

付録 2

個別試験結果と評価詳細

Web 用報告書

実施代表者：早稲田大学
実証テーマ名：粘土質を大量に含んだ汚染土壌の減容化技術の実証
概要： 中間貯蔵施設に搬入される除染土壌は膨大であるため、汚染土壌中の放射性物質を除き、除染された土壌を再利用することにより、減容化する技術が必要となる。しかし、粘土を大量に含んだ汚染土は、既存技術の適用が難しく、経済的・効率的な処理が課題となっている。そこで、新規に開発した分散剤を導入した高圧噴流による土壌洗浄（以下高圧洗浄）及び湿式サイクロンを用いた分級により、福島県内の森林、農地から採取した粘性土の洗浄処理試験を行い、放射性物質濃度の低減化と減容化の効果を評価した。
実施内容： ①ベンチスケール試験：農地由来の粘性土に塩化セシウム試薬を混合した模擬汚染土を調製し、ヘキサメタリン酸ナトリウム（以下分散剤）添加による解砕効果及び最適添加量、サイクロンの流量比調整による分級効果を確認等により、現地試験条件を決定した。その他、洗浄処理土壌スラリーのゼータ電位測定、洗浄土の SEM・EDX 分析を行い、分散・解砕現象の実態を検証した。 ②現地試験：森林、農地から異なる性状の汚染土（以下採取土壌）を 6 種採取し、提案高圧洗浄システムによる解砕効果、振動ふるい・湿式サイクロンによる分級効果、放射性物質濃度低減効果、減容化効果を確認した。
技術概要： 図 1 に、本システムの処理原理を示す。高圧洗浄することで、団粒粘土は効果的に解砕され、ゼータ電位の制御により、微細な粒子は洗浄水中に分散した状態を保つ。図 2 に本試験で実施した高圧洗浄システム図を示す。本システムでは投入した土壌を高圧洗浄エジェクターで解砕、分散する。その後、ふるい・湿式サイクロンによって分級することにより Cs を吸着した細粒子を除去する技術である。分級段階により、ふるい上で分級される土を洗浄土 1、スクリーコンベアから排出される土を洗浄土 1.5、サイクロン粗粒分を洗浄土 2、サイクロン微粒分を濃縮土と定義した。分散剤であるヘキサメタリン酸ナトリウム水溶液を高圧洗浄システム中に添加すると、ヘキサメタリン酸ナトリウムの酸素原子と土壌粒子表面の官能基とが水素結合し、土壌粒子の表面にメタリン酸基の被膜が形成され、土壌粒子同士が負に帯電し反発するため分散性が向上する。 図 1 処理原理のイメージ 図 2 本試験で使用した高圧洗浄システム図

試験結果： 福島県内で採取した性状の異なる 6 種類の汚染土（No.7 は砂質土、No.6, 9、16、17、21 は放射性物質濃度の異なる粘性土）を提案システムで処理し、得られた洗浄土 1、洗浄土 1.5、洗浄土 2、濃縮土の放射性物質濃度を測定した。 （ア）洗浄土 SEM 画像の観察から本システムによる団粒土の解砕効果を確認した。 （イ）振動ふるい（洗浄土 1）とスクリーコンベア回収土（洗浄土 1.5）の混合物の放射性物質濃度は 2,200～5,200 Bq/kg で汚染土対比 18～29 %に低下し、土壌回収率は 46～74 重量%であった。 （ウ）本システムによる土壌の解砕・分散効果によりサイクロンを用いて粒径 20 μm 分級が可能となった。粒度分布結果から、20 μm 未満の土粒子の 50 %が回収され、20 μm 以上の土粒子回収率は平均で 83 %であった。 （エ）濃縮土の放射性物質濃度は採取土壌の 129～471 %と増加し、放射性物質を吸着した粘土を分離濃縮することができた。 （オ）回収土と想定していた洗浄土 2 の放射性物質濃度は 19,700 ～43,300 Bq/kg で、採取土壌の 98～226 %となった。目視観察や強熱減量値から、原因は有機物質の混入と判断した。洗浄土の分析結果より、この放射性物質濃度の高い有機物を除去すれば放射性物質を低減させることが可能であると判断した。	
技術等の評価： 回収土の放射性物質濃度は採取土壌対比 18～29 %となり、土壌回収率は、46.0～74.1 %と高い回収率を示した。 洗浄土 2 の放射性物質濃度は採取土壌対比 98～226 %となり、回収土として利用できないことが分かった。この原因は有機物質の混入によるものと考えられる。 20 μm 未満の土粒子回収率は 47～75 %、20 μm 以上の粒子回収率は 74～91 %であった。	
作業員被ばく量評価： 土壌 C を 50,000 Bq/kgとした場合、空間線量が 1.25 $\mu\text{SV/h}$ を超えることは無く、最大年間被ばく量は 2.31 mSV となり、女性放射線業務従事者の基準 5 mSV/3 ヶ月を下回り、安全性に問題ないと判断される。	
コスト評価： 処理コストは、汚染土処理費（有姿）30,000 円／トン、減容化処理費は 44,000 円／トンとした。	歩掛り（作業人工、作業速度等）：人件費 30,000 円/日、プラント運用 10 名、管理者 2 名、処理量 105 トン/日とした。
コスト評価条件： 1 日当たり 7 時間作業、月 22 日、5 ヶ月間で 1 万トン进行处理。主要構成機器は、土壌供給装置、分散剤供給装置、エジェクター・駆動ポンプ各 2 機、振動ふるい、湿式サイクロン、凝集沈殿水処理設備、浮遊選鉱装置、活性汚泥法水処理装置等である。ランニングコストとして、燃料費、分散剤、凝集剤、界面活性剤等を計上。	
安全性の評価： システムの自動化、遠隔操作が可能であり遮蔽板で隔離することも可能。湿式処理であるため、放射性物質を含む粉塵が飛散せず、適切な保護具着用して作業をすれば、被ばくに対する安全性を確保することができる。	
試験場所： ベンチスケール試験： 神奈川県 分析： 東京都 早稲田大学 現地試験： 福島県	除去物保管場所と保管状況： 採取土壌： 除染工事の除去土壌として処理 廃液： 産廃業者により適正に処分

1. 試験の目的

(1) 背景と取組み

東京電力福島第一原子力発電所事故により汚染された地域の除染作業から発生する除染土等の量は、砂質土約 900 万 m^3 、粘性土約 1,100 万 m^3 となると推定されている。特に、粘性土は、主に農地、森林から発生したもので、腐植など有機質を含み、団粒構造をもつ土壌が多くを占めている。今後、放射能汚染土の減容化においては、粘性土を含む放射能汚染土を経済的に減容化処理する新しい技術開発が必要となる。今回開発した技術は、粘性土を含む採取土壌に分散剤を予め混合処理した後に、供給圧力 4～5

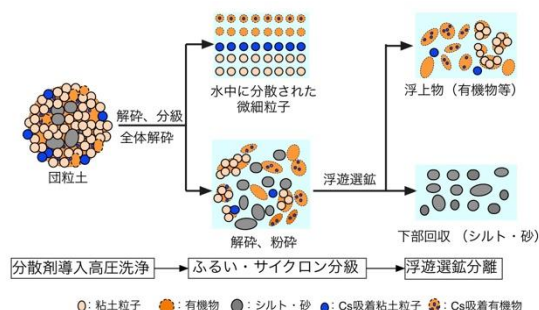


図 1-1 処理原理

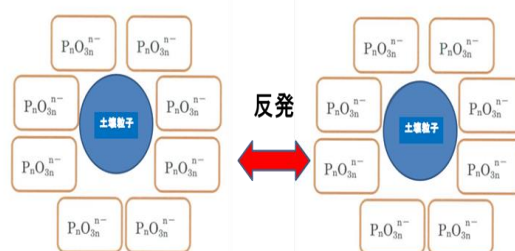


図 1-2 土壌粒子間の分散作用図

MPa の高圧洗浄を行う。これにより、従来技術の課題であった団粒土の解砕後の再凝集を防ぎ、粒径 75 μm 以下の微細な土粒子の分離、回収を行うものである。開発技術の採取土壌処理原理を図 1-1 に示した。本試験では、採取土壌、水、分散剤の混合を行い、これを高圧洗浄装置に導入する。分散剤はゼータ電位の制御により、土壌の解砕効果を向上させる。解砕した放射性物質を含む微細な粘土粒子は洗浄水中に分散し、再凝集を防ぐ効果をもつ。りん酸塩類は粒子を水へ分散させ易くすることから粒度分布測定等に広く使用されている。ヘキサメタりん酸ナトリウム水溶液が高圧洗浄システム中で土粒子に作用し分散作用を生じるモデル図を図 1-2 に示す。土壌にヘキサメタりん酸ナトリウム水溶液を加えると、ヘキサメタりん酸ナトリウムの酸素原子と土壌粒子表面の官能基とが水素結合し、土壌粒子の表面にヘキサメタりん酸基の被膜を形成し、土壌粒子同士が負に帯電し反発するため分散性がよくなると説明されている。

(2) 提案技術の目的

本技術を実用化するためには、開発技術による処理の定量的評価、洗浄および分級処理条件の検討、採取土壌を用いたシステムの有効性の実証が課題となる。本実証試験は、ベンチスケール試験による処理効果の定量評価と分散剤添加量、サイクロン分級条件等の検討、及び汚染濃度の異なる福島県内の粘性土（農地由来、森林由来）、砂質土（森林由来）の中から放射性 Cs 線量の異なる 6 種の採取土壌に対して、提案技術を用いた洗浄試験を実施して処理効果を実証する。

(3) 成果目標

達成目標 放射性物質濃度低減： 採取土壌の 20%以下まで低減
減容化処理： 粒径 20 μm 以上の粒子回収率 90%以上、
粒径 20 μm 未満の粒子回収率 50 %以上

2. 試験の内容

(1) 試験のフロー

試験のフローを図 2-1 に示す。

①ベンチスケール試験 ②現地試験 ③試験用設備の準備、調整

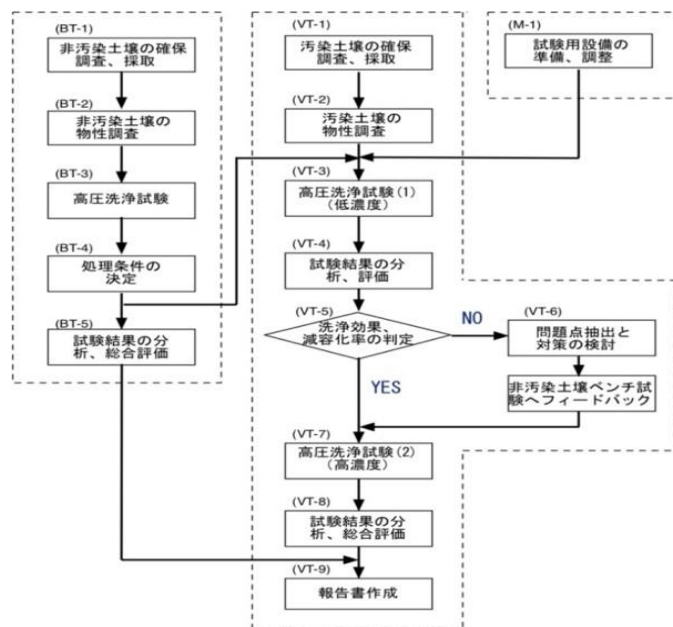


図 2-1 試験の進め方

(2) 使用する設備、機器等

使用する主要な設備、機器等を表 2-1 に示す。

表 2-1 使用する主要な設備、機器

品名	主な仕様	品名	主な仕様
土壌供給装置	スクリー式、3.7kW、5t/h	凝集剤攪拌混合水槽	容量 1m ³ 、鋼板製、攪拌機付き
駆動ポンプ	最大 14.7MPa、110L/min	発電機	75kVA、ディーゼル
攪拌混合用エジェクター	Φ60.5、180 × 950 × 120 mm	コンプレッサー	0.7MPa×3.7m ³ /min×26.5 kW
分散剤供給装置	鑑賞魚用ミニポンプ	粒度分布測定器	堀場製作所製 LA920
ケミカルタンク	容量 200L、樹脂製	揺動型ふるい振とう機	0～1400rpm(50Hz)、100W
攪拌機	出力 90W、重量 1.4kg	放射線濃度測定機	NaI(Tl)シンチレーション検出器
水槽等	容量 20m ³ 、10m ³ 、3m ³ 、鋼板製	JIS A1204 粒度試験用ふるい	網目 0.074～4.76mm
洗浄用エジェクター	Φ60.5、ノズル 3 mm、4.5 mm	SEM-EDX 分析装置	日本電子社製 SH-6010LA、JEM-3010
振動ふるい（スクリーコンベア付）	網目 0.1mm、0.15mm、0.5mm、1mm	X 線回折装置	リガク社製 MiniFlex 30Kv/15mA
湿式サイクロン	供給ポンプ付、10～40μm 分級、0.4MPa × 70 L/min	電気炉	庫内容量：0.7L、温度設定範囲：100～900℃、ヒーター：500W
膜式真空脱水装置	膜面積 10 m ² 、処理量 500L/h	インキュベーター	内寸法：180×240×220mm、設定温度範囲：室温+5～80℃、ヒーター：300W

薬剤は、分散剤としてヘキサメタリン酸ナトリウム粉末及び酸化ケイ素、酸化カルシウム、酸化チタンを主成分とする天然鉱物系凝集剤を使用した。

(3) 試験の実施場所

- ①ベンチスケール試験 神奈川県
- ②分析及び解析試験 東京都（早稲田大学循環型環境技術研究センター）
- ③現地試験実施場所 福島県

(4) 試験の実施要領

- ①試験実施体制：試験実施体制は業務管理者の下、主任技術者、照査技術者、研究員(6名)と協力会社（松蔵技建）で構成。業務担当を表 2-2 に示す。

表 2-2 業務担当

事業者	業務内容
早稲田大学	総合監理、高圧洗浄・減容化試験実施、試験計画立案、ベンチスケール試験実施、試験結果の解析、取りまとめ
松蔵技建株式会社	高圧洗浄・減容化装置の運転、試験作業の補助業務、放射線管理者の配置

- ②試験の実施方法：試験は図 2-1 の試験の進め方に従い実施した。

3. 試験結果

(1) ベンチスケール試験

(ア) 分散剤の効果と添加量

- ・分散剤を添加した高圧洗浄により、湿式サイクロンによる粒径 20 μm 分級が可能になった。
- ・水溶液中での土の分散状況（図 3-1）、試験土の解砕効果、模擬汚染土のセシウム含有量低減効果、りんのマスバランスおよび経済性を総合的に評価して、分散剤添加量は 2 % が最適であると判断した。

(イ) 解砕メカニズム

- ・提案した高圧洗浄システムによる団粒粘土の解砕効果が SEM 観察（図 3-2）により、確認できた。EDX 分析により、洗浄土のセシウム含有量の低減を確認できた。
- ・非汚染土の 46 % が 20 μm 未満の粒子であった。分散剤 2% における高圧洗浄後の 20 μm の粒子割合が 26.8 % となり、非汚染土 20 μm 未満の土粒子の約 58 % が 20 μm 未満に解砕・分離された。
- ・当初考えていた高圧洗浄メカニズムとは異なり、高圧洗浄により団粒土全体が解砕されることが分かった（図 1-1）。分散剤無添加スラリー中の土壌粒子は、洗浄後、直ちに電化バランスを取り互いに再凝集する。分散剤を添加して高圧洗浄処理することで得られた解砕粒子は、再凝集しないので沈殿せず、水中に懸濁し濁度は強くなる。

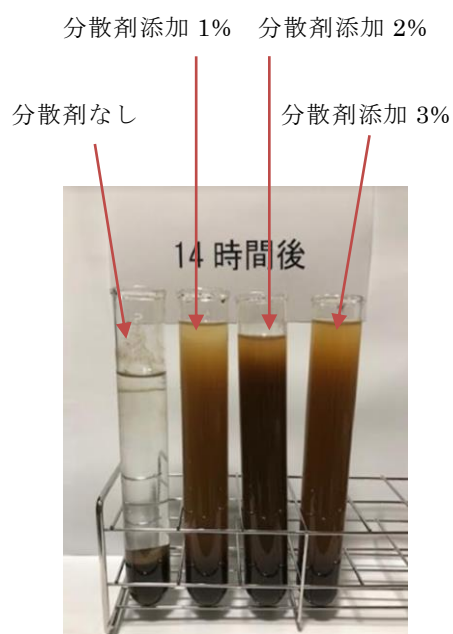


図 3-1 高圧洗浄後 14 時間後の状態

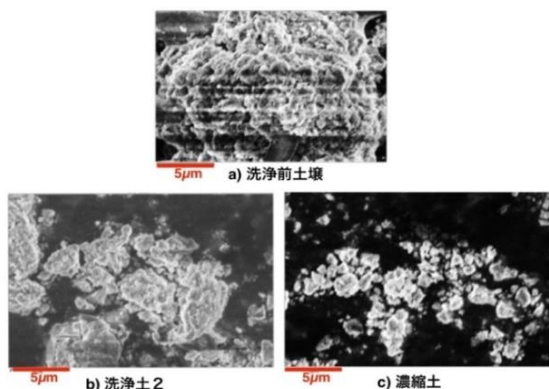


図 3-2 試験土壌の SEM 画

ウ) 分級

・サイクロン分級では洗浄土 2 に微細土が 60～80 %混入し、オペレーションの改善が大きな課題となり再試験を実施した。再試験では出口配管バルブを制御 1 (1/3 開; 浄土 2/濃縮土流量比=1 : 40)、制御 2 (1/2 開; 洗浄土 2/濃縮土流量比=1 : 9)、全開(洗浄土 2/濃縮土流量比=3 : 7) の 3 条件でサイクロンを運転し、粒度分布測定を行った。最適化した条件下で実施した場合、洗浄土 2 においては 20 μm 未満の土粒子含有 25 %、濃縮土においては 20 μm 未満の土粒子含有 95 %と良好な結果を得た。この場合のサイクロン上

下流量比は 1 : 40 と設定した。

- ・洗浄土 1 の割合は、本技術の研究開発時の試験結果より 10 %高く、解砕された微細土壌の残留により放射性物質濃度が高くなる恐れがある。現地試験では洗浄土 1 の放射性物質濃度、残留割合を調べながら、使用する網目等の調整を行う必要があり、ふるいの面積についても増加させる必要があると考えた。
- ・模擬汚染土のふるい残留土のセシウム含有量低減効果は 63 %の結果となった。この試験では模擬汚染土壌の混合調製段階で土の粒径等を著しく変えてしまう可能性があったが、試験結果は微細土の解砕と分離量に相関が認められたことから、この低減効果は目安としての値として捉えた。(表 3-1)

表 3-1 模擬汚染土、洗浄土、洗浄水のセシウム含有量測定結果

分散 剤添 加量 (%)	洗浄土1					洗浄土2				濃縮度				洗浄水			
	Cs含有量(g/kg)				模擬汚 染土と の含有 量の比	Cs含有量(g/kg)				Cs含有量(g/kg)				溶解性Cs濃度(mg/L)			
	1	2	3	平均		1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
0	3.13	4.19	4.66	3.99	0.65	2.78	2.74	3.07	2.86	2.7	3.2	4.5	3.47	72.4	73.2	80.5	75.3
1	2.41	3.71	2.46	2.86	0.46	3.55	5.75	3.44	4.25	3.21	5.43	4.5	4.38	14.9	15.0	18.2	16.0
2	1.82	2.97	2.09	2.29	0.37	2.81	5.59	4.33	4.24	5.66	5.74	6.73	6.04	15.7	15.4	12.1	14.4
3	4.59	4.59	3.04	4.59	0.66	5.59	5.15	4.84	5.19	7.72	9.52	5.74	7.66	12.9	13.1	18.9	15

(2) 現地試験

図 3-3 に現地試験における高圧洗浄システム機器構成を、図 3-4 にシステム図を示す。



図 3-3 現地試験高圧洗浄システム機器の全体構成

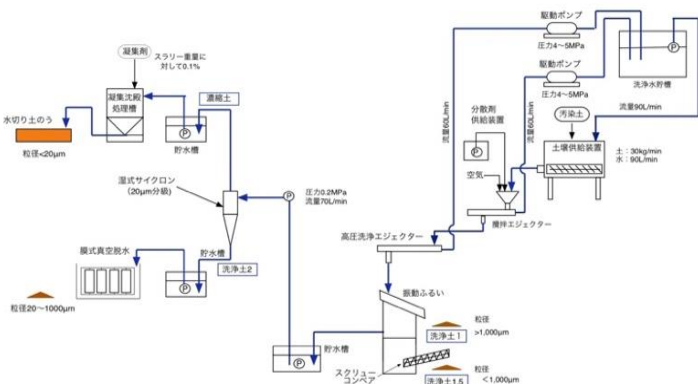


図 3-4 現地試験高圧洗浄システム図

プによりスラリーを攪拌することで、ほぼ均一なスラリーをサイクロンに供給することが可能となった。以降より、このスクリーンコンベアにより回収した土を新たに洗浄土 1.5 と定義した。最終的には、ふるい網目 1 mm とスクリーンコンベアを組み合わせた仕様が今回の土壌の高圧洗浄には良好であることを見出し、6 種の土壌について改めて同一条件で高圧洗浄試験を実施し、最終的な試験評価することを決定した。

