

# 平成23年度 「除染技術実証試験事業」 の結果概要

平成24年4月

内閣府原子力被災者生活支援チーム  
独立行政法人日本原子力研究開発機構

# 除染技術実証試験事業の概要

「除染技術実証試験事業」は、今後の除染作業に活用し得る優れた技術を公募により発掘し、除染効果、経済性、安全性等を確認する観点から実証試験を行い、その有効性を評価するもの。

除染作業効率化や除染除去物減容化等に関する25件の技術提案について実証試験を実施。

## <公募概要>

○対象事業分野: 除染作業効率化技術、  
土壌等除染除去物減容化技術、  
除去物の運搬や一時保管等関連技術、  
除染支援等関連技術

○採択件数: 25件

○実証試験事業予算: 1件当たり原則  
2000万円程度

○実施期間: 平成23年11月～平成24年  
2月末

## ●除染技術実証試験の提案の概要と実施者一覧

除染対象物	手法	特徴	No.	実施者
土壌	熱処理	反応促進剤	1	太平洋セメント(株)
	分級	湿式分級	2	ロート製薬(株)
			3	(株)竹中工務店
			4	(株)熊谷組
			5	(株)日立プラントテクノロジー
			6	(株)鴻池組
			7	佐藤工業(株)
	化学処理	有機酸処理	8	(株)東芝
下水汚泥	溶出	有機物処理	9	新日鉄エンジニアリング(株)
公園・道路・ 建物	切削・剥離	ストリップペイント	10	志賀塗装(株)
	特殊水洗浄	ナノバブル水	11	京都大学
		モルクラスターオゾン水	12	ネイチャーズ(株)
	高压洗浄	超高压(280MPa)	13	(株)キクテック
	研削・剥離	ウェットブラスト	14	マコー(株)
瓦礫	洗浄	水洗浄	15	戸田建設(株)
		ドライアイス	16	環テックス(株)
植物・牛糞 減容	堆肥化	100℃以上	17	(独)宇宙航空研究開発機構
		50～60℃	18	日本ミクニヤ(株)
水	捕集	ゼオライトブロック	19	前田建設工業(株)
	吸着・凝集	フェロシアン化鉄	20	東京工業大学
森林・木材	固化剥離	セメント剥離	21	大成建設(株)
	洗浄	水洗浄・焼却	22	郡山チップ工業(株)
		高压洗浄・水処理	23	(株)ネオナイト
	間伐有	空間線量率変化	24	福島県林業研究センター
	間伐無	施工法の効率化	25	(株)大林組

# 土壌の除染・減容化

- ✓ 水溶したセシウムは、粘土の構造の間に取り込まれ、極めて強く「固定」される。
- ✓ 土壌粒径が小さいほどセシウムを良く吸着。



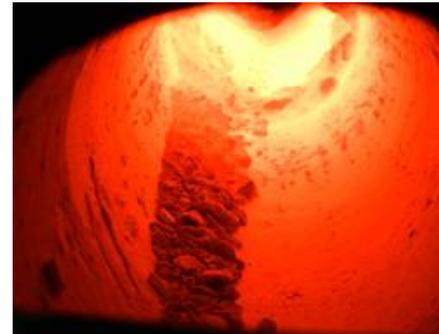
## 土壌の分級、研磨、洗浄、加熱を軸とした除染技術の提案

No.	事業者	特徴	分級	研磨	洗浄	加熱
1	太平洋セメント(株)	回転炉により昇華しCs分離	—	—	—	○
2	ロート製薬(株)	特殊ポンプと篩機による小型分級システム	○	—	○	—
3	(株)竹中工務店	植物混合土壌の処理	○	○	○	—
4	(株)熊谷組	摩砕洗浄機	○	○	—	—
5	(株)日立プラントテクノロジー	分級後、700℃で加熱	○	—	—	○
6	(株)鴻池組	摩砕洗浄機、キャビテーション洗浄	○	○	○	—
7	佐藤工業(株)	高圧ジェット水流、マイクロバブル洗浄・分離	○	○	○	—
8	(株)東芝	シュウ酸によるCs溶離	—	—	○	—

# (土壤の除染・減容化の例①)

## 回転加熱によるセシウム昇華技術

放射性セシウムを含む土壤等に高性能反応促進材を添加して回転加熱し、セシウムを昇華・分離する。

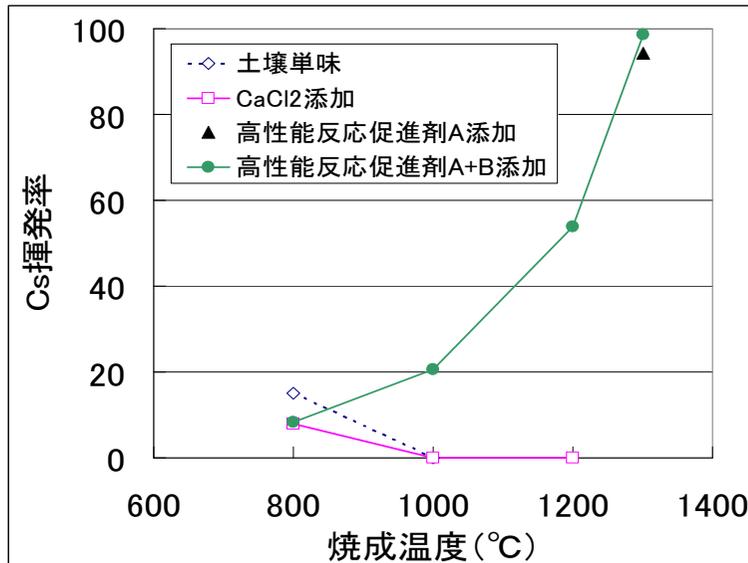


昇華装置内部



浄化処理品

### ● 添加物のCs昇華率寄与



- 高性能反応促進剤添加でCs揮発率大幅向上
- 急激な温度上昇は、砂質内のケイ素が溶け出しガラス固化体を形成するため、均一に熱を加えることが重要

### ● 回転式昇華装置による結果

	汚染土壤 (Bq/kg)			浄化処理物 (Bq/kg)		
	Cs134	Cs137	合計	Cs134	Cs137	合計
実汚染土壤 ①	27,100	28,900	56,000	<26	19	<45
実汚染土壤 ②	33,000	34,300	67,300	<17	29	<46

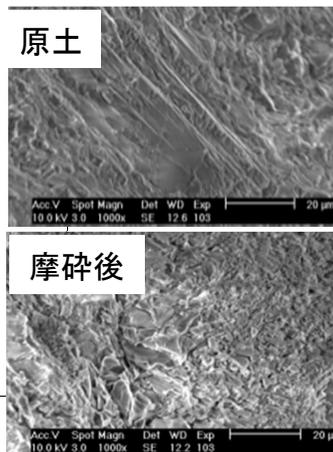
- 浄化処理物は100Bq/kg(クリアランスレベル)以下を達成。
- バグフィルター出口の排ガス中セシウム濃度は検出限界(0.1Bq/m<sup>3</sup>)以下。
- 昇華したセシウムはバグフィルタにて捕集できた。

## (土壌の除染・減容化の例②)

# 分級等による土壌の除染・減容化

No.	事業者	分級方法	研磨	洗浄	加熱
2	ロート製薬(株)	篩	—	特殊ポンプ	—
3	(株)竹中工務店	篩／比重分離	ボールミル	ドライウォッシャー	—
4	(株)熊谷組	篩／サイクロン	摩砕装置	—	—
5	(株)日立プラントテクノロジー	篩／比重分離	—	—	700℃
6	(株)鴻池組	篩	摩砕装置 キャビテーション ジェット	キャビテーション ジェット	—
7	佐藤工業(株)	浮上分離	高圧ジェット	マイクロバブル	—

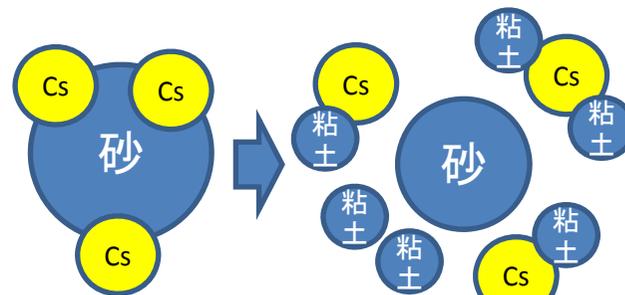
### ● 研磨効果



磨砕等の研磨により、砂等の土壌の粒子の表層が除去される。

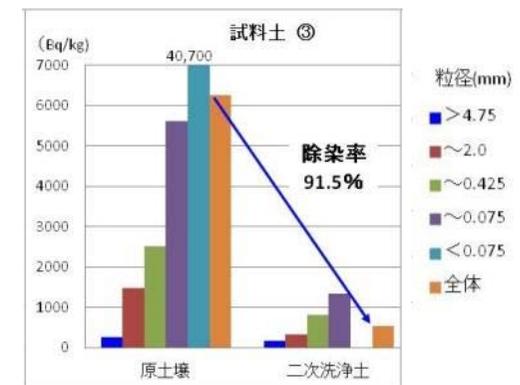
### ● 分級による土壌の除染

分級の原理



粒度分布は細粒側にシフトする。

粒度成分毎に含まれる放射性セシウム濃度の変化



粘土質に多く付着している放射性セシウムを分級によって除去することで除染が可能。

# 道路等の除染

- ✓ 水をなるべく利用しない除染方法への期待。
- ✓ 遊具の塗装等の除染方法を望む声あり。
- ✓ アスファルト,透水性舗装,インターロッキング等では高圧水洗浄の効果が低い。



## 研磨、洗浄水の回収、超高圧水による洗浄等の除染技術の提案

No.	事業者	特徴	建物		道路	
			切削	剥離	特殊水	切削
10	志賀塗装(株)	切削:吸塵式サンダー 剥離:ストリップペイント	○	○	—	—
11	京都大学	ナノバブル水	—	—	○	—
12	ネイチャーズ(株)	高濃度オゾン水	—	—	○	—
13	(株)キクテック	超高圧水洗浄	—	—	—	○
14	マコー(株)	ウェットブラスト	—	—	—	○

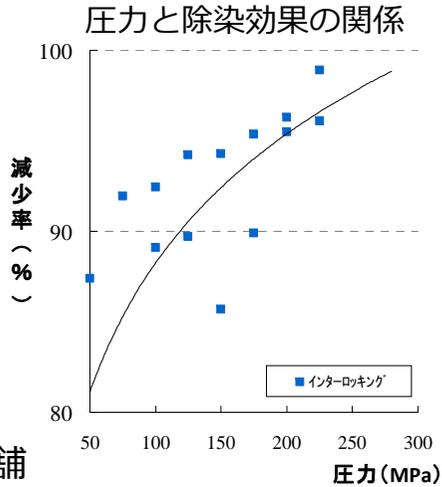
# (道路等の除染の例)

## 超高圧水／ウェットブラストによる舗装面の除染

### 超高圧水

#### インターロッキング

除染前 除染後



#### 密粒アスファルト舗装



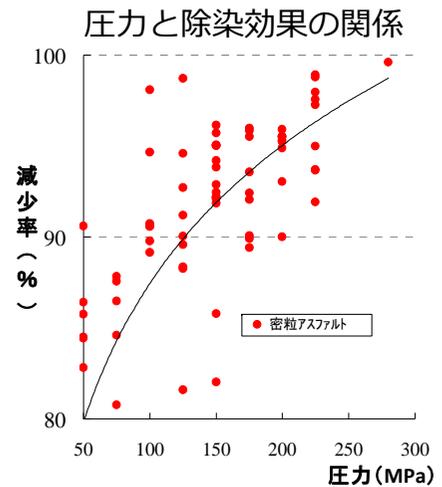
0.6μSv/hr 225MPa  
1,710→41cpm



3.3μSv/hr 225MPa  
9,702→573cpm



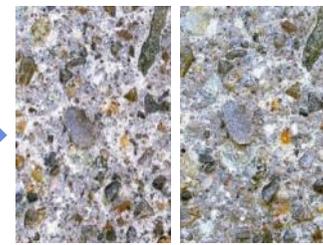
3.3μSv/hr 280MPa  
53,448→213cpm



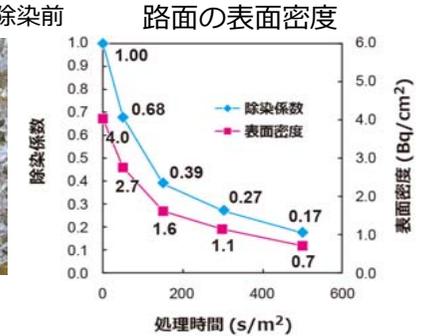
◎超高圧水によるでは、いずれの路面も約100Mpa以上の洗浄により、放射性物質の90%以上を除去可能。

### ウェットブラスト

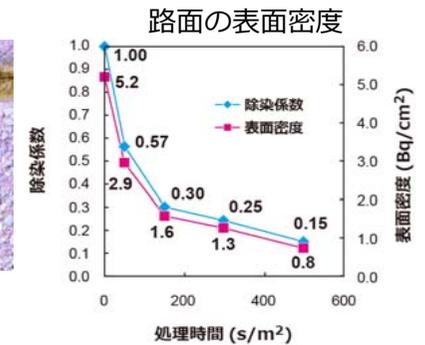
#### コンクリート舗装



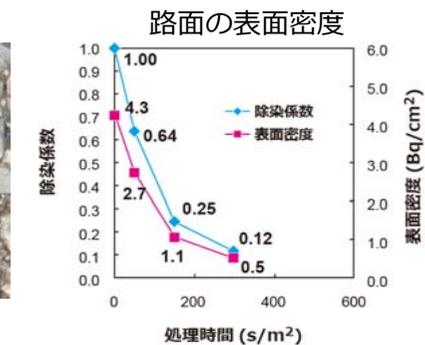
※1 鉛遮蔽による測定をし、バックグラウンドを補正した。  
※2 除染係数 = 除染後/除染前



#### インターロッキング



#### 密粒アスファルト舗装



◎ウェットブラストでは、いずれの路面においても1m<sup>2</sup>当たり約150秒で放射性物質の60~70%を除去可能。

# 水の除染

- ✓環境中の水の中にはセシウムはイオンの形ではほとんど含まれていない。
- ✓各除染技術の中でも除染に伴う排水処理を必要とするものが複数存在。



## 吸着、凝集沈降を活用した水の浄化技術の提案

No.	事業者	特徴	捕集	水処理 (凝集・吸着)
19	前田建設工業(株)	ゼオライトブロック	○	—
20	東京工業大学	フェロシアン化鉄	—	○
2,3,4,5,6, 9,13,14, 15,22,23	他技術で水処理を要 するもの	凝集剤＋ゼオライト、凝集剤＋フィ ルタ等	—	○

## (水処理の例)

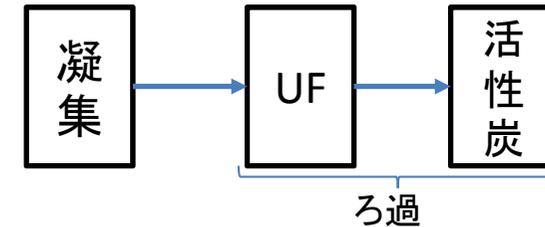
# 除染に伴う排水・プール水の浄化

### ●ゼオライトを利用した水処理(超高压水洗浄での排水)

《路面形態:密粒アスファルト》

検出下限値(20Bq/kg)

工程		セシウム(Cs134+137) (Bq/kg)
①	原水	17,290
②-1	上澄み水(ゼオライト+凝集剤)	29
②-2	上澄み水(凝集剤のみ)	57
③	UFろ過処理水	25
④	活性炭処理水	N.D.



### ●フェロシアン化鉄を使用した水処理(超高压水洗浄)



検出限界値(20Bq/L)

工程	原水 (Bq/L)	処理水 (Bq/L)
凝集剤+フェロシアン化鉄	1,116	N.D.
凝集剤のみ	1,116	N.D.

- 処理水の放射能濃度は検出限界値(約20Bq/L)以下を達成。
- ゼオライト、フェロシアン化鉄を使用せず、凝集剤のみの処理でも放射能濃度は十分低減可能。

# 木材の除染

- ✓ 汚染された樹皮(バーク)が野積みとなっている。
- ✓ 加工前に洗浄し輸送等をスムーズに実施したい。



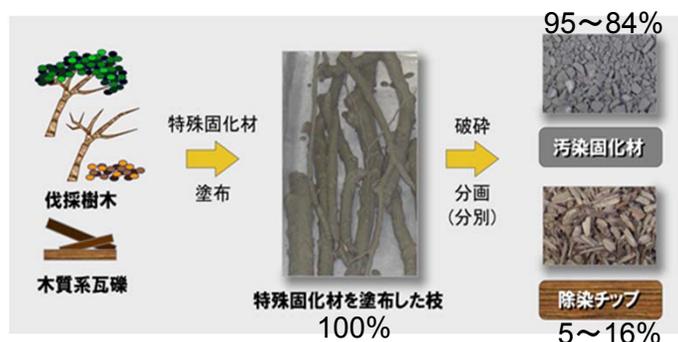
## 木材樹皮の洗浄を軸とした除染技術の提案

No.	事業者	特徴	洗浄	剥離	焼却
21	大成建設(株)	セメント塗布	—	○	—
22	郡山チップ(株)	樹皮(バーク)洗浄、小型焼却炉	○	—	○
23	(株)ネオナイト	樹皮(丸太)高圧水洗浄	○	—	—

# 木材除染によるセシウム除去技術の比較

No.	実施者 および除去技術	除染前Bq/kg	除染後Bq/kg	除染率%
21	大成建設(株) : 木質がれき等へのセメント塗布	8,320	1,373	84%
22	郡山チップ工業(株) : 樹皮(バーク※)の攪拌洗浄	703	432	39%
23	(株)ネオナイト : 木質がれき等の高圧水洗浄	28Bq/cm <sup>2</sup>	1.6Bq/cm <sup>2</sup>	94%

## ●木質がれきへのセメント塗布

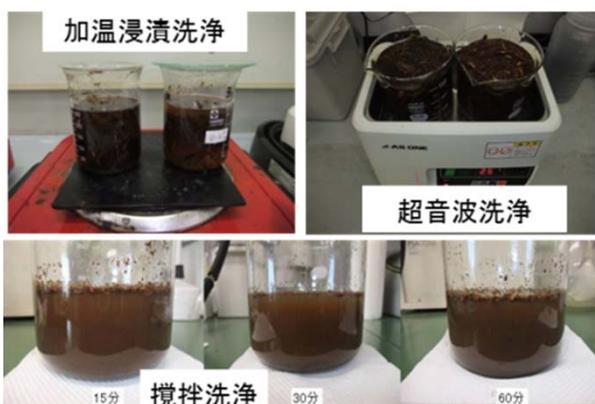


## ●木質がれき(丸太)の高圧水洗浄



	洗浄条件	表面汚染密度 (Bq/cm <sup>2</sup> )		洗浄率 (%)
		洗浄前	20分洗浄	
ナラ	80℃	28	1.6	94
ミズキ	80℃	27	1	96
スギ	80℃	4.3	0.8	81
クリ	80℃	0.5	0.09以下	82

## ●樹皮(バーク)※洗浄(攪拌洗浄等)



処理時間		458時間	1時間	1時間	1時間
その他の条件		室温	40-100℃	攪拌時間 15-60分	周波数 28-100kHz
除染率	常緑樹 約700Bq/kg	38%	—	39%	17-33%
	落葉樹 約2000Bq/kg	20%	5-32%	45%	13-21%

※バーク: チップ等の生産過程で発生する樹皮。

# まとめ

---

- ✓ 土壌除染: 80%以上の除染効果あり。本格除染では、適用範囲、設備、コストを見極めることで利用可能。
- ✓ 道路除染: 80%以上の除染効果あり。本格除染では、最適化を図り、コストを下げることで利用可能。
- ✓ 水処理: 高濃度に汚染した土壌を処理した水であっても100Bq/kg以下にする技術が複数あることを実証。  
セシウム吸着剤を使用せずとも、凝集作用とろ過の組み合わせで放射能濃度は十分低減可能。本格除染では、最適化を図ることで適用できる。
- ✓ 木材除染: 水洗により、樹皮(バーク)では30%以上、木質がれき(丸太)では80%以上の除染効果あり。飛灰飛散防止、排気フィルタ等の対策を行った小型焼却炉で高減容可能。

(参考資料)

