。そのため次に示す空気通過型のチャンバーを用いた。

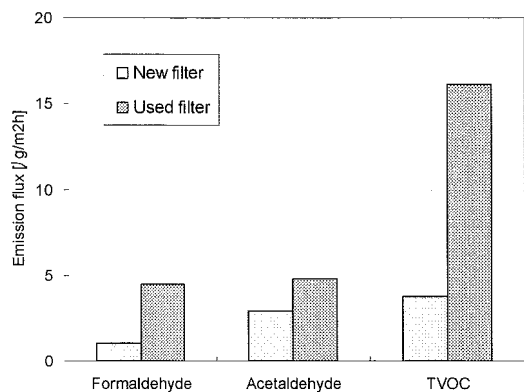


図4 フィルタからの発生量

#### 2 新規装置による発生ガス測定

使用済みフィルタを使用した空気通過型のチャンバーを用いた発生ガス測定結果を図5に示す。新品フィルタについては、この方法では検出されないレベルであった。また使用済みフィルタに関しての結果は、流量に関わらず濃度として表しているが、物質によっては流量が増えることにより下流側の濃度が減少する傾向が見られた。また、図6に風量から単位時間あたりの発生量として換算した値を示す。発生量としては、面風速が多くなるほど高い値となった。濃度としては低くなるものの、発生量は異なっており、小形チャンバー法を応用した方法では、エアフィルタの通過風量を考慮に入れていない分、少なく見積もっている可能性もある。今回設定した条件では、フィルタ面の面風速は5L/minの時に0.015m/s程

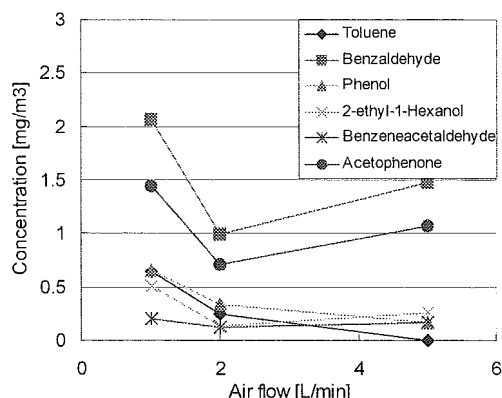


図5 流量による発生ガス測定結果

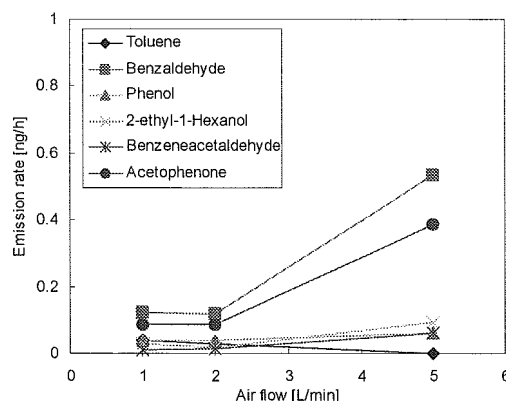


図6 通過風速とフィルタからの発生量の関係

度であり、定格面風速の0.125m/s（プリーツ型のユニットとして2.5m/s）よりも更に遅い速度であることから、流速による影響についても今後検討する必要がある。

#### 3 実空調システムにおけるエアフィルタの発生・透過量

表1に上流及び下流のVOCs濃度を示す。空調機全体で発生しているものがあれば、下流側の濃度が物質によっては高い値となるが、多くの物質

表1 空調機の上・下流空気の測定結果

Compounds	Upstream Conc. [µg/m <sup>3</sup> ]	Downstream Conc. [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio
Formaldehyde	2.2	1.6	0.71
Acetaldehyde	3.3	3.5	1.07
Toluene	35.1	30.8	0.88
Hexanal	1.5	1.2	0.80
m,p-Xylene	13.8	12.0	0.87
Styrene	13.0	11.1	0.86
o-Xylene	6.3	5.8	0.92
1S- $\alpha$ -Pinene	2.6	2.2	0.85
Benzene, 1,2,3-trimethyl	2.1	2.3	1.12
Decane	2.4	2.6	1.10
1-Hexanol, 2-ethyl-	5.3	3.7	0.69
Heptadecane	4.9	5.3	1.07
TVOC	130	117	0.90

において下流側の方が低い値となり、TVOC 濃度でも、上流側、下流側それぞれ 130, 117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  となり空調機によってわずかながらも除去されていることになる。

