

除去土壌の埋立処分に係る 実証事業の結果について

令和5年12月22日

環境省 環境再生・資源循環局

環境再生事業担当参事官室

実証事業の全体像

実証事業の流れと確認項目

- 除去土壌の埋立処分に伴う作業員や周辺環境への影響等を確認することを目的とし、2018年から実証事業を東海村、那須町、丸森町で実施し、以下の項目について確認を行っている。

除去土壌を保管場所から実証事業場所に運搬※1



主な確認項目

受入～埋立中

- ① 除去土壌を実証事業場所に受入※1
- ② 保管容器の表面線量率から除去土壌の放射能濃度を推計
- ③ 保管容器の内容確認・分別※2
- ④ 除去土壌を実証事業場所にて埋立
- ⑤ 埋立終了後、覆土を施工

- 実証事業実施場所のバックグラウンドの空間線量率の把握
- 除去土壌の放射能濃度（保管容器の表面線量率からの推計、サンプル調査）
- 埋立場所及び敷地境界の空間線量率、大気中放射能濃度
- 作業員の個人被ばく線量
- 浸透水中の放射能濃度
- 気象条件（天候、降水量、風速等）

埋立終了後

- ① 周辺環境等への影響を継続的にモニタリング
- ② 浸透水中の放射能濃度を確認

- 埋立場所及び敷地境界の空間線量率、大気中放射能濃度
- 作業員の個人被ばく線量
- 浸透水中の放射能濃度
- 気象条件（天候、降水量、風速等）

※1) 那須町、丸森町実証事業は、保管場所において実施するため、他の場所からの除去土壌の受入はない。

※2) 分別は丸森町及び東海村で実施。あわせて除染廃棄物の分別も実施。

実証事業の概要

- 実証事業の実施について協力を得られた東海村(茨城県)、那須町(栃木県)及び丸森町(宮城県)において、当該自治体が保管している除去土壌等を用いて実施。

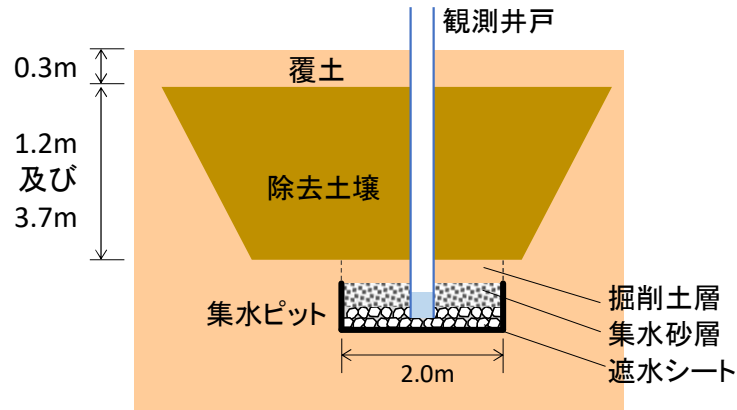
	茨城県 東海村				栃木県 那須町	宮城県 丸森町	
	第1区		第2区	第3区		ピット1	ピット2
	区画①	区画②					
処理対象	除去土壌			除染廃棄物から 分別した土壌	除去土壌	除去土壌 から分別し た土壌	除去土壌・ 除染廃棄物 から分別し た土壌
実証事業実施場所	日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所敷地内				伊王野 山村広場内	上滝仮置場内	
埋立量(実績値)	351 m ³	290 m ³	787 m ³	(計画中)	217 m ³	88.7m ³	88.6m ³
保管場所	豊岡なぎさ の森	真崎古墳 群公園	豊岡なぎさの森 ほか3箇所※	同左	伊王野 山村広場	上滝仮置場	
埋立層厚(実績値)	1.2 m	1.2 m	3.7 m	(計画中)	1.2 m	1.2m	1.2m
覆土厚(実績値)	0.3 m	0.3 m	0.3 m	(計画中)	0.3 m	0.5m	0.5m
集水方法	集水ピット	集水ピット	集水ピット	(計画中)	遮水シート +集水ピット	遮水シート +集水ピット	
除染廃棄物の分別	—	—	—	R3:予備調査 R4~:分別実施	—	R3~R4:分別実施	