除染技術実証試験事業  
各案件の概要



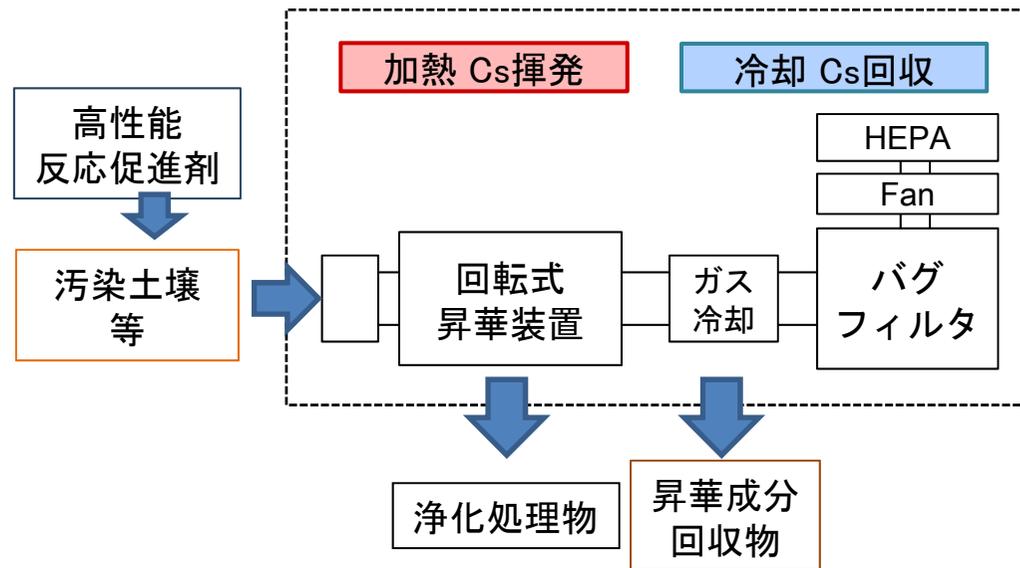
# No.1 放射性物質汚染土壌等からの乾式セシウム除去技術の開発

受託者: 太平洋セメント(株)

## 事業の概要

放射性セシウムを含む土壌等に高性能反応促進材を添加して加熱し、セシウムを昇華させて冷却回収することにより、除染で生じた除去物(汚染土壌)よりセシウムを熱処理により効率よく昇華させて分離し、クリアランスレベル(100Bq/kg)以下とすることを目的とする。

## 実施内容



- ラボ試験にてセシウムの最適昇華条件を把握する。
- フィールド試験にて、クリアランスレベル以下への浄化を確認する。
- 排気の放射能濃度を確認する。



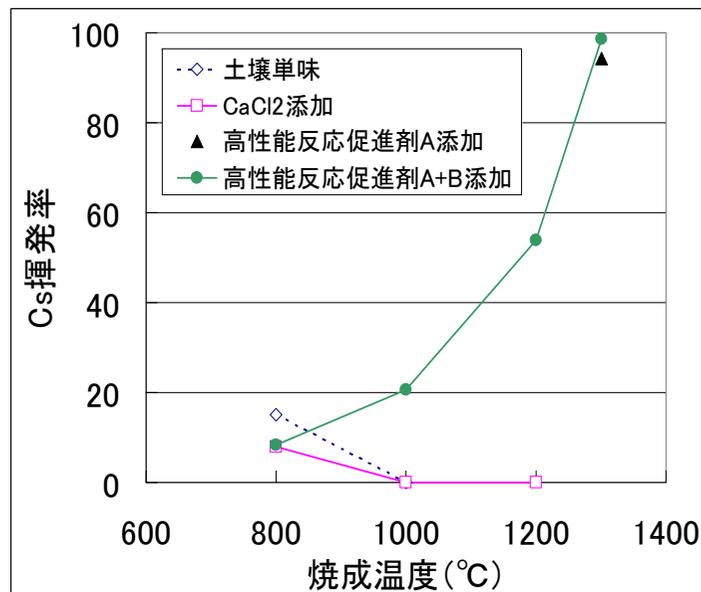
回転式昇華装置



昇華装置内部

# 結果

## ●高性能反応促進剤の効果



- セシウムを吸着した土壌単味の揮発率は低い。また、塩化物を添加した場合でも揮発率は低い。
- 無機系の高性能反応促進剤を添加するとセシウムの揮発率が大幅に向上。



浄化処理物

## ●回転式昇華装置による処理の結果

汚染土壌を、1300°Cで毎時2kgの速度で加熱処理した結果。

	浄化前土壌 (Bq/kg)			浄化処理物 (Bq/kg)			除去率 (%)
	Cs134	Cs137	合計	Cs134	Cs137	合計	
汚染土壌①	27,100	28,900	56,000	<26	19	<45	99.9<
汚染土壌②	33,000	34,300	67,300	<17	29	<46	99.9<

- 約60,000Bq/kgの汚染土壌を100Bq/kg以下(除去率99.9%以上)にすることができた。
- 昇華したセシウムはバグフィルタにて十分捕集でき、フィルター出口の排ガス中セシウム濃度は検出限界(0.1Bq/m<sup>3</sup>)以下であった。

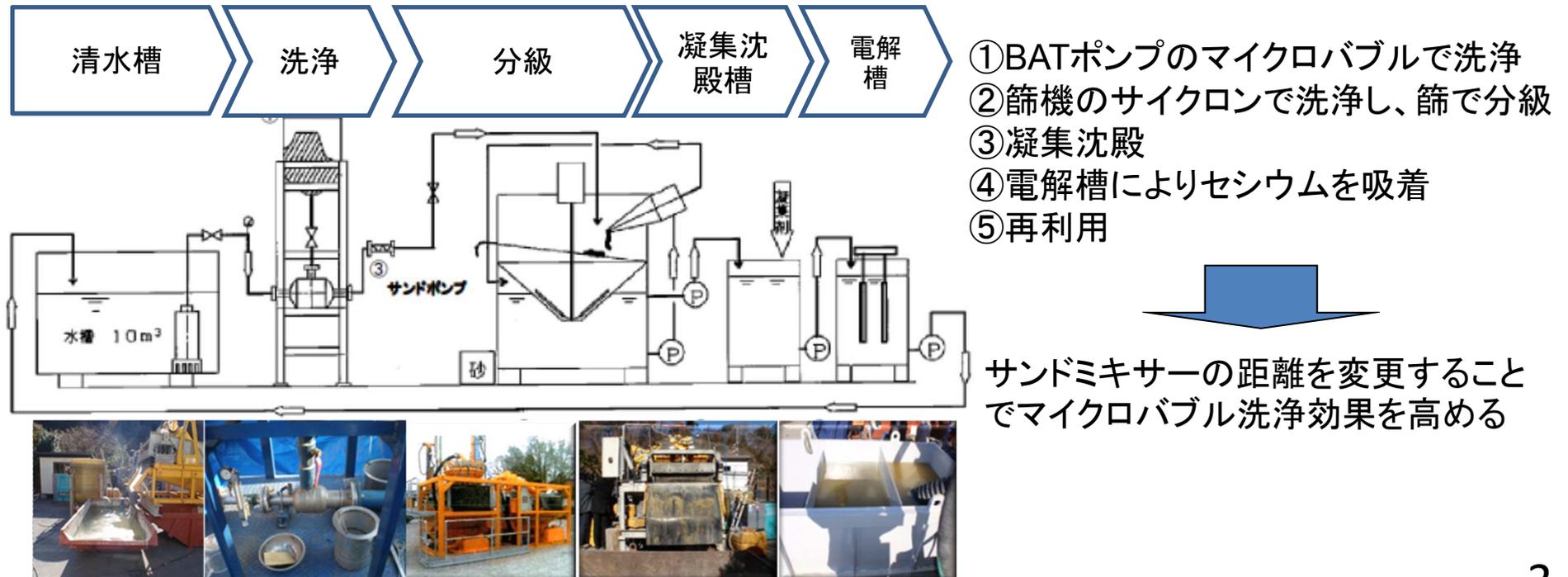
汚染土壌中のセシウムは良く揮発し、目標である100 Bq/kg以下を達成した。

## 事業の概要

特殊(BAT: Blend Air Tornado)ポンプと分級機から構成される土壌洗浄システムにより、土壌の洗浄を行う。粘土分を含む濁水は、凝集沈殿処理を行い、粘土分と処理された水とに分ける。

## 実施内容

- BATポンプに汚染土壌と水を吸い込み、砂・鉱物等を混合衝突させることによって汚染物質を剥離する。
- 分級により、砂、粘土を分別する。また、粘土質は凝集剤等により分離する。
- 除染で利用した水を凝集沈殿等により処理し検出限界以下とする。



## 結果

表. 土壌の洗浄率

サンドミキサー長さ※1	原土 (Bq/kg)	砂65-185 $\mu$ m (Bq/kg)	粘土 (Bq/kg)	洗浄率(%)
400mm	15,309	330	83,738	98
800mm		387	84,875	97
1200mm		377	57,978	98
BS※2 1200mm		343	65,647	98

※1 サンドミキサーの長さを変更することで、マイクロバブル接触時間が変更することによる洗浄効果を確認。

※2 セシウム吸着促進鉱物(モンモリナイトを主成分とする黒鉛珪石配合粘土)を添加

- サンドミキサーの長さ変更により土壌とマイクロバブルの接触時間を変えた範囲では、洗浄効果に差異は見られなかった。
- 洗浄におけるセシウム吸着促進鉱物の添加では、洗浄効果に変化はなかった。
- 水処理では、凝集沈殿で水は検出限界未満となり、電解槽でのセシウム吸着による効果の検証に至らなかった。

- BATポンプによる洗浄効果と、篩機(サイクロン)による粒子の衝突・分級効果により、洗浄率は97%以上であった。水処理では沈殿槽のみで十分処理でき、電解槽は不要であった。
- 分級処理後の砂65  $\mu$  m~185  $\mu$  mの土壌の放射能濃度は原土に比べて大きく低下することが確認されたが、試験データの蓄積により洗浄効果に効くプロセスの分析・評価が必要。

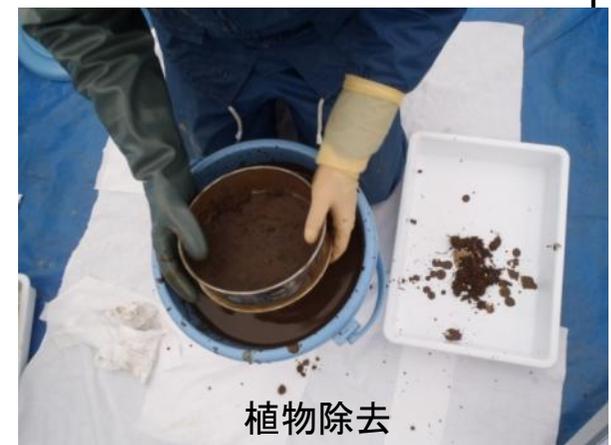
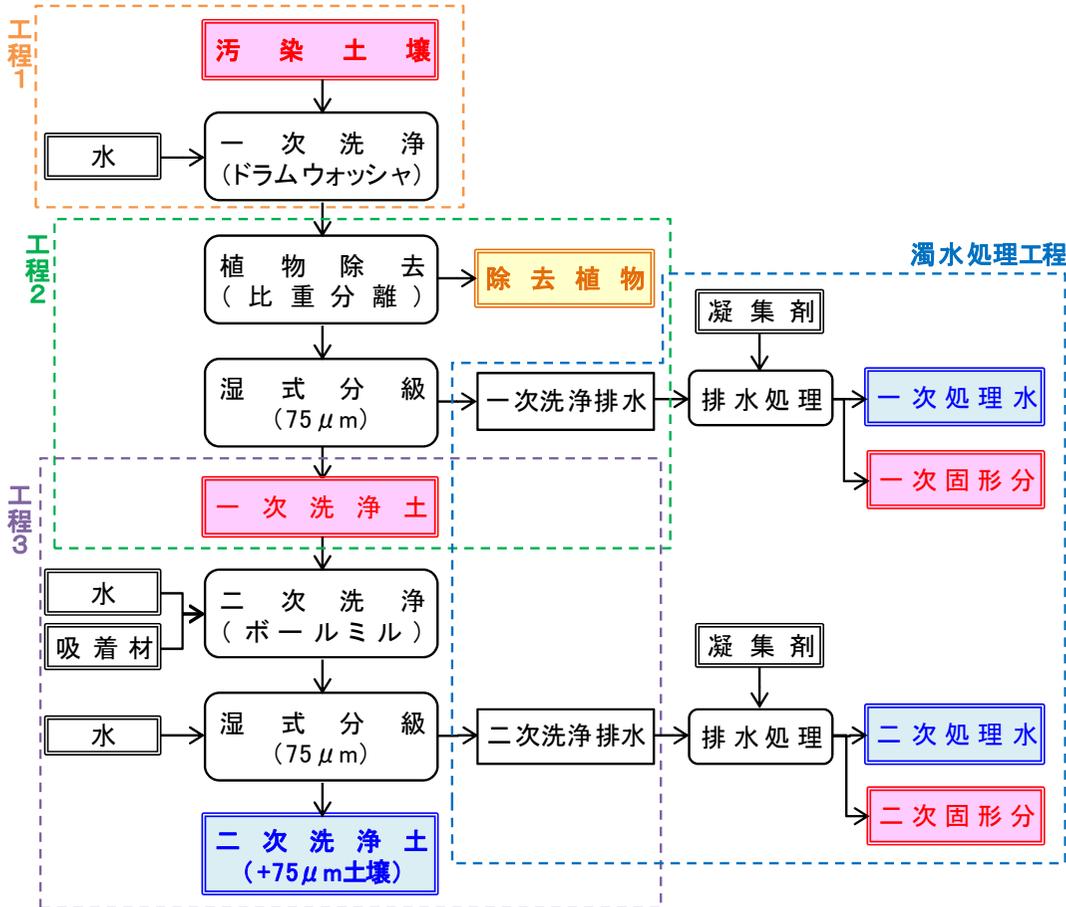
# No.3 植物が混入した放射性セシウム汚染土壌の多段階土壌洗浄処理

受託者:(株)竹中工務店

## 事業の目的

多段階に分級や洗浄系を設けることにより、植物が混入した土壌を洗浄し、放射性セシウムを分離することで除去物を減容化する。

## 実施内容



- 多段階土壌洗浄処理方法において、植物除去工程及び二次洗浄工程の条件を判断する。
- 異なる汚染土壌を処理して本技術の適用範囲を判断する。

## 結果

表. 放射能濃度(134Csと137Csを対象)の分析結果と濃度低減率

	土壌A	土壌B	土壌C	土壌D
	Cs濃度 (Bq/kg)	Cs濃度 (Bq/kg)	Cs濃度 (Bq/kg)	Cs濃度 (Bq/kg)
(1)原 土	12000	9200	12500	5400
工程1~2	洗浄+植物除去			
(2)植 物	30000	7700	6100	24000
一次洗浄土	2800	2110	4500	1880
濃度低減率* <sup>2</sup>	<b>76.7%</b>	<b>77.1%</b>	<b>64.0%</b>	<b>65.2%</b>
濁水処理後の一次洗浄排水	不検出* <sup>1</sup>	不検出* <sup>1</sup>	不検出* <sup>1</sup>	不検出* <sup>1</sup>
工程3	磨砕+吸着			
(3)二次洗浄土	1300	1400	3300	1110
濃度低減率* <sup>2</sup>	<b>89.2%</b>	<b>84.8%</b>	<b>73.6%</b>	<b>79.4%</b>
濁水処理後の二次洗浄排水	不検出* <sup>1</sup>	不検出* <sup>1</sup>	不検出* <sup>1</sup>	不検出* <sup>1</sup>
(4)仕上げ洗浄土	仕上げ洗浄(すすぎ洗い)			
濃度低減率* <sup>2</sup>	<b>94.4%</b>	<b>89.9%</b>	<b>77.6%</b>	<b>83.9%</b>

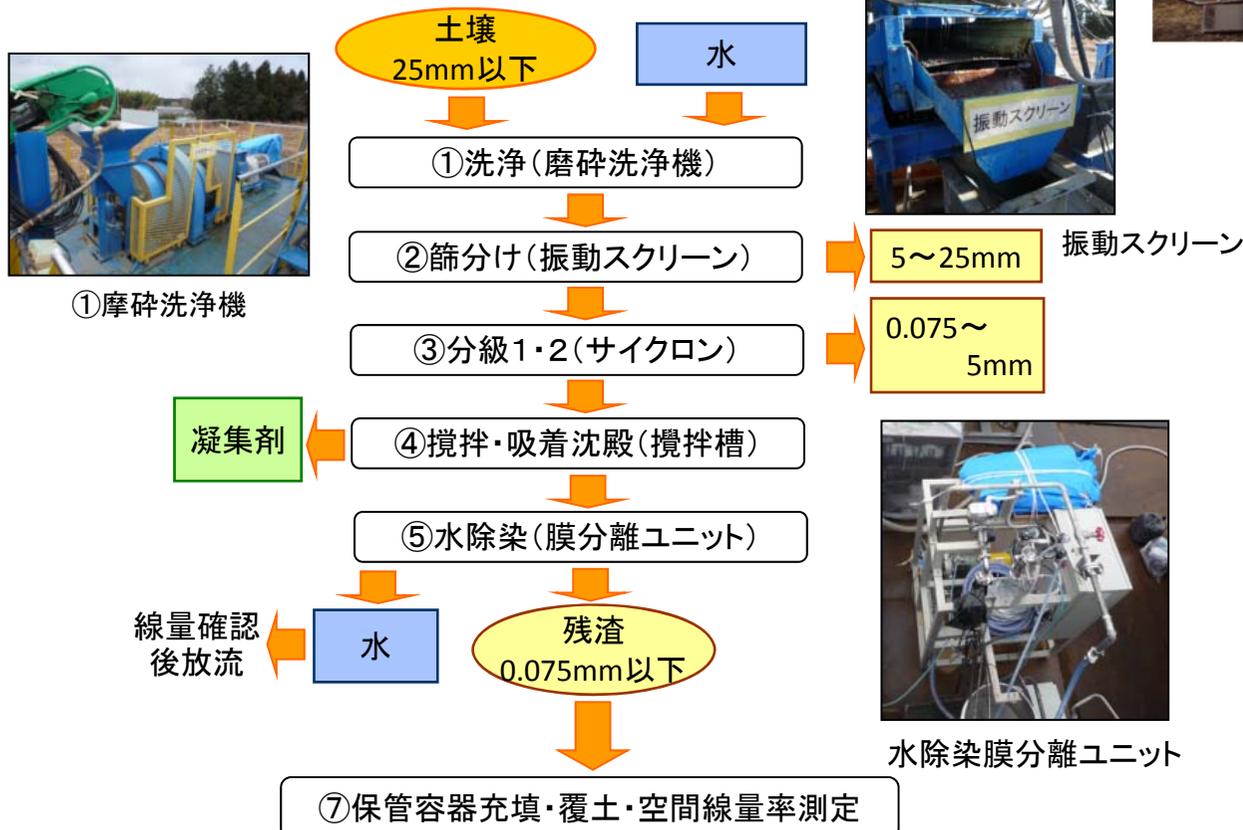
- 植物除去および一次洗浄により放射能濃度は約71%低減。
- 二次洗浄(磨砕処理)、仕上げ洗浄により、放射能濃度はさらに低減。
- 凝集処理後の排水濃度は「不検出」

\*1: 検出限界値は約10Bq/L、\*2: 原土に対するCs濃度の低減率(%)。

## 事業の目的

特殊土壌洗浄システム(SRS)を用い、土壌を洗浄・分級することにより、粘土に付着している放射性セシウムを分離し、除去物を減容化する。また、減容化後の高濃度汚染土壌の保管方法について検証する。

## 実施内容



特殊土壌洗浄システム(SRS)

- SRSとセシウム除去のための水処理施設を組み合わせたシステムにより汚染土壌を洗浄・分級し、分級レベルごとに洗浄効果を確認する。
- 粘性土主体の高濃度汚染土壌の保管について、コンクリート製容器と覆土方法の条件の組み合わせと空間線量率を把握・検証する。

