

図9 市販の有機物除去処理装置の設定温度と空気温度の関係

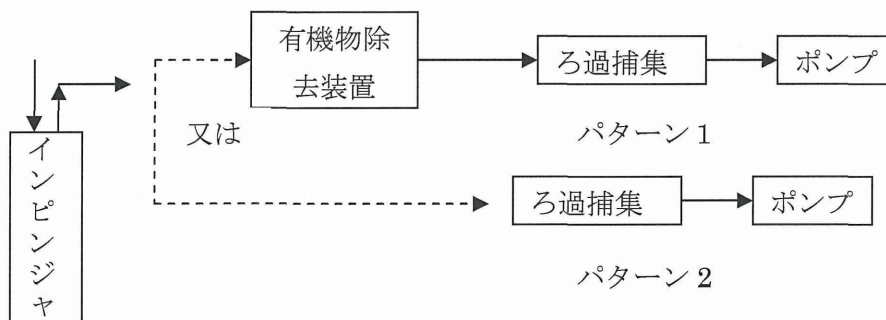


図 10 サンプルング系統図

表 10 有機物質の種類別の市販の有機物除去装置の除去効果一覧

有機物質の種類	市販の有機物除去装置の設定温度 (°C)	備考 形態観察の結果
稲わら	接続せず	接続パターン 2 (繊維の確認)
	630	接続パターン 1 繊維あり
	800	接続パターン 1 繊維あり
綿	接続せず	接続パターン 2 (繊維の確認)
	630	接続パターン 1 繊維あり
	800	接続パターン 1 繊維あり
ウール	接続せず	接続パターン 2 (繊維の確認)
	630	接続パターン 1 繊維あり
	800	接続パターン 1 繊維あり
ポリエステル	接続せず	接続パターン 2 (繊維の確認)
	630	接続パターン 1 繊維あり
	800	接続パターン 1 繊維あり
パルプ	接続せず	接続パターン 2 (繊維の確認)
	630	接続パターン 1 繊維あり
	800	接続パターン 1 繊維あり

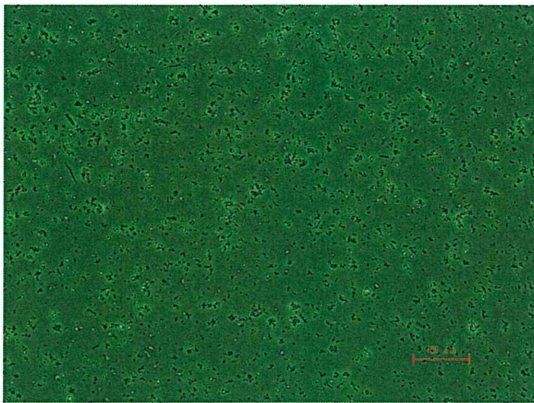


写真 45 稲わら (倍率 100 倍 : 室温)

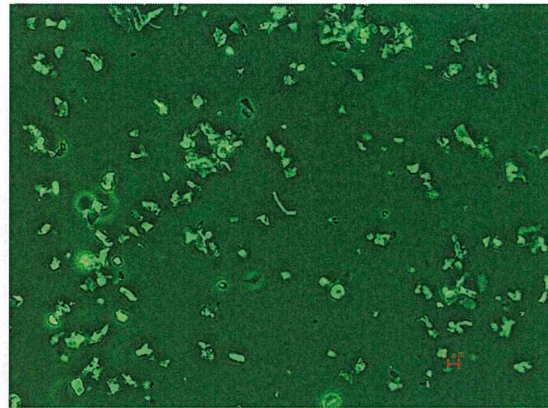


写真 46 稲わら (倍率 400 倍 : 室温)

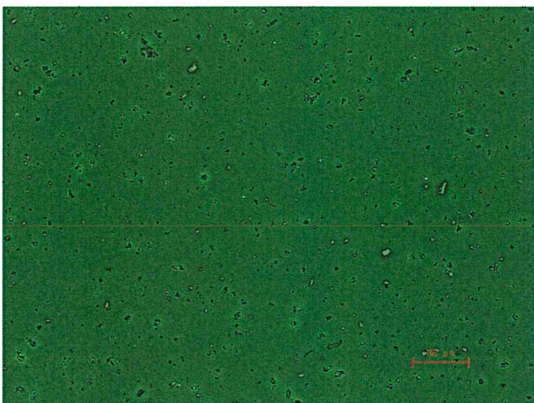


写真 47 稲わら (倍率 100 倍 : 800°C)

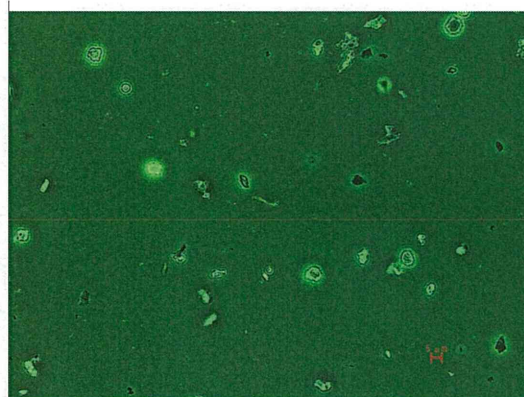


写真 48 稲わら (倍率 400 倍 : 800°C)

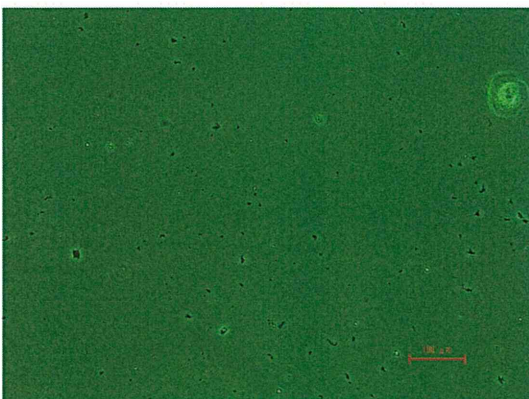


写真 49 綿 (倍率 100 倍 : 室温)

