

表 6 電気炉の設定温度を 650℃にした時の残存率

稲わら 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16269.9	16378.7	16301.2	108.8	31.3	28.8
2 回目	16269.7	16370.9	16298.0	101.2	28.3	28.0
3 回目	16269.5	16369.5	16299.4	100.0	29.9	29.9
平均	28.9					
パルプ 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16548.7	16652.1	16549.4	103.4	0.7	0.7
2 回目	16548.5	16645.1	16548.5	96.6	0.0	0.0
3 回目	16548.5	16648.5	16549.4	100.0	0.9	0.9
平均	0.5					
綿 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16338.1	16439.4	16338.7	101.3	0.6	0.6
2 回目	16337.8	16438.9	16339.0	101.1	1.2	1.2
3 回目	16337.8	16441.2	16338.3	103.4	0.5	0.5
平均	0.8					
ロックール 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16463.9	16563.7	16563.5	99.8	99.6	99.8
2 回目	16463.8	16566.7	16566.0	102.9	102.2	99.3
3 回目	16463.8	16564.1	16563.8	100.3	100.0	99.7
平均	99.6					
クリタイル 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	17088.2	17186.6	17182.5	98.4	94.3	95.8
2 回目	17088.0	17186.1	17182.2	98.1	94.2	96.0
3 回目	17088.3	17187.2	17182.8	98.9	94.5	95.6
平均	95.8					

表 7 電気炉の設定温度を 700℃にした時の残存率

稲わら 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16270.3	16365.3	16299.1	95.0	28.8	30.3
2 回目	16269.9	16366.6	16299.8	96.7	29.9	30.9
3 回目	16270.0	16370.3	16302.1	100.3	32.1	32.0
平均	31.1					
パルプ 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16549.3	16652.3	16549.3	103.0	0.0	0.0
2 回目	16548.8	16653.3	16549.3	104.5	0.5	0.5
3 回目	16548.6	16647.5	16549.8	98.9	1.2	1.2
平均	0.6					
綿 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16338.6	16444.0	16338.8	105.4	0.2	0.2
2 回目	16338.0	16440.4	16340.4	102.4	2.4	2.3
3 回目	16338.0	16442.1	16339.2	104.1	1.2	1.2
平均	1.2					
ロックール 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16463.6	16564.6	16564.2	101.0	100.6	99.6
2 回目	16463.5	16562.5	16562.4	99.0	98.9	99.9
3 回目	16463.6	16567.5	16567.4	103.9	103.8	99.9
平均	99.8					
クリタイル 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	17088.2	17188.4	17179.8	100.2	91.6	91.4
2 回目	17088.0	17192.4	17187.6	104.4	99.6	95.4
3 回目	17088.1	17186.0	17181.3	97.9	93.2	95.2
平均	94.0					

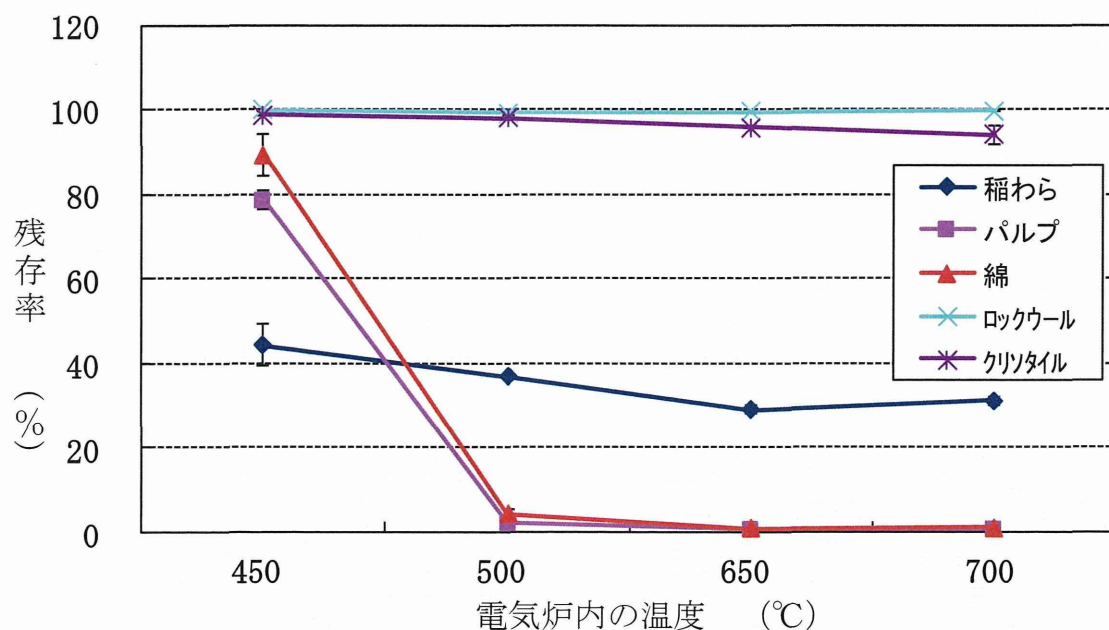


図7 電気炉の設定温度と各種繊維状物質の残存率関係



写真 22

450°Cの時の各繊維の加熱処理後の状況



写真 23

500°Cの時の各繊維の加熱処理後の状況



写真 24

650°Cの時の各繊維加熱処理後の状況

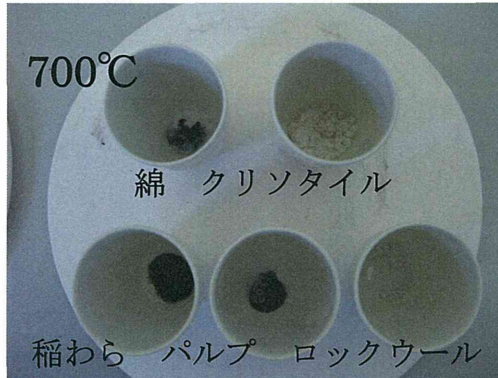


写真 25

700°Cの時の各繊維加熱処理後の状況

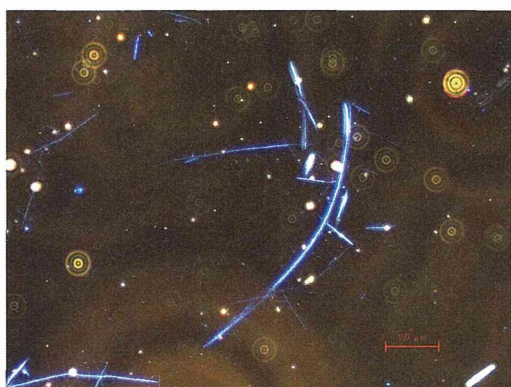


写真 26 クリタイル (浸液: 1.550 100 倍)

