

5.2.2

低温過熱蒸気による アスベスト無害化・資源化 装置の開発

2007年度～2009年度

2010年12月9日

大旺新洋株式会社、戸田建設株式会社

公開

平成19～21年度 アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発

1) アスベスト建材等の飛散、暴露を最小化する回収・除去技術

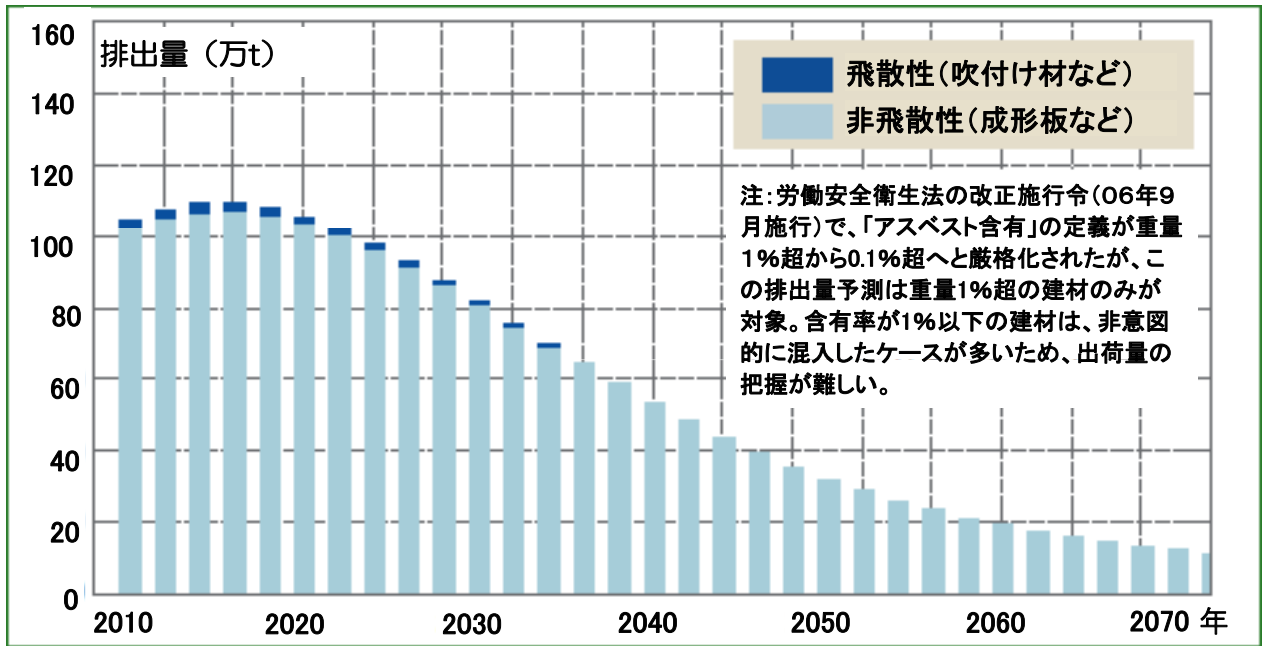
遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発	平成18～21年度	大成建設
高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発	平成18～20年度	竹中工務店

2) アスベスト含有廃棄物の無害化・再資源化技術

オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発	平成18～21年度	北陸電力
低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発	平成19～21年度	戸田建設・大旺新洋
マイクロ波加熱によるアスベスト建材無害化装置の開発	平成19～20年度	ケイミュー
アスベスト低温溶融無害化・再資源化処理システム開発	平成21年度	ストリートデザイン

社会的背景

非飛散性アスベスト含有建材の蓄積量4000万t、年間排出量は約100万t
 →埋立処分地は年々許容量の減少
 →無害化技術の開発が急務



注:労働安全衛生法の改正施行令(06年9月施行)で、「アスベスト含有」の定義が重量1%超から0.1%超へと厳格化されたが、この排出量予測は重量1%超の建材のみが対象。含有率が1%以下の建材は、非意図的に混入したケースが多いため、出荷量の把握が難しい。

アスベスト含有建材の排出量予測(日経エコロジー)

アスベスト含有建材の処分状況

→ 現状のルート → 本研究のルート

吹き付け材(レベル1)や保温材(レベル2)

スレート波板や住宅屋根用化粧スレート等のレベル3の建材

飛散性アスベスト含有建材

非飛散性アスベスト含有建材

ストック:約数10万t以上
(年間1.8万t以上排出)

ストック:約4,000万t以上
(年間100万t以上排出)

過熱蒸気 (950°C)

熔融処理

1500°C以上の処理が認められている。

無害化技術の確立

大量処理技術

再資源化技術

無害化認定制度

管理型処分場

安定型処分場

リサイクル

推定残存埋立量(700万t)

推定残存埋立量(400万t)

セメント原料化、建材への再利用 他

アスベスト含有建材の処理ルート

開発技術の概要

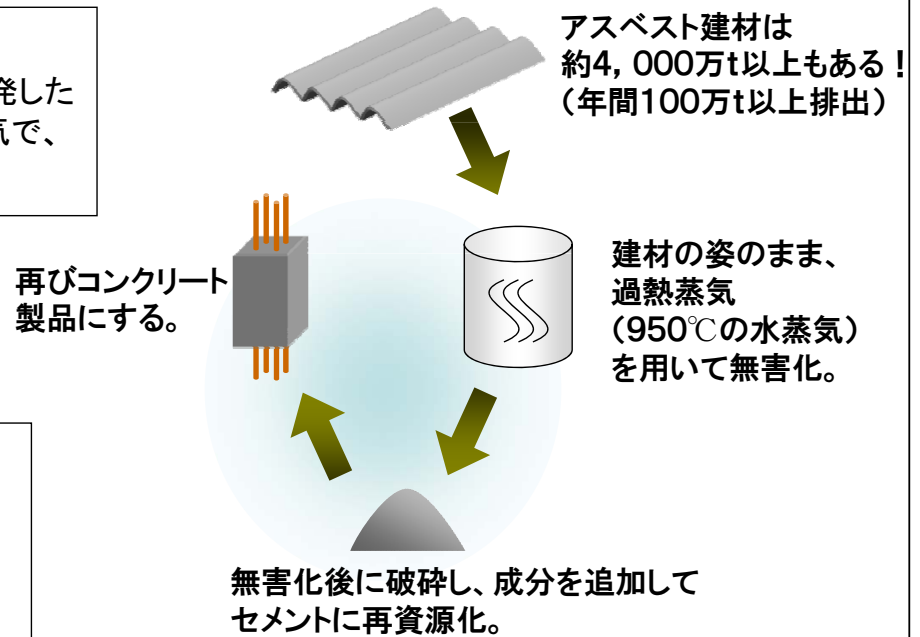
- ・非飛散性アスベスト含有建材を過熱蒸気を用いて950℃で加熱し、無害化処理
- ・処理した建材は破碎し、再びセメントの原料としてリサイクル

