

除去土壌再生利用実証事業について

令和元年12月19日
環境省

目 次

1. 飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要
2. モニタリング結果について
3. 栽培に関する試験について
4. 作業者の外部被ばく線量について
5. まとめ
6. 今後の進め方

【補足資料】 ① 飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要
② 再生資材・盛土に関する試験データ

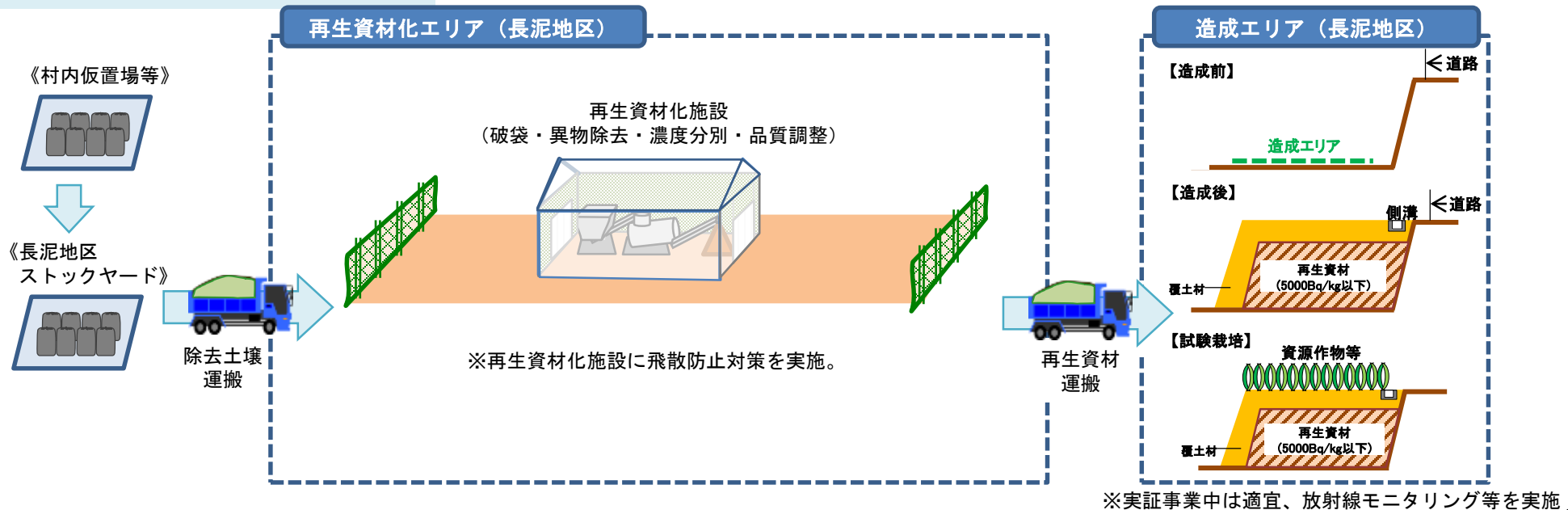
【参考資料】 南相馬市における除去土壌再生利用実証事業のモニタリング状況

1. 飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（1）

村内仮置場等に保管されている除去土壌を再生資材化し、造成を行い、資源作物等の試験栽培を行う。

- 1) 村内の仮置場等から、除去土壌をストックヤードに運搬
- 2) 再生資材化施設を設置し、除去土壌から異物等の除去、濃度分別、品質調整し、再生資材化をする。
- 3) 実証事業場所において、再生資材、覆土材を用いて造成
- 4) 造成地において、露地栽培（試験栽培）を実施
- 5) これに先立ち、ポット栽培による生育性及び移行係数の確認を行い、ハウス栽培エリアにこれらの展示を設置するとともに、ハウス内で試験栽培を行う。

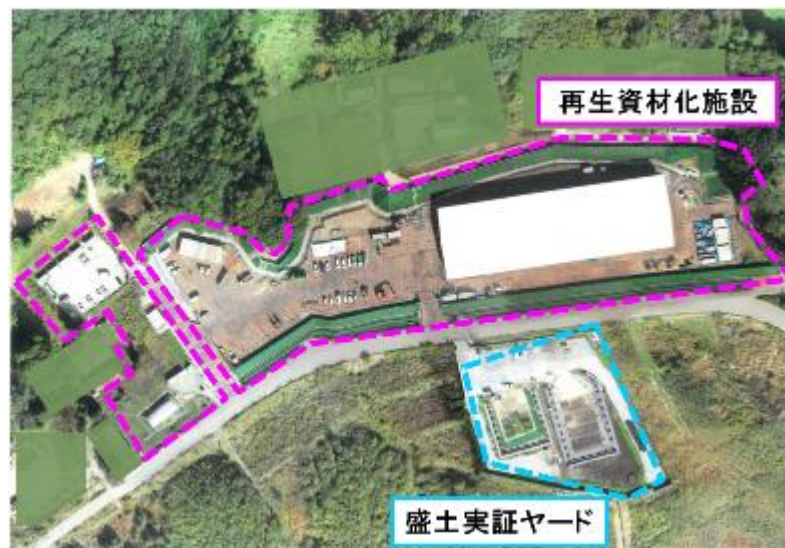
（参考）実証試験イメージ



1. 飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（2）



↑ 再生資材化施設 2019年10月



↑ 実証事業エリア 2019年10月



↑ 盛土完成直後 2019年6月



↑ 露地栽培の様子 2019年7月

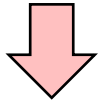


↑ 露地栽培の様子 2019年9月

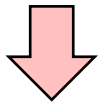
1. 飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（3）

