

流と吹出口、吹出口と室内濃度の関係を示す。エアフィルタを通過した空気よりも、室内における空調吹出口の方が濃度の高い傾向となった。そして、吹出口から出た空気は、室内中の内装に沈着又は排気されることにより、低減されるのは、既往の研究の通りである<sup>4,5,6)</sup>。よって、空調機から吹出口までの間に何らかの発生源又は大気の流入などがあるものと考えられ、この原因については、今後の検討課題としたい。

## 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) トルエンや TVOC に関しては、若干後流側の濃度が高い傾向となっており、エアフィルタなど空調機による発生が認められた。また、季節毎の違いの要因については、除湿による結露水及び加湿水への溶解による影響が考えられる。
- 4) フィルタ装着時と非装着時の関係からは、フィルタ温度の上昇によるホルムアルデヒドなどの発生量の増加及び夏期の大气からのオゾンなどの酸化性物質によるホルムアルデヒドの生成なども理由として考えられた。トルエン及び TVOC については、フィルタの汚れの堆積による影響が考えられた。
- 5) 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 0.2  $\mu\text{m}$  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。
- 6) 空調吹出口と室内粒子濃度の関係から、微小

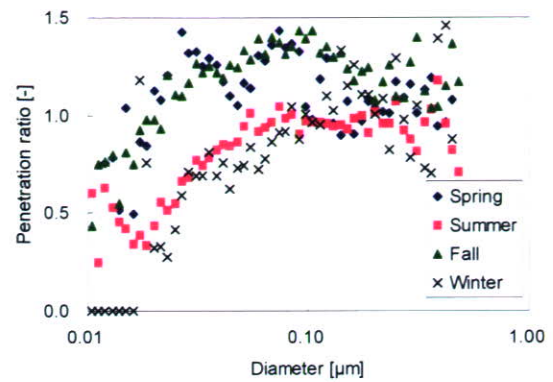
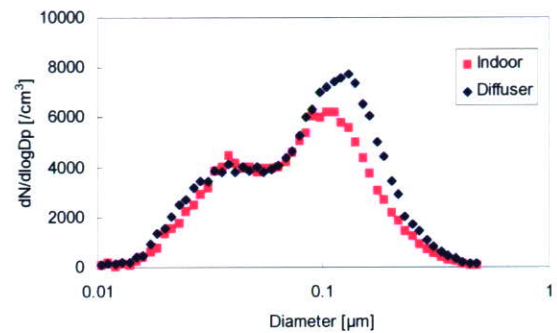
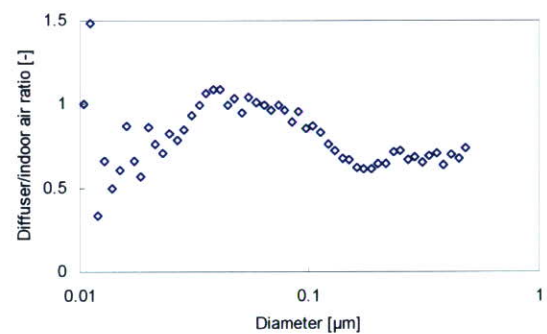


図 14 季節毎によるエアフィルタの透過率



(a) 室内と吹出口の粒子濃度



(b) 吹出口/室内濃度比

図 15 空調吹出口と室内粒子濃度の関係

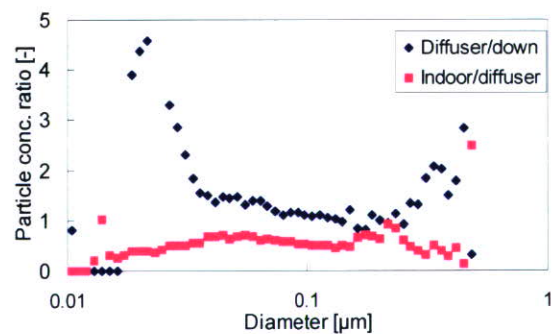


図 16 フィルタ下流、吹出口及び室内粒子濃度の関係

粒子においては室内濃度よりも室内空調吹出口の濃度が非常に高い傾向となった。空調機から吹出口までの間に何らかの発生源又は大気の流入などがあるものと考えられ、この原因については、今後の検討課題としたい。

#### F 健康危険情報

なし。

#### G 研究発表

- (1)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
- (2)鍵直樹, 柳宇, 池田耕一, 山田花菜, 堀越玲子: 各種チャンパーによるエアフィルタから発生する揮発性有機化合物, 第24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. 270-272, 2006
- (3)鍵直樹, 池田耕一, 柳宇: 実建物の空調機エアフィルタからの VOC 発生の調査, 第25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. 253-255, 2007
- (4)Naoki Kagi, Koichi Ikeda, and U Yanagi: Emission of Volatile Organic Compounds from Air Filter, Proceeding of IAQVEC2007 (The 6th International Conference on Indoor Air Quality,

Ventilation & Energy Conservation in Buildings), II -157-160, 2007.

