

丸森町における実証事業の 実施状況について

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

目次

1. 除去土壌の処分と現状について

- (1) 除染の実施
- (2) 丸森町における除去土壌・除染廃棄物の保管状況
- (3) 福島県外における除去土壌・除染廃棄物の保管状況
- (4) 除去土壌の処分方法について
- (5) 除去土壌の埋立処分に関する検討の経緯

2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の実証事業の概要

- (1) 丸森町における実証事業の目的と調査内容
- (2) 実証事業の実施場所
- (3) 実証事業の埋立場所の構造
- (4) 埋立処分の実証事業における確認項目
- (5) 実証事業の流れ
- (6) 測定項目と分析対象試料
- (7) 実証事業の経過

3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃棄物の分別

- (1) 表面線量率と放射性Cs濃度の関係
- (2) 放射性Cs濃度の推計と重量との関係
- (3) 除去土壌等の放射能濃度
- (4) 分別作業の様子
- (5) 分別物の概要
- (6) 除去土壌・除染廃棄物の組成
- (7) 除染廃棄物の分別による放射性Csの存在割合
- (8) 除去土壌・除染廃棄物の分別の結果
- (9) 除去土壌と分別した「土壌・腐葉土」の埋立方法
- (10) 分別した「枝葉」のチップ化

4. 除去土壌等の性状分析結果

- (1) 土質的性状
- (2) 基本性状試験
- (3) 溶出特性試験
- (4) 収着特性試験

5. 実証事業のモニタリング結果

- (1) 埋立作業
 - ①作業者の個人被ばく線量
 - ②大気中の放射能濃度
 - ③空間線量率（敷地境界）
- (2) 埋立後の管理
 - ①空間線量率
 - ②作業者の個人被ばく線量
 - ③浸透水の放射能濃度
 - ④埋立場所の沈下量
 - ⑤空間線量率（敷地境界）
 - ⑥大気中の放射能濃度（敷地境界）
- (3) 実証事業の主な結果

6. 実証事業の主な結果

7. その他

- (1) 現地見学会の開催
- (2) 結果報告会の開催
- (3) 今後のスケジュール

1. 除去土壌の処分と現状について
2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の
実証事業の概要
3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃
棄物の分別
4. 除去土壌等の性状分析結果
5. 実証事業のモニタリング結果
6. 実証事業の主な結果
7. その他

(1) 除染の実施

放射線の影響を低減するため、各市町村で除染を実施

住宅の庭等の除染の例



未舗装道路の除染の例



校庭の除染の例

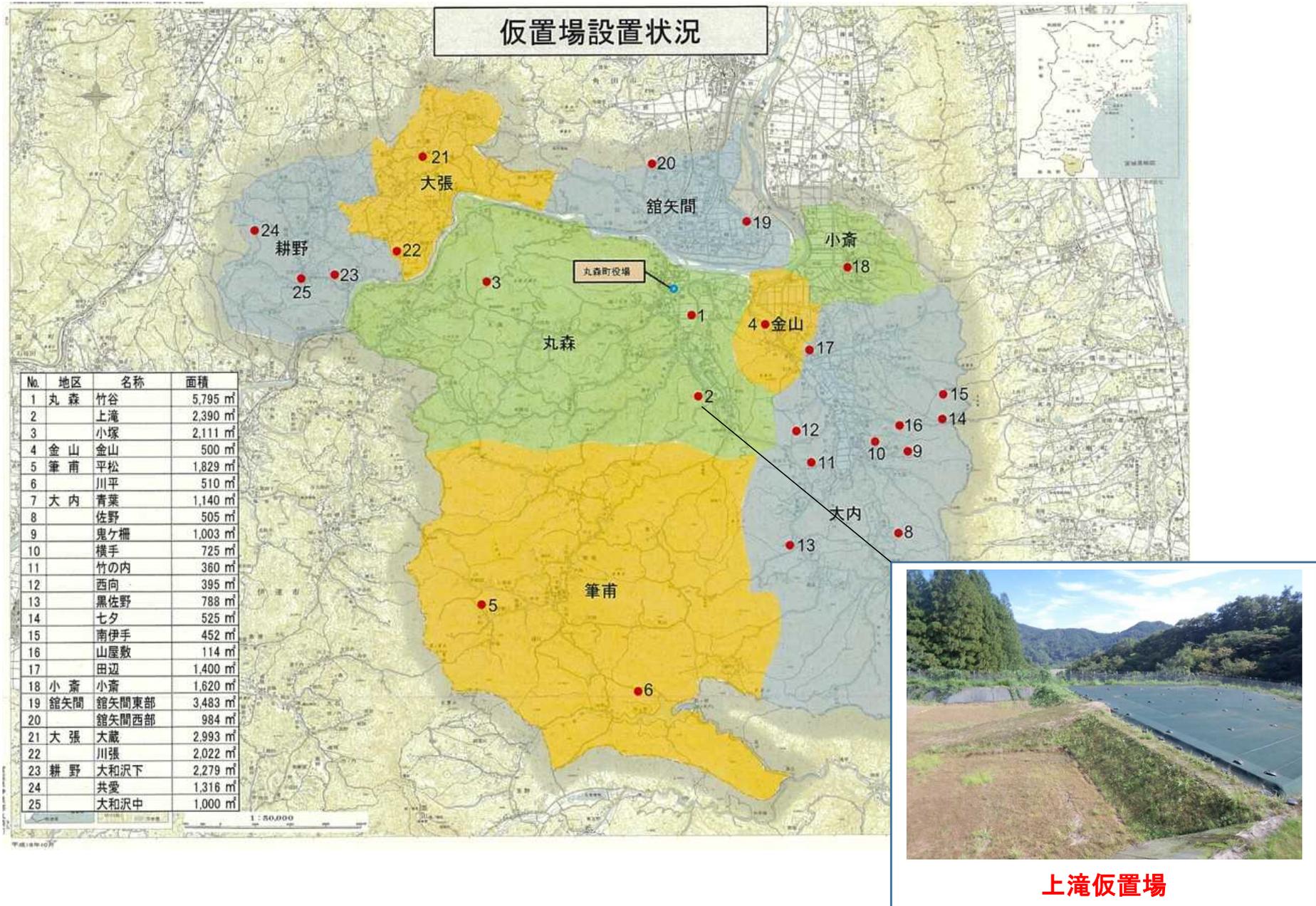


農地の除染の例



(2) 丸森町における除去土壌・除染廃棄物の保管状況

除染により発生した除去土壌・除染廃棄物を町内25か所の仮置場において保管中



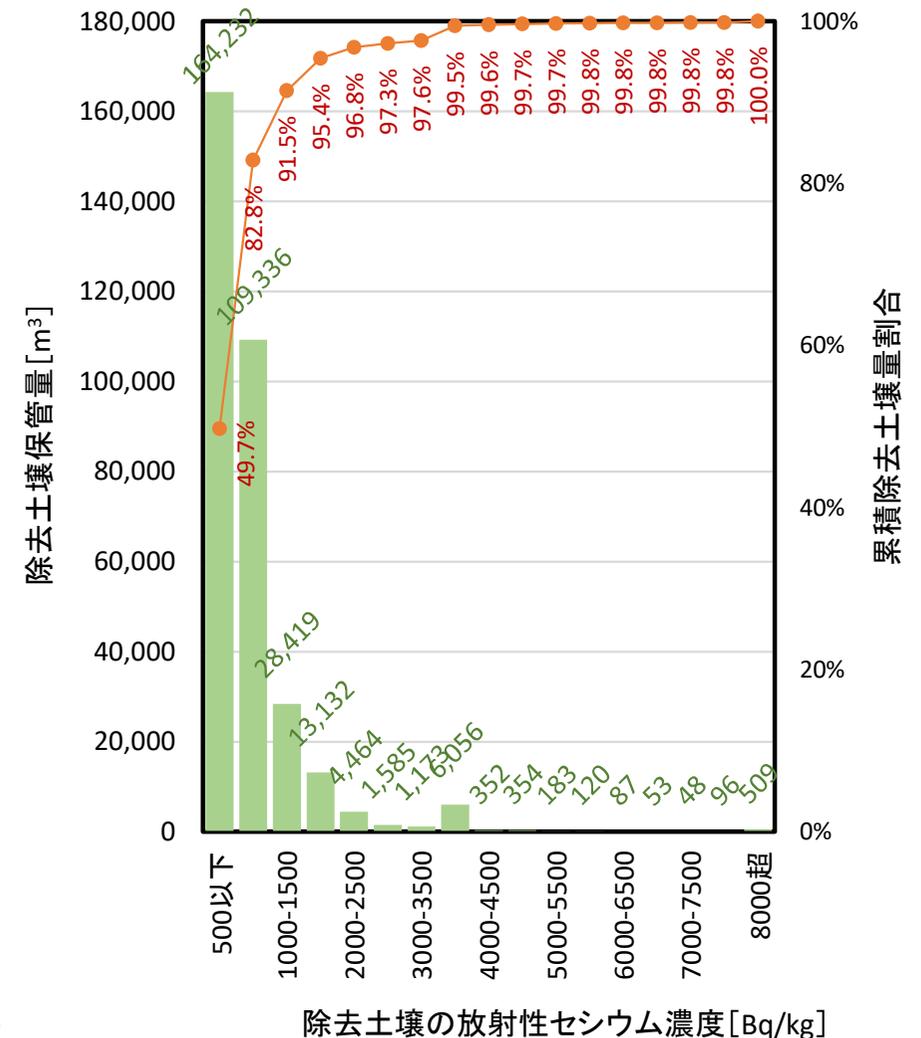
上滝仮置場

(3) 福島県外における除去土壌・除染廃棄物の保管状況

福島県外において保管されている除去土壌の放射性セシウム濃度を推計した結果、中央値は500Bq/kg程度、約95%は2,000Bq/kg以下であった。

(2023(R5)年3月末時点)

	除去土壌		除染廃棄物	
	保管箇所数	数量(m ³)	保管箇所数	数量(m ³)
岩手県	315	26,550	2	24
宮城県	161	29,141	563	68,047
(うち、丸森町)	44	15,233	25	66,388
茨城県	1,034	52,964	13	3,530
栃木県	24,747	111,063	8,722	70,579
群馬県	755	4,602	13	572
埼玉県	48	7,252	0	0
千葉県	1,668	98,627	2	12
合計	28,728	330,198	9,315	142,763



※丸森町の仮置場には、除染土壌と除染廃棄物の両方が保管されている。
 ※除去土壌の44箇所は、仮置場の数(25)＋現場保管箇所19箇所の和。

(5) 除去土壌の埋立処分に関する検討の経緯

2017年9月	第1回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・安全確保の論点について議論 ・埋立処分の実証事業の実施を決定
2017年12月	第2回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・埋立処分の実証事業における確認事項などについて決定
2018年8月	茨城県東海村における実証事業開始	
2018年9月	第3回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業の実施状況、自治体アンケート調査結果について報告 ・省令、ガイドラインに規定すべき事項について議論
2018年9月	栃木県那須町における実証事業開始	
2019年3月	第4回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業中間取りまとめ案について議論
2019年5月	実証事業中間取りまとめを公表	
2019年9月	栃木県那須町における実証事業終了	
2019年12月	第5回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業の結果について報告 ・ガイドラインの技術的事項について議論
2020年12月	第6回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業の結果（埋立後モニタリング、追加土壌分析）について報告、表面線量率からの濃度推計について議論 ・関係自治体の意見整理（事例の蓄積による理解醸成、草木類が混在する土壌の取扱い等が課題）
2021年7月	丸森町における除去土壌の埋立処分に係る実証事業に関する住民説明会	
2021年12月	丸森町における実証事業開始	
2022年2月	第7回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業の結果（埋立後モニタリング）について報告 ・除染廃棄物の分別（実証事業及び予備調査）について議論
2022年9月	丸森町での除去土壌埋立処分実証事業の埋立作業の見学会	
2023年2月	第8回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業の結果（埋立後モニタリング）及び実施状況について報告 ・除染廃棄物から分別した土壌に関する知見について議論
2023年11月	丸森町での除去土壌埋立処分実証事業の現地見学会・結果報告会	
2023年12月	第9回検討チーム会合	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事業の結果について報告 ・除去土壌の処分方法策定に向けた論点について議論

1. 除去土壌の処分と現状について
- 2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の
実証事業の概要**
3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃
棄物の分別
4. 除去土壌等の性状分析結果
5. 実証事業のモニタリング結果
6. 実証事業の主な結果
7. その他

(1) 丸森町における実証事業の目的と調査内容

目的

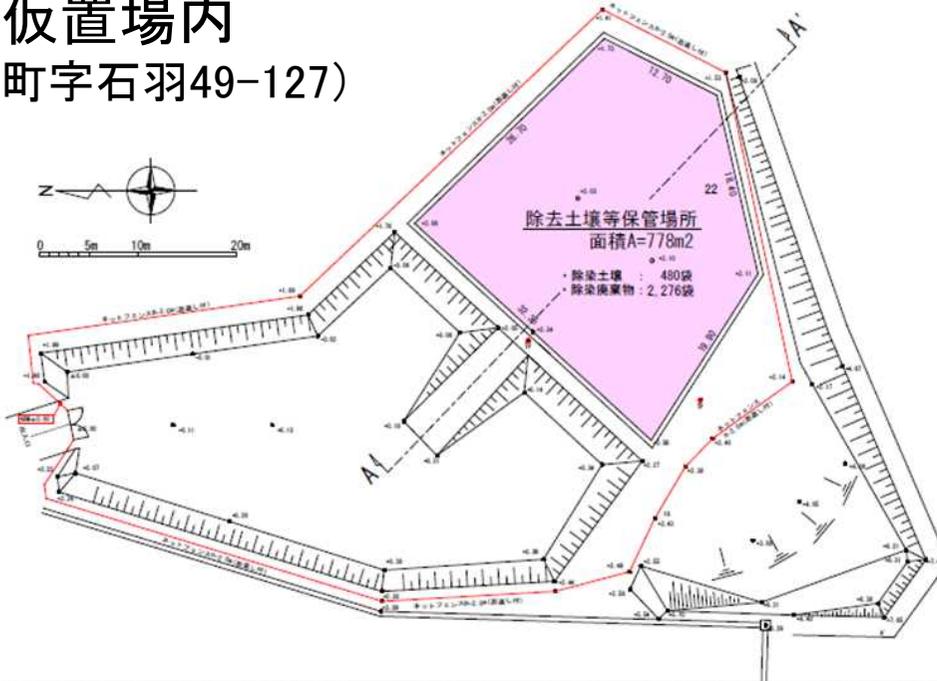
- 除去土壌の埋立処分により、周辺居住者の健康と生活環境に悪影響がないこと及び作業員の安全性に問題がないことを確認する。
- 安全に除染廃棄物から除去土壌を分別し、埋立処分を行えることを確認する。

調査内容

- 上滝仮置場に保管している除去土壌等約2800袋を取り出し、土壌と可燃物等との分別。
- 分別土壌等を同敷地内に埋め立てた後、空間線量や浸透水の放射性物質濃度のモニタリング等を実施し、安全性についてのデータを集積。

(2) 実証事業の実施場所

上滝仮置場内
(丸森町字石羽49-127)



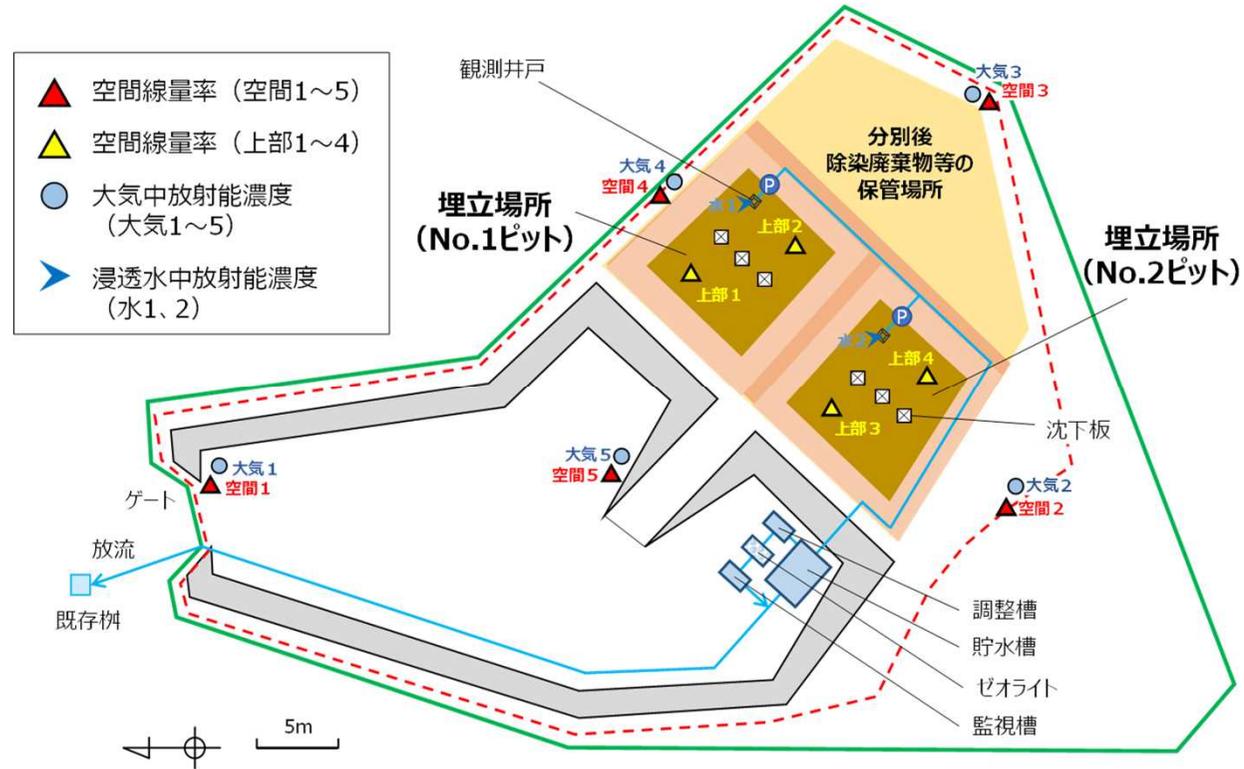
出典: 丸森町ホームページ/まるもりマップ



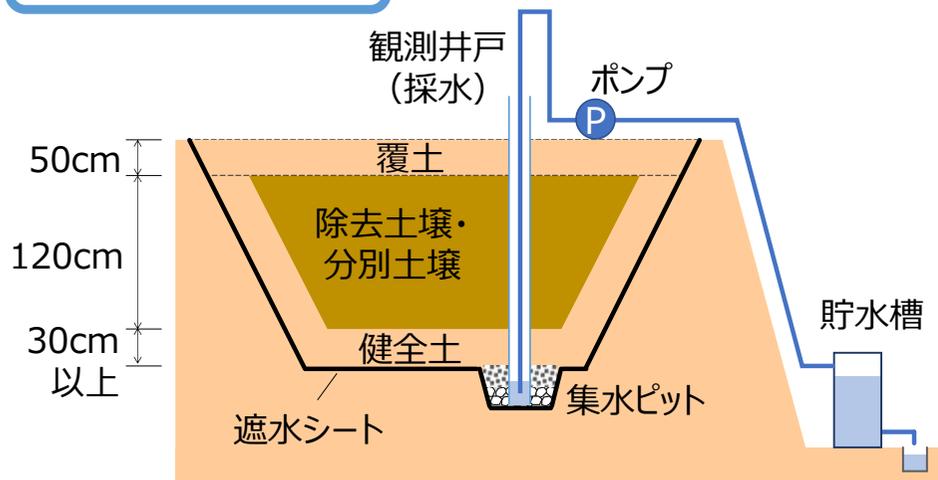
出典: 国土地理院ウェブサイト
<https://maps.gsi.go.jp/#15/37.875091/140.778551/&base=std&is=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

(3) 実証事業の埋立場所の構造

埋立平面図



埋立断面図



埋立方法

ピット	No.1	No.2
埋立対象物	除去土壌: 88.7m ³	除去土壌: 44.3m ³ 分別土壌: 44.3m ³
埋立方法	除去土壌	分別土壌 除去土壌

※埋立に使用しなかった分別後の土壌は保管

(4) 埋立処分の実証事業における確認項目

実証事業のイメージと主な確認項目

1) 埋立作業(状態の確認・破袋・埋立)

■除去土壌の性状判断

①表面線量率測定

サンプル調査(放射能濃度測定)も実施

■埋立場所

①作業者の個人被ばく線量測定

②大気中の放射能濃度測定 (ダストサンプリング)

■周辺環境の安全

①空間線量率測定

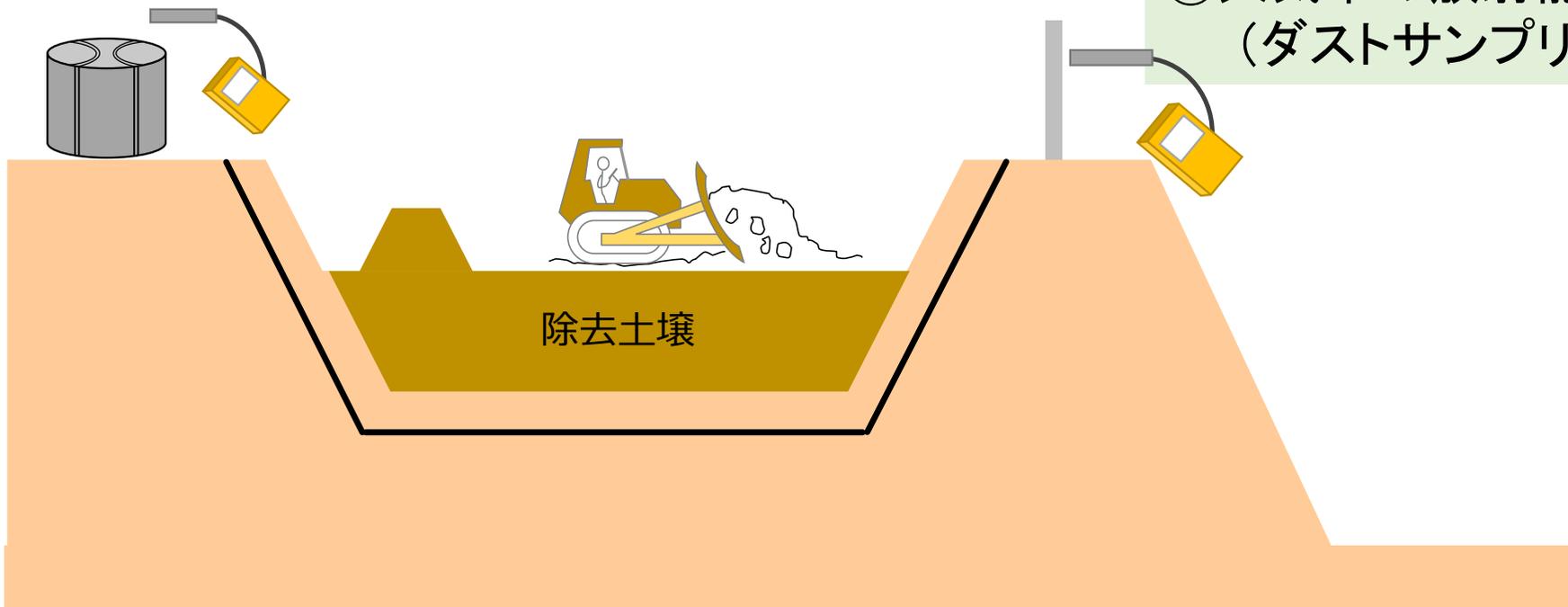
②大気中の放射能濃度測定 (ダストサンプリング)

状態の確認

破袋・分別

埋立

敷地境界



(4) 埋立処分の実証事業における確認項目

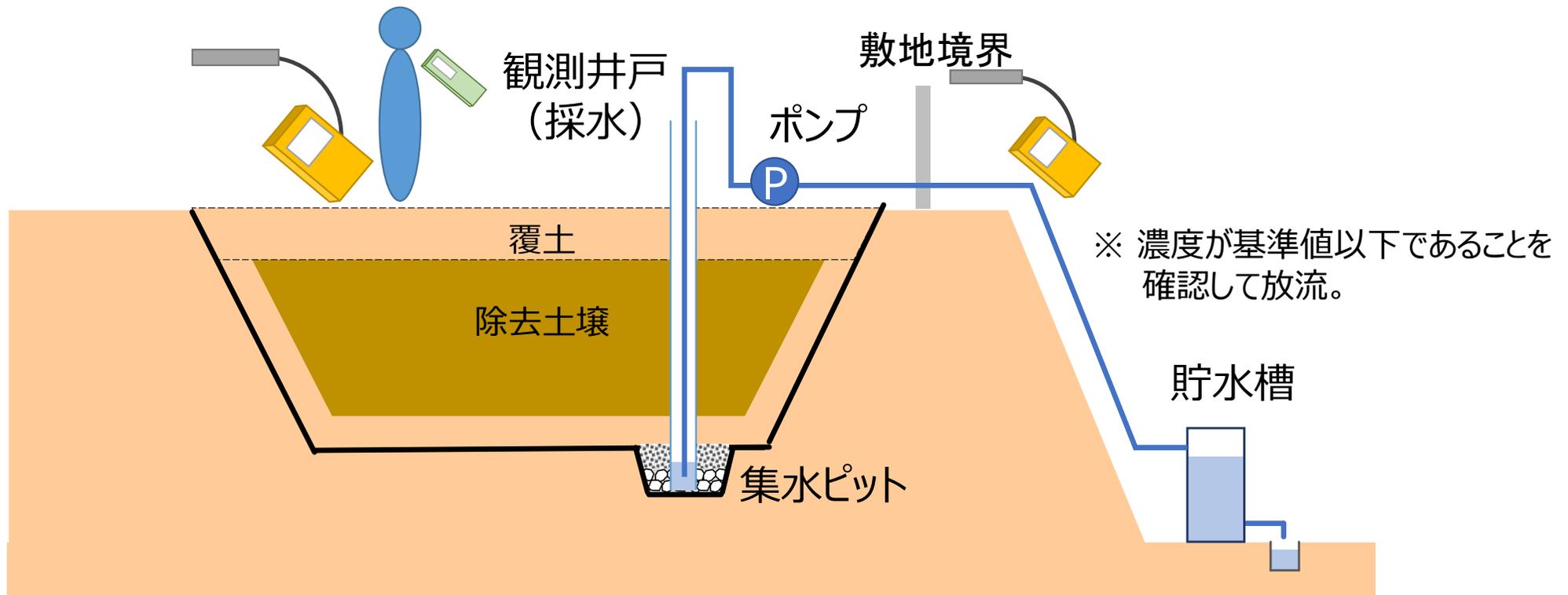
2) 埋立後の管理

■ 埋立場所

- ① 空間線量率測定
- ② 作業者の個人被ばく線量測定
- ③ 浸透水の放射能濃度測定
- ④ 沈下量測定

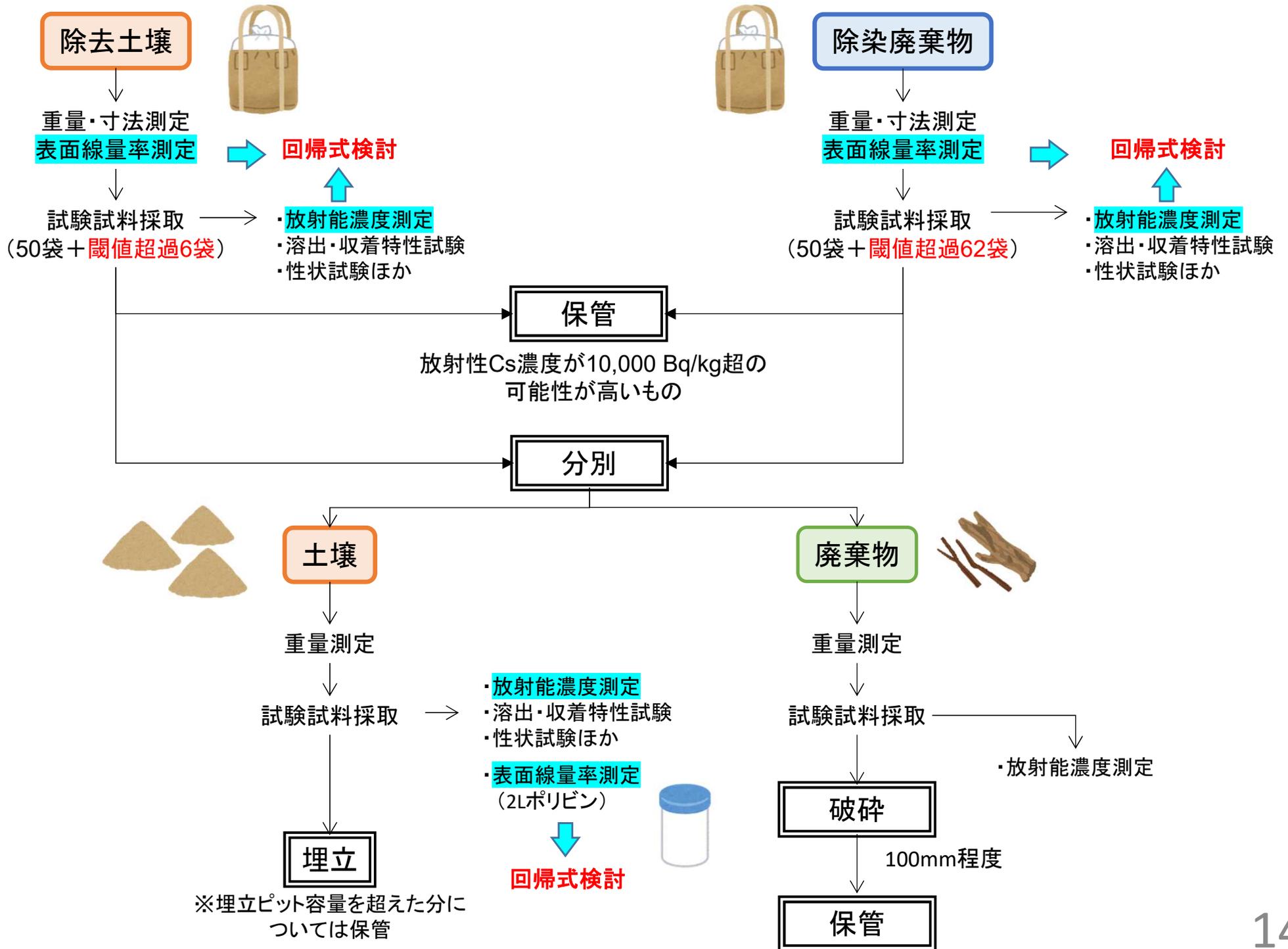
■ 敷地境界

- ① 空間線量率測定
- ② 大気中の放射能濃度測定
(ダストサンプリング)