採取土壌の粒度分布を図 3-5 に、Cs 濃度を表 3-2 に示す。現地試験で採取した土壌は砂質を多く含土壌 1 種類と粘性土 5 種類であり、農地(1 か所)、森林(5 か所) から採取した。Cs 濃度は 7,500~41,700 Bq/kg の範囲である。

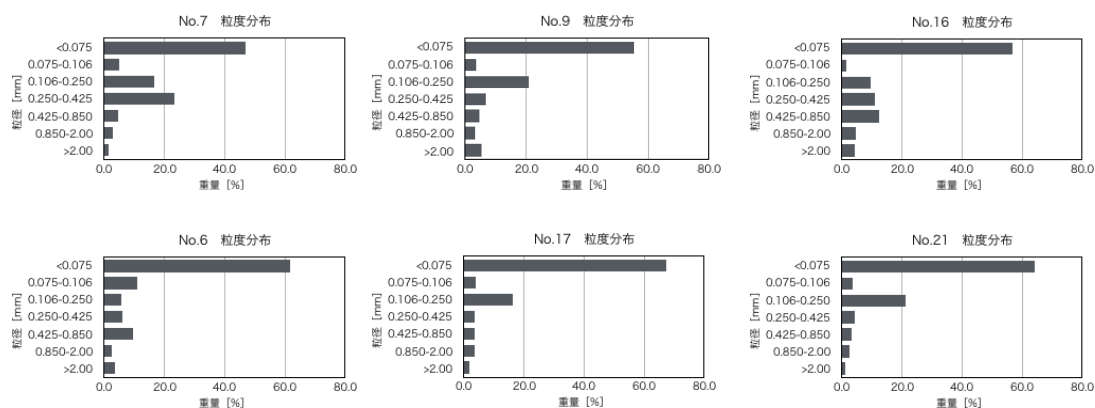


図 3-5 高圧洗浄システムによる採取土壌の粒度分布

放射性物質濃度は、洗浄土 1 では採取土壌対比 18~31% に低減され、No.17 土壌を除いて 8,000 Bq/kg 以下の値となった。洗浄土 1.5 では採取土壌対比 12~46 % まで低減され、全ての土壌で 8,000 Bq/kg 以下の値となった。採取土壌の放射性物質濃度が低い No.7、No.9 の土壌では低減割合が低い。洗浄土 2 については採取土壌対比 98~226 % となり、5 種の土壌において採取土壌の放射性物質を超える結果となった。濃縮土については採取土壌対比 130~453 % の幅広い値となり、放射性物質が濃縮された。

表 3-2 高圧洗浄処理土壌の Cs 濃度

土壌No	7 森林採取砂質土					9 農地採取粘性土					16 森林採取粘性土				
土壌区分	採取土壌	洗浄土 1	洗浄土 1.5	洗浄土 2	濃縮土	採取土壌	洗浄土 1	洗浄土 1.5	洗浄土 2	濃縮土	採取土壌	洗浄土 1	洗浄土 1.5	洗浄土 2	濃縮土
Cs濃度[Bq/kg-dry]	7,500	2,100	3,400	35,300	37,000	8,700	1,600	2,900	19,700	18,300	14,300	3,500	3,300	25,700	41,000
採取土壌対比(%)	100	28	46	160	453	100	18	33	226	210	100	24	23	180	287
土壌No	6 森林採取粘性土					17 森林採取粘性土					21 森林採取粘性土				
土壌区分	採取土壌	洗浄土 1	洗浄土 1.5	洗浄土 2	濃縮土	採取土壌	洗浄土 1	洗浄土 1.5	洗浄土 2	濃縮土	採取土壌	洗浄土 1	洗浄土 1.5	洗浄土 2	濃縮土
Cs濃度[Bq/kg-dry]	18,000	5,600	4,200	35,000	37,000	41,700	13,000	5,100	40,700	53,700	28,300	6,100	4,500	43,300	43,000
採取土壌対比(%)	100	31	23	195	205	100	31	12	98	130	100	22	16	153	152

4. 試験結果の評価

(1) 技術の評価

表 4-1 に示すとおり、洗浄土 1 と洗浄土 1.5 の混合物では高圧洗浄により、放射性物質濃度を 18~29%と大きく低減することができ、減容化率も 46~74%に達した。一方、当初回収を計画していた洗浄土 2 では放射性物質の大きな低減は見られなかった。

表 4-1 ふるい回収土（洗浄土 1 と洗浄土 1.5 の混合物）の放射性物質低減効果

土壌 No	放射性物質濃度 [Bq/kg]	放射性物質濃度 採取土壌対比 [%]	土壌減容化率 [%]
7	2,200	29	74.1
9	2,200	28	68.5
16	3,300	23	72.7
6	4,600	25	65.1
17	5,000	19	46.0
21	5,200	18	51.9

※土壌回収率は下記の式で計算した

土壌回収率=100 x (洗浄土 1 の乾燥重量+洗浄土 1.5 の乾燥重量)/(採取土壌の乾燥重量)

洗浄土 2 の放射性物質濃度が低下しなかった原因については、この洗浄土に有機物が多く含まれることが起因していると考え、強熱減量試験、X 線回折、粒度分布測定を行って有機物の状況を把握した。また、洗浄土 2 を水で希釈、攪拌して比重分離を行なった。この結果、上層に微細な粘土、中層に着褐色の土壌、下層にシルト～砂の 3 層に分離する状況を確認した。表 4-2 に示すとおり、中層の Cs 濃度が最も高濃度となった。洗浄土 2 を回収土として利用するためには、高い放射性物質濃度をもつ中層の有機物質を含む土壌を分離除去する必要がある、浮遊選鉱法の適用可能性を確認した。

表 4-2 分離土壌の分析結果

#	区分	重量 [g]	固形分 [%]	乾燥重量 [g]	構成比 [%] (A)	放射性物質濃度 dry [Bq/kg] (B)	各区分の放射性物質濃度 [Bq/kg] (A x B)
1	上層	423	3.0	13	14%	13,800	1,878
2	中層	158	42.4	67	72%	62,200	44,695
3	下層	19	71.3	14	15%	4,200	610
計		600	—	94	100%	—	47,184

※上層の固形分はスラリーの比重から算出した

(2) コストの評価

中間貯蔵施設内で提案高圧洗浄システムを用いて、処理量 105 トン／日、1

表 4-3 処理コスト試算(処理 1 万トン当たり)

項目	金額
装置設置費	2,310 千円
処理ヤード整備費	850 千円
機械損料	63,255 千円
ランニングコスト	145,159 千円
人件費	39,000 千円
諸経費(直接費用の 20%)	50,104 千円
計	300,678 千円
汚染土 1 トン当たり減容化処理コスト	30,000 円
減容化処理土 1 トン当たり 処理コスト	44,000 円

日 7 時間、月 22 日、5 ヶ月運転の条件で土壌 C を 1 万トン洗減容化処理する条件から、土壌 1 トン当たりの処理コストを試算した。見積に使用した金額は、福島県発注ため池除染公共工事単価、機械損料表、建設物価版等の資料により算出した。処理ヤード整備費、装置設置費は、耐用年数を 15 年として、1 万トンの土壌を処理する期間である 5 ヶ月分の按分費用(整備費/(15×12)×5)として計上した。こ

の結果を**表 4-3**に示す。

(3) 安全性の評価

実証試験における各作業時における空間線量、被ばく量を測定し、その結果を踏まえて、**表 4-4**に示す項目により提案技術による作業員の被ばく量を推定した。実証試験における測定値に対して、土壌 C を対象に 1 万トン処理する場合、12 人が 1 日 7 時間、月 22 日、5 ヶ月間洗浄・減容積化処理する条件で推定空間線量を想定した。特に本実証試験で使用した 6 種類の汚染土壌の平均線量は 19,750 Bq/kg であるのに対し土壌 C(20,000～80,000 Bq/kg の平均値として 50,000 Bq/kg に設定) は約 2.5 倍の高濃度線量土壌を想定した。その結果、作業員の最大年間被ばく量は 2.31mSV/年となり、女性放射線業務従事者の基準 5mSV/3 ヶ月以下であり安全性に問題はない。

表 4-4 作業員被ばく量の測定値及び事業における試算値

作業内容	実証試験	除染事業における推定値			
	空間線量 (μSV/h)	必要人員 (人)	作業時間 (h)	推定空間 線量 (μSV/h)	被ばく量 (μSV)
採取土壌の投入	0.3	10	154	0.75	1,155
プラント運転	0.3	10	154	0.75	1,155
洗浄土 1、1.5 の移設	0.3	10	154	0.75	1,155
洗浄土 2 脱水、土のう充填、移設	0.3	10	154	0.75	1,155
濃縮土凝集、脱水、土のう充填、移設	0.5	10	154	1.25	1,925
業務管理	0.1	10	154	0.25	385

※作業員最大年間被ばく量：(2.31mSV=1.25μSV/h×7h×22 日×12 ヶ月)

5. まとめと今後の課題

(1) 試験結果のまとめ

提案した高圧洗浄システムでは、分散剤を導入した高圧洗浄による粘性土の解砕・分散効果を利用して洗浄後の土の分級を行い、粒径 20 μm 以下の土粒子を分離回収することで放射性物質の低減、減容化処理を図るものである。本実証試験を通じて、その処理効果は基本的に有効性をもっていることが実証された。

①高圧洗浄システムの有効性

福島県内の粘性土を主とする 6 種の採取土壌を用いて、本システムによる実証試験を実施した。採取土壌は森林由来粘性土、森林由来砂質土、農地由来粘性土であり、放射性物質濃度は 7,500～41,700 Bq/kg であった。本システムを用いた洗浄試験により以下の結果を得た。

- (ア) 洗浄土の SEM 画像の観察から、本システムによる団粒土の解砕効果が確認された。
- (イ) 本システムによるふるい回収土（洗浄土 1、洗浄土 1.5 の混合物）の放射性物質濃度低減率は、採取土壌の 18-29 %まで低減した。放射性物質濃度は 2,200-5,200 Bq/kg となり良好な結果を確認した。
- (ウ) 本システムによる土壌回収率は 46～71 重量%と高い回収率を示した。
- (エ) 回収した洗浄土 1、洗浄土 1.5 は土質強度が高く、また放射性物質濃度が低いため、道路基盤材等に再利用可能であることを確認した。
- (オ) 本システムによる採取土壌の解砕・分散効果により、湿式サイクロンを用いて粒径 20 μm 分級が可能となった。湿式サイクロンの粒度分布を解析した結果、20 μm 未満の土粒子は 50 %が回収された。また、20 μm 以上の土粒子の回収率は平均で 83 %となった。以上の結果から土粒子回収率の目標をほぼ達成した。
- (カ) 濃縮土の放射性物質濃度は採取土壌の 129～471 %と増加した。放射性物質を吸着した粘土を分離濃縮することができた。
- (キ) 回収土として計画していた洗浄土 2 の放射性物質濃度は、20 μm 以上の土粒子を回収しているにも関わらず、採取土壌の 98～226 %と増加した。洗浄土 2 の目視観察や強熱減量値等から、この原因は粒径が大きい有機物質の混入によるものと判断した。また、有機物質には放射性物質が多く含有するとの文献などから、洗浄土 2 から有機質を除去することが、放射性物質低減に有効であると考えた。森林由来汚染土では、腐植物質等の土壌有機物による影響を受けることが多く、提案システムによる減容化、放射性物質濃度低減効果をさらに改善するためには、比重分離または親疎水性を利用した浮遊選鉱技術による、土壌有機物の分離工程を加える方法が有効である。
- (ク) 浮遊選鉱技術による土壌有機物の分離・回収効果を確認した。土粒子と有機物質とが結合して一体となった土壌のままでは浮遊選鉱技術を適用することは難しい。本システムを用いて粘性土を解砕・分散すれば、有機物質の分離・回収が可能であることを示した。

②分散剤の有効性

高圧洗浄処理は優れた土壌解砕効果を発揮することが知られている。しか

し、時間の経過とともに解砕された土粒子の再凝集が生じ、その後の分級処理に支障をきたす。分散剤はこれらの状況を改善する目的で導入し、本試験で効果を確認した。

- (ア) 分散剤を導入した高圧洗浄処理では、分散剤無添加処理の場合と比較して土粒子が再凝縮しない。その結果、洗浄土スラリーは著しく懸濁し、土壌の解砕・分散効果の有効性が確認された。この効果はゼータ電位測定結果からも裏付けられた。
- (イ) 分散剤はベンチスケール試験において、土壌の解砕効果、サイクロンの分級効果、模擬汚染土のセシウム含有量低減効果、リンのマスバランス、経済性より総合的に評価した。その結果、分散剤添加量は 2% が最適であると判断した。

③ 高圧洗浄処理メカニズムの検討

本システムは、分散剤を導入した高圧洗浄による粘性土の解砕・分散効果を利用して、洗浄した土粒子の分級を行い、粒径 20 μm 以下の土粒子を分離することで放射性物質の低減、減容化処理を図るものである。本システムによる汚染土の処理メカニズムとして、団粒土の表面部分を解砕するとのイメージを想定していた。しかし、実証試験における洗浄土の SEM 観察(図 3-2)では、団粒土の粉碎、解砕が観察された。また、森林由来粘性土の処理では有機物の影響が無視できない結果が得られた。再検討した高圧洗浄処理メカニズム(図 1-1)について以下に説明する。

- (ア) 団粒土は粘土粒子、有機物質、珪石等から構成される。粘土粒子の一部、有機物質の一部は放射性 Cs を吸着している。高圧洗浄により、団粒土は粉碎・解砕され、粉碎後の欠片、細粒に分散された土粒子となる。
- (イ) 粉碎後の欠片には、有機物で結合した粘土の集合体、有機物、放射性 Cs を吸着した有機物、シルト・砂から構成されるものが存在する。
- (ウ) 分散された微細粒子は、粘土粒子、放射性 Cs を吸着した粘土、有機物、放射性 Cs を吸着した有機物から構成される。放射性物質を吸着した粘土粒子の大部分がこの中に含まれると想定される。
- (エ) 本システムでは、土壌の解砕後に、洗浄水中に分散された微細粒子をサイクロン分級により分離することで、土壌中の放射性物質濃度を低減する。また、放射性物質は分離回収された土粒子に濃縮され、減容化処理効果が生じると考えた。
- (オ) 粉碎後の欠片を浮遊選鉱処理することで、疎水性の性状を示す有機物質、放射性 Cs を吸着した有機物は浮上分離し、親水性の性質をもつシルト・砂は沈降物として回収される。浮遊選鉱システムにより、放射性物質の低減効果、減容化率をさらに向上させることができる。

④ 提案システムの経済性、実用性

実証試験結果に基づく提案システムの経済性、実用性について以下に示した。

- (ア) 本システムは土壌を連続的に解砕、分散処理することが可能であり、使用する設備も小型でシンプルな構成である。
- (イ) 本システムによる土壌の処理は、pH 調整することなく中性域で実施することができ、大量の化学薬品を使用しない処理法である。本システムは、湿式分級システムであるため、作業環境の安全性が高く、土壌の処理に

要するエネルギーも小さい。

- (ウ) 実証試験を通じたコスト試算により、提案システムによる処理コストは処理土壌（有姿）1 トン当たり 30,000 円、減容化処理土 1 トン当たり 44,000 円となる。
- (エ) 粘性土を処理対象とする他の方法と比較して経済性に優れている。
- (オ) 本システムでは関連技術を用いた、ため池底質土除染の実績が豊富にあり、非常に実用性が高いといえる。
- (カ) 提案システムに浮遊選鉱工程を導入することにより、砂質土から有機物質を含む粘性土まで、全ての土質の汚染土の減容化・除染処理が可能となる。

(2) 今後の課題

前記のとおり、提案システムによる、粘性土の解砕・分級、回収機能は十分な有効性が認められた。一方で、今回の現地試験により下記の課題も明らかになった。

- ① 本実証試験で処理対象とした汚染土は森林から採取した粘性土が主であり、土壌に含まれる有機物、腐植物質による影響が明確に認められた。実証試験における第一の課題は洗浄土 2 の放射性物質が高く、計画どおりに採取土壌を減容化処理できなかったことである。前記のとおり、これは対象とした森林由来粘性土に含まれる放射性物質濃度が高く、粒径の大きい有機質土が洗浄土 2 に混入したことが原因である。この課題については、現地の土の洗浄処理を行って初めて得られた知見であって計画段階では想定できなかった。
- ② これに対する対策としては、高圧洗浄システムに、有機物を分離する新たな機能を追加する必要がある。今後の高圧洗浄システムの改善策としては、サイクロン分級処理の後段に、有機質土とシルト～砂を分離する工程を追加することが望ましく、この処理には公知の分離技術が適用できる。
- ③ 前記のように、洗浄土 2 は比重の差異により比較的容易に分離できるため、追加する工程としては、比重分離を原理とする分離処理が考えられる。比重分離による分級処理としては、加圧浮上分離法、サイクロン分級法などが上げられる。また、砂、腐植物質はそれぞれ親水性、疎水性であることが知られており、この原理を利用した浮遊選鉱技術も処理法として有効である。これら 2 種の方法について比較すれば、比重分離は一般的に長い処理時間を要し、大量の土壌を処理するためには、浮遊選鉱技術が有利であると考えられる。今回の浮遊選鉱技術の適用性試験により、良好な結果が得られたため、今後この実用化研究を進める必要がある。
- ④ 今回処理対象とした汚染土は森林から採取した粘性土が主であり、処理における有機物による影響が明確に認められた。しかしながら、福島県内には黒雲母、バーミキュライト、アロフェン、イモゴライト等陽イオン交換能が高い粘土が分布する地域も多い。これらの地域における汚染土の処理には、湿式サイクロンによる分級が今回の実証試験よりも有効に機能するものと考えられる。また、今回の現地試験のように、放射性物質を吸着した腐植物質が含まれる森林由来汚染土の処理では、浮遊選鉱技術による処理工程を後段に追加することで、粘性土、有機物の両者の分離処理ができる。これにより、提案システムの適応性を拡げることが可能となる。

実施代表者：りんかい日産建設株式会社
実証テーマ名： 熱処理エネルギー削減のための分級処理濃縮物のブリケット化
概要： コークスベット熔融炉を用いて洗浄分級後の高含水率粘性土を熱処理する場合、高含水率粘性土を含水率 10%以下のブリケット状の土塊に加工（以後、熱処理の前工程という）する必要がある。従来技術は、標準フィルタープレス機を用いて高含水率粘性土の脱水処理をおこなった後、含水率 10%以下まで乾燥処理をおこない、成型機でブリケット状に成型する技術である。 提案技術は、高压フィルタープレス機を用いて脱水処理と成型処理を同時におこない、その後に乾燥する技術である。脱水直後の脱水土が低含水率であること、成型が不要であることから、熱処理の前工程のエネルギーとコスト削減の可能性が高い技術である。本試験は、提案技術および従来技術によるブリケット製作方法における、①熔融炉の受入要求品質に対する適用性の検討、②熱処理の前工程における脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーの算定、③放射性セシウムに対する作業員の安全性の確認をおこなう試験である。
実施内容： ① 福島県内における、除去土壌の土質試験 ② 提案技術および従来技術によるブリケットの製作 ・同方法による、ブリケットの品質確認、熱処理の前工程における脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーの確認、物質収支の確認 ③ 提案工程における、遠隔操作、自動ろ布洗浄装置の動作確認
技術概要： 1. 試験フロー 2. 試験目標 ① 製作したブリケットが熔融炉の受入要求品質（含水率・形状）を満たすこと ② 高压フィルタープレス機を用いた高压脱水土の脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーが標準フィルタープレス機と同エネルギーを下回ること ③ ブリケット製作において、カメラを用いた運転操作、ブリケットの自動剥離、ろ布の自動洗浄などの遠隔操作が可能なこと 3. 期待される効果 ① 熱処理の前工程における、エネルギーおよびコストの削減 ② 放射性セシウムに対する、作業員の安全性の向上

4. 試験結果

本試験における試験目標

項	目	成 果 目 標
コークスベッド型溶融炉の受入要求品質への適用性	含水率	・10%以下
	形状	・ブリケット状（□30～70mm×t20～35mm）
	粒度	・落下試験：高さ2m×3回の落下条件で粒径2mm以下の細粒分が5%以下 ・圧壊試験：土被り4mの圧壊条件で細粒分が5%以下
脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギー		・高圧フィルタープレス機を用いた高圧脱水土の脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーが標準フィルタープレス機の同エネルギーを下回る
放射性セシウムに対する作業員の安全性		・カメラを用いた運転操作、遠隔操作が可能

