付録 2

個別試験結果と評価詳細

実施代表者の所属機関:清水建設株式会社

実証テーマ名: S-Jet モバイル除染システム(少水量型超高圧ウォータージェット)による高効 率除染とゼオライトインラインフィルターを用いた水のリサイクル技術の実証

事業の概要:除染及び除染廃液回収・処理等の全ての除染関連機器を2tトラック1台(または2tトラック2 台)に搭載し、小規模な面積や狭隘部位への適用ができる少水量型超高圧ウォータージェットの実証を 行う。当該システムの特長である特殊なノズルヘッド採用により、吐出水量3リットル/分以下の少水量で あっても、高効率な除染が可能であることを実証する。さらにゼオライトを用いた小型インラインフィルタ 一採用によりオンサイトで除染廃液処理が可能なうえ、再利用ができることを実証する。

実施内容:

- (1)少水量型超高圧ウォータージェットによる除染実証試験(2)ゼオライトインラインフィルターによる除染廃液処理実証試験
- (3) 放射性セシウムの存在形態実証試験

技術概要:



試験目標

- ① 表面汚染密度 80%低減
- ② 除染速度 60m²/時間以上
- ③ 処理廃水の放射能濃度 10Bq/kg 以下
- ④ 除染廃液中の放射性セシウムの存在形態の把握
- ⑤ ゼオライトインラインフィルターの寿命の把握
- 期待される効果



「洗浄」と「切削」の両工法のメリットを生かした、廃棄物物量の発生を抑え効率的かつ、 確実に除染可能なシステムの提供

その他:本システムは水処理設備を含めた全ての設備をトラックに搭載しているため、現場での機動性が高い。さらに全てのシステムがレンタルで対応可能なため初期投資が不要、短い工期や小規模エリアの除染にも活用することができるため実用性が高い。

除染効果:

(1)少水量型超高圧ウォータージェットによる除染速度と低減率に関する実証試験結果

	/ 11-010					H / IS
					<u>]</u>	单位:[m²/h]
低減率	50%	60%	70%	80%	90%	95%
インターロッキングブロック	(120)	120	(80)	80	40	25
アスファルト路面(密粒)	(120)	(120)	(120)	120	60	-
コンクリート土間(比較的健全)	80	40	-	-	-	-
コンクリート路面(表面劣化)	(120)	120	60	40	-	_

※ ()内は内挿値

(2) ゼオライトインラインフィルターによる除染廃液処理実証試験(インターロッキングブロック抜粋)

成达话粘	流速	放射能濃度	低減	率[%]
於攸性矨	[m/h]	[Bq/kg]	精密ろ過ろ液に対して	除染廃液に対して
除染廃液	-	8, 900	-	-
凝集沈殿上澄み	-	11	-	99.88
精密ろ過ろ液	-	11	-	99.88
	50	5. 1	54	99.94
	25	4. 2	62	99.95
インラインフィルター処理	10	2. 7	75	99.97
	5	1.5	86	99.98
	2.5	0.36	95	99.99

(3) 放射性セシウムの存在形態実証試験

- 除染廃液の放射性セシウムの形態:除染廃液の 99.9%が粒子状でスラッジに付着している と予想され、粒子状以外のコロイド状と思われるもの(ポア径 0.45µm メンブランフィルタ 一透過)は 0.1%程度。凝集沈殿処理だけでは上澄液の放射能濃度は 10Bq/kg を超過する。
- ゼオライトインラインフィルターの破過状況:フィルターの通水側から放射性セシウムの 放射能濃度が高く、排水側が低く、均等に吸着はしない
- ゼオライトインラインフィルターの寿命:12Bq/g以上

除去物発生量評価:

対象部位	インターロッキングブロック	アスファルト	コンクリート土間	コンクリート路面
単位発生量[g/m ² -dry]	520	450	80	360
総発生量[kg]	120	45	3	30

作業員被ばく量評価:

- 作業場所(作業前)平均空間線量率:0.44 μ Sv/h
 作業時間:8時間/日
- 作業員最大被ばく量:6µSv/日(分析作業)
- 作業員平均被ばく量:2.3 µ Sv/日 (分析作業)

	作業	被は	ťく量[µ	Sv]
除染対象	員数 [人]	作業 合計	作業 平均	1日 最大
放射線管理 (測定)	42	80	1.9	3
除染作業	63	150	2.4	5
水処理作業	7	21	3.0	5
分析作業	8	37	4.6	6
準備作業等	9	15	1.7	2

コスト評価及び評価条件、歩掛り(作業人工、作業速度):前記除染効果参照

● 本試験での作業員単価(東京からの経費含む)で試算

● 主な施工条件:作業員構成5人/1組、施工期間1カ月以上、1日の作業うち車両移動がないこと、1日の施工面積が「施工速度×作業時間(3時間)」以上あること。

● 作業時間構成:1日:	8h、除染作	≌業3h、水	処理1h、輤	明礼・移動・	準備片付け	ナ・休憩4h)
施工速度[m ² /h]	120	80	60	40	25	

他上迷皮[[[[-/1]]	120	80	00	40	20	
1日の施工面積[m ² /日]	360	240	180	120	75	
施工単価[¥/m²]	970	1, 450	1, 930	2, 900	4, 630	

除染作業における安全上の注意:作業中はマスクを着用、汚染部位を触れる際にはゴム手袋着 用、ウォータジェット作業時は甲プロテクターを着用

試験場所(住所):	除去物保管場所と保管状況(写真):伊達市が実施中の除
福島県伊達市保原町、霊山町	染エリアの猫塚仮置場に保管

1. 除染能力の実証

① インターロッキングブロック

1) 試験条件

		叶山区中	叶山水昌		試験条件				
エリア	繰返し	虹田圧ノ	凹面水里 [0/min]	施工速度	ノズリディスタンス	ノズル回転数			
		LIVII aj	[\$/11111]	[分/m²]	[mm]	[min ⁻¹]			
A-B-C	3回				150				
D-E-F	3回			0. 5	120				
G-H-I	3 回	100	100	0.0	0.0	100 0.0		90	1, 600–1, 300–1, 000
J-K-L	3回	180	2. 0		150	(例:A-B-C)			
M-N-O	3回			0. 75	120				
P-Q-R	3回				90				

2) 試験状況

3) 試験結果



<u>除染ソール(フロアクリーナー)</u> による除染作業

- <u>廃液回収装置</u> (湿式掃除機)
- <u>測定用テンプレート</u> を用いた測定

除染面

除染作業は一つのエリア(例えばエリアA、2m×2m)を往復走行させながら、廃液回収装置(2.2 kW、30kPa)で除染 廃液を回収しながら除染を行う。銀色のSUS プレートは往復時に除染面を破損させないようにマスキングしている。作 業の班構成は5人1組。



除染前後の表面の拡大写真 (除染前では放射性物質が含まれる汚れが確認でき るが除染後は除去されている)



(グラフの見方)

試験は3回繰返し行い、1回ごとに表面汚染と表面線量率の測定を行った。グラフ内でプロットされた点を測定値とし、 除染1~3回の測定点をグラフ化した。除染速度は繰返しにより、除染対象面への実際の除染速度が低下する、例えば0.5 分/m²で1回除染した場合には0.5分/m²となり、2回繰返では1.0分/m²、3回では1.5分/m²となる。

(主な考察)

ノズル回転数を1,000、1,300、1,600min⁻¹で変化させた除染では、顕著な有意差は見られなかった(前記グラフは 回転数ごとの平均値で記述)。ノズル回転数の違いは、除染面の周速の違いとなり 1,000min⁻¹に対し 1,300min⁻¹、 1,600min⁻¹の周速は1.3倍、1.6倍と速くなり、一般的にノズル回転数が低いほど切削能力が向上するが、圧縮強度が 高いインターロッキングブロック(以下 ILB と略称)に対する有意差として表れにくいと考えられる。

ノズルディスタンス(以下NDと略称)は距離が短く、近いほど除染効果が高いことがわかった。一般的に気中高速 水噴流の場合、その構造からノズル径の100倍未満の噴流は「切断・はく離」、100~700倍の噴流は「洗浄」として 利用されることが多く、NDが短い領域は切削能力が高くなり、NDが長くなると水噴流は拡散してゆくことが知られて いる。ILBの場合、ILB間の放射性物質を含むスラッジがある目地に水噴流が入り込んで除染を行うためには、NDは 短く拡散が少ない水噴流で除染を行うほうが効果的であると考えられる。

除染を3回繰返した除染速度0.5分/m²より2回繰返す除染速度0.75分/m²の方が高い除染効果が得られた(最終的な除染速度は同じ1.5分/m²)。同じ除染時間で異なる除染効果が得られたのは、遅い速度の除染では水噴流がILB間の目地や母材内まで入り込み放射性物質を含む汚れを除去していると考えられる。

② アスファルト路面

試験条件

		叶山口中	叶山水昌		試験条件	<u>-</u>	
エリア	繰返し	『エロルエノJ 「MPa]	印加 <u>小重</u> [0/min]	施工速度	ノズリディスタンス	ノズル回転数	
			[\$/11111]	[分/m²]	[mm]	[min ⁻¹]	
A-B-C	2回				150		
D-E-F	2回			0.5	120		
G-H-I	1回	100	0.6		90	1, 600–1, 300–1, 000	
J-K-L	2回	100 2.0	2.0	2.0		150	(例:A-B-C)
M-N-O	1回			0. 75	120		
P-Q-R	中止				90		

※本試験ではアスファルトの表面を切削し、破損させる可能性があったため、繰返し回数を減らし、かつ破損の 可能性がある試験条件での試験は中止した

2) 試験状況









<u>除染前の状態</u> (表面が平坦にみえる)

除染後の状態 (骨材が抜けた部分に埋もれた汚染物が除去され、さら に表面が荒れている)



3) 試験結果

③ コンクリート土間・路面

1) 試験条件

		다비뜨귀 다비카를					試験条件	
エリア	繰返し	™ELLIELIE [MPa]	旺山八重 [l/min]	施工速度 [分/m2]	ノズルディスタンス [mm]	ノズル回転数 [min ⁻¹]		
A-D-G	3回			0.5	150-120-90 (A-D-G)	1 600		
J-P	3回	180	2. 6	0.75	150–90 (J–P)	1,000		
R	3 回			0.75	90	1, 000		

※本試験の対象範囲が狭いことから、これまでの試験結果を踏まえ、条件を絞って試験を実施した

2) 試験状況



3) 試験結果 (一部条件のみ抜粋)







除染後の状態(コンクリート土間) (比較的健全な土間であるため、表面汚れとモルタル分が除 去されている)

除染後の状態(コンクリート路面) (表面劣化が進んでいるため、表面汚れと共にモルタ ル・細骨材も除去されいる)



④ 除染効果

これまで行った対象部位ごとのすべての試験結果をより、低減率に応じた除染速度を評価した。 (インターロッキングブロックとアスファルト路面試験結果抜粋)



除染効果まとめ

単位:上段[分/m²]、下段[m²/h]

低減率	50%	60%	70%	80%	90%	95%
インターロッキングブロック	(0. 5) (120)	0. 5 120	(0. 75) (80)	0. 75 80	1.5 40	2. 25 25
アスファルト路面	(0.5) (120)	(0.5) (120)	(0.5) (120)	0. 5 120	1.0 60	-
コンクリート土間(比較的健全)	0. 75 80	1.5 40	-	-	-	-
コンクリート路面(表面劣化)	(0. 5) (120)	0. 5 120	1.0 60	1.5 40	-	-

※ ()内は内挿値

⑤ 除染試験結果まとめ

1) 試験パラメータの影響

対象部位	ノズル回転数	ノズルディスタンス	除染速度
インターロッキングブ	(影響なし)	(近いほど効果がある)	(遅いほど効果がある)
ロック	母材強度が高いため、回転数	近いほど除染効果が高い	遅い速度で目地・母材内に水噴流を当てることに
	による除染効果への影響はみ		より、高い除染効果が得られ、除染速度の変化が
	られない		一番影響が大きい
アスファルト路面	(影響不明)		(早い速度で効果がある)
	凹部の堆積物と表面を薄くはく	離させるだけで、容易に除染で	切削する領域まで除染をせず、表面凹部の堆積物
	きる。(破損の可能性があるため	り、切削の条件まで実施していな	と表面を薄くはく離させるだけで高い除染効果
	い)		が得られるため、除染速度の影響はなく、結果的
			に早い速度の方が除染効果が高い
コンクリート土間	(遅い方が効果がある)	(近いほど効果がある)	(遅いほど効果がある)
コンクリート路面	回転数が遅い切削領域での条	近いほど低減率は向上する	速度が遅い切削領域での条件が除染効果が高い。
	件が除染効果が高い		パラメータによる影響は除染速度>回転数>ノ
			ズルディスタンスの順である

除染対象部位ごとの試験パラメータの影響

2) 汚染濃度の異なる部位での除染効果

本試験では表面汚染が 800~2,000[net-cpm]と低めであるため、既往試験成果の比較的高い濃度の汚染部位(表面汚 染 3,000~5,000[net-cpm])での除染効果と比較した。アスファルト路面では大きな差がないことから高濃度部位であっても本試験と同等の効果が得られると考えられる。しかし、コンクリート面に関しては劣化程度が除染効果に大きな 影響があるため、一概に既往試験成果と比較できないが切削の領域まで除染することにより、低減率 80%以上を確保 することができる。



既往試験成果と本試験との比較

单位:上段[分/m ²]、下段[m								
低減率		50%	60%	70%	80%			
マフララリト吹声	本試験	(0.5)	(0.5)	(0.5)	0.5			
「ヘノドルト哈回	既往成果	(120)	(120)	(120)	120			

※ ()内は内挿値。

2. 除染廃液処理の実証

1) 試験状況



<u>凝集沈殿処理</u> (3000処理-無機系凝集剤1g/0添加)





凝集沈殿剤添加·攪拌後5分





<u>精密ろ過処理(25µm)</u>



ゼオライトインラインフィルター処理



沈殿物をろ布でろ過/1日放置 (スラッジ分はすべて砂状または粘土状の微細粒子)



<u>ゼオライトインラインフィルター内部</u> (約15 kg充填、φ200mm、長さ500mm)

少水量型超高圧ウォータージェットシステムによる除染廃液処理試験結果

				流量	流速	接触時間	放射能濃度	低減率	×	
	除染廃	 逐種類	SV ^{3%1}	[Q/min]	[m/h]	اتقال علي الموا [s]	[Ba/kg]	精密ろ過ろ液	除染廃液	pН
				E-07	510 113	[0]	[54] (33	に対して	に対して	
	清水(フ	ジランク)			-		<0.2	-	-	6.9
	原液		-	-	-	-	8, 900	-	-	7.8
1	凝集沈殿上澄	み	-	-	-	-	11	_	99 88%	7.4
1	精密ろ過ろ液		-	-	-	-	11	-		7.5
12 12			100	29	50	36	5. 1	54%	99. 94%	8.3
モガ				15	25	72	4. 2	62%	99. 95%	8.5
Ź	ゼオライト処	理	20	5. 8	10	180	2. 7	75%	99. 97%	8.9
2			10	2. 9	5	360	1.5	86%	99. 98%	9.0
`			5	1.4	2. 5	720	0. 36	95%	99. 99%	9.7
	原液		-	-	-	-	13, 000	-	-	7.2
	凝集沈殿上澄	み	-	-	-	-	12	-	99. 91%	6.8
アス	精密ろ過ろ液		-	-	-	-	15 ^{%2}	_	99. 88%	6.9
6			100	29	50	36	8. 8	41%	99. 93%	6.6
アル			50	15	25	72	6. 9	54%	99. 95%	6.8
ĥ	ゼオライト処理		20	5.8	10	180	5. 5	63%	99. 96%	6.8
				2. 9	5	360	4. 4	71%	99. 97%	7.0
			5	1.4	2. 5	720	2. 3	85%	99. 98%	7.6
	原液 ^{※3}		-	-	-	-	17,000(土間)	_	1	9.1
			-	-	-	-	12,000(路面)	-	-	8.0
			_	_	_	_	14, 500		_	_
-							(同量分取)			
Ę	凝集沈殿上澄	み	-	-	-	-	13	-	00 01%	7.1
ク リ	精密ろ過ろ液		-	-	-	-	13	-	55. 51/0	7.7
Í			100	29	50	36	8. 0	38%	99. 94 %	7.5
F			50	15	25	72	5. 5	58%	99. 96%	8.1
	ゼオライト処	理	20	5.8	10	180	3. 5	73%	99. 98%	8.0
			10	2. 9	5	360	1.8	86%	99. 99%	7.9
			5	1.4	2. 5	720	0. 78	93%	99. 99%	8.0
	サンプル	原液	-	-	-	-	約 500, 000	-	-	8.7
	A ^{≫4}	凝集沈殿上澄み	-	-	-	-	約3,000	-	99. 40%	6. 2
		原液	-	-	-	-	18, 000	_	99. 39%	7.0
既		凝集沈殿上澄み	-	-	-	-	110	-	00.00%	7.1
往話		精密ろ過ろ液					110	_	99. 39%	7.1
験	サンプル		100	-	50	36	46	58%	99. 74%	7.5
巢	B ^{%5}		50	-	25	72	33	70%	99. 82%	8.1
		ゼオライト処理	20	-	10	180	14	87%	99. 9 <mark>2</mark> %	8.0
			10	-	5.0	360	1.4	99%	99. 99%	7.9
			5	-	2.5	720	0. 72	99%	99. 996%	8.0

※1 SV:空間速度 (Space Velocity) 単位時間当たりのろ過材体積の処理回数 (通水回数)

※2 サンプリング時にタンク底部の上澄み以外の原液に近い廃液をろ過したため、精密ろ過ろ液を汚染させた可能性がある

※3 コンクリート廃液は土間と路面の上澄みを同量分取して後処理を実施

※4 除染対象面の表面汚染:100kcpm 程度

※5 除染対象面の表面汚染: 2~5kcpm 程度



(放射性物質除去)

- 凝集沈殿処理により廃液の放射能濃度は1/1,000 程度低減されることから、放射性物質は固形分からの寄与が高い と予想される。放射性セシウム(以下 Cs と略称)のほとんどが固形分に付着している可能性が高い。表中既往試 験成果 A、B でも同様な傾向がみられる。
- ゼオライトインラインフィルターの通水処理による低減効果は通水流速によって異なり、遅いほど低減率が向上するため、液相側にも粒子状物質以外の状態で存在する放射性物質が存在する可能性があり、それを吸着している可能性がある。
- 既往試験成果より除染対象部位の表面汚染の高さに伴い、除染廃液の放射能濃度も上昇する。そのため、凝集沈殿 処理では概ね 1/1,000 程度の低減率しか期待できないことからゼオライト等の吸着作用がある物質の活用が必要 であると考えられる。
- 本試験ではアスファルト路面の精密ろ過ろ液のインラインフィルター処理の効果が他の2廃液より効果が低い傾向がみられる。これは共存する有機物等から何らかの吸着障害が起こっている可能性がある。(アスファルトの主成分はパラフィン、ナフテン、芳香族炭化水素等であり、インターロッキングブロックやコンクリートとは大きく異なり多種多様な有機物が含まれている)
- 既往試験成果Bでは本試験の精密ろ過ろ液の放射能濃度より1桁高いサンプルを用いて試験を行った。ゼオライト インラインフィルター処理の効果は低濃度廃液(今回の試験結果)より高い傾向が見られる。そのため、比較的高 濃度であればより効果的な処理ができる可能性が高い。

(一般排水基準)

- 一般排水基準(水素イオン濃度-pH、生物化学的酸素要求量-BOD、化学的酸素要求量-COD、浮遊物質量-SS、ノルマ ルヘキサ抽出物質含有量、フェノール類、銅含有量、亜鉛含有量、溶解性鉄含有量、溶解性マンガン含有量、クロ ム含有量、大腸菌群数、窒素含有量、燐含有量)として排水分析を行った。分析結果からはすべてのゼオライトイ ンラインフィルターからの排水はすべて基準値以内であった。
- 全般的に pH が高い傾向にあるが、これはゼオライトに含まれる酸化カルシウムからのカルシウム成分が溶出し、 排水中の pH を上昇させていると考えられる。そのため、ゼオライトインラインフィルターでの通水速度が遅くな るほど pH が高くなる傾向がみられる。また、pH が全般的に高い傾向にあるのは凍結防止のための融雪剤使用によ るナトリウムやカルシウム等の溶出の可能性がある。(本試験は対象部位ごとにまとめて分析評価しており、個別 処理条件で測定を行った pH 測定は一部排水基準を超過している。これは既往試験では確認できなかった結果で、 原因は融雪剤の影響が考えられる)
- 少水量型超高圧ウォータージェットへの再利用を考慮した場合、推奨水質は腐蝕性やスケールを生じさせやすい物 質が含まれていないことが望ましい。それらの物質が含まれる可能性がある融雪剤を用いる場合(冬期の道路)に は除染廃液の再利用は困難である。しかし、それ以外の場合においてはゼオライトのカルシウム成分の影響が考え られるが、回収された廃液がすべて再利用されることはなく、回収されたスラッジ分に水分を取られ、給水による 希釈が想定されるため再利用は可能であると考えられる。

3. 放射性セシウム存在形態の実証

1粒子状物質の確認

	<u>*</u> 石	放射能濃度	潘坦玄	主な成分[mg/l]					
)先/仪悝铁		[Bq/kg]	迅迥华	Na	Mg	AI	Si	K	Ca
	精密ろ過ろ液	密ろ過ろ液 11							
インターロッキングブロック	MF1µm ろ過後	9.4	85%	26	2.7	1.0	2.7	4. 3	330
	MF0.45µm ろ過後	8.9	81%	25	2.6	0. 1	2.6	4. 1	320
	精密ろ過ろ液	15	-			-	-		
アスファルト	MF1µm ろ過後	11	73%	450	28	1.1	0. 78	3. 1	97
	MF0.45µm ろ過後	11	73%	460	28	0.063	0. 77	3. 2	100

メンブランフィルタろ過前後の放射能濃度と主な成分

※主な主成分はICP発光分光分析装置による半定量分析

- 本試験結果からメンブランフィルター0.45µm を透過した放射性物質の濃度 は除染廃液濃度の 0.1%程度ではあるが、除染廃液のスラッジに付着している Cs とは異なる性状で存在すると考えられる。Cs がイオンとして存在している 可能性を否定はできないが、コロイド状物質に Cs が付着した状態で存在して いる可能性が高い。
- 両廃液ともナトリウムとカルシウムの存在が顕著であるが、本来の主成分に
 起因する物質ではないため、試験時の凍結防止に用いた融雪剤の可能性が考えられる。
- 環境省告示第十九号/土壌汚染対策法施行規則(平成十四年環境省令第二十九号)では土壌含有量調査に係る測定方法に、検液作製時には0.45µmのメンブランフィルターでろ過し、その検液をICP発光分光分析装置等で測定を行っており、いわゆる粒子状の物質はこのプロセスで除去されると考えられる。



試験概念



②ゼオライト寿命の確認

本試験では除染試験で用いたゼオライトインラインフィルターの小規模モデルを用いて、試験を行った。できるだけ、実機と同条件で行うために、
 2.5m/hの流速でろ液の通水処理を行った。小規模モデルとゼオライトペレットの空隙が実機より多い可能性があるため、処理の早い段階からCsが検出され、実機の処理能力より下回っていると考えられる。

ゼオライトの寿命評価試験結果 累積処理量 放射能濃度[Bq/kg] 0s吸着量 [kg] 処理前 処理後 [Bq/g] 0.41 4 6 0.11 6.0 2.1 0.54 8.2 8.5 1.6 16 7.8 2.9 13 21 6.7 3.7 27 8.2 4.8 33 9.6 5.6 37 8.7 5.9 66 15 8.0 12

※吸着量は累積処理量と処理前後の放射能濃度から算出



● Cs のゼオライトへの吸着寿命は処理後の放射能濃度が、処理前の放射能濃度と同等になった点をもって寿命点とするのが理想的(処理前放射能濃度:13~15Bq/g)であるが、ゼオライトへのCs 捕捉は、水相との間で一定の平衡状態にあると考えられ、処理前の放射能濃度に漸近する状況になった点を破過点とみなした。(本試験では処理後放射能濃度 8Bq/g 程度で試験を終了させた)その結果、試験で用いたペレット状ゼオライトの寿命を12Bq/gと推定した。この数値は漸近途中の値であるため、実際の値はこれより大きいと考えられる。

また、この結果は既往試験成果(処理前放射能濃度:28Bq/0、寿命到達放射能濃度:10Bq/0、寿命:6.6Bq/g、 既往試験では放射能濃度の単位を「Bq/0」としている)を大きく上回る結果であった(「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 第三版) p84」平成24年12月20日(独)国立環境研究所 資源循環・廃棄 物研究センター)。この試験結果の差は両試験で想定する破過点(濃度)が異なるため生じたと考えられる。

③破過状態の確認

ゼオライトインラインフィルターの破過状況試験結果

除染廃液種類	放射能濃度 [Bq/kg]	ゼオライト充填量 [kg]	吸着放射能量 [Bq]	
処理前ゼオライト (ブランク)	処理前ゼオライト (ブランク) く1.7		-	
上側 1/5	上側 1/5 220		660	
上側 2/5	290	3.0	870	
中央部	390	3.0	1,170	
下側2/5	510	3.0	1,530	
下側1/5	650	3.0	1,950	
		合計吸着量[Bq]	6,180	
		平均吸着量[Bq/g]	0.4	



- 本試験はすべての除染試験で回収した除染廃液を凝集沈殿⇒精密ろ過処理を行ったろ液約 7500(平均放射能濃度 約13Bq/kg)を通水処理した。
- 回収した放射性物質の合計は約 6,000Bq(吸着量として約 0.4Bq/g)である。本フィルターはペレット状に焼結さ れたゼオライトであるため、粒子状の固形物をろ過回収することはできない。また、前述①項で調査した凝集沈殿 後の精密ろ過ろ液には粒子状ではないコロイド状の物質に付着した Cs の可能性があることから、粒子状ではない Cs を吸着していると考えられる。
- 濃度の変位をみると給水側(下側 1/5)が吸着量が多く、排水側(上側 1/5)では少なくなっている。この試験結果から寿命は給水側(下側 1/5)から徐々に始まると考えられる。
 - 前述②項の寿命の結果から、本試験で用いたゼオライトインラインフィルターの寿命を評価すると以下のようになる。
 - ▶ ペレット状ゼオライトの寿命:12Bq/g
 - ▶ ゼオライトインラインフィルターの充填量:15,000g
 - ▶ ゼオライトインラインフィルターの寿命:180kBq(12×15,000)
- 4. 試験期間中の被ばく評価

	<u>н</u> - Ф		术风子日 学 [K]	5、主		
作業内容	放射線管理 (測定)	除染作業	水処理作業	分析作業	準備作業等	合計
作業工数[人日]	42	63	7	8	9	129
総被ばく量[µSv]	80	150	21	37	15	303
最大被ばく量[µSv/人日]	3.0	5.0	5.0	6.0	2.0	-
平均被ばく量[µSv/人日]	1.9	2.4	3.0	4. 6	1.7	2.3 (平均)

試験期間中の除染従事者の被ばく量

5. 試験期間中に発生した放射性廃棄物量及び処理

対象部位	回収量 [※]	固形分濃度 「mana ⁹ /]	比重 [g/cm ³]	回収量	除染面積	発生量	放射能濃度 [kBq/kg]	
	[kg-wet]	[mass%]	[g/ cm]	[kg=ary]	ՄԱ 1	Lg∕ m]	wet	dry
インターロッキングブロック	153	77%	1.5	118	226	521	82	110
アスファルト	61	73%	1.4	45	101	445	100	140
コンクリート土間	9.4	36%	1.0	3	44	78	240	660
コンクリート路面	49	68%	1.6	33	93	355	63	93

試験で発生したスラッジ量・性状

※回収スラッジ量:凝集沈殿後、1日自然脱水させたもの





<u>試験で発生した放射性</u> <u>廃棄物(一部)</u>



フレキシブルコンテナ

収納

1300

<u>仮置き場の状況</u> (伊達市猫塚)

6. コスト評価

コスト評価上の前提条件

- 本試験での作業員単価(東京からの宿泊費含む)で試算
- 1ヶ月以上、作業員は5人/1組
- 1日の作業時間:8時間、除染作業:3時間、水処理作業:1時間、朝礼・移動・準備・休憩等:4時間
- 1日の作業では車両の移動がないこと
- 1回の施工面積が「施工速度×除染時間(3時間)」以上あること

	システム構成									
	少水量型超高圧ウォータ ージェットシステム	少水量型超高圧ウォータージェットシステム、除染ツール(フロア クリーナ)、コンプレッサー、ポリタンク、液体掃除機等	2, 418							
設備·資材費	発電機・トラック等	トラック等 2tトラック×2台、50/60KVA								
	その他仮設設備	水中ポンプ、電エドラム、ハンドミキサー、可搬式作業台等	411							
消耗品等	水処理に伴う消耗品	無機系凝集剤(水澄まいる)、ペレット状ゼオライト(ゼオポート U)、不織布フィルター、その他フィルターケーシング等	279							
作業費	労務費及び宿泊費	労務:5人×22日、宿泊:5人×30日	3, 470							
その他諸経費	燃料及び交通費等	_	690							
	7, 623									
	1日当た	こりのコスト(1ヶ月22日)	347							

コスト構成

施工速度とコスト試算

施工速度[m²/h]	120	80	60	40	25
1日の施工量[m ²]	360	240	180	120	75
施工単価[¥/m²]※	970	1, 450	1, 930	2, 900	4, 630

※ 施工単価は1日当たりのコストを1日の施工量で除して端数を切り上げて算出

※ 試算単価には水処理費用含む(単価の約10%)

実施代表者の所属機関:株式会社NIPPO

実証テーマ名:薄層切削による路面除染技術の改良・改善

事業の概要:特殊薄層切削機で舗装表面を薄く削り取り、放射性物質を除去する。

わだち掘れ路面では小型薄層切削機を併用して切削残を低減する。

切削後は除去物の回収・清掃と区画線を復旧して交通開放する。

実施内容:特殊薄層切削機(大型機・小型機)、除去物回収袋詰め装置を用いて舗装路面を 薄層切削により除染する。

①切削厚さと表面汚染低減率の関係を把握する、②舗装路面の凹凸状況に応じた適切な切 削機の組合せを検討する、③作業能力とコストを検証する、④切削後の路面性状が一般供 用に支障ないかを確認する、⑤作業時の粉じん低減を検証する。

技術概要:

特殊薄層切削機で舗装表面を薄く削り取り除染する。わだち掘れ路面では小型薄層切削機 を併用して切削残を低減する。切削後は除去物の回収・清掃と区画線を復旧して交通開放 する。

1. 試験フロー



1. 切削面積率と表面汚染低減率								
工区対象面積 (m^2) 切削面積 (m^2) 切削面積率 $(\%)$ 除去物の重 $量(kg)$ 除去物発生 $量(kg/m^2)$ 平均切削厚さ (mm)表面汚染低 減率(%)使用 承	目した特 切削機							
1工区 639.3 544.7 85.2 4,954 9.1 3.9 96.3 大	型のみ							
2IE 490.2 477.1 97.3 5,229 11.0 4.7 87.7 /	型のみ							
3工区 741.0 531.8 71.8 4,379 8.2 3.5 93.1 大型	21十小型							
(3工区は切削厚さと表面汚染密度低減率の関係を求めるため、意図的に切削厚さを調整したため切削面積率が低く	(なった)							
 2. 切削厚さと表面汚染低減率 切削厚さと表面汚染低減率の関係を基に、 3~5mmの切削で低減率95%以上が得られることを確認した。 ・平均切削厚 5mm 以下の施工が可能であることを確認した。 ・平均切削厚 5mm 以下の施工が可能であることを確認した。 ・現場状況と路面の凹凸状況に応じた適切な 切削機械の組合せを確認した。 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・一般的な評価方法であるきめ深さ測定、すべり抵抗 ・ ・								
除去物発生量評価:総発生量14,562(乾燥 kg) /総切削面積1,554(m ²) = 9.4kg/	m^2							
作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.30 µ Sv/hr、作業時間 7 時間/日								
作業員最大被ばく量 13 µ Sv(放射線測定作業 6 日間、作業時間:42h)								
作業員平均被ばく量 7 µ Sv								
コスト評価: 歩掛り(作業人工、作業速度):								
薄層切削(大型機):450円/m ² 薄層切削(大型機):1,800m ² /日								
薄層切削(小型機): 540 円/m ² 薄層切削(小型機): 1,200m ² /日								
回収袋詰め:210円/m ² 回収袋詰め:1,200m ² 以上/日								
コスト評価条件:車線数:2車線、切削対象幅員:大型機 3.75m/車線・小型機 3.50r	n/車線							
規制長:大型機 240m・小型機 200m、								
路面清掃車は真空式を計上、回収袋詰めは仮置き場(5km 程度)までの小運搬を含	含む。							
除染作業における安全上の注意:保安帽、安全靴、マスク着用								
試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真):								
福島県矢吹町 除去物は現場近郊の屋根付き倉庫に一時保管。								
保管状況は添付資料参照。								
矢吹町の仮置き場が完成した後に移動する。								

1. 切削面積率

項目	1工区	2工区	3工区		
対象面積(m ²)	639.3	490.2	741.0		
切削面積(m ²)	544.7	477.1	531.8		
切削面積率(%)	85.2	97.3	71.8		







切削状況の展開図

切削厚さと表面汚染密度測定位置

表面汚染密度測定位置

 \bigcirc



施工前 1工区



切削後 1工区



施工前 2工区



切削後 2工区



施工前 3工区



切削後 3 工区 (センターライン復旧後)

<施工状況写真>



施工状況全景



小型特殊薄層切削機



フレコン回収状況



除去物一時保管の屋根付き倉庫



大型特殊薄層切削機



除去物回収袋詰め装置



路面清掃車で回収した除去物の袋詰め状況



フレコンバッグを防水シートで包み一時保管

2. 表面汚染の低減率

1 工区 No.1(中)の測点が切削不十分であった以外は、概ね切削された路面での測定が できた。切削された路面では何れもバックグラウンドに近い数値になっており、十分な 除染効果のあることが確認できた。

1 工区は平均切削厚さ 3.9mm で、表面汚染低減率が 96.3%と目標を満足する結果が得ら れた。2 工区は平均切削厚さ 4.7mm で切削面積率も 97.3%と高い値となったが、表面汚 染の低減率は 87.7%であり、切削前の汚染が小さいことによる影響が大きかった。3 工 区は平均切削厚さ 3.5mm で表面汚染低減率 93.1%と概ね良好な結果が得られた。(時定 数 30 秒で安定後 5 回の測定値を読み取り、5 回の平均値を測定値とした)

			切削前			切削後		低減率
	測点	バックグラウンド	測定値	真の測定値	バックグラウンド	測定値	真の測定値	
	1041110	(Nb)	(N)	(N-Nb)	(Nb)	(N)	(N-Nb)	(%)
		(cpm)	(cpm)	(cpm)	(cpm)	(cpm)	(cpm)	
	No.1(中)	100	384	283	105	173	68	76.0
	No.2(中)	116	324	208	109	119	10	95.1
	No.3(中)	110	396	285	110	112	3	99.0
1	No.4(中)	105	466	362	105	112	7	98.0
I.	No.5(中)	115	628	513	96	105	9	98.2
区	No.6(中)	110	700	590	106	109	3	99.5
	No.7(中)	110	635	525	106	109	2	99.6
	No.8(中)	113	509	396	98	114	15	96.1
	平均值	109.9	505.3	395.3	104.4	119.1	14.7	96.3
	No.1(右)	111	228	117	104	105	1	99.3
	No.1(左)	114	179	65	96	108	12	82.1
	No.1+10(右)	110	219	109	102	107	5	95.8
	No.1+10(左)	111	199	88	101	115	14	83.9
	No.2(右)	95	184	90	102	105	3	96.7
	No.2(左)	105	157	52	104	142	38	28.0
2	No.2+10(右)	98	238	140	103	106	4	97.4
I.	No.2+10(左)	104	182	79	97	106	9	88.3
X	No.3(右)	111	198	87	108	110	3	97.0
	No.3(左)	100	152	53	96	112	16	70.0
	No.3+10(右)	104	166	63	103	114	11	82.1
	No.3+10(左)	114	126	11	98	104	7	40.4
	No.4(右)	103	165	62	97	105	9	85.8
	No.4(左)	111	182	71	103	107	3	95.5
	平均值	106.5	184.0	77.5	101.0	110.5	9.5	87.7
	No.1(左)	115	422	306	107	126	19	93.7
	No.2(左)	115	437	322	107	119	12	96.2
	No.3(左)	111	359	248	108	124	16	93.5
	No.4(左)	112	411	299	101	128	27	91.1
3	No.5(左)	105	451	346	106	126	19	94.4
I.	No.6(左)	117	699	582	102	124	22	96.3
区	No.7(左)	112	466	354	106	139	33	90.7
	No.2(右)	84	292	208	75	93	19	91.1
	No.4(右)	77	277	199	79	113	34	82.9
	No.6(右)	88	347	259	81	95	15	94.4
	平均值	103.6	416.0	312.4	97.1	118.6	21.6	93.1

