

厚生労働行政推進調査事業費 補助金（化学物質リスク研究事業）
分担研究報告書

室内空気汚染化学物質対策の推進に資する総合的研究

室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

研究分担者	香川(田中) 聡子	横浜薬科大学 教授
研究協力者	神野 透人	名城大学薬学部 教授

研究要旨: シックハウス対策として 1997 年よりホルムアルデヒドやトルエンなど 13 物質に室内濃度指針値が、総揮発性有機化合物に暫定目標値が定められ、2019 年 1 月にキシレン、フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル、2025 年 1 月にはエチルベンゼンの指針値が改定された。本化学物質リスク研究事業では、指針値の新規策定もしくは改定候補となる化学物質の曝露評価に資する標準試験法の国内規格化を目的として、今年度はフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルなどの準揮発性有機化合物の Carrier としての役割を果たす粒子状物質の試料採取法の見直しを行った。改訂した標準試験法 2 編は、日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2025 に収載すべく、試験法ならびに注解を取り纏めた。

研究協力者：

大貫 文	東京都健康安全研究センター
酒井 信夫	国立医薬品食品衛生研究所
鈴木 浩	柴田科学株式会社
鳥羽 陽	長崎大学
中島 大介	国立環境研究所
長宗 寧	グリーンブルー株式会社
藤森 英治	東京薬科大学

(図 1¹⁾)。したがって、室内空気中の粒子状物質は準揮発性有機化合物の最高濃度を増大させるとともに、準揮発性有機化合物を肺深部にまで到達可能な状態で空気中に存在させるいわば Carrier としての役割を果たす。本研究では、指針値設定物質のばく露媒体として重要な役割を果たす粒子状物質の採取方法の見直しを行った。

A. 目的

室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化を目的として、既存の室内濃度指針値策定物質の測定法について、最新の分析技術を基に汎用性の高い標準試験法に改訂し、公表する。

B. 研究方法

室内濃度指針値設定物質である準揮発性有機化合物フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルについては、屋外空気中の粒子状物質に吸着して検出されるレベルは極めて低い、室内空気中では粒子状物質・微小粒子状物質に吸着して存在する

C. 研究結果

空気中の粒子状物質の採取方法について、最新の分析技術を基に汎用性の高い標準試験法に改訂した。すなわち、現在汎用されている採取装置・採取資材を用いる方法に改め、さらに、測定精度を向上させるための技術についての要点を取り纏めた。改訂した 2 編は日本薬学会第 145 年会にて公表、ならびに日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2025 に収載した。なお、別添にその内容を示す。

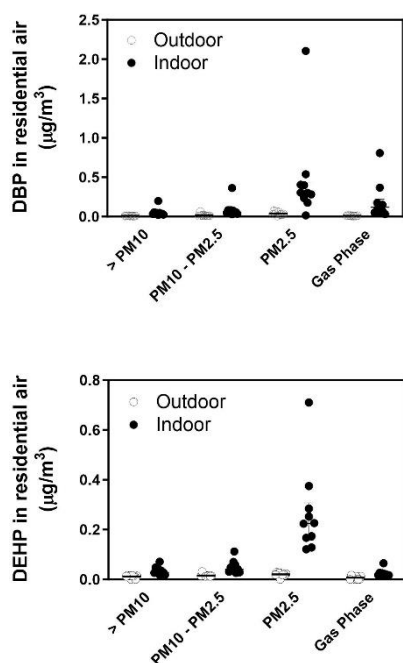


図1 室内外空气中フタル酸エステル類の形態別濃度

関東近郊の一般家庭 10 件の室内及び室外空气中のフタル酸ジ-*n*-ブチル(Dibutyl phthalate DBP)及びフタル酸ジ-2-エチルヘキシル(Diethylhexyl phthalate DEHP)のガス状・粒子状形態別濃度¹⁾

D. 考察

本研究で、室内濃度指針値策定物質を対象とする標準試験法について、最新の技術を踏まえた更なる整備を進めることにより、室内空气中でガス状としてよりはむしろ粒子状物質に吸着して存在するフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルをはじめとする準揮発性有機化合物の実態調査の精度が向上し、その結果としてばく露評価を円滑に実施することが可能になる。

E. 結論

室内濃度指針値設定物質フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルなどの準揮発性有機化合物の室内空气中でのCarrierとしての役割を果たす粒子状物質を対象として、その採取方法に関する標準試験法を整備した。

E. 引用文献

- 1) 厚生労働科学研究費補助金平成 21 年度報告書 研究代表者神野透人 研究課題名 家庭用品に由来する化学物質の多経路暴露評価手法の開発に関する研究 <https://mhlw-grants.niph.go.jp/project/17574>

