

低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発 その2 アスベスト含有建材の無害化処理条件の最適化と連続実験



澤田 晃也 *1

千葉 脩 *1 三浦 勇雄 *1
半田 雅俊 *2 高浪 哲郎 *3

概 要

過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の無害化技術の開発に取り組んでいる。この技術はアスベストを含有する建材を過熱蒸気雰囲気とした加熱炉で900℃以上に加熱することで、クリソタイルなどのアスベストを非石綿化する技術である。ここで非石綿化とは、JIS A 1481 (2008) に則り、アスベスト繊維が存在しないことを指す。

本年度の実験結果から次のような知見を得た。

- (1) 過熱蒸気を用いてアスベスト6種類について無害化（非石綿化）できる条件を確認した。
- (2) 処理温度、温度保持時間、建材の厚さ、処理雰囲気などの条件を変えて実験を行い、アスベスト含有建材を無害化できる最適な処理条件を求めた。
- (3) アスベスト含有建材を無害化できる、あるいはできない境界状態の処理温度を確認した。
- (4) パイロット機を用いて連続運転を実施した場合の建材の無害化、システムの安定性を確認した。
- (5) 無害化処理前後の建材について動物実験による無害性評価を行った。

Development and Research of the Equipment for Conversion to Harmless Substances and Recycle of Asbestos with Superheated Steam Part 2 Optimization and continuous experiment on condition of processing of asbestos content construction materials

Kouya SAWADA *1 Osamu CHIBA *1
Isao MIURA *1 Masatoshi HANDA *2
Tetsuo TAKANAMI *3

The technology of the asbestos content construction materials that use the superheated steam is developed. This is a technology that makes the asbestos such as Chrysotile non-asbestos by heating construction materials that contain asbestos to 900°C or more by using the superheated steam in the heating furnace. Making to non-asbestos mentioned here indicates the asbestos fiber doesn't exist based on JIS A 1481(2008).

The following results were obtained from the experimental study at current year.

- (1) The condition that was able to be the detoxification was confirmed by using the superheated steam about six kinds of asbestos.
- (2) As a result of the experiment that changed conditions of the processing temperature, the temperature hold time, and thickness etc. , the best condition that the detoxification of the asbestos content construction materials was able to be done was obtained.
- (3) The boundary of the processing temperature in which the detoxification of the asbestos content construction materials can be done has been understood.
- (4) A continuous driving was executed by using the prototype, and the stability of the detoxification system of construction materials was confirmed.
- (5) Construction materials before and after the detoxification processing were harmlessly evaluated by the animal experiment.

*1 技術研究所 *2 技術企画部 *3 大旺新洋(株)環境エンジニア本部

*1 Technical Research Institute *2 Technical Planning Dept *3 Environment Engineering Headquarters, Daioh Shinyo Corp.

低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発

その2 アスベスト含有建材の無害化処理条件の最適化と連続実験

澤田 晃也^{*1} 千葉 脩^{*1}
 三浦 勇雄^{*1} 半田 雅俊^{*2}
 高浪 哲郎^{*3}

1. はじめに

過熱蒸気によるアスベスト建材の無害化について、その1において、バッチ式パイロット装置での加熱実験について報告した。その2では、基礎試験装置にて、処理温度、温度保持時間、建材の厚さ、処理雰囲気などの条件を変えて実験を行い、アスベスト含有建材を無害化できる最適な処理条件を求めるとともに、建材を無害化できる、あるいはできない境界状態の処理温度を確認した。さらに、パイロット機を用いて連続運転を実施した場合の建材の無害化、システムの安定性と、無害化処理前後の建材について無害性評価を行ったので報告する。

2. アスベスト6種の無害化実験

これまで、アスベストの種類に関しては、クリソタイル、クロシドライト、アモサイトの3種類について、過熱蒸気を用いて非石綿化できることを確認してきた。しかし、2008年6月にJIS A 1481 (2008) が改訂されアスベスト6種類についての非石綿化が必要となった。環境省のアスベスト無害化処理施設の個別認定制度においても6種類の非石綿化の確認が必要となったため、今回、全6種類について非石綿化できる条件を確認した。

