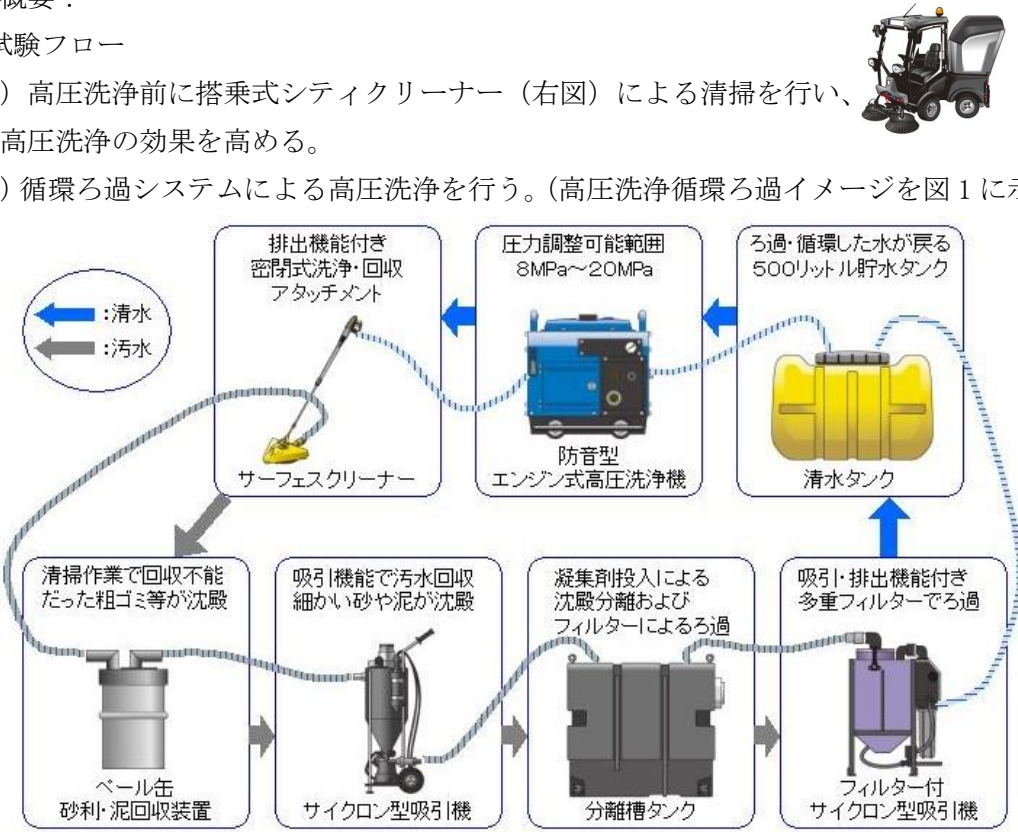




## 個別試験結果と評価詳細

## 付録 2-1

実施代表者の所属機関：福島小松フォークリフト株式会社	
実証テーマ名：アスファルト・コンクリート面除染における省力化 (高圧洗浄・循環ろ過システム)	
事業の概要：アスファルト・コンクリート面等の高圧洗浄を行い、排出された汚水をその場で回収、ろ過・循環し、洗浄用に再利用する。実際の作業上での洗浄効果、省力効果等を実証する。	
実施内容：高圧洗浄循環ろ過システムを使用し、水圧（10～20MPa で 3 段階）、水量、吸引力等条件を変更しながら、様々な路面での除染効果を検証し、循環システムの放射性物質除染効果の最適化・効率化を図る。また、搭乗式シティクリーナーによる吸引清掃を事前に実施することにより、高圧除染効果の更なる向上および省力化を図る。	
<p>技術概要：</p> <p>1. 試験フロー</p> <p>(1) 高圧洗浄前に搭乗式シティクリーナー（右図）による清掃を行い、高圧洗浄の効果を高める。</p> <p>(2) 循環ろ過システムによる高圧洗浄を行う。（高圧洗浄循環ろ過イメージを図 1 に示す）</p>  <p>&lt;図 1 高圧洗浄循環ろ過イメージ図&gt;</p>	
2. 試験項目	3. 期待される効果
(1) 路面状況に適した洗浄条件の最適化	(1) 洗浄および事後処理の水量削減による除染コストの最適化
(2) 除染効率確認	(2) 事前清掃作業による線量低減および除染コストの削減
(3) ろ過循環水の放射性物質除去効果の確認	(3) 路面状況に応じた洗浄条件の選定
(4) 事前清掃実施効果の実証	

<p>その他：</p> <p>1. 吸引能力向上のためエンジン式強力吸引装置導入。 </p> <p>2. 水温の違いによる洗浄効果確認のため温水ユニット導入。 </p>	
<p>除染効果：</p> <p>■吸引高圧洗浄前の清掃作業の効果</p> <p>路面ゴミの除去については、問題なくスムーズに実施でき、その後の高圧洗浄作業に支障は出なかった。またこれらのゴミの除去によって、砂等の堆積物が多い場所では、表面汚染密度が最大 76.8%低減した（清掃前 11,943cpm→清掃後 2,770cpm）。</p> <p>■吸引高圧水洗浄の効果</p> <p>水圧・水量・吸引力・洗浄時間・洗浄回数等、様々な条件の組合せで試験を行った結果、最適条件として水圧最大、水量最小で除去物を確実に吸引できる風量（水圧 20MPa、水量 7.8ℓ/分、吸引力 11m<sup>2</sup>/分）の除染効果が最も良い（最大 90%低減）ことがわかった。最適化により装置に余力が発生したため、ヘッド部を 2 台とし、施工面積を約 2 倍にできた。</p> <p>■循環ろ過システムの最適運転時間と水回収率</p> <p>施工時間約 600m<sup>2</sup>/210 分（事前清掃作業、除去物処理作業含む）に対し、40 分、60 分、80 分経過後に循環戻り水の濃度変化を確認。90 分毎の処理が最適であることがわかった。また、洗浄水の回収率は 90.7%であった。</p> <p>■回収水等の測定</p> <p>除染作業で発生する回収水を部位ごとに抽出し、循環水の放射性物質濃度を測定した結果 6.7Bq/kg であり、飲料水基準以下で再利用に影響の無いレベルであることが確認された。</p>	
<p>除去物発生量評価：アスファルト路面 600 m<sup>2</sup>実証の実績（乾燥重量）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高圧洗浄前清掃（路面上ゴミ・砂回収作業）：92kg/600 m<sup>2</sup></li> <li>・高圧洗浄作業：80kg/600 m<sup>2</sup>（内凝集剤添加量：1.8kg） 合計：172kg/600 m<sup>2</sup></li> </ul>	
<p>作業員被ばく量評価：郡山市、本宮市、大玉村にて 18 日間試験実施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・作業場所平均空間線量率（地上 1m）0.66 μSv/hr、作業時間 117 時間</li> <li>・作業員最大被ばく量 88 μSv（洗浄作業・廃棄作業担当、作業時間 126 時間）</li> <li>・作業員平均被ばく量 64 μSv</li> </ul>	
<p>コスト評価：</p> <p>4,900 千円/月（25 日稼動）</p> <p>※機器のみで算出</p>	<p>歩掛り（作業人工、作業速度）：実証の実績（習熟者による）</p> <p>作業人工：4 人工/日（平坦路面で、交通誘導が無い場合）</p> <p>作業速度：57 秒/m<sup>2</sup>（アスファルトでの実績。事前清掃作業込み）※ヘッド部 2 台使用で 30 秒/m<sup>2</sup></p>
<p>コスト評価条件：標準的な循環ろ過セットと手押しスqueeパーを機器のみで算出</p> <p>機器リース料金：650 千円/月、消耗品費：170 千円/日×25 日</p> <p>※歩掛りは習熟者による実証実験の実績によるので、ここではコスト評価に含めない。</p>	
<p>除染作業における安全上の注意：マスク、ゴーグル、長靴、ヘルメットまたは帽子、軍手およびゴム手袋着用</p>	
<p>試験場所（住所）：</p> <p>郡山市、本宮市（福島県）</p>	<p>除去物保管場所と保管状況（写真）：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・郡山カルチャーパーク（埋設）と福島小松フォークリフト本社（地上）にて保管。保管状況は添付資料参照。</li> </ul> <p>尚、市町村仮置き場が設置された段階で移動する。</p>

## ■吸引高圧洗浄前の清掃作業の効果 実証項目(1)

### ◇実験目的

- ① 吸引高圧洗浄を行う際には、路面にある砂・ゴミを除去することで、作業スピードが上がるほか、吸引機器のゴミによる目詰まりを防ぐことが必要となる。この作業をスティクリーナーで行なった際の効果を図る。
- ② スティクリーナーで清掃作業を行うことで、路面の表面汚染の低減を図る。

### ◇実験方法

- ・10m×20mのエリアを設定し路面を清掃する。
- ・測定ポイントをエリア内に3箇所設定する。  
測定ポイント(A:通常路面 B:砂等の堆積物あり C:路面クラック上)

### ◇結果

- ① 実験目的①については、下写真の通りこの後で行われる吸引高圧洗浄を行う上で問題の無いレベルまでゴミが除去された。



赤丸内は清掃前で砂等の堆積物があったが、清掃後は確認できなかった。

- ② 路面の表面汚染の低減効果については下表の通り。

(汚染度単位 cpm バックグラウンド差引値)

測定ポイント	実施前	1回実施後		2回実施後		3回実施後	
	汚染度	汚染度	低減率	汚染度	低減率	汚染度	低減率
A(通常路面)	1337	1388	-3.8%	1065	20.3%	1100	17.7%
B(砂などの堆積物あり)	11943	2770	76.8%	2217	81.4%	2233	81.3%
C(路面クラック上)	1913	1897	0.8%	1600	16.4%	1757	8.2%

測定ポイントBのように堆積物のある場所では低減効果が大きく見られたが、それ以外の場所では大きな効果は見られなかった。

### ◇考察

実験目的①については、箒などを使った人力で行うよりも効果があり、かつ密閉型キャビンに搭乗しての作業であるため、被ばくの影響は低いと思われ、有効な清掃方法と考えられるが、実験目的②の表面汚染の低減効果については場所によってその効果の度合いが変化するため、堆積物などがある場所での使用が効果的であると思われる。



◇実験目的

- ① アスファルトでの吸引高圧洗浄を行う際の最適な水圧、水量、吸引力、水温、洗浄時間、洗浄回数を開発する。
- ② アスファルト以外の路面での洗浄効果を確認する。
- ③ 狭い場所などでの作業に様々なアタッチメントを用いた場合の効果を測定する。

◇実験方法

- ・水圧、水量、吸引力、水温、洗浄時間、洗浄回数のパラメーターをそれぞれ変化させその組合せの中での低減効果を測定する。
- ・アスファルト以外の透水性舗装、インターロッキング等での洗浄を行い、低減効果を測定する。
- ・壁際、車止めなどの狭い場所について、特殊アタッチメントでの洗浄を行い、その効果を測定する。

◇結果

測定結果は下表の通り。

【水圧と水量の変化による最適な作業方法】

水圧は20Mpa、水量は7.8ℓ/minが最も低減効果が高く、82.1%の低減効果があった。つまり水圧は高く、使用水量は少ないことが最適であることが分かった。

◇基本設定

吸引力	1.5㎡
水温	常温
洗浄回数	1回
洗浄時間	18秒 (1㎡)

◇水量パラメーター

水量表 (ℓ/min)		水圧		
		20Mpa	15Mpa	10Mpa
ノズル	050	11.1	9.7	7.9
	045	10.1	8.7	7.1
	040	9.0	7.8	6.4
	035	7.8	6.8	5.5

◇実証結果

コリメーターあり 路面:アスファルト

バックグラウンド(BG) 170cpm

終了時表面汚染度 BG差引値(cpm)		水圧		
		20Mpa	15Mpa	10Mpa
ノズル	050	560	797	1,263
	045	857	893	1,253
	040	683	357	1,100
	035	280	517	460

線量低減率 (%)		水圧		
		20Mpa	15Mpa	10Mpa
ノズル	050	55.8%	59.3%	18.9%
	045	58.1%	33.2%	41.0%
	040	39.0%	74.3%	7.3%
	035	82.1%	70.8%	66.7%

### 【吸引力の変化による最適な作業方法】

吸引力については、最大の11m<sup>3</sup>/minでの作業が最も効果があった。  
また、アスファルト以外の路面（インターロッキング等）で行う際にはアスファルト以上に吸引力が必要となるため、吸引力は強いほうが良いと思われる。

#### ◇基本設定

水圧	20Mpa
水量	7.8ℓ/分
水温	常温
洗浄回数	1回
洗浄時間	18秒 (1m <sup>2</sup> )

#### ◇実証結果

(単位: cpm)

	吸引力		
	1.5 m <sup>3</sup> /min	5.5 m <sup>3</sup> /min	11 m <sup>3</sup> /min
除染前	1567	2457	1930
除染後	280	247	193
低減率	82.1%	89.9%	90.0%

### 【水温の変化による最適な作業方法】

常温、40度、80度での実験を行なったが、温度による大きな変化は見られなかった。  
外気温が30度以上の条件下であったことも要因の1つと考えられ、冬季の実証も必要と思われる。

### 【洗浄時間と回数による最適な作業方法】

洗浄時間については、120秒よりも180秒の方が低減効果が確認できた。  
同様に洗浄回数についても回数を重ねるごとに低減効果が高かった。  
時間と回数で比較してみると、時間をかけるよりも回数を増やすことでその効果は高くなると思われる。

※他の場所での実験で作業時間180秒と240秒での比較を行なったが、  
240秒優位のデータは確認できなかった。同様に回数も4回以上での  
効果は3回までから大きく変化がなかった 注:アスファルトの場合のみ

#### ◇基本設定

水圧	20Mpa
水量	7.8ℓ/分
吸引力	1.5m <sup>3</sup> /分
水温	常温

#### ◇実証結果

(単位: cpm)

洗浄時間	除染前	除染回数		
		1回	2回	3回
120秒/10m <sup>2</sup>	1067	617	387	230
180秒/10m <sup>2</sup>	1080	583	317	210

#### 低減率

洗浄時間	除染回数		
	1回	2回	3回
120秒/10m <sup>2</sup>	42.2%	63.7%	78.4%
180秒/10m <sup>2</sup>	46.0%	70.6%	80.6%

# 【アスファルト以外の路面での洗浄効果】

アスファルトと比べ1回洗浄における低減効果が低く、2回以上で効果が現れた。



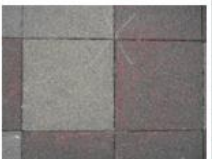



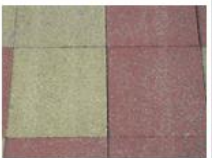

(単位:cpm)

	透水性舗装	小舗石舗装	インターロッキング	透水性ゴムチップ
洗浄前	450	367	740	
1回洗浄後	330	230	640	
低減率	26.7%	37.3%	13.5%	

## 低減率

	透水性舗装	小舗石舗装	インターロッキング	透水性ゴムチップ
洗浄前	665	1000	760	510
2回洗浄後	300	163	430	173
低減率	54.9%	83.7%	43.4%	66.1%

※ 透水性ゴムチップのみ3回洗浄

	透水性舗装	小舗石舗装	インターロッキング	透水性ゴムチップ
洗浄前				
洗浄後				

# 【アタッチメントを用いた場合の洗浄効果】

吸引高圧除染システム内の洗浄機器では洗浄できないような場所においては、小型のアタッチメントの使用が有効であった。

## ◇基本設定

水圧		10Mpa
水量	コブラ	11.0ℓ/分
	ミニターボ	7.5ℓ/分
吸引力		1.5m <sup>3</sup> /分
水温		常温

## ◇実証結果

### ●建物の際 (単位:cpm)

	コブラ	ミニターボ
洗浄前	895	720
洗浄後	380	270
低減率	57.5%	62.5%

### ●車止め (単位:cpm)

	コブラ	ミニターボ
洗浄前	1030	840
洗浄後	290	310
低減率	71.8%	63.1%

	建物の際	車止め
コブラ		
ミニターボ		
汚水回収アタッチメント【ウォーターチューブ】		
		

### 洗浄作業風景

#### ◇考察

- ・アスファルトでの吸引高圧洗浄を行う際の水圧、水量、吸引力、水温、洗浄時間、洗浄回数については、下記の方法が最適だと思われる。

水圧	水量	吸引力	水温	洗浄時間	洗浄回数
20Mpa	7.8ℓ/min	11m <sup>3</sup>	常温	18秒/m <sup>2</sup>	1～3回

※洗浄回数は1回でも効果はあるが、回数を重ねるほど効果は高い

- ・上記設定でのアスファルト洗浄作業での低減率は1回洗浄で平均で55.4%となり、効果が認められた。(実験6回の平均値 除染前平均987.8cpm 除染後平均353.0cpm)
- ・アスファルト以外の路面でも効果は確認できたが、アスファルトよりもその効果は低くなるため、2回～3回程度の洗浄を行う必要がある。
- ・狭い場所や建物の際、壁面などの洗浄においては、吸引高圧洗浄機器の基本パッケージ品では対応が難しく、小型アタッチメントの利用が有効である。

◇実験目的

- ①初期清水投入における連続稼働時間及び洗浄水回収率を測定する。
- ②またその際、当システムの作業効率も合わせて計測し、実作業でのシミュレーションモデルをつくる。

◇実験方法

- ・洗浄スペースの清掃(砂・ゴミの除去)を行う。
- ・吸引高圧洗浄作業を行いながら循環ろ過システムを稼働させる。
- ・作業中に除去物がペール缶などに溜まってきたら、それを取り除く。
- ・以上の作業を時間計測しながら進める。

◇結果

- ・下記スケジュールで作業を行った。

9:30～10:00	清掃
10:00～11:00	線量測定
11:00～12:40	吸引高圧洗浄
12:40～12:50	ペール缶内の除去物の排出 分離槽タンク内の除去物の排出
12:50～13:50	吸引高圧洗浄
14:00	終了

◇基本設定

水圧	20Mpa
水量	7.8ℓ/分
吸引力	1.5m <sup>3</sup> /分
水温	常温
洗浄時間	18秒/1m <sup>3</sup>

◇実証結果

●作業時間と洗浄面積

清掃時間	洗浄時間	洗浄面積	最低作業員数
25分	160分	600m <sup>2</sup>	4名

※警備、誘導、監督者等の人員は含まず

●初期清水投入量及び終了時残水量

開始時清水投入量

清水タンク	ペール缶	サイクロン型 吸引機	分離槽タンク	フィルター付 サイクロン型 吸引機	合計
500ℓ	10ℓ	20ℓ	200ℓ	30ℓ	760ℓ

終了時残水量 (砂・汚泥除く)

清水タンク	ペール缶	サイクロン型 吸引機	分離槽タンク	フィルター付 サイクロン型 吸引機	合計	回収できな かった水量 (流れ出した水量)
280ℓ	8ℓ	29ℓ	275ℓ	52ℓ	644ℓ	116ℓ

●汚水回収率

計算式

$$\frac{(\text{洗浄時吐出水量} - \text{未回収水量})}{\text{洗浄時吐出水量}} \\ \frac{(7.8\ell \times 160\text{分} - 116\ell)}{(7.8\ell \times 160\text{分})} = 0.907 \quad (90.7\%)$$

●循環戻り水の放射性物質濃度(Bq/kg)測定

	セシウム134	セシウム137	合計
作業開始後40分	1.70	2.43	4.13
作業開始後60分	2.19	3.06	5.25
作業開始後80分	2.86	3.82	6.68

◇考察

前述結果から、160分間稼働しても洗浄に使う水量は循環ろ過の働きによって十分に残っているが、戻り水の放射性物質濃度は稼働開始から80分～90分で約7Bq/kgまで上昇してしまい、この時間帯で一度機器内の除去物をしっかり回収することが必要と思われる。 ※洗浄に使用する戻り水の放射性物質濃度を10Bq/kgを上限とする場合。この除去物回収の作業を適切に行えば、初期投入の清水で8時間の稼働が可能となる。以上のことから、洗浄用の水源の確保、もしくは使用水の準備などに人員・給水用トラックなどを用意することなく、除去物の処理（ペール缶、分離槽タンク内フロッグ、分離槽タンクフィルター）さえ行えば、1日の作業が行えることが分かった。

■汚水等の測定

実証項目(4)(6)

◇結果

		134Cs (Bq/kg)	137Cs (Bq/kg)	合計 (Bq/kg)
1	MC50ダストボックス内回収物	27700	44950	72650
2	ペール缶回収装置内沈殿物	27900	45000	72900
3	サイクロン型吸引機内沈殿物	3860	6050	9910
4	分離槽タンク2層目沈殿物	119000	188250	307250
5	フィルタ付サイクロン型吸引機内汚水	6.94	10	16.94
6	循環戻り水40分後	1.7	2.43	4.13
7	循環戻り水60分後	2.19	3.06	5.25
8	循環戻り水80分後	2.86	3.82	6.68

※NO.2～5については、160分作業終了後に採取

※NO.1、2、については、2回測定した平均値、NO.4については4回測定した平均値を記載。

◇考察

前項、循環ろ過システムによる長時間稼働の効果の考察でも記載したが、戻り水の放射性物質濃度が10Bq以下であることから、循環ろ過は有用性が高いが、一方で分離槽タンク内の沈殿物においては非常に濃度の高い物質が排出されており、取扱いには十分な配慮が必要である。





実施代表者の所属機関：村本建設株式会社

実証テーマ名：吸着自走式ウォータージェットはつりロボットを用いたコンクリート壁面除染技術

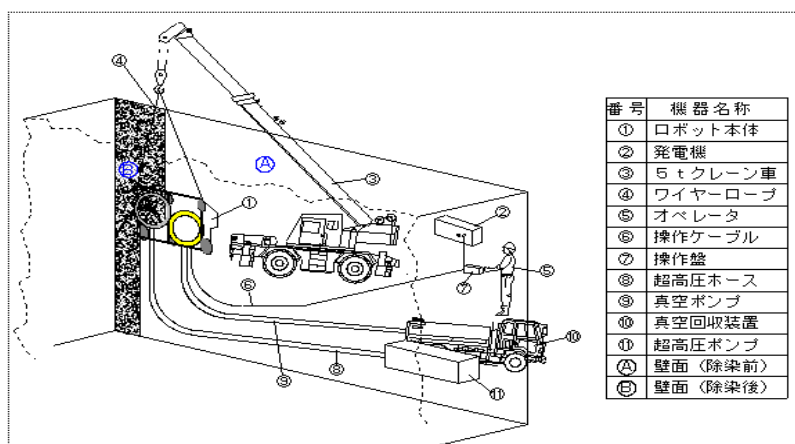
事業の概要： ロボットの遠隔操作により、コンクリート壁面に付着した放射性物質を超高圧水（最大 200MPa）にて除去・回収する。ロボットの運転条件を変化させることで、汚染濃度に応じた効率的な除染方法と施工性を検証する。

実施内容：吸着自走式ウォータージェットはつりロボットを用いて以下の試験を行う。

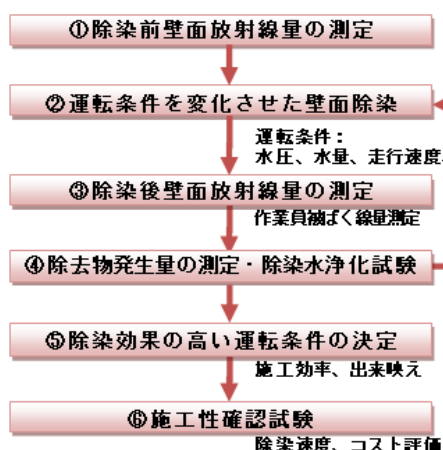
- （１）除染方法確認試験 ⇒ 除染効果最大、除去物最小となる運転条件を明らかにする。
- （２）施工性確認試験 ⇒ 遠隔操作により除染作業を行い、施工性を確認する。
- （３）除染水浄化試験 ⇒ 除染水の効果的な処理方法を検証する。

技術概要：

超高圧水によるはつりと真空回収装置による除去物、除染水の回収が可能な「吸着自走式ウォータージェットはつりロボット」を用いて、遠隔操作によりコンクリート構造物壁面の除染を行う。



## 1. 試験フロー



## 2. 試験目標

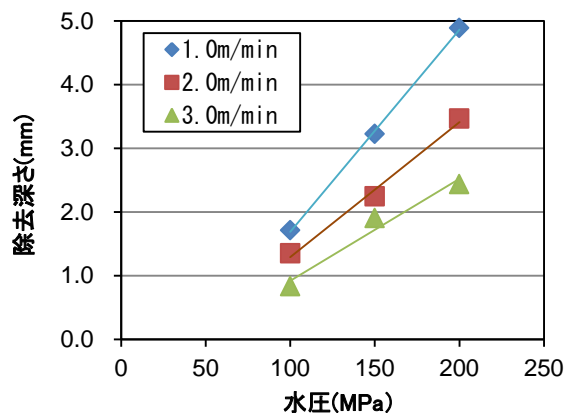
- （１）汚染濃度に応じた運転条件の最適パラメータを決定する。  
⇒ 除染効果は表面汚染密度 90%以上
- （２）遠隔操作による除染施工の安全性を実証する。
- （３）回収した除染水を処理し、浄化基準を満足する。  
⇒ 浄化基準 10Bq/L 以下

## 3. 期待される効果

- （１）汚染濃度に応じた除染が可能となる。
- （２）ロボットの遠隔操作による除染が安全に施工出来る。

除染効果：

1) 運転条件と除去深さ



水圧 100MPa、水量 12L/min

1.0m/min



2.0m/min

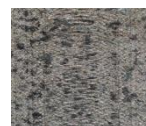


3.0m/min



水圧 150MPa、水量 12L/min

1.0m/min



2.0m/min

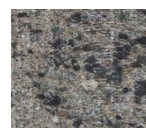


3.0m/min

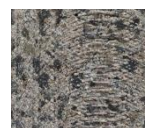


水圧 200MPa、水量 12L/min

1.0m/min



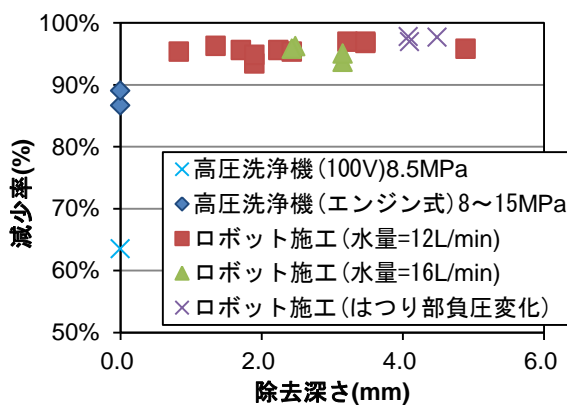
2.0m/min



3.0m/min



2) ロボットによる除染効果



3) 除染水浄化効果

(単位: Bq/kg)

試料	$^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$
原水 (除染水)	514
①上澄み (PAC+高分子)	ND
②ろ過処理水 (①を繊維ろ過)	ND
③上澄み (ゼオライト系凝集剤)	ND
④ろ過処理水 (③を繊維ろ過)	ND

ND: 定量下限値 5Bq/kg

除去物発生量評価：除染対象面積：7 m<sup>2</sup>、各除去物量：はつりガラ 12L、水処理後の凝集汚泥 10L、廃プラ類 40L。なお、回収水は浄化後公共水域へ放流。

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 0.34  $\mu\text{Sv/hr}$ 、作業時間 20 時間  
 作業員最大被ばく量 10  $\mu\text{Sv}$  (全行程、作業時間 20 時間)  
 作業員平均被ばく量 9.8  $\mu\text{Sv}$

コスト評価：

ロボット施工：19,400 円/m<sup>2</sup>

従来施工(人力)：27,200 円/m<sup>2</sup>

歩掛り (作業人工、作業速度)：実稼働 6 時間 / 1 日当たり

ロボット施工：施工機械 1 式、作業人員 4 人、7.5m<sup>2</sup>/hr(45 m<sup>2</sup>/日)

従来施工(人力)：施工機械 1 式、作業人員 5 人、6.65m<sup>2</sup>/hr(39.9m<sup>2</sup>/日)

コスト評価条件：試験結果⇒施工面積:14.2m<sup>2</sup>、除去深さ 1.2mm、所要時間:約 1 時間 55 分  
 運転条件⇒走行速度:1.0m/min、水圧:100MPa、水量:12L/min、各列のラップ長:50mm

除染作業における安全上の注意：除染方法確認試験時にはマスクおよびヘルメットを着用した。また、除染水浄化試験時にはタイベック、マスク、ゴーグルを着用した。

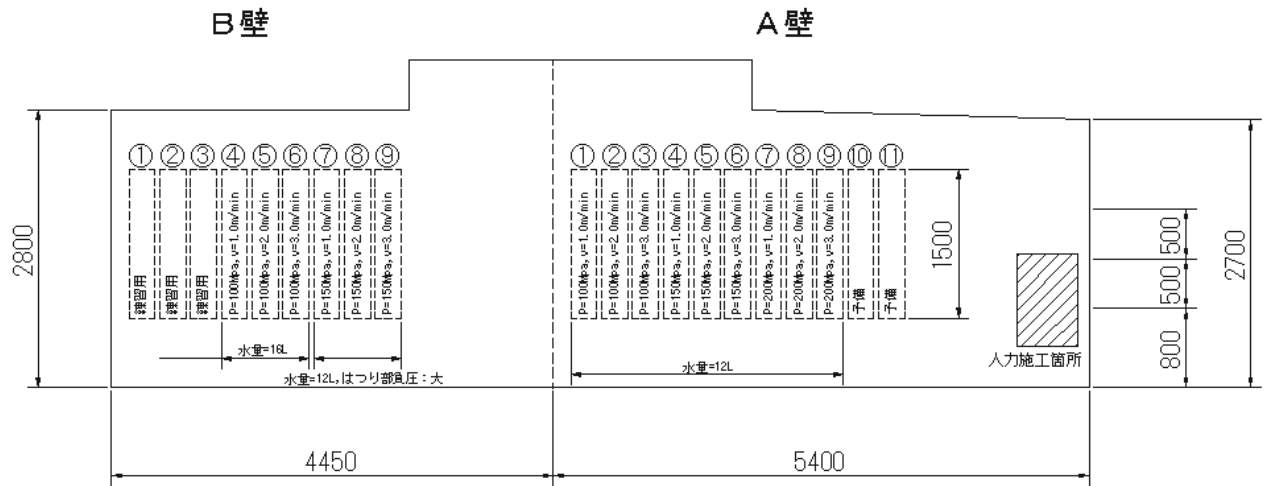
試験場所 (住所)：

福島県福島市飯野町内および福島県二本松市内

除去物保管場所と保管状況 (写真)：

福島県福島市飯野町内

# 1. 除染方法確認試験 コンクリート擁壁



コンクリート擁壁展開図



A 壁全体図



B壁全体図

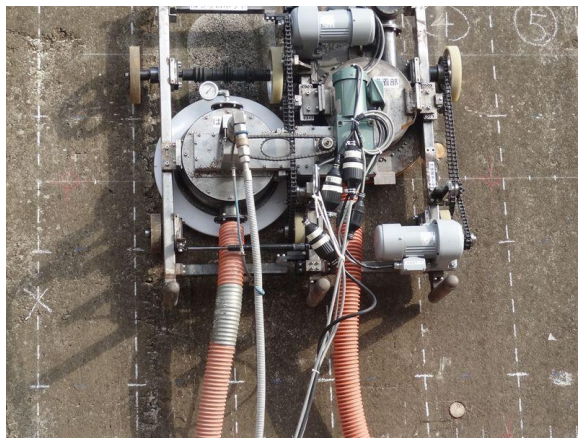
コンクリート擁壁諸物性

壁面	コア番号	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	中性化深さ (mm)
A	A-4	32.1	3.6
	A-5	31.7	3.1
	A-6	34.4	2.8
B	B-2	37.8	37.0

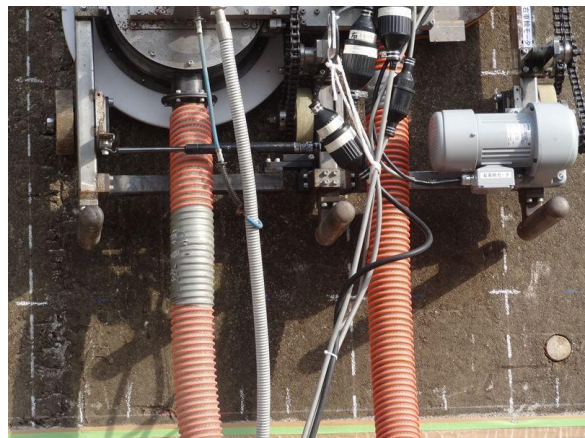


# ロボットの運転条件

壁面	名称	水量 (L/min)	水圧 (MPa)	速度 (m/min)	はつり部負圧 (MPa)
A壁	①	12	100	1.0	0.010
	②			2.0	
	③			3.0	
	④		150	1.0	
	⑤			2.0	
	⑥			3.0	
	⑦		200	1.0	
	⑧			2.0	
	⑨			3.0	
B壁	④	16	100	1.0	0.010
	⑤			2.0	
	⑥			3.0	
	⑦	12	150	1.0	0.020
	⑧			2.0	0.010
	⑨			3.0	0.005



除染状況



回収状況



表面汚染濃度測定状況



除去物・汚染水回収状況

## 2. 表面濃度測定結果(A壁 表面濃度測定 GMサーベイメーター)

測定 場所	水量 (L/min)	水圧 (MPa)	速度 (m/min)	除去 深さ (mm)	噴射 反力 (N)		表面濃度(上)				表面濃度(中)				表面濃度(下)				各列 の 平均 N-Nb (cpm)	平均 減少率 (%)	備考								
							バック グラウンド (Nb) (cpm)	実測値 (N) (cpm)	N-Nb (cpm)	減少率 (%)	バック グラウンド (Nb) (cpm)	実測値 (N) (cpm)	N-Nb (cpm)	減少率 (%)	バック グラウンド (Nb) (cpm)	実測値 (N) (cpm)	N-Nb (cpm)	減少率 (%)											
1 列目	12	100	1.0	1.71	89	除染前	94	990	896	95.9	101	1140	1039	96.0	93	1270	1177	94.9	1037	95.6									
						除染後	88	125	37		70	112	42		53	113	60		46										
2 列目	12	100	2.0	1.35	89	除染前	86	935	849	96.6	68	882	814	95.8	88	1220	1132	96.3	932	96.2									
						除染後	88	117	29		83	117	34		80	122	42		35										
3 列目	12	100	3.0	0.83	89	除染前	100	1090	990	97.4	100	1170	1070	94.6	94	1300	1206	93.9	1089	95.3									
						除染後	104	130	26		94	152	58		82	155	73		52										
4 列目	12	150	1.0	3.22	109	除染前	89	1090	1001	98.1	90	1010	920	95.8	111	1410	1299	96.8	1073	96.9									
						除染後	94	113	19		65	104	39		82	123	41		33										
5 列目	12	150	2.0	2.24	109	除染前	103	951	848	96.2	94	1260	1166	96.6	90	1470	1380	94.0	1131	95.6									
						除染後	74	106	32		70	110	40		95	178	83		52										
6 列目	12	150	3.0	1.9	109	除染前	96	784	688	94.6	87	973	886	91.6	118	1480	1362	94.0	979	93.4	ひび割れ								
						除染後	96	133	37		83	157	74		82	164	82		64										
6 列目	12	150	3.0	1.9	109	除染前	96	784	688	94.8	87	973	886	93.3	118	1480	1362	96.3	979	94.8									
						除染後	89	125	36		90	149	59		74	124	50		48										
7 列目	12	200	1.0	4.89	126	除染前	102	1190	1088	93.9	107	1230	1123	98.0	96	1310	1214	95.5	1142	95.8									
						除染後	70	136	66		74	96	22		67	122	55		48										
8 列目	12	200	2.0	3.47	126	除染前	113	1450	1337	98.2	100	1640	1540	95.8	107	1320	1213	96.1	1363	96.7	ひび割れ								
						除染後	83	107	24		60	124	64		81	128	47		45										
8 列目	12	200	2.0	3.47	126	除染前	113	1450	1337	97.8	100	1640	1540	96.4	107	1320	1213	96.5	1363	96.9									
						除染後	95	124	29		73	128	55		91	134	43		42										
9 列目	12	200	3.0	2.43	126	除染前	109	1200	1091	96.2	106	1540	1434	98.0	104	1430	1326	91.8	1284	95.3									
						除染後	77	119	42		86	114	28		84	193	109		60										
高圧 洗浄	10	8	人力	ND※	21	除染前	107	1360	1253	86.7									1253	86.7	エンジン式								
高圧 洗浄	19	15	人力	ND※	55	除染後	84	251	167										167										
高圧 洗浄	6	8.5	人力	ND※	13	除染前	116	1310	1194	89.0																	1194	89.0	エンジン式
						除染後	81	212	131																		131		
高圧 洗浄	6	8.5	人力	ND※	13	除染前	100	1410	1310	63.5																	1310	63.5	100V
						除染後	73	551	478																		478		

※: ND は除去深さ測定下限値を下回ったため、計測不可

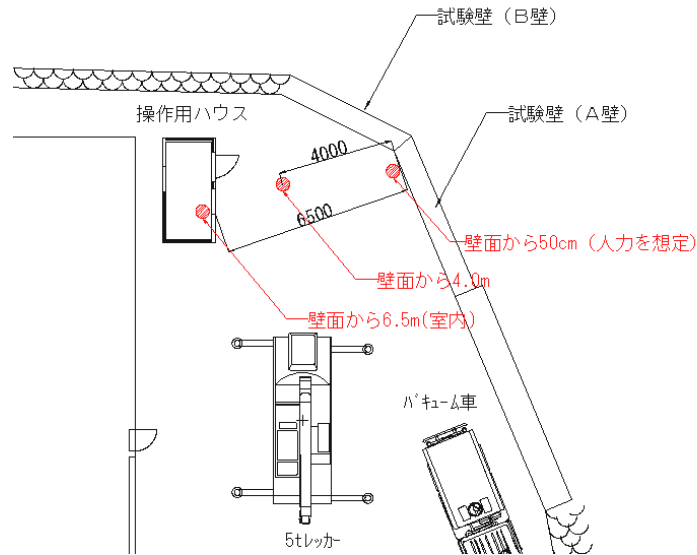


## (B壁 表面濃度測定 GMサーベイメーター)

測定 場所	水量 (L/min)	水圧 (MPa)	速度 (m/min)	はつり 部の 負圧 (MPa)	除去 深さ (mm)	噴射 反力 (N)		表面濃度(上)				表面濃度(中)				表面濃度(下)				各列の 平均 N-Nb (cpm)	平均 減少率 (%)	備考
								バック グラウンド* (Nb) (cpm)	実測値 (N) (cpm)	N-Nb (cpm)	減少率 (%)	バック グラウンド* (Nb) (cpm)	実測値 (N) (cpm)	N-Nb (cpm)	減少率 (%)	バック グラウンド* (Nb) (cpm)	実測値 (N) (cpm)	N-Nb (cpm)	減少率 (%)			
4 列目	16	100	1.0	一定	3.15	119	除染前	91	682	591	95.1	104	532	428	94.9	73	617	544	91.0	521	93.6	ひび割れ
							除染後	86	115	29		85	107	22		64	113	49		33		
4 列目	16	100	1.0	一定	3.15	119	除染前	91	682	591	95.9	104	532	428	96.5	73	617	544	92.6	521	95.0	
							除染後	77	101	24		90	105	15		69	109	40		26		
5 列目	16	100	2.0	一定	2.48	119	除染前	75	1350	1275	94.7	103	1350	1247	97.8	103	1040	937	96.2	1153	96.2	
							除染後	64	131	67		87	115	28		92	128	36		44		
6 列目	16	100	3.0	一定	2.43	119	除染前	87	1320	1233	96.8	95	965	870	96.7	90	969	879	94.0	994	95.8	
							除染後	81	121	40		78	107	29		71	124	53		41		
7 列目	12	150	1.0	0.02	4.08	109	除染前	103	1070	967	96.1	98	1060	962	97.8	99	1180	1081	99.4	1003	97.7	
							除染後	70	108	38		77	98	21		86	93	7		22		
8 列目	12	150	1.0	0.01	4.1	109	除染前	97	957	860	96.3	91	1450	1359	97.3	75	1360	1285	97.3	1168	96.9	
							除染後	64	96	32		87	124	37		69	104	35		35		
9 列目	12	150	1.0	0.005	4.49	109	除染前	89	905	816	96.4	80	1130	1050	98.5	89	997	908	98.0	925	97.6	
							除染後	79	108	29		73	89	16		99	117	18		21		

※4～6 列目ははつり部の負圧を一定としている

### 3. 被ばく線量試験



線量計配置図  
累積被ばく線量

名称	計測位置	作業時間 (h)	被ばく線量 ( $\mu\text{Sv}$ )	低減効果 (対壁面部)
ロボットオペレーター	ハウス内で操作したオペレーターの被ばく線量を測定	20	10	47%
壁面部	壁面との離隔 50cm で固定し、被ばく線量を測定 (高圧洗浄のガンによる除染作業を想定)	20	19	—
壁面から 4m の離隔	壁面との離隔 4m で固定し、被ばく線量を測定 (一般作業員を想定)	20	17	11%
作業指揮者	壁面から 4m 以上離れた位置で作業した作業員の被ばく線量を測定	20	10	47%

### 4. 除染水浄化試験

#### 【試験方法】

室内試験結果にて、浄化基準を満足し、かつ低コストの処理方法を検証し、その結果をもとに実処理。

#### 【浄化基準】

放射性物質を含んだ廃水の浄化基準は、10Bq/kg 以下。

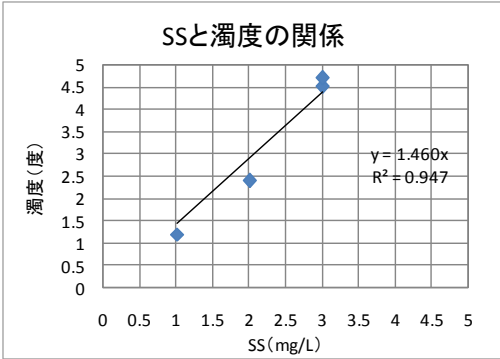
#### 室内試験内容及び結果

ケース	処理方法	分析結果 (Bq/kg)		合計 (Bq/kg)	SS (mg/L)
		$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$		
原水	—	198	316	514	140
①	上澄み水 (PAC+高分子)	ND	ND	ND	2
②	上澄み水 (PAC+高分子) を繊維ろ過	ND	ND	ND	1
③	上澄み水 (ゼオライト系凝集剤)	ND	ND	ND	3
④	上澄み水 (ゼオライト系凝集剤) を繊維ろ過	ND	ND	ND	3

※①～④の定量下限値は 5Bq/kg。

※原水、処理水 (①～④) の 5 検体について SS(mg/L) を計測する。

※SS の測定は、環境省 環境庁告示第 59 号 付表 9 に定める方法による。



処理水の SS と濁度の関係

使用薬剤等のコスト比較

ケース	薬剤 上段 添加量 (kg/2.5m3 あたり) 下段 単価 (kg/円)				繊維ろ過材 上段 使用量 (kg/回) 下段 単価 (kg/円)	処理コスト (円)内は円/m3	放射能 分析 結果	評価
	PAC	高分子	ゼオライト	希硫酸				
①	3.125 344	0.001 2	—	2.0 160	—	506 (203)	ND	◎
②	3.125 344	0.001 2	—	2.0 160	3.0 28,800	29,594 (11,838)	ND	△
③	—	—	3.0 3,600	2.0 160	—	3,760 (1,504)	ND	○
④	—	—	3.0 3,600	2.0 160	3.0 28,800	32,560 (13,024)	ND	△

※処理の対象水量は、施工性確認試験の結果より、6 時間/日あたりで換算し、2.5m3 と設定した。

※使用薬剤量は、室内試験での添加量とした。(なお、実処理における添加量は 1.5 倍程度増加する)

※薬品単価は、小売標準価格とし、最低取引数量及び送料は考慮しないとした。

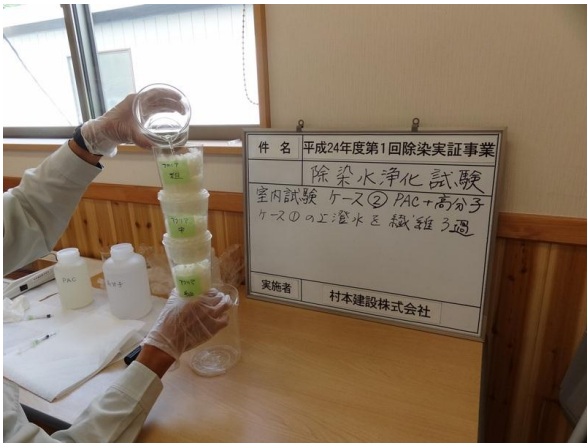
※健全なコンクリート表面を想定し、希硫酸によるpH調整を考慮した。(原水pHを 12 と想定)

※繊維ろ材は、1 回の使い切りとした。

※排水処理装置損料、運転管理、廃棄物処理等は、処理条件によって価格が大きく変動するため、未計上とした。



室内試験状況



上澄み水を繊維ろ過処理

# 除染水処理試験(実処理)結果

ケース	分析結果(Bq/kg)			pH	濁度 (参考値)
	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	合計		
①	ND	ND	ND	7.02	8.2
②	ND	ND	ND	7.39	4.7
対象水量	300L				
薬剤添加量	PAC500g(1.67g/L)、高分子 180mg(0.6mg/L)				
スラッジ量	10% (30L/300L)				

※定量下限値は 5Bq/kg。



除染水浄化試験状況



繊維ろ過槽 ろ材設置



上澄み水を繊維ろ過状況



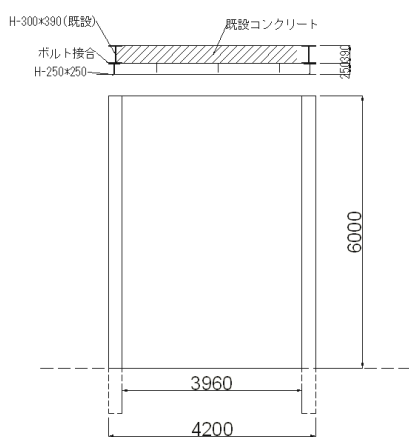
分析試料採取



## 5. 施工性確認試験

### 【運転条件】

走行速度:1.0m/min 水圧:100MPa 水量:12L/min、各列のラップ長:50mm



試験壁全体図



試験壁(施工性確認試験前)



試験状況



除染完了



試験状況(側面)



除染後表面状況

## 6. コスト評価

### 作業人工(ロボット)

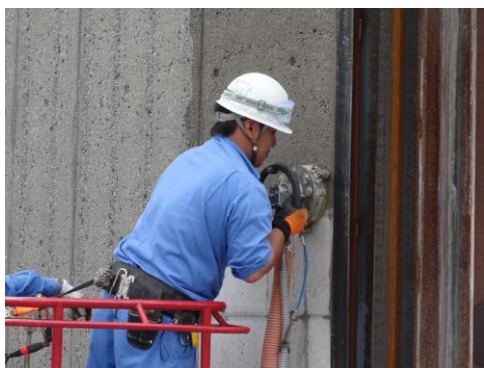
名称	品質・形状・寸法	数量
機械装置		
吸着自走式ロボット	遠隔操作盤、操作ケーブル含む	1 台
落下防止装置	5t吊りラフタークレーン	1 台
真空回収装置	風量 40m <sup>3</sup> /min	1 台
超高压ポンプ、超高压ホース	245MPa-28L、φ8-20	1 台
発電機	10KVA	1 台
労務		
作業指揮者		1 人
特殊除染作業員	ロボットオペレーター×1 ポンプおよび真空回収装置×1	2 人
普通除染作業員		1 人

### 作業人工(アクアブラスト)

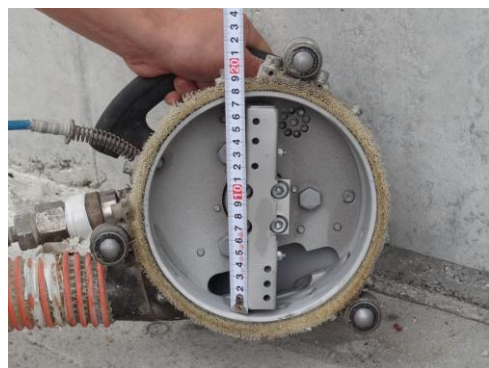
名称	品質・形状・寸法	数量
機械装置		
アクアブラスト		1 台
高所作業車		1 台
真空回収装置	風量 40m <sup>3</sup> /min	1 台
超高压ポンプ、超高压ホース	245MPa-28L、φ8-20	1 台
労務		
作業指揮者		1 人
特殊除染作業員	ロボットオペレーター×1 ポンプおよび真空回収装置×1	2 人
特殊除染作業員	高所作業車運転手	1 人
普通除染作業員		1 人

### コスト試算

使用機材	仕様	除去深さ	除去速度 (日当り)	コスト (1m <sup>2</sup> 当り)
ロボット	水圧 150MPa、移動速度 1.0m/min、水量 12L/min	1.2mm	45.0m <sup>2</sup> /日	19,400 円/m <sup>2</sup>
アクアブラスト	水圧 150MPa、水量 11.6L/min (同一箇所を 1 回除染した場合)	0.5mm (推定)	79.8 m <sup>2</sup> /日	13,600 円/m <sup>2</sup>
アクアブラスト	水圧 150MPa、水量 11.6L/min (同一箇所を 2 回除染した場合)	1.2mm (推定)	39.9m <sup>2</sup> /日	27,200 円/m <sup>2</sup>



アクアブラスト



アクアブラスト詳細



## 7. 保管場所

福島県福島市飯野町内

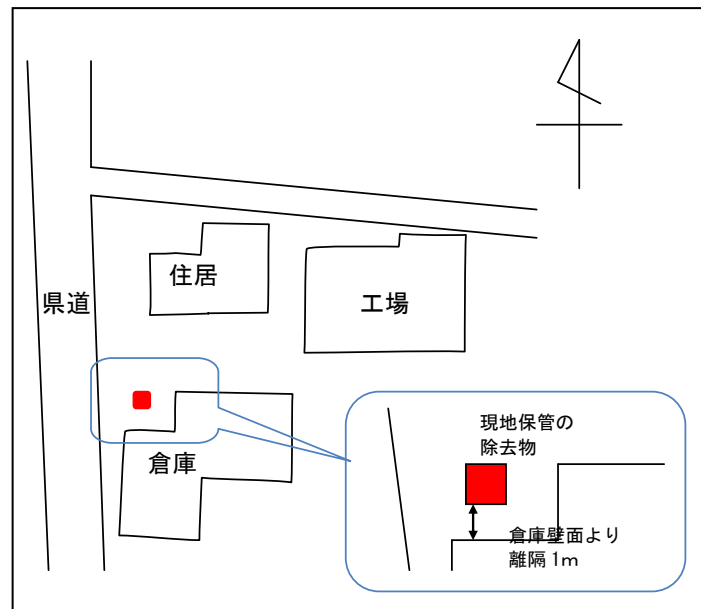


図 7-1 保管場所見取り図



除去物(保管対象)



保管完了



保管物明示タグ



空間線量測定

<b>実施代表者の所属機関：</b> 東電工業株式会社														
<b>実証テーマ名：</b> 真空吸引式超高压除染装置及び塗膜剥離型除染剤による平面・立面の立体除染，並びに排水処理機能を持つ総合除染システムの実証														
<b>事業の概要：</b> 1.超高压除染装置の洗浄と削り取り機能による平面・立面の除染，及び塗膜剥離型除染剤による立体部分の除染を行う。 2.回収した除染水について、水路へ排出可能なレベルまで水処理を行う。														
<b>実施内容：</b> 1.超高压除染装置（最大 250MPa）を用い、高压水を噴射し除染する。 2.装置の「噴射圧力」と「作業速度」の条件を変更し、実際の道路舗装面や建物構造物に適用した除染効果や効率を確認する。 3.除染に使用した水は回収し、pH、浮遊物質(SS)、放射能濃度等について、水路へ排水できる環境基準まで低減させるための水処理を実施する。 4.形状が一様でない立体部について塗膜剥離型除染剤を用いて除染を行う。														
<b>技術概要：</b> <試験フロー> <table border="1" data-bbox="225 947 1369 1182"> <tr> <th>マーキング</th><th>除染前モニタリング</th><th>除染作業</th><th>除染後モニタリング</th><th>除染水処理</th></tr> <tr> <td>試験範囲及び線量測定箇所の特定制</td><td>放射線測定器による表面汚染密度及び線量当量率の測定</td><td>超高压除染装置及び塗膜剥離剤を用いた除染</td><td>放射線測定器による表面汚染密度及び線量当量率の測定</td><td>凝集剤を用いた沈殿法及びフィルターろ過処理</td></tr> </table> <試験目標>           1.除染効果の確認 (1)大型自走式洗浄装置 ⇒ 表面汚染密度低減率70%を目標とする (2)中型手押し式洗浄装置 ⇒ 表面汚染密度低減率70%を目標とする (3)小型ハンディ式洗浄装置 ⇒ 表面汚染密度低減率70%を目標とする (4)塗膜剥離型除染 ⇒ 塗膜剥離剤を用いた除染での適用性を確認する 2.除染装置と水処理装置の組み合わせによる総合的な除染システムとして、現場での適用性を確認する。 <期待される効果> 超高压除染装置及び塗膜剥離型除染剤を用いることで、実際の現場にある様々な形状・性状のものに応用できる。また本除染システムの中で除染水の処理を行うことができ、一貫した総合除染システムとして実用に供することが出来る。					マーキング	除染前モニタリング	除染作業	除染後モニタリング	除染水処理	試験範囲及び線量測定箇所の特定制	放射線測定器による表面汚染密度及び線量当量率の測定	超高压除染装置及び塗膜剥離剤を用いた除染	放射線測定器による表面汚染密度及び線量当量率の測定	凝集剤を用いた沈殿法及びフィルターろ過処理
マーキング	除染前モニタリング	除染作業	除染後モニタリング	除染水処理										
試験範囲及び線量測定箇所の特定制	放射線測定器による表面汚染密度及び線量当量率の測定	超高压除染装置及び塗膜剥離剤を用いた除染	放射線測定器による表面汚染密度及び線量当量率の測定	凝集剤を用いた沈殿法及びフィルターろ過処理										
<b>その他：</b>														

## 除染効果：

## 1.アスファルト面（密粒）の除染による効果の確認

装置種類	表面汚染密度低減率（％）			線量当量率低減率（％）		
	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
大型除染装置 180MPa 6m/分	88.2	92.8	94.0	46.4	68.3	65.3
中型除染装置 200MPa 8m/分	89.8	94.7	95.2	77.1	81.7	81.8

表面汚染密度については目標値である 70%以上の除染効果が得られた。

## 2.立面部の除染による効果の確認

装置種類	表面汚染密度 低減率（％）	線量当量率 低減率（％）	装置種類	表面汚染密度 低減率（％）	線量当量率 低減率（％）
小型除染装置 (タイル張り)	52.3	17.8	剥離型除染剤 (壁面)	38.2	23.7

小型除染装置では、目標の 70%には届かないもののバックグラウンドと同程度の低汚染箇所でも除染効果を確認できた。剥離型除染剤においても効果は低いが一定の除染効果は確認でき、その有用性が確認された。

## 3.除染水処理後の分析による放射能濃度低減効果及び排水基準適合性の確認

試料名	放射能濃度（単位：Bq/L）			一般分析			結果（放水可能）
	<sup>131</sup> I	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	pH	SS（浮遊物質量） (mg/L)	BOD (mg/L)	
原液	不検出	1600±11	2500±14	—	—	—	否
処理水 (HTK-1)	不検出	28±1.4	40±1.7	7.1	17.0	3.3	良
判定基準	$\frac{{}^{134}\text{Csの濃度(Bq/L)}}{60(\text{Bq/L})} + \frac{{}^{137}\text{Csの濃度(Bq/L)}}{90(\text{Bq/L})} \leq 1$			5.8～8.6	50 (mg/L) 以下	20 (mg/L) 以下	

放射能除去率は <sup>134</sup>Cs <sup>137</sup>Cs とともに 98%以上であり、一般分析項目についても排水基準を満足した（その他の処理水約 9m<sup>3</sup>(9 タンク分)についても同様）。

除去物発生量評価：大型除染装置による 100m<sup>2</sup>(圧力：180MPa 速度：6m/分)除染時の使用水量 359.4L 回収水量 238.0L 回収率 66.2% スラッジ量 13L

中型除染装置による 20m<sup>2</sup>(圧力：200MPa 速度：8m/分)除染時の使用水量 260.0L 回収水量 213.0L 回収率 81.9% スラッジ量 24L

## 作業員被ばく量評価：

平均空間線量率：学びの森 6.7 μSv/h 夜ノ森駅 8.4 μSv/h 総作業時間：2376 時間(8/24 までの実績)

作業員最大被ばく量：0.60mSv（作業担当箇所：水処理、作業時間 138 時間）

作業員平均被ばく量：0.31mSv（総線量当量／実人数）

## コスト評価：

約 1730 円/m<sup>2</sup>

## 歩掛り（作業人工、作業速度）：

除染：大型除染装置 100m<sup>2</sup>/h、中型除染装置 60m<sup>2</sup>/h  
水処理：0.9m<sup>3</sup>/day

コスト評価条件：除染作業及び水処理トータルの 1m<sup>2</sup>あたりのコストを算出。

①1 日の作業時間 6 時間 作業人員 7 人 ②大型除染装置と中型除染装置の使用割合 7：3  
③準備作業は含めない ④密粒アスファルト面における 1 回除染にて 70%以上の除染効果がある圧力と速度の組み合わせ ⑤直接工事費のみ 間接費は含まない

除染作業における安全上の注意：ヘルメット、安全靴、サージカルマスク、軍手、綿手、ゴム手、タイベック（高汚染場所）、クールベスト（酷暑期対策）の使用を徹底。

## 試験場所（住所）：

富岡町学びの森及び夜ノ森駅前広場(JR)【福島県】

## 除去物保管場所と保管状況（写真）：

環境省殿指定フレコンパック（EVA 1 種相当品）に詰め、指定場所（富岡町役場脇等）に保管

### 除染作業



大型除染装置



中型手押し式除染装置



小型ハンディ除染装置

### 剥離型除染剤



### 線量測定



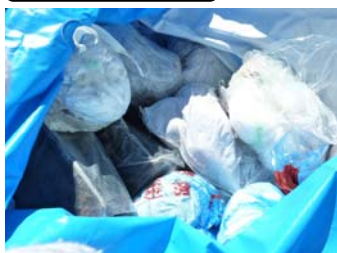
### スラッジ処理



### 水処理



### フレコンパック保管





大型除染装置による除染状況 圧力180MPa 速度6m/min



除染前



除染後(1回目)



除染後(2回目)



除染後(3回目)

中型除染装置による除染状況 圧力200MPa 速度8m/min



除染前



除染後(1回目)



除染後(2回目)



除染後(3回目)

小型ハンディ除染装置による除染状況 (圧力220MPa 速度1m/10s)



除染前(タイル)



除染後(タイル)



除染前(塗装壁)



除染後(塗装壁)



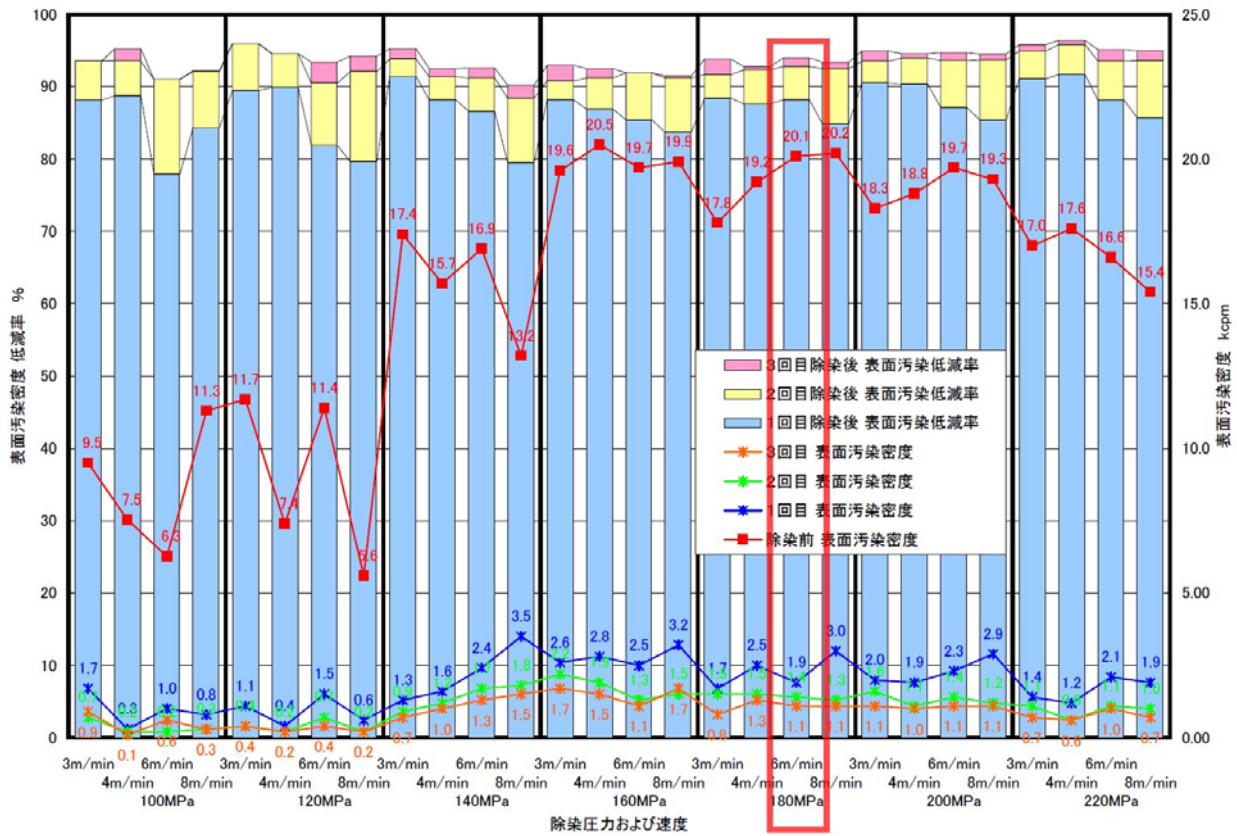
効果の確認【学びの森 アスファルト 大型洗浄装置】表面汚染密度

No.	SP No.	除染圧力 MPa	除染速度 m/min	表面汚染密度 kgpm											
				除染前			1回目除染後			2回目除染後			3回目除染後		
				測定値 BG	①-②	平均	測定値 BG	①-③	平均	測定値 BG	①-④	平均	測定値 BG	①-⑤	平均
				(A) (B)	(C) (D)	(低減率)	(A) (B)	(C) (D)	(低減率)	(A) (B)	(C) (D)	(低減率)	(A) (B)	(C) (D)	(低減率)
49	49	180	3	18.0	0.60	17.4	2.10	0.40	1.70 (90.2%)	1.80	0.30	1.50 (91.4%)	1.10	0.30	0.80 (95.4%)
50	50	180	3	19.0	0.70	18.3	2.40	0.40	2.00 (89.1%)	1.70	0.30	1.40 (92.1%)	1.10	0.30	0.80 (95.4%)
51	51	180	3	18.5	0.70	17.8	2.80	0.30	2.50 (86.0%)	1.70	0.30	1.40 (92.1%)	1.10	0.30	0.80 (95.4%)
52	52	180	4	21.0	0.80	20.2	2.80	0.30	2.50 (87.6%)	1.80	0.30	1.50 (91.7%)	1.00	0.30	0.70 (96.5%)
53	53	180	4	20.0	0.70	19.3	2.60	0.50	2.10 (88.1%)	1.90	0.30	1.60 (91.7%)	1.20	0.30	0.90 (95.3%)
54	54	180	4	19.0	0.70	18.3	3.00	0.50	2.50 (86.3%)	1.70	0.30	1.40 (92.1%)	1.00	0.30	0.70 (96.5%)
55	55	180	6	20.5	0.70	19.8	2.40	0.50	1.90 (90.4%)	1.70	0.30	1.40 (92.1%)	1.40	0.30	1.10 (94.4%)
56	56	180	6	21.0	0.70	20.3	3.20	0.40	2.80 (86.2%)	2.50	0.70	1.80 (91.6%)	1.40	0.30	1.10 (94.4%)
57	57	180	6	21.0	0.70	20.3	2.80	0.40	2.40 (88.2%)	2.10	0.40	1.70 (91.6%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
58	58	180	8	20.0	0.80	19.2	3.40	0.40	3.00 (84.4%)	2.60	0.60	2.00 (92.3%)	1.40	0.30	1.10 (94.4%)
59	59	180	8	21.5	0.70	20.8	3.30	0.30	3.00 (85.6%)	2.60	0.60	2.00 (92.3%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
60	60	180	8	21.5	0.90	20.6	3.70	0.60	3.10 (85.0%)	2.80	0.60	2.20 (92.9%)	1.90	0.40	1.50 (92.7%)
61	61	200	3	21.0	0.80	20.2	2.40	0.40	2.00 (90.1%)	1.80	0.20	1.60 (92.1%)	1.50	0.40	1.10 (94.4%)
62	62	200	3	19.0	0.90	18.1	3.20	0.40	2.80 (86.2%)	2.50	0.70	1.80 (91.6%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
63	63	200	3	17.5	0.70	16.8	2.00	0.40	1.60 (90.5%)	1.30	0.20	1.10 (92.3%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
64	64	200	4	20.0	0.70	19.3	2.30	0.40	1.90 (90.2%)	1.60	0.30	1.30 (93.8%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
65	65	200	4	20.0	0.70	19.3	2.00	0.30	1.70 (91.2%)	1.30	0.20	1.10 (92.3%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
66	66	200	4	18.5	0.70	17.8	2.10	0.30	1.80 (89.9%)	1.40	0.20	1.20 (93.3%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
67	67	200	6	21.5	0.70	20.8	2.70	0.40	2.30 (88.9%)	2.00	0.40	1.60 (92.1%)	1.40	0.30	1.10 (94.4%)
68	68	200	6	22.0	0.80	21.2	3.60	0.30	3.30 (85.4%)	2.80	0.60	2.20 (92.9%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
69	69	200	6	18.0	0.80	17.2	2.60	0.40	2.20 (87.2%)	1.80	0.30	1.50 (91.7%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
70	70	200	8	19.5	0.60	18.9	3.30	0.40	2.90 (84.7%)	2.70	0.50	2.20 (92.9%)	1.40	0.30	1.10 (94.4%)
71	71	200	8	19.0	0.60	18.4	3.50	0.40	3.10 (83.2%)	2.90	0.40	2.50 (86.7%)	1.50	0.30	1.20 (93.3%)
72	72	200	8	21.5	0.70	20.8	2.70	0.30	2.40 (88.5%)	2.00	0.40	1.60 (92.1%)	1.10	0.30	0.80 (95.4%)
73	73	220	3	17.5	0.60	16.9	1.70	0.30	1.40 (91.7%)	1.10	0.20	0.90 (90.9%)	1.00	0.30	0.70 (96.5%)
74	74	220	3	19.5	0.60	18.9	1.80	0.30	1.50 (92.1%)	1.20	0.20	1.00 (91.7%)	1.00	0.30	0.70 (96.5%)
75	75	220	3	16.0	0.60	15.4	1.90	0.30	1.60 (89.6%)	1.30	0.20	1.10 (92.3%)	1.00	0.30	0.70 (96.5%)
76	76	220	4	17.5	0.60	16.9	1.50	0.30	1.20 (92.9%)	0.90	0.20	0.70 (96.5%)	0.90	0.30	0.60 (96.6%)
77	77	220	4	19.0	0.70	18.3	2.10	0.40	1.70 (90.7%)	1.40	0.20	1.20 (93.3%)	1.10	0.30	0.80 (95.4%)
78	78	220	4	18.5	0.70	17.8	1.90	0.40	1.50 (91.6%)	1.20	0.20	1.00 (91.7%)	0.80	0.30	0.50 (97.2%)
79	79	220	6	17.5	0.70	16.8	2.40	0.30	2.10 (87.5%)	1.70	0.30	1.40 (92.1%)	1.30	0.30	1.00 (95.1%)
80	80	220	6	16.5	0.50	16.0	2.40	0.30	2.10 (87.5%)	1.70	0.30	1.40 (92.1%)	1.20	0.30	0.90 (94.4%)
81	81	220	6	17.5	0.50	17.0	2.20	0.40	1.80 (89.4%)	1.70	0.30	1.40 (92.1%)	0.80	0.30	0.50 (97.2%)
82	82	220	8	15.5	0.50	15.0	2.30	0.40	1.90 (87.3%)	1.80	0.30	1.50 (91.7%)	1.00	0.30	0.70 (96.5%)
83	83	220	8	17.0	0.60	16.4	2.80	0.40	2.40 (85.4%)	2.20	0.40	1.80 (91.6%)	1.10	0.30	0.80 (95.4%)
84	84	220	8	15.5	0.60	14.9	2.60	0.30	2.30 (84.6%)	2.00	0.40	1.60 (92.1%)	1.20	0.40	0.80 (94.6%)