過熱蒸気とは

大気圧（常圧）下で、100℃で蒸発した飽和水蒸気をさらに加熱した蒸気で、無色透明な熱放射性H₂Oガス

本技術のメリット

- ・低温（950℃）で処理できる
- ・エネルギー消費量が少ない
- ・破碎をしないため安全性が高い



アスベスト無害化・再資源化のサイクル

研究開発テーマ

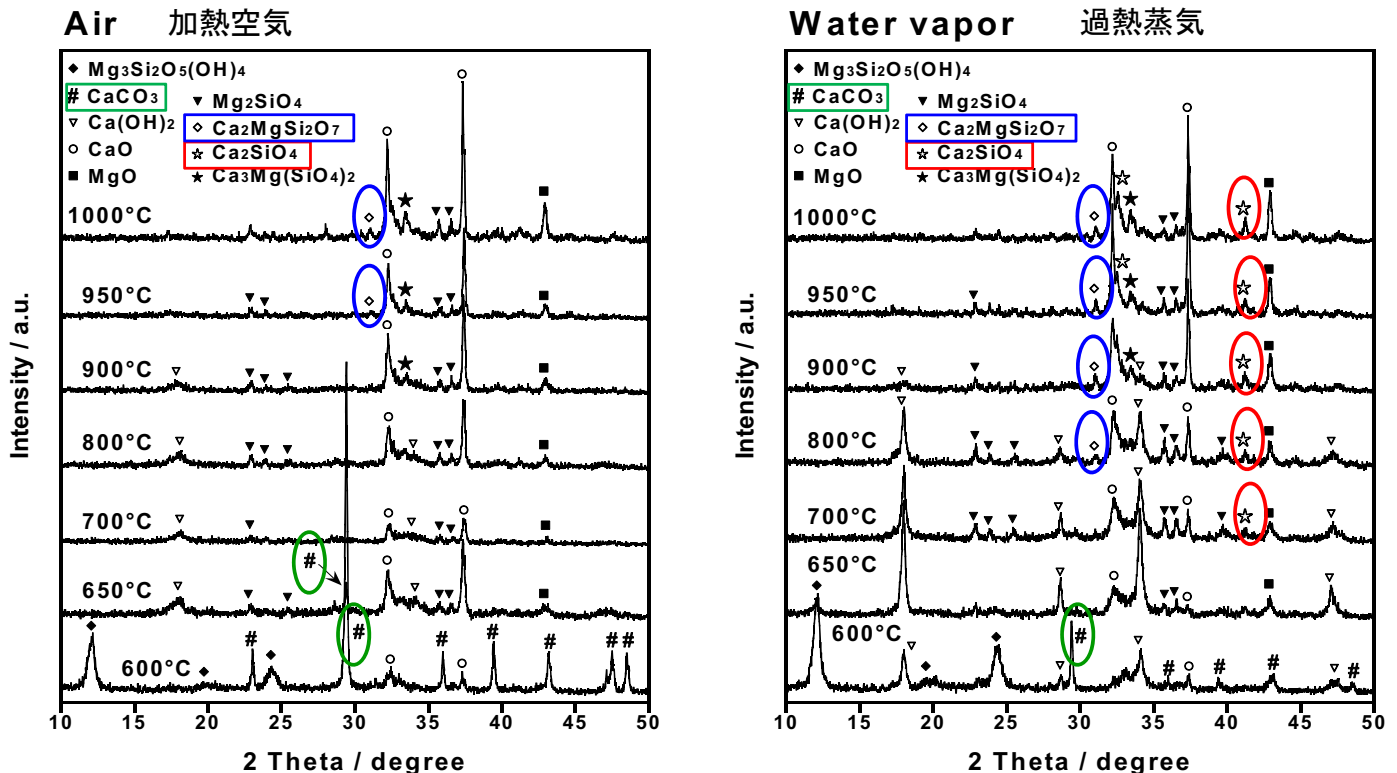
委託先	テーマ	内容	再委託先
大旺新洋(株)	テーマ①	低温過熱蒸気によるアスベストの無害化処理技術の開発	
	①-a)	パイロット規模装置による無害化処理条件の決定	高知大学
	①-b)	アスベスト無害化物のセメント材料としての有効性確認	
	①-c)	アスベスト無害化物のセメント原料への転換技術	
	①-d)	アスベスト無害化処理物の無害性評価	産業医科大
戸田建設(株)	テーマ②	アスベストの大量・無害化処理技術と資源化に関する研究	
	②-a)	連続運転による装置の最適化および実機の検討	
	②-b)	アスベスト無害化物による大量セメント生産プロセスの開発	西松建設(株)
	テーマ③	実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定	

研究開発の経過

	2006年度		2007年度		2008年度		2009年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
	企業研究		← NEDO委託期間		→		→	
無害化技術			無害性評価(産業医大)					
	基礎実験(高知大)		基礎実験(高知大)		科学的立証実験(高知大)			
	基礎試験 ・クリソタイル純品、吹付け材、住宅屋根	基礎試験 ・6種建材	基礎試験(1) ・無害化処理条件(JIS)	基礎試験(2) ・無害化処理条件(TEM)	・6種アスベスト			
		バッチ式実験	連続実験	改造	連続実験			
大量処理技術と資源化			無害化物の成分分析	破碎機の検討	セメント化実験			
ビジネスモデル			事業化検討WG		実機・無害化施設の検討		事業化検討WG	
国内の施策動向	▼ 石綿含有率(1%→0.1%) ▼ 無害化認定制度創設				▼ JISの改定 ▼ アスベスト6種の無害化		TEM分析方法 ▼	