- 空間線量率の測定、作業者の個人被ばく線量測定、浸透水の放射能濃度測定は原状回復まで継続

(5) 実証事業の流れ



(6)測定項目と分析対象試料①

■埋立場所での測定項目

区分	測定データ項目	作業前	作業中 (取り出し・分別・埋立)	埋立終了後
埋立場所 及び 周辺環境	大気中の放射性Cs濃度	○ (1回)	○ (1回/週)	○ (1回/月)
	空間線量率(敷地境界)	○ (1回)	○ (1回/日)	○ (1回/週)
	空間線量率(埋立場所上部)			○ (1回/週)
	浸透水の放射性Cs濃度			○ (1回/週)
	埋立場所の沈下量			○ (1回/月)
作業者	個人被ばく線量		○	○
	作業時間、作業内容		○	○
除去土壌等 (容器ごと)	重量		○	
	表面線量率		○	
	寸法(サンプル調査)		○	

(6)測定項目と分析対象試料②

- 前回は基本性状試験(⑨放射性Cs濃度の一部)、かさ密度を報告
- 今回はボーリング調査を含めて、すべての項目を報告

■ サンプルング調査・ボーリング調査による測定項目

測定データ項目	除去土壤		除染廃棄物			ボーリング調査		
	分別前	分別後 土壤	分別前	分別後		埋立 土壤	健全土	自然 土壤
				土壤	廃棄物			
試料対象数	56	56	112	112	112	8	5	5
基本性状試験 (①~⑧)*1	○	○	○	○	—	○	○	○
基本性状試験 (⑨放射性Cs濃度)	○	○	○	○	○	○	○	○
溶出特性試験*2	○	○	○	○	—	○	○	○
収着特性試験	○	○	○	○	—	○	○	○
かさ密度	○	—	○	—	—	—	—	—

*1) ①湿潤密度、②自然含水比、③土粒子密度、④粒度分布(重量分布)、⑤pH(水素イオン濃度)、⑥EC(電気伝導度)、⑦強熱減量、⑧熱勺減量

*2) ①放射性Cs(0.45μm MF)、②放射性Cs(限外ろ過)、③カリウム(0.45μm MF)、④アンモニア態窒素(0.45μm MF)、⑤濁度(遠心分離後上澄み液)

*3) ①分配係数(0.45μm MF)、②分配係数(限外ろ過)

(6)測定項目と分析対象試料③

- 除去土壌、除染廃棄物ともに、
「詳細調査」として、ランダムサンプリングを行った50試料
「追加調査」として、表面線量率があらかじめ定めた閾値を超えた試料
を対象とし、それぞれ「分別前」と「分別後」の試料を対象とした。
- 「埋立土壌」「健全土(覆土)」はボーリング調査により試料を採取。
- 「自然土壌」は埋立場所の周辺土壌(表層)を試料として採取。

分別 対象	分別前				分別後					ボーリング等		
	除去土壌		除染廃棄物		除去土壌 由来土壌		除染廃棄物 由来土壌		除染 廃棄物 由来 廃棄物	埋立 土壌	健全 土	自然 土壌
	詳細 調査*1	追加 調査*2	詳細 調査*1	追加 調査*2	詳細 調査*1	追加 調査*2	詳細 調査*1	追加 調査*2				
試料数	50	6*3	49*4	60*5	50	6*3	50	58*6	57*7	8	5*8	5

*1)ランダムサンプリングした試料

*2)表面線量率が設定した閾値よりも高かった試料

*3)1万Bq/kg超の可能性が高く、分別に着手しなかった1試料及び
詳細調査と重複している1試料の計2試料を除き、試料数は6。

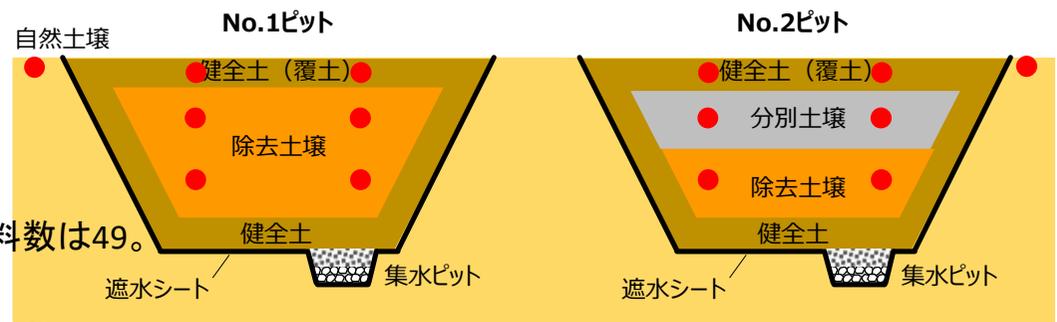
*4)ベニヤ板等が大部分で混合試料が採取出来ない1試料を除き、試料数は49。

*5)1万Bq/kg超の可能性が高く、分別に着手しなかった5試料及び
内容物がカーペット等で混合試料が採取出来ない2試料を除き、試料数は60。

*6)*5に加え、サンプル分析により1万Bq/kg超過したため分別を行わなかった2試料を除き、試料数は58。

*7)*6に加え、殆どが土壌で廃棄物が得られなかった1試料を除き、試料数は57。

*8)ボーリングに加え、事前に採取した1試料を含む。



(7) 実証事業の経過

手順1 掘り起こし



令和3年12月～令和4年3月

手順2 分別



令和4年3月～8月頃

手順3 埋立



令和4年8月頃～10月

手順4 モニタリング



令和4年10月～令和5年10月

(実証事業着手前)



※R3年12月撮影

(作業後)



※R4年11月撮影

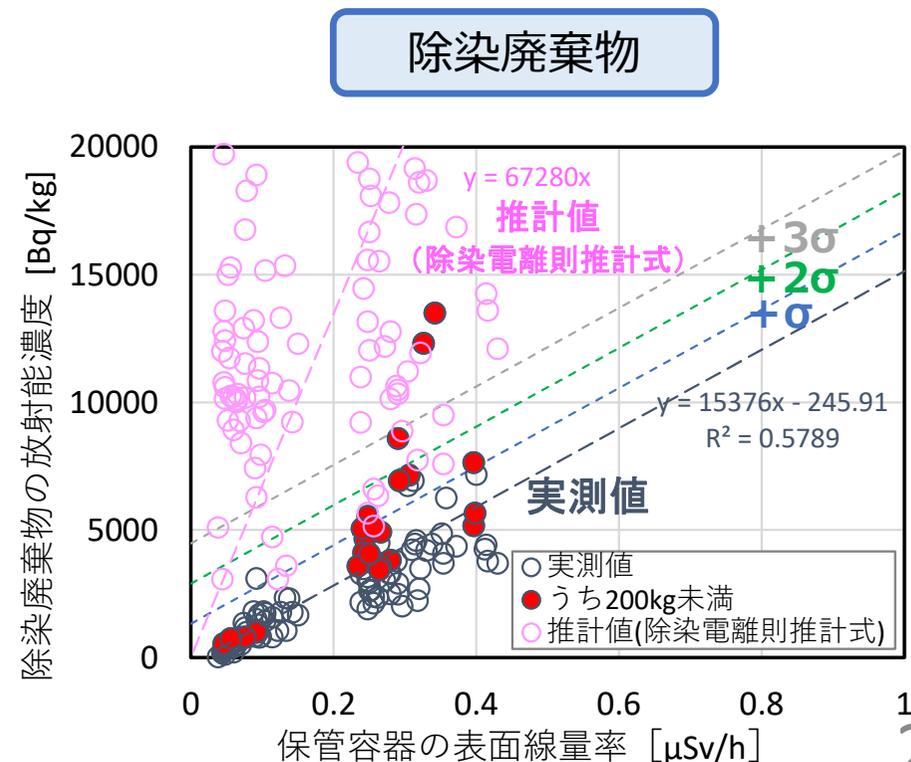
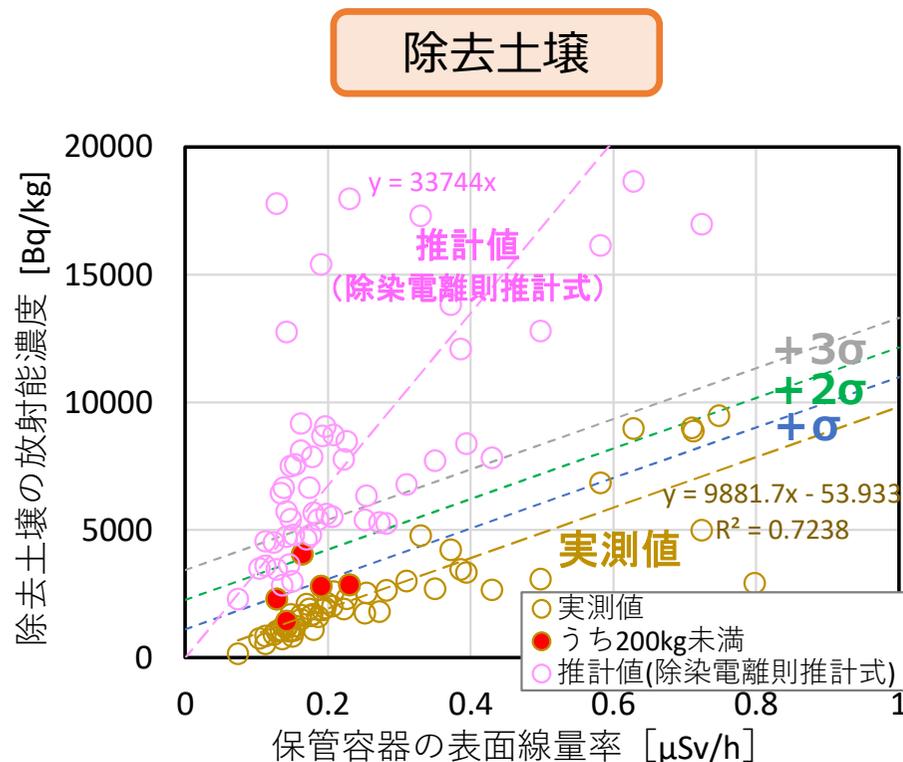
1. 除去土壌の処分と現状について
2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の
実証事業の概要
- 3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃
棄物の分別**
4. 除去土壌等の性状分析結果
5. 実証事業のモニタリング結果
6. 実証事業の主な結果
7. その他

(1) 表面線量率と放射性Cs濃度の関係

- 埋立対象物の放射能濃度を推定するため、容器の表面線量率と放射能濃度の関係を調べたところ、容器の表面線量率と放射性Cs濃度には一定の関係性が認められた。
- 除去土壌と除染廃棄物ではその関係性に違いが見られ、特に重量が小さい容器など、回帰式から大きく外れる検体もあった。
- 閾値を超過した試料は、測定結果のばらつきが大きくなる傾向があった。

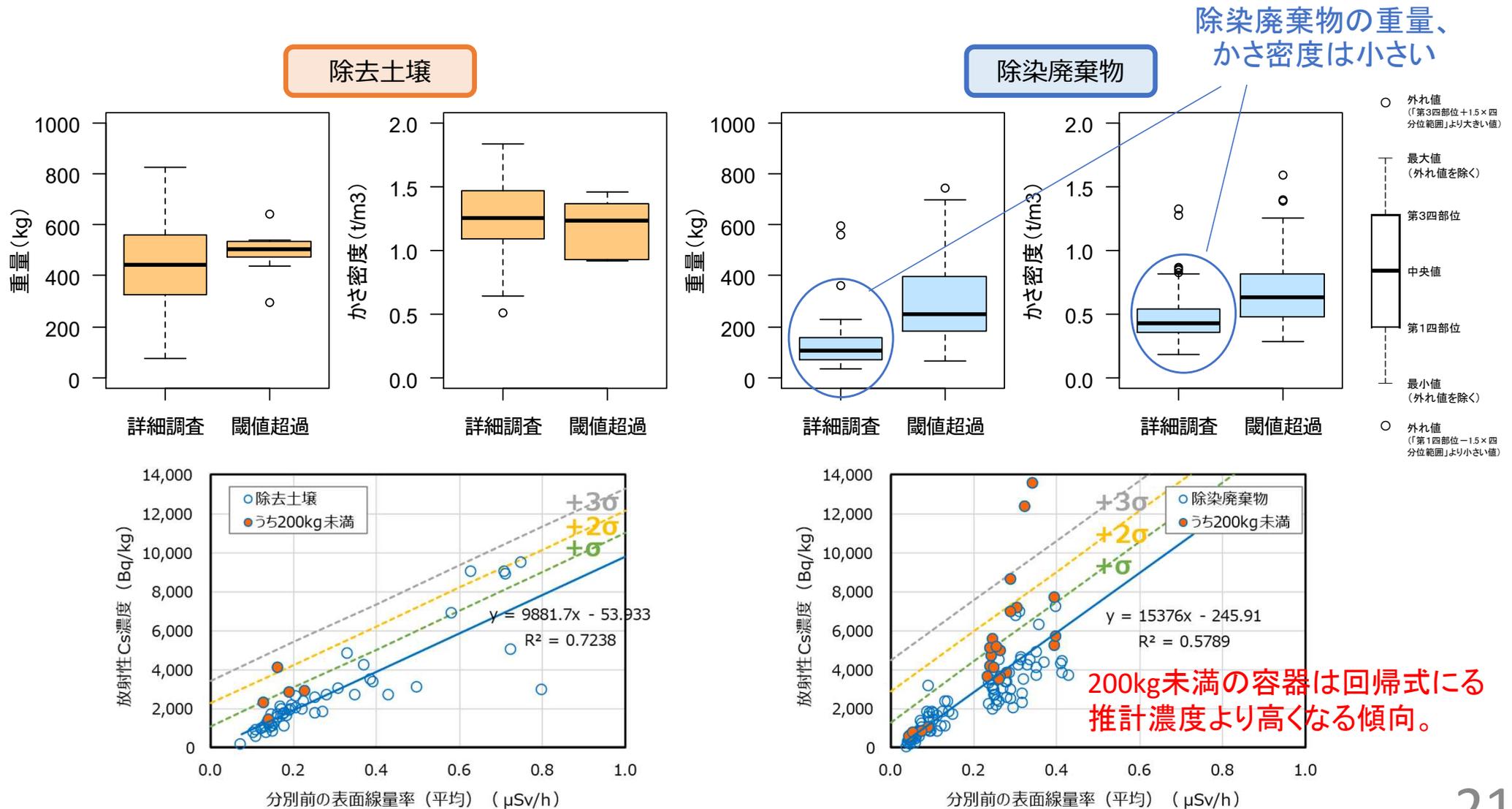
詳細調査100袋に加え、表面線量率から比較的高濃度と推計される容器についても追加で放射性Cs濃度の測定を実施(その際、値のばらつきを考慮し、閾値を6,000 Bq/kg 以上相当に設定)

- 除染電離則推計式による推計値と比べて、実測値は小さいものであった。



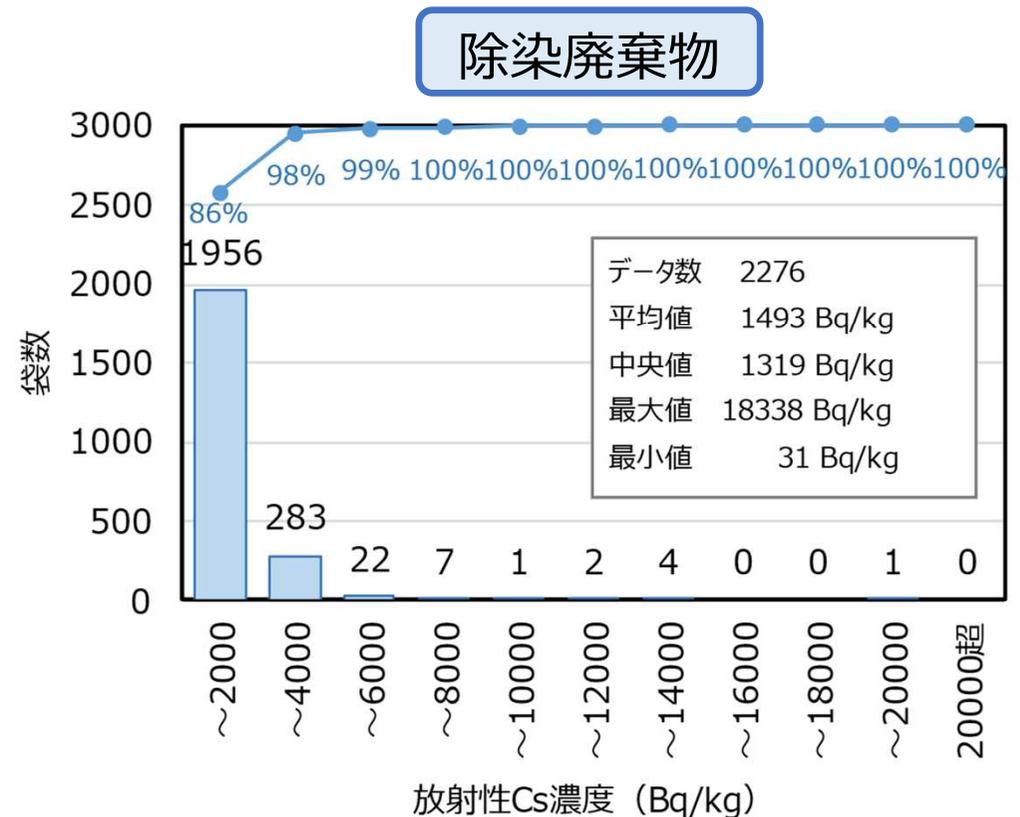
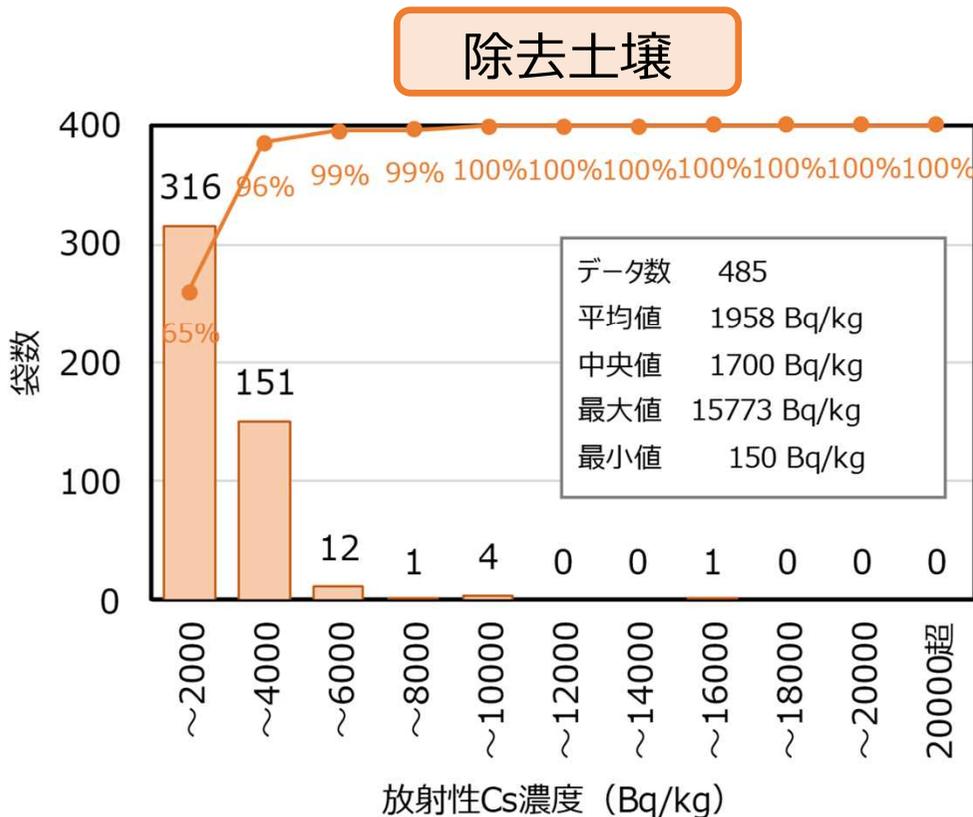
(2) 放射性Cs濃度の推計と重量との関係

- 除去土壌と比べて除染廃棄物は、重量やかさ密度が非常に小さくなっている。
- 特に除染廃棄物において、重量(分別前)が小さい(200kg未満)容器では、放射性Cs濃度は回帰式による推計濃度より高くなる傾向が見られたことから、重量の小さい容器の濃度推計には注意を要する。



(3) 除去土壌等の放射能濃度

- 上滝仮置場に保管されていた除去土壌(480袋)及び除染廃棄物(2,276袋)について、
 - 全袋について表面線量率を測定
 - うち165袋については放射能濃度を測定
- 表面線量率と放射能濃度の関係から、除去土壌と除染廃棄物の放射能濃度を推計。
- その結果、本事業で取り扱った除去土壌の放射能濃度は平均値 1,960 Bq/kg、除染廃棄物の放射能濃度は平均値 1,490 Bq/kg と推計。



※表面線量率より、10,000Bq/kgを超える可能性があるとして推計された除去土壌1袋及び除染廃棄物5袋並びに放射性Cs濃度の測定結果より10,000Bq/kgを超えた除染廃棄物2袋については分別を行わず保管。
 ※除去土壌については、昨年度予備調査で測定した5試料の値も含む

(4) 分別作業の様子

- 処分を効率的に進めるため、除去土壌と除染廃棄物の袋の中身を確認し、それぞれ「土壌」「腐葉土」「枝葉・草木」などに分別。

内容物の確認



試料採取



分別 i _破袋作業



分別 ii _分別開始



分別 iii _分別後の土壌



(5) 分別物の概要

土壌	腐葉土
193 t (約 145 m ³)	238 t (約 433 m ³)
	

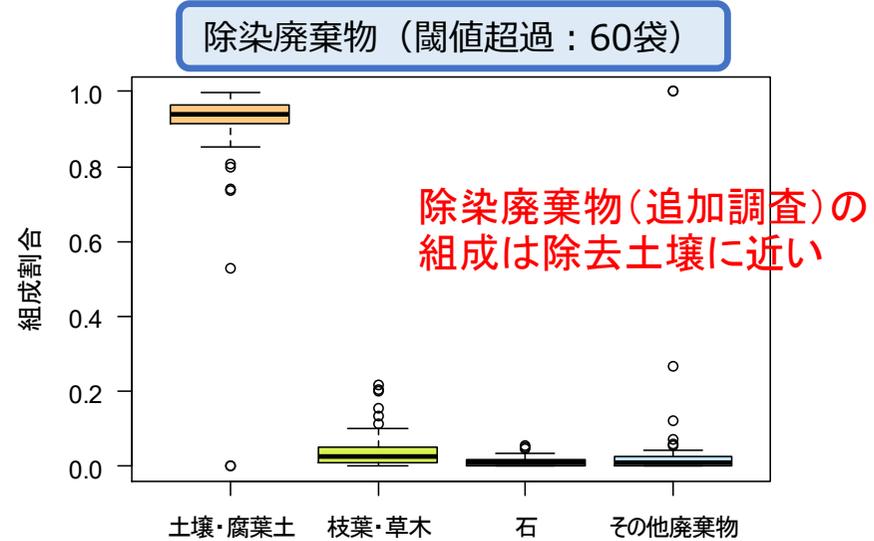
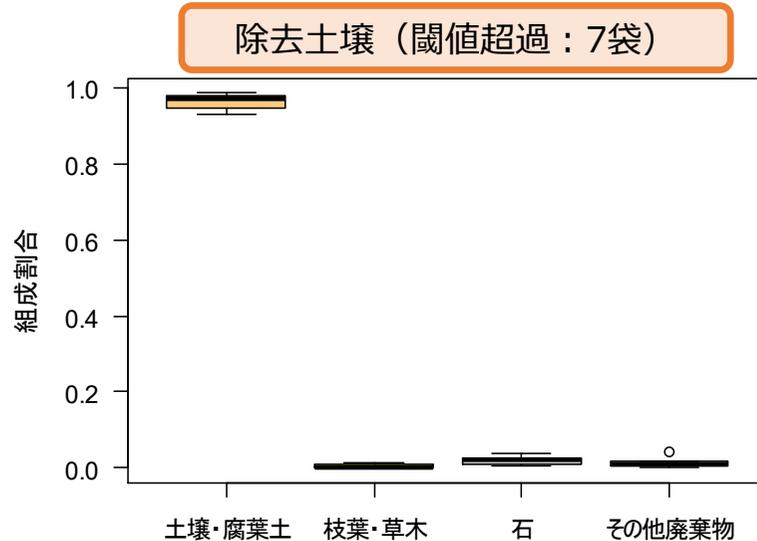
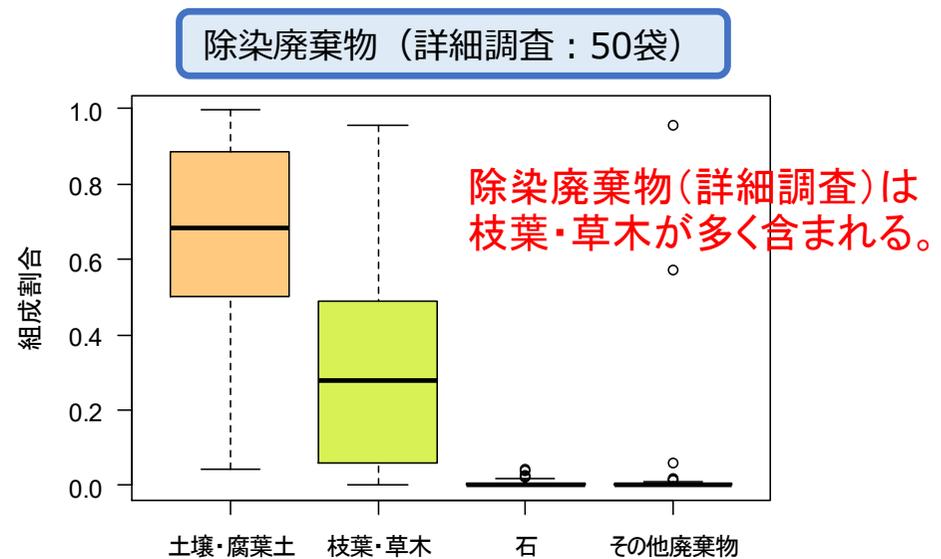
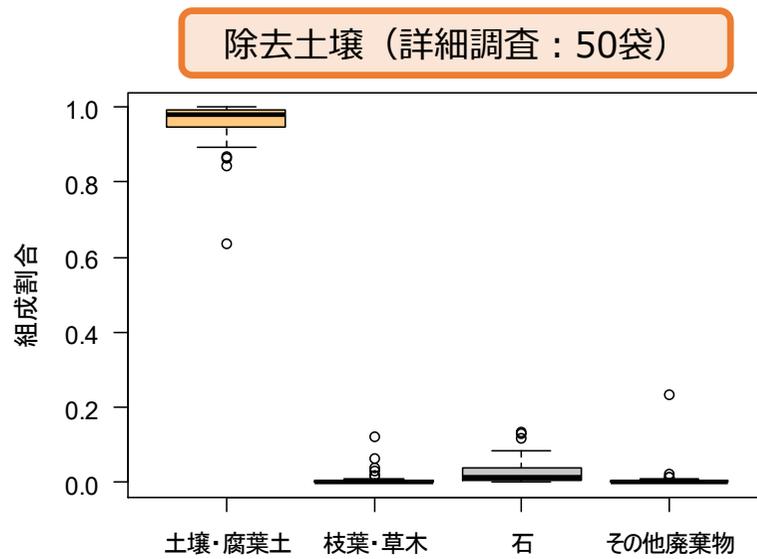
<比重の設定>

組成	比重	設定根拠
土壌	1.33	R2丸森町予備調査（室内試験湿潤密度）
腐植土	0.55	R2丸森町予備調査（室内試験湿潤密度）
枝葉・草木	0.40	R3丸森町実証事業（チップ化した枝葉・草木のかさ密度の平均）
石	2.65	丸森町に多い花崗岩の比重を採用
その他廃棄物	0.35	「廃プラスチック類」の重量換算係数を採用（JWNET）

枝葉・草木	石 (大きい石を含む)	その他 (金属、プラスチック、コンクリート片等)
126 t (約 315 m ³)	8 t (約 3 m ³)	10 t (約 29 m ³)
		

(6) 除去土壌・除染廃棄物の組成

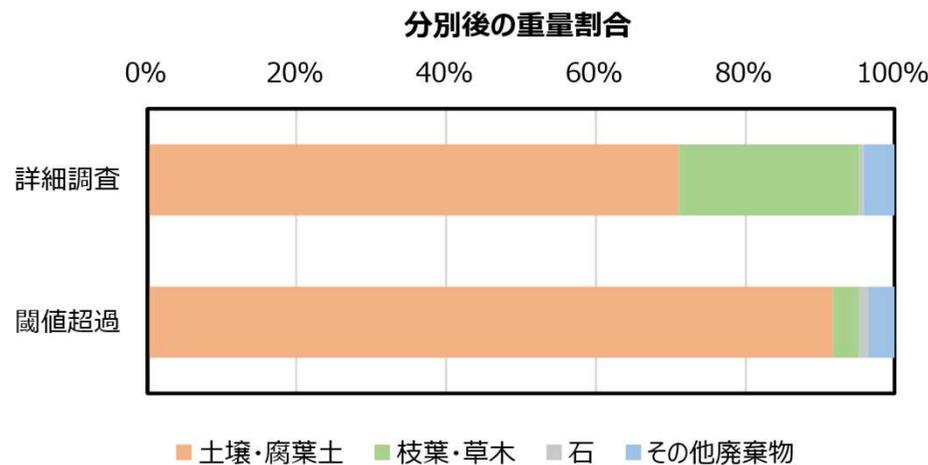
- 除去土壌の組成は、ほぼ土壌・腐葉土であり、枝葉・草木等の混入はほとんどない
- 除染廃棄物の組成は、土壌・腐葉土が多く、枝葉・草木はそれより少ない
- 閾値を超過した除染廃棄物の組成は、ほぼ土壌・腐葉土であった