2.1 実験方法

1) 実験装置

表-1と図-1に実験に使用した装置を示す。蒸気発生装置で蒸留水を加熱して所定の温度に上げて、電気管状炉に蒸気を送り込む。過熱蒸気量は2.2L/minである。試料は、乳鉢で100 μm以下に粉碎した鉱物をあらかじめアルミナボートに0.5g/回載せて使用した。図の左側から熱電対を挿入して温度を計測した。

表-1 実験装置の諸元

電気管状炉	ADVANTEC 社製 [FUT542FB]
炉外形寸法	W560 × D360 × H380
炉心管寸法	D1000 × φ 42
熱電対	白金-ロジウム製 (D950)
ボート	アルミナ製

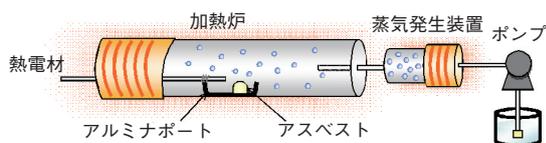


図-1 実験装置概要

2) 実験試料と条件

実験条件を表-2に示す。クリソタイルは以前に実験しているので今回は実施していない。アクチノライトについては表-3の条件でアスベスト含有量30%の模擬建材についても実験を実施した。

表-2 アスベスト4種類の実験条件

	クロシドライト	アモサイト	トレモライト	アンソノライト
脱結晶水温度 (°C)	400 ~ 600	600 ~ 800	950 ~ 1,040	620 ~ 850
実験温度 (°C)	1050			
保持時間 (分)	30			
過熱蒸気量	2cc/min			

表-3 アクチノライトの実験条件

	アクチノライト	
アスベスト含有量 (%)	100	30
脱結晶水温度 (°C)	450 ~ 1,080	
実験温度 (°C)	850, 950, 1,000, 1,050	
保持時間 (分)	120	
過熱蒸気量 (cc)	2cc/min, 0cc/min	

2.2 実験結果

脱結晶水温度が一番高いのがアクチノライトの1080°Cである。表-2、表-3に示した全条件で無害化を確認した。アクチノライト30%模擬建材では1000°Cで無害化できたが、アクチノライト100%では1000°Cで無害化できず、1050°Cで無害化できた。図-2のX線回折では、1050でアクチノライトのピークが消えているのを確認できる。表-3の条件では、蒸気を送らない条件でも実験を行ったが、アクチノライト100%の試料では、蒸気を送ったケースと送らなかったケースで結果に差は認められなかった。

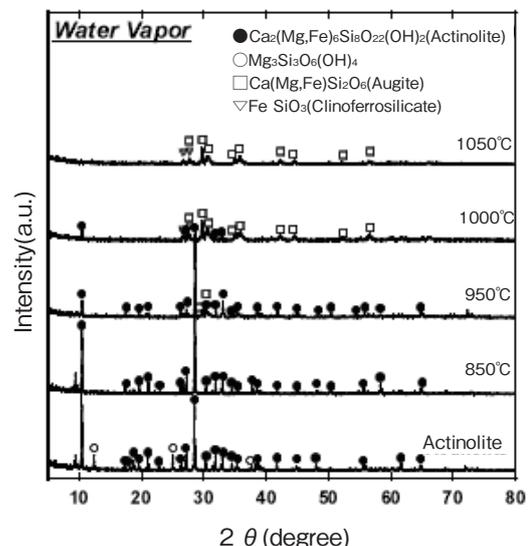


図-2 アクチノライトの無害化後のX線回折

*1 技術研究所 *2 技術企画部 *3 大旺新洋(株)環境エンジニア本部

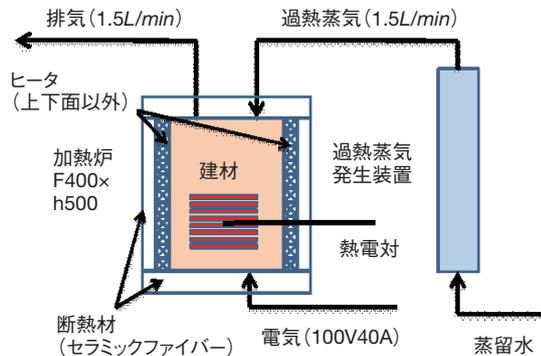
3. 基礎試験装置による予備実験

本研究開発PJでは、アスベストの種類および無害化処理条件に関して、これまでの実績から、最適な処理条件で無害化実験を行ってきた。しかし、それらの実績は客観的なデータで提示していなかった。今回、基礎試験装置にてアスベスト含有建材の最適な無害化処理条件について実験的に検討した結果を報告する。