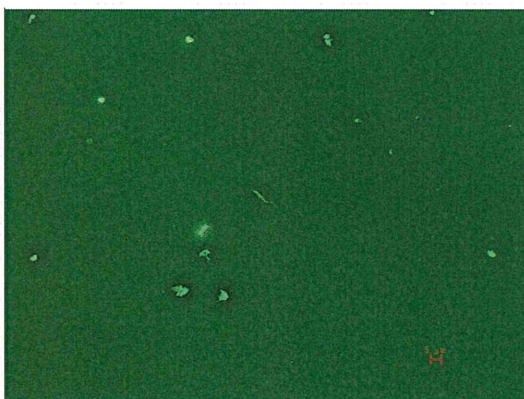


写真 50 綿 (倍率 400 倍 : 室温)

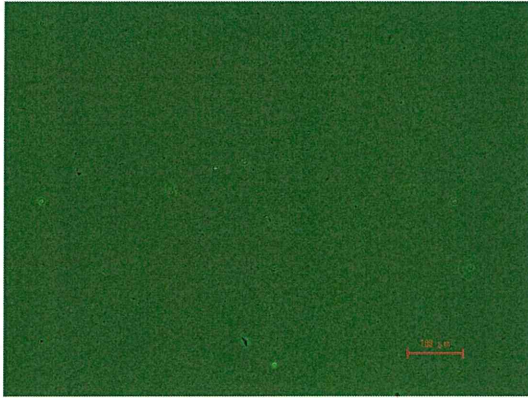


写真 51 綿 (倍率 100 倍 : 800°C)

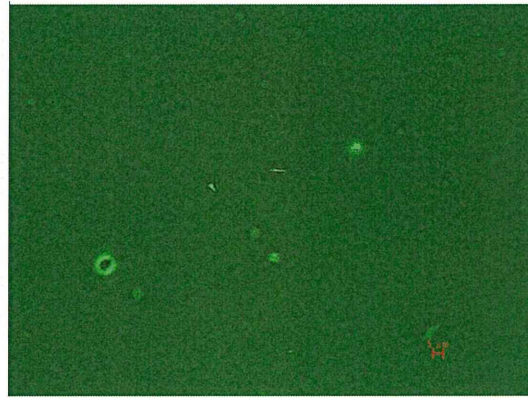


写真 52 綿 (倍率 400 倍 : 800°C)

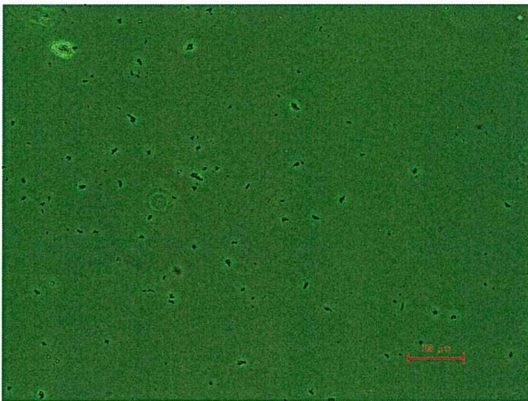


写真 53 ウール (倍率 100 倍 : 室温)



写真 54 ウール (倍率 400 倍 : 室温)



写真 55 ウール (倍率 100 倍 : 800°C)



写真 56 ウール (倍率 400 倍 : 800°C)

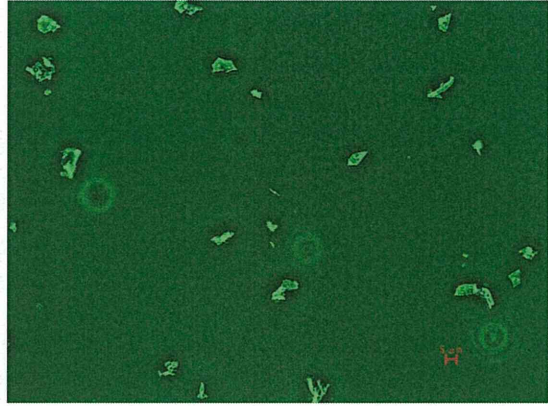
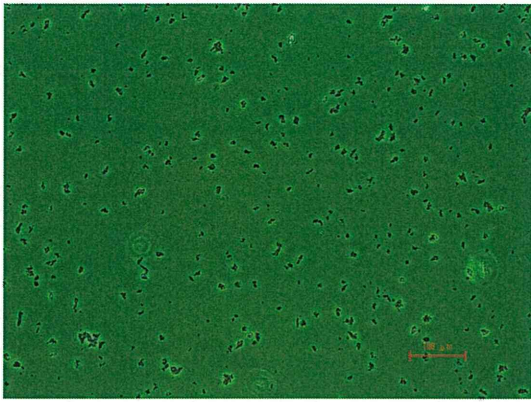


写真 57 ポリエステル (倍率 100 倍 : 室温) 写真 58 ポリエステル (倍率 400 倍 : 室温)

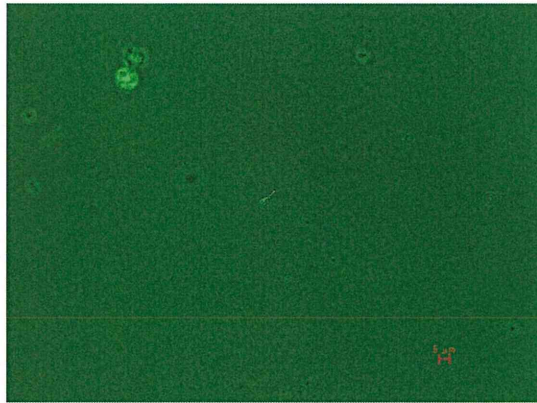


写真 59 ポリエステル (倍率 100 倍 : 800°C) 写真 60 ポリエステル (倍率 400 倍 : 800°C)

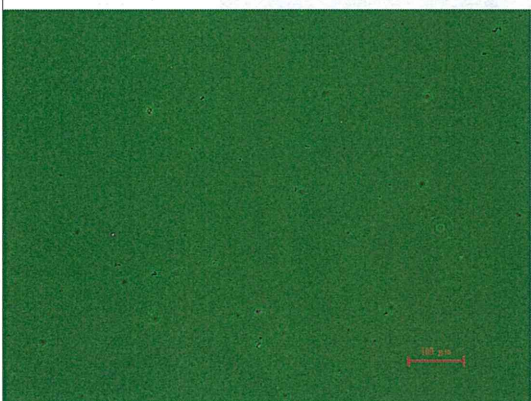


写真 61 パルプ (倍率 100 倍 : 室温)