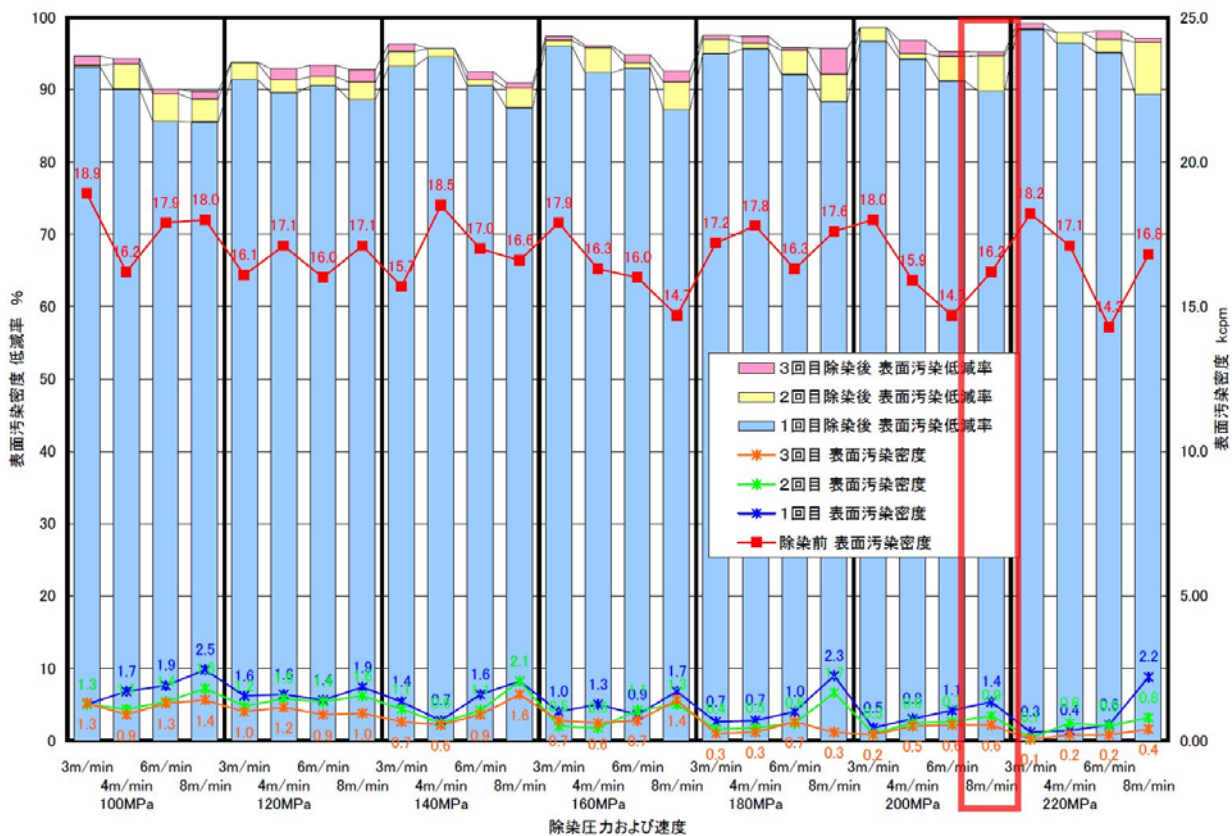
効果の確認【学びの森 アスファルト 中型洗浄装置】表面汚染密度

				表面汚染密度 kgpm																			
No.	SP No.	除染圧力 MPa	除染速度 m/min	除染前			1回目除染後			2回目除染後			3回目除染後										
				測定値 BG	①-② (低減率)	平均	測定値 BG	①-③ (低減率)	平均	測定値 BG	①-④ (低減率)	平均	測定値 BG	①-⑤ (低減率)	平均								
																除染前BGを使用して算出		除染前BGを使用して算出		除染前BGを使用して算出		除染前BGを使用して算出	
																①-② (低減率)	平均 (低減率)	①-③ (低減率)	平均 (低減率)	①-④ (低減率)	平均 (低減率)	①-⑤ (低減率)	平均 (低減率)
49	49	180	3	18.0	0.75	17.3	1.00	0.35	0.65 (96.2%)	0.25 (96.6%)	0.75	0.35	0.40 (97.7%)	0.00 (100%)	0.55	0.30	0.25 (98.6%)	0.00 (100%)					
50	50	180	3	18.0	0.80	17.2	1.20	0.30	0.90 (94.8%)	0.40 (97.7%)	0.70	0.30	0.40 (97.7%)	0.53 (96.9%)	0.15 (99.1%)	0.75	0.35	0.40 (97.7%)	0.41 (97.5%)				
51	51	180	3	18.0	0.65	17.4	1.30	0.30	1.00 (94.2%)	0.65 (96.3%)	1.10	0.30	0.80 (94.5%)	0.45 (97.4%)		0.95	0.35	0.60 (96.3%)	0.30 (98.3%)				
52	52	180	4	20.0	0.70	19.3	1.10	0.40	0.70 (96.4%)	0.40 (97.9%)	0.80	0.35	0.45 (97.7%)	0.10 (99.5%)		0.65	0.35	0.30 (98.4%)	0.00 (100%)				
53	53	180	4	18.5	0.65	17.9	1.25	0.40	0.85 (95.2%)	0.60 (96.6%)	1.00	0.30	0.70 (96.1%)	0.35 (98.5%)	0.23 (98.6%)	0.75	0.30	0.45 (97.5%)	0.10 (99.4%)				
54	54	180	4	17.0	0.75	16.3	1.30	0.55	0.75 (95.4%)	0.55 (96.6%)	1.00	0.30	0.70 (95.7%)	0.25 (98.5%)		0.90	0.30	0.60 (96.3%)	0.15 (99.1%)				
55	55	180	6	17.0	0.75	16.3	1.30	0.30	1.00 (93.8%)	0.55 (96.6%)	0.95	0.35	0.60 (96.3%)	0.20 (98.8%)		0.90	0.25	0.65 (96.0%)	0.15 (99.1%)				
56	56	180	6	17.0	0.65	16.4	1.63	0.60	1.00 (90.8%)	1.45 (91.1%)	1.20	0.30	0.90 (94.5%)	0.55 (96.6%)	0.40 (97.5%)	1.00	0.30	0.70 (95.7%)	0.68 (95.8%)				
57	57	180	6	17.0	0.65	16.4	1.80	0.45	1.35 (91.7%)	1.15 (93.0%)	1.10	0.35	0.75 (95.4%)	0.45 (97.2%)		1.00	0.30	0.70 (95.7%)	0.35 (97.9%)				
58	58	180	8	17.0	0.70	16.3	2.70	0.45	2.25 (86.2%)	2.00 (87.7%)	2.00	0.35	1.65 (89.9%)	1.30 (92.0%)		0.60	0.30	0.30 (98.2%)	0.00 (100%)				
59	59	180	8	18.0	0.70	17.3	2.00	0.40	1.60 (90.8%)	1.30 (92.5%)	1.40	0.30	1.10 (93.6%)	0.70 (96.5%)	1.00 (94.2%)	1.05	0.30	0.75 (95.7%)	0.76 (97.5%)				
60	60	180	8	20.0	0.70	19.3	2.80	0.50	2.30 (88.1%)	2.10 (89.1%)	1.70	0.35	1.35 (93.0%)	1.00 (94.8%)		1.60	0.35	1.25 (93.5%)	0.90 (95.3%)				
61	61	200	3	17.0	0.50	16.5	0.80	0.35	0.45 (97.3%)	0.30 (98.2%)	0.55	0.30	0.25 (98.5%)	0.05 (99.7%)		0.50	0.30	0.20 (98.8%)	0.00 (100%)				
62	62	200	3	19.5	0.65	18.9	1.20	0.35	0.85 (95.5%)	0.55 (97.1%)	0.65	0.30	0.35 (98.1%)	0.00 (100%)	0.01 (99.8%)	0.80	0.30	0.50 (97.3%)	0.15 (99.2%)				
63	63	200	3	19.5	0.65	18.9	0.80	0.35	0.45 (97.6%)	0.15 (99.2%)	0.50	0.35	0.15 (99.2%)	0.00 (100%)		0.80	0.30	0.50 (97.3%)	0.15 (99.2%)				
64	64	200	4	17.0	0.60	16.4	1.20	0.45	0.75 (94.4%)	0.60 (96.3%)	0.90	0.30	0.60 (96.3%)	0.30 (98.2%)		0.80	0.30	0.50 (97.3%)	0.20 (98.8%)				
65	65	200	4	16.5	0.55	16.0	1.30	0.40	0.90 (94.4%)	0.75 (95.3%)	0.70	0.25	0.45 (97.2%)	0.15 (99.1%)	0.46 (97.0%)	0.65	0.30	0.35 (97.8%)	0.10 (99.4%)				
66	66	200	4	16.0	0.65	15.4	1.50	0.40	1.10 (92.8%)	0.85 (94.5%)	1.60	0.30	1.30 (91.5%)	0.95 (93.8%)		0.95	0.30	0.65 (95.8%)	0.30 (98.0%)				
67	67	200	6	15.0	0.60	14.4	1.40	0.35	1.05 (92.7%)	0.80 (94.4%)	1.00	0.35	0.65 (95.5%)	0.40 (97.2%)		0.85	0.30	0.55 (96.2%)	0.25 (98.3%)				
68	68	200	6	15.5	0.60	14.9	1.80	0.35	1.45 (90.3%)	1.20 (91.9%)	1.30	0.30	1.00 (93.3%)	0.70 (95.3%)	0.50 (96.6%)	1.30	0.30	1.00 (93.3%)	0.70 (95.3%)				
69	69	200	6	15.5	0.60	14.9	1.80	0.45	1.35 (90.9%)	1.20 (91.9%)	1.00	0.30	0.70 (95.3%)	0.40 (97.3%)		0.90	0.40	0.50 (96.6%)	0.30 (98.0%)				
70	70	200	8	17.0	0.65	16.4	1.80	0.45	1.35 (91.7%)	1.15 (93.0%)	1.20	0.35	0.85 (94.8%)	0.55 (96.6%)		0.85	0.30	0.55 (96.6%)	0.20 (98.8%)				
71	71	200	8	16.5	0.65	15.9	2.70	0.55	2.15 (88.1%)	2.05 (90.7%)	1.30	0.30	1.00 (93.7%)	0.65 (95.9%)	0.53 (96.6%)	1.10	0.35	0.75 (95.3%)	0.45 (97.2%)				
72	72	200	8	17.0	0.60	16.4	1.80	0.40	1.40 (91.5%)	1.20 (92.7%)	1.00	0.30	0.70 (95.3%)	0.40 (97.6%)		1.30	0.30	1.00 (93.3%)	0.70 (95.7%)				
73	73	220	3	20.0	0.70	19.3	0.60	0.30	0.30 (98.4%)	0.00 (100%)	0.35	0.25	0.10 (99.5%)	0.00 (100%)		0.35	0.30	0.05 (99.7%)	0.00 (100%)				
74	74	220	3	18.0	0.50	17.5	0.60	0.35	0.25 (98.6%)	0.10 (99.4%)	0.65	0.30	0.35 (98.1%)	0.15 (99.1%)	0.10 (99.4%)	0.55	0.30	0.25 (98.6%)	0.05 (99.7%)				
75	75	220	3	18.5	0.55	18.0	0.65	0.30	0.35 (98.1%)	0.10 (99.4%)	0.70	0.30	0.40 (97.8%)	0.15 (99.2%)		0.50	0.40	0.10 (99.4%)	0.00 (100%)				
76	76	220	4	18.0	0.50	17.5	0.65	0.30	0.35 (98.1%)	0.15 (99.1%)	0.90	0.30	0.60 (96.6%)	0.40 (97.3%)		0.50	0.30	0.20 (98.9%)	0.00 (100%)				
77	77	220	4	18.5	0.50	18.0	1.00	0.25	0.75 (95.8%)	0.38 (97.7%)	0.80	0.40	0.40 (97.8%)	0.30 (98.3%)	0.23 (98.6%)	0.85	0.30	0.55 (96.8%)	0.40 (97.6%)				
78	78	220	4	16.5	0.50	16.0	1.00	0.30	0.70 (96.6%)	0.50 (96.9%)	0.50	0.40	0.10 (99.4%)	0.00 (100%)		0.75	0.30	0.45 (97.2%)	0.25 (98.4%)				
79	79	220	6	15.5	0.50	15.0	0.85	0.30	0.55 (96.3%)	0.35 (97.7%)	0.80	0.30	0.50 (96.7%)	0.30 (98.0%)		0.50	0.30	0.20 (98.7%)	0.00 (100%)				
80	80	220	6	15.5	0.55	15.0	1.00	0.25	0.75 (95.0%)	0.45 (97.0%)	0.60	0.30	0.30 (98.0%)	0.05 (99.7%)	0.21 (98.4%)	0.60	0.30	0.30 (98.0%)	0.05 (99.7%)				
81	81	220	6	13.5	0.55	13.0	1.00	0.25	0.75 (94.2%)	0.45 (96.5%)	0.85	0.35	0.50 (96.1%)	0.30 (97.7%)		0.60	0.30	0.30 (97.7%)	0.05 (99.6%)				
82	82	220	8	18.5	0.65	17.9	2.50	0.30	2.20 (87.7%)	1.85 (89.6%)	1.10	0.30	0.80 (95.5%)	0.45 (97.5%)		0.80	0.40	0.40 (97.8%)	0.15 (99.2%)				
83	83	220	8	19.0	0.65	18.4	2.60	0.35	2.25 (87.7%)	1.90 (89.4%)	0.70	0.30	0.40 (97.8%)	0.45 (97.5%)	0.21 (98.7%)	1.00	0.30	0.70 (96.2%)	0.35 (98.1%)				
84	84	220	8	15.0	0.65	14.4	1.40	0.35	1.05 (92.7%)	0.75 (94.8%)	0.80	0.30	0.50 (96.5%)	0.15 (99.0%)		0.65	0.30	0.35 (97.6%)	0.00 (100%)				





効果の確認【学びの森 アスファルト 中型洗浄装置】 除染回数と表面汚染密度低減率



効果の確認【学びの森 壁・柱 小型洗浄装置】表面汚染密度・線量当量率

放射線測定結果表												1cm線量当量率 $\mu$ Sv/h											
No.	除染対象	SP No.	除染圧力 MPa	除染速度	表面汚染密度 kcpm						除染前						除染後						
					除染前			除染後			除染前BGを使用して算出			除染前			除染後						
					測定値	BG	④-③	測定値	BG	④-③	測定値	BG	④-③	測定値	BG	④-③	測定値	BG	④-③				
					(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)	(O)				
1	塗装壁	1	100	1m/10sec	0.25	0.25	0.00	0.20	0.20	0.00 (0.00%)	0.45	0.35	0.10	0.30	0.25	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)						
2	塗装壁	2	100	1m/20sec	0.20	0.15	0.05	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.05 (0.00%)	0.40	0.25	0.15	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.00 (100%)					
3	塗装壁	3	120	1m/10sec	0.30	0.20	0.10	0.23	0.20	0.03 (70.0%)	0.03 (70.0%)	0.45	0.35	0.10	0.30	0.25	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)					
4	塗装壁	4	120	1m/20sec	0.30	0.20	0.10	0.25	0.20	0.05 (50.0%)	0.05 (50.0%)	0.40	0.25	0.15	0.35	0.25	0.10 (33.3%)	0.10 (33.3%)					
5	塗装壁	5	140	1m/10sec	0.25	0.25	0.00	0.20	0.20	0.00 (0.00%)	0.00 (0.00%)	0.40	0.30	0.10	0.35	0.20	0.15 (0.00%)	0.05 (50.0%)					
6	塗装壁	6	140	1m/20sec	0.20	0.15	0.05	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.05 (0.00%)	0.40	0.25	0.15	0.30	0.25	0.05 (66.7%)	0.05 (66.7%)					
7	塗装壁	7	160	1m/10sec	0.25	0.20	0.05	0.25	0.20	0.05 (0.00%)	0.05 (0.00%)	0.40	0.30	0.10	0.35	0.25	0.10 (0.00%)	0.05 (50.0%)					
8	塗装壁	8	160	1m/20sec	0.23	0.15	0.08	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.05 (37.5%)	0.40	0.30	0.10	0.35	0.30	0.05 (50.0%)	0.05 (50.0%)					
9	塗装壁	9	180	1m/10sec	0.30	0.30	0.00	0.20	0.20	0.00 (0.00%)	0.00 (0.00%)	0.54	0.35	0.19	0.35	0.30	0.05 (73.7%)	0.00 (100%)					
10	塗装壁	10	180	1m/20sec	0.30	0.30	0.00	0.26	0.25	0.01 (0.00%)	0.00 (0.00%)	0.40	0.30	0.10	0.35	0.30	0.05 (50.0%)	0.05 (50.0%)					
11	塗装壁	11	200	1m/10sec	0.30	0.20	0.10	0.25	0.20	0.05 (50.0%)	0.05 (50.0%)	0.54	0.35	0.19	0.40	0.30	0.10 (47.4%)	0.05 (73.7%)					
12	塗装壁	12	200	1m/20sec	0.30	0.20	0.10	0.20	0.15	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)	0.50	0.40	0.10	0.40	0.30	0.10 (0.00%)	0.00 (100%)					
13	塗装壁	13	220	1m/10sec	0.35	0.35	0.00	0.25	0.20	0.05 (0.00%)	0.00 (0.00%)	0.50	0.40	0.10	0.40	0.35	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)					
14	塗装壁	14	220	1m/20sec	0.30	0.25	0.05	0.25	0.20	0.05 (0.00%)	0.00 (100%)	0.40	0.40	0.00	0.40	0.30	0.10 (0.00%)	0.00 (0.00%)					
15	タイル張り	15	100	1m/10sec	0.25	0.20	0.05	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.00 (100%)	0.30	0.20	0.10	0.25	0.15	0.10 (0.00%)	0.05 (50.0%)					
16	タイル張り	16	100	1m/20sec	0.30	0.15	0.15	0.20	0.15	0.05 (66.7%)	0.05 (66.7%)	0.30	0.20	0.10	0.20	0.15	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)					
17	タイル張り	17	120	1m/10sec	0.30	0.15	0.15	0.20	0.15	0.05 (66.7%)	0.05 (66.7%)	0.30	0.20	0.10	0.15	0.15	0.00 (100%)	0.00 (100%)					
18	タイル張り	18	120	1m/20sec	0.30	0.20	0.10	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.00 (100%)	0.30	0.30	0.00	0.25	0.15	0.10 (0.00%)	0.00 (0.00%)					
19	タイル張り	19	140	1m/10sec	0.30	0.15	0.15	0.20	0.15	0.05 (66.7%)	0.05 (66.7%)	0.30	0.20	0.10	0.25	0.15	0.10 (0.00%)	0.05 (50.0%)					
20	タイル張り	20	140	1m/20sec	0.20	0.15	0.05	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.05 (0.00%)	0.30	0.20	0.10	0.25	0.15	0.10 (0.00%)	0.05 (50.0%)					
21	タイル張り	21	160	1m/10sec	0.20	0.15	0.05	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.05 (0.00%)	0.30	0.20	0.10	0.25	0.15	0.10 (0.00%)	0.05 (50.0%)					
22	タイル張り	22	160	1m/20sec	0.25	0.20	0.05	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.00 (100%)	0.30	0.30	0.00	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.00 (0.00%)					
23	タイル張り	23	180	1m/10sec	0.25	0.20	0.05	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.00 (100%)	0.30	0.20	0.10	0.20	0.15	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)					
24	タイル張り	24	180	1m/20sec	0.25	0.20	0.05	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.00 (100%)	0.30	0.20	0.10	0.20	0.15	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)					
25	タイル張り	25	200	1m/10sec	0.25	0.20	0.05	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.00 (100%)	0.30	0.30	0.00	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.00 (0.00%)					
26	タイル張り	26	200	1m/20sec	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00 (0.00%)	0.00 (0.00%)	0.30	0.20	0.10	0.25	0.15	0.10 (0.00%)	0.05 (50.0%)					
27	タイル張り	27	220	1m/10sec	0.35	0.20	0.15	0.30	0.20	0.10 (33.3%)	0.10 (33.3%)	0.30	0.30	0.00	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.00 (0.00%)					
28	タイル張り	28	220	1m/20sec	0.30	0.20	0.10	0.20	0.20	0.00 (100%)	0.00 (100%)	0.30	0.30	0.00	0.20	0.15	0.05 (0.00%)	0.00 (0.00%)					
29	コンクリート	29	100	1m/10sec	0.45	0.35	0.10	0.30	0.25	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)	0.60	0.35	0.25	0.50	0.30	0.20 (20.0%)	0.15 (40.0%)					
30	コンクリート	30	100	1m/20sec	0.55	0.30	0.25	0.30	0.20	0.10 (60.0%)	0.00 (100%)	0.50	0.40	0.10	0.50	0.30	0.20 (0.00%)	0.10 (0.00%)					
31	コンクリート	31	120	1m/10sec	0.40	0.30	0.10	0.30	0.25	0.05 (50.0%)	0.00 (100%)	0.60	0.35	0.25	0.50	0.35	0.15 (40.0%)	0.15 (40.0%)					
32	コンクリート	32	120	1m/20sec	0.30	0.30	0.00	0.30	0.20	0.10 (0.00%)	0.00 (0.00%)	0.60	0.35	0.25	0.50	0.35	0.15 (40.0%)	0.15 (40.0%)					
33	コンクリート	33	140	1m/10sec	0.40	0.40	0.00	0.30	0.20	0.10 (0.00%)	0.00 (0.00%)	0.45	0.30	0.15	0.50	0.30	0.20 (0.00%)	0.20 (0.00%)					
34	コンクリート	34	140	1m/20sec	0.60	0.40	0.20	0.40	0.25	0.15 (25.0%)	0.00 (100%)	0.70	0.40	0.30	0.60	0.35	0.25 (16.7%)	0.20 (33.3%)					
35	コンクリート	35	160	1m/10sec	0.30	0.25	0.05	0.30	0.25	0.05 (0.00%)	0.05 (0.00%)	0.70	0.35	0.35	0.50	0.35	0.15 (57.1%)	0.15 (57.1%)					
36	コンクリート	36	160	1m/20sec	0.30	0.20	0.10	0.30	0.20	0.10 (0.00%)	0.10 (0.00%)	0.50	0.35	0.15	0.50	0.30	0.20 (0.00%)	0.15 (0.00%)					
37	コンクリート	37	180	1m/10sec	0.40	0.25	0.15	0.30	0.15	0.15 (0.00%)	0.05 (66.7%)	0.30	0.20	0.10	0.30	0.20	0.10 (0.00%)	0.10 (0.00%)					
38	コンクリート	38	180	1m/20sec	0.60	0.35	0.25	0.30	0.25	0.05 (80.0%)	0.00 (100%)	0.50	0.30	0.20	0.40	0.30	0.10 (50.0%)	0.10 (50.0%)					
39	コンクリート	39	200	1m/10sec	0.30	0.25	0.05	0.30	0.25	0.05 (0.00%)	0.05 (0.00%)	0.40	0.30	0.10	0.40	0.30	0.10 (0.00%)	0.10 (0.00%)					
40	コンクリート	40	200	1m/20sec	0.60	0.20	0.40	0.25	0.20	0.05 (87.5%)	0.05 (87.5%)	0.36	0.30	0.06	0.40	0.20	0.20 (0.00%)	0.10 (0.00%)					
41	コンクリート	41	220	1m/10sec	0.40	0.20	0.20	0.30	0.20	0.10 (50.0%)	0.10 (50.0%)	0.70	0.30	0.40	0.50	0.30	0.20 (50.0%)	0.20 (50.0%)					
42	コンクリート	42	220	1m/20sec	0.40	0.35	0.05	0.30	0.20	0.10 (0.00%)	0.00 (100%)	0.70	0.30	0.40	0.50	0.30	0.20 (50.0%)	0.20 (50.0%)					

効果の確認【学びの森 塗膜剥離剤】表面汚染密度・線量当量率

作業の確認(デブリの核 全放射能計) 表面汚染密度 kcpm																									1cm線量当量率 $\mu$ Sv/h									
No.	除染対象	SP No.	除染圧力 MPa	除染速度	除染前										除染後																			
					測定値				除染前BGを使用して算出				測定値				除染後BGを使用して算出																	
					A	BG	A-B	平均	BG	C-D	平均	C-B	平均	A	BG	A-B	平均	BG	C-D	平均	C-B	平均												
1	壁	1	デコンジェル		0.40	0.30	0.10	6.11	0.25	0.25	0.00 (100%)	4.00 (38.2%)	0.00 (100%)	0.08 (50.0%)	0.50	0.20	0.30	0.26	0.40	0.30	0.10 (66.7%)	0.86 (23.7%)	0.20 (33.3%)	0.83 (13.1%)										
2	壁	2	アララSD		0.30	0.30	0.00	6.10	0.35	0.30	0.05 (10.00%)	4.01 (31.1%)	0.05 (0.00%)	0.31 (38.8%)	0.30	0.20	0.10	0.36	0.30	0.30	0.00 (100%)	0.90 (19.0%)	0.10 (0.00%)	0.85 (10.7%)										
3	金属製手摺	3	デコンジェル		0.80	0.40	0.40	6.12	0.60	0.50	0.10 (75.0%)	4.01 (34.7%)	0.20 (50.0%)	3.06 (46.6%)	0.70	0.30	0.40	0.50	0.90	0.30	0.60 (0.00%)	1.00 (11.8%)	0.60 (0.00%)	0.92 (11.9%)										
4	金属製手摺	4	アララSD		2.40	0.30	2.10	6.19	1.00	0.50	0.50 (76.2%)	4.07 (31.6%)	0.70 (66.7%)	6.13 (36.9%)	0.90	0.30	0.60	0.56	0.60	0.40	0.20 (66.7%)	1.07 (13.7%)	0.30 (50.0%)	1.01 (12.9%)										
5	コンクリート製縁石	5	デコンジェル	薄塗り	11.5	0.70	10.8	6.04	9.00	0.70	8.30 (23.1%)	4.05 (26.2%)	8.30 (23.1%)	7.20 (26.0%)	1.40	0.90	0.50	0.53	1.40	0.80	0.60 (0.00%)	1.12 (9.69%)	0.50 (0.00%)	1.04 (11.5%)										
6	コンクリート製縁石	6	アララSD	薄塗り	12.5	0.60	11.9	5.27	10.0	0.70	9.30 (21.8%)	3.46 (24.5%)	9.40 (21.0%)	6.16 (24.5%)	1.50	0.90	0.60	0.53	1.40	0.90	0.50 (16.7%)	1.14 (9.69%)	0.50 (16.7%)	1.06 (11.5%)										
7	コンクリート製縁石	7	デコンジェル	厚塗り	6.50	0.60	5.90	4.42	4.50	0.85	3.65 (38.1%)	2.80 (22.9%)	3.90 (33.9%)	5.86 (27.6%)	1.30	0.80	0.50	0.63	1.70	0.60	1.10 (0.00%)	1.21 (8.50%)	0.90 (0.00%)	1.14 (10.3%)										
8	コンクリート製縁石	8	アララSD	厚塗り	7.00	0.60	6.40		5.80	0.60	5.20 (18.8%)		5.20 (18.8%)	6.93 (26.0%)	1.40	0.90	0.50	0.80	1.40	0.80	0.60 (0.00%)	0.50 (0.00%)												
9	コンクリート製車止め	9	デコンジェル	薄塗り	13.0	0.80	12.2		9.30	0.70	8.60 (29.5%)		8.50 (30.3%)	5.46 (50.6%)	1.70	0.80	0.90	0.86	1.90	0.70	1.20 (0.00%)		1.10 (0.00%)											
10	コンクリート製車止め	10	アララSD	薄塗り	10.5	0.50	10.0		7.60	0.70	6.90 (31.0%)		7.10 (29.0%)	6.46 (45.4%)	1.60	0.60	1.00	0.86	1.00	0.70	0.30 (70.0%)		0.40 (60.0%)											
11	コンクリート製車止め	11	デコンジェル	薄塗り	11.5	0.70	10.8		1.50	0.80	0.70 (93.5%)		0.80 (92.6%)	4.53 (40.2%)	1.50	0.80	0.70	1.30	2.10	0.70	1.40 (0.00%)		1.30 (0.00%)											
12	コンクリート製車止め	12	アララSD	厚塗り	14.5	1.00	13.5		12.5	1.10	11.4 (15.6%)		11.5 (14.8%)	4.26 (9.38%)	2.50	1.60	0.90	1.40	3.90	1.40	2.50 (0.00%)		2.30 (0.00%)											
13	窓枠	下	13	デコンジェル		2.50	1.00	1.50		2.30	1.00	1.30 (13.3%)		1.30 (13.3%)	4.20	1.90	2.30		4.10	2.10	2.00 (13.0%)		2.20 (4.34%)											
14	窓枠	右	14	デコンジェル		1.20	1.20	0.00		1.20	1.10	0.10 (0.00%)	0.40 (15.8%)	0.00 (0.00%)	3.00	2.00	1.00	1.25	2.80	1.80	1.00 (0.00%)	1.25 (3.26%)	0.80 (20.0%)	1.15 (8.16%)										
15	窓枠	上	15	デコンジェル		1.20	1.20	0.00		1.30	1.20	0.10 (0.00%)		0.10 (0.00%)	2.90	2.40	0.50		2.90	2.20	0.70 (0.00%)		0.50 (0.00%)											
16	窓枠	左	16	デコンジェル		1.40	1.20	0.20		1.30	1.20	0.10 (50.0%)		0.10 (50.0%)	3.10	1.90	1.20		3.00	1.70	1.30 (0.00%)		1.10 (8.33%)											
17	窓枠	下	17	アララSD		2.50	1.10	1.40		2.00	1.05	0.95 (32.1%)		0.90 (35.7%)	4.20	1.90	2.30	1.37	3.70	2.00	1.70 (26.1%)		1.80 (21.7%)											
18	窓枠	右	18	アララSD		1.30	1.30	0.00		1.30	1.30	0.10 (0.00%)	0.31 (8.03%)	0.20 (0.00%)	3.10	2.10	1.00		2.80	1.90	0.90 (10.0%)		0.70 (30.0%)											
19	窓枠	上	19	アララSD		1.20	1.20	0.00	0.37	1.40	1.30	0.10 (0.00%)		0.20 (0.00%)	3.00	2.30	0.70		3.10	2.30	0.80 (0.00%)	1.22 (9.02%)	0.80 (0.00%)	1.22 (12.9%)										
20	窓枠	左	20	アララSD		1.20	1.10	0.10		1.30	1.20	0.10 (0.00%)		0.20 (0.00%)	3.30	1.80	1.50		3.40	1.90	1.50 (0.00%)		1.60 (0.00%)											

## 放射能濃度および一般分析結果

2012年8月30日

タンクNo.	放射能濃度分析				一般分析			放出可否	備 考
					pH	浮遊物質 量 mg/L	BOD mg/L		
	放射能濃度 Bq/L			判定基準 $^{134}\text{Cs}/60 + ^{137}\text{Cs}/90 \leq 1$	判定基準 5.8~8.6	判定基準 50mg/L以下	判定基準 20mg/L以下		
	$^{131}\text{I}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$						
HTK-1	不検出	28 ± 1.4	40 ± 1.7	0.96	7.1	17.0	3.3	○	前回送付分
HTK-2	不検出	28 ± 1.4	41 ± 1.9	0.97	7.3	20.0	18.0	○	
HTK-4	不検出	17 ± 1.1	26 ± 1.4	0.61	7.3	18.0	9.1	○	
HTK-5	不検出	15 ± 1.1	26 ± 1.5	0.58	7.3	16.1	8.8	○	
HTK-8	不検出	19 ± 1.2	31 ± 1.6	0.7	7.3	8.8	7.1	○	
HTK-6	不検出	14 ± 1.0	22 ± 1.3	0.51	7.5	26.7	3.4	○	
HTK-9	不検出	6.6 ± 0.75	12 ± 1.0	0.27	7.6	28.5	3.1	○	

上記結果より、以下のタンクに保管されている処理水については、河川放出が可能と考えます。

HTK-1 (前回送付分)

HTK-2

HTK-4

HTK-5

HTK-8

HTK-6

HTK-9

## 【コスト評価】

### < 除染作業 >

大型除染装置及び中型除染装置を組み合わせた場合のコスト評価を行った。  
1日の作業時間を6時間とし、大型と中型の使用割合を7：3とする。  
広範囲を大型除染装置を用い、細部を中型除染装置で行う。

大型 100m<sup>2</sup>除染に掛かる時間： 1 時間  
(1時間あたり除染可能面積： 100 m<sup>2</sup> )  
作業時間：6×0.7 4.2 時間

中型 20m<sup>2</sup>除染に掛かる時間： 20 分  
(1時間あたり除染可能面積： 60 m<sup>2</sup> )  
作業時間：6×0.3 1.8 時間

1日に除染可能な面積：(100×4.2) + (60×1.8)  
528 m<sup>2</sup>

---

1m<sup>2</sup>あたり単価 1,310 円／m<sup>2</sup>

### < 水処理 >

水処理1回あたり可能水量 150 L  
(1回に汚染水150L＋真水150L＝300Lを処理する)  
1日あたり可能な回数 6 回  
1日あたり処理可能な水量 0.9 m<sup>3</sup>

---

1m<sup>3</sup>あたり単価 101,056 円／m<sup>3</sup>

### 【除染＋水処理にかかるトータルコスト】

大型にて100m<sup>2</sup>の除染実施での回収量： 240 L  
1m<sup>2</sup>あたり 2.4 L  
大型にて除染する面積：100m<sup>2</sup>/h×4.2h 420 m<sup>2</sup>  
大型にて420m<sup>2</sup>除染で発生する水量 1.008 m<sup>3</sup>

中型にて20m<sup>2</sup>の除染実施での回収量： 220 L  
1m<sup>2</sup>あたり 11 L  
中型にて除染する面積：60m<sup>2</sup>/h×1.8h 108 m<sup>2</sup>  
中型にて108m<sup>2</sup>除染で発生する水量 1.188 m<sup>3</sup>

1日の除染作業528m<sup>2</sup>にて発生する水量 2.196 m<sup>3</sup>  
1m<sup>2</sup>あたりの水量 0.004159 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

1m<sup>2</sup>あたりの回収水を処理するコスト 420 円／m<sup>2</sup>

1m<sup>2</sup>あたりの除染単価（前頁より） 1,310 円／m<sup>2</sup>

合計 1,730 円／m<sup>2</sup>

#### ※条件

- ・準備作業は含めない
- ・密粒アスファルト面における1回除染にて70%以上の除染低減率を想定
- ・直接工事費のみ 間接費は含めない





## 付録 2-4

実施代表者の所属機関： 清水建設株式会社
実証テーマ名： 減容率の最適化および濃縮残渣処理の自動化を特徴とする土壤洗浄技術の実証
<p>事業の概要：</p> <p>福島県の校庭・運動場土壌を用いたこれまでの実験で、基本的な減容化技術は確立している。今回の実証試験では、放射能除去率を維持しつつ減容率を向上させる技術の実証を行う。また、線量率が高い濃縮残渣の処理の自動化を行い、作業員の被ばく線量を低減できる技術を実証する。</p>
<p>実施内容：</p> <p>(1) 処理能力が数 100kg/hr の土壤洗浄試験装置を設置し、低濃度および高濃度の放射性物質土壌の洗浄処理を行い、処理後の土壌が目標放射能濃度以下になっていることを確認し、かつ減容率が 80% まで改善されることを確認する。</p> <p>(2) 高線量の濃縮残渣（脱水ケーキ）を自動処理することにより、作業員の被ばく線量を低減できることを示す。</p> <p>広野町に設置する実証試験用の土壤洗浄試験装置の処理フローと実施内容を説明資料の図-1 に示す。</p>
<p>技術概要：</p> <p><u>土壤洗浄技術の概要：土壤洗浄の処理フローとスクラビング・フローテーションの説明</u></p> <p>土壌における放射性 Cs の保持機構に関する文献を基に、放射性 Cs の保持機構と存在形態を考察した。考察された放射性 Cs の保持機構を説明資料の図-2(a) に、放射性 Cs 吸着粒子の存在形態を図-2(b) に示す。これより、高濃度汚染土壌に対しては、<u>土壤洗浄のスクラビング・フローテーションを強化</u>することが効果的であると考えた。一方、低濃度汚染土壌に対しては、<u>分級点を可変化</u>することが有効と考えた。</p> <p>スクラビング・フローテーションを強化した処理フロー例を図-3 に示す。汚染土壌は重機によってストックヤードから受け入れバンカーへ順次投入される。受け入れバンカーに投入された汚染土壌は、湿式フルイにより 2mm 以上の礫・粗砂を取り除いた後、ハイドロサイクロン（図-4(a)）によって細粒子分（粘土・シルト）と砂・細砂分に分離される。放射性 Cs はその多くが細粒子分に付着・吸着しているため、細粒子分を分級することによって、砂・細砂分から放射性 Cs を効率良く分離、除去することができる。砂・細砂分は、スクラバー（図-4(b)）において複数の薬剤により表面処理された後、スクラビング（表面摩耗）によって土壌粒子表面から汚染粒子が効果的に剥離される。続くフローテーション（図-4(c)）において土壌中の放射性 Cs 吸着粒子は、清浄な土壌粒子との表面性状の違いを最大限利用して選択的に分離される。フローテーションによって洗浄された砂・細砂分は、脱水サイクロンを経て再利用が可能な洗浄処理土となる。放射性 Cs が濃縮されている濃縮汚染土は脱水ケーキとして処分場（放射性物質汚染土壌の場合は中間貯蔵施設での保管後に最終処分施設）へ搬出される。福島県双葉郡広野町に設置した土壤洗浄技術の実証試験プラントを写真-1 に示す。</p> <p><u>実証する技術の概要</u></p> <p>(1) 減容率改善による中間貯蔵所・最終処分場への負担軽減</p> <p>(a) 低濃度放射能土壌：分級点可変化システムの構築</p> <p>(b) 高濃度放射能土壌：表面処理後のスクラビング技術の適用</p> <p>上記技術「(a) 分級点可変化システム」の概要を説明資料の図-5 と写真-2 に示す。</p> <p>上記技術「(b) 表面処理後のスクラビング技術」の概要を説明資料の図-6 と写真-3 に示す。</p> <p>(2) 作業員の被ばく線量の低減（濃縮残渣の自動処理化）</p> <p>上記技術の概要を説明資料の写真-4 に示す。</p>
その他：

除染効果：

実証試験の結果（速報）の一部を説明資料の図-7 と表-1 に示す。土壌洗浄による減量率（乾物重量ベース）と減容率を表-A に要約して示す。土壌洗浄による減量率は 86%（83～89%）であること、減容率に換算すると 84%であることが判明した。放射性 Cs の減少率と濃縮汚染土の濃縮倍率を表-B に要約して示す。放射性 Cs の減少率は 85～90%であること、濃縮汚染土の濃縮倍率は 1.9～4 倍であることがわかった。

表-A 土壌洗浄による減量率，減容率の効果

Data	土壌乾燥重量 (kg-dry)	土壌容積 (m <sup>3</sup> )	高比重 (---)	強熱減量 (%)	備考（目視観察）
元土壌 (Feed)	100	100	1.19	8～10	植物片，腐植質を含む
2mm以下の土壌 (Feed<2mm)	67 (56～76)	---	---	---	腐植質を含む
粗粒子(2～4mm)	16 (10～26)	---	---	---	植物片を含む
粗粒子(4mm以上)	17 (11～23)	---	---	---	少量の植物片を含む
洗浄土（洗浄砂）	53 (45～61)	40	1.60	1～3	----
濃縮汚染土（造粒後）	14 (11～17)	16	1.05	22～32	腐植質を含む
減量率，減容率 (%)	86 (83～89)	84	---	---	---

※ 元土壌 (Feed) は，大きな植物片を除いたものである。

表-B 土壌洗浄による放射性 Cs の減少率と濃縮汚染土の濃縮率

Data	SK-8107			SK-1227+2564			KK-8637			KK-8104		
	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)	濃縮率 (倍)	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)	濃縮率 (倍)	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)	濃縮率 (倍)	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)	濃縮率 (倍)
元土壌 (Feed)	26270	---	---	15810	---	---	18860	---	---	18820	---	---
洗浄土	2632	90.0%	---	2193	86.1%	---	2599	86.2%	---	2840	84.9%	---
濃縮汚染土	88200	---	3.4	43900	---	2.8	35100	---	1.9	74600	---	4.0

表面処理後のスクラビングによる減容率の改善効果を図-8 に示す。図-8 では，機械的なスクラビング(図-8(b))に比べて，表面処理後のスクラビングの場合(図-8(a))の減量率は 81.5%から 85.7%に改善された。

除去物発生量評価：

表-A に示したように，濃縮汚染土の発生量は，放射性物質汚染土壌 100kg-dry 当たり 14kg-dry (14%)であった。容積に換算すると，放射性物質汚染土壌 100m<sup>3</sup> 当たり 16m<sup>3</sup> (16%)であった。

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 0.3  $\mu$  Sv/hr，作業時間 8 時間/日

作業員最大被曝量 65  $\mu$  Sv（全作業工程，作業時間 248 時間） 作業員平均被曝量 60  $\mu$  Sv

表-2 に示すように，濃縮残渣の自動処理化によって作業員の被曝線量は 86%低減した。

コスト評価：20,000 円/m<sup>3</sup> 歩掛り（作業人工、作業速度）：40t/hr，0.03 人工/t

コスト評価条件：①処理土量：100,000m<sup>3</sup> 以上，②収集運搬費別途，③濃縮残渣処分費別途，④土地購入費（賃借費）別途，⑤機器解体処分費別途，⑥設置場所：警戒区域外

除染作業における安全上の注意：防塵マスク，安全メガネ，長靴，ヘルメット

試験場所（住所）：

福島県双葉郡広野町大字下  
北迫字東町 170-1

除去物保管場所と保管状況（写真）：

フレコン詰めにして，広野町指定場所に保管する。

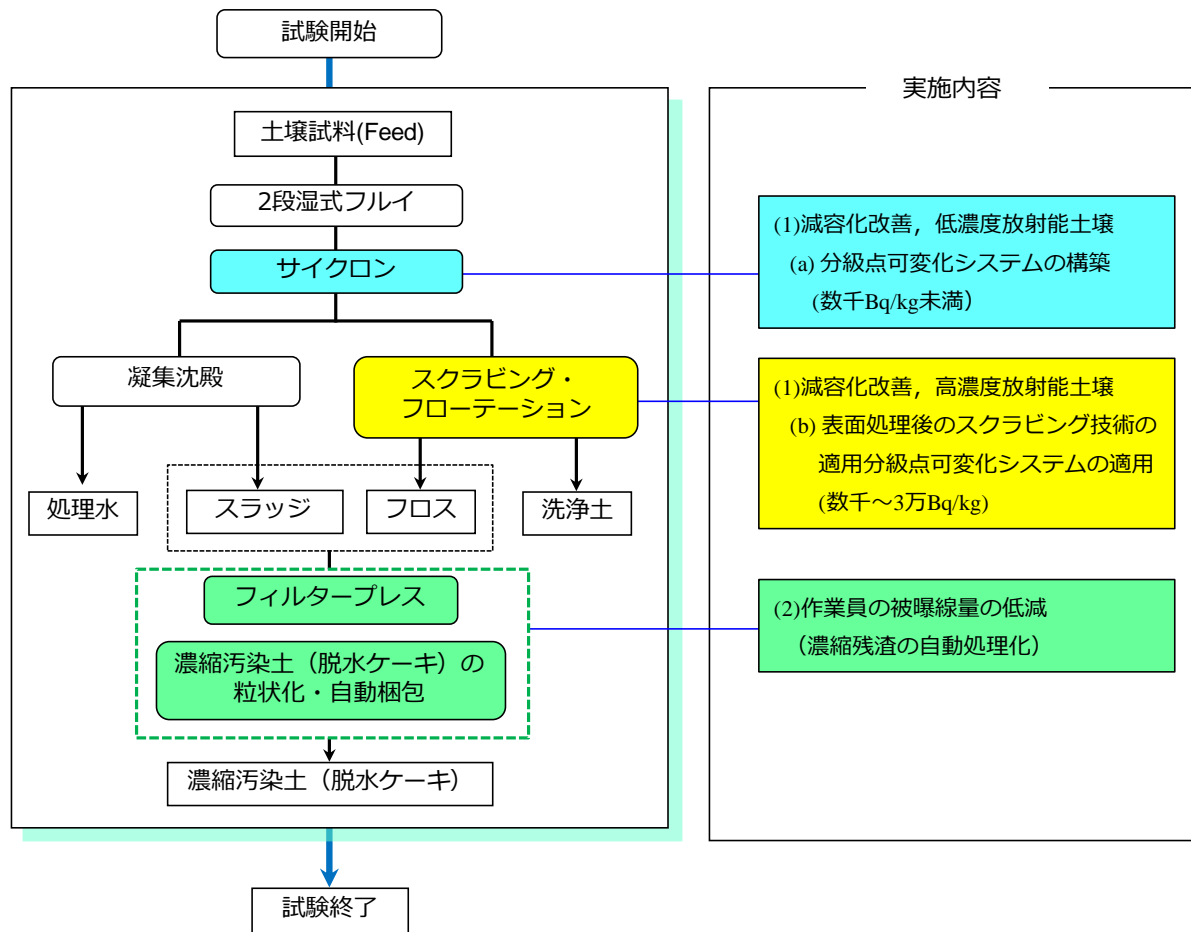


図-1 土壌洗浄試験装置の処理フローと実施内容

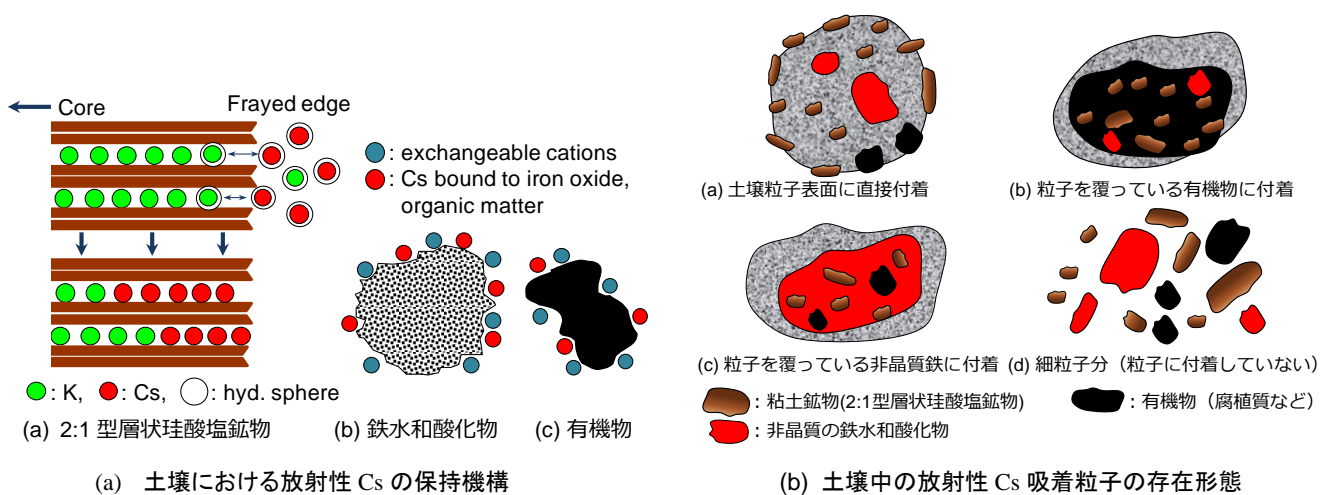
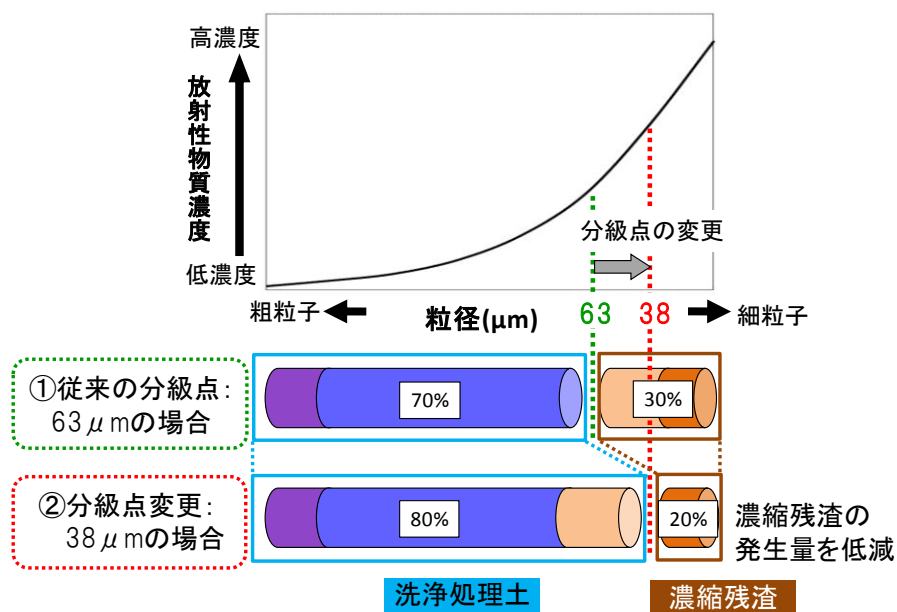


図-2 土壌における放射性 Cs の保持機構と土壌中の放射性 Cs 吸着粒子の存在形態





低濃度汚染土壌(数千 Bq/kg 未満)では、サイクロンの分級点を 63μm より小さく可変できるようにした上で、適切な分級点を設定することにより、目標放射能濃度を達成しつつ、減容率が 70%から 80%まで改善することを実証する。ただし今回の実験では、機器手配の都合上、分級点が 63μm ではなく 75μm のサイクロンを使用する。

実証試験では、以下のような分級点可変システムを構築し、通常システムと比較することにより、減容率の改善効果を示す。

- 吐出圧制御を行うことによる分級点の変更
- 異なる分級点の 2 種のサイクロンを並列配置することによる分級点の変更

図-5 分級点可変システムの概要

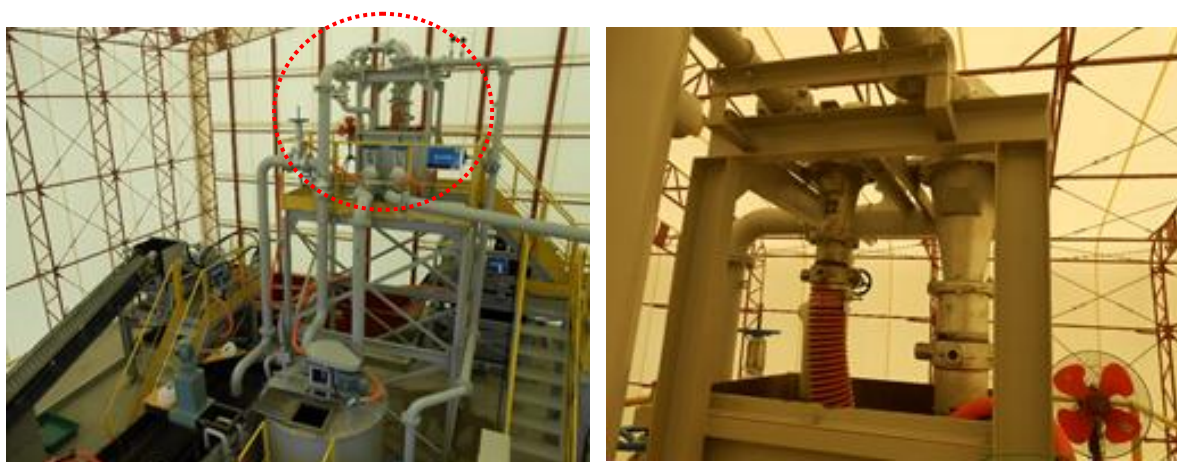
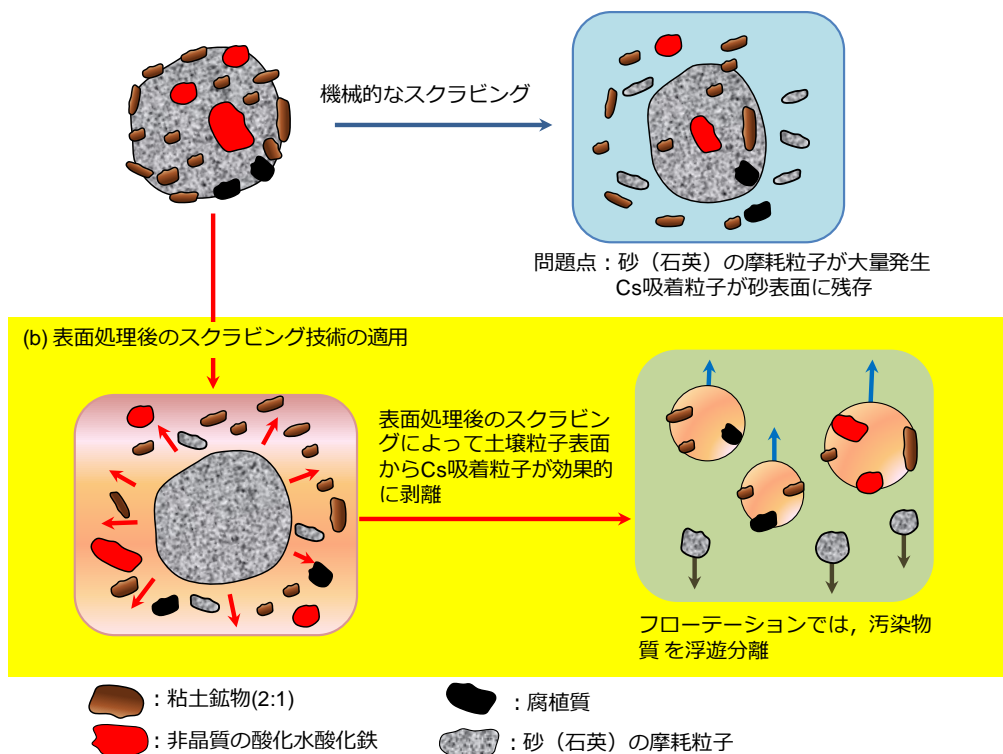


写真-2 分級点可変システム (ハイドロサイクロン)





高濃度汚染土壌(数千～3万 Bq/kg)では、酸・アルカリ等の薬剤による土壌粒子の表面処理後にスクラビングを行うことで、土粒子表面を薄く剥離し、高い放射能除去率を維持しつつ、濃縮残渣の発生量を抑えることにより、減容率を70%から80%まで改善することを目標として、実証試験を行う。

実証試験では、酸・アルカリ等の薬剤による土壌粒子の表面処理後にスクラビングを行った場合と、薬剤を使用しないでスクラビングを行った場合を比較することで、放射能除去率を維持しつつ、減容率が改善されたことを示す。

図-6 表面処理後のスクラビング技術の概要

(a) スクラバー

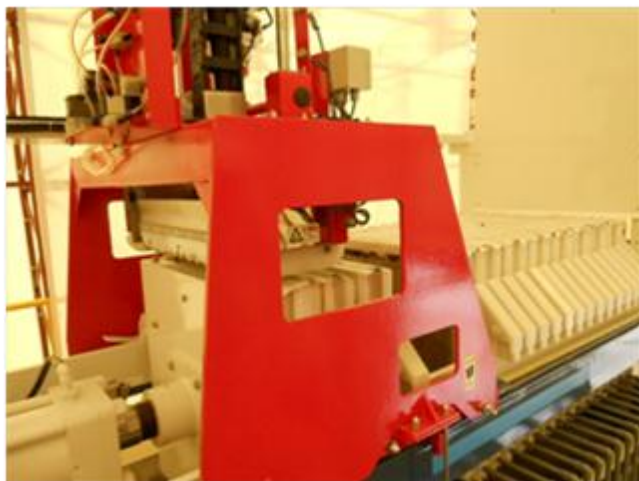


(b) フローテーション



写真-3 表面処理後のスクラビング・フローテーション

(a) 脱水ケーキ（濃縮汚染土）の自動かきとり試験



(b) 濃縮汚染土の造粒（ペレット化）試験



高線量である濃縮残渣(脱水ケーキ)を自動処理することにより、作業員の曝露線量を低減することを実証する。フィルタープレスにより脱水されたケーキは、フィルタープレスの自動掻き取り機能によりベルトコンベヤに掻き落とされた後、ペレット化装置に運搬され、ペレット化装置にて梱包に適した粒状に加工された後、最終的にフレコンに梱包される。この一連の工程を自動化することで、作業員の曝露線量を低減可能であることを実証する。

実証試験では、フィルタープレス周辺で空間線量率調査を行ない、得られた線量率値に基づいて、累積曝露線量を推定し、作業員が脱水ケーキを処理する場合と比較して累積曝露線量の低減効果を示す。

写真-4 作業員の被ばく線量の低減（濃縮残渣の自動処理化）

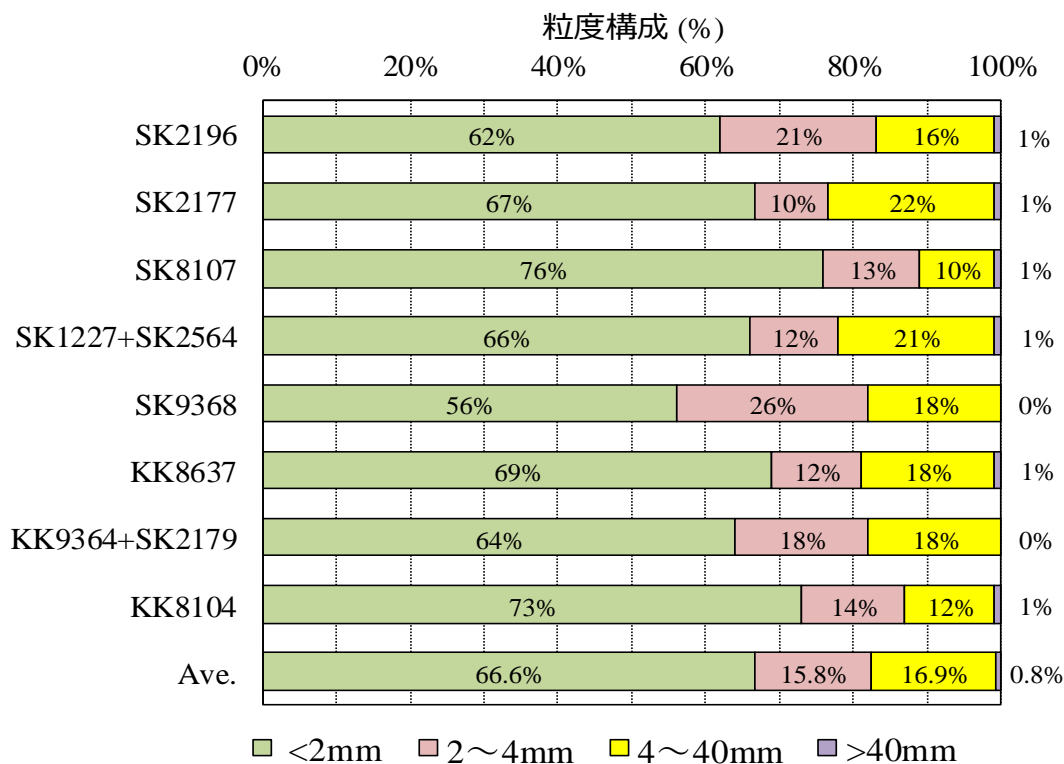
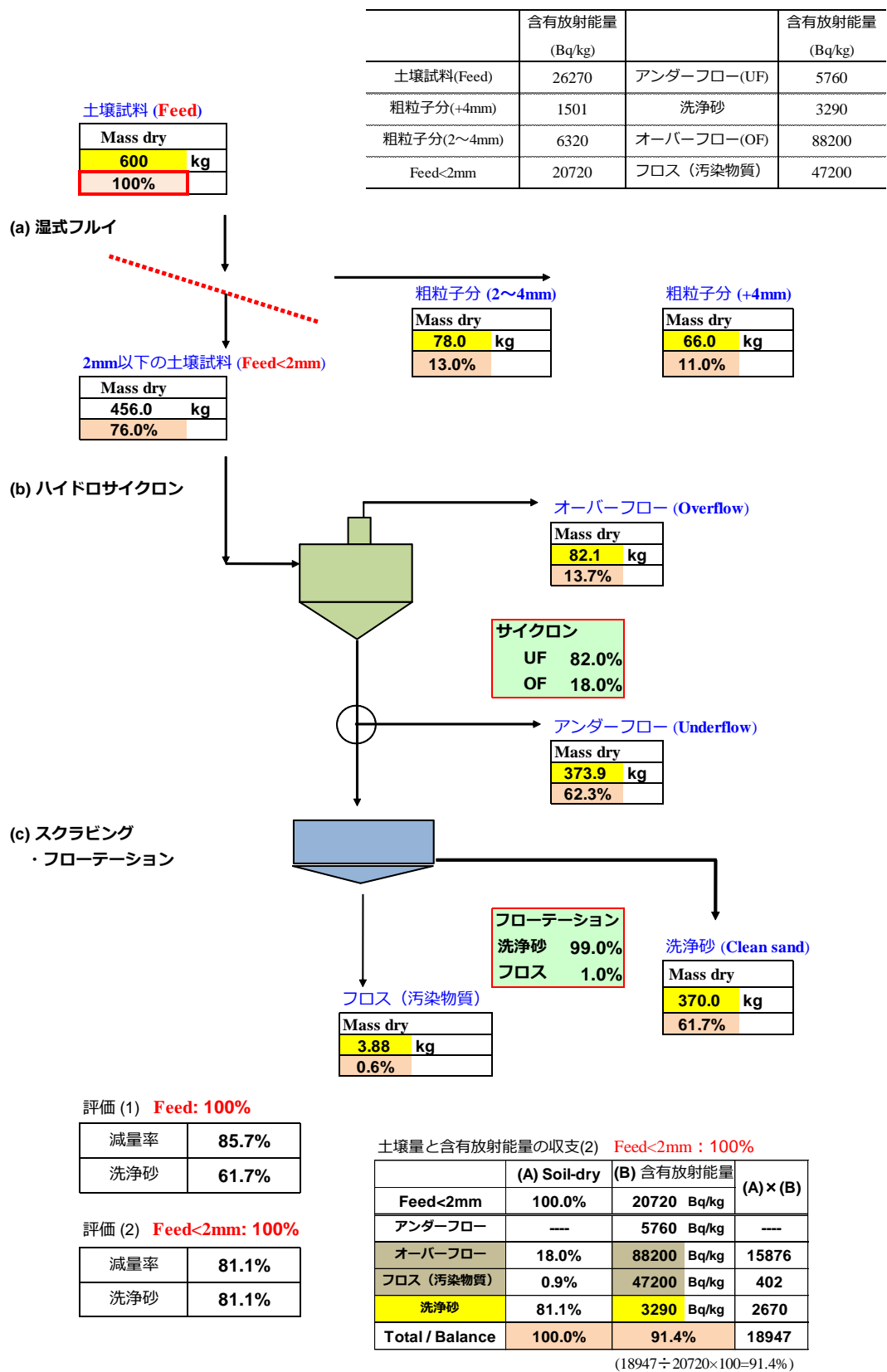


図-7 放射性物質汚染土壌の粒度構成（速報）

表-1 放射性物質汚染土壌の土壌洗浄試験の結果（速報）

Data	SK-8107				SK-1227+2564				KK-8637				KK8104			
	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Cs-Total (Bq/kg)	除去率 (%)
Feed, 元土壌	9370	16900	26270	----	5610	10200	15810	----	6860	12000	18860	----	6820	12000	18820	----
Feed<2mm, 湿式フルイ	7220	13500	20720	----	4630	8540	13170	----	7390	13100	20490	----	7580	13100	20680	----
UnderFlow (UF), ハイドロサイクロン	1990	3770	5760	78.1%	1310	2410	3720	76.5%	2250	3400	5650	70.0%	1940	3600	5540	70.6%
洗浄砂, フローテーション条件(1)	1140	2150	3290	87.5%	773	1420	2193	86.1%	909	1690	2599	86.2%	1180	2210	3390	82.0%
洗浄砂, フローテーション条件(2)	1120	2010	3130	88.1%	786	1540	2326	85.3%	1300	2270	3570	81.1%	1230	2150	3380	82.0%
洗浄砂, フローテーション条件(3)	942	1690	2632	90.0%	831	1570	2401	84.8%	----	----	----	----	1070	1770	2840	84.9%
濃縮汚染土	31100	57100	88200	----	15600	28300	43900	----	13000	22100	35100	----	27300	47300	74600	----
凝集沈殿処理水	ND	ND	ND	----	ND	ND	ND	----	ND	ND	ND	----	----	----	----	----

※フローテーションの番号は整理番号である。

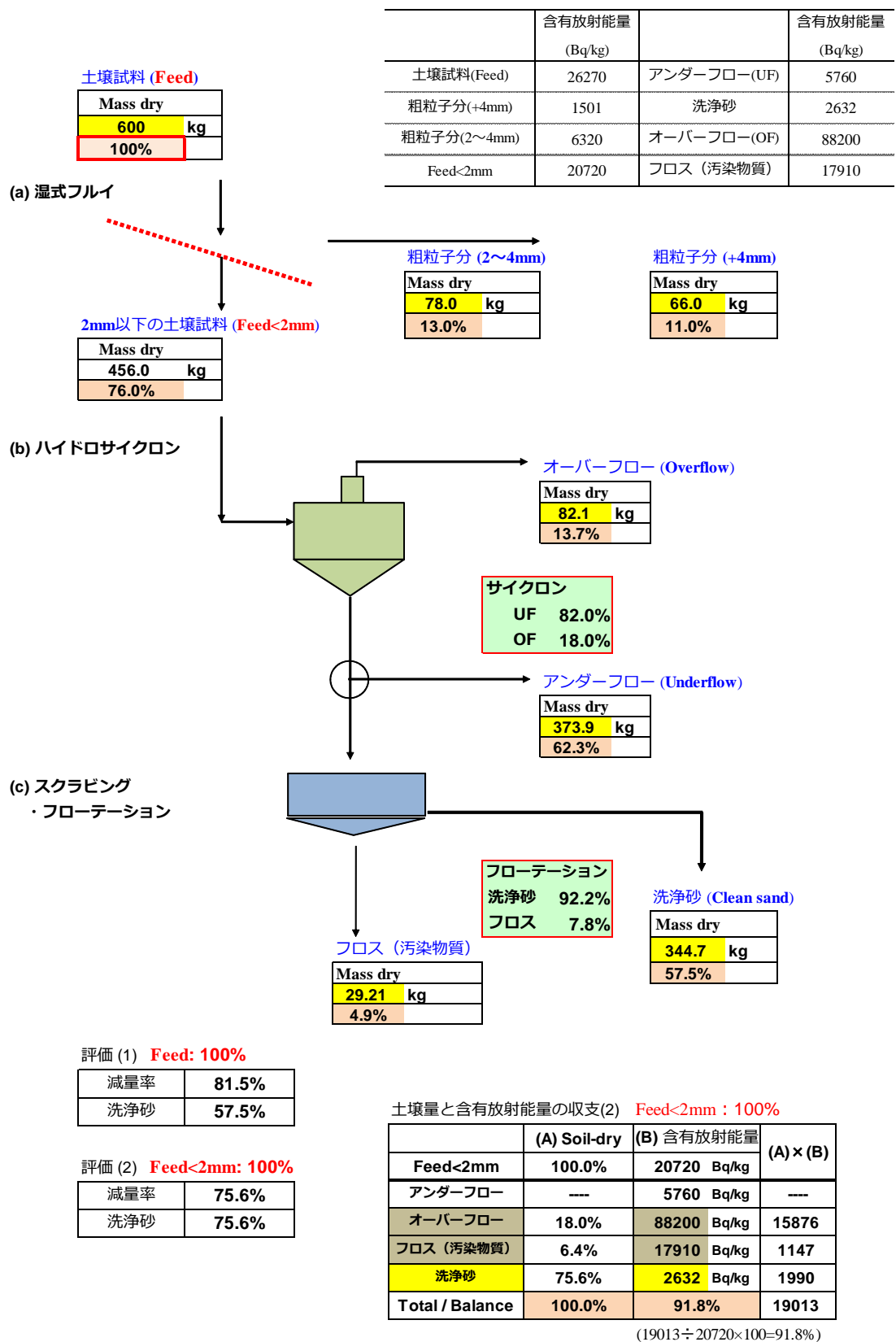


評価(1)の減量率(%) = (1 - (サイクロン OF + フローテーションフロス) ÷ 土壌試料(Feed)) × 100

評価(2)の減量率(%) = (1 - (サイクロン OF + フローテーションフロス) ÷ 2mm 以下の土壌試料(Feed<2mm)) × 100

図-8(a) 土壌量収支と減量率, 表面処理後のスクラビング技術の場合





評価(1)の減量率(%) = (1 - (サイクロン OF + フローテーションフロス) ÷ 土壌試料(Feed)) × 100

評価(2)の減量率(%) = (1 - (サイクロン OF + フローテーションフロス) ÷ 2mm 以下の土壌試料(Feed<2mm)) × 100

図-8(b) 土壌量収支と減量率，機械的なスクラビングの場合



写真-5 フィルタープレス周辺の空間線量率の測定

表-2 1年間当たりの作業員の被ばく線量の低減（濃縮残渣の自動化処理）

作業内容	従来作業 ( $\mu\text{Sv}$ )	自動化後 ( $\mu\text{Sv}$ )	低減 被曝線量 ( $\mu\text{Sv}$ )
フィルタープレス での脱水作業	720	120	▲600
脱水ケーキの 袋詰め作業	25200	3465	▲21735
合計	25920	3585	▲22335

(a) 元土壤(Feed)



(b) 洗浄砂



(c) 濃縮残渣



写真-6 元土壤(Feed), 洗浄砂, および濃縮残渣

## 付録 2-5

実施代表者の所属機関： 前澤工業 株式会社

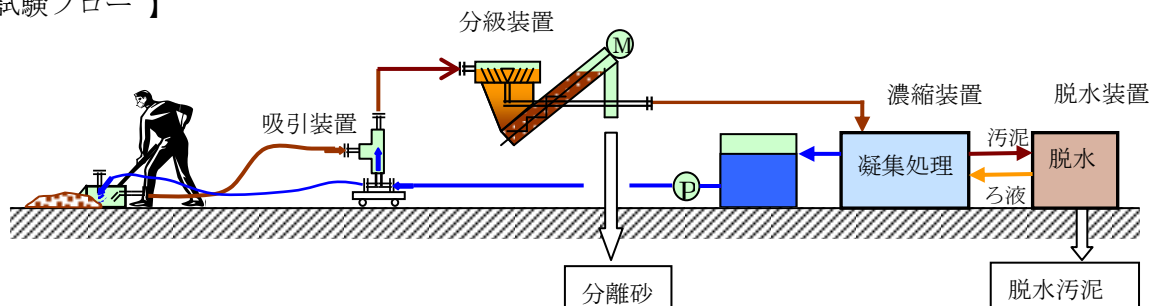
実証テーマ名：可搬式吸引洗浄機と車載式分級・濃縮・脱水装置による洗浄水クローズシステム

事業の概要：移動式の吸引・洗浄・分級・濃縮・脱水システム装置を用いて、側溝・雨水枡・舗装道路の吹き溜まりなどの土壌（ホットスポットとして可能性が高い汚染土壌）から汚染物質の除去・回収・減容化を現場単位で行なう装置。洗浄水は循環利用することでクローズシステムとする。

実施内容：本システム装置を用いて、側溝・舗装面のホットスポット・未舗装の空き地(更地・草地)などの堆積土砂または表層土を吸引除去・洗浄・分級・濃縮・脱水し、その洗浄・分離・濃縮効果を検証する。又対象エリアの放射線を測定して、除染効果を確認する。

技術概要：

### 【 試験フロー 】

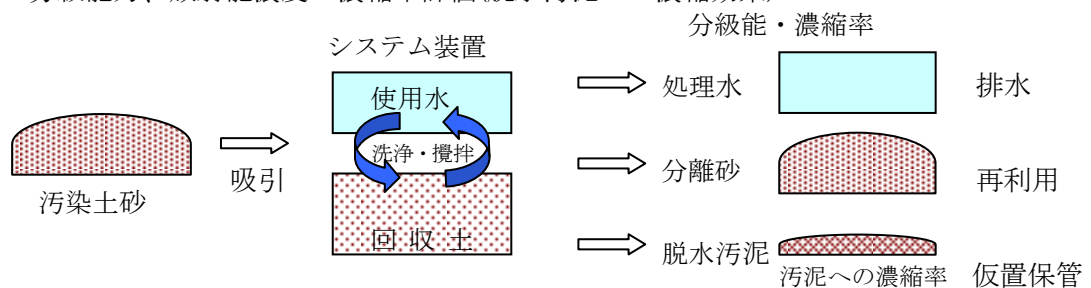


### 【 試験目標 】

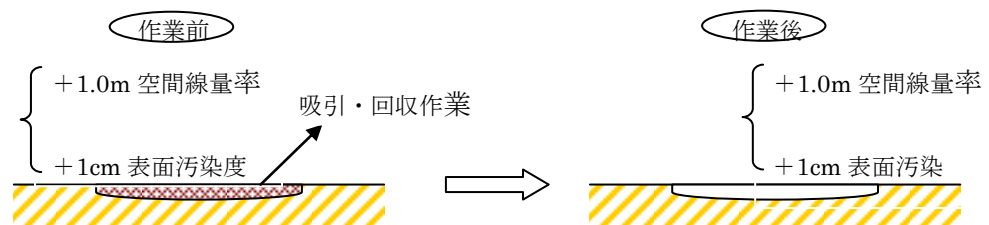
- (1)吸引装置の操作性・利便性の確認(吸引口・吸引作業方法の検証)
- (2)システム全体のバランスと機動性の実証(水バランス・作業範囲の把握)
- (3)対象土壌に対する洗浄効果の実証(処理水・分離砂・脱水汚泥の放射能濃度の変化の把握)

### 【 期待される効果 】

- (1)土壌の分級能力、放射能濃度の濃縮率評価(脱水汚泥への濃縮効果)



- (2)除染効果の評価(表面汚染と空間線量率の低減効果)



その他： 実証試験場所

- ①原町第一下水処理場内・・・(対象箇所)未舗装通路の掻き取り土砂、場内側溝内土砂
- ②小高区片草運動場・・・(対象箇所)更地、草地(草伐採)、側溝内堆積土砂、駐車場舗装部（ホットスポット有）の二場所でそれぞれ実証試験を実施した



除染効果：原町第一下水処理場、片草運動場それぞれの結果は下記であった。

対象地区		表面汚染減少率 [%]		空間線量率 減少率 [%]	除去物量 減量率 [%]	放射エネルギー 回収率 [%]	放射能 濃縮率 [倍]
		GM 測定	NaI 測定				
原町	側溝	100	96	16	—	—	—
	掻取り土	—	—	—	90	83	9.0
片草運動	更地平均	83	57	5	71	83	2.9
	草地	62	66	13	66	87	2.6
	側溝	97	97	21	65	注) 76	注) 0.7
	アスファルト	84	93	50	48	注) 63	注) 0.7