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表

[論文発表]

- 1) Hanioka N, Isobe T, Saito K, Nagaoka K, Mori Y, Jinno H, Ohkawara S, Tanaka-Kagawa T. Hepatic glucuronidation of tetrabromobisphenol A and tetrachlorobisphenol A: interspecies differences in humans and laboratory animals and responsible UDP-glucuronosyltransferase isoforms in humans. Arch Toxicol. 2024; 98(3):837-848. doi: 10.1007/s00204-023-03659-1.
- 2) Hanioka N, Isobe T, Saito K, Nagaoka K, Mori Y, Jinno H, Ohkawara S, Tanaka-Kagawa T. Glucuronidation of tizoxanide, an active metabolite of nitazoxanide, in liver and small intestine: Species differences in humans, monkeys, dogs, rats, and mice and responsible UDP-glucuronosyltransferase isoforms in humans. Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. 2024;283:109962. doi: 10.1016/j.cbpc.2024.109962.

[学会発表]

- 1) 香川（田中）聡子, 高橋美優, 沖野優衣, 森 葉子, 大河原 晋, 北川康行, 波多江典之, 磯部隆史, 埴岡伸光, 神野透人: 欧州連合化粧品規制における義務表示香料成分による TRPA1 活性化の in silico 評価, 第 51 回日本毒性学会学術年会, 7 月, 福岡 (2024).
- 2) 沖野優衣, 高橋美優, 森 葉子, 大河原 晋, 北川康行, 波多江典之, 磯部隆史,

- 埴岡 伸光, 神野透人, 香川 (田中) 聡子: 改正欧州連合化粧品規制における義務表示香料成分によるヒト TRPA1 の活性化予測, フォーラム 2024 衛生薬学・環境トキシコロジー, 9 月, 仙台 (2024).
- 3) 湯浅竜斗, 森 葉子, 青木 明, 岡本誉士典, 磯部隆史, 大河原 晋, 埴岡伸光, 香川 (田中) 聡子, 神野透人: フタル酸エステル類の代替可塑剤による TRPA1 活性化の種差, フォーラム 2024 衛生薬学・環境トキシコロジー, 9 月, 仙台 (2024).
 - 4) 東 珠希, 湯浅竜斗, 森 葉子, 青木 明, 岡本誉士典, 磯部隆史, 大河原 晋, 埴岡伸光, 香川 (田中) 聡子, 神野透人: メントール異性体による侵害刺激の種差に関する研究, 第 10 回 次世代を担う若手のためのレギュラトリーサイエンスフォーラム, 9 月, 草津 (2024).
 - 5) 酒井信夫, 田原麻衣子, 神野透人, 香川 (田中) 聡子, 田辺新一, 東 賢一: シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会が示す「室内空气中化学物質の測定マニュアル (統合版)」について, 2024 年室内環境学会学術大会, 11 月, 札幌 (2024).
 - 6) 香川 (田中) 聡子, 鈴木 浩, 長宗 寧, 大貫 文, 酒井信夫, 鳥羽 陽, 中島大介, 藤森英治, 神野透人: 空気試験法: 試料採取法・粒子状物質・ハイボリウムエアサンプラー法 (改訂), 日本薬学会第 145 年会, 3 月, 福岡 (2025).
 - 7) 長宗 寧, 鈴木 浩, 大貫 文, 酒井信夫, 鳥羽 陽, 中島大介, 藤 英治, 神野透人, 香川 (田中) 聡子: 空気試験法: 試料採取法・粒子状物質・ローボリウムエアサンプラー法 (改訂), 日本薬学会第 145 年会, 3 月, 福岡 (2025).
 - 8) 廣田佳乃, 森 葉子, 湯浅竜斗, 大河原 晋, 北川康行, 波多江典之, 磯部隆史, 埴岡伸光, 神野透人, 香川 (田中) 聡子: 有機リン系難燃剤によるヒト TRPA1 活性化の *in silico* 評価, 日本薬学会第 145 年会, 3 月, 福岡 (2025).
 - 9) 鈴木優花, 森 葉子, 湯浅竜斗, 大河原 晋, 北川康行, 波多江典之, 磯部隆史, 埴岡 伸光, 神野透人, 香川 (田中) 聡子: 柔軟仕上剤に含まれる香料成分によるヒト TRPA1 活性化の *in silico* 評価, 日本薬学会第 145 年会, 3 月, 福岡 (2025).
 - 10) 小川詩乃, 森 葉子, 湯浅竜斗, 大河原 晋, 北川康行, 波多江典之, 磯部隆史, 埴岡伸光, 神野透人, 香川 (田中) 聡子: メディカルアロマセラピーで用いられる精油成分とヒト TRPA1 の分子間相互作用の *in silico* 評価, 日本薬学会第 145 年会, 3 月, 福岡 (2025).
 - 11) 湯浅竜斗, 森 葉子, 青木 明, 岡本誉士典, 磯部隆史, 大河原 晋, 埴岡伸光, 香川 (田中) 聡子, 神野透人: フタル酸エステル代替可塑剤の加水分解代謝物による QGP-1 細胞からのセロトニン放出, 日本薬学会第 145 年会, 3 月, 福岡 (2025).
 - 12) 森 葉子, 河上強志, 田原麻衣子, 湯浅竜斗, 香川 (田中) 聡子, 内山奈穂子, 神野透人: 合成 TRPA1 ペプチドと化学物質との結合性を指標とする気道刺激性予測法の構築に向けた検討, 日本薬学会第 145 年会, 3 月, 福岡 (2025).
- H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)
- | | |
|--------|--|
| 特許取得 | |
| なし | |
| 実用新案登録 | |
| なし | |