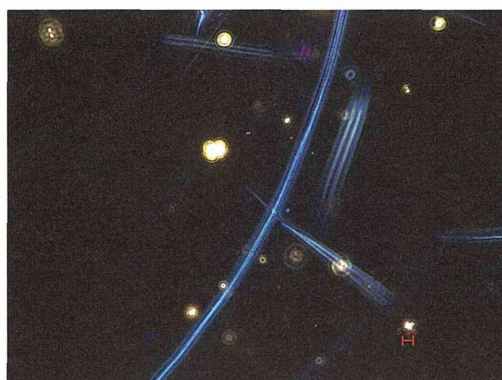


写真 27 クリタイル (浸液: 1.550 400 倍)

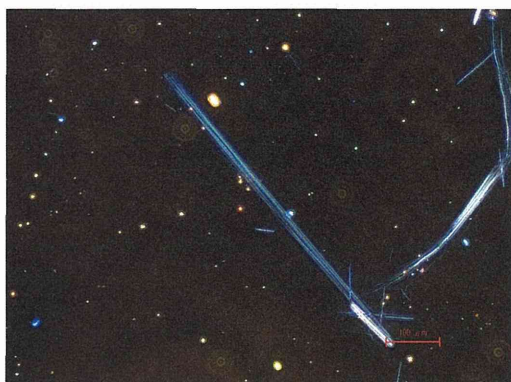


写真 28 クリタイル 450°C (浸液: 1.550 100 倍)



写真 29 クリタイル 450°C (浸液: 1.550 400 倍)

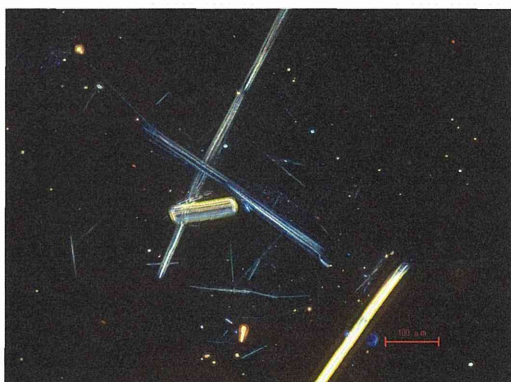


写真 30 クリタイル 500°C (浸液: 1.550 100 倍)



写真 31 クリタイル 500°C (浸液: 1.550 400 倍)

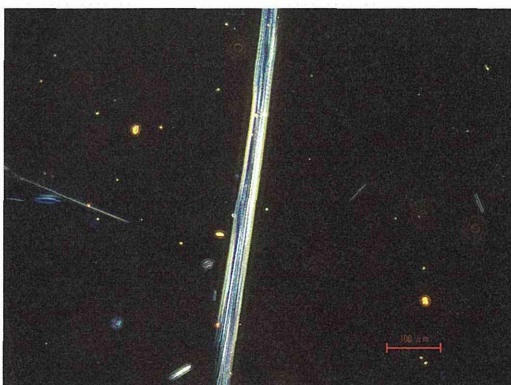


写真 32 クリタイル 600°C (浸液: 1.550 100 倍)

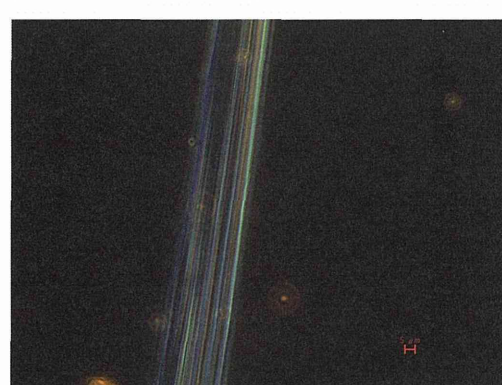


写真 33 クリタイル 600°C (浸液: 1.550 400 倍)



写真 34 クリソタイル 700°C (浸液 : 1.550 100 倍)

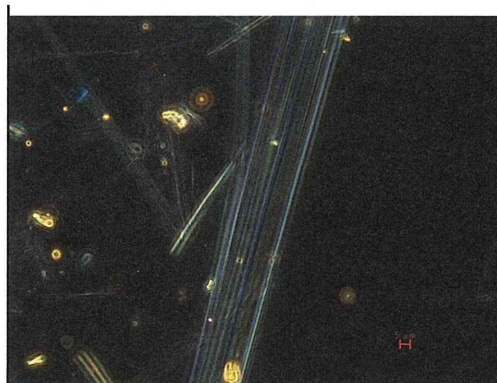


写真 35 クリソタイル 700°C (浸液 : 1.550 400 倍)

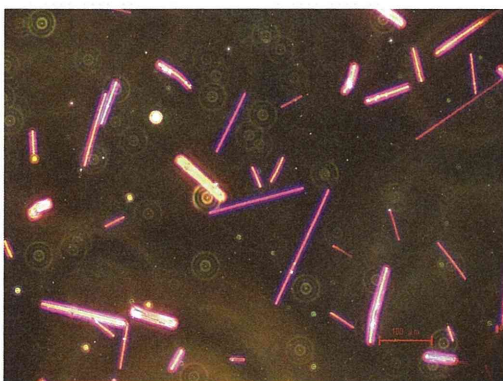


写真 36 ロックウール (浸液 : 1.620 100 倍)

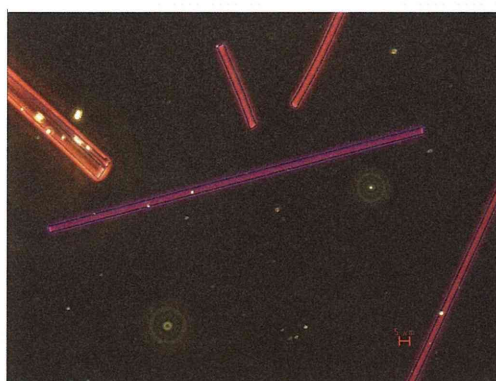


写真 37 ロックウール (浸液 : 1.620 400 倍)



写真 38 ロックウール 450°C (浸液 : 1.620 100 倍)

