

パーソナル・ナノサンプラを用いたナノ粒子個人曝露の評価

(金沢大学) ○楠 勝, 畑 光彦, 滝沢正見, 大谷吉生, 古内正美

1. はじめに

ナノ粒子を含む大気中の超微小粒子は、吸引時に肺深部での沈着率が高く、これらの粒子中の人為起源有害成分濃度が高いため、その曝露評価が健康影響の観点で重要になっている。特に、100 nm 以下のナノ粒子は、大きな比表面積などの幾何学特性に起因する要因や有害汚染物質の集中、肺泡沈着率の高さから、健康リスク上の重要性が指摘されている(例えば Maynard and Pui, 2007)。

大気中のナノ～超微小粒子の圧損などによる変質を最小限に抑制しながら、比較的高速で分離捕集できる方法として、著者らは、「慣性フィルタ」(Otani et al., 2007)を用いたサンプラ(ナノサンプラ)を開発し、主に大気中ナノ粒子の特性を考察してきた(Furuuchi et al., 2007, 2009a)。しかし、たとえば作業環境中の作業者は低濃度から高濃度まで広範な濃度の汚染物質に曝露されるため、健康リスクを正確に議論するには、呼吸域でのばく露量評価が必須である。一方、ナノ粒子を選択的に分離・捕集し、粒子成分を含む曝露量評価が可能な装置はこれまで存在しなかったが、著者等は最近、「慣性フィルタ」を用いて、ナノ粒子個人曝露評価用の「パーソナル・ナノサンプラ」を開発している(Furuuchi et al., 2009b)。

本研究は、ナノ粒子個人曝露量の実態解明と曝露ナノ粒子の特性の考察を目的として、「パーソナル・ナノサンプラ」を種々の環境に適用したものである。以下では、同サンプラの概要と各種のフィールド調査で得られた結果の一部を報告する。

2. パーソナル・ナノサンプラ

試作したパーソナル・ナノサンプラの概要を Fig.1 に示す(Furuuchi et al., 2009b)。蒸発損失と粉じん負荷影響の低減および携帯用ポンプ性能の制約から、低圧損化が必須であるため、粗粒子分級用慣性フィルタ(0.5~0.7 μm 分離径, <0.3kPa 圧損)をナノ粒子分級用慣性フィルタ上流に置いた2段直列構造を採用している。慣性フィルタは、樹脂製のノズルに Web 状 SUS 繊維を充填したカセット構造になっている(Fig.1 参照)。2段の慣性フィルタを通過した粒子は、下流のバックアップフィルタ(φ47 mm)上に捕集される。ホルダーで胸ポケット等の呼吸域にサンプラを固定し、腰ベルトなどに取り付けた携帯用バッテリー駆動ポンプ(SK, Leland Legacy)に樹脂チューブで接続する。慣性フィルタ(type No.2)の分級曲線を Fig.2 に示す。粗粒子およびナノ粒子分級用慣性フィルタの分離径はそれぞれ約 700 nm と 140 nm (空気力学径、移動度径で約 90 nm)である。各慣性フィルタの仕様を Table 1 にまとめた。バックアップフィルタとフィルタホルダを含めた装

置全圧損は粉じん無負荷時で 5 kPa 以下、ポンプを含む総重量は約 1.2kg であり、十分な携帯性を確保している。また、数百 μg 以下の実用的粒子捕集量では、粉じん負荷による圧損増加はポンプ能力の範囲内にあり、慣性フィルタの分級特性の変化も少ない。なお、慣性フィルタに用いる繊維の繊維径、繊維種類、充填構造の工夫で、圧損を低く保ったまま分離径をさらに小さくする改良を継続している。

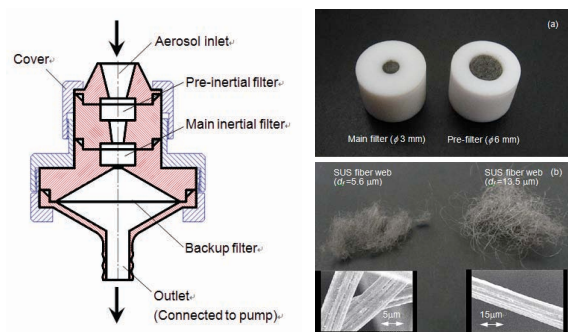


Fig. 1. Schematic drawing of Personal Nanosampler and pictures of inertial filters along with SUS fibers used (Furuuchi et al., 2009b).