#### 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) De-Ling Liu, William W. Nazaroff: Modeling pollutant penetration across building envelopes, Atmospheric Environment; 35: 4451-4462, 2001.
- 6) Congrong He, Lidia Morawska and Dale Gilbert: Particle deposition rates in residential houses, Atmospheric Environment; 39: 3891-3899, 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。

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

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

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、繊維単位長さ当たり

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。

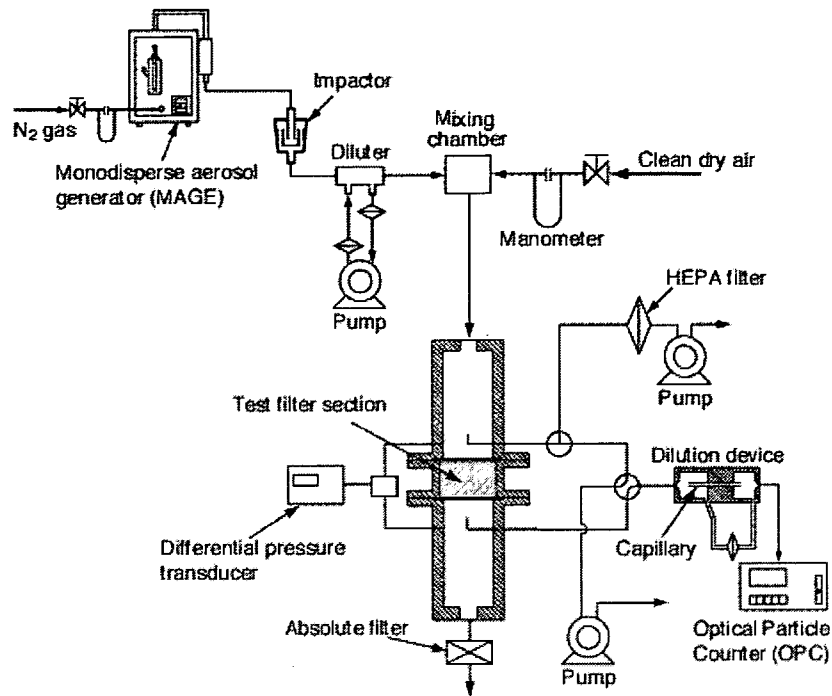


Fig.1 Flowchart of experimental setup.

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)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

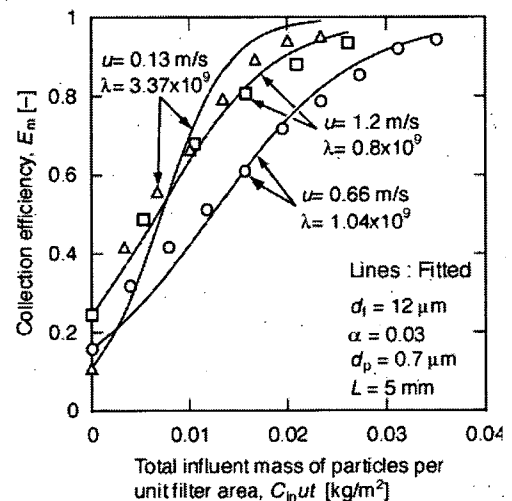


Fig.2 Correlation between experimental collection efficiency and those fitted by Eq.(4).

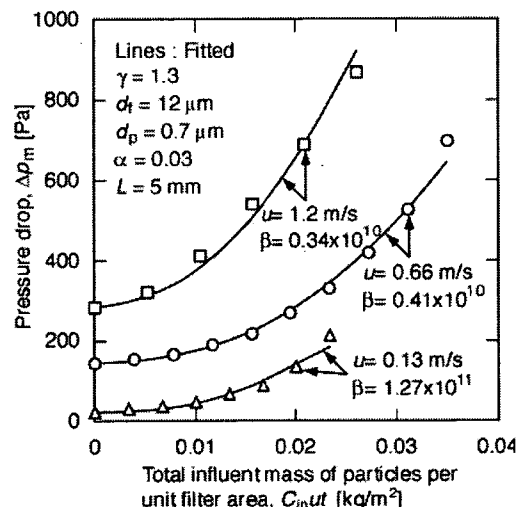


Fig.3 Comparison of experimental pressure drop with those fitted ones.