（コークスベッド型溶融炉の受入要求品質への適用性）

- ・脱水直後の含水率は、高圧脱水土（26.5～36.4%）、標準脱水土（37.5～51.6%）が、ともに10%以上のため、脱水から乾燥までの一貫した工程では、乾燥処理が必要である
- ・高圧脱水土は、含水比が塑性限界に近いため脱水とブリケット化が同時に可能であり、バンド乾燥機を用いることにより、溶融炉の受入要求品質（含水率・形状）を満たす
- ・乾燥後のブリケットは、溶融炉を模した落下試験および圧壊試験後の細粒分が約1.0%であり、溶融炉の受入要求品質（細粒分5%以下）を満たす

（脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギー）

- ・高圧脱水に必要な電力量／バッチは標準脱水土の1.3倍であるが、高圧脱水土の打ち込み泥水量／バッチが標準脱水土の1.27倍である。このため、乾土単位重量当たりの脱水エネルギーは高圧脱水土も標準脱水土もほぼ同値である
- ・高圧脱水土の溶融炉の受入要求品質（含水率10%以下）を満たすために必要な乾燥熱エネルギーは、標準脱水土の約2/3である

（放射性セシウムに対する作業員の安全性）

- ・提案技術によるブリケットの製作は、カメラを用いた運転操作、ろ布の自動剥離、自動洗浄装置による遠隔操作が可能であり、安全な日常の運転管理ができる

減容等の評価：高圧脱水土の単位容積に占める固形分の割合は、標準脱水土と比較して30%程度多くなる。このため、脱水土の保管場所を30%程度削減できる可能性がある。

作業員被ばく量評価：実用機 6.4m³ 型高圧フィルタープレス機による脱水ブリケットの製作に関わる被ばく線量は、4.1mSv/年と想定される（常時）。また、高含水率粘性土噴出時の対応（異常時）でも6.8μSv/回であり、法令上の線量限度20mSv/年を下回る。

前提条件：脱水土の放射能濃度124,000Bq/kg、量10,880kg（6.4m³×1.7t/m³）とする。

コスト評価：7,430円/m ³ （軟泥当たり）	歩掛り（作業人工、作業速度等）
・含水率68.8%の軟泥から含水率10%のブリケットの製作費用	・作業員 10名（1班当たり）3組3交代 800m ³ /日（含水率68.8%の軟泥）

コスト評価条件：高圧フィルタープレス機（6.4m³型）3基、24時間/日

作業期間は10年間、10ヵ月/年、20日/月、合計2,000日/年

作業における安全上の注意：フィルタープレス機のろ室部は、放射能濃度が高くなるため、高濃度区域として区画分けをおこなう。

試験場所（住所） 脱水試験は福島県南相馬市、乾燥試験は福島県西白河郡	除去物保管場所と保管状況：発生した廃棄物はすべて産業廃棄物処理した
------------------------------------	-----------------------------------

1. 事業概要

(1) 背景と目的

除去土壌は分級処理により砂質分と高含水率粘性土に分級され、高含水率粘性土は溶融炉で熱処理され、スラグ等として再生利用される計画である。

従来技術は、標準フィルタープレス機（ろ過圧力：0.6MPa）による脱水処理、回転式乾燥機を用いた乾燥処理、解砕処理、バインド剤添加、成型機によるブリケット化などの工程（以後、熱処理の前工程という）が必要である。ここで、標準フィルタープレス機の替わりに、特殊なる盤を装着した高圧フィルタープレス機（ろ過圧力：4.0MPa）を用いた場合、脱水土の含水率が低いこと、ブリケット化をおこなう必要がないことから、脱水から乾燥までの総エネルギーの縮減、工程の短縮やハンドリング性の向上が期待できる（図 1-1 参照）。本試験の目的は、高圧脱水ブリケット製作方法と標準脱水ブリケット製作方法における①コークスベツト溶融炉の受入要求品質に対する適用性の検証、②熱処理の前工程における脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーの算定、③放射性セシウムに対する作業員の安全性の確認である。

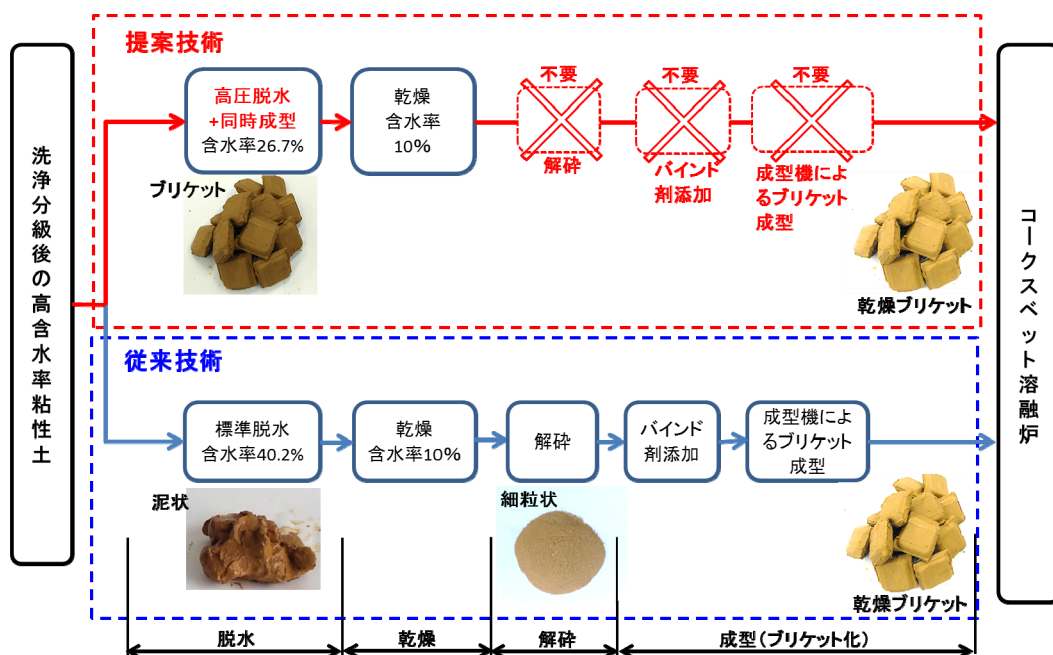


図 1-1 ブリケット製作工程の比較（イメージ）

表 1-1 本試験における試験目標

項 目		成 果 目 標
コークスベツト型溶融炉の受入要求品質への適用性	含水率	・ 10%以下
	形状	・ ブリケット状（□30～70mm×t20～35mm）
	粒度	・ 落下試験：高さ2m×3回の落下条件で粒径2mm以下の細粒分が5%以下 ・ 圧壊試験：土被り4mの圧壊条件で細粒分が5%以下
脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギー		・ 高圧フィルタープレス機を用いた高圧脱水土の脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーが標準フィルタープレス機と同エネルギーを下回る
放射性セシウムに対する作業員の安全性		・ カメラを用いた運転操作、遠隔操作が可能

(2) 実施フロー

図 1-2 に試験の実施フローを示す。

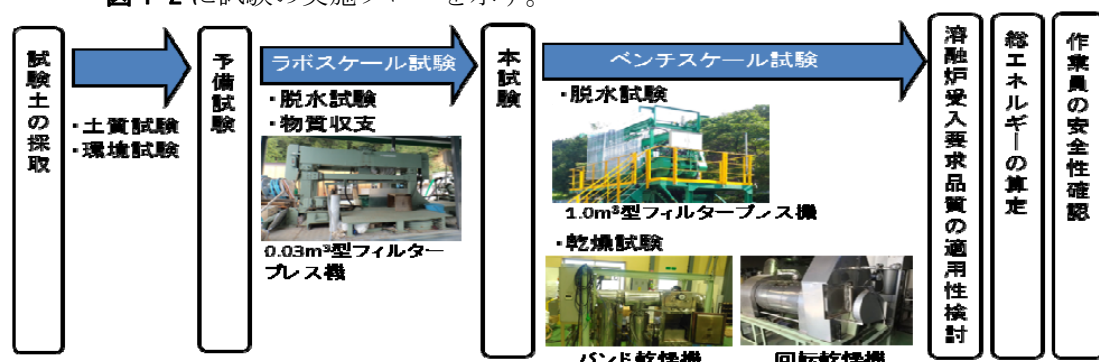


図 1-2 試験の実施フロー

2. 実施試験の内容とその結果

(1) 土質試験

図 2-1 に試験土の採取個所を、図 2-2 および表 2-1 に地域別、脱水土の性状を示す。

福島県内の地質は、大きく①～⑤に代表される火山灰質粘性土と、⑥～⑦に代表される風化花崗岩に分類される。今回実施した脱水試験では、いずれの地域のいずれの土壌においても、類似した性状を示した。

- ・ 高圧脱水土は、含水率 26.5～36.4%
コーン指数が 800kN/m² 以上（第 2 種建設発生土相当）であり、ハンドリング性が良い
- ・ 標準脱水土は、含水率 37.5～51.6%
コーン指数が 200kN/m² 前後（泥土～第 4 種建設発生土相当）であり、ハンドリング性が悪い



図 2-1 試験土の採取個所

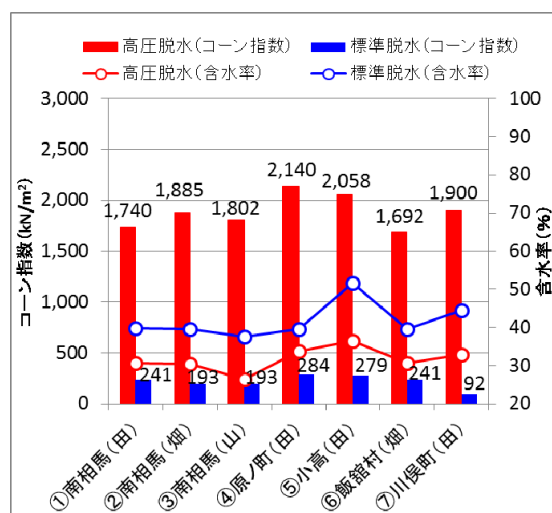


図 2-2 地域別、脱水土の性状

表 2-1 地域別、脱水土の性状

測定項目	試験条件	単位	地 域						
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
			南相馬 (田)	南相馬 (畑)	南相馬 (山)	原ノ町 (田)	小高 (田)	飯館村 (畑)	川俣町 (田)
コーン指数	高圧脱水4.0MPa	kN/m ²	1,740	1,885	1,802	2,140	2,058	1,692	1,900
	標準脱水0.6MPa		241	193	193	284	279	241	92
脱水土壌の 含水率	高圧脱水4.0MPa	%	30.6	30.5	26.5	33.9	36.4	30.6	32.8
	標準脱水0.6MPa		39.9	39.5	37.5	39.6	51.6	39.6	44.4

(2) 溶融炉の要求品質に対する適用性

南相馬（山）（図 2-2③）における試験結果を示す。

①脱水直後の含水率

表 2-2 に試験土の液性・塑性限界を、表 2-3 に脱水土の含水比および含水率を示す。

- ・ 高圧脱水土は、脱水直後の含水比が 36.0%であり、塑性限界 26.9%に近い
 - ・ 標準脱水土は、脱水直後の含水比が 60.0%であり、液性限界 73.8%に近い
- 結論：高圧脱水土および標準脱水土ともに、脱水直後の含水率が溶融

炉の受入要求品質（含水率 10%以下）を満たさず、脱水から乾燥までの一貫した工程のなかにおいては乾燥処理が必要である。

表 2-2 試験土の液性・塑性限界
（含水比表示）

液性限界	73.8%
塑性限界	26.9%

表 2-3 含水比および含水率

試験条件	含水比 (%)	含水率 (%)
標準脱水0.6MPa	60.0	37.5
高圧脱水4.0MPa	36.0	26.5

②形状

(ア) 脱水直後の形状

図 2-3 に脱水土の状況を示す。

- ・ 高圧脱水土は、含水比が塑性限界に近いいため、脱粋後もブリケットの形状を保つことが可能である
- ・ 標準脱水土は、含水比が液性限界に近いいため、脱粋後、ブリケットの形状を保つことが不可能である



図 2-3 脱水土の状況

(イ) 乾燥後の形状

図 2-4 に乾燥前後の脱水土の状況を示す。

- ・ バンド乾燥機は、メッシュトレイ上の乾燥対象物を通気乾燥する方式の乾燥機であるため、ブリケットの形状を保持しながら乾燥が可能である
- ・ 回転乾燥機は、攪拌翼で乾燥対象物を攪拌する方式の乾燥機であるため、ブリケットは 15mm 以下に粉碎され形状維持できない

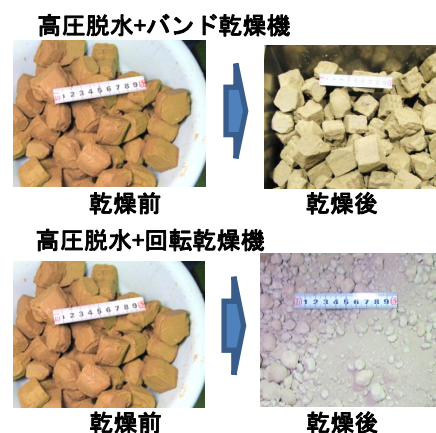


図 2-4 乾燥前後の脱水土の状況

(ウ) 落下試験、圧壊試験後の形状

- ・乾燥後のブリケットは、高さ 2m×3 回の落下試験後の細粒分が 1.1%、土被り 4m の圧壊試験後の細粒分が 1.0%であり、溶融炉の受入要求品質（粒度）を満たす

結論：高圧脱水土は、バンド乾燥機を用いることにより溶融炉の受入要求品質（含水比、形状、粒度）を満たす。標準脱水土は、形状を保持できないため、乾燥後の成型処理が必要である。

(3) 脱水および乾燥熱エネルギー

南相馬（山）(図 2-2③) における

試験結果を示す。

①脱水エネルギーの確認

表 2-4 に脱水エネルギー測定時の運転条件を、表 2-5 に脱水エネルギーの算出結果を示す。

- ・高圧脱水における 1 バッチ当たりの電力量は 24.0kWh であり、標準脱水 18.2 kWh の 1.3 倍となった。しかし、高圧脱水の 1 バッチ当たりの打込泥水量は標準脱水の 1.27 倍と多いため、単位乾土当たりの脱水エネルギーは高圧で 0.15、標準で 0.16MJ/kg-dry で高圧脱水も標準脱水も、ほぼ同じになる

表 2-4 脱水エネルギー測定時の運転条件

脱水方法	添加剤	脱水時間	脱水時間の内訳	
		1.0m ³ 型	0.6MPa	4.0MPa
標準脱水 0.6MPa	無添加	80分	80分	—
高圧脱水 4.0MPa			20分	60分

表 2-5 脱水エネルギーの算出結果

項 目	単位	高圧脱水 4.0MPa	標準脱水 0.6MPa
①電力量	kWh	24.0	18.2
②脱水エネルギー	MJ	86.40	65.52
③ろ室容量	m ³	0.42	
④打ち込み高含水率粘性土量	m ³	1.48	1.06
⑤ブリケット重量	Kg	780	680
⑥脱水土壌の含水率	%	26.7	40.2
⑦乾土重量	kg-dry	570	410
⑧乾土当りの脱水エネルギー	MJ/kg-dry	0.15	0.16

②乾燥熱エネルギーの確認

図 2-5 に高圧および標準脱水ブリケット製作方法における単位乾土重量当たりの乾燥熱エネルギーの比較を示す。

- ・高圧脱水ブリケット製作方法における乾燥熱エネルギーは 2.20 MJ/kg-dry、標準脱水ブリケット製作方法は 3.47MJ/kg-dry であり、高圧脱水土は標準脱水土の 2/3 の乾燥熱エネルギーで溶融炉の受入要求品質（含水率 10%以下）まで乾燥できる

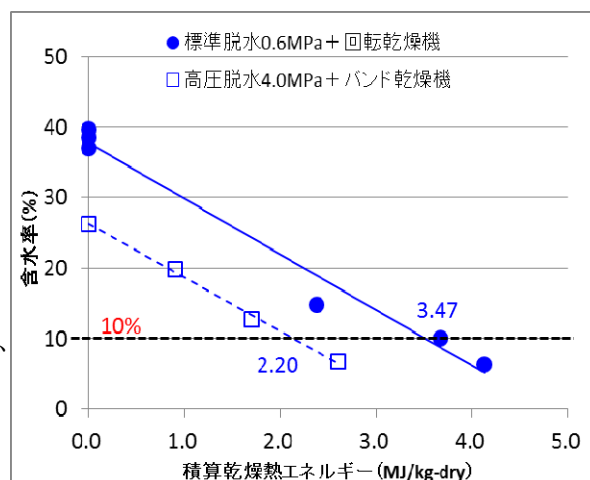


図 2-5 乾燥熱エネルギーの比較

③脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーのまとめ

図 2-6 に総エネルギーの比較を示す。

- ・バンド乾燥機を用い高圧脱水土を乾燥した場合、標準脱水土と比較して、2/3 のエネルギーで溶融炉の受入要求品質（形状・含水率）を満たす

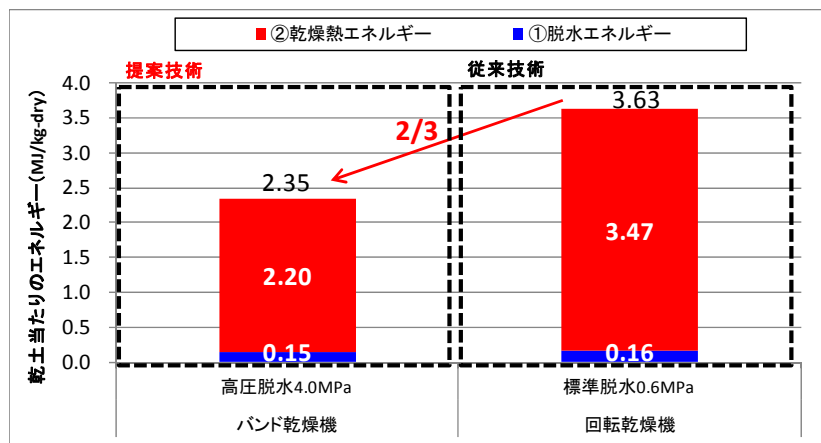


図 2-6 総エネルギーの比較

(4) 放射性セシウムに対する作業員の安全性

①常時の安全性評価

図 2-7 に遠隔操作システムによる運転管理状況を示す。



Web カメラによる遠隔操作

自動剥離による無人化

自動洗浄装置による無人化

図 2-7 遠隔操作システムによる運転管理状況

- ・脱水ブリケットの製作は、カメラを用いた運転操作、自動剥離、自動洗浄装置による遠隔操作が可能であり、放射性セシウムの高濃度区域に作業員が立入ることなく運転管理が可能である。このため、土壌 C (62,000Bq/kg) の 2 倍濃縮 (124,000Bq/kg) であった場合を想定しても、被ばく量は 4.1mSv/年となり、法令上の線量限界 20mSv/年の約 1/5 になり、安全な日常運転管理が可能である

②異常時の安全性評価

図 2-8 に高含水率粘性土のろ布破損時の噴出状況を、表 2-6 に異常時の対応における作業員の被ばく線量（推定値）を示す。

- 作業員の被ばく線量は、噴出した高含水率粘性土の放射能濃度が、土壌 C（62,000Bq/kg）の 2 倍濃縮（124,000Bq/kg）であり、復旧作業に 5 時間かかる場合、6.8 μ Sv 程度の被ばく線量になることが試算された。常時の被ばく線量に異常時（ろ布破損時など）の被ばく線量を加えても、作業員の健康に与える影響は少ないと考える



図 2-8 ろ布破損時の噴出状況

表 2-6 異常時の対応における作業員の被ばく線量（推定値）

高含水率粘性土の放射能濃度 (Bq/kg)	復旧作業の時間ごとの被ばく線量 (μ Sv)		
	2時間	5時間	10時間
30,000	0.66	1.7	3.3
62,000	1.4	3.4	6.8
124,000	2.7	6.8	14

3. 物質収支

(1) 物質収支結果

表 3-1 に脱水前後の物質収支を示す。

固形分重量は 97.5～98.2%、水分重量は 95.0～97.1%、放射能は 92.3～93.1%の収支となる。また、高圧脱水では、脱水前の高含水率粘性土の放射能濃度 582Bq/kg が脱水後に 1,229Bq/kg になり 2.1 倍の濃度になる。標準脱水では、脱水前 631Bq/kg が脱水後に 1,166Bq/kg となり、1.8 倍の濃度になる。

脱水後の放射能収支は、高圧脱水および標準脱水ともに脱水土：ろ布：ろ水＝99.9：0.1：0（回収率を 100%とした場合）になり、放射性セシウムのほとんどが脱水土に吸着されている。

表 3-1 脱水前後の物質収支

脱水前 (A)	ろ過圧力	高含水率粘性土				ろ布	ろ水	
		①固形分総量	②水分総量	③放射能総量	④放射能濃度		⑤放射能総量	⑥水分総量
	MPa	kg	kg	Bq	Bq/kg	Bq	kg	Bq
	高圧脱水4.0	111.709	242.120	205,907	582	0	0.000	N.D.
	標準脱水0.6	73.365	159.380	146,869	631	0	0.000	N.D.