※表面汚染減少率・空間線量減少率：除染前と後の減少値平均を、除染前の平均値で除した率。

※除去物減量率：(原砂(汚染土)－脱水汚泥)÷原砂(汚染土)とし全て乾燥重量ベースとする

※放射エネルギー回収率：脱水汚泥(Bq)÷原砂(汚染土)(Bq)とし脱水汚泥が回収した放射エネルギー率を示す

※放射能濃縮率：脱水汚泥(Bq/kg)÷原砂(汚染土)(Bq/kg)とし脱水汚泥への kg 当りの濃縮率を示す

注) 側溝・アスファルトの放射エネルギー収支は発生脱水汚泥が少量でパンプアップ不可のため推定値で提示している

除去物発生量評価：処理量あたりの分級物・脱水ケーキの発生量

原町：(分離砂(410Bq/kg)385kg＋脱水ケーキ(9,900Bq/kg)40kg)／原砂(汚染土)(1,120Bq/kg)425kg

片草：(分離砂(2,900Bq/kg)1,718kg＋脱水ケーキ(39,000Bq/kg)863kg)／原砂(汚染土)2,554kg

作業員被ばく量評価：作業期間中の作業員の被曝量は下記であった。

項目\作業場所	原町第一処理場	小高区片草運動場
作業場所平均空間線量率	0.27 $\mu$ Sv/h、作業時間 47.3h	0.58 $\mu$ Sv/h、作業時間 55.7h
作業員最大被ばく量	24.0 $\mu$ Sv、作業時間 90.0h 作業箇所：除染対象エリア（濃度測定）	51.0 $\mu$ Sv、作業時間 91.5h 作業箇所：除染対象エリア（濃度測定）
作業員平均被ばく量	12.5 $\mu$ Sv	31.8 $\mu$ Sv

コスト評価：処理単価

側溝 (0.3mW)：1,305 円/m

更地 (掻取り厚 20mm)：1,927 円/m<sup>2</sup>

草地 (草刈取後)：3,069 円/m<sup>2</sup>

アスファルト (洗流後吸引)：230 円/m<sup>2</sup>

※1) 掻取り土：36,829 円/m<sup>3</sup>

除染作業歩掛り (作業人工、作業速度) ※人力に比べ 50%効率化

側溝 12.7m/時間 0.039 人/m

更地 8.6m<sup>2</sup>/時間 0.058 人/m<sup>2</sup>

草地 5.4m<sup>2</sup>/時間 0.093 人/m<sup>2</sup>

アスファルト 72m<sup>2</sup>/時間 0.007 人/m<sup>2</sup>

※1) 掻取り土 0.45m<sup>3</sup>/時間 1.11 人/m<sup>3</sup>

※1) 掻取り土とは、地表面を機械(または人手)ですき取り、集積した汚染土を言う

コスト評価条件：1 日当りの作業時間：6 時間、稼働日数：250 日/年、20 日/月

労務単価：18,000 円/人、作業人工：除染作業 2 人、装置管理 1 人 計 3 人

除染作業における安全上の注意：

- 通常はヘルメット・防塵マスク・ゴム手袋・長袖作業服 (上下)・ゴム長安全靴で作業し、ホットスポット・高濃度汚染水作業は上記に防塵眼鏡と雨具着用。帰宅時や必要時 GM サーベイメーターで汚染状況を測定。
- 現場ハウス入室の場合、ゴム長安全靴を洗い場で洗浄。飲食・喫煙は現場ハウス内又は車内のみを厳守。

試験場所：南相馬市

原町第一処理場：錦町 3-120

小高区片草運動場：南原

除去物保管場所と保管状況：保管は別紙「処理土壌の保管要領」参照

原町第一処理場：場内実験装置設置場所 (装置撤去後の跡地に埋設)

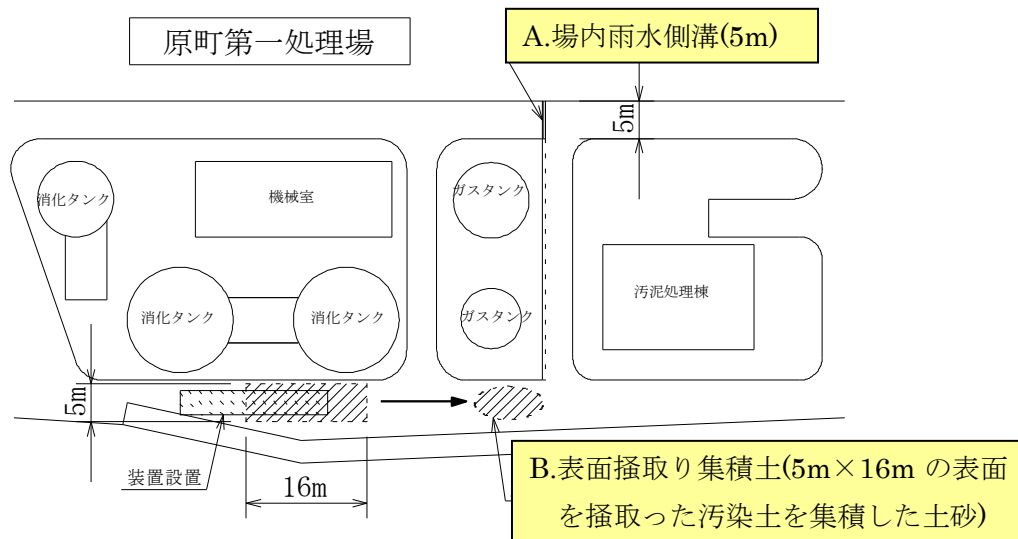
片草運動場：本実験場所 (更地 D 区域)

## 1. 原町第一下水処理場での実証実験

### (1) 実験概要

A 場内側溝内の土砂回収による除染効果(表面汚染濃度の変化)

B 未舗装通路の表面搔取り集積土による、洗浄試験



写真－1.01 雨水側溝(除染前)



写真－1.02 除染作業中



写真－1.03 除染作業完了



写真－1.04 表土の集積土(砂利を含む)



写真－1.05 吸引状況



写真－1.06 分離砂排出状況

(2) 除染施工後の結果

A. 雨水側溝

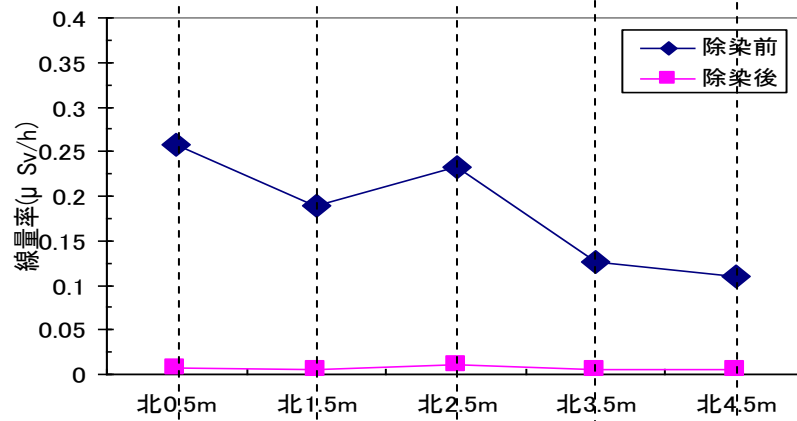
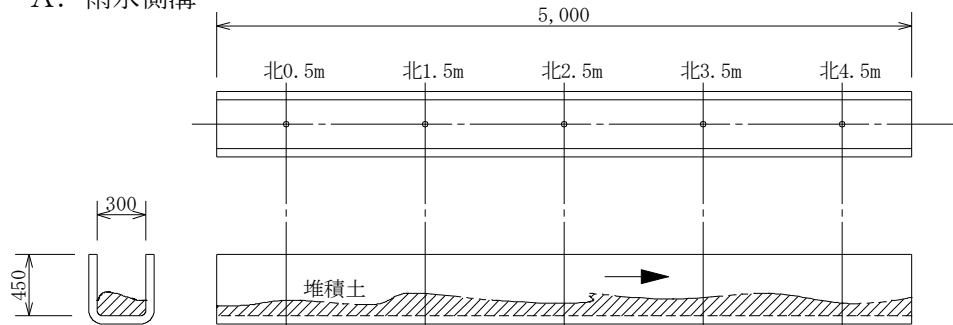


図-1.01 側溝の表面汚染変化 ( $\mu\text{Sv/h}$ , GL+1cm)

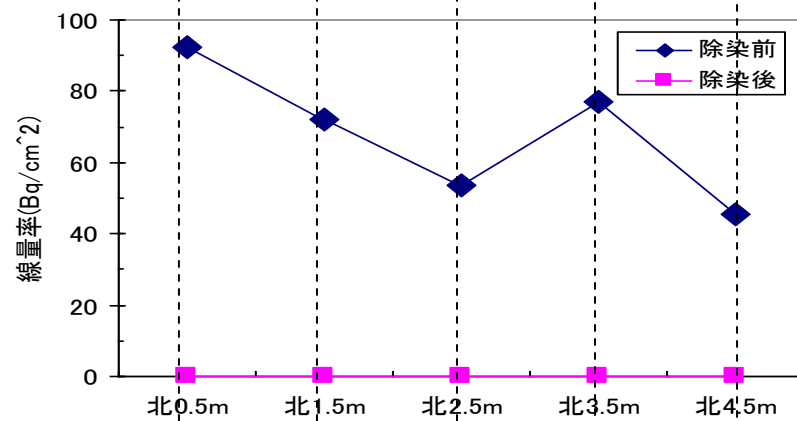


図-1.02 側溝の表面汚染変化 ( $\text{Bq/cm}^2$ , GL+1cm)

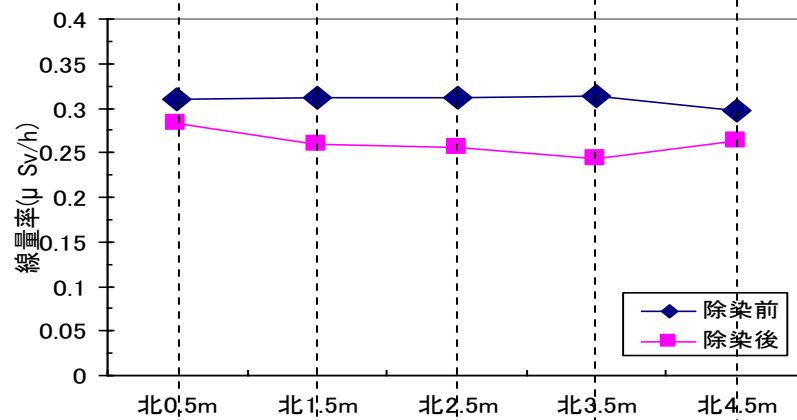
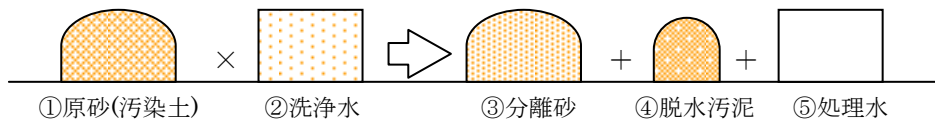


図-1.03 側溝の空間線量率変化 ( $\mu\text{Sv/h}$  GL+1m)

B. 表面掻取り土の洗浄

図－1.04 にはマテリアルバランスのイメージを、表－1.01 には表面掻取り集積土の処理重量、作業時間、放射エネルギー等を示した。



図－1.04 マテリアルバランスイメージ

表－1.01 剥取堆積土の各種データ

	①原砂	②洗浄水	③分離砂	④脱水汚泥	⑤処理水
処理重量(乾物重量)	425kg	—	385kg	40kg	—
全作業時間 と作業速度	作業時間：40 分 作業速度：637kg/h(=452L/h) ※原砂比重 1.41				
放射エネルギー Bq/kg	1,120	—	410	9,900	0.87～2.6
全放射エネルギー Bq	476,000	—	157,850	396,000	

表－1.01 をもとに重量ベースの減量率、及び放射エネルギーの回収率を求めると以下となる。  
これらより、90%の減量率(重量ベース)、回収率(放射エネルギー)83%、濃縮倍率(放射能)  
9 倍の結果が得られた。

$$\begin{aligned}
 \text{除去物量減少率} &: (\text{①} - \text{④}) \div \text{①} = (425\text{kg} - 40\text{kg}) \div 425\text{kg} \\
 &= 90\% \\
 \text{放射エネルギー回収率} &: \text{④} \div \text{①} = 396,000 \text{ Bq} \div 476,000\text{Bq} \\
 &= 83\% \\
 \text{放射能濃縮率} &: \text{④} \div \text{①} = 9,900 \text{ Bq/kg} \div 1,120 \text{ Bq} \\
 &= 8.8 \div 9.0
 \end{aligned}$$



## 2. 片草運動場での実証実験

### (1) 実験概要

片草運動場は、警戒区域を解除された区域であり、高レベルの汚染が確認されている区域である、対象ヤードは以下の4箇所とした。

- |             |               |            |
|-------------|---------------|------------|
| ① 更地表層      | [ 3.0m×18.0m] |            |
| ② 草地表層(草刈後) | [ 2.4m× 9.0m] |            |
| ③ 側溝内堆積砂    | [ 0.6m×18.0m] |            |
| ④ 舗装上の堆積砂   | [ 6.0m×18.0m] | ※ホットスポット含む |



写真-2.01 現場鳥瞰写真

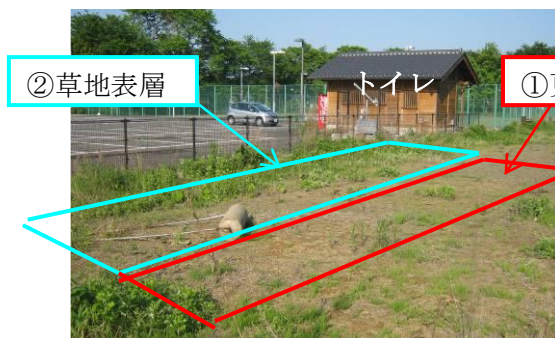
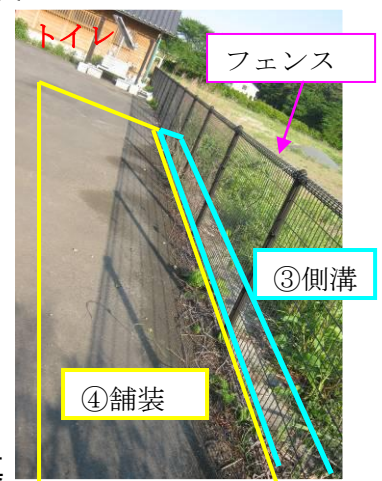


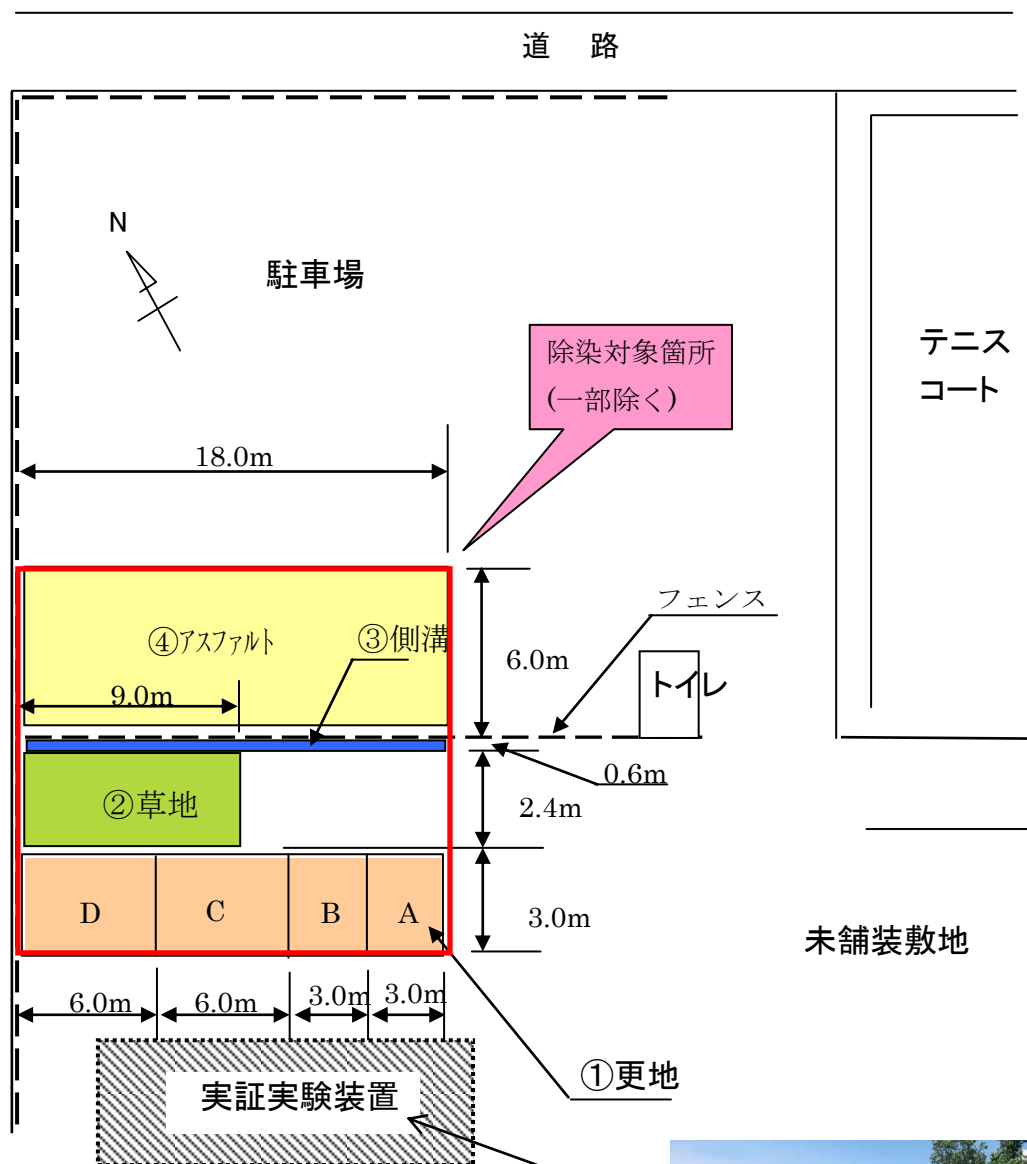
写真-2.02 ②方向からの写真



(右) 写真-2.03 ①方向からの写真

## 位置関係図

図－2.01 に片草運動場の除染対象区域については配置図を示した。



図－2.01 片草運動場除染対象区域配置図

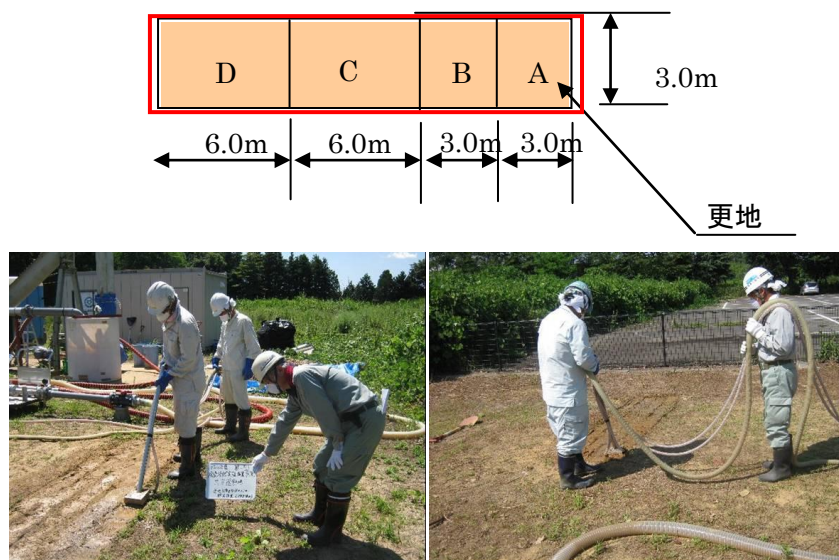


写真－2.04 装置全景

- ① 更地(比較的草類が少なかった部分を更地とした)  
A : MJP 施工、B : 人力剥取後 MJP 吸引、C、D : MJP 施工
- ② 草地(比較的草類が多く、草刈後も根っこが残る区画を草地とした)
- ③ 側溝内
- ④ アスファルト舗装(吹溜まり部、水溜り部がホットスポット)

(2) 各対象区の作業状況

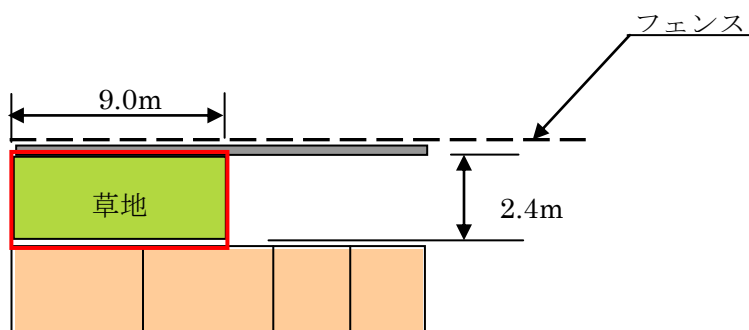
① 更地の作業状況



写真－2.05 更地作業状況

② 草地の除染作業

草地は草の量が更地と比べ多かった区画である。従って、草を刈った後も多くの草根が残っていた区画となる。作業状況を写真－2.06 に示した。



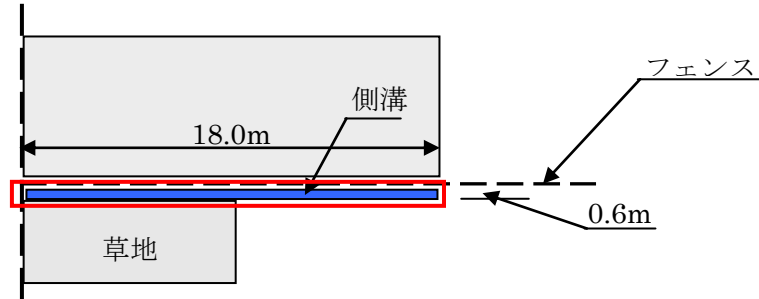
写真－2.06 草地作業状況



### ③側溝内の作業状況

コンクリート蓋の掛った雨水排水路である。駐車場アスファルト舗装の排水が流れ込む、きわめて高汚染土が蓄積した場所である。

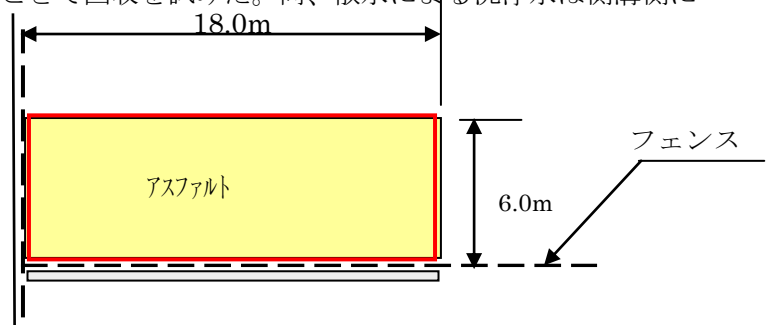
側溝サイズ＝ 幅 0.3m×深さ 0.4m×長 18m の中におよそ平均 7.6cm 厚みの土砂が堆積していた。異物は草葉・草根などが多く見られた。



写真－2.07 側溝作業状況

### ④アスファルト堆積砂の回収作業状況

アスファルト上に残る土砂は量的にはわずかではあるが、飛来した放射能が砂に付着して、砂の吹き溜まりや降雨時の水溜りに残置する形で残っており、表面汚染濃度は他区画よりも高い部分が点在する。飛散防止の目的も兼ねて散水による湿式にて回収した。具体的には、市販の散水栓で表面散水しながら一箇所に水を集め、MJP のサクシオンを路面に当てながら水を回収することで回収を試みた。尚、散水による洗浄水は側溝側に押し出し、側溝内に MJP の吸込口をセットして回収した。



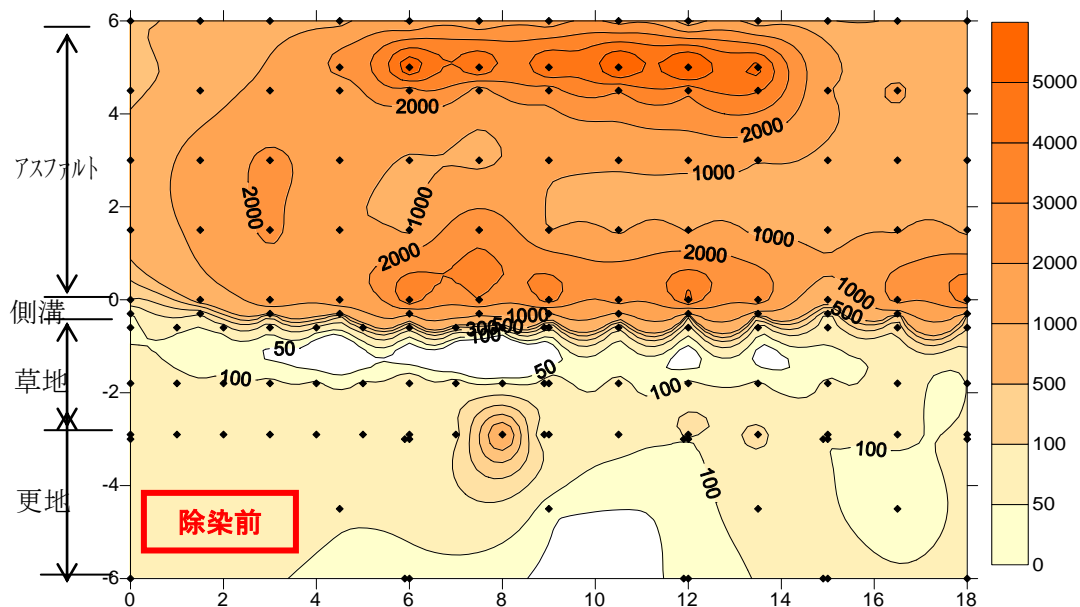
写真－2.08 作業状況



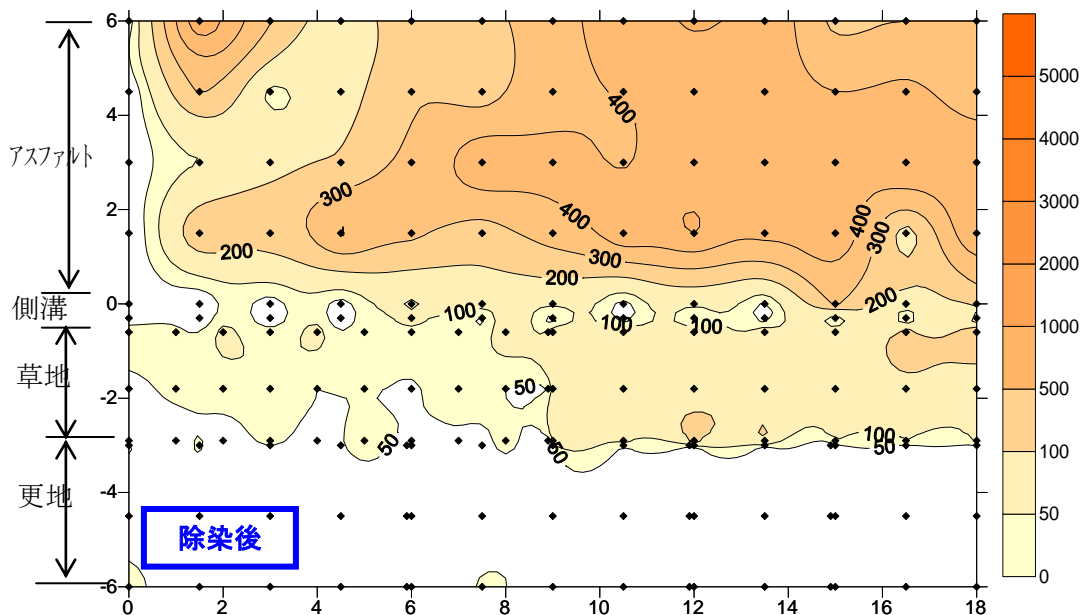
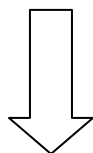
### (3) 除染施工後の結果

#### ①除染効果(表面汚染の比較)

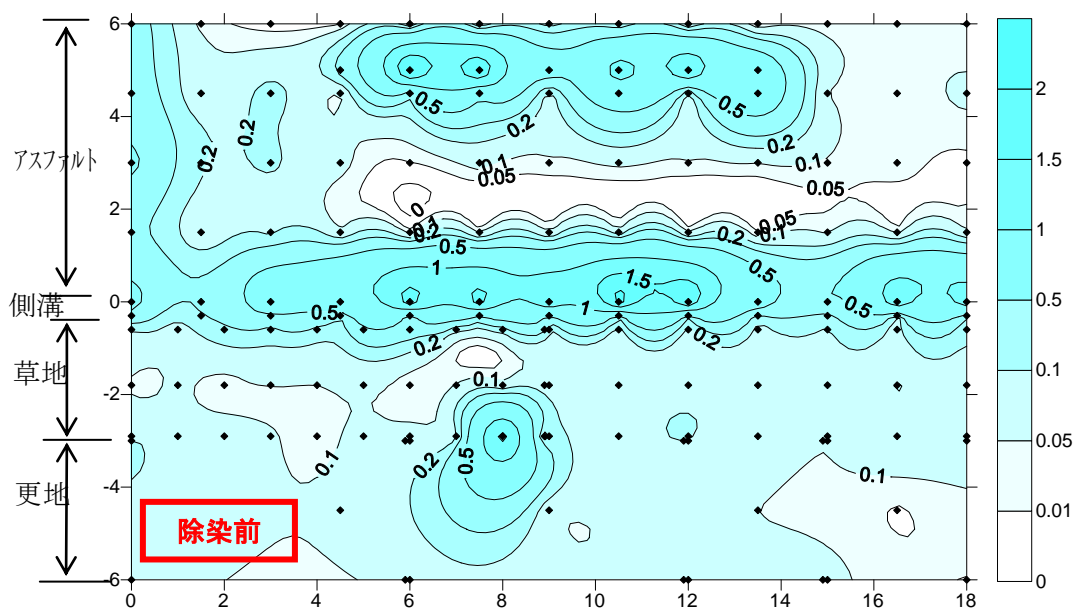
図－2.02～2.05 には除染前後の表面汚染について汚染濃度等高線で示した。



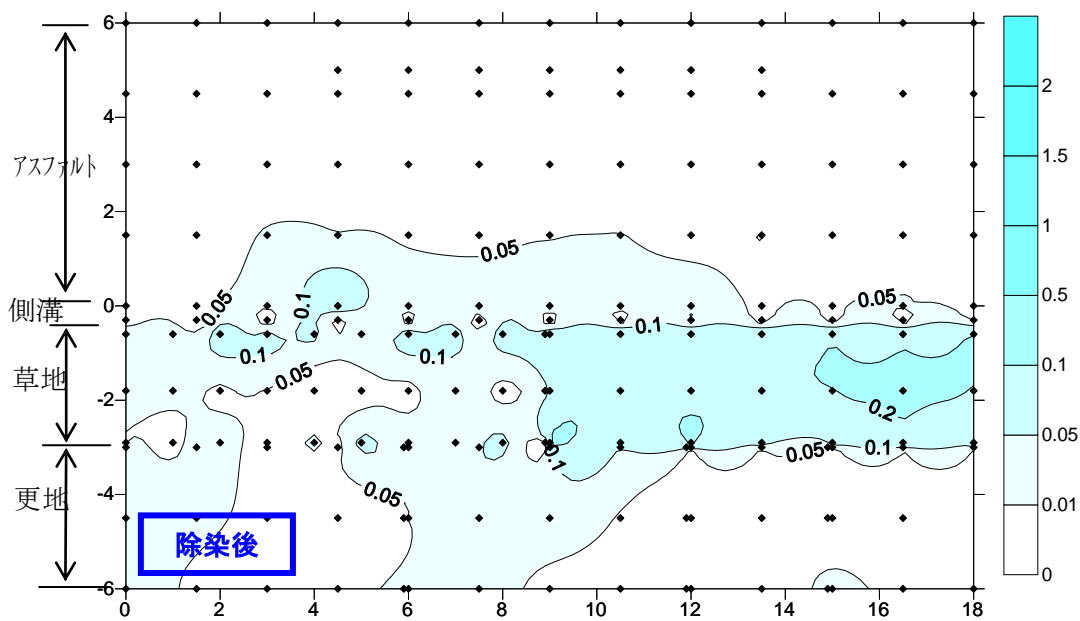
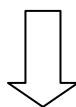
図－2.02 対象区域の表面汚染濃度等高線 (GM cpm、GL+1cm)



図－2.03 対象区域の表面汚染濃度等高線 (GMcpm、GL+1cm)



図－2.04 対象区域の表面汚染濃度等高線 (NaI  $\mu$ Sv/h、GL+1cm)



図－2.05 対象区域の表面汚染濃度等高線 (NaI  $\mu$ Sv/h、GL+1cm)

## ②作業速度と収支(回収物の濃縮と放射能量の変化)

各区画の除染作業の計測値より、物質収支、放射能量の移動を明らかにして作業スピード、減量率、放射能量の回収率などを求め、それを基に処理能力及び処理単価を算出した。

側溝・アスファルトについては対象汚染土が少量で、分離濁水の脱水処理まで至っておらず、また脱水汚泥を特定してサンプリングすることが不可能であった為、放射能量の回収率・放射能の濃縮倍率の計算を推定値で算出している。

表－2.01 除染作業データ

作業区	作業方法	作業速度	減量率 (kg/kg)	放射能量回収率 (放射能濃縮率)
更地A	吸込口E使用によるMJP (掻取り厚 24mm)	9.8 m <sup>2</sup> /h 58.8 m <sup>2</sup> /日	76%	66% (2.7 倍)
更地B	表層スコップ 掻取＋MJP 吸引 (掻取り厚 32mm)	9.0 m <sup>2</sup> /h 54.0 m <sup>2</sup> /日	62%	103% (2.7 倍)
更地C	吸込口E使用によるMJP (掻取り厚 14mm)	9.6 m <sup>2</sup> /h 57.6 m <sup>2</sup> /日	79%	78% (3.7 倍)
更地D	吸込口E使用によるMJ P(掻取り厚 22mm)	8.6 m <sup>2</sup> /h 51.6 m <sup>2</sup> /日	67%	86% (2.6 倍)
更地の平均			71%	83% (2.9 倍)
草 地	吸込口E使用によるMJP (掻取り厚 12mm)	5.4 m <sup>2</sup> /h 32.4 m <sup>2</sup> /日	66%	87% (2.6 倍)
側 溝	吸込口D使用によるMJP (幅 0.3m×18m)	12.7 m <sup>2</sup> /h 76.2 m <sup>2</sup> /日	65%	注) 76% (0.7 倍)
アスファルト	散水集水掻寄せ＋MJP 吸引	144 m <sup>2</sup> /人・日 0.7 人/100m <sup>2</sup>	48%	注) 63% (0.7 倍)

※1日あたりの実作業時間は6時間とする。

※作業員は除染作業2名、装置の運転管理に1名、計3人体制とする。

注) 側溝・アスファルトの放射能量収支は発生する脱水汚泥が少量でサンプリングが困難なため、推定値で計算して記入している。

表－2.02 処理能力と処理単価

項 目	処理能力	処理単価	歩 掛	備 考
更地 (澆取 20mm)	8.6 m <sup>2</sup> /h	1,927 円/m <sup>2</sup>	0.058 人/m <sup>2</sup>	
表面掻取り集積土	7.5 L/分	36,829 円/m <sup>3</sup>	1.11 人/m <sup>3</sup>	
側溝 (幅 0.3m)	12.7 m/h	1,305 円/m	0.039 人/m	
草地	5.4 m <sup>2</sup> /h	3,069 円/m <sup>2</sup>	0.093 人/m <sup>2</sup>	
アスファルト	72 m <sup>2</sup> /h	230 円/m <sup>2</sup>	0.007 人/m <sup>2</sup>	

※1時間当たりの処理単価：16,573 円/時間

※作業員構成：除染作業2人、設備運転操作1人、計3人

※稼働時間：6時間/日

～ 以上 ～

実施代表者の所属機関：財団法人 原子力研究バックエンド推進センター
実証テーマ名：低線量汚染された土壌の放射性物質減量化
事業の概要：混気ポンプ、分級機による土壌の除染効果の確認を行い、水処理による水の再利用が可能であるかを実証する。
実施内容：混気ポンプ、分級機によるそれぞれの除染メカニズムと効果の確認を行う。また、除染で利用する水を凝集沈殿により処理することで再利用できることを確認し、除染システムとしての適用性を評価する。
<p>技術概要：</p> <p>1. 試験フロー</p> <p>2. 試験目標</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 混気ポンプ、分級機の除染効果、その除染メカニズムを正確に把握する。除染効果目標は 100Bq/kg以下を目指す。</li> <li>② 凝集沈殿による水処理を行うことで、水の再利用が可能であることを確認する。再利用する水は、20Bq/lを目標とし、処理量は 1000m<sup>3</sup>/日（1 バッチ 25 分）を目標とし、リサイクル化を目指す。</li> <li>③ 除染処理量は、400 t /日を目標とする。</li> </ol> <p>3. 期待される効果</p> <p>混気ポンプによる除染メカニズムの解明と正確な除染効果を把握する事で、放射性汚染物の高除染を期待。</p> <p>その他：今後の目標として、土壌成分の分布や含有不純物による除染効果（除染率）と土壌回収率（マスバランス）と放射能バランスを明確にし、また、ゼオライト等添加剤使用時、及び洗浄回数を増やす事での除染効果の向上について実証する。</p>



除染効果：

混気ポンプ～分級機の除染効果（グラント等の標準的な砂質土）

放射線濃度 減少率について（例）

- ・混気ポンプ洗浄前の砂礫のセシウム放射能濃度 合計 14,000Bq/kg

洗浄後 185  $\mu$  以上 930Bq/kg→93%除染

65  $\mu$  以上～185  $\mu$  以下 1800Bq/kg→87%除染

上記、以外の土壌も実施しているが、ゼオライトや雲母成分の多い砂礫は、50%前後の除染効果を示している。また、木質、草茎、草根などを含む生活環境の土壌は、50%以下の洗浄効率のもの存在した。よって、混気ポンプシステムによる土壌洗浄は、標準の土壌には有効であるが、洗浄効率が土壌成分や含有不純物の内容に大きく左右されることもあり、それについては、今後の粒度分布による洗浄率を確認する事で実証できる。

水浄化装置の除染効果 下記表を参考（放射能濃度は Bq/kg）

試料名	測定時間（分）	比放射能 (Bq/kg)		測定日	含水率
		137Cs	134Cs		
汚染サンプル原廃水（除染前）	60	260	150	8月1日	—
汚染サンプルシルト（除染後）	60	90000	57000	〃	87.5%
汚染サンプル清澄水（除染後）	60	<25	<31	〃	—

※放射線量欄の「<」は検出限界値未満を示す。

- ・上記結果より、処理水の浄化レベルはリサイクル利用が十分な性能を示している。

除去物発生量評価：

—

作業員被ばく量評価：●作業場所平均空間線量率 0.2  $\mu$  Sv/hr、作業時間 7 時間●作業員最大被ばく線量率 2.0  $\mu$  Sv/hr の作業環境（空間線量率）（作業担当箇所 混気ポンプ土壌投入口、作業時間 0.5 時間）最大 55  $\mu$  Sv ●作業員平均被ばく量 35  $\mu$  Sv (0.2  $\mu$  Sv/h×175h)

コスト評価：ポンプ≒15,000 円 / t、水処理≒2,000 円/ t (m<sup>3</sup>) 歩掛り（作業人工、作業速度）：  
洗浄～水処理まで 0.125 人/ t

コスト評価条件：洗浄土壌はグラント等を使用してある砂質土とする。また、廃棄物処分費、土壌運搬費は含まない。プラント積込み、機械運転、技術管理、凝集シルト集積のみ

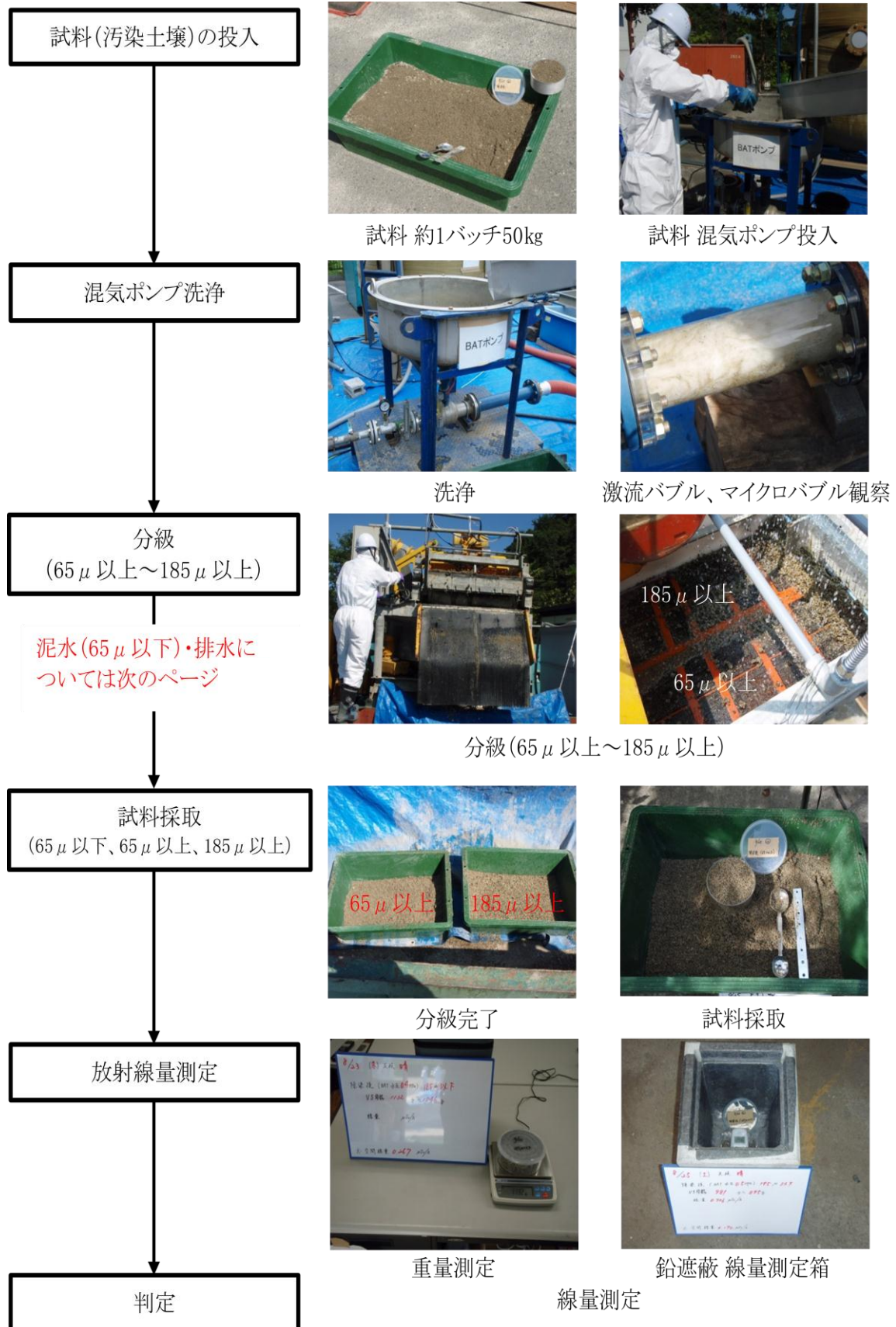
除染作業における安全上の注意：作業時における毎日の環境放射線量の測定と確認。作業従事者への周知、また、実験時は半面マスク、手袋、長靴の着用徹底。また、新規作業員には安全教育を実施している。

試験場所（住所）：

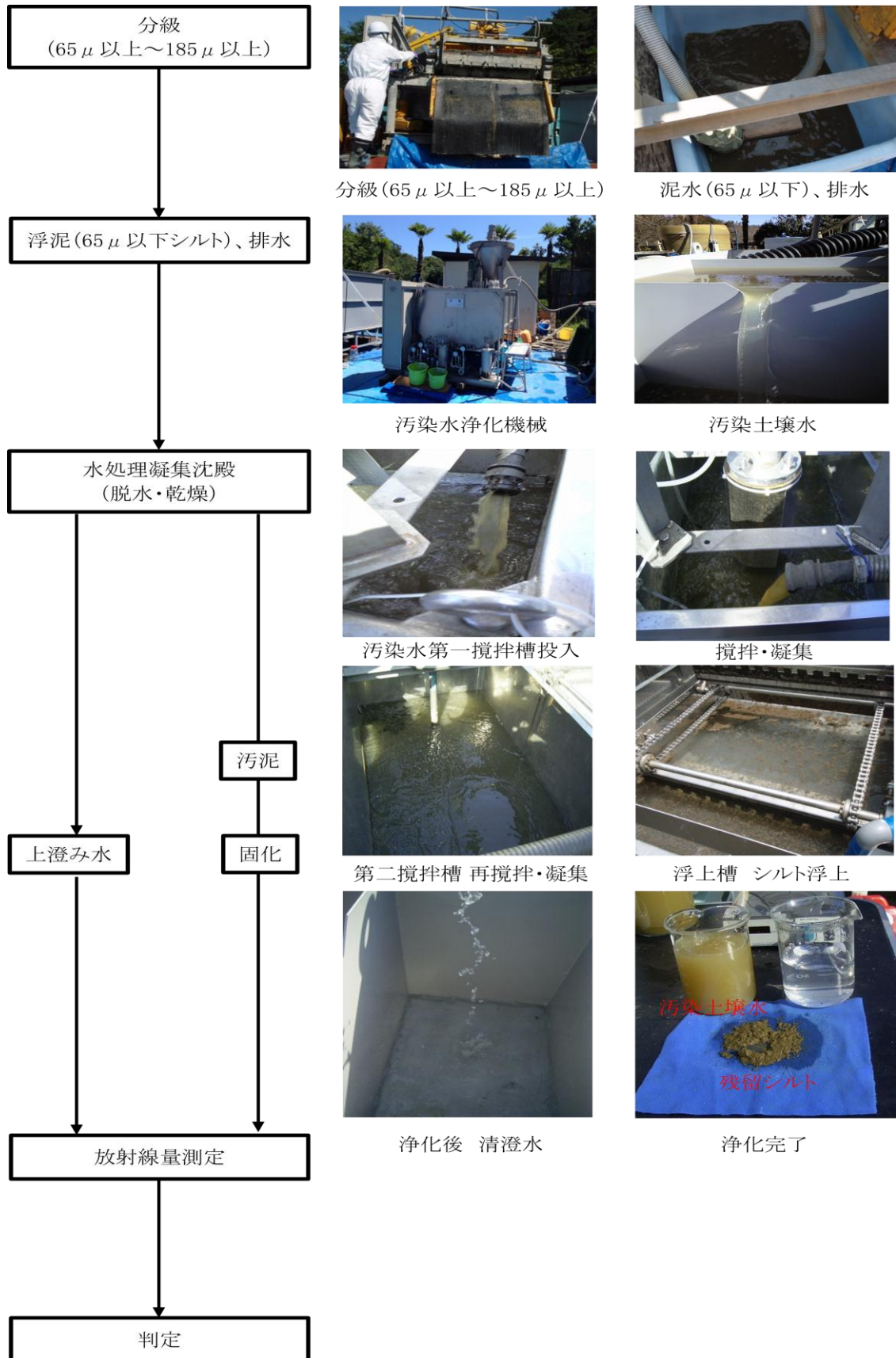
いわき市（福島県）

除去物保管場所と保管状況（写真別紙添付）：汚染土壌については実験ヤードに遮蔽ボックス（コンクリート製）に集積保管を行っている。この先、市町村による仮置き場が決定次第、移動する。

■今回実証実験の全体工程の概要（混気ポンプ～分級機）

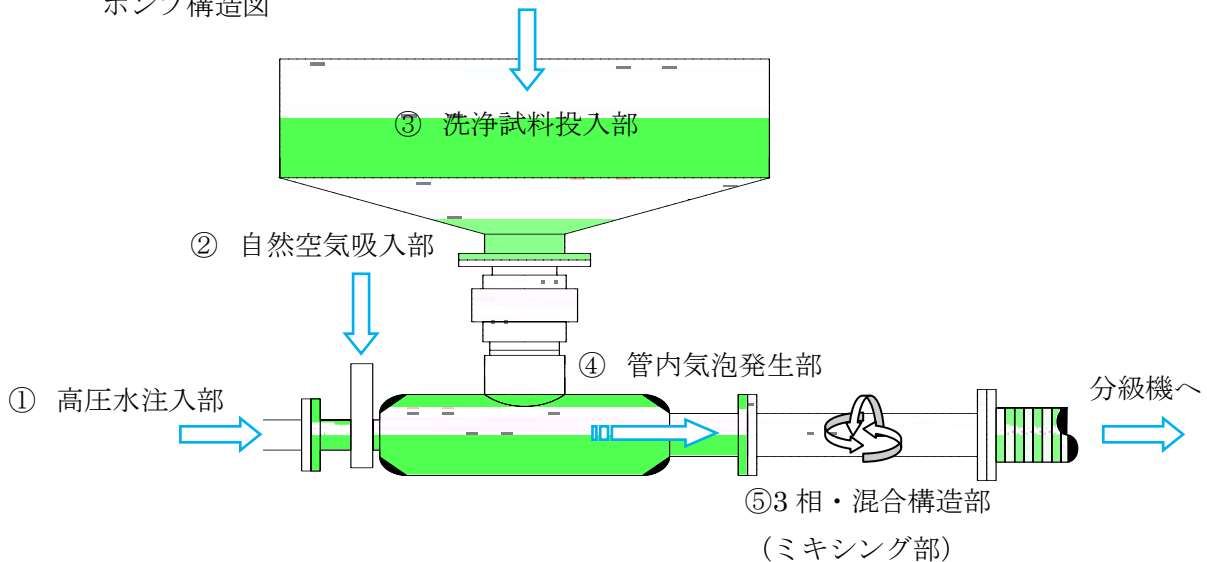


■今回実証実験の全体工程の概要（汚染水浄化機械）



## ■混気ポンプの洗浄メカニズムについて（1）

ポンプ構造図



洗浄プロセス	条件と相状態	洗浄現象
1.高圧水注入部	①水、 ②圧力（0～6 kg/cm <sup>2</sup> ）	汚染物の溶解、水圧による浸透作用
2.自然空気吸入部	①気体：空気吸入量 0～400l/分	ミニバブル混気流の発生
3.洗浄試料投入部	①個体：洗浄物質 (0～50 kg/分)	水・空気・個体の3相一体化 (更に、ゼオライトの添加による洗浄力向上は可能)
4.管内気泡発生部	気体・液体・固体の3相混気の 旋回流状態 ① 水流速度の制御構造 (縮流と水圧の加圧・加速) ② 水圧の減圧制御構造 (拡流構造と減速・減圧)	3相混気相中のミニバブル急増・泡消滅プロセス・高圧発生・マイクロ衝撃圧・旋回流の洗浄能力の発揮が想定される。OH <sup>-</sup> H <sup>+</sup> の効果。 又、マイクロバブルの洗浄効果も想定される。
5.3相・混合構造	①液体・気体・固体の 衝撃・混合	3相混相流の衝撃流部の高圧・気泡消滅・OH <sup>-</sup> とH <sup>+</sup> ラジカルによる洗浄が想定される。

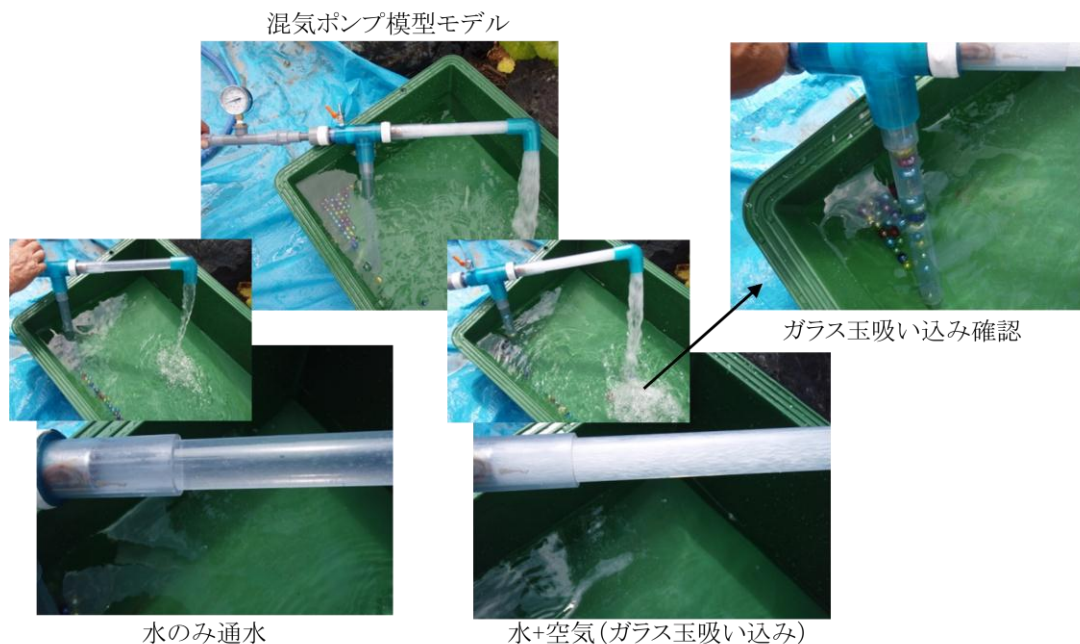
- ① 今回の装置では、上記「4」の気泡発生部の3相流を観察できる透明配管を作成し、流動状況の観察が可能である。同様に上記「5」のミキシングパーツ部直後の3相流体も透明管から観察できる。
- ② 洗浄効果の確認は、洗浄前の放射能濃度と洗浄後の放射能濃度の測定（Bq/kg）を比較して洗浄効果の30%～93%を確認している。2回洗浄や、ゼオライト粉末添加でも洗浄効果は向上する。また、洗浄効果は試料構成物質や試料粒度にも大きく影響されると思われる。今後、その辺りの除染効果の実証を行っていく。



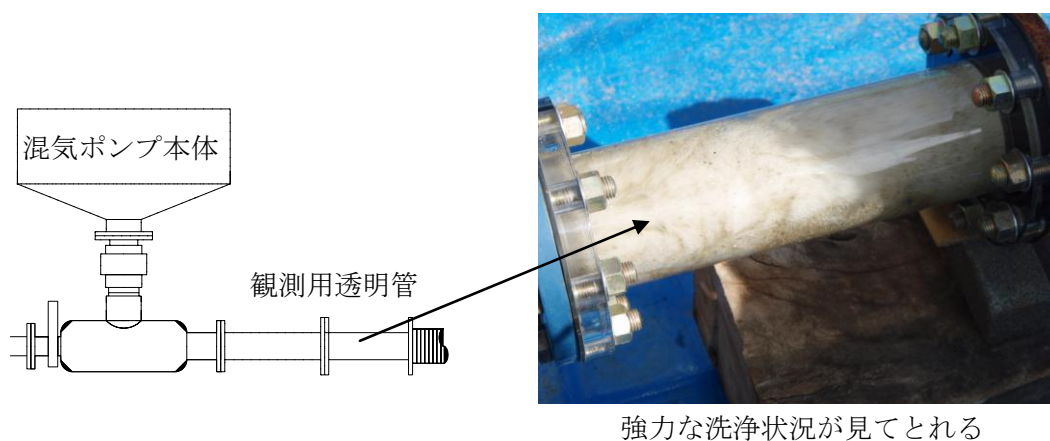
## ■混気ポンプの洗浄メカニズムについて（2）

### 混気ポンプ模型を使った「ガラス玉の吸い込み」試験

混気ポンプ機能性の確認のため、模型を製作し、ガラス玉吸引の効果の確認を可視状況で試験し水流の挙動を観察した。水道水のみを通水する場合には吸引力は発生しないが、空気を水流に加えるとバブルが発生し、吸引力が生まれる、と同時に自然空気吸入により、バブルの発生と吸引力を何もなかった配管内で、「ガラス玉個体」と「液体」と「空気成分の微細な泡」の3相で激しく混合旋回し、洗浄力を発生させる事が観察できた。

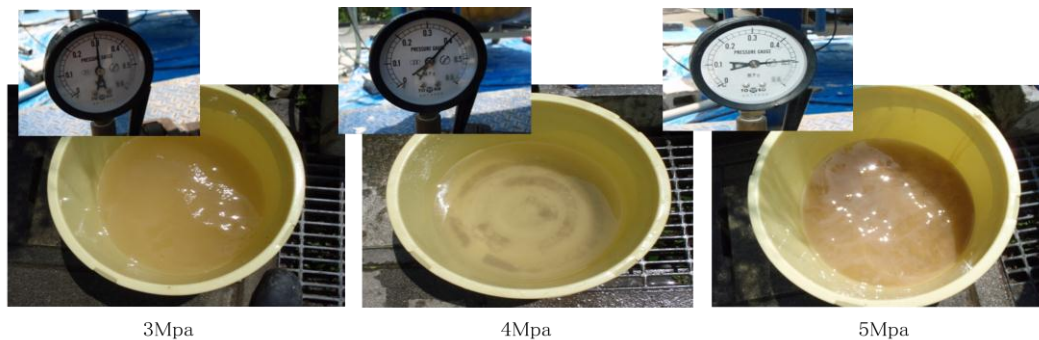


また、本体での洗浄状態は、混気ポンプに組み込んだ透明の流動混相流の観察用の配管パーツ、2箇所で見視確認できた



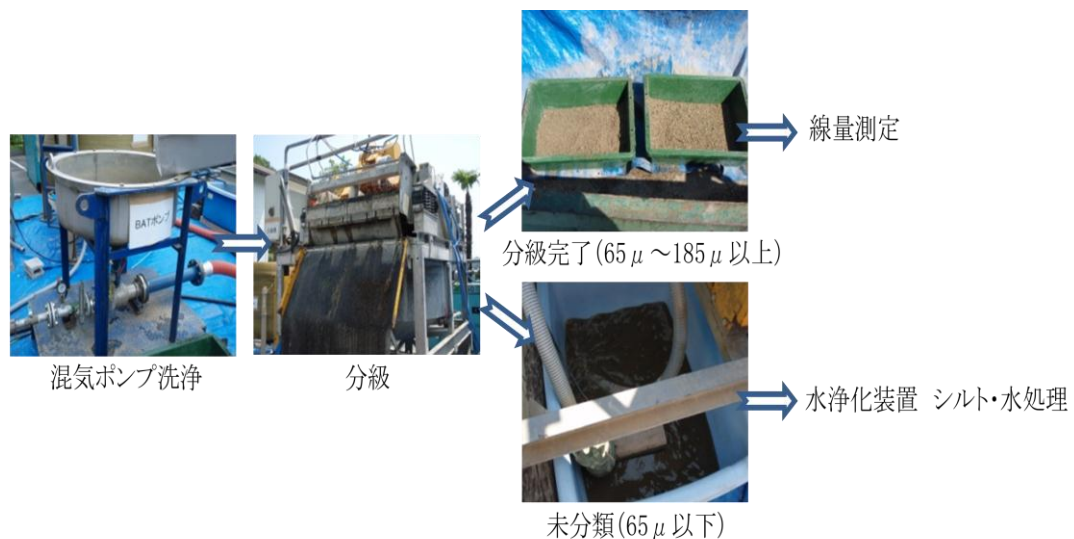
### ■混気ポンプと水圧

混気ポンプの水圧が汚染土壌の洗浄効果へどのような影響を与えているか、水圧を 0～6 気圧分布させて検討した。今回は過去の実績より 3 気圧～5 気圧程度が妥当と判断し、その気圧内での洗浄能力の差を洗浄後に付着している残留汚泥成分を確認する方法から評価した。評価方法は、洗浄後の砂礫を水道水で洗浄し、バケツ内の濁水の着色程度を目視で評価した。結果 3.5 気圧と 4 気圧、5 気圧の条件が最適な水圧と評価した。



### ■混気ポンプ洗浄効果（表紙 2P の詳細）

混気ポンプの除染効果の確認試験を実施した。試験において、 $185\mu$  以上の砂礫を分級し、 $185\mu$  以下のものをサイクロンに送り、 $185\mu \sim 65\mu$  の粒子を分級し、 $65\mu$  以下の粒子は廃液へ送った。（下記作業フロー）このプロセスを実施した。



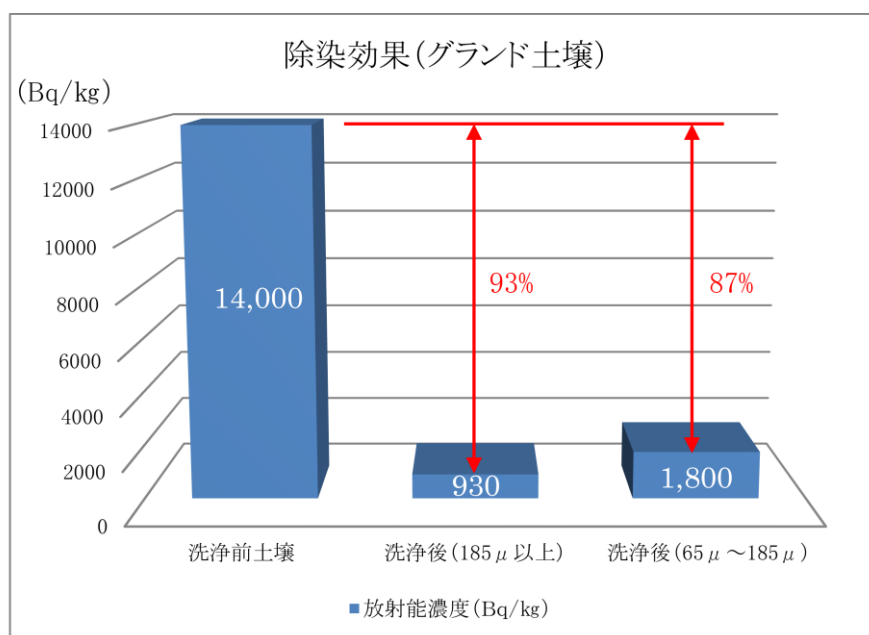
この時の試料中のセシウム放射濃度は約  $14,000\text{Bq/kg}$  であった。洗浄後  $185\mu$  以上の粒子のセシウム放射能濃度は  $930\text{Bq/kg}$ （見かけの値として、93%除染率）であった。

一方、混気ポンプ洗浄を経て、サイクロン分級機で  $185\mu \sim 65\mu$  に分級された粒子のセシウム放射濃度は、 $1,800\text{Bq/kg}$ （見かけの値として、87%除染率）であった。 $185\mu$  以上の砂礫と、 $65\mu \sim 185\mu$  の砂礫で除染率が異なる根拠は、砂礫を構成する鉱石（長石、方解石、

沸石、雲母)の構成割合が異なっていると想定される。この場合、シルトや粘土は全て除染廃液(65 $\mu$ 以下)へ移行していると想定している。

この段階で、混気ポンプ洗浄プロセスのみを通過した185 $\mu$ 以上の粒子の見かけの除染率は約80%~93%であった。

一方 混気ポンプ洗浄プロセスと分級機を経た65 $\mu$ ~185 $\mu$ のセシウム放射能濃度は1,800Bq/kgであり、除染率は87%であり、65 $\mu$ ~185 $\mu$ の砂礫は混気ポンプ洗浄を終えて、サイクロン・分級の工程を経ても合計で87%除染率に留まった。この傾向は他の実験結果からも同様であった。



これら数回の実験から、185 $\mu$ 以上の砂礫は混気ポンププロセスを通過するだけで、60%~80%の除染率を示している。又、65 $\mu$ ~185 $\mu$ の粒子の砂礫を比較してもほぼ同様のレベルの除染率を示した。しかし、30%~50%程度の除染率を示す砂礫も存在した。これは、砂礫構成がゼオライト成分や沸石、大谷石他、雲母成分(イライト、バーミキュライト)が多くて放射能を多く含んだ砂礫であろうと評価した。現段階では、シルトや粘土に付着したセシウム放射能は評価の値には入っていない。(除染廃液の中に移行していると評価。)

この結果より、今回の試験ではサイクロンの水の充填高が30cm程度であり、サイクロンと分級機による除染効果はほとんど無いとデータ評価から結論つけられる。また、試料によっては、30%~50%の除染率を示す事もあり、混気ポンプ洗浄に有効な土壤、不向きな土壤があるのではないかと想定できる。これは、単に砂の粒子中の鉱石の割合によるものなのか、それとも粒度分布によるものなのかは、これからの実験課題である。(※現在、粒度分布あたりの除染効果を確認している。)

また、混気ポンプ洗浄システムの今後の課題として洗浄率の向上を図る為、粉末状ゼオライトの添加、洗浄回数を複数回繰り返す等の実証実験も今後の課題として取り組んでいく。

## 水浄化装置の除染機能

水浄化装置の試験では、清浄化性能は確認されている。参考資料（分析値）に清浄化された処理水の放射能濃度が、検出限界以下データを示している。凝集沈殿剤エレクトサイトの性能や、処理水の浄化レベルが十分な性能を示している。

課題として、 $65\mu$ 以下の砂礫が前工程から送液された場合は、或るサイズの砂礫は、凝集沈殿されて、槽の下に沈殿して、浮遊化処理出来ないのではないかの懸念が存在する。残留物として槽内に蓄積してゆく懸念は無いのか。この対応策を今後、実験等で解明してゆく。一案としては槽を複数用意し、堆積量が増えた槽を新しい槽と切り替えて、システムの連続運転を継続しつつ、蓄積した槽の底から堆積物を抽出除去し、次の蓄積に槽を待機させて連続運転をに繋げる方法である。あるいは、槽の底にサンドポンプ等の抽出機構を設置し必要に応じて堆積物を抽出除去しシステムの連続運転を継続する方法である。

また、試料の組成が木質や草等の茎・根等を多く含む試料や、田の試料、その他（生活環境からの汚泥や鉱物・油等で汚れている汚泥）の試料での除染対応策について検討を考慮している。

## 試料測定結果

試料名	測定時間 (分)	比放射能 (Bq/kg)		測定日	含水率 (%)
		137Cs	134Cs		
7/26 サンプル A 原廃水	60	<27.480	<29.268	8/1	—
7/26 サンプル A シルト	60	58740.90	35802.19	〃	85.42
7/26 サンプル A 清澄水	60	<28.821	<29.725	〃	—
7/26 サンプル B 原廃水	60	56.443	<31.396	〃	—
7/26 サンプル B シルト	60	68730.21	43952.40	〃	80.60
7/26 サンプル B 清澄水	60	<26.568	<36.090	〃	—
7/26 サンプル C 原廃水	60	265.471	151.689	〃	—
7/26 サンプル C シルト	60	90421.49	56938.89	〃	87.48
7/26 サンプル C 清澄水	60	<25.763	<31.381	〃	—

注1) 比放射能欄の「<」は検出限界値未満を示します。

注2) 含水率欄に数値が記載されている試料の比放射能は、水分を除いた重量で除した値です。



## 総評

- 1) 混気ポンプの除染メカニズムは、混気ポンプ構造にあり、固体・液体・気体の混気流体の洗浄能力に起因していることが明らかになった。
- 2) 混気ポンプの除染能力に影響する工学的パラメータは、ポンプ構造、流動水圧、自然空気吸入構造、空気割合、ミニバブルの量とミニバブルのサイズ等である。
- 3) 除染効率に影響する因子は、混気ポンプ構造、除染用土壌の構成物質とその特性である。校庭等の標準的な砂礫は 90%以上の放射能除染能力が除染システムで確認された。
- 4) また、今後の課題点として混気ポンプ除染率が 30%～50%を示す土壌がある事も事実であり、前に述べたとおり、これが砂礫粒子中の含有不純物、木質、草茎、草根、生活排出油類等や鉱石の割合によるものなのか、それとも粒度による洗浄効果の相違があるのかをこれから実験で明確にする。
- 5) 水浄化装置の凝集沈澱・浮遊化システムの運転で、スクムの掬い取りシステムは、水浄化の優れた性能を発揮した。清浄化後の洗浄水は再利用可能な水質であった。（検出限界以下のセシウム含有量まで浄化されていた。）
- 6) 今後 校庭グラウンドの土壌、市街地及び住宅地域の土壌、畑の土壌、田んぼの土壌、その他特殊な碎石も含めて、多様な放射能汚染物質を今回のシステムによる除染を継続的に検討してゆく。

## 現場作業環境

### 除去物保管場所と保管状況

#### 除去物保管場所(実験ヤード)





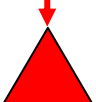

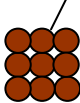
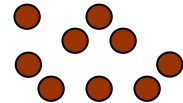
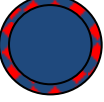



#### 保管状況

##### コンクリート遮蔽ボックス





実施代表者の所属機関：富士古河 E&C 株式会社	
実証テーマ名：「乾式分級」と「表面研磨」を組み合わせた土壌洗浄処理技術による放射能汚染土壌の減量化	
事業の概要：放射性物質を含む汚染土壌に対して、他分野で多数実績のある安価な汎用設備を組み合わせて「乾式分級」と「乾式解砕&表面研磨」処理を施し、放射能汚染土壌の減量化を図る。	
実施内容：①基礎試験：福島県内で汚染土壌を使用し基礎データの採取（分級しきい値、研磨方式選定） ②基礎試験を基にした実プロセス試験+実機を想定した試験を実施（機器仕様、処理能力の把握及び個別機器の連続運転の安定性の確認）	
<p>技術概要：</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>①試験フロー</p> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p><b>汚染土壌</b></p>  <p>田んぼ、畑等から試料土壌を採取。</p> </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p><b>乾燥</b></p>  <p>解砕、分級に弊害を及ぼさない様、水分を除去する。</p> </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p><b>一次解砕</b></p>  <p>二次解砕での負荷を低減させるため、最大粒径を小さくする。</p> </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px;"> <p><b>二次解砕&amp;研磨+分級</b></p>  <p>細粒分の解砕及び、粗粒子の表面研磨を施すことにより、細粒側に放射性物質を集め分級する。</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>分級後の<b>細粒分</b>+表皮 (放射能レベル高)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>分級後の<b>粗粒分</b>+核粒子 (放射性レベル低)</p> </div> </div> </div> <div style="width: 50%;"> <p>②試験目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・解砕&amp;表面研磨及び乾式分級の効果の実証</li> <li>・実設備における各種条件の選定及び処理能力確認</li> </ul> <div style="margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;"><b>解砕</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>粗粒分 (細粒子の塊)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>解砕後の 細粒子</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"><b>研磨</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>粗粒分 (石等)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>研磨後の核 (磨かれた石)</p> </div> </div> </div> </div> </div>	
<p>③期待される効果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・機器フローが簡単であり、除染プラントの移動が可能。(各現場での除染が可能)</li> <li>・廃液が発生しない。</li> </ul>	
<p>その他：</p> <p>実機は、移動式又は定置式の2システムを選択することが可能である。</p> <p>移動式は、トレーラーに装置を搭載し、必要な場所へプラントを移動させることができる。その為、定置式と異なり機器の設置に当り、地元の認可が不要となり除染作業がスムーズに進められることが期待される。</p> <p>また、除染効果を追求した機器構成にしているため、比較的線量の高い区域への除染も可能である。</p> <p>それに対し、定置式プラントは、コスト及び減量率を迫及した機器構成とした。低価格で比較的線量の低い区域での除染を対象とする。</p>	



除染効果：

①除染効果及び除去物発生量評価

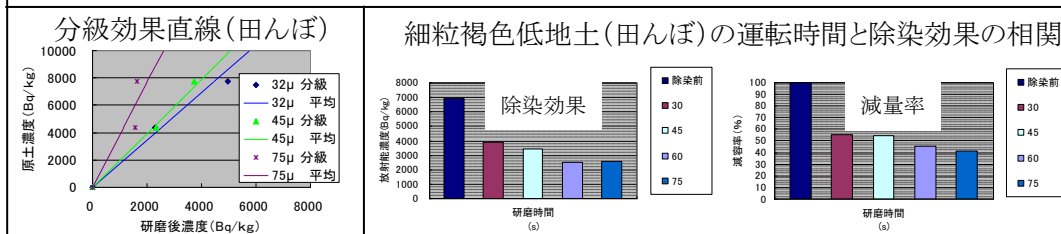
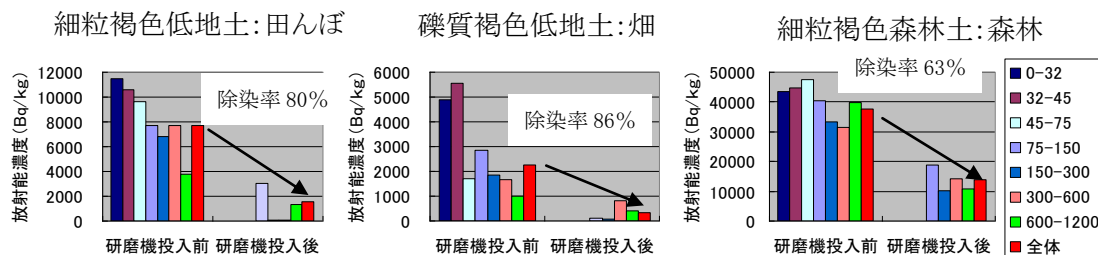
分級点を調整することにより、除染率及び減量率を任意に調整可能。(表1を参照)