# 結果

## ●放射能濃度と減容化

試料No. (採取場所の空間線量率)	分級レベル	乾燥状態の放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	粒径0.075mm以下放射能濃度割合 (%)
5-1 (5 $\mu$ Sv/h)	未洗浄	19,700		87.4
	5mm以上	663	96.6	
	0.075~5mm	3,553	82.0	
	0.075以下	228,333	—	
10-1 (10 $\mu$ Sv/h)	未洗浄	106,333		94.1
	5mm以上	5,760	94.6	
	0.075~5mm	7,317	93.1	
	0.075以下	363,000	—	



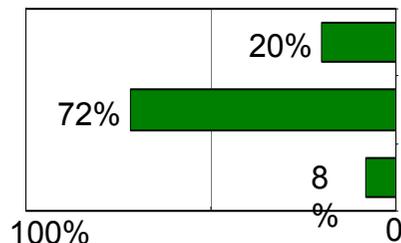
No.5-1 洗浄・分級後の試料



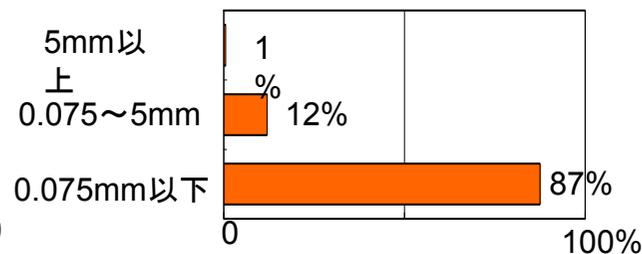
No.10-1 洗浄・分級後の試料

左から未洗浄、粒径5mm、粒径0.075~5mm、粒径0.075mm以下

分級後土壌量割合 (%)



分級後放射能残留割合 (%)



減容化と放射能濃度(試料No.5-1の場合)

## ●保管方法の検討



厚 6cm容器 : 遮へい率 75%~80%  
 厚10cm容器 : 遮へい率 85%~90%  
 厚15cm容器 : 遮へい断率 95%程度

◎ 放射能濃度が100,000Bq/kg程度の土壌では、特殊土壌洗浄システムにより洗浄・分級処理することで超高放射能濃度の微粒子(粒径0.075mm以下)と粗粒子(粒径0.075mm以上)に分別することができた。

◎ 土壌の洗浄効果は、汚染濃度によって異なる傾向がみられる。

# 土壌分級及び熱処理による汚染土壌減容化システムと 汚染水処理システムの実証

No.5

受託者:(株)日立プラントテクノロジー

## 事業の目的

汚染土壌を分級し、分級後の土壌の水洗浄や加熱により放射性セシウム(Cs)の分離性能を確認し、さらに水処理設備による汚染物質の分離性能と減容化性能を確認する。

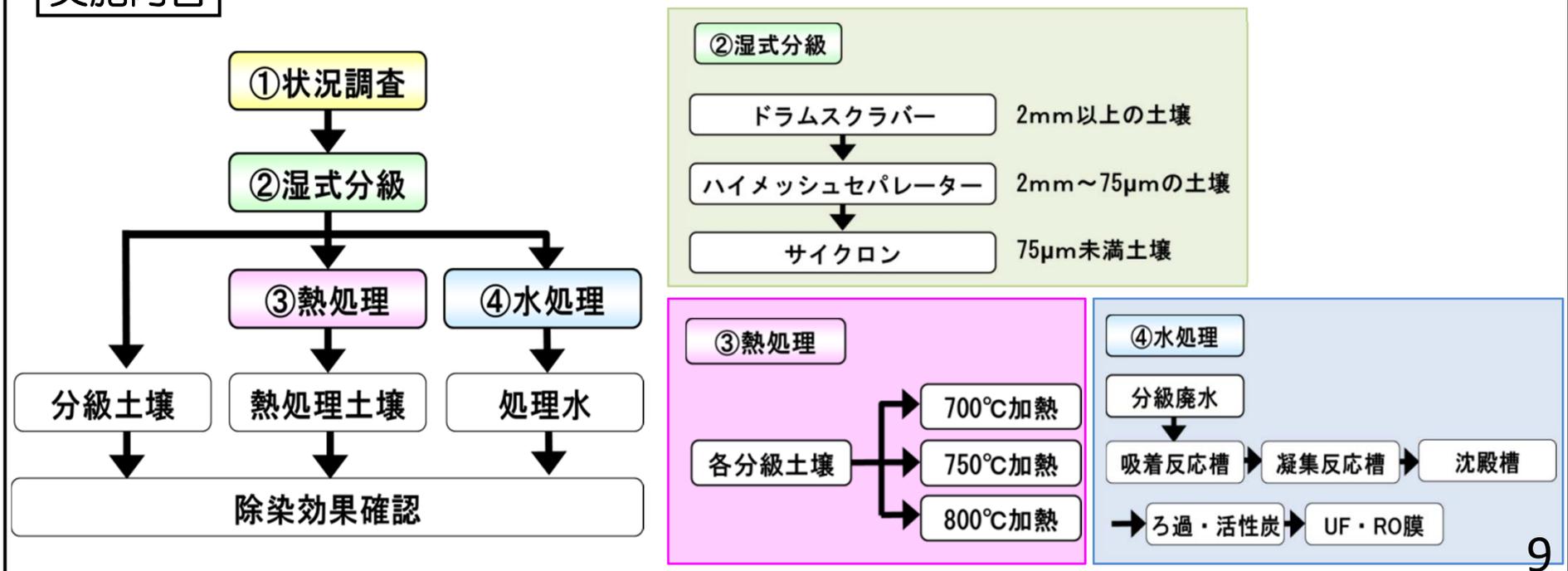


分級試験機



水処理試験機

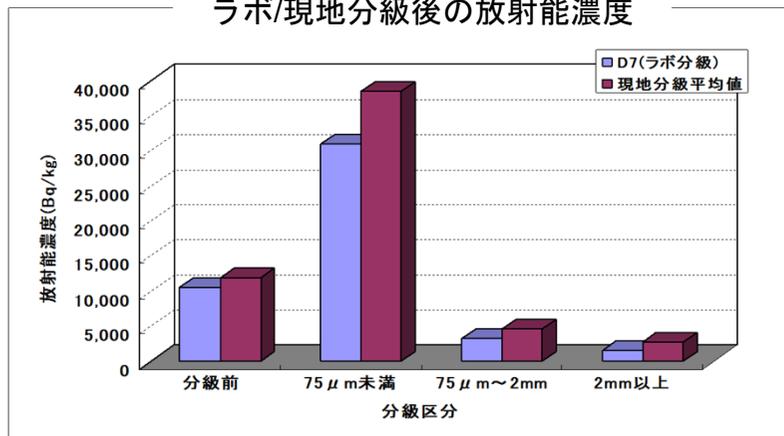
## 実施内容



# 結果

## ●湿式分級

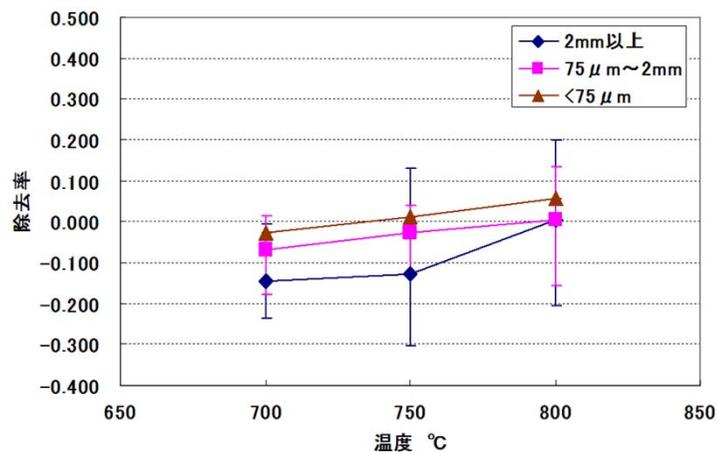
ラボ/現地分級後の放射能濃度



- 分級後75 μm未満の土壌の放射能濃度は圧倒的に高い。
- 現地分級試験では、
  - ・75 μm未満の土壌：約40000Bq/kg
  - ・75~2000 μmの土壌：60%の低減率
  - ・2000 μm以上の土壌：77%の低減率

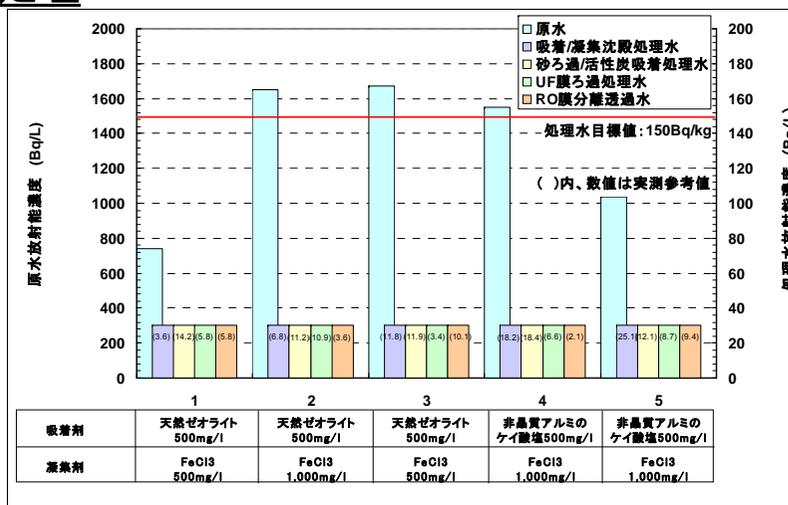
## ●熱処理

温度と放射能除去率の関係



- 800°C、750°C、700°Cのいずれの温度でも除去率はほぼゼロと変化はなく、Csの除去は確認されなかった。

## ●水処理



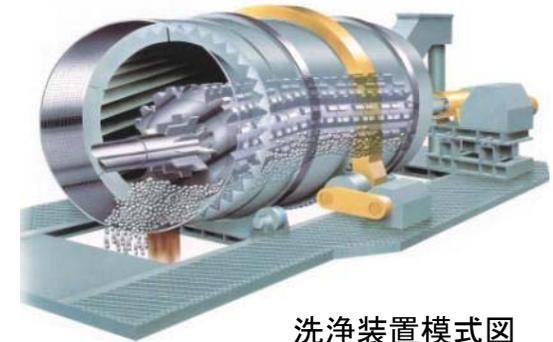
- 粒径75 μm未満の土壌が混在する泥水(約700~1600Bq/Kg)を水処理した結果、吸着+凝集沈殿によって定量下限値(30Bq/L)以下となった。

事業の概要

表面研磨が可能な土壤洗浄設備により、除染で発生する汚染土壤を洗浄処理し、浄化土壤と放射性セシウムが濃縮した少量の脱水ケーキに分離する。浄化土壤は再利用し、脱水ケーキは汚染物として仮置き場や一時保管設備などで保管・管理する。汚染土壤をそのまま保管する場合に比べ、コストおよび保管容量の削減ができる。



ロータリー式土壤洗浄機



洗浄装置模式図

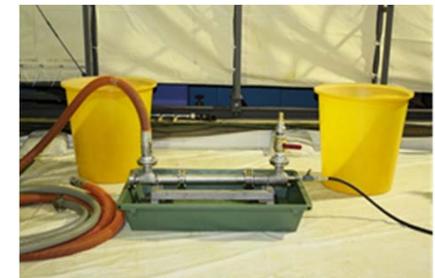
実施内容

福島県内に設ける試験場に土壤洗浄試験設備を設置し、現地の数種類の土壤を用いた実証試験を実施。提案する土壤洗浄処理の洗浄効果を検証する。

項目	内容	分析試料
①試料調整	概ね10,000Bq/kg以上となるように土壤を採取・均質化する	原土壤
②1次洗浄 (分級洗浄)	ロータリー洗浄機を用いて土壤をスラリー化した後、分級機で細粒分を除去	一次洗浄土
③二次洗浄 (>5mm)	5mm以上のレキをロータリー洗浄機で研磨洗浄し5mm以上を回収	二次洗浄土 (>5mm)
④二次洗浄 (≤5mm)	残りのレキと砂を、キャビテーションジェット洗浄機で洗浄	二次洗浄土 (≤5mm)
⑤水処理	洗浄後の濁水を凝集沈殿処理装置で浄化	原水 処理水
⑥脱水ケーキ 作成	スラッジを、小型フィルタープレスにかけて脱水ケーキを得る	脱水ケーキ



小型土壤分離装置



キャビテーションジェット装置



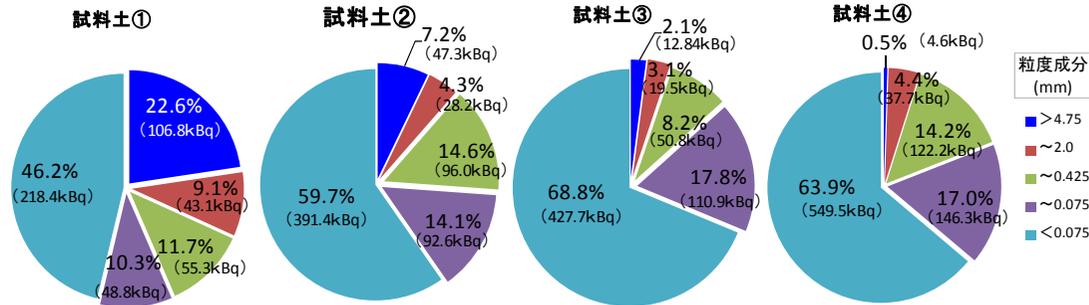
水処理装置



小型フィルタープレス

# 結果

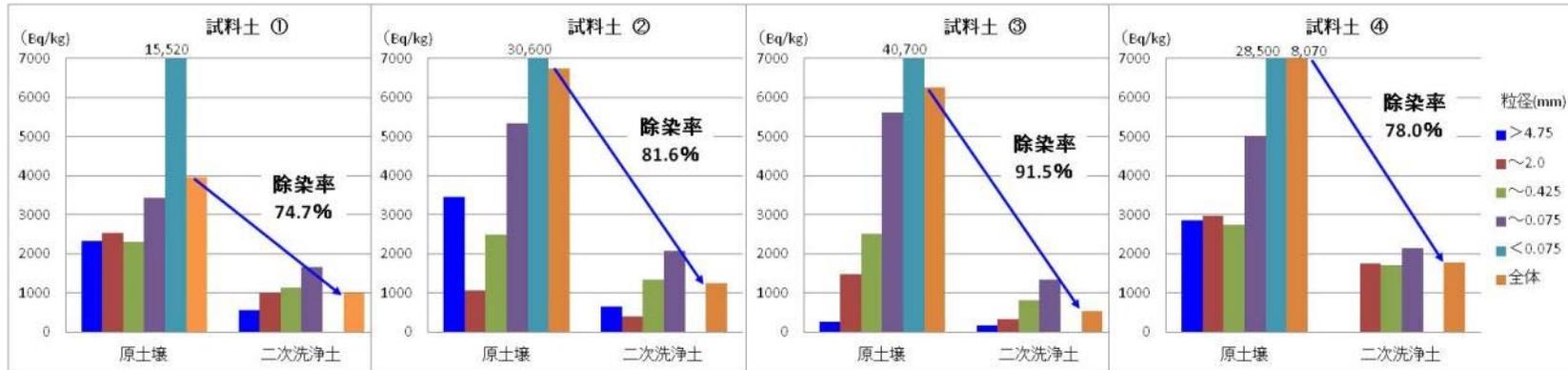
## ●分級・洗浄による放射能濃度の低減効果



原土壌の粒度成分毎に含まれる放射性セシウムの相対比率



脱水ケーキ



二次洗浄後の粒度成分毎に含まれる放射性セシウム濃度の変化

## ●減容化効果の検証

### 減容化効果の検証

	媒体	種別	単位	試料土①	試料土②	試料土③	試料土④	備考
減容化なし	保管容積		L	75.47	73.17	70.59	73.46	
減容化後 (計算)	保管時容積	締固めなし	L	40.27	42.57	28.70	38.97	
		締固め時	L	24.01	26.68	17.85	21.38	
	減容化率	締固めなし	%	46.6	41.8	59.3	47.0	平均48.7%
		締固め時	%	68.2	63.5	74.7	70.9	平均69.3%

- ① レキ・砂分(粒度0.075mm以上)には土壤中の放射性セシウムの30%以上が含まれるため、これらの研磨洗浄は有効。研磨洗浄により、レキ・砂分の放射性セシウムを約50%除去できた。
- ② 分級・洗浄により土壌容積は40~50%程度減容化することができ、脱水ケーキの締固めにより、70%程度減容化することが可能。

# No.7 高性能洗浄装置を用いた汚染土壌の除染および減容化技術

受託者: 佐藤工業(株)

## 事業の概要

放射性物質が付着した土壌の水洗浄による除染・減容化技術の適用性を確認する。また、除染・減容化技術の概要と除染効率、さらに、洗浄により発生した濁水の処理・再利用技術とその効果を確認する。



マイクロバブル  
渦崩壊洗浄装置

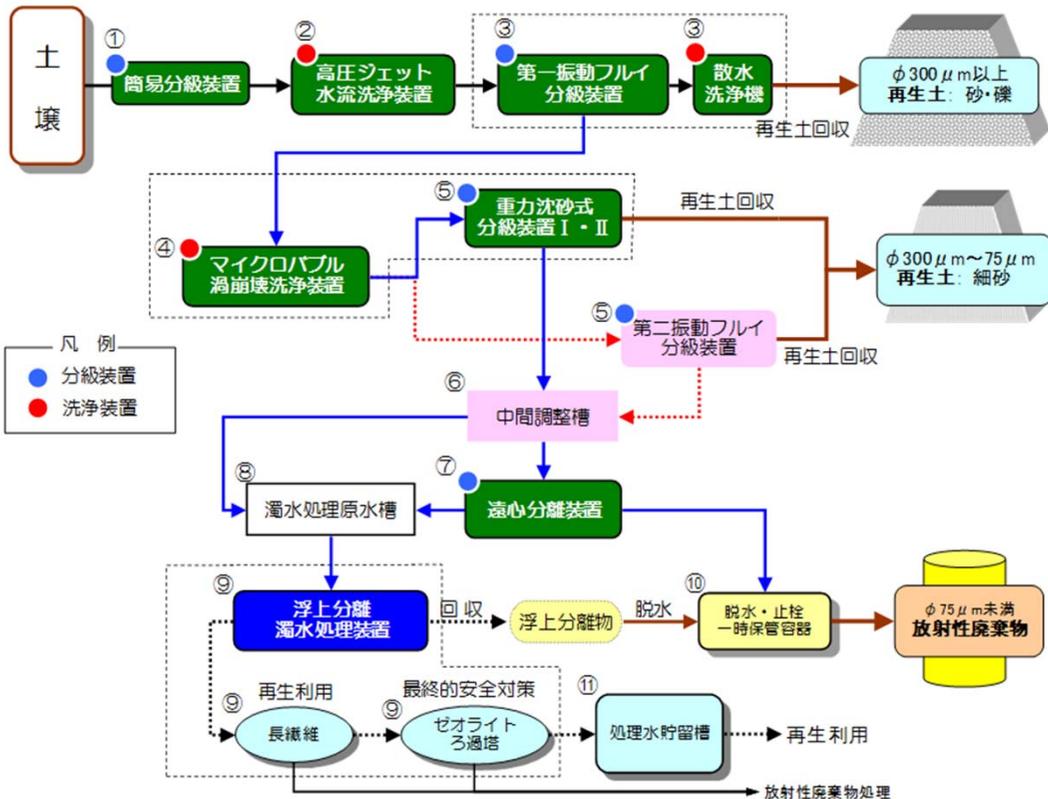


試験装置全景



浮上分離濁水処理装置

## 実施内容

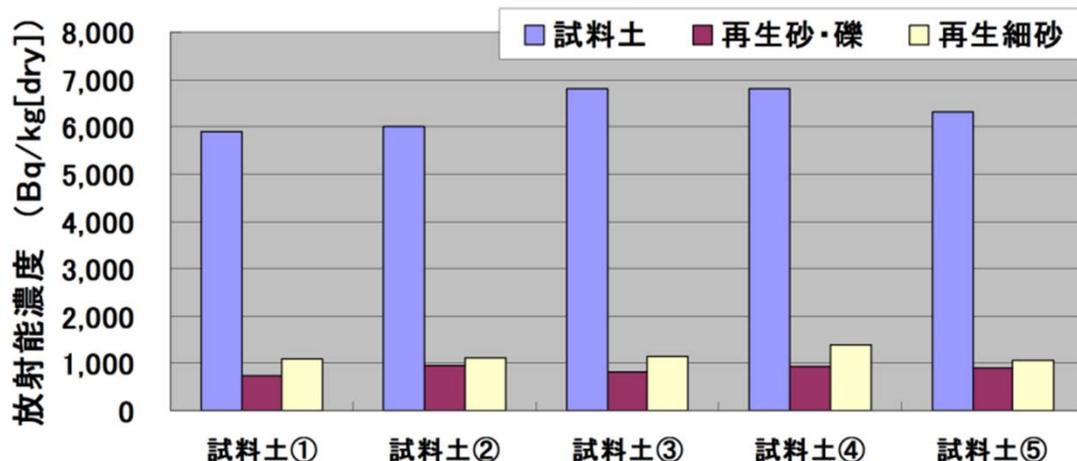


小規模で機動力のある「高圧ジェット水流洗浄装置」や「マイクロバブル渦崩壊洗浄装置」「浮上分離濁水処理装置」により、放射性物質を分離する。

- ① 除染で発生する放射性廃棄物(土壌)を減容化する。
- ② 放射性物質が含まれる分級(粒度)区分の検証と含有量を把握する。
- ③ 洗浄により発生した放射性物質を含む水の処理技術を実証する。