(7) 除染廃棄物の分別による放射性Csの存在割合

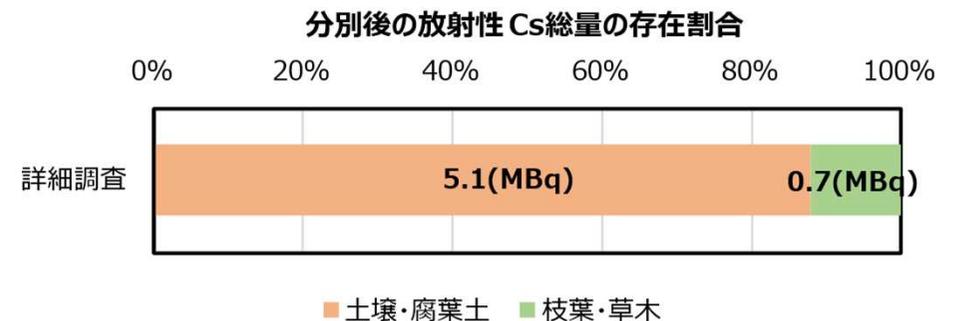
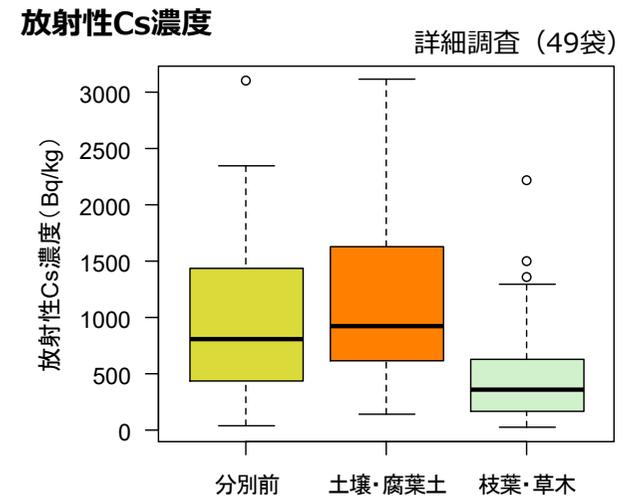
- 除染廃棄物(詳細調査)の分別により、分別後の草木の重量は分別前の除染廃棄物の重量の約30%となった。また、閾値超過した除染廃棄物では分別後の草木の重量は分別前の除染廃棄物の重量の約10%であった
- 放射性Csの総量では、分別後の土壌・腐葉土に分別前の約90%が、枝葉・草木に約10%が存在する

分別後の重量割合



	分別後重量 (kg)				合計
	土壌・腐葉土	枝葉・草木	石	その他廃棄物	
詳細調査 (50袋)	4,160 (71%)	1,420 (24%)	35 (1%)	232 (4%)	5,847 (100%)
閾値超過 (60袋)	15,597 (92%)	583 (3%)	241 (1%)	577 (3%)	16,998 (100%)

分別後の放射性Cs総量の存在割合

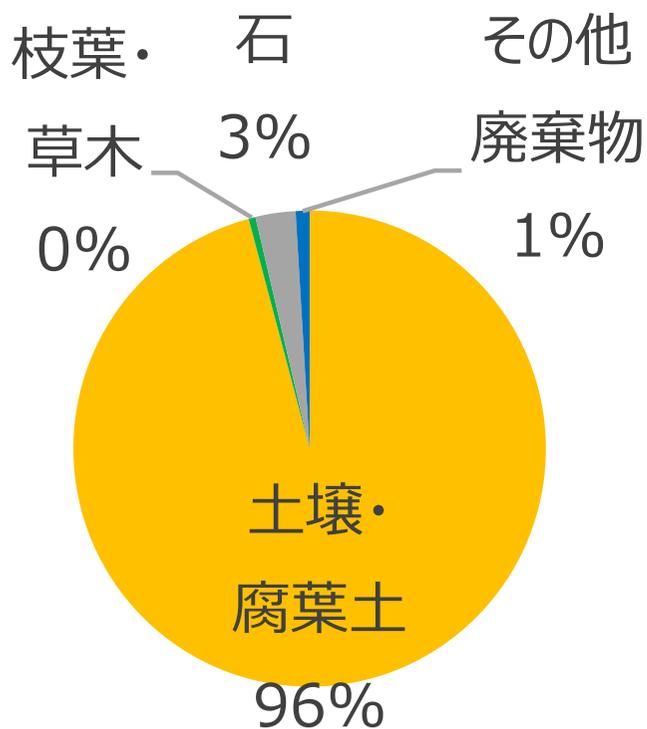


放射性Csの約90%は分別後の「土壌・腐葉土」に存在

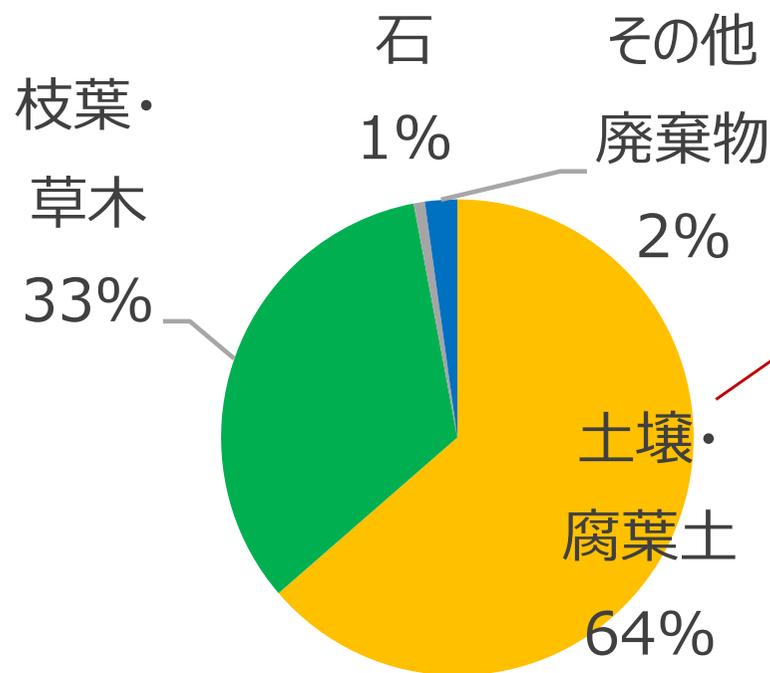
(8) 除去土壌・除染廃棄物の分別の結果

- 上滝仮置場に保管されていた除去土壌(計480袋)及び除染廃棄物(計2,276袋)を分別。
- 分別の結果、除染廃棄物には「土壌・腐葉土」の成分が多く含まれていた。
- 今回の埋立実証事業では、除去土壌に加え、除染廃棄物から分別した「土壌・腐葉土」を埋立処分を行った場合についても、周辺環境等への影響を調査。

除去土壌の分別結果



除染廃棄物の分別結果

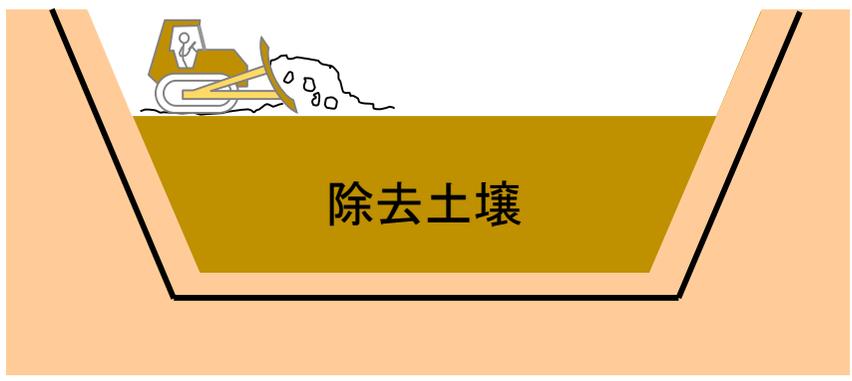
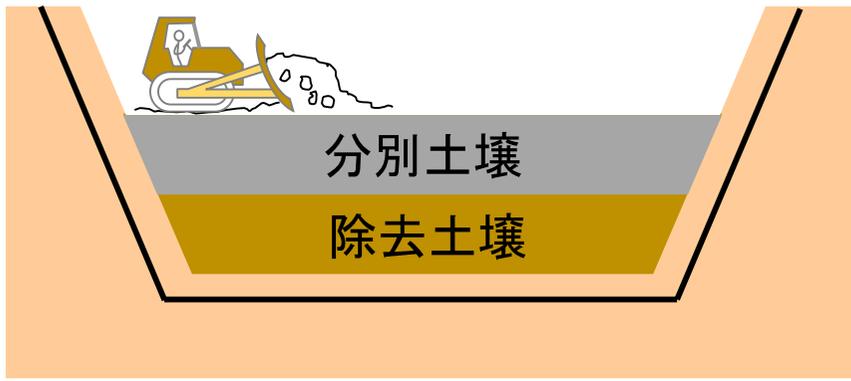


除染廃棄物から分別した「土壌・腐葉土」を埋立処分した場合の影響も調査

(9) 除去土壌及び分別した「土壌・腐葉土」の埋立方法

- 除去土壌に加えて、除染廃棄物から分別した「土壌・腐葉土」を埋立処分した場合の影響等を確認するため、「土壌・腐葉土」についても埋立を実施。
- これまでの実証事業との比較の観点からNo.1ピットには除去土壌のみを埋立
- No.2ピットには、現場での作業効率等の観点から、交互/層状方式を採用。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

埋立方法

ピット	No.1	No.2
埋立対象物	除去土壌: 88.7m ³	除去土壌: 44.3m ³ 分別土壌: 44.3m ³
埋立方法		

※埋立に使用しなかった分別後の土壌は保管

(10) 分別した「枝葉」のチップ化

- 分別した枝葉は、減容を目的としてチップ化

①振動篩機（スクリーン目開40mm）を通過しなかった枝葉をトレイに集積



②枝葉を木材破砕機に投入



③破砕機より排出するチップ

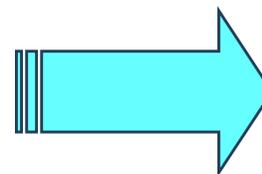


④チップをフレコン袋詰め



チップ化の減容化効果

チップ化前	チップ化後
256袋	151袋



減容化率: 約60%



30袋を分析

チップ化後の枝葉等の除染廃棄物は、放射性物質濃度の平均値 197 Bq/kg、袋の表面線量率の平均値 0.06 μ Sv/h となり、放射性物質の影響の小さな物に分別できたといえる。

1. 除去土壌の処分と現状について
2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の
実証事業の概要
3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃
棄物の分別
- 4. 除去土壌等の性状分析結果**
5. 実証事業のモニタリング結果
6. 実証事業の主な結果
7. その他

(1) 土質的性状

- 丸森地区の地質は主に**角閃石黒雲母花崗閃緑岩**であり、深成岩・火成岩に分類される花崗岩である。花崗岩は風化すると真砂土になる。
- なお、雲母は放射性Csを固定する能力が高いとされている。
- 除染を行った場所は必ずしも上記地質の土壌が表層に存在していたとは限らないが、健全土は上記地質に近い土壌と考えられる。

(1) 土質的性状

区分	採取状況・土質的性状	
<p>除去土壌・ 除染廃棄物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・上滝仮置場に保管されている除去土壌・除染廃棄物は、丸森町丸森地区の宅地等の除染によって生じた土壌等。 ・丸森地区の地質は主に角閃石黒雲母花崗閃緑岩であり、<u>深成岩・火成岩に分類される花崗岩</u>。(花崗岩は風化すると真砂土になる) ・なお、雲母は放射性Csを固定する能力が高いとされている。 <p>(写真)産業技術総合研究所 地質調査総合センター (https://www.gsj.jp/Muse/hyohon/rock/r56929.html)</p>	
<p>埋立土壌 (No.1ピット)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「除去土壌」を埋立処分したNo.1ピットから、除去土壌の埋立深度をボーリングにより採取。 	
<p>埋立土壌 (No.2ピット)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「除染廃棄物から分別した土壌」と「除去土壌」を2層に埋立処分したNo.2ピットから、分別土壌と除去土壌の埋立深度をボーリングにより採取。 	
<p>健全土(覆土)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・健全土は<u>現地発生土</u>であり、仮置場予定地の下層にあった土壌。 ・ボーリングにより覆土部分に施工された健全土を採取。 	
<p>自然土壌</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・仮置場の敷地境界近傍の表層。 ・植物やリターを除去し、5cm深にコアで土壌を抜いて試料採取。 ・「自然土壌」は表土を採取したものであるが、仮置場設置の際に切り盛り等が行われていることから、原子力発電所事故の影響を直接受けた表土ではない。 	

(1)土質的性状……ボーリング調査による特徴

■埋立土壌(No.1ピット)

試料	No.1ピット①	No.1ピット②
土質区分	シルト質砂	シルト質砂
色調	暗褐色 (-1.0m付近黒褐帯びる)	暗褐色
記事	含水中位。 締まりはやや密。 所々にΦ2mm～15mm大の亜角～亜円礫混じる。	含水中位。 締まりはやや密。 所々にΦ2mm～20mm大の亜角～亜円礫混じる。

■埋立土壌(No.2ピット)

試料	No.2ピット①上	No.2ピット①下	No.2ピット②上	No.2ピット②下
土質区分	腐植土	シルト質砂	腐植土	シルト質砂
色調	黒褐	暗褐色 (-1.15m以深、色調不均一)	黒褐	暗褐色 (色調不均一)
記事	含水中位。 粘性弱位。 やや硬質。	含水中位。 締まりはやや密。 所々にΦ2mm～20mm大の 亜角～亜円礫混じる。 -1.2m付近、プラスチック片混 じる	含水中位。 粘性弱位。 やや軟質。	含水中位。 締まりはやや密。 所々にΦ2mm～20mm大の 亜角～亜円礫混じる。 所々に腐植土混じる。

■健全土

試料	No.1ピット①	No.1ピット②	No.2ピット①	No.2ピット②
土質区分	礫混じり砂	礫混じり砂	礫混じり砂	礫混じり砂
色調	灰褐	灰褐	灰褐	灰褐
記事	含水中位。 細砂主体。 締まりはやや密。 全体にΦ2mm～10mm大の 亜角～亜円礫混じる。	含水中位。 細砂主体。 締まりはやや密。 全体にΦ2mm～10mm大の 亜角礫混じる。	含水中位。 細砂主体。 締まりはやや密。 全体にΦ2mm～10mm大の 亜角礫混じる。	含水中位。 細砂主体。 締まりはやや密。 全体にΦ2mm～10mm大の 亜角礫混じる。

(2) 基本性状試験

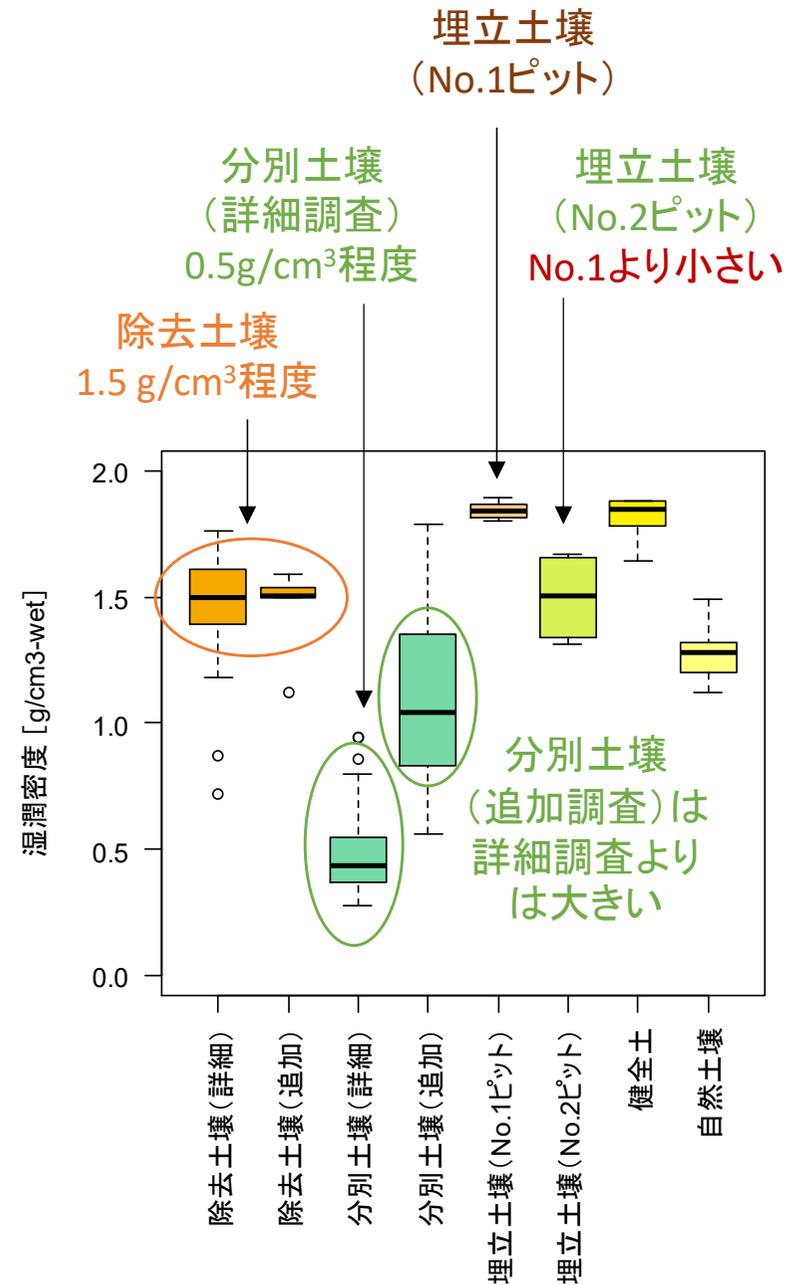
- 除染廃棄物から分別した土壌を埋立処分することを念頭に、除去土壌から分別した土壌(以下、「除去土壌」と示す。)と、除染廃棄物から分別した土壌(以下、「分別土壌」と示す。)について、以下の基本性状試験を実施し、除去土壌と分別土壌の基本的な性状の違いを確認する。

基本性状の試験項目	指標の意味
① 湿潤密度	土の単位体積質量。有機物が混入していると小さな値を示す。
② 自然含水比	土粒子の質量に対する土中の水の質量の比。粒径が細かい土ほど大きな含水比を示す。
③ 土粒子密度	土粒子部分の単位体積質量。有機質が混入していると小さな値を示す。
④ 粒度分布(重量分布)	土を構成する土粒子の粒径分布。土の力学的性質を概略推定することができる。
⑤ pH(水素イオン濃度)	土を水で溶いた水溶液の酸性、アルカリ性の度合。
⑥ EC(電気伝導度)	土懸濁液の電気の通しやすさ。溶液中の電解質の濃度が高いほど電気伝導率は大きくなる。
⑦ 強熱減量	高温(750℃)で加熱した際に揮散するものの質量減少率。土中の有機物・結晶水等の指標となる。
⑧ 熱しゃく減量	強熱(600℃)したときの質量減少率を表す値。焼却物が完全燃焼したかどうかの指標となる。
⑨ 放射性セシウム濃度	単位重量当たりの土壌に含まれる放射性セシウムの量。

(2) 基本性状試験

① 湿潤密度

- 土の単位体積質量。有機物が混入していると小さな値を示す。
- 除去土壌の湿潤密度は、一般的な土 ($1.6 \sim 2.0 \text{g/cm}^3$) とほぼ同程度であった。
- 一方、分別土壌の湿潤密度は小さく、高有機質土 ($0.8 \sim 1.3 \text{g/cm}^3$) よりもさらに小さい値を示すものが多かったことから、有機物の混入量が多いと考えられる。
- 分別土壌を埋立処分したNo.2ピットの湿潤密度は大きくなるが、除去土壌を埋立処分したNo.1ピットよりは小さくなっている。

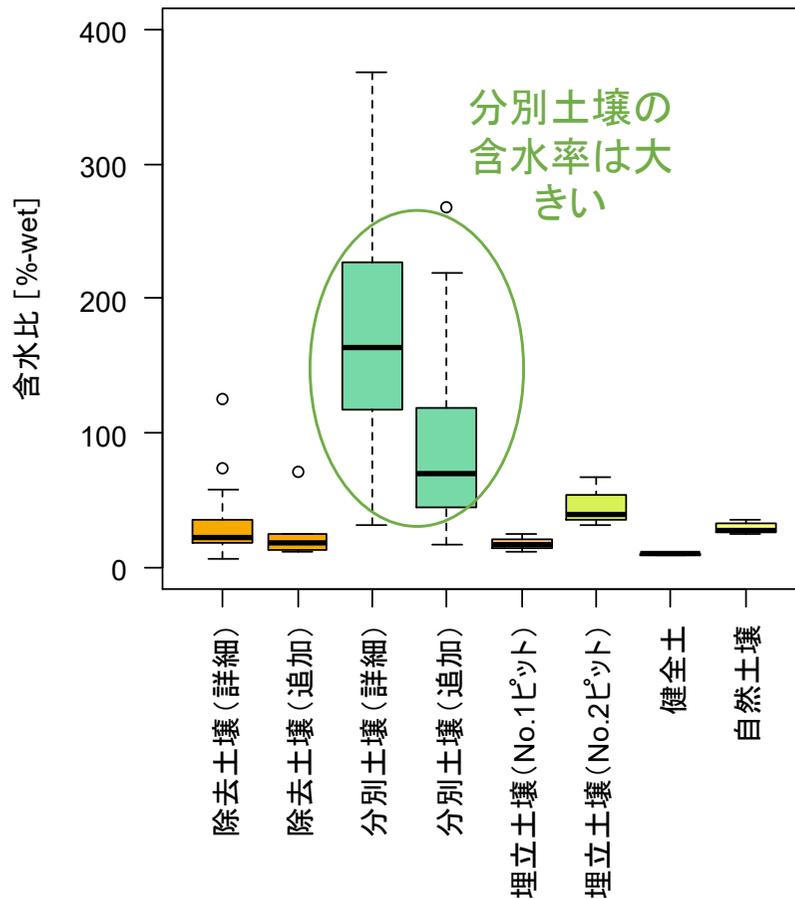


(2) 基本性状試験

② 自然含水比

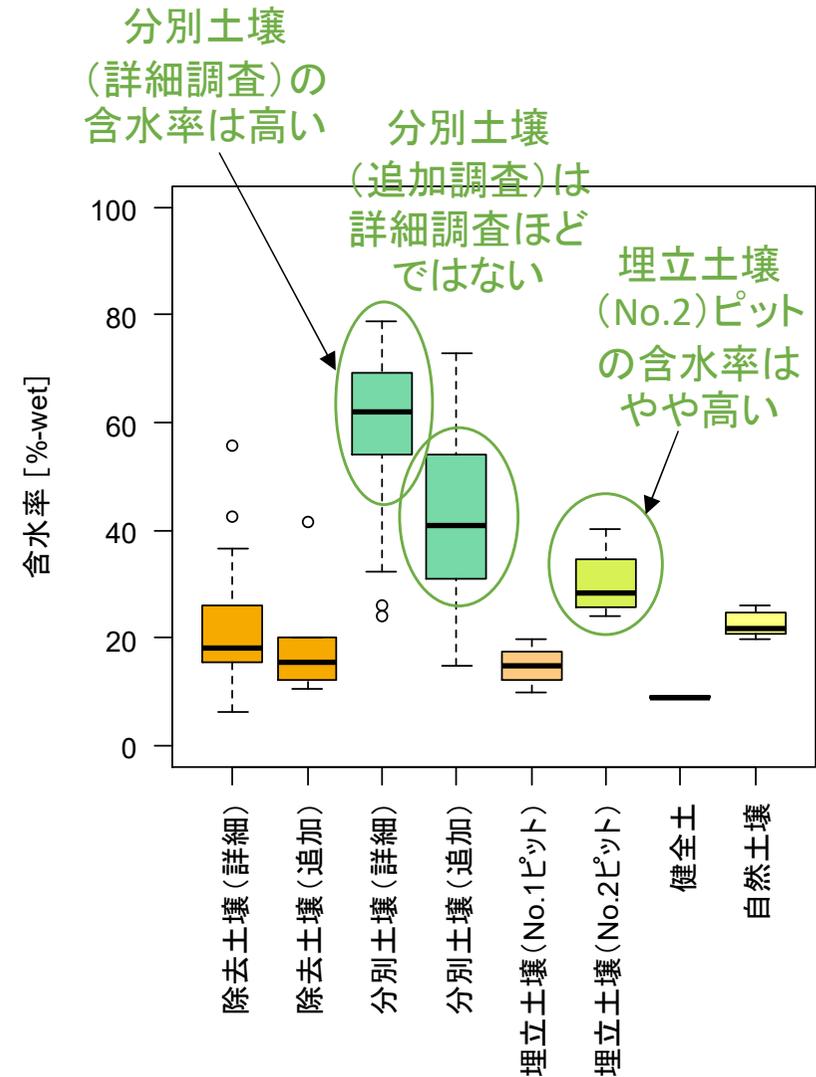
(= 水の質量 / 土粒子の質量 × 100)

- 土粒子の質量に対する土中の水の質量の比。粒径が細かい土ほど大きな含水比を示す。
- 分別土壤の自然含水比は非常に大きく、草木等の腐植により粒径が細かくなったものと考えられる。



(参考) 含水率

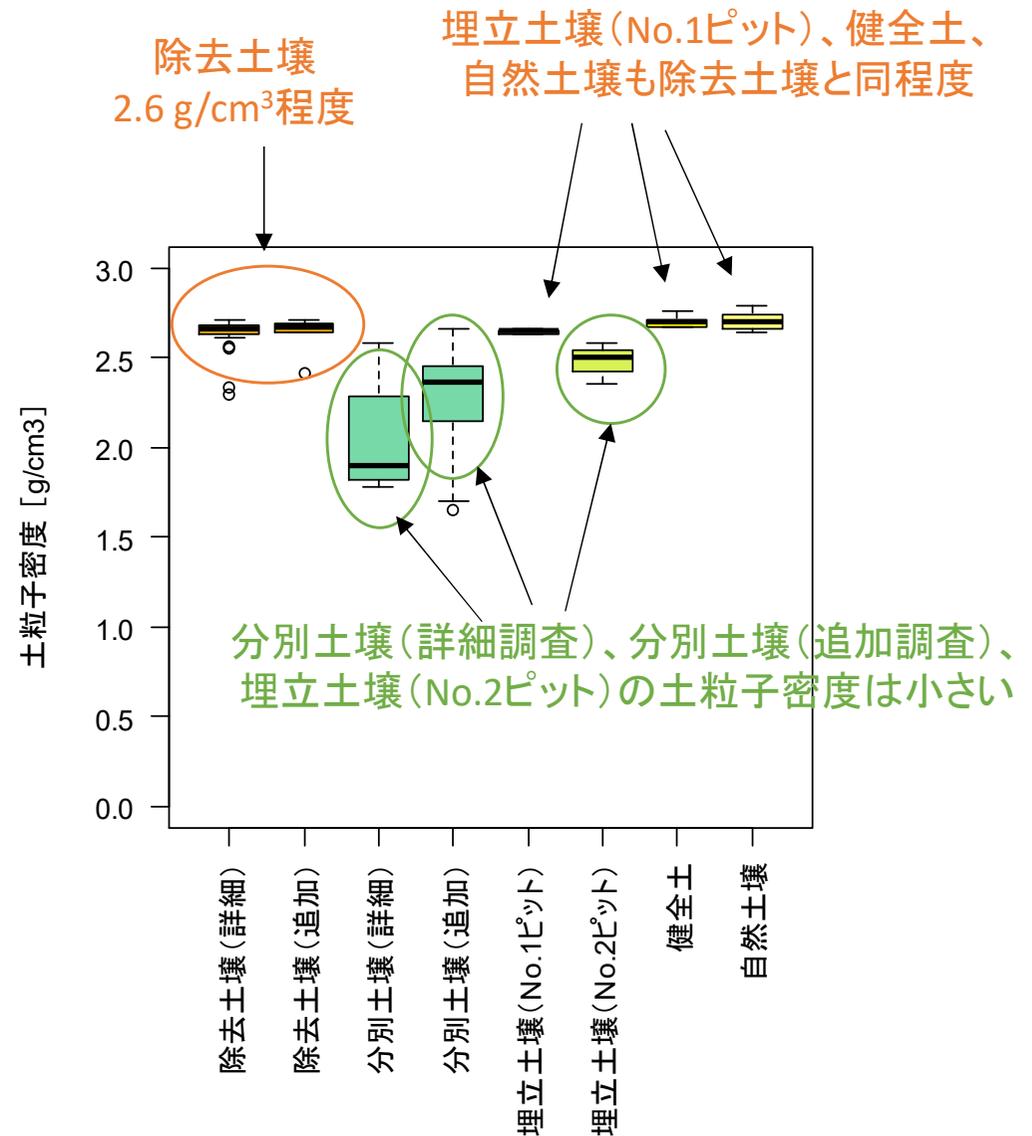
(= 水の質量 / (水と土粒子の質量) × 100)