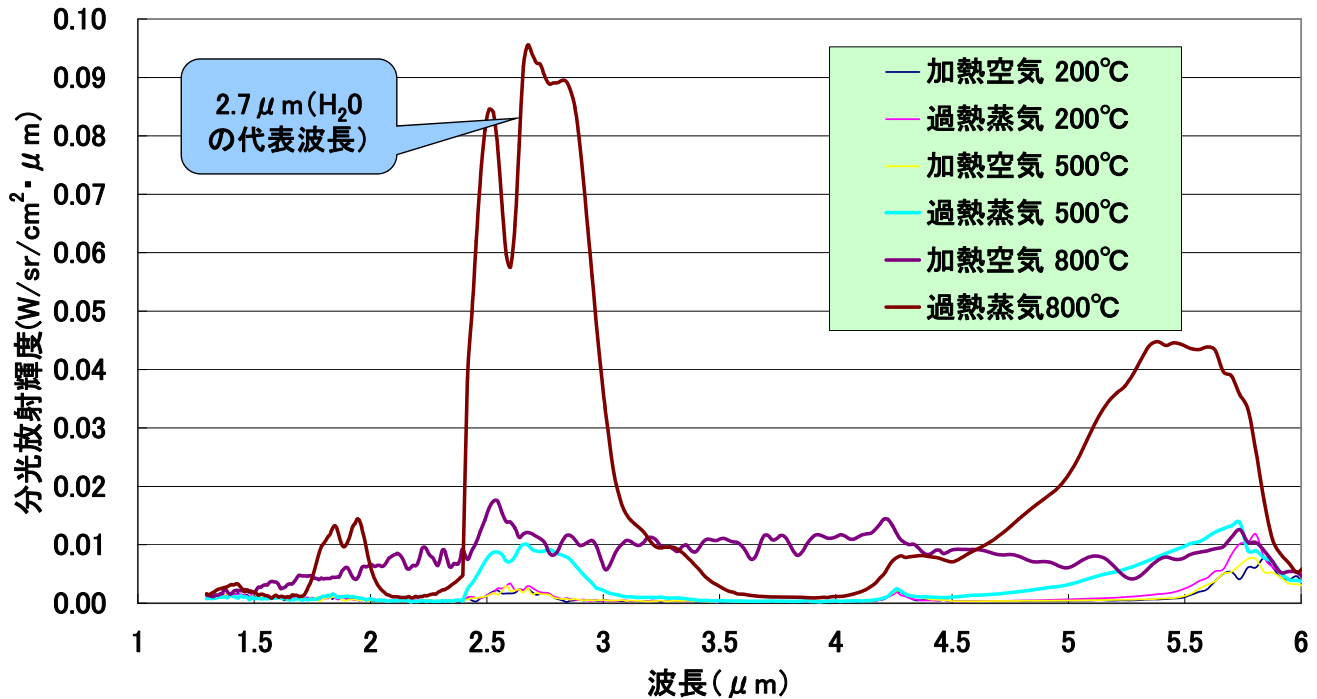
過熱蒸気の固相反応促進効果

水蒸気中ではCaO-MgO-SiO₂系化合物、CaO-SiO₂系化合物の生成が促進される。



過熱蒸気の電磁波効果

過熱蒸気の電磁波がアスベストのOH基を共振し、脱水が促進する。
過熱蒸気の共振効果がどの波長領域で放射輝度をもっているか確認した。



事業原簿 Ⅲ-2-2-2-17

蒸気と空気の温度別波長分布および分光放射輝度

8/26

無害化実験の概要

実験名	装置	試験体	分析
基礎実験	①	アスベスト含有建材(予備実験)	JIS A 1481
	①	住宅屋根化粧スレート(本実験)	JIS A 1481
	①	住宅屋根化粧スレート(TEM実験)	透過型電子顕微鏡
バッチ式実験	②	スレート波板、住宅屋根化粧スレート	JIS A 1481
連続式実験	③	スレート波板、住宅屋根化粧スレート	透過型電子顕微鏡



①基礎試験装置バッチ式



②パイロット装置バッチ式

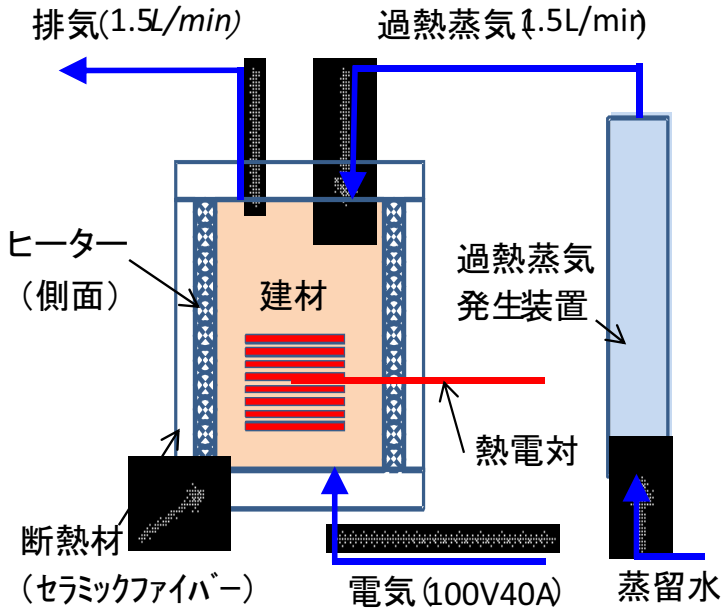


③パイロット装置連続式

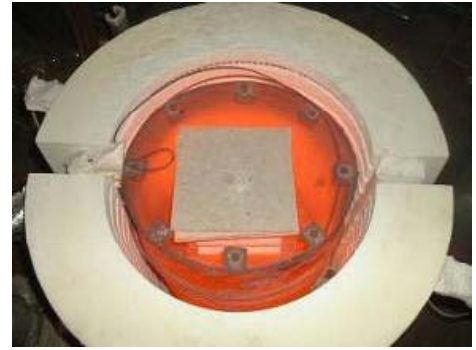
9/26

基礎試験装置の概要

基礎試験装置（能力500kg／日）にて、処理温度、保持時間を変化させ、無害化処理条件を検証した。



半円筒加熱炉 F400 × h500



加熱状況



処理前(左)と処理後の建材

基礎実験（予備実験）

最適な無害化処理条件の確認実験

予備実験の因子と水準

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

雰囲気（過熱蒸気の有意性）、保持時間及び保持温度の寄与率が高く、影響が強いことが判明

予備実験の実験結果

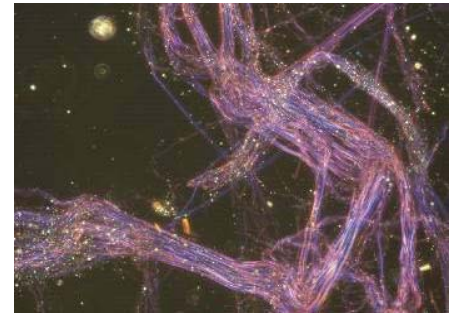
実験 No.	保持温度(℃)	保持時間(分)	厚さ(cm)	幅(cm)	雰囲気	アスベスト	アスベスト濃度	袋	試料位置	繊維本数(本)
1	950	5	5	10	空気	クリソ	1	袋無	上	0
2					密閉	クロシ	5	袋有	中	0
3					蒸気	トレモ	10	袋無	下	10
4	950	30	10	20	空気	クリソ	10	袋無	下	0
5					密閉	トレモ	1	袋無	上	1
6					蒸気	クリソ	5	袋有	中	1
7	950	60	5	10	空気	トレモ	5	袋有	中	2
8					密閉	クリソ	10	袋無	下	0
9					蒸気	クロシ	1	袋無	上	0
10	1000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

