

フィルターサイズ及びサンプリング流量の検討結果

1. 試験目的

現行のアスベストモニタリングマニュアル（第 4.1 版）（以下、「マニュアル」という。）「3. 2. 1 漏えい監視のためのアスベスト迅速測定法」の「特に迅速性が求められる場合」のフィルターへのサンプリング条件について、より迅速に、かつできるだけ検出下限値を上げることなく総繊維数濃度が得られるサンプリング条件をフィルターサイズ、サンプリング流量を変えて検討する。

2. 試験方法

(1) フィルターサイズ及びサンプリング流量

- ・ フィルターサイズ
φ 47mm（有効径 φ 35 mm）、φ 25 mm（有効径 φ 22 mm）、φ 13 mm（有効径 φ 9 mm）
- ・ サンプリング流量
マニュアルに記載されている現行のサンプリング流量^{※1}、現行サンプリング流量の 2 倍及び 3 倍でサンプリングを行う
※1 φ 47mm は 10L/min、φ 25 mm は 5 L/min、φ 13 mm はマニュアルに記載はないが 1 L/min
- ・ サンプリング時間
15 分
※2 表 1 に示すとおり、現行のサンプリング流量においてサンプリング時間を 10 分に短縮した場合、一部のフィルターの 100 視野計数における検出下限値が総繊維数濃度 1 本/L を上回るため、検出下限値が 1 本/L を下回る測定条件で最も短いサンプリング時間である 15 分にて、検証を行うこととした。

表1 サンプリング時間とフィルターサイズ、サンプリング流量と検出下限値

実施自治体数および準 拠するマニュアル	サンプリ ング時間 (分)	サンプリ ング流量 (L/ 分)	吸引した空 気量 (L)	フィルタ ーの有効径 (mm)	計数 視野数	定量下限値 (本/L)
公定法：アスベスト モニタリングマニ ュアル	240	10	2400	35	100	0.057
公定法：建築物の解 体等に係る石綿飛散 防止対策マニュアル	120	10	1200	35	100	0.113
Φ47mmフィルター	20	10	200	35	100	0.681
	20	20	300	35	100	0.454
	20	30	450	35	100	0.302
	15	10	150	35	100	0.907
	15	20	300	35	100	0.454
	15	30	450	35	100	0.302
	10	10	100	35	100	1.361
	10	20	300	35	100	0.454
	10	30	450	35	100	0.302
アスベストモニタリ ングマニュアル、 p55、「特に迅速性 が求められる場合」	30	5	150	22	100	0.359
	20	5	100	22	100	0.538
	20	10	200	22	100	0.269
	20	15	300	22	100	0.179
	15	5	75	22	100	0.717
	15	10	150	22	100	0.359
	15	15	225	22	100	0.239
	10	5	50	22	100	1.076
	10	10	100	22	100	0.538
Φ13mmフィルター	10	15	150	22	100	0.359
	20	1	20	9	100	0.450
	20	2	40	9	100	0.225
	20	3	60	9	100	0.150
	15	1	15	9	100	0.600
	15	2	30	9	100	0.300
	15	3	45	9	100	0.200
	10	1	10	9	100	0.900
	10	2	20	9	100	0.450
10	3	30	9	100	0.300	

※ φ13mm（有効径9mm）フィルターはアスベストモニタリングマニュアルには記載が無いので、φ47mm（有効径φ35mm）フィルターとおおよその面速が揃うサンプリング流量を設定した。

3. 実験

(1) 予備実験 1 : フィルターの圧力損失測定

- ・各サイズのフィルターとポンプの組み合わせでサンプリング流量と圧力損失を確認した。
- ・各サンプリング流量でフィルターが裂けるなどの状態にはならなかった。
- ・しかし、使用したポンプ LV-40BW は圧力損失の上限が 12kPa であり、 $\phi 25$ mm フィルターでマニュアルに規定されているサンプリング流量の 2 倍である 10L/min をサンプリングする場合において圧力損失の上限を超えていた。
- ・ $\phi 47$ mm 及び $\phi 25$ mm フィルターでマニュアルに規定されているサンプリング流量の 3 倍 (30L/min、15L/min)、 $\phi 13$ mm フィルターでは、基準としたサンプリング流量の 2 倍 (2L/min) ($\phi 13$ mm フィルターはおおよそその面速が揃うサンプリング流量を設定) をサンプリングする場合、ポンプの圧力損失の上限を大きく超えており、またサンプリング流量の低下も確認され (表 2 (→) 箇所)、機器への負荷が大きいことが予想された。

表 2 各フィルターサイズとポンプでのサンプリング流量と圧力損失

ポンプ : LVS-30

フィルター直径	サンプリング流量 (L/min)	圧力損失 (kPa)
$\phi 47$ mm (有効径 $\phi 35$ mm)	10	-4.0
	10	-4.1
	10	-4.1
	20	-9.3
	20	-9.4
	20	-9.4
	30 (→27.8) 30 (→27.4)	-15.0 -14.7
$\phi 25$ mm (有効径 $\phi 22$ mm)	5	-7.4
	5	-7.5
	5	-7.5
	10	-15.9
	10	-15.8
	10	-15.9
	15 (→14.1) 15 (→14.2)	-24.0 -23.9

ポンプ : LV-40BW

フィルター直径	サンプリング流量 (L/min)	圧力損失 (kPa)
$\phi 47$ mm (有効径 $\phi 35$ mm)	10	-3.8
	10	-3.8
	10	-3.8
	20	-9.1
	20	-9.2
	20	-9.1
	30	-16.4
	30	-16.5
	30	-16.4
$\phi 25$ mm (有効径 $\phi 22$ mm)	5	-7.0
	5	-7.1
	5	-7.0
	10	-15.2
	10	-15.2
	10	-15.1
	15	-24.4
	15	-24.4
	15	-24.3

ポンプ : MP- Σ 3

フィルター直径	サンプリング流量 (L/min)	圧力損失 (kPa)
$\phi 13$ mm (有効径 $\phi 9$ mm)	1	-6.7
	1	-6.8
	1	-6.8
	2 (→1.88)	-14.2
	2 (→1.89)	-14.2
	2 (→1.88)	-14.3

ポンプ : MP-W5P

フィルター直径	サンプリング流量 (L/min)	圧力損失 (kPa)
$\phi 13$ mm (有効径 $\phi 9$ mm)	2	-14.7
	2	-14.8
	2	-14.7
	3	-22.3
	3	-22.6
	3	-22.4