# 結果

## 2種類の洗浄装置による洗浄効果



試料土および洗浄後の再生砂等の放射能濃度  
(再生砂・礫: 粒径300 $\mu$ m以上、再生細砂: 粒径75~300 $\mu$ m)



## 浮上分離濁水処理効果



濁水 SS: 50~100mg/L  
放射能濃度: 1~5 Bq/L

浮上分離後 SS: 20~30mg/L  
放射能濃度: 1Bq/L未満

浮上分離物  
放射能濃度: 22800Bq/kg

○高圧ジェット水流洗浄装置、マイクロバブル渦崩壊洗浄装置による洗浄により、土壌の放射能濃度を平均88%低減。

除染率: 再生砂・砂礫: 84~87%  
再生細砂: 76~81%

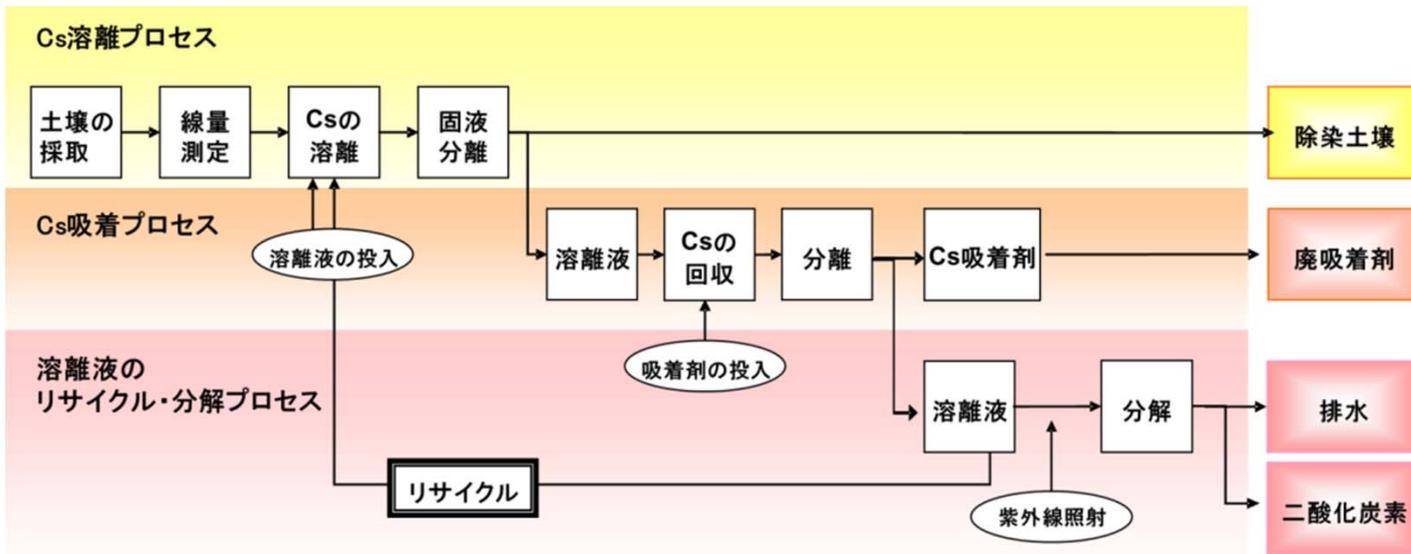
○浮上分離処理装置による濁水処理により、処理水の放射能濃度は検出限界以下(1Bq/L)を達成。

事業の概要

大量発生が予想される汚染土壌に対し、簡便で効率的な除染システム的确立に必要な技術を開発するため、有機酸によるセシウムの溶離・回収を検討する。

実施内容

- 常圧処理による安全・簡易な手法として、有機酸であるシュウ酸による、汚染土壌からのセシウム溶離および溶離液のリサイクル・分解の効果を確認する。
- ① ラボ試験：実験用土壌による効果の確認
  - ② 実証試験：福島県で採取した汚染土壌による実証



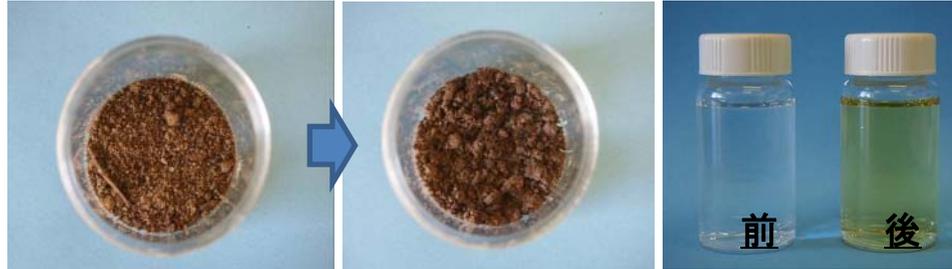
土壌からセシウム除去フロー



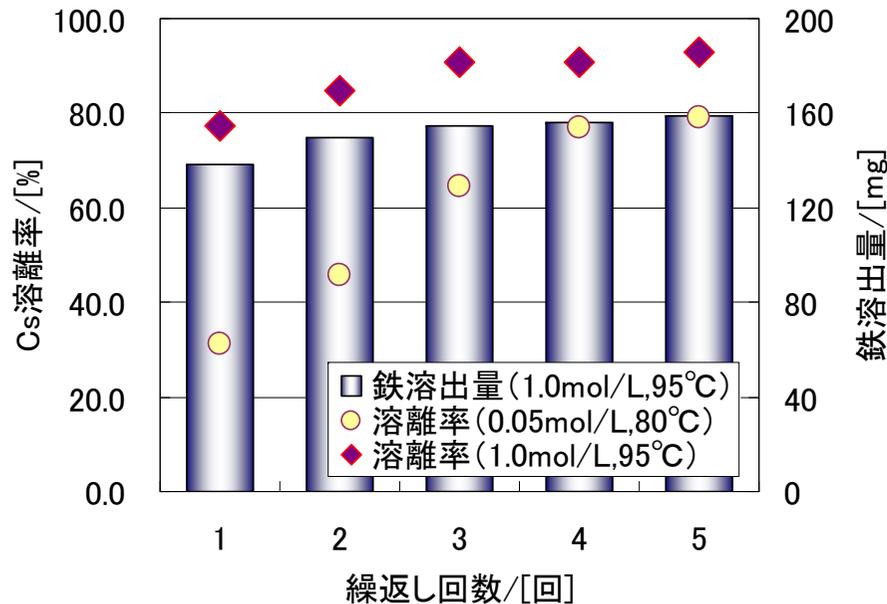
セシウム溶離試験の状況

# 結果

## ●シュウ酸によるセシウムの溶離処理

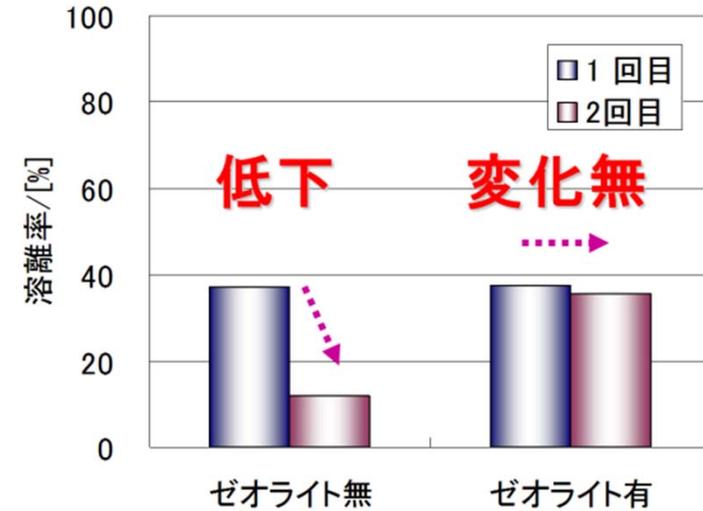


処理前 約5000Bq/kg 処理後 約450Bq/kg 処理前後の溶離液

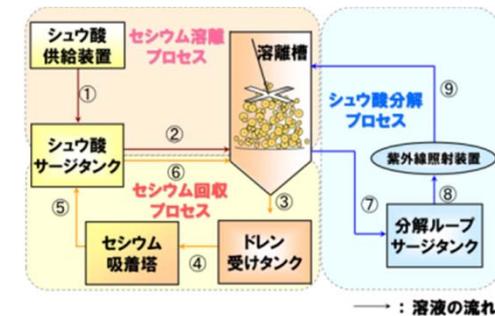


土壌からのセシウム溶離率は93%。  
(条件: 1.0mol/Lシュウ酸、処理温度95°C、繰り返し回数5回)

## ●溶離液のリサイクル



ゼオライトを用いて溶離したセシウムを回収すれば、シュウ酸が浄化され、繰り返し利用が可能。



## 土壌からのCs回収システム(概念設計)

基本設計条件で、処理容量5トン/日の処理装置の概念設計を実施した。

## 事業の概要

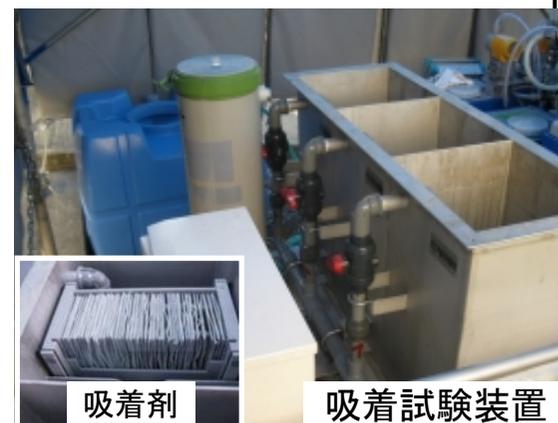
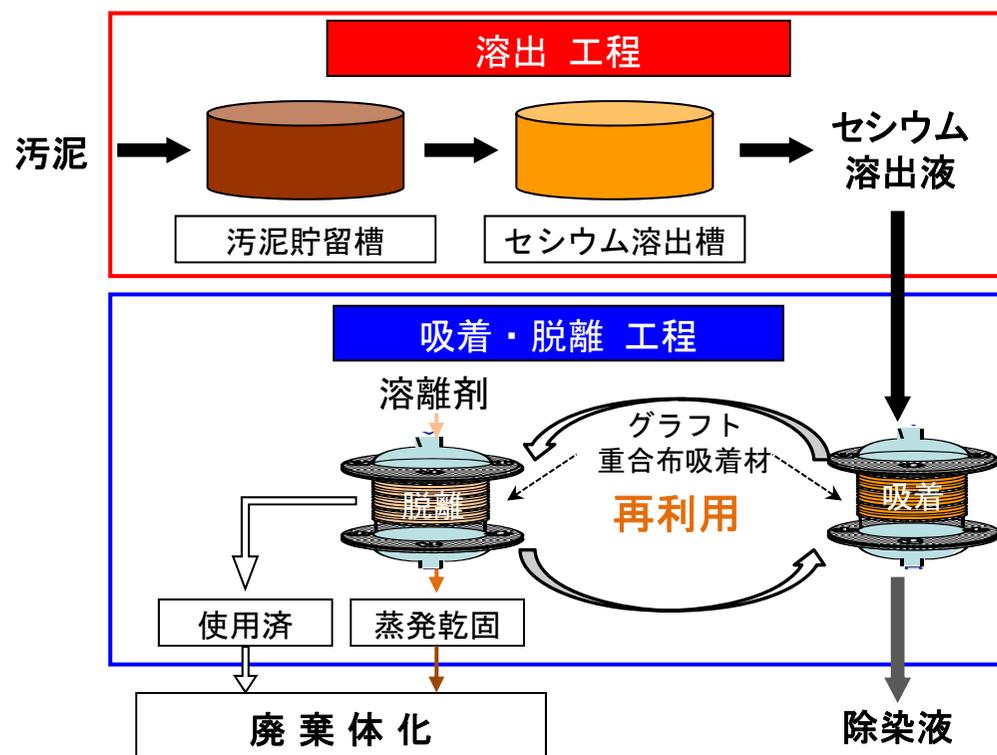
放射性セシウム(Cs)を含む下水処理施設の汚泥等から、汚泥可溶化剤(酸またはアルカリ溶液)を使用してCsを溶出し、特殊な吸着材で吸着回収する。

吸着したCsを溶離剤により脱着させることで、吸着剤の再利用を図る。



溶出試験装置

## 実施内容

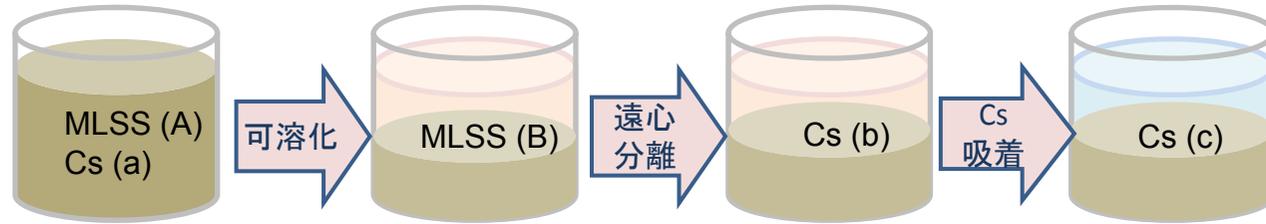


吸着剤

吸着試験装置

- テーブルテストにより、下水汚泥からCsの溶出方法の検討、溶出液からのCs吸着特性把握等の評価を行う。
- 下水処理施設より発生する汚泥を、試験装置により処理を行い、除染効果等の評価を行う。

# 結果



A : 原汚泥のMLSS  
a : 原汚泥のCs濃度

B : 汚泥溶解液のMLSS

b : 汚泥溶解液の溶解性Cs濃度

c : 吸着後の溶解性Cs濃度

## 汚泥可溶化およびCs溶出率、吸着率の結果

表1. 汚泥減容率

可溶化試験	原汚泥のMLSS (A)mg/L	汚泥溶解後のMLSS (B)mg/L	汚泥減容率 (A-B)/A × 100
テーブルテスト (模擬汚泥+安定性Cs)	10100	920	91 %
実証試験 (汚染汚泥)	39000	19000	50 %

表2. Cs溶出率

溶出試験	原汚泥のCs濃度(a)	汚泥溶解液の溶解性Cs濃度(b)	Cs溶出率 b/a × 100
テーブルテスト (模擬汚泥+安定性Cs)	130μg/L	120μg/L	92 %
実証試験 (汚染汚泥)	16Bq/kg	11Bq/kg	69%

表3. Cs吸着率

吸着試験	吸着前濃度 b	吸着後濃度 c	吸着率 (b-c)/b × 100
テーブルテスト (模擬汚泥+安定性Cs)	90μg/L	50μg/L	44 %
実証試験 (汚染汚泥)	11Bq/kg	< 5Bq/kg	> 55%

MLSS: Mixed Liquor Suspended Solidsの略。活性汚泥法のばっき槽内混合液中の浮遊物量 (mg/L) をいう。この浮遊物にあたるのが汚泥であり、汚泥が可溶化されるとMLSSの値が低くなる。このことから、MLSSの変化から汚泥の増減を把握できる。

- 汚泥可溶化剤による汚泥可溶化により、汚染汚泥を50%減容化できた。
- 可溶化処理によって溶出させたCsは、グラフト重合布吸着材によって吸着が確認された。  
\*注: 本実験では、原汚泥のCs濃度が低いため、溶出量は微量であった。
- 汚泥可溶化処理とCs吸着処理により、汚泥の放射能濃度の低下がみられた。

# No.10 高圧洗浄を使わない除染作業と親水性塗膜による汚染軽減作業

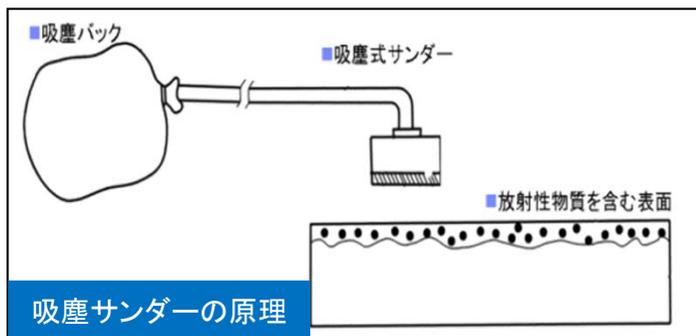
受託者: 志賀塗装(株)

## 事業の概要

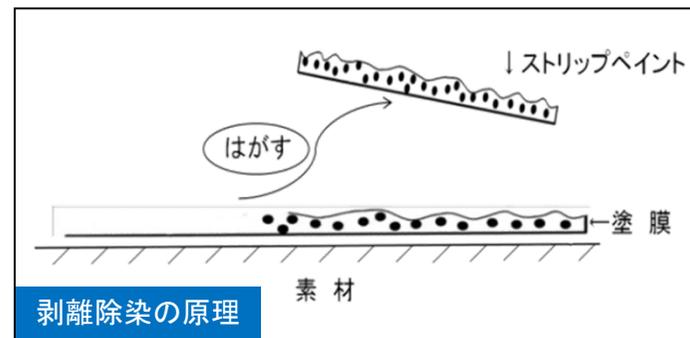
吸塵式サンダーやストリップペイントを用いて、汚染された建物の塗装面等についての、水を用いない除染方法を実証する。

## 実施内容

### 実施内容① 研削による除染



### 実施内容② 剥離による除染



※ 一特許出願中一 特願2011-242921

# 結果

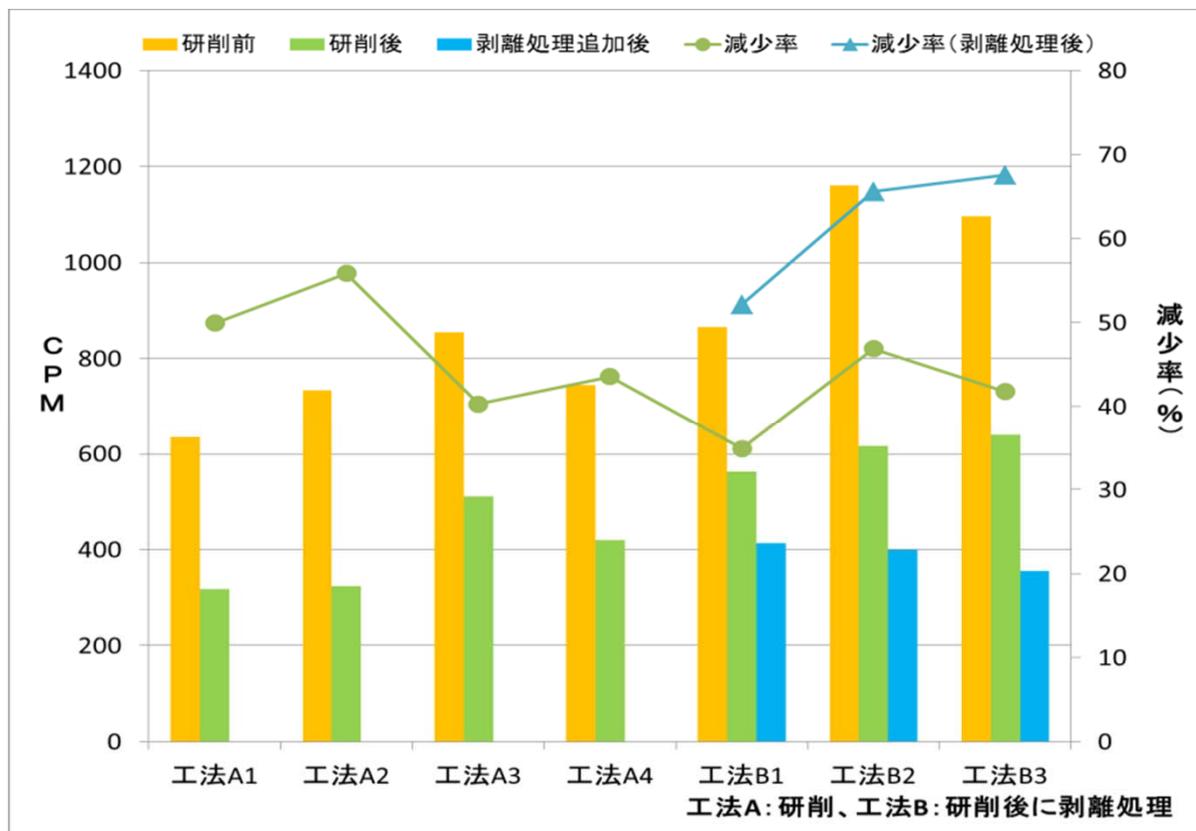


図. 研削および剥離除染による表面汚染の減少率

表. 剥離除染剤の種類によるコストの比較

除染剤名	価格(円/m <sup>2</sup> )	表面汚染の減少率(%)
除染剤A	10,000	59 (34~84%)
ストリップペイント	2,900	25 (14~35%)