写真 62 パルプ (倍率 400 倍 : 室温)

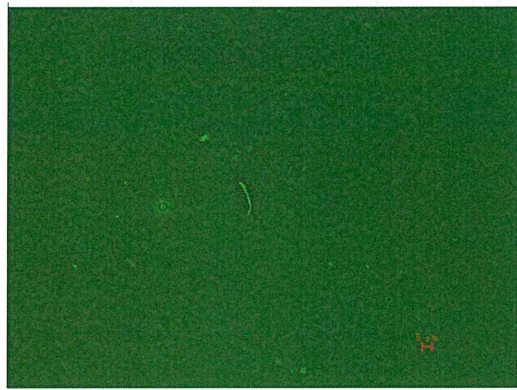


写真 63 パルプ (倍率 100 倍 800°C)

写真 64 パルプ (倍率 400 倍 800°C)

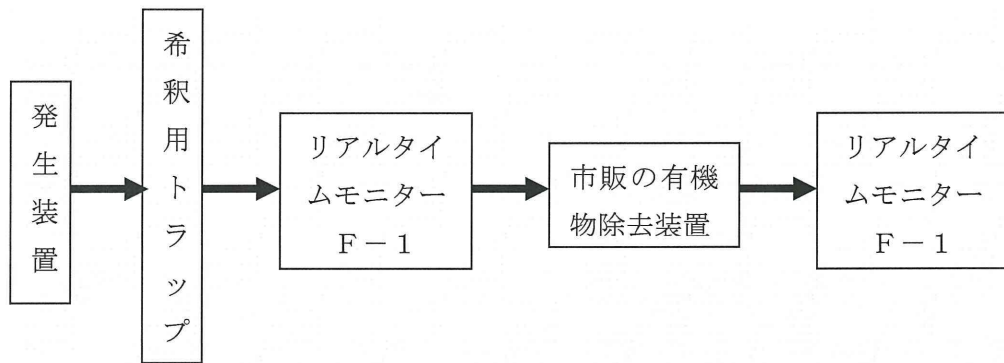


図 11 サンプルング系統図



写真 65 ファイバーエアロゾルモニター F-1 (柴田科学株式会社製) の外観

表 11 ファイバーエアロゾルモニター F-1  
(柴田科学株式会社製) の仕様

品名・型式	ファイバーモニター・F-1
光源	半導体レーザー
測定時間	0.0~1,000 f/L
吸引流量	2 L/min
表示内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ カウント数 (Count)      ・ 繊維状粒子濃度換算値 (f/L)</li> <li>・ 時間 (現在時刻、設定・経過・残時間)      ・ 吸引流量</li> <li>・ 各種異常表示 (レーザー出力、バッテリー等)</li> </ul>
使用環境	0~40℃、5~90%rh (但し、結露無きこと)
寸法・質量	約 380(W)×230(D)×240(H) mm (突起物を除く)      約 5.2 kg

表 12 有機質繊維の種類温度別の除去率

繊維の種類	設定温度 (°C)	回数	F-1 の計数値 (カウント)		除去率 (%)	平均除去率 (%)
			処理前	処理後		
綿	450	1 回目	38	30	21.0	17.9
		2 回目	27	23	14.8	
	600	1 回目	41	12	70.7	65.0
		2 回目	27	11	59.3	
	800	1 回目	35	5	85.7	81.0
		2 回目	21	5	76.2	
稲わら	450	1 回目	101	38	62.3	64.7
		2 回目	88	29	67.0	
	600	1 回目	123	45	63.4	67.4
		2 回目	133	38	71.4	
	800	1 回目	175	29	83.4	82.3
		2 回目	181	34	81.2	
パルプ	450	1 回目	37	35	5.4	5.1
		2 回目	21	20	4.8	
	600	1 回目	51	24	52.9	66.9
		2 回目	52	10	80.8	
	800	1 回目	38	10	73.7	78.0
		2 回目	34	8	82.3	

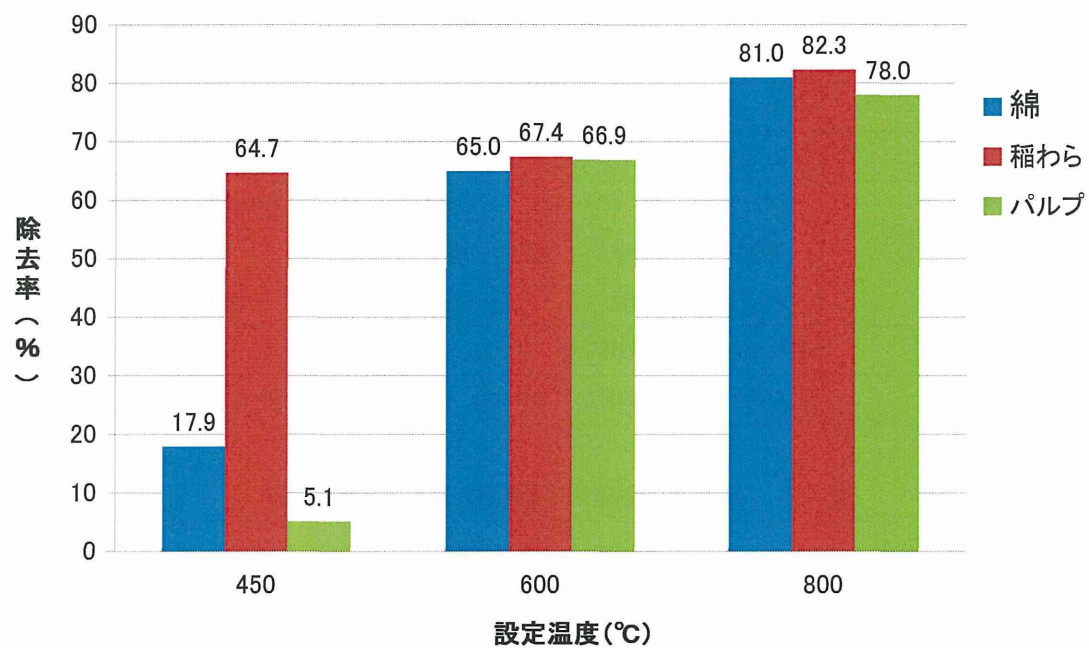


図 12 各種繊維状物質の有機物除去装置通過後の除去率



写真 66 市販の有機質除去処理装置の加熱部分の概要



#### f). 改造型管状電気炉を用いた検討

市販の有機質繊維物除去装置の設定温度を変えても有機質繊維の除去効果が得られなかった。そこで、高温で熱源部分の距離が比較的長い管状電気炉を使用して、有機質繊維の除去効果を検討した。

