

表3 I LNo.1の結果(その1)

	表示値(カウント)		(B/A) × 100
	F-1 A	F-1 B	割合(%)
1回目	584	516	88.4
2回目	153	116	75.8
3回目	28	19	67.9
4回目	54	49	90.7
5回目	228	185	81.1
平均			80.8
標準偏差			8.3
変動係数(%)			10.3

表4 I LNo.1の結果(その2)

	表示値(カウント)		(B/A) × 100
	F-1 A	F-1 B	割合(%)
1回目	97	60	61.9
2回目	119	69	58.0
3回目	206	143	69.4
平均			63.1
標準偏差			4.7
変動係数(%)			7.5

表5 I LNo.2の結果(その1)

	表示値(カウント)		(B/A) × 100
	F-1 A	F-1 B	割合(%)
1回目	128	91	71.1
2回目	129	88	68.2
3回目	70	72	102.9
4回目	66	43	65.2
5回目	49	35	71.4
平均			75.7
標準偏差			13.7
変動係数(%)			18.1

表6 I LNo.2の結果(その2)

	表示値(カウント)		(B/A) × 100
	F-1 A	F-1 B	割合(%)
1回目	225	158	70.2
2回目	524	417	79.6
3回目	63	42	66.7
平均			72.2
標準偏差			5.4
変動係数(%)			7.5

表7 I LNo.1の移動空気相導入部2か所のうち1箇所を塞いだ場合の結果(参考)

	表示値(カウント)		(B/A) × 100
	F-1 A	F-1 B	割合(%)
1回目	755	466	61.7
2回目	181	101	55.8
3回目	81	58	71.6
4回目	275	180	65.5
5回目	18	8	44.4
平均			59.8
標準偏差			9.2
変動係数(%)			15.4

3. ③ギ酸ミストの発生部分の検討

①. 方法

ミストの発生部分の確認試験は、写真 25 に示すとおりミスト混合部はMANo.2を装着し、試料導入部分はILNo.1を装着して、さらにギ酸ミストの発生装置を装着して、容器に10%のギ酸を入れ、ネブライザーをONにしてギ酸ミストを発生させ、2L/minの吸引流量でミスト混合部上方から30分程度連続的に吸引し、発生することを確認した。

次にロックウールを使用し、図 11 に示すサンプリング系統図に接続した。

発生装置でロックウールを発生させ、希釈装置に送り込み、最終的に二口に分岐するサンプリングポートへ送り込んだ。

一方は直接リアルタイムモニター(A)に接続し、他方はギ酸処理装置(「ギ酸試料導入部」と「ギ酸混合部」と「ミストの発生部」)を接続し、ネブライザーをOFFの状態ですら10分間測定を行い、リアルタイムモニター(A)、リアルタイムモニター(B)のカウント値を確認した。

②. 結果

ネブライザーがOFFの状態にもかかわらず、リアルタイムモニター(A)は10分間値が222カウントであるのに対し、リアルタイムモニター(B)は「0」カウントのままであった。

「ギ酸との混合部分」、「移動空気相の導入部分」の形状や性能試験もロックウールを使用して実施したが、表示値が「0」になることがなかったことから、明らかに「ギ酸ミスト発生部分」に不具合があると考え

た。

ギ酸ミスト発生部分の構造を確認した結果、写真 26 および写真 27 に示した通り、AC電源コードの出口付近からギ酸溶液が漏れることがわかった。そのためこの部分から内部に空気が取り込まれ、入り口が3か所あることになり、ロックウールを含む移動空気相の流量のバランスが悪くなり、うず流が発生しにくくなっているものと考えられる。

さらに、図 12 はギ酸ミスト発生部に水を入れて、ネブライザーを「ON」にしてミストを発生させた時の溶液の水温の変化を調べたものである。

ネブライザーが「OFF」の状態の水温は、20℃程度であるが、ネブライザーを「ON」にして、ミストを発生させると水温が上昇し、2時間経過後には、水温が60℃に達することがわかった。

写真 28 は、その時のギ酸ミスト混合部分の内壁の状況である。容器内のギ酸の温度が上昇することで水蒸気が内壁に付着すると、仮に繊維がその内壁に付着した場合、ロックウールのような無機質繊維であればそこで溶解し、溶液に溶け込むが、仮にアスベストが内壁に付着してした場合、移動空気相とともに移動せず、容器内に留まってしまうことになる。

また図 13 に示すとおり、ネブライザーの発振子の部分より下にアスベストが沈降した場合、そのアスベストは、ギ酸ミストと共に再上昇しないことが構造上判明した。現状の装置では、ギ酸ミストを発生させることはできるが、アスベストのみを効率良く測定することは難しいと考えた。

これらの実験結果から図 14 に示すよう

な市販の超音波式ネブライザーの発生原理と同じ方法でギ酸ミストを発生させるような構造にした容器を使用することとした。

写真 29 および写真 30 にギ酸前処理装置の外観を示した。写真 30 は水槽に発振子が埋め込まれ、そこに水を入れた状態である。

市販の超音波式ネブライザーの発生方法のほうがギ酸の温度上昇を防ぐことができ長時間稼働することが可能になることと、管壁へのギ酸の付着を軽減することが期待できる。



写真 25 ギ酸前処理発生装置の概要

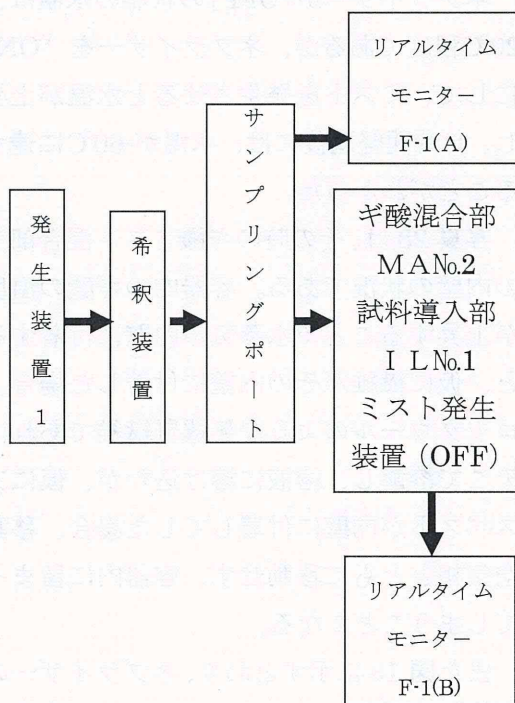


図 11 サンプリング系統図



写真 26 ギ酸ミスト発生装置の問題点 (1)



写真 27 ギ酸ミスト発生装置の問題点 (2)