基礎実験（本実験）

予備実験の結果から因子を3項目に絞って本実験を実施
本実験の因子と水準

因子	水準1		水準2		水準3	
A 保持温度	A-1	700℃	A-2	800℃	A-3	900℃
B 雰囲気	B-1	空気一定量	B-2	密閉雰囲気	B-3	蒸気一定量
C 保持時間	C-1	5分	C-2	30分	C-3	60分

建材:住宅屋根用スレート 形状:20cm角、3枚重ね



処理前のアスベスト(400倍)



本実験の実験結果(分散染色法)

残繊維本数

実験No.	保持温度(℃)	保持時間(分)	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



処理後(400倍)

900℃(保持温度)、5分(保持時間)での無害化を確認

基礎実験（TEMによる無害化処理条件の確認）

処理温度900℃および950℃で保持時間を変化させ、無害化処理条件を確認

無害化処理物の繊維数濃度

処理条件	実験装置	基礎試験装置 (500kg/day)					単位
	建材	住宅屋根用化粧スレート					
	処理温度	900℃			950℃		
	保持時間	5分	15分	30分	5分	30分	
アスベスト繊維数濃度	計測繊維	4	<2(1.3)	<2(1.3)	<2(0)	<2(0)	Mf/g
	うちPCM相当繊維	<2(0)	<2(0)	<2(0)	<2(0)	<2(0)	
アスベストの可能性 がある繊維数濃度	計測繊維	45	82	30	<2(0.67)	<2(0.67)	
	うちPCM相当繊維	2.7	6.7	2.0	<2(0)	<2(0)	
総繊維数濃度	計測繊維	80	130	75	32	26	
	うちPCM相当繊維	3.3	7.3	2.7	1.3	1.3	
アスベスト重量濃度		150	220	17	(0.037)	(0.027)	μg/g
		0.015	0.022	0	0	0	%

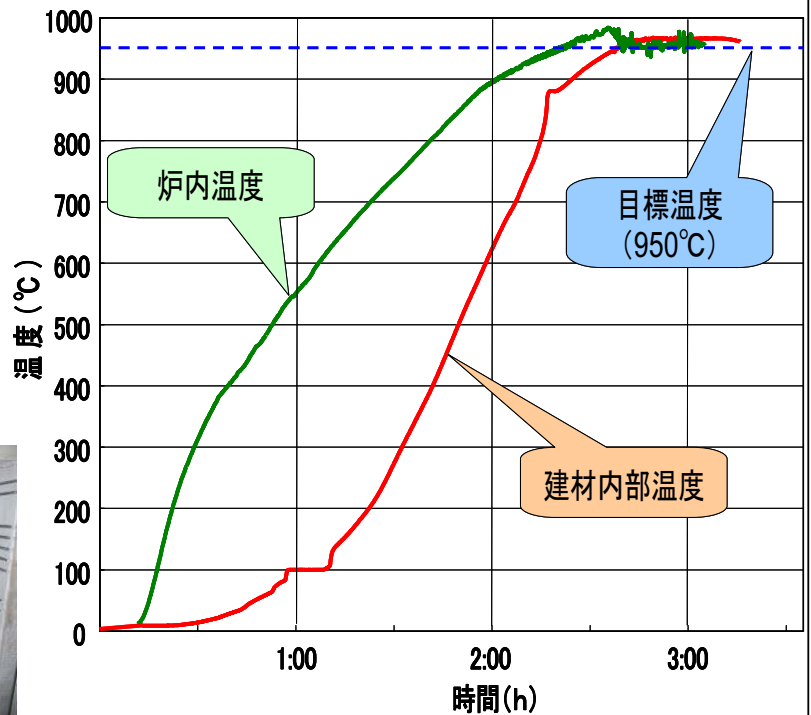
分析感度:0.67Mf/g
定量下限値:2Mf/g

計測繊維:長さ0.5μm、幅0.05μm以上、アスペクト比3以上
PCM相当繊維:長さ5μm以上、幅0.2μm以上、3μm以下

パイロット装置によるバッチ式実験

供試体と蒸気量

試験 No.	供試体	蒸気量 (kg/h)
1	住宅屋根スレート	2
2	住宅屋根スレート	2
3	住宅屋根スレート	2
4	住宅屋根スレート	0
5	住宅屋根スレート	7
6	波板他	7
7	住宅屋根スレート	7



処理温度トレンド(200kg/h処理)