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。

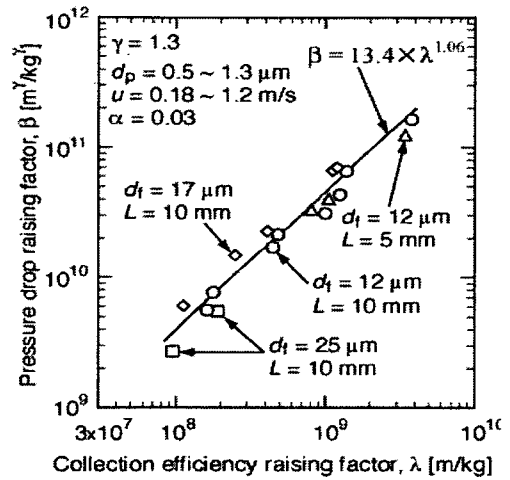


Fig.4 Relationship between  $\lambda$  and  $\beta$ .

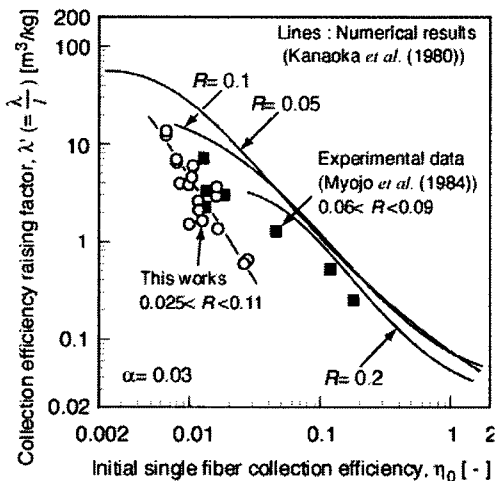


Fig.5 Relationship between  $\lambda'$  and  $\eta_0$ .

### 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)

建築物衛生における健康危機管理のあり方に関する研究  
－建築物内の給水に関わる現状と危機管理－

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

国内の事故事例調査では、給水装置工事に関する知識、関係法令に関する知識の不足によるもの、屋内の逆流防止機器の機能不全による事故の発生、建築物内の給水システムの不適切な設計による事故の発生等、原因が多岐にわたっていることが明らかとなった。国外の事例を含む調査では微生物が原因となった事故事例が多く、病院、療養施設における事故の発生が多かった。

リスクには微生物リスク、化学的リスクの他、水温のように通常の水道水では考慮しないリスクが存在する。また、配管工事等に伴うクロスコネクションは広範な健康被害をもたらすおそれがあり、水質だけでなく、施設の設計、維持管理も重要な課題である。リスク管理においては通常の技術的なリスクに関する考え方だけでなく、技術的に不可避なリスクについては、経済的リスクとしてどのように分担するかと言うことを検討しておくことも重要である。

**A 研究目的**

本研究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情報収集および検討を目的としている。

水道水は浄水場から水質基準を満たす水質を持つものが配られているが、浄水場から家庭等末端への送配水過程での水質の劣化のおそれがあると同時に、給水部分においても建築物内での滞留、クロスコネクション等により水質の健康危機リスクが上昇する。本研究では建築物内の飲料水の健康危機について事例研究、文献調査を元に情報整理を行うとともに、安全性確保のための方策を検討する。

**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、建築物内給水システムに存在する問題点を抽出した。

平成 18 年度は WHO で行っている“Water Safety in Buildings”の作成作業において情報収集を行っているケーススタディの情報を整理し、建築物内で発生しうる水質事故、感染症などの健康危機の事例およびその原因についてまとめた。これらは参加している専門家から随時提出

されたもので、系統立てた収集とはなっていないため、統計的な処理をすることはできないが、日本を含む世界各国（ドイツ、イギリス、ベルギー、スペイン、米国、アルゼンチンなど）から 26 編の事例を収集し、まとめた。