(2) 予備実験 2 : 粒子飛散状況の確認実験

- 大気中の総繊維数濃度については、負圧室にて予備実験を行い、試料の噴霧量とチャンバー内の総繊維数濃度をリアルタイムファイバーモニターにて確認し、本実験での噴霧量の目安を設定した。
- 予備実験の試料には、アスベストを含まないロックウールの吹付け材を用いた。
- リアルタイムファイバーモニターは労働環境での管理基準値である 150 本/L 前後の濃度では位相差顕微鏡法と良い相関を示すが、1 本/L 以下などの低濃度では測定値が位相差顕微鏡法の値と相関が悪くなることが報告されているため、PCM と相関がよい数十本～数百本/L の濃度範囲をリアルタイムファイバーモニターで確認しながら測定を実施することとした。
- ただし、チャンバー内の繊維数濃度を一定にすることは難しく、今回の実験においてはフィルター面にばらつきが小さく採じんでき、総繊維数濃度が確認できれば良いため、チャンバー内濃度が高くなったとしても計数が可能な範囲であれば、比較が可能と考えた。

(3) 本実験

(1)及び(2)の予備実験の結果を基に本実験の実験条件を設定した。本実験の設定条件を表3-1に示す。

表3-1 フィルターサイズ及びサンプリング流量別 試験条件 (計画当初)

	φ47mm フィルター			φ25mmフィルター			φ13mmフィルター		
実験で使用するフィルターホルダーのメーカー名	SKC			SKC			有限会社シリコンバイオ		
実験で使用するフィルターのメーカー名	ADVANTEC						MILLIPORE		
実験で使用するフィルターホルダーの型式	225-8497			225-321			----		
実験で使用するフィルターの型式	A280X047A						AAWP01300		
サンプリング条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
有効直径(cm)	3.5	3.5	3.5	2.2	2.2	2.2	0.9	0.9	0.9
有効半径(cm)	1.8	1.8	1.8	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5
サンプリング流量(L/分)	10	20	30	5	10	15	1	2	3
サンプリング流量(cm ³ /分)	10000	20000	30000	5000	10000	15000	1000	2000	3000
面速(cm/s)：サンプリング流量÷サンプラー有効採取面積(半径*半径*3.14)/60秒	17	35	52	22	44	66	26	52	79
採じんしていないフィルター使用時での吸引圧(kPa)	-4.1	-9.4	-16.5	-7.5	-15.9	-24.4	-6.8	-14.8	-22.6
実験で使用するポンプのメーカー	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社
実験で使用するポンプの型式	LVS-30	LVS-30	LV-40BW	LVS-30	LVS-30	LV-40BW	MP-Σ3	MP-W5P	MP-W5P

ただし、本実験の実施に際して、サンプリング条件③については、ポンプLV-40BWでは計画したサンプリング流量30L/minで目的のサンプリング流量での吸引ができなかったため、ポンプの機種をチャンバーでの試し稼働で30L/minに近い流量がサンプリングできていたLVS-30に変更した。サンプリング条件⑥でのポンプLV-40BWも、計画したサンプリング流量15L/minでの吸引ができなかったため、同じく試し稼働で15L/minがサンプリングできていたSIP-32Lに変更した。サンプリング条件⑥は、同じSIP-32Lの機種でも、目的のサンプリング流量が確保できるものとできないもののが確認された。また、φ47mmフィルターでは、ポンプを変更しても30L/minのサンプリングができなかったため、サンプリング条件②はサンプリング流量20L/minから15L/minに、サンプリング条件③はサンプリング流量30L/minから20L/minに変更した。

表3-2 フィルターサイズ及びサンプリング流量別 試験条件 (実験時修正)

	φ47mm フィルター			φ25mmフィルター			φ13mmフィルター		
	実験で使用するフィルターホルダーのメーカー名	SKC			SKC			有限会社シリコンバイオ	
実験で使用するフィルターのメーカー名	ADVANTEC			MILLIPORE					
実験で使用するフィルターホルダーの型式	225-8497			225-321			---		
実験で使用するフィルターの型式	A280X047A						AAWP01300		
サンプリング条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
有効直径(cm)	3.5	3.5	3.5	2.2	2.2	2.2	0.9	0.9	0.9
有効半径(cm)	1.8	1.8	1.8	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5
サンプリング流量(L/分)	10	15	20	5	10	15	1	2	3
サンプリング流量(cm ³ /分)	10000	15000	20000	5000	10000	15000	1000	2000	3000
面速(cm/s) : サンプリング流量 ÷ サンプラー有効採取面積 (半径 * 半径 * 3.14) / 60秒	17	26	35	22	44	66	26	52	79
採じんしていないフィルター使用時での吸引圧 (kPa)	-4.1	-4.1 < x < -9.4	-9.4	-7.5	-15.9	-24.4	-6.8	-14.8	-22.6
実験で使用するポンプのメーカー	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社
実験で使用するポンプの型式	LVS-30	LVS-30	LVS-30	LVS-30	LVS-30	SIP-32L	MP-W5P	MP-W5P	MP-W5P