4.4.1 試料採取法

4.4.1.2 粒子状物質

1) 粒子状物質

空气中に浮遊している粒子状物質の採取に用いるエアースンプラーにはそれぞれの目的によって、その採気量からハイボリウムエアースンプラー (1~1.5 m³/min) およびローボリウムエアースンプラー (0.01~0.03 m³/min) が使用されている。

(1) ハイボリウムエアースンプラー法 (改訂)

大気、作業環境中に浮遊する粒子状物質をハイボリウムエアースンプラーを用いてフィルター上に捕集する方法で、粒子状物質の重量濃度や粒子状物質中の化学組成成分を測定する場合に適した方法である。この方法は、短時間の採取から 7 日間連続採取まで可能である。

【装 置】 ① 装置の構成：ハイボリウムエアースンプラーの構成は、空気吸引ブローア、フィルターホルダー、流量測定部と保護ケース (シェルター) の 4 部からなる。図 4.4.1-22、23 に一例を示す。

② 空気吸引ブローア：ブラシレス DC モーターに二段遠心タービン型ファンが直結されたもので、無負荷時におよそ 2 m³/min の吸引流量を有し、連続して 24 時間以上の使用に耐える。

③ フィルターホルダー：通常、およそ 20×25 cm の大きさのフィルターを破損することなく、空気漏れのないように装着でき、空気吸引部に直結された構造である。なおフィルターホルダーを構成する各部の材質および大きさは次のとおりである。

i) フレーム：材質は耐蝕性のものとし、規定のフィルターを破損させることなく固定できるよう、外寸は 24×29 cm、内寸は 18×23 cm とする。

ii) ネット：フィルターに通気した際、破損を生じないよう保持できる強度を有し、フィルターに不純物を付与しないような耐蝕性材料でつくられること。サイズはフィルターと同寸法 (20×25 cm) で、フレーム内寸に合わせ、通気しない部分にフッ素樹脂製テープを貼る。

iii) バッキング：独立気泡で発泡させた合成ゴムによってつくられており、その寸法はフレームに合致させる。なお、フィルターと接触する部分にはフッ素樹脂製テープを貼る。

締め付け具：フィルターを装着した際、破損および空気漏れを生じないような構造で、耐蝕性材料からつくられている。フィルターホルダーは図 4.4.1-24 のように組み立てる。

④ 流量測定部：流量測定は通常、次の方法により行う。空気吸引部と一体をなし、装着および脱着が容易な浮子式流量計¹⁾あるいは同等の性能を有する流量計を用いる。この指示流量計に刻まれる目盛りは相対流量単位とし、0.1~2.0 m³/min の範囲を 0.05 m³/min まで測定できる目盛り付きのものを用いる。指示流量の目盛りはハイボリウムエアースンプラーの通常の使用状態のもとで基準流量計²⁾により校正しておく。

⑤ 保護ケース (シェルター)：ハイボリウムエアースンプラーの粒子状物質捕集面を上にして、水平に固定でき、風雨により捕集用フィルターが破損されない構造で耐蝕性の材質でつくられているもの。図 4.4.1-23 にその一例を示す。構造は屋根、本体ケースおよび脚の部分からなり、屋根の縁と本体ケースとの間の空間 (図 4.4.1-23 の斜線部分) の面積は 650