除去土壌の再生資材化実証試験（再生資材化のフロー）

(1) 除去土壌スクリーニング・搬入・破袋



(2) 有機物等除去
振動スクリーン（70mmメッシュ）に
かけ、大きな異物（有機物等）を除去



(3) 改質
放射能濃度分別の効率化 等



(4) 放射能濃度分別
放射能濃度連続分別機を用い5,000Bq/kgを
基準に分別



5,000Bq/kg超

5,000Bq/kg以下



ストックヤード

※今回、5,000Bq/kg超
は分別されなかった。

(5) 盛土造成
1層あたり30cmの厚さ
ごとに転圧。3層施工



放射能濃度を確認



ダンプ運搬



人力による破袋



振動スクリーンによるふるい分け



スクリーン通過分
⇒改質処理へ



スクリーン不通過の異物（木の根・枝や大きな石等）
⇒盛土材として不適のため除去



土壌混合機による改質



改質材



改質土⇒放射能濃度連続分別機へ



放射能濃度連続分別機への投入



放射能濃度の測定



5,000Bq/kgを基準に分別



盛土場



盛土材ダンプアップ



再生資材盛土

1. 飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（4）

技術的確認事項（放射線安全関連）

- ① 盛土施工中・供用中の放射線影響の評価・確認
- ② 露地栽培における作物への移行係数の評価・確認
- ③ 盛土施工時の作業者の放射線管理

①、③は南相馬市における除去土壌再生利用実証事業にて確認しているが、飯舘村の実証事業においても同様に確認を行った。

2. モニタリング結果について

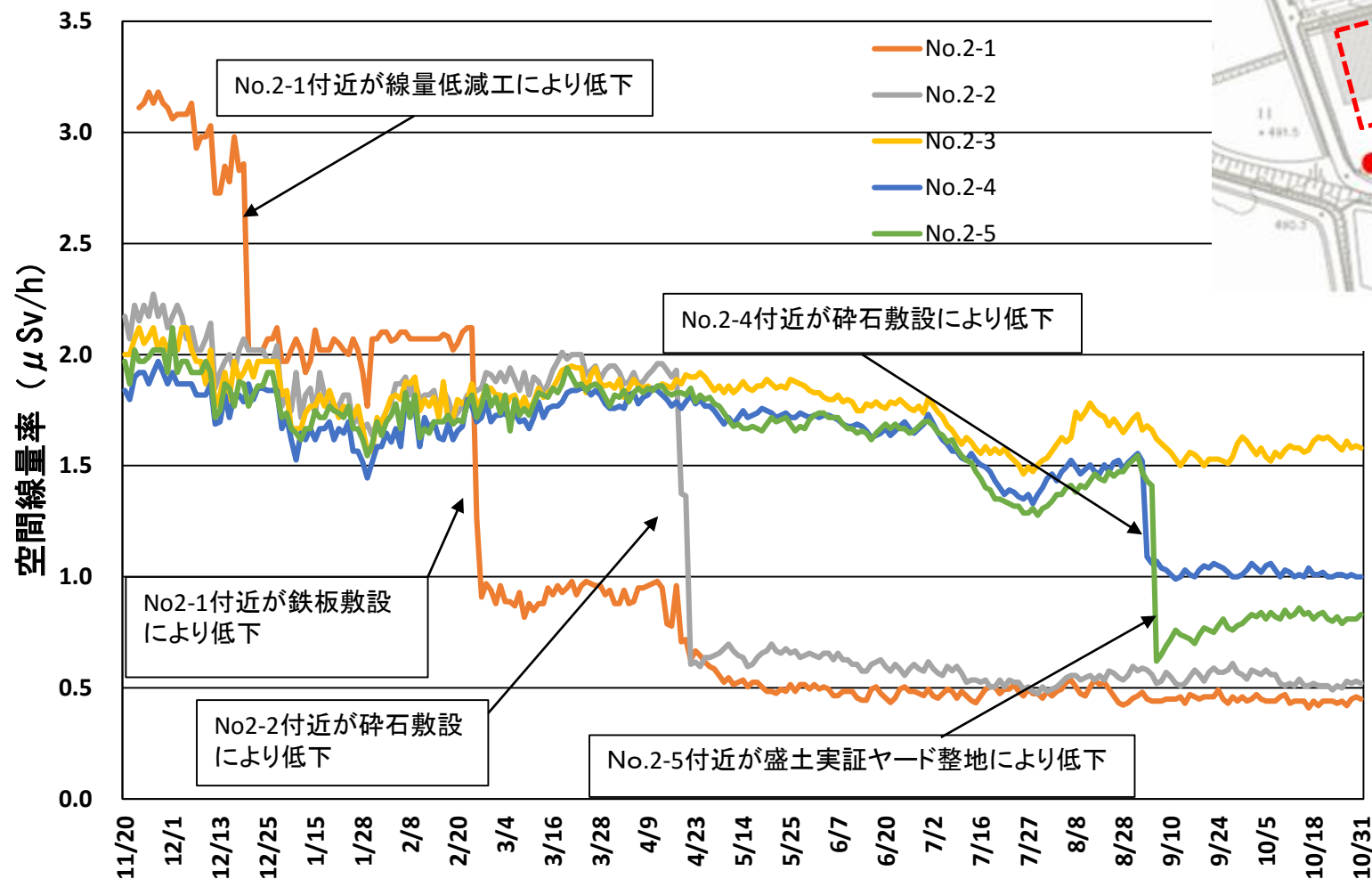
2-1. 盛土実証ヤードの空間線量率モニタリング結果

【盛土実証ヤード周辺環境の空間線量率】

測定期間：2018/11/20～2019/10/31

盛土施工期間：2019/5/15～2019/5/31（再生資材）

2019/6/3～2019/6/5（覆土）

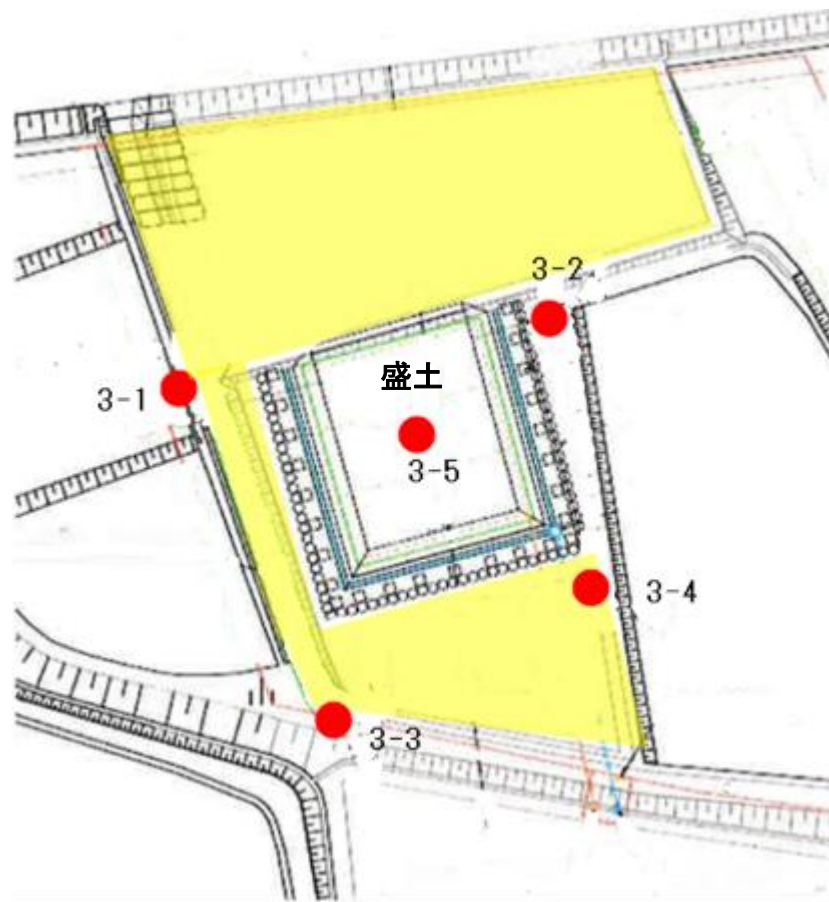


● : 測定地点

2. モニタリング結果について

2-2. 盛土上の空間線量率の計算値と実測値の比較(1)

【平面図】



● : 測定地点

黄色エリア ; 碎石敷設

1. 空間線量率測定結果 (1)

測定地点	土壌放射能濃度 Bq/kg *1	空間線量率 $\mu\text{Sv/h}$ (高さ1m)		
		盛土施工前*2	再生資材施工後*3	覆土施工後*4
No3-1	14,100	1.70	—	1.55
No3-2	19,500	1.82	—	1.36
No3-3	20,600	1.82	—	1.20
No3-4	18,400	2.03	—	0.65
No3-5	12,970	1.99	0.67	0.38

*1 土壌採取日 : 2019. 4. 19

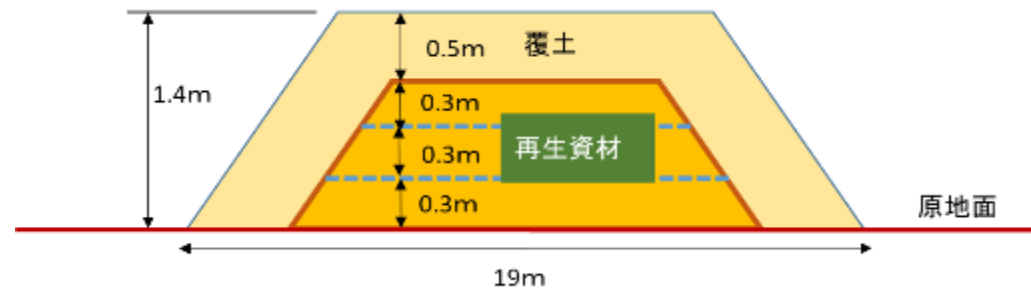
*2 盛土施工前測定日 : 2019. 4. 19

*3 再生資材施工後測定日 : 2019. 5. 31

*4 覆土施工後測定日 : 2019. 6. 6 (No3-5), 2019. 6. 13 (No3-1~No3-4)

注) 再生資材施工期間 : 2019. 5. 15~5. 31, 覆土施工期間 : 2019. 6. 3~6. 5

【盛土断面図イメージ】



2. モニタリング結果について

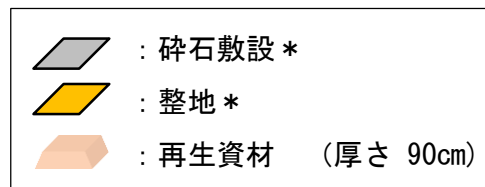
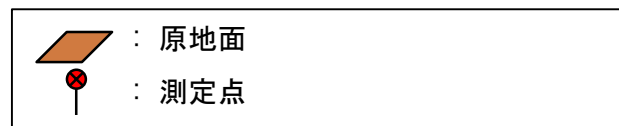
2-2. 盛土上の空間線量率の計算値と実測値の比較 (2)

【盛土実証ヤードの空間線量率の計算条件】

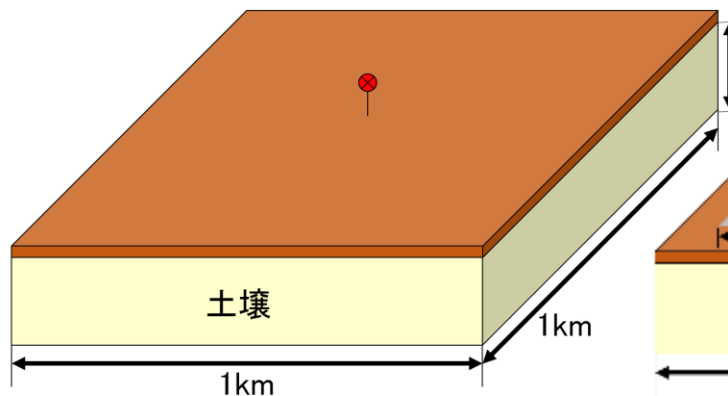
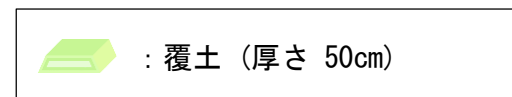
- ・ 評価点高さ：1 m
- ・ 原地面の表層土壌放射能濃度（平均）：17,000 Bq/kg
- ・ 再生資材放射能濃度（平均）：2,400 Bq/kg
- ・ Cs-134:Cs-137=0.081:1 (2019.4.1)
- ・ 詳細は次スライド参照

計算結果（MCNP6, MCPLIB84, 1cm線量当量）；

- ・ 盛土中央の線量は、周辺から約 0.4 $\mu\text{Sv/h}$ 程度のバックグラウンドの影響を受ける。
- ・ 盛土からの線量は直接測定できないが、覆土の遮へい効果により再生資材からの直接線による影響は小さくなる。



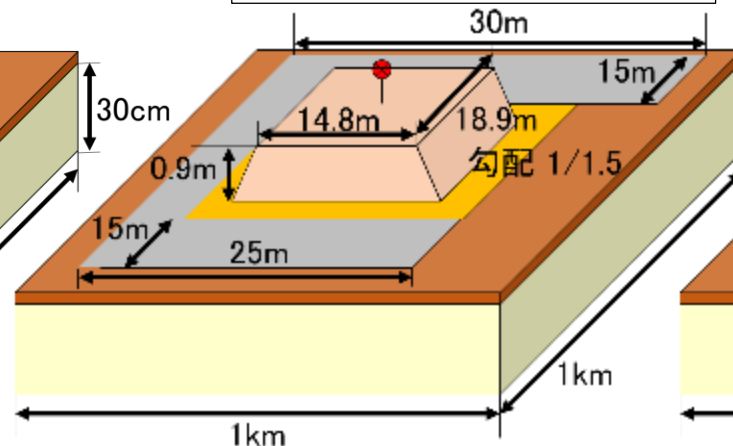
* 放射線の寄与を考慮せず



盛土施工前

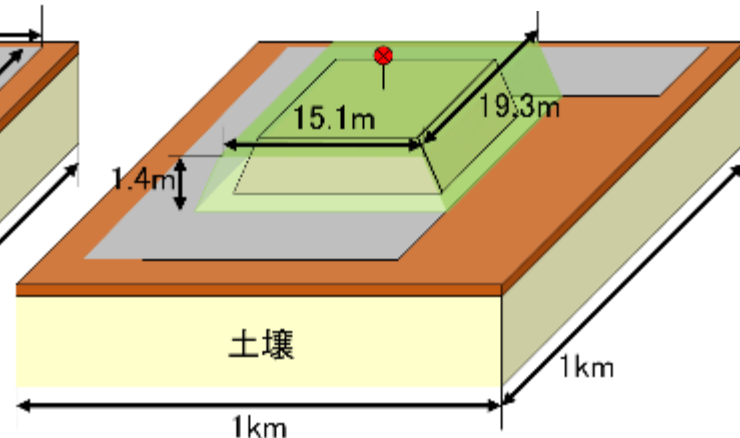
実測値	1.99±0.30 $\mu\text{Sv/h}$
計算値	2.04 $\mu\text{Sv/h}$