※除染率：除染前に対する放射能濃度低減率 ※減量率：除染後に戻せる土の重量割合

表1：分級点と除染率、減量率の相関（移動式）

土壌	分級点 ( $\mu\text{m}$ )	除染率 (%)	減量率 (%)
細粒褐色低地土 (田んぼ)	32	38 (7700→4800Bq/kg)	57
	75	80 (7700→1600Bq/kg)	30
礫質褐色低地土 (畑)	32	74 (2200→600Bq/kg)	48
	75	86 (2200→300Bq/kg)	34
細粒褐色森林土 (森林)	32	53 (38000→18000Bq/kg)	36
	75	63 (38000→14000Bq/kg)	27

分級点 75  $\mu\text{m}$ での除染効果(移動式)



除去物発生量評価：乾式の為、二次廃棄物（廃液等）は無し。

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 0.4  $\mu\text{Sv/hr}$ （現地での実測平均値）、作業時間 472 時間、作業員平均被ばく量 220  $\mu\text{Sv}$ （作業内容：全工程）

※作業員被ばく量及び作業時間は、代表者1名のデーターを用いた。

コスト評価：

乾式のため、二次廃棄物（廃液等）の処理等が無く、コストを低く抑えることができる。

歩掛り（作業人工、作業速度）：

- ・3t/hr（移動式）
- ・20t/hr（定置式）

コスト評価条件：移動式及び定置式除染プラントを想定し、稼動年数は5年とする。

移動式除染プラント（除染効果重視型）

- ・イニシャルコスト：4800 円/ t
- ・ランニングコスト：2800 円/ t
- ・合計：7600 円/ t
- ・除染率（50～85%）、減量率（30～50%）

定置式除染プラント（コスト、減量率重視型）

- ・イニシャルコスト：2400 円/ t
- ・ランニングコスト：2500 円/ t
- ・合計：4900 円/ t
- ・除染率（20～60%）、減量率（50～70%）




除染作業における安全上の注意：防塵マスク、タイベックスの着用

試験場所：

福島県南相馬市鹿島区横手字唐神 177

除去物保管場所と保管状況



実施代表者の所属機関：株式会社 I H I
実証テーマ名：線量測定による表土剥ぎ取り量の最小化および剥ぎ取り作業の効率化
<p>事業の概要：</p> <p>光ファイバーを用いた面的な放射線量測定機械と、設定した深さで精密な剥ぎ取りが可能な機械を用いて、必要最小限の表土剥ぎ取りを可能にする。</p>
<p>実施内容：</p> <p>空間線量 <math>6\mu\text{Sv/h}</math> レベルの高線量地域および <math>0.4\mu\text{Sv/h}</math> レベルの低線量地域の農地、草地で試験を行う。最適な剥ぎ取り量を設定して剥ぎ取りを行い、除染効果（線量低下率）を確認するとともに、線量計測機械の性能評価、フレコン投入装置の性能評価、そして作業効率等の評価を行う。</p>
<p>技術概要：</p> <p>1. 試験フロー</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">土壌のサンプリングと 深さ方向の放射能分布測定</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">剥ぎ取り深さと 線量低減効果の測定</div> <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">剥ぎ取り深さの決定</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">大面積の剥ぎ取りの実施</div> </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">PSF による自走式線量計測機械の性能評価</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">フレコン投入装置の性能評価</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">作業人工、作業速度、コスト評価</div> </div> </div> <p>2. 試験目標</p> <p>剥ぎ取り量（汚染土壌）：30～50%低減</p> <p>作業時間（線量計測、汚染土壌の詰め作業時間）：50%低減</p> <p>3. 期待される効果</p> <p>最少限の深さで表土の剥ぎ取りを実施するための指針を提案するとともに、剥ぎ取りから廃棄物の詰め作業までを効率化できる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>ターフストリッパー</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PSF 自走式線量計測機械</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>フレコン投入装置</p> </div> </div>

その他：

除染効果：

深さ 3cm の表土剥ぎ取りによる線量率の変化と減少率を表に示す。

		剥ぎ取り前 [ $\mu$ Sv/h]	3cm 剥ぎ取り後 [ $\mu$ Sv/h]	減少率 [%]
高線量地域	地表 1m の空間線量	7.2	3.4	53
	コリメータ表面線量	2.9	0.9	69
低線量地域	地表 1m の空間線量	0.4	0.13	68
	コリメータ表面線量	0.2	0.05	75

除去物発生量評価：

剥ぎ取り深さ 3cm の場合、面積 500m<sup>2</sup> あたりの汚染土壌発生量は 20～25m<sup>3</sup> である。

（見かけの密度が低くなるため体積が増える）

作業員被ばく量評価：警戒区域における作業日数 10 日間

作業員最大被ばく量 154  $\mu$  Sv

作業員平均被ばく量 102  $\mu$  Sv

コスト評価：

320～400 円/m<sup>2</sup>

（従来方式に比べて 10～50%減）

歩掛り（作業人工、作業速度）：

0.004～0.006 人日/m<sup>2</sup>（40～60 人日/ha）

90～130m<sup>2</sup>/h

コスト評価条件：

表土の剥ぎ取り、搬出、フレコン投入までの一連の作業の作業人工と作業速度を計算し、機械使用料を加えてコスト評価を実施。

除染作業における安全上の注意：

事前調査を行った結果、土壌の放射能濃度が 50 万 Bq/kg 以下であることを確認したが、安全側の装備として補修効率 95%以上のマスク、長そで、綿手袋、ゴム手袋、ゴム長靴、タイベックスーツを着用した。

試験場所（住所）：

福島県双葉郡大熊町下野字清水  
福島県相馬市大野台

除去物保管場所と保管状況：

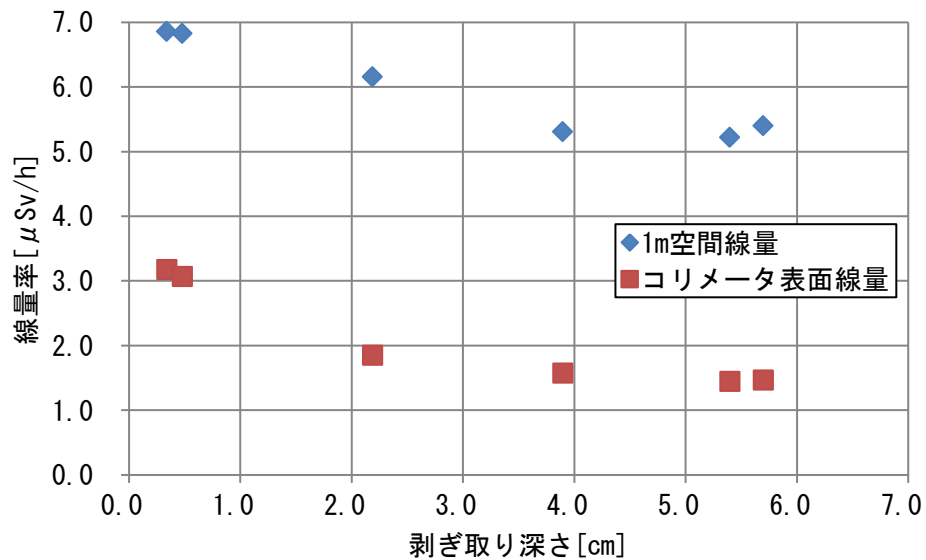
はぎ取った土壌は現状復帰（埋戻し）した。

追加資料 0 1	土壌の深さ方向の放射能分布測定結果
<p>剥ぎ取り対象土壌のサンプリングを行い放射能濃度を測定した結果を示す。</p> <p>高線量地域(大熊町)の土壌については日本アイソトープ協会「緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について」に従い、丸型 V 式容器と NaI サーベイメータを用いて簡易測定を行った。低線量地域(相馬市)の土壌についてはゲルマニウム半導体検出器により測定を行った。</p>	
<div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div>&lt;</div></div></div></div></div>	

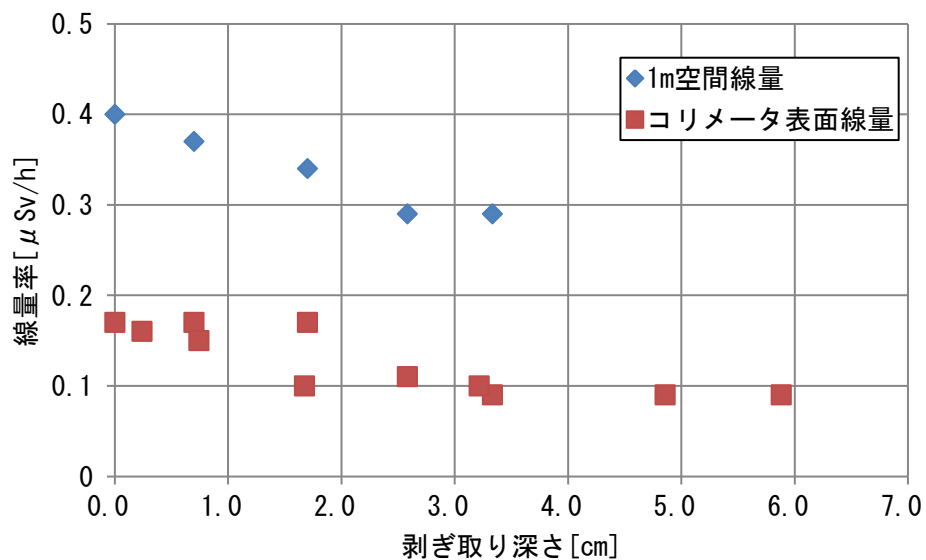


追加資料 0 2      剥ぎ取り深さと線量低減効果の関係

4[m]×2[m]のブロックごとに剥ぎ取り深さを変えて剥ぎ取りを行い、サーベイメータによって線量率の変化を調べた結果を示す。



高線量地域の線量率低減効果



低線量地域の線量率低減効果

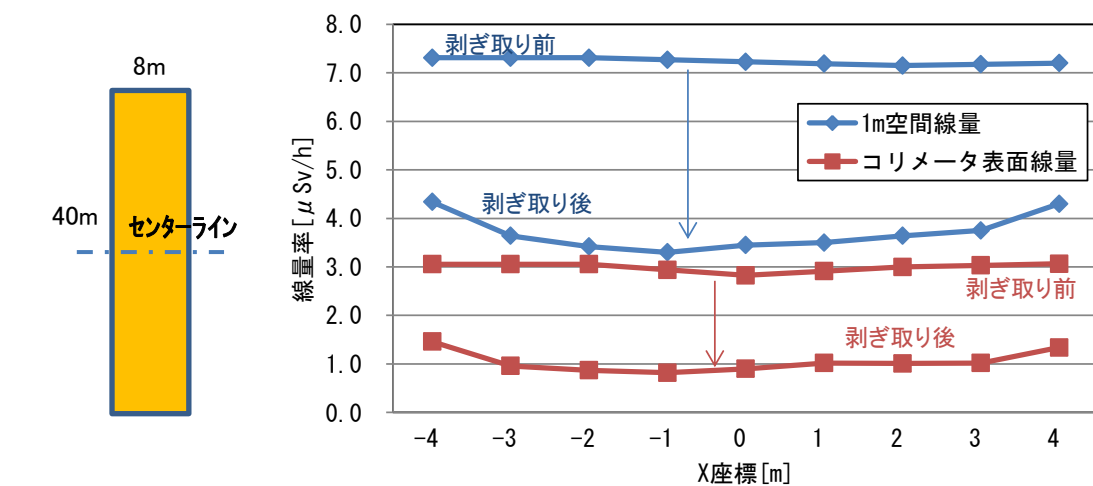
実施代表者の所属機関：株式会社 I H I

実証テーマ名：線量測定による表土剥ぎ取り量の最小化および剥ぎ取り作業の効率化

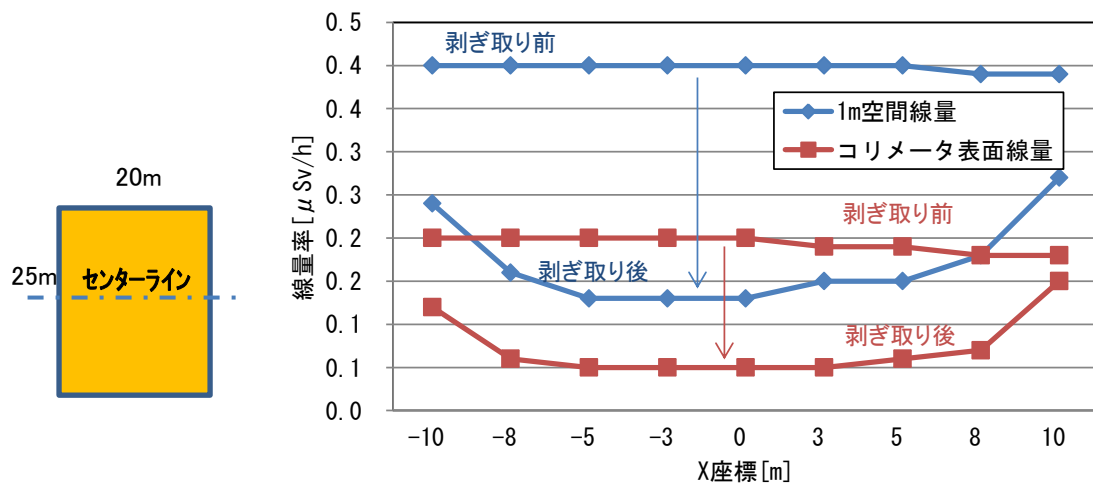
追加資料 0 3 大面積の剥ぎ取りによる線量低減効果の評価

深さ方向の土壌の放射能分布の測定結果、および剥ぎ取り深さを変えた剥ぎ取り試験の線量低減効果の測定結果から、剥ぎ取り深さを 3cm に決定した。

500m<sup>2</sup> 程度の面積の剥ぎ取りを行い、サーベイメータによって線量率の低減効果を確認した。図はセンターライン上の線量率分布を示す。



高線量地域における大面積剥ぎ取り結果



低線量地域における大面積剥ぎ取り結果

実施代表者の所属機関：株式会社 I H I

実証テーマ名：線量測定による表土剥ぎ取り量の最小化および剥ぎ取り作業の効率化

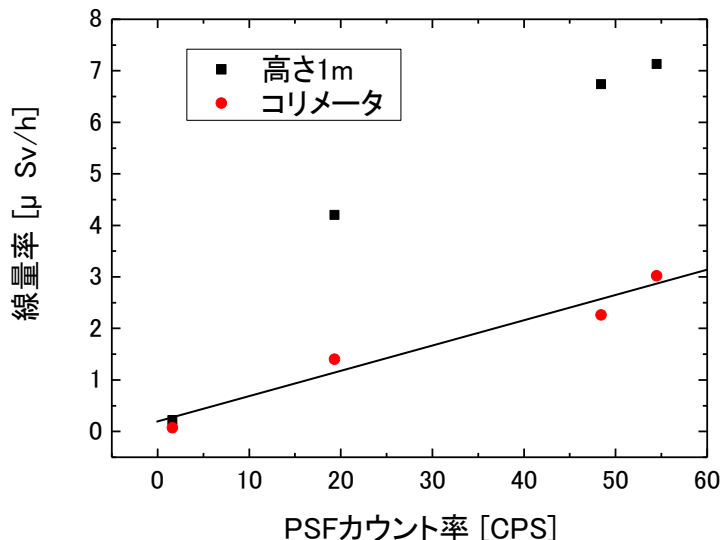
シンチレーション光ファイバー (PSF) による線量計測機械では、放射線の強度に比例して発生するシンチレーション信号の計数により線量率を推定する。ここでは高線量地域において PSF のカウント率と NaI サーベイメータによる計測値を比較して校正式を求めた。

シンチレーション光ファイバのカウント率とサーベイメータで計測した線量率との関係を下図に示す。高さ 1m での空間線量率は周囲の汚染源の分布により線形にはならないが、コリメータを使用した地表面での線量率とは良い線形性を示している。

直線近似すると、

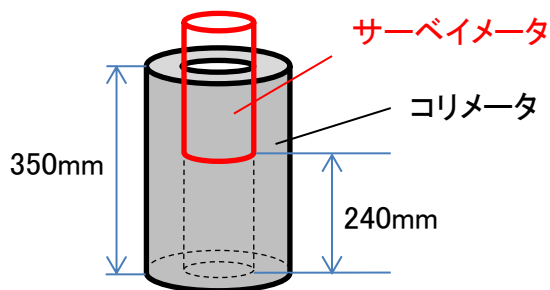
$$(\text{コリメータ使用時の線量率}[\mu\text{ Sv/h}]) = 0.15 + 0.050 \times (\text{PSF の計数率}[\text{CPS}])$$

となる。



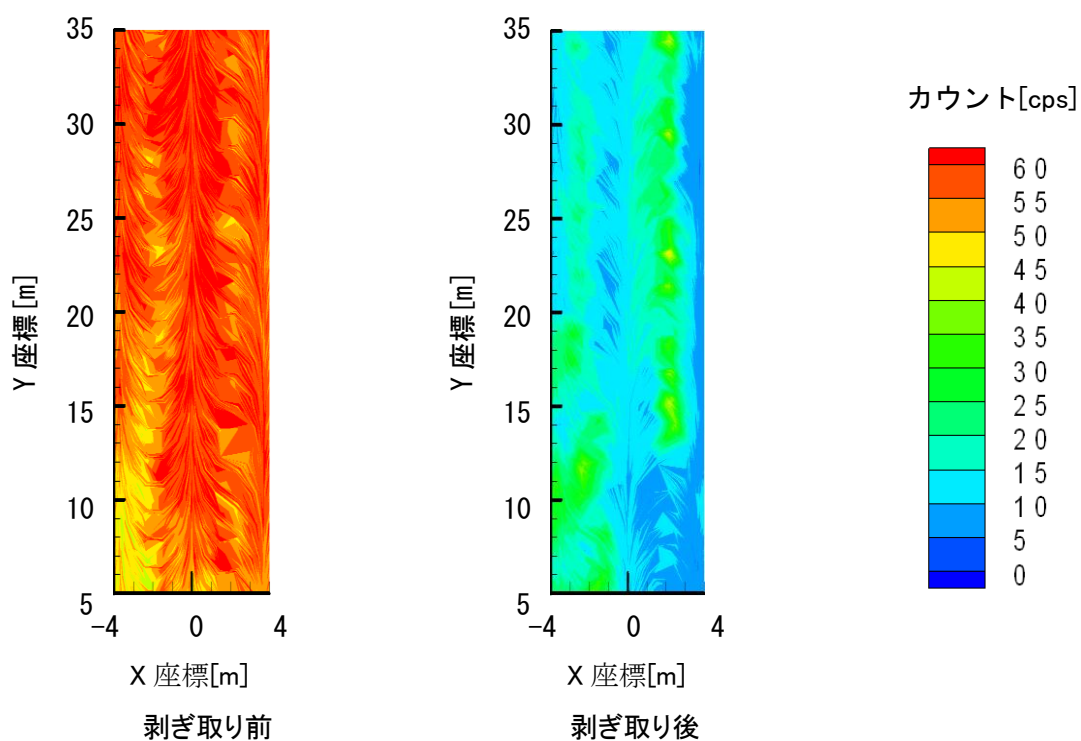
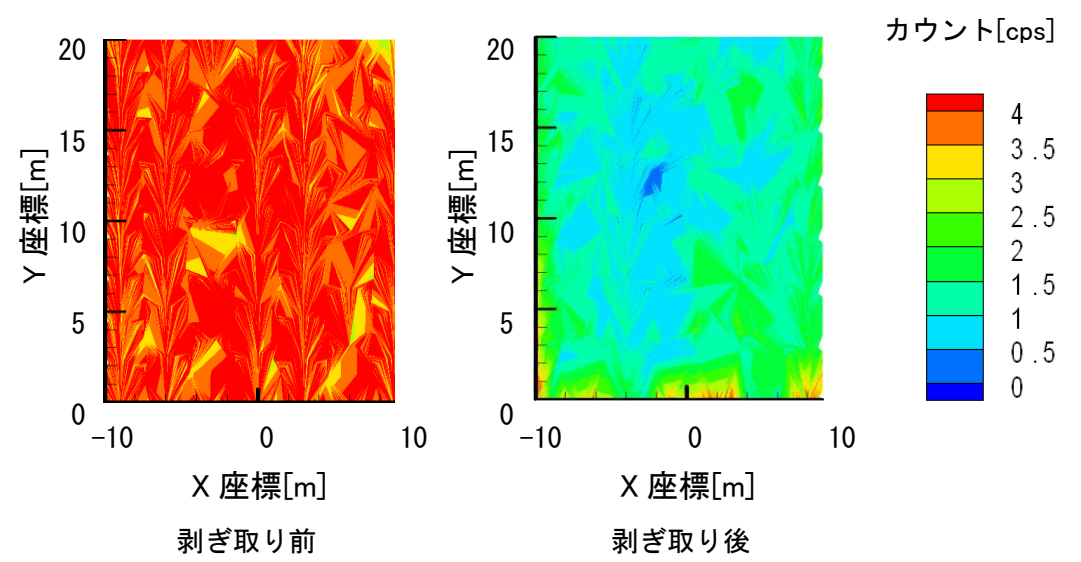
#### コリメータ仕様

外径 88[mm] × 内径 38[mm] × 高さ 350[mm] の鉄製



実施代表者の所属機関：株式会社 I H I

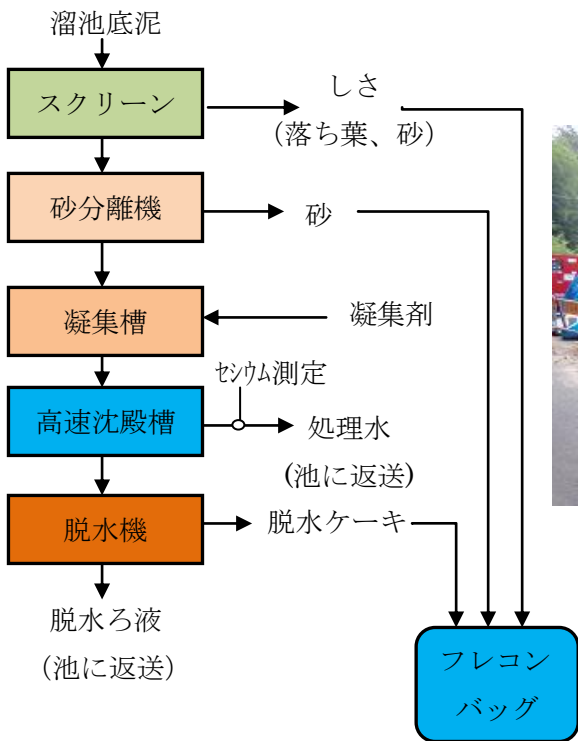

実証テーマ名：線量測定による表土剥ぎ取り量の最小化および剥ぎ取り作業の効率化

追加資料 0 5	自走式 PSF 機械による測定結果
シンチレーション光ファイバを重機（CL-45）に搭載して、走行しながら計測した結果の等高線プロットを示す。PSF の横幅は 3m で、図では横軸が PSF の長手方向、縦軸が走行方向を示す。	
<div>  <p>高線量地域における大面積剥ぎ取り結果</p> </div> <div>  <p>低線量地域における大面積剥ぎ取り結果</p> </div>	
実施代表者の所属機関：株式会社 I H I	
実証テーマ名：線量測定による表土剥ぎ取り量の最小化および剥ぎ取り作業の効率化	





## 付録 2-9

実施代表者の所属機関：三菱化工機株式会社
実証テーマ名：汚水及び洗浄排水中の放射性物質の処理技術
事業の概要：本実証事業は、回転傾斜板型高速沈殿装置と凝集剤を用いて、溜池の泥（シルト及び粘土）を対象に高速凝集沈殿処理を行う。また、サンプリングした水にセシウムが含まれる場合は、凝集剤によるセシウムの除去性能を確認する。
実施内容：①溜池の泥についての汚染状況調査 ②溜池の泥についての凝集沈殿実験 ③溜池の水についての汚染状況調査 ④試験装置による処理の除染効果とコスト評価を行う。
<p>技術概要：「試験フロー」</p>  <p>試験装置全景</p> 
<p>「試験目標」</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 高速沈殿槽と土壌用凝集剤を用いて、溜池の底泥の高速凝集沈殿を行い、処理水中のセシウムを 20Bq/kg 以下に処理する。</li> <li>(2) 従来の沈殿槽では回収しにくい粒径 <math>75\mu\text{m}</math> 以下の泥の回収率を 95%以上にする。</li> </ol> <p>「期待される効果」</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 高速沈殿効果により装置の小型化と省スペース化が図れる。</li> <li>(2) 最適な凝集剤により処理水中の浮遊物質が少なく、後段のろ過機が省略できる。</li> </ol>
その他：

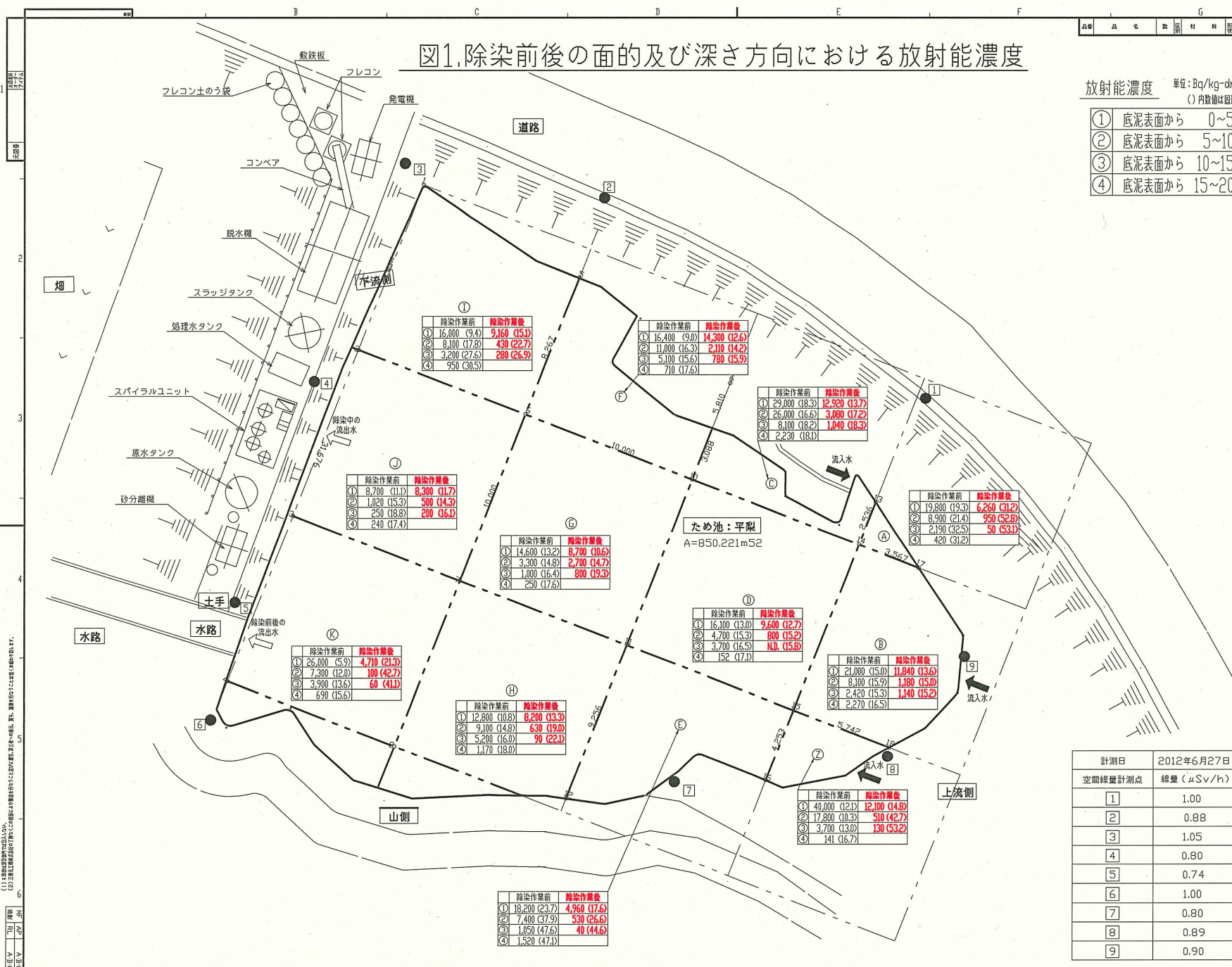
<p>除染効果：</p> <p>1) 除染前の放射能汚染状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 除染対象の農業用水溜池は、占有水面積 850m<sup>2</sup> で、下流の田、畑に用水供給している。</li> <li>・ 溜池を 1 辺 10m のメッシュで区分し、除染前の底泥の面的及び深さ方向の放射能濃度 (Cs-134+Cs-137) を調査した。(添付資料-1 参照) また、各区分の底泥(深さ 20cm 分)について粒度別放射能汚染状況を調査した。(添付資料-3 参照)</li> </ul> <p>底泥は表面から 10cm まで放射能汚染程度が高く、放射性物質 (Cs-134+Cs-137) は、75 <math>\mu</math>m 以下の粒子に吸着されている割合が 50%以上であった。</p> <p>2) 除染効果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本実証事業では、溜池全面にわたり底泥約 5cm 分を汲み上げ、凝集沈殿、脱水処理を行って減容化し、脱水ケーキとして排出することを目指した。</li> <li>・ 実証プラントの運転結果から、汲みあげた底泥に含まれていた放射性物質は、97%以上脱水ケーキとして回収出来、汲み上げた泥水を凝集沈殿することで、泥水中の放射能濃度 171~200Bq/kg を処理水として検出限界 (2.6Bq/kg) 以下まで処理できることを確認した。(添付資料-4 参照) また、高速沈殿装置を用いることで、通常の凝集沈殿に比べ 5.5~6.4 倍の高速処理ができた。</li> <li>・ 今回の除染実証事業で、排出した脱水ケーキ量はウェットで約 13.8ton (ドライ 約 5.6ton) で容積は約 10.8m<sup>3</sup> である。</li> <li>・ 除染前の底泥 5cm の平均放射能濃度 17,342Bq/kg に対し、除染後は 8,654Bq/kg となった。除染前の 5~10cm が 7,053Bq/kg であったことから、底泥 5cm の除去を想定した場合の達成率は約 85%である。</li> </ul>	
<p>除去物発生量評価： 除染前の底泥深さ 5cm の泥の平均濃度が 12%であり、脱水ケーキの含水率が約 59% (固形物約 41%) であることから、装置での固形物回収率を 98%とすると、約 24%までの減容化が見込まれる。(添付資料-5 参照)</p>	
<p>作業員被ばく量評価： 作業場所平均空間線量率 0.90 <math>\mu</math> Sv/hr、作業時間 8 時間</p> <p>作業員最大被ばく量 160 <math>\mu</math> Sv (実証装置運転、作業時間 272 時間)</p> <p>作業員平均被ばく量 143 <math>\mu</math> Sv</p>	
<p>コスト評価： (12%底泥 m<sup>3</sup> 当り)</p> <p>ランニングコスト： 83 千円/m<sup>3</sup></p> <p>機器リース費： 59 千円/m<sup>3</sup></p>	<p>歩掛り (作業人工、作業速度)： (底泥濃度 12%として)</p> <p>作業人工： 1.45 人/m<sup>3</sup></p> <p>作業速度： 17.22m<sup>3</sup>/週 (5 日)</p>
<p>コスト評価条件： 1) 上記コストには、装置の組立、試運転調整及び撤去費は含まれていない。2) 除染前・除染後の放射能濃度、空間線量率等の分析費及び作業員の宿泊・交通費は含まれていない。3) 溜池の水位は、水深 1m 以下に下げられるものとする。</p>	
<p>除染作業における安全上の注意： 脱水ケーキ排出時にマスク着用 (粉塵吸込み防止)</p>	
<p>試験場所 (住所)：</p> <p>福島県双葉郡川内村</p> <p>大字下川内字平梨 10-3</p>	<p>除去物保管場所と保管状況 (写真)： 実証試験が終わる迄は村道の退避場に一時保管し、フレコンがまとまった段階で、正規の仮置き場に搬送する。9/10 搬送済み。</p>

図1.除染前後の面的及び深さ方向における放射能濃度

放射能濃度 単位:Bq/kg-dry matter  
( )内数値は固形物濃度

添付資料-1

- |   |        |         |
|---|--------|---------|
| ① | 底泥表面から | 0~5cm   |
| ② | 底泥表面から | 5~10cm  |
| ③ | 底泥表面から | 10~15cm |
| ④ | 底泥表面から | 15~20cm |



凡例

→ 溜池への流入水

← 溜池からの流出水

● : 空間線量計測点  
○ : サンプルング箇所

計測日	2012年6月27日
空間線量計測点	線量 (μSv/h)
①	1.00
②	0.88
③	1.05
④	0.80
⑤	0.74
⑥	1.00
⑦	0.80
⑧	0.89
⑨	0.90

通期	出 発 日	工 事 番 号	担 当	取 扱	行 事
2012	06	0024	三 菱 化 工 機 械 株 式 有 限 公 司	0	0

除染前後の面的及び深さ方向における放射能濃度

三 菱 化 工 機 械 株 式 有 限 公 司

1:200 (A3)

図 1

図 1



図2.溜池の各区分の面積

添付資料-2

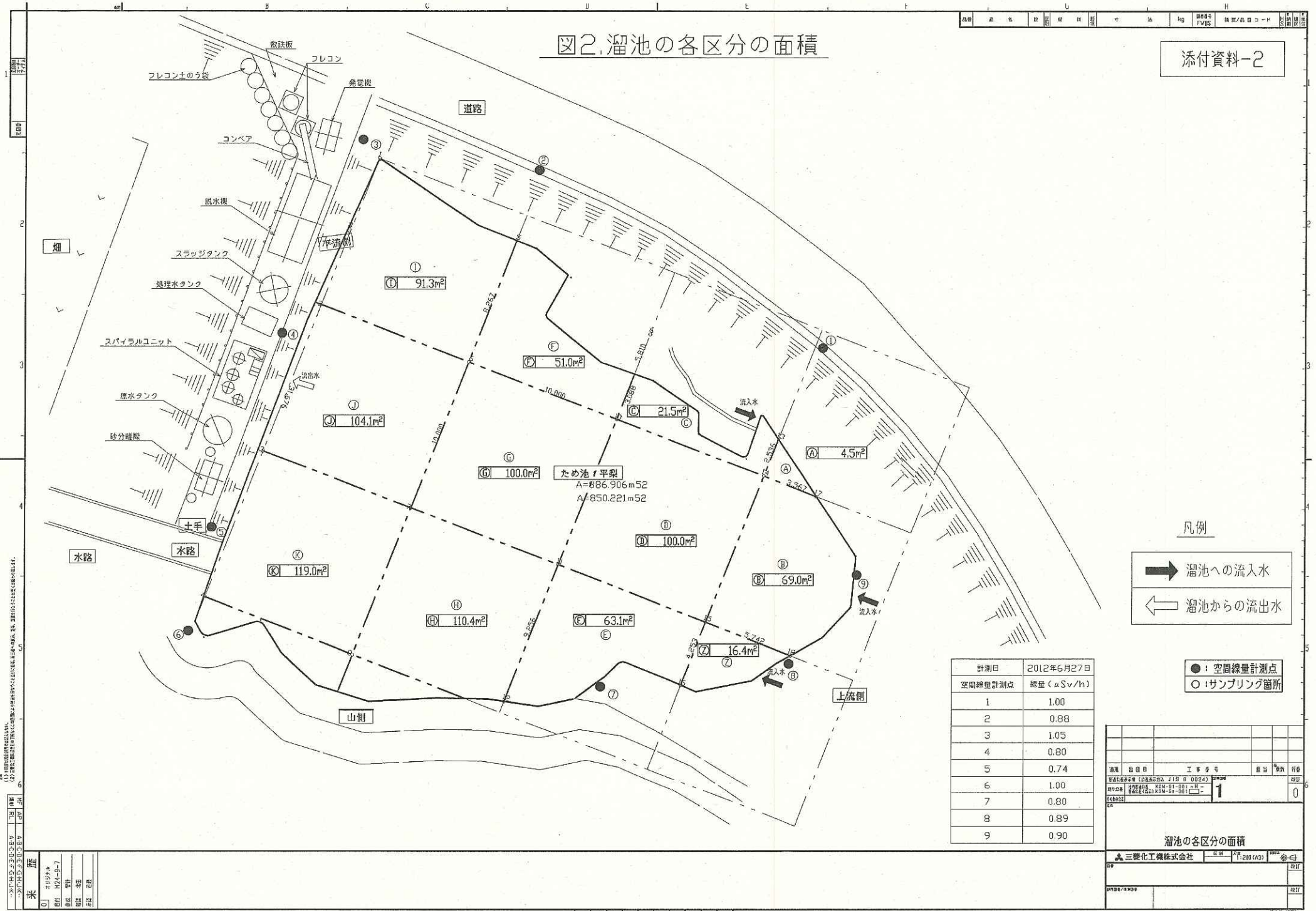
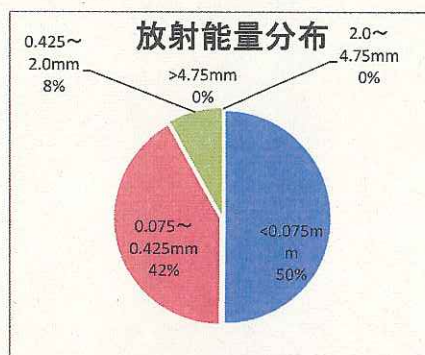
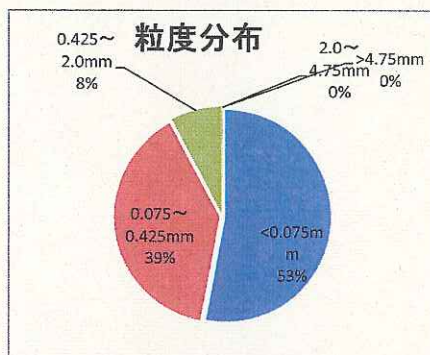


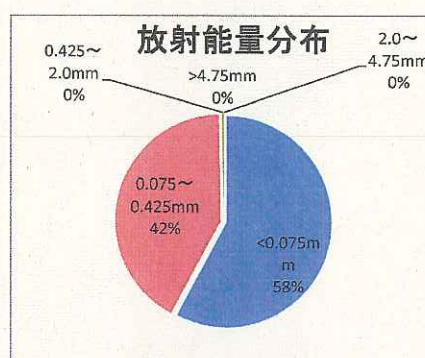
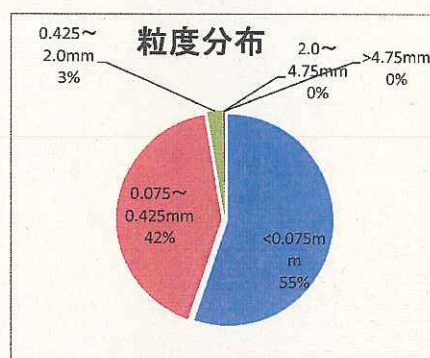


図3.各区分の底泥(深さ20cm分)の粒度分布、放射エネルギー分布、粒度別の放射能濃度

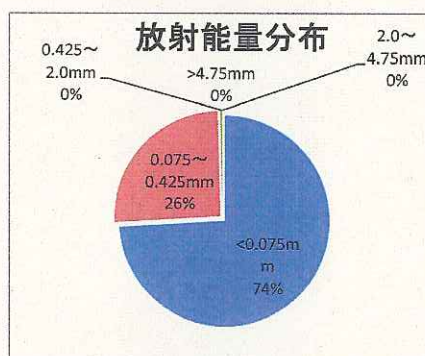
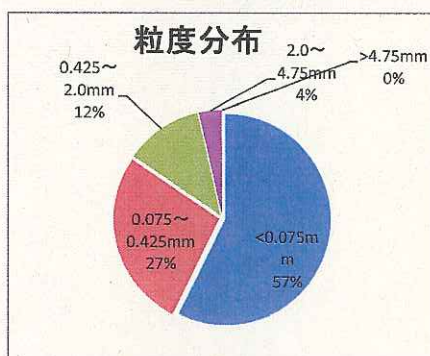
1) 区分B(中央列の最上流区分)の底泥



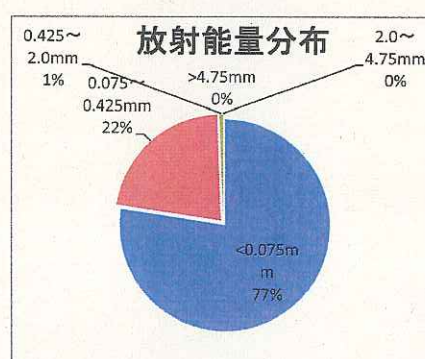
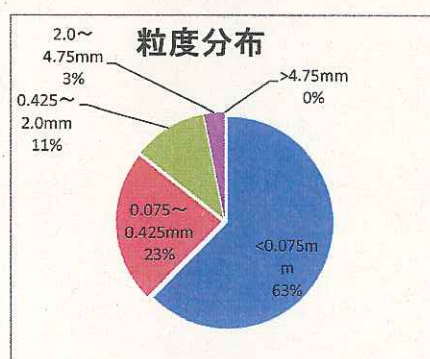
2) 区分D(中央列の上流区分)の底泥



3) 区分G(中央列の下流区分)の底泥

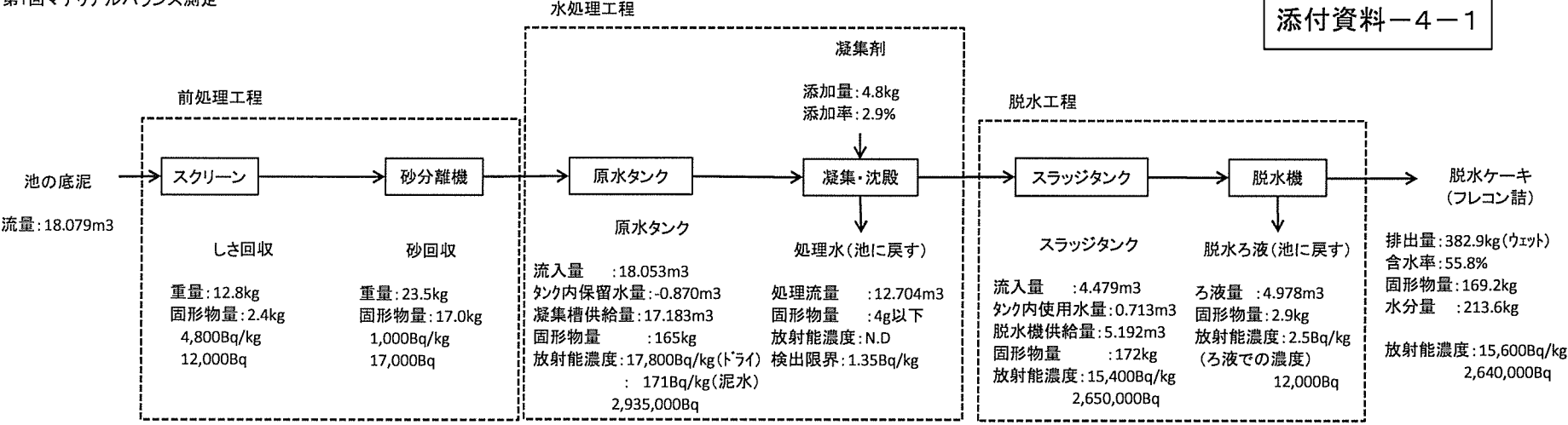


4) 区分J(中央列の最下流区分)の底泥



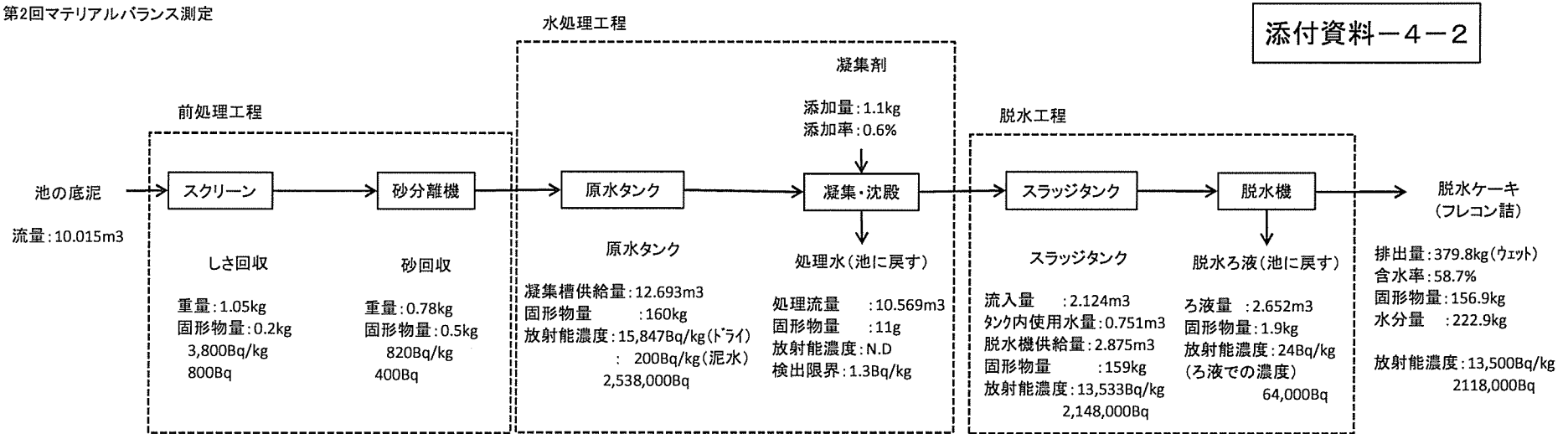
第1回マテリアルバランス測定

添付資料－4－1



物質収支	放射能 (KBq)	固形物量 (kg)
しき回収	12	2
砂回収	17	17
原水タンク流入量	2,935	165
凝集剤	—	5
処理水	N.D	—
凝集沈殿槽からの供給	—	2
脱水ケーキ	2,640	169
脱水ろ液	12	3
流入量	2,681	191
排出量	12	3
回収量	2,669	188
回収率	99.6%	98.4%

原水タンクの放射能とスラッジタンクの放射能が合わないが、現場分析でも処理水中のセシウムはB.G以下(14.2Bq/kg以下)を確認しているため、処理水のセシウムはゼロとして、しき、砂、脱水ケーキ及び脱水ろ液の放射能及び固形物量から回収率を計算した。



物質収支	放射能 (KBq)	固形物量 (kg)
しさ回収	0.8	0.2
砂回収	0.4	0.5
原水タンク流入量	2,538	160
凝集剤	—	1
処理水	N.D	—
凝集沈殿槽への蓄積	—	-2
脱水ケーキ	2,118	157
脱水ろ液	64	2
流入量	2,183	160
排出量	64	2
回収量	2,119	158
回収率	97.1%	98.7%

原水タンクの放射能とスラッジタンクの放射能が合わないが、現場分析でも処理水中のセシウムはB.G以下(18.1Bq/kg以下)を確認しているため、処理水のセシウムはゼロとして、しさ、砂、脱水ケーキ及び脱水ろ液の放射能及び固形物量から回収率を計算した。

# 添付資料－5

ため池の底泥の減容率の試算

		ため池の底泥	脱水ケーキ	
固形物量	ton	1.000	0.980	
固形物回収率	%		98	(暫定値)
含水率	%		59	
固形物濃度	%	12	41	
比重(想定値)		1.08	1.29	
体積	m3	7.688	1.857	
減容率	%		24.2	





除去物一時保管状況



実施代表者の所属機関：東洋建設株式会社

実証テーマ名：水域（湖沼・河川等）の底質を対象とした除染・減容化技術の開発

事業の概要：水域底質における放射性物質の吸着特性を把握し、汚染底質を確実に回収し廃棄物量を最小限に留める除染・減容化技術を開発・実用化する。

実施内容：1. 湖沼の底質深度方向の放射性物質による汚染特性の把握

2. 1.で把握した回収厚の汚濁抑制浚渫装置による回収性能の確認

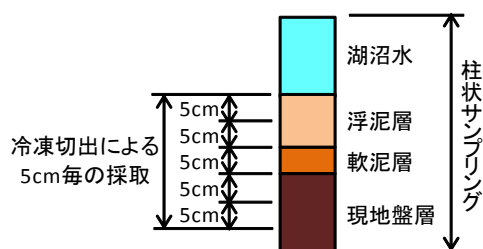
3. 1.で把握した回収厚の剥ぎ取りによる除染効果の確認

4. 洗浄分級・脱水処理による汚染底質の減容化効果の確認

技術概要：

### 1. 底質深度方向の汚染特性の把握

【試験フロー】



【試験目標】

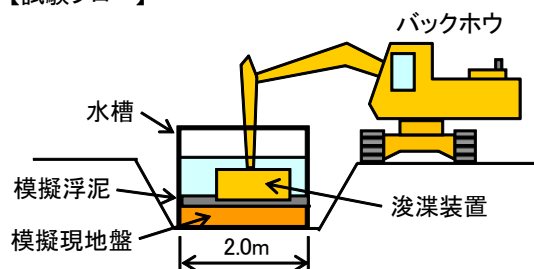
- ・浮泥層の柱状採取および深度別採取方法の実証
- ・実湖沼における底質深度方向の汚染状況の把握

【期待される効果】

- ・浮泥層の柱状サンプリング手法の確立
- ・底質の効率的な剥ぎ取り厚の設定

### 2. 汚濁抑制薄層浚渫装置の回収性能の確認

【試験フロー】



【試験目標】

- ・模擬浮泥層による汚濁抑制浚渫の確認
- ・模擬浮泥層による薄層浚渫の確認

【期待される効果】

- ・汚濁抑制浚渫による汚染物質の拡散防止
- ・薄層浚渫による汚染底質の最小量での回収

### 3. 底質表層の剥ぎ取りによる除染効果の確認

【試験フロー】



【試験目標】

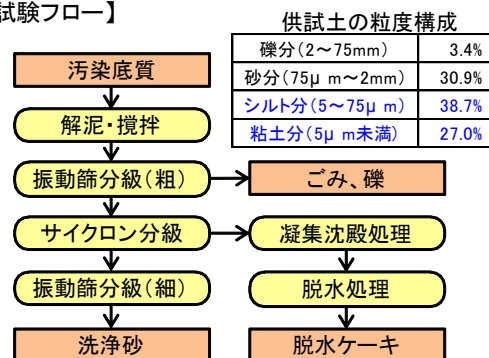
- ・空間線量率(地上1m、地上1cm)の低減率の確認
- ・表面汚染密度(地上1cm)の低減率の確認
- ・放射性物質濃度の低減率の確認

【期待される効果】

- ・底質の剥ぎ取りによる除染効果
- ・水域周辺の空間線量の低減
- ・貯水池の目的(かんがい、上水、養殖等)の回復

### 4. 洗浄分級・脱水処理による減容化効果の確認

【試験フロー】



【試験目標】

- ・底質の洗浄処理による汚染濃度の低減率の確認
- ・底質の減容化処理による減容率の確認

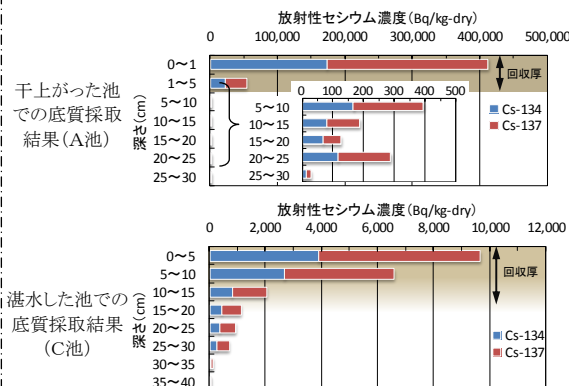
【期待される効果】

- ・洗浄分級による処理対象物の濃度別仕分け
- ・減容化による最終処分場の負荷低減

その他：汚染底質の薄層回収、減容化、集積遮蔽保管による水域周辺の空間線量低減策の提案

除染効果：

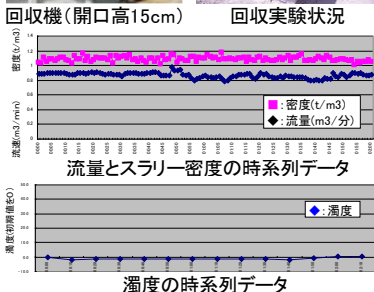
1. 底質深度方向の汚染特性



3. 底質表層の剥ぎ取りによる除染効果

表層剥ぎ取り条件	範囲	4.5m×4.5m×3箇所、厚さ5cm		
	方式	気中での人力掘削		
測定値		3箇所の測定結果の平均値		
測定項目	コリーメータ	除染前 ①	除染後 ②	低減率 1-②/①
空間線量率(μ Sv/h) (地上1m)	—	8.03	4.59	0.4284
空間線量率(μ Sv/h) (地上1cm)	有	1.94	0.51	0.7371
空間線量率(μ Sv/h) (地上1cm)	無	11.8	3.46	0.7068
表面汚染密度(cpm) (地上1cm)	有	2,064	272	0.8682
表層(0~5cm)土壌 放射能濃度(Bq/kg)	—	152,300	22,100	0.8549

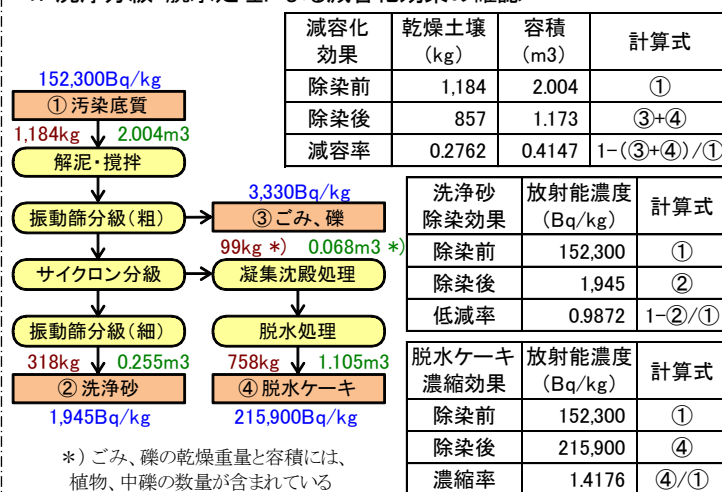
2. 浮泥の汚濁抑制薄層浚渫結果



【実験での確認事項】

- ・層厚5cm程度の薄層吸引が可能であった。
- ・吸引が良好であれば、汚濁は発生しない。

4. 洗浄分級・脱水処理による減容化効果の確認



除去物発生

量評価：

評価指標	乾燥重量	容積	計算式
除染処理量	1,184kg	2.004m³	①
除去物発生量	857kg	1.173m³	②
除去物発生量率	0.7238	0.5853	②/①

【試算】 従来工法<sup>1)</sup>の最小回収厚は30cm、改良工法<sup>2)</sup>の最小回収厚は10cmである。よって、改良工法を採用することで、**除染処理量は1/3に低減**し、推定除去物発生量率は乾燥重量で0.2413、容積で0.1951となる。

1) 当社所有の高濃度薄層浚渫工法 2) 従来工法を改良した浚渫工法

作業員被ばく量

評価：

作業場所	平均空間線量率 (μ Sv/h)	作業時間 (h)	作業員最大被曝量 (μ Sv)	作業担当箇所	作業時間 (h)	作業員平均被曝量 (μ Sv)
底質表層剥ぎ取り場	2.176	17	37	剥ぎ取り	17	37.0
洗浄分級・脱水処理場	0.567	88	47	プラント全般	88	29.1

コスト評価：

浚渫工 13,500円/m³  
洗浄分級・脱水工 16,100円/m³

歩掛り (作業人工、作業速度)：

浚渫工 7人工/日、55.6m³/日 (9.27m³/hr)  
洗浄分級・脱水工 9人工/日、55.6m³/日 (9.27m³/hr)

コスト評

対象面積:20,000m²、回収厚:15cm、含泥率:20%、浚渫量:地山55.6m³/日、作業時間(浚渫、洗浄分級処理):就業8hr(運転6hr)、作業時間(脱水処理):就業16hr(運転14hr)、設置撤去費(浚渫工):3,690千円、設置撤去費(洗浄分級・脱水処理)11,700千円、脱水ケーキはフレコン詰後、場内仮置、除染特殊勤務手当は含まず、コストは直接工事費のみ計上。

除染作業における安全上の注意： 防塵マスク、防護服を着用

試験場所 (住所)：

福島県内  
兵庫県西宮市鳴尾浜

除去物保管場所と保管状況：

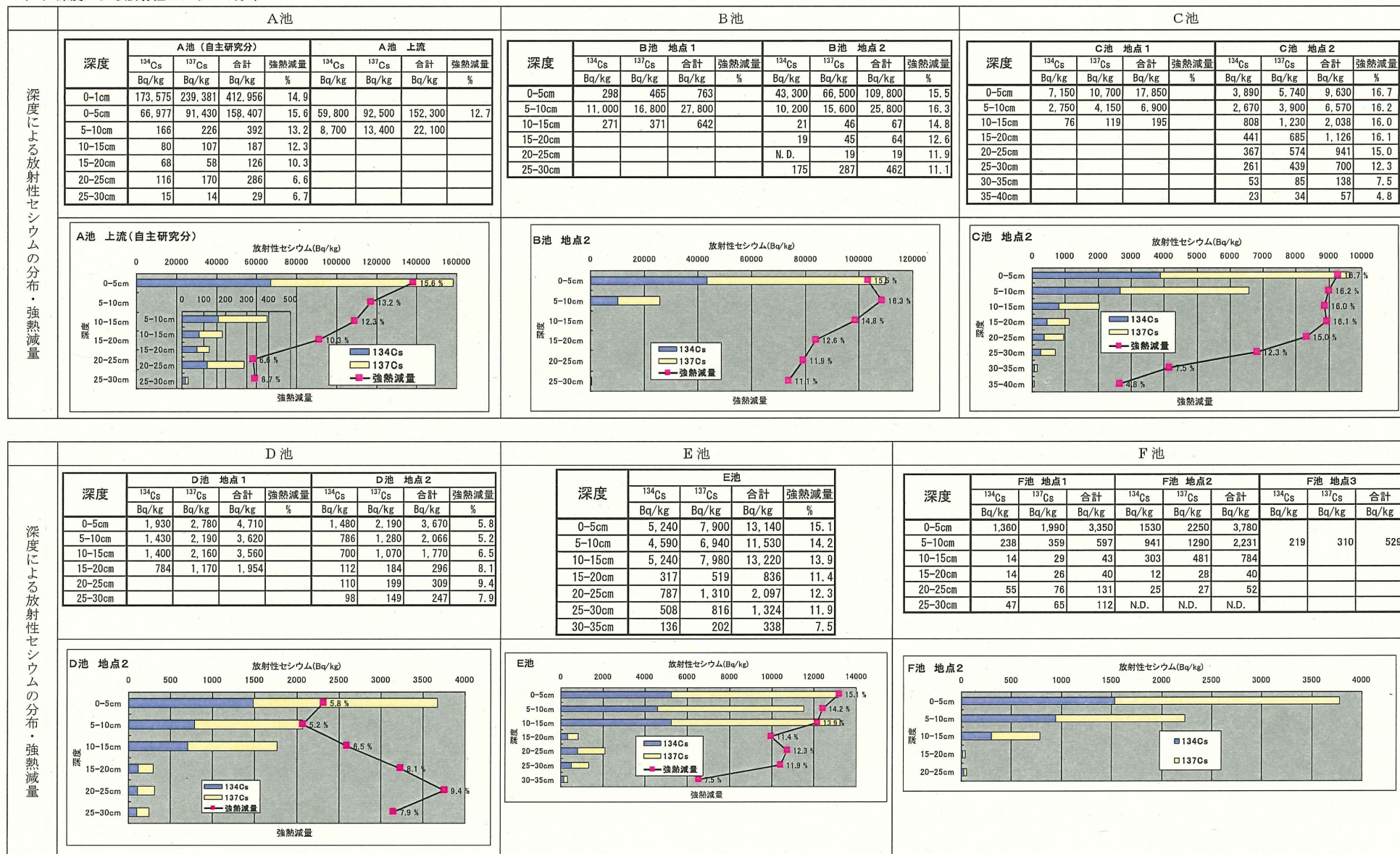
市指定場所に埋設保管することで承認済み。





1. 底質深度方向の汚染特性に関する資料

(1) 深度による放射性セシウム分布



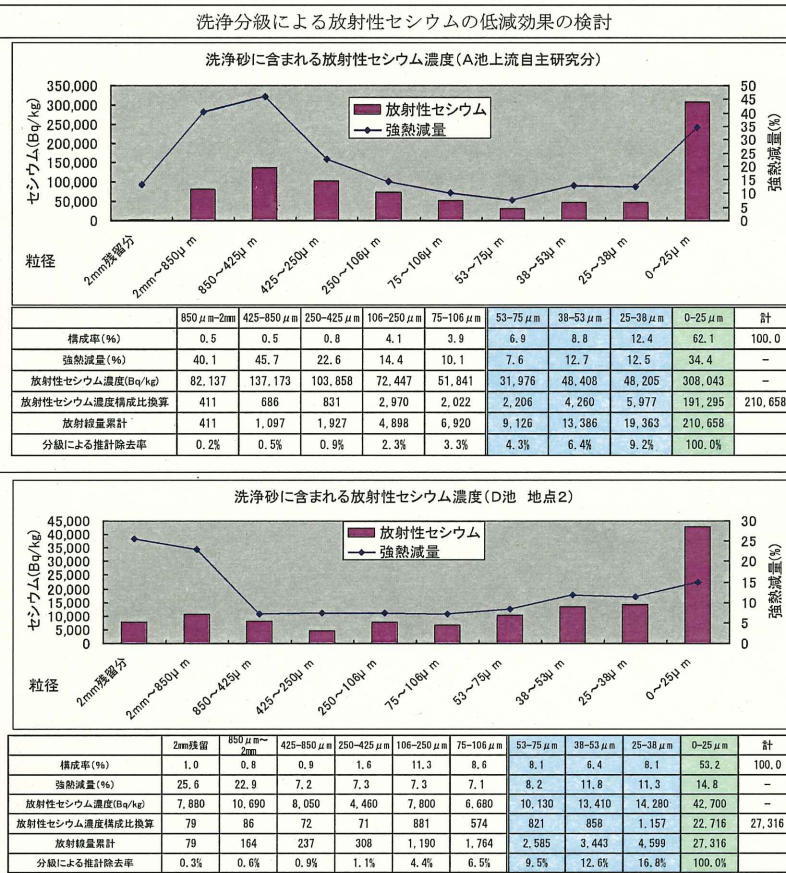


(2) 粒度による放射性セシウム含有量

A池 上流	粒度による放射性セシウムの分布・強熱減量				
	粒径	A池 上流(自主研究)			
		<sup>134</sup> Cs Bq/kg	<sup>137</sup> Cs Bq/kg	合計 Bq/kg	強熱減量 %
	2mm残留分	950	1,385	2,335	13.3
	2mm~850μm	33,676	48,461	82,137	40.1
	850~425μm	56,360	80,813	137,173	45.7
	425~250μm	43,157	60,701	103,858	22.6
	250~106μm	29,580	42,867	72,447	14.4
	75~106μm	21,450	30,391	51,841	10.1
	53~75μm	13,763	18,213	31,976	7.6
	38~53μm	20,080	28,327	48,408	12.7
	25~38μm	20,414	27,792	48,205	12.5
	0~25μm	120,261	187,783	308,043	34.4

D池 地点2	D池 地点2				
	粒径	<sup>134</sup> Cs Bq/kg	<sup>137</sup> Cs Bq/kg	合計 Bq/kg	強熱減量 %
	2mm残留分	3,150	4,730	7,880	25.6
	2mm~850μm	4,310	6,380	10,690	22.9
	850~425μm	3,080	4,970	8,050	7.2
	425~250μm	1,700	2,760	4,460	7.3
	250~106μm	3,010	4,790	7,800	7.3
	75~106μm	2,570	4,110	6,680	7.1
	53~75μm	3,970	6,160	10,130	8.2
	38~53μm	5,210	8,200	13,410	11.8
	25~38μm	5,670	8,610	14,280	11.3
	0~25μm	16,900	25,800	42,700	14.8



(3) 浮泥層の柱状採取および深度別採取方法

底質の深度方向のサンプリングは、右に示す採取器具を用いて行う。採取手順は以下のとおり。

- ①湖面上のボートから採取器具を底質中に押し込む。
- ②押し込みと同時に、浮泥層を含む底質がポリエチレンチューブ内に取り込まれる。
- ③所定の深度まで押し込んだ後、採取器具を引き抜く。
- ④回収した試料は、ポリエチレンチューブごと冷却装置(ドライアイス使用)で凍結させる。
- ⑤凍結後、所定の層厚毎に切断し、分析用の検体とする。



(1)底質の深度方向の試料採取より判明した事項

- ①表面0~1cmで特に高濃度の放射性セシウムが検出され、地表面5~15cm付近まで比較的高濃度の放射性セシウムが検出された。
- ②軟弱で浮泥が堆積している湖沼の底質は有機分が多く(強熱減量が多い)、放射性セシウムの深度分布が広がっている。
- ③表層付近の強熱減量が多く、下層では少ないため表層に含まれる有機分の影響も考えられる。

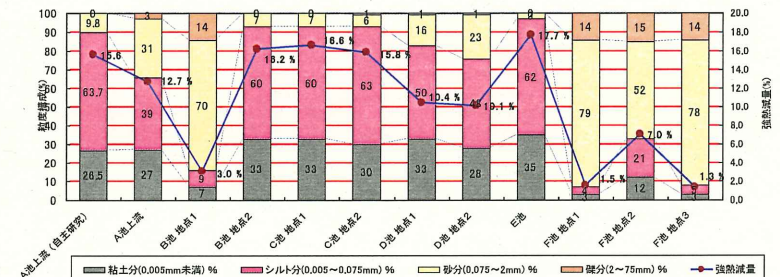
(2)洗浄分級試験結果より判明した事項

- ①シルト分以下の構成比と強熱減量との間に相関が見られる。
- ②洗浄分級した試料において、放射性セシウム濃度と粒度分布(構成比)を乗じて、放射性セシウムの総量として評価すると、25μm以下の粘土に多くの放射性セシウムが含まれていることが判明した。
- ③比較的大きな砂分(2mm~250μm)においても、放射性セシウム濃度が高い傾向がみられるが、強熱減量及び比重分級試験の結果より、有機分に起因すると考えられる。

各調査地点の土質試験結果

項目	単位	A池上流 (自主研究)	A池上流	B池 地点1	B池 地点2	C池 地点1	C池 地点2	D池 地点1	D池 地点2	E池	F池 地点1	F池 地点2	F池 地点3
サンプリング深度	cm	5	5	15	10	15	地点2	10	15	15	15	15	15
土粒子の密度	g/cm <sup>3</sup>	2.472	2.472	2.497	2.329	2.395	2.396	2.478	2.494	2.428	2.633	2.559	2.63
自然含水比	%	128.9	80.7	37.6	97.5	290.8	262.1	93.3	98.1	175.5	27.4	76.6	32.2
粒度試験	石分(75mm以上)	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	礫分(2~75mm)	%	0	3	14	0	0	1	1	0	14	15	14
	砂分(0.075~2mm)	%	9.8	31	70	7	6	16	23	3	79	52	78
	シルト分(0.005~0.075mm)	%	63.7	39	9	60	60	50	48	62	4	21	5
	粘土分(0.005mm未満)	%	26.5	27	7	33	33	30	33	28	3	12	3
強熱減量	%	15.6	12.7	3.0	16.2	16.6	15.8	10.4	10.1	17.7	1.5	7.0	1.3

各調査地点の粒度分布および強熱減量





## 2. 浮泥の汚濁抑制薄層浚渫結果に関する資料

底質を効率的に回収する浚渫アタッチメントの性能検証は、陸上に設置した水槽内にカオリンで模擬的な軟弱粘土（浮泥）層を人工的に作り、その底泥を、いかに安定的に濁りを出さないで吸引できるかによって評価した。

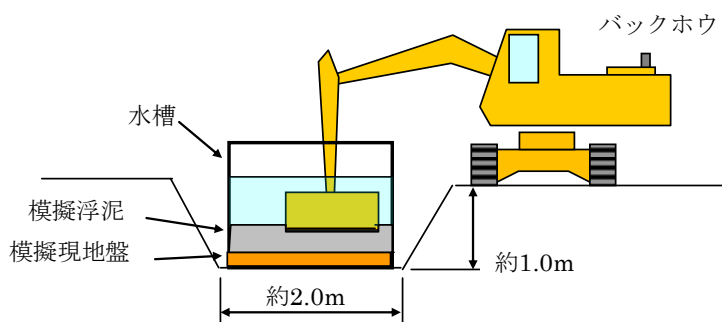


図 2-1 実験概要図

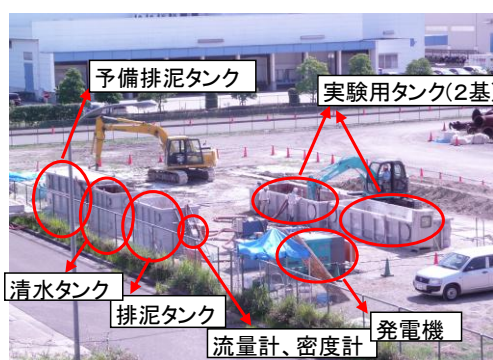


写真 2-1 アタッチメント実証実験全景

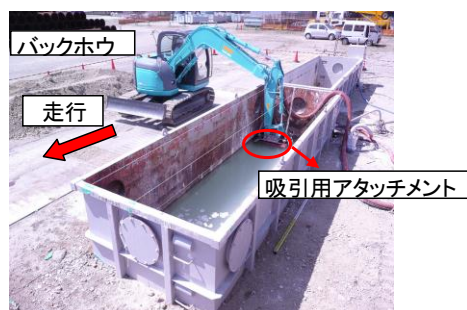


写真 2-2 模擬池全景

### (1) 実験装置

実験にあたっては実際の溜池での分析結果から、浮泥表層の 15cm 程度に多くのセシウムが含まれる事が判明したため、既往の吸引装置を改造し吸引層厚を最大 15cm まで対応できるアタッチメントを製作し、バックホウに装着後前述の水槽で模擬した池の内で水平方向に所定速度（約 6m 区間を 1.0～1.5 分）で走行させながら吸引する方法で行った。尚、アタッチメント形状は、下図に示すようにパドルミキサー軸とスクリーフィーダ軸を持ったものを基本型とし、パドルミキサーにより掘削された土砂と浮泥をスクリーフィーダで集め、後部の吸引口より排出される構造とし、移動方向の取込みフードの高さを変化させて、吸引浮泥の厚さを設定できる構造とした。



写真 2-3 回収機全景

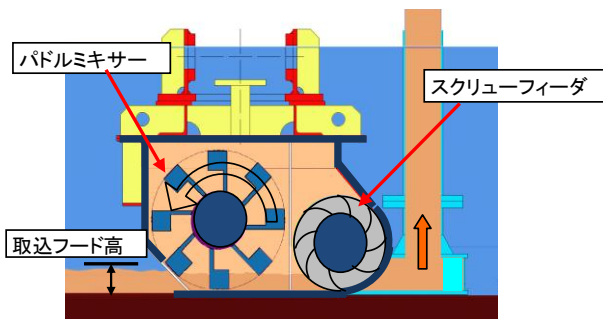


図 2-2 回収機イメージ図

また、水槽内の模擬汚泥はカオリンで作成し、アタッチメントをカオリン浮泥内の所定深さに沈めた後、ポンプ吸引を行いながら吸引スラリーの流量及び密度及び濁度を測定し、取得したデータの傾向により吸引の可否を評価した。

## (2) 実験結果

実験結果の一覧を図 2-3 と図 2-4 に示す。図 2-3 は吸引アタッチメントの開口高、吸水部高（取込みフード高のうち浮泥に入っていない高さ）、掘削厚を変化させて吸引特性（スラリー密度、スラリー流量）を計測したもので、吸水部高が大きいほど、また浮泥含水比が大きいほど容易に吸引できる傾向が強かった。また、吸引密度が 1.2t/m<sup>3</sup> 程度を境に閉塞傾向が高くなっている。