脱水後 (B)	ろ過圧力	脱水土壌				ろ布	ろ水	
		⑧固形分総量	⑨水分総量	⑩放射能総量	⑪放射能濃度		⑬水分総量	⑭放射能総量
	MPa	kg	kg	Bq	Bq/kg	Bq	kg	Bq
	高圧脱水4.0	109.697	46.366	191,759	1,229	168	183.680	N.D.
	標準脱水0.6	71.555	44.683	135,589	1,166	147	110.150	N.D.

回収率 (B)/(A)	ろ過圧力	固形分収支	水分収支	放射能収支
	MPa	%		
	高圧脱水4.0	98.2	95.0	93.1
	標準脱水0.6	97.5	97.1	92.3

4. 提案技術と従来技術におけるブリケット製作コスト

図 4-1 に脱水ブリケット製作工程を示す。

提案技術は特殊な盤を装着した高圧フィルタープレス機を用いて脱水処理とブリケット化を同時におこない、その後に含水率 10%以下まで乾燥する技術である。

従来技術は標準フィルタープレス機を用いて高含水率粘性土の脱水処理をおこなった後、乾燥処理をおこない、成型機でブリケット化する技術である。

以下に提案技術と従来技術のコスト比較をおこなう。

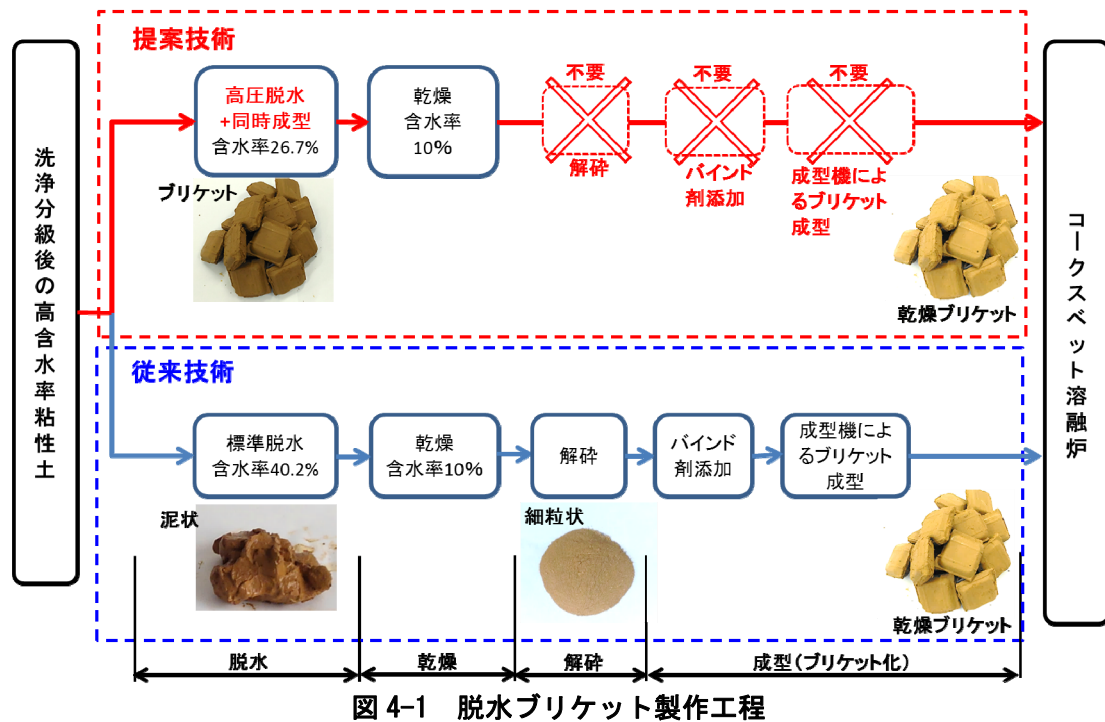


図 4-1 脱水ブリケット製作工程

コスト比較の施工条件は、含水率 68.8%（含水比 220%）の高含水率粘性土を含水率 10%のブリケットに脱水・成型をおこなうものとした。熱処理の前処理に関する仕様は以下のとおりである。

- ・ C 土壌の総容量を 132 万 m^3 とする。単位体積重量は $1.7\text{t}/\text{m}^3$ 、粘土・シルトの含有率を約 40%と仮定した
- ・ 洗浄分級処理により、含水率 68.8%の高含水率粘性土が 1 日当たり 800m^3 供給されると仮定した。なお、ろ水は洗浄分級施設へ戻すものとした
- ・ 操業期間は 10 年、10 ヶ月/年、20 日/月、合計 2,000 日/年で処理を仮定した
- ・ 高圧フィルタープレス機は 3 台、1 日当たりの運転時間は 24 時間（3 交替）と仮定した
- ・ 脱水助剤として、消石灰 2%/ds 添加するものと仮定した

表 4-1 ブリケット製作コストの内訳（単位乾土重量当たりの施工単価） 直接工事費

項目		単位	提案技術	従来技術
使用機械	①脱水工程	—	高圧フィルタープレス機	標準フィルタープレス機
	②乾燥工程		バンド乾燥機	回転乾燥機
	③解砕工程		なし	解砕機
	④成型工程		なし	ブリケット成型機
直接工事費	①脱水コスト	円/t-dry	9,514	9,451
	②乾燥コスト		6,018	5,828
	③解砕コスト		0	549
	④成型コスト		0	3,227
	⑤人件費		3,641	5,825
	合計(①+②+③+④+⑤)		19,173	24,880
高含水率粘性土当たり		円/t-68.8%W.B	7,430	9,641
ブリケット当たり		円/t-10%W.B	17,278	22,421
従来技術との比率		—	0.77	1.00

※各コストには設備、ランニング、メンテナンスコストを含む。設備は 10 年償却。

- ・ 従来技術に比較して、提案技術は解砕コストおよび成型コストが不要になるためトータルコストは低くなる
提案技術のブリケット製作コストは、7,430 円/t
従来技術のブリケット製作コストは、9,641 円/t
- ・ 従来技術に比較して、提案技術はトータルコストを約 20 削減できると試算された

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

高圧フィルタープレス機とバンド乾燥機による提案技術は表 5-1 に示す成果目標をすべて達成でき、高含水率粘性土から熔融炉の受入要求品質を満たすブリケットを作成できることを確認した。

表 5-1 本試験の成果目標と

項 目		成 果 目 標	提案技術
コークスベット型熔融炉の受入要求品質への適用性	含水率	・ 10%以下	○
	形状	・ ブリケット状 (□30～70mm×t20～35mm)	○
	粒度	・ 落下試験：高さ2m×3回の落下条件で粒径2mm以下の細粒分が5%以下 ・ 圧壊試験：土被り4mの圧壊条件で細粒分が5%以下	○
脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギー		・ 高圧フィルタープレス機を用いた高圧脱水土の脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギーが標準フィルタープレス機と同エネルギーを下回る	○
放射性セシウムに対する作業員の安全性		・ カメラを用いた運転操作、遠隔操作が可能	○

①脱水土の性状

- ・脱水直後、高圧脱水土は含水率が低いためブリケット状になるが、標準脱水土は含水率が高いためブリケット状にならない
- ・高圧脱水土は、含水率 26.5～36.4%コーン指数が 800kN/m² 以上（第 2 種建設発生土相当）であり、ハンドリング性が良い
- ・標準脱水土は、含水率 37.5～51.6%コーン指数が 200kN/m² 前後（泥土～第 4 種建設発生土相当）であり、ハンドリング性が悪い

②溶融炉の受入要求品質に対する検証

（含水比）

- ・高圧脱水土および標準脱水土ともに、脱水直後の含水率が溶融炉の受入要求品質（含水率 10%以下）を満たさず、脱水から乾燥までの一貫した工程のなかにおいては乾燥処理が必要である

（形状）

- ・バンド乾燥機を使用した乾燥後のブリケットは、形状維持できるため、溶融炉の受入要求品質（形状）を満たす
- ・回転乾燥機を使用した乾燥後のブリケットは、粉砕されるため、乾燥後に成型処理が必要になる

（粒度）

- ・乾燥後のブリケットは、溶融炉を模した落下試験および圧壊試験後の細粒分が約 1.0%であり、溶融炉の受入要求品質（細粒分 5%以下）を満たす

③脱水エネルギーおよび乾燥熱エネルギー

- ・高圧脱水に必要な電力量／バッチは標準脱水の 1.3 倍であるが、高圧脱水の打込泥水量／バッチが標準脱水の 1.27 倍であり、乾土単位重量当たりの脱水エネルギーは高圧 0.15MJ/kg-dry、標準 0.16MJ/kg-dry であり、高圧も標準脱水もほぼ同値である
- ・提案技術における乾燥熱エネルギーは 2.20 MJ/kg-dry、従来技術における同エネルギーは 3.47MJ/kg-dry であり、高圧脱水土は標準脱水土の 2/3 の乾燥熱エネルギーで溶融炉の受入要求品質まで乾燥できる

④放射性セシウムに対する作業員の安全性

- ・実用機 6.4m³型高圧フィルタープレス機による高圧脱水ブリケットの製作方法の被ばく線量は、4.1mSv/年と想定され、安全な日常運転管理が可能である
- ・高含水率粘性土噴出時における作業員の被ばく線量は、6.8μSv/回と想定され、異常時（ろ布破損時など）においても早急に対応すれば、作業員の健康に与える影響は少ないと考える

(2) 今後の課題

①コスト

- ・本試験では、脱水から乾燥工程まで一貫した工程の中で、バンド乾燥機を提案した。さらなるコスト低減対策としては、ブリケットのストック施設での除湿乾燥、熔融炉の排熱を利用した乾燥などを検討する必要がある

(参考)

- ・高圧脱水土は、気温 12 度、室内湿度が 40%前後の場合、7 日間の室内乾燥により、含水率は 10%以下になり、熔融炉へ投入可能な要求品質を満たす。しかし、気温 24 度、室内湿度が 70%前後の場合、7 日間後の含水率は 10%以上であり、通年においては、乾燥工程が必要である
- ・標準脱水土は、含水率が 40.2%と高いため、7 日間程度の室内乾燥では含水率 10%まで乾燥できない (図 5-1 参照)

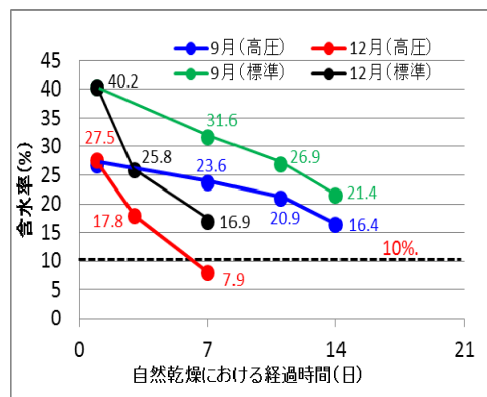


図 5-1 脱水土の含水率の経時変化

②放射性セシウムに対する作業員の安全性

- ・作業員の被ばく線量は、脱水土の放射能濃度 124,000Bq/kg、土量 10,880kg ($6.4\text{m}^3 \times 1.7\text{t/m}^3$)を取り扱う場合、4.1mSv/年と想定された。実施工においては、放射能が濃縮されるろ室部と点検通路の遮へいをおこない放射能に対する作業員の安全性をさらに向上させる対策が必要である
- ・今回使用した乾燥機は密閉式であるため、作業員の被ばくは少ない。また、乾燥温度が 200℃と低いため、放射性セシウムの気化も発生しない温度域であり、基本的に安全性の高い設備である

③改質材の影響

- ・改質材を添加した場合、高圧脱水土はろ過圧力が高いためブリケット状になるが、標準脱水土はブリケット状にならない
- ・改質材は脱水時間の延長や脱水土の含水率を上げるため、脱水土の品質、脱水エネルギー、乾燥熱エネルギーやコストへの影響が考えられる。一方、消石灰などの無機系凝集剤を添加することで、改質材の影響は緩和される。このため、効率的な脱水および乾燥が可能になる添加剤の利用方策や別の添加剤の利用による品質、エネルギー、コストへの影響も確認する必要がある

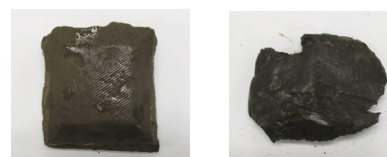


図 5-2 脱水土の状況 (改質材)

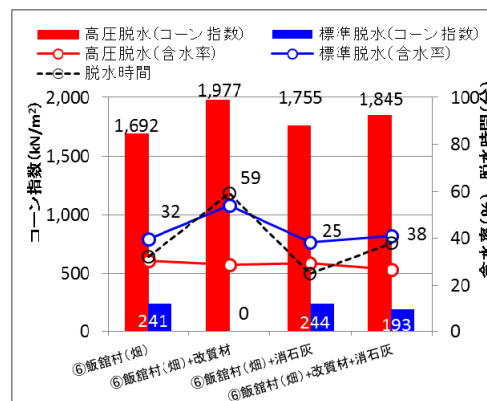


図 5-3 添加剤別脱水土の性状 (飯館村)

実施代表者 アジア航測株式会社
実証テーマ名： 中間貯蔵施設事業の輸送路における安全対策のための路面下空洞調査の実施
概要： 中間貯蔵施設事業の安全かつ効率的な輸送を妨げる要因に道路陥没が挙げられる。道路陥没は路面下の空洞の発生・成長に加え、交通荷重や路面の劣化により起きると考えられている。今後、一般道路を往来する大型車両の交通量が増大すること、また、東日本大震災や地下埋設物の老朽化等により路面下に空洞が発生している可能性があることから、道路陥没に着目した安全対策が必要と考えらえる。 そこで本試験では、中間貯蔵施設事業の輸送路の安全を確保するため、路面計測および路面下空洞調査を実施し、空洞、路面性状、路線の周辺環境等を考慮した複合的なリスク評価の手法を検討した。また、3次元モデルを用いたとりまとめや調査結果を可視化した調書等、成果を視覚的に把握できるとりまとめ手法を考案した。これらの知見は輸送路等において道路陥没のリスクを低減させる効果があると期待される。
実施内容： 1. 移動計測車両（MMS）を用いた路面計測・データ解析 2. 路面下空洞調査（一次調査・二次調査） 3. 3次元モデルの作成・帳票作成 4. 調査結果の整理 5. 道路陥没の発生可能性と陥没が起きた際の影響度を考慮したリスク評価 6. 評価・とりまとめ 7. 調査・運用マニュアルの作成
技術概要： 本試験では路面計測および路面下空洞調査を実施し、調査結果のとりまとめ手法ならびに評価手法を検討し、成果として調査・運用マニュアルを作成する。試験は以下のフローに従って実施した。 <pre> graph LR A[計画準備] --> B[資料収集] B --> C[ルート選定] C --> D[現地踏査] D --> E[移動計測車両 (MMS)を用いた路面計測] D --> F[地中レーダ探査車を用いた一次調査] E --> G[計測データ解析] F --> H[ハンディ型地中レーダ探査機とボアホールカメラを用いた二次調査] G --> I[3次元モデルの作成] H --> I I --> J[個別帳票の作成] J --> K[試験結果の整理] K --> L[複合的なリスク評価] L --> M[評価・とりまとめ] M --> N[調査・運用マニュアル作成] N --> O[報告書作成] </pre>

実証試験の結果： ①路面および周辺の 3 次元点群データを取得し、路面の劣化・損傷度合いの指標として、ひび割れ率と縦断凹凸（IRI）を取得した。 ②地中レーダ探査の結果、35 箇所の異常信号を検出した。そのうちの 5 箇所でボアホールカメラを用いた二次調査を実施し、4 箇所は空洞、残りの 1 箇所は粘土を含む層であることを確認した。また、路面の劣化・損傷の度合いと異常信号の発生状況から道路陥没の発生可能性を評価した。 ③異常信号・路面・地下埋設物の位置関係を正確かつ立体的に把握できる 3 次元データを作成し、調書にとりまとめた。データは専用のビューワーに搭載した。 ④道路陥没の発生可能性と道路陥没が起きた際の影響度から、路面や路面下の状況、地域や事業特性を踏まえた複合的な評価手法を考案した。	
技術等の評価： ①一般的な異常信号の緊急度判定に加え、本試験で考案した手法により路面および路線の周辺環境を複合的に評価することで、地域性や事業特性を踏まえた優先順位の検討や予防保全型の対策シナリオの検討が可能になると期待された。 ②3 次元データの活用により、異常信号箇所、地下埋設物、路面の状況の関係性を正確に把握し、異常信号の発生原因の推定することができた。異常信号の発生の根本的な原因の解決につながるため、異常信号の再発による追加工事の防止が期待される。 ③路面下空洞調査と路面計測を同時に実施する本試験の手法では、計画準備、協議、報告書作成等が 1 業務分となるため、工期・費用面で経済的である。調査後は空洞対策工事と道路の舗装工事を同時に実施することが可能となり、交通規制の回数が減ることによって地域の負担を軽減できるほか、発注手続きの軽減が期待される。	
作業員被ばく量評価： 本試験の現地調査時の被ばく線量の最大値は 2.4μSv であり、1 年を通じて作業しても「電離放射線障害防止規則」で定める年間 20mSv の範囲を越えない。	
コスト評価： 車線の長さ 50km あたり約 2,000 万円弱 (約 40 万円/km)	歩掛り（作業人工、作業速度等） 地中レーダ探査（車載型による路面下空洞調査）積算歩掛表
コスト評価条件： 一次調査および路面計測：1 車線・50km、二次調査：10 箇所と想定	
安全性の評価： 舗装と空洞の対策を同時に実施することで、現地作業の回数が減り、被ばく線量も低減される。2 業務（工事）を同時に実施する場合、約 50%の被ばく線量が低減される。	
試験場所（住所）： 福島県内の中間貯蔵施設事業の輸送路	除去物保管場所と保管状況 特になし

報告書:

1. 背景と実施方針

(1) 背景

①中間貯蔵施設事業の除去土壌等の輸送

除染に伴い生じた除去土壌等の中間貯蔵施設までの輸送については、環境省が主体となり「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る基本計画」および「中間貯蔵施設への除染土壌等の輸送に係る実施計画」を策定し、平成 31 年度以降も本格的な輸送を実施することとしている。

また、輸送実施計画には、道路インフラの整備の状況に応じて必要な道路交通対策を実施した上で、段階的に輸送量を増加させていく必要があると示されており、安全かつ効率的に輸送を実施することが急務となっている。

②輸送ルートと舗装構成

中間貯蔵施設事業で想定されている輸送路は、高速道路および一般道路（国道、県道、市町村道）となっている。輸送にあたっては、高速道路や国道などの舗装構成が強靱な道路を優先的に使用する計画とされているが、仮置場からこれらの主要道路までの輸送にあたっては、高速道路や国道に比べて舗装構成が脆弱な県道・市町村道を使用せざるを得ない状況となっている。

③輸送路における道路陥没の発生について

安全かつ効率的な輸送を妨げる要因の一つに道路陥没が挙げられる。輸送路において道路陥没が発生すると、通行する車両による重大事故につながるほか、復旧のために輸送が遅延することが懸念される。既往研究では道路陥没は道路面の劣化や損傷が道路陥没の要因となると考えられている。

④地域的に見た路面下の空洞の発生状況

中間貯蔵施設事業区域およびその周辺に位置する市町村では、東日本大震災の地震の揺れにより地山のゆるみや下水道管渠等の地下埋設物の破損などが発生している可能性が高い。東日本大震災で被災した都市の事例では、被災していないその他の都市と比べて約 4 倍の空洞の発生数が報告されている。

⑤輸送路の安全性の確保のための調査・評価の必要性

既設の一般道を輸送路として使用し、大型車両の交通量が増大すること、また、東日本大震災の影響により路面下に空洞が発生している可能性があることを踏まえると、道路陥没に着目した輸送路の安全性の確保に向けた調査・評価が必要と考えられる。

（２）実施方針

本試験では、路面および路面下の空洞調査を実施し、空洞の緊急度の評価、路面性状の評価、および道路陥没の発生可能性と影響度による道路陥没のリスクの評価を行い、それらの結果を組み合わせた複合的な評価手法を検証する。

（３）提案技術の目的

本試験では空洞、路面の変状、地下埋設物等の位置関係を立体的に把握するため、３次元モデルを作成し、それぞれの関係性を可視化する。

また、一般的な路面下空洞調査では、空洞の大きさと深さから緊急度を判定するが、本試験では、この従来手法に加え、路面性状と路線の周辺状況を考慮した複合的な評価手法を検証することを目的とする。