#### 4 実空調システムにおけるエアフィルタの微粒子透過の測定

図7にある測定日における空調機前段(Up), 空調機後段(Down), 外気(Outdoor), 室内(Indoor)の粒径別粒子濃度を示す。両日では濃度レベルが異なるものの、冬期の測定であったので、外気については微小粒子の濃度が高く、またピークがダブルモードとなった。濃度レベルは各粒径において、外気が高く、外気と室内の還気が混合する P1, エアフィルタにより粒子が捕集された空気 P2, そして室内となった。

図8に室内濃度と外気濃度の比 (I/O 比) について示す。室内と外気の濃度比については、過去にも研究<sup>4,5)</sup>が行われており、本研究で行った部屋は、室内でのたばこ煙など微粒子を発生させる人間の活動がない条件であったために、I/O 比は1を切り、今回の粒径範囲では微小になるほど低い値、大気よりも濃度が低い傾向となった。一般

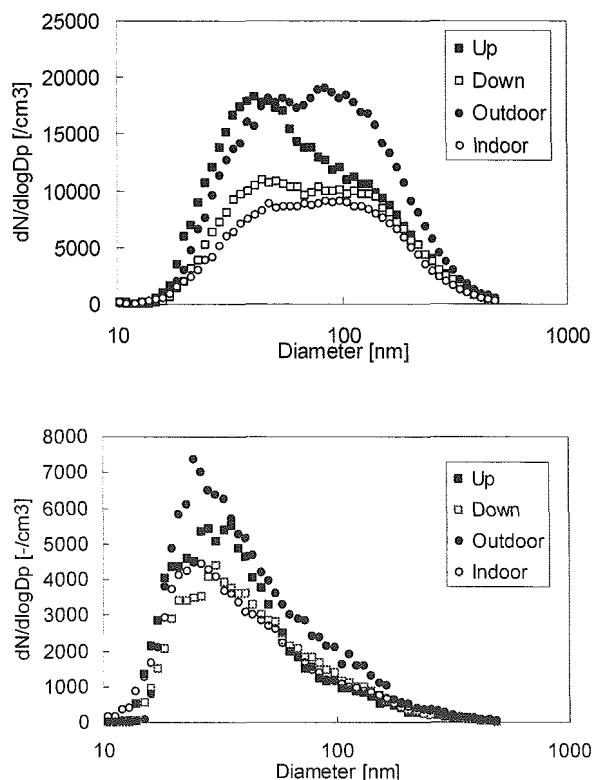


図7 各測定点における粒径別粒子濃度

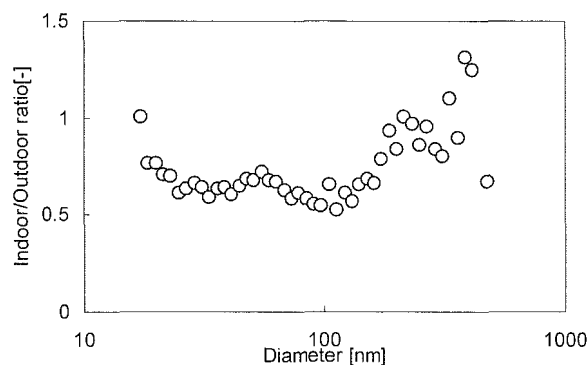


図8 室内・外気濃度の濃度比 (I/O 比)

に粒径 200nm 程度の粒子は、フィルタ及びダクト、室内壁面などに沈着しにくく、空間中に浮遊する傾向にあること、室内への侵入の経路によっても、この粒径前後については、外気の影響を受けやすいことが明らかになっている。

#### D 考察

エアフィルタから発生する VOC の測定方法については、小形チャンバーを使用して行った。エアフィルタの特性としてエアフィルタろ材に空気が通過することによる VOC 発生の影響について考慮すると、発生量を過小評価している可能性があるため、フィルタの測定方法の検討は今後必要である。

また空気を通過させて発生させるチャンバーについては、面風速の違いにより下流側の濃度が減少し、風速による影響が示唆された。今回使用した流量の設定した条件では、フィルタ面の面風速は 5L/min の時に 0.015m/s 程度であり、定格面風速の 0.125m/s (プリーツ型のユニットとして 2.5m/s) よりも更に遅い速度であることから、流速による影響についても今後検討する必要がある。