使用した電気炉は写真 67 に示したプログラム管状電気炉 (TMF-300N 型 : アズワン社製) を使用した。



写真 67 管状電気炉の外観

この電気炉は写真 68 に示した炉心管 (外形  $\phi 30\text{mm}$   $\times$  内径  $\phi 24\text{mm}$   $\times$  長さ  $500\text{mm}$ ) を装着して通常使用するものであるが、この炉心管の中にステンレス製の直管を通すこととし、炉心管は、写真 69 に示したとおり、熱効率を向上できるように炉心管の先端を塞ぐように改造したものを作製して使用することにした。

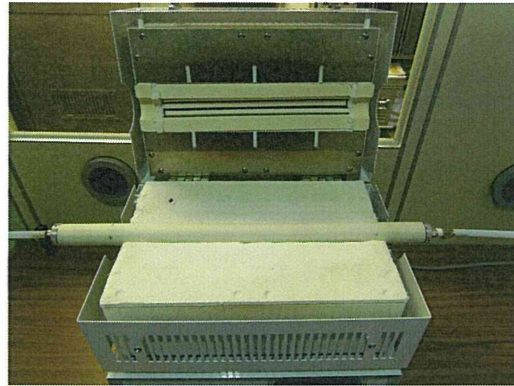


写真 68 管状電気炉の加熱部分の外観

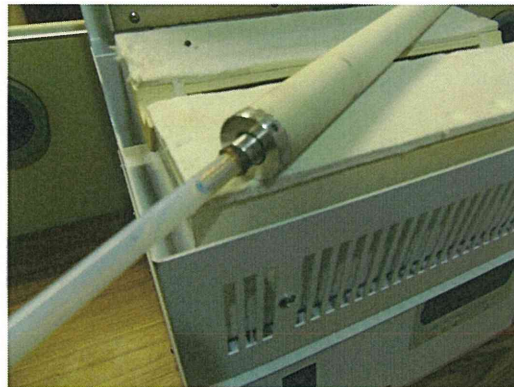


写真 69 改造した炉心管の先端の外観

#### i). 設定温度と空気温度の関係

実験を実施する前にリアルタイムモニターの吸引流量である  $2\text{L}/\text{min}$  で吸引した時の空気温度と電気炉の設定温度の関係を確認した。

##### 1). 方法

市販の有機質除去処理装置の加熱部分の空気温度を調べた時と同様にデジタル温度調節器を使用して、 $2\text{L}/\text{min}$  の流量で電気炉を通過させた時の電気炉付近の空気温度を計測することとした。

なお、改造型管状電気炉の設定温度は  $400^\circ\text{C}$  から  $850^\circ\text{C}$  までを計測した。

## 2). 結果

図 12 に改造型管状電気炉の設定温度と空気温度の関係を示した。

両者の関係は、 $y$  (空気温度) =  $1.03x$  (設定温度) - 213.64 であり、相関係数は 0.99 と良好な直線性を示した。

図 12 より設定温度を 700℃とした場合は空気温度が約 500℃であり、設定温度が 850℃の場合の空気温度は約 660℃であった。

またこの改造型管状電気炉は、電熱コイルが巻いてある熱源部分の長さは 29.5cm であることから、この部分に設定温度の熱がかかるため、ステンレス管の内径と熱源部分の距離を考慮すると 2L/min の流量で通過した場合の通過時間は 0.34 秒となる。

### ii). 炉心の出入り口からの距離と温度の関係

今回の実験で電気炉の炉心内部にステンレス管の直管を取り付ける改造を行ったため、炉心管の中心部分の熱がステンレス管を伝わり、炉心管の先端部分にまで及ぶことが予想される。改造型管状電気炉の入口側、出口側にチューブ配管する場合の熱の影響とリアルタイムモニターの仕様に基づき 40℃以下にするための冷却効果を確認するための検討を行った。

### 1). 方法

写真 70 に示した放射温度計 (サークルマーカー・2 ビームタイプ) (コニカミノルタセンシング㈱) を用いて改造型管状電気炉を 700℃と 850℃に設定した時の炉心出入り口からの温度と距離を計測した。



写真 70 放射温度計の外観

## 2). 結果

図 13 に炉心出入り口からの温度と距離の関係を示した。

図 13 より、改造型管状電気炉を 700℃と 850℃に設定した時の温度と距離の関係を示した。

炉心管の入口付近と出口付近では出口付近の温度の方が高く、設定温度が 700℃より 850℃のほうが約 40℃高温であり、140℃近い温度であった。

一方入口側の温度は、設定温度が 700℃でも 850℃であっても大きな温度変化の違いはなく、60~70℃程度であった。

設定温度と距離の関係は、設定温度が 700℃および 850℃の場合、入口側では 5cm 程度あれば、30℃以下に低下する。

しかし、炉心管の出口付近では 30cm 程度距離を離さなければ 40℃以下にならなかった。

このため、改造型管状電気炉の出口側からの配管をリアルタイムモニターや他の前処理装置に接続する場合、最低 30cm 程度は冷却のために距離を設ける必要があることが判明した。