※東海村第2区は、特措法の対象外である表土除去により除去された土壌116m³を含む

実証事業の比較

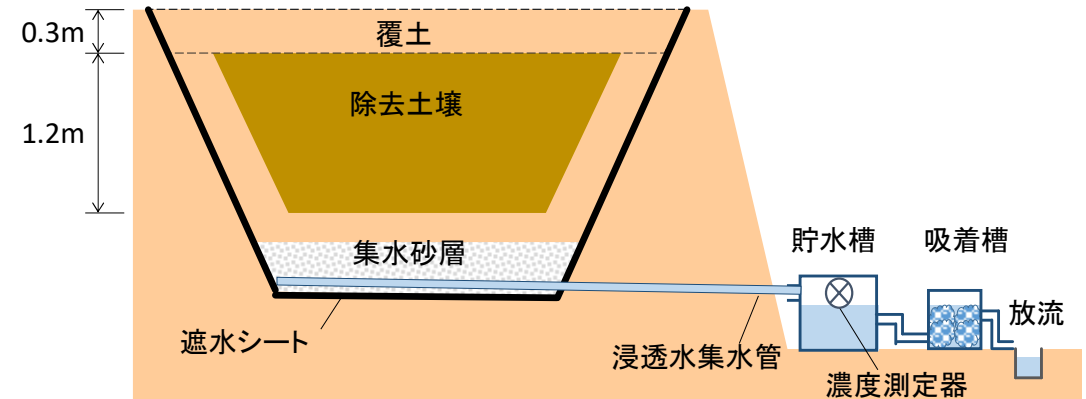
東海村

- 埋立層厚を比較(区画①:1.2m、区画②:3.7m)
- 遮水シートを設けず、集水ピットで集水



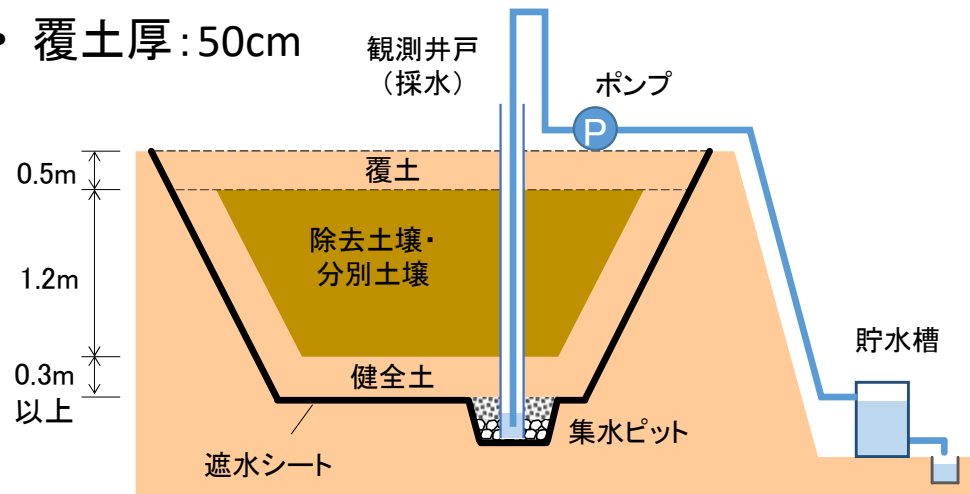
那須町

- 東海村との埋立物の違いを比較
- 遮水シートを設置し、集水管で集水



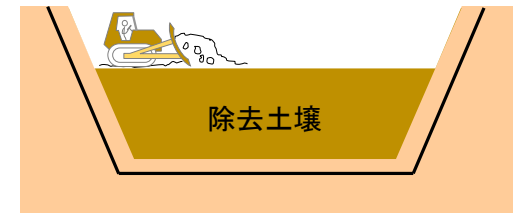
丸森町

- 除去土壌及び除染廃棄物から分別した土壌を埋立
- 遮水シートを設置し、集水ピットで集水
- 覆土厚:50cm



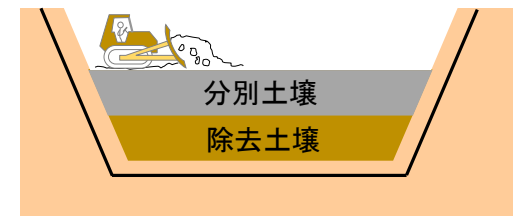
No.1ピット

除去土壌のみを埋立



No.2ピット

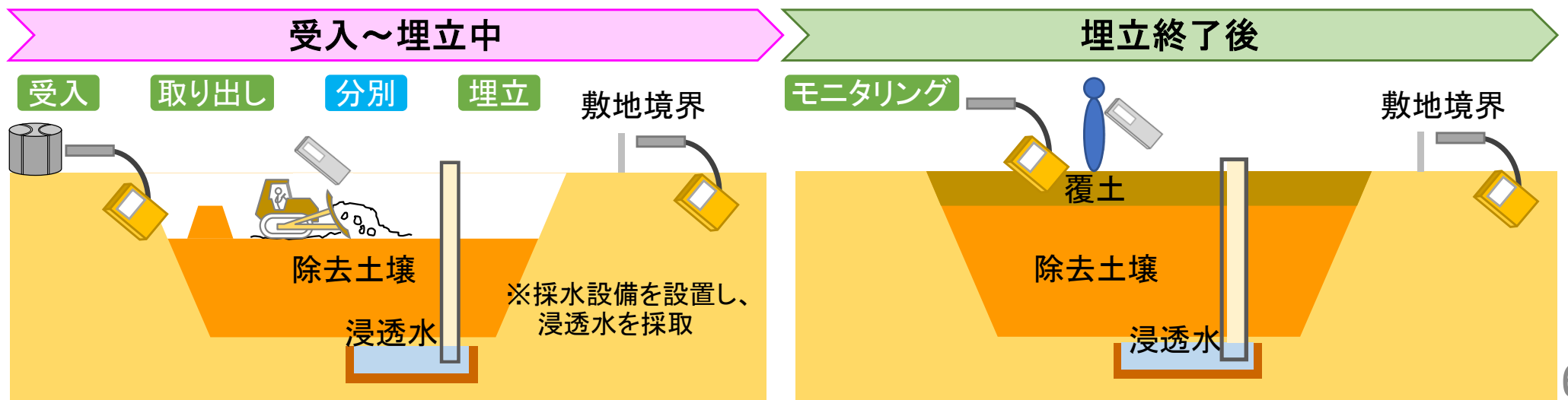
除去土壌及び分別土壌(除染廃棄物から分別した土壌)を二層にして埋立



除去土壌の埋立処分に関する確認項目一覧

技術的確認項目		事業の段階と主な作業				評価内容
		受入～埋立中			埋立終了後	
確認項目	確認方法	受入	取り出し・分別	埋立	モニタリング	