① 実験概要

本実験における実験概要を以下に示す。

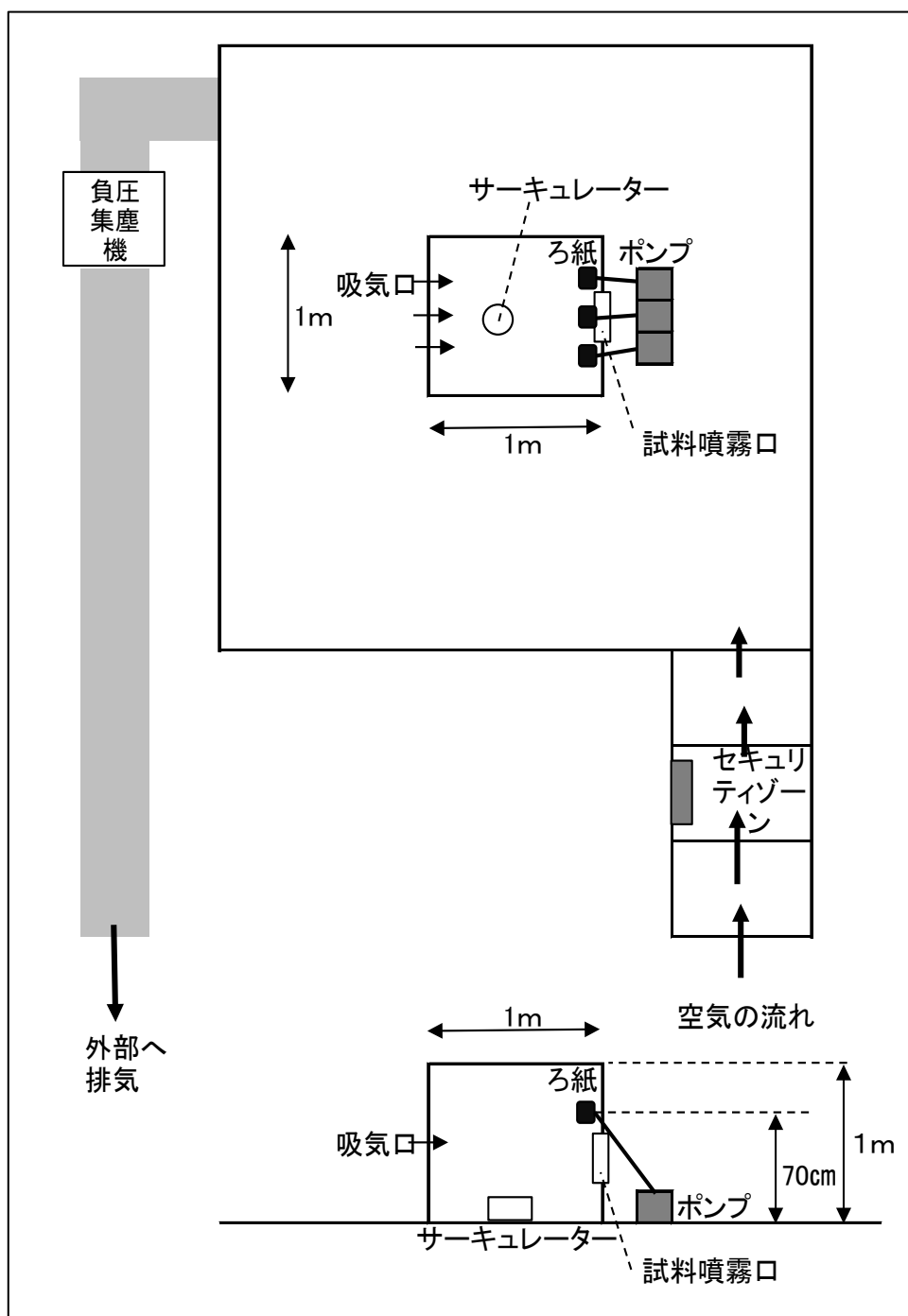


図1 チャンバー及びサンプリング状態 外観図



図2-1 负压室外観

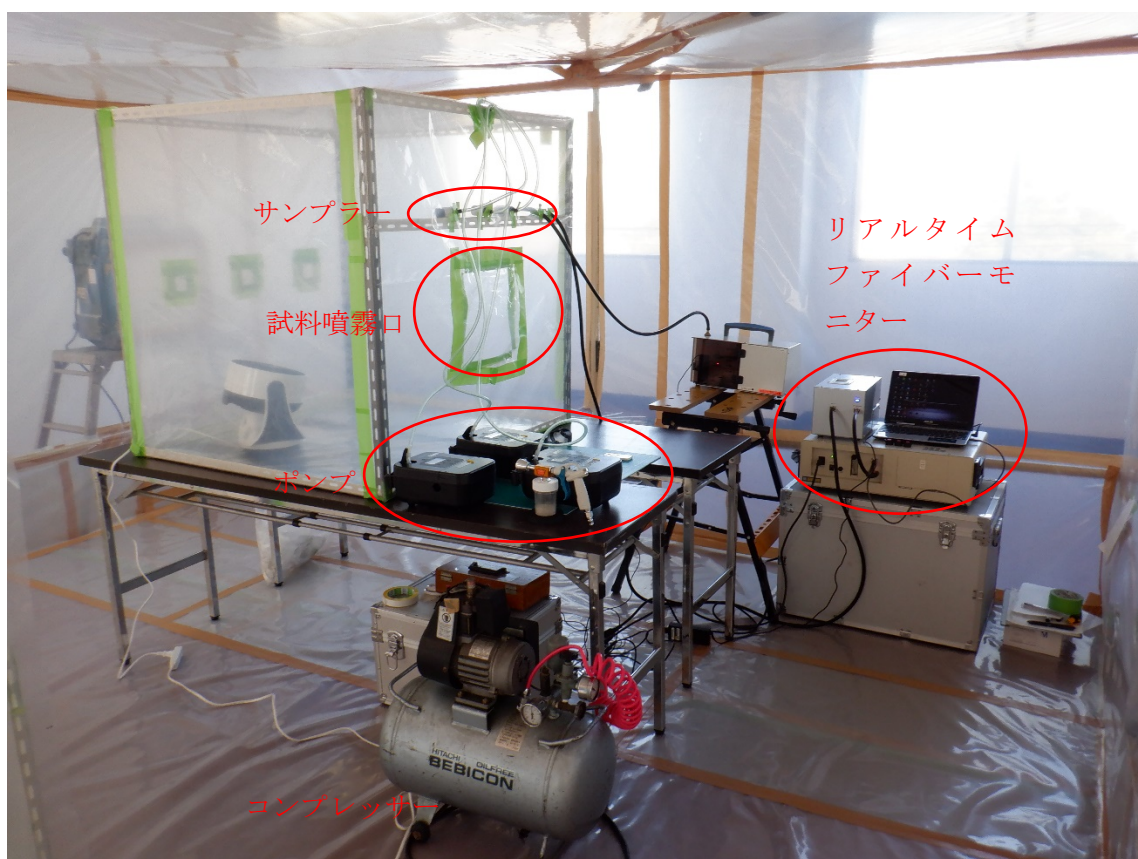


図2-2 チャンバー試験外観



図 2 - 3 噴霧の様子

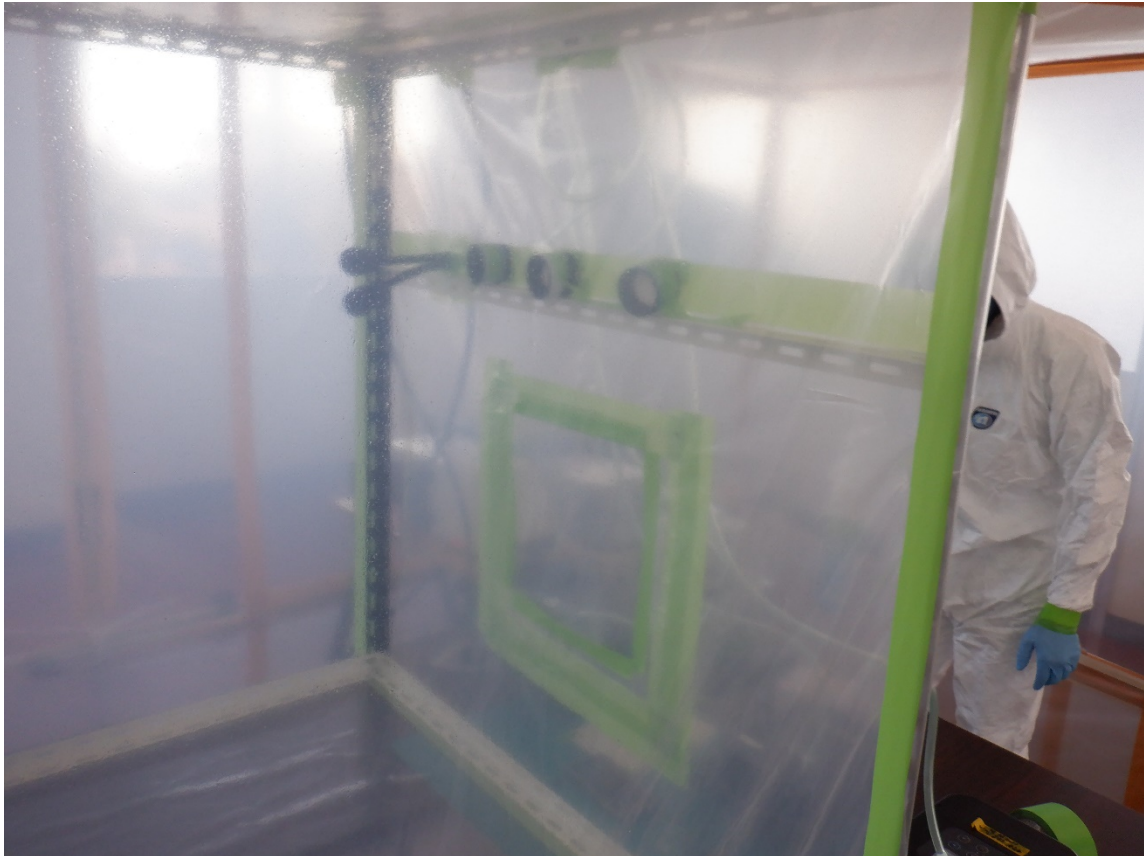


図 2 - 4 サンプラーとファイバーモニターのサンプリング口

② チャンバー内への粉じん噴霧方法

本実験に使用した試料性状及びチャンバー内への粉じんの噴霧方法について、以下に示す。

- ・ 試料：建築物から除去されたアスベストを含む吹付け材を粉碎し、噴霧材料として使用した。
- ・ 吹付けロックウール：クリソタイル 0.4%、アモサイト 0.1%、トレモライト/アクチノライト 1.5%のアスベストを含有

図3に示した噴霧器に圧縮空気を通し、内部に入れた吹付け材を空気に乗せて放出した。チャンバー内に噴霧器を差し込み、10回噴霧器を振った後に2.5MPaの空気圧で噴出を2回繰り返した。噴霧の方向は、右、真ん中、左とノズル先の方向を変えて噴霧した。噴霧後、サーキュレーター（微風設定、上向き）で空気を5分間攪拌し、サーキュレーターを停止させた後5分ほどおき、リアルタイムファイバーモニターのカウントが安定したタイミングからフィルターでのサンプリングを開始した。

2回目、3回目には、チャンバー内の濃度低下の様子をリアルタイムファイバーモニターで確認し、1～2回の追加噴霧を行った。噴霧後、5分間サーキュレーター（微風設定、上向き）を稼働させ、空気を攪拌した。サーキュレーターを止めた後、5分ほど置き、リアルタイムファイバーモニターのカウント数が安定したタイミングからフィルターでのサンプリングを開始した。



図3 噴霧器の外観

③ サンプリング方法

本実験でのサンプリング方法を以下に示す。

1. 静置 5 分：

- ✓ 粒径 10 μ m ほどの大きい粒子は落ち、位相差顕微鏡で観察可能な繊維径 0.3 μ m～10 μ m 未満の粒子が浮遊している状態を想定。
- ✓ 参考値として、粉じんの沈降速度と、高さ 100cm のチャンバー内を下へ落ちるまでの時間を以下に記す。

粒径 100 μ m；沈降速度 25 cm/秒；滞留時間 4 秒

粒径 10 μ m；沈降速度 3 mm/秒；滞留時間 333 秒 \approx 約 5 分

粒径 4 μ m；沈降速度 0.5mm/秒；滞留時間 2000 秒 \approx 約 30 分

(沈降速度は次の資料より引用：安全衛生総合研究所 講義資料

https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/mail_mag/2017/pdf_109/siryou_5.pdf, PPT8 ページ)

2. サンプリング時間：15 分間

3. サンプリング位置：サンプリング条件 1～6 を、チャンバー床面から 70cm の高さに設置し、同時にサンプリングを行った。