（４）成果目標

本試験の成果目標を以下に示す。

- ・ 任意に選定した輸送路およびその周辺道路、約 35km（車線長 70km）を対象として、移動計測車両（MMS）を用いた路面計測を実施する。路面計測では 900 点以上/m²の 3 次元点群データ※2を取得するほか、路面のひび割れ率、縦断凹凸（IRI）を整理する。
- ・ 任意に選定した輸送路およびその周辺道路、約 35km（車線長 70km）を対象として、路面下空洞調査を実施する。路面下空洞調査では地中レーダ探査車を用い、空洞の位置、大きさ、深さを把握する。なお、既存手法のうち、空洞による陥没が起きやすい地下 2m 以浅での探査精度に優れるステップ周波数方式の空洞探査車を用いる。また、抽出された異常信号の中から 5 地点を選定し、路面をコアドリル等で掘削し、ボアホールカメラにより空洞の内部を確認する。
- ・ 調査結果を踏まえて、下水道管渠の有無や周辺環境、空洞の発生数や路面性状に傾向がみられるか整理する。
- ・ 空洞、路面の状態、地下埋設物の関係性を立体的に把握するため、3 次元モデルを作成し、位置関係を個別帳票にとりまとめる。
- ・ 従来の路面下空洞の緊急度判定に加え、路面性状、および道路陥没のリスク評価を加えた路線の評価手法を検証し、結果を報告書にとりまとめるとともに、調査および運用の手法をマニュアルにとりまとめる。

2. 試験方法

(1) 試験の実施場所

福島県内の中間貯蔵施設事業の輸送路およびその周辺道路、約 35km（車線長 70km）を対象として、路面計測および路面下空洞調査を実施した。

(2) 試験の実施体制

試験の実施体制を図 2-1 に示す。

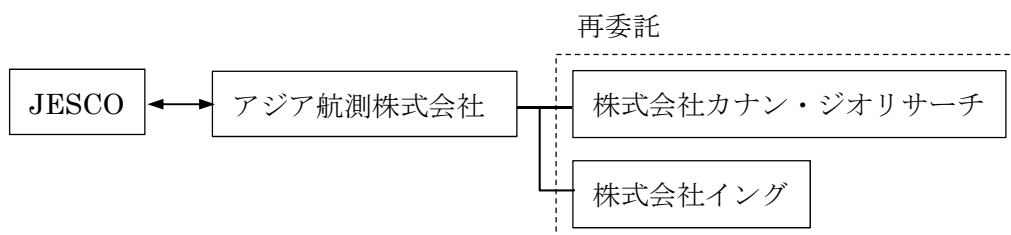


図 2-1 試験の実施体制

3. 試験結果

(1) 路面計測

図 3-1 に示した移動計測車両（MMS）を用い、路線の長さ約 35km について路面および道路周辺の 3 次元点群データを取得した。また、車両後方に設置したラインスキャナを用い、道路路面の劣化・損傷度合いの指標となるひび割れ率と縦断凹凸（IRI）を取得した。ひび割れ率、縦断凹凸（IRI）は 10m 区間毎に値を整理し、路線毎に平均値を算出した。



図 3-1 使用した移動計測車両
(MMS : Mobile Mapping System)

(2) 路面下空洞調査

① 地中レーダ探査車を用いた一次調査

図 3-2 に示した地中レーダ探査車を用いて、路線の長さ約 35km について路面下空洞探査を実施した。結果、35 箇所の空洞の可能性がある異常信号を検出した。



図 3-2 使用した地中レーダ探査車

②ハンディ型地中レーダ探査機とボアホールカメラを用いた二次調査

一次調査で抽出された異常信号のうち、5箇所で二次調査を実施した結果、4箇所は空洞、1箇所は粘土を含む層であることを確認した。

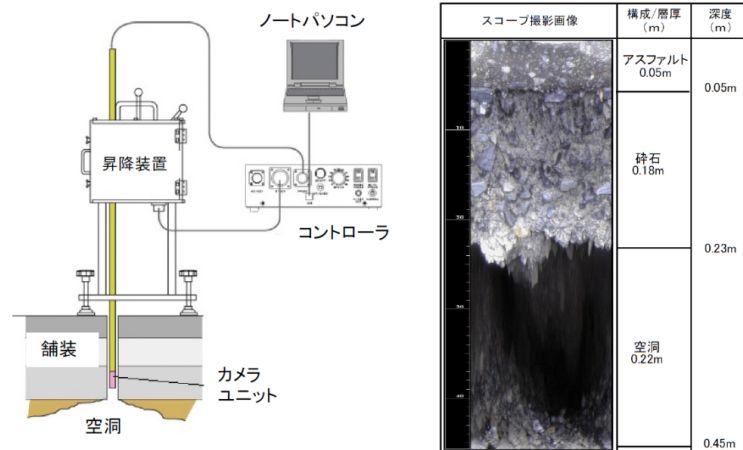


図 3-3 二次調査のイメージと空洞の断面画像

(3) 路線毎の調査結果のとりまとめ

路線の状況をよりわかりやすく伝えるため、調査結果を位置図やグラフを用いて「可視化」した路線帳票を考案し、路線毎に作成した。この帳票により他の路線と比較検証が容易にできるほか、空洞対策の優先順位を検討する際に活用できる。

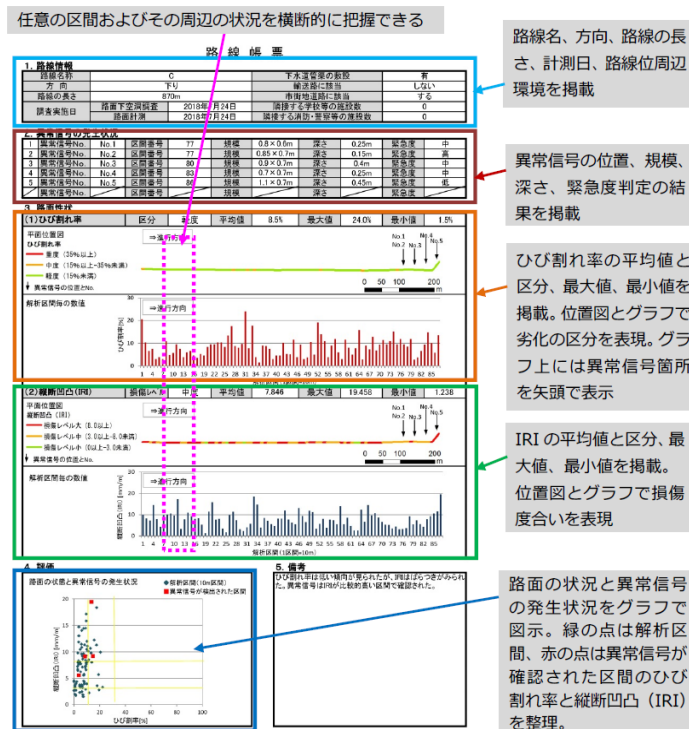


図 3-4 路線毎の調査結果をとりまとめた路線帳票

(4) 3次元データによるとりまとめ

一次調査ならびに二次調査で得られた情報を元に、専用の図化ソフト（AutoCAD, AutoDesk 社製、および SchetchUpPro2018, アルファコックス社製）を用いて、異常信号の3次元モデルを作成した。また、資料収集や現地踏査で確認したマンホールや下水道管渠の情報を元に地下埋設物の3次元モデルを作成した。作成したマンホール・管渠の3次元モデル、異常信号の3次元モデル、3次元点群データを専用ビューワー上で統合した。それぞれの位置関係を立体的に把握することができるほか、任意の範囲の距離を計測することが可能である。

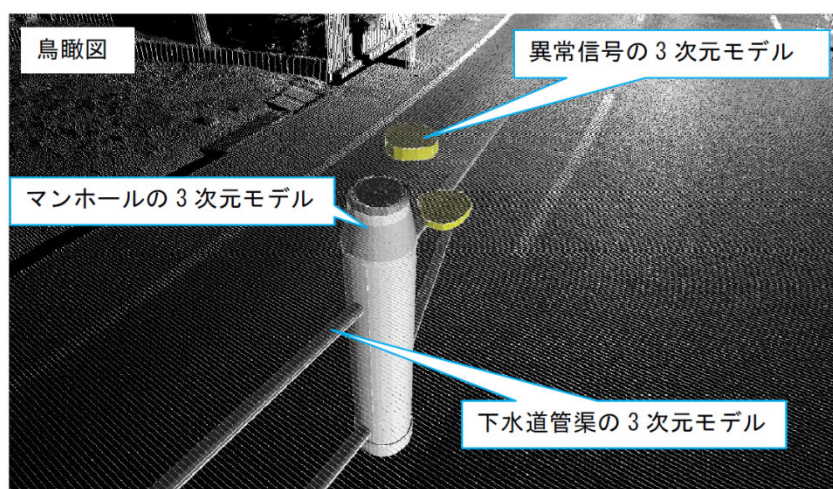


図 3-5 3次元モデルの鳥瞰図

また、標高を 1cm 区分で表現した標高段彩図を作成することで、異常信号箇所およびその周辺の微細な凹凸を把握することができる。これらの成果を調書にとりまとめることで異常信号の原因の推定や施工時の参考図面として活用できる。

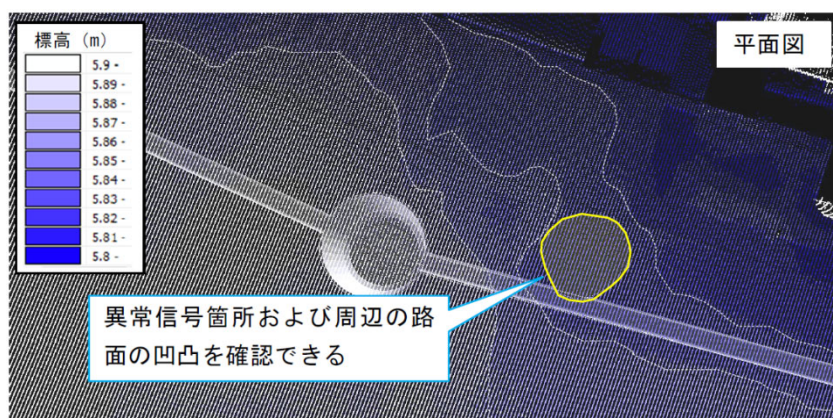


図 3-6 3次元モデルから作成した標高段彩図

(5) 複合的な評価手法

①異常信号の緊急度の評価

一般的な路面下空洞調査と同様に、「空洞判定実施方針（案）（平成 24 年 2 月 国土交通省 北陸技術事務所）」を参考に、異常信号の大きさと深さに基づいて、異常信号の緊急度を「高」、「中」、「低」の 3 段階で判定した。結果、「高」が 1 箇所、「中」が 22 箇所、「低」が 11 箇所であった。

②路面性状と異常信号の発生状況を組み合わせた評価

道路陥没は路面下の空洞と路面状況から起こると考えられている。そこで、路面の劣化や損傷の度合いをひび割れ率と縦断凹凸（IRI）から診断し、劣化や損傷が進行していると診断された箇所に異常信号がある場合、道路陥没の発生可能性が高いと判断する評価手法を考案した（図 3-7）。

この評価手法を用いることで、路面の状態と異常信号の発生状況を視覚的にとらえることが可能となり、路線の劣化・損傷の傾向把握や空洞の対策の優先順位を検討する際の参考となる（図 3-8）。

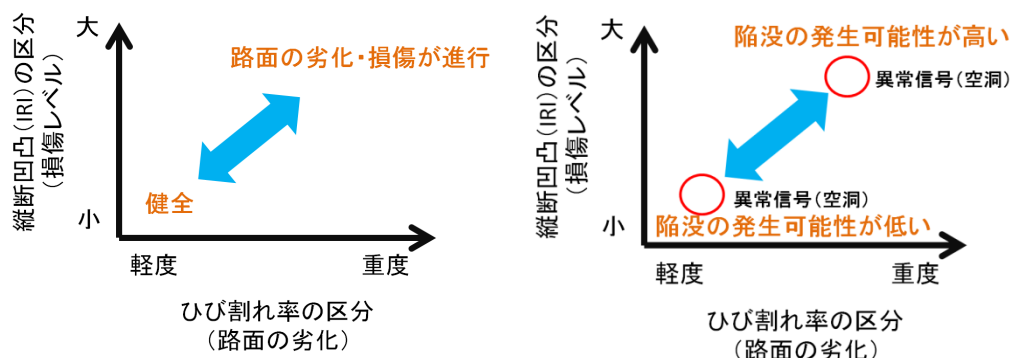


図 3-7 道路陥没の発生可能性の評価の考え方

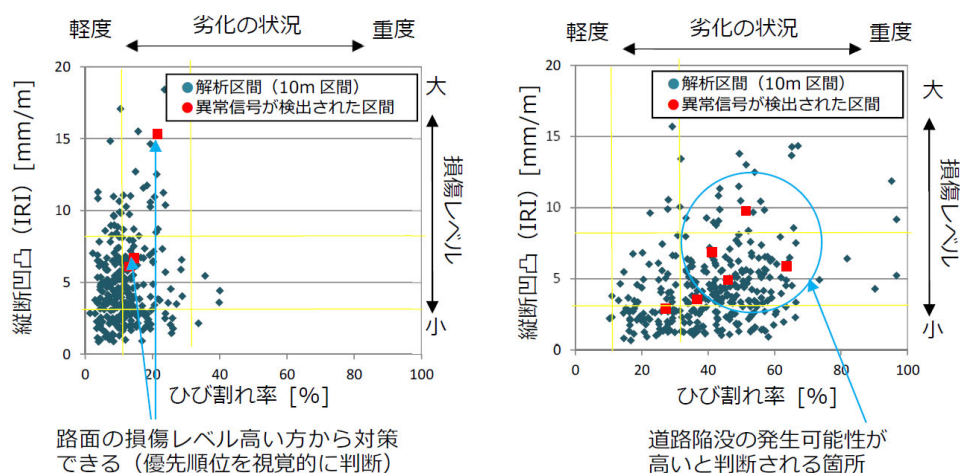


図 3-8 路面性状と異常信号の発生状況を組み合わせた評価

③道路陥没の発生可能性と陥没が起きた際の影響度を考慮したリスク評価

道路陥没の発生可能性と道路陥没が起きた際の影響度から、路面や路面下の状況、地域や事業特性を踏まえた複合的な評価手法を考案した（図 3-9）。本手法では、道路陥没の発生可能性は定量的に算定できる一方で、影響度については、地域の特性や事業者が置かれた状況を考慮し、いずれの項目を重視するかで優先順位の評価が異なることが分かった（トレードオフの関係）。

●道路陥没の発生可能性の評価 →調査により定量的に評価することができる

大項目	項目（要因）	指標
道路陥没の発生可能性	空洞（異常信号）の発生状況	緊急度「高」の発生数（箇所/km）
		緊急度「中」の発生数（箇所/km）
		緊急度「低」の発生数（箇所/km）
	路面の劣化・損傷の度合い	ひび割れ率（重度・中度・軽度）
		縦断凹凸（IRI）の評価区分（損傷レベル小・中・大）

×

●道路陥没が起きた際の影響度の評価 →地域特性や管理者・事業者の判断で評価が変わる

大項目	項目（要因）	指標
道路陥没が起きた際の影響度	地下埋設物への影響	下水道管渠の有無
	周辺環境・施設への影響	市街地道路
		学校施設の有無
		警察・消防署等施設
	事業（輸送）への影響	輸送路に該当するか

図 3-9 道路陥没の発生可能性と陥没が起きた際の影響度を考慮したリスク評価

（6）調査・運用マニュアルの作成

その他の地域や事業において道路管理者や事業者が同様の調査を実施する際の参考となるよう、本試験の実施手法、評価手法等をマニュアルにとりまとめた。



図 3-10 作成した調査・運用マニュアル（一部抜粋）

4. 試験結果の評価

(1) 技術の評価

①異常信号・路面・路線状況を考慮したリスク評価、帳票による可視化

一般的な異常信号の緊急度判定に加え、本試験で考案した手法により路面および路線の周辺環境を複合的に評価することで、地域性や事業特性を踏まえた優先順位の検討や予防保全型の対策シナリオの検討が可能になると期待された。

②3次元データの活用

3次元データの活用により、異常信号箇所、地下埋設物、路面の状況の関係性を正確に把握し、異常信号の発生原因の推定することができた。異常信号の発生の根本的な原因の解決につながるため、異常信号の再発による追加工事の防止が期待される。

③調査・工事の同時実施による効率化

路面下空洞調査と路面計測を同時に実施する本試験の手法では、計画準備、協議、報告書作成等が1業務分となるため、工期・費用面で経済的である。調査後は空洞対策工事と道路の舗装工事を同時に実施することが可能となり、交通規制の回数が減ることで地域の負担を軽減できるほか、発注手続きの軽減が期待される。

(2) コストの評価

中間貯蔵施設事業の輸送路において本試験の安全対策を講ずると仮定し、コストを評価した結果、本試験で想定されるシナリオはコストが低く抑えられ、広域の輸送路を対象とする中間貯蔵施設事業に適していると考えられた。

表 4-1 調査費用

■調査項目 ①路面下空洞調査（一次調査・二次調査） ②MMSによる路面計測・3次元技術によるとりまとめ・評価	約 2,000 万円弱
■諸条件 ・一次調査および路面計測の調査対象：1車線、50kmと想定 ・二次調査：50kmあたり10箇所と想定 ・一次調査の歩掛（参考）： 地中レーダ探査（車載型による路面下空洞調査）積算歩掛表一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 全地連 積算委員会 ・二次調査の歩掛（参考）： H29 建設工事積算基準 大阪府都市整備部 ・人件費は平成30年度設計業務等技術者単価を元に積算 ・MMSによる路面計測は当社見積による	

②予防保全による費用効果

中間貯蔵施設事業の輸送路において道路陥没による輸送車両の事故が発生した場合を想定し、道路陥没の予防保全の費用効果を表 4-2 に示した。

表 4-2 予防保全（リスク低減）による費用効果

車両事故が発生した場合のリスク		コスト評価（予防保全による費用効果）
定量的項目	車両故障	車両 1 台当たりの損害は 10～1,000 万円程度と推定。
	輸送の停止・遅延	輸送計画に基づいた大型車両の交通量に対して、陥没箇所の確認・復旧のために輸送が遅延すると想定した場合、輸送コストの損害を以下の通り推定。 最大 350 台/日・方向の輸送路で、輸送が 10 日停止した場合：3.1 万円×350 台×10＝ <u>1 億 850 万円</u>
	除去土壌の飛散	清掃作業、積み直し、安全性確保のための空間線量率の測定等にかかる費用。 清掃費 20 万円+測定費 1 万円+積み直し 8 万円＝ <u>29 万円</u>
	一般車両との事故	車両損害のみの場合、 <u>数十万～数百万円</u> 人身事故の場合は無制限、その他事故の程度による。
	輸送ルートの変更	輸送ルートの使用に関して、道路管理者から変更の要望がでた場合、変更に係る協議費用の発生と輸送の遅延もしくは迂回路によるコスト増が想定される。
定性的項目	事業に対するイメージの低下	地域住民および関係機関への事故の説明・協議、イメージアップ対策、マスコミ対策等、理解醸成・イメージ回復までの費用等。

（３）安全性の評価

①被ばく線量の評価

本試験の現地踏査および現地調査においては、作業前に NaI シンチレーションサーベイメータを用いて空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）を測定するとともに、作業班毎に個人線量計を携行し、作業終了後に被ばく線量を記録した。結果、人・日当たりの被ばく線量の最大値が $2.4\mu\text{Sv}$ であり、これは 1 年を通じて作業しても「電離放射線障害防止規則（昭和 47 年労働省令第 41 号 4 条）」で定める年間 20mSv の範囲を越えない値であった。

また、平成 30 年度に想定されている輸送路のうち、本試験で実施した 35km を差し引いた残り 635km について調査を実施すると仮定した場合にも、被ばく線量は「電離放射線障害防止規則」で定める範囲を越えない値となった。

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

本試験の目標に対する成果の概要を表 5-1 に示した。本試験ではすべての目標を達成した。

表 5-1 本試験の成果のまとめ

成果		目標	実績
任意に選定した輸送路およびその周辺道路、約 35km（車線長 70km）を対象として、移動計測車両（MMS）を用いた路面計測を実施する。路面計測では 900 点以上/m ² の 3 次元点群データを取得する。	路面計測の数量（km）	35.0	35.18
	計測密度（点以上/m ² ）	900	1,500
任意に選定した輸送路およびその周辺道路、約 35km（車線長 70km）を対象として、路面下空洞調査を実施する。路面下空洞調査では地中レーダ探査車を用い、空洞の位置、大きさ、深さを把握する。また、抽出された異常信号の中から 5 地点を選定し、路面をコアドリル等で掘削し、ボアホールカメラにより空洞の内部を確認する。	一次調査の数量（km）	35.0	35.18
	二次調査の数量（地点）	5	5

(2) 今後の課題

①一次調査の判読精度の向上について

既往の調査では異常信号が確認された場合でも、二次調査で実際に空洞であるか確認ことが一般的である。一方で一次調査のみで高精度で空洞の位置と深さを把握できれば、その後の対策が効率化される可能性が高いため、地中レーダ探索の判読技術については各所で研究等が進んでいる。

本試験では 35 箇所の異常信号のうち 5 箇所について二次調査を実施した結果、1 箇所は粘土を含む層であった。これは路盤の強度を減少させる可能性がある異常箇所を抽出したということであり、今後、施工不良箇所や残地埋設物等を抽出する際の有益な知見となることが想定される。