除去土壌の放射能濃度	・表面線量率測定 ・放射能濃度測定(抽出調査)	●	●	—	—	受入管理のあり方 分別した土壌の取扱
作業上の放射線安全	・個人被ばく線量測定 ・大気中放射能濃度測定	●	●	●	●	作業者の安全性、 被ばく管理のあり方
周辺環境の安全	・空間線量率測定	●	●	●	●	埋立処分の安全性
	・大気中放射能濃度測定	●	●	●	●	
	・浸透水中放射能濃度測定	—	—	●※	●	

※丸森町では埋立中は浸透水の流出が見られなかったため、浸透水中の放射能濃度測定は実施せず

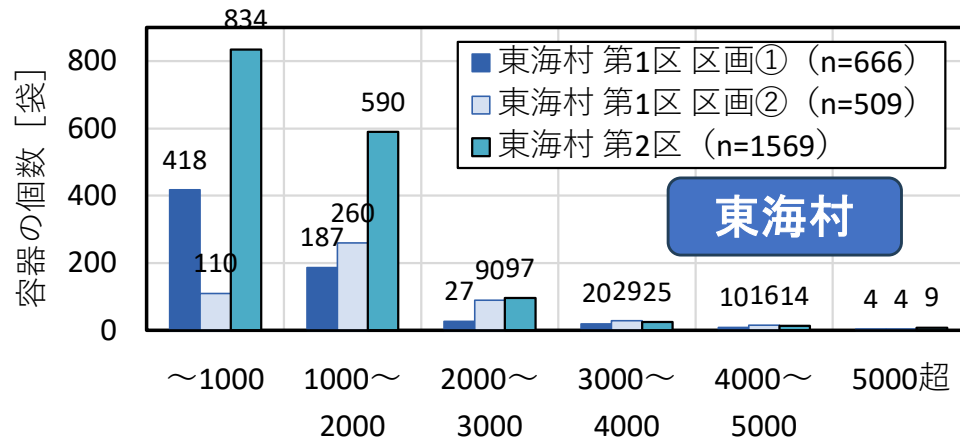


実証事業の結果と得られた知見

除去土壌の放射能濃度

- 除去土壌の放射能濃度は、平均的には1,000～2,000Bq/kg程度であり、福島県外における除去土壌の放射性セシウム濃度分布の約95%は2,000Bq/kg以下という推計結果と同じ傾向が見られた。
- 実証事業場所によって濃度に差があるとともに、その地域の中でもばらつきが見られる。

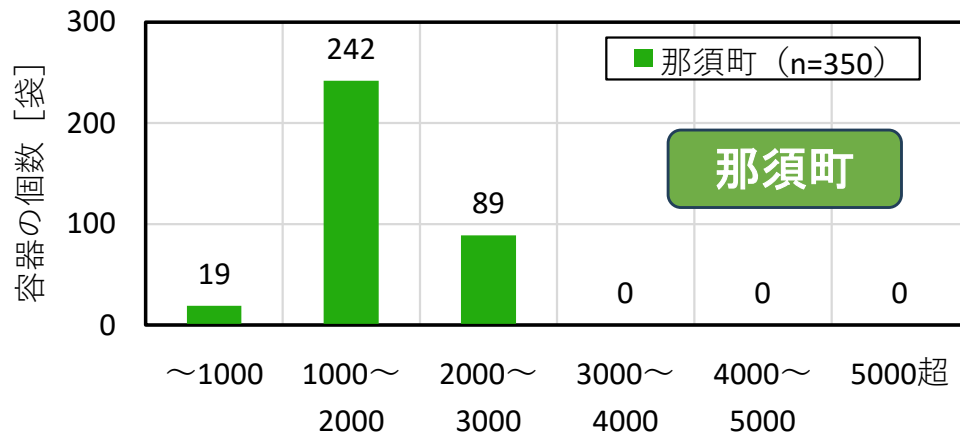
	東海村	那須町	丸森町
放射能濃度	平均値: 1,240 Bq/kg (0～7,600 Bq/kg)	平均値: 1,670 Bq/kg (520～2,900 Bq/kg)	平均値: 1,960 Bq/kg (150～15,700 Bq/kg)