4. サンプリング条件：以下の試験条件 1～6 でのサンプリングを各 3 回行う。

試験条件 1：サンプリング条件①④⑦

試験条件 2：サンプリング条件②⑤⑧

試験条件 3：サンプリング条件③⑥⑨

試験条件 4：サンプリング条件①②③

試験条件 5：サンプリング条件④⑤⑥

試験条件 6：サンプリング条件⑦⑧⑨

} サンプリング時の面速を揃えて、
フィルターのサイズ別

} フィルターサイズを揃えて、
サンプリング時の面速別

表 3-3 サンプラーサイズ及びサンプリング流量別 試験条件【再記載】

	φ 47mm フィルター			φ 25mm フィルター			φ 13mm フィルター		
実験で使用するフィルターホルダーのメーカー名	SKC			SKC			有限会社シリコンバイオ		
実験で使用するフィルターのメーカー名	ADVANTEC						MILLIPORE		
実験で使用するフィルターホルダーの型式	225-8497			225-321			---		
実験で使用するフィルターの型式	A280X047A						AAWP01300		
サンプリング条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
有効直径(cm)	3.5	3.5	3.5	2.2	2.2	2.2	0.9	0.9	0.9
有効半径(cm)	1.8	1.8	1.8	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5
サンプリング流量(L/分)	10	15	20	5	10	15	1	2	3
サンプリング流量(cm ³ /分)	10000	15000	20000	5000	10000	15000	1000	2000	3000
面速(cm/s) : サンプリング流量 ÷ サンプラー有効採取面積 (半径 * 半径 * 3.14) / 60秒	17	26	35	22	44	66	26	52	79
採じんしていないフィルター使用時での吸引圧 (kPa)	-4.1	-4.1 < x < -9.4	-9.4	-7.5	-15.9	-24.4	-6.8	-14.8	-22.6
実験で使用するポンプのメーカー	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社	柴田科学株式会社
実験で使用するポンプの型式	LVS-30	LVS-30	LVS-30	LVS-30	LVS-30	SIP-32L	MP-W5P	MP-W5P	MP-W5P

④ 分析方法

1. 標本作製

- イ) 採じんが均一にできているか確認（顕微鏡 100 倍で観察）する。図 4 の矢印開始地点、中央、終わりの位置で顕微鏡画像の撮影を行った。
- ロ) 位相差顕微鏡観察 1 視野目の繊維数で、合計 200 本以上の計数で、計数視野数を試算し、計数視野数が少ない場合は、フィルターの中心線上を等分して端から端まで計数するように計数視野位置を選んだ。
- ハ) 計数が中心線上を端まで数え折り返す場合は、何視野目で計数視野を折り返したか記録した。

