

平成27年度除染・減容等技術実証事業
概要書

平成27年度除染・減容等技術実証事業

平成28年1月



環境省

Ministry of the Environment

水・大気環境局

除染チーム

付録1-0-1

環境省 平成27年度除染・減容等技術実証事業

○今後の除染・減容等に活用し得る技術の実証試験を行い、その効果、経済性、安全性等を確認するため、実証試験の対象となる除染・減容等技術を公募。(公募期間:平成27年2月24日~5月22日)

○有識者により構成される委員会において厳正な審査を行い、下表の9社の技術提案について実証試験を実施。

○平成27年12月中に結果をとりまとめ、試験結果の評価を実施。

No.	事業分野	対象	実証テーマ名	所属機関名
1	除染去土壌等の減容・再生利用等技術	焼却灰	水熱抽出方法による焼却灰に含まれる放射性セシウムの除去と放射性物質の減容化、及び安定化実証	国立大学法人長岡技術科学大学
2		土壌	環境適合性洗浄剤を用いての汚染土壌細粒分の除染・減容化技術の開発と浄化土壌の再利用	国立大学法人大阪大学
3		土壌	高含水・高粘性の農地除去土壌に含まれる草木類の選別除去を可能にする土質改良とふるい分けによる減容化と農地再生利用促進システムの実証・検証	鹿島建設株式会社
4		土壌	準連続式亜臨界水熱爆砕処理による細粒土の除染減容化	株式会社CDMコンサルティング
5	搬や中間貯蔵等に関連技術	測定	バックホウ型放射線計測装置を用いての土のう袋計測の安全性(被ばく低減・作業安全)、省力化の比較検証	株式会社日立パワーソリューションズ
6		測定・貯蔵	除去土壌等の輸送時における可搬型放射能濃度測定技術及び埋立時における粉塵等発生抑制技術	株式会社大林組
7	関連技術	測定	ミニサーベイヤを活用した上空からのガンマ線可視化装置による空間線量の迅速測定技術の実証	株式会社菊池製作所
8	放射線汚染された廃棄物の処理技術	金属	クロスフローシュレツダによる放射性物質除去の処理技術補助事業	鹿島環境エンジニアリング株式会社
9		金属	放射性セシウムで汚染した金属廃棄物の熔融除染による除染・減容・資材化技術	三菱マテリアル株式会社

付録1-0-2

環境省

平成27年度除染・減容等技術実証事業 採択技術の紹介（実施者の事業内容）



公益財団法人 原子力安全技術センター

※当センターは、本事業の技術選定・評価等業務を受託しております。

No.1 水熱抽出方法による焼却灰に含まれる放射性セシウムの除去と放射性物質の減容化、及び安定化実証

実施者：国立大学法人 長岡技術科学大学

事業の概要

水熱抽出装置を用いて木質系焼却灰(以下、「焼却灰」という。)に含まれる放射性セシウムの水熱抽出試験及び抽出した放射性セシウムを吸着材で吸着回収試験等を行い、焼却灰の放射性セシウム除去効果、処理灰の安定性、放射性物質の減容化、処理コスト等の評価を行う。

実施内容

次の項目について実焼却灰を用いて実証試験を実施する。

1. 焼却灰の水熱抽出実証試験
2. 処理灰の放射性セシウム溶出試験
3. 放射性セシウム吸着実証試験
4. 再使用抽出水を用いた水熱抽出実証試験
5. 熱加工による吸着材の減容化、安定性実証試験

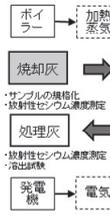
事業の主な実施場所

福島県広野町

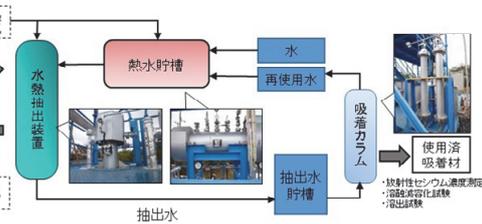
技術概要

1. 試験フロー

(1)放射性Cs抽出技術



(2)放射性Cs吸着回収技術



2. 試験目標

- (1) 熱水貯槽を組み込んだ水熱抽出装置を用いて処理温度、時間、固液比を変えて実験し、最適抽出条件を決定する。
- (2) 放射性セシウムの処理灰からの放射性セシウム溶出挙動を検討し、処理灰の安定性を評価する。
- (3) 抽出水に含まれる放射性セシウムを繊維状吸着材を用いて吸着回収する。
- (4) 吸着回収した再使用抽出水を用いた水熱抽出実証試験を行う。
- (5) 放射性セシウムを吸着させた吸着繊維を熱加工による熔融減容化し、放射性セシウム溶出挙動を確認する。

3. 期待される効果

- (1) 水熱処理による放射性セシウムの分離除去による高濃度放射性焼却灰の保管量の大幅削減に寄与
- (2) 放射性焼却灰の安定化と放射性セシウムの吸着回収による放射性物質の減容化、および固定安定化による放射性セシウムの保管リスク低減

付録1-1-1

結果

(1) 水熱抽出装置の最適処理条件

* 熱水貯槽を組み込んだ水熱抽出装置により、焼却灰の放射性セシウム(Cs)抽出試験を実施。最適温度200℃、処理時間120分、固液比 1:10において、木質焼却灰で95%、都市ゴミ焼却灰85%の抽出率が得られる。仮設焼却炉飛灰では、同様の条件で、52%となったが、アルカリを添加する事で、処理灰放射性セシウム濃度5,970 Bq/kg、抽出率80%に改善し、各焼却灰に対して水洗浄より高い抽出効果を得た。尚、処理効率を考慮した場合、木質焼却灰では処理温度200℃、処理時間30分、固液比1:4の条件でも水熱抽出が可能である。

表1 焼却灰の性状及び、本処理方法と水洗浄処理との比較

名称	木質焼却灰	都市ゴミ焼却灰	仮設焼却炉飛灰
概観			
焼却方法	木質ペレットボイラー	ストーカー炉	ストーカー炉
添加物	キレート剤無し セメント添加無し	キレート剤有り セメント添加有り	キレート剤有り セメント添加無し
放射性Cs濃度 乾燥状態	4,400Bq/kg	7,600Bq/kg	29,600Bq/kg
水洗浄後 放射性Cs濃度 (抽出率)	806Bq/kg (87%)	3,535Bq/kg (62%)	29,320Bq/kg (9%)
水熱抽出処理後 放射性Cs 濃度 (抽出率)	360Bq/kg (95%)	1,630Bq/kg (85%)	17,928Bq/kg (52%) アルカリ添加 5,970Bq/kg (80%)

(2) 処理灰からの放射性セシウム溶出試験

* 水熱処理した処理灰の残留放射性セシウム溶出試験を、処理灰100gを1L水で6時間、溶出処理した後に、溶出水中の放射性セシウム濃度を測定。処理灰に残留している放射性セシウム溶出はND-1Bq/kg(溶出率≦0.7%)であった。

(3) 抽出水に含まれる放射性セシウムの吸着回収

* 仮設焼却炉飛灰を処理した放射性セシウム抽出水(70L)を金属製カラム(直径100mm、長さ1m)に充填した繊維状吸着材(4kg)を使用して循環吸着回収を実施(10L/min)。
* 処理により放射性セシウム濃度が444 Bq/kgから40Bq/kgに減少し、吸着材による回収率は91%を達成。吸着材の放射性セシウム濃度は6,300 Bq/kgを確認。(表2)