実測値指示誤差±15%



盛土（再生資材）施工後

実測値	0.67±0.10 $\mu\text{Sv/h}$
計算値	0.78 $\mu\text{Sv/h}$ (盛土 0.33 + BG 0.45 $\mu\text{Sv/h}$)



盛土（覆土）施工後

実測値	0.38±0.06 $\mu\text{Sv/h}$
計算値	0.45 $\mu\text{Sv/h}$ (盛土 0.00019 + BG 0.45 $\mu\text{Sv/h}$)

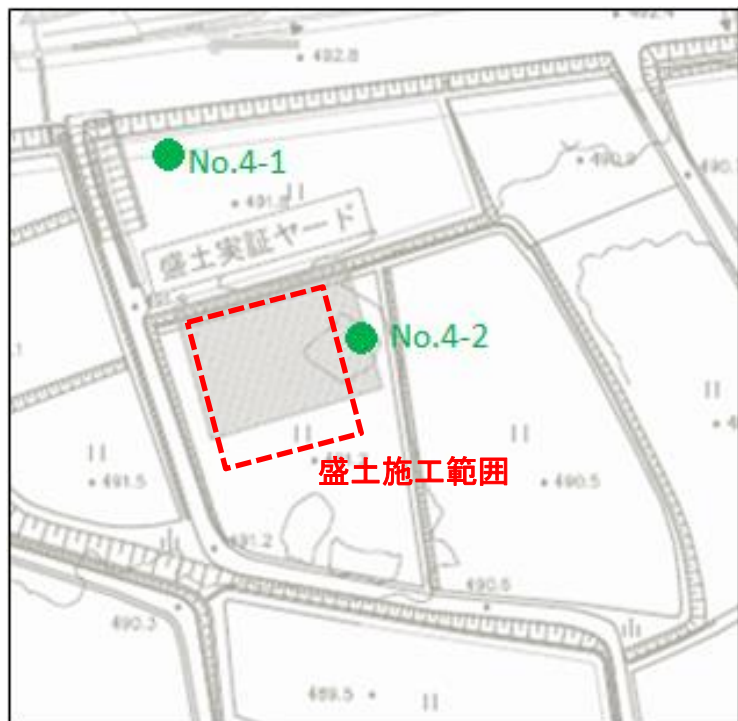
2. モニタリング結果について

2-2. 盛土上の空間線量率の計算値と実測値の比較 (3)

No.	名称	単位	選定値	選定根拠																																																																										
1	Cs-134:Cs-137	-	0.081:1	2019.4.1 時点																																																																										
2	評価点高さ	m	1	原地面,盛土施工後,覆土後のそれぞれについて高さ 1m																																																																										
3	計算体系(計算領域)	km 四方	1	計算領域(距離)に対する線量計算値がほぼ飽和に至る距離																																																																										
4	土壌放射能濃度	Bq/kg	17,000	盛土周辺 5 点の実測値平均(深さ 5cm)を設定(深さ 5~10cm は 9,900)																																																																										
5	土壌密度(湿潤密度)	g/cm ³	1.6	一般的な値として仮定																																																																										
6	再生資材放射能濃度	Bq/kg	2,400	三層×12 点の実測値の平均																																																																										
7	再生資材密度(湿潤密度)	g/cm ³	1.43	三層×12 点の実測値の平均(かさ密度は 1.06)																																																																										
8	覆土密度(湿潤密度)	g/cm ³	2.04	二層×12 点の実測値の平均(かさ密度は 1.82)																																																																										
9	盛土形状	再生資材 高さ 0.9m、底面 18m×22m、法面傾斜 1:1.5(上面 14.8m×18.9m)、上面に厚さ 50cm の覆土																																																																												
10	ガンマ線放出率			物質組成																																																																										
<table><tr><td>核種</td><td>Energy(MeV)</td><td>放出率(photons/dis)</td></tr><tr><td rowspan="7">Cs-134</td><td>0.563</td><td>8.40E-02</td></tr><tr><td>0.569</td><td>1.54E-01</td></tr><tr><td>0.605</td><td>9.76E-01</td></tr><tr><td>0.796</td><td>8.55E-01</td></tr><tr><td>0.802</td><td>8.70E-02</td></tr><tr><td>1.365</td><td>3.00E-02</td></tr><tr><td>合計</td><td>2.19E+00</td></tr><tr><td>Cs-137</td><td>0.662</td><td>8.51E-01</td></tr></table> ※ Cs-137 と放射平衡にある Ba137m からの光子含む 出典: 佐藤大樹,土壌に分布した放射性セシウムによる線量換算係数の計算, JAEA-Research 2014-017				核種	Energy(MeV)	放出率(photons/dis)	Cs-134	0.563	8.40E-02	0.569	1.54E-01	0.605	9.76E-01	0.796	8.55E-01	0.802	8.70E-02	1.365	3.00E-02	合計	2.19E+00	Cs-137	0.662	8.51E-01	<table><tr><td></td><td>元素</td><td>空気</td><td>現地面</td><td>再生資材</td><td>覆土</td></tr><tr><td>密度[g/cm³]</td><td>-</td><td>1.20E-03</td><td>1.6</td><td>1.43</td><td>2.04</td></tr><tr><td rowspan="8">元素組成 [g/cm³]</td><td>H</td><td></td><td>3.52E-02</td><td>3.14E-02</td><td>4.49E-02</td></tr><tr><td>C</td><td>1.49E-07</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>N</td><td>9.06E-04</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>O</td><td>2.78E-04</td><td>9.20E-01</td><td>8.20E-01</td><td>1.17E+00</td></tr><tr><td>Al</td><td></td><td>1.36E-01</td><td>1.21E-01</td><td>1.73E-01</td></tr><tr><td>Si</td><td></td><td>4.19E-01</td><td>3.73E-01</td><td>5.34E-01</td></tr><tr><td>Ar</td><td>1.54E-05</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Fe</td><td></td><td>8.96E-02</td><td>7.98E-02</td><td>1.14E-01</td></tr></table> ※ 再生資材及び覆土の密度は実測値を使用した。 出典: 佐藤大樹,土壌に分布した放射性セシウムによる線量換算係数の計算, JAEA-Research 2014-017		元素	空気	現地面	再生資材	覆土	密度[g/cm ³]	-	1.20E-03	1.6	1.43	2.04	元素組成 [g/cm ³]	H		3.52E-02	3.14E-02	4.49E-02	C	1.49E-07				N	9.06E-04				O	2.78E-04	9.20E-01	8.20E-01	1.17E+00	Al		1.36E-01	1.21E-01	1.73E-01	Si		4.19E-01	3.73E-01	5.34E-01	Ar	1.54E-05				Fe		8.96E-02	7.98E-02	1.14E-01
核種	Energy(MeV)	放出率(photons/dis)																																																																												
Cs-134	0.563	8.40E-02																																																																												
	0.569	1.54E-01																																																																												
	0.605	9.76E-01																																																																												
	0.796	8.55E-01																																																																												
	0.802	8.70E-02																																																																												
	1.365	3.00E-02																																																																												
	合計	2.19E+00																																																																												
Cs-137	0.662	8.51E-01																																																																												
	元素	空気	現地面	再生資材	覆土																																																																									
密度[g/cm ³]	-	1.20E-03	1.6	1.43	2.04																																																																									
元素組成 [g/cm ³]	H		3.52E-02	3.14E-02	4.49E-02																																																																									
	C	1.49E-07																																																																												
	N	9.06E-04																																																																												
	O	2.78E-04	9.20E-01	8.20E-01	1.17E+00																																																																									
	Al		1.36E-01	1.21E-01	1.73E-01																																																																									
	Si		4.19E-01	3.73E-01	5.34E-01																																																																									
	Ar	1.54E-05																																																																												
	Fe		8.96E-02	7.98E-02	1.14E-01																																																																									

2. モニタリング結果について

2-3. 盛土実証ヤードの空气中放射能濃度モニタリング結果



● : 測定地点

空气中放射能濃度 (Bq/cm³)

測定地点	測定時期	天候*	風速 (m/s) * 9-12時	降水量 (mm) * 9-12時	Cs-134	Cs-137
No4-1	盛土施工前 4/16	晴	3	0	ND	ND
	盛土施工中 5/25	晴	2	0	ND	ND
	盛土施工後 6/22	曇	2	0	ND	ND
No4-2	盛土施工前 5/8	晴	2	0	ND	ND
	盛土施工中 5/27	晴	3	0	ND	ND
	盛土施工後 6/27	曇	2	0	ND	ND

ND : 1.6E-6 Bq/cm³ (検出下限値) 未満



空气中放射能濃度は検出下限値未満となっている。

2. モニタリング結果について

2-4. 盛土実証ヤードの地下水中放射能濃度モニタリング結果



▲ : 測定地点

表2 観測井戸の地下水中放射能濃度 (Bq/L)

	採取日	測定日	分析結果		
			Cs-134	Cs-137	合計
No. 5-2 1/31 設置	2/1	2/8	ND	ND	ND
	3/6	3/8	ND	ND	ND
	4/2	4/17	ND	ND	ND
	5/9	5/17	ND	ND	ND
	6/4	6/19	ND	ND	ND
	7/1	7/4	ND	ND	ND
	8/3	8/7	ND	ND	ND
	9/3	9/10	ND	ND	ND
	10/9	10/11	ND	ND	ND

表1 観測井戸の地下水中放射能濃度 (Bq/L)

	採取日	測定日	分析結果		
			Cs-134	Cs-137	合計
No. 5-1 1/30 設置	2/1	2/8	ND	0.49	0.49
	3/6	3/7	ND	0.49	0.49
	4/2	4/17	ND	ND	ND
	5/9	5/17	ND	ND	ND
	6/4	6/19	ND	ND	ND
	7/1	7/4	ND	ND	ND
	8/3	8/7	ND	ND	ND
	9/3	9/10	ND	ND	ND
	10/9	10/11	ND	ND	ND