±65 cm²、本体ケース上部の矩形部分は約 30×35 cm とする。

⑥ 捕集用フィルター^{3) 4)}：通常、石英繊維製フィルターまたはガラス繊維製フィルター⁵⁾が用いられる。

【操 作】 ① 試料採取 i) 環境大気：装置の設置場所は、その付近における大気汚染状況を把握しうるような場所であって、特定の発生源の影響や、交通機関からの影響を直接うけないような場所にする。試料空気の採取は、地上 3~10 m の高さで行う。試料空気の捕集時間は、24 時間を標準とする。ただし、目的によって捕集時間は変更する。

ii) 作業環境：サンプラーを作業室内に地上 1.5 m の高さになるように保護ケースまたは台にのせ設置する。

② 捕集用フィルターの秤量：温度 20℃、相対湿度 50% で恒量としたのち 0.01 mg の感度を有する化学天秤で恒量としたのち 0.01 mg の感度を有する化学天秤で 0.1 mg まで精秤する。

③ 粒子状物質の捕集 i) サンプラーが正常に作動することを確認する⁶⁾。

ii) 秤量したフィルターをフィルターホルダーに空気漏れが生じないように固定する。

iii) フィルターホルダーをシェルター内に、フィルター面を上にして水平に固定する。

iv) 裏面の排気パネルに設けられているタップに流量計をゴム管で連結する。

v) 電源を入れ、捕集開始時刻を記録する。

vi) 捕集開始から 5 分後に、流量計の浮子の中央の合致した目盛り線を読み取り、記録したのち、流量計のゴム管をサンプラーから取りはずす。一般に吸引流量は 0.1~1.5 m³/min を用いる。

vii) 予定の捕集終了時刻になったら、再び流量計のゴム管をサンプラーに取り付け流量計の目盛りを読みとり記録する。

計 算：捕集開始時および終了後の流量計の目盛りの読みから吸引空気量 (m³) を次の式より求める。

$$\text{吸引空気量 (m}^3\text{)} = \frac{(Q_s + Q_e) \times T}{2}$$

Q_s ：開始時の流量 (m³/min)

Q_e ：終了時の流量 (m³/min)

T ：捕集時間 (min)

④ 捕集後のフィルターの秤量：捕集後のフィルターは粒子状物質捕集面が内側になるように、フィルターの長いほう (約 25 cm) を二つ折りにして、②の条件で 24 時間以上放置したのち秤量する。

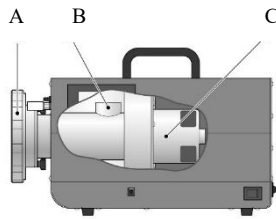
計 算：②および④のフィルターの秤量操作および吸引空気量から次式により粒子状物質の濃度を $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の単位で求める。

$$\text{粒子状物質の濃度 (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} = \frac{(W_e - W_s)}{V} \times 10^3$$

W_e ：捕集後のフィルターの重量 (mg)

W_s ：捕集前のフィルターの重量 (mg)

V ：吸引空気量 (m³)



A: フィルターホルダー
B: 流量測定部 (内部)
C: 空気吸引部 (内部)

図 4.4.1-22 ハイボリウムエアーサンプラーの例

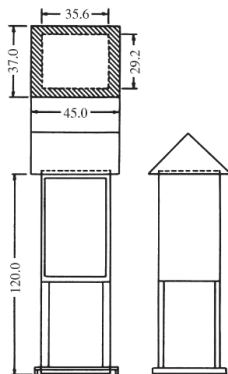


図 4.4.1-23 保護ケース (シェルター) の例 (単位:cm)

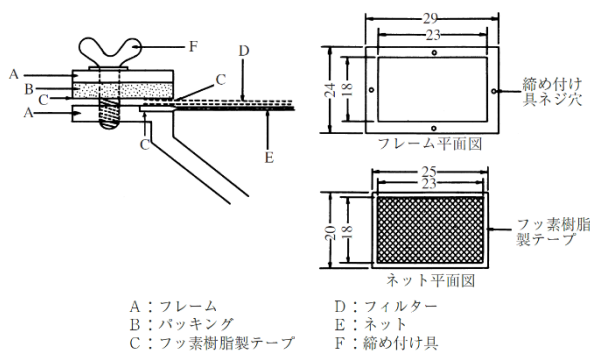


図 4.4.1-24 フィルターホルダーの組み立ての例

【注解】

1) ハイボリウムエアーサンプラーの吸排気の一部を浮子式流量計または積算流量計で計測し、瞬間流量あるいは積算流量を求めるもので、流量計はあらかじめハイボリウムエアーサンプラーの全吸引流量との関係を求めておく。

2) 流量計の校正

ハイボリウムエアーサンプラーによる粒子状物質採取に当たっては、付属指示流量計の読みを校正し、真の流量を求める必要がある。基準流量計としてルーツメーターを用いてオリフィスの校正をしたのち、このオリフィスを用いて付属指示流量計の読みを校正し、真の流量を求める (以下、衛生試