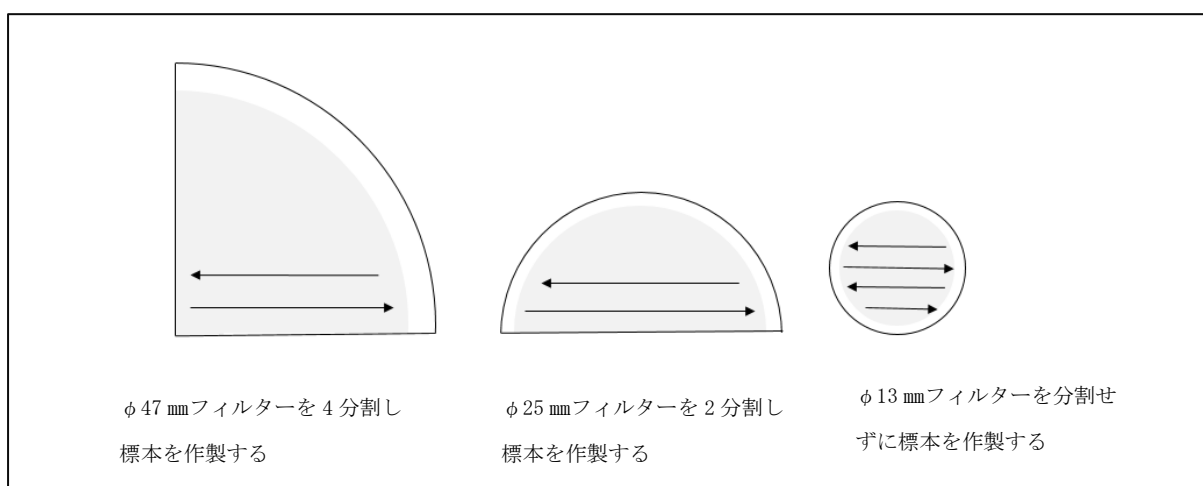


図4 観察視野の動き方

2. 標本観察

A ランク認定技術者（日本作業環境測定協会）が標本の分析を行った。

3. 結果からの検証内容

- イ) フィルターサイズごとにサンプリング流量を変えることにより、総繊維数濃度が予想される濃度に近い値となっているか確認した。
- ロ) 試験条件②③及び⑤～⑨が、マニュアルに記載されている試験条件①及び④と比較して、粉じんがフィルター上にほぼむらなく均一にサンプリングされており、総繊維数の本数がフィルター上の位置によって大きく変わらないか確認した。
- ハ) 現場での取扱いやすさについて確認した。

4. 結果及び考察

本実験の結果を以下に示す。

(1) 計数結果

表4 計数結果

試験条件1

フィルター直径(mm)	47	25	13	47	25	13	47	25	13
	1-① (10L/m) -1回目	1-④ (5L/m)- 1回目	1-⑦ (1L/m)- -1回目	1-① (10L/m) -2回目	1-④ (5L/m)- 2回目	1-⑦ (1L/m)- 2回目	1-① (10L/m) -3回目	1-④ (5L/m)- 3回目	1-⑦ (1L/m)- 3回目
1視野あたりの繊維数濃度 (本/視野)	4.9	10.8	18.1	1.1	2.5	4.8	2.5	4.4	8.3
サンプリング流量 (L/min)	10	5	1	10	5	1	10	5	1
採気量 (L)	150	75	15	150	75	15	150	75	15
有効採じん面積(mm ²)	962	380	64	962	380	64	962	380	64
計数1視野面積(mm ²)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
総繊維数濃度 (本/L)	447	779	1095	100	182	293	233	316	504

試験条件2

フィルター直径(mm)	47	25	13	47	25	13	47	25	13
	2-② (15L/m) -1回目	2-⑤ (10L/m) -1回目	2-⑧ (2L/m)- 1回目	2-② (15L/m) -2回目	2-⑤ (10L/m) -2回目	2-⑧ (2L/m)- 2回目	2-② (15L/m) -3回目	2-⑤ (10L/m) -3回目	2-⑧ (2L/m)- 3回目
1視野あたりの繊維数濃度 (本/視野)	5.9	24.0	5.8	4.1	10.8	5.3	6.2	14.8	2.5
サンプリング流量 (L/min)	15	10	2	15	10	2	15	10	2
採気量 (L)	225	150	30	225	150	30	225	150	30
有効採じん面積(mm ²)	962	380	64	962	380	64	962	380	64
計数1視野面積(mm ²)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
総繊維数濃度 (本/L)	360	868	174	251	391	161	380	535	76

試験条件3

フィルター直径(mm)	47	25	13	47	25	13	47	25	13
	3-③ (20L/m) -1回目	3-⑥ (15L/m) -1回目	3-⑨ (3L/m)- 1回目	3-③ (20L/m) -2回目	3-⑥ (15L/m) -2回目	3-⑨ (3L/m)- 2回目	3-③ (20L/m) -3回目	3-⑥ (15L/m) -3回目	3-⑨ (3L/m)- 3回目
1視野あたりの繊維数濃度 (本/視野)	4.2	10.1	8.2	3.5	9.7	9.6	5.4	12.2	8.3
サンプリング流量 (L/min)	20	15	3	20	15	3	20	15	3
採気量 (L)	300	225	45	300	225	45	300	225	45
有効採じん面積(mm ²)	962	380	64	962	380	64	962	380	64
計数1視野面積(mm ²)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
総繊維数濃度 (本/L)	194	245	166	161	235	194	246	294	168

試験条件 4

フィルター直径 (mm)	47	47	47	47	47	47	47	47	47
	4-① (10L/m)- 1回目	4-② (15L/m)- 1回目	4-③ (20L/m)- 1回目	4-① (10L/m)- 2回目	4-② (15L/m)- 2回目	4-③ (20L/m)- 2回目	4-① (10L/m)- 3回目	4-② (15L/m)- 3回目	4-③ (20L/m)- 3回目
1視野あたりの繊維数濃度 (本/視野)	4.1	5.5	5.9	5.6	7.4	8.1	3.2	6.3	6.0
サンプリング流量 (L/min)	10	15	20	10	15	20	10	15	20
採気量 (L)	150	225	300	150	225	300	150	225	300
有効採じん面積 (mm ²)	962	962	962	962	962	962	962	962	962
計数1視野面積 (mm ²)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
総繊維数濃度 (本/L)	375	336	272	510	452	373	291	384	275

試験条件 5

フィルター直径 (mm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	5-④ (5L/m)-1 回目	5-⑤ (10L/m)- 1回目	5-⑥ (15L/m)- 1回目	5-④ (5L/m)-2 回目	5-⑤ (10L/m)- 2回目	5-⑥ (15L/m)- 2回目	5-④ (5L/m)-3 回目	5-⑤ (10L/m)- 3回目	5-⑥ (15L/m)- 3回目
1視野あたりの繊維数濃度 (本/視野)	15.3	18.6	41.9	14.8	28.6	35.7	12.1	25.4	28.0
サンプリング流量 (L/min)	5	10	15	5	10	15	5	10	15
採気量 (L)	75	150	225	75	150	225	75	150	225
有効採じん面積 (mm ²)	380	380	380	380	380	380	380	380	380
計数1視野面積 (mm ²)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
総繊維数濃度 (本/L)	1106	673	1011	1067	1034	860	875	918	675