(4) 吸着回収した再使用抽出水を用いた水熱抽出実証試験

* 放射性セシウムを吸着除去後に回収した処理水を繰り返し3回、水熱抽出に再利用し、抽出率を検討。
* 仮設焼却炉飛灰を用いた場合、放射性セシウム抽出率の再使用回数による低減はほぼなし。4回目では上昇傾向となる事を確認(図1)。
* 処理水のpHが再利用により10から13に著しく増加し、抽出率はアルカリ度に依存すると推察され、アルカリを添加して水熱抽出処理を行うことで放射性セシウムの抽出率を高めることができることを確認(表1)。

(5) 吸着材熱加工処理による減容化及び、放射性セシウム溶出試験

* 繊維状吸着材を400℃で熱加工したペレット(図2(C))では、未加工繊維(A)に比べ、体積比が未処理で1とした場合、0.15となり、約1/6まで減容化が可能。
* 2,4370Bq/kgの線量を持つC(7.8g)を100mL水に浸漬し、室温にて溶出放射性セシウムを観測したが、水中への溶出は、検出限界以下となり、熱加工減容化による安定性を確認(≦20 Bq/kg)。

表2 放射性セシウムの吸着回収

抽出水量	70L
放射性セシウム濃度	444Bq/kg
吸着前	
吸着後	40 Bq/kg
回収率	91 %
吸着材放射性セシウム濃度	6,300Bq/kg

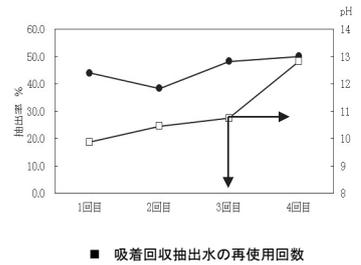


図1 セシウム回収抽出水の再利用と抽出効果の関係
熱水抽出条件: 150℃、120分、1:10固液比



図2 繊維状吸着材の熱減容化(A-C)、及び繊維の断面SEM写真(D)、Bは繊維を100kg/cm²で圧縮したペレット。Cは400℃熱処理により融解した繊維。母材がゼオライト粒子を包み込み安定化する構造。

- (1) 熱水貯槽を組み込んだ水熱抽出装置により、放射性焼却灰に含まれる放射性セシウムの除去率が80%以上となる最適処理条件を確立。
- (2) 水熱抽出処理を行った処理飛灰は、残留放射性セシウムの溶出が無く、安定化することを確認。
- (3) 焼却灰を水熱抽出した放射性セシウム含有抽出水を、繊維状吸着材を用いて放射性セシウムを吸着回収した。91%の放射性セシウム回収率となり、効率的吸着除去が可能。
- (4) 放射性セシウム回収後の抽出水を、水熱処理における抽出水への繰り返し利用が可能。これにより、水熱処理システムでのクローズド化処理が期待される。
- (5) 熱加工により吸着材を1/6に減容化。焼却灰との体積比較では1/100以上の減容化が可能。又、熱加工後吸着材からの放射性セシウム溶出はなく、安全保管の有効性を確認。
- (6) 本技術を用いた焼却灰の水熱抽出処理コストは、59.2千円/トン(水熱抽出コスト24.6千円/トン、熱加工コスト24千円/トン、初期コスト10.6千円/トン)と試算。

付録1-1-2

No.2 環境適合性洗浄剤を用いての汚染土壌細粒分の除染・減容化技術の開発と浄化土壌の再利用

実施者：大阪大学

事業の概要

放射性セシウムで汚染された土壌のうち、分級等により発生した放射線量の比較的高い土壌細粒分に対して、マグネシウムイオンとセルロース等からなる洗浄剤（以下、「環境適合性洗浄剤」という。）を用いての洗浄による除染効果等を評価する。さらに、洗浄剤中に溶出した放射性セシウムを少量の吸着剤で吸着させることによる、放射性汚染物量の減容化効果等を評価する。

実施内容

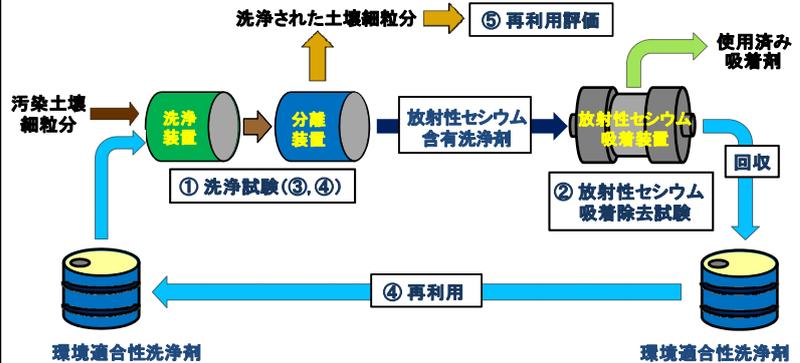
- ① 汚染土壌細粒分の洗浄試験
- ② 洗浄剤中からの放射性セシウム除去試験
- ③ 洗浄剤中の酸、アルカリ金属の影響の確認試験
- ④ 洗浄剤の繰り返し使用効果の確認試験
- ⑤ 浄化土壌の再利用評価

事業の主な実施場所

福島県内

技術概要

1. 試験フロー



2. 試験目標

分級等により発生した放射能濃度 数万Bq/kgの土壌細粒分を、環境適合性洗浄剤で洗浄することで、数千Bq/kgまで放射能濃度を低減する。さらに、洗浄剤中に溶出した放射性セシウムを少量の吸着剤に吸着させて、保管が必要な汚染物量を初期量の10分の1以下に減容化する。

3. 期待される効果

- 安全、低コストで効果的な土壌除染・減容化の実現
- 土壌再利用の実現
- 汚染土壌減容化による保管スペースの有効利用

付録1-2-1

結果

① 汚染土壌細粒分の洗浄試験(除染効果)

- ・フレキシブルコンテナ内の除去土壌を分級して得られた、粒径75μm以下の汚染土壌細粒分(放射性セシウム濃度:28,600 Bq/kg)に、硫酸(10 wt%)、塩化カリウム、塩化マグネシウム、ヒドロキシエチルセルロースからなる洗浄剤を用いての洗浄による除染効果の評価した結果、22%の土壌除染率が得られた。洗浄後の土壌を水の代わりにMgCl₂+KCl水溶液で洗浄することで土壌除染率が33%に増加した。この時、土壌細粒分中の放射性セシウム濃度は19,000 Bq/kgまで低下した(表1)。
- ・今回の試験では洗浄剤中への放射性セシウム抽出に加えて土壌成分の液中への溶解が起こったため、土壌中の放射性セシウム濃度のさらなる低下は認められず、目標の放射能濃度数千Bq/kg以下までの除染効果は得られなかった。
- ・本洗浄条件では、洗浄温度と時間の増加により土壌成分の洗浄剤中への溶出率(土壌の重量減少率)が増加し、土壌除染率が低下する傾向が見られた(図1)。土壌洗浄後の水洗時に無機塩の水溶液を用いるなど、土壌の溶出を抑えることが土壌除染率向上の鍵である。