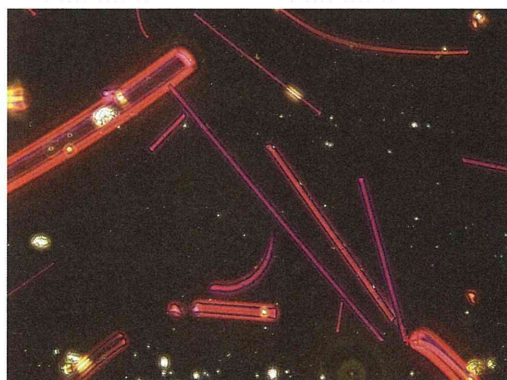


写真 39 ロックウール 450°C (浸液 : 1.620 400 倍)



写真 40 ロックウール 500°C (浸液 : 1.620 100 倍)

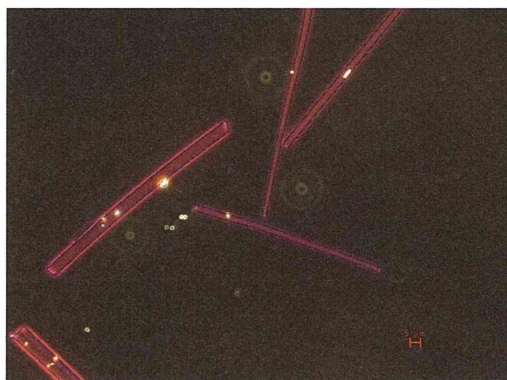


写真 41 ロックウール 500°C (浸液 : 1.620 400 倍)

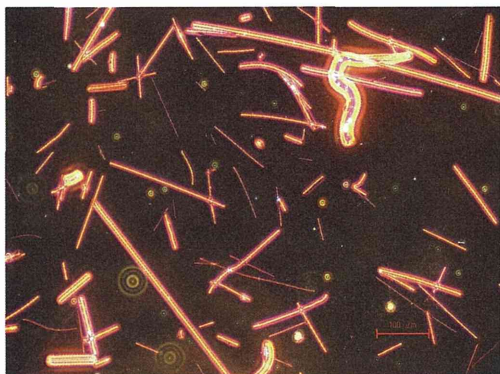


写真 42 ロックウール 600°C (浸液 : 1.620 100 倍)

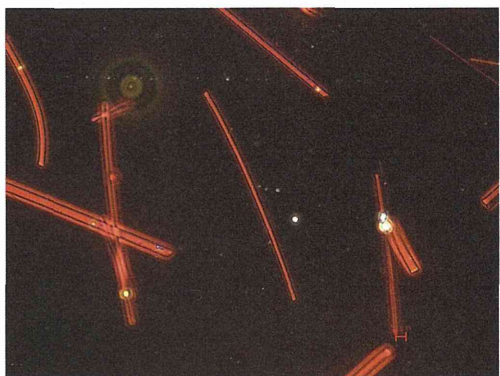


写真 43 ロックウール 600°C (浸液 : 1.620 400 倍)



写真 44 ロックウール 700°C (浸液 : 1.620 100 倍)



写真 45 ロックウール 700°C (浸液 : 1.620 400 倍)

4. 有機質繊維除去装置の検討

a). 装置の長さとの通過時間の関係

有機質繊維の除去には、通過する空気の温度条件が重要であるとともに、高温となっている部分をどの程度の時間で通過するかによって、有機質繊維を除去できるか否かが分かれるため重要である。

市販されている4社のリアルタイムモニターの採気流速は、いずれも 2L/min と同じであることから、通過速度の違いは配管の直径が大きく影響する。

表 8 に配管の直径と通過速度 (面速) の関係を示した。表 8 より、電気炉等の熱がかかっている部分の長さを同じと仮定した場合、通過する管の直径が大きくなるほど通過時間は長くなる。例えば直径 0.5cm の配管の場合の通過速度 (面速) は、170cm/sec で、配管の直径が 1.4cm の配管の場合は 21.7cm/sec である。

さらに有機質繊維を加熱処理により除去させるためには、温度がかかっている距離 (加熱管) を長くすることが必要である。例えば加熱管の長さを 2m とした場合、配管直径が 0.5cm の通過時間は 1.2 秒で、配管の直径が 1.4cm の通過時間は 9.2 秒となる。

表 8 配管の直径と通過速度の関係

管の直径 (c m)	配管の 断面積 (cm ²)	流量 (cm ³ /min)	面速 (cm/sec)
0.5	0.196	2000	169.9
0.6	0.283	2000	118.0
0.7	0.385	2000	86.7
0.8	0.502	2000	66.3
0.9	0.636	2000	52.4
1.0	0.785	2000	42.5
1.1	0.950	2000	35.1
1.2	1.130	2000	29.5
1.3	1.327	2000	25.1
1.4	1.539	2000	21.7
2.5	4.906	2000	6.8

b). 市販の有機質繊維除去処理装置による検討

i). 設定温度と空気温度の関係

有機質繊維除去処理装置は写真 46 に示したとおり市販品（OFE-3 型）があるため、最適な有機質繊維除去効果を確認するための加熱部分の空気温度の確認を行った。

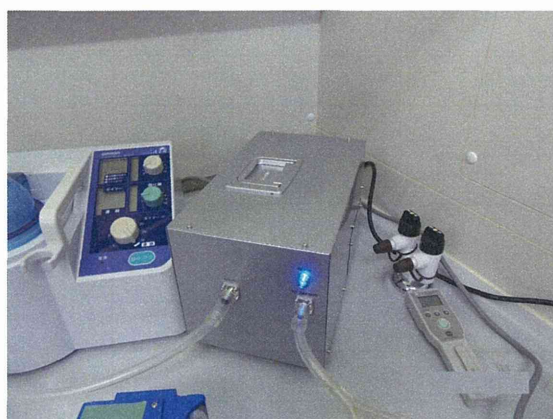


写真 46 有機質繊維除去処理装置の概要

1). 方法

写真 47 に示したデジタル温度調節器（STT-12K: 三商社製）を使用して、2L/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、有機質繊維除去装置の設定温度は 400℃から 800℃までを計測した。