②中間貯蔵施設事業の輸送における安全確保について

本試験では路面および路面下の状況を同時に把握・評価することで、道路陥没のリスクを低減させる手法を検討した。本試験の成果として、3 次元データを用いたわかりやすい成果のとりまとめや異常信号、路面性状、道路の状況を踏まえた複合的な評価手法が考案された。調査では輸送車両が陥没するほど巨大な異常信号（空洞）は確認されなかったが、今後道路陥没により重大な事故が発生する前に、道路陥没の発生リスクを低減させる一手法として、本試験の知見が生かされることが望ましい。

実施代表者：原子力安全研究協会
実証テーマ名：次世代を担う人材への除去土壌等の管理・減容化・再生利用等の理解醸成
概要： 除去土壌等の中間貯蔵施設への運搬、除去土壌等の再生利用や最終処分及び除染や汚染廃棄物の処理等に対し、全国民的な議論の進展が必要とされている。しかし、除去土壌等の再生利用や処理等に対して、これまでの議論は技術的な側面が中心であり、次世代を担う若手（学生）や地域住民の方に説明する自治体担当者などの人材育成及び理解醸成を含めたコミュニケーションとその方法論は不足している状況にあった。 本プロジェクトは、3年計画で次世代を担う学生、若手技術者等、の人材育成のため、(1)コミュニケーションツール作成、(2)人材育成プログラムを実施する。これらの人材が『技術的内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目的とした。本報告は1年目である H30 年度の報告である。
実施内容： ①コミュニケーションツールの作成（技術的内容への理解促進） ・Phase3 ツール作成（技術概要参照）、有識者によるレビューと学生の意見による改訂 ②大学生を対象とした人材育成プログラム ・大学での講義（技術的内容への理解促進、コミュニケーションツール活用） ・現地見学（中間貯蔵施設等）（技術的内容への理解促進） ・ワークショップ（ステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解） ・フォローアップ（知識定着）
技術概要： 実施内容1：コミュニケーションツール作成 コミュニケーションツールは、実務者向け情報の Phase3（H30 年度）、自治体職員や市民・住民を想定した Phase2、1 の情報を作成する（H31、32 年度）。平成 30 年度は各担当者の専門的知見に基き、当該論文の内容を参考にしつつ、実務者向けの Phase3 のコミュニケーションツールを作成した。実務者向けの Phase3 のコミュニケーションツールは、文献収集後、各担当者が資料を作成し、コミュニケーションツール作成検討委員会でのコメントを元に修正した。さらに後述の大学での講義の結果に基き、コミュニケーションツールの修正を行った。以下にコミュニケーションツールの各章の表題を示す。 1 章 震災からこれまで 2 章 土の中の放射性セシウムの挙動 3 章 除染および除去土壌等の管理・保管 4 章 除去土壌等の減容化技術・再生利用 5 章 リスクコミュニケーション 6 章 安全と安心 実施内容2：大学生を対象とした人材育成プログラム 人材育成プログラムは、『技術内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目的として、（1）大学での講義（京都大学、北海道大学、京都府立大学、横浜国立大学の学生が参加）、（2）現地見学、（3）ワークショップ、（4）知識定着や気づきに向けたフォローアップを実施した。

実証試験の結果： 実施内容 1：コミュニケーションツール作成 実務者向けの Phase3 のコミュニケーションツールの内容を下記に示す。コミュニケーションツールの作成については、(成果目標) プレゼンテーション形式で 60 枚程度の資料作成に対して、(達成状況) 約 90 枚の資料を作成した。Phase3 資料は来年度にさらなる改訂を行う予定である。 実施内容 2：人材育成プログラム (1) 大学での講義：コミュニケーションツールに示す 6 つのテーマについて、大学にて講義を実施した。また、大学での講義について、(成果目標) 3 大学での講義に対して、(達成状況) 4 大学（京都府立大学、京都大学、北海道大学、横浜国立大学）の学生を対象とした講義を実施した。 (2) 現地見学：除染後の復興状況、廃棄物仮置き場、特定廃棄物埋立情報館リプルンふくしま、中間貯蔵施設（受入分別施設、土壌貯蔵施設）、仮設焼却施設を訪問した。 (3) ワークショップ：仮想的な再生利用の事例を想定し、個人ワーク・グループワーク等を通して様々な立場からの捉え方に関して理解を深め、さらに、グループディスカッションにより異なる立場に注目しながら論点を整理した。 (4) フォローアップ：ワークショップ終了後、京都大学、北海道大学にて知識定着に向けたフォローアップを実施した。	
■技術等の評価： ① 技術的内容の理解度の確認 講義参加学生に対して、全てのテーマに対する理解度を確認するアンケートを実施目標とした理解度 80%以上を達成した。 ② 理解・認知レベルの変化 除去土壌の再生資材化とその再生利用に関する現在の考え方について、人材育成プログラムに参加した学生の知識・認知レベルの変化を確認するため、プログラムの事前／事後アンケートを実施し、事後では、ステークホルダーの多様性、多面性を踏まえた課題の認知が確認できた。 ■今後：本プログラムは 3 年プログラムである。来年度は、本年度の知見を活用するとともに、確認できた課題を解決し、(1) コミュニケーションツール作成として Phase3 資料の改訂・公開、Phase1, 2 資料の作成、(2) 5 大学の学生に講義等を実施予定である。	
作業員被ばく量評価：対象外	
コスト評価： 対象外	歩掛り（作業人工、作業速度等）： 対象外
コスト評価条件： 対象外	
安全性の評価： 対象外	
試験場所（住所）： 対象外	除去物保管場所と保管状況： 対象外

1. 事業の背景と目的

除去土壌等の中間貯蔵施設への運搬、除去土壌等の再生利用や最終処分及び除染や汚染廃棄物の処理等に対し、全国的な議論の進展が必要とされている。しかし、除去土壌等の再生利用や処理等に対して、これまでの議論は技術的な側面が中心であり、次世代を担う若手（学生）や地域住民の方に説明する自治体担当者などの人材育成及び理解醸成を含めたコミュニケーションとその方法論は不足している状況にあった。

本プロジェクトは、3年計画で次世代を担う学生、若手技術者、自治体担当者（本年度は、次世代を担う学生がメインターゲット）の人材育成のため、

(1) コミュニケーションツール作成

(2) 人材育成プログラム

を実施する。これらの人材が『技術的内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目的とする。本報告は1年目である H30 年度の報告である。

2. 平成 30 年度の実施内容の概要

本年度の実施内容の概要を以下に示す。

(1) コミュニケーションツールの作成（技術的内容への理解促進）

・ Phase3 ツール作成（技術概要参照）、有識者によるレビューと学生の意見による改訂

(2) 大学生を対象とした人材育成プログラム

- ・ 大学での講義（技術的内容への理解促進、コミュニケーションツール活用）
- ・ 現地見学（中間貯蔵施設等）（技術的内容への理解促進）
- ・ ワークショップ（ステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解）
- ・ フォローアップ（知識定着）

3. 平成 30 年度の成果目標及び達成状況

対象となる人材（本年度は、次世代を担う学生がメインターゲット）について、『技術的内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目標とした。平成 30 年度の成果目標および達成状況を下記に示す。

(1) 技術的内容への理解促進

① コミュニケーションツールの作成・大学での講義内容について

コミュニケーションツールの作成については、(成果目標) プレゼンテーション形式で 60 枚程度の資料作成に対して、(達成状況) 約 90 枚の資料作成を完了した。

また、大学での講義について、(成果目標) 3 大学での講義に対して、(達成状況) 4 大学（京都府立大学、京都大学、北海道大学、横浜国立大学）の学生を対象とし

た講義を実施した。

②評価について

理解促進の目標について、コミュニケーションツールの6テーマについて、講義後のアンケート形式で評価による参加者の理解度について、(成果目標)理解度80%に対して、(達成状況)理解度80%以上であることを確認した。

(2) 本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的な視点の学習

①実施内容について

効果的なワークショップ方法の方法を確立するという目標に対して、現地での見学および多様な参加者によるグループワーク、フォローアップで構成する方法を確立した。また、学生10名程度、自治体職員3名程度で実ワークショップを実施するという目標に対して、学生19名、自治体職員4名で実施した。

②評価について

参加者のターゲット(技術的内容と価値観の多様性)別の理解度を評価するという目標に対して、参加者に対して本プログラム前後でアンケート調査を実施し、現地視察・ワークショップの効果を確認した。

4. 事業の実施手順

(1) 事業の手順

本事業は、情報を利用する異なる主体に適したコミュニケーションツールおよび人材育成プログラムを開発を3年間で段階的に実現する計画に基き実施した。事業の3年間の手順を図4-1に、本年度の手順を図4-2に示す。

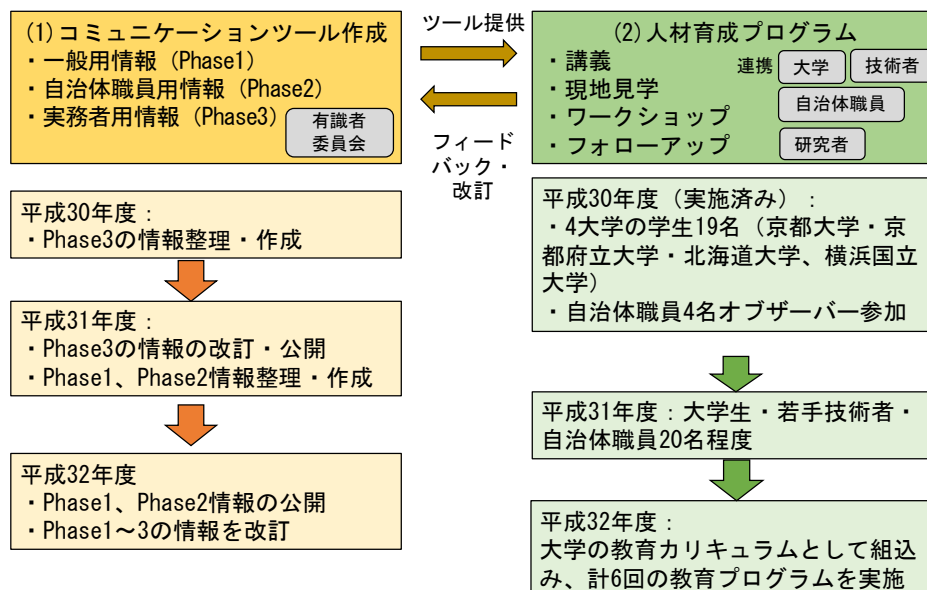


図 4-1 事業の手順

図 4-1 で示す各 phase で想定する主体と目的は次の通りである。

Phase3：実務者によるマネジメント等を想定し、より詳細な情報を提供する。

Phase2：自治体職員の住民対応等を想定し、情報を俯瞰しながらも分かりやすい表現を用いる。

Phase1：住民による実際の生活に即した判断等を想定し、生活に関連させて分かりやすく情報を整理する。

資料の公開のタイミング、方法については、来年度以降の調整事項とする。

本年度は、図 4-2 に示すように、Phase3 として、実務者向けのコミュニケーションツールを開発し、その内容を大学生、大学院生を対象とした教育プログラムに利用することで、実務者を対象とした適切な技術資料、および実務者の育成プログラムの双方の開発を可能にした。コミュニケーションツールは、各テーマについて知識と実務経験を蓄積した担当者が作成すると共に、各テーマに関わる専門分野で活躍する知識人が検討委員として意見を述べ、より適切な作成に協力した。

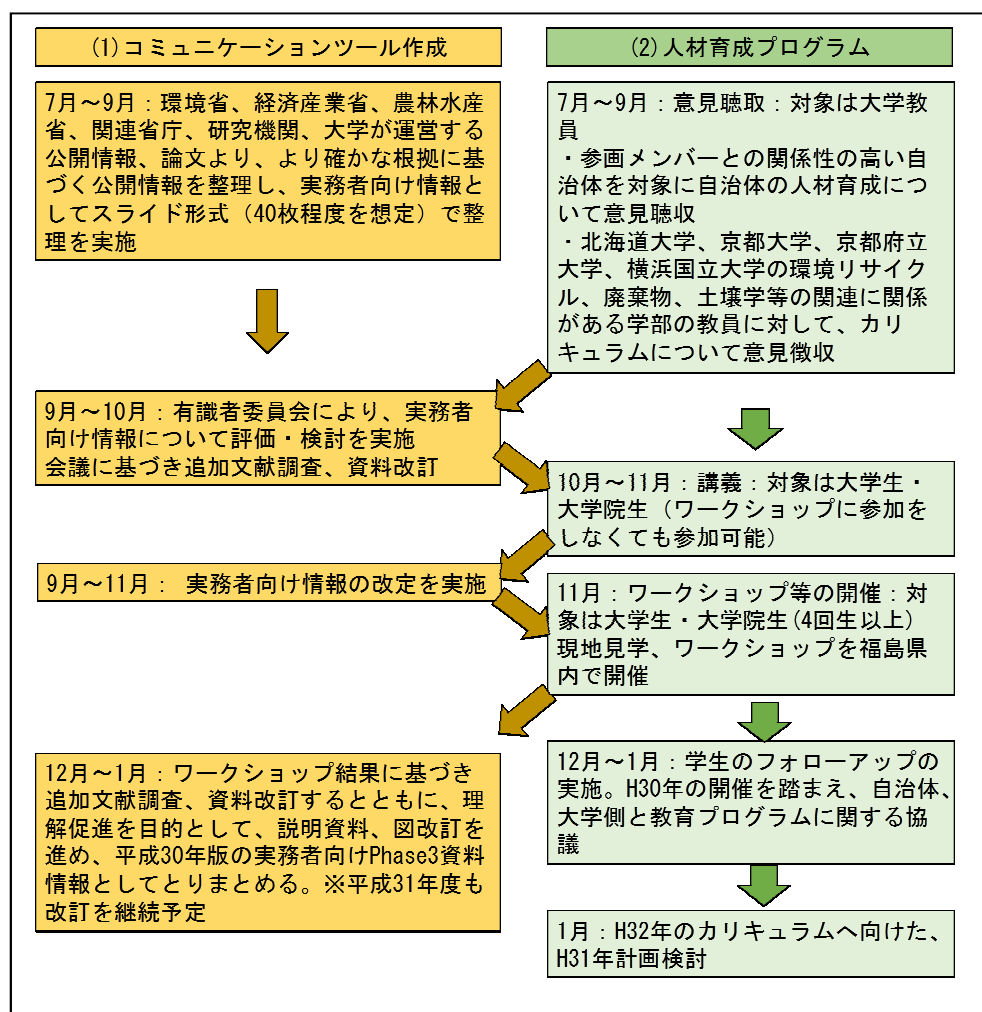


図 4-2 本年度の事業の手順

(2) 実施体制

本事業は受託者である公益法人原子力安全研究協会放射線環境影響研究所が図 4-3 に示す各機関と連携し、次のように業務を分担して実施した。

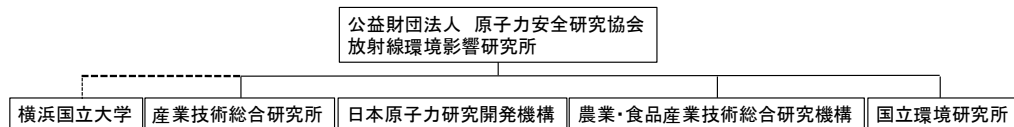


図 4-3 実施体制

5. 実施内容 1：コミュニケーションツール作成

(1) 概要

コミュニケーションツールは、文献収集後、各担当者が資料を作成し、検討委員会でのコメントを元に修正した。さらに後述の大学での講義の結果に基づき、コミュニケーションツールの修正を行った。

(2) 文献収集・整理

WEB of Science、J-stage 等において、各テーマの対象となるキーワードを入力し、国内外の関連する論文、国内の学会発表要旨等を収集した。また、環境省、経済産業省、農林水産省、関連省庁の HP から情報を収集した。その上で、論文のタイトル・アブストラクトから、各テーマにつき重要度が高い 5-20 報を選択し、コミュニケーションツール作成に活かした。

(3) コミュニケーションツール作成

各担当者の専門的知見に基づき、当該論文の内容を参考にしつつ、実務者向けの情報の整理しツールを作成した。作成した実務者向けの Phase3 のコミュニケーションツールの章立てを下記に、事例を図 5-1、5-2、5-3 に示す。

- 1 章 震災からこれまで
- 2 章 土の中の放射性セシウムの挙動
- 3 章 除染および除去土壌等の管理・保管
- 4 章 除去土壌等の減容化技術・再生利用
- 5 章 リスクコミュニケーション
- 6 章 安全と安心

6. 放射性Csは土壌中でどのように存在しているのか？

- 放射性Csは、土壌中では主に**固定態**、**イオン交換態**、**水溶態**として存在する。固定態は最も動きにくく、イオン交換態、水溶態の順で移動しやすい。
- 大部分の放射性Csは、**固定態**として、土に含まれる雲母などの鉱物の層間（フレッド・エッジ等）に脱水和イオンの形で固定されており、他の陽イオンとは容易に交換されず、溶出しない（図2-1）。
- 一部の放射性Csは、土壌有機物（腐植）や鉱物に**イオン交換態**として吸着されており、他の陽イオンと交換されてその一部が**水溶態**になる可能性がある（図2-2）。

図2-1 固定態の放射性Cs

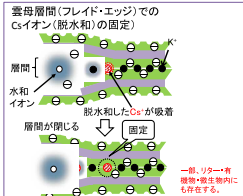
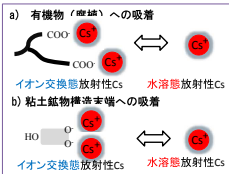


図2-2 イオン交換態、水溶態の放射性Cs



（参考）1) Fan et al (2014) Geochim. Cosmochim. Acta 135, 49-65. 2) Saito et al (2014) J. Environ. Radioact. 138, 11-18. 3) Nakao et al (2015) Journal of Environmental Quality, 44, 780-788. 公益社団法人地質工学部「土壌中の放射性セシウムの挙動に関するレビュー（作成検討委員会）」、土壌中の放射性セシウムの挙動に関するレビューをベースに一部改定

11: 環境条件によって溶出・吸着性能は変わるのか？

- カリウムイオン(K^+)やアンモニウムイオン(NH_4^+)の存在は、放射性Csの分配係数を低下させ溶出率を増加させるが⁽¹⁾⁽²⁾、一般環境で想定される濃度⁽³⁾(1×10^{-3} mol/L以下)では溶出を促進するほどではないと考えられる（図6-1）。
- 土壌に草木類などが混入した場合の放射性Csの溶出は、土壌のみの場合とほぼ変わらないという研究結果がある（図6-2）⁽⁴⁾、これは、草木類そのものからの放射性Csの溶出、あるいは NH_4^+ の影響による土壌等からの放射性Csの溶出があっても、土壌に再び吸着されるためと考えられる。

図6-1 NH_4^+ と K^+ の濃度が溶出率に及ぼす影響⁽¹⁾

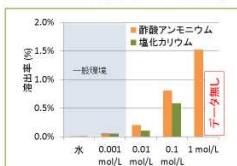
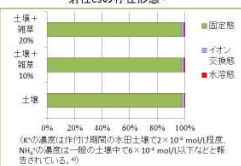


図6-2 土壌・堆草（未分解）混合物中の放射性Csの存在形態⁽⁴⁾



（出典）1) 東原(2014)「土壌汚染対策」2) 東原(2014)「土壌汚染対策」3) 環境省(2014)「土壌汚染対策」4) 環境省(2014)「土壌汚染対策」5) 環境省(2014)「土壌汚染対策」6) 環境省(2014)「土壌汚染対策」7) 環境省(2014)「土壌汚染対策」8) 環境省(2014)「土壌汚染対策」9) 環境省(2014)「土壌汚染対策」10) 環境省(2014)「土壌汚染対策」11) 環境省(2014)「土壌汚染対策」12) 環境省(2014)「土壌汚染対策」13) 環境省(2014)「土壌汚染対策」14) 環境省(2014)「土壌汚染対策」15) 環境省(2014)「土壌汚染対策」16) 環境省(2014)「土壌汚染対策」17) 環境省(2014)「土壌汚染対策」

図 5-1 2章 土の中の放射性セシウムの挙動のスライド例

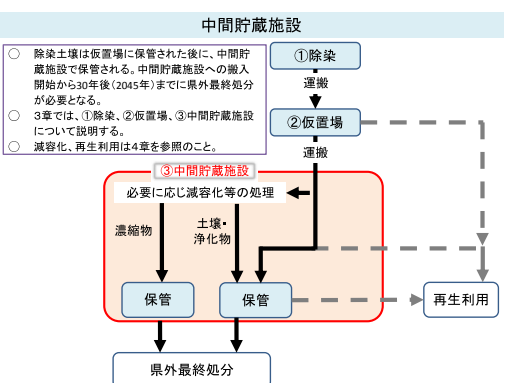
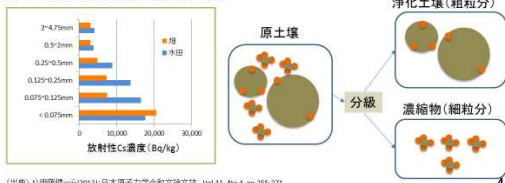


図 5-2 3章 除染および除去土壌等の管理・保管のスライド例

除去土壌の減容技術～ 分級処理

- **原理**：分級は、セシウムが細粒分（シルト・粘土）に付着しやすく、粒径が細かい粒子の方が単位重量あたりの放射性Cs濃度は高い（図6-2）。上記特性を踏まえ、土壌を細粒分（シルト・粘土）と砂・レキの粗粒分に分離し、粗粒分を浄化土壌とする方法。
- **技術的実成度**：放射性セシウムが細粒分に付着しやすいという特性は、他の重金属に共通するものであり、重金属を除去する技術として、従来から多用されている。放射性セシウム含有土壌に対する実証も進んでいる。
- **適用可能土壌**：砂分を一定以上含有している土壌に対して有効。
- **浄化率**：砂分の割合に依存。浄化物は砂質土であり、濃縮物は粘性土・汚泥状である。
- **処理コスト**：0.4万円～3万円/1程度。

図6-2 土壌分級面分と放射性Cs濃度の関係⁽¹⁾



（出典）1) 伊藤(2011)「日本原子力学会論文誌」, Vol.11, No.4, pp.255-271.