3.1 実験方法

1) 実験装置

実験装置には、図-3に示すFIBROTHAL社製の半円筒加熱炉(ヒータ容量4.96kW)を用いた。電気ヒータは円筒加熱炉の周囲のみ設置されている。過熱蒸気発生装置から送られる過熱蒸気は200℃であるが、加熱炉の周囲の電気ヒータの間を縫って加熱炉の上部まで導かれるので、上部の蓋に達した時点で各実験条件に適合する温度に到達している。過熱蒸気量は1.5 L/minで排気は過熱蒸気を送った量に合わせてある。建材の温度は、熱電対で建材の中央で測定しており、所定の温度に到達してから保持時間を計測した。



FIBROTHAL 社製半円筒加熱炉 ;HLS400/500G

図-3 基礎実験装置の概要

2) 実験条件

因子として表-4に示すように、「荷姿」から「試料採取位置」まで9種類選択し、それぞれに水準を3ケース設定したが、水準を3ケース設定できない(例えば、荷姿)ものは、実質2水準となった。アスベストは、一般的なクリソタイル、処理の容易なクロシドライト、脱結晶水温度の高いトレモライトを用いた。

①雰囲気：加熱炉の蓋を開けて脱水した水分が空中に蒸発する「空気一定量」、脱水した水分を加熱炉に閉じ込めて過熱蒸気とする「密閉雰囲気」、外部からも一定量の過熱蒸気を送り込む「蒸気一定量」の3水準とした。

②保持温度：本実験での保持温度は、すべて非石綿化可能な温度とした。これまでの実験では900℃以上で非石綿化できることがわかっている。そのため、安全側の温度として950℃、1000℃、1050℃の3水準とした。

③保持時間：これまでの実験で建材内部の温度が900℃に達した時点で無害化できていることがわかっているが、保持時間による効果の確認のため5分、30分、60分の3水準とした。

以上を用いて実験計画法によりL27で割り付け、表-5に示す27条件を設定した。

表-4 実験の因子と水準

因子	水準1	水準2	水準3
A 荷姿	袋なし	袋あり	袋なし
B アスベスト含有量	1%	5%	10%
C アスベストの種類	クリソタイル	クロシドライト	トレモライト
D 雰囲気	空気一定量	密閉雰囲気	蒸気一定量
E 建材の厚み	5cm	10cm	5cm
F 建材の大きさ	10cm角	20cm角	10cm角
G 保持温度	950℃	1000℃	1050℃
H 保持時間	5分	30分	60分
R 資料採取位置	上側	中央	下側

表-5 実験ケースと残存繊維数

実験No.	保持温度(℃)	保持時間(分)	厚さ(cm)	幅(cm)	雰囲気	アスベスト	アスベスト濃度	袋	資料位置	繊維本数(本)
1					空気	クリソ	1	袋無	上	0
2	950	5	5	10	密閉	クロシ	5	袋有	中	0
3					蒸気	トレモ	10	袋無	下	10
4					空気	クロシ	10	袋無	下	0
5	950	30	10	20	密閉	トレモ	1	袋無	上	1
6					蒸気	クリソ	5	袋有	中	1
7					空気	トレモ	5	袋有	中	2
8	950	60	5	10	密閉	クリソ	10	袋無	下	0
9					蒸気	クロシ	1	袋有	上	0
10					空気	クリソ	1	袋有	下	8
11	1000	5	10	10	密閉	クロシ	5	袋無	上	0
12					蒸気	トレモ	10	袋無	中	0
13					空気	クロシ	10	袋無	中	0
14	1000	30	5	10	密閉	トレモ	1	袋有	下	0
15					蒸気	クリソ	5	袋有	上	0
16					空気	トレモ	5	袋無	上	0
17	1000	60	5	20	密閉	クリソ	10	袋無	中	1
18					蒸気	クロシ	1	袋有	下	0
19					空気	クリソ	1	袋無	中	1
20	1050	5	5	20	密閉	クロシ	5	袋無	下	0
21					蒸気	トレモ	10	袋有	上	2
22					空気	クロシ	10	袋有	上	0
23	1050	30	5	10	密閉	トレモ	1	袋無	中	0
24					蒸気	クリソ	5	袋無	下	0
25					空気	トレモ	5	袋無	下	0
26	1050	60	10	10	密閉	クリソ	10	袋有	上	0
27					蒸気	クロシ	1	袋無	中	0