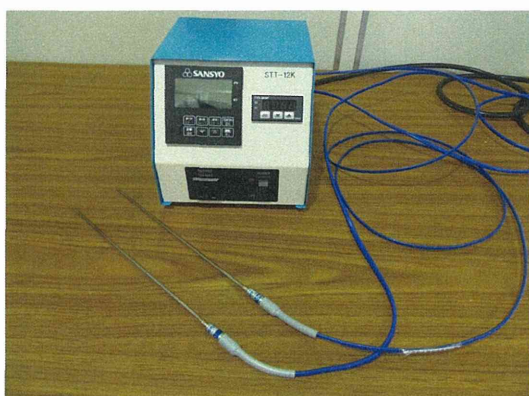


写真 47 デジタル温度調節器の概要

2). 結果

図 8 に市販の有機質繊維除去装置の設定温度と空気温度の関係を示した。図 8 より両者の関係は、 y （空気温度） $=0.99x$ （設定温度） -99.32 であり、相関係数は 0.99 と良好な直線性を示した。この関係式から推定すると、電気炉の設定温度が 630℃の場合、電気炉を通過する空気温度は約 520℃であり、設定温度が 800℃の場合は空気温度が約 690℃であることがわかった。

c). 繊維形態の有無の確認

i). 方法

c). 1). の結果から、市販されている有機質繊維除去処理装置の電気炉の設定温度を変えて、有機質繊維の除去効果を確認するため、顕微鏡による形態観察を行った。

有機質繊維は「稲わら」、「綿」、「ウール」、「ポリエステル」、「パルプ」を使用して、有機質繊維除去装置の電気炉の設定温度は、市販されている設定温度である 630℃（空気温度が約 520℃）と設定温度を 800℃（空気温度が約 690℃）に上げた場合における有機質繊維の除去効果を確認することとした。

写真 48 に実験装置の概要を示すとともに図 9 にサンプリング系統図を示した。

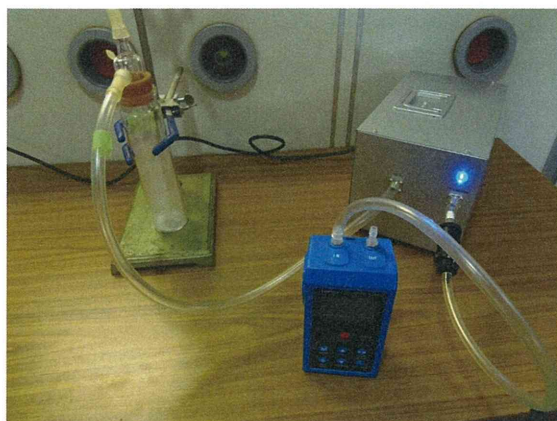


写真 48 実験装置の概要

図 9 よりパターン 1 の測定は、有機質繊維除去装置を通過後、白色メンブランフィルターφ25mmを使用してろ過捕集方法により 2L/min の 1 分間測定を実施した。

サンプリングした後のろ紙を位相差顕微鏡で検鏡し、繊維形態が見られるかを確認することとした。

また、パターン 2 の測定は有機質繊維除去装置を通過せず、直接インピンジャーで発生した繊維をろ紙に捕集することで、有機質繊維除去装置通過後の繊維形態に変化が見られたかを比較・確認するための測定を行った。

ii). 結果

表 9 に電気炉の設定温度を 630℃と 800℃にした場合の有機質繊維の除去効果を位相差顕微鏡により形態観察した結果を示した。

表 9 より、いずれの有機質繊維も市販されている有機質繊維除去処理装置の電気炉の設定温度（630℃）では有機質繊維を除去することはできなかった。

さらに電気炉の設定温度を 800℃に変更

しても繊維形態が確認され、有機質繊維を除去することはできなかった。

写真 49 から写真 68 に有機質繊維除去装置を通過させない場合(室温)と設定温度が 800℃における総合倍率 100 倍および 400 倍の顕微鏡写真を示した。

d). リアルタイムモニターを使用した場合の有機質繊維除去装置の除去効果の確認

次の検討項目として、リアルタイムモニターをサンプリング経路に組み込むことで有機質繊維の除去率を確認することとした。

サンプリング系統図は図 10 に示したとおりであり、リアルタイムモニターを除去装置の前後に各 1 台を接続した。

i). 方法

リアルタイムモニター 2 台を使用し、図 10 に示したサンプリング系統図のように機器を設置して検討することとした。希釈トラップからの空気の流れは、まず 1 台目のリアルタイムモニターを通過し、繊維を計測した後、市販の有機質除去装置を通過後、2 台目のリアルタイムモニターを通過し、繊維を計測する。

本来、リアルタイムモニターには一定の流量を取り込むためにポンプが内蔵されているが、希釈トラップから取り込んだ空気を 2 台目のリアルタイムモニターに取り込む場合は、閉鎖系の流れにしなければならない。そこで 1 台目のリアルタイムモニターを通過させるための動力は、2 台目のリアルタイムモニターの動力で稼働するように、配管をつなぎ直して実施することとした。

今回の実験に使用するリアルタイムモニターは、柴田科学株式会社製のF-1型（以下「F-1」という）とした。

写真 69 に外観を表 10 に F-1 の概略仕様を示した。

なお、これらの実験をするにあたり、2 台の F-1 の器差を確認した上で実験を進めることとした。

器差の確認方法は、チャンバー内にジネバエ産のクリソタイルを発生させ、相対濃度計（LD-5 型柴田科学社製）を使用してチャンバー内の相対濃度を確認し、均一にした後、対角線上のサンプリング位置に F-1 を接続し、10 分間測定を繰り返し実施し、2 台の F-1 の計測値を比較した。

2 台の F-1 の計測値を比較した結果、同一環境下においても若干ではあるが異なっていたので、2 台の計測値が同じ数値になるように補正係数を求め、補正することとした。

実験に使用した有機質繊維は、「綿」、「稲わら」、「パルプ」とし、電気炉の設定温度条件は、450℃、600℃、800℃の3段階とした。

ii). 結果

表 11、図 11 に市販の有機質除去装置を3段階の温度に設定した場合の有機質繊維の除去効果を示した。

表 11、図 11 より3種類の有機質繊維も温度を上げることにより除去率が高くなった。有機質繊維のみを対象として考えた場合、設定温度が800℃(空気温度が約690℃)であれば、全体の8割程度の有機質繊維を除去することが可能であることがわかった。

市販されている有機質繊維除去装置の電

気炉部分の外観を写真 70 に示した。この市販の有機質除去処置装置の場合、電気炉の熱源部分の長さは約11cmで、熱源を通過する配管は、外径約13mmで内径約8.85mmであった。

なおリアルタイムモニターの取り込み流量は2L/minであることから、熱源部分の通過時間は0.2秒である。このため、市販の電気炉の設定温度では、有機質繊維の除去は不十分であり、さらに電気炉の設定温度を800℃に上げてても、有機質繊維の除去率は、8割程度が限界であった。