WHO では建築物内の飲料水の安全確保のためのガイドライン的文書“Water Safety in Buildings”を現在作成中である。2007 年内の文書化を目指していたため、これと連動して建築物内の飲料水の安全性確保方策のまとめをする計画であり、平成 17、18 年度は国内外の文献調査により事故例をまとめた。しかし作業が遅れており、安全性確保のための方策としては、現時点（平成 19 年度報告書作成時）で十分参考となるような情報としては整理されていない。このため平成 19 年度は WHO が 2006 年に出版した（ウェブから入手可能）“Health Aspects of Plumbing”から建築物内給水施設に関するリスク、留意事項を整理することとした。

**C 研究結果**

C-1 日本における事故事例調査

(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系統が水道水系統に接続されており、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。

この接続は濁水時に水道水が不足したために、ホテル内の水道水系統を井戸水で補おうとして井戸水系統と水道水系統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系統と井戸水系統の直結部分を切り離し、元の独立した2系統状態に復帰させた。

#### 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。

事故の発生は当該マンションにおいて停電時に受水槽からの揚水ポンプが停止し、マンションの各階を通っている立管内が負圧になり、6階の浴槽から立管内に逆流したものと考えられている。停電が復旧しポンプが使える状態になった後、最初に蛇口を開けた8階住居の給水栓から立管内に残っていた逆流水が流出したものと考えられている。浴槽から立管までの間には、風呂釜内蔵の逆止弁およびバキュームブレーカー、風呂釜直前に別途設置された逆流防止装置付き黄銅ボール弁、水道メータ下流に別途設置された単式逆止弁があったが、すべての逆流防

止器が作動しなかったか、十分な逆流防止効果を示さなかったものと考えられた。

マンションの設備会社よりガス自動風呂給湯器メーカーに依頼があり、3月初旬に停電により浴槽水が逆流したとされる住居に設置された機器の確認を行い、4月中旬に当該マンションの逆流防止部品の交換（3件）を行った。この後、（社）日本ガス石油機器工業会が各メーカーの逆止弁の信頼性についての調査および、貴設置逆止弁のサンプリング調査を開始した。この調査において既設逆止弁は構造的に2種類に分類でき、このうち逆流事故があった製品と同じ構造の逆止弁において、逆流防止試験における不良品の発生率が高いことが明らかとなった。もう一方の構造には不良品はなかった。このため逆止弁の構造を不良品のなかった製品と同様の構造、材質に変更した。

#### 引用資料

「自動湯張り型強制循環式風呂釜における逆流事故の発生」、水道技術研究センターホームページ（給水装置等における事故情報）

「ガス自動ふろ給湯器の逆止弁昨日不良の調査報告書」、水道技術研究センターホームページ（給水装置等における事故情報）

#### (3) 雑居ビルにおけるクリプトスポリジウム症の集団発生

平成6年8月30日から9月10日にかけて神奈川県平塚市内の雑居ビルにおいて店舗の従業員と客の間でクリプトスポリジウム症が集団で発生した。対象となったビルは昭和45年に竣工した雑居ビルで、地下1階、地上6階からなる。ビルは駅周辺の繁華街に位置し、飲食店10店舗、洋品店1店舗、ダンス教室および特定郵便局、従業員の宿舍が入っていた。9月3日に複数の経営者および客から、8月31日からビルの利用者が下痢、発熱、嘔吐等の食中毒様症状を示しているとの通報が平塚保健所にあった。通報後、店舗は営業を自粛し、疫学調査が開始された。店舗等の従業員736人に対して、症状の有無、症状の程度、発症日、終了日等の質問を行い、461人に症状が見られた。

今回の集団発生ではビルの1階（洋品店と郵便局）を除き、他のすべての階のテナントで下



痢や腹痛を訴える患者が認められた。患者の発生状況より水道水の関与が疑われたため、患者の便の検査に加え、ビルの上下水道施設の調査が行われた。当該ビルの水道は2系統となっており、1階は配水管から直結する配管となっており、他の階と独立していた。他の階の水道はいったん地下の受水槽に貯め、そこから高置水槽に揚水して配水する方式であった。地下の受水槽はコンクリート製の造り付けのものであり、隣接して汚水槽、雑排水槽および地下水の貯蔵のための湧水槽が設けられており、コンクリート壁で仕切られている構造であった。汚水槽と雑排水槽には排水用のポンプが設置され、水位が上昇するとポンプが作動し自動的に排水するようになっていた。各水槽間の仕切のコンクリート壁の上部には穴が空いており、用途は不明であるが、受水槽の水が一杯になったときに汚水槽へオーバーフローさせるものであったと推測される。なお、このような受水槽の構造は現在の基準では許可されていない。事件発生当時、排水ポンプは故障しており汚水槽から受水槽への汚水の流入が原因と推測されている。保健所はビルの所有者に対し受水槽の調査、清掃、改善(交換)、ポンプの修理等の指導をし、200mg/Lに相当する塩素濃度で2時間の消毒が行われた。