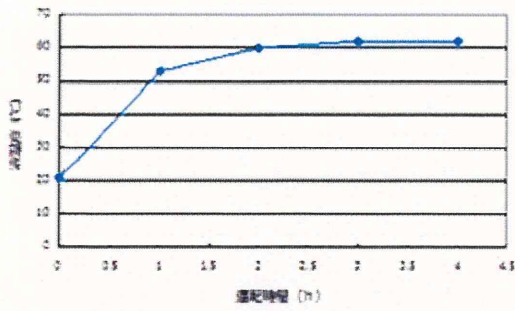


図 12 発振子の稼動と溶液の温度の関係



写真 28 ギ酸ミスト混合部分の内壁の状況

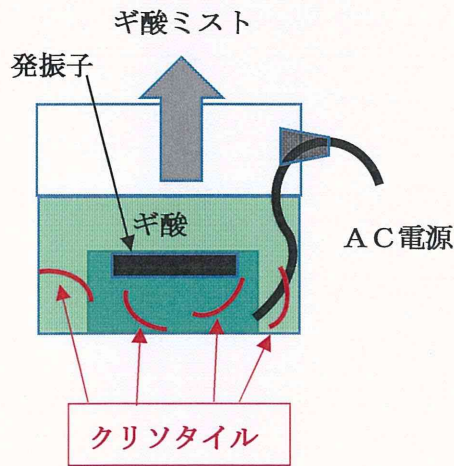


図 13 ギ酸ミストの発生装置の問題点 (3)

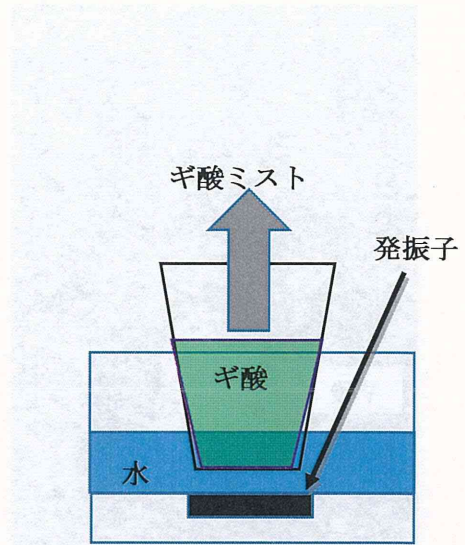


図 14 ミストの発生装置の概要

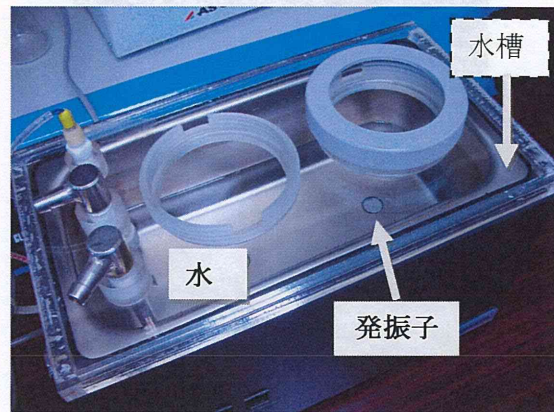


写真 29 超音波ネブライザーの概要



写真 30 ミストの発生部分の概要

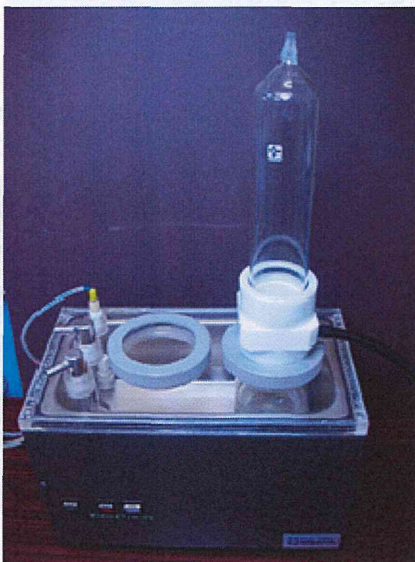


写真 31 無機質繊維除去装置の外観

最終的な無機質繊維除去装置の構成を写真 31 に示した。

ギ酸ミスト混合部分はMANo.2 で移動空気相の導入部分は I L No.2、ギ酸ミストの発生装置は発信子から振動は水を通してギ酸に振動を伝え、ギ酸ミストを発生させる装置によって構成することとした。

III. 無機質繊維除去処理装置の性能評価試験（無機質繊維除去処理装置の構成）

無機質繊維除去処理装置については現時点で最適とする組み合わせを構築できたが、実際にこの装置を通過した移動空気相に水分が含まれていることから、この移動空気相を乾燥させる必要がある。

そこで、平成 24 年度に有機質繊維除去処理装置として検討した改造型管状電気炉を使用して水分を蒸発させることとした。

改造型管状電気炉を通過した移動空気相を直接リアルタイムモニターに導入するのではなく、液滴トラップを経由させることで電気炉を通過して加熱された移動空気相を室温に戻して導入することとした。

図 15 にサンプリング系統図を示した。また、写真 32 から写真 36 に各装置の写真と写真 35、写真 36 に全体の装置の概要を示した。

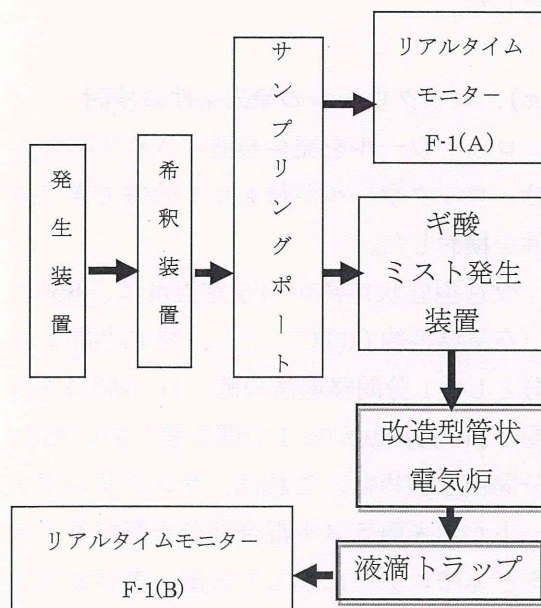


図 15 サンプリング系統図



写真 32 サンプリング系統図
(無機質繊維除去処理装置)



写真 33 サンプリング系統図
(加熱装置：改造型管状電気炉)



写真 34 サンプルング系統図
(冷却部分：液滴トラップ)