有機質繊維の除去率が8割程度しか見込めなかった原因は、設定温度条件は800℃と問題は無いと考えるが、リアルタイムモニターの取り込み流量が2L/minであることから、通過時間が0.2秒と短いため、繊維形態を変化させるまでには至らなかったものと思われる。そこで加熱部分の距離も考慮し、通過時間を0.2秒以上の条件下で、実験することを考慮して使用する機器等を検討し、実験することとした。

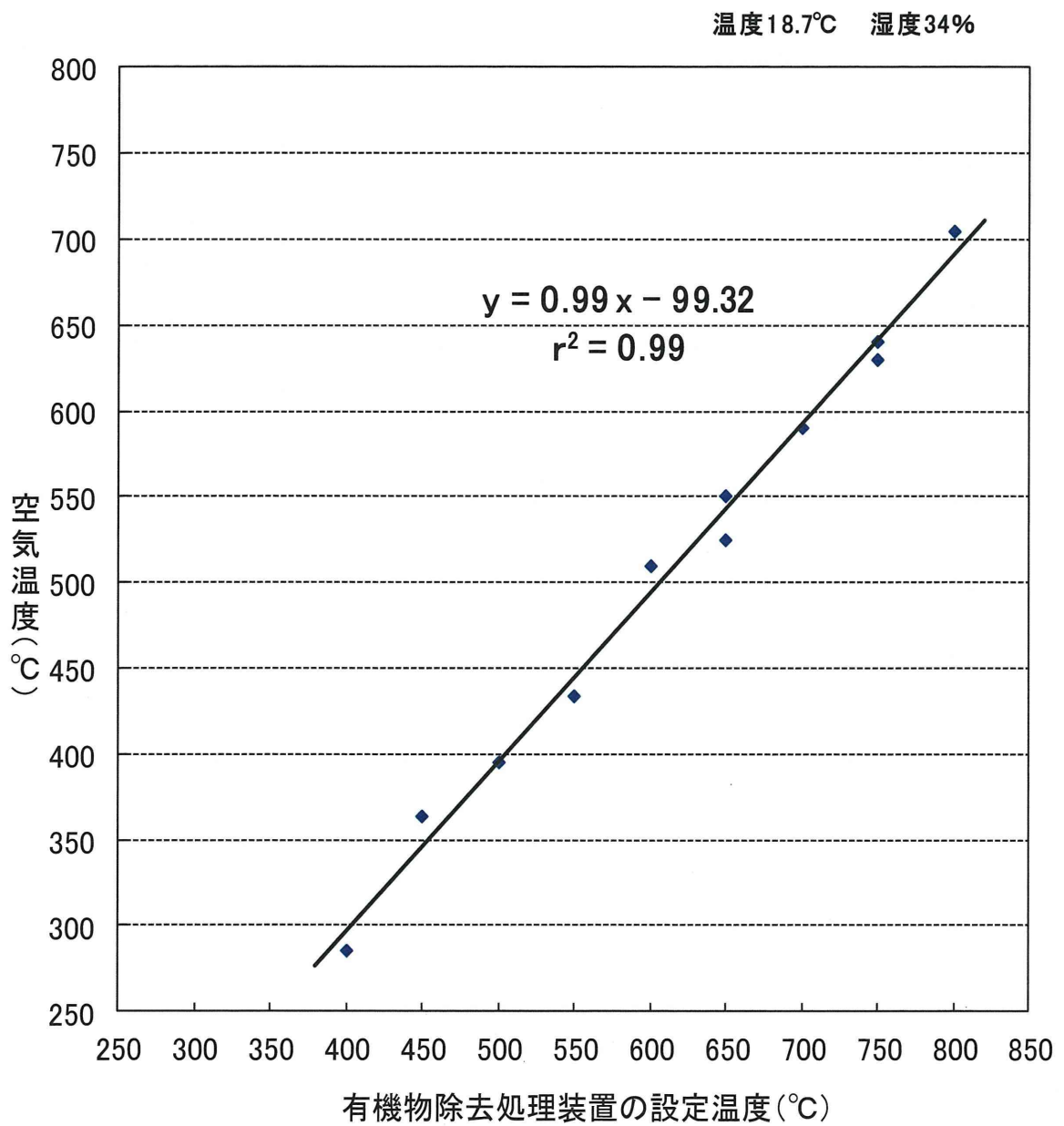


図8 市販の有機物除去処理装置の設定温度と空気温度の関係

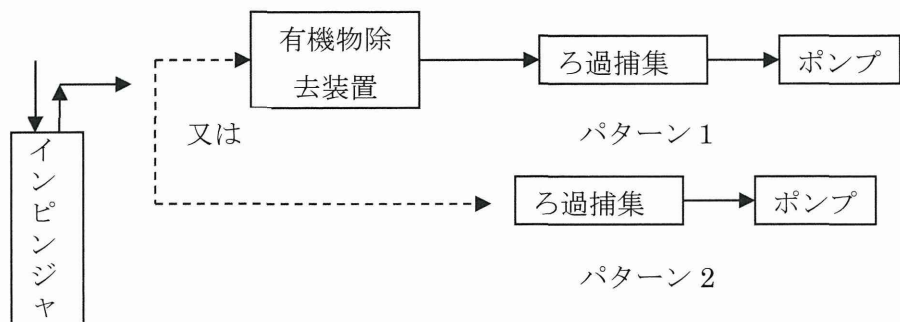


図 9 サンプルング系統図

表 9 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 (℃)	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