● 吸塵式サンダーによる研削除染により、35～56%の表面汚染の減少率が確認された。また、研削後にストリップペイントによる剥離除染を行うことで、研削前に比べ50～68%の表面汚染の減少率が得られた。

● 塗料の剥離剤であるストリップペイントの除染効果(表面汚染濃度の減少率約25%)は、専用の除染剤の除染効果(同59%)に比べ、半分以下。ただし、コストは3割以下であり、吸塵式サンダーとの併用が効果的。

# No.11 ナノバブル水を用いた放射性セシウムの直接洗浄効果の実証

受託者: 京都大学

## 事業の概要

機械的摩擦などの物理的な除去が困難な汚染対象物を、水と空気だけで生成可能な洗浄力のあるナノバブル水を用いて直接洗浄し、除染効果を評価する。

## 実施内容

- 通常の水道水を使って生成させたナノバブル水を用いて除染試験を行う。
- 様々な対象物に対して洗浄試験を行い、除染効果を確認する。
  - 高圧洗浄(コンクリート、樹皮)
  - 拭き取り(ウッドデッキ)
  - 浸漬(砂利)



ナノバブル生成装置

ナノバブル水(空気)  
(直径1/1,000,000mmの気泡)



ナノバブル水によるコンクリート洗浄



樹皮



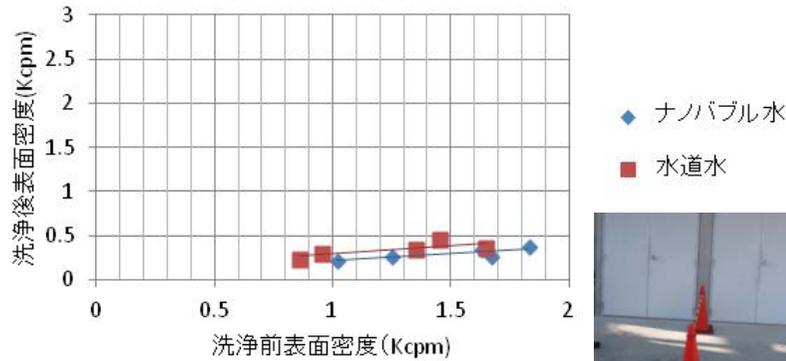
ウッドデッキ



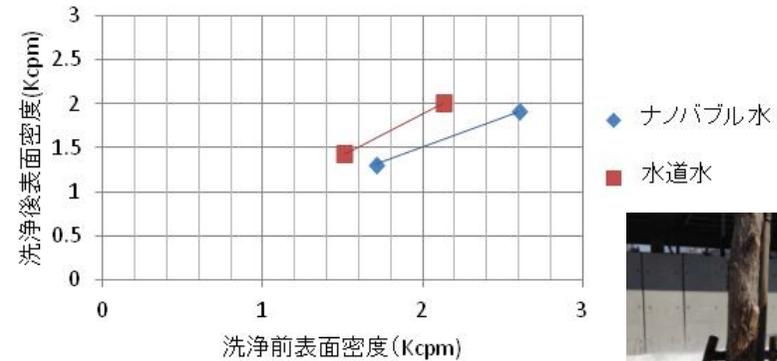
砂利

# 結果

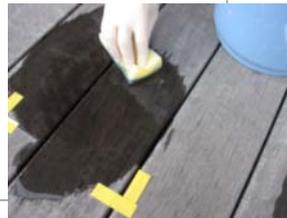
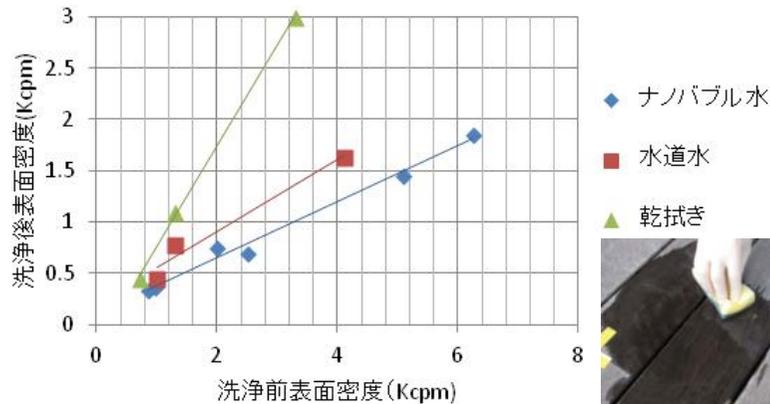
コンクリート舗装面の高圧洗浄  
(2cmより7.5MPaで10秒)



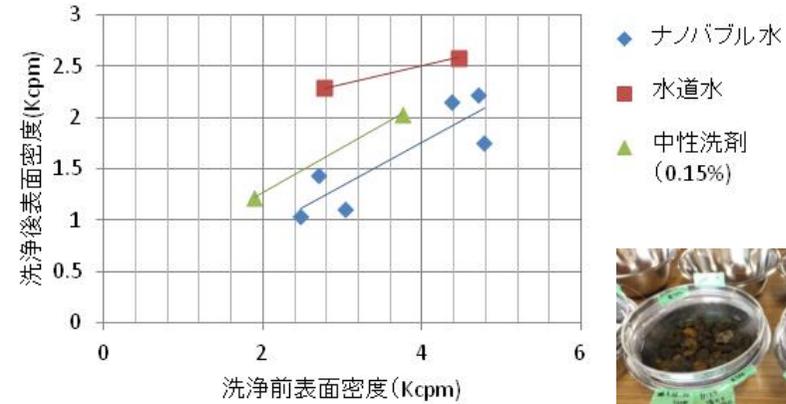
樹木表面の高圧洗浄  
(5cmより7.5MPaで10秒)



ウッドデッキ拭き取り(スポンジ使用)



砂利の浸漬洗浄(3時間)



- コンクリート舗装面の高圧洗浄の場合、ナノバブル水と水道水はほぼ同等だった。また、樹木表面の高圧洗浄、ウッドデッキ拭き取りの場合についても、ナノバブル水の優位性は僅かであった。
- 砂利をナノバブル水に浸漬した場合には、水道水よりも洗浄効果は高い傾向が見られた。

# No.12 モルクラスターオゾン水による各種構造物の除染実証試験

受託者: ネイチャーズ(株)

## 事業の概要

強力な酸化剤であるオゾン水を用いて、コンクリートやアスファルトに結合している放射性セシウムを構造物から化学的に遊離させ除染する方法について検討する。

## 実施内容

モルクラスターオゾン水(高濃度オゾン水)による酸化分解反応が、どのような材質・形状でも、除染に応用できることを実証するため、路面等にオゾン水を噴霧し、除染効果の確認を行う。

### 【試験条件】

- |                   |               |
|-------------------|---------------|
| ○モルクラスターオゾン水      | ○高圧水道水        |
| ・ 約40~60ppm       | ・ 8.8MPa、6L/分 |
| ・ 0.3MPa、数L~数十L/分 |               |

※モルクラスターオゾン水:  
オゾン分子を水クラスターの中に高密度で溶解させたもの。

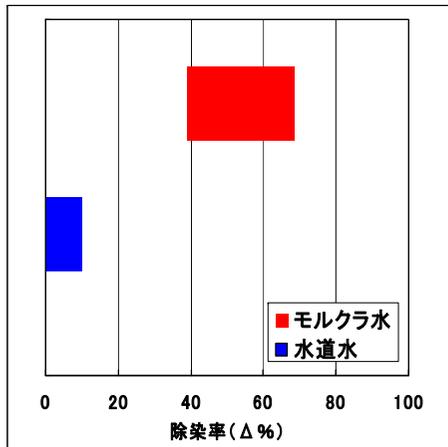


オゾン水生成装置の本体



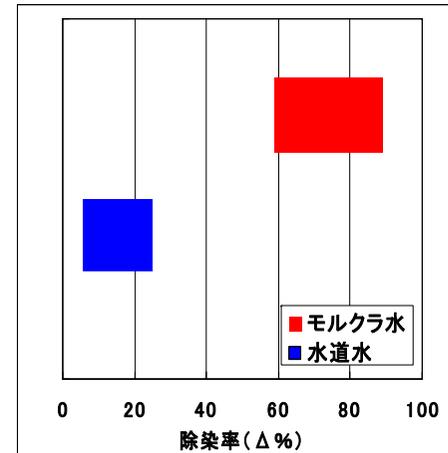
路面・建物の除染

## 結果



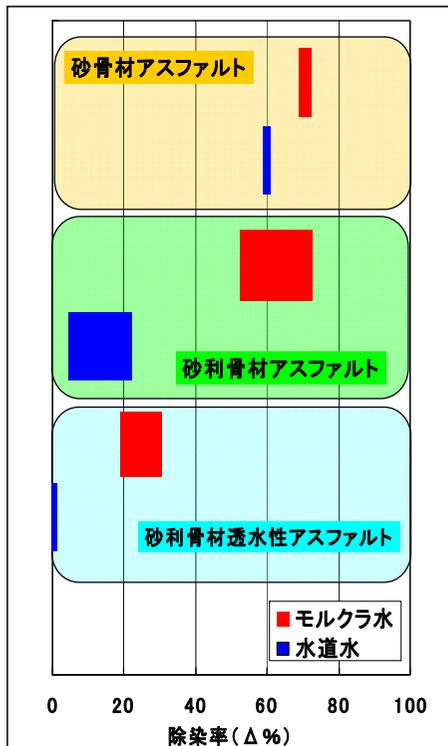
### ■硬質コンクリート

- ・ 高圧水道水洗浄の除染率は10%以下。
- ・ モルクラスターオゾン水の除染率は平均60%。



### ■建物

- ・ 高圧水道水洗浄の除染率は20%程度。
- ・ モルクラスターオゾン水の除染率は約70%。
- ・ 平滑な塗装面の場合、除染率が高かった。



### ■アスファルト

- ・ 砂を骨材とする仕上げアスファルト面は高圧水道水でも洗浄できる。
- ・ 砂利を骨材とする一般的な道路アスファルト面は高圧水道水では20%程度の除染率だが、モルクラスターオゾン水では70%。
- ・ 砂利を骨材とする透水性アスファルト面は高圧水道水では殆ど除染できなかった。モルクラスターオゾン水では30%程度の除染率。洗浄水が浸透しなくなると除染率は低下。

### 【安全上の注意点】

- ・ 厚労省の作業環境基準に準拠（環境濃度0.1ppm以下）
- ・ 除染区域を設け、人が侵入しないよう管理
- ・ 除染作業者はオゾン分解マスクを着用
- ・ 環境オゾン濃度、風向、風速を常時監視

- モルクラスターオゾン水による洗浄は、コンクリート、アスファルト、建物等の洗浄において、高圧水道水に比べて除染効果は高い。
- 削取り等構造物の形状を変えずにコンクリートやアスファルト等を除染できる。
- ガス化するオゾンの安全対策が必要。

## 事業の概要

超高圧(最大280MPa)水表面処理工法を用いた高圧洗浄により、汚染された舗装面等を除染する。また処理水は除染と同時に吸引回収され、Csの除去のための水処理を行う。

Jリムーバー



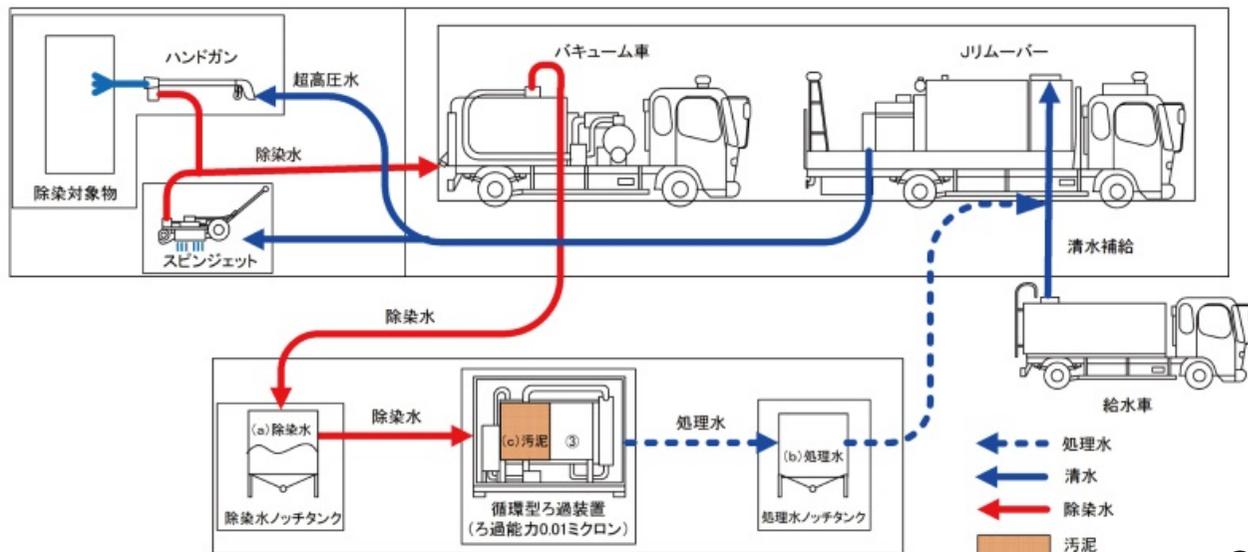
ストライプ  
ジェット



スピンジェット  
福島大学 インターロッキング

## 実施内容

道路清掃及び路面標識消去に用いる既存の高圧洗浄機を応用し、様々な形態の舗装面での除染効果を、様々な吸引圧力別の実証する。また、処理水のリサイクル技術も確立する。



# 結果

## ●インターロッキングの除染

表1. 目地砂(乾燥土)の深さ方向の汚染状況

深さ (cm)	134Cs (Bq/kg)	137Cs (Bq/kg)	134Cs+137Cs (Bq/kg)
1	163,000	212,500	375,500
2	70,000	90,900	160,900
3	14,850	19,050	33,900



除染前 1777cpm → 除染後 101cpm



目地深さ約3cm

## ●密粒アスファルトの除染

《線量 低》

0.55μSv/h  
(高さ1m)

除染前



1710cpm

除染後



41cpm

《線量 中》

3.30μSv/h  
(高さ1m)



9702cpm



573cpm

《線量 高》

45.66μSv/h  
(高さ1m)



53448cpm



213cpm

●インターロッキングの目地砂を超高圧水洗浄で除去することにより、表面汚染を94%低減できた。

表2. 密粒アスファルトの除染(225MPa)

	除染前 cpm	除染後 cpm	低減率 %
線量 低	1710	41	97.6
線量 中	9702	573	94.1
線量 高	53448	213	99.6

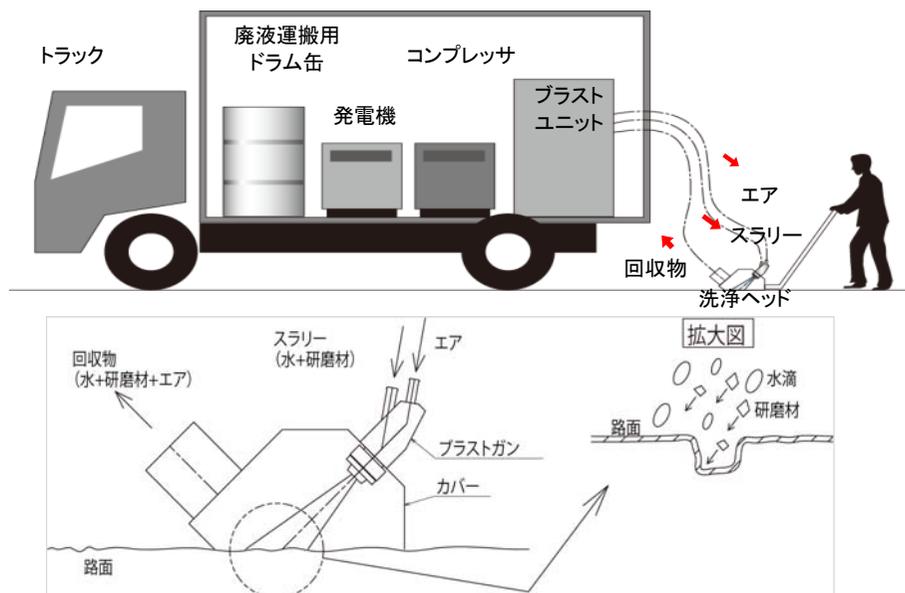
●密粒アスファルトの超高圧水除染により、1710～53448cpmの表面汚染が41～513cpmに低減。減率はいずれも94%以上であった。

## 事業の概要

汚染された舗装面の高圧洗浄は、除染の不十分さや、処理水の漏えいによる二次汚染が危惧される。この解決のためにウェットブラスト装置の製作・試験を実施し、路面の高い除染効果と循環運転の可能性を実証する。

## 実施内容

水と研磨剤の混合液(スラリー)を高速で噴射し、路面を洗浄・削除するウェットブラスト装置の試作し、実際の道路での除染実証を行う。

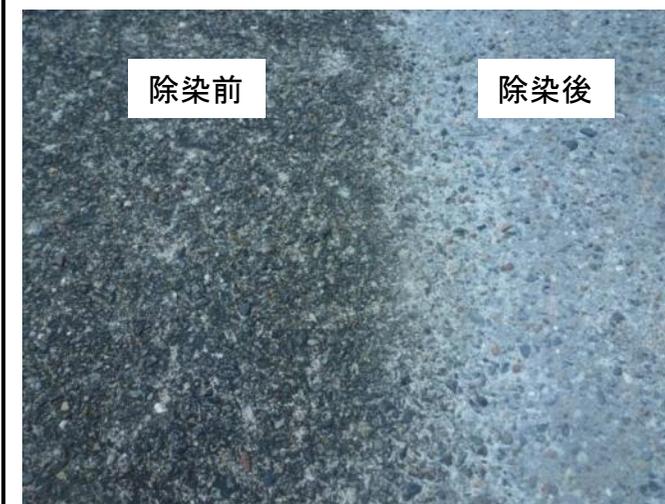


## ＜試験の内容＞

- ① 試作した洗浄機が実際の使用に問題が無いか、実用性の確認。
- ② 路面の種類・ブラスト時間の違いによる効果の確認および把握。
- ③ スラッジ回収システムによるスラリー中の微細粒子の回収・除去。