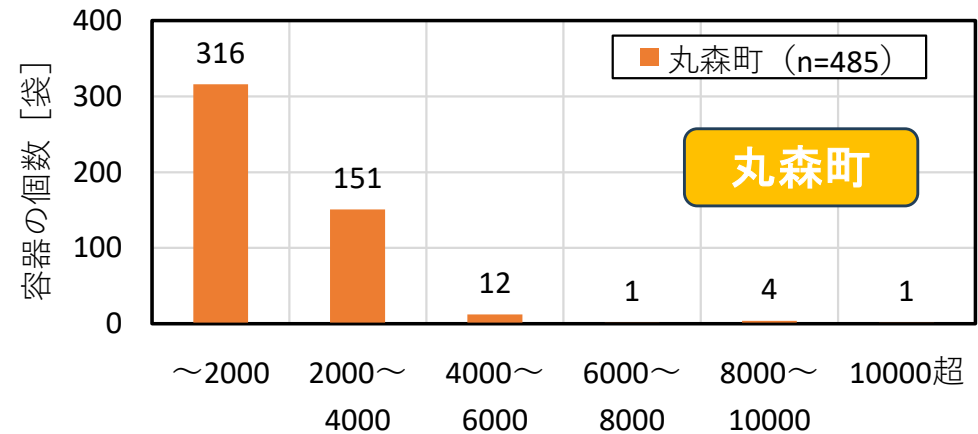
※放射能濃度は、実測濃度及び表面線量率からの推計値

<測定日>

東海村 第1区: 2018年9月
 東海村 第2区: 2018年9、11～12月
 那須町: 2018年10月
 丸森町: 2020年11月
 2022年3月



※10,000 Bq/kg超の土壌は埋立に使用せず、保管継続。



除去土壌の放射性セシウム濃度 [Bq/kg]

除去土壌の放射性セシウム濃度 [Bq/kg]

除去土壌等の分別や埋立作業に伴う作業員への影響

- 除去土壌等の埋立作業に伴う被ばく線量は年間 1 mSv を下回ることを確認。
- 埋立作業に伴う個人被ばく線量について、シミュレーションと実測結果を比較しても、同程度の値であり、覆土、散水等による作業員への被ばく対策の有効性が確認された。

		東海村	那須町	丸森町
外部被ばく	時間あたり被ばく線量(埋立作業) (※除去土壌以外から受ける放射線量を含む)	平均:0.11 μSv/h (最大:0.24 μSv/h)	平均:0.17 μSv/h (最大:0.27 μSv/h)	平均:0.09 μSv/h (最大:0.34 μSv/h)
	年間被ばく線量 (※平均線量で年間250日×8時間従事と仮定)	0.22 mSv/y	0.34 mSv/y	0.18 mSv/y
内部被ばく (吸入)	大気中の放射能濃度の最大値 (埋立作業期間:Cs-137)	0.18 mBq/m ³ (敷地境界)	N.D. (敷地境界)	0.4 mBq/m ³ (分別作業場所)
	ダスト採取期間(5日間)の追加被ばく線量 (※防護を行わない場合)	0.00000078 mSv	—	0.00000013 mSv

		東海村	那須町
シミュレーションによる 個人被ばく線量※1 (外部被ばく)	放射能濃度(推計)	1,320 Bq/kg	1,670 Bq/kg
	作業時間(実測)	8時間/日×26日=208時間	8時間/日×6日=48時間
	被ばく線量	34 μSv	9.9 μSv
実証事業における測定結果※2(自然由来の放射線※3を除く)		0~16 μSv	2.7~8.4 μSv

※1) 保守的に10m×10m×1m(100m³)の除去土壌を埋立処分すると仮定(MCNP5コードにより外部被ばく線量換算係数を算出)。
Cs-134/Cs-137=0.082(事故後8年経過時点の存在比)と仮定。東海村は第1区の実績をもとに算定。

※2) シミュレーションと比較するため、1日の作業時間が8時間に満たない日、あるいは8時間を超える日については、8時間の数値に補正した上で集計。

※3) バックグラウンドの放射線量を考慮するため、自然由来の放射線のうち、事故前の大地からの放射線量0.33mSv/年の作業時間(東海村:208時間、那須町:48時間)分として、東海村7.83μSv、那須町は1.81μSvを差し引いており、事故後の放射線量のほうが高いと考えられることからより保守的な推計結果となっている。

除去土壌の埋立処分に伴う周辺環境への影響

- 埋立作業中から埋立後の管理期間を通して、東海村、那須町、丸森町のいずれの実証事業においても、除去土壌の飛散・流出、地下浸透等による周辺環境への影響は見られなかった。

■埋立作業中

- 空間線量率(敷地境界)は、準備段階から埋立開始前までの変動幅の中で概ね推移。
- 大気中の放射能濃度(敷地境界)は、東海村で最大 0.18 mBq/m³、那須町では検出下限値未満、丸森町では最大 0.18 mBq/m³(分別作業期間)と十分に低い値であった。