25名の患者の便、各水槽の水および受水槽の沈澱物の微生物学的検査の結果は、便サンプルの約50%、すべての水槽の水、受水槽の沈澱物から *Cryptosporidium parvum* のオーシストが検出された。このためオーシストに汚染された水道水が原因であることが明らかになったが、オーシストの由来を特定することはできなかった。患者の便と受水槽の沈澱物から下痢症の原因となりうる病原大腸菌血清型も検出されたがこの大腸菌は病原因子を持たず、3名の患者から分離されたにすぎず、今回の事例への直接の関係はほとんどないものと判断された。

引用資料

黒木俊郎, 渡辺祐子, 浅井良夫, 山井志朗, 遠藤卓郎, 宇仁茂彦, 木俣勲, 井関基弘:「神奈川県内で集団発生した水系感染症 *Cryptosporidium* 症」, 感染症学雑誌, 第70巻, 第2号, pp.132~140, 1996年

C-2 世界各国の事故事例のとりまとめ

表1~4に事故事例の国別報告数, 事故の起きた建築物の種類, 原因または関連する物質, 事故のあったシステムまたは装置の件数を示す。原因物質としてはレジオネラの報告事例が最も多く, そのほかの原因物質ではクリプトスポリジウム, ジアルジアなどがあり, ほとんどの事例が微生物によるものであった。特殊な例としては事故による飲料水からのスチレンの曝露についての報告があった。発生場所では病院および療養施設 (nursing home) の事例が最も多く, ついでホテル, 高層ビルなどでの事例が報告されている。建築物内の発生箇所では配水系等におけるものが最も多く, そのほかでは貯水槽, 冷却塔の事例が複数報告されている。発生原因は多岐にわたりまとめるのは難しいが, 冷却塔

国名	事例数
アルゼンチン	2
ベルギー	2
ドイツ	7
英国	4
インド	1
日本	3
ノルウェー	1
南アフリカ	1
スペイン	2
スウェーデン	1
米国	2

表-1 国別事例報告数

表-2 建築物の種類

建築物の種類	事例数
アパート・高層ビル	4
病院・療養施設	11
ホテル(遊技・スポーツ施設を含む)	5
多目的ビル	2
学校・幼稚園	1
別荘 (summer cottage)	1
その他	2

原因（または関連する）物質	事例数
<i>Cryptosporidium parvum</i>	1
<i>Giardia</i>	1
<i>Legionella bozemanii</i>	1
<i>Legionella pneumophila</i>	11
<i>Microsporidia</i>	1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5
スチレン	1
指標細菌の存在	1
細菌（不明）	1
その他	3

表-3 原因または原因に関連する物質

表-4 事故のあったシステムまたは装置

システムまたは装置	事例数
屋内配管および給水システム	11
冷却塔（Cooling tower）	3
高層ビル用受水槽 （Reservoir for tall building）	4
温泉／ジャグジー（Spa/Whirl pool）	2
空調システム配管 （Air conditioning network）	1
風呂用給湯装置	1
消火栓、スプリンクラーと配管	1
その他	3

における微生物汚染、不十分な貯水槽の管理、配管内の滞留、温度管理の不徹底、間欠給水、逆流などが報告されている。

### C-3 建築物内給水に関するリスクの分類およびリスク管理

#### (1) 屋内給水におけるリスク

##### a) 微生物リスク

微生物のほとんどが従属栄養細菌であり、生物膜として微粒子上や管路内表面で水に接触して増殖する。従属栄養細菌は *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Klebsiella* 等日和見感染症を引き起こす広範な種を含む。しかしこれらの微生物の飲料水からの摂取による腸管系疾患が一般の人々に起こったという確

たる事例はない。一部の深刻な免疫不全患者および病院内環境では問題となる可能性が残っている。ほとんどの従属栄養細菌は健康な人には無害であるが、水道水の異臭味を発生させたり、着色などによる問題を引き起こす可能性がある。