表1 各洗浄条件で洗浄後の土壌除染率

洗浄条件	土壌中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg)		土壌除染率 (%)
	洗浄前	洗浄後	
30°C/3時間	28574	22351	22
30°C/6時間	28574	24556	14
30°C/18時間	28574	27579	3
70°C/3時間	28574	28682	0
70°C/6時間	28574	24276	15
70°C/18時間	28574	24990	13
70°C/18時間*	28574	19008	33

*洗浄後の土壌を水の代わりにMgCl₂+KCl水溶液で洗浄

表2 洗浄剤中の放射性セシウム吸着試験結果

PB粒子/土壌細粒分重量比 (%)	吸着処理前		吸着処理後	
	放射性セシウム濃度 (Bq/kg)	重量 (kg)	放射性セシウム濃度 (Bq/kg)	重量 (kg)
3.9	78	0.343	ND	0.342
3.9	95	0.324	ND	0.323
3.9	112	0.385	ND	0.382
7.6	152	0.413	ND	0.413
7.6	218	0.363	ND	0.363
7.6	348	0.326	ND	0.321
9.7	515	0.208	ND	0.206

注: 洗浄時の土壌細粒分/洗浄剤=1/10(重量比)

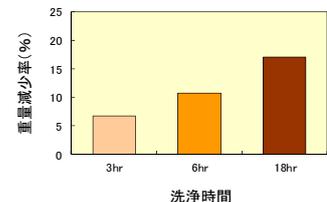


図1 30°Cで3時間、6時間、18時間洗浄した後の土壌の重量減少率

② 洗浄剤中の放射性セシウム除去試験(減容効果)

- ・洗浄後の洗浄剤を中和し、用いた汚染土壌細粒分に対して3.9~9.7 wt%のプルシアンブルー(PB)粒子を充填したカラムに放射性セシウム含有洗浄剤を通じた結果、すべての放射性セシウムが洗浄剤中から除去された(洗浄剤中の放射能濃度:ND)(表2)。
- ・本洗浄技術により汚染土壌の放射性セシウム濃度が再利用可能な濃度以下になった場合には、保管が必要な汚染物量はプルシアンブルー粒子となり、初期量の10分の1以下に減容化することが期待できる。

表3 洗浄剤の繰り返し使用効果の確認試験結果

洗浄条件 (1回目の洗浄条件)	土壌中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg)		土壌除染率 (%)
	洗浄前	洗浄後	
70°C/3時間 (70°C/3時間)	28574	23377	18
70°C/6時間 (70°C/6時間)	28574	21982	23

③ 洗浄剤中の酸、アルカリ金属の影響の確認試験

- ・洗浄剤中の塩化カリウムの代わりに塩化ナトリウムを用いた時、土壌除染率は15%から15%へと大きく低下した。一方、硫酸の代わりに硝酸を用いた場合は土壌除染率が7%向上した。

④ 洗浄剤の繰り返し使用効果の確認試験

- ・放射性セシウム除去後に回収した洗浄剤に、濃度が10 wt%あるいは20 wt%となるように濃硫酸を添加し、汚染土壌細粒分を洗浄した時、1回目の洗浄を上回る土壌除染率が発現し、汚染土壌の洗浄に再利用できることを確認した(表3)。

⑤ 洗浄土壌の再利用評価

- ・洗浄後の土壌細粒分のpHは1以下になっていたが、土壌に対して10倍量の1%炭酸カルシウム水溶液で洗浄することで土壌を中性付近(pH6.70)まで戻すことができた。
- ・洗浄前後での土壌の成分分析結果より、洗浄後に土壌中のAl₂O₃とFe₂O₃の割合が減り、K₂OとSiO₂の割合が増えたが、その変化率は比較的小さかった。
- ・本洗浄技術により汚染土壌の放射性セシウム濃度が再利用可能な濃度以下になった場合には、洗浄後の土壌は問題なく再利用できると期待される。

付録1-2-2

No.3 高含水・高粘性の農地除去土壤に含まれる草木類の選別除去を可能にする土質改良とふるい分けによる減容化と農地再生利用促進システムの実証・検証 実施者：鹿島建設(株)

事業の概要

高含水・高粘性の除去土壤を速やかに改質できる土質改良材を用いて、福島県内の除去土壤の半分程度を占める農土や模擬農土を対象とした、改質・ふるい分け試験を行う。また、試験結果より、本土質改良材の含水率等の適用限界とふるい分け等による改質効果を確認するとともに、ふるい分けによる処理能力、効果、コストを定量的に把握する。

実施内容

- 現地実証試験
 - 土質改良試験
 - ふるい分け試験
- 土質改良材の適用限界試験(室内試験)

細粒分含有率と含水率の異なる模擬土壤を用いた土質改良材の適合性の評価試験(ふるい分け・土砂のかさ密度)、及び湿式分級の影響評価試験
- 再利用の検討
- コストの評価

事業の主な実施場所

福島県福島市

技術概要

1. 試験フロー

①土質改良試験

土砂のかさ密度による判定
10mmふるいによる分析

生石灰と新土質改良材を比較
パラメータ：添加率、攪拌時間

②ふるい分け試験

土砂のかさ密度、熱しゃく減量、含水率等による分析他

・機械ふるいによる物質収支の解析
・減容化率等の導出

2. 試験目標

【現地試験】

生石灰と新開発の土質改良材(泥DRY)の草木選別による減容化効果の評価を行う。さらに、各工程の処理能力をもとに、草木除去に伴うコスト原単位を導出する。パラ土の放射能濃度測定装置における測定部の整形性の確認を行う。

【土質改良材の適用限界試験】(室内試験)

異なる土質に対する泥DRYの効果・適用限界を検討するため、模擬土壤を用いて室内試験を実施し、泥DRYの適合性の評価を行う。また、本改質土壤を湿式分級を行う際に、細粒分取り出しに影響があるかどうかの確認を行う。

3. 期待される効果

- 草木類除去による減容
- 再利用のための前処理等における適用
- パラ土の放射性Cs濃度測定装置への適用



付録1-3-1

結果

1. 高含水・高粘性土壤に対する土質改質と草木の選別除去(現地実証試験)

「土質改良試験」から得られた「最適添加率」「必要混合攪拌時間」を用いて「ふるい分け試験」を実施し、各改質材の改質効果及び土壤に含まれる草木類の選別除去の性能等を確認

- ①草木除去率：46～63%
- ②ふるい上土砂率：泥DRY5.2～8.9%、生石灰10.7～14.0%

試験土壤	含水率(%)		改質材	添加率(kg/m ³)	混合攪拌時間(分)	草木除去率(%)	ふるい上土砂率(%)
	母材A(畑)	母材B(水田)					
母材A(畑)	35	74	泥DRY	20	4	55.6	5.2
			生石灰	120	4	63.4	14.0
母材B(水田)	30	58	泥DRY	20	4(8)*1	—(45.8)	8.9(7.0)
			生石灰	100	4	56.7	10.7