団地内舗装面の除染作業

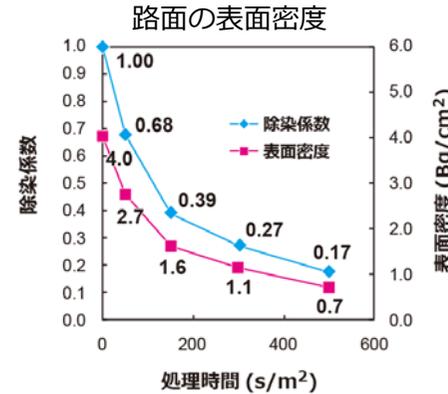
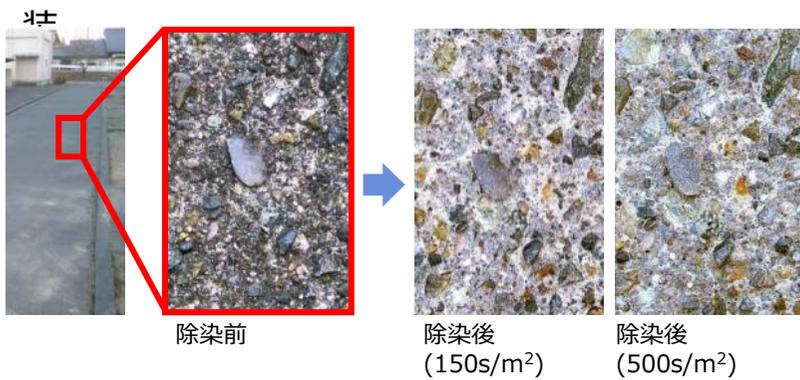


除染前後の舗装面

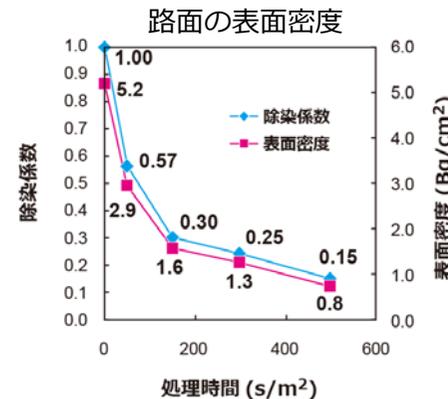
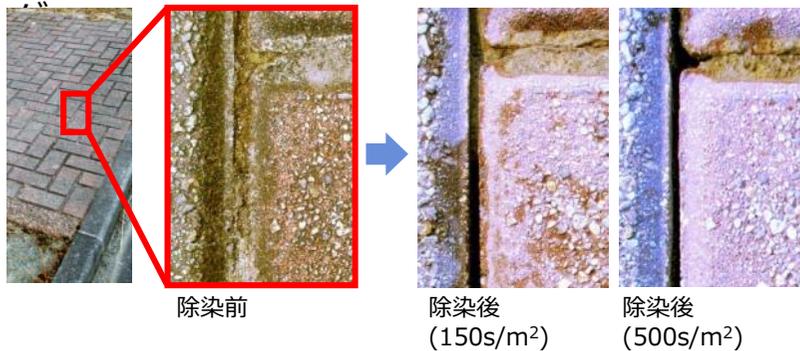
# 結果

## 処理時間と除染効果の関係

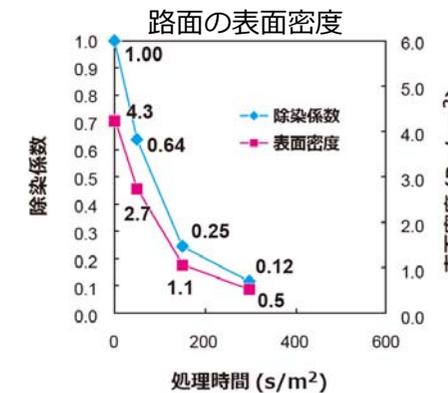
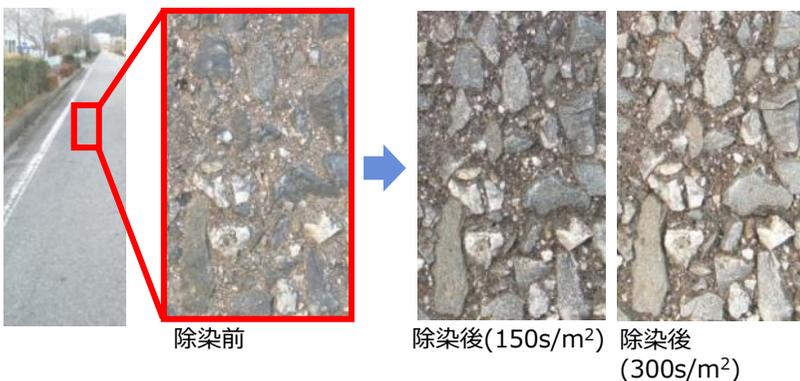
### コンクリート舗



### インターロッキング

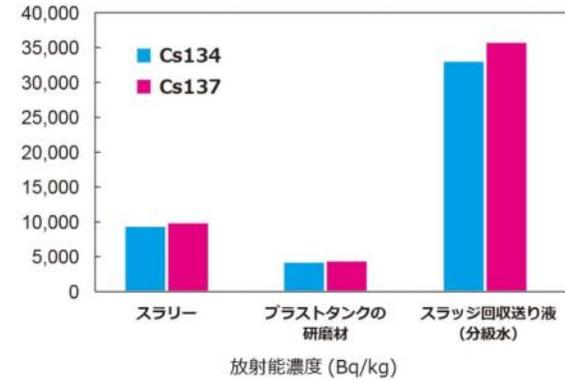


### アスファルト舗装



- ※ 1 鉛遮へいによる測定をし、バックグラウンドを補正した。
- ※ 2 除染係数 = 除染後 / 除染前

## 回収水の処理の結果



いずれのサンプルも、0.2μmのフィルタによるろ過により分離された水の放射能濃度は、すべて検出限界以下。

◎ウエットブラストでは、コンクリート、インターロッキング、アスファルトいずれの路面においても1㎡当たり約150秒で放射性物質の60～70%を除去可能。

◎回収した水・研磨剤等のから放射性物質の除去が可能。

## 事業の目的

放射性物質で汚染された廃棄物を「廃棄物洗浄機」および「摩砕洗浄機」を使用して洗浄し、対象瓦礫の放射能濃度を低下させ、一般の焼却施設にて焼却等が可能な廃棄物にするなど、中間貯蔵施設へ搬入する廃棄物の量を減らすことを目的とする。

## 実施内容

- 洗浄は、警戒区域内の瓦礫を対象として、試験用の廃棄物洗浄機及び摩砕洗浄機を用いて洗浄試験を行う。
- 洗浄水はゼオライトろ過を行い、放射能濃度計測後、放水する。
- 洗浄方法、洗浄回数を変更し、洗浄された廃棄物の表面汚染密度、放射能濃度を測定し、洗浄の有効性を検証する。

廃棄物収集・試料調整  
(木材、金属、コンクリート、プラスチック、土砂)



放射能等の測定 (洗浄前)



本実験  
(廃棄物洗浄機・摩砕洗浄機)



放射能等の測定 (洗浄後)



評価 (洗浄効果等)



廃棄物洗浄機  
(洗浄部分: 60cm × 100cm)



摩砕洗浄機  
(洗浄部分: 60cm × 100cm)

# 結果



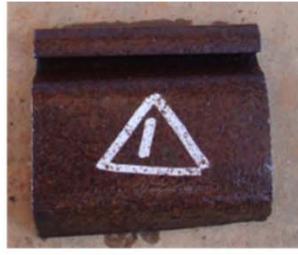
コンクリート ( 左 : 洗浄前、右 : 洗浄後 )



木材 ( 左 : 洗浄前、右 : 洗浄後 )



プラスチック ( 左 : 洗浄前、右 : 洗浄後 )



金属 ( 左 : 洗浄前、右 : 洗浄後 )



土砂 ( 左 : 洗浄前、右 : 洗浄後 ) ( 摩砕洗浄 )

		コンクリート	木材	プラスチック	金属	土砂
洗浄前	放射能濃度平均(Bq/kg)	8,250	2,635	5,080	1,242	16,720
洗浄後	放射能濃度平均(Bq/kg)	2,235	1,552	3,775	576	3,860
放射能濃度低減率		73%	41%	26%	54%	77%

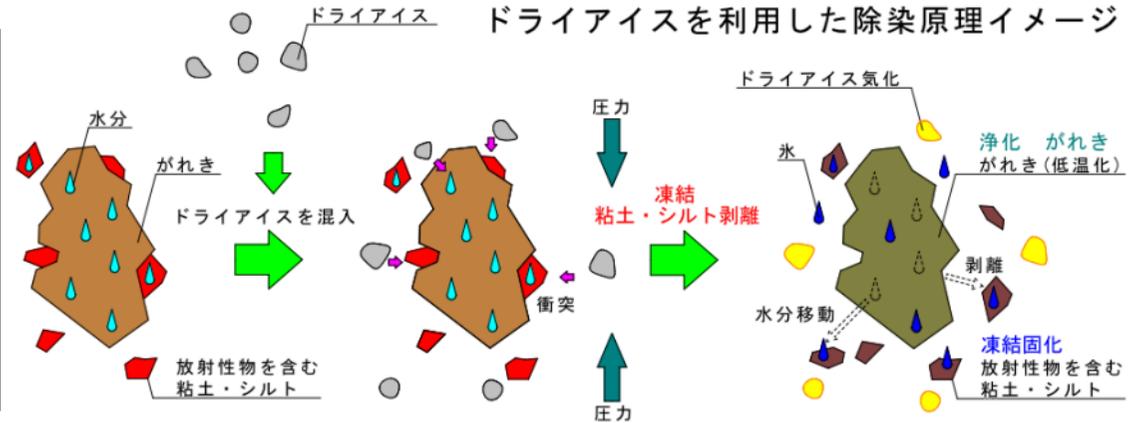
\*1: 廃棄物洗浄後の細粒分をふるい分けした0.5mm以上の土壌際留分をふるい分け前の土壌は20,740(Bq/kg)

\*2: 摩砕洗浄後の細粒分をふるい分けした0.5mm以上の砂

- コンクリート、木材、プラスチック、金属について廃棄物洗浄機で洗浄することによって、放射能濃度を低減させることができる。
- 材質によって放射能濃度の低減率は26%～77%と異なる。
- 土砂について、摩砕洗浄機で洗浄することによって、放射能濃度を減少させることができる。

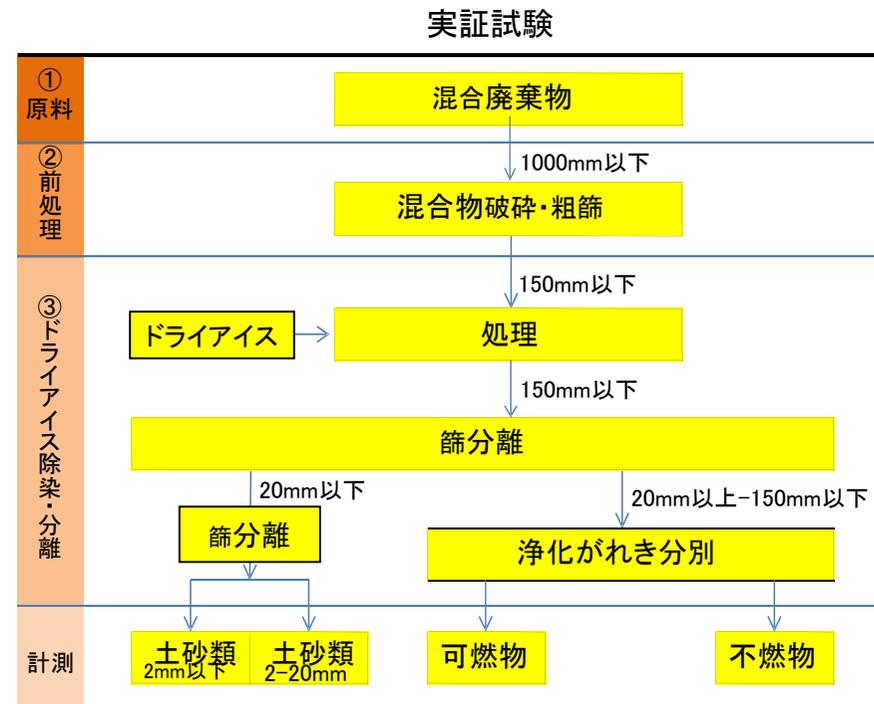
事業の概要

放射性物質に汚染された津波等による災害廃棄物(がれき)を、ドライアイスを利用した乾式方法によって、除染する方法を確立することを目的とする。



実施内容

- ① 放射性物質を含んだ「がれき」を破碎、粗篩の後、ドライアイスと混合する。「がれき」に付着した、粘土・シルトを剥離させ、浄化された「がれき」と放射性物質を含む土砂類を分離する。
- ② 土砂類については、さらに2mmを分級点として篩分離し、2mm以下の土砂類、2mm～20mmの土砂類、20mm以上の可燃物、不燃物の放射能濃度を測定する。



# 結果

## ●ドライアイス利用による乾式摩砕除染工程



①ドライアイス投与



②磨砕洗浄機ハリケーンによる洗浄



③分級された2mm以下のガレキ

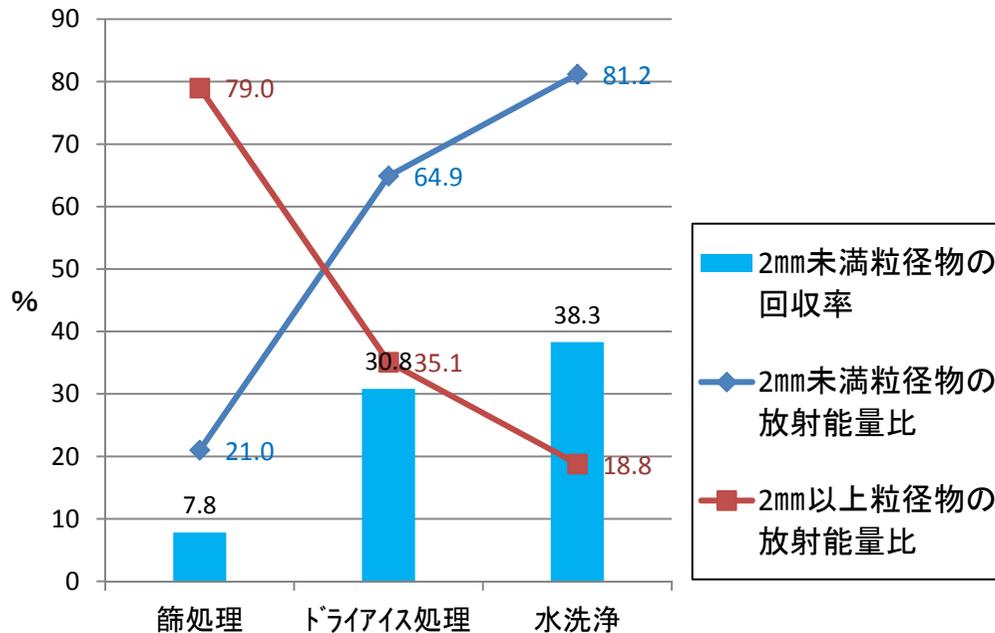


図. ドライアイス利用と他の方法による土壌の洗浄の効果比較

- ドライアイス処理における2mm未満の粒径物の放射エネルギー比は、篩処理の約3倍高い。
- ドライアイス処理は、水洗浄よりも除染効果が低い。2mm未満粒径物の回収率が水洗浄より低く、がれきに付着した、粘土・シルトを剥離させる効果が十分機能していないと考えられる。

ドライアイス処理によるガレキの洗浄は、篩処理よりも除染効果は高いが、水洗浄よりも除染効果は低かった。

# 宇宙農業研究の成果・高温好気堆肥菌システム による放射能除染・減容化技術実証

No.17

受託者：(独)宇宙航空研究開発機構

## 事業の概要

宇宙農業構想では、高温好気堆肥菌システムを閉鎖生態系における物質の再生循環利用の要として研究してきた。この宇宙農業研究の堆肥菌システムの成果を活用し、放射性核種で汚染された植物体などを高温好気堆肥菌により生物学的に燃焼して減容化する有効性について実証する。

## 実施内容

高温好気堆肥菌システムにより、広葉樹の落ち葉、風乾イネ科牧草、野菜等の堆肥化を行う。

高温好気堆肥菌を用いた減容化が、放射能によって大きな変化がなく微生物燃焼(代謝反応によりバイオマスを酸化して水と炭酸ガスを生成)で進むことを確認する。



放射性物質で汚染された植物体



高温好気堆肥菌処理システム



減容化

## 結果

広葉樹の落ち葉、風乾イネ科牧草、野菜などを、80~100℃の温度で処理したところ、暗色の細かな顆粒と難分解性の硬いセルロース繊維に分解し減容した。



小型減容化装置のなかに落ち葉や種菌などの資材を投入し攪拌。



1日後 落ち葉は小片に分解した。



4日後 落ち葉は顆粒と繊維に分解され反応槽の底部に収まるほどに減容した。

- 処理開始1日以内に水分の蒸発と易分解性成分が分解され乾量ベースで50%減少した。
- 乾量を短期間に減少させるには、高温好気堆肥菌システムの菌叢を処理物の種類にあわせて最適なものとするよう馴化させたり、菌の栄養要求にあわせて適切な副資材を使用しなければならないことが明らかになった。
- 放射能の堆肥菌による減容化への影響は試験した条件の範囲ではみられなかった。

No.18 有機減容化システムを用いた減容化技術の実用化に向けた実証実験  
 受託者：日本ミクニヤ(株)

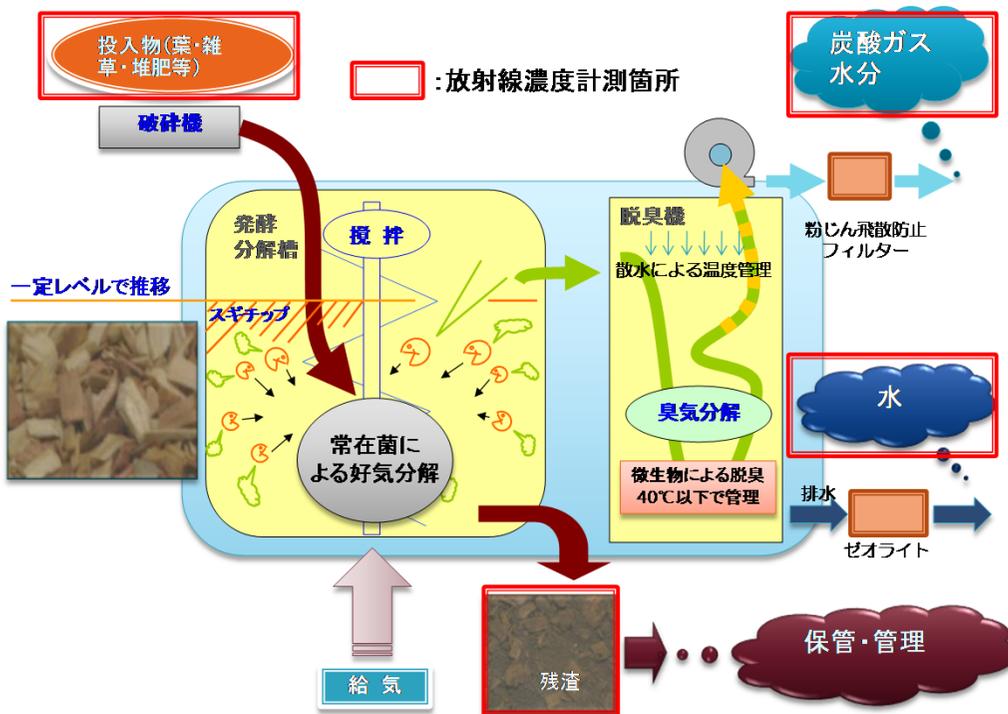
事業の概要

放射性物質を吸収・含有した有機物(除染作業等で発生する伐採樹木や庭木, 放棄農地等で発生する野菜や雑草など)を発酵分解により減容化することで、効率的な除染活動の実現可能性について検討する。

高温好気発酵分解システム



実施内容



- 冬季に落葉しない樹木(葉)や腐葉土、野菜(主に根菜)等を対象とし処理を行い、減容化が高い植物を明らかにする。
- 収集・運搬は、作業効率の向上を図るため、生分解性の袋を用い、袋自体の分解の程度も確認する。
- 処理試料の減容化率と必要日数を把握、評価する。

## 結果

### ●各試料の減容化率(重量・体積)

表. 減容化率(重量・体積)

試料名	投入量 (Kg)	処理 時間 (h)	重量 減容化率 (wt%)	減容化率 [乾燥重量] (Drywt%)	投入体積 [破碎後] (L)	残渣体積 (L)	体積 減容化率 (%)
ギシギシ	63	92.0	99.3	98.0	400.0	5.0	98.8
根菜	70	66.0	96.4	92.8	130.0	6.3	95.2
松葉	65	69.0	92.8	90.3	430.0	28.0	93.5
杉葉	70	73.5	82.9	78.3	470.0	60.0	87.2
落葉	40	69.5	85.4	84.8	540.0	30.0	94.4