(2) 基本性状試験

③ 土粒子密度

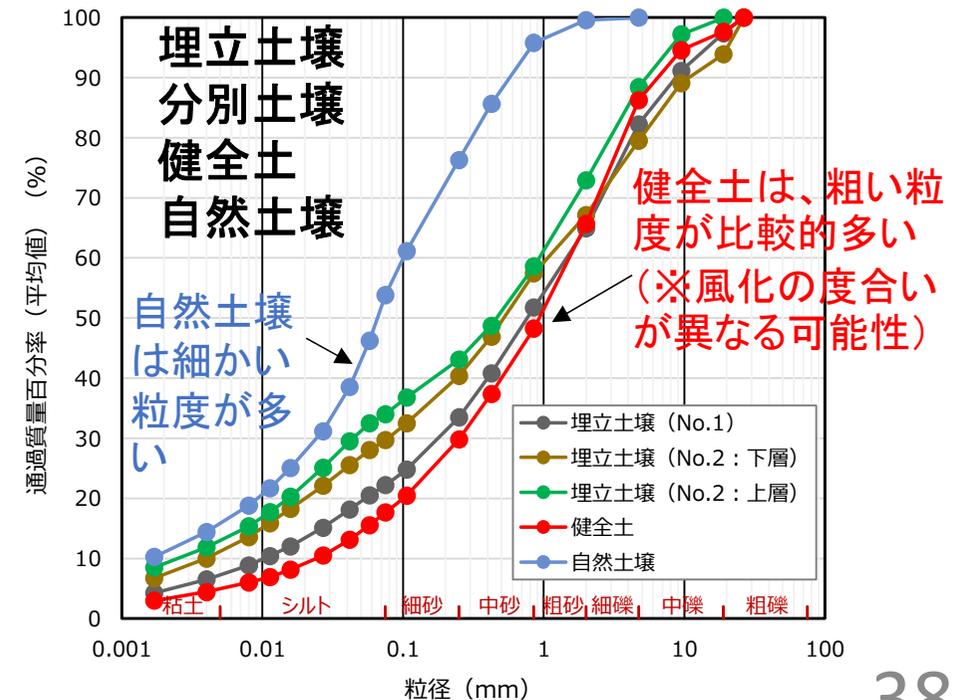
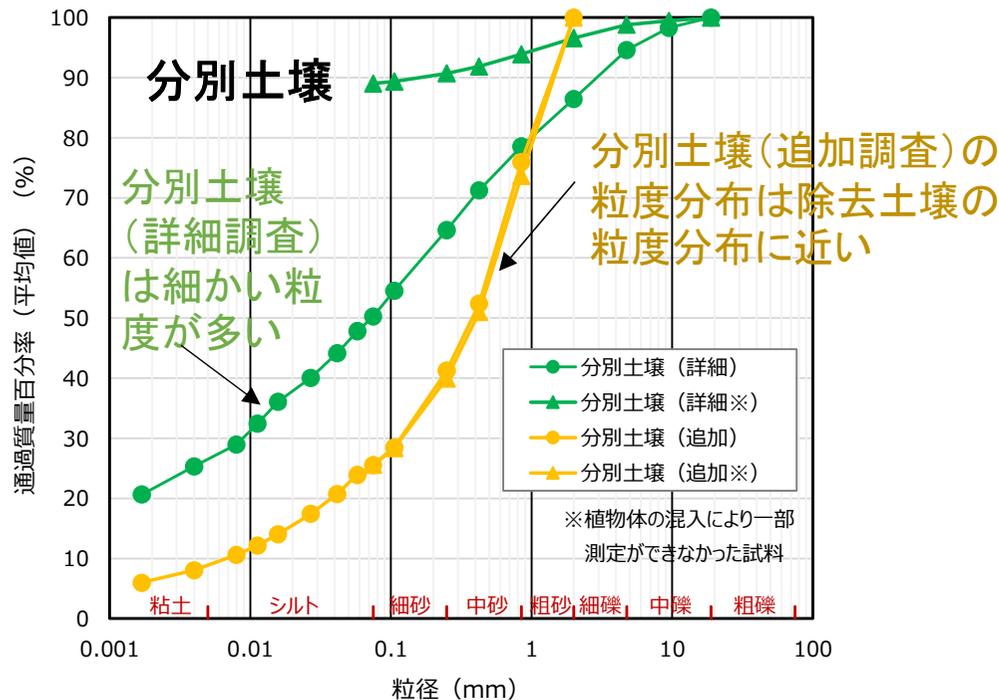
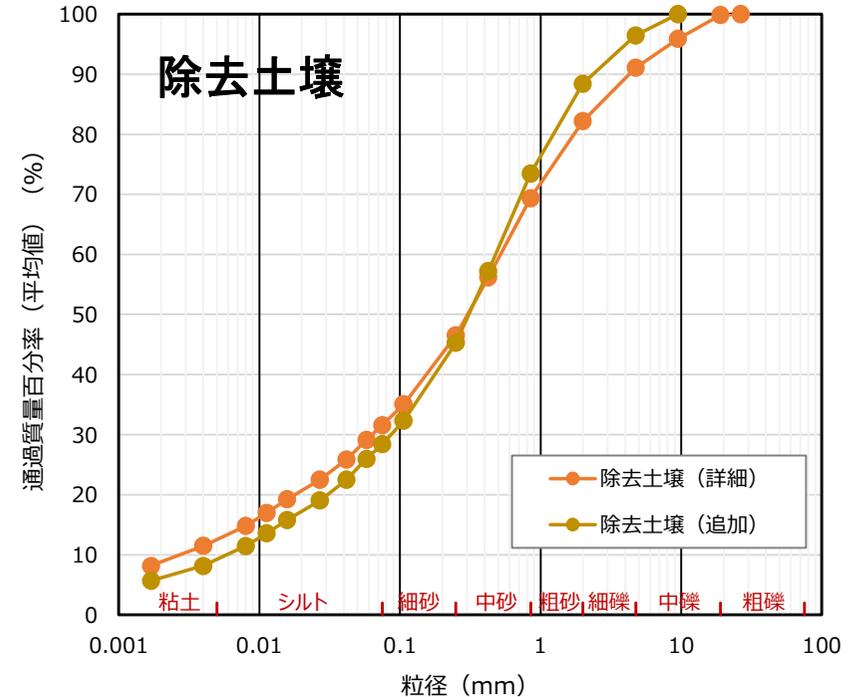
- 土粒子部分の単位体積質量。有機質が混入していると小さな値を示す。
- 除去土壌の土粒子密度は、一般的な土 ($2.6 \sim 2.7 \text{g/cm}^3$) と同程度であった。
- 一方、分別土壌の土粒子密度は小さく、高有機質土 ($1.4 \sim 2.3 \text{g/cm}^3$) とほぼ同程度であったことから、有機物の混入量が多いと考えられる。



(2) 基本性状試験

④ 粒度分布(平均値)

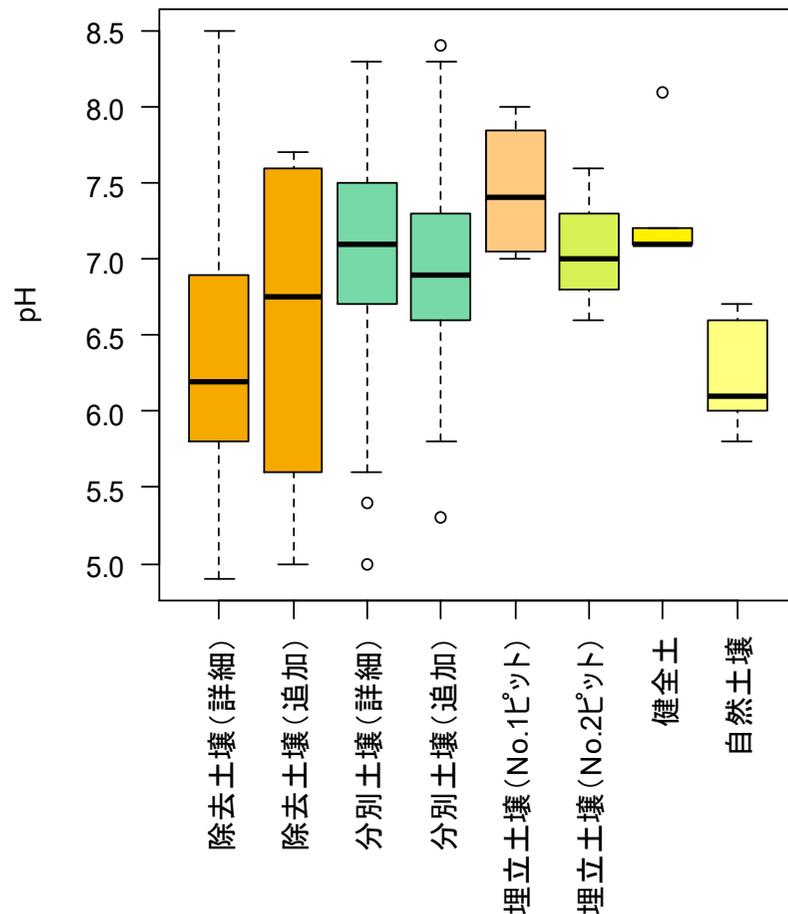
- 土を構成する土粒子の粒径分布。
- 分別土壤は除去土壤より細かい粒度が多い。
- 除去土壤と分別土壤(追加調査)はほぼ同様の粒度分布であり、埋立土壤もそれらに近い。
- 自然土壤は細かい粒度が比較的多くっており、採取深度の違いによる風化の影響の度合いが異なっている可能性が考えられる。



(2) 基本性状試験

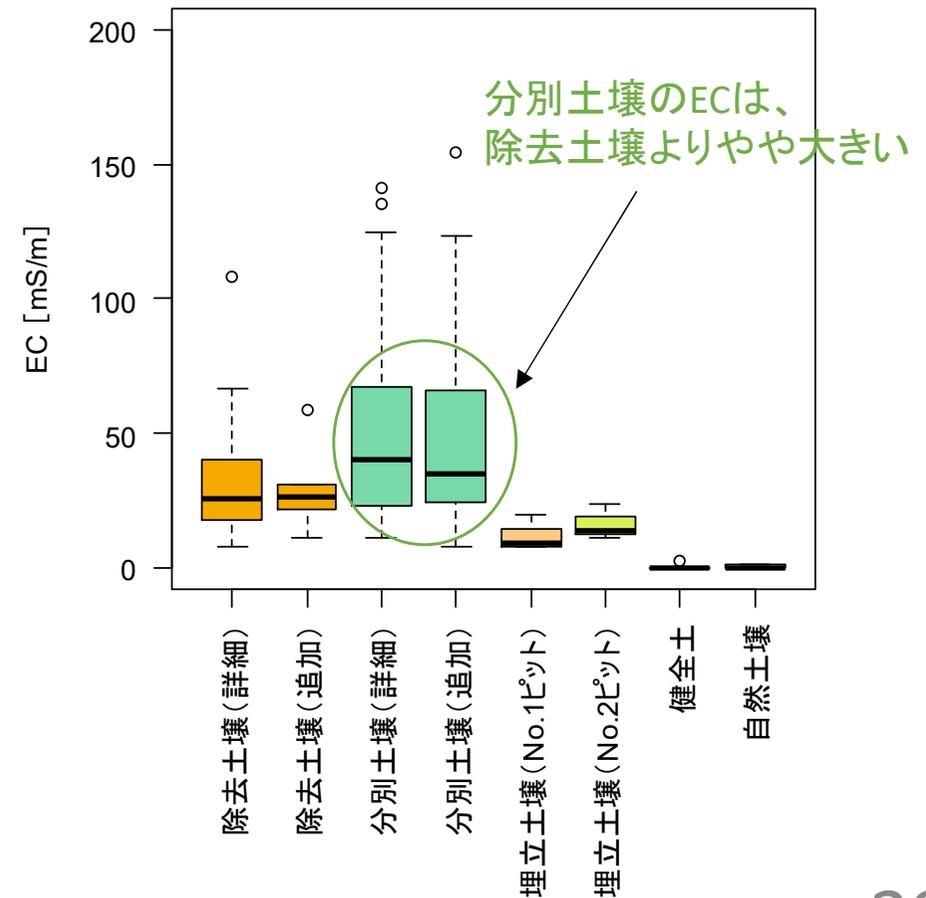
⑤ pH(水素イオン濃度)

- 土懸濁液の酸性、アルカリ性の度合。
- 除去土壌のpHはばらつきがあり、除染を行った場所の違いによる可能性が考えられる。
- 分別土壌は中性からややアルカリ性を示した。



⑥ EC(電気伝導度)

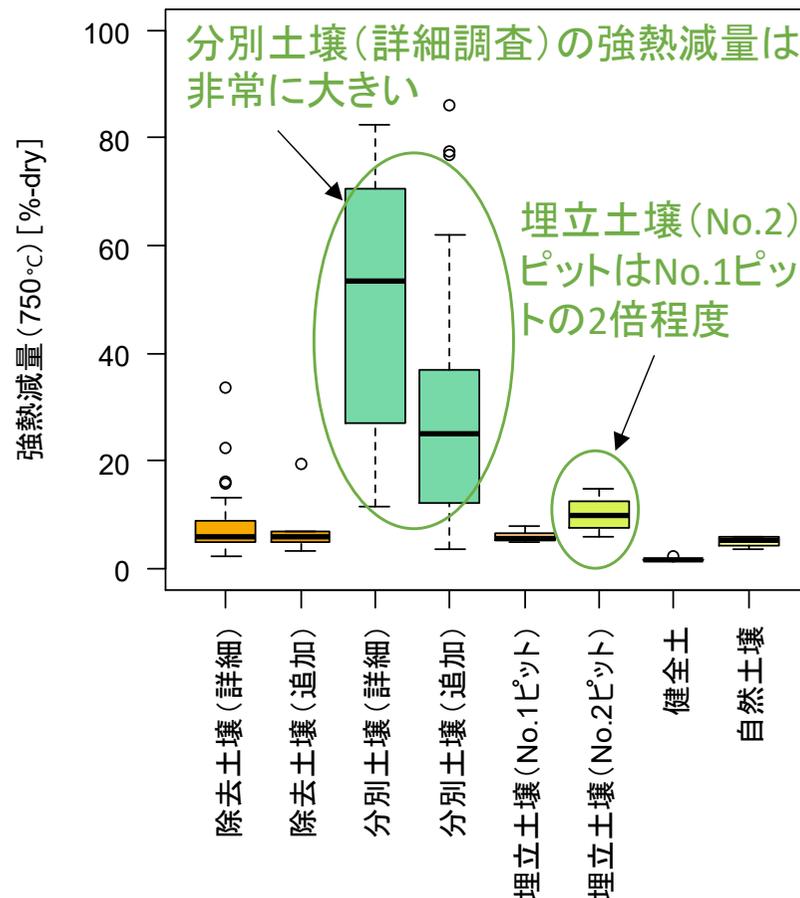
- 土懸濁液の電気の通しやすさ。溶液中の電解質の濃度が高いほど電気伝導率は大きくなる。
- 分別土壌のECは除去土壌よりやや大きく、草木等の腐食によって生じた電解質(イオン)の影響と考えられる。



(2) 基本性状試験

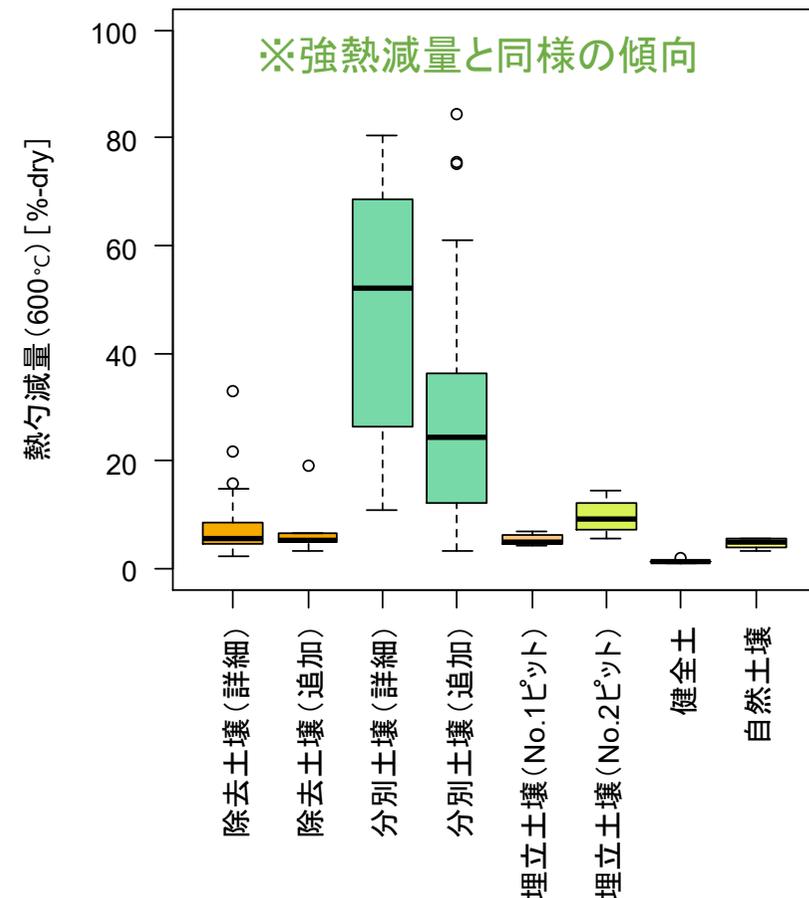
⑦ 強熱減量(750°C)

- 高温(750°C)で加熱した際に揮散するものの質量減少率であり、土壌や鉱物中に含まれる揮発性物質(主に有機物)の指標。
- 分別土壌の強熱減量は非常に大きく、有機物の混入量が多いと考えられる。



⑧ 熱しゃく減量(600°C)

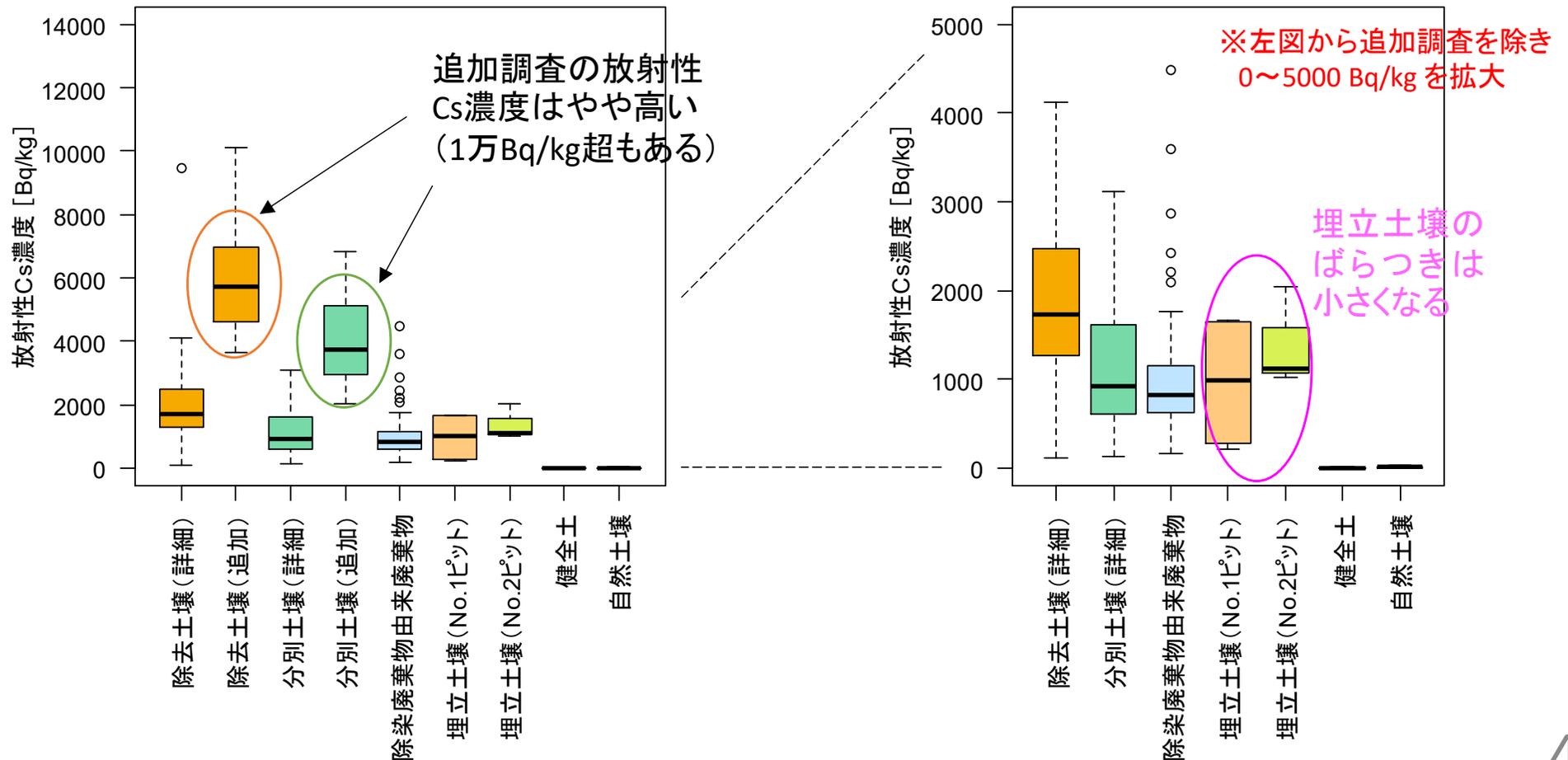
- 強熱(600°C)したときの質量減少率であり、焼却物が完全燃焼したかどうかの指標。
- 分別土壌の熱しゃく減量は非常に大きく、有機物の混入量が多いことが要因と考えられる。



(2) 基本性状試験

⑨ 放射性Cs濃度

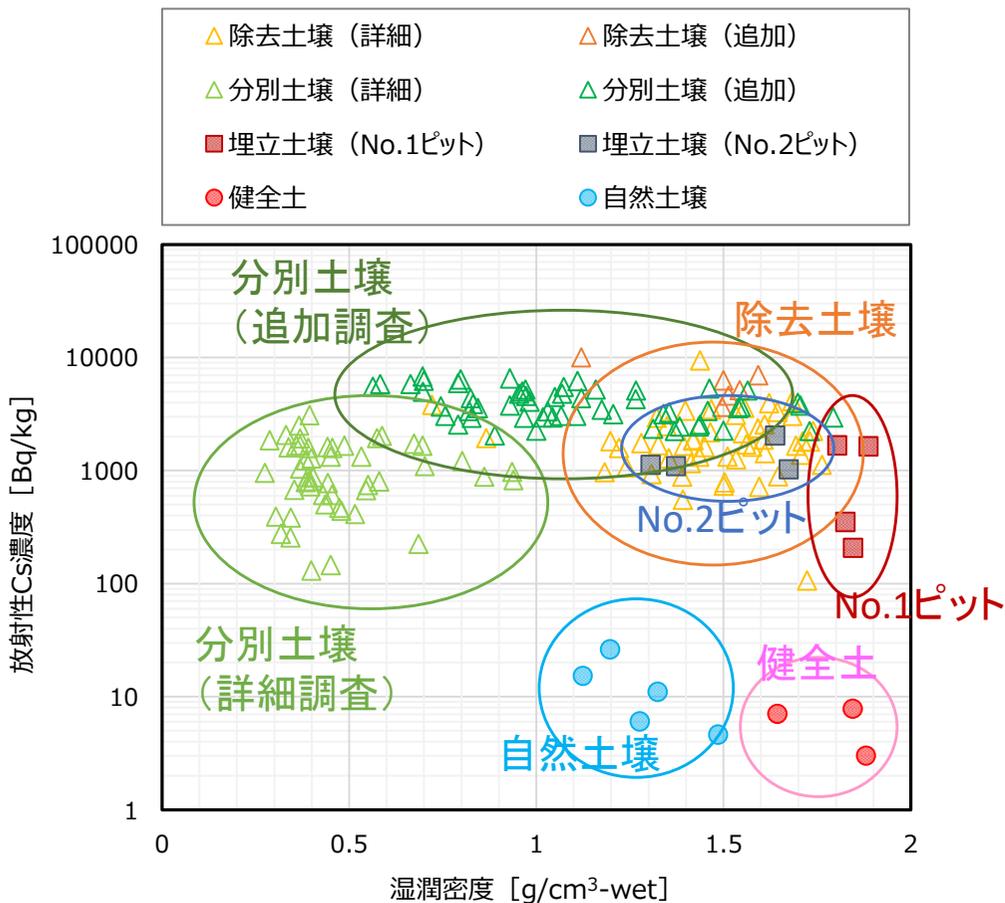
- 詳細調査では除去土壌は2,000 Bq/kg程度、分別土壌は1,000 Bq/kg程度であり、分別土壌の方が放射性セシウム濃度はやや小さい値を示した。
- 追加調査では10,000 Bq/kgを超える試料も見られた。
- 埋立土壌の放射性セシウム濃度のばらつきは、除去土壌・分別土壌のばらつきの範囲内に収まっている。(開封・分別・埋立等の一連の作業により、やや均質化した可能性が考えられる。)



(2) 基本性状試験

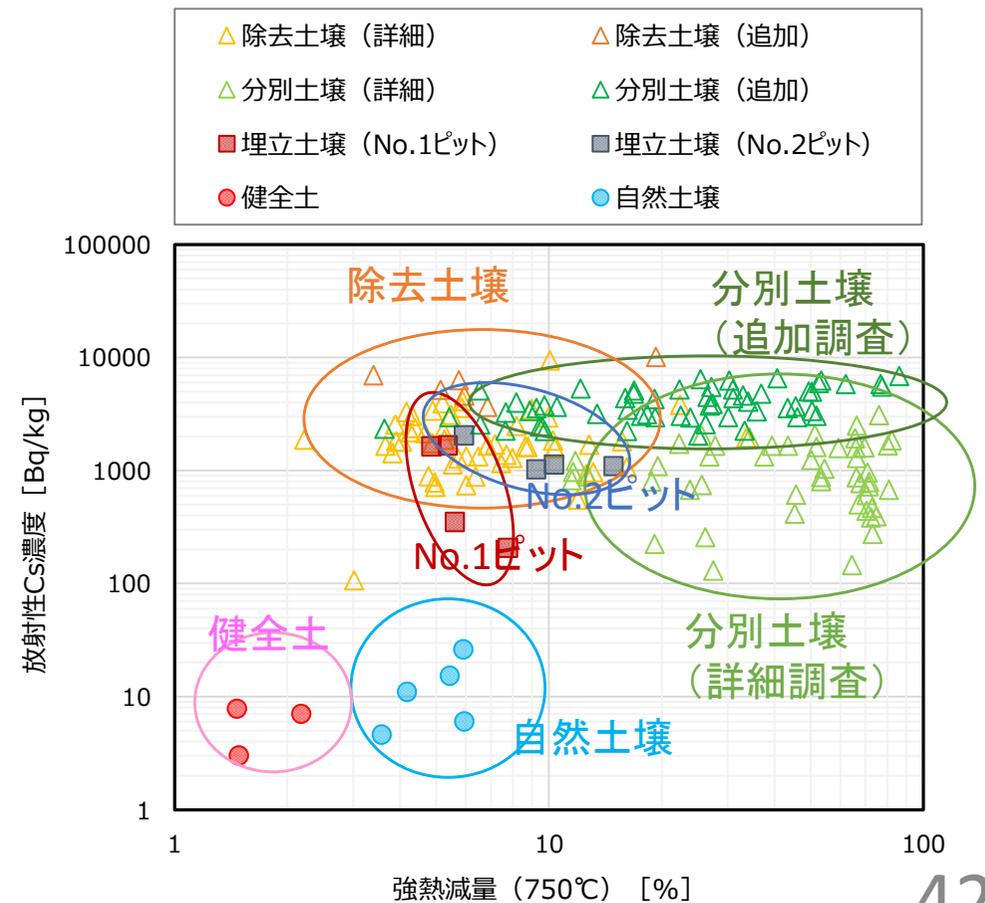
■ 湿潤密度と放射性Cs濃度の関係

- 分別土壤は除去土壤よりも湿潤密度が小さい。
- 分別土壤を埋立処分したNo.2ピットの湿潤密度は大きくなるが、除去土壤を埋立処分したNo.1ピットよりは小さい。
- 健全土や自然土壤は湿潤密度が大きく、放射性セシウム濃度は小さい。



■ 強熱減量と放射性Cs濃度の関係

- 分別土壤は除去土壤よりも強熱減量が非常に大きい。
- 自然土壤や健全土は強熱減量が小さく、放射性セシウム濃度は小さい。



(2) 基本性状試験

■ 基本性状試験のまとめ

- 分別土壌と除去土壌の基本性状を比較したところ、分別土壌と除去土壌は性状が異なることがわかった。
- 分別土壌は、①湿潤密度、③土粒子密度が小さく、一方で、②自然含水比、⑥EC(電気伝導度)、⑦強熱減量、⑧熱しゃく減量が大きいことから、分別土壌は有機物の混入量が多いと考えられる。
- 除染廃棄物は草木類が主体であり、植物体やそれが分解した腐葉土成分が分別土壌に多く含まれることが上記の要因と考えられる。
- 分別土壌のうち追加調査分は、除去土壌にやや近い性状であり、組成分析結果からも、草木類などの植物体の分解がより進んだ状態であったか、もしくは、除染廃棄物に土壌成分が多く混入していたとも考えられる。

(3) 溶出特性試験

- 除去土壌と分別土壌について、以下の溶出特性試験を実施し、除去土壌からの放射性セシウムの溶出の傾向と、分別土壌からの放射性セシウムの溶出の傾向の違いを確認する。