表面汚染の測定結果

3. 切削厚さと表面汚染低減率の関係



涧占		切削前			切削後			低減落	切削厚さ
側息		バックク゛ラウント゛	測定値	真の測定値	ヾ゙ックグラウンド	測定値	真の測定値	心成平	则刖序€
セ	ンターライン	(Nb)	(N)	(N-Nb)	(Nb)	(N)	(N-Nb)	(%)	(mm)
カゝ	らの距離 m	(cpm)	(cpm)	(cpm)	(cpm)	(cpm)	(cpm)		
	⊈~ 0.0m	111	217	106	102	232	129	-22.5	0.0
	⊈~ 0.2m	114	421	307	116	296	180	41.5	0.7
	⊈~ 0.4m	120	395	275	99	163	64	76.9	0.5
210	⊈~ 0.6m	105	490	384	109	114	5	98.8	2.0
S工区 No 1(右)	⊈~ 0.8m	117	408	291	92	97	6	98.0	4.7
	⊈~ 1.0m	119	432	313	104	107	3	99.0	2.7
	⊈~ 1.2m	112	375	263	95	124	29	89.1	2.4
	⊈~ 1.4m	107	317	210	108	275	167	20.4	0.7
	⊈~ 1.6m	110	352	243	123	347	224	7.5	0.0
	⊈~ 1.8m	117	324	207	107	323	215	-4.3	0.7
	⊈~ 0.0m	111	411	300	109	290	181	39.7	0.3
	⊈~ 0.2m	106	430	324	111	391	280	13.4	0.0
	⊈~ 0.4m	109	384	274	116	297	181	34.1	0.0
	⊈~ 0.6m	119	391	272	110	141	31	88.5	1.3
31区	⊈~ 0.8m	103	424	321	110	114	4	98.8	3.0
No.3(右)	⊈~ 1.0m	115	377	261	112	120	8	96.9	2.5
	⊈~ 1.2m	109	435	326	99	116	17	94.8	2.3
	⊈~ 1.4m	112	365	253	112	211	100	60.6	0.9
	⊈~ 1.6m	116	367	250	98	281	183	26.8	0.2
	⊈~ 1.8m	121	363	242	100	148	48	80.1	0.0
	⊈~ 2.0m	119	360	241	101	123	22	90.9	2.4
	⊈~ 0.0m	84	257	173	78	225	147	15.0	0.3
	⊈~ 0.2m	84	289	205	78	192	114	44.4	0.0
	⊈~ 0.4m	86	322	235	83	248	165	30.0	0.5
	⊈~ 0.6m	92	296	204	71	112	41	80.1	0.0
3工区	⊈~ 0.8m	86	343	258	67	94	27	89.5	3.7
No.5(右)	⊈~ 1.0m	79	344	265	70	104	34	87.3	4.7
	€~ 1.2m	76	254	177	73	96	23	87.0	3.2
	⊈~ 1.4m	76	250	173	88	195	106	38.6	0.0
	€~ 1.6m	80	211	131	77	175	98	24.8	0.3
	€~ 1.8m	78	236	158	76	169	93	41.3	0.2
	⊈~ 2.0m	81	249	167	75	174	99	40.8	0.0
	€~ 0.0m	115	259	144	104	247	143	0.6	0.4
	⊈~ 0.2m	108	264	156	97	114	17	89.1	2.6
	⊈~ 0.4m	109	276	167	97	116	19	88.9	5.1
	€~ 0.6m	117	266	149	109	109	0	99.7	9.2
3工区	€ ∼0.8m	113	349	236	93	103	10	95.8	10.4
No.7(右)	€~ 1.0m	116	301	186	105	109	4	97.7	8.5
	€~ 1.2m	106	271	165	98	105	7	95.8	7.0
	€~ 1.4m	107	302	195	98	103	5	97.4	6.7
	€~ 1.6m	108	252	145	102	103	2	98.9	7.3
	€~ 1.8m	104	250	146	98	152	54	63.1	1.7
	⊈~ 2.0m	120	207	86	108	141	33	61.8	2.2

4. 空間線量率(地表から1m高)及び表面線量率(コリメータなし) 空間線量率は、道路の切削だけでは殆ど低減しなかった。

バックグラウンドの影響が大きいと認められ、コリメータなしの表面線量率も表面汚染 の大幅低減に比べて低減率が低かった。

特に、切削前の表面線量率が低い2工区においては低減率が低かった。

空間線量率(地表から1m高)

表面線量率	(コリ	メータナ	(15
12 田原 里千	(-)	· · · ·	トレノ

	初別時	扣削盆	低減素
測点		—————————————————————————————————————	(0/)
No $1(\pm)$	0.318	(μSV/II) 0.355	-11 7
$No.1(\pm)$	0.510	0.353	-0.1
$N_0 2(\pm)$	0.232	0.232	-6.0
No $2(\pm)$	0.262	0.235	-3.6
$N_{0.2}(\pm)$	0.200	0.210	-6.6
$N_{0.3}(\underline{\pi})$	0.240	0.202	5.3
$No.3(\pm)$	0.242	0.229	1.0
$1 \frac{N0.4(1)}{N0.4(1)}$	0.202	0.233	0.7
\square No 5(\pm)	0.224	0.222	1.8
\boxtimes No 5(\pm)	0.254	0.203	8.2
$N_0 6(\pm)$	0.204	0.242	3.6
$N_{0.0}(1)$	0.310	0.233	4.0
No $7(\pm)$	0.242	0.232	-3.5
$No.7(\pm)$	0.324	0.355	0.4
$N_0.8(\pm)$	0.305	0.203	7.6
No.8(中)	0.269	0.202	7.4
No.0(†) No.1(左)	0.312	0.332	-6.4
No.1(止)	0.229	0.332	0.1
No $1+10(7$	(0.229)	0.225	4.8
No 1+10(#	$(1) 0.213 \\ (1) 0.222 \\ $	0.200	3.0
No $2(左)$	0.222	0.262	6.0
No.2(史)	0.219	0.202	0.0
2 No $2+10(\neq$	(0.213)	0.215	3.1
$\square No 2+10(4)$	(1) 0.212	0.200	7.2
区 No 3(左)	0.266	0.269	-1.3
No.3(中)	0.246	0.242	1.0
No $3+10(7$	(1, 2, 6, 9)	0.262	2.5
No.3+10((1) 0.216	0.222	-3.1
No.4(左)	0.276	0.266	3.6
No.4(中)	0.212	0.216	-1.6
No.1(左)	0.415	0.402	3.2
No.1(中)	0.335	0.279	16.8
No.2(右)	0.471	0.402	14.8
No.2(中)	0.339	0.295	12.7
No.3(左)	0.468	0.458	2.1
No.3(中)	0.339	0.319	5.9
$\frac{3}{-1}$ No.4(右)	0.465	0.428	7.9
$\stackrel{\perp}{\bowtie}$ No.4($\stackrel{\mu}{\dashv}$)	0.362	0.335	7.3
区 No.5(左)	0.402	0.388	3.3
No.5(中)	0.322	0.305	5.2
No.6(右)	0.478	0.448	6.2
No.6(中)	0.329	0.312	5.1
No.7(左)	0.375	0.359	4.4
No.7(中)	0.329	0.322	2.0

	双面称重-	+ (-) /	$\gamma \downarrow \downarrow \downarrow$	/
	测片	切削前	切削後	低減率
	側息	(μ Sv/h)	(µ Sv/h)	(%)
	No.1(中)	0.292	0.256	12.3
	No.2(中)	0.284	0.228	19.7
1	No.3(中)	0.280	0.186	33.6
1 	No.4(中)	0.272	0.190	30.1
Ц Т	No.5(中)	0.324	0.202	37.7
	No.6(中)	0.312	0.190	39.1
	No.7(中)	0.324	0.226	30.2
	No.8(中)	0.320	0.204	36.3
	No.1(右)	0.234	0.204	12.8
	No.1(左)	0.236	0.210	11.0
	No.1+10(右)	0.226	0.198	12.4
	No.1+10(左)	0.220	0.198	10.0
	No.2(右)	0.224	0.194	13.4
2	No.2(左)	0.206	0.190	7.8
- -	No.2+10(右)	0.208	0.174	16.3
Ц Т	No.2+10(左)	0.214	0.190	11.2
	No.3(右)	0.264	0.232	12.1
	No.3(左)	0.224	0.220	1.8
	No.3+10(右)	0.236	0.218	7.6
	No.3+10(左)	0.218	0.212	2.8
	No.4(右)	0.226	0.214	5.3
	No.4(左)	0.232	0.220	5.2
	No.1(右)	0.370	0.254	31.4
	No.1(左)	0.378	0.254	32.8
	No.2(右)	0.348	0.240	31.0
	No.2(左)	0.350	0.246	29.7
	No.3(右)	0.322	0.240	25.5
З	No.3(左)	0.350	0.258	26.3
т	No.4(右)	0.354	0.294	16.9
ЦХ Т	No.4(左)	0.386	0.278	28.0
<u> </u>	No.5(右)	0.346	0.262	24.3
	No.5(左)	0.358	0.244	31.8
	No.6(右)	0.378	0.276	27.0
	No.6(左)	0.402	0.250	37.8
	No.7(右)	0.318	0.250	21.4
	No.7(左)	0.356	0.246	30.9
	平均值	0.294	0.226	21.2



5. 表面線量率(コリメータあり)

切削前の表面線量率が非常に小さいレベルであったため、低減率で評価した場合には 良好なデータとならなかった。

なお、使用したコリメータの内径は約 ø 3cm で、検出器全体を覆う構造とした。

			切削前			切削後		低計学
	測占	バックク・ラウント	測定値	真の測定値	バックク・ラウント	測定値	真の測定値	低减举
	1817W	(Nb)	(N)	(N-Nb)	(Nb)	(N)	(N-Nb)	(%)
		(μ Sv/h)	(μ Sv/h)	(μSv/h)	(μSv/h)	(μ Sv/h)	(μ Sv/h)	
	No.1(中)	0.040	0.060	0.020	0.038	0.054	0.016	20.0
	No.2(中)	0.040	0.062	0.022	0.040	0.054	0.014	36.4
	No.3(中)	0.042	0.060	0.018	0.030	0.050	0.020	-11.1
1	No.4(中)	0.044	0.064	0.020	0.036	0.050	0.014	30.0
T	No.5(中)	0.048	0.074	0.026	0.036	0.050	0.014	46.2
区	No.6(中)	0.046	0.070	0.024	0.032	0.048	0.016	33.3
	No.7(中)	0.050	0.076	0.026	0.040	0.056	0.016	38.5
	No.8(中)	0.050	0.070	0.020	0.042	0.052	0.010	50.0
	平均值	0.045	0.067	0.022	0.037	0.052	0.015	31.8
	No.1(右)	0.040	0.052	0.012	0.034	0.042	0.008	33.3
	No.1(左)	0.036	0.054	0.018	0.034	0.052	0.018	0.0
	No.1+10(右)	0.036	0.058	0.022	0.036	0.050	0.014	36.4
	No.1+10(左)	0.040	0.050	0.010	0.032	0.046	0.014	-40.0
	No.2(右)	0.036	0.054	0.018	0.030	0.050	0.020	-11.1
	No.2(左)	0.036	0.052	0.016	0.036	0.046	0.010	37.5
2	No.2+10(右)	0.032	0.054	0.022	0.036	0.048	0.012	45.5
I.	No.2+10(左)	0.038	0.052	0.014	0.034	0.050	0.016	-14.3
区	No.3(右)	0.038	0.058	0.020	0.040	0.050	0.010	50.0
	No.3(左)	0.038	0.048	0.010	0.040	0.048	0.008	20.0
	No.3+10(右)	0.040	0.054	0.014	0.040	0.050	0.010	28.6
	No.3+10(左)	0.036	0.050	0.014	0.034	0.048	0.014	0.0
	No.4(右)	0.032	0.058	0.026	0.036	0.054	0.018	30.8
	No.4(左)	0.036	0.054	0.018	0.034	0.052	0.018	0.0
	平均值	0.037	0.053	0.017	0.035	0.049	0.014	18.8
	No.1(右)	0.050	0.070	0.020	0.042	0.048	0.006	70.0
	No.1(左)	0.050	0.070	0.020	0.038	0.048	0.010	50.0
	No.2(右)	0.048	0.064	0.016	0.030	0.050	0.020	-25.0
	No.2(左)	0.050	0.066	0.016	0.032	0.048	0.016	0.0
	No.3(右)	0.044	0.064	0.020	0.032	0.050	0.018	10.0
	No.3(左)	0.048	0.066	0.018	0.030	0.048	0.018	0.0
3	No.4(右)	0.040	0.058	0.018	0.040	0.054	0.014	22.2
I.	No.4(左)	0.050	0.070	0.020	0.032	0.050	0.018	10.0
区	No.5(右)	0.050	0.068	0.018	0.038	0.052	0.014	22.2
	No.5(左)	0.050	0.064	0.014	0.036	0.044	0.008	42.9
	No.6(右)	0.050	0.080	0.030	0.038	0.054	0.016	46.7
	No.6(左)	0.054	0.082	0.028	0.032	0.046	0.014	50.0
	No.7(右)	0.040	0.056	0.016	0.032	0.046	0.014	12.5
	No.7(左)	0.044	0.072	0.028	0.036	0.040	0.004	85.7
	平均值	0.048	0.068	0.020	0.035	0.048	0.014	32.6

表面線量率 (コリメータあり)

<測定状況写真>



表面汚染測定状況



表面線量率測定状況(コリメータなし)



すべり抵抗値測定状況(BPN)



横断形状測定状況 (レーザー式)



空間線量率測定状況(高さ1.0m)



表面線量率測定状況(コリメータあり)



路面のきめ深さ測定状況(砂拡大器)



横断形状測定状況(機械式)

6. 除去物の放射能濃度

切削直後に現場採取した除去物の核種分析を実施した。 なお、測定は有姿状態で行っているため含水比データから 乾燥重量当たりの放射能濃度に換算した。

当結果に各工区の切削屑乾燥重量を乗じた放射能の除去 量は、計 23.1MBq であり、単位面積当たりでは1工区: 2.0Bq/cm²、2工区:0.62Bq/cm²、3工区:1.7Bq/cm²と なった。



			مايلا		核種分析結果	果(有姿状態)		乾燥重量	工区毎の
工区	車線	測点	当水比 (%)	ヨウ素131 (Bq/kg)	セシウム134 (Bq/kg)	セシウム137 (Bq/kg)	134+137 (Bq/kg)	当り換算 (Bq/kg)	単純平均 (Bq/kg)
	- 1 \ /Bil	No.2	2.3	ND	1,190	2,170	3,360	3,440	
1 ㅜ 反	石側	No.6	5.2	ND	762	1,380	2,140	2,250	9.915
116	七间	No.2	4.4	ND	426	755	1,180	1,230	2,210
	工則	No.6	8.4	ND	650	1,140	1,790	1,940	
	ナー间	No.1+10	7.7	ND	223	386	609	656	
이다더	一回	No.3	5.9	ND	220	390	610	646	E70
216	七间	No.1+10	10.3	ND	136	268	404	446	570
	工則	No.3	4.2	ND	179	332	511	532	
	- / → /Bil	No.2	5.9	ND	649	1,120	1,770	1,870	
2712	石側	No.5	6.3	ND	537	894	1,430	1,520	2 000
기고요	七间	No.2	2.1	ND	830	1,550	2,380	2,430	2,090
	工則	No.5	3.9	ND	865	1,570	2,440	2,540	

7. 路面のすべり及びきめ深さ

路面のすべり抵抗、きめ深さの何れも切削面での 交通供用に問題ない。きめ深さは2、3工区で比較的 粗く、切削前の老化路面が平滑にはならなかった。

모교	测点位率	すべり抵抗	すべり抵抗値(BPN)		さ(mm)
	測定1型直 	切削前	切削後	切削前	切削後
	No.1(右)	67	61	0.33	0.19
ㅋㅜ▽	No.3(左)	65	63	0.39	0.21
	No.5(右)	64	58	0.50	0.26
	No.7(左)	70	55	0.54	0.35
	No.1(右)	59	70	0.85	1.05
	No.1(左)	53	67	1.20	0.89
	No.2(右)	56	76	0.91	1.26
0 T 1	No.2(左)	64	72	0.82	1.08
	No.3(右)	56	70	1.29	0.92
	No.3(左)	70	65	2.34	1.07
	No.4(右)	55	71	0.91	1.77
	No.4(左)	67	68	1.65	1.03
	No.1(右)	70	72	1.34	0.36
	No.1(左)	63	80	1.39	1.02
	No.3(右)	69	70	0.81	0.88
0 T 17	No.3(左)	63	69	0.81	1.23
31×	No.5(右)	65	70	1.29	1.33
	No.5(左)	70	64	0.45	1.02
	No.7(右)	69	70	1.11	0.47
	No.7(左)	73	65	1.17	0.58



切削前すべり抵抗値(BPN)



8. 粉じん測定結果(切削機の風下で移動しながら測定)

粉じん測定は専門の測定業者に委託し、厚生労働省「除染等業務に従事する労働者の放射 線障害防止のためのガイドライン」に準じて実施した。

切削作業時の目視観察によっても粉じん発生は非常に少ないことが確認され、全測定 値の最大値でも8.63mg/m³と、高濃度粉じん作業には該当しない結果が得られた。 しかしながら安全を期する目的で、作業に当たってはマスク着用が望ましいと思われる。

			サンプラー		デジタル	~粉じん計		
ΤX	車線	粉じん 気中濃度	併行測定値	質量濃度 変換係数	測点	測定結果	備考	
		(mg/m^3)	(cpm)	(mg/m ³ /cpm)		(mg/m^3)		
					No.1	0.42		
					No.2	0.42		
					No.3	0.63	12/19 AM	
					No.4	1.27	施上方问 No 0 、No 1	
	右側	2.65	25.1	0.105578	No.5	1.06	N0.9→N0.1 大刑切削機	
					No.6	4.01	八王明的成	
					No.7	0.21	最大値:4.01	
					No.8	0.42		
177					No.9	0.00		11 Martin Carlos
110					No.1	0.00		
					No.2	0.47		
					No.3	0.00	12/19 PM	
					No.4	0.00	施工方向	A A A A A A A A A A A A A A A A A A A
	左側	0.33	2.8	0.117857	No.5	0.00	No.9→No.1	
					No.6	0.24	入室切削機	
					No.7	0.00	最大値・0 47	
					No.8	0.00	政八世.0.11	
					No.9	0.00		Start Barris Start Con Carl Con Carls
					No.1	6.56		
					No.1+10	0.50	12/20 AM	
					No.2	3.59	施工方向	
	右側	2.47	39.9	0.061905	No.2+10	1.36	No.4→No.1	
					No.3	5.57	小型切削機	
					No.3+10	0.12	最大値·6 56	
OTT					No.4	0.00	政八世.0.00	
218			1		No.1	4.61		
					No.1+10	4.02	12/20 PM	
					No.2	0.83	施上万问	
	左側	1.98	33.5	0.059104	No.2+10	0.24	N0.4→N0.1 小刑扣削拗	
					No.3	0.12	小主動的成	
					No.3+10	0.83	最大值:8.63	
					No.4	8.63		
					No.0	2.95		
					No.1	2.48		
					No.2	3.88	12/18 AM	
					No.3	2.64	施上方问 No 9 、No 0	
	右側	3.12	40.2	0.077612	No.4	0.31	110.0→110.0	
					No.5	0.47	八王明的成	
			1		No.6	2.64	最大值:3.88	
					No.7	1.86		
오ㅜ☞					No.8	2.17		
이그더					No.0	1.04		
					No.1	3.55		
					No.2	3.99	12/18 PM	
					No.3	8.13	施上万问 Na Q - Ni - O	
	左側	3.86	52.2	0.073946	No.4	1.77	NO.8→NO.0 小刑初削燃	
					No.5	2.22	/1、王 9/1月17成	
					No.6	0.59	最大値:8.13	
					No.7	5.62		
					No.8	1.92		

9. 特殊切削ビットの損耗量

特殊切削ビットの損耗量は切削延長とビット長で測定した。なお、特殊ビットは残り 0mm までは使用できないことから、施工延長で概ね 2,000m が交換時期と判断された この結果を単位面積当たりのビット本数に換算すると 3.3 本/100m² であった(但し、こ の値はビットが路面に当たっていない状況も含まれており、切削面積率によって増減する)。



<参考>

一般的な切削機のビット損耗量は
 平成5年度建設省積算基準によると
 2m級切削機で2.4本/100m²。
 一般切削機ではわだちの凹部まで
 全て切削することから切削面積率による
 る増減は生じない。

10. コスト評価

特殊薄層切削のコストは、除染する現場の道路条件や目標とする平均切削厚さによって大きく異なる。ここでは一般的と考えられる下記条件で試算した。

種類	車線数	切削幅員 (m/車線)	1回の作業 幅 (m)	作業回数 (回/車線)	作業速度 (m/min)	規制長 (m)	日当り施工 量(m ² /d)
大型機	2	3.75	2.0	2	6.0	240	1,800
小型機	2	3.50	1.2	4	6.0	200	1,200

路面切削だけのコストでは特殊薄層切削が優位とはならないものの、除去物の処理や 切削後の舗装費用を含めたトータルコストで大きく優れる。 単位:円/m²

	特殊薄層切削		参 考		
	大型	小型	ファインミリング	一般切削	
路面切削	450	540	534 (NETIS公表価格)	346(2010.10単価)	
除去物処理	210	210	運搬・袋詰め別途	運搬・袋詰め別途	
(参考)除去物量	5mm:11	.8kg/m ²	30 mm: 70.5 kg/m ²	40mm:94.0kg/m ²	
切削後の舗装	不要	不要	950(舗装厚t=30mm)	1,200(舗装厚t=40mm)	
合 計	660	750	1,048+運搬·袋詰費	1,546+運搬·袋詰費	

注.1) 特殊薄層切削の除去物処理は、除去物回収袋詰め(袋費用は別途)と5km程度の小運搬とした

除去物発生量を極力少なくしようとする薄層切削であるため、汚染された既設道路の 全面を削ることは難しいものの、道路幅員やわだち掘れの状況に応じて効率的な組合せ を設定することになる。代表的な切削パターンを以下に示す。

[わだちが比較的小さいケース]



[わだちが比較的大きいケース]





除染効果	除染効果								
(1) 表土剥ぎ]	(1) 表土剥ぎ取り厚さの決定:表土の深さ方向の放射能濃度(全 Cs の濃度分布:Bq/kg)を								
測定し、その濃度分布結果から試験時の表土剥ぎ取り深さの目標を 2cm とした。									
深さ		0-2cm	ı		2-4cm		4-6c	m	
A面(無人機械	化施工)	7,100~10),500		$750 \sim 1,060$		510)	
B面(人力施工	.)	$5,650 \sim 8$	650~8,600 740~1,530 364~600				600		
(2) 線量低減	効果:作業開	始前(晴れ	、乾燥)伐	採後	の剥ぎ取り前	(晴れ、乾	[燥)、剥き	で取り後(曇	
り、湿潤)の A	A面(150m ²)	及び B 面	$(150m^2)\sigma_2$	中央	位置での Na	Iシンチ	レーション	ン式サーベ	
イメータによ	る表面 1cm	と 1m 鉛	直高さでの	の空間]線量率(μ Sv	r/h)及び(IM 管式	サーベイメ	
<u>ータによる表</u>	土汚染度(cp	<u>m</u>)の測定	結果は、	欠の通	自り。		1		
A面	1cm	1m 鉛直	表土汚染		B面	1cm	1m 鉛直	表土汚染度	
(無人機械化施	工) (µ Sv/h)	(µ Sv/h)	度(cpm)**	_	(人力施工)	(µ Sv/h)	(µ Sv/h)	(cpm) **	
平 作業開始	前 0.85	0.70	519	平	作業開始前	0.81	0.71	451	
均伐採後	0.64	0.59	472	均	伐採後	0.75	0.64	530	
* 剥ぎ取り	发 0.47	0.42	257	*	剥ぎ取り後	0.32	0.33	174	
(* 中央部5ヶ月	斤の測定値の平	均值 **	GM は直読	した値	直を示す。BG の	の差引はし	ていない。))	
(3) 表土剥ぎ]	取り厚さ及て	バ、(5)除	去土壌等の	り発生	量:				
除去物発生	量:人力施工	ľ <	〔草木 300 k	g(フレ	コン3袋)、土	壤 3,100 kg	g(フレコン	4袋)>	
	無人機構	滅化施工<	草木 600 k	g(フレ	コン2袋)、土	壤 2,300 kg	g(フレコン	3袋)>	
いずれも1	50 m ² 当りの)発生量で	あり、無	人機械	就化施工では(南川川古ス	戈採時に □	乳刈り用♪	アタッチメ	
ントによって	早不を細断に	□出米る為、 → ♪ ♪ ♪(♪ (発生浴積	を減	谷化出米る。	2cm です	を土を刺る - の坦への	さ取った場	
合の衣工充生	重の計昇値(約93) し	よ 3m³(0.(の いまかん)	02m×150	m^2	ごめり、悪人機 印度の利ギB	微化施工	の場合の) 充土重(ノ キキ レ キ ネ	
レコン 3 表:	がるmのとう 1 山立に注声	の比較から 宣々古向)	D、日保U ご 呵 1m)ZCM 沙震 ヤ	住皮の剥さり 9am なし力が	以り相皮/ 毎丁 1 甘彡	ル進成 じる 作品 レーオ	きたと与え	
る。(事前に T (4) 作業効素	「大司に仏面 化レ油げく低	<u>同で刀内(</u> f減効里・	<u>にてていていた。</u> 人力協士	ほど	2011を八刀が	回上し室- の主作業	戸回こし/ である注	<u>_。)</u> 面の代控・	
(4) 下来効平 表十副ぎ取り	・ 剥ぎ 取り	ふ めんかん · 表十 生 積 修	大力 旭工 乍業に おに	こ 加 り † ス 作	業時間と作業	シェア未 と目の被じ	てのる仏	山の以床・ 十 下表の	
通りであり、	無人機械化力	ム工 未復 「 施工により) 作業の対	率化	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	化が出来	た。	a, 1 X .,	
施工方法	作業時間(人	h) 総被	ばく線量(μ	Sv)		備:	考		
人力按丁	97.95		94		作業場所(施	工区域 A,E	3の法面)の	の作業開始	
八刀旭工	21.20		24		前の平均空間	前の平均空間線量率: 0.74μ Sv/h			
					作業員の最大	被ばく線量	$\pm:29.5\mu\mathrm{S}$	Sv(人力施	
無人機械化	13.25		15		工及び無人機	械化施工の	つ両方の全伯	乍業に従	
施工					事し、合計作	業時間は3	32.75 時間))	
					全作業員の平	均被ばく緩	泉量:12.2	u Sv	
コスト評価*			步振	事り (作業人工、作	≍業速度)	:1時間)	当たり施工	
人力施工	652 円/	m^2	面积	責					
無人機械化施	工 7,781 円/	m^2)	人力施	II 5	.83m²/h			
無人機械化施工 8.24 m²/h									
コスト評価条件:①現場管理者等の人件費を含めず実作業員のみ計上。②防塵マスク等消									
耗品費、空間	耗品費、空間線量率等分析費及び作業員宿泊・交通費・間接費等は含まれていない。								
(* 今後、一般	<u> 送化 (より広</u>	い面積の		<u>- 場合</u>	のコスト評価	「を実施」	户定。)	-++++ 17-L- 1 \	
除染作業にお	ける安全上(の注意:作	■業員全員	が安全	全帯、ロリッ	ブ(高所	作業の転	;洛防止)、	
<u> </u>	コム 手 殺 及 (ン戊 手殺、 亜那 亡 堅 「	レインウ	エア、	、 長靴を着用	シーション	11-11-4	<u>キー</u> エッパヘ	
武陂場川(1土月	104ミア	来和仏野 ^世 2 個短ルソ	りℓL坦地⊬ :一	い吊	治 ム野町指 土 上協 *	ョルの場別	川に12採車	ネイ及い) 事たて 地) そ	
日期早担囚罚	1.0.1111111	リ1則形下11日は	「田		工工壌を	$\pm \downarrow 4$	エーツクリ	ドにし版达	
					1/月 0				



写真-1 除染技術実証試験の実施場所



(左半分が人力施工区域のB面、右半分が無人機械化施工区域のA面) 写真-2 除染技術実証試験の実施区域



(B面:人力施工による伐採作業 A面:無人機械化施工の伐採前) 写真-3 高速道路法面除染技術実証試験の進行状況





(無人機械化施工による A 面の伐採作業) 写真-4 高速道路法面除染技術実証試験の進行状況





(A 面の無人機械化施工による表土剥ぎ取り作業) 写真-5 高速道路法面除染技術実証試験の進行状況





(B面の人力施工による表土剥ぎ取り作業) 写真-6 高速道路法面除染技術実証試験の進行状況





(緑化植物育成基盤表土の吹付け作業) 写真-7 高速道路法面除染技術実証試験の進行状況



(除染技術実証試験の作業完了状態。)写真-8 高速道路法面除染技術実証試験の進行状況



ウィンチ

遠隔操作の無人油

図-1 高速道路法面除染技術実証試験時の無人機械化施工の工法



参考写真-1 無人機械化施工による表土 剥ぎ取り後の剥ぎ取り面の境界部 参考写真-2 人力施工による表土剥ぎ取 り後の剥ぎ取り面の境界部

(無人油圧シャベルで表土剥ぎ取りした面と剥ぎ取っていない面との境界の段差は、法面垂直方向で約 2cm であった。一方で、人力施工で表土剥ぎ取りした面と剥ぎ取っていない面との境界の段差は、法面垂 直方向で約2.5cm であった。)



図-2 高速道路法面除染技術実証試験実施場所の表土中の放射能濃度測定試料の採取位置





	0~2cm	2~4cm	4~6cm
A−上	0	× ^(※1)	× ^(%1)
A-中	0	0	$\Delta^{(\&2)}$
A-下	0	0	0

※1 硬層のため採取不可 ※2 硬層であったが、参考として可能な範囲で採取を実施

	0~2cm	2~4cm	4~6cm
B-上	0	0	× ^(%1)
B-中	0	0	0
B−下	0	0	0

(図-2に示す位置で、深さ 0~6cm の法面表土を採取し、深さ方向の放射能濃度を分析した結果、図-3に示すように、 0-2cm の深さに約 90%の放射性物質が含まれていることから、本試験では表土剥ぎ取り厚さは 2cm を目標とした。)



(上図測定位置のうち測定値が記載されている位置について、A面とB面の表土剥ぎ取り後に、Natサーベイメーダにより表面から1m鉛 直高さでの空間線量率を測定した。なお、測定位置のうち、伐採後等で測定していない箇所もある。また、周辺との境界等は補完的に 2.5m間隔で測定した箇所もある。)



図-4 除染技術実証試験実施場所(周辺領域含む)の1m鉛直高さの空間線量率の測定位置(上)と法面保護のための新土吹付け後の法面の状態(下)

(法面表土の剥ぎ取り前後のA面及びB面の1m鉛直高さの空間線量率分布・変化を評価するため、図-4 に示す位置で測定した。)







(図-5は、伐採・表土剥ぎ取り前後の法面中央部のA面~B面の横方向の空間線量率の変化を示す。図-6 は、伐採前の法面全体の空間線量率の分布を示す。図-7は、表土剥ぎ取り後の法面及び周辺区域を含めた 全体の空間線量率の分布を示す。空間線量率が、周辺区域より表土剥ぎ取りした区域が低減している。)



(上図のA面とB面の測定位置について、試験開始前、伐採後、表土剥ぎ取り後に、GMI線量計により表面1cm位置での表土汚染度を測定した。 B-1及びA-1については、アクリル板有りの測定を行い、Csのベータ線寄与分を算定する際のBG値とした。)

図-8 道路法面の表土汚染度の測定位置



図-9 除染技術実証試験の開始前、伐採後、表土剥ぎ取り後のA面及びB面の表土汚染度変化

(図-9は、伐採・表土剥ぎ取り前後のA面及びB面の中央部における表土汚染度の変化を示す。伐採作業 で表土が移動・偏在して表土汚染度が上がった箇所(B-1~4, A-4)があるが、表土剥ぎ取り後は表土汚 染度が低減した。)



図-10-1 道路法面の除染技術実証試験開始前の表土汚染度の分布



図-10-2 道路法面の伐採後の表土汚染度の分布



図-10-3 道路法面の表土剥ぎ取り後の表土汚染度の分布

(図-10-1~図 10-3 は、図-8 に示した A 面及び B 面中央部の各 5 箇所の伐採・表土剥ぎ取り前後の表土汚 染度の変化を 3D の形で示す。いずれも、表土汚染度はアクリル板無しと有りの値の差 (Cs の β 線分の値) を示す。)


(共通主作業:伐採-表土剥ぎ取り-剥ぎ取り表土集積作業)

図-11 無人機械化施工と人力施工の共通主作業の延べ作業時間の比較



⁽共通主作業:伐採-表土剥ぎ取り-剥ぎ取り表土集積作業)

(法面の伐採・表土剥ぎ取り・剥ぎ取り表土集積作業を無人機械化施工と人力施工で行った場合の延べ作業時間を図-11 に、その際の作業者の総被ばく線量を図-12 に示す。人力施工に対し、無人機械化施工の延べ 作業時間は49%に低減、また総被ばく線量は63%に低減した。)

図-12 無人機械化施工と人力施工の共通主作業の被ばく線量の比較

実施代表者の所属機関:国立大学法人 東京工業大学

実証テーマ名:汚泥等燃焼減容実証

事業の概要:放射性物質に汚染された下水道汚泥を、焼却炉で焼却・焼成させる事により 減容化する。飛灰の回収を、サイクロンとスクラバーで行う事により、放射性物質と作業 員の接触機会を減らし、安全な焼却減容を行う。

実施内容:下水道汚泥を、ドラムスクリーン型ロータリーキルン焼却炉で燃焼、減容を行う。焼却過程で出るダストはサイクロン及びスクラバーで回収する。熱処理による気化したセシウムの飛灰への移行状況を確認することにより、焼却灰の一般廃棄物として処理(8000Bq/kg以下)が可能であるか検証する



ドラムスクリーン型ロータリーキルン

スクラバー

成果目標

排出ガスの放射能濃度 2Bq/m³以下。(放射能濃度測定方法ガイドラインの検出下限値) 処理水の放射能濃度 10Bq/L 以下。

汚泥減容率 30%。

検証項目

・減容、減量率 ・焼却灰と飛灰の放射性物質分配率 ・スクラバー水中の放射性セシウ ム溶出量 ・排水の水質汚濁防止法基準値適応性 ・排水の放射能濃度 ・排出ガスの放 射能濃度 ・排出ガスの大気汚染防止法適応性

付録 2 - 4 - 1

除染効果

減量 減容率

顾里、顾谷平						
	重量 kg	減量率 %	容積 L	減容率 %		
下水道汚泥	4,008		3,914			
焼却灰	210	95(焼却灰、飛灰の合算)	857	78(焼却灰、飛灰の合算)		
飛灰	11.4		19			

焼却灰と飛灰の放射性物質分配率

	放射能濃度 Bq/kg
下水道汚泥	649
焼却灰	14,110(平均值)
飛灰	10,605(平均值)



焼却灰

燃焼状況

下水道汚泥を燃焼した場合の減量率は95%、減容率は78%であった。また、燃焼温度800℃~900℃では、 下水道汚泥中のセシウムは気化せず焼却灰、飛灰中に濃縮された。分配率は焼却灰 57.1%、飛灰 42.9%で あった。放射性物質の存在割合は、焼却灰 85.1%、飛灰 3.4%、脱水汚泥(スクラバー-水中の浮遊物質を 凝集沈殿したもの)11.3%、排出ガス0.2%であった。