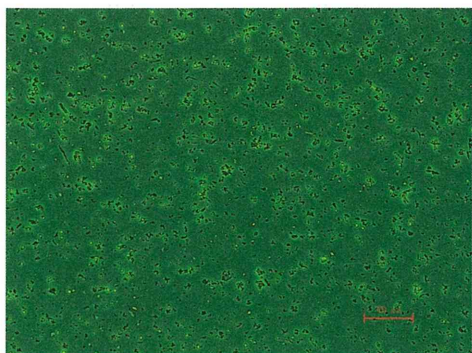


写真 49 稲わら（倍率 100 倍：室温）

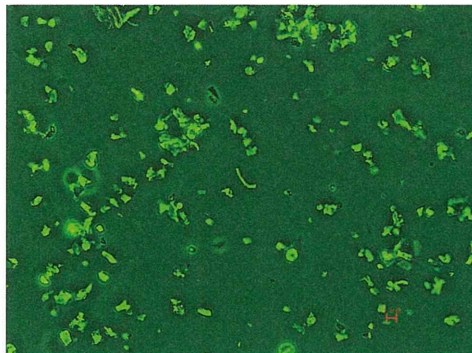


写真 50 稲わら（倍率 400 倍：室温）

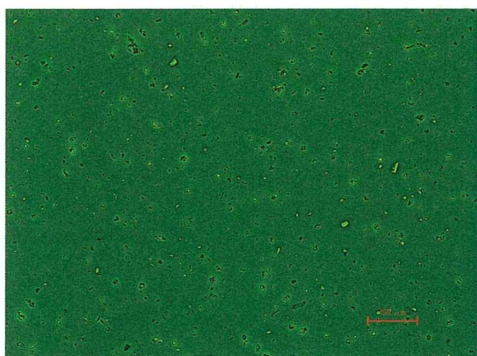


写真 51 稲わら（倍率 100 倍：800℃）

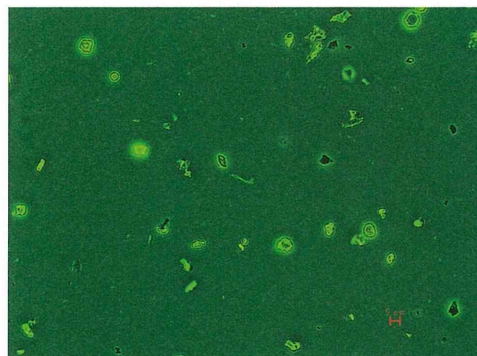


写真 52 稲わら（倍率 400 倍：800℃）

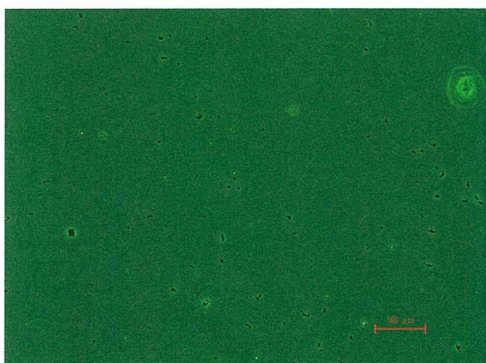


写真 53 綿（倍率 100 倍：室温）

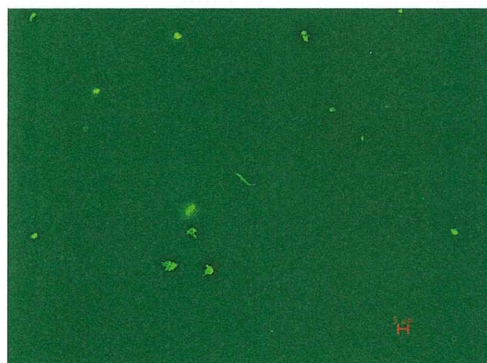


写真 54 綿（倍率 400 倍：室温）

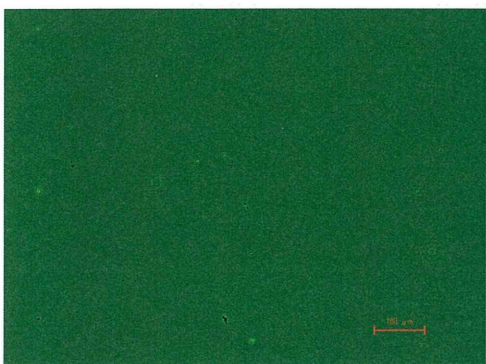


写真 55 綿（倍率 100 倍：800℃）

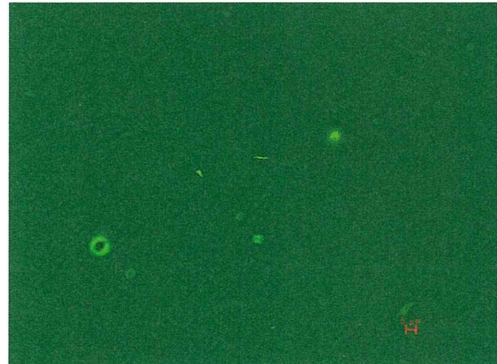


写真 56 綿（倍率 400 倍：800℃）

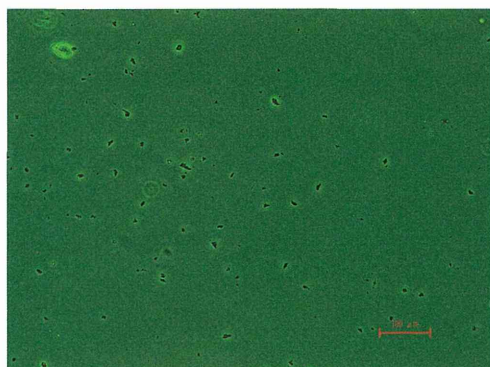


写真 57 ウール（倍率 100 倍：室温）

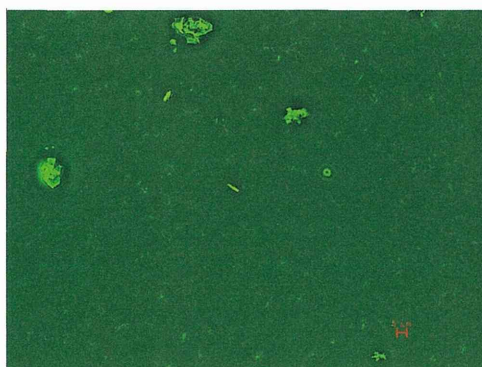


写真 58 ウール（倍率 400 倍：室温）

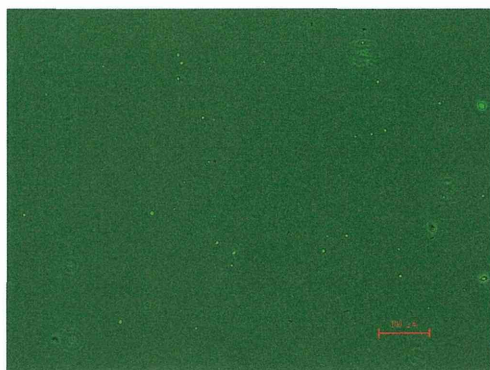


写真 59 ウール（倍率 100 倍：800℃）

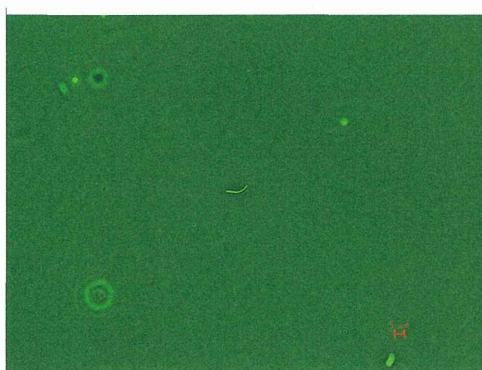


写真 60 ウール（倍率 400 倍：800℃）

