

エアロゾルナノ粒子の低圧損・高速分離捕集技術の開発と応用

(金沢大学) ○谷井俊寛, 福本将秀, 畑光彦, 大谷吉生, 古内正美

1. はじめに

大気中に浮遊する粒子径100 nm以下の超微粒子（ナノ粒子）は質量濃度が低く、既存の分析機器での多様な分析を可能にする量を得るには、減圧インパクト（以下LPI）等の装置では長時間の捕集を必要とする。また、荷電や圧損等による成分変質を最小限にすることは、微小質量のナノ粒子では特に重要と考えられるが、大気エアロゾルやたばこ煙粒子のような半揮発性成分を含む粒子の成分分析を行う場合、LPIでは-70 kPa 前後の減圧下での揮発損失が懸念されている^{1,2)}。

空隙率大きい微細繊維層（充填率0.01前後、繊維径数 μm ～十数 μm ）に比較的高速（数m/s～数十m/s）で気流通過させてナノ粒子を分級する「慣性フィルタ」の技術³⁾は、上述の問題を解決できる有力な方法のひとつである。著者らは、慣性フィルタを用いた粒子状物質サンプラを試作して種々のフィールド調査を実施し、装置改良と大気中ナノ粒子の特性情報の蓄積を継続してきた⁴⁾。

本研究では、上記のナノサンプラ（以下NS）に加え、より安価で簡便な方法でナノ粒子捕集を行える方法として、アンダーセンインパクト（以下AN; Dyrec AN-200）の最終段の下流に追加装着できる慣性フィルタ段を設計・試作し、これらの装置の大気中エアロゾル粒子サンプリング特性を、LPI等の既存粒子捕集機器のものと比較した。以下では、得られた結果の一部を報告する。

2. 実験装置と評価方法

試作PMSの概略並びにAN最終段の下流に装着した試作慣性フィルタ段（以下AN慣性フィルタ）の概略をFig. 1に示す。PMSは入口から順に、4段のインパクトステージ（ $>10\mu\text{m}$, $2.5\sim 10\mu\text{m}$, $1\sim 2.5\mu\text{m}$, $0.5\sim 1\mu\text{m}$ ）、ナノ粒子分級用慣性フィルタ（ $0.07\sim 0.5\mu\text{m}$ ）、バックアップフィルタ（ $<0.07\mu\text{m}$ ）の6段構成になっている。慣性フィルタは、市販のWeb状SUS繊維（平均繊維径 $9.8\mu\text{m}$ ）を内径 4.75mm 、長さ 5.5mm の円形樹脂ノズルに充填（充填率 ~ 0.01 ）したもので、その空気力学径基準の分離径は約 70nm である（流量

$40\text{L}/\text{min}$ ）^{3,4)}。AN組込用慣性フィルタはNS用と同様である（Web状SUS繊維（平均繊維径 $5.6\mu\text{m}$ ）、円形ノズル（内径 $4\times$ 長さ 5.5mm 、充填率 ~ 0.01 ）、分離径約 70nm （流量 $28.3\text{L}/\text{min}$ ））^{3,4)}。NSとAN慣性フィルタの総圧損はいずれもLPIの $1/3$ 程度（約 $20\sim 25\text{kPa}$ ）である。

2008年5月以降、金沢大学角間キャンパス内（自然科学研究科棟6F）で、Table 1に示した装置を用いて同時観測を継続している（使用フィルタ：Pallflex 2500QAT-UPおよびADVANTEC QR-100）。

各捕集装置のフィルタと慣性フィルタの捕集粒子の秤量から質量濃度を評価すると共に、HPLCを用いて、PAHs16成分（Nap, Ace, Phe, Ant, Fle, Flu, Pyr, BaA, Chr, BeP, BaP, BbF, BKF, DBA, IDP, BghiPe）の分析を行った。

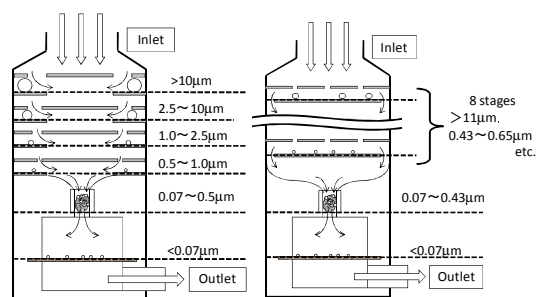


Fig.1 Schematic diagram of the Nano sampler and Andersen sampler with inertial filter option

3. 結果と考察

同時期のNS、AN慣性フィルタおよびLPIによる捕集から得られた平均粒子径分布をFig. 2に示す。揮発損失の影響が少ないと考えられる $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 超の範囲では、使用装置によらず粒子径分布はほぼ同様であり、分級径とステージ間ロス観点から、NSのインパクト設計の妥当性が確認できる。その一方、慣性フィルタで分級される 100nm 以下の範囲では、数%前後の差異がある。比較的高速の気流下に置かれる慣性フィルタ捕集粒子の再飛散の影響の有無に注意する必要があるが、硝酸塩などの半揮発性物質の蒸発損失が影響した可能性がある。