各種放射能濃度

	排出ガス Bq/m ³	スクラバー水 Bq/L	処理水 Bq/L
放射能濃度	0.21	ND(検出下限値 1.30)	5.08
排出ガスの放射能	濃度は 0.21 Bq/m ³ で目標値	fの 10 分の 1 程度であり、安	全に焼却、減容ができる。
排水の水質汚濁防	J止法基準值適応性:処理水	の分析の結果 BOD、CN で掛	「水基準を超過した。
排出ガスの大気汚	染防止法適応性 : 全ての項	目で規制基準を満足した。但	し、CNは64mg/m³(N)と値が高
く 1000t 以上の奴	L理能力炉の規制値は超過し	た。ダスト量は 0.04g/m ³ (N	1)と集塵能力は高い。
スクラバー水中の)放射性セシウム溶出量:ス	クラバー水中の放射性セシウ	ムは確認できなかった。
除去物発生量の評	至価:焼却灰 142.4 kg 飛灰	10.7 kg スクラバー水処理後	後の脱水汚泥 81.5 kg
作業員被ばく評価	f:試験場所空間線量率0.7μ	¹ Sv/h 最大被ばく量(炉室、	74h) 51.8 μ Sv
	平均被ばく量 50.3 µ Sv		
15777 円/日(燃料	・凝集剤 6402 円、人件費	9375 円)灯油 9L/h、軽油	歩掛り(作業人工、作業速度):
4.5L/h、作業員 3	名、凝集剤 1kg/h で計算		75kg/h
コスト評価条件:	設置、組立、撤去費は含	まない。 実証試験機のため	リース等はしていない。
除染作業安全:	タイベックス、マスク、手	袋を着用	
試験場所	保管状況		
福島県南相馬市	遮蔽容器	1 4 4 1	
	ケミカルドラム	で保管	
		遮蔽容器	ケミカルドラム

付録 2 - 4 - 2

補足資料



システムフロー図



システム全体図

放射性セシウム存在割合

実証試験の結果、900℃の燃焼条件ではセシウムは気化せず焼却灰・飛灰に濃縮された。 焼却灰と飛灰の放射性セシウムの分配率は焼却灰 57.1%、飛灰 42.9%であった。

物質収支は下水道汚泥のセシウム総量 2601192 Bq を焼却灰の総量 2963100 Bq が上回っ たため、焼却灰、飛灰等の放射性物質存在割合で算出した。結果、放射性物質の存在割合 は、焼却灰 85.1%、飛灰 3.4%、脱水汚泥 (スクラバー水中の浮遊物質を凝集沈殿したもの) 11.3%、排出ガス 0.2%であった。

また、下水道汚泥のセシウム総量が計算上少ないことは、下水道汚泥の含水量が多く水 分による遮蔽効果で実際のセシウム濃度が少なく計測されていることが考えられる。

	量	放射能濃度	放射性物質量	存在割合 %
焼却灰	$210~{ m kg}$	14110 Bq/kg	2963100 Bq	85.1
飛灰	11.4 kg	10605 Bq/kg	$120897~\mathrm{Bq}$	3.4
スクラバー水	$4m^3$	ND(1.30)	0	0
排出ガス	$35742m^3$ (N)	0.21 Bq/m^3 (N)	7506 Bq	0.2
脱水汚泥	81.5kg	4810 Bq/kg	$392015~\mathrm{Bq}$	11.3

見かけ比重

	下水道汚泥	焼却灰	飛灰
見かけ比重	1.024 kg/L	0.245 kg/L	$0.597~{ m kg/L}$

焼却灰とは、炉体底部より排出される灰を指す。飛灰とはサイクロンで回収される灰を指 す。



下水道汚泥、焼却灰、飛灰、放射能濃度

Bq/kg

			1 0
	採取日	セシウム 134	セシウム 137
下水道汚泥	平成 25 年 2 月 7 日	234	415
焼却灰	平成 25 年 2 月 7 日	4,380	7,690
	平成 25 年 2 月 14 日	5,750	10,400
飛灰	平成 25 年 2 月 7 日	2,720	5,020
	平成 25 年 2 月 14 日	4,560	8,910
脱水汚泥	平成 25 年 2 月 14 日	1670	3140

炉内圧及び燃焼温度

下水道汚泥燃焼処理

	下水道汚泥 kg	焼却灰 kg	飛灰 kg
2月7日	1061	41	0.5
2月9日	615	18	3.5
2月10日	596	31.3	1.7
2月11日	657	31.2	1.6
2月12日	621	30.3	1.7
2月13日	458	20.9	1.7
合計	4008	172.7	10.7
補正		210	11.4

焼却炉内に焼却灰、飛灰が残るため灰の重量に損失がでるため、重量が最大値となるよう に2月10日のデータを基に下水道汚泥に対する焼却灰、飛灰の発生割合を下水道汚泥総重 量に乗じて補正を行った。 4008×(31.3÷596)≒210 4008×(1.7÷596)≒11.4

焼却炉運転データ 2月7日



* 炉内圧力は MPa 下水道汚泥焼却量 1061kg 汚泥含水量 81.2wt% 焼却炉内は負圧を保っている。

燃焼機関6日間のうち抜粋

炉内温度は測定可能な熱電対ロ(煙道)で測定。実際の炉内温度は測定値より高温であ ると考えられる。

炉内温度の推測を次に示す。

付録 2 - 4 - 5



ドラムスクリーン型回転炉は、円筒形のスクリーン(目開き 3mm)内部で高温処理を行う。通 常、セメント工場等で利用されている回転炉(ロータリーキルン)等は、構造上最も高温になる 箇所で温度を感知するが、ドラムスクリーン型回転炉は、構造上最も高温になるスクリーン内部 での温度感知ができないため上記図のような温度想定になる。備え付けの熱電対(温度セン サー)は、回転するドラムスクリーンとの接触を避けるためにドラムスクリーン外周のスクリューか ら 30mm 離した内釜部分で温度計測しているため、実際のドラムスクリーン内部と温度誤差が 生じると考えられる。

したがって、ドラムスクリーン内部の温度を想定するためには、内釜から排気出口での定期 的な温度管理を行い焼成処理をした。

※処理物は、ドラムスクリーン回転方向により高温ゾーンで処理される。

セシウムの溶解性

下水道汚泥のセシウムは 900℃の燃焼では気化せず、焼却灰、飛灰の持つセシウムも溶出 試験(スラグ溶出試験に準拠)の結果、溶出しないことが確認された。このため、スクラ バー水中にセシウムは溶解してこなかった。

スクラバー水、処理水

Bq/L

kN/m²

	採取日	セシウム 134	セシウム 137
スクラバー水	平成 25 年 2 月 7 日	ND (1.15)	ND (1.30)
スクラバー水	平成 25 年 2 月 14 日	ND (1.01)	ND (0.722)
処理水	平成 25 年 3 月 6 日	2.07	3.01

*()内は検出限界濃度

スクラバー水中の溶解性セシウムは検出されなかった。処理水でのセシウム検出は、保管 したノッチタンク等からのコンタミネーションが原因と考える。(バックグラウンドの放射 能量の高い場所に置いてあったため)

水ガラスー軸圧縮強度

2週強度 4週強度 飛灰固化物 9258放射能溶出試験 Bq/L セシウム 134 セシウム 137 焼却灰 ND (10.9) ND (11.2) 焼却灰固化物 ND (11.9) ND (13.7) 飛灰 ND (13.6) ND (12.8) 飛灰固化物 ND (11.3) ND (10.3)

*()内は検出限界濃度

水ガラスでは、焼却灰、飛灰の飛散防止となるが、放射性物質汚染対処特措法の環境省告 示第 14 号(特定廃棄物の固型化の方法)に示される基準 0.98M Pa (980kN/m²)の 10 分 の 1 しか強度は出ない。

スラグ溶出試験法での試験結果からセシウムの溶出は確認されない。



スクラバー水

付録 2 - 4 - 7

排出ガスの測定

排出ガスの測定の結果、排出ガスの放射能濃度は 0.21 Bq/m³(N)であり、目標値を達成した。 サイクロンとスクラバーの組み合わせによる集塵効率は高く、ダスト量は 0.04g/m3(N)であり、バグ フィルターと同等程度であった。また、排出ガス中のセシウムはダストの中に存在しており、さらに集 塵効率を高くすることにより、セシウムの拡散を防ぐことができる。

この他、シアン化合物濃度と一酸化炭素濃度が高いことが懸念されるが、これは、未燃ガスの 影響と考えられ、二次燃焼装置の増設により解消できると思われる。

大気汚染防止法の規制にも対応しており、燃焼能力 1t/h 以下の焼却炉であれば、現時点で福 島県での運用も可能であり、バグフィルターの交換などが無いため、被ばくの防止に繋がる。

北山ガフロ	ゎゕぉ	ケトト台	⇒瀘南
<u>эншииг</u>	トマノル	くオリ 日ヒ	ゴ辰之

 $Bq/m^3(N)$

	1
	排出ガス
粉じん中の放射性セシウム 134	ND(0.15)
粉じん中の放射性セシウム 137	0.21
吸収液中の放射性セシウム 134	ND(0.91)
吸収液中の放射性セシウム 137	ND(0.82)

排出ガス

ダイオキシン類

	排出ガス		ダイオキシン類
塩化水素	<2 mg/m ³ (N)	排出ガス	0.0052ng $-$ TEQ/m ³ (N)
窒素酸化物	140ppm	焼却灰	0.00000078ng-TEQ/g-dry
硫黄酸化物	51ppm	飛灰	0.0000010ng-TEQ/g-dry
シアン化合物	64mg/m ³ (N)		•
ダスト濃度	0.04g/m^3 (N)		

一酸化炭素、酸素

	一酸化炭	酸素	
	測定值 ppm	酸素 12%換算值	%
最大値	>1000	> 1125	13.0
最小值	55	53	11.7
平均值	>600	> 550	11.4
*一酸化炭素 上降	值 1000ppm 下限值 10 ppm		

^{*}酸素 上限值 25.0% 下限值 0.1%

排出ガス組成

	排出ガス
排出ガス温度	84°C
流速	3.1m/s
湿り排出ガス量	$596m^{3}(N)/h$
乾き排出ガス量	483m ³ (N)/h
水分量	19.0vol/%
二酸化炭素	7.2vol/%
酸素	10.6vol/%
一酸化炭素	$< 0.2 \mathrm{vol}/\%$
窒素	82.2vol/%

<測定状況>



排出ガス採取

排出ガス測定



廃棄物の保管

実証試験で発生した廃棄物は、放射能濃度が 100,000 Bq/kg を下回ったため、ケミカル ドラムで保管を行った。保管容器から周辺への放射線の影響を測定した結果、バックグラ ンドの数値との差は小さく、保管基準も問題なく満足している。

保管容器周辺の空間線量

 μ Sv/h

	1cm	1m	バックグラウンド	
ケミカルドラム	1.58	1.21	1.08	

空間線量の測定は、1mの高さの位置で行った。



100,000 Bq/kg 以上を保管する遮蔽容器

8000Bq/kg 以上を保管するケミカルドラム



2重構造遮蔽容器(2重構造の空間を不凍液で満たす)

作業員の被ばく管理

下水道汚泥の燃焼実証を行う前に測定したブランク値と実証試験中の空間線量の差異は 見られなかった。作業員の被ばく量は、試験場所空間線量率 0.7 µ Sv/h 最大被ばく量(炉 室、74h) 51.8 µ Sv、平均被ばく量 50.3 µ Sv であった。

空間線量 μ Sv/h

	炉室内	焼却灰周辺	飛灰周辺
2月6日ブランク	0.73	0.64	0.80
2月7日	0.66	0.71	0.81
2月9日	0.68	0.67	0.84
2月10日	0.72	0.68	0.80
2月11日	0.70	0.70	0.81
2月12日	0.71	0.68	0.80
2月13日	0.70	0.69	0.79

空間線量の測定は、定点を設け 1mの高さの位置で行った。

コスト

コストは、下水道汚泥、含水率81.2wt%、燃焼能力75 kg/hの場合以下のようになる。

灯油9L/h×83=747円軽油4.5L/h×110=495円作業員3名×25,000÷8=9,375円凝集剤1kg/h×5,160=5,160円以上から1時間当たりのコストは15,777円となる。

設置、組立、撤去費は含まない。 実証試験機のためリース等はしていないためリース 費は含まない。

コスト変動要因は、燃焼対象物の含水率が影響し、含水率が低ければ燃料費を低減できる。

付録 2 - 4 - 11



焼却施設全景

煙に見えるものは、排出ガス中の水分が大気と触れ、温度が低下することで飽和水蒸気量 を超えた分が水蒸気となって見えるものである。



排出ガス処理装置

実施代表者の所属機関:株式会社ガイア環境技術研究所

実証テーマ名:実際の放射能汚染水の性状に適応できる機能性炭化物を使用した移動式水 浄化システムの実証

事業の概要:セシウムイオン吸着力とコロイド懸濁液のろ過能力の両方を単体で有する機 能性炭化物を使用し、市販の凝集剤と組み合わせた実用的で安価な移動式の小型浄化シス テムを構築して、本システムによる放射能汚染水の除染効果の実証を行う。

実施内容:(1)基礎試験:①凝集剤と機能性炭化物の適合試験、②各種除染剤の比較試験、 ③セシウム溶出試験 (2)凝沈ろ過一体型の移動式小型浄化システムの設計及び製作 (3)移動式小型浄化システムを用いた放射能汚染水の除染実証試験:①実際の放射能汚 染水の性状確認、②放射能汚染水を用いた除染実証試験、③住宅等の除染実証試験

技術概要:放射能汚染水の除染においては、セシウムイオンが吸着した懸濁物質(SS分) を水より分離することが主要な課題である。本技術は、放射能汚染水(懸濁水)に対して 市販凝集剤と多孔質の機能性炭化物を凝集ろ過助剤として用い、金属フィルターによりろ 過を行う小型浄化システムによって、迅速かつ確実に汚染懸濁物質の分離を実現するもの である。



除染効果:(3) -②の実証試験では 380 Bq/kg (SS 濃度: 329 mg/L) の放射能汚染水 (懸 濁水) 0.5 m³を約 20 分 (撹拌:7分、沈殿:3分、排出:10分) で処理し、処理水の放射 能濃度を検出下限値(3.6 Bq/kg) 以下に低減し得ることを確認した。(☞ 除染率:100%) 但し、実際の除染効果は SS 分の濃度及びその汚染度による。処理に際しては、高分子凝集 剤 10 mg/L と SS 分と同質量の機能性炭化物を添加するので、除去物は SS 分と機能性炭化 物の混合物がスラッジとして発生する。上記の例で発生したスラッジは湿潤状態で 1.98 kg (含水率:82.8%)、スラッジ乾燥重量当りの放射能濃度は 280 kBq/kg であった。尚、こ のスラッジに 500 tf/m²程度の圧力をかけると、炭化物の多孔質の空隙が圧縮され、また脱 水がなされ減容率で 65.2%、減量率で 31.7%まで減容・減量化された。 除去物発生量評価:

【SS 濃度: 500 mg/L】

6 kg (SS 分及び機能性炭化物の混合湿潤スラッジ ☞ 比重:1.1~1.3、含水率:約80%)
 /放射能汚染水(懸濁水)1m³

【SS 濃度: 250 mg/L】

4 kg/放射能汚染水(懸濁水)1 m³

(スラッジは転圧等の比較的簡単な操作で体積 1/3、質量 2/3 程度に減容・減量化可能)

作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 1.34 µ Sv/hr、作業時間 169 時間 作業員最大被ばく量 12.55 µ Sv (サンプル調整等、32 時間) 作業員平均被ばく量 7.32 µ Sv

コスト評価:	歩掛り(作業人工、作業速度):
【小型】 ☞ 3,934円/m³	【小型(0.7 m³)】 ☞ 1人工/9.8 m³、1.4 m³/hr
【大型】 ☞ 1,691 円/m³	【大型(3.0 m³)】 ☞ 1 人工/42.0 m³、6.0 m³/hr
コスト評価条件:	

- ・作業範囲は放射能汚染水の処理作業のみとし、機械費、材料費、人件費を含む
- ・8 hr./日(実稼働:7 hr.、準備片づけ:1 hr.)・22 日/月 稼働

・機械費(除染装置5年リース+発電機+水中ポンプ+1m³タンク+軽油代:135円/L)

・材料費(凝集剤+機能性炭化物 ← SS 濃度:500 mg/L を想定)

・人件費(特殊作業員:21,500円/8hr.)

除染作業における安全上の注意:手袋、防塵マスク及び積算線量計を着用

試験場所(住所):	除去物保管場所と保管状況(写真):
福島県郡山市	試験場所のコンクリートボックス内に保管。

【基礎試験】

<目的>

凝集剤と併用することで凝集及びろ過の効率を向上させる「凝集・ろ過助剤」としての 機能性炭化物の特性を、市販粘土等を懸濁させた非放射性の模擬水を用い、市販凝集剤の みの場合、凝集剤と機能性炭化物を併用した場合について、凝集沈殿効果を確認し評価を 行う。

<試験1:粉末凝集剤による凝集試験>

市販粘土模擬水(1,000 mg/L)に対する各種粉末凝集剤の凝集沈殿効果を、処理水の濁 度及び目視による凝集フロック径の比較により確認した。

とマ在マロ	凝集剤添加濃度	処理水濁度	凝集フロック径**
婉果剤	[mg/L]	[NTU]	[-]
	10	8	D-2
松士将住刘	25	5	D-2
切不晚未用A	50	4	D-3
	100	3	D-2
	10	66	D-1
松士 将 年 刘 D	25	18	D-1
切不婉未用D	50	8	D-1
	100	6	D-1
	10	7	D-1
<u> </u>	25	3	D-1
初不婉未用し	50	5	D-1
	100	3	D-1
	10	69	D-1
火士 返在 対 D	25	52	D-1
忉不晚来用D	50	20	D-1
	100	5	D-1

表1 粉末凝集剤による凝集試験結果

※ 数値が大きくなるほどフロック径が大きい

<試験2:粉末凝集剤と機能性炭化物に凝集試験>

機能性炭化物の凝集助剤としての効果及びその添加濃度を確認するため、試験1の結果 を基に選定した粉末凝集剤Aと機能性炭化物による凝集沈殿効果を、試験1と同様な方法 で確認した。

表 2 粉末凝集剤 A と機能性炭化物による凝集試験結果

機能性炭化物	機能性炭化物	処理水濁度 [NTU]		収生フロークタッ
(種類・炭化温	添加濃度	出办了	炭 + 粉末凝集	凝集ノロツク住 [∞]
度)	[mg/L]	灰のみ	剤A (10 mg/L)	L-J
	500	313	31	D-4
もみ殻 300℃	1,000	133	44	D-4
	2,000	140	116	D-5
	500	336	35	D-6
もみ殻 400℃	1,000	270	53	D-5
	2,000	303	58	D-6
	500	229	4	D-7
もみ殻 500℃	1,000	250	4	D-8
	2,000	204	3	D-7
	500	112	3	D-8
もみ殻 600℃	1,000	144	3	D-8
	2,000	121	4	D-8
	500	142	12	D-4
もみ殻 700℃	1,000	176	18	D-5
	2,000	266	18	D-4
	500	142	12	D-3
杉 500℃	1,000	176	18	D-4
	2,000	266	18	D-4

※ 数値が大きくなるほどフロック径が大きい



写真1 凝集試験:(左)粉末凝集剤のみ、(右)粉末凝集剤+機能性炭化物

<試験3:金属フィルターを用いた機能性炭化物のろ過助剤試験>

模擬水に対して粉末凝集剤Aのみと機能性炭化物を併用して凝集沈殿を行った後、小型 水浄化システムに使用する金属フィルター(スリット幅:10 µm、長さ:20 mm)を通して ポンプで吸引し、ろ過後の処理水の濁度及びろ過状態(流量等)を確認した。本試験によ り、機能性炭化物のろ過助剤としての性能を確かめ、小型水浄化システムの仕様を決定し た。

表 3	機能性炭化物のろi	過試験結果

処理	ろ過状態
粉末凝集剤Aのみ	金属フィルターによりろ過した処理水にスラッジが混入し、処理
	水の濁度が悪化(ろ過前上澄み液の濁度:8 ⇒ ろ過後処理水の濁
	度:32)。若干量の通水の後、 <u>金属フィルターに目詰まりが生じ、</u>
	今回の試験条件では連続的な処理は不可。
粉末凝集剤 A+機能性	機能性炭化物により SS 分がしっかりと保持され、 <u>目詰まりを生じ</u>
炭化物(炭化温度 600℃	<u>ることなくろ過処理</u> 。処理水の濁度はほぼ変化なし(ろ過前上澄
のもみ殻炭)	み液の濁度:4 ⇒ ろ過後処理水の濁度:3)。処理水の流量は、 <u>金</u>
	属フィルター1本につき 6~7 L/mn.程度。

<基礎試験結果及び考察>

以上に概略を示した基礎試験結果より、機能性炭化物として炭化温度 500℃及び 600℃の もみ殻炭を粉末凝集剤 A と併用した場合に、凝集沈殿が促進され、ろ過し易い大きなフロ ックが成長することが確認された。(☞ 凝集助剤) 表1及び表2に示した試験結果から、SS 濃度:1,000 mg/L の粘土模擬水に対して、粉末 凝集剤の添加濃度は10 mg/L、機能性炭化物の添加濃度は500 mg/L で充分な凝集沈殿効果 が得られることが確認された。しかし、実際の汚染懸濁水の性状は模擬水のように一様で はなく、例えば油分等の混入も想定されるため、機能性炭化物の添加濃度はより安全を考 慮しSS 分と同質量と定めた。また、本補足資料では省略したが、市販粘土を懸濁させた場 合、濁度測定値とSS 濃度には(SS 濃度 [mg/L] = 2.92 × 濁度 [NTU])の一次の相関性が あることが確認されている。よって、実証試験においては、汚染懸濁水の濁度からSS 濃度 を予測して機能性炭化物の添加量を定めることとした。

今回の試験結果では、粉末凝集剤Aのみの場合、上澄み液の濁度は低下するが沈殿した フロック径が小さく不安定であるため、本システムで用いる金属フィルターによるろ過時 には、ろ材の閉塞を生じる可能性が高く、機能性炭化物の使用は必須であると考える。

【実証試験】

<目的>

基礎試験で得られた知見を基に小型水浄化装置とシステムを製作・構築して、放射能汚 染懸濁水の浄化能力を実証確認し、同システムの運用方法及び処理コストを検討する。

<試験方法>

表4に示す放射性セシウム汚染土壌を用いて汚染懸濁水を人為的に調整し、小型水浄化 システムによる浄化処理を行って、処理水やスラッジの放射能濃度、及びスラッジ発生量 等を確認した。(→図1)

調整した汚染懸濁水の濁度から、上述の相関性を基に SS 量を想定し、SS と同質量の機能 性炭化物を添加して撹拌する。粉末凝集剤 A を 10 mg/L 添加して撹拌の後、フロック形成 のため静置する。その後、金属フィルターを通して水を排出(処理水)し、処理槽底部に 残ったスラッジは、最後に排出ドレンから水を流しながら抜き出して、市販の土嚢袋で捕 集した。土嚢袋を通過した水(ドレン排水)についても、同様に放射能濃度等の測定を行 った。

また、非放射性の市販粘土模擬水(1,000 mg/L)を用いて、機能性炭化物と粉末凝集剤A による凝集沈殿スラッジを得て、スラッジの圧縮による減容率及び減量率を確認した。

付録 2 - 5 - 6

土壤	放射能濃度 [kBq/kg]				乾燥重量当りの放
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	Cs 合計	古小伞 [%]	射能濃度 [kBq/kg]
А	2.70	5.10	7.80	21.6	9.94
В	6.50	12.0	18.5	33.8	27.9
С	52.8	101.0	154.0	39.9	256.0

表4 試験に用いた放射性セシウム汚染土壌



図1 実証試験フロー図



写真2 (左から)放射能汚染懸濁水、処理水、ドレン排水、スラッジ

付録 2 - 5 - 7

表 5 実証試験条件

No.	処理水量 [m ³]	使用土壤量 [kg]	汚染土壌	濁度 [NTU]	予想 SS 濃度 ^{*1}	炭化物 添加量 ^{**2}
					Ling/L]	[Kg]
0219-1	0.7	1.4	А	175	509	0.35
0219-2	0.7	7.0	А	450	1, 310	0.91
0219-3	0.7	0.7	А	87	253	0.18
0220-1	0.7	1.4	В	142	413	0.29
0221-1	0.5	1.0	С	113	329	0.17
0222-1	0.5	1.0	С	130	379	無添加※3

※1 予想 SS 濃度は基礎試験から SS 濃度 [mg/L] = 濁度 × 2.92 で算出

※2 機能性炭化物添加量は基礎試験結果を基に SS 分と同質量と定めた

※3 0222-1「無添加」は凝集剤のみによる処理

表 6	濁度測定結:	果

	濁度 [NTU]					
No.	十年年十七次初期到四十	金属フィルター	スラッジ排出時の			
	放射 能	処理水	ドレン排水			
0219-1	175	13	15			
0219-2	450	58	27			
0219-3	87	11	14			
0220-1	142	17	18			
0221-1	113	19	20			
0222-1	120	9.1	E 4			
(凝集剤のみ)	130	21	54			

表7 除染効果

	放射能濃度 [Bq/kg]								
No.	放射能汚染懸濁水		金属フィルター 処理水			スラッジ排出時の ドレン排水			
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	Cs 合計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	Cs 合計	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	Cs 合計
0219-1	ND	12.8	12.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
0219-2	23.8	42.3	66.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
0219-3	ND	4.79	4.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
0220-1	5.24	18.6	23.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
0221-1	130	250	380	ND	ND	ND	ND	7.24	7.24
0222-1 (凝集剤のみ)	86.5	159	246	ND	10.1	10.1	<mda< td=""><td>29.5</td><td>29.5</td></mda<>	29.5	29.5

表8 発生スラッジ

No	発生ス ラッジ	放射	能濃度 [Bo	q/kg]	スラッジ	スラッジ 乾燥重量 [kg]	乾燥重量 当りの放
No.	重量 [kg]	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	Cs 合計	∃水伞 [%]		射能濃度 [kBq/kg]
0219-1	4.23	756	1,540	2,296	73.1	1.14	8.54
0219-2	10.78	1,270	2, 550	3, 820	40.9	6.37	6.46
0219-3	2.82	678	1, 380	2,058	82.2	0.50	11.56
0220-1	4.19	1,260	2, 250	3, 510	70.5	1.24	11.90
0221-1	1.98	16, 500	31, 700	48, 200	82.8	0.34	280.2
 0222-1 (凝集剤のみ)	0. 89*	28, 700	53, 200	81,900	82.1	0. 16*	457.5

※ 0222-1 凝集剤のみの場合、スラッジが土嚢袋から漏出

力 [tf]		スラッジ面高さ	スラッジ体積		
)上/J [t1/Ⅲ]	[mm]	[mL]	侧谷伞** [%]	
0	0	47.4	372.3	_	
1	127.3	20.9	164.3	55.9	
2	254.7	18.6	146.2	60.7	
3	382.0	17.4	136.4	63.4	
4	509.3	16.5	129. 5	65.2	

表9 スラッジ圧縮試験結果(非放射性の市販粘土:1,000 mg/L 模擬水を使用)

※ 計算式:減容率 = (1 - (圧縮後スラッジ体積) / (圧縮前スラッジ体積)) × 100

表 10 スラッジ減量率

	質量 [kg]	含水率 [%]	減量率* [%]		
圧縮前	0.454	80.2	-		
圧縮後 (509.3 tf/m²)	0.310	37.5	31.7%		

※ 計算式:減量率 = (1 - (圧縮後スラッジ質量) / (圧縮前スラッジ質量))× 100



写真3 処理後スラッジの SEM 写真:(左) 圧縮前、(右) 圧縮後

表 11 処理水の水質検査※

項目	計量結果	単位	水質汚濁防止法排水基準
水素イオン濃度(pH)	7.0 (21°C)	-	5.8~8.6
生物化学的酸素要求量(BOD)	2.9	mg/L	160以下(日間平均120)
化学的酸素要求量(COD)	1.5	mg/L	160以下(日間平均120)
浮遊物質量(SS)	6	mg/L	200以下(日間平均150)
ノルマルヘキサン抽出物質含有量	2.5 未満	mg/L	30以下(動植物油脂類)
大腸菌群数	30 未満	個/cm ³	3,000以下
窒素含有量	1.0 未満	mg/L	120以下(日間平均60)
リン含有量	0.1	mg/L	16以下(日間平均8)

※ 内藤環境管理株式会社による試験結果

<実証試験結果及び考察>

表6及び表7に示した試験結果から、本システムにより汚染懸濁水の放射性セシウムの 放射能濃度を測定下限値以下にまで除染できることが実証された。但し、実際の除染効果 はSS分の濃度及びその放射能濃度に依存する。表11に示した処理水の水質検査結果から、 放射能だけでなく各種水質基準値についても河川等への放流に際して全く問題はないこと が確認された。また、金属フィルターを通した処理水だけでなく、スラッジ排出時に土嚢 袋を通して排出されるドレン排水からもほとんど放射能は検出されなかったが、これは機 能性炭化物がSS分をしっかりと保持していることを示している。しかし、表6の濁度測定 結果や表7のNo.0221-1のドレン排水の放射能濃度から、より確実に浄化を行うためには 金属フィルターの使用が望ましいと考える。

No. 0222-1 の粉末凝集剤 A のみの処理では、金属フィルターからの処理水の通水は若干量 のみで直ぐに閉塞し、また、この処理水からも放射性セシウムが検出された。このフィル ターの閉塞は、エアー吹込みによる逆洗を行っても直ぐに再び生じるため、同システムの 運用には機能性炭化物等のろ過助剤が不可欠だと考える。また、土嚢袋からスラッジの漏 出も確認され、これは表 6 及び表 7 の No. 0222-1 の測定結果にも表れている。

本システムでは SS 分と機能性炭化物がスラッジとして発生するが、その量は、表 5 及び 表 8 から SS 濃度: 500 mg/L の場合 ☞ 6.0 kg/m³、SS 濃度: 250 mg/L の場合 ☞ 4.0 kg/m³ 程度と予測される。これらは含水率 80 %程度の湿潤状態であり、且つ、機能性炭化物自体 が多孔質で脱水助剤としても働くため、表 9 及び表 10 に示す試験結果から、圧縮すること で質量約 2/3、体積約 1/3 程度に減じることが確認された。

付録 2 - 5 - 11

【コスト評価】

酒日	内訳	記문	除染システム 小型 大型		大型	借去	
79.0	1987	86.7	(タンク容量)	(0.7 m³)	(3.0 m³)	7 1	
			処理時間(分/バッチ)	30	30		
		A	処理能力(m³/h)	1.4	6.0		
			稼働日(日/月)	22	22		
条件			稼働時間(h/日)	7	7	実稼働:7h、準備・片づけ:1h	
			運転時間(h/月)	154	154		
		В	処理量(m³/日)	9.8	42.0		
		С	処理量(m³/月)	215.6	924.0		
			装置製造費	9,500,000	16,000,000		
	十里		リース期間(年)	5	5	5年後譲渡	
	装直		リース料率(%)	2.00	2.00		
		D	リース費用(円/月)	190,000	320,000		
	発電機	E	リース費用(円/月)	36,000	60,000	0.7m ³ :10kVA、3.0m ³ :37kVA	
機械費	水中ポンプ	F	リース費用(円/月)	11,100	11,100	370 円/日	
	1m ³ タンク	G	リース費用(円/月)	21,600	21,600	720 円/日	
	計	н	リース費用計(円/月)	258,700	412,700	D+E+F+G	
	軽油		軽油単価(円/L)	135	135		
		I	発電機軽油(円/m³)	135	117	1.4 L/h:10kVA、5.2 L/h:37kVA	
		J	機械コスト(円/m³)	1,335	564	H/C+I	
		к	凝集剤(円/kg)	1,270	1,270	粉末凝集剤	
			使用量(ppm)	10.0	10.0		
	凝集剤		使用量(kg/バッチ)	0.007	0.030		
		L	使用量(kg/m³)	0.010	0.010		
		М	コスト(円/m ³)	13	13	K*L	
ナナルリ連			凝集助剤(円/L)	100	100	機能性炭化物	
竹科貨			凝集助剤(円/kg)	1,333	1,333	かさ比重 0.075	
	招生时刘		使用量(ppm)	500	500		
	凝果助剤		使用量(kg/バッチ)	0.35	1.50		
			使用量(kg/m³)	0.50	0.50		
		N	⊐スト(円/m³)	667	667		
	計	0	材料コスト(円/m3)	679	679	M+N	
	半年		特殊作業員(円/8h)	21,500	21,500	建設物価(2013.3) P848	
山井弗	単個	Р	特殊作業員(円/h)	2,688	2,688		
へ件賞	歩掛		特殊作業員(人工/日)	1.0	1.0	装置運転	
		Q	人件費コスト(円/m³)	1,920	448	P/A	
除染コスト	合計		汚染水当り(円/m³)	3,934	1,691	J+O+Q	

除染コスト算出(8h/日・22日/月稼働)

<補足>

運転条件を24hr./日・30日/月の連続稼働とした場合、除染コストは以下の通りとなる。

- 小型 (0.7 m³) ☞ 2,991 円/m³
- 大型 (3.0 m³) ☞ 1,340 円/m³

実施代表者の所属機関:大成建設株式会社

実証テーマ名:廃棄物を低減する薄層浚渫及び薄層覆砂による水域の汚染底質拡散防止技 術

事業の概要:放射性物質が堆積した水域の底質拡散防止技術として、ポンプ式よりも廃棄 物が少ないグラブ式の薄層浚渫工法(密閉二重構造グラブ浚渫工法)及び、廃棄物を全く 排出せず巻き上げが少ない薄層覆砂工法(クリーン薄層覆砂工法)について実用性等を比 較する。

実施内容:

- (1) 底泥試料の採取による底質組成・放射線量の把握
- (2) シンチレーションファイバ線量当量率測定装置による底泥表面線量の把握
- (3) 薄層浚渫工法適用による除染効果の確認
- (4) 薄層覆砂工法適用による除染効果の確認

技術概要:





底泥試料の採取による底質組成・放射線量の把握 1.

1.1 表層底泥



図 1-1 浮泥採取位置図 (①~⑥)



(a) ⑤サンプリング状況

表 1-1 表層底泥の放射能濃度(①、②)

测字符正	表層底泥の放射能濃度(Bq/kg-dry)					
例た固別	Cs-134	Cs-137	TOTAL			
1)	990	2,000	2,990			
2	6,600	13,000	19,600			



(b) ⑥サンプリング状況

写真 1-1 サンプリング

表 1-2	浮泥層の放射能濃度、	放射線量率	(3,	4,	5.	6

测学体系	D-phod測定值	表層底泥の放射能濃度(Bq/kg-wet)			表層底泥の放射能濃度(Bq/kg-dry)		
侧化固则	μ Sv/hr	Cs-134	Cs-137	TOTAL	Cs-134	Cs-137	TOTAL
3	1.9	2,470	5,770	8,240	7,430	17,400	24,830
4	2.2	3,300	7,700	11,000	8,380	19,600	27,980
5	2.6	5,410	12,200	17,600	11,800	26,700	38,500
6	2.8	8,600	20,700	29,300	21,100	50,700	71,800

*D-phod測定値は、シンチレーションファイバー測定範囲を1mとしその平均値を示す。 *表層底泥は、シンチレーションファイバー測定範囲部の表面泥を採取した。





800

400

600

1,000

水底からの深さ 0~5 cmの底泥の放射能濃度は 360、76Bq/kg-dry であり、サンプリング部 分近接の放射線量率 (D-phod で測定) が 3μ Sv/h 程度と高い値に対して、低い値となった。 低い値となった要因は以下のように推定される。

サンプリングの際は、塩ビパイプを水底より所定の深度まで押し込こんだ後、水深が深い (約1.7m程度)こともあり引き抜く際の揺れが大きく、放射性セシウムで汚染されている と推定される表層底泥が塩ビパイプ内の底泥試料上の水の中に浮遊していたと推定される。 そして、その状態ですぐに塩ビパイプから試料を取り出し、切断、確保したため、水底0~ 5 cmの底泥の試料には表層底泥がほとんど含まれておらず、放射能濃度の値が低くなったと 推定される。

. 薄層浚渫工法適用による除染効果の確認

14.0m 2.5m 7.0m 7.0m 2.5m 【A区画】_a 【B区画】 ▲ b d d 2.5m 5 1 2 斜樋管 ı. Δ 3 2.8m 3 0 2 1m 0 🔺 d С 1 0 0 基準線 - • - • _ . _ 1m 0.7m <u>|</u>1m i 1m 1m i 2.5m 2.5m 1m i ⊮4 2.5m 2.5m 0 ⇒i∢ I 0 AD-0 BD-4 AD-1 AD-2 AD-3 BD-1 BD-2 BD-3 凡例 :放射性セシウム濃度(事前) \Diamond : 放射性セシウム濃度(事後) (位置番号:B-①、②、③(浮泥のみ)) (位置番号:B-①、②) --- : 放射線量率(位置番号:AD-0~3、BD-1~4) : 浚渫範囲 ▲ : 濁度・SS濃度(位置番号:B-a~d) ………::現地盤高さ·浚渫出来形(位置番号: A-1~5-a~g、B-1~5-a~h)

(シンチレーションファイバ線量当量率測定装置による測定)

※A 区画: 30 cmで1回浚渫、B 区画: 10 cmで3回掘削

図 2-1 シンチレーションファイバ線量当量率測定装置による測定位置図(薄層浚渫)



図 2-2 薄層覆砂工法の実証試験時の作業エリア、資機材置場平面図

2.