温度18.7°C 湿度34%

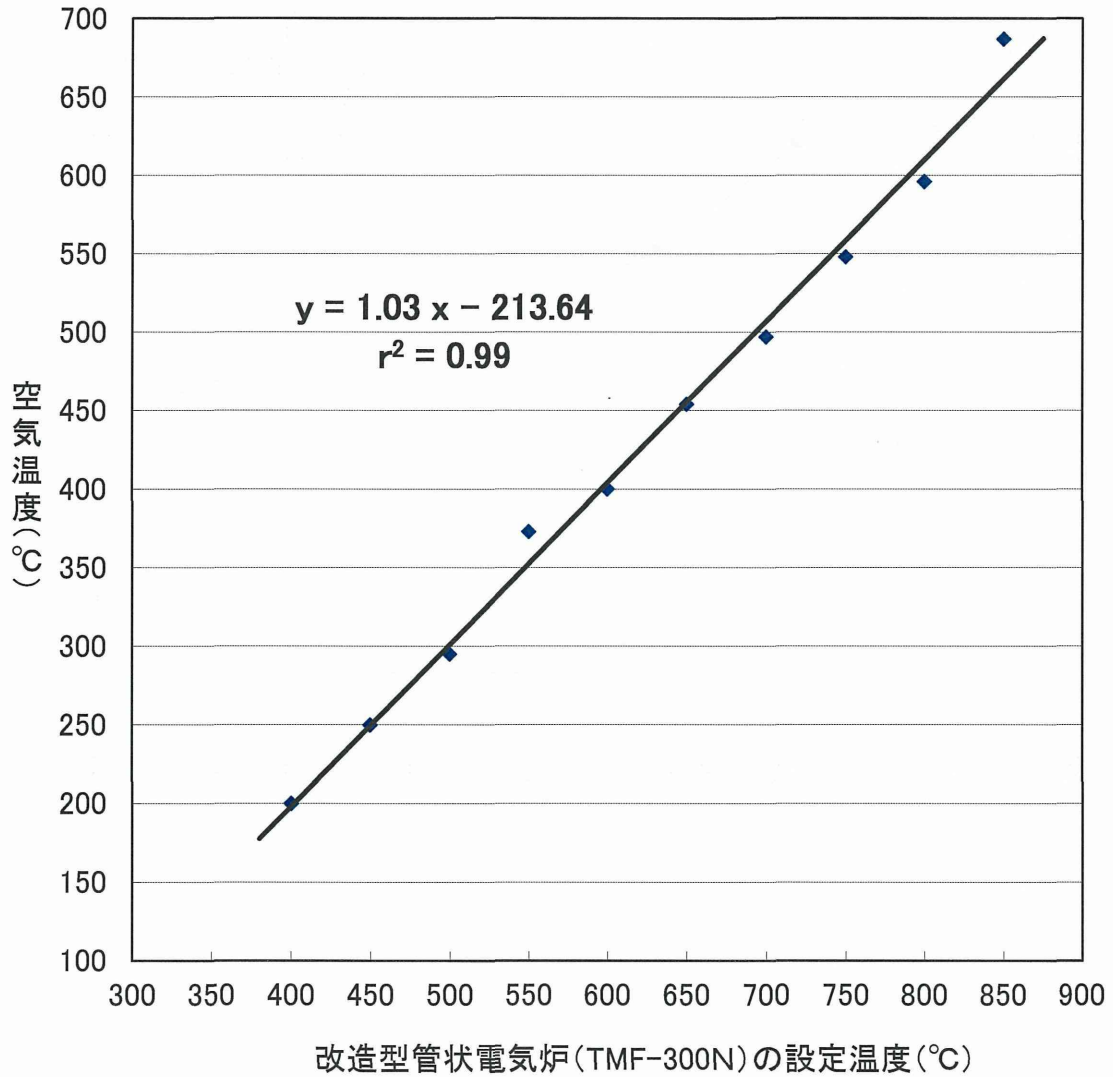


図 12 改造型管状電気炉の設定温度と空気温度の関係

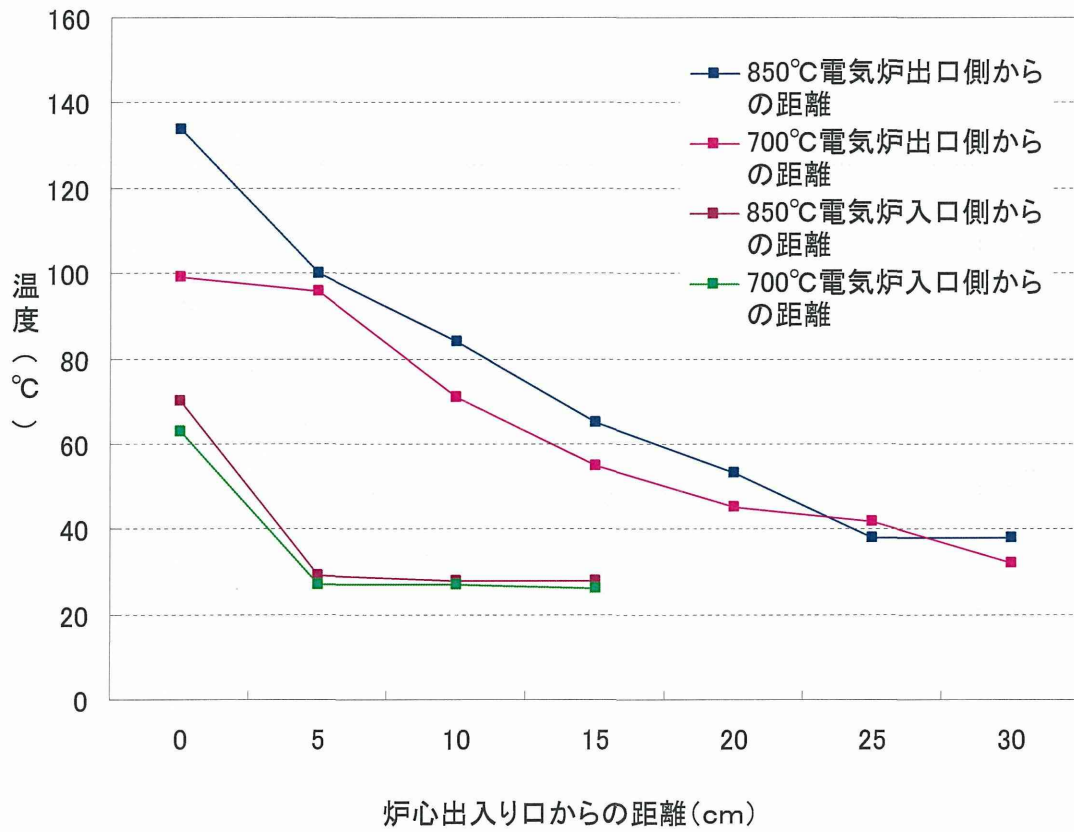


図 13 改造型管状電気炉の炉心管の出入り口付近の温度と距離の関係

### iii) 有機質繊維の除去方法の検討

#### 1). 方法

有機質繊維を除去するための改造型管状電気炉による実験の系統図を写真 71、図 14 に示した。

図 14 より発生装置の次に希釈用トラップを接続し、このトラップの一方から白色メンブランフィルターφ25mmをろ過材としたろ過捕集方法で、2L/min で 10 分間捕集し、総繊維数濃度を測定した。