熱処理の方式

- **土壌・焼却灰等の熱処理**には、溶融状態まで達するか否かで分類でき、焼成法と溶融法に大別される。さらに焼成法は、1300℃以上の高温で焼く方法や、1100℃程度の低温でほぼ土壌の性状を残す方法等がある。いずれも添加剤を加えて加熱する。これらの手法は、加熱温度、添加剤が異なるが、いずれの手法で得られる浄化物も再生利用可能であり、90%以上のCs除去効率を有する。
- **焼成法**：添加剤を加え、回転炉で1時間以上1000～1300℃程度に加熱することで、土壌等のCs吸着サイトの結晶構造を変化させることにより、Csを土壌構造から分離させ、Csを塩化物として気化除去する。濃縮物としてばいじん（飛灰）が発生し、浄化物としてコンクリート用骨材、路盤材、盛土材等に利用できる砂礫が得られる。
- **低濃**：1000～1100℃程度で熱処理を行う。Cs除去率は約90～98%であり、得られる浄化物は処理前と同程度の粒度分布の砂礫である。
- **高濃**：1300℃程度で熱処理を行う。Cs除去率は99.9%であり、得られる浄化物は再利用の用途に応じた粒度・品質に作り分けすることができる。
- **溶融法**：添加剤を加え、溶融炉で土壌が溶融する1400℃以上で加熱し、土壌構成鉱物の結晶構造を破壊するとともに、溶融初期の段階で、土壌構造から分離させCsを塩化物として気化除去する。濃縮物としてはばいじん（飛灰）が発生し、浄化物としてはスラグが得られる。（参考）土壌・焼却灰を対象とした溶融法以外に、金属を対象とした溶融法もある。金属を対象とした溶融の場合、加熱温度が1600℃程度（鋼材の場合）であり、金属に付着したCsをクリアランスレベルまで除去できる。

本資料は、本プロジェクトに参画している企業、大学、研究機関等から得られた研究成果をベースとして、一部改定している。除染・減容技術に関するお問い合わせ先：環境省(2014)「土壌汚染対策」2) 環境省(2014)「土壌汚染対策」3) 環境省(2014)「土壌汚染対策」4) 環境省(2014)「土壌汚染対策」5) 環境省(2014)「土壌汚染対策」6) 環境省(2014)「土壌汚染対策」7) 環境省(2014)「土壌汚染対策」8) 環境省(2014)「土壌汚染対策」9) 環境省(2014)「土壌汚染対策」10) 環境省(2014)「土壌汚染対策」11) 環境省(2014)「土壌汚染対策」12) 環境省(2014)「土壌汚染対策」13) 環境省(2014)「土壌汚染対策」14) 環境省(2014)「土壌汚染対策」15) 環境省(2014)「土壌汚染対策」16) 環境省(2014)「土壌汚染対策」17) 環境省(2014)「土壌汚染対策」

図 5-3 4章 除去土壌等の減容化技術・再生利用のスライド例

(4) コミュニケーションツール作成検討委員会

9月および10月にコミュニケーションツールのテーマ別に委員（有識者）を招聘し、各テーマについての意見を聴取し、コミュニケーションツールの修正を実施した。

9/13（木）：「廃棄物保管技術」「減容化技術・再生利用と課題」

9/18（火）：「土壌中の放射性セシウムの挙動」「リスクコミュニケーション」「安全

と安心」

10/5（金）：「土壌中の放射性セシウムの挙動」「廃棄物保管技術」「減容化技術・再生利用と課題」

6. 実施内容2：人材育成プログラム

人材育成プログラムは、『技術内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目的とし、（１）大学での講義、（２）ワークショップ、（３）現地見学、（４）知識定着や気付きに向けたフォローアップを実施した。

（１）大学での講義

下記日程にて、京都大学、北海道大学にてコミュニケーションツールを用いた講義を実施した。参加者は講義により、除去土壌等の管理・減容化・再生利用等に関する基礎的な知識を習得した。また、学生、大学教員からのコミュニケーションツールの内容に関する意見を頂いた。

①北海道大学

日 時：10月13日 10:00～18:00

受講者：学生7名

②京都大学および京都府立大学（合同講義）

日 時：11月10日 9:30～15:00

受講者：学生14名

③京都大学、京都府立大学および横浜国立大学

日 時：11月18日 17:00～18:30

受講者：学生15名

（２）現地見学

現地見学およびワークショップを表 6-1 に示す二泊三日のスケジュールで実施した。学生19名が参加した。見学経路を図 6-1 に示す。

表 6-1 現地見学・ワークショップのスケジュール

日程	プログラム
11月18日（日）	
12：00	福島駅西口集合 福島駅から飯舘村へ移動
13：30	飯舘村道の駅
13：30～16：45	飯舘村→南相馬市→浪江町→双葉町→大熊町→富岡町 バスから除染後の復興状況、廃棄物仮置き場を見学 特定廃棄物埋立情報館リプルンふくしまを見学
17：00～18：30	いわき宿泊ホテルにて補足講義

11月19日（月） 8：00～9：30 9：30～12：00 12：00～14：00 14：00～17：30 17：30～19：00	いわきから大熊町へ移動 中間貯蔵施設、仮設焼却施設等の見学 大熊食堂にて昼食、檜葉町へ移動 JAEA檜葉遠隔技術開発センターにてワークショップ アイスブレイク、概要説明注意事項、グループ別討議 檜葉町から郡山へ移動
11月20日（火） 8：50～9：00 9：00～12：30 12：50～13：00 13：00	ホテルから会場へ移動 郡山商工会議所にてワークショップ グループ別討議、演習、成果発表、講評等 会場から郡山駅へ移動 郡山駅解散

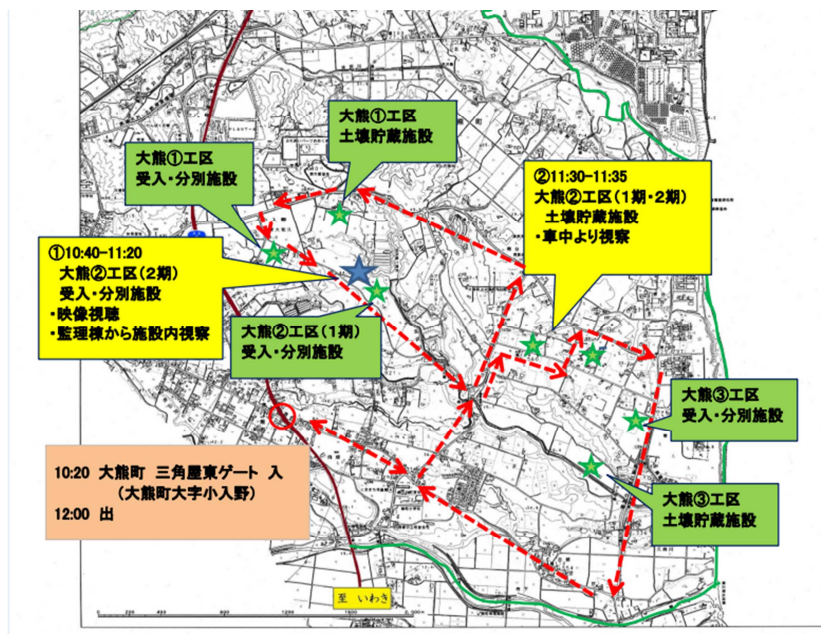


図 6-1 中間貯蔵施設見学順路

(3) ワークショップ

現地見学後に実施したワークショップ（スケジュール：表 6-1）では、仮想的な再生利用の事例を想定し、個人ワーク・グループワーク等を通して様々な立場からの捉え方に関して理解を深め、さらに、グループディスカッションにより異なる立場に注目しながら論点を整理した。

①ワークショップ 1（11 月 19 日）

（ア）話題 1：減容化・再生利用の必要性について

ワーク 1～4 の前提条件として「仮想的な自治体において、仮置場に保管している除去土壌を道路の路盤材として再生利用する」という仮想事業の概要について説明した。

(イ) ワーク 1：各立場のメリット・デメリット整理

ステークホルダーとして政府（環境省等省庁）、地方自治体、住民を設定し、「仮想的な自治体において、仮置場に保管している除去土壌を道路の路盤材として再生利用」におけるメリット・デメリットを個人およびグループで検討した。全体討論では、最終的な意思決定の権限は誰にあるのかということが注目された。一方で、決定権が自治体にあっても、他のステークホルダーの一定の合意を得なければ事業の実現が困難であるという意見が出されるなど、活発な議論がなされた。

(ウ) ワーク 2：市民→自治体の立場から考える。

ワーク 1 の議論に基き、同事業を実施する際に住民の立場から自治体への想定される質問を 10 問、各班で検討した。

(エ) ワーク 3：行政の立場から回答を考える。

各グループで話し合い、上記の各班で考えた質問に対する回答を書き込んだ。回答は質問よりも苦勞し、同行の専門家にも意見を求めながら作成した。

(オ) 模擬リスコミ（「住民説明会」のロールプレイング）

自治体による住民への説明という設定で、役割演技（ロールプレイング）を 2 班合同 2 グループで行った。役割として、まず、自治体側と、住民側に分け、それぞれを 1 グループが演じ、途中で交代した。

(カ) ワーク 4：自治体→環境省の立場から考える

当日のまとめの活動として、役割演技で演じた自治体の立場から環境省への質問を、各自付箋一枚につき一問の質問を 5 枚程度作成し提出した。

②ワークショップ 2（11 月 20 日）

(ア) 話題 2：除去土壌の県外最終処分

ワーク 6 の事前情報として、中間貯蔵施設に搬入された除去土壌等の県外最終処分をする流れ、法的根拠等について説明した。

(イ) ワーク 6：仮想のシナリオ（話題 2）に対して、想定されるステークホルダーを列挙し、メリット/デメリットを整理する。

県外最終処分場所の選定に対して、想定されるステークホルダーを列挙し、それぞれのステークホルダー毎に、メリット/デメリットを整理した。前日のワークにおける立場の多様性への理解に基き、より多様なステークホルダーを設定した。その後各班で分類・整理した結果をホワイトボードに提示しながら、その内容を各班代表が全員に向かって説明した。

③成果

4 班全て、異なる専門分野に属する学生と協力者が参加するように、また、一部事

前アンケート等で把握した福島の訪問回数などにも配慮して編成したため、多様な視点からワークに取り組むことができた。また、本プロジェクトに参加する全ての組織から専門家が参加したことで、学生たちからの質問やワークの結果に対して、多角的・科学的に知識や理解を深めることができた。さらに、学生からの活発な意見・コメントは、参加したメンバーにとっても視点を広げるなど、有益であった。

最後のワーク 6 では、多様なステークホルダー立ち位置で状況を検討することができ、知識・理解の定着と、ステークホルダーの違いによる、意見・立場の多様性、多面性を理解するという目的への一定の到達が確認できた。

(4) 知識定着に向けたフォローアップ

知識を定着させるためのフォローアップとして、京都大学（12月19日）、北海道大学（1月8日）にて参加報告会を行い、学生の発表による振り返りや気づきの確認、今後に向けた発展的な議論を行った。

7. 試験結果の評価

(1) コミュニケーションツールの作成：学生の理解度アンケートの結果

コミュニケーションツールを用いて学習した学生に対して、理解度を確認することを目的としたアンケートを実施した。アンケートでは、コミュニケーションツールのテーマごとに1～6問の設問に対する回答を求め、正解率で理解度を測った。

図 7-1 に示す通り、テーマ別の正解率はいずれも 80%以上で、本事業の計画で目標とした理解度 80%以上を達成した。得られた結果は、来年度以降のコミュニケーションツールの改定に活かす。

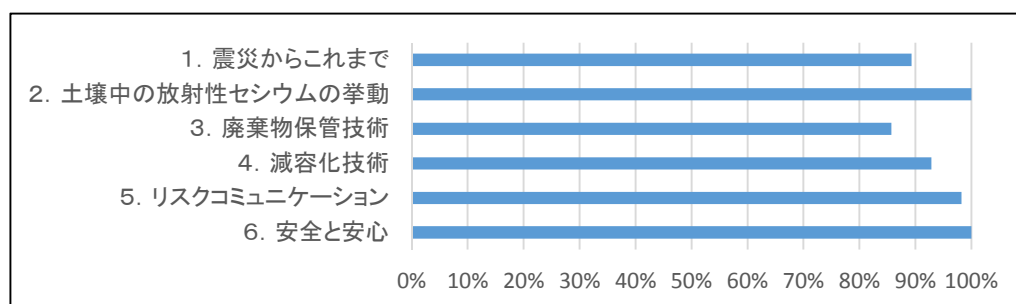


図 7-1 理解度アンケートテーマ別正解率

(2) 人材育成プログラム：事前および事後アンケートの結果

人材育成プログラムに参加した学生の知識・認知レベルの変化や本プログラムの満足度、改善点等を確認するために事前及び事後アンケートを実施した。アンケートの結果から、本プログラムを経験することで（技術的な知識の向上に伴い）、再生利用において「事業に対する住民の理解」や「事業実施者と住民との丁寧なコミュニケーション」が、困難を伴うが重要なポイントである、と認識をする参加者の割

合が増える結果となった。

また、「本プログラムについて、友人・知人に勧めたいと思いますか。」という問いについては、「ぜひ勧めたい」、「勧めたいと思う」の回答を合わせて、全体の 84% であった。上記以外にも本プログラムの改善につながる多くの意見をアンケート及びワークショップ中の議論から頂いた。

8. まとめと今後

本プロジェクトは、除去土壌等の中間貯蔵施設への運搬、除去土壌等の再生利用や最終処分及び除染や汚染廃棄物の処理等に対し、これまで議論の中心であった技術的な側面とともに、合意形成や価値観の多様性等の社会的な課題について、次世代を担う若手（学生、自治体担当者）の理解を醸成することを目的とした。

本プロジェクトは図 4-1 に示す 3 年計画であり、平成 30 年度は（1）コミュニケーションツール作成（Phase3 情報の整理）、（2）人材育成プログラム（3 大学で講義および大学生 19 名が参加した現地視察及びワークショップ、フォローアップ）を実施した。

来年度は、アンケート結果やワークショップやフォローアップでの意見、コミュニケーションツール検討委員会委員から得られた本年度の課題に対応するとともに、（1）コミュニケーションツールの作成については、Phase 3 情報のブラッシュアップ、Phase1、Phase2 情報のプロトタイプ作成を、（2）人材育成プログラムについては、全国 6 大学および若手技術者向けの講義、1-2 回の現地ワークショップを開催する。また、平成 30 年度のプログラムに参加をした学生に対するフォローアップも可能な範囲で実施する。

実施代表者：福島工業高等専門学校
実証テーマ名：除去土壌等の減容等技術実証事業（その 5） 除去土壌の再生利用等に関わる理解醸成のための課題解決型アプローチの実践
概要：本校の準学士課程（4～5 学年）から専攻科（2 年）にわたる 4 年間（大学学部相当期間）の学生を対象として、学修プログラム、フィールド・ワークを踏まえ、除去土壌の中間貯蔵、減容・再生利用、最終処分に貢献できる人材の育成を図る。その上で、地域的な問題、課題を意識した除去土壌の再生利用等に関する理解醸成のための実践を試行し、その効果を検証してゆく。
実施内容：再生利用等の地域住民等の理解向上に向けて、 ① 若者（福島高専）のアクティブ・ラーニング ② 安全に対する理解 ③ 安全に関する住民等への説明 ④ 若者との対話を通じた地域住民等の感覚に基づく安全から安心へ橋渡しの可能性を追求する。下記図参照。
目標の具体化 再生利用等の地域住民等の理解向上に向けて、①若者（福島高専）のアクティブ・ラーニング、②安全に対する理解、③安全に関する住民等への説明、④若者との対話を通じた地域住民等の感覚に基づく安全から安心へ橋渡しの可能性を追求する。 具体的な実施概要は以下の通り。 ①学修プログラム（集中講義） 除染による除去土壌の発生、再生利用技術や安全評価など 10 講義 ②フィールド・ワーク 再生利用実証事業施設、中間貯蔵施設など 4 施設 ③課題解決型アプローチの実践 共同教育は JAEA など 3 ヶ所、学生研究は 6 テーマ、学会は 3 学会、 地域住民等との対話はワークショップ形式で富岡町で実施

実施結果： ①本アプローチ実践を通じた高専学生の意見、成果 ・再生利用の体系的な説明、再生利用実証事業の成果、除去土壌を今のままにしていたらどうなるのか、除去土壌の埋立処分実証事業の状況などもっと積極的に知ってもらう努力が必要 ・知ってもらう努力は自分達若者の責務と感じている学生も多かった。 ・知ってもらう、見てもらうことで認識を新たにし、安心につながる場合も多い ・再生利用を正しく知ってもらうため 12 月 8 日に住民を交えたワークショップ（富岡町）を開催し、住民等を含めて再生利用の方向性がおおよそ理解された。 ②まとめ ・集中講義のグループ討論は、学生の理解向上や理解醸成の課題把握に効果的 ・フィールド・ワークは、疑問点の解消や新たな課題の認識にも効果的 ・共同教育は、技術や情報の動向を現場で体験的に学ぶ機会 ・学生研究や学会参加は、学生自らが課題解決や情報収集に取り組んだ ・地域住民との対話（12 月 8 日）は、学生が理解した内容を地域住民に紹介し、県内大学生や高校生も加わった意見交換をワークショップ形式で開催。全体的な方向性としては、課題はあるもののおおよそ再生利用に賛成であることが示された。今後の再生利用の理解醸成に向けて、若者同士や住民との対話の拡大につながる可能性が示された。
学修プログラムの評価：特に、グループ討論は除去土壌の再生利用等の現状や問題点を理解する上で効果的であった。
フィールド・ワークの評価：除去土壌の再生利用等に関する疑問点の解消等に効果的であった。
課題解決型アプローチの評価： 除去土壌の再生利用等に関しての評価は下記の通り。 1. 共同教育：背景や動向を理解 2. 学会参加：関連技術情報の収集 3. 学生研究：自らの課題解決力の向上 4. 地域住民等との対話：自らの理解向上
全体評価： アプローチ自体のおおよその効果を確認。次年度の展開につなげる。
実施場所 福島工業高等専門学校 他

1. 学修プログラム（集中講義）の実施結果

（１）集中講義後の討論会での主な意見

- ・除去土壌を今のままにした時どういう事態になるのか、マイナス面も含めしっかり示すことが必要だと思った。
- ・住民が納得しないことについては若者が理解し、若者が話し合い、若者が考える機会を作る必要があると感じた。
- ・花畑、復興道路など、浜通りを重点的に「復興のため」をメインに再生利用してはどうかと思った。



（２）集中講義による成果、課題

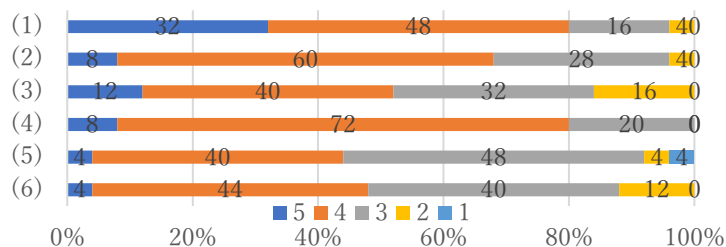
- ・学生の理解力に最も貢献があったのは、頻繁に行ったグループ討論であった。
- ・理解度が高かったのは、除去土壌の現状、発生量、再利用先の候補であった。
- ・理解度が低かったのは再生利用技術の実証⇒周知が不十分であると言える。