(a) グラブ (高さ 3m (グラブ開時))





(b) グラブ (奥行 2.8m (グラブ開時))



(d)グラブ(内部フラップ)

写真 2-1 薄層浚渫工法 実証試験装置



(a) グラブ着底



(c)内部フラップ押上げ(排土) 写直 2-2



(b) 水平彫り



(d) グラブ開後次へ移動

写真 2-2 薄層浚渫工法 実施状況

. 薄層覆砂工法適用による除染効果の確認

(シンチレーションファイバ線量当量率測定装置による測定)



※A区画:30 cmで1回浚渫、B区画:10 cmで3回掘削

図 3-1 シンチレーションファイバ線量当量率測定装置による測定位置図(薄層覆砂)



図 3-2 薄層覆砂工法の実証試験時の作業エリア、資機材置場平面図

3.







図 3-4 放射線量率測定結果(薄層覆砂:DD-2 ライン)





(a) プラント全景



(b) 水中ポンプ(左)、サンドポンプ(右)



(d) ベルコン

写勇 式験装置



(a) プラント全景



(c) 砂搬入状況



(b) 特殊ノズル



(d) 特殊ノズル設置状況

写真 3-2 薄層覆砂工法 実施状況

実施代表者の所属機関: 白河井戸ボーリング株式会社

実証テーマ名:過熱水蒸気による放射性物質に汚染された植物の高効率な減容実証

事業の概要:放射性物質に汚染された植物(木質系廃棄物)を、無酸化、間接加熱での炭 化を連続的に行うことで、大量減容処理及び炭化物への放射性物質の固定化を実現する実 証試験を行う。

実施内容:既に保管されている放射性物質に汚染された木質系廃棄物を、過熱水蒸気により無酸化状態にした炭化炉(炉内温度650~700℃)に連続的に投入して、炭化による減容処理を行う。放射性物質は炭化物へ固定化されることを想定しており、装置から発生する ガス、水、油(植物由来)へ放射性物質が含まれていないことを確認する。



- (1) 処理物の減容率:80~90%* ※葉、茎の場合
- (2) 炭化減容装置の処理能力:1m³~ 2m³/hr/台
- (3) 放射性物質を炭化物へ固定

③期待される効果

- (1) 放射性物質で汚染された木質系廃棄物を、大気や水環境等に放射性物質を放出させるこ となく、連続的に減容し、放射性物質を炭化物に固定化させることが可能となる。
- (2) 放射性物質に汚染された木質系廃棄物の大幅減容により、保管場所の確保がしやすくなる。
- (3) システムがコンパクトで中型トラックに搭載可能のため、発生場所や保管場所での減容 処理が可能となる。

その他:実証試験については、①実証装置の能力及び最適処理条件を確認することを目的とし た一次実証試験、②最適条件での連続運転を目的とした二次実証試験を実施する。また、試料 となる木質系廃棄物は、事前に破砕(チッパー)機にて粉砕し、また、異物(石等)は事前に 除去して使用する。

付録 2 - 7 - 1
除染効果:実証試験では、平成24年12月頃に実施された除染作業によって集められた木質系 廃棄物を試料として用い、まず、①装置の性能評価のために、温度条件を2通り、温度保持時 間を3通りで一次試験(計6回)を実施し、処理時間の検討を行った。次に、②650℃の温度で、 保持時間4時間の二次試験を3回実施した。なお、1回の処理量は1m³のフレキシブルコンテ ナバッグ満杯の木質系廃棄物であり、事前に破砕(チッパー)機にて破砕して装置へ投入した。 実証試験では、試料の水分値が約50%と高く、設定した温度と温度保持時間では処理物に水 分が残り、試料同士が絡み合ってしまい、自動排出が困難な状況となった。そこで、最終的に は余熱で乾燥させてから排出するようにした。試料の水分量の多さにより目標とした処理能力 に達しなかったが、実際においても試料同様の水分値の減容処理が想定されるので、実用化段 階の当装置の処理能力は2m³/日/台と想定している。

実施試験の結果を以下に示す。

●表1:減容·減量効果

	投入前				実証後			減容·減量効果		
	容積	重量	乾重量	容積	重量	乾重量	減容率	減量率	減量率	
	(m [°])	(kg)	(kg)	(m³)	(kg)	(kg)	(%)	(%)	乾(%)	
総量	9	1,277	641	1.57	468	355	82.6	63.4	55.4	
平均	1	142	71	0.17	52	39	-	—	I	

※総量は9回分の総計、平均は9回の平均値

●表2:投入物・処理物(炭化物)中の放射性物質(134Csと137Csの合計値)

	投入物(a) (Bq)	処理物(b) (Bq)	(b)∕(a) (%)	±10%以内であったことと、表3の 結果より、放射性物質は処理物にほ					
9回の総計	5,240,240	5,539,000	106	ぼ固定されたものと評価できる。					

※放射能濃度に投入物及び処理物の重量を乗じて算出

●表3:凝縮水・油の放射能濃度及び排ガス(フィルタに通す前)の汚染評価

分析回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
凝縮水·油(Bq /kg)	N.D	1.9	1.4	N.D	N.D	2.2	1.5	N.D	N.D
排ガス(Bq)	N.D								

※凝縮水・油は比重1として算出。排ガスはフィルタに通す前のろ紙に付着した放射性物質の量

当処理においては多量の凝縮水及び少量の油が排出される。凝縮水は木酢液と言われるもの で、適切な凝集沈殿処理により排水の水質基準を満たすことが可能であるが、油(50/9回)と伴に 今回は保管する。

除去物発生量評価:表1に示す通り、減容率は(0.17m³/1m³)より、82.6%となった。

作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.15~0.20 µ Sv/h、作業時間(実験)9日×8h =72 時間、作業員最大被ばく量:9µ Sv(試験全般 128 時間)、作業員平均被ばく量:8.5µ Sv コスト評価:1m³当たりのコストとし て①発電機の軽油代:10,235円+②凝 集剤代:752円+③人件費:35,425円 = 46,412円がかかる。 人工)

コスト評価条件: 発電機の軽油代は、1m³ 当たりを処理するのに使用する軽油量(76.1ℓ:破 砕(チッパー)機、装置等の稼働に使用)に軽油価格 134.5 円を乗じて算出。人件費は作業人 工に記した人工の単価より算出。

除染作業における安全上の注意:汚染された廃棄物を扱うため、ヘルメット、メガネ、マスク、 手袋、防護服等の防護具を着用。

試験場所(住所):	除去物保管場所と保管状況(写真):試験場	
福島県西郷村	所に一時保管し、その後、試料を拝借した西郷	
	村の仮置き場に返却予定。	

平成 24 年度除染技術実証事業

過熱水蒸気による放射性物質に汚染された植物の高効率な減容実証業務 補足資料

白河井戸ボーリング株式会社

1. 炭化装置について

バッチ式の炭化装置(炭化炉の容積 1m³程度)を以下の仕様の改良を施した。

- ・上部に搬入部、下に搬出部を設け、生成された炭化物を熱影響の少ない下部の位置か らスクリューコンベアにより外部に搬出する構造として、連続処理を可能とした。
- ・炉内に熱容量の大きい過熱水蒸気を導入して無酸化状態にするようにした。
- ・ラジアントチューブヒーターにより炉内を常時650~700℃に保つようにした。
- ・放射性物質のマスバランスを確認できるよう、投入物、処理物(炭化物)以外にも、
 系外に排出されるものについては、測定が出来るような構造にした。
- ・放射性物質が発生しても系外に漏れでないような装置設計とした(ガスの排出箇所にはバグフィルターを付け、廃水、油については排出口を設けた)。
- ・可燃性ガスが発生する場合には、大気開放の際に燃焼装置により燃焼させることにした。
- ・その他、安全対策、放射性物質対策を充分に施した。



図 1-1.炭化装置の全体図

2. 試験の概要

2-1. 一次実証試験の概要

連続運転の実証試験(二次実証試験)に向け、1m³程度の植物(木質系廃棄物:主に 葉、茎)を炭化する際の、温度と処理速度のデータを取得し、実証装置の能力及び最低処 理条件を確認することを目的とした実証試験を実施した。

なお、処理温度と処理スピード(時間)の関係は以下の通りとした(計6回実施)。

- ・1m³の炉内を満タンにて 650℃ 30min・60min・120min
- ・1m³の炉内を満タンにて 700℃ 30min・60min・120min

衣 ∠ - 1. 《訊歌天池口								
試験 No.	試験日	実証内容	試験 No.	試験日	実証内容			
1	2012/2/6	700°C−2.0h	4	2012/2/13	650°C−0.5h			
2	2012/2/11	700°C-1.0h	5	2012/2/13	650°C−1.0h			
3	2012/2/12	700°C−0.5h	6	2012/2/14	650°C-2.0h			

表 2-1.一次試験実施日

また、処理時間の考え方は図 2-1 の通りとした。



図 2-1.処理時間の考え方

2-2. 試験の様子

チップ化した試料は、混入異物を除去して から、ベルトコンベアを用いて、装置へ投入 した(図 2-2 参照)。



図 2-2.試料投入作業





図 2-3.排出用受け箱(右が排出口)

図 2-4.処理物

2-3. 一次実証試験終了時における処理温度及び処理時間に関する考察

6回実施した一次実証試験を終えて、処理温度及び処理時間について考察した結果、以下の結論に至った。

- ・今回の試料の様に投入物の水分が多い場合(水分値平均 49.9%)、120 分の時間をかけても、処理物に水分が多く残っており、排出部を改良したものの、当装置の排出構造では、処理物が下に落ちず上手く排出されない。
- ・その為、排出に多くの時間を費やす結果となり、また、処理データ等から判断すると、
 装置内に処理物及び他の排出物(廃水等)が残ってしまっており、それらが次の試験
 において排出されているものと考えられる。
- ・650℃と 700℃では、いずれも放射性物質の系外への放出が認められず、また、減容 という面では大きな差が認められなかった。
- ⇒650℃あるいは 700℃の処理温度と処理時間(温度保持時間)では、処理時間(保持時間)終了後、余熱で十分に乾燥させないと、装置の中に処理物が残ってしまう。
 ⇒コストが低くなるように、650℃の処理温度が適当だと考えられる。

2-4. 二次実証試験

一次実証試験の結果を踏まえ、650℃の処理温度において、温度保持時間4時間の実証 試験を3回実施した。なお、二次実証試験1回目は温度保持時間終了後、2時間後に排出 を開始したが、当装置の排出構造では、処理物が十分に乾燥しないと上手く排出されない ことから、排出にかかる電力コストと作業時間を考慮し、残り2回の実証試験では、十分 に乾燥された翌朝に処理物を排出するようにした(図2.5参照)。



図 2-5.二次実証実験における処理時間

3. 有用性評価

3-1. 減容・減量効果の評価

一次実証実験及び二次実証実験の容積・重量に関する結果は表 3-1 に示す。排出に要する時間設定がバラバラであること、また、投入した試料がどの時点で排出されているかが正確には掴めていないことから、処理物の量にばらつきが見られる。そこで、減容・減量効果の評価については、9回分の合計をもって評価した。

試験区分	700°C-xh				650°C−xh			連続処理	
試験 No.	1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	9
試験日	2013/2/6	2013/ 2/11	2013/ 2/12	2013/ 2/13	2013/ 2/13	2013/ 2/14	2013/ 2/15	2013 /2/20	2013/ 2/21
条件	700°C−2h	700°C−1h	700°C−0.5 h	650°C−0.5 h	650°C−1h	650°C−2h	650℃−4h 連続	650℃−4h 連続	650℃−4h 連続
投入原料 (2)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
投入原料 ^(kg)	166	177	96	123	127	143	154	152	139
投入原料 水分値(%)	47.8	47.8	47.8	52.1	52.1	52.1	49.9	47.9	51.6
処理物(2)	220	170	110	50	380	150	180	160	150
処理物(kg)	88	42	17	30	132	41	43	40	35
処理物 水分値(%)	32.6	32.6	20.7	59.1	27.8	11.0	15.1	2.07	1.28

表 3-1.容積・重量に関する一覧表

1) 減容効果

減容効果を表 3-2 に示す。9回分の平均で評価すると、減容率は82.56%となっている。 なお、試験③と④の減容率は高く、試験⑤の減容率は低くなっている。これは、試験③~ ⑤の3回分の処理物の容量は540ℓとなり、3で割ると1回当たりが180ℓとなるが、9回 分の平均は174ℓであることから、試験③と④で処理物が装置内に残り、試験⑤の排出の 際に一緒に排出されたものと考えられる。

試験 No.	1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	9	合計
夕井	700°C	700°C	700°C	650°C	650°C	650°C	650°C−4h	650°C−4h	650°C−4h	
*1	-2h	-1h	-0.5h	-0.5h	-1h	-2h	連続	連続	連続	
投入原料(2)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	9000.00
処理物(@)	220	170	110	50	380	150	180	160	150	1570.00
減容率(%)	78.00	83.00	89.00	95.00	62.00	85.00	82.00	84.00	85.00	82.56

表 3-2.減容効果



四丁二成合为

2) 減量効果

乾燥重量での減量効果を表 3-3 に示す。9回分の平均で評価すると減量率は44.56%となっている。なお、試験③と④の減量率は高く、⑤の試験の減量率は低くなっている。これは、試験③~⑤の3回分の処理物の重量を足すと120kgとなり、3で割ると1回当たりが40kgとなるが、9回分の平均は39.5kgであることから、試験③と④で処理物が装置内に残り、試験⑤の排出の際に一緒に排出されたものと考えられる。

表 3-3.減量効果

試験 No.	1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	9	合計
友 止	700°C−2	700°C−1	700°C	650°C	650°C	650°C	650°C	650°C	650°C	
常件	h	h	-0.5h	-0.5h	-1h	-2h	−4h連続	−4h連続	-4h連続	
投入原料	06.65	02.20	50.11	59.02	60.92	69 50	77 15	70.10	67.00	641.02
kg-dry	00.00	92.39	50.11	J0.9Z	00.03	06.00	77.15	79.19	07.20	041.03
処理物	50.01	00.01	10.40	10.07	05.00	26.40	00 E 1	20.17	24 55	255.40
kg-dry	59.31	28.31	13.48	12.27	95.30	30.49	30.31	39.17	34.55	355.40
減量率(%)	31.55	69.36	73.10	79.17	-56.66	46.73	52.68	50.54	48.64	44.56

3) 放射性物質のマスバランス評価

放射性物質のマスバランス評価を以下に示す。バラツキがかなり見られるが、9回分の 合計で評価すると、処理物/投入原料の放射性物質は1.06となり、±10%以下に収まって いることから、放射性物質は処理物に固定化されているものと評価できる。

試験 No.	1	2	3	4	5	6
条件	700°C−2h	700°C−1h	700°C−0.5h	650°C−0.5h	650°C−1h	650°C−2h
投入原料現物(Bq)	564,400.00	601,800.00	336,000.00	762,600.00	787,400.00	886,600.00
処理物現物(Bq)	1,020,800.00	252,000.00	122,400.00	180,000.00	1,306,800.00	701,100.00
処理物/投入原料	1.81	0.42	0.36	0.24	1.66	0.79

表 3-4.放射性物質のマスバランス

$\overline{\mathcal{O}}$	8	9	合計
650℃-4h連続	650 [°] C−4h連続	650℃-4h連続	
446,600.00	471,200.00	383,640.00	5240240.00
786,900.00	672,000.00	497,000.00	5539000.00
1.76	1.43	1.30	1.06

3-2. 空間線量率評価

実証試験場所における作業前、作業中、作業後の放射線量の推移を図 3-2 に示す。いず れの実証試験においても問題となるような空間線量の大幅な上昇は認められなかった。



図 3-2.空間線量率の推移(試験 NO.1.2013/2/6と試験 NO.7.2013/2/15)

なお、測定箇所は図 3-3 の通りで、1 年以内に校正された①~⑤は「アロカ TCS-172 NaI サーベイメータ」、⑥の凝縮塔(放射能が水分と共に移動する場合、凝縮塔で凝縮水と共に 溜まると仮定)においては、空間線量率を連続測定できる「Techno AP TN-100 NaI サ

ーベイメータ」を用いて、「変動の 有無の確認」及び「変動時の時間、 温度、投入量等の記録と比較が出 来る」ように測定を行った。

また、⑤の投入口上部作業場所 については、当初は装置上部から 投入する構造であったが、炉体直 上の投入口から蒸気が漏洩すると 供に、投入口が小さいことから横 から投入する構造に変更したため、 2回目以降の測定は必要ないと判 断した。



図 3-3.空間線量測定場所

3-3. 汚染密度•放射能濃度評価

一次実証実験及び二次実証実験における、投入物、処理物、凝縮水・油、処理水、洗浄 水、排ガス(排ガスフィルタ前及び後)の放射能濃度及び放射性物質総量(フィルタ前後 に付着した放射性物質)を表 3-5 に示す。なお、水及び油の比重は1とした。

この結果からも、処理物以外には、放射性物質が移行していないものと評価できる。

試験区分		700°C−xh			650°C−xh			連続処理	
試験 No.	1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	9
試験日	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013
	/2/6	/2/11	/2/12	/2/13	/2/13	/2/14	/2/15	/2/20	/2/21
复进	700°C−	700°C−	700°C−	650°C−	650°C 11	650°C 01	650°C−	650°C−	650°C−
来作	2h	1h	0.5h	0.5h	650 C-IN	030 C-211	4h連続	4h連続	4h連続
投入物:現物 (Bg/kg)	3,400	3,400	3,500	6,200	6,200	6,200	2,900	3,100	2,760
処理物:現物	11.000	c 000	7 000	6 000	0.000	17 100	10.000	10.000	14.000
(Bq/kg)	11,600	6,000	7,200	6,000	9,900	17,100	18,300	16,800	14,200
凝縮水・油		1.0	1.4	ND	ND	0.0	1.5		
(Bq/kg)	N.D	1.9	1.4	N.D	N.D	2.2	1.5	N.D	N.D
処理水	ND	ND	ΝП	ND	ND	ND	ND	ND	ND
(Bq/kg)	11.5	N.B	N.B	11.0	11.0	N.B	N.D	11.0	11.0
洗浄水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
(Bq/kg)	11.8	N.B	11:8	11:0	11.0	N.B	11.0	11.0	11.5
トラップ後:	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ろ紙総量(Bq)	11.5	N.B	N.B	11.0	11.0	N.B	N.D	11.0	11.0
フィルタ前:	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ろ紙総量(Bq)									
フィルタ後:	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
ろ秕総重(Bq)									

表 3-5.放射能濃度等一覧表

表 3-6.放射能濃度検出下限値(2013年2月21日分の分析)

測 定 対 象(水·油)	凝縮水・油	処理水	洗浄水
放射性ヨウ素-131 [I-131] (Bq/kg)	<0.61	<0.68	<0.63
放射性セシウム-134 [Cs-134] (Bq/kg)	<0.68	<0.58	<0.61
放射性セシウム-137 [Cs-137] (Bq/kg)	<0.77	<0.68	<0.62
測 定 対 象(排ガス)	トラップ後ろ紙	フィルター前ろ紙	フィルター後ろ紙
放射性ヨウ素-131 [I-131] (Bq/枚)	<0.16	<0.15	<0.17
放射性セシウム-134 [Cs-134] (Bq/枚)	<0.20	< 0.24	< 0.19
放射性セシウム-137 [Cs-137] (Bq/枚)	< 0.17	< 0.18	< 0.18

また、投入物と処理物の放射能濃度の変化を表 3-7 に示す。9 回分の平均で評価すると、 放射能濃度は 3.27 倍(処理物の放射能濃度÷投入物の放射能濃度)に濃縮されていた。な お、連続処理の試験(⑥~⑦)で見ると、濃縮率は 5.62 倍になっており、容積の縮減率の 値(16.33%)の反比例に近い値(6.12 倍)になっていることが判る。

表 3-7.放射能濃度等一覧表

試験 No.	1	2	3	4	5	6	\bigcirc	8	9	平均
投入物現物(Bq/kg)	3,400	3,400	3,500	6,200	6,200	6,200	2,900	3,100	2,760	-
処理物現物(Bq/kg)	11,600	6,000	7,200	6,000	9,900	17,100	18,300	16,800	14,200	-
濃縮(倍)	3.41	1.76	2.06	0.97	1.60	2.76	6.31	5.42	5.14	3.27

3-4. 二次廃棄物の評価

投入物 1m³当たりに発生した二次廃棄物(油、凝縮水)の量を表 3-8 に示す。油については、凝縮水の一番上層に軽油質、一番下層にタール分が分離されるため、上層部は油分吸着マットで吸着させ、容器底部沈殿物(油)は重量を測定し、比重1として算出した。

また、装置では排ガスの洗浄水として 2,000L を用いているが、長期間、水を入れ替え ること無く使用し、1回の処理では洗浄水が廃棄物として発生しないので評価対象外とし た。さらに、実証試験では、放射性物質が凝縮水に移行した場合に備えて、ゼオライト入 り凝集剤を用いた廃水処理装置を稼働させており、凝集沈殿物が微量ながら発生した。

なお、凝縮水はいわゆる木酢液と言われるものであり、成分分析・調整が必要となるが、 消臭、抗菌・抗カビ、虫よけ等の用途が期待できる。また、有効な用途が見つからない場 合でも、凝縮水は排水基準を満たすように適切な凝集沈殿処理を行えば、処理水を放流す ることが可能である。

試験区分		700°C−xh			650°C−xh		連続処理			
試験 No.	1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	9	
試験日	2013/2/6	2013/2/11	2013/2/12	2013/2/13	2013/2/13	2013/2/14	2013/2/15	2013/2/20	2013/2/21	
条件	700°C−2h	700°C−1h	700°C− 0.5h	650°C− 0.5h	650°C−1h	650°C−2h	650℃-4h 連続	650℃-4h 連続	650 [°] C−4h 連続	
原料(2)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
油(2)	0.2	0.3	0.2	0.5	0.6	0.6	1.1	0.7	0.8	
凝縮水(Q)	39.8	47.7	17.8	24.5	44.4	37.4	66.9	45.3	47.2	
沈殿物(g)	360	432	162	225	405	342	612	414	432	

表 3-8.二次廃棄物の量

一方、油は木タールと言われるもので、古くは分留して、軽油、重油およびピッチなど に分け、軽油は溶剤や燃料、重油は防腐剤に供したり、クレオソートを製造したりしてい た(出典:日本大百科全書(小学館))。

なお、本実証では、処理済みの凝縮水がまだ沈殿処理中であり、排水の水質基準を満た していない為、油(50/9回)と伴に保管している。

二次廃棄物については、コストとの兼ね合いになるが、有効な用途への開発が今後の課 題である。

4. その他

1) 除去物処分方法

処理物については、フレキシブルコンテナバッグに入れ、さらにその上からシートで覆 い、試験場所に一時保管し、その後、試料を拝借した西郷村の仮置き場に返却を実施する 予定である。

2) 作業員被ばく量評価

本実証試験に伴う作業員の被ばく量(最大被ばく量、平均被ばく量)を表 4-1 に示す。

	日付	2013/ 2/1	2013/ 2/6	2013/ 2/11	2013/ 2/12	2013/ 2/13	2013/ 2/14	2013/ 2/15	2013/ 2/20	2013/ 2/21	合計
評価対象		チッパ	一次 試験	一次 試験	一次 試験	一次 試験	一次 試験	二次 試験	二次 試験	二次 試験	
評価時間	時間	8	8	8	8	8	8	8	8	8	72
最大被ばく量	μ Sv	0	1	2	1	1	1	1	1	1	9
平均被ばく量	μ Sv	0.0	1.0	1.5	0.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	8.5

表 4-1.作業員被ばく量評価

※2013/2/13 は実証実験を2回実施

3)作業人工·作業速度評価

本実証試験では、一日当たりの処理量は 1m³であったが、実用化の際には当装置の排出 構造を改良することによって、650℃で 4 時間保持の運転を 2 回行い、一日当たりの処理 量を 2m³とすることが可能となる。

そこで、本実証試験の作業実績より算出した、処理量 2m³ 当たり(一日当たり)の作業 人工の内訳を表 4-2 に示す。

作業名称	作業員数	作業時間	人日
作業監督係り	1	8	1
チッパー・投入・処理物搬出係り	2	8	2
投入監視係り	1	4	0.5
減容装置制御係り	1	8	1
排水処理係り	1	4	0.5
合計	6	32	5

表 4-2.作業人工の内訳(処理量 2m³当たり)

4)コスト評価

〇軽油代(発電用)

- ・破砕(チッパー)機にて 1m³分を破砕するのに使用した軽油量=3.60
- ・二次実証試験(650℃で4時間保持)における処理量1m³当たりの軽油量=870 ※装置の昇温~温度保持~排出。また、廃水処理装置の電力も含む
 - ※一日当たりの処理量を2m³とした場合、2回目の昇温に使用する軽油代が必要なくなる。そこで、今回は昇温時の軽油代を87 0÷6時間(昇温2時間+温度保持4時間)×2時間=29 0とし、実用化の際の1m³当たりの軽油量を(870+(870-290))÷2回=72.50とした。
- ・軽油価格=134.5円:給油所小売価格調査 2013年2月25日時点(資源エネルギー庁)
- ⇒ 投入量 1m³当たりの処理に必要な軽油代:
 軽油量:(3.60+72.50) × 軽油価格:134.5円 = 10,235円

〇凝集剤 (廃水処理)

投入量 1m³当たりで排出される廃水の処理で使用する凝集剤の量と金額を表 4-3 に示す (投入量 1m³当たりの処理に必要な凝集剤代:752円)。

	1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	9	合計	平均
油分除去後凝縮水 3倍希釈水(2)	120	144	54	75	135	114	204	138	144	1,128	125
希釈水(&)に対し凝 集剤 0.3%(g)	360	432	162	225	405	342	612	414	432	3,384	376
凝集剤(2000円/ (kg·処理量))	720	864	324	450	810	684	1,224	828	864	6,768	752

表 4-3.凝集剤の使用量と金額

※凝集剤の金額には炭酸ソーダ溶解液の価格を含む

〇人件費

一日の処理量(投入物 2m³当たり)で必要な作業員の人日・単価・金額を表 4-4 に示す。 この結果より、投入量 1m³当たりで必要な人件費は 35,425 円となる。

作業名称	作業員数	作業時間	人日	単価	金額							
作業監督係り	1	8	1	13,900	13,900							
チッパー・投入・処理物搬出係り	2	8	2	13,900	27,800							
投入監視係り	1	4	0.5	13,900	6,950							
減容装置制御係り	1	8	1	14,800	14,800							
排水処理係り	1	4	0.5	14,800	7,400							
合計	6	32	5	_	70,850							

表 4-4.作業員の人件費(投入物 2m³ 当たり)

※単価は平成 24 年度公共工事設計労務単価(福島県)の特殊作業員:13,900 円、設備機械工:14,800 円

◎合計

処理量 1m³ 当たりに必要なコスト: ランニングコスト(軽油代+凝集剤代)+人件費 = 10,235 円 + 752 円 + 35,425 円 = 46,412 円

5) 安全上の注意

放射性物質に汚染された廃棄物を扱うため、ヘルメット、メガネ、マスク、手袋、防護 服等の防護具を着用が必要である。





図 4-1.作業員の安全対策

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低温熱分解による汚染物除去・減容化と非汚染留分の燃料化 事業の概要:放射能汚染されたバークを低温(約500℃)で急速熱分解することで汚染物質 (放射性セシウム(Cs))を固形残渣(炭化物)中に濃縮し減容化を図るとともに、非汚染 の揮発分を液体留分として回収し化石代替燃料として利用できることを確認する。

実施内容:(1) コールド試験、(2) 実証試験(低温熱分解試験等)

技術概要:

①試験フロー

放射能汚染されたバークを 500℃前後の低温で熱分解し、汚染物質を固体残渣中に分離・ 濃縮するとともに、汚染されていない揮発分を液体留分として回収し、化石代替燃料とし て利用することを検証する。



その他:

除染効果:

(1)コールド試験

セルロースに Na₂CO₃を添加し、Na の収支により除染効果を推定するコールド試験を行った。Na はほぼ固体残渣中に移行し、液体留分にはほとんど検出されなかった。

固体残渣が汚染除去物になると考えると、除染効率は99.7~99.8%となる。

入之	ታ		出力					
セルロース	0.0	kg	田休祥法	チャー	0.044438 kg	(102.40%)		
Na ₂ CO ₃	0.043396	kg	回147文/且	サイクロン下	(0.000018 kg)	(0.04%)		
				スクラバ	0.000094 kg	(0.22%)		
			液体	ミストコレクタ	(0.000016 kg)	(0.04%)		
				(配管内等)	(0.000003 kg)	(0.01%)		
			気体	ガス	(0.000000 kg)	(0.00%)		
入力計	0.043396	kg	出力	力計	(0.044568 kg)	(102.70%)		

表Naの収支の推計

注:ケース1~3(別紙)の平均値

(2)ホット試験(実証試験)

汚染バークを用いたホット試験では、熱分解により生成する液体留分、気体留分中には 放射性 Cs がほとんど含まれないことが判った。固体留分の他留分への混入や液体留分(高 粘度)のハンドリングに配慮する必要があるが、技術的には解決可能である。

固体残渣が汚染除去物になると考えると、除染効率は99%以上となる。

入:	出力						
バーク	3,182	Bq	田休	チャー	2,575	Bq	(80.926%)
			全国	(サイクロン下)	(15.4	Bq)	(0.483%)
				スクラバ	0.0	Bq	(0.000%)
			液体	ミストコレクタ	5.9	Bq	(0.184%)
				(配管内等)	(0.0	Bq)	(0.000%)
			気体	ガス	(0.0)	Bq)	(0.000%)
入力計	3,182	Bq	出;	力計	(2,596	Bq)	(81.594%)

表 放射性 Cs の収支の推計

除去物発生量評価:

コールド試験では、固体残渣の重量は平均 13.8%となった。また、セルロースの比重 0.32 に対し、固体残渣の比重は 2.11 となるため、容積は 2.1%となる。

ホット試験では、重量は平均 29.4%となり、比重はバーク 0.13 から固体残渣は 2.11 となるため、容積は 1.8%となる。大きな減量・減容効果が見込める。

作業員被ばく量評価:作業員最大被ばく量 5.5μ Sv (熱分解装置脇 0.11μ Sv/h、作業時間 50 時間)作業員平均被ばく量 5μ Sv

コスト評価:	歩掛り(作業人工、作業速度):
スケールアップ(10t/日級)時、約 28 円/kg	スケールアップ(10t/日級)、24 時間/日稼働
(液体留分収入控除時約 22 円/kg)	時で、0.6 人日/処理 t (1.6t/人日)

コスト評価条件:処理能力400kg/h、設備費300百万円、人件費6名(@3,000千円/年)、 メンテナンス4,500千円/年、その他租税公課、諸経費等

除染作業における安全上の注意:サージカルマスクを使用

試験場所 (住所):	除去物保管場所と保管状況(写真):
福島県いわき市	ドラム缶で自社敷地内に保管

付録 2 - 8 - 2

【補足資料】

(1)コールド試験

コールド試験としては、セルロースに Na₂CO₃ を以下の配合で混合した試料を用い、熱 分解の温度帯としては 400~500℃とした。また、アルカリ金属を固定化する機能が有ると われるカオリナイトを添加したケースについても試験した。

Na		原料組成		熱分解温度条件				
NO	セルロース	Na_2CO_3	カオリナイト	400	450	500		
1	99.0%	1.0%		0				
2	99.0%	1.0%			0			
3	99.0%	1.0%				0		
4	90.1%	0.9%	9.0%		0			

表 1 コールド試験の条件

これらの No1~No4 の各ケースで Na の収支は以下の通りとなった。

ベンチスケールの装置での連続運転試験を行ったため、各条件で収支にバラつきはある ものの、Na は液体留分には微量しか検出されず(表 2)、Na のほとんどは固体残渣中に移 行するものと考えられた。



表 2 固体残渣・液体留分(スクラバ)中の Na 量

	No1		No	2	No	3	No4		
	400°C	ァース	450°C	450℃ケース		ケース	450℃、カオリナイト添加		
固体残渣	2.9	%	2.6	%	4.9	%	1.6	%	
スクラバ	17	mg/L	20	mg/L	21	mg/L	21	mg/L	

注 ·分析方法:酸分解-炎光光度法(下限值 0.01)

・No2(450℃ケース)の固体残渣は有姿の試料の含水率が高かったため乾物換算した(参考値)

付録 2 - 8 - 3

(2)ホット試験

①試験ケース

ホット試験では、以下の条件で実施した。

原料組成 熱分解温度条件(℃) No バーク カオリナイト 400 450 500 100.0% Ο 1 100.0% Ο 2 3* Ο 90.9% 9.1%

表 3 ホット試験の条件

※バーク:カオリナイトを 10:1 とした

②主なサンプルの放射能濃度

a.原料(バーク)

表 4 試験に使用したバークの放射能濃度

		セシウム			
項目	134	137	計	水分率	備考
	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)		
No1 サンプル	120	201	321	9.4%	
No2 サンプル	115	232	347	12.5%	
No3 サンプル	141	229	370	14.0%	

b.固体残渣

固体残渣の放射能濃度の分析結果を示す。なお、サイクロンから回収された微量の固形 残渣は、熱分解反応器出口の固体残渣より高い放射能濃度であった。

		セシウム	·	
項目	134	137	計	備考
	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	
No1 サンプル	255	466	721	
No2 サンプル	298	579	877	

表 5 固体残渣の放射能濃度分析結果

No3 サンプル	320	613	933	
(サイクロン回収物)	508	1,030	1,538	

c.液体留分(スクラバ、ミストコレクタ)

各液体留分については、下表のように検出限界以下か検出されても微量であった。

			セシウム		
項目	134	137	計	備考	
		(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	
$N_{c} 1(450^{\circ}C)$	スクラバ	<3.8	<4.1	Ι	
No1(450 C)	ミストコレクタ	1.1	2.3	3	
	スクラバ	<0.99	<1.2	Ι	
N02(500 C)	ミストコレクタ	<0.92	1.5	(<2.42)*	
No3(450°C、	スクラバ	0.77	1.30	2.07	
カオリナイト添加)	ミストコレクタ	4.3	6.2	10.5	
	スクラバ	6.0	12.0	18	
INO4(高式海灾 1997年1977)	ミストコレクタ	6.6	13.0	20	

表 6 液体留分の放射能濃度分析結果

※ Cs134 は検出限界以下であるが Cs137 が検出されていることから、括弧内の量を超えない量が存在すると考えられる。

d.気体留分

気体留分については、オフガスの経路からサンプリングして分析を行った。オフガ ス中からは、放射性物質は検出されなかった(検出限界以下)

試料名	放射性核種	分析結果	検出下限値
トードゥ	セシウム 134	不検出	0.22Bq/m3
オノカス (ス紙部)	セシウム 137	不検出	0.15 Bq∕m3
	セシウム合計	不検出	1
キコギッ	セシウム 134	不検出	1.0 Bq∕m3
オフカス (ドレン部)	セシウム 137	不検出	0.93 Bq∕m3
	セシウム合計	不検出	_

表 7 オフガス中の放射能濃度測定結果

③物質収支・Csの収支の推定

a. 物質収支

全ケースの平均で固体残渣の収率は約 29%となり、液体留分はスクラバが約 21%、 ミストコレクタが約 32%の合計 53%となった。



注:「全平均」は、No1~3および試験運転の全時間の平均

b. 放射性 Cs 収支

ケース 1~3、および試験運転の放射性 Cs の収支の集計を示す。コールド試験と同様、 収支にバラつきがあるが、固体残渣以外の留分ではほとんど放射性 Cs は検出されていな い。ただ、タール(固体混じり)詰まり等のトラブルがあったため収支が取れていない。 これらの、熱分解プロセス上の改善が必要であるが、技術的には十分解決可能であると 考えられた。



図 3 各ケース (No1~3) の放射性 Cs 収支のまとめ



付録 2 - 9 - 1

除染3 1. 紫	効果: 売却によ	くる減容(量)	比の測定結果	10 000/1111-の速索が	可 42	
(1)/	ヘッナ火	「埋試験:焼	却减谷化処理によ	り 88%以上の減谷か	り能	144
-	<u></u> 坦日	· 本沙志云在1	对象物 事士) 壮異士 し 甘火	谷童(ℓ)	皇童(kg-wet)	佩考
-	処理則	汚染廃業物(」	<u> </u>	891	145.8	
	処埋俊	焼却灰、灰化	杒	31.2	17.7	
		減容比	:(率)	1/30 (97%)		
		減重比	:(率)	1/8 (88%)		
(2)j	車続処理	!試験:焼却	減容化処理により	98%以上の減容が可	自己	
Γ	項目		対象物	容量(ℓ)	重量(kg-wet)	備考
	処理前	汚染廃棄物()	草木)、装置立上材料	2,115	200.1	
Γ	処理後	焼却灰、炭化	物	30.2	5.0	
F		法员日	· (云)	1/50	(000/)	
ŀ		<u>- </u> (成谷口 浦重日	」(<i>平)</i> ·(索)	1/10	(99%)	
	上市トルトン	一	(半)	1/40	(98%)	
$Z \cdot f_{1}$	双射性で	シリム 辰皮	の収又側と結果	は却広中、のよい声	1 场/云本)上 000/	
(1)/	ハッナ火	「埋試験:焼	却减谷化処埋後、	焼却火中へのセンワ.	ム移行率は88%	
Ļ	項目		対象物	Cs134+Cs137(Bq/kg)	Cs134+Cs137 合計(Bq)	備考
	処理前	汚染廃棄物()	草木)	225.06	6,661.78	
		装置立上材料	•	検出限界未満	-	
	処理後	焼却灰		1,844.29	5 886 24	
		炭化物		192.58	5,000.24	
		排ガス		検出限界未満(Bq/m ³)	_	
		木酢液		検出限界未満	_	
F	佐却応せ	コへの濃縮索			<u></u>	
ŀ	焼却広け	いの仮相平				
(a))	炭却八日	11111111111111111111111111111111111111	北京伊加亚尔 陆却		6% にあけ 000/	
(2)	里杭処坦	1試驗: 焼却/	或谷化处理依、焼却	火中へのセンリム移行	「率は99%	144 - Jar
Ļ	<u> 項目</u>		対象物	Cs134+Cs137(Bq/kg)	Cs134+Cs137 合計(Bq)	偏考
	処理前	汚染廃棄物()	算木)	366.66	44,035.87	
Ļ		装置立上材料		検出限界未満	—	
	処理後	焼却灰		15,231.09	43 441 84	
		炭化物		361.27	10,11101	
		排ガス		検出限界未満(Bq/m ³)	_	
		木酢液		検出限界未満	—	
-	<u></u> / 使却灰中	「への濃縮率		4		
F	<u></u>	への移行率		9	9%	
3. 排 飛灰	ガス中の の発生:)飛灰(ばいし が極めて抑制	じん)濃度測定結果(りされている。	(炉出口部)		·
			バッチ処理試験	連続処理試験	備考	
	はいじん	禯度[g/m³N]	0.040(0.15*)	0.032(0.15*)	*大気汚染防止法の規制基	5年值
除去物発生量評価: 【バッチ処理】:焼却灰+炭化物発生量/除染処理量+装置立上材量=17.7/145.8=0.121 \rightarrow 12.1% 【連続処理】:焼却灰+炭化物発生量/除染処理量+装置立上材量= 5.0/200.1=0.025 \rightarrow 2.5% 作業員被ばく量評価:						
作業員最大被ばく量 26μ Sv(試験・測定全般、128 時間)、作業員平均被ばく量 18μ Sv/16 日 コスト評価: 歩掛り(作業人工、作業速度): 汚染廃棄物処理:6万円/m³ ・廃棄物投入作業 0.25 人工/m³、作業速度 $1m^3$ /hr ・装置運転管理作業 1人工/m³、作業速度 $0.5m^3$ /hr						
コスト評価条件: ①対象物:汚染廃棄物(草木類)、②設備維持管理費:装置費×1.5%、③設備償却:10年 ④人件費:1.5万円/日×3名、⑤燃料単価(発電機使用の場合):軽油137円/0,灯油104円/0 除染作業における安全上の注意:廃棄物投入 加理物回収作業での防康マスク等美田						
試験	場所(伯	主所):	除去物保	管場所と保管状況(写真):	Carlos and
福島	県伊達郡	郡川侯町	1.保管 2.保管	場所:辰星技研㈱ 伏況:密閉容器に保	管 🛛	

付録 2 - 9 - 2

炉内空冷式焼却設備の原理

本技術は、炉内全体に適切に空気を供給することにより、焼却及び排ガス急冷を炉内で完結させる焼却技術である。



(1) ダイオキシン対策

炉底部の燃焼ゾーンは高温(~800℃程度)であり、燃焼ゾーン上部で即座に冷却空 気によって空冷(150℃程度)されるため、ダイオキシンの発生が抑制されている。

(2) 排ガス規制に対する対策

炉底部に限定された燃焼ゾーン及び燃焼ゾーン上部で排ガスを急冷することにより、 ばいじん(飛灰)、NOxの発生が抑制されている。また、CO等の未燃ガス及びタール分 は2次燃焼装置で分解処理する。

【補足資料 - 2】 実証試験

1. 試験フロー

実証試験は最初にバッチ処理試験を行い、放射性セシウムの挙動を調べ、木酢液、排 ガス中に放射性セシウムが移行しないことを確認した。その後、炉の性質上から連続運 転の方が運転効率が良いため、将来的には、連続運転することを想定して、連続運転時 のデータを取得するために連続処理試験を実施した。



実証試験フロー図



実証試験装置全体図

試験装置概要

2 .