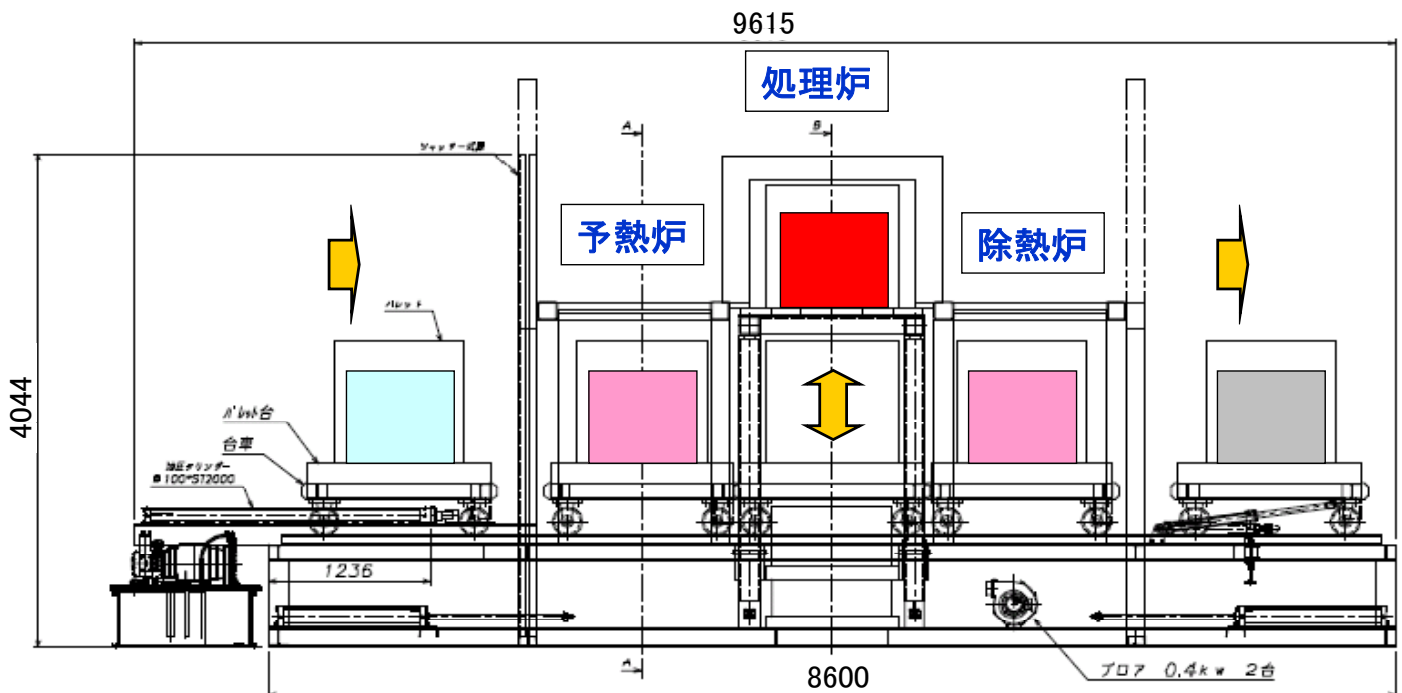
バッチ式炉の外部



バッチ式炉の内部

パイロット装置による連続実験概要

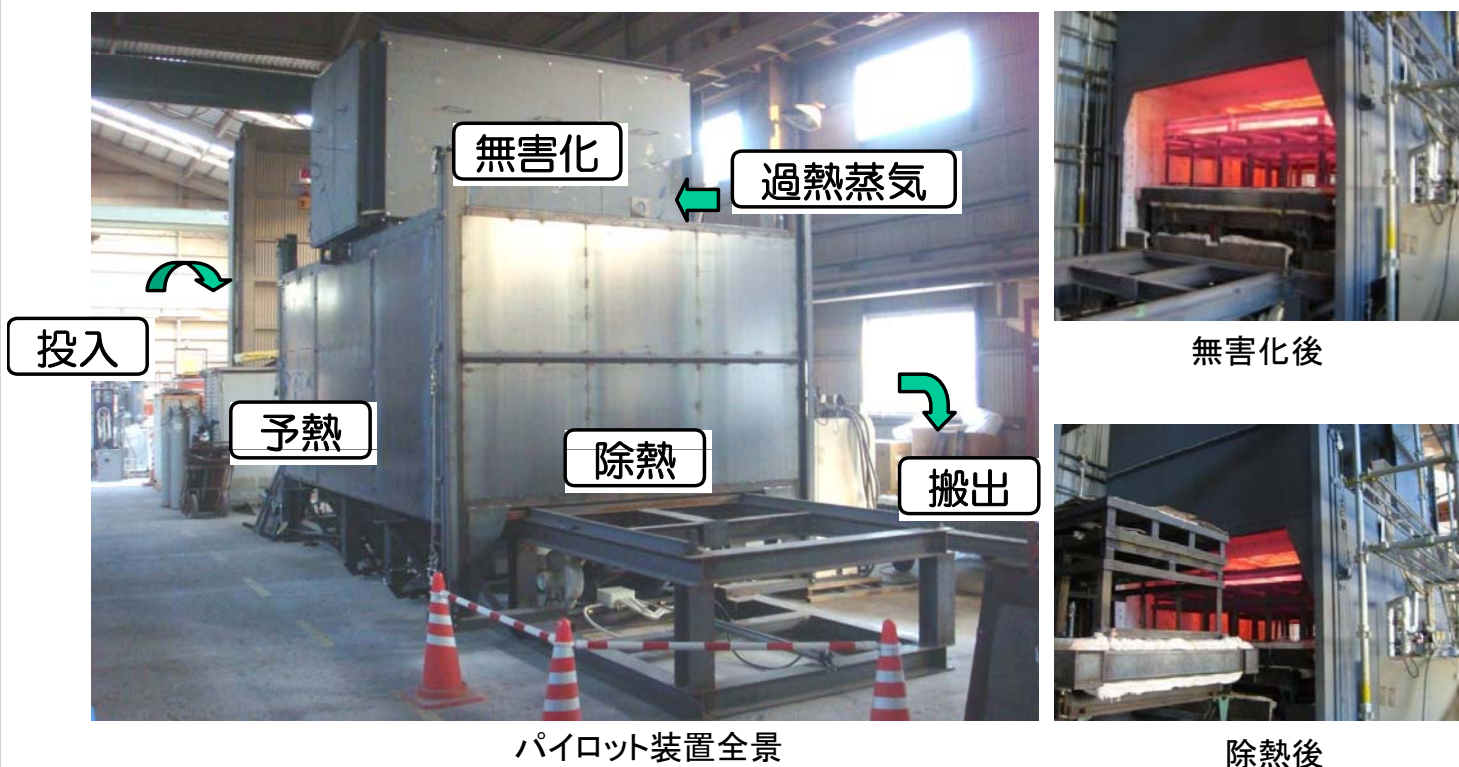
予熱炉に搬入後、リフトアップし処理炉で過熱蒸気による処理を行う。建材束の中心温度が950°Cに達してから5分保持した後リフトダウンし、炉内で除熱後搬出。