- ギシギシ、根菜、松葉、杉葉、落葉のいずれも、重量減容化率は82%以上、体積減容化率は87%以上であった。またいずれも3~4日以内で減容化することができた。
- 本システムの処理によって発生する排気および排水の分析結果はいずれも検出下限値未満であり、放射性物質を外部に飛散させることなく処理できることが確認された。

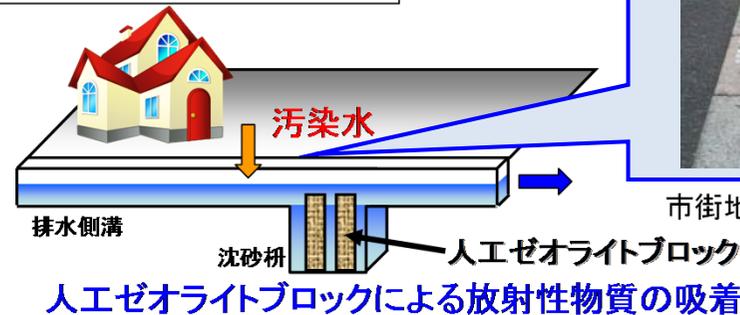
# No.19 人工ゼオライトブロックを用いた住宅地排水溝の除染技術の実証試験

受託者: 前田建設工業(株)

## 事業の概要

住宅地の排水側溝や集水柵に『人工ゼオライトブロック』を設置し、降雨や洗浄水などから流入する放射性汚染物質を吸着させ、側溝内での汚染物質の堆積や拡散を抑制する。

人工ゼオライトブロック敷設時



市街地の排水側溝と集水柵



## 実施内容

### 現地実証試験①(除染工模擬試験)

現地住居の樋下堆積物などを水に混合し、除染の際に発生する高濃度の模擬汚染水を作製し、人工ゼオライトブロックを設置した模擬水路を流下させることで、除染時のセシウム低減性能を把握する。



模擬水路による吸着効果確認試験



模擬汚染水作製状況

### 現地実証試験②(既存水路における吸着試験)

既存の水路柵等に人工ゼオライトブロックを設置することで、汚染地域の環境水(通常の雨水、湧水等)に含まれる低濃度放射性セシウムを簡易にかつ恒常的に除去し、周辺への汚染拡散を低減できることを確認する。なお人工ゼオライトブロックの性能を確認するため、砕石ブロックを対照試験体として設置する。



## 結果

表1. 模擬水路による浄化実験結果

試料	取水位置	Ge半導体検出器 放射能濃度(Bq/l)			低減率
		Cs-134	Cs-137	計	
ゼオライトブロック	通過前(原水)	9,989	13,241	23,230	46.7%
	通過後	5,239	7,143	12,382	

- 人工ゼオライトブロックで放射能濃度を46.7%低減させる効果が確認できた。

表2. 既存水路設置ブロックの放射能測定結果

試料	重量 (kg/ブロック)	Ge半導体検出器 放射能濃度(Bq/kg)		
		Cs-134	Cs-137	計
ゼオライトブロック	2.191	1341	1775	<b>3116</b>
7号砕石ブロック	3.548	563	757	<b>1320</b>

- 人工ゼオライトブロックは砕石ブロックの約2倍以上の放射能濃度の低減効果があることが確認できた。

- 人工ゼオライトブロックを集水柵等に設置することにより、環境水中の放射性セシウムの低減効果が期待できる。

# フェロシアン化鉄配合吸着凝集沈殿剤を使用した 放射能汚染水浄化システムの提案

No.20

受託者: 東京工業大学

## 事業の概要

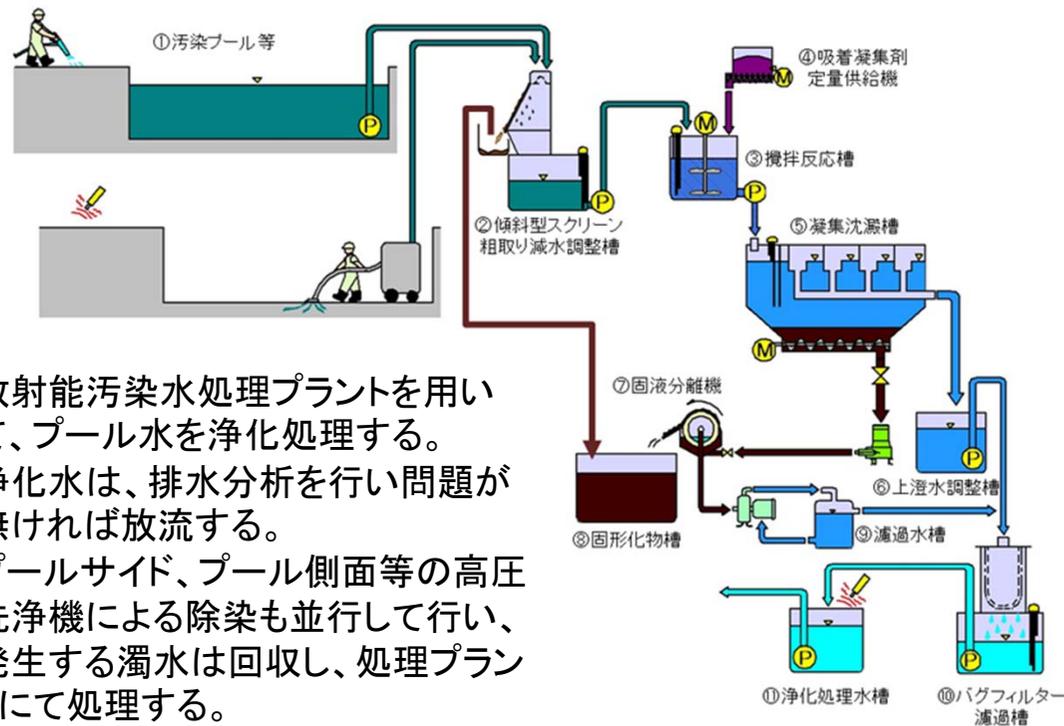
フェロシアン化鉄配合吸着凝集沈殿剤による水溶液中のイオン化した放射性セシウムの吸着と、浮遊物質の凝集により、放射性物質を回収する放射能汚染水浄化システムを実証する。また高圧洗浄機の除染の検証を行う。

水処理システム



## 実施内容

放射能汚染水処理システム(プール除染)フロー図



- 放射能汚染水処理プラントを用いて、プール水を浄化処理する。
- 浄化水は、排水分析を行い問題が無ければ放流する。
- プールサイド、プール側面等の高圧洗浄機による除染も並行して行い、発生する濁水は回収し、処理プラントにて処理する。



自走式高圧洗浄機による除染



ハンドアクアブラスト



スピンジェット

## 結果

### ● プール水浄化試験結果概要

処理量	10m <sup>3</sup> /h
吸着凝集剤添加量	0.2%
原水放射能濃度	34 Bq/ℓ ~ 1116 Bq/ℓ
浄化水放射能濃度	ND(10Bq/ℓ以下)
脱水汚泥放射能濃度	29,100 Bq/kg ~ 683,000 Bq/kg
シアン	0.28 mg/ℓ ~ 0.44 mg/ℓ (※フェロシアン化鉄20%配合時)
浮遊物質	7 mg/ℓ ~ 9 mg/ℓ
透視度	0.7 m ~ 1.1 m

- プール水240m<sup>3</sup>を処理した結果、浄化水の放射能濃度は検出限界値(約10Bq/L)以下を達成。
- セシウムイオンが存在しない場合には、フェロシアン化鉄を使用しない場合でも放射性物質の除去が可能。

### ● 高圧洗浄試験結果概要

No.	状況	空間線量 $\mu$ Sv/h			表面汚染密度 Bq/cm <sup>2</sup>
		1cm	50cm	100cm	
高圧 洗浄 25~ 30MPa	除染前	0.869	0.733	0.647	13.12
	除染後	0.527	0.518	0.544	3.51
	除染前	1.138	1.497	1.239	14.94
	除染後	0.617	0.905	0.907	6.40
	除染前	0.772	0.778	0.788	10.19
	除染後	0.544	0.658	0.692	4.57
超高压 洗浄 250MPa	除染前	アスファルト 削り厚 0.5mm			40.07
	除染後	アスファルト 削り厚 0.5mm			1.54
	除染前	コンクリート 削り厚 0.5mm			16.34
	除染後	コンクリート 削り厚 0.5mm			1.59

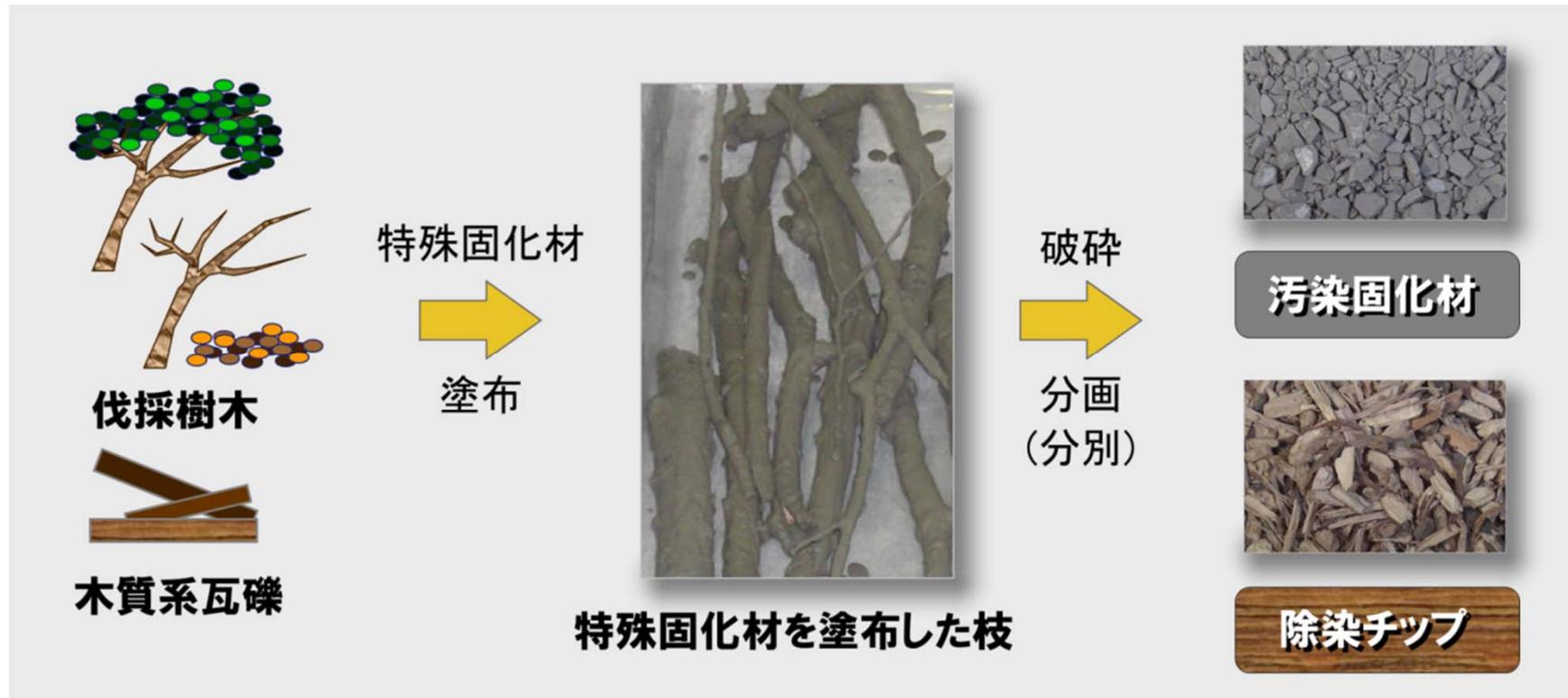
- 高圧洗浄機での除染率は概ね45%程度。除染対象の表面に傷や割れがある場合には除染効果が低下した。
- 超高压洗浄を行った路面では、アスファルトもコンクリートも除染率は90%以上であり、2Bq/cm<sup>2</sup>以下まで低下した。

## 事業の概要

伐採樹木や木質瓦礫の表面に固化材を塗布した後に、チップパーにより破碎し、固化材(放射性セシウムを吸着)と除染されたチップとして分画・回収する方法について実証試験を行う。

## 実施内容

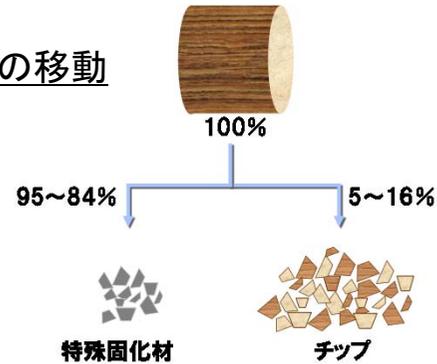
- ① 固化材の選定と散布方法の検討および破碎時の固化材の把握
- ② 固化材と木質チップの破碎状況に応じた分画方法の検討および分画装置を用いた分離効果、回収率の確認
- ③ 本工法の適用による除染効果、作業効率等の測定



## 結果

- 放射性セシウム<sup>137</sup>の固化材への移行  
 固化材には普通ポルトランドセメント等3種類を選定し、塗布方法はコテ塗りを採用。

### 放射性セシウムの移動

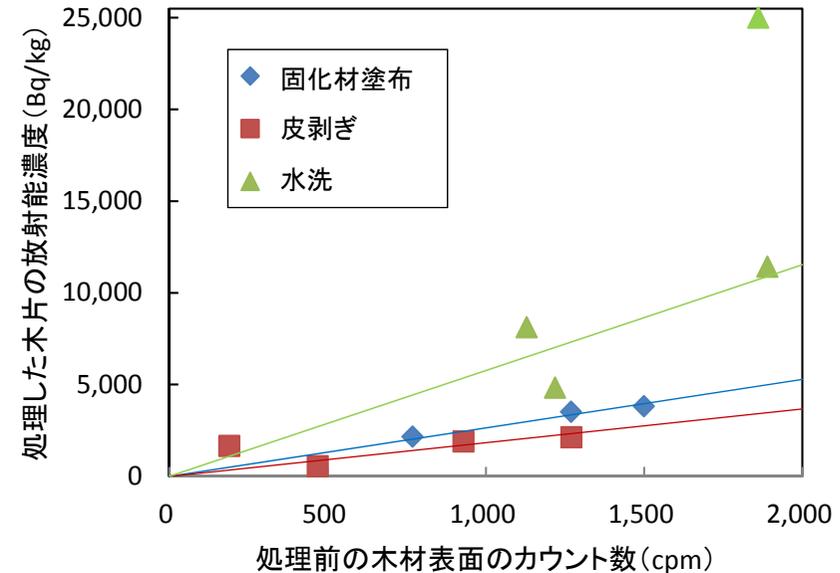


### ● 立ち木への適用を模擬

- 立ち木を想定し、固化材を木(コナラ)へ塗布し、乾燥後ハンマーで木を叩いて回収。
- 除染後、木の表面線量率は約80%低減。



### ● 固化剤と他の手法との比較



固化剤塗布は、皮剥ぎに比べて除染効果が多少劣るが、水洗に比べれば除染効果は2倍程度高い。(直線の傾きが大きいほど除染効果は小さい。)

- 回収した固化材に移行した放射性セシウムは、固化剤分離前の84~95%であり、固化材の塗布、破碎、剥離により放射性セシウムが除去できることが確認された。
- 固化材塗布は、水洗よりも除染効果が高いが、皮剥ぎに比べると除染効果は劣る。
- 立ち木への適用については、幹に塗布した固化材をハンマーで破碎することにより、表面線量率は約80%低減。樹皮の剥離等を伴うことに注意が必要。

## 事業の概要

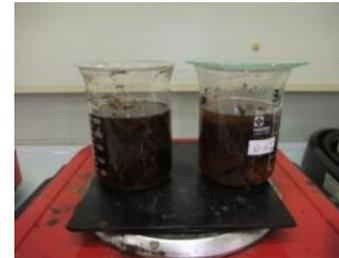
チップの生産過程で発生する樹皮(バーク)の水洗浄による除染およびその効果確認を行う。除染効果が低く再利用\*1不可能なバークは小型焼却炉による焼却処理、減容率の確認を行う。

## 実施内容

- 木材・樹皮に対し、各種洗浄方法を実施し、除染の効果を確認する。
- 洗浄による除染効果の低いバークの、小型焼却炉による焼却処理の実施。
- バグフィルタおよびHEPAフィルタの放射性Cs補足状況\*2を調査し、焼却炉に必要な機能の検証を行う。

\*1 肥料・土壌改良資材・培土中に含まれることが許容される最大値400ベクレル/kg(製品重量)  
「放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について」(平成23年8月1日農林水産省)。

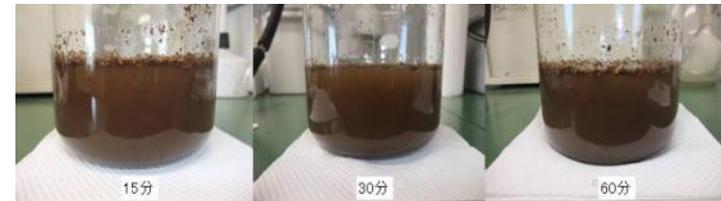
\*2 排ガス中の放射能濃度基準  
 $Cs134$  の濃度/20 +  $Cs137$  の濃度/30  $\leq$  1  
「平成23年環境省令第33号 第33および35条」より



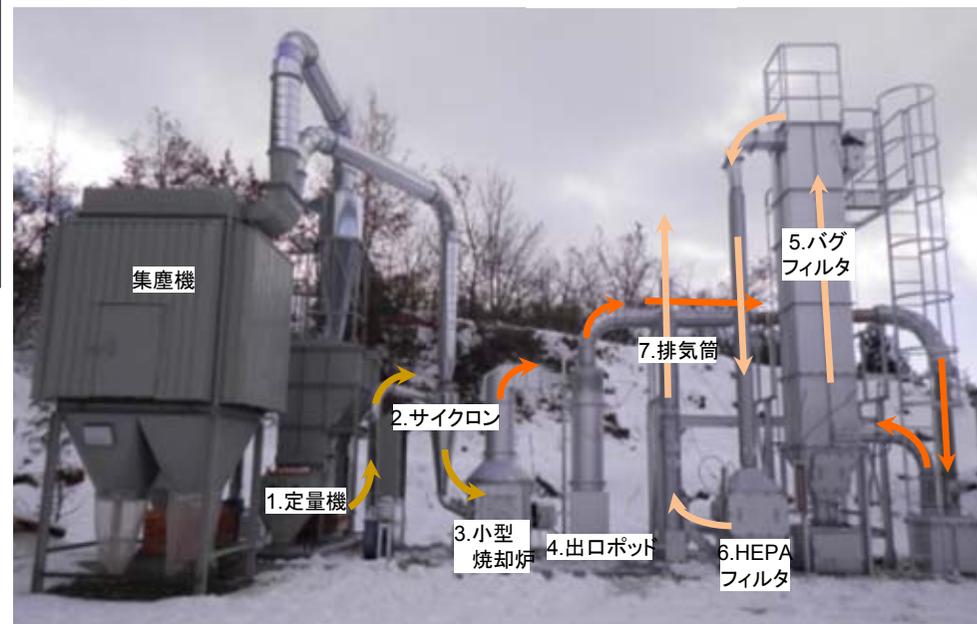
加温浸漬洗浄



超音波洗浄



攪拌洗浄



小型焼却炉外観

## 結果

### ●バーク洗浄試験結果(除染率)

		浸け置き		攪拌洗浄	超音波洗浄
処理時間		458時間	1時間	1時間	1時間
その他の条件		室温	40-100℃	攪拌時間15-60分	周波数28-100kHz
除染率	常緑樹 約700Bq/kg	38%	—	39%	17 - 33%
	落葉樹 約2000Bq/kg	20%	5 - 32%	45%	13 - 21%

- 浸け置き、攪拌洗浄、超音波洗浄の中では、攪拌洗浄の除染率が高く、1時間で放射能濃度は約50%低減。
- 洗浄水の温度が高いほど除染効果は大きい。
- 超音波洗浄では、顕著な周波数依存はみられない。