他方の空気の流れは、希釈トラップから 1 台目のリアルタイムモニターで繊維状粒子を計測した後、改造型管状電気炉を通過後、2 台目のリアルタイムモニターで繊維状粒子を計測するように設置した。

希釈トラップ中の総繊維数濃度と 2 台目のリアルタイムモニターのバックアップフィルターの総繊維数濃度と比較することで、除去効果を求めることにした。

有機質繊維は「綿」、「稲わら」、「パルプ」とし、この他に「クリソタイル」を使用して実施した。管状電気炉の設定温度は、700℃、850℃で実施した。

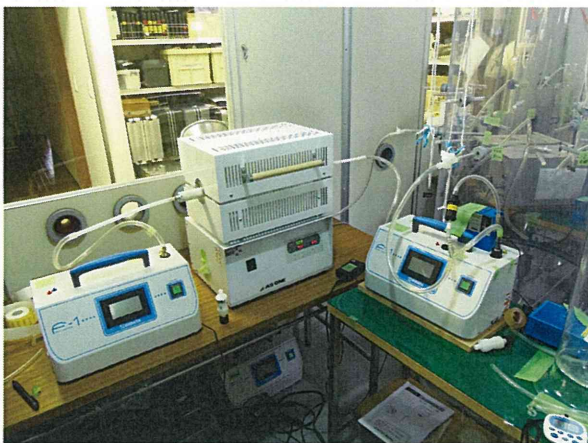


写真 71 サンプルング装置の概要

#### 2). 結果

表 13、表 14 に改造型管状管電気炉による設定温度別の有機質繊維の除去並びにクリソタイルの残存結果を示した。

また、図 15 に改造型管状電気炉による設定温度別の有機質繊維の除去率並びにクリソタイルの残存率の関係を示した。

図 15 より、いずれの有機質繊維も 700℃と比べて 850℃の方が高い除去率を示し、いずれの繊維状粒子も 90%以上の除去率であった。

さらにクリソタイルに関してはいずれの温度においても目立った減衰は認められなかった。

このためこの改造型管状電気炉を使用した場合の最適設定温度は、850℃（空気温度約 660℃）であると判断した。

今回の結果から、「市販のリアルタイムモニターの吸引流量 2L/min に対して、最適な有機質繊維処理条件は、電気炉の設定温度 850℃（空気温度約 660℃）で加熱した内径 24mm、管長 2950mm のステンレス製パイプ（パイプ内滞留時間 0.34sec）を通過させることであると判明した。」

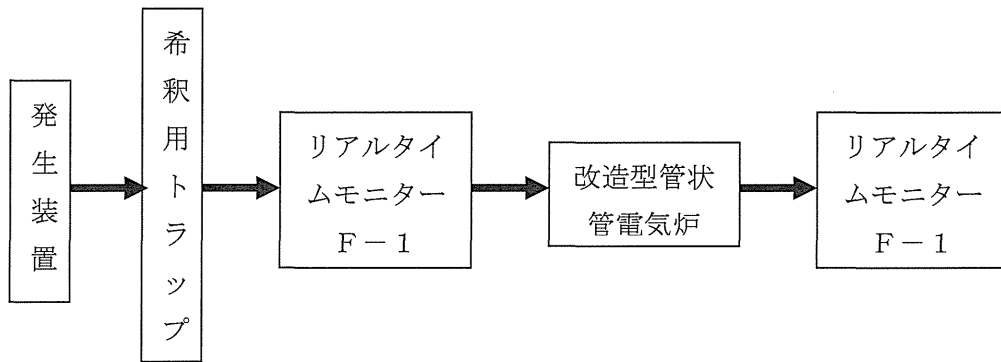


図 14 サンプルング系統図

表 13 改造型炉心管電気炉による設定温度別の有機質繊維の除去結果一覧

繊維の種類	設定温度 (°C)	回数	電気炉の通過前		電気炉の通過後		PCM法	
			PCM法の濃度 (f/L)	F-1の計数値 (カウント)	PCM法の濃度 (f/L)	F-1の計数値 (カウント)	除去率 (%)	平均除去率 (%)
綿	700	1回目	559.29	65	21.51	2	96.2	98.5
		2回目	1677.87	36	0.00	0	100.0	
		3回目	2602.84	163	16.13	2	99.4	
	850	1回目	2226.40	53	10.76	3	99.5	99.7
		2回目	5220.93	120	10.76	0	99.8	
		3回目	7080.74	127	10.76	0	99.8	
稲わら	700	1回目	833.56	52	86.04	13	89.7	85.1
		2回目	881.96	50	161.33	11	81.7	
		3回目	397.96	12	64.53	2	83.8	
	850	1回目	285.02	19	21.51	6	92.5	93.7
		2回目	537.78	42	37.64	9	93.0	
		3回目	360.31	16	16.13	6	95.5	
パルプ	700	1回目	1769.29	30	26.89	1	98.5	98.8
		2回目	2350.09	19	21.51	0	99.1	
		3回目	2516.80	35	26.89	0	98.9	
	850	1回目	2414.62	9	5.38	0	99.8	99.3
		2回目	3172.89	56	16.13	0	99.5	
		3回目	2532.93	19	37.64	2	98.5	