験法・注解 2000, 4.4.1.2 1) (p.975) 参照) (文献 1)。

3) 通常使用されているハイボリウムエアーサンプラーでのフィルター通過流速は約 0.5 m/s ($1.5 \text{ m}^3/\text{min}/500 \text{ cm}^2$ として) であり、この程度の流速では粒径 $0.3 \mu\text{m}$ の粒子は慣性衝突あるいは、拡散付着による捕集率が最も低いといわれている。そのため $0.3 \mu\text{m}$ の粒子で 99% 以上の捕集率を有する捕集用フィルターであれば $0.3 \mu\text{m}$ よりも小さな粒子 (拡散付着効果が高くなる) でも大きな粒子 (慣性衝突効果が高くなる) でも 99% 以上捕集されるので $0.3 \mu\text{m}$ を試験粒子の粒径と規定し、捕集率の評価がなされている。

4) 各種フィルターの適用性の例を表 I に示す。

使用に先だち、各種フィルター中の種々の元素や金属成分の含量についてのブランク値を、各メーカーのカatalogなどで調べておく。なお、ブランク値は製造ロットごとに大きく変動することがあるので、試料の分析の際には必ずブランク値を測定しておかなければならない。

5) 粒子状物質の捕集に用いられるフィルターは $0.3 \mu\text{m}$ のエアロゾルに対し、99% 以上の捕集率を有し、圧力損失が低く、吸湿性が少なく、酸性ガスの吸着がほとんどなく、しかも分析上で妨害となるような物質を含まないことなどが条件としてあげられる。以上の物理的、化学的性質をそなえたフィルターとして石英繊維製フィルターが最も良い。ガラス繊維製フィルターは一般に硫黄酸化物などの酸性ガスの吸着が多く、見かけ上の重量増を起し、重量濃度評価上問題が多い。表 II に二酸化硫黄ガスの吸着量とアルカリ金属量 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) の関係を示したがその傾向が明らかになっている。また図 I に各フィルターの二酸化硫黄の吸着状態を示した。また金属成分を分析しようとするとき、フィルター中の目的元素のブランク値がしばしば問題となるが、ガラス繊維製のものは一般に鉄や亜鉛が高い。石英繊維製のものは各金属成分ともブランク値が低く、測定上問題となることは少ない。

6) 以下の諸点に留意する。

① 捕集時の流量や、捕集後の質量濃度に異常な値が認められた場合には、指示流量計に異常がないか、サンプラーに空気漏れがないか、電源電圧に変動がないかを調べる。この異常が捕集開始直前であれば、正常運転に復元するのを確認したあとに、捕集を再開する。捕集終了時に認められた場合には、再度異常を生じないように十分な管理のもとに捕集を再開することとし、その試料は保存し、記録を正確にとっておく。

② 空気吸引ブロワーがプラスチックモーターの場合は、400～500 時間 (24 時間連続使用の回数では 17～20 回) 使用後取りかえ、流量校正を行う。

③ 併設する場合、排気による巻き上げに留意し十分に間隔をおくことが必要である。ブラシレスモーターでないハイボリウムエアーサンプラーを使用する場合は排気に銅が含まれるため同様に間隔を置くことが必要である。

④ 吸引装置の部品の取り替えを行ったとき、または修理したとき、もしくは採取時の流量に異常がみられたときは、オリフィスを用いて校正を行う。

⑤ 捕集装置の設置に当たっては、騒音、振動などの問題が生じないように留意する。

文 献

1) 衛生試験法・注解 2000, 日本薬学会編, 金原出版, p.975

表Ⅰ 各種フィルターの適用性

材 質	品 名	ポアサイズ	帯電性 ^{a)}	圧損 ^{b)}	初期捕集 効率 ^{c)}	吸湿性 ^{d)}	原子吸光 光度法 ^{e)}	放射化 分析 ^{e)}	蛍光X線 分析法 ^{e)}	備 考
ガラス 繊維製	ADVANTEC TOYO GB-100R		○	○	○	○	○	×	△	
	Whatman GF/A		○	○	○	○	○	×	△	
	Merck Millipore AP-20		○	○	○	○	○	×	△	
石英 繊維製	Tissue Quartz 2500 QAT-UP		○	○	○	○	○	△	△	SiO ₂ 99%以上
ニトロセル ロース製	Merck Millipore RA	1~3	△	×	○	△	○	○	○	
フッ素 樹脂製	ADVANTEC TOYO PF 020-100		○	△	○	○	△	○		繊維状
	Merck Millipore Mitex LS		○	△	○	○	△	○		
	Merck Millipore Florinert FA	1	△	△	○	○	○	○		