3) 試料作製方法

実験試料は、実験条件を統一するため3種類とも所定量のアスベストをセメントと混合し、容器に入れて作成した。養生期間は3日間、養生後、100mm角あるいは200mm角のアスベスト含有建材の中央をくりぬいてその中にセットした(図-4参照)。この建材は、各試料束(5cmまたは10cm)の中央に挟み込んだ。各試料は厚さ5cmで建材9枚、厚さ10cmで18枚になる。

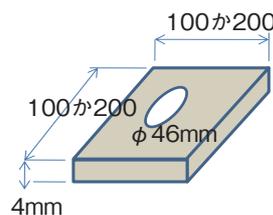


図-4 試料作製方法



処理前 処理後
写真-1 試料の状況

4) 分析方法

JIS A 1481 (2008) においては、X線回折と分散顕微鏡による観察の両方で無害化（非石棉化）を確認する必要があるが、今回の実験結果の評価は、非石棉化処理における「相対的」な評価なので主として分散位相差顕微鏡の結果で判断した（一部の試験体についてX線回折を実施）。なお、非石棉化の確認は残存繊維数4本未満と判断する。カウントした繊維は、直径 $0.5\mu\text{m}$ 以上、アスペクト比3以上、同時に長さ $3.0\mu\text{m}$ 以上のものである。

3.2 分析結果の評価

分散位相差顕微鏡の観察から求めた繊維の本数を表-5にまとめた。全実験ケースで残存繊維数が4本以上の結果は、実験No.3とNo.10であった。その原因は精査中であるが、No.3は処理温度が原因であり、No.10は「空気」条件下が原因と考えられる。トレモライトの脱結晶水温度は $950\sim 1040^\circ\text{C}$ であるが、 950°C 、5分の条件下では過熱蒸気雰囲気下であっても非石棉化はできなかったが、 1000°C では非石棉化可能であることがわかる。図-5によると、温度 1000°C 以上（保持時間は5分）か、 1050°C 以上（保持時間30分）であれば非石棉化は可能である。

試料の厚さによる影響は少ないが、5分では厚さ10cmは非石棉化できていない。処理時間30分だと非石棉化できていた。試料の大きさを10cm角から20cm角に大きくしても、非石棉化にほとんど影響がなかった。

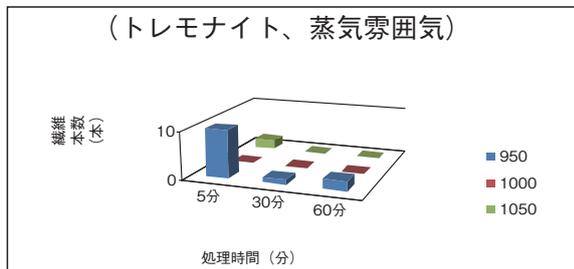


図-5 処理時間と処理温度の関係

予備実験のアスベスト繊維の削減に寄与する度合い（寄与率）を計算すると（表-6）、寄与率が高いのは、①アスベストの種類×保持温度：18.1%、②保持時間：12.6%、③雰囲気×保持温度：8.7%、④試料採取位置5.5%、であった。

表-6 分散分析結果

因子	f	分散	平方和	F	寄与率
A 荷姿	1	3.1	3.1	1.4	
B アスベスト含有量	2	5.9	2.9	1.4	
C アスベストの種類	2	13.4	6.7	3.1	
G × C	4	40.1	10.0	4.6	18.1
D 雰囲気	2	7.6	3.8	1.8	
G × D	4	25.9	6.5	3.0	8.7
E 建材の厚み	1	0.3	0.3	0.1	
F 建材の大きさ	1	1.2	1.2	0.5	
G 保持温度	2	6.7	3.4	1.6	
H 保持時間	2	25.4	12.7	5.9	12.6
R 資料採取位置	2	14.7	7.4	3.4	5.5
e その他	3	6.5	2.2		
e その他	14	44.7	3.2		55.0
	26	151			100.0