試験条件 6

フィルター直径 (mm)	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	6-⑦ (1L/m)-1 回目	6-⑧ (2L/m)-1 回目	6-⑨ (3L/m)-1 回目	6-⑦ (1L/m)-2 回目	6-⑧ (2L/m)-2 回目	6-⑨ (3L/m)-2 回目	6-⑦ (1L/m)-3 回目	6-⑧ (2L/m)-3 回目	6-⑨ (3L/m)-3 回目
1視野あたりの繊維数濃度 (本/視野)	11.4	8.6	18.6	2.5	1.8	2.5	31.5	16.6	15.0
サンプリング流量 (L/min)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
採気量 (L)	15	30	45	15	30	45	15	30	45
有効採じん面積 (mm ²)	64	64	64	64	64	64	64	64	64
計数1視野面積 (mm ²)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
総繊維数濃度 (本/L)	692	259	375	150	54	50	1908	502	303

(2) フィルター採じん面上での繊維状物質のばらつき

ばらつきの計算式

$$*ばらつき (\%) = \frac{\text{最も繊維状物質が多かった視野の本数}}{200 \text{ 本以上まで計数後算出した 1 視野あたりの平均繊維状物数}} \times 100$$

表5 採じん面上での繊維数のばらつき：繊維数 200 本以上計数後の 1 視野あたりの平均繊維数濃度を 100%とした場合の最大計数値 (%)

φ 47mm	1-① (10L/m), 1回目	1-① (10L/m), 2回目	1-① (10L/m), 3回目	4-① (10L/m), 1回目	4-① (10L/m), 2回目	4-① (10L/m), 3回目	10L/mでのばらつき 平均256%、標準偏差42	平均 244%、 標準偏差 40
	267	274	236	257	189	314	15L/mでのばらつき 平均223%、標準偏差31	
	2-② (15L/m), 1回目	2-② (15L/m), 2回目	2-② (15L/m), 3回目	4-② (15L/m), 1回目	4-② (15L/m), 2回目	4-② (15L/m), 3回目	20L/mでのばらつき 平均253%、標準偏差44	
	254	243	225	209	169	238		
	3-③ (20L/m), 1回目	3-③ (20L/m), 2回目	3-③ (20L/m), 3回目	4-③ (20L/m), 1回目	4-③ (20L/m), 2回目	4-③ (20L/m), 3回目		
284	313	261	252	215	192			
φ 25mm	1-④ (5L/m), 1回目	1-④ (5L/m), 2回目	1-④ (5L/m), 3回目	5-④ (5L/m), 1回目	5-④ (5L/m), 2回目	5-④ (5L/m), 3回目	5L/mでのばらつき 平均201%、標準偏差66	平均 162%、 標準偏差 48
	209	318	206	199	139	136	10L/mでのばらつき 平均147%、標準偏差20	
	2-⑤ (10L/m), 1回目	2-⑤ (10L/m), 2回目	2-⑤ (10L/m), 3回目	5-⑤ (10L/m), 1回目	5-⑤ (10L/m), 2回目	5-⑤ (10L/m), 3回目	15L/mでのばらつき 平均138%、標準偏差17	
	167	166	156	145	119	130		
	3-⑥ (15L/m), 1回目	3-⑥ (15L/m), 2回目	3-⑥ (15L/m), 3回目	5-⑥ (15L/m), 1回目	5-⑥ (15L/m), 2回目	5-⑥ (15L/m), 3回目		
158	154	148	130	119	120			
φ 13mm	1-⑦ (1L/m), 1回目	1-⑦ (1L/m), 2回目	1-⑦ (1L/m), 3回目	6-⑦ (1L/m), 1回目	6-⑦ (1L/m), 2回目	6-⑦ (1L/m), 3回目	1L/mでのばらつき 平均203%、標準偏差84	平均 203%、 標準偏差 67
	155	217	162	188	365	132	2L/mでのばらつき 平均221%、標準偏差70	
	2-⑧ (2L/m), 1回目	2-⑧ (2L/m), 2回目	2-⑧ (2L/m), 3回目	6-⑧ (2L/m), 1回目	6-⑧ (2L/m), 2回目	6-⑧ (2L/m), 3回目	3L/mでのばらつき 平均184%、標準偏差51	
	191	207	259	193	338	136		
	3-⑨ (3L/m), 1回目	3-⑨ (3L/m), 2回目	3-⑨ (3L/m), 3回目	6-⑨ (3L/m), 1回目	6-⑨ (3L/m), 2回目	6-⑨ (3L/m), 3回目		
194	166	156	153	283	153			

F 値による有意差検定：

φ 47 mm (有効径 φ 35 mm) フィルターと φ 25 mm (有効径 φ 22 mm) フィルターの現行流量、また現行の 2 倍流量において、一視野あたりの平均繊維状物質数からの視野毎での繊維数のばらつきについて、F 検定を実施した。現行流量での F 値は 0.0003、現行の 2 倍流量の F 値は 0.0021 であり、それぞれ 0.05 有意差水準を下回った。φ 47 mm (有効径 φ 35 mm) フィルターと φ 25 mm (有効径 φ 22 mm) フィルターの採じん面上での繊維数のばらつきには、有意差があることが確認された。

表 5 および検定の結果より、φ 25 mm (有効径 φ 22 mm) フィルターが最も採じん面上の繊維数のばらつきが少なかった。

(3) フィルターサイズ毎でのサンプリング流量の影響

①試験条件4：φ47 mmフィルターにサイズを揃え、サンプリング流量を変えてのサンプリング

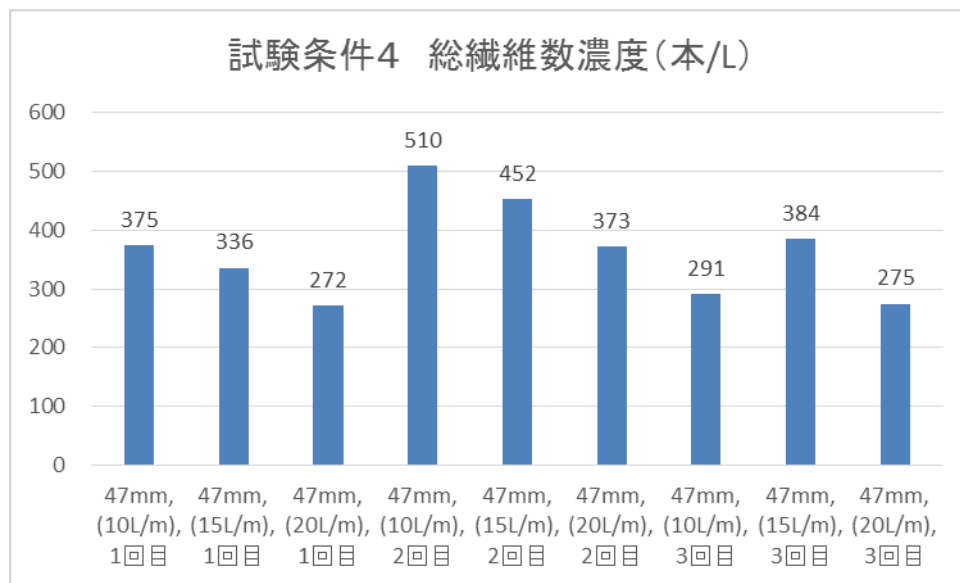


図5 試験条件4 総繊維数濃度

試験条件4の3回繰り返し測定を行った結果より、サンプリング流量を上げることにより総繊維数濃度が低下する傾向が確認された。

サンプリング流量を変えた場合における総繊維数濃度の差は、それぞれマニュアルに記載されているサンプリング流量の総繊維数を基準として、以下の結果であった。

- 1回目：15L/m (-10%)、20L/m (-27%)
- 2回目：15L/m (-11%)、20L/m (-27%)
- 3回目：15L/m (+32%)、20L/m (-6%)