*1 ()内の数値は8分攪拌時の結果を示す。8分攪拌するとより高品質の改質結果を確認。

$$\text{① ふるい上土砂率(\%)} = \frac{50\text{mm}\text{D-スクリュー, } 20\text{mm}\text{振動ふるいのふるい上に残った土砂重量}}{50\text{mm}\text{D-スクリュー, } 20\text{mm}\text{振動ふるいのふるい上に残った土砂重量} + \text{ふるい下土砂重量}} \times 100$$

$$\text{② 草木除去率(\%)} = \frac{50\text{mm}\text{D-スクリュー, } 20\text{mm}\text{振動ふるいのふるい上に選別された草木類}}{50\text{mm}\text{D-スクリュー, } 20\text{mm}\text{振動ふるいのふるい下に選別された草木類} + \text{ふるい下の土砂に含まれる草木類}} \times 100$$

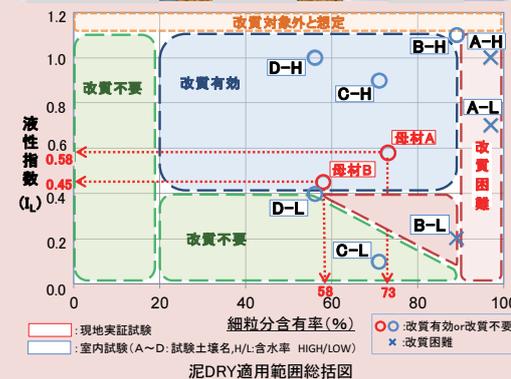
- コスト評価、処理能力
泥DRYを利用した草木類分別：4,771円/m³ 処理能力：100t/h
- パラ土(20mmふるい下土砂)
放射性Cs濃度測定装置への適用検討
⇒模擬試験により適用可能な整形性を有することを確認



2. 土質改良材の適用限界の把握(室内試験)

- 細粒分含有率・含水率を変化させた模擬試験土壤を用い泥DRY適用限界を把握
⇒今回の試験結果から推測した適用範囲
・高粘性対応(細粒分含有率:0～75μm)⇒20～90%前後
・高含水対応(液性指数)⇒0.4～1.1前後
※室内試験土壤の液性指数は、粒径2mm未満の土壌を測定
…泥DRY適用範囲は一般的な農地土壤の範囲を含む。
- 湿式分級への影響確認(改質土壤+加水→75μmふるい)
⇒細粒分含有率:改質前後変化なし。湿式分級に影響ないことを確認
- 泥DRYの改質後土壤の物性評価
⇒埋立適正を有し、農地土壤への再生利用が可能であることを確認
75μmふるいによる湿式分級試験結果 改質後土壤の物性評価

湿式分級前 細粒分含有率	湿式分級後 細粒分含有率		項目	コーン指数kN/m ²	pH
	添加なし	泥DRY添加			
76.7%	76.7%	75.9%	泥DRY改質後	500～1,000	ほぼ変化なし
			生石灰改質後	1,500前後	大きく増加



室内試験土壤のパラメータ			
試験土壤	含水率	液性指数 I _L	細粒分含有率(%)
A	High	1.0	97.1
	Low	0.7	
B	High	1.1	88.8
	Low	0.2	
C	High	0.9	70.9
	Low	0.1	
D	High	1.0	
	Low	0.4	56.2

■実利用に向けた課題
 ・多様な除去土壤の性状や状態を踏まえた、的確な改質要否の事前判断方法、及び最適な改質材の添加率と攪拌混合時間の検討
 ・実プラントの処理量を想定した最適な土質改良設備の検討
 ・20mmふるい上土壌への対応及び最終ふるい機の検討

付録1-3-2

No. 4 準連続式亜臨界水熱爆砕処理による細粒土の除染減容化

実施者：株式会社CDMコンサルティング

事業の概要

汚染土壌を対象に、準連続的に改造した亜臨界水熱爆砕装置を使用した放射性セシウム含有細粒土の除染減容試験を行い、セシウム除去率、処理速度、エネルギー効率、エネルギーコスト、セシウム減容率等のデータを把握して、細粒土の除染減容化に対する当該処理の効果を確認するとともに、実用化時の安全性、スケールアップ、経済性を評価・検討する。

実施内容

1. 準連続式亜臨界水熱爆砕処理の運転確認
2. 細粒土の除染減容化に対する効果確認
3. 実用化時の安全性、スケールアップ、経済性の評価・検討

事業の主な実施場所

福島県飯舘村

技術概要

1. 試験フローと構成機器

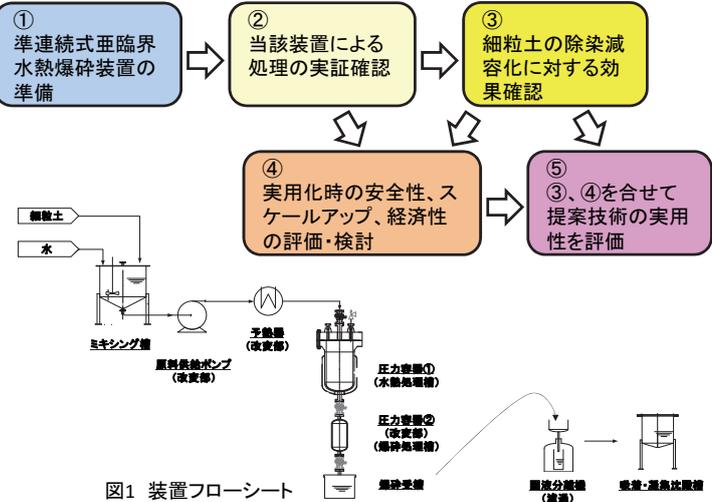


図1 装置フローシート

2. 試験目標

細粒土の除染減容処理として、準連続式の処理が可能であり、バッチ処理方式に対して、処理性能を向上できること、同程度の除染減容効果が得られることを確認する。

3. 期待される効果

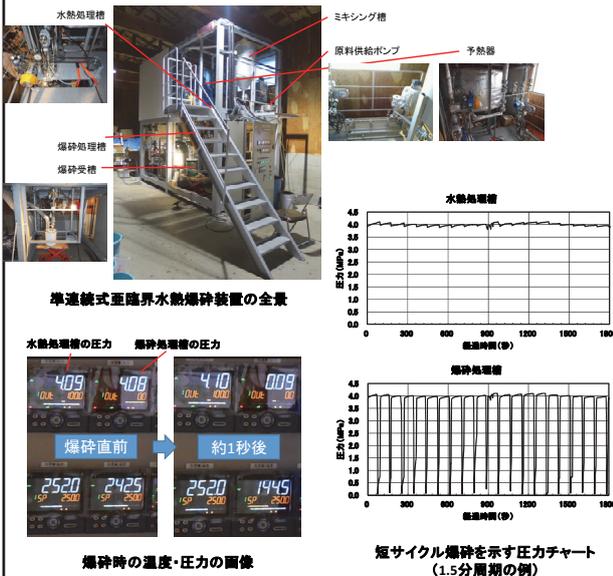
細粒土の除染減容化において、準連続式亜臨界水熱爆砕処理の確立による処理の効率化が期待される。