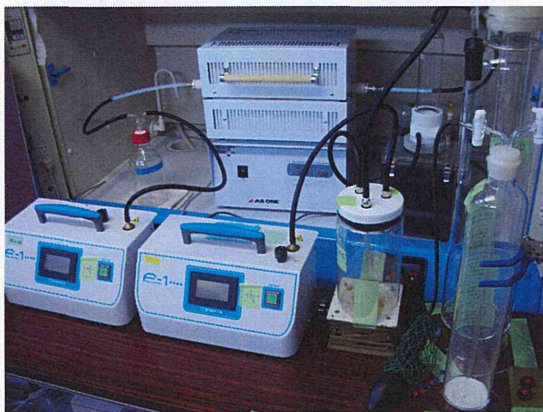


写真 35 サンプルング系統図 (全体写真)



写真 36 サンプルング系統図 (全体写真)

1. 無機質繊維除去処理装置の評価試験

①. 実験方法

実験方法は、図 15 に示したサンプルング系統図に基づいて実施することとした。

なお、ギ酸ミストの発生状況によって、ギ酸ミスト混合部の内壁に水滴が付く恐れがあることと、無機質繊維除去処理装置を通過した移動空気相に多く水分が含まれることによって、改造型管状電気炉を通過しただけでは水分を除去できず、水分を含んだ移動空気相がリアルタイムモニター内に取り込まれることを避けるため、写真 37 に示す電圧調整装置 (スライダック) を使用して電圧を下げることで、ギ酸ミストの発生量を調整し、水分を含んだ移動空気相の影響が少ない条件を検討することとした。

電圧調整装置の目盛りと実測値の関係を表 8 に示した。実験は電圧調整値の目盛りを 70、80、90、100 (通常の AC 電源の電圧) の 4 種に調整して実験を実施することとした。

a). ロックウールの除去条件の検討

ロックウールを発生装置に入れて発生させ、ロックウールが最も良く除去できる条件を検討した。

改造型管状電気炉の設定温度は、850℃ (空気温度約 660℃) とし、測定時間は 11 分とし、1 分間経過後の値、11 分間値を計測し、11 分間値から 1 分間を差し引いた 10 分間値を求めた。これは、サンプルングポートからギ酸ミスト混合部分を経てリアルタイムモニターに達して計測、表示するまでの時間とサンプルングポートから直接リアルタイムモニターに繊維が移動し計測するまでのサンプルングポートからリアルタ

イムモニターまでの移動時間を考慮して、10 分間値を求め、両者の割合を比較した。

b). クリソタイルがギ酸による溶解の影響を受けないための条件の検討

クリソタイルを発生装置に入れて発生させ、無機質繊維除去処理装置を通過することで、ギ酸による影響を受けないための条件を検討した。

ロックウールの実験と同様に改造型管状電気炉の設定温度は、850℃（空気温度約660℃）とし、測定時間は11分とし、1分間経過後の値、11分間値を計測し、11分間値から1分間を差し引いた10分間値を求めた。

また、クリソタイルの実験を実施した直後に、図15のサンプリング系統図に示した各流路内にクリソタイルが付着している可能性を調べた。図16に示す通り、サンプリングポートの吸引側にゼロフィルターを装着し、11分間測定を実施した。これはフィルターを通過して空気を取込んでいるため、外部から取り込んでいる空気は、繊維が含まれていないことから、リアルタイムモニターの数値が表示された場合、流路内に付着しているクリソタイルが存在することが判断できることから合わせて実験を実施した。

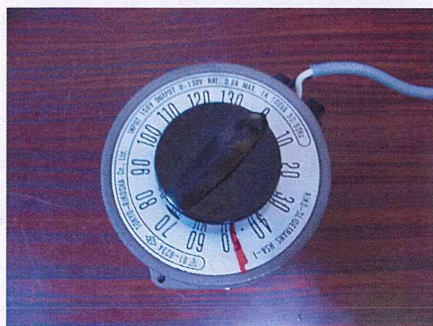


写真 37 電圧調整装置（スライダック）

表 8 電圧調整装置の目盛りと実測値

電圧調整装置のメモリ (V)	テスターによる実測値 (V)
100	107
90	97
80	87
70	77
60	67
50	57

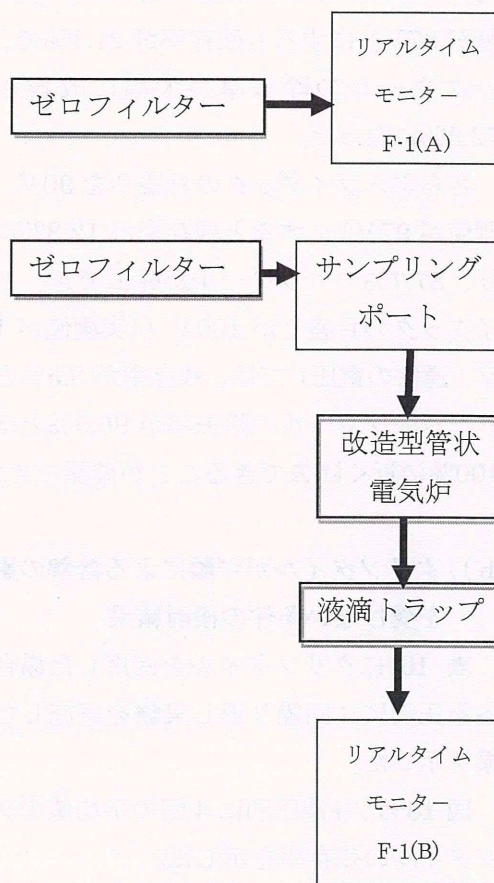


図 16 流路内のクリソタイルの残存を確認するためのサンプリング系統図

②. 結果

a). ロックウールの溶解条件の検討結果

表 9 にロックウールを使用した場合の各電圧別に 5 回繰り返し実験を実施した結果を示した。

図 17 は、各電圧別に 5 回の平均値のロックウールの残存率を示した。

表 9 と図 17 から 5 回の平均を比較すると、スライダックの目盛りが 70V (実測値が 77V) では、残存率が 72.6%であり、27.3%しかロックウールを除去できなかった。スライダックの目盛りを 80V ((実測値が 87V) にすると残存率が 27.1%で、ロックウールの除去率が大幅に改善され 72.9%になった。

さらにスライダックの目盛りを 90V (実測値が 97V) にすると残存率が 12.3%になり、87.7%のロックウールが除去でき、スライダックの目盛りが 100V ((実測値が 107V : 通常の電圧) では、残存率が 3.5%となり、ロックウールの除去率が 96.5%とほぼ 100%に近く除去できることが確認できた。

b). クリソタイルがギ酸による溶解の影響を受けない条件の検討結果

表 10 にクリソタイルを使用した場合の各電圧別に 4 回繰り返し実験を実施した結果を示した。

図 18 は、各電圧別に 4 回の平均値のクリソタイルの残存率を示した。

表 10 と図 18 から 4 回の平均を比較すると、スライダックの目盛りが 70V (実測値が 77V) ではクリソタイルの残存率が 82.6%であった。スライダックの目盛りを 80V (実測値が 87V) にすると、クリソタ