サンプリング流量を上げることに伴って総繊維数濃度が低下する現象の原因としては、以下の可能性が考えられる。

1. 予備実験1の結果から、サンプリング流量をあげて圧力損失が高くなるに伴い、ポンプへの負荷が大きくなり適切にサンプリングができていない可能性がある。
2. 1視野あたりの繊維数濃度が高くなることに伴って、分析時に繊維の見落としが増えた可能性がある。
3. 流量を増やすことに伴い繊維がフィルター面上に上手く捕集されない状態になっていることが考えられる。

原因の特定ができないものの、総繊維数濃度が現行法よりも低下するサンプリング条件は望ましくないため、φ47 mmフィルターを用いてサンプリング流量を現行よりも増やすことは難しいと考える。

② 試験条件5：φ25 mmフィルターにサイズを揃え、サンプリング流量を変えてのサンプリング

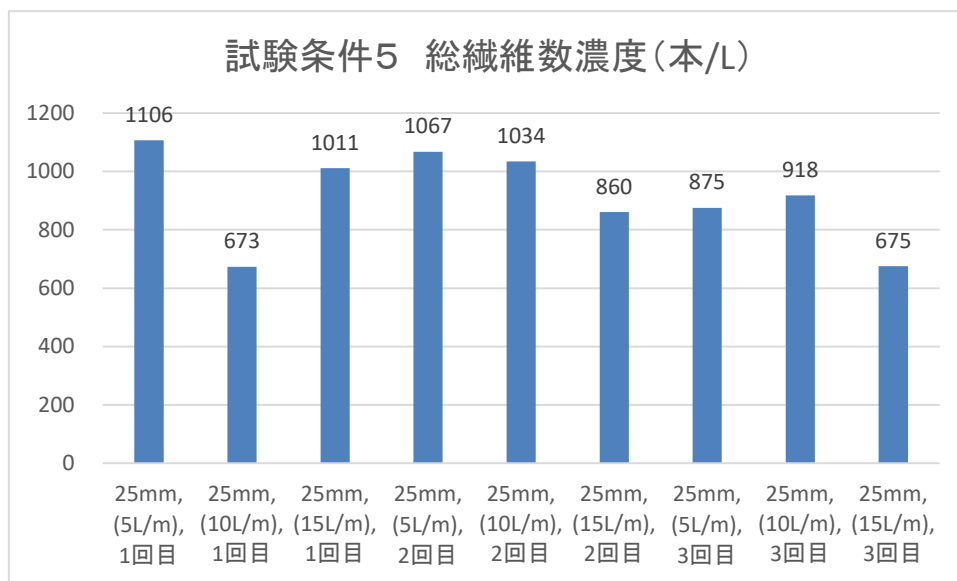


図6 試験条件5 総繊維数濃度

試験条件5の3回繰り返し測定を行った結果より、サンプリング流量を変えた場合における総繊維数濃度の差は、それぞれマニュアルに記載されているサンプリング流量の総繊維数を基準として以下の結果であった。

- 1回目：10L/m (-39%)、15L/m (-9%)
- 2回目：10L/m (-3%)、15L/m (-17%)
- 3回目：10L/m (+5%)、15L/m (-23%)

サンプリング流量を現行流量、現行の2倍、3倍と増やしたサンプリング条件において、総繊維数濃度が減少又は増加する傾向は確認されなかった。

- ③ 試験条件6：φ13 mmフィルターにサイズを揃え、サンプリング流量を変えてのサンプリング

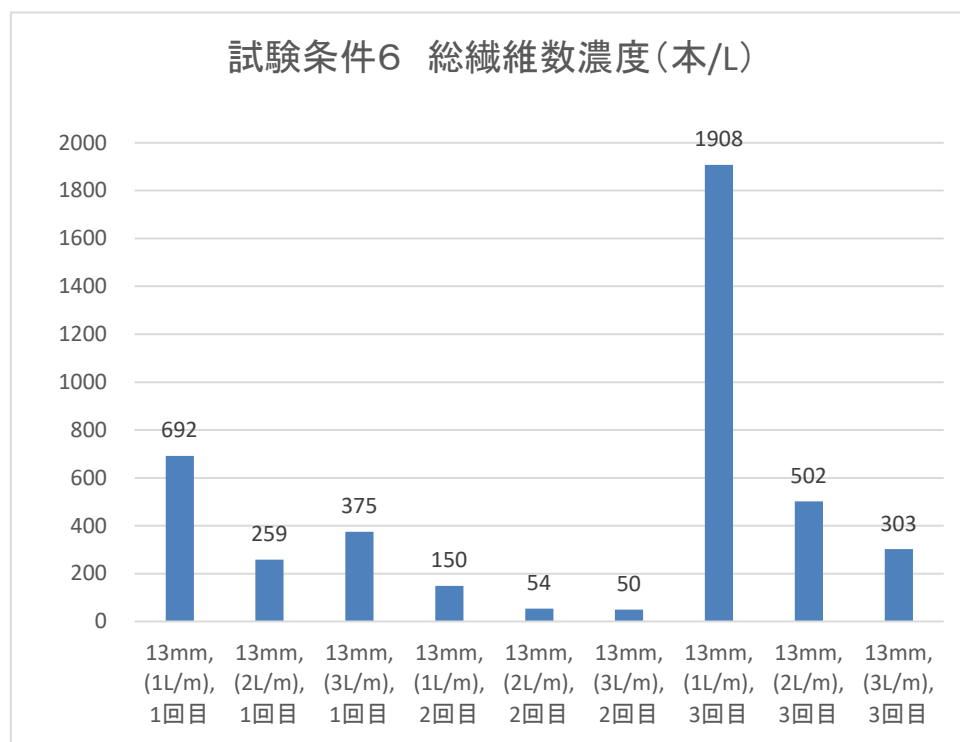


図7 試験条件6 総繊維数濃度

試験条件6の3回繰り返し測定を行った結果より、サンプリング流量を変えた場合における総繊維数濃度の差は、それぞれマニュアルに記載されているサンプリング流量の総繊維数を基準として、以下の結果であった。

- 1回目：2L/m (-62%)、3L/m (-46%)
- 2回目：2L/m (-64%)、3L/m (-67%)
- 3回目：2L/m (-74%)、3L/m (-84%)