4. 基礎試験装置による本実験

予備実験の結果より、保持温度、保持時間、雰囲気（寄与率が高いことが判明した。そこで、確実に非石棉化できる加熱温度と保持時間を確認するための本実験を基礎試験装置にて実施した。

4.1 実験方法

1) 実験装置

装置には予備実験と同様の加熱炉を用いた（写真-2）。



写真-2 基礎試験装置

2) 実験条件

実験に供したクリソタイル含有建材は、住宅屋根用化粧スレートを使用した（製品名：フルベスト20）。クリソタイル含有量は約5%であった。

実験の因子として表-7に示すように、「雰囲気」、「保持温度」、「保持時間」、の3種類を選択した。それぞれに3水準設定した。以上により表-8に示す27ケースを設定した。

表-7 実験の因子と水準

因子	水準1	水準2	水準3
A 保持温度	A1 700°C	A2 800°C	A3 900°C
B 雰囲気	B1 空気一定量	B2 密閉雰囲気	B3 蒸気一定量
C 保持時間	C1 5分	C2 30分	C3 60分

3) 試料作製方法

住宅屋根用化粧スレート（厚さ5.5mm）を20cm角に切断し、18枚（厚み約10cm）重ねて拘束し、各実験ケースごとに投入した。投入位置は加熱炉の中央とした。

4) 分析方法

非石棉化の確認は、予備実験と同様に分散位相差顕微鏡でカウントされた繊維数を基に判断した。ただし、実験No.7の「空気雰囲気下」と「過熱蒸気雰囲気下」の2ケースはX線回折を実施した。

4.2 分析結果の評価

無害化実験前の分散染色法による繊維数は「16本」であった。表-8によると、保持温度 700°C でも処理時間を長くすると非石棉化可能だが、非石棉化を担保できる温度とはいえない。保持温度 800°C の場合は、「密閉」、「蒸気」雰囲気下では、非石棉化は可能と判断できる。

すべての実験ケースを通して、「密閉」条件と「蒸気」条件で大きな差がみられないのは、一つには建材から発生する水蒸気によって、「密閉」条件でも過熱蒸気雰囲気下になっていると考えられること、「蒸気」条件で、過熱蒸気を一定量送り込む場合、過熱蒸気の通り道ができていている可能性があるためと考えられる。

表-8 実験ケースと残存繊維数

実験 No.	保持温度 (°C)	保持時間 (分)	残存繊維数 (本)		
			雰囲気		
			空気	密閉	蒸気
1	700	5	8	1	1
2		30	3	0	5
3		60	2	3	0
4	800	5	4	1	0
5		30	2	1	2
6		60	0	0	0
7	900	5	1	0	0
8		30	1	0	0
9		60	1	1	0

処理雰囲気と処理温度の関係を図-6に示す。「空気」条件でなければ温度条件にかかわらず非石綿化ができることがわかる。図-7に処理温度と処理時間の関係を示す。処理温度が700°Cであっても保持時間30分以上であれば、非石綿化ができています。以上の結果から、過熱蒸気雰囲気化では、900°C、5分間という条件で非石綿化が可能で、800°Cでも処理時間を長くすれば非石綿化が可能であることを確認した。しかしながら、無害化処理工場を建設する際に、工場周辺住民に説明を行うためには、われわれが現在処理条件として採用している900°C処理が必要と思われる。