パイロット装置断面図

パイロット装置による連続実験状況

連続式パイロット装置(能力5t/日)による実験

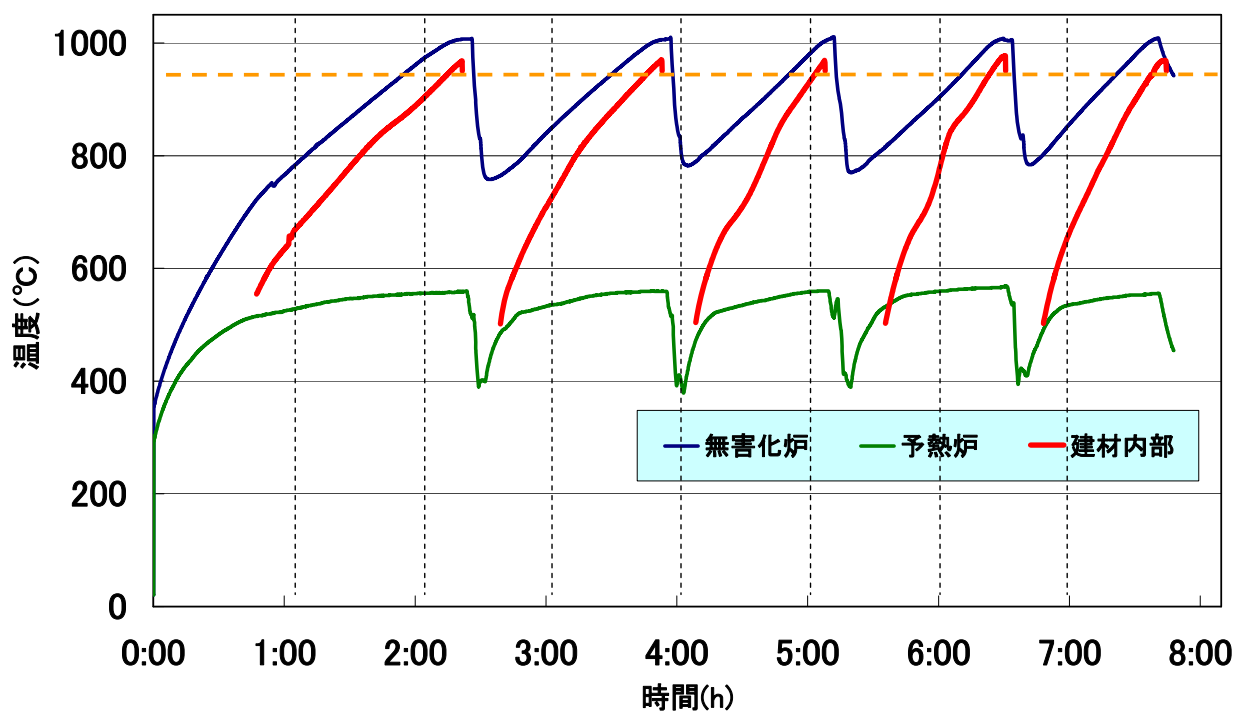


事業原簿 Ⅲ-2-2-2-23

16/26

パイロット装置による連続実験結果

8時間連続運転を実施し、1バッチあたり1時間で所定の温度以上に達することを確認
→5t/日



連続試験中の炉内温度と建材温度

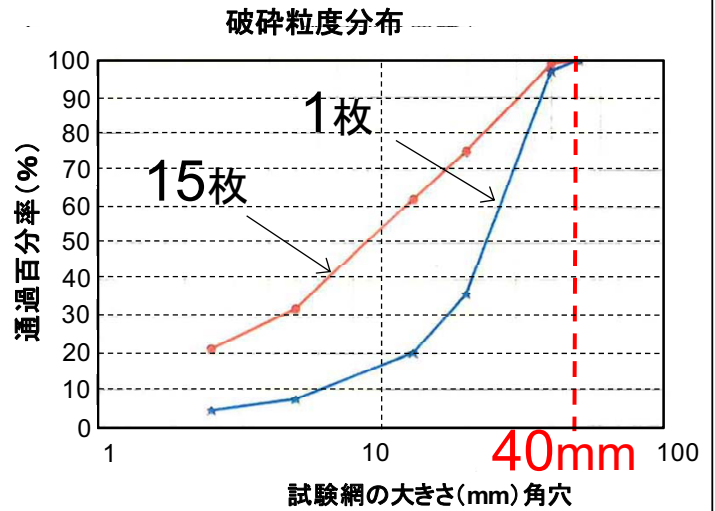
事業原簿 Ⅲ-2-2-2-24

17/26

無害化建材の破碎実験

処理済みの建材にて破碎実験を実施
セメントメーカー要望→40mmアンダー

- ①破碎枚数により、粒度分布は異なる。
15枚でも、40mmアンダーに破碎可能
- ②枚数が多い場合は粉塵が多く、対策要
- ③小さい力で簡単に破碎できることを確認