100 nm 以下の粒子中の PAHs 成分質量比率を Fig. 3 に装置間で比較して示した。NS と AN 慣性フィルタによる捕集粒子中の PAHs 質量比率は、LPI 捕集粒子の約 10 倍でほぼ同じである。一方、分級径がほぼ同一の LPI との粒子濃度差は数倍程度であり、PAHs 質量比の差は LPI 内での蒸発損失と関係している可能性が高い。

NS と AN 慣性フィルタの慣性フィルタ前段分離径はそれぞれ 0.5 と 0.43 μm で若干の差があり、ろ過速度、繊維径などの設計条件に違いはあるが、前述のように分離特性の差は少ない。ナノ粒子捕集装置としての AN 慣性フィルタの簡便性と性能の両立は十分可能と考えられる。

4. おわりに

慣性フィルタをナノ粒子分級部とする NS および AN 慣性フィルタを試作し、両装置で得た粒子径分布とナノ粒子中 PAH 成分を LPI で得たものと比較した結果、慣性フィルタ利用時の大幅な揮発損失の低減の可能性が示された。また、アンダーセンインパクト最終段下流に慣性フィルタ段を追加した AN 慣性フィルタの簡便なナノ粒子捕集装置としての可能性を示した。

今後は、イオン成分、有機炭素など他の半揮発性成分についても比較検討して、ナノサイズ域の粒子捕集特性を詳細に検討した上で、両装置の種々の分野への応用を進めていく予定である。

References

- 1) Hering, S. et al., Comparison of Sampling Methods for Carbonaceous Aerosols in Ambient Air, *Aerosol Science and Technology*, 12, 1, pp.200-213, 1990
- 2) Zhang, and McMurry, P., Theoretical Analysis of Evaporative Losses of Adsorbed or Absorbed Species during Atmospheric Aerosol Sampling, *Environ. Sci. Technol.*, 25, pp.456-459, 1991
- 3) Otani, Y. et al., Inertial Classification of Nanoparticles with Fibrous Filters, *Aerosol and Air Quality Research*, 7, 3, pp. 343-352, 2007
- 4) Furuuchi, M. 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

Table.1 Sampling conditions

	Classification (μm)	Periods (days)	Flow (L/min)
Low pressure impactor	13 stages >12 μm - < 0.06 μm	28	24.0
Low volume air sampler	PM ₁₀ , PM _{2.5}	4	16.7
High volume air sampler	Total suspended particulates	4	1000
Tapered element oscillating microbalance	PM ₁₀	0 (Real-time monitorin g)	Inlet: 16.7 Sensor: 2.0
Nano-sampler	6 stages >10 μm - <0.07 μm	4	40
AN-sampler with inertial filter	10 stages >11 μm - < 0.07 μm	18	28.3

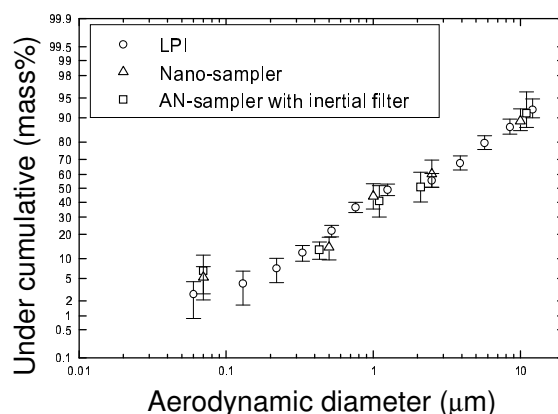


Fig.2 Comparison of particle size distribution obtained by LPI, PM-sampler and AN-sampler with inertial filter.

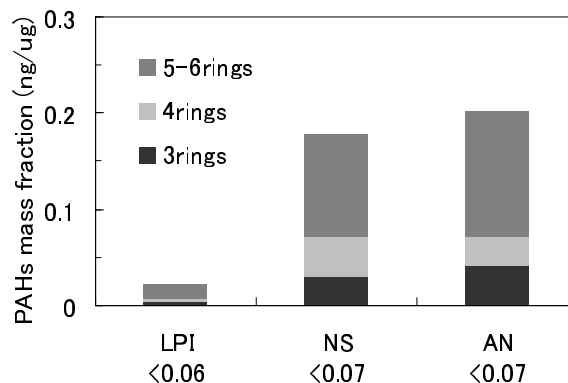


Fig.3 Comparison of PAHs concentrations in nano-particles collected by LPI, Nano-sampler and AN-sampler with inertial filter.