以上から、実湖沼における汚染底泥吸引（除染）においては、実使用吸引ポンプにおける吸引可能最大密度（濃度）を設定し、その密度を上まわらないような制御（例えば吸引装置の高さ制御やスイング速度制御、加水希釈による密度調整等）を加えることにより、任意の層厚で高能率な吸引が可能になると思われる。

実験ケース	開口高 吸水部高 掘削厚	含水比 (排水後)	吸引程度	流量/密度曲線 ■: 密度(t/m <sup>3</sup> ) ◆: 流量(m <sup>3</sup> /分)	実験時コメント
CASE-1	15cm / 0cm / 15cm	未計測	吸引不可		開口部全高(15cm)での吸引を試みたが、開始直後に閉塞した。
CASE-2	15cm / 5cm / 10cm	179%	吸引良好		含水比が高く、更に吸水部高も5cmあり問題なく吸引できている。(吸引流量も最も安定)
CASE-3	15cm / 5cm / 10cm	128%	吸引不可		含水比が若干低いため、吸水部高が5cmであっても吸引できなかった。
CASE-4	15cm / 10cm / 5cm	153%	吸引良好		含水比が高く、更に吸水部高も10cmあり問題なく吸引できている。
CASE-5	10cm / 5cm / 5cm	89%	後半吸引不可		含水比が非常に低いため、掘削厚が5cm、吸水部高が5cmであっても後半に吸引密度が上がり、吸引不良傾向となった。
CASE-8	15cm / 7.5cm / 7.5cm	80%	後半吸引不可		吸引当初から吸引密度が高いが、濁りの発生もなく安定した吸引が行われているように見えた。 吸引終了後、水位を下げると端部に押し付けられた状態で模擬浮泥が堆積しており、最終的に十分な吸引がされていなかったことが判明した。

図 2-3 スラリー密度/流量の計測データ図

図 2-4 は濁度測定結果と吸引特性を併記したものであるが、少なくとも閉塞しない限り汚濁も発生しないことが確認できた。

実湖沼での実機使用を考えた場合、吸引すべき浮泥の層厚や含水比が湖沼・深度ごとに異なり、使用ポンプや処理プラントの能力（配管ロスを含む）も常に変化するため、実施工にあたっては現地汚泥での試験施工により、吸引傾向や汚濁発生傾向の基礎データを採取し、湖沼毎に最良の吸引条件の設定をしておく必要がある。

実験ケース	開口高 吸水部高 掘削厚	含水比 (排水後)	吸引程度	流量/密度曲線 ■: 密度(t/m3) ◆ 流量(m3/分) 下図◆濁度	実験時コメント
CASE-5	10cm / 5cm / 5cm	89%	後半吸引 不可		<p>含水比が非常に低いため、掘削厚が5cm、吸水部高が5cmであっても後半に吸引流量が下がり、吸引不良傾向となった。</p> <p>また、濁度についても、流速低下とほぼ同時に、数値が上がっている。</p>
CASE-6	10cm / 2.5cm / 7.5cm	127%	吸引良好		<p>吸引も順調で、にごりの発生も見られない。</p>
CASE-7	15cm / 10cm / 5cm	62%	吸引良好		<p>吸引も順調で、にごりの発生も見られない。</p>
CASE-8	15cm / 7.5cm / 7.5cm	80%	後半吸引 不可		<p>吸引当初から吸引密度が高いが、安定した吸引が行われているように見えた。吸引終了後、水位を下げると端部に模擬浮泥が堆積しており、十分な吸引がされていないことがわかった。</p> <p>濁りの発生も見られず、安定的に吸引されていると思われたが、端部に浮泥が押し付けられた状態であった。</p>

図 2-4 スラリー密度/流量および濁度の計測データ図



### 3. 底質表層の剥ぎ取りによる除染効果に関する資料

#### (1) 除染対象池と除染条件

対象溜池：A 池

水系：阿武隈川

所在地：福島県内

満水面積：1.8ha

目的：かんがい（洪水調整運用あり）

最大水深：2m 程度

作業時水位：池底露出、滞筋のみ流水

剥ぎ取り範囲：4.5m×4.5m

剥ぎ取り深度：5cm

剥ぎ取り箇所：3 箇所

剥ぎ取り方法：人力による掘削

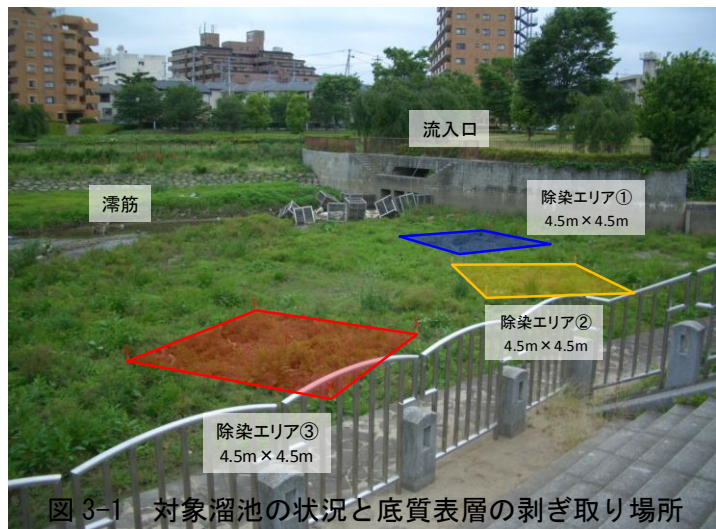


図 3-1 対象溜池の状況と底質表層の剥ぎ取り場所

#### (2) 測定項目および評価項目

測定項目：空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）、表面汚染密度（cpm）、放射性セシウム濃度（Bq/kg-dry）

確認項目：底質表層の剥ぎ取りによる除染効果の確認、植物の草刈による除染効果の確認

測定時期：草刈前・剥ぎ取り前（除染前）、草刈後・剥ぎ取り前、草刈後・剥ぎ取り後（除染後）

#### (3) 測定結果

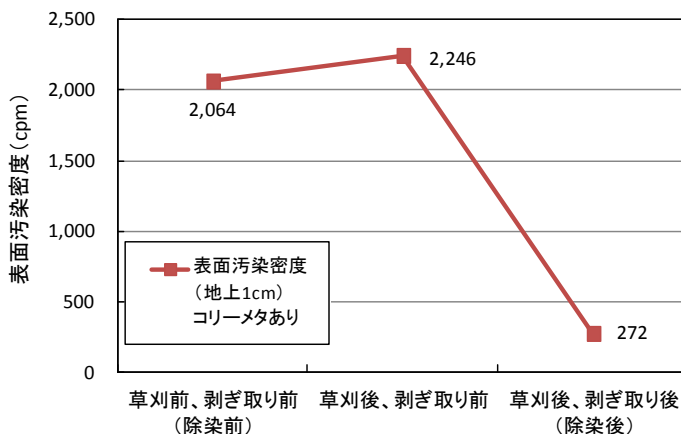


図 3-2 除染作業による表面汚染密度の低減効果

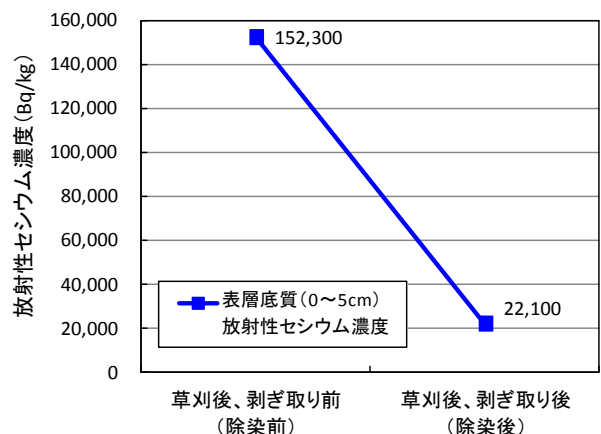


図 3-3 除染作業による放射能濃度の低減効果

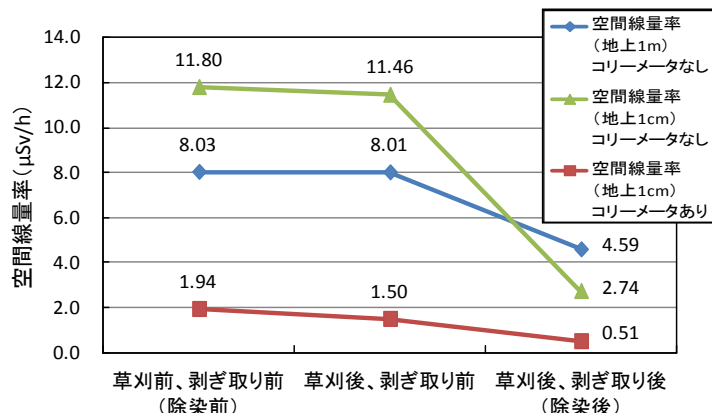


図 3-4 除染作業による空間線量率の低減効果

#### 【表層剥ぎ取りによる除染効果のまとめ】

① 高濃度の放射能汚染底質の表層を剥ぎ取れば、地上1cmの空間線量および表面汚染密度、ならびに放射能濃度が大幅に低減した。

② 地上1mの空間線量は、除染により低減するものの、剥ぎ取り面積が小さいため、低減率は大きくなかった。

③ 今季に繁茂した植物の除草による除染効果は、ほとんどなかった。

#### 4. 洗浄分級・脱水処理による減容化効果に関する資料

##### 【物質収支】

①	Cs濃度	152,300Bq/kg
	Cs量	180,323,200Bq
	固	1,184kg
	水	1,066kg
	容積	2.004m3

##### 【減容化効果】

減容化効果	乾燥土壌 (kg)	容積 (m3)	計算式
除染前	1,184	2.004	①
除染後	857	1.173	②+③+④+⑤
減容率	0.2762	0.4147	$1 - (②+③+④+⑤) / ①$

⑦	Cs濃度	未測定
	Cs量	0Bq
	固	0kg
	水	16,710kg
	容積	16.710m3

加水  
(水道水)

解泥処理  
(バックホウ攪拌)

異物除去  
(30mmスクリーン除去)

②	Cs濃度	73,700Bq/kg
	Cs量	1,621,400Bq
	固	22kg
	水	0kg
	容積	0.013m3

異物  
(主に植物)

③	Cs濃度	未測定
	Cs量	0Bq
	固	23kg
	水	0kg
	容積	0.019m3

異物  
(主に礫)

④	Cs濃度	3,330Bq/kg
	Cs量	179,820Bq
	固	54kg
	水	8kg
	容積	0.036m3

ごみ・礫分  
(2mm超)

##### 【除染効果:放射能濃度】

除染効果	放射能濃度 (Bq/kg)	計算式
除染前	152,300	①
除染後	1,945	⑥
除染率	0.9872	$1 - ⑥ / ①$

##### 【凡例】

番号	全放射性セシウム濃度 Cs134+Cs137
	全放射性セシウム量 Cs134+Cs137
	固体重量
	水重量
	容積

ND: 検出下限値未満

(検出下限値)

Cs134 1Bq/kg(L) 未満

Cs137 1Bq/kg(L) 未満

⑧	Cs濃度	未測定
	Cs量	0Bq
	固	0kg
	水	4,081kg
	容積	4.081m3

シャワリング水  
(水道水)

湿式振動篩分級処理  
(篩目: 0.3mm)

洗浄砂分  
(75μm超、2mm以下)

⑥	Cs濃度	1,945Bq/kg
	Cs量	618,510Bq
	固	318kg
	水	33kg
	容積	0.255m3

⑨	Cs濃度	未測定
	Cs量	0Bq
	固	2kg
	水	76kg
	容積	0.143m3

凝集剤

凝集沈殿処理

凝集沈殿スラッジ

上澄水

⑩	Cs濃度	ND(1Bq/L未満)
	Cs量	0Bq
	固	0kg
	水	14,471kg
	容積	14.471m3

脱水助剤

⑪	Cs濃度	未測定
	Cs量	0Bq
	固	34kg
	水	64kg
	容積	0.079m3

脱水処理  
(フィルタープレス)

脱水ケーキ

⑤	Cs濃度	215,900Bq/kg
	Cs量	163,652,200Bq
	固	758kg
	水	931kg
	容積	1.105m3

脱水ろ水

⑫	Cs濃度	6Bq/L
	Cs量	0Bq
	固	0kg
	水	6,272kg
	容積	6.272m3

##### 【物質収支】

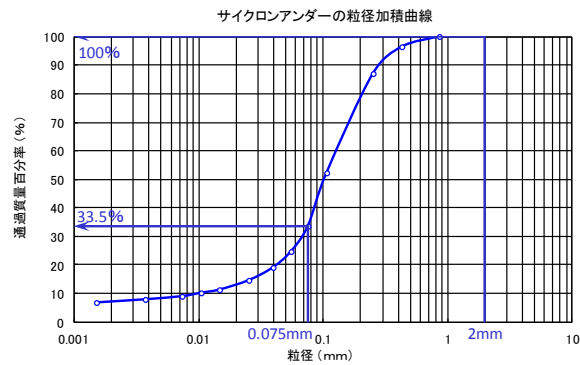
物質収支	放射能 (Bq)	乾燥土壌 (kg)	水分 (kg)	放射能および乾燥重量の計算式	水分の計算式
投入量	180,323,200	1,220	21,997	①+⑨+⑪	①+⑦+⑧+⑨+⑪
回収量	166,071,930	1,175	21,715	②+③+④+⑤+⑥+⑫	②+③+④+⑤+⑥+⑩+⑫
回収率	92.10%	96.31%	98.72%	$(②+③+④+⑤+⑥+⑫) / (①+⑨+⑪)$	$(②+③+④+⑤+⑥+⑩+⑫) / (①+⑦+⑧+⑨+⑪)$

物質	放射能 (Bq)	乾燥土壌 (kg)	水分 (kg)	未回収の理由
未回収量	14,251,270	45	282	乾燥土壌および水分の未回収分は、主に振動篩アンダータンクに残留したもの。その他の要因として、計測誤差によるものと考えられる。 放射能の未回収分は、設備内に残留した土壌の付着分と、試料採取時の偏析による誤差が含まれると考えられる。

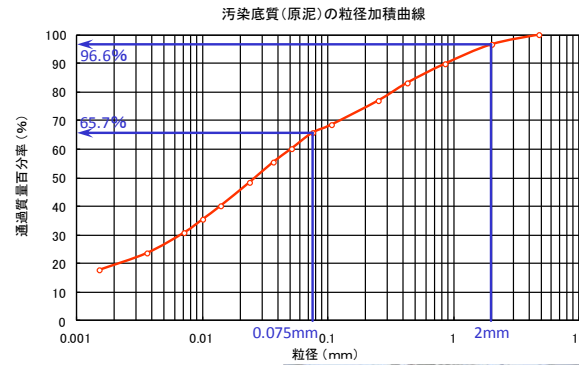
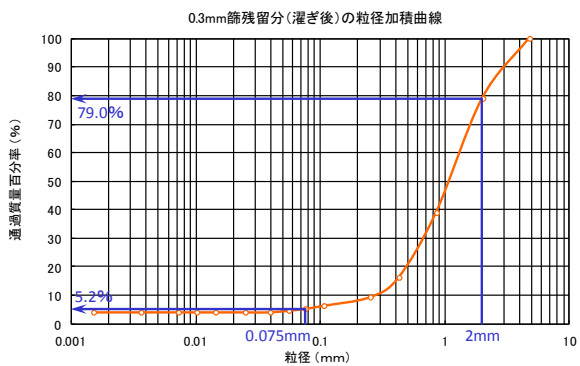
# 【洗浄分級処理による粒度構成の変動】



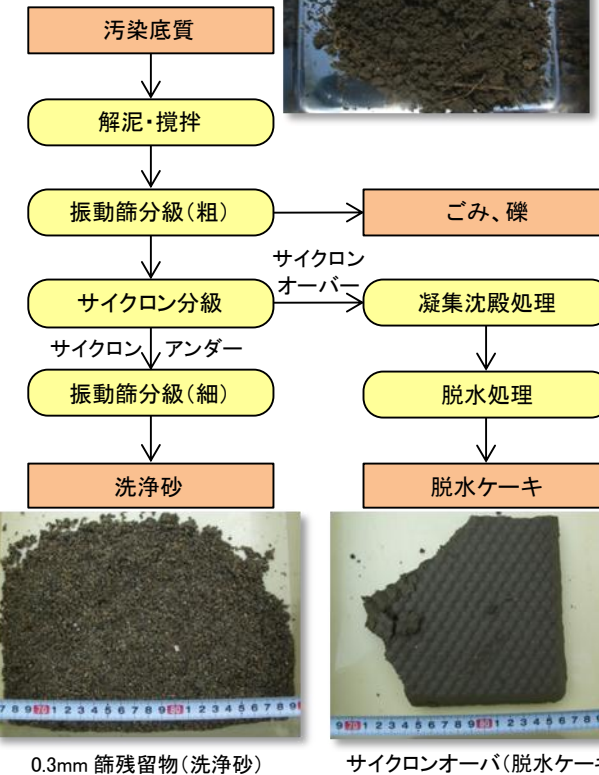
洗浄分級処理プラント



サイクロンアンダー



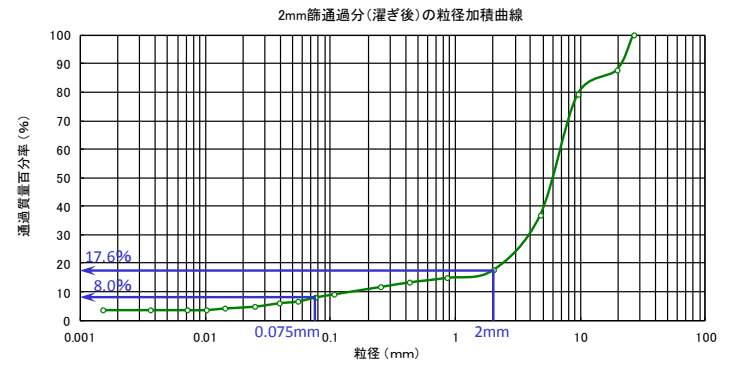
汚染底質(原泥)



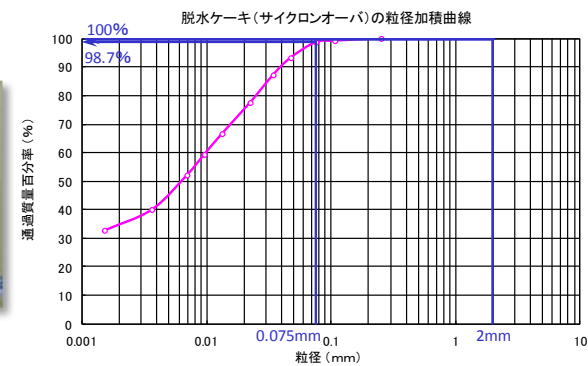
0.3mm 篩残留物(洗浄砂)



サイクロンオーバ(脱水ケーキ)



2mm 篩残留物(ごみ、礫)



- ・ 原泥は、砂分が30.9%、シルト・粘土分が65.7%であり、シルト・粘土分の構成比率が高い土壌である。
- ・ サイクロンオーバ(脱水ケーキ)の粒度構成は、ほとんどがシルト粘土分(98.7%)であり、粗粒分の分離は十分に行えている。
- ・ 0.3mm篩残留分の粒度構成は、シルト・粘土分以下が5.2%であり、細粒分の分離が十分に行えている。



## 5. その他（汚染底質の薄層回収、減容化、集積遮蔽保管による水域周辺の空間線量低減策の提案）

### 【現状】

警戒区域、避難指示区域等や汚染状況重点調査地域内の湖沼や溜池等の底質は、放射性物質によって高濃度に汚染されているケースがある。高濃度汚染底質からは多量の放射線が放出されているが、貯水による遮蔽効果が見込まれ、水域周辺へ放出される空間線量は低減されている。

一方、かんがいを目的とした溜池等では、洪水調節機能を担っている場合があり、洪水期は貯水容量を確保するため貯水位を下げている。この場合、貯水による遮蔽効果は見込めない。

特に、生活圏に近接している溜池の周辺では、貯水位低下に伴う空間線量の上昇や汚染底質の下流域への拡散が問題となっている。そのため、早期に底質の除染を行い、従来の環境への回復が求められている。

### 【底質の除染に関する課題】

- ・汚染底質は貯水池内全域に分布しているため、除染に伴い多量の汚染土壌が発生する。
- ・汚染底質を除去しても、保管する場所が確保できない。

### 【提案】

- ・池内に広く薄く分布している高濃度汚染底質を薄層で回収する。⇒ **線量低減効果** **減容化効果**
- ・回収した汚染底質を洗浄分級・脱水処理して、高濃度汚染土壌とそれ以下の土壌に濃度別で仕分ける。高濃度汚染土壌は耐侯性袋に収容する。8,000Bq/kg以下の土壌は有効活用を図る、あるいは管理型処分場に埋め立て処分する。⇒ **減容化効果**
- ・高濃度汚染土壌は池内の1箇所に集積し、遮蔽構造物内に一時的に保管する。⇒ **保管場所確保**
- ・最終処分場が設置されれば遮蔽構造物から取り出し、耐侯性袋のまま搬出する。⇒ **早期原状回復**







実施代表者の所属機関： 国立大学法人 東北大学
実証テーマ名： 低温燃焼による放射能汚染菜の花・稲わら等の減容化・安全処理技術
<p>事業の概要：</p> <p>放射性セシウム（Cs）で汚染された菜の花・稲わら等を低温燃焼し、減容化させつつ Cs-Si-O 系物質または、Cs-Al-Si-O 系物質を生成させて灰に濃縮し、それを安全に保管する技術を実証する。</p>
<p>実施内容：</p> <p>実施内容は、①放射性 Cs 汚染菜の花・稲わら等のモニタリング調査、②汚染試料を低温燃焼（600℃以下）して減容化、③燃焼後の放射性 Cs を Cs-Si-O 系物質として灰に濃縮、④灰を安全に保管。この一連の処理プロセスの効率性、安全性を実証する。</p>
<p>技術概要：</p> <p>1. 試験フロー：原料を裁断・粉碎し、それを炭化炉で低温燃焼して放射性 Cs を Cs-Si-O 系等の物質として灰に濃縮・固定化し、減容化を達成する。</p> <div data-bbox="239 864 1228 1120" data-label="Diagram"> <pre> graph LR     A[放射能汚染稲わら等] --&gt; B[高速ロータリーカッター]     B --&gt; C[スクリーフィーダによる稲わら粉碎品移送]     C --&gt; D[加熱炉]     D --&gt; E[灰の安全処理・保管] </pre> </div> <p>2. 試験目標：①原料による減容化率の明確化（Cs 濃度の濃縮（8000Bq/kg を基準））、②放射性 Cs の Cs-Si-O 系等の物質生成・非揮発の確認、③灰の安全保管、④プロセスの効率性、安全性、経済性の評価。</p> <p>3. 期待される効果：本法は、「粉碎＋低温燃焼」であり、高温加熱処理やプラズマ処理と比較して経済的、大量処理可能。費用対効果も高い。また、装置システムはトラックに積載して移動可能＝機動性ある汚染物処理システムと云える。</p> <p><u>よって、可搬型処理装置として汚染地での稼働を可能にする条件が整っている。</u></p>
その他：

除染効果：放射能汚染の度合いが異なる試料（牧草：数千 Bq/kg；稲わら：数百 Bq/kg）を原料に用い、粉碎と加熱処理により減容し、残渣（灰）の放射能濃度を計測した結果、放射性物質が灰に残留することを確認した。①牧草そのまま、②牧草と稲わら、③牧草とカオリン及び④牧草と土壌の合計 4 種類の試料を準備し、上記の処理を行い、加熱前後の放射能濃度の変化率を計測した。これらの結果を下表に示す。

表 試料加熱前後の放射能濃度変化（600℃、2 時間）

試料	加熱前			加熱後			減量率 (A-B)/A (%)	放射能濃度 変化率 (D-C)/C (%)
	重量 A (g)	放射能 濃度 (Bq/kg)	放射能 C (Bq)	重量 B (g)	放射能 濃度 (Bq/kg)	放射能 D (Bq)		
①牧草	900	5491	4942	290	18521	5371	68	8.7
②牧草 +稲わら	700	3213	2249	240	8700	2088	66	-7.2
③牧草 +カオリン	950	5120	4864	310	15437	4785	67	-1.6
④牧草 +土壌	950	6035	5733	310	16408	5086	67	-11.3

表より加熱後の放射能濃度変化率は、±約 10%程度になっており、この数値は本実験における試料の低温加熱では放射性物質（Cs）は揮発せず、灰に留まる（89～98%）と云える。試料容器の外に試料熱分解に由来する黒いタール状物質が生成するが、そのタール状物質からは放射性物質が検出されなかった。これらのことを総合して判断すると、試料の加熱（600℃以下）では放射性物質は揮発・漏えいせず、残渣（灰）にほぼ完全に残留すると結論づけられる。

除去物発生量評価： 加熱温度など加熱処理条件により加熱処理物（灰）重量は変化するが、1 kg の放射能汚染試料を加熱温度 600℃、2 時間処理した場合、廃重量は約 300g であり、減量率は 70%程度となる。

作業員被ばく量評価： 作業場所平均空間線量率：ゼロ  $\mu$  Sv/hr、作業時間 40 時間

作業員最大被ばく量：ゼロ  $\mu$  Sv

作業員平均被ばく量：ゼロ  $\mu$  Sv

コスト評価： 歩掛り（作業人工、作業速度）：  
7,037 円/kg 試料 1.5 人工/4 kg、0.5kg/hr

コスト評価条件：燃料費 673 円/kg； 人件費 5,550 円/kg； 機械損料 892 円/kg

除染作業における安全上の注意：マスクや手袋などの保護具の着用

試験場所（住所）： 除去物保管場所と保管状況：東北大学大学院農学研究科川渡フィールドセンター（宮城県大崎市鳴子温泉字蓬田 232-3）

## 平成24年度第1回除染技術実証事業

### 「低温燃焼による放射能汚染菜の花・稲わら等の減容化・安全処理技術」

#### 中間報告書の参考資料

東北大学多元物質科学研究所

## 1. 目的

放射性セシウム(Cs)で汚染された菜の花・稲わら等(原料)を低温燃焼し、見掛け体積を 1/300 程度に減容化させつつ、放射性 Cs を稲わら含有のシリカと反応させて Cs-Si-O 系物質を生成させ、固体残渣(灰)に濃縮させて、それを安全に保管する技術を実証する。

## 2. 内容

本実証試験は、宮城県北部の放射性セシウム(Cs)ホットスポットにおける汚染菜の花(牧草)と稲わらの除染と減容化を、安全で低コストに進める手法の実証試験である。その手法は、図1に示すように、1)粉砕と2)低温加熱の2つの操作から成る。

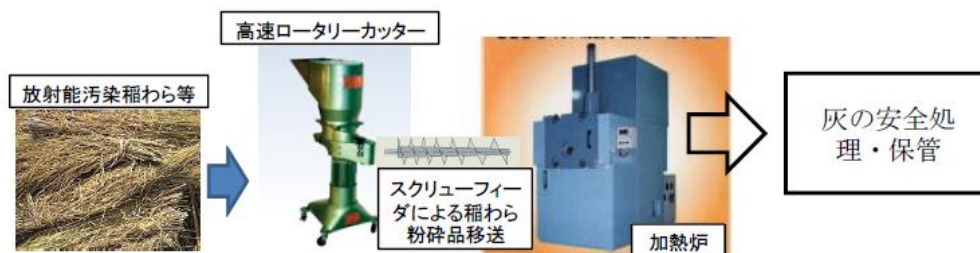


図1 放射能汚染稲わらなどの粉砕と低温加熱による処理プロセス

以下に、原料から各処理処理プロセスならびに処理物についての実証試験内容と中間実証試験結果を簡単に記す。

### (1) 汚染バイオマス(菜の花と稲わら)の現地での放射線量の測定・モニタリング

宮城県北部には放射性 Cs ホットスポットがあり、汚染土壌の浄化用として大量の菜の花が栽培され、Cs は菜の花の根や茎に濃集した状態にある。また、同地域の稲わらも汚染されている。これらの汚染バイオマス原料を処理優先順位をつけるため、原料を約 2mm 程度に裁断・粉砕し、その放射能、放射線量 ( $\mu\text{Sv/h}$ 、 $\text{Bq/kg}$ ) 測定を行い、現地の放射能汚染状況をモニタリングするとともに、処理対象試料を選定している。

その結果、現地の空間線量は  $0.0 \mu\text{Sv/h}$ 、原料の菜の花の放射線量は数百  $\text{Bq/kg}$  であった(表参照)。

### (2) 高濃度汚染菜の花・稲わら等の裁断・低温燃焼処理と分析評価

まず、放射能汚染菜の花・稲わら等を高速回転型カッターミルにより適宜な長さ(約 2mm 程度)に裁



断・粉碎した。

裁断・粉碎した汚染菜の花・稲わらからの放射性 Cs 含有物が飛散しないように自動送り機(装置に設置)により粉碎物原料を低温燃焼炉に移送して焼却・燃焼処理した。燃焼処理は回分式とした。ここで、重要な点は、加熱炉の温度をモニターしながら最高でも 600℃とし、決してそれ以上にしないことである。その理由は、低温燃焼過程で生成する Cs 化合物(有機物や無機物)は、600℃以上では揮発する可能性があるからである。これが、通常の燃焼法との違いであり、本手法の特徴である。

図2は、粉碎機、加熱装置(付帯設備として集じん機(フィルターとスクラバー)などを含む)の写真を示す。

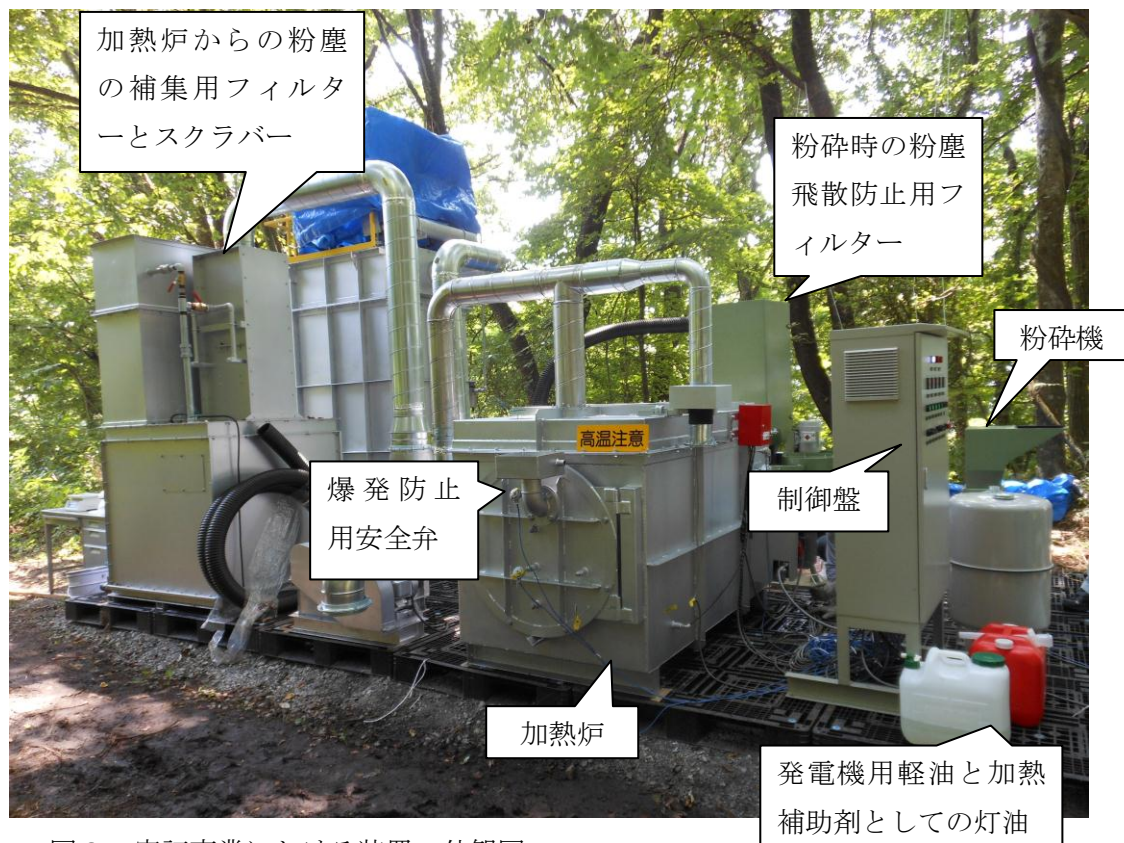


図2 実証事業における装置の外観図

### (3) 微粉捕集時における安全対策

図2に示すように、燃焼時に灰が飛散ないように、燃焼炉ガス排出口には、フィルターを設置するとともにスクラバーを設置した。焼却した灰には未燃カーボンが微量残留することが予想され、それが粉じん爆発の原因になることも予想される。そのため、燃焼炉の排気上部の壁面強度を弱くしておき、そこから圧力が解放されるようにした(炉内圧力の異常向上＝爆発などを想定した安全対策)。これによって、万が一、粉塵爆発した場合でも、フィルターとスクラバーで粉塵飛散を防止できる。

図3は、低温加熱炉の内部の状況の写真である。この写真より、試料は秤量後、ステンレス製トレイに入れて加熱されるが、トレイは1回の加熱で4つ挿入することが可能であり、例えば、①稲わら、②牧草、③稲わらと牧草、④牧草＋土壌(カオリナイト＝ $\text{Al-Si-O}$  成分)等の放射線量や成分の異なる試料が同時に加熱できるようにした。

#### (4) 放射線量測定と処理物の保管

菜の花、稲の種類ごとに、また、放射能汚染濃度により、例えば、高濃度汚染物、低濃度汚染物などと分類し、それぞれについて低温燃焼後の残渣(灰)(主成分はシリカやアルミナ)を回収し、減容化率と放射能、放射線量( $\mu\text{Sv/h}$ 、 $\text{Bq/kg}$ )を計測し、基礎データを取得している。その上で、灰の放射線量が保管上限値  $8000\text{Bq/kg}$  を超えないような最適

パラメータを探索し、安全に一時処分・保管することとした。図4は原料の稲わらの秤量状態を示す。



図3 炉内状況で、上下2段で、奥行きと手前に2列にトレイが配置できる構造になっている



図3 原料の稲わらの秤量風景(手前は線量計)



### 3. 実験結果と評価

#### (1) 除染効率、減容・減量効果の評価

- ① 汚染されたバイオマスの減容・減量が主目的であり、まず、減容化できるものとそうでないものの基礎データを得る。
- ② また、本手法のメリットは低温燃焼であり、放射性 Cs をシリケートとして確実に閉じ込められるか、そうでないものもあるかを明確にする基礎データを得る。

具体的には、放射性物質の揮発の有無とあわせて、その評価は、毎回実験の結果として記録している。汚染濃度別に選定した試料（菜の花、稲わらなど）に対して、裁断・粉碎後の試料とそれの加熱燃焼後の試料（残渣、灰）の体積と重量を測定し、その減容率を算出・記録した。また、各試料の放射能、放射線量（ $\mu\text{Sv/h}$ 、 $\text{Bq/kg}$ ）を測定し、バイオマスの種類、汚染濃度毎の減容率・減量率とバイオマス種類、放射能濃度との関連性に明確にし、放射性 Cs が完全に燃焼後の灰に濃縮されるかという放射能汚染に関する物質収支（線量基準）を明確にする基礎データを得ている。その上で、高濃度汚染物の管理、発生量を予測し、本格稼働に際するコスト評価（損益分岐点を見極めるデータの提供）を行い、もって、今後の同種のバイオマスの低温燃焼による減容化、放射性 Cs 濃縮に関するシミュレーションができる基礎データを得ている。なお、残渣は、当初 Cs-SiO 系物質のみとしたが、土壌成分の Al が反応し、Cs-Al-Si-O 系成分も生成することが判明した。この物質は Cs に対して SiO<sub>2</sub> より反応し易く、かつ安定であるので、本手法では土壌が付いていればそのままにして加熱処理することで安定な Cs 化合物が生成し、より有利であると云える。

以下には、測定データの一部を示す。

表 1 4 種類（①～④）の試験結果

試料	加熱前試料重量 (g)	合計放射線濃度 (Bq/kg)	総放射線量 A (Bq)	加熱後試料重量 (g)	合計放射線濃度 (Bq/kg)	総放射線量 B (Bq)	放射線量変化率 (B-A)/A (%)	重量減少率 (-)	放射線濃縮比 (-)
①牧草	900	5491	4942	290	18521	5371	8.7	-0.678	3.37
②牧草＋稲わら	700	3213	2249	240	8700	2088	-7.1	-0.657	2.71
③牧草＋カオリン	950	5120	4864	310	15437	4785	-1.6	-0.674	3.02
④牧草＋土壌	950	6035	5733	310	16408	5086	-11.2	-0.674	2.72

表より加熱後の放射エネルギー変化率は、±約 10%程度になっており、この数値は本実験における試料の低温加熱では放射性物質（Cs）は揮発せず、灰に留まると云える。試料容器の外に試料熱分解に由来する黒いタール状物質が生成するが、そのタール状物質からは放射性物質が検出されなかった。これらのことを総合して判断すると、試料の加熱（600℃以下）では放射性物質は揮発・漏れいせず、残渣（灰）にほぼ完全に残留すると結論づけられる。

除去物発生量評価：

加熱後の試料様子について牧草を例として、密閉加熱後試料の様子は下記の写真で示す。



加熱温度など加熱処理条件により加熱処理物（灰）重量は変化するが、1 kg の放射能汚染試料を加熱温度 600℃、2 時間処理した場合、廃重量は約 300g であり、減量減少率は 70%程度となり、原料は重量基準で約（1/3）になっている。また、空気中の加熱により減容率は、さらに上がる。詳細は、報告書にまとめる。

以上



## 1.稼動に燃料費用について

4kg 試料を 2h 粉碎；軽油（130 円/L）1 時間 2.9L 消費～ $2.9 \times 2 \times 130$  円=754 円

加熱 4kg を 4h で軽油（130 円/L）9.47L 消費～コスト= $9.47 \times 130$ =1231 円。同加熱  
灯油（90 円/L）6L 消費 ～コスト= $6 \times 90$ =540 円。したがって、4kg 試料の全処理コ  
スト=754+1231+540=2525 円/4kg。

よって。631 円/kg

## 2.人件費については、

稼働時 1.5 人程度の労力と仮定。

据付に 4 人で 1 日半

作業員一日 22200 円(一時間 2775 円)と契約内容から

4kg を処理する時

粉碎時人件費

①2 時間×人件費 2775 円 = 5550 円

炭化稼働時人件費

②据付時間×人件費 22200 円×1.5×4 人 = 133200 円

③稼働時間×人件費 2775 円×1.5 人×4 時間 = 16650 円

(①+②+③) /4 kg = 155400 円 よって 38850 円/kg

据付ずみ、稼働だけの場合は

(①+③) /4 kg = 22200 円 よって 5550 円/kg

また、機械損料については、

環境関係の機械の減価償却年数が 7～8 年との事ですので、  
今回 1200 万と考える

7 年の時 1 年で 1,714,285 円 1 ヶ月で 142,857 円

1 ヶ月 20 日稼働と考えると 1 日で 7,142 円

1 日 8 時間稼働とすると

おおよそ 1 時間 892 円の機械損料かと思われます。

実証実験一回 4kg 試料 4 時間で、よって 892 円/kg

トータル 631+5550+892 = 7037 円/kg

実施代表者の所属機関：株式会社 山口製作所

実証テーマ名：可搬式連続炭化減容装置による放射性物質に汚染された有機物の減容

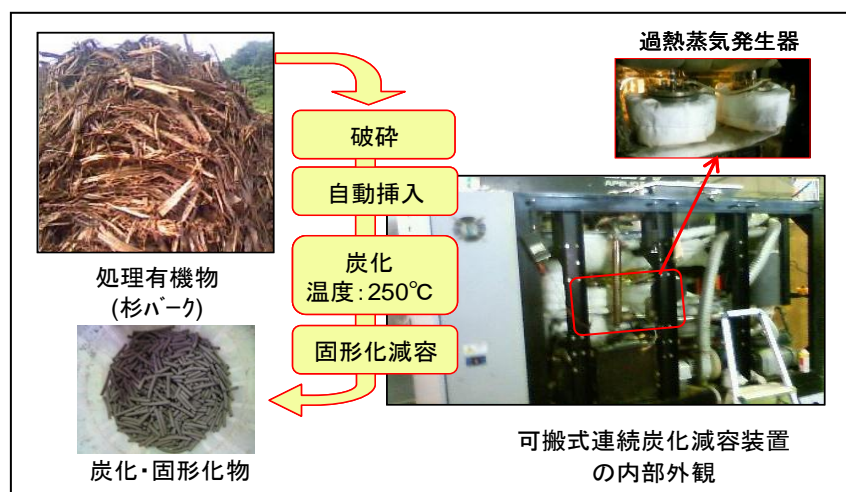
事業の概要：放射性物質に汚染された有機物（汚染有機物）を発生場所にて減容から収納まで可搬式連続炭化減容装置により自動で行う。効率的かつ安全に作業できるかを実証する。

実施内容：

1. 連続炭化減容装置は小型・軽量、3 トントラックに搭載。汚染有機物の発生場所まで移動し、その場で炭化・固形化減容し容器に収納する。
2. 直接加熱式電気ヒーターで生成した過熱蒸気による連続低温炭化法を適用。放射性物質の大気飛散なく炭化減容化する。

技術概要：

1. 試験フロー



2. 試験目標

- (1) 処理有機物の減容率：90%
- (2) 炭化減容装置の処理能力：50kg/hr/台  
 $= 0.36\text{m}^3/\text{hr}/\text{台}$  (\*落葉のかさ密度=0.14g/cm<sup>3</sup>と仮定)
- (3) 放射性セシウムの大気飛散なし（マスバランスを確認）

3. 期待される効果

焼却炉などの据置き型とは異なり、当該装置で移動し、汚染有機物の発生場所で安全に炭化・固形化減容する。現地で汚染有機物を減容化するため、運搬量が大幅に低減でき、しいては処理費用の低減に寄与する。

その他：

## ＜除染効果＞

\*破砕－炭化により 90%以上の減容が可能

**表 1. 炭化・固形化による減容(量)率の測定結果**

【工程:①落葉を収集→②破砕→③炭化(→④固形化)】

\*炭化帯の過熱蒸気設定温度=350℃

対象材	項目	処理量	炭化物量	減容(量)率	備考
落葉	容積	180ℓ	7.2ℓ	96%	工程④実施せず(*)
	重量	25.4kg	2.5kg	90%	

(\*)落葉収集時に混入した小石がスクレープレス機に損傷を与えるため

## ＜セシウム飛散防止技術＞

\*低温炭化処理によりセシウムは大気飛散せず、炭化物に全て固定されていた。

**表 2. パークの炭化処理前後におけるセシウムの分析結果**

【炭化処理条件:炭化帯の過熱蒸気設定温度=350-550℃、炭化時の想定材料温度=250℃】

	セシウム 134	セシウム 137	セシウム合計	備考(検出限界)
原料	1,889Bq	2,756Bq	4,645Bq	
炭化物	1,702Bq	2,983Bq	4,685Bq	
排ガス中				
・粉塵中	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	(<0.11Bq/m <sup>3</sup> )
・吸収液中	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	(<0.39Bq/m <sup>3</sup> )
ドレン水	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	(<4.54Bq/ℓ)
炭化装置内洗浄液	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	(<2.73Bq/ℓ)

## 除去物発生量評価:

\*(落葉によるテスト結果) 発生量=7.2ℓ/除染処理量=180ℓ →減容率=96%

作業員被ばく量評価: 作業場所平均空間線量率 0.1  $\mu$ Sv/hr、作業時間: 9 時間

作業員最大被ばく量 0.9  $\mu$ Sv (分析作業、作業時間 9 時間)

作業員平均被ばく量 0.45  $\mu$ Sv

## コスト評価:

\*3.6 万円/m<sup>3</sup>

落ち葉のかさ密度 0.14g/cm<sup>3</sup>

とした場合、25.7 万円/t

## 歩掛り (作業人工、作業速度):

\*0.13 人/m<sup>2</sup>、 2.1m<sup>2</sup>/hr

(前提条件: 表面 5cm の落葉等の有機物を対象)

## コスト評価条件:

\*対象物の集積場で処理。対象物の集積、炭化物収納容器の移動は含まず。容器費も含まず。

\*①対象物: 落葉 (かさ密度=0.14g/cm<sup>3</sup>)、②設備償却: 5 年、③人件費: 1.5 万円/日×2 名、

④軽油価格: 123 円/ℓ、⑤処理量: 30kg/hr

## 除染作業における安全上の注意: 防塵マスク、ヘルメット、線量計

## 試験場所 (住所):

福島県東白川郡塙町

## 除去物保管場所と保管状況 (写真):

\*保管場所: 協和木材(株)。最終的には他のパークと同様に焼却灰にして協和木材(株)にて保管。



(20ℓ×2 缶に保管)

実施代表者の所属機関：鉄建建設株式会社
実証テーマ名：熱分解による放射性有機廃棄物の減容処理技術の実証
事業の概要：放射性有機廃棄物を熱分解し、生成するタール及びチャーを水蒸気ガス化して減容する。減容施設としてガス化と焼却を比較し、その優劣を検証する。
実施内容：1. 広野町パイロットプラント；①放射性有機廃棄物（原料）、チャー、タール（凝縮液）及び活性炭、洗浄水の重量、水分、放射能濃度（Bq/kg）。②ガスの容積と組成。2. 産総研パイロットプラント及び石英管；①チャーの投入量、排出量、水蒸気量。②ガスの容積と組成。
<p>技術概要：パイロットプラントのフローと試験目標、試験項目</p> <p>【熱分解試験】放射能で汚染された樹木（ペレット化したもの）を、外熱式水平回転円筒炉に送入して熱分解し、得られたガスを冷却して凝縮液（タール＋水）と乾ガスにする。固形残渣（チャー）、凝縮液及び乾ガスの重量と放射能量を把握し、熱分解の物質収支と放射能収支データを取得した（添付資料参照）。</p> <p>【ガスの放射性セシウム測定】「放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料第二版）」（国立環境研、平成 24 年 3 月 26 日）p. 90 を参考に、乾ガスを蒸留水及び活性炭充填層に通して放射性セシウムを吸着し、その放射能を測定した。</p> <p>【溶出試験】JIS K0058-1 に準拠して、チャーの放射性セシウム溶出試験を行った。</p> <p>【水蒸気ガス化試験】チャーに水蒸気を送入・水蒸気ガス化によりチャーをガス化した。</p> <p>【試験目標】①熱分解ガスに移行する放射性物質の量は、焼却ガスに移行する放射性物質の量と比べると極めて少ないこと。②熱分解ガスを冷却して得た乾ガスには放射性物質が含まれていないこと（放射性物質はすべてチャーに移行する）。③本熱分解プロセスによる放射性廃棄物減容率＝<math>100 \times \{1 - (\text{チャーの容積}) / (\text{原料の容積})\}</math>は 95%以上であること。</p> <p>【期待される効果】1. 焼却による減容と比べると、①発生ガスの量が少ない。②発生ガスに含まれるばいじん（放射性物質）量が少ない。③ばいじんのほぼ全量を冷却したタール液とともに除去できる。2. ばいじんを含むタール液をガス化炉に戻し乾ガスとチャーに分解することで、放射性物質をすべてチャーに移行させることができる。3. チャーを水蒸気ガス化してより一層の減容化を図り、隔離保管コストを削減できる。4. 減容が、大気及び水環境への放射性物質の排出なしに実施できる。5. 放射性有機廃棄物から得た汚染のない乾ガスを燃料としてエンジンを駆動して発電することにより、運転コストを削減できる。</p> <p>その他：</p>



除染効果：

表 1 主な除染効果データ

	伐採樹木 破砕物	圧縮固化 ➡		熱分解 ➡		水蒸気ガス化 ➡	
		木質ペレット		チャー		残渣	
		850℃約50分		900℃約60分			
体積 m <sup>3</sup>	1	0.256		0.076		0.001	
減容率 %	0	74.4		92.4		99.9	
乾物重量 kg	100	100		17.2		1.0	
減量率 %	0	0		82.8		99.0	
濃縮率 倍(体積ベース)	---	1		2.3		71.2	

除去物発生量評価：

表 1 に示したように、残渣の発生量は、伐採樹木破砕物 100kg あたり 1.0kg であった。  
体積に換算すると、伐採樹木破砕物 1m<sup>3</sup> あたり 0.001m<sup>3</sup> であった。

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 0.278  $\mu$  Sv/hr、作業時間 200 時間  
 作業員最大被ばく量 100  $\mu$  Sv（熱分解実験、200 時間）  
 作業員平均被ばく量 100  $\mu$  Sv

コスト評価：（添付資料）

放射能有り：30,063 円/t 2,817 円/m<sup>3</sup>  
 放射能なし：21,797 円/t 2,042 円/m<sup>3</sup>

歩掛り（作業人工、作業速度）：

10t/日×330 日/年×15 年＝ 49,500t  
 2 人/直×4 直＝ 8 人  
 エネルギー収支比：408

コスト評価条件：

プラント規模：発電出力 100kW、（放射能なし 300kW）

処理量 3,300t/年、35,200m<sup>3</sup>/年

プラント建設費：放射能有り 7 億 1,200 万円、（放射能なし 7 億 7,200 万円）

維持管理費：建設費の 1.5%/年 人件費：400 万円/人・年（共通）

固形残渣処分費：放射能有り 5 万円/t、（放射能なし 2 万円/t）

エネルギー収支比（添付資料）

インプット：A 重油 400kWh/年

アウトプット：売電 163,000kWh/年

除染作業における安全上の注意：定常運転時における放射性有機廃棄物の破砕作業及びチャー容器の取り外し搬出時には、マスクをする。定期修理時のチャークーラー及びタールコンデンサーの清掃時にはマスクを着用する。

試験場所（住所）：

福島県双葉郡広野町下北迫東町 109-3  
 広野町災害廃棄物処理事業分別場内

除去物保管場所と保管状況（写真）：

耐放射線環境ゴムエスコンに  
 収納して、広野町災害廃棄物  
 処理事業分別場内に保管。



## 【添付資料】

# 広野町における放射性有機廃棄物熱分解減容施設の 物質・エネルギーおよびコスト収支

## 目的

熱分解による放射性有機廃棄物の減容処理コストを試算する。試算は、広野町に設置した熱分解ガス化試験装置（パイロットプラント）での実験結果等を用いて、広野町内に設置する商用プラント（コマーシャルプラント）の試設計を行い、その建設費、運転費及び維持費を算出する方法で行う。



## 処理対象廃棄物

放射能で汚染された樹木等有機廃棄物(以下、放射性有機廃棄物)

水分（湿基準）	30%
発熱量（乾基準）	高位発熱量 4,490kcal/kg-df 低位発熱量 4,041kcal/kg-df
かさ密度（湿基準）	0.0937 トン／m <sup>3</sup>

## 処理量及び処理能力

年間処理量	3,300トン/年 、35,200m <sup>3</sup> /年
プラント稼働時間	330 日／年×24 時間／日＝7920 時間、(稼働率 90%)
プラント公称能力	10 トン／日 (10 トン／24 時間＝416.7kg／時間)
熱分解施設設計能力	乾基準 416.7kg／時間×(1－0.3)＝291.7 kg／時間 (kg-df/h)

## プロセスフロー

原料（放射性有機廃棄物）を破砕チップ化して乾燥し、これを外部加熱式の水平回転円筒炉に投入する。キルン内は 800℃の無酸素状態に保たれている。ここで、有機物は熱分解して、①乾ガス(常温で気体状の可燃性物質)と②タール(水を含む常温で液体の炭化水素化合物)と③チャー(固体炭化物)になる。チャーの一部は水蒸気と反応してガス化する(水性ガス反応： $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ )。

キルンはステンレス製の水平円筒で、熱は外から伝熱壁（ステンレス）を通して伝えられるから、キルン内は 800℃以下で温度差は少なく、焼却の場合と異なり高温ホットスポットがないから、放射性セシウムはその大半がガス化することなく固体(チャー)側に移行する。

キルンを出たガスは乾ガスとタール蒸気と水蒸気の混合ガスであり、これに微細粒子(放射性セシウムを含む粉じん)が含まれている。これをタールコンデンサーで冷却し、タールと水を凝縮液化する。このとき粉じんは凝縮の核となりその大半が液にトラップされ、

出口ガスは乾ガス(常温で平衡な水蒸気を含む)となる。乾ガスには、放射性セシウムは含まれていないことは、パイロットプラントで実証されている。

乾ガスを燃焼してキルンの加熱に用い、余剰の乾ガスでエンジンを駆動して発電する。プロセスフローを図—1（最終ページ）に示す。

### 熱分解の物資収支

インプット	有機廃棄物	$10\text{t}/24\text{h}=416.7\text{kg}/\text{h}$ (水分 30%) $416.7\text{kg}/\text{h} \times (1-0.3)=291.6\text{kg}/\text{df}/\text{h}$
アウトプット	乾ガス	$0.957\text{Nm}^3/\text{kg-dg} \times 291.6\text{kg}/\text{df}/\text{h}=279.1\text{Nm}^3/\text{h}$
	チャー	$0.12\text{kg-C}/\text{kg-df} \times 291.6\text{kg-df}/\text{h}=35.0\text{kg-C}/\text{h}$

### エネルギー収支

インプット	有機廃棄物	$291.6\text{kg-df}/\text{h} \times 4,490\text{kcal}/\text{kg-df}=1.309 \times 10^6\text{kcal}/\text{h}$ $=312.6\text{MJ}/\text{h}$
アウトプット	乾ガス	$279.1\text{Nm}^3/\text{h} \times 2,842\text{kcal}/\text{Nm}^3=7.93 \times 10^5\text{kcal}/\text{h}$ $=189.4\text{MJ}/\text{h}$ (ガス化効率 $189.4/312.6=0.61$ ) 発熱量高位 $3,133\text{kcal}/\text{Nm}^3$ 低位 $2,842\text{kcal}/\text{Nm}^3$
	チャー	$35.0\text{kg-C}/\text{h} \times 7,838\text{kcal}/\text{kg-C}=2.74 \times 10^5\text{kcal}/\text{h}$ $=65.5\text{MJ}/\text{h}$

$$\begin{aligned} \text{冷ガス効率} &= (\text{生成ガス中の生成ガス中の可燃性分の高位発熱量}) \\ &\quad / (\text{投入したバイオマス原料の高位発熱量}) \\ &= 3,133\text{kcal}/\text{Nm}^3 \times 0.957\text{Nm}^3/\text{kg-dg} / 4,490\text{kcal}/\text{kg-df} = 66.8\% \end{aligned}$$

#### <熱分解に供給する熱量>

キルンの熱収支計算により、加熱ガスによるキルンの加熱量は  
 $0.225\text{kg-c}/\text{kg-df} \times 7,838\text{kcal}/\text{kg-c} \times 291.6\text{kg-df}/\text{h} = 5.14 \times 10^5\text{kcal}/\text{h}$

#### <熱分解の加熱源>

チャーは放射性セシウムを含むから燃焼すると大量の放射能をもつ煤じんが発生する。フィルターで除去できるが、大量の飛灰が発生する。そこで、本プラントの加熱源は熱分解で得た乾ガスの一部を用いる。

必要乾ガス量は、 $(5.14 \times 10^5\text{kcal}/\text{h}) / (2,842\text{kcal}/\text{Nm}^3) = 180.9\text{Nm}^3/\text{h}$   
 これは発生乾ガスの 64.8% ( $=180.9/279.1$ ) に相当する。

#### <エネルギー収支比>

エネルギーとして有効利用できるのは、乾ガス  $279.1 - 180.9 = 98.2\text{ (Nm}^3/\text{h)}$   
 のみで、チャーは有効利用できない。

エネルギー効率

$$= \text{有効利用できる乾ガスのエネルギー} / \text{投入した放射性有機物のもつエネルギー}$$

$$= 98.2 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 2842 \text{ kcal/Nm}^3 / (291.6 \text{ kd-df/h} \times 4490 \text{ kcal/kg-df}) = 21.3\%$$

#### <発電>

余剰の乾ガスでエンジンを駆動して発電する。エンジン発電機の発電効率は、31% (低位発熱量基準)。

発電出力＝

$$98.2 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 2,842 \text{ kcal/Nm}^3 \times 0.31 / (860 \text{ kcal/kWh}) = 100.6 \text{ kW} (\rightarrow 100 \text{ kW})$$

プラントでの消費電力 80kW

外部供給電力量

$$(100.6 - 80) \text{ kW} \times (330 \times 24) \text{ h/y} = 163,000 \text{ kWh/y}$$

#### プロセスの物質収支

		時間処理量	日処理量	年間処理量
インプット	木質チップ	416.7kg/h	10t/d	3,300t/y
アウトプット	チャー	35.0kg/h	0.84t/d	277t/y
	電気	18kWh/h	430kWh/d	143MWh/y

#### 地域のエネルギー産出/投入比

		備考
インプット	400kWh/y	100kW × 2h/回 × 2 回/ y
アウトプット	163,000 kWh/y	20.6kW × (24 × 330) h/y
産出/投入比	408	163,000/400



## 主要装置仕様

### (1) 水平回転円筒式熱分解・水蒸気改質炉(ハイブリッドキルン)

#### 1) インプット

破碎乾燥可燃物	291.6kg-df/h
過熱水蒸気	7.9kg/h (温度 700℃)

#### 2) アウトプット

改質ガス	279.1 Nm <sup>3</sup> /h
チャー	35.0kg/h(放射能をもつ)

#### 3) 温度

外筒加熱ガス	(入)1,000℃ (出)850℃
キルン内部	max 800℃

#### 4) 装置(図 2)

水平円筒	内径 1.2m、長さ 4.2m
内部螺旋円筒	内径 0.5m×長さ 2.1m
	本数 4
材質	SUS310S

### (2) 加熱ガス発生炉

#### 1) 燃料

乾ガス	低位発熱量	2,842kcal/kg
-----	-------	--------------

#### 2) 装置寸法

横型水平円筒炉	
内径	0.8m
長さ	2.5m

### (3) 発電装置

発電出力	100kw
燃料	乾ガス (85% 発熱量基準) A 重油 (15%)
形式	デュアルフェルディーゼルエンジン

## コスト収支

### (1) プラント建設費

外熱式水平回転円筒炉を用いた熱分解ガス化プラントが東北自動車道那須高原サービスエリア内で稼働している。この建設費を用いて概算建設費を算出する。



〈那須高原 S C 熱分解発電プラント〉

規模 5 トン/日(発電出力 100kw)

建設費 4 億 5,000 万円(ガス化施設 4 億 2,000 万円、発電施設 3,000 万円)

〈広野町 熱分解・改質発電プラント〉

規模 10 トン/日(発電出力 100kw)

建設費 ガス化施設  $4.2 \text{ 億円} \times ((10/5)^{0.7} = 6 \text{ 億 } 8,200 \text{ 万円}$

発電施設 3,000 万円

計 7 億 1,200 万円

(2) 維持管理費(M 費)

プラントの修理、部品交換等のコストで稼働期間が長くなる程増えてくる。稼働期間 15 年とし、類似熱処理プラントの実績から年平均で建設費の 1.5%とする。

$$7 \text{ 億 } 1,200 \text{ 万円} \times 0.015 = 1,068 \text{ 万円(年平均)}$$

$$1,068 \text{ 万円/年} \times 15 \text{ 年} = 1 \text{ 億 } 6,020 \text{ 万円(累計)}$$

(3) 運転管理(O 費)

熱処理施設は、運転開始および停止時の温度の上げ下げで劣化が進むので、可能な限り連続運転を行い、温度を一定に保つ必要がある。24 時間連続運転とし年稼働日数は 330 日(運転停止は、定期修理、年末年始の 35 日間)とする。

1) 人件費

運転員は 4 シフト、1 シフト 2 人、計 8 名。人件費を 400 万円/人年とする。

2) ユーティリティ(電力)

本プラントの必要動力は 85kw。その全量を自己発電でまかなう。(購入電力量ゼロ)

3) 固体残渣処理費

$$\text{チャーの発生量は、} 35.0 \text{ kg/h} \times (24 \times 330) \text{ h/y} = 277 \text{ t/y}$$

チャーは高濃度の放射能をもつ。原料の放射能が 8,000Bq/kg のとき、

$$8,000\text{Bq} \times (291.6/35.0) = 78,385\text{Bq/kg}$$

隔離保管施設に運び処分する。

中間処理【隔離保管】施設ができるまで、本施設内で保管する。

#### <隔離保管のコスト試算>

本プラントで発生するチャー（高濃度放射性有機廃棄物）および、ゼオライト等高濃度放射性無機廃棄物を防護壁で囲われた蓋付地上容器内に隔離保管する。

貯留物

① 熱分解・改質で発生する固体残渣（15年）

$$35.0\text{kg/h} \times (24 \times 330) \text{ h/y} \times 15\text{y} \div (0.157\text{kg/l}) = 26,500 \text{ m}^3$$

隔離保管施設の概算工事費 13億2500万円（別途算出）として、

$$\text{処分単価} \quad 13 \text{ 億 } 2500 \text{ 万円} / 26500 \text{ m}^3 = 5 \text{ 万円/m}^3$$

### 比較検討

<放射能で汚染されていない有機廃棄物の熱分解発電>

1. 処理対象廃棄物

木質等可燃廃棄物(水分 30%) 10t/d

2. 処理能力

公称能力 10t/日          設計能力 291.7 kg-df/時間

3. プロセスフロー

基本フローは同じ。相違点は、

キルン加熱ガスは、チャー及び木質チップの燃焼によって供給し、乾ガスはその全量を発電に用いる。

4. 物資収支

同じ

5. エネルギー収支

$$\begin{aligned} \text{発電出力} & \quad 279.1\text{Nm}^3/\text{h} \times 2,842\text{kcal/ Nm}^3 \times 0.31 / (860 \text{ kcal/kwh}) \\ & \quad = 286\text{kw}(\rightarrow 300\text{kw}) \end{aligned}$$

<エネルギー収支比>

エネルギーとして発生乾ガスの全量を有効利用できる。

一方、投入する有機廃棄物は、乾燥装置に投入する木質等可燃廃棄物と、加熱ガス発生炉

へ投入する「おがくず」である。

おがくずは、チャーの燃焼熱の不足熱量分を賄う燃料として用いる。

熱分解・改質炉に供給する熱量は  $5.14 \times 10^5 \text{kcal/h}$  だから、

おがくず投入量

$$\begin{aligned} &= (5.14 \times 10^5 \text{kcal/h} - 35.0 \text{kg-C/h} \times 7,838 \text{kcal/kg-C}) / (4490 \text{kcal/kg-df}) \\ &= 2.40 \times 10^5 \text{kcal/h} / (4490 \text{kcal/kg-df}) \\ &= 53.4 \text{kg-df/h} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

エネルギー効率

$$\begin{aligned} &= \text{乾ガスのエネルギー} / (\text{木質等可燃廃棄物} + \text{おがくず}) \text{のエネルギー} \\ &= 279.1 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 2842 \text{kcal/Nm}^3 / \{(291.6 + 53.4) \text{ kg-df/h} \times 4490 \text{kcal/kg-df}\} \\ &= 51.2\% \end{aligned}$$

## 6. 主要装置

発電装置

発電出力                      300kw

## 7. コスト収支

### 1) プラント建設費

発電施設	30 万円/kW × 300kW = 9,000 万円
ガス化施設	6 億 8,200 万円
計	7 億 7,200 万円

### 2) 維持管理費(M 費)

7 億 7,200 万円 × 0.015 = 1,158 万円(年平均)

1,158 万円/年 × 15 年 = 1 億 7,370 万円(累計)

### 3) 運転管理(O 費)

#### 1) 人件費

同じ

#### 2) ユーティリティ(電力)

余剰電力を FIT により電力会社に売却する。

$$(287 - 80) \text{kw} \times (24 \times 330) \text{h/y} \times 15.5 \text{ 円/kwh} = 2,531 \text{ 万円/y}$$

これをマイナスの運転経費として計上する。

#### 3) 固体残渣処理費

最終処分場への搬入処分費を 2 万円/トンとする。

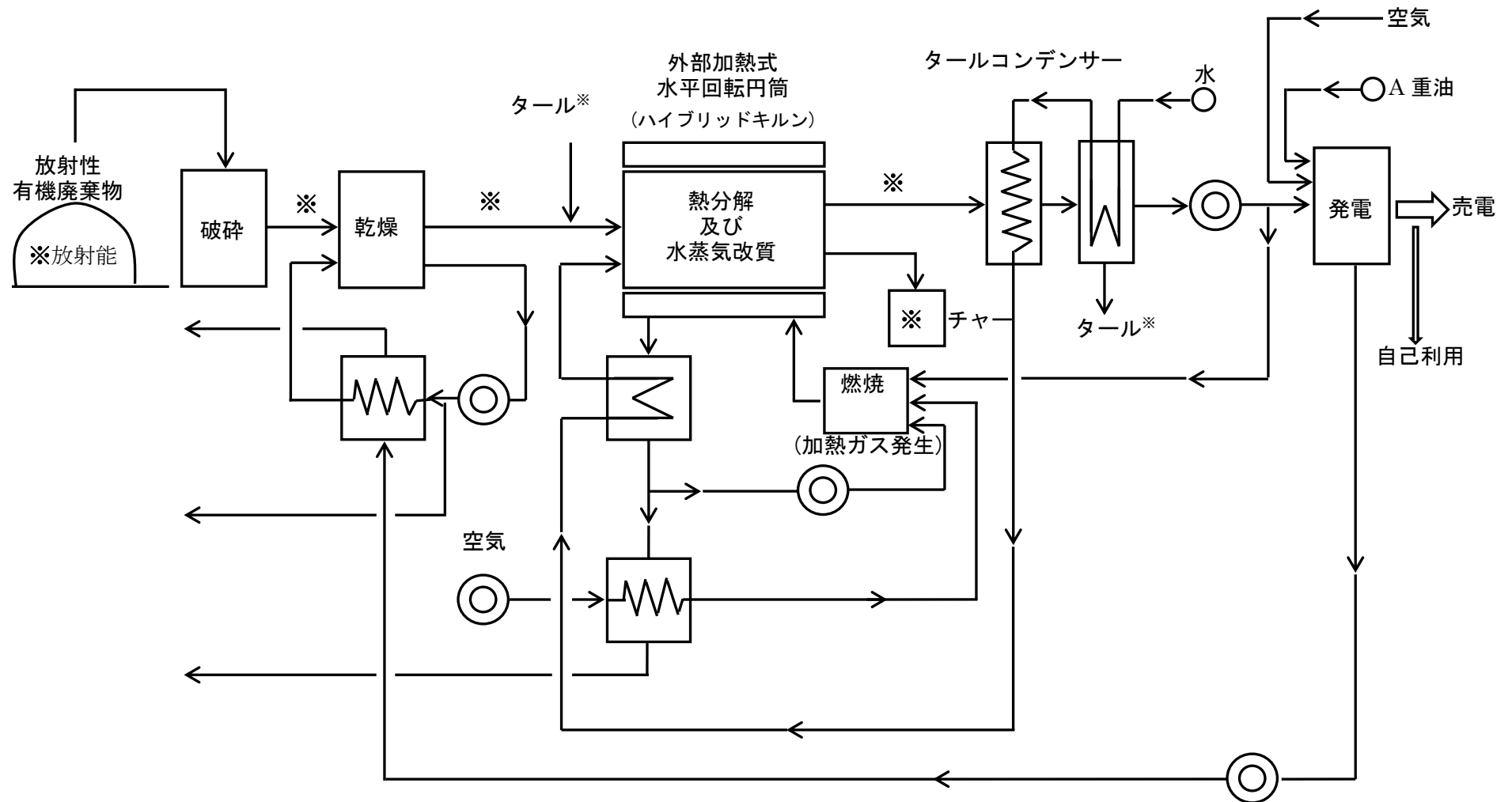
以上より、放射能有無のコスト収支比較を行い表 1 にまとめた。



表1 コスト収支

		放射能あり	放射能なし	備 考
インプット 破碎木質チップ		3,300 t / y 35,219 m <sup>3</sup> /y		かさ密度 0.0937 t / m <sup>3</sup>
アウトプット 固体残渣		224 t / y	46 t / y	灰分 2%df
プラント建設費	ガス化	682,000 千円	682,000 千円	
	発 電	30,000 千円	90,000 千円	
	計	712,000 千円	772,000 千円	
維持管理費(M 費)		10,680 千円/年	11,580 千円/年	15 年平均
運転管理費(O 費)				
	人 件 費	32,000 千円/年	32,000 千円/年	
	電 力 費	0	0	自己供給
	残渣処分費	11,200 千円/年	2,240 千円/年	
	売電収入	0	—25,310 千円/年	買取り価 15.5 円/kWh
MO 費 合 計		53,880 千円/年	20,460 千円/年	
処分経費(MO 費)	容積当り	1,530 円/m <sup>3</sup>	580 円/m <sup>3</sup>	
	重量当り	16,327 円/ t	6,200 円/ t	
プラント費年平均		45,330 千円/年	51,470 千円/年	15 年均等割り
処分単価 (プラント費を含 む)	容積当り	2,817 円/m <sup>3</sup>	2,042 円/m <sup>3</sup>	
	重量当り	30,063 円/ t	21,797 円/ t	

図 1 プロセスフロー(PFD)





実施代表者の所属機関：株式会社コンティグ・アイ

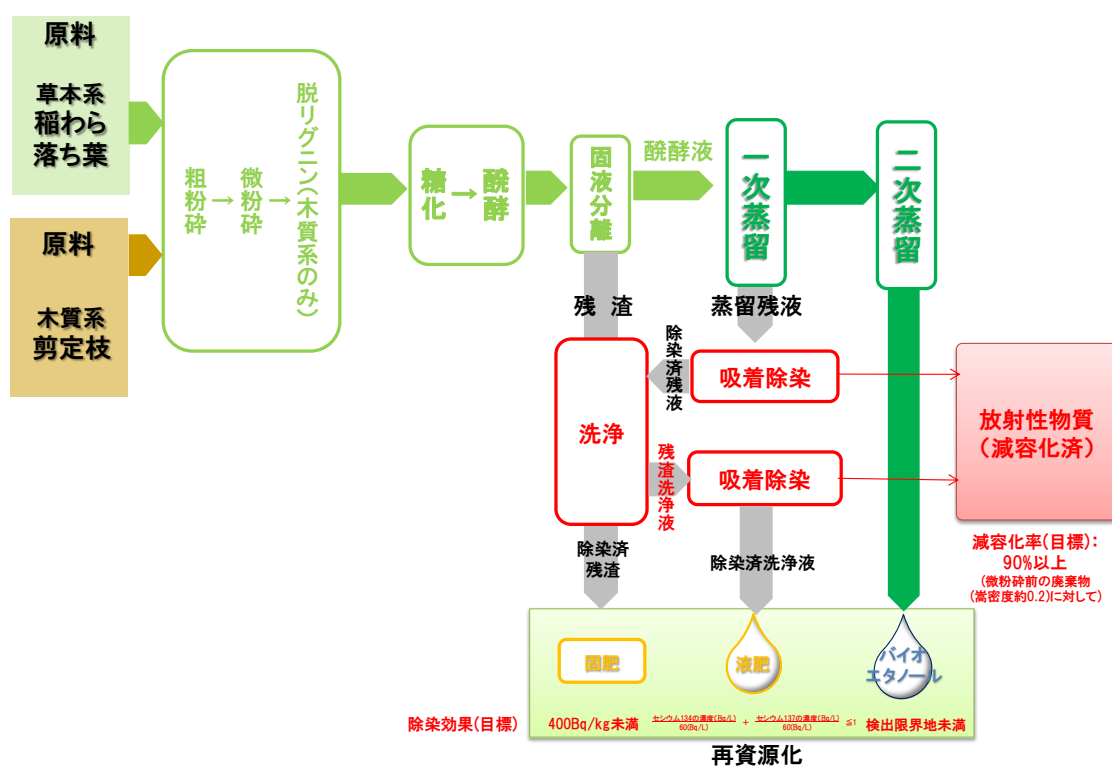
実証テーマ名：汚染廃棄物のうち木質系廃棄物および草本系廃棄物の減容化・除染とバイオエタノール生産による再資源化技術の実証