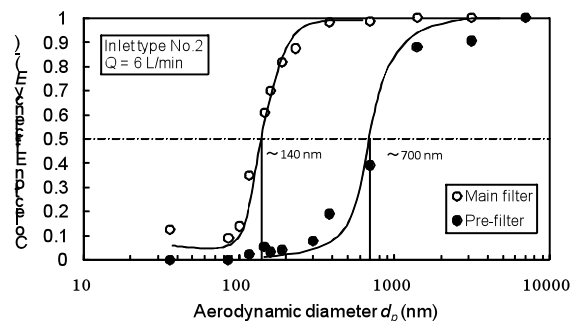


Fig.2. Collection efficiency curves of inertial filters (inlet type No.2).

Table 1 Specification of inertial filter and experimental conditions

Inlet	Inertial filter	d_f (μm)	Fiber material	Type	L_n (mm)	D_n (mm)	Q (L/min)	Fiber loadings (mg)	Fiber volume fraction α (-)	Cutoff size (field test) (nm)
No.1	Pre	13.5 ($\sigma_g=1.1$)	SUS-304	web	5.5	6	6	14.7~18.2	0.0143	700
	Main	9.8 ($\sigma_g=1.1$)								
No.2	Pre	9.8 ($\sigma_g=1.1$)	SUS-304	web	5.5	6	6	20.4~22.7	0.0165	700
	Main	5.6 ($\sigma_g=1.1$)								

d_f : fiber diameter; D_n : nozzle diameter; L_n : nozzle length; Q : flow rate

α : values used for field test, Fiber density: 7980 kg/m³

3. 各種環境下でのナノ粒子曝露調査

これまで、道路端、喫煙空間などの生活環境や木質バイオマス燃焼煙で汚染される作業環境等、種々の環境下で曝露評価を実施しているが、以下ではその一部について説明する。

3.1 道路トンネル

金沢外環状道路山側幹線・「崎浦・涌波トンネル」(石川県金沢市、片側 2 車線、全長 667m) 内中間付近での側歩道空気環境測定 (Hata et al., 2009) に

合わせて、環境測定作業中のナノ粒子曝露を評価した(08および09年6月)。同環状道路は大型トラック等のバイパス交通量が多く、トンネル内に滞留する粒子の大部分は道路交通起源と考えられる。朝夕の交通量ピークの影響がより顕著な、深夜を除く約15時間(AM6-PM9)と、一日平均情報が得られる約24時間の曝露評価を実施した。

3.2 喫煙車両客室

金沢-大阪間のJR西日本特急電車喫煙車両(2009年6月以降廃止)内で、同区間を1往復する間の着座位置での曝露評価を実施した(09年1および5月)。同車両内の粒子は、主にたばこ煙起源と考えられる。終点での乗り換え時を除く乗車中のみ粒子捕集を行い(捕集時間約5時間半)、各時期1サンプルを得た。

各環境中の粒子径別濃度を評価し、粒子中の多環芳香族化合物(PAHs)を既報の方法(Furuuchi et al., 2007)に従ってHPLCで分析・濃度測定した。

4. 結果と考察

道路トンネルと喫煙車両内の捕集粒子の粒子径別濃度をFig. 3に示す。道路トンネル内では、道路粉じんと考えられる粗粒子(>700 nm)の比率が大きい。200 nm以下の質量比率も2割を超える。09年に140-700nmの粒子濃度が高いのは、分離径の差(200 nm → 140 nm)によると考えられる。道路トンネルと同様に喫煙車両内でも140~700 nmの範囲の粒子濃度が最大となる。総粒子濃度に対する140 nm以下の粒子の質量比率は約50%と非常に高い。

Fig. 4は、BaP等価毒性濃度 BAP_{TEQ} を基準とした粒子径別のPAHs粒子質量比を示す。いずれの場合も、200 nm以下の粒子径で質量比が最大となっており、その健康リスクの高さが推察される。したがって、この粒子径範囲の粒子の曝露評価をすることは、吸引粒子の健康影響を議論する上で重要と考えらる。

5. おわりに

ナノ粒子個人曝露評価用パーソナル・ナノサンプルを試作して種々の環境下で曝露評価を実施し、200 nm以下の超微粒子の曝露情報は、吸引粒子の健康影響を考える上で重要であることを明らかにした。