■埋立後

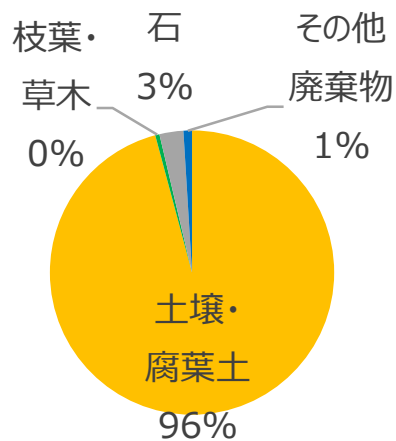
- 敷地境界の空間線量率や大気中の放射能濃度は、埋立作業開始前の変動幅の範囲に収まっていた。
- 浸透水中の放射能濃度は、全ての検体で検出下限値未満であった。2019年の台風19号による影響も見られなかった(日降水量:東海村 93 mm、那須町 275 mm)。
- 丸森町では除染廃棄物から分別した「土壌・腐葉土」の埋立も行ったが、除去土壌だけを埋め立てた場合と大きな違いは見られなかった。

除染廃棄物からの土壌等の分別

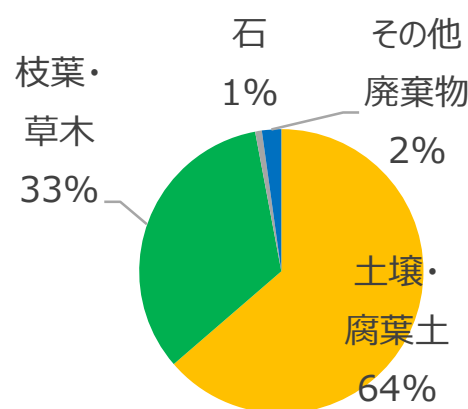
■丸森町における分別の結果

- 除染廃棄物には「土壌・腐葉土」が多く含まれており、装置による分別が可能。
- 除染廃棄物の分別により、重量ベースで約2/3が土壌に、約1/3が枝葉・草木に分けられた。分別前の除染廃棄物に含まれる放射性セシウム総量のほとんどが分別後の土壌に存在し、枝葉・草木に残る放射性セシウムは少なかった。
- 除染廃棄物から分別した土壌は、除去土壌と比較すると、含水比、EC(電気伝導度)、強熱減量等に違いが見られ、有機物分が多いと考えられたが、性状の違いを考慮して適切な手法を選択することで、除染廃棄物から分別された土壌も安全に埋め立てることができることを確認した。
- 除染廃棄物から分別した「枝葉」はチップ化が可能であり、除染廃棄物の減容化に有効である。