イルの残存率が 97.1%とほぼ 100%近くのクリソタイルが影響を受けないことがわかった。

さらにスライダックの目盛りを 90V (実測値が 97V) にするとクリソタイルの残存率が 97.5%になり、スライダックの目盛りを 100V ((実測値が 107V : 通常の電圧) にするとクリソタイルの残存率は 97.6%であった。

スライダックの目盛りが 80V~100V (実測値 87V~107V) ではクリソタイルの残存率に大きな違いは見られなかった。

次にクリソタイルの実験を実施した直後に各流路内にクリソタイルの付着が見られるかについて、確認した結果を表 11 に示した。

表 11 より 11 分間測定でいずれも表示値は「0」カウントであった。

これはフィルターを通過して無じん空気を取込んでいるため、流路内を流れる空気には繊維が含まれていなので、もし流路内にクリソタイルの付着が見られればリアルタイムモニターの数値が表示され、流路内に付着しているクリソタイルがあると判断できる。

しかし、表示値が「0」カウントであったことから、流路内に付着しているクリソタイルは存在しないものと判断した。

以上の結果から、スライダックの目盛りが 70 (実測値が 77V) では、ギ酸ミストの発生量が不十分であるため、ロックウールを十分に溶解することができないことやクリソタイルに関してはギ酸混合部内の移動空気相とギ酸ミストのバランスが悪いと考えられ、クリソタイルの残存率は 82.6%とやや低かった。

スライダックの目盛りを 100（実測値が 107V）にした場合は、ギ酸のミストの発生量が多いため、配管に水滴の付着が見られ、改造型管状電気炉を通過したにもかかわらず、その後に接続した液滴トラップにも水滴の付着が見られた。

このため、スライダックの目盛りが 100 の場合は長時間連続運転を実施すると流路内に水滴が付着することにより、無機質繊維除去処理装置の処理効率の低下が考えられる。

これらを考慮すると今回の実験結果からスライダックの目盛りが 90 または 80 の条件が良いと考えられるが、ロックウールの除去率を考慮するとスライダックの目盛りが 90V（実測値 97V）の 때가最適条件であると考えた。

表9 ギ酸ミスト前処理装置によるロックウールの残存率（その1）

	スライダック70		スライダック80		スライダック90		スライダック100	
	表示値 (カウント)		表示値 (カウント)		表示値 (カウント)		表示値 (カウント)	
	F-1 A	F-1 B	F-1 A	F-1 B	F-1 A	F-1 B	F-1 A	F-1 B
1回目	1235	1090	248	13	146	4	775	49
2回目	112	65	133	19	196	40	159	3
3回目	589	515	366	118	102	16	562	12
4回目	168	105	140	48	62	9	159	2
5回目	63	42	17	5	24	2	50	3
平均								
標準偏差								
変動係数(%)								

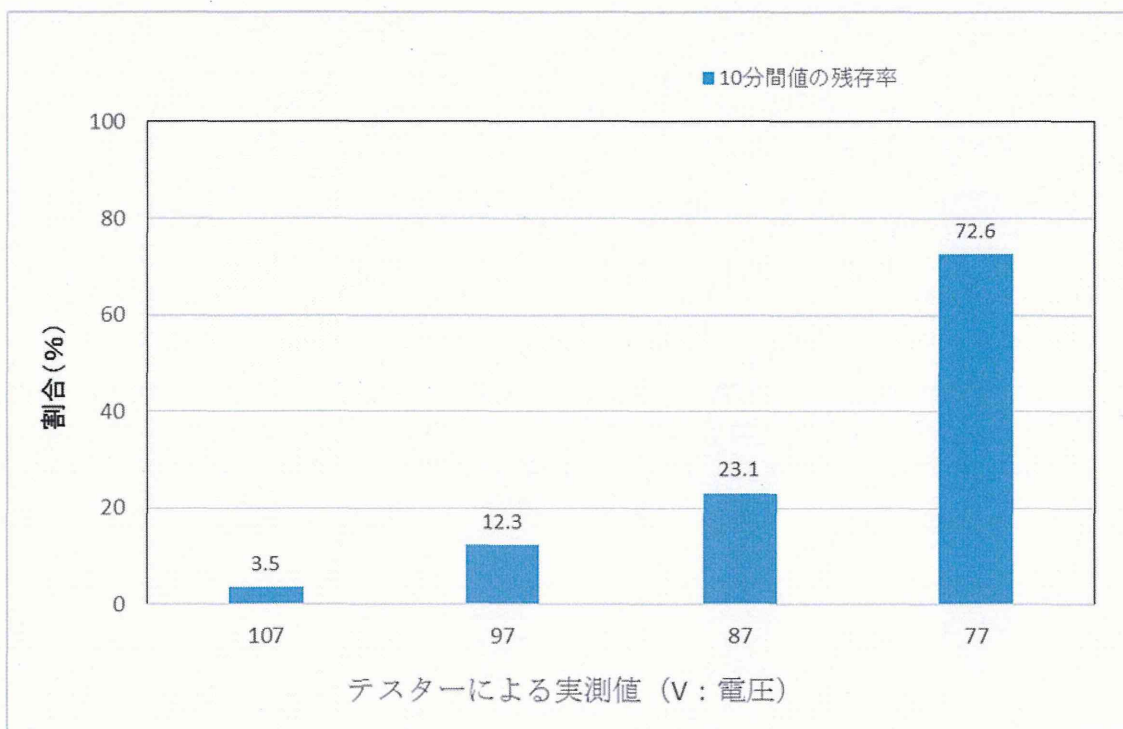


図17 ギ酸処理装置による電圧別のロックウールの残存率

表 10 ギ酸ミスト前処理装置によるクリソタイルの残存率 (その 1)

	スライダック70			スライダック80			スライダック90			スライダック100		
	表示値 (カウント)		(B/A) × 100 割合 (%)	表示値 (カウント)		(B/A) × 100 割合 (%)	表示値 (カウント)		(B/A) × 100 割合 (%)	表示値 (カウント)		(B/A) × 100 割合 (%)
	F-1 A	F-1 B		F-1 A	F-1 B		F-1 A	F-1 B		F-1 A	F-1 B	
1回目	239	154	64.4	173	190	109.8	431	392	91.0	1034	907	83.7
2回目	441	389	88.2	202	203	100.5	320	344	107.5	896	915	102.1
3回目	216	190	88.0	228	192	84.2	205	193	94.1	463	505	109.1
4回目	117	105	89.7	194	182	93.8	331	323	97.6	181	173	95.6
平均			82.6			97.1			97.5			97.6
標準偏差			10.5			9.4			6.2			9.4
変動係数(%)			12.7			9.6			6.4			9.6