実空調機によるエアフィルタ前後での VOC 濃度の実測については、多くの物質に関して下流側の方が低い値となっていた。この原因としては、エアフィルタがガス状物質を吸着したのではなく、試験当日の上流側温湿度は平均して、25.3 $^{\circ}\text{C}$ 、63.8%RH であり、コイルなどで除湿することによる結露水の生成によって VOC の除去の効果などもあって、全体としては低減されることとなったと推測できる。

また、同様に粒子についてのエアフィルタ前後

での濃度変化では、エアフィルタの粒子の沈着により減少する傾向がみられた。図9にエアフィルタ前後の濃度の比から求めた、実測での条件のエアフィルタの粒子透過率を示す。粒径100nm前後をピークとして、微小・粗大になると透過率が下がり（除去率が上がり）、粒径100nm程度がこの環境下でもフィルタで除去することが困難であることが分かる。また、先に示した室内と外気濃度のI/O比からも、エアフィルタの特性による影響が強く現れていると言える。

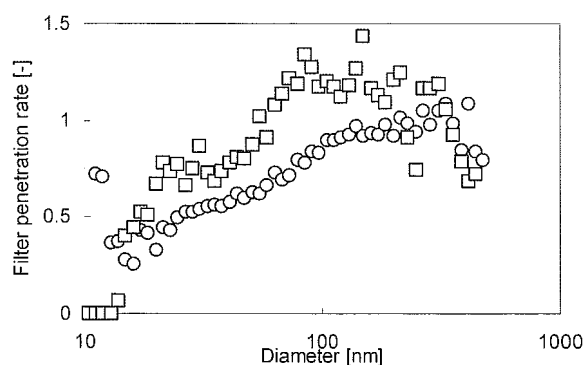


図9 エアフィルタの粒子透過率

#### E 結論

エアフィルタから発生するVOCsについて、発生量試験及び実測、また粒子状物質のエアフィルタによる粒径別の除去効率について実測による検討を行った。

- 1) 小形チャンバーを用いたVOC発生量の測定により、新品のフィルタでもそれぞれの物質については検出されているが、使用されたフィルタの方がフィルタの汚れの影響により多く検出されていることが分かった。
- 2) フィルタの面風速を考慮に入れた測定方法により、面風速の違いにより、下流側濃度が異なった。単位時間当たり単位面積当たりの発生量としては、流速が多くなるほど高い値となった。ており、風速の影響はあるため、今後検討する必要がある。
- 3) 実空調機によるエアフィルタ前後でのVOC濃度の実測については、多くの物質に関して下流側の方が低い値となっていた。この原因としては、コイルなどで除湿することによる結露水の生成によるVOCの除去の効果などで、低減されることとなったと推測した。

- 4) 粒子についてのエアフィルタ前後での濃度変化では、エアフィルタの粒子の沈着により減少する傾向がみられた。室内と外気濃度のI/O比の特性と同様に、粒径100nm前後で透過率の特性が異なることにより、室内の濃度に影響を及ぼしているものと考えられる。

#### F 健康危険情報

なし。

#### G 研究発表

鍵直樹, 柳宇, 池田耕一, 山田花菜, 堀越玲子: エアフィルタから発生する揮発性有機化合物の測定方法に関する検討, 室内環境学会総会講演集, Vol.8, No.2, pp.132-133, 2005.11

#### H 知的財産権の出願・登録状況

なし。

#### 参考文献

- 1) G. Beko et al.: Initial studies of oxidation processes on filter surfaces and their impact on perceived air quality, *Healthy Buildings 2003*, 156-162
- 2) P. Stream-Tejsen et al.: Sensory pollution load from a used ventilation filter at different airflow rates, *Healthy Buildings 2003*, 257-261
- 3) H. Schlievinger et al.: Air filters from HVAC system as possible source of volatile organic compounds (VOC)-laboratory and field assays, *Atmospheric Environment* 33, 4571-4577, 1999
- 4) I.K.Koponen et al.: Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999 -the effect of outdoor air pollution on indoor air, *Atmospheric Environment*; 35: 1465-1477, 2001.
- 5) 鍵直樹, 藤井修二, 栖川崇: 建築物における微粒子の外気と室内濃度の関係, 第21回エアロゾル科学・技術研究討論会, pp. 93-94, 2004
- 6) 堀場容平, 藤井修二, 鍵直樹: 室内空間における超微粒子および微粒子の粒径別挙動の把握とモデル化, 第23回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp. 285-287, 2005.