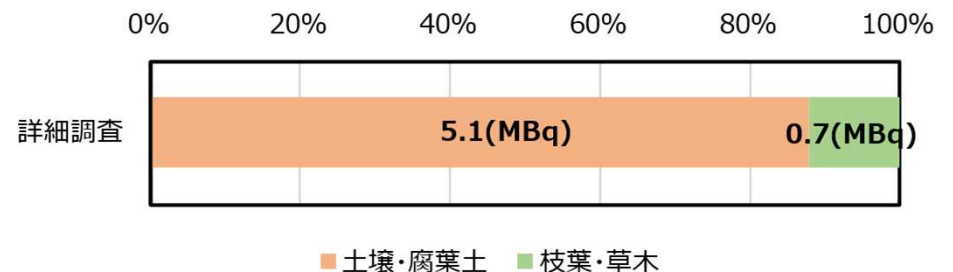
除去土壌の分別結果



除染廃棄物の分別結果



分別後の放射性Cs総量の存在割合



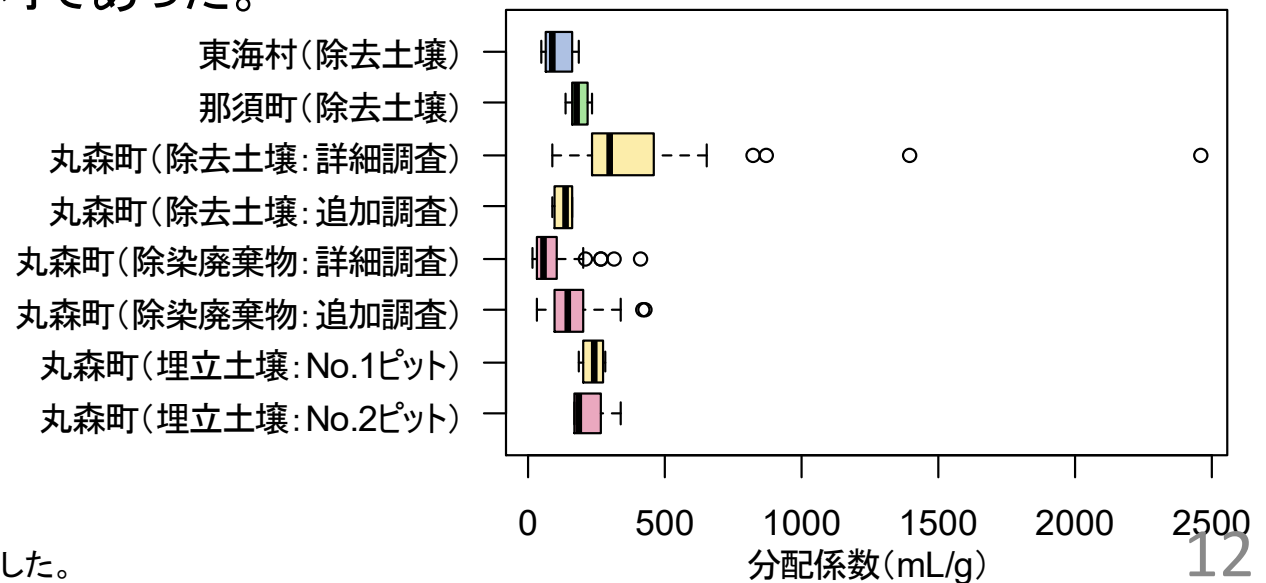
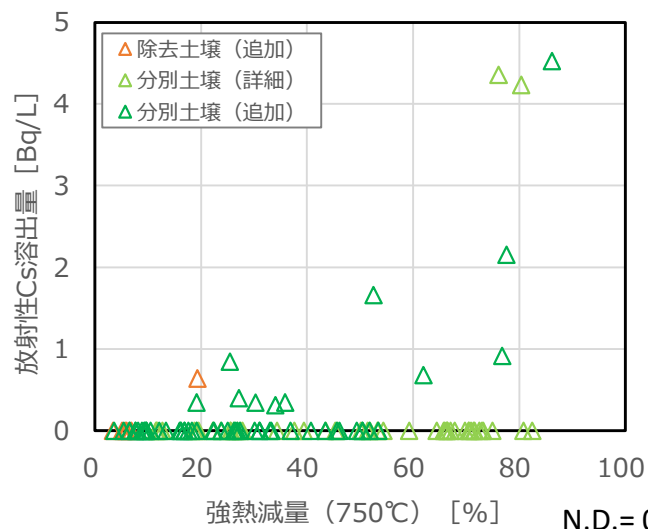
除去土壤の溶出特性と吸着特性

○ 除去土壤の溶出特性

- 溶出試験の結果、放射性セシウムの溶出はほとんど見られず、埋立処分の実証試験においても浸透水中の放射能濃度は全て検出下限値未満であった。
- 除染廃棄物から分別した土壤など強熱減量が大きくなるとわずかながら放射性セシウムは溶出しやすくなる傾向が見られた(液固比10。溶出量は最大で 4.6 Bq/L)が、これらを埋立処分した場合でも浸透水中の放射能濃度は全て検出下限値未満であった。
- 実際の埋立環境では土壤への吸着により除去土壤等から放射性セシウムはほとんど溶出せず、溶出したとしてもすぐに周囲の土壤に吸着されるため、浸透水に出てこないと解釈できる。