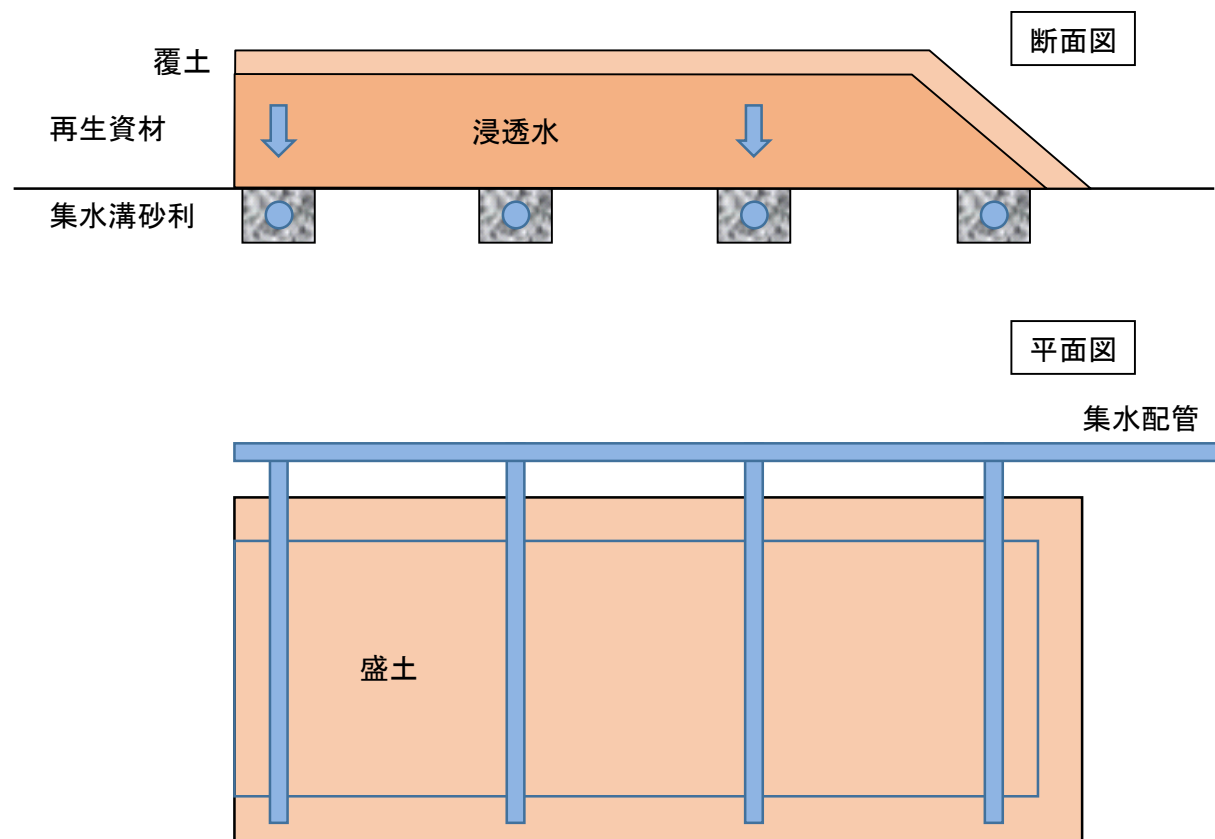
ND : Cs-134 : 0.35~0.58Bq/L未満、 Cs-137 : 0.40~0.70Bq/L未満



- ・ No. 5-1では当初Cs-137が検出された。これは、井戸設置時の土壌混入によるものと考えられる。
- ・ No. 5-2ではモニタリング開始から、検出下限値未満となっている。

2. モニタリング結果について

2-5. 盛土浸透水中放射能濃度モニタリング結果



盛土浸透水中放射能濃度のモニタリングの体系

浸透水中放射能濃度 (Bq/L)

浸透水 採取日	分析結果 (Bq/L)		降雨日*	雨量 (mm)*
	Cs-134	Cs-137		
7月8日	ND	ND	7月6、7日	41.5
7月22日	ND	ND	7月17～21日	25.0
7月25日	ND	ND	7月23、24日	9.0
8月22日	ND	ND	8月20、21日	42.8
9月10日	ND	ND	9月9日	71.01
9月17日	ND	ND	9月16日	7.6
10月8日	ND	ND	10月7日	3.6
10月13日	ND	ND	10月12日	232.3
10月16日	ND	ND	10月13、14日	44.0
10月29日	ND	ND	10月28日	5.4

*サンコーコンサルタント（株）計測データより

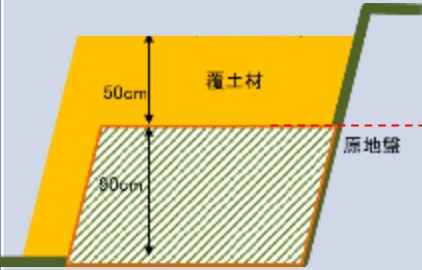
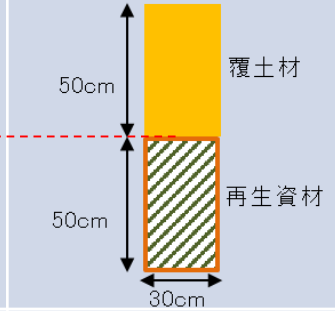
ND: 0.1 Bq/L (検出下限値) 未満



盛土浸透水中放射能濃度は検出
下限値未満となっている。

3. 栽培に関する試験について

3-1. 栽培試験

栽培試験の種類	露地栽培	ポット栽培 (ワグネルポット での試験)	ポット栽培 (二層構造モデル試験)	ハウス栽培
概要	再生資材及び覆土を用いた盛土 上での試験	ワグネルポット（直径26cm、 深さ30cm）を用いた試験	1mアクリルポット（直径 30cm）を用い、下部50cmに 再生資材、上部50cmに覆土 を入れた状態での試験	実証エリア内のビニールハ ウスでの試験
目的	移行性・生育性の確認（安全評 価に用いる移行係数の取得）	様々な条件下での移行性・ 生育性の確認	露地栽培の構造を模した 様々な条件下での移行性・ 生育性の確認	覆土材に用いる遮へい土を 使い、作物の生育性を確認
断面（イメージ）				
写真				
試験に用いた作物	資源作物（ジャイアントミスカ ンサス、ソルガム、アマランサ ス）、緑肥作物（ヘアリーベッ チ）	資源作物（ジャイアントミスカ ンサス、ソルガム、アマランサ ス）	資源作物（ジャイアントミスカ ンサス、ソルガム、アマランサ ス）	資源作物（ジャイアントミスカ ンサス、ソルガム、アマランサ ス）、花卉（トルコギキョウ、カンパニユラ 等）、緑肥作物（ヘアリーベッ チ、アカクローバー）

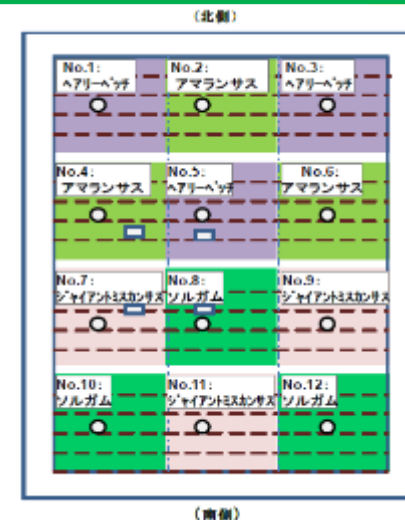
3. 栽培に関する試験について

3-2. 露地栽培の実施状況

【実施内容】

- ・ 資源作物の移行係数の確認，資源作物等の生育性の確認
- ・ ジャイアントミスカンサス、ソルガム、アマランサス等栽培（12区画，3反復）
 - （1）ジャイアントミスカンサス刈取り（9月20日）
 - （2）ソルガム刈取り（9月20日）
 - （3）アマランサス刈取り（9月3日）

※刈取り時期：根伸長と作物の生長量を総合判断して決定した。



凡例

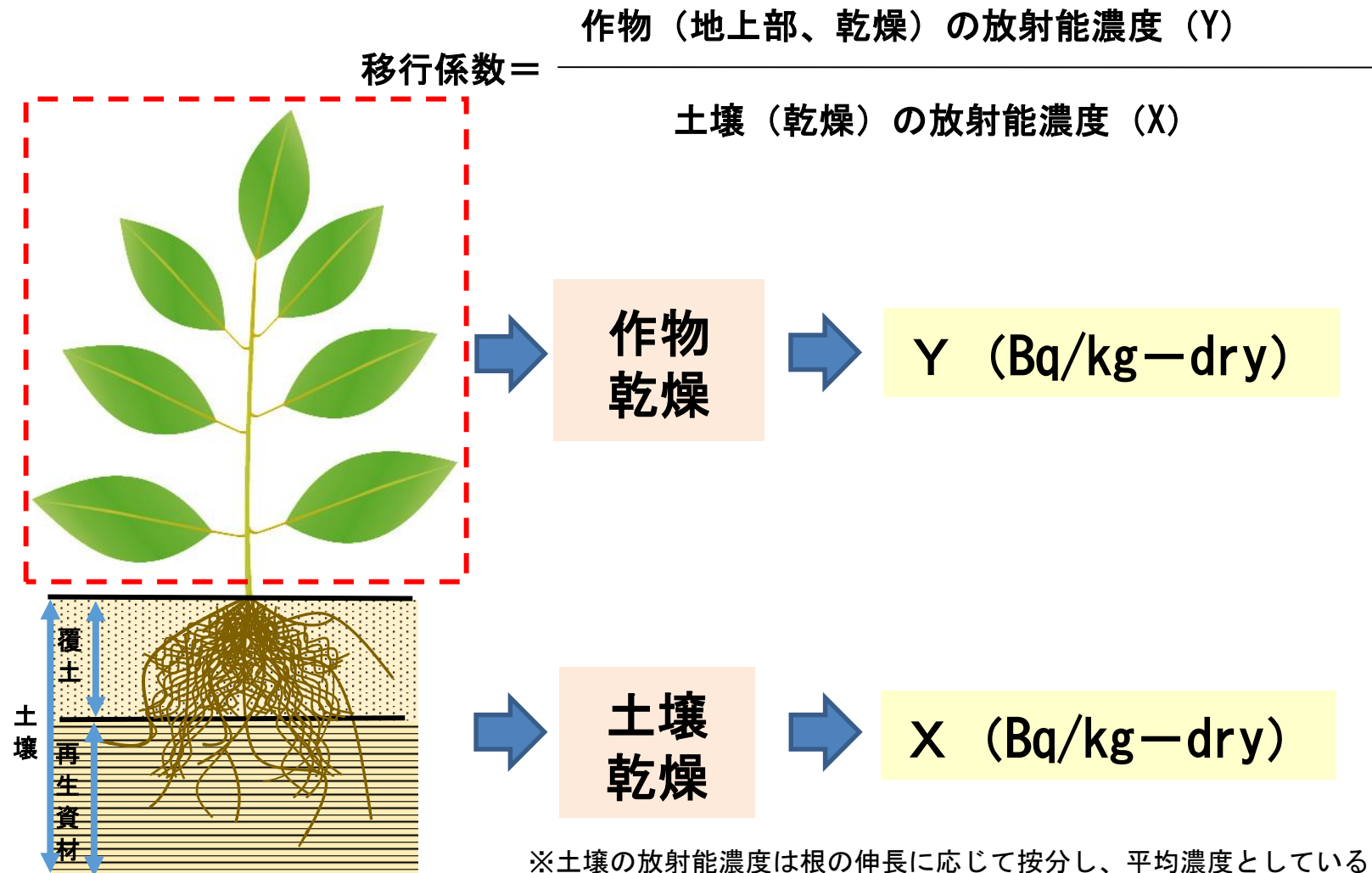
- ：根伸長調査パイプ(30°, 2.0m)
- ：土中水分計(10, 20, 40, 50cm)