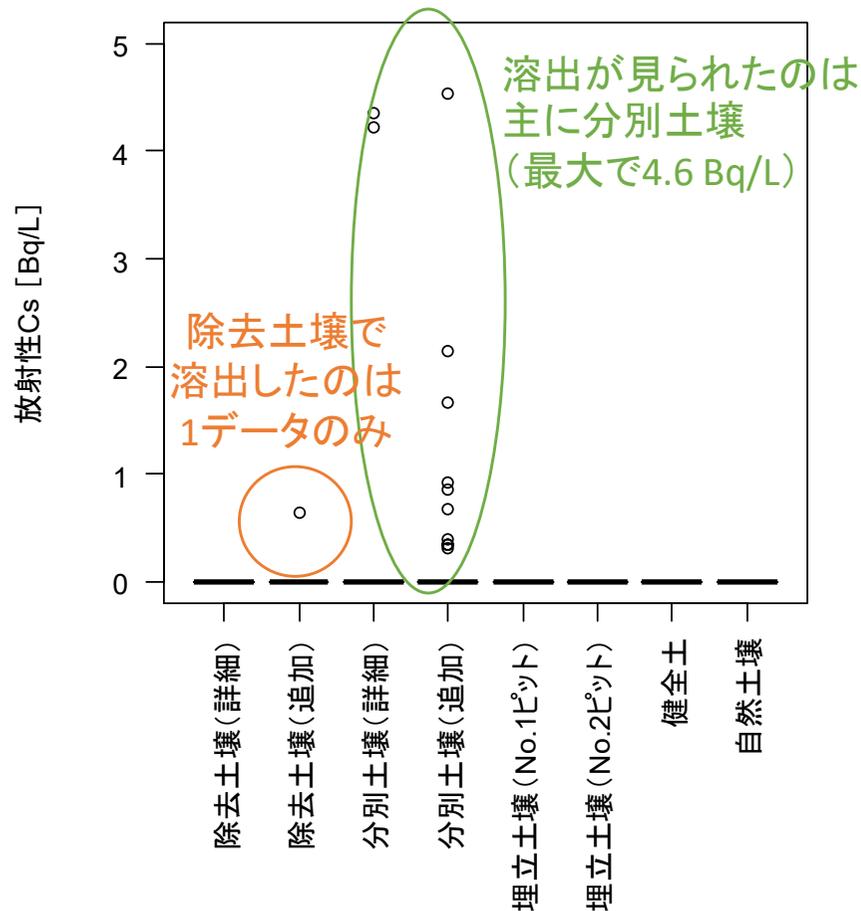
溶出特性の試験項目	試験の特徴	指標の意味
① 放射性セシウム (溶存態)	0.45 μ mメンブレン フィルターでろ過	放射性セシウムが水に溶出する量。 (液固比10で試験を行ったが、通常の埋立環境では液固比はもっと小さく、溶出する量も小さくなる) 除去土壌等の放射性セシウム濃度を勘案した溶出率も算出。
② 放射性セシウム (コロイド成分を除く溶存態)	限外ろ過	0.45 μ mメンブレンフィルターでろ過した試料にはコロイド成分が含まれることから、限外ろ過によりコロイド成分を除外した放射性セシウムの溶出量を測定。
③ カリウム (溶存態)	0.45 μ mメンブレン フィルターでろ過	カリウムは放射性セシウムの溶出を促進させることから、その影響を確認する。
④ アンモニア態窒素 (溶存態)	0.45 μ mメンブレン フィルターでろ過	アンモニア態窒素は放射性セシウムの溶出を促進させることから、その影響を確認する。
⑤ 濁度	遠心分離後の 上澄み液	濁度から放射性セシウムの溶出量を推計。 (推計の精度は低い、放射性セシウムの溶出量が検出下限値未満の場合の参考値となる)

(3) 溶出特性試験

① 放射性セシウム (溶存態:0.45 μ mメンブレンフィルターでろ過)

■ 放射性セシウムの溶出量

- 放射性セシウムの溶出が見られたのは35データ(全体の約1割)。
- 溶出が見られたのは主に分別土壌であり、除去土壌で溶出が見られたのは1データのみ。
- 溶出量の最大は 4.6 Bq/L であった。
(検出下限値※を低く設定したため検出されたが、溶出量としては大きな値ではない。)



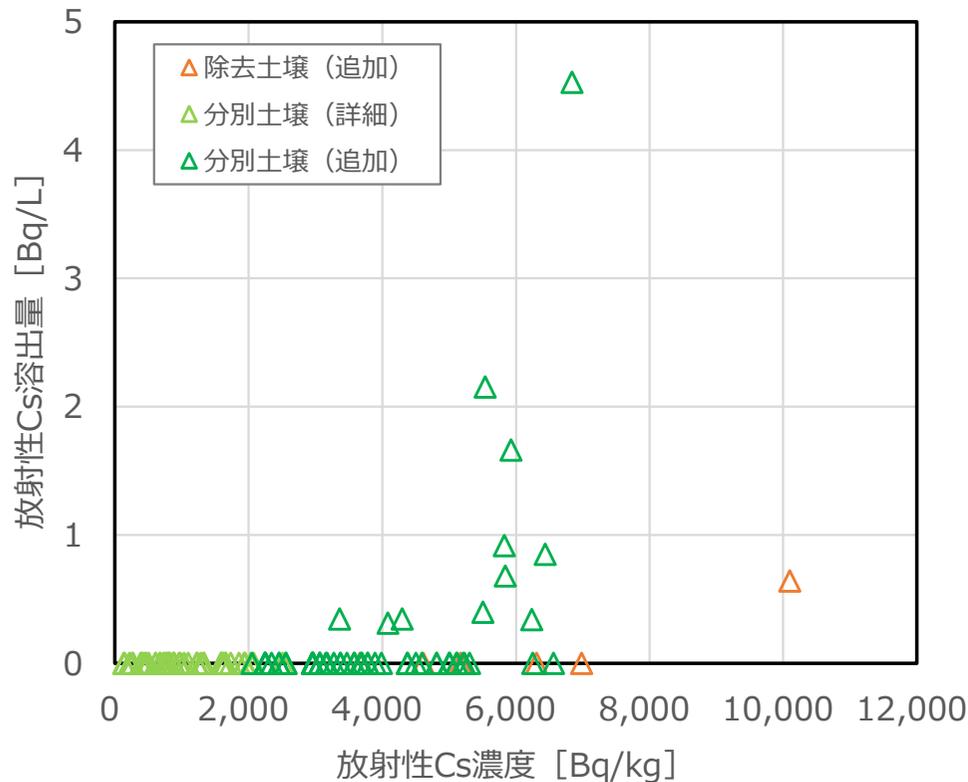
※ 検出下限値について

今回の溶出試験の検出下限値	1 Bq/L よりも小さな値
「廃棄物関係ガイドライン」で定める検出下限値	10~20 Bq/L
(参考) 水道水中の放射性物質の管理目標値	10 Bq/kg (= 10 Bq/L)

(3) 溶出特性試験

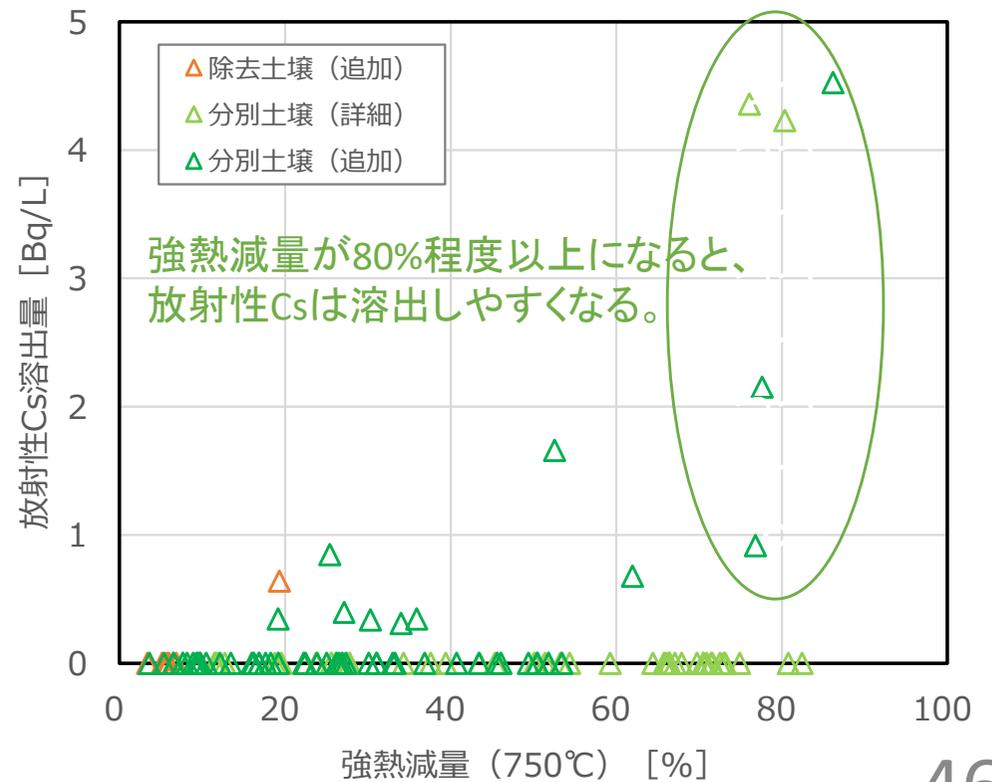
■ 放射性セシウム濃度と溶出量の関係

- 放射性セシウム濃度が大きくなると、放射性セシウムの溶出量もわずかながら大きくなる傾向がある。



■ 強熱減量と溶出量の関係

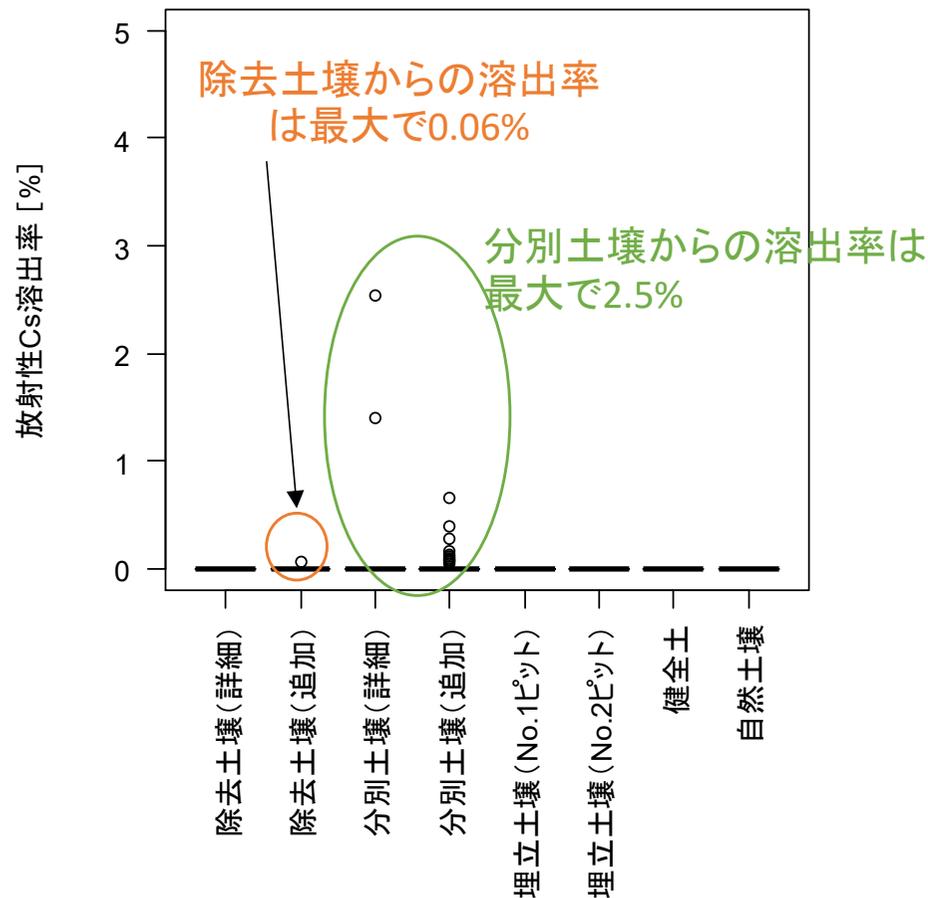
- 分別土壌では、強熱減量が80%程度以上になる(=有機物の混入量が多くなる)と放射性セシウムはわずかながら溶出しやすくなる傾向が見られた。
- 除去土壌は強熱減量が小さく、溶出もほとんど見られない。



(3) 溶出特性試験

■ 放射性セシウムの溶出率

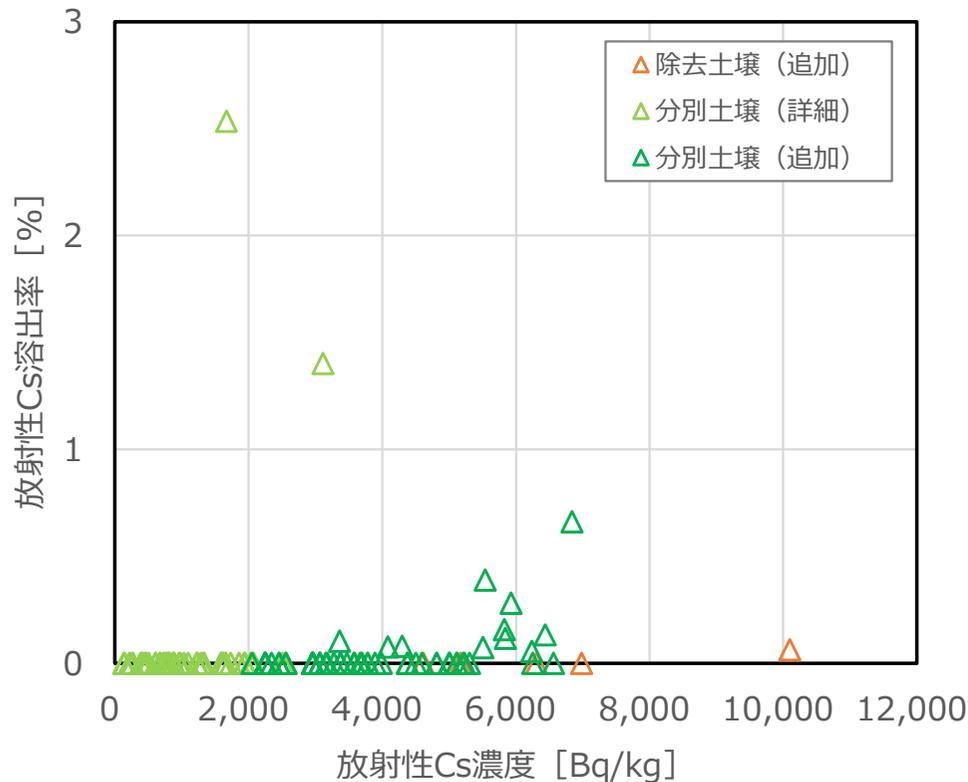
- 放射性セシウムの溶出量を溶出率に換算したところ、除去土壌からの溶出率は最大で0.06%であったのに対し、分別土壌からの溶出率は最大で2.5%であった。
- 除去土壌からの放射性セシウムの溶出はごくわずかであり、分別土壌は除去土壌よりも放射性セシウムが溶出しやすい傾向があると考えられる。



(3) 溶出特性試験

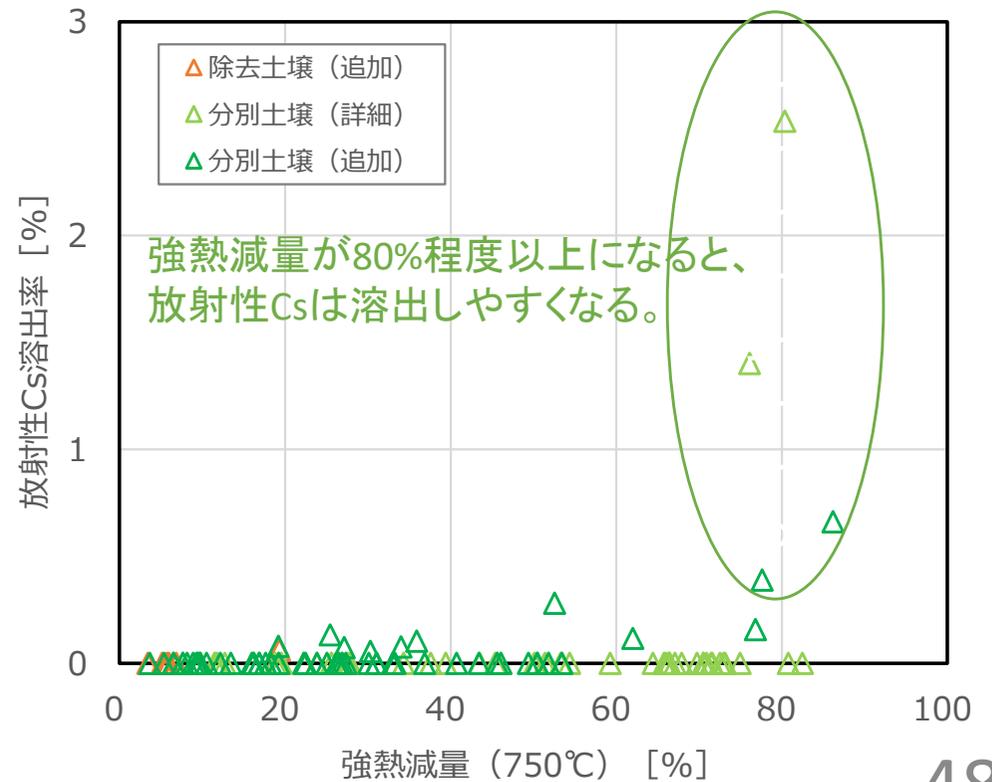
■ 放射性セシウム濃度と溶出率の関係

- 溶出量ではなく溶出率で見ると、放射性セシウム濃度と放射性セシウムの溶出率には明確な関係はなかった。



■ 強熱減量と溶出率の関係

- 分別土壌では、強熱減量が80%程度以上になる(=有機物の混入量が多くなる)と放射性セシウムの溶出率はわずかながら大きくなる傾向が見られた。
- 除去土壌は強熱減量が小さく、溶出率も非常に小さい。



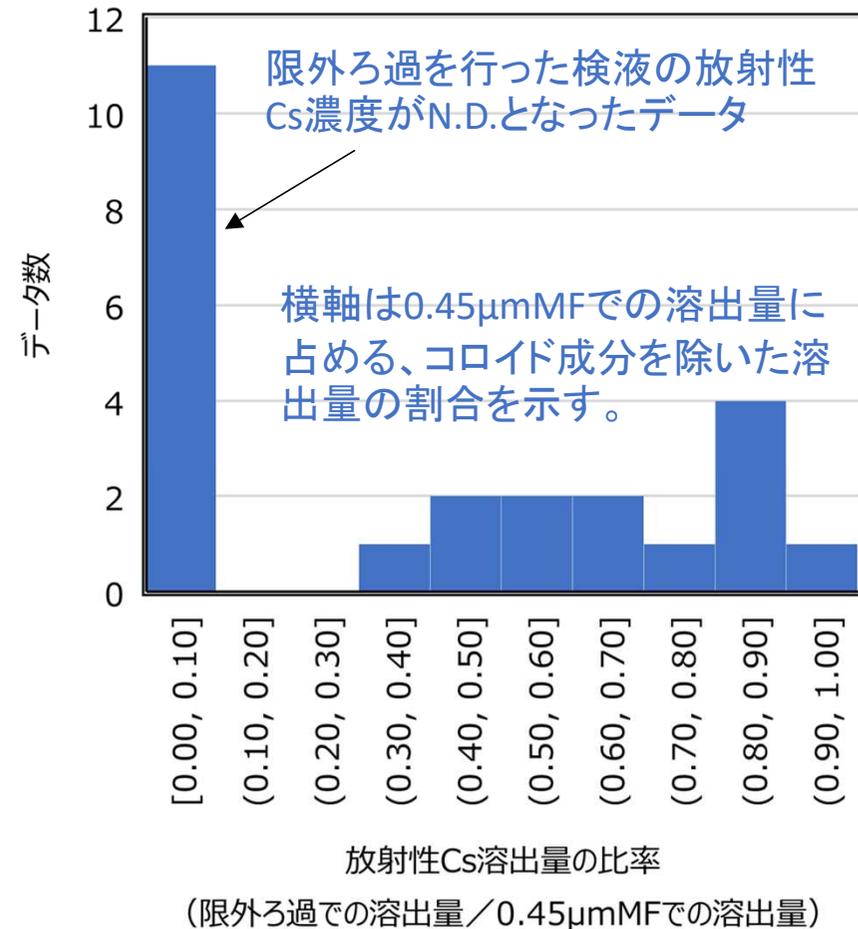
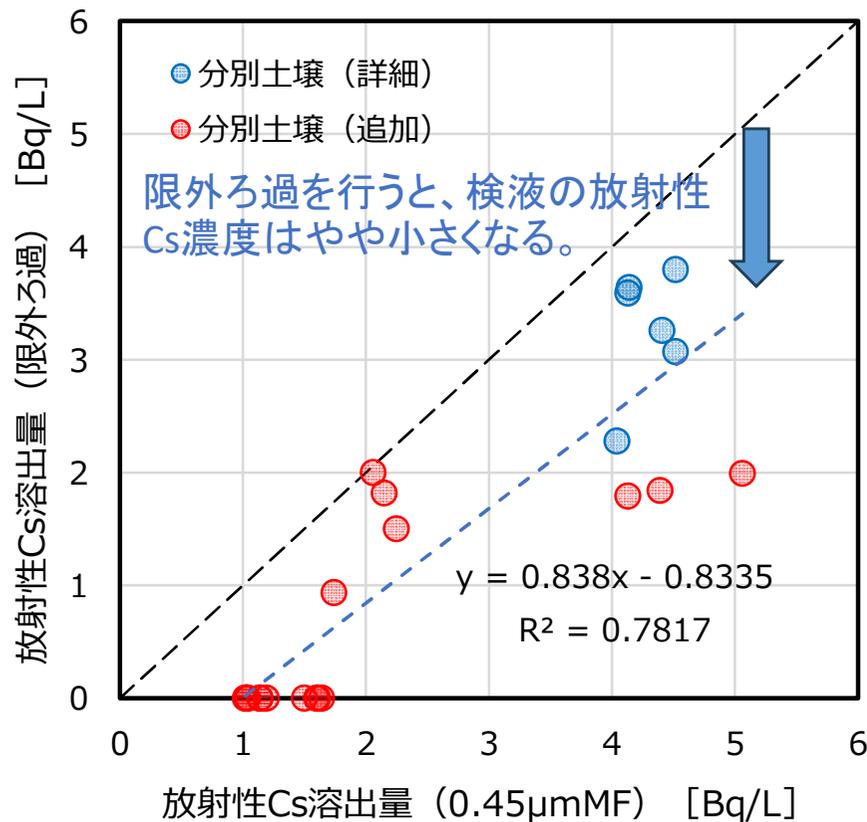
(3) 溶出特性試験

② 放射性Cs (コロイド成分を除く溶存態: 限外ろ過)

- 放射性セシウム濃度が 1 Bq/L を超えた試料について、溶出液の限外ろ過を行い、検液の濃度を再度測定。ここでは、その差分をコロイド成分とみなす。

(コロイドの定義はいろいろあるが、ここでは原子力学会標準の考え方を参考にする。)

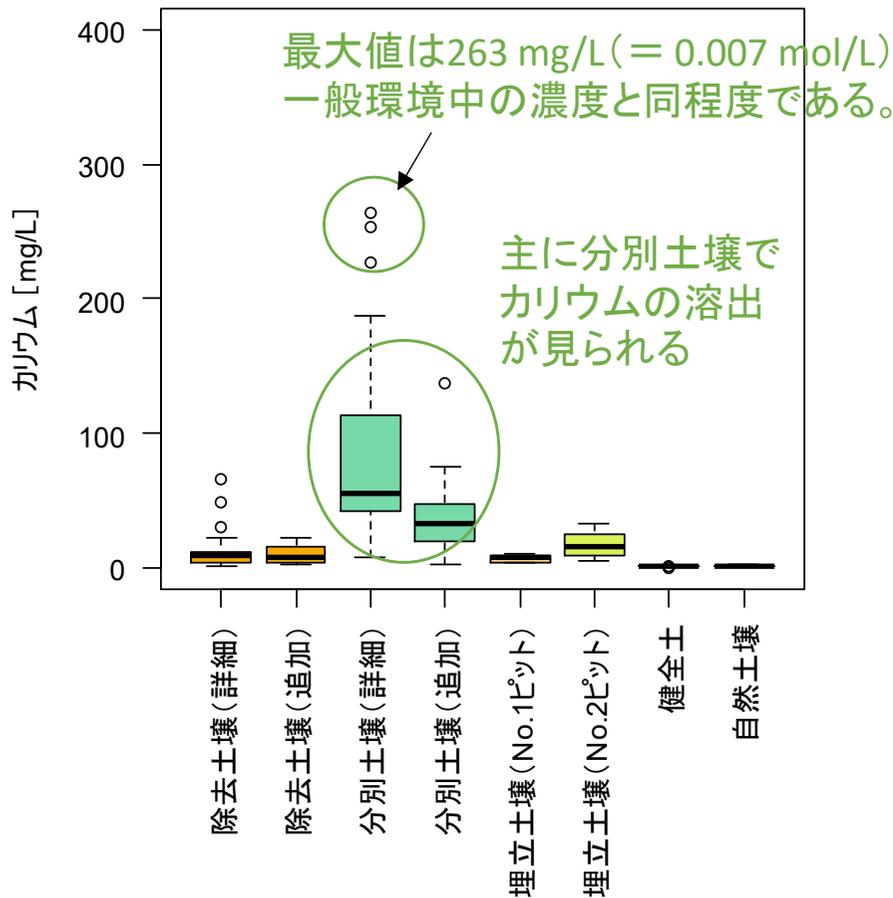
- 限外ろ過を行うことで、放射性セシウム溶出量はやや小さくなり、コロイド成分の割合はばらつきはあるもののおおむね2割程度と考えられる。



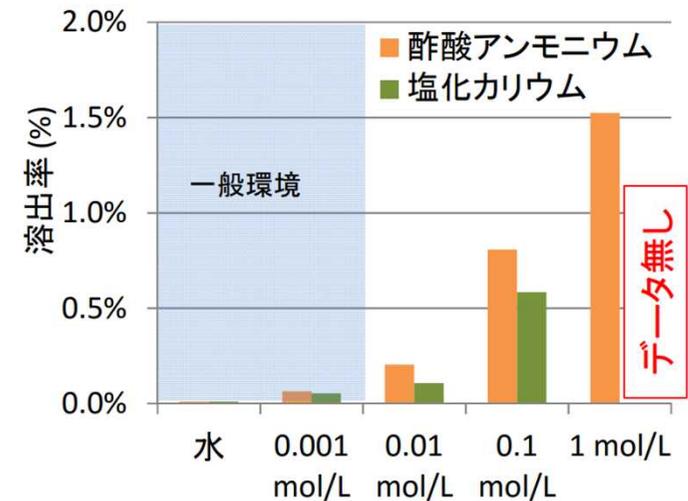
(3) 溶出特性試験

③ カリウム (溶存態:0.45μmメンブレンフィルターでろ過)

- カリウムは放射性セシウムの溶出を促進することからその影響を確認したところ、分別土壌のカリウム溶出量は一般環境中の濃度と同程度であり、放射性セシウムの溶出を促進するほどのものではなかった。
- また、除去土壌のカリウム溶出量は分別土壌からの溶出量よりもさらに小さいことから、放射性セシウムの溶出を促進することはない。



(参考) NH₄⁺とK⁺の濃度が溶出率に及ぼす影響

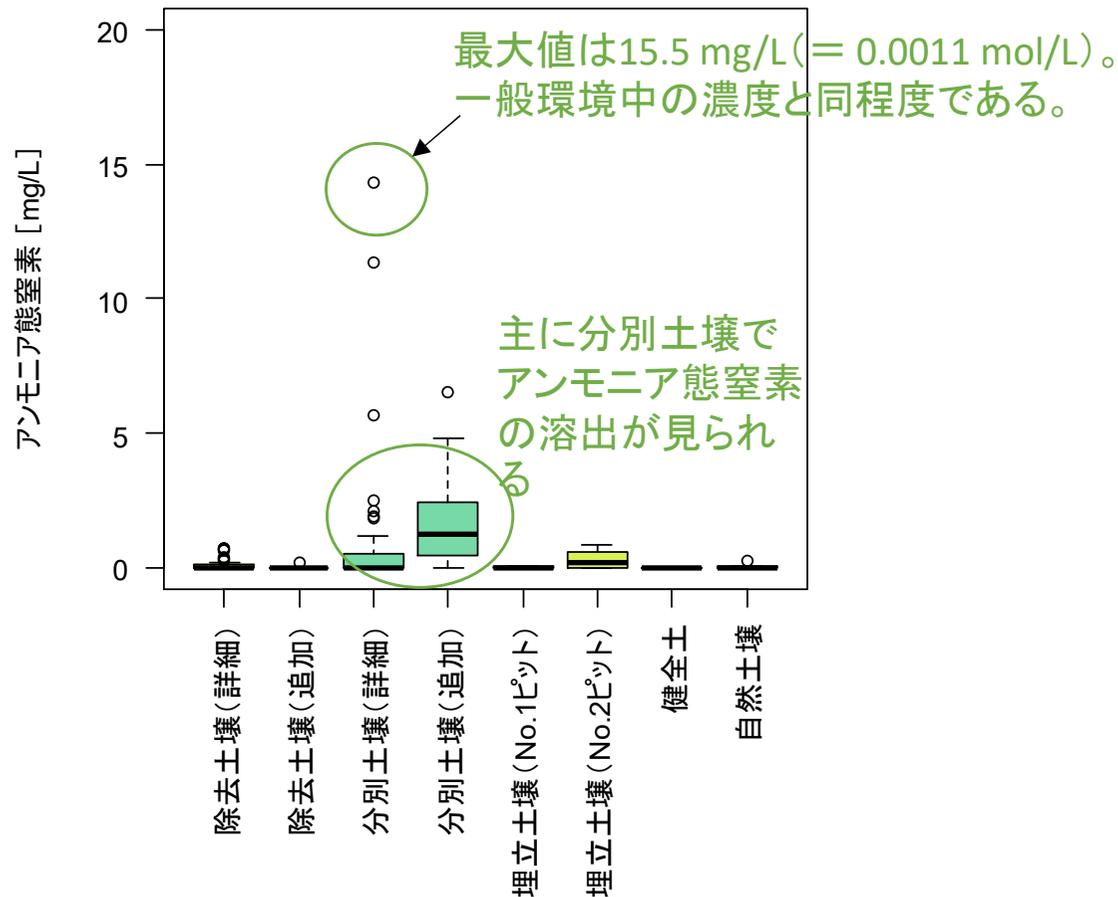


(出典) 地盤工学会: 土壌中の放射性セシウムの挙動に関するレビュー

(3) 溶出特性試験

④ アンモニア態窒素 (溶存態:0.45 μ mメンブレンフィルターでろ過)

- アンモニア態窒素は放射性セシウムの溶出を促進することからその影響を確認したところ、分別土壌のアンモニア態窒素溶出量は一般環境中の濃度と同程度であり、放射性セシウムの溶出を促進するほどのものではなかった。
- また、除去土壌のアンモニア態窒素溶出量は分別土壌からの溶出量よりもさらに小さいことから、放射性セシウムの溶出を促進することはない。