エアフィルタ捕集性能の経時変化特性に関する研究

分担研究者 並木 則和 金沢大学大学院自然科学研究科助教授

研究要旨

中性能エアフィルタはビルなどの一般空調において主要なフィルタとして用いられている。特にクリーンルームにおいては外気の取り入れ口に設置され、下流に置かれている高性能フィルタへの負担を軽減するためのプレフィルタとして用いられている。しかし、フィルタを交換する指針として重要な、粉塵堆積時の圧力損失の経時変化の推定法は未だ確立していないのが現状である。そこで本研究では、多分散粒子の集塵性能を予測する基礎研究として、粒径の揃った単分散粒子を対象とし、単一繊維濾過理論に基づいて、粉塵堆積時の圧力損失に大きく影響を与える繊維層内の堆積粒子量分布を考慮した圧力損失の経時変化推定法について効率上昇因子 $\lambda$ 、圧力損失上昇係数 $\beta$ および圧力損失上昇指数 $\gamma$ を導入して検討した。

その結果、本研究の実験条件範囲内では、圧力損失上昇指数 $\gamma$ は1.3であった。また、粉塵堆積時のフィルタ集塵性能の経時変化から導出した効率上昇因子 $\lambda$ と圧力損失上昇係数 $\beta$ の間に強い相関が見られたことから、 $\lambda$ と $\beta$ のどちらか一方の情報から単分散粒子に対する集塵性能の経時変化の推定が可能である。

A 研究目的

本研究で対象とする中性能エアフィルタは、ビルなどの一般空調において主要なフィルタとして用いられており、特にクリーンルームにおいては外気の取り入れ口に設置され、下流に置かれている高性能フィルタへの負担を軽減するためのプレフィルタとして用いられている。このようなフィルタの寿命を考えた場合、粉塵堆積時の圧力損失を推定することは重要であるが、実際の使用環境では粒径の揃っていない多分散粒子が除去対象粒子となるため、複雑な濾過が行われていると考えられる。

これまで様々な圧力損失の経時変化推定法が提案されている<sup>1)・2)・3)</sup>が、そのほとんどは濾過の初期段階をよく表現しているのみで、フィルタの交換時期を予測する際に重要な、圧力損失が急激に上昇する段階を十分に表現できていない。この原因として、濾過が進行するにつれて大きくなる堆積粒子間の相互作用や堆積粒子・繊維間の相互作用を考慮できていないことが挙げられる。

本研究では、多分散粒子の集塵性能を予測する基礎研究として、粒径の揃った単分散粒子を対象とし、単一繊維濾過理論に基づいて、粉塵堆積時

の圧力損失に大きく影響を与える繊維層内の堆積粒子量分布を考慮した圧力損失の経時変化推定法について検討した。

B 研究方法

B-1 堆積粒子量分布  $m(x, t)$  の導出方法

単分散粒子を堆積させたフィルタに対する圧力損失の経時変化を推定する際には、まずフィルタ内に堆積している単分散粒子の堆積量分布を求める必要がある。そこで本研究では、単分散粒子の堆積量分布を江見ら<sup>4)</sup>が提案した単分散粒子堆積時の捕集効率推定法より求めた。その方法を以下に示す。

表面濾過に達する以前(深層濾過)では、フィルタ深さ  $x$  における粒子濃度  $C[\text{kg}/\text{m}^3]$  と堆積粒子量  $m[\text{kg}/\text{m}]$  は時間の経過とともに変化する非定常濾過であるので、物質収支式は Eqs.(1), (2) のように表される。

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\frac{ld_f}{1-\alpha} \eta_m C \quad (1)$$



$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\frac{l}{u} \frac{\partial m}{\partial t} \quad (2)$$

ここで、 $l(=4\alpha/\pi d_f^2)$ はフィルタ単位体積あたりの繊維長さ[m/m<sup>3</sup>]、 $d_f$ [m]は繊維径、 $u$ [m/s]は濾過速度、 $\alpha$ [-]はフィルタの充填率である。また、 $\eta_m$ [-]は粒子がフィルタに堆積している場合の単一繊維捕集効率であり、単分散粒子のみを堆積させた場合、 $\eta_m$ はEq.(3)のように堆積粒子量  $m$  の一次式で表されることが実験<sup>5)</sup>からもシミュレーションの結果<sup>6)</sup>からも確認されている。