φ13 mm (有効径φ9 mm) フィルターは、サンプリング流量を現行流量、現行の2倍、3倍に変えた場合に総繊維数濃度が低下する傾向が確認された。2倍量でのサンプリングにおいて、φ13 mmフィルターとφ47 mmフィルターを比較すると、それぞれ現行のサンプリング流量(φ13 mmフィルターは面速から試算し1L/min)に比べ、φ13 mmフィルターの総繊維数濃度低下割合：-62~-74%、φ47 mmフィルターの総繊維数濃度低下割合：-6~-27%であった。サンプリング流量を2倍に増やした場合の総繊維数濃度の低下割合は、φ13 mm (有効径φ9 mm) フィルターの方がφ47 mmフィルターよりも大きかった。

- サンプリング流量を上げることに伴い総繊維数濃度が低下する現象の原因としては、
1. 予備実験 1 の結果から、サンプリング流量をあげて圧力損失が高くなるに伴い、ポンプへの負荷が大きくなり適切にサンプリングができていない。
 2. 1 視野あたりの繊維数濃度が高くなることに伴い、分析時に繊維の見落としが増えた。
 3. 流量を増やすことに伴い繊維がフィルター面上に上手く捕集されない状態になっていることが考えられる。原因の特定ができないものの、総繊維数濃度が現行法よりも低下するサンプリング条件は望ましくないため、φ13 mm（有効径φ9 mm）フィルターを用いてサンプリング流量を現行よりも増やすことは難しいと考える。

フィルターサイズ毎に流量を増やして検証を行った（試験条件 4～6）結果について、一視野毎の繊維状物質数／サンプリング量（L）の数値を用いて F 値による有意差検定を行った。

表 6 F 検定結果

φ 47mm			φ 25mm			φ 13mm		
現行と 1.5 倍	1回目	0.103	現行と 2 倍	1回目	0.001	現行と 2 倍	1回目	2.51901E-05
	2回目	0.804		2回目	0.954		2回目	3.93019E-13
	3回目	0.107		3回目	0.790		3回目	7.29441E-05
現行と 2 倍	1回目	0.004	現行と 3 倍	1回目	0.327	現行と 3 倍	1回目	0.040
	2回目	0.760		2回目	0.275		2回目	2.36678E-22
	3回目	0.003		3回目	0.228		3回目	6.77593E-05

* 有意差水準：0.05

* 有意差なし：赤字で記載。有意差あり：黒字で記載

図 5 より、φ 47 mm（有効径 φ 35 mm）フィルターにおいてサンプリング流量を増やすと、総繊維数濃度が低下する傾向が確認された。表 6 の検定結果より、現行流量と現行の 1.5 倍流量では有意差が確認されなかったが、現行流量と現行の 2 倍流量では 2 試験／3 試験において有意差が確認され、サンプリング流量を 2 倍にした場合において総繊維数濃度が低くなると考えられる。

図 6 より、φ 25 mm（有効径 φ 22 mm）フィルターにおいてサンプリング流量を増やした場合において、総繊維数濃度の増加および低下の傾向は確認されなかった。表 6 の検定結果より、現行流量と現行の 2 倍流量では 2 試験／3 試験において、また現行流量と現行の 3 倍流量においても 3 試験／3 試験において有意差がないことが示された。図 6 および検定の結果から、φ 25 mm（有効径 φ 22 mm）フィルターを用いてサンプリング流量を 3 倍まで増やした場合において、総繊維数濃度の有意な差はないと考えられる。

図 7 より、φ 13 mm（有効径 φ 9 mm）フィルターにおいてサンプリング流量を増やすと、総繊維数濃度が低下する傾向が確認された。表 6 の検定結果より、現行流量と現行の 2 倍流量また 3 倍流量においても、有意差が確認され、サンプリング流量を 2 倍と 3 倍にした場合において総繊維数濃度が低くなると考えられる。

(4) 現場での扱いやすさ

今回の実験に置いて、マニュアルに記載されているサイズのフィルターと比べてより小さいサイズのφ13 mmフィルター（有効径φ 9 mm）においても検証を行った。このフィルターのホルダーは外径 16.5 mmであるが、サイズが小さく、フィルターをホルダーへセットすることが困難であったため、扱いにくいサイズだと考える。また、分析を行う場合においてもフィルターを分割して保管することは難しいと考えられ、一般環境、解体現場における平常時でのサンプリングには適さないと考える。

5. まとめ

本検証は、現行のマニュアル「3. 2. 1 漏えい監視のためのアスベスト迅速測定法」の「特に迅速性が求められる場合」のフィルターのサンプリング条件について、より迅速に、かつできるだけ検出下限値を上げることなく総繊維数濃度が得られるサンプリング条件を検討するために、3つのフィルターサイズ（φ47mm（有効径φ35mm）、φ25mm（有効径φ22mm）、φ13mm（有効径φ9mm））を用いて、1～3倍のサンプリング流量で、15分間のサンプリングにより検証を行った。

- φ47mm（有効径φ35mm）フィルターは、サンプリング流量を増やすことに伴い総繊維数濃度の減少が確認された。総繊維数濃度が現行法より低くなり、また、ポンプにも負荷が大きいサンプリング条件となるため、φ47mmフィルターでのサンプリング流量を増やすことは難しいと判断した。
- φ25mm（有効径φ22mm）フィルターは、サンプリング流量を増やした場合に現行サンプリング流量でのサンプリングと比較して、繊維数濃度の差が最も少なく、かつ、採じんフィルター上の繊維数のばらつきも、他の2つのフィルターサイズと比較して最も少なかった。
- φ13mm（有効径φ9mm）フィルターは、サンプリング流量を増やすと（1L/min～3L/min）総繊維数濃度が低くなる傾向が確認された。フィルター及びフィルターホルダーが小さいため現場作業での取扱いが難しく、分析時の予備試料の確保が難しいという課題がある。
- サンプリング流量を増やすとフィルターの圧力損失も増加し、適切なサンプリングができない可能性がある。フィルターに合わせたサンプリング流量の上限設定や適切なポンプの選定が必要である。

結果より、特に迅速性が求められる場合の測定においては、 $\phi 25\text{ mm}$ （有効径 $\phi 22\text{ mm}$ ）フィルターによるサンプリングを検討するべきと考える。今回の検討では、サンプリング流量を上げることによるポンプへの負荷も含めて総合的に判断すると、適切なサンプリング流量は 5 L/min ～ 10 L/min であった。

現行のマニュアル（第4.1版）「3. 2. 1 漏えい監視のためのアスベスト迅速測定法」に「特に迅速性が求められる場合は、直径 25 mm の円形ろ紙で有効ろ紙直径が 22 mm となるオープンフェース型のホルダーを使用し、捕集時間30分間、吸引流量 5 L/min としてもよい」と記載されている箇所について、現場の状況や目的に合わせて直径 $\phi 25\text{ mm}$ （有効径 $\phi 22\text{ mm}$ ）のろ紙を用いてサンプリング流量を 10 L/min まで増やしての試料採取が行える可能性が示された。