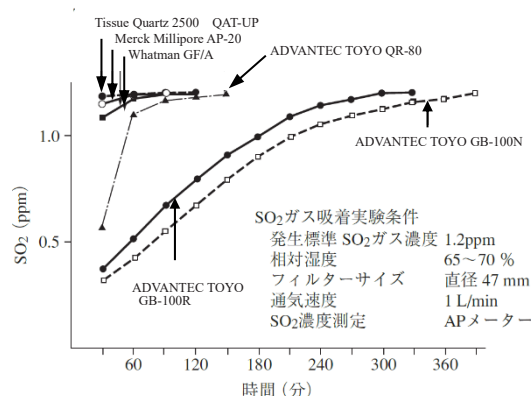
この表を作成するに当たって、次の文献を参考とした。Benson, A.L. *et al.* : J. Air Pollut. Contr. Assoc., **5**, 274 (1975), Gelman C. *et al.* : Am. Ind Hyg. Assoc. J. **36**, 512 (1975), Lundgren, D. *et al.* : Am. Ind Hyg. Assoc. J., **36**, 866 (1975), 本間克典 : 労働衛生工学, **13**, 1 (1973), 本間克典 : 労働衛生工学, **16**, 1 (1976), 田中辰雄ら : 分析機器, **12**, 347 (1974), Dams, R. *et al.* : Environ. Sci. Technol., **64**, 41 (1872), 本間克典ら : 分析化学, **26**, T1~T7 (1977), 山下敏夫ら : 分析化学, **27**, T1~T5 (1978)

a) 帯電性 ○ ほとんどなし, △ ややある, × 使用に差し支える. b) 圧損 ○ 非常に小さい, △ やや高い, × 高い. c) 初期捕集効率 ○ 99% 以上, △ 99% 前後, × 95% 以下. d) 吸湿性(吸湿率) ○ 吸湿率 0.1~0.5%, △ 吸湿率 1~2%, × 吸湿率 10% 前後. e) 適用性 ○ 可, △ 使用目的によって可, × 不可

表Ⅱ フィルター別 SO₂ 吸着量

フィルター	pH	飽和状態になるまでに 要した時間 (h)	SO ₂ 吸着量* μg	アルカリ金属量 (Na ⁺ , K ⁺) 直径47 mm フィルター中 μg
Merck Millipore AP-20	6.31	1.0	15.6	167
Tissue Quartz 2500 QAT-UP	6.31	1.5	20.8	23
PALL Micro Quartz	6.70	1.5	40.8	86
Whatman GF/A	6.63	1.5	144	163
PALL type - AE	6.95	3.5	156	627
ADVANTEC TOYO QR - 80	4.92	2.5	252	96
ADVANTEC TOYO GB - 100R	7.37	5.5	503	1708
ADVANTEC TOYO GB - 100N	6.50	7.5	736	1356

* SO₂量はフィルター中の SO₂および SO₃の合計量をイオンクロマトグラフィーによって測定した結果から SO₂量に換算したもの



図Ⅰ フィルター別 SO₂ 吸着状態

4.4.1 試料採取法

4.4.1.2 粒子状物質

1) 粒子状物質

(2) ローボリウムエアースンプラー法 (改訂)

環境大気、作業環境あるいは普通室内中に浮遊する粒子状物質をローボリウムエアースンプラーを用いフィルター¹⁾上に捕集し、その質量濃度や化学組成を測定するのに適した方法である²⁾。環境大気中の浮遊粒子状物質の測定では、粒径 $10\mu\text{m}$ 以下³⁾の粒子状物質を分粒する。また、作業環境中の浮遊粉じんの測定では、粒径 $4\mu\text{m}$ 以下³⁾のものを分粒・採取する。

【装置】① 装置の構成：図 4.4.1-25 に示す。

② 吸引ポンプ：吸引流量が 30 L/min 以上で、分粒装置の設定流量の1.5倍の吸引能力があり、静圧 27 kPa 以上の吸引圧力を有するポンプ。脈動を生じず、長時間の連続運転に耐えるもの

③ フィルターホルダー：通常、直径 110 mm または 47 mm の大きさのフィルターを破損することなく、空気漏れのないように装着できるもの (図 4.4.1-26 に一例を示す)

④ 流量測定部：流量測定は通常フロート型面積流量計⁴⁾を用いて行う。流量計はフィルターホルダーと吸引ポンプとの間に設置される。この流量計に刻まれる目盛りは 20°C 、 101.3 kPa で、 $10\sim 30\text{ L/min}$ の範囲を 0.5 L/min まで測定できるよう付したものである。

⑤ 分粒装置：(流速 20 L/min で) $10\mu\text{m}$ または $7.07\mu\text{m}$ を超える大きな粒子を除去する装置で、重量沈降型 (多段型)、慣性衝突型、遠心型 (サイクロン型) がある。