$$\eta_m = \eta_0(1 + \lambda m) \quad (3)$$

ここで、 $\eta_0$ は初期単一繊維捕集効率である。また、 $\lambda$ は効率上昇因子と呼ばれる定数である。Eqs.(1)~(3)を解くことで任意のフィルタ深さ  $x$ 、時間  $t$  における捕集効率  $E_m(x, t)$ 、堆積粒子量  $m(x, t)$  が次式のように得られる。

$$E_m(x, t) = 1 - \frac{\exp\left(-\frac{\eta_0 \lambda}{d_f(1-\alpha)} C_{in} u t\right)}{\exp\left(-\frac{\eta_0 \lambda}{d_f(1-\alpha)} C_{in} u t\right) + \exp\left(\frac{l \eta_0}{d_f(1-\alpha)} x\right) - 1} \quad (4)$$

$$m(x, t) = -\frac{1}{\lambda} \frac{\exp\left(-\frac{\eta_0 \lambda}{d_f(1-\alpha)} C_{in} u t\right) - 1}{\exp\left(-\frac{\eta_0 \lambda}{d_f(1-\alpha)} C_{in} u t\right) + \exp\left(\frac{l \eta_0}{d_f(1-\alpha)} x\right) - 1} \quad (5)$$

ここで、 $C_{in}$ は入口粒子濃度である。

本研究では、Eq.(4)を用い、捕集効率の経時変化の実測値  $E_m$  をよく相関する  $\lambda$  を最小二乗法より求め、得られた  $\lambda$  を Eq.(5)に適用することで、フィルタ内に堆積している単分散粒子の堆積量分布  $m(x, t)$  を求めた。

## B-2 圧力損失の経時変化推定法

圧力損失の経時変化の推定式を、単一繊維の抗力から圧力損失を推定する方法である抗力理論より求める。

繊維が清浄である場合、繊維単位長さあたりに働く初期の流体抵抗  $F_0$ [N/m]と、層厚み  $L$ [m]、繊維径  $d_f$ 、充填率  $\alpha$  のフィルタの初期圧力損失

$\Delta p_0$ [Pa]との間には Eq.(6)の関係が成立する。

$$\Delta p_0 = \frac{lL}{1-\alpha} F_0 \quad (6)$$

ここでは粉塵堆積時の圧力損失の増加を、繊維に堆積した粒子量による流体抵抗の増加によるものとする。そこで、繊維が清浄である場合の Eq.(6)を粉塵堆積時に拡張し、堆積粒子量  $m$  がフィルタ深さ方向に対して分布をもつことを考慮すると、粉塵堆積時の圧力損失  $\Delta p_m$  は Eq.(7)のようになる。

$$\Delta p_m(t) = \frac{l}{1-\alpha} \int_0^L F_m(x, t) dx \quad (7)$$

ここで、粉塵堆積時の流体抵抗  $F_m(x, t)$  を、フィルタ内で堆積粒子間、堆積粒子-繊維間の相互作用が起こることを考慮し、前節で得られた堆積粒子量  $m(x, t)$  を用いて次式で与えた。

$$F_m(x, t) = F_0(1 + \beta m(x, t)^\gamma) \quad (8)$$

Eq.(8)中の初期の流体抵抗  $F_0$  は初期の圧力損失の実測値から Eq.(6)を用いて算出した。また、 $\beta$  は圧力損失上昇係数、 $\gamma$  は圧力損失上昇指数であり、濾過がある程度進行すると、上記のような相互作用が大きくなり急激に圧力損失が上昇すると予想される。この現象を考慮するため堆積粒子量  $m$  を  $\gamma$  乗じて重みをつけた。

本研究では、以上のように仮定した圧力損失の経時変化推定法の妥当性を実験により確認し、得られた効率上昇因子  $\lambda$ 、圧力損失上昇係数  $\beta$  および上昇指数  $\gamma$  と濾過条件との関係を明らかにする。

## C 実験装置および方法

実験装置のフローチャートを Fig.1 に示す。テストフィルタとしては、繊維径  $d_f=12, 17, 25\mu\text{m}$  の PET 繊維を充填率  $\alpha=0.03$ 、層厚み  $L=5, 10\text{mm}$  として均一に充填したフィルタを用いた。フィルタに堆積させるテスト粒子として、カルナウバロウ粒子(密度  $\rho_p=990\sim 1002\text{ kg/m}^3$ )を用いた。テスト粒子を単分散粒子発生装置 MAGE (Monodisperse Aerosol Generator : LAVORO E AMBIENTE 社製)