### ●バーク燃焼試験結果

		バーク	主灰 (焼却炉内)	飛灰1 (出口ポット)	飛灰2 (バグフィルタ捕)
常緑樹	減容化率: 96.4%				
	放射能濃度[Bq/kg]	986	4010	8110	37900
	重量[kg]	111.2	1.37	2.21	0.41
落葉樹	減容化率: 95.4%				
	放射能濃度[Bq/kg]	2020	14900	20300	137000
	重量[kg]	151.1	2.76	3.74	0.39

- バグフィルタ出口にて採取した排気ガスの放射能濃度は検出限界未満(約0.4Bq/m<sup>3</sup>)。
- 運転中の空間線量もバックグラウンド程度であった。
- バークなどの可燃物減容化が確認できた。
- 焼却炉を長時間運転させる際の管理方法等については今後の検討が必要。

# 放射能汚染された木質バイオマス(ガレキ・原木等)

No.23

## 有効利用のための除染技術の実証試験事業

受託者:(株)ネオナイト

### 事業の概要

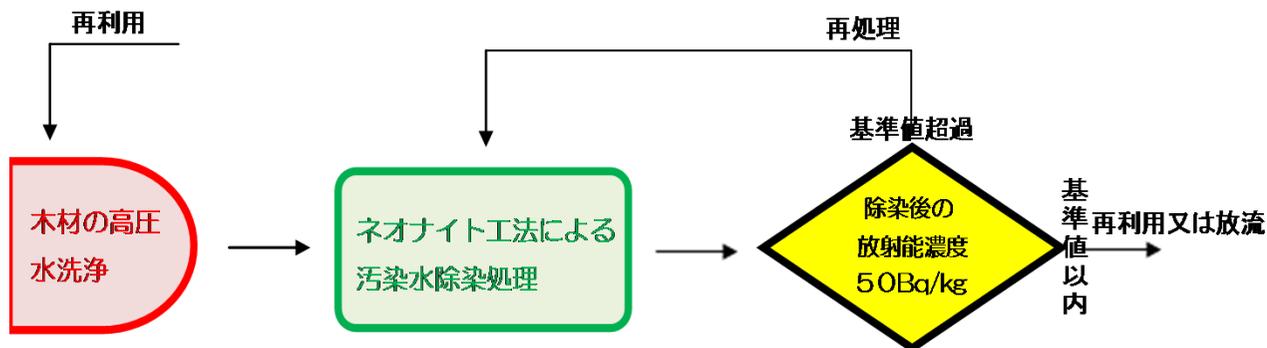
放射性物質で汚染された原木やガレキ等の木質資源を除染しながら、有効利用するしくみを検討する。

また除染により発生した汚染水を吸着剤(ネオナイト)で処理する方法を実証する。



除染設備全体

### 実施内容



木材洗浄ユニット  
(高圧水洗浄)

- ① 汚染された木質バイオマスを、高圧水洗浄で除染する。
- ② 除染で発生した汚水・汚泥等は吸着材により放射性物質を吸着させ分離する。処理後の水が基準値以内であれば再利用または放流する。



吸着剤

# 結果

表. 木材の洗浄率

	洗浄条件	表面汚染密度 (Bq/cm <sup>2</sup> )		除染率 (%)
		洗浄前	20分洗浄後	
ナラ	常温	36	2.4	93
	40℃	29	2	93
	80℃	28	1.6	94
ミズキ	常温	3.8	0.9	76
	40℃	4.4	1.1	75
	80℃	27	1	96
スギ	常温	34	7.2	79
	40℃	22	4.1	81
	80℃	4.3	0.8	81
クリ	常温	2.3	0.2	91
	40℃	0.3	0.09以下	70以上
	80℃	0.5	0.09以下	82以上

木材の洗浄では、除染率は木材の種類によって異なったが、温度が高く、洗浄時間が長い(今回の試験では最大20分)ほど除染の効果が高くなった。このため、洗浄時間を20分で行うこととした。



洗浄後の木材



木材の除染により発生した水



吸着剤により処理された水

※ 除染により発生した水の放射能濃度  
 最大5,890Bq/kg → 検出限界値(約30Bq/kg)以下

- 高圧水洗浄により木材を70～96%の洗浄率で除染できることが確認された。
- 吸着剤により除染により発生した汚染した水を検出限界値未満に処理することができた。

# 森林の放射線量低減技術の開発に関する実証試験事業

No.24

受託者: 福島県林業研究センター

## 事業の概要

森林内の間伐量等による空間線量率の変化を確認することにより、森林の放射線量低減技術の実証を行う。  
また森林作業(下刈、除伐、間伐)に伴う粉塵等の飛散量および放射性物質濃度を確認する。



下草・落葉層の除去作業



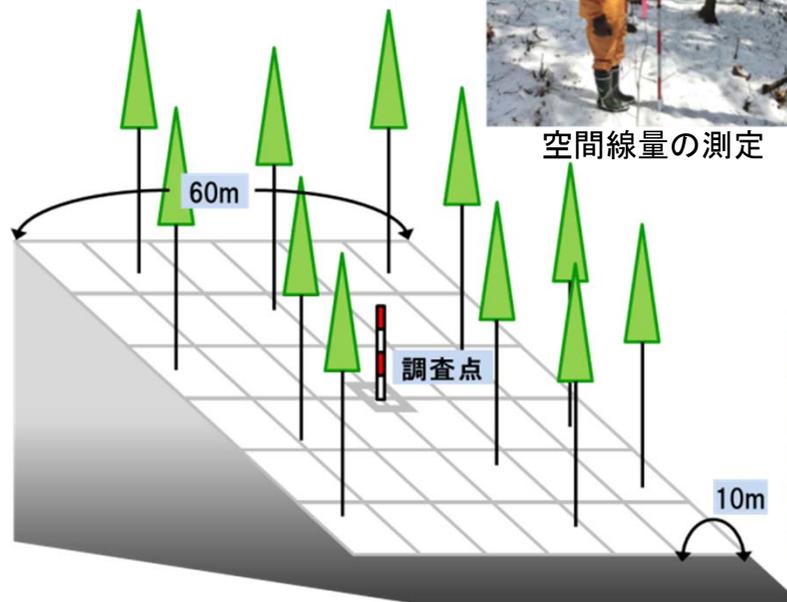
間伐木の搬出

## 実施内容

以下のような森林内間伐等により空間線量率の変化を確認する。

- ① 60m×60m程度の森林内の落葉層除去、間伐による空間線量率の変化。
- ② 里山の落葉層除去、枝打ち、間伐による空間線量率の変化。
- ③ 森林内の実証作業中の粉塵の吸い込み評価。

### 実施内容のイメージ



空間線量の測定



ハイボリュームエアサンプラー



粉塵測定 47

# 結果

## 【空間線量の推移】

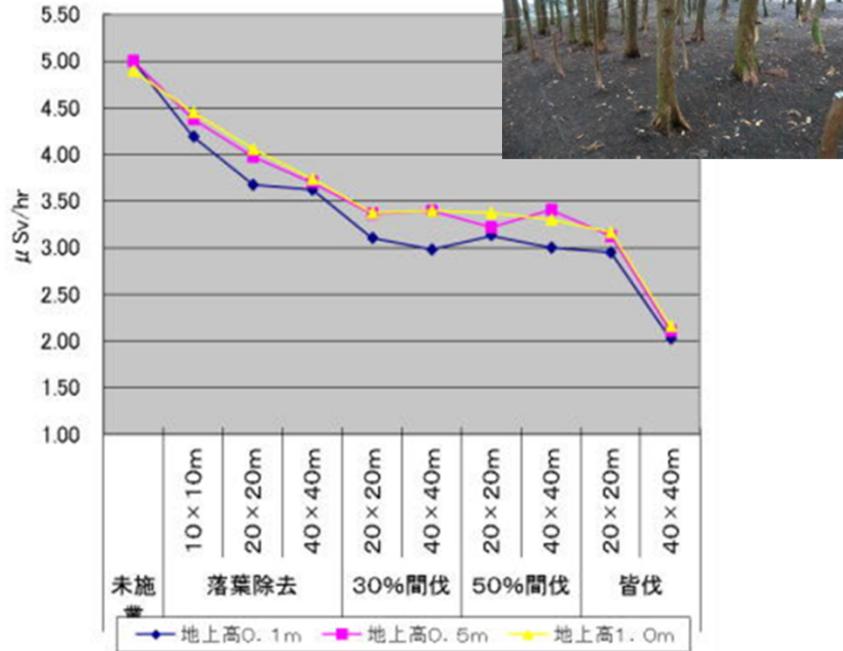


図1. 針葉樹林

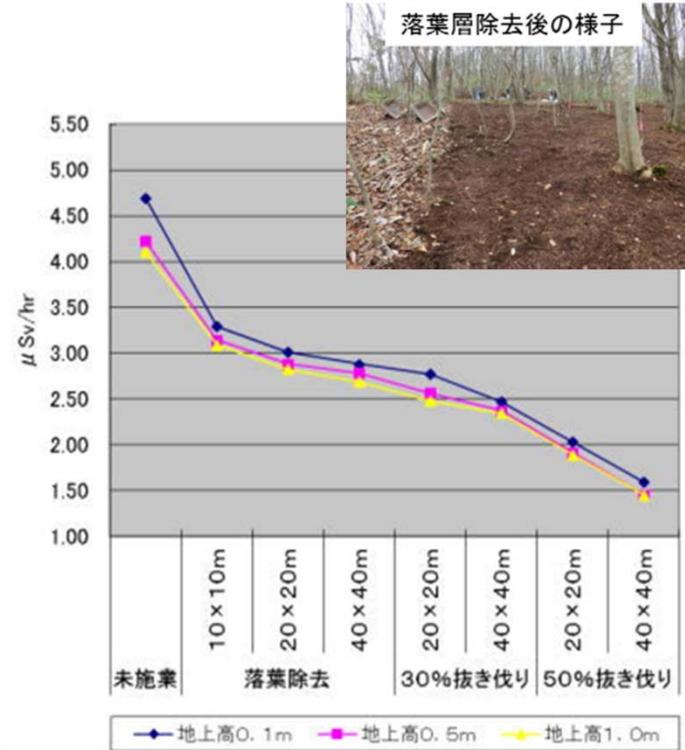


図2. 広葉樹林

## 【粉塵等の調査】

- 森林作業時に舞いあがる粉塵調査では、1μSv前後の森林においては、放射能濃度は<sup>134</sup>Csで $1.7 \times 10^{-7}$ から $6.9 \times 10^{-6}$ Bq/L、<sup>137</sup>Csで $3.9 \times 10^{-7}$ から $9.8 \times 10^{-6}$ Bq/Lであった。

○ 落葉除去と30%間伐を組み合わせれば、針葉樹林で約30%、広葉樹で約40%の低減化が図られる。伐採による除去物の量は膨大となるため、除去物のエネルギーへの活用等、軽減化の手段を見いだす必要がある。

○ 1μSv前後の森林では、森林作業時に舞い上がる粉塵による被ばくの影響は小さいが、マスク、簡易防護服、ゴーグル、ゴム手袋等を装備することが必要。

# 森林除染事業の効率化実証試験等

No.25

## ①森林除染作業の効率化

受託者:(株)大林組

### 事業の概要

汚染された森林内落葉等を安全かつ効率的に除去・回収する技術の確立。3つの技術を組み合わせて効率化を図る取り組みの継続的な活用を実規模で確認する。

- ・ 一般的なバキュームカーを用いた落葉吸引除去
- ・ 吸引配管途中に設けたタンクによる中間回収
- ・ モノレールによる回収物の運搬

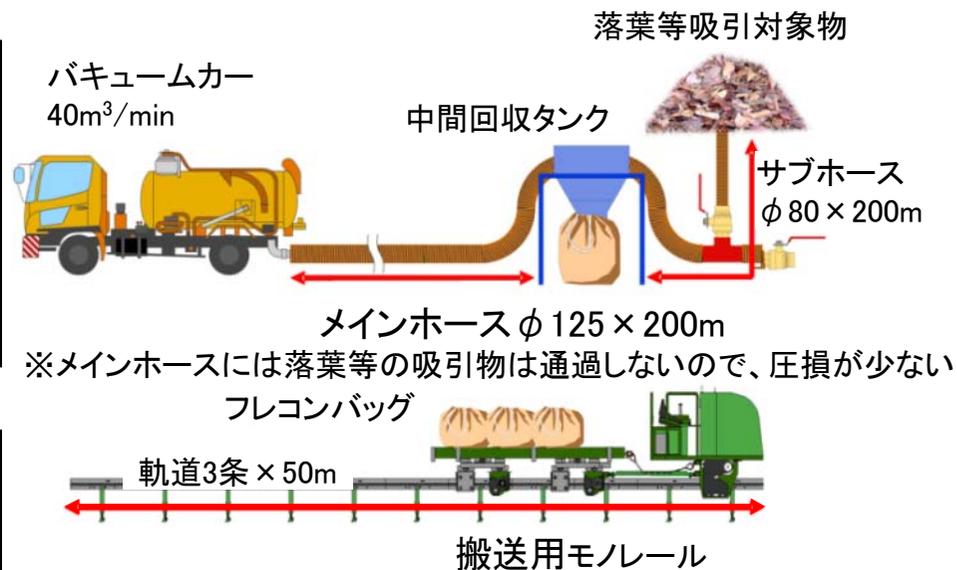
### 実施内容

- ホース長さを変数とした吸引量試験  
メインとサブのホースの組合せ18ケースについて、同量の落葉に対する吸引時間を測定した。
- 林野における作業効率試験  
通常型および改善型(図1-2)それぞれで10m×10mのエリア内で吸引回収を行い、回収物重量と作業時間を測定した。

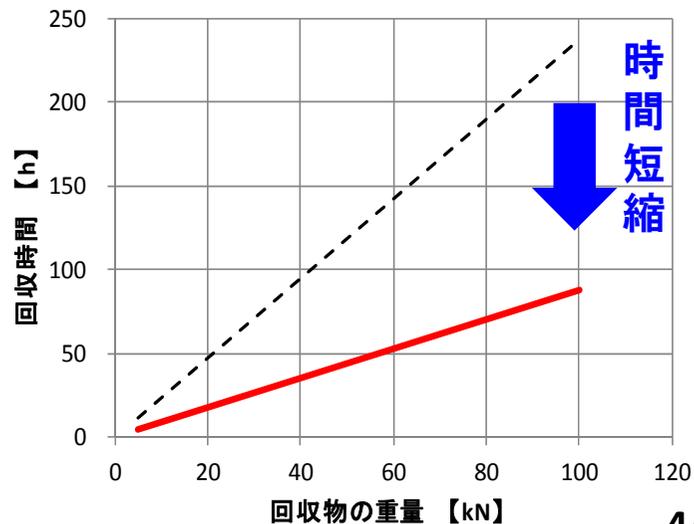
### 結果

中間回収タンクおよびモノレールのない通常型と本提案の改善型で比較した結果。

- 吸引作業の限界距離: 150%向上(最小吸引量を0.03kN/minとした場合)通常型400mに対して改善型600mの結果が得られた。
- 作業効率(右図): 37%向上(回収重量を100kNとした場合)
- 落葉回収作業のコスト: 同等(多量の落葉等を回収する場合)



◎落葉回収作業の作業効率の比較



# 森林除染事業の効率化実証試験等

## ②放射性物質汚染土を用いたセメント固化物の土工材料としての利用

### 事業の概要

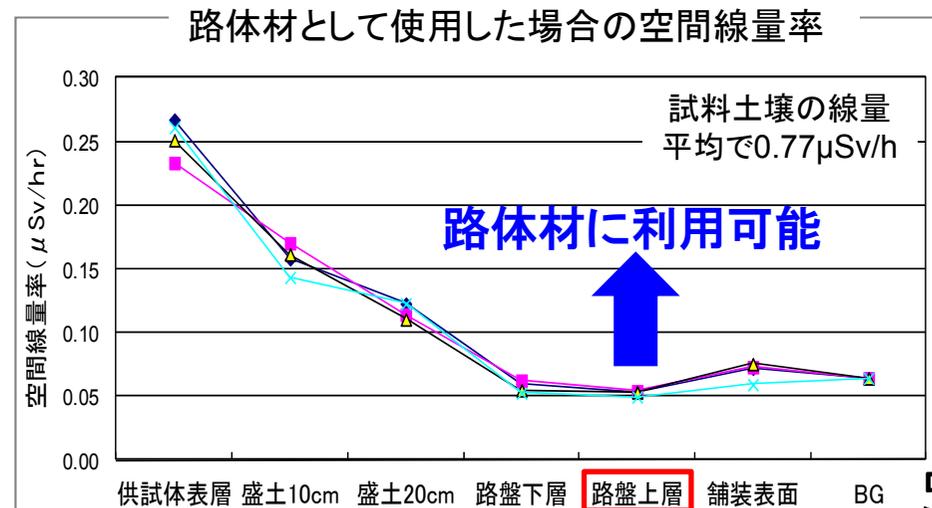
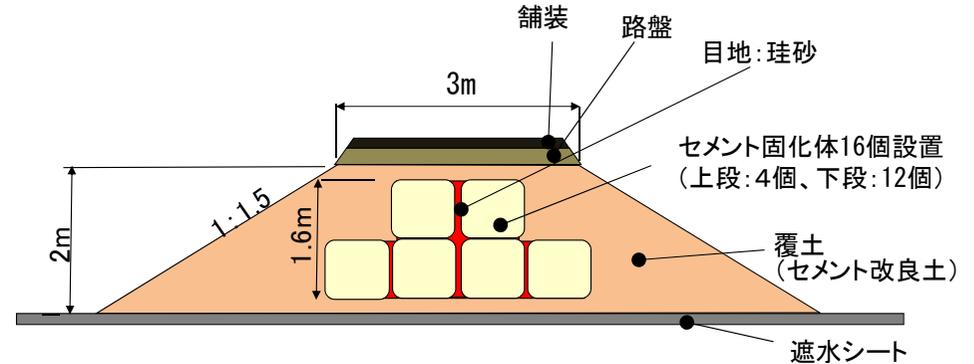
低濃度の汚染土をセメント等の固化材を混合して固化し、路体材として安全に活用する技術の確立を目指す。現地で有効利用が求められる高炉スラグやフライアッシュ、地域によっては調達しやすい海水を使用し、安価で効率的な改良方法を確認した。

### 実施内容

- 固化材配合選定  
固化後の強度、放射能濃度、材料コストを比較する。
- 固化体の製作しやすさ確認  
土壌の配合・フレコンバッグ詰込作業の所要時間を測定する。
- 実規模モデルの道路盛立て施工性確認  
実際のサイズで道路盛立てをし作業性を確認する。

### 結果

- 最適な固化材の配合(目標強度の2倍を確保)  
普通セメント75%、フライアッシュ25%、  
添加量270kg/m<sup>3</sup>(スラリー添加)
- 固化体製作の所要時間: 1固化体あたり45分
- 路体材に利用した場合の空間線量率:  
バックグラウンドと同程度
- コストメリット: 産業廃棄物処分費用と同等以上



# 森林除染事業の効率化実証試験等

## ③アスファルト舗装道路の切削除去に際して発生する放射性廃棄物の減容化

### 事業の概要

道路舗装合材からストレートアスファルトを抽出することにより、放射性物質が付着しているストレートアスファルトと骨材を分離し、骨材を有効利用することで除去物を減容する技術の確立を目指す。



アブソン式

遠心分離式

### 実施内容

- 切削深さ確認試験  
舗装合材の種類による放射性物質の浸透深さの違いを確認する。
- アスファルト抽出試験  
3種類の抽出方法について試験を実施。
  - ・ 燃焼式抽出 (高温でアスファルトを燃焼させて分離)
  - ・ アブソン式抽出 (溶剤を混合して過熱して分離)
  - ・ 遠心分離式抽出 (溶剤を混合しながら遠心力を加えて分離)

### 結果

- 舗装種類による放射性物質の浸透深さの違いを定量的に確認。  
⇒汚染度合の深さに対応した切削深さを設定することで除染率を効率的に向上できる。
- ストレートアスファルトと骨材との分離により、放射能濃度を低減でき、放射性廃棄物を減容できることを確認した。また、分離後の骨材を水洗いし、細粒分を除去すると、放射能濃度がさらに低減することを確認した。  
⇒ストレートアスファルトに限らず、75 $\mu$ m以下の細粒分にも放射性物質が付着していると推定される。  
⇒減容率: 89.6% (抽出後水洗いした場合)