○ 除去土壤の収着特性

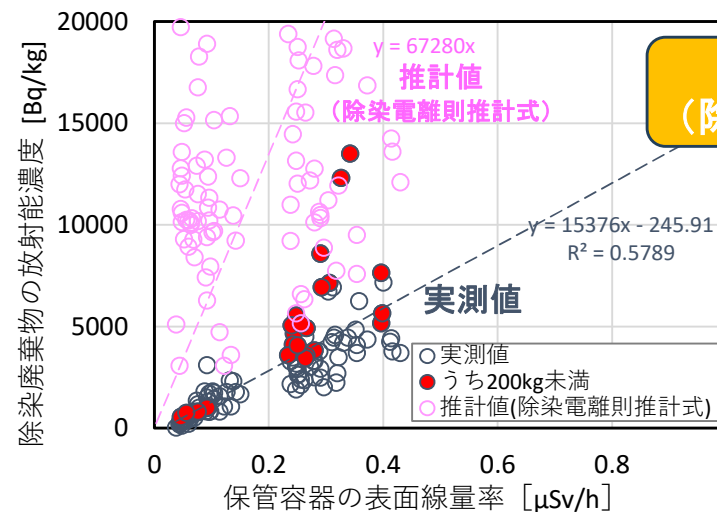
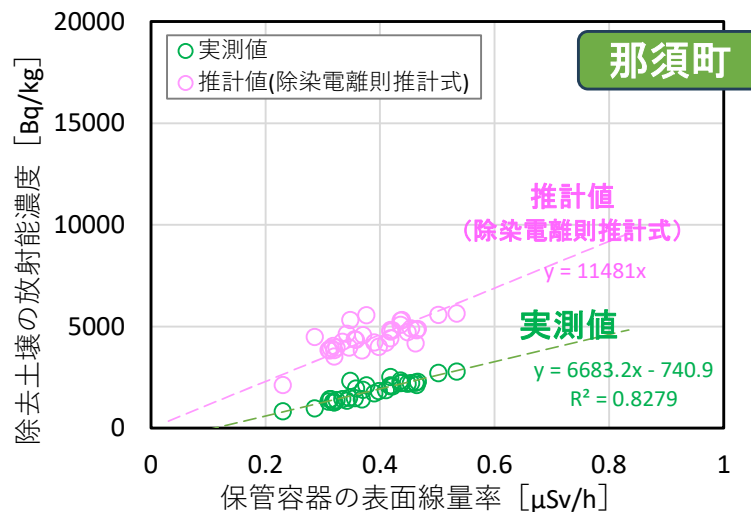
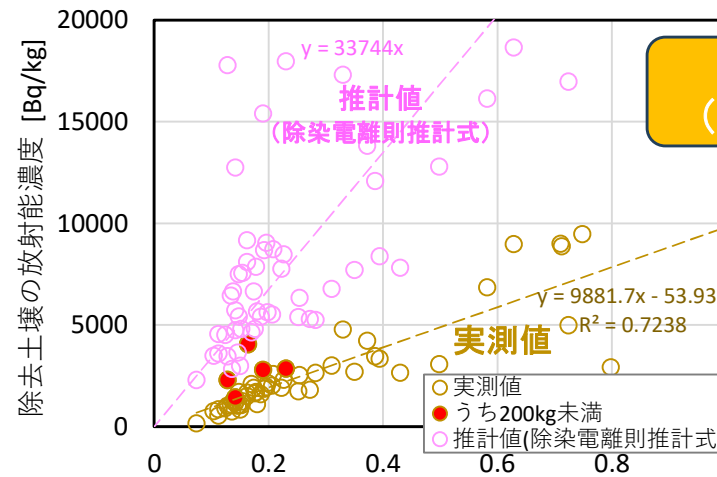
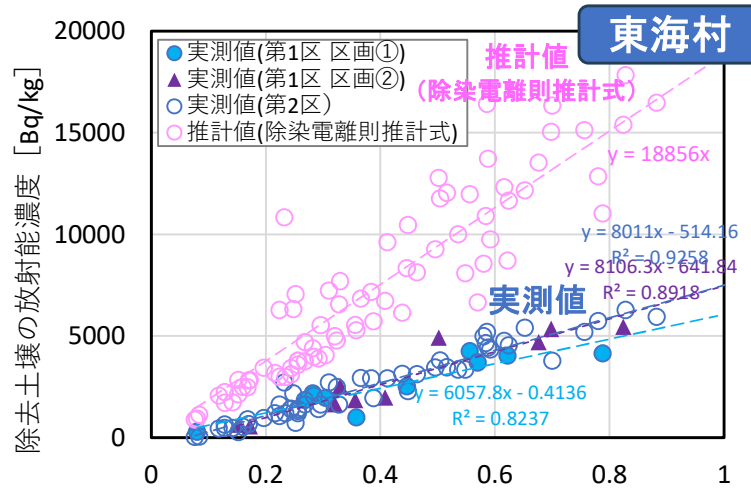
- 安定セシウムを用いた収着特性試験を行った結果、除去土壤等の分配係数はいずれも文献による分配係数の範囲内であった。



容器の表面線量率と除去土壌等の放射能濃度の関係

- 容器の表面線量率と放射能濃度には一定の関係性が認められ、表面線量率から放射能濃度をある程度推計できると考えられた。
- 実証事業ごと(東海村、那須町、丸森町)に、その関係性には違いがあり、特に重量の小さい容器などでは回帰式から大きく外れる検体が見られるなど、引き続きデータの蓄積が必要と考えられる。
- 除染電離則推計式※は安全側に余裕を持った推計式であり、表面線量率と放射能濃度の回帰式と比較して、放射能濃度は大きく推計される傾向にあった。

※除染電離則ガイドラインにおける放射能濃度の簡易測定手順



- 保管容器の表面線量率は容器表面の5点平均。
- 除染電離則推計式は表面線量の最大値を用いるとされているが、ここでは回帰式との比較のため表面線量率の平均値を用いて算定した。

実証事業の成果

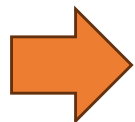
実証事業の主な成果①

■作業上の放射線安全

- 埋立作業や分別作業に従事する作業者の安全を確認するため、作業者の個人被ばく線量を測定したところ、年間被ばく線量は1mSvを下回ることを確認した。
- 作業者の被ばく線量(外部被ばく)を予測するため、シミュレーションとの比較を行ったところ、被ばく線量はシミュレーションによる推計値と同程度以下であったことから、シミュレーションの想定どおり作業者の安全性が確認できた。
- 作業者の吸入による内部被ばく線量(吸入)を評価したところ、極めて小さかった。また、大気中放射能濃度は総浮遊粉じんと相関があったことから、粉じんの飛散防止措置を講ずることで吸入による追加被ばく線量を抑えることができると考えられる。

■周辺環境の安全

- 周辺環境の安全を確認するため敷地境界の空間線量率等を測定したところ、除去土壌の埋立前後で大きな変化はなかった。適切な厚さの覆土により放射線を遮へいすることで、周辺環境の外部被ばくを抑えることができると考えられる。
- 地下水を經由した被ばくが懸念されることから浸透水中の放射能濃度を測定したところ、全ての検体で検出下限値未満であった。これまでの科学的知見(セシウムは土壌に強く固定・保持される)とも整合することから、除去土壌の埋立処分に伴う地下水への影響はないものと考えられる。