栽培状況（9月2日撮影）



3. 栽培に関する試験について

3-3. 今回の実証事業における移行係数の考え方



3. 栽培に関する試験について

3-4. 露地栽培 移行係数一覧表

作物	移行係数 最小値-最大値	栽培条件				
		栽培期間	土壌 放射能濃度	根伸長	土壌の交換性カリ含量	土の種類
ジャイアント ミスカンサス	0.0030-0.0031	2019/6/18- 2019/9/20 (94日間)	覆土50cm 再生資材90cm 2,400Bq/kg	1.47m	栽培後覆土中交換性カリ含量 ; 37.1mgK ₂ O/100g	覆土 ; 真砂土 (砂質土) 再生資材 ; 主に 農地の除去土壌 (砂質粘性土)
ソルガム	0.0024-0.0035	2019/6/18- 2019/9/20 (94日間)		1.53m	栽培後覆土中交換性カリ含量 ; 10.4mgK ₂ O/100g	
アマランサス	0.0097-0.0172	2019/6/18- 2019/9/3 (77日間)		0.91m	栽培後覆土中交換性カリ含量 ; 11.0mgK ₂ O/100g	

* 露地栽培におけるジャイアントミスカンサスの移行係数の実測値は0.0030-0.0031となっている。

3. 栽培に関する試験について

【参考】既往値 移行係数一覧表

作物	移行係数の 既往値	土壌放射能濃度	根伸長	栽培期間	土壌の交換性カリ含量	土の種類
ジャイアント ミスカンサス	0.067 (農研機構2014*1)	実験エリア(不耕起) 0-5cm : 3,507.9 Bq/kg 5-10cm: 347.3 Bq/kg 10-15cm: 84.2 Bq/kg (平均 1,313 Bq/kg)	—	illinois 2011-2014	交換性カリ; 10.8mgK ₂ O/100g	農研機構 褐色低地土
ソルガム	0.018-0.029 (福島県2016*2)	未更新畑地 1,000 Bq/kg	—	ソルガム10品種 2012-2014	交換性カリ; 11.1~20.8 mgK ₂ O/100g	福島県農業 総合センター (未更新畑地) 黒ぼく土
アマランサス	0.195-0.288 (作物学会2015*3)	田ほ場(トラクタ耕起) 4,536 Bq/kg (土壌採取深さ15cm)	—	A. caudatus (K4) 2012-2013	交換性カリ; 13 mgK ₂ O/100g	川俣町 灰色低地土・ 植壤土

※移行係数は、栽培条件等によって異なることに要留意

*1: Four-year decline in radioactive cesium transfer to perennial Gramineae candidate bioenergy crops in a field polluted by radioactive fallout from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in 2011

*2: アマランサス属 (Amaranthus spp.)による放射性セシウムのファイトレメディエーション効果/日作紀 (Jpn. J. Crop Sci.) 84 (1) :9-16 (2015)

*3: ソルガム類の放射性セシウム濃度の品種間差/福島県農業総合センター 畜産研究所飼料環境科

3. 栽培に関する試験について

3-5.第8回中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会での安全評価で用いたパラメータとの比較

項 目	安全評価体系 ※	試験栽培
農地造成面積	10 ha	0.025 ha
再生資材の厚さ	4.5 m (覆土厚50cm)	0.9 m (覆土厚50cm)
再生資材の放射能濃度	5,000 Bq/kg	2,400 Bq/kg
ジャイアントミスカンサスの乾物収量	2.01 kg/m ²	0.192 kg/m ²
ジャイアントミスカンサスの根伸長	2.5 m	1.47 m
ジャイアントミスカンサスの移行係数	0.054	0.003
作物中放射能濃度	270 Bq/kg	4.77 Bq/kg

※第8回中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会で用いられたパラメータ

- ・ 安全評価では、ジャイアントミスカンサスの移行係数を0.054（2014農研機構データ0.067から覆土50 cmと根最大深度 2.5 mで按分）と設定し、再生資材の放射能濃度5,000 Bq/kgの場合の作物中放射能濃度を270 Bq/kgと評価しており、この場合の農地作業者の被ばく線量を0.19 μ Sv/yと評価している。（19ページ参照）
- ・ 露地栽培の作物の移行係数は、0.0030から0.0031であった。
- ・ 再生利用の手引きに示されている再生利用可能な最大放射能濃度8,000Bq/kg及び今回得られた移行係数0.0031を用いて農地作業者の外部被ばく線量を評価すると0.02 μ Sv/ y となる。

3. 栽培に関する試験について

【参考】第8回中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会 参考資料1抜粋

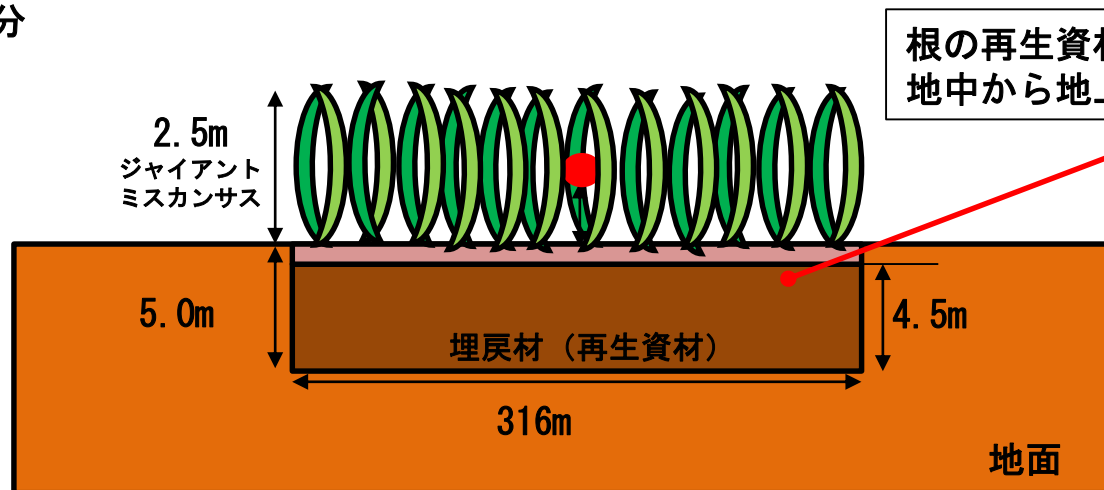
- 農地保全作業者の被ばく線量を評価
- 評価対象作物は移行係数、体系及び収量が大きい資源作物（ジャイアント・ミスカンサス）とした

【農地保全作業者の外部被ばく線量（資源作物）】

- ・ 農作業（草刈り等）
- ・ 被ばく時間1,000h/y
- ・ 遮蔽係数1.0
- ・ 1m^3 （空間）当たりの重量 $0.804\text{kg}/\text{m}^3$
- ・ 評価作物：ジャイアント・ミスカンサス
- ・ 移行係数： $6.7\text{E}-02$ （2014年農研機構データ）
- ・ ただし、根の最大深度2.5mのうち、50cmは覆土中（Csを含まない土壌）であるため移行係数を0.5：2で按分
- ・ 移行係数 $5.4\text{E}-02$ を適用した。
- ・ 再生資材密度： $2.0\text{g}/\text{cm}^3$
- ・ 覆土密度： $1.5\text{g}/\text{cm}^3$



- ・ 外部被ばく線量換算係数 ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$)
 $4.5\text{E}-04[\text{mSv}/\text{y}]/[\text{Bq}/\text{g}]$ （再生資材寄与分）
 $7.1\text{E}-04[\text{mSv}/\text{y}]/[\text{Bq}/\text{g}]$ （GM寄与分）
- ・ 埋戻材として $5,000\text{Bq}/\text{kg}=5\text{Bq}/\text{g}$ を使用した場合、作物中濃度は、 $0.270\text{Bq}/\text{g}$ となる。
- ・ 保全作業者の被ばく線量は
 $0.0022\text{mSv}/\text{y}=2.2\mu\text{Sv}/\text{y}$ （再生資材寄与分）
 $0.00019\text{mSv}/\text{y}=0.19\mu\text{Sv}/\text{y}$ （GM寄与分）