3. 放射性セシウム濃度測定結果

(1) バッチ処理試験結果

表-1-1 投入物の放射性セシウムの分析結果

	Cs-134+Cs-137	容量	重量	Cs-134+Cs-137	備考
	(Bq/kg)	(0)	(kg)	合計(Bq)	(検出限界)
汚染廃棄物(草木)	225.06	360	29.6	6,661.78	
装置立上材料	検出限界未満	531	116.2	—	(<19.9Bq/kg)
合計		891	145.8	6,661.78	

表-1-2 焼却減容化処理後の放射性セシウムの分析結果

		Cs-134+Cs-137	容量	重量	Cs-134+Cs-137	備考
		(Bq/kg)	(0)	(kg)	合計(Bq)	(検出限界)
焼却灰		1,844.29	15.0	1.5	2,766.44	
炭化物		192.58	16.2	16.2	3,119.80	
	合計		31.2	17.7	5,886.24	
排ガス	焼却炉出口	検出限界未満	_	_	—	(<0.66Bq/m ³)
	排気調整塔出口	検出限界未満	_	—	—	(<0.15Bq/m ³)
	煙突部	検出限界未満	_	—	—	(<1.1Bq/m ³)
ダスト	廃棄物投入口	検出限界未満	_	—	—	(<0.11Bq/m ³)
	焼却灰回収口	検出限界未満	_	—	—	(<0.10Bq/m ³)
フィルタ付着物		検出限界未満	_	—	—	(<28.8Bq/kg)
木酢液	排気調整室	検出限界未満	9.8	7.8	—	(<5.4Bq/kg)
	排気滞留槽	_	0	0	_	



<汚染廃棄物(草木類)>



< バッチ処理後の焼却灰(分別前)>

(2) 連続処理試験結果

	Cs-134+Cs-137	容量	重量	Cs-134+Cs-137	備考
	(Bq/kg)	(0)	(kg)	合計(Bq)	(検出限界)
汚染廃棄物(草木)	366.66	1,620	120.1	44,035.87	
装置立上材料	検出限界未満	495	80.0	—	(<18.4Bq/kg)
合計		2,115	200.1	44,035.87	

表 2-1 投入物の放射性セシウムの分析結果

表 2-2 焼却減容化処理後の放射性セシウムの分析結果

		Cs-134+Cs-137	容量	重量	Cs-134+Cs-137	備考
		(Bq/kg)	(0)	(kg)	合計(Bq)	(検出限界)
焼却灰		15,231.09	28.0	2.8	42,647.05	
炭化物		361.27	2.2	2.2	794.79	
	合計		30.2	5.0	43,441.84	
排ガス	焼却炉出口	検出限界未満	_	_	—	(<0.13Bq/m ³)
	排気調整塔出口	検出限界未満	_	_	—	(<0.11Bq/m ³)
	煙突部	検出限界未満	—	_	—	(<0.032Bq/m ³)
ダスト	廃棄物投入口	検出限界未満	_	_	—	(<0.082Bq/m ³)
	焼却灰回収口	検出限界未満	—	_	—	(<0.24Bq/m ³)
フィルタ	付着物	検出限界未満	—	—	—	(<44.1Bq/kg)
木酢液	排気調整室	検出限界未満	58.4	46.7	—	(<4.7Bq/kg)
	排気滞留槽	—	0.3	0.25	—	(<5.2Bq/kg)



<汚染廃棄物(草木類)>

< 連続処理後の焼却灰(分別前) >



【補足資料 - 3 】 放射性センウムに関する収支図

(1) バッチ処理試験



付録 2 - 9 - 10



除染効果:(1) 木材は検出部と密着し、検出器との距離が 5mm に保たれる。回転しなが ら検出部分を通過し、表面のすべてが自動で測定される。測定結果は PC 上で確認・記録で きる。検出器 1cm あたり時定数の1 もしくは3 倍の時間で木材が通過し(移動速度 0.52cm/ 秒、0.17cm/秒)、直径 25cm、長さ 3m の木材の測定時間は 10 分もしくは 30 分となった。 標準線源から校正した機器の検出限界は 217cpm (0.29Bq/cm²)、汚染された木材で測定し た結果、どちらの速度でも 322 cpm (0.43Bq/cm²)を検出できた(図 1、2)。管理区域か らの持ち出し基準の 4Bq/cm²の約 10 倍の感度で測定することが可能である。

(2) 4,000Bq/kg 程度の木材バークで試験し、条件を水温 90℃、洗浄時間 10 分以上 30 分以下、6回以上繰り返し、水量は体積比 9 倍程度必要とした(図 3、4)。この条件により 針葉樹(スギ)、広葉樹(雑木)を 100Bq/kg 以下にできた。5 倍(100L 反応容量)にスケー ルアップしても 100Bq/kg 以下にできた。洗浄による木材バークの回収率は 80~95%だっ た。(100L 試験条件:木材バーク約 20L に水 30L を入れ、90℃30 分の洗浄を 6 回行う) (3) フロックからの溶出水のセシウム濃度は検出限界以下(10Bq/kg)だった。1年以上程 度経過した凝集沈殿剤の凝集フロックはセシウムが再溶出せず、凝集フロックは安定して いた。

(4) バーク洗浄の汚染水は 163Bq/kg、処理水は検出限界以下(10Bq/kg 以下)だった。処理で発生した凝集フロックは 78100Bq/kg であった。洗浄前の木材バークは 0.22 µ Sv/h、洗浄後は 0.03 µ Sv/h であり、洗浄後は BG と同等になった。(BG0.03 µ Sv/h、バークと検出器の距離 1cm、検出器の周囲を鉛で遮蔽して測定)

除去物発生量評価:木材バーク 1m³洗浄した際に発生する汚染水を処理したときに発生する沈殿物量=1.8kg(25L)

作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.15 µ Sv/hr、作業時間 8 時間 作業員最大被ばく量 8 µ Sv(放射線測定、汚染水処理プラント管理、作業時間 40 時間) 作業員平均被ばく量 7 µ Sv

コスト評価:バーク洗浄:	歩掛り(作業人工、作業速度):					
2,271 円/バッチ	木材洗浄:作業者2名/バッチ、洗浄時間4.5時間/バッチ					
汚染水処理:1,375 円/m ³	(うち作業者の作業時間 30 分)					
木材測定:129円/本	木材測定:10分/本、汚染水処理:2m ² /hr					
コスト評価条件:人件費 1500 円/時間、電気代 16.81 円/kw(東北電力)、						
凝集沈殿剤 40,000 円/20kg、脱水助剤 20,000 円/10kg、灯油 100 円/L とした。						
バーク洗浄については、今回	の試験では1バッチ=バーク 1.5kg(20L)					
除染作業における安全上の注意	意:除染等特別教育を受講し、マスク、手袋を着用した					
試験場所(住所):	除去物保管場所と保管状況(写真):					
福島県南相馬市	左記敷地内に保管した。市町村仮置き場が					
	設置された段階で採択者が移動する。					





写真1. 木材自動測定器



写真2. 木材に密着した検出部

付録 2 - 10 - 3



図 1. 0.52cm/秒で移動時の 0.4Bq/cm2 程度の検出の様子



図 2. 0.17cm/秒で移動時の 0.4Bq/cm2 程度の検出の様子

【目的・方法】

測定した数値は cpm で表示されるため、セシウムの表面密度に換算するために標準線源で 校正を行い、換算係数を求めた。

検出器と標準線原を 5mm の距離で固定し、90 秒後、120 秒後、150 秒後の指示値および バックグラウンドを測定した。

また、自動測定器には検出器を保護するシートがあるため、線量が減衰する。検出器のみ で校正した結果と、検出器を自動測定器に装着した状態で校正した結果を示す。

【結果】

自動測定器に装着した状態でも、検出限界は 0.29Bq/cm² であり、4Bq/cm² を測定すること が可能であった。

	自動	測定器装着状態	検出器のみ			
	(保	護シートあり)	(保護シートなし)			
参照標準		10×10 cm	n, ¹³⁷ Cs			
β線表面放出率		$2,910 \text{ s}^{\cdot 1}$				
指示値	Area1 21,800cpm		49,800cpm			
	Area2 22,800cpm		54,500cpm			
バックグラウンド計数率		278cpm	278cpm			
正味計数率		44,044cpm	103,744cpm			
検出器の入射窓面積		100c	m^2			
機器効率		25.2%	59.4%			
換算計数	0.001321		0.000561			
検出限界	0.29Bq/cm ²		$0.12~\mathrm{Bq/cm^2}$			
		(217cpm)	(217cpm)			





付録 2 - 10 - 5

・検出限界の求め方について

下記計算式で求めた。

検出限界 (Bq/cm²) =
$$\frac{\frac{3}{2} \left\{ \frac{3}{2\tau} + \sqrt{(\frac{3}{2\tau})^2 + 4 N_b \left(\frac{1}{2\tau} + \frac{1}{2\tau_b} \right)} \right\}}{\epsilon_s \times \frac{\eta}{100} \times S}$$

ここで、

 τ : 試料測定時定数(秒)、 τ_b : バックグラウンド測定時定数(秒)、 N_b : バックグラウンド ド計数率 (cps)、 η : 機器効率、S: 有効検出面積 (100cm²)、 ϵ_s : 線源効率 (0.5)

・機器効率の求め方について

下記計算式で求めた。

機器効率=(正味計数率/(β線表面放出率/線源面積×検出器の入射窓面積))×100 線源面積:100cm²、検出器の入射窓面積 100cm²

・換算係数の求め方について

下記計算式で求めた。

換算係数(Bq/cm²/min⁻¹)=1/ {60×(機器効率/100)×検出器の入射窓面積×線源効率}

	総数 2 枚の 1 頁 証明整番号 第 13-0039 号			総数 2 枚の 2 頁 証明書冊号 第 13-0039 号
♥ 0061 校正	証 明 書	校	正の結果	校正結果
依頼者			基準日時	2013年1月21日 12時00分
氏名又は名称 株式会社ネオナー	۲ Þ		ベータ線表面放出率	2.910 × 10 ³ s ⁻¹
住 所 島根県松江市富士	上見町1番地7	校	正の条件 ベーク線表面放出率(は、線源から2π方向に放出される590eV以上のβ線、転換 囲ま会な
被 校 正 晶			BUT INCOMENDATION	** 10.
名 称 ベータ線表面放け	出率標準面線源	校	正の不確かさ	
核 種 ¹³⁷ Cs		4	相対拡張不確かさ	2.1%
線 源 コ ー ド CS221		放	射性核種純度	99%以上
線 源 番 号 0035				
製造者 公益社団法人日ス	*アイソトーブ協会			
校 正 項 日 ペータ線表面放け	出率			
校 正 方 法 日本アイソトー:	プ協会校正等作業手順書-放射能による			
校正年月日 2013年1月21	н			
校正結果は次軍のとおりであることを証明します。		備	考	
平成 25年 1月 21日 東京都文京区 (編込二字1月) 28番45号 公共日間 人自本ディントープ協会		1.4 P 2	校正の不確かさは、相来 相対拡張不確かさは、" Part3: Guide to the e: 基づき、合成標準不確か の水価をもつと推定され	体証料不確かさ(k=2) で表しています。 「ISO/TEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement = procession of uncertainty in measurement (GUN:1996) " に 小さと包含係数 k=2 とから決定されたもので、約 95%の信頼 ったKBMを定かるためです。
		2.#	校正に用いた特定二次様	※連器(またはワーキングスタンダード)
	常務理事山下考出		名称	大面積2πガスフロー式比例計数管
・この証明書は、計量法第144条(第一項)に基づくものであり、特定環導器(国家環準)にトレーサブルな環準器により校正した結果を示すものです。標準は、校正した結果の国			形式	WPC-410
			器 物 番 号	W0002
家様準へのトレーサビリティの証拠です。発行 のみを複築して用いることは禁じられています。 ・この証明書を発行した事業者は180/1EC17025	機關の事前の承認なしにこの証明書の一部分 ; :2005(JIS 0 17025:2005)に適合しています。		製 造 者 名	林朱精器株式会社

標準線源の校正証明書

(2) バーク洗浄装置による洗浄除染処理試験の状況





写真3. 木材洗浄に使用した機器類



写真4.洗浄前と洗浄後の木材バーク

付録 2 - 10 - 7

【目的・方法】

木材バークを洗浄し、放射性セシウムを 100Bq/kg 以下にするために、条件を変えて洗浄試 験を行った。条件については、圧力(大気圧・0.15MPa・0.05MPa)、水温(10℃、50℃、 90℃)、洗浄時間(10 分・30 分・90 分)、洗浄回数について、検討した。

【結果】

圧力を変化させても洗浄の効果に差がなかったが、水温が 90℃のとき洗浄効果に差が見ら れた。洗浄時間は 30 分以上で効果が見られたが、30 分と 90 分では大きな違いがなかった。 また、洗浄に使った水の量について、洗浄時間と洗浄に使った水の合計量を比較したとこ ろ、木材 0.3kg に水 6L、6 回洗浄を繰り返すことが洗浄時間および使用した水の量が最も 少ない条件となった。



図3. 洗浄水の温度と洗浄効果の関係

10℃、50℃では洗浄効果が少なく、90℃では効果が高い。 繰り返し洗浄することで 100Bq/kg 以下となった。 洗浄温度 90℃を最適条件とした。



図4. 洗浄時間と洗浄効果の関係

10 分では不十分だが、30 分と 90 分では大きな違いがない。 繰り返し洗浄することで 100Bq/kg 以下となった。 洗浄時間 30 分を最適条件とした。
水温と洗浄時間について最適な条件が決まったため、次に洗浄水の量を検討した。 使用した洗浄水の合計量と、洗浄時間について、それぞれ検討を行った。 洗浄水の量を3L、6L、12Lに変え、20L洗浄装置に木材バーク0.3kg入れて試験を行った。 洗浄時間はすべて30分とし、洗浄水が合計36Lになるまで繰り返し洗浄を行った。 洗浄水3Lで12回繰り返した場合や、洗浄水6Lで6回繰り返したとき、 100Bq/kg以下となったが、12Lで3回繰り返したときは100Bq/kg以上だった。 このため、洗浄時間が最も短い6Lで6回繰り返した条件を最適条件とした。

進海水の昌	洗浄の	洗浄水の	进海吐胆	洗浄後の放射性
元 浄小の里	繰り返し数	合計量	<i>沅</i> 冲时间	セシウム濃度(Bq/kg)
3L	12 回	36L	360 分	95
6L	6 回	36L	180 分	93.3
12L	3 回	36L	90 分	175

表 2. 洗浄に使う水の量が一定のとき、洗浄時間から見た洗浄水の量の検討

続いて、同じ条件で洗浄時間が合計 180 分になるまで繰り返し洗浄を行った。 洗浄水 6L、12Lのとき 100Bq/kg以下となったが、3Lでは 100Bq/kg以上だった。 このため、洗浄水の合計量が最も少ない 6L で 6 回繰り返した条件を最適条件とした。 以上の結果から、洗浄時間および洗浄水の合計量が最も少ない条件は、20L 洗浄装置に木 材バーク 0.3kg入れ、6L で 6 回洗浄を繰り返す条件だった。体積比で表すと、木材バーク のおよそ 1.5 倍量の水で 6 回洗浄するため、合計で木材バークの 9 倍量の水を使用した。

表 3. 洗浄時間が一定のとき、洗浄水の合計量から見た洗浄水の量の検討

洗海水の昌	洗浄の	洗浄水の	进海中門	洗浄後の放射性
<i>沅</i> , ず小の <u>単</u>	繰り返し数	合計量	<i>元</i>	セシウム濃度(Bq/kg)
3L	6 回	18L	180 分	193
6L	6 回	36L	180 分	93.3
12L	6 回	72L	180 分	84.8

(3)凝集フロックからの放射性セシウム溶出に関する調査状況

【目的・方法】

汚染水の処理で発生した凝集フロックを長期期間保管すると、フロックに含まれる木材等 が腐植し、熱・ガス・水分等の発生やpHの変化などが起こることが考えられる。これら の相互作用の結果、凝集フロックから放射性セシウムが溶出することが懸念されるため、 長期保管した凝集フロックからの溶出水の放射性セシウム濃度を測定する。木材を洗浄し た際の排水を凝集沈殿剤で処理し、凝集フロックを1年程度保管した。凝集フロックから 溶出した水を取り出し、放射性セシウム濃度を測定する。

【結果】

凝集フロックからの溶出水は、放射性セシウムは検出されなかった(10Bq/kg以下)。 このため、今回の凝集フロックから放射性セシウムの再溶出は見られず、凝集フロックは 長期安定していた。





写真 5. 凝集フロックとフロック溶出水



NaI シンチレーションスペクトロメータ

乾燥機

写真 6. 放射性セシウム測定の状況

(4)洗浄で発生した水の処理状況

洗浄で発生した汚染水を処理し、洗浄に再利用するために、汚染水処理プラントで除染を 行った。汚染水に凝集沈殿剤を添加し沈殿後の上澄みの放射性セシウムを測定したところ 10Bq/kg 以下となった。

木材は大きさや泥などの付着など状態によって、木材バークの洗浄に係わる回収率は 95% から 80%と異なっていた。回収率 95%のときの物質収支は次のようになった。洗浄前の木 材バークは 4010Bq/kg であり、洗浄後は 84Bq/kg となった。1.5kg の木材バークは洗浄後 1.425kg となり、そのときの洗浄水は 180L であった。この洗浄水を処理した凝集フロック は 0.037kg 発生し、この凝集フロックは 78100Bq/kg であった。1.5kg の木材バークはおよ そ 20L あり、発生した凝集フロックはおよそ 0.5L だった。





写真 7. 汚染水処理の状況



除染効果

- 原料灰の溶融試験(補足資料7参照):主灰は、溶融処理(目標安定溶融温度1,650℃)でス ラグ化を確認した。減容比は1/3.3、スラグからの放射性Cs除去率は38%(DF=1.6)であった。 飛灰はそのままでは溶融しなかったが、72%の放射性Csを除去できた(DF=3.6)。揮発除去されたCsは後段のバグフィルタで全量捕集した。
- ② 焼却灰の溶融処理における添加剤効果(補足資料5,6,7参照)
 - ・Cs 揮発抑制効果:主灰にB₂O₃を添加して溶融処理(同 1650℃)を行うと、放射性Cs 除去率が 23%(DF=1.3)へ低下した。
 - ・Cs 揮発促進効果:主灰に CaCl₂を添加した溶融処理(同 1650℃)では放射性 Cs 除去率が 85%(DF=6.7)、CaL₂を添加した場合では 93%(DF=15)に上昇した。飛灰に CaCl₂を添加した 場合は 99.3%(DF=147)に上昇した。
 - ・溶融挙動:各種添加剤効果を調べた結果では、主灰を用いた場合はいずれもスラグ化が確認できた(減容比:1/1.5~1/2.5)。飛灰では B₂O₃, CaCl₂ を添加した場合で、溶融できた(減容比はそれぞれ 1/2.6、1/2.8。)。B₂O₃を添加した場合にはスラグ化が確認できた。
- ③ 焼却灰のレベル区分(補足資料9参照):放射性 Cs 濃度が1×10⁴Bq/kg までの主灰であれば、溶融処理(同1650℃)で8,000Bq/kg以下に低減でき、揮発促進剤(CaCl₂)を添加すれば5×10⁴Bq/kgまでの主灰に適用できる可能性がある。それ以上の高濃度の主灰では揮発抑制剤(B₂O₃)を添加することで、スラグ中に放射性 Cs を閉じ込めることが有効と考えられる。飛灰は1×10⁶Bq/kg までであれば、揮発促進剤(CaCl₂)を添加することでスラグ化とともに8,000Bq/kg以下への揮発除去が可能と考えられる。
- ④ スラグからの放射性 Cs 溶出性(JIS K0058-1 溶出試験):主灰および主灰を用いたスラグからは、放射性 Cs の溶出は認められなかった。飛灰のままでは 1.1×10³Bq/L 溶出するが、 B₂O₃,CaCl₂を添加して得られたスラグでは溶出が認められなかった(補足資料7参照)。

除去物発生量評価:溶融により灰中の水分,有機成分等は消失するが、無機成分は重量が維持され、比重が2倍以上に増加する。これらの合計で容積は約1/2~1/3に減少する。

作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率:0.18μSv/hr(作業時間:30時間)				
作業員最大被ばく量 :17	:17 µ Sv(試験準備と実施の作業時間:42 時間)			
作業員被ばく量 :13	3μSv(作業員7名の平均値)			
コスト評価:操業費は 500,000 円/ton、 歩掛り:3 人工/30kg(=6 人×4 時間/30kg)				
撤去費は 50,000 円/ton				
コスト評価条件 : 主灰+飛灰1万 ton を 1000 日間で処理する事業費用のコスト試算				
- 除染作業における安全上の注意 焼却灰取扱作業、溶融飛灰取扱作業には、防護服、防塵マ				
スク、ゴーグル、ゴム手袋と綿手袋、オーバーシューズを装着した。				
試験場所(住所)	除去物保管場所と保管状況			
福島県本宮市もとみやクリーン	試験で発生した溶融スラグ及び溶融飛灰は元のフレコンバッ			
センター 敷地内	グに肩	見して、元の廃棄物払い出し場所に返却した。		



補足資料1 焼却灰の溶融処理(Cs回収含む)フローと本実証試験の実施範囲

エマルジョンバーナー式表面溶融炉による焼却灰の溶融処理



補足資料3 試験装置及び試験条件



組成	主灰	飛灰
MgO	1.7	0.8
Al ₂ O ₃	10.3	3.6
SiO ₂	26.6	12.6
P_2O_5	2.4	0.7
CaO	20.0	29.2
Fe ₂ O ₃	8.1	1.4
過剰塩基度	-70	-7
溶融性判定	0	×

過剰塩基度は、ガラス網目構造をもたらす SiO₂,Al₂O₃ 等と網目中 に包含されるCaO,MgO 等との濃度の差を指標化した概念である。 過剰塩基度 B により、以下の通り、溶融性を判定し、試験に供する 組成を設定した。 B>-40 溶融不良

-40>B>-70 溶融不十分 B<-70 良好な溶融



フレコンバッグからの焼却灰採取作業



溶融炉からのスラグ排出状況



溶融炉への焼却灰試料投入作業



主灰の溶融スラグ



バグフィルタからの溶融飛灰回収作業



主灰の溶融飛灰





飛灰では B₂O₃, CaCl₂を添加した場合に溶融確認

結果一覧	
及び試験	
1 試験条件]	
補足資料 7	

焼却灰	今日 中日 今日 今日 今日 今日 今日 今日	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	미수 미누 맛?	더부 되가 '무旦 주자'	减容率**	减容比	(Cs-134+Cs-137)	除去率	除染係数	溶出濃度 ⁺
種類	民人物 日日	政課金万	40%/JH 角U	谷隅小思	[%]	**	濃度 [Bq/kg]	[%]	(DF)	[Bq/L]
	未処理(レファレンス)	I	Ι	I			6.6×10^{3}	I	I	<19
	溶融性確認	Run1-(])	プチ	溶融確認(スラグ)	69	1/3.3	4.1×10^{3}	38	1.6	<16
		Run2–①	$15 wt\%-B_2 O_3$	溶融確認(スラグ)	57	1/2.3	$5.1 imes 10^{3}$	23	1.3	<21
主灰	揮発抑制効果の検討*	Run2–2	27wt%-SiO ₂ , 13wt%-Al ₂ O ₃	溶融確認(スラグ)	34	1/1.5	$4.1 imes 10^{3}$	38	1.6	<18
	市安ら田支援の支援	Run3–①	20wt\%-CaCl_2	溶融確認(スラグ)	57	1/2.3	$9.8 imes 10^2$	85	6.7	<18
	揮光促進刻木切俄討	Run3–②	$20 \mathrm{wt\%-CaI}_2$	溶融確認(スラグ)	60	1/2.5	4.3×10^{2}	93	15	<17
	未処理(レファレンス)	I			l		2.3×10^{4}	I	l	1.1×10^{3}
	溶融性確認	Run1–②	プチ	,戶.平 輕 绿	44	1/1.8	6.4×10^{3}	72	3.6	3.3×10^{2}
1 ř		Run2–③	$20 \mathrm{wt\%-B_2O_3}$	溶融確認(スラグ)	62	1/2.6	$5.9 imes 10^3$	75	3.9	<18
张 义	揮発抑制効果の検討*	Run2–4	33wt%-SiO ₂ , 17wt%-Al ₂ O ₃	溶融不良 (岩石状)	-45	1/0.7	2.1×10^{3}	91	11	78
	揮発促進効果の検討	Run3–③	22wt%-CaCl ₂	溶融確認 (スラグ 化には至らず)	64	1/2.8	1.6×10^{2}	99.3	147	<17

"揮発抑制剤の添加量は事前の焼却灰の過剰塩基度をむとに、主灰と飛灰で同程度の溶融状態になるように設定した。

** 該容率=焼却厌容積/溶融処理物の容積, 減容比=溶融処理により減少した容積/焼却灰容積

焼却灰容積は、水分及び強熱減量補正した重量とかさ密度から算出した。溶融物容積は徐冷スラグを回収容器に最密充填するとして算出した。 + 溶出濃度:JIS K-0058-1 有姿溶出試験で得られた検液の放射性 Cs 分析結果



補足資料8 溶融実証試験におけるマス、放射能バランス検討

試験 Run.	試料投入量	溶融スラグ量	溶融飛灰量	回収量合計	収支
2-①	23.9	22.3	0.2	22.5	94%
2-3	24.2	22.6	0.2	22.8	94%
2-④	26.4	21.6	0.8	22.4	85%
3-3	22.0	24.6	1.6	26.2	119%

表7-1 代表的な4条件での物質量収支(単位:kg)

上表は、試料投入量は灰を乾燥重量補正した値

煙突入口でのばいじん量は測定下限以下であり、溶融飛灰はバグフィルタで全量捕集したと考え られる。

表7-2 代表的な4条件での放射能収支(単位:Bq)

試験 Run.	投入試料	溶融スラグ	溶融飛灰	回収物合計	収支
2-①主灰	1.3×10^{5}	1.1×10^{5}	2.1×10^{3}	$1.2 imes 10^{5}$	90%
2-③飛灰	$4.2 imes 10^{5}$	1.3×10^{5}	$1.6 imes 10^{4}$	$1.5 imes 10^{5}$	35%
2-④飛灰	$2.6 imes 10^{5}$	4.4×10^{4}	$7.8 imes 10^4$	$1.2 imes 10^{5}$	47%
3-③飛灰	$3.7 imes10^5$	3.9×10^{3}	$1.9 imes 10^{5}$	$2.0 imes 10^{5}$	54%

煙突から大気放出される放射性 Cs は検出限界以下であった。

放射性 Cs の回収不足分はバグ濾布に付着したとして説明可能

補足資料9 スラグの取扱に対する考え方と放射性 Cs 濃度のしきい値設定

焼却灰の溶融処理(安定最高温度 1,650℃)では、放射性 Cs 濃度の低減が確認できた。

- 主灰 : 6.6×10^{3} Bq/kg \rightarrow 4.1×10³Bq/kg (DF=1.6, 除去率=38%)
- 飛灰 :2.3×10⁴Bq/kg → 6.4×10^{3} Bq/kg (DF=3.6, 除去率=72%)

この結果から、下記の放射性 Cs 濃度までの焼却灰であれば、溶融処理で放射性 Cs 濃度を 8,000Bq/kg 以下に低減させることが可能と考えられる。

- 主灰 :1×10⁴Bq/kg (= 8.0×10^{3} Bq/kg / (1-0.38))
- 飛灰 : 3×10^4 Bq/kg (= 8.0×10³Bq/kg / (1-0.72))

さらに主灰、飛灰ともに CaCl。を添加することにより、放射性 Cs の揮発促進効果が確認できた。

表8-1	焼却灰の溶融処理における	CaCl _o 添加による放射性	Cs 除去効果

焼却灰	未添加	CaCl ₂ 添加(主灰:20wt%、飛灰:22wt%)
→ IFF (C C) (10 ³ D a /l-m)	$4.1 \times 10^3 \mathrm{Bq/kg}$	$9.8 imes 10^2 \mathrm{Bq/kg}$
$\pm j\chi$ (6.6×10° Dq/ kg)	(DF=1.6,除去率=38%)	(DF=3.6,除去率=85%)
	$6.4 imes 10^3$ Bq/kg	$1.6 imes 10^2 \mathrm{Bq/kg}$
飛び (2.3×10° Dq/ Kg)	(DF=3.6,除去率=72%)	(DF=147,除去率=99.3%)

この結果から、下記の放射性 Cs 濃度までの焼却灰であれば、CaCl₂を添加する溶融処理で放射性 Cs 濃度を 8,000Bq/kg 以下に低減させることが可能と考えられる。

主灰 :5×10⁴Bq/kg (= 8.0×10^{3} Bq/kg / (1-0.85)) 飛灰 :1×10⁶Bq/kg (= 8.0×10^{3} Bq/kg / (1-0.993))

以上の結果から、焼却灰スラグを産廃処理(または限定リサイクル)可能にする8,000Bq/kg以下 に低減可能な放射性 Cs 濃度のしきい値は、下表のとおりと考えられる。

表8-2 焼却灰スラグの取扱を選定するための放射性 Cs 濃度のしきい値

焼却灰	添加剤なしの場合	CaCl ₂ 添加した場合
主灰	$1 \times 10^{4} \mathrm{Bq/kg}$	$5\! imes\!10^4$ Bq/kg
飛灰	$3 imes 10^4$ Bq/kg	$1 imes 10^{6} \mathrm{Bq/kg}$

これ以上に放射性 Cs 濃度の高い焼却灰では、地下水等に対して難溶性であるスラグのマトリク ス中に放射性 Cs を閉じ込めることが廃棄物管理を行ううえで有効と考えられる。主灰に対しては、 B₂O₃の添加が放射性 Cs の閉じ込めに有効と考えられる。

補足資料10 焼却溶融システムの減容と除染に関する実証研究 成果まとめ

1 焼却灰の溶融試験

エマルジョンバーナー式表面溶融装置を実験実施場所(福島県本宮市)に仮設設置して、放射性 Cs 汚染焼却灰(主灰及び飛灰)の溶融試験を実施した。

目標安定温度を 1,650℃に設定した燃焼処理により、主灰はそのままで溶融スラグ化できることを確認した。この焼却灰の溶融性は、事前に化学組成から判定できることを確認した。

主灰または飛灰に CaCl₂を添加すれば揮発促進効果が、主灰に B₂O₃を添加すれば揮発抑 制効果が確認できた。飛灰はそのままでは溶融しなかったが、CaCl₂等を添加すればスラグ化で きた。

2 焼却灰のレベル区分

溶融スラグ中の Cs 濃度を 8,000Bq/kg 以下に揮発除去させることができる原料灰(主灰、飛 灰)の濃度上限値(しきい値)は、Cs 除去率を用いて下式で計算する。

 「「「「」」「「」」「「」」「「」」「」」「「」」	8,000[Bq/kg]
焼却灰の Cs 濃度しきい値=	1-Cs 除去率

主灰のみでの 8,000Bq/kg 以下へのしきい値: 1×10^4 Bq/kg に対して、揮発促進剤として CaCl₂を 20wt%添加したしきい値は 5×10^4 Bq/kg となる。飛灰では、揮発促進剤として CaCl₂を 22wt%添加したしきい値は 1×10^6 Bq/kg となる。