付録1-4-1

結果

1. 準連続式処理の実証

原料供給ポンプ、予熱器、一対の水熱処理槽・爆砕処理槽により準連続式処理（原料の連続供給と短サイクル爆砕機構の導入）を実現した。



2. 処理性能向上の実証

本機を使用した評価から、バッチ処理方式に比較して処理速度10倍以上、消費エネルギー40%程度のデータを得た。

準連続式とバッチ式の処理速度および消費電力の比較

	処理速度	消費電力
準連続式	4.8 kg/h	3.2 kWh/kg
バッチ式	0.45 kg/h	8.5 kWh/kg

・土壌粒径0.2mm以下、スラリー濃度20%、加熱温度250℃、圧力4MPaは共通
・準連続式は爆砕周期1.5分の条件

3. 除染減容効果の実証

粒径0.2mm以下と0.075mm以下の2種類の汚染細粒土にてバッチ処理方式と同程度の除染率、減容率を確認した。

原料土条件別の準連続式とバッチ式の除染率および減容率の比較

	粒径0.2mm以下 20%スラリー		粒径0.2mm以下 10%スラリー		粒径0.075mm以下 10%スラリー	
	除染率	減容率	除染率	減容率	除染率	減容率
準連続式	70～65% 程度	99～98%	75～70% 程度	97%	65～60% 程度	97%
バッチ式	70～65% 程度	99～98%	75～70% 程度	97%	65～60% 程度	97%

・準連続式は爆砕周期1.5分の条件
・減容化は水熱爆砕後の処理のため両方式で同等

- 準連続式に改造した亜臨界水熱爆砕装置で1.5分周期で1時間以上の運転を20日間行い、原料の連続供給と短サイクル爆砕機構を新たに導入した準連続式処理が可能であることを実証した。
- 準連続式処理の処理速度、エネルギー効率を評価し、従来のバッチ処理方式に対して処理速度10倍以上、消費電力の60%削減のデータが得られ、処理性能を大幅に向上できることを確認した。
- 汚染細粒土の粒径、スラリー濃度が異なる条件において、バッチ処理方式と同程度の除染減容効果が得られた。
- コスト評価では40t/日で8年間処理する条件で試算した場合、処理単価は42,800円/tになる。
- 本処理は、細粒土に限らず有機物（バイオマス）を対象とする処理への適用・利用可能性が期待できる。

付録1-4-2

No.5 バックホウ型放射線計測装置を用いての土のう袋計測の安全性 (被ばく低減・作業安全)、省力化の比較検証

実施者：(株)日立パワーソリューションズ

事業の概要

福島県における除去廃棄物が収納された土のう袋を対象に、新規に開発されたバックホウ型放射線計測装置を使用することにより、人力での玉掛け、重量計測、放射線計測等の土のう袋取扱業務における安全性および省力化効果を調査する。

実施内容

- バックホウ型放射線計測装置の計測検証
- 土のう袋計測の安全性・省力化の検証
 - 現状作業調査
 - バックホウ型放射線計測装置での作業調査

事業の主な実施場所

福島県会津美里町 仮置場

技術概要

1. 試験フロー

実施項目

①計測検証試験

- 手動による多数点の測定
(1袋につき上面4点、側面12点)
- バックホウ型放射線計測装置による測定
(1袋につき側面12点)

② 安全性・省力化検証試験

- 現状作業調査
- バックホウ型放射線計測装置での作業調査

【評価】

①計測評価

- 手動計測結果とバックホウ型放射線計測装置による測定結果の比較



手動計測



バックホウ型放射線計測装置

② 安全性・省力化評価

- 人員削減効果
- 被ばく低減効果
- 機械作業、人的作業の分離性
- 作業時間削減効果

③ コスト評価

④ 安全上の注意の評価

図1 試験フロー

2. 試験目標

現状作業で使用されている計測装置と、バックホウ型放射線計測装置で用いられている計測装置とで計測値を比較する。

また、バックホウ型放射線計測装置は従来作業に比べてどれだけの作業安全性・省力化の効果があるかを検証し、本装置を現場に適用するにあたっての課題を明らかにする。

3. 期待される効果

BH装置を土のう袋の仮置き現場で使用することにより重機と作業員の隔離をすることで、現場作業の安全性・被ばく低減に寄与することが期待される。

付録1-5-1

結果

1. 計測検証

バックホウ型放射線計測装置(以下、「BH装置」)は下記の特徴により、現状作業では難しい土のう袋の表面線量の偏在確認が出来る。

- BH装置の側面4点の同時計測の手法は、手動計測による上面1点の計測と比べて土のう袋の計測ポイントごとの表面線量の差異を評価することが容易である。
- 手動計測で使用しているサーベイメータの1インチNaIと比べて計測精度が高く、周辺線量の影響を受けにくい。



図2 4点同時計測の様子

	従来計測方法 手動計測	バックホウ型 放射線計測装置
シンチレータタイプ	1インチNaI × 1台	2インチNaI × 4式
BG遮へい	16mm厚 鉛	50mm厚 鉄 (鉛厚換算22mm)
周辺線量計測値	0.07 μSv/h	0.010 μSv/h

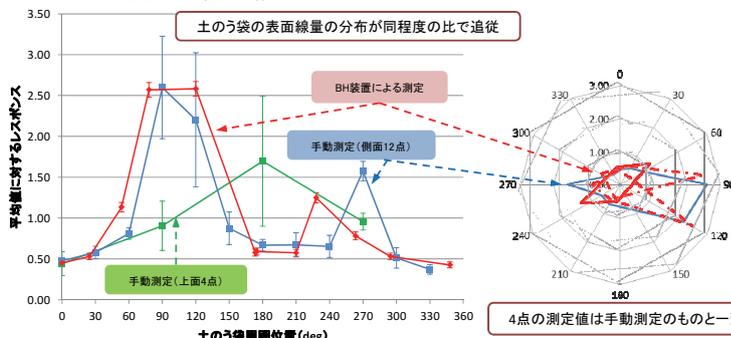


図3 土のう袋線量分布(左は3回計測分・計12点の分布 右は1回ごとの4点の測定分布を3回重ねて描いた分布)

2. 安全性・省力化の検証

1) 人員削減効果

オペレータが計測作業を実施できるので、現状作業員の人員配置6名に対し、各作業員の作業量は増加するが3名で運用可能であることが確認できた。

2) 被ばく低減効果

土のう袋との接触時間やキャビンの遮へい性能について検証した結果、接触時間を3分の1に削減できるなど有意な被ばく低減効果を確認できた。

3) 機械作業と人的作業の分離性

- 開閉グラブプル
 - 紐部倒立治具
- の組合せによりBH装置の可動範囲内に作業員が入らずに作業を進められることを確認、作業安全に寄与できることを確認した。



図4 グラブプルと紐部倒立治具

4) 土のう袋1袋あたりの作業時間削減効果

BH装置の作業時間は油圧操作作業の追加に伴い、現状作業の作業時間182秒/袋に比べて45秒増加の227秒/袋となった。

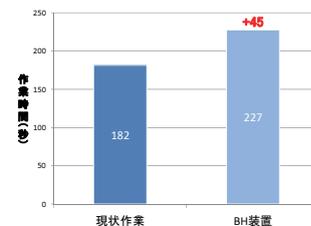


図5 作業時間比較

・現状作業では上面1点測定につき偏在確認が難しいが、BH装置作業は周辺4点同時測定かつ検出器が大型で遮へい性能も高いため計測精度が高く周辺環境に影響されずに偏在確認が出来る。