破碎機の全景



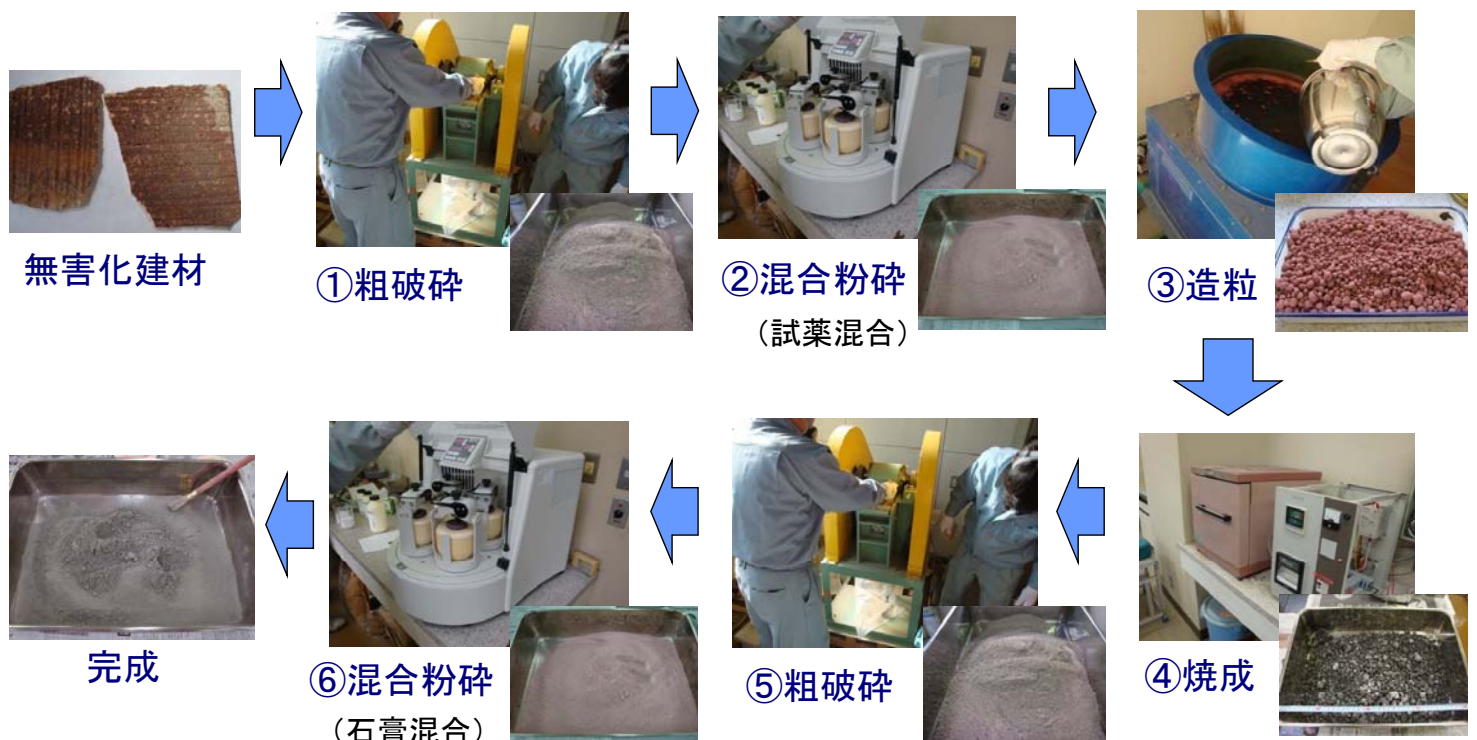
15枚まとめていれた状況



破碎後の状況

セメント化実験状況

無害化処理物(スレート波板、住宅屋根用化粧スレート)10%を原料としたセメントを製造



セメント実験結果

製造したセメントの成分分析および物理試験を実施し、JIS基準を満たすことを確認

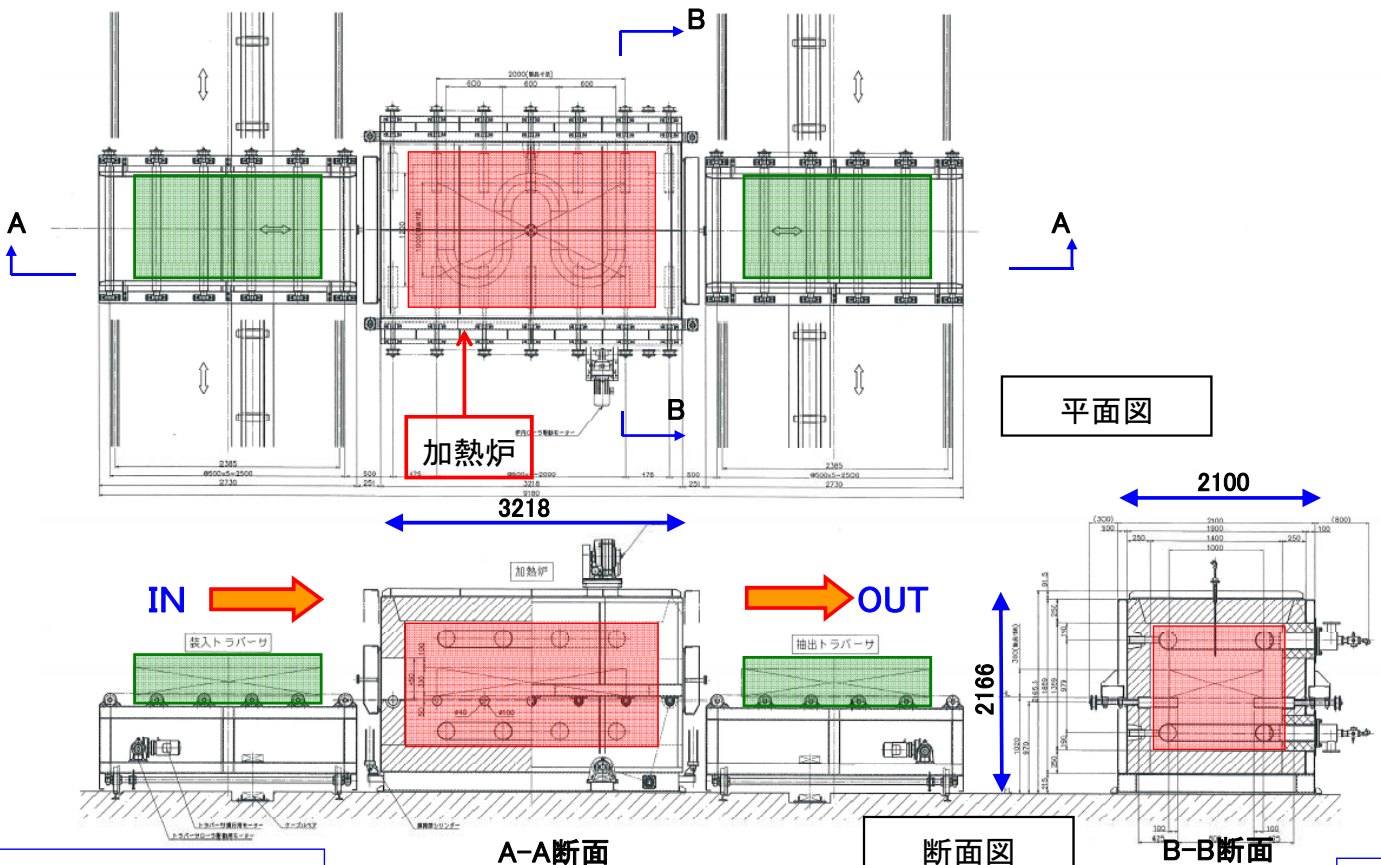
化学成分分析結果

セメントの種類	強熱減量 (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)
スレート波板含有セメント	0.92	21.9	5.56	2.88	65.2	2.05	1.82	0.021
住宅屋根用化粧スレート含有セメント	0.93	21.8	5.49	2.67	65.5	1.99	1.64	0.021
JIS基準	<3	20~23	3.8~5.8	2.5~3.6	63~65	<5	<3.5	<0.035