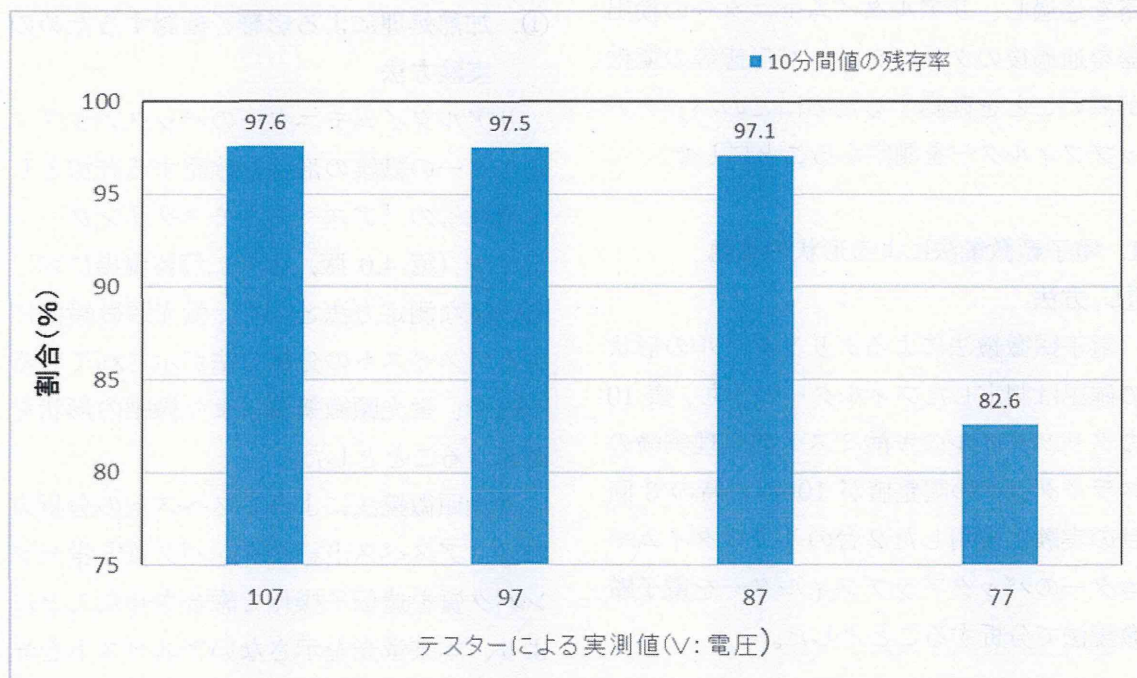


図 18 ギ酸処理装置による電圧別のクリソタイルの残存率

表 11 流路内のクリソタイルの残存を確認するため実験結果

	表示値(カウント)						残存率(%)		
	F-1 A			F-1 B			(B/A) × 100		
	1分間値	11分間値	10分間値	1分間値	11分間値	10分間値	1分間値	11分間値	10分間値
1回目	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0

IV. 無機質除去処理装置通過後クリソタイルの形状の確認

クリソタイルを発生させ、図 15 のサンプルリング系統図に接続して、測定を実施したが、リアルタイムモニターに内蔵されているバックアップフィルターは、試料導入部分から取り込まれたクリソタイルが検出器を通過後捕集され、測定後の石綿含有空気をそのまま排出させないために組み込まれており、このバックアップフィルターを分析することにより、アスベストの定性、定量が可能となる利点がある。

そこで無機質除去処理装置等の一連の経路を通過し、リアルタイムモニターの検出器を通過後のクリソタイルが形態等の変化が無いことを確認するためにこのバックアップフィルターを測定することにした。

1. 電子顕微鏡法による形状の確認

①. 方法

電子顕微鏡法によるクリソタイルの形状の確認は測定したフィルターのうち、表 10 のクリソタイルのギ酸ミスト前処理実験のスライダックの調整値が 100V の時の 3 回目の実験に使用した 2 台のリアルタイムモニターのバックアップフィルターを電子顕微鏡法で分析することとした。

前処理を行ったそれぞれのろ紙に対して無作為に 50 繊維を対象として電子顕微鏡で形態観察を行った。

前処理方法は「環境省アスベストモニタリングマニュアル第 4.0 版」(平成 22 年 6 月)に基づき、メンブランフィルター/カーボンペースト含浸法に準じて行った。

電頭の実験条件は表 12 に従って実施した。

表 12 電子顕微鏡の分析条件

使用機器	日本電子 JSM-6390LA/JED-2300
元素検索領域	${}^4\text{Be}\sim{}_{92}\text{U}$
分析条件	加速電圧：15Kv 観察倍率：×2700
撮影倍率	それぞれの写真に示す。
その他	カーボン蒸着

2. 蛍光顕微鏡による形状の確認

①. 加熱処理による影響を確認するための実験方法

リアルタイムモニターのバックアップフィルターの繊維の形状を確認する方法として環境省の「アスベストモニタリングマニュアル(第 4.0 版)」の中に解体現場における迅速な測定方法として、蛍光顕微鏡法によるアスベストの分析方法が示されている。そこで、蛍光顕微鏡法により繊維の形状を確認することとした。

蛍光顕微鏡法によるアスベストの分析方法は、アスベスト結合タンパク質と蛍光タンパク質を遺伝子操作で融合させたことにより、本来蛍光を示さないアスベストを光らせることにより、非常に微細なアスベスト繊維を可視化し、蛍光顕微鏡で検鏡し観察する方法である。

「有機質繊維」を除去するための装置として高温の条件下である改造型管状電気炉内に繊維を通過させるため、加熱したアスベストに蛍光たんぱく質を修飾した場合、蛍光色を発するかを確認するため、電気炉を

使用して加熱温度別による蛍光色の発色実験を実施した。

磁製るつぼに入れたクリソタイルを電気炉内にセットし、設定温度は、450℃、500℃、650℃、700℃の4種類の条件で加熱した。加熱条件は、電気炉が設定温度に達した時に電気炉の扉を開けて、素早く磁製るつぼを入れ、扉を閉める。扉の開閉により若干設定温度より温度が低下するが、再び設定温度に達した時にストップウォッチで1分間計測した。

1分経過後に電気炉から磁製るつぼを取り出した。その後しばらく放冷した試料を使用した。それぞれの条件で加熱した試料をピンセットで少量取り、無じん水中で水分散させた。次に水分散した試料は吸引ろ過装置を用いてメンブランフィルター（ミリポア社製：孔径0.8 μ m）に吸引ろ過した。これを乾燥させたものを試料として用いた。