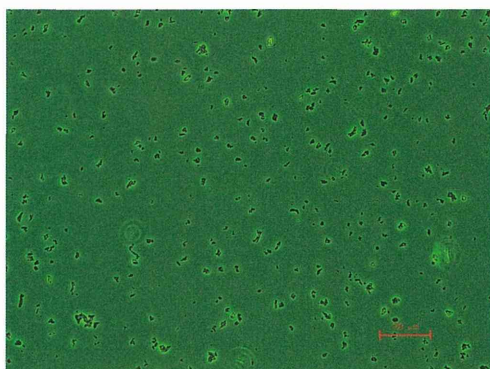


写真 61 ポリエステル（倍率 100 倍：室温）

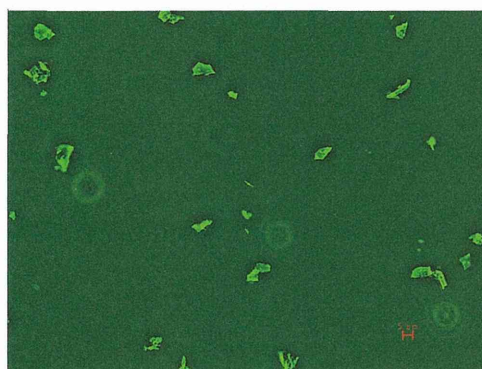


写真 62 ポリエステル（倍率 400 倍：室温）



写真 63 ポリエステル（倍率 100 倍：800℃）

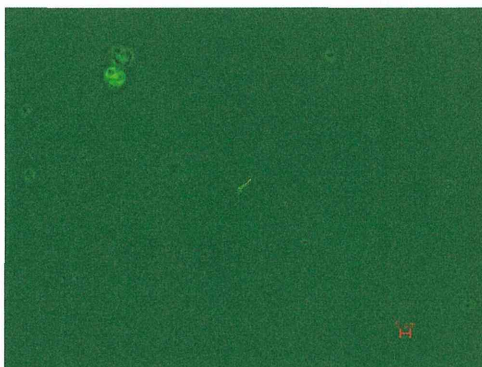


写真 64 ポリエステル（倍率 400 倍：800℃）

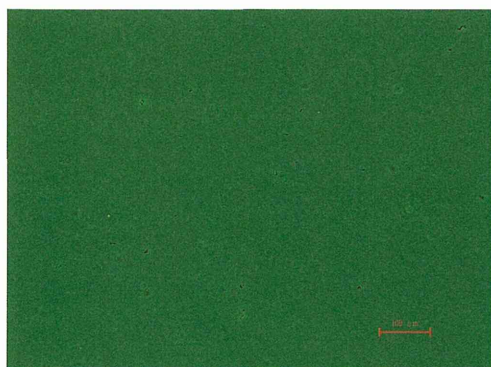


写真 65 パルプ（倍率 100 倍：室温）

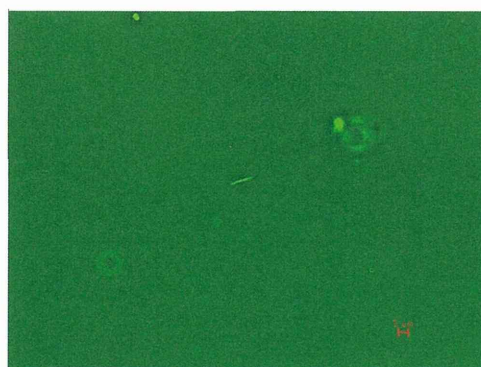


写真 66 パルプ（倍率 400 倍：室温）



写真 67 パルプ（倍率 100 倍 800℃）

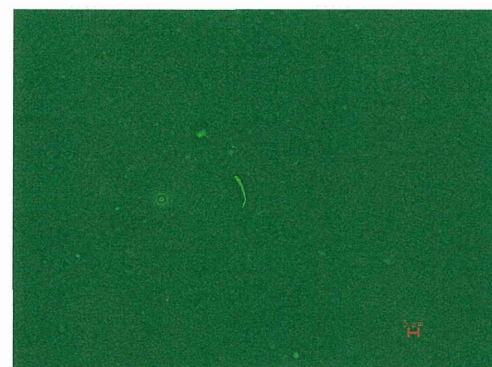


写真 68 パルプ（倍率 400 倍 800℃）

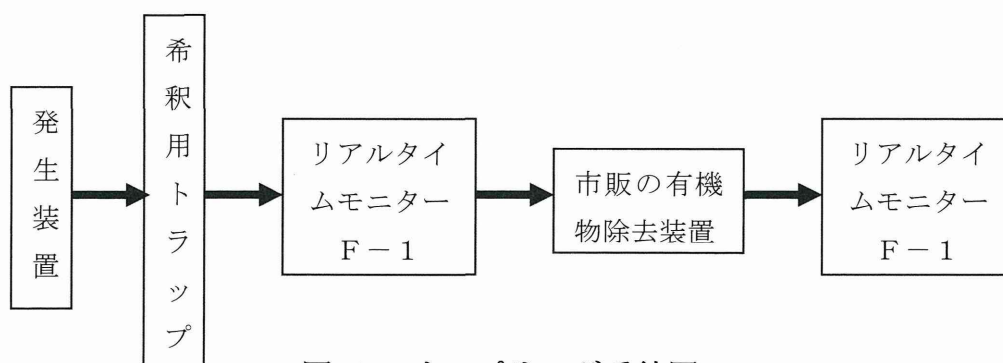


図 10 サンプリング系統図



写真 69 ファイバーエアロゾルモニター F-1（柴田科学㈱製）の外観

表 10 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	・ カウント数 (Count) ・ 繊維状粒子濃度換算値 (f/L) ・ 時間 (現在時刻、設定・経過・残時間) ・ 吸引流量 ・ 各種異常表示 (レーザー出力、バッテリー等)
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 11 有機質繊維の種類温度別の除去率