根の再生資材への到達によりCsが地中から地上へ移行することを想定

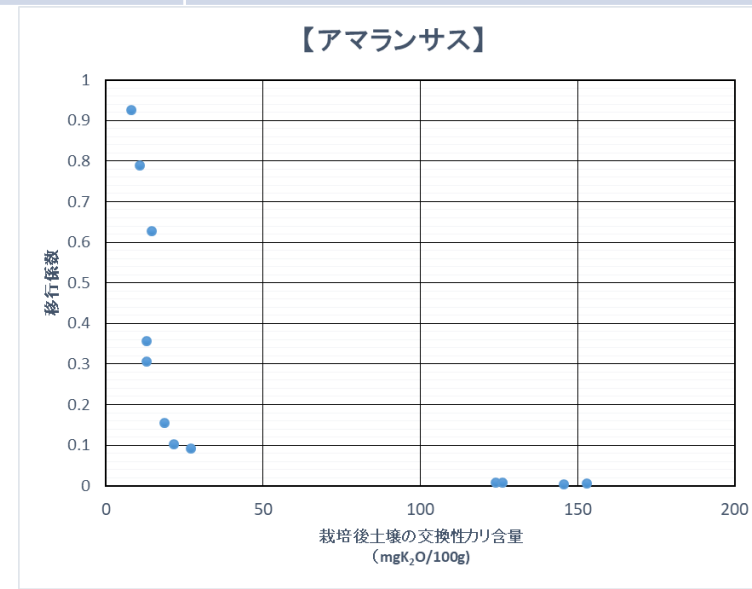
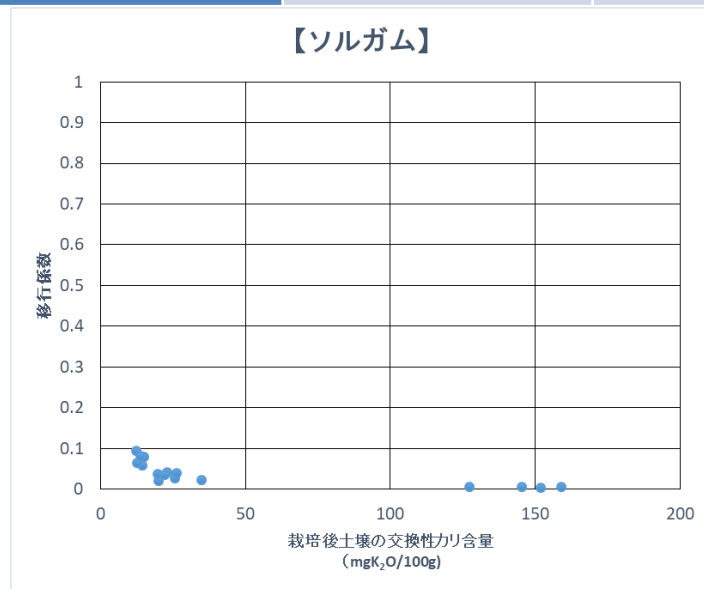
【農地保全作業者の外部被ばく線量（園芸作物）】

- ・ 体系及び収量が小さいため、資源作物の評価結果に包含されるものと考えられる

3. 栽培に関する試験について

3-6. ポット栽培（ワグネルポットでの試験）移行係数一覧表

作物	栽培条件	移行係数 最小値-最大値	栽培期間
ジャイアントミスカンサス	ワグネルポット	0.0133-0.0212	2018/11/29-2019/9/17（292日間）
ソルガム	ワグネルポット	0.0046-0.0944	2019/5/27-2019/8/26（91日間）
アマランサス	ワグネルポット	0.0038-0.9268*	2019/5/27-2019/7/26（60日間）



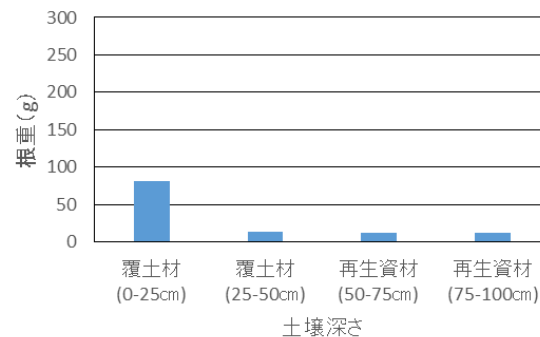
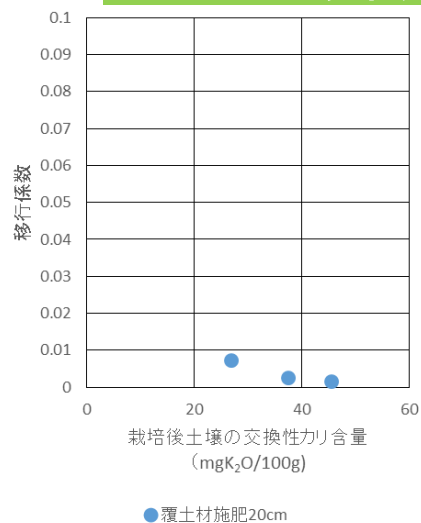
- ・ポット栽培では、様々な施肥等の条件の下での移行係数を測定し、カリ施肥による移行抑制効果が確認された。
- * アマランサスのポット栽培では、土壌の交換性カリ含有量が少ない場合、移行係数が大きくなるケースもある。ワグネルポットでは閉鎖された空間での栽培となるため、ポット内で根が充満してカリウムの枯渇が加速され、移行係数が大きくなる傾向があると考えられる。

3. 栽培に関する試験について

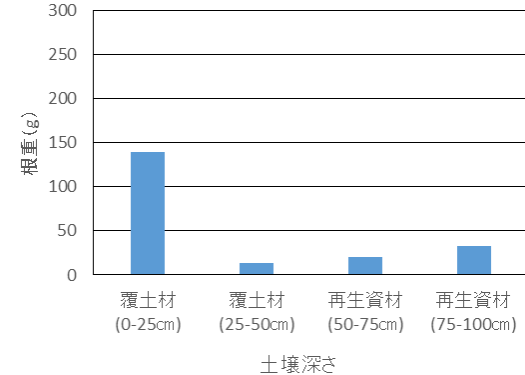
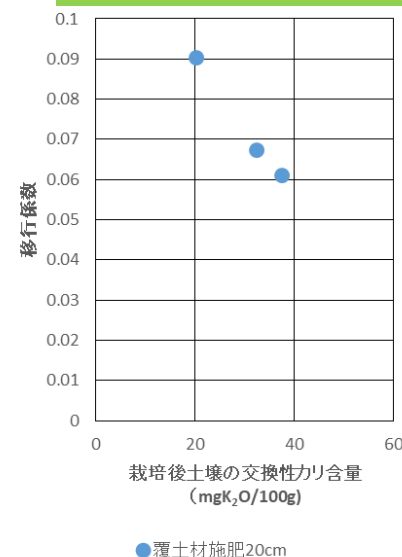
3-7. ポット栽培（二層構造モデル試験）移行係数一覧表

作物	栽培条件	移行係数 最小値-最大値	栽培期間
ジャイアントミスカンサス	二層構造	0.0015-0.0072	2019/5/29-2019/9/17（111日間）
ソルガム	二層構造	0.0261-0.0901	2019/5/29-2019/8/28（91日間）

ジャイアントミスカンサス



ソルガム



- ・ソルガムの移行係数はジャイアントミスカンサスに比べ大きかった。その要因としては、ソルガムの二層構造ポットの底部周辺で細根が発達しており、局所的なカリウムの枯渇が進んだことによるものと考えられる。

4. 作業者の外部被ばく線量について

盛土施工時の作業者外部被ばく線量			
作業員	勤務日数（日）	時間（H）	電子線量計（mSv）
A	18	144	0.053
B	18	144	0.049
C	17	136	0.052
D	12	96	0.036

作業者は、土壌の受入れ作業、土壌の均し作業、安全確認等援助作業を1日あたり8時間行っている。また、作業者のうち上位4名を抽出している。

なお、測定された線量はバッググラウンドが含まれる。

※作業者はマスクを着用し、作業後のスクリーニングにて汚染の無いことを確認した。

5. まとめ

1. 盛土施工中・供用中の放射線影響の評価・確認

- ・ 盛土中央の空間線量率は、周辺から約 $0.4 \mu\text{Sv/h}$ 程度のバックグラウンドの影響を受けると推察された。盛土からの線量は直接測定できないが、覆土の遮へい効果により再生資材からの直接線による影響は小さくなると推察された。
- ・ 空气中放射能濃度の実測値は、検出下限値未満となった。
- ・ 地下水中放射能濃度は、井戸設置時に 1 か所でCs-137が検出された箇所もあったがその後すべて検出下限値未満となった。なお、検出された要因としては、土壌混入によるものと考えられる。
- ・ 盛土浸透水中放射能濃度の実測値は、検出下限値未満となった。

2. 露地栽培における作物への移行係数の評価・確認

- ・ 露地栽培のジャイアントミスカンサスの移行係数は、 $0.0030 \sim 0.0031$ であった。
- ・ ポット栽培では、様々な施肥等の条件の下での移行係数を測定し、カリ施肥による移行抑制効果が確認された。
- ・ 再生利用の手引きに示されている再生利用可能な最大放射能濃度 $8,000\text{Bq/kg}$ 及び今回得られた移行係数 0.0031 を用いて農地作業者の外部被ばく線量を評価すると $0.02 \mu\text{Sv/y}$ となった。

3. 盛土施工時の作業者の放射線管理

- ・ 盛土施工時の作業者の外部被ばく線量は、最大 0.053 mSv であった。

6. 今後の進め方

飯舘村長泥地区における実証事業では、基本的考え方、再生利用の手引き（案）を踏まえて放射線安全性の観点に留意しつつ、除去土壌を再生資材化し、再生資材及び覆土を用いた盛土の造成を行い、試験栽培等を行った。

これまでの実証事業の結果は以下のとおり。

- ・ 再生資材化のプロセスにおいて、設定した放射能濃度（今回は5,000Bq/kg以下）の再生資材を得ることができることを確認した。
- ・ 再生資材及び覆土材を用いて農地のための土地等を造成するプロセスについて、放射線安全性の観点から問題なく施工することができることを確認した。また、これまでのモニタリング等の結果から、維持管理についても放射線安全性の観点から問題ないことを確認した。
- ・ 資源作物3種類の試験栽培を行い、約3か月間の盛土での栽培後、土壌からの放射性セシウムの移行の確認を行ったところ、これまで得られているデータからは、安全評価での想定よりも十分安全側の結果が得られた。

以上の実証事業の成果や既往の知見等を踏まえ、今後、飯舘村長泥地区においては、継続的に試験栽培を実施するとともに、農地の造成工事に着手することとする。

なお、今回得られた知見を踏まえ、再生資材及び覆土材を用いて造成した土地を農地として利用する場合の留意事項を再生利用の手引き（案）に追加する（資料2-2）。さらに、除去土壌の再生利用を適切な管理の下で行うため、省令に再生利用の方法を盛り込み、一部改正を行う（資料2-4）。