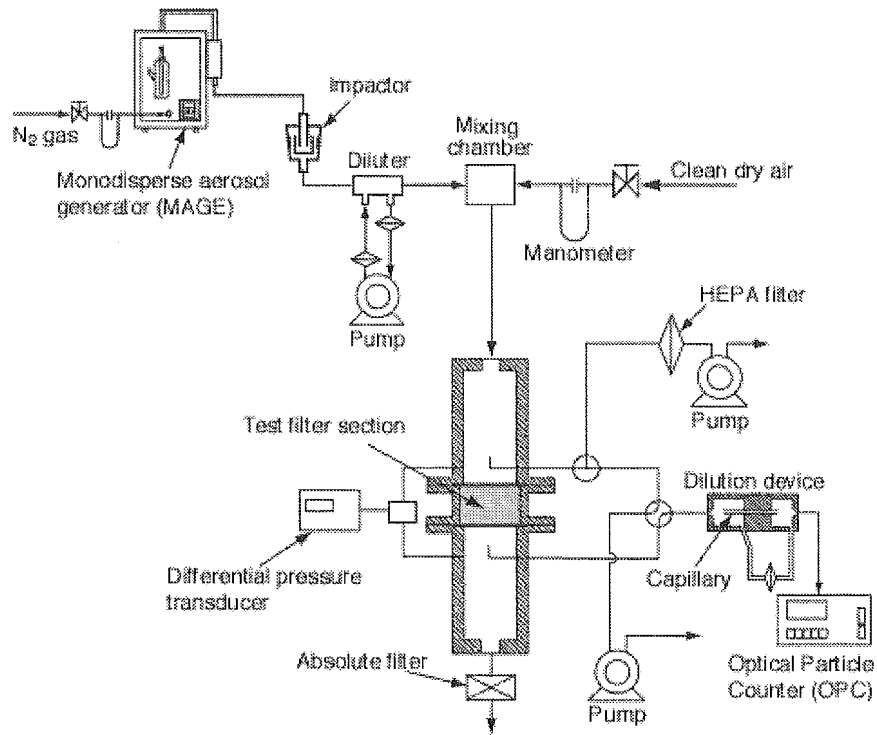


Fig.1 Flowchart of experimental setup.

による発生させて、インパクトで凝集粒子を除去した後、混合槽で清浄乾燥空気と混合しテストフィルタ部に導入する。また、捕集効率の経時変化は、フィルタ前後の粒子個数濃度を Optical Particle Counter ((株)RION 製, KC-01B)により測定し、その比から求めた。また、フィルタ前後の圧力損失は差圧変換器で測定した。

#### D 実験結果および考察

最小二乗法より Eq.(4)が実測値と適合するように  $\lambda$  を決定した結果の一例を Fig.2 に示す。図より、

$u$  を変化させても実測値と相関線はほぼ一致しており、これは他の異なる  $d_f$ ,  $d_p$ ,  $L$  の場合でも同様であった。

このことより、特定の  $\lambda$  を Eq.(4)に適用することにより捕集効率の経時変化を表せることがわかる。

各濾過条件で得られた効率上昇因子  $\lambda$  を Eq.(5)に代入するとフィルタ内の堆積粒子量分布  $m(x, t)$  が求まる。得られた  $m(x, t)$  を Eq.(8)に適用して圧力損失の経時変化の実測値とフィッティングを行い、 $\beta$  および  $\gamma$  を決定した結果の一例を Fig.3 に示

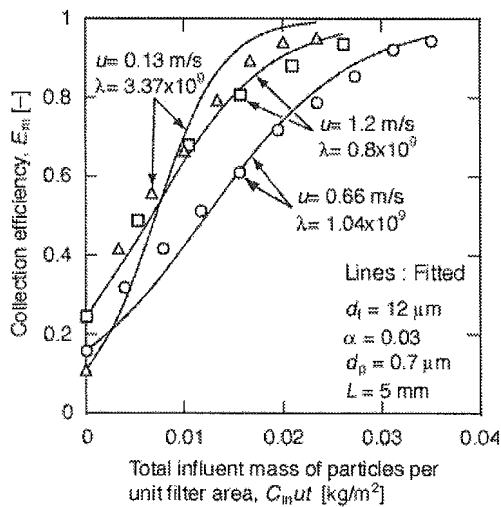


Fig. 2 Correlation between experimental collection efficiency and those fitted by Eq.(4).