また、実験 No.7の「空気」と「蒸気」の実験ケースで実施したX線回折分析においても、クリソタイルのピークはみられなかった。

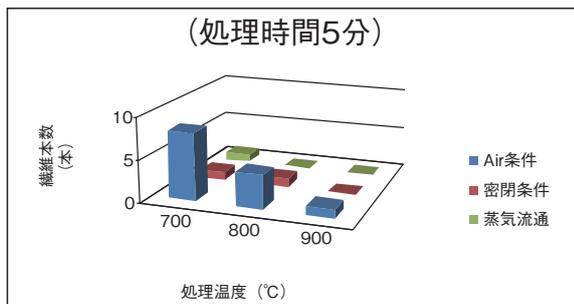


図-6 処理雰囲気と処理温度の関係

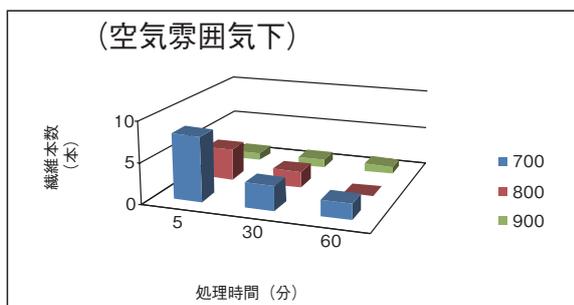


図-7 処理温度と処理時間の関係

5. 連続加熱炉によるパイロット実験

大量の非飛散性アスベスト含有建材を無害化する為の装置 (30t/日程度) を製作した (図-8, 写真-3 参照)。このパイロット機を用いて連続運転を実施し、連続運転を実施した場合の建材の非石綿化、システムの安定性などを確認した。

5.1 実験装置

図-8の下側の左が予熱炉、上が無害化炉、右が除熱炉、中央はジャッキ室である。各炉の大きさは、2,250mm × 1,250mm × 1,000mm である。

3.2kwの電気ヒータを無害化炉に32枚、余熱炉に8枚設置している。過熱蒸気は無害化炉の下部から900°Cに熱したのちに4kg/h投入する。システム全体は、ブロワ (吐出能力4m³/min) で微負圧状態を維持している。

建材は、左から台車で予熱炉に入り600°Cで1時間加熱され、中央に移動して無害化炉にジャッキアップされて、過熱蒸気雰囲気下で900°Cまで1時間で加熱される。次に除熱炉で1時間経過して外に出される。

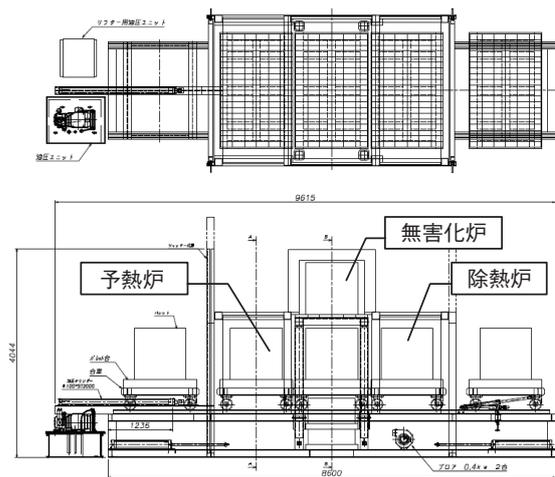


図-8 連続加熱炉図 (上: 平面、下: 断面)



写真-3 連続加熱炉全景

5.2 実験条件

条件を表-9に示すが、処理量は各Runで約210kgとした。表中の(混在)は住宅屋根用化粧スレートとスレート波板の混在であり、(割)は、解体時に割れた建材である。写真-4に示すように建材は無害化装置に投入され、外部から差し込んだ熱電対による建材内部の温度が900℃に達していることを無害化の条件とした。なお、建材に含有するアスベストはクリソタイルであり、最大23%であった。

表-9 実験条件と処理時間

Run.	建材	状態	重量 (kg)	処理時間 (分)
1	住宅屋根スレート	(割)	210	190
2	住宅屋根スレート	(割)	210	100
3	住宅屋根スレート	(割)	210	90
4	スレート波板	(割)	210	148
5	混在	(割)	210	124
6	住宅屋根スレート	(定尺)	210	86
7	住宅屋根スレート	(定尺)	210	135
8	住宅屋根スレート	(定尺)	210	-

5.3 実験結果と考察

写真-4～6に示すような状況で建材の投入を行った(同図はスレート波板)。無害化後、全体の厚さが約10cmある(約20枚)建材の上面、中面、下面から各3×3=9カ所、合計27カ所/Runの試料を採取し、分散位相差顕微鏡で観察した。その結果、すべての試料において、非石綿化が確認できた。また、X線回折はRun6の中間中央の試料に関して実施し、クリソタイルのピークは見いだされなかった。さらに、同じ個所の試料で透過型電子顕微鏡(TEM)による観察を行ったが、アスベストの濃度は0.00056%であった。今回の実験ではパイロット装置を転用したため熱効果が十分でなく、処理の時間が予定より1.5倍以上かかった(図-9参照)ことが今後の課題である。