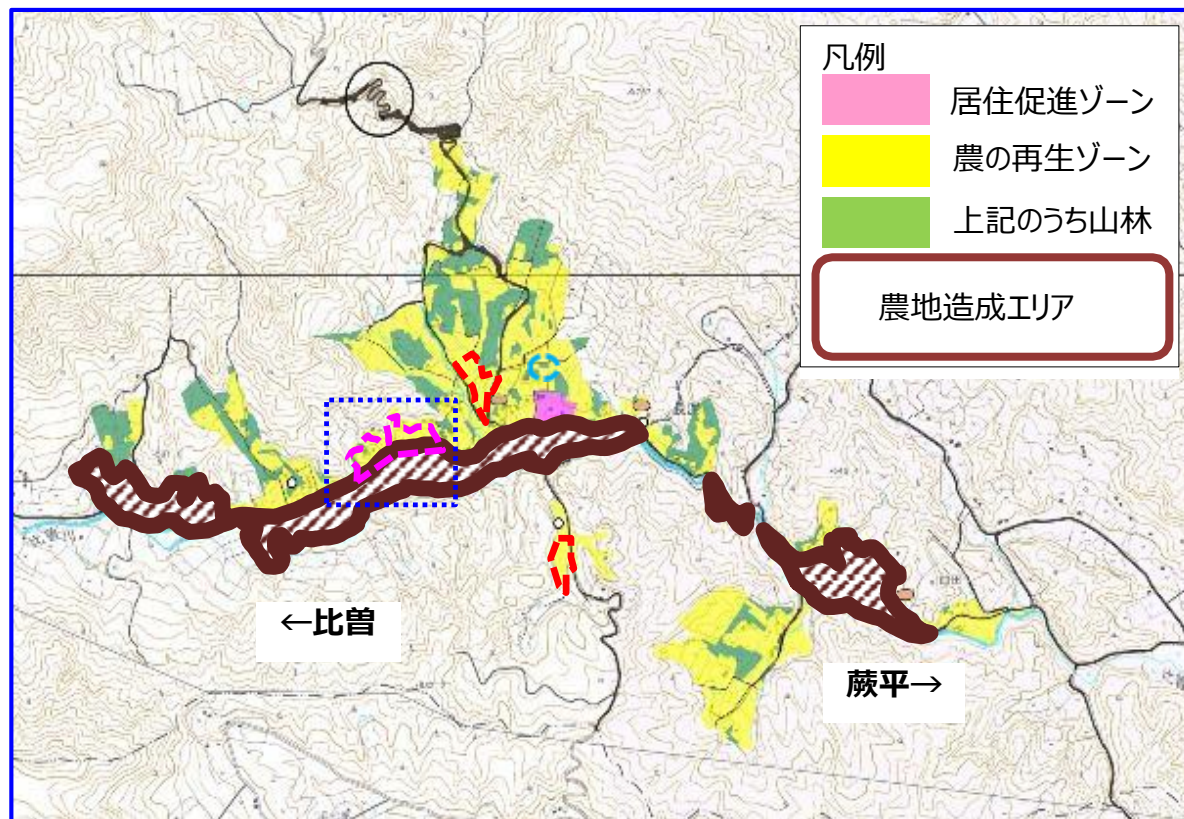
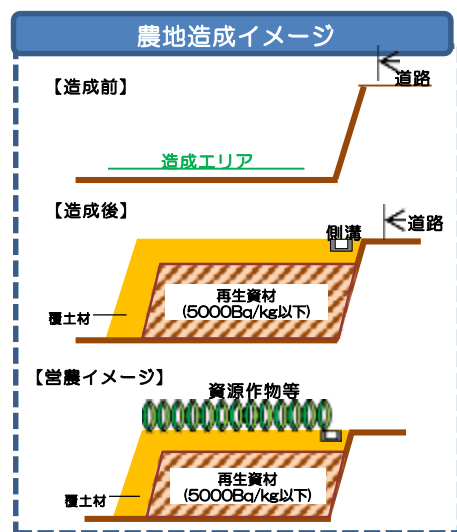
【補足資料】①飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（1）

環境再生事業概要

◆事業の流れ



◆事業箇所図



【整備規模】

農地造成エリア：3.4ha（今後変更となる場合がある）
※盛土量等については、今後の計画により具体化する。

【補足資料】 ①飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（2）

全体スケジュール（案）

- 2018年度：実証事業の実施に向けた準備等（再生資材化エリアの造成等）及びポット試験等を開始
 2019年度：本格事業の発注に向け、実証事業等を実施中
 2020年度頃～：実証事業の成果を踏まえ、農地造成事業に着手することを目指す
 ※具体的には、盛土造成に向けた準備工事（再生資材化施設設置含む）を行うことを想定
 2021年度頃～：再生資材、遮へい土を利用した盛土造成工事を行うことを目指す
 2022年度頃～：営農再開に向け、ほ場整備などを進めることを目指す

			2018年度 (平成30年度)	2019年度 (令和元年度)	2020年度 (令和2年度)	2021年度 (令和3年度)	2022年度 (令和4年度)	2023年度 (令和5年度)	2024年度 (令和6年度)
			飯舘村特定復興再生拠点区域復興再生計画期間：平成30年4月20日～平成35年5月31日（令和5年5月31日）						
環境省	実証事業	再生資材化実証							
		資源作物他試験栽培							
	調査設計等	調査・設計							
		地元説明・同意取得等							
	農地造成事業 ※実証事業の結果を踏まえ実施	工事発注準備・手続き							
		準備工事							
		盛土造成工事							
飯舘村	ほ場整備	地元同意・換地計画							
		土地改良・補完工事							
		換地処分							

※共有地については別途検討中。

【補足資料】 ②再生資材・盛土に関する試験データ（１）

飯館村及び南相馬市における実証事業の再生資材の比較

表1 土質試験結果の比較

項目				試験結果(再生資材)	
				飯館村	南相馬市
一般	土粒子密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.520 ~ 2.619	2.636 ~ 2.657
	自然含水比	w_n	(%)	34.8 ~ 49.8	15.3 ~ 16.9
粒度	礫分	2~75mm	(%)	5.8 ~ 11.6	33.4 ~ 51.3
	砂分	0.075~2mm	(%)	33.2 ~ 62.6	31.8 ~ 45.3
	シルト分	0.005~0.075mm	(%)	9.7 ~ 41.6	11.1 ~ 18.6
	粘土分	0.005mm未満	(%)	11.6 ~ 36.0	4.10 ~ 7.10
	最大粒径	—	mm	19	19
	均等係数	U_c	—	48.06 ~ 131.35	63.86 ~ 109.61
	曲率係数	U_c'	—	0.38 ~ 1.23	1.11 ~ 2.59
分類	地盤材料の分類名			礫まじり 粘性土質砂	粘性土質 砂質礫
	分類記号			(SCs-G)	(GCsS)
締固め	試験方法	—	—	A-c	A-c
	最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.002~ 1.181	1.790~ 1.890
	最適含水比	w_{opt}	(%)	32.3 ~ 45.0	13.4 ~ 15.6
コーン試験	突固め回数	—	—	25回/3層	25回/3層
	コーン指数	q_c	(kN/m ²)	1389 ~ 貫入不能	1355 ~ 貫入不能
その他	強熱減量	Li	(%)	9.4	5.4~7.2

※測定方法：JIS A 1202/JGS 0111土粒子の密度試験（ピクノメータ）、JIS A 1203/JGS 0121 土の含水比、JIS A 1204/JGS 0131土の粒度試験（ふるい分析）、JIS A 1210/JGS 0711突き固めによる締固め試験、JIS A 1228/JGS 0716締固めた土のコーン指数試験
測定点数：飯館村 20点（強熱減量は1点のみ）、南相馬市 4点

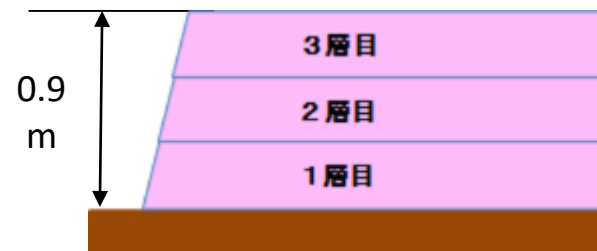
【補足資料】 ②再生資材・盛土に関する試験データ（２）

飯館村及び南相馬市における実証事業の盛土出来形の比較

R I 計測データ（再生資材盛土）		
項目	飯館村	南相馬市
土粒子の密度 g/cm^3	2.533～2.570	2.636～2.657
最大乾燥密度 g/cm^3	1.055～1.087	1.790～1.890
空気間隙率 %	14.9～21.3	1.5～9.3
締固め度 %	92.1～100.5	92.8～101.8
含水比 %	36.0～49.1	14.0～19.7
飽和度 %	64.2～75.9	77.1～95.5
湿潤密度 g/cm^3	1.40～1.45	1.99～2.12
乾燥密度 g/cm^3	0.99～1.06	1.66～1.83

※再生資材各層平均値

測定方法：JGS 1614 RI計器による土の密度試験



飯館村



南相馬市

南相馬市における除去土壌再生利用 実証事業のモニタリング状況について

南相馬市における実証事業

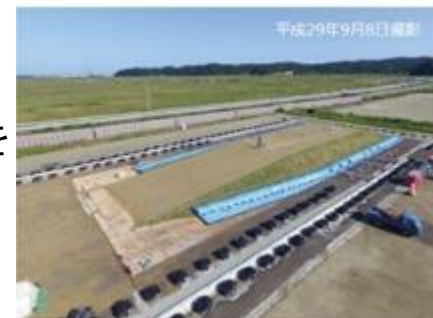
＜技術的確認結果＞

- ・ 再生資材化した除去土壌等を用いた盛土構造物を造成し、その後一定期間、放射線等のモニタリングを実施
- ・ 空間線量率、大気中放射能濃度は施工前、施工中において大きな変動がないことを確認
- ・ 盛土浸透水の放射能濃度の分析結果はすべて検出下限値未満であることを確認

【参考資料】南相馬市における除去土壌再生利用実証事業のモニタリング状況（2）

【事業概要】

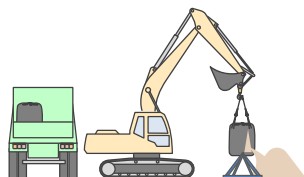
- 福島県南相馬市の仮置場内で、再生資材化実証試験および試験盛土を施工
- 必要な飛散・流出防止対策を講じながら、再生資材化した除去土壌等を用いた盛土構造物を造成し、その後、一定期間盛土構造物のモニタリングを実施
- 盛土構造物はモニタリング終了後、撤去