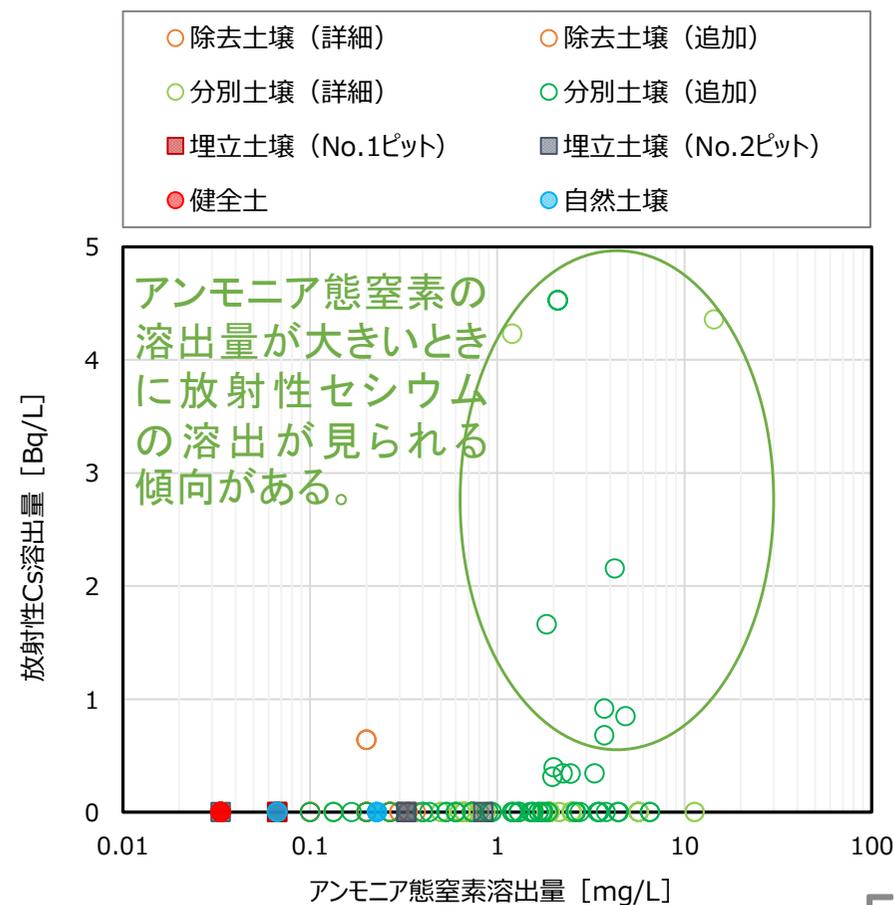
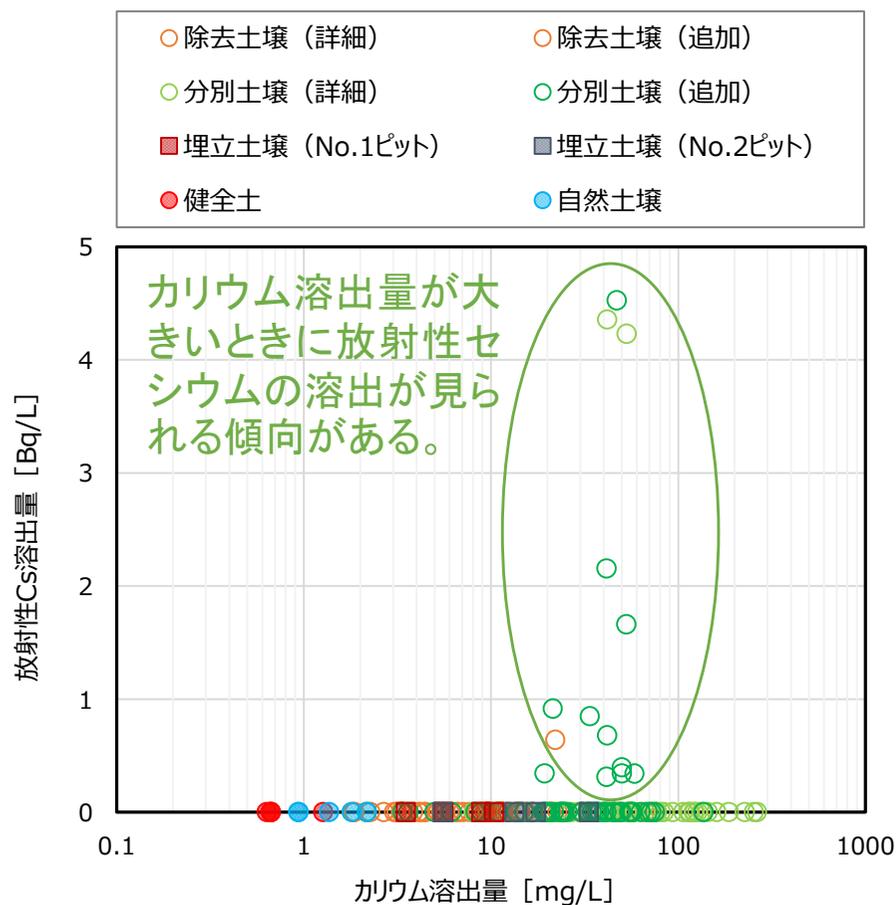


(3) 溶出特性試験

■カリウムと放射性セシウム溶出量の関係

■アンモニア態窒素と放射性セシウム溶出量の関係

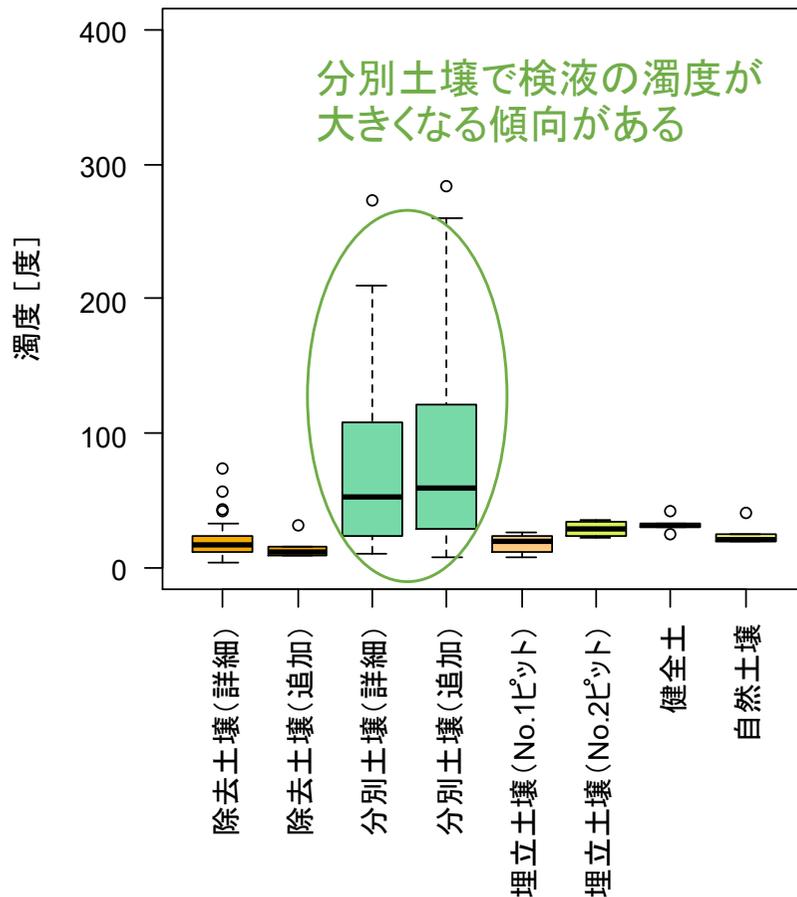
- カリウム溶出量やアンモニア態窒素溶出量が大きい場合に放射性セシウムの溶出が見られる傾向がある。ただし、必ずしもそのような傾向が見られない検体も多くある。



(3) 溶出特性試験

⑤ 濁度(遠心分離後上澄み液)

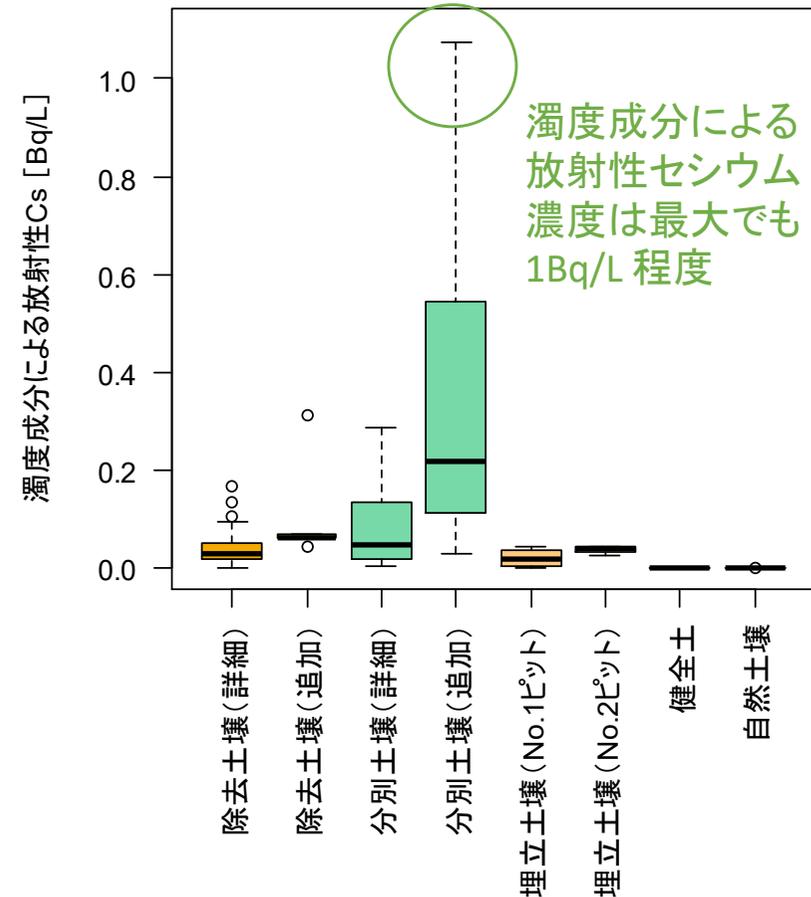
- 0.45 μ mメンブレンフィルターによるろ過を行う前(遠心分離後上澄み液)の濁度を測定。
- 分別土壌で検液の濁度が大きくなる傾向がある。



○濁度成分による放射性セシウム濃度

- 濁度成分による放射性セシウム濃度を推定したところ、1Bq/L程度以下であった。

※濁度をSS濃度に換算し、土壌等の放射性Cs濃度をもとに、濁度成分による放射性Cs濃度を算定。(ここでは、濁度1度=SS濃度1mg/Lとして換算。)



(3) 溶出特性試験

■ 溶出特性試験のまとめ

- 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なかった。
- 除染廃棄物から分別した土壌など、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)。なお、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。
- コロイド成分による放射性セシウムの溶出量を推定したところ、コロイド成分の割合はばらつきはあるもののおおむね2割程度と考えられる。
- カリウムやアンモニア態窒素は放射性セシウムの溶出を促進するが、分別土壌のカリウム溶出量やアンモニア態窒素溶出量は一般環境中の濃度と同程度であり、放射性セシウムの溶出を促進するほどのものではなかった。
- 濁度成分から放射性セシウム濃度を推定したところ、最大でも1 Bq/L程度以下であったことから、濁度成分として流出する放射性セシウムもごくわずかなものであると考えられる。

(4) 収着特性試験

- 除去土壌と分別土壌について、以下の収着特性試験を実施し、セシウムの土と水への分配特性について、除去土壌と分別土壌での傾向の違いを確認する。

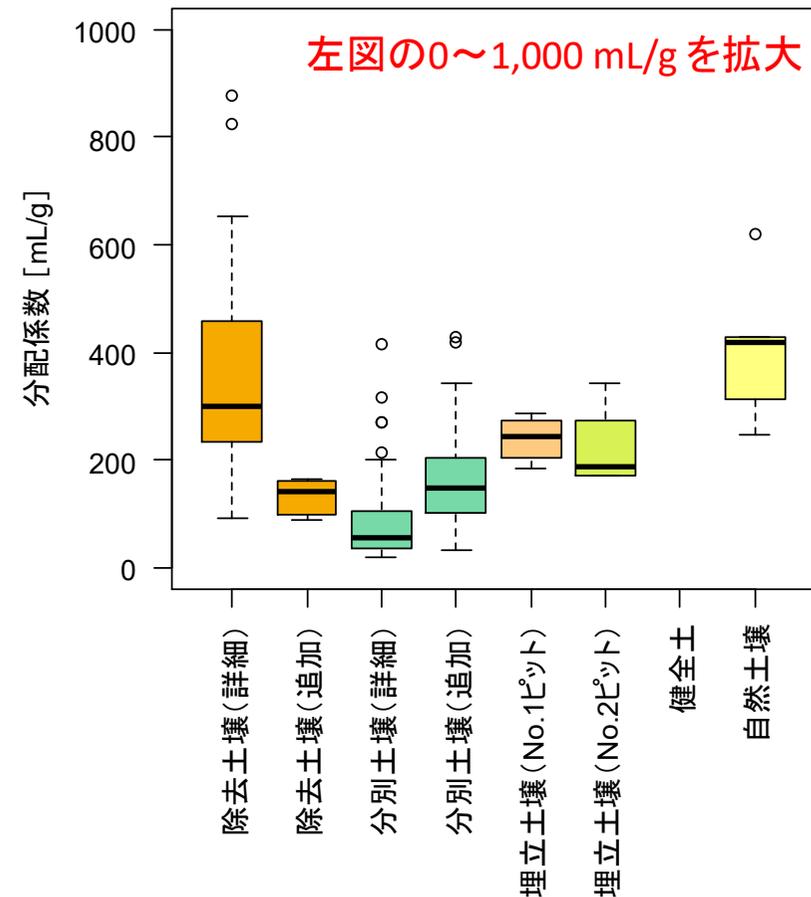
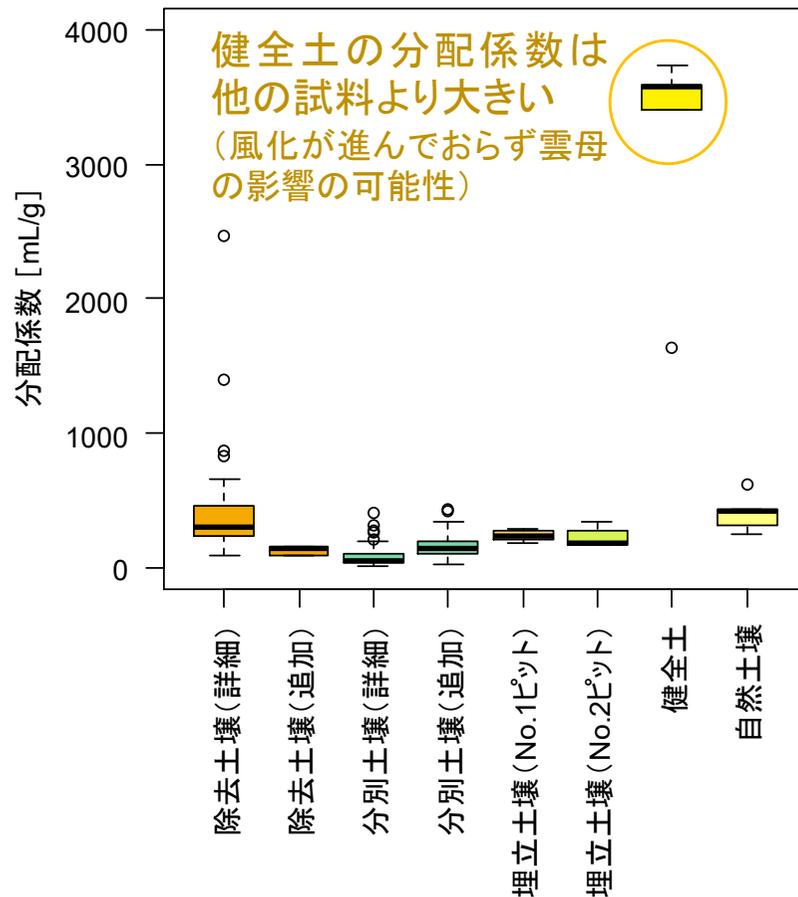
収着特性の試験項目	試験の特徴	指標の意味
① 分配係数 (溶存態)	0.45 μ mメンブレン フィルターでろ過 試験には安定セ シウムを使用	セシウムが土と水に分配される割合。分配 係数が大きいほど放射性セシウムは土に 分配される(水に出てこない)。
② 分配係数 (コロイド成分を除く溶存態)	限外ろ過 試験には安定セ シウムを使用	0.45 μ mメンブレンフィルターでろ過した試料には コロイド成分が含まれることから、限外ろ過 によりコロイド成分を除外した放射性セシ ウムの分配係数を測定。

(4) 収着特性試験

① 分配係数 (溶存態:0.45μmメンブレンフィルター)

- 除去土壌の分配係数は100～数百mL/g程度であり、これまでの東海村・那須町と同等かそれ以上。
- 分別土壌の分配係数は除去土壌より小さい傾向。
- いずれも文献による分配係数の範囲内である。

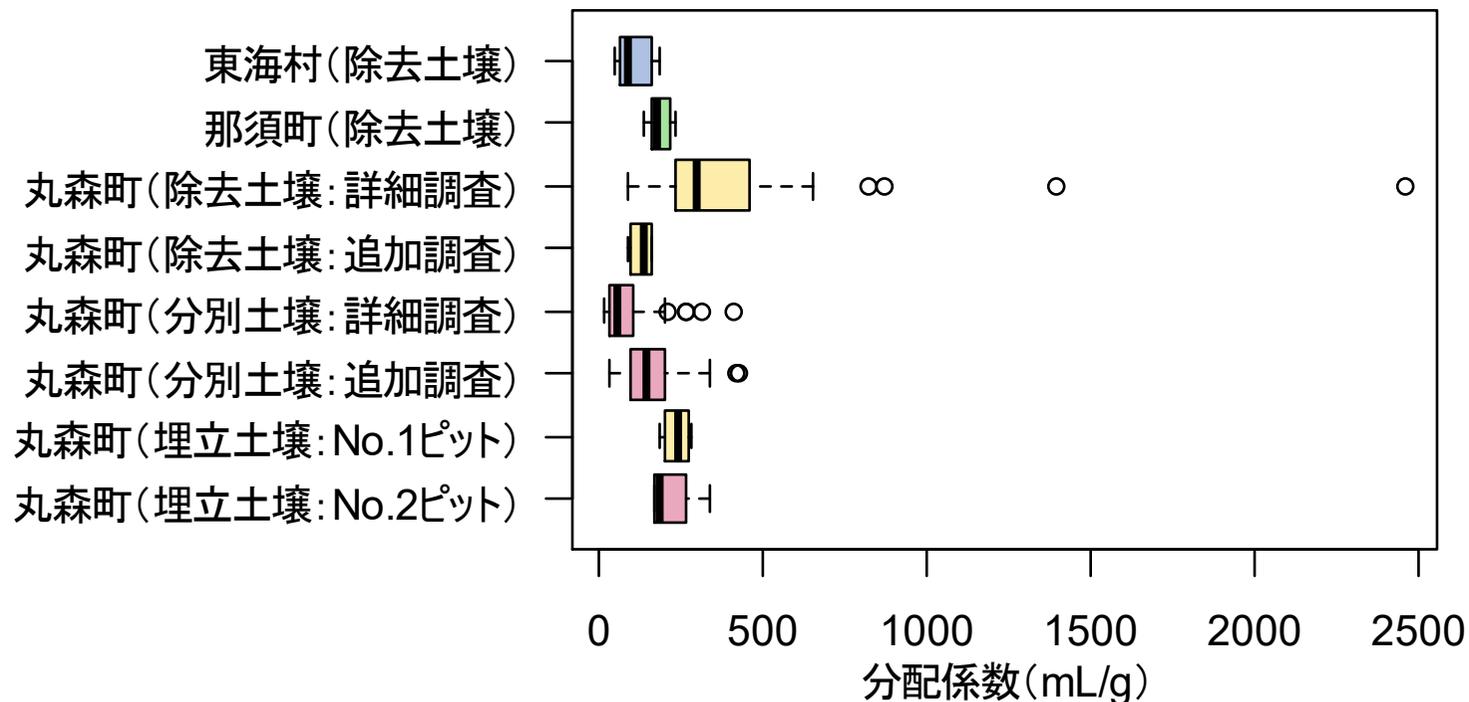
- 安定セシウムを用いることの課題
- 安定セシウムを用いた場合、分配係数は小さくなる傾向がある。
- 安定セシウムの初期濃度が大きくなると分配係数は小さくなる。
(実際の放射性セシウムの分配係数は1桁程度増える可能性は十分にある。)



(4) 収着特性試験

■ 分配係数の比較

- 丸森町実証事業における除去土壌の分配係数は、これまでの東海村・那須町で得られた除去土壌の分配係数と同程度かそれ以上であった。
- 一部で分配係数が大きい検体もあったが、除染場所の違いによるばらつきと考えられる。なお、分配係数が大きくなることは、セシウムは土壌に分配されることを意味する。
- 分別土壌の分配係数もこれまでの東海村・那須町で得られた除去土壌の分配係数と同程度であった。



(参考) 分配係数に係る既存研究

■井上他(1976)

・放射性Csの分配係数の測定事例

Table 5 Cation exchange capacity (C.E.C.) and equilibrium distribution coefficient of each radionuclide for sample soil determined by batch tests

Soil	C.E.C. ($\mu\text{eq/g}$)	Equilibrium distribution coefficient k_d (ml/g)						Soil type
		^{90}Sr	^{137}Cs	^{60}Co	^{54}Mn	^{65}Zn	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	
A	11.3	12	500	100	150	90	75	Sand
B	241.7	30	2,800	150	2,100	1,000	100	Silt-Clay
C	55.6	40	2,500	250	250	4,000	300	Silt-Clay
D	69.5	65	3,000	400	5,000	8,000	1,000	Gravel-Sand
E	167.9	700	5,000	350	10,000	1,800	200	Silt-Clay
F	47.8	45	1,200	250	30	1,200	350	Silt-Sand
G	28.9	40	1,000	200	500	500	10	Gravel
H	117.9	270	1,300	400	700	800	170	Silt-Clay
I	140.5	10	1,000	20	70	200	200	Silt-Clay
J	246.0	500	7,000	150	—	3,500	—	Silt-Clay
K	60.3	10	200	10	50	20	20	Fine sand
L	149.0	60	8,000	100	250	2,200	100	Silt
M	24.3	25	1,500	200	14 [†]	—	—	Sand
N	27.1	15	300	180	800	1,900	300	Gravel
O	122.8	150	3,000	400	2,000	2,000	400	Fine sand
P	38.6	25	1,500	100	70	200	60	Fine sand
Q	200.1	70	2,000	80	100	200	80	Silt-Clay

[†]: ^{56}Mn was used instead of ^{54}Mn . —: Not determined.

■山口(2014)

○放射性Csの土壌への分配係数の文献値の例

4.3~380000 L/kg (IAEA, 2010)

○日本の農耕地土壌

270~36000 L/kg (Kamei-Ishikawa et al., 2008)

※各既往研究における分配係数の測定方法は
今回の実証事業の方法と異なる場合がある。

■加藤他(1986)

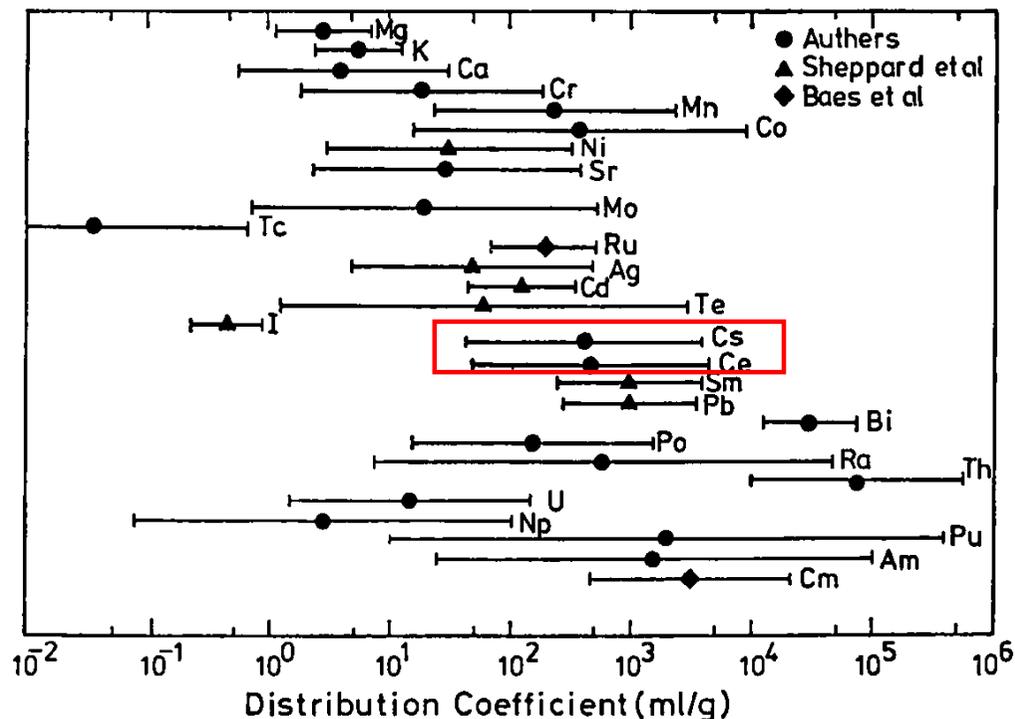


Fig. 2 Measured K_d values for soil

○安全評価に用いる分配係数の例

Table 3 Example of K_d used for safety assessment for shallow land radioactive waste burial

Group	K_d (ml/g)	Element
1	0	H
2	0~10	C, P, S, Cr, Tc, I
3	5~50	Ca, Sr, Ba
4	10~100	Mn, Fe, Co, Zn, Zr, Ce, Pm, U, Np
5	100~1,000	<u>Cs</u> , Th, Pu, Am

(参考) 分配係数に係る既存研究

■ 田村他(2013)

- ・Csの初期濃度によって分配係数は変わる。

■ 北村他(1997)

- ・pHの増加によって分配係数は増加する。
- ・Cs⁺は花崗岩中において長石に選択的に吸着される。

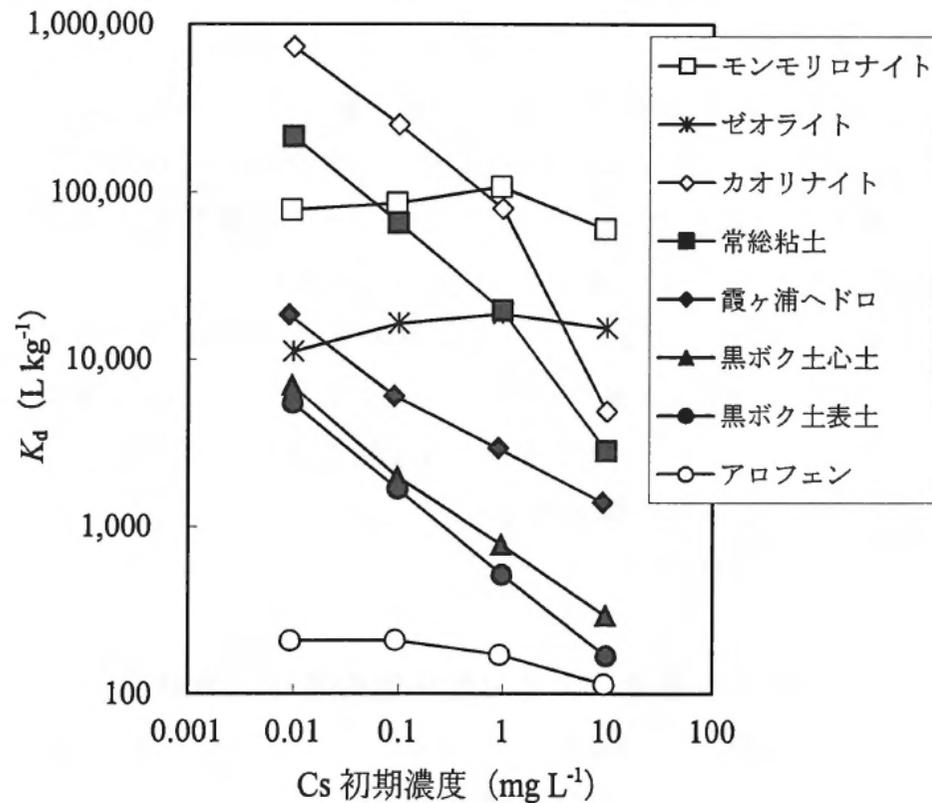


Fig.4 セシウム (Cs) の初期濃度と分配係数 (K_d) の関係
Relation between initial concentration and distribution coefficient (K_d)
of cesium (Cs)

※各既往研究における分配係数の測定方法は
今回の実証事業の方法と異なる場合がある。

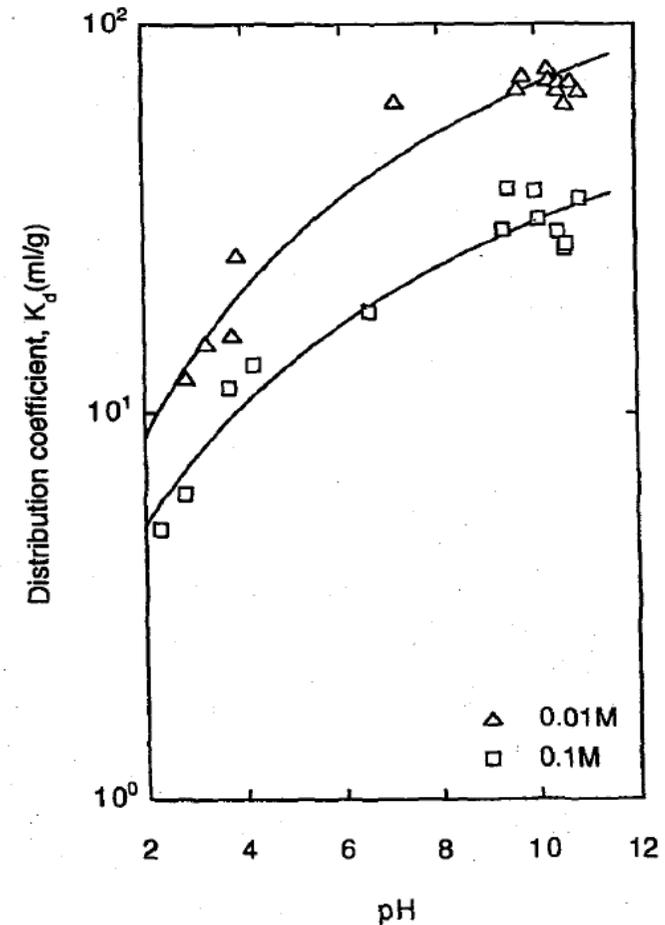
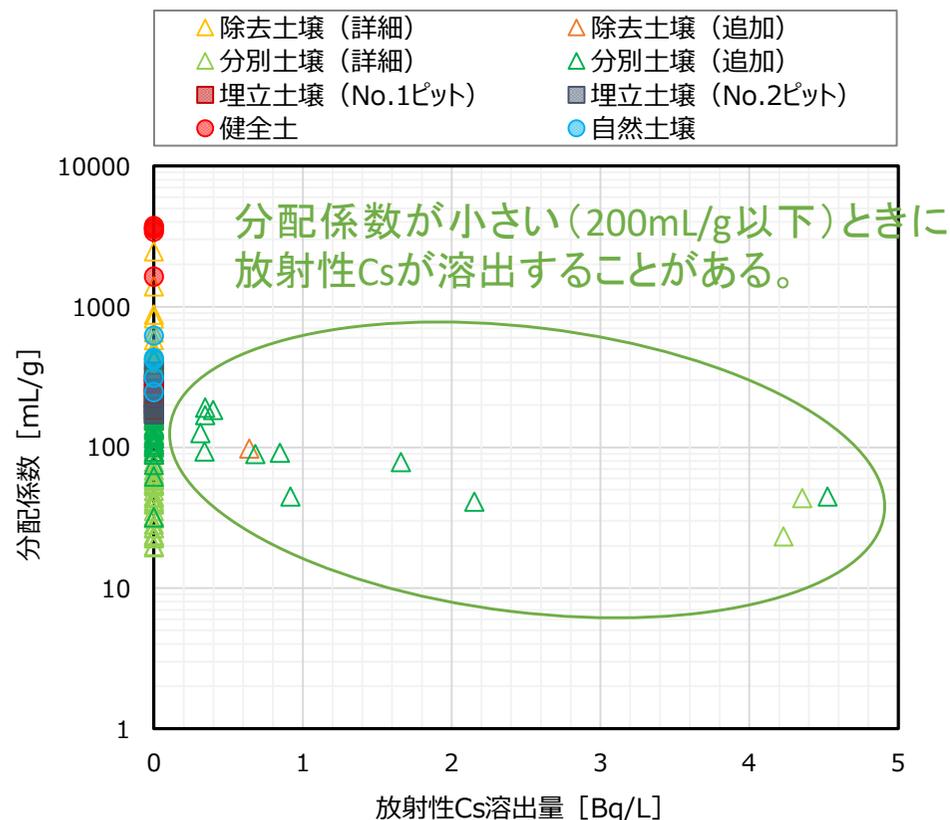


Fig. 1 Distribution coefficient of Cs⁺ ions for granite powders as a function of pH. Marks are the experimental data and curves represent the least-squares fit of the data by using electrical double layer model.