事業の概要：独自のバイオエタノール生産技術を用い、木質系および草本系の汚染廃棄物（剪定枝・稲わら・雑草・落ち葉等）に付着あるいは吸着・蓄積した放射性物質の除染・回収・減容化とともに副生物として再資源化（バイオエタノール、バイオマス発電原料等）を図る技術の実証を行う。

実施内容：

1. 草本系廃棄物（雑草）を用いた減容化・除染・回収・再資源化試験
2. 木質系廃棄物（剪定枝）を用いた減容化・除染・回収・再資源化試験

技術概要：試験フロー



試験目標 <減容化率> 90%以上(微粉碎前の廃棄物(嵩密度約 0.2)に対して)

<除染効果> バイオエタノール：検出限界値未満

除染済残渣：400Bq/Kg 未満（肥料暫定許容値）

除染済蒸留残液：
$$\frac{\text{セシウム134の濃度 (Bq/L)}}{60 \text{ (Bq/L)}} + \frac{\text{セシウム137の濃度 (Bq/L)}}{60 \text{ (Bq/L)}} \leq 1$$

期待される効果 焼却によらず除染・回収・減容し、有価副生物で経済と地球環境に貢献

- A. バイオエタノール： 除染関連機材（草刈り機・発電機）や車両用の燃料
- B. 除染済残渣： バイオマス発電用燃料、固肥
- C. 除染済一次蒸留残液： 液肥
- D. 二次蒸留残液： 糖化・醗酵工程の水として循環利用
- E. 除染事業後： 通常のバイオエタノール・バイオ発電施設として循環型社会に貢献



除染効果：

草本系廃棄物	粉碎前	粉碎後	蒸留液 (バイオエタノール)	洗浄後残渣 (固肥)	吸着後ろ液 (液肥)	吸着剤
放射能濃度(Bq/kg)	2,810	10,418	ND 下限値 Cs134 3.3Bq/kg Cs137 4.9Bq/kg	352Bq/kg (wet)	52Bq/L Cs134 21Bq/L Cs137 31Bq/L	36732
容積(cm <sup>3</sup> )	5,200	3,500		700	8,000	200
重量(kg)	1	1		1	8	0.1

木質系廃棄物	粉碎前	粉碎後	蒸留液 (バイオエタノール)	洗浄後残渣 (固肥)	吸着後ろ液 (液肥)	吸着剤
放射能濃度(Bq/kg)	8,764	14,232	ND 下限値 Cs134 3.3Bq/kg Cs137 4.8Bq/kg	373Bq/kg (wet)	64Bq/L Cs134 23Bq/L Cs137 41Bq/L	70480
容積(cm <sup>3</sup> )	7,100	4,500		800	8,000	200
重量(kg)	1	1		1.2	8	0.1

	減少率(%)	減量率(%)	濃縮率(%)	減容率(%)
草本系廃棄物	96.6	90.0	352.6	94.3
木質系廃棄物	97.4	90.0	495.2	95.6

※粉碎後の濃度

※粉碎後の容積

除去物発生量評価：除去物 放射性セシウム吸着材 乾燥・粉碎後の廃棄物 100kg あたり 5kg～10kg

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 1.56  $\mu$  Sv/hr 作業時間 440 時間

作業員最大被ばく量 662  $\mu$  Sv (粉碎 326 時間) 作業員平均被ばく量 653  $\mu$  Sv

コスト評価：

#### 放射能汚染物を取り扱う場合

- 0 円/t \*副生物収入を含む
- ▲4000 円/t \*副生物収入を含み、設備費に再生可能エネルギー導入促進に係る補助金を定額で受けた場合
- 11,200 円/t \*副生物収入を含まず

#### 放射能汚染物を扱わない場合 補足資料

#### エネルギー収支 \*生産エネルギー/投入エネルギー

- 2.08

歩掛り（作業人工、作業速度）：

日量 10t 処理（10t/day）の場合

作業人工 計 3 名/10t (乾燥・粉碎後)  
(計 3 名/100～300m<sup>2</sup> (粉碎前))

粉碎 1 名

糖化・醗酵管理 1 名

蒸留及び吸着除去処理 1 名

コスト評価条件：

- 事業運営方式：公設民営
- 運転要員：30 名
- 処理対象物：木質系および草本系の汚染廃棄物
- バイオエタノール販売価格：56 円/1
- 処理量：5 万 t/年
- 設備費：30 億円
- 工事期間：約 12 ヶ月
- 減価償却期間：15 年
- 稼働日数：300 日/年
- 保守費：設備費の 3%/年
- バイオエタノール収量：1 万 kl/5 万 t (原料の 20%)

※土地、土木工事、廃棄物の保管施設、周辺設備費用は含まず

※処理能力を拡大する場合、糖化醗酵槽の数を増やす簡易な方法で対応でき、更なるコストダウンも容易

除染作業における安全上の注意：木質系・草本系廃棄物の粉碎時にマスク・手袋を装着。

試験場所（住所）：

福島県相馬郡飯舘村臼石字町 301

除去物保管場所と保管状況（写真）：

実証期間内保管場所 試験場所内（作業エリアとは分離）



吸着剤(放射性セシウム吸着剤) 残渣(固肥)及び排水(液肥)

実証終了後の保管場所 福島県相馬郡飯舘村小宮字沼平 560

## コスト計算について

## 汚染廃棄物を取り扱う場合

収支		0
支出	560,000,000	
	原料費	0
	年間設備費	200,000,000
	人件費	120,000,000
	運転費	150,000,000
	酵素・酵母	85,000,000
	酸・薬品類	10,000,000
	蒸気	0
	電気	0
	ガス	0
	水道	5,000,000
	吸着材	50,000,000
	保守費	90,000,000
収入		560,000,000
	バイオエタノール	560,000,000
	残渣	

放射性バイオマス処理費(円/t)  
\*副生物収入を含まず  
11200

放射性バイオマス処理費(円/t)  
\*副生物収入を含む  
0

バイオエタノールの精製コスト(円/L)  
56

バイオエタノールの精製コスト(円/L)  
\*ガソリン熱量換算  
84.84848485

年間支出は、年間設備費 2 億円、年間人件費 1 億 2 千万円、年間保守費 9000 万円、年間運転費として 1 億 5 千万円の計 5 億 6 千万円である。

年間処理量を 5 万トンとし、副生成物収入を含まない場合、5 億 6 千万円÷5 万トン＝11,200 円である。

5 万トンの汚染廃棄物からバイオエタノール 1 万キロリットルを生成できる。これらを 1 リットル 56 円で販売した場合、5 億 6 千万円の収入が得られる（副生成物収入）。

副生成物収入がある場合、支出 5 億 6 千万円－収入 5 億 6 千万円＝収支 0 円で汚染廃棄物処理ができる。

<その他算出条件>

人件費 年間 400 万円×30 名＝1 億 2 千万円

保守費(年間) 9,000 万円（設備費の 3%）

残渣量(年間) 2 万 5 千トン（バイオマス発電に使用）

既存設備条件（発電・熱源等） バイオマス発電設備（1900kW、バイオマス日量 86t）

設備例：株式会社 DINS 堺（旧・バイオエタノール・ジャパン・関西（環境省補助事業））のバイオマス発電設備

※放射性バイオマス取扱有無による主な生産コスト差 放射能吸着処理費用（1,000 円/t）

汚染廃棄物を取り扱い、かつ設備費に再生可能エネルギー導入促進に係る補助金を定額で受けた場合

<b>収支</b>		200,000,000	
<b>支出</b>			360,000,000
	原料費		0
	年間設備費		0
	人件費		120,000,000
	運転費		150,000,000
		酵素・酵母	85,000,000
		酸・薬品類	10,000,000
		蒸気	0
		電気	0
		ガス	0
		水道	5,000,000
		吸着材	50,000,000
	保守費		90,000,000
<b>収入</b>			560,000,000
	バイオエタノール		560,000,000
	残渣		

放射性バイオマス処理費 (円/t) *副生成物収入を含まず
7200

放射性バイオマス処理費 (円/t) *副生成物収入を含む
-4000

バイオエタノールの精製コスト (円/L)
36

バイオエタノールの精製コスト (円/L) *ガソリン熱量換算
54.54545455

設備費に再生可能エネルギー導入促進に係る補助金を定額で受けた場合、年間設備費（償却年数 15 年・年間 2 億円 計 30 億円）がゼロ（緑色）になる。

副生成物収入を含まない場合は、支出が 3 億 6 千万円であるので、放射性バイオマス処理費は 1 トンあたり 7,200 円である。

（支出 3 億 6 千万円 ÷ 処理量 5 万トン = 7,200 円/トン）

補助金を受け、かつ副生成物収入（5 億 6 千万円）がある場合は、年間 2 億円（1 トン当たり 4 千円）の利益が出る。

（利益 2 億円 ÷ 処理量 5 万トン = 1 トンあたり 4000 円の利益）

汚染廃棄物を取り扱わない場合

放射性バイオマス取扱有無による主な生産コスト差は放射能吸着処理費用（1,000 円/t）である。

汚染廃棄物を取り扱わない場合は、吸着剤費用 5 千万円÷5 万トン＝1 千円/トン安くできる。

収支		50,000,000		
支出	510,000,000		放射性バイオマス処理費(円/t) *副生成物収入を含まず	
	原料費	0	10200	
	年間設備費	200,000,000		
	人件費	120,000,000	放射性バイオマス処理費(円/t) *副生成物収入を含む	
	運転費	100,000,000	-1000	
		酵素・酵母	85,000,000	バイオエタノールの精製コスト(円/L) 51
		酸・薬品類	10,000,000	
		蒸気	0	
		電気	0	
		ガス	0	
		水道	5,000,000	
		吸着材	0	
	保守費	90,000,000	バイオエタノールの精製コスト(円/L) *ガソリン熱量換算	
収入	560,000,000		77.27272727	
	バイオエタノール	560,000,000		
	残渣			

## エネルギー収支について

当社システムの実績及び今回の実証の結果から、1kg の雑草からおよそ 0.2L のバイオエタノールと 500g の残渣が発生する。

### ＜エタノール 1 リットル当たりの生産エネルギー＞

エタノール 1 リットル当たりの生産エネルギーを算出する為、5kg の雑草から 1L のエタノールと 2.5kg の残渣ができるとする。

エタノール 1 リットルの発熱量は 22.1MJ<sup>\*1</sup>である。

社内分析資料から草本系エタノール残渣の発熱量は 18.2MJ/kg であるので、残渣 2.5kg の発熱量は 45.5MJ である。

よって、エタノール生産量 1L・残渣 2.5kg が生産できるエネルギーは、 $22.1\text{MJ} + 45.5\text{MJ} = 67.6\text{MJ}$  である。

### ＜エタノール 1 リットルあたりの投入エネルギー＞

バイオエタノールの生産工程で、セルロース系原料で頻繁に使われる濃硫酸を用いた酸加水分解は、硫酸回収工程で蒸気を利用することで、投入エネルギーが大きくなる<sup>\*1</sup>が、当社システムは澱粉質原料と同様に酵素糖化法であり、硫酸回収工程はない。

また、セルロース系の原料は粉碎にかかるエネルギーが高いとされる<sup>\*1</sup>が、玄米のデータは本来であれば投入エネルギーに入れるべきイネ作物育成に係るコストが入っていないことから、これを考慮に入れると玄米とエタノール生産における投入エネルギーは、雑草からのエタノールでの投入エネルギーと同等であると考えられる。

玄米 1000kg からは 434L のバイオエタノールを生産<sup>\*1</sup>でき、その 1L あたりの投入エネルギーは 15.01MJ/L<sup>\*1</sup>であることから、玄米の場合の 1000kg 処理あたりの投入エネルギーは、 $15.01\text{MJ/L} \times 434\text{L} = 6514.34\text{MJ}$  である。

前述の理由から、雑草 1000kg 処理あたりの投入エネルギーを 6514.34MJ とすると、雑草 1000kg から 200L のエタノールが生産できることから、雑草エタノール 1L あたりの投入エネルギーは、 $6514.34\text{MJ} \div 200\text{L} = 32.57\text{MJ/L}$  である。





＜エネルギー収支＞

以上の結果から、エネルギー収支を算出すると、生産エネルギー÷投入エネルギー＝ $67.6\text{MJ}/32.57\text{MJ}=2.08$  である。

\*1 稲作からのバイオエタノール生産システムのエネルギー収支（佐藤清崇、横山伸也、芋生憲司）



実施代表者の所属機関：財団法人日本グラウンドワーク協会
実証テーマ名：エタノール製造装置とガス化発電システムを活用した除染・汚染廃棄物処理システムの構築
事業の概要：ファイトレメディエーション効果のある植物の茎葉部、放射性セシウム（Cs）を含むエタノール発酵残渣及び有機廃材等をキルン炉でガス化し、発電する過程においてタールや灰などを的確に分離し、放射性Csを除去するモデルシステムの実証を行う。
<p>実施内容：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 放射性Cs除去技術の開発 ・プラズマフィルターの導入、実用化 ・キルン炉運転条件の最適化</li> <li>2. 放射性Csの捕獲・処理に関する実証・ソルガム等の栽培と除染効率の評価・エタノール発酵残渣処理技術の確立</li> <li>3. ガス化における除染効率及び減容・減量化の確認</li> <li>4. キルン炉の生成ガスを燃料としてガスエンジン発電を行う実証</li> </ol>
<p>技術概要：1. 試験フロー</p> <p>(1) ファイトレメディエーションに関する試験</p> <pre> graph LR     A[優良品種の選抜] --&gt; B[土壌の放射性Cs測定]     B --&gt; C[作付・管理 (慣行栽培) 収 穫]     C --&gt; D[各種試験 ・放射性Cs量 ・反収及び糖度] </pre> <p>(2) エタノール製造装置を用いた試験</p> <pre> graph LR     E[原料等投入 ※1] --&gt; F[液化糖化 ※2]     F --&gt; G[酵母投入 (醗酵)]     G --&gt; H[固液分離]     H --&gt; I[残渣]     I --&gt; J[焼却]     H --&gt; K[廃液]     K --&gt; L[浄水]     K --&gt; M[放射能] </pre> <p>※1：投入前に放射エネルギーを把握する。          ※2：米の場合（でんぷん質原料）に必要な前処理プロセス</p> <p>(3) ガス化発電システムを用いた試験</p>
<p>2. 試験目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソルガム等の放射性Cs吸収能の確認</li> <li>・除染対象物（バイオマス）の減容化、減量化：1/100</li> <li>・マスバランスを確認することによるキルン炉及びガスエンジンの放射能捕獲率：90%以上</li> </ul>
<p>3. 期待される効果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ファイトレメディエーション植物のハイブリッド利用（農地除染／エネルギー作物）</li> <li>・除染、汚染廃棄物処理に係るトータルコストの縮減</li> </ul>
<div>  <p>ファイトレメ植物（ソルガム）</p> </div> <div>  <p>木質バイオマス（針葉樹バーク）</p> </div>

<p>除染効果：</p> <p>1. ファイトレメディエーション植物の栽培による農地の放射性 Cs の吸収</p> <p>土壌中の放射性 Cs が 1000～5000Bq/kg の圃場において、放射性 Cs 吸収能の高い品種（稲及びソルガム）を栽培した結果、ソルガムの放射性 Cs 移行係数は 0.12 であった。</p> <p>2. エタノール製造プロセスにおける放射性 Cs の収集</p> <p>昨年収穫された放射性 Cs で汚染した米（約 90Bq/kg）でエタノールを製造した結果、原料米に含まれる放射性 Cs はエタノールに移行せず、全量が発酵残渣・廃液に移行していることを確認した。一方、廃液中の放射性 Cs はプラズマフィルターで除去することができなかった。廃液の SS 成分の中でなく、別の形態で存在しているものと考えられる。</p> <p>3. ガス化発電に伴う放射性 Cs の捕獲等</p> <p>（1）放射性 Cs を含むバイオマス系廃棄物のキルン炉による分解</p> <p>外熱を 800℃、炉内を 650～700℃にセットして、キルン炉を運転した。放射性 Cs を含む木質系バイオマス（バーク 7：チップ 3 で調製）を用いて、炉内温度 700℃運転の場合、チャー 29.9wt%、タール＋凝縮液：35.1wt%、合成ガス 35.0wt%の比率で分解し、ガス化発電を行うに足る合成ガスを確保できることを確認した。</p> <p>（2）合成ガスの放射性 Cs 除去</p> <p>合成ガス中に放射性 Cs は検出されなかった。したがって、今回の試験において、放射性 Cs は排気を通じて外部に放出されていない。</p> <p>（3）キルン炉内での放射性 Cs の収支</p> <p>放射性 Cs を含む木質系バイオマスをキルン炉でガス化した場合、原料として投入された放射性 Cs の 94%がキルン炉内外のチャーとタール等凝縮水に含まれることを確認した。</p>	
<p>除去物発生量評価：</p> <p>＜エタノール製造＞調製原料 131.6kg に対し、発酵廃液 51.00kg（乾燥重量 0.80kg）、 発酵残渣 37.55kg（乾燥重量 6.50kg）</p> <p>＜キルン炉でのガス化＞調製原料 162.0kg に対し、チャー 34.6kg、タール＋凝縮液 40.5kg</p>	
<p>作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 0.1 <math>\mu</math> Sv 作業員最大被ばく量 3.81 <math>\mu</math> Sv</p>	
<p>コスト評価：</p> <p>＜キルン炉でのガス化＞</p> <p>約 3 万円/t</p>	<p>歩掛り（作業人工、作業速度）：</p> <p>＜キルン炉でのガス化＞</p> <p>0.6t/hr</p>
<p>コスト評価条件：</p> <p>＜キルン炉でのガス化＞</p> <p>1 日 24 時間、年 300 日稼働（年間処理量 4,320t）、設備の減価償却 15 年</p>	
<p>除染作業における安全上の注意：チャーを扱う際、マスク等の保護具を使用</p>	
<p>試験場所（住所）：</p> <p>1. 福島県岩瀬郡鏡石町岩瀬牧場</p> <p>2. 福島県いわき市遠野町滝島廻</p>	<p>除去物保管場所と保管状況（写真）：</p> <p>中間保管場所が最終決定するまでの間、試験場所 2 にて保管する。</p>

実施代表者の所属機関：株式会社 鴻池組																	
実証テーマ名：除染に伴い発生する有機物のバイオマスガス化発電による減容化及びエネルギー回収																	
事業の概要：除染に伴い発生する有機物をバイオマスガス化処理装置でバイオマスガスと炭として回収し、それらを燃料として有効活用することを想定し、放射性セシウムの移動・濃縮・蓄積とそれに伴う空間線量率への影響および防止対策を検討した。検証結果を実処理装置設計に反映させ、放射性セシウム対応の専用減容化処理装置としての普及を図る。																	
実施内容： <ul style="list-style-type: none"> <li>①室内試験で、管状炉装置による安定セシウムを含浸させた模擬汚染木質チップの熱分解試験（炭化処理）と炭の燃焼試験を行い、安定セシウムの挙動を確認する。</li> <li>②現地試験で、バイオマスガス化試験装置による放射性セシウムを含むバイオマス（木チップ、枝葉、牧草）のバイオマスガス生成（炭化処理）と炭燃焼処理試験を行い、放射性セシウムの挙動の把握と装置内の付着状況を調査する。</li> <li>③灰のセメント固化方法の検討と放射性セシウムの溶出特性を確認する。</li> </ul>																	
技術概要：	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th><th>内容</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>【試験フロー】</td><td></td></tr> <tr> <td>試料調整・分析</td><td>実証試験に用いる放射性セシウム含有バイオマスをサイズ・水分調整及び均質化する。調整後の試料は成分分析及び放射性セシウム含有量測定を行う。 バイオマスの種類：木チップ(間伐材)、木チップ(枝葉)、飼料用牧草</td></tr> <tr> <td>熱分解試験実施</td><td>熱分解装置に試料を定量供給し、バイオマスガスおよび炭を生成するとともに、発生ガスを各段階で採取し、処理の過程における放射性セシウムの挙動を把握する。</td></tr> <tr> <td>試験後試料回収・分析</td><td>生成した炭および炉内堆積物、配管内付着物、フィルター付着物等を回収し、炭の量、成分およびセシウム量を測定する。</td></tr> <tr> <td>徐冷管設置</td><td>炭燃焼試験時の冷却時のセシウム付着場所確認のため、ガス改質炉の出口に徐冷管を接続する。</td></tr> <tr> <td>燃焼試験実施</td><td>ガス化炉に熱分解試験で回収した炭を投入し、燃焼試験を行う。</td></tr> <tr> <td>試験後試料回収・分析</td><td>生成した灰および炉内堆積物、配管内付着物、フィルター付着物等を回収し、灰の量、成分およびセシウム量を測定する。</td></tr> </tbody> </table>	項目	内容	【試験フロー】		試料調整・分析	実証試験に用いる放射性セシウム含有バイオマスをサイズ・水分調整及び均質化する。調整後の試料は成分分析及び放射性セシウム含有量測定を行う。 バイオマスの種類：木チップ(間伐材)、木チップ(枝葉)、飼料用牧草	熱分解試験実施	熱分解装置に試料を定量供給し、バイオマスガスおよび炭を生成するとともに、発生ガスを各段階で採取し、処理の過程における放射性セシウムの挙動を把握する。	試験後試料回収・分析	生成した炭および炉内堆積物、配管内付着物、フィルター付着物等を回収し、炭の量、成分およびセシウム量を測定する。	徐冷管設置	炭燃焼試験時の冷却時のセシウム付着場所確認のため、ガス改質炉の出口に徐冷管を接続する。	燃焼試験実施	ガス化炉に熱分解試験で回収した炭を投入し、燃焼試験を行う。	試験後試料回収・分析	生成した灰および炉内堆積物、配管内付着物、フィルター付着物等を回収し、灰の量、成分およびセシウム量を測定する。
項目	内容																
【試験フロー】																	
試料調整・分析	実証試験に用いる放射性セシウム含有バイオマスをサイズ・水分調整及び均質化する。調整後の試料は成分分析及び放射性セシウム含有量測定を行う。 バイオマスの種類：木チップ(間伐材)、木チップ(枝葉)、飼料用牧草																
熱分解試験実施	熱分解装置に試料を定量供給し、バイオマスガスおよび炭を生成するとともに、発生ガスを各段階で採取し、処理の過程における放射性セシウムの挙動を把握する。																
試験後試料回収・分析	生成した炭および炉内堆積物、配管内付着物、フィルター付着物等を回収し、炭の量、成分およびセシウム量を測定する。																
徐冷管設置	炭燃焼試験時の冷却時のセシウム付着場所確認のため、ガス改質炉の出口に徐冷管を接続する。																
燃焼試験実施	ガス化炉に熱分解試験で回収した炭を投入し、燃焼試験を行う。																
試験後試料回収・分析	生成した灰および炉内堆積物、配管内付着物、フィルター付着物等を回収し、灰の量、成分およびセシウム量を測定する。																
【試験写真】																	
<b>【試験目標】</b> 放射性セシウムを含むバイオマスのガス化（炭化）と炭の燃焼試験で放射性セシウムの挙動を調査し、実発電設備を運用する上での課題と対応策の検討を行い、経済的で効果的な減容化処理が可能であることを検証する。																	
<b>【期待される効果】</b> 森林や農地の除染で発生する放射性セシウム含有バイオマスについて、ガス化発電と熱の有効利用を行い、売電収入などを得ることで経済的負担が発生しない汚染物の大幅な減容化とエネルギー回収を図る。																	
その他：特になし																	



## 除染・減容化効果：

バイオマスのガス化・炭燃焼及び灰の固化処理に伴う減量化/減容化率を下表に示す。本実証試験では牧草由来の灰が多く発生したが、セメント固化処理後でも **99.6%の減容化**が図れている。炭化処理時の炭へのセシウムの移行率は 88.8～94.9%、燃焼処理時の灰へのセシウムの移行率は 21.9%であった。ガス中のセシウムは冷却およびフィルタにより除去され、排出ガスからは検出されないレベルであった。

項目	単位	木チップ (間伐材)	牧草	木チップ (枝葉)	備考	
炭化処理時						
処理前	投入量	kg	10.423(12.0)	10.502(11.704)	9.756(12.0)	( )内は湿重量
	Cs濃度	Bq/kg	97(84)	2,193(1,968)	2,101(1,708)	( )内はwetベース
	容積	L	107.1	165.3	82.6	
処理後	排出炭量	kg	2.359(2.365)	3.437(3.437)	2.427(2.427)	( )内は湿重量。煤は少量のため計算から除外
	Cs濃度	Bq/kg	390(389)	5,651(5,650)	7,480(7,480)	( )内はwetベース
	Cs回収率	%	97.7	88.3	94.5	付着物含む、炭中Cs/回収Cs=88.8～94.9%
	容積	L	30.7	60.4	20.7	
	減量化率	%	77.4	67.3	75.1	(処理前重量-炭重量)/処理前重量、乾燥ベース
減容化率	%	71.3	63.5	74.9	(処理前容積-炭容積)/処理前容積	
炭燃焼後						
処理前	炭投入量	kg-wet	1.6	1.6	1.6	
原料換算	重量	kg	7.053(8.119)	4.888(5.448)	6.431(7.911)	投入炭量*原料投入/排出炭量、( )内は湿重量
	容積	L	72.475	76.960	54.481	( )内はwetベース、換算投入セシウム総量=21,630Bq
	合計容積	L	203.917			
処理後	灰重量	kg	0.718(0.718)			ダスト(飛灰相当)は少量のため計算から除外
	Cs濃度	Bq/kg	6,401(6,400)			( )内はwetベース、灰中Cs総量=4,595Bq
	Cs回収率	%	97.0			付着物含む、灰中Cs/回収Cs=21.9%
	容積	L	0.803			
減量化率(灰)	%	96.1			(原料換算重量-灰重量)/原料換算重量、乾ベース	
減容化率(灰)	%	99.6			(原料換算容積-灰容積)/原料換算容積	
固化処理後						
固化 処理後	重量	kg-wet	1.156			セメント20%、水40%、ベントナイト1%添加時を想定
	湿潤密度	kg/L	1.610			28日試験時
	容積	L	0.718			
減量化率(固化体)	%	94.6			(原料重量-固化体重量)/原料重量、湿ベース	
減容化率(固化体)	%	99.6				

## 除去物発生量評価：

灰固化体発生量 (kg-wet) / 原料投入量 (kg-wet) = 1.156/21.478=0.054 → 5.4%

灰固化体容積/原料容積=0.718/203.917=0.0035 → 0.35%

※. 別途、塩化物主体のダスト（飛灰相当）が少量発生する。

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 0.10  $\mu$  Sv/h, 作業時間 16 日×8h=128 時間

作業員最大被ばく量：33  $\mu$  Sv（試験・測定全般、128 時間）、作業員平均被ばく量：13  $\mu$  Sv

コスト評価：(添付資料-7 参照)	歩掛り（作業人工、作業速度）：
①営業運転時（売電等収入有）：0 円/t-wet 年間収入/支出=408 百万/388 百万	処理量： 3.7t/h （1,200kwh 設備想定） 作業人工：常時 2 名 （設備の運転管理）
②減容化処理（収入なし）：12,000 円/ t-wet	エネルギー収支比：26.2（添付資料-7 参照）

## コスト評価条件：

①営業運転時：FIT 制度（未利用木材、33.6 円/kwh）想定、設備運転日数 300 日/年、バイオマス処理量 26,400t/年、年間送電量 8,640MWh、熱供給量 14,400MWh、設備償却 15 年(90%)、運転員数 8 名（4 直 3 交替）、原材料購入費 5,000 円/t-dry、費用回収 14.6 年

②減容化処理時：年間運転費（設備償却費含む、原材料購入費を除く）/年間処理量

除染作業における安全上の注意：試料投入、処理物・付着物回収作業で防塵マスク等着用

## 試験場所（住所）：

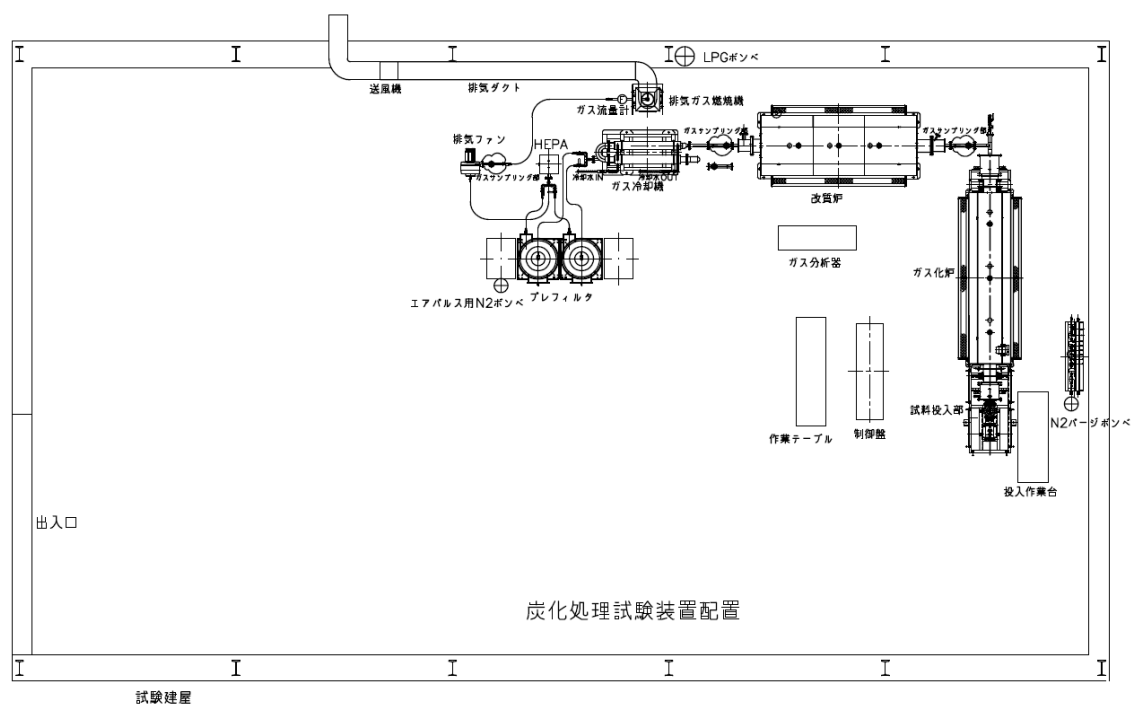
岩手県奥州市衣川区内

## 除去物保管場所と保管状況（写真）：

未使用試料及び生成物（炭）は密閉容器に充填し保管・管理。奥州市の仮置場が決定後移設予定。



# 添付資料-1 設備概要



試験装置配置図（炭化処理試験）



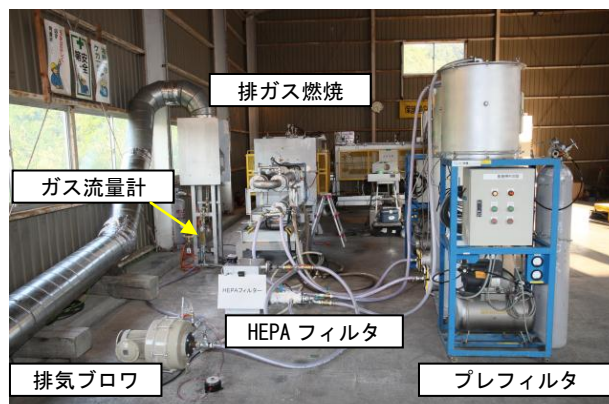
ガス化炉



改質炉



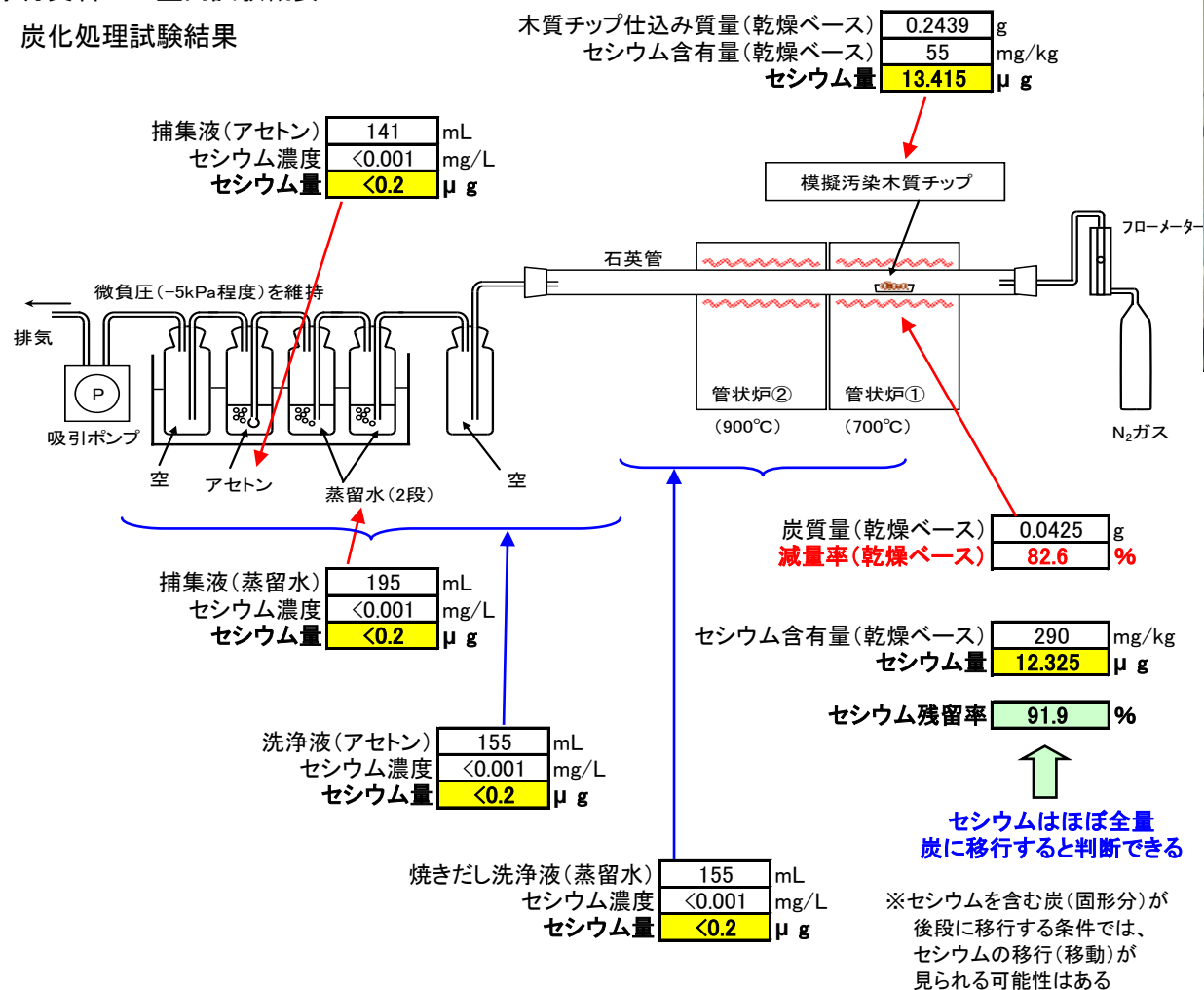
ガス冷却機



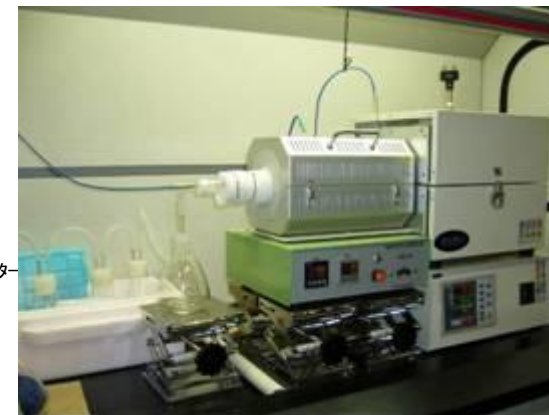
プレフィルタ・HEPA フィルタ・排気ブロワ

添付資料-2 室内試験概要

炭化処理試験結果



セシウムのほとんどが炭に含まれる形で回収される。



実証試験装置

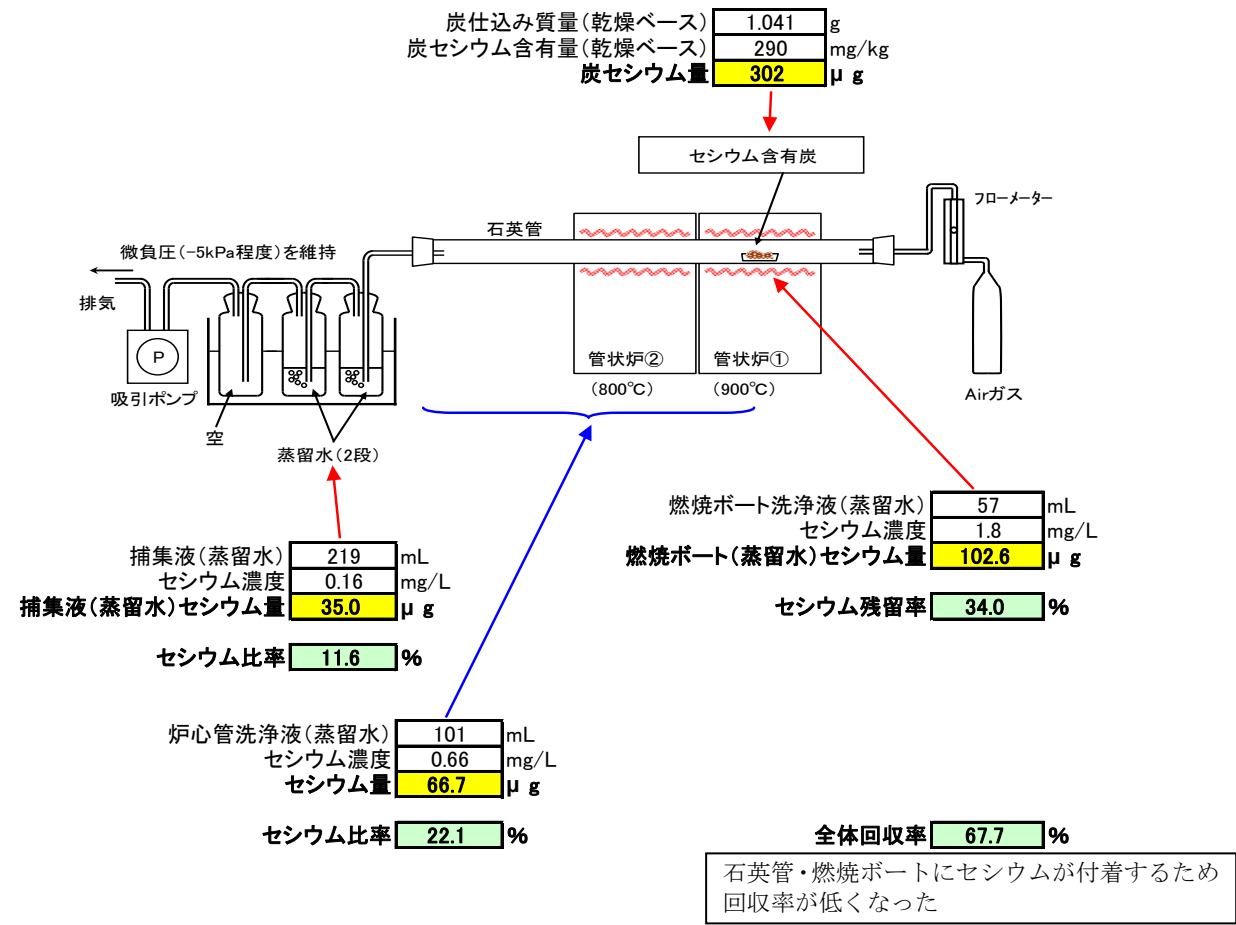


模擬汚染木質チップ



炭

燃烧处理试验结果（2 回目）



実証試験装置



炭



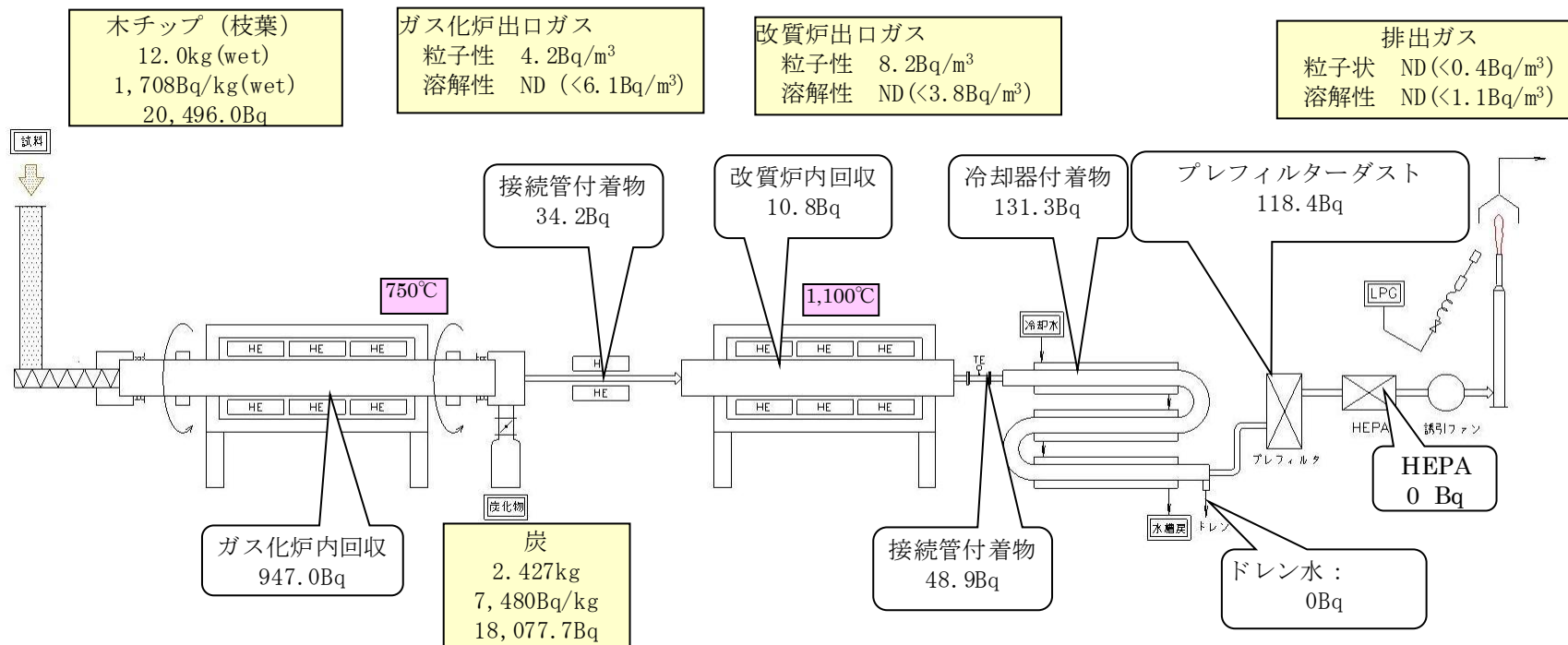
灰

3 回試験を実施し、3 回目で回収率がほぼ 100% となった。(燃烧ポート等に強固に付着するため、フッ酸による洗浄抽出が必要であった)  
 灰での回収率は 30~60% → 試料量やガス量で異なるものの、排ガス側に移行する量が多い。



### 添付資料-3 実証試験概要

#### 木チップ（枝葉） 炭化試験



固形分収支 投入量 9.756kg-dry 回収量 2.724kg-dry(ダスト等含む) 固形分回収率 27.6%

セシウム収支 投入量 20,496.0Bq 総回収量 19,368.2Bq(ガス分析分含む) 回収率94.5%

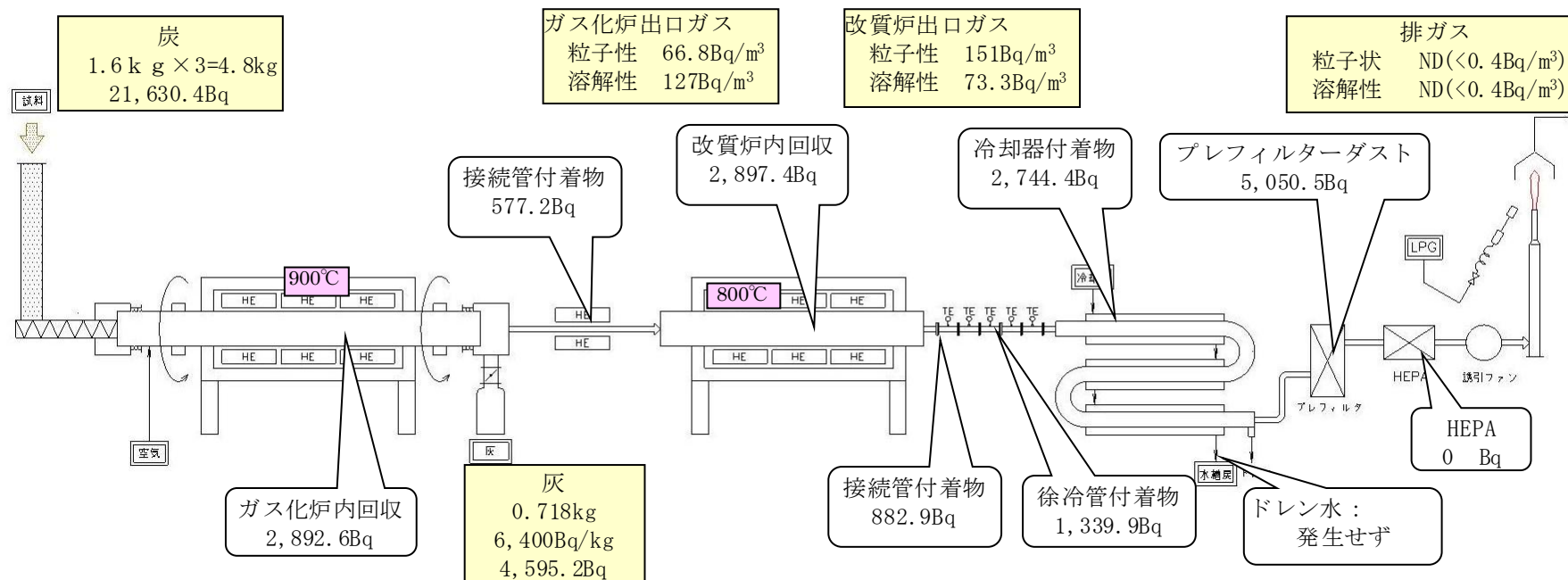
放射性セシウムのほとんどが炭として回収され、排出ガス（バイオマスガス）への移行はほとんどない。

粉碎された粉状の炭がガスの流れに沿って流下するが、プレフィルタで除去され、排出ガス（バイオマスガス）には含まれない。

3種類の原料で、減量化率は67.3～77.4%、減容化率は63.5～74.9%



## 炭 燃焼試験



固形分収支 投入量 4.796kg-dry 回収量 0.902kg-dry 固形分回収率 18.8%  
 原燃料換算 投入量 18.372kg-dry 回収量 0.718kg-dry 固形分回収率 3.9% (減量化率 96.1%)

セシウム収支 投入量 21,630.4Bq 総回収量 20,980.3Bq(ガス分析分含む) 回収率97.0%

灰で回収される放射性セシウムは 20%程度で残りはガスの流れに沿って下流に移行する。温度低下に伴い析出し、装置内に付着。  
 プレフィルターで除去される為、大気放出ガスでは検出限界値以下。(HEPA フィルタの手前で除去される)  
 減量化率は 96.1%、減容化率は 99.6% 灰のセメント固化処理を行っても、減量化率は 94.6%、減容化率は 99.6%

添付資料-4 分析結果及び収支計算

放射性セシウム濃度測定結果（湿重量ベース）

試料			炭化処理			燃焼処理	備考
			木チップ (間伐材)	牧草	木チップ (枝葉)	炭	
投入量		Bq/kg	84	1968	1708	389	湿ベース
						5650	
						7480	
固形分 回収	炭	Bq/kg	389	5,650	7,480	6,400	以下、湿ベース
	プレフィルタ回収	Bq/kg	104	1,166	422	1,504	
付着物	投入部付着物	Bq/kg	9	260	457	1,637	
	ガス化炉内	Bq/kg				1,790	
	排出部付着物	Bq/kg	12	203	1204	3,150	
	接続管付着物	Bq/kg	9	1112	137	10,250	
		Bq/kg				1,755	
		Bq/kg				166	
	改質炉内	Bq/kg				2,008	
		Bq/kg				208	
	改質炉出口管 付着物	Bq/kg	15	233	85	1,060	
		Bq/kg				11,920	
	徐冷管1付着物	Bq/kg				3,520	
		Bq/kg				2,870	
	徐冷管2付着物	Bq/kg				783	
		Bq/kg				6,300	
	徐冷管3付着物	Bq/kg				4,210	
		Bq/kg				3,310	
	徐冷管4付着物	Bq/kg				8,720	
		Bq/kg				263	
	徐冷管5付着物	Bq/kg				2,600	
		Bq/kg					
	ガス冷却器付着物	Bq/kg	15	116	48	2,102	
			18	148	47	257	
					48	146	
						26	
	プレフィルタ	Bq/kg				1,131	
						354	
						4,780	
	HEPA	Bq/kg	→	→	→	ND(<18)	全試験後、ろ布全量を分析
ガス分析	ガス化炉出口	Bq/m <sup>3</sup>	ND(<12.3)	20	4	194	
	改質炉出口	Bq/m <sup>3</sup>	ND(<15.0)	19	8	224	
	排気	Bq/m <sup>3</sup>	ND(<1.6)	NND(<1.7)	ND(<1.5)	ND(<1.7)	
液体回収	ドレン水	Bq/L	ND(13.0)	ND(14.0)	ND(14.0)	発生せず	

放射性セシウム収支

試料			炭化処理			燃焼処理	備考
			木チップ (間伐材)	牧草	木チップ (枝葉)	炭	
投入量		Bq	1,008.0	23,033.5	20,496.0	622.4	
						9,040.0	
						11,968.0	
投入合計			1,008.0	23,033.5	20,496.0	21,630.4	
固形分 回収	炭	Bq	874.7	19,299.3	18,077.7	4,595.2	
	ガス化炉内回収	Bq	63.9	369.6	947.0	2,892.6	
	接続管付着物	Bq	1.9	292.1	34.2	577.2	
	改質炉内回収	Bq	0.6	23.4	10.8	2,897.4	
	接続管	Bq	7.3	93.7	48.9	882.9	
	徐冷管	Bq				1,339.9	
	ガス冷却部	Bq	28.7	150.0	131.3	2,744.4	
	プレフィルタ回収	Bq	8.3	115.3	118.4	5,050.5	
	HEPAフィルタ	Bq				0.0	全実験終了後
回収合計		Bq	985.3	20,343.4	19,368.2	20,980.3	ガスサンプリング分含む
回収率		%	97.7	88.3	94.5	97.0	
分布	炭 / 灰	%	88.8	94.9	93.3	21.9	
	ガス化炉内	%	6.5	1.8	4.9	13.8	
	接続管	%	0.2	1.4	0.2	2.8	
	改質炉内	%	0.1	0.1	0.1	13.8	
	接続管・徐冷管	%	0.7	0.5	0.3	4.2	
	徐冷管	%	-	-	-	6.4	
	ガス冷却	%	2.9	0.7	0.7	13.1	
	プレフィルタ	%	0.8	0.6	0.6	24.1	
	HEPAフィルタ	%	0.0	0.0	0.0	0.0	

# ガス分析

			炭化処理試験									燃焼処理試験		
			木チップ(間伐材)			牧草			木チップ(枝葉)					
			ガス化 炉出口	改質炉 出口	排気 出口	ガス化 炉出口	改質炉 出口	排気出 口	ガス化 炉出口	改質炉 出口	排気 出口	ガス化 炉出口	改質炉 出口	排気 出口
排ガス流量	湿り	m <sup>3</sup> /h	-	-	1.934	-	-	1.591	-	-	1.913	-	-	8.125
ガスバッグ捕集 排ガス組成	水素	vol %	31.9	45.6	43.9	34.7	44.6	41.2	30.7	46.0	45.6	<0.1	<0.1	<0.1
	酸素		0.4	0.6	1.4	0.2	0.1	1.7	0.6	1.5	1.3	5.3	5.8	8.7
	窒素		4.7	4.4	6.7	6.1	4.3	9.9	9.1	8.7	7.9	71.7	72.8	73.0
	一酸化炭素		23.1	34.2	33.3	18.3	30.6	29.1	17.1	25.4	27.1	0.063	0.0014	<0.0005
	CH <sub>4</sub>		13.3	4.2	4.4	11.3	5.0	4.9	13.7	5.6	5.9	0.0006	<0.0005	<0.0005
	二酸化炭素		19.1	7.4	7.6	21.7	8.0	8.7	18.2	7.6	8.4	17.1	17.2	12.1
	計		92.5	96.4	97.3	92.3	92.6	95.5	89.4	94.8	96.2	94.2	95.8	93.8
排ガス水分量		vol %	19.1	16.2	3.1	32	14.1	2.5	36.1	16.1	4.0	4.6	5.3	3.5
排ガス温度※1		℃	598.38	401.51	28.33	547.56	360.22	24.78	598.9	406.81	28.5	600	548.82	36.8
ばいじん	実測濃度	g/m <sup>3</sup>	6.3	31	<0.001	10	31	<0.001	12	41	<0.001	1.7	0.86	<0.001
現地 測定	酸素	平均実測値	vol %	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.4	4.0	4.1	5.9
	一酸化炭素	平均実測値	vol %	-	-	>25	-	-	>25	-	>25	-	-	<0.3
	水素	平均実測値	vol %	-	-	42.1	-	-	41.1	-	-	40.3	-	<0.3
投入 原料	投入量	kg/h			2.0			2.0			2.0			
	性状	含水率	%		13.14			10.27			18.7			
		強熱減量	%		99.5			88.63			97.64			
	成分	炭素	%		48.9			40.7			48.4			
		水素	%		6.6			6.1			7			
		窒素	%		0.14			1.4			0.83			
	高位発熱量	MJ/kg-dry			19.7			15.9			19.4			
生成 ガス	投入乾燥重量	kg-dry/h			1.74			1.79			1.63			
	投入原料高位発熱量	MJ/h			34.14			28.54			31.58			
	成分	水素	mol/h		37.90			29.26			38.94			
		一酸化炭素	mol/h		28.75			20.67			23.14			
		CH <sub>4</sub>	mol/h		3.80			3.48			5.04			
	高位発熱量	水素	MJ/h		10.82			8.35			11.12			
		一酸化炭素	MJ/h		8.12			5.84			6.54			
		CH <sub>4</sub>	MJ/h		3.38			3.10			4.48			
回収	高位発熱量	MJ/h			22.32			17.29			22.14			
	冷ガス効率※2	%			65.39			60.58			70.10			

※1.「ガス化炉出口温度」はガス化炉と改質炉の中間部で、「改質炉出口温度」は徐冷管1で、「排気出口」は冷却器出口での測定平均値

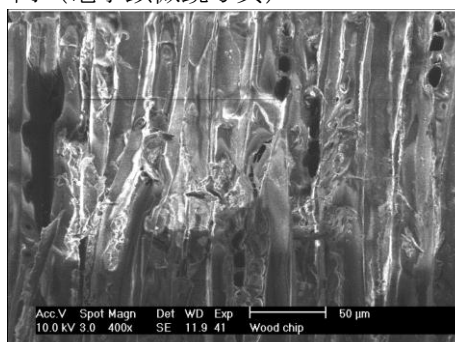
※2.冷ガス効率=(生成ガス中の可燃性分の高位発熱量)/(投入したバイオマス原料の高位発熱量)

# 添付資料-5 減量および炭・灰の性状

## 木チップ（間伐材）



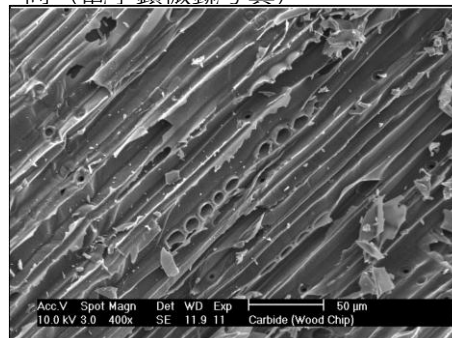
## 同（電子顕微鏡写真）



## 炭（木チップ（間伐材））



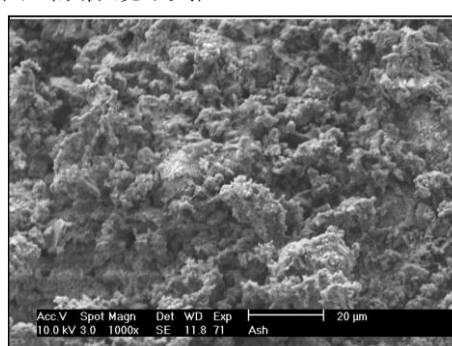
## 同（電子顕微鏡写真）



## 灰



## 同（顕微鏡写真）



化合物名	単位	燃焼処理試験					
		灰	接続管(ダクト)付着物	改質炉内回収物	改質炉出口付着物	排出管(徐冷管)付着物	プレフィルターダスト
Na <sub>2</sub> O	wt%	—	4.2	3.9	5.7	4.2	0.77
MgO	wt%	4.3	0.72	0.46	0.44	0.043	0.021
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	wt%	2.7	0.63	0.4	0.43	0.22	0.085
SiO <sub>2</sub>	wt%	23.5	1.7	2.2	0.9	0.82	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	wt%	7.1	1.1	0.71	0.71	0.34	0.01
SO <sub>3</sub>	wt%	1.9	2.1	1.4	1.8	2.6	0.54
Cl	wt%	2.7	40.1	30.0	42.3	42.7	2.4
K <sub>2</sub> O	wt%	20.0	31.8	21.4	30.8	33.0	1.7
CaO	wt%	21.2	5.8	3.3	3.5	1.8	0.031
その他	wt%	16.7	5.2	30.3	3.2	2.5	0.5
強熱減量	wt%	0.97	6.53	5.85	10.13	11.82	93.90

- ・炭化処理では原料の組織構造が保たれている
- ・燃焼灰の主成分は Si, K, Ca 、ダスト（付着物）の主成分は K および Cl であった。

## 添付資料-6 固化試験状況および固化体

燃焼灰を普通ポルトランドセメント（配合④ではベントナイトを少量添加）により固化し、性状を確認。

- ・必要強度（0.98MPa）の確保は可能であった。
- ・セメント固化により溶出低減効果が認められた
- ・灰の嵩密度(0.894kg/L)に比べ、固化体の密度(1.6～1.7kg/L)が大幅に上昇し、固化処理することで10%程度減容化した。

項目	単位	測定値	備考
燃焼試験で回収した灰			
放射性セシウム含有量	Bq/kg	6400	Cs134+Cs137
放射性セシウム溶出量	Bq/L	232	JIS K0058-1、Cs134+Cs137
粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.757	JIS A 1202準拠
水分	%	0.37	
嵩密度	g/L	894	メスシリンダー法
pH	—	12.5	JGS 0211準拠

ケース	項目	質量比率	材令28日								備考
			湿潤密度 g/cm <sup>3</sup>	一軸圧縮 強度 MPa	Cs含有量			Cs溶出量			
					Cs134 Bq/kg	Cs137 Bq/kg	Cs合計 Bq/kg	Cs134 Bq/L	Cs137 Bq/L	Cs合計 Bq/L	
(試験前)	灰	100%	0.894	—	2580	3780	6360	90	141	231	Cs濃度は供試体作製 日で減衰補正した
配合①	灰	100%	1.65	5.65	1140	1740	2880	14	21	35	空気を5%とした場 合、セメント添加量は 230kg/m <sup>3</sup> 程度となる
	OPC	20%									
	水	40%									
配合②	灰	100%	1.68	7.20	1120	1680	2800	9	22	31	空気を5%とした場 合、セメント添加量は 282kg/m <sup>3</sup> 程度となる
	OPC	25%									
	水	40%									
配合③	灰	100%	1.69	8.83	1110	1640	2750	11	18	29	空気を5%とした場 合、セメント添加量は 332kg/m <sup>3</sup> 程度となる
	OPC	30%									
	水	40%									
配合④	灰	100%	1.61	5.05	1200	1740	2940	12	20	32	空気を5%とした場 合、セメント添加量は 229kg/m <sup>3</sup> 程度となる
	OPC	20%									
	水	40%									
	ベントナイト	1%									

ケース	項目	質量比率	質量比率 合計	材令28日	固化体1cm <sup>3</sup> 中の灰の質 量 g	固化体1cm <sup>3</sup> 中の灰の元 の体積 cm <sup>3</sup>	減容化率 ※
				湿潤密度 g/cm <sup>3</sup>			
(試験前)	灰	100%	100%	0.894	—	—	—
配合①	灰	100%	160%	1.65	1.03	1.15	13.3%
	OPC	20%					
	水	40%					
配合②	灰	100%	165%	1.68	1.02	1.14	12.2%
	OPC	25%					
	水	40%					
配合③	灰	100%	170%	1.69	0.99	1.11	10.1%
	OPC	30%					
	水	40%					
配合④	灰	100%	161%	1.61	1.00	1.12	10.6%
	OPC	20%					
	水	40%					
	ベントナイト	1%					

※灰固化体中の灰の元の体積と比較



添付資料-7 コスト・エネルギー収支比試算結果

FIT 制度（再生可能エネルギー固定買い取り制度）の未利用木材利用を利用したバイオマスガス化発電（33.6 円/kWh）を想定すると事業化が成立し、処理費用なしで放射性セシウム含有バイオマスの減容化が可能である。

バイオマスガス化発電設備 運転経費試算

<原料条件>		<年間予想値>	
バイオマスの種類	木質系バイオマス	年間運転日数	300 日/年
受入時の原料発熱量	4,200 kcal/kg-dry（低位発熱量）	日間運転時間	24 時間/日
受入時の含水率	50 %	年間運転時間	7,200 時間
原料中灰分	2.4 % (DRYベース)	年間起動	24 回
<設備仕様>		年間消費量	(バイオマス) 26,400 ton (wet)
発電機出力	1,650 kW	年間消費量	(バイオマス) 13,200 ton (dry)
送電端出力	1,200 kW	年間発電量	11,880,000 kWh
熱供給能力	2,000 kW	年間送電量	8,640,000 kWh
バイオマス処理量	88.0 t/日 (wet)	重油削減効果	1,326 kL
		灰発生量	317 t/年

<ユーティリティリスト>

項 目	消費量	年間消費量	仕 様
1) 電力: 起動停止用動力	8,900 kWh/回	213,600 kWh/年	AC6.96kV, 50Hz, 3φ
2) 灯油: 起動用燃料	2,700 Liter/回	64,800 L/年	0.2MPa, 常温
3) LPG: バーナ点火用燃料	8 m³/回	192 m³/年	10kPa, 常温
4) 窒素: 設備パージ用	500 kg/回	12,000 kg/年	30kPa, 常温
5) 用水: 補給水	2 m³/h	14,400 m³/年	0.2MPa, 常温
6) 苛性ソーダ: 中和剤	0.27 L/h	1,944 L/年	24%水溶液
7) 酸素: ガス改質用	270 Nm³/h	1,944,000 Nm³/年	純度95%以上

※1)～4)は起動停止1回当たりの消費量を示す。5)～6)は通常運転中の平均消費量を示す。

<経済性計算>

項 目		送電端出力1200kW級 バイオマスガス化発電設備			備 考
		放射性セシウム対策済み	対策無		
		補助利用	FIT利用	FIT利用	
1. 建設費					
ガス化発電設備一式	円	2,299,700,000	2,299,700,000	2,190,000,000	
放射性セシウム対策費	円	109,700,000	109,700,000	0	@ (1,500+1,500) 円/kg, 灰処理設備費他8000万
公的補助 補助率	%	50	0	0	
初期投資額	円	1,149,850,000	2,299,700,000	2,190,000,000	
2. 年間維持管理費					※以下は推定値
(資本費)	(小計)	86,698,690	155,689,690	148,263,000	
減価償却費	円/年	68,991,000	137,982,000	131,400,000	90%、15年償却(定額法)
固定資産税	円/年	17,707,690	17,707,690	16,863,000	税率1.4%, 15年間の平均値
(バイオマス代)	(小計)	66,000,000	66,000,000	66,000,000	国産チップ(12～17千円/t)の約1/3(5千円/t)を想定
(ランニングコスト費)	(小計)	134,454,323	134,454,323	133,370,950	15年間平均
(灰処理費)	(小計)	3,168,000	3,168,000	3,168,000	10,000円/t(固化処理原材料費他)
(人件費他)	(小計)	28,800,000	28,800,000	28,800,000	常時2名
	(上記合計)	319,121,013	388,112,013	379,601,950	
3. バイオマス導入による経済メリット					※以下の条件は弊社推定値
売電収入	円/年	129,600,000	290,304,000	290,304,000	15円/kWh(FIT不使用)、33.6円/kWh(未利用木材扱い)
重油削減効果	円/年	117,851,700	117,851,700	117,851,700	80円/L、ボイラ効率90%
導入メリット(上記合計)	円/年	247,451,700	408,155,700	408,155,700	
年間収入	円/年	-71,669,313	20,043,687	28,553,750	
償却年数	年	(成立せず)	14.6	13.7	


<エネルギー収支比計算>

		年間	換算	kWh	備 考
エネルギー投入					
バイオマス	t-wet	26,400	2436	64,310,400	4200kCal/kg-Dry
電気				213,600	
灯油	L	64,800	10,217,484	662,093	36.7MJ/L、1J=2.778*10 <sup>-7</sup>
LPG	m3	192	13,945,556	5,355	50.2MJ/kg、1m3=2kg
			合計	65,191,448	
			合計(バイオマス以外)	881,048	電気、灯油、LPGのエネルギー量
エネルギー回収					
売電(電気)	kwh			8,640,000	
熱				14,400,000	
			合計	23,040,000	エネルギー回収量
エネルギー収支比				26.2	電気、灯油、LPGのエネルギー量に対する回収量比

(参考: 減容化処理施設としての処理コスト算出根拠)

処理コスト = (年間運転費－原料購入費) / 年間処理量

= (388, 112, 013－66, 000, 000) / 26, 400 = 12, 201 円 / t-wet

実施代表者の所属機関：会津土建株式会社	
実証テーマ名：森林から排出される木質系廃棄物の洗浄による汚染濃度低減技術	
<p>事業の概要：</p> <p>除染、製材等で発生する放射性物質により汚染された木質系廃棄物（バーク（樹皮）、枝・葉、リター）を摩砕洗浄機ですりもみ洗浄し、洗浄前後の放射能濃度・表面汚染密度の変化を測定し、除染効果を検証する。</p>	
<p>実施内容：</p> <p>洗浄する枝・葉、リターは、除染作業における発生物を使用した。また、バークは製材所の廃棄物を使用した。予備実験等によって決定した洗浄条件に基づき、木質系廃棄物を種類ごとに、摩砕洗浄機で洗浄した。</p> <p>除染前後の放射能濃度、表面汚染密度の比較、マテリアルバランスの確認等を行った。</p>	
<p>技術概要：</p> <p>【試験フロー】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>洗浄前分析</p> <p>↓ 分析結果</p> <p>一次洗浄実験</p> <p>↓ 分析結果</p> <p>二次洗浄実験</p> <p>↓ 分析結果</p> <p>三次洗浄実験</p> <p>↓ 分析結果</p> <p>評価</p> <p>実証実験全体フロー</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>試験体投入</p> <p>↓</p> <p>すりもみ洗浄</p> <p>↓</p> <p>すすぎ洗い</p> <p>↓</p> <p>分析・評価</p> <p>洗浄実験フロー</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>実験で使 用した 摩砕洗 浄機</p> </div> </div>	
<p>【試験目標】</p> <p>木質系廃棄物の放射能濃度を洗浄により低減させ、廃棄物の減容化が可能な濃度とする。          樹皮、枝葉：洗浄した廃棄物の放射能濃度が 240Bq/kg 以下。（焼却時に発生する焼却灰が指定廃棄物にならない濃度）          リター：洗浄した廃棄物の放射能濃度が 8,000Bq/kg 以下。（指定廃棄物とならない濃度）</p> <p>【期待される効果】</p> <p>木質系廃棄物やその焼却灰の放射能濃度を低減し、再利用等による廃棄物の減容効果が期待される。</p> <p>除染、製材等で発生する樹皮及び枝葉については、バイオマス燃料として使用しても、灰が指定廃棄物とならず、有効利用が可能になる。</p> <p>リターは、通常の廃棄物最終処分場での埋立処分が可能になる。</p>	
その他：	

除染効果：（実験条件は実重量、実験結果は乾物重量を記載。※1 重量については残存率）  
 ＜実験結果の一例＞（放射能濃度の単位は Bq/kg）

樹皮 2-2	条件	結果	項目	洗浄前	洗浄後	減少率※1
樹皮	4.2kg	樹皮	放射能濃度	281	10	96.4%
砂利	14.4kg		重量	1.44kg	1.68kg	116.7%
洗浄水	20.0kg	砂利 (粗粒分)	放射能濃度	10 未満	18	
			重量	14.36kg	9.81kg	
洗浄時間	10 分	細粒分	放射能濃度	—	810	
			重量	—	4.31kg	

枝葉 3-2	条件	結果	項目	洗浄前	洗浄後	減少率※1
枝葉	5.7kg	枝葉	放射能濃度	4,600	217	95.3%
砂利	10.1kg		重量	2.84kg	2.04kg	71.8%
洗浄水	15.0kg	砂利 (粗粒分)	放射能濃度	10 未満	25	
			重量	10.05kg	8.98kg	
洗浄時間	5 分	細粒分	放射能濃度	—	4,400	
			重量	—	1.87kg	

リター 3-3	条件	結果	項目	洗浄前	洗浄後	減少率※1
リター	8.9kg	リター	放射能濃度	58,333	4,600	92.1%
砂利	5.8kg		重量	2.43kg	0.40kg	16.5%
洗浄水	13.0kg	砂利 (粗粒分)	放射能濃度	10 未満	1,397	
			重量	14.36kg	6.92kg	
洗浄時間	5 分	細粒分	放射能濃度	—	73,000	
			重量	—	9.47kg	

- ①樹皮：洗浄前の濃度はあまり高くないが、洗浄後の放射能は定量下限値未満となった。洗浄物の残存率も高く良好な結果が得られた。
- ②枝葉：洗浄後の放射能減少率は 95%以上の高い数値が得られた。おおむね目標値である 240Bq/kg 以下を満足し、焼却灰が指定廃棄物になることが回避できると考えられる。洗浄物の残存率は 70%程度であるが、今後、さらなる改善が望まれる。
- ③リター：洗浄後の放射能減少率は、90%以上と高く、目標値の 8,000Bq/kg 以下を満足したため指定廃棄物になることが回避できると考えられる。洗浄物の残存率は 10～20%と低いため、洗浄条件の改良、洗浄機の改良などが必要と考えられる。

除去物発生量評価：「除染効果」参照

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率 0.350  $\mu$  Sv/hr、作業時間 72 時間  
 作業員最大被ばく量 200  $\mu$  Sv（機資材運搬、作業時間 48 時間）  
 作業員平均被ばく量 11  $\mu$  Sv

コスト評価：11,759 円/m<sup>3</sup>      歩掛り（作業人工、作業速度）：約 53.3m<sup>3</sup>/人日、20m<sup>3</sup>/hr

コスト評価条件：50 mm以下に破碎されたものを処理する洗浄施設で、水処理施設は含むが、破碎施設は含まない。研磨剤として、砂利を 10m<sup>3</sup>/hr 投入する。

除染作業における安全上の注意：防塵マスク、手袋等の保護具着用の徹底。特に高濃度洗浄対象物を取扱う時は十分な保護具等を検討する。

試験場所（住所）：福島県双葉郡川内村地内      除去物保管場所と保管状況（写真）：川内村指定のフレコンバックに入れ、川内村指定の除染物保管場所に持ち込む。

## 摩砕洗浄実験 実験結果

### 【1次実験】

ケース名称	洗浄時間 (分)	洗浄前 平均濃度 (Bq/kg)	洗浄後 平均濃度 (Bq/kg)	放射能 減少率 (%)	洗浄物 残存率 (%)	備考
樹皮1-1	10	281	263	6.5	－	
枝葉1-1	5	4600	239	94.8	－	
枝葉1-2	10	4600	245	94.7	－	
枝葉1-3	5	4600	196	95.7	－	
枝葉1-4	10	4600	139	97.0	－	
枝葉1-5	5	4600	263	94.3	－	
枝葉1-6	10	4600	235	94.9	－	
枝葉1-7	5	4600	209	95.5	－	
枝葉1-8	10	4600	115	97.5	－	
リター1-1	10	58333	8067	86.2	－	