・BH装置の作業時間は現状作業と比べて45秒の増加となるものの、大型重機・設備が設置困難な狭小な仮置き場などにおいては下記の安全性により優位性がある。

①オペレータがキャビン内で計測作業を行えるため、作業人員を6名→3名に削減でき、かつ土のう袋との接触時間を3分の1に低減可能である。

②グラブプルと紐部倒立治具を併用することで重機と作業員の接触のポテンシャルを低減することが可能である。

【課題】オペレータの新規作業となる各種計測において操作系の見直しを行い、早く作業を進行できるようなシステムへの改良を検討する。

付録1-5-2

No.6 除去土壌等の輸送時における可搬型放射能濃度測定技術及び埋立時における粉塵等発生抑制技術 実施者：株式会社大林組

事業の概要

1. 除去土壌等の中間貯蔵施設への輸送時における放射能濃度測定に関して、トラック荷台に複数のフレキシブルコンテナを積載した状態で、一袋ごとの濃度を測定する可搬型放射能濃度測定装置の測定精度、作業員の被ばく線量低減効果等の評価を行う。
2. 除去土壌の中間貯蔵施設への埋立時における粉塵及び土砂懸濁物の発生に対して、簡易かつ持続性の高い粉塵等発生抑制技術を評価するために、土壌固化剤の散布による流出土抑制効果の評価を行う。

実施内容

1. 可搬型放射能濃度測定装置を設置し、除染作業で発生した除去土壌等が充填されたフレキシブルコンテナをトラック荷台に積載し、濃度を測定する。
2. 砂質土/粘性土にポリイオンコンプレックス剤(PIC)を散布後、流出土・飛散土砂(粉塵の代替として)を採取し抑制効果を測定する。

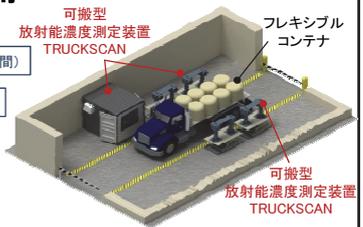
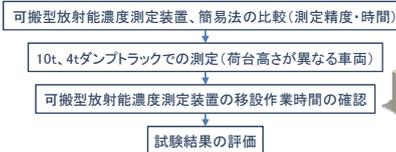
事業の主な実施場所

福島県富岡町、東京都清瀬市

技術概要

1. 可搬型放射能濃度測定技術

(1) 試験フロー



(2) 試験目標

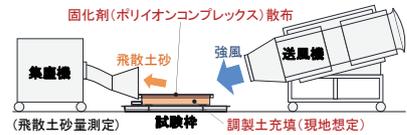
簡易法との比較、荷台高さが異なる車両への適用性、移設作業の所要時間を確認する。

(3) 期待される効果

測定精度の向上による8,000Bq/kg超フレキシブルコンテナ減容化、測定時間短縮、作業員の被ばく線量低減

2. 粉塵等発生抑制技術

(1) 試験フロー



(2) 試験目標

2種類のPIC(ハイブリット系、合成系)から最適な材料・濃度・散布量を選定する。

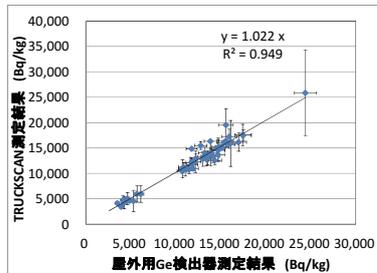
(3) 期待される効果

下流の雨水調整池の堆積土壌量の減容、作業時間短縮、作業員の被ばく線量低減、コスト低減

付録1-6-1

結果

1. 可搬型放射能濃度測定技術



可搬型放射能濃度測定装置(TRUCKSCAN)および単体測定結果(Ge検出器)

■Ge検出器による単体測定結果、簡易法との比較結果

- ・可搬型TRUCKSCANによる放射能濃度測定結果は、単体測定結果の1.02倍であり高い精度での測定が可能であることを確認した。
- ・可搬型TRUCKSCANによる1袋当たりの測定時間は、簡易法の約1/12に短縮できることを確認した。
- 荷台高さが異なる車両への適用性と移設作業の所要時間
- ・4tダンプトラックに対する可搬型TRUCKSCANの測定結果は、単体測定結果に対して0.98倍と10tダンプトラックと同等の精度となった。
- ・可搬型TRUCKSCAN測定装置の移設作業所要時間は4時間程度と迅速な移設が可能であることを確認した。

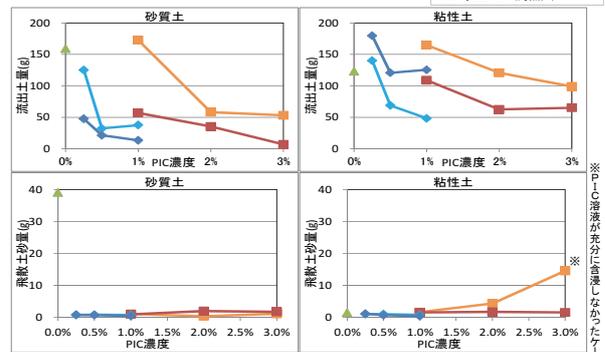
■測定精度向上による8,000Bq/kg超フレキシブルコンテナの減容化

- ・8,000Bq/kg超過の土壌が充填されたフレキシブルコンテナを、土壌貯蔵施設Ⅱ型にどの程度正確に振り分け可能か評価した結果、可搬型TRUCKSCANの適用により簡易法に対して28%低減が可能と推定された。

■コスト・作業員の被ばく線量低減

- ・1,000袋/hで4.5年(1,350日間)測定する場合、フレキシブルコンテナ1袋当たりの測定コストを簡易法(従来法)より約93%低減できると試算された。また、1ヶ月当たりの測定作業員の被ばく線量は簡易法(従来法)の約1/7に、測定作業員数を約1/17に低減できると試算された。

2. 粉塵等発生抑制技術



室内試験結果(上:流出土抑制試験、下:粉塵抑制試験)

■固化剤の選定結果

- ・室内試験では、ハイブリット系PICの1%溶液2L/m²、合成系PICの3%溶液2L/m²の場合、水のみと比較してそれぞれ流出土量が砂質土約1/4、約1/20、粘性土約1/3、1/2に低減した。飛散土砂量はどちらも砂質土で95%以上低減した。粘性土では飛散土砂量が少なく、効果は測定できなかった。
- ・屋外試験でも、PICを散布することによって流出土量、飛散土砂量が低減された。ただし合成系PICの方が降雨に強い傾向が見られた。
- ・これらの結果から、コストが安価なハイブリット系PICの1%溶液2L/m²を選定するが、強雨時の土砂流出において弱い面もあると考えられ、濃度、散布量の最適化が必要である。

■堆積土壌量減容、作業短縮、作業員被ばく線量低減、コスト

- ・粘性土の流出土量が約1/3に低減されたことから、下流の雨水調整池に堆積する土壌量を1/3程度に減容できると期待される。
- ・延べ作業時間を覆土の1/3に短縮、シート掛けより10%の低減
- ・全作業員の合計の被ばく線量を覆土の1/3に低減、シート掛けより10%の低減
- ・3,000m²当たりのコストは覆土の1/20に削減、シート掛けより20%の削減