(4) 収着特性試験

■ 放射性Cs溶出量と分配係数の関係

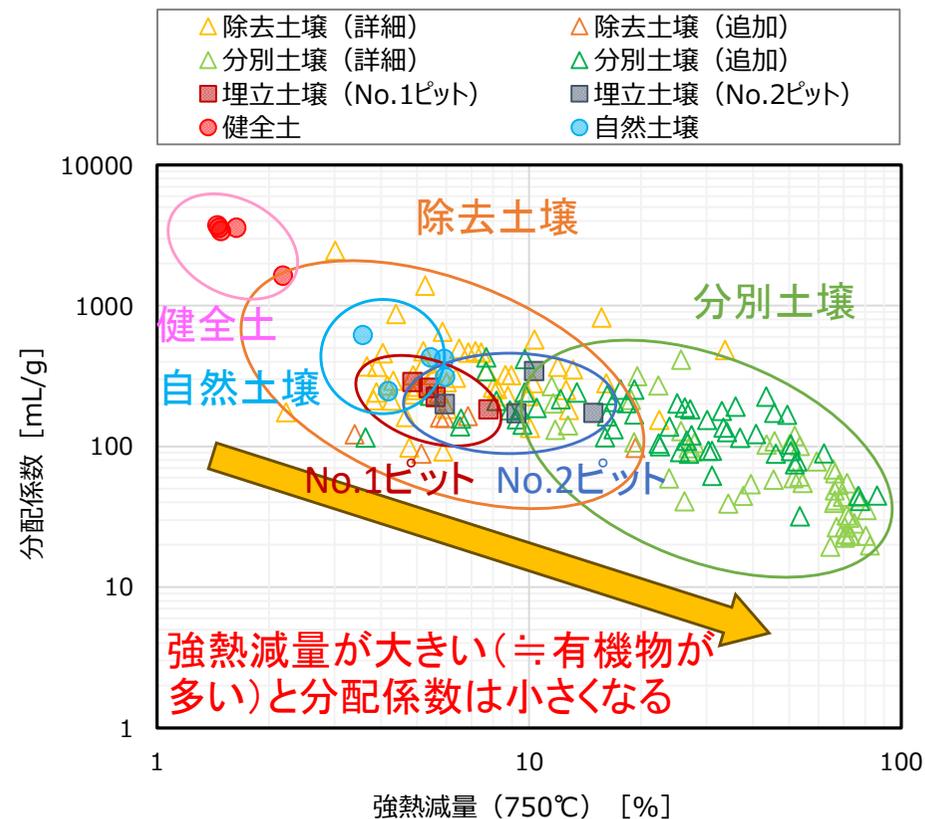
- 分配係数が小さいときに放射性セシウムが溶出することがある。



N.D.=0とした。

■ 強熱減量と分配係数の関係

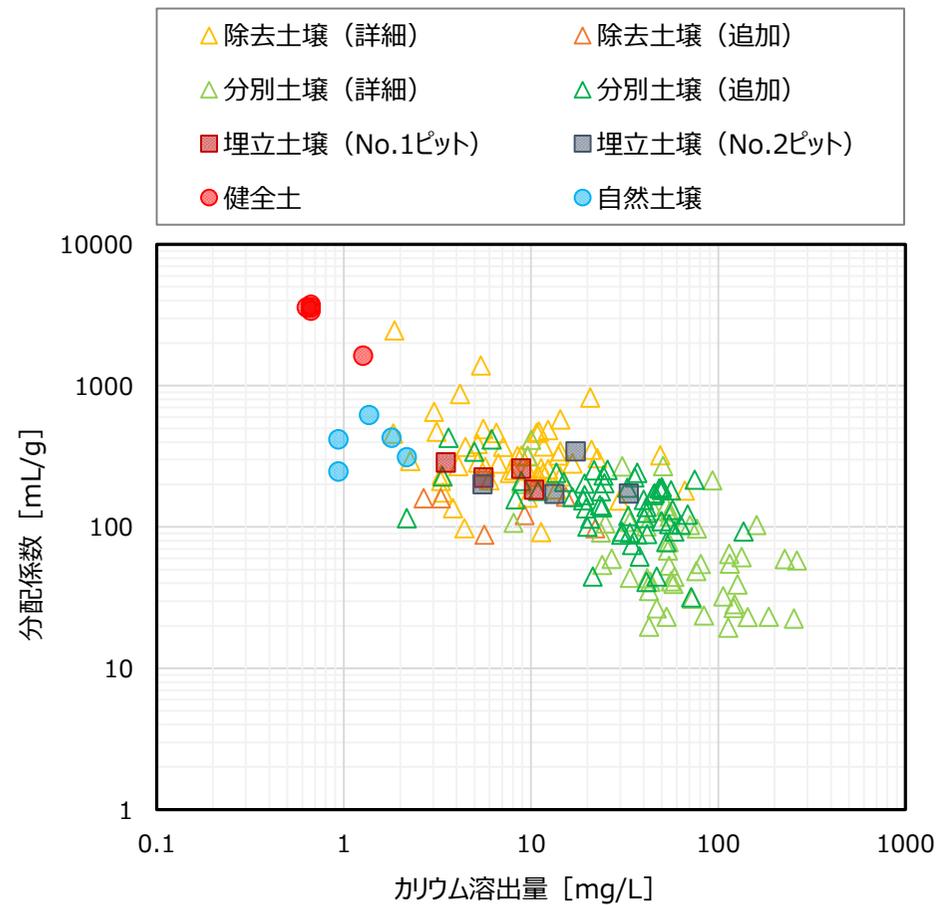
- 強熱減量が大きくなると分配係数は小さくなる。
- すなわち、有機物が多い(≒土壤成分が少ない)と分配係数は小さくなる。
- これは、有機物は土壤と比べて放射性セシウムを固定する機能が弱いためと考えられる。



(4) 収着特性試験

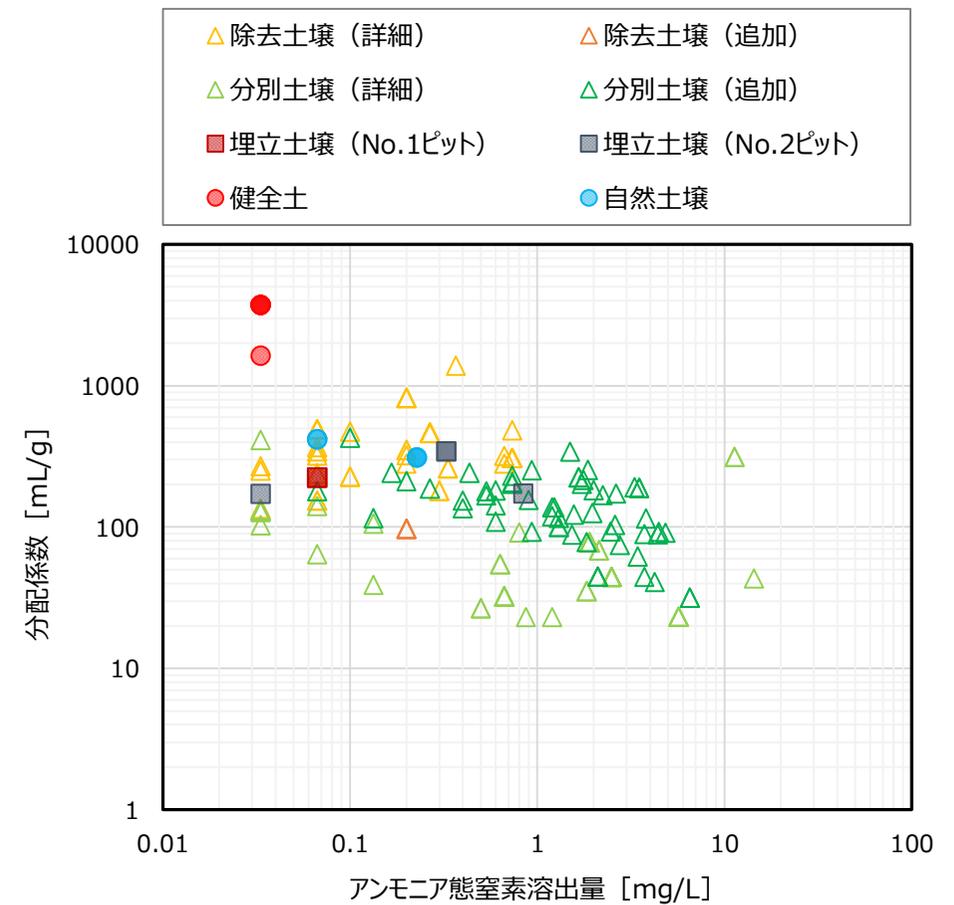
■カリウムと分配係数の関係

- カリウムの溶出量が大きくなると分配係数は小さくなる。



■アンモニア態窒素と分配係数の関係

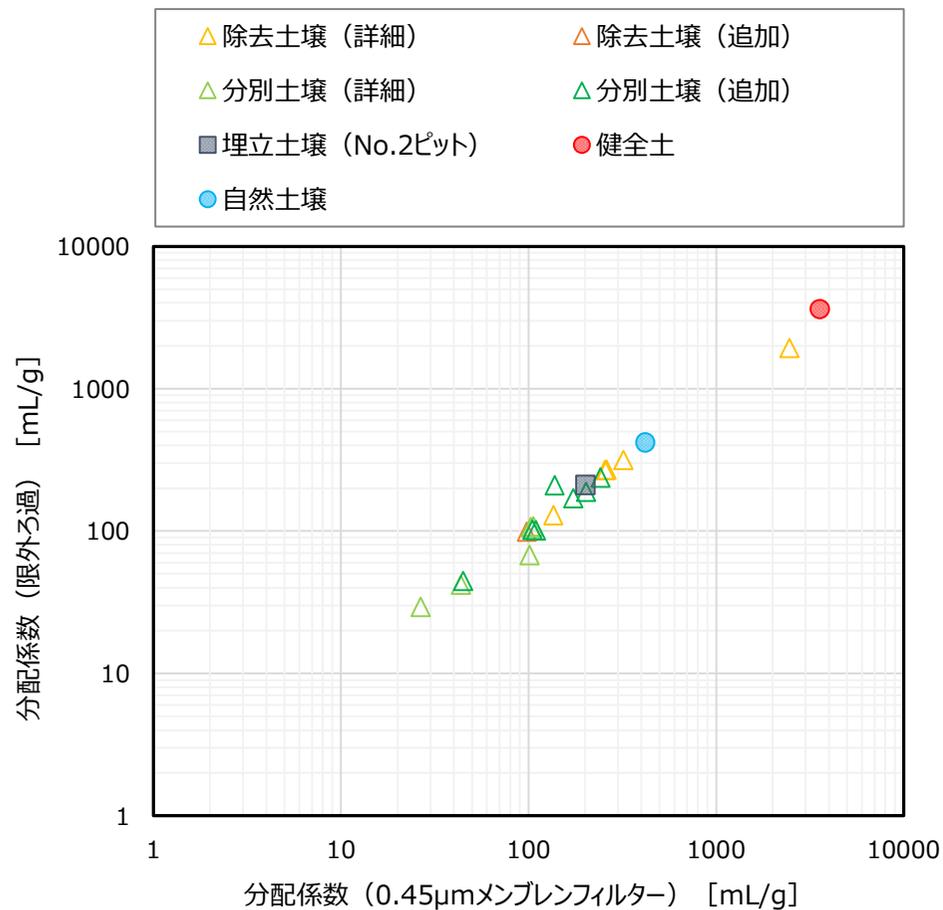
- アンモニア態窒素の溶出量が大きくなると分配係数は小さくなる。



(4) 収着特性試験

② 分配係数 (コロイド成分を除く溶存態:限外ろ過)

- 分配係数の測定を行った試料のうち一部の試料については、コロイド成分による影響を確認するため、限外ろ過を行い、ろ過液の安定セシウム濃度を測定し、収着分配係数を推定。
- 限外ろ過を行っても、分配係数はほぼ同程度の値であり、コロイド成分による影響はないと考えられる。



(4) 収着特性試験

■ 収着特性試験のまとめ

- 安定セシウムを用いた収着特性試験を行った結果、除去土壌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。
- 強熱減量が大きくなると分配係数は小さくなる傾向が見られたことから、有機物が多い(≒土壌成分が少ない)と分配係数は小さくなると考えられる(有機物は土壌と比べて放射性セシウムを固定する機能が弱い)。
- カリウムやアンモニア態窒素の溶出量が大きくなると分配係数は小さくなる傾向が見られた。(ただし、溶出特性試験の結果からは、セシウムの溶出を促進するほどの溶出量ではない。)
- コロイド成分による影響を確認するため、限外ろ過を行い収着分配係数を推定したところ、分配係数はほぼ変わらず、コロイド成分による影響はないと考えられる。

1. 除去土壌の処分と現状について
2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の
実証事業の概要
3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃
棄物の分別
4. 除去土壌等の性状分析結果
5. **実証事業のモニタリング結果**
6. 実証事業の主な結果
7. その他

埋立作業時におけるモニタリング項目

1) 埋立作業(状態の確認・破袋・埋立)

■埋立場所

- ①作業者の個人被ばく線量測定
- ②大気中の放射能濃度測定
(ダストサンプリング)

■周辺環境の安全

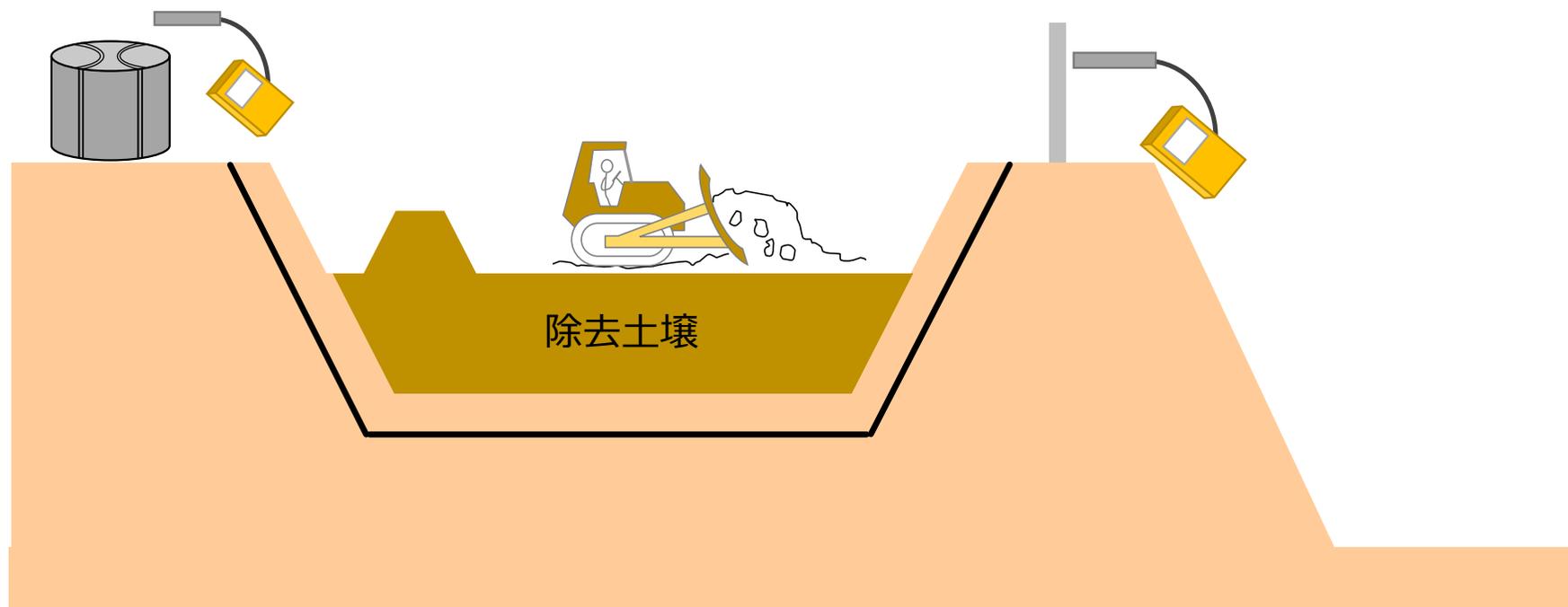
- ③空間線量率測定

状態の確認

破袋・分別

埋立

敷地境界



(1) 埋立作業…… ①作業者の個人被ばく線量

◆埋立作業中の作業者が受ける個人被ばく線量

- 実証事業の開始から覆土完了までの間、作業者の個人被ばく線量を測定。
- 埋立作業の項目ごとの日平均被ばく線量の最大値は $0.71 \mu\text{Sv}/8\text{h}$ であった。
(除去土壌等以外から受ける放射線量を含む。1日8時間作業。)

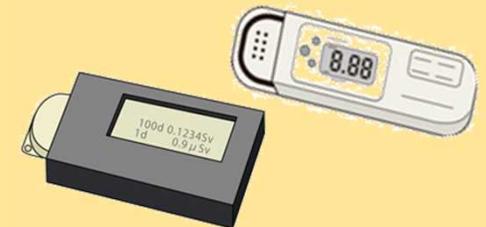
本作業に1年間(250日間)従事したとしても、個人あたりの年間被ばく線量は、

$$0.71 \mu\text{Sv}/\text{日} \times 250 \text{ 日} = 178 \mu\text{Sv} = 0.18 \text{ mSv}$$

$$(1 \mu\text{Sv} = 0.001 \text{ mSv})$$

であり、1 mSv を下回った。

個人線量計を作業者一人一人の体幹部に装着し、作業者全員の1時間ごとの個人被ばく線量を測定。



※除去土壌以外から受ける放射線を含むことに留意

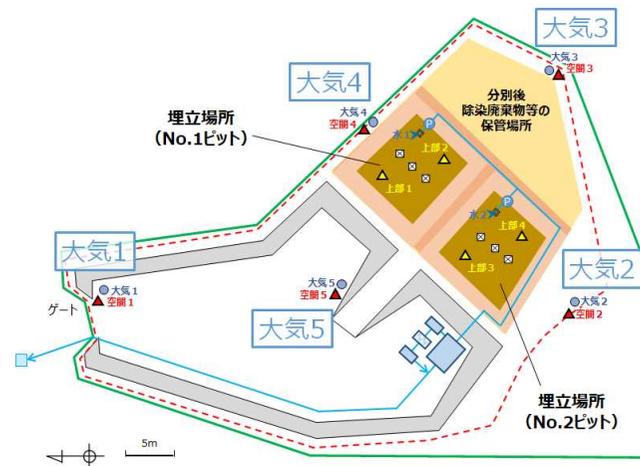
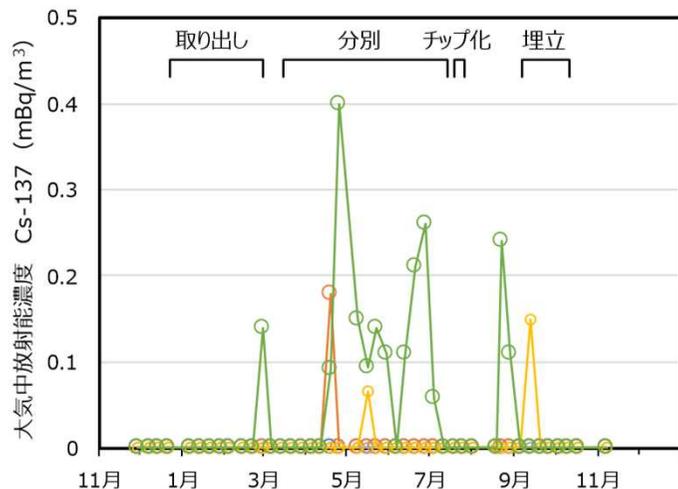
(1)埋立作業…… ②大気中の放射能濃度

◆埋立作業中の大気中放射能濃度

- 実証事業の開始から覆土完了までの間、大気中放射能濃度を測定。
- 分別作業箇所(大気5)では、分別作業期間中(17週間:17検体)に10検体でCs-137が検出された。(最大値は 0.4 mBq/m^3)
- 敷地境界(大気1~4)では、分別作業期間や埋立作業期間において、3検体でCs-137が検出された。(最大値は 0.18 mBq/m^3)

防護を行わなかったと仮定した場合、採取期間中のCs-137による作業者の追加被ばく線量(吸入)は、 0.00000013 mSv と推計され、 1mSv を下回った。

(作業員は保護マスクを着用するため、通常は粉じんの吸入はない。)



測定地点

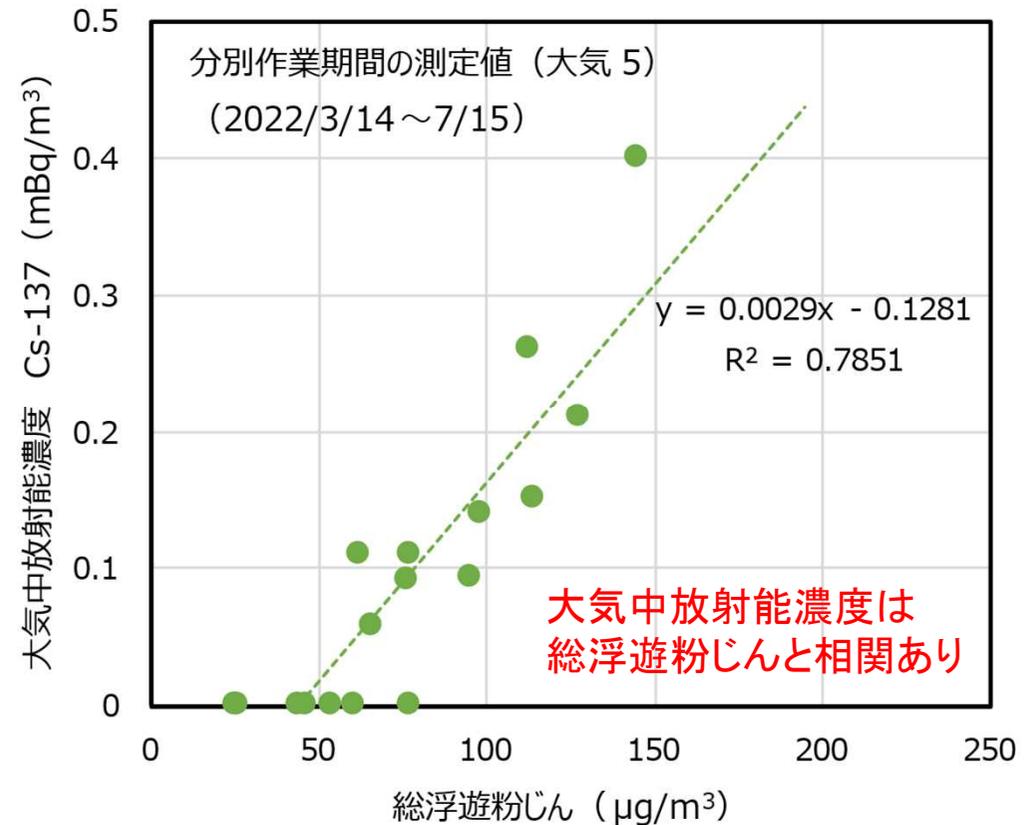
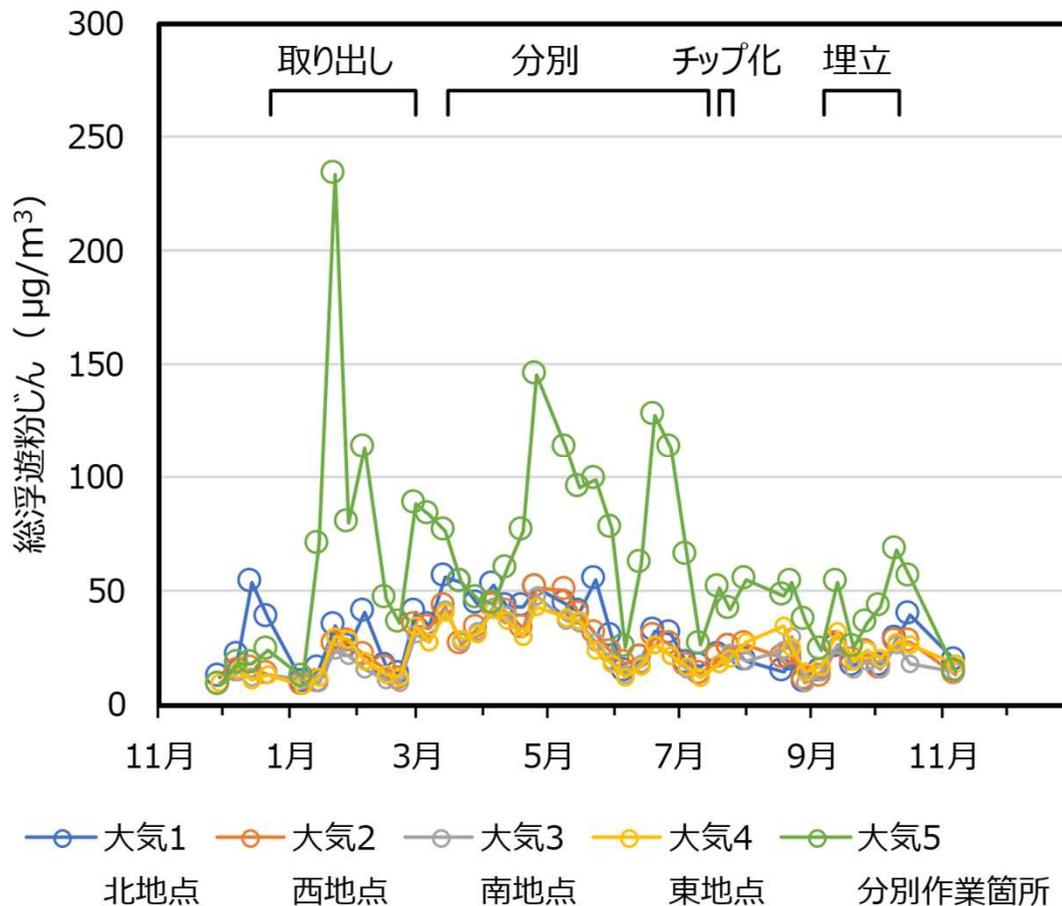


ハイボリウム
エアサンプラー

※検出下限未満の場合は、0としてプロット。検出下限値 Cs-134:0.045~0.099、Cs-137:0.044~0.10(mBq/m³)

(1) 埋立作業…… ②大気中の放射能濃度

- 分別作業箇所(大気5)の総浮遊粉じんは、敷地境界(大気1~4)の総浮遊粉じんより大きくなった
- 分別作業期間において、分別作業箇所(大気5)の大気中放射能濃度は総浮遊粉じんと相関が見られた



※検出下限未満の場合は、0としてプロット

※総浮遊粉じん量はハイボリウムエアサンプラーで採取

(1)埋立作業…… ③空間線量率(敷地境界)

◆埋立作業時の敷地境界における空間線量率

- 実証事業の開始から覆土完了までの間、敷地境界4地点における空間線量率を測定。(分別作業場所の空間線量率も測定)
- 実証事業準備期間中は $0.05 \sim 0.08 \mu\text{Sv/h}$ 、実証事業作業期間中は $0.05 \sim 0.09 \mu\text{Sv/h}$ であり、除去土壤の分別や埋立作業の前後で**周辺環境の空間線量率に大きな変化はなかった。**



■空間線量率の平均値

単位: 1時間当たりマイクロシーベルト[$\mu\text{Sv/h}$]