### 【2次実験】

ケース名称	洗浄時間 (分)	洗浄前 平均濃度 (Bq/kg)	洗浄後 平均濃度 (Bq/kg)	放射能 減少率 (%)	洗浄物 残存率 (%)	備考
樹皮2-1	10	281	94	66.4	47.9	樹皮1-1と同条件
樹皮2-2	10	281	<10	96.4	116.7	樹皮2-1から洗浄物:砂利=1:1に変更
枝葉2-1	10	4600	247	94.6	52.4	枝葉1-2と同条件
枝葉2-2	10	4600	192	95.8	57.5	枝葉2-1から洗浄物:砂利=1:1に変更
リター2-1	10	58333	10767	81.5	16.7	リター1-1と同条件
リター2-2	10	58333	3800	93.5	4.6	枝葉2-1から洗浄物:砂利=1:1に変更

### 【3次実験】

ケース名称	洗浄時間 (分)	洗浄前 平均濃度 (Bq/kg)	洗浄後 平均濃度 (Bq/kg)	放射能 減少率 (%)	洗浄物 残存率 (%)	備考
枝葉3-1	10	4600	193	95.8	60.2	枝葉2-2から洗浄物:砂利=2:1に変更
枝葉3-2	5	4600	217	95.3	71.8	枝葉3-1から時間を半分に変更
枝葉3-3	5	4600	173	96.2	84.7	枝葉2-2から時間を半分に変更
リター3-1	10	58333	3400	94.2	3.2	リター2-2から洗浄物:砂利=2:1に変更
リター3-2	5	58333	3700	93.7	5.0	リター3-1から時間を半分に変更
リター3-3	5	58333	4600	92.1	16.5	リター3-2から洗浄物:砂利=4:1に変更

## コスト評価 算出過程（補足資料）

実プラントの仕様及び条件を表 1 に示す。

また、実プラントの建設費用及び維持管理費用の試算結果を表 2 に示す。なお、建設費用には、設置する土地の取得費用、土木工事費用、廃棄物の保管・破碎施設、周辺設備の費用は含まず、洗浄施設及び水処理施設の費用のみとする。

また、洗浄に際しては、研磨剤として 25mm 砕石を 10m<sup>3</sup>/時投入する。

3 年間の総処理量 168,000m<sup>3</sup> と実プラントの総コスト 1,975,500 千円から計算すると、1m<sup>3</sup> 当りの処理コストは 11,759 円となる。

表 1 実プラントの仕様・条件

項目	洗浄施設	水処理施設
処理能力	20m <sup>3</sup> /時	160m <sup>3</sup> /時
稼働時間	8 時/日	8 時/日
稼働日数	350 日/年	350 日/年
年間処理量	56,000m <sup>3</sup> /年	448,000m <sup>3</sup> /年
処理期間	3 年	3 年
総処理量	168,000m <sup>3</sup>	1,344,000m <sup>3</sup>

表 2 実プラントのコスト試算

項目		洗浄施設	水処理施設	合計
建設費用		480,000 千円	600,000 千円	1,080,000 千円
維持管理費用	年間用役費	48,000 千円/年	120,000 千円/年	—
	年間維持修繕費	48,000 千円/年	60,000 千円/年	—
	総額（3 年）	288,000 千円	540,000 千円	828,000 千円
人件費		7,500 千円/人年×3 人×3 年		67,500 千円
		合計		1,975,500 千円



実施代表者の所属機関：遠野興産株式会社
実証テーマ名：放射能汚染されたバークの圧縮成型による減容化
事業の概要：放射能汚染されたバーク（樹皮）を圧縮成型することで保管性・輸送性を改善する。また、前処理・洗浄を行うことでバークの再利用を可能にする。
<p>実施内容：</p> <p>(1)バークの水洗試験において、水洗条件や前処理等によりバークの除染・有効利用を図る。</p> <p>(2)バークの圧縮成型試験において、圧縮率の向上と安全な貯蔵方法を確立する。</p>
<p>技術概要：</p> <p>(1) 試験フロー</p> <p>水洗、圧縮成型の各種条件、組み合わせを検証し、効率的な利用・処理のフローを構築する</p> <pre> graph LR     Bark[バーク] --&gt; Pre[前処理&lt;br/&gt;(粉碎等)]     Pre --&gt; Wash[水洗]     Wash --&gt; Post[後処理&lt;br/&gt;(乾燥・粒度調整)]     Wash --&gt; Drain[排水除染]     Drain --&gt; Reuse[(再利用)]     Wash --&gt; Comp[圧縮成型]     Comp --&gt; Red[(減容・安定化)]     Red --&gt; ReProc[(再加工・利用)]     Wash --&gt; Util[利用&lt;br/&gt;(燃料・原料)]     </pre> <p>(2) 試験目標</p> <p>バークの洗浄・保管・利用の各要素技術を検証し、利用・保管のシステムを確立する。</p> <p>(3) 期待される効果</p> <p>バークの処理・利用体系が確立され、木材の有効利用・バイオマス利用の促進、さらには除染や復興・復旧、地球温暖化対策への貢献が期待できる。</p>
その他：
<p>除染効果：</p> <p>(1) バークの水洗試験</p> <p>ラボレベルの攪拌での水洗法では、概ね 50～80%の除染率となったが(表 1)、除染率が高いケース（表 1 の 60 分洗浄）では洗浄物回収率が約 64%となった。バークの除染効果は、主に汚染部位の破断・分離に左右されると考えられる。</p> <p>水流攪拌による洗浄では、概ね 50%以上、最大で 78.6%の除染効果が確認されたが、温度、洗浄時間の効果は明確でなかった。</p>

表 1 ラボ撹拌洗浄試験

	洗浄前 バーク 放射能濃度 (Bq/kg)	洗浄後 バーク 放射能濃度 (Bq/kg)	除染率	バーク 回収率
1. 通常洗浄 (常温、15分)	1,026	322	68.6%	84.7%
2. 弱酸洗浄	1,026	448	56.3%	80.3%
3. 強酸洗浄	1,026	366	64.3%	84.3%
4. リモネン洗浄	1,026	465	54.7%	82.2%
5. 50℃洗浄	1,026	452	55.9%	43.8%
6. 80℃洗浄	1,026	264	74.3%	29.5%
7. 30分洗浄	1,026	526	48.7%	69.4%
8. 60分洗浄	1,026	185	82.0%	63.7%

表 2 水流撹拌洗浄試験

水温 (℃)	時間 (分)	洗浄前 バーク 放射能濃度 (Bq/kg)	洗浄後 バーク 放射能濃度 (Bq/kg)	除染率
20	5	969	302	68.8%
	10	969	326	66.3%
	15	969	207	78.6%
40	5	944	414	56.1%
	10	944	349	63.0%
	15	944	400	57.6%
60	5	944	331	64.9%
	10	944	265	71.9%
	15	944	262	72.2%

表 3 撹拌羽根洗浄試験

種類	水温	洗浄前 バーク 放射能濃度 (Bq/kg)	洗浄後 バーク 放射能濃度 (Bq/kg)	除染率
杉・ 新バーク	常温	861	631	26.7%
	50℃	861	534	37.9%
杉・ 古バーク	常温	915	374	59.1%
	50℃	915	327	64.3%
雑木 バーク	常温	1,214	663	45.4%
	50℃	1,214	668	45.0%

注 1: 表 2 の 20℃、15 分条件のデータは計測値の精度に疑問があるため参考値とした

注 2: 表 3 は固液比 1:10、3 分洗浄のケース

## (2) 成型試験

圧縮成型による減容化率は概ね 60%前後であった。

	成型前			成型後			成型前後比較		
	かさ比重	空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	表面汚染密度 (cpm)	かさ比重	空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	表面汚染密度 (cpm)	減容化率	空間線量率 変化	表面汚染密度 変化
杉・新バーク	0.132	0.18	52	0.355	0.22	112	63%	124%	215%
杉・古バーク	0.251	0.19	46	0.565	0.21	106	56%	109%	230%
雑木バーク	0.231	0.23	67	0.543	0.30	121	57%	129%	181%

注: 「杉・新バーク」は入荷後数日内のもの、「杉・古バーク」は昨年に入荷したもの、  
「雑木バーク」は広葉樹のバークを指す

## 除去物発生量評価:

(水洗) 発生量 (ろ過物、凝集沈殿除去物の合計) 0.3kg/処理量 1kg (条件により異なる)  
(成型) ほとんど発生しない

作業員被ばく量評価: 作業場所平均空間線量率 0.15  $\mu$  Sv/hr、作業時間 40 時間

作業員最大被ばく量 8  $\mu$  Sv (作業担当箇所: 成型、作業時間 40 時間)

作業員平均被ばく量 6  $\mu$  Sv

## コスト評価:

(水洗) 23,300 円/t-バーク  
(成型) 3,900 円/t-バーク  
合計: 27,200 円/t-バーク

## 歩掛り (作業人工、作業速度):

(水洗) 作業人工: 1.389 人日/t、作業速度: 0.45 t/hr  
(成型) 作業人工: 0.097 人日/t、作業速度: 3.88 t/hr

## コスト評価条件:

(水洗) 8h/d 稼働、3.6t/d 処理、  
コスト内訳 (電力、人工 (5 人)、用水、消耗品 (凝集沈殿剤、除染資材))  
(成型) 8h/d 稼働、31t/d 処理 (52 個)  
コスト内訳 (軽油、人工 (3 人)、消耗品 (ワイヤ、ビニール))

除染作業における安全上の注意: 作業時には、サージカルマスクを着用

## 試験場所 (住所):

福島県いわき市

## 除去物保管場所と保管状況 (写真):

除去物は少量であり、「いわき市除染実施計画」にのっとり敷地内で一時保管している。国による中間貯蔵施設設置後にすみやかに移動する。

## 1、水洗試験（予備試験）

### （1）ラボレベル試験

- ・ バークの水洗による除染効果の把握と効果的な条件を把握するためにラボでの水洗試験を行った。
- ・ 10 l のガラス容器内でバーク 2 l（容量）、洗浄水 10 l を回転羽の攪拌により攪拌洗浄を行い、洗浄後のバークの放射能濃度等を計測した。（実質的な重量ベースでの固液比は 1 : 10 程度）
- ・ 洗浄条件は、標準条件を常温・15 分とし、酸・アルカリの利用（硝酸・リモネン）、温度（50℃、80℃）、時間（30 分、60 分）のパラメーターを変えて行った。
- ・ 結果は下表の通りとなった。結果から傾向としては以下が挙げられる。
  - 1) バークは、洗浄により主に i) 大粒径バーク、ii) 微細な繊維状のバークに分かれ、i は浮上、ii は沈降する。i) の回収率は、常温・15 分洗浄では概ね 80% 以上であるが、50℃洗浄で 44%、80℃洗浄で 30%、30 分洗浄で 69%、60 分洗浄で 64% と下がる。
  - 2) 浮上バーク（1) の i)）と沈降バーク（1) の ii)）とでは、浮上バークの方が放射能濃度は低く、概ね元のバークの 50% 以下となった。

表 結果概要

	(1)洗浄前			(2)洗浄後重量			(3)放射能濃度			(4)放射能			
	(1)-1	(1)-2	(1)-3	(2)-1	(2)-2	(2)-3	(3)-1	(3)-2	(3)-3	(4)-1	(4)-2	(4)-3	(4)-4
	バーク 放射能濃 度 (Bq/kg)	バーク 乾燥重 量 (kg)	洗浄前 放射能 (Bq)	浮上 バーク 乾燥重 量 (kg)	沈降 バーク 乾燥重 量 (kg)	洗浄 排水量 (kg)	浮上 バーク (Bq/kg)	沈降 バーク (Bq/kg)	粗洗浄 排水 (Bq/kg)	浮上 バーク (Bq)	沈降 バーク (Bq)	粗洗浄 排水 (Bq)	合計 (Bq)
1. 通常洗浄 (常温、15分)	1,026	0.193	197.5	0.163	0.035	9.595	322	853	4.3	52.5	30.1	41.3	123.9
2. 弱酸洗浄	1,026	0.248	254.9	0.199	0.065	9.355	448	1,228	5.0	89.3	80.3	46.8	216.4
3. 強酸洗浄	1,026	0.254	260.5	0.214	0.061	10.280	366	711	5.2	78.3	43.0	53.5	174.8
4. リモネン洗浄	1,026	0.235	240.7	0.193	0.054	9.805	465	1,012	13.7	89.7	54.6	134.3	278.7
5. 50℃洗浄	1,026	0.206	211.8	0.090	0.091	9.280	452	644	6.2	40.9	58.3	57.5	156.7
6. 80℃洗浄	1,026	0.226	232.2	0.067	0.160	9.155	264	683	5.6	17.6	109.5	51.3	178.4
7. 30分洗浄	1,026	0.229	235.1	0.159	0.069	9.800	526	840	9.0	83.6	57.8	88.2	229.6
8. 60分洗浄	1,026	0.240	246.3	0.153	0.076	9.820	185	864	11.2	28.3	65.5	110.0	203.8

備考：

- ・ 放射能測定器：ゲルマニウム半導体検出器型放射能測定装置、SEG-EMS(食品・環境放射能測定装置)、検出下限 5Bq/kg
- ・ 放射能濃度は、いずれも乾燥重量ベース

(2) 水流攪拌洗浄試験

- 水流中での間接的な攪拌操作による、バークの回収率と除染効果を測定した。
- 試験には、洗濯機を用い、バークを市販の洗濯ネット（約 1mm メッシュ）に包んで洗浄した。排水は、流路にフィルターを設けネットを通り抜けたダスト状のものを捕捉して排水を回収した。洗浄水とバークの量（固液比）は、本条件では、洗浄方法やバークの物性等の関係から投入できるバークの量が限定されたため、洗浄水 50 l に対しバークは放射能濃度を計測したものを 1kg 使用した。
- 洗浄条件としては、水温（20℃、40℃、60℃）、時間を 5 分～15 分（5 分、10 分、15 分）のパラメーターを変えて行った。
- 結果は下表の通りとなった。結果から傾向としては以下が挙げられる。
  - i) バークの回収率は概ね 60%～80%（注）で、間接的な水流攪拌による洗浄でも微細なバークの流出が見られた。
  - ii) 放射能除去率（ネット内に残った大粒径バークについて）は、概ね 50%～80%となった。
  - iii) 最も除去率が高かった条件(注)は、60℃・15 分洗浄であるが、水温、時間と洗浄効果の関係は必ずしも明確とはいえない。

注：20℃、15 分条件時は、重量計測にミスがあったと思われるため参考値としている

洗浄条件		(1)洗浄前			(2)洗浄後重量			(3)放射能濃度		(4)放射能量	
		(1)-1	(1)-2	(1)-3	(2)-1-1	(2)-1-2	(2)-2	(3)-1	(3)-2	(4)-1	(4)-2
水温(℃)	時間(分)	バーク 放射能濃 度	バーク 乾燥重量	洗浄前 放射能量	洗浄 バーク 乾燥重量	洗浄 バーク 回収率	ダスト状 バーク 乾燥重量	洗浄 バーク	除去率 (濃度)	洗浄 バーク	除去率 (放射能 量)
		(Bq/kg)	(kg)	(Bq)	(kg)		(kg)	(Bq/kg)		(Bq)	
20	5	969	0.730	707.5	0.552	75.6%	0.014	302	68.8%	166.9	76.4%
	10	969	0.730	707.5	0.581	79.6%	0.055	326	66.3%	189.5	73.2%
	15	969	0.730	707.5	0.727	99.6%	0.040	207	78.6%	150.5	78.7%
40	5	944	0.720	679.3	0.493	68.5%	0.019	414	56.1%	204.1	70.0%
	10	944	0.720	679.3	0.440	61.1%	0.020	349	63.0%	153.6	77.4%
	15	944	0.720	679.3	0.558	77.5%	0.020	400	57.6%	223.4	67.1%
60	5	944	0.720	679.3	0.495	68.8%	0.015	331	64.9%	164.0	75.9%
	10	944	0.720	679.3	0.599	83.2%	0.021	265	71.9%	158.6	76.6%
	15	944	0.720	679.3	0.449	62.4%	0.019	262	72.2%	117.7	82.7%

備考：

- 放射能計測器：テクノエーピー社製 TN300B（NaI シンチレータ、φ3 インチ×3 インチ）、測定下限 10Bq/kg
- 放射能濃度は、いずれも乾燥重量ベース

(3) 攪拌羽根を用いた水洗試験

- 固液比を変えられるスケールアップした条件での攪拌羽根を用いた洗浄試験を行った。
- 放射能濃度を計測した 1kg のバークに対し、洗浄水量について 10 l、20 l、50 l の 3 条件、洗浄時間を 1 分、3 分、5 分の 3 条件、温度を 25℃、50℃の 2 条件として各々のケースの洗浄試験を行った。洗浄に用いたバークは、i) 杉・新バーク（入荷後 1 週間以内の新しい杉バーク）、ii) 杉・古バーク（入荷後半年以上の古い杉バーク）、iii) 雑木（広葉樹バーク）の 3 種類とした。
- 結果は次頁以降の表の通りとなった。結果から傾向としては以下が挙げられる。
  - i) バークの種類により除染効果に違いが見られ、杉・新バーク、雑木バークでは、洗浄時間を増すことで除染率が向上する傾向が見られたが、杉・旧バークでは、時間経過とともに除染率が減少するケースが見られるなど、洗浄時間の効果が明らかでなかった。
  - ii) 水温の効果については、杉・新バーク、杉・古バークでは、水温が高いほど除染率が高い傾向が見られたが、雑木バークでは明確な傾向は見られなかった。
  - iii) 固液比の影響については、杉・新バークでは、固液比が大きくなると除染率が高まる傾向が見られたが、杉・古バーク、雑木バークではそれほど明らかでなかった。
  - iv) 洗浄後の粗排水の放射能濃度は、汚染度が高い雑木バークの洗浄時でも最大 60Bq/kg で、汚染度が低い杉バーク洗浄時には検出限界値以下の場合も多かった。



1.杉(新)パーク

(1)常温

【試料データ】

サンプル パーク (kg)	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	パーク汚染密 度 (Bq/kg)	パーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	表面汚染密 度 (cpm) <sup>※1</sup>
1.00	50.16	0.50	429.10	860.96	62

洗浄条件						洗浄後パーク状態		固形物分離特性		洗浄後パーク汚染密度等					粗排水性状
水温	時間	材種	重さ	水	固液比(重 量比)	水洗後重量 (kg)	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	回収率	パーク汚染密 度 (Bq/kg)	パーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	パーク除染率 (%)	パーク除染率 (乾物パー ス、%)	表面汚染密 度 (cpm) <sup>※1</sup>	洗浄水汚染密度 (Bq/kg)
常温(25℃)	1分	杉(新)	1kg	10ℓ	1:10	1.60	66.47	0.54	108%	155.10	462.61	63.9	46.3	51	34.80
常温(25℃)	3分	杉(新)	1kg	10ℓ	1:10	1.42	77.63	0.32	64%	141.20	631.12	67.1	26.7	58	11.50
常温(25℃)	5分	杉(新)	1kg	10ℓ	1:10	1.28	76.71	0.30	60%	137.70	591.27	67.9	31.3	61	14.70
常温(25℃)	1分	杉(新)	1kg	20ℓ	1:20	1.02	75.49	0.25	50%	184.10	751.12	57.1	12.8	64	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	3分	杉(新)	1kg	20ℓ	1:20	1.36	75.86	0.33	66%	147.60	611.38	65.6	29.0	58	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	5分	杉(新)	1kg	20ℓ	1:20	1.36	73.99	0.35	71%	123.10	473.35	71.3	45.0	49	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	1分	杉(新)	1kg	50ℓ	1:50	1.02	64.77	0.36	72%	172.00	488.18	59.9	43.3	49	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	3分	杉(新)	1kg	50ℓ	1:50	1.38	74.34	0.35	71%	150.40	586.03	64.9	31.9	53	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	5分	杉(新)	1kg	50ℓ	1:50	1.52	75.63	0.37	74%	118.70	487.07	72.3	43.4	55	不検出(<10Bq/kg)

(2)50℃

【試料データ】

サンプルパーク	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	パーク汚染密 度 (Bq/kg)	パーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	表面汚染密 度 (cpm) <sup>※1</sup>
1.00	50.16	0.50	429.10	860.96	62

洗浄条件						洗浄後パーク状態		固形物分離特性		洗浄後パーク汚染密度等					粗排水性状
水温	時間	材種	重さ	水	固液比(重 量比)	水洗後重量 (kg)	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	回収率	パーク汚染密 度 (Bq/kg)	パーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	パーク除染率 (%)	パーク除染率 (乾物パー ス、%)	表面汚染密 度 (cpm) <sup>※1</sup>	洗浄水汚染密度 (Bq/kg)
50℃	1分	杉(新)	1kg	10ℓ	1:10	1.54	74.80	0.39	78%	182.10	722.65	57.6	16.1	50	12.50
50℃	3分	杉(新)	1kg	10ℓ	1:10	1.54	78.01	0.34	68%	117.50	534.38	72.6	37.9	62	12.90
50℃	5分	杉(新)	1kg	10ℓ	1:10	1.60	71.37	0.46	92%	110.60	386.36	74.2	55.1	58	13.50
50℃	1分	杉(新)	1kg	20ℓ	1:20	1.30	67.47	0.42	85%	139.90	430.05	67.4	50.0	58	不検出(<10Bq/kg)
50℃	3分	杉(新)	1kg	20ℓ	1:20	1.32	75.00	0.33	66%	110.20	440.82	74.3	48.8	56	不検出(<10Bq/kg)
50℃	5分	杉(新)	1kg	20ℓ	1:20	1.42	67.28	0.46	93%	91.30	278.99	78.7	67.6	58	不検出(<10Bq/kg)
50℃	1分	杉(新)	1kg	50ℓ	1:50	1.40	68.73	0.44	88%	131.10	419.22	69.4	51.3	62	不検出(<10Bq/kg)
50℃	3分	杉(新)	1kg	50ℓ	1:50	1.34	69.98	0.40	81%	129.80	432.34	69.8	49.8	51	不検出(<10Bq/kg)
50℃	5分	杉(新)	1kg	50ℓ	1:50	1.56	69.70	0.47	95%	84.30	278.18	80.4	67.7	51	不検出(<10Bq/kg)

※1:測定位置はパークから1cmの距離とする(コリメータあり)

## 2.杉(古)バーク

(1)常温

【試料データ】

サンプルバーク	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	バーク汚染密度 (Bq/kg)	バーク汚染密度(乾物換算、Bq/kg)	表面汚染密度(cpm) <sup>※1</sup>
1.00	61.964	0.38	348.20	915.45	60

洗浄条件						洗浄後バーク状態		固形物分離特性		洗浄後バーク汚染密度等					粗排水性状
水温	時間	材種	重さ	水	固液比(重量比)	水洗後重量(kg)	水分率(wt%)	固形物量(kg)	回収率	バーク汚染密度(Bq/kg)	バーク汚染密度(乾物換算、Bq/kg)	バーク除染率(%)	バーク除染率(乾物ヘース、%)	表面汚染密度(cpm) <sup>※1</sup>	洗浄水汚染密度(Bq/kg)
常温(25℃)	1分	杉(古)	1kg	10ℓ	1:10	1.24	74.49	0.32	83%	147.20	577.01	57.7	37.0	60	10.90
常温(25℃)	3分	杉(古)	1kg	10ℓ	1:10	1.18	72.35	0.33	86%	103.50	374.38	70.3	59.1	63	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	5分	杉(古)	1kg	10ℓ	1:10	1.06	72.97	0.29	75%	107.00	395.80	69.3	56.8	41	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	1分	杉(古)	1kg	20ℓ	1:20	0.92	74.67	0.23	61%	114.20	450.80	67.2	50.8	48	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	3分	杉(古)	1kg	20ℓ	1:20	1.02	76.20	0.24	64%	100.30	421.50	71.2	54.0	56	22.70
常温(25℃)	5分	杉(古)	1kg	20ℓ	1:20	0.98	75.59	0.24	63%	112.30	459.96	67.7	49.8	49	28.80
常温(25℃)	1分	杉(古)	1kg	50ℓ	1:50	0.82	77.77	0.18	48%	111.40	501.15	68.0	45.3	54	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	3分	杉(古)	1kg	50ℓ	1:50	0.90	75.65	0.22	58%	90.80	372.82	73.9	59.3	53	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	5分	杉(古)	1kg	50ℓ	1:50	1.12	76.39	0.26	70%	90.00	381.19	74.2	58.4	51	不検出(<10Bq/kg)

(2)50℃

【試料データ】

サンプルバーク	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	バーク汚染密度 (Bq/kg)	バーク汚染密度(乾物換算、Bq/kg)	表面汚染密度(cpm) <sup>※1</sup>
1.00	61.964	0.38	348.20	915.45	60

洗浄条件						洗浄後バーク状態		固形物分離特性		洗浄後バーク汚染密度等					粗排水性状
水温	時間	材種	重さ	水	固液比(重量比)	水洗後重量(kg)	水分率(wt%)	固形物量(kg)	回収率	バーク汚染密度(Bq/kg)	バーク汚染密度(乾物換算、Bq/kg)	バーク除染率(%)	バーク除染率(乾物ヘース、%)	表面汚染密度(cpm) <sup>※1</sup>	洗浄水汚染密度(Bq/kg)
50℃	1分	杉(古)	1kg	10ℓ	1:10	1.14	72.58	0.31	82%	113.00	412.14	67.5	55.0	61	不検出(<10Bq/kg)
50℃	3分	杉(古)	1kg	10ℓ	1:10	1.10	70.60	0.32	85%	96.20	327.23	72.4	64.3	56	不検出(<10Bq/kg)
50℃	5分	杉(古)	1kg	10ℓ	1:10	1.02	73.59	0.27	71%	99.70	377.47	71.4	58.8	70	不検出(<10Bq/kg)
50℃	1分	杉(古)	1kg	20ℓ	1:20	0.88	72.57	0.24	63%	102.00	371.87	70.7	59.4	51	不検出(<10Bq/kg)
50℃	3分	杉(古)	1kg	20ℓ	1:20	0.76	71.71	0.22	57%	75.90	268.29	78.2	70.7	68	不検出(<10Bq/kg)
50℃	5分	杉(古)	1kg	20ℓ	1:20	0.82	75.02	0.20	54%	87.00	348.32	75.0	62.0	68	不検出(<10Bq/kg)
50℃	1分	杉(古)	1kg	50ℓ	1:50	1.00	71.63	0.28	75%	111.40	392.72	68.0	57.1	65	不検出(<10Bq/kg)
50℃	3分	杉(古)	1kg	50ℓ	1:50	1.00	70.14	0.30	78%	72.70	243.49	79.1	73.4	54	不検出(<10Bq/kg)
50℃	5分	杉(古)	1kg	50ℓ	1:50	0.78	74.72	0.20	52%	84.30	333.45	75.8	63.6	61	不検出(<10Bq/kg)

※1: 測定位置はバークから1cmの距離とする(コリメータあり)

### 3.雑木バーク

(1)常温

【試料データ】

サンプルバーク	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	バーク汚染密 度 (Bq/kg)	バーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	表面汚染密 度 (cpm) ※1
1.00	38.3	0.62	749.20	1214.26	55

洗浄条件						洗浄後バーク状態		固形物分離特性		洗浄後バーク汚染密度等					粗排水性状
水温	時間	材種	重さ	水	固液比(重 量比)	水洗後重量 (kg)	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	回収率	バーク汚染密 度 (Bq/kg)	バーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	バーク除染率 (%)	バーク除染率 (乾物ヘー ス、%)	表面汚染密 度 (cpm) ※1	洗浄水汚染密度 (Bq/kg)
常温(25℃)	1分	雑木	1kg	10ℓ	1:10	0.98	65.06	0.34	55%	239.10	684.30	68.1	43.6	48	26.50
常温(25℃)	3分	雑木	1kg	10ℓ	1:10	1.26	68.76	0.39	64%	207.00	662.57	72.4	45.4	56	38.60
常温(25℃)	5分	雑木	1kg	10ℓ	1:10	1.30	65.13	0.45	73%	213.40	611.92	71.5	49.6	53	57.40
常温(25℃)	1分	雑木	1kg	20ℓ	1:20	1.14	58.81	0.47	76%	274.70	666.84	63.3	45.1	50	10.90
常温(25℃)	3分	雑木	1kg	20ℓ	1:20	1.10	61.43	0.42	69%	193.40	501.36	74.2	58.7	65	29.60
常温(25℃)	5分	雑木	1kg	20ℓ	1:20	0.88	64.04	0.32	51%	172.30	479.08	77.0	60.5	51	29.30
常温(25℃)	1分	雑木	1kg	50ℓ	1:50	1.00	58.14	0.42	68%	292.20	698.01	61.0	42.5	55	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	3分	雑木	1kg	50ℓ	1:50	0.92	60.53	0.36	59%	299.80	759.56	60.0	37.4	55	不検出(<10Bq/kg)
常温(25℃)	5分	雑木	1kg	50ℓ	1:50	0.78	62.39	0.29	48%	222.40	591.32	70.3	51.3	49	不検出(<10Bq/kg)

(2)50℃

【試料データ】

サンプルバーク	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	バーク汚染密 度 (Bq/kg)	バーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	表面汚染密 度 (cpm) ※1
1.00	38.3	0.62	749.20	1214.26	55

洗浄条件						洗浄後バーク状態		固形物分離特性		洗浄後バーク汚染密度等					粗排水性状
水温	時間	材種	重さ	水	固液比(重 量比)	水洗後重量 (kg)	水分率 (wt%)	固形物量 (kg)	回収率	バーク汚染密 度 (Bq/kg)	バーク汚染密 度 (乾物換 算、Bq/kg)	バーク除染率 (%)	バーク除染率 (乾物ヘー ス、%)	表面汚染密 度 (cpm) ※1	洗浄水汚染密度 (Bq/kg)
50℃	1分	雑木	1kg	10ℓ	1:10	1.06	65.21	0.37	60%	279.00	801.98	62.8	34.0	50	42.40
50℃	3分	雑木	1kg	10ℓ	1:10	1.34	65.61	0.46	75%	229.70	667.85	69.3	45.0	64	59.80
50℃	5分	雑木	1kg	10ℓ	1:10	1.18	59.17	0.48	78%	232.00	568.14	69.0	53.2	69	53.50
50℃	1分	雑木	1kg	20ℓ	1:20	0.80	52.87	0.38	61%	242.80	515.14	67.6	57.6	71	31.00
50℃	3分	雑木	1kg	20ℓ	1:20	0.88	60.80	0.34	56%	298.30	760.95	60.2	37.3	55	30.10
50℃	5分	雑木	1kg	20ℓ	1:20	0.82	58.34	0.34	55%	167.30	401.61	77.7	66.9	55	33.80
50℃	1分	雑木	1kg	50ℓ	1:50	0.94	61.96	0.36	58%	280.90	738.34	62.5	39.2	64	不検出(<10Bq/kg)
50℃	3分	雑木	1kg	50ℓ	1:50	1.02	51.36	0.50	80%	244.40	502.42	67.4	58.6	52	10.80
50℃	5分	雑木	1kg	50ℓ	1:50	0.98	52.73	0.46	75%	234.40	495.91	68.7	59.2	64	10.40

※1:測定位置はバークから1cmの距離とする(コリメータあり)

## 2、成型試験

- 杉・新バーク、杉・古バーク、雑木バークの3種類について、かさ比重の計測、成型品の計測等を行った。
- かさ比重については、バケツにバークを満たし角切後、10cmの高さから2度落としてその際に生じた空隙に再度バークを足して角切後に重量を図ることでかさ比重を測定した。
- 成型品の比重等については、容積は、縦・横・高さの長さを測定し、それらを乗じることで、重量は、成型品をトラックスケールに載せて重量計測を行った。
- 減容化率等は下表の通りとなる。傾向としては、
  - バークのかさ比重は水分率と関係があり、杉・新バークは水分率が低く、かさ比重も低い。一方、杉・古バークは水分率が高く、かさ比重は高い。
  - 減容化率では、杉・新バークが高く、約60%以上の減容化率となる。
  - 反面、空間線量は上昇する傾向が見られ、表面汚染密度は約2倍前後となる。

### 1、杉・新バーク(一次粉砕)

	容量(l)	重量(kg)	かさ比重	水分率	空間線量 ( $\mu$ Sv/h) (100cm高さ)	表面汚染密度 (cpm)(1cm,コリメータ有)
サンプル1	15	1.74	0.116			
サンプル2	15	2.02	0.135			
サンプル3	15	2.18	0.145			
サンプル4	15	2.30	0.153			
サンプル5	15	1.70	0.113			
平均	15	1.99	0.132	36.82%	0.18	52

### (成型サンプル)

	重量(kg)	形状			材積	かさ比重	水分率	空間線量 ( $\mu$ Sv/h) (100cm高さ)	表面汚染密度 (cpm)(1cm,コリメータ有)
		たて	横	高さ					
サンプル1	450	105	115	113	1.364	0.330	48.53	0.23	114
サンプル2	500	108	118	114	1.453	0.344	30.80	0.22	101
サンプル3	500	103	118	105	1.276	0.392	40.88	0.22	121
平均	483	105	117	111	1.364	0.355	40.07	0.22	112

減容化率

62.7%

空間線量  
変化

124%

表面汚染  
密度変化

215%

### 2、杉・古バーク(一次粉砕)

	容量(l)	重量(kg)	かさ比重	水分率	空間線量 ( $\mu$ Sv/h) (100cm高さ)	表面汚染密度 (cpm)(1cm,コリメータ有)
サンプル1	15	3.76	0.251			
サンプル2	15	3.80	0.253			
サンプル3	15	3.46	0.231			
サンプル4	15	3.66	0.244			
サンプル5	15	4.16	0.277			
平均	15	3.77	0.251	62.98%	0.19	46

### (成型サンプル)

	重量(kg)	形状			材積	かさ比重	水分率	空間線量 ( $\mu$ Sv/h) (100cm高さ)	表面汚染密度 (cpm)(1cm,コリメータ有)
		たて	横	高さ					
サンプル1	940	105	130	120	1.638	0.574	58.31	0.22	111
サンプル2	930	105	140	115	1.691	0.550	65.82	0.2	107
サンプル3	700	106	110	105	1.224	0.572	58.86	0.2	100
平均	857	105	127	113	1.518	0.565	61.00	0.21	106

減容化率

55.6%

空間線量  
変化

109%

表面汚染  
密度変化

230%

### 3、雑木バーク(一次粉砕)

	容量(l)	重量(kg)	かさ比重	水分率	空間線量 ( $\mu$ Sv/h) (100cm高さ)	表面汚染密度 (cpm)(1cm,コリメータ有)
サンプル1	15	3.26	0.217			
サンプル2	15	3.88	0.259			
サンプル3	15	3.44	0.229			
サンプル4	15	3.56	0.237			
サンプル5	15	3.22	0.215			
平均	15	3.47	0.231	51.16%	0.23	67

	重量(kg)	形状			材積	かさ比重	水分率	空間線量 ( $\mu$ Sv/h) (100cm高さ)	表面汚染密度 (cpm)(1cm,コリメータ有)
		たて	横	高さ					
サンプル1	840	105	125	103	1.352	0.621	50.34	0.28	102
サンプル2	590	105	110	105	1.213	0.486	52.38	0.28	119
サンプル3	610	105	106	105	1.169	0.522	51.57	0.33	142
平均	680	105	114	104	1.244	0.543	51.43	0.30	121

減容化率

57.4%

空間線量  
変化

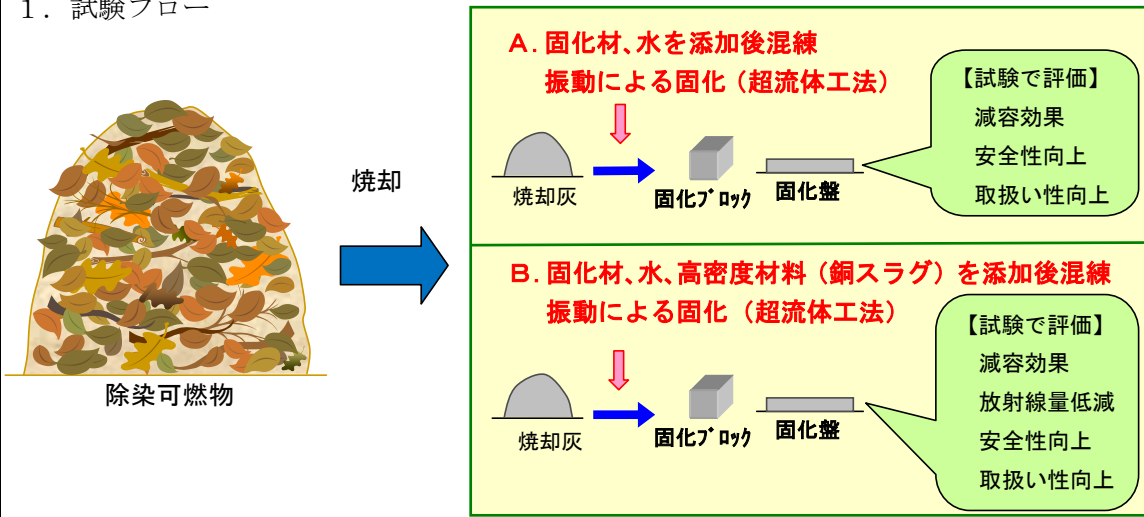
129%

表面汚染  
密度変化

181%





実施代表者の所属機関：株式会社 間組	
実証テーマ名：除染可燃物焼却時に生じた高濃度汚染焼却灰の特殊固化技術による処理	
事業の概要：高濃度汚染焼却灰に固化材と少量の水を添加し、外部振動を用いた特殊固化技術※1で密実に固めることにより、焼却灰を減容し、安全かつ可搬性・収納性に優れた焼却灰の処理システムを構築する。	
実施内容：①配合選定試験（焼却灰を外部振動で締め固め、固化するための配合条件を決定する）、②減容試験（固化技術で締め固めた場合の減容率を評価する。）、③焼却灰固化体性状測定試験（焼却灰固化体の物理・化学性状、放射能濃度等を調べ、供用時の挙動を評価する）、④実証工事（実規模の固化ブロックや固化盤の製造施工試験を実施する。）	
<p>技術概要：</p> <p>1. 試験フロー</p> <div data-bbox="215 728 1364 1243">  <p>除染可燃物</p> <p>焼却</p> <p>焼却灰</p> <p>固化ブロック</p> <p>固化盤</p> <p><b>A. 固化材、水を添加後混練 振動による固化（超流体工法）</b></p> <p>【試験で評価】 減容効果 安全性向上 取扱い性向上</p> <p><b>B. 固化材、水、高密度材料（銅スラグ）を添加後混練 振動による固化（超流体工法）</b></p> <p>【試験で評価】 減容効果 放射線量低減 安全性向上 取扱い性向上</p> </div> <p>2. 試験目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・焼却灰が流体化するための配合・振動条件（超流体工法適用条件）を決定する。</li> <li>・超流体工法により、減容率（（固化前の焼却灰の体積－固化体体積）／固化前の焼却灰の体積）を15～20%以上確保する。</li> <li>・固化体の一軸圧縮強度を、環境省告示第14号（平成24年2月24日）に基づき、材齢7日で0.98MPa以上確保する。</li> <li>・固化体に雨水等が容易に浸透しない様な透水係数を確保する。</li> <li>・固化体の放射能濃度や放射線量が、焼却灰の同値より低減することを確認し定量化する。</li> <li>・固化体からの放射性Csの溶出性を評価する。</li> </ul> <p>3. 期待される効果</p> <p>焼却灰を減容し、放射性物質の溶出を抑制し、可搬性・収納性に優れた、安全かつ効率的な処理システムを構築することで、中間貯蔵施設などの限られた保管施設の空間をより有効に利用することが可能となる。</p> <p>その他：</p> <p>※1 超流体工法・・・最適含水比程度の少量の水とセメントで練り混ぜた灰類に高周波の外部振動を加え、パサパサの粉体状からプリン状に変化させて締め固める特殊工法で、①灰を密実に固め容積を低減する、練混ぜ水が少ないことにより、②ひび割れが少ない一様かつ密実な固化体を製造できる、③練り混ぜによる余剰水が生じない等の利点を有する。</p>	

除染効果：

**1. 減容率** 特殊固化技術による焼却灰の減容効果を図-1 に示す。減容率は、焼却灰を自由落下で投入した状態の嵩容積に対する、同量の焼却灰を用いて得られた固化体容積の減容量の比（％）で示している。図-1 の他に 3 種類の焼却灰についても評価したが、同工法により、飛灰の固化で 20～40%、飛灰＋主灰（質量比 1:1）の固化で 35～45%減容 できることが分かった。

（なお同固化体の透水係数（cm/s）を測定したところ、同値は 10 の<sup>-7</sup>～<sup>-9</sup> 乗のオーダーとなり、雨水等が容易に浸透しない固化体となることが分かった。）

**2. 放射能濃度の減少率** 焼却灰（飛灰）と固化体の放射能濃度の比較例を図-2 に示す。セメント、水、混和材（銅スラグ）を混入しつつ振動で体積を減容させて密度を増加させることにより、得られた固化体の放射能濃度は元の飛灰の 20～50%低減 できることが分かった。

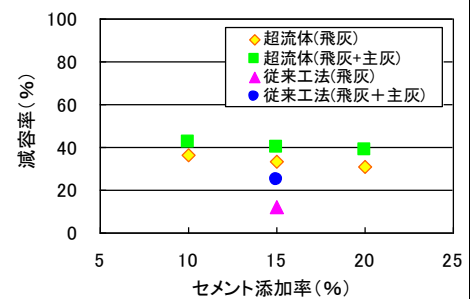


図-1 固化による減容効果

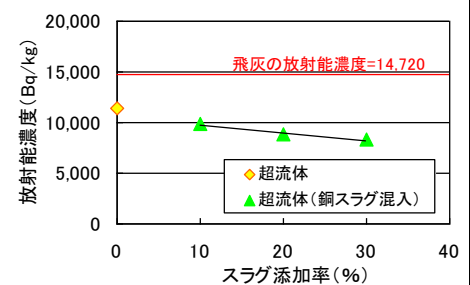


図-2 固化による放射能濃度の低減

**除去物発生量評価：**除染可燃物の焼却時に生じた焼却飛灰を全て固化するので、飛灰の除去物発生量はゼロである。なお主灰を固化する場合は、主灰中の金物や缶等の大型の燃え残り異物を除去する場合があるので、処理主灰 1ton 当たり概ね数 kg の除去物が発生する。

**作業員被ばく量評価：**

- ・作業場所平均空間線量率 0.3  $\mu$  Sv/hr、作業時間 96 時間
- ・作業員最大被ばく量 54  $\mu$  Sv（作業担当箇所：焼却灰採取・計量、作業時間：96 時間）
- ・作業員平均被ばく量 33  $\mu$  Sv

**コスト評価：**

- ①固化ブロック：22,000 円/ $m^3$
- ②固化盤：13,000 円/ $m^3$

**歩掛り（作業速度、作業人工）：**

- ①固化ブロック：作業速度 44 $m^3$ /日、作業人工 0.18 人/ $m^3$
- ②固化盤：作業速度 80 $m^3$ /日、作業人工 0.08 人/ $m^3$

**コスト評価条件：**

- ・焼却灰の費用はプラント着で 0 円/ton とする。
- ・固化ブロックの製造プラントから設置場所までの運搬費は含まず。（プラント内横持ちまで）
- ・固化盤施工場所の近傍（ダンプトラックで片道 10 分程度）に製造プラントを設置するものとする。

**除染作業における安全上の注意：**

焼却灰練混ぜ、固化体製造時は、防塵マスク、ヘルメットの着用が必要

**試験場所（住所）：**

西白河地方クリーンセンター  
内仮設試験室（福島県  
白河市亀石 1）

**除去物保管場所と保管状況（写真）：**除去物はほとんど発生していないが、試験に使用した焼却灰の残り、および固化体の殻が発生している。白河地方クリーンセンター発生焼却灰を起源とする同廃棄物は、焼却灰と同様のフレコン袋に詰め込みセンター内の既存保管施設に保管する。また宮城県から持ち込んだ焼却灰は、県の指導に則り、産廃業者に委託処分する。

## 1. 減容試験

### (1) 減容率の測定方法

①飛灰の投入  
ホーローバット上の鋼製円筒容器に塩ビパイプを差し込み、塩ビパイプの天端から自由落下にて飛灰を投入する。(図-1)

②塩ビパイプの引き抜き  
容器の容積(2ℓ)よりも必要十分量多い飛灰を投入した時点で、塩ビパイプを引き抜く。

③飛灰の天端すり切り  
飛灰が鋼製容器の天端で満杯となる様、すり切り棒で天端をなぞる。この状態を2ℓの嵩を有する飛灰とする。(図-2)

④軽い衝撃による減容効果の測定  
参考のため、③の状態で10cmの高さから4回自由落下させた後の飛灰の減量(天端からの下がり)を測定し、減容分 $\alpha$ (ℓ)を評価する。  
自由落下の際の高さ10cmのガイドには、スランプ測定器を使用する。(図-3)

⑤混練  
鋼製容器内の焼却灰質量を測定し、予め求めた焼却灰固化体の配合に基づき、その質量に対応する水、セメント、銅スラグを添加し混練する。(写真-1)

⑥混練後の混練物全量を鋼製容器に移し、VCで加振・流体化する。(写真-2)

⑦流体化後の容積(天端からの下がり)を測定し、流体化物の容積 $V$ (ℓ)を測定する。

⑧減容率1(自由落下投入後からの減容)、減容率2(衝撃締固め後からの減容)を次式で評価する。  

$$\text{減容率1(\%)} = (2 - V) / 2 \times 100$$

$$\text{減容率2(\%)} = (2 - \alpha - V) / (2 - \alpha) \times 100$$

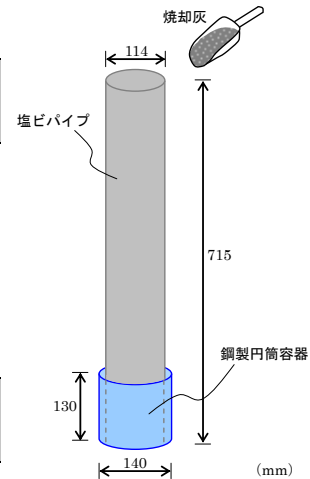


図-1

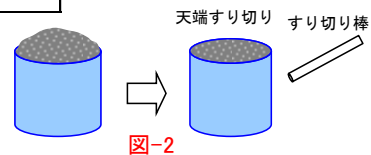


図-2

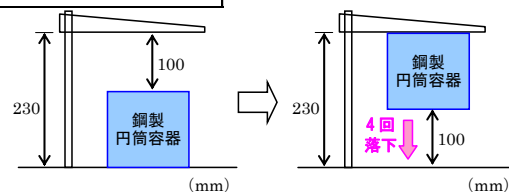


図-3



写真-1



写真-2

(2) 減容試験の状況



①焼却灰の自然落下投入



②投入後の焼却灰



③容器体積に擦り切り



④擦り切り後の焼却灰



⑤容器一杯分の焼却灰と水、セメントの練混ぜ



⑥練混ぜ直後の混練物



⑦流体化後の混練物



⑧減容率の測定

### (3) 試験結果

減容試験の結果を図-4 に示す。図は 4 種類の焼却灰（白河 A、白河 B、荒浜、岩沼）の減容試験結果について示す。左側には、自由落下で投入した焼却灰の嵩容積に対する減容率（減容率 1）、右側には、自由落下投入後の焼却灰を 10cm 高さからの 4 回落下で締め固めた後の嵩容積に対する減容率（減容率 2）を示す。従来工法は流動性を有するモルタル状から固化する工法（スラリー工法）である。

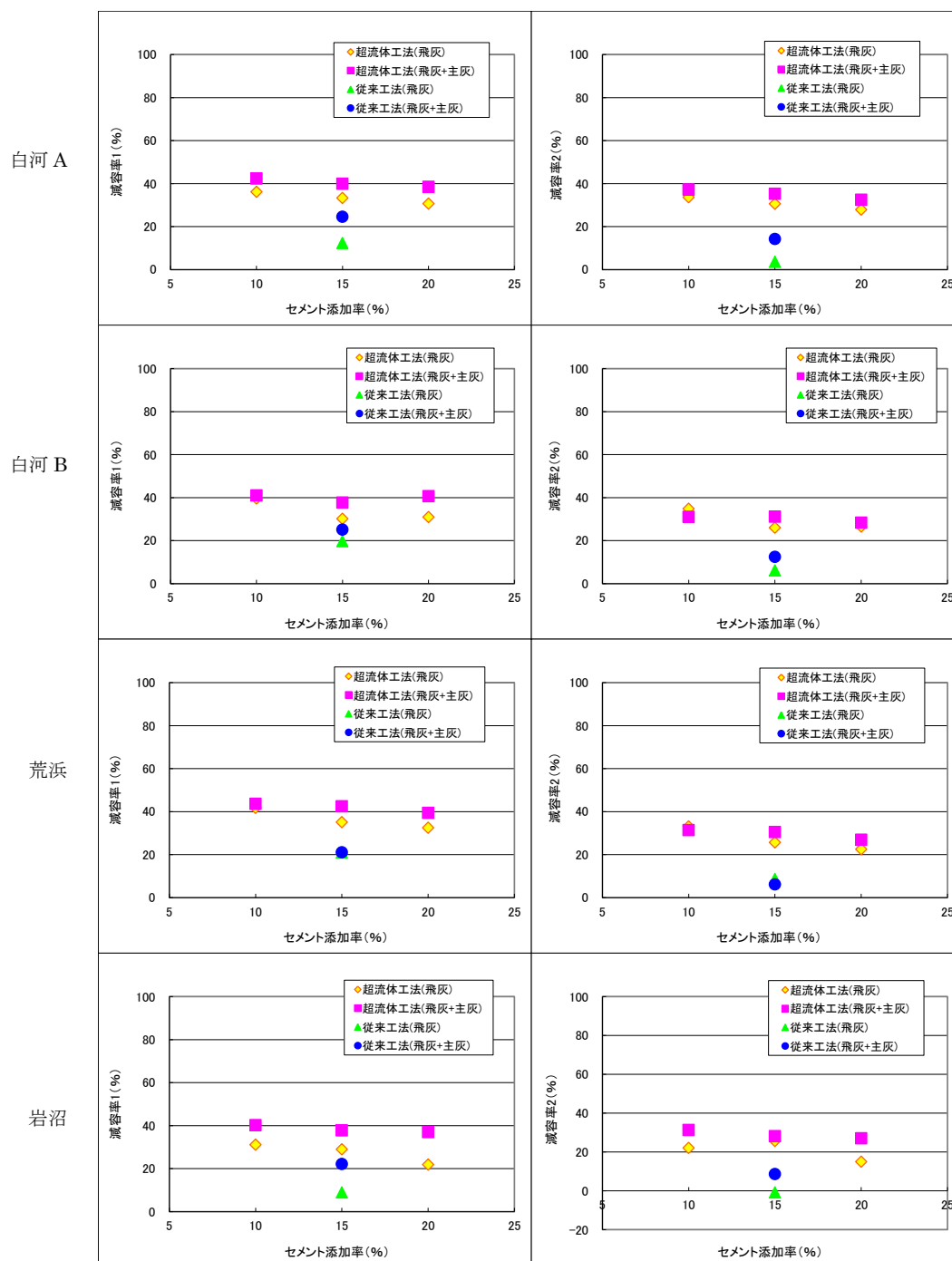


図-4 減容試験結果



### 3. 放射能諸量試験結果

飛灰に水、セメントおよび銅スラグを添加した同一体積（Φ10cm×高さ 20cm）の固化体における空間線量率および放射能濃度の試験結果を図-5 に示す。

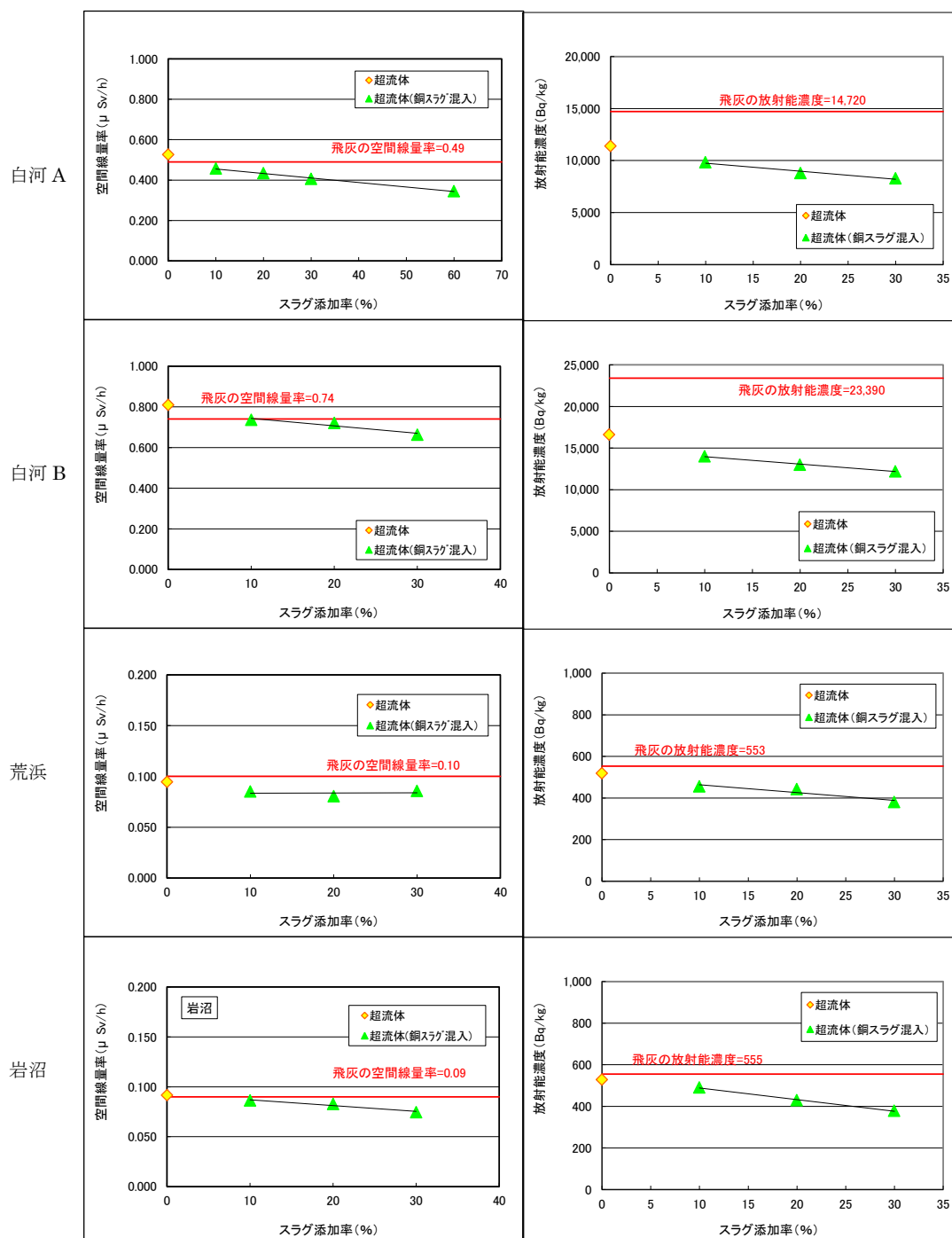


図-5 銅スラグ添加の空間線量率および放射能濃度の試験結果

#### 4. 作業員被ばく量評価

評価式(放射線施設の遮蔽計算実務マニュアル 2007((財)原子力安全技術センター)より)

X: 汚染源からの距離(m)

B: 空間線量率(バックグラウンド) ( $\mu$  Sv/h)

T: 作業時間(hr)

放射エネルギー(Bq) = 放射能濃度(Bq/kg) × 質量(kg)

$$^{134}\text{Cs} \text{ 実効線量率 } (\mu \text{ Sv/h}) = (\text{放射エネルギー(Bq)}/2 \times 1/1000000) \times (1/X^2) \times 0.211 \quad \textcircled{1}$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ 実効線量率 } (\mu \text{ Sv/h}) = (\text{放射エネルギー(Bq)}/2 \times 1/1000000) \times (1/X^2) \times 0.0779 \quad \textcircled{2}$$

$$\therefore \text{放射性セシウムによる被ばく量 } (\mu \text{ Sv}) = (\textcircled{1} + \textcircled{2} + B) \times T(\text{作業時間})$$

##### (1) 最大被ばく量の計算

- 作業内容: 焼却灰の採取および計量

##### 【各データ】

- 空間線量率 (バックグラウンド): 0.3 ( $\mu$  Sv/h)
- 焼却灰の放射能濃度: 14,720(Bq/kg) (今回、大量に保管・使用した焼却灰の濃度)
- 大型土のう袋内への焼却灰の平均貯蔵量: 0.5ton
- 焼却灰貯蔵大型土のう袋から作業場所までの平均距離 X: 2m
- 作業時間 T: 96 時間

$$\text{放射エネルギー(Bq)} = 14,720(\text{Bq/kg}) \times 0.5(\text{ton}) \times 1,000(\text{kg}) = 7,360,000(\text{Bq})$$

$$^{134}\text{Cs} \text{ 実効線量率 } (\mu \text{ Sv/h}) = 7,360,000(\text{Bq})/2 \times 1/1000000 \times (1/2^2) \times 0.211 \\ = 0.19 (\mu \text{ Sv/h})$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ 実効線量率 } (\mu \text{ Sv/h}) = 7,360,000(\text{Bq})/2 \times 1/1000000 \times (1/2^2) \times 0.0779 \\ = 0.07 (\mu \text{ Sv/h})$$

$$\text{被ばく量 } (\mu \text{ Sv}) = (0.19 + 0.07 + 0.3) \times 96 \text{ 時間} = 53.76 \approx 54 (\mu \text{ Sv})$$

##### (2) 平均的被ばく量の計算

- 作業内容: 焼却灰練り混ぜ、供試体作成、ブロック打設

##### 【各データ】

- 空間線量率 (バックグラウンド): 0.3 ( $\mu$  Sv/h)
- 焼却灰の放射能濃度: 14,720(Bq/kg) (今回、大量に保管・使用した焼却灰の濃度)
- 大型土のう袋内への焼却灰の平均貯蔵量: 0.5ton
- 焼却灰貯蔵大型土のう袋から作業場所までの平均距離 X: 5m
- 作業時間 T: 96 時間

$$\text{放射エネルギー(Bq)} = 14,720(\text{Bq/kg}) \times 0.5\text{ton} \times 1,000(\text{kg}) = 7,360,000(\text{Bq})$$

$$^{134}\text{Cs} \text{ 実効線量率 } (\mu \text{ Sv/h}) = 7,360,000(\text{Bq})/2 \times 1/1000000 \times (1/5^2) \times 0.211 \\ = 0.03 (\mu \text{ Sv/h})$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ 実効線量率 } (\mu \text{ Sv/h}) = 7,360,000(\text{Bq})/2 \times 1/1000000 \times (1/5^2) \times 0.0779 \\ = 0.01 (\mu \text{ Sv/h})$$

被ばく量 ( $\mu$  Sv) =  $(0.03 + 0.01 + 0.3) \times 96 \text{ 時間} = 32.64 \div 33 \text{ } (\mu \text{ Sv})$

## 5. コスト評価試算条件

### (1) 評価条件

- ・ 基本的な積算条件は、国土交通省の積算基準に準じる。
- ・ 「①固化ブロック製造」と「②固化盤製造（打設）」の2工種に分けて積算を実施
- ・ 焼却灰の費用（材料費）は製造プラント着で0円/tonとする。
- ・ 固化ブロックの製造プラントから設置場所までの運搬費は含まない。（プラント内横持ちまで）
- ・ 固化盤施工場所の近傍（ダンプトラックで片道10分程度）に製造プラントを設置する。

### (2) 固化ブロック製造試算条件

- ・ 工期：2年
- ・ 固化ブロックの寸法：1.5×1.5×1.5m 立方体（体積3.375m<sup>3</sup>）
- ・ 固化ブロック製造量：約7,000個（13個/日製造、打設量44m<sup>3</sup>/日）
- ・ 焼却灰使用量：約26,000ton
- ・ 作業員構成（1日（13個製造）当たり）
  - 世話役 0.5人
  - 特殊作業員 1.5人
  - 普通作業員 6人
- ・ 作業人工：0.18人/m<sup>3</sup>
- ・ 製造プラント：容量1m<sup>3</sup>の強制練り型ミキシングプラント（1台）を設置  
（製造プラントの容量を上げることで、ブロックの製造量を増やすことが可能）

### (3) 固化盤施工試算条件

- ・ 工期：2年
- ・ 固化盤製造量：約42,000m<sup>3</sup>（打設量80m<sup>3</sup>/日）
- ・ 焼却灰使用量：約46,000ton
- ・ 作業員構成（1日（80m<sup>3</sup>打設）当たり）
  - 世話役 0.5人
  - 特殊作業員 1人（1人×4交代）
  - 普通作業員 4人
  - 普通運転手 1人
- ・ 作業人工：0.08人/m<sup>3</sup>
- ・ 製造プラント：容量1m<sup>3</sup>の強制練り型ミキシングプラント（1台）を設置  
（製造プラントの容量を上げることで、固化盤の施工量を増やすことが可能）

## 6. 試験データ

報告書に関連する試験のデータ表を次ページ以降に示す。

# I 圧縮強度、密度試験結果

試験ケース	使用焼却灰	焼却灰混合比率 (質量%)		セメント 添加率 (%)	銅スラグ 容積 添加率 (%)	ゼオライト 添加率 (%)	固化体 製造 方法	材例7日		材例28日		透水係数 (cm/s)			
		飛灰 (薬剤 処理)	主灰					強度 (N/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm3)	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm3)				
A-1	白河A-FA 白河BA	100	—	10	0	—	超流体 工法	1.2	1.89	1.6	1.88	—			
A-2				15		—		0.6	1.89	2.0	1.90	3.26×10 <sup>-9</sup>			
A-3				20		—		1.7	1.95	4.4	1.94	—			
A-4		50	50	10		—		1.2	1.92	3.0	1.91	—			
A-5				15		—		2.9	1.93	5.4	1.94	5.24×10 <sup>-7</sup>			
A-6				20		—		4.7	1.95	10.6	1.93	—			
A-7		100	—	15	15	—	従来工法 (スラリー工法)	—	—	0.6	1.68	—			
A-8		50	50	15		—		0.8	1.65	2.4	1.68	—			
A-9		100	—	15		10		0.9	2.05	2.6	2.02	—			
A-10						20	—	超流体 工法	1.0	2.07	2.0	2.08	—		
A-11						30	—		0.9	2.14	2.3	2.14	—		
A-12		50	50			10	2.9		2.03	6.5	2.06	—			
A-13						20	2.6		2.09	5.5	2.07	—			
A-14						30	2.7		2.15	5.3	2.14	—			
A-15		100	—	15		60	—	超流体工法	0.5	2.22	1.5	1.66	—		
B-1	白河B-FA 白河BA	100	—	10	0	—	超流体 工法	—	—	0.9	1.61	—			
B-2				15		—		0.9	1.69	1.9	1.68	2.38×10 <sup>-8</sup>			
B-3				20		—		1.5	1.70	3.1	1.73	—			
B-4		50	50	10		—		0.9	1.62	2.0	1.58	—			
B-5				15		—		1.4	1.47	5.2	1.72	1.36×10 <sup>-7</sup>			
B-6				20		—		2.5	1.65	4.5	1.50	—			
B-7		100	—	15	15	—	従来工法 (スラリー工法)	—	—	0.6	1.49	—			
B-8		50	50	15		—		0.4	1.54	1.8	1.58	—			
B-9		100	—			10		0.9	1.73	2.7	1.75	—			
B-10						20	—	0.9	1.78	2.1	1.80	—			
B-11						30	—	0.9	1.82	2.5	1.90	—			
B-12		50	50	15		10	—	超流体 工法	1.9	1.77	4.1	1.70	—		
B-13									20	—	1.5	1.74	5.4	1.85	—
B-14									30	—	1.5	1.87	5.2	1.88	—
C-1	荒浜FA 荒浜BA	100	—	10	0	—	超流体 工法	3.6	1.63	5.7	1.62	—			
C-2				15		—		9.5	1.68	17.4	1.66	4.25×10 <sup>-8</sup>			
C-3				20		—		10.0	1.68	25.4	1.69	—			
C-4		50	50	10		—		1.9	1.49	4.8	1.43	—			
C-5				15		—		4.7	1.50	9.6	1.47	1.34×10 <sup>-7</sup>			
C-6				20		—		6.3	1.48	12.9	1.47	—			
C-7		100	—	15	15	—	従来工法 (スラリー工法)	1.2	1.47	2.7	1.41	—			
C-8		50	50	15		—		0.5	1.27	1.7	1.19	—			
C-9		100	—			10		8.8	1.75	18.0	1.76	—			
C-10						20	—	6.7	1.75	13.6	1.80	—			
C-11						30	—	5.8	1.84	10.0	1.80	—			
C-12		50	50	15		10	—	超流体 工法	4.8	1.56	8.9	1.51	—		
C-13									20	—	4.3	1.63	9.3	1.66	—
C-14									30	—	4.7	1.69	10.8	1.72	—
D-1	岩沼FA 岩沼BA	100	—	10	0	—	超流体 工法	0.8	1.48	1.1	1.53	—			
D-2				15		—		1.6	1.65	2.4	1.60	3.59×10 <sup>-7</sup>			
D-3				20		—		2.3	1.60	2.1	1.60	—			
D-4		50	50	10		—		2.6	1.79	3.6	1.76	—			
D-5				15		—		3.9	1.81	6.0	1.82	1.35×10 <sup>-7</sup>			
D-6				20		—		5.3	1.85	7.1	1.84	—			
D-7		100	—	15	15	—	従来工法 (スラリー工法)	1.0	1.54	2.0	1.61	—			
D-8		50	50	15		—		0.9	1.59	1.5	1.66	—			
D-9		100	—			10		0.9	1.53	2.4	1.69	—			
D-10						20	—	2.2	1.85	2.4	1.81	—			
D-11						30	—	1.8	1.81	1.9	1.78	—			
D-12		50	50	15		10	—	超流体 工法	3.2	1.91	4.9	1.90	—		
D-13									20	—	4.8	1.98	7.0	1.98	—
D-14									30	—	4.2	2.04	6.8	2.05	—
X-1	白河A-FA	100	—	20	0	—	超流体 工法	—	—	4.7	1.87	3.05×10 <sup>-9</sup>			
X-2	白河BA	50	50	15		—		—	8.3	1.84	6.69×10 <sup>-9</sup>				
Y-1	白河C-FA	100	—	20		—		—	8.0	1.72	—				
Z-1	白河A-FA	100	—	20		—		—	4.3	1.90	4.03×10 <sup>-9</sup>				
Z-2	白河BA	50	50	15		—		—	4.9	1.85	3.62×10 <sup>-9</sup>				
SA0	白河C-FA	100	—	20	0	0	超流体 工法	—	—	—	—	—			
SA3						3		—	—	—	—	—			
SA5						5		4.9	1.75	13.5	1.72	—			
SA10						10		5.7	1.76	13.2	1.73	—			
SA20						20		—	—	—	—	—			
SB5	白河C-FA					5	—	—	—	—	—				
SB10						10	—	—	—	—	—				