表 14 改造型炉心管電気炉による設定温度別のクリソタイルの除去結果

繊維の種類	設定温度 (°C)	回数	①チャンバー内の濃度 (f/L)	②除去装置通過後の濃度 (f/L)	残存率 (%) 【②/①】
クリソタイル	700	1回目	1123.0	1065.0	94.8
		2回目	798.9	833.9	104.4
		3回目	461.6	477.3	103.4
	850	1回目	1048.7	1035.2	98.7
		2回目	1242.3	1306.8	105.2
		3回目	2034.6	2115.3	104.0

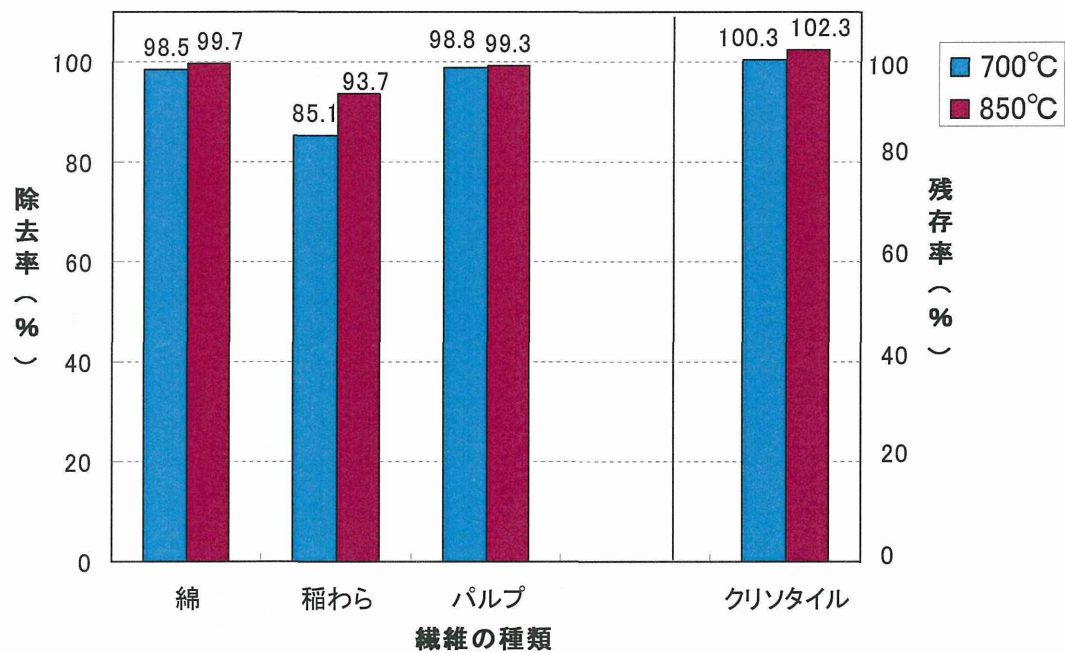


図 15 改造型管状管電気炉による設定温度別の繊維の種類別除去率



## 5. 分粒装置による粒子状物質の除去の予備的検討

リアルタイムモニターを使用して測定する場合、粒子状物質と繊維状物質が混合した状態で採気口から機器内部に取り込まれる。

粉じん発生作業場では作業環境測定基準に基づき、粗大粒子を除去するため、分粒特性が  $4\mu\text{m}50\%$  カットの分粒装置を通過した後の粉じんを吸入性粉じんとして捕集し、粉じん濃度としている。

この分粒特性を有する分粒装置として、慣性衝突方式、多段平行版方式、サイクロン方式のものがある。

本実験の目的である解体現場やがれき処理作業に伴い発生すると考えられるアスベスト以外の無機質の繊維状物質として、アスベスト含有ロックウール吹き付け材から発生する可能性のあるロックウール繊維が考えられる。そこで、測定対象のアスベスト繊維よりもアスペクト比が3よりも小さく、粗大なロックウール繊維やその他の共存する粗大粉じんを予め除去するための方法として、上記分粒装置を併用することの有効性について検討を行うための予備的な検討を行った。

### a). 方法

実験に使用した分粒装置は、リアルタイムモニターとの併用を考慮し、取扱いが簡便なサイクロン分粒を使用することにした。

使用した装置は、毎分 2L で捕集することにより  $4\mu\text{m}$  に対して 50% のカット特性を持つSKC社製のサイクロンGS-1である。

写真 72 と写真 73 に示したようにサンプリングポートからサイクロンを使用した場合とサイクロンを使用しない場合の粒子状物質は、白色メンブランフィルター  $\phi 25\text{mm}$  をろ過材としたろ紙を使用してろ過捕集方法により、2L/min の流量で 10 分間測定した。

被検試料としては、現場の被検空気中に共存する可能性のあるロックウールを使用し、サンプリングポートに発生させて両者を比較検討することにした。

ろ過捕集方法によりサンプリングした各々の白色メンブランフィルターは、アセトン蒸気発生装置（クイックフィックス）により透明化処理を行い、トリアセチンを滴下後、カバーガラスを載せて固定して標本を作成した。

計数分析は、全ての粒子状物質（繊維状粒子も含む）の総個数を対象として 50 視野を計数し、各々の個数濃度を求め、サイクロン方式による分粒効果比を算出した。



写真 72 サイクロン方式の分粒装置による粒子状物質の除去の概要



写真73 サイクロン方式の分粒装置による粒子状物質の除去の概要

b). 結果

サイクロン通過の有無による個数濃度の比(有/無)を分粒効果比とし、4回の測定を実施した。

分粒効果比はサイクロン通過後の個数濃度を、サイクロンを通過しない時の個数濃度で除すことにより求めた。

表15に分粒装置による分粒効果比を示した。4回の分粒効果比の平均は0.57であった。

また、写真74、写真75に分粒装置通過前後の顕微鏡写真を示した。

写真74と写真75を比較すると明らかに分粒装置を通過した方の総個数が減少しているのが確認でき、分粒装置を使用することにより、4 $\mu$ m以上の比較的粗大粒子物質の削減が期待できた。ただし、今回の実験では、分粒装置を使用することで、計数対象である繊維状物質も削除されたかまでは確認できていないため、今後さらに詳しく調べる必要がある。