レジオネラ (*Legionella*) は配水中で増殖する有害な微生物であり、通常の従属栄養細菌試験では測定できない。レジオネラは水温の高い水、温水器、浴槽、給湯管、シャワーヘッドなどで増殖する。また大規模建築物の屋内配管やエアコンのための冷却塔で増殖している。病院や療養施設ではリスクの高い人が多く、シャワーや温泉、冷却塔からのエアロゾルが感染ルートとなるため、レジオネラの予防や制御のための特別な手段を講じる必要がある。WHO の飲料水水質ガイドラインではレジオネラの増殖しやすい、25～50℃の範囲外に水温を維持するべきであるとしている。

##### b) 化学的リスク

飲料水の化学物質による汚染は地表水、地下水の自然由来の汚染、人為的汚染または浄水処理における汚染（消毒副生成物）、配水中における汚染（腐食）などがある。通常はこれらの汚染物質はごく微量であり、消毒副生成物をのぞき水道水は暴露源の一つに過ぎず、最も重要な汚染源とはなっていない。

いくつかの化学物質は高濃度に汚染された水を摂取することにより人への健康影響を引き起こす。いくつかの事例を物質、発生源、健康影響に整理し、以下に挙げる。

- ・ヒ素：自然由来／ガン
- ・フッ素：自然由来／歯および骨のフッ素症
- ・鉛：鉛管の腐食／神経への影響
- ・農薬：農業での利用と排水／種々の影響
- ・硝酸、亜硝酸：農業、下水／乳幼児の死亡
- ・ラドン：地質由来の屋内空気、地下水／ガン
- ・硫酸塩：自然由来／被定住者の一時的下痢

##### c) その他のリスク

建築物内給水施設における特別なリスクとして温水とやけどがあげられる。幼児のほとんどのやけどは浴室で起こっている。オーストラリアの給湯施設は平均水温が 65℃である。多くの先進国では給湯の平均温度は 60 度であり、この温度は 5 秒で重傷なやけどを負わせる温度であ

る。

両親が子供に注意を払い、湯温を確認するほか、湯温を 55℃以下とすることが明白な解決策である。しかし、前述のようにレジオネラの増殖リスクを下げるために、50℃以上に保つことも重要である。

屋内配管には通常、配水系の配管と排水系の配管の 2 系統があり、場合によっては中水道などの雑用水の系統がある。これらの配管が隣接している場合、配管工事棟においてクロスコネクションによる事故のリスクが高くなる。また逆流防止装置等が適切に配置されていない、あるいは正常に作動しないような場合には、配水本管への逆流によるリスクも考えられる。

## (2) 建築物内給水施設におけるリスク評価とリスク管理

屋内給水システムのリスク低減化のためのリスク評価、リスク管理のための方策としては、以下の項目が挙げられる。

- ・リスクの認識
- ・リスク評価と分析
- ・リスク削減
- ・リスクの受容と転移

WHO では飲料水に関わる安全性管理については水源から蛇口まで「水安全計画 (Water Safety Plan)」を適応することとしている。Health Aspects of Plumbing でも同様な考えを大前提としているが本書の主対象が配管等工事業者であるため、施設設計等に多くを割いている。

基本的にはリスクの認識、分析、評価によりリスクを最小化し、これに基づき適切な技術、材料を用いてシステム設計及び製造をすることになる。しかし、排除不可能なリスクも存在するため、結果として生じる財政的リスクは工事業者が受容するか、保険等に転移される。

## D 考察

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違法接続した井戸水も飲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。クリプトスポリジウムの集団発生では、受水槽以下の水質の安全性確保の重要性が示された。

WHO で収集した事故事例集 (日本を含む) では、微生物による事故の報告事例が大半であり化学物質による汚染事例が少なかった。化学物質の場合には資機材からの溶出により汚染物質が増加することも考えられるが、基本的には水質基準を満たしている水道水を受け入れている場合には化学物質の汚染がおこることは少ないためと考えられる。微生物の場合には水道水にもともと存在していたもの、または外部から受水槽等へ混入したものが配管や水槽内で再増殖することによりリスクが高くなることが原因として考えられる。化学物質は一部の急性毒性を示す物質を除くと、建築物内の飲料水による健康影響は慢性毒性的傾向を示すものと考えられ、特定の化学物質による健康影響事例は報告されにくいこともあろう。これに対し微生物汚染の場合には影響が急性で現れるため事故事例としての報告件数が多くなっているものと考えられる。