写真-4 投入前の建材



写真-5 投入中の建材



写真-6 投入後の建材

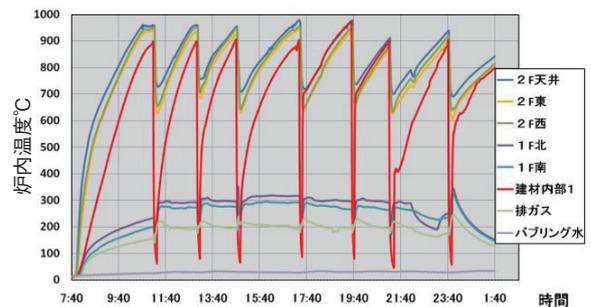


図-9 炉内温度トレンド

6. アスベスト無害化処理物の無害性評価

6.1 物理化学的特性試験

1) 実験方法

無害化処理したアスベスト含有建材の粒子の凝集性を確認するために、蒸留水に懸濁させたアスベスト無害化処理物の物理化学特性試験を実施した。

対象サンプルは、スレート波板(A)、住宅屋根用化粧スレート(B)、ケイカル板(C)、スラグ石膏板(D)それぞれの未処理物、処理物の8種類とした。気管内注入をする粒子の蒸留水中の分散化を確認するため、対象サンプル蒸留水懸濁液を走査型電子顕微鏡で観察した。対象サンプルの懸濁液をメンブランフィルター上に回収し、白金コーティングして走査型電子顕微鏡で観察した。倍率は1000倍から10000倍程度で観察した。

2) 結果

建材の処理物に関しては、10 μm以上の凝集体はほとんどなく、吸入に可能なレベルであると思われた。また、建材の未処理物に関しては、繊維状物質が認められたがおおのこの処理物においては、観察した範囲では繊維状物質の存在は認められなかった。

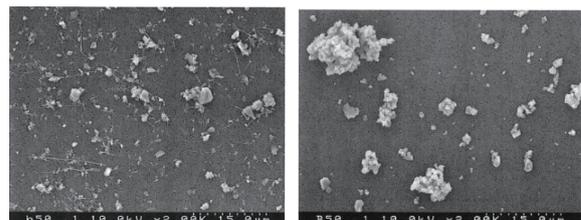


図-10 住宅屋根(B)未処理(左)と処理後(右)

6.2 試験管内試験

1) 実験方法

無害化試験を実施する含有建材の中から4種類（スレート波板（A）、住宅屋根用化粧スレート（B）、ケイカル板（C）、スラグ石膏板（D））の建材における、無害化する前のアスベスト含有建材と無害化後の建材について、培養した細胞を用いて細胞毒性解析を行った。使用した細胞は、細胞上皮細胞のセルラインである A549 細胞（Ⅱ型肺胞上皮細胞）を用いた。

a) 無害化処理対象建材の懸濁液作成（蛋白予備吸着法）

無害化処理物はセメントなども含まれており多孔性であるため、表面に蛋白などを吸着し、細胞毒性が反映されない可能性があるため、蛋白コーティングを行った。

b) 測定項目

- ① Interleukin-8（インターロイキン 8）濃度（IL-8）
- ② Heme oxygenase-1（酸化ストレス）濃度（HO-1）
- ③ LDH（乳酸脱水素酵素）放出能

2) 結果

IL-8 と HO-1 は、陽性対象と陰性対象で産生に差があり細胞毒性を評価するに適していると思われる。これらのマーカーにおいて、石綿無害化処理建材は、いずれも陰性対象と同じようなレベルであり、細胞毒性を示していなかった。よって、この中で動物試験の候補建材を決定する上において、積極的な必然性を認める候補サンプルは認められなかった。しかし、IL-8 が試験管内試験で有害性の有用なスクリーニングとして使用されており、この産生量が、4 建材の中で一番高い値を示したスラグ石膏板（D）を気管内注入試験の候補サンプルとして決定した。