主灰の Cs 濃度がしきい値を超える高濃度の場合、揮発抑制剤である B₂O₃を添加して Cs を スラグに閉じ込めることが有用と考えられる。

3 スラグの溶出性確認(JIS K00158-1 溶出試験)

主灰及びそのスラグからは、Csの溶出は検出限界値以下であった。 飛灰はスラグ化することで Csの溶出が検出限界値以下となった。

4 まとめ

本試験により、エマルジョンバーナー式表面溶融炉を用いた焼却灰溶融処理、および、事前の 溶融性判定・溶融処理時のCs揮発促進等の添加効果等に見通しを得た。

また、全体物量と費用試算により処理・中間貯蔵・輸送・処分の総費用の経済的合理性を含め た成立性を評価した。

これらにより、本溶融処理法による焼却灰の減容化や輸送・保管時の安全性向上や経費節減効果を確認することができた。

以上

実施代表者の所属機関:株式会社 E&Eテクノサービス

実証テーマ名:複合合成樹脂「セインテラスレジン」による放射性セシウム含有廃棄物の固 化実証試験

事業の概要:焼却灰、汚泥、吸着処理を行ったゼオライト等放射性セシウムを含有する多 岐にわたる廃棄物を一様に安定固化し、取扱いや保管を容易にするための複合合成樹脂「セ インテラスレジン」(エポキシ系樹脂に有機繊維及びガラス繊維を混ぜ込んだ複合合成樹 脂)による固化実証と成型した固化体の各種評価試験を行う。

実施内容:

1. 放射性セシウムを含有した焼却灰、汚泥及び廃液処理を行ったセシウム吸着ゼオライ ト等の形態及び性状に合わせた固化体成型条件の決定と固化体成型。

2. 成型した固化体の強度、燃焼性、封じ込めた放射性物質が固化体強度に及ぼす影響や 固化体に封じ込めた放射性セシウムの溶出性評価試験の実施。

技術概要:

【試験フロー】

-	-	
	試験工程	試験内容
1	ビーカースケール試験	放射性セシウムを含有しない木灰、汚泥、ゼオライトを固化対象に用いて、セインテラスレジンの混合及び固化条件を決定する。
2	放射性セシウムを含有しない固化体 の製作	1 項で決定した固化条件を用いて、各種強度評価試験等に供する放 射性セシウムを含有しない固化体を成型する。また、固化による減容 等について評価を行う。
3	放射性セシウム含有廃棄物固化体 の製作	放射性セシウム含有廃棄物(飛灰、主灰、汚泥、除染廃液吸着ゼオ ライト)を骨材として用いた固化体を成型する。
4	各種強度評価試験	放射性セシウムを含有しない固化体を使用し、γ線照射試験、促進腐 食試験等の環境負荷を与え、それらの影響評価を踏まえた圧縮試 験、圧縮クリープ試験、燃焼性試験等の強度評価試験を実施する。
5	放射性セシウムの溶出性評価試験	 (1) JIS K0058-1 環告 6 号試験に規定される有姿撹拌試験を実施し、溶液中への放射性セシウムの溶出量を確認する。 (2) 純水、弱アルカリ水、弱酸性水溶液中に長期間浸漬放置した際の溶出性の評価を行う。

【試験目標】

- 1. 各種廃棄物形態(粉体、含水体等)に合わせたセインテラスレジンによる固化体成型条件を確立する。
- 2. 放射性セシウムを含有しない固化体を成型し、減容率、固化体強度、燃焼性等の評価を 行う。
- 3. 放射性セシウム含有廃棄物を用いて固化体を成型し、固化体からのセシウムの溶出性を 評価する。
- 4. 固化体成型コストの評価と機械化について検討を行う。

その他:「セインテラスレジン®(商標登録第4417673号)は、特許公開第3145353号「複合合成樹脂組成物の製造方法」他等において特許取得済の合成樹脂である。

除染効果:					
【固化体成型条件】(補足説明	資料 3. (1)項参照)		固化体体和	事 減容量	
【減容率】(補足説明資料 3.(2)項参照)			52.2	47.8	
骨材を U-8 容器にタッピング充填した体積を			50.4	49.6	
100%とした時の放射性セシウム含有廃棄物固			30.4	TO	
化体の体積は、固化対象に関	周 係なく約 45%前後	主灰 2	49.5	50.5	
減容した。		主灰 1	53.4	46.6	
【固化体強度】(補足説明資料	·4.(3)項参照)	飛灰	56.2	43.8	
固化体の圧縮強度は、最も	弱いゼオライト固化	- -	% 25% 50	0% 75% 100%	
体において 2.3N/mm ² であり	0、「埋設告示」第4		図1.固	化体の減容率	
条に示される廃棄体基準 1.4	7N/mm ² を上回った。				
【燃焼性試験】(補足説明資料	·4.(6)項参照)		飛灰	43.6%	
UL-94V 試験の結果、何	「れの固化体も難燃性	。 上 道 二	主灰1(ガラ灰)	20.1%	
 UL-94V-0 に相当すると判断	された。		主灰2(薪灰) 飛灰	49.4%	
【溶出率】(補足説明資料 5.(2)項参照)		飛灰(オーバーパック)		
JIS K0058-1 (環告 6 号試験) 有姿撹拌試験による			主灰1(ガラ灰)	∫ (ND <18.8Bq/ℓ)	
放射性セシウムの溶出率は、飛灰及び主灰2(薪灰)				3.9% 算出不可	
の固化体から放射性セシウ	ムの溶出が確認された		Cs吸着ゼオライト	∫ (ND <18.8Bq/ℓ)	
が、固化体をオーバーパック	7・コーティング(OP)	飛灰	コンクリート(参考)	11.9%	
0% 20% 40% 60% することで溶出を検出限界以下に抑えることが可 図2 故bb性tv:///の次出薬					
能であることを確認した。					
除去物発生量評価:対象物を	全て固化するので、除去	宝物は発生	きしない。		
作業員被ばく量評価: 作業場	島所平均空間線量率≦1μ	ι Sv/h、 ŕ	乍業時間6時	時間/日×10 日	
作業員	遺最大被ばく量<1μSv((手部、脑	『部共)		
作業員	貞平均被ばく量≦1μSv	(手部、唐	匈部共)		
コスト評価:	歩掛り(作業人工、作	業速度)	:		
材料費 710~860円/kg	全て手作業による固化	体製作			
(補足説明資料6項参照)	作業人工: 2名、作業	巻速度:[国化体 1.5 kg	g/時間	
	(補足説明資料7項参照)				
コスト評価条件:セインテラ	スレジン:2,000 円/kgに	二対し、碩	更化剤(30%)	:600円、剥離剤	
(固化体 60 個): 240 円。セ	インテラスレジン1kg~	で、乾燥料	纷体 4 kg、ĩ	含水体 3.3 kgの固	
化体成型可能。					
除染作業における安全上の注	意:放射性セシウム含す	有廃棄物〕	取扱時、グリ	リーンハウス内作	
業、作業者は、マスク、手袋、	、タイベックスーツ、手	「部及び腑	歯部にポケッ	ト線量計着用	
試験場所(住所):	除去物保管場所と保管	状況(写	『真):作業『	寺に発生した廃棄	
茨城県ひたちなか市物は、コンテナに収納して試験場所に保管。					

1. 使用材料

(1) 樹脂

セインテラスレジン(以下「レジン」と称する。)は、ビスフェノール A 型エポキシ樹脂を主剤として有機 繊維及びガラス繊維を混ぜ込んだ複合合成樹脂で、硬化剤(変性脂肪族ポリアミン)を添加すること で熱反応により固化が行われる。繊維の働きにより乾燥粉体だけでなく汚泥、ヘドロといった含水体等 の被対象物(以下「固化対象」と称する。)も固化することが可能である。

- (2) 固化対象
 - 各種強度評価試験で使用する放射性セシウムを含有しない固化体 乾燥体:木灰、 含水体:汚泥、海水含有ゼオライト
 - ② 放射性セシウム含有廃棄物固化体
 乾燥体:飛灰、主灰1(ガラ灰)、主灰2(薪灰)
 含水体:汚泥、放射性廃液処理水吸着ゼオライト

表-1 使用材料



2. 固化体製作方法

秤量した固化対象に重量比で 25~30%のレジンを均一に分散・混合する。この状態で硬化剤を加 え練り込むと、固化対象と樹脂は粘土状の混練物となる。これを、金型成型したのち乾燥させ、固化体 とする。

1.秤量	2.混合	2.混合(分散状態)
3.混練(混練生成物)	4.金型成型	5.固化体

表-2 固化体製作方法

3. 成型固化体の組成

- (1) 固化対象とレジンの配合量(重量比)
 - ① 放射性セシウムを含有しない固化体

固化対象	固化対象 重量	保水量	レジン	硬化剤
木灰		_	X×0.3	X×0.3×0.3
汚泥 ^{*1}	Х	X×0.3	(X+0.3X)×0.3	(X+0.3X)×0.3×0.3
ゼオライト*2		X×0.4	(X+0.4X)×0.3	(X+0.4X)×0.3×0.3

表-3 放射性セシウムを含有しない固化体の配合量

(単位:g)

*1) 汚泥は、乾燥後に再加湿。

*2) ゼオライトは、加水に海水を使用。(γ線による水素発生の影響評価を考慮したため)

② 放射性セシウム含有廃棄物固化体

固化対象	固化対象 重量	保水量	レジン	硬化剤
飛灰*5		X×0.1	(X+0.1X)×0.25	(X+0.1X)×0.25×0.3
主灰 1 ^{*1}		-	X×0.4	X×0.4×0.3
主灰 2 ^{*2、5}	Х	X×0.1	(X+0.1X)×0.25	(X+0.1X)×0.25×0.3
汚泥 ^{*3}		X×0.3	(X+0.3X)×0.3	(X+0.3X)×0.3×0.3
ゼオライト*4		X×0.4	(X+0.4X)×0.3	(X+0.4X)×0.3×0.3

表-4 放射性セシウム含有廃棄物固化体の配合量

(単位:g)

*1) 主灰1は、ガラ灰。*2) 主灰2は、薪灰。*3) 汚泥は、乾燥後に再加湿。

*4) ゼオライトは、除染廃液を吸着。*5) 放射性セシウム含有灰は、飛散防止のため10%噴霧加水。

(2) 成型固化体の密度、体積減少量

表-5 固化体密度と固化後の体積減少量

固化対象	木灰(Cs 含有せず)	汚泥(Cs 含有せず)	ゼオライト (Cs 含有せず)	飛灰
固化体外観				
固化体密度	1.627	1.579	1.106	1.392
体積減少量*1	47.7%	45.5%	41.9%	43.8%
固化対象	主灰 1	主灰 2	汚泥	Cs 吸着ゼオライト
固化体外観				
固化体密度	1.652	1.784	1.661	1.374
体積減少量*1	46.6%	50.5%	49.6%	47.8%

*1) U-8 容器の固化対象の体積を 100 とした時の固化体の体積減少量。

4. 各種強度評価試験

(1) γ線照射試験

一般検査機関では放射性セシウム含有廃棄物固化体の取扱いが困難なため、模擬固化体にv 線照射を行い促進的な放射線の影響を与えた後、各種評価試験への供試材とした。模擬固化体 へのγ線照射条件は、円柱線源モデルを引用し、固化体の再生係数をコンクリートと同等としたドラム 缶充填モデルから¹³⁷Cs におけるv線及びB線の吸収線量から放射能濃度を推定算出したものを用 いた。照射線源には⁶⁰Coを用い、照射量は、装置自体の下限安定条件である500Gy/h:6min と 500Gy/h: 30min の2条件での照射試験を実施した。なお、試験の結果、両照射条件とも固 化体の外観に変化は観察されなかった。

、始四日号	吸収線量 (mGy/h)			放射能濃度	借 老
γ称炽射重	γ線	β線	合計	(Bq/kg)	循方
500Gy/h、6min	0.141	0.026	0.167	257,333	照結識裝置下限值
500Gy/h、30min	0.707	0.128	0.835	1,286,665	約1mSV/h×30年相当

表-6 γ線照射条件









(b) 照射室

(c) 照射試料設置状態

図-1 γ線照射試験装置と照射時の設置状態

(2) 促進腐食試験

暴露耐性確認のためγ線照射済及び未照射固化体に対し、JIS H8502「メッキの耐食性試験方 法」に準拠した「中性塩水噴射サイクル試験」及び「人工酸性雨サイクル試験」を実施した。



図-2 サイクル試験装置外観



図-3 固化体のセット状態

 中性塩水噴霧試験条件(JISH 8502 準拠) 5%NaCl水溶液(pH7) 噴霧 2h+乾燥 4h+湿潤 2h×6 サイクル 噴霧:35℃ 乾燥:60℃、25%RH 湿潤:50℃、95%RH ② 人工酸性雨サイクル試験条件(JIS H 8502 準拠)

5%NaCl 水溶液→硝酸、硫酸で pH 調整→pH3.5 噴霧 2h+乾燥 4h+湿潤 2h×6 サイクル 噴霧:35℃ 乾燥:60℃、25%RH 湿潤:50℃、95%RH

試験の結果、面噴霧試験とも固化体の外観に変化は観察されなかった。

(3) 圧縮試験

放射性セシウムを含まない固化体を用いて下表に示すγ線照射試験、促進腐食試験の各パラメー タを組み合わせた状態で各 3 個、計 27 個の圧縮試験を行い圧縮強度の確認を行った。

	、火白日刀白→三十日今	促進腐食試験			
	Y标天识 引 武 脉	なし	塩水噴霧試験	酸性雨噴霧試験	
+ 00	なし	3 (1~3)	3 (4~6)	3 (7~9)	
本火 (乾燥料件)	500Gy/h,6min	3 (10~12)	3 (13~15)	3 (16~18)	
(纪架初4)	500Gy/h,30min	3 (19~21)	3 (21~24)	3 (25~27)	
汚泥 (含水)	なし	3 (1~3)	3 (4~6)	3 (7~9)	
	500Gy/h,6min	3 (10~12)	3 (13~15)	3 (16~18)	
	500Gy/h,30min	3 (19~21)	3 (21~24)	3 (25~27)	
ドナニノ	なし	3 (1~3)	3 (4~6)	3 (7~9)	
(海水吸着)	500Gy/h,6min	3 (10~12)	3 (13~15)	3 (16~18)	
	500Gy/h,30min	3 (19~21)	3 (21~24)	3 (25~27)	

注)()内は試料No.を示す。



図-4 圧縮試験装置



図-5 圧縮試験後の座屈固化体





図-6 に示すように圧縮試験結果を見ると固化体個々の圧縮強度にバラッキはあるものの木灰、汚 泥、ゼオライトと固化対象の種類により圧縮強度が層別されており、ゼオライト固化体は、他の固化 対象に比べバラッキは小さいが圧縮強度は低い。

固化対象	混練時 加水重量	成型時 重量(A)	固化体完成時 重量(B)	重量差 (A)-(B)	密度 (g/cm³)
木灰	なし	90.0 g	89.19 g	0.81 g	1.627
汚泥	19.5 g	90.3 g	87.10 g	3.20 g	1.579
ゼオライト	18.5 g	90.0 g	72.51 g	17.49 g	1.106

表-8 固化体の成型重量と固化体完成時の重量及び密度

表-8に示すようにゼオライト固化体は、他の固化体に比べ密度が低く、図-7に示す破断部のSEM 観察結果からも木灰固化体や汚泥固化体に比べ、ゼオライト固化体には多くの空隙が存在している ことが確認できる。このことから、ゼオライト固化体内の空孔率は高く、その分圧縮強度も低下する。



図-7 固化体破断面部の SEM 観察結果

さらに図-6のグラフからは、固化対象毎による強度差と共に同一固化対象であっても強度にバラツ キが生じていることが分かる。図-8の(a)及び(b)は、同一の木灰固化体の2断面のマクロ写真であ るが、(a)の断面では、黒く偏析した樹脂と思われる塊が多く確認できるのに対し、(b)では、樹脂と灰 がほぼ均一に分散混合されており、(a)の混練が不完全であることが確認できる。



図-8 固化体の断面観察(マクロ観察)結果

固化成型時の混練の差による圧縮強度を木灰固化体で比較した結果、混練時間が 10 分の固 化体の圧縮強度が11.0N/mm²であるのに対し、混練時間が20分の固化体の圧縮強度は、最低 でも23.1N/mm²を示しており、混練の状態が圧縮強度に影響を及ぼすことが分かる。また、図-8(c) のような内包欠陥も確認されており混練状態と共に固化体強度を低下させる一因となる。しかし、これら固化体製作上の課題はあるものの最も圧縮強度の低いゼオライト固化体においても 2.3N/mm²以上の強度を有しており、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律 核燃料物 質等の埋設に関する措置等に係る技術的細目を定める告示」(以下「埋設告示」と称する。)第 4条に示される廃棄体基準とされる 1.47N/mm²を十分越える強度であった。



(4) γ線照射及び促進腐食試験が及ぼす圧縮強度への影響

図-9 γ線照射、塩水噴霧、酸性雨噴霧試験の影響による圧縮強度比較

各データを比較するとγ線の照射による圧縮強度への影響、塩水噴霧、酸性雨噴霧による圧縮強 度への影響に相関が見られない。また、試験条件の複合的な影響について、データを比較した際に、 固化体へ与えた各種の負荷要因による圧縮強度への影響は認められない。これらのことから (3)項 にも記したように固化体の強度への影響は、各個体の個体差による要因の方が大きいと考えられる。 (5) シュミットハンマーによる反発度測定と圧縮強度の関係

シュミットハンマーは、コンクリートの強度を簡易的に測定する方法であるが、成型固化体の強度に 関してもコンクリートと同様に簡易的強度測定の指針となるかを考察した。







図-10 シュミットハンマー外観 図-11 シュミットハンマー測定方法 図-12 打撃により生じた亀裂

反発度の測定は、各試験片 4 点の測定を行い最大値及び最小値をカットした 2 点の平均値を反 発度として採用した。また、製作した固化体の反発度測定を行う際、ゼオライト固化体にシュミットハ ンマーの衝撃により割れが入ることとなったためゼオライト試験片については反発度の測定対象から除 外した。



圧縮強度と同様にシュミットハンマーによる反発度にも固体差が見られるが、シュミットハンマーの反 発度と圧縮強度には相関があると考えられ、製作した固化体の強度をおおよそではあるが反発度より 推定することも可能であると思われる。

(6) 燃焼性試験

今回の燃焼性試験では、通常の規格試験片形状とは異なる成型固化体を1 cmの厚さに切断加 工し、UL94 V 試験方法に準拠して燃焼性確認試験を実施した。

- ① UL94V 試験方法
 - ・ 試料の中央部に対して、下から垂直に接炎を行う。
 - ・ 炎の高さは 20 mm。円板とバーナーの先端との距離は 10 mmとする。
 - ・10 秒間の接炎を2回行い、各接炎後の残炎時間を測定する。
 - ・1回目の接炎後の試料燃焼が終わった直後に2回目の接炎を開始する。
- UL94V グレード (2)

表-9 UL94V の難燃性評価グレード

UL94 V-2	UL94 V-1	UL94 V-0	
低い	\rightarrow	高い	難燃性

3 試験結果

田化件	1回目の燃焼	2回目の燃焼	2 回目のグローイング	熔融落下
回161年	時間(秒)	時間(秒)	時間(秒)	の有無
木灰	0	0	0	無し
汚泥	0	0	0	無し
ゼオライト	0	0	0	無し

表-10 各固化体の UL94V 試験結果

各固化体ともバーナーによる接炎後に固化体に残炎は確認されず、何れの固化体も UL94V-0 に 相当することが確認できた。





5. 放射性セシウムの溶出性評価試験

(1) 固化対象とした放射性セシウム含有廃棄物の放射能濃度

表-11 固化対象とした放射性セシウム含有廃棄物の放射能濃度

固化対象名称	固化対象詳細	放射能濃度(Bq/kg)
飛灰	一般廃棄物焼却灰(キレート処理)	8,560
主灰 1	一般廃棄物焼却灰(キレート処理)	290
主灰 2	薪灰	9,960
汚泥	側溝升回収	21,863
吸着ゼオライト	車両除染回収酸性溶媒吸着	7,343

(2) 溶出試験1(有姿撹拌試験(JIS K0058-1 環告6号試験))

固体と液体の質量比(液固比):10 溶媒 pH: 5.8~6.3 撹拌時間:6時間 撹拌速度:200rpm 検液の Cs 濃度を Ge 半導体検出器で測定 測定時間:1,000~2,000 秒



図-15 有姿撹拌試験方法



図-16 放射性セシウム含有廃棄物固化体のセシウム溶出率

(参考文献:1)(独)国立環境研究所. 資源循環・廃棄物研究センター/公開資料「放射能廃棄物の現状とその取り組み」)

図-16 に示すように JIS K0058-1 に基づく試験では飛灰及び主灰 2 固化体から放射性セシウム の溶出が確認された。これは原料とした放射性セシウム含有廃棄物よりも小さい値であったが、固化 体からの放射性セシウムの溶出を完全に抑えることはできなかった。そこで成型した固化体をさらにレ ジンでオーバーパック・コーティング(以下「OP」と称す。)することで溶出率の低減化を試みた。



図-17 通常固化体と OP 固化体の溶出率比較

図-17 に示すように試験の結果、OP 固化体の検液からは放射性セシウムの溶出は確認されず (<18.8Bq/L 算出不可)、固化体からの放射性セシウム溶出に対しレジンによるコーティング処 理が有効であることが判明した。ただし、コーティング処理した固化体の Cs 溶出に対する長期安定性 については、さらなる試験が必要である。

(3) 溶出試験2(長期放置浸漬試験)

長期浸漬溶出性の評価を行うために、密閉容器中に放射性セシウム含有廃棄物固化体をそれぞれ純水、弱アルカリ水(JIS Z2371「塩水噴霧試験」準拠の 5% NaCl 水溶液)及び弱酸性水 ((1)項の試験の継続試験)に浸漬放置し、その検液を Ge 半導体測定器により測定した。



図-20 長時間溶出試験における検液毎の放射性セシウム溶出量(飛灰、飛灰 OP、主灰 2)

図-19 に示すように (2)項の試験で放射性セシウムの溶出が確認された固化体 (飛灰、主灰 2 (薪灰))からは、長時間の浸漬により放射性セシウムの溶出が継続することが確認された。また、 図-20 に示すようにこれらの固化体からは溶媒の種類に関係なく放射性セシウムの溶出が起こり、それらが時間の経過とともに高くなることも確認された。しかし、コーティング処理を施した OP 固化体から は時間経過しても放射性セシウムの溶出は確認されずその処理方法の有効性を示した。

6. コスト評価

表-12 レジン使用量を1kgとした時の材料費

	レジン(1 kg)	硬化剤(330g)	剥離剤(≒60 個分)	合計
今回使用価格	¥ 2,000	¥ 600	¥ 240	¥2,840
量産規模価格*1	¥ 350	¥ 100	¥ 60	¥510

*1) 量産規模(5~20t/1 バッチの生産ベース)での試算。

表-13 固化体1kg当りの材料費

田化計争	レジン1 kg当りの廃棄物	固化体1kg当りの材料費		
回1U29家	固化量	今回使用価格	量産規模価格	
乾燥粉体(灰等)	4.0 kg	¥ 710	¥ 127	
含水体(汚泥、吸着ゼオライト等)	3.3 kg	¥860	¥ 155	

7.歩掛り

表-14 作業員2名、固化対象1kg/バッチを手作業で実施した場合の作業時間

固化対象	水分調整	分散·混合	混練	成型完了まで
乾燥粉体(灰等)	-	20分	20分	50~55 分
ガラ灰	-	10分	-	20~25分
含水体(汚泥、ゼオライト等)	5分	10分	10分	40~45 分

混合→混練→成型までの一連作業は、一般産業界においては既に機械化が実施されており、大まか に混合・混練機と成型押し出し機に分けられる。モータトルク、混練時間、成型(絞り出し、射出等) 等の機械化条件を小規模試験によりデータ取得すれば大型機械化の実現が可能である。(装置概 算:処理量 1t=3,000~5,000 万円(放射線遮蔽等含まず。))

8. まとめ

- (1) 固化対象の種類、形態を問わずレジンによる固化体成型は可能である。また、固化後の体積減容率は、無加圧成型にも係わらず約43%~50%に達した。
- (2) レジン固化体の圧縮強度は、最も低い値を示したゼオライト固化体でも≥2.3N/mm²を示しており、 「埋設告示」第4条に示される廃棄体基準 1.47N/mm²を越えていた。
- (3) レジン固化体の圧縮強度は、レジンと固化対象の混練状態に影響される。そのため均質な固化体の量産には機械化が必要不可欠である。
- (4) レジン固化体の燃焼性は、UL94 規格に準拠した試験の結果、難燃性 V-0 相当と判断された。
- (5) JIS K0058-1 に基づく有姿撹拌試験では、飛灰及び主灰2(薪灰)固化体からの放射性セシ ウムの溶出が確認された。飛灰固化体からの放射性セシウムの溶出率は最大 6.6%であった。
- (6) 飛灰及び主灰2固化体からの放射性セシウムの溶出は、溶媒の種類(酸、水、塩)に関係なく起こり、時間の経過とともに溶出率も増加した。
- (7) 飛灰及び主灰2 固化体にレジンを用いてオーバーパック・コーティング処理を施すことで放射性セシ ウムの溶出を検出限界以下に抑えることが可能であることを確認した。



実証テーマ名:飛灰の放射能濃度低減等を目的とした造粒固化洗浄技術

事業の概要:

溶出性の高い焼却飛灰を一定の粒径に造粒した後、管理の容易な連続通水洗浄を行うこ とで放射能濃度の低減と溶出抑制を行う技術について、実規模レベルの洗浄プラントを用 いて効果を実証する。

実施内容:

造粒固化材の配合を決定する「室内配合試験」、洗浄条件を決定する「事前配合試験」を 実施し、実規模実証試験実施の諸条件を確定したうえで、実規模実証試験を実施し、実展 開モデル構築のための施工性、経済性、改善点を把握する。

技術概要:

焼却飛灰を粒径 φ 1~9.5mm に造粒固化した後、カラム式の設備にて通水洗浄することにより、焼却飛灰の放射能濃度を低減し、水への溶出を防止する。



除染効果:

通水洗浄試験結果

(通水液は水処理後洗浄液として再利用)

洗浄			US 減少卒 (1-B/A) X 100		Cs 浴出重 ^{※2} (Bq/L)				
ケース	洗泡	争前 A	洗浄後 B	(I-D/Р ()	6) 100	洗	浄前	洗浄後	
SV=5 0.7m ³ (740kg) 8 時間洗 浄	585 585 585 585 624	平均 593	上部:109 中央:147 側部:116 側部:135 底部:222	82 75 80 77 63	平均 75	47 44 46 43 43	平均 45	上部:ND 中央:ND 側部:ND 側部:ND 底部:ND	
SV=10 0.7m ³ (740kg) 4 時間洗 浄	637 611 624 598 572	平均 608	上部:103 中央:120 側部:96 側部:100 底部:96	83 80 84 84 84	平均 83	43 44 42 50 47	平均 45	上部:ND 中央:ND 側部:ND 側部:ND 底部:ND	Γ
SV=20 0.35m ³ (370kg) 2 時間洗 浄	663 637 637 650 650	平均 647	上部:141 中央:153 側部:139 側部:154 底部:134	78 76 79 76 79	平均 78	49 45 41 46 42	平均 45	上部:ND 中央:ND 側部:ND 側部:ND 底部:ND	
※1 含水 ※2 JISK	比補正Ⅰ 0058-1	した放射能 に基づくネ	能濃度 容出試験結果						

洗浄前後の放射能濃度を含水比補正し て比較した結果、いずれのケースも平均 70%以上の放射能濃度の低減効果があっ た。また、通水液を水処理せず、再度循 環通水しても同様の低減効果が確認でき

循環通水洗浄試験結果 (通水液は水処理せず再利用)

洗浄	放射能濃度 ^{※1} (Bq/kg)			Cs減	少率	Cs 溶出量 ^{※2} (Bq/L)		
ケース	洗浴	争前 A	洗浄後 B	()	6)	洗	浄前	洗浄後
SV=20 0.35m ³ (370kg) 4 時間洗 净	663 650 598 689 624	平均 645	上部:119 中央:122 側部:108 側部:128 底部:154	82 81 83 80 76	平均 80	39 42 38 45 43	平均 41	上部:ND 中央:ND 側部:ND 底部:ND
※1 含水. ※2 JISK	比補正	した放射能	能濃度 ^{図出試輪結里}					

除去物発生量評価:

13,000Bq/kg*の初期飛灰を1t(1m3)処理した場合の廃棄物量を評価する。洗浄水の吸 着材の濃度を初期飛灰の20倍まで濃縮した場合の処理後の指定廃棄物量と総廃棄物量につ いて、本技術と環境省の基準に従い150kg/m³のセメント固化をした場合を比較する。

※H24.2.12 災害廃棄物安全評価検討会(第12回)資料 14 の設定値に準じて設定

重量比較	(.	単位:t)		体積比較	(単位:m³)
	セメント固化	本技術			セメント固化	本技術
指定廃棄物 (8,000Bq/kg以上)	1.55	0.05		指定廃棄物 (8,000Bq/kg 以上)	1.41	0.05
総廃棄物量 (8,000Bq/kg 未満含む)	1.55	2.30 [%]		総廃棄物量 (8,000Bq/kg 未満含む)	1.41	1.41

作業員被ばく量評価:

作業場所平均空間線量率 0.05 µ Sv/hr、作業時間 7 時間

作業員最大被ばく量 11 µ Sv(作業担当箇所:飛灰の造粒固化、飛灰の洗浄管理。作業時 間:7時間×13日)

コスト評価:	歩掛り(作業人工、作業速度):
処理単価: 30 千円/t	作業人工:0.5人工/t、作業速度:0.5t/hr

コスト評価条件:

飛灰処理量:4t/日

処理期間 : 2年間(20日/月)

除染作業における安全上の注意:

実展開プラントでは飛灰の造粒は粉塵の発生しない自動投入システムとなるが、実証試 験では、造粒固化作業はテント内で行い粉塵の拡散を防止した。テント内は集塵器を設置 し、ダイオキシン類対応防塵防毒マスク、タイベックスーツ等の保護具を着用した。

試験場所(住所):	除去物保管場所と保管状況(写真):
宮城県亘理町	飛灰は提供先へ返却、水処理に用いたゼオライトは試験敷
	地内に仮置き後、県内産業廃棄物処分場へ産廃(汚泥)とし
	て埋立処分する。

【室内配合試験】

■試験の目的および調査内容

実証試験の条件設定のため、小型造粒試験機を用いて飛灰 を造粒した後、室内洗浄試験を行い、以下の調査を行った。 ①飛灰の造粒固化に使用するセメントの種類と添加量 ②造粒固化飛灰からの重金属類溶出量 ③洗浄時に細粒化しない強度と、洗浄した造粒固化飛灰の 盛土材としての利用を考慮した強度



図 1 造粒固化飛灰の篩分け結果 (早強 100kg/t)

■試験結果

◇造粒試験

図1に造粒固化飛灰の篩分け結果を示す。小型造粒試験機(容量3~5L)を用いた造粒試験の結果、 当初予定のφ2~9.5mmの粒径の割合が60%程度であり、φ1~2mmも含めると洗浄に用いる造粒固 化飛灰の割合が約80%程度になることがわかった。このため、飛灰洗浄の対象粒径をφ1~9.5mmとし、 今後、通水カラム洗浄試験により洗浄に必要な通水性を確保しているか確認することとした。

◇強度等評価試験

表 1、2 に強度等評価試験結果を示す。造粒固化飛灰を洗浄後、破砕率 10%未満、コーン指数第 3 種建設発生土基準(400kN/m²)以上を満足するには、養生期間は 1 日では不足であること、配合は高 炉セメントでは 150kg/t 以上、早強セメントでは 100kg/t 以上必要であることが分かった。

破砕率:フレコン充填による細粒化を評価するため実施。造粒固化飛灰を水浸、水切り後、直径 10cm モールド に充填し、0.2kgf/cm²の荷重をかけて、粒径 0.85mm 以下の重量が増えた割合。

コーン指数:洗浄後、造粒固化飛灰の土質材料としての再利用性を評価するため実施。造粒固化飛灰の自然 含水比状態と水浸水切り後を対象に突き固めた後の測定値。

表	1	造粒固化飛灰の破砕率。	とコーン	指数試験の)結果(1	日養生
_	-					

τĩ	5 🖂	出店			高炉t	ュメント					早強も	ェメント		
	10	中世	50 k	(g∕t	100	kg∕t	150	kg∕t	50k	g/t	100	kg∕t	150	kg∕t
破功兹	破砕前後	—	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
1/211+	0.85mm 以下	%	0	15.9	0	17.6	0	16.3	0	19.7	0	12.5	0	19.1
	含水比	%	76	i.8	69	9.5	65	5.9	74	.4	68	3.1	67	'.5
コーン	湿潤密度	g/cm ³	1.5	01	1.5	533	1.5	28	1.4	97	1.5	14	1.5	27
11致 (水温後)	乾燥密度	g/cm ³	0.8	49	0.9	04	0.9	21	0.8	58	0.9	01	0.9	12
(小过夜)	コーン指数	kN/m ²	1	7	2	5	17	77	8	4	8	9	7	9

表2 造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験の結果(7日養生)

тZ	5 🖂	畄仏			高炉t	ュメント					早強t	ェメント		
	20	中世	50 k	⟨g∕t	100	kg∕t	150	kg∕t	50k	.g∕t	100	kg∕t	150	kg∕t
	破砕前後	_	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
破砕率	0.85mm 以下	%	0	11.9	0	6.5	0	6.2	0	6.7	0	7.5	0	8.1
	含水比	%	65	5.0	64	1.8	60	0.0	69	9.3	61	.5	58	3.0
コーン 指数	湿潤密度	g/cm³	1.5	544	1.5	562	1.5	83	1.4	67	1.5	641	1.5	51
(水浸後)	乾燥密度	g/cm ³	0.9	936	0.9	948	0.9	89	0.8	867	0.9	54	0.9	82
	コーン指数	kN/m^2	8	9	1	58	57	72	4	9	58	32	12	87

◇洗浄試験

造粒固化飛灰を、液固比 10 の水に投入し、10 分間攪拌洗浄する操作を 3 回繰り返した。

いずれのケースも、洗浄水の放射能濃度は、洗浄回数とともに低減し、3回目の洗浄で定量下限値 程度となり、配合と養生の違いによる除去効果の違いは見られなかった。累積溶出率は70~80%で、 造粒固化をしていない飛灰とほぼ同じであり、造粒しても同程度のセシウム洗浄除去ができた。鉛濃 度はいずれも基準値以下で、キレートによる不溶化により、洗浄水には溶出しなかった。

■まとめ

セメントの種類と添加量については、洗浄試験の結果では差が見られなかったが、強度評価等試験の結果から、次の事前配合試験の配合は、早強セメント 100,150kg/t、高炉セメント 150kg/t とした。

【事前配合試験】

■試験の目的および調査内容

実規模実証試験で用いる造粒機を用いて、早強セメント 100,150kg/t、高炉セメント 150kg/t の配合 で造粒固化飛灰を作製した後、室内洗浄試験を行い、以下の調査を行った。

①実規模実証試験の配合(水添加量、セメントの種類、添加量と添加方法)

②通水洗浄方式の条件(通水速度、通水量、洗浄時間)

③通水洗浄方式における造粒固化飛灰からの重金属類の溶出量

④通水液を洗浄水として再使用する循環通水方式の効果

■試験結果

◇飛灰の初期性状調査

初期飛灰の放射能濃度は 1,200Bq/kg であった。

◇造粒固化試験

図2に早強セメント100kg/tでの造粒固化飛灰の篩分け試験結果を、写真1に造粒機、整粒機を示す。キレート剤は、本試験に用いた飛灰の発生施設基準に準じ、飛灰重量に対して重量比で10%添加した。水の添加量は造粒時の造粒固化飛灰の攪伴状況を目視確認し判断した結果、飛灰重量の15%と決定した。

造粒固化試験では、整粒機の有無による粒径の違いを調査した。その結果、いずれのケースでも造 粒固化飛灰の 90%以上が洗浄対象とする ϕ 1~9.5mm の範囲であったが、整粒機がない場合、 ϕ 1~ 2mm の粒径が多く、早強 100kg/t の例では 47%を占めた。しかし、整粒機を利用することで ϕ 9.5mm 以 上の割合はほぼ変化なく ϕ 2~9.5mm の割合が増え、早強 100kg/t の例では 77%を占めた。この結果 から、整粒機を用いることで通水洗浄における通水性確保に有利な単粒化が促進されたと示唆された。 このため、造粒機を整粒機を組み合わせて使用することとした。