「水安全計画 (Water Safety Plan)」の屋内給水システムへの適用は現在、WHO で文書化の作業中である。これまで事例報告の収集、Water Safety Plan にそったガイドライン(マニュアル)の整理を行っており、現時点での予定では 2008 年内の公開を目標としている。

本年度に参考とした “Health Aspects of Plumbing” でも Water Safety Plan を考慮した考え方となっているが、主として配管工事を担当するグループを対象とした文書であり、現在作成中の “Water Safety in Buildings” が完成すると、建築物内給水システムに関して、製造者、ユーザーともに Water Safety Plan を適応できる素地が整うことになると考えられる。

## E 結論

国内の屋内給水システムにおける事故事例から、クロスコネクション、逆流防止機器の性能不良、受水槽の不適切な構造による事例を明ら

かにした。給水装置工事に関する知識、関係法令に関する知識の不足によるもの、屋内の逆流防止機器の機能不全による事故の発生、建築物内の給水システムの不適切な設計による事故の発生等、原因が多岐にわたっていることが明らかとなった。

国外の事例を含む調査では微生物が原因となった事故事例が多く、病院、療養施設における事故の発生が多かった。

建築物内給水システムのリスク管理について、リスクの種類とリスク管理についてまとめた。

リスクには微生物リスク、化学的リスクの他、水温のように通常の水道水では考慮しないリスクが存在する。また、配管工事等に伴うクロスコネクションは広範な健康被害をもたらすおそれがあり、水質だけでなく、施設の設計、維持

管理も重要な課題である。

リスク管理においては通常の技術的なリスクに関する考え方だけでなく、技術的に不可避なリスクについては、経済的リスクとしてどのように分担するかということを検討しておくことも重要である。

#### **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。

### Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Zhu, S.W., Kato, S., Yang, J.H	Study on transport characteristics of saliva droplets produced by coughing in a calm indoor environment	<i>Building and Environment</i>		1-12	2005
Zhu, S.W., Kato, S., and Yang, J.H	Investigation into airborne transport characteristics of airflow due to coughing in a stagnant indoor environment	<i>2006 ASHRAE Winter Meeting</i>		4838	2006
Zhu, S.W., Kato, S., and Yang, J.H.:	Investigation of airborne infection through coughing by using numerical analysis	<i>Proceeding of the 10<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate</i>	M0-E2	320	2005
石田義洋, 加藤信介, 黄弘, 張先権	定常流れ場における非定常濃度応答計算法 第1報—非定常濃度応答計算法と再循環のある室内気流場の濃度計算例	空気調和・衛生工学論文集	No.114	19-28	2006
柳 宇, 池田耕一	空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究, 第2報—エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集率とその評価	日本建築学会環境系論文集	Vol.617	53-56	2007
Yanagi U, Yamada K, Ikeda K	A Study on the Filtration Efficiency of an Air Filter over Airborne Bacteria and Fungi vs Elapsed Time	<i>Proceeding of Healthy buildings 2006</i>	No1.4	479-482	2006
Yamada K, Yanagi U, Kagi N, Ikeda K	A Study about Microbes on the Surface of Air Filter in an Air Conditioning System	<i>Proceeding of Healthy buildings 2006</i>	No1.2	443-446	2006

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Yanagi U, Ikeda K, and Kagi N	Application of the IMD in measurement of airborne microbial particles	<i>Proceeding of The 6<sup>th</sup> Interna- tional Conferen- ce on Indoor Air Quality, Ventilation &amp; Energy Conser- vation in Build- ings</i>	Vol.1	524-527	2007
Kagi N., Ikeda K., and Yanagi U	Emission of Volatile Orga- nic Compounds from Air Filter	<i>Proceeding of The 6<sup>th</sup> Interna- tional Conferen- ce on Indoor Air Quality, Ventilation &amp; Energy Conser- vation in Build- ings</i>	157-60	Vol.2	2007
樋山恭助, 石田義 洋, 加藤信介	定常流れ場における非定 常濃度応答計算法 第2報 —マクロ・ミクロ複合モ デルによる複数室空間相 互の汚染質輸送解析	空気調和・衛 生工学論文集	No.131		2008
朱晟偉, 加藤信介	実験と数値解析による咳 の吐出空気の拡散の可視 化	日本可視化情 報学会全国講 演会（新潟200 5）講演論文集	Vol.25 Su ppl.No.2	20	2005
朱晟偉, 加藤信介 , 黄弘, 奈良昌則	ネットワークモデルによ る建物内の非定常汚染物 質移流拡散解析（その1） 多数室建物内における空 気流動と汚染質輸送解析 の概要	日本建築学会 大会学術講演 梗概	D-2	933-934	2006
樋山恭助, 加藤信 介, 石田義洋	建築物内における健康影 響危険物質の拡散特性の 数値解明に関する研究 —R F 濃度計算法を用い た汚染質輸送解析—	日本学術会議 総合工学委員 会安全工学シ ンポジウム講 演予稿集		65-68	2007
樋山恭助, 加藤信 介, 石田義洋	ネットワークモデルによ る建物内の汚染物質移流 拡散の解析（その2）多 数室建物内における健康 危険物質の拡散性状解析 手法の比較検討	日本建築学会 大会学術講演 梗概集	D-2		2007