## II 放射能諸量試驗結果

セシウムの溶出濃度が定量下限値未満だったケースについては、溶出率は0%とした。



### Ⅲ 減容試験結果

試験ケース	対象物の性状	使用焼却灰	焼却灰混合比率 (質量%)		セメント 添加率 (%)	鋼スラグ 容積 添加率 (%)	ゼオライト 添加率 (%)	固化体 製造 方法	流体化後の容器天端に対する材料面(mm)(容器1)						流体化後の容器天端に対する材料面(mm)(容器2)						嵩容積(%)		減容率1 (%)	嵩容積(%)落下後		減容率2 (%)				
			飛灰 (薬利 処理)	主灰					中央	左	右	前	後	平均	中央	左	右	前	後	平均	FA	BA		FA	BA					
A-1	焼却灰 セメント 固化体	白河A-FA 白河BA	100	—	10	0	—	超流体 工法	-44	-41	-49	-51	-50	-47.0	—	—	—	—	—	2.0	—	36.2	1.92	—	33.6					
A-2					15				—	-42	-44	-44	-42	-44	-43.2	—	—	—	—	—	2.0	—	33.2	1.92	—	30.6				
A-3					20				—	-35	-39	-40	-42	-43	-39.8	—	—	—	—	—	2.0	—	30.6	1.92	—	27.8				
A-4					50				50	10	—	-22	-22	-24	-25	-26	-23.8	-108	-106	-103	-106	-100	-104.6	1.5	2.0	42.3	1.45	1.77	37.2	
A-5										15	—	-18	-20	-22	-21	-24	-21.0	-98	-95	-105	-95	-101	-98.8	1.6	2.0	39.9	1.53	1.80	35.2	
A-6										20	—	-27	-29	-30	-30	-29	-29.0	-90	-87	-89	-88	-89	-88.6	1.6	2.0	38.5	1.50	1.74	32.4	
A-7			100	—	15			従来工法 (スラリー工法)	-16	-16	-16	-16	-16	-16.0	—	—	—	—	—	—	2.0	—	12.3	1.82	—	3.6				
A-8					50				50	15	—	0	0	0	0	0.0	-87	-87	-87	-87	-87	-87.0	1.5	2.0	24.6	1.41	1.70	14.2		
A-9					100				—	10	—	-37	-42	-41	-38	-39	-39.4	—	—	—	—	—	2.0	—	30.3	1.92	—	27.5		
A-10										20	—	-36	-36	-35	-34	-37	-35.6	—	—	—	—	—	2.0	—	27.4	1.92	—	24.5		
A-11										30	—	-32	-28	-30	-30	-31	-30.2	—	—	—	—	—	2.0	—	23.2	1.92	—	20.2		
A-12					50				50	10	—	-26	-23	-35	-26	-27	-27.4	-85	-86	-86	-84	-88	-85.8	1.6	2.0	37.3	1.54	1.75	31.4	
A-13			20	—						-22	-21	-20	-20	-23	-21.2	-82	-79	-80	-78	-83	-80.4	1.5	2.0	31.3	1.49	1.77	25.1			
A-14			30	—						-27	-28	-27	-27	-31	-28.0	-63	-61	-62	-61	-63	-62.0	1.6	2.0	27.1	1.53	1.69	18.7			
A-15			100	—	15				60	—	超流体工法	-11	-10	-12	-11	-12	-11.2	—	—	—	—	2.0	—	8.6	1.89	—	3.4			
B-1	焼却灰 セメント 固化体	白河B-FA 白河BA	100	—	10	0	—		超流体 工法	-53	-49	-53	-49	-53	-51.4	—	—	—	—	—	2.0	—	39.5	1.85	—	34.8				
B-2					15					—	-42	-38	-40	-37	-39	-39.2	—	—	—	—	—	2.0	—	30.2	1.89	—	26.0			
B-3					20					—	-42	-41	-39	-40	-39	-40.2	—	—	—	—	—	2.0	—	30.9	1.88	—	26.5			
B-4					50					50	10	—	-26	-26	-26	-27	-28	-26.6	-84	-85	-84	-82	-84	-83.8	2.0	1.9	40.9	1.84	1.50	31.0
B-5											15	—	-50	-50	-46	-48	-54	-49.6	-50	-51	-47	-50	-49	-49.4	2.0	2.0	37.7	1.87	1.73	31.1
B-6											20	—	-74	-67	-70	-66	-71	-69.6	-41	-38	-40	-39	-40	-39.6	2.0	1.9	40.6	1.72	1.51	28.3
B-7			100	—	15			従来工法 (スラリー工法)	-26	-26	-26	-25	-25	-25.6	—	—	—	—	—	—	2.0	—	19.7	1.71	—	6.1				
B-8					50				50	15	—	0	0	0	0	0.0	-73	-73	-73	-73	-73	-73.0	2.0	1.8	25.1	1.76	1.53	12.4		
B-9					100				—	10	—	-43	-44	-44	-42	-46	-43.8	—	—	—	—	—	2.0	—	33.7	1.75	—	24.0		
B-10			20	—						-40	-42	-37	-39	-40	-39.6	—	—	—	—	—	2.0	—	30.5	1.78	—	22.1				
B-11			30	—						-37	-36	-34	-35	-37	-35.8	—	—	—	—	—	2.0	—	27.5	1.75	—	17.0				
B-12			50	50						10	—	-40	-36	-39	-39	-39	-38.6	-57	-52	-55	-57	-52	-54.6	2.0	2.0	35.4	1.80	1.62	24.9	
B-13										20	—	-35	-35	-34	-35	-36	-35.0	-55	-49	-55	-50	-56	-53.0	2.0	1.9	32.8	1.78	1.61	22.0	
B-14					30				—	-31	-29	-32	-29	-31	-30.4	-48	-49	-42	-44	-50	-46.6	2.0	1.9	27.4	1.75	1.57	15.4			
C-1	焼却灰 セメント 固化体	荒沼FA 荒沼BA	100	—	10	0	—		超流体 工法	-56	-53	-56	-52	-54	-54.2	—	—	—	—	—	2.0	—	41.7	1.74	—	33.1				
C-2					15					—	-47	-44	-44	-45	-48	-45.6	—	—	—	—	—	2.0	—	35.1	1.75	—	25.6			
C-3					20					—	-44	-42	-42	-42	-41	-42.2	—	—	—	—	—	2.0	—	32.5	1.74	—	22.5			
C-4					50					50	10	—	-32	-31	-30	-32	-32	-31.4	-100	-99	-101	-96	-105	-100.2	1.5	2.0	43.6	1.21	1.67	31.3
C-5											15	—	-31	-31	-31	-31	-31	-31.0	-100	-99	-98	-98	-98	-98.6	1.5	2.0	42.4	1.26	1.62	30.5
C-6											20	—	-18	-17	-18	-18	-18	-17.8	-108	-107	-107	-107	-107	-107.2	1.4	2.0	39.4	1.22	1.62	26.9
C-7			100	—	15			従来工法 (スラリー工法)	-27	-27	-27	-27	-28	-27.2	—	—	—	—	—	—	2.0	—	20.9	1.73	—	8.6				
C-8					50				50	15	—	0	0	0	0	0.0	-90	-90	-88	-90	-90	-89.6	1.3	2.0	21.0	1.12	1.67	6.2		
C-9					100				—	10	—	-41	-42	-40	-38	-47	-41.6	—	—	—	—	—	2.0	—	32.0	1.85	—	26.3		
C-10			20	—						-40	-40	-39	-38	-44	-40.2	—	—	—	—	—	2.0	—	30.9	1.75	—	21.0				
C-11			30	—						-32	-34	-29	-31	-36	-32.4	—	—	—	—	—	2.0	—	24.9	1.80	—	16.8				
C-12			50	50						10	—	-30	-30	-30	-30	-30	-30.0	-90	-91	-91	-89	-90	-90.2	1.5	2.0	38.0	1.26	1.71	27.4	
C-13										20	—	-35	-35	-35	-35	-35	-35.0	-80	-80	-82	-80	-81	-80.6	1.4	2.0	35.3	1.26	1.69	24.7	
C-14					30				—	-44	-43	-44	-45	-45	-44.2	-66	-65	-66	-65	-67	-65.8	1.4	2.0	32.6	1.25	1.68	21.4			
D-1	焼却灰 セメント 固化体	岩沼FA 岩沼BA	100	—	10	0	—		超流体 工法	-41	-40	-40	-38	-43	-40.4	—	—	—	—	—	2.0	—	31.1	1.77	—	22.1				
D-2					15					—	-40	-37	-36	-36	-39	-37.6	—	—	—	—	—	2.0	—	28.9	1.91	—	25.6			
D-3					20					—	-29	-25	-29	-27	-32	-28.4	—	—	—	—	—	2.0	—	21.8	1.84	—	15.0			
D-4					50					50	10	—	-46	-50	-42	-38	-83	-51.8	-52	-53	-53	-48	-59	-53.0	2.0	2.0	40.1	1.84	1.64	31.3
D-5											15	—	-28	-26	-31	-30	-28	-28.6	-71	-73	-72	-71	-72	-71.8	1.9	2.0	37.8	1.77	1.65	28.1
D-6											20	—	-37	-33	-38	-39	-34	-36.2	-60	-62	-60	-61	-59	-60.4	2.0	2.0	37.0	1.83	1.62	27.1
D-7			100	—	15			従来工法 (スラリー工法)	-12	-12	-12	-11	-11	-11.6	—	—	—	—	—	—	2.0	—	8.9	1.81	—	-0.8				
D-8					50				50	15	—	0	0	0	0	0.0	-61	-61	-61	-61	-61	-61.0	1.9	2.0	22.1	1.69	1.67	8.7		
D-9					100				—	10	—	-31	-31	-29	-29	-32	-30.4	—	—	—	—	—	2.0	—	23.4	1.83	—	16.3		
D-10			20	—						-30	-36	-30	-30	-28	-30.8	—	—	—	—	—	2.0	—	23.7	1.84	—	17.0				
D-11	50	50	10	—		-24	-23			-21	-19	-25	-22.4	—	—	—	—	—	2.0	—	17.2	1.83	—	9.4						
D-12			20	—		-37	-36			-38	-36	-38	-37.0	-56	-56	-55	-54	-56	-55.4	1.9	2.0	34.4	1.73	1.58	22.0					
D-13			30	—		-31	-30			-34	-33	-27	-31.0	-61	-61	-60	-62	-60	-60.8	2.0	1.9	33.5	1.81	1.49	21.6					
D-14	30	—	-37	-34	-30	-35	-37		-34.6	-25	-35	-32	-33	-31	-31.2	2.0	2.0	24.8	1.80	1.56	11.1									
X-1	焼却灰 セメント 固化体	白河A-FA 白河BA	100	—	20	0	—		超流体 工法	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20.6	—	—	—					
X-2			50	50	15	0	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38.9	—	—	—						
Y-1			100	—	20	0	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
Z-1			100	—	20	0	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
Z-2			50	50	15	0	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29.3	—	—	—						
SA0	焼却灰 セメント 固化体	白河C-FA	100	—	20	0	—	超流体 工法	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
SA3									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
SA5									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
SA10									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
SA20									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
SB5									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
SB10									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
—									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—									—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									



実施代表者の所属機関：郡山チップ工業株式会社

実証テーマ名：植物等焼却灰からのセシウム除去による減容化技術の確立

事業の概要：

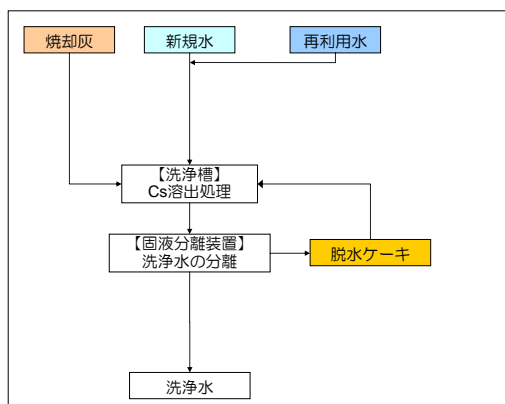
焼却灰の水洗による除染、洗浄水の吸着材による除染試験等を実施、実証し、汚染焼却灰からのセシウム除去による減容化・簡便処理技術の確立に資することを目的とする。

実施内容：

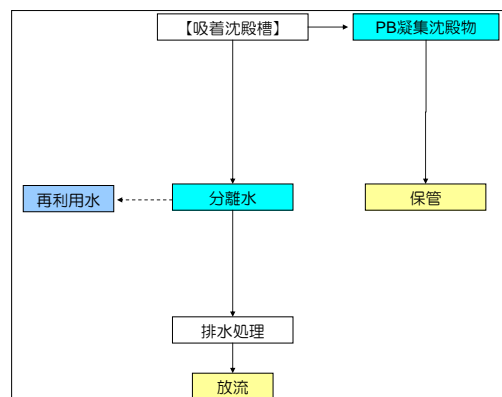
- (1) 焼却灰水洗によるセシウム減容試験
- (2) 洗浄水除染試験
- (3) セシウムを吸着した吸着材の管理
- (4) 吸着材に関する安全管理の検討
- (5) プラント化検証試験
- (6) 燃焼炉内の耐火煉瓦の汚染検査

技術概要：

焼却灰水洗によるセシウム減容試験




洗浄水除染試験



試験目標及び期待される効果：

焼却灰を水洗し、水溶性セシウムを灰から除去する手法、条件および水洗で生じるセシウム溶液を吸着材で回収するための条件を明らかにする。洗浄した灰の放射能濃度を8,000Bq/kg以下に低減できない場合は、溶出試験を行い溶出率3%以下となる条件を明らかにする。また、減容処理した吸着材の管理手法や安全性について評価、検討するとともに、これら処理全体に求められる経済性についても評価する。

その他：

<p>除染効果：</p> <p>■焼却灰（落葉樹バークを焼却）の除染効果</p> <p>条件：固液比 1：10、水温 30 度、浸漬時間 30 分で焼却灰を水洗</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・焼却飛灰（約 260,000Bq/kg）からの放射性セシウム除去率は 71～73%であった。</li> <li>・焼却主灰（26,400Bq/kg）からの放射性セシウム除去率は 7%であった。</li> <li>・焼却飛灰（267,000Bq/kg）を洗浄し、3 回の追洗浄を行ったところ、焼却飛灰は 62,400Bq/kg となり、放射能濃度減少率は 77%であった。</li> <li>・汚染及び非汚染の焼却灰を混合し、放射能濃度を調製した焼却灰を洗浄した結果から、洗浄後に 8,000Bq/kg 以下に低減できるのは洗浄前が約 46,000Bq/kg の飛灰であると結論付けた。</li> </ul> <p>■プルシアンブルー：PB による吸着効果</p> <p>条件：pH 6.0 水温 25 度 PB11%スラリー疎水性 1:200（PB 固液比 1:2000 相当）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Cs 吸着効果：1 回目の除染率 95.2%、2 回目 96.4%以上となり、全体では 99.8%以上。</li> </ul> <p>注）使用した洗浄水の放射能濃度：24,080Bq/L</p> <p>凝集剤を添加した試験では、6,220Bq/L の原液濃度の洗浄水で 99.6%の除染率であった。</p> <p>■灰洗浄から回収までの減量率</p> <p>100kg の焼却飛灰（約 4 万 Bq/kg）を処理すると、プルシアンブルーと凝集剤が合わせて 2.2kg 除去物として発生し、約 1/45 に減量できる。</p>	
<p>除去物発生量評価：灰 100kg 処理あたりの除去物</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・除去物（吸着材＋凝集剤）の場合：2.2kg/100kg 処理（2.2%）</li> </ul>	
<p>作業員被ばく量評価：作業員最大被ばく量：33 <math>\mu</math>Sv</p>	
<p>コスト評価：</p> <p>焼却灰当たり</p> <p>73,000～160,000 円/t</p>	<p>歩掛り（作業人工、作業速度）：</p> <p>処理量：85t/月</p> <p>作業人工：常時 4 名</p> <p>（抽出／吸着／排水処理の各工程 1 名、監督者 1 名）</p>
<p>コスト評価条件：</p> <p>5000kw 級のバイオマス発電所から発生する焼却飛灰を想定。</p> <p>設計諸元概略は、使用バイオマス燃料（含水率 50%）3,825t/月、発生焼却灰量 85t/月、運転工数 25 日/月、使用洗浄水量 102t/日、セシウム抽出後脱水焼却灰量 5.1t/月、セシウム吸着 PB 量 5.6kg/日。</p> <p>人件費、減価償却費含む。</p>	
<p>除染作業における安全上の注意：乾燥した焼却灰を扱う際には、マスク、手袋、白衣を着用、洗浄水や PB スラリーを扱う際には保護メガネ、手袋、白衣を着用</p>	
<p>試験場所（住所）</p> <p>福島県郡山市西田町芹沢字川前 132</p> <p>千葉県千葉市緑区大野台 2-3-6</p>	<p>除去物保管場所と保管状況（写真）：</p> <p>郡山チップ工業株式会社</p> <p>郡山工場敷地内の専用倉庫</p> <p>（表面線量：1 <math>\mu</math> Sv/h 以下）</p> 

実施代表者の所属機関：マコー株式会社

実証テーマ名：ウェットブラストによる汚染瓦礫の自動除染システム

事業の概要： バレル処理式のウェットブラストは自動車の金属部品の脱脂・洗浄装置として30年の実績がある。このウェットブラストによる汚染瓦礫の自動除染システムの実用性を実証した。

実施内容： 様々な種類・大きさの瓦礫に対してウェットブラストによる除染を行い、除染前後の表面密度、表面線量率、放射能濃度を測定し、除染率・処理能力・マスバランスについて調査した。今回は小形の試験装置を使ったが、試験結果を基に、大型化した自動除染システムの処理能力の推定も行った。

技術概要：

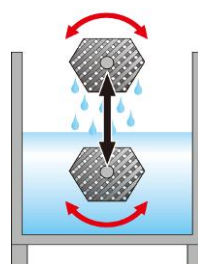
## 1. 試験フロー



5L回転バレル付  
ウェットブラスト装置

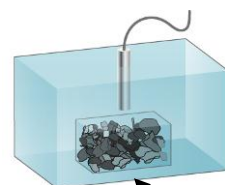


水洗・水切り治具

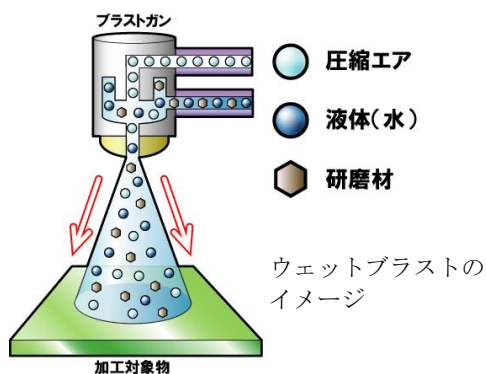


測定器

NaI シンチレーション  
サーベイメータ



遮へい物



ウェットブラストは研磨材と水の混ざったスラリーが圧縮エアによって加速され、対象物に衝突して薄く削り取る加工法である

## 2. 試験目標

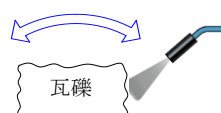
- 汚染瓦礫の効率的な除染
- 放射性廃棄物を1/100～1/1000に減量化

## 3. 期待される効果

- 除去物が少ない(未汚染部位が除去されることが少ない)、瓦礫の除染工法の確立
- 自動化が可能な工法であり、作業者の被ばく低減ができる

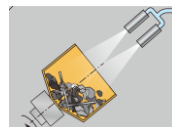
その他： 手動式ウェットブラストや摩擦洗浄との比較も行った

手動式ウェットブラスト



プラストガンを手で動かして、固定した瓦礫へウェットブラストの投射を当てる。

摩擦洗浄



バレルを回転しながら、瓦礫に水を掛ける。瓦礫同士が擦れることで、除染される。



除染効果：

## 回転バレル式ウェットブラストによる除染

除染対象物 (除染前→除染後)	除染率	減量率	処理能力
<b>砂利</b>  試験装置 1 バッチ 4.2kg/ブラスト時間 165s	50～60% {表面線量率 (1cm)}	約 5%	試験装置 (5L バレル) 約 11 時間/t 大型自動 (40L バレル) 約 2.0 時間/t
<b>コンクリート</b>  試験装置 1 バッチ 4.3kg/ブラスト時間 95s	約 90% {表面密度 (計数率)}	約 5%	試験装置 (5L バレル) 約 6 時間/t 大型自動 (40L バレル) 約 1.5 時間/t
<b>木材</b>  試験装置 1 バッチ 0.55kg/ブラスト時間 100s	約 90% {表面線量率 (1cm)}	10～20%	試験装置 (5L バレル) 約 50 時間/t 大型自動 (40L バレル) 約 11.4 時間/t

※処理能力 試験装置＝ブラスト時間のみ 大型自動化装置＝粗水洗や瓦礫投入・排出時間を含む

除去物発生量評価： 発生量 7.4kg / 処理量 53.0kg = 約 14%

発生量詳細：除染対象物の質量減少分(4.2kg)、研磨材消耗量(1.5kg)、凝集剤(1.7kg)

処理量詳細：砂利(23.7kg)、コンクリート(23.0kg)、木材(2.2kg)、瓦(4.1kg)

作業員被ばく量評価：作業場所平均空間線量率  $0.9 \mu\text{Sv/hr}$ 、作業時間 104 時間作業員最大被ばく量  $64 \mu\text{Sv}$  (撮影担当、作業時間 104 時間)作業員平均被ばく量  $54 \mu\text{Sv}$ 

コスト評価：

砂利 約 6,300 円/t  
 コンクリート 約 4,800 円/t  
 木材 約 35,900 円/t

歩掛り (作業人工、作業速度)：

砂利 2.0 時間/t  
 コンクリート 1.5 時間/t  
 木材 11.4 時間/t

作業員  
オペレータ 1 名

コスト評価条件：

- 大型自動化した装置【40L タンブルバレル式ウェットブラスト装置】で試算した
- 上記コストに設備償却費・人件費・瓦礫運搬費・瓦礫破碎費・排水処理費は含んでいない (詳細は別紙)

除染作業における安全上の注意：マスク・ゴム手袋・保護めがね着用

試験場所 (住所)：

福島県 郡山市 安積町 成田

除去物保管場所と保管状況 (写真)：

福島県林業研究センターにて汚泥  
を一時保管



## 試験結果(1/3)

### 【砂利】

#### (1) 概要

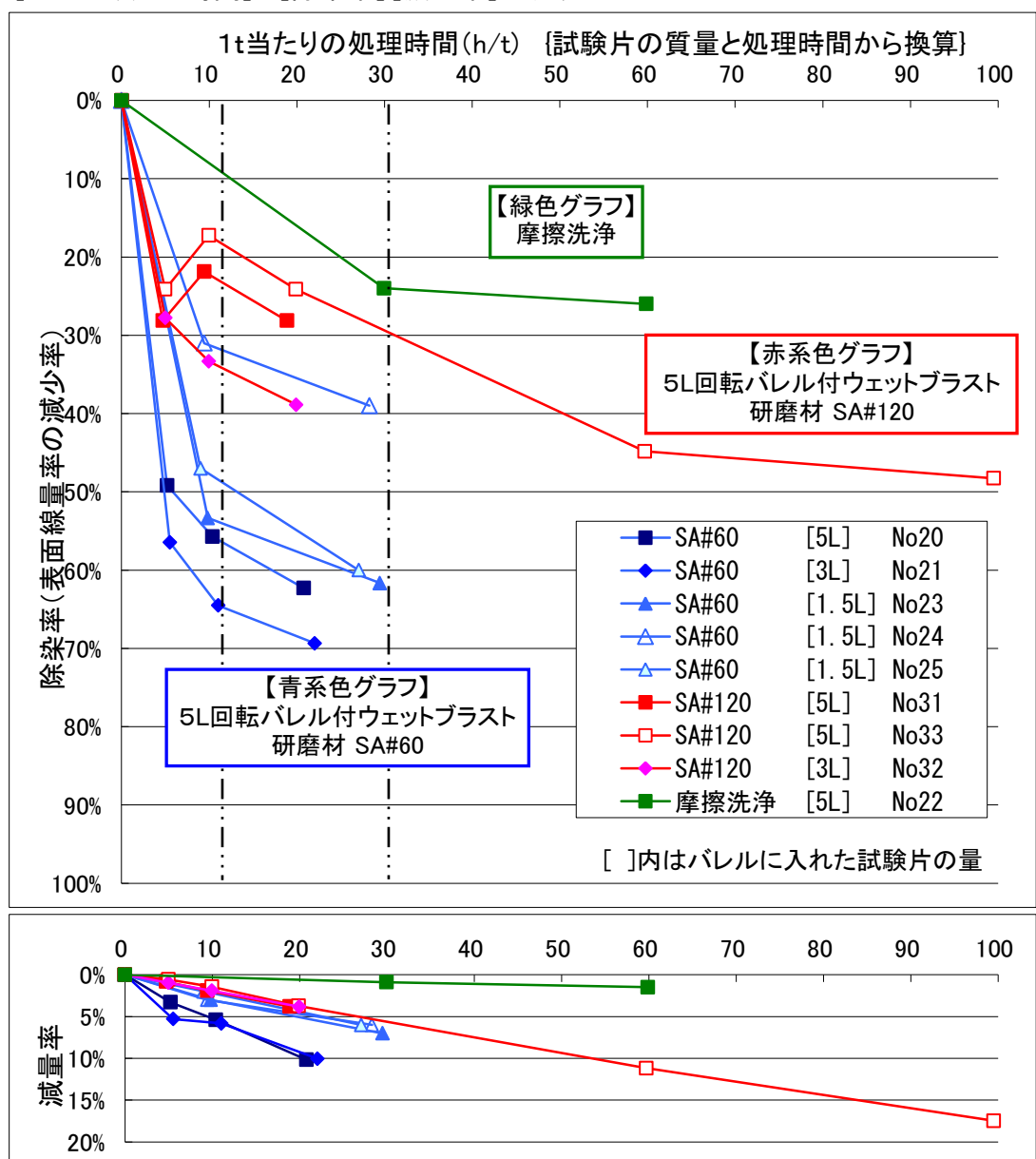
除染方法	除染率	減量率	処理能力 (グラフから読み取り)
回転バレル式ウェットブラスト	50～60%	約5%	約11時間/t
摩擦洗浄	約25%	約1%	約30時間/t

●ブラスト処理条件：ブラストエア圧=0.4MPa 回転バレルの回転数=15rpm

●研磨材はSA#120よりも、SA#60を使った方が除染効果が高い。

(研磨材材質=アルミナ、SA#120=63～180μ m SA#60=180～425μ m)

#### (2) [1t当たり処理時間]と[除染率][減量率]のグラフ



※ 処理時間はブラスト時間のみ(装置への試験片の入替時間は含まない)

※ 質量の減少原因に、回転バレルからのカケラ落下も含む

## 試験結果(2/3)

### 【コンクリート】

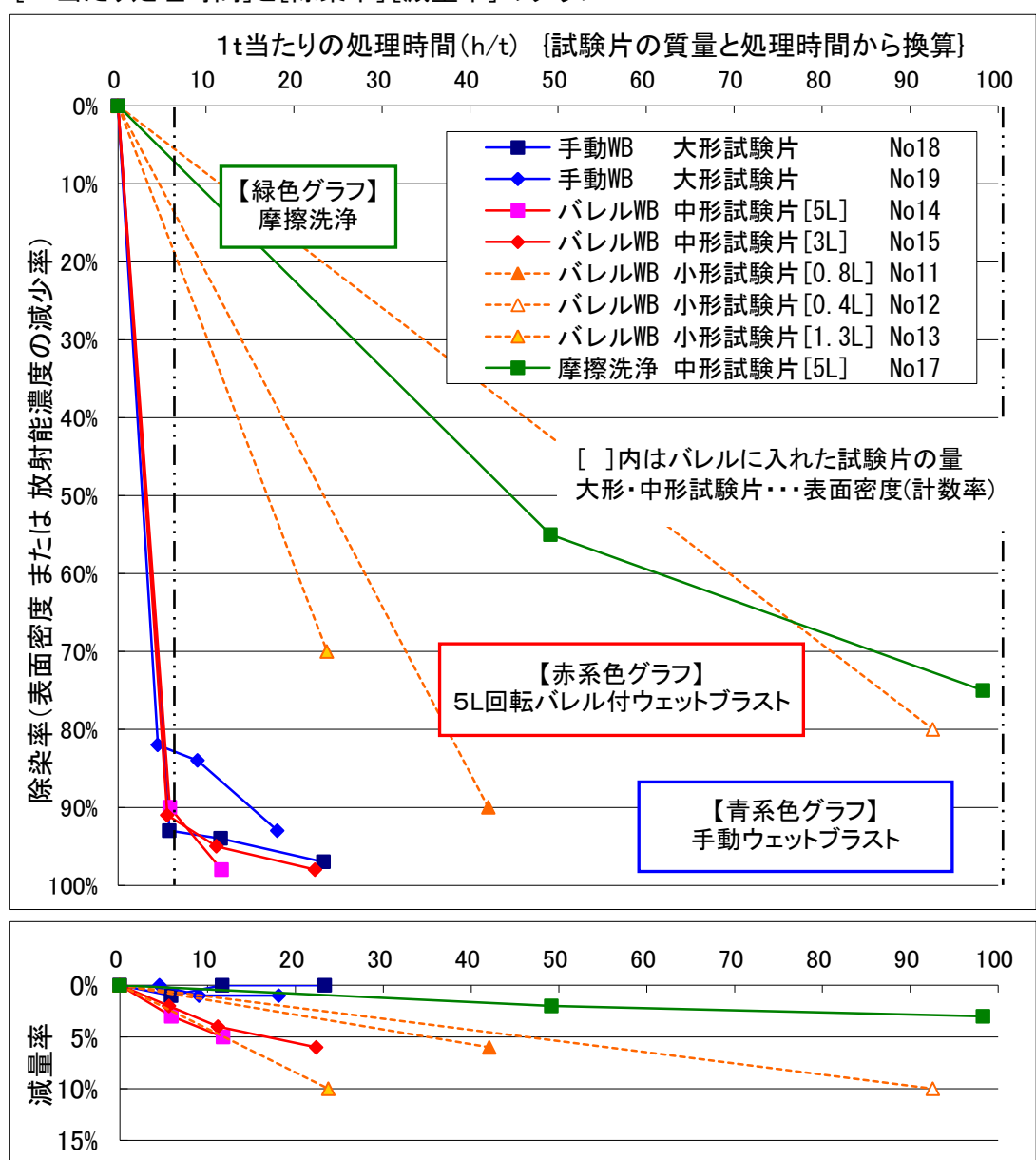
#### (1) 概要

除染方法	除染率	減量率	処理能力 (グラフから読み取り)
手動式ウェットブラスト	80～90%	約1%	約 6時間/t
回転バレル式ウェットブラスト	約90%	約5%	約 6時間/t
摩擦洗浄	約75%	約5%	約 100時間/t

●ブラスト処理条件: ブラストエア圧=0.4MPa 回転バレルの回転数=15rpm

●研磨材: アルミナ SA#60(180～425 $\mu$ m)

#### (2) [1t当たり処理時間]と[除染率][減量率]のグラフ



※ 処理時間はブラスト時間のみ(装置への試験片の入替時間は含まない)

※ 質量の減少原因に、回転バレルからのカケラ落下も含む

## 試験結果(3/3)

### 【木材】

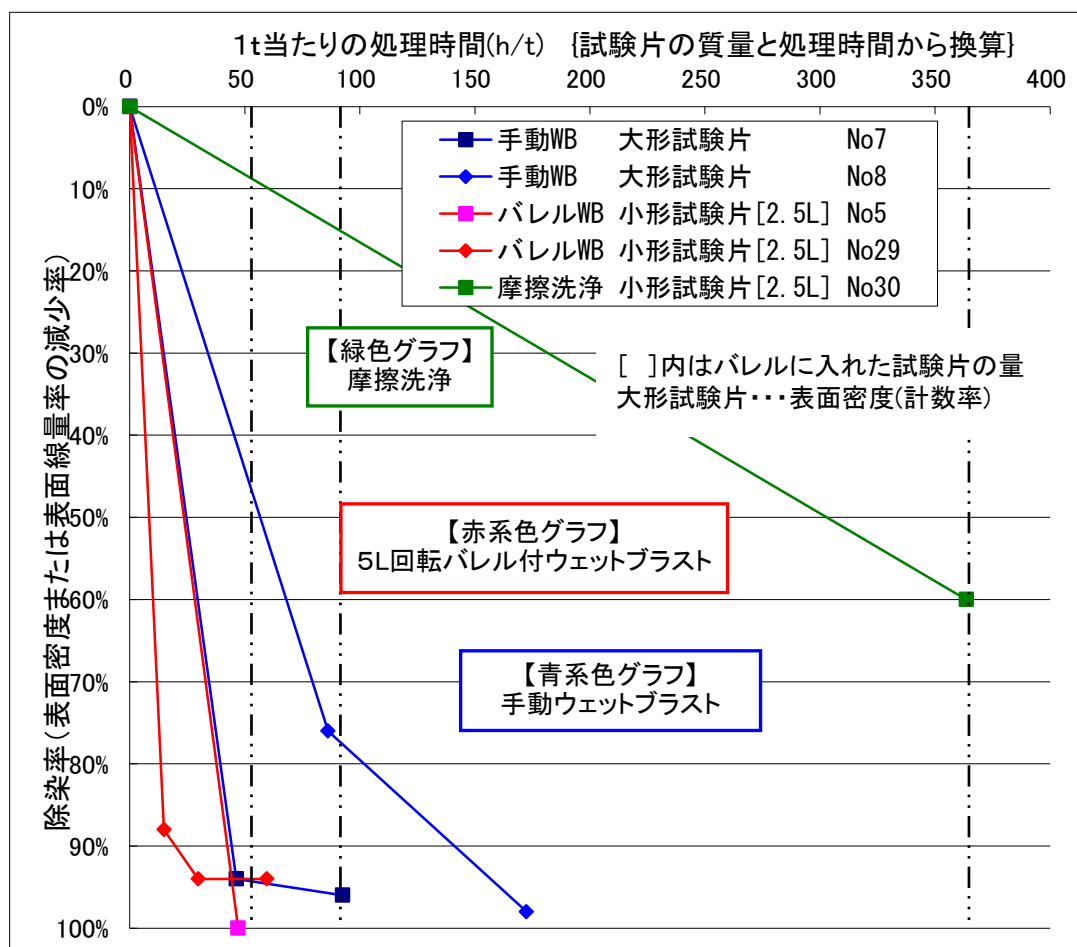
#### (1) 概要

除染方法	除染率	減量率	処理能力 (グラフから読み取り)
手動式ウェットブラスト	70～90%	( 5～10% )	約 85時間/t
回転バレル式ウェットブラスト	約90%	( 10～20% )	約 50時間/t
摩擦洗浄	約60%	( 5～20% )	約360時間/t

●ブラスト処理条件：ブラストエア圧=0.4MPa 回転バレルの回転数=15rpm

●研磨材：アルミナ SA#60(180～425 $\mu$ m)

#### (2) [1t当たりの処理時間]&[除染率]のグラフ



※ 処理時間はブラスト時間のみ(装置への試験片の入替時間は含まない)

※ 木材は吸水により除染後の質量が大きくなる為、乾燥質量を測定したところ、除染前と比較して手動式ウェットブラストで約10%、バレル式ウェットブラストと摩擦洗浄で、約20%の質量減少がみられた。しかし、除染前の木材も乾燥状態ではなかった為、減量率は推定値を記した。

## 装置を大型化した場合の処理能力

実証試験では小形の試験装置を使用したが生、実用化の際には大型化した装置を使う予定である。大型装置を除染に使った場合のデータが無い為、自動車部品(鉄系材料)の生産で使われている実績から、大型装置を除染に使った場合の能力を推定した。

### (1) 装置の仕様比較

【5L回転バレル付ウェットブラスト装置】 【40Lタンブルバレル式ウェットブラスト装置】



タンブルバレル

装置略称	装置分類	用途	1回の最大処理量	ブラストガン	自動車部品のブラスト時間
5Lバレル	小型	試験	5L(10kg以下)	2本	200s
40Lタンブルバレル	大型	実用	40L(50kg以下)	8本	120s

タンブルバレルは攪拌効率が良い為、1回の最大処理量を8倍にしても、ブラストガンの本数は4倍で良い。また、ブラスト時間も40Lタンブルバレルの方が短い。

### (2) 瓦礫除染に40Lタンブルバレル式ウェットブラスト装置を使った場合の能力

	5Lバレル (試験結果より)			40Lタンブルバレル (推定値)			
	1回の処理量	ブラスト時間	1t 当たりの処理時間 (ブラスト時間)	1回の処理量	ブラスト時間	1サイクル時間	1t 当たりの処理時間 (作業時間)
砂利	3L(4.2kg)	165s	約 11時間	24L(33.6kg)	165s	245s	約 2.0時間
コンクリート	5L(4.3kg)	95s	約 6時間	40L(34.4kg)	95s	175s	約 1.5時間
木材	2.5L(0.55kg)	100s	約 50時間	20L( 4.4kg)	100s	180s	約 11.4時間

#### ①1回の処理量

40Lタンブルバレル装置の[1回の処理量]は、5Lバレル装置の8倍とした。

#### ②ブラスト時間

40Lタンブルバレル装置のブラスト時間は5Lバレルと同じにした。

(自動車部品と同様に除染も時間短縮が期待できるが、余裕をみた値にした)

#### ③1t当たりの処理時間

5Lバレルの1t当たりの処理時間は 試験結果のグラフより読み取った値だが、粗水洗や除染対象物の入替時間は含まれていない。(ブラスト時間のみ)

40Lタンブルバレルの1t当たりの処理時間は(1000kg/1回の処理量) × 1サイクル時間 で計算した。これは実用化した場合の処理能力の目安とする為である。

【40Lタンブルバレル装置の1サイクルの工程】

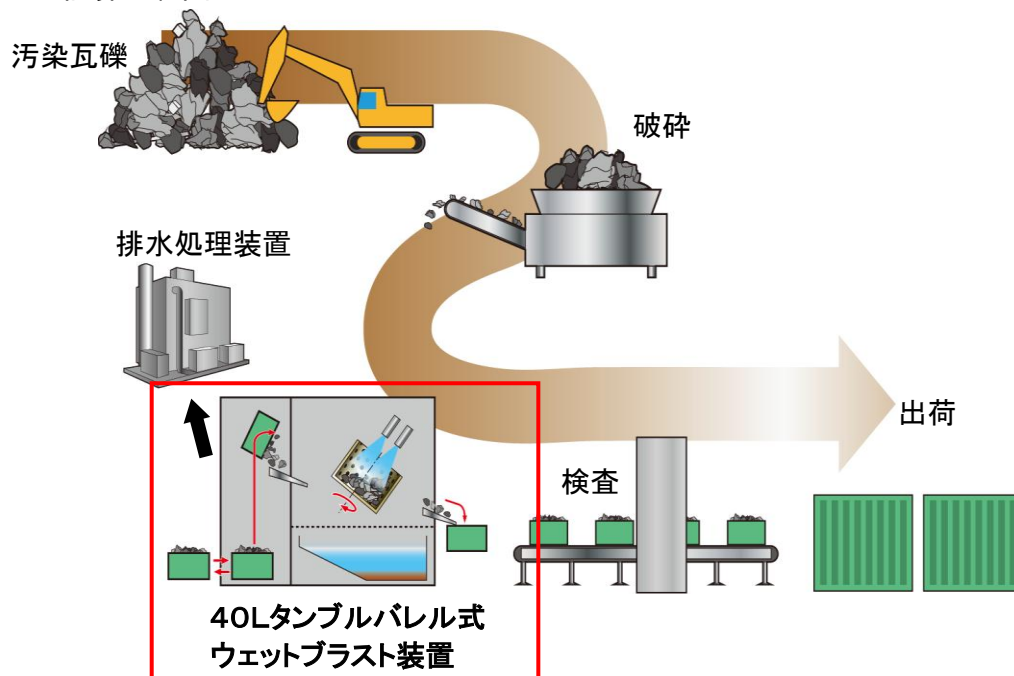
バレルへ瓦礫を投入(30s)→ウェットブラスト→粗水洗(20s) →バレルから排出(30s)



## コスト試算

大型自動化した装置【40Lタンブルバレル式ウェットブラスト装置】でコストを試算した

### (1) コスト試算の範囲



- 赤枠の40Lタンブルバレル式ウェットブラスト装置の動力費・消耗品費について試算した。
- 初期投資(設備償却費)は含んでいない。
- 人件費・瓦礫運搬費・瓦礫破碎費・排水処理費は含んでいない。

### (2) 40Lタンブルバレル式ウェットブラスト装置の運転に必要な動力源・消耗品のコスト

項目	仕様	供給方法	時間消費量
圧縮空気	0.5~0.7MPa 8.5m <sup>3</sup> /min(NTP)	コンプレッサ	75kWh
電気	AC200V 50Hz 3相		15kWh
研磨材	アルミナ SA#60		4kg/h
水	工業用水相当		1.2m <sup>3</sup> /h

項目	単価	時間当たりのコスト	時間当たりのコスト合計
圧縮空気	15円/kWh	1,125円	3,150円
電気	15円/kWh	225円	
研磨材	435円/kg	1,740円	
水	50円/m <sup>3</sup>	60円	

### (3) 除染対象物別コスト

対象物	1t 当たりの処理時間	1t 当たりの処理コスト
砂利	2.0 h	6,300円
コンクリート	1.5 h	4,725円
木材	11.4 h	35,910円



実施代表者の所属機関：高砂熱学工業株式会社	
実証テーマ名：乾式磨砕分級システムによる「がれき」の除染	
<p>事業の概要：乾式磨砕分級システムは、放射性物質を含んでいる土壌類（粘土・シルト等）が付着している「がれき」に対し、凍結等を用いて水分を固定化し、付着した粘土・シルト分を乾式によって磨砕分級することで、「がれき」から放射性物質を分離除去させる除染、減容化技術である。本事業において、システムの有効性を実証する。</p>	
<p>実施内容：1. 水分固定法と材料に関する技術開発・・・資料 1 参照  2. 圧力篩機に関する技術開発・・・・・・・資料 4 参照  3. 乾式磨砕分級システムの実証試験・・・・資料 5, 6 参照</p>	
<p>技術概要：</p> <p>1. 試験フロー  工程毎に処理条件を確定させ、システムの最適化を図る。</p> <p>2. 試験目標  （1）水分固定法の処理条件確定とシステムの最適化  （2）除染効果  （放射能濃度減量率）：70%以上  （3）土壌類（2mm 以下物）  回収率：90%以上  （4）水分も併せて分離・分級する事で可燃浄化物（20mm 以上）  熱灼減量：90%以上  （5）処理費用：15,000 円/トン以下</p> <p>3. 期待される効果  （1）処理コストの縮減  （2）プラントの省スペース化（移動式装置への利用）  （3）水洗浄、熱抽出、溶媒抽出等の高度処理及び最終処分への負荷低減</p>	<p>実験フロー</p>
<p>その他：除染現象のイメージ</p> <p>乾式磨砕分級システム</p>	

除染効果：資料 5、6 参照

< 処理条件 >

処理対象物：がれき（コンクリガラ、鉄、木くず、廃プラ、布等に、放射性物質を含む土壌を加え加水混練し、土砂の混入した津波堆積物を模擬した。2mm 未満分 45%程度）

試験室内温度：－3℃、処理対象物温度：－20℃

< 処理工程 >

- 1) 圧力篩 (PGS) によって 2 mm 未満物を除去。
- 2) 2 mm 以上物を回収し－20℃に凍結。各機械温度を－10℃まで予冷。
- 3) 磨砕機による磨砕、土砂剥離。原料の急冷効果としてドライアイス 5w%添加。
- 4) 回収物を圧力篩 (PGS) によって、2mm 未満、2～20mm、20mm 以上に分級。

< 処理結果 >

試料名	含水率 (%)	乾燥重量(g)		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり			放射能量 (Bq)			放射能 構成比 (%)	放射能 減量率 (%)	放射能濃度 減量率 (%)	放射能濃度 濃縮率 (%)
		試料 重量	重量 構成比	Cs134	Cs137	Cs合算値	Cs134	Cs137	Cs合算値				
原料	17.9	11,920	100%	12,433	19,541	31,974	148,203	232,927	381,130	100%	－	－	－
1回目PGS後2mm未満	22.0	2,600.5	21.8%	23,222	36,782	60,004	60,388	95,652	156,040	40.9%	30.4%	－	197.9%
凍結後2mm未満	22.3	1,639.4	13.8%	25,887	40,673	66,560	42,440	66,679	109,119	28.6%			
凍結後2～20mm未満	17.3	3,462.7	29.0%	8,614	13,267	21,881	29,826	45,941	75,767	19.9%	80.1%	31.6%	68.4%
凍結後20mm以上	9.9	4,217.3	35.4%	3,687	5,846	9,533	15,549	24,655	40,204	10.5%	89.5%	70.2%	29.8%

除染処理量(20 mm以上分)：4.2 kg、減量率 64.6% (回収率：35.4%)、放射能濃度減量率(除染率)：70.2%

除去物発生量評価： (除去物＝20 mm未満)

発生量：7.72 kg／除染処理量：11.92 kg＝ 0.65

作業員被ばく量評価：

作業場所平均空間線量率  $1.9 \mu\text{Sv/hr}$  (実験室内は  $0.6 \mu\text{Sv/hr}$ )、作業時間 200 時間、  
作業員最大被ばく量  $200 \mu\text{Sv}$  (乾式磨砕分級実験担当、作業時間 200 時間)、  
作業員平均被ばく量  $140 \mu\text{Sv}$

コスト評価：

6500 円/t 資料 9 参照

歩掛り (作業人工、作業速度)：

90 t/hr (機械による連続処理) 資料 9 参照

コスト評価条件：夏季のコストであり、冬季且つ寒冷地の場合には、電気代が大幅に削減できる。(－1000 円/t)

処理期間 3 年、商用電源使用、別途項目：用地費、インフラ設備、作業員宿舍等

除染作業における安全上の注意：

マスク及びゴム手袋を着装、作業内容によりゴーグル及びタイベックスーツを着装。  
磨砕機及び圧力篩機を運転時に、実験室内の粉塵濃度測定。

試験場所 (住所)：

福島県相馬郡飯舘村  
佐須地区 資料 2 参照

除去物保管場所と保管状況 (写真)：

除去物は試験場内に適切に保管。  
資料 3 参照

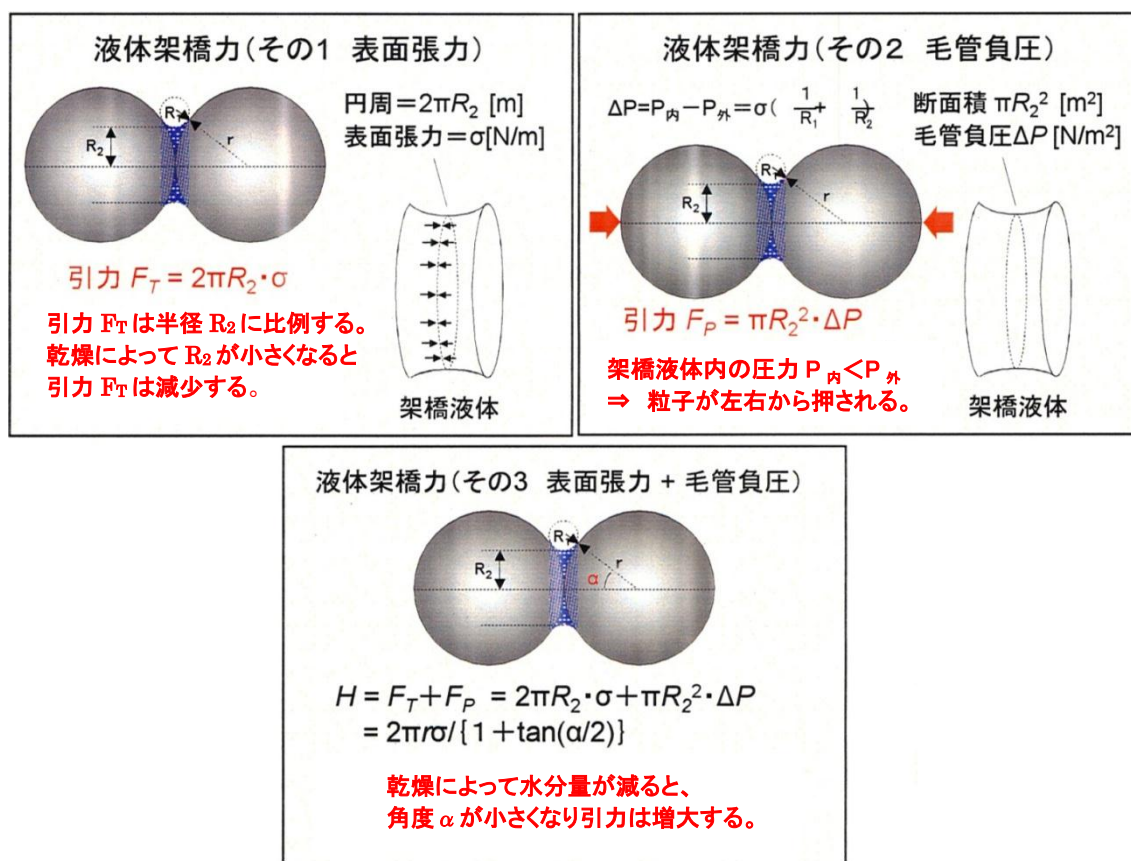
## 資料 1

### 乾式磨砕分級システムの原理

本技術は、放射性物質を含む土壌類（粘土・シルト等）が付着している「がれき」に対し、凍結を用いて水分を固定化し、付着した粘土・シルト分を乾式によって磨砕分級することで、「がれき」から放射性物質を分離除去させる除染、減容化技術である。

放射性物質の多くは粘土・シルト分に濃集、固定化され、それらは水分による液体架橋力によって「がれき」に付着している。本技術では、凍結によって架橋液体を氷へ変化させることで磨砕機による架橋部の物理的な破壊を可能とし、粘土・シルト分を「がれき」より脱離させる。これらは、凍結による疑似乾燥環境下において乾式にて行われる。

また、凍結による水分の固定化は、磨砕分級を行うことで2mm以下へ氷結した水分を移動させることに繋がり、必然的に2mm以上分の含水率を低下させる副次効果も持つ。



液体架橋力概念図

#### 【水分固定法の検討】

水分固定方法として、①冷凍機による凍結 ②液体窒素、液化炭酸等の冷却剤を用いた凍結 ③高分子吸水材による吸水 が考えられた。

以下のような結論が得られた。

- ①冷凍機による冷却+凍結補助剤の添加：費用対効果が高く実現性に優れる。
- ②冷却剤としての液体窒素、液化炭酸等：設備費用が巨額、気化ロスが大きい。
- ③高分子吸収材：分級効果として有意な差が得られなかった。



資料2： 実験施設、設備



実験場



予冷設備



実験場内設備配置



圧力篩作業状況



現場放射線量測定状況



摩砕処理設備作業状況



温度管理状況



混合攪拌設備



資料3 : 作業状況、保管状況



実験原料



分離物20mm以上



分離物 2~20mm



分離物2mm以下



実験残渣保管状況



放射線量確認状況



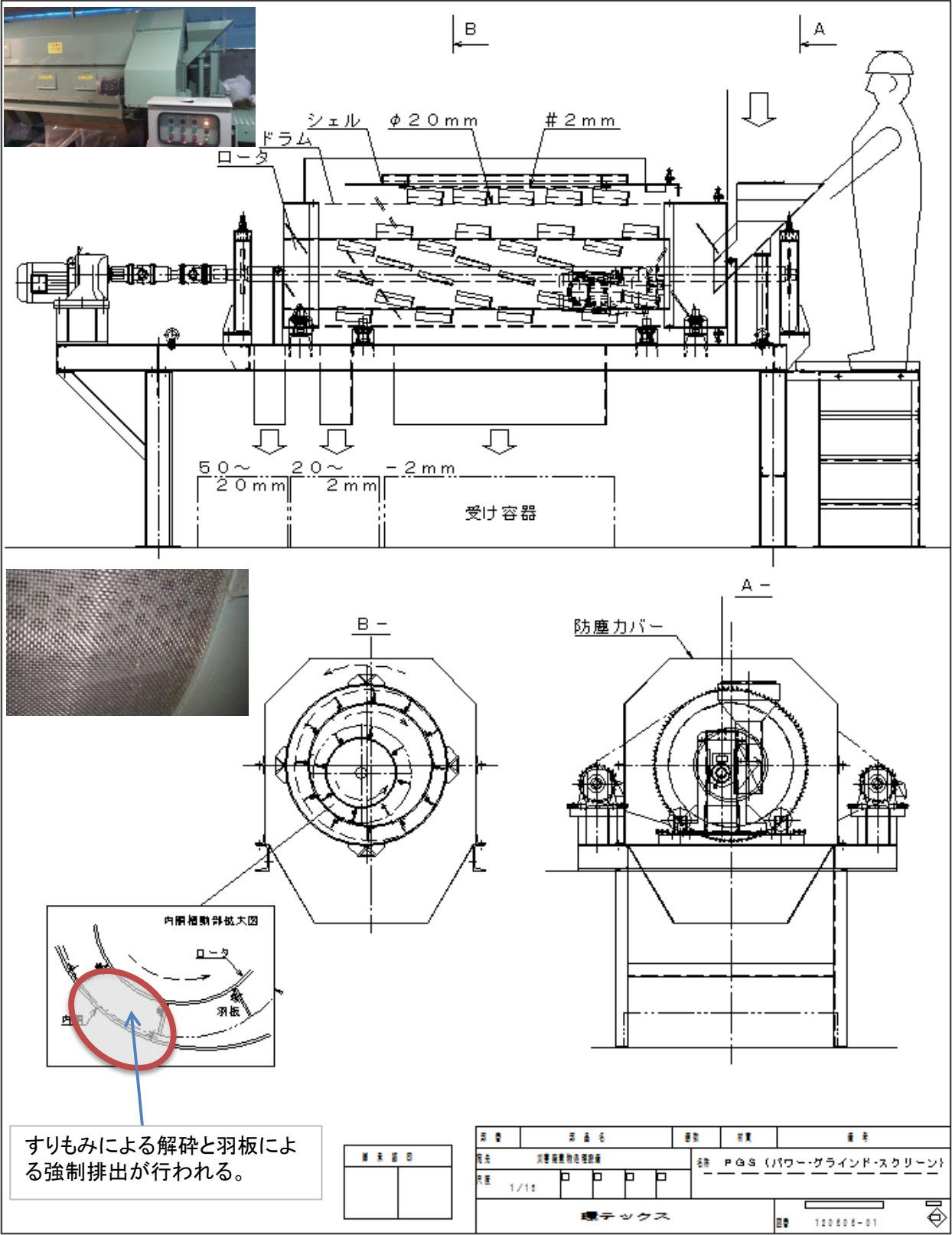
除草分離前原料



除草分離物

圧力篩

原理: 回転方向の異なるローターと20mmの網目を持つドラムとの間に原料を投入し、解砕を行いながら、解砕翼(羽板)により強制的に2mmの網を設置しているシェルに排出する。  
シェル内部に排出された20mm以下の原料の内、2mm以下の物は、ドラム外側に設置した羽板により強制的にシェルの外に排出される。



資料5：実証試験測定データ

CASE 1 篩

試料名	含水率 (%)	乾燥重量(g)		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり			放射能量 (Bq)			放射能量 構成比	放射能量 減量率	放射能濃度 減量率	放射能濃度 濃縮率
		試料 重量	重量 構成比	Cs134	Cs137	Cs合算値	Cs134	Cs137	Cs合算値	(%)	(%)	(%)	(%)
原料	20.4	3,505	100%	13,747	21,710	35,457	48,189	76,101	124,290	100%	－	－	－
2mm未満	21.7	596	17.0%	23,676	36,750	60,425	14,099	21,884	35,983	29.0%	71.0%	－	170.4%
2mm以上	19.0	2,910	83.0%	11,715	18,632	30,347	34,090	54,217	88,306	71.0%	29.0%	14.4%	50.2%

試料名		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり		
		Cs134	Cs137	Cs合算値
2mm以上可燃分未分別		20,713	33,416	54,129
2mm以上可燃	木くず	103,751	167,859	271,611
	廃ブラ	4,832	7,394	12,225
2mm以上不燃分		4,085	6,531	10,617

CASE 2 圧力篩

試料名	含水率 (%)	乾燥重量(g)		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり			放射能量 (Bq)			放射能量 構成比	放射能量 減量率	放射能濃度 減量率	放射能濃度 濃縮率
		試料 重量	重量 構成比	Cs134	Cs137	Cs合算値	Cs134	Cs137	Cs合算値	(%)	(%)	(%)	(%)
原料	19.3	10,587	100%	13,641	21,557	35,198	144,417	228,231	372,647	100%	－	－	－
2mm未満	21.4	2,665.3	25.2%	21,295	33,384	54,679	56,758	88,979	145,737	39.1%	60.9%	－	155.3%
2～20mm未満	17.7	4,950.3	46.8%	12,663	20,216	32,879	62,688	100,074	162,762	43.7%	56.3%	6.6%	93.4%
20mm以上	18.7	2,971.5	28.1%	8,403	13,185	21,588	24,971	39,178	64,149	17.2%	82.8%	38.7%	61.3%

試料名		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり		
		Cs134	Cs137	Cs合算値
20mm以上可燃分未分別		14,871	23,896	38,767
20mm以上可燃	木くず	21,567	33,875	55,442
	廃ブラ	4,085	6,531	10,617
20mm以上不燃分		2,308	3,650	5,958

CASE 3 圧力篩→凍結→磨砕→圧力篩

試料名	含水率 (%)	乾燥重量(g)		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり			放射能量 (Bq)			放射能量 構成比	放射能量 減量率	放射能濃度 減量率	放射能濃度 濃縮率
		試料 重量	重量 構成比	Cs134	Cs137	Cs合算値	Cs134	Cs137	Cs合算値	(%)	(%)	(%)	(%)
原料	17.9	11,920	100%	12,433	19,541	31,974	148,203	232,927	381,130	100%	－	－	－
1回目PGS後2mm未満	22.0	2,600.5	21.8%	23,222	36,782	60,004	60,388	95,652	156,040	40.9%			
凍結後2mm未満	22.3	1,639.4	13.8%	25,887	40,673	66,560	42,440	66,679	109,119	28.6%	30.4%	－	197.9%
凍結後2～20mm未満	17.3	3,462.7	29.0%	8,614	13,267	21,881	29,826	45,941	75,767	19.9%	80.1%	31.6%	68.4%
凍結後20mm以上	9.9	4,217.3	35.4%	3,687	5,846	9,533	15,549	24,655	40,204	10.5%	89.5%	70.2%	29.8%

試料名		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり		
		Cs134	Cs137	Cs合算値
20mm以上可燃分未分別		4,528	7,527	12,056
20mm以上可燃	木くず	14,871	23,896	38,767
	廃ブラ	1,587	2,574	4,162
20mm以上不燃分		1,280	2,085	3,365

CASE 4 水洗浄

試料名	含水率 (%)	乾燥重量(g)		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり			放射能量 (Bq)			放射能量 構成比	放射能量 減量率	放射能濃度 減量率	放射能濃度 濃縮率
		試料 重量	重量 構成比	Cs134	Cs137	Cs合算値	Cs134	Cs137	Cs合算値	(%)	(%)	(%)	(%)
原料	22.2	11,201	100%	10,654	17,220	27,875	119,342	192,887	312,228	100%	－	－	－
75μ m未満	／	1,620.4	14.5%	53,487	86,552	140,039	86,670	140,249	226,919	72.7%	27.3%	－	502.4%
75～150μ m	14.0	972.2	8.7%	14,554	23,653	38,207	14,149	22,995	37,145	11.9%	88.1%	－	137.1%
150～250μ m	14.5	625.9	5.6%	9,840	15,968	25,808	6,159	9,994	16,153	5.2%	94.8%	7.4%	92.6%
250～425μ m	32.1	479.5	4.3%	5,595	9,040	14,635	2,683	4,335	7,017	2.2%	97.8%	47.5%	52.5%
425μ m～2mm	28.2	1,282.0	11.4%	3,072	4,962	8,034	3,938	6,361	10,300	3.3%	96.7%	71.2%	28.8%
2mm以上	18.3	6,221.1	55.5%	923	1,439	2,362	5,742	8,952	14,694	4.7%	95.3%	91.5%	8.5%

試料名		放射能濃度 (Bq/kg) 乾試料あたり		
		Cs134	Cs137	Cs合算値
2mm以上可燃分未分別		1,162	1,842	3,004
2mm以上可燃	木くず	1,587	2,574	4,162
	廃ブラ	1,041	1,572	2,613
2mm以上不燃分		635	986	1,621

※ 放射能量減量率 ＝ [(1-処理後回収物放射能量/原料放射能量)] × 100  
※ 放射能濃度減量率(除染率) ＝ [(原料放射能濃度－処理後回収物放射能濃度)/原料放射能濃度] × 100  
※ 放射能濃度濃縮率 ＝ [(処理後回収物放射能濃度/原料放射能濃度) × 100



## 資料 6 実証試験条件及び結果考察

実証は、試験条件を変えた比較試験とした。

### <原料調整>

コンクリガラ、瓦、鉄、木くず、廃プラ、布等に、放射性物質を含む土壌を加え加水混練し、土砂の混入した津波堆積物を模擬した。含水率 20%程度。2mm 未満分 45%程度。

### <比較試験>

#### CASE1 篩

- 1) 原料を 2 mm 篩でふるう。
- 2) 2 mm 以上、未満を回収、測定。

#### CASE2 圧力篩

- 1) 原料を圧力篩によって、2mm 未満、2~20 mm、20 mm 以上に分級。
  - 2) 各回収物について測定。
- (圧力篩：篩目に板羽を擦り付け強制的に小粒径を排出させる連続式の回転篩)

#### CASE3 圧力篩→凍結→磨砕→圧力篩

- 1) 圧力篩(PGS)によって 2 mm 未満物を除去。
- 2) 2 mm 以上物を回収し -20℃ に凍結。室内温度 -3℃。
- 3) 磨砕機(ハリケーン)及び圧力篩を -10℃ まで予冷。
- 4) 磨砕機による磨砕、土砂剥離。急冷効果発現のためドライアイス 5w% 添加。
- 5) 回収物を圧力篩によって、2mm 未満、2~20 mm、20 mm 以上に分級。
- 6) 各回収物について測定。

#### CASE4 試験条件④ 水洗浄

- 1) 原料を磨砕機(ハリケーン)によって水洗浄。
- 2) 各粒径ごとの回収物について測定

### <結果考察>

比較試験のデータを基に各 CASE に重みを付け評価した。

「篩」、「圧力篩」のみでは、除染効率が低い  
ため、現段階では実用性が低い。

「水洗浄」は減量率が高いが、施設規模が大きく、排水を伴うため、周辺環境への負荷が大きい。

「圧力篩+凍結+磨砕」は減量率は、水洗浄に比べ小さいが、環境負荷が少なく、経済的である。

### <課題>

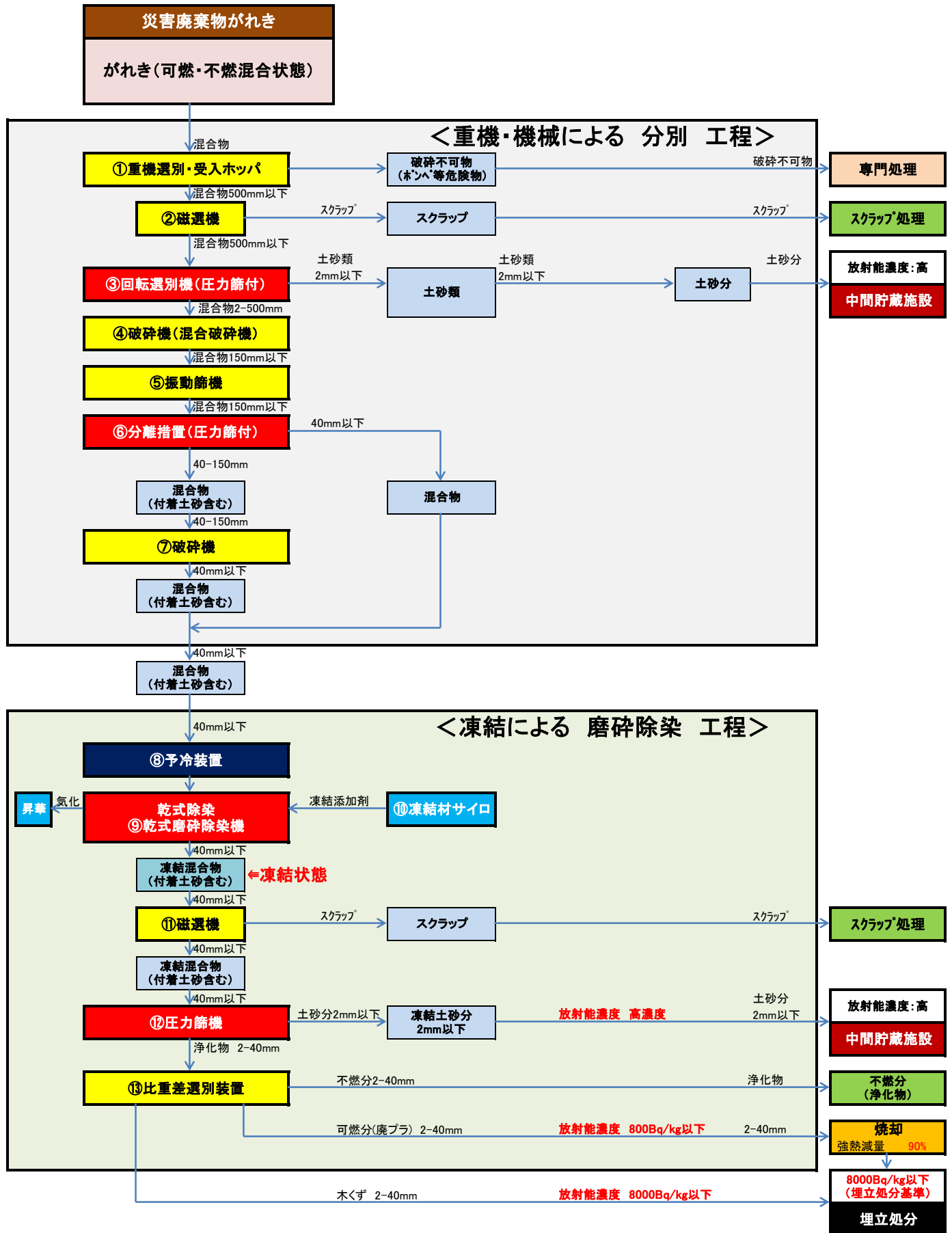
乾式除染として CASE3 の「圧力篩+凍結+磨砕」方式は、原料：31,974Bq/kg-dry に対し放射能濃度減量率が約 70% (20mm 以上) であったが、除去後における浄化物の放射能濃度は 9,533Bq/kg-dry であり目標値である 8,000Bq/kg-dry には達しなかった。ただし、浄化物を、可燃 (木くず)、可燃 (廃プラ)、不燃に分けた結果、不燃分 (3,365 Bq/ kg-dry) は目標値の 8,000Bq/kg を下回った。また、可燃分 (廃プラ 4,162 Bq/ kg-dry) は 800Bq/kg の目標値に達しなかった。可燃分 (木くず 38,767 Bq/kg) については、処理効果は確認出来なかった。

上記から、放射性物質は細粒分に濃集されていることが改めて確認され、特に木くずに付着し処理を困難としている。しかし、20mm 以上の廃プラ、不燃分に関しては 8,000Bq/kg-dry を下回っていることから、高濃度の放射性物質を含む「がれき」が対象であっても、「圧力篩+凍結+磨砕」処理に加え、乾燥工程や分別工程を加えたより高度な乾式処理を行う事で目標値を満足する事が可能である。

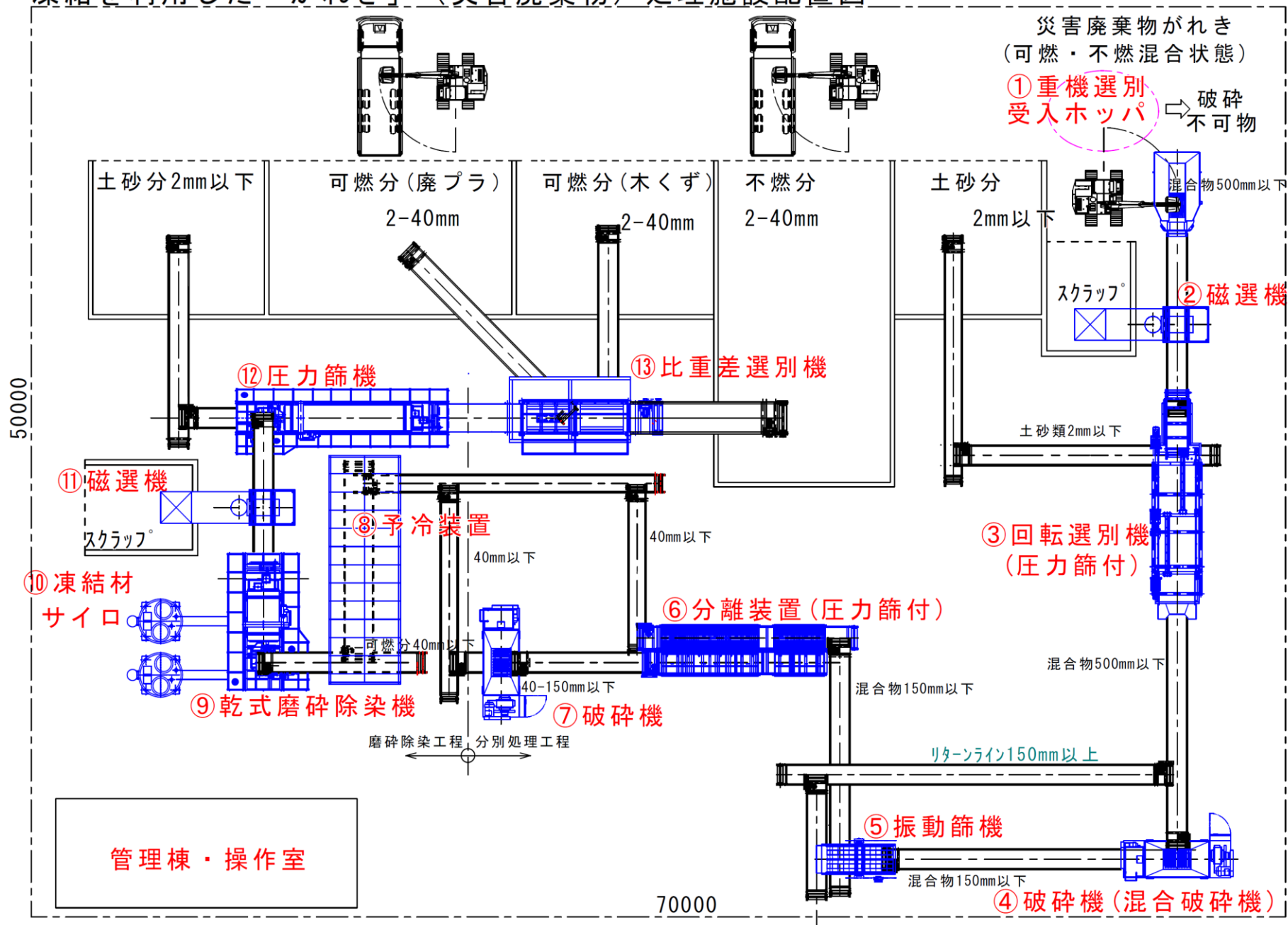
CASE	1	2	3	4
処理方法	篩	圧力篩	圧力篩+凍結+磨砕	水洗浄
放射能濃度減量率	1	2	6	8
コスト	5	4	3	2
環境負荷	2	3	4	1
処理能力(量)	5	4	3	3
計	13	13	16	14
評価	△	△	○	○



## 乾式磨砕分級システムフロー



## 凍結を利用した「がれき」（災害廃棄物）処理施設配置図



資料 9：実施コスト試算

施設費用の算定

①設定処理能力

設備処理能力： 90 t/h

処理期間： 3 年 = 36 ヶ月

②施設費用（イニシャルコスト）

直接費	分別設備	3.3 億円	46.5%	7.1 億円
	除染設備	3.8 億円	53.5%	
	設置、設計	3.0 億円		
間接費		1.5 億円		
計		11.6 億円		

施設費用

1ヵ月当りの施設費用

分別設備	=	1,156,400,000	×	46.5%			
	=	537,481,690	円	÷	36 ヶ月	=	14,930,047 円/月
除染設備	=	1,156,400,000	×	53.5%			
	=	618,918,310	円	÷	36 ヶ月	=	17,192,175 円/月
計							32,122,222 円/月

施設費用内訳明細

分類	名称	設備構成	仕様	処理能力		数量	金額	備考	
				必要能力※1	設定能力				
直接費1 (機械) (設備費)	分別設備	①重機選別・受入ホッパ	定量供給	88.3 t/h	110 t/h	1 台	330,000,000		
		②磁選機		79.5 t/h	100 t/h	1 台			
		③回転選別機(圧力篩付)		77.7 t/h	100 t/h	1 台			
		④破砕機(混合破砕機)		51.2 t/h	70 t/h	1 台			
		⑤振動篩機		51.2 t/h	70 t/h	1 台			
		⑥分離装置(圧力篩付)		51.2 t/h	70 t/h	1 台			
		⑦破砕機(破砕機)		25.6 t/h	40 t/h	1 台			
	凍結 磨砕 除染設備	ベルトコンベア					200 m		
		⑧予冷装置		30.0 t/h	40 t/h	1 台	380,000,000		
		⑨乾式磨砕除染機		30.0 t/h	40 t/h	1 台			
		⑩凍結材サイロ		30.0 t/h	40 t/h	2 基			
		⑪磁選機		30.0 t/h	40 t/h	1 台			
		⑫圧力篩機		29.1 t/h	40 t/h	1 台			
		⑬比重差選別機		29.1 t/h	40 t/h	1 台			
	直接費1(機械設備) 計								710,000,000
直接費2	運搬費					1 式	28,400,000		
	設置費					1 式	71,000,000		
	操作盤・電気設備費					1 式	99,400,000		
	基礎工事費					1 式	40,000,000		
	設計費、管理費					1 式	56,800,000		
	直接費2(運搬、工事、設計費等) 計							295,600,000	
直接費計							1,005,600,000		
間接費	諸経費						150,840,000		
施設設計							1,156,440,000		
調整							-40,000		
合計							1,156,400,000		

※2: 配置図参照

※1: マテリアルフロー参照

### ③運転費(ランニングコスト)

#### 凍結添加材使用量

時間当たり使用量					
1日作業時間	=	6 時間/日			
1ヵ月作業日数	=	22 日/月			
ドライアイス比重	=	1.56			
がれき処理量	=	90 t/h			
1ヵ月当りがれき処理量	=	11,880 t/月			
使用量 = 受入がれきの		3%	凍結作用対象(150mmアンダー)に対する添加量	10.0%	
	=	90 t/h ×	3% =	2.7 t/h	
	=	16.2 t/日			
	=	356 t/月			
単価=		75 円/kg	=	75,000 円/t	
1ヵ月当り使用費用	=	356 t/月 ×	75,000 円/t=		<u>26,730,000 円/月</u>

#### 電力量

施設全定格電力	5,000 kw ×	6 時間/日	=	30,000 kw/日	
			計	660,000 kw/月	

基本料金	=	500,000 kw/月			
従量料金	=	15 円/kwh ×	660,000 kw/月	=	<u>9,900,000 円/月</u>

#### 運転費

人件費					
プラント管理者	2 人				
	2 人 ×	30,000 円/日 ×	22 日/月	=	1,320,000 円/月
プラント運転者	8 人				
	8 人 ×	25,000 円/日 ×	22 日/月	=	4,400,000 円/月
重機費					
重機(バックホウ)	3 台				
(OP、燃料含)	3 台 ×	50,000 円/日 ×	22 日/月	=	3,300,000 円/月
			計		<u>9,020,000 円/月</u>

運転費(ランニング費用)合計 45,650,000 円/月

### ④処理コスト

施設費	32,122,222 円/月	(施設は運転期間で全損とする。)
運転費	45,650,000 円/月	
計	77,772,222 円/月	
がれき処理量	11,880 t/月	
1t当り処理単価	77,772,222 円/月 ÷	11,880 t/月 = <u>6,546 円/t</u>

### ●冬季減額コスト

(凍結添加剤減少量 1.0%)

#### 凍結添加材使用量

時間当たり使用量					
1日作業時間	=	6 時間/日			
1ヵ月作業日数	=	22 日/月			
ドライアイス比重	=	1.56			
がれき処理量	=	90 t/h			
1ヵ月当りがれき処理量	=	11,880 t/月			
減少量 = 受入がれきの		1.0%			
	=	90 t/h ×	1.0% =	0.9 t/h	
	=	5.4 t/日			
	=	118.8 t/月			
単価=		75 円/kg	=	75,000 円/t	
1ヵ月当り使用費用	=	118.8 t/月 ×	75,000 円/t=		8,910,000 円/月
運転費 (夜間予冷管理者)					
プラント運転者	1 人 ×	30,000 円/日 ×	22 日/月	=	660,000 円/月
機械					
予冷装置 (規模縮小機械 損料)					2,330,000 円/月
					<u>11,900,000 円/月</u>

がれき処理量	11,880 t/月			
1t当り投棄処理減額単価	11,900,000 円/月 ÷	11,880 t/月		
=	1,002 円/t			