⑥ 捕集用フィルター：通常、石英繊維製またはガラス繊維製のフィルターが用いられる⁵⁾。

i) 重量沈降型 (多段型) 分粒装置：図 4.4.1-27 に示すように、薄い平板を一定間隔で何枚も重ね合わせ、板が平行かつ水平になるように置き、これに被測定空気を流し、平行板の間に空気が通り抜ける間に粗大粒子が重力沈降により板上に残り、小さな粒子のみが通過する。

ii) 慣性衝突型分粒装置：図 4.4.1-28 に示すように、粒子加速ノズルの出口にノズルと直角に衝突板を配置し、被測定空気中の粗大粒子を衝突板に衝突させて捕集し、小さな粒子が衝突板の周りに沿って通過する。

iii) 遠心型 (サイクロン型) 分粒装置：図 4.4.1-29 に示すように、被測定空気が吸引口から遠心型分粒装置に入り、内部で旋回回転に変えられ、粗大粒子は遠心力によって壁面に沿って下方に落下して、分粒装置の底部に堆積し、小さな粒子が分粒装置を通過する。

【操作】⁶⁾ ① 試料採取：装置の設置 4.4.1.2 1) (1) ハイボリウムエアースンプラー法 (p.43) に同じ

② 捕集用フィルターの秤量⁷⁾：温度 20°C 、相対湿度 50% で恒量としたのち 0.01 mg の感度を有する化学天秤で 0.1 mg まで精秤する。フィルターは皿の中央にのせて秤量する⁸⁾。

③ 粒子状物質の捕集 i) 分粒装置が汚れていないことを確認する。

ii) サンプラーが正常に作動することを確認する。

iii) 秤量したフィルターをフィルターホルダーに空気漏れが生じないように固定する。金属類の成分の分析を目的として粒子状物質を捕集するときは直接フィルターが金網に接しないよう、圧損の少ないフッ素樹脂製フィルターなどを敷いて、その上に捕集用フィルターを置き装着する。

iv) 電源を入れ、捕集開始時刻を記録する。

v) 流量計を 20 L/min (例)に合わせる。

vi) 捕集開始から5分後に図 4.4.1-25 の圧力計 (またはマノメーター) によって差圧を測定し、その差圧より吸引流量を補正し、正しく 20 L/min (例) が吸引されることを確認する。

vii) 吸引流量は1日1回以上はチェックし、差圧を測定し、正しく 20 L/min (例) が吸引されることを確認する。

viii) 捕集終了時刻を記録し吸引空気量を求める。

④ 捕集後のフィルターの秤量：捕集後のフィルターは、②の条件で24時間以上放置したのち、秤量する。

計 算：粒子状物質の濃度 $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ は次式から求められる。

$$\text{粒子状物質の濃度 } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(W - W_0)}{V} \times 10^3$$

W ：捕集後のフィルターの重量 (mg)

W_0 ：捕集前のフィルターの重量 (mg)

V ：吸引空気量 (m^3)

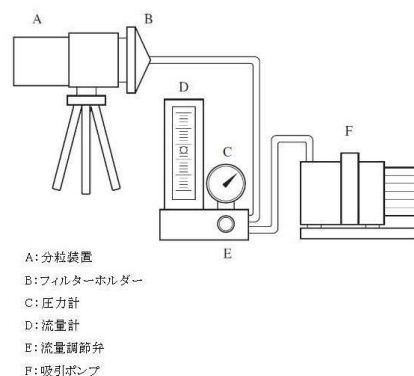


図 4.4.1-25 ローボリウムエアースンプラーの構成図

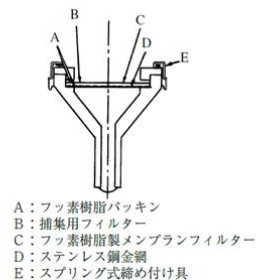


図 4.4.1-26 フィルターホルダー組み立ての例

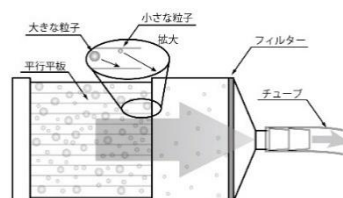


図 4.4.1-27 重力沈降型 (多段型) 分粒装置の原理および例

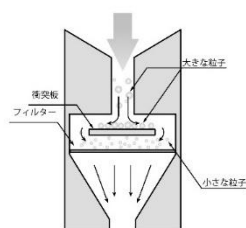


図 4.4.1-28 慣性衝突型分粒装置

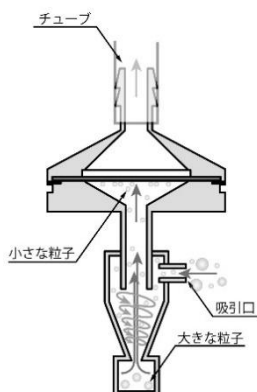


図 4.4.1-29 遠心型（サイクロン型）分粒装置の例

【注解】

1) 放射化分析用の試料捕集には、主成分にナトリウムなどの分析に支障となる元素を多量に含有するガラス繊維製フィルターは用いられない。各種フィルターの適用性などは 4.4.1.2 1) (1) 【注解】 4) (p.45) 参照