繊維 の 種類	設定 温度 (℃)	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	

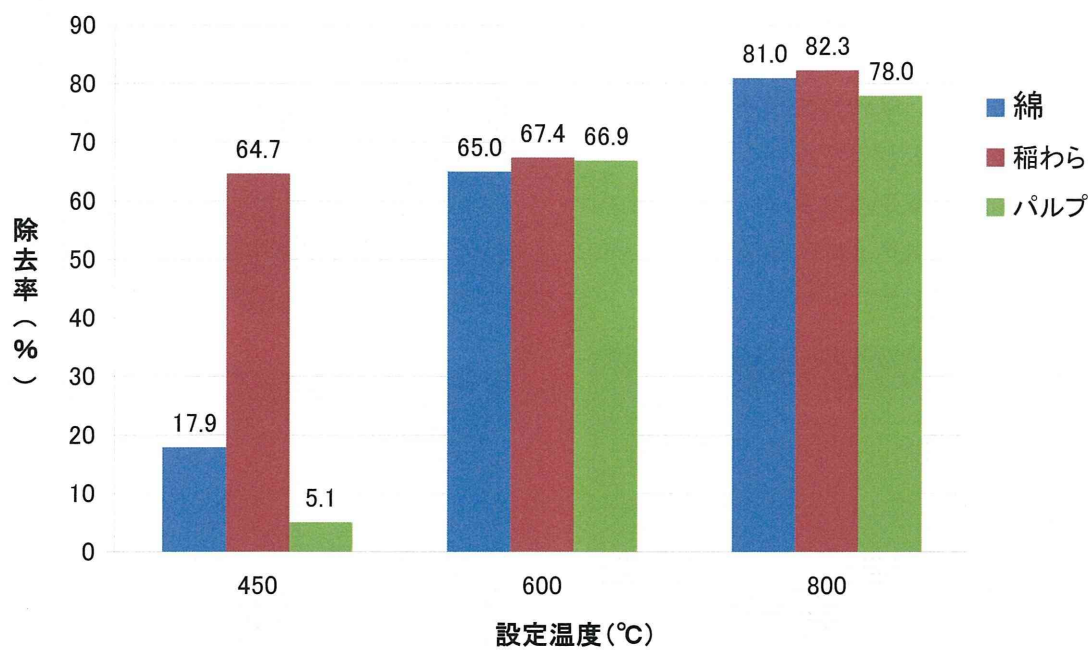


図 11 各種繊維状物質の有機物除去装置通過後の除去率



写真 70 市販の有機質除去処理装置の加熱部分の概要

e). 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 71 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 71 管状電気炉の外観

この電気炉は写真 72 に示した炉心管（外形 $\phi 30\text{mm} \times$ 内径 $\phi 24\text{mm} \times$ 長さ 500mm ）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 73 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 72 管状電気炉の加熱部分の外観



写真 73 改造した炉心管の先端の外観

f). 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 2L/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、 2L/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°C から 850°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 74 に示した放射温度計 (サークルマーカール・2 ビームタイプ) (コニカミノルタセンシング株) 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 74 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。

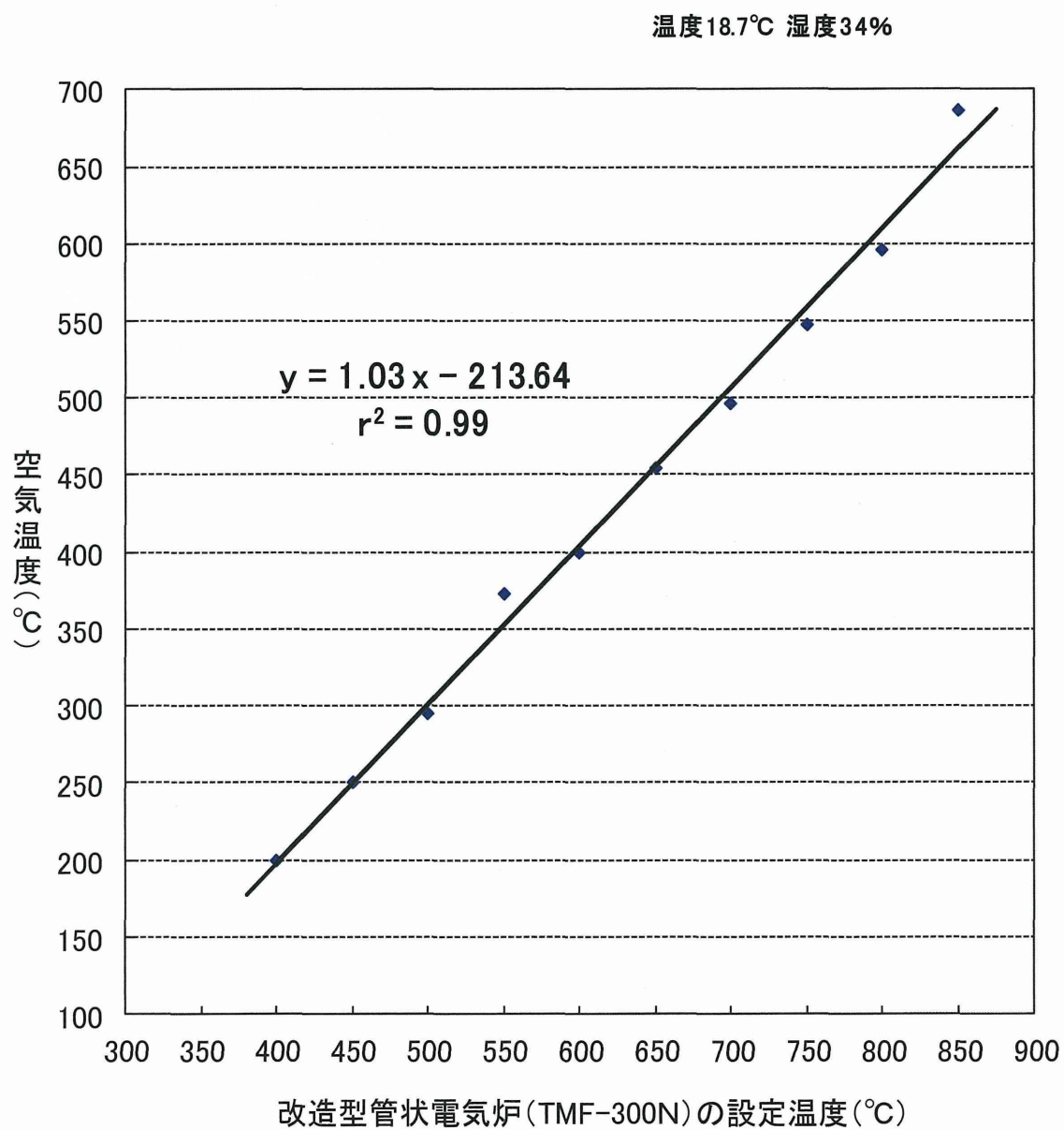


図 12 改造型管状電気炉の設定温度と空気温度の関係