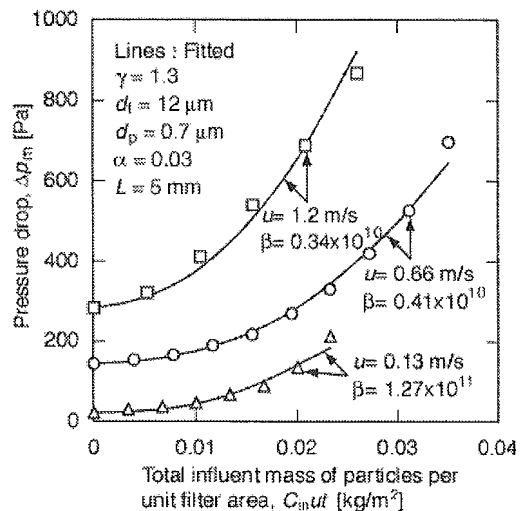


Fig.3 Comparison of experimental pressure drop with those fitted ones.

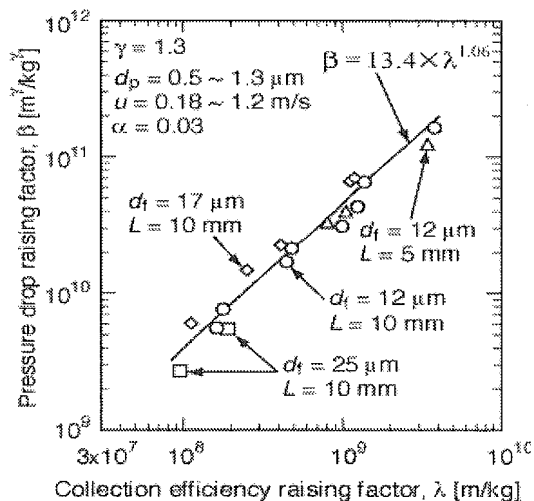


Fig.4 Relationship between  $\lambda$  and  $\beta$ .

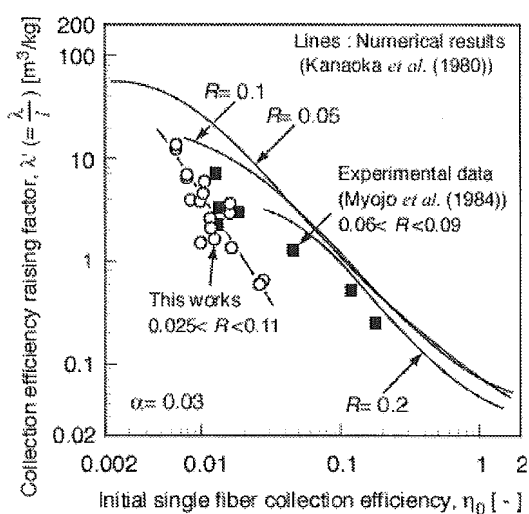


Fig.5 Relationship between  $\lambda'$  and  $\eta_0$ .

す。図より、 $u$  を変化させても  $\gamma=1.3$  とすれば実測値とよい相関が得られ、これは他の異なる  $d_f$ ,  $d_p$ ,  $L$  の場合でも同様であった。よって、圧力損失の経時変化の推定式として Eqs.(7), (8) を用いることは妥当であると考えられる。以上より、本実験では粉塵堆積時の圧力損失を初期圧力損失の 2~10 倍に達するまで測定しており、実際のフィルタが初期圧力損失の 2~3 倍になった時点で交換することを考えれば、本研究で提案した圧力損失推定法は有用であると言える。

次に、 $\gamma=1.3$  とした場合の  $\lambda$  と  $\beta$  の関係を Fig.4 に示す。図より、 $\lambda$  と  $\beta$  に強い相関が得られていることから、 $\lambda$  と  $\beta$  のどちらか一方の情報から単分散粒子に対する集塵性能の経時変化の推定が可能となる。そこで、 $\lambda$  を初期の単一繊維捕集効率  $\eta_0$  から予測できないかどうかを検討した。その結果を Fig.5 に示す。図より、本実験結果はこれまで

の研究者のデータ<sup>5)6)</sup>より低い値を示し、一致しないが、本実験データを 1 本の実験線とみなせば、実験より求めた  $\eta_0$  から  $\lambda'$  を求め、最終的に  $\lambda$  を求めることは可能である。

以上より、初期単一繊維捕集効率  $\eta_0$  が既知であれば効率上昇因子  $\lambda$  が求まり、Fig.4 の相関関係より圧力損失上昇係数  $\beta$  が得られるので  $\gamma=1.3$  とすれば、本研究で提案した推定法を用いて圧力損失の経時変化を推定することが可能と思われる。