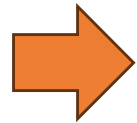


既存の知見に基づき想定した安全な埋立方法の有効性が確認された。

実証事業の主な成果②

■分別土壌の埋立処分

- 除染廃棄物から分別した土壌(分別土壌)は除去土壌とは性状が異なる(有機物が多く、放射性セシウムを固定する機能が比較的弱い)ことから、土壌の吸着効果を期待し、除去土壌と分別土壌を層状に埋め立てるなど埋立方法を工夫した上で、分別土壌の埋立処分による影響を確認したところ、**除去土壌だけを埋め立てた場合と大きな違いは見られなかった。**



除染廃棄物から分別した土壌も、適切な方法をとることで安全に埋立処分できることが確認された。

■受入管理(放射能濃度の推計)

- 除去土壌の受入管理にあたり、地域毎に表面線量と除去土壌の放射能濃度の関係を確認したところ、実証事業ごと(東海村、那須町、丸森町)に、その関係性には違いがあり、地域毎に推計式が異なっていた。
- 既存の推計式である除染電離則推計式については実測値と比較したところ、安全側に余裕をもった推計式であり、地域毎の表面線量率と放射能濃度の回帰式と比較しても放射能濃度が大きく推計された。



安全側に余裕をもった推計式である除染電離則推計式をスクリーニングに活用することや、サンプリングによる地域毎の推計式を設定することなどを適切に組み合わせることにより、受入の際の放射能濃度の管理を効率的に行うことができると考えられる。

(参考)

(参考)実証事業の比較

	東海村	那須町	丸森町
気温(平年値)*1	年平均:14.1℃ 日最高:30.0℃ 日最低:-1.8℃	年平均:12.1℃ 日最高:28.6℃ 日最低:-3.9℃	年平均:12.2℃ 日最高:28.6℃ 日最低:-3.7℃
年間降水量*1	1367.7mm	1552.5mm	1298.7mm
実証事業実施場所	JAEA敷地内グラウンド	仮置場内(山村広場内)	仮置場内
除去土壌の性状	砂質土 ※強熱減量が高く、有機物が多い。水溶性の塩類量は多くない。	黒ボク ※水溶性の塩類量は多くない。	砂分と礫分が主体 ※分別土壌は有機質土
埋立量(実績値)	第1区(区画①)351m ³ (区画②)290m ³ 第2区 787m ³	217m ³	ピット1 88.7m ³ ピット2 88.6m ³ ピット3 471.7m ³
埋立層厚	第1区:1.2m 第2区:3.7m	1.2m	1.2m
区画の考え方	処分対象物、埋立深さで比較	処分対象物による東海村との比較	除去土壌と分別した土壌の埋立による比較
覆土厚	0.3m	0.3m	0.5m
集水方法	集水ピット	遮水シート+集水ピット	遮水シート+集水ピット
埋立期間 (準備・分別等を含む)	第1区:2018年8月~10月 第2区:2019年1月~2月	2018年10月~12月	2021年11月~2022年10月
覆土後モニタリング期間	未定 (長期に継続)	1年間(~2019年12月) (原状回復済み)	1年間(~2023年11月) (原状回復を予定)
除去土壌等の 平均放射性Cs濃度	第1区 区画①: 1,240 Bq/kg 第1区 区画②: 1,680 Bq/kg 第2区: 1,260 Bq/kg	1,680 Bq/kg	除去土壌:1,958 Bq/kg 除染廃棄物:1,493 Bq/kg
地域の特徴	JAEA敷地内での処分であり、住居等から離れている。	除去土壌の保管量が多い。実証事業場所と住居が近接。	除染廃棄物の保管量が多い。住居等から離れている。
事業の目的	・周辺居住者の健康と生活環境への影響の確認 ・作業員の安全性の確認		左記に加えて、除染廃棄物の分別に関する知見の収集

*1)アメダス平年値(1991~2020:水戸、黒磯、丸森)

実証事業のスケジュール(東海村、丸森町)

■東海村事業スケジュール

工程	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
受入	↔						
取り出し・埋立(第1区)	↔						
取り出し・埋立(第2区)		↔					
モニタリング	埋立中モニタリング ↔	↔			埋立後モニタリング		※
分別				予備調査 ↔		分別実施	

※2024年3月以降もモニタリングを継続予定

■丸森町事業スケジュール

工程	2021年	2022年			2023年			2024年
掘り起こし	↔							
取り出し・分別・埋立		分別	↔	埋立 (覆土) ↔				
モニタリング		分別中モニタリング ↔		埋立中モニタリング ↔		埋立後モニタリング		
原状回復						原状回復 ↔	原状回復時のモニタリング ↔	

(参考) 実証事業のスケジュール(那須町)

■ 那須町事業スケジュール

工程	2018年					2019年												2020年			
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
掘り起こし			↔																		
取り出し・埋立		(造成)	↔	↔	↔	↔	↔	↔													
モニタリング			埋立中モニタリング	↔	↔	埋立後モニタリング	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔				
原状回復																					原状回復
																					原状回復時のモニタリング

※那須町は2019年9月に実証事業終了。原状回復済み。