表15 分粒装置による分粒効果

	分粒の有無	個数濃度(個/L)	分粒効果比
1回目	無	645.3	0.48
	あり	311.9	
2回目	無	398.0	0.66
	あり	263.5	
3回目	無	946.5	0.59
	あり	559.3	
4回目	無	268.9	0.56
	あり	150.6	
平均			0.57

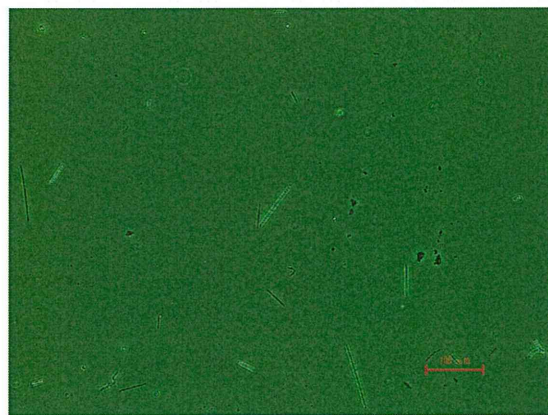


写真74 分粒装置通過前の顕微鏡写真(倍率 100倍)

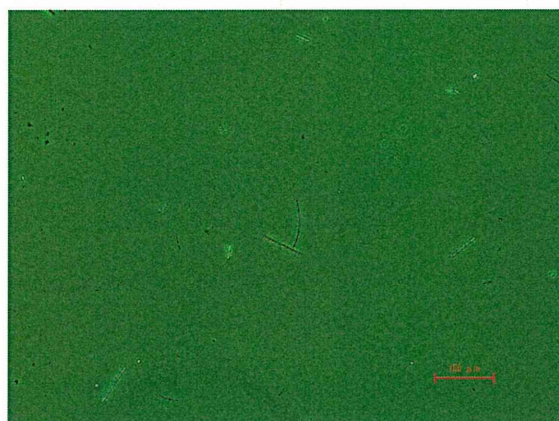


写真75 分粒装置通過後の顕微鏡写真(倍率 100倍)

## 6. 無機質繊維の除去の定性的検討

前述の被災地で飛散している繊維状物質の分析結果から、アスベストの解体・改修作業で最も多く飛散する可能性が多い無機質繊維として、ロックウールが考えられる。このため、ロックウールを除去する方法についての定性的検討を行った。

ロックウールは、JISA1481の「建材製品中のアスベスト含有率測定方法」の分析方法の中にマトリックスを除去する処理として、20%のギ酸で処理する方法が示されている。

そこで、この処理方法を応用して、移動空気層の条件下でギ酸を霧化させた空気層を通すことにより、ロックウールを溶解する方法について検討した。

### a). 方法

ギ酸を霧化する方法としては写真76、写真77に示したとおり、超音波式ネブライザ（NE-U17：オムロン社製）を使用した。

霧状になったギ酸を三口丸底フラスコ内に導き、三口丸底フラスコの左右の口から（写真77は左から右側に空気が流れる）一定量の流量で通過させることで、ギ酸ミストでロックウールを溶解させることにした。三口丸底フラスコの体積と吸引流量が2L/minであることから、接触時間を推定するとおおよそ0.1秒であった。



写真76 超音波式ネブライザの外觀

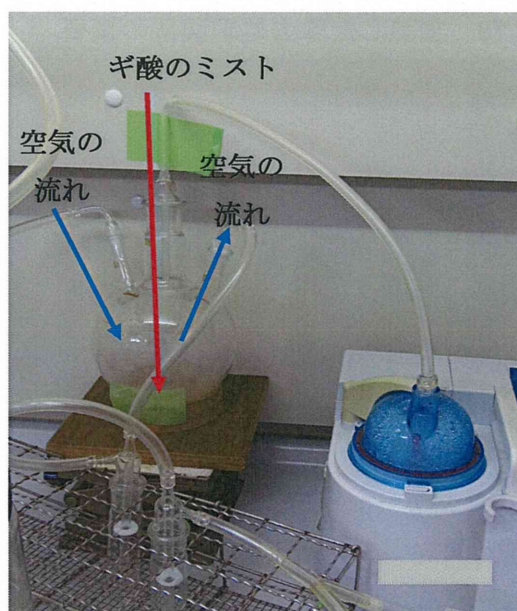


写真77 ギ酸による処理の考え方

写真77に示したとおり、三口丸底フラスコを写真78に示したようにマントルヒーターで加温することで、三口丸底フラスコの内壁にギ酸が結露をすることを防止し、結露面に繊維が付着しないようにした。

また、三口丸底フラスコを通過した空気の湿気を取り除くために、写真79で示したように市販の有機物除去装置等の電気炉を通過させた後に、白色メンブランフィルターφ25mmをろ過材としたろ過捕集装置

に接続した。

一連の装置を写真 80 に示した。



写真 78 加熱した除去処理装置の概要



写真 79 加温装置の概要



写真 80

ロックウールの除去処理方法

## b). 結果

今回の定性的実験で、写真 81 の赤丸内のロックウール繊維はギ酸により溶解している過程の繊維が確認でき、当該繊維の変化を確認することができた。なお、今回の定性的実験では、0.1sec のロックウール滞在時間を確保したところであるが、その条件下では、処理機出口で、ロックウールの溶解途中のサンプルが捕集されていることから、実際の処理器の設計では、更なる滞在時間の確保が必要であることも示唆された。

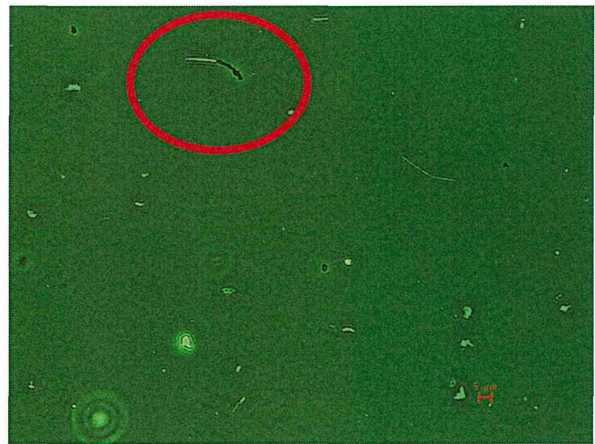


写真 81 ギ酸処理後のロックウール