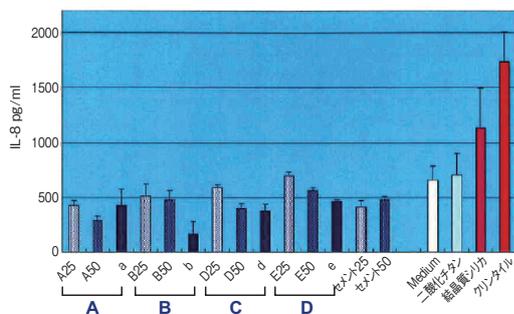


図-11 肺胞上皮細胞の暴露による IL-8 産生能

6.3 気管内注入試験

1) 実験方法

生理的食塩水に懸濁した石綿無害化処理建材 1mg、2mg、および無害化処理前建材 2mg を Wistar 系雄ラットに、単回注入した。注入後 3 日、1 週間、1 ヶ月、3 ヶ月後に解剖を行った。なお、各群 5 匹ずつとした。

開胸後、左肺を糸で結紮・切除、肺湿重量を測定の後、蛋白を抽出した。右肺に関しては、病理組織標本を作製するため、15cm 水中圧にて定圧固定を行った。肺以外の臓器に関しては、肝臓、腎臓、脾臓の湿重量を測定した。肺の病理所見と肺障害マーカーの発現検討を行った。

2) 結果

石綿無害化処理物質 D をラットに気管内注入し 3

日、1 週間、1 ヶ月、3 ヶ月後に肺の病理、肺障害マーカーの発現検討を行った。

①肺炎症における石綿無害化処理物質と処理前物質の比較では、試験の急性期において処理前物質は、石綿と同様な炎症を示した。一方、処理後物質は、陰性対象物質よりは炎症を亢進していたが、処理前物質より低下していた。試験の慢性期においては、両者とも徐々に低下していき、陰性対象と同等のレベルまで低下した。

②肺の繊維化に関しては、本試験期間において石綿処理前後物質間で有意な繊維化形成を認めなかった。

③肺障害のマーカーである HO-1 遺伝子発現に関しては、石綿処理前後物質とも持続的発現を認め、程度は不明だが、有害性を有することが示唆された。

今回の反応はあくまでも急性期の反応であり、今後は、1 年や 2 年後などの慢性期の影響も検討する予定である。

7. まとめ

本年度の実験結果から過熱蒸気を用いてアスベスト 6 種類について無害化（非石綿化）できる条件を確認した。また、処理条件を変えて実験を行い、アスベスト含有建材を無害化できる最適な処理条件を求めるとともに無害化の可否の境界状態の処理温度を確認した。さらに、パイロット機を用いて連続運転を実施した場合の建材の無害化、システムの安定性を確認した。

今後は再現性と連続性を確認する実験を継続し、無害化処理の精度を高めたいと考えている。

謝辞

本開発 PJ は、平成 19 年～平成 21 年度事業「NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）アスベスト含有建材等安全回収・処理技術等技術開発 / 低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・無害化装置の開発（平成 19 年度～平成 21 年度）」の委託事業の一環として実施されており、戸田建設(株)、西松建設(株)、大旺新洋(株)の 3 社で実施している。また、技術協力として産業医科大学、高知大学および千代田建工(株)との一連の研究体制で行われている。末尾ながらここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 三浦, 千葉, 半田, 澤田, 高浪: 低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・再資源化に関する研究開発その 3. アスベスト含有建材の無害化処理条件の最適化, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2009
- 2) 石渡, 稲葉, 百代, 高浪: 過熱蒸気を用いたアスベスト 6 種類の非石綿化実験, 土木学会大会論文 2009
- 3) 稲葉, 石渡, 百代, 高浪: 過熱蒸気を用いてアスベスト含有建材を非石綿化できる境界温度に関する実験, 土木学会大会論文 2009
- 4) 百代, 高浪, 稲葉, 石渡: 過熱蒸気を用いたアスベスト含有建材の最適処理条件に関する研究, 土木学会大会論文 2009
- 5) 森本, 東, 千葉, 石渡, 高浪: 石綿無害化処理物質における生体影響について, 日本衛生学雑誌 2009.5