物理試験結果

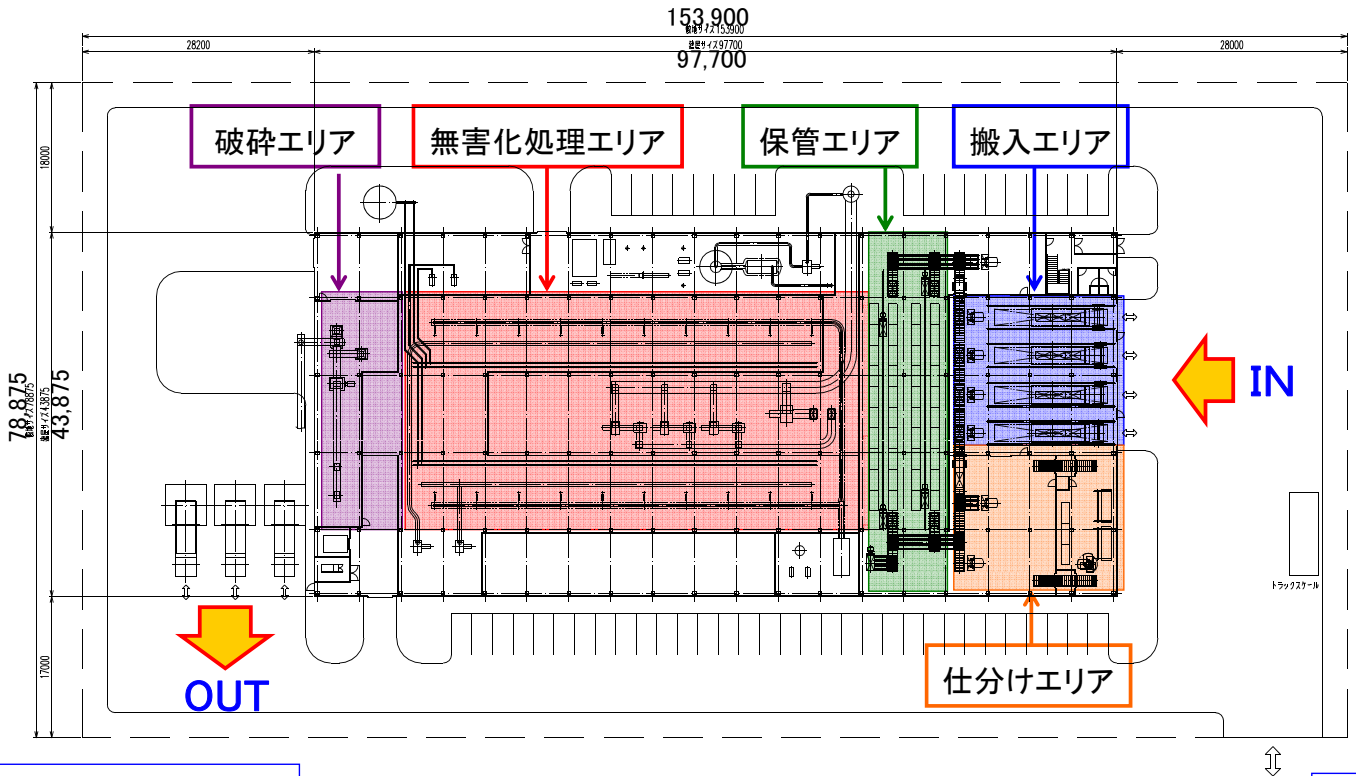
セメントの種類	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	安定性試験	凝結		圧縮強度 N/mm ²		
				始発 min	終結 h	3日	7日	28日
スレート波板含有セメント	3.19	4000	良	146	3.1	37.7	48.8	66.2
JIS基準	—	2500以上	良	60以上	10以下	12.5以上	22.5以上	42.5以上

実機の検討 (バッチ式)



無害化処理施設（配置図）

加熱炉（処理能力5t/日）を20台設置した場合 年間処理量：22,500t（常時運転台数18台、年間250日稼働）



導入シナリオ（案）

	2009年度		2010年度		2011年度		2012年度		
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期	
研究開発	パイロット試験、実機検討 科学的立証実験 TEM確認		▼ NEDO委託業務終了						
含有建材の回収 (IN)	回収業者ヒアリング選定			建設会社（排出元）への営業					
処理物の資源化 (OUT)	セメント会社ヒアリング選定			セメント会社との契約交渉				契約	
事業	事業スキーム・ビジネスモデル				事前技術審査		生活環境影響調査		事業開始予定 ▼
					場所の選定		施設建設		
国内の施策動向	認可基準の明確化		建設リサイクル法集計		分別回収の周知		回収量の増加		
	安定型埋立処分場の逼迫								
	地域グリーンニューディール基金(3年間)								

事業化に向けた課題

	ヒアリング調査	事業化の課題
含有建材の回収 (IN)	<ul style="list-style-type: none"> 一般の解体業者のアスベストの認識は低く、石綿含有建材が区別されずに、一般の産業廃棄物(ガラスくず、コンクリートくず、陶磁器くず)として処分されている可能性がある。 	排出量の実態が不明
	<ul style="list-style-type: none"> 現在、ゴミの収集量が減少しており、単価が高かったアスベストの埋立費用は低下傾向にある。 公共関与の処分場では、低い処分料金でアスベスト建材を受け入れている。 	埋立処分費用の値下がり化への対応
処理物の資源化 (OUT)	<ul style="list-style-type: none"> セメント原料としての受け入れには安全性の担保が必要。 他の建材等に再利用する場合も無害化は大前提。 	受入には無害化の認定が必要
	<ul style="list-style-type: none"> セメントメーカーに、処理物を引き渡す際には、費用が発生する。 	セメント以外の建材への利用検討

事業原簿 Ⅲ-2-2-2-48

24/26

開発目標と達成状況

	目標	成果	達成度
過熱蒸気によるアスベスト無害化技術の開発	無害化処理温度と最適処理時間の決定	無害化処理温度950℃、最適処理時間5分を決定	◎
	過熱蒸気によるアスベストの無害化原理の科学的立証	過熱蒸気を持つ電磁波効果および触媒効果によることを立証	○
	無害化物のセメント原料としての品質・性能要件の確認	無害化処理物10%混入セメントがJIS基準に適合することを確認	◎
	動物実験による処理物の無害性の確認(安全、安心を立証)	急性期において、肺器官の炎症が低下することを確認	○
大量無害化処理と資源化技術に関する研究	パイロット装置での連続試験による実証(8時間、3回以上)	確実に無害化処理できることを実証し、5t/日の処理能力を確認	◎
	実機(処理量:30t/日)の設計(建材の投入、無害化、破碎を含む)	連続方式およびバッチ方式の2種類の実機を設計	◎
	大量無害化処理およびセメント生産プロセスの構築	無害化工場の設計に資するプロセスフローダイアグラムを作成	◎
実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定	無害化装置の適用先業種や市場規模等の調査を行い、アスベスト削減効果、波及効果および事業性を検討	環境省の事前技術評価、収集ルートと資源化用途開拓、事業化FSを踏まえた導入シナリオ(案)を策定	○

事業原簿 Ⅲ-2-2-2-45

評価基準: ◎達成、○概ね達成、△課題あるも1年内に達成見込み、×問題あり

25/26

知的財産権、成果の普及

	成果	件数
特許	・アスベスト含有廃棄物の再生処理方法(2007.9.21) 他	4件
査読付き論文	・日本建築学会学術講演会 2008、2009、2010年度 (計5編) ・土木学会年次学術講演会 2008、2009、2010年度 (計3編) ・廃棄物資源循環学会研究発表会 2008、2009、2010年度 (計6編)	14件
プレス発表	・日経四国版、日経産業、高知新聞(2007.11.21) ・日刊工業、建設産業、建設工業、建設通信、セメント新聞(2007.12.11) ・環境新聞(2009.1.14) ・日経産業新聞(2009.2.24) ・建設産業、建設工業、建設通信(2010.3.3) ・日経四国版、高知新聞(2010.3.13) ・日経産業新聞(2010.3.15) ・日刊工業新聞(2010.10.7)	17件
雑誌他	・資源環境対策vol.44 No.14(2008) ・環境浄化技術vol.9 No.6(2010) ・建築設備と配管工事特集「設備におけるアスベスト対策」(2010.11)	3件
受賞	・エンジニアリング振興協会エンジニアリング奨励特別賞(2010.8)	1件
展示会	・アスベスト対策環境展 2008、2009、2010年度	3件