2) 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) については、4.4.3 2) 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) (p.1090) を参照

3) 環境基準が設定されている浮遊粒子状物質 (SPM) は、10 μm を超える粒子が 100% 除かれた粒子状物質であるのに対し、労働安全衛生法による作業環境測定では、50% 分粒径が 4 μm の分粒装置で採取した粒子状物質 (PM₄ と表記する) を対象としている。

4) 流量計の校正

ローボリウムエアースンプラーによる粒子状物質の採取に当たっては、常に設定された吸引量を維持することが必要であり、フィルターあるいは系内各部分の空気抵抗などによって生じる圧力損失を測定して、流量計の流量補正を行う必要がある。そのためには、以下のような流量計の校正を行う (JIS B 7551 1999)。ローボリウムエアースンプラーには、機構を異にした数種の機器が存在する。

流量校正方法の一例を示す。

フィルターホルダーと流量計との間に T 字管を入れ、T 字管の先に真空計または水銀マンノメーターをつなぐ。真空計またはマンノメーターは測定範囲 200 mmHg 程度まで測れるものを用いるが、用いるフィルターの種類または直径によっては、さらに測定範囲の広いものが要求される。

1. 流量計の流量指示値の圧力による補正

Q_r を流量計の目盛りの読み、 Q_0 を 101.3 kPa (760 mmHg) における流量 (L/min)、 P_0 を流量計の設計条件圧力 (通常は 760 mmHg)、マンノメーターで測った使用条件下での系内圧力

(P mmHg) と外気の圧力差を ΔP (mmHg) とすると、 Q_r は (1) 式で表される。

$$Q_r = Q_0 \sqrt{P_0 / (P_0 - \Delta P)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

P_0 が 760 mmHg のとき、ローボリウムエアースンプラーによって $Q_0 = 20$ L/min で空気を吸引したい場合、(1) 式より

$$Q_r = 20 \sqrt{760 / (760 - \Delta P)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

式 (2) から Q_r を求めて流量計の読み (フロートの位置) を設定すればよい。式 (2) により ΔP と Q_r の関係をプロットしたものが、流量設定曲線である。校正の操作は式 (2) または流量設定曲線を用いて行う。

5) 粒径 0.3 μm の粒子に対して 95% 以上の捕集効率を有し、初期圧力損失が低く、粒子捕集に伴う圧力損失の増加が少なく、かつ、吸湿性及びガス吸着性が少ないもの

6) 操作に当たっては以下の点に留意する。

① 流量計の設定温度は 20℃が多いので、温度補正の影響はあまり大きくない。普通 ±10℃の差に対しても ±2% 以下の誤差である。

② 装置の洗浄などを次に示す。

洗浄箇所	頻 度	洗浄方法など
分粒装置	捕集ごと	中性洗剤などを用いて洗浄する。なお超音波洗浄器を利用することにより迅速効果的に洗浄することができる。
パッキング	〃	〃
流量計	年1回	アルコール、中性洗剤を用いて洗浄する。
ポンプサイレンサー	年1回	フェルト状フィルターを交換する。

③ 流量変化は温度および粒子状物質の採取量の増加に伴って大きくなるので、降雨など湿度の高くなったときは流量の確認を必ず行う。

長期間採取の場合は、粒子状物質による目詰まりを考慮して、採取後半には流量確認の頻度を多くする。

このためにサンプラーは、流量測定および流量調整のしやすい位置に設定しなければならない。

④ 流量計を掃除したときは、目盛り校正を行う。

⑤ ハイボリウムエアースンプラーと併設する場合は、排気による巻き上げに留意し十分に間隔をおくことが必要である。ブラシレスモーターでないハイボリウムエアースンプラーを使用する場合は排気に銅が含まれるため同様に間隔を置くことが必要である。

7) 質量測定時の温湿度が恒量条件と大きく異ならないように注意する。

8) メンブランフィルター系のものは静電気を帯びてることがあり、質量測定に際してはフィルターの静電気を放電させると化学天秤の皿の中央にのせやすい。