集中講義を通じた理解度は表 1-1 の通りであった。

表 1-1 集中講義を通じた理解度

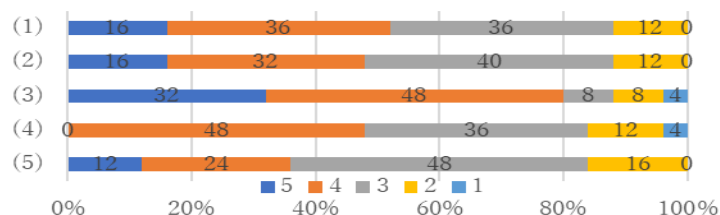
1. 除去土壌等に関する理解の状況（５段階）

(1) 除染や除去土壌の発生量について	5 4 3 2 1
(2) 除去土壌に含まれるものについて	5 4 3 2 1
(3) 低レベル廃棄物と除去土壌との違いについて	5 4 3 2 1
(4) 除去土壌の現状について	5 4 3 2 1
(5) 中間貯蔵施設につて	5 4 3 2 1
(6) 最終処分について	5 4 3 2 1



2. 再生利用等に関する理解の状況（5段階）

- (1) 土壌中での放射性セシウムの挙動について 5 4 3 2 1
- (2) 再生利用の方法(含む減容化、分離)について 5 4 3 2 1
- (3) 土壌の再利用先について 5 4 3 2 1
- (4) 再生利用の安全性(被ばく評価)について 5 4 3 2 1
- (5) 再生利用実証技術の現状について 5 4 3 2 1



上記の5段階評価は、以下の通りである。5:資料を見ないで相手にわかりやすく内容の説明ができる。4:資料を見ながら相手に内容の説明ができる。3:資料を見れば内容は理解できるが、相手への説明は十分ではない。2:内容があまり理解できない。1:資料を見ても内容がわからない。

2. フィールド・ワークの実施結果

各施設のフィールド・ワークにおける学生の主な意見等は以下の通りであった。

(1) JNFL 低レベル放射性廃棄物埋設センター



- ・施設規模に圧倒された。
- ・JNFLでの安全確保、住民との信頼性確保などは再生利用でも参考になる。
- ・除去土壌を利用して「震災復興のシンボル」的なもの、雇用の場となるような施設建設を考えたらどうかと思った。
- ・見学を通じ、福島に住んでいる一人として福島に貢献できる人材になりたい。

(2) 中間貯蔵施設



- ・実際に見ると得られるものは大きく、「ただ土を貯蔵しているだけ」と思っていた中間貯蔵施設に対する認識を新たにした。
- ・多くの技術、機械、人が結集して貯蔵が可能となることや地域住民からの信頼を得られるような安全な取り組みをしていることをもっと知ってもらうことが必要だと思った。

(3) 特定廃棄物埋立処分施設



- ・中間貯蔵施設同様、信頼できる取り組みはされているが、周知できていないと感じた。
- ・「リプルンふくしま」は素晴らしい施設であり、もっと大々的な宣伝が必要であると感じた。
- ・実際に見た自分たちが知らない人に伝え、実際に足を運んでみるよう促すことが大事と感じた。

(4) 再生利用実証事業施設



- ・安全性については、高専の空間線量率などと比較し実感した。
- ・再生利用の現場を見て、知識を得れば安心につながると思う。
- ・安全であり、経済性も考慮すれば早急に実用化すべきと思う。
- ・高濃度の土壌も使って影響を調べる必要があると思った。

3. 課題解決型アプローチの実践 関係機関との共同教育の実施結果

(1) 檜葉町役場（みんなの交流館ならは CANvas）



- ・避難している人とそうでない人の放射線に対する理解の差を感じた。
- ・帰還率約 50%であり、仮置き場や中間貯蔵施設の問題は国や県レベルで対応すべき課題と考えている。
- ・檜葉町特有の仮置き場の現状などを理解し、身近な市町村の状況も知らない状態では説得力がないことを自覚した。

(2) 大林組 技術研究所

- ・除去土壌の大量で迅速な処理に着目した効率化や無人化の技術開発における現場の努力を知ることができた。



(3) JAEA 原子力科学研究所

- ・ 土壌の改質剤や土質判別システムなどの高度な技術開発や独自の着眼点に感心した。
- ・ 技術開発の現場においては、どのようなニーズがあるのかを考え、今までの技術にとらわれない柔軟なアイデアが大切だと感じた。



- ・ 除去土壌の再生利用に伴う被ばく評価の計算実習により被ばくなどに関する具体的な知識を得た。
- ・ 極低レベル放射性廃棄物（原子炉等規制法）の埋設（トレンチ処分）試験を見たことにより、トレンチ処分のイメージが向上した。
- ・ 東海村の除去土壌の埋立処分実証事業が確実に進んでいることを理解した。



- ・ 一般の方々は、被ばく線量などの値の大小を理解していないことを改めて実感した。

4. 課題解決型アプローチの実践 ベースとなる学生研究の実施結果

以下の関連する調査研究を通じ、背景、知識、技能を習得した

- ・ 突発的集中豪雨による盛土構造物の間隙内における溶存物質の移動評価
- ・ 地盤構成機能を利用した除去土壌の長期保存における覆土手法の提案

- ・有機物を含む除去土壌の微生物学的変質の定量評価
- ・デジタル画像を用いた風起源発生土壌微粉末の定量評価
- ・微生物による長期保管土壌の減容化手法の検討
- ・分級処理土壌の資源化手法の検討

5. 課題解決型アプローチの実践 若者（高専生）と地域住民等との対話の実施結果

（１）学会参加

平成 30 年度の下記関連学会に参加し、再生利用、処分に関連する情報収集と発表を行った。

- ・地盤工学研究発表会（7 月）
- ・土木学会年次学術講演会（8 月）
- ・原子力学会秋の大会（9 月）

（２）地域住民との対話（ワークショップ）

①企画

（ア）趣旨

- ・除去土壌を取り巻く問題は浜通り地域の環境回復にとって重要な課題。
- ・福島高専では、「除去土壌等の再生利用」に関して、学生自らが学内外における体験的な学び等を通して現状を理解。
- ・今回、福島高専の学生に加え、県内の大学生や高校生と一緒に、理解を深めるためのワークショップの開催を学生中心に企画。
- ・関心のある地域住民の方の参加により、学生のさらなる理解を期待。

（イ）目的

除去土壌の再生利用について正しく理解すること（再生利用とは何か、安全なのか、緊急性は、経済性は など）を目的とした。



（仮置場の例）



（再生利用実証事業施設）

（ウ）日程、参加者

- ・日時：平成 30 年 12 月 8 日（土）13：30～16：45
- ・場所：富岡町 文化交流センター 学びの森
- ・参加者：福島高専学生 27 名、福島大学生 4 名、福島高校学生 3 名、富岡町住民 15 名 合計 49 名（福島高専、福島高校 教職員 12 名）

- ・主催：福島高専

(エ) 議事次第

- ・開会あいさつ
- ・ワークショップの趣旨、進め方の説明
- ・学生の取り組み紹介（福島大学、福島高校、福島高専）
- ・グループ討論（テーマ例：再生利用の安全性、再生利用技術の内容、信頼性、除去土壌の処分の経済性、現実性、放射線モニタリング、再生利用の進め方、再生利用と復興）
- ・全体のまとめ、アンケート回収
- ・閉会あいさつ



②実施結果

6班に分けて行ったグループ討論に関するまとめは総じて以下の通りである。

- ・このようなワークショップのように皆で話せば解決につながるのではないか。
- ・30年後の県外処分は現実的ではない。現実性や経済性は重要。浜通りで使うべき；メガソーラーや空港など。復興で産業を生み出し、若者を呼び込むべき。
- ・Sv、Bqの違い、わかりにくい。専門用語は理解しにくい。
- ・若者の説明の方が説得力がある（行政や知らない人から説明を受けるより）。また、若者が理解しそれを家族に伝えるべき。
- ・賛成、反対の意見はあっても、地域の意見はネガティブになりがち。

こんな時若い世代の意見は重要だ。

以上より、全体的には、課題はあるものの再生利用の方向性がおおよそ理解された。

以下に各班の議長からのまとめとアンケートの回収結果を示す。

(ア) 各班の議長からのまとめ

(a) 1班

- ・再生利用して処分量減らすべき。
- ・30年後の県外処分は現実的ではない。
- ・再利用する場所がないのではないか
- ・盛土使用への理解、感情的なものがあり家族内にも差がある。
- ・SvやBqの違い。安全性を住民にどう伝えるか。専門用語は理解しにくい。
- ・放射能ゼロはあり得ない。身近な人から説明を受けることが一般の理解につながる（例えば、身近な医者）。
- ・せっかく除染したのに再生利用の意義が分からない。
- ・再生利用のメリットが何なのか。

(b) 2班

- ・再生利用の現実性、利用先はあるのか。
- ・県外は非現実的、県外の理解醸成は？
- ・再生利用は進めるべきである。
- ・二本松の反発は風評被害。
- ・復興で産業を生み出し、若者を呼び込むべきである。
- ・2,200 万 m³の除去土壌は、埋立、空港に利用すべきである。
- ・人が戻らないことに対して再利用が貢献できる可能性はある・・・メガソーラーなど。
- ・原子力災害からどう立ち直ったのか、世界の経験は？
- ・対話、理解醸成には時間がかかる・・・10 年後、20 年後か。

(c) 3 班

- ・知らない人の説明は理解できない。気持ちの面で反対。
- ・除去土壌に関する説明の機会が少なすぎる。
- ・県内、県外で意識の差を感じる。
- ・わかりにくい。簡単な言葉で説明すべき。
- ・戻る人、戻らない人、いろんな感情がある。
- ・こういうワークショップは国や企業の人にも入るべき。
- ・国のトップに学生から働きかけるべき。
- ・高校への出前授業なんかも必要。

(d) 4 班

- ・若者の説明の方が説得力がある（行政などからではなく）。
- ・富岡町で団地を造るのに盛土として使えないか。
- ・処分などの建設費にお金をかけずに、もっと福祉などに使うべき→再生利用を実用化すべき。
- ・リスクはこれまで電力を享受してきた関東圏で分担すべきである。
- ・経済的な面では再生利用したほうがよい。
- ・何を 30 年以内に終わらすのか。土壌を持ち出す、除染など。
- ・このようなワークショップみたいにみんなで話せば解決する。
- ・復興には人が住み、人が集まること。
- ・福島県内で活用が進めば、他県にも広がる。日本全体でやるべき。
- ・津波はこれからも来る。堤防を作るのに再生資材を使う→良いと思う。

(e) 5 班

- ・見学や集中講義で安全だと思った。
- ・自分達より下の世代の教育が重要だと思った。
- ・安全→安心につながるわけではない。
- ・身近な人の方が理解が進んでいない。

- ・否定的なイメージの払しょくが重要。
- ・現実性、経済性は重要、どこで使うか。浜通り中心で使うべき。
- ・若者が放射線を正しく理解することが必要。それを家族に伝え、親への理解を進める。

(f) 6 班

- ・30 兆円の処分費用は非現実的である。でも再生利用には安全の証明が条件。
- ・除染、放射線、ポジティブな人とネガティブな人で見方が違う。
- ・時間がどのくらいかかるのか、お金がどのくらいかかるのか、も一つのきっかけとなる。
- ・Sv、Bq といった基礎知識が不十分で理解や納得につながらない。
- ・対策してるから安全というが、安全じゃなかったらどう説明するのか。
- ・盛土は 100 年先まで安全なら賛成。
- ・実証試験は OK。
- ・賛成、反対あっても地域はネガティブになりがちである。こんな時若い世代の意見は重要である。

(イ) アンケートの回収結果

福島高専の学外と学内に分けてアンケート結果を整理した。

各々の結果を表 5-1、表 5-2 に示す。

表 5-1 除去土壌の再生利用に関するワークショップにアンケート（学外）[22 名]

1. 本ワークショップに参加するまで、除去土壌の処理処分についてどの程度理解されていたかおたずねします。

(1) 「中間貯蔵施設」の内容について

どの程度理解していましたか。

- ①内容をよく理解していた
- ②内容は少し理解していた
- ③内容は全く理解していない
- ④聞いたことがなかった

(2) 除去土壌の「再生利用」の内容について

どの程度知っていましたか。

- ①内容をよく理解していた
- ②内容は少し理解していた
- ③内容は全く理解していない
- ④聞いたことがなかった

(3) 除去土壌は、30 年以内に県外に最終処分されることは知っていましたか。

- ①知っていた
- ②知らなかった

2. 本ワークショップに参加した後の除去土壌の「再生利用」についての感想をおたずねします。

(1) 「再生利用」について理解を深めることができましたか。

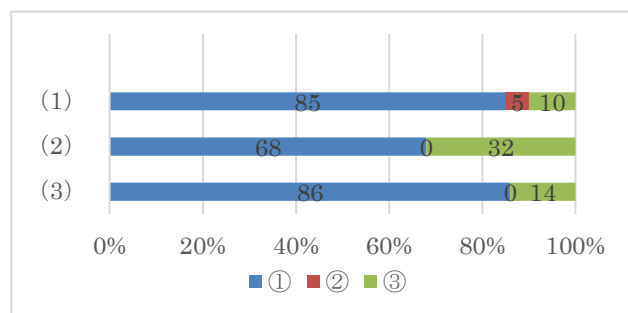
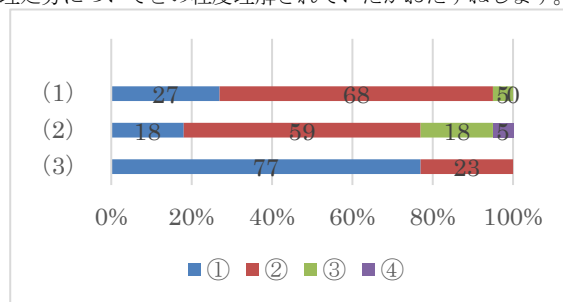
- ①そう思う
- ②そうは思わない
- ③どちらとも言えない

(2) 「再生利用」は安全だと思いますか

- ①そう思う
- ②そうは思わない
- ③どちらとも言えない

(3) 「再生利用」は必要だと思いますか

- ①そう思う
- ②そうは思わない
- ③どちらとも言えない



- (4)「再生利用」を考える場合に重要だと思うのは次のどの観点ですか。
優先順位をつけるとすればどのように考えるか数字で順番を記入してください。
環境的観点（人間を含めた生物や自然環境への影響など）
社会的観点（地域の復興・再生への影響など）
経済的観点（国家予算や地域経済への影響など）
- 3.「再生利用」に関する学生の取り組みについての感想をおたずねします。
- (1) 学生の取り組みに関する発表内容は理解しやすいものでしたか。
① そう思う
② そうは思わない
③ どちらとも言えない
- (2) グループ討論は「再生利用」の理解に役立ちましたか。
① そう思う
② そうは思わない
③ どちらとも言えない
- (3) このような「再生利用」の取り組みに学生や若者が参加することについてどう思いますか。
① いいと思う
② いいとは思わない
③ どちらとも言えない

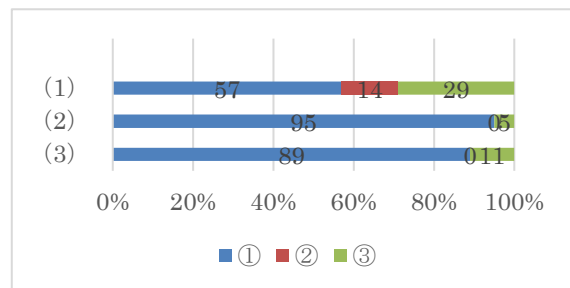
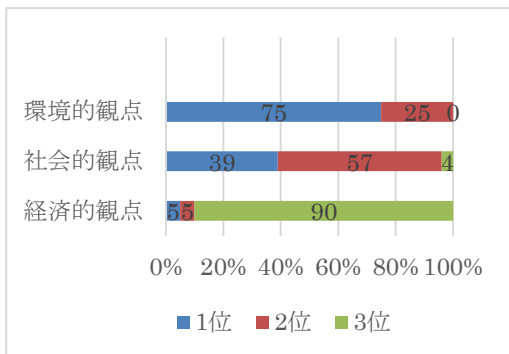
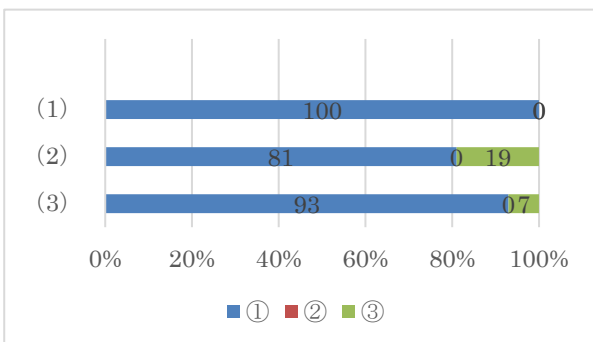
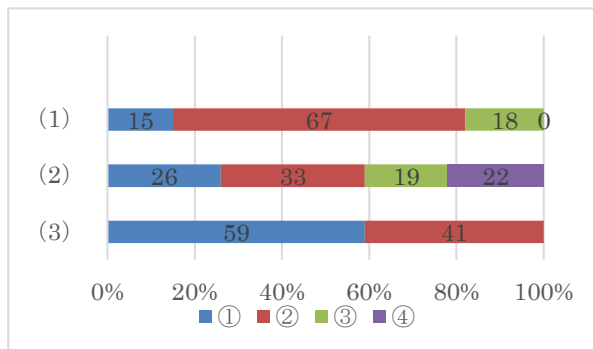
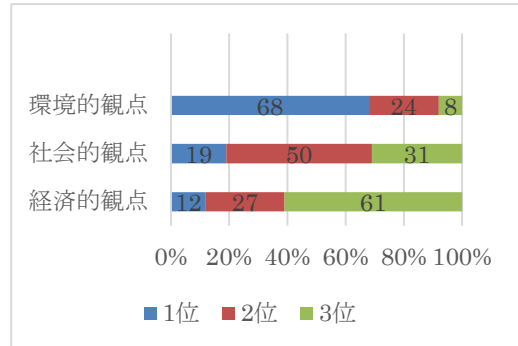


表 5-2 除去土壌の再生利用に関するワークショップのアンケート（学内）[27 名]

1. 本ワークショップに参加するまで、除去土壌の処理処分についてどの程度理解されていたかおたずねします。
- (1) 「中間貯蔵施設」の内容についてどの程度理解していましたか。
① 内容をよく理解していた
② 内容は少し理解していた
③ 内容は全く理解しない
④ 聞いたことがなかった
- (2) 除去土壌の「再生利用」の内容についてどの程度知っていましたか。
① 内容をよく理解していた
② 内容は少し理解していた
③ 内容は全く理解しない
④ 聞いたことがなかった
- (3) 除去土壌は、30 年以内に県外に最終処分されることは知っていましたか。
① 知っていた
② 知らなかった
2. 本ワークショップに参加した後の除去土壌の「再生利用」についての感想をおたずねします。
- (1) 「再生利用」について理解を深めることができましたか。
① そう思う
② そうは思わない
③ どちらとも言えない
- (2) 「再生利用」は安全だと思いますか
① そう思う
② そうは思わない
③ どちらとも言えない
- (3) 「再生利用」は必要だと思いますか
① そう思う
② そうは思わない
③ どちらとも言えない



- (4)「再生利用」を考える場合に重要だと思うのは
次のどの観点ですか
優先順位をつけるとすればどのように考えるか
数字で順番を記入してください
環境的観点（人間を含めた生物や自然環境への影響など）
社会的観点（地域の復興・再生への影響など）
経済的観点（国家予算や地域経済への影響など）



6. 本アプローチを通じた参加学生等の意見、成果

- ・再生利用の体系的な説明、再生利用実証事業の成果、除去土壌を今のままにしていたらどうなるのか、除去土壌の埋立処分実証事業の状況などもっと積極的に発信し、知ってもらふ努力が必要だと思った。
- ・自分達若者が知ってもらふ努力をする責務があると思った。
- ・実際の状況を知ること、実際に見ることで認識を新たにし、安心につながる場合も多いと思った。
- ・再生利用を正しく知ってもらふため12月8日に富岡町町民、福島大学や福島高校の学生らとともにワークショップを行い、課題はあるものの再生利用の方向性がおおよそ理解された。

7. まとめ

- ・集中講義のグループ討論は、除去土壌や再生利用等に関する学生の理解向上や理解醸成の課題把握に効果的であった。
- ・フィールド・ワークは、集中講義から得た情報や疑問点を現場スケールで確認でき、新たな課題の認識にも効果的であった。
- ・共同教育は、除去土壌の再生利用等の背景となる技術や情報の動向を現場で体験的に学ぶ機会となった。
- ・学生研究や学会参加は、学生自らがそれぞれの専門性をベースに課題解決や情報収集に取り組み、除去土壌と向き合う良い機会となった。
- ・地域住民とのワークショップ（12/8）では、学生たちが体験的に理解した内容等を地域住民に紹介し、意見交換を行った。その結果、全体的には課題はあるものの再生利用の方向性がおおよそ理解された。本ワークショップを契機に、今後の若者による取り組みや地域住民との対話の拡大が期待される。