発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
樋山恭助, 加藤信介, 石田義洋	ネットワークモデルによる建物内の汚染物質移流拡散の解析 (その3) マクロ・マイクロ複合モデルによる複数室空間相互の汚染質輸送解析	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集		1945-1948	2007
柳 宇, 池田耕一, 鍵直樹, 山田花菜	柳 宇, 池田耕一, 鍵直樹, 山田花菜	室内環境学会誌	Vol.8(2)	204-205	2005
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	室内環境学会誌	Vol.8, No.2	132-133	2005
柳 宇, 山田花菜, 池田耕一	エアフィルタによる細菌と真菌の捕集特性に関する研究 (その1) 捕集率の経時変化	第24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		60-62	2006
山田花菜, 柳 宇, 鍵直樹, 池田耕一	エアフィルタによる細菌と真菌の捕集特性に関する研究 (その1) エアフィルタに捕集された細菌と真菌について	第24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		63-65	2006
鍵直樹, 柳 宇, 池田耕一, 山田花菜, 堀越玲子	各種チャンバによるエアフィルタから発生する揮発性有機化合物	第24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		270-272	2006
柳 宇, 山田花菜, 池田耕一	浮遊真菌の測定におけるPDA・DG18・M40Y培地の比較	日本防菌防黴学会第33回年次大会要旨集		135	2006
菅原文子, 吉澤晋, 柳 宇	空中菌測定器による測定値の比較	日本建築学会大会学術講演梗概集		831-832	2006
柳 宇	室内空気中の微生物—細菌・カビ・ウイルス	平成18年度室内環境学会総会講演集		32-33	2006
柳 宇, 池田耕一	空中浮遊微生物粒子の測定における瞬間微生物計測器の適応に関する研究, その1 オフィス環境でのリアルタイム測定	平成18年度室内環境学会総会講演集		1285-129	2006
柳 宇, 池田耕一, 鍵直樹, 山田花菜	空中浮遊微生物粒子の測定における瞬間微生物検知器の適用に関する研究 (その2) 病院環境でのリアルタイム測定	第25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		65-67	2007

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
鍵直樹, 池田耕一, 柳 宇	実建物の空調機エアフィルタからのVOC発生の調査	第25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		253-255	2007
柳 宇, 鍵 直樹, 堀越玲子, 池田耕一	空中浮遊微生物粒子の測定における瞬間微生物検知器の適用に関する研究－居住環境でのリアルタイム測定	第24回エアロゾル科学・技術研究討論会講演論文集		3-4	2007
柳 宇, 池田耕一, 阿部恵子	空中浮遊微生物粒子の測定における瞬間微生物検知器の適用に関する研究, 第3報 生物粒子と非生物粒子に対する応答特性	日本建築学会大会学術講演会; 2007.九州. 同梗概集		905-906	2007
柳 宇	病院施設と微生物	平成19年度室内環境学会自由集会要旨集		9-12	2007
鍵直樹, 池田耕一, 柳 宇	エアフィルタから発生する有機化合物の測定	クリーンテクノロジー	Vol.16, No.10	44-47	2007
柳 宇	病院環境と微生物	臨床環境医学	第15巻, 第2号	91-100	2006
柳 宇	事務所ビルにおけるバイオエアロゾルの挙動とその制御方法	クリーンロジー	Vol.17, No.5	44-47	2007
柳 宇	エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集性能の評価について	室内環境	Vol.10, No.1	23-32	2007
柳 宇	カビの測定におけるPDA・DG18・M40Y培地の比較	クリーンロジー	Vol.17, No.11	30-33	2007
柳 宇	病院環境における微生物汚染の対策	空気清浄	Vol.45, No.4	32-39	2007