図2 実規模造粒機を用いた造粒固化飛灰の篩分け試験結果



(飛灰にキレート、セメント、水を添加し、造粒固化する) (造粒機で作製した造粒固化飛灰の粒径を整える)

写真1 実規模実証試験で使用した造粒機および整粒機

◇強度等評価試験

表 3~6 に造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験結果を示す。本試験では、造粒機1バッチ当た り 30kg の飛灰を一度に造粒固化した。このため、作製した造粒固化飛灰のばらつきを考慮して破砕率 試験は 3 連とした。コーン試験については、突固めた試料で試験を行うため、ばらつきの影響は小さい と判断し1 連とした。

早強セメント 150kg/t は破砕率がすべての条件で 10%を超過し、コーン指数は3日養生で 0kN/m²で あった。この原因として、造粒時の添加水量(飛灰重量比 15%)がセメント添加量に対して少なく、セメントの水和が不十分であった可能性が考えられた。

10 道作	山口派入り			~ 10 9	人口八间入	、マンホロン		一及工	、正个					
項	一 一	単位	高炉	戸セメン	ィト 150	kg∕t	早強	鱼セメン	·ト 100	kg∕t	早強	闺セメン	・ト 150	kg∕t
咕咕兹	破砕前後	—	前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3
1/以1十华	0.85mm 以下	%	0	2.6	2.7	2.1	0	3.2	2.8	4.3	0	20.5	20.4	19.7
コーン指数(水浸後)		kN/m^2		14	10			10	31		0			

表3 造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験の結果(3日養生、整粒無し)

表 4 造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験の結果(3 日養生、整粒有り)

Į	目	単位	高炉	ョセメン	·ト 150	kg∕t	早强	亀セメン	[,] ト 100	kg∕t	早强	館セメン	·ト 150	kg∕t
证功态	破砕前後		前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3
11011千平	0.85mm 以下	%	0	3.2	2.4	2.0	0	3.1	3.6	3.3	0	21.8	24.6	23.8
コーン指数	数(水浸後)	kN/m^2		17	95		1800				0			

表5 造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験の結果(7日養生、整粒無し)

邛	目	単位	高炉	ョセメン	ィト 150	kg∕t	早強	亀セメン	ィト 100	kg∕t	早强	自セメン	·ト 150	kg∕t
破砕率	破砕前後	—	前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3
水浸後	0.85mm 以下	%	0	2.7	2.6	2.8	0	2.8	3.4	2.5	0	13.2	13.4	15.3
コーン指数(水浸後)		kN/m^2		11	19			10	45		1514			

表 6 造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験の結果(7 日養生、整粒有り)

IJ	目	単位	高炉	ラセメン	ィト 150	kg∕t	早强	亀セメン	·ト 100	kg∕t	早強	亀セメン	ィト 150	kg∕t
咕珑葱	破砕前後		前	後1	後 2	後3	前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3
11011中华	0.85mm 以下	%	0	1.9	2.0	2.6	0	9.9	3.5	3.2	0	15.8	19.9	19.0
コーン指導	数(水浸後)	kN/m^2		17	01			19	73			10	16	

◇洗浄試験

洗浄試験は、バッチ式洗浄試験と通水カラム洗浄試験を実施した。室内配合試験により、養生期間 の違いによる洗浄試験の結果に差が生じないことを確認していたが、強度試験結果との比較を行う必 要性を考慮し、バッチ試験は3日養生、7日養生の2ケースで、通水カラム洗浄試験は7日養生で試験 を行った。通水カラム洗浄試験は、造粒固化飛灰(7日養生)を内径10cm、高さh=10cmのカラムに充 填し、通水速度SV[※]=5,10,20で通水洗浄を行った。洗浄後にカラム上部と下部から試料を採取し、放射 能含有量の低減量を調べた。

表7にバッチ式洗浄試験結果(7日養生 整粒有り)を示す。いずれのケースにおいても、洗浄水の放 射能濃度は、洗浄回数とともに低減し、3回目の洗浄で8~3Bq/Lと定量下限値(Cs134、Cs137ともに 2Bq/L)程度となった。また、3回洗浄した後の累積溶出率は、80%以上(3日養生の場合、70~80%) であり、室内試験時と同様に、洗浄によりセシウムが除去できることがわかった。また、鉛と六価クロム は不検出であり、洗浄水に溶出しないことが確認できた。

(※SV:1時間当たりの洗浄水量を洗浄対象物の体積に対する比率で表したもの)







写真3通水カラム洗浄試験



通水カラム洗浄試験 (入換方式)

通水カラム洗浄試験 (循環通水方式)

表7 バッチ式洗浄試験の結果(7日養生 整粒有り)

試料	洗浄 回数	造粒固化飛灰の 放射能濃度 A (Bq/kg)	洗浄水の放射能 濃度 B (Bq/L)	累積溶出率 C=(10×ΣB)/A×100 (%)	SS (mg/L)	鉛 (mg/L)	六価 Cr (mg/L)
高炉セメント	1		52	62.7	230	<0.01	<0.05
150 kg/t	2		17	83.1	240	<0.01	<0.05
整粒有り	3	830	3	86.7	190	<0.01	<0.05
早強セメント	1		47	51.6	160	<0.01	<0.05
100 kg/t	2		23	76.9	410	<0.01	<0.05
整粒有り	3	910	4	81.3	180	<0.01	<0.05
早強セメント	1		33	37.9	190	<0.01	<0.05
150 kg/t	2		29	71.3	380	<0.01	<0.05
整粒有り	3	870	8	80.5	340	<0.01	<0.05

図4に通水カラム洗浄試験結果(早強100kg/t、整粒有り)を示す。洗浄水の放射能濃度は、通水量、 通水時間とともに低減し、Q/V[※]=14~20 で定量下限値(Cs134、Cs137 ともに 2Bq/L)程度となった。 累積のセシウム除去率は70~90%で、バッチ式洗浄の累積溶出率とほぼ同程度であったことから、通 水式洗浄でもセシウムを除去できることが確認できた。

洗浄水の放射能濃度が定量下限値程度になるときを洗浄完了と考えると、セメントの種類と添加量 に関わらず、通水速度が SV=5 の場合は通水量 Q/V=14、SV=10 の場合は通水量 Q/V=20、SV=20 の 場合は Q/V=20 以上が必要であった。また、通水速度が速いとセシウムの累積除去量が低減する傾 向にあり、通水量を多くすることが必要と考えられる。



(※Q/V:総通水量を洗浄対象物の体積比で表したもの)

図3通水カラム洗浄試験に おける通水方法説明図

図4 通水カラム洗浄の結果(早強セメント 100kg/t 整粒有り)

通水洗浄後のカラムを解体して、上部と下部から洗浄後の造粒固化飛灰を採取した。表8に洗浄後 造粒固化飛灰の放射能濃度測定結果を示す。放射能濃度は、カラム上部と下部で大きな差はなく、試 料全体が洗浄できていることが確認できた。セシウムの減少率は60~70%で、洗浄水からの累積除 去量(70~90%)よりも少し小さい値を示したが、ほぼ同程度の値であり、収支が確認できた。

	通水	通水量		初期放	射能濃度	(Bq/kg)	洗浄後放	α射能濃度	(Bq/kg)	○○減小率
試料	速度 SV	區水重 Q/V	位置	Cs-134	Cs-137	合計	Cs-134	Cs-137	合計	(%) (%)
	Б	20	上				95	180	280	69.2
古店セント	J	20	下				97	170	270	70.3
同次 ビスノト 150kg/t	10	20	L	340	570	010	98	210	310	65.9
軟約方に	10	20	下	340	370	910	91	180	270	70.3
正位行り	20	20	上				140	270	410	54.9
	20	20	下				120	260	380	58.2
	5	20	Ŀ				96	160	260	72.6
日産セント	5	20	下				87	170	260	72.6
午頭 ビグンド	10	20	Ŀ	330	620	050	92	170	260	72.6
整約 右り	10	20	下	550	020	330	100	170	270	71.6
王位有了	20	20	Ŀ				110	210	320	66.3
	20	20	下				95	190	290	69.5
	5	20	Ŀ				110	160	270	71.0
日産セント	5	20	下				80	170	250	73.1
午班 ビケンド	10	20	Ŀ	330	600	030	95	170	270	71.0
転転 100kg/L	10	20	下	530	000	530	82	180	260	72.0
王小王·日·7	20	20	Ŀ				130	240	370	60.2
	20	20	下				130	240	370	60.2

表8 通水カラム洗浄後の造粒固化飛灰の放射能濃度(乾燥後の測定値)

◇循環通水洗浄試験

循環通水試験では、通水液を再び洗浄水としてカラムに返送し、循環通水洗浄した場合の洗浄効果 を調べた。通水条件はSV=20として、通水量をQ/V=10、20、30、40の4ケースに設定し、通水を止 めた後にカラム体積の2倍量の水ですすぎを行った。表9に通水洗浄後のカラムを解体して、カラムの 上部と下部に分けて試料を採取し、放射能濃度を測定した結果を示す。

洗浄後試料の放射能濃度は、通水カラム洗浄試験よりも少し高い傾向にあったが、大きな差はなく、 循環通水洗浄においてもセシウムが除去できることが確認できた。

	通水	通水量		初期放	射能濃度	(Bq/kg)	洗浄後放	<u>【</u> 射能濃度	(Bq/kg)	C。減小來
試料	速度 SV	Q/V	位置	Cs-134	Cs-137	合計	Cs-134	Cs-137	合計	(%)
		10	上				100	200	300	68.4
		10	不				142	263	410	56.8
日みたいし		20	上				130	250	380	60.0
午短セメント	20	20	下	220	620	050	120	240	360	62.1
TUUKg/t 敕約方は	20	20	上	320	020	950	96	200	300	68.4
正和伯り		30	下				110	220	330	65.3
		40	上]			95	210	310	67.4
		40	下				130	240	370	61.1

表9 循環通水洗浄後の造粒固化飛灰の放射能濃度(乾燥後の測定値)

■まとめ

作製した造粒固化飛灰の破砕率は3日養生で十分な強度を持つ造粒固化飛灰が作製できた。作製 する造粒固化飛灰の減量化のため、早強セメント100kg/tが最適な配合と判断し、実規模実証試験で は、早強セメント100kg/tを採用して実施することとした。

通水による洗浄方式は、¢1~9.5mmの粒径で通水性は確保できた。バッチ式洗浄方式と同様の洗 浄効果があり、通水速度が遅いほど洗浄に必要な水量が低減できることがわかった。また、循環通水 洗浄方式は、通水による洗浄方式と同様の洗浄効果があり、洗浄水を再利用することで、効率よく洗 浄ができることがわかった。

【実規模実証試験】

■試験の目的および調査内容

実規模の洗浄設備を用いた造粒固化飛灰の洗浄試験を実施して、以下の調査を行った。 ①実規模プラントにおける洗浄条件、作業性、施工歩掛

②洗浄による放射能濃度の低減効果、洗浄後の造粒固化飛灰からのセシウム溶出量

③造粒固化飛灰からの重金属類の溶出量と、その洗浄による影響

④システムの課題及び改善点

■試験項目·試験方法

◇飛灰の初期性状調査

造粒固化に用いる飛灰の初期性状を調査した。

◇造粒固化飛灰の作製

事前配合試験と同様に造粒固化飛灰を作製した後、2 段式振動スクリーンにより、粒径 \$\phi1~9.5mm に調整した。この作業における造粒固化飛灰の製造能力および 2 段式振動スクリーンの分別精度を評 価した。

◇強度等評価試験

事前配合試験の再試験を実施した。添加水量を事前配合試験のほぼ2倍の飛灰重量の30%として 水和反応を進めた条件で、早強セメント100kg/tと150kg/tの2ケースを実施した。

◇造粒固化飛灰の品質確認試験

洗浄前の造粒固化飛灰(早強セメント 100kg/t、整粒有り)の性状を調査した。

◇実規模洗浄試験

図5に洗浄試験フローを示す。造粒機で作製した造粒固化飛灰(早強セメント100kg/t、整粒有り)を 底面透水フレコンに充填し、給水槽(容量10m³×4)、洗浄槽(容量:7m³)、濁水処理装置(処理能力:10 ~20m³/h)、ゼオライト吸着槽(充填量:5t)等により構成する実規模洗浄プラントにより洗浄試験を実 施した。通水速度はSV=5、10、20の3段階に設定した。フレコンへの造粒固化飛灰充填量はSV=5、 10については0.7m³とした。しかし、本試験装置では洗浄槽とフレコン内部の水位差に制限があり、通 水量が制限されたため、SV=20のケースは洗浄対象となる造粒固化飛灰の量を0.35m³とした。

洗浄試験終了後の造粒固化飛灰から上部1点、中間部3点、下部1点の計5地点において試料を 採取し、洗浄による性状の変化を調査した。

◇実規模循環通水洗浄試験

図6に循環洗浄試験フローを示す。通水液を水処理せずにそのまま再び洗浄用水として底面透水フ レコンに返送し、循環通水洗浄した場合の洗浄効果を調べた。

流量計 試験完了後、濁水処理機 ゼオライト吸着層にて 排水処理を行う P 流量計 試験完了後タンク車 にて焼却炉用水槽へ 洗浄中 洗浄槽 循環水量:2m3 白織相 Ó 図6洗浄フロー(循環通水方式) 再利用 浄化水 洗浄椎 スラッジ 濾水返送 ト吸着権 図5洗浄フロー(入換通水方式)

通水条件は、SV=20として、Q/V=80 まで循環通水を行った後、洗浄固化飛灰の体積の 2 倍量の水ですすぎを行った。

■結果

◇飛灰の初期性状調査

初期飛灰の放射能濃度は 780Bq/kg であった。 **今造粒固化飛灰の作製**

(1)造粒固化の収率調査

表 10 に 2 段式スクリーンにて、粒径 9.5mm 以上、1~ 9.5mm、1mm 未満の3段階に分級した重量比を示す。2 段式 スクリーンで分級した粒径1~9.5mmの割合は、全体の80% 程度であった。



表 10 2 段式スクリーンによる造粒固化飛灰分級結果

	百日	畄莅	早強セメント 100kg/t
	項口	中世	整粒有り
	9.5mm 以上	%	18.6
粒度	1~9.5mm	%	80.1
分布	1mm 未満	%	1
	造粒機の側壁付着	%	0.4





¢1∼9.5mm

飛灰

66.7



φ9.5mm 以上

水

初期飛灰

写真5 初期飛灰および分級後の造粒固化飛灰状況

(2)作業効率の調査

造粒機 1 バッチ当たりに要した造粒固化時間は、投入から整粒完了まで 5 分間であった。飛灰の投入量は 30kg/バッチで、そのうち洗浄に使用できる収率は約 80%であるため、飛灰 1t 当たりに要する 固化時間は以下の通り、210 分間/t となる。

<u>・飛灰 1t の造粒固化時間 : 1000/(30kg×80/100)=42 バッチ、5分間×42 バッチ= 210分間/t</u> また、洗浄槽への設置撤去に 10 分間を要した。洗浄に要する時間を 2 時間とすると、洗浄に要する 合計時間は 130 分間/袋となる。表 11 より造粒固化飛灰中に含まれる飛灰の割合は約 67%であるた め、造粒固化飛灰を 1t 単位で洗浄する際の飛灰 1t 当たりに必要な洗浄時間は以下の通り、194 分間 /t となる。

・飛灰 1t 洗浄に要する時間 : 1/0.67 × 130 分間=194 分間/t

◇強度等評価試験

表 12 に造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験結果を示す。破砕率は 5%未満、コーン指数は 1000kN/m²以上と有効利用時に十分な強度を示した。

J	項目	単位	<u> </u>	早強セメン	・ト 100kg/	ťt	<u> </u>	早強セメン	ィト 150kg/	ťt	
	破砕前後	—	前	後1	後2	後3	前	後1	後2	後3	
ᅚᆎᅚᄮᇴ	4.75~9.5mm	%	32.3	29.9	25.8	24.4	33.2	28.1	27.2	28.9	
収件平	2~4.75mm	%	46.3	47.6	44.7	48.2	44.5	46.1	48.9	45.7	
小皮伖	0.85~2mm	%	21.4	19.2	25.0	23.2	22.3	22.8	21.2	22.9	
	0.85mm 以下	%	0	3.3	4.5	4.2	0	3.0	2.7	2.5	
	含水比	%		49).7			46	6.8		
コーノ	湿潤密度	g/cm ³		1.5	08			1.4	15		
カ錠	乾燥密度	g/cm ³		1.0	07			0.9	964		
小皮板	コーン指数	kN/m^2		19	23		3157				

表 12 造粒固化飛灰の破砕率とコーン指数試験の結果(3日養生、整粒有り)

付録 2 - 13 - 9

写真4 2段式振動スクリーン

表 11 造粒固化飛灰の配合割合(%)

キレート

6.7 6.7 20

早強セメント
◇造粒固化飛灰の品質確認試験

放射能濃度は 440~530Bq/kg、セシウム溶出量は 39~50Bq/L の範囲にあった。

◇実規模洗浄試験

表 13、図 7、8 に実規模洗浄試験の結果を示す。いずれのケースも、洗浄水の放射能濃度は通水量 と通水時間とともに低減し、Q/V=14~20 で定量下限値(Cs134、Cs137 ともに 2Bq/L)以下となったこと から、Q/V=14~20 で通水洗浄が完了すると考えられた。鉛は、通水初期に最大 0.52mg/L 検出され た。この理由として、今回、キレートを混合した後に水を混合する手順としたため、キレートの混合にム ラが生じたと考えられる。今後、キレートと水を同時混合とすることで、均一な混合が期待できる。

· 我 10 天然	飞快加速的		+는 습ㅗ		(1)			50	<u> </u>
試料	週 水 速 度	週水重	<u> </u>	能 辰 度(E	sq/L)	SS	Ha	EC	
	SV	Q/V	Cs-134	Cs-13/	台計	(mg/L)	-	(mS/m)	(mg/L)
初期原水			—	—	—	—	8.0	15	—
		使用原水	<2	<2	N.D	95	5.7	280	<0.01
		2	32	55	87	130	12.0	3600	0.02
	5	4	6	10	16	34	12.4	2000	<0.01
	(0.7m ³)	6	4	7	11	26	12.5	1600	<0.01
	(740kg)	10	2	3	5	19	12.5	1300	<0.01
	通水洗浄	14	<2	<2	N.D	13	12.5	1100	<0.01
		20	<2	<2	N.D	18	12.4	1100	<0.01
		40	<2	<2	N.D	26	12.3	1100	<0.01
		使用原水	<2	<2	N.D	89	7.0	830	<0.01
	10 (0.7m ³) (740kg)	1	44	82	130	380	11.8	3100	<0.01
		2	11	24	35	190	12.0	2400	0.52
日みちかい		3	5	10	15	180	12.1	1900	0.11
午短セメント		5	2	6	8	150	12.2	1600	0.01
TUUKg/t 敷始方目		7	2	4	6	130	12.3	1500	<0.01
空祉有り	通水洗浄	10	<2	3	3	110	12.3	1400	<0.01
		14	<2	3	3	100	12.3	1300	<0.01
		20	<2	<2	N.D	140	12.2	1100	<0.01
		40	<2	<2	N.D	100	12.2	1400	<0.01
		使用原水	<2	<2	N.D	150	7.3	1300	<0.01
		2	10	21	31	250	11.8	2000	0.06
	20	4	6	10	16	200	11.9	1700	<0.01
	(0.35m ³)	6	3	9	12	190	11.9	1600	<0.01
	(370kg)	10	3	4	7	150	11.9	1400	<0.01
	通水洗浄	14	2	4	6	160	11.9	1400	<0.01
		20	<2	<2	N.D	140	11.9	1500	<0.01
		40	<2	<2	N.D	120	11.8	1300	<0.01

表 13 実規模洗浄試験の結果



表 14 に実規模洗浄試験後の造粒固化飛灰の調査結果を示す。洗浄後のセシウム溶出量は、 いずれのケース、採取位置においても定量下限値未満であり、造粒固化飛灰中の溶解性セシウ ムが除去できたことを示した。

洗渔	放	射能濃度	^{**1} (Bq/kg)	Cs 減少率		Cs	s 溶出量	^{**2} (Bq/L)	洗浄後溶出試験 ^{※2}		
ゲース	洗浄前 A		洗浄後 B	(1–B/A) × 100 (%)		洗	浄前	洗浄後	pН	EC (mS/m)	鉛溶出量 (mg/L)
C) / F	585		上部:109	82		47		上部:ND	12.7	600	0.07
5V=5 0.7m ³	585		中央:147	75		44		中央:ND	12.6	560	0.01
0.7m (740kg) 8 時間洗浄	585		側部:116	80		46		側部:ND	12.7	580	0.01
	585	平均	側部:135	77	平均	43	平均	側部:ND	12.6	490	<0.01
	624	593	底部:222	63	75	43	45	底部:ND	12.5	460	<0.01
SV/-10	637		上部:103	83		43		上部:ND	12.7	720	<0.01
5V-10 0.7m ³	611		中央:120	80		44		中央:ND	12.7	720	<0.01
(740 kg)	624		側部:96	84		42		側部:ND	12.7	640	<0.01
(140kg) 4 時間洗浄	598	平均	側部:100	84	平均	50	平均	側部:ND	12.7	640	<0.01
- PULIDI//C/-	572	608	底部:96	84	83	47	45	底部:ND	12.6	610	0.01
c)/-20	663		上部:141	78		49		上部:ND	12.7	820	<0.01
5V-20 0.25m ³	637		中央:153	76		45		中央:ND	12.6	730	<0.01
	637		側部:139	79		41		側部:ND	12.6	750	<0.01
	650	平均	側部:154	76	平均	46	平均	側部:ND	12.6	670	<0.01
	650	647	底部:134	79	78	42	45	底部:ND	12.6	730	<0.01

表 14 実規模洗浄試験後の造粒固化飛灰の調査結果(湿潤状態での測定値)

※1 含水比補正した放射能濃度 ※2 JISK0058-1 に基づく溶出試験結果

◇実規模循環通水洗浄試験

表 15 に実規模循環通水洗浄試験後の造粒固化飛灰の放射能濃度の結果を示す。採取位置ごとの 放射能濃度は 108~154Bq/kg でばらつきが小さくセシウム減少率は約 80%と、造粒固化飛灰をほぼ 均一に洗浄できることが確認できた。

洗浄後のセシウム溶出量は、いずれの採取位置でも定量下限値(Cs134、Cs137ともに2Bg/L)未満 であり、実規模循環通水洗浄試験において、溶解性セシウムを除去できることが確認できた。

表 15 実規模循環通水洗浄後の造粒固化飛灰の調査結果(湿潤状態での測定値)

洗浄	放射能濃度 ^{※1} (Bq/kg)			Cs 減少率		Cs	Cs 溶出量 ^{※2(} Bq/L)			洗浄後溶出試験 ^{※2}		
ゲース	洗浄前 A		洗浄後 B	(1-B/A) × 100 (%)		洗浄前		洗浄後	pН	EC (mS/m)	鉛溶出量 (mg/L)	
C)/-20	663		上部:119	82		39		上部:ND	12.7	840	<0.01	
SV=20 0.25m2	650		中央:122	81		42		中央:ND	12.6	800	<0.01	
(270kg)	598		側部:108	83		38		側部:ND	12.6	790	<0.01	
(370kg) 4 時間洗浄	689	平均	側部:128	80	平均	45	平均	側部:ND	12.6	840	<0.01	
4 『可目』//し/子	624	645	底部:154	76	80	43	41	底部:ND	12.6	730	<0.01	

※1 含水比補正した放射能濃度 ※2 JISK0058-1 に基づく溶出試験結果

◇減量、減容化率

表 16 に処理対象の初期飛灰を 1t(1m³)とした場合の本技術とセメント固化埋立ての廃棄物量を比 較する。洗浄による溶解性セシウムをゼオライトへ吸着し濃縮することで指定廃棄物量を削減できる。 ゼオライトの濃度管理は、実展開時の行政等の判断により設定可能だが、ここでは初期飛灰の 20 倍 に濃縮すると仮定すると、セメント固化に対して重量で 96.8%、体積で 96.5%の減量効果がある。

表 16 セメント固化と本技術との減量効果比較表(初期飛灰 1t に対して)

水田の加田士法		重量比轉	交	体積比較			
飛火の処理方法		セメント固化	本技術	単位	セメント固化	本技術	
初期飛灰の放射能濃度	Bq/kg	13,000	13,000	Bq/kg	13,000	13,000	
処理前飛灰(比重1と仮定)	t	1	1	m³	1	1	
洗浄前(造粒)固化飛灰(実測比重 1.1)	t	1.55	1.5	m³	1.41	1.36	
(造粒)固化飛灰の放射能濃度	Bq/kg	8,387	8,667	Bq/kg	8,387	8,667	
洗浄後(造粒)固化飛灰(実測比重 1.5)	t	_	2.25	m³	_	1.36	
洗浄後(造粒)固化飛灰の放射能濃度	Bq/kg	_	2,600	Bq/kg	_	2,600	
必要ゼオライト乾燥重量(比重1と仮定)※	t	_	0.05	m ³	_	0.05	
埋立処分する指定廃棄物	t	1.55	0.05	m ³	1.41	0.05	
指定廃棄物から除外される廃棄物重量	t	0	2.25	m ³	0	1.36	
総廃棄物重量	t	1.55	2.30	m³	1.41	1.41	

※ゼオライトは飛灰の 20 倍(260,000Bq/kg)まで濃縮すると仮定

付録 2 - 13 - 11

【実展開モデル】

飛灰の処理量を4t/日とした場合、飛灰の造粒固化は容量 60L の造粒機による自動化システム、洗 浄は造粒固化飛灰1tを2m3の水で2時間循環通水した後に処理するコンパクトな施設となる。 図 9、10 に従来検討された洗浄工法と実展開モデルの処理フロー図を、表 17 にコスト比較を示す。



図9 従来検討された洗浄工法処理フロー図



図 10 実展開モデルによる処理フロー図

<u></u>	
	/
H 11/	

表 17 本技術と従来技術とのコスト比較(条件:4t/日の飛灰を2年間処理) 単位(千円)										
	【比較対象】征	従来の飛灰洗浄	【本技術】 造粒	I固化飛灰洗浄						
混練工程	セメント混練装置	6,500	-	-						
造粒工程	-	-	造粒装置等	23,400						
洗浄工程	泥水化装置	8,500	洗浄槽等	4,600						
脱水工程	フィルタープレス	17,000	真空濾過装置	3,000						
濁水処理工程	ゼオライト吸着塔	15,000	ゼオライト吸着塔等	7,800						
労務費	3人工/日	28,800	2 人工/日	19,200						
合計		75,800		58,000						
1t当りの処理単価		39		30						

実施代表者の所属機関:戸田建設 株式会社

実証テーマ名:放射性物質に汚染されたガレキのコンクリート骨材への利用

事業の概要:

放射性物質に汚染されたコンクリートガレキ(汚染ガレキ)を、放射線遮へい効果の高い 重量骨材とともにコンクリート骨材として使用した場合の、コンクリート外部へ放出される 放射線量の低減効果を確認した。

実施内容:

- ・室内試験で、非汚染ガレキを用い、破砕や粒度調整方法の検討、フレッシュ性状や強度等 の把握、示方配合の決定を行った。
- ・現地試験で、室内試験で決定した示方配合で汚染ガレキを用いた試験体を作成し、コンク リート製造工程毎の放射線量低減効果を確認した。また、放射線遮へい効果を有する重量 骨材(スラグ系骨材等)を混合した場合の効果についても確認した。

技術概要:

【試験フロー】

写真1に示すコンクリート製造工程毎の表面汚染密度及び表面線量率の変化を測定する。 ■放射線量の工程毎の計測(図1参照) コ 放 ン

- ① コンクリートガレキ破砕加工時
- ② フレッシュコンクリート製造時
- ③ コンクリート硬化後脱型前
- ④ コンクリート硬化後脱型後

(次ページ「結果概要」の①~④と同じ意味。)

(低減率は、①に比べて④で低減した割合を表す。)

■写真1 コンクリート製造各工程









硬化後脱型前

畄 ク [され] IJ

る放射 卜外

線 量 1

部

(1)

重量骨材

混合時



(2)

⇒ 製造工程 ⇒

図1 予想される製造工程毎の放射線量の変化

34

硬化後脱型後

ガレキ採取時 【試験目標】

> (1) 汚染ガレキをコンクリート骨材として使用した場合の外部環境へ放出される放射線 量の低減効果を製造工程毎に定量的に把握する。

(2) 重量骨材混合時の放射線量低減効果を製造工程毎に定量的に把握する。

ガレキ破砕加工時 クリート製造時

【期待される効果】

放射性物質に汚染されたコンクリートのガレキを、一定の使用条件の下で、再利用お よび処理することが可能となる。

その他:

結果概要:破砕骨材の汚染レベルを2段階(L1汚染レベル低、L2汚染レベル高)に区分し、 重量骨材の有無、重量骨材の種類などの条件を変化させ、コンクリート製造工程毎の表面汚 染密度及び表面線量率の低減率を測定した。ここでは表面線量率の測定結果のみの結果と評 価を記載した。

- (1)汚染レベルが低い No. 1~No. 4の低減率は-2.0%~28.2%となった。
- (2)汚染レベルが高い No. 5~No. 8の低減率は 39. 2%~44. 4% となった。
- (3) 汚染レベルが高い No. 5~No. 8 では、重量骨材を使用していない No. 5 に比べ、重量骨 材を使用している No. 6~No. 8 の方が、2. 8~5. 2%低減率が良くなった。ただし、重量骨 材の種類による明確な差は確認できなかった。
- (4) 汚染レベルが低い No. 1~No. 4 では、(3) に示したように、重量骨材を使用した方が低 減率が良くなるという傾向は確認できなかった。

【表面線量率の測定結果(3測点の平均値)】(単位: µ Sv/hr、低減率単位:%)

No. 名 称 ① ② ③ ④ 低速率 夢考 普通租骨材+普通細骨材 0.008 0.007		(µSv/hr)										
参考 普通租骨材+普通細骨材 0.008 0.007 0.007 - 1 L1+普通細骨材 0.032 0.026 0.025 21.0 2 L1+重晶石 0.027 0.020 0.024 0.028 2.0 3 L1+電気炉酸化スラグ 0.031 0.021 0.023 0.26 16.7 5 L2+普通細骨材 0.348 0.236 0.210 0.212 39.2 6 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.215 0.210 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの 0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価: コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価: キャックリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員教ばく気評価: アンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員教がはく量 0.026 mSv 日被ばく量の合計、合計作業時間 7 hr/目 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv 日被ばく量の合計、合計作業時間 7 hr/目 パスト評価条件: 骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する 30m³/人目、15m³/hr コスト評価条件: 骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する) 30m³/人目、15m³/h	No.	名 称	1	2	3	4	低減率	0.450				
1 L1+普通細骨材 0.032 0.026 0.025 0.025 21.0 2 L1+重晶石 0.027 0.020 0.024 0.028 2.0 3 L1+電気炉酸化スラグ 0.032 0.018 0.024 0.023 28.2 4 L1+鋼スラグ 0.031 0.021 0.023 0.26 16.7 5 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.215 0.210 42.7 8 L2+maxラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの 0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価: コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価: キャンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員教ばく量評価: キャンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員教がはく量 0.026 mSv 日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価: 汚染ガレキ骨材製造 歩掛り(作業人工、作業速度): 30m³/人目、15m³/hr コスト評価条件: 骨材製造施設および製造作業員 3 名(設置する土地の取得費用、大本工事 30m³/人目、15m³/hr コスト評価条件: テレシネの酸体作業を転し、	参考	普通粗骨材+普通細骨材	0.008	0.007	0.007	0.007						
2 L1+重晶石 0.027 0.020 0.024 0.028 -2.0 3 L1+電気炉酸化スラグ 0.032 0.018 0.023 28.2 4 L1+電気炉酸化スラグ 0.031 0.021 0.023 0.026 16.7 5 L2+普通細骨材 0.348 0.236 0.210 0.212 39.2 6 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.216 0.210 42.7 8 L2+毎3スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの 0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 ※ ●	1	L1+普通細骨材	0.032	0.026	0.025	0.025	21.0	0.350				
3 L1+電気炉酸化スラグ 0.032 0.018 0.024 0.023 28.2 4 L1+銅スラグ 0.031 0.021 0.023 0.026 16.7 5 L2+普通細骨材 0.348 0.236 0.210 0.212 39.2 6 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.215 0.210 42.7 8 L2+毎3スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの 0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 0.00	2	L1+重晶石	0.027	0.020	0.024	0.028	-2.0					
4 L1+銅スラグ 0.031 0.021 0.023 0.026 16.7 5 L2+普通細骨材 0.348 0.236 0.210 0.212 39.2 6 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.215 0.210 42.7 8 L2+銅スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価: コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価: 作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価: 汚染ガレキ骨材製造 歩掛り (作業人工、作業速度): 汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m ³ 30m³/人日、15m³/hr コスト評価条件: 骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄⇒の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉都楢葉町内の 除去物保管場所と保管状況(写真):	3	L1+電気炉酸化スラグ	0.032	0.018	0.024	0.023	28.2	0.250 × No.4				
5 L2+普通細骨材 0.348 0.236 0.210 0.212 39.2 6 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.215 0.210 42.7 8 L2+銅スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価:コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員数ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価:汚染ガレキ骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所 (住所): 福島県双葉都楢葉町内の	4 L1+銅スラグ 0.031 0.021 0.023 0.026 16.7 ^{0.200}											
6 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.215 0.210 42.7 8 L2+鋼スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価: コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価: 作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価: 汚染ガレキ骨材製造 歩掛り (作業人工、作業速度): 2,000 円/m3 30m³/人目、15m³/hr コスト評価条件: 骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉郡楢葉町内の 除去物保管場所と保管状況(写真): 活動果都体性学内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	5	5 L2+普通細骨材 0.348 0.236 0.210 0.212 39.2										
7 L2+電気炉酸化スラグ 0.367 0.185 0.215 0.210 42.7 8 L2+銅スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価:コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価:汚染ガレキ骨材製造 歩掛り(作業人工、作業速度):汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m ³ 30m³/人日、15m³/hr コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 病論県双葉郡楢葉町内の 除去物保管場所と保管状況(写真): 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	6	6 L2+重晶石 0.327 0.170 0.205 0.190 42.0 0.100 L1										
8 L2+銅スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 ※表中の数値は、バックグラウンドの0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価:コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価:汚染ガレキ骨材製造 歩掛り(作業人工、作業速度):汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m³ 30m³/人日、15m³/hr コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員 3名(設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉郡楢葉町内の 除去物保管場所と保管状況(写真):	7	L2+電気炉酸化スラグ	0.367	0.185	0.215	0.210	42.7					
※表中の数値は、バックグラウンドの 0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。 除去物発生量評価:コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価:汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m ³ あ掛り(作業人工、作業速度):汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m ³ コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員 3名(設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 福島県双葉郡楢葉町内の 除去物保管場所と保管状況(写真): 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	8	8 L2+銅スラグ 0.416 0.211 0.229 0.231 44.4 0.000 ① ② ③ ④										
除去物発生量評価:コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。 作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価:汚染ガレキ骨材製造 歩掛り (作業人工、作業速度):汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m ³ 30m ³ /人日、15m ³ /hr コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉郡楢葉町内の 除去物保管場所と保管状況(写真):	※表	※表中の数値は、バックグラウンドの 0.010 μ Sv/hr を差し引いた値。										
作業員被ばく量評価:作業場所平均空間線量率 0.294µSv/hr、平均作業時間 7 hr/日 代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価:汚染ガレキ骨材製造 歩掛り(作業人工、作業速度):汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m3 30m³/人日、15m³/hr コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄*の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底・ 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 宿島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	除去	除去物発生量評価:コンクリートに使用できる骨材は、汚染ガレキの約 95%。										
代表作業員外部被ばく量 0.026 mSv (日被ばく量の合計、合計作業時間 112 時間) コスト評価:汚染ガレキ骨材製造 歩掛り (作業人工、作業速度):汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m ³ 30m ³ /人日、15m ³ /hr コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員 3 名 (設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄サの保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所 (住所): 除去物保管場所と保管状況 (写真): 宿島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	作業	員被ばく量評価:作業	業場所≦	Z均空間	目線量率	~ 0.29	94µSv/	hr、平均作業時間 7 hr/日				
コスト評価:汚染ガレキ骨材製造 歩掛り(作業人工、作業速度):汚染ガレキ骨材製造 2,000 円/m ³ 30m ³ /人日、15m ³ /hr コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員3名(設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	代	表作業員外部被ばく量	量 0.0	26 mS	v(日被	友ばく量	しの合計	、合計作業時間 112 時間)				
2,000 円/m³ 30m³/人日、15m³/hr コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員3名(設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 宿島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	コス	ト評価:汚染ガレキ情	骨材製造	查 歩持	卦り(亻	乍業人コ	C、作業	き速度): 汚染ガレキ骨材製造				
コスト評価条件:骨材製造施設および製造作業員3名(設置する土地の取得費用、土木工事 費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 宿島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン		2,000 円/m ³						30m³/人日、15m³/hr				
費用、バッチャープラント、廃棄物の保管施設、環境対策設備の費用は含まず)。 除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	コス	ト評価条件:骨材製造	き施設≵	らよび集	以造作業	€員3名	(設置	する土地の取得費用、土木工事				
除染作業における安全上の注意: 汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	費用	、バッチャープラン	ト、廃拜	美物の供	呆管施 診	殳、環境	急対策認	2備の費用は含まず)。				
汚染されたガレキの破砕作業時は、防塵マスク、手袋等の保護具着用、人体への粉塵付着 防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真): 福島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	除染	作業における安全上の	の注意	:								
防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット 内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。 試験場所(住所): 福島県双葉郡楢葉町内の 除去物保管場所と保管状況(写真): 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	汚	染されたガレキの破砕	中作業時	市は、防	「塵マス	、ク、手	袋等の	保護具着用、人体への粉塵付着				
内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。試験場所(住所):除去物保管場所と保管状況(写真):福島県双葉郡楢葉町内の汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	防止のため雨具等を着用する。また、破砕作業時のガレキへの散水や破砕後の骨材のピット											
試験場所(住所):除去物保管場所と保管状況(写真):福島県双葉郡楢葉町内の汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	内保管等、粉塵飛散防止対策を徹底する。											
福島県双葉郡楢葉町内の 汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン	試験	試験場所(住所): 除去物保管場所と保管状況(写真):										
	福	島県双葉郡楢葉町内の	り	Ý	汚染ガレキ破砕時の粉末と水処理後の汚泥はセメン							
生コンクリート製造工場 ト固化し、コンクリート廃材採取場所に戻した。	生	コンクリート製造工場	员	۲	国化し、	コンク	フリート	、廃材採取場所に戻した。				