次にクリソタイルの残存率の実験で、スライダックの調整値が90の時の1回目に実施したに無機質繊維除去処理装置と改造型電気炉（空気温度650℃）を通過し、リアルタイムモニター（B）のバックアップフィルターと、サンプリングポートから分岐し、リアルタイムモニター（A）のバックアップフィルターを比較し、形状の比較を行った。

前処理方法は、スライドガラスの上に捕集面を上側にしてメンブランフィルターをセットし、その面にアスベスト蛍光染色試薬アスベスターAir2（シリコンバイオ社製）を滴下した後、アセトン蒸気発生装置でアセトン蒸気を噴霧してろ紙の透明化処理を行い、トリアセチンで固定してカバーグラ

スを載せたプレパラートを作成した。

顕微鏡観察に使用した機器は、位相差蛍光顕微鏡：Primostar（Carl Zeiss社製：位相差モード、蛍光モードで同視野を観察）、小型蛍光顕微鏡：Lumascope 500-AS（Etaluma社製：アスベスト仕様）を使用して観察した。

接眼レンズ10倍、対物レンズ40倍の総合倍率400倍で検鏡した。（写真38および写真39参照）



写真38 位相差蛍光顕微鏡 Primostar
（Carl Zeiss社製）



写真39 Lumascope 500-AS (Etaluma社製)

1. 電子顕微鏡法による形状の確認

②. 結果

写真 40 から写真 44 にサンプリングポートから直接リアルタイムモニターに接続して計測したリアルタイムモニター (A) のバックアップフィルターの電子顕微鏡写真を示した。

また、写真 45 から写真 50 にサンプリングポートから分岐後に無機質除去処理装置を通過後と改造型管状電気炉を通過したリアルタイムモニター (B) の電子顕微鏡写真を示した。

両者のバックアップフィルターの繊維の形状を観察する限り、ギ酸による形態の変化は見られなかった。

2. 蛍光顕微鏡による形状の確認

①. 結果

写真 51 から写真 55 に蛍光顕微鏡法により観察したそれぞれ異なる 2 視野の顕微鏡写真を示した。2 種類の蛍光顕微鏡のうち、写真 38 で示した Primostar は、位相差・蛍光の両方の観察が可能な顕微鏡であるため、位相差観察と蛍光観察の両方の写真を示した。

また Lumascope 500-AS は、蛍光観察の写真のみを示した。

なお写真 51 は加熱処理を実施しないクリソタイルを蛍光顕微鏡法によって観察した写真であるが、これと写真 52 から写真 55 を比較すると 500℃までであれば、加熱しない時のクリソタイルの発色状態と同じであるが、650℃、700℃になるにつれて、蛍光を発する輝度の低下が見られた。加熱によって H₂O の脱水により輝度が低下した

のではないかと考える。

しかし輝度の低下は見られるものの、クリソタイルが蛍光色を示しているため、加熱による影響は無いと考え繊維の形状が確認できると考えた。

次に写真 56 に図 16 のサンプリングポートから直接リアルタイムモニター (A) に接続した場合のバックアップフィルターのクリソタイルの蛍光色の顕微鏡写真である。

また、写真 57 は、無機質繊維除去処理装置と改造型管状電気炉を通過し、リアルタイムモニター (B) に接続した場合のバックアップフィルターのクリソタイルの蛍光色の顕微鏡写真である。

写真 56 と写真 57 を比較すると、加熱とギ酸処理を通過したクリソタイルは、蛍光の輝度が低く、太い繊維では確認できるものもあったが、細い繊維は観察することができなかった。

ギ酸を霧化した条件下をクリソタイルが通過したことにより、クリソタイル繊維の表面構造変化が、試薬との反応性に悪影響を与えたため、細い繊維は蛍光を示さない傾向が見られた。

以上のことから改造型管状電気炉のみを通過した場合のクリソタイルは繊維の形状の確認は可能であるが、無機質除去処理装置を通過する際のギ酸ミストの影響により、蛍光顕微鏡法による分析方法では蛍光の原理の問題から、繊維の形状まで確認することはできなかった。