作業区分		測定日	測定回数	敷地境界				敷地内
				空間1	空間2	空間3	空間4	空間5
準備期間	作業前	2021/11/29	1回	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07
	雨水対策工事	2021/12/7~ 2021/12/22	12回	0.05	0.08	0.08	0.07	0.07
作業期間	取出し・分別・埋立	2021/12/23~ 2022/10/27	216回	0.05	0.09	0.08	0.07	0.11

※除去土壤以外から受ける放射線量を含む。



測定地点

埋立後におけるモニタリング項目

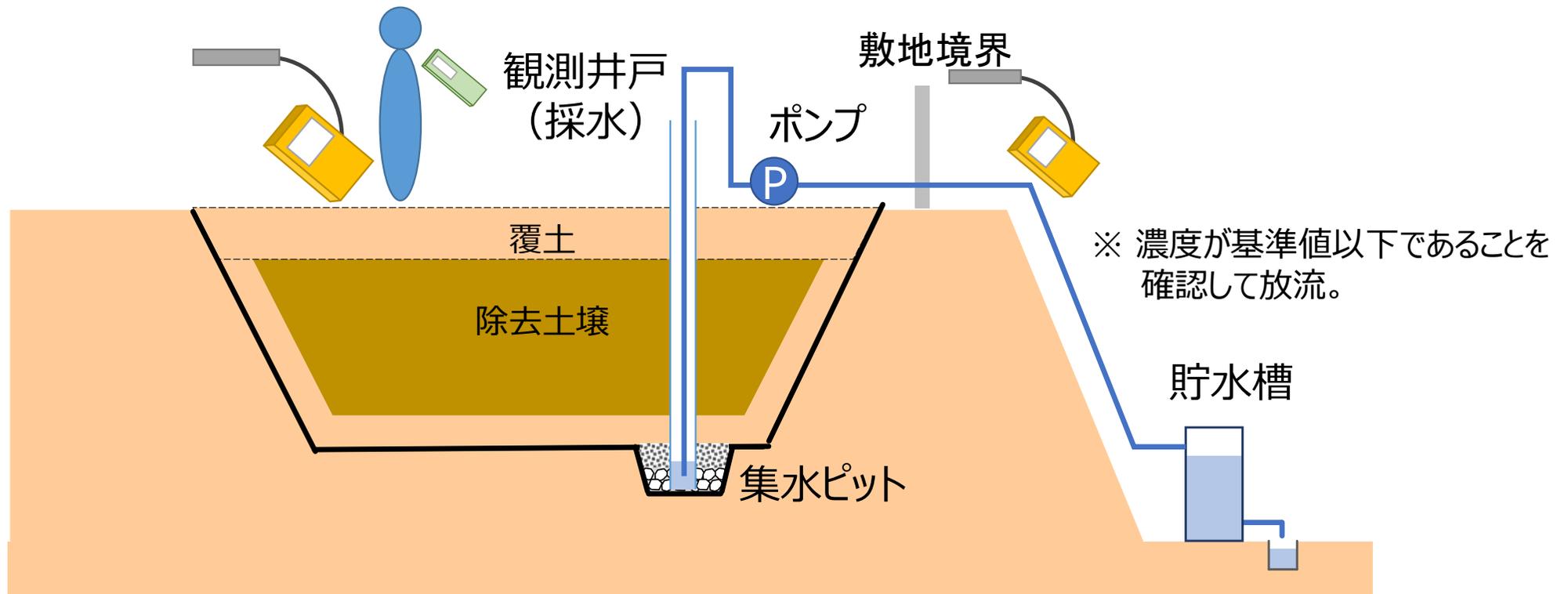
2) 埋立後の管理

■ 埋立場所

- ① 空間線量率測定
- ② 作業者の個人被ばく線量測定
- ③ 浸透水の放射能濃度測定
- ④ 沈下量測定

■ 敷地境界

- ⑤ 空間線量率測定
- ⑥ 大気中の放射能濃度測定
(ダストサンプリング)



- 空間線量率の測定、作業者の個人被ばく線量測定、浸透水の放射能濃度測定は原状回復まで継続

(2) 埋立後の管理…… ①空間線量率

◆埋立後の埋立場所における空間線量率

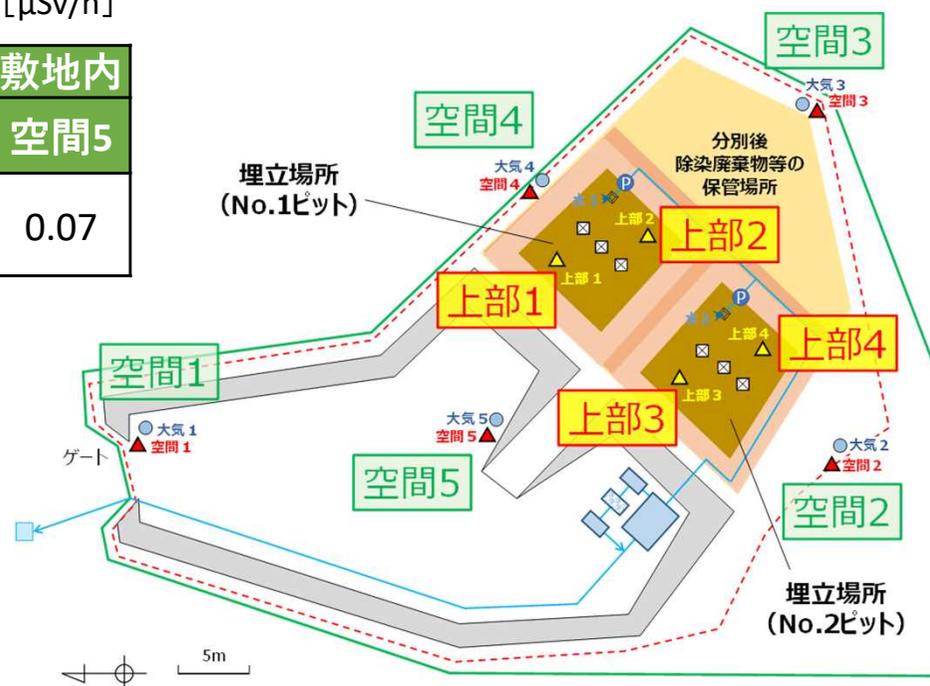
- 覆土完了から現在まで埋立場所の上部4地点における空間線量率を測定。
- 埋立作業前(敷地境界)は $0.06 \sim 0.08 \mu\text{Sv/h}$ 、
埋立後管理期間中(埋立場所上部)は $0.08 \sim 0.09 \mu\text{Sv/h}$ であり、埋立作業前の敷地境界の空間線量率と比べて大きな変化はなかった。

■空間線量率の平均値

単位: 1時間当たりマイクロシーベルト [$\mu\text{Sv/h}$]

作業区分	測定日	測定回数	敷地境界				敷地内
			空間1	空間2	空間3	空間4	空間5
作業前	2021/11/29	1回	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07

作業区分	測定日	測定回数	埋立場所上部			
			上部1	上部2	上部3	上部4
作業後	埋立後① 2022/11/2～ 2023/4/26	25回	0.09	0.09	0.09	0.09
	埋立後② 2023/5/2～ 2023/10/25	26回	0.08	0.09	0.08	0.09



測定地点

※除去土壌以外から受ける放射線量を含む。

(2) 埋立後の管理…… ②作業者の個人被ばく線量

◆埋立後管理期間中の作業者がうける個人被ばく線量

- 埋立後管理期間中の作業者(モニタリング作業等)の個人被ばく線量を測定。
- 1時間当たりの個人被ばく線量の平均値は $0.04 \mu\text{Sv}$ であった。

(除去土壌等以外から受ける放射線量を含む。)

本作業に1年間(250日間×8時間)従事したとしても、**個人あたりの年間被ばく線量は、**

$$0.04 \mu\text{Sv}/\text{日} \times 250 \text{ 日} \times 8 \text{ 時間} = 80 \mu\text{Sv} = 0.08 \text{ mSv}$$

$$(1 \mu\text{Sv} = 0.001 \text{ mSv})$$

であり、1 mSv を下回った。

個人線量計を作業者一人一人の体幹部に装着し、作業者全員の1時間ごとの個人被ばく線量を測定。



※除去土壌以外から受ける放射線を含むことに留意

(2) 埋立後の管理…… ③浸透水の放射能濃度

◆埋立後の浸透水の放射能濃度

- 埋立後の管理として、浸透水の放射能濃度を測定。
- その結果、浸透水から放射性セシウムは全く検出されなかった。

■浸透水の放射能濃度

採水場所	測定日	測定頻度	測定回数	核種	放射能濃度 〔Bq/L〕	検出下限値 〔Bq/L〕
No.1ピット	2022/10/28～ 2023/10/25	1回/週	53回	Cs-134	検出下限値未滿	0.44～0.99
				Cs-137	検出下限値未滿	0.56～1.00
No.2ピット	2022/10/28～ 2023/10/25	1回/週	53回	Cs-134	検出下限値未滿	0.49～0.98
				Cs-137	検出下限値未滿	0.62～1.00

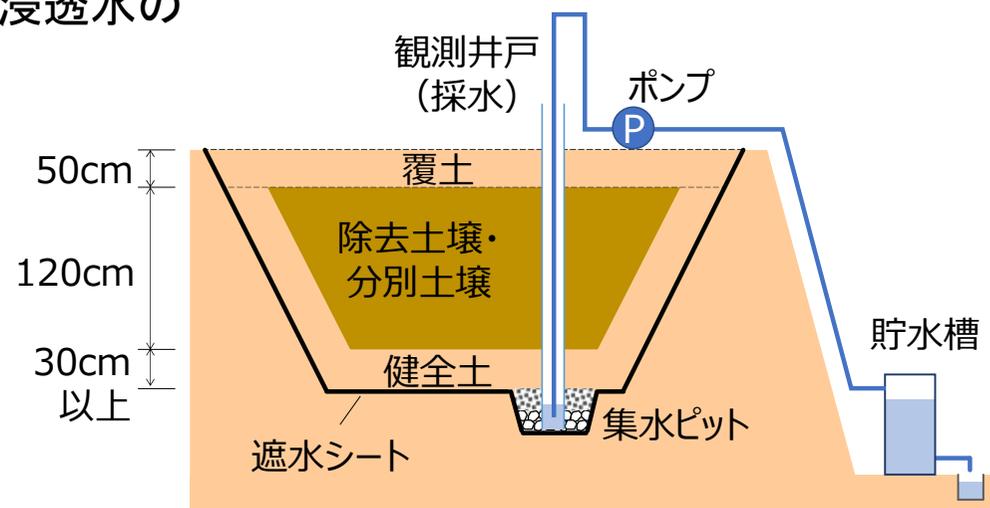
埋立場所から浸透し、集水ピットにたまった浸透水の放射能濃度を1週間に1回の頻度で測定。



<浸透水の採取>

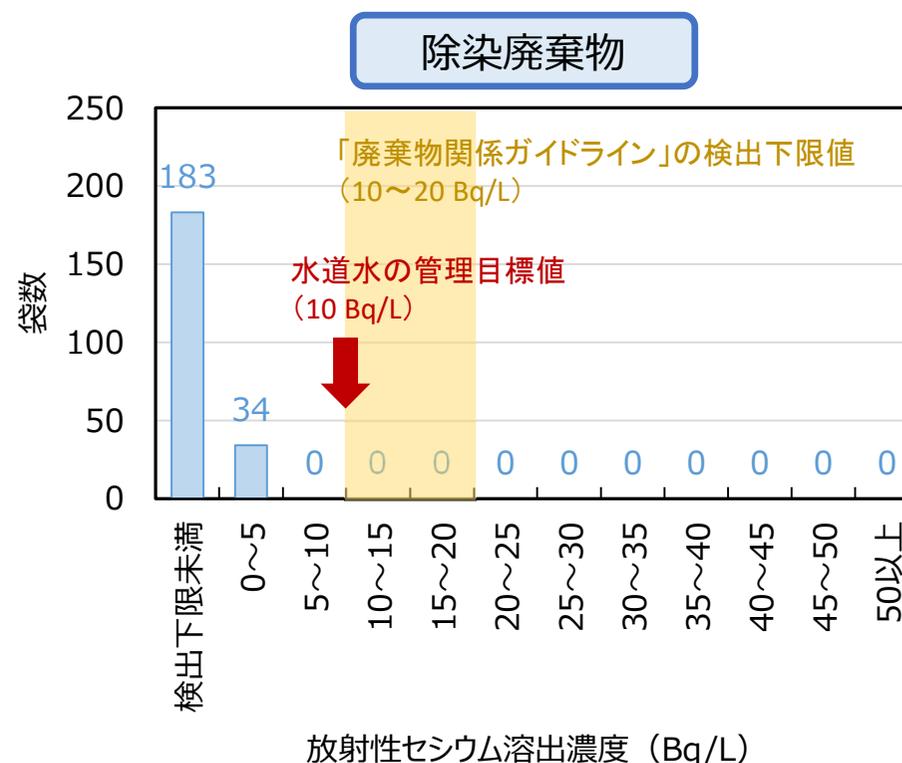
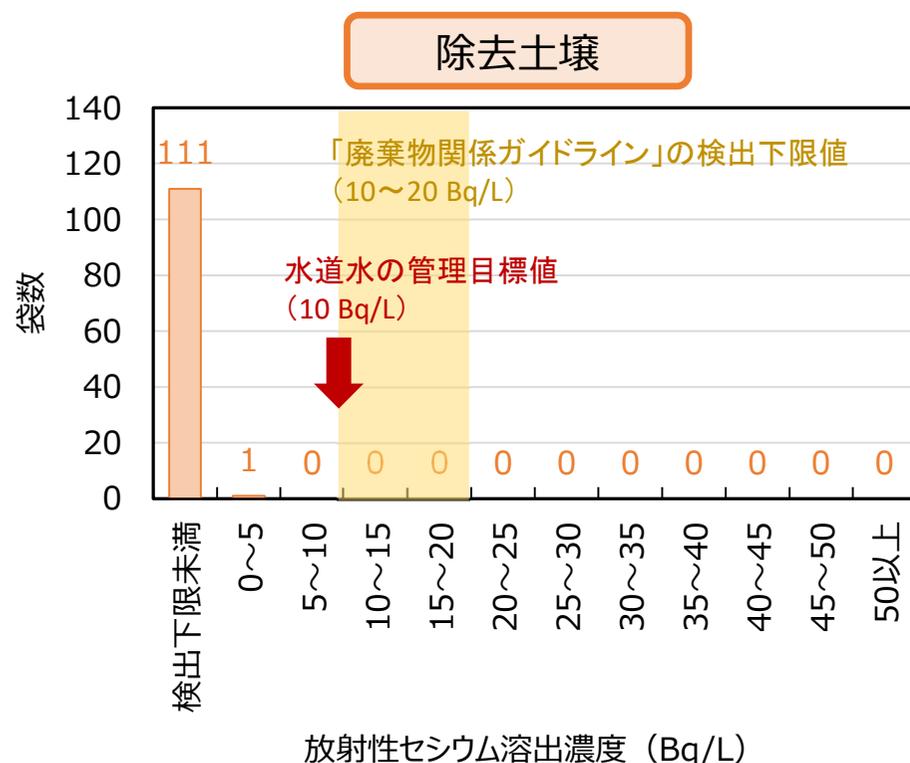


<pH・水温の測定>



(参考) 除去土壌等の溶出特性

- 溶出試験は、土壌や廃棄物などから、どのような物質がどの程度溶け出してくるのかを調べるための試験(室内試験)。
- 試験の結果、わずかに放射性セシウムが溶出する検体が見られたが、前ページのとおり実際の浸透水中の放射能濃度は全て検出下限未満であった。
- このことは、除去土壌等からは放射性セシウムはほとんど溶け出さず、溶け出したとしてもすぐに周囲の土壌に吸着されるため、浸透水に出てこなかったものと解釈できる。



<参考> 水道水中の放射性物質の管理目標値 : 10 Bq/kg (= 10 Bq/L)
 「廃棄物関係ガイドライン」の検出下限値 : 10~20 Bq/L
 今回の溶出試験の検出下限値 : 1 Bq/L よりも小さな値

※試験対象は分別前と分別後。詳細調査を行った50袋に加え、容器の表面線量が閾値を超えた追加調査を行った袋も含む。

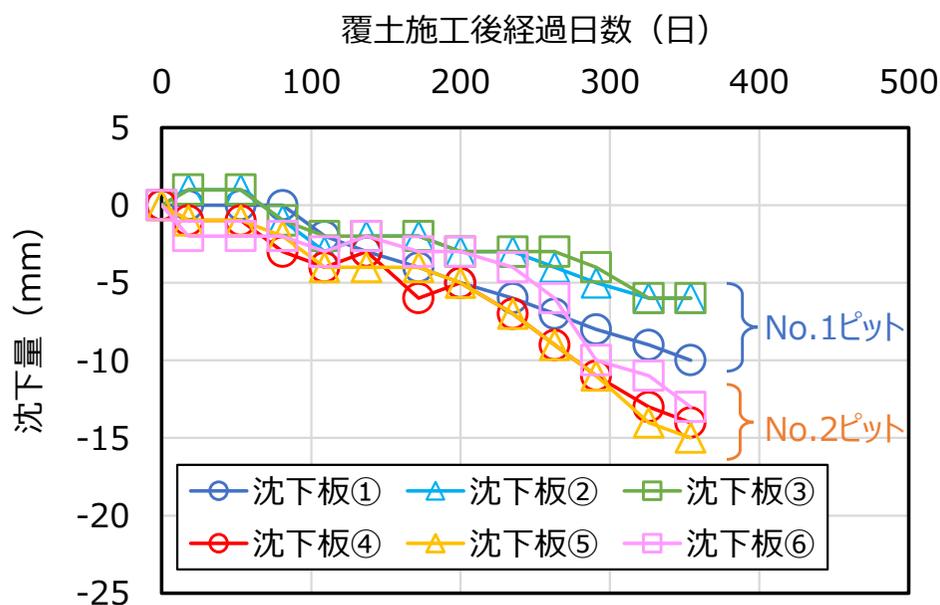
(2) 埋立後の管理……④埋立場所の沈下量

- 覆土施工後354日における埋立場所の沈下量は最大15mm。
- No.1ピットに比べて、No.2ピットの方がわずかに沈下量は大きい。
- 丸森町の沈下量は、東海村や那須町の実証事業における沈下量と比較して小さい。

実証事業	埋立層の厚さ	経過日数	沈下量
東海村(第1区)	1.2m	362日	最大 63mm
東海村(第2区)	3.7m	365日	最大 86mm
那須町	1.2m	280日	最大 25mm
丸森町	1.2m	354日	最大 15mm

※覆土施工後経過日数が同時期の沈下量と比較。

那須町は280日以降のデータなし。



(2) 埋立後の管理・・・⑤空間線量率(敷地境界)

◆埋立後の敷地境界における空間線量率

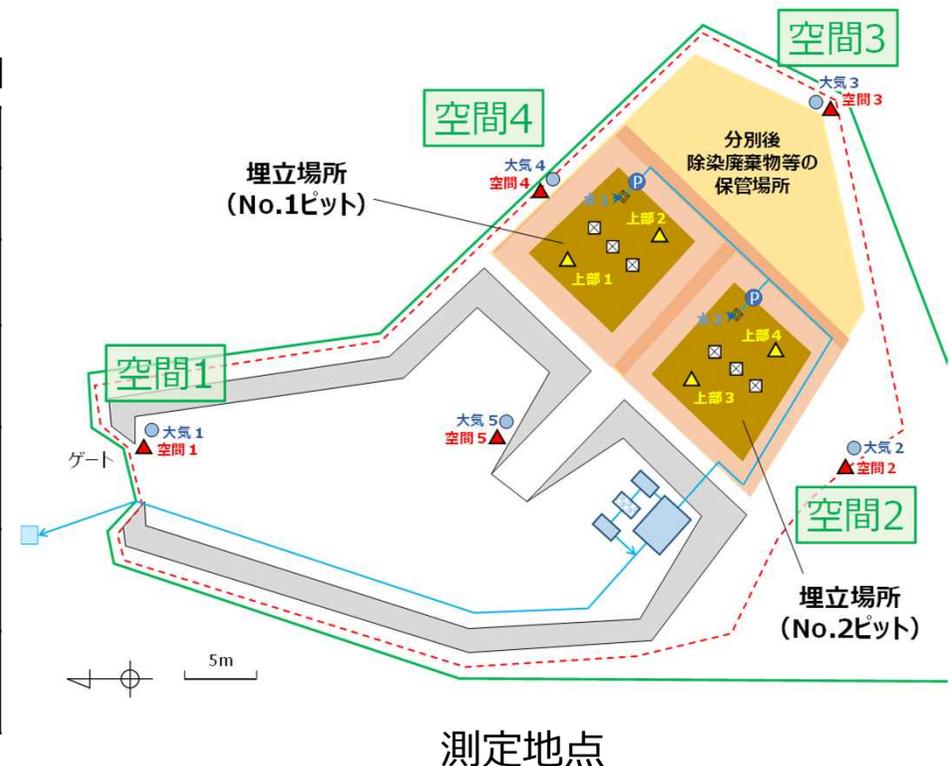
- 埋立後の管理として、敷地境界4地点における空間線量率を測定。
- 実証事業準備期間中は $0.05 \sim 0.08 \mu\text{Sv/h}$ 、
埋立後管理期間中も同様に $0.05 \sim 0.09 \mu\text{Sv/h}$ であり、除去土壌の埋立前後で周辺環境の空間線量率に大きな変化はなかった。

■空間線量率の平均値

単位：1時間当たりマイクロシーベルト [$\mu\text{Sv/h}$]

作業区分	測定日	測定回数	敷地境界			
			空間1	空間2	空間3	空間4
作業前	2021/11/29	1回	0.07	0.08	0.08	0.06
作業中	雨水対策工事 2021/12/7～ 2021/12/22	12回	0.05	0.08	0.08	0.07
	取出し・分別・埋立 2021/12/23～ 2022/10/27	216回	0.05	0.09	0.08	0.07
作業後	埋立後① 2022/11/2～ 2023/4/26	25回	0.05	0.09	0.08	0.06
	埋立後② 2023/5/2～ 2023/10/25	26回	0.05	0.08	0.08	0.06

※除去土壌以外から受ける放射線量を含む。



(2) 埋立後の管理……⑥大気中の放射能濃度(敷地境界)

◆埋立後の敷地境界における大気中放射能濃度

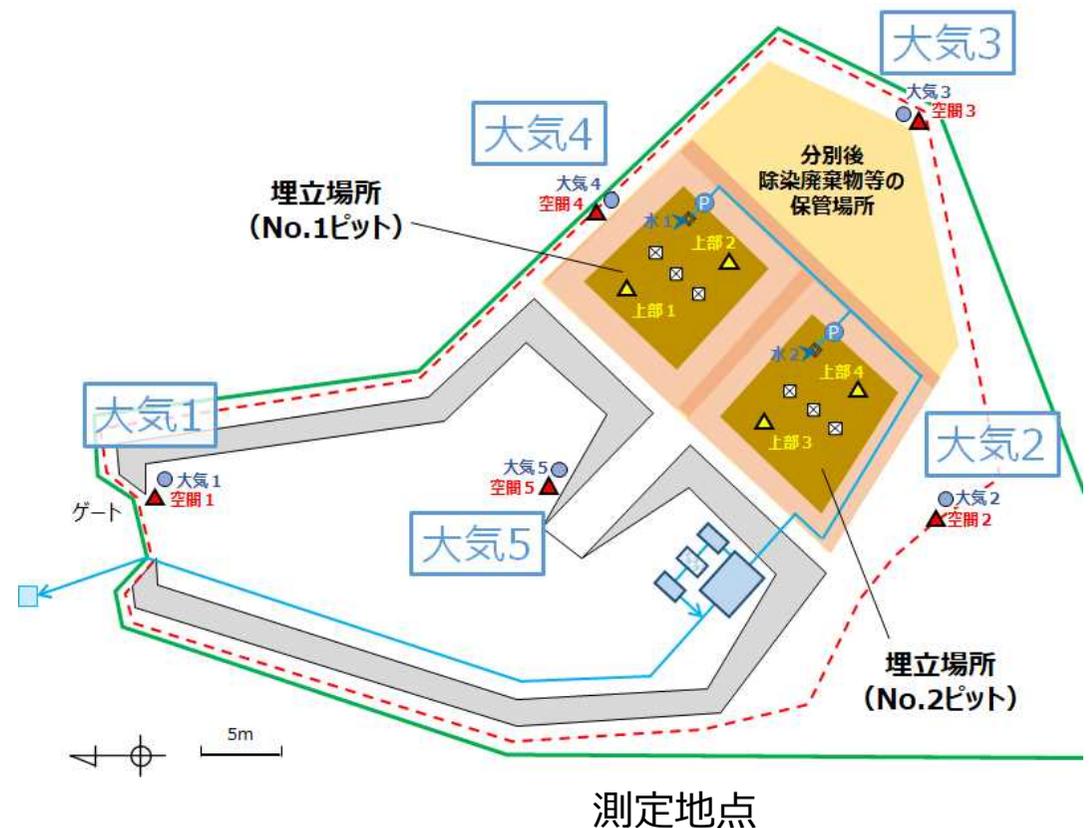
- 埋立後の管理として、敷地境界4地点における大気中放射能濃度を測定。
- 埋立後の敷地境界の測定(1回/月)では、大気中の放射能濃度は全て検出下限値未満*であった。

※2022年12月～2023年10月測定

<検出下限値>

Cs-134 : 0.050～0.082 (mBq/m³)

Cs-137 : 0.052～0.078 (mBq/m³)



測定地点

1. 除去土壌の処分と現状について
2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の
実証事業の概要
3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃
棄物の分別
4. 除去土壌等の性状分析結果
5. 実証事業のモニタリング結果
6. **実証事業の主な結果**
7. その他

実証事業の主な結果①

■除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃棄物の分別

- 容器の表面線量率と放射能濃度には一定の関係性はあるものの、特に重量の小さい容器など、回帰式から大きく外れる検体もあった。
- 除染廃棄物の分別を行った結果、除染廃棄物には「土壌・腐葉土」の成分が多く含まれていた(64%が土壌・腐葉土)。
- 分別した「枝葉」をチップ化したところ、減容化率は60%であった。

■除去土壌等の性状分析結果

- 除去土壌と比較して除染廃棄物は、①湿潤密度、③土粒子密度が小さく、②自然含水比、⑥EC(電気伝導度)、⑦強熱減量、⑧熱しゃく減量が大い傾向にあった。(除染廃棄物は草木類が主体であり植物体やそれが分解した腐葉土成分が多いことが要因と考えられる。)
- 特に除染廃棄物の一部において放射性セシウムの溶出が見られたが最大で4.6mg/Lであり、強熱減量が80%程度以上になると放射性Csは溶出しやすくなる傾向が見られた。
- 除去土壌の分配係数は100～数百mL/g程度。これまでの東海村・那須町と同等かそれ以上であった。

実証事業の主な結果②

■実証事業のモニタリング結果

○ 除去土壌等の分別や埋立作業に伴う作業員への影響

- 除去土壌等からの放射線による作業員への影響（直接被ばく、吸入被ばく）を確認したところ、本作業に伴う作業員の年間被ばく線量は 1mSv を下回ると推計された。

○ 除去土壌の埋立処分に伴う周辺環境への影響

- 実証事業の開始から終了まで、空間線量率及び大気中放射能濃度に大きな変化は見られず、浸透水から放射性セシウムは検出されなかった。
- 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。
- したがって、丸森町における実証事業では、埋立から埋立後の管理の間に除去土壌の飛散・流出等による周辺環境への影響はなかったものと考えられる。
- また、埋立場所の沈下は確認されたが、東海村や那須町の実証事業における沈下量と比較して小さいものであった。

1. 除去土壌の処分と現状について
2. 丸森町における除去土壌の埋立処分の
実証事業の概要
3. 除去土壌と除染廃棄物の性状と除染廃
棄物の分別
4. 除去土壌等の性状分析結果
5. 実証事業のモニタリング結果
6. 実証事業の主な結果
- 7. その他**

(1) 現地見学会の開催

日時	2023年11月17日(金)
場所	上滝仮置場
参加者	丸森町住民ほか :10名 環境省・丸森町・日本原子力研究開発機構
内容	<ul style="list-style-type: none">放射線の基礎知識及び放射線測定器の使い方を説明し、測定サンプルを用いて放射線測定器の測定体験を実施。丸森町実証事業の結果について説明を行うとともに、埋立ピット上部等において空間線量率の測定実演を実施。
住民からの意見の概要	<ul style="list-style-type: none">雨や地面が濡れていることによる放射線量の変化はあるのか。放射性物質が水に溶けだすことはあるか、水の放射能汚染が気になるが心配する必要はあるか。空間線量が多いことで食べ物に影響はないのか。食べ物は土壌を気にすればよいのか。何Bq/kg以下であれば安全なのか。甲状腺がんの発症率や遺伝子レベルでの調査等はされているのか。

(2) 結果報告会の開催

日時	2023年11月17日(金)
場所	和田コミュニティセンター
参加者	丸森町住民 :5名 環境省・丸森町
内容	<ul style="list-style-type: none">丸森町の実証事業の結果について説明を行い、除去土壌の埋立処分に関する意見交換を実施。
住民からの意見の概要	<ul style="list-style-type: none">実証試験の結果は、県内の他市町村にも波及するものと考えるので、幅広く説明を進めていただきたい。処分に当たってはもっと国が主体的に関与すべき。捨てた人、ばらまいた人が責任を持って処分すべき。町内には焼却施設もなく、町で全て対応するのは難しい。宮城県と福島県で対応が異なるのが理解できない。除去土壌は福島県と同様に一か所に集めるという考え方もある。データとして問題がないことはよくわかったが、住民としてはどうしても不安を持ってしまうことを理解いただき、寄り添って進めていただきたい。

(3) 今後のスケジュール

- ・ モニタリングを終了し、今後、原状回復を行う。

令和3年度	12月 2月24日 3月	工事着手(取り出し開始) 第7回検討チーム会合 分別開始
令和4年度	4月22日 9月～10月 10月 2月27日	検討チーム会合委員視察 埋立 埋立完了後モニタリング開始(約1年間) 第8回検討チーム会合
令和5年度	10月頃 12月以降	埋立完了後モニタリング終了 第9回検討チーム会合 原状回復(予定)