## E 結論

単一繊維濾過理論に基づいて、粉塵堆積時の圧力損失に大きく影響を与える繊維層内の堆積粒子量分布を考慮した圧力損失の経時変化推定法について効率上昇因子  $\lambda$ 、圧力損失上昇係数  $\beta$  および圧力損失上昇指数  $\gamma$  を導入して検討した結果、本研究の実験条件範囲内では、圧力損失上昇指数  $\gamma$  は 1.3 であった。また、粉塵堆積時のフィルタ集塵性能の経時変化から導出した効率上昇因子  $\lambda$  と圧力損失上昇係数  $\beta$  の間に強い相関が見られたことから、 $\lambda$  と  $\beta$  のどちらか一方の情報から単分散粒子に対する集塵性能の経時変化の推定が可能であることが明らかになった。

## F 健康危険情報

なし。

## G 研究発表

なし

## H 知的財産権の出願・登録状況

なし。

## 参考文献

- 1) Bemer, D. and Calle, S.: *Aerosol Sci. and Technol.*, **33**, 427-439 (2000)
- 2) Hinds, W. C. and Kadrichu, N. P.: *Aerosol Sci. and Technol.*, **27**, 162-173 (1997)
- 3) Novick, V. J., Monson, P. R. and Ellison, P. E.: *J. Aerosol Sci.*, **23**, 657-665 (1992)
- 4) Yoshioka, N., Emi, H., Yasunami, M. and Sato, H.: *Kagaku Kogaku*, **33**, 1013 (1969)
- 5) Kanaoka, C., Emi, H. and Myojo, T.: *J. Aerosol Sci.*, **11**, 377 (1980)
- 6) Myojo, T., Kanaoka, C. and Emi, H.: *J. Aerosol Sci.*, **15**, 483 (1984)

建築物内給水システムにおける飲料水の安全性確保に関する研究

分担研究者 伊藤 雅喜 国立保健医療科学院 水道工学部 水道計画室長

研究要旨

国内における建築物内給水システムにおける文献調査を行い、クロスコネクションによる水質異常、マンション内の浴槽水の他の住戸への逆流、受水槽水道におけるクリプトスポリジウムの集団発生の事例を収集した。クロスコネクションの事例ではどちらも引用として利用していたため、直接的な健康被害はなかったが、工場内で薬品等とのクロスコネクションがあった場合には重大な健康影響を及ぼす可能性がある。浴槽水の逆流では逆流防止機器の性能確保の重要性と、適切な場所に適切な逆流防止装置の設置を行うことが必要であることが示された。

A. 研究目的

本研究では建築物内給水システムにおける飲料水の安全性確保のための検討を行う。

B. 研究方法

平成17年度は国内におけるクロスコネクション、逆流等の事故事例を調査することにより、屋内給水システムに存在する問題点を抽出した。

C. 研究結果

1) 井戸水とのクロスコネクションによる水質汚染

水道水と井戸水を併用しているホテルの近隣世帯から水質異常の苦情があった(苦情の中身は明記されていない)。ホテルは8階建てで1~2階は水道水の直結給水で給水し、3~8階は井戸水を汲み上げてポンプにより給水していた。調査の結果、当該ホテルの井戸水システムが水道水システムに接続されており、揚水ポンプの運転時に水道水より高圧となった塩素処理された井戸水が、ホテル内の水道管を通じて配水管に逆流し、付近の世帯に水質異常が発生したものであった。

この接続は湯水時に水道水が不足したために、ホテル内の水道水システムを井戸水で補おうとして井戸水システムと水道水システムを接続する管を設置したものであった。工事を行ったのは指定工事業者ではなく、ホテルの所有者も給水装置工事についての知識がなかったため、この直結工事を施工させていた。対策としては、クロスコネクションとなっている水道水システムと井戸水システムの直結部分を切り離し、元の独立した2システム状態に復帰させた。

引用資料

「新版 直結給水と逆流防止装置設置基準」, 給水システム協会, 平成15年3月

2) 自動湯張り型強制循環式風呂釜における逆流事故

平成13年2月に築7年のマンションにおいて6階の浴槽の残り湯と見られる水が8階の住居へ逆流する事故が起こった。6階の当該住居では浴槽で入浴剤を使用しており、黄色の水が浴槽に残っており、8階住居からの流出水が黄色に着色していたことから逆流が疑われたものである。