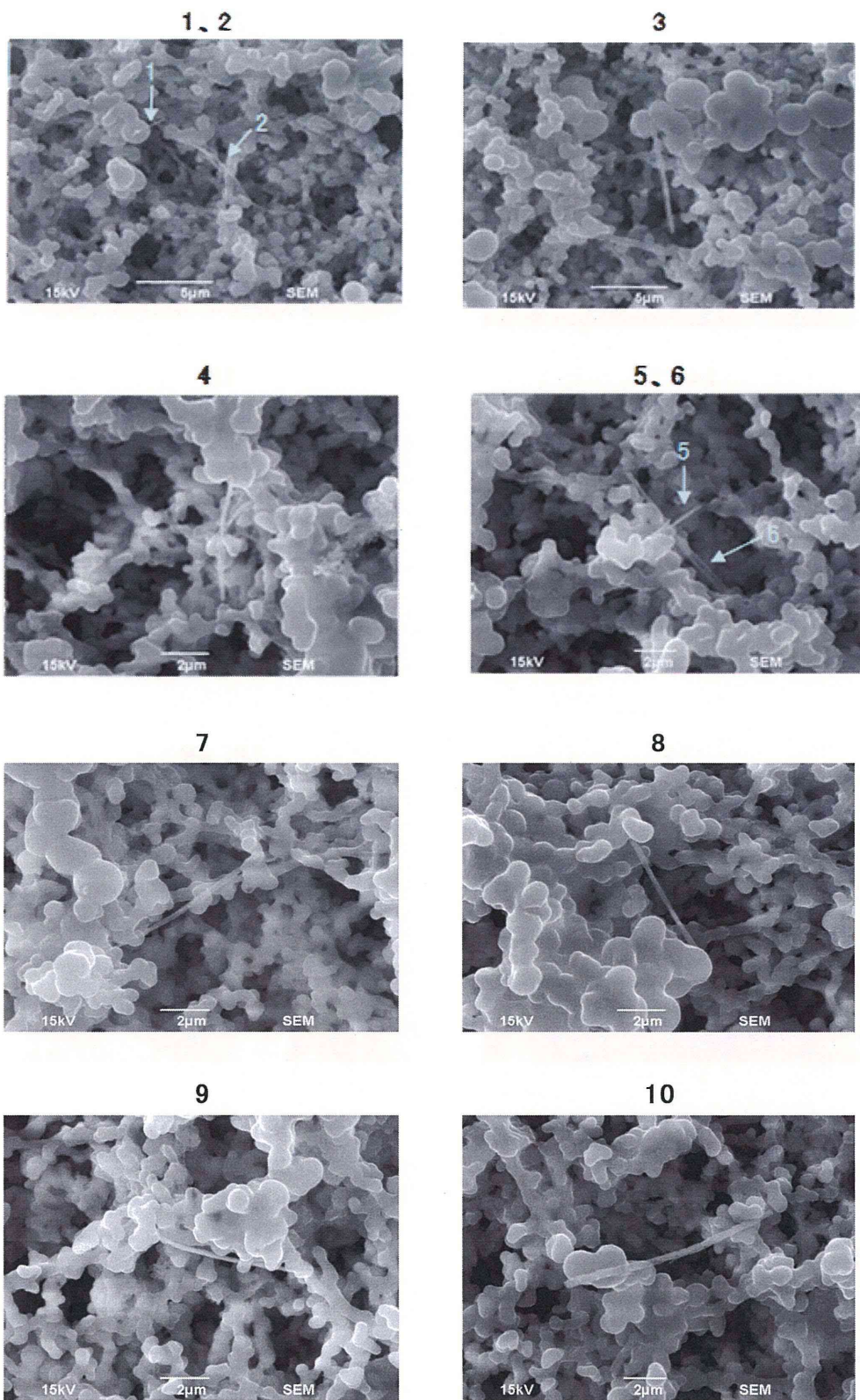


写真 40 F-1 (A) のバックアップフィルターに捕集された繊維の電顕写真 (その 1)

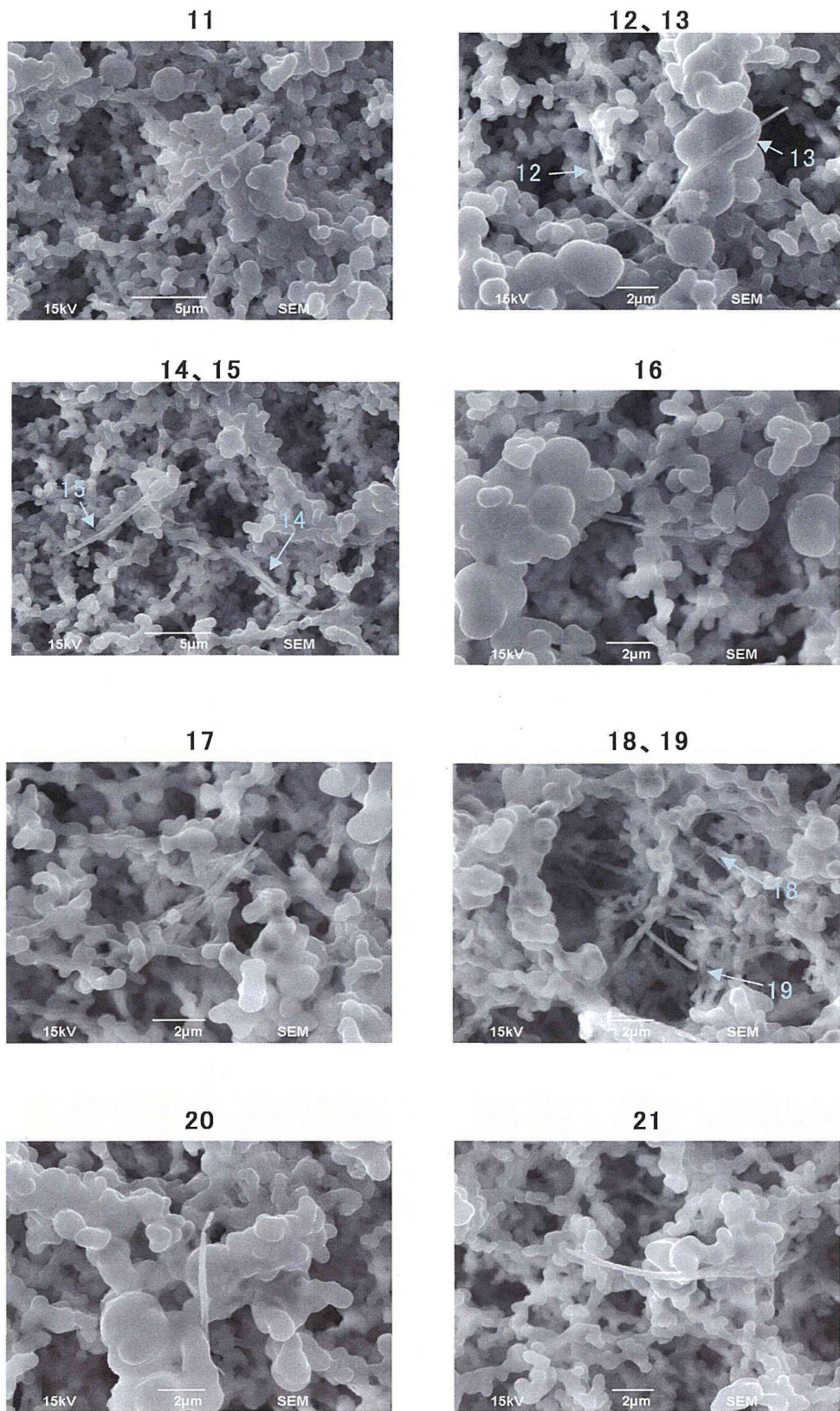
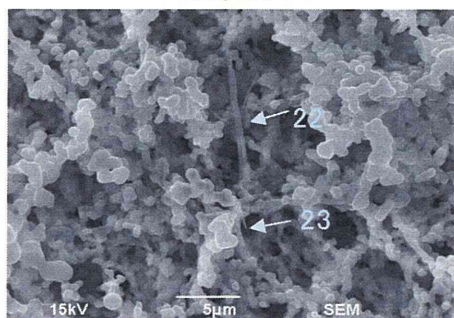
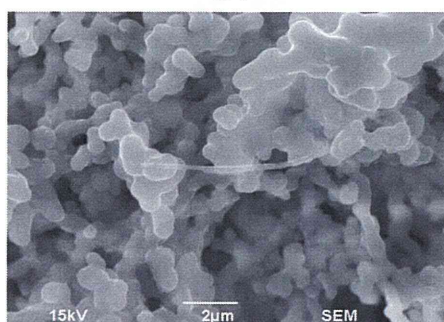


写真 41 F-1 (A) のバックアップフィルターに捕集された繊維の電顕写真 (その 2)