引用文献

- Furuuchi, M. and Tsukawaki, S. et al., Characteristics of PAHs in Ambient Aerosol Particles Collected by PM0.1 Sampler with Inertial Filter, *Proc. Asian Aerosol Conference (AAC) 2007*, vol.I, pp.41-42, 2007
- Furuuchi, M., Eryu, K., Nagura, M., Hata, M., Kato, T., Tajima, N., Sekiguchi, K., Ehara, K., Seto, T., Otani, Y., Development and Performance Evaluation of Air Sampler with Inertial Filter for Nanoparticle Sampling, *Aerosol Air Qual. Res.*, in press, 2009a
- Furuuchi, M., Choosong, T., Hata, M., Otani, Y., Tekasakul, P., Takizawa, M., Nagura, Development of a Personal Sampler for Evaluating Exposure to Ultrafine Particles, *Aerosol Air Qual. Res.*, in press, 2009b
- Hata, M., Furuuchi, M., Fukumoto, M., Otani, Y., Sekiguchi, K., Tajima, N., Bai, Y., Characteristics of Ultra-fine and Fine Particles in Road Tunnel, *Proc. 6th Asian Aerosol Conf.*, Bangkok, Nov., 2009
- Maynard, T., A.D. and Pui, D. ed., "Nanoparticles and Occupational Health", Springer, 2007
- Otani, Y., Furuuchi, M., Kato, T., Tajima, N., Development of PM0.1 Sampler with Inertial Filter, *Aerosol Air Qual. Res.*, **7**, **3**, pp.343-352, 2007

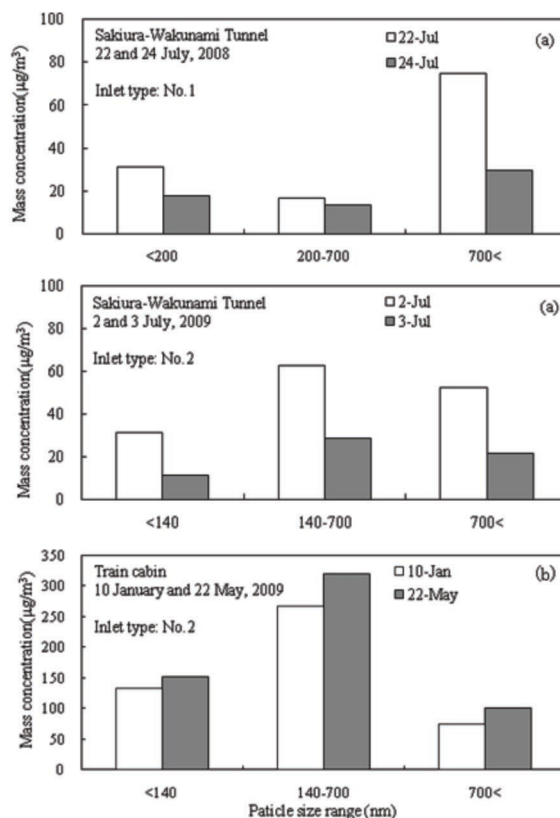


Fig.3 Mass concentration of particles in each size range: (a) tunnel and (b) smoking cabin of train.

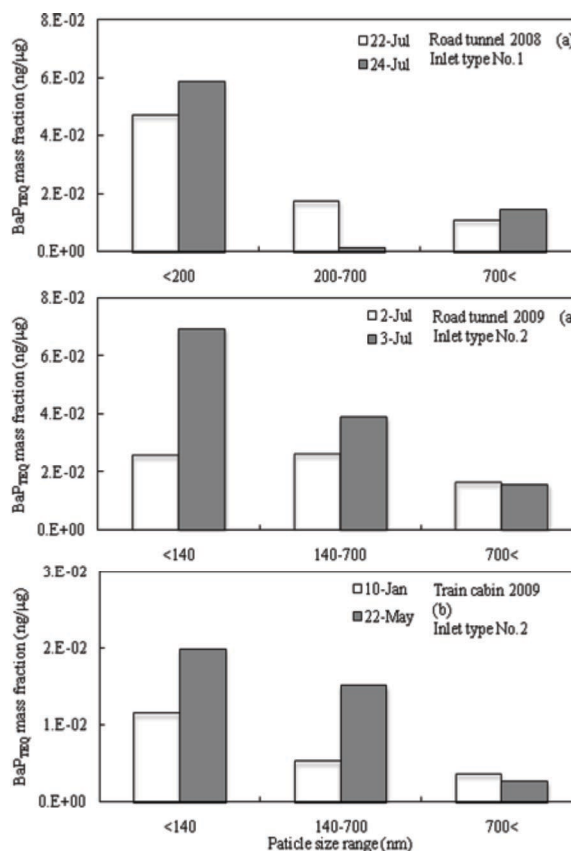


Fig.4 BaP toxic equivalent mass fraction in different size ranges of particles: (a) road tunnel and (b) smoking cabin of train.