付録1-6-2

No.7 ミニサーベイヤを活用した上空からのガンマ線可視化装置による空間線量の迅速測定技術の実証

実施者：(株)菊池製作所

事業の概要

ミニサーベイヤに搭載したガンマ線可視化装置を用いて上空から放射線量測定を行い、局所的汚染箇所の位置とその放射能濃度を迅速かつ正確に特定する技術を検証するとともに、放射線測定器を用いる方法や福島県の技術実証事業の成果を参考に、歩行サーベイとの比較を行い、効果、コスト等を評価する。

実施内容

- (1) ガンマカメラ装着による有線給電型ミニサーベイヤの飛行安定性試験
- (2) 上空及び地上からの放射線計測・画像撮影結果の解析
- (3) ガンマカメラを搭載した有線給電型ミニサーベイヤの定速度飛行による放射線計測
- (4) 上空からのガンマカメラによる計測の有効性評価

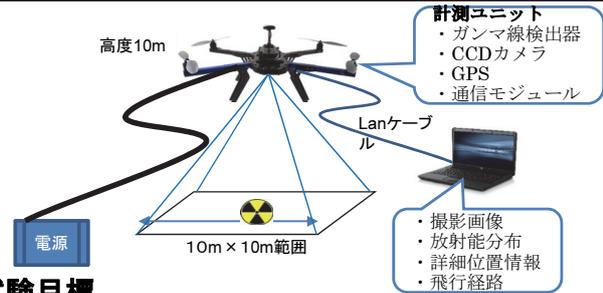
事業の主な実施場所

福島県相馬郡飯舘村

技術概要

1. 試験フロー

- ①ガンマカメラを取り付けた有線給電型ミニサーベイヤの飛行安定性と性能試験
- ②ガンマカメラによる上空からの放射線計測
- ③放射線撮影画像と放射線測定器による計測結果とのマッピング
- ④定速度飛行による連続画像撮影
- ⑤上空からのガンマカメラによる計測の評価・課題抽出



2. 試験目標

上空からのガンマカメラ放射能計測について有用性を評価するとともに課題抽出を行う。

3. 期待される効果

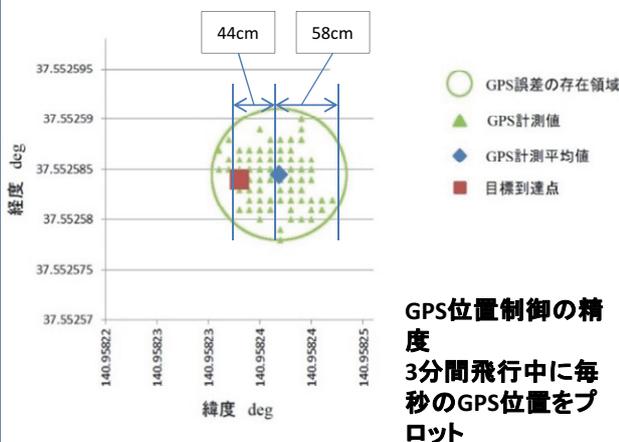
地上からの放射線計測と組み合わせることで除染対象箇所の確認及び除染結果の確認等を効率的に進める。

付録1-7-1

結果

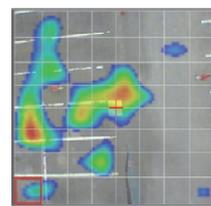
(1) ガンマカメラ装着による有線給電型ミニサーベイヤの飛行安定性と性能試験(準備計測)

- ①ウェイポイント飛行制御によるGPS位置制御
 - ・GPSの設定目標(目標到達点)に対しGPS計測平均値の差は44cmであった。
 - ・位置制御の誤差範囲は、目標の± 50cmに対し±58cmであった。



- ②CCDカメラによるモニター画面の目視観察では最大の揺れ幅は0.8mであり、測定中の90%の時間は1mの範囲内を飛行していた。

- ③上空からガンマカメラが捉えた点線源の位置の誤差は最大で0.6mであった。



ガンマカメラ画像上の点線源位置のズレ
中央の赤の+位置に点線源設置

- ④微風条件(風速1~3m/秒)での飛行時の揺れ幅は1.5m以内に収まっていた。
なお、風速3m/s以上の弱風条件での影響は把握できなかった。

当該ミニサーベイヤの現地試験場とならずであった一般家屋の解体やミニサーベイヤの墜落等の不具合による事業の遅れにより、業務の遂行が困難となったため試験フロー②以降の試験は中止となった。

付録1-7-2

No.8 クロスフローシュレッダによる放射性物質除去の処理技術補助事業

実施者：鹿島環境エンジニアリング(株)

事業の概要

クロスフローシュレッダ(以下、「CFS」という。)を用いて、放射性物質が付着した自動販売機等の汚染ラジエータを破碎し、破碎に伴う金属間の摩擦による除染効果等を確認・評価する。また、破碎された金属チップを溶液で除染し(以下、「溶解除染」という。)、CFSと溶解除染を合わせて実施した場合の除染効果等を確認・評価する。

実施内容

1. CFSを用いた摩擦洗浄による汚染ラジエータの除染効果の確認試験
2. 金属チップの溶解除染効果の確認試験
3. 摩擦洗浄と溶解除染についてそれぞれ放射能収支等の確認

事業の主な実施場所

福島県郡山市

技術概要

1. 試験のフロー図と設備

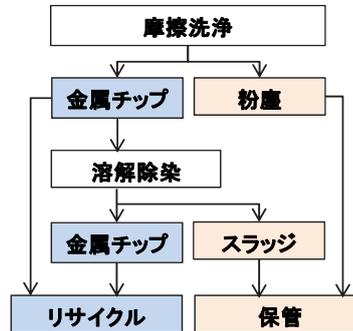


図1 試験のフロー図



写真1 CFS装置外観



写真2 自動販売機ラジエータ外観

2. 試験目標

CFSによる摩擦洗浄でリサイクル可能なレベル※まで線量率が下がること。補完技術として溶解除染の効果を確認すること。

※金属廃棄物の再資源化の運用基準(2012年3月1日 関東鉄源協同組合) 0.2μSv/h未満

3. 期待される効果

汚染ラジエータ等を破碎・除染することでリサイクルし、放射性廃棄物の減容化を促進する。

付録1-8-1

結果

1. 摩擦洗浄による除染効果の確認

・摩擦洗浄により、BG値0.06μSv/hを除く線量率0.26～1.72μSv/hの汚染ラジエータが0.04～0.15μSv/hに低下した。

表1. 汚染ラジエータの摩擦洗浄による線量率の変化 (単位:μSv/h)

項目	バッチ1		バッチ2		バッチ3		バッチ4	
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ラジエータ								
摩擦洗浄前	0.39	0.37	1.72	0.51	0.28	0.32	0.26	0.42
摩擦洗浄後	0.04		0.15		0.04		0.04	

・摩擦洗浄により、汚染ラジエータと金属チップの放射能を比較した結果、除染率は93～97%になった。

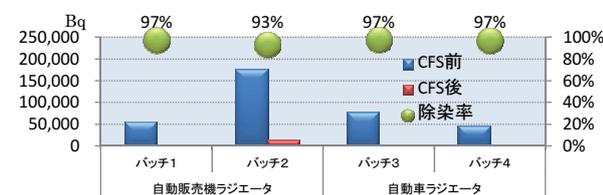


図1. 摩擦洗浄による放射能の変化と除染率

3. 放射能収支の確認

放射能収支を図3に示す。金属チップに残った放射能が5.1%、集塵工程で回収した放射能が35.2%あり、40.3%が確認された。残り59.7%については、CFS内及び集塵機のプレフィルタの線量率の上昇が確認されたことから、試験設備内面への付着やプレフィルタでの捕集と推定。[]内は物質収支で、増えた理由は予備試験の残留物回収と推定される。