付録 2 - 14 - 2

【現地試験における示方配合】

室内試験では破砕した骨材の品質試験(粒度試験、密度試験、吸水率試験)、試験練り を行い、要求品質を満足する配合として現地試験の示方配合を決定した。附表1に、現 地試験の示方配合を示す。本示方配合には現地で使用した汚染コンクリートガレキ等の 密度等、品質試験結果を反映させている。

骨材の 種類	空気量 (%)	水セメ ント比 W/C(%)	細骨材 率 ^{※1} s/a(%)	項目	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD (C×%)
普通粗骨材	4 5	55	47	単位容積 (l/m)	165	95	327	368	0.7
普通細骨材	4.5	55	47	単位量 (kg/m)	165	300	846	976	0.7
L1/L2 ^{%2}	4 5	55	47	単位容積 (l/㎡)	165	95	327	368	0.7
普通細骨材	4. 5	55	47	単位量 (kg/m [°])	165	300	846	903	0.7
L1/L2	15	55	47	単位容積 (l/㎡)	165	95	327	368	0.4
重晶石	4. 5	55	47	単位量 (kg/m)	165	300	1, 268	903	0.4
L1/L2 +	4 5	55	47	単位容積 (l/㎡)	165	95	327	368	0.7
電気炉酸化 スラグ	4. 5	55	47	単位量 (kg/m)	165	300	1, 254	903	0.7
L1/L2	4 5	55	47	単位容積 (l/m)	165	95	327	368	17
銅スラグ	4.0	- 55	47	単位量 (kg/m)	165	300	1, 150	903	1.7

附表 1 現地試験 示方配合

※1 細骨材率:細骨材の容積(s)/(全骨材の容積(a):細骨材の容積+粗骨材の容積)

※2 L1:汚染レベル低ガレキ、L2:汚染レベル高ガレキ 以下同様

【現地試験における圧縮強度試験、静弾性係数試験結果】

現地の汚染コンクリートガレキを使用して製造したコンクリートの主要特性(圧縮強 度:部材強度等に関係、静弾性係数:部材剛性等に関係)を把握して、構造物コンクリ ートへの適用に対する検討材料として利用する。

(内容)

現地の生コンクリート製造工場に設置された試験機材を使用して、製造した試験体について圧縮強度試験、静弾性係数試験を実施した。

(方法)

圧縮強度試験、静弾性係数試験方法を以下に示す。

試験方法: JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法

・試験方法: JIS A 1149 コンクリートの静弾性係数試験方法

(結果・考察)

附表2に、現地試験における圧縮強度試験、静弾性係数試験の結果を示す。

付録 2 - 14 - 3

構造物コンクリートへの適用を考慮した場合の一般的な要求性能として材齢 28 日圧縮 強度:24 N/mm^{2*1}を設定したが、試験結果の平均値は 24.3~30.2 N/mm²であり、すべて 要求性能を満足した(附表 2 参照)

※1 構造物として使用される鉄筋コンクリートとして一般的に最低限必要とされる圧縮強度

	- X						
供試体名	3	スランプ (cm)	空気量 (%)	気中重量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
	1			3, 535	247.2	31.5	25. 4
普通粗骨材	2	12.0	5.5	3, 539	266. 0	33. 9	27.8
十 並通細母材	3			3, 573	274. 6	35.0	24. 4
自远和有切	平均			3, 384	232. 2	33.4	25. 9
	1			3, 411	219.7	29.6	22. 3
L1	2	11.0	5.4	3, 393	237.7	28.0	22. 5
十 普诵細骨材	3			4, 033	222. 1	30.3	22. 4
	平均			4, 038	233. 7	29.3	25. 9
1.1	1			4, 038	228. 0	28.3	19.0
L1 + 重晶石	2	10.0	4.0	4, 001	254. 8	29.8	18.8
	3			3, 972	210. 9	29.0	19.5
	平均			3, 994	220. 4	29.0	22, 4
1.1	1			3, 811	198.8	32.4	27.0
L1 +	2	11.0	4.4	3, 802	187. 4	26.9	25. 8
電気炉酸化	3			3, 849	186. 9	28. 1	27.5
スラク	平均			3, 412	248. 9	29. 1	19.1
	1			3, 448	223. 0	25.3	24. 4
L1	2	10.0	5.6	3, 409	240. 4	23. 9	22. 3
ー 銅スラグ	3			4, 053	217.3	23. 8	21.3
	平均			4, 062	215. 7	24. 3	26.7
	1			4, 037	236. 3	31.7	22. 6
L2	2	10.0	5.0	4, 016	222. 3	28.4	24. 1
──── 普诵細骨材	3			4, 040	218. 5	30.6	21.7
	平均			4, 044	222. 1	30. 2	22. 8
	1			3, 912	234. 2	27.7	18.5
L2	2	10.5	4.3	3, 912	232. 2	27.5	19.1
 	3			3, 937	231.1	30. 1	19.8
	平均			3, 535	247. 2	28.4	19.1
1.2	1			3, 539	266. 0	28.3	26.0
+	2	12.5	4.5	3, 573	274. 6	27.8	26.0
電気炉酸化	3			3, 384	232. 2	28.3	27.3
スフク	平均			3, 411	219. 7	28. 1	26. 4
	1			3, 393	237.7	29.8	25.6
L2	2	10.0	4.1	4, 033	222. 1	29.6	28.6
+ 銅スラグ	3			4, 038	233. 7	29. 4	23. 1
	平均			4, 038	228. 0	29.6	25. 8

附表 2 現地試験 圧縮強度試験、静弾性係数試験結果

【現地試験における各配合のコンクリート製造工程毎の表面汚染密度】 汚染コンクリートガレキを骨材利用した場合の放射線量低減効果を確認するため、コン クリート製造工程毎に表面汚染密度の測定を行った。

(方法)

鉛により周囲からの放射線の影響を遮蔽した状態で、プラスチックモールドに測定試料を充填し、附図1に示す3点の表面汚染密度を測定した。

ただし、表面汚染密測定は、β線が大部分を占めることから、側面では、プラスチックモールドによる放射線遮蔽の影響を受けるため、評価は上面のみで行った。



附図1 表面汚染密度測定ポイント(左)及び測定状況(右)

(結果・考察)

附表 3、 附図 2 に現地試験における表面汚染密度の測定結果を示す。また、下記に考察 を述べる。

- ・ 汚染レベルが低い No. 1~No. 4 の低減率は 25.4%~55.7%となった。
- ・ 一方、汚染レベルが高い No. 5~No. 8の低減率は 71. 1%~72. 1%となった。
- 汚染レベルが低い No. 1~No. 4 よりも、汚染レベルが高い No. 5~No. 8 の方が、相対的に低減率が高くなった。
- 汚染レベルが低い No. 1~No. 4 では、重量骨材を使用していない No. 1 と重量骨材を 使用している No. 2~No. 4 を比較しても、低減率の差は確認できなかった。



附図2 コンクリート製造各段階の表面汚染密度

注) グラフ中の①はコンクリートガレキ破砕加工時、②はフレッシュコンクリート製造時、③はコンクリ ート硬化後脱型前、④はコンクリート硬化後脱型後の測定結果を表す。

附表3 現地試験

(参考) 普通粗骨材+普通細骨材

		1	2	3	4	
上	1	38	40	22	23	
	2	38	27	26	16	
	3	38	26	29	18	
右	1	11	17	14	1	
	2	2	14	7	20	
	3	38	19	6	3	
左	1	15	18	16	8	
	2	15	14	5	22	
	3	15	14	3	1	低減率
平均	间值	38.0	31.0	25.7	19.0	-

L1+普通細骨材 No.1

		1	2	3	4	
F	1	52	37	40	30	
	2	68	36	43	39	
	3	58	42	36	26	
右	1	24	10	19	34	
	2	22	0	21	26	
	3	17	10	13	20	
左	1	17	12	16	35	
	2	24	-1	23	29	
	3	14	14	14	21	低減率
平均]値	59.3	38.3	39.7	31.7	46.6

No.2 L1+重晶石

		1	2	3	4	
버	1	73	32	33	40	
	2	59	32	39	18	
	3	62	21	41	44	
右	1	15	4	17	15	
	2	14	8	18	20	
	3	19	14	21	24	
左	1	22	7	19	16	
	2	12	0	20	19	
	3	16	16	23	26	低減率
平均]値	64.7	28.3	37.7	34.0	47.4

No 3	1+雷気炉酸化スラグ
110.0	

	<u> </u>					
		1	2	3	4	
上	1	42	27	37	27	
	2	38	23	40	35	
	3	46	29	34	32	
右	1	4	12	14	19	
	2	20	8	17	21	
	3	19	6	18	19	
左	1	2	14	16	21	
	2	18	9	15	22	
	3	19	7	19	21	低減率
平均	」値	42.0	26.3	37.0	31.3	25.4

No.4 L1+銅スラグ

		1	2	3	4	
上	1	53	19	43	29	
	2	91	19	28	29	
	3	66	30	33	35	
右	1	12	13	8	21	
	2	18	10	6	33	
	3	16	15	12	26	
左	1	13	12	10	22	
	2	17	12	4	34	
	3	13	11	11	28	低減率
平均	间值	70.0	22.7	34.7	31.0	55.7

表面汚染密度 測定結果

【備考】

- 1. 表の①はコンクリートガレキ破砕加工時、②はフレッシュコンクリート製造 時、③はコンクリート硬化後脱型前、④はコンクリート硬化後脱型後の測 定値
- 2. 表の単位はcpmである。
- 3.β線がプラスチックモールドにより遮蔽されていると考えられるため、上面 の測定値のみの平均値である。
- 4. 低減率は、①に比べて④で低減した割合を表す。また、単位は%である。
- 5. ①は破砕した粗骨材のみをプラスチックモールドに充填した状態であり、プ ラスチックモールド中の粗骨材の充填率はL1で59.8%、L2で59.0%である。 2~④は破砕した骨材を配合したコンクリートをプラスチックモールドに充 填した状態であり、プラスチックモールド中の粗骨材の充填率はL1,L2とも に36.8%である。

No 5	101 並通細母は	t d

0.0	,			14			
			1	2	3	4	
	Ъ	1	410	144	137	122	
		2	416	120	125	117	
		3	539	157	161	143	
	右	1	197	103	77	173	
		2	180	96	88	133	
		3	160	103	87	133	
	左	1	200	106	80	177	
		2	184	99	84	137	
		3	163	104	90	140	低減率
	平均]値	455.0	140.3	141.0	127.3	72.0

No.6 L2+重晶石

		T III H				
		1	2	3	4	
버	1	490	118	133	140	
	2	496	297	163	119	
	3	648	114	156	197	
右	1	119	111	77	139	
	2	149	78	100	128	
	3	133	107	66	174	
左	1	123	106	79	136	
	2	151	75	93	130	
	3	135	110	64	176	亻
平均]値	544.7	176.3	150.7	152.0	

氏減率

72.0

72.1

低減率

低減率

71.1

71.1

L2+電気炉酸化スラグ No.7 F 右 左 平均值 432.3 116.7 125.7 125.0

L2+銅スラグ No.8 (2) F 右 左 平均値 466.3 188.7 123.0 134.7

※表中の数値は、バックグラウンドの 35cpm を差し引いた値。

付録 2 - 14 - 7

【現地試験における各配合のコンクリート製造工程毎の表面線量率】 汚染コンクリートガレキを骨材利用した場合の放射線量低減効果を確認するため、コン クリート製造工程毎に表面線量率の測定を行った。

(方法)

鉛により周囲からの放射線の影響を遮蔽した状態で、プラスチックモールドに測定試料を充填し、附図3に示す3点の表面線量率を測定した。



附図3 表面線量率測定ポイント(左)及び測定状況(右)

(結果・考察)

附表 4、 附図 4 に現地試験における表面線量率の測定結果を示す。また、下記に考察を 述べる。

- ・ 汚染レベルが低い No. 1~No. 4の低減率は-2.0%~28.2%となった。
- ・ 一方、汚染レベルが高い No. 5~No. 8 の低減率は 39. 2%~44. 4%となった。
- 汚染レベルが低い No. 1~No. 4 よりも、汚染レベルが高い No. 5~No. 8 の方が、相対的に低減率が高くなった。
- フレッシュコンクリート製造時に表面線量率が下がり、その後、③コンクリート硬化、④脱型の過程で、若干、表面線量率が上がる傾向にある。
- 汚染レベルが低い No. 1~No. 4 では、重量骨材を使用していない No. 1 と重量骨材を 使用している No. 2~No. 4 を比較しても、低減率の差は確認できなかった。



附図4 コンクリート製造各段階の表面線量率

注) グラフ中の①はコンクリートガレキ破砕加工時、②はフレッシュコンクリート製造時、③はコンクリ ート硬化後脱型前、④はコンクリート硬化後脱型後の測定結果を表す。

(参考) 普通粗骨材+普通細骨材

		1	2	3	4	
上	1	0.011	0.010	0.010	0.011	
	2	0.014	0.012	0.013	0.012	
	3	0.012	0.011	0.011	0.011	
右	1	0.006	0.007	0.006	0.006	
	2	0.008	0.006	0.005	0.007	
	3	0.007	0.007	0.007	0.003	
左	1	0.005	0.005	0.004	0.005	
	2	0.007	0.004	0.006	0.006	
	3	0.006	0.005	0.005	0.006	低減率
平均	匀值	0.008	0.007	0.007	0.007	-

No.1 L1+普通細骨材

		1	2	3	4	
上	1	0.032	0.037	0.038	0.027	
	2	0.041	0.028	0.036	0.031	
	3	0.030	0.033	0.032	0.029	
右	1	0.025	0.018	0.018	0.023	
	2	0.038	0.022	0.024	0.024	
	3	0.032	0.025	0.020	0.023	
左	1	0.027	0.019	0.021	0.025	
	2	0.032	0.023	0.022	0.025	
	3	0.033	0.026	0.018	0.022	低減率
平均	回値	0.032	0.026	0.025	0.025	21.0

No.2 L1+重晶石

		1	2	3	4	
上	1	0.025	0.025	0.030	0.028	
	2	0.025	0.023	0.034	0.028	
	3	0.027	0.024	0.032	0.030	
右	1	0.024	0.014	0.020	0.016	
	2	0.029	0.016	0.021	0.026	
	3	0.031	0.024	0.018	0.039	
左	1	0.027	0.015	0.019	0.014	
	2	0.030	0.015	0.023	0.028	
	3	0.026	0.025	0.020	0.040	低減率
平均	间值	0.027	0.020	0.024	0.028	-2.0

L1+電気炉酸化スラグ No.3

	1					
		1	2	3	4	
上	1	0.027	0.023	0.032	0.023	
	2	0.022	0.021	0.036	0.026	
	3	0.034	0.022	0.029	0.022	
右	1	0.029	0.014	0.019	0.023	
	2	0.037	0.018	0.018	0.029	
	3	0.039	0.017	0.022	0.019	
左	1	0.028	0.012	0.021	0.021	
	2	0.038	0.019	0.020	0.028	
	3	0.037	0.018	0.021	0.018	低減率
平均	间值	0.032	0.018	0.024	0.023	28.2

No.4 L1+銅スラグ

		1	2	3	4	
上	1	0.028	0.026	0.037	0.025	
	2	0.028	0.024	0.027	0.024	
	3	0.029	0.024	0.026	0.029	
右	1	0.035	0.020	0.018	0.028	
	2	0.034	0.016	0.020	0.027	
	3	0.033	0.019	0.019	0.022	
左	1	0.034	0.019	0.017	0.029	
	2	0.029	0.018	0.019	0.028	
	3	0.031	0.024	0.021	0.022	低減率
平坮	了值	0.031	0.021	0.023	0.026	16.7

附表 4 現地試験 表面線量率 測定結果

【備考】

- 1. 表の①はコンクリートガレキ破砕加工時、②はフレッシュコンクリート製造 時、③はコンクリート硬化後脱型前、④はコンクリート硬化後脱型後の測 定値
- 2. 表の単位はµ Sv/hrである。
- 3. 平均値は、3測点(上部1点、側部2点)の平均値を用いて算出している。
- 4. 低減率は、①に比べて④で低減した割合を表す。また、単位は%である。

5. ①は破砕した粗骨材のみをプラスチックモールドに充填した状態であり、プ ラスチックモールド中の粗骨材の充填率はL1で59.8%、L2で59.0%である。 2~④は破砕した骨材を配合したコンクリートをプラスチックモールドに充 填した状態であり、プラスチックモールド中の粗骨材の充填率はL1,L2とも に36.8%である。

L2+普诵細骨材 No.5

		1	2	3	4	
버	1	0.226	0.157	0.170	0.162	
	2	0.165	0.136	0.154	0.137	
	3	0.268	0.137	0.184	0.148	
右	1	0.535	0.293	0.233	0.243	
	2	0.363	0.276	0.225	0.223	
	3	0.344	0.271	0.231	0.259	
左	1	0.536	0.300	0.231	0.246	
	2	0.349	0.271	0.228	0.225	
	3	0.347	0.280	0.233	0.261	低減率
平均	値	0.348	0.236	0.210	0.212	39.2

No.6 L2+重晶石

		1	2	3	4	
上	1	0.274	0.134	0.146	0.151	
	2	0.342	0.116	0.165	0.136	
	3	0.299	0.124	0.162	0.151	
右	1	0.294	0.202	0.218	0.234	
	2	0.391	0.199	0.224	0.184	
	3	0.322	0.172	0.243	0.223	
左	1	0.300	0.204	0.212	0.210	
	2	0.397	0.200	0.227	0.192	
	3	0.324	0.175	0.244	0.226	低減率
平均	値	0.327	0.170	0.205	0.190	42.0

No.7 19上電気/后融/レフラグ

NO. /			- 电メルア的	パレヘノノ			
			1	2	3	4	
	F	1	0.233	0.120	0.195	0.147	
		2	0.243	0.174	0.140	0.178	
		3	0.195	0.146	0.150	0.166	
	右	1	0.393	0.203	0.216	0.273	
		2	0.476	0.229	0.218	0.238	
		3	0.452	0.178	0.247	0.186	
	左	1	0.388	0.201	0.214	0.270	
		2	0.473	0.233	0.310	0.241	
		3	0.450	0.182	0.243	0.193	低減率
	平均	」値	0.367	0.185	0.215	0.210	42.7

L2+銅スラグ No.8

		1	2	3	4	
上	1	0.363	0.125	0.165	0.161	
	2	0.312	0.126	0.162	0.168	
	3	0.301	0.123	0.207	0.133	
右	1	0.670	0.252	0.272	0.295	
	2	0.342	0.258	0.252	0.277	
	3	0.344	0.249	0.243	0.241	
左	1	0.669	0.255	0.270	0.291	
	2	0.363	0.262	0.250	0.273	
	3	0.382	0.253	0.240	0.243	低減率
平均	値	0.416	0.211	0.229	0.231	44.4

※表中の数値は、バックグラウンドの 0.010 µ Sv/hr を差し引いた値。

付録 2 - 14 - 10

【除去物発生量評価 算出過程】

附図5に、実プラントを想定した除去物発生量の算出過程を示す。ある使用用途に対し て使用可能と判断された濃度の汚染コンクリートのうち、約95%が構造物コンクリートの 骨材として利用され、残りの約5%は、製造過程で発生する破砕時粉じん、骨材不適物及 び洗浄排水に含まれる汚泥となり、使用できないと想定される。



附図 5 除去物発生量評価 算出過程

【除去物保管場所と保管状況】

附写真 1 に除去物保管場所と保管状況を示す。左側が洗浄排水(汚泥含む)保管場所 の状況、右側がコンクリート廃材(破砕粉じん、骨材不適物及び試験残差等)の処理状況 である。



附写真1 除去物保管場所と保管状況

【コスト評価、作業人工、作業速度 算出過程】

実プラントの仕様及び条件を附表5に、作業人工、作業速度を附表6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附表 7 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、バッチャープラント、廃棄物の 保管施設、環境対策設備の費用は含まず、骨材製造施設の費用のみとする。

3年間での再生利用物の総量 67,500m³と実プラントの総コスト 134,500 千円から計算すると、1m³ 当りの処理コストは約 2,000 円となる。

前我 0 关 2	
項目	骨材製造施設
処理能力	15m³/hr
稼働時間	6hr/日
稼働日数	250 日/年
年間処理量	22, 500m³/年
処理期間	3 年
総処理量	67, 500m³

附表 5	実プラン	ントの什様	▪条件
PD 12 U			

附表6 作業人工、作業速度

而我。	
項目	骨材製造施設
処理能力 (作業速度)	15m³/hr
稼働時間	6hr/日
日処理量	90m³/⊟
作業人員	3 人
作業人工	30m ³ /人日

附表7 実プラントのコスト試算

	項目	骨材製造施設		
	建設費用	40,000 千円		
維持	年間用役費	5,000 千円/年		
管理	年間維持修繕費	4,000 千円/年		
貨用	総額(3年)	27,000 千円		
ر	、件費(3年)	7, 500 千円/人年×3 人×3 年 67, 500 千円		
	計	134,500千円		
	総処理量	67, 500m ³		
1m ³ 当りの処理コスト (処理単価)		1,992.6円/m ³		



付録 2 - 15 - 1

除染効果:

■盛土内部含水率

・多機能盛土内に土壌水分計を設置し盛土内の含水率を計測した。その結果、盛土内への 降雨浸透の影響は無く盛土内の水分量は 10%前後で一定な状態を維持していることが確認 された(補足資料1参照)。

■降雨排水機能の確認

・盛土上部(天端)に設けられた排水層からの水量を計測することより、降雨による盛土 内への浸透がほとんどないことが確認された(補足資料2参照)。

■ガス通気機能の確認

・盛土の上・下層部のガス通気機能および盛土内の発生ガスを確認するため、CO₂ガスをトレーサーとした盛土内への通気状況および盛土内のガス測定を実施した。その結果、盛土内の酸素濃度は 20%程度が常時確保され、かつ上・下層部での通気性がなされていることが確認された(補足資料 3 参照)。

■施工工程

・今回の規模の盛土(盛土底面幅 5.4×5.4m、盛土高 3.0m、フレコンバッグ 13 袋(約 13m³) 格納)では、構築は5日間、解体は2日間で完了した。(補足資料 5 参照)。

■空間放射線量の測定

・周辺線量は、盛土施工期間中を除いて施工前と同水準で推移した(補足資料4参照)。

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 0.31 μ Sv/hr、作業時間 48 時間 作業員最大被ばく量 22.0 μ Sv、作業員平均被ばく量 18.4 μ Sv(従事作業員 5 名) 監督員最大被ばく量 19.0 μ Sv、監督員平均被ばく量 19.0 μ Sv(従事監督員 1 名)

コスト評価:	歩掛り(作業人工、作業速度):
2,949,690 円÷13 m ³	26.3 人工÷ (5.4 m×5.4 m) = 0.9 人工/m ²
≒226,900 円/m ³	$(5.4 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}) \div 30.0 \text{ hr} = 0.97 \text{ m}^2/\text{hr}$

コスト評価条件:費用は、今回の実証実験で得られた実績値を基に算出した。

・費用は労務費と材料費の合計とし、共通経費、現場管理費、一般管理費は除く。

・費用には、計測器設置と手摺取付を含む。なお、フレコンの移動及び設置は除く。

・コストは保管したフレコン13袋(約13m3)あたりで評価、歩掛りは設置面積で評価した。

除染作業における安全上の注意:ヘルメット、マスク着用									
試験場所(住所):	除去物保管場所と保管状況(写真):								
福島県白河市	盛土内に設置したフレコンは元の保管								
	倉庫へ戻した。								

1. 多機能盛土内の含水率測定

多機能盛土内の土壌水分量と降水量(降雪、気温)の測定結果を図1-1に示す。気象データについては実験場所に最も近いアメダス(白河)のデータを用いた。多機能盛土内には、図1-2に示す3 個の土壌水分計が設置してある。計測は2012年12月末から開始し、1時間に1回の割合でサンプリングを行っている。計測中に何度か降水を記録しているが、3個の土壌水分計の計測データは、ほぼ 10%前後の値を示し、降雨による盛土内への浸透の影響は見られない。



図1-1 降水量(降雪量)、気温~土壌水分量の経時変化



図1-2 土壌水分計の設置位置



写真1-1 土壌水分計の設置

2. 上部排水機能による排水量測定

上部排水層は通気・浸透抑制シートと砕石で構成され、盛土内と外気とは通ずるが降雨等による水を 浸透させない構造となっている。図2-1に上部排水層からの水量と降水量(降雪、気温)の結果を示 す。上部排水層からの水量は、有効天端面積で除して単位を降水量と同じmm/dayに換算してある。

付録 2 - 15 - 3

計測開始当初 12/29 前後に約 20mm/day 程度の降水量を観察しており、それに応じて上部排水層からも 40mm/day の水量が測定されている。降水量より水量が多い理由として、アメダスが現場から最も近い白河の値を利用しているが、他の近隣のアメダスデータを見ると、30~40mm/day を記録している地点もあるため、局地的に降雨があったのではないかと推測される。

次に 1/15 付近に降水量が観察されているが、これは降雪を含む値なので排水層からの水量は確認されていない。それに対応し 2/01 に排水層から 40mm/day 近い値が測定されているが、この日は気温が 上昇し、これまでの積雪分の水が溶けて排水されたと思われる。

また 2/14 には人為的に散水(20mm/day)を行い、排水層からの水量を計測した。その結果、散水 量に対して約 2/3 以上の水量を計測した。自然の蒸発散量を考慮するとほとんどの散水量分の水が排 水されたと推測される。人為的散水実験を行う事前準備として天端排水層(砕石)内に凍結防止対策 として電熱ヒーターを設置した。実験前には電熱ヒーターによる蒸発作用の影響がないよう電源は切 って散水実験を行った。散水は所定の降水量を5回に分け1時間おきにノズルにて散水した。実験日 は天候も良く天端面にも日射があり、砕石も乾燥した状態であった。1回目の散水した水が乾く状態 であったため通常の自然蒸発散作用があったと考えられる。



図 2-1 降水量(降雪量)、気温~上部排水量の経時変化



図2-2 上部排水量の測定



写真2-1 排水量の計測(転倒枡式雨量計)

付録 2 - 15 - 4

3. 多機能盛土内の発生ガスおよびガス通気性の確認

多機能盛土は盛土内を準好気的雰囲気に保つため底部には通気層(砕石)、上部天端には排水層(砕石+通気・浸透抑制シート)を設けてある。これらが正常に機能しているかについて、盛土内の発生ガスの計測およびガス通気性の確認を行った。

3.1 盛土内発生ガスの確認実験

多機能盛土内にはフレコンに収納された焼却飛灰が設置されており、その上下6ヶ所について発生 ガスの測定を行った。その結果を図3-1に示す。測定ガスは酸素、硫化水素、メタンの3種類である。 酸素濃度については、約20%程度の値を示し、盛土周辺の酸素濃度と変わりない結果を得られた。一 部、上段焼却飛灰の上部に設置されたガス吸引孔③において当初、18.3%と低い酸素濃度が計測され たが、その後は他の計測位置と同様の値に回復した。硫化水素濃度はガス吸引孔①、②、③において 一時的ではあるが0.05 ppm 程度計測されるだけで、その後は計測されなかった。メタン濃度について は各計測位置ともに測定されなかった。









写真 3-1 ポーラスカップの設置状況

3.2 CO2ガス注入実験

盛土の上・下層部でガス通気性を確認するために図 3-3に示す3ヶ所のガス注入孔①~③から CO_2 ガスを盛土内に注入し、その上下に配置された CO_2 センサー①~③の測定結果から盛土内の通気性を 確認した。その結果を図 3-4~図 3-6に示す。図 3-4は天端部の通気性を確認するために注入孔③ より CO_2 ガスを注入したケースである。 CO_2 ガスは空気より重いため、注入孔③より上部に設置され た CO_2 センサー③の反応は遅れる可能性が懸念されたが濃度は低いものの明確な濃度上昇が確認され、 上部の通気性が確保されていることが確認された。一方、センサー①、②については注入孔③より 2m 以上離れていること、焼却飛灰のフレコンを介していることから、この位置での反応は認められなか った。図 3-5と図 3-6は盛土底部の通気性を確認するもので、それぞれ計測日を変えて注入孔①お よび②から CO_2 ガスを注入し、 CO_2 センサーの反応を確認した。両者ともに注入孔から近いセンサー がより高い濃度で反応し、通気層と下部吸着層の間で CO_2 ガスの移動・拡散が確認された。センサー ③については注入孔①、②より 2m 上方に設置されているため、反応を確認することはできなかった。



図 3-3 CO₂ 注入孔とCO₂ センサーの設置位置



写真 3-2 CO2 ガスの注入



図 3-4 CO2ガスの経時変化(注入孔③より注入した場合)

付録 2 - 15 - 6



図 3-5 CO2 ガスの経時変化(注入孔①より注入した場合)

図 3-6 CO2 ガスの経時変化(注入孔②より注入した場合)

4. 空間放射線量率の測定

空間放射線量率の測定には、エネルギー補償型 Nal シンチレーションサーベイメータ(日立アロカ メディカル㈱MODEL TCS-172B)を使用した。

4.1 放射線量計測位置

空間放射線量率の測定位置を図4-1に示す。

図4-1 空間放射線量率の計測位置

4.2 使用資材等の放射線量

実験に使用した資材等の放射線量測定結果を表4-1に示す。使用の前後で線量の増加は認められな かった。

表4-1 盛十用資材の放射線量測定結果(uSv/h)

資材	測定日	ジオセル	山砂	礫	吸着材 鉄ゼオライト系	吸着材 ゼオライト系	施工場所の 地表面
施工前	2012.12.17	0.20	0.18	0.19	0.20	0.19	0.26
盛土使用後	2013.02.27	0.19	0.18	0.19	0.19	0.19	0.24

4.3 盛土に使用した放射性物質含有ごみ焼却飛灰入りフレコンの表面放射線量

実験に使用した放射性廃棄物入りフレコンの表面放射線量測定結果を表4-2に示す。

表 4-2 盛土用貸材の放射線量測定結果(µ Sv/h)													
フレコン	1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	9	10	1	(12)	(13)
施工前	8.60	10.0	7.70	7.30	4.85	7.05	5.00	5.65	5.85	5.32	4.95	3.82	4.50

4.4 実験場所周辺の空間放射線量率

盛土施工前後~盛土撤去後の周辺の空間放射線量率の推移を図4-2に示す。施工時に高放射線量の フレコンが施工現場に持ち込まれたため一時的に線量の増加が認められたが、施工後は盛土施工前の 水準で推移した。なお、平成25年1月16日~2月25日の期間は積雪により放射線量の測定値が若 干低下し、3月7日は地表面の線量が高い法面部分の積雪が消滅したためやや線量が増加している。

4.5 盛土表面の放射線量

盛土施工中~盛土完成後の盛土表面の放射線量の推移を図4-3に示す。盛土施工中においては、盛 土壁による遮蔽がないため高線量を示したが、完成後は盛土壁による遮蔽により実験場所周辺の空間 線量率の平均値以下を示した。また、盛土表面の放射線量について、周辺環境からの放射線を遮蔽し て測定するために、空間放射線遮蔽アダプター(Biorubber RSM Sensor pot V600(㈱オオスミ)、γ 線遮蔽効果:Pb15mm厚さ相当)をエネルギー補償型γ線用 Nal シンチレーションサーベイメータ(日 立アロカメディカル㈱ Model TCS-172B)のプローブ部分に装着して測定した結果を図4-4に示し た。盛土表面の計測線量は0.07~0.08 μ Sv/h で盛土各側面の値がほぼ同一であり、内部に収納したフ レコンバッグからの放射線が十分に遮蔽されていることが分かった。

付録 2 - 15 - 9

4.6 多機能盛土による盛土周囲の空間放射線量率への影響

盛土周囲の空間放射線量率への影響について、施工場所の制約から、数m以内に法面や建造物等の 障害物がない1方向(東向き方向)について、盛土表面から 50m までの 1m 高さと地表面 1cm の空 間放射線量率を測定した。

その結果、5m 以内程度の範囲で空間放射線量率の低下が認められたが、多機能盛土による効果であるのかは、現時点では判定できなかった(図4-5参照)。

写真4-1 多機能盛土周辺での測定作業

写真4-2 多機能盛土の壁面での測定作業

5. 施工工程

5.1 盛土構築時

盛土構築時の実施工程表および施工状況を表 5-1 および写真 5-1~5-4 に示す。

		H24.12.17	12.18	12.19	12.20	12.21	12.22
進供 一	予定						
华頒工	実績	基盤調整工				砂落と	し、足場解体、道路洗浄
	予定						
計測機器設直	実績	CO₂センサー,ホ°ーラスカ	ップガス注入孔	土壤水乡	♪計 ガ	ス注入孔 土壌水分言	゚゚゚ ゚゚+,CO₂センサー,ポーラスカッフ
며 국 구 () 카이비)	予定						
壁面エ(ジオセル)	実績	1~2層施工	3~6層施工	7~10層施工	11~16層施工	17~20層施工	
汤左屈 瓜羊屎	予定						
进 式 扂, 呶 看 扂	実績	通気層施工 吸着	┣ ┣ ┣ 施工			吸着層施工 排水	層施工
焼却飛灰 (フレコン)	予定						
	実績		上段フレコン	/設置 下段	フレコン設置		

表 5-1 盛土構築時の実施工程表

写真5-1 ジオセルの施工状況

写真5-2 吸着層の施工状況

写真 5-3 計測機器の設置状況

写真 5-4 焼却飛灰(フレコン)の設置状況

5.2 盛土解体時

盛土解体時の実施工程表および解体状況を表 5-2 および写真 5-5~5-8 に示す。

		H25.2.25		2.26		2.27	2.28
壁面エ(ジオセル)	予定						
	実績	20~16層 15~	·8層 7	7~3層 2~	1層施コ	L	
通気層,吸着層	予定						
	実績	排水層,吸着層		吸着層,	通気層		
焼却飛灰 (フレコン)	予定						
	実績	上段擔	去	下段撤去			
搬出工	予定						
	実績					山砂搬出, 産廃搬出	
片づけエ	予定						
	実績	撤去材片	付け	撤去材	片付け	撤去材片付け	清掃工

表 5-2 盛土解体時の実施工程表

写真5-5 排水層の解体状況

写真5-6 ジオセルの解体状況

写真 5-7 焼却飛灰(フレコン)の撤去状況

写真 5-8 下部通気層の撤去状況