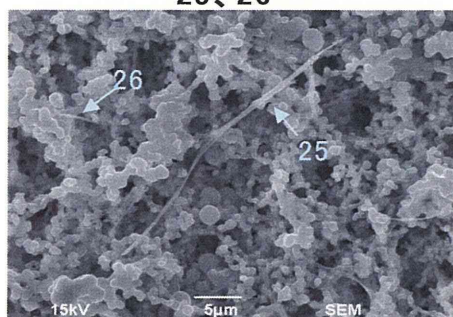
22、23



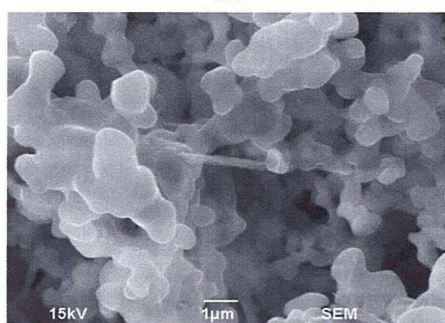
24



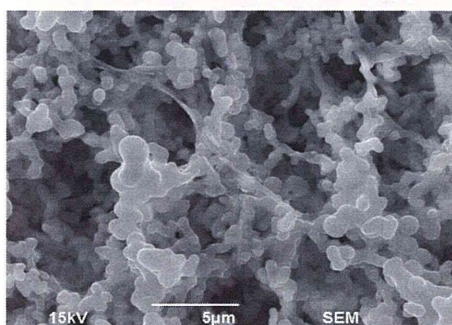
25、26



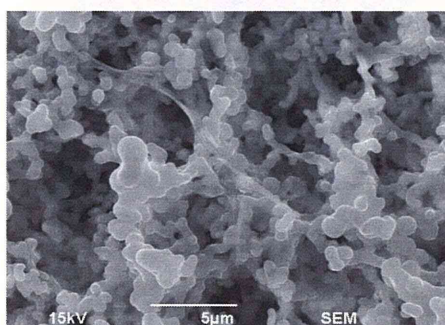
27



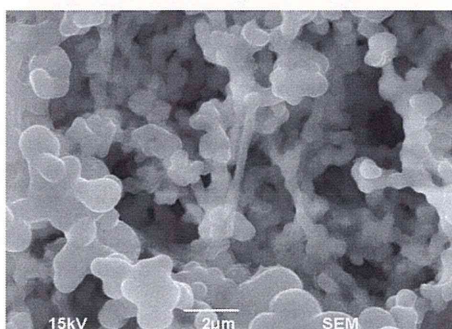
28



29



30



31、32

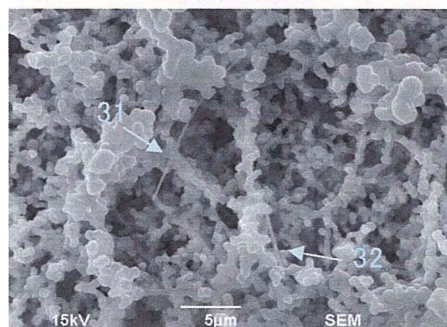


写真42 F-1 (A) のバックアップフィルターに捕集された繊維の電顕写真 (その3)

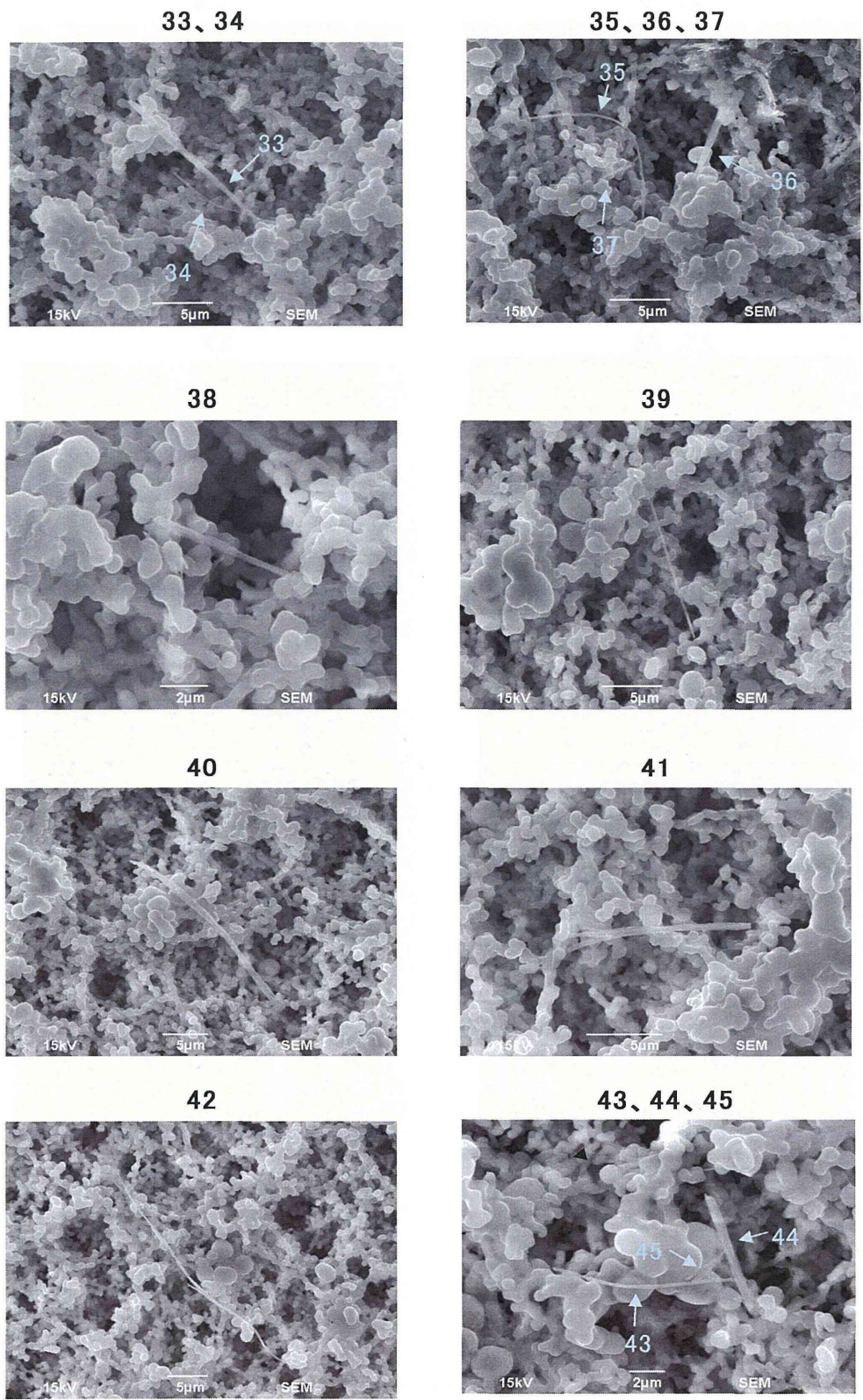


写真 43 F-1 (A) のバックアップフィルターに捕集された繊維の電顕写真 (その 4)