1. 再生資材化の実証（2017年4月～）

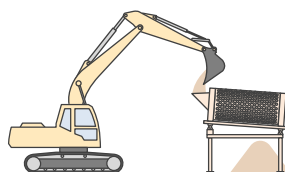
① 土のう袋の開封・ 大きい異物の除去

大型土のう袋を開封し、
大きな異物を分別・除去。



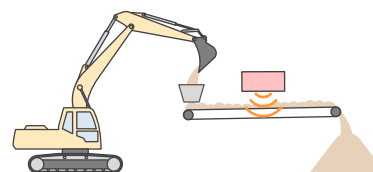
② 小さな異物の除去

ふるいでより小さな異物を
分別・除去。



③ 濃度分別

放射能濃度を測定し
土壌を分別。



④ 品質調整

盛土に利用する土壌の品質
を調整。(水分、粒度など)



2. 盛土の実証（2017年5月～）

⑤ 盛土の施工・ モニタリング

- ・ 試験盛土を施工。
（全体を新材で50cm覆土）
- ・ 空間線量などの測定を継続。

・ 盛土全体土量：約4,000t

うち、再生資材土量：約700t

・ 平均放射能濃度771Bq/kg

空間線量率・
放射能濃度の確認

【再生資材部】

【新材部】

使用場所記録の
作成・保管

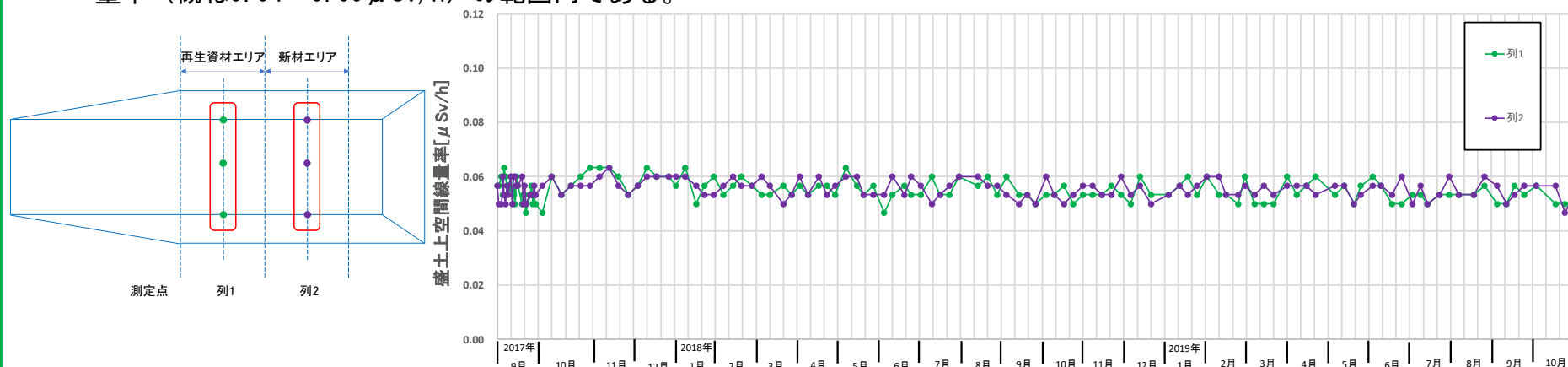
浸透水の放射能濃度の確認

【参考資料】南相馬市における除去土壌再生利用実証事業のモニタリング状況（3）

- 盛土周辺の空間線量率は、盛土完成後、大きく変動していない。
- 盛土浸透水は、すべて検出下限値未満。
- 大気中放射能濃度は、除去土壌搬入開始前から盛土完成以降、大きく変動していない。

盛土周辺の空間線量率

- ・ 2017年8月末に盛土が完成。2017年9月以降、試験盛土上の空間線量率を左下図の位置で測定。
- ・ 再生資材エリア及び新材エリアの測定点の平均値の時系列をグラフ化（右下図）。
- ・ 空間線量率は概ねバックグラウンドの空間線量率と同等の $0.05 \sim 0.06 \mu\text{Sv/h}$ であり、その変動は、敷地境界における空間線量率（概ね $0.04 \sim 0.09 \mu\text{Sv/h}$ ）の範囲内である。



盛土における空間線量率の測定点

盛土の空間線量率時系列
(列1及び列2は、各々3箇所の測定点の平均値)

盛土浸透水について

- ・ 2017年8月末に盛土が完成し、2017年9月の分析開始以降、再生資材を利用した盛土の浸透水中に含まれる放射性セシウムの濃度の分析結果はすべて **検出下限値未満**。
(検出下限値 (2017年9月～2019年10月末) Cs-134 : $0.2 \sim 0.293\text{Bq/L}$ 、Cs-137 : $0.2 \sim 0.331\text{Bq/L}$)

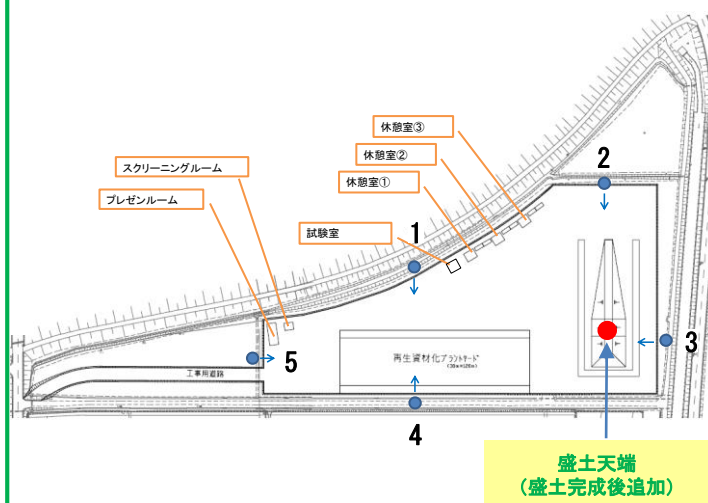


浸透水の集水設備の概観

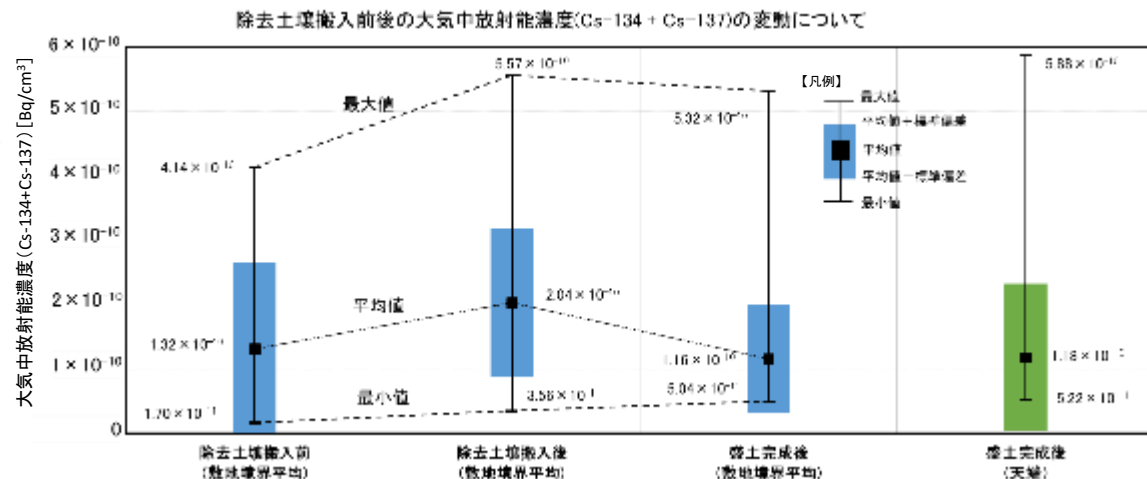
【参考資料】南相馬市における除去土壌再生利用実証事業のモニタリング状況（4）

大気中放射能濃度

- ダストサンプラにより吸引・捕集したダストを、Ge半導体検出器分析により放射能濃度測定。
- 基本的に1週間連続吸引したダストを1検体とし、概ね検出下限値が $5\text{E}-10\text{Bq}/\text{cm}^3$ 程度以下となるよう、Ge半導体検出器による分析時間数を設定。
- 片付工終了後の2017年10月以降は、測定を1ヶ月1検体とし、また、採取場所に盛土天端の再生材エリア中央（図中赤丸）を追加。
- 大気中放射能濃度は除去土壌搬入前から盛土完成以降、2019年11月末までは大きくは変動していない。
- 盛土天端では、敷地境界における測定結果と同程度である。



大気中放射能濃度用ダスト採取位置及び吸引方向
(図は2017年8月までの実証ヤード平面図)



大気中放射能濃度の測定結果（検出下限値を超える測定値の範囲）

測定箇所	時期	Cs-134濃度 $[\text{Bq}/\text{cm}^3]$	Cs-137濃度 $[\text{Bq}/\text{cm}^3]$
敷地境界 (1～5の平均)	搬入前 (2017年4月以前)	$2.25\text{E}-11 \sim 4.70\text{E}-11$	$1.70\text{E}-11 \sim 3.67\text{E}-10$
	搬入後盛土完成前 (2017年5月～8月)	$2.80\text{E}-11 \sim 6.27\text{E}-11$	$3.56\text{E}-11 \sim 4.98\text{E}-10$
	搬入後盛土完成後 (2017年9月以降)	$2.20\text{E}-11 \sim 6.02\text{E}-11$	$2.35\text{E}-11 \sim 4.81\text{E}-10$
盛土天端	搬入後盛土完成後 (2017年9月以降)	$2.50\text{E}-11 \sim 4.52\text{E}-11$	$2.24\text{E}-11 \sim 5.43\text{E}-10$

【参考資料】南相馬市における除去土壌再生利用実証事業のモニタリング状況（5）

台風19号の影響

- ・ 本年10/12の台風19号により盛土は現地盤から1 m強の高さまで浸水したが、盛土の損傷はなく、盛土周辺の空間線量率は台風前と比べて変化はなかった。また、盛土周辺に溜まった雨水の放射能濃度は検出下限値未満であった。（検出下限値 0.46Bq/L～0.77Bq/L）

試験盛土の状況



（2019. 10. 13撮影）



（2019. 10. 31撮影）