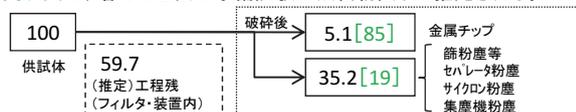


図3. 摩擦洗浄による放射能収支

2. 溶解除染による除染効果の確認

・溶解除染により、BG値0.06μSv/hを含んだ線量率0.22μSv/hのアルミが0.11μSv/hに低下した。

・アルミのアルカリ溶解による除染率は67%であった。

・銅及び鉄の酸溶解による除染率も67%であった。

表2. アルミの溶解除染による線量率の変化

項目	バッチ2
金属	アルミ
溶解除染前(μSv/h)	0.22
溶解除染後(μSv/h)	0.11

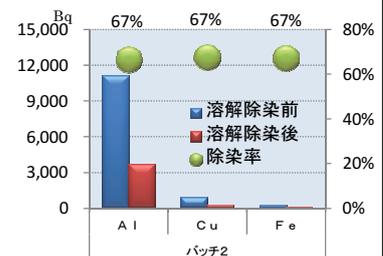


図2. 溶解除染による放射能の変化と除染率

全体のまとめと課題

■全体のまとめ

・摩擦洗浄により、線量率及び放射能が大幅に低減し、高い除染効果が確認できた。また、溶解除染を補助的に使用する事により、金属チップはリサイクル可能となった。

・銅及び鉄は摩擦洗浄の効果が十分であり、溶解除染は省略できることが判った。

■課題(実用化に向けた提言)

・ラジエータ等は、アルミ、銅、鉄などで構成されている。実用化に際しては、金属チップの自動選別の検討が必要である。

・サイクロン、集塵機で回収される破碎塵は放射能濃度が高くなるため、放射線管理上の対策が必要となる。

付録1-8-2

No.9 放射性セシウムで汚染した金属廃棄物の溶融除染による除染・減容・資材化技術 実施者：三菱マテリア株式会社

事業の概要

事故由来の放射性セシウムが付着した金属廃棄物(以下、「放射性セシウム付着金属廃棄物」という。)を高周波誘導炉で溶融処理し、溶融処理によるセシウムの除染効果の確認及び金属中に残留するセシウムの分布状況の把握を行う。また、その結果に基づき、実規模の溶融設備のシステム構成の検討を行い、そのコスト評価等を行う。

実施内容

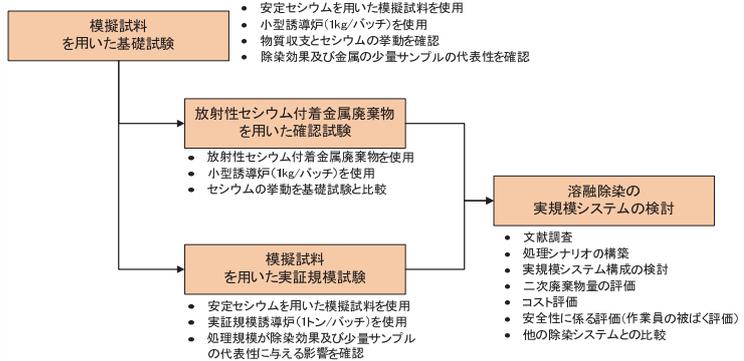
1. 模擬試料を用いた基礎試験
2. 放射性セシウム付着金属廃棄物を用いた確認試験
3. 模擬試料を用いた実証規模試験
4. 溶融除染の実規模システムの検討

事業の主な実施場所

茨城県那珂市

技術概要

1. 試験フロー



2. 試験目標

- ① 溶融処理によるセシウムの除染効果の確認
- ② 溶融処理後の少量試料による放射能測定の代表性の確認
- ③ 実規模の溶融設備の具体化

3. 期待される効果

- ✓ 金属廃棄物の大幅な減量・減容及び資源化による再利用の促進
- ✓ 金属廃棄物の溶融後の放射能測定の合理化

付録1-9-1

結果

① 溶融処理によるセシウムの除染効果の確認

- ◆ 模擬試料を用いた基礎試験(1kg/バッチ)(10試験)(図1)
 - セシウムを0.1ppm未満に除染できることを確認
 - 除染係数は10,000以上
- ◆ 放射性セシウム付着金属廃棄物を用いた確認試験(1kg/バッチ)(2試験)(表1)
 - 放射性セシウム濃度は検出下限未満(<0.2Bq/kg)になることを確認
 - 汚染土壌(スラグ)が付着している場合でも金属から放射性セシウムを除染できることを確認
- ◆ 模擬試料を用いた実証規模試験(1t/バッチ)(1試験)(表2,図2)
 - セシウムを検出下限未満(<0.02ppm)に除染できることを確認
 - 処理規模の違いによる影響はないことを確認

② 溶融処理後の少量試料による放射能測定の代表性の確認(図1,表2)

- ◆ 基礎試験及び実証試験にて、少量の試料(溶湯サンプル)の代表性を確認
- ◆ 放射性セシウム濃度も少量の試料で代表的に測定可能と判断

③ 実規模の溶融設備の具体化

- ◆ シナリオ構築
 - 処理対象物量: 5,000t又は10,000t
 - 処理期間: 10年、年間操業日数: 200日、日運転回数: 2又は1バッチ
 - 二次廃棄物の取扱: 除染廃棄物等の最終処分方法が未定のため、LLW処分*を参照
- ◆ システム構成、人員配置を検討
- ◆ コスト評価
 - 償却費(設備・建屋)、ユーティリティ費、人件費、二次廃棄物処分費を算出
 - 溶融処理システムの処理単価: 90~160万円/t程度
 - 処理単価の50~60%は建設費用(償却費)が占める
 - 処理対象物量及び二次廃棄物の処分方法により、処理単価が大きく変動

* LLW: 低レベル放射性廃棄物



図1 模擬試料を用いた基礎試験における金属中の安定セシウム濃度

表1 放射性セシウム付着金属廃棄物を用いた確認試験における金属及び土壌中の放射能濃度

		放射能濃度[Bq/kg]	
		Run1	Run2
溶融前	金属廃棄物	5.6	5.6
	土壌	10,500	
溶融後	金属固化体	<0.2	<0.2

Cs-134,137の合計、検出下限: 0.2Bq/kg

表2 模擬試料を用いた実証規模試験における金属中の安定セシウム濃度

	模擬試料	977 ppm
溶融後	金属固化体①	<0.02ppm
	金属固化体②	<0.02ppm
	溶湯サンプル	<0.02ppm

Cs-134,137の合計、検出下限: 0.02ppm
金属固化体: 全てのサンプリング位置(4カ所)



図2 模擬試料を用いた実証規模試験の状況

溶融除染技術により、鉄系の処理対象金属廃棄物中の放射性セシウムを除染することができ、基本的に処理した金属廃棄物を全て再利用できる可能性を明らかにした。また、一定の処理対象物量が確保できれば、合理的な処理方法であることが判った。